ISSN 0915-6372

NATIONAL INSTITUTE FOR FUSION SCIENCE

平成１３年度核融合科学研究所技術研究会

日時：2002 年 3 月 14 日・15 日
場所：セラトピア土岐

Proceedings of Symposium on Technology in Laboratories
by Department of Engineering and Technical Services

核融合科学研究所技術部

(Received - May 23, 2002)

NIFS-MEMO-36 June 2002

This report was prepared as a preprint of work performed as a collaboration research of the National Institute for Fusion Science (NIFS) of Japan. The views presented here are solely those of the authors. This document is intended for information only and for future publication in a journal after some rearrangements of its contents.

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to the Research Information Center, National Institute for Fusion Science, Oroshi-cho, Toki-shi, Gifu-ken 509-5292 Japan.

RESEARCH REPORT
NIFS-MEMO Series

TOKI, JAPAN

平成13年度
核融合科学研究所技術研究会

日時 ： 2002年3月14日～15日

場所 ： セラトピア土岐

核融合科学研究所技術部

Proceedings of Symposium on Technology in Laboratories

By

Department of Engineering and Technical Services

Abstract

The Symposium on Technology in Laboratories was held on March 14 and 15 at Ceratopia Toki in Toki City, Gifu Prefecture, Japan. This symposium was hosted by National Institute for Fusion Science (NIFS). There were 407 participants from many Japanese universities, national laboratories, technical colleges and from some Japanese Industrial world. One hundred and thirty one papers were presented in the symposium. Technical experience and new techniques were reported and discussed being divided into five sessions; technology of fabrication, device technology, diagnostic and control system, cryogenics, computer and data processing

Keywords: symposium, technology, fabrication, device, diagnostic, control system, cryogenics, computer, data processing

はじめに

核融合科学研究所
技術部長　　大竹　勲

最終的に４００名を超える御参加となった技術研究会です。今回開催の栄誉に浴することができました。小さい所帯で無事に果たすことができましたことは、皆様の御協力の賜物と感謝致しております。５分科会でしたが、最近は大学においても開催され研究会の領域が拡がっております。交流が広まると共に中身も充実していくようで、レベルの高い報告がされております。しかし研究会の充実に留まることなく、支援業務への寄与につながるものでなければなりません。

研究会や技術交流を通じて専門技術の向上は図れますが、専門性を深める余り領域が狭くなるようでは行政改革とか研究の進展に追随できなくなります。学際的といって研究側も姿形を変え、新しいあり方を求めているので変化に取り残されないようにしなければいけません。支援側が古い生き方に固執すると新しい研究を制約することになります。

学術研究の専門性に従って技術者が専門分化してしまっては何人いても足りないことになります。確定した技術はアウトソーシングに切り替える方が効率がいいわけです。より一層、幅広い技術を提供し、将来の研究がどのように展開しても対応できるようでなくては技術職員の存続を危うくします。付加価値と柔軟性が求められるでしょう。

研究を支える技術が不可欠ではあっても、現実は研究者を支える技術者を求められ、その位置付けが普遍的でなくなります。事務方は「会計検査に通らない！」をひとつの拠り所として秩序を守っています。一方、技官は仕事が研究に近い余り、研究者と同じ目線で対応する傾向があります。研究は難しいもの、で責任逃れをするのでなく「強度が足りない。ノイズです。漏れます！」と技術的な責務を担い、研究者とは別の切り口で対応するべきです。同じ姿勢で対処するなら研究者の補助者でしかありません。

専門的な評価を求めるばかりでなく、研究の場を支える技術を提供する姿勢でなければ、よき支援者とは言えません。技術的には、むしろ支配的であってこそ技術の専門家と言えるのではないでしょうか。ただし技官の評価手法は整理する必要があります。

専門技術を究めることは当然として、人手を削られても広い分野に対応するには、各人の領域を広げることです。専門技術を深く求める余り領域が狭く（一般にＩ型人間と称される）なりがちですが、他の分野も兼ね備えた間口の広い技術者（Ｔ型）が活躍する場面に変わりつつあります。組織化も徐々に増えておりますが、それをもって支援態勢が完結するのでなく、運用形態も変革が必要です。技術の専門性だけでなく、コストや労務、時間・空間・材料の有効利用も含めてマネジメントしていく時代です。技術支援の効率化を図るためには避けて通れない途です。研究会での対象とならないでしょうか。

今回の開催につけ核融合科学研究会から多大の御援助、土岐市からは会場のお世話を戴いて厚く感謝致します。実行委員会の骨折りは余計な不安を凌いでいたようで、再会の歓びを期待する余韻を残すほどであります。

目　次

第1分科会（工作技術）

(1) 低温多結晶Siエキシマレーザアニーリング装置の製作 …… 1
山口大工学部電気電子工学科　○河本直哉、松尾直人

(2) セラミック単結晶接合用のホットプレスの改良 …… 4
東京大工学部マテリアル工学科　○永山直樹、杉田洋一、生出博巳、市毛健一、山本剛久

(3) ベルヌーイ装置の作製 …… 8
名古屋工業大材料工学科　○祖父江孝之、栗田典明、武津典彦、大橋照男

(4) 低温KFフランジの製作 …… 12
東京大総合文化研究科共通技術室　○小田嶋豊、芦沢佳子

(5) 機械工学学生の木材加工テーマ …… 15
北九州工業高等専門学校　○北嶋和進

(6) ラム加速機およびレーザー推進プロジェクタイルの製作 …… 18
東北大流体科学研究所　○加藤　誠

(7) 工作実習とアドバンストコースの検討 …… 22
名古屋大工学部・工学研究科技術部　○千田進幸、松浦英雄、山本浩治

(8) 高専実習による小型バイスの製作と特定バイスの試作 …… 26
北九州工業高等専門学校　○清田栄一

(9) 鋳物を通してのものづくり体験 …… 29
岩手大工学部技術部　○小綿利憲

(10) 高速読み出し用メカニカルステージの開発 …… 33
名古屋大理学部技術部　○河合利秀

(11) 三次元測定機を使用した加速管ディスクの測定 …… 37
高エネルギー加速器研究機構　○渡辺勇一、肥後寿泰、東　保男、舟橋義聖、高富俊和

(12) 原子核乾板飛跡解析用ピエゾステージの開発 …… 41
名古屋大理学部装置開発室　○石川秀蔵
素粒子物理学研究室　中野敏行

(13) 回転放物面に対するダイヤルゲージを用いた表面の振れ測定による中心軸決定 …… 44
国立天文台野辺山太陽電波観測所　○石崎秀晴

(14) 超高圧実験用の八面体圧媒体製作用治具の試作 …… 48
広島大理学部特殊加工技術開発室　○石飛義明

(15) CNC旋盤による球体加工とその評価 …… 51
名古屋大工学部・工学研究科技術部　○涌井義一、小塚基樹、白木尚康、山本浩治
熊澤克芳、鷲見高雄、星野善樹
静岡理工科大工作センター　行平憲一

(16) IT対応型機械加工システムを用いた実習教育の取り組みについて …… 55
熊本大工学部技術部　○倉田　大、勝尾真次郎、神之田信幸
中村秀二、白川武敏、清水久雄

(17) CADCAMマシニングセンターの概要及び製作サンプルの紹介 …… 57
名古屋大工学部・工学研究科技術部　○山本浩治、白木尚康

第２分科会（装置技術）

(1) JLC測定器衝突点の支持構造設計 …… 61
高エネルギー加速器研究機構 ○山岡 広、田内利明

(2) トーラス装置用3次元磁場分布計測装置 …… 65
日本原子力研究所那珂研究所 ○山本正弘、都筑和泰、岡野文範、鈴木貞明、秋山 隆、柴田孝俊、佐藤正泰、川島寿人、伊世井宣明、木村晴行、JFT-2Mグループ

(3) サジタル結晶の改良によるビーム強度の増大化 …… 69
高エネルギー加速器研究機構 ○内田佳伯

(4) RBS測定における二次電子の抑制 …… 72
北陸先端科学技術大学院大技術室 ○伊藤暢晃

(5) スパッタ法により作製した$CaTiO_3$膜に対するTiイオン注入効果 …… 76
東北大金属材料研究所 ○斉藤今朝美、大津直史、菊地迪夫、佐藤武明、永田晋二、浅見勝彦
物質・材料研究機構 材料研究所 塙 隆夫

(6) マシナブルセラミックスの高温度領域における超音波測定 …… 79
岐阜大工学部技術部 ○秋田正之

(7) サンプリング法を用いたRFプラズマパラメータの測定 …… 83
山口大工学部 ○田内 康、田坂貴文、福政 修
核融合科学研究所 竹入康彦

(8) JT-60高周波加熱装置制御システムの改良 …… 87
日本原子力研究所那珂研究所 ○篠崎信一、森山伸一、下野 貢、平内慎一

(9) 鉄道型GETS・エアロトレインの走行実験概要 …… 91
東北大流体科学研究所 ○太田福雄

(10) HFD観測用実験局 …… 94
電気通信大情報通信工学科 ○有澤豊志

(11) ドライエッチング中のプラズマ照射による基板の温度上昇の測定 …… 98
東京工業大精密工学研究所 ○松谷晃宏

(12) 有機廃液焼却時における洗煙水中フッ素の高度処理 …… 102
京都大環境保全センター ○真島敏行

(13) 高温ニッケルの非定常スプレー冷却について …… 106
愛媛大工学部機械工学科 ○阿部文明

(14) JT-60U用負イオンNBI電源のサージ対策 …… 109
日本原子力研究所那珂研究所 ○疋田繁紀、山本 巧、大賀徳道、薄井勝富
(株)開発電気 日下 誠

(15) サイラトロンドライバーの故障とその対策 …… 113
高エネルギー加速器研究機構 ○中島啓光、本間博幸、明本光生、設楽哲夫、福田茂樹

(16) 国立極地研究所のSIMSのメインテナンス ―南極隕石研究センターのSHRIMPⅡについて― …… 117
東京大大学院理学系研究科理学部 ○立川 統

第3分科会（計測・制御技術）

(1) ワンチップ・マイコンの実習用教材の製作 …… 129
山口大工学部 ○岡田秀希、河本直哉、小橋克哉

(2) 白色LEDを用いたバックライト式照明装置の作製 …… 132
山口大工学部 ○小橋克哉、田口常正

(3) フォトクロミック法での光路遮断用電磁シャッターの構築法 …… 136
東京工業大大学院理工学研究科 ○岩田正孝

(4) 流体現象における写真撮影と現像処理法 …… 140
東北大流体科学研究所技術室 ○浅野和夫

(5) 大学・研究所間共同開発プロジェクト COACK …… 143
高エネルギー加速器研究機構 ○阿部 勇、小菅 隆、濁川和幸、白川明広、
片桐広明、斎藤裕樹、木代純逸、黒川眞一
東北大大学院理学研究科核理研 武藤正勝、柴崎義信
DESY(ドイツ) Philip Duval
核融合科学研究所 小川英樹、井上知幸、小平純一、横田光弘、
塚田 究、小嶋 護、山崎耕造

(6) COACK を用いた LINAC 制御システム …… 147
東北大大学院理学研究科核理研 ○柴崎義信、武藤正勝、七尾晶志、浜 広幸
& COACK開発チーム

(7) 重イオンビームプローブ (HIBP) 制御システムへの COACK の導入 …… 151
核融合科学研究所 ○井上知幸、小川英樹、塚田 究、横田光弘、
加藤真治、川澄義明、井戸 毅、西沢章光
& COACK開発チーム

(8) 低速陽電子用加速器制御システムへの COACK 導入計画 …… 155
高エネルギー加速器研究機構 ○白川明広、阿部 勇、設楽哲夫、栗原俊一
& COACK開発チーム

(9) COACK と HP VEEの接続試験 …… 159
高エネルギー加速器研究機構 ○片桐広明、阿部 勇、濁川和幸、小菅 隆
& COACK開発チーム

(10) Non－Windows システム用 COACK インターフェース …… 163
高エネルギー加速器研究機構 ○小菅 隆
& COACK開発チーム

(11) PF-AR の新しいインターロック集中管理システム …… 167
高エネルギー加速器研究機構 ○斎藤裕樹、小菅 隆、伊藤健二
& COACK開発チーム

(12) JAERI/KEK60MeV陽子リニアックのためのタイミングシステム …… 171
高エネルギー加速器研究機構 ○門倉英一、島崎昇一、石田忠治

(13) 機器基準電位代表接地極の重要性 …… 175
東京大原子力研究総合センター ○安本 勝

(14) 指向性を持った力測定用はりの研究 …… 179
東北大大学院工学研究科 ○阿部幸勇

(17) ゴム系Oリングを使用したHeガスの透過漏洩抑制法 …… 121
日本原子力研究所東海研究所 ○井上広巳、大場敏弘、菊地泰二、高 勇、
千葉雅昭、石川和義、津田和美、武山友憲
(株)原力エンジニアリング 磯崎 太、照沼 勲、沢辺正樹、関谷三男、
川崎 積
(18) バーコードによる薬品管理システム …… 125
高エネルギー加速器研究機構 ○平 雅文

(15) 多入出力制御実験を実現する相互干渉と負荷変動をもつ倒立振子サーボ実験系の試作 …… 183
熊本大工学部技術部 ○神澤龍市
(16) カーボンナノチューブの水素ガス吸着特性測定システムの開発 …… 185
三重大工学部技術部 ○伊藤 篤
(17) 激光X II号での画像処理によるレーザーアラインメントの開発 …… 189
大阪大レーザー核融合研究センター ○森尾 登、渡辺 斉、宮永憲明
(18) メタルジェット放電制御装置の製作「II」 …… 193
名古屋大工学部・工学研究科技術部 ○小林勝司、布目清成
(19) ディキューイング回路の性能向上 …… 197
高エネルギー加速器研究機構 ○本間博幸、穴見昌三
(20) JT-60U 用負イオン源フィラメントプレプロ制御 …… 201
日本原子力研究所那珂研究所 ○藻垣和彦、河合視巳人、薄井勝富、疋田繁紀、
日下 誠

第4分科会(低温技術)

(1) ヘリウム液化装置への冷却水の流入と修理について …… 205
京都大原子炉実験所技術室 ○宮田清美、小高久男

(2) 沖縄における機器の冷却 …… 209
琉球大極低温センター ○宗本久弥

(3) ヘリウム液化室における遠隔監視・遠隔教育の紹介 …… 213
北陸先端科学技術大学院大 ○木村一郎、小松史道

(4) 液体窒素貯層の新設と液体窒素/高純度ガス供給システム …… 215
分子科学研究所 ○加藤清則

(5) 液体ヘリウムポンプと他流体ポンプの比較 …… 218
東京大物性研究所 ○鷲山玲子、土屋 光、吉田辰彦
東京大総合文化研究科 井上春恵、小田嶋豊
分子科学研究所 高山敬史

(6) 回転超低温冷凍機の開発 …… 222
東京大物性研究所 ○五十嵐武、高橋 健、久保田実、石本英彦
京都大 石黒亮輔、山下 穣、早田恵美、佐々木豊、
水崎隆雄
大阪市立大 石川修六

(7) プラズマ停止用液体窒素注入装置の開発 …… 226
日本原子力研究所那珂研究所 ○菊池勝美、秋野 昇、大賀徳道、草鴎直人
関 宏、棚井 豊、西尾 敏、山本 巧

(8) 平成13年度教育研究・改善プロジェクト経費ものづくりに挑戦！(未来への体験)報告 …… 230
名古屋工業大技術部 ○井村仁美、安形保則、森口幸久、松原孝志
坂井孝弘、荒川和巳、藤井末男

(9) 雪の硬さ測定 …… 234
電気通信大技術部 ○金子克己

(10) 空気作動式液体ヘリウム移送管 …… 238
姫路工業大 ○岩本雄二
京都大 楠田敏之
分子科学研究所 高山敬史
大阪市立大 田中峰雄

(11) 焼結金属による液体ヘリウム移送効率の改善 …… 240
京都大化学研究所 ○楠田敏之
分子科学研究所 高山敬史

(12) 誰にでも出来る大径ヘリウムガス回収配管 …… 243
熊本大理学部物理科学科 ○河野賢吾
熊本大衝撃・極限環境研究センター 島本知茂

(13) CERNの液体ヘリウム事情 …… 247
東京大総合文化研究科共通技術室 ○小田嶋豊

第5分科会（計算機・データ処理技術）

(1) 奈良高専における新入生対象情報処理アンケート調査結果 …… 251
奈良工業高等専門学校 ○川辺涼子

(2) 小規模研究室のコンピュータインフラの維持とネットワークセキュリティの確保 …… 255
新潟大工学部福祉人間工学科 ○土田淳慈

(3) 分散型電子メールサーバの構築と運用 …… 259
高エネルギー加速器研究機構 ○押久保智子、浜田 紀

(4) NTP時刻同期精度のOS依存性について …… 263
国立天文台水沢観測センター ○佐藤克久、浅利一善

(5) ホームページの作成による工作室の運用効率化 …… 267
東京大工学部マテリアル工学科 ○市毛健一、杉田洋一、生出博巳、永山直樹

(6) 研究情報Webシステムの紹介 …… 270
高エネルギー加速器研究機構 ○柿原春美、八代茂夫

(7) 高速熱伝導プログラムのWeb－DB連携検証システム構築上の問題点 …… 274
熊本大工学部 ○山本光治

(8) Webベース施設管理・運用データベースシステムの構築 …… 276
電気通信大技術部 ○水谷孝男、○仙北谷直美

(9) KEK－仙台間のネットワーク構築 …… 280
高エネルギー加速器研究機構 ○飯田好美、苅田幸雄

(10) 北海道大学における構内モバイルLANシステム …… 284
北海道大大型計算機センター ○大島雅明

(11) 分散冗長化DNS systemの構築 …… 288
分子科学研究所 ○内藤茂樹

(12) 高速ネットワーク(Super SINET)の導入 …… 292
高エネルギー加速器研究機構 ○濁川和幸、小菅 隆、白川明広、阿部 勇、
木代純逸
核融合科学研究所 小川英樹、井上知幸、小平純一
&COACK開発チーム

(13) 実験装置の制御システムにおけるネットワーク対応型ディバイスレイヤの開発 …… 296
東北大大学院理学研究科核理研 ○武藤正勝、柴崎義信、七尾晶士
&COACK開発チーム

(14) 名古屋大学工学研究科における排水監視の自動化 …… 300
名古屋大工学部・工学研究科技術部 ○増田俊雄、佐々木敏幸

(15) 国立天文台野辺山太陽電波観測所 新計算機システムの紹介 …… 304
国立天文台野辺山太陽電波観測所 ○篠原徳之、柴崎清登、横山央明、下条圭美

(16) ORACLEの業務データベースへの適用 …… 308
名古屋大大型計算機センター ○堤 守政

(17) 分析機器予約システムの構築 …… 312
慶應義塾大理工学部中央試験所 ○加藤祐一

(18) 技術研究会報告データベース化の検討 …… 314
分子科学研究所 ○水谷文保

ポスターセッション

(1) 振動を利用した分級装置について …… 319
群馬大工学部 ○江原幸造

(2) 単結晶球・コノスコープ(干渉)像観察装置の開発 …… 323
北海道大大学院理学研究科技術部 ○小檜山守男、桑島俊昭、小川正人、野村秀彦、加藤尚史

(3) 宇宙船内中性子測定器検出部の製作 …… 327
名古屋大工学部・工学研究科技術部 ○大久保興平

(4) 大型ヘリカル装置のためのICRF同軸管 管内放電位置検出装置の開発 …… 331
核融合科学研究所 ○新保富士夫、加藤明己、熊沢隆平、斉藤健二、関 哲夫、竹内伯夫、鳥居祐樹、野村吾郎、武藤 敬、安井哲彦、山本太郎、横田光弘、渡利徹夫

(5) 試料導入装置用着脱装置の試作 …… 335
日本原子力研究所那珂研究所 ○新井 貴、柳生純一、正木 圭

(6) JT-60 ガス注入装置におけるノイズ対策 …… 339
日本原子力研究所那珂研究所 ○三代康彦, 平塚 一, 岩橋孝明, 本田正男

(7) 大型ヘリカル装置(LHD)用真空排気装置の移設・改造 …… 343
核融合科学研究所 ○米津宏昭、飯間理史、小森彰夫、鈴木肇、林 浩己、鈴木直之、近藤友紀、岡田光司

(8) PF-AR Ring 真空ダクト改造 …… 347
高エネルギー加速器研究機構 ○内山隆司、堀洋一郎、谷本育律
三菱電機システムサービス 飯島寛昭、大和田光晴、川野壽美、藤川雄次、久積啓一、岡本 基
(株)トヤマ 桑田拓岳

(9) 大型ヘリカル装置(LHD)用ゲートバルブ制御装置の運用 …… 351
核融合科学研究所 ○岡田光司、舟場久芳

(10) 光CTによるJT-60 プラズマ電流測定 …… 354
日本原子力研究所那珂研究所 ○西山友和、新井 貴、柳生純一
(株)日立製作所 阿部充志、曽根 勇

(11) JT-60電源設備の長期保管計画 …… 358
日本原子力研究所那珂研究所 ○大森栄和、松川 誠、大森俊造、寺門恒久、岡野 潤、野田政明

(12) JT-60U 用18kV 系ケーブルヘッドの絶縁劣化 …… 362
日本原子力研究所那珂研究所 ○薄井勝富、山本 巧、大賀徳道、疋田繁紀
(株)開発電気 日下 誠

(13) 名古屋大学工学部における実験系排水の現状と水質モニターの維持管理上の対策 …… 366
名古屋大工学部・工学研究科技術部 ○近藤一元、布目清成、大久保興平、美原義正、纐纈明三、伊藤 始

(14) KEK-B真空系冷却システムの概要とフローセンサー改良 …… 370
高エネルギー加速器研究機構 ○白井 満、久松広美、嶋本真幸、KEK-B真空グループ

(15) 電磁石フロースイッチの侵食 …… 374
高エネルギー加速器研究機構 ○大澤康伸、菅原龍平
(16) マイクロ波伝送電力モニターの開発 …… 378
核融合科学研究所 ○小林策治、寻喜田泰幸、伊藤 哲、水野嘉識、
久保 伸、下妻 隆、出射 浩
名古屋大エネルギー理工 野竹孝志
(17) JT-60 電子サイクロトロン加熱装置の運転経験 …… 382
日本原子力研究所那珂研究所 ○下野 貢、関 正美、寺門正之、五十嵐浩一、
石井和宏、梶原 健、安納勝人
(18) 固体燃料内側ガイド管の製作 …… 386
日本原子力研究所那珂研究所 ○笹島唯之、平塚 一、正木 圭、木津 要、宮 直之
(19) JT-60 ペレット飛行ビデオの撮影 …… 390
日本原子力研究所那珂研究所 ○市毛尚志、平塚 一、岩橋孝明、本田正男、
宮 直之
(20) hcp-Coを内包するカーボンナノカプセルの合成の試み …… 394
三重大工学部技術部 ○前田浩二、中川浩希、和藤 浩、中村昇二
(21) 熱電素子を用いた新エネルギーシステムの開発 …… 398
群馬大工学部 ○下田勝二、加藤芳春、高橋俊樹、近藤義臣
(22) 土岐地区の土壌中自然放射能分析結果の相互比較 …… 402
京都大原子炉実験所 ○義本孝明、馬場貴浩、藤川陽子
核融合科学研究所 三宅 均、山西弘城
(23) 核融合科学研究所放射線モニターシステム …… 405
核融合科学研究所 ○三宅 均、山西弘城
(24) 圧電スピーカの振動速度及び振動振幅の測定 …… 409
東京工業大精密工学研究所 ○高橋久徳
(25) 熱電発電装置および素子作製器具の開発 …… 412
東京工業大大学院理工学研究科 ○古田 基
(26) 位相検出回路の設計III …… 416
核融合科学研究所 ○伊藤康彦、幅騏一郎、川端一男
(27) 口頭研究発表会用タイムキーパー装置の製作(II) …… 420
福井大技術部 ○酒井孝則
(28) JT-60 新タイミングシステムの開発について …… 424
日本原子力研究所那珂研究所 ○赤坂博美、川俣陽一、米川 出
(29) 簡易メッセージ配信システム(STARS)の入退室管理システムへの応用 …… 428
高エネルギー加速器研究機構 ○小菅 隆、小山 篤
(30) UVSOR の軌道変動 …… 432
分子科学研究所 ○林 憲志、加藤正博、保坂将人、持箸 晃、
木下敏夫、山崎潤一郎、高橋圭史
高エネルギー加速器研究所 本田 融、堀洋一郎
佐賀大 江田 茂
(31) LANアダプタを用いた緊急通報装置の試作 …… 435
分子科学研究所 ○吉田久史、水谷文保、加藤清則

(32) カードリーダーとパソコンとWebを連結した入退室システムの構築 …… 439
名古屋大工学部・工学研究科技術部 ○堀木幹夫、増田俊雄、若松 進
(33) JT-60保護インターロックVME-busシステムの開発 …… 443
日本原子力研究所那珂研究所 ○高野正二、赤坂博美、戸塚俊之、米川 出
(34) Cinos での多重割り込み処理と時間遅延 …… 447
核融合科学研究所 ○高橋千尋、岡村昇一、磯部光孝、吉村泰夫、
居田克巳、西村 伸、南 貴司、藤沢彰英、
野村和泉、鈴木千尋、榊原 悟、井口春和、
横田光弘、松岡啓介、CHSグループ
(35) ICRF 用液体スタブチューナのフィードバック制御 …… 451
核融合科学研究所 ○横田光弘、野村吾郎、熊澤隆平、高橋千尋、
鳥居祐樹、斎藤健二、山本太郎、竹内伯夫、
新保富士夫、加藤明巳、関 哲夫、武藤 敬、
渡利徹夫
(36) Pulse Motor Controller for WE7000 …… 455
高エネルギー加速器研究所 ○濁川和幸、小菅 隆、五十嵐前衛、木代純逸
(株)太陽計測 R&Dグループ 志賀 安、祖父江克也
(37) Web データアプリケーションによるグループウェアの開発 …… 459
三重大工学部技術部 ○平山かほる、伊藤 篤、山本好弘、新見治利、
中村 勝
(38) JT-60 遠隔実験用ビデオ配信システムの構築 …… 463
日本原子力研究所那珂研究所 ○大島貴幸、松田俊明、岩崎慶太
(株)原子力資料サービス 石川一哉
(39) ストックルーム物品管理システムSTARS の開発と運用 …… 467
東京大大学院総合文化研究科 ○井上春恵
(40) 国際会議等における電子出版 …… 471
高エネルギー加速器研究機構 ○片桐広明、阿部 勇、小林 仁、荒木 栄、
小菅 隆、白川明広、平 雅文、中島啓光、
濁川和幸、森 丈晴、吉本伸一
(41) ACM-A のUNIX 化(1) …… 475
日本原子力研究所那珂研究所 ○佐藤 稔、岩崎慶太、松田俊明
(42) ACM-A のUNIX 化(2) …… 479
日本原子力研究所那珂研究所 ○岩崎慶太、佐藤 稔、松田俊明
(43) 尺度空間解析によるひび割れ検出の自動化に関する検討 …… 483
東京工業大精密工学研究所 ○丸田英徳
(44) JT-60U用負イオンNBIの分光モニタ装置 …… 487
日本原子力研究所那珂研究所 ○本田 敦、山本 巧、梅田尚孝
(45) 重イオン・ビーム・プローブの加速器制御 …… 491
核融合科学研究所 ○塚田 究、西澤章光、井戸 毅、川澄義明、
加藤真治、横田光弘、小川英樹、井上知幸

資料

- 機関別参加者数 …… 495
- 平成13年度 核融合科学研究所技術研究会参加者名簿 …… 497

低温多結晶 Si エキシマレーザアニーリング装置の製作

山口大学　工学部　電気電子工学科
○河本直哉　松尾直人

はじめに

エキシマ・レーザ・アニール法(excimer laser anneal, ELA)による多結晶シリコン（poly crystalline silicon, poly-Si）は、液晶ディスプレイ（liquid crystal display, LCD）の画素のスイッチング素子である薄膜トランジスタ（thin film transistor, TFT）材料として注目されている[1,2]。我々は、LCD パネル上に、無機ナノテクノロジ、又はバイオテクノロジを使ったナノテクノロジ・オン・パネル(nanotechnology-on-panel,NOP)なる新コンセプトの提案を行い、その実現に向け研究をしている[3-5]。他方、poly-Si を用いた TFT は、poly-Si の結晶粒界に生じる欠陥が、TFT の電気特性を悪化させることから、できるだけ大きな粒をつくる研究や、その粒を任意の場所に作る研究などが盛んにおこなわれている。しかし、結晶方位制御に関して研究されていない。本報告においては、結晶方位制御をおこなうために作製した、低温 poly-Si エキシマ・レーザ・アニーリング装置について報告すると共に、その装置を用いておこなった poly-Si 方位制御の結果を示す。

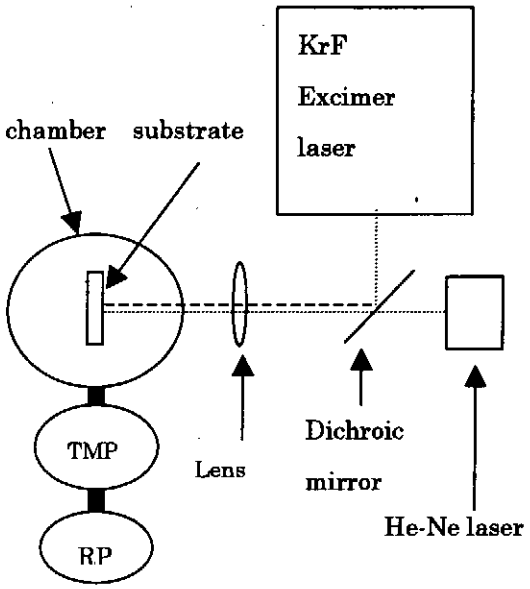


図１エキシマレーザアニーリング装置

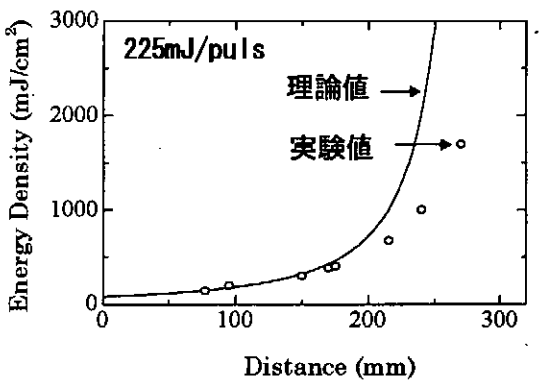


図２　エネルギー密度の距離依存性

エキシマレーザアニーリング装置の製作

図１にエキシマ・レーザ・アニーリング装置の構成図を示す。KrF エキシマ・レーザ（波長 248nm）から照射されたレーザ・パルスはダイクロイック・ミラーにより 90° 反射された後、集光レンズ（f=300mm）を経て、真空チャンバへ導入される。真空チャンバの到達真空度は 10^{-4}Pa であり、真空チャンバ内の試料は室温から 500℃の範囲で変化させることができる。光軸の調整には He-Ne レーザを用いた。試料へ照射するレーザのエネルギー密度は、レーザの出力、及び試料とレンズの距離を変化させることにより調整した。試料へ照射するレーザのエネルギー密度の測定方法として以下のような簡易的手法の有用性を調べた。レンズにより集光されたレーザ・ビームの各距離における面積を調べるため、レンズにより集光されたレーザ・ビームが感熱紙を黒化する面積を求めた。エネルギー密度はレ

ーザの出力をレンズにより集光されたレーザ・ビームが感熱紙を黒化する面積で割ることによって求めた。図２にエネルギー密度のレンズとの距離依存性を示す。図中の実線は理論値、白丸は実測値を示す。実測値は距離が 200ｍｍ程度まで理論値と一致するが、それ以降の実験値は理論値よりも小さくなっている。主な誤差の要因としては、伝熱によるレーザ・スポット周辺の黒化が考えられる。ビームスポットが小さくなることによって、感熱紙の全黒化面積中のレーザ・スポット周辺の黒化面積の割合が相対的に大きくなったためであると考えられる。感熱紙を用いたエネルギー密度計測は、以上の誤差を考慮に入れる必要があると考えられる。

実験方法

SiO_2 を 100nm 堆積させたガラス基板上に PECVD（plasma enhanced chemical vapor deposition）法によりアモルファスシリコン（amorphous Si, a-Si）を 50nm 堆積させた後、KrF エキシマ・レーザを照射して ELA を行った。ELA の条件は真空度 10^{-4}Pa、基板温度は室温および 400℃、エネルギ密度 350 mJ/cm^2、1～100 ショットである。また、a-Si 中の温度分布を変化させる放熱板として、図３のように Si(100) 基板を a-Si 上に置きエキシマ・レーザを a-Si とオーバラップして照射することによって、放熱板と a-Si 近傍の温度分布を変化させた。

実験結果・考察

図３に室温により ELA をおこなった Si(100)と a-Si 近傍の X 線回折の結果を示す。エキシマ・レーザを１ショットのみ照射した場合は、Si(111)、Si(220)および Si(311)のピークを確認できるが、その後ショット数が増えるにしたがってこれらのピークは小さくなっていくことが分かる。図４に、ラマンピークシフト、半値全幅のショット数依存性を示す。ピークシフトはショット数が小さい間は 518cm^{-1} であるが、あるショット数以降は Si

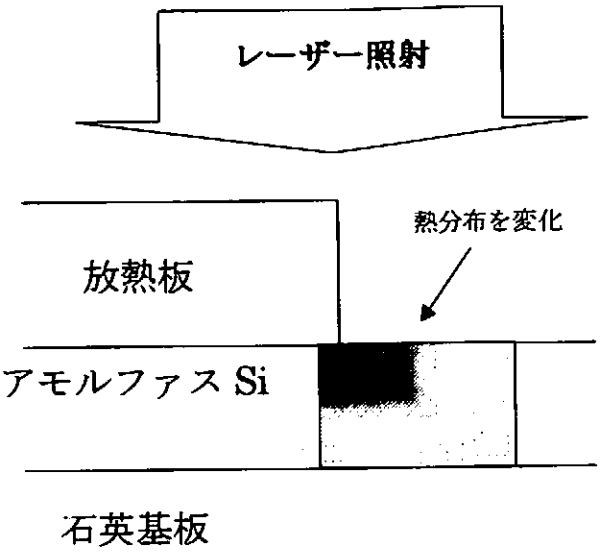


図３　放熱板による ELA 熱分布変化

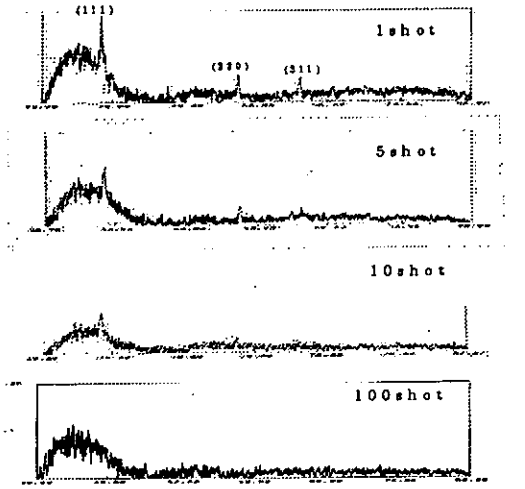


図３　XRD のショット数依存性（室温）

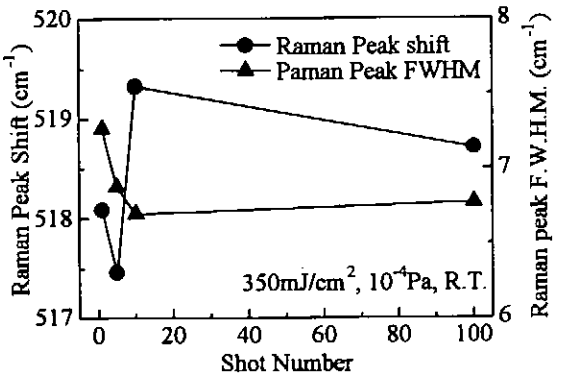


図４　ラマンピークシフト、半値全幅のショット数依存性（室温）

単結晶のピークシフト（521cm^{-1}）に近くなっている。また、半値全幅に関してもショット数が小さい間は大きいが、ピークシフトと連動して、あるショット数以降はほぼ一定の値をとる。a-Si 薄膜中の温度分布を考える。放熱板がない場合、ELA による温度分布は表面から深さ方向に連続に温度が下がって行く。エキシマ・レーザは一様に照射されているので、各深さにおける温度は場所に依存しない。結晶成長は温度の低い方から高い方へ起きるため、a-Si/ガラス界面から上へむかって一様に成長する。放熱板を置くことにより放熱板近傍の等温度曲線は基板とある角度を持つことにより、等温度曲線と垂直方向に結晶成長が進むと考えられる。NOP コンセプト実現に必須となる結晶方位の制御された単結晶 Si グレイン成長が我々の新規提案をしている方法により可能であることを明らかにした。

まとめ

NOP コンセプト実現に向けた ELA 装置の作製をおこなった。放熱板を用いた等温度曲線制御することによる結晶成長方位制御の実験をおこない、これが可能であることを明らかにした。

参考文献

[1] H.Hamada, The Laser Society of Japan, **26** (1998) 40.

[2] H.Hamada, H.Abe and Y.Miyai, Trans.IEICE., **84** (2001) 65.

[3] N.Matsuo, H.Hamada, Y.Aya, T.Nouda and T.Miyoshi, J. Vac. Soc. Jpn,. **42** (1999) 741.

[4] N.Matsuo, Y.Aya, T.Kanamori, T.Nouda, H.Hamada and T.Miyoshi, Jpn. J. Appl. Phys., **39**(2000) 351.

[5] N.Matsuo, T.Nouda, N.Kawamoto, R.Taguchi, Y.Miyai and H.Hamada, Materials Transactions, **42** (2001).(to be published)

[6] N.Kawamoto, H.Abe, N.Matsuo, R.Taguchi, T.Nouda and H.Hamada, Digest of Technical Parers AM-LCD01, (2001) 127.

謝辞

本研究を遂行するにあたり三洋電機㈱マイクロエレクトロニクス研究所部長浜田弘喜博士には有益な助言を戴きました。紙面を持ちまして感謝を申し上げます。また、本研究の一部は、山口大学ベンチャー・ビジネス・ラボラトリ（YU-VBL）ヤング・リサーチャー・プロジェクト（YRP）の助成の元に遂行されました。

セラミック単結晶接合用のホットプレスの改良

東京大学工学部マテリアル工学科工作室
○永山直樹　杉田洋一　生出博巳　市毛健一　山本剛久

当工作室は、研究室から依頼された工作や設計相談を主な業務としている。しかしながら、単なる依頼工作のみではなく、研究室担当者と密接に連携した実験機器類の改良や付加設備への助言、設計、試作を日常業務の中に取り入れており現在大きな成果を上げつつある。本発表では、担当者との複数回にわたる検討を重ね改良を行っていったホットプレスについて報告する。

セラミックの機能特性はその原子・電子構造に大きく依存するが、それを明らかにしていくためには双結晶のようなモデル材の作製が重要となる。ここに紹介するホットプレスは重ね合わせた単結晶を、1400°C において 10h 一定荷重下のもとで熱処理を行うことにより、接合する装置である。担当者から依頼された段階では、接合時に重ね合わせた単結晶が回転してしまう、また、荷重印加に使用する SiC ロッド固定部分の耐熱性が少ないなど数多くの問題点を有していた。そこで、工作室側から改良点を提案するとともに、担当者との複数回にわたる設計相談、改良を行った。SiC ロッドの回転防止機構の追加、固定部の冷却部ジャケット化など改良点は多岐にわたる。その結果、担当者が研究上意図していたセラミック双結晶の作製が精度よく行えるようになり、現在、本装置は研究・教育活動に大きく寄与している。

装置の筐体部全容

全体の構造は、基台に SUS304 の□100 ㎜ t５㎜H型鋼を２本並べ、その上に SUS304（500 ㎜×560 ㎜ t5 ㎜）ベースプレートを置いた。(fig1)その四隅に穴を空けて両端雄ねじ加工を施した４本のステンレス丸棒（φ40×875 ㎜）をたてて支柱とした。(fig2)

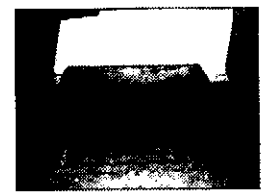


fig1

上部に５０５２ジュラルミン板（210 ㎜×560 ㎜ t30 ㎜）を載せたものである。板の中央やや右寄りに上部ロッドの軸受け部を設け、そこにφ20 ㎜ SUS304 センターレスロッドを挿入し SiC ロッド固定部を取り付け、固定部に SiC ロッドをエポキシ系接着剤で接合した。

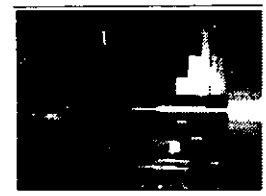


fig2

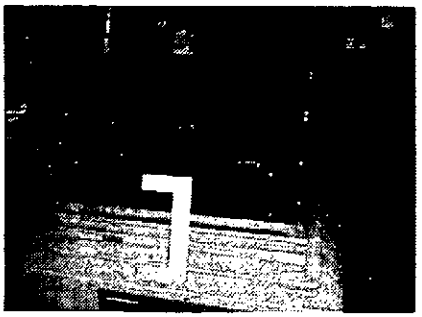
下部 SiC ロッドはベースプレート上のロッド固定部に上部 SiC ロッドと同じくエポキシ系接着剤で固定される。

電気炉

電気炉外部構造材は１号機(fig5)の段階では穴あきアングルを使用して作成した。開口部は実験の作業上大きく開閉できるように作成した。内部には加工性のよい耐熱煉瓦としてイソライトを研究室の方で組み合わせて作成した。大きさは約 250 ㎜×250 ㎜×250 ㎜である。

しかし、外部への熱の漏れが穴あきアングルの錆を発生させることになり、さらに開口部の樹脂製キャスターにも熱による影響が心配された。

そのため、２号機(fig6)からSUS304を使用した。SUS304のアングル材を切断面の曲がりが少ないメタルソーで切り出し、組み合わせて骨格を作り、ワイヤーカットを使って切り出した同板材(fig3)で壁面を覆い、TIG 溶接で接合した。(fig4)電気炉の各部の隙間は石英ガラスウールを用いて埋めた。



-fig3

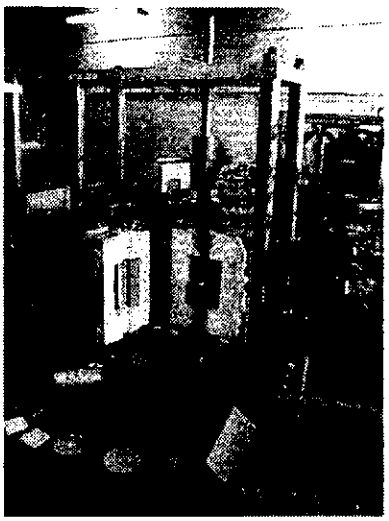


-fig4

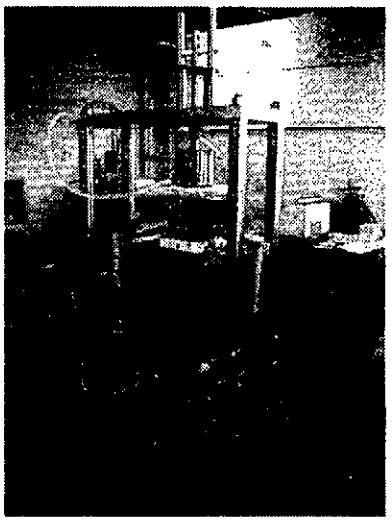
３号機(fig7)から電気炉開口面の段差をなくすことによって熱損失を少なくすることが求められたため、帯板を使用することを提案した。その結果、熱効率が改善し安定した炉内温度を得ることが出来た。



-fig5



-fig6



-fig7

SiC ロッド固定部熱対策の変遷

当初は、低温で短時間の接合実験が行われていた。しかし、徐々に長時間の実験が必要になり、SiC ロッド固定部だけではなく、SUS304 ロッドを介して上部軸受け部の焼き付きや下部基台固定部のエポキシ系接着剤（耐熱温度約２００℃）が熱によって軟化するなど、実験中にロッドの脱落等、危険な状況に陥る可能性がでてきた。

SiC ロッドはその特性上、熱伝導率がその他のセラミック材料に比べ約２倍以上あり、当初はセラミックロッド部の材質変更が検討され、アルミナ（Al2O3）や窒化珪素（Si3N4）などその他の材質の検討が行われた。しかし、耐熱性や機械的強度の面でSiC が最も適し、また材料自体もあまりに高価（φ30㎜×300程度で１５万～４０万）なため、ホットプレス機の構造変更によって対処することが決まった。



-fig8

構造変更はロッド部に冷却装置を取り付けることが考えられ、電動の冷却フィンを取り付け、送風しながら実験を行ったが、接着剤の軟化が止まらなかった。そのため、あらかじめ付いていた真鍮製のSiCロッド固定部を加工した空冷装置を取り付けた。１号機では、外形φ60㎜の真鍮の丸棒に旋盤による突っ切り加工を施し、幅１㎜深さ５㎜の冷却フィンをおよそ１㎜間隔で２５枚（溝加工２５カ所）付けた。(fig8)
２号機でも同じ大きさ材質の固定部に幅３㎜深さ１０㎜の冷却フィンをおよそ３㎜間隔で８枚（溝加工７カ所）つけた。(fig9)

この冷却フィンを取り付けた固定部に、あらかじめ取り付けた小型の送風機から送られた冷気をあてることによって冷却した。この装置による冷却効果はそれほど期待できなかったが、研究室からの緊急の要望もあり固定部を急遽加工し要望した当日にホットプレス機に取り付けた経緯がある。

その後、さらに実験時間の延長が検討され、抜本的な熱対策が求められた。前回の真鍮製の空冷装置をアルミに変更することも検討されたが、研究室からホットプレス機の増設の要望もあり、新設する３号機からホットプレス機に循環液冷装置を用いた水冷ジャケットを取り付けることになった。

水冷ジャケットの材質は、溶接加工が容易で熱容量が多いSUS304が選ばれた。アルミも検討されたが、溶接が若干難しく熱伝導率が高いため、断面積が多い大気への熱損失が考えられるため見送られた。

水冷ジャケットは外径φ95 ㎜の２重管構造であり、２重管内部に冷却水を満たして冷却する構造である。上部SUS304ロッド接合部はねじ加工を施し、反対側のSiCロッド部はφ30 ㎜の深穴加工に挿入し接着剤で固定した。下部水冷ジャケットはベースプレート上に設置するため、φ30㎜深穴加工のみとした。(fig10)



-fig9



-fig10

この水冷ジャケットによる効果は大きく接着面の柔弱化や熱変形など全く見られなくなった。残念ながら温度測定など具体的な数値については計測していない。

SiCロッド回転防止機構について

ジュラルミンの天板には正確にしかも滑らかに垂直方向に、加重をかけなければならない。そのため、
スライドブッシュを用いた。研究室からも実験中に軸が振れないようにと依頼を受けていたのでスライドブッシュ取り付け穴は公差 g6 のボーリング加工を施した。(fig11)

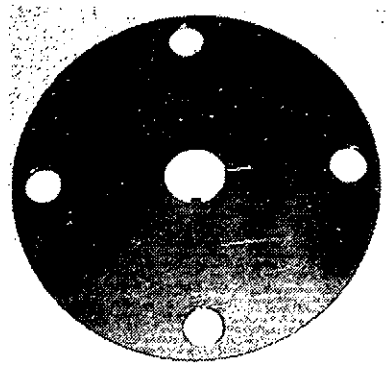


-fig11

しかし、３号機制作時、セラミック単結晶接合時、上下の単結晶が水平方向の回転のずれを伴うため、対策を考えてほしいと依頼を受けた。当初、上部SUS304センターレスロッドのボールスプラインの変更を考えたが、予算的な面（約30,000 円程度）と時間的な制約（サイズの関係上、受注生産）のため、簡単な回転防止装置を研究室側に提案したところ承諾を受けた。

装置の概要は、SUS304t3 ㎜板からワイヤーカット加工を施し、キー状のノッチが入ったφ20 ㎜の穴加

工を施し、同心円になるように外径もワイヤーカット加工を施した円盤を作成した。(fig12)



-fig12



-fig13

円盤には、支柱用に４カ所の穴加工を施し、天板上部に支柱を立てて設置した。４本の支柱のうち２本にはセラミック単結晶試片交換などの際に、ロッドを固定するための穴加工を施した。

SUS304センターレスロッドには、横フライス盤を使ったサイドカッターによる溝入れ加工を全体の長さの２／３程度行い、ロッド上部に実験前後単結晶交換のためのロッド固定用の穴を３カ所施した。(fig14)



-fig14

加工後、ロッドと円盤の摺り合わせを行い、天板に取り付けながら微調整を行った。

結び

今回の報告はホットプレス機の製作を通して、研究室との密接な関係について具体例を挙げながらとりあげた。このホットプレスの実験は１号機の製作から３年越しで行われ、現時点で４機の製作がなされている。実験は今も継続中であり、今後装置の改良などの依頼も続くと思われる。今回の報告では、時間や予算の節約だけではなく、ホットプレス機製作上のアドバイスを含め、多岐にわたる。

研究室からも事前に入念な打ち合わせがあり、当工作室としても満足行く製作が出来た。

当工作室では昨年度までは学科所属のクローズショップ制をとっていた。そのため、上記のように研究室の装置の改良や更新には積極的に関わり、また実験の概要についても十分把握していたので、研究室からの要請には的確に対応してきた。

しかし、東京大学工学部では工作施設の縮小傾向にある。当工作室に置いても、学科外使用が求められ、今年度からオープンショップ制を採用した。今年度は初めての試みであったため、学科外からの依頼は多くはなかったが、いくつか気になる点があった。それは、工作設備のない学科の研究室からの依頼に顕著であるが、装置の依頼経験がないため、図面もなく白紙のような状態での依頼、また何の説明もなしに依頼を申し出るなどの例が見られる。そのため、人員は昨年から１名増員され４名で運営しているが、これからは一層の配慮が必要となってくる。

今後、学科外からの以来などが増加した場合に備え、上記のような研究室との関係を踏まえ、定員の増加や施設の拡大や改良を求めていきたいと思う

ベルヌーイ装置の作製

名古屋工業大学　材料工学科
○ 祖父江孝之　栗田典明　武津典彦　大橋照男

1．はじめに

人造宝石の試みは古くから行われていたが，1902年にルビーやサファイアなど人造宝石の製造方法としてベルヌーイ法が発明された．ルビーとサファイアの鉱物名はコランダムといい，主成分はアルミニウムと酸素で自然界に多く存在している．コランダムのモース硬度は９でダイヤモンドに次いで硬く，酸に不溶で風化に強い性質を持つ．これらのコランダムはダイヤモンドにくらべて低コストでしかも比較的大きい結晶が人工的に作製できる．(1)

このルビーとサファイアなどのコランダムは現在では装飾用の宝石としてだけではなく研摩材，軸受類，レーザーなど工業的用途に，また医学用，光学用材料として利用され，さらに固体物理学の研究のために用いられている．筆者の属する研究室ではコランダム内へのプロトンの溶解について研究しているので，今回はこれらのコランダムを造るためのベルヌーイ装置を作製した．ベルヌーイ法の利点や欠点，ベルヌーイ装置の各構成部分の説明，今回独自に改良した点を説明する．また完成したベルヌーイ装置を使って原料粉末に純アルミナ粉末を使用して実際に単結晶を作製した結果についても報告する．

2．ベルヌーイ法

ベルヌーイ法はルビーなど人造宝石の製造方法として1902年ベルヌーイにより発明されたものである．(2)　ベルヌーイ法による人造宝石の製造方法とはフィーダーと呼ばれる原料粉末を入れた容器に何らかの方法で振動や衝撃を与え，粉末を連続的に落下させる．原料供給部分から落下してきた粉末は内側の酸素ガスの気流とともにバーナー先端に到達しバーナーのノズルから出た時に酸素と水素を混合した2000℃程度の火炎で溶融され霧状の液滴になり，結晶核の上に積もって単結晶が成長する．この方法は，原料粉末を酸水素炎で溶かして結晶を成長させるので，火炎溶融法と呼ばれるが，発明者の名をとってベルヌーイ法とも呼ばれる．ベルヌーイ法は1902年の誕生以来，装置の基本的な構成はあまり変化せず現在まで受け継がれている．

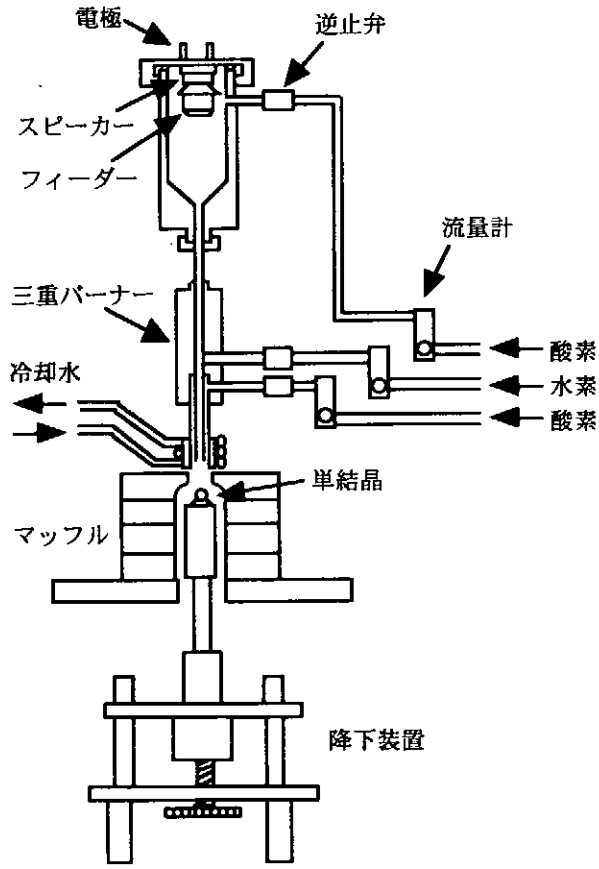


図1：自作したベルヌーイ装置の概略図

ベルヌーイ法の利点として，(1)るつぼなどの結晶育成容器を必要としない．(2)るつぼを使用しないので結晶に不純物が入りにくい．(3)比較的高い融点の粉でも単結晶が得られる．(4)外部から成長状況を眼で見ながら結晶を育成できる.[3] (5)比較的,短時間で安いコストでできる．などが挙げられる.

また欠点として，(1)ガス(水酸素)炎方式の為，原料の融点が約2300℃以上のものには利用できない．(2)できた結晶は急冷条件となるので，熱ひずみが大きく結晶が割れやすくなる.(3)火炎の還元作用により本来無色であるべき結晶が着色してしまう．(4)結晶溶融部は表面張力で保持されているため強い振動には弱い．(5)表面張力が低い原料には使えない．などが挙げられる.

3．ベルヌーイ装置の構成部分

ベルヌーイ装置は大まかに，原料供給部分，バーナー部分，降下装置部分の３つの部分に分けられる.

(a) 原料供給部分

一般にフィーダーと呼ばれる原料粉末を入れた容器に何らかの方法で振動や衝撃を与え粉末を連続的に落下させる.

単結晶をつくる上で重要なポイントは，いかに連続的に，かつ必要な時に必要な量だけ原料粉末が得られるかがこの装置の重要なポイントとなる．ベルヌーイの発明した装置では，ハンマーで原料容器の頭部に衝撃を与えることで粉末を落下させていたが今回のベルヌーイ装置の改良点はハンマーではなくより精密な振動数や振幅の制御が可能なスピーカーを利用した点である．スピーカーにフィーダーを取り付け，自作のアンプでスピーカーを振動させ粉末をおとすことにより粉末の量を微妙に調整することができるところが特徴である．この方法ではハンマーによる方法より定量的，連続的に原料粉末の落下ができるところが大きな利点である．しかし原料粉末の落下は振動や振幅だけできまるものではなく原料粉末の性状(粒子の大きさ，付着性，粘着性，凝集性)によっても大きく左右される．原料粉末の調整の不適性が原因で結晶中に気泡やにごりなどが生じる場合が多い.[5]

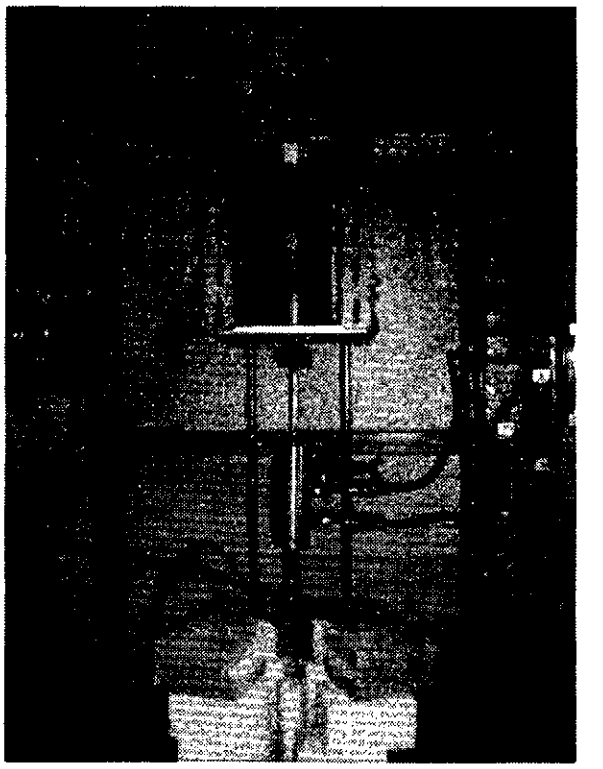


写真1：自作したベルヌーイ装置の外観

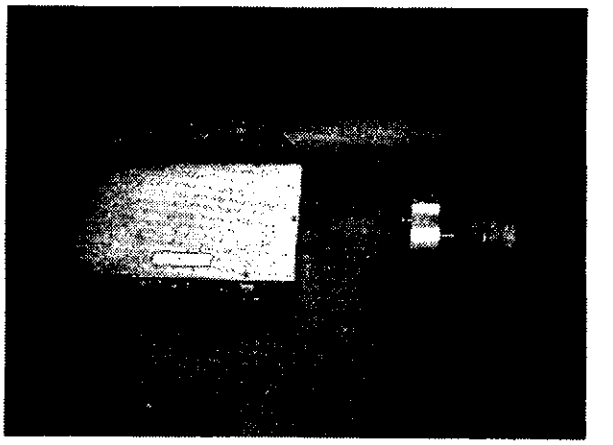


写真2：アンプとフィーダー

(b) バーナー部分

ベルヌーイの発明した装置は内側が酸素ガス，外側が水素ガスの同心二重バーナーであった．1949年C.H.Mooreが三重バーナーを作り，(4) 酸化性炎だけでなく，還元性炎をも得ることができ，応用範囲が広くなった． またバーナー(炎)を横方向に大きくすることができ直径方向に大きな結晶が得られるようになった．今回の製作では内側が酸素ガス，その外側に水素ガス，さらにその外側に酸素ガスの同心三重バーナーとした．

また炎が非常に高温に達するためバーナーの管の構成部分はステンレス(SUS304)を使用した．バーナーのノズル部分には銅パイプがはんだ付けしてあり，銅パイプに冷却水を流すことによってノズル部分が炎で融けないように保護している．

水素と酸素のガス供給部分には微量流量調節バルブが取り付けてあり，一定のガス流量が安定してバーナー部分に流せられるようになっている． また逆止弁が取り付けられていて，安全性も確保されている． 水素ガスは多量に使用するため，水素については7m³のボンベ2本を接続し，途中で交換が可能となるように配管されている．

(C) 降下装置部分

結晶受棒降下部分は結晶先端溶融部 (結晶溶融界面)の温度分布が常に一定の位置になるように降下速度を調節する． 基本的に結晶成長速度と降下速度は同じにする．

結晶受棒は非常に高温になるので材質はMgO製 (融点2830℃) で焼結アルミナ製の棒を介して降下装置に取り付けられている。 降下速度はモーターの回転数とギヤの歯車の組み合わせにより約0.3～80mm/hr. と幅広く調節可能である．

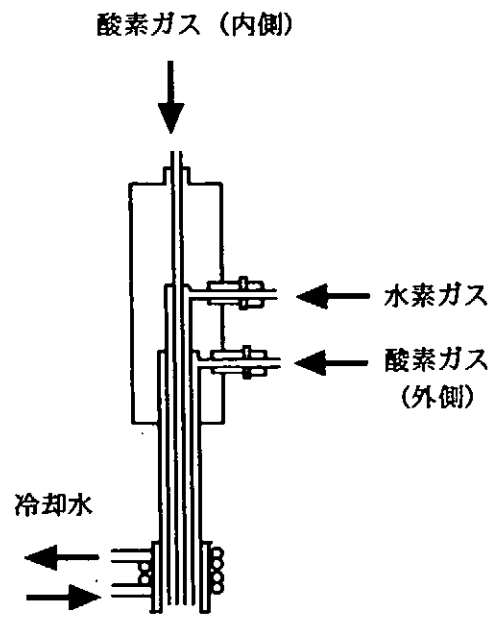
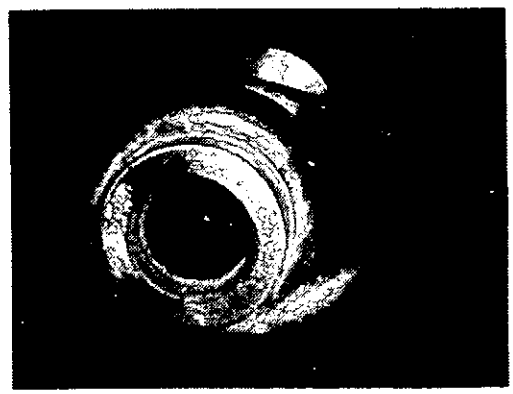
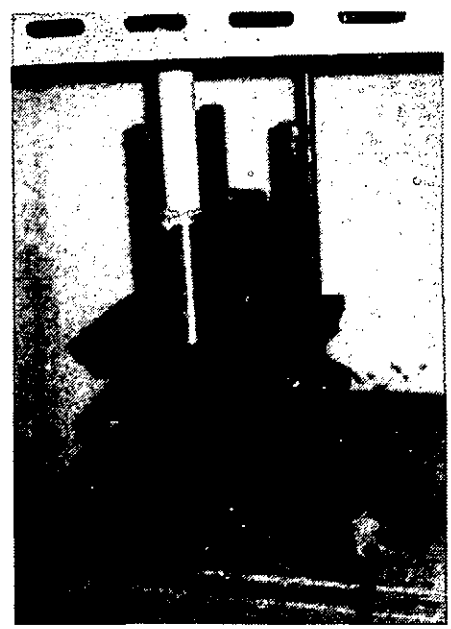


図2：三重バーナーの概略図


写真3：バーナーのノズル部分


写真4：降下装置部分

4. 単結晶の作製 (3)

単結晶の作製で重要なのは(1)単結晶の結晶核をつくる操作，(2)単結晶を所定の太さまで成長させる操作，(3)完成した単結晶の冷却の操作である．最初の焼結体(foot)をつくる作業では，まず点火して炎を強くしながら原料粉末を落下させ耐火棒上に鋭い円錐状の焼結体(foot)をつくる．

次に円錐状の焼結体(foot)の先端に単結晶の結晶核をつくる操作であるが，結晶核をうまくつくるポイントは円錐状の焼結体(foot)の先端を尖らすことと一定の量の原料粉末を少しずつ落としながらほんの少しずつゆっくり炎の強度を上げることである．(原料粉末をたくさん落とすと融け切らない粉がにごりとなって残ることがある)

次に単結晶を所定の太さまで結晶を成長させる操作であるが，結晶核ができたら原料粉末の落下量を増加させながら炎を強くしていくと結晶先端溶融部(molten cap)は広がり直径が大きくなっていく．そして所定の太さまで成長したなら原料粉末の落下を止め単結晶の冷却の作業に入る．

完成した単結晶の冷却の操作であるが，徐々に炎を弱くして単結晶を冷却させるがその際に単結晶の冷却があまりに早いと結晶にクラックが入ることになるので注意が必要である．(このベルヌーイ装置では，だいたい3時間ぐらいかけて冷却させる．)

その後,結晶受棒の降下を止めてから炎を消して,マッフルの中でそのまま1時間以上放冷してから取りだす．写真5にマッフルののぞき窓から見た作製中の単結晶を,写真6に完成した単結晶の写真を示す．

5. 結果

今回作製したベルヌーイ装置で純粋なコランダムを作製したが純粋なコランダムは融点から室温までの間には析出や相変態がないので比較的，簡単に単結晶が得られた

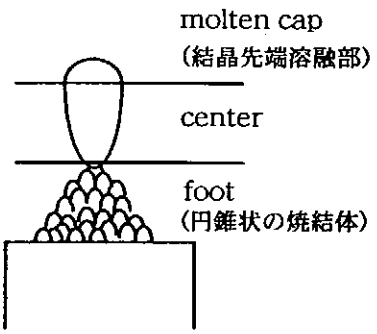


図3：単結晶の図

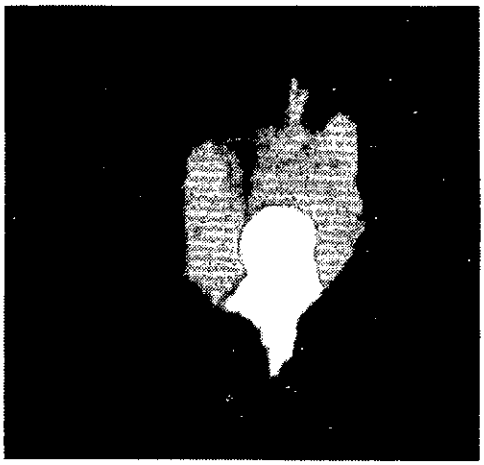


写真5：作製中の単結晶



写真6：単結晶の完成写真

参考文献

(1)白水晴雄,青木義和：”宝石のはなし”，技報堂出版,(1989),P.75
(2)A.Verneuil : campt.rend,135(1902),791
(3)”結晶工学ハンドブック”：共立出版株式会社,(1971),P.890～918
(4)C.H.Moore : Trans AIME,184(1949),194
(5)中住譲秀：大阪電気通信大学研究論集　自然科学篇第5号(1969)
(6)加藤信広：名工大大学院修士論文,(1995)

低温ＫＦフランジの製作

東京大学総合文化研究科
共通技術室・低温
○小田嶋　豊、芦沢　佳子

１．はじめに

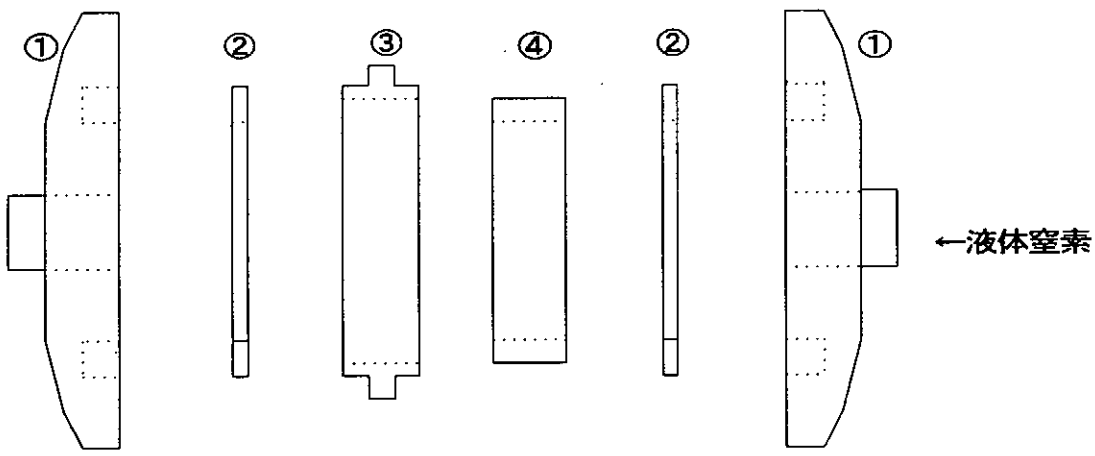
近年、液体窒素（温度：－１９６℃）は物理の分野のみならず、化学、生物、医学など広い分野で利用されている。その多くは装置の冷却、試料の保存など寒剤として使われている。また、近年装置の効率化と共に寒剤としての液体窒素を使用した機器も増加している。その機器の中には、速やかに液体窒素で冷やされた配管（－１９６℃）などを着脱することを要求される事もある。

今回報告する低温ＫＦフランジは、この要求に答え低温状態（－１９６℃）でも着脱ができる物として考案した。

２．低温ＫＦフランジの概略と製作

市販されているＫＦフランジの使用温度は、センターリングに使用されているＯリングの使用温度で決まる。Ｏリングの素材がニトリルゴムならば－５５℃～１３５℃、フッ素ゴムならば－３０℃℃～２５０℃、シリコンゴムならば－８０℃　～２５０℃である。しかし、市販されているＫＦフランジでも実際には着脱がなければ－２４０℃程度でも漏れることはない。

上記でも述べたように、低温の状態で着脱ができ、かつ、スムーズな流量も得られることを目的として市販のＫＦフランジ（図－１－①。③）をベースとして図―１―②と図―１―④のようにシール部分を新たに製作し開発した。



①.ＫＦフランジ　　②.ＰＴＦＥ（テフロン）パッキン
③.センターリング　　④.内側センターリング

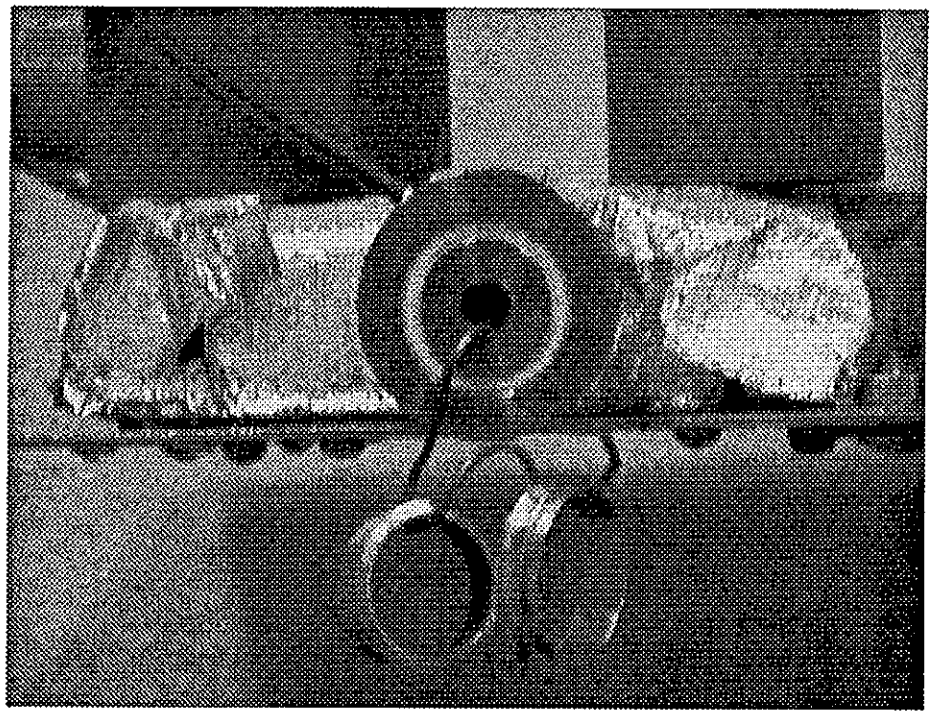
図－１　低温ＫＦフランジ構造図

低温ＫＦフランジの図―１―②ＰＴＦＥパッキンと図―１―④内側センターリングの各シール部分の製作は、ＫＦフランジの寸法（大きさ、形状）によって異なるので共通部分を下記に記載する。

1. 図―１―②ＰＴＦＥリングの幅は、ＫＦフランジの溝の幅と同寸方にし、厚さは１mm とする。
2. 図―１―④内側センターリングの寸方は、外径をセンターリングの内側寸方にし、内径をＫＦフランジの溝の内径とする。長さはセンターリングの長さより０.２ｍｍ長くする。パッキンに当たる面はＰＴＦＥパッキンが傷つきにくいように丸い形状にする。

以上２点をＫＦフランジの寸法に合わせて製作することで低温ＫＦフランジが簡単にできる。

写真―１は、装置に取り付けられた低温ＫＦフランジで、フランジの溝の中にＰＴＦＥパッキンが納められている。また、右側のリングがセンターリング。左側のリングが内側センターリングである。



写真―１　低温ＫＦフランジの各部品

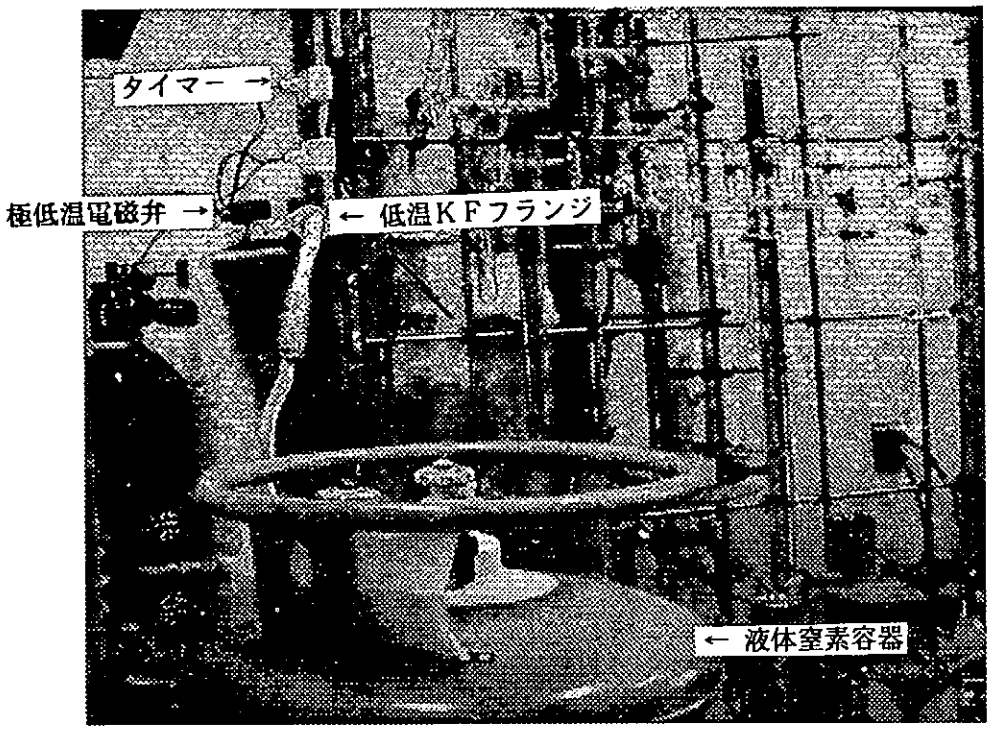
３．装置への着装

写真―２は、低温ＫＦフランジを実際に液体窒素自動供給・停止装置に着装した物である。

液体窒素タンク内の液体窒素は、フレキシブルチューブ、低温ＫＦフランジ、極低温電磁弁を通って液体窒素トラップ内に供給される。また、極低温電磁弁の開閉はプログラムタイマーによって設定されている。

このプログラムタイマーは、２４時間システムの時計で１日６組のＯＮ・ＯＦＦ（１組:ＯＮ・ＯＦＦ）と週４２組の設定できる。また、最大１０００Ｗ（１００Ｖ）までの電気器具が使用で

きる物である。



写真―２　低温ＫＦフランジを着装した液体窒素自動供給・停止装置

４．まとめ

低温ＫＦフランジを実際に写真―２のように装置に着装し、低温ＫＦフランジの気密試験を行った結果、常用圧力０．０６ＭＰａ、耐圧試験圧力０．１ＭＰａに於いて漏れることなく使用できることがわかった（装置の都合上、耐圧試験圧力を０．１ＭＰａ以上かけることができなかった)。また、従来配管部分が低温状態時液体窒素タンク交換作業は、ドライヤーでＫＦフランジを暖めてから着脱していたがその必要は無くなった。この様に安価でシンプルなパッキン構造の低温ＫＦフランジによって、低温状態の配管が簡単に着脱ができることで作業効率もあがった。

今後の課題として低温ＫＦフランジをより使いやすくするためにパッキンの素材、センターリング等の改良、液体ヘリウム供給中の回収配管などより低い温度にも使用できるよう改良していきたいと考えている。

機械工学学生の木材加工テーマ

平成１３年度科学研究費補助金（奨励研究（B））

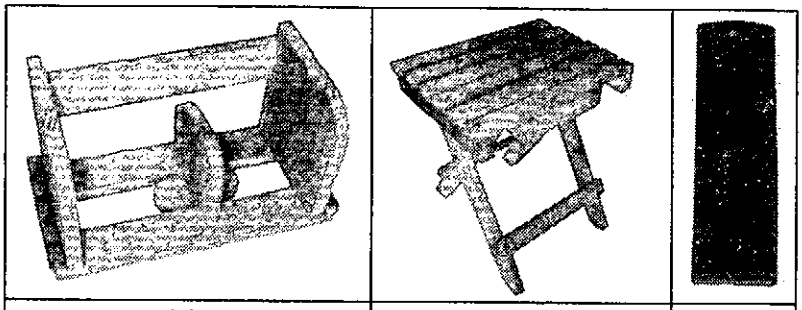
所属機関名称　北九州工業高等専門学校
○　講演者名　北嶋 和進

1、はじめに

近年、日常生活において、ものづくりや修理をする機会が少なくなってきている。本校学生においても、基本的なものづくりの方法や道具の使用方法について、習熟していない学生が多く見られる。これに対応して、１年機械工学科および１年制御情報工学科を対象に、木材加工実習を行っている。

2、木材加工実習について

現在、本棚・折り畳み椅子・名札を製作している。本棚は、木材の加工方法および木工工具と木工機械の使用方法を学び、木材加工の基本を習得する。折り畳み椅子は、製作方法と折り畳み構造を学ぶ。竹名札は、刃物の研ぎ方および小刀と彫刻刀の使用により、手作業の感覚を養う。



本棚　折り畳み椅子　名札

3、クレーン製作の採用

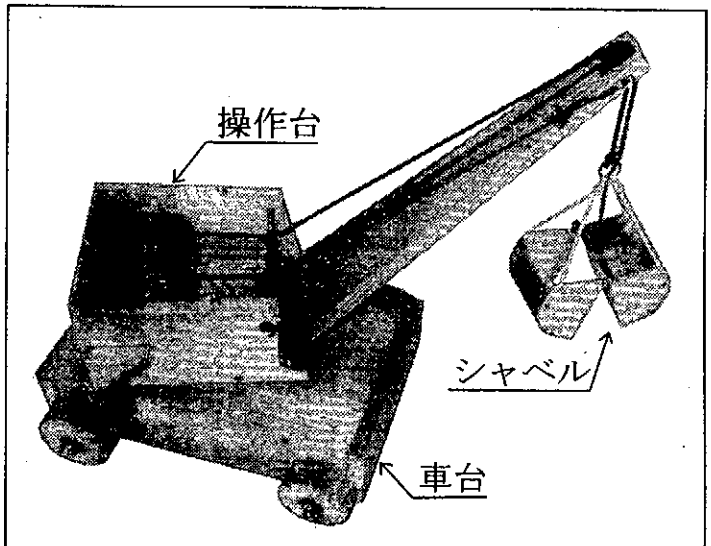
今年度より５０分の３単位授業から、９０分の２単位授業に変更になり、全５週の実時間が７５０分から９００分に増加した。そのため、木製クレーン製作を採用し、実習内容の改善と深化を目指した。

4、木製クレーンの構造

木製クレーンは、車台部・操作部・シャベル部から構成している。

① 車台部

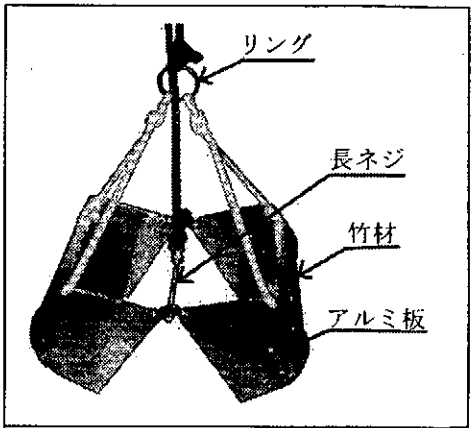
板材で台を作り、タイヤは、丸太材を切断し穴あけ後、長ネジと袋ナットで取り付けている。車台と操作台の間に、円にカットした板をはさみ、中心を半ネジボルトで接続することにより、操作台が旋回する。



木製クレーン

② シャベル部

シャベル部は、竹をすくい面として利用した。すくい面の先端をカンナで薄く加工し、すくいやすくしている。側面は、アルミ板を木ネジで固定し、支点に金具を取り付け、長ネジと袋ナットで接続している。長ネジの中心に金具を取り付け、操作台からのラインと接続している。外側にもアルミ板に穴あけをして、４本のラインを取り付けリングでまとめ、操作台からのラインと接続している。シャベル重量が、支点のラインにかかると閉じ、リングでまとめたラインにかかると開く。



シャベル

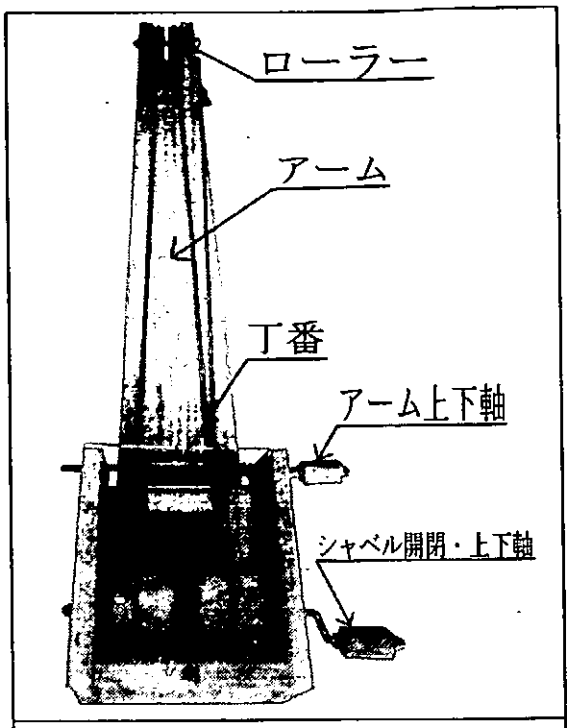
③ 操作部

板材で外枠を作り、アームを丁番で接合している。２本のラインがかかるアームの先端には、抵抗軽減ため、ローラーを２個取り付けている。

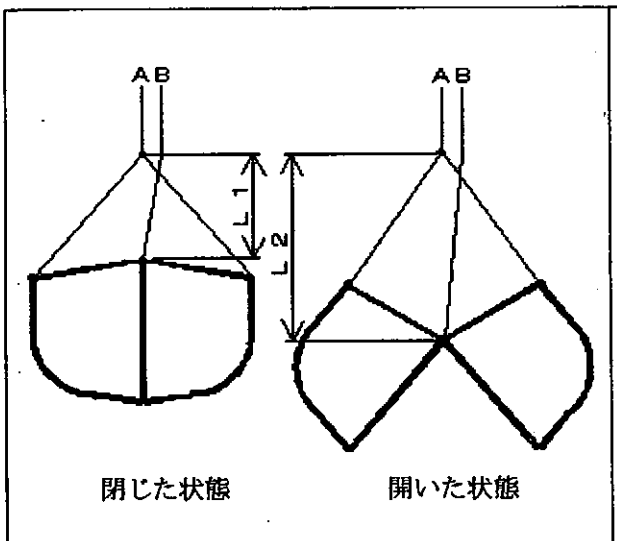
操作部内部の２つの軸は、長ネジを曲げ加工し、ハンドル部分に取っ手を取り付けている。

上部軸は、アームの上下に使用する。ラインをアーム先端に取り付けて、一方を軸に巻き付け、軸を回転することにより、アームが上下する。この軸には、押しスプリングを取り付けて抵抗を与え、シャベルとアーム重量による下降を防止している。

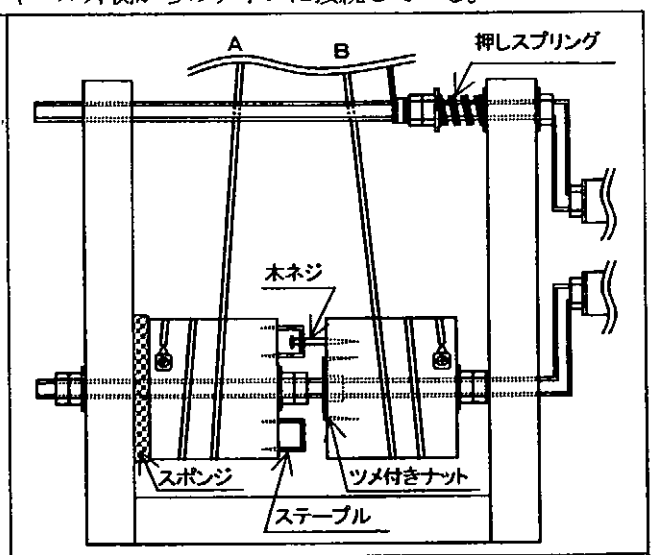
下部軸は、シャベル上下及び開閉に使用する。この軸には、２個の丸材を取り付けている。右丸材は、ツメ付きナットを取り付けて、反対側より２重ナットで軸に固定している。右丸材にはラインＢを取り付けて、シャベルの開閉軸に接続している。左丸材は軸に固定せず、右丸材に取り付けた木ネジが、左丸材に取り付けたステープルにかかり、右丸材に連動して回転する。ステープルは１８０度の位置にも取り付け、これにより回転の方向が変わるときに、右丸材に対して１８０度の遊びをもたせている。この遊び量は、シャベルが閉じたラインの状態（Ｌ１）とシャベルが開いたラインの状態（Ｌ２）の差と、同じ量になる。ここでもシャベルの下降防止が必要となるが、上部軸と同じように押しスプリングを使用すると、調整が難しく、スムーズに回転しない。ここには、スポンジを使用することで、適度な抵抗を与えることができた。左丸材にはラインＡを取り付け、シャベル外側からのラインに接続している。



操作台



シャベル開閉



操作台内部

5、木製クレーンの動作

① ハンンドルを正回転することにより、ラインAにシャベル重量がかかり、シャベルが開いた状態で下降する。

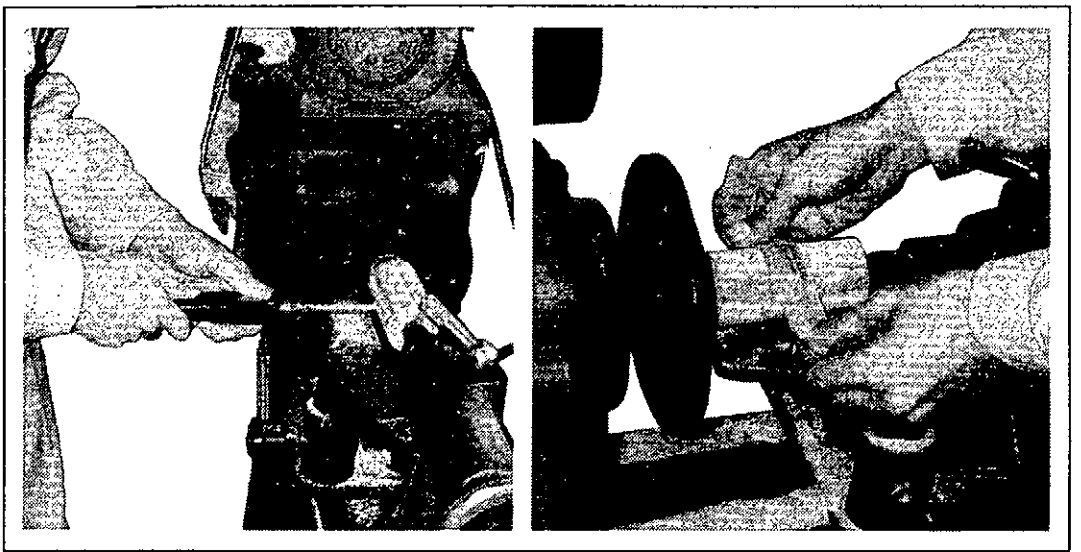
② 180度（遊び量）ハンドルを逆回転することにより、ラインAからラインBへシャベル重量が移り、シャベルが閉じ物体をつかむ。

③ さらにハンドルを逆回転することにより、ラインBにシャベル重量がかかり、シャベルが閉じた状態で物体を持ち上げる。

④ 180度（遊び量）ハンドルを正回転することにより、ラインBからラインAへシャベル重量が移り、シャベルが開き物体を開放する。

6、実習内容の改善と深化

① 車台のタイヤ４点および操作台の下部軸の丸材２点は、木工旋盤を使用して丸太材を加工した。タイヤは直径６０mmに加工し、軸に取り付ける丸材は直径４５mmに加工する。手バイトを使用し各寸法まで平面に加工した後、研磨布で仕上げる。機械旋盤と比べ構造が簡単なため、工作機械の仕組みが理解しやすくなった。



木工旋盤作業

② 回転部や摺動部が含まれる木製クレーンの製作により、ものの動く仕組みを学ぶことができるようになった。

③ 共同作業で、各部品を製作し組み立て製品にすることにより、責任感および連帯感を育成することができた。

7、学生の反応

①木工旋盤を使用しての感想

・バイトを手に持って使用するため、削る感触が伝わり楽しかった。

・機械旋盤より自由に削れるが、技量の差が出やすいと感じた。

②クレーンの仕組みについての感想

・操作部は複雑だが、製作して仕組みがよくわかった。

・３本のラインによるクレーン動作が、良くできていた。

③共同作業で製作しての感想

・今まであまり会話のなかった人と、話ができた。

・協力できたので、早く完成することができた。

・失敗して他の人に迷惑をかけないように、集中して作業をした。

8、まとめ

木材加工実習は、１年生の工作実習の１テーマとして行っている。その他の実習テーマは、機械操作や技術を学ぶことが目的となり、製品を製作することは２年生の工作実習からになる。その中で、木材加工実習はすぐに製品が製作できるため、学生は楽しくものづくりに取り組んでいる。ものづくりの楽しさを実感した学生は、ロボットコンテスト等に積極的に参加し、また、専門知識を学ぶ中でも、ものの見方や理解の方法において、良い影響を与えることができると思われる。これからも、創造的なものづくりができる技術者になるための、素養育成の場として、木材加工実習を生かしていきたい。

ラム加速機およびレーザー推進プロジェクタイルの製作

東北大学流体科学研究所
技術室　加藤　誠

1．はじめに

ラム加速機は、管内に満たした可燃性混合気体の燃焼により飛行体（以下、プロジェクタイルという）を加速し高速で射出する装置である。燃料となる可燃性混合気体はプロジェクタイルまわりに生じる衝撃波の圧縮作用により高温、高圧となりその後方で着火する。燃焼がプロジェクタイル後部に保持されると飛行体は連続的に推力を得ることが出来る。

現在、流体科学研究所衝撃波研究センターではプロジェクタイルの射出速度を向上させるための実験を進めている。高加速度化にはプロジェクタイルの軽量化、混合気体の初期圧を上げることなどが有効である。従来までは内部を中空にすることでプロジェクタイルを軽量化していたが、過度の薄肉化はプロジェクタイルの外部（燃焼による高圧）と内部（大気圧）の圧力差によりプロジェクタイルの破壊を招くことになる。そこでプロジェクタイルの底部に穴をあけた改良型マンボープロジェクタイルを製作した。底部の穿孔により内外の圧力差は抑えられ、かつ燃焼時の高圧による破壊の可能性を減らすことが期待される。

レーザー推進では、飛行体背後でレーザー光を集光させ、生じる高温・高圧の気体の作用でプロジェクタイルを加速する。レーザーを周波数作動し、飛行体は反復して推力を得ることができる。

レーザー推進の主な利点は、通常のロケットは質量の９割が燃料及び酸化剤であるのに対してそのようなエネルギー源を搭載する必要がないことや、供給エネルギーが燃料成分の本来持っている化学エネルギーに制限されないことである。打ち上げ実験用プロジェクタイルの初期モデルは、過度の軽量化のため構造強度が不足した。そこで、再使用に耐えられる構造強度と軽量化を兼ね備えたプロジェクタイルが製作された。

当センターでは、航空機用エンジン及び宇宙船打ち上げ装置への応用を視野に入れ、レーザー駆動加速装置の性能向上を目指し、実験を進めている。

2．ラム加速機プロジェクタイル

プロジェクタイルの形状は図１に示すように非常に複雑で姿勢を保つ翼の位置が八角形の頂点に位置するため三次元での切削となり、インデックス（割り出し機）を二段にセットする必要上当工場の設備では不可能となるため、翼の位置を八角形の平面部に変更し、切削を可能にした結果、切削時間が大幅に短縮され、重さにおいても設計値に仕上げることができた。

写真１～４には切削工程・完成までを示す。

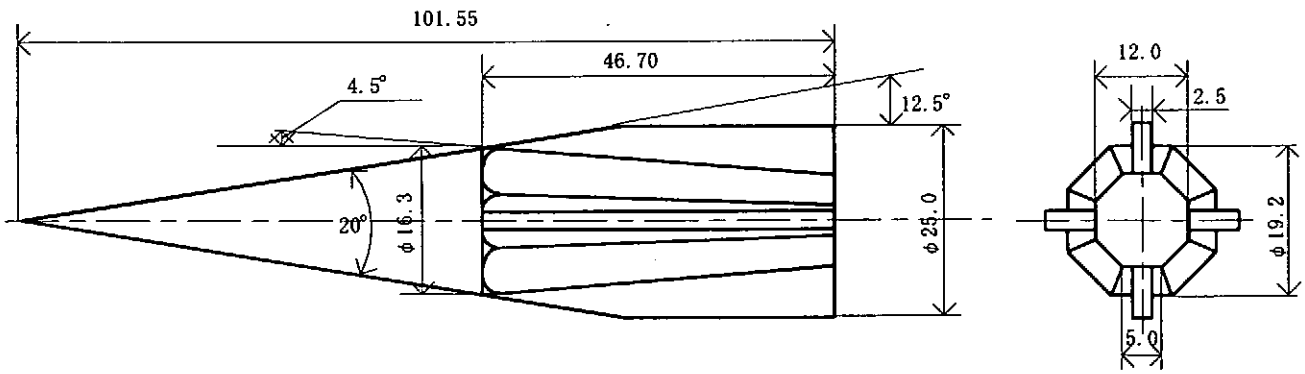


図１　ラム加速機プロジェクタイル

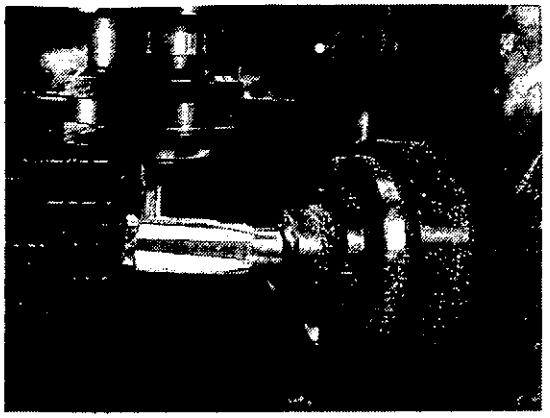


写真１　八角形平面部の切削

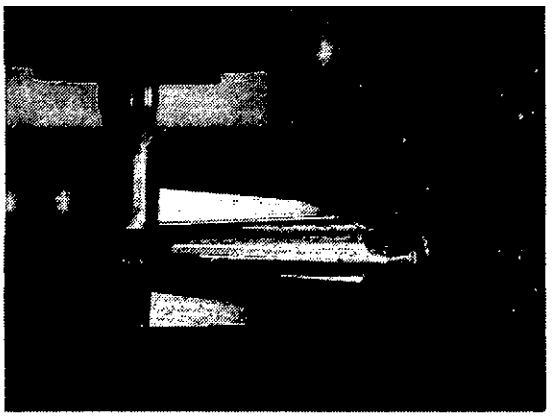


写真２　姿勢を保つ翼部の切削

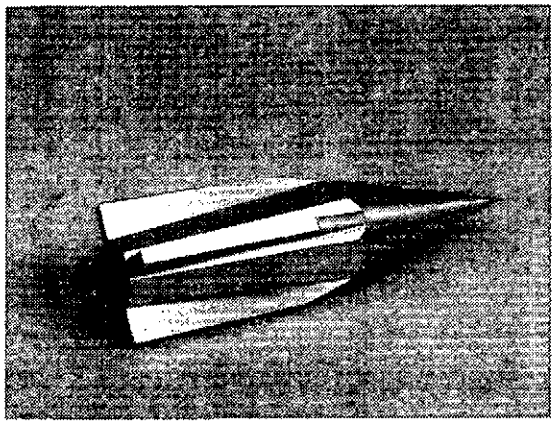


写真３　初期のプロジェクタイル

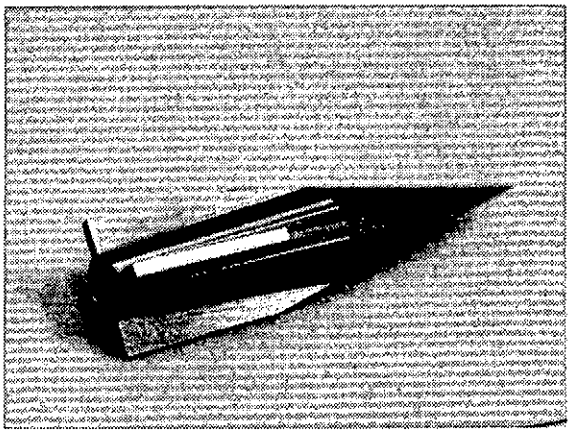


写真４　改良されたプロジェクタイル

初期の八角形では重さが重く八角形部を十二角形とし、2 つの部品で構成されていたものを一体化、さらに十二角形を円に改良し重さの軽減を図った。内径の切削は先端部が非常に細いため、バイトでの一般的な切削では困難である。図２に示すような特別に考案したテーパーリーマを使用し切削を行なった。また、内径の角度が異なる形状のため、数値および切削音と感を頼る切削を行なった結果、リーマによる切削部とバイトによる切削部の境界がきれいにつながり良好な仕上げ面が得られた。

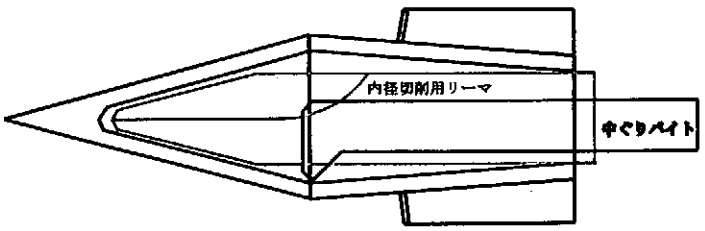


図２　内径切削に用いたテーパーリーマ・穴ぐりバイト

マンボープロジェクタイルは図３に示す従来の八角形と異なり、翼と翼の間が円錐のため難題が多く切削工程の順番が非常に重要である。このプロジェクタイルの製作においては、翼部の切削工程数が 40 で、インデックスを用い 12 等分で切削を行い、円錐部の切削においては、図４に示すようにエンドミルの角で切削を行なった。使用エンドミル OSG EDS-8(2 枚刃)主軸の回転数を 1020rpm とし、円周切削工程の切り込みは 360° /1840 (0.024 ミリ) 送り量は 32 ㎜/min で切削を行なった結果、良好な仕上げ面と高い寸法精度で仕上げることができた。

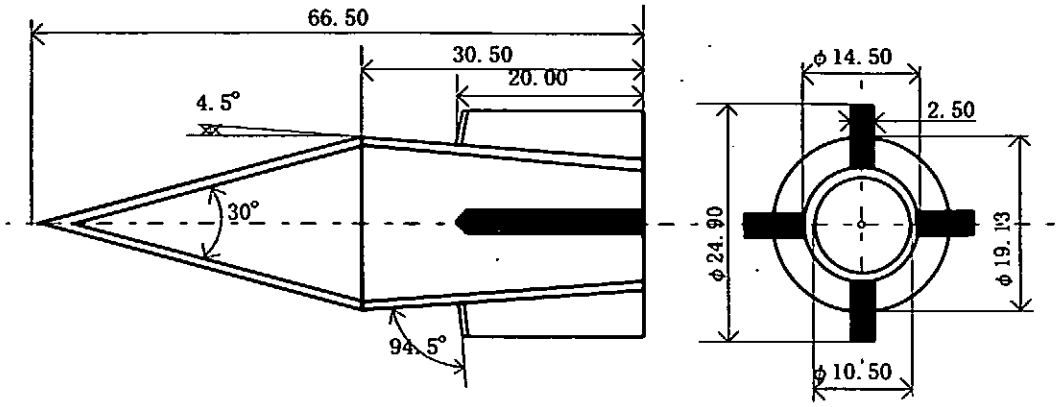


図３　ラム加速機マンボープロジェクタイル

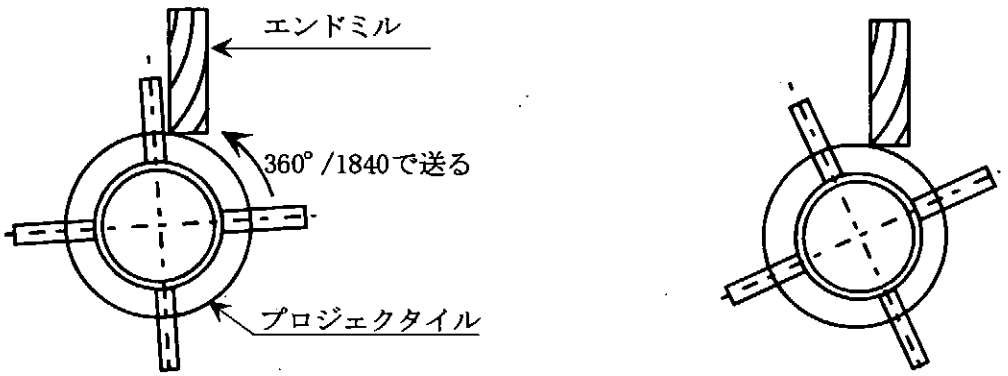


図４　インデックスを用い 360°/1840 等分での切削

３．レーザー推進プロジェクタイル

流体科学研究所衝撃波研究センターが開発したレーザー駆動加速装置の主な特長は、従来のレーザー推進とは異なり、図７に示す用にレーザー光を進行方向から照射し特殊の曲線を持つセンターボディーで反射し、さらにシュラウドで再び反射してプロジェクタイルの背後でレーザー光を集光させ、その時に生じる高温・高圧の気体の作用で、プロジェクタイルを加速推進させる。

このプロジェクタイルの製作にあたり、特殊なカーブを持つ反射用センターボディーとシュラウドは軽量化をはかるため、厚さ 0.2㎜ と極端な薄さに設計されている。そしてこの二つの部品を接続する部品も複雑な形状と肉薄で切削工程も複雑である。

４．切削工程

レーザー推進プロジェクタイルの切削は、図 5～6 に示すように先端部が特殊な曲線を持つ円錐形である。これを切削するにはＮＣ旋盤を使用すべきであるが個数は１個、さらに時間の制約もあり汎用旋盤を使用した。主軸の回転数 2800rpm、X 軸、Y 軸のポイントが 330 ポイントもあり、1 ポイントの送り量は 0.02～0.03 と非常に小さく送ることにより良好な仕上げ面を得ることができた。さらに軽量化も考慮する事で内外面の切削は困難を極めた。このような切削方法により従来のプロジェクタイルの 2700 ミリグムから 1030 ミリグラムへと大幅な軽量化を図ることができた。

写真５～６には各部品と完成を示す。

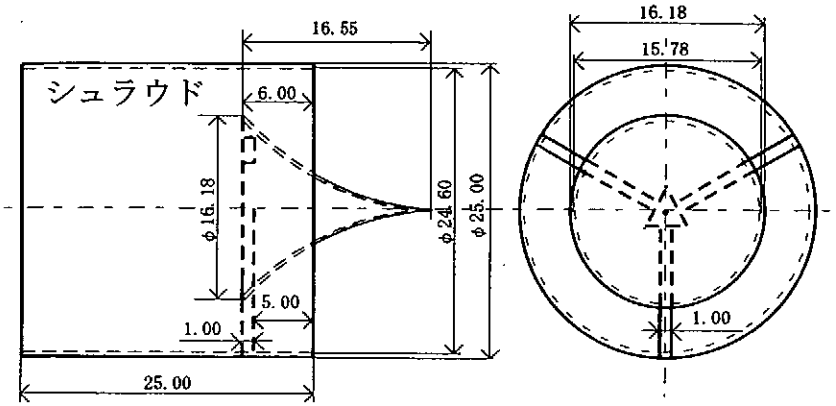


図５　レーザー推進プロジェクタイル

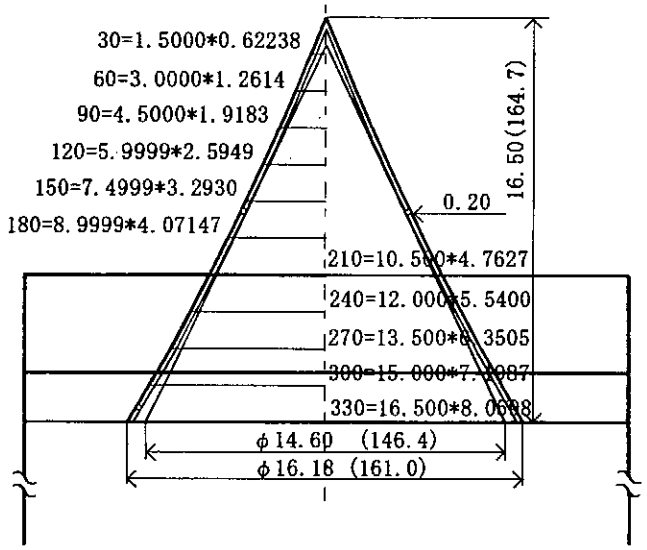


図６　センターボディーの形状

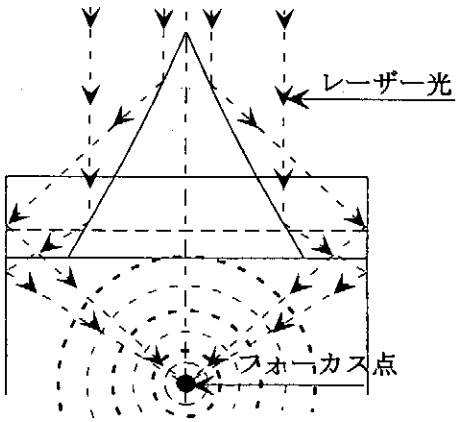


図７　レーザー光の屈折

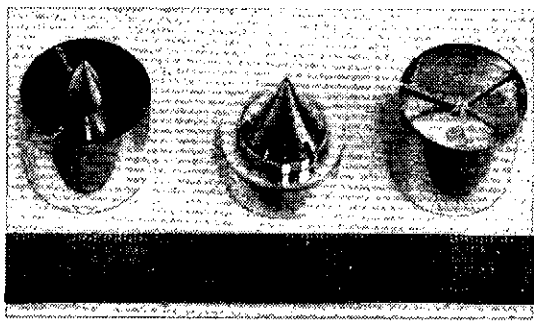


写真５　プロジェクタイル各部品

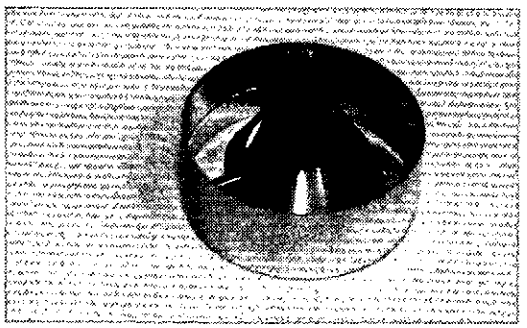


写真６　可視化用プロジェクタイル

５．おわりに

高い寸法精度と重量制限が要求される数種類のプロジェクタイルの製作にあたり、その形状により切削工程を考慮し、更にインデックスの使い方を工夫して、フライス盤での円錐形の切削を可能とすることにより重量の大幅な軽減、かつ、良好な仕上げ面と高い寸法精度を達成することができた。このようにして製作されたラム加速機プロジェクタイルを用いて最大速度 2300m/s、加速度は 75000g を得ることができた。

レーザー推進プロジェクタイルにおいてはキセノン３気圧の条件で、大気圧空気よりも約５倍高い性能を得ている。

工作実習とアドバンストコースの検討

名古屋大学工学部・工学研究科技術部
松浦英雄　○千田進幸　山本浩治

1．はじめに

機械系技術室では機械工学専攻、機械情報システム工学専攻、マイクロシステム工学専攻の４年生，院生，および教職員を対象に平成 10 年度の技術室発足以来、技術職員が主体となって機械工作実習を実施している。その目的は参加者各自が自分の手で１個の製品をつくりモノづくりのスキルを学んでもらうことである。今年度のテーマは「鉄を削る・・・丸棒からのモノづくり」と題して参加を呼びかけたところ過去最高の 54 名もの応募があった。実習終了後のアンケート結果によれば「もっと複雑なものを作ってみたい」という声がある．このような参加学生の要望を背景に、より複雑で高度なモノづくりを体得してもらい研究現場における装置製作に活用してもらえればと今回、工作実習応用編（アドバンストコース）として「ミニ旋盤」を実習課題にして，その設計ならびに試作を行った。

2．課題の設定

工作実習アドバンストコースの課題設定にあたっての具備する要件は次のようである。

（１）動力源があり、装置として機能するもの。
（２）完成後は講座へ持ち帰り、実際に役立つもの。
（３）課題に発展性があり、継続的な応用展開が可能なもの。
（４）実習製作時間は１週間（４０時間）程度とする。
（５）部品代、材料費はできるだけコストを抑える。

以上の条件を満たすものとして卓上型「ミニ旋盤」を実習課題に決定した。

3．「ミニ旋盤」の設計

製作する「ミニ旋盤」の概要は次のようである。

（１）被削性、耐腐食性、および軽量化を考慮して、回転部、摺動部以外はアルミ材を主体とする。
（２）旋盤のサイズは取り回しの利便性を考慮してテーブルの隅に置ける程度とする。
（３）モーターは手軽に使用できるＡＣ１００Ｖ駆動とする。
（４）往復台（刃物台）は仕様に自由度を持たせるため脱着式とする。

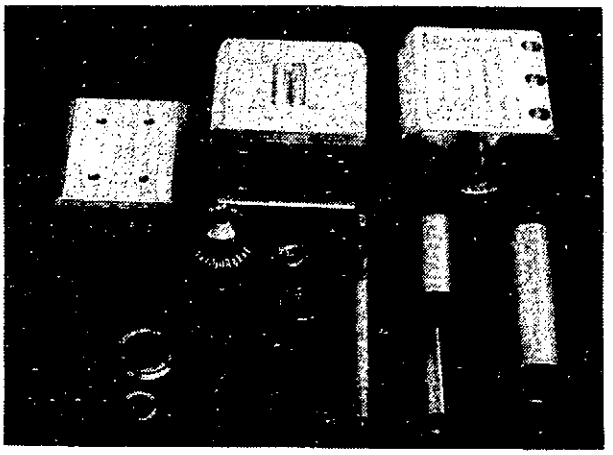
4．「ミニ旋盤」の製作

ミニ旋盤は大別して４つの構造体に分けることができ，（１）主軸チャックを中心とした主軸台まわり，（２）モーターおよび多段プーリーより構成された原動機＆変速機まわり，（３）刃物が取り付けられる往復台・刃物台まわり，そして（４）装置全体の基盤となるベースから構成されている。これらの部品のうちモーター，スイッチ，チャック，玉軸受，およびボルト類以外はすべて自作したものであり，ベースの製作には CAD・CAM マシニングセンタを用いている。図１（１）～（４）はそれぞれの構造体の部品写真および組立写真を示す。

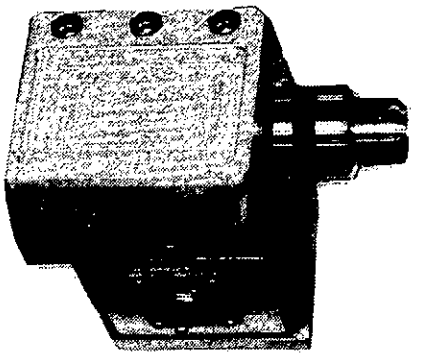
設計のポイント

■主軸の振れ防止のため玉軸受連結使用

■主軸台から軸がずれない工夫



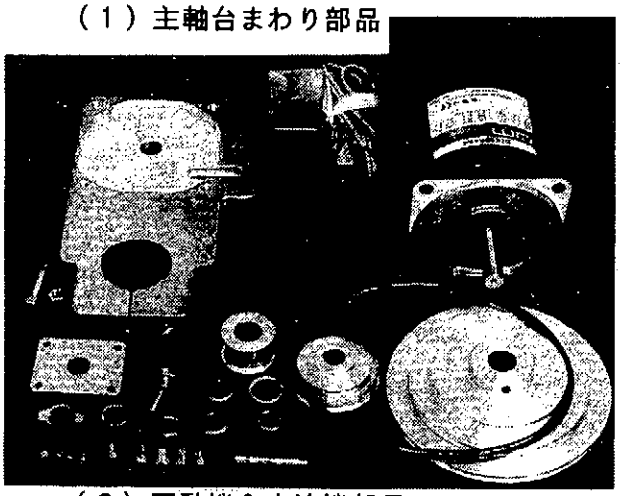
（１）主軸台まわり部品



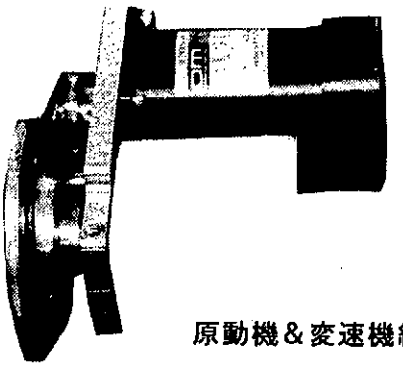
主軸台組立

■駆動部は危険を回避できる場所

■ベルトの張力の調整機構を設ける



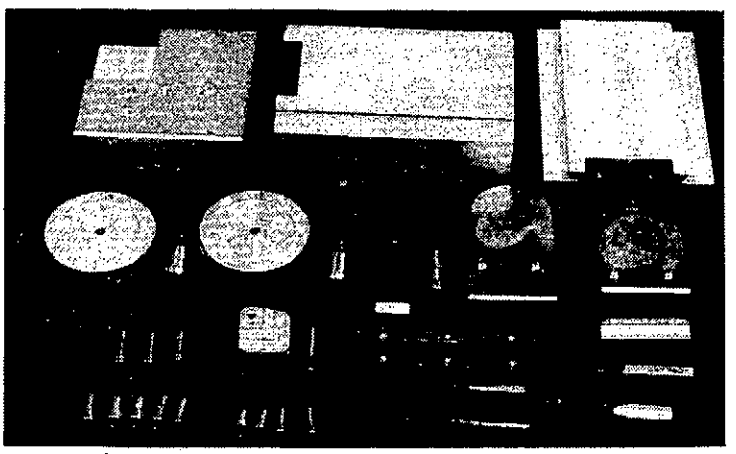
（２）原動機＆変速機部品



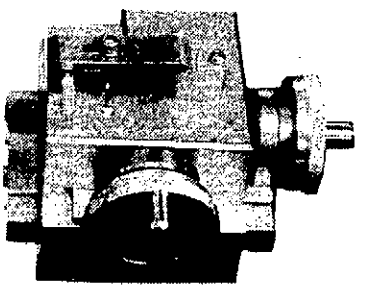
原動機＆変速機組立

■送りネジのなめらかな回転

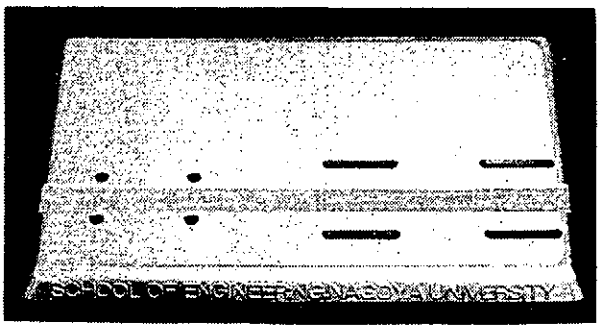
■ステージの動きかたさを調整機能



（３）往復台・刃物台部品



往復台・刃物台組立



（４）ベース

■組立を容易にするためガイドの設置

図１　ミニ旋盤各部構造体の部品写真および各部組立写真

これらの構造体を組立てることで合体させて図２に示すようなミニ旋盤を完成させた。

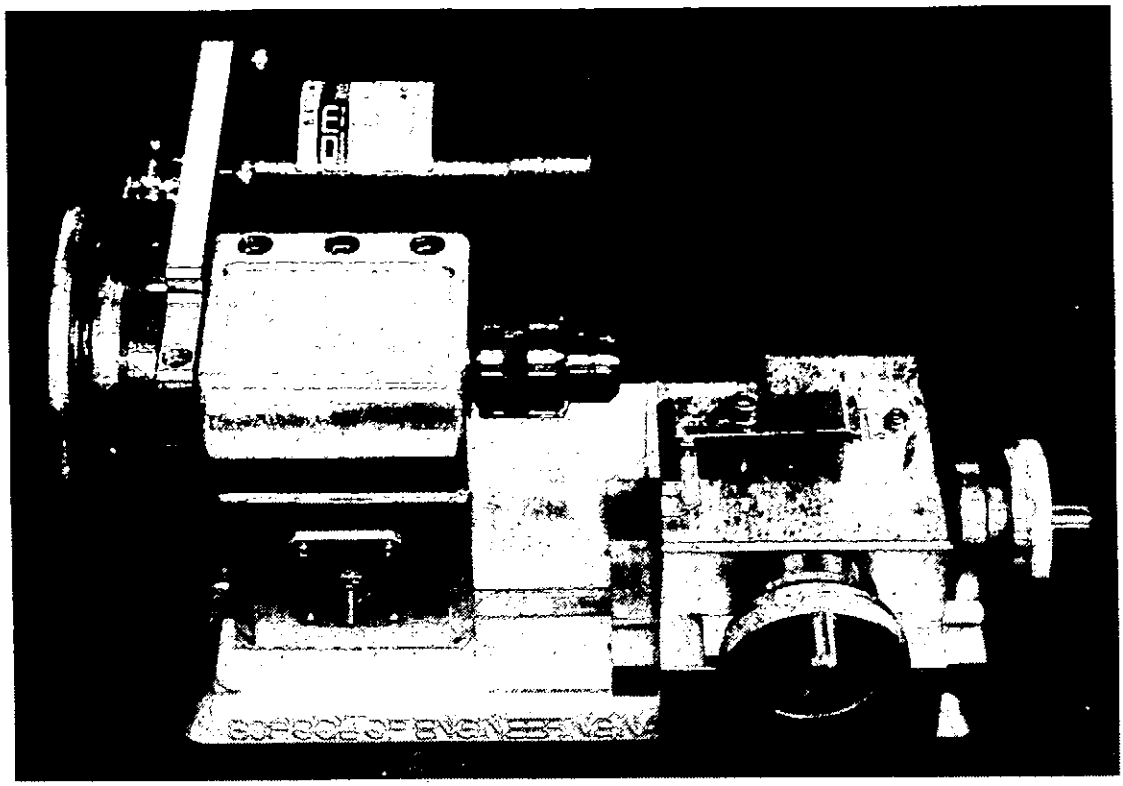


図２　試作した「ミニ旋盤」の外観写真

また，表１は試作品の装置仕様および主な部品の使用材質を表す。

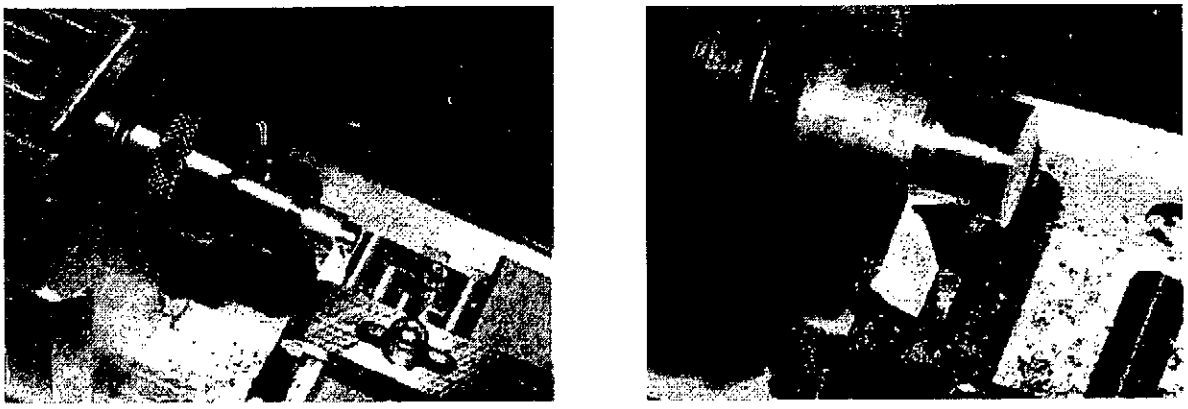
【装置仕様】	【使用材質】
■寸　法：280×380×200	□ 本　体　：A2024
■重　量：16.5kg	□ ベース　：〃
■電動機：AC100ｖ　90w　1500rpm	□ 主　軸　：SKH4
■主軸回転数：300，600，1000rpm	□ 送りネジ：〃
■つかみ能力：φ0.8～φ10.0	□ ネジガイド　：C2801P
■往復台移動量：±20（縦，横）	□ 主軸ホルダー：S55C
■同スライド量：最大40.0	□ バイト固定板：〃
■ハンドル１回転送り量：1.0	□ ハンドルノブ：SUS304

表１　試作した「ミニ旋盤」の装置仕様および使用材質

このように試作した「ミニ旋盤」は設計構想時の具備すべき条件を満たしており，製作後において卓上型旋盤として実際に利用できるものである。また目的に応じて各部位の設計変更も可能であり，さらに本装置の主軸を縦方向に移動させて，卓上フライス盤，タッピングマシン，あるいはミニボール盤とするなど製作課題の新たな展開も視野に入れている。

5．試作品の評価

図３は本研修で試作した「ミニ旋盤」による切削状態と市販のミニ旋盤によるそれとを比較したものである。写真に示すように試作品による切削結果は切りくずの形態ならびに得られた被削面から市販のミニ旋盤の切削状況とほぼ同等であることがわかる。



(a)　試作した「ミニ旋盤」による切削実験　　(b)　市販のミニ旋盤による切削

図３　試作品(a)と市販のミニ旋盤(b)との切削状況の比較

6．まとめ

本研修で工作実習アドバンストコース実習課題の「ミニ旋盤」を試作し，さらに市販機器との切削比較を行い、次のような結果を得た。

（１）「ミニ旋盤」は設計構想時の要件を概ね満たすものが試作できた。
（２）市販のミニ旋盤と同等の切削加工面を実現し、実用性があることを確認した。
（３）アドバンストコース実施に向けてその製作課題として「ミニ旋盤」を決定し，設計・試作を行った結果，レベルアップコースとして相応しい内容であることが確認できた。
（４）実習課題として「ミニ旋盤」を製作する場合，実習時間（40 時間）を設定すれば，例えば①重点的に加工をしてもらう箇所と，②部品の供給を受け，組立作業を行う部分とに分けてものづくりのスキルを体験してもらう考えである。

高専実習による小型バイスの製作と特定バイスの試作

国立北九州工業高等専門学校
○ 清田栄一

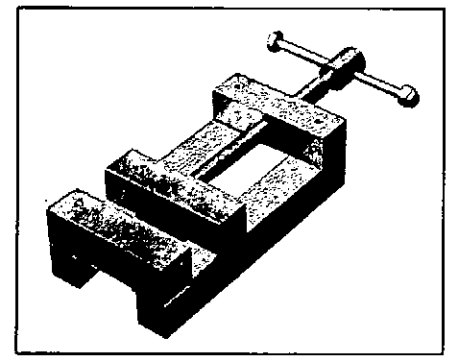
1, はじめに

我が校では、総合実習として、今年度から２年時において小型バイスを製作している。近年、ものづくりが見直される中、本校でも学生主体は当然として、『創造性』をテーマに新たなる加工実習の形態を模索し始めた。しかし、社会全体に巣食う経済的不景気の世の中になり、技術テーマが『より安く』とのコスト削減の方向に向いてしまっている。したがって、現在は『創造性』という価値を生み出す環境を作りにくい社会状況ではないかと思う。そこで教育機関での『創造性教育』というものが、さらに重要であり、教育機関こそ、その環境を作り出せる大事な機関になると思う。私も、その機関に属する者の一人として、誇りと使命を実感する。本題の小型バイスの製作はそんな思いからはじめた。

2, 小型バイスの製作理由

『ものづくり』の取っ掛かりは、“器用である”前に“好き”であるべきだ。最近、受験戦争のためか、本校に入学する学生に技術系が好きでもないのに成績のみで入学してくる者が多く見受けられる。さらに、何に対しても無関心の様に思える者も多いように思う。一律にはいかないが、『ものづくり』を好きにさせるには、“関心”を持たせることが大事である。しかも作業工程は、より単純で、できるだけ自分たちで考え、行われるもの。そこで、総合実習には工程に複数の作業が入るため、よい意味でのアクセントとなり、学生に新しい作業に入る前の緊張感が、その“ものづくり”に対しての関心を向けるようになる。

それを踏まえて、様々なテーマがある中で、総合実習としての小型バイスの製作に決定した。精度としては、期待ができないが、製作工程を重視した。また、バイス本来の機能も果たせるか疑問も残り、今後の課題でもある。



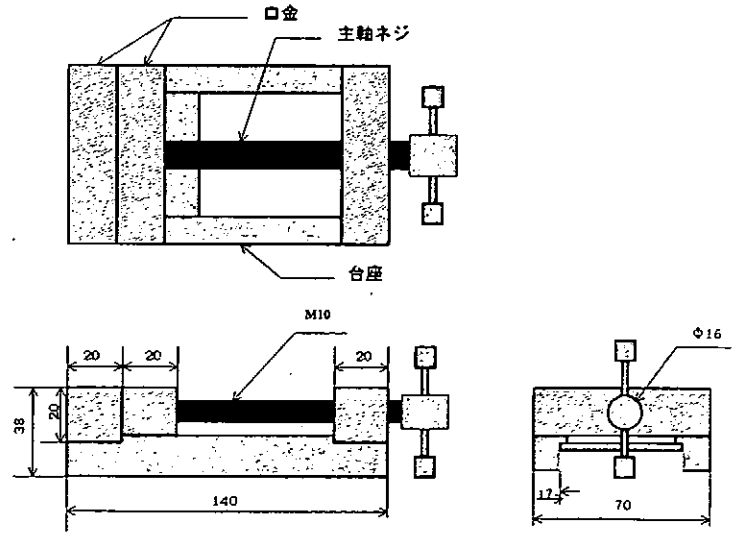
小型バイス完成品

3, 小型バイスについて

小型バイスは、ネジ止めによる組み立て式にした。精度は出しづらいが、作業としてやり易いため行った。

材料は実習時間の都合上、こちらで必要寸法に切断して、準備した。材質は、S45Cを使用した。

構造は、台座の上に口金を乗せ、主軸となるネジを回し、移動させ、ものを挟むという至って単純な構造である。そのため、口金移動材の受け穴に主軸ネジを入れるには、主軸受材の穴あけ、タップ立の垂直度が、重要となる。このことも、当然実習の課題となる。



小型バイス完成図

4. 製作工程について

製作は、３人で１つの小型バイスを４週（１週３時間）で行う。

■製作工程

第一週目【穴あけ作業とタップ立作業】

① 製作工程決め

１グループに完成図と部品図を渡し、各自の各作業分担を決め、製作にかかる。

② 製作準備

各材料の基準面決めを行い、使用する各タップ径よりドリル径を計算し、穴あけ、フライス加工のけがき作業を行う。

※材料の切断は、事前に行っているので、作業は、返り取りを行うことからはじめる。

③ 穴あけ作業とタップ立作業

各材料に計算した径のドリルで穴をあけ、タップ立を行う。ネジは皿ネジを使用するため、皿もみを行う。

第二・三週目【フライス加工　】

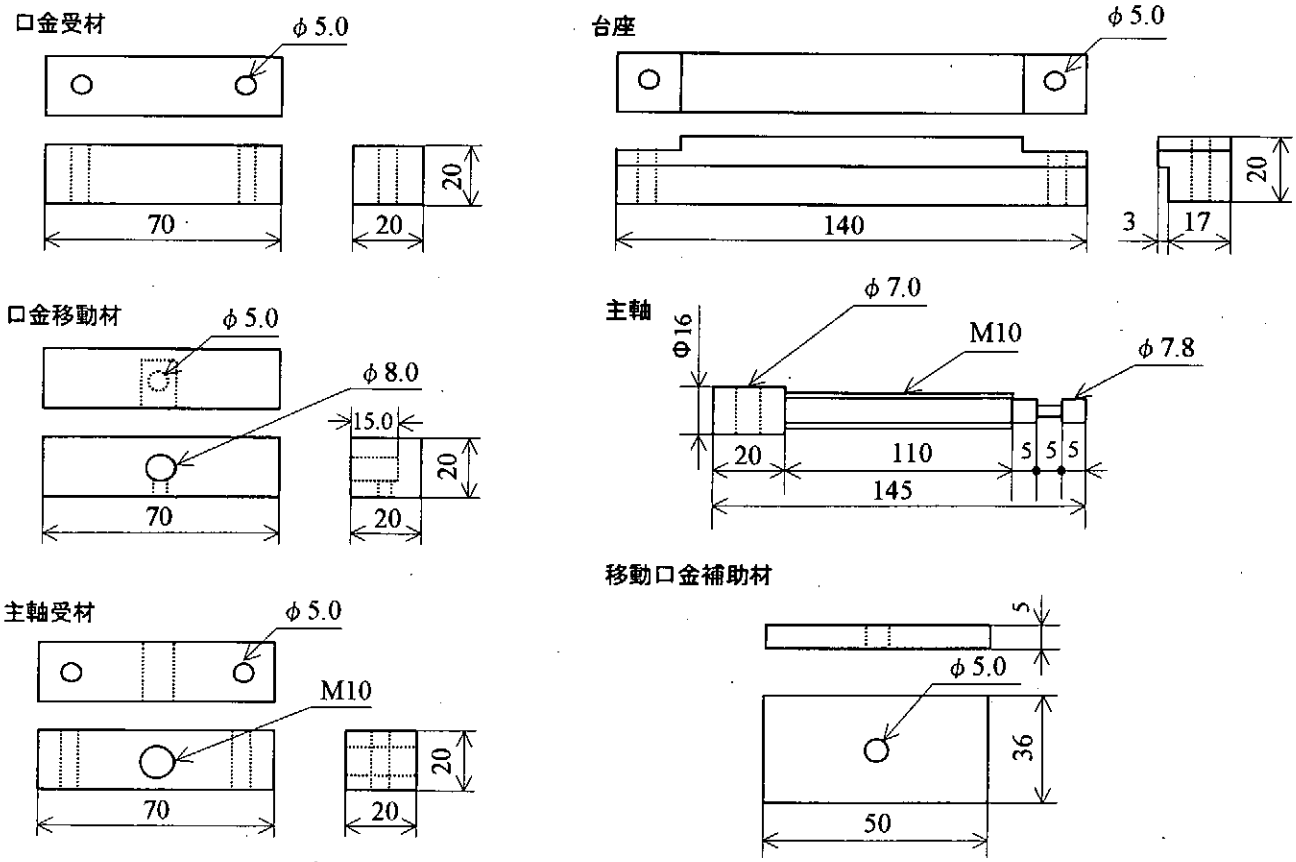
フライス加工は立フライスをフライス加工実習で行うため、本実習ではマシニングセンタを使用し加工する。これは、プログラム入力による数値制御を体験させる意図も含まれる。エンドミルによる切削加工時、切削油を使用することも含め、終了後の清掃に時間をとられる為、２週に分けて切削を行う。

［使用項目：エンドミル(φ２５)、回転数４００rpm、送り４０mm/min、切り込み量０．５mm］

第四週目【旋盤作業と組立作業】

主軸ネジを旋盤で加工する。旋盤作業もネジ切等、加工実習で行うため、その応用という形で行う。組立作業は、主軸ネジを口金移動材にスムースに入れるため、高さの微調節を行い完成させる。

［使用項目：片刃バイト、溝きりバイト、ネジきりバイト、回転数２７５rpm（外周）、８３rpm(ねじ切り)、送り０．１　、切り込み量１mm（荒削り最大）、０．1mm（仕上）］



小型バイス部品図

5, 今後の課題と対策について

■設計と製作上の課題

1, 技術的な課題

① 取付穴が、けがき作業、穴あけ作業、タップ立作業等のミスで、ずれる可能性がある。

② 材料に厚みがあるため、タップ立作業で、５㎜のタップを折りやすい。

③ 材料が若干硬いため、穴あけ作業がしづらい。(特に皿モミ加工時)

④ 主軸ネジのハンドル取付通し穴が、中心にあけづらい。

2, 実習作業上の課題

・３人一班で一つのバイス製作する。フライス作業(マシニングセンタ 1 台使用)は、一班しかできないため、その間の作業の指示、監督が、出来にくい。

■今後の対策(加工実習注意事項)

① 正確な取付穴を加工するために

ⅰ)けがき作業：基準面の確認、視線を水平にしたスケールの正確な寸法読み、センタポンチを正確に強めに打つ。

ⅱ)穴あけ作業：正確なセンター出しによる加工。

ⅲ)細かなスコヤによる計測で、一番タップの垂直出しを行う。

② タップ径を５㎜から１０㎜に変更。

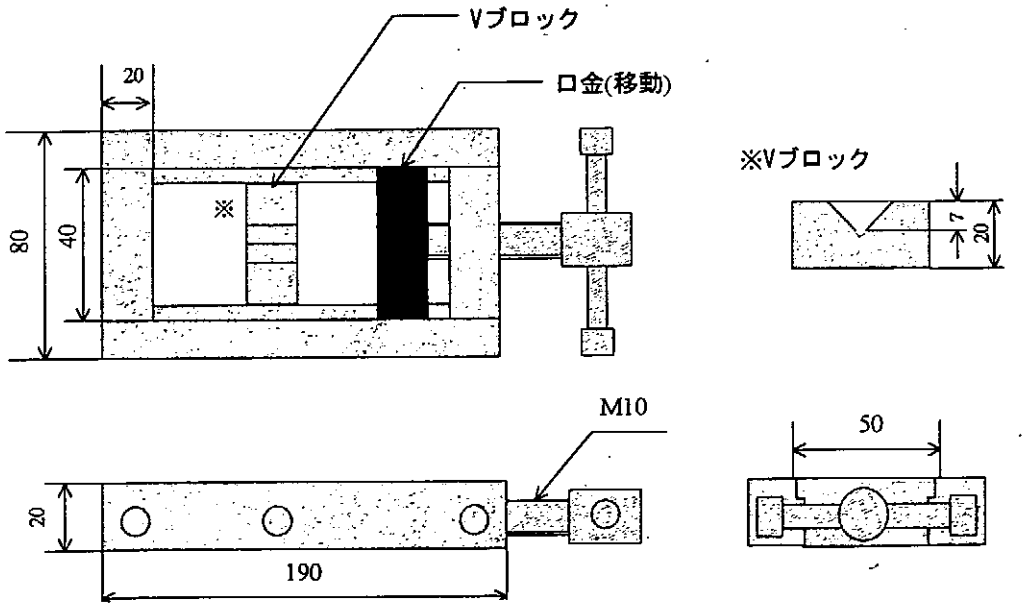
③ 口金部分以外の材質の検討。(構造の検討も兼ねて)

④ 主軸ネジのハンドル通し穴専用のバイスの製作。(詳しくは６にて説明)

⑤ 作業の指示・監督の課題は、今後、総合実習をさらに推し進めるため、各パートの実習項目に小型バイス製作のための、各部品を実習テーマとして検討してもらう。

6, 特定小型バイス試作について

先に課題とした主軸ネジのハンドル通し穴の穴あけのためのバイスを試作した。目的は、主軸ネジをバイスに挟んだまま、必要寸法にけがきが出来、そのままボール盤で加工できることである。精度としては、本実習に必要最低限であり、今後更に改良が当然必要である。しかし、現段階では、問題はまだない。



特定バイス完成図

7, おわりに

今回の小型バイス製作は、実習における予算、時間等の制約の中での製作となった。しかし、学生たちの関心を引き、好奇心を持たせる良い機会のなった。現状では、構造的、技術的に多くの問題はあるが、今後、『創造性教育』への一つの投石のような役割を小型バイス製作が、果たしてくれたように思う。

鋳造を通してのものづくり体験

岩手大学工学部 技術部
○ 小綿 利憲

1．はじめに

本年度は、一般市民等を対象としたイベントに自らスタッフとして、多く参加した年であった。多忙な反面、一般の方々が「ものづくり」をどの様に考えているのか、勉強になることが多く有意義であった。代表的な３つのイベントを以下に示す。

① 平成１３年８月１日（水）

「第３回いわて・こども・ものづくりセミナー」

岩手大学地域共同研究センター主催による、ものづくり体験セミナーが行われた。体験学習への参加者は、盛岡市を中心とした中学生希望者２０名である。

② 平成１３年８月１１日（土）～１３日（月）

「イーハトーブの科学と技術展」

岩手県、岩手大学工学部、岩手ﾈｯﾄﾜｰｸｼｽﾃﾑ、岩手大学地域共同ｾﾝﾀｰ、岩手産業振興ｾﾝﾀｰ等主催による、通称「カワトク展示会」が開催された。

技術部より小生が派遣されている研究室では、「鋳造教室でアクセサリーを作ろう」ということで、一般市民、特に子供たちを対象に、カワトクデパートに於いて、砂型にピューター（Sn-Sb 合金）を鋳込みアクセサリーを造る「ものづくり」体験をテーマとして行った。

③ 平成１３年１０月２７日（土）～２８日（日）

「'01 北上工業匠際」

前日（１０月２６日）に岩手大学と北上市が、相互発展のため協力協定を締結した。主な内容は産業振興への支援・協力・産学官連携・生涯学習社会に関する諸課題に取り組むとなっている。

これに際して第１回目として、北上市民等を対象に匠際に、出展の依頼があった。当研究室として、カワトク展示同様に「鋳造教室でアクセサリーを作ろう」を行った。

以上の３つのうち、①「第３回いわて・こども・ものづくりセミナー」と③「'01 北上工業匠際」について概要を述べる。

2．「第３回いわて・こども・ものづくりセミナー」

2.1 概要

岩手大学地域共同研究センター主催による、ものづくり体験セミナーが岩手大学地域共同研究センター及び工学部実習棟において開催された。中学生を対象としては、当研究室はじめての試みでもあり、試行錯誤で準備を行った。体験学習への参加者は、盛岡市を中心とした中学生希望者２０名である。

いわて・こども・ものづくりセミナー実行委員会の主なメンバーは、盛岡市内を中心とした中学校技術家庭科の教諭である。「子供たちが工作活動体験や、地場産業の卓越技能者の製作活動の観察などを通して、ものづくりに関する基礎的な知識や技術を習得するとともに社会における技術が果たす役割について理解を深め、進んで生活を工夫し、創造する能力と実践的な

態度を育てる」を目的としている。今回第３回という事で、体験実習に鋳造が採用された。実際に行う立場として、何を中学生に作らせたら興味を持つだろうということから始まった。当研究室では、３年次の学生実験にシルミン（Al-Si 合金）で主として灰皿を作らせている。同様に着色に手間がかかるので、鋳鉄はやめようということで材質はシルミンに決定。次ぎに、中学生に灰皿は？ということで、何を作らせようか考えるために、南部鉄器製造工場（岩鋳鋳造所）に直接おじゃました。そして岩鋳鋳造所から着色前の鋳鉄製ペン皿を数個頂いてきた。それを参考にして、少し小さめのペン皿に決定した。木型屋さんに定盤から枠そして模型等一式を作製してもらうことにした。２０名という事でそれらを１０組準備することにした。そしてテーマは「鋳造実習・アルミを溶かしてペン皿を作る」に決定した。

2.2　感想（生徒）

①力仕事や神経を使う細かい作業など、大変な場面はたくさんあった。でも、自分の作品ができあがると、苦労した分とても喜びが大きかった。

②今日は貴重な体験ができて、自分にとって良い日になった。

③今日は、めったに経験することのできない鋳造をすることができたのでとても良かった。

④小さなペン皿を作るために、すごくたくさんの砂と時間がかかった。こんな小さなものを作るのに、色々苦労があることがわかりました。

⑤枠に砂を入れてスタンプで固めたあと、手で触ったらすごく硬かった。砂があんなに硬くなると思わなかった。今日は、貴重な体験をしました。

⑥本格的な鋳造作業ということでとても楽しみにしていたけれど、まさしくその期待に値する、もしくはそれ以上の体験をしたと思う。

⑦ｱﾙﾐﾆｳﾑを流し込むまでの過程がものすごく大変で、鋳造をするときの人々の苦労を体験しました。また、このような機会があったら、是非やってみたい。

2.3　感想（引率教諭）

①額に汗して取り組む姿勢、鋳込みのダイナミックさに目を輝かせ、出来上がりに喜ぶ一人一人を見て、ものづくりの偉大さを改めて感じた。

②アルミニウムの溶ける様、流し込む様にはダイナミクスを感じました。生徒たちもいきいき活動できたと思います。

③機会があれば、多くの生徒に体験させ、進路指導や体験学習の１つとして取り入れて行きたいと思います。

④本格的な鋳造体験は生徒たちにとって、とても良い経験になったと思います。



図2.1　作製したアルミのペン皿



図2.2　ペン皿底面のロゴマーク

3．「'01 北上工業匠際」

3.1　概要

岩手大学は、特色ある開かれた大学を目指すということで、各市町村と相互発展のため協力協定を締結している。主な内容は産業振興への支援・協力・産学官連携・生涯学習社会に関する諸課題に取り組むとなっている。

北上市では、毎年「北上工業匠際」が行われている。これに際して協定第１回目ということで、岩手大学に北上市民等を対象に匠際に、出展の依頼があった。当研究室として、カワトク展示同様に「鋳造教室でアクセサリーを作ろう」を行うことに決定した。

一番の課題は、限られた場所と設備で行わなければならない。また、対象者は小学生等が主となる。これらを頭に入れて、材料はできるだけ低融点（溶かし易いこと）で安価なことからピュータ（Sn-Sb 合金）に決定した。ものづくりを直接体験してもらいたいことと、対象が小学生が多いだろうということで、研究室の学生スタッフ４名に協力をお願いした。

時間がかかりすぎると参加者がためらうと思い、砂型で型を作る際、簡単にできるように下型だけ作製し金属を流し込むことにした。２日間で作製したアクセサリーは、約３００個という人気であった。



図3.1　砂込め作業



図3.2　砂の突き固め



図3.3　型抜き



図3.4　鋳込み

3.2　感想（小・中学生）

①難しそうだったけど、うまく作れたので良かった。無料というのが最高！！

②すごくかわいいです。簡単に作れるので、とてもいいと思います。

③何か、液体が、かたまったのがすごかった。

④こんなふうにして作るなんて思わなかったし、初めてだったのでおもしろかったです！。

⑤じぶんでつくることはたのしい。

⑥あんなみじかい時間でこんなかわいいのができるなんて、びっくりしました。

⑦こんなにかんたんにキーホルダーができるとは思いませんでした。だいじにつかいます。

⑧たのしかったよ。らんどせるにつけてあるくよ。

3.3　感想（一般）

①体験することが少ないもので、楽しかったです。デザインがもっとあるとGOOD！

②子供と一緒に作りました。金属がいろいろな形になるのを学習できたと思います。

③南部鉄瓶などの作り方を少しでもまねできて、とても楽しかったです。

④3歳になる娘と参加させていただきましたが、あっという間にかわいいアクセサリーができて、娘も私もびっくりしました。自分で作ったということもあり、きっと大切な思いでとして残ると思います。

⑤子供が参加できるのが良かった。（型を作る等の作業が比較的簡単でよい）

⑥以外と簡単にできてびっくりでした。楽しかったです。子供たちが喜んで作製できたので、大変良かったです。

⑦子供はすごく喜んでいました。来て良かったです。

⑧もっと大変なものかと思ってましたけど、とても楽しく型ができて、うれしいお土産になりました。

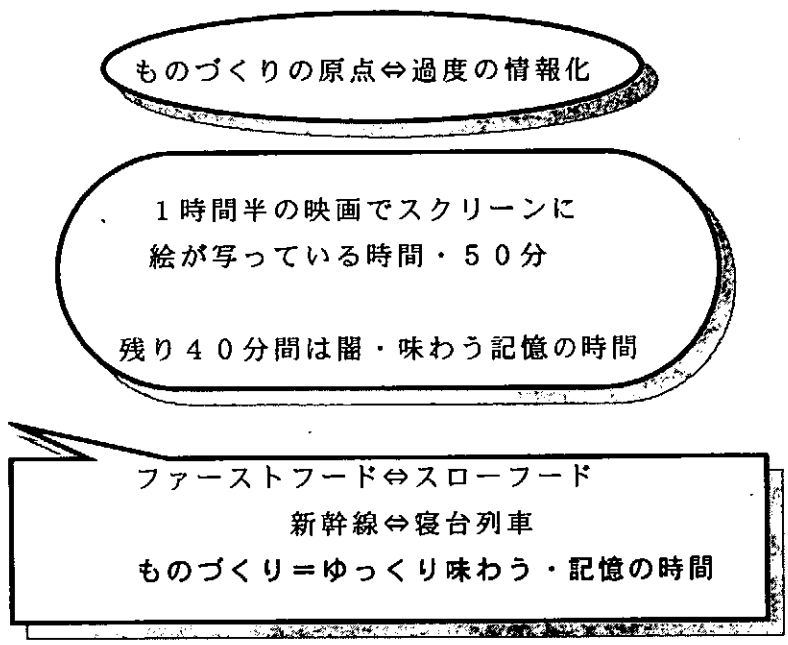
4．あとがき

最近、小中校生の完全週休2日制について、色々論議されております。我々技術屋集団としても、「ものづくり」に対してそれぞれに考えがある事と思います。当研究室では、これからも鋳造実験を続けます。ものづくりを通して何かを感じてほしいと願ってのことです。

＊＊＊　十年ほど前の女子学生が書いた感想文です。技術屋の皆さんどう思いますか。

灰皿を造るなんてことは、一生私にはないことだと思っていました。3年前までは。2回失敗し、一番最後に終わったので、完成したときはとても感動しました。その日は会う人会う人に自慢しまくりました。5月の末には実家へ持って帰り、神棚に上げてきました。「金属に入って良かった」とつくづく思いました。私たちが今回やったのは生砂型、枠込め法ですが、その他様々な鋳造法があるということが、調べてみて解りました。これから、鋳造の講義を通して理解を深めていきたいと思っております。今回造った灰皿は、嫁入り道具の一つとして持っていって、子供に「これはお母さんが造ったんだよ」と見せたいと思います。　＊＊＊

お　わ　り　に



高速読み出し用メカニカルステージの開発

名古屋大学理学部技術部研究機器開発班　○河合利秀

1、はじめに

「高速読み出し用メカニカルステージ」とは、OPERA 実験（CERN－Gran-Sasso 間長基線ニュートリノ反応検出実験）によってもたらされる大量の原子核乾板を高速に解析するためのもので、透過型顕微鏡の精密なメカニカルステージである。今回発表する内容の詳細は、以下のホームページにて公開している。

URL　http://scorpius.phys.nagoya-u.ac.jp/workshop/kawai/newstage.html

今回の発表は、OPERA 実験を紹介し、S-UTS（超高速対物レンズ駆動機構）と同期運転するための「高速読み出し用メカニカルステージ」の仕様を述べた上で、開発のプロセスに従って、新ステージの仕様、従来のステージの特性、試作１号機の設計・製作、Ｚ軸ステージの設計・製作、ＸＹＺステージの設計について述べる。

2、「高速読み出し用メカニカルステージ」の目的

原子核乾板は、写真フィルムとほぼ同じものである。現像した原子核乾板には素粒子の飛跡が大量に写っているので、それを、光学顕微鏡と CCD によって読み出し、素粒子を識別する。

「高速読み出し用メカニカルステージ」（以後 OPERA ステージと呼ぶ）は、原子核乾板に記録された素粒子反応を顕微鏡と UTS（ＣＣＤカメラによる画像によって素粒子反応を識別する装置）によって効率よく検索するための顕微鏡用メカニカルステージである。顕微鏡の載物台として用いるＸ－Ｙステージと、顕微鏡の主光軸（S-UTS）を上下するＺステージの２つの要素によって構成している。

従来の方法は、顕微鏡メカニカルステージの座標精度をそのまま使って、原子核乾板の素粒子反応の位置を測定していたが、このようなやりかたでは、今回の OPERA で予測される素粒子反応検索するには膨大な時間がかかる。これを、装置開発室の石川氏が開発した対物レンズ駆動用高速二次元ステージと組み合わせることによって、解析の高速化を実現するものである。

現在は Nikon 製の顕微鏡メカニカルステージと UTS を組み合わせている。UTS とは、ＣＣＤカメラと画像処理からなるもので、これによって原子核乾板の素粒子飛跡を画像として取込み、素粒子反応を識別する。

S-UTS とは、顕微鏡の対物レンズをＸ－Ｚ方向にのこぎり型に高速で駆動し、Ｘ方向をＸ－ＹステージのＸ軸と同期させることによって、ＣＣＤ視野のＸ－Ｙ座標が止まったままＺ方向が動くように動作させ、高速ＣＣＤによってＺ軸（深さ）方向にそって十数枚の画像を取込むよう工夫したものである。S-UTS は、あたかもスキャナーのように、素粒子反応の三次元情報を得ることができる。１画面１００μｍ四方の映像を、原子核乾板の厚み方向に駆動しながら数十枚取込むことができる。私の仕事は、S-UTS と組み合わせて、メカニカルステージのＸ軸を S-UTS のＸ軸駆動速度と同期運転（同じ速度&方向で駆動）することによって最終的な座標精度 0.3μｍを実現することである。

3、OPERA－Stage の仕様

OPERA-Stage の仕様は、X-Y 軸の稼動範囲（ストローク）１２０mm　x　１７０mm で、１軸のみ速度安定性１％以下（１０mm/s で駆動）が必要である。１％以下の速度変動率（速度１０mm/sec）ならば S-UTS と同期運転したとき原子核乾板の素粒子飛跡を 0.3μｍの精度で検出できる。これは今回最も重要な目標である。

その他に、S-UTS の振動をＣＣＤ画像に影響のないようにしっかりと止めることのできる高剛性のＺ軸ステージが必要である。S-UTS は 100Hz x 100μｍを振動する。この時ＣＣＤ画像の揺れを 0.1μｍ以下に押えなくてはならない。

それと併せて、X,Y,Z 軸とも、これまで以上に高速で動くことが必要である。これによって待ち時間を短縮する。

これらの仕様を表１にまとめる。一定速度に動かした時の速度変動率１％以下というのは、従来の顕微鏡ステージからすると、とても厳しい要求である。

軸	ストローク（mm）	駆動の特徴	その他
Ｘ軸	１７０	速度変動率１％以下	一定速度に達するまでの時間短縮
Ｙ軸	１２０	高剛性、高速、	一般仕様のもので良い
Ｚ軸	２０	高剛性、座標位置再現性	Ｓ－UTS 駆動時、ＸＹ座標 0.1μｍ以下

表１、OPERA－Stage の仕様

4、従来のメカニカルステージの特性

開発の手始めとして、リニアガイドを使ったメーカー製ステージの速度特性を調べた。

従来の Nikon ステージの速度特性を測定すると同時に、代表的な機種についてはメーカーに依頼して速度特性を調べてもらった。これらの結果を表２に示す。リニアガイドとボールねじの組合わせのメカニカルステージについて言えば、

Nikon ステージの速度変動率を測定した結果は、最大3～7%、メーカー製のメカニカルステージは、3～5%の速度変動率があり、いずれも仕様を大きく上回るので×である。速度変動率の測定条件は、駆動速度 10mm/s、サンプリング時間 10ms である。

機種	直線案内の種類	駆動方法	速度変動率 (%)
Nikon ステージ 1	THK リニアガイド	ボールねじ+Step モータ	± 2 (P-P)
Nikon ステージ 2	THK リニアガイド	ボールねじ+Step モータ	± 3 (P-P)
Nikon ステージ 3	THK リニアガイド	ボールねじ+Step モータ	± 7 (P-P)
THK ステージ	THK リニアガイド	ボールねじ+AC サーボモータ	5 (RSM)
NSK ステージ	NSK リニアガイド	リニアモータ	± 3 (P-P)
NTN ステージ	NTN リニアガイド	ボールねじ+AC サーボモータ	5 (RMS)
NTN エアスライド	エアスライド	ボールねじ+AC サーボモータ	2
NSK エアスライド	エアスライド	リニアモータ	±0.1 (P-P)

表2、メカニカルステージの速度特性

エアスライド+リニアモータという構成のメカニカルステージの速度変動率は 0.2%程度であり、1%以下を十分確保できている。この時点で、仕様を満足できるのはこの組み合わせのみであるが、価格が高くなるという欠点がある。

こうしたことから、エアスライドは一旦棚上げにして、リニアガイド+ボールねじ駆動のユニットで速度変同率1%以下を目指すことを技術開発の目標と定めた。

5、Nikon ステージから学んだもの

リニアガイド&ボールねじで構成されている Nikon ステージ (写真1) を分解・再構成して、個々の機構の特性を詳しく観察することにした。

最初に、リニアガイド単体の運動を調べるため、ボールねじとの連結金具を取り外し、手でステージのフレームを押したときの速度変動率を測定した。すると、一部分ではあるが、1%程度に納まっている所があった。こうしたことから、ボールねじ駆動が問題ではないかと思い、ワオヤーによる駆動を試みた。ワイヤー自身の縦振動を速度変動に乗せないようカーボン繊維を用いると 1.5%程度の速度変動率を得た。

次に、ボールねじとテーブルの接合部品の素材をアルミからテフロンの変更した結果、これも 1.5%の変動率を得た。

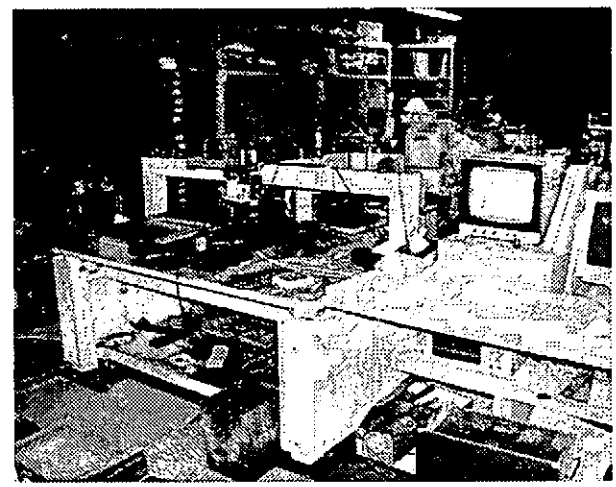


写真1、Nikon-Stage

こうした実験から、速度変動率を悪くしている原因は、メカニカルステージのリニアガイドやボールねじが正しく組み付けられていないことにより生じる不安定な摩擦であると考え、この不安定要素を少なくする構造のメカニカルステージ (TEST-Stage) を試作することにした。

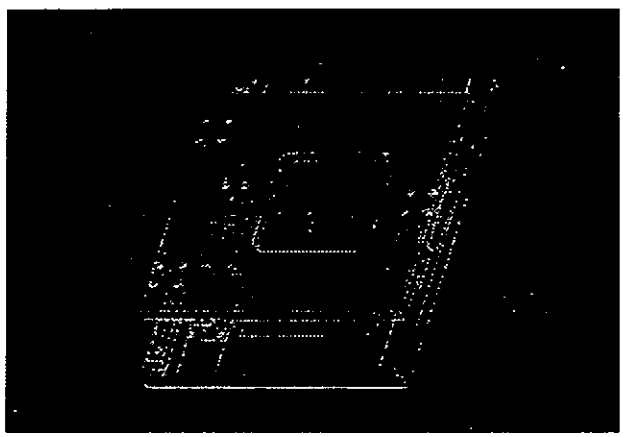


図1、TEST-Stage

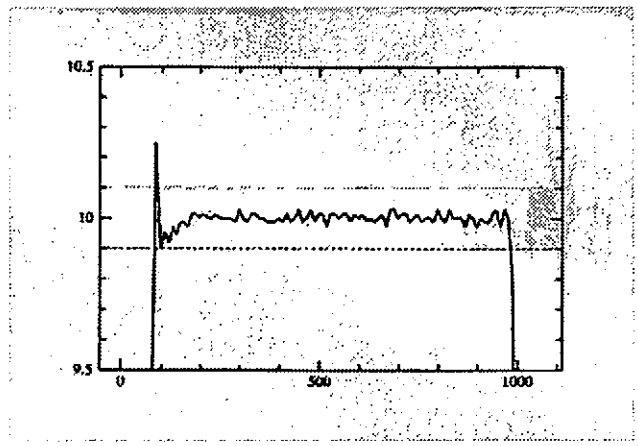


図2、TEST-Stage の速度変動率

6、TEST-Stage

TEST-Stage のコンセプトは、構造を「シンプル」にしてリニアガイドとボールねじの組付け誤差を極小にするということにつきる。以下に、TEST-Stage の設計のポイントを整理する。

①3点支持および、その重心を駆動することによって余分な回転モーメントの発生を防ぐ。②リニアガイド及びボール

ねじに与圧のかかったものを採用する。③リニアガイドとボールねじの組付けには折返し平行ばねによる誤差吸収機構を設ける。④S45C などの鋼材を精密研磨加工することによって、部品そのものの精度を上げると同時に剛性を高める。⑤リニアガイドやボールねじの素材（ＳＫなど）と同じ熱膨張係数の素材を構造物に用いる。⑥ボールリテーナによって摺動抵抗変動をおさえたリニアガイドを採用する。

このような設計思想に基づいて設計したものが TEST-Stage（図1）である。

この TEST-Stage の速度変動率（図2）は、当初の目標を上回るもので、速度安定性 0.2～0.3%（10mm/s）であった。このほかにも、リニアガイドとボールねじに与圧のかかったものを用いたことで、外部からの応力に対して極めて剛性の高いメカニカルステージが実現した。TEST-Stage の性能を表3に示す。

ストローク	最大速度	一定速運転速度	速度変動率
１７０mm	４０　mm／sec	１０mm/sec	０．３%

表3、TEST-Stage の性能

7、Z-Stage の仕様

次に、実用的な課題として、TEST-Stage の設計思想をできるかぎり取り入れて、高剛性高精密の Z-Stage を作った。Z-Stage には S-UPS を搭載する。Z-Stage で S-UPS の位置決めを行ない、Z 座標を固定してから S-UPS を稼動させる。S-UPS は２００ｇの負荷荷重を上下左右に 100Hz で振動する。このとき、顕微鏡視野のＣＣＤ画像における揺れが 0.1μm以下でなければ、全体の空間精度 0.3μm を実現できない。これ以振動するようでは、CCD 画像がいわゆる「ピンボケ」となる。こうした問題を解決すっるため、与圧構造を基本設計とした。

Z-Stage の実際の設計図を図3に示す。

Z-Stage には一つだけ問題点がある。それは、市販のボールねじを固定するベアリングブロックに手頃な大きさのものが見つからず、特注品になってしまうことである。上下のプレート以外はすべて汎用品という最初のコンセプトから逸脱することである。

写真2は完成した Z-Stage である。今回の設計では、１ｔの荷重があったとしてもその変位量は数μmに納まるという、工作機械並みの剛性を実現している。

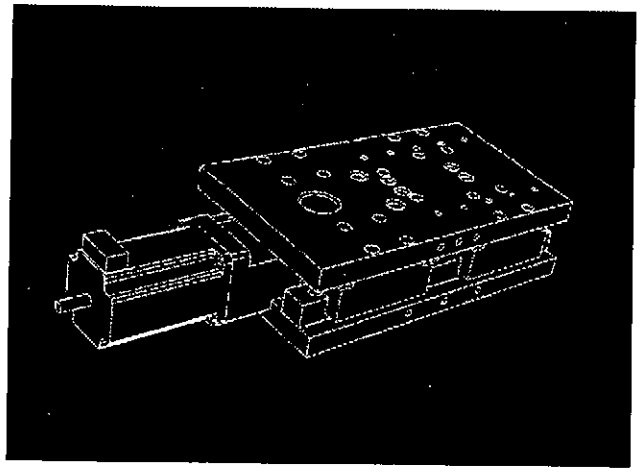


図3、Z-Stage の設計図

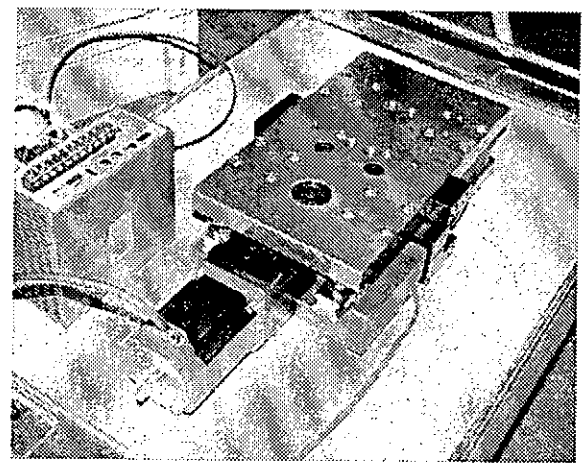


写真２、完成した Z-Stage

8、OPERA-Stage の設計

速度安定性の高いX軸ステージ（TEST-Stage）と高剛性の Z-Stage が完成した所で、いよいよこれらを組み合わせて OPERA-Stage としてまとめ上げることになった。

まず、速度安定性の高い TEST-Stage を X 軸に用い、その下にY軸を設けて、XY-Stage とする設計を進めた。X軸のストロークが１７０mm なのでＹ軸は１２０mm のストロークがあればよい。Ｙ軸はＸ軸とは異なり速度安定性よりも剛性が必要である。このようにしてできたのが図３に示す XY-Stage である。

この XY—Stage は 1000x600mm の定盤の上に設置した。この定盤はしっかりした台に載せ、そのまま OPERA-Stage のベースを構成する。これに透過照明装置やＺ軸ステージを配置すれば OPERA-Stage とる。現在 OPERA-Stage の機械的な部分はほぼ完成し、透過照明用光源の開発も最終段階にある。

Z軸保持部に 100Kg の重量を配置できれば原理的にはどのような保持方法でもよい。Z軸は定盤の４頂点からトラスで支える構造とした。Z 軸を搭載する部分の重量はおおよそ 80Kg である。下の定盤がもう一回り大きければ、もっと安価なＨ鋼による門構造で十分仕様を満足させることができる。図4及び写真3は OPERA-Stage である。

振動特性の測定は、磁気式位置センサー（Sony）を用いた。この位置センサーはホール素子を用いたもので、アナログ出力をオシロスコープでることによって振動を直接捉えることができる。この原理は地震計にも使われている。この

方法によって繰り返し位置決め精度を測定した結果、１０回以上の繰り返しでも0.1μmの座標再現性を実現した。

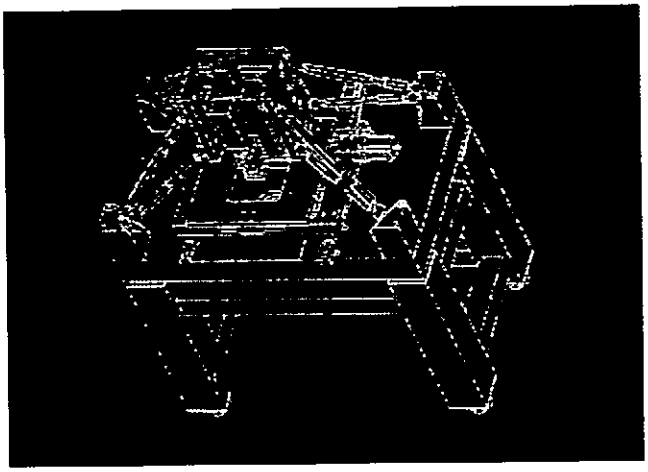


図４、OPERA-Stage

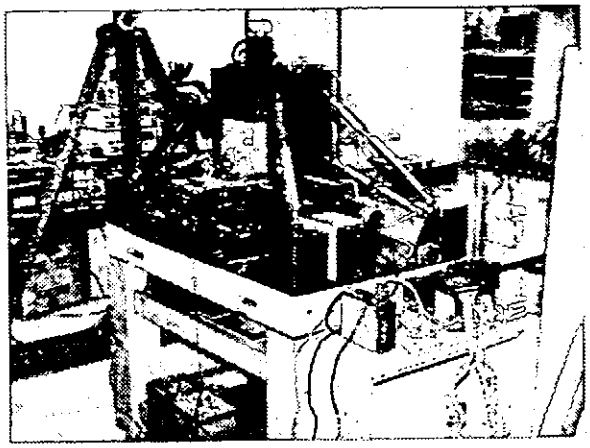


写真３、OPERA-Stage

9、コスト圧縮の努力

今回のOPERA-Stageは、価格も重要な要素である。１０台以上作るので、市販機に相当する完成度の高いものが要求された。共通部品化を図り、無駄と思われる部分を単純化するなど、S-UTS用に特化した装置としてまとめることで、低コスト化も実現した。オリエンタルモータの５相 Fin-Step モータを使用しているが、これも新しいシリーズを採用することで４０%OFFを実現できた。

以上のようなことを織り込んで、量産型の設計を行ない、コストを再評価したところ、メカニカルステージの基本ユニット（X-Y&Z）で１１０万円程度（リニアスケール、モータ無し）にまで押し込むことが可能となった。これは当初費用の４０%程度に相当する。

10、まとめ

写真３はOPERA-Stageの試作機である。

現在調整を進めているのは、照明光学系の設計・製作である。従来の照明方法では十分な光量が得られないので、全く新しいものを開発中である。OPERA-Stageとしての基本的な性能は出していると考えているので、一刻も早く全体をまとめ、S-UTSと連動して原子核乾板のデータ取得を成功させたい。

11、謝辞

自社の製品について、詳しい測定データを提供していただきましたNSK販売株式会社の島田壮宏氏、THK株式会社の馬場達司氏に感謝します。特にNSK販売からは、データがない部分をわざわざ測定していただきました。かさねて感謝いたします。

三次元測定機を使用した加速管ディスクの測定

高エネルギー加速器研究機構
○渡辺勇一　肥後寿泰　東保男
舟橋義聖　高富俊和

1．はじめに

高エネルギー加速器研究機構では、日米協力のもと将来計画のひとつであるリニアコライダ(JLC)の開発を行っている[1]。工作センターにおいては、それらのメインリニアックに使用されるXバンド加速管の開発に寄与し、試験加速管の製作をおこなっている。

この加速管は非常に高い周波数(11.424GHz)でビームの性質を損なわずに加速させるため、超精密加工により±1μm以下の寸法精度と形状精度が必要とされる。そのため加工後の測定も高精度に測定しなければならない。そこで、品質管理と加工工程の問題点把握、全体の寸法、形状精度を高精度に測定するためZEISS社製三次元測定機(UPMC850-CARAT)
〈測定精度U_1=0.5+L/900μm〉を使用し測定をおこなっている。

本報告では、三次元測定機による加速管ディスクの測定を通して、高精度に測定するための測定方法と、測定時に発生した問題点と解決方法についてのべる。

2．加速管ディスクについて

Xバンド加速管は、ディスク約100枚あるいは200枚を接合して構成する。個々のディスクは、加速周波数をコントロールするためわずかながら寸法が異なる。また、±1μm以下の寸法精度、形状精度が要求されるため高精度な測定が必要となる。

材料には加工歪、残留応力を除去するため熱処理された無酸素銅を使用し、超精密旋盤により加工が行なわれている。

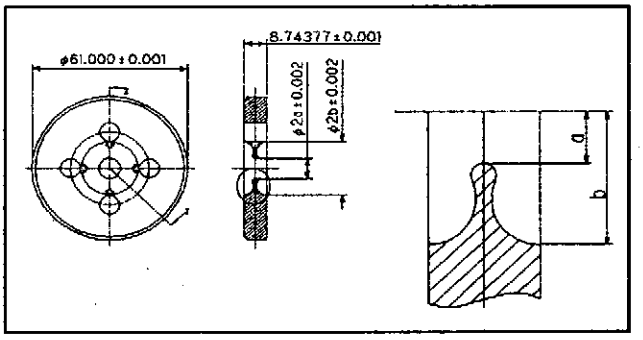


図1：RDDS型加速管ディスク

3．三次元測定機

今回使用した三次元測定機は図2に示すような外観を持ったもので、20℃±1℃に管理されたクリーンルーム内に配置し、構造は門型で各軸をエアーで浮上させ、高精度な位置決めと真直性を確保し最高精度の測定を可能にしている。測定は粗加工と仕上加工それぞれの終了時におこなう。測定箇所は外径や厚さなどの基本的形状と平行度、平面度、輪郭度や位置精度などを測定する。測定条件はプローブにφ1あるいはφ3、接触圧は0.2N(標準)を使用した。プローブにφ1、φ3を使い分けたのはディスクの形状の違いによるものである。

三次元測定機の外観を図2に示す。

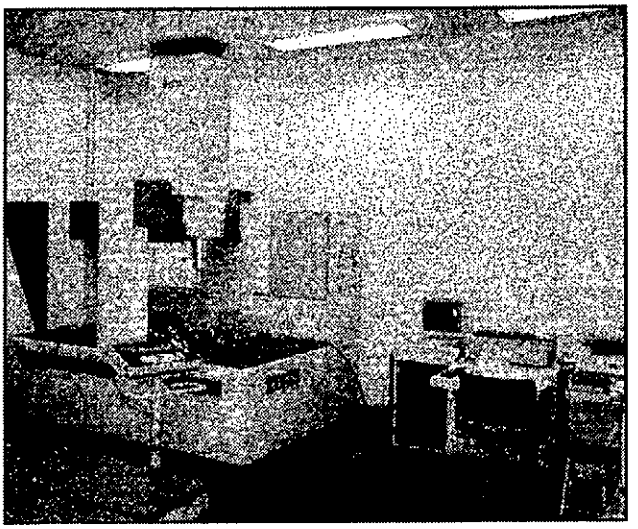


図2：三次元測定機

4．測定方法

4－1．測定ジグの開発

測定時のディスク固定には、ディスクとの接触面を鏡面加工した真空チャックを使用する。材質には、超精密加工をしたディスクの表面に傷をつけないようにするために、軟質金属であるアルミニウム合金を使用した。当初はディスクの安定性にすぐれる横置き型のジグを開発した。ディスクとの接触面にφ6の真空引口を4箇所もうけ、粗位置決め用にピンを2箇所設置した。プローブはアライメント用にφ3、測定用にφ1をそれぞれZ-方向に1本ずつセットした。横置き型の真空チャックを図3に示す。しかし横置き型ではディスクの吸着面側を測定することはできず、厚さの絶対測定やチャック側の2bの径などを測定することができなかった。また、裏表と2度の測定を必要とするために全体的な精度の信頼性にかけた。

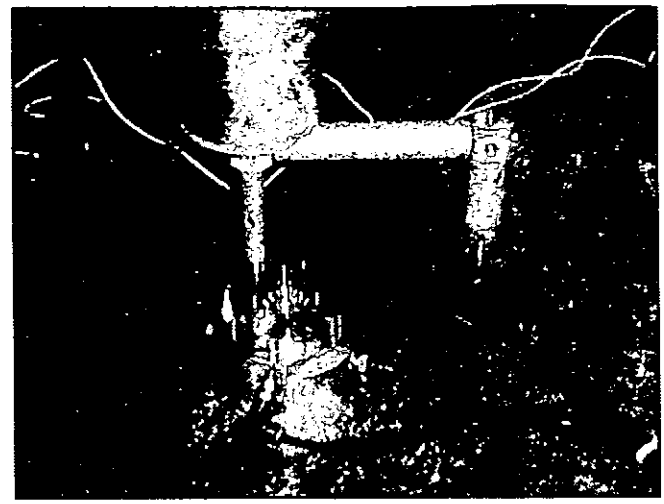


図3：横置き型真空チャック

4－2．縦置き型ジグの導入

横置き型の問題点を解決するべく導入したのが現在使用している縦置き型である。縦置き型は一度のセットで必要なすべての測定ができる。測定点数は98点、測定時間は1枚あたり約15分である。これは横置き型を使用して裏表測定していたときの約半分の時間である。セットが一度で済むためディスクに傷をつける可能性も軽減することができ、さらに基準がひとつなので、裏表の位置精度の確認が容易になった。工夫した点を以下に示す。

- 重心を下げ、ディスクがプロービングによって傾かないようにした。
- 真空引口を円周上に大きくとり、ディスクをしっかり固定するようにした。
- チャックをドーナツ状にすることでディスクの両面にアクセスを可能にした。

このジグを12台、測定機定盤上に設置してディスクをセットし、温度慣らしをしてから測定を開始した。縦置き型の真空チャックを図4に示し[2)]、図5にディスク測定に使用しているφ1のプローブを示す。



図4：縦置き型真空チャック

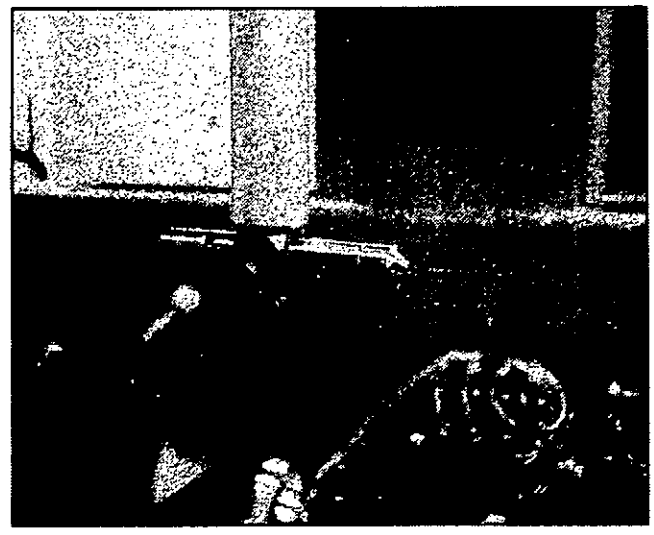


図5：φ1プローブ

5．測定上の留意点（測定の自動化）

5-1．測定プログラム

このタイプの加速管はディスクの形状が外径と厚さ以外すべて違うために、測定プログラムの作成上の問題があった。100か200のディスク個々についてプログラムを作成するのは困難だった。しかしCADを使用し、測定点を求めたところ、測定可能な幅が見出せ、ディスクをいくつかのグループに分けることが検証できたので、作成する測定プログラムの総数を減らすことができた。これによりグループごとに測定プログラムを修正し、全数を短時間で測定することを可能にした。

5-2．データ処理

測定データは1枚のディスクごとに出力され、その量は膨大になった。そこで処理を表計算ソフトでおこない直ちにグラフ化し、設計値からのずれ及び前後の測定との誤差などを統計的にチェックできるようにした。このため加工の変動などをすばやく知ることが加工になり、毎日の加工にフィードバックを随時行なった。

測定結果を処理したものを図7に示す。このグラフはディスク外径の設定値からのズレを表しており、±1μmの公差におさまっていることを示している。

6．接触時のへこみ

プローブとの接触時にディスクに生じるへこみは大きな問題だった。素材に無酸素銅を使用し、さらに熱処理をするため非常に柔らかくなっている。測定圧こそ0.2Nと小さいが、初期触圧が1Nあることがわかり、大きなへこみは、この接触の際に発生しているものと思われる。そこで形状測定顕微鏡を導入し、へこみ量を観察した。その量は現在使用中のφ3プローブ、接触圧0.2Nでφ100μm、深さが約1.4μm、φ1の場合1.2μm程度となっており、その量はほぼ一定だった。顕微鏡は他にも多種多用の観察に応用され好評を得ている。形状測定顕微鏡にて観察したへこみの様子を図8に示す。

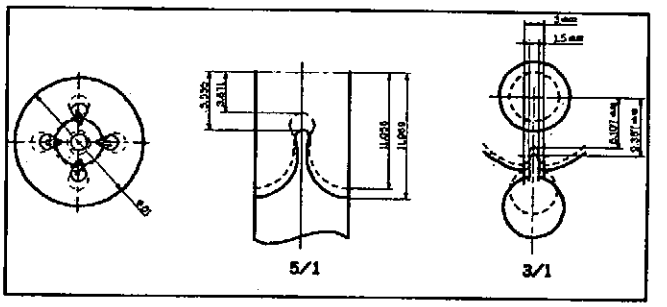


図6：ディスク番号による形状変化

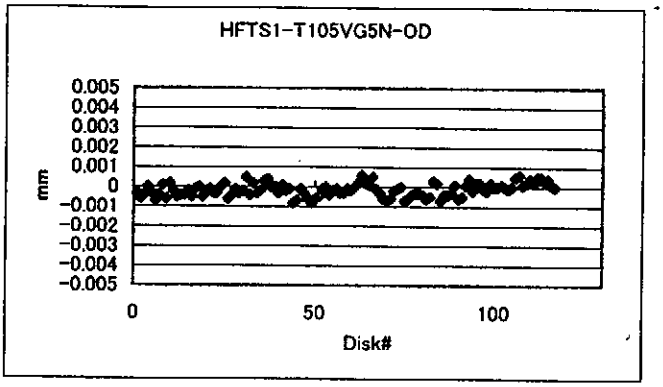


図7：出力データのグラフ化

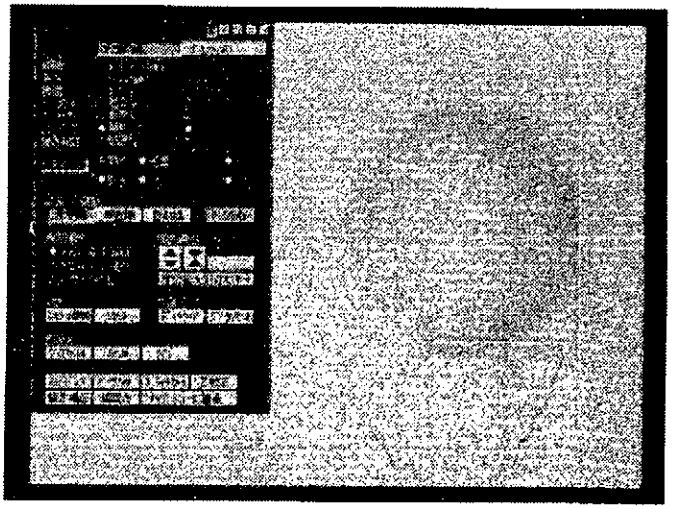


図8：プロービングによるへこみ（x1000）

7．今後の課題

・ 図2の2aから2b部は曲面形状で、加工が複雑になっており抜き取りでの管理が必要である。三次元スキャニング測定はこのような形状の測定に最適であり早急に立ち上げることが必須である
・ 異種形状の測定に堪えうるようなフレキシブルなプログラムの作成

8．まとめ

・ 三次元測定機を使用して加速管ディスクの測定を半自動化することができた
・ これによりデータを継続的に取得し、加工エラーを見つけることが容易になった
・ 縦型測定ジグを導入することにより、両面同時測定が可能になり測定精度を向上させることができ、かつ作業の省力化をはかることができた

参考文献

[1] N. TOGE, KEK Preprint 98-176 (1998)
[2] K. TAKATA, KEK R&D OF X-BAND LINACS JLC:PRESENT STATUS

原子核乾板飛跡解析用ピエゾステージの開発

名古屋大学理学部　装置開発室　○石川秀蔵
素粒子物理学研究室　中野敏行

1.はじめに

これまで原子核乾板を用いた素粒子反応飛跡の自動解析はＸＹステージ上に対物レンズとＣＣＤカメラを組み合わせたＺステージ光学系を用いて行われてきた。今回新たな国際共同研究プロジェクト（OPERA 実験）の立ち上げに伴い、解析時間の大幅な短縮が必要となり、読みとり光学系にピエゾアクチュエータを用いた一種の「高速流し撮り」システムの開発を進めている。「流し撮り」には反応飛跡に焦点を合わせながら水平移動するため基本的にＸＺの２軸ステージが必要である。ピエゾ素子駆動の微動ステージは市販されているが、対物レンズの組み込みが可能で小型かつ高速駆動出来る製品がないため新たに開発した。開発した装置は対物レンズを組み込んだＸステージをＺステージに取り付けて 100Hz の速度で２軸同時に 100μm以上駆動するものである。ピエゾステージはワイヤ放電加工により形成された拡大平行バネ構造により直線性±0.05μm以下を達成し、高速駆動についてもほぼ当初の目標を達成することができた。以下に開発したピエゾステージの構造、製作上の問題点、性能試験結果を報告する。

2.装置の概要

Ｘステージ、Ｚステージの概要をそれぞれ図１、図２に示す。基本的な構造はピエゾアクチュエータの変位を拡大平行バネにより所定の直線運動に変換し、ピエゾの戻り時は予圧バネの弾性力を利用するものである。移動ステージの変位量は差動トランスにより検出される。拡大平行バネ部は市販品を参考に設計した。表１に各ステージの仕様を示す。

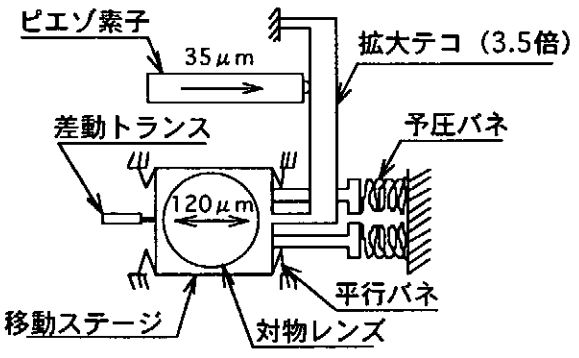


図１　Ｘステージの概要

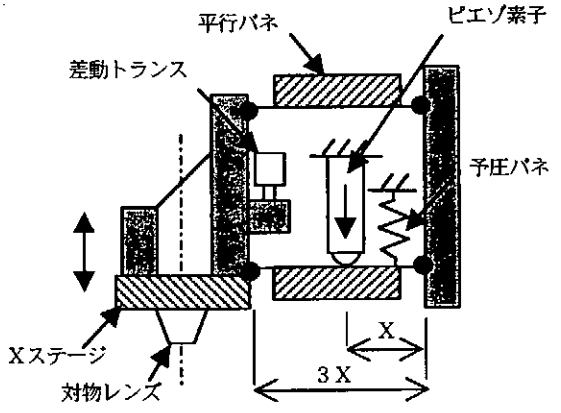


図２　Ｚステージの概要

ステージ種類	移動量（μm）	ピエゾの最大変位（μm）	拡大率	ピエゾの最大圧縮力（N）	予圧力（N）	全重量（g）	移動部重量（g）
X	120	35	3.5	1000	300	120	25
Z	120	40	3	3500	350	800	130

表１　ステージの仕様

3.装置の製作

試作したX、Zステージの写真をそれぞれ図3、図4に示す。材質はいずれも軽量かつ高強度のアルミ材(YH75)を使用した。板厚はXステージが約 15mm、Zステージが約 70mm である。機械加工後にワイヤ放電加工機（ワイヤ径φ0.2）を用いて拡大テコ部および平行バネ部を加工した。段付き加工や中空加工があるため加工条件、加工液処理等の試行錯誤を行い、更にセカンドカットを行った結果、設定溝幅 0.4mm の精度は±0.02mm 以内であった。ステージ組立時に厚さ 0.01mm 単位で組み合わせたシム板を用いて移動部が所定の位置となるように調整した。図5左にZステージに使用したピエゾアクチュエータと差動トランス、図5右に予圧用引っ張りバネを示す。

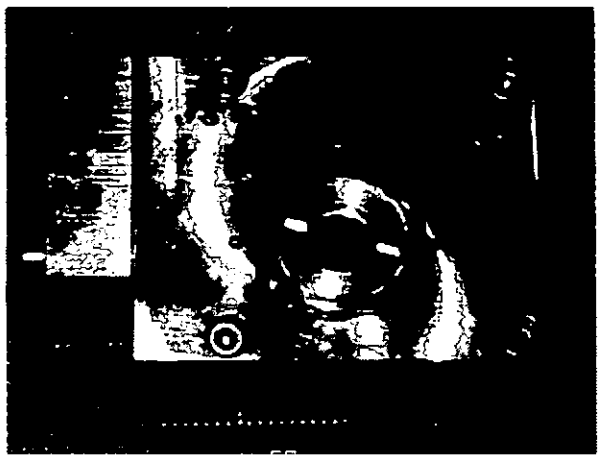


図3　試作したXステージ

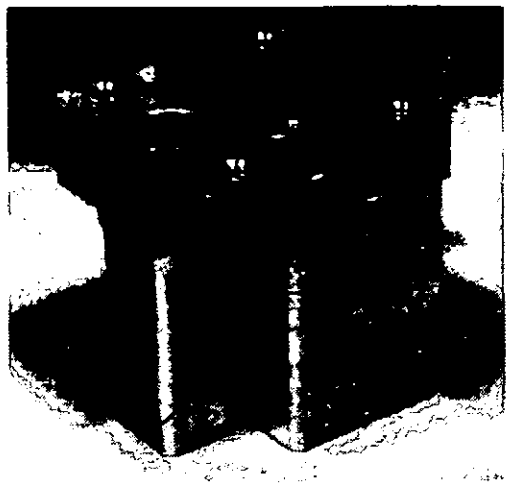


図4　試作したZステージ

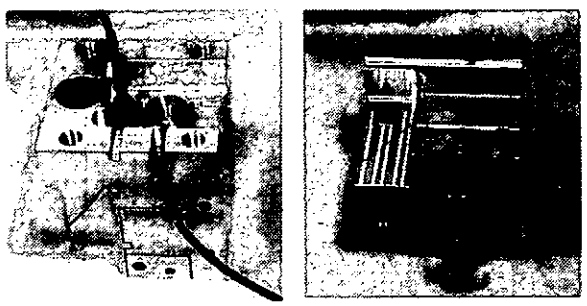


図5　Zステージ組込み部品

4.性能試験と結果

（4－1）移動ステージの直線性

初めにXステージの直線性を測定した。測定方法はステージ下部から照射した光を対物レンズの代わりに取り付けた直径1μmのピンホールに透過させ、顕微鏡上のCCDカメラでスポット光の座標値を演算して求めた。

測定結果を図6に示す。これにより移動ステージの直線性は±0.15μmであることが分かった。ここでXステージの直線性は±0.1μm以下であることが要求されたため改良を行った。拡大機構のハリの長さを再検討し、

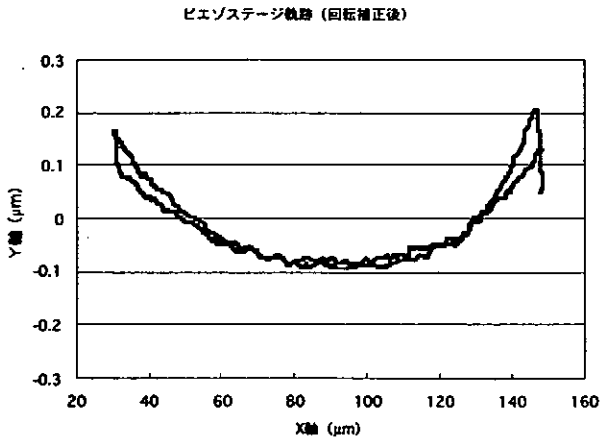


図6　直線性の測定結果

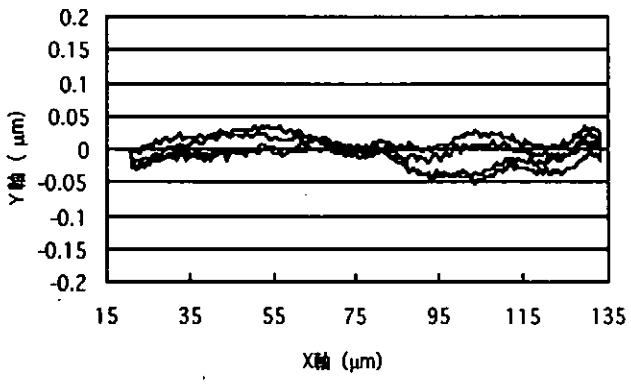


図7　改良Xステージの直線性

最適化した結果、従来の円弧運動を改善して図７に示すように直線性が±0.05μm以下を達成した。一方、Ｚステージの直線性はオートコリメータによる測定結果から±0.1μm以下であることが確認された。

(4－2) 高速駆動試験

Ｘステージに対物レンズと同重量のダミーを取り付けてピエゾに最大振幅で 100Hz の駆動電圧を与えて、差動トランスからの信号を測定したところ、ピエゾ駆動に同期した 100Hz の信号が検出された。

Ｚステージにおいては今回試作した製品の可動部は十分な軽量化がされていないので、測定システムを模擬した 50Hz の三角波をピエゾ素子に与えて、差動トランスからのフィードバック制御をおこなった。その結果を図８に示す。指示値において正の傾きを有する直線部が測定範囲であり、この間の誤差は約±0.1μmとなり、対物レンズの被写界深度が数μmであることを考慮すると十分な高速位置決め精度であることが分かった。

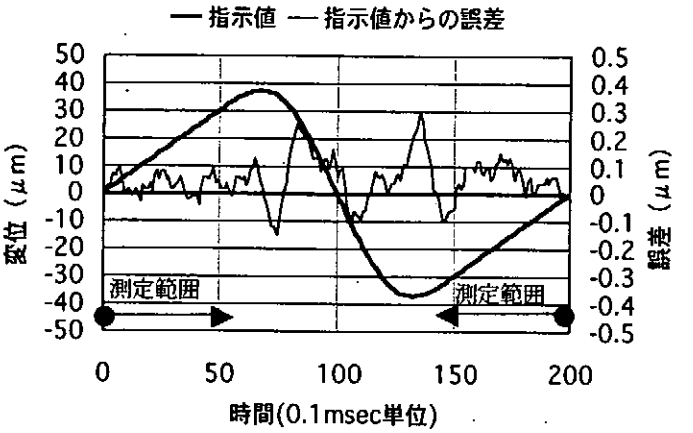
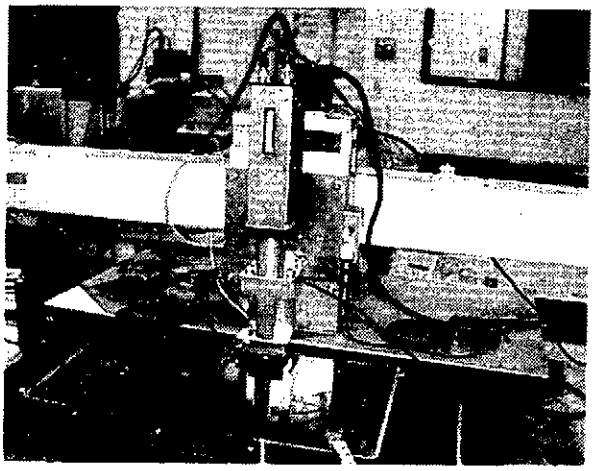


図８　高速試験の結果

(4－3) 総合試験

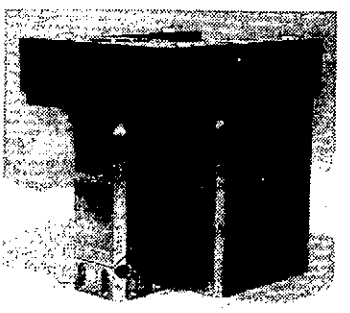
現在、大型ＸＹステージ上に試作したピエゾＸＺステージとＣＣＤカメラを取り付けて解析システム全体の開発をおこなっている（図９）。画像取り込み時の駆動速度は、現状のＣＣＤカメラの読み込みが遅いので目標の１／１０程度であるが、対物レンズの戻り時は目標値の６割程度 (8.3msec) の速度で駆動することができた。


図９　システム全体の開発

5.まとめ

これまでピエゾ素子を用いたステージを試作し、高速読み出し光学システムの基本開発をすることができた。今後、超高速ＣＣＤカメラの採用とピエゾステージの軽量化により 100Hz 駆動を目標に開発する予定である。ピエゾステージの軽量化の例を図 10、図 11 に示す。今回の国際共同研究プロジェクト（OPERA 実験）は５年間の実験が予定されており、長期間の安定した運用が要求される。今後、再現性や耐久性等、本格実験に向けた開発を進める必要がある。


図 10　Ｘステージの軽量化


図 11　Ｚステージの軽量化

回転放物面に対するダイヤルゲージを用いた表面の振れ測定による中心軸決定

国立天文台 野辺山太陽電波観測所
○ 石崎秀晴

1. はじめに

パラボラアンテナの主反射鏡面のような，回転放物面を持つ部品の中心軸を決定する方法を考察した。回転放物面の表面以外には適当な測定基準面を設定することができない場合に，ダイヤルゲージやマイクロメータを用いた表面の振れ測定によって中心軸を求める。この際，回転放物面の中心軸を決定するための道具（仮に治具と呼ぶ）の回転軸を対象とする回転放物面の中心軸に一致させることにより，これを代表させるものとする。

2. パラボラアンテナの中心軸決定作業

図1に示すような，直径80(cm)の主反射鏡面をもつパラボラアンテナの副反射鏡（直径15(cm)の回転双極面）を交換する作業が計画された。この作業を実施するに当たって，副反射鏡の中心軸を主反射鏡の中心軸に対して要求された精度以内で一致させて組立てる方法を構築する必要がある。基本的な考え方として，主反射鏡の中心軸に一致した回転軸をもつ道具（＝治具）を設置し，その中心軸の周りに回転するダイヤルゲージなどを用いて副反射鏡の振れを測定しながら，振れが許容範囲内に収まるように副反射鏡を組立調整する。

副反射鏡の外周部側面は幅3(mm)程度であるが円筒面（測定基準面）になっている。ここにダイヤルゲージを当てて振れを測定すれば，副反射鏡の中心軸の偏心量が検出される。また，副反射鏡の外周部上面にもわずかな幅であるが平面（測定基準面）が存在する。ここにダイヤルゲージを当てれば，副反射鏡が主反射鏡中心軸に対してもつ傾斜角の効果が検出される。偏心と傾斜角は，(副反射鏡取り付け金具に設置された）それぞれ別個の調整ねじにより修正されて位置決めされる。すなわち，治具を用いれば，副反射鏡の偏心と傾斜角は独立して検出され，独立に修正することができ，許容値は比較的容易に達成される。

治具は図2に示すように，主反射鏡中心部に突き出た形の円筒状部品（電波受信ホーン：主反射鏡，副反射鏡で反射された電波はここへ収束する）の上部にかぶせる形で設置されている。治具は電波受信ホーンの上部に固定された部分と，水平方向への変位と垂直軸に対する傾斜角を変化させることができる可動部に別れている。これらは，治具に設置された独立した機構の調整ねじで個別に調整できる。可動部の内部には軸受が組込まれており，その回転軸の周りに（アームによって）取付けられたダイヤルゲージで主反射鏡面を回転しながら測定する。ダイヤルゲージで主反射鏡面を測定し，その振れ測定値から治具回転軸の主反射鏡面に対する偏心と傾斜角が分離して観測できれば，治具回転軸の偏心（水平方向変位）と傾斜角は独立に修正できることになる。

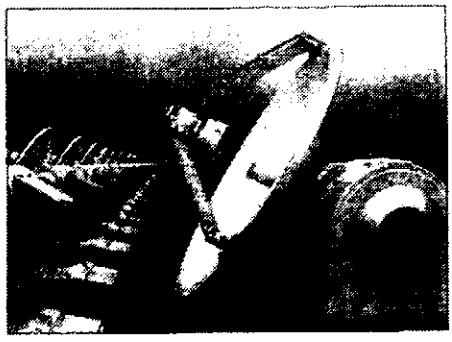


図1 電波ヘリオグラフ素子アンテナ

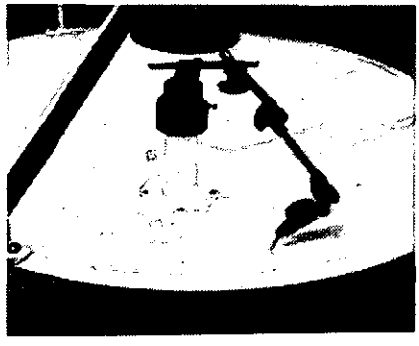


図2 中心軸決定のための道具＝治具

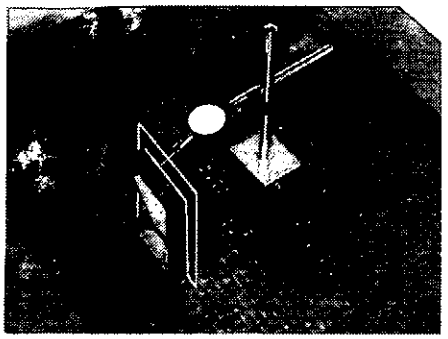


図 3 ブロックの測定

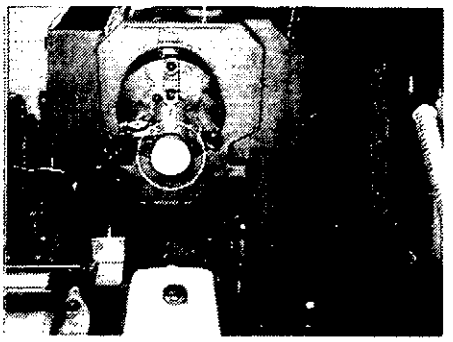


図 4 丸棒の測定

よって，問題はダイヤルゲージで主反射鏡面の振れを測定して，その（治具）回転軸の偏心と傾斜角が分離できるか，という点に帰着する。

振れ測定を行った経験があれば容易に想像できるように，軸が正しく合っていなければダイヤルゲージの指針は誤差に応じて振れる。理想的に軸合わせが完了していれば指針は全く振れないだろう。このときダイヤルゲージの探針の先端部が，主反射鏡面上を通過する軌跡は真円であると考えられる。したがって，この問題の考察はダイヤルゲージ探針の軌跡を明らかにすることから始めよう。

3. 振れ測定作業の定式化

振れ測定，あるいはダイヤルゲージやマイクロメータを用いた測定一般について少し考えてみる。図 3 のようなブロック状の部品は，真直度・平行度や平面度・表面あらさの測定が主に行われる。表面あらさの測定では，触針により断面曲線を連続的に測定，拡大してあらさを求めることが原則的に行われる。すなわち，被測定物を平面で切断し，その切り口の断面形状を観測するものと考える。この考え方を丸棒状の部品の測定にも適用してみると，平面で切断した断面形状を精密に計測し，真円度，円筒度を測定したり，偏心を検出していると考えることができる（図 4）。

そこで治具を用いた振れ測定作業は，図 5 に示すように円柱面で主反射鏡面を切断し，その切り口の形状を精密測定すると考える。想定する円柱面の中心軸は治具の回転軸であり，半径は（治具の回転軸から，これに直交して計る）ダイヤルゲージ探針の先端部までの距離であると定義する。するとダイヤルゲージ探針の先端が移動する軌跡は，（治具をモデル化した）円柱面と（主反射鏡面の）回転放物面が交わることによってできる空間曲線として求められる（図 6）。

4. 作業法の検討

前節の考察により切り口の形状が調べられるようになった。そこで本節では切り口の形状から，偏心と傾斜角を分離する方法を例題を設定して具体的に検討する。

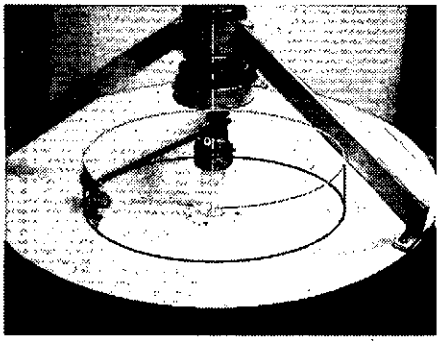


図 5 治具を用いた振れ測定のモデル化

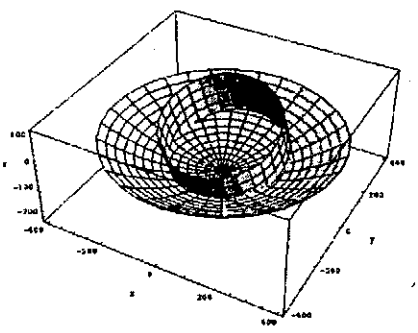


図 6 円柱面による回転放物面の切断

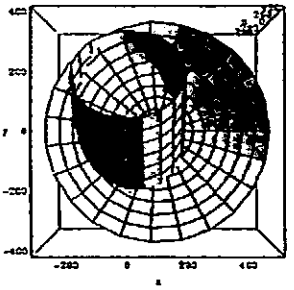


図 7 例題（モデル）

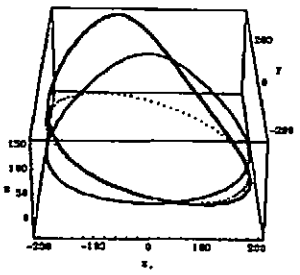


図 8 例題（切り口の形状）

例題のモデルを図 7（回転放物面＝主反射鏡の真上から見た図）に，計算された切り口の形状（斜め上方から見た図）を図 8 に示す。このモデルは，図 8 のように切り口の形状が大きく歪んで見えるように設定したので，実際の誤差量や主反射鏡面の形状からはかけ離れている。

図 8 の太い灰色の実線が図 7 のモデルから計算された切り口の形状である。黒い実線はモデルの傾斜角だけがあり（偏心はない），点線は偏心だけがある（傾斜角はゼロ）とした場合の切り口である。作業の目的が偏心と傾斜角の分離であるから，曲線形状を観察してその手掛かりが得られるか見るために描かれた。しかし，曲線形状を見較べてみても分離の手掛かりは得られないようである。

そこで，具体的な作業方法から検討してみる。軸合わせ作業は主反射鏡面を天頂に向けて作業する。治具の回転軸を天頂に向けることができれば作業の半分は終了する。このことを前提として，治具の回転軸に沿う方向の変位の変動成分（＝振れ）を測定する。どの方向の変位を測っても本質的な相違はないはずであるが，円柱面の中心軸に沿う方向の振れを調べることで何かの手掛かりが得られるかもしれない。

図 9 のようにダイヤルゲージを設定するとして計算した結果が図 10 である。横軸は治具の回転角を表し一回転分を示している。縦軸は振れの大きさである（目盛は任意）。図 10 から，回転軸方向に測ると偏心による振れと傾斜角による振れの効果の間には近似的な重ね合わせの原理が成立していることが分かる。後で示すが，1/100(mm) 程度の測定をする作業者にとっては厳密に成立しているといってもよい。そうすると振れの，偏心と傾斜角の方向が逆で大きさが等しい場合はダイヤルゲージの指針が全く振れないということになる（図 11）。そのような場合は非常にまれにしか起こらないと考えたいところであるが，作業者が振れ測定から得られる情報は，偏心と傾斜角の重ね合わさった量だけなのである。ゆえに，作業者が始めに偏心を調整していて，あるとき偏心がゼロになっても（傾斜角があるから）振れは一定にならず，さらに作業を進めると傾斜角の効果を打消すように偏心を追い込んでしまう危険性がある（図 11）。

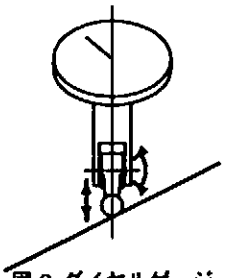
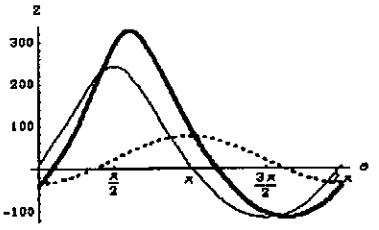
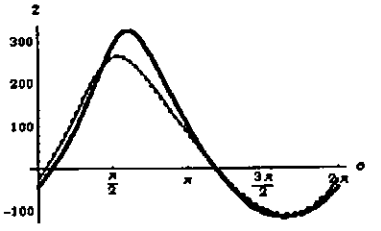


図 9 ダイヤルゲージ
回転軸方向成分の測定



偏心＋傾斜角（灰色実線），
偏心だけ（点線），傾斜角だけ（細実線）
図 10(a) 例題（回転軸方向成分）



偏心＋傾斜角 ≈ 偏心だけ＋傾斜角だけ
図 10(b) 例題（回転軸方向成分）

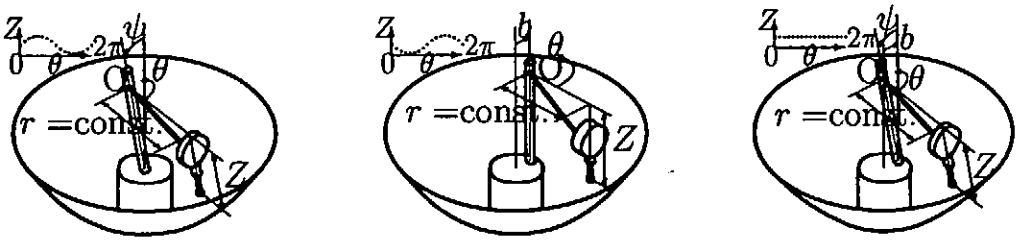


図 11 偏心と傾斜角に重ね合わせの原理が成立していると …

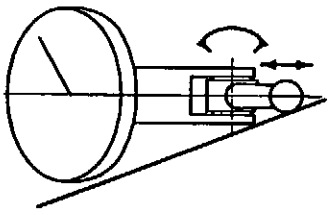
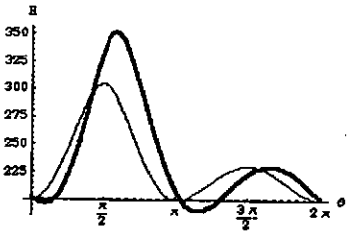


図 12 ダイヤルゲージによる
水平成分の測定



偏心＋傾斜角（灰色実線），
偏心だけ（点線），傾斜角だけ（細実線）

図 13 例題（水平成分）

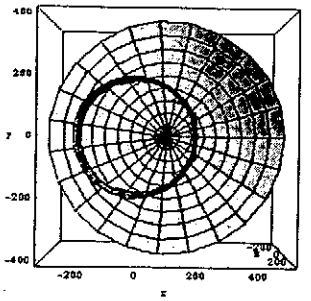


図 14 例題（偏心だけの場合）

そこで，次に図 12 のようにダイヤルゲージを設置するとして，例題の振れの水平成分を計算した結果が図 13 である。図 13 も横軸は 1 回転分の回転角，縦軸は振れ（単位は任意）を表している。ここで，注目すべきことは偏心と傾斜角の効果には重ね合わせの原理が全く成立しておらず，特に偏心だけの場合は振れが常に一定であるということである。偏心だけというのは図 14 の場合である。すなわち，円柱面は回転放物面の中心にはいないが垂直に立っている。このとき振れの水平成分を測定すれば一定となる。なぜなら，円柱面を真上から見れば真円にしか見えないのであり，円の半径は一定だからである。

ようやく，軸合わせ作業を実施する手掛かりがつかめた。最初，図 7 のようであるときにダイヤルゲージを図 12 のように設置して，振れの水平成分を測定する。すると図 13 の灰色実線で示すような振れが測定される。そこで，この振れが小さくなるよう治具（円柱面）の傾斜角だけを調整する。どうにかして振れが一定になれば，図 14 のように治具は垂直になっている。つぎに，ダイヤルゲージで鉛直成分（どのように測っても，水平成分は変動しない）を測定して偏心だけを調整すれば，治具の回転軸は主反射鏡面（回転放物面）の中心軸に一致する。以上の手続きで作業は完了することができる。

作業対象のアンテナの形状と，仕様で規定されている偏心（0.1mm）と傾斜角（0′5）の許容値に等しい誤差がある場合（表 1）の振れの測定値を計算した結果が図 15 と図 16 である。横軸は治具の回転半径を表しており，現実的に測定可能な範囲（$100 \lessapprox r \lessapprox 300$(mm)）を示している。縦軸は振れ（peak-to-peak）の値 (mm) である。図 15 から，半径 220(mm) 程度で水平成分を測定して振れが ±0.02(mm) 以内になれば傾斜角の調整は終了する。つぎに図 16 より，半径 280(mm) 程度で鉛直成分を測定して振れが ±0.05(mm) 以内に収まれば偏心の調整，すなわち軸合わせ作業が完了する。

5. まとめ

回転放物面に対して，表面の振れ測定により偏心と傾斜角をともに制御して中心軸を決定しなければならない場合（治具の回転軸を回転放物面の中心軸に一致させることでこれを代表する），

(1) 振れ測定値の水平成分が一定となるように，回転軸の傾斜角を調整すれば，回転軸は垂直になる。
(2) つぎに，振れ（の鉛直成分）が一定となるように，回転軸の偏心を調整すれば，回転軸は中心軸に一致する。

主反射鏡面に関する量	280(mm)	頂点と焦点の距離
	180(mm)	治具の回転中心と頂点の距離
	0.1(mm)	偏心量 仕様による許容値
円柱面に関する量	100〜300 (mm)	治具の回転半径 （可能な範囲）
	0′5	傾斜角 仕様による許容値

表 1 計算に用いた諸量

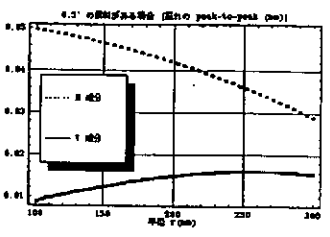


図 15 実際に 0′5 の傾斜角
がある場合の測定値

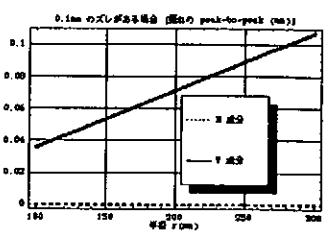


図 16 実際に 0.1mm の偏心
がある場合の測定値

超高圧実験用の八面体圧媒体製作用治具の試作

広島大学　理学部　特殊加工技術開発室
石飛　義明

1．はじめに

地球深部（マントル）を構成する鉱物の物性を研究する方法のひとつに，高圧発生装置を用いた超高圧実験がある。今回，高圧発生装置のうち最もよく使われるマルチアンビル型高圧発生装置による実験の際に使われる圧媒体（正八面体）を成形する治具を試作した。この治具は，底面の一辺が１１ｍｍの正方形をした四角柱（ＭｇＯ焼結体）から正八面体を成形するものである（図１）。

現在，一般的に使用されている製作治具は２つの独立したパーツからなり，Ｖブロックを斜めにカットしたような形をしている。そのブロックに圧媒体を置き指で押さえながら成形するが，高圧実験に使用可能な精度の圧媒体を成形するためには，使用者の熟練技術が必要であった。この問題点を解決する圧媒体製作治具を試作した。

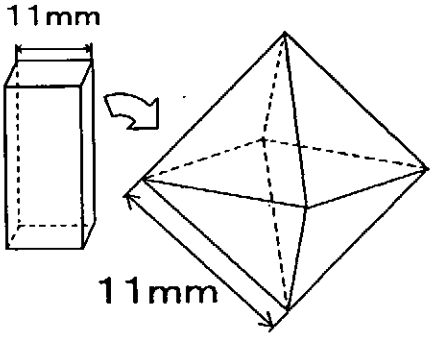


図１．八面体圧媒体

2．治具の試作条件

治具の試作条件は以下の２点である。

（１）手軽に持ち運びができること。

（２）使用者を選ばずに圧媒体を簡便を成形できること。

3．試作治具１

最初の案は持ち運びが手軽になるように極力小型化し，少ない工程で圧媒体を成形できるような治具を目指した。この治具では，圧媒体は２枚のプレート（写真１のａ，ｂ）で挟んで固定され，そのプレートをガイドにして研磨される。

治具は汎用フライスと汎用旋盤で，また角度のついたガイド部（写真１の ｃ）はワイヤーカット放電加工機で加工した。試作した結果，非常に小型の治具ができたが，圧媒体成形の際に以下のような問題点が生じた。

（１）小型ゆえ，治具を保持する際に指に力が入り圧媒体を数多く作るときには指先に相当な負担がかかる。

（２）ガイド（写真１のｃ）の面積が小さいためにガイドの磨耗が早く長期間の使用後には成形される圧媒体の精度が落ちてしまう。

このような問題点を検討し，新たな治具を試作した。

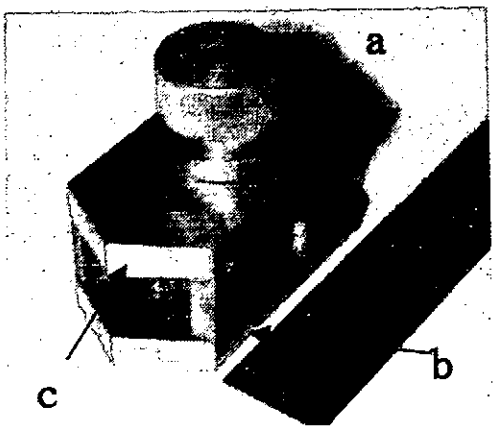


写真１．試作治具１

4．試作治具２

試作１をもとに，治具を安定させるために治具を大型化させた。また，ひとつの治具で圧媒体が成形できるようにした。圧媒体の固定方法は試作治具１のように上下に挟む方法ではなく，治具中にはめ込む方法を採用した。この方法によりガイドの面積を大きくすることができ，治具の磨耗を極力抑えることができる。圧媒体の固定は本体の横にネジ穴をあけ，ネジで固定する方法を採用した。

本体（写真２のａ）はステンレス鋼（ＳＵＳ），ガイド（写真２のｂ）にはハイス（ＳＫＨ４）を選定した。理由は，ＭｇＯは硬く，その研磨にはダイヤモンドヤスリ及び砥石の使用が必要であり，そのために治具には耐磨耗性に優れた材料を用いる必要がある。

本体及び角柱部（写真２の ｃ）は汎用フライスで，ガイド固定部（写真２のｄ）はワイヤーカット放電加工機で加工した。また，ガイドの外形はワイヤーカット放電加工機で加工し，穴あけ（３ｍｍ）及び座グリ（６ｍｍ）は，まず超音波加工機で下穴（２ｍｍ）をあけ，その後ワイヤーカット放電加工機及び超硬エンドミルで加工した。四角柱が入る穴（写真２のｅ）はワイヤーカット放電加工機で加工した。

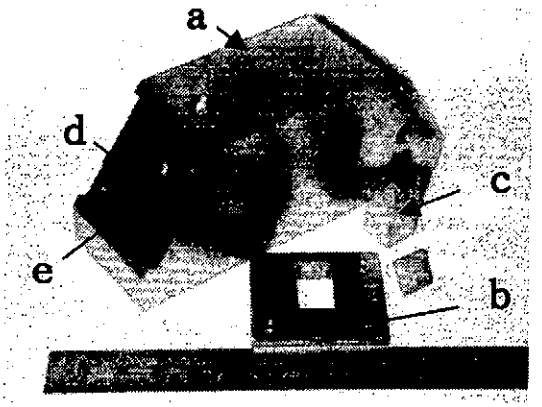


写真２．試作治具２

圧媒体を治具に固定する際，ネジによって圧媒体の成形した面を傷つけないために，直接ネジと圧媒体が接触しないように緩衝材としてアクリル棒を入れる。

5．試作結果

試作治具２を使用して圧媒体を成形し，以下の結果を得た。

（１）超高圧実験に使用可能な精度の良い圧媒体が成形できた（写真３）。

（２）今まで２つのパーツからなっていた治具を１つにし，より簡便な治具となった。

（３）圧媒体をネジでしっかりと固定し，ガイドを使って研磨していくため，誰でも簡単に，かつ，精度の良い圧媒体を成形することができるようになった。

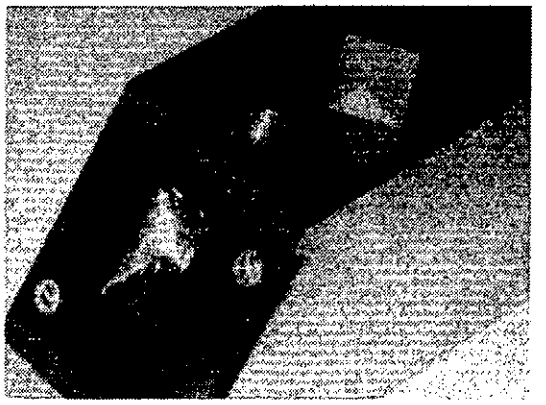


写真３．成形した圧媒体と治具

6．おわりに

当初，圧媒体製作治具の良いアイデアが浮かばず試作に入るまでに苦労した。特に，小型化にこだわりすぎて圧媒体の成形工程をうまく想像できなかったために，試作治具１はやや使い勝手の悪い治具となってしまった。しかし，試作治具２は，これまで使用されていた治具よりも優れた物ができたようである。

圧媒体の研磨の方法であるが，まず荒削りにダイヤモンドヤスリで形を整えて，仕上げ削りに砥石を使う方法が良いことが分かった（写真４）。また，ガイドの加工には超音波加工機を使用したが，予想していたよりも加工が困難であったので，最初から超硬ドリルと超硬エンドミルで加工した方が良いようである。



写真４．砥石による研磨

今後の課題としては以下のことを考える必要がある。

（１） 四角柱から圧媒体を成形する時に今よりも材料を無駄にしない方法。

（２） 圧媒体のダイヤモンドヤスリ及び砥石による研磨に対する，ガイドのより耐磨耗性に優れた材料の選定。

謝　辞

この報告に際し御指導いただきました広島大学　大学院理学研究科地球惑星システム学専攻　安東淳一助手，柴田恭宏技官。特殊加工技術開発室　石佐古早実技官，新谷博志技官その他技術職員の皆様には深く感謝申し上げます。

ＣＮＣ旋盤による球体加工とその評価

名古屋大学工学部・工学研究科技術部
○涌井義一　小塚基樹　白木尚康　山本浩治
熊澤克芳　鷲見高雄　星野善樹
静岡理工科大学工作センター
行平憲一

1．はじめに

我々の身のまわりには、球面加工が施された部品がたくさん見られる。球面製品は医療・福祉関係のグリップ、にぎり玉、取手、ロボット関係のマイクロマシン等あらゆる部品に使われている。また、プラスチックの成型金型の凹型として球面部品が使われている。ＣＮＣ旋盤を用いて球体加工するとき、仕上がった球面部分を突切りバイトで切り落とし、残りの未加工球面はリング状冶具を用いて加工していた。

我々は、1チャッキングで球体加工が出来ないか考えた。球体加工しながらを徐々に細くして行く加工方法である。根元の軸球面に取付用の取付ネジがあると球面加工が出来る事になる。

そこで、球面あるいは球体加工は、最適なプログラム条件の設定及び、球面の切り落とし、その後の加工手順等を明確にする事が必要とされている。上記の方法で球体加工を行った。更に、加工物を三次元測定機により球体加工物の精度・評価を試みたので報告する。

2．球体加工

図1は球体部品の概要図である。球体加工はＮＣプログラムでアルミニウム丸棒をＲバイトで外径より順番に切削して行く。ビビらない範囲内で根元の軸を出来るだけ細く仕上げながら球面の半分以上を切削する。

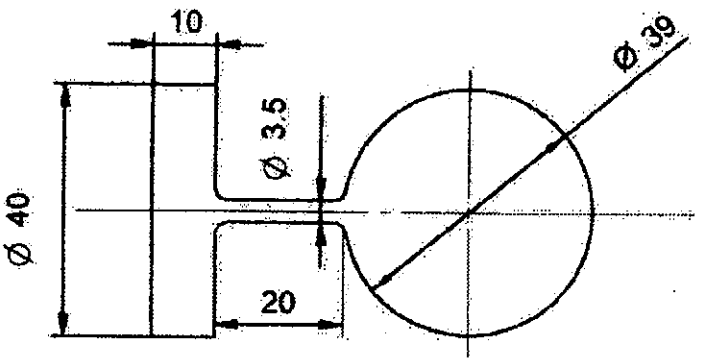


図１：概要図

次に、仕上げた球面部品を突切りバイトで根元の軸を切り落とす。そして、残りの未加工球面はリング状冶具を用いて、ＮＣプログラムで残りの未加工球面部分を切削して球体加工が完成する。しかし、今回の球体加工は球面がたくさん削れて、リング状冶具を用いない一体加工方法である。図２のようなＮＣプログラム加工で、①で突切りバイトでビビらない範囲内でφ１４に切削する。切削条件として、回転数２００ｒｐｍ、切削速度６０ｍｍ／ mim で溝を切削する。球面加工が最大限切削できる片刃バイトを用いて、②で超硬左片刃バイトで球面切削をする。③で超硬右片刃バイトで先端部分の球面切削をする。その時、①は切削箇所の直径が１４ｍｍ以下になると、先端部分の球面がブレやすいため、良好な仕上面が得られない事が分かった。

そのため、心押台を使って切削する事を考えた。心押台で先端球面をテフロンを介して押さえながら、④で再び突切りバイトでφ１４から３．５ｍｍに切削した。⑤で左片刃バイトで残りの球面を

滑らかな曲面形状を有する仕上面にする。最後に突切りバイトで根元の軸を切り落とす。もし、切り落とし口に3．5mm以上の取付ネジ等あるなら、これで球の形状加工が完成する。

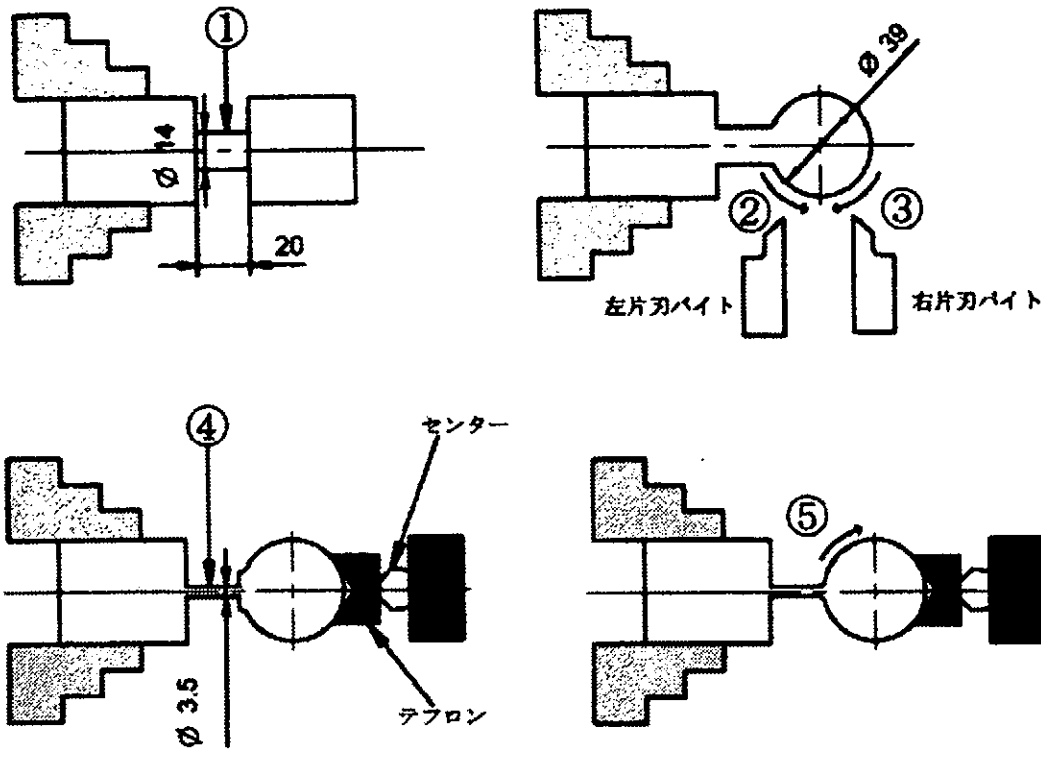


図2：球面加工の切削手順

3．球体の測定

三次元測定機を用いて、図3のような取付方法で球体を固定して先端球体部分を0°とする。φ2mmルビー測定子で縦方向をZ軸とし、横方向をX軸、Y軸一定でアルミニウムとステンレスの39mm球体を三次元座標で測定した。その結果、図4のように計算値と測定値がほぼ線上にある事が分かった。

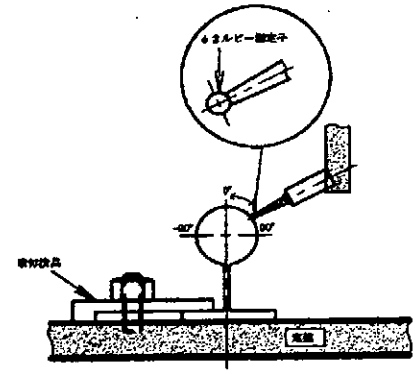


図3：三次元測定機の測定方法

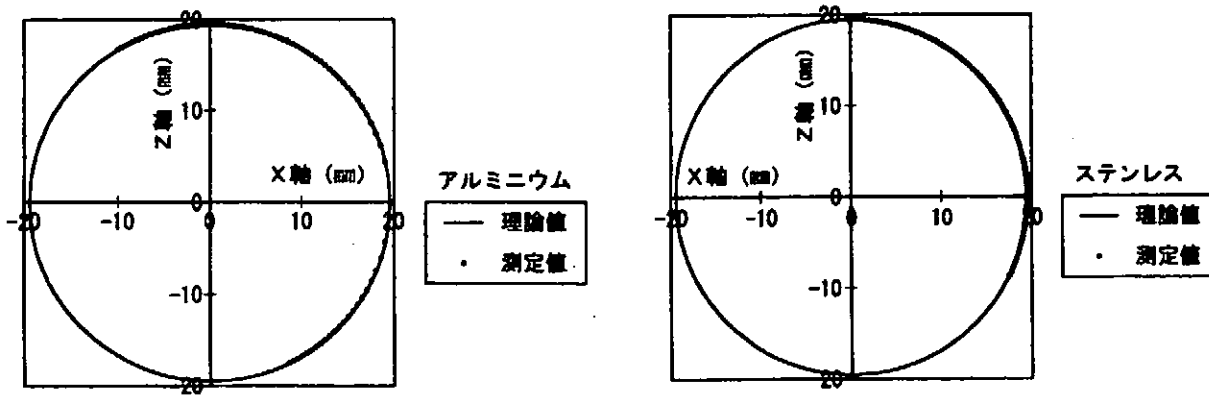


図4：三次元測定機による測定値

また、図５は球面半径１９．５ｍｍに対する誤差を表したものである。横軸は先端球体部分を０°とする角度、縦軸に球面半径誤差をとる。アルミニウム（１７Ｓ）の切削は超硬右片刃バイトによる先端球面に少し大きめの値が出た。また、６０°付近には心押台を用いて切削したため、心押台で押された球面にテフロンの付着物が着いて測定値が大きくなった可能性がある。また、超硬左片刃バイトで球面切削部分には少し球面半径より小さめの値になった。これは材料の違いによる超硬右片刃バイトによる先端球面半径中心と、超硬左片刃バイトによる球面半径中心が、０．０１～２ｍｍ重なったものと思われる。

ステンレス（ＳＵＳ３０４）切削においては、超硬右片刃バイトではほぼミクロンオーダーで出来ている。しかし、超硬左片刃バイトで球面切削部分は、９０°からだんだん大きな値になっている。これは、材料の違いによる中心ずれでだんだん半径が大きくなった。ＮＣプログラム上では、球面半径中心が同じでも実際の加工では、ＣＮＣ旋盤そのものの誤差（バックラッシュー等）があり少しずれた事が分かった。

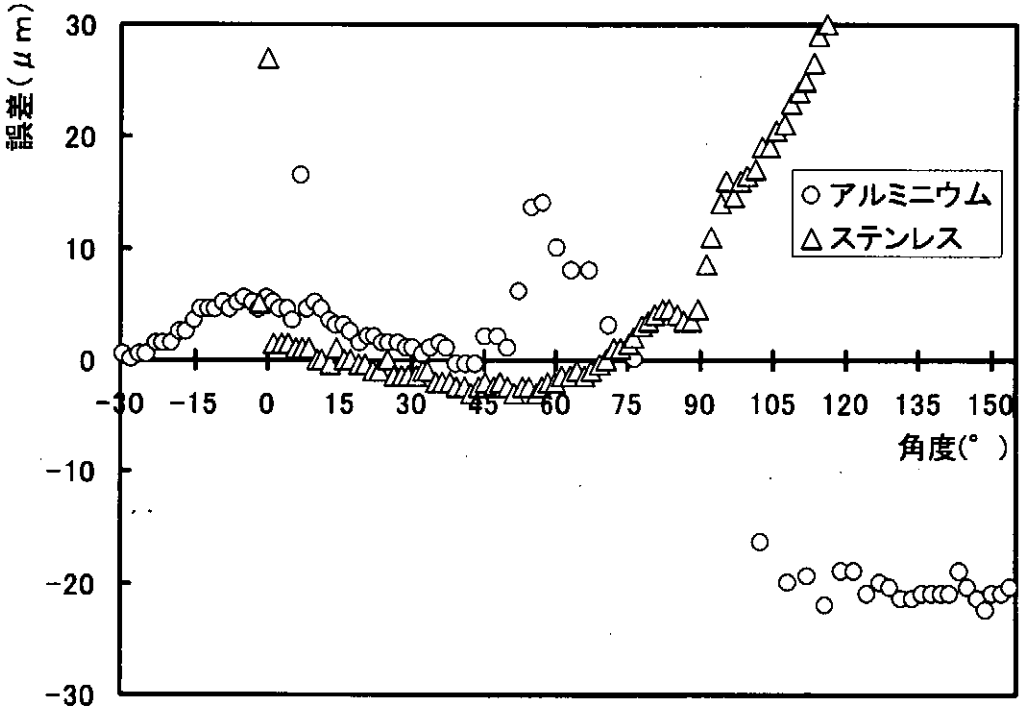


図５：球面製品の半径誤差

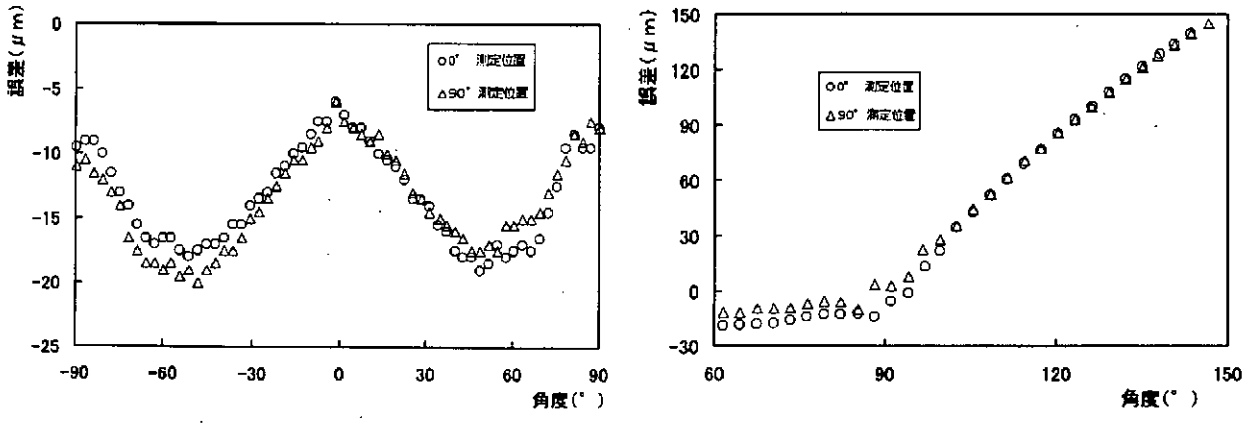


図６：測定位置による半径誤差（アルミニウム）

これらの測定結果より、作り直した球体製品は測定ラインによる半径誤差を図６に示す。０°のラインと９０°ずらした円周上のラインでは、ほとんど誤差の違いは見られなかった。しかし、右片刃バイトで球面切削した５０°付近に特徴的なくぼみがある事が分かった。作り直した球体製品は写真1に示す。

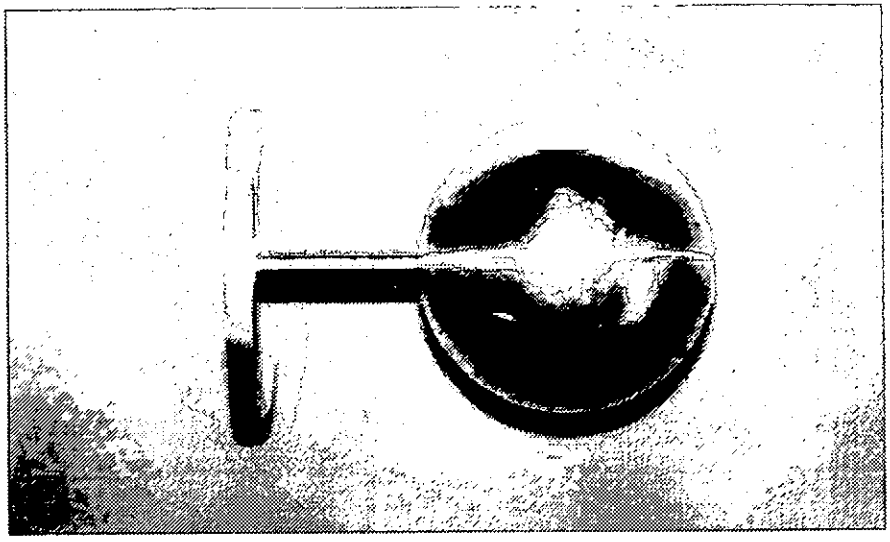


写真１：球体製品

４．まとめ

（１）今回の球体加工は取付ジグがいらないため、経費節約になる。

（２）球面の凹凸は肉眼では分からなかったが、三次元測定機によって球面半径誤差があきらかとなった。

（３）今後の課題

球面うねりの原因の追求、球面つながり切削段差の減少、球面中心ズレをミクロンオーダーにおさえる加工方法を検討する。

５．謝辞

球体加工にあたり、名古屋大学工学研究科の応用物理学教室工作室の工作室幹事である理工科学総合研究センター中村新男教授に貴重な指導・助言を頂き、感謝の意を表します。

ＩＴ対応型機械加工システムを用いた実習教育の取り組みについて

熊本大学工学部　技術部　機器製作技術系
○倉田　大，勝尾真次郎，神之田信幸，
中村秀二，白川武敏，清水久雄

１．はじめに

熊本大学工学部知能生産システム工学科（機械系コース）では，平成13年度から「ネットワーク型・精密機器製作教育システム」によるＩＴ対応型機械加工システムを用いた「機器創造実習」という技術実習教育を実施し始めた．この実習教育では，インターネットを利用して，学生が自ら部品等を創案し，ＣＡＤ/ＣＡＭシステムと自動機械加工システムにより企画から設計・製作に至るまでの過程を体験させ，企業が行う製作技術と乖離のない先端加工技術を用いて製作させることを目標としている．本実習教育を行うにあたり，実習担当者が，新しく導入したＣＡＤ/ＣＡＭシステム，生産加工統合監視制御システム，パレット付マシニングセンタ（ＭＣ）やハンドリングロボット等の技術の修得を行った経過や問題点について報告する．

２．実習概要

２．１実習方法

１．機器の企画創造実習
　１）インターネット利用機器創造実習
２．機器の設計製作実習
　１）３次元ＣＡＤ/ＣＡＭ実習
　２）マシニングセンタとロボットによる自動機械加工実習
　３）ネットワークを用いた遠隔操作自動機械加工実習

２．２実習内容と受講回数

実習内容は，講義と実習の内容に合わせ８つのテーマ内容とそれぞれの受講数に配分された．以下に実習内容と受講回数を示す．

１．機器創造実習および生産システムの説明（１回）
２．ＣＡＤ/ＣＡＭの講義と実習（２回）
３．ＭＣとロボットによる機器製作の講義と実習（２回）
４．ネットワーク機器製作システムの講義と実習（１回）
５．ＩＴを用いた情報収集及び機器部品の設計（３回）
６．設計した部品のＣＡＤ/ＣＡＭデータ作成（１回）
７．リモータブル工作機械による製作実習（２回）
８．実習整理（レポート作成および整理等）（３回）

２．３実習場所

実習では，受講希望した多くの学生を出来るだけ個々に実習教育することが必要となるため，受講生を８班（１０名/班）に分け，実習施設と機器設備の関係で４箇所に分散して行った．以下に実習場所を示す．

１）部品機器の創案・企画（情報統合教室）
２）３次元ＣＡＤ実習（機械製作学研究室）
３）ＭＣとロボットの実習とＣＡＭ実習（中央工場）
４）遠隔操作自動機械加工と手作業の実習（中央工場）
５）実習整理とレポート作成（講義室）

２．４実習機器

工学部中央工場内に新設された「ネットワーク型・精密機器製作教育システム」の室内には，３次元ＣＡＤ/ＣＡＭと生産加工統合監視制御システムのソフトウエアがインストールされたパソコンが２台，パレット付マシニングセンタと工作物の搬入出を行うハンドリングロボットが新規に導入された．図１は，自動機械加工システムの外観である．この他，精密加工を行うためのＣＮＣ精密平面研削盤が導入された．以下に導入機器を示す．

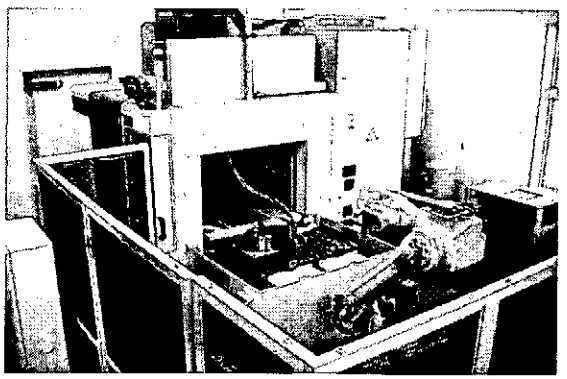


図１　自動機械加工システム

１．ＣＡＤ／ＣＡＭシステム
　Auto CAD MDT R5　［オートデスク（株）］
　Pocket CAM　［（株）テクノロジック］
２．生産統合監視制御システム
　CIMPLICITY HMI　［ファナック（株）］
３．立形マシニングセンタ　［（株）森精機製作所］
４．工作物搬入出用ロボット　［ファナック（株）］
５．ＣＮＣ精密平面研削盤
　［（株）岡本工作機械製作所］

2．5実習での製作部品

学生に自ら企画・創造させた部品を製作することが肝要であるが，実習時間や機器，設備，施設の制約により，製作する工作物の基本形状を決めた．図２は，実習で製作する工作物形状の基本形を示す．

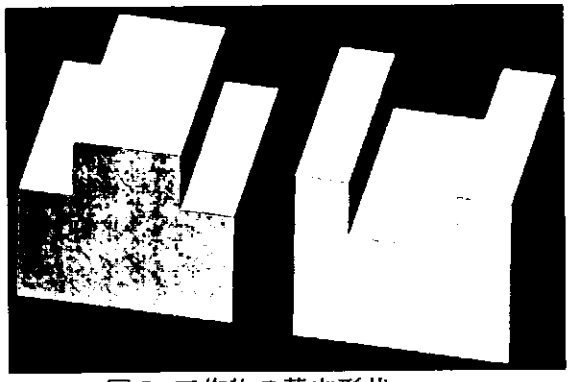


図２ 工作物の基本形状

この実習では，３次元ＣＡＤにより設計・製作される工作物が，図面上の寸法と互いに組み合せることのできる加工上の寸法の違いや加工時における熱変形やバリ発生等により，実際には，組み合せ出来ないことが生じることも体験させた．このことは，機械製図での寸法公差と機器の加工精度について認識ができた．また，加工時に発生するバリの処置として，手作業によるバリ取りの実習も行っている．図３にＣＡＤ/ＣＡＭシステムと自動機械加工システムによって学生が製作した工作物例（a），（b）を示す．

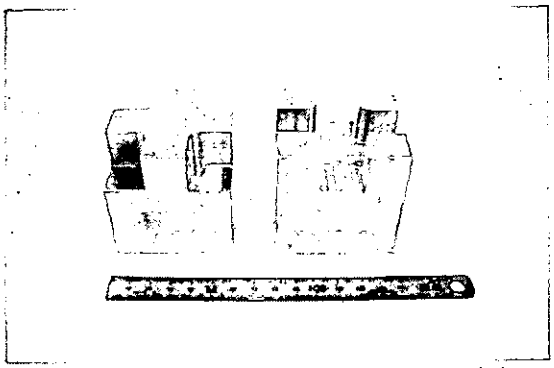


図３－１ 学生製作による工作物例（a）

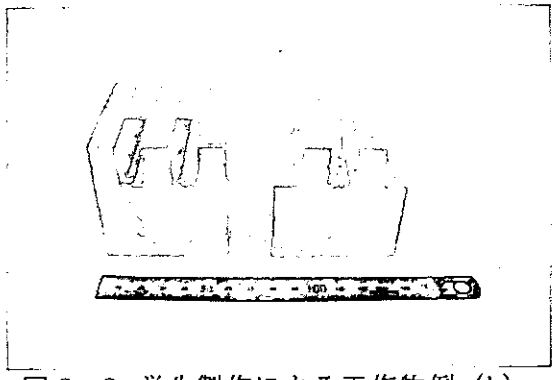


図３－２ 学生製作による工作物例（b）

3．マシニングセンタとロボットの自動加工技術の修得

工学部中央工場にパレット付マシニングセンタやハンドリングロボットが導入されたのは初めてである．したがって，それらの機器の操作技術については，学生教育の前に，十分な技術修得を行う必要があった．ロボットの基本操作については，企業において教示・操作および安全管理についての４日間の研修を受講した．また，システム運用とマシニングセンタ操作については，企業からの技術担当者により２日間の講習を受講した．その他，ＣＡＤ/ＣＡＭシステムと生産システムの監視・制御のソフトウエアの取り扱いにおいても技術担当者の講習を受けた．これらの研修は短期間のもので，ほとんど自ら技術修得を行うことを余儀なくされた．また，中央工場における主業務を行いながらの技術の修得には困難を要した．

4．おわりに

実習教育のために導入された機器装置の操作技術を修得し，運用するに至るまでには，多くの時間を要した．特に加工実習で行うマシニングセンタとロボットの作業上の安全には，十分注意を払った．また，ＣＡＭによって出力されたＮＣプログラムとポスト選択機器（マシニングセンタ）との整合性やプログラムミスの無いようチェック作業を数回の行い，安全の確認を実施した．

学生実習についてのアンケート結果によれば，学生からの評価は，概ね良好と言えるものであった．しかし，初めての取り組みでもあり，学生が実習機器を実際に操作する時間が少なくなる場合が多々あり，また，実習内容においても十分な技術や技能の修得とまで行かない点が多く，今後の技術の向上と実習方法や内容検討の課題となっている．

謝辞

この実習教育の研究の一部において，科学研究費補助金（奨励研究Ｂ）の助成を受けていることを報告し，関係各位にお礼申し上げます．また，研究発表にあたり，ご指導いただいた熊本大学工学部安井平司教授，坂本重彦講師に謝意を表します．さらに，ご協力いただいた関係職員に感謝申し上げます．

参考文献

安井・坂本・倉田他８名：先端加工技術実習教育の試み（第１報）－リモータブル機械加工システムを用いたIT対応型先端加工技術実習教育－2001年度精密工学会九州支部　長崎地方講演会講演論文集

ＣＡＤＣＡＭマシニングセンターの概要及び製作サンプルの紹介

名古屋大学工学部・工学研究科技術部
○山本浩治　白木尚康

1．はじめに

平成13年3月に設置されたCADCAMマシニングセンターの概要説明を行うと伴にCAD図面からのCAM操作,さらにはマシニングセンターでの加工手順を製作したサンプルの一部を用いて説明することを目的としている.

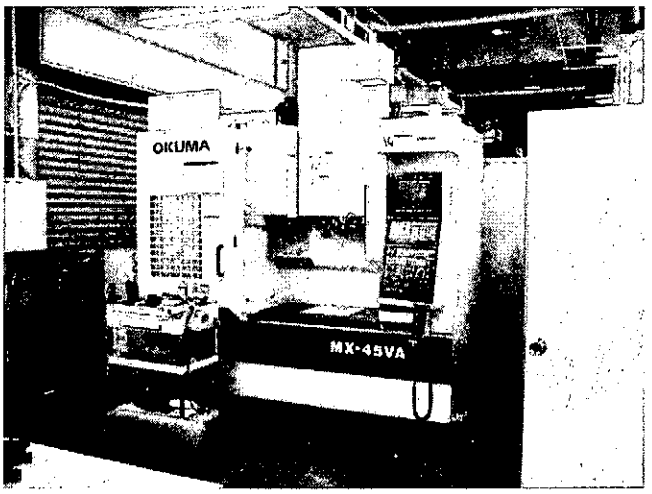
CADCAM・マシニングセンターとは？

CAD 図面をもとに CAM を行い NC データ作成後、マシニングセンターに送信することにより多種多様な切削工具を使用して自動的に製品を加工するものである.

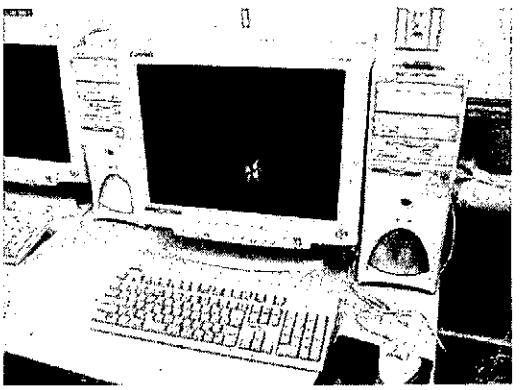
CAM とは？

切削工具が移動する経路(道順)を計算させ、NC データ作成までのプロセス

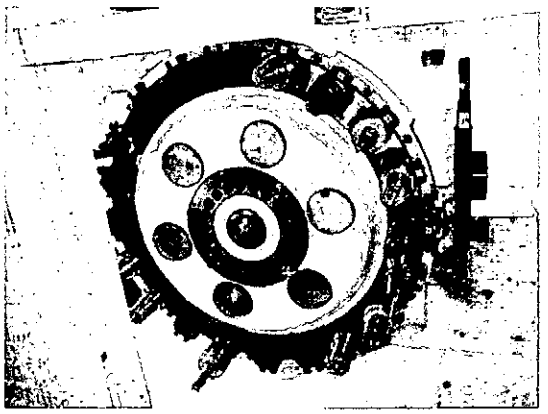
2．設　備



マシニングセンター:OKUMA　MX－45VAE



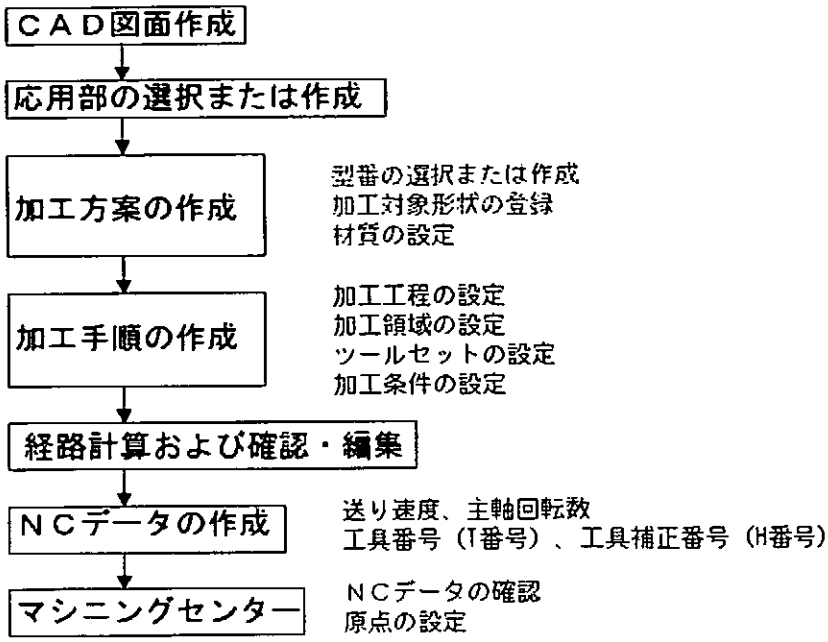
CADCAMコンピューター
ソフト:日本ユニシス　CADCEUS (OKUMA 仕様)



マガジン

X軸移動量:762mm
Y軸移動量:460mm
Z軸移動量:450mm
主軸回転速度:50～7000rpm
ツール収納本数:　20 本

3．製品製作の流れ(3DNCの時)



(1)CADCEUSのPCでCAD図面の作成　※CADCEUS以外のCADソフトでもIGES形式で出力することが出来ればCADCEUSに取込みが可能

(2)CAMの計算を行う.

①応用部の作成

応用部にはCAMを行うために必要な情報(工具、ワーク材質等)が収納されている.※既存の応用部が使用可能

②型番の作成

型番は3次元NCデータ及び各計算結果等の作成される場所である.

※既存の型番を使用することが可能であるが1つの型番内に複数の加工物のデータを作成収納すると整理する時に困難になるのでなるべく新規に作成した方が望ましい.

③加工方案の作成

加工方案はCAD図面をCAMの計算が行えるよう加工対象形状等を登録する場所である.

④加工手順の作成(経路出力)

加工手順は加工工程、経路名、加工領域、ツールセット、加工条件から構成されている.

○加工工程:経路計算の最小単位で、1加工工程ごとに、加工領域と加工条件、ツールセットを指示する.また、1加工工程につき1つの経路が作成される.

○経路名:作成する経路の名称(任意または自動)

○加工領域:経路作成対象の領域

○ツールセット:加工条件に合った工具を設定する.

※使用する工具がワークを加工する上で適しているものを設定する.例えばエンドミルの全長が短いことによりホルダーがワークに接触する危険性がある.

○加工条件:選択した加工工程の条件を設定する.(残し量、送りピッチ量等)

○計算した経路を確認および編集をする.

⑤3次元のNCデータ作成

3次元で作成したNCデータはKATABAN内に作成される.

加工手順で作成した経路を使用してNCデータを作成する.

ここで一番注意することは工具番号:T番号

T番号に対する工具長補正番号:H番号を必ず入力すること.

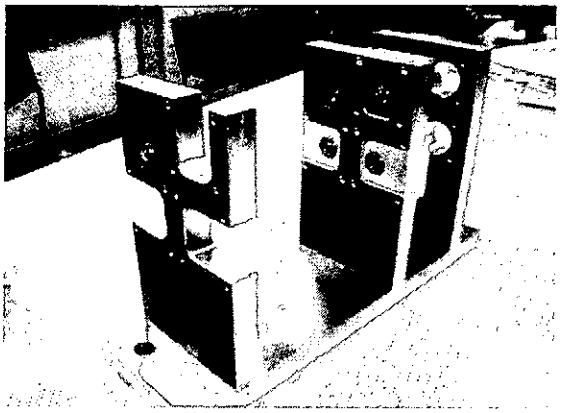
※okuma製NCデータ変換ソフト使用

(3)NCデータをマシニングセンターに送信する.

(4)マシニングセンターにより自動加工する.

※ワークの固定方法及び原点の設定は必要

4. サンプル1(回転装置)



製作目的:機器試作の依頼を請け負う時の体制を検討するために行った.
※ライノ CAD で作成したデータを IGES 変換し、CADCEUS に取り込む

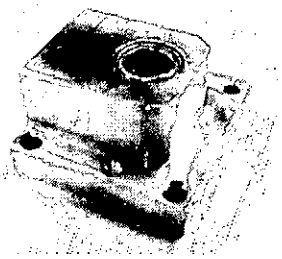
製作時間:約4時間40分

機器試作の受注方法

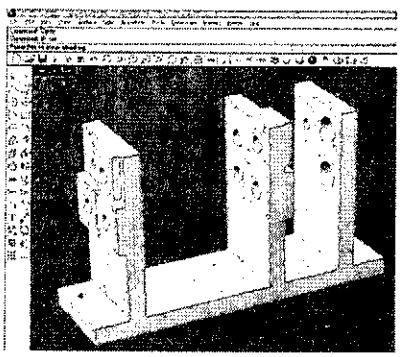
サンプル1の1部品(ユニット1)を例として流れを紹介

(1)製作担当者と発注者の打ち合わせを行い、発注者に CAD 図面の作成を指示する.

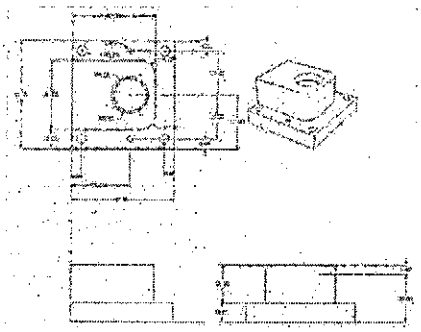
(2)製作担当者はネットワーク等により送られてきたIGES 変換された CAD 図面をもとに CAM を行う.



ユニット1 製作時間:23分1秒



ライノ CAD で作成した3D 図面



ユニット1を2D 図面に展開した状態

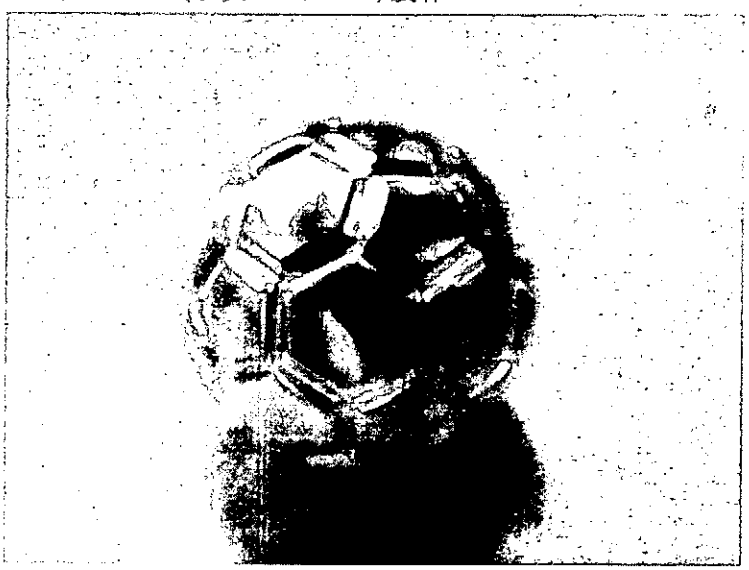
(3)製作担当者がマシニングセンターに NC データを送り加工を行う.

利点:

①三面図では分かりにくい形体においても3D化により理解しやすい

②CAMを行うPCでCAD図面の作成が不要

4. サンプル2(サッカーボール)製作



製作目的:多数面からの加工(ワークのつかみ換え)による製品の製作および球体には必要ないX軸、Y軸の位置出し(縫い目)が困難である. これを治具の製作により行う.

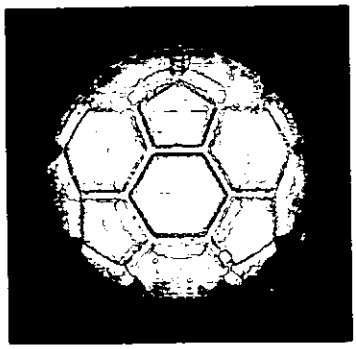
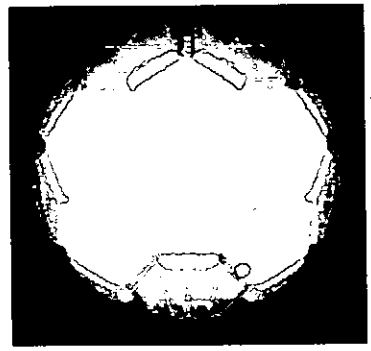
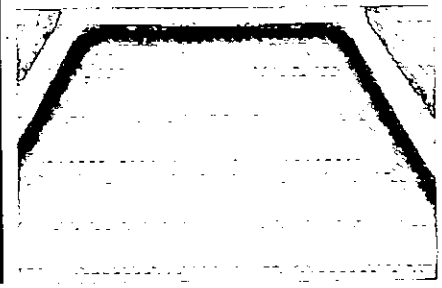
製作時間:

工程1, 3 各47分55秒

工程2, 4 各48分50秒

工程5 29分20秒

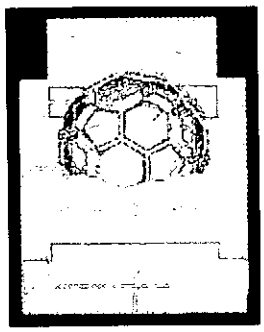
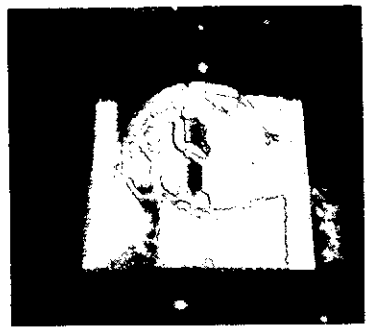
工程6 27分55秒

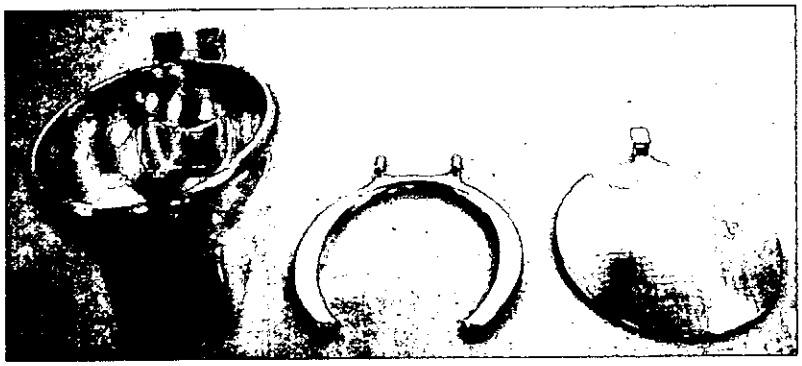
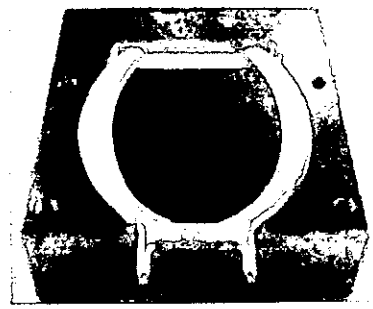
等高OFSの経路(工程1)　　新スキャンの経路(工程1)　　拡大した新スキャンの経路

○マシニングセンターによる加工方法(段取り)

ワークをバイスに固定し上面から加工する. サッカーボール図形のX軸中心を基準に90度づつ回転させ4面の加工を行い、治具を使用してサッカーボールを固定し位置決めを行う.

5. サンプル3(トイレの模型)製作　　**製作時間:** 約22時間

製作目的: 3次元CADで図形を作成すると今回のサンプルのように開閉する個所がある場合、設計上パーツが干渉しないようにする工夫が容易である. このような多数のパーツから構成される製品及び両面加工を必要とする部品の製作を治具の製作により行う.

6. まとめ

今回製作したサンプルにより次のことが確認できた.

(1) 実際に研究室の学生に協力してもらうことにより、試作装置の製作業務を効率よく行うことが可能.

(2) サッカーボールのような形状のものでも治具を工夫すれば満足の行く製作ができた.

(3) 比較的薄い曲面の製品でも両面加工が可能であり、外部より曲線データを入力すれば任意の曲線(2D, 3D)が作成できることも確認されており、航空模型の翼等の製作が飛躍的に向上するものと期待している.

謝辞　今回のサンプル製作に際し、多大なアドバイス等をいただいたCADCAM担当職員(教職員)に深く感謝する.

JLC 測定器衝突点の支持構造設計

高エネルギー加速器研究機構
○山岡　広、田内利明

1. 概要

現在、本所では全長で 25km のビームラインを地下に建設し、互いに電子と陽電子を衝突させて実験をおこなう事を目的とする JLC 計画(Japan Linear Collider Project)の R&D が精力的に進められている。この計画で用いられる予定の測定器を図 1 (a)に示す。高さは約 16m あり、総重量は約 12000 トンである。互いのビームは測定器の中心で衝突し、そのときの反応はビームパイプに対して同心円上に配置された各種の検出器で測定される。

この測定器への要求の１つとして、「高い頻度でのビームの衝突」がある。これは、もし地盤振動や機械振動などによって検出器が振動していた場合、ビームの衝突頻度の低下をまねいてしまうからである。このため、特に QC1 間での振動に対する相対変位は 1nm 以下に抑えなければならない。また、物理的な大きさの点から、自重や地震力に対しても変形や応力が許容値以下である事が必要になる。

2. 設計方針

衝突点近傍の図を図 1 (b)に示す。構造は、ビームパイプを中心にビームを絞り込むための QC1 とよばれるマグネット、磁場を補正するための Compensation Magnet、そしてバックグランドを減らためのタングステンマスクがある。当初の計画ではこれらの機器を支持するために、10mm 厚の CFRP チューブを用いて測定器の鉄構造体両端から支えることにしていた。しかし、CFRP サポートチューブとタングステンマスクの曲げ剛性を比べた場合、タングステンマスクの方が２０倍以上ＣＦＲＰよりも曲げ剛性があることが計算された。このことから CFRP サポートチューブで機器を支えるのではなく、タングステンマスクによる片持ち支持とした。このことで測定器へ組み込むときの組み込み易さという利点も生まれた。設計では、タングステンマスクの変形・応力を求めるための静解析と３種類の振動解析を実施した。

3. 静解析

解析では図２(a)に示すように、厚さ 100mm のタングステンマスクを後方で支え、自重３２トンと内部の機器９トンの荷重を等分布にかけた。タングステンのヤング率を 415GPa、比重を 19.3、引張応力は 900MPa とした。

当初、マスク後部だけを支持したときの静解析を実施したところ、変形が 1.6mm、応力が 23MPa となり許容応力以下ではあるが変形が 1.6mm では変形が大きすぎると考えられたことから、マスク前方にもう一点拘束点を追加することにした。このことにより、図２(b)に示すように変形量が約 0.09mm、応力が 5MPa となり許容値以下にすることができた。

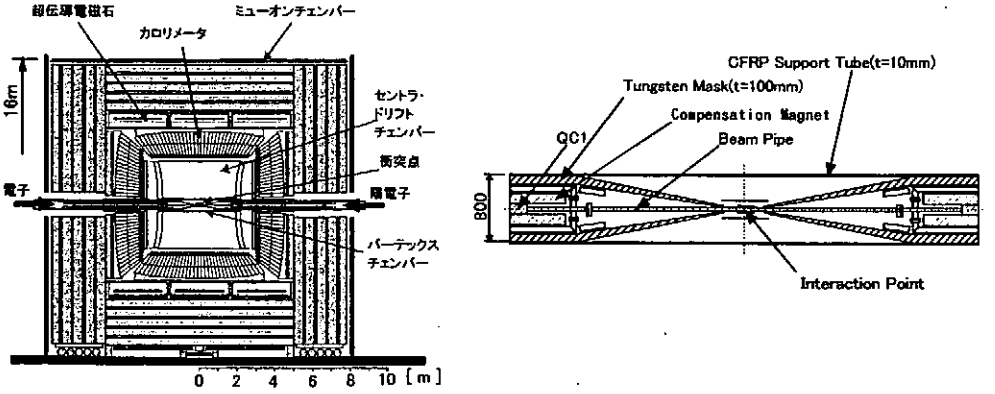


図１：(a) JLC 測定器計画図（右）、(b) 衝突点構造図（左）

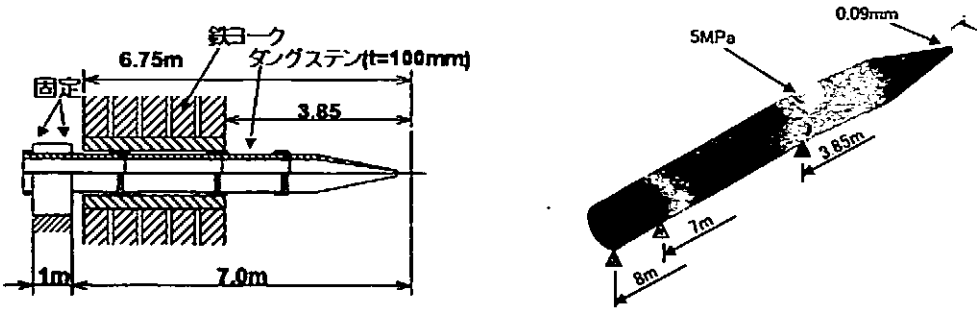


図２：(a) タングステンマスク支持構造（左)、(b) 静解析結果（右）

4. 振動解析

(1) 解析モデル

振動解析のための解析モデルは図３に示す通り２種類考えた。Model-A は、マスクを３点の支持点で剛固定した場合、Model-b は、マスク自身が 15Hz の固有振動数をもつバネの上にのせられているという定義である。これは、支持点自身は剛ではなく、ある値の固有振動数を持っているという仮定である。通常、大型の構造物の固有振動数は、だいたい 15Hz 近辺にあるのではないかと考えられることからこの値を採用した。

(2) モーダル解析

モーダル解析とは、構造物の固有振動数を求めると共にどのような形状で振動するかというモードシェープを求める計算である。それぞれの固有振動数及びモードシェープを図３に示す。

(3) 周波数応答解析

周波数応答解析とは、構造物に F・cos(ωt)という力が作用したときに、このω(周波数)を変化させたとき構造物にどのくらいの応答があるかを求める解析である。

このときの応答振幅は、１自由度系の場合、下記で表される。

$$A = \frac{\delta_{st}}{\sqrt{\left\{1-(\omega/\omega_n)^2\right\}^2 + (2\varsigma\,\omega/\omega_n)^2}}$$

ここで A: 応答振幅、δ_{st}: 初期変形、ω_n: 構造物の固有振動数である。応答値を推定してみると、入力するための加振力:F であるが、以前本研究所で測定された振動データを用いた。データは、3mHz で 3μm、100mHz で 1μm、1Hz で 10nm そして 3Hz で 5nm である。これらの値から加速度を計算すると 3Hz の時に 2×10^{-4}gal となり、これが最大値であるためこれを加振力とした。

まず 2×10^{-4}gal での振幅を求めると、静解析(１G)での変形量は 0.09mm であるのでその比から 0.018nm となる。更に、固有振動数が一致したとき(共振時)には、前述の式でωとω$_n$同じになることから減衰定数を 0.02 と仮定した場合には、２５倍変位が拡大さる。このことから、0.018nm の振幅の 25 倍なので、0.46nm と計算される。

解析結果を図４に示す。それぞれのピークは固有振動数を表している。Model-A の場合、応答は約 0.2nm、Model-B の場合では、約 6nm と計算され、手計算とも比較的合っていることがわかった。

(4) スペクトラム解析

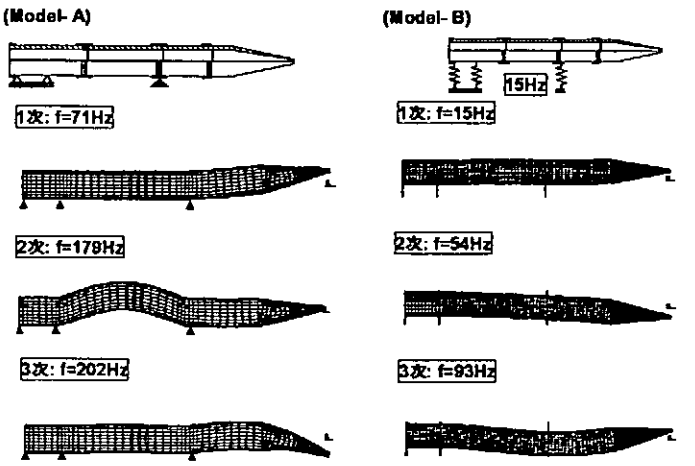


図３：固有振動数及びモードシェープ解析結果

スペクトラム解析は、幾つかの周波数成分があるときにこれらの組み合わされた値に対する構造物の応答を求める計算である。ここでは、実際に昨年本所で地盤の振動について測定を行ったので、その結果を基に計算を行った。計算に用いた値は、パワースペクトラム密度(PSD)で 0.1Hz:3.0 $\mu m^2/Hz$、1Hz:$3x10^{-4}$ $\mu m^2/Hz$、10Hz:$3.5x10^{-8}$ $\mu m^2/Hz$、100Hz:$4x10^{-12}$ $\mu m^2/Hz$ である。

図５に示す解析結果では、応答振幅は Model-A では約 $1x10^{-5}$nm、Model-B の場合、最大 15Hz の時に 1nm という結果になった。

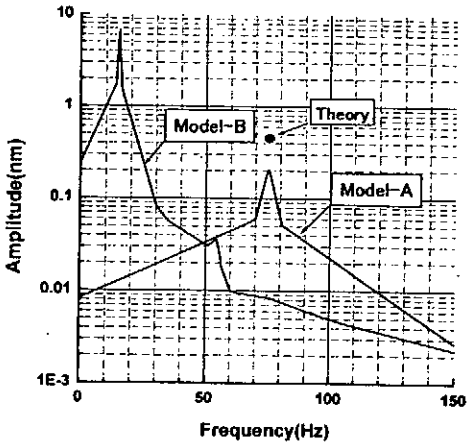


図４：周波数応答解析結果

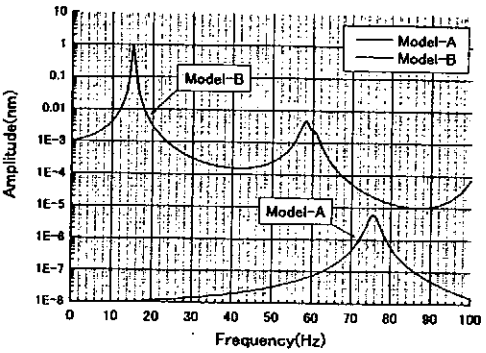


図５：スペクトラム解析結果

5. 加振試験

(1) 目的

試験の主な目的は、解析との整合性を確認するためである。実機の場合、物理的な大きさの点から実寸模型を製作し振動試験することは非常に大変なことである。このため、解析に対する信頼性を向上させることが非常に重要になってくる。もう一つの目的として、振動が許容範囲より大きい場合、免震についても考えなければならないことからこのためのＲ＆Ｄという目的がある。

ここで試験における試験体の固有振動数は、実機の固有振動数と同じレベルである 100Hz 以下にした。

試験項目は、(a) 固有振動数・振幅・モード形状の測定(b) 解析との整合性をチェック(c) 拘束点に値の違う加振力を入力したときの応答測定(d) 拘束点の剛性の違いによる振動特性測定(e) 減衰定数の測定である。但し、項目(c)、(d)については別の報告とする。

(2) 試験形状

本報告では、図６に示すような基本的な形状である片持ち支持型である。試験は他の形状でも行う予定である。試験は、試験体の一端を加振器に固定し、ファンクションジェネレータで正弦波や swept sine 波を送り込んで試験体を加振させた。そのときの値を加速度計やレーザー変位計で測定し、信号を FFT やデータロガーに送り込んでＰＣに記録した。

(3) 試験

試験に際しては予め解析をおこない、特性を予測した。解析モデルでは、試験体とそれらを固定するテーブル、そしてそれを支える脚をモデル化した。当初、試験体だけモデル化し加振試験を行ったところ、測定値が一致しないという結果になった。そこでテーブルや脚も解析に入れることにした。

測定では、加振器で試験体を加振させ、このときの応答を試験体上１８箇所で測定し応答と位相を測定した。そして、これらの情報より固有振動数とモード形状を求めた。入力した加振力は約 0.2G であり、加振周波数は 3Hz から 1000Hz までの Swept sine 波である。

試験結果を図７に示す。１次モードでは実験値と解析値がほぼほぼ一致しているが高いモードになってくると少しずつ差が大きくなってきた。しかし、モード形状は比較的合っていると思われ

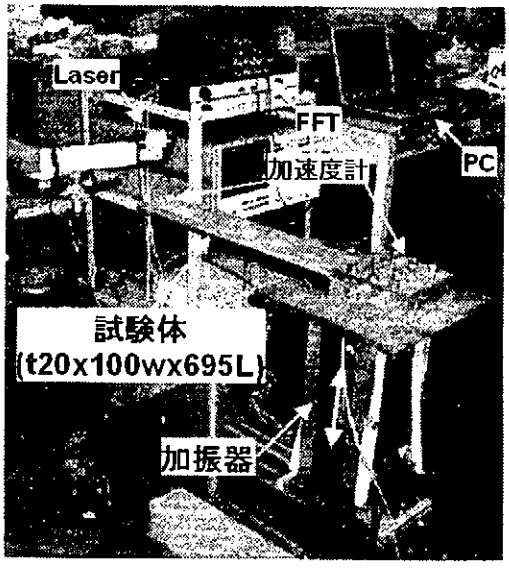


図６：加振試験セットアップ形状

る。

(4) 試験評価

具体的にどのくらい測定値と計算値があっているかというのを数値に表したのが MAC(Modal Assurance Criteria)と呼ばれる物で、下記で表される。

$$MAC_{rr'}=\frac{\left|\left\{\psi_r^{test}\right\}\left\{\psi_{r'}^{FE}\right\}^*\right|^2}{\left(\left\{\psi_r^{test}\right\}\left\{\psi_r^{test}\right\}^*\right)\left(\left\{\psi_{r'}^{FE}\right\}\left\{\psi_{r'}^{FE}\right\}^*\right)}$$

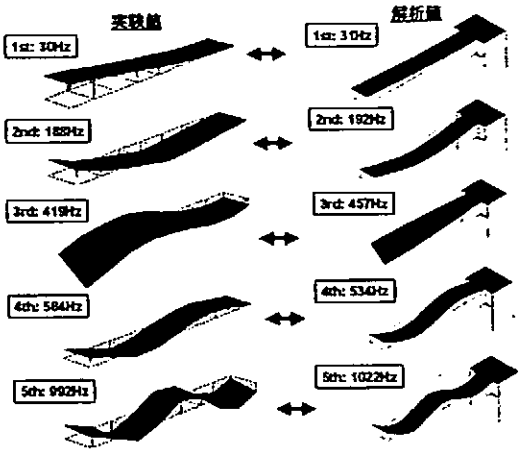


図７：加振試験結果と解析との比較

この式はモード間の相関を示す関数で、実験値と解析値との相関度を求める計算である。ここでψ^{test}、ψ^{FE}はそれぞれ試験と解析の固有ベクトルを表し、ベクトルの内積つまり互いのベクトルの角度を計算する式である。MAC が０というのは互いのベクトルが直交していて全く相関の無いことを表し、MAC=1 は同じ方向を向いていて、同じ形状をしているということである。

図８に MAC 計算のグラフを示す。結果は、解析と実験の１次モード同士と４次モード同士が MAC＝１で互いによく合っているということがわかった。他のモード同士は全く相関がないわけではないが、完全に一致ともいえなかった。これは例えば３次モードの場合、解析でのモードシェープはねじれ形状だけであるが、測定値ではわずかに曲げの形状が入っているためと考えられる。

減衰定数の測定は、カーブフィットの結果から１次モードで 1.7%と測定された。この定数は、周波数応答解析やスペクトル解析を行う上で計算に用いられるので非常に大切な定数である。解析で用いられた値は、ボルト構造の場合の指針である 2%を採用していたのでほぼ測定値と合っていることがわかった。

(5) 同時加振試験

この試験では、同じ試験形状の片持ち梁型の試験体を２組用意し、そこに同じ大きさの加振信号を与えた時の互いの相対的な応答を測定した。理論的には、同じ共振周波数で同じ応答が得られるはずであるが、試験結果はそうはならなかった。原因は、２つ試験体の間に僅かな共振点のずれおよび応答レベルの差があったからである。これは、２つの試験形状との間に僅かな剛性・加振力・物性値の差があったためと考えられる。

6. まとめ

静解析及び振動解析をおこない、それらの特性を把握した。その結果、静解析では拘束点が３点必要であることがわかり、振動解析では１次の固有振動数が数十 Hz、振幅は数 nm であることがわかった。また、振動試験を実施し、基本的な構造においては解析結果と実験結果が比較的一致した。しかし、２組の相対的な応答は、同じ試験形状・加振力にセットしたつもりでも振動特性に差がでることがわかった。今後は、幾つかの試験形状における試験を実施すると共に、拘束点に異なる値を入力したときのスペクトラム解析及び試験を行う予定である。更に、マスク自身は、幾つかの部品から１本のシリンダーとして組み立てられることからシリンダーとしての剛性を保持できる部品形状を検討する。また、免震機構についても R&D をおこなっていく予定である。

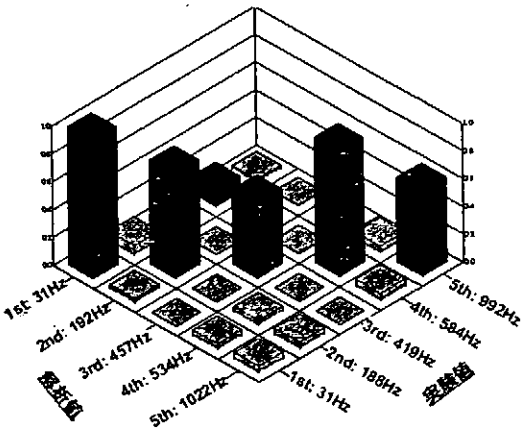


図８：実験値と解析値との比較

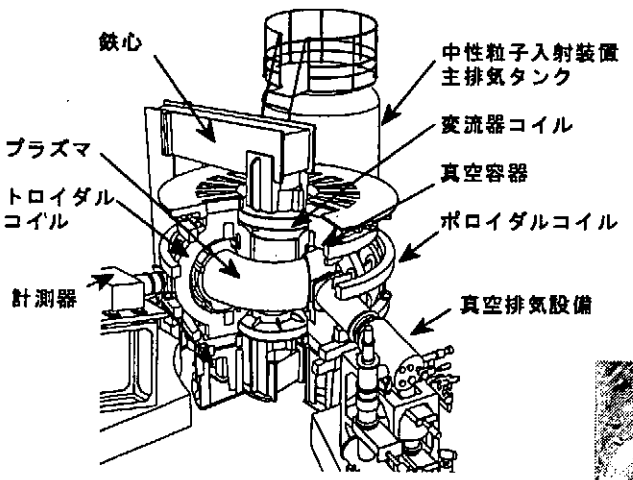
トーラス装置用３次元磁場分布計測装置

日本原子力研究所　那珂研究所
○山本正弘・都筑和泰・岡野文範・鈴木貞明・秋山　隆・柴田孝俊・
佐藤正泰・川島寿人・伊世井宣明・木村晴行・JFT-2M グループ

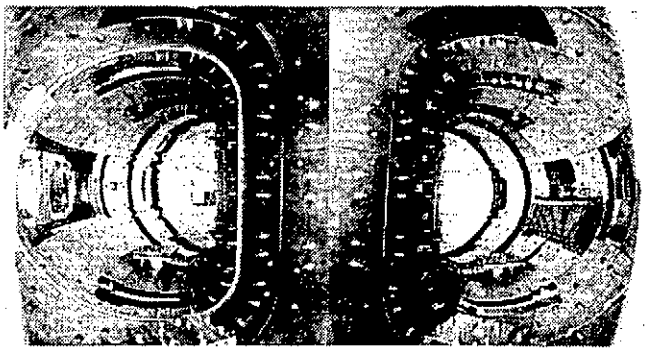
１．はじめに　高性能トカマク開発試験装置（略称JFT-2M、図－１および表－１参照）では、先進材料プラズマ試験（Advanced Material Tokamak Experiment 略してAMTEXと称する。）計画において、低放射化フェライト鋼とプラズマとの適合性を調べている。低放射化フェライト鋼は、将来の核融合原型炉を視野に入れて開発された有力な候補材料である。しかし、この材料は強磁性体であるため、プラズマの生成、制御、閉じ込め、安定性への悪影響が懸念される。一方、利点として、磁場リップル低減への利用が期待され、検討されている。JFT－2Mは、現在、これらのことを調べるための一連の実験の最終段階である「プラズマ適合性試験」を遂行中であり、実験に向けて真空容器内全面にフェライト鋼（F82H）板を設置する改造作業を完了した（写真-１参照）。平成１４年度初頭からは、実験が開始される。これに先立って、真空容器内に設置したフェライト鋼板による磁場構造の変化などを調べるために、フェライト鋼板の設置前及び設置後の磁場分布の計測を実施した。本報告は、そのために設計製作したトーラス装置用３次元磁場分布計測装置（単に磁場計測装置と称する。）と取得データについて報告する。

表-１　JFT-2M 装置の緒元

JFT-2M トカマク	
プラズマ電流	0.5　MA
トロイダル磁場	2.2　T
プラズマ大半径	1.31　m
プラズマ小半径	0.35m×0.53m (水平×上下方向)
非円形度	1.7
プラズマ体積	4.8　m^3



図－１JFT-2M装置の鳥瞰図

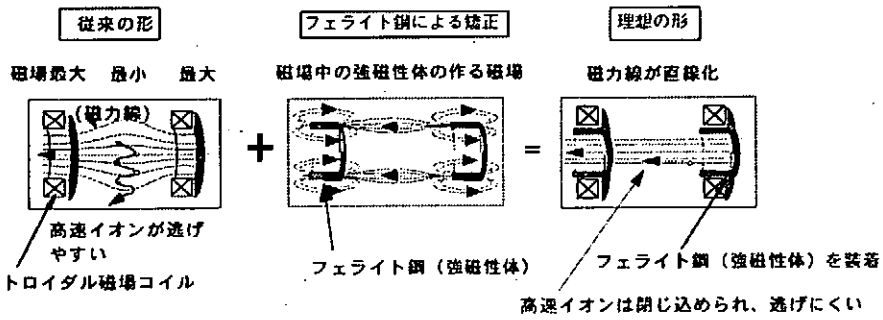


写真－１　真空容器内のフェライト鋼板設置状

２．磁場測定の目的　プラズマ適合性試験の目的は、低放射化フェライト鋼のプラズマ安定性への影響評価及びリップル低減効果の実証を行うことにある。プラズマ安定性に関してはフェライト鋼板やコイルの設置誤差等により磁場の不均一性が生じ、プラズマの不安定性につながることが想定される。磁場リップルは、トロイダル磁場コイルがトロイダル方向に飛び飛びに配列されるため磁場強度に強弱が生じるもので、リップルに高速イオンが補捉されて飛び出し、構造材を損傷する。そこで、トロイダル磁場コイル直下にフェライト鋼を設置することで、フェライト鋼直下の磁場は弱め、コイル間の磁場を強める働きによって一様な磁場が得られ、リップルを低減することができ、高速イオンが逃げ難くなる（図－２参照）。これらの実験を進めるに当たっては、トロイダル全周にわたって、３次元磁場分布を把握することが重要である。一方、フェライト鋼板は、真空容器を基準として設置されるため、真空容器容の変形や設置位置の偏心があるとフェライト鋼板の設置精度も悪くなる。従って、フェライト鋼板設置に先立って、真空容器

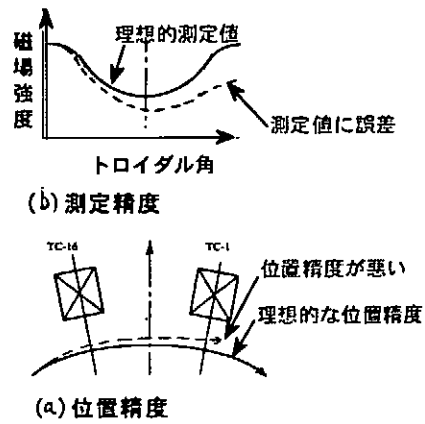
のポロイダル断面形状の測定をして、真空容器の製作精度を把握することは、フェライト鋼板の設置精度評価の基礎データを得る上で是非必要なことである。

3．磁場計測装置の必要な精度と仕様　フェライト鋼板設置後の磁場リップルは、0.2%と小さいので、計測は最低でも 0.1%程度の精度は必要である。さらに、主半径方向に磁場勾配があるので、位置の精度も重要である。例えば、図－3(a)の実線で示すように理想的な位置精度に対して、点線のようにズレて計測すると、本来、図－3(b)の実線のようにトロイダル磁場コイル間で対称に磁場の強弱が計測されるべきところ、点線のように測定値に誤差を生じる。従って、上述の測定精度を確保するためには、磁場センサーの指示位置（解析に用いる位置）と実際にセットされた位置の誤差を 1mm 以下にする必要がある。そのためにはレール、台車の精度及び磁場センサーを取り付ける計測治具の静止状態における真直度、平行度、移動中の揺れ、倒れを理想位置に対して±1mm 以下にする。また、読み取り精度、設定精度についても±0.5mm 以下にする。



リップル率 = (磁場の最大値－磁場の最小値) / 2X磁場の平均

図－2　磁場リップル低減の原理

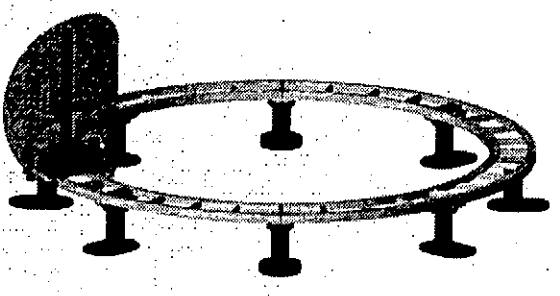


図－3　測定精度と位置精度

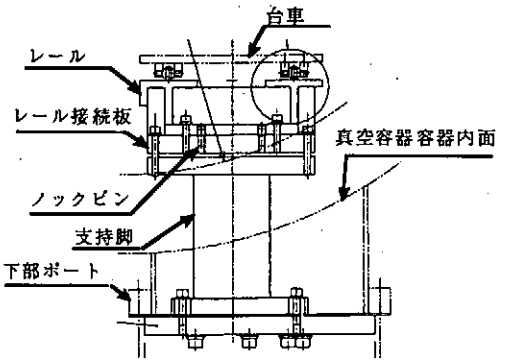
4．磁場分布計測装置の構造　磁場測定装置の概略構造は写真－2、図－4に示すように、レール、レール固定用支持脚、台車、計測治具、磁場センサー、コントローラ、位置検出モニター等から構成される。レールは真空容器中心軸を基準に同心円に設置される。3項で述べた仕様を満足させる上で最も重要な点の1つが、位置精度の再現性確保の問題である。磁場計測はフェライト鋼板設置前及び設置後の両方の状態において行う必要があるが、フェライト鋼板の設置作業は磁場測定装置を一旦、撤去しないと不可能であることから装置を再組立する必要がある。その場合に設置位置を前回と同じ位置に再現しなければならない。真空容器は表－1に示すように非常に狭隘であり、また、マンホール兼機器搬入口は、400W×440H と非常に小さい。それ故、レールは8分割構造、計測治具は2分割構造となっており、組立精度を再現する上で、最も構造に工夫を要する。この問題の解決策としては①レールの支持脚は、途中で動かないように、真空容器下部フランジに強固に固定し、レール固定用支持脚のみは、終始解体しないこととした（図―5参照)。② レール接続板とレールの組立部は、工場で組み立てられた時の精度、及びフェライト鋼設置前と設置後における組立精度が再現できるように、ノックピンで双方の位置決めをする構造とした（写真－3参照)。③ レールの組立方法は、真空容器の内部で工場で組み立てた時と同じ状態に8個の分割されたレールを一つのリング状に一体化し、それをレール支持脚に固定するようにした。④ レールの設置精度の再現性の確認は、直接、真円度の測定が出来ないので、工場で真円に組み立てた状態のときの図のような多角形状に測定した弦の測定値と真空容器内部での弦の測定値を比較することにより確認する方法とした。⑤真空容器内の基準線を利用して、真空容器中心軸とレールの中心軸が一致するように調整した。⑥ レールの真空容器赤道面に対するレベルの設定は、トランシットを用いた。また、レールの主半径方向、Bt 方向の水平の設定は、水準器を使用した。

モータは、磁場中で駆動可能なエンコーダ付超音波モータを採用した。台車のレール上を移動するための推進力

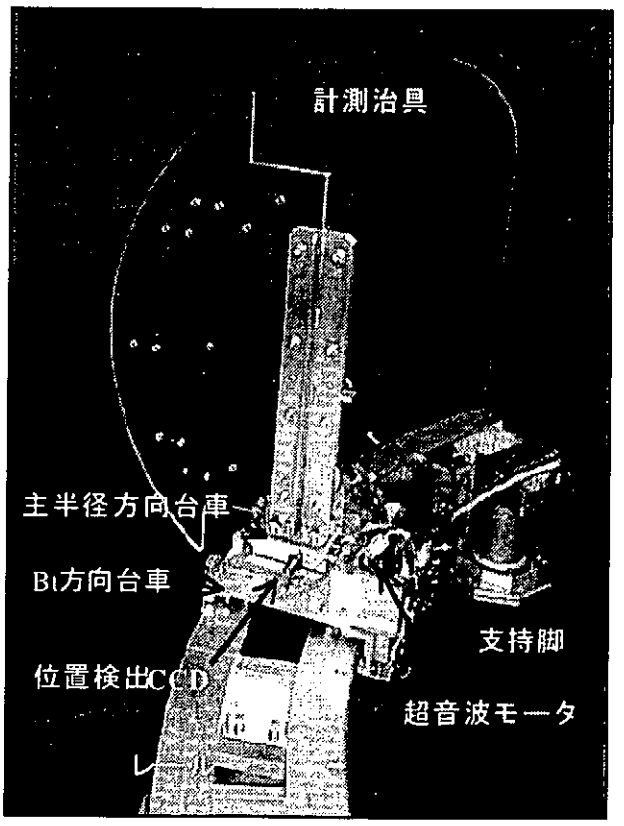
には、レール側にラック、台車側にピニオン（小歯車）を設けた歯車の組み合わせ構造を採用した。駆動速度は２段変速の機能を持つ。高速は移動及び測定用で、低速は位置の微調整用である。台車は、レール上をケーブル類引き込み口のマンホールを起点としてトロイダル方向の時計回り 180°、反時計回り 180° 走行する Bt 方向走行台車上に主半径方向（半径 485 を起点として±30mm の範囲）を走行する台車を搭載した構造である。主半径方向走行台車上には、磁場センサーを取り付けるための計測治具を搭載した。計測治具は、磁場センサーを取り付けるためのものであるが、真空容器のポロイダル断面と相似形の形状をした平板状の透明なアクリル樹脂製の構造体であり、真空容器の断面形状の測定にも利用できる。磁場センサーの取り付け位置は、Bt、Br、Bz 用磁場センサーをホルダーにより一体化したもの（図－６参照）を赤道面とその上下に各２箇所の合計５箇所に取り付けた。ただし、同時測定は調達できた磁場センサー数量の関係で３箇所である。また、計測治具は、台車と共に揺れないように、ラックとピニオン歯車の噛み合わせ部にギャップを生じないように、台車をレールの側面にスプリングで一定の力で常に押し付ける構造とした。また、レール上面に対しても台車が上下動しないように同様な構造で押し付ける構造とした。台車の移動位置検出方式は、小型 CCD カメラによりレール側面に貼ったスケール目盛りをモニタする方式とエンコーダに依るものとの２方式を採用した。設定精度についても±0.5mm 以下とした。



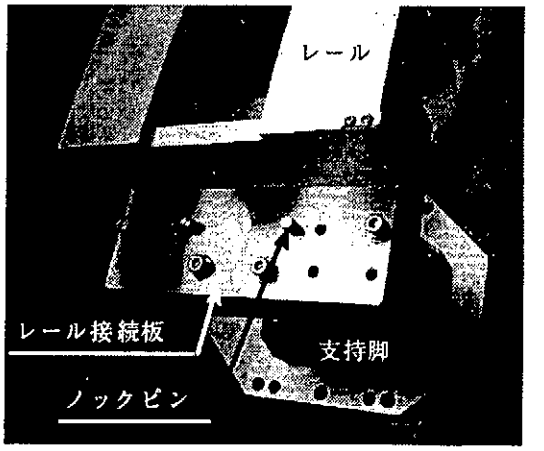
図－４　磁場測定装置の全体イメージ



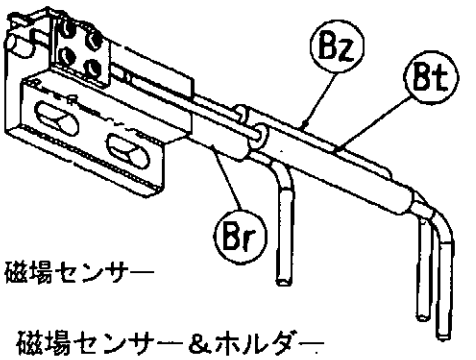
図－５　支持脚とレールの接合部



写真－２　磁場計測装置



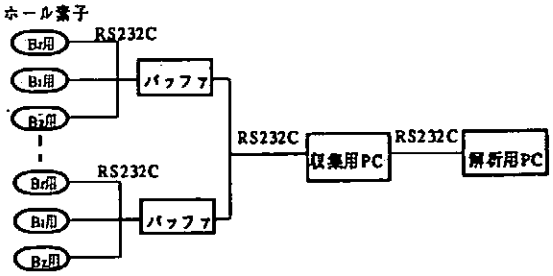
写真－３　支持脚のノックピン構造



Br, Bt, Bz：磁場センサー

図－６　磁場センサー&ホルダー

5．データ収集系　同時に収集される 12 チャンネル（参照用の固定点磁場センサー3 チャンネルを含む）のデータについて、解析処理までを 3 分間の磁場励磁ショット間に行う必要がある。一方、データ収集に際しては、サンプリングタイムが 150ms で±100ms の同時性が要求される。そこで全データを複数のバッファーに先ず蓄えて収集用のパソコンに次々に取り込み、それを解析用パソコンで 3 分間のショット間内にデータ処理が可能な方式とした。そのデータ収集系を図－7 に示す。



図－7　データ収集系

6．試験結果　①磁場計測装置は、フェライト鋼板の設置前、設置後ともに仕様を十分満足して真空容器内に設置することができ、また、台車および測定治具の走行中の倒れについても、十分な精度を確保できた。
レールの真円度、水平度、計測治具の設置精度および走行中の倒れの測定データを表－2に示す。

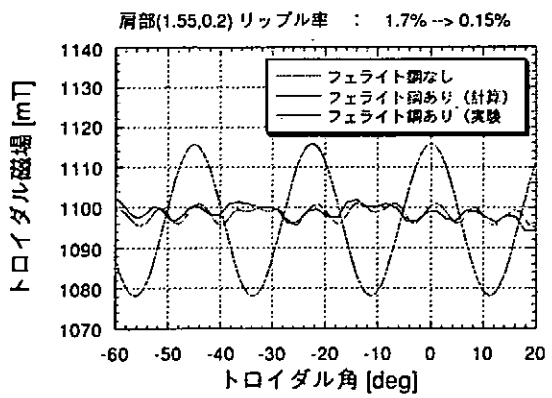
表—2　レールと計測治具の検査結果

	レール			計測治具の倒れ&走行中の揺れ	
	真円度	真円度の再現性	水平度 1000mm に付	鉛直度 トロイダル方向	鉛直度 主半径方向
実測値	D±0.3mm	±0.3mm	-0.5～+0.6mm	倒れ：0.0mm 揺れ：0.0mm	倒れ：0.6mm 揺れ：：0.6mm

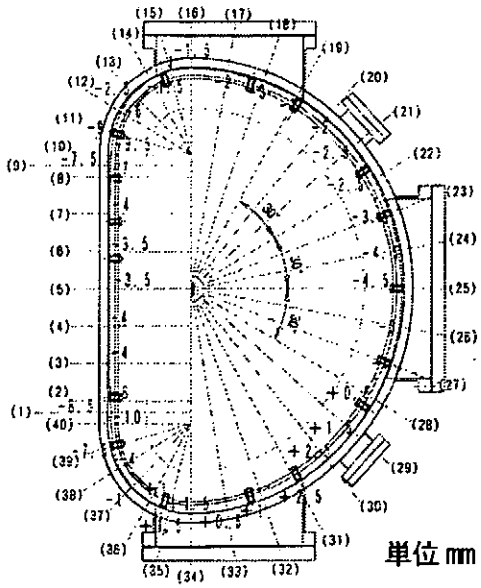
②本磁場計測装置により、トロイダル方向全周の磁場分布を詳細に測定でき、磁場構造の把握ができた。
その一例として、磁場リップルの測定データを図－8に示す。データから分かるようにリップル低減効果について、解析と良く一致する測定結果が得られ、リップル低減効果を実証することが出来た。データは、磁場リップルが 1/10 に低減していることを示している。また、中性粒子入射ポート部や、真空容器の接合部分などフェライト鋼を理想的に設置することが出来なかった部分の磁場分布について磁場の不均一性を観測することが出来た。
③トロイダル方向にほぼ全周にわたる真空容器のポロイダル断面形状の寸法測定により、真空容器の変形の程度を把握でき、フェライト鋼板の設置精度を把握することが出来た。測定データの一例を図－9に示す。

7．まとめ　・先進材料プラズマ試験のプラズマ適合性試験の一環として、真空容器内の３次元磁場分布測定のための測定精度（磁場リップル 0.1%）の高い装置の開発を行うことが出来た。

- 本装置により、トロイダル方向全周の磁場分布を詳細に測定でき、磁場構造の把握ができた。
- リップル低減効果について、解析と良く一致する磁場測定結果が得られ、その効果を実証することが出来た。



図－8　磁場リップル測定データ



＊ 数値は理想値に対する誤差、（ ）はポジション

図－9　真空容器断面寸法測定データ

サジタル結晶の改良によるビーム強度の増大化

高エネルギー加速器研究機構　物質構造科学研究所
○内田佳伯

1. 概要

高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所放射光実験施設ビームライン BL16 においてはモノクロメーターの第二結晶であるサジタル結晶を用いて横方向のビームの集光を行っており、従来は高エネルギーで使用するためリブ面を使用してきた。しかし近年 BL16 においては研究のアクティビティが低エネルギーにシフトしたことを踏まえサジタル結晶を改良することを考え、インストールした結果よい結果がえられた。ここではモノクロメーター等の説明をし、最後に結果を報告する。

2. 本論

<モノクロメーター・2結晶分光器とは何か>

モノクロメーターとは図1に示すように任意のエネルギーを取り出す装置であり、BL16 には 2 結晶分光器を使用している。2 結晶分光器を使用している理由はX線の単色化は1枚の結晶で可能だが、1 枚の結晶では使用するエネルギーによって出射位置が変化するので、エネルギーを変化させる実験においてはそのつど実験装置を移動させねばならず大変不便であるが、2 結晶分光器を使用し第 1 結晶と第 2 結晶の面間隔を入射角によって変えられるようにしておくと、エネルギーを変化させても出射位置が一定に保たれ、実験装置を移動する必要がないためである。

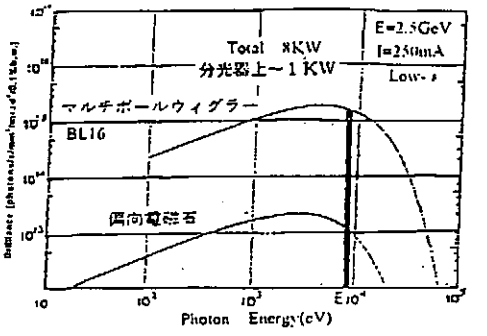


図 1

<サジタル結晶とは何か、2結晶分光器の問題点>

放射光の集光には結晶を曲げる方法とミラーを用いる方法とがあるがミラーによる集光では約 20keV 以下エネルギーでの集光には有効だが、それ以上のエネルギーだと反射率の低下やミラーのサイズの増大化等の理由により使用が困難となるので高エネルギー使用を考え、BL16 では結晶を曲げる方法を採用しておりこのような方法をサジタル集光という。しかしただ単に薄い結晶を曲げるだけだと図 2 で示すように、弾性によりその母線方向にも結晶の湾曲を生じてしまう(曲率半径 Rm)。図 3 で示すように、2 結晶分光器においては第 2 結晶で湾曲がない場合には、第 1 結晶で回折した X 線はすべて回折されるが、もし結晶を曲げる際に湾曲が生ずると、第 1 結晶で回折した X 線は一部しか第 2 結晶で回折されないことになる。この湾曲を Anticlastic Bending と言うがこの Anticlastic Bending を避けるため結晶にリブを入れる方法が通常採用されておりこの様な結晶をサジタル結晶という。また集光を行う際にはリブ

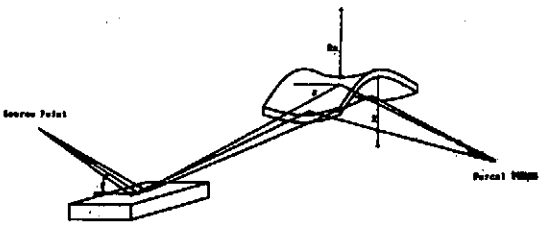


図 2

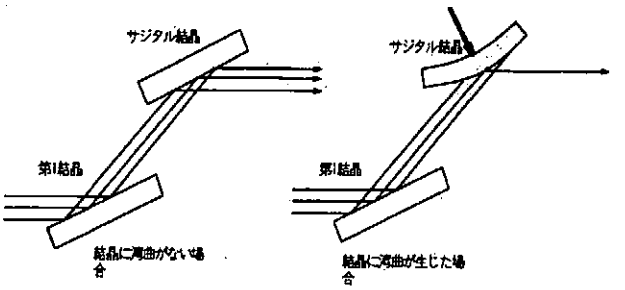


図 3

が入っていない面(裏面)を使用する場合とリブが入ってる面(リブ面)を使用する場合がある。

＜裏面を使用したとき及びリブ面を使用した場合の長所と短所＞

裏面を使用した場合の長所はビームサイズがリブの大きさによらず集光できるが短所は約20keV以下のエネルギーでの集光は可能だがそれ以上のエネルギーとなると使用が不可能となる。これは２つ理由があるがひとつは高エネルギーで集光しようとするとより結晶を曲げる必要がありより大きなひずみが生ずることになるためであり、もうひとつは高エネルギーほど結晶の反射の幅が小さくなるので結晶のひずみの影響を受けやすいためである。またリブ面を使用した場合は逆に 20keV 以上での使用は可能だがリブの大きさ以下には集光できなくなる。従って 20keV 以上の高エネルギーでの使用を考え BL16 ではリブ面を使用してきた

＜従来のサジタル結晶と改良したサジタル結晶＞

図３に従来のサジタル結晶を図４に改良したサジタル結晶を示す。従来のサジタル結晶のリブ面の大きさが小さいのは前述のとおり集光サイズはリブの大きさで決まるためであり、またリブ面間隔が狭いのはリブ面で集光するためリブ面間隔が大きい(リブの数が少ない)と照射面積が減り、強度が弱まるためである。また四角形をしているのは高エネルギーでは結晶の入射角が浅くビームが結晶に当たる面積が大きくなるため三角形だと全部反射しきれないためである。それに対し改良したサジタル結晶では概要で述べたとおり、低エネルギーでの使用のみを考慮し四角形にせずとも入射角が深く照射面積が小さいため三角形でビームが取りきれるため三角形とし、リブの大きさ・間隔の大きさは裏面を使用している他のビームラインのサイズと同じものした。なお通常は冷却効率向上のため結晶の裏面にリン青銅板を In-Ga を塗って貼り付けているが今回は後述の問題があったのでリン青銅板は貼り付けていない。

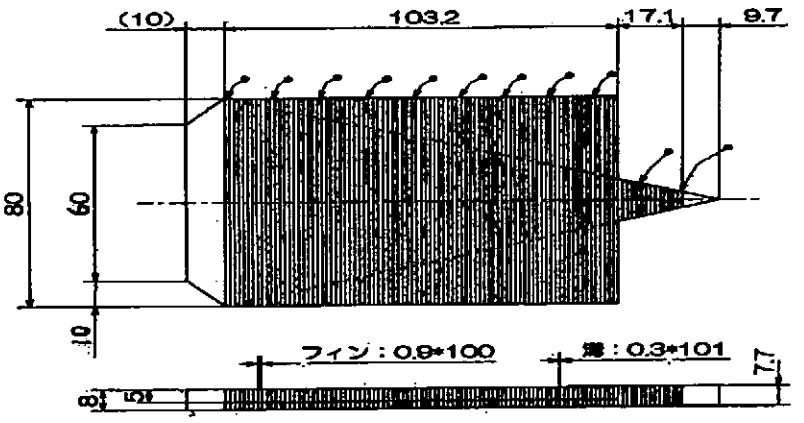


図３

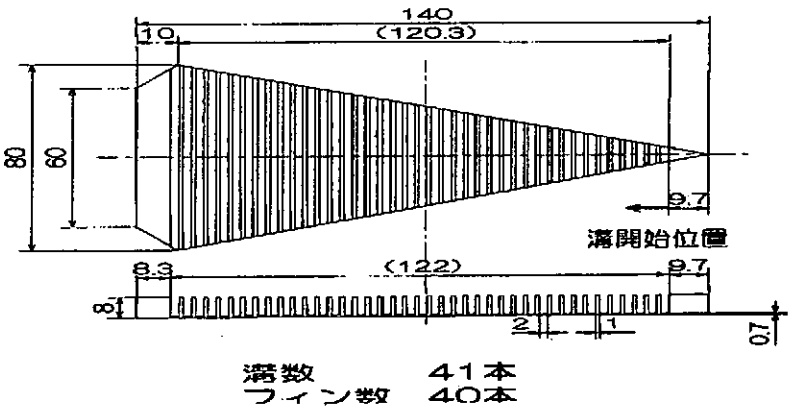


図４

<実測値>

測定は PF の BL16 で計測器の前にスリットを置き、そのスリットを動かすことでビームサイズを測定することで行いその結果を図5,6 に示す。改良前と改良後で比較すると横で約 1/2、縦は横のサイズ縮小化に伴い約 2/3 のビームサイズとなった。またビーム強度(I1)はビームサイズの縮小化及び裏面を使用したことにより、照射面積が増大したことの相乗効果より４倍となった。

エネルギー5keVで測定

	リブ面(改良前)	裏面(改良後)
蓄積電流値(mA)	434	325
Io(×10-7cps)	29000	32000
I1(×10-10cps)	6200	18000
半値幅(横)(mm)	1.41	0.83
半値幅(縦)(mm)	0.58	0.57

図5

エネルギー12.4keVで測定

	リブ面(改良前)	裏面(改良後)
蓄積電流値(mA)	432	370
Io(×10-7cps)	31531	37380
I1(×10-8cps)	11000	51000
半値幅(横)(mm)	1.25	0.57
半値幅(縦)(mm)	0.63	0.47

図6

(Ioはスリット前の計測器の値、I1はスリット後の計測器の値を示す)

3.まとめ

サジタル結晶を改良することにより以前にくらべ約4倍の強度が得られることとなり強度が必要となる実験には役立つことが証明された。

4.問題点

(1)高強度でのモノクロメーターは第1結晶に入射した白色X線がコンプトン散乱しそれが第2結晶に入射して結晶を加熱するためその防止策として第2結晶も冷却している(図 7)。この場合リン青銅板と結晶との間に液体In-Gaを塗り熱接触を図っているがIn-Gaが固化し結晶をベントすると結晶が割れる現象が起こっている。従って今回はリン青銅板を貼らずに使用してきたが冷却効率の低下により蛍光版で見ていてスポットが見えておりまたロッキングカーブも悪くなっている。その冷却効率の改善策として結晶とリン青銅板をIn-Gaを塗らずに取り付けて測定しまたなぜIn-Gaが固化するか現在検討中である。

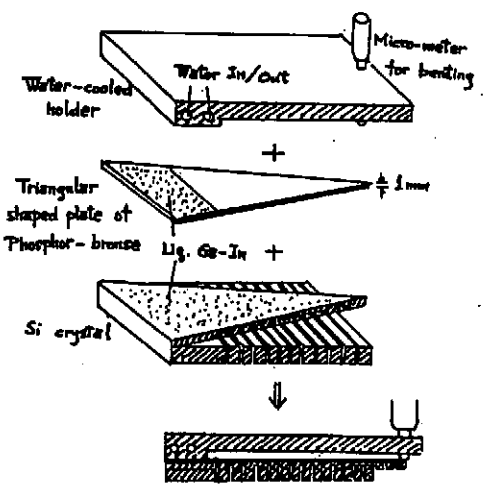


図7

<参考文献>

1. OHO`93 高エネルギー加速器セミナー X線用ビームライン 岩住 俊明
2. 放射光基礎技術演習会テキスト X線分光器(2) 河田 洋

RBS 測定における二次電子の抑制

北陸先端科学技術大学院大学　技術室
○伊藤　暢晃

1、測定方法の概要

RBS(ラザフォード後方散乱分析)法とは、MeV レベルに加速した H や He（本学では主に He）を試料に当て、後方散乱されてくる粒子数やエネルギーを測定することで薄膜などの固体試料を分析する方法である（図 1 参照）。この測定で起こる重要な物理現象の中には、

- 弾性衝突のため、重い元素ほど跳ね返る粒子のエネルギーが高くなる
- 散乱断面積が大きくなるため、重い元素ほど反跳粒子の数も多くなる
- スペクトル形状はビーム入射角度と結晶構造に大きく依存する

の三点がある。これによって本装置により評価できることは、

- 元素の同定
- 元素の深さ方向分布および膜厚・密度の推定、そのスペクトル面積から絶対量の測定
- 結晶性

である。

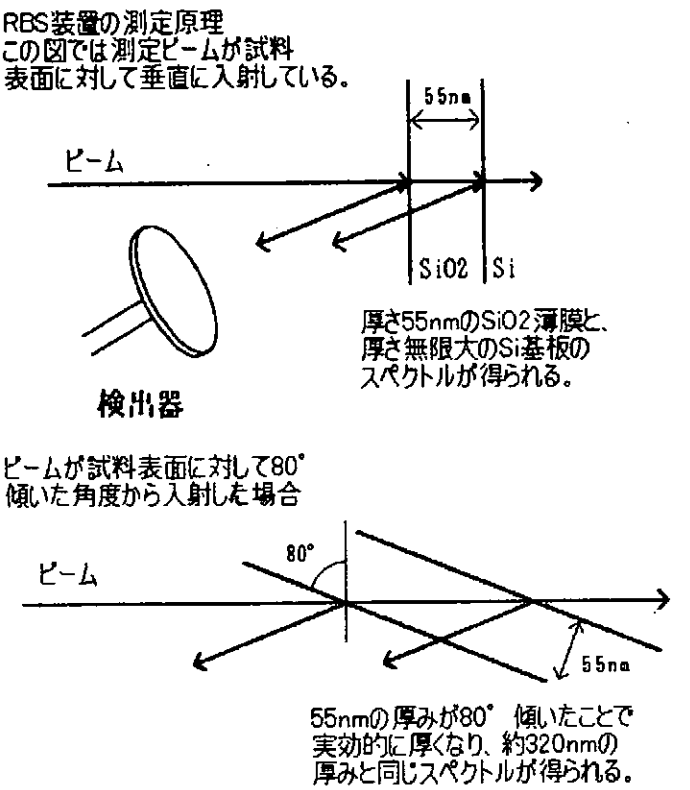


図 1：（上）RBS の測定原理
（下）入射角度を変える概念

2、本学装置の置かれている状況と問題点

本学の場合、装置全体のエネルギー分解能は約 30keV 程度であり、これは元素にもよるが厚さ方向分解能にして約 40～60nm 程度である。

しかし現実には、これ以下の薄い試料の依頼が多く、分解能以下の厚さのために十分な分析が行えないケースが多くなり、何らかの対策が望まれるようになってきた。

一例として、図 1 で示す試料を挙げる。これは Si の基板の上に厚みが分解能以下の 55nm の酸化膜 SiO2 が形成されたものである。

そこで、入射角を 80° として（入射角の定義については図 2 を参照）実効的に薄膜中の入射イオンの飛程を長くする方法を試みた（図 1 下側）。

この状態で RBS シミュレーターを用いて計算した結果を図 3 に示す。図からビーム入射角を変化することによって測定膜厚が厚くなっていることがわかる。

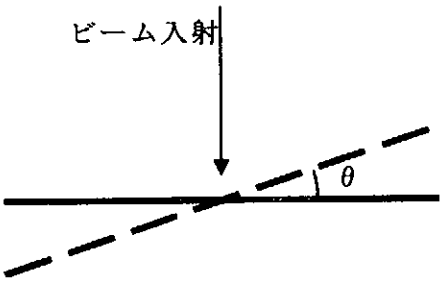


図 2：入射角度の定義
ここでは垂直入射から傾けた角度 θ を入射角とする。つまり垂直入射の時が 0 度となる。

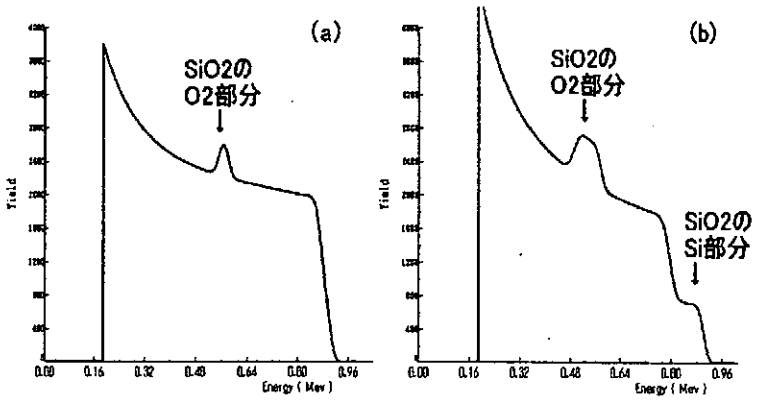


図3：入射角が（a）0°の場合、及び（b）80°の場合RBSスペクトルをシミュレーションした結果

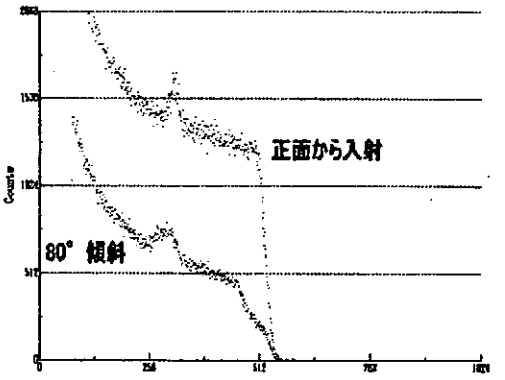


図4：実測での正面入射と斜め入射RBSスペクトルの比較

しかし、図4に表した実際の測定結果では、同じ蓄積電荷量の測定であるにもかかわらず、傾ける前後のスペクトル高さの絶対値には大きな差がある。これだけ異なるとRBS装置の特徴である試料元素の絶対量評価（元素スペクトル部分の総面積から求める）に狂いが生じ、絶対量比較が困難。

信号数に差ができるのはなぜか？

測定は「ビーム電流×時間」で決定される蓄積電荷量が一定になるまで行っていることから、試料を傾けたときにビーム電流モニターが実際以上に大きく検出することが原因である。

そしてこのように試料を傾けるとビーム電流値が増加するのは、二次電子の発生具合が入射ビーム角によって大きく異なることが原因である。すなわち、ビーム入射時に負の電荷を持つ二次電子が生成され、ビーム電流をモニターしているターゲットから離れれば、その分だけモニターされる正のビーム電流は大きくなる。

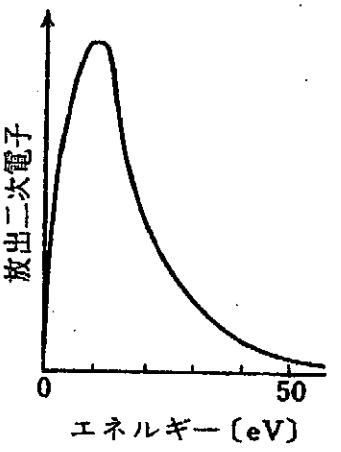


図5：二次電子のエネルギー分布

3、対策

一般に、二次電子は50Vもあれば抑えられるため（図5）、本装置には試料のまわりに-200Vの電位を設けた二次電子抑えが設けてあり、静電斥力によって二次電子を試料に送り返すようにしている。

しかし、この二次電子抑えが有効なのは正面入射の場合であり、斜め入射の場合には、図6，7に示すように二次電子の生成量が飛躍的に増えるため、抑えきれないことがわかった。

本装置においては、図8に示すように二次電子抑えの電極が、試料台を動かすモーターとの干渉を避けるため、上部には設けられていない。そこで、この上側の開いている部分に蓋を作り、二次電子を逃げられなくして、スペクトルの変化を調べた。

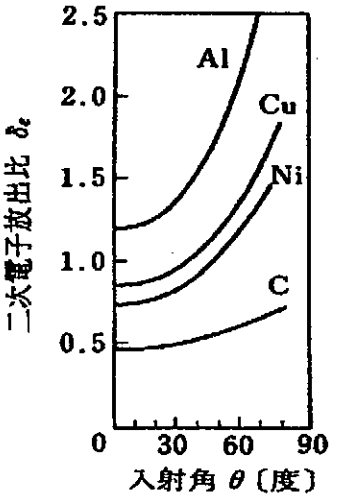


図6：二次電子生成量と一次ビーム入射角度の関係

この製作した二次電子抑え蓋の写真を図9に、三面図を図10に、仕様を表1にそれぞれ示す。また、図11は実際のターゲットに取り付けたものの写真であり、図12は上から見た模式図である。

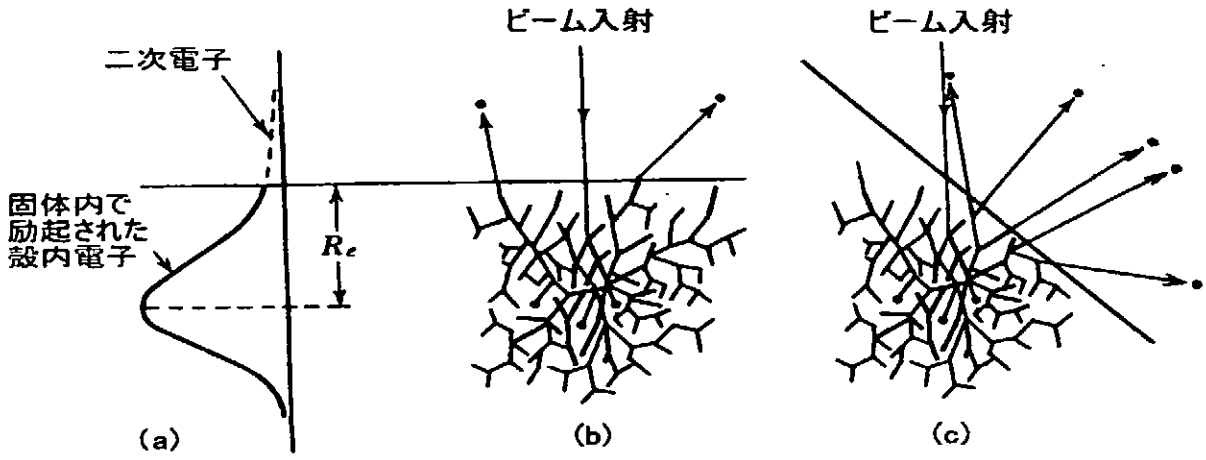


図７：二次電子発生量の入射角度依存性を示すモデル。図（a）は深さ Re の場所で最も励起が起こりやすいことを表す。図（b）は正面入射時の試料内部における電子振る舞い。最も励起が活発な地点から試料表面までの距離は Re である。図（c）は斜め入射時の電子振る舞い。このときは励起が活発な地点から表面までの距離が短くなるため（ReCos θ となる）、より多くの電子が二次電子となって出てくる。

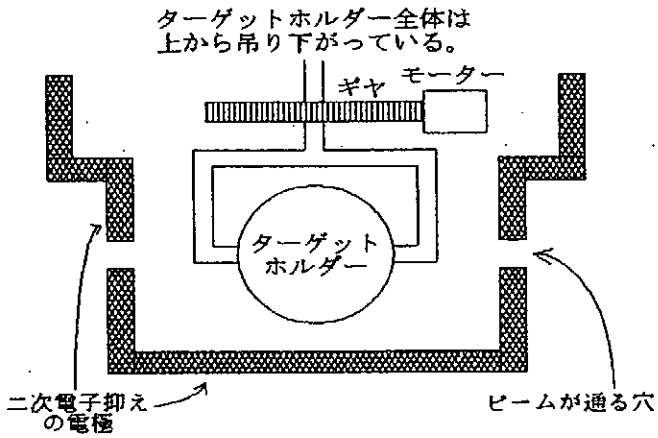


図８：ターゲットホルダーの模式図
-200V の電極は上側に存在していない

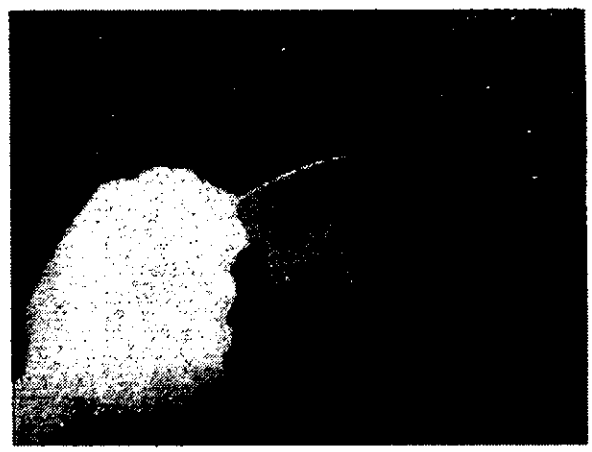


図９：製作した蓋の写真
（手に持って撮影）

ここで注意していただきたいことは、電極を上側に延長したのではなく、「ターゲットホルダーに蓋をくっつけた」ことである。これは駆動部分との接触を避けながら大きな面積を得るために不可欠だった方法であり、二次電子を斥力で追い返すのではなく、受け取って電位をターゲットホルダーに戻すことが目的である。

また、図 12 の上から見た模式図を見れば明らかなように、現在の蓋はまだ小さく、外の電極との間には大きな隙間が空いている。これは微少電流を読み取ってビーム電流値とする装置の性格上、ターゲットと同じ電位を持つこの蓋を他のどことも接触させられないためである。

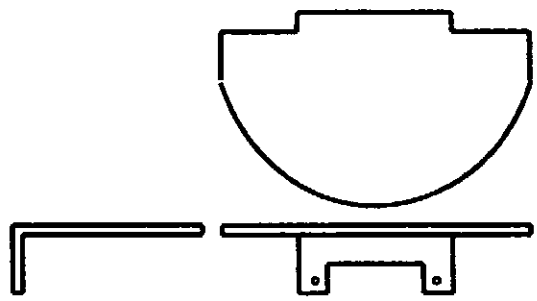


図 10：蓋の三面図

形状	直径 90mm のほぼ半円形（二次電子を抑える蓋の役目をする）と、凹型（ホルダーへの取り付け用）部分が直角に折れ曲がった形。
遮蔽する面積	約 12167 mm^2（電極の隙間は前側の半円で約 54343 mm^2） →つまり電極の隙間の 22.4%しか覆えていない。
素材	Al
取り付け方法	ターゲットホルダーにネジを使って直接取り付け

表 1：製作したターゲット上部フサギ板（蓋）の仕様

4、結果

作成した蓋を使用した場合と、使用していない場合双方の斜め 80° におけるスペクトルと正面入射の場合のスペクトルを比較したものが図 13 である。

このスペクトルからは、蓋を置いたことで若干信号数が増えて、絶対値の差が改善されていることが見て取れる。だが絶対量測定に使えるほど改善されたわけではないため、今後なお一層の改善策が求められる。

今回ここで紹介した蓋は「ターゲット稼動領域内で、他の構造物に一切接触しない」という要求で作られた最大サイズである。今後はこの条件を外し、「一定の制約下では測定に問題が出ない」程度に大きな蓋を作って二次電子を抑えてみるつもりである。

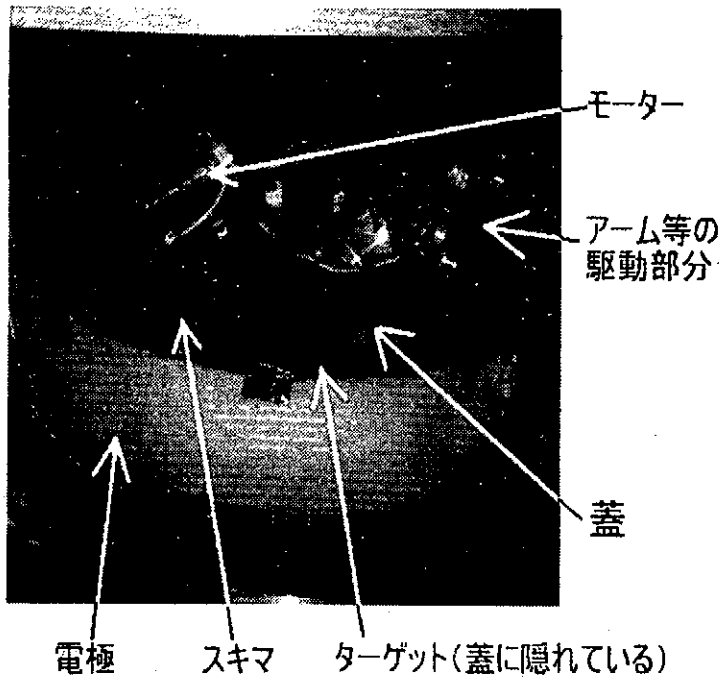


図 11：ターゲットに蓋を取り付けた状態の写真
（斜め上側から俯瞰して撮影）

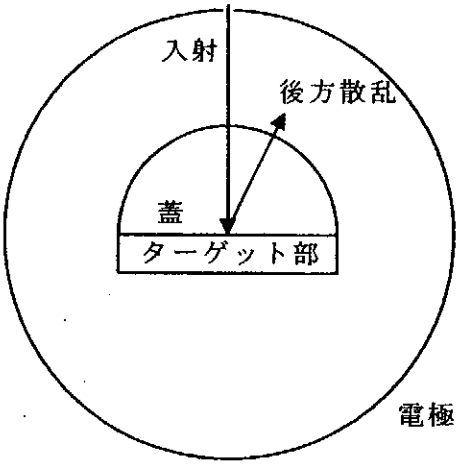


図 12：蓋装着時の模式図（上から見た図）
ビームは蓋の下を通り試料に当たる。
二次電子は後ろ側へ飛ばないため、
蓋はターゲットの前側半分だけを覆えば十分である。

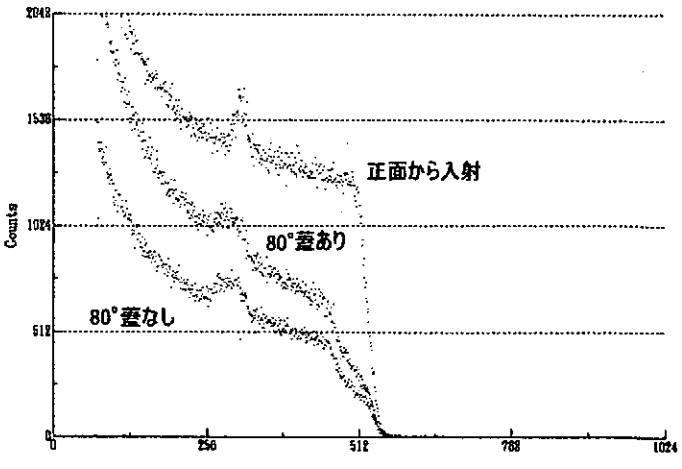


図 13：実測での正面、斜め壁あり/なしの比較
若干だがスペクトルの改善が見られる

スパッタ法により作製した $CaTiO_3$ 膜に対する Ti イオン注入効果

東北大学金属材料研究所　○斉藤今朝美、大津直史、菊地迪夫、佐藤武明、永田晋二、浅見勝彦
物質・材料研究機構 材料研究所　塙　隆夫

1．はじめに

21 世紀の高度な福祉社会を実現するためには、生体と融和する新しい医用材料を開発して、医療技術の高度化に貢献する必要があることは多くの人の意見の一致するところである。これらの中でも、人工関節、人工骨、人工歯根などは金属材料研究者の寄与が大いに期待される分野である。なかでもチタンは生体親和性の高い金属として知られているが、それ自身には骨形成を促進する作用はない。そのため、骨形成を促進するため、種々の表面処理法が試みられているが、それらの多くはチタン表面へのアパタイト層の形成を目的としている。これに対し、本研究の共同研究者の一人である塙は、カルシウムイオン注入によりチタン表面の骨形成能を高める表面改質法を考案した。この方法は、アパタイトを形成せず表面改質層の機能により、骨中でアパタイトを自発的に形成させるもので、機械的強度に優れる金属材料に生体機能を付与するという画期的な表面改質法である。しかし、Ti にカルシウムイオン（Ca^{2+}）を注入すると Ti 周囲の骨形成が促進される利点はあるものの、Ti への Ca^{2+}注入では安定して表面改質層を形成させることがむずかしいという問題があり、Ti 表面に Ca を真空蒸着し直ちに Ar イオンを注入することで、Ca^{2+}注入 Ti と同様の性質を有する材料を開発しようとすることなども試みている。しかし、Ar イオン自身が被覆層内で集合して気泡となり、被覆層の特性に悪い影響を及ぼすおそれもあり、できれば被覆層の構成元素であるチタンあるいは酸素を用いてミキシングすることがより適切と考えられる。また、Ti へ Ca^{2+}を注入した場合、界面にはチタン酸カルシウム($CaTiO_3$)が形成され、この層と体液との反応によって表面がさらに変化し、Ti 周囲の骨形成が促進されると考えられる。

以上の観点から、本研究においては、Ti に $CaTiO_3$ をスパッタ蒸着するとともに Ti イオンを照射し、ミキシングし、どのような被覆層が形成されるかを検討した。

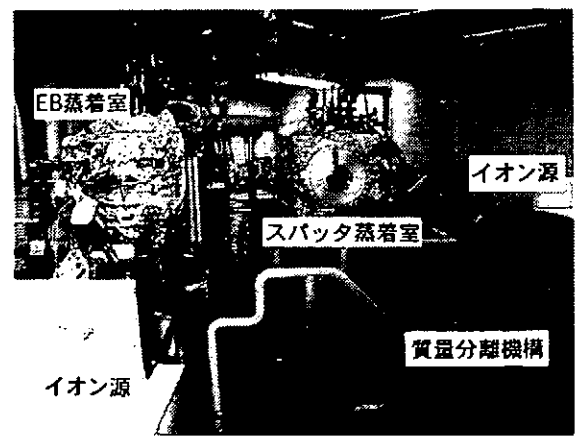


図 1　複合イオンビーム成膜装置

2．実験方法

成膜には、図 1 に示す複合イオンビーム成膜装置を用い、基板は成膜後の組成分析等を考慮して Si にした。試料は $CaTiO_3$ ターゲットを用いヘリコンスパッタ法により蒸着し、同時にフリーマン型イオン源を用いてイオン分離し、加速電圧 20kV で Ti イオンを注入した。Ti イオンは Ar イオンによるスパッタにより生成した。Ti 注入量はいずれの試料においても一定（5×10^{15} atoms/cm^2）とし、$CaTiO_3$ 蒸着時のヘリコンスパッタ

試　薬	重　量(g)
NaCl	8.00
KCl	0.40
$Na_2HPO_42H_2O$	0.06
KH_2PO_4	0.06
$MgSO_47H_2O$	0.20
$NaHCO_3$	0.35
$CaCl_2$	0.14

表 1　Hanks 容液（ 水 1ℓ 中 ）の成分

パワーを 200W、150W、100W、50W と変えた４種類の試料と、Ti 注入なしの合計５種類の試料をスパッタ時間を一定にして作製した。作製した試料の構造は薄膜 X 線法により、定性および定量分析は、ラザフォード後方散乱分光法（RBS）、電子プローブマイクロ分析法（EPMA）を用いて解析した。また、試料を 37℃の体液模擬溶液の一種である Hanks 液に２週間浸漬し、溶解による被覆層の変化、表面に生成するリン酸カルシウム等を X 線光電子分光分析装置（XPS）によって測定した。Hanks 液の成分を表１に示す。

３．結果と考察

図２にスパッタパワー200W、Ti イオン注入加速電圧 20kV で作製した $CaTiO_3$ 膜の薄膜 X 線回折パターンを示す。スパッタパワーや Ti イオン注入に依存せず、すべての試料において同じような回折パターンが得られ、$CaTiO_3$ 膜はアモルファス層になっていると思われる。

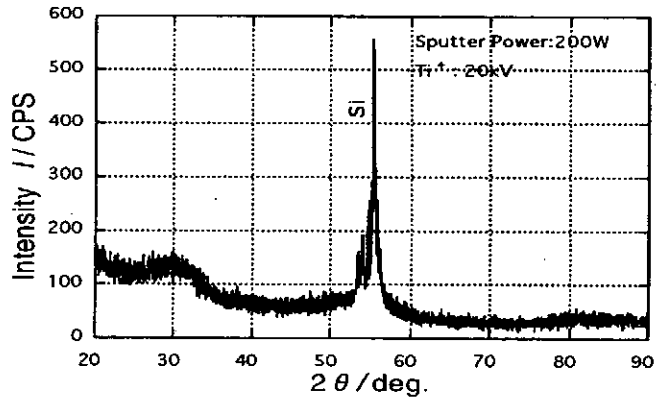


図 2　$CaTiO_3$ 膜の X 線回折パターン

表 2 に RBS 法により求めた成膜直後と Hanks 溶液へ浸漬後の $CaTiO_3$ 膜の分析結果を示す。はじめに成膜直後の $CaTiO_3$ 膜について考察する。スパッタパワー200W で作製した試料と、スパッタパワー200W に Ti イオンを注入し作製した試料での膜厚を比べると、後者の方が 10%程度小さくなっていることがわかる。その原因として Ti イオン自身によるスパッタあるいはイオン分離が完全ではないために成膜室まで混入した Ar イオンによるスパッタによるものと考えられる。また、スパッタパワー50W の試料の膜厚においては、酸素量が同定できなかった。

つぎに $CaTiO_3$ 膜の組成において、すべての試料で Ca 量は Ti 量と比べて 20～30%多いことがわかった。この件についてスパッタ後に $CaTiO_3$ ターゲットを EPMA 分析したところ、Ti 量に対して Ca 量が 15%程度少ないことがわかり、優先的に Ca がスパッタされていることが考えられる。また Ti イオンを注入した試料サンプルでの Ti 量は、予想注入量と比較して実際の注入量は非常に少なく、Ti 注入量の約 40%程度が増加していることがわかった。この件に関しても、分離されずに混入した Ar イオンや注入 Ti イオンによるスパッタが原因と考えられる。

次に Hanks 溶液中に一連の試料を浸漬したところ、表２の下段に示すように、Ti

as sputter

	スパッタパワー (W)	Ca (10^{16}atoms/cm^2)	Ti (10^{16}atoms/cm^2)	O (10^{16}atoms/cm^2)	Ca : Ti : O	膜厚 (Å)
$CaTiO_3$	200	12.5	9.53	52.0	1.31 : 1 : 5.46	750
$CaTiO_3$ + Ti^+	200	12.0	9.74	43.3	1.23 : 1 : 4.45	680
$CaTiO_3$ + Ti^+	150	8.18	6.51	25.4	1.26 : 1 : 3.90	440
$CaTiO_3$ + Ti^+	100	4.97	3.95	18.3	1.26 : 1 : 4.63	280
$CaTiO_3$ + Ti^+	50	1.48	1.46	2.01(?)	1.01 : 1 : (?)	70

膜厚は、$CaTiO_3$=4.00g/cm^{3}として計算

Hanks溶液への浸漬後

	スパッタパワー (W)	Ca (10^{16}atoms/cm^2)	Ti (10^{16}atoms/cm^2)	O (10^{16}atoms/cm^2)	Ca : Ti : O	膜厚 (Å)
$CaTiO_3$	200	0	0	0		0
$CaTiO_3$ + Ti^+	200	1.77	9.54	29.2	0.186 : 1 : 3.06	410
$CaTiO_3$ + Ti^+	150	1.09	6.48	20.4	0.168 : 1 : 3.15	280
$CaTiO_3$ + Ti^+	100	0.627	3.76	14.0	0.167 : 1 : 3.72	180
$CaTiO_3$ + Ti^+	50	0.350	1.49	8.44(?)	0.235 : 1 : (?)	90

表 2　RBS 法により求めた $CaTiO_3$ 膜の組成および膜厚

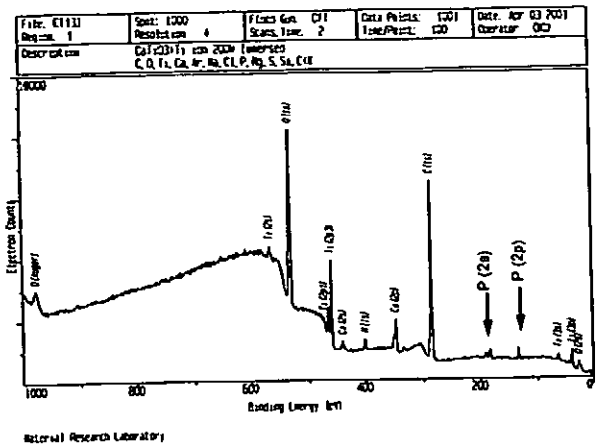


図 3　Hanks 溶液浸漬後の $CaTiO_3$ 膜の XPS プロファイル

注入なしの試料はスパッタ膜の厚さは最大であったにもかかわらず、全て溶解したのに対し、Ti イオン注入を行った試料では溶解しきらず、その膜厚は 60%以上残存していることがわかった。その試料の組成比から Ca が優先的に溶解していることもわかった。図 3 に Hanks 溶液へ浸漬後の XPS の測定結果を示す。図にはリンのピークが観測されたことから、膜中には溶液中からの燐酸イオンが混入し、チタン酸カルシウムが、リン酸カルシウムに変化していっている可能性を示唆した。

4．まとめ

複合イオンビーム成膜装置を用い、$CaTiO_3$ をスパッタ蒸着するとともに Ti イオンを照射し、20kV でミキシングして成膜した。さらに体液模擬溶液の一種である Hanks 溶液中にこれら一連の試料を浸漬したところ、Ti 注入なしの試料はスパッタ膜の厚さは最大であったにもかかわらず、全て溶解したのに対し、Ti イオン注入を行った試料では溶解しきらず、膜中には溶液中からの燐酸イオンが混入し、チタン酸カルシウムが、リン酸カルシウムに変化していっている可能性を示唆した。

謝　辞

本研究をすすめるにあたり、EPMA 分析にご協力を頂いた本所 村上義弘技官に感謝いたします。また基板および試料の加工のために、精密基板加工機を作製して頂いた本所 布田　勝技官、小野幸一技官、永野　勇技官、大友富美男技官、臼井和也技官に感謝いたします。

マシナブルセラミックスの
高温度領域における超音波測定

岐阜大学 工学部 技術部 秋 田 正 之

1. はじめに

近年，宇宙産業を中心に耐熱材料に対する要望が増加するとともに，さらに利用が広まりつつある．高温において，化学的に安定であり，さらに機械的性質が優れている耐熱材料への要望はますます増加している．耐熱材料の開発にあたり，新材料の特性評価，物性評価の検討は最適材料を見いだすためにも必要である．その耐熱材料の代表としてセラミックスは，耐熱性，耐食性，高強度を持つ点で，重要な位置を占めている．ところで，超音波手法は材料のヤング率などの弾性定数や弾性エネルギーの吸収量が簡便に測れるという点で，新材料の特性評価，物性評価の手段の一つとして有意義である．この意図のもとに，著者は室温から 1000℃の温度を測定範囲とする超音波測定装置（写真 1）[1]を設計，製作した．一方，機械加工が可能なマシナブルセラミックスは，従来切削工具を受け入れないと考えられていたセラミックスに加工が施せるという点と，高温下でも使用できる点で注目され，かつ実用面においても優れている．したがって，高温域での弾性定数などを知ることは有意義である．本報ではよく知られているコーニング社のマコール材について，測定した結果および装置の概要について報告する．

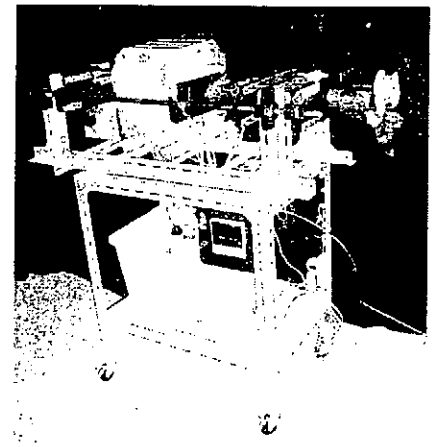


写真 1　超音波測定装置

2. 高温度下における超音波測定法と測定原理

2.1 音速測定原理

図 1 は測定原理を示すものである．図 1(a)は圧電振動子の取りついたバッファーのみの場合である．送信側振動子により発せられた超音波パルスは，バッファー中を伝搬して，受信側の振動子に検出される．図 1(a)の下方の図は，時間に対する送，受信パルスの様子である．図 1(b)はバッファーに試料を取り付けた場合である．送信側振動子から発した超音波パルスエネルギーは，バッファーと試料を通過して受信側の振動子により検出される．試料中の超音波の伝達時間Δtが，試料中を通過するのに要する時間に相当することから，ℓ／Δtで速度が求められる．なお，振動子を厚み振動をする縦波振動子，ずれ振動をする横波振動子を交換することにより，縦波速度の測定，横波速度の測定ができる．

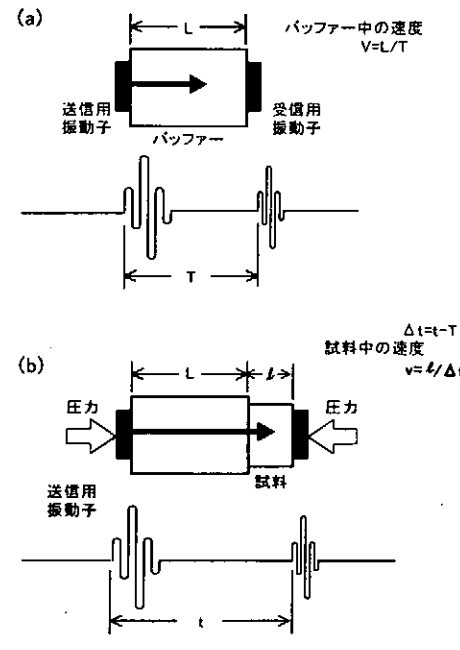


図 1　音速測定原理

2.2 減衰測定原理

試料のエネルギー吸収量（減衰）は，試料の内部の状態を反映する量として，重要な意味を持つ．吸収量は，図２に示す状態のもとでパルス振幅を測定することから求められる．すなわち，図 2(a)に示すように，圧電振動子の取りついたバッファーのみの場合の振幅 A_0，図 2(b)に示す試料にバッファーを圧着した場合の振幅 A_1 を測定することから求められる．

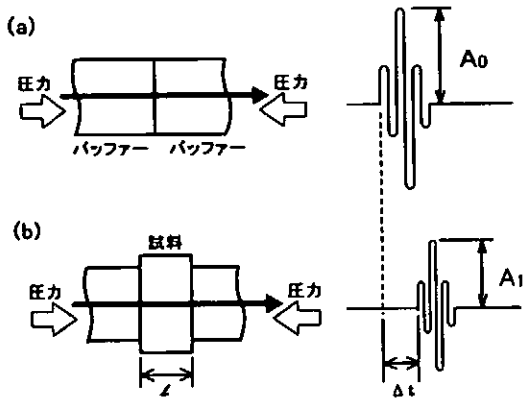


図２　減衰測定原理

3. 高温用超音波測定装置の構成

室温より 1000℃までの温度領域における超音波測定装置の電気的測定系を図３に示す．図において，時間の基準を作る機能を持つ信号発生器により発した信号パルスは，R.F.パルス発信器に働きかけ，超音波パルスを発生させるための電気的減衰信号パルスを発生する．この電気的パルスは，２つの送信用の圧電振動子に加えられる．一つの超音波パルスはバッファーを介して試料に入り，さらにバッファーを通って別の受信用振動子に至る．もう一つの超音波パルスは精密な測定を行うために水銀を用いた計測装置，つまり水銀ディレー装置の水銀中を伝わって，受信用振動子に至る．ちなみにこの水銀ディレー装置は，微小な試料でも超音波の伝搬時間を正確に測定できることに特長がある．受信用振動子で電気信号に変換された信号は，広帯域増幅器により増幅されて，２現像オシロスコープの管面上に描かれる．この観測画面から，Δｔを測ることにより速度を求め，バッファーのみの場合の振幅 A_0，試料にバッファーを圧着した場合の振幅 A_1 を測ることにより吸収量が求まる．

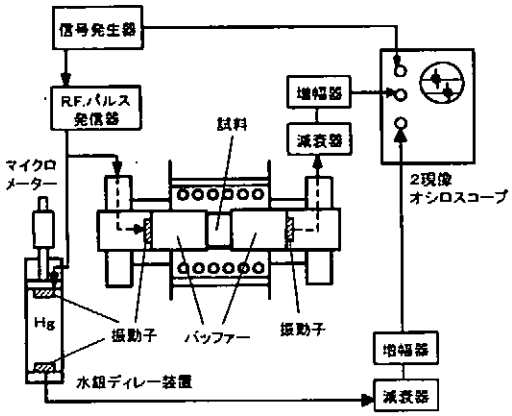


図３　電気的測定系

4.　マシナブルセラミックス

4.1 マシナブルセラミックスとは

セラミックスは(1)化学的に安定で，耐腐食性がある，(2)他の材料と比べて高温までその硬さ，強さを維持する，(3)資源的に豊富である．などの利点により注目を浴びている[2]．一方，セラミックスの欠点としては，機械加工がしにくいことが挙げられる．この欠点を解決したのが以下に挙げるマシナブルセラミックスである．マシナブル（machinable）とは，一般の工作機械すなわち，旋盤，ドリル，切削機械などで加工が可能であるという意味であり，マシナブルセラミックスとは，この機械加工が可能なセラミックスのことである[4]．マシナブルセラミックスは，最近ではその種類も多く，種々の組成のものが開発されているが，今回，特性の測定をしたのは，コーニング社の製造による”マコール”である．

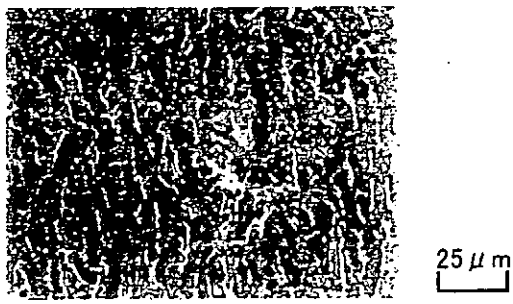


写真２　マコールの組織写真

4.2 マコール

表 1　化学成分（Wt.%）

Material	SiO_2	Al_2O_3	MgO	K_2O	F	B_2O_3
Macor	46	16	17	10	4	7

マコール(Macor)とは米国のコーニング（Corning）社の開発した商品名で，雲母析出型の結晶化ガラスセラミックスである．マコールは，フッ素金雲母の微細な結晶を均一にホウケイ酸ガラスのなかに分散させた構造をとっている．マコールの顕微鏡組織写真を写真２に示す．写真に見られるように，雲母の結晶が析出しており，この雲母は厚さが薄く，厚さに比べて面積の大きい平らな結晶になっている．さらに雲母結晶はいろいろな方向にからみあっている．これが，マコールの機械加工性を良くしていて，切削時には，工具の刃先がマコールの中を割り進むとき，雲母結晶は割れを内部にまで進むのを防ぎ，割れを切削部分にとどめておく作用をする．そのため非常に小さな割れが切削部分だけに集中し内部にまで進むのを防ぎ，割れることなく切削加工が行うことができる[2]．さらにマコールの特徴を挙げると，機械加工性のほか，(1)硬度が高い，(2)溶融温度が高い，(3)加熱による軟化が起こりにくい，(4)電気絶縁体である，(5)1200℃まで軟化しない，(6)急熱，急冷に強い，などが挙げられる[2]．

5.　測定結果

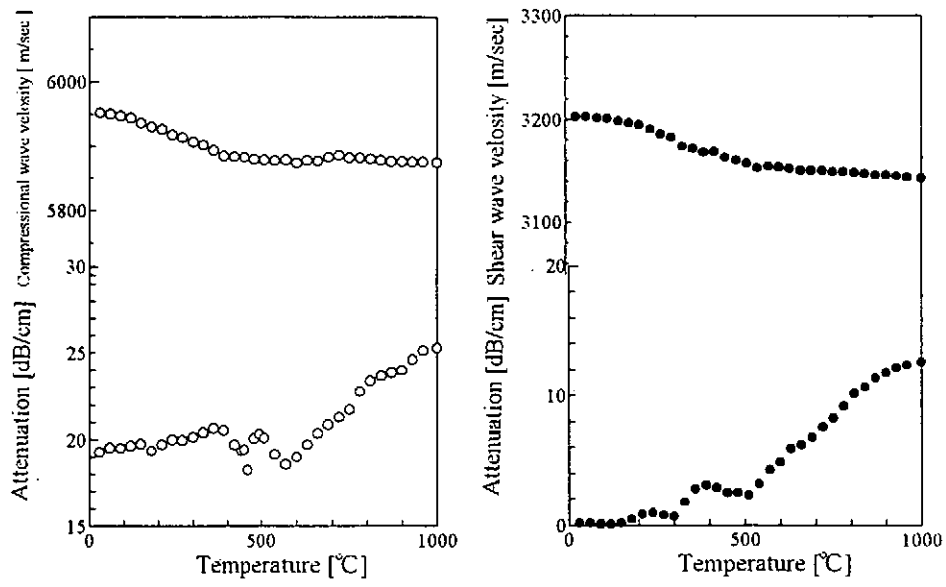
5. 1　試料

開発した高温領域超音波測定装置により，コーニング社製のマコールを試料として，20℃から1000℃までの温度領域での超音波測定を行った．材料はφ38mm，長さ 20mm の円柱状に機械加工したものであり，熱処理などは行っていない．この試料の化学成分は表 1 に示すとおりである．酸化ケイ素が約半分を占めているが，あとの半分近くが５つの成分から成り立っていることがわかる．

5. 2　縦波超音波測定・横波超音波測定

図 4(a)にマコールの縦波速度と減衰の吸収量の測定結果を示す．図から明らかなように，縦波速度は温度の上昇に伴って減少する傾向を示す．特に 100℃から 500℃の範囲において縦波速度の減少の割合が大きい．一方，減衰量は 450℃と 580℃のあたりで減衰量が変化するが，それ以外の温度では，温度の上昇に伴って増加する傾向を示している．

図 4(b)にマコールの横波速度と減衰の吸収量の測定結果を示す．縦波速度の結果と同様，横波速度も温度の上昇に伴って減少する傾向を示しており，特に 100℃から 500℃の範囲において横波速度の減少の割合が大きいものとなっている．一方，減衰量も温度の上昇に伴って増加を示しているが，300℃と 500℃あたりで減衰量が変化する傾向を示している．



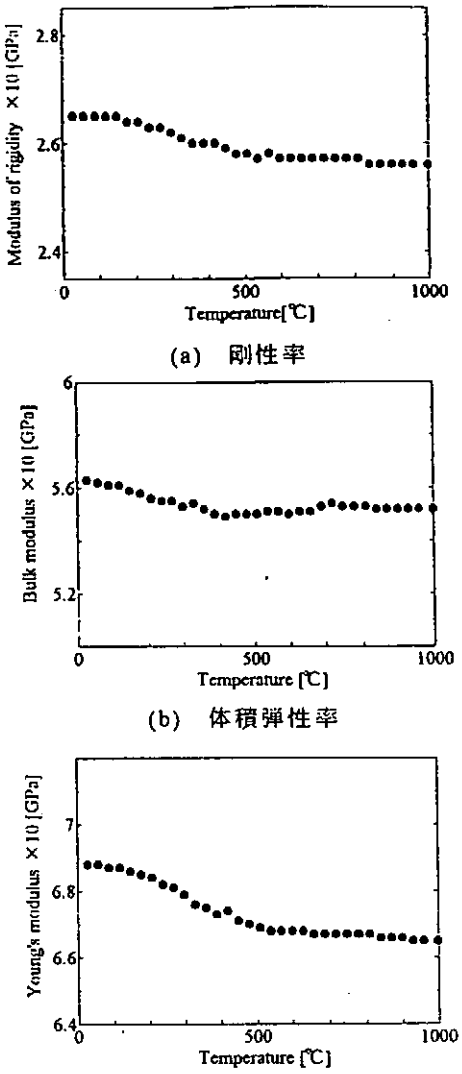
(a)　縦波超音波　　(b)　横波超音波

図 4　マコールの超音波速度と減衰量の温度変化

5.3 マコールの各種弾性率の温度依存性

5.2 のマコールの縦波速度および横波速度の測定結果から，各種の弾性定数を求めることが可能である [1]．そこで，これらのデータから各種弾性率（剛性率，体積弾性率，ヤング率）を算出した．

図 5(a)から図 5(c)にマコールの剛性率，体積弾性率，ヤング率の温度変化を示す．これら各種弾性率はいずれも温度の上昇につれて比較的単調な減少傾向を示しているが，特にヤング率は 200℃から 500℃の範囲において減少率が大きくなっている．



(a) 剛性率

(b) 体積弾性率

(c) ヤング率

図 5 マコールの各種弾性率の温度変化

6. 考察

マコールのような雲母析出型のマシナブルセラミックスには高温における形状回復力（形状記憶現象）[4]があることが知られている．すなわち約 500℃の温度で加圧圧縮し，その後冷却する．そして再び 500℃に熱すると圧縮した長さを回復するのである．最大の形状回復力を示す再加熱温度は異なっているが，図 6[4]に示すようにマコールは 730K（≒460℃）近傍で形状回復力のピークを迎えているが，これはマコール内部で転移が起こり始めていると考えられている．縦波超音波測定の結果，横波超音波測定の結果でいずれの減衰量も 500℃近傍において減衰量に変化が見られているが，この結果は，形状回復力と何らかの関係があるようである．しかしこのことは，より多くの面からの結果が必要である．

7. 結果

本報ではマシナブルセラミックの一種であるマコールを試料に，室温から 1000℃の温度領域において超音波測定を行い，高温域での各種弾性率を算出した．主要な結果は以下の通りである．

(1) マコールの各種弾性率（剛性率，体積弾性率，ヤング率）は温度上昇とともに減少する傾向を示す．

(2) 縦波超音波測定の結果，横波超音波測定の結果の減衰量は特に 500℃近傍で変化する傾向を示す．これはマコールの転移が起こっていると考えられる形状回復力におけるピーク点（460℃）に近い温度であり，減衰量の変化はマコールの転移が起きていることと関連があると考えられる．

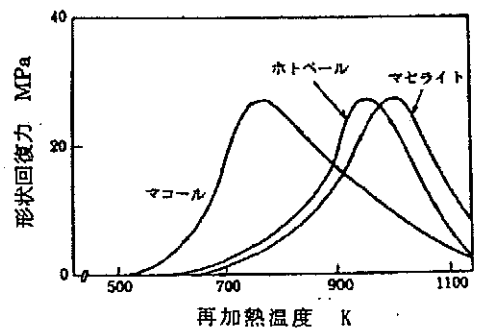


図 6 形状回復力発生の様子 [4]

参考文献

1) 秋田正之．高温領域における超音波測定装置の開発とその性能試験．機器・分析技術研究会報告集 pp.41-44(2001).

2) マコール製品カタログ．石原薬品株式会社

3) 大学基礎機械材料改訂版．門間改三．実教出版株式会社．p.126-127(1997)

4) ニューガラスハンドブック．ニューガラスハンドブック編集委員会編．丸善株式会社．p.517-519

サンプリング法を用いたRFプラズマパラメータの測定

山口大学　工学部　　核融合科学研究所
○田内　康，田坂　貴文，福政　修，竹入　康彦

はじめに

所属研究室において次世代のNBI加熱装置用負イオン源の開発として高周波放電プラズマの適応について検討を行っている。NBI加熱装置とは、制御熱核融合における炉心の加熱法であり、中性粒子入射過熱装置を指す。現在の実験においては、水素負イオンによる基礎実験がメインであり、この高効率な生成法として、次の2段階体積生成過程が挙げられる。

（1）　$H_2 + ef \rightarrow H_2^* + ef$　（振動励起分子生成過程）
（2）　$H_2^* + e \rightarrow H^- + H$　（負イオン形成過程）

efは30eV以上の高速電子、eは1eV以下の低速電子を表す。

この反応を効率よく起こすために磁気フィルターを用いて2つの異なったプラズマパラメータを持つプラズマを隣り合わせにすることが必要である。現在、直流放電に磁気フィルターを使用したものは上手く負イオンを生成している。将来の長時間運転をするには、真空中に消耗品のない高周波放電を用いたものが望まれており、13.56MHzのRF放電プラズマや2.45GHzのECR放電プラズマを検討している。しかしながら、高周波放電を用いた実験において、負イオン生成が上手くいっていない。もしくは直流放電ほど高効率ではないことが研究成果から判ってきた。その理由として、プラズマの電子密度が低い、また磁気フィルター効果が弱く下流容器の電子温度が下がらないことが原因と思われる。しかしながら、その電子密度の低下及び、磁気フィルター効果の減少についての原因を突き止めるにはいたっていない。また、RFプラズマにおいては、色々な測定法のミスマッチの報告もなされており、様々な測定法が考えられてきた。

近年、デジタルオシロスコープは測定機器として一般的になってきた。デジタルオシロスコープの特徴としては、内部もしくは外部の信号に同期することにより波形を記録し、手軽にデータを収集することができる。そこで、RF電源(13.56MHz)とデジタルオシロスコープの同期を取ることで、高周波1周期内で、どのようにプラズマが変化しているかを測定することにした。本報告においては、その測定法および測定結果について述べる。

実験装置

図1に実験装置の概略を示す。プラズマ源は直径20cmのステンレス製円筒容器で、上流容器、磁気フィルターフランジ、下流容器からなっており、常時拡散ポンプにより真空にしている。プラズマは上流容器の中心に設置した円盤のアンテナに高周波を印加することで生成している。

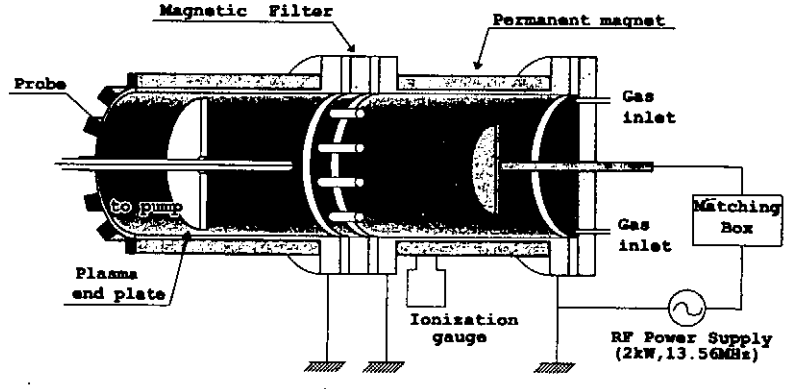


図1　実験装置概略図

また、容器外周に１２極のライン・カスプ磁場を形成し、プラズマを閉じ込めている。磁気フィルターにはネオジウム磁石を使用したロッドフィルターを用い中心磁場は約 120Gauss である。プラズマパラメータは下流より挿入したラングミュアプローブにより測定する。プラズマパラメータ測定は、このプローブの電流 - 電圧特性により求まる。しかしながら、RF 放電においては、プラズマのポテンシャルがアンテナの電位の残留成分により 13.56MHz で振動しているので、図２のように、信号に幅があり上手く測れない。このことを改良し、プラズマの電位に依存しないダブルプローブ等の測定法もあるが、今回は、時間分解能の高い精密測定を目標にしているので、そのままの測定では不適当である。そこで図３に示すような測定回路を構成し、電源と測定系の同期を取り、シングルプローブのままデータを収集した。発信器＃１は、13.56MHz の RF 信号を生成する。発信器＃２は数 KHz 程度の信号を発生し、オシロスコープの時間軸を決定する。また、パルス放電時においては Duty 比が変化する方形波をつくり、パルス放電のパラメータを決定する。発信器＃３は、数 Hz 程度の信号を発生し、電流－電圧特性の電圧を掃引する。発信器#1, #2 は２チャンネルのものを使用し、各チャンネル間の位相差は変化させることが出来る。ゲート回路は、D フリップフロップ(D-FF)はショットキータイプの SN74S74 を使用した。デジタルオシロスコープは横河製 DL-1740 (500MS/s) を使用している。

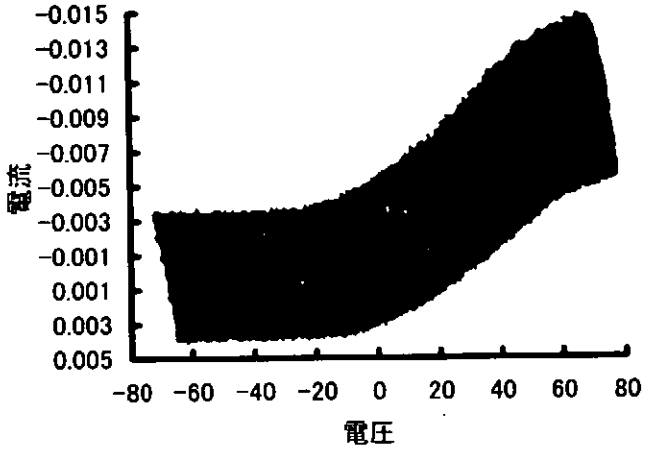


図２　通常測定での電流－電圧特性

測定回路の検討

13.56MHz の一周期は約 74nS で、デジタルオシロスコープのサンプリング周期は 500MS/s、D-FF の遅延時間は数 ns(規格表より)、オシロスコープのチャンネル間の遅延時間は 1ns 以下である。従って、D-FF の遅延時間が一番の問題点となる。実際に、これが、個体差なのか、動作時のばらつきの時間なのかを検討した結果、使用するに関しての問題ない仮定した。そこで、図４のような同期回路をゲート回路として動作させることにした。クロック信号に発信機＃１の RF(13.56MHz)の電源に供給する信号の位相をずらしたものを TTL 入力する。また、D 入力には、発信機＃２のデジタルオシロスコープの時間軸を決める信号を入力する。また、パルス放電時においては、高周波電源に供給するパルス信号と位相のずれたものを TTL 入

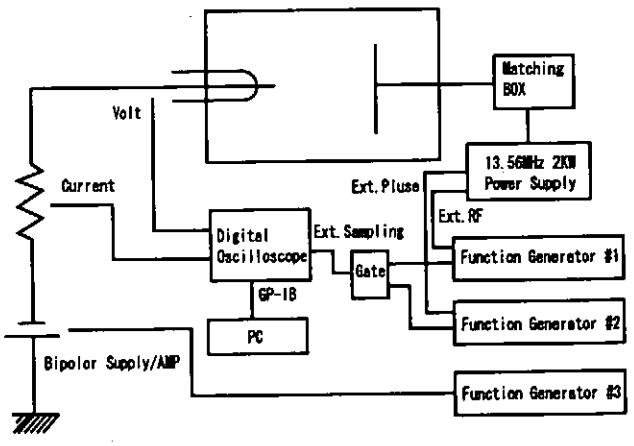


図３　測定回路図

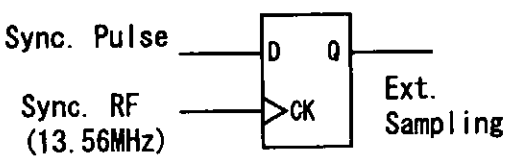


図４　同期回路

力した。そして、生成されるプラズマのプラズマパラメータは、いつも同じ位相において、変化ないと仮定し、電流－電圧特性を、繰り返し放電で測定した。

測定結果

図２と同様のパラメータで実験を行い動作確認を行った。図５に測定結果を示す。これより 13.56MHz での任意の位相におけるデータが収集でき、電流－電圧特性の線を得ることが出来る事がわかった。図６にプラズマパラメータの高周波１周期中の変化を示す。この結果から、電子密度は、高周波１周期内で刻々と変化していることがわかる。これは、過去に報告のある実験結果と似ていることから、簡単な D-FF のゲート回路と一般的なデジタルオシロスコープを使用しても正確な結果が得られることがわかる。また、熱対策のためパルス放電を利用して大電力時のプラズマパラメータについても検討した。図７に測定結果を示す。このことから RF 放電においては、ECR 放電に見られるジャンプ現象も見られなかった。また、大電力側で飽和傾向を示しており、電力を増加させてもある程度の電子密度しか得られなかった。さらに測定に関しての確認も含めパルス放電の時間依存性を測定した。図８に結果を示す。プラズマは０μｓで ON になり、30μｓで OFF になっている。この結果より、OFF 直後で、電子密度より電子温度のほうが急激に落ちており、その電子温度は、直流放電をパルス放電した場合と同程度になっていることがわかった。従って、パルス放電の計測法に関しても正確に測定できているものと思われる。

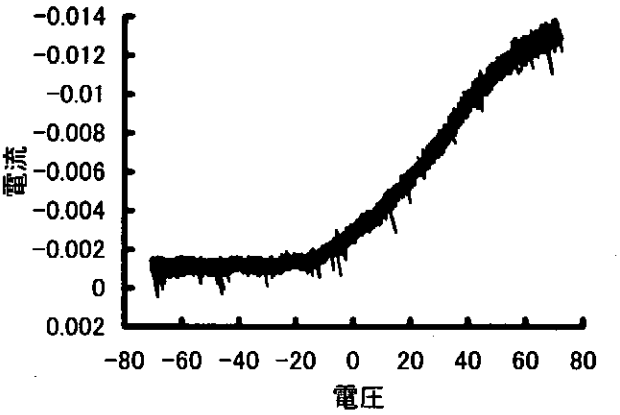


図５　適用後の電流－電圧特性

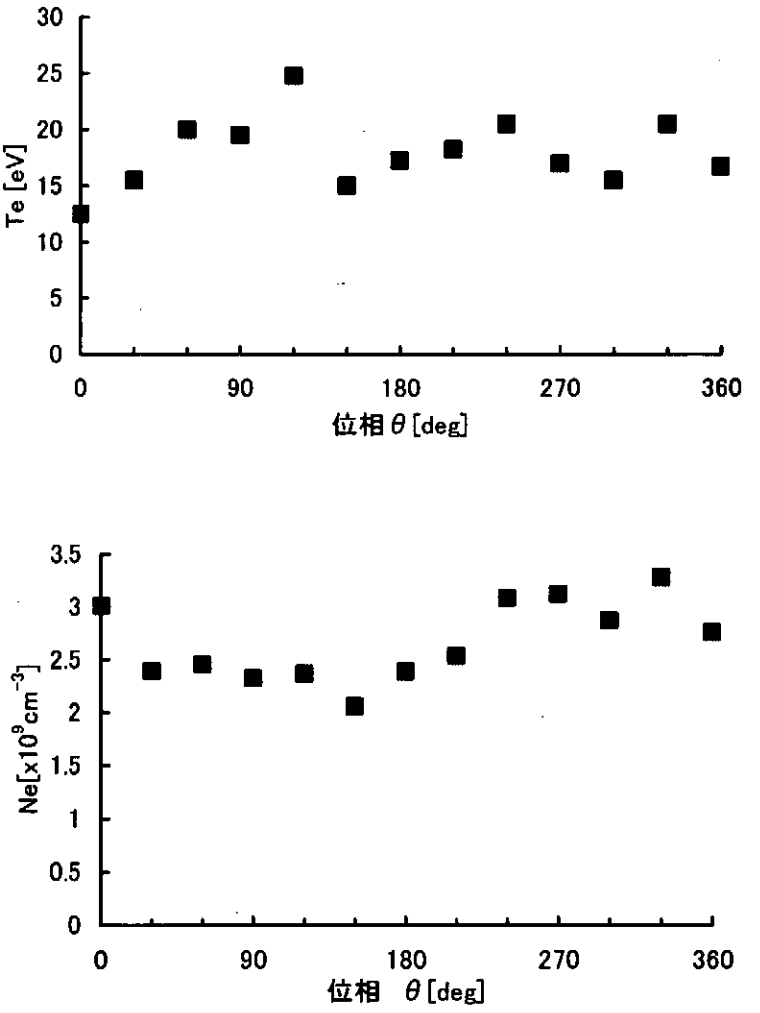


図６　プラズマパラメータの高周波１周期内の変化
(RF Power=100W, Ra=15cm, L= 8cm)

まとめ

D-FF を用いることで、13.56MHz の高周波電源と測定系であるデジタルオシロスコープとの同期を簡単に取ることができ、13.56MHz の RF 放電の位相変化特性を得ることが出来た。また、同じ回路でパルス放電を併用し、大電力依存性とプラズマの時間依存性を測定することが出来た。この手法により測定した結果も、電子温度が高く、生成されたプラズマが、その様な特性になっていると思われる。そして、磁気フィルター効果が低く下流の電子温度が下がらないことに関しては、上流の電子温度が高いのが理由にひとつに考えられる。また、同じ理由に残留の高周波成分の電位振動による影響も検討している。

今後の予定

実際にファラデーカップ型イオン分析器を用いて、負イオン電流を引出しパルス放電時の時間変化依存性を検討する。これは、ON 時の RF プラズマの電子温度は直流放電プラズマより高いので、パルス放電においては負イオンの増加していることが推測される。

また、プラズマ容器の閉じ込め性能を上げ電子温度が減少しないか検討する。同様に、アンテナ形状を変えることで、プラズマの生成法を変化させ、上流の電子温度が変化しないか、磁気フィルター効果が高くならないかも検討していきたい。

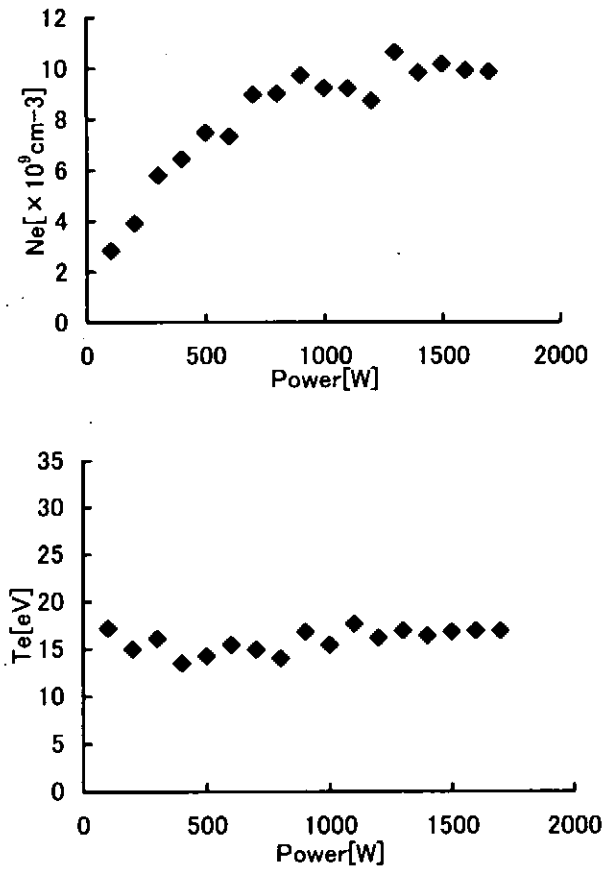


図７　プラズマパラメータの電力依存性
(H_2、5mTorr、Ra=15cm、L=5cm)

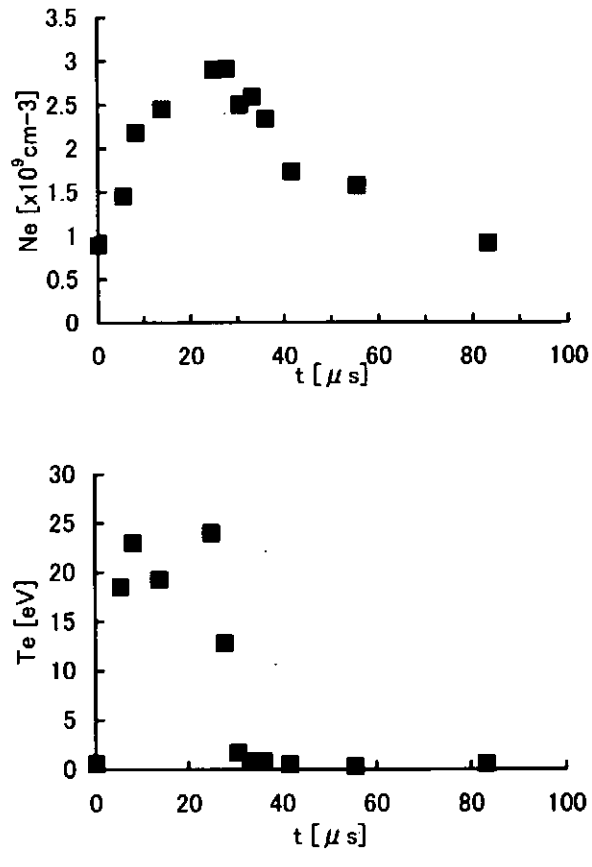


図８　プラズマパラメータの時間依存性
(Pulse 10kHz、duty=30%、
Ra=10cm、L=8cm、θ=270deg、
H_2、5mTorr、RF Power=500W)

JT-60 高周波加熱装置制御システムの改良

日本原子力研究所　那珂研究所
○ 篠崎信一　森山伸一　下野 貢　平内慎一

1．　はじめに

JT-60 高周波加熱装置の制御システムは運転開始から１０年以上経過し、経年劣化が大きな問題になりつつあった。特に旧式のミニコンピュータと CAMAC から成る制御システムは技術の進歩によって急速に陳腐化し、保守部品手配やプログラム改良等が困難になっただけでなく、頻繁な不具合発生によって高周波加熱装置の稼働率の低下を招く状態であった。このため JT-60 高周波加熱装置の高周波の入射制御を行う部分をマイクロプロセッサに置き換え、入射時の高周波の電力値を最適に調整する入射波形自動整形機能を新たに導入した。さらに装置の監視を行う部分にはパソコンとネットワーク通信を用いたシステムに更新し、その制御ならびに高周波加熱装置を構成する機器の保護機能の充実を図るとともに、システム全体の保守性を向上させた。改良後、新制御システムにより、装置の運転効率が飛躍的に向上した。

2．　JT-60 高周波加熱装置の概要

JT-60 高周波加熱装置は周波数の違いにより大きく 3 つの装置に分けられる。制御システムはこれらすべての構成機器を統合し、制御している。

(1)ICRF（イオンサイクロトロン共鳴加熱装置）

最終段に CPI 社製の四極管を使用して合計 10MW の発振器出力を有しており、発振周波数は現在 116MHz である。プラズマとの結合には 2 基のループアンテナを用いている。

(2)LHRF（低域混成波加熱装置）

最終段に東芝および NEC 製のクライストロンを使用し合計 12MW の発振器出力を有しており発振周波数は 2 GHz である。プラズマとの結合には導波管束を用いている。

(3)ECRF（電子サイクロトロン共鳴加熱装置）

発振管に原研/東芝で開発したジャイロトロンを使用し、1999 年より稼動している。その後順調に増力を重ね、現在のところ約 4 MW の発振に成功しており発振周波数は 110GHz である。

3．　旧制御システムのハードおよびソフトウェア構成

改良前の旧制御システムの構成図と制御システムが行う制御の機能図を第 1 図に示す。これまで中核になっていたのは通称「ＲＦ計算機」と呼ばれていたミニコン（NEC 製 MS-175）であったが、システムが忙しい状態の時（例えば CAMAC システムから送られてくるデータが比較的多かったりする時）にマンマシンインターフェイスからの要求が多大になると、入出力処理に時間がかかり、最悪ハングアップするということもたびたびあった。

また、JT-60 の実験スケジュール（１５分間隔で実験放電）のショットとショットの間を使って行われる真空エージングとよばれる運転も行われることにより、常に CAMAC およびミニコンは稼動状態になっていた。そのためＣＰＵへの負荷も高くなり一層ハングアップしやすくなっていた。

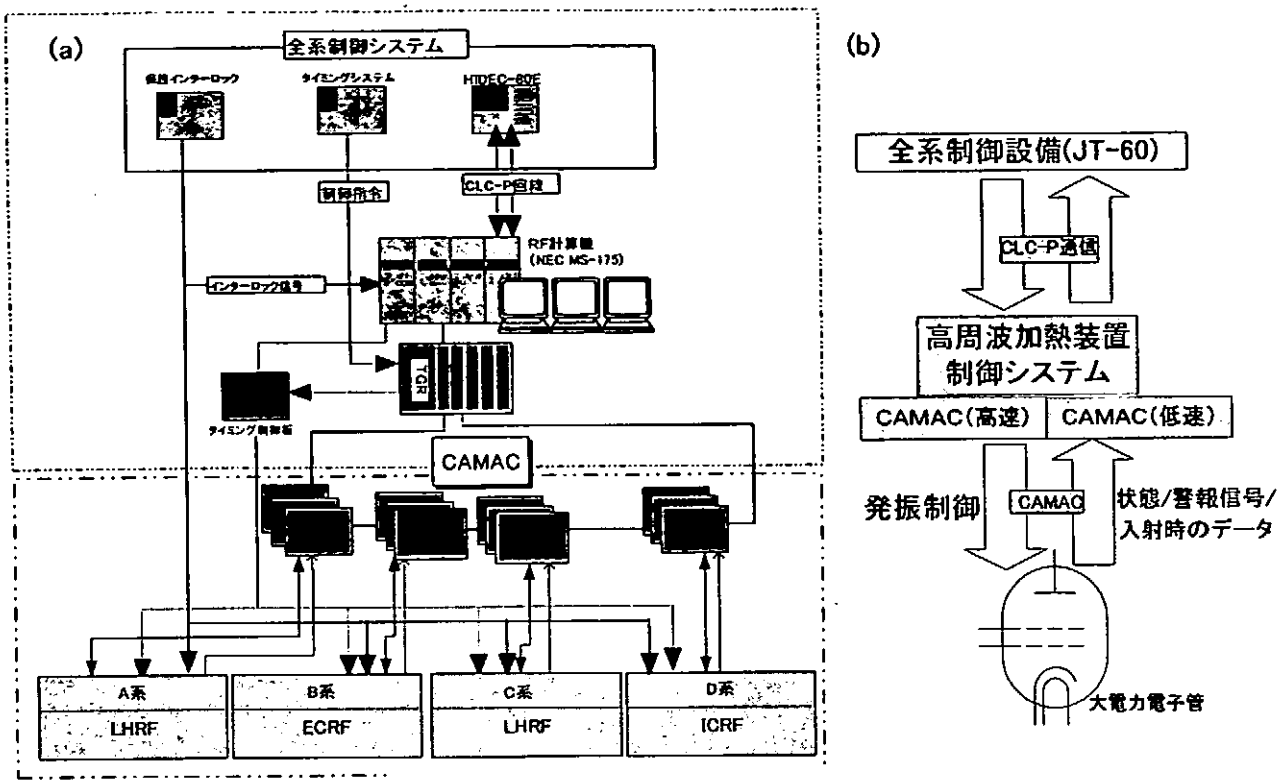


図１　(a)旧制御システム構成図および(b)機能

4．　トラブルの発生の傾向

1996 年 10 月から 2000 年 11 月までの運転期間において発生した制御系のトラブルの種類と発生割合を図２に示す。

発生割合が非常に高くなっているのはエンコード板を含むCAMAC関係のトラブルであり、その割合を合計すると約４割となる、またそれに付随してミニコンもトラブルに陥ることが多々あり概算ではあるがCAMAC が原因と思われるトラブルは約半数程度にのぼる。

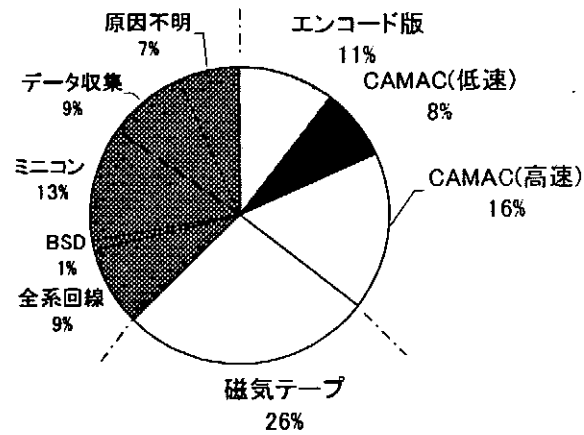


図２　トラブルの種類と発生割合

5．　新制御システムの設計方針

(1)操作性の向上

現行の制御系ではプラズマ入射時のプレプロ数値等のパラメータ入力はすべて高周波加熱装置側の運転員が実験担当者からの要望に基づいて入力しており、特にキャラクターベースのマンマシンインターフェイスのため入力操作が複雑であり、時間と手間がかなりかかっていた。これを解決するためグラフィカルユーザーインターフェイス（ＧＵＩ）入力方式を導入した。

(2)分散化処理による処理能力の向上

これまでおこなわれていたミニコンによる集中した管理から高周波の入射制御機能と警報ならびに状態監視機能を独立させ、分散化させた処理系を構築した。また処理系間の通信には TCP/IP 通信を用いた高速ネットワーク通信を採用した。

(3)保守作業の簡素化

パソコンを採用することにより部品の汎用性および保守性を向上させ、さらには故障診断等の作業はネットワークにログインすることによって行えるようにし、簡単にメンテナンスすることを可能とした。

6．　新制御システムの構成および機能

新制御システムの構成図を図３に示す。制御システムをそれぞれ入射制御系、パラメータ制御系、データ処理系に分け設計した。

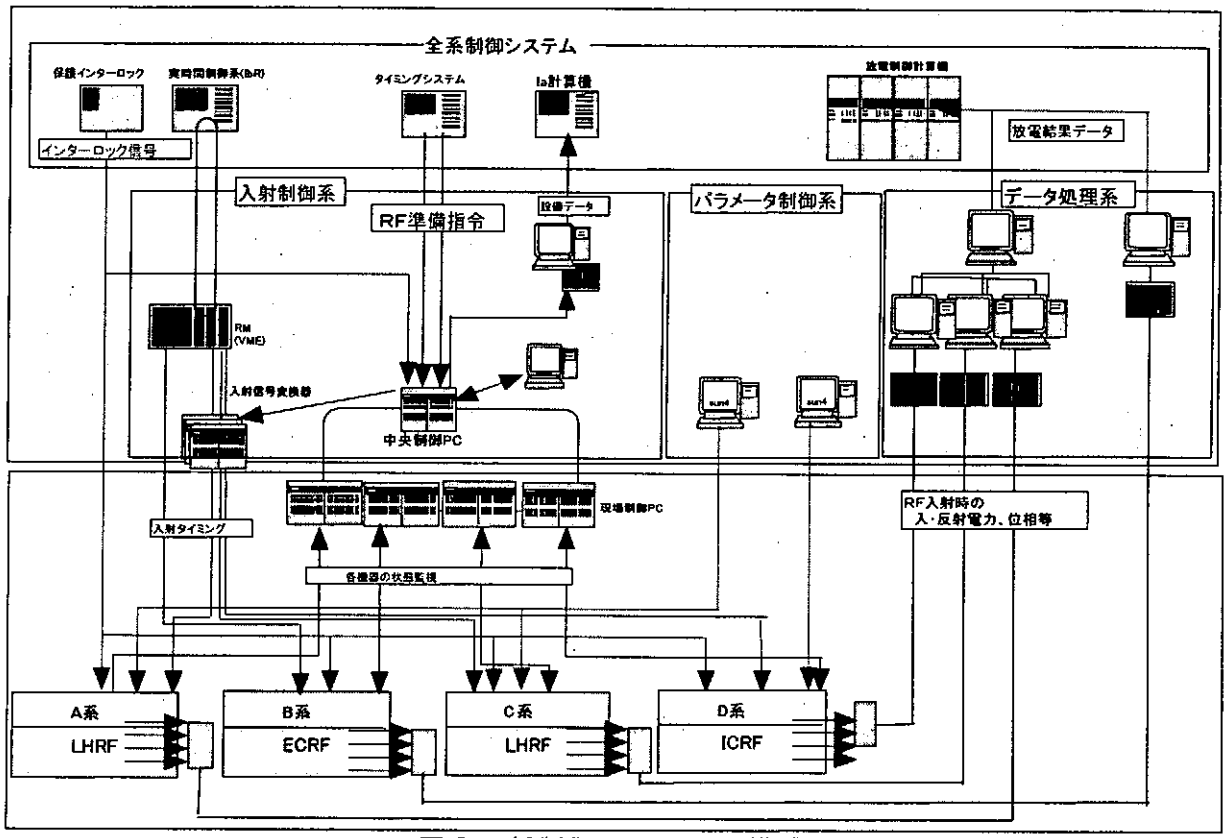


図３　新制御システムの構成

(1)入射制御系

入射制御系は全系制御システムからの入射指令値を受け取る部分（VMEシステム等から構成）と指令値をさらに波形整形する部分（信号変換器）から構成され、光伝送システムにより大電力電子管の発振制御に送られる。指令値の受け渡しには、JT-60を構成する電源設備、計測装置、NBI加熱装置等が共通で使用しているＶＭＥベースのリフレクティブメモリボードを採用し、開発OSにはTornadoを使用した。

高周波加熱装置を構成する各機器の

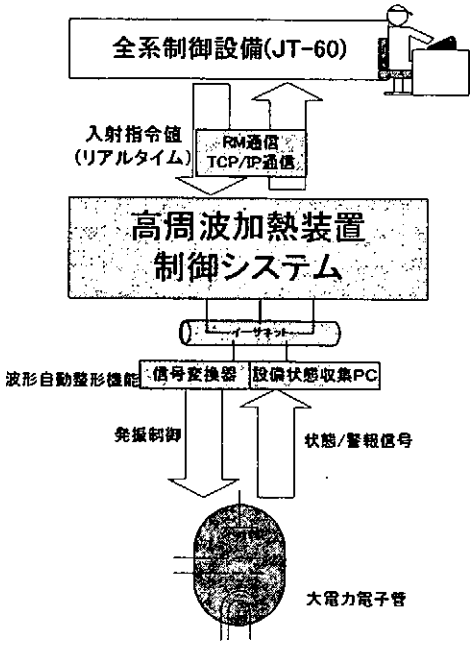


図４　新制御システムの入射制御系機能図

警報や状態信号は現場制御 PC とよばれるパソコンにて収集し、状態が変化することに高速ネットワークにて中央制御 PC にデータが送られる。
中央制御 PC は送られてきた信号を元に高周波加熱装置の運転モードを制御する。

(2)パラメータ制御系

パラメータ制御系は主にワークステーションと VME により構成されており、高周波加熱装置の機器特有保護回路の設定等を行う部分である。
この制御系は基本的にいつでも操作することができ設定を適時変更できる。

(3)データ処理系

データ処理系は入射時の高周波電力値および入射位相値等のアナログデータを取り込み演算し、全系制御設備へデータを転送する機能を有している。
発振器近傍で計測された方結等の信号はアナログ処理された後、光多重伝送装置にて中央制御室へ伝送され A/D コンバータにより収集され、さらに係数換算等を行い、全系制御設備へ転送される。

7． 信号変換器（入射波形の自動整形）

信号変換器は入射制御系の中に設置され、上位制御系である全系制御システムからリアルタイムに送られてくる大電力電子管の出力電力指令値を大電力電子管の出力特性や高周波電力を伝送する伝送機器の特性に合わせ設定し、効率よくプラズマへ高周波を入射するために用いる機器である。さらにこれまでハードインターロックに頼っていた大電力電子管の保護についてもソフトウェアで細かく設定することを可能とした。

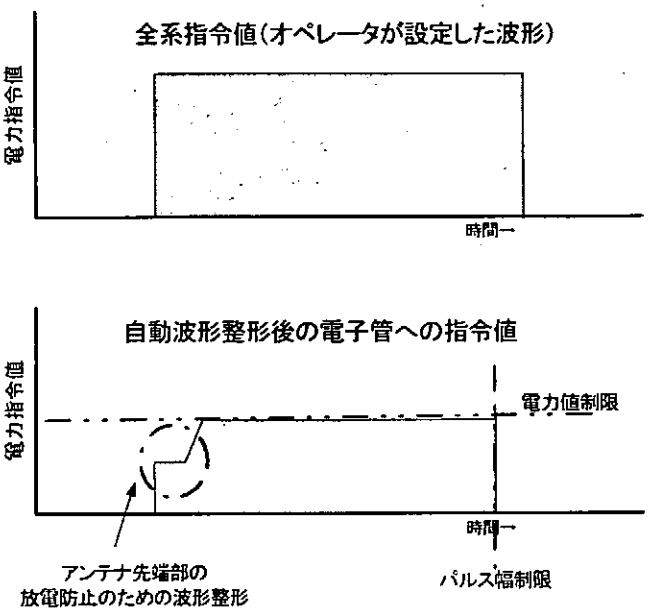


図５　入射波形自動整形機能の例

8． まとめ

汎用的な制御機器を使用することにより、安価で高性能な制御システムにすることができた。装置の運転に欠かせない操作性が飛躍的に向上し、保守作業においても作業の手間、経費を削減することができた。また、制御システムの信頼性も向上させることができ、多様な実験ニーズへの対応も迅速に対応できるようになった。

今回行った JT-60 高周波加熱装置の制御システムの改良は、今後、次世代の高周波加熱装置の開発に有効に活用できるものと思われる。

鉄道型GETS・エアロトレインの走行実験概要

東北大学流体科学研究所　　○太田福雄

1. はじめに

２０世紀ほど科学技術が飛躍的に発展した時代はない．事実，自動車，カラーテレビ，コンピュータ，飛行機，新幹線，情報通信，原子力発電など数多くの技術が発明・開発され，百年前には想像もつかないような勢いで普及した．現在，その成果を利用（応用）し私達の生活は快適で豊かなものになったことは疑う余地がない．しかし，この科学技術は大気汚染，放射性廃棄物，地球温暖化，廃棄物処理など負の側面も顕在化させている．２１世紀の科学であっても，これまで同様「快適性」や「効率化」などを追求することは必要であろう．しかしそれが最も優先される課題ではなく，これまでとは違った視点からの技術開発が要求されるようになると考えられる．

エアロトレインは，「快適性」「効率化」といった観点に加え，「環境負荷軽減」（環境親和）という視点も合わせて，着想された次世代高速交通システムである．

2．エアロトレインとは

鉄道型ＧＥＴＳ（Ground Effect Transport System）エアロトレインは環境性を高めた次世代高速交通システムである．その開発・研究のコンセプトとして以下の３つのポイントがあげられる．

① 地面効果を積極的に活用しエネルギー効率の向上を目指す．

② 走行軌道にソーラーパネルや風力発電装置等を設置し，軌道全体をエアロトレインの走行に必要なエネルギーの開発源とする．

③ 輸送システムとしての高速性を実現する．

上記コンセプトの①で記した「地面効果」とは，翼が地面や水面などの境界面近傍を移動する際に発生するもので，航空機の着陸時に揚力が増すという現象として古くから知られてきた．これは，翼が境界面に接近するにしたがって翼端渦による吹き下ろしが抑制され，誘導抵抗が減少するだけでなく，同時に，境界面の存在により翼下面での圧力が上昇し，揚力が増加するために発生するものである．このように地面効果は，揚力の大幅な増加と抗力の減少のため，結果として境界面が無い場合（航空機が上空を飛行する場合）に比べ揚抗比が大幅に向上するため，エネルギー効率の大幅な向上が期待できる．

3．実験装置及び実験方法

1999年６月から，（財）鉄道総合技術研究所浮上式鉄道宮崎実験センターの旧リニアモーターカー走行軌道を借用し実験を行っている．走行軌道の総延長は７ｋｍであるが，本実験に使用している軌道の長さは約１．５ｋｍである．図１にこれ迄の走行実験の変遷を示す．ステップ１－１では，エアロトレインモデルと台車との間に３次元ユニバーサルジョイントを介し，モデルの自由度を保ちつつ後方の自動車で押す曳航台車方式により実験を行い，ステップ１－２では完全な自立浮上走行の前段階として推進装置にジェットエンジンを用い，計測および姿勢制御のための補助翼の電力は自動車側からケーブルを用いて供給するという半自立浮上走行を行った．そのため，台車とモデルを切り離し，信号と電源のケーブルおよび制動用ロープのみで台車とモデルは繋がっており，モデルはロープの長さの範囲（およそ5 ｍ）で完全に自由に動くことが可能である．これらの実験から，モデルの空力特性及び浮上走行時の姿勢変化など基礎データの収集を行った．この時の実験モデル及び装置の主要寸法を図２に示す．

上記実験結果を踏まえステップ１－３では，推進装置のジェットエンジンだけでなく走行実験に必要な全

ての機器及び電源を車体内部に搭載した「完全自立浮上走行」実験を行い，昨年（2001年）１０月，この方式での安定浮上走行に成功している．

上記全ての走行実験では，モデル浮上時の姿勢変化を計測するため６個のレーザ距離計，ジャイロ計，ロードセル，風速計などが取り付けられており，これらのデータはＡＤコンバータを介してパソコンに取り込み記録される．また，上記データから車体の浮上高さ，横方向位置，各軸姿勢角，移動速度などを算出し，安定した姿勢及び指定の浮上高さ（7～10cm）になるようフラップ，エルロン及びラダーを制御するサーボモータに，パソコンから指令が出される．これらのシステムにより飛行姿勢の自動制御（フィードバック制御）を行っている．

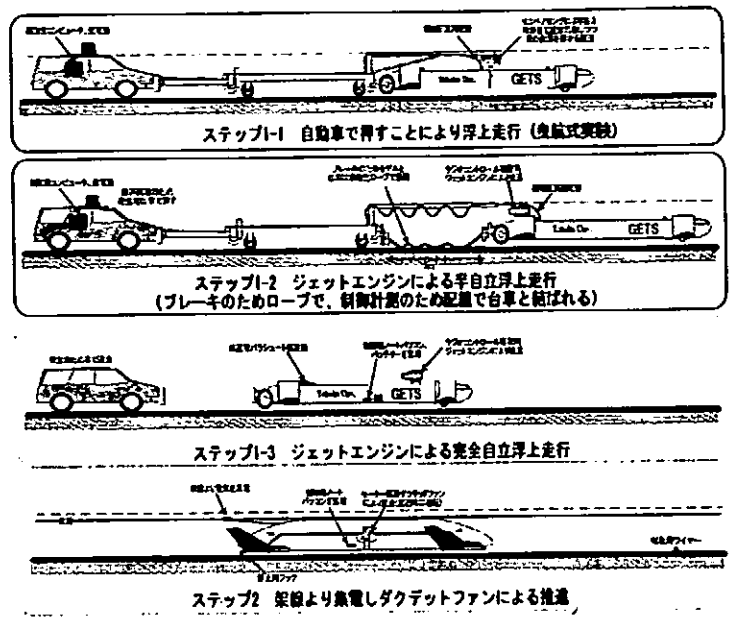


図１．走行実験の変遷

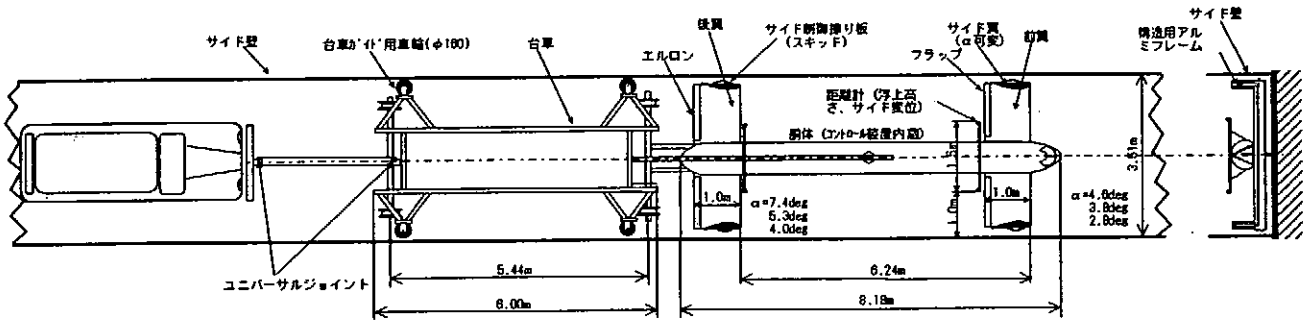


図２．エアロトレインモデル及び実験装置の概要及び主要寸法（ｽﾃｯﾌﾟ 1-1）

４．走行実験結果

図３に走行実験時（ステップ１－３）のエアロトレインモデルの浮上光景を示す．また，走行実験時の走行パターンの一例を図４に示す．図４の横軸は時間（秒），縦軸は右側が走行速度，左側がモデル浮上高さである．図から約１５秒の加速後，約 70km/h の定速走行状態に入り，その時，モデル浮上高さが 7cm を中心に上下していることがわかる．このような走行において，モデルの浮上高さ及び浮上時の姿勢角の制御を，①ラジコンによる手動制御，②コンピュータにより自動制御を行った．

図５に浮上高さ及び飛行姿勢の制御結果を示す．図は，①手動制御，②自動制御Ⅰ（位置情報による制御），③自動制御Ⅱ（位置情報に車体の浮上速度を加味した制御），

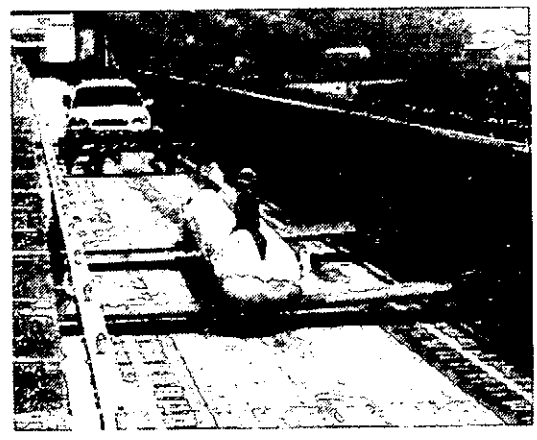


図３．走行実験風景（ｽﾃｯﾌﾟ 1-3）

それぞれの場合の車体の浮上高さ変動及び３軸周りの姿勢角変動の大きさ（rms）を比較したものである．図から位置情報に車体の浮上速度を加味した自動制御は，手動制御や位置情報のみによる自動制御に比べヨーイング角以外のどの数値も大幅に小さくなっており，この方式による自動制御が良好に作動していることが確認される．

５．ま と め

これまで，およそ３年間にわたる走行実験から以下の結果が得られた．

① 走行実験の方式を，曳航方式，半自立方式とステップアップし，最終的にはジェットエンジンを推進力とした完全自立浮上走行に成功した．

② 姿勢制御に必要な基礎データを収集し，パソコンによる飛行姿勢の自動制御を試みた．その結果，位置情報に車体の浮上速度を加味した制御が最も有効であった．

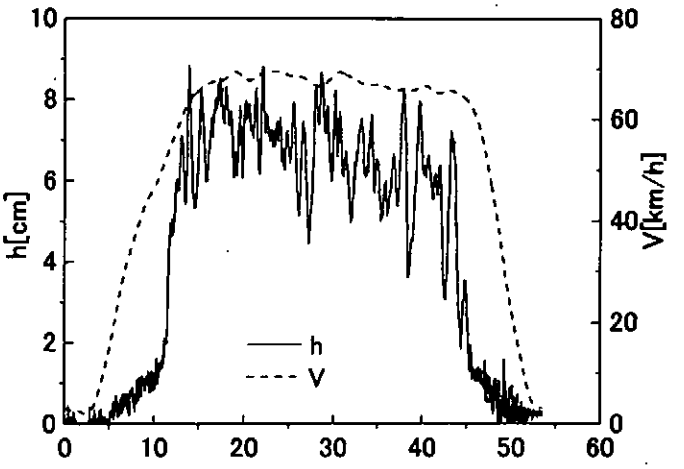


図４．実験時の走行パターン及びモデル浮上高さ

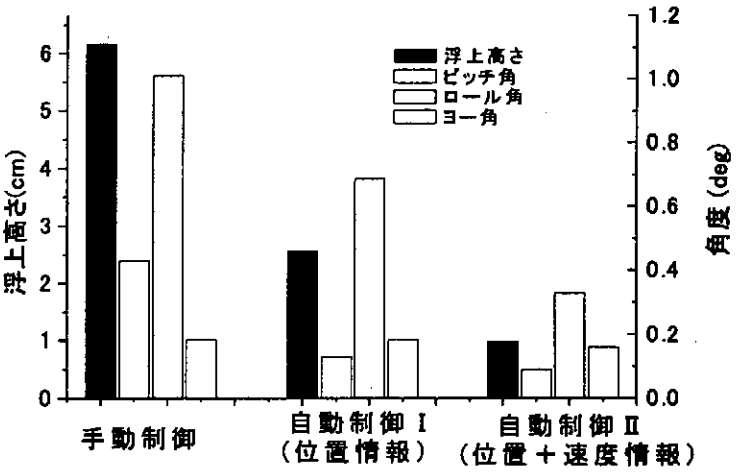


図５．制御方式による車体振動(rms)の大きさ

HFD 観測用実験局

電気通信大学 情報通信工学科
○有澤 豊志

はじめに

電気通信大学(以下本学)では従来より長期間にわたって短波標準電波(JJY)を使用して HF ドップラー観測を行ってきた。しかし 2001 年 3 月 31 日にこの短波標準電波(JJY)が停波する事によって、他の観測機関を含む HF ドップラー観測グループはその観測に支障をきたす事になる為、本学で HF ドップラー観測の為の無線局(実験局)を開設し HF ドップラー観測の継続を行っている。以下で、本学で行われている HF ドップラー観測の概要と実験局の開設・運用について紹介する。

1、HFD 観測の概要

1.1 HFD 観測の目的

短波帯(High Friquncy ;HF)の伝搬に大きな影響をおよぼす電離層は季節や日時によって変化している。HFD はこの HF 帯が電離層反射時の見かけの反射高度の時間変化によって起こるドプラー・シフト(Doppler shift)の観測を行うことにより、電離層中の電子密度の時間変化に関する情報を得ることができる。

地球上層大気中の高度 85～600Km の領域には中性大気(熱圏)と電離大気(電離層)が共存しており、それらが力学過程と科学過程を介して強く複雑に結合し合っている。とくにその中の E 層から F 層下部にかけての領域では、家電粒子の移動度の特異な高度依存性のため、電流が流れやすく、電磁気学的現象のある種の集約場所となっている。また、太陽風や惑星間空間磁場と地球磁気圏との相互作用に起因する大規模磁気擾乱時の電界は、この電離層下部と地球大地間を一つの伝送路として選択し、極域から低緯度領域へ効率良く情報伝達されているとの見方もされている。これらの事柄は、電離層下部における各種の擾乱が地球磁気圏から電離圏・熱圏へのエネルギー入力結果の現れであるということを示唆しており、磁気圏一電離圏結合問題を解明する上で電離層下部は欠くべからざる重要なターゲット領である事を示しています。

1.2 HFD 観測の原理

HFD による電離層観測(HFD 法)は探査電波の位相伝搬通路長の時間変化を観測原理としている。これは短周期変動に対して優れた感度を持っており連続送信の電波を利用して連続観測を行うことにより長時間変動の検出を行っている。

送信局から発射された周波数 Fo が電離層でドリフトを受け反射してきた変動周波数 Fo+⊿f を受信機で既知の周波数 Fo とのオフセットをとりドップラーによる偏移周波数を得る。予想されるドプラーの偏移率は 10^{-8}～10^{-5} と概算されているので、本測定には高い安定度が要求され、基準発振器にはルビジューム発振器を用いて 10^{-9}～10^{-10} の安定度を得ている。(図 1)

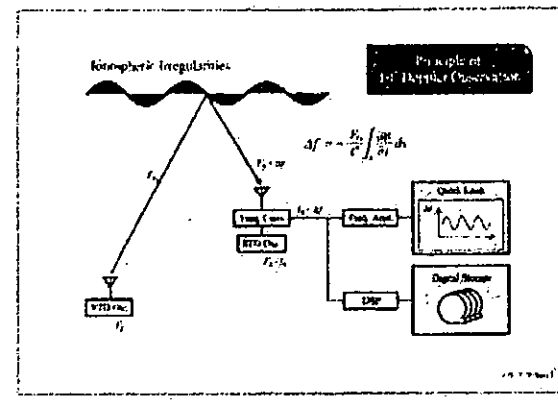


図 1、HFD 観測の概要

1.3 HFD 観測

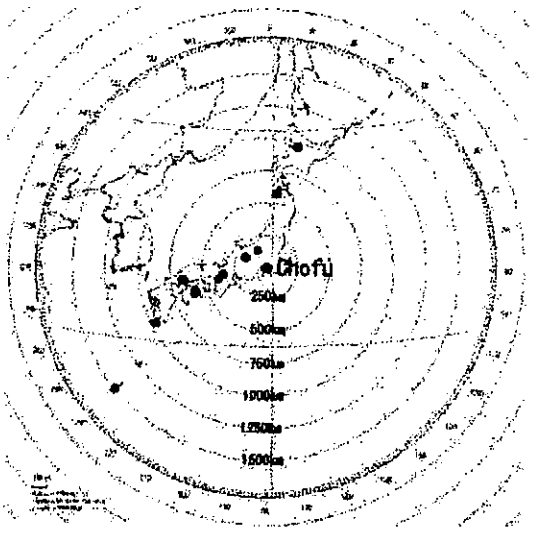


図2、観測範囲

1.3.1 送信局を東京都調布市の電気通信大学内に設置し、従来よりの観測体制を維持しつつ、ほぼ南北に伸展している日本列島の形状と、本州のほぼ中央に位置しているという条件を生かし、HF ドップラー観測グループの各研究機関が北海道から九州まで幾つかの地点に受信局を配置し、対象とする電離層擾乱の区範囲の偉度特性を観測するようになっている。これにより本システムにおいて広い緯度領域の電離層をモニターすることができ、併せて送信局性能の維持・管理を行っている。(図2)

無線局の諸元は概略以下の通り。

無線局の種別： 実験局
識別信号　　： JG2XA
送信電力　　： 200 W
電波の型式　： 1K50H2　NON
送信周波数　： 5,006 KHz　8,006 KHz

2、実験局の免許申請から開局まで

2.1 実験計画

実験局を開設（開局）する為には、無線局の免許の申請等種々の法的な手続きが必要であるが、実際には無線局開設の計画段階で予備的な調査検討を含め多くの時間が必要である。今回開設した本実験局の開局までの経緯に付いて概略以下に述べる。

1998 年 7 月に受験雑誌等で短波標準電波(JJY)の停波のアナウンスが発表され、HF ドラー観測にいずれは支障をきたすことが判明した。その後協議の結果 1999 年 4 月頃無線局を本学で立ち上げる必要があることが了承された。翌 5 月に HFD の Web を立ち上げ、無線局開設の為の本格的な調査に入る。
1999 年 6 月大鷹鳥谷山(福島県)で 40KHz、50Kw 標準電波の送信が開始。

1999 年 7 月頃より当時の郵政省と協議が始まる。同年 11 月頃から本学を中心とした観測点までの必要は電界強度分布等のシミュレーションを開始。送信電力と周波数の決定。
2000 年 5 月頃郵政省からの問い合わせ等により送信電力等の条件を整備する。

2001 年 3 月 31 日短波標準電波(JJY)が停波。2001 年 2 月 23 日無線局の免許申請。同 6 月 15 日予備免許がおりただちに試験電波の発射届けを提出し試験電波の発射を行う。同時に工事落成検査の申請を行う。
2001 年 7 月 3 日無線局落成検査受験し合格となり本免許となり、現在にいたる。
2001 年 10 月はがね山(佐賀県)で 60KHz, 50Kw 標準電波の送信開始。

2.2 実験局の申請と開設

2.2.1 無線局免許の申請

無線局の開設には計画および予備調査の終了時の段階でほぼ局の緒元を決定しておかなければならない。実際に免許の申請を行う場合は以下に上げるように殆ど法的事項により進める事に成る。いかに規定の概要を記す。

開設

無線局を開設しようとする者は、総務大臣(郵政大臣)の免許を受けなければならない。(電波法第4条)

無線局の開設とは、無線設備を設置し、それを操作する者が電波を発射できる状態にし、無線局を構成することをいう。

免許の申請

無線局の免許を受けようとする者は、申請書に、次に掲げる事項を記載した書類を添えて、総務大臣に提出しなければならない。(電波法第6条)

規定では、目的、開設を必要とする理由等あり今回の様に実験局の新設の申請に当たっては特に重要となる、また使用を希望する周波数や電波の型式、運用に関する事項も予め総務省との綿密な協議が必要な場合が多い、申請書類の詳細は電波法によるが、本学の実験局の申請に当たっては次の書類を必要とした。

1) 無線局免許申請書
2) 無線局事項書及び工事設計書
3) 別紙 開設を必要とする理由書
4) 添付図面等

2.2.2 審査及び予備免許

総務大臣は、申請を受理したときは、遅滞なくその申請が規定に適合しているかどうかを審査しなければならないことになっている。(電波法第7条)

審査は、欠格事由に係る審査のほか、

1) 工事設計書が電波法に定める基準に適合すること
2) 周波数の割り当てが可能であること
3) 総務省令で定める無線局の開設の根本基準に合致すること等について審査を行い、その結果、申請の内容がこれらのすべての事項に適合していると判断した場合に、申請者に次の事項を指定して予備免許を与える。(電波法第8条)

指定事項

1. 工事落成の期限
2. 電波の型式及び周波数
3. 呼び出し符号
4. 空中線電力
5. 運用許容時間

2.2.3 落成後の検査および免許の付与

予備免許を受けた者は、工事落成後に無線設備および無線従事者等の検査を受け、検査に合格した場合は免許が付与される。(電波法第12条) 関連

検査にあたっては上記のほか、時計、業務書類(電波法令集、業務日誌の記載、無線検査簿等)の検査および無線設備の検査が行われる。無線設備は装置が申請どおりのものが使用されているか、また特に送信装置については周波数の精度、安定度、不要輻射の強度の実測、電力の測定等を行い、最後に本学の場合は菅平電波観測所における実通検査をおこなった。(図3)

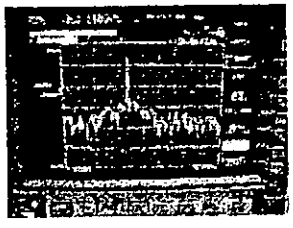


図3、周波数精度の検査

3、実験局の運用の概要

無線局の運用と試験電波の発射については注意しなければならない事項が多くあるが、次の事項については特に注意をしなければならない。

3.1 無線局の運用

3.1.1 電波法及び関連法規の遵守(電波法第39条)

3,1,2 無線設備の操作はその無線局の操作範囲を満たす無線従事者でなければ行うことができない。

ただし、当該無線設備に専任されている主任無線従事者の管理の下に行う場合は資格のない者でも操作できる。(電波法施行規則33条3の3)

3.1.3 無線局は、免許状に記載された目的又は通信の相手方若しくは通信事項の範囲をこえて運用することはできない。(電波法第52条)

但し、無線機器の試験又は調整をするために行う通信は目的外通信としてとして許される。(電波法施行規則37条)

3.1.4 無線機器の試験又は調整を行うために運用するときはなるべく擬似空中線を使用しなければならない。(電波法第57条)

3.1.5 試験電波の発射(電波法運用規則第39条)により詳細に定められている。

3.2 実験局の運用

本学の実験局の緒元は1.3 に概略上げているが5MHzおよび8MHzで出力200Wの連続運転中であり現在までほぼ支障なく稼動中である。以下に無線設備の概要と本学菅平電波観測所(長野県菅平)において得られたHFD観測結果の例を示す。(図4、5)



図4、送信設備

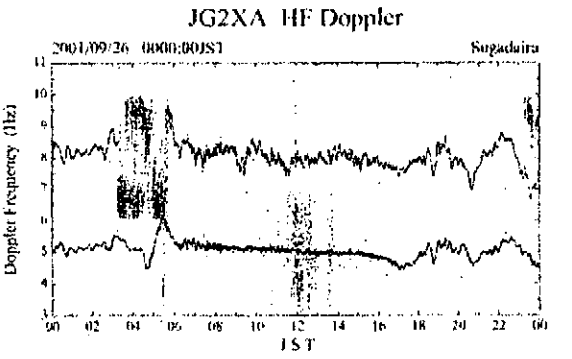


図5、HFD観測例

おわりに

電気通信大学・菅平宇宙電波観測所でHFD観測用実験局(短波電離層ドップラ観測用実験局)の準備・開設・運用に関係させていただいたのでその準備から運用を法的な側面を含めた概要を報告させていただきました。一連の作業を通じて無線局開設時事務手続き等大変勉強になったことに感謝しております。従来より本学では無線通信やレーダ実験局その他の実験局に多く参加させて頂いていますが、これらの設備や装置の維持管理には技術的にはもちろんですが法的に広範囲の知識が求められています。すこしでも皆様のお役に立てれば幸いです。

参考文献: 電波法令集、電波関係告示集、 無線便覧 発行 電気通信振興会
菅平宇宙電波観測所 URL http://ssro.ee.uec.ac.jp/lab_tomi/HFD/HFD.html

ドライエッチング中のプラズマ照射による基板の温度上昇の測定

東京工業大学　精密工学研究所
松谷晃宏

1．はじめに

筆者は所属する研究所で，半導体レーザなどの光デバイス製作のためのプラズマプロセス技術の研究を行っている。ここでは，半導体基板に垂直な方向に光を出す垂直共振器型面発光レーザ製作のための技術の一部について紹介する。

2．ドライエッチングとは

光デバイス（半導体レーザなど）や電子デバイス（LSIなど）の高性能化あるいは集積化には半導体をミクロンサイズに微細加工しなければならない。これにはエッチングという技術が用いられる。エッチングとは，リソグラフィ技術で形成したレジストパターンをマスクとしてウェハに微細な加工を行う技術である。エッチング技術には大別してウェットエッチングとドライエッチング２種類の方法がある。ウェットエッチングは酸などの溶液を用いるため，マスク下部もエッチング（アンダーカットという）されるため微細な加工が難しい。また，結晶方位の影響も受けやすく垂直形状に加工することはほとんど不可能である。しかし，加工損傷は少なく，V溝などの特殊な形状へのエッチングに利用されることが多い。また，後で述べるように，ドライエッチングの損傷除去にもわずかなウェットエッチングが併用されることもある。面発光レーザでは光の散乱や回折の影響を抑える必要があるので，製作する共振器は垂直形状となることが望ましい。したがってプラズマを用いて異方性エッチングが可能なドライエッチング技術が不可欠な技術となる。大きなサイズであればもちろんウェットエッチングでも面発光レーザを製作することはできる。しかし，単一モード面発光レーザのより高い性能を目指す場合には，メサ直径を波長程度の大きさまで微細化する必要がある。また，傾斜基板を用いた面発光レーザを製作する場合にはウェットエッチングでは形状に異方性がでてしまう。したがって，精度の良いドライエッチング技術が必要とされる。

ドライエッチング技術には，バレル型，平行平板型，高密度プラズマを用いた方法など様々な方法がある。ドライエッチンング技術の詳細についてはここでは述べないので他の文献[1]を参照されたい。

半導体プロセスで最も一般的に用いられているのは，平行平板型の反応性イオンエッチング(Reactive Ion Etching: RIE)であるが，筆者らは反応性イオンビームエッチング（Reactive Ion Beam Etching: RIBE）で面発光レーザの共振器を製作している。プラズマ源で発生したイオンを多数の穴があいた２枚の電極間に直流電圧を印加することによって反応性イオンをビーム状に引き出すことができる。このようなドライエッチングを反応性イオンビームエッチングという。RIBEの利点は，イオン引き出し電圧，プロセス圧力などのエッチングパラメータを独立に制御できることである。また，ビーム状に引き出すイオンにArなどの不活性ガスを用い，反応性ガスは基板直前で吹き付けてエッチングするという方法もある。これをChemically Assisted Ion Beam Etching (CAIBE)という。プラズマ源の方式によっては反応性ガスを直接分解することが難しいこともあるが，電子サイクロトロン共鳴(Electron Cyclotron Resonance: ECR)を用いると反応性ガスを用いて高密度プラズマを得ることができる。図１に筆者らが使用しているRIBE装置の概略図を示す。次に，面発光レーザで使われる材料系について概観してみよう。

3．GaAs, InP, GaInAsPのRIBE

化合物半導体のドライエッチングは，反応性ガスとして塩素を用いることが多い。GaAs系の材料系は比較的簡単に垂直平滑形状が得られる。一方，InP系材料の垂直平滑エッチングは難しい。基板温度を高くし，イオン引き出し電圧を1kV以上かけることによって垂直平滑エッチングが出来るという報告[2]もあるが，低損傷化にはイオンエネルギーを大幅に下げたいところである。InP系のエッチングではメタンを用いたRIEもよく使われている。しかし，メタンを用いたエッチングではポリマーの堆積や水素の影響などが懸念される。また，エッチング速度もRIBEに比べて遅く，垂直形状も得にくい。図２にRIBEによるGaAs, InP, GaInAsPのエッチング速度のイオン引き出し電圧依存性[3]を示す。GaInAsP, InP, GaAsのエッチング速度はイオン引き出し電圧と基板温度の上昇にともない増加する。GaInAsPのエッチング速度はそれぞれの温度においてGaAsのエッチング速度とInPのエッチング速度の間にある。また，GaInAsPのエッチング速度

は基板温度100℃ではInPのエッチング速度に近いが，基板温度が高くなるとGaAsのエッチング速度に近づく。GaAsやInPについてのRIBEのエッチング機構については，エッチング速度がイオン引き出し電圧Vの何乗に比例するのかで分類ができる[4]。この分類によるとエッチング速度Rは次のように表わされる。

$$R=A\cdot V^{3/2}\,(\text{RIE-like})+B\cdot V^{5/2}(\text{IBE-like})+C(\text{chemical-etch-like}) \quad (1)$$

ここで，Vはイオン引き出し電圧，A，B，Cは係数である。GaInAsPは，基板温度100℃，170℃，250℃においてそれぞれ$V^{5/2}$，$V^{3/2}$，Vに比例している。したがって，100℃，170℃のGaInAsPのエッチング機構はそれぞれIBE-like，RIE-likeと推測することができる。また，250℃のエッチング機構はChemical-etch-like とRIE-likeの中間であると考えれられる。したがって，GaInAsPのエッチング形状は，100℃，170℃では異方性であるが，250℃では等方性となる。実際のデバイスへの応用の際には，比較的速いエッチング速度で異方性形状のエッチング条件が必要となる。面発光レーザで用いられている半導体多層膜反射鏡のエッチングは，それぞれの材料を垂直平滑にエッチングする条件で加工すればよい。

4．プラズマ照射によるエッチング中の基板の温度上昇

以上の実験で，エッチングの形状,底面および側面の状況は,エッチング温度および引出し電圧に左右されることがわかった。ところが,この温度測定は,試料ホルダ裏面から熱電対を接触させて測定するものであり，イオンビームが照射されている時の表面温度を実時間で測定しているわけではない。ここでは,放射温度計を用いて，イオンビーム照射中の試料ホルダの表面温度を塩素イオンおよびアルゴンイオンについて測定した結果について述べる。

垂直形状に適した温度は，GaAs系では～100℃，InP系では，～150℃である。この様な温度を，反応室外から測定するには，測定窓に適当な材料を選ばなければならない。つまり，～10μm程度の波長の赤外線を透過するものが必要となる。 ここでは,これを満足する窓材として，BaF_2を用いた。反応室外の放射温度計から試料ホルダまでの距離を考慮すると 放射温度計の測定範囲はホルダ位置において 直径5～6cmであり，これはホルダとほぼ同程度の大きさになっている。図3に，塩素イオンおよびアルゴンイオン照射時の，ホルダ温度の時間変化を示す。イオン引出し電圧は，0～400Vに変化させた。この図に示すように，塩素およびArに限らずECRプラズマが発生しているときは，ホルダ温度が上昇することがわかる。引出し電圧0Vのとき，プラズマ発生と同時にホルダ表面温度が上昇し，プラズマの発生を停止するのと同時にホルダ表面温度はプラズマ発生前の温度にもどることがわかる。引出し電圧が200V，400Vのときは，イオン照射時間とともにホルダ表面温度は上昇し，次第にそれぞれある一定の温度に達する様相を示す。このことは，プラズマ発生時にはたとえ引出し電圧をかけていなくても，試料ホルダ周辺にもイオンが到達していると考えられ，したがって，ホルダ上の試料は何らかの影響を受けると予想される。また，放射温度計による測定温度と熱電対表示温度の関係を,引出し電圧：400V，エッチング圧力：0.1Paの条件で測定した.初期加熱温度（熱電対表示）は，通常InP系で用いられる145℃とした。この測定では，熱電対の表示温度が加熱開始後間もなく設定温度に達した。しかし，放射温度計による測定では，60分経過しても設定温度に達せず，85℃付近で一定となった。また，プラズマ発生後は熱電対の表示温度は上昇していくものの，放射温度計による測定値とは異なる。この様に，熱電対の表示温度は試料ホルダの表面温度を正しく表しているとはいえず，再現性のよいエッチングをおこなうには，放射温度計と熱電対の双方を用いてエッチング温度を制御すべきである。

5．ArとCl$_2$のエッチング速度

次にArとCl_2のエッチングがどのように異なるのかを調べた.試料には,室温付近からの温度に対して敏感に反応するGaAsを用いた.引き出し電圧は400V,エッチング圧力は0.1Pa,基板加熱は行なわなかった.図4にエッチング時間とエッチング深さの関係を示す.Arでは,エッチング深さはエッチング時間にほぼ比例しているが,Cl_2では,エッチング深さはエッチング時間が10分あたりから急激に増加する。これは,Cl_2ではイオンビーム照射による温度上昇の結果化学反応が促進されているためであり,Arのグラフとの差が反応性ガスの効果であると考えられる.エッチング時間15分では,イオンビーム照射による表面温度は200°C程度と思われる。

6．エッチングで形成したメサの底部のサイドエッチの原因について

ドライエッチングでは，プラズマ中のイオンなどを用いてエッチングをおこなうため，イオン照射による

基板温度の上昇のため表面反応が増大し，エッチング形状やエッチング速度などに影響が生じる。例えば，塩素系のRIBE等では，長時間エッチングするとエッチングで形成したメサの底部にサイドエッチが目立ってくるようになる。これは，サブミクロンサイズの加工をするときに問題となる。この原因は，イオン照射による温度上昇のせい，とうふうに漠然と理解されているが，イオンによる表面温度上昇の測定と合わせた報告はなっかた。そこで，上で述べたような，エッチング速度が温度上昇の影響を受けない範囲で繰返しRIBEを行うことにより，サイドエッチがないエッチング形状に改善可能なことを示した。また，サブミクロンサイズの極微エッチングに障害となる，このようなメサ底部のサイドエッチの原因を探るための実験をおこなった。

実験を始める前に「メサ底部のサイドエッチはイオン照射による縦方向の温度勾配が原因である」という仮説をたてた。図５に長時間のRIBEでは底部でサイドエッチがはいる形状になるのかということを調べるための簡単な実験の概念を示す。まず初めに円柱状のメサを用意する。次に，Arイオンビームを照射し，基板表面の温度を上昇させる。この後すぐに，引出し電圧0Vで塩素のRIBEをする。この条件では，十分に温度の高いとき化学的エッチングが進むことが知られている。すなわち，もしArイオン照射によってメサ底部や基板表面の温度が上昇していれば，その部分のみ化学的エッチングが進むことになるわけである。つまり，この部分で基板の順メサ・逆メサ方向を反映したエッチング形状を観察できることになる。言い換えれば，イオン照射によって温度が上昇するのはメサ底部および基板表面であって，メサが垂直形状である限りメサ側壁の温度は上昇せず，メサ底部のサイドエッチはイオン照射による縦方向の温度勾配が原因と予想することができる。

図６に実験の結果を示す。試料は，温度変化に敏感なGaAs基板を用いた。まず，円柱状のメサを用意した。次に引出し電圧400Vで15分間Arを照射した後（基板表面はこのとき約250℃），ただちに，引出し電圧0V で2分間の塩素RIBEをした。すると，Arを照射した部分のみが，順メサ方向では順メサ形状，逆メサ方向では逆メサ形状となった。このときメサ上部にはサイドエッチはない。参考までに，15分間のAr照射のみでは，順メサ・逆メサ方向とも若干のオーバーカットが見られるものの，サイドエッチの形跡はない。したがって，メサ底部のサイドエッチは，イオン照射による基板表面温度の上昇することによるメサ縦方向の温度勾配が原因で塩素との反応が増して化学的エッチングが進行するためと考えられる。

７．まとめ

放射温度計を用いて，イオンビーム照射中の試料ホルダの表面温度を塩素イオンおよびアルゴンイオンについて測定し，ECRプラズマが発生しているときは，ホルダ温度が上昇することがわかった。また，引出し電圧が200Ｖ，400Ｖのときは，イオン照射時間とともにホルダ表面温度は上昇し，次第にそれぞれある一定の温度に達する様相を示すことがわかった。

また，ArとCl_2のエッチング速度をＧａＡｓを用いて調べ，Arでは,エッチング深さはエッチング時間にほぼ比例しているが,Cl_2では,エッチング深さはエッチング時間が10分あたりから急激に増加することがわかった.これは,Cl_2ではイオンビーム照射による温度上昇の結果化学反応が促進されているためであり,Arのグラフとの差が反応性ガスの効果であると考えられる。

さらに，サブミクロンサイズの極微エッチングに障害となる，このようなメサ底部のサイドエッチの原因を探るための実験をおこない，メサ底部のサイドエッチは，イオン照射によるμm程度の基板表面温度の上昇（基板全体の温度上昇ではない）によるメサ縦方向の温度勾配が原因で塩素との反応が増して化学的エッチングが進行することを明らかにした[4]。

参考文献

１）例えば，菅野卓雄編：プラズマプロセス技術，産業図書，（1985），徳山巍編：半導体ドライエッチング技術，産業図書，（1992）など。

２）T. Yoshikawa, S. Kohmoto, M. Anan, N. Hamao, M. Baba, N. Takado, Y. Sugimoto, M. Sugimoto and K. Asakawa, Jpn. J. Appl. Phys., 31, (1992) 4381.

３） A. Matsutani, F. Koyama and K. Iga, Jpn. J. Appl. Phys., 30, (1991) 2123.

４） A. Matsutani, F. Koyama and K. Iga, Jpn. J. Appl. Phys., (1995) 2053.

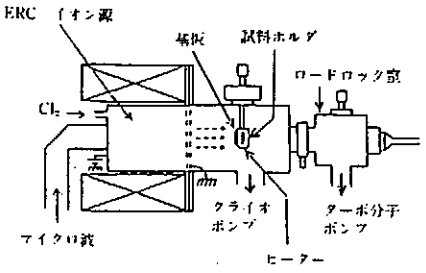


図1　筆者らが使用しているRIBE装置

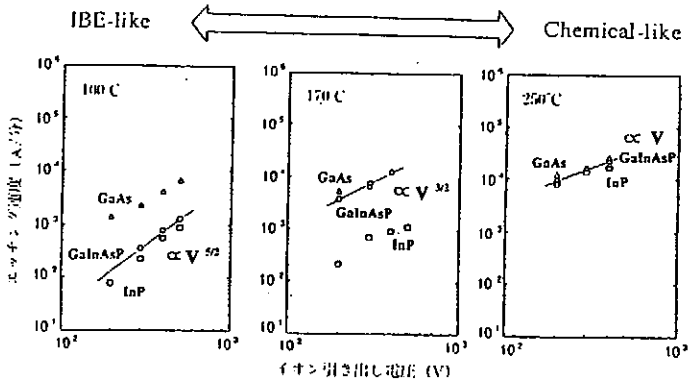


図2　RIBEによるGaAs,InP, GaInAsPのエッチング速度のイオン引き出し電圧依存性

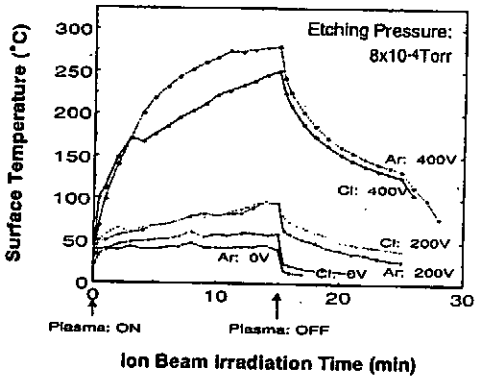


図3　塩素イオンおよびアルゴンイオン照射時のホルダ温度の時間変化

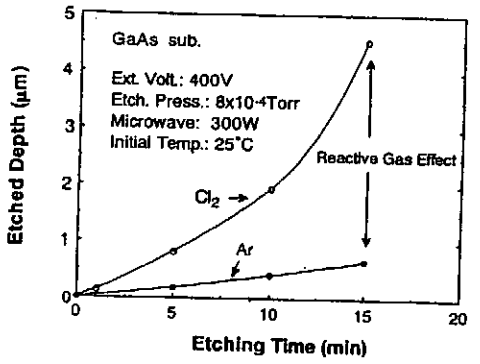


図4　エッチング時間とエッチング深さの関係

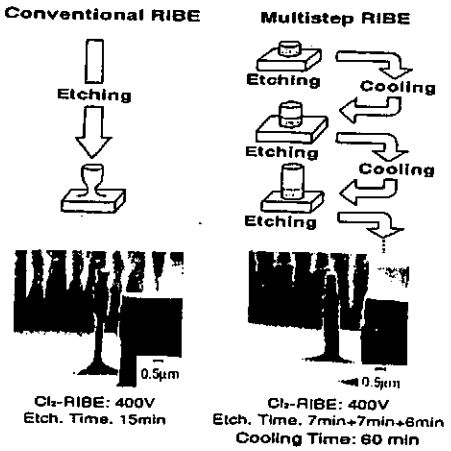


図5　長時間のRIBEにおける底部のサイドエッチの原因を調べる実験

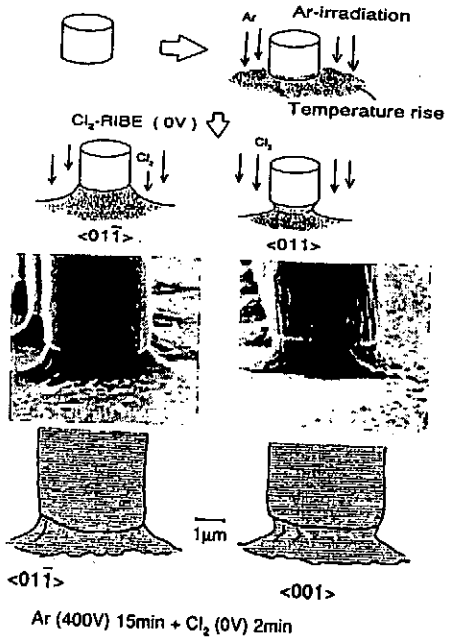


図6　図5の実験の結果

有機廃液焼却時における洗煙水中フッ素の高度処理

京都大学環境保全センター　　真島敏行

はじめに

京都大学有機廃液処理装置（ＫＹＳ）では、年間８万リットル余りの有機廃液を焼却処理している。この時に発生する排ガスはアルカリ水により中和洗浄しており、その洗煙水は約 70m^3／年になる。持ち込まれる有機廃液中には常時いくらかのフッ素化合物が含まれており、焼却後洗煙水中にフッ素が取り込まれている。

フッ素の排水基準値は平成 13 年 7 月より、15ｍｇ／ｌから 8ｍｇ／ｌへと、より厳しい値に変更された。ＫＹＳにおいて、従来のフッ素処理はカルシウム塩を使い、フッ化カルシウム（CaF_2）として沈殿分離をすることで排水基準値をクリアしていた。しかし、CaF_2の溶解度から考えても 8ｍｇ／ｌ以下に下げることは容易ではない。そこでさらに二次処理としてマグネシウム塩を使う方法を検討することにした。

１．有機廃液中のフッ素

ＫＹＳでの有機廃液中にはフッ素含有廃液として、トリフルオロ酢酸（CF_3COOH）等が排出され、フッ素重量として年間 20ｋｇ前後含まれている。またこれらの廃液は高温による焼却処理を行なうことで熱分解し、その排ガスは苛性ソーダ（ＮａＯＨ）により中和され、ほとんどがフッ化ナトリウム（ＮａＦ）となって洗煙水に溶け込んでいる。

$$CF_3COOH + 1/2O_2 + 3NaOH \xrightarrow{\text{焼　却}} \underline{3NaF}\ (\text{洗煙水に溶解}) + 2CO_2 + 2H_2O$$

２．処理方法の選択肢

いずれの処理現場でも処理方法として求められることとして、次の点が考えられる。

① 経済性
② 安全性
③ 迅速性
④ 作業性（効率）

フッ素の処理方法としてカルシウム塩、マグネシウム塩以外のものとしてアルミニウム塩、リン酸塩などを使う方法も考えられるが、測定妨害や効率の面から劣っており、採用を見合わせることにした。

３．カルシウム（Ｃａ）塩による一次処理

Ｃａ塩として溶解性のよい塩化カルシウム（$CaCl_2$）を使い、溶解度の低いCaF_2として沈殿させる。標準液の場合はｐＨ7 付近で処理が可能であるが、塩化ナトリウム（ＮａＣｌ）等の塩の多い洗煙水では弱酸性の方が良好である。なお、フッ素濃度が 100ｍｇ／ｌ以下の場合はCaF_2の種晶を添加することが望ましい。

$$2NaF + CaCl_2 \xrightarrow[\text{pH5}]{} \underline{CaF_2}\ (\text{沈　殿}) + 2NaCl$$

4．マグネシウム（Mg）塩による二次処理

Mg塩としては溶解性のよい塩化マグネシウム（$MgCl_2$）を使い、pHを上げて水酸化マグネシウム（$Mg(OH)_2$）による共沈効果を利用する。その時のpH値は高いほどフッ素の除去率が高くなる。

$$\text{一次処理水中の}CaF_2+MgCl_2+Ca(OH)_2 \xrightarrow{pH10.5} \underbrace{Mg(OH)_2+CaF_2}_{\text{共沈}}+CaCl_2$$

5．フッ素高度処理のフロー

フッ素処理の全体図として図1を示すが、沈殿分離を早めるには凝集剤を使うこともあるが、急がない場合は一晩放置するだけで十分である。

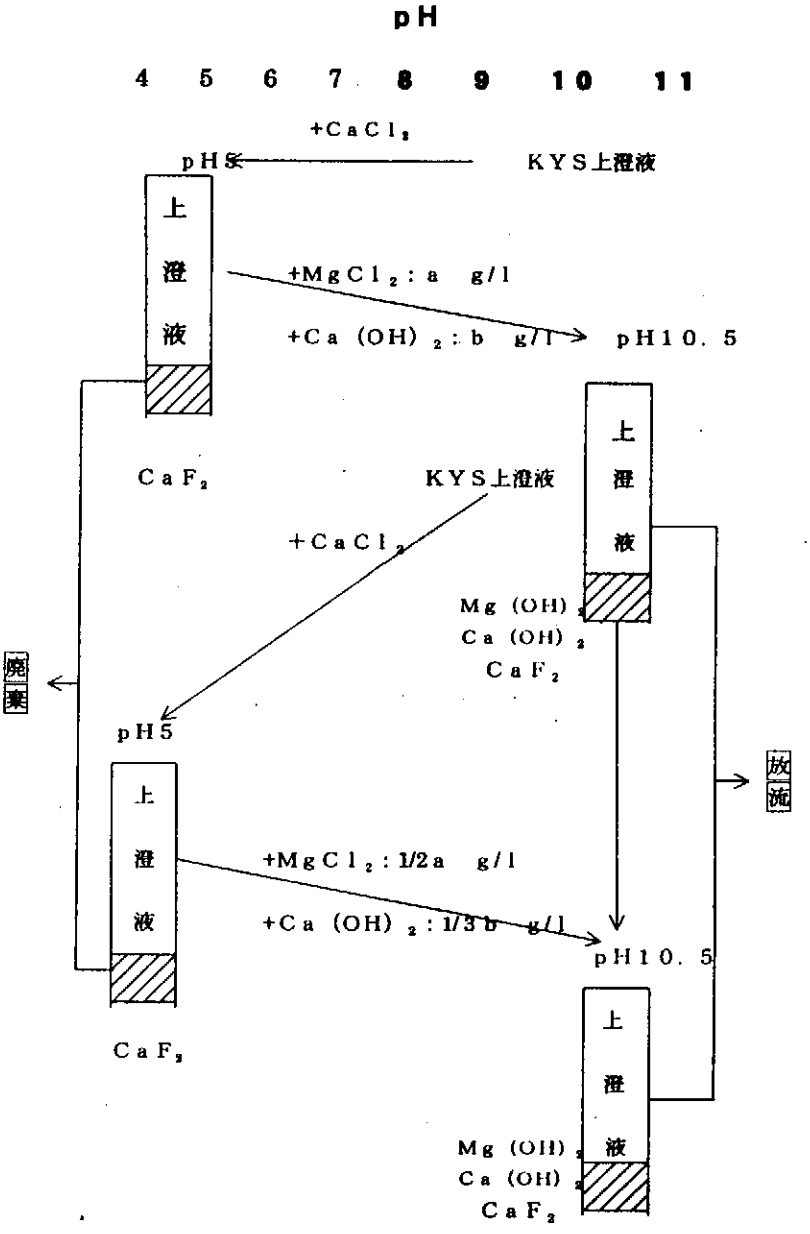


図1　KYS洗煙水中のフッ素高度処理フロー

ＫＹＳのフッ素処理塔は図２のようなもので、材質は透明なアクリル製である。容量は１m^3で２台使い、上澄み液は上から、沈殿物は下から取り出している。

なお、Ｍｇによる二次処理を行なう場合、前回の沈殿物である$Mg(OH)_2$を使うことにより、$MgCl_2$も$Ca(OH)_2$も少なくて済むことが分かった。

６．フッ素の分析方法

フッ素の分析はＪＩＳ法として、蒸留後比色法を採用する確かな測定法があるが、これは時間のかかる方法である。幸い、洗煙中のフッ素のほとんどがフッ素イオン（F^-）となっており、別のＪＩＳ法であるイオン電極法が利用できる。処理現場では、迅速さが要求されるため、このイオン電極法は緩衝液を添加するだけですぐに測定が可能で、便利な方法である。

７．ＫＹＳでのフッ素処理状況

ＫＹＳでの過去17年間の処理状況は図３のようであり、平成13年度の結果は表１のようになった。

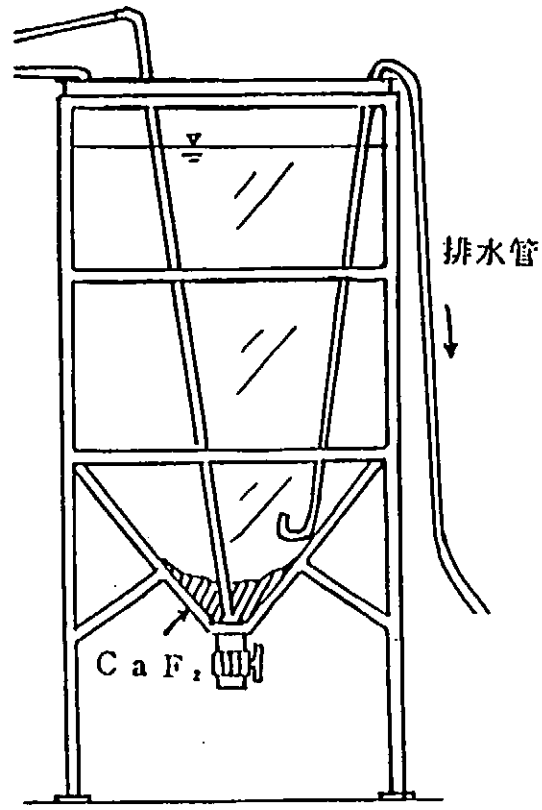


図２　フッ素処理塔

表１　平成１３年度フッ素処理状況

洗煙水処理量	処理前平均フッ素濃度	処理後平均フッ素濃度	フッ素除去率
５８　m^3	３４２　mg/l	７．３　mg/l	９８．０　%

おわりに

フッ素の排水基準の法律は 8mg/l以下となったが、条例により3mg/l以下の地域もある。総量規制がない限り、希釈して放流する方法も考えられるが、前向きの姿勢とはいいがたい。KYSにおいてはここで紹介した方法が最も好ましい方法と考えており、今後も採用していくことにしている。

検討課題としては、発生したスラッジを現在は埋め立てにまわしているが、リサイクルルートに乗せられないかどうか調べてみることにしている。

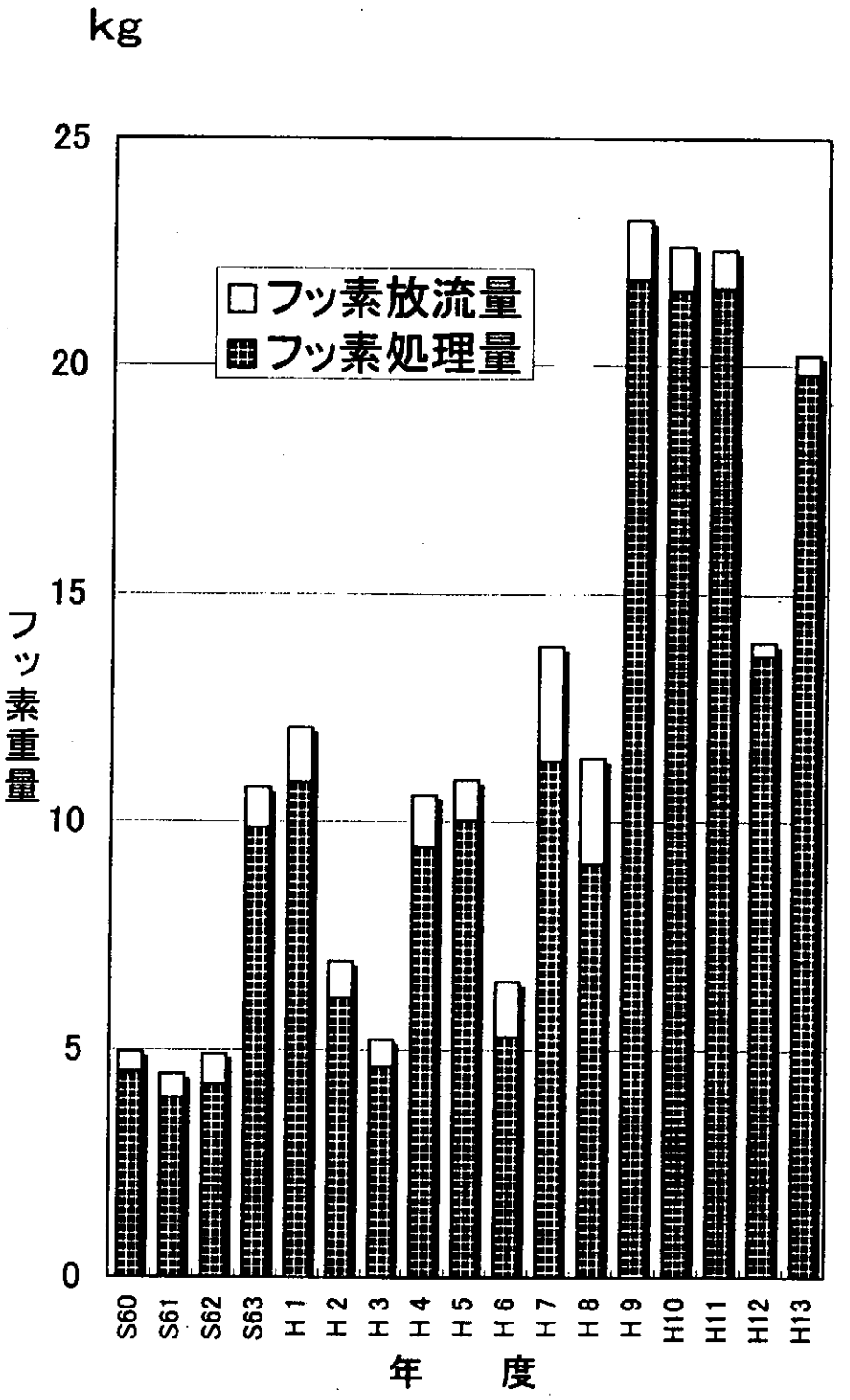


図３　ＫＹＳ洗煙水中のフッ素処理状況

高温ニッケルの非定常スプレー冷却について

愛媛大学 工学部 機械工学科
○阿部　文明

1. はじめに

スプレー冷却は，液滴流量密度，液滴速度を変化させることによって冷却能力を広範囲に変えられる冷却技術である．このため，鋼材の制御圧延・制御冷却や原子炉の緊急炉心冷却システムなど様々な分野で利用されている．また，数多くの実験的研究が行われている．しかし，多くの因子が複雑に影響し合うために，その特性は十分に解明されたとはいえない．

そこで，冷却媒体側主因子である水体積流量密度が伝熱特性に及ぼす影響を明らかにするために，性状変化の少ないニッケル試験片を高温に加熱後，大気圧下で水－空気系のスプレーによる冷却実験を行った．ただし，スプレーは上向きに噴射させ，試験片の被冷却面（以下，冷却面と記す）は水平下向きに設置した．本報告では主に製作した装置の概要と，伝熱特性の水体積流量密度への依存性について述べる．

2. 実験装置および方法

実験装置の概略を Fig.1 に示す．装置はジョミニー式一端焼入試験法（JIS G0561）に則して製作した．ただし，この試験法は水噴流冷却の方法のみを規定している．スプレー冷却は，水噴流ノズルを噴霧ノズルに代え，試験片側面がスプレーで冷却されるのを防ぐために遮蔽リングを取り付けて行う．水は電気伝導率 3×10^{-5} S/m 以下のイオン交換水を蒸留させて使用する．

試験片は，直径 25mm，当初長さ 100mm のニッケル棒（純度 99.9%）で，通常，冷却面は表面粗さが約 0.1μmRz になるようにエメリー紙で仕上げ，エタノール中で超音波洗浄する．
また，側面は断熱塗料で被膜し，内部にはシース外径 1mm の露出型 K 熱電対を，冷却面から約 1mm と 3.5mm の軸中心位置に側面から埋め込んである．正確な熱電対位置は，一連の実験終了後に試験片を切断し，接点を露出させて実測する．水体積流量密度 D は，冷却面と同じ面積の液滴採取口を持つ受皿によって冷却面の位置で液滴を採取して算出する．

実験では，試験片を電気炉で約 650℃まで均一に昇温した後，速やかに実験装置にセットし，

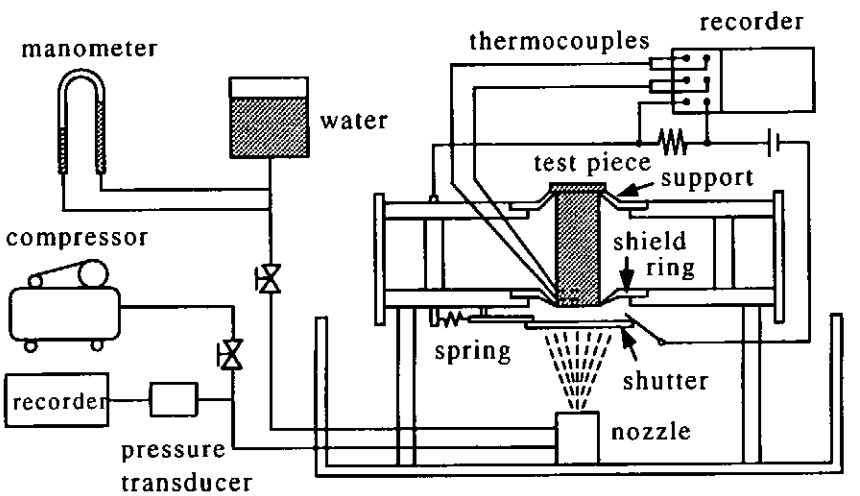


Fig.1　実験装置概略

ノズルと試験片の間に設けたシャッターを開放して冷却を開始する．熱電対の出力と冷却開始時間は，デジタル記録計で収録する．実験条件は，D=0～7.6×10^{-3}m^3/m^{2}s，液滴速度 U_w=20～60 m/s，液滴温度 T_w=20～30℃，スプレーの平均液滴径は 20～50μm である．

3. データ整理方法

本実験では，冷却面から熱電対埋め込み位置までの距離が冷却面半径および試験片の長さに比べて小さいために，試験片内部（試験片中心軸付近）の熱の流れは一方向と仮定し，半径方向への熱の流れは考えない．まず，試験片内部の 2 点（冷却面に近い方から内点 1，内点 2）の熱電対による測定値を用い，簡単な差分熱収支式から表面温度の近似値を計算する．次に，その近似表面温度と内点 2 の測定温度を境界条件として，非定常熱伝導方程式を差分法によって解き，内点 1 の温度を求める．その計算値と内点 1 における測定値との差を時間刻み 1 つ前の表面温度から減じて新たな表面温度とし，再び内点 1 の温度を計算する．内点 1 の計算値と測定温度の差が許容範囲内になるまで上記の手順を繰返し，最後の温度の値を表面温度として採用する．表面熱流束は，求めた冷却面近傍の温度から算出する．

4. 実験結果および検討

4.1 伝熱特性

液滴速度 U=20m/s の場合の冷却曲線を，水体積流量密度 D をパラメータとして Fig.2 に示す．冷却速度は，D の減少につれて小さくなり，冷却時間が長くなる．また，伝熱特性は，Fig.3 のように沸騰曲線に類似した N 字曲線で表され，高温域において膜沸騰的，遷移域において遷移沸騰的，低温域において核沸騰的となり，伝熱面過熱度によって大きく 3 つに分けることができる．膜沸騰的伝熱領域では，伝熱面と液滴間に極めて薄い蒸気膜が存在し，蒸気膜内を熱伝導と熱放射で伝えられる熱によって気液界面に蒸発が生じる．そのため，過熱度の減少に伴って熱流束は緩やかに減少している．遷移沸騰的伝熱領域では，冷却表面への液滴の付着が始まり，発生する蒸気量が急激に増加する．この現象は蒸発音の変化を伴い，実験では明確に判別できる．また，核沸騰的伝熱領域では冷却面上に液膜が形成され，その中で核沸騰が起こっていると思われる．

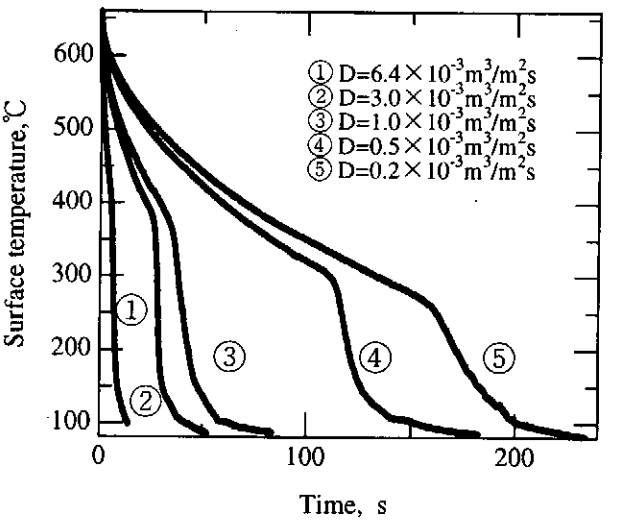


Fig.2　冷却曲線

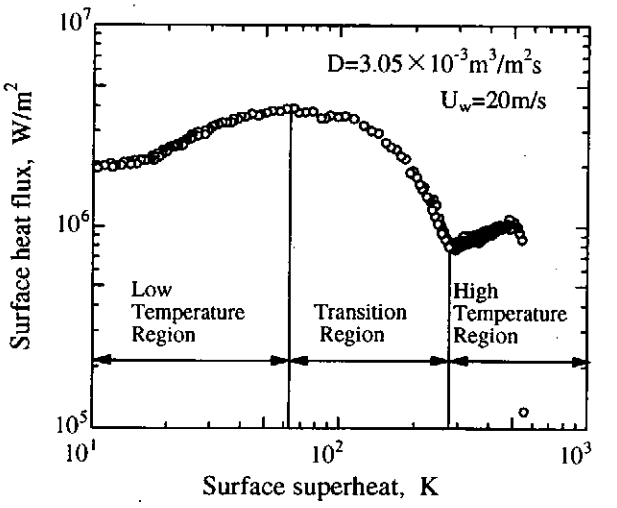


Fig.3　表面熱流束の表面過熱度への依存性

4.2 伝熱特性に及ぼす水体積流量密度の影響

Fig.4 に同一液滴速度のもとで水体積流量密度 D を変化させた場合の実験結果を示す．図中にはスプレー冷却の上限と下限の目安として，それぞれ水噴流冷却と空気噴流冷却

($D=0$) の結果も示した．ただし，空気噴流冷却の場合は過熱度に代えて冷却表面温度と水の飽和温度との差を採っている．この結果，一般に，伝熱特性は D の増加に伴い全沸騰域で増大し，極大熱流束および極小熱流束に対する表面過熱度も上がる傾向がみられる．

極小熱流束点（膜沸騰的領域から遷移沸騰的領域への遷移点）過熱度は，Fig.5 のように，全般に水体積流量密度に依存する．さらに，D の増加とともに膜沸騰的領域は減少する．

Fig.6 には，本実験の結果とともに大久保ら[1],[2]の銀試験体を用いた実験（冷却面は水平上向きでスプレーは下向きに噴射）データをプロットし，極大熱流束 q_{max} の D への依存性を示した．q_{max} は，D が 1.7×10^{-3}m^3/m^{2}s 近傍までは $D^{0.75}$ に比例して増加するが，それを超える高流領域では D への依存性が弱くなる．なお，本実験の値は大久保らのものより高い．この原因は明らかではないが，試験片の材質や寸法，冷却面の姿勢，実験方法，データ整理方法などの相違が影響したのかもしれない．

5. まとめ

スプレー冷却において，水体積流量密度が伝熱特性に影響する重要な因子であることを確認した．また，スプレー冷却が広範囲な制御性を持つ冷却方法であることが認められた．

現在，水体積流量密度のさらに小さい領域の実験に取り掛かっている．

参考文献

(1) 大久保・西尾，日本機械学会論文集（B），57-539，(1991-7)，p.2349.

(2) 大久保，私信．

(3) 大久保，生産研究，Vol.79-12 (1994)，635.

(4) 沸騰熱伝達と冷却，日本機械学会編，(1989)，日本工業出版．

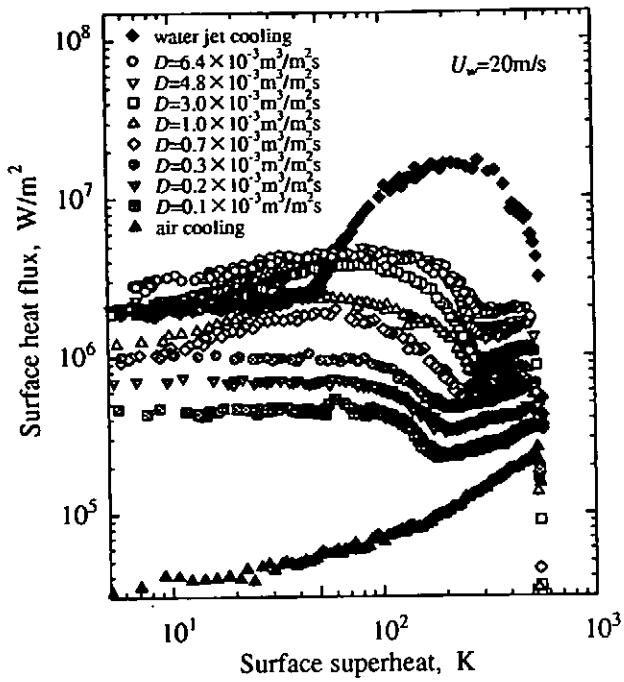


Fig.4 スプレー冷却伝熱特性

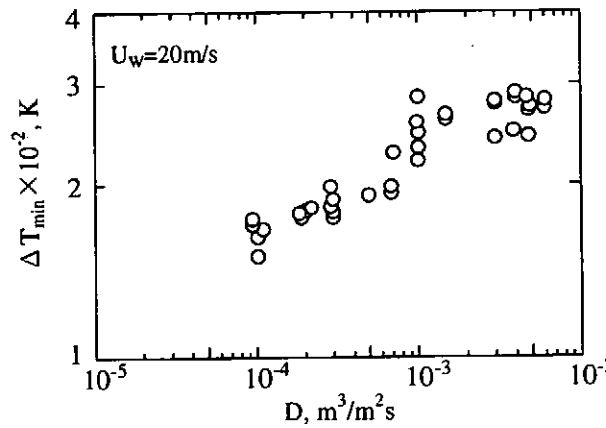


Fig.5 極小熱流束点過熱度と水体積流量密度の関係

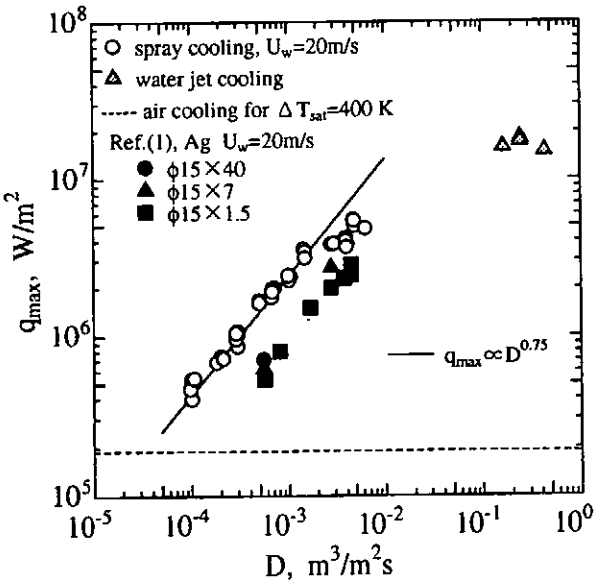


Fig.6 極大熱流束と水体積流量密度との関係

JT-60U 用負イオン NBI 電源のサージ対策

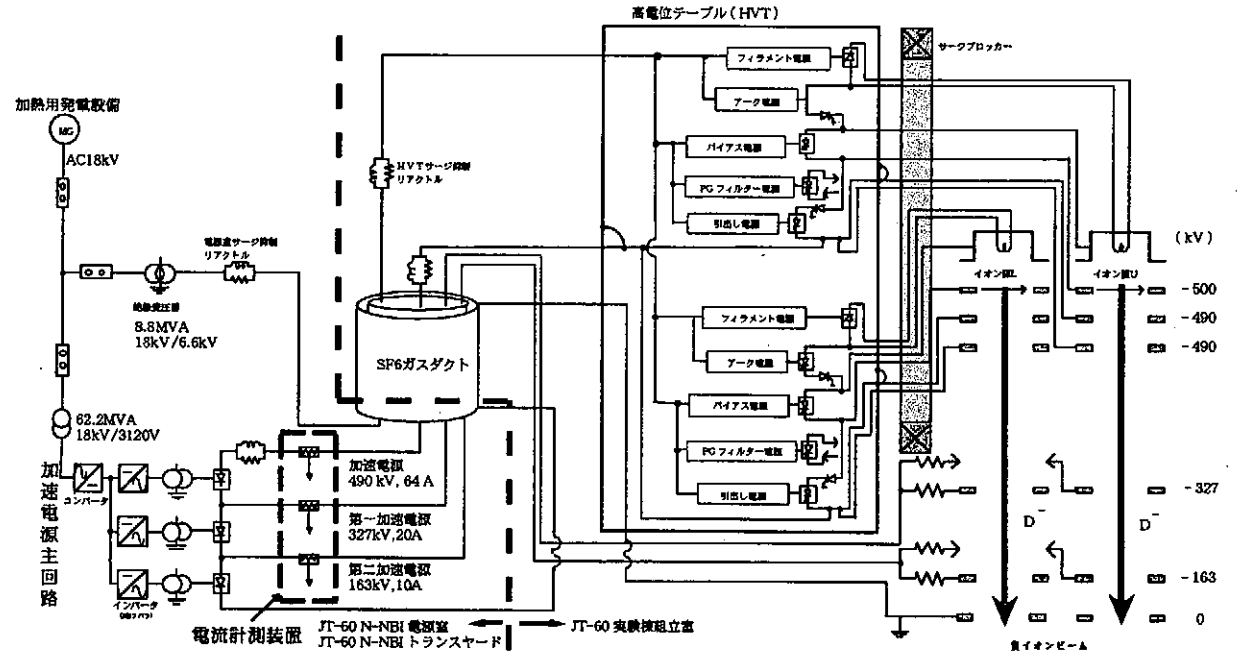
原研　那珂研；○疋田繁紀、山本巧、大賀徳道、薄井勝富
日下誠＊1　　＊1；開発電気（株）

1．はじめに

JT-60U 用負イオン NBI 装置(以下 N-NBI)は、JT-60 プラズマの中心加熱、非誘導電流駆動を目的として設置された装置であり、負イオンをベースとした粒子入射加熱装置である。

本装置は、2 台の大型イオン源を擁するビームライン、超高電圧のイオン源用電源及びこれらに共通の受配電設備、制御系設備等から構成され、最大 500keV、10MW の重水素ビームを 10 秒間、JT-60 プラズマに入射することを目標として平成 7 年から運転されている。

平成 10 年の定期点検にて加速電源主回路用電流計測装置の絶縁油をガス分析した結果、アセチレンガスの発生が確認され、絶縁筒内部に収納されている電源用絶縁変圧器の絶縁破壊が懸念された。電流計測装置の不具合調査、原因究明、その対策について述べる。図—1 に負イオン NBI 装置イオン源用電源の構成を示す。

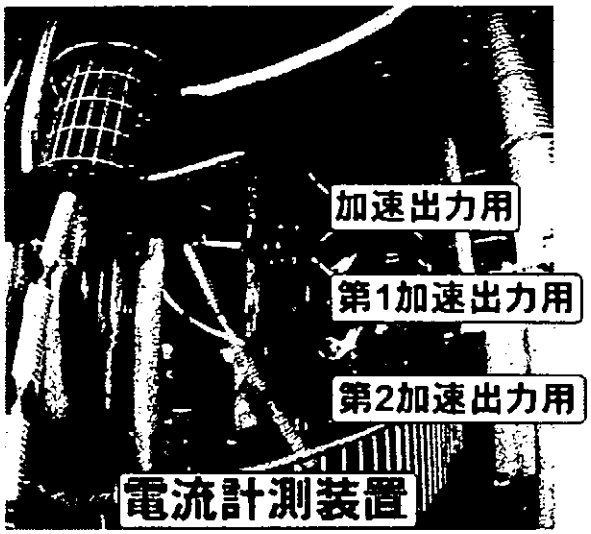


図—1　負イオン NBI 装置イオン源用電源の構成

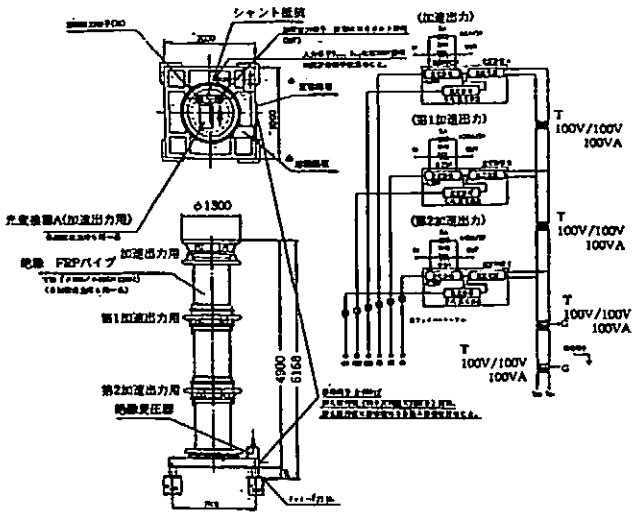
2．電流計測装置の不具合

(1) 電流計測装置

N-NBI 負イオン源におけるビーム加速は、加速電極(上段：490kV-64A)、第一加速電極(中段：327kV-20A)、第二加速電極(下段：163kV-10A)及び接地電極による静電型三段加速方式を採用している。加速電源主回路電流は、各段毎に設置された電流計測装置によって計測され光信号に変えて接地電位側へ送信されている。電流計測装置は、上記の電位に対応して 3 台の計測器により構成されており、各電流計測部は、シャント、光変換器、直流安定化電源、電源用絶縁変圧器及び絶縁変圧器を収容する絶縁筒（FRP 製タンク）から構成されている。絶縁変圧器は、絶縁性能維持のために絶縁筒内に絶縁油を満たされた状態で収納されている。図—2 に電流計測装置を示す。



電流計測装置設置状況

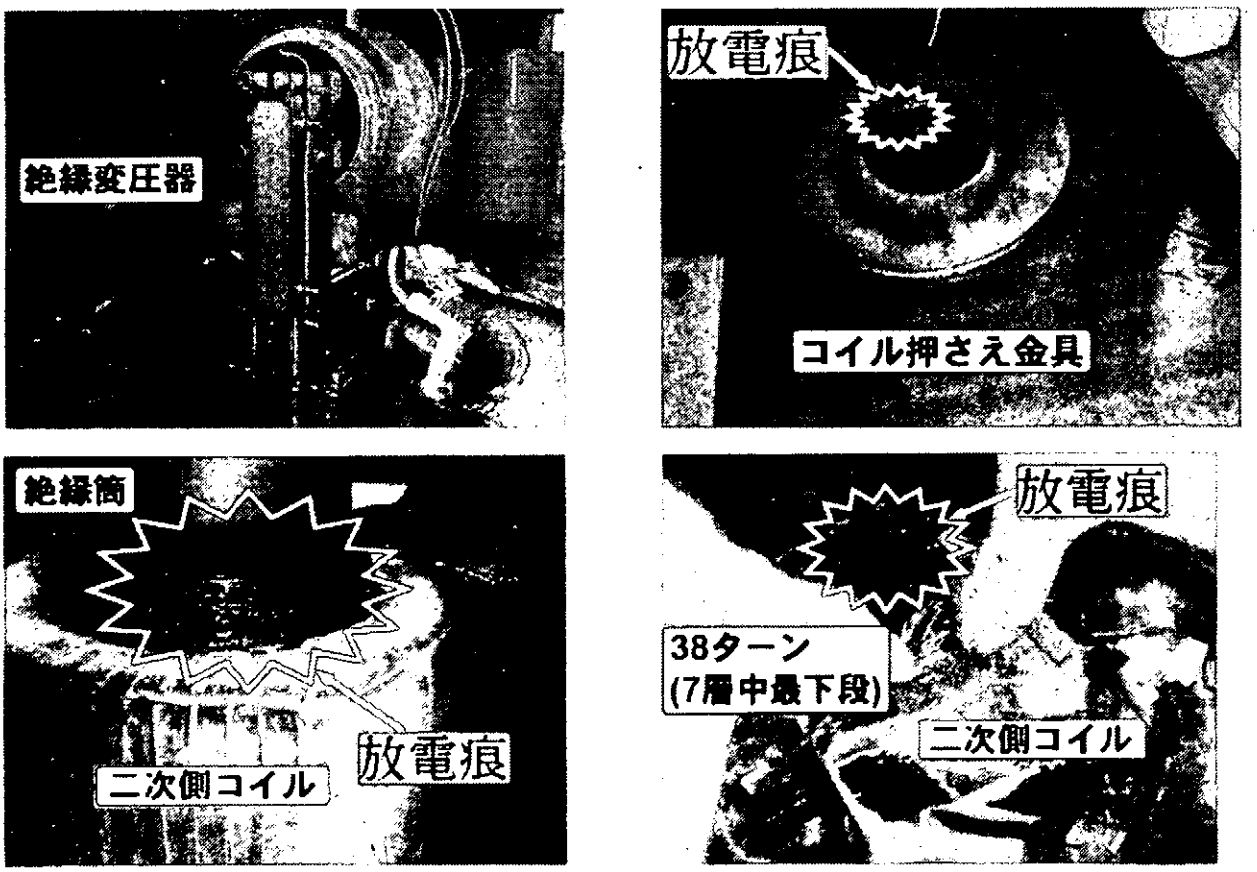


外形図及び回路図

図—2　電流計測装置

（2）不具合内容

電流計測装置の定期点検において、絶縁筒内の絶縁油を上段、中段、下段についてそれぞれガス分析したところ、上段用絶縁油においてアセチレンガスの発生(81ppm)が確認された。その為、各段ユニット毎に DC 耐圧試験(DC200kV　1 分間)を実施したが、全段共に異常は見られなかった。更に上段ユニットの絶縁油を抜き、絶縁筒内部及び絶縁変圧器の目視点検を行ったが異常箇所は見られなかった。その後、絶縁変圧器の分解点検を実施した(図—3)。その結果、コイル押さえ金具の内側及び二次側コイルの 38 ターン目(７層中最下段)に放電痕が確認された。その周辺は黒色化しており、放電を数回繰り返したものと思われる。放電ルートは、二次側コイルの巻始め 38 ターン目から絶縁筒の表面を経由し、コイル押さえ金具の内側に放電したと推定された。



図—3　上段用絶縁変圧器分解点検

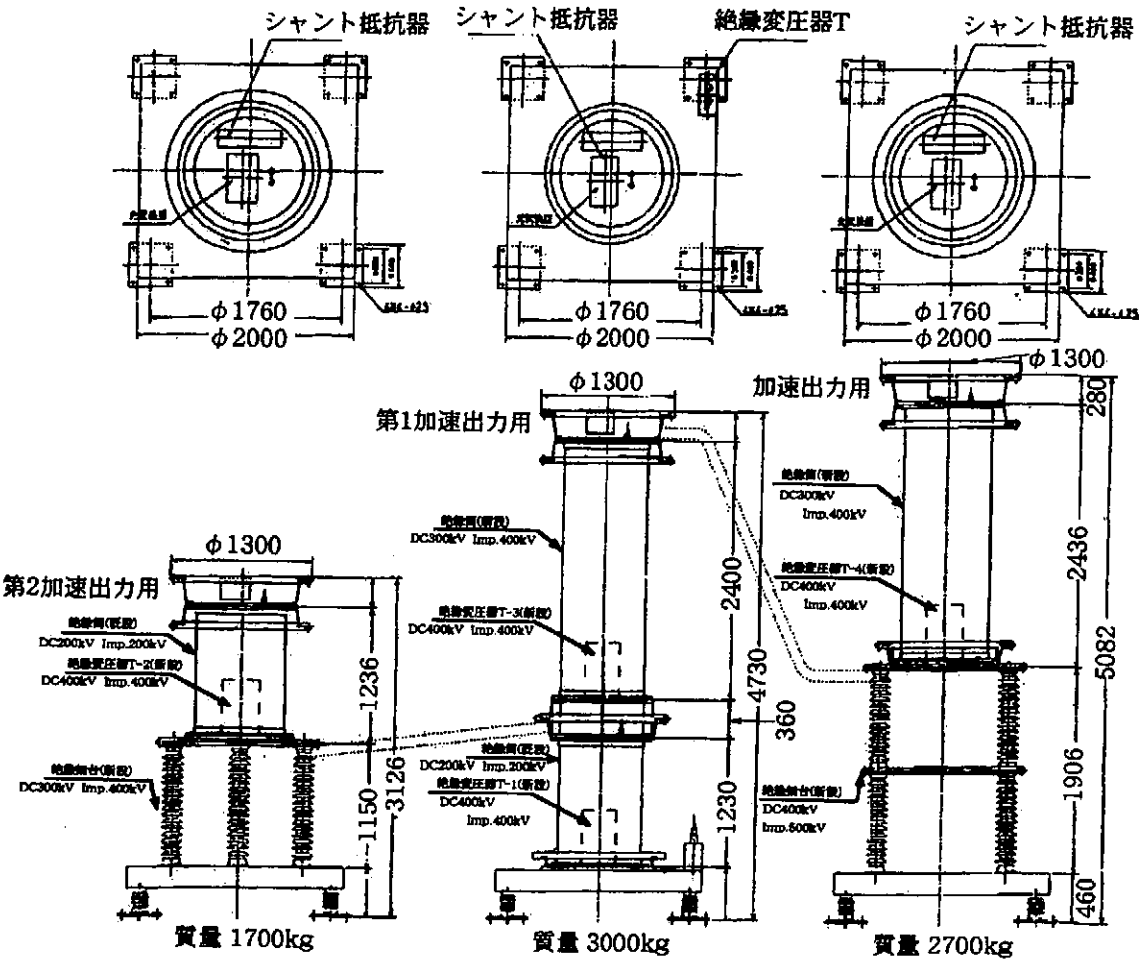
3.不具合原因

JT-60U 用 N-NBI 実験装置の運転では、負イオンビーム生成時にイオン源電極間でしばしば放電破壊による過大なサージ電圧が発生する。このサージ電圧が、絶縁変圧器の耐圧を超え、繰り返し印加されたことにより二次側コイルとコイル押さえ金具の内側で放電したと推定される。また電流計測装置各段ユニットにおける設計上の電圧分担は、全加速電圧の 1/3 がほぼ均等に印加されるものとしていた。その為絶縁変圧器の耐圧は、各電極間の電圧約 160kV に対し DC200kV であった。従って各段間に 200kV 以上のサージ電圧が印加された可能性がある。すなわち負荷端であるイオン源で発生したサージ電圧が上、中、下各電源回路において位相にズレが生じることにより、ある瞬間、各段間に 200kV を越える過大なサージ電圧となって絶縁変圧器の耐圧を越えた場合があったものと推定出来る。

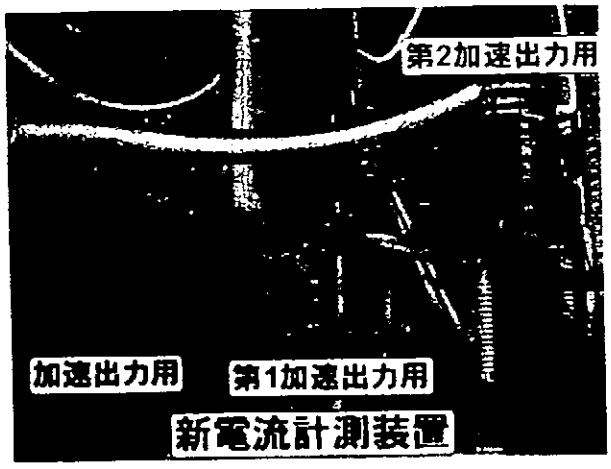
アセチレンが発生した原因としては、アーク放電や部分放電などの高温熱分解時に発生する特徴的なガスのため、先述の絶縁変圧器の放電によるものと断定した。

4.不具合対策

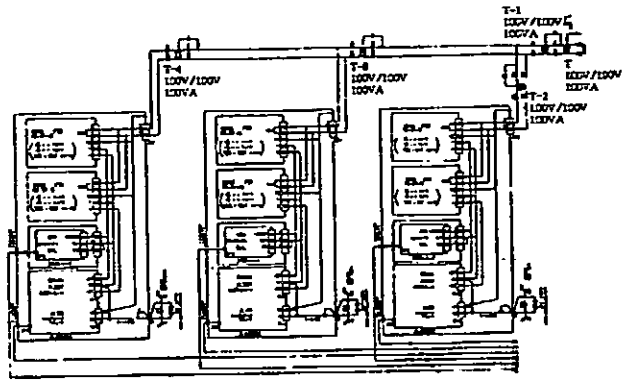
対策として、耐電圧性能を上げた絶縁変圧器(DC400kV Imp. 400kV)を 4 台、絶縁架台(DC400kV Imp. 500kV, DC300kV Imp400kV)を各 1 台及び絶縁筒(DC300kV Imp. 400kV)を 2 台新規に製作し、三段直列に接続されていた電流計測装置を三並列配置とすることにより、新たに第 1 加速出力用絶縁変圧器に対する基準電位を直流側接地電位とし電位変動の低減化を図った。図—4 に新電流計測装置外形図、図—5 に新電流計測装置設置状況、図—6 に新電流計測装置回路図示す。



図—4 新電流計測装置外形図



図—5 新電流計測装置設置状況



図—6 新電流計測装置回路図

5.まとめ

(1) 上段用電流計測装置の絶縁油ガス分析にて発見されたアセチレンガスは、絶縁筒内に収納されている絶縁変圧器で放電が発生したためと判った。

(2) 絶縁変圧器で発見された放電痕は、負イオンビーム加速時にイオン源電極間で発生した放電破壊時のサージ電圧が、上中下各電源回路において位相にズレが生じ、ある瞬間絶縁変圧器の耐電圧性能値を超えたことによるものと推定した。耐電圧性能を上げた絶縁変圧器、絶縁筒及び絶縁架台を新規に製作し、更に電流計測装置の配置を三段直列から三並列として第1加速出力用絶縁変圧器の基準電位を直流側接地電位にした。

(3) 現在は、運転前に目視点検すると共に、定期的に油中ガス分析を実施し異常のないことを確認しながら運転している。

サイラトロンドライバーの故障とその対策

高エネルギー加速器研究機構
○ 中島 啓光、本間 博幸、明本 光生、設楽 哲夫、福田 茂樹

1. はじめに

KEKB 電子陽電子入射器は、年間の運転時間が約 7000 時間と非常に長く、さらに、その間安定な運転が要求される。そこで、問題となるのが、装置の故障である。KEKB 電子陽電子入射器の 59 台あるクライストロン用パルス電源では、2000 年夏の長期シャットダウン後、立ち上げの際にサイラトロンのドライバーであるトリガーII の故障が多発し問題となった。

トリガーII は以前から故障が多く、1999 年に SCR のゲート信号のパルス幅を狭める対策を行っている[1]。その結果、故障数は約半分程度まで減少した。しかし、2000 年夏の長期シャットダウン後の立ち上げ時に故障が多発したため、その後、故障原因の調査を行い、2001 年夏の長期シャットダウン時に新たに対策を施した。ここでは、故障の原因と対策、対策後の状況について報告する。

2. トリガーII の構成と故障箇所

トリガーII はサイラトロンのドライバーであり、交流電源からの入力を直流に変換する直流電源部、PFN に充電をするための充電回路部、パルス電圧を出力するための放電回路部によって構成されている（図 1 参照）。

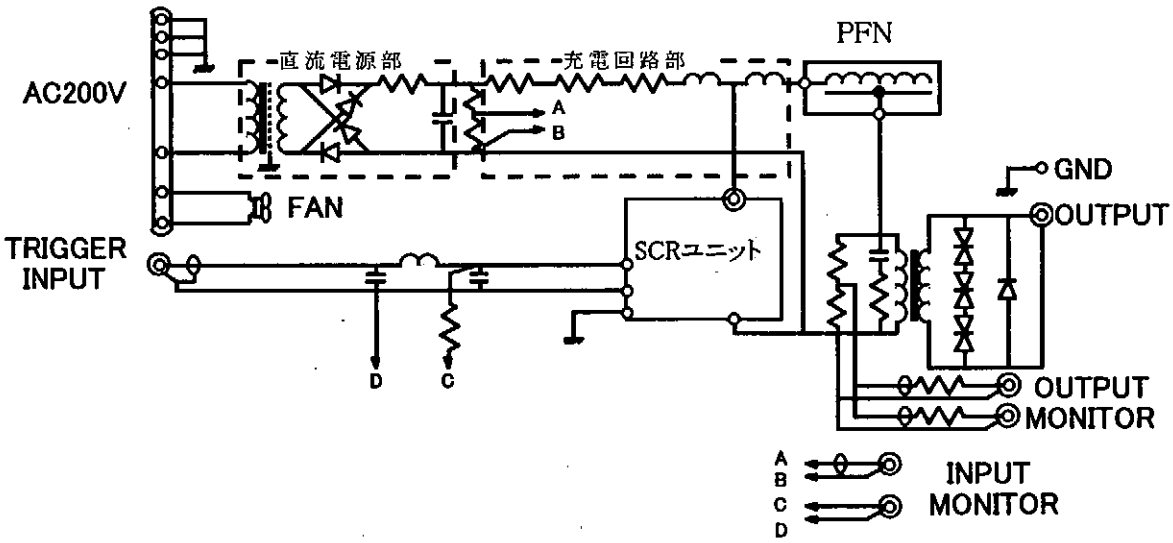


図 1：トリガーII 回路図

今回の故障は、全て放電回路部の SCR ユニット内におけるものであり、その故障箇所は SCR 本体、あるいはスナバ回路のコンデンサーであった。SCR ユニットは、直列に接続された 2 個の SCR、同数のゲート回路、スナバ回路と電圧バランス抵抗によって構成されていて、3.5kV に充電された PFN からパルス出力を得るためのスイッチの役割を果たしている。図 2 は SCR ユニットの回路図である。スナバ回路で使用している SCR とコンデンサーの耐圧は 2.5kV であり、コンデンサーの静電容量は 0.033μF である。また、スナバ回路の抵抗 Rs は 120Ω、電圧バ

ランス抵抗 Rb は 2M Ωである。

SCR の故障は、サイラトロンの異常放電時などの反射電圧が原因と考えられたため、実際に SCR に印加される電圧波形を測定した。また、コンデンサーの故障については、サージ電流などが考えられたが、原因の特定は困難であったため、メーカーに分解調査を依頼した。

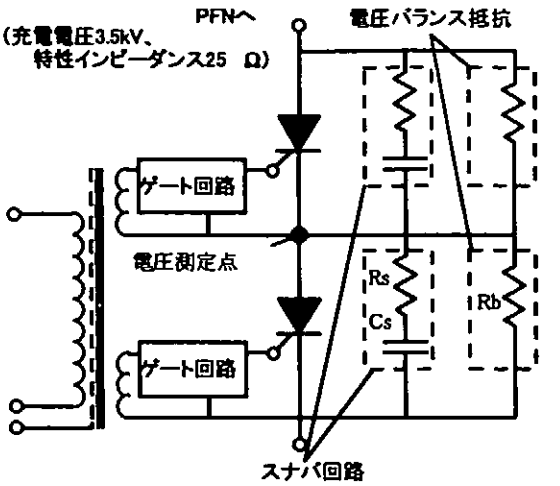
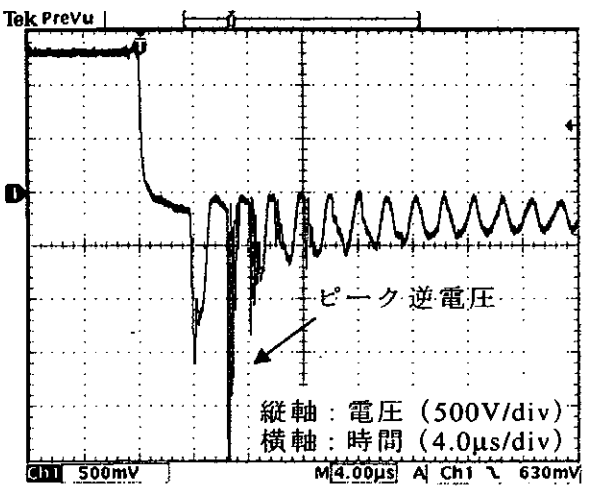


図 2：SCR ユニット回路図

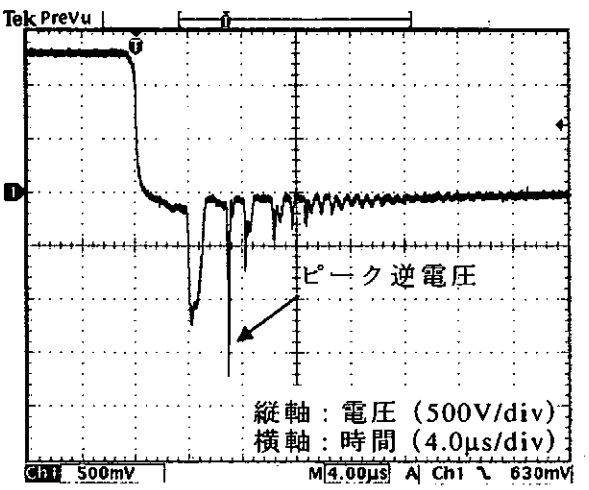
3. SCR に印加される電圧

3.1 スナバ回路

スナバ回路は、SCR 点弧後の逆電圧を抑えて SCR を保護するための回路である。ここでは、スナバ回路の効果を確認するために、スナバ回路がない時の低圧側 SCR のアノード電圧波形を測定した。図 3 (a) がその測定結果であり、図 3 (b) はスナバ回路がある時の電圧波形である。スナバ回路がない時のピーク逆電圧は 2.8kV であった。それに対して、スナバ回路がある時では 1.7kV と約 1kV 低くなっている。この結果から、スナバ回路は逆電圧を抑えるのに有効であることが分かる。



(a) スナバ回路なし



(b) スナバ回路あり

図 3：低圧側 SCR のアノード電圧波形

3.2 サイラトロン異常放電時

サイラトロンを意図的に異常放電させ、その時のピーク逆電圧を測定した。その結果、ピーク逆電圧は 2.2kV とサイラトロンが正常に動作をしている時と比較するとかなり高い値であった。

SCR ユニットにて使用している SCR の逆耐圧は 2.5kV である。スナバ回路の抵抗値を下げるとピーク逆電圧を抑えられる[2]ので、余裕を持たせるためには、抵抗値を下げれば良い。ただし、抵抗値を小さくすると、ピーク電流が大きくなるので、コンデンサーの許容ピーク電流を超えないように注意する必要がある。

4. コンデンサーの分解調査結果

4.1 故障状況

スナバ回路のコンデンサーの故障は、焼損、静電容量の減少などであり、低圧側のコンデンサーが壊れた場合には、高圧側の SCR が壊れるといったように、コンデンサーが故障するとその反対側の SCR も壊れてしまうことが多かった。

4.2 調査結果

焼損したコンデンサーと静電容量が減少したコンデンサーの分解調査をメーカーに依頼したところ、以下のことが分かった。

まずこのコンデンサーは繰り返し充放電用に作られたものではなく、誘電体（ポリエステル）の tan δは大きいとのことであった。分解調査の結果、低圧電極や中間電極でコロナ放電が起こり、蒸着金属が後退していたとのことである。その後退個所は 1 箇所だけであった。他の故障要因であるサージ電流の場合ではリード線につながる蒸着金属の部分（コンデンサーの容量とならない部分）が剥がれることが一般的だそうである。また、コンデンサーの正負間に過電圧が印加された場合には、何箇所ものところで、蒸着金属の剥離が起こるとのことであった。

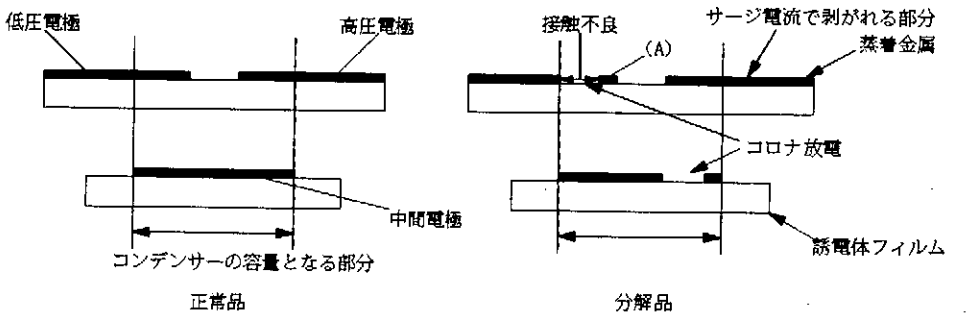


図 4：故障したコンデンサーの分解調査図

分解調査の結果から、コンデンサーの故障原因は、繰り返し充放電用でないコンデンサーを長期間トリガーII の図 5 に示す様な充放電条件で使用したために、蒸着電極でコロナ放電が起き、誘電体が経年変化を起こして電極が剥がれ後退していったためと判明した。このことで静電容量の減少は説明される。また、焼損したコンデンサーがあったのは、この時一部の蒸着金属（図 4 の(A)）が残って、接触不良を起こし、電流による発熱のため、誘電体が炭化しそれが拡大していったためとのことであった。

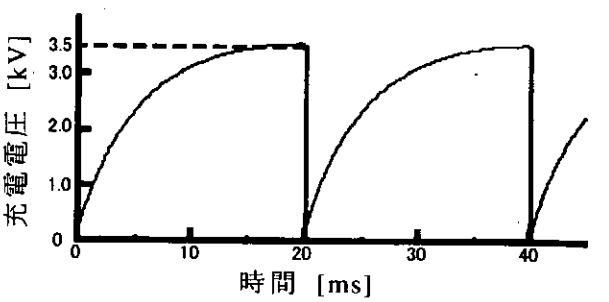
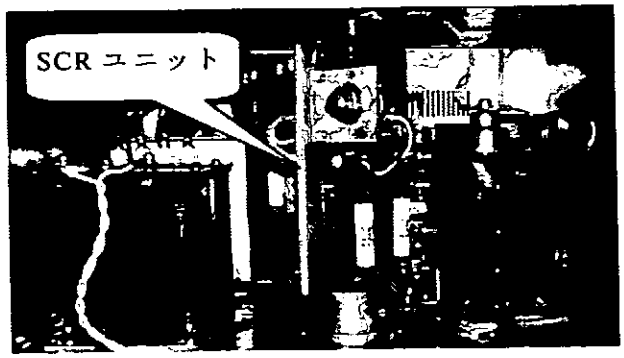


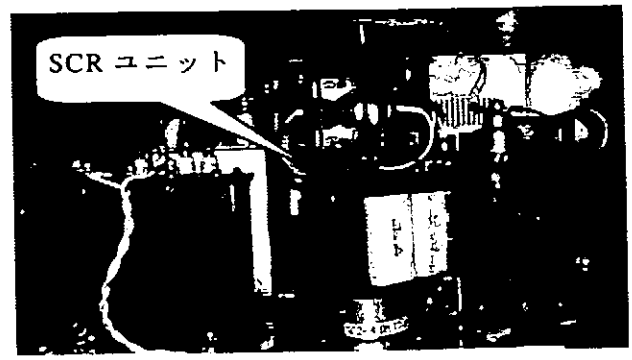
図 5：トリガーII の充電電圧

5. 故障対策

コンデンサーの調査結果から、使用していたコンデンサーがスナバ回路での使用には適していないことが明らかになったため、コンデンサーを新しいものに交換した。新しいコンデンサーは、スナバ回路用のもので、静電容量は、これまでの 3 倍程度が適当なため 0.1μF とした。図 6 は、トリガーII 内における SCR ユニットの写真であり、(a)がこれまでのコンデンサーを使用したもので、(b)が新しいコンデンサーを使用したものである。



(a) これまでのコンデンサーを使用



(b) 新しいコンデンサーを使用

図 6：トリガーII 内における SCR ユニット

図 7 は新しいコンデンサーを使用した SCR ユニットにおいて、サイラトロンが正常に動作している時の低圧側 SCR のアノード電圧を測定したものである。これまでのコンデンサーを使用した場合（図 3(b)）に比べ、ひげ状の逆電圧がなくなり、ピーク逆電圧が 1/3程度になっている。さらに、逆電圧はサイラトロン異常放電時でも約 1.2kV にまで抑えることができる（図 8 参照）。

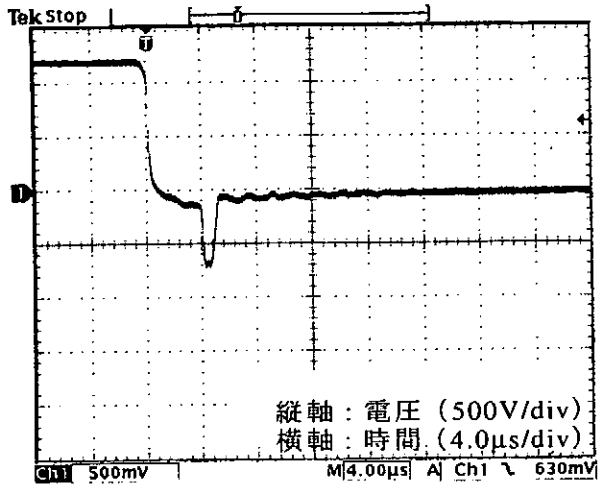


図 7：低圧側 SCR のアノード電圧波形

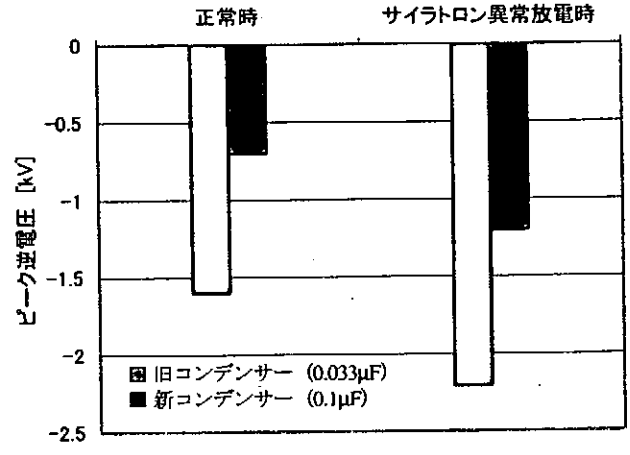


図 8：ピーク逆電圧の比較

6. 対策後の状況

コンデンサーを交換することによって、コンデンサーだけではなく、SCR の逆電圧の問題も解決できたため、2001 年夏の長期シャットダウン前に 8 台の電源にて新しいコンデンサーのランニング試験を数ヶ月行い、特に問題はなかったため、シャットダウン中に 59 台全ての電源において SCR ユニットのコンデンサーを交換した。その結果、立ち上げの際に多発した故障も全くなくなり、その後、現在まで故障することなく、使用することができている。

7. まとめ

問題となっていたトリガーII の故障は、コンデンサーを適切なものに交換することによって、解決され、電子陽電子入射器の運転に影響を与えるようなことはなくなった。

参考文献

[1] H. Honma et al., "Troubles about Operation of the KEKB Injection Linac Klystron Modulator", Proceedings of the 25th Linear Accelerator Meeting in Japan

[2] H. Nakajima et al., "IMPROVEMENT TO THE THYRATRON DRIVER", Proceedings of the 26th Linear Accelerator Meeting in Japan

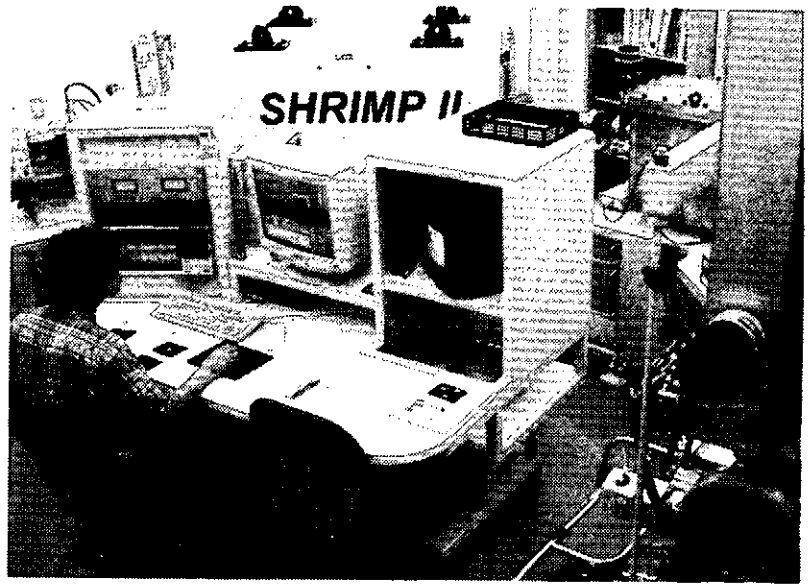
国立極地研究所のSIMSのメインテナンス

――南極隕石研究センターのSHRIMPⅡについて――

東京大学大学院理学系研究科・理学部地球惑星科学専攻
○立川　統

はじめに

私は東京大学大学院理学系研究科・理学部地球惑星科学専攻の鉱物電子顕微鏡室で仕事をしているが、2年程前より国立極地研究所(極地研)の特別研究員として、「南極隕石の精密分類とその総合カタログの作成」プロジェクトの一員に加わっている。



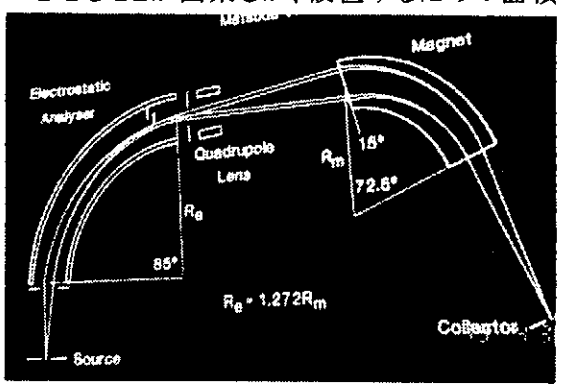
現在、そのプロジェクトに大きな役割を持つ南極隕石研究センターの二次イオン質量分析装置(SIMS)のメインテナンスを行なっている。出向時間が短いので本務と同じような仕事は困難であるが、真空機器や電子回路・装置に関して個々の様々な故障や管理に関してのアドバイスや修理、また、機器開発等の仕事を行っている。

この装置は主に年代測定に使用されていて、すばらしい威力を発揮しているが、装置の大半が手作りということであるがゆえ様々な初期故障が発生し、その対策に2年の歳月が費やされた。また、メインテナンスに対するマニュアルは整備されておらず、故障の度に苦労させられている。ようやく最近になって安定したデータが出せるようになった。本研究会では発生した故障と、それにどのように対応してきたかについて報告する。

SHRIMP

近年、質量分析装置の大型化と精密化が進み、南極隕石研究センターに納入されたSIMSは極めて大型の部類に入るものである。この装置はAUSTRALIAN SCIENTIFIC INSTRUMENTS(ASI)が製作した製品である。1台目は研究者が自分達の研究のために開発したもので、メインの部分であるカラムや絞り、収束電極、静電エネルギー分離装置、質量分離磁石等多くの部品を自分達の工場で作り、一つの装置として組み上げている。彼らはそれをSHRIMPⅠと称している。2台目はSHRIMPⅡとバージョンアップされ広島大学に納入された。本装置は3台目であり、近く4台目が中国に納入される。

装置を大型化することによって質量分離性能を大幅にアップさせることが出来るが、設置するための面積は非常に広くなる。この装置は6m×8mくらいの部屋にやっと収まっている。また、装置の性能アップのためには様々な条件をそろえなければならない。温度、湿度、振動、埃や静電気についての対策が必要になる。



SHRIMPとはSensitive High Resolution Ion Micro Probeの頭文字をとったもので、確かに背骨が曲がっている点は良く似ているが、SHRIMPと言うには余りにも大

きい装置である。オーストラリア人のユーモアというか駄洒落好きには感心する。

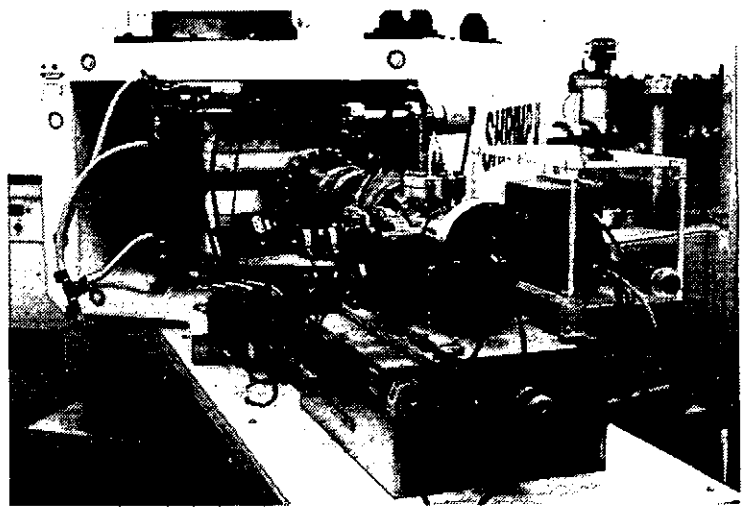
装置の概要

二次イオン質量分析装置(SIMS)は試料から二次イオンを発生させるための一次イオンガンと試料室、二次イオンを分離するためのアナライザーと検出器からなたっている。一次イオンガンは酸素ガスを電離させるためのプラズマ発生装置と、発生した酸素イオンを加速させ目的のO_2^-イオンを分離するフィルターと偏向装置からなりたっている。このイオンガンはビームを直径10μmと極めて細く絞り、しかもイオン密度が均一になる様に設計されている。

試料室は一次イオンガンの最終カラム部分と試料移動装置、試料導入機構、および試料から発生した二次イオンを加速し収束するカラムの四つの部分で構成されている。試料導入機構は縦横二つのモーターで予備試料室から試料室へ試料を移動させる複雑な機構となっている。

試料から発生したイオンは10KVの電圧で加速され Electrostatic Analyser (ESA)に導かれる。ESAでは速度によるフィルタリングが行なわれ、元素ごとに分散される。その後ろにあるマグネットで質量分解され検出器に導かれてカウントされる。その同位元素ごとの存在比からその鉱物の生成年代が分かるシステムである。

検出器移動装置の異常



2次イオンの最終的な検出器にはファラディーカップとフォトマルが用意されている。この両者の連続性は、両者を繋げる中間的な量の同位元素を用いてキャリブレーションしている。各元素の同位元素は質量によって磁石から出てくるビームのフォーカス位置が違う。それらを量るために検出器全体が前後するよう、モーター駆動となっている。カラムは直径約10cm あり、内部は高真空となっているため強力な力で引っ張られている。モーターの回転はユニバーサルジョイントを介してボルトに伝わる。ボルトの終端は留め金によって支えられている。検出器を載せた台はボルトの回転によって前後に移動する仕組みとなっている。

着任早々故障が発生した。故障は検出器を動かそうとすると、物凄い異音が発生し、検出器がスムースに動かなくなるというものであった。モーターの駆動装置を分解してみると原因はすぐに判った。プラスチック製のユニバーサルジョイントが噛み合って、回転したために既に削り取られてしまった状態だった。装置を良く観察した結果、原因はボルトの後ろ側を支えている留め金が真空の圧力に屈して斜めになり、カラムを載せた台の位置がマグネット側にずれてしまったことによるものであった。留め金を台に止めているボルトが緩んでいたことによるもので、これは装置組み立て時のミスと言うべき問題であった。修理には基盤の上に載っている検出器を外さなければならず、また組み上げた後の光軸調整の問題もある。結局この故障の原因を突き止めたと言うことだけで、たまたま広島大学に来ていたASIの技術者に立ち寄ってもらい修理してもらうことにした。

一次イオンビームの変動

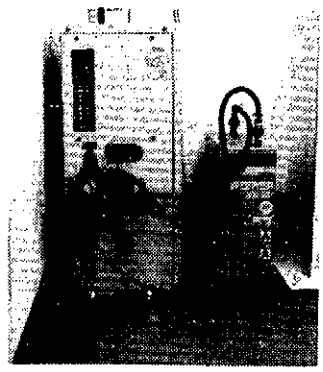
この装置では一次イオンに O_2^- と Cs^+ が使用できるようになっているが O_2^- の時は何の問題も無かったのだが、Cs^+をイオン源として使用すると、スイッチを入れてから徐々にビーム量が増えて行き、ある上限を

過ぎると今度は下がり始める現象が起きた。通常、電源投入後は電源が暖まるまで電流変動は起きるものだが、一定時間を経過した後は安定するのが普通である。従ってこの手の故障は電源装置に何か異常が発生していることが予想されるのだが、この時はデーターを収集することを優先ささたため原因を突き止めることまではできなかった。

この故障の原因はかなり後になって判明した。

温度・湿度管理

夏の暑い頃、バルブが勝手に閉まってしまう現象が頻発した。最初の年はバルブコントロール装置(IVMS)が不安定であると考えていたが、二年目の夏には夏に特有の現象であると分かってきた。IVMSの様々な原因を追及したが分からず、最終的なASIの指示は「圧縮空気を送っているチューブの先端に付いている圧力センサーを点検しろ」と言う事であった。チューブの先端には確かにセンサーがついていて、外してみると確かに湿っぽい感じがする。ドライヤーで乾かして取り付けたところ正常に動き始めた。



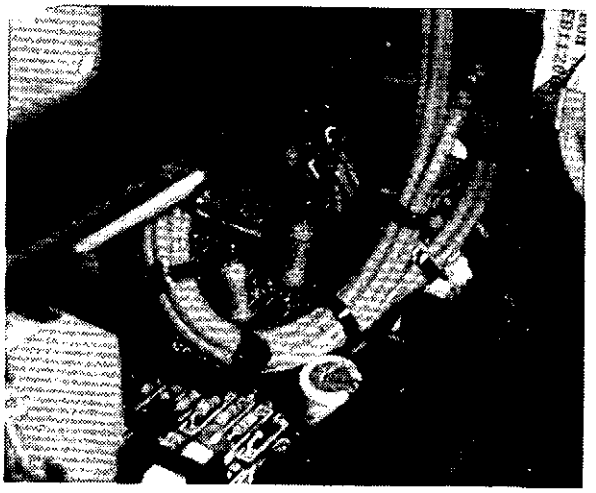
しかし、このような現象が頻繁に起こるため空気乾燥機の導入を検討することになり、どうしたら最善かという相談を受けた。一般にシステム化された真空装置は圧縮空気をバルブの開閉に使っている。私が管理している鉱物電子顕微鏡室の場合コンプレッサーと電子顕微鏡は同じ部屋に置いてあり、年に1～2度タンクの水抜きを行なう程度のメインテナンスで済む。

南極隕石研究センターの場合、SIMSが置いてある部屋の温度は20度、湿度はおよそ20%に設定されている。ところがエアーコンプレッサーは隣の小さい部屋に設置されていてエアコンが無く、部屋の温度は、夏場には外気温と同じの36度にもなる。その空気を圧縮して20度に設定された部屋に送り込んでいることになり、その温度差は16度にもなる。これは標高に換算すると2600m以上にもなり、夏場の湿った空気が結露しないわけがない。

対策としてはコンプレッサー部屋を20度まで冷やすか、コンプレッサーそのものをSIMSと同じ部屋に持ってくるかの選択しかないと説明した。採用されたのはコンプレッサーをSIMSと同じ部屋に移動する案であり、しかも空気乾燥機も導入したので、その後この手の現象は起きていない。

一次イオンの停止

以前から一次イオンの変動は続いていたが、ついに一次イオンビームが完全に出なくなった。この故障について教官にASIと連絡をとってもらったところ、イオンソース電源の電源基板の抵抗をワット数の大きいセメント抵抗に換えろということであった。キャビネットの中を開けて見ると、信じられないような光景が目に入ってきた。電源基板は非常に体裁良く作られているが、抵抗を取り付ける穴二つの両方に抵抗をそれぞれ立て、その上にまるで鳥居のようにもう一本の抵抗が横向きに半田付けされていた。しかも基板の元々の抵抗がついていた場所が焼け焦げていて、明らかに抵抗が焼けて修理した形跡がある。故障はブリッジにした抵抗の「天ぷらはんだ」によるものであった。彼らがすぐに故障箇所を指示してきたのは彼らが既にこの部分を修理していたためであると実感した。



修理はASIの指示どおり秋葉原から1KΩのセメント抵抗を2個買ってきて、それを直列につないで基板にはんだ付けし、修理は終わった。その後は長い間悩まされ続けてきたビーム電流の変動が完全に無くなった。

試料交換警告灯の取り付け



この装置は手作りであることによって装置の全てがコンピュータコントロールと言うことにはなってはいない。真空系はIVMSと呼ばれる機器で制御される別の一つの体系をとっているが、電気的なところはおおよそMacにインストールされたラボビューによってGPIBを通じてコントロールしている。ディテクター位置移動装置については前述したが、同じようにモーター駆動している試料交換装置も良く故障する。

SHRIMP管理している三沢助教授からの要望で試料の交換時に点灯する警告灯を取り付けた。駆動装置はDCモーターとエンコーダーによって動かされているが、コンピュータと実際の位置の確認が今ひとつ正確でない。そこで試料交換時には操作する者に対して警告をすると言う意味合いを込めて回転警告灯を付けることになった。試料の位置確認が正確にできれば何のことはないのだが、これを取り付けたことによって試料交換時における緊張感が幾分かは増したとのことであり、取り付けた価値はあったと言える。

試料監視モニター

試料を監視するビデオカメラやモニターにはSONYの製品が使われている。ビデオカメラは超望遠レンズを使用しておよそ150×120μmの範囲を観察している。試料の映像を試料室から外に取り出すためミラーが一枚使われている。このためモニターテレビには左右のみ反転した画像が映しだされることになる。そのため試料移動を直感的に行なえず戸惑いを感ずることがしばしば起きた。

これはモニターテレビの水平走査電極を逆に繋ぎ変えることで解決した。この改造は利用者に極めて好評であった。通常のテレビを観ることの無い状況なので反転スイッチを取り付けるようなことはしてはいない。

酸素ガス流入経路の変更

この装置では一次イオンとしてO_2^-を使用している。一次イオン用のガスは高純度の酸素ガスを使用しており、これをイオン化したのであれば本来、O^-、O_2^-イオンしか出てこない筈である。ところがN^-イオンが同時に発生するという現象が生じていた。イオン化室では比較的低い真空度で起こるアーク放電によってO_2^-イオンを効率良く発生させることになっている。しかし、窒素ガスが混入するとN^-イオンが発生し、放電のエネルギーが窒素ガスのイオン化に食われてしまいのO_2^-イオンの発生効率が極端に落ちる。

窒素イオンが発生していると言うことはボンベからイオン化室の間で空気のリークがあることを意味している。そこで買ったばかりのHeディテクターを使って調べたところ、さまざまな場所からリークしていることが判明した。そこでボンベからニードルバルブまでの酸素ガスの流入経路を短く単純化し、また、一気圧より若干高い気圧にすることによって空気中からの窒素の混入を防ぐことにした。さらにニードルバルブから先のイオン化室までは真空度が低いとは言ってもおよそ250mTorrであるのでガスケットを交換するなどの対策を施すことによってリークを止めた。さらに真空を破った時にはこの部分を150℃位に加熱し、ベイキング作業をすることにした。この対策によって安定的にO_2^-イオンを発生させることができるようになった。

おわりに

私が長年培ってきた電子顕微鏡技術ではなく、SIMSという新しい装置に対応出来たのは、ひとえに国立極地研究所南極隕石研究センターのセンター長の白石教授、小島教授、三沢助教授をはじめスタッフの方々のご協力のおかげであります。紙面を借りてお礼申し上げます。

ゴム系Oリングを使用したHeガスの透過漏洩抑制法

日本原子力研究所東海研究所工務技術室
大場敏弘　○井上広巳　菊地泰二　高　勇　千葉雅昭　石川和義　津田和美　武山友憲
（株）原力エンジニアリング
磯崎　太　照沼　勲　沢辺正樹　関谷三男　川崎　積

1．　はじめに

一般に真空および高圧装置等の製作過程における溶接部の良否判定は、He 漏洩検査によって健全性の確認が行われている。この検査では被対象物と漏洩検出器の接続に取り扱いの容易なことからガスケットとしてゴム系Oリングが良く使用される。しかし、同Oリングを使用したHe漏洩検査では、Heガスが短時間にOリング中を透過漏洩することは既知の事実である。

このために溶接部が多い装置等の漏洩検査は、この透過漏洩が大きな検査妨害要因となり継続した高精度の検査が行えないという欠点を有している。

著者等も幾たびかこの透過漏洩問題に遭遇し、長時間にわたる検査作業を余儀なくされた経験がある。その検査作業の中の経験から、材料中にある体積を持った空洞が存在し、しかもその空洞から材料を貫通する微細な欠陥がある場合に、数時間たって漏洩を感知する現象をしばしば経験した。そこで、この空洞の存在を利用する方法を思いつき、Oリングを二重に使用する方法を考案し、この方法による透過漏洩の抑制効果を確認するための試験をおこなった。

2．　試験装置の概要

試験方法は図1に示すOリング透過漏洩試験治具を使用して、図2に示した試験要領図によって試験を実施した。試験治具はG型Oリングを装着する溝深さ2.4mm、幅4.1mmのフランジとV型Oリングを装着する溝深さ3.0mm、幅5.0mmのJIS基準フランジ2種類を用意した。

使用したゴム系OリングG型およびV型Oリングそれぞれの材質はフッ素ゴム（バイトン）である。Oリングは漏洩試験に先立ち、Oリングから放出される有害ガスの影響を極力抑えるために、十分な真空引きを行い放出ガスを出来るだけ排除した。

図3の試験治具は、2重Oリング間にガスを加圧充填するための注入孔と、外側Oリングの外側にもう1重のOリングを配置して、その間にHeガスを注入するためのHeガス注入孔が設けてある。更に各々の注入孔にはガス圧力を変えるための圧力計と開閉バルブが取り付けられた構造となっている。

3．　試験方法

図1に示すOリング透過漏洩試験治具に装着するOリングは先に述べた通り、真空引きを十分に行い放出ガスの影響を極力少なくしたOリングである。表1には今回使用した各タイプのOリングの寸法規格と材質を示した。

漏洩試験は図2に示したようにHe漏洩検出器と試験治具を高真空ゴム管を介して接続した後に、内側Oリングの真空排気を行い漏洩検出器の指示値が 1×10^{-11}Pa・m^3 / sec に到達した時点から、図2に示した注射針によって図1のHe溜まり溝にHeガスを注入し、それと同時に漏洩試験を開始する手順で行った。ここで実施した漏洩試験では、1項で述べた空洞の存在が漏洩検出の時間遅れを起こす要因であることから、二重Oリング間のガストラップの体積を

出来るだけ多く取れるように、あえてフランジ間を締め付けボルトで締結せずに真空と外圧との圧力差のみでホールドする方法を採用した。

図3の試験治具を使う漏洩試験は、図2で説明した方法と同様に二重Oリング間および外側と最外部Oリング間を真空排気後、内側Oリング内の指示値が前述と同様な値になってから二重Oリング間に窒素ガスを充填後に、その外側Oリング間にHeガスを注入して漏洩試験を行う方法である。

4. 試験結果

図4および図5にはG型およびV型Oリングで二重Oリング間の圧力を大気圧で行った結果とそれぞれを単Oリングで行った試験結果を示す。単Oリングで行ったHeガスの検出開始時間は試験開始からおよそ3～4分であるのに対し、二重Oリングで行った検出開始時間はG型で135分後、V型では270分後にHeガスを検出し、予測を遥に上回る検出開始時間の遅れが起こる事が判った。

また、図6のHeガスの流量曲線は二重Oリング間に窒素ガスを加圧充填して、かつ、Heガスの圧力も変えたときの試験結果である。この方法では、二重Oリング間の圧力が高いほど、Heガスの検出開始時間が遅れ、Heガス圧力が高いほど検出開始時間は早くなる試験結果が得られた。

5. 試験結果の評価

図6の試験結果によると、二重OリングをHeガスの検出開始時間はOリング間に充填した窒素ガスの圧力によってHeガスの透過漏洩が阻害されているように見える。しかし、ここでは二重Oリング間の圧力が真空の場合についても検出開始時間が単Oリングの試験結果と大きな差があることから、二重Oリング間に存在する充填ガスが二重OリングをHeガスの抑制効果の主なる因子とは考えられない。

ここで、二重Oリング外側を透過漏洩するHeガスの流量は漏洩量の式 Q=KPA / d から明らかなようにOリング外側のHeガスの影響を受ける。同様に内側OリングをHeガスの透過漏洩量も二重Oリング間に蓄積されるHeガス圧力の影響を受ける。

従って、二重OリングによるHeガスの透過漏洩阻止効果は、検出開始までの時間差を除き漏洩量に著しい差は認められず、内側Oリングから透過漏洩するHeガスは二重Oリング間に存在するHeガスの分圧のみを原動力として透過漏洩することが明らかである。

このような理由から、二重OリングによるHeガスの透過漏洩の検出開始時間の遅れはOリング間に存在する充填ガスの影響よりも、二重Oリング間に存在する空間（ガストラップ）による効果であると考えられる。一方、内側Oリングからの透過漏洩の様子は、二重Oリング間に蓄積されるHeガスの圧力が極めて低いことから、内側Oリングを透過し漏洩する時間も極めて長く、従ってこの現象が検出開始時間を大きく遅延させる原因と判断できる。

6. まとめ

以上の試験結果から、二重Oリングを使用する方法は、単にOリングの太さを2倍にした以上の十分な効果を発揮している。またこの方法ではOリング間に存在するガストラップがHeガスの透過漏洩の抑制に決定的に重要な効果を与えており、この存在が二重Oリング装着法の最大の特徴である。

この方法によれば普段溶接部等の検査で行っているHe漏洩検査では、ガスケットから透過

漏洩するHeガスの影響をある時間全く無視することが出来るために、漏洩判定の精度も格段に向上する事は確かであり、正確、かつ効率的な検査作業を行う事が可能である。

一方、二重Oリング間に圧力を変えた窒素ガスを充填した場合では、漏洩検出開始時間は異なっている。この現象は、二重Oリング間に充填されたガス自身によってHeガスの透過が阻害されるのではなく、ガスの圧力によって弾性体であるOリングが圧縮されてHeガスの透過漏洩が阻害されるものと考えられる。

また、この一連の試験結果から、二重OリングにおけるHeガスの透過漏洩量の飽和流量は時間遅れが相当あるものの最終的には流量の公式 Q=KPA / d の通り、dが2倍になることから1/2になると判断できる。

最後に：本報告書では紙面の制約上、詳細な検討解析を割愛させて頂いた。この内容の詳細について興味のある方は、下記宛にご一報下さい。折り返し、この試験結果を纏めた詳細な報告書を送らせて頂きます。

請求先：茨城県那珂郡東海村白方白根２－４　日本原子力研究所東海研究所　工務技術室
工作技術グループ　大場敏弘または井上広巳まで　TEL 029-282-5154

表１　Ｏリングの寸法規格

Oリングの型		寸　法(mm)			材　質	Oリングメーカ名
		外径	内径	直径		
G　型	G５５	60.6	54.4	3.1	フッ素ゴム	NOK, MASUOKA, MATTHA
	G８５	90.6	84.4	3.1	〃	〃
V　型	V５５	62.5	54.5	4.0	〃	〃
	V７０	77.0	69.0	4.0	〃	〃

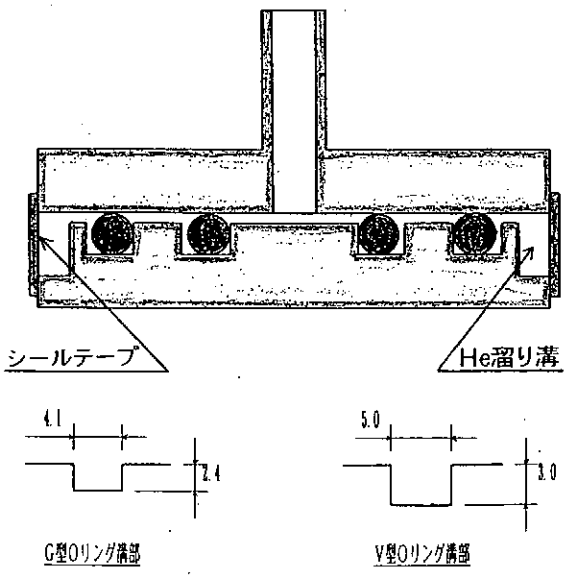


図１　Ｏリング透過漏洩試験治具

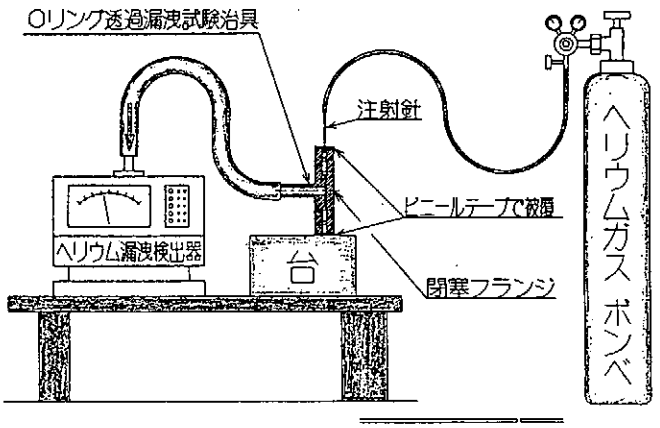


図２　試験要領図

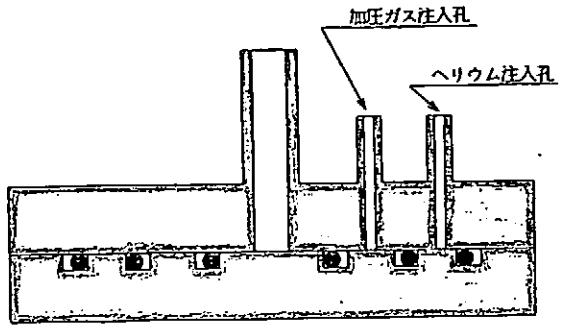


図 3　加圧型試験治具

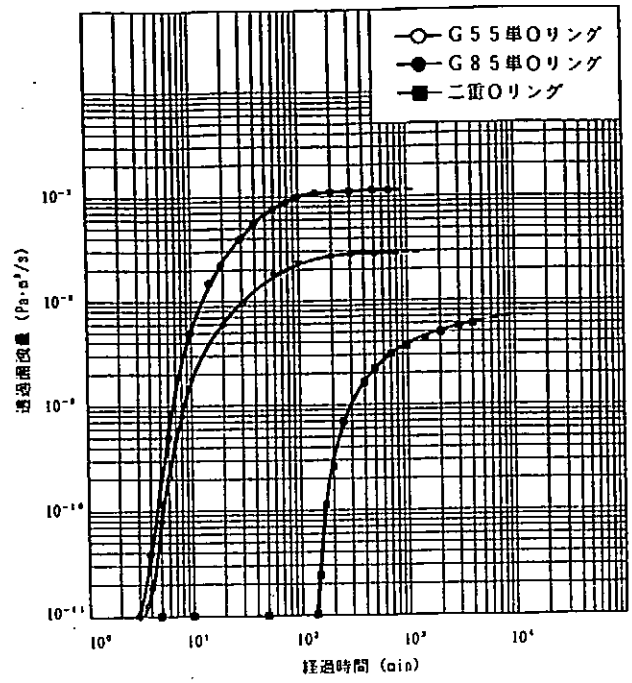


図 4　G型Oリングの漏洩曲線

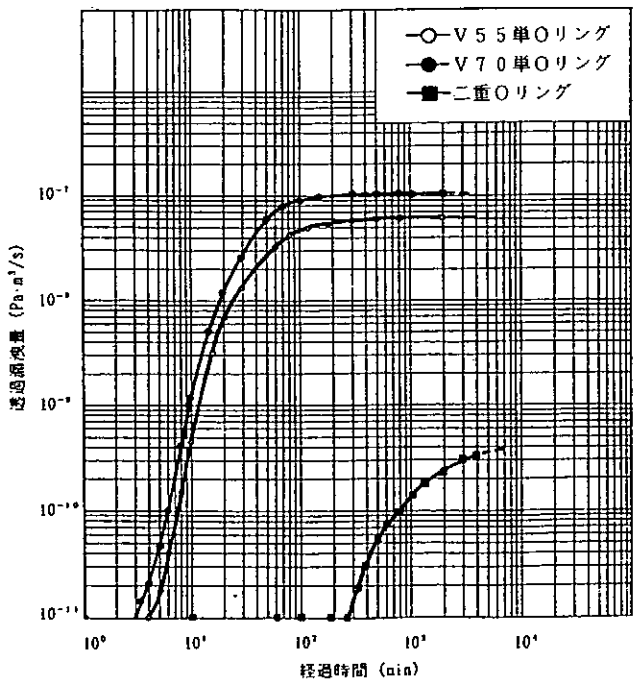


図 5　V型Oリングの漏洩曲線

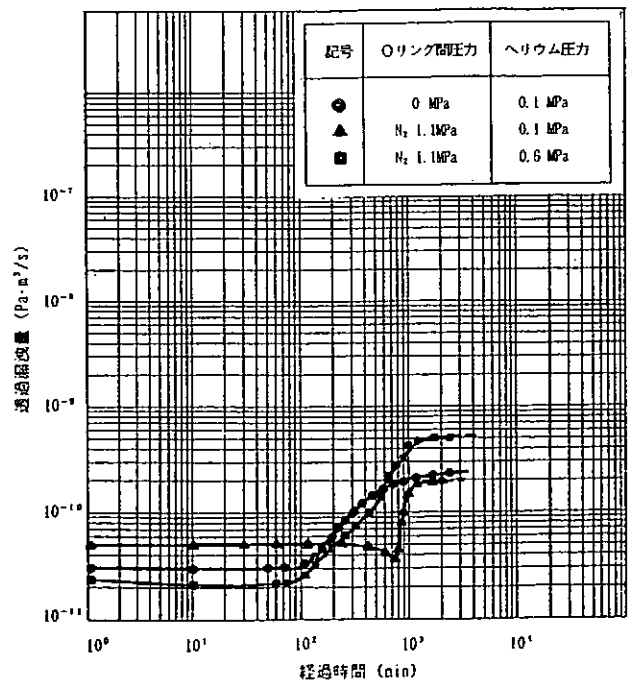


図 6　加圧型で試験したOリングの漏洩曲線

バーコードによる薬品管理システム

高エネルギー加速器研究機構技術部
○平　雅文

1．はじめに

近年、毒劇物を利用した凶悪事件が多発し、化学薬品全般に関する保管・管理の徹底が叫ばれている。政府は平成 10 年 9 月毒劇物対策会議を開催し、毒劇物管理体制の強化等具体的対策について取りまとめを行った。文部省からも平成 10 年 7 月に「毒物及び劇物の適正な管理について」という通知が出され、専用保管庫の設置、保管庫及び容器への表示、受払い記録の整備、地震等の災害に対する対策等の具体的な指導が行われた。我々の部門では約 1800 本の薬品を管理しており文部省通知にのっとり、専用保管庫の整備、データベースの作成等を進めた。しかし、毒劇物の受払い記録については、当初、使用の都度重量を測り、紙に記録を残していたため、非常に煩わしく感じていた。そこで、既存のデータベースをもとに、低コストでバーコードによる薬品管理システムを構築し、一連の管理作業をある程度自動化することを検討した。

2．システム概要

薬品管理システムは、現在数社から販売されている。バーコードを利用した薬品管理に加え、ID カード、指紋等を使った保管室の入出管理、個人認証が行えるもの、電子錠による個々の保管庫の開閉が行えるもの、ネットワーク対応のもの、薬品の性状に関する詳細なデータベースを保有しているものもある。これらの様々な機能の中で、本部門において必要とされるものは、バーコードによる個々の薬品の識別、重量管理、在庫管理、既存のデータベースの利用、将来的に細かい仕様の変更が可能であることである。市販のシステムは、本部門の実情に合わせて細かくカスタマイズすることが難しく、費用の点でも高価であることから、自作することにした。

方針としては、すでに、全ての薬品について Microsoft Access によるデータベースを作成していたため、Microsoft Access2000 をもとに本部門で管理する全ての薬品についてバーコードによる管理を行うことにした。また、重量単位の使用記録が残せるよう、電子天秤と連動させたシンプルなシステムを作ることにした。

薬品購入時、薬品使用時の基本的な流れとしては、次のようになる。

薬品の購入時	薬品使用の都度
↓	↓
データベースへの登録	バーコード読み出し
↓	↓
バーコード発行、貼付	使用後薬品重量の測定
↓	↓
重量測定、初期重量の登録	使用量、使用者、使用目的の登録

システムに必要なものとしては、ハードウェアとして、パソコン、電子天秤、バーコードプリンタ、バーコードスキャナ、ソフトウェアとしては、基本データベースソフトとして、Microsoft Access2000、バーコードを発行するためのエディタが必要である。また、今回は、データベースに電子天秤の指示値を取り込むActiveXコントロールを自作するために、Visual Basicを使用した。

3．システムの構築

3-1. バーコードの規格

表1. 代表的なバーコードの規格

規格	使用可能文字	桁数
JAN	0～9	8又は13
CODE39	0～9, A～Z, $, /, %, +, -, ., スペース	可変
CODE128	フルアスキー128文字	可変
NW-7 (CODABAR)	0～9, A～D, $, /, :, +, -, .	可変
ITF	0～9	可変

バーコードには、色々な規格がある。一般的に表1に示すような規格がよく使われている。この他に最近では、膨大なデータ容量を持ち高密度印字が可能な二次元バーコードも使用されている。バーコードを選択する際に問題になるのは、表示するデータの種類(数字、記号、アルファベット等)、印字するスペース、プリンタの印字精度、スキャナで読み取る際の誤読率である。本システムにおいては、バーコード番号としてデータベースソフトがデータ登録時に自動的に付ける1から始まる通し番号を利用することにした。薬品の本数は、数千本程度と考えられるため、1桁から4桁の数字を一定の印字スペースにバーコード印字できれば良いことになる。今回は、印字スペースの点では、最大4桁の数字を扱うため、さほど問題にはならないため、誤読率が少なく、バーコードプリンタ及びエディタとの相性も良いCODE39を採用することにした。



図1. バーコードラベル(CODE39)

3-2. バーコードスキャナ

本システムにおいては多数のラベルを手早く読み取る必要があるため、タッチタイプの株式会社ウェルキャット製Stream1-DSVを採用した。このスキャナはキーボードインターフェースを備えており、パソコン本体とキーボードの間に接続するだけで、バーコードの読み取りが可能になり、読まれたデータはキーボードでタイプされたかのようにパソコンに入力される。なお、市販の薬品瓶のラベルには製品識別のためのJAN規格等のバーコードが印刷されているものがあり、既存のバーコードを誤って認識しないように、バーコードスキャナの設定をCODE39以外の規格を認識しないように設定した。

3-3. 電子天秤

毒物、劇物に該当する薬品は、使用の都度使用量を測定し、記録に残さなければならない。本システムにおいては、薬品を購入してデータベースに登録する際に、薬品瓶ごと重量を測定し、初期重量を登録しておき、以後、薬品使用の都度使用後の重量を測定することによって、使用量を計算させることにした。1g入の小瓶から3L瓶までの重量を測定するためには、少なくとも6kgまで測定できる天秤が必要である。最小表示としては、1g入りの瓶を考えると0.1g以下の性能が望まれる。また、天秤の表示値をパソコンに取り込むためのインターフェースを備えていなければならない。電子天秤の価格、性能、大きさを十分考慮して、本システムにおいては、株式会社エー・アンド・デイ製FP-12K(最大秤量値12.1kg、最小表示値0.1g)にオプションのRS-232Cインターフェースを付けたものを採用した。

3-4. バーコードプリンタ

バーコードラベルは、通常バーコードラベル専用機で印刷されるが、一般のプリンタ又は汎用のラベルプリンタでも印刷可能である。一般のプリンタで印刷する場合は、Access2000 に付属している「バーコードコントロール」を用いることによりバーコードを生成し宛名ラベル等に印刷すればよい。本システムにおいては、ラベルの耐久性を考慮し、ラベルプリンタであるブラザー工業製 P-touch 9200pc を採用した。本機はテープの表面を透明フィルムで保護したラミネートテープに印字することができるため、薬品による腐食に強い。バーコードの発行は付属のソフトウェアである P-touch Editor を使って行う。一度レイアウト画面上で、バーコードの規格、大きさ、位置等の表示内容の設定を行っておけば、Access2000 のデータとリンクさせることにより、簡単にバーコードラベルを印刷することができる。印刷するテープは 18mm 幅の白色ラミネートテープを使用することにした。なお、バーコードラベルを薬品瓶に貼る場合は、スキャナで読み取りやすいように瓶の曲面に対して縦に貼るなどの工夫が必要である。

3-4. Access2000

データベースソフト Access2000 は、テーブル(データ台帳)、フォーム(カード型表示)、クエリー(条件抽出表示)、レポート(印刷レイアウト)で構成される。データベースの基本になるのが「テーブル」で、この「テーブル」に記録されたデータを台帳にして、カード型の表示画面の「フォーム」、特定のデータを検索・抽出した「クエリー」、用途に応じて印刷する「レポート」といった様々な形にデータを加工できる。

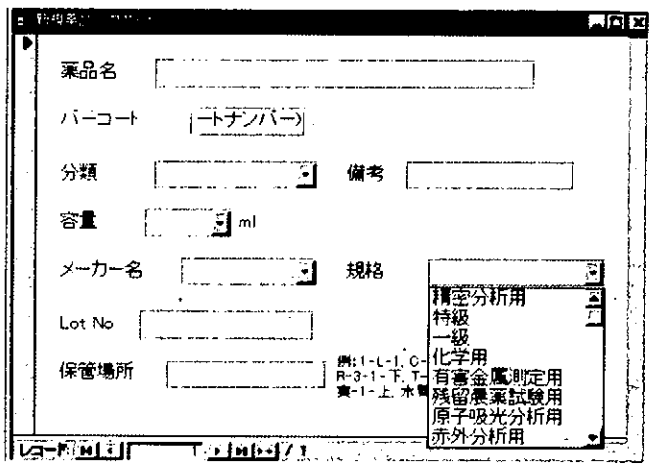


図 2. 新規薬品入力カード

本システムにおいては、個々の薬品の基本情報（薬品名、メーカー名、容量等）及び使用履歴（月日、使用者、使用量等）を一つの「テーブル」に保存し、「新規薬品入力カード」(図 2)、「薬品使用記録」(図 3)という「フォーム」を作り、フォーム上でそれぞれ、薬品購入時のデータベースへの登録、薬品使用時の記録簿への記録作業を行うことにした。また、目的に応じて「クエリー」を作ることによって、劇物リスト、50 音順リスト、保管場所順リスト等を表示させることができる。

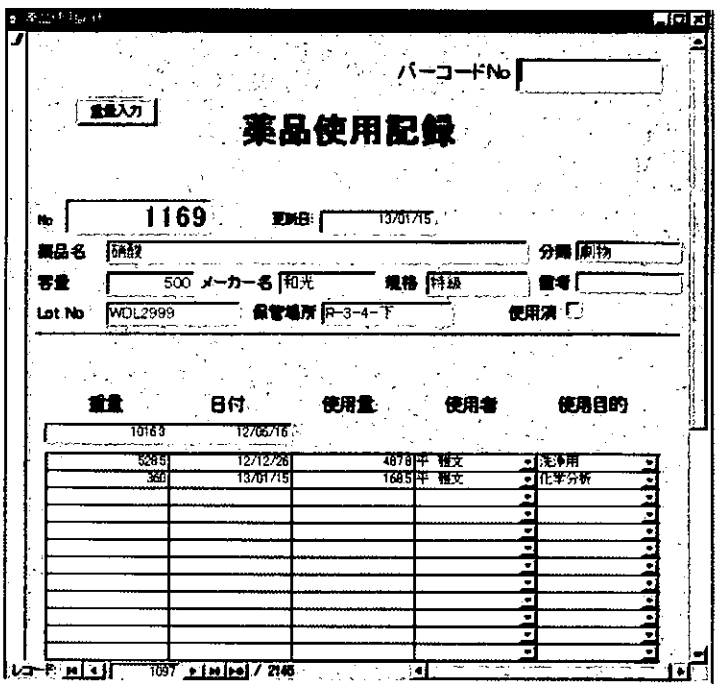


図 3. 薬品使用記録

「薬品使用記録」フォームを使用する際の実際の流れとしては、カーソルが[バーコード No]フィールドにある状態でバーコードスキャナによりバーコードを読込むと、マクロが実行されて、そのバーコード番号に対応した薬品のレコードが検索され表示される。次に薬品を天秤にの

せ、天秤の指示が安定したら、「重量入力」ボタンを押す。すると ActiveX により天秤の指示値が[重量]フィールドに入力される。この時マクロが実行され、前回の重量との間での引き算により、[使用量]が入力され、[日付]及び[更新日]にも自動的に入力される。その後、[使用者]、[使用目的]をドロップダウンリスト又は、直接キーボードから入力する。テーブルの設計、フォームの設計、マクロ、ActiveX コントロールの詳細については、KEK Internal 2000-14 「バーコードによる薬品管理システム」を参照いただきたい。

4．システム完成後の状況

最終的に操作性の向上のためキャスター付きのＯＡラックに全ての機器を組み込んだ。システム完成後の作業としては、まず、全ての薬品についてバーコードを発行、貼付して、初期重量を測定、登録しなければならない。すでに、データベースはできていたため、バーコードラベルの印刷までは簡単にできたが、実際に棚に並んでいる薬品とデータベースを照合し、バーコードラベルを１本１本貼る作業には、かなり時間を要した。ラベルを貼った後、さらに、１本ずつ薬品を取り出し、バーコードスキャナで読み出した後、重量の測定、入力を行った。約 1800 本の薬品についてこれら一連の作業を終了するのに、数人で１週間程かかった。それ以後１年以上稼動しているが、特に問題は生じていない。バーコードラベルの腐食、誤読等も一度も発生していない。１から始まる通し番号をバーコード番号として利用しているが、本年 3 月現在で新規登録薬品には 2100 番台の番号が使用されている。

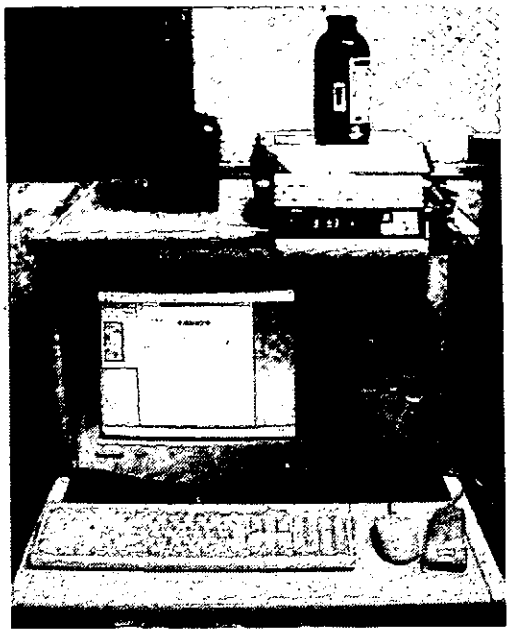


図 4. システム全体写真

5．今後の展望

このシステムは、大学の講座単位等のある程度小規模の薬品管理に向いていると思われる。費用の点でも既存のパソコン、電子天秤等を流用すれば安価に組むことができる。汎用のデータベースソフトである Access2000 をベースにしているので、実際に使用する部署の実情に合わせて簡単にカスタマイズできる。

今回は、デスクトップパソコンを使用したため、ＯＡラックにキャスターが付いているとはいえ、別の部屋にシステム全体を持ち出しての使用は実用的では無い。頻繁に移動する必要がある場合は、ノートパソコン、バッテリー対応の電子天秤でシステムを組むか、ハンディーターミナルの利用を考える必要があると思われる。また、バーコードの規格、番号の付け方についても、今後大規模なシステムに発展させる場合は考え直す必要があると思われる。多くの情報を小さなスペースに記録できる二次元バーコードの利用も魅力的である。

近年、化学物質の管理及び環境の保全に対する国民の関心の急速な高まりとともに、平成 12 年 3 月 30 日には「特定化学物質の環境への排出量の把握及び管理の改善の促進に関する法律（PRTR 法）」が施行されて、化学物質の適正管理、自主管理が義務付けられた。大学をはじめとする教育研究機関も化学物質の購入量、在庫量、排出量を適正に管理するためのコンピュータ管理システムの構築にせまられている。今後、早急に薬品管理ソフトと PRTR 管理ソフトとを連携させた、総合的な化学物質管理システムへと発展させる必要があると思われる。

ワンチップ・マイコンの実習用教材の製作

山口大学　工学部
○岡田秀希，河本直哉，小橋克哉

1．はじめに

今日，大学において教育方法の改善が求められている．「ファカルティ・デベロップメント（FD)」が大学改革のキーワードとなって数年が経過し，本学でも教職員に対して啓蒙活動が行われてきた．工学部でも全教職員を対象に，「2001 年度教育改善プロジェクト」の公募が行われ，著者らのグループでも本タイトルにある内容について改善提案を行い，学部 FD 委員会の審査を経て採択され実施する運びとなった．本報告では，プロジェクト実施までの経緯と，作成したテキストと実験装置の概要について報告する．

2．教育改善プロジェクトの提案内容

2.1　改善プロジェクトの概要

現在，ワンチップ・マイコンはあらゆるメーカー製電化製品に組み込まれている．形状が小さく内部の構成がシンプルなこの素子は，使い勝手が良いことから個人レベルでの自作機器にも多く利用される．近年盛んに開催されているロボット競技会でも，マイコン搭載の自立型ロボットが主流となりつつある．しかし，ワンチップ・マイコンは一般のパソコンとは異なり，自分の望む機能を実現するためには，機械語レベルの知識と若干のプログラミング経験を要する．本学の電気系の学科では選択科目としてマイコンに関する講義が行われているが，時間的には十分とは言えない．マイコンに興味がある学生は独学でその知識と実用上のノウハウを学ばなければならないのが実状である．本プロジェクトでは，自立型の自作ロボット製作過程を想定し，プログラミングの基礎からより実践的な実験までの各場面で利用できる自学実習用のテキスト作成と試験装置の製作を目的とする．

2.2　期待される改善の効果

・ソフトウェア志向の学生のハードウェアへの関心を高める

近年，卒論や修論のテーマ選定に際してソフトウェア志向の傾向が顕著である．全国的にもソフトウェア技術者に比べてハードウェア技術者は不足傾向にあり，コンピュータの基礎理論を実物で学べる環境の整備は，ハードウェアへの関心を高める意味で有意義である．

・初心者にもやさしいテキストの提供

市販されている関連書籍の多くは，一定のハードウェアの知識がある読者を対象としたものが多い．また雑誌の解説記事は断片的な内容が多く，すぐに自分の参考となる資料を探し出すのは容易ではない．新たに作成するテキストでは，全体をステップ・バイ・ステップで学習できる構成とし，電気系以外の学生でも十分その内容を理解できるよう特に配慮する．

・実装前の試験に用いる装置の提供

プログラミングの練習用に組んだものでも気軽にテストできるよう，いくつかの簡単な試験装置を製作しておく．学生は事前に自分の練習プログラムを IC に焼いておけば，その装置の基板上ソケットに挿すだけで動作テストをすることができる．

・前者等により，学生の時間的，経済的負担の軽減効果も見込まれる．

3．プロジェクトの実施までの経過

本プロジェクトの選考の過程で，選考委員会から「FD」の趣旨に関連して以下のような指摘を受けた．

（1）カリキュラムにある講義や実験・実習との関係が不明確である
（2）期待される効果について，カリキュラムに沿って教育されている学生の指導とどう結びつけるのか

FD の趣旨において，特に現在の学生の教育環境という意味でのカリキュラム（授業）との関係，またその環境の改善効果についての観点が非常に重要であることがわかった．そこで，電気電子工学科の学生実験担当教官で構成される委員会に臨時に出席し，本プロジェクトの概要を説明するとともに新テーマとして採用されるよう提案した．その結果，次のような結論を得た．

・学生実験への新テーマ提案を歓迎する．テーマ立ち上げに関しては全面的に協力する．
・提案内容を考慮すると，応用実験Ⅱ（３年生対象）への組み入れが相当．
・応用実験Ⅱは卒論・修論との関連が強いので，関係講座との連携が必要だ．
・実際の作業段階では，担当教官１名を選任するので共同で進めること．

その後，担当教官１名および担当 TA１名が選任され，テーマの具体的内容について逐次話し合いながら進めていった．

4．テーマ設計・製作

今回作成するテーマでは，以下の掲げる項目を目標にして製作を進めた．

・３年生の学生実験では，多くのテーマで２週にわたって実施するものがある．今回はその内容のボリュームや「デザイン型」に由来する試行錯誤に必要な時間を考慮して，２週に渡り実施する構成とする．
・学生実験のテーマで使用する機器は，「ものづくり」に対する意識を喚起する意味でも，特に精度を要求する計測機器を除き，手作り（自作）感のある機器が望ましい．そこで市販の完成品の組み合わせではなく，実験装置全般にわたり，できるだけ自作する方向で全体設計を行なう．
・翌年の研究室配属後に自分達の実験装置に独自の工夫を加えるための基礎的な技術と手順を会得させる．ここでは，商用電源（AC100V）を用いる機器の ON-OFF をマイコンにより自動化する場面を想定する．
・事故防止のため，高い電圧（電流）や大型回転機器は本テーマでは取り扱わない．

4.1　ポート入出力の基本操作を学ぶ（１日目）

PIC マイコンのピンのほとんどは I/O ポートであり，各ポートは自由に入出力に設定できる．１日目は，PIC の各ピンの I/O 設定をし，LED マトリクス上に任意の文字や記号を連続的，時間的に制御して表示させることで，その基本的な使用法を学べるようにする．次に安価に市販されている LCD ディスプレイの使用法を習得させる．こちらも，LED と同様に任意の文字列を表示させることを課題とする．

4.2　温度計測と定温制御システムの構築（２日目）

研究室配属後を想定して，マイコンを用いた計測システムの製作の過程を実機体験することを目的とする．実験システムの全体構成を図１に示す．システムは課題１と２からなり，それぞれは以下の場面を想定している．

（課題１）　PIC を使った簡易温度保持システム

研究室での個別の実験中に，ヒータやファン（扇風機）などの簡易な機器を一時的に ON-OFF させて使用したい場面がある．こうした商用電源を使用する機器の ON-OFF を，PIC を使ったシステムで短時間に構築する事を体験させる．加熱ヒータの主電源はリレーを使って ON-OFF させる．リレーは PIC のポート出力信号により動作させる．そのため，リレーには小型・高感度タイプの汎用リレーを選択した．電気ポット内の水の温度を温度センサ（右）で計測し，温度信号をマイコンの入力ポートに取り込む．課題として温度設定値（例えば 70℃±2℃）を与えておき，その範囲におさまるようにヒータの電源を ON-OFF 切り替えさせる．制御プログラムの部分には学生の創意工夫や知識のレベルにより自由にモディファイする余地を残す．

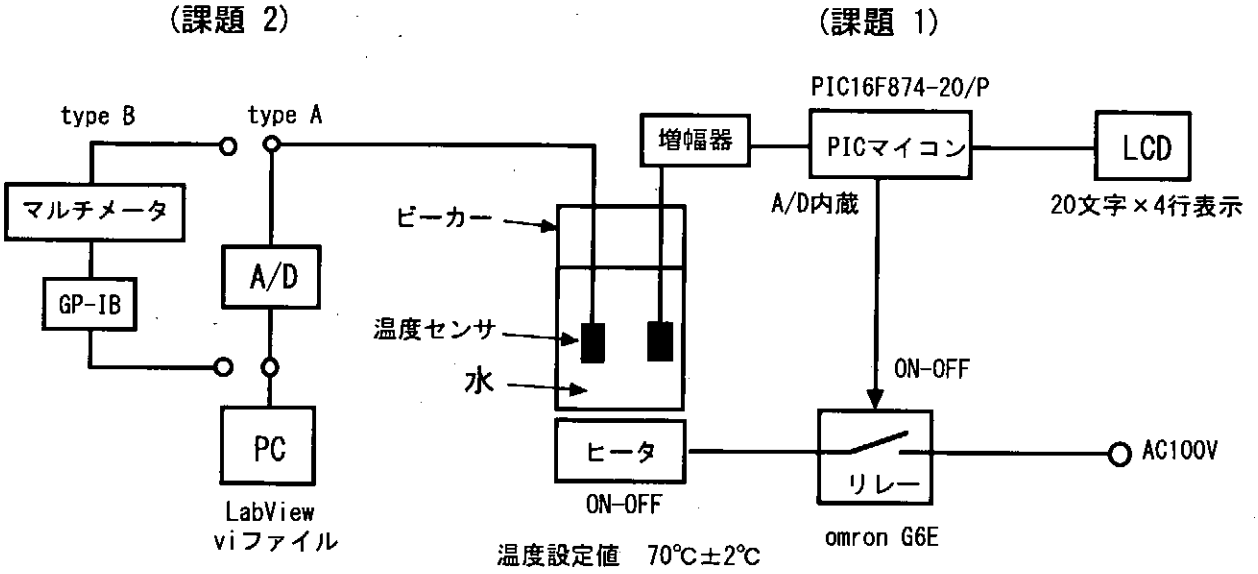


図1　実験システムの全体構成

(課題2) パソコンを用いたデータ収録

制御中の水温の変動は課題1とは別系統のシステムにより監視・記録する．最近ではごく一般的となったパソコンによるデータ収録を体験させる．ここでは NationalInstruments 社の LabView を中心としたシステムを用いる（図2）．LabView は，データ収録や制御を実現するためのグラフィカル・プログラミング開発環境で，世界中で広く利用されている計測ソフトウェアである．収録部は，A/D 変換ボードを用いた type A と，GP-IB とマルチメータの組み合わせを用いた type B の両者から1つを選択させる．実験時間に余裕があれば，両方を体験させる．

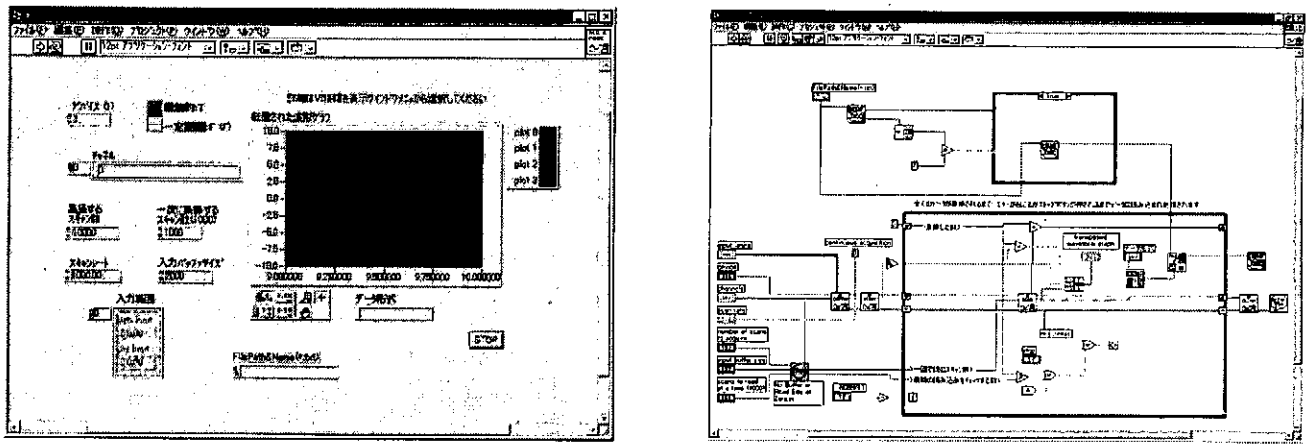


図2　LabView で作成した温度データ収録プログラム（左：操作画面，右：プログラム構築画面）

5．その後の展開

本プロジェクトで作成するテキストと装置は，電気電子工学科のカリキュラム（電気電子工学応用実験Ⅱ，3年次後期実施）で使用する教材として活用する．そのため，学生実験で使用する実験書の最終原稿については，担当指導教官と打ち合わせを行い，実際の実験の進行を想定した見直しを行う．

6．まとめ

実際に実験に使用する段階ではいくつもの要改善点が挙がってくることが予想されるが，こうした問題点については適宜検討を行い，より教育効果の高い全体構成や機器の増設・整備をはかる．なおこれら内容については今後機会があれば報告したい．

白色ＬＥＤを用いたバックライト式照明装置の作製

山口大学　工学部
○小橋克哉，田口常正

研究背景と目的

発光ダイオード（light-emitting diode: LED）は，表示用光源として広く普及している．近年，電気-光変換効率が高く消費電力が低いIII-V族化合物半導体であるGaP,GaNを用いたLEDが開発された．LEDは光源が小さいことからこれまでの光源に比べて小型化・薄型化・軽量化が可能である．また，光源は固体素子発光であるので従来光源に用いられていたガラス管やガス封入といった機構も必要でなく堅牢である．発光効率は白熱電球の約8倍，蛍光灯と比較しても約2倍を誇り発光機構も単純であるので蛍光灯に比べて簡素な照明器具になる．連続点灯時間は2万時間以上と言われ，白熱電球の約20倍，蛍光灯の約3倍以上と長寿命であることから光源の取り換えを要さない．これらの特徴を有するLEDを多数集合させることにより，より高い適切な照度を得ることによって従来の光源（白熱電球・蛍光灯・高圧放電灯）に次ぐ第4の照明用光源として期待されている[1,2]．

これまで我々は以下に挙げたLED照明に関しての基礎理論から応用研究までを行っている．まず，多点光源照度計算法によってLEDの照度を点光源近似の下で解析した結果，多点光源が集まった単一光源という概念で説明できることを指摘した．しかし，単一点光源において成立する「逆2乗の法則」は，多点光源集合体と考えるLED照明光源においては問題となる．そこで，基礎的な物理量を考え直し，照度の計算式を再構成する必要があることを指摘した[3]．さらに，LEDを照明用光源として誰でも手軽に使用することが出来るためにレイトレーシング法・ラジオシティ法などによる既存の配光シミュレーションソフトウェアの利用についての検討を行った[4]．そして，これまでの多点光源照度計算法によるシミュレーション技術とその結果から，多数の白色LED多点光源試作体における実験との比較及びLED近傍距離における光度の考察を行い，照明システム（装飾用・サインパネル用光源を含む）への応用についての研究を行った[5]．

本研究では更なる照明システムへの応用として，これまでの光源では実現できない超薄型バックライト式照明光源を用いた表示装置の開発を行った．この表示装置はよく広告施設として用いられている形状に似せてA4サイズの製品を試作した．表面の乳白色アクリル板に上下左右の各方向から10cdクラスの超高輝度白色LED光源で照射することによって従来よりも薄型化を実現したバックライト式照明光源表示装置についての作製シミュレーションならびに設計とその動作測定および今後の課題について述べる．

配光シミュレーション

製作に用いる直径5mm形状の砲弾型白色LEDはその指向特性から図1に示すように20°，50°，70°の3つのタイプに分類できる．まず，各指向特性LEDの単一配光

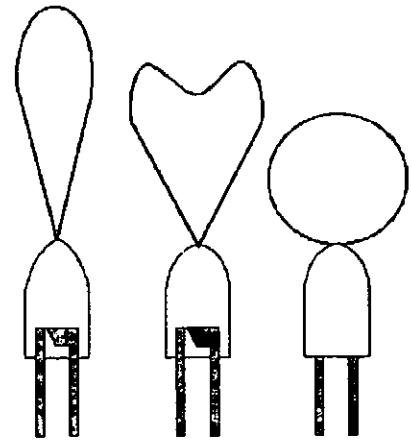


図1 砲弾型白色LEDとその配光（イメージ図）

を測定した．この結果を図2に示す．これをそれぞれシミュレーションソフトに基礎パラメータとして入力し，今回開発を目指すA4サイズ超薄型バックライト照明装置の下方1列のみ（1ユニット分）をモデリングしたデータのシミュレーションを行った．図3の(a)～(c)に示したシミュレーション結果を得た．また、このシミュレーションが適切であるかを確認するためにシミュレーションと同様にLEDを配置した照明装置を実際に作製し，その照明装置の乳白色アクリル板表面部分（図4(a)～(c)）と比較した．この結果から発光面の外側（LEDの近い部分）を照らす70°タイプを手前（発光面側）に配置し，発光面の内側（LEDから遠い部分）を照らす20°タイプを奥（反射面側）へと双方のLEDを図5の様に2列に配置した光源を上下左右の四方に配置したものをシミュレーションすると図6の結果が得られた．このようにLEDを空間配置することにより広範囲に一様な発光面のシミュレーションが出来た．この結果に従いバックライト式照明光源表示装置を試作した．

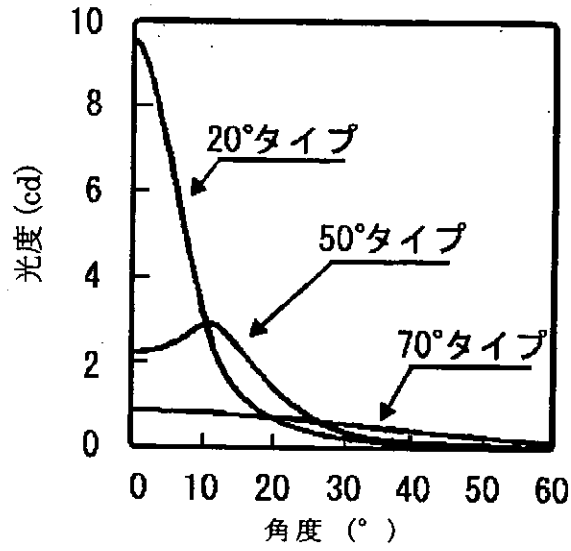
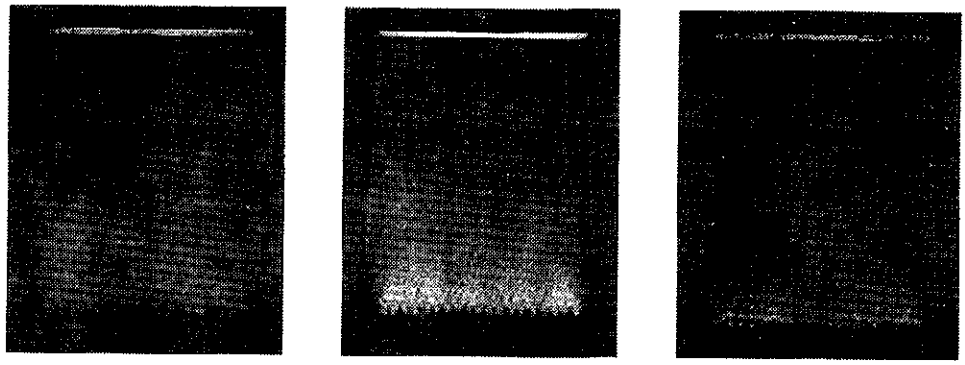
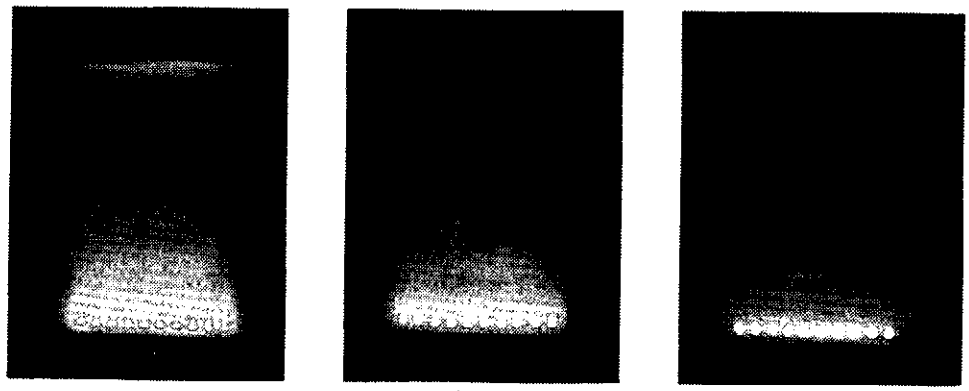


図2 各指向特性LEDの単一配光



(a) 20°タイプ　(b) 50°タイプ　(c) 70°タイプ

図3 各指向特性の白色LED光源を用いた照明器具のシミュレーション結果



(a) 20°タイプ　(b) 50°タイプ　(c) 70°タイプ

図4 各指向特性の白色LED光源を用いた照明器具の発光面輝度分布

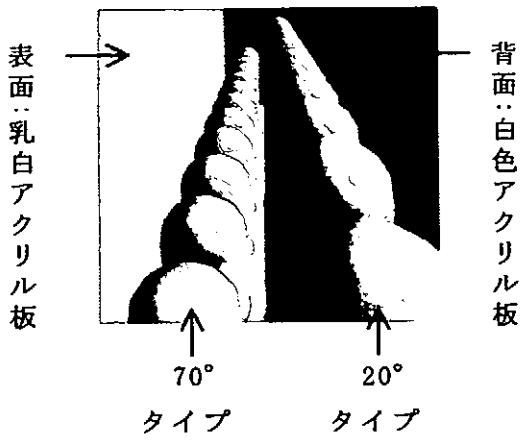


図 5 LED 光源の配置イメージ図

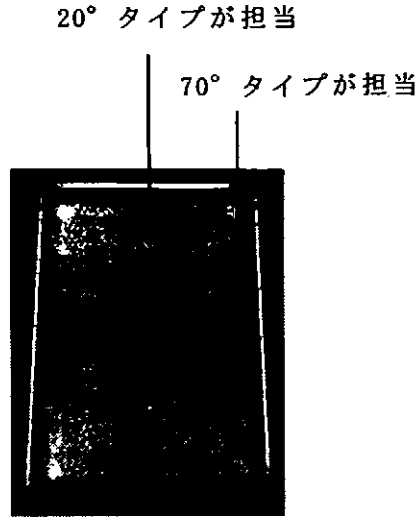


図 6 LED 光源のシミュレーション結果

照明装置の製作

照明装置は汎用性が見込まれる JIS 規格 A4 サイズのものを標準型として開発を目指した．実際に試作した図 7 に示す照明装置は縦 380mm，横 245mm，厚さ 21mm，消費電力約 16.2W，中央部の発光面平均輝度は約 650cd/m^2 であった．次に表面が一様に発光していることを確認するため，発光面の輝度分布を測定した．図 8 に示す測定した等輝度分布からも試作した照明装置は一様に発光していることが確認できる．しかし，LED 光源の照射光によって得ることができる発光面はシミュレーションの結果と同様であるが，LED の発光点を直接目視することによって生じる輝線が目立ってしまっている．従って，汎用的に照明装置として利用する為にはこの輝線部分を隠す必要がある．

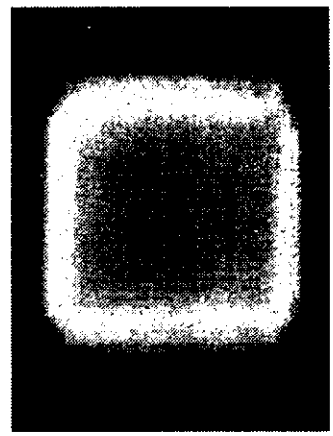


図 7 試作した LED 照明装置（点灯時）

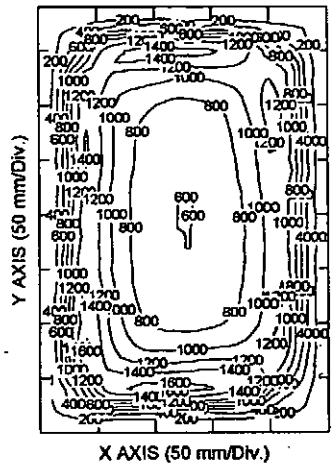


図 8 試作した LED 照明装置の等輝度分布図

照明装置の評価

一般に照明機器として使われるものには，器具効率が存在する．器具効率とは，定められた実用的な条件において器具から発散する光束の測定値と，器具に用いられている光源から出ている光束量との比として定義されている。そこで今回は，光源から発散する光束量を入力光束 ϕ_{in} とし，器具に設置されることにより器具からから発散する光束量を出力光束 ϕ_{out} とすると，器具効率 τ は $\phi_{out}=\tau\phi_{in}$ として与えられる．

今回作製した照明装置の発光面輝度分布は以下のように導いた．まず，照度 E，光束 ϕ，発光面の面積 S を用いると $E=\phi/S$ となり，この式を変形すると $\int EdS=\phi$ となる．この時，LED 光源が点光源と近似できるならば，照度 E は輝度 L を用いて $E=\pi L(x)$ と表せるので，表示パネルの光源面に表れる光束量 ϕ は $\phi=\pi\iint L(x,y)ds$ で表せ、この式を扱い易く変形した $\phi=\pi\sum_i\sum_j L_{ij}\Delta S$ を近

似式として用いた．さらに，輝線の目立たない均一輝度面のみの出力効率をϕ_{out}とすると，実効器具効率τ'は$\phi'_{out}=\tau'\phi_{out}$から求められる．

作製した照明装置はLED232個用いた。LED1素子あたりの光束量は1.21mであるから、照明装置の入力光束は278.41mとなる。照明装置の発光面全体に表れた光束量は232.61mとなった。均一輝度面(中心部30×16cm)における光束量は110.81mとなった。このため実効器具効率39.8%となった。また、光源面全体における器具効率は83.5%であった。

まとめ

白色LED照明光源による超薄型バックライト式照明光源を用いた表示装置の開発を行った．図9に試作した表示装置の使用例を示す．この使用例のように現在のLEDの実力でもTPOに合わせた使い方を検討すれば十分に利用できることが考えられる．これと同輝度・同サイズの照明装置を従来光源（電球又は蛍光管等）で作製することは極めて困難であることから，この方式による照明装置の有効性が容易に確認できた．

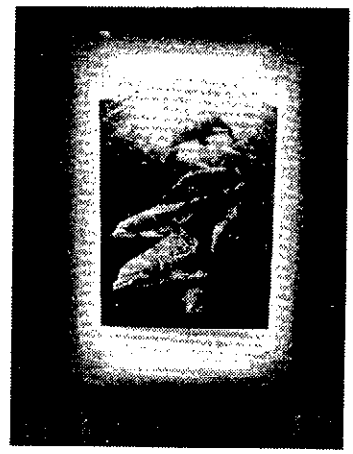


図9 バックライト式照明装置の使用例

また，シミュレーション技術もLEDをある個数以上集積化して用いることにより点光源として扱うことが出来るので，今後のデザイン・設計における展望も開けることが期待できる．

今後の課題として，指向性放射体である砲弾型LEDを今後も利用し続けるのであるならば，これらを精密に測定するために，光源体積・測定体積・測定受光面などをより一層に考慮した照明理論と測定法を確立する必要がある．そして身近に利用するためには，配光シミュレーションソフトウェアのパラメータ設定の更なる改善が重要である．

<謝辞>

本研究はMETI/NEDO/JRCM高効率電光変換化合物半導体化合物開発(通称“21世紀のあかり”)プロジェクトの援助を受けて行われたものである．

<参考文献>

(1) 田口常正：“白色LEDと照明システム”，O plus E，Vol. 22，No. 8，1028-1034 (2000)
(2) 田口常正:“白色発光ダイオードによる次世代照明技術”，電子情報通信学会誌，Vol. 84，No. 8，618-620 (2001)
(3) 内田裕士，田口常正：“多点光源照度計算法による白色LED照明光源の特性評価”2000年電気学会基礎材料・共通部門大会講演論文集，188-194，(2000)
(4) 小橋克哉，田口常正:“高光度白色･有色LED照明の視覚空間における光源配置の最適化”，平成13年度照明学会第34回全国大会講演論文集，241，(2001)
(5) 小橋克哉，内山裕介，森哲，内田裕士，田口常正：“高輝度白色LED多点光源の照明システムへの応用”，光アライアンス，Vol. 13，No. 1，19-23，(2002)

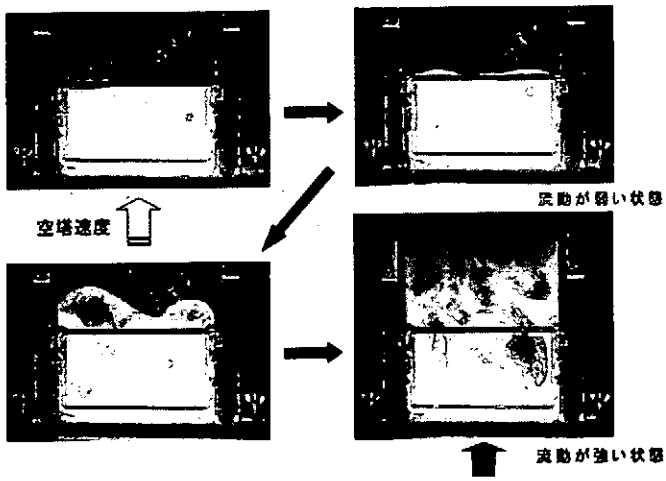
フォトクロミック法での光路遮断用電磁シャッターの構築法

東京工業大学　大学院理工学研究科
機械制御システム専攻　岩田正孝

1．はじめに

近未来において、人類が直面している問題にCO_2の排出に伴う温室化効果による極地での融氷化を促しての海面上昇がある。これは取りも直さず、生産活動の主体が化石燃料の帰結である為に排出量の総量の改善は考慮されても決してゼロにはなり得ない。そこで世界的規模で大量排出されている各種熱交換法での熱効率の改善もその検討課題に挙げられよう。

本報は、伝熱学の観点より流動層熱交換器を念頭に扱う。この方法では、"粒子を流動化"させる為にコンパクトで熱交換率が高い事に特徴がある反面、層内における流れは複雑な挙動を示す為に解析を難しくしている背景もある。



写真－１　流動層流動化の状況

この解析に、当該研究室では層内の"粒子混合の状態を定量化"する目的で層内粒子の可視化の為に特定波長の"光"に励起反応する発色物質を添加して、その発色軌跡を記録する事により、近似的に解析するフォトクロミック法を採った研究を進めている。

本報では、研究者より火急に要求のあった光励起(He-Cdレーザ λ=325nm)の照射時間管理用の光シャッターに関し、市販の電磁石を用いて速成の電磁シャッター機構の試作で対応した。この時（含むシーケンスプログラム制御）の知見や苦心談と供に研究内容を概説する。

2．流動層の諸特性

粒子の自重と粒子に作用する流体の抗力が釣り合っており、層を形成する粒子は流体に保持された状態にある事から以下の特徴を持つ。

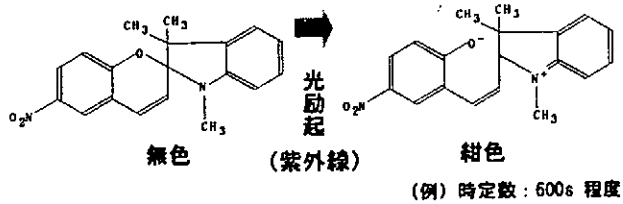
長　所	欠　点
粒子の連続排出が可能	粒子の粉化と摩耗が激しい
粒子混合が良好	粒子の滞留時間分布が大
層内温度が均一で温度調整が大	分散板の熱応力が大
粒子・気体間接触面積が大	圧力損失が大のため送風動力が大
難燃性固体の高温燃焼が可能	層内で粒子が偏析を起こしやすい

表－１　流動層の特徴

これより、主に化学工業の分野や石炭燃焼・石炭ガス化・乾燥・産業廃棄物等に用いられ、特にエネルギー有効利用の観点から工場の廃熱等の低位有効エネルギーの回収や産業用石炭ボイラー等に有効で開発が進められている。

3．フォトクロミックとは

この用語を直訳すれば、励起発色とでもなろう。これを用いたのがフォトクロミック可視化法と呼ばれ、概略では可視化ができる状態の流体中にフォトクロミック色素分子(トレーサ)をあらかじめ溶解させるか固体に塗布(本例では紫外線レーザを照射する事により色素を励起し、一時的に液体や固体を発色）させ、流動に伴う流れ中のこの発色トレーサを追跡する事で、流体の挙動を把握するものである。



図－１　フォトクロミック反応

キャリヤーにはイオン交換樹脂の(三菱化学㈱DAIAION HP20) の粒径 $\phi = 400\,\mu m$を次の発色剤をアルコール溶解した中に浸す形で塗布した。

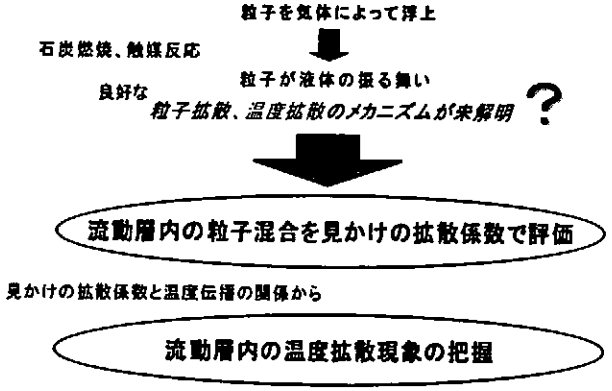
1,3,3-Trimethylindolino-6'-trobenzopyrylospriran

【流動層とは】

容器に紛流体を入れ、下部から流体(空気)を送ると粒子は条件が釣り合えば流体に保持されて浮遊態を示す。これを流動化状態と呼び、これを利用した反応装置が流動層である。

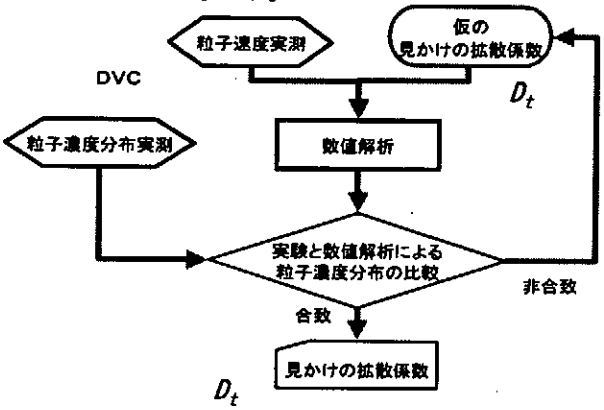
4．本報の背景

本報は筆者が所属する学生の要望により支援した内容を技術と研究の両面から簡素に展開する。始めに、研究の目的を示す。



図－２　流動層研究の目的

目的は温度拡散現象の把握であり、具体的な研究の展開のフローを示す。



図－３　研究のフロー

本報での解析は、限定した面積(20 × 20mm^2)でのＤＶＣ画像に仮定した見かけの拡散係数が一致する様に繰り返しながら係数を補正し決定する。これに用いる連続体の流れにおける濃度の時間変化・対流による移動・拡散の関係方程式を示す。

レイノルズの方程式

$$\frac{\partial C}{\partial t}+\frac{\partial(uC)}{\partial x}+\frac{\partial(vC)}{\partial y}=D\left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 C}{\partial y^2}\right)$$

時間平均成分＋変動成分

$$u=\bar{u}+u' \quad v=\bar{v}+v' \quad C=\bar{C}+C'$$

時間平均・対流による移動拡散の支配方程式

$$\frac{\partial \bar{C}}{\partial t}+\bar{u}\frac{\partial \bar{C}}{\partial x}+\frac{\partial(u'C')}{\partial x}+\bar{v}\frac{\partial \bar{C}}{\partial y}+\frac{\partial(v'C')}{\partial y}=D\left(\frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial y^2}\right)$$

仮　定　1　D=0　　連続体における濃度差における拡散なし

仮　定　2　Boussinesq近似　粒子の変動分による移動($u'C'$、$v'C'$)に適用

見かけの拡散係数 D_t

$$u'C'=-D_t\frac{\partial \bar{C}}{\partial x} \qquad v'C'=-D_t\frac{\partial \bar{C}}{\partial y}$$

支配方程式

$$\frac{\partial \bar{C}}{\partial t}+\bar{u}\frac{\partial \bar{C}}{\partial x}+\bar{v}\frac{\partial \bar{C}}{\partial y}=D_t\left(\frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial y^2}\right)$$

5．光シャッター機構と制御回路

本報では、設定計測範囲内の流動粒子の可視化の為に紫外線照射する必然より露光時間の管理とその発色粒子の軌跡記録には画像の分解能よりデジタルビデオカメラ(ＤＶＣ:30コマ／秒)を用いた。尚、この露光管理では単純に電磁石の励磁力のステップ(ON／OFF)動作による光路の時間遮断を行う事を考えた。

仕様：1/6・1/3・1/2・１・２・３・５ (sec)

尚、他のアイデアに次があるが難点もある。

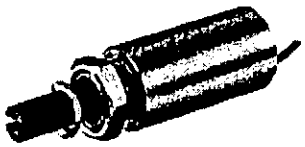
○虹彩絞り　　－－－機構難度が高い

○回転スリット　－－－同期設定が難しい

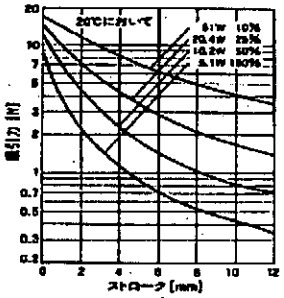
さて、先立つ背景として研究者に対して本目的では市販品の安価な写真用虹彩絞りの機械式シャッターでも使えると提案したが、研究をする上での操作性や対応性に“難色”を示し使用できないとの結論もあって試作となった。

(１) 光シャッター機構

基本的には、単純にシャッター膜を対向する電磁石の交互吸引で遮断する機構で構築する。尚、高応答性(キレ)を確保する為に特性図より定格電圧以上での駆動とした。

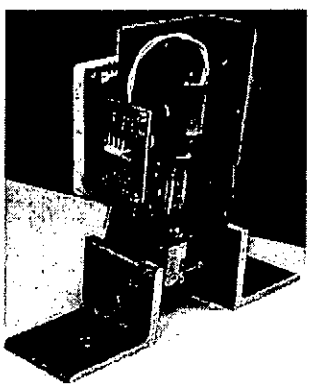


(チューブラ型)



図－４　ソレノイドの外観と特性(例)図

仕様：新電元工業製ＤＣソレノイド
S-0612(プルタイプ)連続定格
DC12V、φ max17mm × L33mm
吸引力(DC12V・4mm時)0.45N

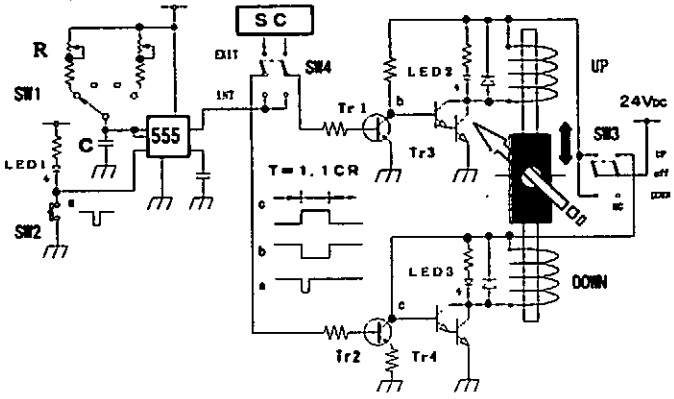


アルミチャンネル材に位置調整可の固定側光路孔の構成と可動側は仮シャッター固定孔を上下ソレノイド中心軸線がずれない様な対向関係で組み立てる。尚、乱反射しない様に黒色処理を施す。

写真－２　電磁シャッター部外観図

（2）制御回路

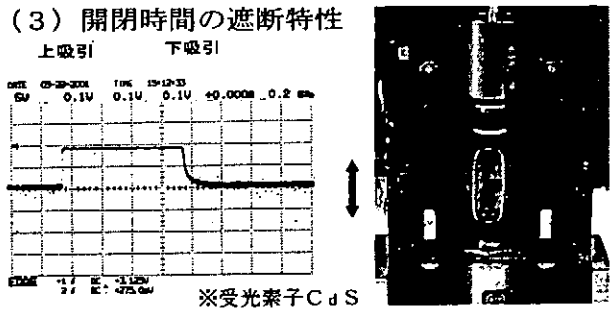
基本的にはワンショットタイマー回路で構築する為に今や古典的なＩＣである555を用いた。最大の特徴は電位1/3と1/3のコンパーレータで、これにより電源電圧変動を受けにくい高安定の発振周波数が得られるユニークな構成。



図－６　　試作制御回路図

この回路では膜引きのUP/DOWN動作をＴｒ１とＴｒ２による簡易位相反転とＳＷ３を設けた事により、DOWN側のソレノイドを休止させ待機時での防熱に特徴がある。尚、瞬時逆転動作から励磁力の釣合状態と電磁石内でのフェライトコアの動き方の滑らかさによって、555のワンショットタイマー(Ｔ≒1.1ＣＲ)の設定回路時間の実動作幅が遅くなる事やバラツキが出るなど実時間の測定による要チューニングである。

（3）開閉時間の遮断特性



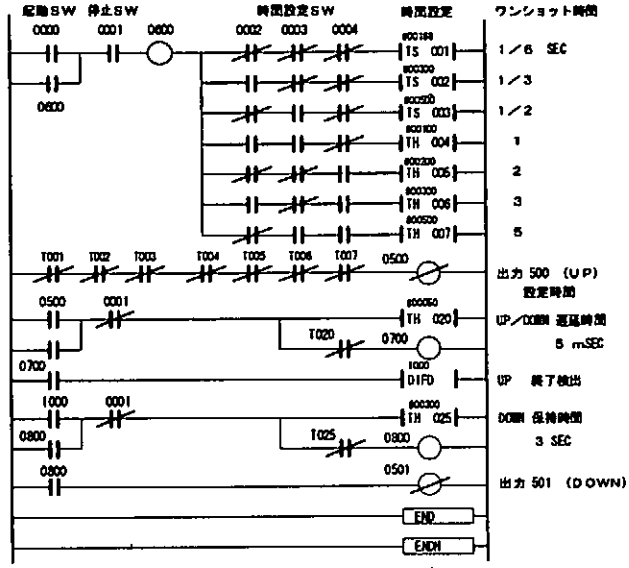
図－５　電磁シャッターの開閉波形

強制DOWN制御が無いと可動膜の立ち下がりは実測値で各設定時間とも平均70msec程遅延し、キレにも影響を与えている事が分かった。
この改善策としてシーケンサの導入を検討した。

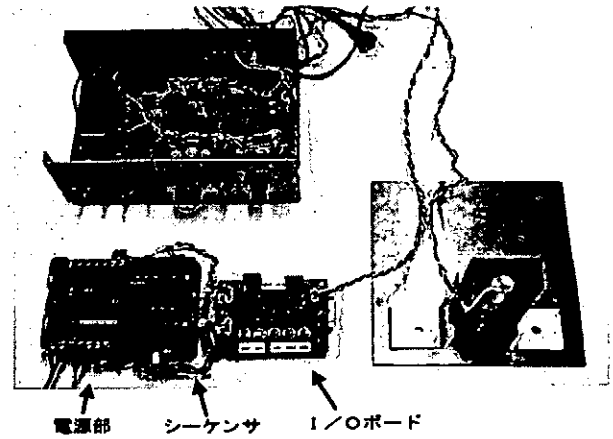
（4）シーケンサ制御

今回、用いたシーケンサ(ＳＣ)はキーエンス社の小型KV-10DT(６入力５出力Ｔｒ入出力)でWindows環境下でラダープログラムを作成し、同シュミレータで機能を確認後、転送ケーブルにて移植し、時系列動作を得る。

尚、７つの時間設定の要求を５入力端子で対応するにはプレエンコードする必要があり、簡単に入力ＳＷ(0002・0003・0004)を３bitとする固定出力のワンショットタイマー回路で対応した。ポイントはＦＦ動作時の調整時間差にワンショットの立ち下がり信号(DIFD)を利用した事で、磁性の完全分離化を図る。



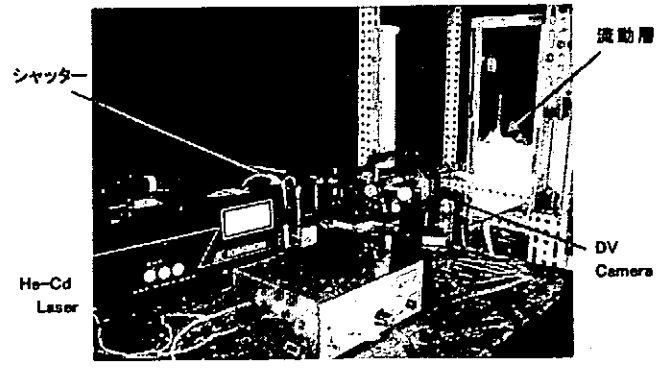
図－６　シーケンスプログラム



写真－３　試作電磁シャッターの構成

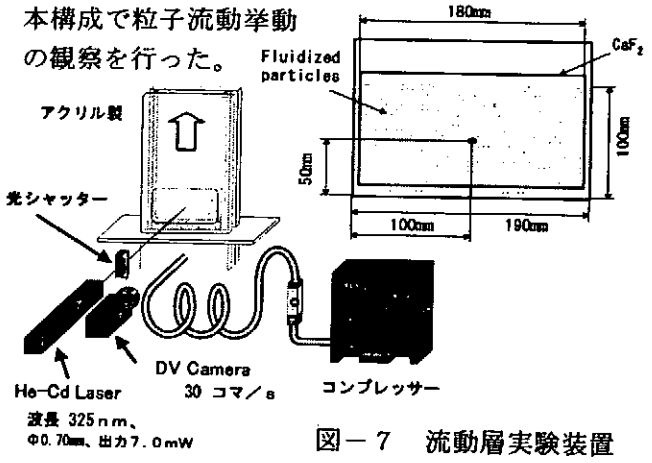
６．実験方法

励起光源として紫外線レーザ(金門製He－Cd)を用いＣＷ発振を光シャッターでON/OFFした。

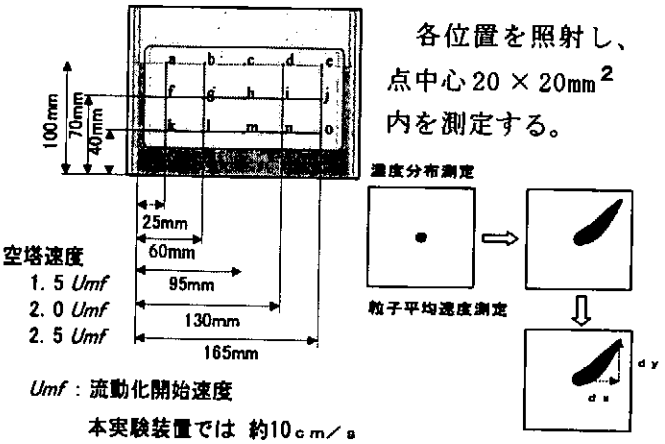


写真－４　流動層フォトクロミック計測

本構成で粒子流動挙動の観察を行った。



図－7　流動層実験装置



各位置を照射し、点中心20×20mm^{2}内を測定する。

Umf：流動化開始速度

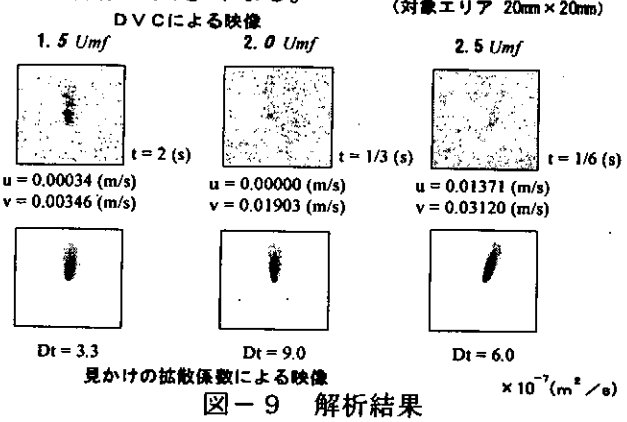
本実験装置では 約10cm／s

図－8　レーザ照射位置とＤＶＣ画像

この時の空塔速度を流動化開始速度の1.5*Umf*、2.0*Umf*、2.5*Umf*とした。

7．実験結果

本法による流動層の可視化については、結果のみ簡単に示すが結論的には粒子速度が速くなれば拡散係数は大きくなる。



図－9　解析結果

見かけの拡散係数の測定点

(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
(f)	(g)	(h)	(i)	(j)
(k)	(l)	(m)	(n)	(o)

（流動層内の平均）

1.5 *Umf*

1.07	2.53	9.45	1.55	5.57
5.76	5.14	4.60	7.86	11.76
3.34	0.36	0.12	0.11	7.43

4.44

2.0 *Umf*

5.67	4.67	7.50	9.25	8.33
8.00	8.80	10.60	6.25	3.60
0.93	0.88	2.00	0.44	4.00

5.39

2.5 *Umf*

20.00	5.67	11.00	32.00	4.33
24.75	5.50	6.00	11.75	7.50
16.00	11.20	7.67	9.80	16.50

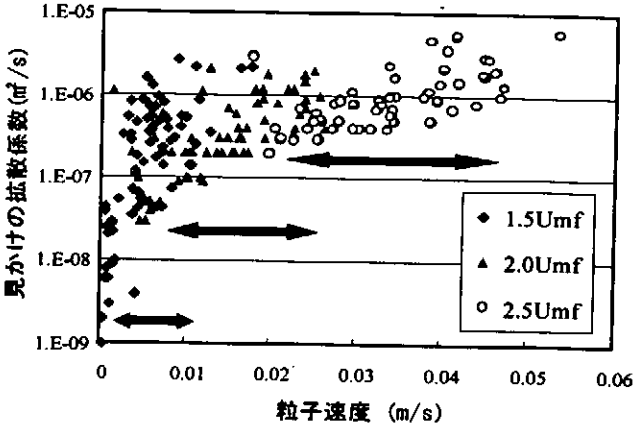
10.33

×10^{-7}(m^2／s)

図－10　見かけの拡散係数（拡散係数分布）

局所的には係数値の分布を見るが平均化する。

次に粒子速度と見かけの拡散係数の関係を示す。



図－11　粒子速度との関係（粒子速度依存）

傾向として、本対象域では粒子速度が測れれば見かけの拡散係数として扱える様な状態を得た。

8．まとめ

本報では、研究支援したフォトクロミック法による流動層の可視化において製作した電磁光シャッターによって次の事を知見した。

（1）研究支援に関して

○ 流動層内の粒子混合を見かけの拡散係数をもちいての評価は可。

→空塔速度、流動層内の場所により違いあり。

○ 見かけの拡散係数から流動層内の粒子拡散把握。

○ 流動層内の伝熱に粒子のランダムな移動（見かけの拡散）が影響している。

（2）電磁シャッターの試作に関して

○ 開閉時間が短い場合には遮断特性のキレを確保する為に要降下駆動である。

○ 時間設定の変更や開閉調整シロを考慮するとシーケンサの活用は有効である。

謝辞：本報をまとめるにあたり、東京工業大学理工学研究科機械制御システム専攻エネルギー工学講座エネルギー利用分野研究室修士 上藤陽一君に深謝する。

参考文献

1．東京工業大学大学院理工学研究科
平成13年度修士論文・上藤陽一
『拡散係数による流動粒子の混合状況評価と流動層の伝熱特性の検討』
2．インターシール社：アナログデータブック
3．キーエンス社
ラダーソフト(KV-H1W)、シーケンサ(KV-10DT)

流体現象における写真撮影と現像処理法

東北大学流体科学研究所　技術室　浅野　和夫

1．はじめに

流体機械、機器等の小型、強力、高性能および高信頼性化に際しては、その支配因子たる構成要素まわりの流れ様相を十分な精度で把握することが不可欠である。

最近、これらの諸機械の作動範囲が極限状態に近いところまで拡大されているため、流れ現象はますます複雑かつ高速でミクロ的になってきている。これらの典型的なものがキャビテーションであり、また、境界層付近の流れ構造などでもあろう。これらの現象を解明するために、その動きを瞬時に止めたり、あるいはその軌跡を可視化できるような写真観察が必要となってくる。よって、これまで携わってきた流れ現象の写真撮影と現像処理法についての工夫点などを述べる。

2. 瞬間写真撮影装置

瞬間写真法は、高速で動く対象を瞬間光源の利用によって短時間のうちにフィルム上に焼き付ける方法である。

一般の写真撮影では、シャッタースピードあるいはレンズ絞りのいずれかを優先させて、露出条件を決定するが、瞬間写真の場合は、光源との同期を取る必要上通常はシャッターを優先して露出条件を決めることになる。

カメラには交換レンズ、付属品とも豊富な35 ㎜一眼レフレックスが広く使用されている。また、撮影レンズには近写においても接写リング無しで撮影が可能で、くわえてレンズ歪・収差もかなり補正されているマイクロレンズが便利である。

照明光源としては、発光効率が高く、種々の光量と閃光時間が得られるXeフラッシュバルブが多用されている。

瞬間写真撮影上の注意点として下記のことが考えられる

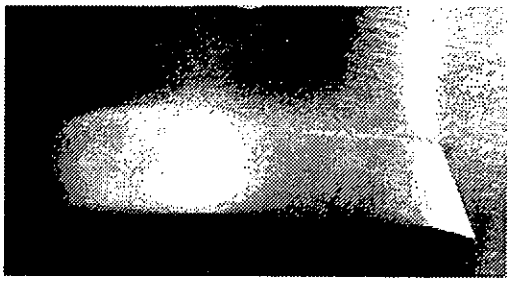
- ○ シャッター(通常1/60s以下)を優先し、レンズ絞りをコントロールして露出条件を決定する。
- ○ 通常、異種光源の同時使用はさける。これは肉眼では同調発光に見えても各々が数μs、甚だしいときは数ms以上もずれて発光し二重・三重写しになる恐れがある。
- ○ カブリ防止のため撮影光以外の室内灯、屋外光に気を配り、室内は暗くすることが望ましく、特に微小光量での撮影に於いてはなおさらである。

3．撮影結果

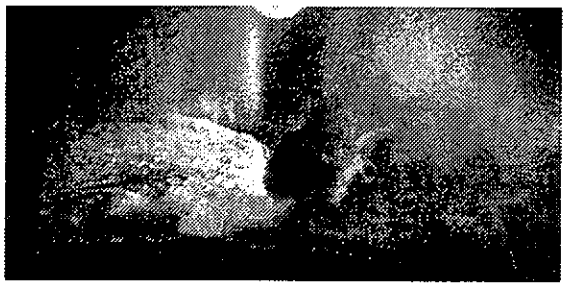
＜3・1＞キャビテーションの様相

ポンプ、水力タービンなどの基本要素である翼などに発生するキャビテーションは、通常の連続光で見ると写真1（a）のように白く濁って見えるが、閃光時間が1μsと非常に短い光源を利用した瞬間写真では写真1（b）のように、その実体は1個の気泡の軌跡であったり、または、多数の気泡の集合体であったりする。すなわち全く同じ対象が光源の違いによって全く別な対象として把握されてしまう危険性があることがわかる。

撮影には、気泡の数と密集の程度で反射光量が変化するので、その都度レンズ絞りなどの撮影条件を変える必要がある。例えば、キャビテーションの発達に伴って絞りを徐々に絞るこ



(a)スチール写真　　D－76標準現像
撮影条件：55m/mF3.5（マクロ）ASA100
1/15s　F5.6,150wフラットランプ



(b)瞬間写真　　D－76標準現像
撮影条件：55m/mF3.5（マクロ）ASA100
1/15s　F8,Xeランプ1μs

写真1キャビテーション発生の様相

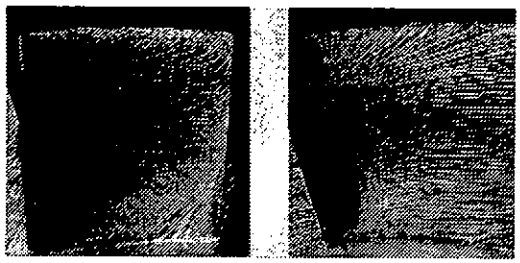
とにより露出を加減する。また、気泡は一方向からのみではその形状を規定できないから、光束をシート状（スリット光）にして所定の断面だけに照射撮影する技術も必要となる。その他、シルエット方式による撮影に於いては、現象が実像より細く小さく写ったり、場合によってはバックライトに喰われて微小現象などは写らないことがあるので注意が必要である。

＜3．2＞流れパターンの様相

固体表面近傍の流れパターンの様相を調べる方法として数多くの可視化法があるが、ここで二・三の方法について述べる。

（1）油膜法（壁面トレース法）

観察したい翼表面等に油と顔料との混合油



撮影条件：55m/m F1.4　ASA100
1/60s　F11　300wフラットランプ2個，D-76(A)コントラスト現像

写真2　軸流ポンプ羽根上の油膜模様

を一様に塗ることにより、翼表面近傍の流れの様相が可視化できる。写真2には、ポンプ羽根近傍の流れ様相が油膜模様によって明瞭に示されている。

この方法の利点は、流体の種類を選ばず、流体停止後もその模様が残ることである。注意する点としては、油膜の作った流跡が崩れないよう慎重に流体を除去し、撮影には照明光の熱で流跡が崩れぬよう早急に撮影する。

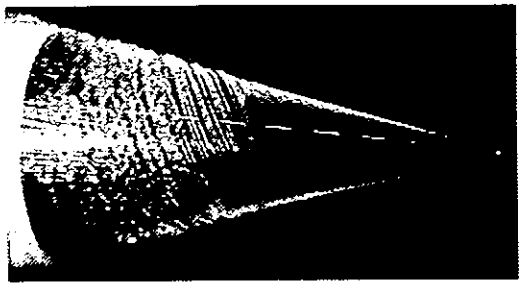
（2）化学反応法（トレーサ法）

例えば、四塩化チタン液が気流との接触により生ずる白煙が流れに運ばれていくことを利用した可視化法である。写真3には回転体上に見られる渦の配列とスリット光による渦の断面の構造が明瞭に示されている。

撮影には、四塩化チタン液は有毒なので長時間での撮影は避ける。また、カメラレンズ表面コーティングにも悪影響を及ぼすので注意したい。

フィルム現像は、特にスリット光での撮影は、露出不足になるのでASA3200、場合によっては、それ以上の相当増感が要求されるので現像

液の調合にも気を配らなくてはならない。



撮影条件：50m/m F1.4　ASA400
1/15s,F5.6,Xe ランプ 2μs
D-76 標準現像



撮影条件：50m/m F1.4＋接写リング
1/15s　F8,Xe ランプ 2μs
(スリット幅 2㎜)
D-76(B)ASA3200 相当増感

写真３　円錐体上の渦列とその断面形状

4. 現像処理

＜４・１＞フィルム現像

この種の特殊な撮影においては、適正露出での撮影は極めて少なく、例えば、近写のため焦点深度が浅くなった分を補正するのにレンズ絞りをきかせたり、カメラセッティングが優先し、最適な照明が望めなかったりして露出不足となり、その結果、フィルム現像に際しては増感を必要とする場合が多くなる。

一般的に増感は、現像時間の延長・液温の上昇、あるいは現像液の調合割合の変化による。後者は、現像主薬であるモノールとハイドロキノンの加減により像のコントラストを高めたり、あるいは、主薬と促進剤（炭酸ソーダ、硼砂等）の調合加減により、増感度を高めること等である。したがって、フィルム現像には、そのフィルムにどのような現象がどんな状態で撮影されたものか十分把握した上で処理することが大切になってくる。

＜４・２＞焼き付け

焼き付け、引き伸ばしには、その現象の特徴と観察者の狙いなどを踏まえつつネガの状態を経験的に判断し最適な印画紙を選定する。それに焼き込み加減や、必要に応じた覆い焼きを行い、画面全体の明暗のバランスを調整し処理することが重要になる。

5. おわりに

流体現象における写真撮影および現像処理に対する経験的注意事項などについて述べた。確かに、この種の撮影とその処理法についての基本マニュアルはあるが、実際には、それとかなりかけ離れた方法をとらざるを得ないことが多かった。これら特殊撮影において、現像処理された瞬間写真は多くの論文に掲載された。

最後に、この報告にあたり助言をいただいた流体科学研究所小濱泰昭教授、八戸工大伊藤幸雄教授に謝意を表します。また、キャビテーション撮影、および、助言協力いただいた当技術室樋口二郎室長に感謝いたします。

大学・研究所間共同開発プロジェクトCOACK

(COACK開発プロジェクト・メンバー)
○阿部 勇、小菅 隆、濁川和幸、白川明広、片桐広明、斎藤裕樹、木代純逸、黒川眞一、
武藤正勝[1]、柴崎義信[1]、Philip Duval[2]、
小川英樹[3]、井上知幸[3]、小平純一[3]、横田光弘[3]、塚田 究[3]、小嶋 護[3]、山﨑耕造[3]
高エネルギー加速器研究機構(KEK)、
東北大学大学院理学研究科核理研(LNS)[1]、DESY(ドイツ)[2]、核融合科学研究所(NIFS)[3]

はじめに

加速器や類似の大型実験装置を持つ研究所・大学の間に共同開発プロジェクトを発足させ、新しいテクノロジーを採用して次世代型の制御システムの開発と標準化を模索してきた。ここでは、大学・研究所の間における共同開発プロジェクト COACK[1]を紹介し、現状と問題点を報告する。プロジェクトの内容と運用についても新しい特徴が出ている事を記す。本研究会では、COACKの共同開発プロジェクトをベースにした導入例[2]が他７点発表される。

１．COACKプロジェクトとは

一般に、大型の計測・制御において、ハード、ソフトの開発は実験装置毎に構築されるケースが殆どであった。部分的には、市販品で対応できるものもあるが、独自開発が必要な事が多い。COACK(Component Oriented Advanced Control Kernel)開発プロジェクトは、加速器における計測・制御システムの構築が出発点である。少ない人数で限られた予算やスケジュールの中で効率良く加速器制御システムの構築を行う為には、加速器制御に特化した汎用ソフトが有れば便利であると言うニーズがあったのは当然である。計測・制御における汎用化の可能性について我々は検討を行い、オブジェクト分析[3]を行った。その結果、汎用化した制御システムの構築が可能である事が明らかになり、プロジェクトを行うべく予算獲得に努め、平成１０年の４月に予算化され開発チームが構成された。KEKを本拠地して、東北大学LNS、DESY(ドイツ)、核融合研(NIFS)のメンバーで開発フェーズから応用フェーズまで、プロジェクトとしての協調作業が進められて来た。今後、益々多くのユーザーや開発メンバーを歓迎したい。

２．COACKの特徴

加速器制御の汎用化と標準化がPCプラットフォームで実現した。 結果的に加速器に限らず類似分野の小規模から大規模の計測・制御まで（巨大システムは除く)、COACK を導入する事で制御システムの構築が極めて容易になった。COACK は、各種の計測器を接続し総合的な運用を可能にするシステムであり、単に計測、操作、表示だけではなく、必要な運用・管理システムを備えている事も大きな特徴である。以下に主な特徴を記す。

１）廉価で計測・制御システムの構築が可能になる。
２）制御システムの規模に応じてCPUやシステムのチューニングを行う事が出来る。
３）Windowsアプリケーションとの親和性が良い。
３）学習コストが極めて低く、短期間にシステムを構築する事ができる。
４）共同開発の為、ユーザーから問題解決などの経験を活かした支援を受ける事ができる。
５）新しいテクノロジーの採用で、ネットワーク分散を活かした新しい展開が期待できる。

3．大学・研究所間共同開発の目的

一大学や研究所では関与できるメンバー数に限りがある為、短期間に大きなシステムを構築する事は困難である。本件は、複数の大学や研究所から参加可能なメンバーによる横断的、且つ、自由参加型のプロジェクトである。参加者の負担をより少なくし、プロジェクト成果を共有するところに特徴を見出している。プロジェクトは、現状分析、デザイン、プロトタイプ構築、ネットワーク環境整備、データベース構築、システム構築、検証、評価、実用化作業、保守、改善と幾つかのフェーズがあり、それぞれに経験豊富なメンバーが必要である。評価、運用試験や改善においては別機関で視点を変えて行われる事等が大変重要で、これらを達成する事も共同開発の目的である。

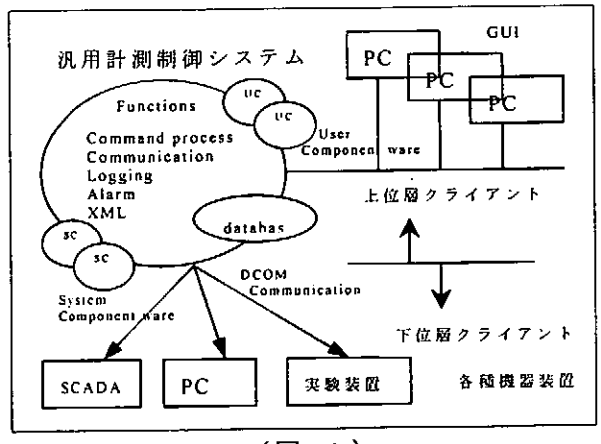
4．プロジェクト運営

初年度は月１回程度のミーティングで仕様の詰めを繰り返した。デザインフェーズ及びプロトタイプ製作期は、民間もコーディング等に参加した事から週１回のテンポで打ち合わせが行われ、プロジェクトが推進された。平成１２年には成果発表会で発表を行い、又、国際ミニワークショップを企画し評価を受けた。平成１４年に至っては、インターネットによるテレビ会議システムが実用レベルに達し、国内やドイツの DESY 研究所とも NetMeeting によるテレビ会議、リモート画面でのプレゼンテーションが可能になり、共同開発運営が大変便利になって、新しい共同開発が出来る環境が整備されてきた。更に、核融合研との間には、SuperSINET の高速専用回線（GbE）の導入[4]でスムーズなテレビ会議、オブジェクト分散運用の実用化が期待されている。他の研究所に居ながら、テレビ会議に留まらずオブジェクト分散によるリモート運用が便利になる事は、大きな進展である。

プロジェクト運営が進むにつれて、COACK の仕様、性能、プロジェクトの運営等について問題が明確になりつつある。特に①マルチサーバーの必要性、②TINE プロトコルとの接続、③新コンセプト（.net 等）へのシフト、④ドキュメント管理等の対応が必要になってきている。

5．レイヤー構成

従来制御システムは３層構造が主流であった。上位層として、ヒューマンインターフェース、中間層として、処理、データベース層、そして下位層として I/O（装置インターフェース）であった。しかし、本システムでは、２層（上位層･下位層、中間層）構造を可能にし、新しい幾つかの特徴を見出した。COACK は、特にこの中間層に力点をおき、各種の機能を提供するものである。COACK から見て上位、下位層の区別は無い。



（図－１）

6．オブジェクト分散

①加速器ドメインのオブジェクト、②汎用計測・制御におけるオブジェクトは分類され、コンポーネントウエア化され、且つ昨今のインターネット技術の進歩によって、運用目的に応じて分散運用することが達成できた。今回は、Windows 系向けに DCOM 技法を採用し、オブジェクト分散を実現し、結果として柔軟に運用出来る事が証明された。non-Windows 系との接続には、XML を用いてオブジェクト間の通信を行っている。

7．COACKの機能

本プロジェクトでは、如何なる計測・制御システムでも必要とされる機能・仕組みを明確にし、汎用システムを構築した。オブジェクト分析、実装段階では多くの議論があったが、初期バージョンとしては、以下の機能を装備し、COACK の汎用コンポーネントウエアの基本骨格となるものである。(以下の機能詳細やアーキテクチャーについては近々別途発表予定である)

1）計測・制御の汎用システムとしての必要機能をもつ
2）メッセージ形態の確立（コマンド処理、メッセージ・エベント処理、非 Windows 間通信）
3）データベースの標準サポート（キャッシュ、アーカイブ、データベース）
4）システムコンポーネント（制御対象固有の機能）とユーザー定義コンポーネント
5）ログ関連機能、自己管理機能、通信機能管理、ユーザー・レジストリー管理
6）基本的支援ツール（通信・セッション管理、データベース支援、開発テンプレート）

8．機能拡張

本システムでは、標準装備の基本的機能と、追加・増殖していける機能に分けて考える事が出来る。システムを全く停止する事無く、機能拡張が出来る事が大きな特徴である。機能拡張時に併発するバグに関して最大限の安全策が講じられており、他の既存システム機能が影響を受けない様に考慮している。これらの仕組みによって、標準機能で足らない部分は独自開発で簡単に新機能を実装する事が出来、やがて標準機能として汎用化されオーソライズされる事がチーム全体にとって望ましい事である。ここに共同開発の原点がある。

１０．運用支援

1）リモート・インストール

COACK は自動インストール機能持っているが、若干の設定は必要である。新しいユーザーへの支援として、ネットワークからリモートシステムへ本 COACK をインストールする事が可能であり、リモートから完全に支援する実績もできた。バーチャルマシンの機構により、構築されたシステムは容易に他のコンピュータ環境でも試験･運用･評価が可能である。

2）リモート支援

COACK では、ユーザー支援として、ネットワークでのリモート運用や支援を可能にする十分な環境が整っている。専用のレジストリー機能でソフトを変更せずに簡単にチューニングが出来るようにした。更にネットワーク･テレビ会議システム等の運用によって、最近では同じマシンの上で快適な支援環境が実用的なレベルに達したと言える様になってきた。

3）高速ネットワークの効果

平成１３年度は、SuperSINET の導入が認められ、専用回線で核融合研と東北大学をつないだ。これによって従来、運用としては速度の観点から非現実的であった、コンポーネントウエアのネットワーク分散が可能になるかどうかの実験と実用研究をこの平成１４年度に予定している。実現すると、COACK は研究所間で新しい運用モードを達成する事になる。

9．システムチューニング

COACK では、制御システム構築後に、CPU やタスクの負荷率等をモニターしながら最適値になるようチューニングを行う事が出来るようになっている。システム運用上の必要なパラメーターは、ユーザー・レジストリーに書き込まれており、プログラム無しでチューニング可能になっている。制御システムの大小を問わず規模に応じて最適運用を目指す事が出きる。

１１．ドキュメンテーション

本来システム構築に関するドキュメントは、研究対象になる程深いものがあり、ユーザーにとっては不可欠なものである。本件では、仕様記述はOOAツールが最適であるとのスタンスを初めから採用したが、コンポーネントのモジュラリティを上げる事で、内部詳細説明を不要にした。多くの場合プロパティ・チャートを見る事で振る舞いやスペックが理解できる構造になっている。COACK 導入時の入門編については、開発時から適時、担当者がシステム説明、運用説明書を作成し、日本語と英語のドキュメントを作成した。これらは、インストーラー（CD-ROM）に書き込まれ、バージョン管理を行ってリリースしている。

むすび

プロジェクトは予想を超える結果を得た。特にシステムが極めて安定に動作している事は特筆に価する。導入例でも一度のリセットも無しで運用されている報告もある。単年度プロジェクトが終了した時点で補正予算がつき、簡単なバージョンアップを平成１２年に行った。構築手法が功を奏し保守がし易く、機能増強も容易に出来る[2]点は満足できる点となった。ユーザーは、極めて短期間に制御システムの構築が可能になった[5,6]事は、これまでにない大きな成果である。

平成１３年は、応用を図り問題点の発見に努めてきた。今年（平成１４年度）は、高速ネットワーク（GbE）の運用で、オブジェクト、コンポーネントウエア分散の新しい実用形態を模索する事になる。また、平成１３年度の問題点抽出で指摘された新しい展開が、今取り組まれようとしている。

計測･制御汎用化システム構築に貢献できる異分野からのアイディアや参加も歓迎致したい。

謝辞

核融合研と高エネルギー加速器研究機構の間に研究協力関係を結んで頂きプロジェクト運営がスムーズに行くよう様々なご支援を頂きました山崎主幹(NIFS)、黒川主幹(KEK)に感謝申し上げます。

参考文献

[1] I.ABE et al. "Status of Component ware Oriented Accelerator Control Kernel (COACK)", PCaPAC2000 DESY, October 2000, Germany

[2] 本技術研究会 2002/3,@NIFS, 小菅隆、"Non-Windowsシステム用COACKインターフェース"。柴崎義信、"COACKを用いたLINAC制御システム"。井上知幸、"重イオンビームプローブ(HIBP)制御システムへのCOACKの導入"。白川明広、"低速陽電子用加速器制御システムへのCOACK導入計画"。片桐広明、"COACKとHP VEEの接続試験"。斉藤裕樹、"PF-ARの新しいインターロック集中管理システム"。武藤正勝、"実験装置の制御システムにおけるネットワーク対応型ディバイスレイヤの開発"

[3] 阿部勇、"オブジェクト分析と分散手法" 技術研究会, 2001 Mar, 仙台

[4] 濁川和幸、他、"高速ネットワーク（Super SINET）の導入"

[5] T.Kosuge, etc,. "Beam line control using COACK"PCaPAC2000 DESY

[6] Y.Shibasaki, etc,. "Beam measurement system using COACK and WE",PCaPAC2000 DESY

COACKを用いたLINAC制御システム

東北大学理学研究科附属原子核理学研究施設（LNS）
○柴崎義信、武藤正勝、七尾晶志、浜 広幸 & COACK開発チーム

1. はじめに

LNSでは、平成9年より1.2GeV ストレッチャー・ブースターリング（STBリング）の運転が開始され原子核物理の新しい研究が展開されている。リニアックはSTBリングへの電子ビーム入射器としての役目を担っており、より精度の高い安定した運転が求められている。また、新たな実験を行うため測定室の増設が行われており、従来の制御室中心ではなく測定室からも運転が行えるよう要求が出ている。そこで、300MeVライナック制御系は、様々な要求にこたえるため、パーソナルコンピュータの全面的使用による最近のネットワーク技術やコンピュータ技術の採用と、制御システム管理のためKEKを中心として開発された“COACK(Component Oriented Advanced Control Kernel)”を利用し再構築した。このシステムの完成は、平成14年度を目標とし作業を進めており、現在の状況を報告する。

2. 制御系更新の経緯と目標

2.1. 制御系のこれまでの経緯

LNSリニアック制御系は、１９６７年に施設が完成した以降、何度か改造を行ってきた。初期のころは、コンピュータの介在はまったくなく、１９７６年 ECS(エネルギー圧縮装置)を設置したときにMELCOMを導入したのが最初となる[1]。その後、マイクロプロセッサの普及とパーソナルコンピュータの出現により、１９８１年 現在のストレッチャー・ブースターリング（STBリング）の前身となるSSTR[2]が完成したときに、マイクロプロセッサを組み込んだIOCや、ユーザーインターフェース用としてのパーソナルコンピュータを導入した。SSTRを用いた実験のはじまりとともに、より使いやすいユーザーインターフェースや、各機器の状態ログ収集・操作をコンピュータ上からより簡単に行えるよう要求があり、１９８７年に制御用コンピュータをμVAXに変更した[3,4]。また、IOコントローラとしてVME8を導入しIO機器の制御ネットワークへの加入を図った。その後、PLCの導入による機器の制御など、小規模な改良を加えてきている。しかし、制御用コンピュータの老朽化や、周辺機器の製造打ち切りなどがあり、それへの対処が迫られてきた。

2.2. リニアック制御を取巻く環境

制御系を取巻く環境として、ひとつは最近の技術の進歩が挙げられる。数年前までは、大型コンピュータでしか実現できなかった速い演算処理速度や、大量のメモリ、大容量のハードディスクなどが、パーソナルコンピュータ（PC）上で実現され、非常に安価に市場へ出てきている。また、ネットワーク環境も普及し、所内のみならず家庭からでもＷＡＮを利用し接続可能な時代となっている。それにより制御系に使用可能な多くのネットワーク機器が開発され販売されている。

これらPC技術の向上により平成１２年にKEKを中心として新しい加速器制御用ソフトウエア（COACK）が開発された[5,6]。このシステムは最新のプログラム概念を基にPC上で稼動することが特徴的で、制御システムの構築を短期間に行うことが可能となる。

LNSにおいては、１９９６年にSTBリングが完成し、一回の実験が1週間以上にわたる運転が多く行われるようになり、そのための新しい測定室も作られている。LNSの加速器の運転は、基本的に実験グループが行うことになっているため、このような長期の運転になったときには運転と測定

の要因確保が難しい状態となっている。そのため、加速器の運転を離れた測定室からも可能とするよう要求が出ている。

2.3. リニアック制御系構築の目標

以上のことをふまえ、２０００年にリニアック制御系の改造を計画した。改造するにあたっては次のような目標をたてた。

① 運転に必要な全ての加速器パラメータ設定と表示を可能とする。
② 制御室以外からも運転が可能となるよう構築する。
③ 制御担当者以外でも簡単にプログラム開発が可能なシステムを導入する。

3. 制御系の構築

今回構築した制御系の特徴として、PC の全面的使用と COACK をシステムの核として採用したことがあげられる。また、依然として古い機器が残っており、これらの機器との接続には PLC を使用した。

3.1. 構成

制御系全体の構成を図 1 に示す。ドメインコントローラは、制御ネットワークに接続された PC とユーザーの管理および、ファイル共有サーバーとして使用している。また制御ネットワークから外部ネットワークへ接続する必要があるため、ルーターとしても機能する。

COACK サーバーは、COACK の中心的なサービスを提供する。COACK クライアントは、頻繁にこのサーバーと通信を行うことになるため、かなりの負荷がかかる。また、COACK が持っている機能拡張の方法を用いてデータの履歴が残るように SQL サーバーとしても機能させる。そのため、PentiumⅢXeon930MHz の CPU を 2 個搭載した PC を COACK サーバー用として使用した。

COACK テストサーバーは、制御系が運用状態でもプログラム開発やテストを行うことができるように設置した。

各 PC および PLC は、ひとつのネットワークセグメントに接続している。そのため、ある PLC を

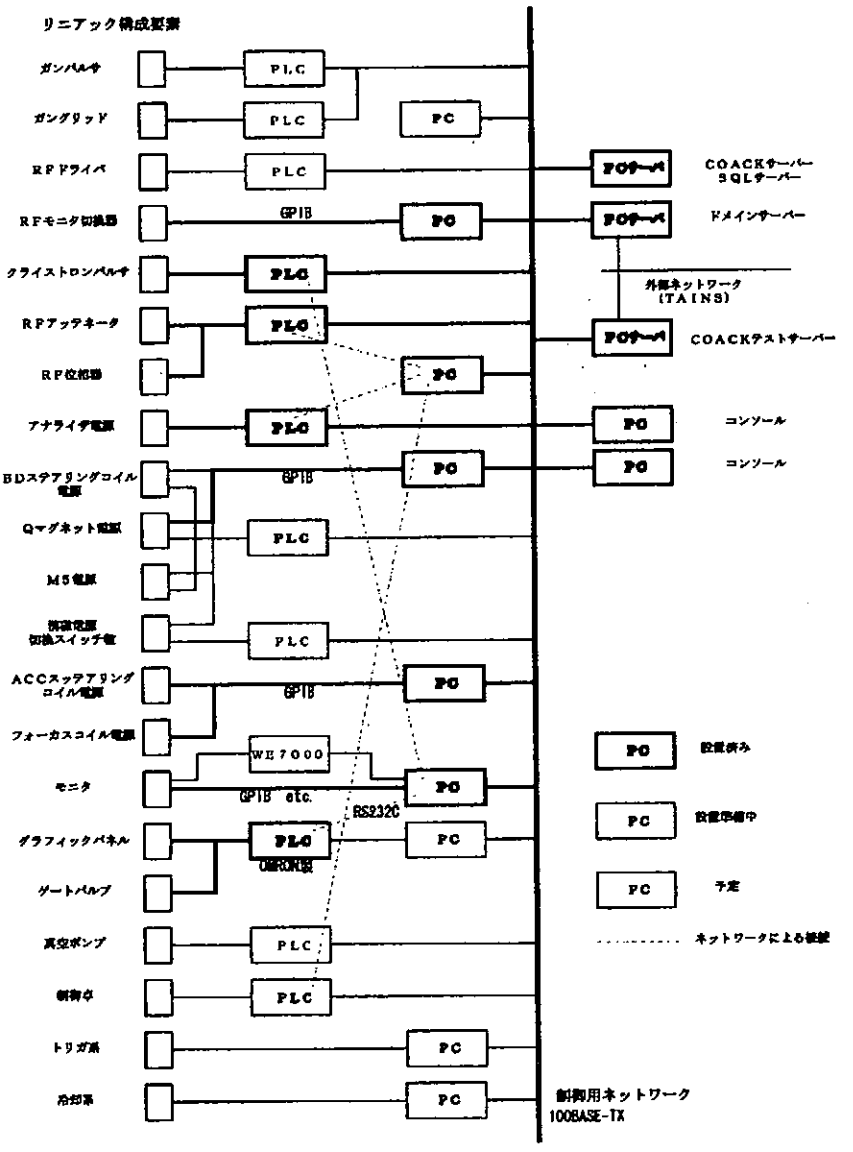


図 1 制御系構成図

管理しているPCが故障した場合でも、別のPCに簡単に置き換えることが可能となっている。GPIB機器との接続は、PCの拡張バス（PCIバス）に挿入されたGPIBコントロールボードを用いて行った。

3.2. COACK内部での加速器の表現

COACKでは、制御する機器の情報をクラス階層として記述し具体的な機器であるクラスのインスタンスは、ノードとして仮想的な機器構造を表現している。実際に機器を制御しているプログラムは、この仮想構造を使うことにより制御している機器と関係のあるノードが持っている情報とやり取りすればよい。また、ユーザーインターフェースはCOACKの中に作られた仮想機器と通信することにより実際の機器のあるなしにかかわらず開発を行うことが可能である。LNSリニアックの制御では、図1に示したリニアック構成要素そのものを制御対象クラスとして構築した。

3.3. システムコンポーネントによるCOACKの機能拡張

今回導入したCOACKは、基本的なカーネルの機能が提供されている。しかし、制御系のシステムとして動作させるためには、もっと数多くの機能が必要となる。そのための拡張手段として、新しい機能をシステムコンポーネントとして作成し、それを、COACKを動作させながら追加したり、削除する機能がCOACKに備わっている。

リニアック立ち上げ時の運転には、そのときに必要な条件に類似した過去のパラメータを使用することで立ち上げ時間を短縮できる。また、異常が発生したときに、機器の出力値（たとえば電源の電流値）の履歴を見ることにより故障診断を迅速に行うことが可能である。COACKには、クライアントから送られたコマンドをログとして保存する機能や、Cacheのデータをアーカイブする機能がある（SQLサーバーを使うことも可能）。しかし前述のことを実現するには必ずしも十分とはいえない。そのため、送られたコマンド（SetCache）から必要なデータを取り出しSQLサーバーへ定期的に保存するための新たなシステムコンポーネントを作った[7]。これにより、各機器のトレンド表示や、現在の運転条件と、過去の運転条件との間での値の比較が可能となった。図2に作成したシステムコンポーネントの動作を示す。

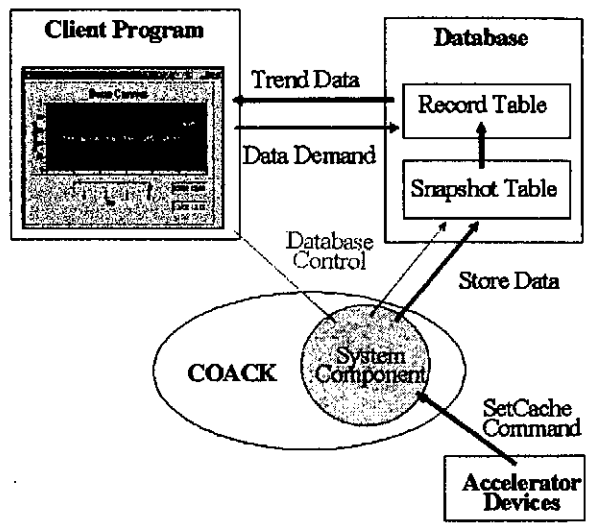


図2　データをロギングするためのシステムコンポーネント

3.4. 旧機器との接続

LNSのリニアックには、設置当時より使用されている機器が数多く残っており、これらの機器のコンピュータコントロール可を進めない限り目標としたすべての機器の制御系への組み込みは不可能である。しかし、これらの機器全てを更新するためには、多くのコストと時間が必要となる。そこで、機器はそのままでコンピュータコントロール化が可能な方法としてPLCを使用した接続を行った。旧機器の操作は、機器内部の状態のランプ表示、電圧値などアナログ値のメーター表示、押しボタンによる操作や値設定をアナログの電圧値で送ることにより行われている。それらの情報をPLCが標準で持っているモジュールを用いることにより簡単に取り込み設定が可能である。このPLCは、ネットワークモジュールを使用して同じ制御ネットワークに接続し、COACKクライアントであるPCを介在してCOACKと通信を行う。

3.5. プログラム

プログラム開発は、VisualBASIC6.0と市販のコンポーネントを用いて行った。VisualBASICは非

常に生産性の高い言語であり、クラス記述を用いたオブジェクト指向的なプログラミングが可能となっている。また、この言語用のプログラムコンポーネント（ActiveXコンポーネント）が数多く市販されており、これを使用することにより大幅なコード記述の削減を図ることが可能である。事実COACKのシステム開発が非常に短い期間で開発できたということが物語っている。

市販コンポーネントとしてLNSでは、次の二つの製品を使用した。

FA-Engine（ロボティックスウエア株）

ComponentWorks（ナショナルインスツルメンツ株）

FA-EngineはPLCとの通信を行い、PLCのデータ表現形式である内部リレーを、タグと呼ばれる名前で参照し設定やデータ値の読み出しを行う。ComponentWorksは、いくつかのコンポーネントの集合したもので、GPIBボードを動作させるためのものと、GUIを構築するコンポーネント（グラフ、ボタン、表示器等）を使用した。また、グラフ表示の一部には、ACOP[8]も用いた。

これらのコンポーネントのほかにも、COACKが提供している接続用のものや、LNSで開発したコンポーネント[9]などを使用することにより、コーディング量を大幅に減少させることができた。

4. 現在の状況

新しく構築中の制御系は、一部が２００１年５月より順調に稼動している。平成１３年度は、VME8機器の更新を予定し、８月にはQ電磁石電源の制御をVME8からPCによる直接接続に変更した。また、ユーザーインターフェースプログラムの作成と改良、機能アップを図っている。

5. まとめと今後の予定

今回、LNSリニアック制御系改造についての中間報告を行った。COACKを使用した主要部分はかなり短期間に開発をすることができた。また、COACKの機能拡張もシステムコンポーネントを作ることにより容易に行えることがわかった。

LNSでは新しい実験のための測定室が建設中であり、加速器がかなり長期間停止する。この機会に、まだ組み込みの済んでいない機器の接続を完了する予定でいる。

参考文献

[1] 中原和夫、他、“核理研リニアックの計算機制御用CAMACシステム”、第２回リニアック研究会、川渡

[2] T. Tamae, et al., ” 150-MeV Pulse Stretcher of Tohoku University”, IEEE Trans. Nucl. Sci. NS-301(1983)3235

[3] 武藤正勝、他、“電子リニアック・パルスビームストレッチャ制御系の現状と改造計画について”、核理研研究報告 Vol20 No. 2

[4] 武藤正勝、他 “加速器制御系のソフトウエア”、核理研研究報告 Vol22 No. 2

[5] I. Abe, et al., “Recent status on COACK Project”, PCaPAC2000, Hamburg, 2000

[6] 阿部勇、他、“大学研究所間開発プロジェクトCOACK”、本技術研究会、NIFS

[7] M. Mutoh, at el., “Use of a Database in COACK”, PCaPAC2000, Hamburg, 2000

[8] P. Duval, at el., “HERA CONSOLE APPLICATIONS BASED ON ACOP”, ICALEPCS, Trieste, 1999

[9] Y. Shibasaki, at el., “Beam measurement system useing COACK and WE”, PCaPAC2000, Hamburg, 2000

重イオンビームプローブ（HIBP）制御システムへのCOACKの導入

核融合科学研究所　○井上 知幸，小川 英樹，塚田 究，横田 光弘
加藤 真治，川澄 義明，井戸 毅，西澤 章光
& COACK開発チーム

1. はじめに

重イオンビームプローブ(HIBP)は、大型ヘリカル装置(LHD)において、プラズマ中の電位分布や揺動を測定するための計測装置であり、現在開発が進められている。この装置は大きく分けて、イオン源・加速器・ビームライン・分析器の4系統から成り、総数400点以上の制御対象がある。当初、個々の装置毎に制御をおこなう構想であったが、このような大型装置の制御では、系統ごとに統合的に制御することが、動作状態の管理や運転の容易さ等の観点から重要である。そこで、加速器制御の汎用化と標準化を目的として、KEKを中心に開発されてきたCOACK(Component Oriented Advanced Control Kernel)[1]の導入を決定し、現在まで開発を進めてきた。ここでは、HIBPへのCOACK導入に至った経緯と、その制御システムの開発について報告する。

2. HIBPの機器構成

HIBPの全体俯瞰図と機器配置図を図1, 2に示す。HIBPは、幅約10m、高さ約15mほどの大型装置で、LHDでのプラズマ実験において、プラズマ中に1価の重イオンを入射したときに、プラズマとの相互作用により、2価あるいはそれ以上の価数を持って飛び出してくる二次イオンビームのエネルギーなどを分析することにより、プラズマの種々のパラメータを測定することを目的としている。機器構成としては、大きく分けてイオン源・加速器・ビームライン・分析器の4つの系統に分かれている。

HIBP装置の詳細については、ここでは割愛させていただく。本研究会p-48「重イオンビームプローブの加速器制御」[2]の報告を参照されたい。

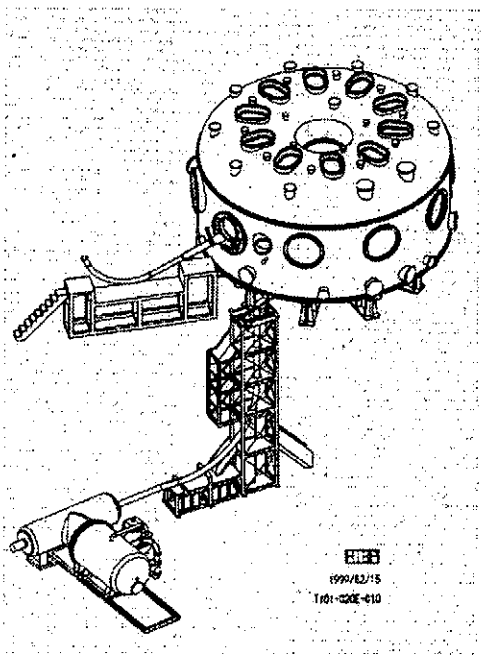


図1　全体俯瞰図

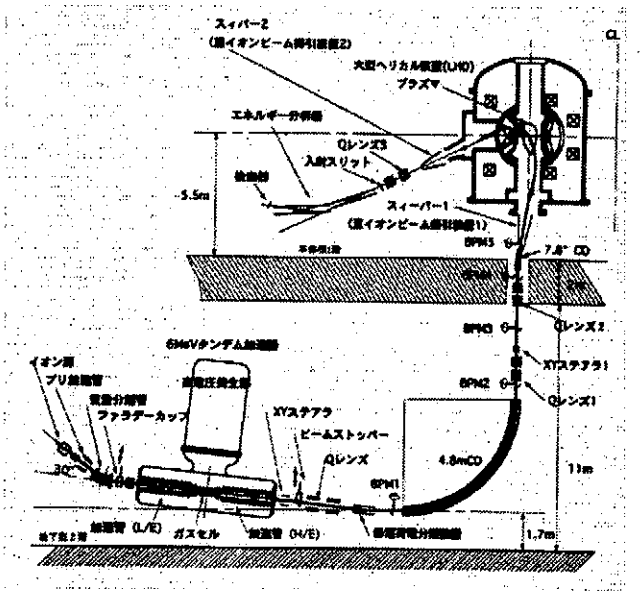


図2　HIBP機器配置図

3. COACK 導入前の HIBP 制御システムの特徴

COACK 導入前に構築予定であった HIBP 制御システムの特徴として、第一に、複数の機器やコントローラによって制御されているということがあげられる。HIBP には、表 1 に示すように各系統あわせて総数 400 点以上の制御対象が存在する。それらを図 3 に示すように PLC や CAMAC、NF-1915 といったコントローラによって各機器を個々に制御する予定であった。しかし、実際の運転は系統ごとにおこなう必要があるため、点在しているコントローラを統合的に制御し、ユーザーインターフェースの部分を系統ごとに分類することが求められる。

表 1　制御点数

系統	コントローラ	点数
イオン源	NF-1915, PLC	50
加速器	PLC	80
ビームライン	NF-1915, PLC, CAMAC	180
分析器	NF-1915, PLC, D/A	140

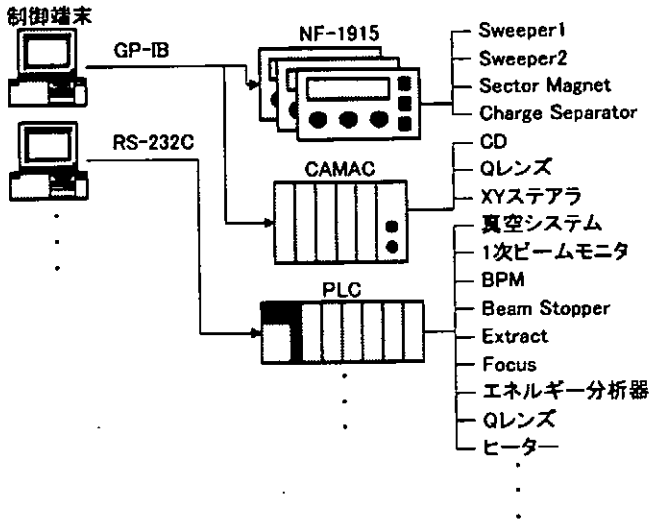


図 3　COACK 導入前の HIBP 制御システム構成図

第二の特徴としては、HIBP 装置の開発が現在も進行中であるということである。新たな機器が追加されるたびに、仕様の変更やプログラムの追加などが必要となり、制御システム全体が追加の度に大きくなっていく。このようなシステムには、その変更をより簡単に、短期間で、しかも、最小限にするための、拡張性、柔軟性が求められる。

最後に、HIBP の操作は、本体室外でおこなわなければならないということがあげられる。HIBP 装置は、LHD と同じ本体棟・本体室に設置されており、HIBP の運転がおこなわれるプラズマ実験中は、本体室には入室することが出来ない。また、LHD の実験全体の制御は、制御棟・制御室でおこなわれるため、HIBP の制御も、同じ制御室でおこなう必要がある。しかし、本体棟と制御棟は約 100m 離れているため、GP-IB や RS-232C のケーブルを引き回すことが困難であるので、既存のネットワークを利用した遠隔操作をおこないたいという要求がある。

4. COACK 導入の経緯

2000 年 5 月に、高エネ研(KEK)にて COACK 国際ミニワークショップが開催され、本研究所からも数名が参加し、COACK の存在を知るに至った。計測・制御システムの構築における COACK の汎用性、利便性などから、NIFS の計測システム全体への導入も検討されたが、当時開発が進められていた HIBP システムに、半年間の検討期間を経て導入を決定した。

5. HIBP 制御システムへの COACK の導入

5.1　制御システムの構成

COACK 導入後の、現在の HIBP 制御システム構成を、図 4 に示す。COACK サーバ、COACK クライアント(操作端末)が、COACK 導入に伴い設置された部分である。COACK サーバと各クライアントは、ネットワークを介して接続される。これによって、本体室外での遠隔操作が可能となる。また、制

御端末以下は、図3に示した通り、COACK導入前の構想と同じく、PCからGP-IB、RS-232Cなどを通して各コントローラ・機器を操作する。従来、制御システムは3層構造で構築されてきた。しかし、COACKシステムにおいては、上位層にあたる操作端末と下位層にあたる制御端末の区別はなく、同位のCOACKクライアントとして扱われ、処理やデータベースを扱う中間層はCOACKサーバが受け持つ2層構造となっている。

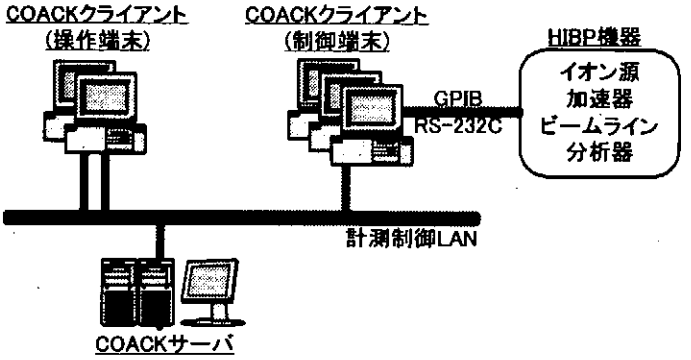


図4　HIBP制御システム構成図

5.2　COACKサーバ上のHIBPシステム

COACKでは、COACKサーバ上で、制御対象のシステムの機器やコントローラの情報を階層的なテーブルとして表現する。操作端末からは、そのテーブルに対して値の設定や取得をおこなうので、実際の機器構成やI/Oに依存しないで制御をおこなうことが出来、制御端末は、実際の機器の情報とサーバ上の情報をやり取りするだけでよい。

また、制御端末上に、実際の機器からの情報の代わりに模擬的な値を返すIOC(仮想IOC)を置くことによって、実際には機器が設置されていなくても、制御システム全体の開発を進めることが出来る。この仮想IOCを用いることによって、開発途中のHIBPへのCOACKの導入をスムーズに進めることが出来た。その上、制御システム全体を、他機関のCOACK環境で仮想的に再現できるため、動作不具合のチェック、システム開発上の問題点の解決、プログラムの最適化などで、既にCOACKを導入していたKEKや東北大からのアドバイスを受けることが出来、COACK導入の手助けとなった。

5.3　クライアントプログラムの開発

クライアントの開発は、VisualBasicとLabVIEWを用いて行った。VisualBasicでの開発においては、COACKに標準で用意されている「TransportIcon」と「CustomComButton」の2つのActiveXコントロールを利用する。図5に示すように、CustomComButtonに、COACKサーバ上に置かれた制御対象テーブルから設定や表示をしたい制御対象(Property)を選択し、Form上に配置したボタンやTextBoxなどのオブジェクトに関連付けることで、容易にテーブルの値を書き込んだり、読み込んだりすることが出来る。図6は真空システムの例であるが、各ボタンにロータリーポンプのON/OFFなどCOACKの各Propertyが割り当てられている。LabVIEWの場合は、「LabInterface」と呼ばれる東北大にて作成されたActiveXコントロールを利用した。機

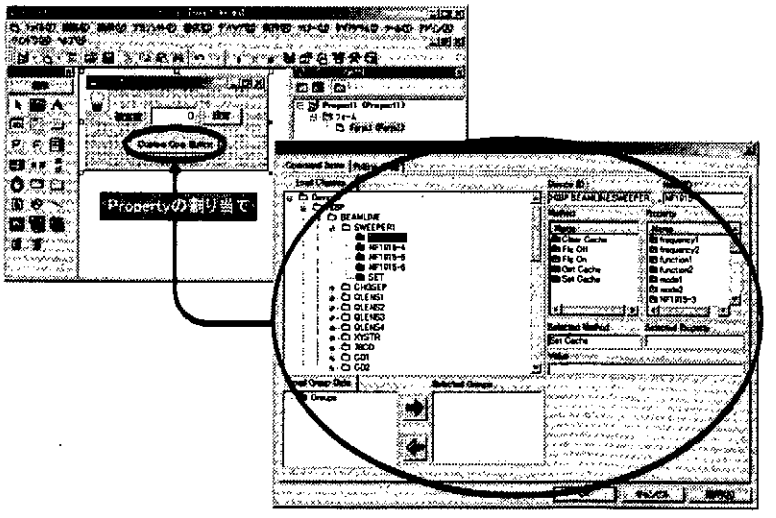


図5　Propertyの割り当て

能的には、TransportIcon と CustomComButton を一緒にしたもので、VisualBasic の場合と同じように、Property と各オブジェクトを関連付けることによりプログラムを作成することが出来る。

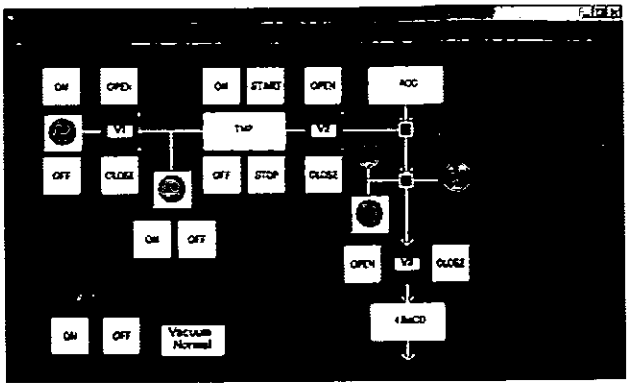


図 6　真空システム操作画面

6. まとめ

COACK を HIBP 制御システムへ導入することによって、要求されていた、「制御の統合化」「拡張性・柔軟性の向上」「遠隔操作」を実現することが出来た。また、COACK のインストール、プログラムのデバッグなどで KEK、東北大との間で情報交換をおこない、COACK 導入を円滑に進めることが出来た。

2000 年 11 月に COACK 導入を決定してから、約半年という短期間で HIBP 制御システムへの COACK の導入が完了し、昨年 9 月からのプラズマ実験から運用を開始している。これらの経験から、加速器以外の分野での適用が十分可能であることがわかり、今後、他のシステムへの導入も検討していきたいと考えている。

[参考文献]

[1]　阿部勇　他「大学・研究所間共同開発プロジェクト COACK」本研究会

[2]　塚田究　他「重イオン・ビーム・プローブの加速器制御」本研究会

低速陽電子用加速器制御システムへのCOACK導入計画

高エネルギー加速器研究機構
○白川明広、阿部　勇、設楽哲夫、栗原俊一
& COACK開発チーム

1. はじめに

低速陽電子実験施設は電子線形加速器の応用プロジェクトの一つであり、主に物性物理学分野の研究が行われる共同利用施設である。高エネルギー加速器研究機構（以下「KEK」と言う）においては従前、既存の電子陽電子線形加速器を利用した施設であったが、現在、専用加速器による実験施設を整備中である。ハードウェア構築は順調に進んでおり、制御ソフトウェアの製作が急がれている。納期、人員、予算の制約がある中で、COACK(Component Oriented Advanced Control Kernel)[1]を導入して、迅速かつ効率的な制御システム構築を目指す。

制御対象となるのは陽電子発生用加速器とそれに続く実験ビームライン全体である。新制御システムでは全機器の情報をCOACK搭載サーバーに集約し、加速器運転管理も含めて一元管理を行う。実験施設の現状及び制御システム全体のデザインについて報告する。

2. 低速陽電子実験施設について

2.1 低速陽電子実験とは

陽電子は電子の反粒子で正電荷を持つ故に、電子と対消滅してγ線を放出したり、固体表面に対する仕事関数が負であるなどのユニークな性質を持つ。これを利用し、低エネルギー（≦数keV程度）の陽電子が物質科学研究におけるプローブとして使われている。一般の低速陽電子源では陽電子発生源として放射性同位元素を用いているが、陽電子顕微鏡のような実験にはビーム強度が十分でなく、加速器で発生させた大強度陽電子ビームを用いる。

2.2 ＫＥＫにおける低速陽電子実験施設

ＫＥＫにおいては1991年頃より、加速器を利用した低速陽電子実験設備の運用を行ってきた。但し専用の加速器を持っていたわけではなく、既存の他用途の加速器を応用する形態であった。従って加速器本体の実験プロジェクトの推移による影響を受けて変遷している。当初は2.5GeV電子線形加速器の終端に陽電子発生装置を置いていたが[2]、KEKB実験プロジェクトで加速到達エネルギーが8GeVに増強された際に（1996～1998年）実験装置全体が加速器上流部に移設

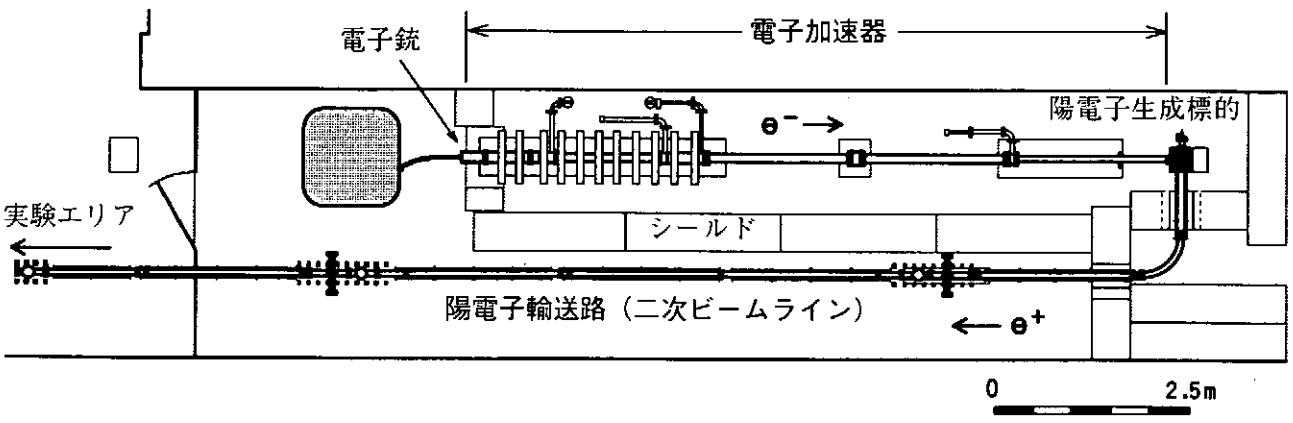


図１　低速陽電子実験施設の現状

された。その後、加速器本来の用途の運転時間が増加し、応用利用の時間が確保しにくくなったため、2001年より、専用加速器による実験施設を整備することとなった。

専用加速器は、以前に試験用加速器として実験に供していたものを転用する形で、構築が進められている。現在までに加速器本体の必要最低限の整備がほぼ終わり、実験ビームラインは整備途上であるものの、まさにこれから運用開始するところである。図1に現状を示す。

3. 制御系ハードウェアの概要

制御対象となる機器類及びそれらの概数は表1に示す通りである。小規模ながらも多様であり、加速器の要素全般を含む（但し加速用マイクロ波系と加速器側モニタ系は当面別系統制御となる）。表中の「安全管理」は放射線安全及び装置安全に関するもので、実験施設全体を統括的に管理する。またビーム輸送系の「電極波形」はパルス状の陽電子ビームを直流化する際に使用する。

表1　低速陽電子実験施設における制御対象（概数）

制御要素 / 場所	電子銃	ビーム輸送系		真空系		モニタ系	安全管理系
	電極電圧	集束磁石	電極波形	ポンプ	ゲージ	ビームモニタ	安全管理
電子加速器	5	20	0	10	2	（当面別系）	1
陽電子輸送路	0	50	2	15	5	5	

いずれの機器も、各々PLC（プログラマブルコントローラ）をIOCとして制御イーサネットに接続する（図2）。機器とIOCとの間の信号授受方法は、アナログ電圧信号、デジタル（DC24V）信号、RS-232C、GP-IB等である。このような形態は既存の8GeV電子陽電子入射器（以下「8GeV入射器」と言う）と同等であり、運用上、保守管理上の観点から、同一仕様とするものである。

制御システムの中枢となるコンピュータは、サーバーPCを1台と、クライアントPCを必要なだけ設置する。IOCへの通信用と操作端末用とで、最低2台のクライアントが必要と見られる。

これら制御系のハードウェアは、通信ネットワーク線を含め、今から順次整備を行っていく。従って、実験施設の試運転は制御システム無しで開始する。

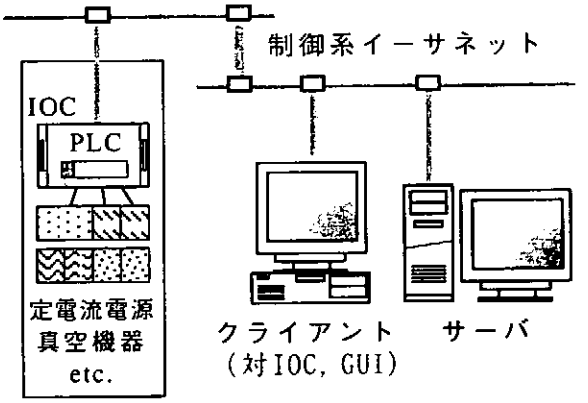


図2　制御系接続概念図

4. 制御系ソフトウェアのデザイン

4.1 システムデザインにおける要請

制御システム構築の際の要請として、次のような点が挙げられる。

- 装置試運転が先行するので、制御系ハードウェア整備の進捗に合わせ、随時かつ迅速にソフトウェアを構築しなくてはならない。
- 多様な構成機器の制御情報を統括する必要がある。但し、情報の一意性が保証されれば必ずしも一元的管理である必要はない。
- 各構成機器について、運転情報のデータベースが必要である。

これらの事情を踏まえ、かつ省コスト、省力化も考慮した方式が望まれる。

4.2 COACK導入に至る経緯

専用加速器となる以前の実験施設においては、Visual Basic等の開発言語を用いて、制御下

位層からGUIに至るまで、各機器別に特化したプログラムを書いていた。各々のプログラムの共通部分を構造化するなどの工夫はしていたが、情報の連携は取れていなかった[3]。しかも、デバイス層のプログラム開発に手間を要するため、データベース整備やGUIの方は必要最低限の機能を用意するのが精一杯という面があった。コンピュータの今昔で大きな差があるとは言え、新しい施設においては旧来の方法は明らかに不適切である。代わりの選択肢としては、

1）要求仕様を満たすようなシステムソフトウェアを独自開発する

2）市販の各種ツールソフトを利用する

3）他の研究プロジェクト等で開発された汎用ソフトウェアを導入する

等が考えられる。1）は非現実的である。2）は例えばPLCメーカー等が提供している製品があるが、GUI等が完成されすぎていて可塑性が低いものが多く、カスタマイズにやや難がある。何より、そのメーカー以外の機器への対応が難しい。3）で適当なものがあれば理想的で、COACKがそれに該当し、前述の要請をかなり満たすものと期待される。

4.3 COACKを導入したソフトウェアデザイン

本件の制御ソフトシステム体系は、COACKサーバを中心に据えて、図3のような構造を想定している。図中の「クライアント」の単位は「プログラム」であり、PC上に複数を実行する。各種機器毎に対応したクライアントを作成し、それらを全て1台のサーバに接続する。IOCが未だ実在しない段階においても、仮想マシンとして扱うことでシステム構築を進めることができる。加速器オペレータ用GUIでは、必要な情報を柔軟に取捨選択できる。クライアントソフトの作成言語にはVisual Basicを、サーバとの接続方法にはDCOMを予定している。また、COACKサーバではSQLデータベースが標準装備されており、データログや運転ログの管理が容易である。

多くのIOCの核となるPLCのシーケンスプログラムも、独自作成範囲である。こちらは、既に8GeV入射器で同様の機器制御を行っているので、その資産を有効利用して省力化を図る。

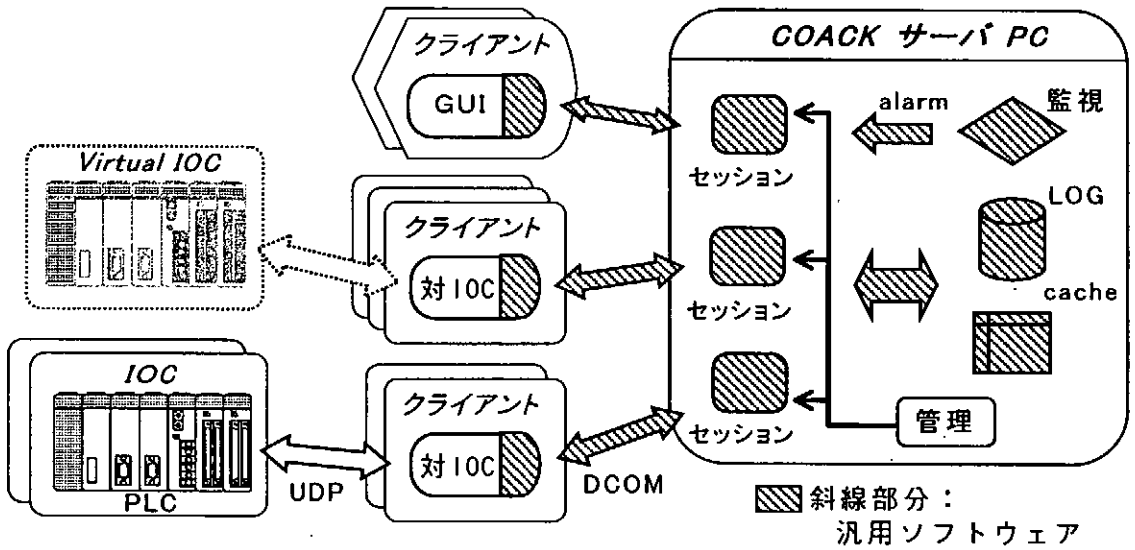


図3　低速陽電子制御システムのプログラム体系（概念図）

5. 考察

COACKは「加速器制御における汎用ソフト」を出発点として開発されており、本件のような制御システムへの応用は至極適切と見られる。実際、手を加えることなく使用可能な汎用要素

部分が大きい。また、ソフトウェア構造は完全なコンポーネント指向であり、本件独自開発部分との接続は容易である。換言すれば、COACK 本体自身を熟知していなくても、大きな支障なく応用可能で、立ち上がりが速い。COACK の特徴である、仮想マシンの設置が可能な点や、システム稼動を停止せずに更新が可能な点は、本件においても大変有用であると期待される。特に後者は、これまでシステム更新機会の少なさに悩まされてきた経験から、大いに歓迎される。

COACK 以外で同じような汎用ソフトとして、例えば EPICS (Experimental Physics and Industrial Control System) [4] がある。KEKB 加速器においてはこちらが標準採用であり、その一部である 8GeV 入射器でも採用が進んでいる。低速陽電子実験施設は今般それらから独立するため、同じツールを採用する必要性は差し当たって絶対的ではない。加えて、

- OS には VxWorks、IOC は VME や CAMAC 等が主流であり、コスト面でやや不利か
- VxWorks もさることながら、EPICS 固有のデータレコード定義等の理解に、学習期間を要する見込み
- 低速陽電子実験装置に即した IOC（ソフト）開発に時間を要する見込み

のような事情から今回の採用は困難である。将来採用の可能性を否定するものではない。

6. まとめと今後の予定

陽電子発生源として専用加速器を持つ低速陽電子実験施設を整備中である。次年度に入ってから、ハード、ソフト両面で制御システムの構築を急速に展開していく。ソフトウェア整備に当たっては汎用ソフトウェアである COACK を導入し、効率化を図るとともに、実験施設全体を統括する高機能な制御システムを目指す。COACK サーバのセットアップはごく短期間で完了し、作業の大半はハードウェア整備及びクライアントソフト作成であろう。次年度末頃までには完成させ、本格的な大学共同利用実験に供せられることを目標とする。

7. 参考文献

[1]阿部 勇 他、「大学・研究所間共同開発プロジェクト COACK」本研究会
[2]榎本收志 他、「ＰＦ低速陽電子源建設報告（1）」、KEK Report 93-13, December 1993.
[3]白川明広 他、「ＰＦ低速陽電子源における制御システム」平成５年度核融合科学研究所技術研究会
[4]http://www.aps.anl.gov/epics/

COACK と HP VEE の接続試験

高エネルギー加速器研究機構
○片桐 広明、阿部 勇、濁川 和幸、小菅 隆
COACK 開発チーム

1. はじめに

COACK[1] の幅広い応用の一環として、HP VEE との接続を試みてきた。電子陽電子入射器で運用中の、VXI/HP-UX ベースで構築されたマイクロ波モニタシステムによる測定データを取り込むのが当面の目標である。トラブルを避けるため HP-UX 版 VEE で作成された既存のプログラムには極力手を加えないことを前提に、以下のような手順の方式を検討した。

1）HP-UX 版 VEE から Windows 版 VEE へのデータ転送

2）Windows 版 VEE 専用インターフェース OCX による COACK へのアクセス

すなわち、Windows 版 VEE で一旦データを吸い上げた後 COACK へ転送する、ゲートウェイ的に動作するプログラムを作成することで、簡易的にではあるが目標を達成する見込みが立った。本報告書では、Windows 版 VEE と COACK の接続方法及び、マイクロ波モニタシステムへの応用例について述べる。

2. VEE（Visual Engineering Environment）

2.1 概要

VEE とは、ヒューレットパッカード（現アジレントテクノロジー）社製の計測制御プログラム開発ツールで、図1の様に各種機能を持つオブジェクトを配置して入出力ピンを接続することで視覚的にプログラムを作成することができる。この分野のツールでは、National Instrument 社製の「LabVIEW」も広く利用されている。

マイクロ波モニタシステムの開発当初から、HP-UX 版 VEE を使用してきた。最初に導入した VEE2.0 からバージョンアップを重ねるごとに機能や操作性が向上し、VEE4.0 以降ではプログラムの実行モードとして「コンパイルモード」が用意され、実行速度も大幅に改善された。また HP-UX 版と Windows 版では OS に依存した一部の機能を除き、データ形式及びプログラムソースコードの互換性が保たれている。今回の試験で初めて Windows 版を使用したが、後述する HP-UX から Windows へのデータ転送も容易に実現することができた。

2.2 ActiveX への対応

Windows 版 VEE の 5.0 以降のバージョンでは ActiveX に対応したことにより、様々なベンダーから提供されている ActiveX コントロールの利用や、Microsoft Word、Excel、Access などのアプリケーションの制御が可能となった。Windows クライアント用の COACK 標準インターフェースも ActiveX コントロールとして提供されていたため、COACK との接続の可能性が出て来たことが試験を行なう切っ掛けとなった。

COACK との接続に先立ち、Windows 版 VEE 上で ActiveX コントロールを実際に使用する試験を行なった。従来の VEE オブジェクトが基本的にシーケンス入出力ピン及びデータ入出力ピンで、フローの制御とデータ受け渡しを行なう方式であるのに対し、多くの ActiveX コントロールではイベントによる割り込み制御、引数による受け渡しを行なう。例題として、画面上のスライダーから機器に設定値を与える場合を考えてみる。

図 1 に “Microsoft Windows Common Control” に含まれる “Slider” ActiveX コントロールを使用した例を示す。ノブをスクロールさせると “Scroll” イベントが発生し、予め定義された “ActiveX_Slider_Scroll” ウインドウ（図 1 右上）に制御が移り設定値を表示する。値はスクロール動作中連続的に変化する。一方 VEE 標準のスライダーオブジェクトでは、設定値はスクロール終了時に初めてデータ出力ピンに発生して “VEE_Slider_Scroll” ウインドウ（図 1 右下）に受け渡される。連続的に変化する値を得るには、より複雑なプログラムが必要となる。この様に ActiveX コントロールによる割り込み制御を有効に使用すれば、既存の VEE オブジェクトのみでは困難であったプログラムを容易に作成できる可能性が高まる。従来型の制御方法との使い分けで、より柔軟なプログラミム開発が可能になったと言える。

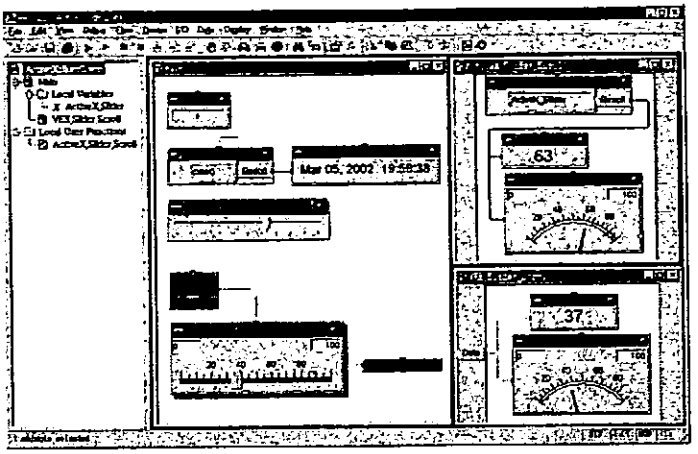


図 1: VEE プログラムの例、ActiveX の利用

3. Windows 版 VEE と COACK との接続試験

Windows クライアントを COACK に接続する手法として、標準インターフェースを使用する方法と、Visual Basic でプログラムを作成する方法とがある。どちらも VEE に組み込んで使用するのは初めての試みであり、より有効な接続方法を探るため、両方の接続方法を試験した。Windows 版 VEE の最新バージョンは 6.0 であるが、試験には VEE5.0 を用いている。

3.1 COACK 標準インターフェースによる接続

COACK には Windows クライアント用標準インターフェースである ActiveX コントロール、“Transport Icon” 及び “Custom Com Button” が用意されている。これは非常に汎用性の高いインターフェースであり、COACK サーバー上に定義された、全てのデバイスやデータにアクセスすることが可能である。これを VEE に組み込んだ結果、デバイスやデータのリストを参照することは可能であったが、データ読込み及び書込み時にはエラーが発生し正常には動作しなかった。この問題は未だ解決されておらず検討事項として残されているが、VEE6.0 での動作は未確認であり、その導入による解決が期待される。

3.2 クライアント OCX による接続

次に、Visual Basic で接続プログラム作成する方法を試みた[2]。VEE に組み込むには、ActiveX コントロール（OCX）化しておく必要がある。これは、LabVIEW を接続する手法として既に実績があり、VEE でも使用が可能であることを確認した。但し現在のところ、OCX 作成時に指定したデータにしかアクセスできず、VEE 側から読み書きするデバイスやデータを指定できないという制約があり、汎用性は低いと言わざるを得ない。5.2 項で、VEE との組み合わせにより、ある程度の汎用性を持たせた使用方法について述べる。

4. 電子陽電子入射器のマイクロ波モニタシステム

4.1 システムの概要

KEKB ファクトリー計画のための電子陽電子入射器のビームエネルギー増強[3]に伴いマイクロ波源にも改造が施された。同時に、入射器には高いビーム安定性も要求されたため、マイク

ロ波源のより安定した運転を目的にマイクロ波モニタシステムを全面的に更新することになった。新しいステムには、マイクロ波電力及び位相の高速且つ高精度な測定が求められ、'94 年度から VXI ベース DAQ システムの検討を開始し、現在までに 30 台の計測系で 60 台の大電力マイクロ波源の出力電力と位相を常時監視するシステムを構築した[3]。

システムの導入にあたり、個々の VXI ベース DAQ システムにはローカルハードディスクを持たないディスクレス構成を採用した。これは設置台数が 30 台と多い事と、設置場所がパルス電源の近傍でありノイズなどの環境を考慮し、ディスククラッシュによるシステムの停止を避けるのが目的である。HP-UX の採用は、ディスクレス構成を実現するのが主な理由である。

4.2 システムの運用

モニタシステムのプログラムとして、個々の VXI ベース DAQ システム上で動作する自動計測プログラムと、加速器制御室にてオペレータが操作するデータ表示系のプログラムとがある。自動計測プログラムでは、DAQ システムが受け持つ数点のモニタ信号を順次選択して電力と位相を一定時間計測、統計処理後 NFS マウントされたサーバーのディスクにデータを保存していく。加速器オペレータは、履歴表示プログラムにより蓄積されたデータの閲覧が可能である（図 2）。また、遠隔操作プログラムを使用すれば、オシロスコープを扱うような感覚で、マイクロ波パワーセンサ及び位相検出器の出力パルス波形を観測することが可能である（図 3）。DAQ システムでは、通常の自動計測と遠隔操作との競合を避けるため、2 つの VEE プログラムの整合を取る必要があった。そこで、両プログラム間の通信手段を検討し、最終的には C 言語で開発した UPD 通信ルーチンを VEE プログラムに組み込むことにした。

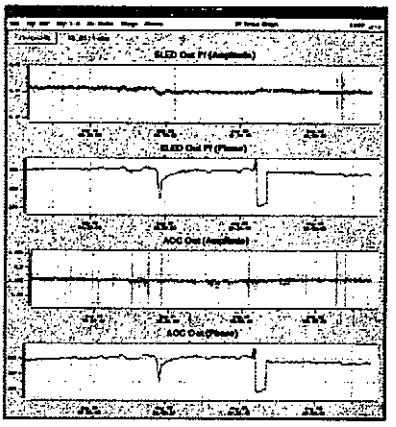


図 2：履歴表示の例

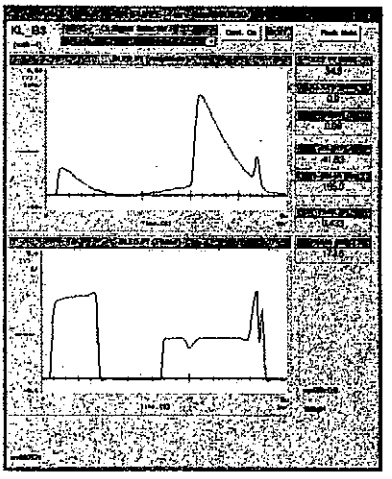


図 3：遠隔操作の例

5. マイクロ波モニタシステムと COACK の接続案

現在、マイクロ波モニタシステムは主にセキュリティへの配慮から入射器の独立したネットワーク上に構築され、測定データは原則として加速器オペレータにのみ提供している。COACK への接続が実現されれば、セキュリティが確保された上で、より広い範囲へのデータ提供が可能となり、メリットが大きい。また、VXI/HP-UX 以外のシステムによる計測系の導入も検討しており、COACK レベルでデータの統合が可能な点も利点として挙げられる。

5.1 接続方法の検討

HP-UX 版 VEE 上で動作しているマイクロ波モニタシステムを COACK に接続する手法としては、以下の二通りが考えられた。

1） HP-UX に Non-Windows システム用インターフェース[4]を組み込む

2） Windows 版 VEE に一旦データを転送し、Windows 用インターフェースで接続する

前者の場合、COACK に用意された、Windows 以外のクライアントに対応するための TCP/IP ソケットインターフェースを利用する。これには HP-UX 版 VEE に組み込み可能な

TCP/IP クライアント・プログラムを新たに作成する必要がある。一方後者の方法では、データ中継用の PC が必要となるが、3.2 項で試験したインターフェース OCX を用いる方法により接続が可能なことは既に確認されている。双方の特徴を検討し、今回は Windows で中継する方法を採用した。HP-UX 上のプログラム変更が僅かな範囲で済む事も、その理由となった。

5.2 データの流れ

現在 HP-UX サーバー上で、個々の DAQ システムから測定データを吸い上げ、全てのマイクロ波源の最新データを保持する VEE プログラムを試験的に運用している。このプログラムに VEE 標準のソケット通信オブジェクトを追加して、Windows 版 VEE にデータを転送することにした。この VEE 標準のソケット通信機能は、受信待ちの状態で他のスレッドがブロックされたり、多重化が不可能であったりと幾つかの制約がある。しかし今回のケースでは 1 対 1 の通信でありデータを中継するだけなので充分使用できると見込んだ。また、送受信する際のデータ形式として「VEE コンテナフォーマット」を指定することでデータの型変換を行なうことなく転送が可能という点が大きなメリットとなる。

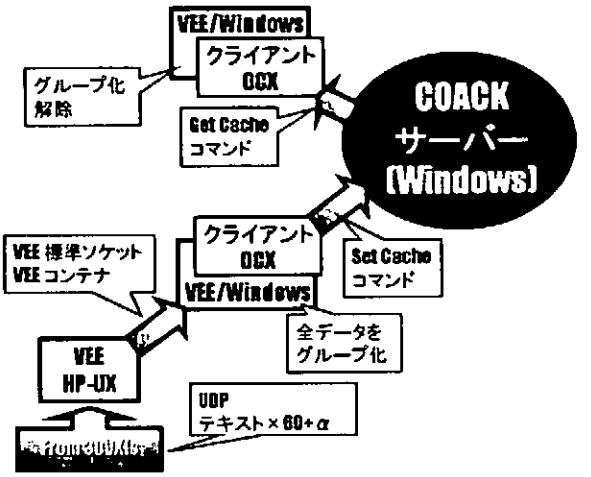


図 4：モニタシステム接続案

一方 Windows 版 VEE には、ソケット通信サーバーと COACK クライアント用 OCX を組み込み、ゲートウェイとして動作させる。ここで一つの問題が生じた。COACK に転送すべきデータはマイクロ波源の台数分、60 個余りあるが、3.2 項で述べた通り、今回作成したインターフェース OCX では一つのデータにしかアクセスできない。そこで、VEE の持つデータ形式変換機能を活用してデータのグループ化を行い、COACK 上で一つのデータとして扱えるよう変換することにした。もちろん、元通りの形式に再変換することも簡単に行なうことができる。図 4 に接続案の概略を示す。現在、個々のコンポーネントの動作確認は取られており、実用プログラムの作成に取り掛かっている。

6. まとめ、今後の課題

Windows 版 VEE に関しては、クライアント OCX による接続が可能であることが確認された。先ずはこの方法で実用プログラムを作成することが当面の目標である。残された課題としては、1）標準インターフェースによる接続、2）HP-UX 版 VEE への Non-Windows インターフェースの組み込み、の 2 点がある。これらについても COACK 開発メンバーとも連携し問題の解決に努め、より有効な接続方法の確立を目指す。

参考文献

[1] 阿部勇 他、「大学・研究所間共同開発プロジェクト COACK」、本研究会報告書
[2] 「放射光入射器増強計画」、KEK Report 95-18
[3] 片桐広明 他、"RF MONITORING SYSTEM IN THE INJECTOR LINAC", ICALEPCS'99
[4] 濁川和幸 他、"GUI AND I/O INTERFACE FOR COACK-II"、ICALEPCS'99
[5] 小菅 隆、「Non-Windows システム用 COACK インターフェース」、本研究会報告書

Non-Windows システム用COACKインターフェース

高エネルギー加速器研究機構 技術部　○小菅 隆
&　COACK 開発チーム

1　はじめに

実験装置用制御システムとして共同で開発されてきた COACK(Component Oriented Advanced Control Kernel)[1, 2, 3, 4] は非常に強力かつ柔軟なシステムであり、様々な機能を有している。COACK ではサーバ内に仮想的な実験装置を構築することが可能であり、COACK サーバに接続するクライアントアプリケーションはサーバ上に構築された仮想的な実験装置にアクセスするだけでよいので、プログラム開発者は実験装置の一部が未完成であってもクライアントプログラムの作成に取り掛かる事が可能である。

COACK は Windows をベースとしたシステムであり、クライアントとサーバ間では通常 DCOM を使った通信が行われているが、他のオペレーティングシステム (以下 OS) の機器をを接続することを考慮し TCP/IP Socket のインターフェースを有している。TCP/IP Socket インターフェースを利用したクライアントとサーバとのコマンドのやり取りは XML を使用して行われるため、DCOM で接続されたクライアントプログラムと同様なことが行える。しかし、逆の言い方をすれば TCP/IP Socket インターフェースを利用するクライアントプログラムは XML を扱わなければならないため、プログラム開発に対する労力が大きくなる事が予想される。これまで、この問題を解決するための一つの方法として STARS(Simple Transmission and Retrieval System)[5, 7] の利用と COACK Bridge の開発を行ってきたが、今回 COACK Bridge について機能向上を目指した改造を行った。ここでは、COACK お STARS 及び COACK Bridge を使った Non-Windows システム用インターフェースの詳細と COACK Bridge の機能向上等について報告する。

2　COACK の TCP/IP Socket インターフェース

TCP/IP Socket インターフェースが使用するポート番号は COACK サーバ管理者が必要に応じて設定することが出来る。ポート番号の設定は COACK の Registry Tool を使って行う。

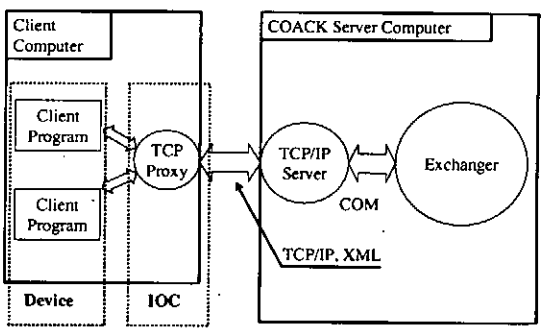


図 1: COACK の TCP/IP インターフェース

2.1　コネクションとセッション

COACK において TCP/IP Socket のポートを Open し、接続を行うことをコネクションという。コネクションは IOC(I/O Controller) 毎に行い、クライアント側ではプロトコルアダプタ (Proxy) を作成する (図 1 参照)。実際の機器などを直接制御するクライアントプログラムは Proxy を通してサーバへの接続 (セッション) を行う。COACK の TCP/IP サーバはシングルスレッドサーバであるため、同一のサーバで扱うクライアントはなるべく少なくする必要がある。実際の通信は DCOM サーバと同様に IOC 単位に行われるので、TCP/IP サーバにおいても IOC 単位にサーバを立ち上げ、TCP/IP コネクションを共有する方式がとられている。もし、複数の TCP/IP コネクションを使用する必要がある場合は Kernel Manager により複数の TCPServer を起動する。この時、各 TCPServer で使用される Socket のポート番号は Registry Tool で設定したポート番号をもとに、1 ずつインクリメントされる。

2.2　*COACK* のコマンドと *XML*

COACK のサーバとクライアントの間で交換されるコマンドは、ネストした繰り返し構造をもっている。そのため CVS 形式等で単純に表現することは難しく、構造を表現するための何らかの手立てが必要となる。COACK の TCP/IP Socket インターフェースではデータ形式として XML のサブセットを定義し、利用することでコマンドを表現するようにしている。

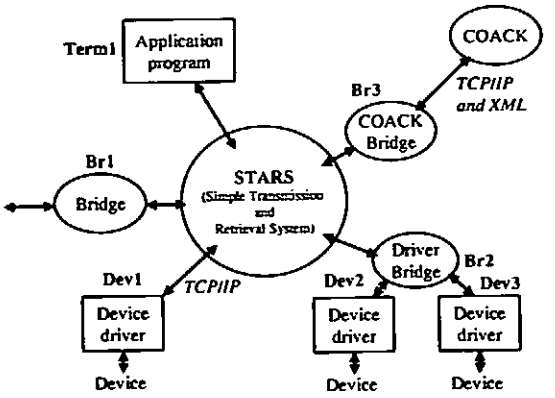


図 2: STARS の概要

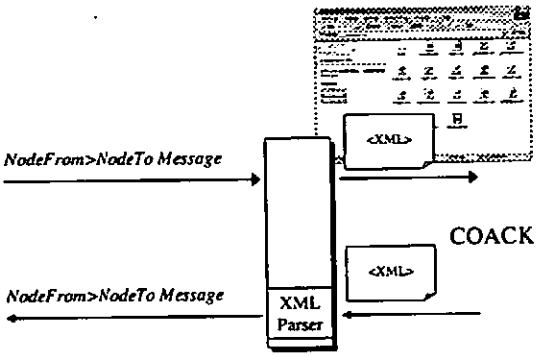


図 3: COACK Bridge

3 STARS との接続

STARS は小規模な制御システム向けに開発されたサーバ・クライアント型のシステムで、複数のクライアントが TCP/IP Socket 利用してサーバに接続することが出来る。STARS サーバは各クライアントから送られてくるメッセージを、そのメッセージ内に含まれる配信先の情報に応じて転送を行う。それぞれの送受されるメッセージはテキストベースでありシステムとしては非常にシンプルである (図 2 参照)。また、サーバ部分は Perl を使用して作成されており、様々な OS 上で動作することが可能である。さらに、TCP/IP Socket 及びテキストベースでのデータ送受を行うだけである為、様々な開発言語を利用することが出来る。

COACK の Non-Windows システム用インターフェースとして STARS を使えば、より多くの OS や開発言語から COACK を簡単に利用できるようになる。なお、もともと COACK とのインターフェースを考慮して開発された STARS は、COACK との親和性が非常に高い。

3.1 COACK Bridge

COACK と STARS を接続するためのプログラムが COACK Bridge である。開発言語としては Perl が使用されている。このことにより COACK Bridge は STARS 同様様々な OS 上で動作可能であり、COACK サーバが動作するパーソナルコンピュータ (以下 PC) 上で動作させることも、COACK サーバとは別の UNIX マシン等で動作させることもできる。また、COACK Bridge は STARS 側から見ると単なる Bridge として見えるだけであり、COACK 側からは IOC に見える。

STARS 側に接続されたクライアントプログラムが CAOCK Bridge に"create"命令を送ると COACK Bridge は COACK サーバに対し、セッション開設作業を行う。クライアントプログラムはセッションの開設後、必要に応じて"flgon"、"flgoff"、"getcache"、"setcache"などのコマンドを送ればよい。COACK 側からはこれらセッションの開設されたクライアントプログラムは、単に Proxy を通して XML データのやり取りが可能なクライアントプログラムに見える。なお、セッションが開設されていない STARS のクライアントについて COACK は一切認識しないので、COACK に不必要なクライアントプログラムを COACK から切り離すことができる。

3.2 メッセージの変換

図 3 に示す通り COACK Bridge は STARS メッセージと COACK 用 XML の変換を行う。まず、STARS からのメッセージを受け取ると COACK Bridge はメッセージ内に含まれるコマンドに応じた XML のテンプレートを呼び出す。XML のテンプレートについては COACK Bridge 起動時に予め読み込んでおくことで、動作速度の向上を図っている。次に STARS からのメッセージを分解しそれぞれの部分をテンプレートにはめ込んでゆく。たとえば受け取ったメッセージが"coast.ARBL.NE01.MBS getcache Status"だとすると、"getcache"の部分から"getchach.xml"を使用することを決定、"ARBL.NE01.MBS"を COACK のコマンド宛先に、"Status"の部分をプロパティーにそれぞれ当てはめてゆく (図 4 参照)。この時、"coast"の部分は STARS における COACK Bridge のターミナル名であるので無視される。その他、タイムスタンプなどの情報もそれぞれ埋め込まれてゆき、最終的にできあがった XML のメッセージは COACK の TCP/IP Socket インターフェースに送信される。

次に、COACK Bridge は COACK からの XML メッセージを受け取ると、内蔵した XML Perser を起動し、順次テキストメッセージに変換してゆく。XML メッセージにはメッセージの宛先の情報も含まれているので COACK Bridge はそれを STARS クライアントの宛先として変換されたテキストメッセージを STARS サーバに送出する。なお、COACK Bridge で使用している XML パーサは XML::Parser モジュールである。

3.3 *STARS* のターミナル名と *COACK* のノード名

STARS では複数の機器を一つのプログラムで制御する事も考慮しており、Bridge と呼ばれるクライアントプログラムを作成することでこれに対応している。Bridge はこの他にも複数の STARS サーバや他のプロトコルのシステムを接続する際に使用される。なお、これまで述べた COACK Bridge もその一つである。

STARS では各ターミナルの識別を行うために予めターミナル名を決めるが、Bridge を経由して接続されるターミナル名については Bridge 名とターミナル名の間にピリオドを挿入してメッセージの宛先等を表現する。たとえば、STARS サーバに対し"Br1"という名前の Bridge を経由して接続されたターミナル"Dev3"に対するメッセージの宛先は"Br1.Dev3"のように表現される。更に、Bridge "Br1"と"Br2"と言う名前の Bridge を経由し接続されたターミナル"Dev2"は"Br1.Br2.Dev2"のように表現される。

一方、COACK では Class Builder Tool 等を使用してサーバ内に仮想の装置クラスが構築される。各ノードの名前については Device クラスとノード名をピリオドでつなげた形で表すことが出来る。たとえば"ARBL"クラスの"NE01"クラス下の"MBS"ノードは"ARBL.NE01.MBS"のようになる。図 5 左は実際のクラス例である。

COACK Bridge を使用すると、これら COACK の各 Device クラスに付属するノードは STARS 側から見た場合、COACK Bridge(ここでは coast と名前付けしてある) を経由し Device クラスと同じ名前の Bridge を経由して接続されたターミナルとして見える (図 5 右)。たとえば COACK のノード"ARBL.NE01.MBS"への STARS 上の宛先は"coast.ARBL.NE01.MBS"と言うことになる。

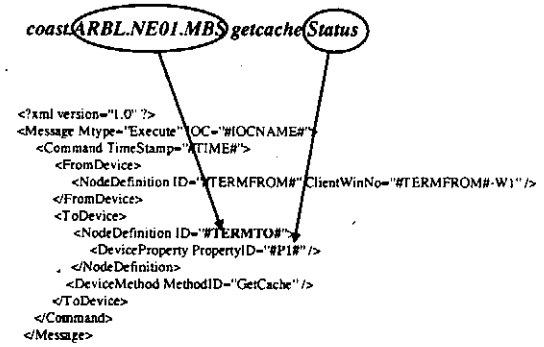


図 4: XML への変換

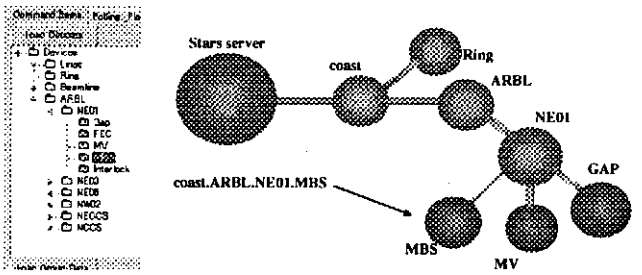


図 5: COACK のクラスと STARS

4 COACK Bridge の改造

これまでの、COACK Bridge は特に大きな問題もなく動作してきたが、幾つかの問題点があった。今回、これらの改善のために COACK Bridge に対し大幅な改造を行った。

4.1 煩雑なソースコードの改善

COACK Bridge の最初のバージョンでは、何よりも動作することが最優先であったため、ソースコード自体が非常に煩雑であった。また、STARS サーバからの入力チェックなども自前で行っていた。今回 COACK Bridge の改造に際し、最初にこの問題を解決することとしたので、後の改造が容易になった。なお、新しい COACK Bridge では STARS サーバからの入力のチェック等は旧 COACK Bridge 作成後に開発した"stars"モジュールを使用している。

4.2 *COACK* のセッション終了に際する問題

これまでの COACK Bridge では COACK のセッションを開設している STARS 側のクライアントが停止すると、そのままセッションが残ってしまうという問題があった。今回この部分を見直し、COACK のセッションを開設し

ている STARS クライアントが停止した場合、COACK Bridge が代行してセッションを終了するようにした。

実際には STARS クライアントからセッションを開設する"create"メッセージが届くと、STARS サーバにそのクライアントに対するイベントの要求 (flgon) 命令を送るようにしている。もし、flgon したクライアントが STARS から切り離されると、その旨を告げるメッセージが STARS サーバから届くので、それをもとにセッションの終了作業を行う。

4.3 *STARS* メッセージに関する手直し

STARS では送られてきたイベントメッセージやリプライメッセージに関しては返事を返してはいけないが、コマンドに関しては必ず返事を返さなければならない事になっている。この仕様に関して幾つかの問題のある XML テンプレートの書き換えを行った。

5 実際の利用

COACK の Non-Windows 用インターフェースとして STARS 及び今回改造を行った COACK Bridge を使用した例を図 6 に示す。

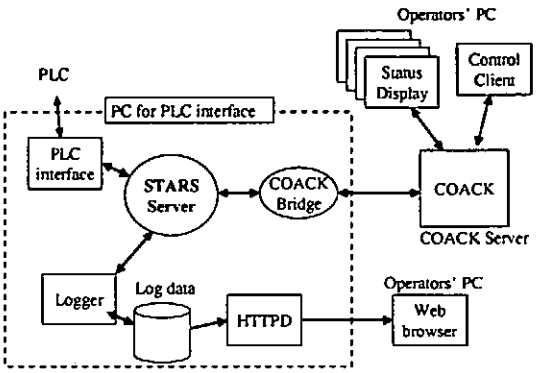


図 6: PF-AR 集中管理システムでの利用例

この例は実際に放射光研究施設 (以下 PF)AR インターロック集中管理システム [6] に利用したものである。ここでは、STARS 及び COACK Bridge は集中管理システムの PLC(Programmable Logic Controller) とのインターフェースを行う PC 上で動作している。なお、このインタフェース用 PC 上では実際に PLC とのデータの送受を行う PLC interface クライアント、ログデータを記録するための Logger クライアントが動作していて PLC のからの情報は STARS サーバと COACK Bridge を経て既存の COACK サーバに転送される。なお、COACK には強力なログデータ管理機構が備わっているが、システム構築当時の事情により非力な PC しか利用できなかったため、ログデータの記録を COACK サーバ以外で行う方式をとっている。

STARS や COACK とは無関係ではあるがインターフェース用 PC 上では Web サーバ (httpd) が動作しており、ログデータの閲覧は Web ブラウザを利用して行うことが出来る。

6 まとめ

以上ここでは、COACK Bridge の詳細及び改造、COACK の「Non-Windows システム用インターフェースとしての STARS 利用」に関する詳細を述べた。

現在 COACK Bridge 及び STARS の動作は良好で、既存の PF 2.5GeV リングビームラインインターロック集中管理システム [8, 9, 10] や今回新たに設置された PF-AR 集中管理システムで安定に動作している。

7 参考文献

[1] I. Abe, et al., "COACK-II PROJECT ON ACCELERATOR CONTROL KERNEL DEVELOPMENT", ICALEPCS'99, Trieste, 1999

[2] T. Kosuge, et al., "COACK APPLICATION FOR THE BEAMLINE INTERLOCK SYSTEM AT THE PHOTON FACTORY", PCaPAC2000, Hamburg, 2000

[3] I. Abe, et al., "Recent status on COACK project", PCaPAC2000, Hamburg, 2000

[4] 阿部勇 他, "大学研究所間共同開発プロジェクト COACK", 本技術研究会, NIFS

[5] 小菅隆, 斉藤裕樹, 伊藤健二, "計測・制御用簡易メッセージ配信システムの開発", 東北大学技術研究会報告 (2001) 220

[6] 斉藤裕樹 他, "PF-AR の新しいインターロック集中管理システム", 本技術研究会, NIFS

[7] 小菅 隆, 小山篤, "簡易メッセージ配信システム (STARS) の入退室管理システムへの応用", 本技術研究会, NIFS

[8] 小菅隆, 斉藤裕樹, 伊藤健二, "放射光ビームライン・インターロック集中管理システム", 核融合科学研究所技術研究会報告 (1991) 172

[9] 斉藤裕樹, 小菅隆, 伊藤健二, "LAN を用いたインターロックシステムの監視", 核融合科学研究所技術研究会報告 (1994) 228

[10] 小菅隆, 斉藤裕樹, 伊藤健二, "放射光ビームライン・インターロックシステムとネットワーク" KEK Proceedings 95-14 (1996) 23

PF-ARの新しいインターロック集中管理システム

高エネルギー加速器研究機構　○斉藤　裕樹、小菅　隆、伊藤　健二
&　ＣＯＡＣＫ開発チーム

１．はじめに

高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所フォトンファクトリーでは2.5GeVのPFリングおよび6.5GeVのPF-ARリングからのシンクロトロン放射光を利用して様々な分野の研究が行われている。PFリングの実験ホールには21本の、PF-ARリングの北東実験ホールには３本のビームラインが設置されており、それぞれのビームラインには放射光利用者の放射線被爆からの防護、ビームライン構成要素の保護のためのビームライン・インターロックシステム(BLIS)[1,2,3]が設置されている。これらのBLISはそれぞれPF集中管理システム[4]、PF-AR集中管理システムに接続され安全な放射光利用実験の遂行のために統合的に管理・制御されている。ところが、PF-ARリングにおいて北実験ホール、北西実験ホール(建設中)にビームラインが建設されることになり、複数の実験ホールを管理・制御する新しいPF-AR集中管理システムが必要になった。今回報告するのがこの新しいシステムである。

２．旧システムの概要

北東実験ホールにはビームラインがBL-1,3,5の３本存在し、ビームラインにはビームライン・インターロックシステムのほか、挿入光源のGapなどを制御する挿入光源コントローラとメイン・ビームシャッターを制御する基幹部コントローラが設置されている。旧PF-AR集中管理システムはこれらを統合的に管理・制御するとともにPF-AR加速器コントロールシステムとも接続され、放射線安全及びリング運転に関わる重要な信号の送受を行っていた。また、トラブルの原因調査等のためにステータスのロギングも行っていた。しかし、複数の実験ホールのビームラインに対応できるシステムではなかったため、新システムを考案することとなった。

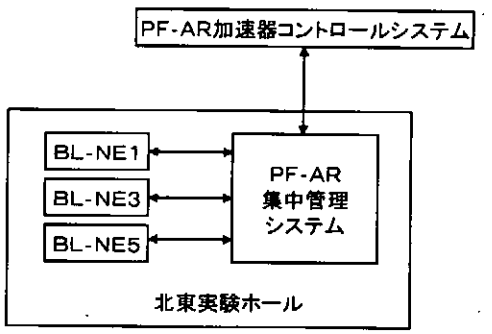


図１：旧システム概要

３．新システムの考案

新たに建設されるビームラインは北実験ホールのBL-NW2と北西実験ホールのBL-NW12の２本であるが、北西実験ホールでは今後ビームラインが増えることが予定されている。北東実験ホールを含め３ヶ所の実験ホールで５本以上のビームラインを新システムは管理することになる。送受する信号数を考えると１ヶ所にすべての信号を集めることは現実的ではなく、各実験ホールにそれぞれ集中管理システムを設置する分散型を考えた。PF-AR加速器コントロールシステムと接続される北東集中管理システムをメイン、その他の実験ホールに設置される集中管理システムをサブとし、重要な信号だけをメインシステムと送受することにした。このシステム製作にあたり以下の項目を考慮した。

1）送受信号の増減に対応できること

実験ホールごとにビームラインの数や接続機器が違うため、送受信号の増減及び信号内容(電圧、無電圧等)の違いに対応出来なければならない。これには外部機器との接続に端子台、リレーを用いることで対応する。

2）各集中管理システムのステータスが容易に確認できること

重要な信号以外のステータス確認には、それぞれの実験ホールまで出かけて行く必要がでてくる。これを解消するために、ロギング用パソコンをネットワークに接続し、ネットワーク経由でモニタリングすることで容易にステータス確認が行えるようにする。

3）低価格であること

可能な限り既製品でシステムを構成することで価格を抑える。専用品、特注品は同じ機能を持った既製品よりかなり割高になるためである。

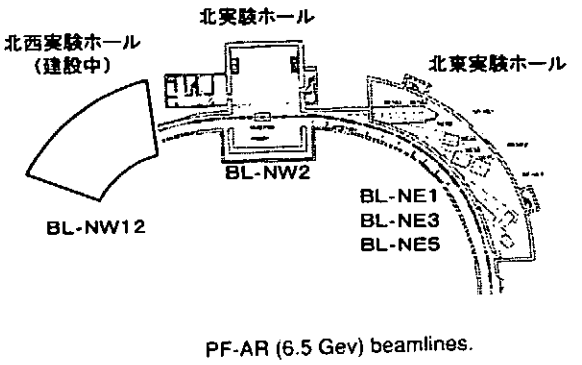


図２：現在のＰＦ・ＡＲ

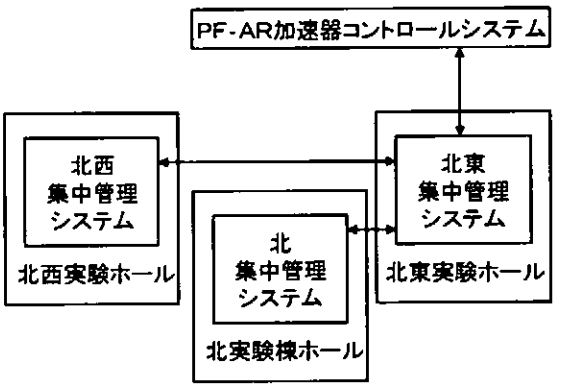


図３：新システム概要

4．新システムの構成

ロジック処理部には、接続する I/O 数からOMRON製シーケンサーCS1Gを選んだ。ステータス表示機器にはシーケンサーとの相性を考え、OMRON製液晶タッチパネルNT631Cを使用することにした。これらはNT Linkとよばれる通信規格で接続される。ロギング用パソコンにはLogitec 製のラックマウント型を使用し、シーケンサーとは RS232C で、ネットワークとはEthernet で接続される。I/O用電源（24V）と外部機器接続用の端子台及びリレーは汎用品を用い、シーケンサー及び外部機器との接続には多芯ケーブルと圧着端子で配線される。このように今回の新集中管理システムは既製品だけで構成されている。

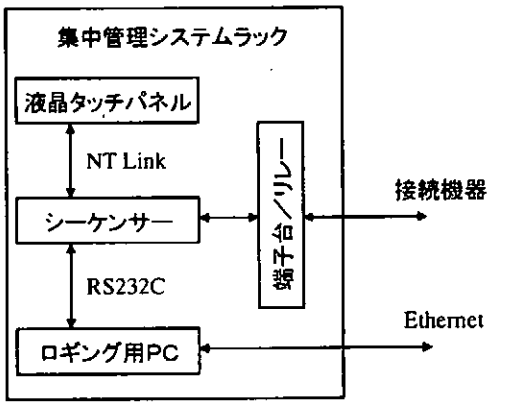


図４：新システムの構成

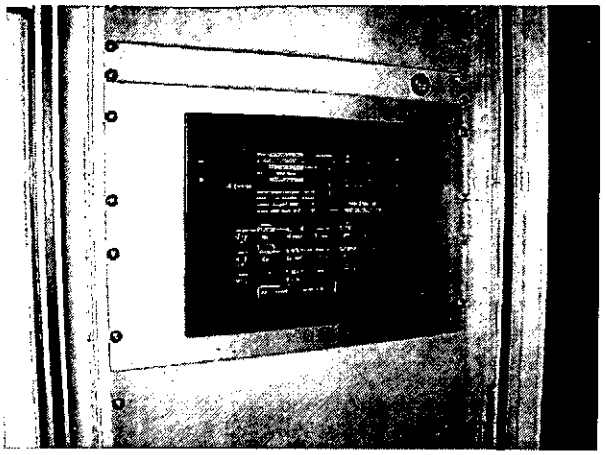


図５：ステータス表示画面



図６：システム背面

５．ロギング

シーケンサーとロギング用パソコンはRS-232Cで接続され9600bpsで通信が行われる。シーケンサーは各種ステータスを監視しており、ステータスに変化があった場合はそのデータをパソコンに送信してロギングする。しかし、通信速度が遅いため大量のステータス変化があった場合、データがオーバフローしてしまう危険性がある。これを防ぐため、シーケンサーのメモリーにデータを一旦スタックさせてから送信するプログラムを採用している。ロギングシステムにはPF集中管理システム同様STARS(Simple Transmission and Retrieval System)[5]を利用している。

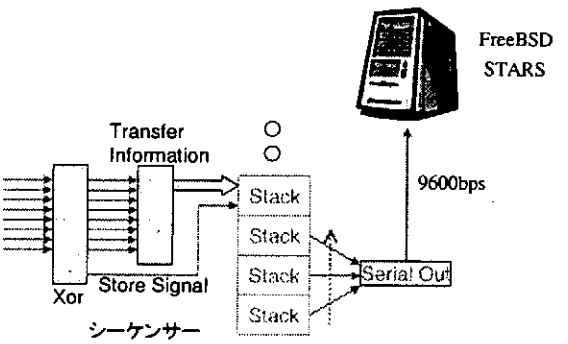


図７：データのバッファリング

６．モニタリング

ネットワークを利用してのモニタリングシステムには、安定性及び信頼性についてすでに実証されているCOACK(Component Oriented Advanced Control Kernel)[6,7,8,9]を用いる。COACKはすでにPF集中管理システムのモニタリング及びオペレーションに使用されているので、同様にこのインターロック専用ネットワークに接続し、ビームラインのモニタリングを行う。ステータスデータはロギング用パソコン上で動作しているSTARSからCOACKサーバーに送られ、ステータス表示ソフトはCOACKサーバーに直接接続して表示を行う。なお、ステータス表示ソフト作製にはVisual Basicを用いた。

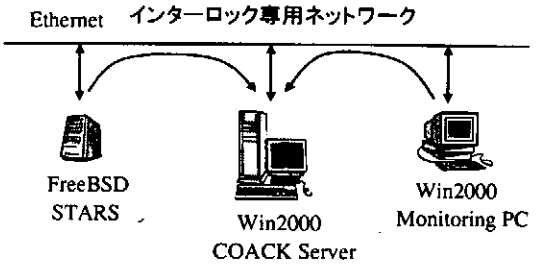


図８：モニタリング

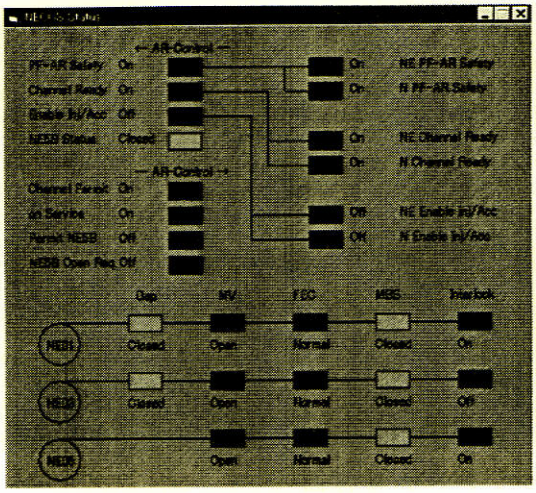


図９：ステータス表示ソフト

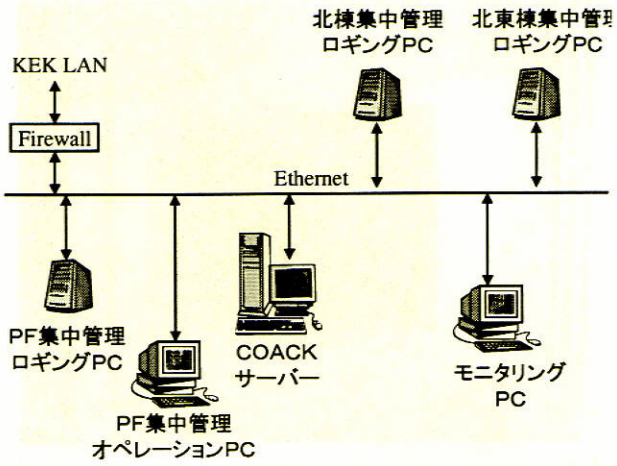


図１０：専用ネットワーク

７．まとめ

北東集中管理システムと北集中管理システムはすでに完成しており、現在２台での順調な運転を行っている。新システムを作る上で目指した重要項目も、端子台及びリレーを外部機器接続に使用したことにより将来の信号拡張、変更にも柔軟に対応できること、ネットワークに接続したことで専用ネットワーク上なら、どこからでもPF-AR実験ホールのステータスが確認できること、既製品のみで構成され安価に仕上がったことなど、十分に達成できた。現在のところ、インターロックという性質上安全のため専用ネットワーク外からのアクセスを禁止しているが、今後は所内ネット経由でのモニタリングを可能とするシステムを開発していく予定である。

８．参考文献

[1]小菅隆,佐藤能雅,"放射光ビームラインの真空保持及び放射線安全安全用インターロック系",名古屋大学プラズマ研究所技術研究会報告(1988)206

[2]小菅隆,斉藤裕樹,伊藤健二,"ビームラインインターロックシステムにおけるシーケンサー自動生成の試み",技術研究会報告 1996・東京分科会(1997)59

[3]小菅隆,斉藤裕樹,伊藤健二,"新ビームラインインターロックシステム",KEK Proceedings 99-16(1999)

[4]小菅隆,斉藤裕樹,伊藤健二,"放射光ビームライン・インターロック集中管理システム",核融合科学研究所技術研究会報告(1991)172

[5]小菅隆,斉藤裕樹,伊藤健二,"計測・制御用簡易メッセージ配信システムの開発",東北大学技術研究会報告(2001)220

[6]I.Abe,et al.,"COACK-II PROJECT ON ACCELERATOR CONTROL KERNEL DEVELOPMENT",ICALEPCS'99,Trieste,1999

[7]T.kosge,et al.,"COACK APPLICATION FOR THE BEAMLINE INTERLOCK SYSTEM AT THE PHOTON FACTORY",PCaPAC2000,Hamburg,2000

[8]I.Abe,et al.,"Recent status on COACK project",PCaPAC2000,Hamburg,2000

[9]安部勇,他,"大学研究所間共同開発プロジェクト COACK",本技術研究会,NIFS

JAERI/KEK６０ＭｅＶ陽子リニアックのための タイミングシステム

高エネルギー加速器研究機構
○門倉 英一、島崎 昇一、石田 忠治

１．はじめに

原子核研究所と高エネルギー加速器研究機構による大型ハドロン計画のための予備実験施設である60MeV陽子リニアックにタイミング・システムを構築した。加速器の運転は、いろいろなモードがあり速やかに対応できるようなタイミング制御システムを設計する必要があり、装置としての操作性、信頼性、拡張性、維持管理の容易なシステムを作る必要がある。これらを考慮して（１）タイミング信号は基本スタート信号及び、基本クロック信号は光信号により転送する。（２）タイミング回路はモジュール形式とし、高速用回路はNIMモジュールにし、その他は汎用性のあるシーケンサのI/Oとして製造する。（３）すべてのモジュールはシーケンサに接続し、シーケンサにより管理を行う。以上のことを念頭において、タイミング用モジュールを開発しシステムを構築したので報告します。

２．システム構成

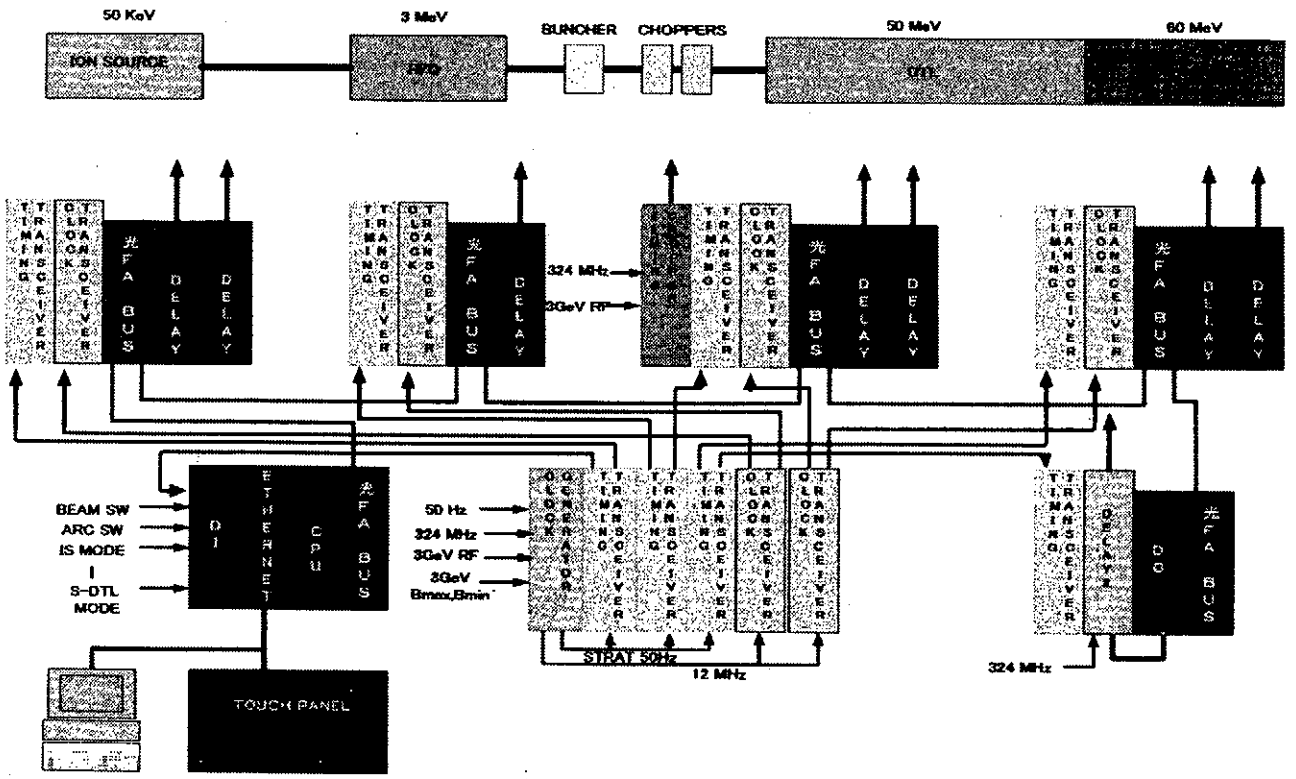


図１ 60MeVタイミング・システム

将来計画である大型ハドロン計画は、多段の複合加速器で600MeV陽子リニアック、3GeV陽子リング加速器 及び、50GeV陽子リング加速器からなる。リニアックは50Hz(20msec)運転し、ビ

ームを 25Hz(40msec)で 3GeV 陽子リング加速器に入射し、25Hz で核変換実験施設に供給する。60MeV タイミング・システムでは 3GeV 陽子リング加速器への入射を考慮して構築した。

60MeV タイミング・システム構成を図 1 に示す。すべてのタイミングは 1 台のシーケンサ(PLC)により管理する。すなわち、タイミング・ゲート（20msec 毎）のコントロール及び、各種タイミングのデレー時間の設定を行う。各タイミング・ステーションは機器の近くに分散して設置した。ステーション間はケーブル長で 50m 間隔に置かれている。基本クロック及び、基本タイミング信号は伝搬時間安定化光ケーブル(±5ps/km･℃)を使用し転送している。このケーブルを使用することによりノイズの影響及び、信号のジッタを抑えている。各ステーションのデレー・モジュールは基本クロック及び、基本タイミング信号でタイミング信号を作り、PLC のゲート・コントロール後にタイミング・パルスが機器に送られる。また、操作用パネルとしてタッチパネルを置き、タイミング・ゲート及び、デレー時間の設定を行っている。

3．タイミング制御用モジュール

すべてのタイミング・モジュールは、PLC モジュールと NIM モジュールして製造した。NIM モジュールの設定値の Read/Write に関しても、PLC DI/O モジュールを通して行っている。上位計算機から PLC のイーサーネットを通してすべての制御が可能である。

基本的タイミング･モジュールは信号転送用として Timing Transceiver、Clock Transceiver、タイミング時間遅延用として Timing Delay1、Timing Delay2 を製造した。Timing Delay1 が PLC モジュールでそれ以外は NIM モジュールである。次にタイミング・モジュールについて説明する。

3．1 Clock Generator（図 2 参照）

テスト的モジュールでリニアックのビームの繰り返しである 50Hz を 3GeV リングからもらうか、内部の電源同期か、自己発振器により作る。3GeV RF Clock も 3GeV リングからもらうか、内部の自己発振器により作る。 Delay1 用クロックはリニアック RF の加速周波数である 324MHz を 1/27 に分周して 12MHz を作る。RF の加速周波数がないときも自己発振器により作る。

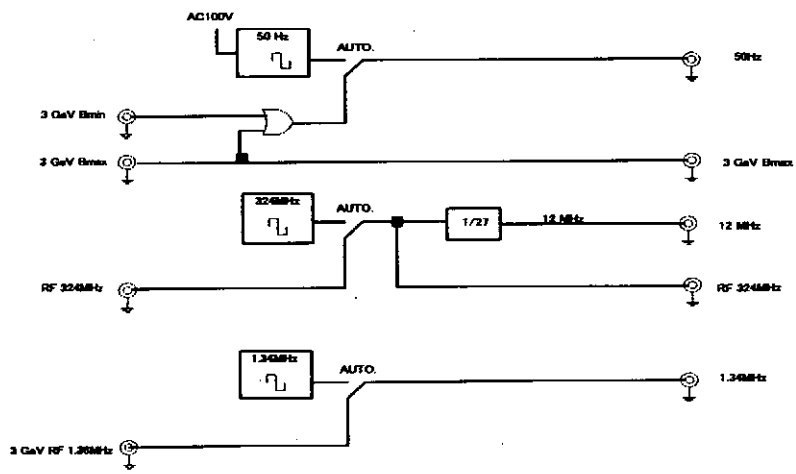


図 2　Clock Generator

3．2 Timing Chopper(図 3，図 4 参照)

リニアックにより加速されるビームは図 4 に示すように、3GeV 陽子リングの Bending 磁場がボトム時、リングＲＦ周波数に同期させて 3GeV 陽子リングに送る。回路中の Start,Stop Counter の設定値により、リングＲＦ周波数の半周期内に 324MHz で加速されるビームを何個（Stop－Start）入れるか決定する。すなわち、この半周期内のビームを必要とする以外のところ（Chopper Gate）を Chopper によりカットする。このようにリングＲＦ周波数の半周期内にビームを入れることによりビームロスを少なくする。

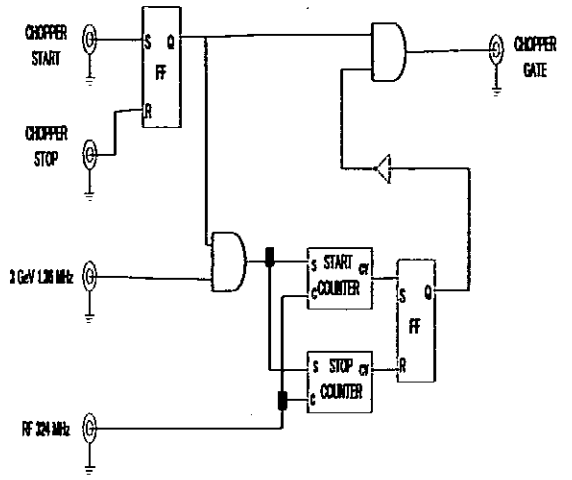


図３Timing Chopper

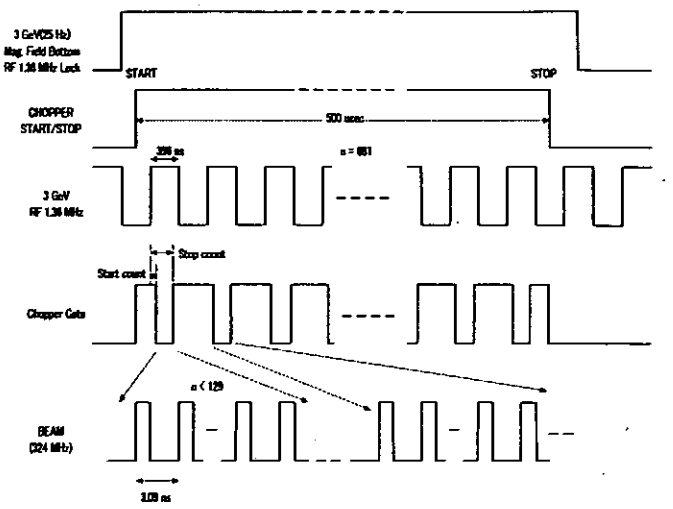


図４ビームとChopper Gate

３．３Timing Transceiver(図５参照)

基本となるTimingのTriggerをEO変換して光ケーブルに出力する機能と、TimingのTriggerを光ケーブルから受けてOE変換して出力する機能を持つ。

モジュール内に２チャンネルのTransceiver内蔵している。ジッタは送受信で±30psecに抑えている。

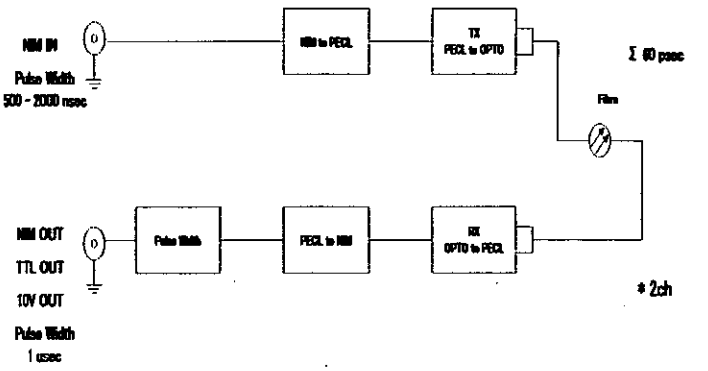


図５Timing Transceiver

３．４Clock Transceiver(図６参照)

基本となるTimingのClockをEO変換して光ケーブルに出力する機能と、TimingのClockを光ケーブルから受けてOE変換して出力する機能を持つ。

モジュール内に２チャンネルのTransceiver内蔵している。ジッタは送受信で±45psecに抑えている。周波数としては1.2GHzまで可能である。

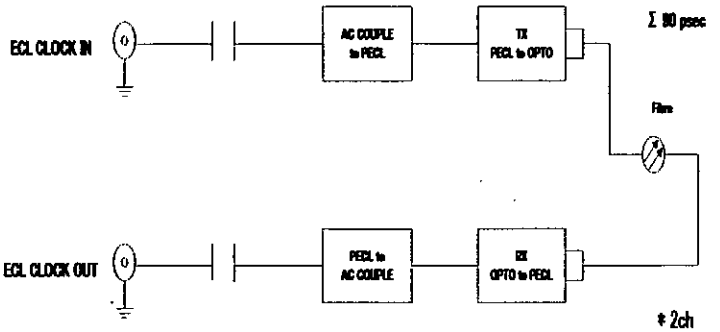


図６Clock Transceiver

３．５Timing Delay1（図７参照）

PLCモジュールとして開発したもので内部にFPGAチップを入れ24bitプリセット・カウンターを４チャンネル持たせた。各チャンネルの出力には、イネーブルゲートを付けPLCの出力命令によりコントロールする。また、カウンターの設定値はPLCにより Read/Write する。

Start は４チャンネル共通で Start がかかるとプリセット・カウンターを働かせ、設定値をクロックパルスにより減算していき、ゼロになった時点でパルス出力を出す。

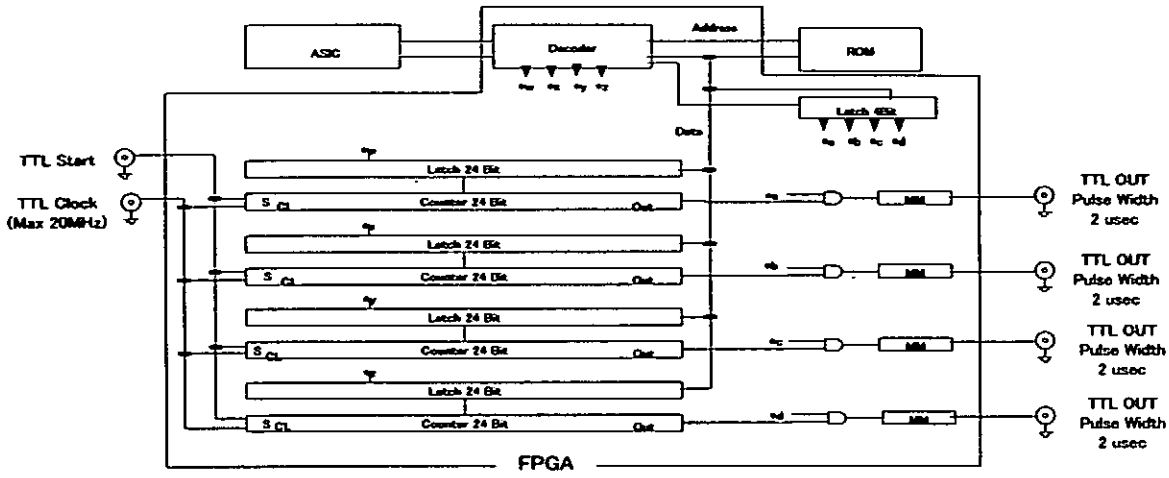


図7 Timing Delay1

3．6 Timing Delay2(図8参照)

NIM のモジュールとして開発し、高精度の遅延時間を設定する場合に使用する。最高 400MHz のクロック信号を数える 30bit のプリセットカウンターを持っている。また、内部には 1.39nsec から 3.63 nsec まで 20psec ステップで変えられる Delay Line を持っている。モジュール内に２チャンネル内蔵している。

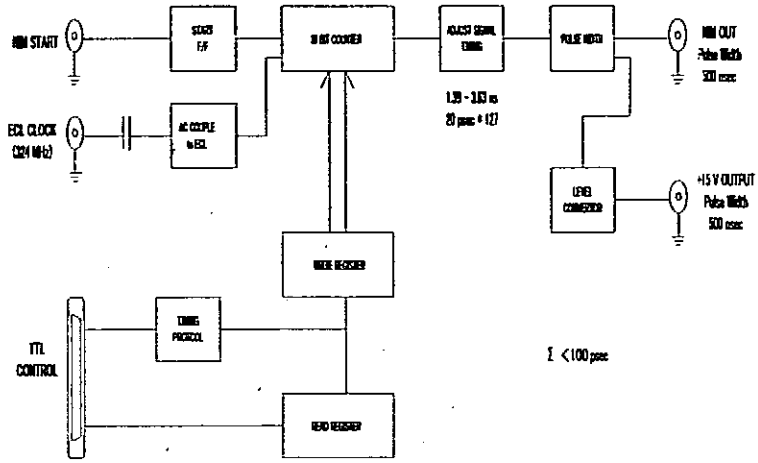


図8 Timing Delay2

4．PLC ソフトウェア(図9参照)

ライナックの加速周期の基になる 50Hz でビームを加速するので 20msec 間隔で各タイミング信号に Gate をかけてコントロールする。各タイミング信号にかける Gate 信号は PLC の CPU 内のメモリにパターンとして記憶させる。PLC の CPU に加速周期 50Hz で割り込みをかけ、メモリ内のパターンの縦列を呼び出し、各タイミング信号の Gate 信号として出力する。

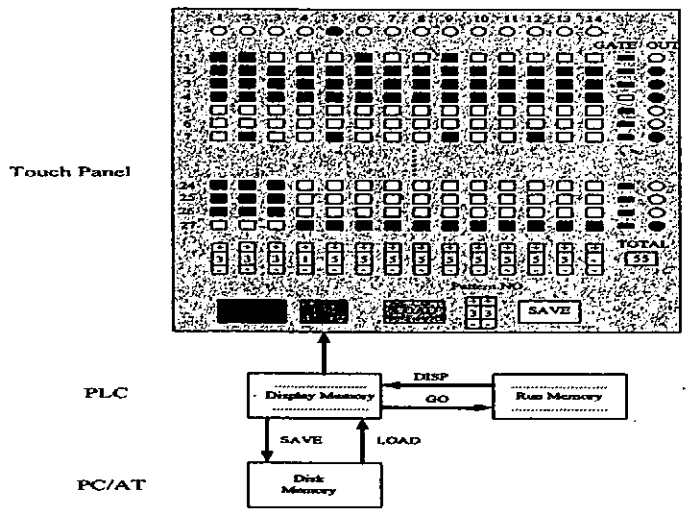


図9 タッチパネルと PLC

5．おわりに

タイミング・システムの時間精度を上げるためにジッタが少ない EO,OE 変換器を選択しなくてはならない。大型ハドロン計画では伝送すべきタイミング信号を１本の光ケーブルに乗せる多重転送方式にする必要がある。

機器基準電位代表接地極の重要性

東京大学原子力研究総合センター　安本　勝

1．始めに

システムが大きくなると接地系統の電位を等しくすることは一層難しくする。柔構造的接地構成は、このようなことが原因で引き起こされるノイズトラブル対策に威力を発揮する。この柔構造的接地システムを適用しやすくするため、電気機器モジュールに代表接地極を設ける、あるいは筐体を代表接地極と見なせるようにすることは柔構造的接地システム構成上重要である。しかし、システム構成機器モジュールには、柔構造構成上必要な電位代表接地極構成を困難にする例が多い。この多くは、極端に言ってしまえば、ノイズ対策がシステムを構成する電気電子機器モジュールで完結するものとして考えられ他の構成機器モジュールと連携することまで考えられていない、言わば利己主義的なモジュール構成方法が原因である場合が多い。この問題点について報告する。

2．柔構造的接地システム（図1）[1]

以下の3点は柔構造的接地システムを構成する必要要件である。本報告で対象としているのは、(1)の要件である。

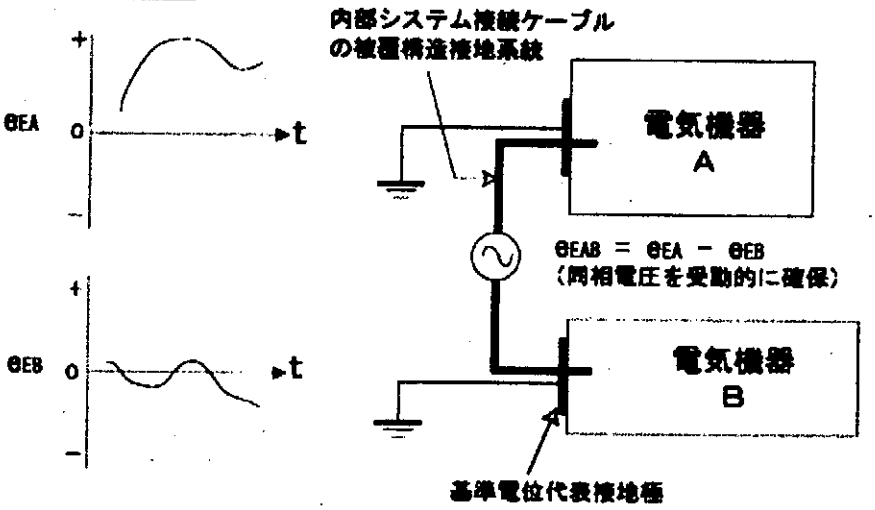


図1　柔構造的接地システムの構成

(1) 電位代表接地極の確保　モジュール毎に電位代表接地極を設け、出入りするケーブル類の接地系電位はその接地極電位にする。小さなモジュールでは、多数のコネクターの取り付け面積を考えると、電位代表接地極を設けることは難しい。このような場合、インピーダンスを小さくした筐体を電位代表接地極とする。

建物の場合、ガス管や水道管等のような電気導体を引き込む場合も電位代表接地極を通して引き込むことが必要になる。

(2) 接地極間電位差の相殺　システム内のモジュール間の電位差は同相電圧で相殺する。モジュール間の電位差はケーブル部分で同相電圧を能動的に加えて相殺する方法も可能であるが、複雑であり管理が必要になることを考慮すると、現実的ではない。一方、モジュール間の電位差は、超高透磁率材によるトロイダルコアにケーブルを通すことで受動的に得て相殺する方法がある。これは簡易で管理する必要もなく現実的な方法である。

(3) システム接地系統内の低インピーダンス化　システムのモジュール間のケーブル接地系

統は被覆構造化して低インピーダンスにする。システムの接地系統は、線状で独立に構成する方法で用いられる例が多いが、この方法はシステム内の接地系統のインピーダンスを高くしてしまう。システム内の接地系統は、対象システム内ケーブルの接地系統を被覆構造化することで低インピーダンスにすることが可能である。

3．接地系統で接地極を構成する場合の問題点

3-1 筐体の問題点

筐体骨組みとカバーとの電気的接続不良で、筐体のインピーダンスが低くできず、筐体電位一定が得難くなっている例が多く存在する。電気的接続不良の原因は、防錆、あるいは美観の目的で行う表面処理膜が電気的絶縁物であるために発生している。筐体がこのような状態になっている例は多い。

3-2 接地系統の配線上の問題

(1) システム内部ノイズ　線状で独立に配線されている場合が多い。そのため、インダクタンス依存域の周波数成分に対する接地系統インピーダンスを高くしている。接地系統のインピーダンスを下げるためには、システム内部の信号・電源系統から見たインダクタンスを小さくすることが必要である。そのため接地系統は、線ではなく、対象電気系統ケーブルを被覆する構造にすることが基本になる。それが難しい場合、できるだけ幅広の接地系統にし低インピーダンスにすることが必要になる。

(2) システム外部ノイズ　システム外部からシステム内部に侵入するノイズはシステム接地系統に接地電位差に相当するノイズ電位分布を作ることになる。そのための対策方法は、主に影響を受けるケーブル部分の接地系統は幅広線を並列に接続して外部ノイズに対してインピーダンスを小さくするか、あるいはケーブル部分では2(2)を適用して、受動的に外部ノイズ電圧分の同相電圧を確保して相殺する方法がある。

3-3 複数接地極の問題点

(1) 電気機器　接地極が複数存在する場合があり、それぞれの接地極間に、また信号系統や電源系統ともノイズ電圧が現れている。これは、各系統を完全に独立にできない状態であるにもかかわらず、複数の接地極を設けるために生じる。単独で使用する場合、この問題は生じないが、システムの中に組み込む場合、複数接地極に対応した複数接地系統を独立にすることの困難性から、ノイズ源になる例が多い。複数接地極を設ける場合は、測定上、高インピーダンスを必要として、それだけで独立の系が確保できる場合に限られる。

(2) 建物電気設備　鉄筋コンクリートあるいは鉄骨製の建物の構造体接地抵抗は一般的に小さい。一方、電気設備の接地は、通信の接地も含めて統合接地の方向にあるものの、新設の場合でもまだA種、B種、C種、およびD種それぞれに分けて接地している場合が多く、それらの接地抵抗は建物構造体接地抵抗よりも大きい。そのため、電気設備の漏洩電流は大半が建物導体に循環してしまう問題、および電源ラインの対地電圧が上昇する問題[2]が発生する。個別接地は、構造物が導体とみなせ、かつ構造体接地抵抗が小さな鉄筋コンクリートや鉄骨構造建物への適用には問題が生じる方法である。文部科学省の電気設備施工基準の接地方法は同様の個別接地が基準になっており、建物設置部局の意向が無ければ個別接地が実施されることになる。

3-4 電気機器モジュールの接地系統における電位分布の存在

電気機器モジュール、例えばターボモレキュラ真空ポンプをそのままシステムに組み込むとそのターボモレキュラターボポンプ接地系統の電位分布の存在からシステム内の接地系統にノイズ循環電流を流す原因になる。

筐体が起因するものについては3-1の対策でよいが、制御部筐体とポンプまでのケーブルについては超透磁率トロイダルコアにケーブルを通すことで同相インピーダンスを高めることで逃げにくくする方法、別の方法としてビームダクトに取り付けるターボモレキュラ真空ポンプのポンプ部はシステムの接地系になるビームダクトと絶縁させる方法がある。

4．対策しやすくするためには電位代表接地極確保が必要

電位代表接地極を確保することでノイズトラブル原因の追求がしやすくなるだけではなくノイズ対策も行いやすくなる。

4-1 システムに組み込むモジュールが小さな場合

モジュールが比較的小さな筐体になる場合、筐体を代表接地極にする。筐体は極めてインピーダンスが小さな接地系統を作る。ただし骨組みとカバーには電気導体であるものを使用し、相互の電気的接続を良好にすることが必要である。モジュールが小さい場合、ケーブルで出し入れするコネクターのスペースは無視できない。このような場合、筐体のインピーダンスを小さくすることで筐体を機器基準電位代表接地極に代用できる。

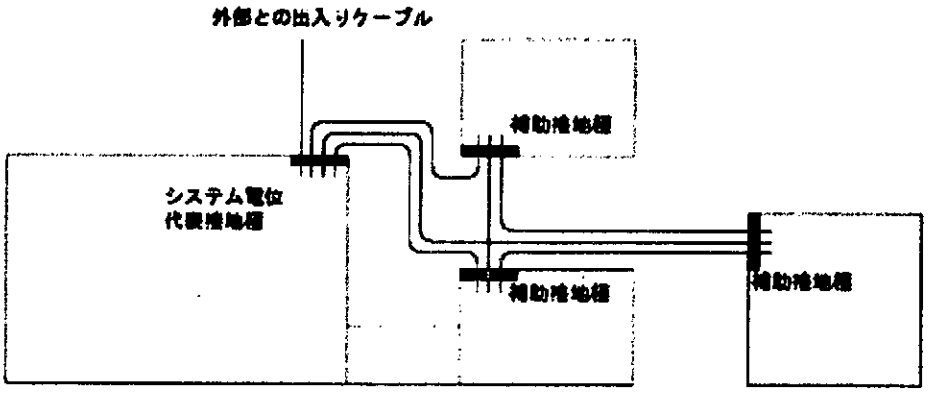


図2 大システムの接地極構成方法
システム外部とはシステム電位代表接地極を通して行う。
システム内部の接続は補助接地極を通して行う。

4-2 大きなシステムの場合[3]

大きなシステムでは、図2に示すようにシステム全体を代表する接地極に加えて、等電位が確保できる単位にまとめて補助代表接地極を設け、その単位間はその補助代表接地極を通してケーブル類、配管等導電性構造物を出し入れすることで柔構造的な対策が可能になる。特にケーブルで接続分離された複数筐体では必要な方法である。

4-3 モジュールの接地系統の電位分布が避けられない場合

代表的接地極以外筐体部の絶縁を確保する。例えば、先の例のターボモレキュラポンプのようにケーブルで接続され等電位を確保し難いモジュールは、それを組み込むシステムの筐体（ビームダクトも含む）を含む接地系統とは電位代表接地極以外絶縁を確保する。

絶縁確保が難しい場合、例えば床面に低インピーダンス接地面を作るなどして、等電位を確保する。

4-4 鉄筋コンクリートおよび鉄骨建物の場合（図3）[1]

鉄筋コンクリートおよび鉄骨建物は建物全体の代表接地極と電気設備の代表接地極を分けて

考える。別々にする理由は、通常だと安全のため変圧器二次側に設けなければならないB種接地を介して大半の漏洩電流が建物導電体構造物に循環することを防止するためである。両接地極間に抵抗を入れることで電気設備の漏洩電流は、大半を接地線に集めることが可能になる。前者の建物全体の代表接地極は、建物内の基準になるもので、建物に出入りする電源線・通信線の接地系統、ガス管等導体と電気的接続を確保し電位を同じにすることが必要である。

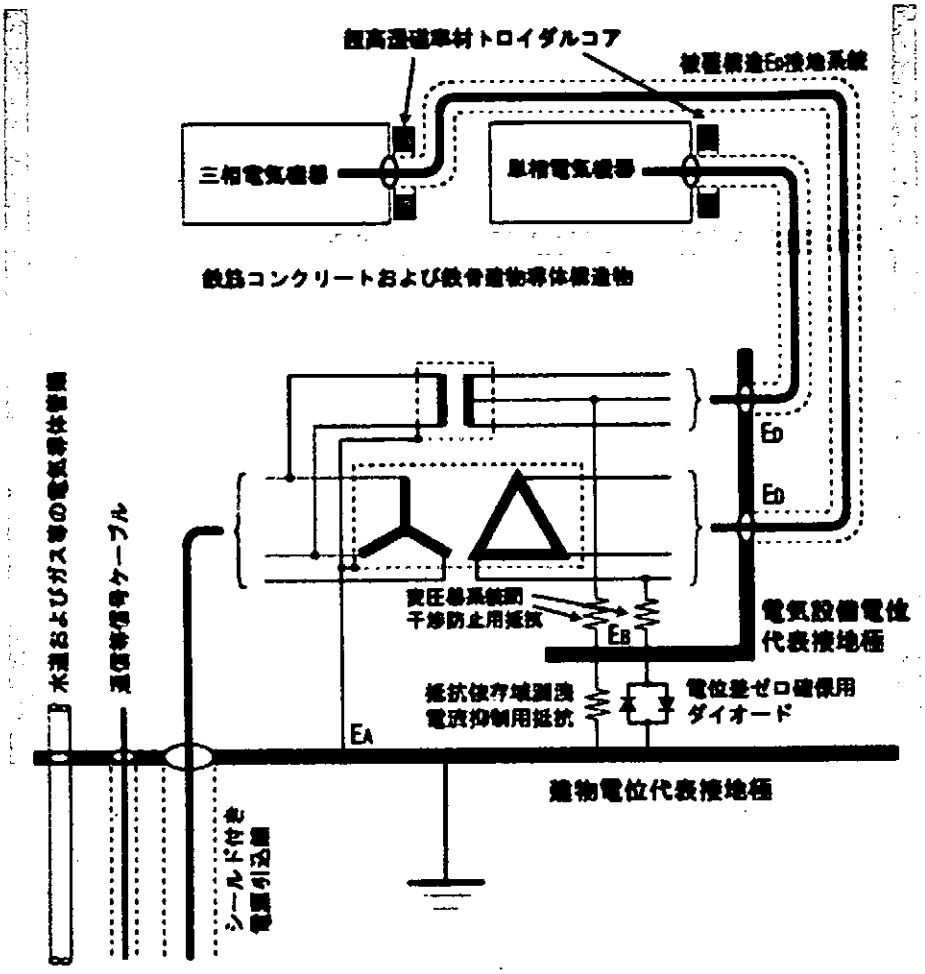


図３　ノイズ対策を考えた建物電気設備の接地系統

５．まとめ

筐体の電気的接続が良好で無いことにより、接地系統の電位が一定でなく、電位代表接地極を構成しにくくする例が多いこと、実験装置や購入機器に複数の接地を要求する例が多くあるが、その必要性は安全面でもノイズ対策面でも回路的に説明がつかない場合が多く、それが逆にノイズトラブルを引き起こす結果になっている場合が多いこと、及びノイズ対策に設けたA種接地がノイズを引き起こす原因になるため、使用しない例があること、こうした接地の問題が身近に多くある。本報告が、今後、接地系統を考える場合、また接地系統が原因でノイズトラブルが生じた場合、等の参考になれば幸いである。

【文献】

(1)安本:「接地ｼｽﾃﾑの新しい考え方」, 第11回東京大学工学部技術発表会, 5-9('96-7).

(2)安本:「電源の対地電圧上昇事故解析による感電・ﾉｲｽﾞ対策」, 第8回東京大学工学部技術発表会, 39-42('93-7).

(3)安本:「実験現場でのﾉｲｽﾞ対策」, 第8回東京大学原子力研究総合ｾﾝﾀｰ技術発表会技術報告, 13-34('99-8).

指向性を持った力測定用はりの研究

東北大学大学院工学研究科
阿部 幸勇

1．はじめに

機械や構造物における力と応力の測定は安全性と設計の最適化のために大変重要であり，橋梁，ダムなどの大型構造物から様々な機械部品にいたるまで，設計段階から行われている．

応力測定のための工業分野における計測器として力変換器が開発されており，機械加工の分野では古くから切削における３分力を検出する動力計として弾性リング式の動力計（八角弾性リング）が用いられている．また最近では，ロボットに力感覚を付与するための最も基本的なデバイスとして，多くの力覚センサが開発されている．

力覚センサの開発では，力やモーメントを弾性歪みに変換するセンサ構造体をいかに設計するかが重要なポイントとなる．このセンサ構造体の設計指標としては，力やモーメントを弾性ひずみに変換し，検出するときの精度，ならびに，センサ構造体の変形強度（剛性），外形寸法，重量などが考えられる．このうち力とモーメントの検出精度は，センサ構造体の設計において特に考慮すべき重要な指標である．

今回，筆者らは，特定の方向の力を測定するために高指向性の力覚センサの開発を試みた．これは，水平面内のみに自由度を有するロボットマニピュレータの動きによって生じる反力(x, z)を測定しようとするもので，微小力（～50gf)の測定が可能な事と，重力(y)方向の力の影響を受けない構造が要求されている．

本報では，この考え方に基づいて試作した力覚センサの概要とその特徴について報告する．

2．受感素子

ひずみゲージは，機械的な形状変化（伸び，縮み）を電気的な抵抗変化に置き換える変換素子として広く応力測定に利用されている．

ひずみゲージを用いた力覚センサは，外力によって形状変化を起こす部分を変換器内に設け，ここにひずみゲージを接着して外力に応じた抵抗変化を，電気信号として得る方式である．

この方式による力センサは次のような特徴を持っており，多くの分野で使用されている．

①精度が高く直線性が良い
②温度変化による影響が少ない
③変位量が極めて小さいので動的現象の測定が可能
④小型・軽量の変換器の製作が可能
④遠隔測定が可能

筆者らはこれまで様々な実験用機器にひずゲージを用いており，その信頼性から，試作する力覚センサの受感素子としてこれを用いることにした．

3．力覚センサーの起歪部

ひずみゲージを用いた力覚センサの起歪部には①片持ちはり方式②起歪柱方式③弾性リング方式がよく利用され，最大荷重に応じて，片持ちはりの厚み，起歪柱の断面積，リングの厚みと直径などを変える．

《感度》

また，起歪部の形状はひずみゲージの接着のし易さと接着後の強度および温度の影響の点から曲率は大きい方（平面）がよく，起歪部以外は，十分な強度を持たせる．

《剛性》

ひずみに変換する力，変位などは必ずしも単純なものではなく複合されたものであり，目的の量以外には感じ難い形，構造にする．《方向分離性》

起歪部を柱状とし，ひずみゲージを数ヶ所に貼り複雑な構造を取らずに多方向の力を測定する方法もあるが，感度が悪く方向の分離性にも欠ける．十字はり方式などにして感度，方向分離性を上げる方法では，微小力を測定する場合にははり部を長く取ることになり剛性が低下する．

方向分離性を良くするためには，起歪部

に平行平板構造や放射平板構造を用いるのが効果的である．[5]

この構造で感度を上げようとすると，平行平板部分を極めて薄くするか平行部分を長く取ることになる．平行平板部を薄くすると強度が問題となり，同時に加工も難しくなる．また，平板部を長くすると形状が大きくなるだけでなく他の変形要素が入りやすくなり干渉信号が大きくなる．さらに，固有振動数も低くなり早い現象の場合は測定が困難となる．

簡便に感度の良い力センサを形成するには弾性リング方式がよく利用されるが，剛性，周波数特性がともに低く，静的な微小力や変位の測定に利用されることが多い．剛性を上げるため，変形部（応力集中部）以外は厚くして強度を上げ，方向分離性を大きくしたものに前述の切削動力計があげられる．これは，力の入力部とセンサ固定部が対辺となっており，多方向の荷重成分を測定する場合，複数積層することが必要で形状が大きくなり，固有振動数も低くなる．この八角弾性リングの問題点を改善する目的で，平行平板を２個用いて片持はり構造とした動力計も報告されている．[6] また，同様の考えから超小型の平行平板構造を用いた力センサの開発も試みられている．[7]

４．H型穴付平面３軸力覚センサの開発

4-1 起歪部の構造

本報告の力覚センサを設計するにあたっての必要な条件は，

①平面３軸の力を正しく検出し，それ以外の方向の力には干渉されない．

②マニピュレータの動きによる小さな反力を検出するため高感度である．

③特に，重力方向の剛性が高い．

となり，以下にこの条件を実現するひずみ検出部について考察を行う．

4-2 片持ち梁モデルによる考察

検出力が小さいことから，容易に変形できるはり構造について考察する．図１に考察を行うためのはりのモデルについて示す．

図中Ａの単純な片持ちはりのモデルから順に発展させていき，前述の条件を満たすような梁のモデルについて考察する．

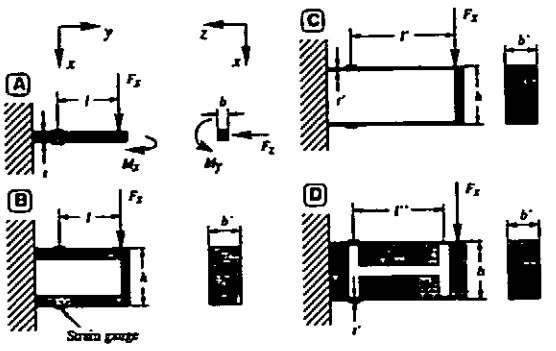


図１片持ちはりモデル

図中のはりモデルで検出する力Fxは，はり根元部に貼ったひずみゲージで検出するものとする．

まず初めに，条件①について考える．図中ＡのFz, Mx, Myが検出しない力であり，これらの力の方向にははりがひずまないようにする必要がある．Fz, Mx方向に対しては，はりの幅Ｂを大きくすればよく，My方向の力に対して強くするには，はりの厚さを厚くすればよい．しかし，はりを厚くすれば肝心の検出すべきFxではりがひずまなくなってしまうので，図中Ｂのような平行平板2枚はりの構造をとることにする．はりの間隔Ｄを大きくすれば，Fx方向の可変形性を変えることなくMy方向を強くすることができる．

次に条件②について考える．ひずみアンプの増幅率が限られており，高感度にするためには小さな検出力Fxではりにどれだけ大きなひずみを発生させられるかが問題となる．はりをひずみやすくするためには，はりの長さLを大きくし同じ大きさの力Fxでもより大きなモーメントが発生するようにすればよい．また，はりの厚さHを小さくし，はりそのものを薄く弱くすることでもひずみやすくなる．つまり，図中Ｃのようなはりとする．

条件③は，条件②と相反する要素を持つ．つまり，感度を上げるためには一般的にはりをひずみやすく弱くするが，このことにより剛性は低下する．ここでは必要以上に剛性が低下しないような形状について考えてみる．ひずみを検出するのはひずみゲージが貼ってある部分のみであり，その他の部分はひずむ必要はない．そこで，図中Ｄのようにひずみゲージを貼った部分だけ，

はりの厚さを薄くする．ゲージを貼った2ヶ所だけ弱くしただけでは，このような平行平板2枚はりは変形しにくいので，もう一端も同じように薄くし，全体が平行四辺形の形で梁がひずむようにする．この平行四辺形のLが大きくなると感度は上がり，BとDを大きくすることで感度にあまり影響を与えずに剛性を上げることが出来ると考える．この形の梁をH形溝付きはりと呼ぶことにする．このはりの変形の模式図を図2に示す．

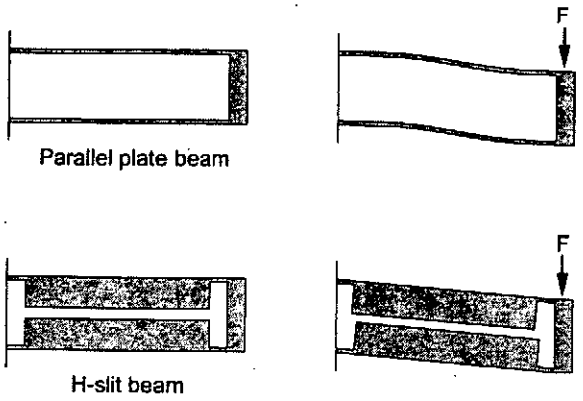


図2　H形溝付はりの変形

4-3 起歪部の実験

図3に示すようなテストはりを作りH形穴付はりが前述の条件を満たしているか検証をする．

はりは，両端を剛体とし（アルミ角パイプ:50×25mm）その間に2枚の平行可変部（真鍮板:t=0.5mm）をつくる．平行はり部は接着剤を塗布した後，剛体にネジ止めしてある．平行はり部の中央部分にアルミ角片を取り付けてH形穴付きはりとした．

この実験用梁に図中のような6方向の合成負荷をかけ，そのときのひずみゲージの値を取り特性を調べる．その結果を図4に

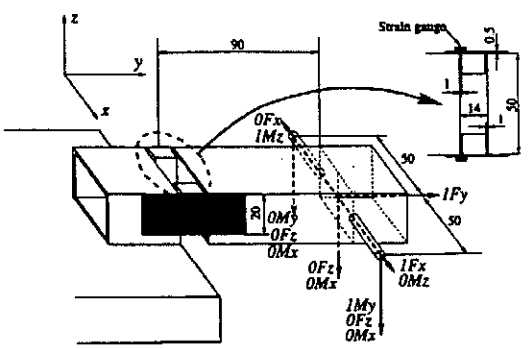
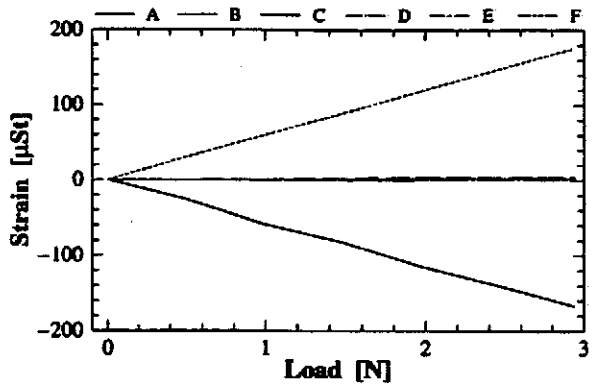


図3　H型溝付きはりの検証



A：*0Fx, 1Mz*　B：*1Fx, 0Mz*　C：*0Fz, 0Mz*
D：*0My, 0Fz, 0Mz*　E：*1My, 0Fz, 0Mz*　F：*1Fy*

図4　検証実験の結果

示す．ただし，各軸について0は負，1は正の方向を表している．

この実験により，H形穴付はりは検出すべき方向の力（Fx, Mz）には非常に高感度なことがわかる．また，検出方向以外の力（Fy, Fz, Mx, Mz）には全く干渉されないことがわかる．このことから今回開発を行う力覚センサのはりに必要な条件を十分に満たしているものと思われ，H形穴付はりを採用する．

4-4 過負荷防止装置(メカニカルストッパ)

起歪部の材料の弾性係数が小さい場合，出力は大きくなるが弾性限界が低くなるので過負荷に対して注意をはらわなければならない．このことは，センサはり部の塑性変形を引き起こすだけではなく，ひずみ検出用のひずみゲージの破損を防ぐ上でも重要である．

今回用いるH型溝付きはりの特徴である方向性を持った可変形性は，はり部に設けた4ヶ所の薄肉部にあり，この位置を変えることで指向性と感度を変えることができる．この機構の特徴を生かし，図5のような過負荷防止の機能を持たせることにする．

これは，薄肉部が変形によって擬似的に2ヶ所になり変形がし難くなることを利用したものである．

ワイヤカット放電加工では溝幅0.05mm程度から加工でき，LとDを変えることで精度良くメカニカルストッパを附加できると考える．

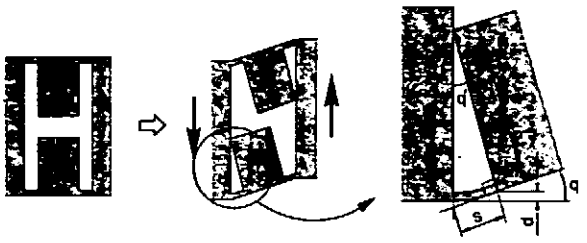


図５ 過負荷防止機構の原理

4-5 新型センサの構造

今回試作した３軸平面力覚センサのセンサ梁部の平面図とセンサの外観図を図６に示す．

力覚センサの起歪部の材料としては，バネ性に優れた鋼，ベリリューム銅，高力アルミニューム合金などが使用される．今回試作したセンサは，微少力の測定を目的としており，軽量であることも要求されていることから高力アルミニューム合金（A2017）を使用した．

加工にあたっては，H形の薄肉部の形状精度が性能を大きく左右することから，位置決め治具を作成し，ワイヤ放電加工（ワイヤ径φ0.3mm）により作成した．

センサ梁部の構造は，x方向，z方向用に同じものを２つ作り，歪みゲージを貼った後に直交させて外枠部にはめ込み，ネジ止めをし，それぞれ分離した形での積み重ね型としてある．

小型化のためセンサ梁の中央部にはアクチュエータ（サーボモータ）用の穴が設けてあり，感度を増すためのH形の溝はこの穴を避けるような形となっている．このことで性能に影響はない．

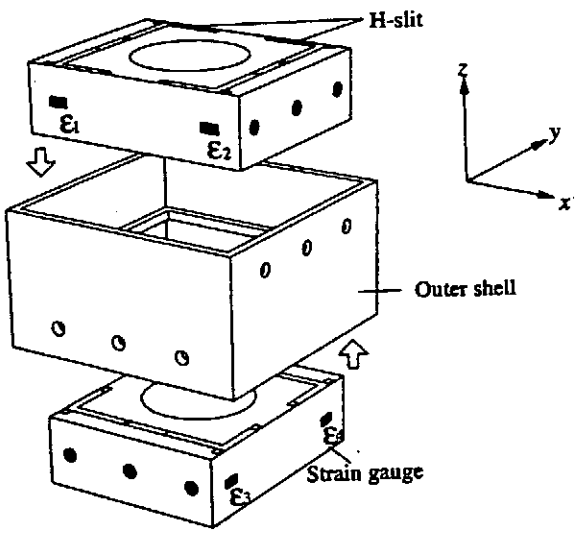


図６ 試作３軸平面力覚センサの外観

5 おわりに

力覚センサの設計にあたり，剛性を保ちながら感度を上げる方法として，H形穴付梁が有効であることを示した．また，この梁の過負荷防止機構について提案した．

H穴付梁を用い，３軸平面微少力覚センサの開発をおこない，その特性を述べた．

この考え方は，微細加工の発達した今日，（原子顕微鏡のプローブや）加速度計の振動素子などにも応用できると考える．

本研究の一部は，平成13年度文部省科学研究費基盤(C)一般の補助金を受けて行われた。

〈参考文献〉

① 研削動力計の試作，塩崎外，精密機械，Vol.35,No.7,pp41(1969)
② ロボット力覚センサのシステム設計論，内山外，システムと制御，Vol.31,No.2,pp103(1987)
③ ６軸力センサ，小野耕三，精密工学会誌，Vol.54,No.4,pp33(1986)
④ 平行平板形研削動力計に関する一考察（第１報），谷外，精密機械，Vol.48,No.6, pp33(1982)
⑤ 単粒モデル実験による正面研削の研究，竹中他，精密機械45巻9号，1979,pp85-89
⑥ 平行平板構造を有する超小形力センサの開発，中尾外，日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会論文集，B pp772-775(1995)

多入出力制御実験を実現する相互干渉と負荷変動をもつ倒立振子サーボ実験系の試作

熊本大学工学部技術部　神澤龍市

1．はじめに

一般的にロボットアーム等は複雑な多入出力メカニカルシステムとなる。これまでは干渉のない１入出力系の集合として制御されることが多かったが干渉のある多入出力系として制御できればより効果的であり多方面で研究が行われている。

本報告では適応制御理論などの自立的に制御パラメータを調整する制御手法を実験的に検証するために開発した並列倒立振子サーボ実験装置を紹介する。また、本実験装置の負荷側にインダクションモータを設置し、制動装置として用いることで負荷変動を容易に実現するため試作研究について報告する。

2．倒立振子サーボ実験装置

開発された装置は図１のような多入出力干渉型倒立振子実験装置である。また、装置の仕様を表１に示す。この装置の特徴を挙げると次のようになる。

1) ３つの振り子形アームに駆動モータを持ち、それぞれのアームがコイルバネで連結されており、アームの回転角制御に関して互いに干渉を持つ構造になっている。また、アームの先端には負荷質量が設置されている。バネの設置位置は 10mm 間隔で変えることができ、設置の仕方でプラントを非線形系することが出来る
2) 本装置を立てて、重力の影響を受けやすくすることでプラントを不安定系にすることができる。
3) 駆動用の AC サーボモータは減速機を用いていない。この種のモータは原則としてギヤを介して駆動するのが常識となっているが、ここではあえて減速機を省いて負荷側から反力をダイレクトに受けるようにしている。
4) 使用したＡＣサーボモータは起動トルクを簡易的に測定すると発熱による巻線抵抗の変化や、ロータスロットの数が４つと少ないため図２のようにロータ角度によって発生トルクが変動する。また、内部摩擦によってヒステリシスも存在する。
5) ダイレクトドライブのアーム回転角度検出には分解能 8000ppr と比較的に分解能の低いエンコーダを使用している。

よってこの装置は様々な多入出力制御系、分散形制御系の実用面における有効性、およびロバスト性について検証するには都合の良い構造になっている。

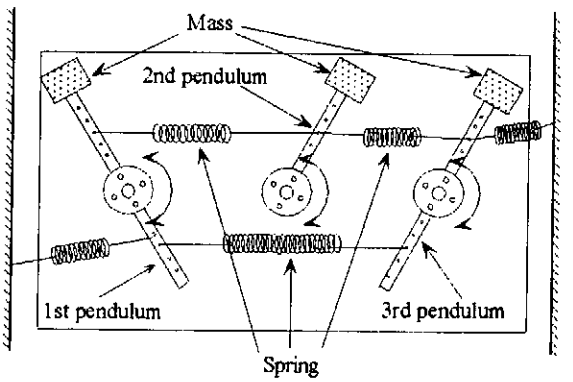


図１．並列倒立振子サーボ実験装置

サーボモータ (ﾊｲﾋﾞｰﾃｯｸ社製)		
	μMG60LW4N	
	定格出力	600 [W]
	定格トルク	19.5 [Kgcm]
	エンコーダ	2000 [ppr]
サーボドライバ (ﾊｲﾋﾞｰﾃｯｸ社製)		
	μAG275I	
	定格出力	750 [W]
マス質量		0.05 [kg]
バネ定数		0.042 [kg/cm]
振子長		12 [cm]
軸回慣性モーメント		11.88 [kg.cm. s ^{2}]

表１．装置仕様

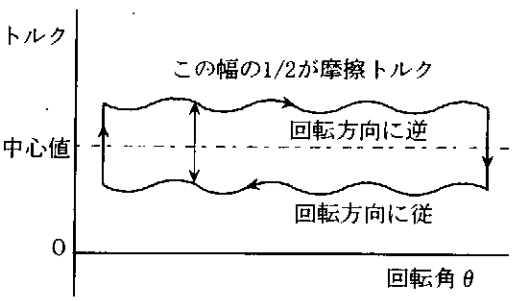


図２．起動トルクの特性

実際の実験で制御手法による比較を試みると、例えば PID 制御手法と適応制御手法の制御性能の差別化を図るためには実験系のパラメータ変化や負荷変動などを与える何らかの工夫が必要である。これまでは第１アームや第３アームに取り付けたバネを手動で瞬時にフリー状態から固定して行っていた。しかし、実験の再現性や自動化を考えて事項のような改良を試みている（図３参照)。

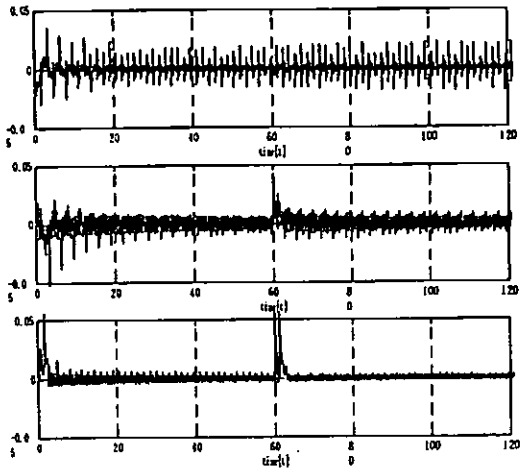
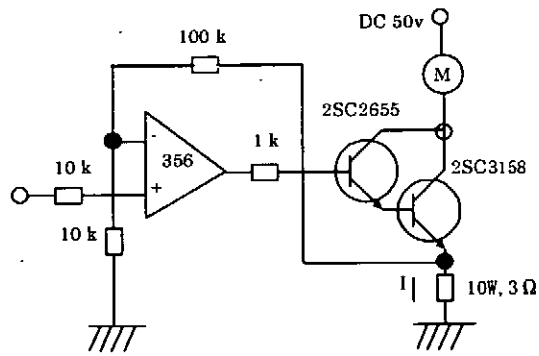


図３．制御実験（パラメータ変化の例）

３．インダクションモータの活用

制御系に負荷変動を与える方法として、インダクションモータ（以下、Ｉモータ）に直流電圧をかけて制動装置として活用することを考えてみる。実際に試作した電流制御回路を図４に示す。



インダクションモータ：

ORIENTAL MOTOR　5IK90A-SW, 90W

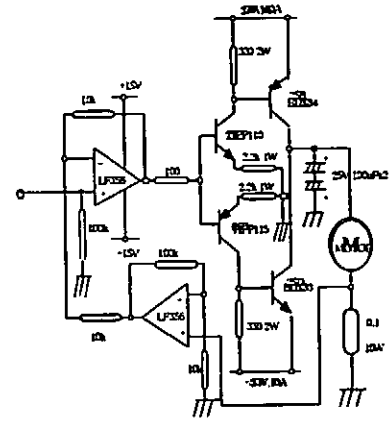
制動トルク　3.5 [kg.cm]

図４．I.M.制動用の電流制御回路

現在までにＩモータで駆動モータ出力の 20%程度の制動力を得ている。

４．ＤＣモータの活用

ＤＣモータを負荷側に取り付け、トルク制御を行うことでアーム間の相互干渉を補完する形での利用を考えている。これによってバネ定数を実験中に変化させているのと同じ効果が期待できる。試作した



ドライブ回路構成を図５に示す。

DC モータ：　定格電圧 24V, 定格トルク 0.9 kg・cm

図５．DC モータトルク制御回路

５．まとめ

この研究は制御理論の検証実験機として開発し、使用しているものをより充実したものにするために行っているものである。インダクションモータ、および DC モータを適宜、駆動モータにシンクロベルトにより減速比をもたせ接続して実用に供する予定にしている。まだ試作途中であり完成されたものになっていないが適応制御理論などの自立的に制御パラメータを調整する制御手法の理論検証実験に効果を発揮するものと考えられる。

謝　辞

この試みに対し平成 12 年度核融合科学研究所技術部の技術交流会に参加した際、同技術部の山内健二課長に回路設計に適切な助言をいただきました。心から感謝いたします。鹿児島大学工学部南竹技術専門官からは回路設計に関し助言をいただきました。こころより御礼申し上げます。研究指導者である熊本大学岩井善太教授に謝意を表します。また、この試作研究が平成 13 年度科学研究費奨励研究（B）に助成を受けていることを報告し、関係各位に謝意を表します。

参考文献

1) 見城尚志、佐渡友茂著「小型モータのすべて」技術評論社
2) 高橋 久著「パワーデバイスの使い方と実用制御回路設計法」、総合電子出版社

カーボンナノチューブの水素ガス吸着特性測定システムの開発

三重大学工学部 技術部
伊藤 篤

1. はじめに

水素は、理想的なエネルギーキャリアーとして、エネルギー源の確保と地球環境の保全という重要課題を抜本的に解決する可能性を有している。水素利用技術の中でも高分子固体電解質型燃料電池(Polymer Electrolyte Fuel Cell;PEFC)は、エネルギー効率が60%と高く、有害物質を排出しないなどの優れた特徴から次世代自動車の動力源や家庭用コジェネレーションシステムなど新しい分野を創造し、従来の技術では達成出来なかった性能を実現しようとしている。すでに実用化にむけた燃料電池自動車の公道走行テストやカセットボンベで発電するポータブル発電機も製品化されている。現在、PEFCへの水素ガス供給と貯蔵は、水素吸蔵合金、燃料改質器による方式が先行して開発されているが、より小型軽量で高密度かつ安全で出力制御性に優れたものの開発が待ち望まれている。

2. カーボンナノチューブと水素ガス吸着

カーボンナノチューブは、炭素六角網面からなるグラフェンシートが円筒状に丸まった直径がナノメートルオーダの物質で、円筒の層数により単層ナノチューブと多層ナノチューブに分けられる。単層ナノチューブの構造モデルと透過電子顕微鏡による観察像を図1に示す。この構造モデルからも分かるように全ての原子が表面にあり、化学的に安定で強靭な構造を有している。透過型電子顕微鏡像からは、単層ナノチューブが複数本の束を形成している様子が観察される。古くから吸着剤として使われてきた活性炭などのグラファイト構造と較べると、水素ガスの吸着能を決定づける2μm未満の細孔が、チューブの表面、内部、チューブの間に存在することが特徴である。そのガス吸着位置と軸方向から見たイメージを図2に示す。

吸着等温線測定などによる評価では、米国エネルギー省が実用化の指標とする 6.5 重量%を上回る報告もされているが、再現性と信頼性のある評価を得るには至っていない。その原因としては、測定精度の他に試料の適切なキャラクタライズとガスの純度や水分の影響が考えられる。Dillon[1)]らが行った、四重極質量分析計を用いた昇温脱離測定(Temperature Programable Desorption;TPD)は、カーボンナノチューブに吸着したガスの脱離を直接観察することが可能であり、従来から行われている容量法または重量法による吸着等温線測定の評価と総合して解析することが有効と考える。

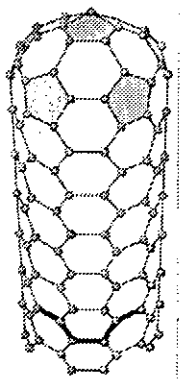
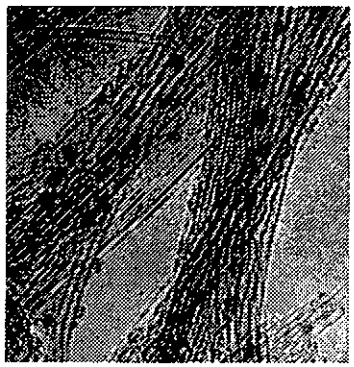


図1 単層ナノチューブの構造モデル



透過型電子顕微鏡による観察像

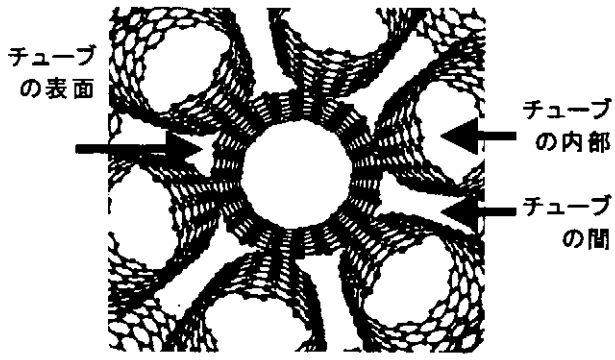


図2 軸方向から見た吸着位置とイメージ

3. 目的および計画

カーボンナノチューブの水素ガス吸着特性を解明することを目的に、四重極質量分析計を用いた昇温脱離測定(Temperature Programable Desorption;TPD)により「昇温脱離過程の脱離ガス分子種、脱離温度、脱離量、脱離速度」の直接観察を可能とする測定システムの開発を行い、以下の計画により測定と解析技術を確立する。

1. 四重極質量分析計による昇温脱離測定装置の設計、製作
2. パーソナルコンピュータによる計測の自動化、測定プログラムの作成
3. 昇温脱離法を用いたカーボンナノチューブの水素ガス吸着特性の測定および解析技術の確立

4. 測定システム

四重極質量分析計による昇温脱離測定装置のシステム設計、製作、調整およびパーソナルコンピュータによる計測プログラムの作成を行った。測定システムの構成を図3に示し、A)～G)のユニット別にそれぞれの機能と留意点を説明する。

A. 試料ヘッドおよび加熱、冷却ユニット

カーボンナノチューブは、表面積が大きく吸着性が高いので試料の初期条件を一定にする必要がある。また、かさ比重が小さく微粉末でなので温度の均一性確保と試験装置内への拡散による汚染防止が必要とされる。試料加熱には、セラミックを絶縁材とするヒータを用いて放出ガスの低減を図ると同時に、試料の脱ガスができるように＋500℃までの昇温を可能とした。昇温脱離測定時は、開始温度ができるだけ低温になるように冷却源の液体窒素室からの熱損失が少なくなるよう構成材には、銅とステンレスの部品を組み合わて用いた。実験時間が数時間に及ぶことから冷媒の液体窒素室は、大容量化とともに薄いステンレス板を用いて蒸発量を極力押さえた。また、内部に熱シールドを設置し試料ヘッドからの熱放射による温度上昇を低減させた。

B. 高真空用試験チャンバー

試料からの脱離ガスを高感度に検出するために、10^{-7}Paの真空度を実現するよう全ての部品は、ベーキング可能な構成とした。また、水素ガスを取り扱うので、危険性を十分認識して漏れ防止、排気ダクト構成材の金属部品使用、ガスセンサーの設置および内部配線の電気絶縁強化を行った。

C. 四重極質量分析計および測定管用真空ユニット

四重極質量分析計は、balzers 社製 QMS200 Prisma QUADSTAR422 を使用した。測定は、多重イオン・濃度検出により定性、定量分析が可能で、PCとはRS-232Cインターフェースで接続し、制御と測定シーケンスのプログラミングは、機器付属の専用言語を用いて行った。プログラムでは、測定時のパラメータ設定(マスナンバー、スキャンスピード、スキャン電圧・電流)と温度データをモニターして測定タイミングの監視と測定トリガを行う。温度コントロールユニットと連携して動作し、設定温度到達時は、マススペクトルの測定とデータの表示、保存を行う。

D. 真空度、ガス圧測定ユニット

水素ガス導入、吸着時の10^{-1}～10^{5}Paまでの圧力を測定するクリスタルゲージと脱離測定時の10^{-3}～10^{-7}Paまでのイオンゲージの2台の圧力計で分担して測定を行う。

E. 水素ガスおよび窒素ガス導入、調整ユニット

水素ガス導入吸着時は、一定の圧力と流量で再現性よくガス導入を行う必要がある。窒素ガスは、試料交換時にチャンバー内への水分吸着を低減させるために用いる。

F. 高真空および水素ガス排気ユニット

高感度の脱離ガス測定には、10^{-7}Pa台の高真空が必要であり、メタルダイアフラムポンプとターボ

分子ポンプでチャンバーの排気を行う。水素ガス導入・吸着後の排気は、チャンバーと切り離してロータリーポンプで行う。

G. 温度コントロールユニット

昇温脱離測定には、正確に一定速度で昇温する必要があり、温度コントローラのプログラミング機能を用いた。温度コントローラには、CHINO KP1000を使用しPID制御で正確な温度制御ができる。PCとは、RS-232Cで接続し、プログラム言語にMicrosoft Visual Basicを使用した。RS-232Cは、同言語の MSComm コントロールを用いてアクセスし、測定時の時間と温度の条件設定、温度測定、時間記録、データ保存、グラフ化をExcelのワークシート上に行う。

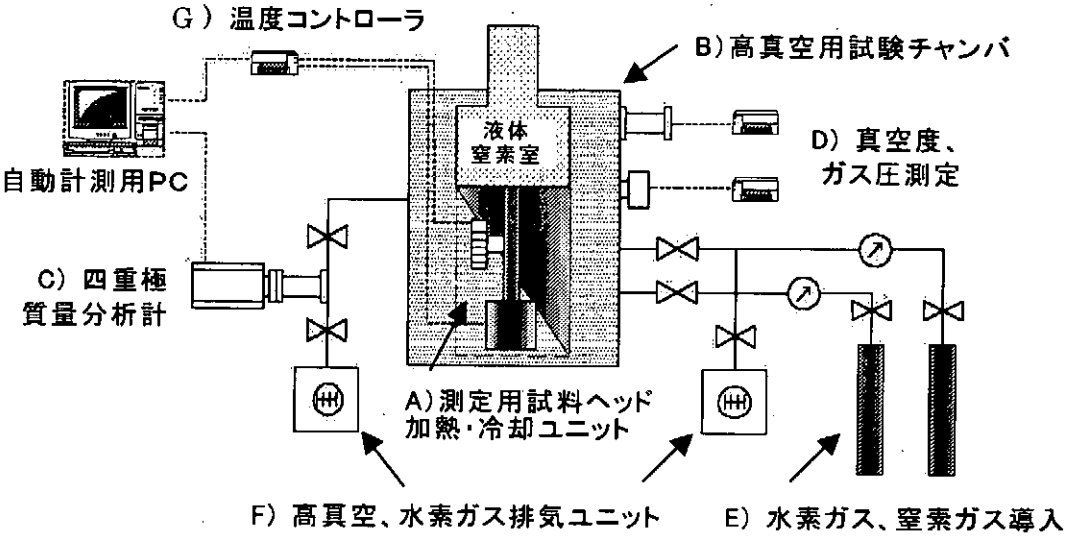


図3 測定システム構成図



図4 測定システム外観

5. 測定結果および検討

今回、構築したシステムで測定したカーボンナノチューブの水素ガス吸着特性の測定結果を図5に示す。グラフは、四重極質量分析計により観察された水素ガスに該当する質量数が2の昇温脱離過程で得られたイオン電流値の温度特性を示している。－100℃付近に観察されたピークは、カーボンナノチューブに吸着された水素ガスが昇温によって脱離したもので、このイオン電流値の大きさは、吸着したガスの脱離量に依存するものと考えられる。なお、試料はアーク放電法により作製された単層ナノチューブで精製処理を行っておらず平均直径は、約1nmである。水素ガスの吸着は、1atm、－130℃で10分間吸着させた後、10^{-6}Paまで排気し昇温脱離測定を行った。

この測定により、当初に計画した測定システムの設計と製作および動作と機能には、問題のないことが確認された。しかし、今回の報告時点では、カーボンナノチューブ試料の作製条件や精製処理または熱処理による違い、そして脱離ガス量の校正と算出が出来なかったために、吸着量の解析検討を行うことが出来なかったので今後の課題とする。

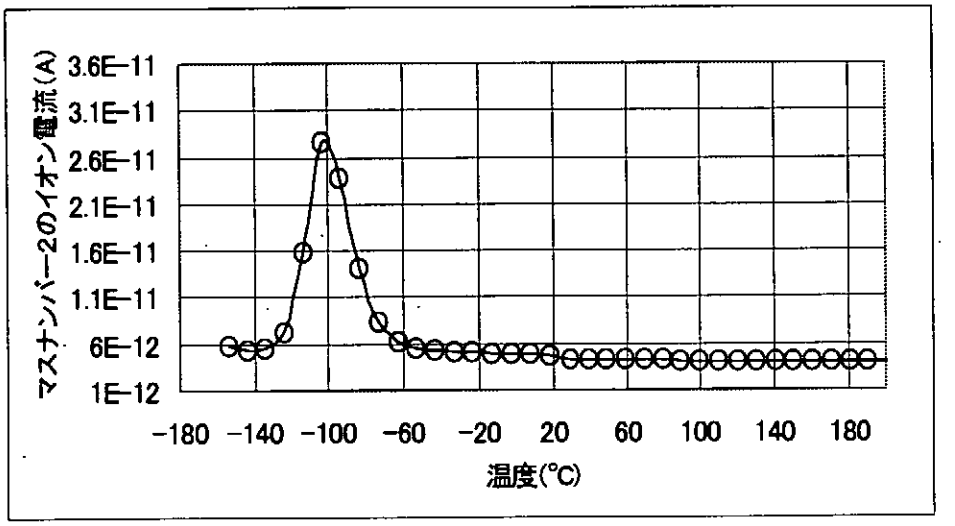


図5 昇温脱離法によるイオン電流の温度依存性

6. まとめ

四重極質量分析計による昇温脱離測定装置の設計、製作、パーソナルコンピュータによる計測の自動化を行い、単層カーボンナノチューブへ吸着した水素ガスの脱離スペクトルを観察することができた。

参考文献

1. A.C.Dillon et al.,Nature,386,377(1997)
2. 齋藤弥八、板東俊治 カーボンナノチューブの基礎
3. 近藤精一他 吸着の科学

激光ＸⅡ号での画像処理によるレーザーアラインメントの開発

大阪大学レーザー核融合研究センター
○森尾　登、渡辺　斉、宮永　憲明

1. はじめに

大阪大学レーザー核融合研究センターの大型ガラスレーザーシステム激光ＸⅡ号（GXII）は、今から19年前の1983年2月に完成し、ビーム数は12本、波長1.053μmの近赤外光で、パルス幅1nsの時に20kJ、パルス幅0.1nsの時に40TWの出力を得ることが出来る。このシステムは、発振器からでた光は、目標のターゲットまで約270mの距離を伝播し、その途中でスペーシャルフィルターによりビーム口径を広げられ、増幅器によりエネルギーが増幅されていく。レーザー光は、増幅効率を上げるため、それらのコンポーネントの開口径とほぼ同程度のビーム口径になっている。そのため、レーザー光が、コンポーネントの縁に当たらないようにその中心に軸調整（アラインメント）をする必要がある。GXII では、半導体素子を用いた4象限位置検出器の Quadrant Detector(QD)を使って、自動アラインメントを装備していたが、長期のアラインメント再現性が得られなかったため、目視によるアラインメントが行われてきた。今日の画像処理ボードやパソコンの発達により、安価で簡単に、ほぼリアルタイムでの画像処理による自動アラインメントを行わせるためのプログラム作成の可能性が出てきたので、プログラミング言語 Visual BASIC をメイン言語とし、高速処理を要求される部分のみをVisual C++を用いることにより、画像処理による自動アラインメントを行うためのプログラム開発を行っているので、報告する。

2. 画像処理による自動ビームアラインメントの開発

ビームアラインメントは、レーザー光のビーム口径がコンポーネントの開口径のぎりぎりまで使用されているため、少しでもレーザー光の中心位置がずれるとコンポーネントの縁に当たり、エネルギーロスや回折による強度分布変化によりレーザー媒質やレンズ、ミラーなどの光学部品にダメージが入ってしまう。そのため、レーザー光が常にコンポーネントの中心に通るようにアラインメントを行う必要がある。

目視によるアラインメント方法としては、2枚のリモート調整用ミラーと2台のテレビカメラにより、調整を行うことができる。また、GXII では、このアラインメントを自動で行えるようになっていたが、その方法は、2台の QD を使用し、あらかじめ初期設定された QD の中心位置に合うように

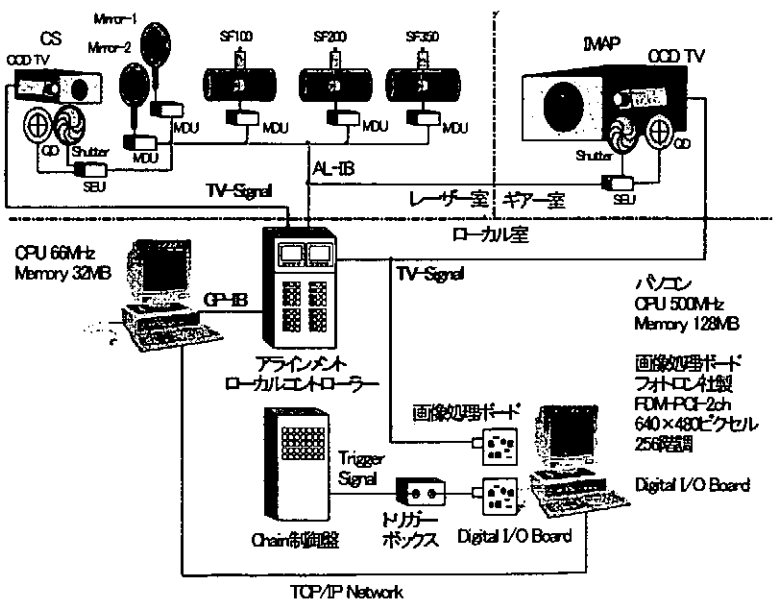


図 1 GXII での画像処理による自動レーザーアラインメント配置図

リモート調整用ミラーを自動的に動かすようになっていた。しかし、実際のアラインメントは、ビームパターンの輪郭中心で行っているが、QD は、強度分布変化による中心位置検出を行っており、長期的な安定性に問題があったため、現在まで、ほとんど手動によるレーザーアラインメントを行っていた。

しかし、今回パソコンと画像処理機を用いた自動アラインメントの開発を行った。図 1 に GXII での画像処理による自動アラインメント配置図を示す。画像処理機は、パソコンの拡張カードスロットル挿入型であり、画像メモリをプログラムにより直接操作して演算する事ができる。その入力には、ビームパターン確認用の普通の CCD テレビカメラ信号を入れている。また、光軸調整用ミラーは、モータードライブユニット（MDU）により駆動されるが、この MDU は、アラインメントローカルコントローラー（ALC）により、リモート操作できるようになっている。さらに、この ALC は、GP-IB 接続により、パソコンにより操作できるようになっている。またこのパソコンは、TCP/IP ネットワークにより ALC コントロールが出来る様にサーバーとしてのプログラムが走っている。画像処理機の性能は、640×480 ピクセルの 256 階調である。

過去に他の画像処理機等を使って、自動アラインメントを行なおうとしたが、なかなか成功しなかった。その原因として、レーザーパターンの輪郭抽出を行うため、TV カメラに写ったレーザーの迷光や電気ノイズなどのノイズ処理を行う必要があったが、この処理に時間がかかると言う問題があった。しかし、今日のパソコンの処理速度の向上により、今回は、ほぼリアルタイムで処理することができた。

図 2 にレーザービームパターンの輪郭抽出手順を示す。まず、バックグラウンドノイズ画面を得るために、レーザー光を遮断し、その画面を 10 回積分してメモリに記憶しておく。次にレーザー光を出射し、その画面を 10 回積分してメモリに記憶する。そして、その画面から先ほどのバックグラウンドノイズ画面を引き算する。この処理により、定常的な TV 信号ノイズを除去することができる。そして、その画面を 3×3 のマトリックス演算をすることにより、スムージング化される。この処理により、ランダムなノイズを除去することができる。これらの処理で得られた画像をある閾値で二値化する事によって、ほぼ完全なレーザーパターンの輪郭を抽出する事ができる。この二値化パターンを上下左右の 4 方向から、黒色レベルから白色レベルになる位置を探査する事で上下左右のレーザーパターンエッジを得る事ができる。

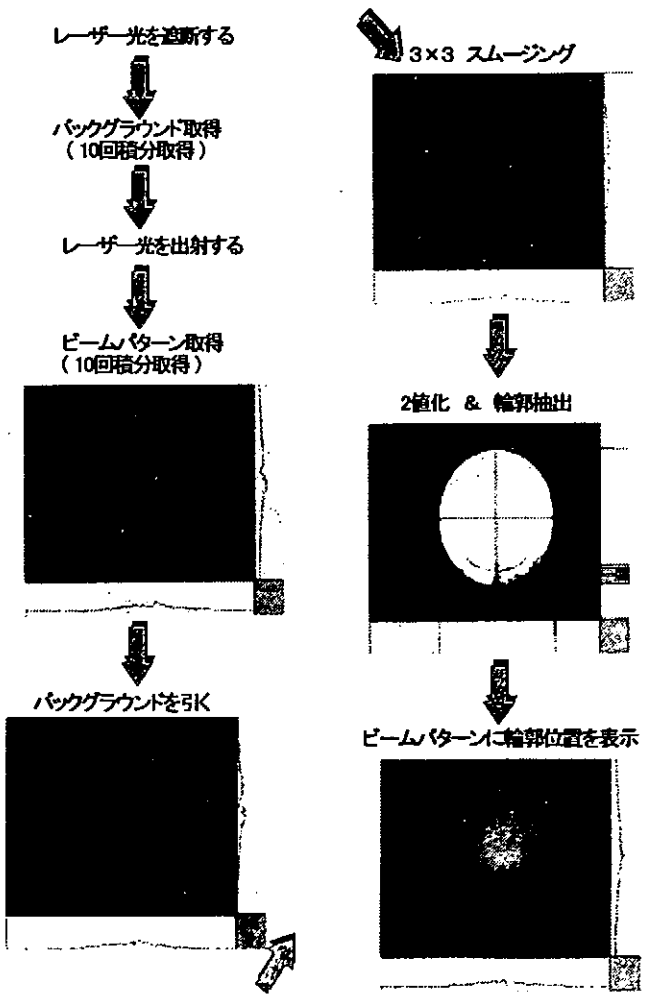


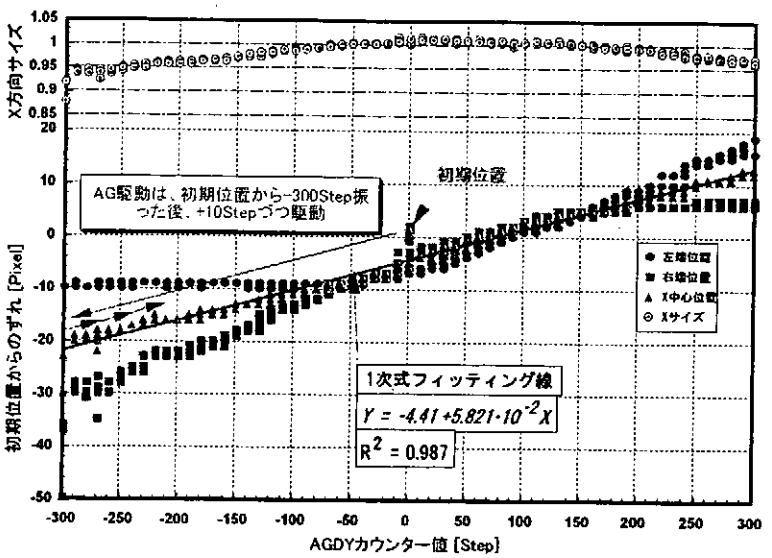
図 2 ビームパターン輪郭抽出手順

図 3 のグラフは、1 台のミラーと 1 台の CCD TV カメラにおいて、ミラーの X 軸を 10 ステップずつ振って行った時々でビームパターンを画像処理し、その X 方向の中心位置変

化を示したものである。このグラフより、ここでのミラー駆動特性は、17.179[step/pixel]となった事より、画像処理によるレーザーアラインメントで、初期位置からのずれが、1 ピクセル当たりミラーを 17.179 ステップ駆動すれば良いことがわかる。この値を用いて、画像処理によるレーザーアラインメントを行うフローチャートも図 3 に示す。最初に、目視によるレーザーアラインメントを行い、その位置で画像処理をする。そして、その時に得られた X 方向と Y 方向の位置を初期位置(Xi, Yi)として保存しておく。後日の画像処理による自動アラインメントでは、自動的にビームパターン位置を検出し、その位置を(X, Y)とすると、初期位置からのずれ(Xo, Yo)は、それぞれ、Xo = X − Xi, Yo = Y − Yi となる。そして、この Xo, Yo に先ほどのミラー駆動特性で得られた値をかければ、初期位置までのミラー駆動量が得られる。この値分だけミラーを駆動することによりビームパターンが合うはずである。しかし、実際には、色々な要因により、若干のずれを生じるため、再度ビームパターンの輪郭中心位置を計算し、その位置が初期位置と違うのなら、再度ミラー駆動量を計算し、ミラーを駆動する。このことを初期位置に収束するまで繰り返す。

3. 画像処理によるスペーシャルフィルター(SF)の自動ピンホールアラインメント

SF は、レーザービームパターン上の高周波成分除去のため、レンズで集光したレーザー光をピンホールに通している。しかし、レーザーショットを行った後などは、レーザーの焦点位置がずれるため、調整する必要がある。今までは、QD のエネルギー値変化により調整を行っていたが、今回、画像処理機を導入するに当たって、これを用いた自動ピンホールアラインメント方法を開発した。図 4 のグラフは、ピンホールを X 方向に振って行ったにおけるビームパターンの総輝度数の変化を示している。ここでのピンホール径は、約 3.5mm である。ピンホールは、ステッピングモーターで駆動され、カウンター値で現在の位置を知ることができる。ピンホールを X 方向に駆動して行くと、集光されているレーザー光がピンホールエッジ部分当たり、ビームパターンは、消えていくため、総輝度数は、減っていく。この輝度が初期位置の



ミラーをX方向に10[Step]づつ動かして行き、その各位置で5回づつ画像処理をして、ビームパターンの右端、左端、中心位置の初期位置からのずれをプロットする。

AG駆動特性係数 X軸
0.05821 [Pixel / Step]
= 17.179 [Step / Pixel]

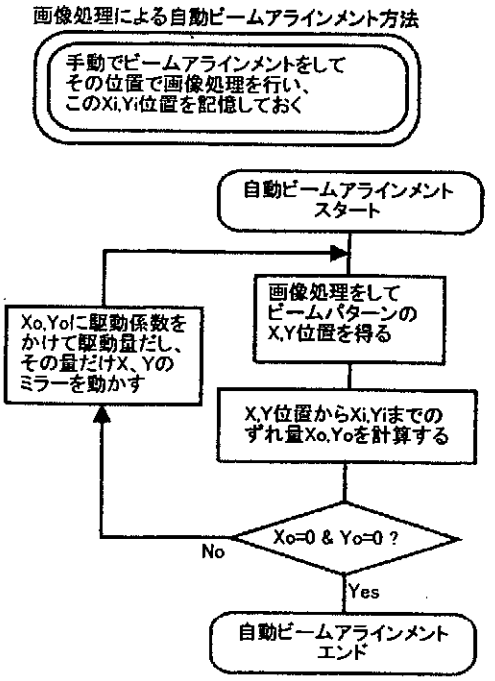


図 3 ミラー駆動量に対する画像処理でのビーム中心位置変化と
画像処理による自動ビームセンタリング方法

半分になる両端のカウンター値から中心位置を得ることができる。この操作をX方向、Y方向で行うことにより、ピンホールの中心にレーザー光が通過できるようになる。

4. アラインメント安定性

ビームアラインメントについては、1台のミラー、1台のCCD TVカメラでのみテストを行っているが、数日程度では、非常に精度良く調整することがわかった。また、所要時間については、現状で、バックグラウンド取得を除くと、1画面約660[ms]で、ビームパターンの輪郭抽出を行うことができている。そして、ビームをある程度ずらした位置から、自動修正を行うと、約76[sec]で、終了することができた。この時間は、ほぼ目視によるアラインメントと同等の処理時間であるので、十分実用することが可能である。

また、SFのピンホールアラインメントについても、精度は、現在のQDによる自動調整とほぼ同じ精度で調整することができた。また、この所要時間も、プログラムの色々な手直しをすることにより、現在の調整時間の約3分とほとんど同じとなった。

5. まとめ

GXIIにおけるビームアラインメントとSFピンホールアラインメントに画像処理機を使った方法を開発した。その結果、実用上十分な処理時間と精度で調整することがわかった。今後、この方法を用いて、GXII 全体のアラインメントシステムを置き換える事を目標として、計画を進めていくつもりである。

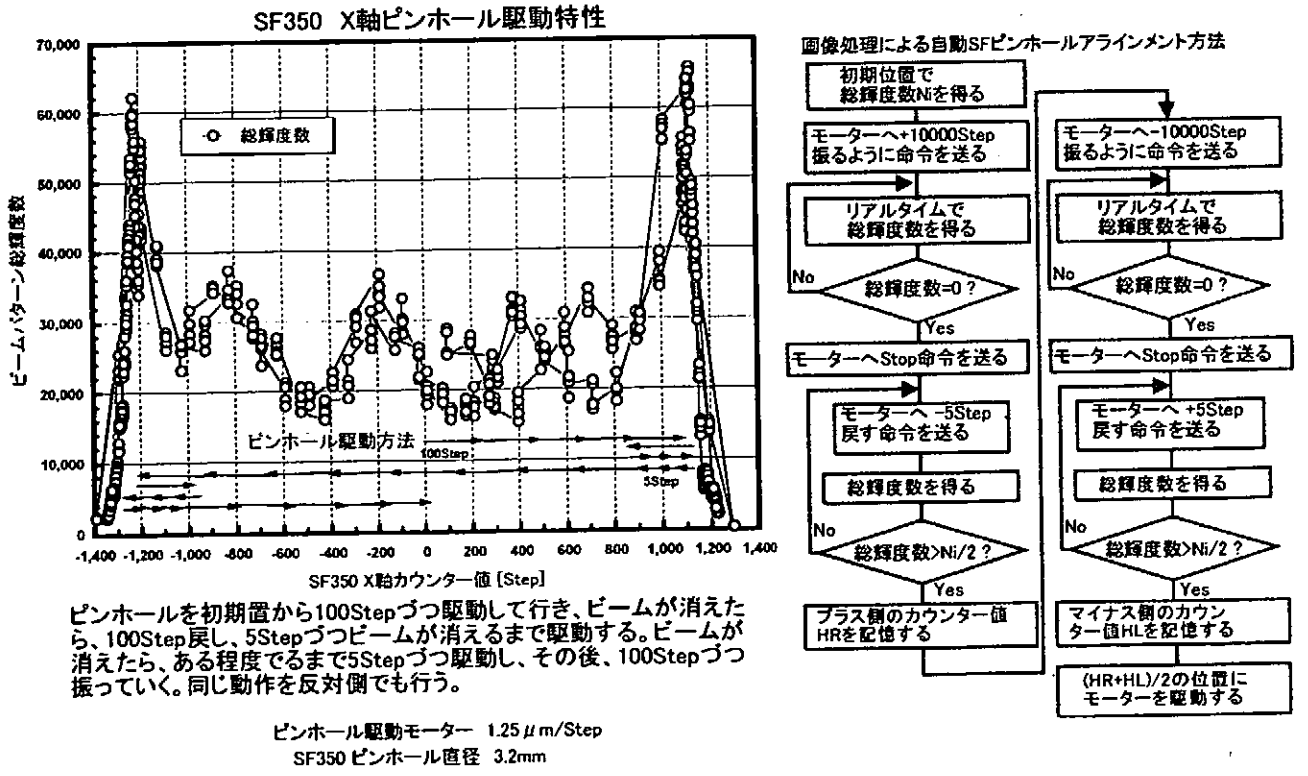


図 4 画像処理による自動SFピンホールアラインメント方法

メタルジェット放電制御装置の製作「Ⅱ」

名古屋大学工学部・工学研究科技術部
○小林勝司、布目清成

要旨： 近年、医療、情報、バイオなど様々な分野において、微小機械や微小構造物のいわゆるマイクロストラクチャの開発・研究が注目を集めている。マイクロマシンの構成要素であるミクロンオーダーの大きさを持つアクチェータやマイクロモーター、スライダー、リンク機構などを製作するための代表的な方法として、半導体プロセスのリソグラフィー技術を応用したエッチングやＳＯＲ光を用いたＬＩＧＡプロセス、レーザーアシストエッチングなどが研究されている。しかし、いずれの方法も高アスペクト比（高さ／幅）を持つ形状の製品を製作することはできるが、三次元形状を製作することができず、大規模な装置が必要となりコストが高いものとなってしまう。グロー放電を用いたメタルジェットによる三次元創成加工技術は、金属を溶融し微小球として生成したものを二次元画像的に描画し、これを高さ方向にも積層することで三次元構造物を製作することができる。この方法は融点が高い金属にも応用できる。グロー放電を用いたメタルジェットによる三次元創成加工技術開発には、0.2～5mmの可変電極間に数mA～数十mAのグロー放電電流と数mS～数百mSの放電時間を制御できる装置が必要である。前回、「メタルジェット放電制御装置の製作」について報告したが課題が多く残った。その後、課題を克服しほぼ満足すべき結果が得られた。

１．はじめに

名古屋大学工学研究科超精密工学講座では、超精密加工と超微細加工の新技術開発を行っている。前回、研究に必要なグロー放電を用いたメタルジェットによる三次元創成加工技術開発のために放電加工制御装置を製作し報告したが、検討すべき課題が多く残った。また、前回報告時の検討課題以外にも改善・改良すべき内容がありこれらを列挙すると以下のようになる。1)高電圧制御ＳＷの高速化並びに遮断時の高抵抗化、2)制御信号伝達方法の変更、3)フィルター挿入による過渡現象抑制、4)外部抵抗付加による安定化。以上を改善し性能を満足する内容が得られたので以下に報告する。

２．制御装置の課題改善内容

図１に改良した装置の高圧放電制御系ブロックダイアグラム、表１に電気的仕様を示す。

2.1 メタルジェットのしくみ

メタルジェットは、図２、３に示すように溶融電極と固定電極との間に火花放電を起こし電路を形成する。形成された電路を緒端としてグロー放電を継続させ電極を溶融させる。溶融させた金属粒子を用いて図４に示すように三次元的造形物を作ることができる。金属を溶融させる場合、火花放電初期に高電流を流すと電極は蒸発もしくは飛散してしまい電路が形成できないのでグロー放電には移行しない。また、電流が少なすぎるとグロー放電に移行しても溶融するだけの熱エネルギー量が不足し溶融しないこととなる。一般に大気中に電路を形成する場合、平等電界中では１㎝当たり30kVで短絡すると言われている。また、不平

表１　電気的仕様

項　目	仕　様
1)電極間隔	0.2～5mm可変
2)電極材料	W-Au、Ni他
3)放電電流	30±30mA可変(ｱﾅﾛｸﾞ)
4)導通時間	1～99ms可変 ﾃﾞｼﾞﾀﾙ2桁
5)停止時間	1～999ms可変 ﾃﾞｼﾞﾀﾙ4桁
6)繰り返し回数	1～99回 ﾃﾞｼﾞﾀﾙ3桁
7)外部入力	START、STOP(Ext-input)

等電界中（平板電極－針電極）ではどちらの電極を正極又は負極として電圧を印加するかによって異なるが、1㎝当たり5kVとされている。メタルジェット放電制御装置は、針電極－針電極間で用いられること、初期電極間隔が最大でも2㎜程度であること等から2.5kV程度で良いこととなる。火花放電に引き続いて行う放電は、図６からわかるように電流容量から正規グロー放電となる。グロー放電は真空中(1㎜Hg)において放電に要する電圧降下が約300Vとなることが文献より明らかとなっているが、大気中でもほぼ同様であることが前回の報告でも確かめられている。図６では、異常グロー放電領域、正規グロー放電領域とも一本の直線で表しているが、実際の現象はかなり複雑であると参考文献からも述べられている。従って放電現象に関しては、教科書などの記述は大勢を平明にモデル化して表現しており、詳しく研究すると興味ある物理現象を見出せるとも述べている。グロー放電は、図５で示すように陰極降下電圧が大きく作用し電極が溶融し電極間隔が大きくなると陰極降下電圧も増大する。溶融粒子の大きさは放電電流と放電時間の関係から決まる。したがって溶融粒子の大きさを一様に保つためには電流値を一定を保つ必要があり定電流回路が必要となる。このため必要な高電圧電源値は最大陰極降下電圧と制限抵抗による電圧降下及び定電流回路での制御電圧降下の合算値となる。火花放電からグロー放電に移行させるにはその電流格差が少ない方がスムースに行く、この為、内部に配置した制限抵抗の他外部に放電安定抵抗を付加するが、電源電圧が決まっているのでむやみに大きくできない。このため我々は外部放電安定抵抗をいくつか用意し状況に応じて切り替える方式とした。従って、溶融金属粒子を大きくしたい場合、太い溶融電極を用い放電電流を大きくし電極間が広がりすぎないように選定する事が要求される。また、溶融電極粒子が小さくてよい場合は、放電初期時の過渡的影響を少なくするため、溶融放電間隔が許される限り低電流・長放電時間の方がより均一な粒子が得られると考察する。

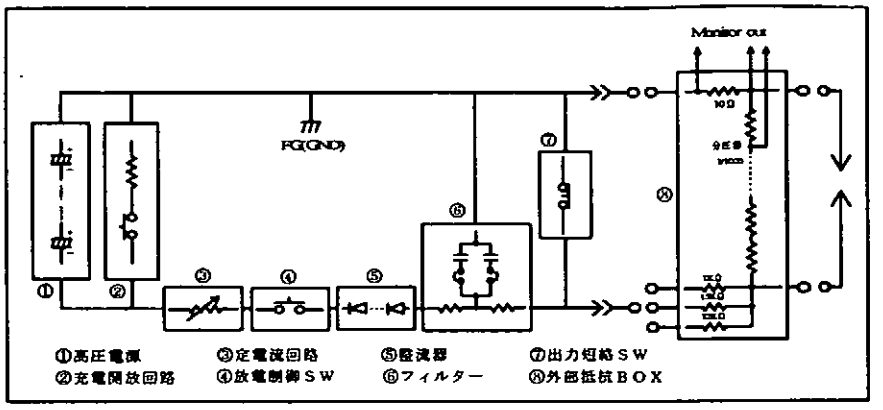


図１　高圧放電制御系のブロックダイアグラム

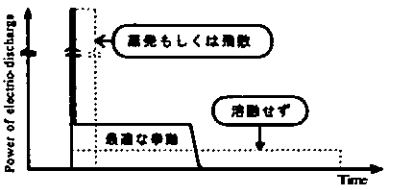


図２　放電における電力模式図

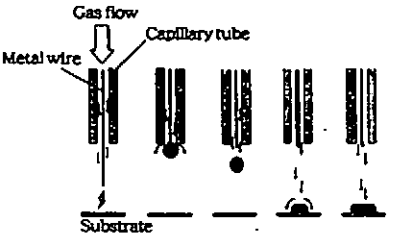


図３　溶融金属粒子付着モデル

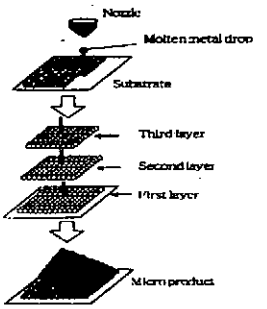


図４　金属ｼﾞｪｯﾄ三次元造形

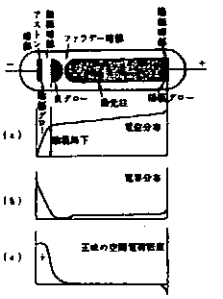


図５　ｸﾞﾛｰ放電電位分布

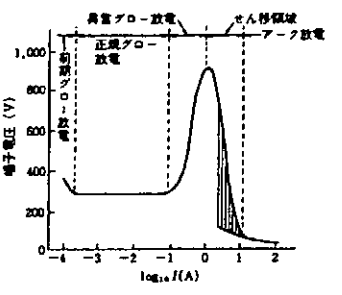


図６　約1mmHg Ｖ－Ｉ特性

2.2　高電圧制御ＳＷの高速化並びに遮断時の高抵抗化

従来、トランジスタをカスケード接続しＳＷを構成していた。トランジスタは、ベースに電流を注入するとコレクタ電流が流れる。すると、ベースは「off」なのにコレクタ電流が流れ続ける。これが、トランジスタの最大の欠点である。また、素子に流れる漏れ電流並びにバイアス抵抗の影響を押さえられず回路遮断時の高抵抗化を妨げていた。今回の改良では、電圧駆動型パワーMOSFETを用いてSWを構成した。図７に高電圧制御ＳＷ回路を示す。高電圧制御ＳＷは、電源(負荷)電圧に対してFET素子の耐圧が不足するため２段構成(カスケード)で駆動している。FET素子の駆動には、高速充電並びに高速放電を行う為スピードアップ回路方式とした。なお、ゲートバイアス電圧は12Ｖ、ゲート抵抗は10Ωを使用している。FET素子の特性は 2SK1317 Vds=1500V Id=2.5A Id(pulse)=7A Pch=100W である。高電圧制御ＳＷをＦＥＴ化出来たことで、電流遮断時のインピーダンスは約4.7MΩとなり前回問題となった遮断時の漏れ電流を押さえることが出来た。

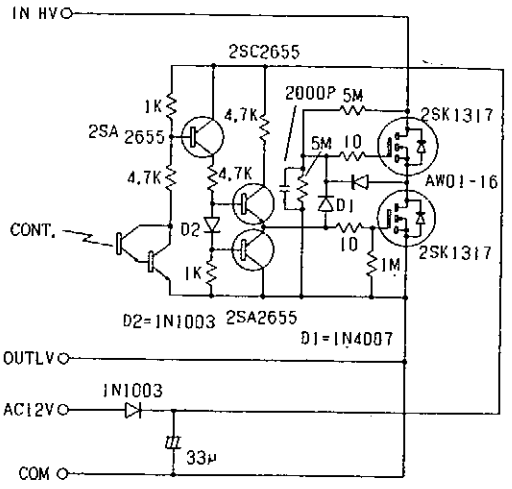


図７　高電圧制御ＳＷ

2.3　定電流回路及び高電圧整流部

電源(負荷)電圧に対してトランジスタ素子の耐圧が不足するため４段構成(カスケード)で駆動している。誤差電流の検出は演算増幅器(741)を使用し出力に1KΩとダイオードを通して１段目のベースへ接続している。基本的回路構成は前回報告と同じである。高圧整流回路についてもコンデンサ容量を再計算し、小型な容量に変更した以外は変わりない。

2.4　制御信号伝達方法の変更

放電制御ＳＷ並びに出力短絡ＳＷ等の高電圧制御信号は、従来光カプラを用いて絶縁し信号伝達を行っていた。しかし、カプラ素子沿面を通して伝達された雑音が制御回路に影響を及ぼしていた事が判明したため光ファイバー方式に変更した。この結果雑音混入が皆無となった。

2.5　過渡応答抑制フィルターの挿入

火花放電の発生により実質的に放電端子間の抵抗が零になる。その後、火花放電からグロー放電へスムースに移行できれば過渡現象は最小に押さえられるが、グロー放電に移行できなかった場合、再度火花放電が繰り返される。その結果引き起こされる正負の過渡現象を抑制するために挿入。本装置では、制限抵抗を利用してフィルターを構成している。なお、フィルターの時定数は０ﾏｲｸﾛ秒、10ﾏｲｸﾛ秒、20ﾏｲｸﾛ秒で選択できるようにしてあり、本装置では、10ﾏｲｸﾛ秒としてある。図10は、フィルター無し、図11は、フィルターを挿入した結果である。測定条件は、20mA,10mS、フィルターの時定数は10ﾏｲｸﾛ秒、外部放電安定抵抗は15KΩとなっている。

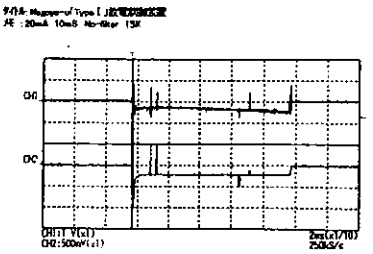


図10 フィルター無し

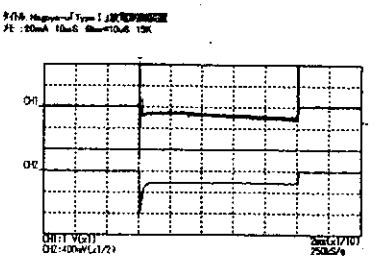


図11 フィルター有り(10ﾏｲｸﾛ秒)

2.6　逆起電圧抑制ダイオードの挿入

高電圧を高速で開閉する際発生する逆起電圧が正極側に振れるとグロー放電に移行しない。

このため、逆起電圧を抑制するダイオードを挿入した。

2.7　外部放電安定抵抗

外部に放電安定抵抗を挿入する方法を採用したが、そのきっかけは以下のようである。実験時、電流計測用抵抗を用い計測中に電流容量が不足し損傷した。損傷発見時直前まで比較的良好な特性であったものが、損傷した抵抗を交換したところ好ましい結果が得られなくなった。損傷した抵抗の実測抵抗値に近い値の抵抗を挿入したところ良好な結果が得られた。また、この抵抗を装置内に組み込んだところ測定結果が思わしくなく、放電電極近傍に配置すると良好であった。外部放電安定抵抗の挿入は制限抵抗と同様の働きがあるので、放電電流に配慮して抵抗値を加減する必要がある。この抵抗を挿入する事によって火花放電電流と設定グロー放電電流との電流ギャップが小さくなりスムースに移行できるものと思われる。なお、放電電極近傍に設置した場合良好な結果が得られるのは、装置からのリード電極に絡む様々なラインインダクタンスや寄生容量の影響が関係するものと考えられる。放電安定抵抗は放電電極の近傍で設定放電電流等により 32KΩ、15KΩ、1KΩが選択できるようにしてある。



写真1　外部抵抗 BOX

3．まとめ

放電制御装置を改良した結果、以下のような測定結果が得られた。図中上のデータが放電電極間電圧を、下が放電電流を表示している。図12上左は、従来から研究室に設置してある市販装置の放電電圧－電流特性であり、放電電流は10mA、放電時間10mSである。図上右は05mA、図中左10mA、図中右20mA、図下左30mA、図下右40mAであり、放電時間はいずれも10mSの状態である。フィルター時定数は10マイクロ秒、外部安定抵抗に05mAは32KΩ、それ以外は15KΩを用いている。

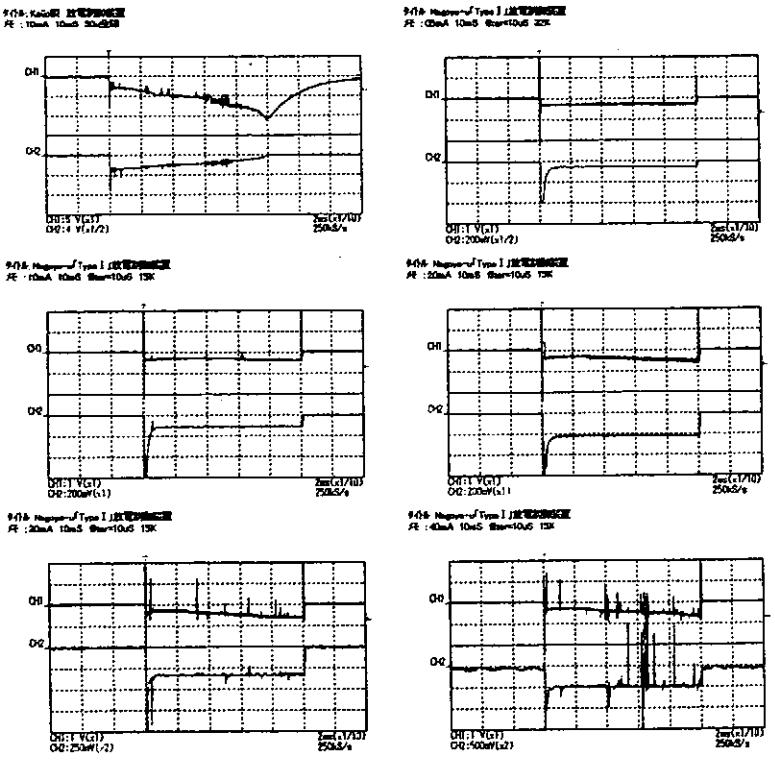


図12　放電電圧－電流特性

謝辞

この装置製作に当たり、機械工学研究科超精密工学講座中本　剛助教授の協力並びに助言、科学技術振興事業団金属噴射プリンタ研究開発事業部夏目康男研究員、洪　秀明研究員に助言を頂きました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

[1] 電気学会ハンドブック

[2] 電子回路Ⅰ　吉田典可他　朝倉書店

[3] 新版　高電圧工学　河野照哉　朝倉書店

[4] 高電圧大電流工学　電気学会

[5] トランジスタ技術増刊　パワーMOSFETの実践活用法

ディキューイング回路の性能向上

高エネルギー加速器研究機構
○ 本間　博幸、穴見　昌三

1. はじめに

KEKB 入射器大電力クライストロン用パルス電源では、出力電圧安定化のためにディキューイング回路を使用している。この回路の性能を向上することは、クライストロンからのマイクロ波により加速される電子、陽電子ビームのエネルギーを安定にすることにつながる。本稿ではディキューイング回路の動作を詳しく調べた結果と、性能向上のために行った 2, 3 の検討について報告する。

2. パルス電源の動作とディキューイング回路の働き

図 1 にパルス電源の回路図を示す。PFN は、充電チョークトランスと PFN 全コンデンサーとの共振充電（周期は約 20ms）により、直流電圧の 2 倍に充電される。直流電源部にある IVR の出力は、この電圧が基準電圧（Es）より 5%高くなる様に、コントローラーにより昇圧されており、この余裕に基づき本稿の主題であるディキューイグ動作（安定化）が行われる。PFN に充電された電荷は、ビームのタイミングと同期したサイラトロンの点弧により放電され、出力パルスが作られる。パルス出力電圧、電流はそれぞれ 22.5 kV、4787A であり、パルス幅は 5.6 μs となっている。

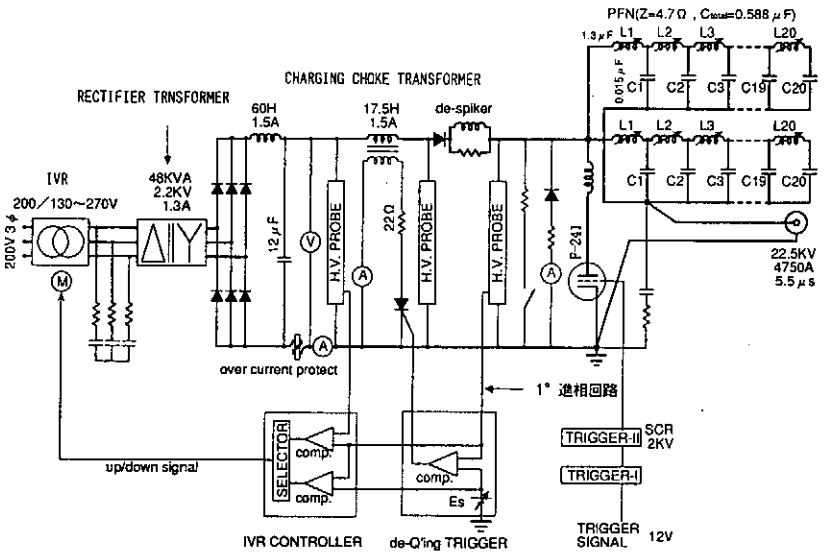


図 1　パルス電源の回路図

ディキューイング回路は充電チョークトランス、ホールドオフダイオード、サイリスター、電力抵抗、PFN 充電電圧検出用高圧プローブ、トリガー回路から構成される。図 2 にパルス電源各部の電圧・電流波形を模式的に示す。 PFN 充電電圧が Es に達し、コンパレーターからのトリガー信号がサイリスターを点弧させると、チョークトラン回路が閉じホールドオフダイオードアノード側電位（一点鎖線で示す）がカソード側（即ち PFN 充電電圧）より低くなり、1 次側電流（I_C）による PFN への充電は停止される。点弧から、ダイオードアノード側電圧が急激に下がる現象と、2 次側電流（ディキューイング電流）が立ちあがってからピークを迎えるまでの時間とが一致することから、この時間を τ の定義とする。ここで、充電電圧を高安定なものとするためには、この量を出来る限り小さくすることが必要である。

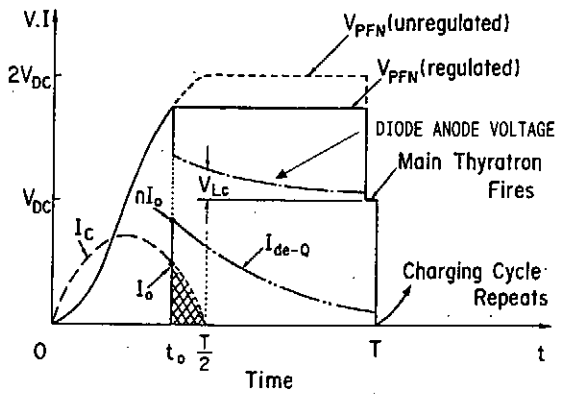


図 2 パルス電源各部電圧・電流波形

3. ディキューイング動作の詳しい検討

図3は遅れが存在した時、どの様に充電電圧が変化するかを説明するものである。この図には安定度を測定する時間内で一番ライン電圧が高い時、低い時での2本の充電電圧曲線とEsを示す水平線が描かれている。水平線とそれぞれが交差してからの遅れ（ここでは一定）が、傾きの違いにより充電電圧の変動に結びつくことがわかる。

Esと充電電圧波形の平坦部レベルとの差はディキュー量と呼ばれている。図4(a)，(b)はディキュー量の大きさにより遅れ時間（τ）が変化することを示すものである。この図では、図3の波形に充電電流波形、ディキューイング電流波形が追加されている。この図から、ディキュー量が大きい方がサイリスター点弧時に2次側に渡される電流は大きいことがわかる。ディキューイング電流の立ち上がりの傾きはチョークトランスの漏れインダクタンスのみに依り決まりディキュー量には依らないが、電流値が大きい程立ち上がりに時間がかかり、ディキュー量が大きい程τも大きくなることがわかる。この他に考えられる遅れの要因には、充電電圧検出のための高圧プローブから、コンパレーターを経由しサイリスターに至る信号の時間遅れ、サイリスター点弧での遅れがあるが、いずれも小さい。

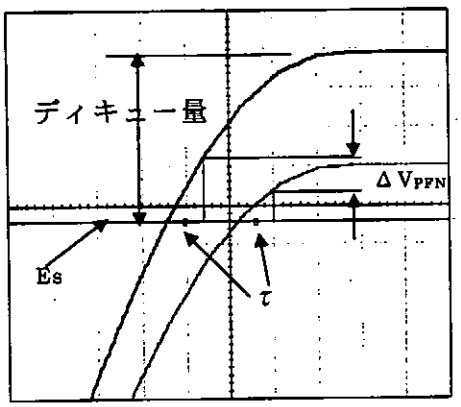
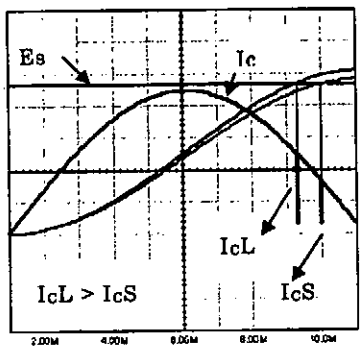
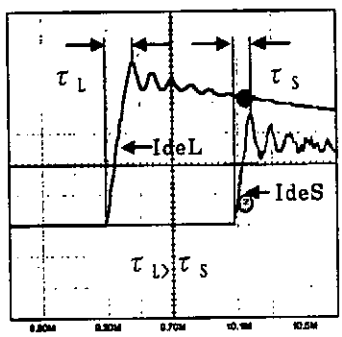


図3 充電電圧変化の発生



(a) ディキュー量と I_c



(b) IdeQ と τ

図4 ディキュー量とτ

4. 進相回路に依る性能向上

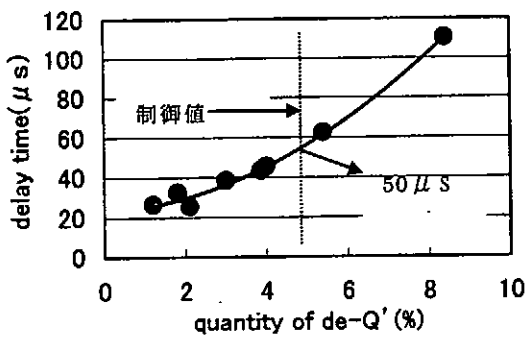
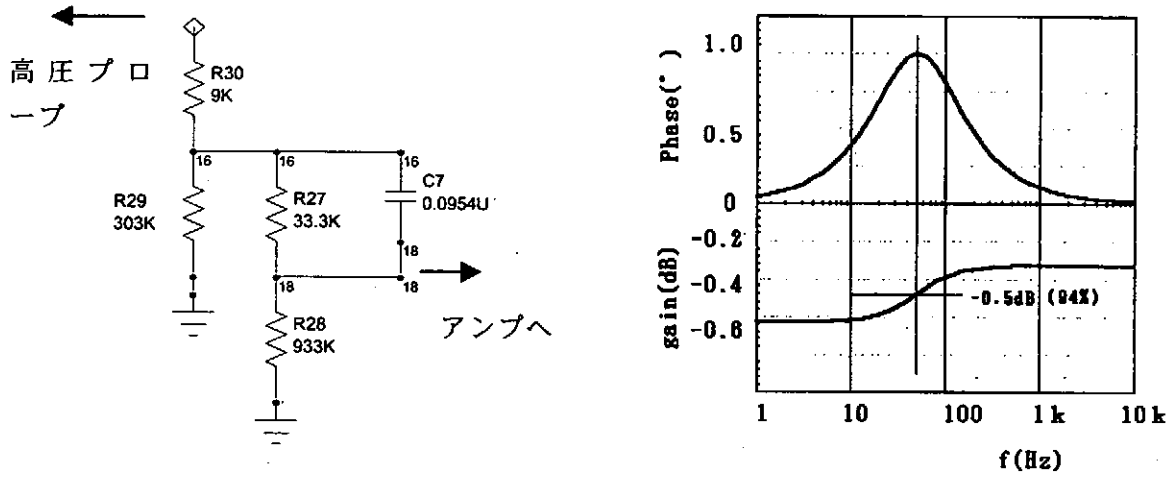


図5 ディキュー量とτの関係

図5はディキュー量とτの関係を実測したものである。ディキュー量が8.4%ではτの値は100μsを越えている。IVRコントローラーの制御値（図中点線）では約50μsであり、この値は共振充電の周期20 ms（周波数50 Hz）を360°とすると、約1°の位相遅れに相当する。

図6は1°進相回路とその出力ゲイン、位相の周波数特性を示すボーデ図である。ボーデ図は回路シミュレーションプログラム「スパイス」のAC解析により求めた。この図から1°進相回路の出力ゲインは50 Hzで-0.5 dB（94%）となっていることがわかる。従って、正弦波に対しては出力部に増幅度1.064のアンプを使えば、レベルがそのままで位相だけが1°進んだ波形が得られる。充電電圧波形の周波数成分には直流成分に近いものもあり、回路のゲイン-周波数特性からそのレベルが下がるため、実際にはアンプの増幅度を1.067にする必要があった。この回路をトリガー回路のコンパレーターの前段に用いれば、どのディキュ

一量に対しても等しく波形を 50μs 進めることができ、遅れによる充電電圧の変化をある程度は抑制できる筈である[1]。



(a) 回路図　　(b) 位相、ゲインの周波数特性

図 6　1° 進相回路とその特性

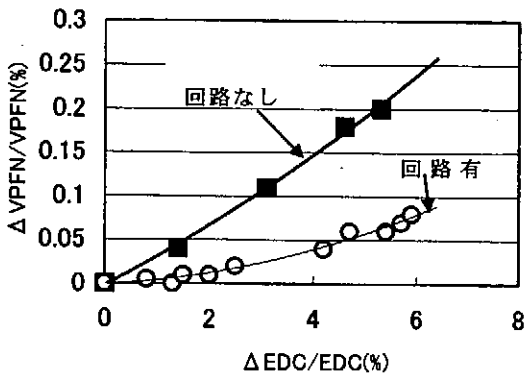


図 7 安定度の測定（人為的直流電圧変化）

図 7 は IVR コントローラーを手動で操作し、人為的なライン電圧変化（直流電圧変化）を与え測定した充電電圧の変化量である。この図から、直流電圧変化が 6%の場合に 0.24%であった進相回路を用いない場合の変化量は、回路を用いることにより 0.075%まで減り、3 分の 1 程になっていることがわかる。

図 8 はパルス電源運転状態での直流電圧変動（上）と PFN 充電電圧の変動（下）を記録計に書かせたものである。縦軸の 1div はライン電圧が 0.55 %、PFN 充電電圧が 0.13 %で、横軸は 3 div が 1 時間である。入射器の電源ラインではこの測定の約 9 時間で約 2.5%の変動があることがわかる（もっと長期間では、7～8%に成ることも有る）。

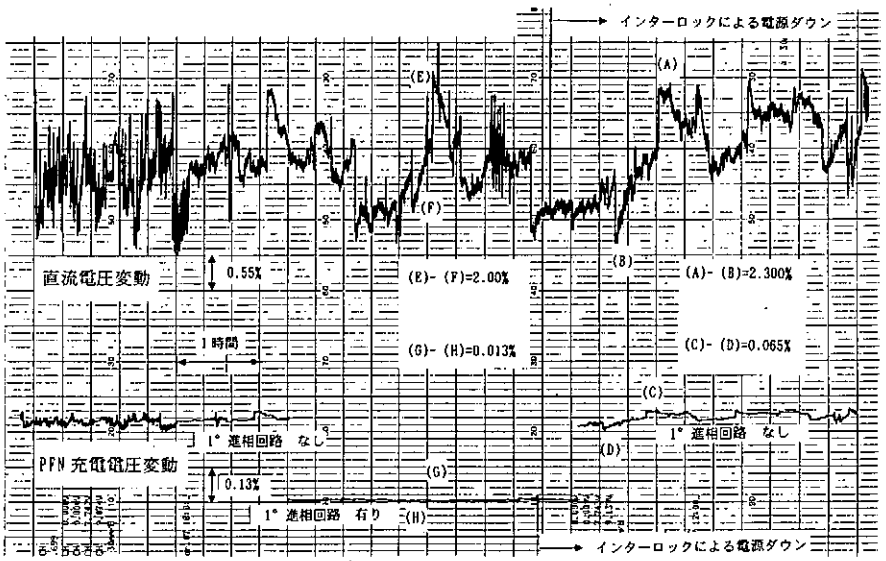


図 8　パルス電源運転状態での電圧変動

充電電圧変動では 1° 進相回路の切り替えスイッチを途中で切り替えて、回路の効果を比較している。進相回路がない場合、入力ライン変動がA点からB点まで2.3%ある時、充電電圧はC点からD点まで0.065%変化していることがわかる。回路を使用した場合は入力ライン変動がE点からF点まで2%の時、G点からH点までの0.013%となっている。一見、回路使用時の充電電圧変化が人為的に直流電圧変化を与えた場合よりも小さく見えるが、図7に戻ると、回路使用時の変化の傾きは直流電圧変動の大きい場合に比べ、小さいところでは少なくなっている。自然な運転状態でも人為的な直流電圧変化を与えて測定した結果とほぼ等しくなっていると言える。尚、途中でふたつの電圧が急激に変化しレンジオーバーしているのは、インターロックにより電源がダウンしたためである。

5. 今後の改善予定

ディキューイング回路の性能を更に向上させるためには、ディキュー量に応じて進めの量をコントロールしてやる必要がある。図9はパルス電源の回路を簡略化したものに進相回路、ゲインを回復するアンプ、更にはアンプの出力の傾きを、あるレベルから変化させる回路（波形変形回路）[2]を組み合わせたものを示す。ここでの進相回路は位相を 1.5° 進めるものであり、変形回路の傾きを変化させ始めるレベルは、入射器の運転で一番ディキュー量が大きくなる8%の時の基準電圧である 8.24V としている。スパイスに依るシミュレーションの結果、ディキュー量に応じて図 10 の様に進め量をコントロールできることがわかった。制御値付近のディキュー量では、進めが大きすぎるが、大小のディキュー量の場合には補償がうまくいっていることがわかる。今後、この回路に依る充電電圧変化量をシミュレーションして効果を確かめたり、変形回路をもうひとつ追加した場合の検討もし、実際に回路を製作しディキューイング回路の性能向上を図っていきたいと考えている。

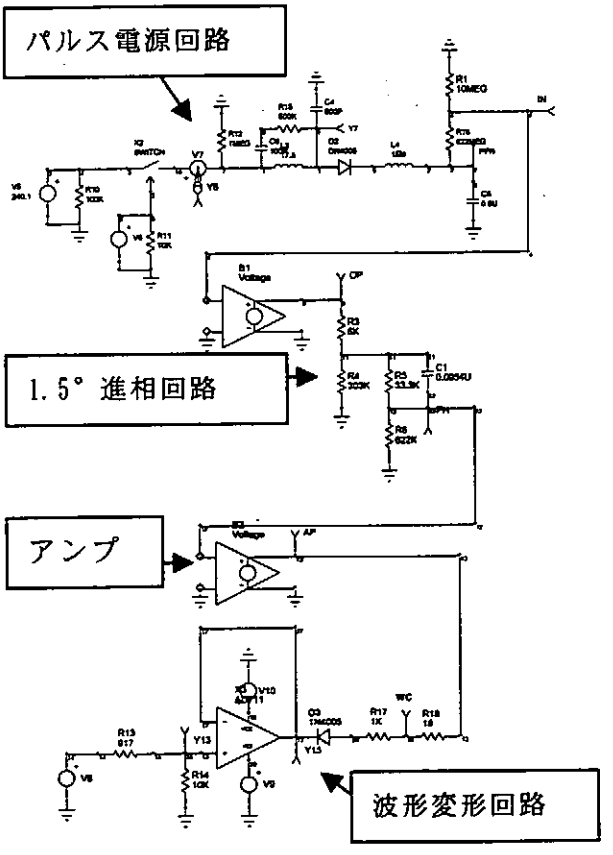


図 9 進相回路に波形変形回路を追加した試み

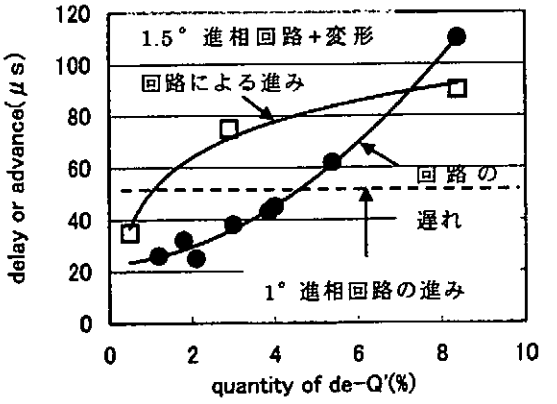


図 10 波形変形回路による制御された進め

6. 参考文献

[1] The Stanford Two-Mile Accelerator, ed. R. B Neal, Benjamin, New York, p433 (1968)

[2] KEK 加速器研究施設二宮重史氏との private communication

ＪＴ-６０Ｕ 用負イオン源フィラメントプレプロ制御

原研那珂研究所　○藻垣和彦、河合視巳人、薄井勝富、疋田繁紀、日下誠

１．概要

ＪＴ－６０Ｕ用負イオンＮＢＩ装置は、１基のビームラインと２台の大型負イオン源を使用し、負イオンビーム出力５００ｋｅＶ、１０ＭＷ、１０秒を目標に実験運転を行っている。これまでに重水素ビームで５．８ＭＷ、水素ビームで６．２ＭＷまでのビーム入射を達成した。

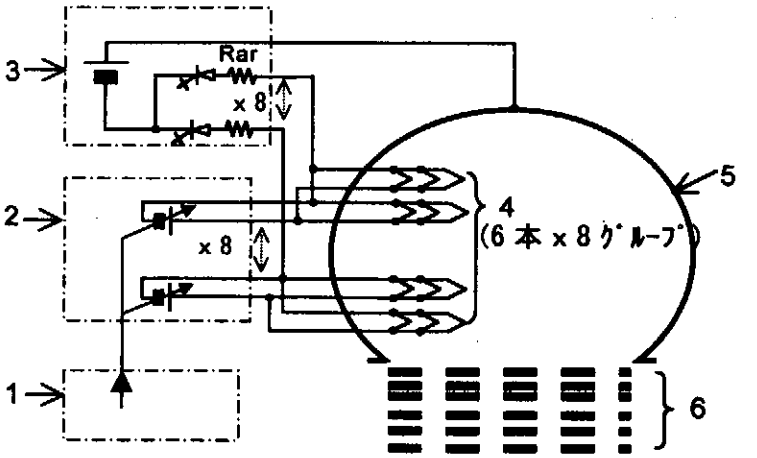
本大型負イオン源において、負イオン生成のためにフィラメントとアークチャンバ間アーク放電を開始、維持に必要なフィラメント加熱用電源の電力を、計算機システムからプリセットしたパターンに従って制御するフィラメントプレプロ制御機能を採用した。

この結果、引き出される負イオンビーム電流の絶対値の増大と時間的変化を抑制することが可能となり、入射パワーの増大に貢献できた。

２．負イオン生成部

本イオン源では、最大５ｋＡ、最長１３秒まで、アークチャンバ内壁と４８本のフィラメントカソードの間でアーク放電が行われる。図１のように、フィラメントは６本ずつ８系統に分けられ、各系統のフィラメントの片側端子はアーク放電の安定化のための限流抵抗器Ｒａｒｃ（約１５０ｍΩ／系統）を介してアーク電源負出力端に接続されている。

安定した負イオンビームの引出しのためには、その数秒前からフィラメントに通電し、熱電子を放出させた状態でまず、アーク放電だけ（これをプリアークと呼ぶ）を開始して、安定なアーク放電となった後、負イオンビームを引出す手を採っている。フィラメント電源、アーク電源の制御は、１パルス中の出力は一定となるよう定電圧制御を行っている。

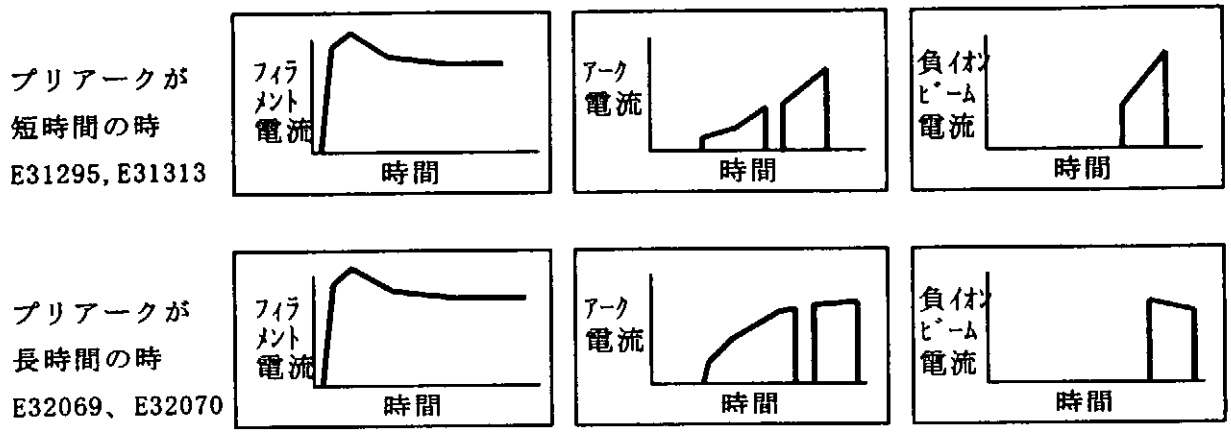


【図１】フィラメント電源とアーク電源、負イオン源との接続図
1…計算機システム、2…フィラメント電源、3…アーク電源、
4…フィラメント、　5…負イオン源アークチャンバ、

３．プレプロ制御導入前の問題点

負イオンビームを引出す手順において、当初、プリアークはフィラメント通電開始の５．５秒後頃から開始し、０．５～０．７秒間程度の、正イオン源並みの設定で行っていた。この条件では、アーク電流及び負イオンビーム電流が、試験調整の進展と共に徐々に増大するにつれ、その時間的変化成分が目立つようになった。ビーム電流が時間的に増大することは、パービアンスミスマッチングによる加速部電極の熱負荷増大や放電破壊の一因となり得る。これらを避けるため、プリアーク時間を２．５秒と十分長くして、アーク電流がほぼ平衡した状態でビー

ム引出しを行ったところ、時間的変化の少ない、大アーク電流を得られた。しかしビーム電流は、その最大到達値が以前の条件の最大値より小さいうえに、時間的にわずかに減少するような波形となった。これらの概略を図２に示す。実波形図を別図―１に示す。短プリアーク時のビーム電流の時間変化率は～１１Ａ／秒などの極端な例もあった。また、プリアーク時間を長くするためには、電源容量やケーブルの放熱などから決まる繰り返し率の関係から、運転周期を長くする必要があり、そのため運転効率は低下する。



【図２】プレプロ制御採用前の負イオン源の通電電流波形例

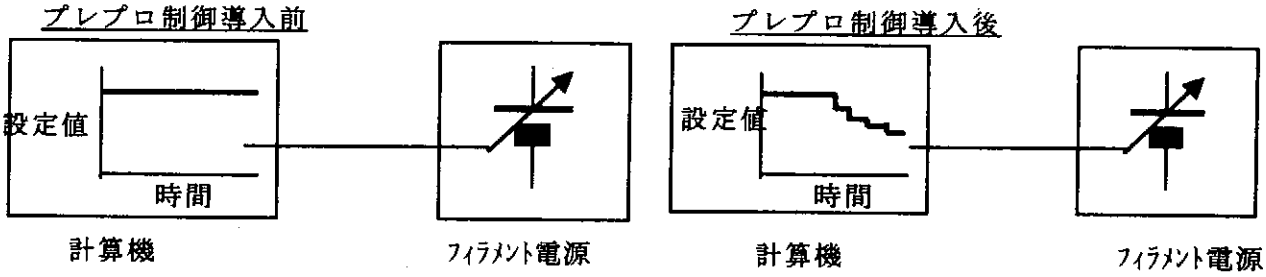
4. 原因と対策

以上の現象は、次のことが原因であった。

プリアーク時間が短い条件の場合には、フィラメント温度が平衡状態に達していなく、アーク電流がフィラメントに流れ込むことによって、フィラメントが昇温し続け、フィラメント、アーク両電源を定電圧制御しているにも係わらず、アーク電流は時間的に大幅に増大していた。逆に、プリアーク時間を十分長くした場合には、合計で～４ｋＡ（～５００Ａ／系統）近くの大アーク電流となるため、限流抵抗器における電力損失が増大し、アーク電源出力を増大させても負荷端（イオン源入力）のアークパワーが増大しないため、ビーム電流を増大できなかった。イオン源入力アークパワーＰａｒｃ、ビーム電流Ｉａｃｃのビーム引出開始時と終了時の両者の比較を、別図－２に示す。Ｐａｒｃを見ると、プリアークが短時間である場合、Ｐａｒｃの時間的変化が大きく、その最大値はプリアークが長時間である場合より大きく、そのためＩａｃｃ最大値も大きくなっている。プリアークが長時間である場合、Ｐａｒｃが比較的小さい値で飽和するのは、大きなアーク電流Ｉａｃｃほど限流抵抗器での電力損失($Ｒａｒｃ×Ｉａｒｃ^{2}$)が増大するためである。また、温度係数の大きな抵抗器を使用しているため、プリアーク時間を長くしたことにより抵抗器自身の温度上昇の影響も加わって、さらに電力損失が増大していると考えられる。

以上の問題を解決するためにフィラメントプレプロ制御機能を採用した。これは、運転制御用計算機システムとフィラメント電源の制御装置を組合せて機能するもので、図３のように、プリアーク終了頃までは、時間的に一定な電力によりフィラメント加熱を行い、負イオンビームを引き出す時には、予め計算機システムでプログラムした内容のとおり、フィラメント加熱電力を時間的に減少させることができるものである。これにより、ビーム引出中のアーク電流からのフィラメントへの入熱分を相殺させることにより、プリアーク時間を必要以上に長くすることなく、アーク電流の時間的変化をコントロールすることができた。この結果、限流抵抗器

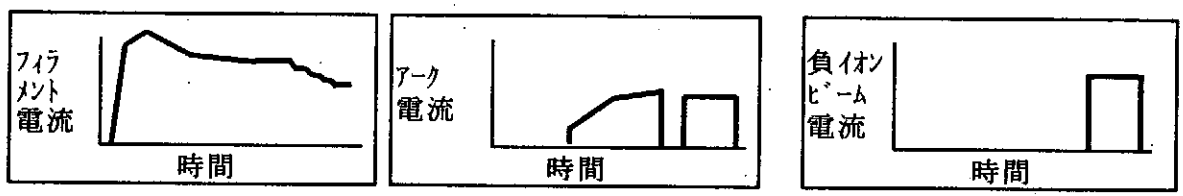
における電力損失を減少させ、より大きなイオン源入力アークパワーを得ることができ、ビーム電流の絶対値増大と時間的変化を十分に小さくすることが期待できる。



【図３】ﾌｨﾗﾒﾝﾄﾌﾟﾚﾌﾟﾛ制御導入前後の、フィラメント電源の出力設定方法の比較図

５．結果

ＪＴ－６０Ｕ負イオンＮＢＩ装置における、大型負イオン源のアーク放電性能の改良を目的として、計算機によるフィラメントプレプロ制御を導入した。これにより、プリアーク時間が～１秒でも、ビーム引出中のアーク電流の時間的変化を適切に調整、維持できるようになり、イオン源へのアークパワーの絶対値増大と時間的変化が少ない運転法を確立することができた。これらの概略を図４に、実波形例を別図－３に、プレプロ制御の有無でのＰａｒｃ、Ｉａｃｃの比較を別図－４に示す。これらの図のように、プレプロ制御導入により、プリアーク時間を必要以上に長くすることなく、引き出される負イオンビーム電流の絶対値の増大と、ビーム電流の時間的変化の抑制を同時に達成できた。



【図４】本機能採用後の出力波形例

６．まとめ

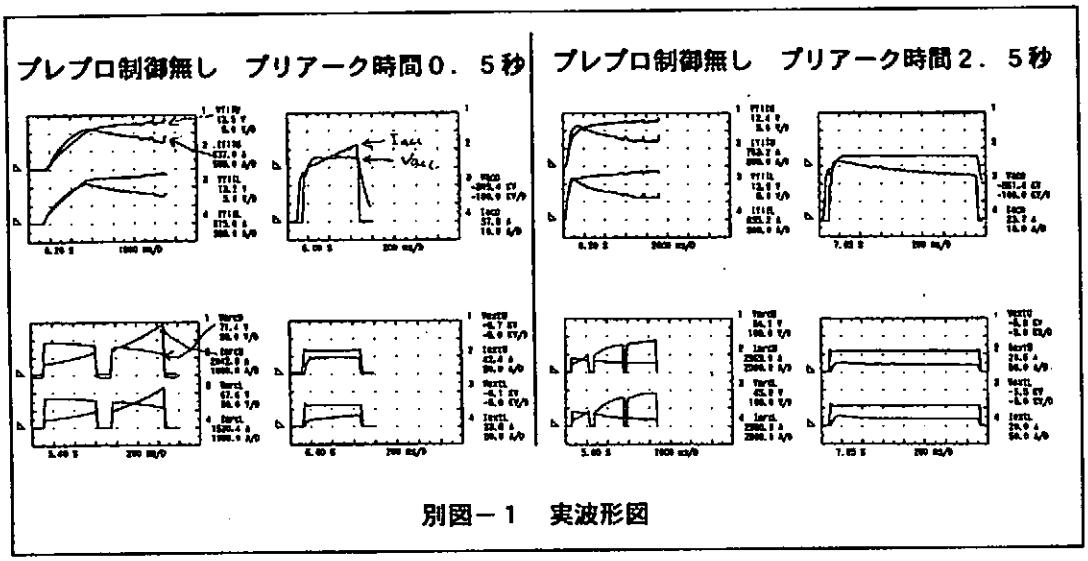
ＪＴ－６０Ｕ負イオンＮＢＩ装置の大型負イオン源において、プリアーク時間が短い状態でビームを引き出すと、ビーム電流の時間的変化が大きくなりすぎ、この時間的変化を抑制しようとプリアーク時間を長くしてビーム引出しを行うと負イオンビーム電流値最大値が制限されてしまう問題があった。この対策として、フィラメントプレプロ制御機能を導入し、次の結果を得た。

１、プリアーク時間を必要以上に長くすることなく、ビーム引出中のアーク電流を適切に調整、維持できるようになり、他のパラメータとの組合せた運転条件の最適化が可能となった。その結果、引出される負イオンビーム電流の絶対値の増大と、ビーム電流の時間的変化の抑制を同時に達成でき、２００１年１２月現在までに、ＪＴ－６０Ｕへ５．８ＭＷ（重水素）、６．２ＭＷ（水素）の入射パワーの運転達成に貢献できた。

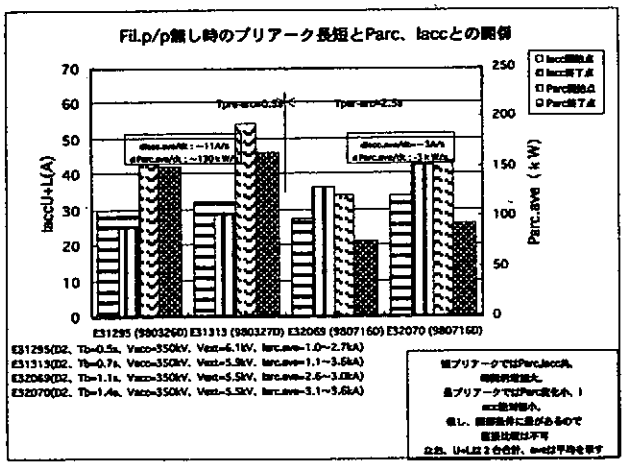
２、今回のような必要性が生じた場合、従来技術では、フィラメント電源の制御装置に時間的に変化する機能を持つ回路を追加する必要があり、制御定数の試験調整時には、現場設置の電源盤に出向き、調節する必要があった。本制御機能では、フィラメント電源の制御装

置は一切手を加えることなく、制御定数の試験調整時にも、中央制御室で、計算機定数値を変更するだけの極めて容易な操作だけで済み、運転条件に応じた最適な制御定数を選定する試験を効率良く行うことができた。

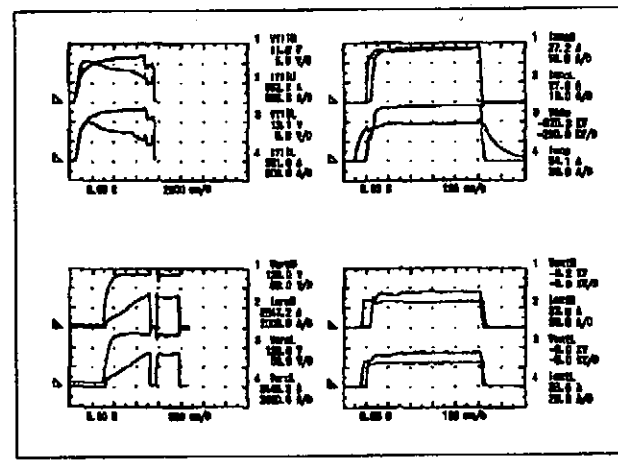
今後、さらに、限流抵抗値の最適化、フィラメント８系統毎の調整によるＰａｒｃ一様化試験を行う予定である。



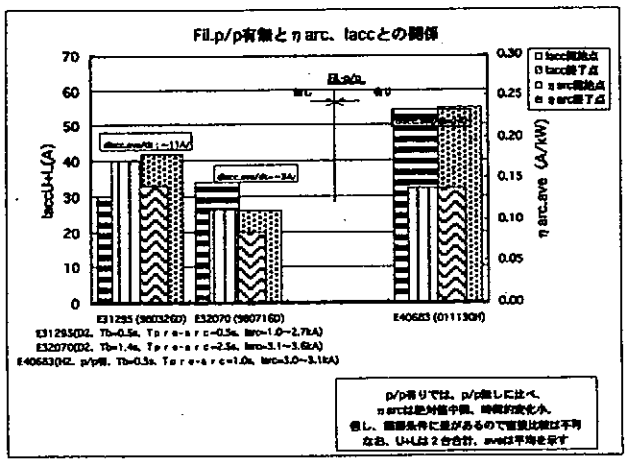
別図－１　実波形図



別図－２



別図－３　実波形図



別図－４

ヘリウム液化装置への冷却水の流入と修理について

京都大学原子炉実験所　技術室
○宮田清美　　小高久男

1．はじめに

京大炉に設置の英国ＢＯＣ社製ヘリウム液化装置（１９８０年度設置）は、膨張エンジンにタービンを備えた公称液化能力 15L/h の小規模クラスのものであるが、これまで大きな故障もなく、約２０年経過した。ところが一昨年の１１月、液化運転中、冷却水管の異常振動及び圧力計の異常値から、冷却水がプロセスガス中に流入していることが判明した。コールドボックス系内への水やオイルの混入はタービンの損傷や熱交換器などに致命的な結果を及ぼす場合があり、いわば重故障の部類である。運転再開までに約一ヶ月を要したが、水分を除去し、内部を乾燥して修理を完了しする事が出来た。元の状態への復帰を確認し、順調な液化運転が可能となったのでその状況と対策について報告する。

2．故障の経緯と流入箇所の特定

２０００年 11 月 9 日（木）9：00　起動前点検の後、運転を開始した。プロセス運転直後にタービンブレーキ回路の冷却水配管の異常振動を発見、冷却水出口から水が出てないことを確認し、直ちにプロセスを停止した。その後プロセスを停止しているにも関わらず J-T の圧力計（PI-2）が約 0.5bar を指していたので、PI-2 の圧力計の配管経路をたどったところ、ウオームアップユニットと呼ばれる熱交換器があって、冷却水と接していることが分かった。そこで冷却水の入口側から窒素ガスで加圧して調べたところ、ウオームアップユニットからプロセスガス配管系に漏洩箇所があることが判明した。

ウオームアップユニットの構造は、図１に示すように冷却したヘリウムガスを加温するための一種の熱交換器である。外径 φ 42.3mm、長さ 90mm、肉厚 1.2mm の円筒状（縦型）銅製の容器の中に外径 1/8 インチ(3.175mm)、内径 1.8mm、肉厚約 0.69mm の銅管がコイル状に約９５ｃｍ（約１０ターン）巻かれており、この中を冷却ヘリウムガス(－１００℃以下）が流れ、周りの冷却水に暖められ、常温のヘリウムガスとして低圧配管に戻る構造である。

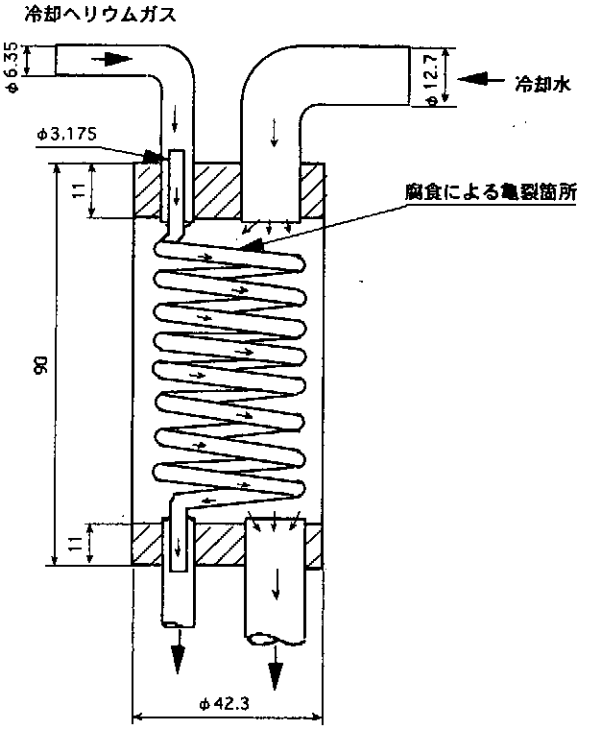


図１　ウオームアップユニット

3．冷却水の除去と乾燥

3－1冷却水の除去

コールドボックス内の水分を除去する方法としては、乾燥ガスを流すことによって水分を押し出し、水分を乾燥させるが、常温のガスでは効果が余り期待はできないので、約９５℃位に加熱した窒素ガスを流した。また１００℃を超えると断熱真空槽内のスーパーインシュレーターを傷める恐れがあるので注意を要する。そこで空気加熱器（東洋電熱株式会社製）を用い、加熱した窒素ガスを配管継手から連続的に流した。故障したウオームアップユニットは取り外し封じ切りとした。ガスの導入口及び排出口は図２フローシートのA（V-13）、B（V-65)、C（三重管）、D(V-41）、E(V-25)の５箇所（継手）からとした。ガスの流し方によってはよく流れる方向とあまり流れがよくない方向もある。今回流入した水を排水するために V-41の高圧ラインからガスを流し、ウオームアップユニットの入り口部分 Aを開にしたところ、約 600mlの水を排水できた。

排水量の一番多かった箇所としては Cの三重管から J-T弁を開いてV-65の Bから排水の場合で、約 1400mlの水を排水した。

同様にV-25からもガスを流したが、三重管を開にしているので高圧、低圧ともにガスは流れることになる。A、B、C、D、Eの各接続口から交互にガスを流して露点がよくなることを確認した。

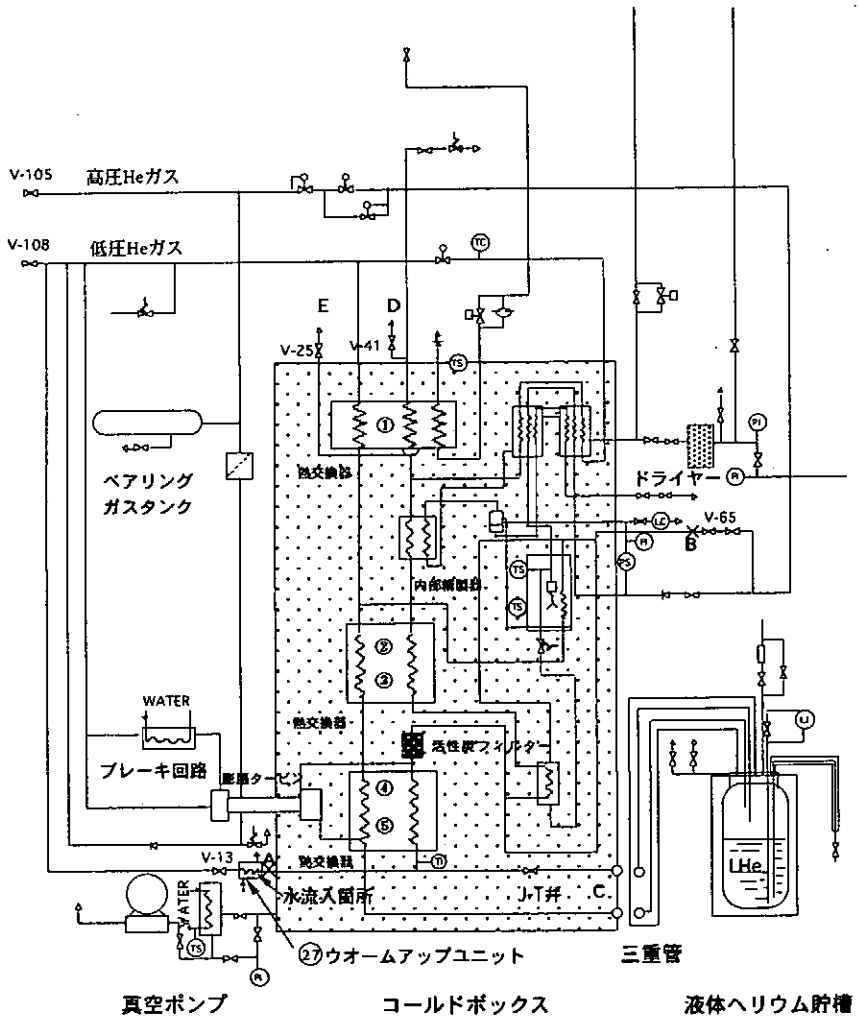


図２　フローシート

３－２露点の測定

露点の高い領域の測定には（株）エース研究所製の露点計（型式AHD－３型）を、低い領域には英国SHAW製 AUTOMATIC DEW POINT METER（測定領域は－８０～－２０℃）を用いA～Eの５カ所で測定した。

多量の水を除去できたことを踏まえ、11月20日以降、三重管を取り外して本格的な乾燥作業を行った。12月5日～12月6日にかけようやく露点がよくなってきた。長期間にわたってガスを流しても露点が良くならなかったのは、配管が長く複雑で水が溜まり易い構造や隘路になっていてガスが十分流れない箇所があるためと考えられる。熱交換器も同様である。また後述するフイルターエレメント（活性炭フィルター）が、水を十分吸収している場合除去が困難である。フイルターエレメントの構造を図３に示す。活性炭が充填される部分の内容積は2.85リットルで二重殻構造となっており、ヘリウムガスは内殻と外殻の間の銅メッシュを通って、径６mmの穴（１２個）から入り、活性炭フィルターを通って高圧系に導かれる。構造上、この二重殻の中に溜まった水の排出は困難である。従って最終的にはこのフイルターエレメント内の水分除去に時間を要したがどの系統から完全に水分除去を行い、露点が10ppm以下であることを確認の後、全系統をヘリウムガスで置換を行った。

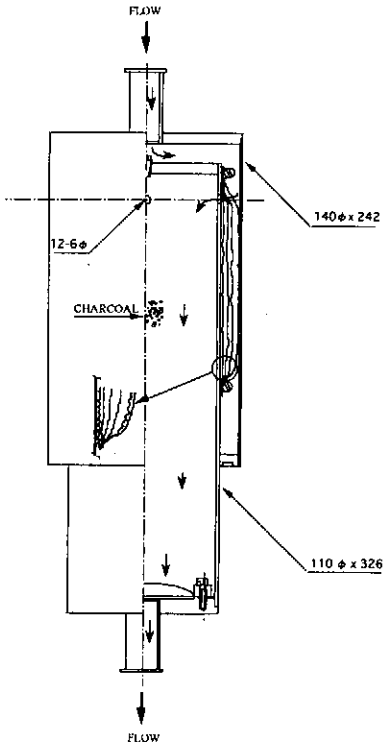


図３　フイルターエレメント

３－３水分を吸着した活性炭の乾燥実験

配管に溜まった水は比較的簡単に排水できたが、系内の露点を向上させるのに時間を要した。特にフイルターエレメントには活性炭が充填されており、これと複雑な配管の隘路もあって乾燥時間を長くしているものと考えられた。そこで水分を飽和まで吸着した活性炭に窒素ガスを流し、乾燥するまでの時間を測定した実験結果を図４に示す。図中に示すような筒型の容器（約３５mℓ）に上下方向にガス導入管を取り付け、市販の活性炭（武田薬品活性炭顆粒状）を12.92ｇ充填して水を飽和まで吸着させた。水分量は9.11ｇである。次に窒素ガスを下部から10ℓ/min一定流量流した時の水分の散逸量を経過時間で表した。活性炭は自然の状態でも空気中の飽和水蒸気圧で吸着しているが、この状態から乾燥窒素ガスを約５時間流すと自然状態まで乾燥し、その後約７時間でほぼ乾燥状態となった。この結果から、実装のフイルターエレメントのような複雑な構造であっても乾燥時間は長くなるものの乾燥は可能であることが分かる。また加熱したガスだとさらに乾燥時間を早めることは予想できる。

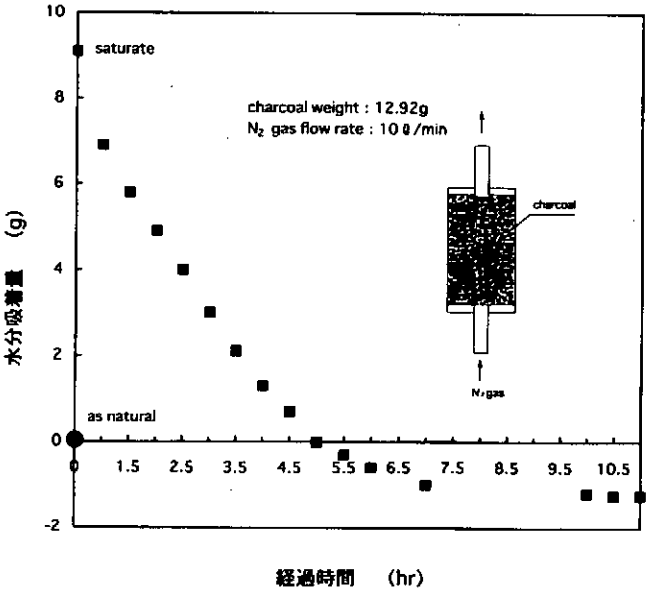


図４　活性炭の吸着水分の脱離試験

4．腐食の原因

写真１にウオームアップユニットの亀裂部分の拡大写真を示した。ヘリウムガスの通る銅管表面の減肉が著しく、更に銅製容器内面も荒く浸食していることが観察された。また銅管の細い部分は外径2.5mm、肉厚は0.3mm程度しかなく浸食（腐食）と見られる亀裂が発見された。



写真１　ウオームアップユニット

腐食の原因としては、(1)金属のイオン化傾向による腐食、(2)２種の金属が接触して起こす接触腐食又は電流腐食、(3)外部からの電流による腐食に大別される。

ウオームアップユニットの破断面の状況から見ると、腐食の原因として推測されることは、氷結水（氷晶）が銅管表面を削り取る粒界腐食（金属の結晶粒界だけが選択的に腐食溶解する現象で、表面層では結晶粒界が腐食され、表面は結晶粒の脱落が見られる）が考えられる。液化装置運転中、ウオームアップユニットの銅細管には常にガス圧（約0.9MPa）がかかっており、毎回クールダウン約５時間は常に冷却ヘリウムガスが流れ、ユニット内銅管の外表面には氷の結晶が生成、剥離を繰り返し、水流にのって銅管の表面を浸食していったものと推測される。冷却水は常時タービンブレーキ回路からウオームアップユニットを通して流れており、ガス銅細管にはクリープ変形のもとで腐食が進行し、減肉状態で破断が起こったものと考えられる。

5．対策後の液化運転

ウオームアップユニットは冷却水による加温方式をやめ、φ5.0mmの銅管をコイル状に９ターン巻いたものを作り、ドライヤーによる熱風で加温する方式とした。修理後は順調な液化運転が出来ている。

6．まとめ

今回、コールドボックスへの冷却水の流入は重故障の部類に入る致命的なトラブルであったが、元の状態に復することが出来た。結果的に見ればウオームアップユニットやフイルターエレメントの構造を熟知しておれば対処の方法も効果的に出来ていたかもしれないが、ブラックボックスのような所があり、手間取ってしまった。この液化装置の積算稼働時間も約8750時間を越え、しかも同型のものは既に製造中止であり、部品の入手も困難になってきている。今後注意を要する点としては、主圧縮機のインタークーラー、アフタークーラーやタービンブレーキ回路からの水の混入等があるので、日頃の細心の注意（予防保全）と保守管理が重要である。

参考文献

１）TURBOCOOL　MANUAL
２）配管ハンドブック（改新版）　配管工学研究会編
　　配管の腐食作用と防食法

沖縄における機器の冷却

琉球大学　極低温センター
○宗本久弥

1. はじめに

当センターは液体窒素(−196℃)と液体ヘリウム(−269℃)を製造しているが、その液化機や圧縮機等は大量発熱するので、適切に冷却しないとオーバーヒートしてしまう。冷却方法は空冷か水冷で、水冷は水道水を流し続ける一過式と、クーリングタワーやチラー(Water Chilling Unit)による循環式がある。各方式にはそれぞれ得失があり、効率や経済性、地域特性を充分考慮した上でシステムを選択、設計しなければならない。

沖縄は亜熱帯に位置し、サンゴ礁の隆起した小さな島々からなる。ここでは高温多湿と潮風の塩害による錆が大きな問題となる。当センターでは機器の冷却に関わる様々なトラブルを経験しているが、今回は錆問題を中心に紹介し、対策を検討する。水質、断水等の冷却水事情や、冷却不足、その他については割愛し、機会を改めたい。

2. 冷却に伴い発生するトラブル

内地から当センターへの来訪者は、大学関係者、業者を問わず、機器の錆と湿気に一様に驚く。中でも機器の冷却に絡むものは重症である。空冷はもちろん、循環式の水冷も最終的にはクーリングタワーやチラーが大気と熱交換するので、潮風の影響を強く受ける。まずは被害の大きかった事例をいくつか挙げる。

事例1: クーリングタワーのファンモーター[1]

ヘリウム液化用圧縮機の循環式冷却水のため、クーリングタワーが屋上に設置されている。これのファン用モーターは腐食が著しく、筐体が朽ち果てて設置後6年で交換することとなった。<写真1>ではモーター内のコイルが見え、ファンを固定する軸のボルトも傷んでいる。

事例2: チラーの凝縮器

窒素液化用冷凍機の循環式冷却水には、チラーを用いている。これも凝縮器の腐食が激しく、9年目にして冷媒が漏れた(運転中に銅管からフロンが噴出)。銅管の漏洩部はうまく撮影できなかったが、<写真2>でアルミの放熱フィンはボロボロになっている。

ちなみに後述の防錆処理を施したエアコン室外機は、10年経過しても原形を留めている。逆に自動車なども防錆処理してないと、事例1のようにすぐに錆びて穴が空いてしまう。沖縄ではこうした事例が非常に多い。

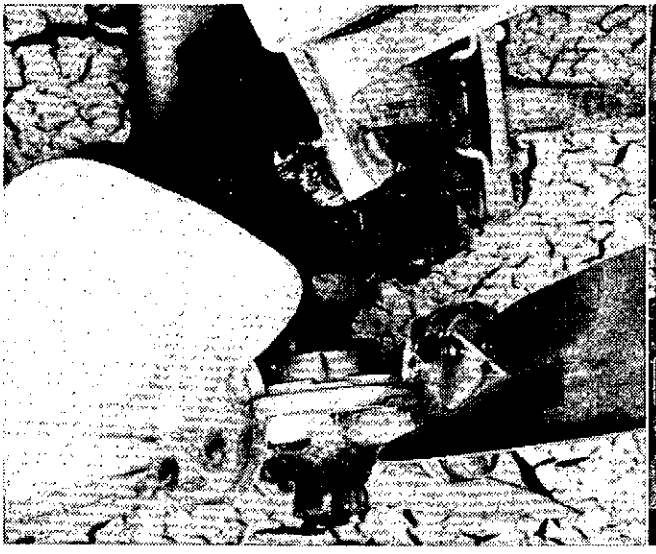


写真 1: 交換のため取り外したモーター

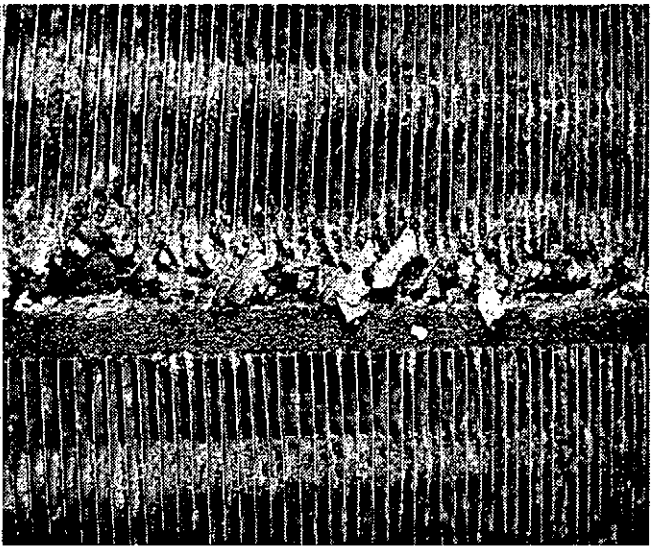


写真 2: 腐食した凝縮器

事例3: 空気圧縮機の冷却油温設定

窒素液化用空気圧縮機(スクリュー式、8気圧、空冷、ドイツ製)は冷却油の乳化が著しく、オイルセパレーターカートリッジにべったり付着するという問題があった。湿度が高く空気の圧縮に伴い水分が凝縮するためである。窒素液化システムの納入業者に相談しても、規定時間より早めのカートリッジ交換を勧められるだけであった。しかし圧縮機メイカーの日本法人からは、以下の情報が得られた。

- 冷却油温を上げると水分は凝縮せず水蒸気のまま吐出へ逃げる
- 温度が高すぎる(100℃)と冷却油も蒸発してしまう
- 温度が高いと後段の冷凍式空気乾燥器の負担も増す
- したがって湿度に応じた油温設定が必要
- 油温度調節器(温調弁)は可変式ではなく、仕向地に合わせたものを用いる(表1)
- 運転温度は温調弁の設定値+5℃(冬)~10℃(夏)

表1: 空気圧縮機の温調弁

ヨーロッパ仕様	70~75℃
北 米 仕 様	80℃
東南アジア・亜熱帯仕様	85℃
特別仕様(10気圧以上)	90℃

当センターに納入されていたものはヨーロッパ仕様だったので、亜熱帯仕様に変更したところ、冷却油の乳化は解消した。

事例4: 空冷で生じる結露

ターボ分子ポンプの電源ユニット(空冷ファン付き)が4年で故障した。そのときのメイカー修理報告書を抜粋する。

1. 故障の状況
「E2」エラー（過電流）で停止、その他不明。

2. 点検結果
(1)外箱表面が変色して、一部腐食していました。
(2)基板の一部、部品（可変抵抗、スイッチなど）が変色していました。また、液状の異物が付着した痕跡が認められました。
(3)その他の回路に異常は認められませんでした。

3. 原因の推定
(1)基板に付着した異物で回路が誤動作したと考えます。

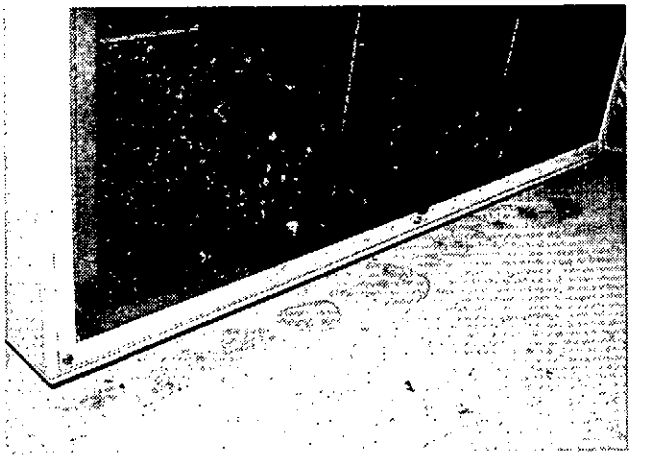


写真3: エアーフィルターマットから滴る水

外箱は鉄製で、塗装もメッキもされていない。「液状の異物が付着した痕跡」は、ファンの風により高湿時に塩分を含む結露が生じたものと思われる。残念ながらこの写真は撮ってなかったので、代わりに空気圧縮機吸入口が結露したときの様子を<写真3>に示す。

空調の効いた実験室内で使用する限りこのような結露は心配ないが、寒剤の使用に際しては換気を義務づけているので、外気の流入がある。液化室に至っては吹き抜けで空調もない。

3. 沖縄県の置かれる状況

日本は四方を海に囲まれ、至る所に臨海地域が存在する。そのため湿気や塩害について、沖縄だけが特別とは一般に考えられていない。しかしこれは大変な誤解である。技術的困難よりも、認識の問題が大きい。

3.1 地理的環境

沖縄県は北緯24°～27°に位置し(北回帰線は23.5°)、東西800km余りに渡って広がる小さな島々からなる。琉球大学のある沖縄本島まで、鹿児島から700km、東京から1500kmの距離である。(北方領土最遠の択捉島は東京から1300km、ちなみに日本最南端は東京都小笠原村の沖ノ鳥島、最東端は同じく南鳥島)

沖縄は年間を通じて風が強い。これは当然潮風であるが、そのため夏の最高気温も32℃程度で、内陸部のように上昇することはない。一方冬は、最低気温が14℃程度で、九州各地の最高気温より高い。湿度は平均で85%という月もある。また海塩粒子の飛来量も地形や風速の影響が大きく、沖縄は不利である。さらに年

平均4回の台風時には、海塩粒子が10～100倍にも増大する。また雨があたらないと付着した塩分が洗い落されないので、雨よけの屋根や庇は逆効果にもなる。このように、高温多湿と膨大な海塩粒子が腐食の化学反応を促進し、塩害は他地域より激しくなる。[2][3][4]

なお、位置的に近い台湾は島が格段に大きいため、潮風の状況が全く異なり、塩害は少ないようである。

3.2 社会的環境

ここで全国一律の規格や仕様の不備が障害となることがある[2][5]。沖縄の気象条件に合わない仕様でも、それに従わざるを得ず塩害対策できない、あるいは対策費が予算確保されず、結果として修繕に余計な費用がかかることもある。保証期間で業者が責任を負わされることもある。僻み交じりの個人的推測だが、復帰(1972年)以前に策定された仕様には沖縄の特殊事情が考慮されていないだろうし、復帰後でも日本の1%でしかない要求はなかなか反映されないのではと思う。

そして沖縄での実績が乏しい内地業者の認識不足も問題である。一例に琉球大学向けとして提出された液化システム仕様書を抜粋すると、「大気条件:最高温度50℃、最高湿度85%」「鉄製品については塗装を施工致します」などとなっている。大気条件(湿度)は沖縄の気候に適合しないし、また普通の塗装も沖縄には不充分で、実際この装置は塗装がはげ落ちて錆びている。

3.3 塩害のデータ

そこで、このような認識不足や規格、仕様の不備に対し、防錆対策の指針を打ち出し「沖縄仕様」を確立するため、沖縄金属腐食対策協議会(1983～1993年)が実際的データ収集を行った。[5]

(社)日本冷凍空調工業会は規格「空調機器の耐塩害試験基準(JRA9002-1991)」[6]を1991年に制定している。その解説には、他地域より厳しい沖縄の条件が示されている(図1)。また冷却以外の分野でも、(社)日本照明器具工業会が「照明器具及び照明用ポールの耐塩害に関するガイド」[7]を1998年に制定している。これを解説した東芝ライテック(株)の「屋外照明器具の耐塩害について」[8]も非常にわかりやすい。これらの規格は程度により「塩害」「重塩害」の2ランクを定めているが、沖縄は全島が塩害地域に含まれ、中でも琉球大学は東に太平洋(2.5km)、西に東シナ海(4.5km)を見晴らす高台(130m)という「絶好」の立地条件にあり、重塩害地域といえる。

日本銅センターの「銅屋根のヒミツ」[9]によれば、沖縄の銅減耗量は東京の約4倍、それでも充分な耐用年数があるとされている。しかしチラーの凝縮器(事例2)は熱と風による加速試験状態であり、また冷媒配管は20気圧程度の耐圧も必要なので、銅屋根に比べ寿命が大幅に短縮してしまう。

（4）設置距離目安　設置環境により条件が変わります。

■直接潮風が当たるところ

	設置距離目安 300m	500m	1km	備考
①内海に面する地域	H	L	－	瀬戸内海
②外洋に面する地域	H		L	
③沖縄、離島	H			

H；耐重塩害仕様
L；耐塩害仕様

■直接潮風が当たらないところ

	設置距離目安 300m	500m	1km	備考
①内海に面する地域	L	－		瀬戸内海
②外洋に面する地域	H	L		
③沖縄、離島	H		L	

H；耐重塩害仕様
L；耐塩害仕様

図1:「空調機器の耐塩害試験基準」の解説より

4. 塩害対策

ステンレスは塩素に弱く、沖縄ではSUS304、SUS316も腐食する。建築業界では非常に高価な高耐食ステンレスYUS270やチタンが用いられることもある[3]。また溶融亜鉛メッキ上に特殊塗装を施したり[10]、亜鉛にアルミニウムを加えたガルバリウム鋼板も用いられる[4]。ローバル[11]や呉工業のジンクコート[12]といった簡易な亜鉛塗料も作業現場には欠かすことができない。電気防食(Rust Arrester)という技術もある。

空調の室外機で具体的に対策を見てみると、特殊な素材で機器を構成するのではなく、標準品に防錆処理

を施す形をとっている。ピンホールのできない塗装が重要で、塗膜の密着性や膜厚、硬さ、耐候性などが鍵となる。外装はエポキシ樹脂塗料の下塗と、ポリウレタン樹脂塗料やフッ素樹脂塗料の上塗で120μ以上の強靱な塗膜を形成する。内部は自動車床下用と同じワックス系塗料(黒)で保護する。凝縮器には、低粘度で放熱フィンの隙間に流れ込み、8μの硬質皮膜となり熱交換性を損わない、アクリル系樹脂塗料(青)を用いる。[13]

5. 実際の対応

家庭用エアコンは「うちなーびけーん」(方言で沖縄限定の意、シャープ)や「沖縄晴れ」(三洋電機)といった耐塩害商品がテレビCMでお馴染であったが、両社とも最近生産終了となってしまった。自動車の防錆処理では、世界40ヶ国というジーバート(本社は米国)[14]が有名である。

防錆処理業者は沖縄県内に数社ある。空調機器にしても自動車にしても、内地のメイカー工場では生産ラインの都合か処理を行わず、沖縄に持ってきてから分解、内部の防錆塗装、再組立をしている。こうして標準品が耐(重)塩害仕様へ生まれ変る。硫黄島(東京都小笠原村)の防衛庁施設に納入する機器も、一旦沖縄まで持ってきて処置し、硫黄島に向けて再出荷されている。

このように、防錆処理は大量生産では対応されない。こんな実態にも、塩害が特定の少数地域(沖縄、奄美、小笠原など)だけで顕著な問題となっていることが現れている。

6. まとめ

琉大施設部は防錆処理の予算計上で、文部科学省福岡工事事務所(九大内)から毎度説明を求められる。担当者が変わるたびに、沖縄の塩害を説明しなければならないのである。しかし資料の提示によって理解は得られるようになっている。また防衛庁の沖縄県内設備は100%防錆処理しているそうである。塩害に対する深い認識があり、予算措置もしっかりされているものと思われる。

当センターの液化設備は全く塩害対策されていなかったわけだが、事例のトラブルを内地業者のせいばかりにはできない。液化システムの導入(更新)にあたっては、当センター側で充分な知識を身に付け、地域特性に合わせた対策を仕様書に盛り込む必要がある。またその前段の予算要求においても、防錆の必要性を充分に訴え、対策にかかる費用を確保しなければならない。

謝辞

快く情報提供いただきました琉大施設部設備課仲栄真係長、同工学部環境建設工学科森田教授、(株)ゆにてっくす、(資)ジーバート沖縄、(有)ケイ・エム・ジーバート、ケーザー・コンプレッサー(株)、またWWWで各種情報を公開されている多くの方々に感謝いたします。

参考文献

[1] 琉球新報1983年8月5日(金)1版8面、空調用冷却塔・屋外タンクなど5～7年で腐食
[2] 沖縄タイムス1988年8月15日(月)1版4面、模索する地方経済<23>沖縄仕様
[3] 高耐食金属建材セミナーテキスト、琉大工・森田研究室、塩害地標準構法研究会、1996年7月5日
[4] 第2回金属建材セミナーテキスト、琉大工・森田研究室、沖縄材料リフォーム研究会、1997年10月14日
[5] 琉球新報1983年7月5日(火)1版15面、サビ防戦「協議会」が発足
[6] http://www.jraia.or.jp/09/index.html の【その他】
[7] http://www.jlassn.or.jp/hyojyn/index.html のガイド117
[8] http://eco-net.tlt.co.jp/eco-net/catalog/use/use.htm の1260
[9] http://www.jcda.or.jp/page/part2/2_2.html
[10]http://www.corrosion-center.jp/lect/qa.html のQ017
[11]http://www.roval.co.jp/
[12]http://www.kure.net/products/mechanical/index_j.html
[13]ガードエースS-50仕様書、(株)ゆにてっくす
[14]http://www.ziebart.com/
その他、錆関係のリンク集をhttp://www.cc.u-ryukyu.ac.jp/~ltc/に用意

ヘリウム液化室における遠隔監視・遠隔教育の紹介

北陸先端科学技術大学院大学
○木村一郎　　小松史道

はじめに

本学のヘリウム液化室(平成8年敷設)では、その設計当初からヘリウムの液化/回収の監視等を万事できるだけ無人化/省力化できるように、学内のどこからでも(場合によっては学外からも)LANやWebを使って遠隔で行えるような様々な試みを行ってきた。
(ヘリウム液化室敷設前後当時の導入理由は、担当の教官/技官の居室からヘリウム液化室が(物理的に)遠くなってしまっていた事、担当者の負担をできるたけ省力化し、可能な限り少人数化する事などのためであった。)

大別すると、

1. 研究室の回収状況の遠隔監視(ガス流量計の監視)
2. 液化運転の遠隔監視（液化室の監視，液化機やCEの運転状態の監視と運転日誌記帳の自動化)
3. 液化室利用者との遠隔でのやり取り(供給予約のWeb化，入室した利用者とのTV電話的やり取り)
4. 液化室利用者(主に新人)の安全教育の遠隔化(低温/高圧ガス取扱い安全教育の電子教材化)

である。

中にはまだまだ完成に遠いものもあるが、今まで既に導入できたものについて、その実績を以下に報告する。

1. 液化ヘリウム利用実験室の回収状況の遠隔監視

液化ヘリウムを利用する実験室には、蒸発したヘリウムをヘリウム液化室まで回収するための回収配管を敷設しており、各室の回収ポートの直近には 回収したヘリウムの流量を計測するためのガスメータを取り付けている。本学ではこのガスメータ（パルス発信器付膜式ガスメータ；金門製作所製）に独自開発したEthernet発信機 “He Gas Counter” を取り付けて、その積算流量の値を遠隔から学内LANを通じて取り込む事が出来るようにしている(図1.参照。このガスメータは2種類あり、0.05m³ないし0.5m³につき1回のパルスを発信する。ガスメータが2種類あるのは、実験室により流量の大きい所があるため、最大流量の違いに合わせて使い分けている。)。あらかじめ用意したワークステーションに定期的にHe Gas Counter の積算流量値(= ガスメータの積算流量値)を読み取る(デーモン)プログラムを走らせて



図1：　ガスメータ遠隔監視システム構成図

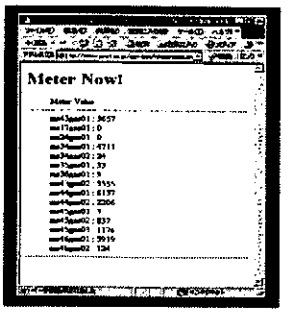


図2：全ガスメータの値を表示

おき、任意の端末のWebブラウザからこのワークステーションにアクセスして学内の全ガスメータの値をどこからでも随時監視できるようにしている(図2)。

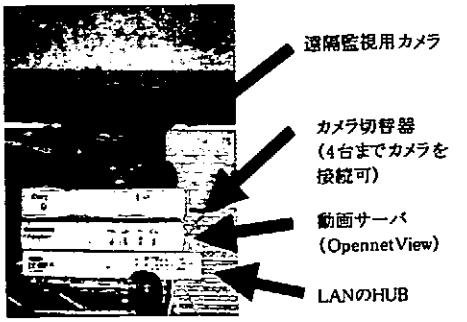


図3:OpennetView本体

2. ヘリウム液化室の室外からの遠隔監視

液化室内での利用者の作業状況の安全性や液化機の運転状態、室内に設置した計器パネルの圧力計の数値などを遠隔から監視できるよう、本液化室では監視カメラとその映像をLANやWebを通じて発信するための動画サーバーを設置している(図3)。この動画サーバーは市販の"OpnenetView"(Mega Chips社製)というものを用いており、オプションのカメラ切替器の導入により最大4台のカメラまで制御できるようになっている。この機器は、小型、軽量で場所をとらずに設置でき、遠隔からズームやチルト・パンなどのカメラの制御もブラウザ上で映像を見ながら操作できる仕組みになっている(図4)。

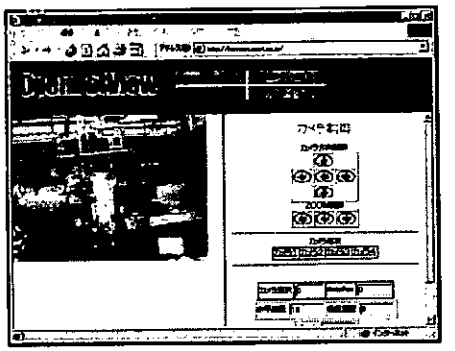


図4:OpennetView(左が映像部、右がカメラ制御部)

3. 室内にいる利用者との遠隔からのやり取り

本液化室には、室内に入室した利用者と室外からもコミュニケーションが取れるように、液化室の側にテレビ会議用の(専用の)PC を設置している。PC には CCD カメラとマイクを取り付けていて、対話用のソフトには MS-Windows 標準の"NetMeeting"を用いている。(今日日、TV-CM 等でもこの TV 電話機能は宣伝されており、今となっては珍しくはなくなった。)

4. 高圧ガス/寒剤利用者への取扱い法の遠隔安全教育

本液化室では、毎年入れ替わり配属される新人学生への高圧ガスや寒剤の安全な取扱いを教育する前段として、はじめての利用者や不慣れな取扱い者が、取扱いの導入編として利用できるような(Webベースの)電子教材を現在作成中である。この中でわれわれは、高圧ガスと寒剤の一般的な基礎知識や、安全な取扱い法、寒剤のベッセルやデュワー、実験装置への充填の仕方、寒剤を用いた実験の代表例などを説明している(これは、現在製作中でサンプル図がなく、他の講義の電子教材を例としてあげた→図5)。これにより、学生は学内のどこからでも随時、Web ブラウザを用いてこれらの予備知識を得る事が出来るようになる。

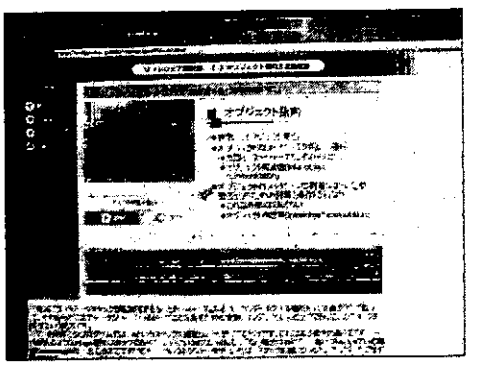


図5:電子教材

最後に

今後の残された課題としては、液化機や CE の運転状態の遠隔監視化と運転日誌記帳の自動化や、ヘリウム供給予約の Web 管理化などがある。

液体窒素貯槽の新設と液体窒素/高純度ガス供給システム

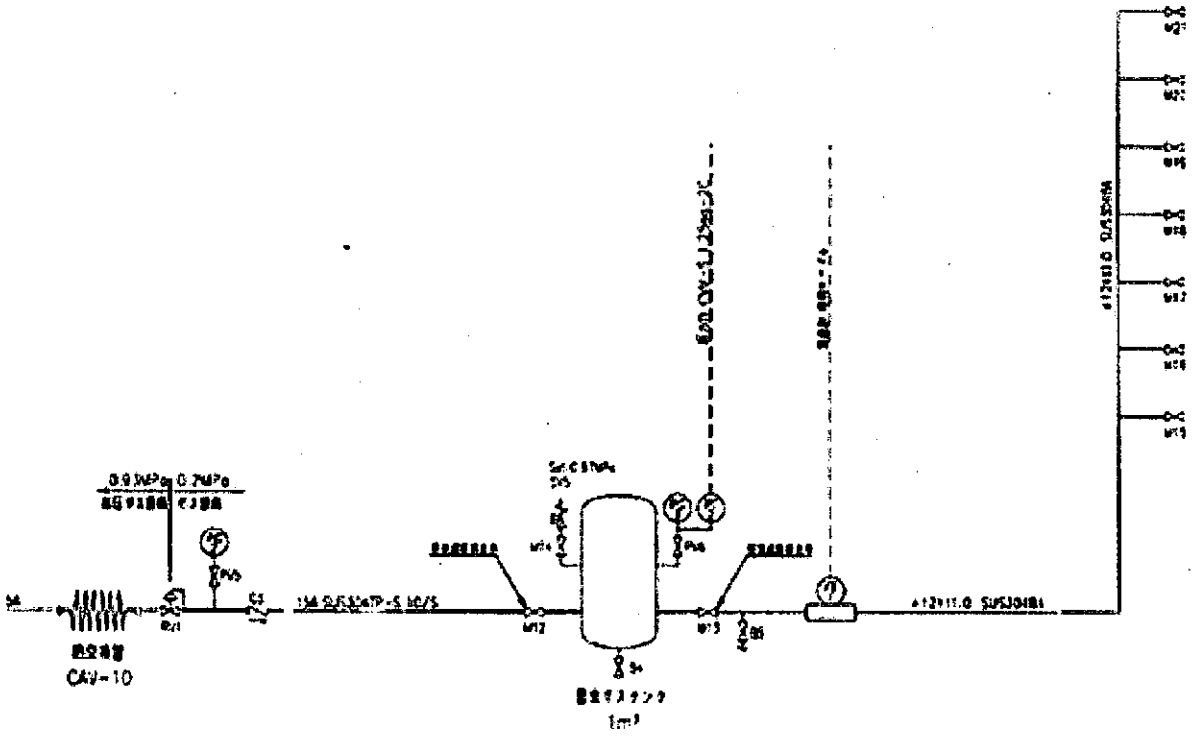
分子科学研究所
○加藤清則

はじめに

岡崎国立共同研究機構の拡張に伴い、通称E地区と呼んでいる空き地に新たな研究施設群を建設中である。E地区は、分子科学研究所から地理的に離れたキャンパスになり、分子科学研究所との間には、小学校と高等学校があり、民家も密集している。2002年3月に完成する建物群の一つである、統合バイオサイエンスセンターには、高圧ガス製造施設が設置され、ヘリウムガスの回収と液体窒素/窒素ガスの供給を行う。今回は、以下の3点に絞って報告をおこなう。

(1) 高純度窒素ガスの供給
(2) 液体窒素自動供給システム
(3) iモード携帯電話端末による遠隔モニター

1. 高純度窒素ガスの供給



図表 1　高純度窒素ガス供給システム

図表1に、高純度窒素ガス供給システムの機器配置図を示す。液体窒素貯槽の自然蒸発ガス（図の左手）は、液体窒素貯槽のガス部分から熱交換器（蒸発器）、減圧弁、逆止弁、空気遮断排出弁（ブロー機能付弁）を経て、高純度のまま窒素ガスタンクに流入する。液体窒素貯槽の蒸発率は 0.6%/day（カタログ値. 液量1/2, 外気温 15 度）で、1日あたり、11m3 程度の不要なガスが発生すると見積もられる。貯蔵された窒素ガスは空気遮断排出弁、流量計を経て、統合バイオサイエンス棟（8階建て）の外壁に沿い、パイプ専用部分を上に向かって配管される。各階外に分岐弁を設け、窒素ガスを統合バイオサイエンスセンターの各ラボに供給する。ユーザーはその弁から機器までと使用済み窒素ガスを排出するための配管をする。また、実験室には酸素濃度計を配置し、酸素欠乏事故を防ぐ。

錆による汚染を防ぐために、タンク・配管・弁等はステンレスを使用した。窒素ガスの純度は、99.999%

以上を保証する。主な機器構成は、蒸発器、タンク（内容積1m3、圧力　0.2MPa(CE内圧と同じ)）、流量計（電送式)、圧力計（ブルドン管および電送式）である。

納入時の純度測定は、半導体業界の基準を採用し、酸素濃度と露点を測定し、算出する。独自の測定器を備えて純度を常時モニターしながら利用することも可能である。

利用見込みであるが、アンケートで当面の消費量の目安を算出したところ、6.3m3/日程度であった。動物実験研究センター・アイソトープ実験研究センターへの配管も可能であるので、将来、需要は増えると見込まれる。

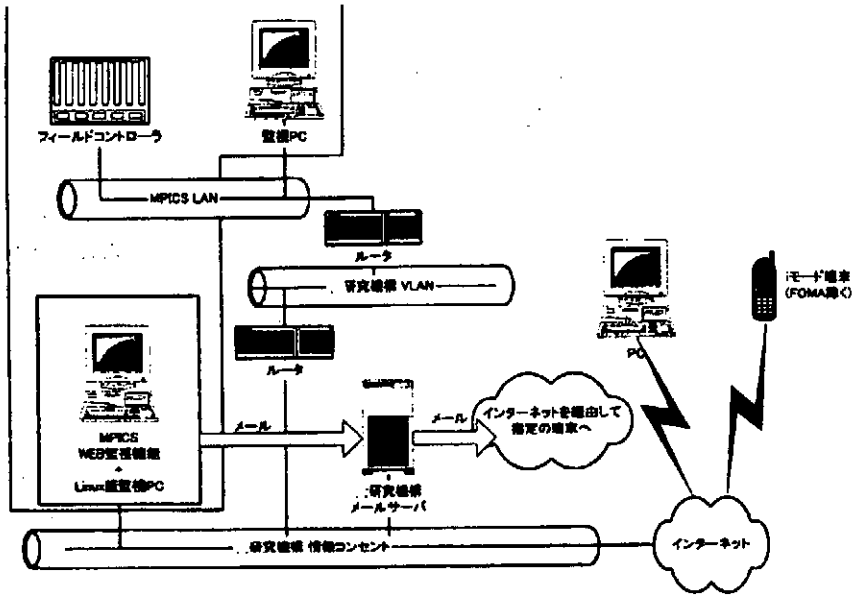
2. 液体窒素自動供給システム

システムは分子科学研究所の既設装置と同じである。ロードセル上での自動充填方式を採用している。計量する容器ごとに停止重量が設定され、充填中の容器がその値に達すると充填は自動停止し、充填量を計量する[1]。システムは屋外に設置されるので、防水仕様である。集計パソコンは、隣接するヘリウムガス回収室に置く。ユーザー情報と容器情報は、バーコードリーダーで読み取る。ユーザー情報は、岡崎国立共同研究機構の会計コード、下7桁+枝番1桁で、計8桁を使用する。ICカード式ネームプレートに、各個人が所属するグループの会計コードを表すバーコードを貼り付けておくので、ネームプレートにバーコードリーダーを当てるだけで個人情報入力ができる。IDカードの個人データを直接読み取ることのできる、バーコードリーダーもあるが、コスト面で採用を見合わせた。コード体系は、コード128を採用した[2]。ネームプレート貼り付けのバーコードは、共通のサプライショップなどにも利用できる。

容器番号は、3桁である。なお、液体窒素供給装置が設置される区域は、ルーバと扉で囲まれ、扉には電気錠が付いており、ICカードがなければ液体窒素供給区域には入れない。

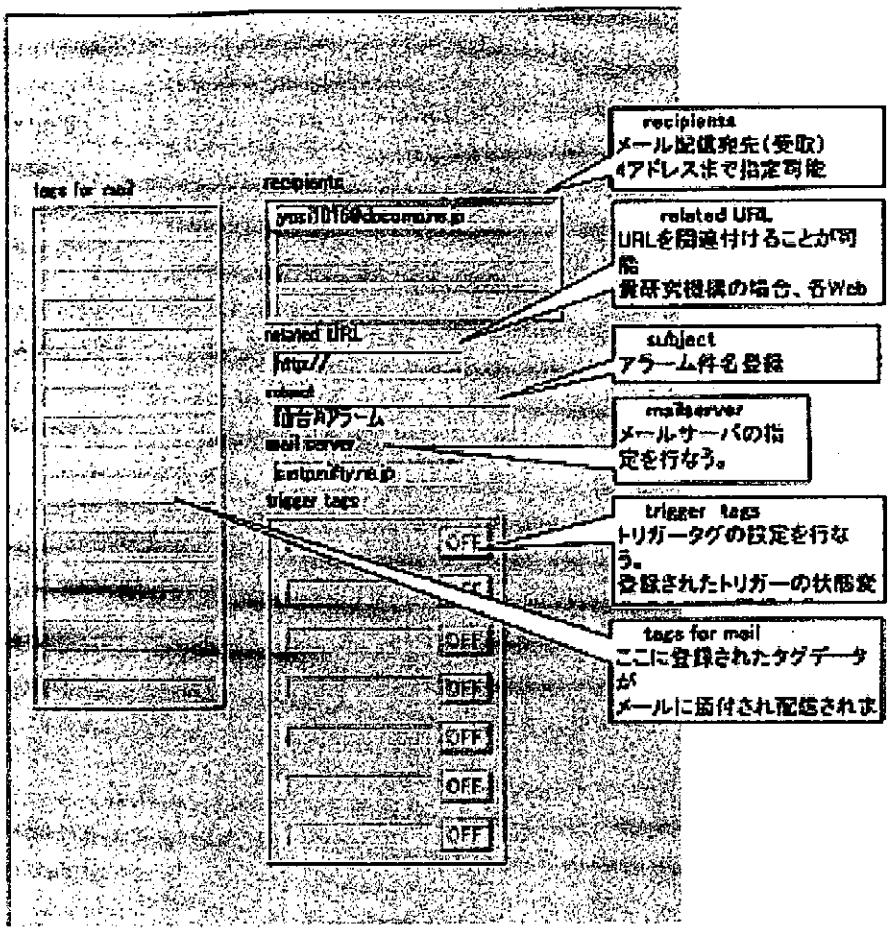
3. iモード携帯電話端末による遠隔モニター

液体窒素貯槽と液体窒素供給装置の液量・圧力と装置状況のデータは、WEBブラウザでモニターすることができる[3]。また、分子科学研究所とE地区は民有地・小学校・高等学校挟んで離れているので、移動先でも液体窒素関連装置の情報が把握できるように、iモード携帯電話端末でもモニターできる。図表2に送信システムイメージを示す。



図表 2　送信システムのイメージ図

図表３に、ｉモード端末への送信イメージを示す。



図表 3 携帯電話への送信イメージ

おわりに

遠隔モニターは、ヘリウムガス回収設備関連のデータも合わせて受信できる。今回の報告では、液体窒素関連に限定したので、他のモニター部分は省力したが、将来導入される予定の液化設備全体の運転データも受信する予定である。

今回設置の高圧ガス製造施設の設置場所の余裕がないため、統合バイオサイエンスセンター棟の基礎上、建物を囲むルーバー内に設置せざるをえなかった。そのために、東海地震発生による二時災害発生を危惧する愛知県庁との間で行政指導に関するやりとりがおこなわれた。

(1) CE の基礎、建物と CE は同一基礎である。建築基準法と高圧ガス保安法とで耐震設計指針が異なるので、どちらの基準を採用するかで、県庁側（高圧ガス保安法側）と建築側（建築基準法側）とで意見が分かれた。その裁定が KHK にゆだねられた。結果として建築基準法での基礎が認定された。

(2) CE 上部の構造物（配管、ルーバ管など）が地震のときに落下して液体窒素貯槽の断熱真空部分に損傷をあたえる、という危惧にたいしては、貯槽上部に落下物を防ぐパネルを張ることで一応認められた。

参考文献

[1]今枝, 早坂, 榎, "液体窒素自動供給装置" 高エネルギー物理学研究所　技術研究会報告 p97(1983)
高山, 早坂, 加藤 "液体窒素自動供給装置の改良"高エネルギー加速器研究機構技術研究会報告 p97(1992)
[2]バーコードリーダ読本　キーエンス社(2001 年)
[3]ヘリウムガス監視機能計画書、日本酸素(2002 年)

液体ヘリウムポンプと他流体ポンプの比較

東大 物性研究所[A] 東大 総合文化研究科[B] 分子研[C]
○鷲山 玲子[A] 井上 春恵[B] 土屋 光[A] 高山 敬史[C] 吉田 辰彦[A] 小田嶋 豊[B]

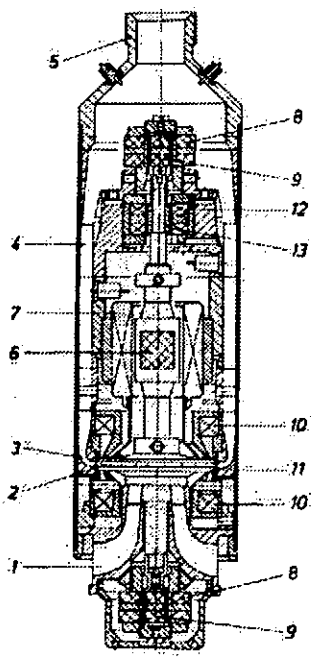
1. はじめに

東大 総合文化研究科の小田嶋氏をリーダーとして、液体ヘリウムポンプの開発プロジェクトが、2001 年の春より始まった。このプロジェクトは低温に携わっている技官が定員削減や様々な事情により物づくりから離れつつある現状において、部局を超えて協力することにより、何かを生み出す事が可能ではないか?そういったサジェスチョンがベースにある。

前置きはさておき、実際に開発するに値するものは何か?と様々な事を検討した結果、日々の仕事に欠かせないトランスファーチューブの先につける事が可能な、液体ヘリウムポンプの開発を行うことにした。ちなみに、液体ヘリウムポンプは現状で手に入るものは、非常に高価である。しかし、良いもの=高価 というままでは昨今の世情からしても、多くの人にとって関心の高い事柄にはなりえない。そこで、「安価に作れる」ということを必要条件として開発を進めることになった。ここではその開発の過程で、物性研究所(以下物性研)の保有するLinde 社製液体ヘリウムポンプと他流体ポンプに関して調査したことに関して報告を行う。なお、他流体ポンプとは家庭用電動灯油ポンプを指し、液体ヘリウムポンプに関しては実際に分解して調べることは保証上の問題があるので文献より調査したことをごく簡単に紹介するにとどめる。

2. 液体ヘリウムポンプについて

物性研では、遠心式液体ヘリウム汲み上げポンプ(Centrifugal immersion pump for Liquid and Supercritical helium)を 1996 年より導入しており、これを日々の供給で使用している。この遠心式汲み上げポンプはドイツのWalter Meissner 研究所で開発されたもので、液化機メーカとして有名な Linde 社が製造販売を行っている。価格は非常に高価なもので安易に導入というわけにはいかない。また、故障すると部品も容易に手に入れることができず、我々だけでは対処することが難しい。専門の技術者に来て貰うか、状況によっては本国に輸送し修理を行って貰わなくてはならないのが現状である。しかしながら、年間供給量が 20 万 L に達しようとしている物性研ではこのポンプなしでは供給が成り立たたず、重要な位置を占めている機器である。



このポンプの構造を簡単に説明すると、磁気によって回転子を浮上、回転させ、遠心力を発生させることによって液体ヘリウムを汲み上げている。磁気浮上をさせることにより接触がなくなり、液体ヘリウム温度下でもメンテナンスフリーで稼働することが可能である。回転子の回転数は最大 150rps まで可変であり、最大で約 2500L/h をくみ出すことが可能である。回転子のフリクションロスは 50%以下となっており比較的効率も良い。物性研のシステムでは 100Lの容器に供給するのに約 10 分程度で汲み出すことが可能である。また、圧力を必要としないため加圧して供給を行う方式に比べ、供給

図 1 遠心式液体ヘリウム汲み上げポンプ
(1)入り口(2)回転翼(3)ガイドホール(4)流路(5)接続出口(6)モーターの磁石(7)モーターの巻き線(8+9)ラジアルベアリング(放射状ベアリング)(10)シャフト上の可動ベアリング(11)インペラー(羽根車)(12+13)軸位置センサー

効率も上がっている。図 1 に構造図を示す。表1に遠心式汲み上げポンプの性能を示すが、これは Linde 社が提供している販売用のカタログ、マニュアルより抜粋したものであり「典型的なポンプについて」との注意書きがある。

汲み上げ能力	85 g/s(40.44L/min)
最大圧力差	0.3 bar
入り口圧力	1.0～1.20 bar
最大回転数	9000 rpm
コントロールユニット電源	220V, 1A, 50-60Hz
重量	約 1.5 kg
サイズ	直径 50 mm
	高さ 210 mm
操作条件	縦置き、つり下げ式

表 1.遠心式液体ヘリウム汲み上げポンプのスペック

開発元の Walter Meissner 研究所のポンプに関する報告書(参考文献[1][2])を調べたところ、以下のように記されていた(※1)。重要と思われる部分をピックアップする。設計上の最大回転数は 10000rpm まで、磁気式ベアリングは 30000rpm まで回転可能である。外側のガイドホイールノズルの角度は 8° であり、汲上率にヒステリシスが生ずることなど、が記されていた。また、羽根車なしでシャフトを回転させたところ、420rps まで回転させることは可能であるが 20W のロスがでるので、200rps を最大回転数にする、とあった。

※1 詳細に関しては原文を参照されたい。

3. 他流体ポンプについて

他流体ポンプということで、どのポンプを調査対象にするか迷ったが、同じ遠心式のポンプ、価格の安さ、一般家庭でよく使用されている手軽さから、家庭用電動灯油ポンプを調査することにした。また、以前分子研技術課の方が作られた液体ヘリウムポンプの翼が灯油ポンプの物を模したということを小耳に挟んだことも対象にした理由の一つである。このポンプの構造を文献だけで調べるという形も良いかと考えたが、文献も少ないことも伴い実際にポンプを購入し、分解して調査を行うことにした。以下に調査した事項を記す。なお、製造会社の違う物 2 機を調査した。家庭用電動灯油ポンプの外観と駆動部を図 2 に、調査事項を表 2 に示す。

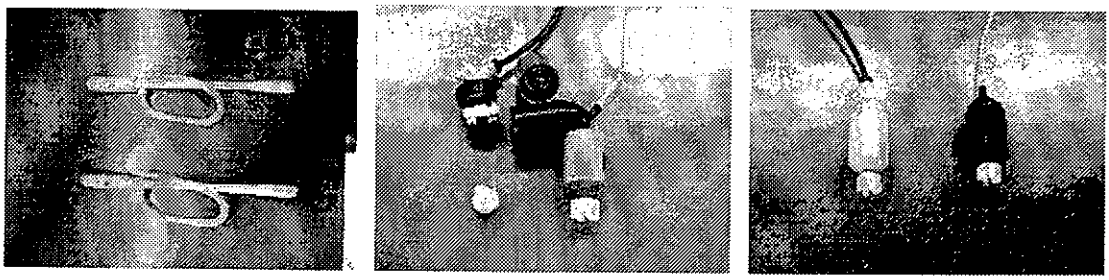


図 2.家庭用電動灯油ポンプの外観と駆動部

(左:外観 中央:モーターの内部 右:モーター外観)

調査した結果、汲み上げ能力には差異があったが、これはポンプの長さの違い(揚程高さの違い)とホースの径に因るものと考えられる。モーターは一般工作用の全く同じ物(マブチモーター RE-280)が使用されていた。このモーターのスペックは表 3 に示す。どちらのポンプも使用温度範囲が－5℃～となっているが密閉式のケースもしくはゴム製の被膜で覆われている他は特に対策はしていなかった。また、モーターの種類も図 3 に示すように一般的なブラシのあるモーターであった。翼の形状は表 2 に示すとおり、ほぼ同じ形状の物であった。

製造会社 / 調査項目	A社	B社
汲み上げ能力(水) 実測値：(L/h)	8.00	9.06
(灯油) 表示値：(L/h)	10	10
翼の形状 ※撮影のため翼の上部を着色		
使用モーター	マブチモーター RE-280	マブチモーター RE-280
使用温度範囲	約-5℃～+45℃	約-5℃～+40℃
サイズ (直径はモーターの納めされている部分)	直径 31.6 × 長さ630mm	直径 30.5 × 長さ 605mm
揚程高さ	450 mm	430mm
電源	単一電池 2 本 3V	単一電池 2 本 3V
主材料	ポリエチレン・ポリプロピレン・ポリアセタール	塩化ビニール・ポリエチレン・ABS
ホース部 直径	15.5mm	14.4mm

表 2. 家庭用電動ポンプの性能調査

限界電圧	5～3.0V
適正電圧	3.0V
適正負荷	15.0g-cm
消費電力	650mA
回転数	6600rpm
シャフト径	2.0mm
重量	30g
外観寸法	30.5×24.2mm

表 3. マブチモーターRE-280 のスペック(マブチモーターWeb サイトより)

4. まとめ

一般流体用ポンプと極低温用ポンプとの技術的な差異に着目し大まかに比較した事を以下に記す。なお、構造上の分類はどちらのポンプも速度型のポンプであり、羽根車を使用し遠心力で流体を流路に流すことにより、圧力を上げ汲み上げている。

二つのポンプの構造を比較すると一番にあげられることは、駆動部の軸受けの構造が接触か、非接触であるか、である。液体ヘリウム温度下では、駆動部の軸受けの潤滑ができず、摩耗、焼き付きをおこし、一般的な軸受けが使用できなくなる。故に、液体ヘリウムポンプのモーターの軸受けは接触式でなく、非接触式の磁気浮上式軸受けとなっており、液体ヘリウム用ポンプの開発において使用する駆動部は非接触式が望ましいと考えられる。

次に翼の形状について比較してみる。基本的にはどちらも流体は中から外に向けて流れるようになっている。しかし、翼の形状、枚数が大幅に異なる。

Walter Meissner 研究所 開発のポンプでは合計 58 枚の翼(回転翼 22 枚、ガイドホイールノズル 36 枚)がある。また、このポンプでは回転翼の枚数を変えて汲み上げ効率の変化を調査した報告があった。翼の枚数を変えた理由に関しては、液体ヘリウムの粘性が非常に低いことによると記されており、回転翼 12 枚、ガイドホイールノズル 36 枚の羽根車との比較があった。比較結果は、有効な粘度の範囲を $\eta \geqq 0.5 \times 10^{-6}$ Pa·S とすると、有効な圧力、回転数の範囲も粘度が低いことより狭くなり、また汲み上げ率も回転翼 22 枚のものより下がっている。

一方、家庭用電動灯油ポンプは翼の枚数が 4 枚と少ないが、灯油の粘度は $\eta \sim 10^{-3}$ Pa·S 程度と推測され、液体ヘリウムより粘度が高いので、翼の枚数が少なくても容易に汲み上げる事が可能だと考えられる。参考までに水の粘度は $\eta = 1.002 \times 10^{-3}$ Pa·S である。

もう一つ重要な点は、駆動電力である。Walter Meissner 研究所 開発のポンプでは 40W と消費電力も小さい。モーターは発熱するので、駆動にモーターを使用する場合には熱の進入を嫌う液体ヘリウム中ではこれらも低く抑えねばならない。詳細についてはわかりかねるが、Walter Meissner 研究所 開発のポンプの駆動モーターには超伝導線が使用されているらしい。これは熱の面では非常に有利であると考えられる。

このように液体ヘリウムポンプと他流体ポンプの比較を行ってきたが、これからの開発に向けて様々な有用な情報がえられたので、今後の開発の参考にしたいと考えている。

5. 参考文献

[1] H. Berndt, R. Doll U. Jahn , and W. Wiedemann
LOW LOSS LIQUID HELIUM TRANSFER SYSTEM, USING A HIGH PERFORMANCE CENTRIFUGAL PUMP AND COLD GAS EXCHANGE
Advances in Cryogenic Engineering, Vol. 33 P.1147

[2] H. Berndt, R. Doll and W. Wiedemann
TWO YEAR'S EXPRIENCE IN LIQUID HELIUM TRANSFER WITH A MAINTENACE FREE CENTRIFUGAL PUMP
Advances in Cryogenic Engineering, Vol. 35 P.1039

[3]Linde 社
遠心式液体ヘリウム汲み上げポンプ カタログ マニュアル

[4]一色 尚次
新しい機械工学 3 わかりやすい熱と流れ SI 版
森北出版株式会社

[5]鈴井光一, 高山敬史, 早坂啓一, 加藤清則, 吉田久史, 浅香修治
液体ヘリウム移送用ポンプの開発
核融合科学研究所技術部技術研究会報告(1994)87

6. 謝辞

この報告書を書くに当たり特にお世話になった、東京大学 教養学部 小田嶋 豊氏、物性研究所 液化室 土屋 光氏、同図書室 早瀬 瑞穂 女史 にお礼を申し上げます。

回転超低温冷凍機の開発

東京大学物性研究所　○五十嵐武、高橋健、久保田実、石本英彦
京都大学　石黒亮輔、山下穣、早田恵美、佐々木豊、水崎隆雄
大阪市立大学　石川修六

1、はじめに

回転状態の超流動の研究は磁場中の超伝導の研究に対比させられる超流動研究の基本的なものである。所属している極限環境物性研究部門久保田研究室では３０mK までの超低温を保ちながらなめらかに回転できる回転クライオスタット（加圧予冷稀釈冷凍機）を六本木キャンパスで開発した。この装置はヘリウム４薄膜の超流動特性と量子渦状態を研究するために開発されたもので実験は超高感度捻り振り子を用いた実験セルに捻れ振動、回転を与え超流動転移温度の膜厚依存性、孔径サイズ依存性及び回転下での全温度領域での超流動密度測定に加え主に超流動転移温度近傍のエネルギー散逸ピークの測定を行っている。開発された超高感度捻り振り子は振動のＱ値が約１０^{6}、振幅の安定度が１０$^{-4}$の性能を持っている。この研究を実現するために従来の低温実験技術の他に回転冷凍技術（エアベアリング、振動フィルタ）、回転真空配管技術（磁気シール）、回転計測技術（水銀スリップリング、赤外線 LAN）などの技術開発が必要であった。この研究成果が評価され柏キャンパスに再構築した無振動回転架台に超低温でおこるヘリウム３の超流動及びヘリウム４薄膜の超流動の基礎研究のために表題の装置を京都大学と大阪市立大学の超低温グループと我々との共同研究で東京大学物性研究所において開発している。これは更に低いサブ mK 以下の超低温を生成し回転しているヘリウム３の超流動を研究するもので、このような温度の極限環境を実現するためには熱接触、熱絶縁の他に発熱の原因となる全ての振動源にも考慮して実装する技術を必要とし、最低温度を実現する。

開発した回転超低温冷凍機は、減圧ヘリウム４溜め１K ポットのない加圧予冷稀釈冷凍機と核断熱消磁冷凍機とを組み合わせた方式による我が国唯一の回転核断熱消磁冷凍機で、毎秒１回転下で３００μＫまでの超低温を±２μＫ程度の温度安定度で長時間保持できる特徴を持ち、回転下でも通常の非回転の核断熱消磁冷凍機と変わらない性能を有している。また、１０mK 程度の温度に銅核ステージを予冷するために必要な加圧予冷稀釈冷凍機は、毎秒１回転下で８mK 以下の最低到達温度を実現し、銅核ステージ実装時（有効モル数２３mol）の９T 励磁後の予冷時間に１日を必要としている。写真１は銅核ステージ底面、写真２は実装中の回転超低温冷凍機の様子を示す。今回は、この加圧予冷稀釈冷凍機の加圧予冷冷却部の冷却過程と装置を長期に亘って安全且つ安定に運転させるために施した対策及び冷却特性などについて報告する。

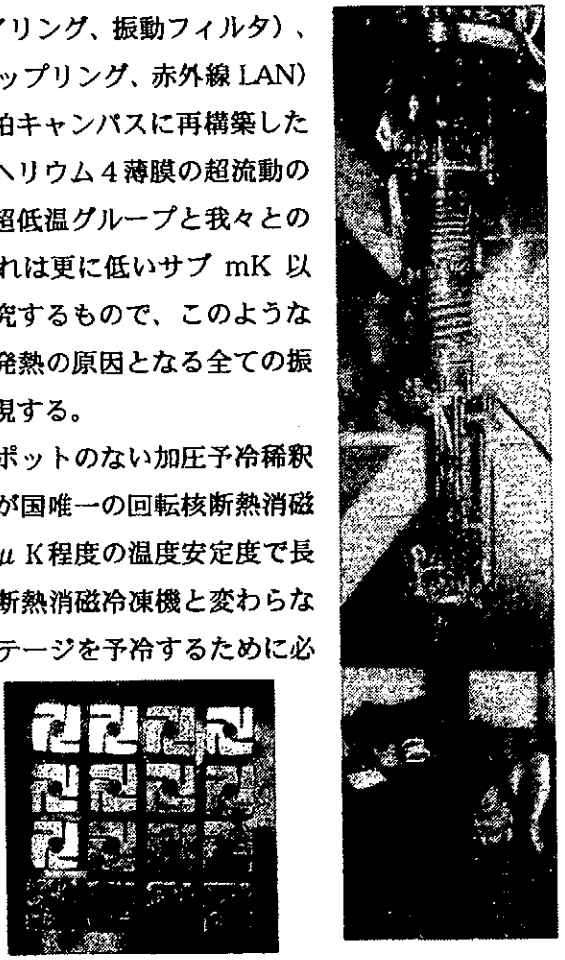


写真２
回転超低温冷凍機

写真１
銅核ステージ底面

2、装置の概略

図１は、装置の概略を示す。装置本体の回転クライオスタットは電磁シールドルーム内にあり、床より深さ２.５m 地下の建物から切り離されたコンクリート基礎に据え付けられた無振動回転架台に実装され、二

つのエアベアリングに供給された圧縮空気で浮上し、回転駆動モーターによって毎秒１回転までなめらかに無振動で回転する。装置は、減圧ヘリウム４溜め１Ｋポットのない加圧予冷稀釈冷凍機、核断熱消磁冷凍機、回転機構系、ガスハンドリング系、測定系、電磁シールドルームなどの設備で構成されている。回転下での地磁気の影響を避けるために磁気キャンセルコイルを設置している。

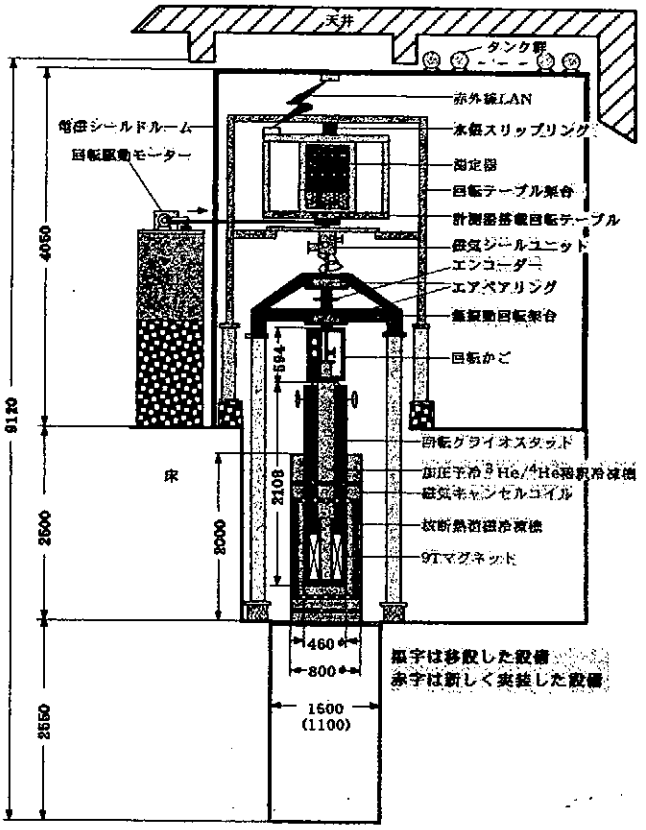


図１　装置の概略図

３、加圧予冷冷却部の冷却過程

図２は通常の稀釈冷凍機の概略を示し、室温部にヘリウム３ガス循環用ポンプと減圧ヘリウム４溜め１Ｋポット用ポンプがあり、通常はConc圧力２０KPa程度で運転される。これに対し図３の我々が開発した加圧予冷稀釈冷凍機は１K ポット用のポンプがなく循環用のコンプレッサーとポンプのみで、Conc 圧力３００KPa程度で運転される。減圧ヘリウム４溜め１Ｋポットなしで、ヘリウム３循環ガスそのものを効率の良い４.２K、Conc圧力３００KPaでの熱交換と分溜器排気管内の戻り循環ガスとの十分な熱交換、更に分溜器で得られる寒冷とを組み合わせて０.７K 程度の温度に完全に液化させている。この加圧予冷冷却部とライデンの稀釈冷凍ユニットを組み合わせた概略図を図４に示す。熱交換器とインピーダンスの組み合わせを多段にして作られ、分溜器排気管内の戻りガスを効率良く利用している。A、B、C、Dに温度計を取り付けた冷却実験でConc圧力300KPaのもとで熱交換器

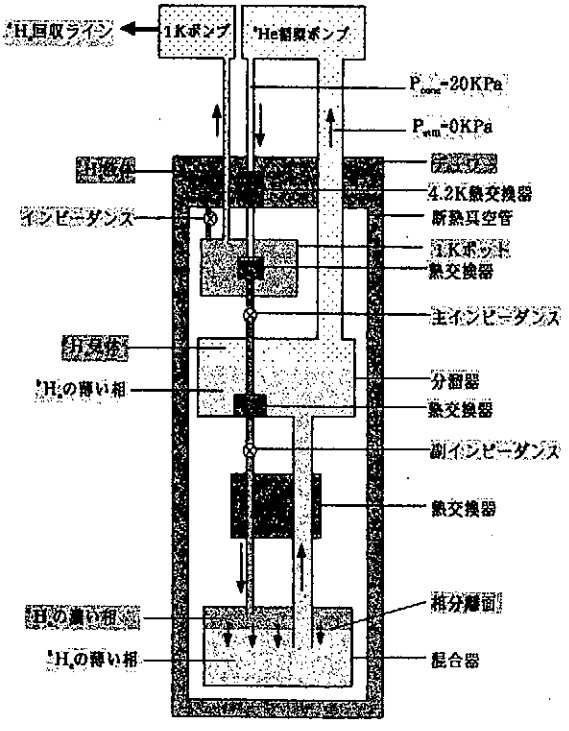


図２　通常の稀釈冷凍機の概略図

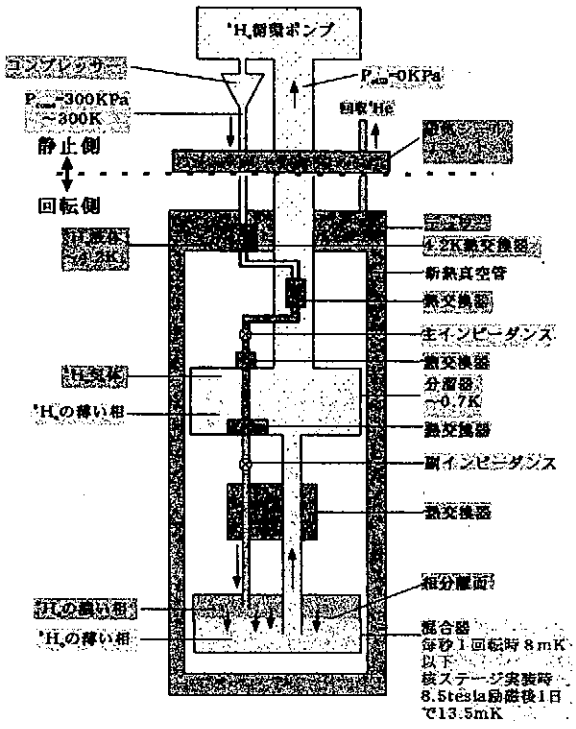


図３　加圧予冷稀釈冷凍機の概略図

1の入口Aは4.2K以下、インピーダンス1の入口BはConc圧力300KPaで2K、インピーダンス1の出口CはConc圧力50KPaで2K、分溜器内のDはConc圧力約0KPaで0.5Kの結果が得られた。この加圧予冷冷却過程の経路は図5のヘリウム3の蒸気圧特性のA、B、C、Dで示される。ABは分溜器排気管内の熱交換過程でB点は300KPaで臨界温度以下の2Kに冷却され液化される。BCはインピーダンス1の減圧過程でC点は50KPaに圧力降下させている。これは熱交換器1の効率を良くする。CDは分溜器の熱交換過程で0.5Kに冷却し完全に液化させる。この結果、通常の稀釈冷凍機と同程度に分溜器への熱流入が軽減され、分溜器でのヒーターによるヘリウム3ガス循環量の制御が可能となりライデンの稀釈冷凍ユニットを安定に動作させている。

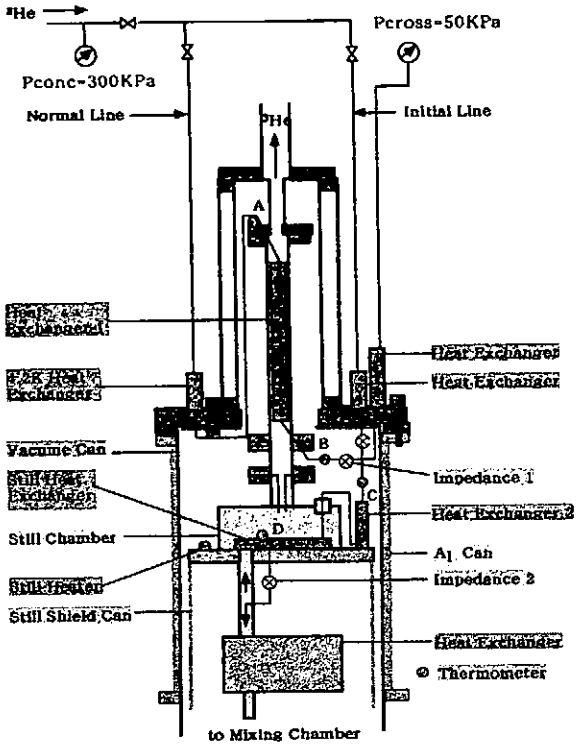


図4　加圧予冷冷却部の概略図

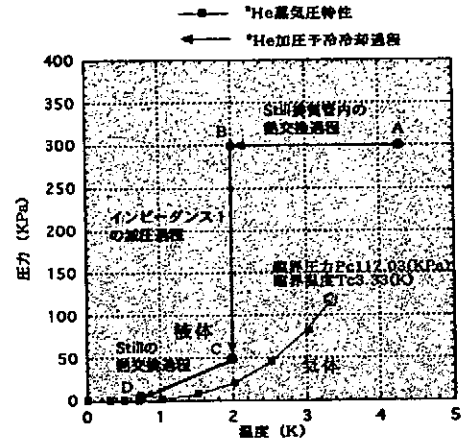


図5　ヘリウム3蒸気圧特性

4、ガスハンドリング系の運転対策

装置は安全に且つ安定に運転するために超低温を生成する加圧予冷稀釈冷凍機のガスハンドリング系と浮上回転させている回転機構系に様々な対策が施されている。ここでは運転上問題となったヘリウム3循環ガスを操作するガスハンドリング系について述べる。ガスハンドリング系の構成の一部である循環用ポンプとコンプレッサーのオイル及び配管の真空洩れによる空気が窒素トラップで吸着凍結し、半日でヘリウム3循環ガスを詰まらせ運転不能状態に陥ることが頻繁に発生した。この原因はガスハンドリング配管の誤配管によるコンプレッサーオイルと配管の真空洩れによる空気が窒素トラップで吸着凍結しヘリウム3循環ガスを詰まらせたものである。この問題をどのようにして解決したか述べる。まず最初にしたことはオイルに汚染された交換可能な配管は新しい配管に取り替え、汚れた配管及び窒素トラップはアセトンによる洗浄とドライヤーによるベーキングしながらの真空排気を何回か繰り返し実施した。それでも1日位で詰まり改善されなかった。更に、オイルセパレータの配管への追加挿入と窒素トラップ直前にコイル状に巻いた1／4インチ銅パイプを挿入したがこれも詰

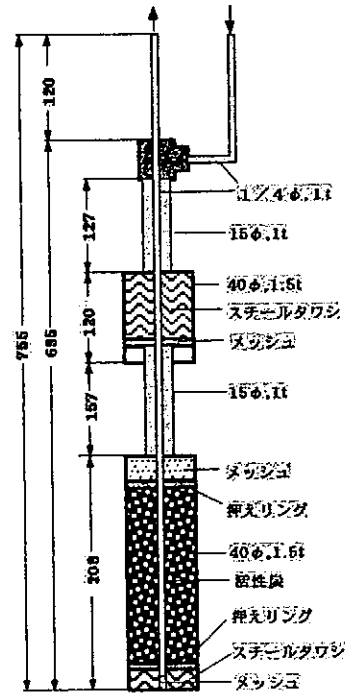


図6　改良窒素トラップ

まった。この詰まりは1／4インチ銅パイプ内で吸着凍結していた。これはオイル及び空気ではなくポンプオイルの分解物である炭化水素系の物質が吸着凍結していると予想された。対策として窒素トラップの容器と配管のコンダクタンスの大きさを考慮して図6のような改良窒素トラップを自作した。その結果、ヘリウム3循環ガスの詰まりの問題が解決し冷凍機として安全且つ安定な長期連続運転が可能となった。2ヶ月間の運転でガス吸着量として約100cc以下に改善されている。

5、冷却特性

加圧予冷稀釈冷凍機の冷却特性について述べる。図7は静止状態の冷却過程の途中で毎秒1回転させた時の混合器の温度特性を示す。温度計としてヘリウム3の融解圧曲線温度計（MCT）を使用している。図より回転に伴う熱流入あるいは発熱によってわずかに温度上昇している。到達最低温度の 7.59mK から 7.81mK に温度上昇し安定するまで4時間程かかっている。図8は分溜器に 6.4mw のヒーターを焚いてヘリウム3の循環量 $\dot{n}$ が145 μmol/sec の時の混合器のクーリングパワーの特性を示す。稀釈冷凍機の混合器のクーリングパワーは150mK 以下では $\dot{Q}=0.0122\times T(mK)^{2}-0.85$ （μW）の式で表され温度 T の2乗に比例して温度が低くなると減少する。測定結果よりクーリングパワーがこの式にのっており、稀釈冷凍機として動作していることが分った。また、100mK で120μW のクーリングパワーがあることも分った。図9は有効モル数23モルの銅核ステージ 8.5T 励磁後の予冷特性を示し、13.5mK に冷えるまでの予冷時間に1日を必要としている。

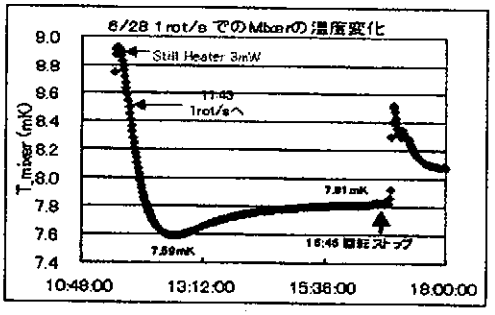


図7　毎秒1回転中の混合器温度特性

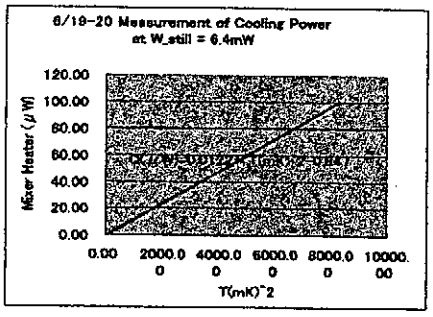


図8　クーリングパワー

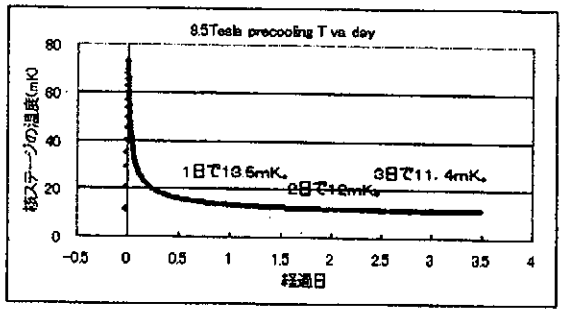


図9　銅核ステージ励磁後の予冷特性

6、まとめ

この装置の回転核断熱消磁冷凍機の銅核ステージを予冷するために必要な加圧予冷稀釈冷凍機は毎秒1回転下で8mK 以下の最低到達温度と加圧予冷冷却部での完全液化により、分溜器への熱流入が軽減され稀釈冷凍部の動作安定化を実現した。銅核ステージ実装時の 8.5T 励磁後の予冷時間1日で 13.5mK の性能を得た。これにより回転核断熱消磁冷凍機の冷却実験の段階に入り、毎秒1回転中に消磁しながら温度を制御した時の銅核ステージは2.463mK の超低温を±2μK の温度安定度で20分以上保持できる性能が得られ、回転しているヘリウム3超流動実験が可能となった。現在は更に性能向上して毎秒1回転下で1μK／h 程度の温度制御が容易にできるまで温度安定度が得られている。また、加圧予冷稀釈冷凍機の運転で問題となったガスハンドリング系のヘリウム3循環ガスの詰まりも改良窒素トラップの実装により解決し、装置の長期連続運転が可能となり6ヶ月以上に亘って順調に働いている。

柏キャンパス移転とともに開発されたこの装置は回転下での超流動実験を可能にするためにこれまでの長年に亘って幾度もの改良を施した貴重な経験が活かされて完成しました。昨年9月より回転ヘリウム3超流動の実験を開始しているがここにこの開発に御協力頂いた関係者の皆様に厚くお礼申し上げます。

プラズマ停止用液体窒素注入装置の開発

日本原子力研究所　那珂研究所
○菊池勝美、秋野　昇、大賀徳道、草鴎直人
関　宏　、棚井　豊、西尾　敏、山本　巧

1．はじめに

トカマク型核融合炉の炉心プラズマでは、何らかの異常によりプラズマが短時間で消滅するディスラプションと呼ぶ現象が発生する。このディスラプションは炉心機器に過大な電磁力及び熱負荷を与えるため、機器の健全性を保てなくなる可能性があり、将来の核融合炉においてこの現象を回避し緊急停止するための安全装置が必要となってくる。ディスラプションを回避する方法として、事前にプラズマ不安定性を検知・予測しプラズマを安全なプロセスでディスラプション消滅させる制御手法が現在有力である。

プラズマ停止の手法として、炉外からの軽水素ガスパフ及びプラズマ中心への冷却材の注入により、プラズマ温度の希釈と放射冷却の促進により熱エネルギーの大部分を消失させるプラズマのソフトランディングが必要となる。プラズマ中心への冷却材の注入は、固体不純物ペレット注入と液体ジェット注入が考えられるが、本報告では多量の物質をプラズマ中心まで到達させることができる液体ジェット注入法に着目し、その液体として装置コスト及び取扱の容易さ等の特徴を有する液体窒素を用いた液体窒素注入装置の開発に着手したので報告する。開発目標は、約 100cc の液体窒素を 100m/s の速度でプラズマに注入することである。

2．装置概要

液体ジェット注入材として不燃性で沸点も比較的高く、取扱及び運転保守の容易さから液体窒素を採用した注入装置とした。図―１に液体窒素注入装置の構造図を示す。駆動系加速機構は、ピストン、シリンダー、駆動ガスライン、注液弁等から構成され駆動系全体が液体窒素中にて冷却される。ピストンは、高圧のヘリウムガスで駆動され、ガスはリザーバタンクより電磁弁を介し瞬時に圧力を伝えるため４分岐したラインで、ピストン下部に導かれ駆動力となる。加速部仕様一覧を表―１に示す。

表-1 装置仕様一覧

加速部	
ピストン直径×ストローク (mm)	40×65
ピストン重量 (g)	320
ピストン駆動圧力範囲	0.3～1.2MPa
液体窒素注液量 (cc)	100
輸送管径×管長 (mm)	12.7×3000
計測部	
計測チャンバー寸法 径×高さ(mm)	900×1600
高速度カメラ 最高撮影速度 (フルフレーム)	4500 FPS
(分割フレーム)	40500 FPS
圧力センサー 最大負荷	5.0 MPa

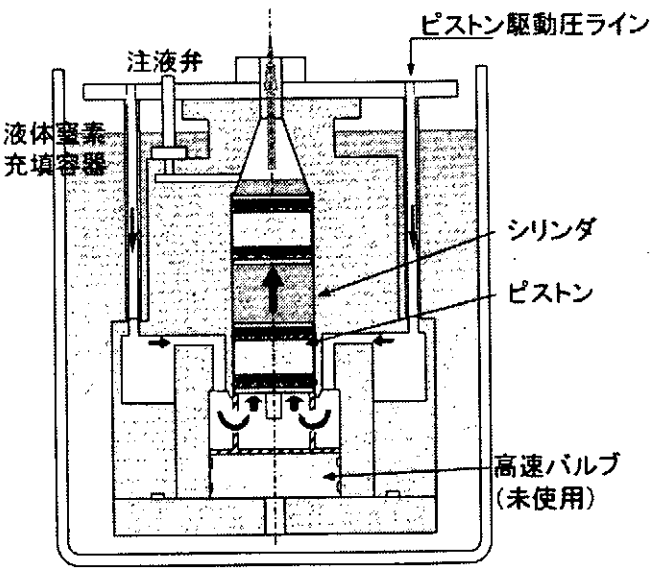


図-1 液体窒素加速部断面図

注入用液体窒素は、駆動部冷却用液体窒素と兼ねており完全に冷却が完了し液体レベルが液体窒素充填容器上部レベルに達した状態で注液弁の開操作にて、ピストン上部に一定量注液される。図―２に液体窒素注入試験装置全体図を示す。液体窒素注入装置加速部から注出された液体窒素は、3.0ｍの輸送管、ゲートバルブを介して真空計測チャンバーに注入される。プラズマ真空容器を模

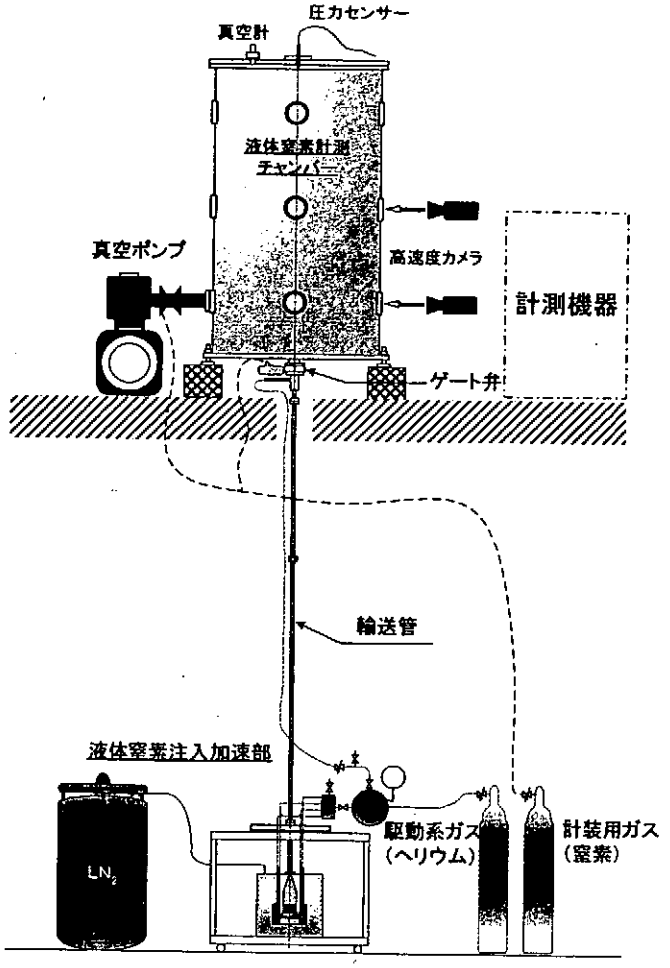


図-2 液体窒素注入装置全体図

擬した計測チャンバーは、排気ポンプで真空排気する。計測機器として高速度カメラ及びチャンバー上部中心軸上に液感知のための圧力センサーを設置した。
装置駆動部の電磁弁は一連のシーケンスに基づき制御する制御装置にて駆動される。

3．試験方法

液体窒素注入試験一連の操作は、ピストン位置確認のための下部への押し下げ、注液弁操作による規定液量のピストン上部への注液、輸送管を介しての液加速・計測チャンバーへピストン駆動による液注入する手順となる。一方、計測機器側は液注入前に目標のチャンバー圧力まで真空排気を行い、注入のタイミングで高速度カメラ及び圧力センサーのデータ取得を行う。

計測機器としては、高速度カメラで液柱又は液滴の状態をとらえ瞬時の移動距離から液速度を求めるために設置し、圧力センサーは上部まで液柱及び液滴で達した時の衝突力及び衝突時間を計測するために設置した。前項表－1に計測機器の仕様を示す。

4．試験装置の改良

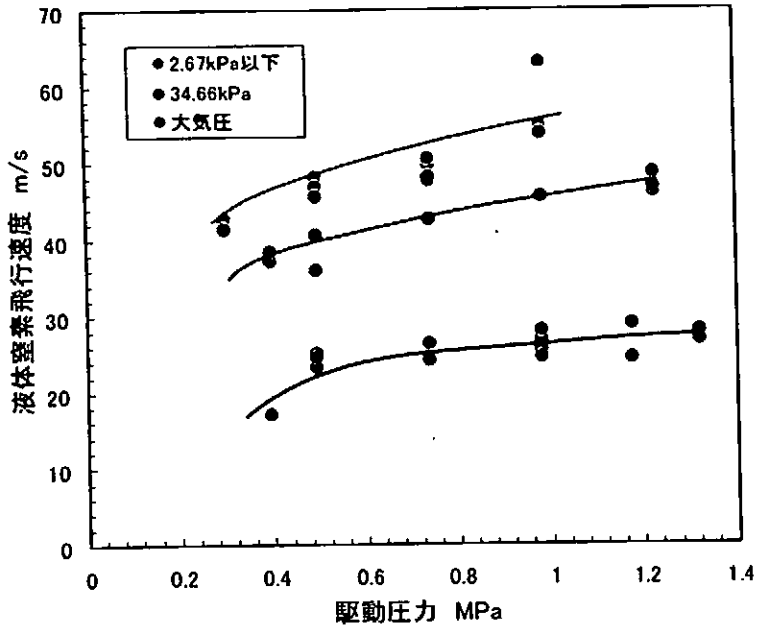
本装置は、昨年から加速部での単体試験を実施し現在に至るまで数カ所の改良を施した。図－1は改良後の姿であり製作当初は下部の高速バルブが加速ガス圧力栓の役目で使用されるはずであったが、低温冷却においてシール面のオムニシールのシート漏れが生じたため、現在未使用とし下部位置で固定の状態となっている。また、装置の運転保守上で加速駆動部の冷却の繰り返しでピストン駆動ライン及び液注入ラインに水分等不純物の混入によりピストンの凍結で駆動不具合が発生した。最終的にピストンが駆動不能となったため以下の改良を実施した。

- 高速バルブを未使用とし、駆動の仕組みを単純化した。
- 駆動部への水分等の混入を防ぐため、ガス置換ライン及び逆止弁を設けた。また試験後に冷却部の乾燥空気での乾燥操作を実施することとした。
- ピストンの駆動負荷が大きく、最終的にピストンと内部ガイド軸にかじりが生じ、駆動不能となったため内部ガイドを廃止した。
- 輸送管からの熱影響を少なくするため、輸送管を冷却した。

5．液体窒素注入試験データ

注入試験は、加速部単体での大気放出試験を経て初期試験を行った。その結果を報告する。飛行速度は、計測チャンバー窓から中心にカメラフォーカスを合わせ視野角距離の校正後、1/4500秒フレーム間の液移動距離により算出している。今回の高速度カメラ計測位置は、輸送

図－3　　ピストン駆動圧力による液体窒素飛行速度

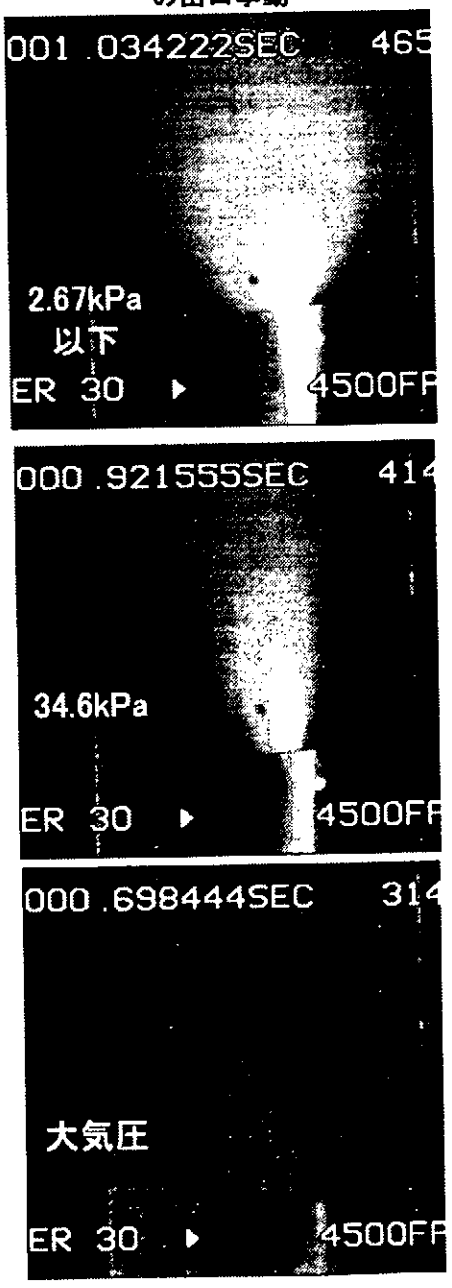


加させても 30m/s 以下となり飛行速度の上昇が鈍くなる。34.6kPa、2.7kPa 以下と圧力が低くなるに従い、またピストン駆動圧力が高いほど飛行速度は増加する。真空中では、駆動圧力 0.75MPa 以上で 50～60m/s の速度を得ることができた。

飛行する液体窒素の密度、直進性は、注入時のカメラ画像及び目視において確認したところ、真空になるほど密度が薄く直進性を失うことを確認した。計測チャンバーは輸送管出口を直接可視できない構造となっている。そこでゲートバルブ上部に透明な液受け管を設け輸送管延長を模擬して、カメラ固定位置まで仮設した。液体窒素の輸送管内部流動の挙動をその管の出口部において調査した。管出口における液体窒素挙動の写真を写真-1 に示す。上から真空(2.67kPa 以下)、34.6kPa、大気圧の順であり、画像はピストン駆動から 100ms 後の状態である。真空領域では、液管内部では従来透明な液体窒素が白色の蒸発状態で注入されているのが解る。出口部の液広がりは真空中では写真の通り大きい。液体窒素の輸送管内移動特性と熱物性値を考慮すると、大気圧では液体窒素は蒸気圧の影響が少ないため輸送管壁からの熱授受だけで輸送管出口に対して直角方向の膨張力が小さく、比較的直進性が保たれている。圧力領域が真空になるほど液体窒素は飽和蒸気圧の影響を受けた蒸発と輸送管壁からの熱伝達の両方から管内蒸発が生じ、局所的な圧力上昇が起きることで液滴化が進むと考えられる。管内圧力上昇は、出口での液直進性飛行を妨げる原因となってしまう。また、真空飛行中に液滴が凝縮することが解った。

管出口配管から 420mm 上部である。ピストン駆動圧力をパラメータにした液体窒素飛行速度のグラフを図－3 に示す。液体窒素飛行速度は、計測チャンバー圧力条件をパラメータに大気圧、34.6kPa(260Torr)、2.7kPa(20Torr)以下で測定した。大気圧では空気抵抗の影響により駆動圧力を増

写真－1
液注入から100ms後
の出口挙動



6．試験結果

・長尺輸送管を介した初期注入試験において、液柱または液滴の注入が確認できた。

・高速度カメラで飛行速度を計測した結果、ピストン駆動圧力 0.75MPa 以上で真空中での飛行速度は 50～60m/s であることが解った。

・液体窒素の真空中での飛行及び輸送管内での挙動は、加速部で大気圧の液体窒素を注液するため、加速注入時に輸送管から真空チャンバーへと負圧環境へ移行する。飽和蒸気圧の影響で液体窒素は移動中に蒸発が生じ、輸送管内は局所的な蒸発による圧力上昇が生じると考えられる。そのことが輸送管出口部で液滴化し、直進性を失い拡散してしまう。さらに液滴は真空飛行中に凝縮することが解った。

7．まとめ

液体窒素注入装置初期試験において、実機レベル輸送管長を介し液体窒素液滴の高速注入ができることを確認した。また、液体窒素の輸送管及び真空中での挙動を把握することができた。しかし真空中では液体の蒸発と飛行の直進性の悪化が問題となり十分な性能を得ることができない。今後この問題を解決するため、装置の改良及び試験条件の見直し等を行い、実機性能である 100m/s　液量 100cc の注入を実現していく予定である。

平成１３年度教育研究・改善プロジェクト経費
ものづくりに挑戦！（未来への体験）報告

名古屋工業大学技術部
○井村仁美、安形保則、森口幸久、松原孝志、坂井孝弘、荒川和巳、藤井末男

１．はじめに

表記事業として、平成１３年１２月８日（土）に、名古屋工業大学「工作・試験センター」と「技術部」の共催で、中学生を対象とした事業を実施したのでその報告をする。

本学の経理部長（前歴：文部省生涯学習局生涯学習振興課）によれば、今回の事業の意義や全国的な状況として、平成１１年度より「全国子どもプラン」に沿って、全国の国立大学・高専においてこのような事業が実施されている。この背景には、「地域で子どもを育てる」「子どもの理科ばなれ」「大学の社会・地域貢献」や「社会情勢の問題」がある。また、大学にとっては小子化の問題がある。 高校生を対象とした「大学開放」や「大学紹介」、社会人を対象とした「公開講座」は、本学でも積極的に行われてきたが、大学の一般開放のような場は、大学祭のようなかたちでしか行われてこなかった。中学生の時から工学に興味を持ってもらえるような機会をつくりたいと本学の「工作・試験センター」技官・坂井が提案し、実現したもので、その内容は、以下の３コース５テーマで構成されている。

第１挑戦コース
　テーマ１：楽しいプレートを作ろう
　テーマ２：工作機械を使ってペーパーウェイトを作ろう
第２挑戦コース
　テーマ３：暗くなるとＬＥＤが光る回路の製作
第３挑戦コース
　テーマ４：液体窒素を使ってみよう
　テーマ５：未来のエネルギー　－熱から電気をつくる－

ここでは、第３挑戦コース・テーマ４の内容と中学生がどんな興味を示したかを報告することで、今後の参考になればと思う。

また、国立大学には社会の厳しい目があるため、公開講座や開放プランなど積極的に行い理解を得て行く必要があること。このような事業を行うことによって、子どもたちには「大人に接することができる」「子どもの時に大学が見られる」といった利点があること。現在は特別会計の枠内で行うことができるが、平成１６年からの独法化（確定していません）になれば予算獲得も難しくなり、そのために継続して行う必要があることなどの現状分析が、経理部長からあったことも付け加えておきたい。

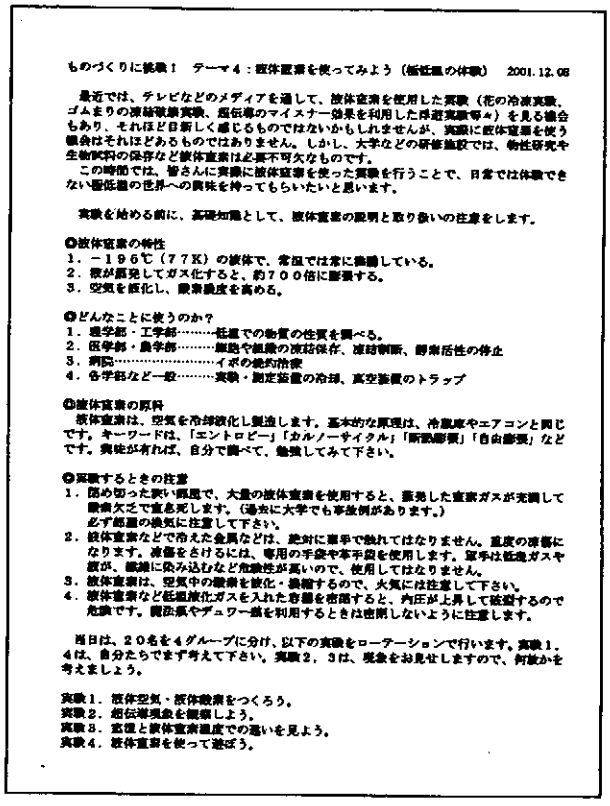
２．内容

我々のテーマは、「液体窒素を使ってみよう」ということで、日頃経験することのない液体窒素温度でどんなことができるのかを見せようと、４種類の実験を経験してもらうものにした。事務局からの要望で、超伝導現象は入れて欲しいということで、次の４つのグループに分けた。

実験１：液体空気・液体酸素をつくろう。
実験２：超伝導現象を観察しよう。
実験３：室温と液体窒素温度での違いを見よう。
実験４：液体窒素を使って遊ぼう。

はじめに、液体窒素について説明を図１のテキスト（今回のテキスト作成には、琉球大学の宗本氏の物[1]を参考にさせていただきました。）を利用して３０分ほど行い、危険性を理解してもらうために、フィルムケースの破裂実験・プラスチックボールの落下破壊実験・空気中の酸素濃縮によるタオルの燃焼実験を本学の保安教育で行っているのと同様に実施した。フィルムケースの破裂実験は、中学生の興味を引いたようで、驚きの歓声が上がった。また、透明ガラスデュワーで液体窒素と液体酸素が観察できるようにもしておいた。

説明の後、各実験を３０分交替でローテーションするよう指示し、各実験の担当者ごとに実施した。



ものづくりに挑戦！　テーマ４：液体窒素を使ってみよう（極低温の体験）　2001.12.06

最近では、テレビなどのメディアを通して、液体窒素を使用した実験（花の冷凍実験、ゴムまりの凍結破壊実験、超伝導のマイスナー効果を利用した浮遊実験等々）を見る機会もあり、それほど目新しく感じるものではないかもしれませんが、実際に液体窒素を扱う機会はそれほどあるものではありません。しかし、大学などの研修施設では、物性研究や生物試料の保存など液体窒素は必要不可欠なものです。
この時間では、皆さんに実際に液体窒素を使った実験を行うことで、日常では体験できない極低温の世界への興味を持ってもらいたいと思います。

実験を始める前に、基礎知識として、液体窒素の説明と取り扱いの注意をします。

●液体窒素の特性
1．－１９６℃（７７K）の液体で、常温では常に沸騰している。
2．液が蒸発してガス化すると、約７００倍に膨張する。
3．空気を液化し、酸素濃度を高める。

●どんなことに使うのか？
1．理学部・工学部……低温での物質の性質を調べる。
2．医学部・農学部……細胞や組織の凍結保存、凍結制断、酵素活性の停止
3．病院……イボの焼灼治療
4．各学科など一般……実験・測定装置の冷却、高空装置のトラップ

●液体窒素の原料
液体窒素は、空気を冷却液化し製造します。基本的な原理は、冷蔵庫やエアコンと同じです。キーワードは、「エントロピー」「カルノーサイクル」「断熱膨張」「自由膨張」などです。興味があれば、自分で調べて、勉強してみて下さい。

●実験するときの注意
1．閉め切った狭い部屋で、大量の液体窒素を使用すると、蒸発した窒素ガスが充満して酸素欠乏で窒息死します。（過去に大学でも事故例があります。）
必ず部屋の換気に注意して下さい。
2．液体窒素などで冷えた金属などは、絶対に素手で触れてはなりません。重度の凍傷になります。凍傷をさけるには、専用の手袋や革手袋を使用します。軍手は低温ガスや液が、繊維に染み込むなど危険性が高いので、使用してはなりません。
3．液体窒素は、空気中の酸素を液化・濃縮するので、火気には注意して下さい。
4．液体窒素など低温液化ガスを入れた容器を密閉すると、内圧が上昇して破裂するので危険です。開放系やデュワー瓶を利用するときは密閉しないように注意します。

当日は、２０名を４グループに分け、以下の実験をローテーションで行います。実験１，４は、自分たちでまず考えて下さい。実験２，３は、現象をお見せしますので、何故かを考えましょう。

実験１．液体空気・液体酸素をつくろう。
実験２．超伝導現象を観察しよう。
実験３．室温と液体窒素温度での違いを見よう。
実験４．液体窒素を使って遊ぼう。

図１：配布テキスト

実験１（松原担当）では、液体窒素温度で空気が液化することを理解し、液体空気が液体酸素と液体窒素の混合液であることを磁性があることから理解してもらいたいと考えた。

はじめにペンシル風船を空気で膨らませ（写真１）、液体窒素に浸けると萎んで風船の中に液体ができていることを確認させ（写真２）、空気が液化したことを示す。参加者は萎んだ風船を液から出すと再び元に戻ることが面白かったようで、何度も繰り返していた。次に、銅の薄板で作った円錐容器に液体窒素を入れると外面に液体空気ができて、滴り落ちてくる（写真３）。この滴にネオジウム磁石を近づけると磁石の方に引き寄せられてくる現象が観察できる（写真４）。これは液体酸素に磁性があるためであることを説明した。さらに、滴を缶に集め、しばらく放置した後残った液体に火を近づけると激しく燃え上がることを観察した。

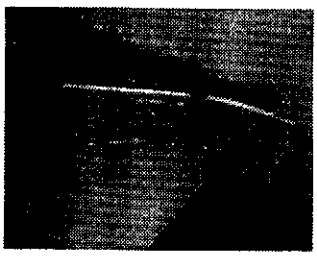


写真1:ペンシル風船

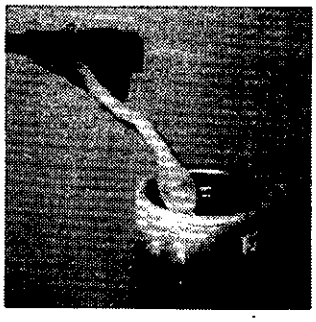


写真２:浸潤中



写真３:液体空気の滴

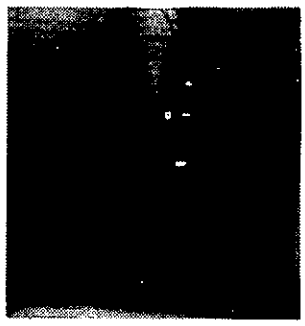


写真４:曲がる滴

実験２（安形担当）では、超伝導現象を観察することで工学への興味を持って欲しいと考えた。超伝導現象の特徴のうち、１．電気抵抗ゼロ、２．マイスナー効果、が観察しやすいので、この２つを実施した。ここで問題となったのが、オームの法則を学習するのが中学２年生の後

期であるため、今回の参加者全員がオームの法則を知っているとは限らないことであった。そのため、電気抵抗ゼロを説明するのに担当者が、図２のプリントを作成し、オームの法則を説明した後に実験を始めた。マイスナー効果は、島津理化器械のUFO-50kitを使い、ネオジウム磁石に比べ浮き方は少くなるが、大きめのフェライト磁石（直径３cm）を浮かせ（写真５）、回転させと歓声が上がった。

電気抵抗ゼロは、昭和電線製の超伝導線（諸元を表１に示す）を使い、アナログ（針式）の電圧計でゼロを示した（写真６）。

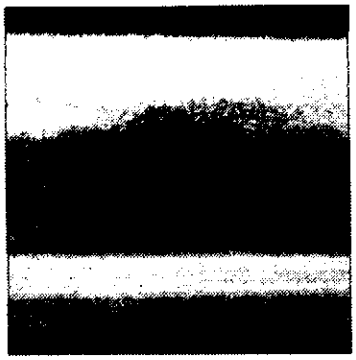


写真５



写真６：実験セット

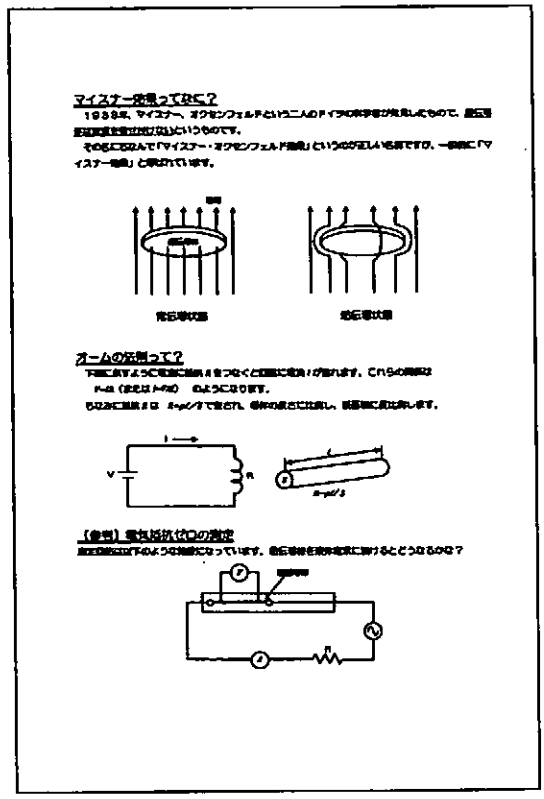


図２：配布プリント

実験３（森口担当）では、温度によって物性が変化したり、しなかったりすることを観察することで、工学への興味をふかめようと考えた。ここでは、３種類の実験をすることで、いろいろな事例を観察した。まず電気抵抗の変化を、銅線（写真７，８）・ニクロム線を抵抗として液体窒素に浸け、モーターと豆電球で観察した。観察には、内田洋行の学習セット(DP-K)を使用した。

材料	Ag-B12223
銀比	3.5
フィラメント本数	37
形状	テープ
幅	1.5mm
厚さ	0.2mm
臨界温度	109.2K
臨界電流	5.9A (at 77K, 0T, 1μV/cm基準)

表１：超伝導線諸元

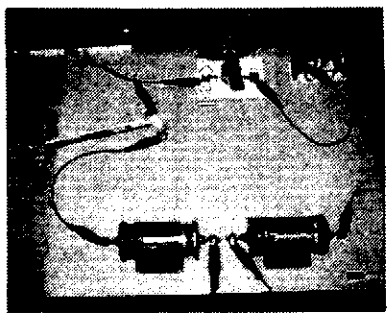


写真７：浸潤前



写真８：浸潤後

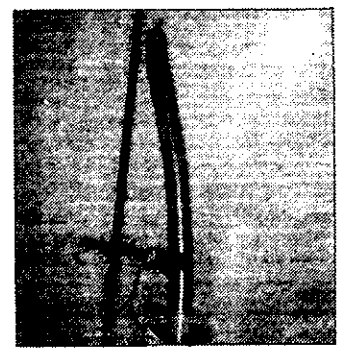


写真９：ﾋﾟﾝｸ：空気
ｵﾚﾝｼﾞ：ヘリウム

浸潤後は抵抗が減少して、豆電球は点灯し、モーターが回り出すことが観察できる。ニクロム線抵抗では、浸潤前と後で変化がないことを観察した。（ダイオードを用いると銅線と逆の現象を観察できる。）銅線抵抗の変化にもっと興味を示すかと思っていたが、それほどの驚きもなく、残念であった。

次に、ガドリニウムを用いて、温度によって、磁石への付き具合が異なることを観察した。

最後に、ヘリウムガスと空気で作ったペンシル風船を液体窒素に浸けるとヘリウム風船の方は、変化がないことを観察した（写真９）。

実験４（井村担当）では、液体窒素の低温と液とガスの体積変化を遊びを通して体験してもらおうと考えた。写真１０に使用した物を示す。左上から、ポリ袋（液を入れてどの位膨れるかを見る。）、デュワー瓶、ビニールホース大（液につけた後金槌でたたく。）、ビニールホース小（液に浸けると滴が吹き出ることを観察する。）、プチバルーン（膨らませて液に浸けその変化を見る、途中で穴ができてしまい、なかなかうまくいかなかった。）、水風船（水を入れて膨らませ液に浸けてその変化を見る。）、スーパーボール（液で冷却後上から落とす。）プラスチック消しゴム（液に浸けその変化を見る。）である。まず、液体窒素に一瞬なら手を浸けても冷たくないことを体感させ（これは、後の感想を見ると誤解されている面があり、実施するには注意を要する。）、次に床に液体窒素をこぼすと、玉になって広がることを見せて、同じ様な現象を見たことはないかを聞いてみた。熱いホットプレートに水をこぼした時に似ているとの答えがあり、床と液体窒素の温度差を説明した。続いて上記の物品を使い、いろいろ観察した。スーパーボールの落下で、どうなるかを聞くと、ほとんどは割れると答え、常温の時と同じように弾むと歓声が上がったが、音の違いに気が付く子は少なかった。水風船が膨らんだり萎んだりするのも好評であった。

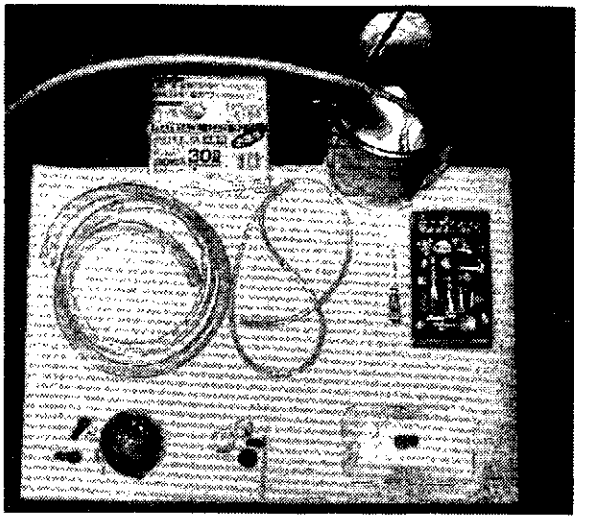


写真１０：使用物品

３．参加者の感想

我々のコース参加者１８名の感想の多くは、「普段学校で経験できないことができて、とても楽しかった。」というもので、「液体窒素に触っても冷たくなかった。」とか「液体窒素を手で触れること知った。」とかの感想があり、「一瞬なら」ということをもっと強調しなければいけなかったと反省している。

４．おわりに

今回の事業を技術部の系・班の枠を越えて実施できた意味は大きいと思うとともに、参加者に非常に好評で、技術部に「大学等地域開放事業」プロジェクトが立ち上げられ、平成１４年度の計画が現在進められていることを報告する。

謝辞：今回超伝導材料を提供していただいた本学システムマネジメント工学科中村光一教授、材料工学科後藤共子助教授、ガドリニウム材料を提供いただいた材料工学科日原岳彦助手、参考事例を紹介していただいた本学電気情報工学専攻博士後期課程２年七戸希氏、インターネット等を通して情報を提供いただいた多くの皆様に感謝いたします。

参考文献：１）宗本久弥，琉球大学極低温センターだより，Vol.３・４，8-13(2000)

雪の硬さ測定

電気通信大学技術部　○金子克己

1．はじめに

２年程前に、本学の菅平宇宙電波観測所を拠点としている「スキーと雪の摩擦に関する研究」グループから、積雪表面の硬さを評価する試験機の設計および制作を依頼され、この研究プロジェクトに参加することになった。

雪の硬さ評価と聞いて、数年前にある硬さ試験機メーカでの”世に硬度計はあるが軟度計はない”という話を思い出した。しばらく標準軟度試験片に相当する物質はないかと探してはみたが、その分野の知識が乏しくこれを試作するには至らなかった。そこで気を取り直し柔らかい物質の硬度計を作成することにした。

設計に当たり下記の条件を考慮した。

・積雪表面近傍の硬さの評価ができること。
・精度、分解能が良いこと。
・サンプルのところまで装置を持って行けるように、携帯可能で軽量であること。
・柔らかい材料の硬さ評価の経験が乏しいため、なるべく安価に仕上げる。
・氷点下にあっても測定ができること。
・学生の卒業研究にもなるため、簡易且つ起こっている現象を捉え易いようにする。

これらを加味し、バネを用いた硬度計を作成した。現在は、３号機を活用しているが、これに至るまでの失敗例を含めて発表する。

また日本雪氷学会によれば、雪を降雪、積雪、飛雪とその状態によって区別し、性状等を分類している。本研究では、積雪に手を加えたものを用いている。

2．積雪表面硬さ測定１号機

図１に１号機の作成に当たって考えた機構を示す。これは圧子軸を測定物に向けて変位させていくと、圧子が測定物に接触したところからバネが縮んでいき、この縮み量から測定物に掛かる荷重を、接触点からの変位（δ）とバネの縮み量の差から圧子の押し込み量を求める、圧子圧入型の硬度計である。図２に想定した荷重－変位曲

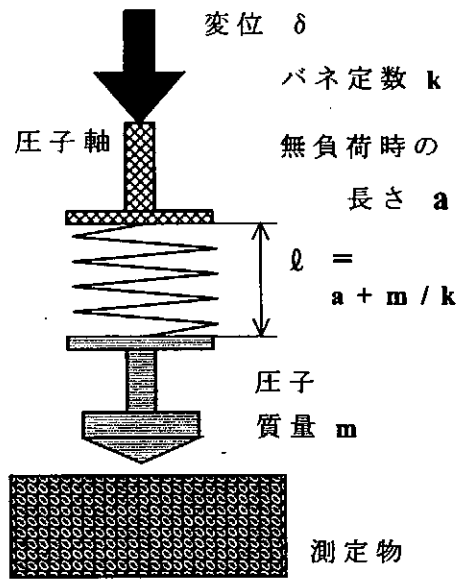


図１　１号機で考えた機構

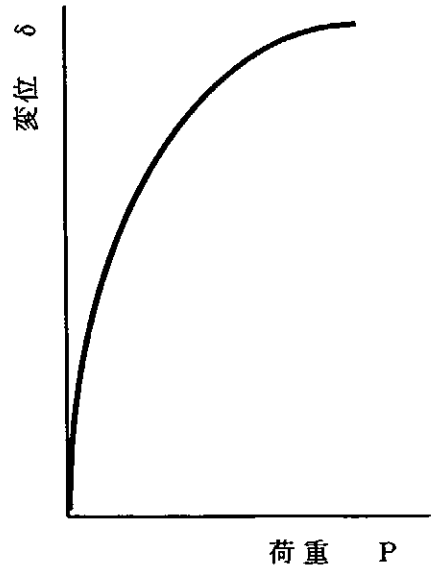


図２　想定した荷重－変位曲線

線を示す。測定物の硬さに合わせてバネを変えることによって、測定物に合った分解能に変えられる。また操作が簡便であることと、小型化し易いという利点がある。

ここで、バネと圧子が固定された状態でないと、接触点が圧子重量分カットオフされてしまうことと、バネを均等に縮めるためのガイドを兼ねて、実機では図３に示すように圧子軸を作成した。ところが、想定していた荷重－変位曲線は得られず、図４に示すように圧子と測定物が明らかに接触しているにもかかわらず、接触点付近ではバネは縮まらなかった。これは、バネを予め縮めた状態にしたために、バネに圧子が押されている荷重Ｔ分の負荷を、測定物が受けてからでないとバネが縮み始めなくなってしまったためである。ちょっとした違いであるため、よく考え無かったのが災いした。１シーズンを棒に振る結果となってしまった。

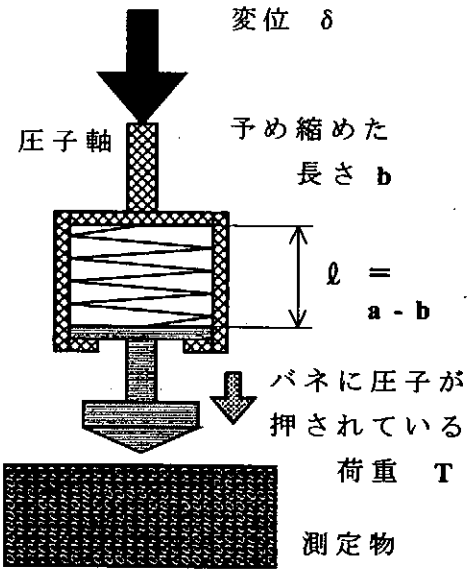


図３　実機の機構

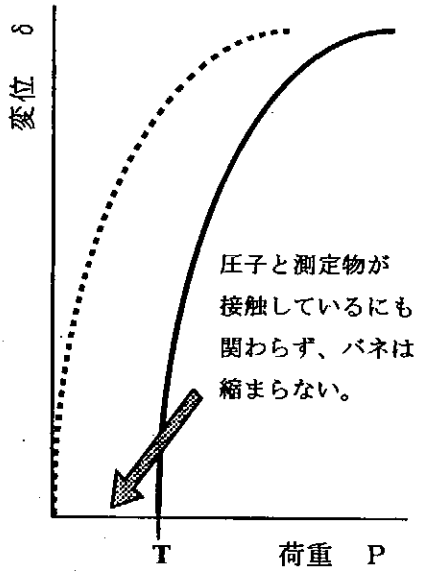


図４　実機の荷重－変位曲線

３．積雪表面硬さ測定２号機

図５に２号機の機構を示す。１号機では変位を与えるだけの操作であったが、２号機では荷重を載せる方式を取った。このため１号機よりは手数の多い測定方法となるが、手動測定を前提とすれば、精度面は１号機よりも優れていると考えている。また、圧子軸が長くなり重くなると接触時の反応が鈍くなるため、軽量化に心掛けた。

図６に想定した荷重－変位曲線を示す。荷重台に荷重をかけるとバネは縮み圧子軸は降りていく。この圧子軸の変位（δ）はダイヤルゲージで測定する。荷重と変位の関係は、測定物が無く空気の場合は、バネ定数に見合っ

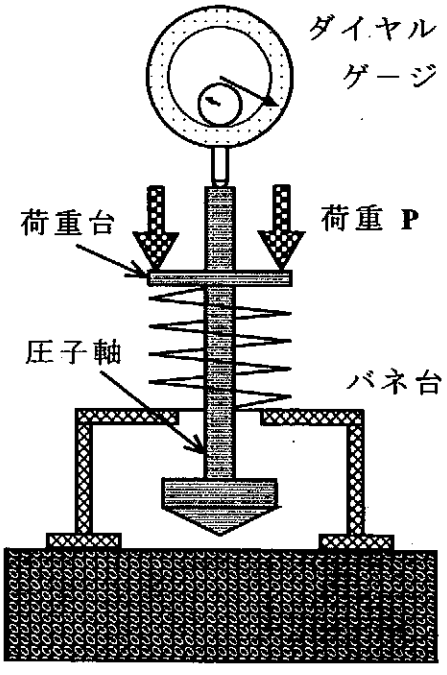


図５　２号機の構成

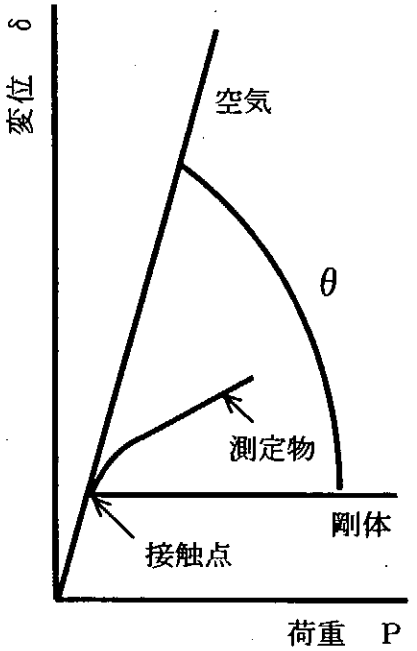


図６　想定した荷重－変位曲線

傾きとなる。測定物が剛体の場合、接触点からは変位は進まない。この空気と剛体の間（θ）に測定対象があり、測定物にあったバネを選択することにより接触点近傍を計ることができる。また、測定物の性状に合わせ、圧子直径や圧子形を変えることによって、柔らかい材料の表面近傍の硬さの比較ができる。

4．積雪表面硬さ測定３号機

より測定と観察がし易いように改良した３号機を図７に示す。測定方法等は２号機と同様である。図８に荷重台とバネの様子を、図９および図 10 に円柱と円錐の圧子を示す。

現在のところ本研究では、雪とモデルスキーの動摩擦係数の関係を求めることがメインテーマであるため、本年度は新雪ではなく踏み固めた雪の表面近傍の硬さ評価を行った。測定に当たり、積雪表面の保護と硬度計が雪に沈み込まないように、表面に広い板を敷いて行っている。

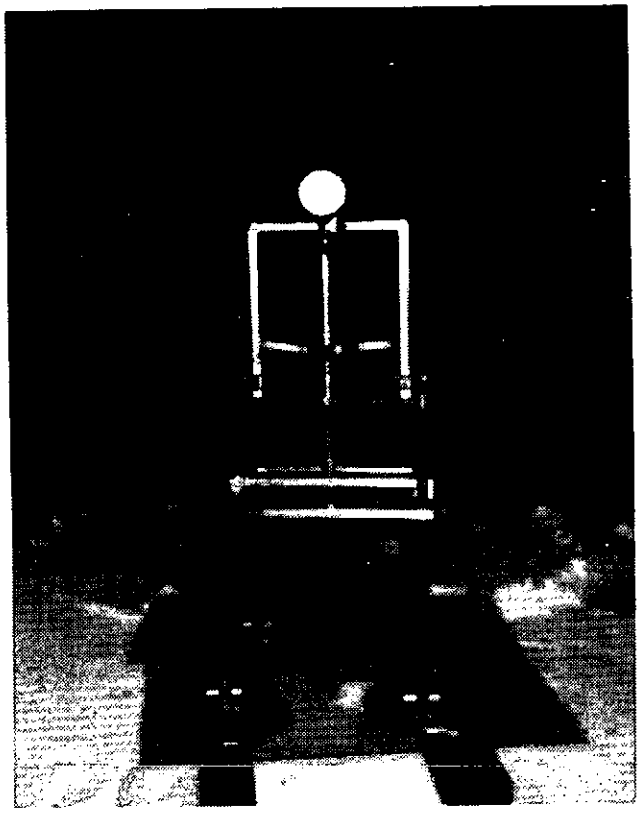


図７　３号機

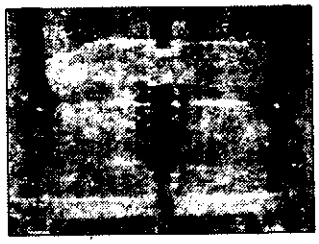


図８　荷重台とバネ

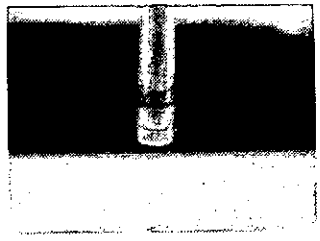


図９　円柱圧子

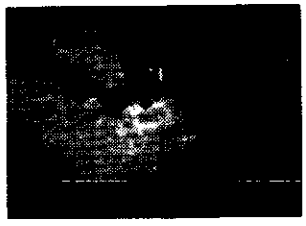


図 10　円錐圧子

5．本年度の測定結果

図 11 および 12 に本年度測定した積雪表面近傍の測定例を示す。これは、本学卒論生の白畑一貴君が測定したもので、直径 10mm の円柱圧子を使用している。図 11 に、密度 4.9 g / cm^3,雪温 -7.5 ℃, 気温 -9.5 ℃の雪の測定値を示す。この雪の場合は、ばらつきの少ないデータが取れている。荷重 170 g、変位 1.7 mm 付近まではバネ定数に見合った傾

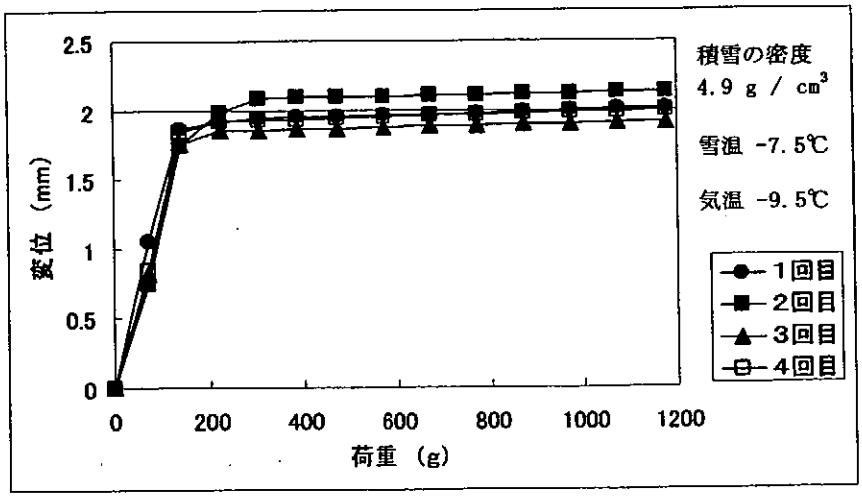


図 11　積雪表面近傍の硬さ評価（１例－１）

きとなり、ここから徐々に雪の抵抗が大きくなっていく様子が取れている。

図12に、密度 2.3 g / cm³ でその他の条件は図11と同様の測定値を示す。この雪の場合は、1回目がその後の測定よりも変位が 0.5 mm 程大きな値となっている。荷重 300 g 以降の荷重－変位の傾きが他と一致していることから、表面近傍でわずかに柔らかい箇所があったことを示している。なるべく均一になるように撹拌し踏み固めてはいるが、このような差異は密度が小さいと起こりやすい。他のデータも接触点まではバネ定数に見合った傾きを示していることから、作成した硬度計で積雪表面近傍の硬さの評価ができると考えている。

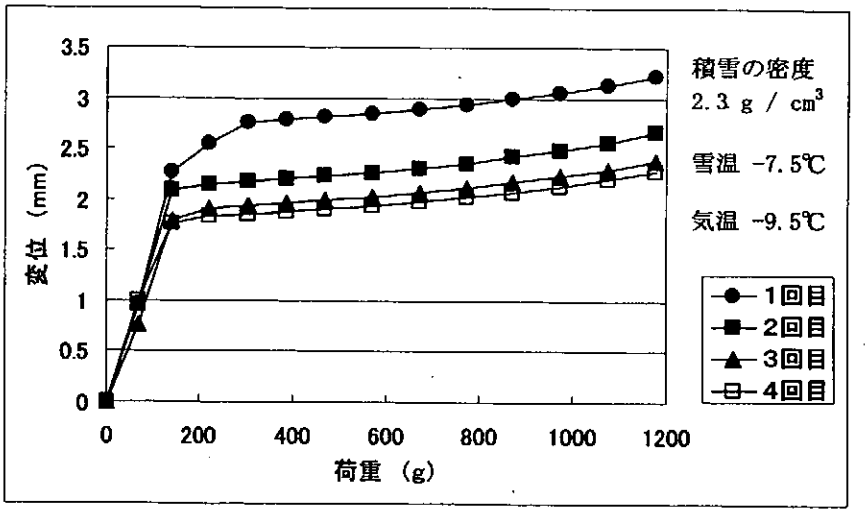


図12 積雪表面近傍の硬さ評価（１例－２）

6．積雪表面近傍の硬さ評価

本年度、菅平で測定した９種類の積雪表面近傍の硬さ評価を、接触点時の荷重と変位をそれぞれ０として図13に示す。

＋記号の密度 0.45 g / cm³ と●記号の密度 0.23 g / cm³ を除いて、密度と硬さがほぼ一致している。まだ少数のデータではあるが、表面近傍であっても押し込み硬さと密度との関係はあると思える。また積雪表面の温度は、雪温よりも気温に近いと思われるが、本実験の範囲では硬さと気温(雪温)の相関は得られなかった。

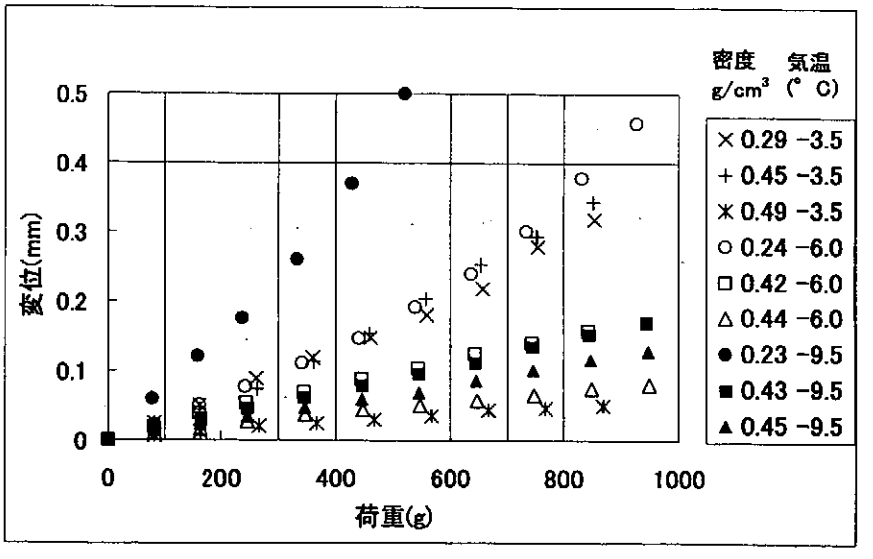


図13 積雪表面近傍の硬さ評価

7．おわりに

本研究の目的は、スキーと雪の摩擦の関係を明らかにすることにあるが、実験台の上でモデルスキーを使用し動摩擦を測定したところ、雪の硬さと動摩擦の大小はバラバラで、この相関は見て取れなかった。動摩擦の大小に与える影響因子を特定するためには、滑走面で何が起こっているのかを詳細に調べることと、押し込み硬さとともに引っ掻き硬さ硬度計の開発が必要となっている。また多くのサンプルを得るために、安価で簡易で斜面でも測定できる硬度計の開発も考えている。

空気作動式液体ヘリウム移送管

姫路工業大学　○岩本雄二、京都大学　楠田敏之　分子科学研究所　高山敬史、大阪市立大学　田中峰雄

はじめに

ヘリウム液化装置を設置している施設において、ヘリウム液化業務は主に液化装置の運転、維持管理及び液体ヘリウムの供給である。液化装置に関しては装置のオートメーション化が進み、始動と停止以外は、ほぼ無人で運転できる。しかし、ヘリウム液化業務の中で、研究室等への供給（小口容器への移し替え）はその操作上の問題から時間的労力を必要とする。その時間的労力を低減させるため、多くの液化室で液体ヘリウム供給の自動化が検討されている。今回、比較的簡便に設置できる空気作動式液体ヘリウム移送管により（半）自動供給を行っている機関での特徴及びその自動供給の方法等の比較検討を行った。

空気作動式液体ヘリウム移送管

空気作動式液体ヘリウム移送管（以下、トランスファーチューブ）（図１）は、液体ヘリウムの供給停止を手動で開閉を行う手動弁からガス圧によって開閉する空気作動弁によって行うものである。特徴としては、トランスファーチューブ以外には作動用ボンベ、電磁弁及び電磁弁の制御回路のみであり現状の装置にそのまま設置（写真１）できる点が挙げられる。

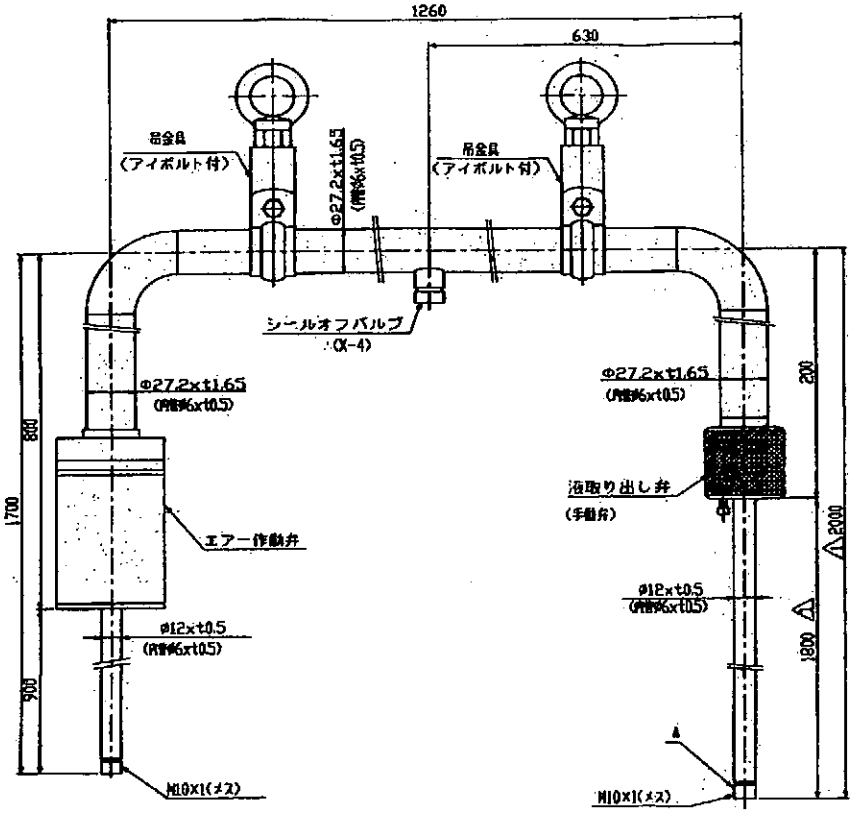


図１　姫路工業大学での空気作動式液体ヘリウム移送管

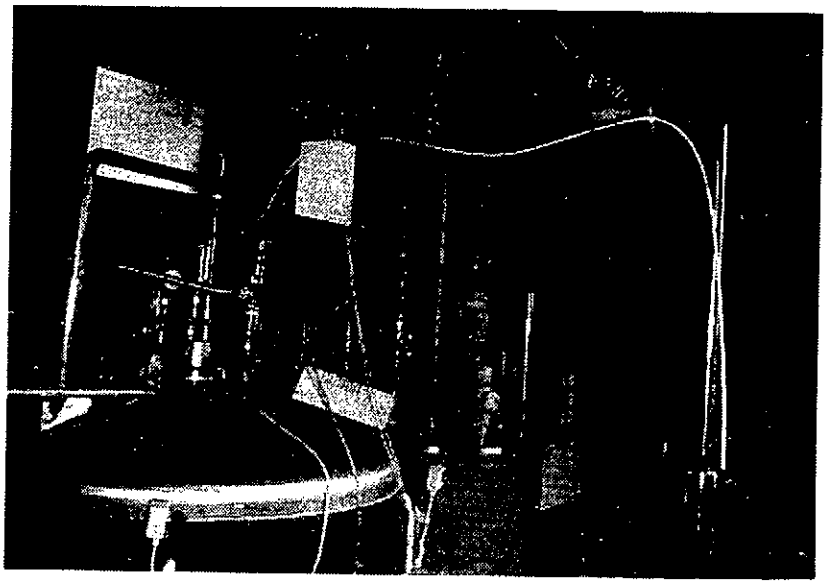


写真1　500リットル容器に設置された空気作動式液体ヘリウム移送管（姫路工業大学）

各施設の比較

各施設でのトランスファーチューブの概略は同じであるが、右図のように作動弁のところでは3重管になっているため、各施設で設置できる外管の大きさによって内管の大きさが決まってくる。自動化のシステムに関しては、回収ラインに設置した圧力センサーによって圧力上昇（容器から液が溢れた状態）を感知して自動的に停止させる半自動化が主である。分子科学研究所ではロードセル上で作業を行い、LabVIEW（パソコン）によって組み出しの始動から停止及びデータの整理まで自動化している。各施設のトランスファチューブについては、下表にまとめる。

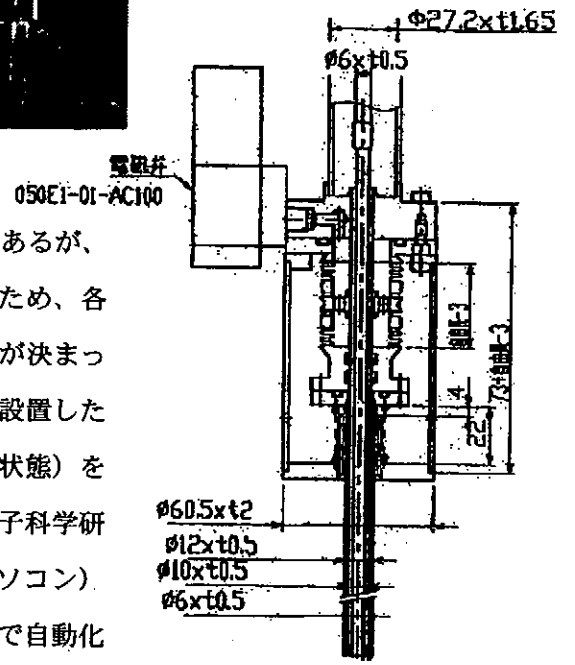


図２　空気作動弁詳細図（姫路工業大学）

機関名	管外径（mm）			自動化	システム概略	製作会社
	内管	中管	外管			
姫路工業大学	6	10	12	停止のみ	背圧上昇で停止	理研社
京都大学	8	12	15	停止のみ	背圧上昇で停止	
大阪市立大学	8	12	15	停止のみ	背圧上昇で停止	
分子科学研究所	6.4		13	全自動	重量でくみ出し量 背圧上昇で停止 パソコンで制御	ジェック東理社

まとめ

分子科学研究所ではパソコンを使った自動供給システムによりユーザーによるセルフサービスが行われている。また、他の機関でも１回の供給にかかる約30～40分の時間的制約がなくなり、作業効率が高まっていると考えられる。

焼結金属による液体ヘリウム移送効率の改善

○楠田敏之、　高山敬史
京都大学化学研究所、分子科学研究所

液体ヘリウム・トランスファーチューブの先端に焼結金属を取り付けることにより、液体ヘリウムの移送効率の改善を行ったので報告する。
液体ヘリウムの移送効率の改善は、その改善分のヘリウム液化機の液化能力を向上させることと同等の効果がある。

経緯と発想

液体ヘリウム移送管の移送効率改善は名古屋大学の井上、伊東、黒川、柴山により、気液分離が重要な要素であるとの報告がある。　参考文献１
名古屋大学の報告は弁本体の流れの改善であるが、京都大学化学研究所では発想を変え、トランスファーチューブの先端に短い延長管を設け流れと直角方向に多数の穴を開けることにより（写真１左に示す）、気液分離と液面との衝突エネルギーを減少させることにより移送効率の改善が出来ると考えた。　これにより改善の傾向が見られたためこれを発展し、穴の数をほぼ無限


写真１　左：穴あき延長管
中、右：焼結金属

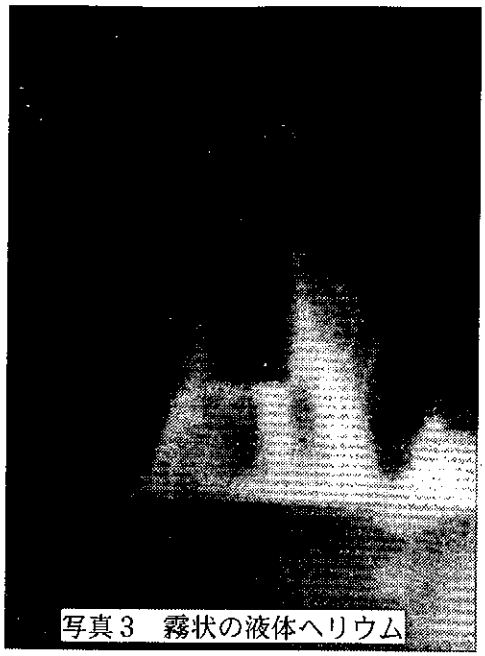

写真２
市販の焼結金属製のフィルターエレメント
と取付金具（京大）

大に増やすことにより、さらに改善出来ると考え、写真1,2に示すカップ状の焼結金属（以下単に焼結金属とする）を使用することにより移送効率の改善を行った。

京都大学・化学研究所では液体ヘリウムのトランスファーチューブに焼結金属を用いて移送効率の改善を行って来た。　昨年より分子科学研究所においても焼結金属の使用を始めたところ移送効率、移送速度共に向上を確認した。　今回は、この２つのデータを元に移送効率の改善を検討する。

焼結金属の効果

従来の方法では、トランスファーチューブの先端から液体ヘリウムが勢いよく直線状に出て液面をたたいているが、トランスファーチューブの先端に焼結金属を使用することにより、写真３に見られるように液体ヘリウムが霧状に出ている様子がわかる。　液体ヘリウムの蒸発潜熱が

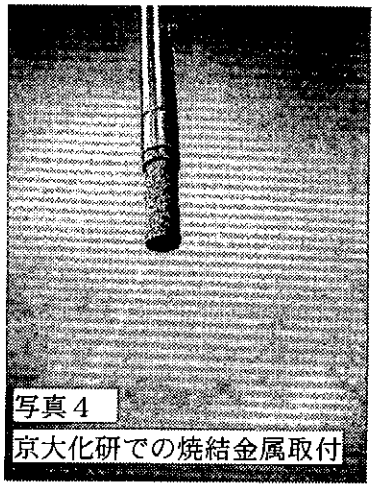

写真３　霧状の液体ヘリウム

0.87kJ/literと非常に小さいことを考えると、焼結金属を用いることによりこの衝突のエネルギーによる蒸発ロスを減少させることが出来ると考えられる。　同時に、焼結金属による気液分離の効果も得られる。

焼結金属の粒径

焼結金属の粒径が10μｍ以下ではトランスファーチューブ予冷時のガスの流れが悪く、トランスファーチューブの予冷に時間がかかり適さない。

一方、液体ヘリウムの流量は焼結金属の粒径にはそれほど依存しない。　このため、焼結金属は予冷時のガスの流れを考慮して、50μｍから100μｍ程度のものを使用するのが適当であると考える。


写真４
京大化研での焼結金属取付

京都大学・化学研究所での方法

京都大学・化学研究所では、外径10mm長さ29mm粒径100μｍのステンレス製の焼結金属を用いている。　トランスファーチューブの先端は液体ヘリウム槽上端より約100mmの位置である。　移送圧は、2000liter液体ヘリウム貯槽の内圧によるが、液化運転中は0.045MPa、液化運転停止中は加圧は行わず0.03MPaから0.015MPaの間である。　液体ヘリウム容器の回収配管側の背圧は移送圧力が0.045MPaの時に0.008MPaである。

京都大学・化学研究所での結果

液体ヘリウムの移送効率は、焼結金属を用いない場合には平均80.4%であったが、焼結金属を用いることにより平均81.9%となり約1.5%の効率改善を確認した。図１に示す。

また、移送速度は10%程度低下した。これは焼結金属を使用することにより抵抗になったもの

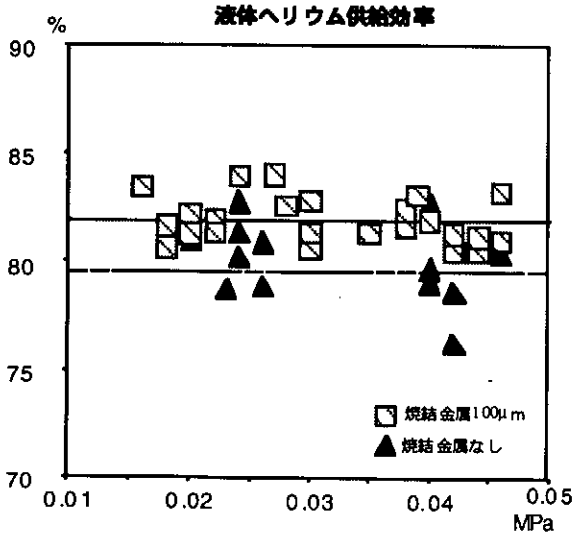


図１

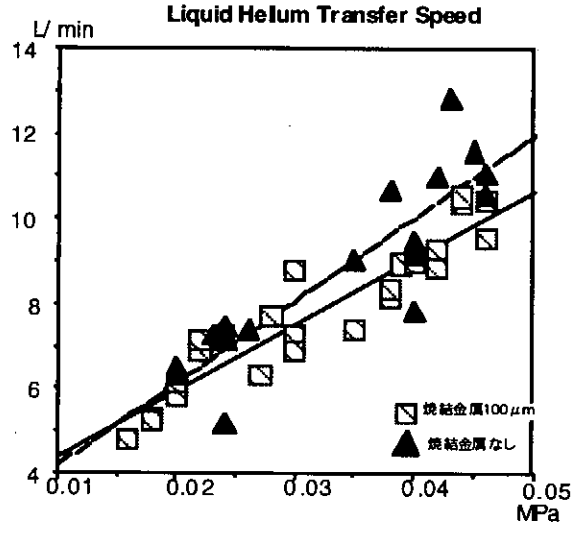


図２

と考えられる。図２に示す。

分子科学研究所での方法

分子科学研究所では、市販のステンレス製の焼結金属のフィルターを使用し、液体ヘリウムトランスファーチューブ先端に取り付けた。

焼結金属は直径 12.4mm、長さ 20mm 粒径 90 μｍのものを使用した。

トランスファーチューブ先端は液体ヘリウム槽上端より 170 または 100mm の位置にある。

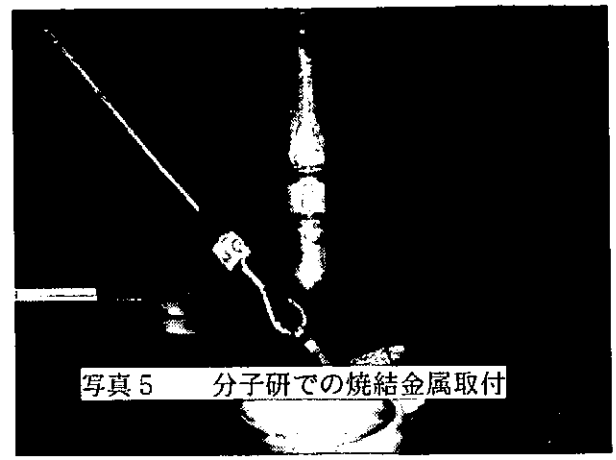


写真５　　分子研での焼結金属取付

分子研での結果

液体ヘリウムの移送効率は、焼結金属の無い場合には平均 70.2%であったが、焼結金属を用いることにより平均 78.4%と 8.2%の改善を確認した。　また、移送速度は平均 2.49L/min であったが、焼結金属を用いることにより 3.00L/min と 17%の向上を確認した。

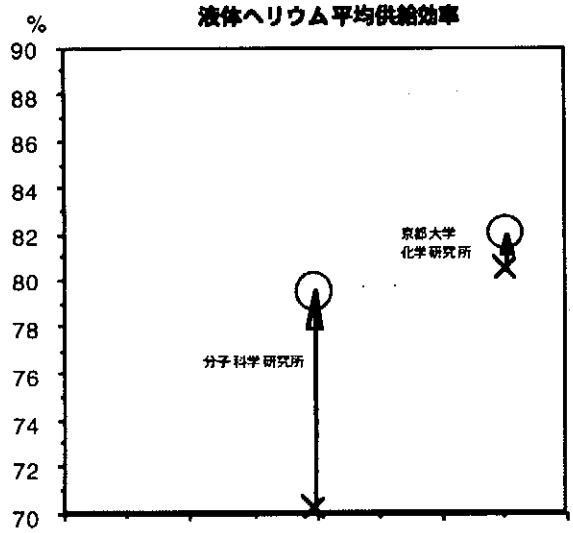


図３

まとめ

分子科学研究所では移送効率は 8.2%向上し、移送速度も 17%の向上を確認した。図３に示す。しかし、京都大学化学研究所では移送効率は 1.5%の向上を示したが（図１に示す）、移送速度は逆に 10%程度低下してしまった。図２

液体ヘリウム容器はどちらも同じメーカー製であり、移送時の背圧も、京都大学では 0.0008MPa、分子科学研究所では 0.001MPa とそれほど差が無い。

トランスファーチューブ等の供給系の条件や焼結金属の諸条件による移送効率の改善の効果や移送速度への影響については今後の課題としたい。

参考文献

１．　分子科学研究所技術研究会報告 1984

誰にでも出来る大径ヘリウムガス回収配管

熊本大学理学部物理科学科　　衝撃・極限環境研究センター
○河野　賢悟　　島本　知茂

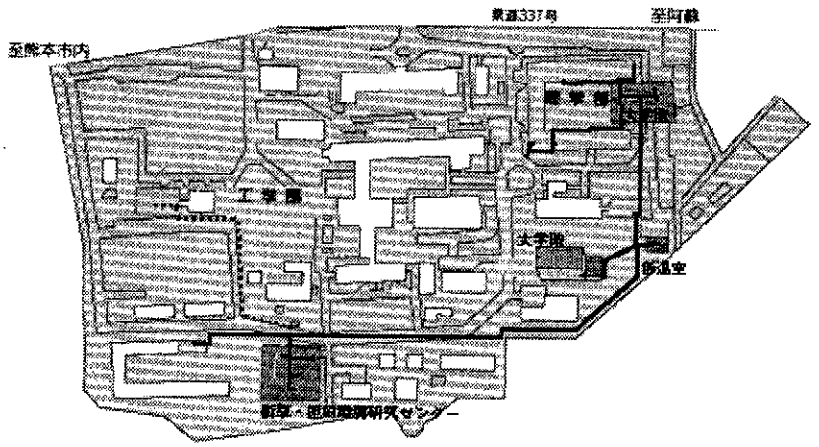
1．はじめに

液体ヘリウムの供給体制を整えるには、ヘリウムガス回収配管は不可欠であるが、従来のステンレスや銅配管の溶接工法では工期、材料費、人件費共に大きな負担となる。配管長によっては１００ヶ所以上にも及ぶ溶接作業をしなければならない。しかもヘリウムガスは分子構造が小さいため、溶接個所が水や空気で洩れなくてもヘリウムガスでは洩れる可能性があり、全ての溶接個所のリークテストをしなければならない。もし、極わずかな量のヘリウムガスが洩れても良いと考えると、配管材の選択幅が広がり、大きな負担となっている配管敷設費の軽減につながる。そこで新しい工法のステンレス配管に注目した。これは水道用に開発されたもので、Oリング入りのソケットに管を差込んで圧着する。高度な溶接技術など一切いらず、現場で寸法取りしながらマニュアル通りに施工すれば誰にでも確実にヘリウムガス回収配管ができる。

今回はこの圧着式ステンレス配管のヘリウムガスでの実用性を従来工法と比較しながら検証してみる。

2．学内ヘリウムガス回収配管

熊本大学では５０ｍｍφの銅管による回収配管を使用しているが、一部分、水道用コーティング鋼管による回収配管 180mを合わせ学内総延長は約１km に達する（図−１）。



（図−１）ヘリウムガス回収配管敷設図

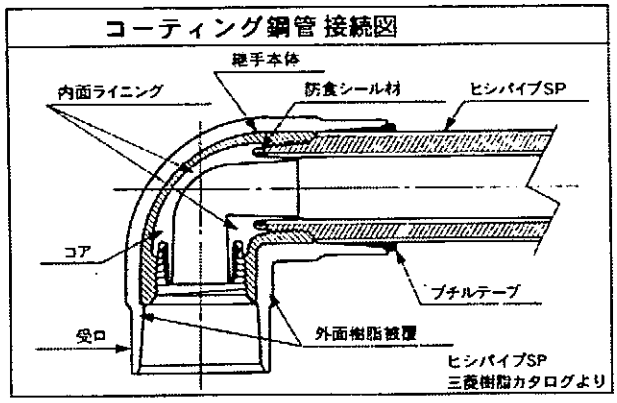
3．水道用配管の種類

水道用配管には以下の種類がある。

- ○ 鋼管（亜鉛メッキ鋼管：鉄管の内外面がメッキされており通称、白ガス管）
- ○ 鋳鉄管、○銅管、○ステンレス管（溶接配管、圧着式ステンレス配管）
- ○ 複合管（コーティング鋼管）

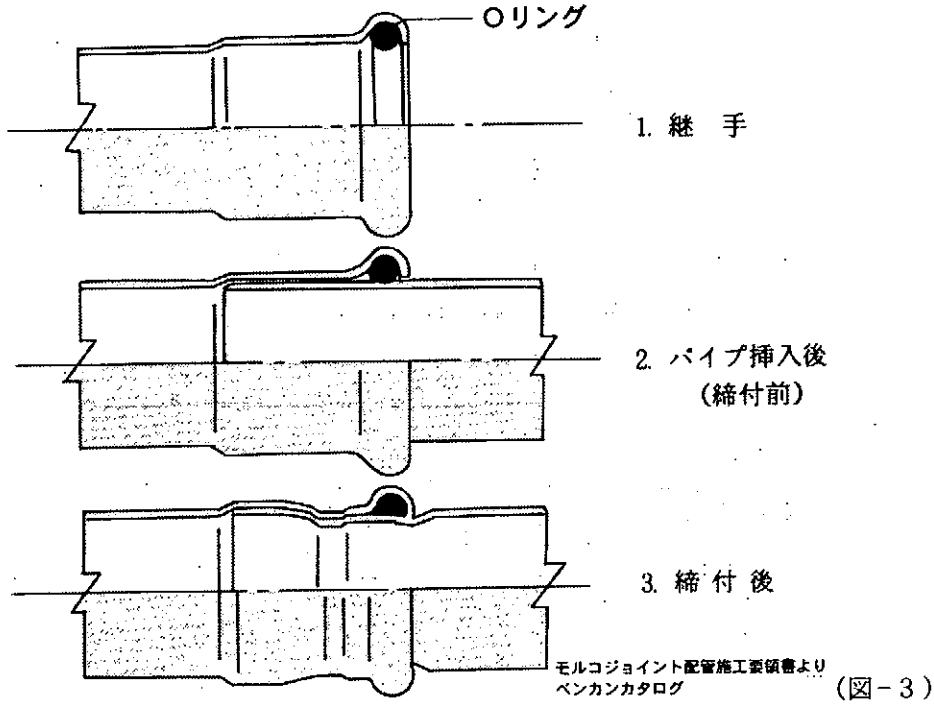
一般に白ガス管が利用されてきたが、これに代わる管材としてコーティング鋼管が利用されて

いる。鋼管は完全に塩化ビニール樹脂で被われており、耐食性が高い。ステンレスや銅管に比べると水道用コーティング鋼管は広く利用されており施工単価の負担が小さい。(図-2)



(図-2)

圧着式ステンレス管は(図-3)の構造をしており、Oリングとその両側が圧着され洩れを防ぐ。圧着には専用工具を利用するため、マニュアル通りに施工すれば均一な仕上がりとなる。



(図-3)

4. 施工方法

○コーティング鋼管

①管の切断：バンドソー、自動金ノコ盤等で管軸に対し直角に切断。

②管のねじ切り、面取り：自動切上げ装置付きねじ切り機で切削油を使用。管端の面取り。

③清浄処理：切削油、切粉等を石鹸水で洗い、水分をふき取る。

④シール剤の塗布：管の切断面とねじ部にペーストシール剤を塗布。

⑤ブチルテープ巻き：パイプ外面塩ビ切上がり部にブチルテープを巻く。

⑥接続：管等をパイプバイスでつかみ、規定トルクで、ねじ締め。

⑦ブチルテープの充填

○ 銅管、ステンレス管(鑞付配管)

① 管の切断：バンドソー、自動金ノコ盤、パイプカッター等で管軸に対し直角に切断。

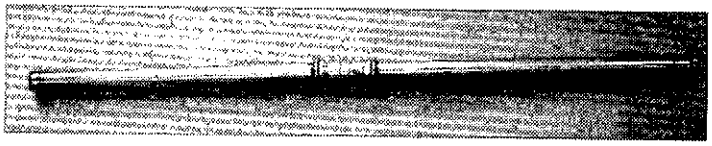
② 清浄処理：鑞付個所の清浄
③ 鑞付：フラックスを塗布後、バーナーにて鑞付
④ 清浄処理：鑞付個所のフラックス清浄

○ 圧着式ステンレス管
① 管の切断：パイプカッターで管軸に対し直角に切断。バリ取り。
② 清浄処理：Oリング、継手個所の清浄
③ ラインマーク入れ：パイプ差込み長確保のため、端部にラインマーカーにてマーキング。
④ 継手にパイプ挿入：Oリングを痛めないようにまっすぐラインマークまで挿入。
⑤ 接合：専用締付け工具をパイプに直角になるようにしてプレス。
⑥ 6角ゲージで確認。

以上のようにコーティング鋼管、銅管、ステンレス管（鑞付配管）に比べ、圧着式ステンレス管の接続作業は簡単であるので、狭い現場での配管作業にも適しており、作業者の技量に左右されにくく均一な仕上がりとなる。

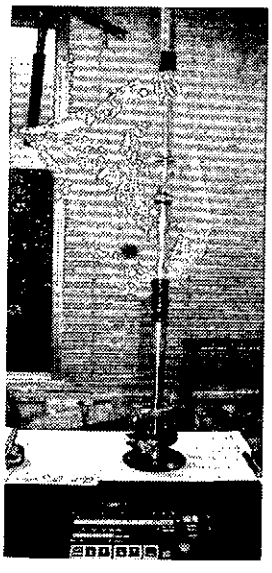
5．圧着式ステンレス管のヘリウム透過試験

ヘリウム透過試験用に製作した管を用いた。30cm の 20φステンレス管2本を継手で接続し圧着工具でプレスされている。一端は黄銅フランジで銀鑞溶接し密閉されている。もう一端は KF16 フランジを銀鑞溶接しリークデテクタ取付け口を設けた（図-4）。リークデテクタは Veeco Instruments,Inc. MS-40 を使用した。



（図-4）

空気中でのリーク量は黄銅フランジ、 KF16 フランジ、プレス部分、リークデテクタ取付け部分を含め ～$10\times^{-10}$ cc/sec であった。ヘリウムリークテストは（図-5）のようにプレス部分をビニールで被い、その中でヘリウムガスを吹きつけた。また、液体窒素温度でのテストはプレス部分をじゃぶ漬けしておこなった（図-6）。結果は（表-1）のとおりである。



（図-5）



（図-6）

空気中	ヘリウム室温	ヘリウム 77K	77Kから室温戻り
～$10\times^{-10}$	～$10\times^{-9\sim-8}$	～$10\times^{-4}$	～$10\times^{-9\sim-8}$

（表-1）20φ圧着式ステンレス管のヘリウムリークテスト　cc/sec

ヘリウムガスは室温で回収されるが、液体ヘリウムトランスファー出口付近では窒素温度以下になることがある。プレス部分のOリングは極低温に冷やされるといっきにヘリウムリーク量が増えるが室温に戻ればリーク量は復元した。ただ今回は、ヒートサイクル試験をしていないので劣化程度は不明である。

室温でわずかに洩れるヘリウムはプレス部分に使用されているOリングからで、材質はブチルゴムが使用されている。室温でのヘリウムガス透過係数は（表-2）のバルカーレビュー資料によると、$2.6\times^{-7}$ cc・mm/atm・sec,cm^2 である。ヘリウムガス透過係数は真空ポートやKFフランジ、ウイルソンシール等に利用されているニトリルゴム $2.2\sim5.9\times^{-7}$ cc・mm/atm・sec,cm^2 と比べても同程度である。

ゴム材料	R.C.No.	Heガス透過係数 CC・mm / atm・sec, cm^2	備考
ニトリルゴム	日本バルカー試作	1.3×10^{-7}	真空用配合
ニトリルゴム	Z1170	2.2×10^{-7}	真空用配合
ニトリルゴム	B0570	5.9×10^{-7}	JIS B 2401 1A
ニトリルゴム	B0390	2.7×10^{-7}	JIS B 2401 1B
フッ素ゴム	D0270	7.1×10^{-7}	JIS B 2401 1D
シリコンゴム	E0170	1.7×10^{-5}	JIS B 2401 1C
ブチルゴム	F0070	2.6×10^{-7}	
クロロスルフォン化ポリエチレンゴム	G0070	2.5×10^{-7}	
エチレンプロピレンゴム	H0070	1.8×10^{-6}	
クロロプレンゴム	J0170	2.4×10^{-7}	
天然ゴム	K0070	1.1×10^{-6}	
エピクロロヒドリンゴム	M0070	2.3×10^{-7}	
ウレタンゴム	R0190	2.3×10^{-7}	
ウレタンゴム	VE-590	1.9×10^{-7}	

（表-2）ヘリウムガス透過係数　（バルカーレビュー第20巻第2号）

6．まとめ

今回、我々の施設おける圧着式ステンレス管のヘリウムガスリーク量は許容範囲内で、回収配管として充分耐えられることがわかった。今後は実際に圧着式ステンレス配管を敷設して総合的なデータをとる予定である。

最後に圧着式ステンレス配管のテストピースを御提供下さいました、株式会社ベネックスに感謝いたします。

参考文献：バルカー資料、三菱樹脂カタログ、モルコジョイントカタログ

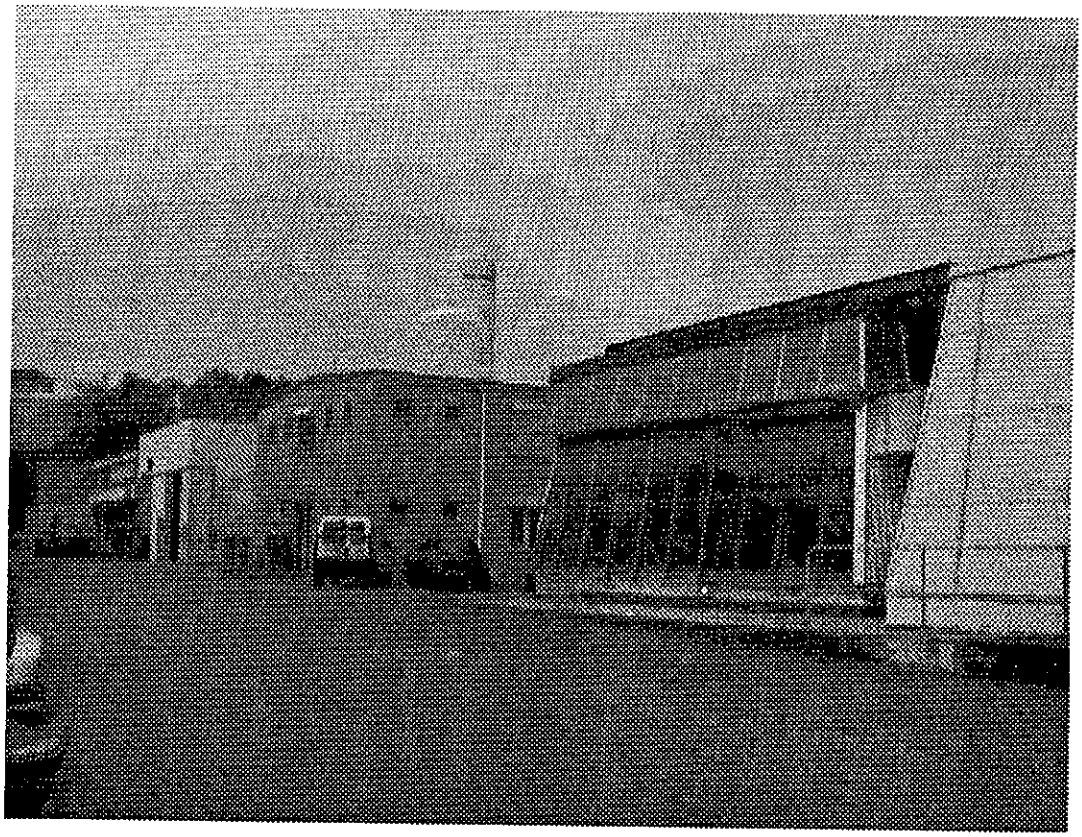
CERNの液体ヘリウム事情

東京大学総合文化研究科
共通技術室　小田嶋　豊

1.　はじめに

１９９９年春から東京大学総合文化研究科の小牧・山崎研究室が超伝導マグネットを使用して反粒子を閉じこめる予備実験を総合文化研究科の施設を使用して行うことになり、私もその予備実験に参加した。予備実験の段階で超伝導マグネットなどトラブルが色々あったが、最終的には装置の性能が確認できた。装置は２００１年３月にＣＥＲＮに運び出され、現地での実験は５月に順調に行われた。２回目の実験は１０月ということでその実験に合わせて私も実験に参加した。それと同時にＣＥＲＮの低温施設を見学させて頂いた。

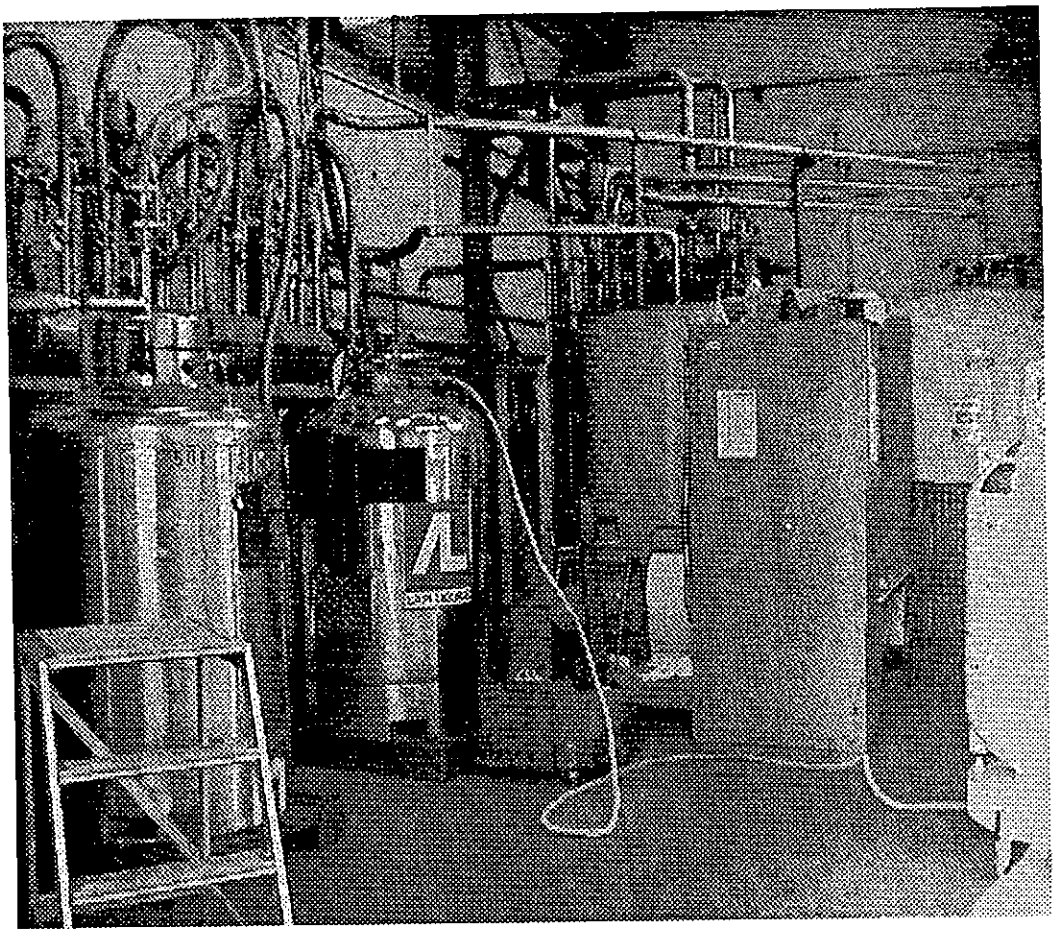
写真－１は、低温施設の全景である。



写真－１　奥の建物が液化室、手前ガラス張りの建物が回収圧縮機室

2.　液化供給システム

液化機はスルーザ社製で液化能力：８０リットル／ｈであった。供給システムはトランスファーチューブの先端に圧力センサがあり、満了になると圧力を感知し自動的に液体が停止するシステムになっていた。また、供給時の冷たい蒸発ガスは熱交換器で９０Ｋまで昇温し、再び液化機の戻りのライン（圧縮機の吸入側）に戻して液化効率を高めていた。写真－２は液化機本体と供給風景を撮したものである。



写真－２　　ヘリウム液化機と供給用の５００リットル

液体ヘリウムの供給申し込みは、電話又は、直接液化室のボードに書き込むという方法がとられていた。ただし、申し込みは液体ヘリウムを使用する３日前までに申し込まないと研究者の手元に液体ヘリウムは供給されない事と、施設内（研究室）に液体ヘリウム容器を運ぶのにクレーンを使用するため、同時にクレーン操作の手続きも行わなければ液体ヘリウムは研究者の手元にこない。容器の回収においても同様の方法で行われていた。

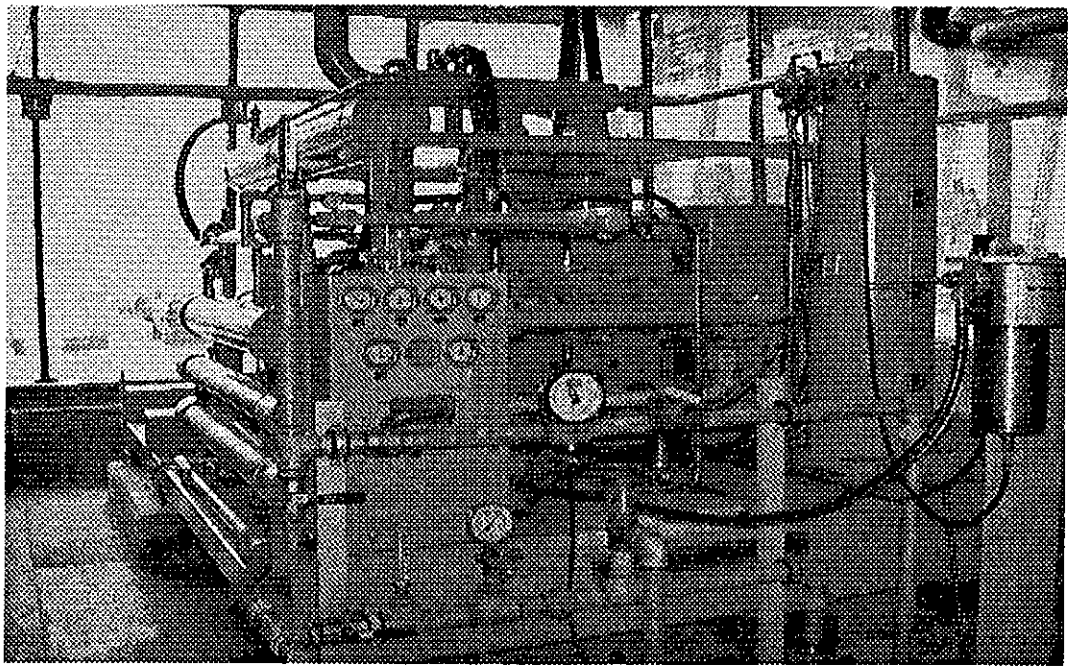
液体ヘリウムの供給期間は、２月から１２月まで行われ、年間供給量は１０万リットル前後とのことであった。１月は安全週間で装置の定期点検が行われるとのことであった（スイスでは冬の電力事情が悪いためこの時期に点検を行うとのことであった）。

３．　回収システム

回収圧縮機はブルックハルトの圧縮機で処理能力：４００m³／hと１００m³／hの各一台が設置されていた。高圧ボンベに充填される圧力は２０MPaであった。写真－３は処理能力４００m³／hの圧縮機である。

４．精製システム

精製器は２筒自動切り替え方式で、精製機も液化機同様連続運転が行われていた。ヘリウムガスの回収率及び回収純度は９０％以上とのことであった。



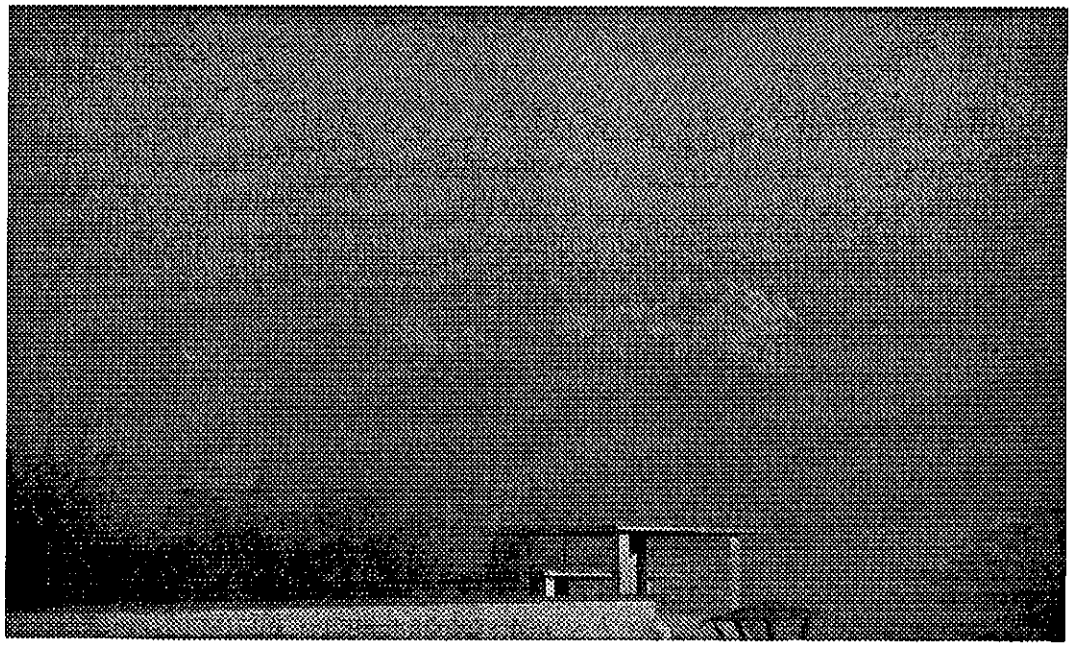
写真－３　回収圧縮機

5．　おわりに

ヘリウム液化・精製・供給・回収システムは、小分け容器に汲み出す業務を除きすべてが自動化されていた。ここで働く技術官の方々の業務は、この汲み出し業務、液体窒素及び液体ヘリウムの運搬、システムの日常点検等の他に施設内に関わる運搬業務を行っていた。この様な施設を管理する技術官の他に低温関係の技術開発を行っている技術官の方々もいました。

ＣＥＲＮには安全委員会という組織がある。安全委員会は各施設が委員会の安全基準に沿って運営が為されているかどうかを抜き打ち検査を行ったり、基準にあった定期点検が行われているか等安全に関して非常に厳しい管理を行っていた。業務に関しても、安全管理に関してもとても興味深いものがあった。

晴れた日には研究所からヨーロッパアルプスの最高峰「モンブラン」がよく見えた。



写真－４　モンブラン山郡

奈良高専における新入生対象情報処理アンケート調査結果

奈良工業高等専門学校
○川辺 涼子

概要 奈良工業高等専門学校（以下「本校」）総合情報センターでは、近年のコンピュータ利用者の急増に対応すべく年１回の新入生対象利用者講習会を実施している。その講習会において今年度より情報処理教育に関するアンケート調査を行った。調査内容は中学校における情報処理教育の実状及び自宅におけるコンピュータの所有等である。ここでは本調査結果を報告すると共に考察を述べる。

１．はじめに

平成10年12月、文部科学省（当時「文部省」）において中学校学習指導要領改訂の告示があり平成14年４月より施行される。それにより「技術・家庭」科目において「情報とコンピュータ」が新たに追加されることとなり中学校における情報処理教育のあり方が変わると考えられる。それに伴い本校において情報処理教育のあり方を見直す動きがあり総合情報センターにおいてもコンピュータ利用の多様化に対応すべく内容を検討することとなった。そのため中学校における情報処理教育の実態について調査しその結果をまとめ総合情報センターが担うべく情報処理教育の基盤的役割に適した利用者講習会を実施するための検討材料とすることとした。

２．調査結果

本調査について、時期は平成13年７月、対象は平成13年度新入生、対象数は調査実施時点での新入生総数である207名、そして回答数は195名（未提出12名）、よって回答率は94％であった。ここでの報告は次の５項目とする。

（1）中学校の授業でのコンピュータの利用
（2）中学校でのコンピュータ利用授業の内容
（3）自宅におけるコンピュータの有無
（4）自宅のコンピュータの利用形態
（5）コンピュータを学ぶことについて将来における必要性

３．考察

次に各項目別グラフを示す。またそれぞれについて考察する。

3.1 中学校の授業でのコンピュータの利用について

中学校の演習授業等におけるコンピュータの利用経験について調査した結果、表１に示す通り利用経験があると答えた学生は207名中183名（88％）であった。多くの学生が中学校においてコンピュータを利用していたことがわかった。この結果は予想以上であった。

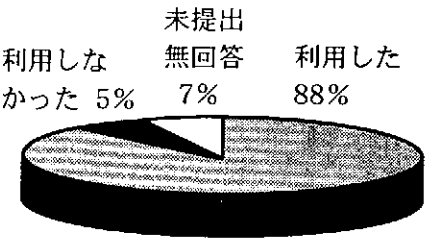


表１ 中学校の授業でのコンピュータの利用

また先に述べた中学校における新学習指導要領の施行は来年度（平成14年度）４月であるからこの項目においては２年後に全員が利用するという結果が得られると考えられるが来年度はまだ今年度と同じ割合となると予想されることから来年度の新入生利用講習会の内容を検討するにあたっては中学校でコンピュータを利用しなかった10名（５％）について考慮しなければならない。

3.2　中学校でのコンピュータ利用授業の内容について

前設問において中学校の演習授業等におけるコンピュータ利用経験者に対しその内容について調査した結果、表２に示す通りワープロ及びタイピングといった主にキーボード入力を行う内容が多く取り入れられているという結果であった。このことから利用経験者についてキーボード入力は習得しているものと考えられる。

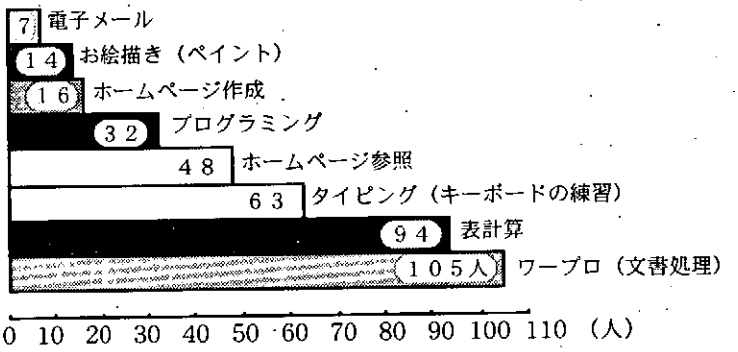


表２　中学校でのコンピュータ利用授業の内容

3.3　自宅におけるコンピュータの有無について

自宅にコンピュータを所有しているか、そのコンピュータをプロバイダ契約して利用しているか及びそのコンピュータを利用してゲームをしているかについて調査した結果、表３に示す通り207名中161名（77%）の学生が自宅にコンピュータを所有しておりその161名に対し110名がプロバイダ契約し利用している。またコンピュータをゲームで利用している学生が161名中90名であった。この結果についてコンピュータ自宅所有者及びプロバイダ契約での利用の割合は予想以上に大きいものであった。それは近年のインターネット及び電子メールの普及が影響していると考えられる。またコンピュータを利用してゲームをしている割合についても予想に反した大きいものであった。そしてこれらの割合が来年度以降どのような変化を見せるか非常に興味深い。

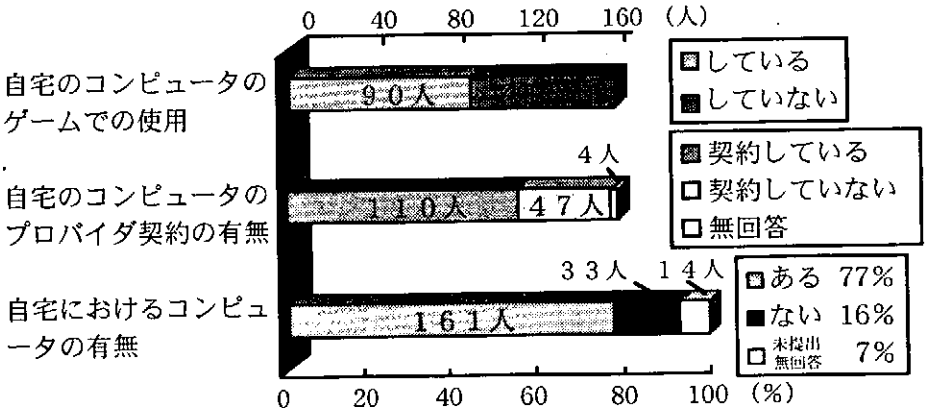


表３　自宅におけるコンピュータの有無

3.4　自宅のコンピュータの利用形態について

前設問において自宅にコンピュータを所有していると答えた161名に対しその利用形態について調査した結果、表４に示す通り自分専用が26名（16%）、主に自分専用で少し家族が使うが33名（20%）、主に親が使い自分も使うが47名（29%）、主に兄弟姉妹が使い自分も使うが20名（12%）、家族（寮生含む）が同じくらい使うが33名（20%）、あるけれど誰も使わないが２名（１%）であった。この結果について「あるけれども誰も使わない」という回答に興味を引かれた。次回は理由を答える欄を設け調査したいと考える。

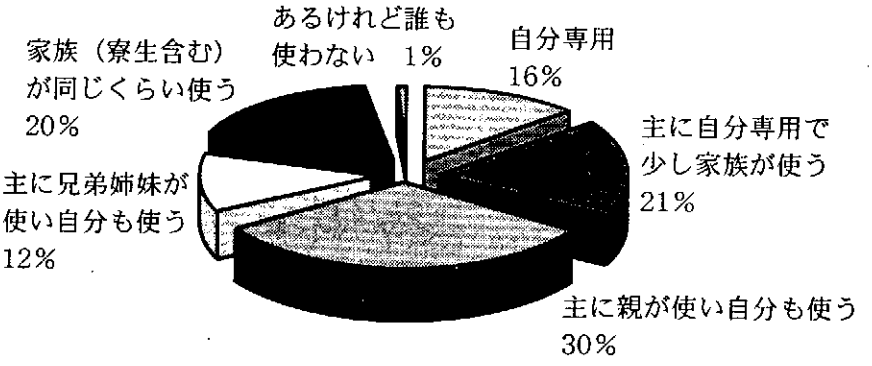


表４　自宅のコンピュータの利用形態

3.5　コンピュータを学ぶことの将来における必要性について

コンピュータを学ぶことは自分の将来にとって必要と思うかについて調査した結果、表５に示す通り188名（91%）の学生は必要性を感じていることがわかった。しかし必要性を感じていない学生は５名（２%）であった。

その５名の学科別人数は機械工学科２名、電気工学科１名、電子制御工学科１名、情報工学科０、物質化学工学科１名であった。今回の結果では機械工学科２名、情報工学科０と学科による差は若干見られたが今後継続的に調査した場合どれほど差が生じてくるか興味深い。

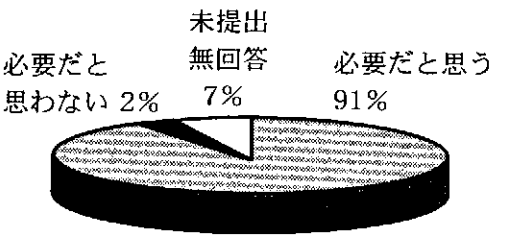


表５　コンピュータを学ぶことの将来における必要性

3.6　未提出・無回答について

本調査全項目において未提出が12名、無回答が2名、合わせると14名（７%）であった。今後はそれらを減らす工夫が必要だと考える。また無回答の２名については次項にて述べる。

４．失敗談

本調査における失敗談を報告する。それは調査用紙について、用紙は図１の通り表裏両面印刷とし配布した。その調査用紙表上部には表題、下部には「裏面につづく」との注意書きを明記していたが裏面は設問が表からの続き番号となっていたことから裏面である旨の注意書きを明記せず、また両面印刷であることの説明も行わなかった。その結果、裏面だけしか答えてい

ない回答が２名分あった。前項における無回答２名がそれである。このことから両面印刷であることを２名の者に理解してもらえなかったことを重要に受け止め今後正確な調査結果を得るため調査用紙を両面印刷する場合、注意書き及び説明は充分且つ分かりやすく明記すべきと考える。

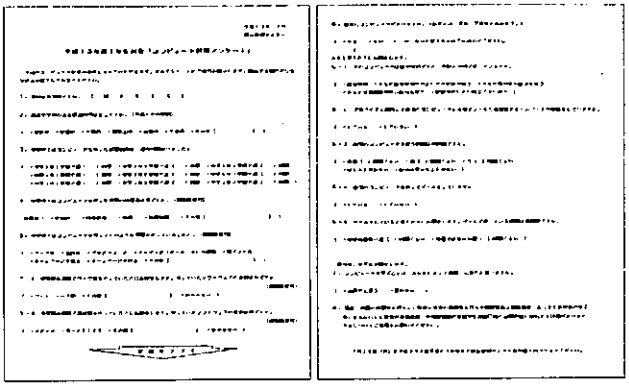


図１　調査用紙（左：表／右：裏）

５．おわりに

本調査を行ったことで数々の重要な結果を得ることができた。これらのデータは今後利用者講習会を実施するための検討材料となることは間違いなく、また引き続き調査を行うことが重要であると考える。そして他高専において同様の調査が実施されているかを把握すると共に他高専への調査の実施を呼び掛け幅広く情報収集を行い高専における情報処理教育に役立てたいと考えている。

謝辞　本調査及び集計にあたり、総合情報センター長成田紘一教官（電気工学科）をはじめ副センター長中村善一教官（電気工学科）、同じく副センター長本間啓道教官（情報工学科）、センター員中裏良一技官（学生課）、同じくセンター員二宮由成技官（学生課）にご協力いただきました。ここに感謝の意を表します。

小規模研究室のコンピュータインフラの維持と ネットワークセキュリティの確保

新潟大学工学部福祉人間工学科
（技術部システム工学系）
土田　淳慈

はじめに

2000 年の秋，筆者の所属する研究室のメールサーバが不正中継メールの攻撃を受けた．当時新潟大学の情報系研究室では手入れの悪いメールサーバが軒並み攻撃された．当時の状況は 10 台程度のワークステーション（以下 WS）が稼働していながら，学生は使いやすく，処理速度も改善されたパソコンでほぼ研究を行えるようになってきていた．こうした状況ではネットワーク機能（DNS, FTP, WWW, Mail サーバなど）の保守管理が杜撰になり，種々の問題を起こしてしまう結果となった．

1．改良前の研究室のネットワーク関連サービス

HTTP サーバ：www.bmi.bc.niigata-u.ac.jp を公開している．この中には教官の講義資料のページがあり，学部学生に安定した動作を保証する必要があった．さらに研究室で電磁環境を扱っているので高校生や，一般からのアクセスもある．
FTP サーバ：共同研究を行っている外国の研究機関との間で実験データや計算結果の授受を行っている．
Mail サーバ：研究室毎に維持管理され，学生は就職活動で企業との連絡に使用していた．研究室内の一斉連絡にも使っていた．新潟大学では情報処理センターでも個別にメールアドレスを発行しており，研究室で維持管理する意義は再検討の時期に来ている．
DNS サーバ：研究室内の計算機の名前解決に立ち上げている．
その他，外部のスーパーコンピュータ等との接続に必要なため，やや古い OS の WS を複数台稼働させていた．

2．研究室ネットワーク改良の方針

ノートパソコンと IT 関連技術の普及でメール，ホームページといったサービスが一般化した昨今，これらを巡る社会情勢の変化が見受けられる．新潟大学では学生による公序良俗に反する私設ホームページの開設や有料ページにアクセスして請求が大学に来るなど以前では考えられない事が起きている．違法なホームページについては最近では警察当局が関心を持っているので社会的な責任も重い．そこで以下の方針を立てた．

① 学生所有のパソコンを研究室で使用する際はグローバル IP を与えない．
② ファイアウォールを設置する．
③ 同時に WS に蓄積された研究上の資産（プログラム等）を維持・確保する．
④ 研究・教育・日常生活に支障が最低限になるように作業する．
⑤ 外部に置くサーバへの攻撃を想定し，各種サービス（DNS，FTP，WWW，Mail）サーバのバックアップのマシンを用意する．

これらを実現するために，既設の WS は NFS を維持したまま，囲い込むこととし，新たに PC-UNIX をインストールしたパソコンをサーバとして導入することとした．

3．用意した機器，ソフトウェア

（1） ディスクトップパソコン　3 台　（PC/AT　2 台，Mac　1 台）
（2） RedHat Linux 7.0，7.01，7.1，Vine Linux2.1 for PPC
（3） スイッチングハブ
（4） ネットワークカード
（5） 人手

PC/AT 2 台は安価なミニタワー型を新規に購入し，Mac は退役したものを活用した．OS は雑誌の付録と ftp サイトからのダウンロード，スイッチングハブはちょうど，学科のネットワーク改良工事で不要になったものが放出された．人手は筆者自身で，持ち合わせたスキルは数年前にやった技術職員研修で FreeBSD をノートパソコンにインストールして見た程度．つまり，今から考えるとこれで安全が買えたのかという問いには，明確な回答はきない．

4．ネットワークの設計

1)パソコンの1台にネットワークカードを増設し，Linux のカーネルに標準装備されている NAT (Network Address Translation : IP masquerade) を利用して，ファイアウォールとする．さらに DHCP サーバとしてプライベート IP を動的に配布する．パソコン，WS，ネットワークプリンタで必要数+αの IP を用意．

2)いま1台は外部向け各種サービス (DNS, FTP, WWW, Mail) サーバとする．

3) パソコン用のファイルサーバとプリンタサーバの機能を samba サーバとして1)のパソコンに持たせる．

4) 外部に置くサーバへの攻撃を想定し，各種サービス (DNS, FTP, WWW, Mail) サーバのバックアップのマシンを用意する．

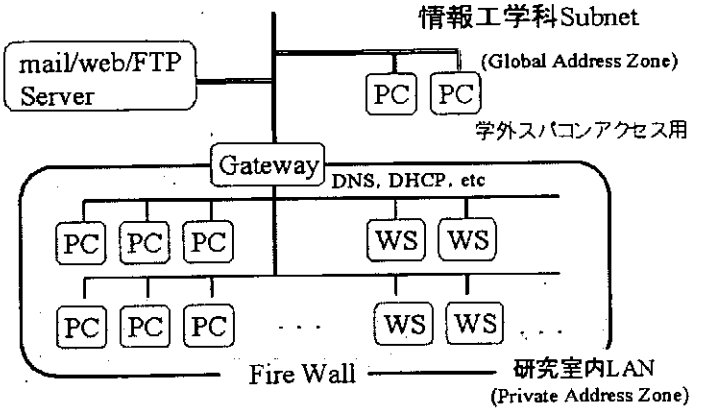


Fig. 1 研究室新ネットワークの構想

5．実際の作業

5-1　OS の選定.

情報収集の段階では，セキュリティに強いのは，FreeBSD と SlackWare という事だった．FreeBSD は試験インストールでどうしても VGA 以上の画面設定が出来ず断念し，SlackWare は関係資料の少なさで諦めた．結局書店の店先で今回の作業の 80%を網羅するような解説本を発見して RedHat Linux を用いた．しかしこのことが後に問題を起こすことになった．その後バックアップマシンの立ち上げに Mac を使用することになり，ここには同系統の Vine Linux for PPC を用いた．

5-2　UNIX のインストール

PC-UNIX は潰してもいいパソコンとやる気さえあれば，最近は日本語のインストーラも整備されインストール自身は易しい．ネットワークの設定も指示通りで問題ない．追加するネットワークカード (以下 NIC) も自動認識された．インストール時に各種サーバ，ワークステーション，カスタムインストールの選択肢があるが新しいバージョンなら各種サーバでシステムを構築し，不必要なサービスを後で切った方が簡単である．

5-3　UNIX の環境設定

新設サーバは外部に接続する通信端末としても使うので，X-Window をはじめ日本語表示やソースやバイナリの取得のための Netscape，ftp の専用ツールなど，一通りの環境設定を行った．学生全員にアカウントを発行した．これらとの接続は SSH (Secure Shell) を用いている．

5-4　ネットワークサービス詳細

各マシンに実装したアプリケーションは以下のようである．

- NAT　Linux の各カーネルに標準で付属する機能である IP Maquarade を使用．プライベート IP による独自ドメインを設定．
- dhcp　Linux 専用の rpm ファイルを取得，dhcp-2.0-12.i386.rpm
- MTA　当初 sendmail を立ち上げたが，その後 postfix に変更した．設定ファイルの簡便性には驚いた．
- DNS　bind を採用した．ver.9 のインストールに手こずっている．
- http　apache を使用した．パスワードによる閲覧制限のためとアクセスカウンタのために CGI と SSI の使用を許した．
- ftp　wu-ftpd を当初採用した．その後セキュリティホールが確認されたので proftpd に変更．今回を機に anonymouseFTP を廃止した，

6．ネットワーク改編の経過

2000 年 12 月

パソコンの準備，PC-UNIX の試験インストール．

2001 年 1 月～3 月

各アプリケーションインストール，動作確認．研究室 Web 移設，DNS の書き換えが順次行われ新設

の web サーバが外部から見えるようになる.

2001 年 4 月　ファイアウォール，DHCP サーバ稼働．samba も稼働させる．同時期に学部で情報コンセントの増設工事があり，この際各研究室の各コンセントのうち，特定のものをグローバル IP から切り離して，相互に接続してもらった．このためファイアウォール下で部屋を跨いだ接続が簡単かつスマートに出来た.

実際に使用してみると，windows マシン相互でファイル共有するのに時間がかかることが判明．ほとんど通常の立ち上げでは接続できない状態が続いた．プリンタサーバとしてもうまく動かなかった．調査の結果，windows マシンのファイルサーバを従来やっていた windows2000 マシンの機能とぶつかっているらしかった．このマシンは常時立ち上げしており，やや古い機種なので，使い潰す方針でプリンタサーバともにこのマシンをファイルサーバとし，結局 samba を停止した.

Mac のファイルサーバ機能の netatalk は問題なく稼働している．また，Mac はまったく設定なしでプリンタも共有できた.

2001 年 5～6 月　メールサーバの更新を計画するが，学生の就職活動時期と重なり，夏以降に延期する.

2001 年 8 月　試用中の外向けサーバと囲い込みが遅れた WS が外部の通信の踏み台にされる事件が起こる．新潟大学情報処理センターで運用されているトラフィック監視ツール（MRTG）によれば，当日は図 2 のようであった．学部のネットワーク管理者からは 3Mbyte/sec のトラフィックは異常であり，

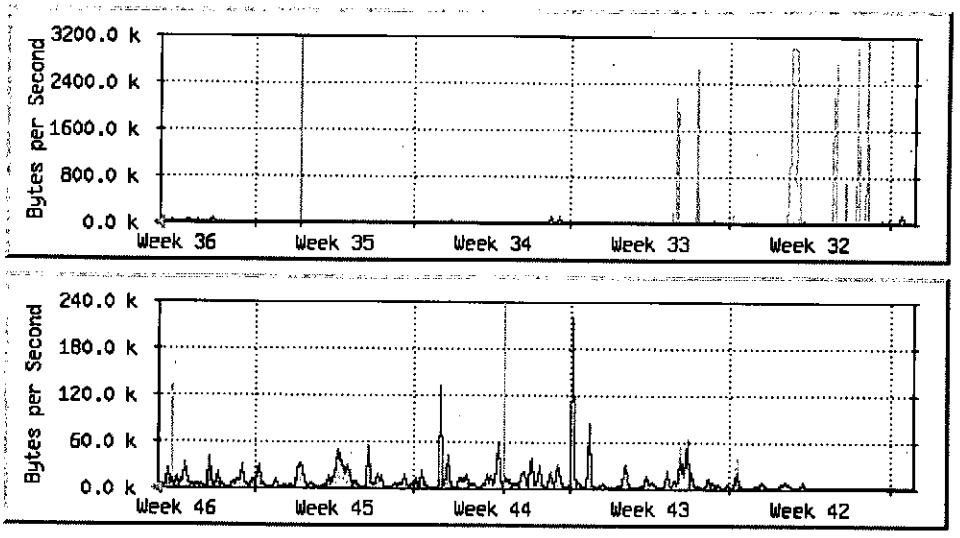


Fig. 2
新潟大学情報処理センターの MRTG の記録
灰色：IN
実線：OUT

上段は 7/1 から 7/14 に異常なパケットが流れている.
下段は 10 週間後，ほぼ通常の状態.

パケットのほとんどが京都の商用プロバイダ向けであった．調査の上当研究室のマシンを特定し，当日は休日だったので，シャットダウンできずネットワークから切り離し（ケーブルを抜いた）したと連絡を受けた．特定された IP は 1 台は今回新設した Linux マシン，もう 1 台は AIX が稼働する IBM の WS が使用していた.

2001 年 9 月　8 月の事件でネットワーク管理者から踏み台にされたマシンの状態の報告を求められた．しかしながら/var/messages などの調査では痕跡は確認できなかった．マシンの脆弱性を知るためネットワーク点検ツール Saint-3.0（http://www.wwdsi.com/saint）をインストールした．うまく動いたので早速被害を受けたマシンを点検した．結果を図 3 に示した.

2001 年/10，11 月

やや古い WS をファイアウォール下で使用する際に IP の動的配布が不可能なことが判明する．さらに調査の結果 SUN 以外の WS は導入当時業者によって環境設定が行われ，必要のないサービスのデーモンが稼働していることが判明．関連情報が少ない IBM や HP の WS はスーパーユーザ（学生）の世代交代の中で管理が放置されたようだ．sendmail や apache を停止し，さらに停電後などによる再起動時に立ち上がらないように設定する．ドメイン名や IP アドレスの変更は NIC 名前さえ分かれば比較的簡単だが，過去の研究上のプログラム資産を持つ WS の設定変更は最悪のケース（起動しなくなる）を想定して，バックアップを慎重に行う必要がある．今回から従来の DAT テープへの保存から windows パソコンを介して CD-R へ変更した．特に問題はないようだ．今後 PC-UNIX 上で使える CD-R の登場を待ちたい（もうあるか？）.

2001 年/12 月

メールサーバを稼働させる．DNS の書き換え後 2 週間程度待つが外部からのメールが届かない．外部

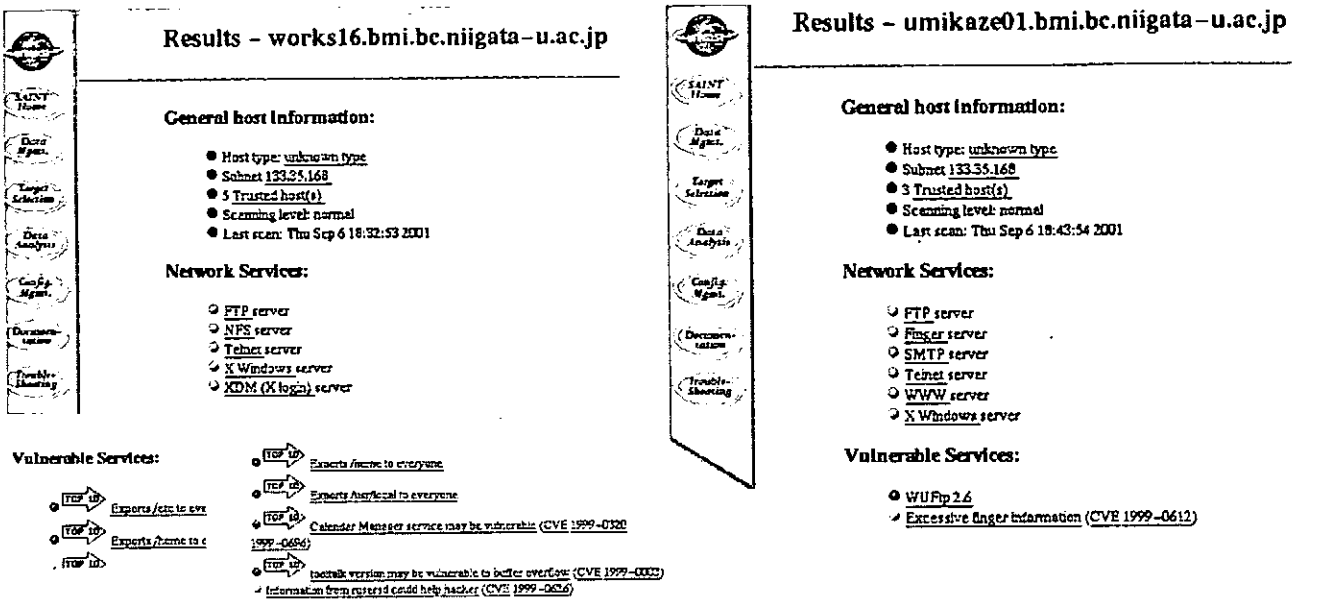


Fig. 3　2002 年 7 月，踏み台にされたマシンの saint による点検結果．Vulnerable Services 以下の項目が問題の項目で濃い色がより脆弱性が高い．左がやや古い IBM の WS，右は今度新設したマシン．このバージョンの Wu-ftp は後にセキュリティホールの存在が指摘された．

の DNS で mailhost.bmi.bc.niigata-u.ac.jp として名前解決できない．調査の結果，当研究室の所属するサブネットのルータの設定で，新設したメールサーバの IP アドレスがメールサーバ用に許可されていないことが判明．許可された IP アドレスに変更して稼働．起動後不正中継チェックサイト等を使って点検している．

2002 年/1 月

教官の間で学生がインターネットを資料検索以外の用途に無制限に使用することの是非が問題になり，コアタイム？（9 時から 17 時）のインターネット接続マシンの制限の検討を依頼される．telnet, ftp や windows のファイルサーバやプリンタへのアクセスを残し，firewall 内のマシンに対して 80 ポートへのアクセスを制限することとし，以下の設定をした．具体的には NAT サーバに squid（プロキシーサーバ）を立て，透過プロキシとして外部の http サーバへのアクセスを禁止し，Linux のコマンド ipchains（あるいは iptable）で 80 ポートへのパケットを squid へフォワードさせている．時間の設定は crontab でコントロール，時間の正確さを確保するために NTP（Network Time Protocol）をインストールした．学生には非常に評判は悪いが初期の目的は達している．

7．まとめと今後の課題

メールサーバが攻撃を受けると，もちろんその間の通信が出来なくなるだけでなく．ORBS（第三者中継を許すスパムに寛容なメールサーバの IP アドレスを記録したデータベースで、スパムに反対するボランティアにより運営：停止中？）のブラックリストに載ると公的機関や企業との通信がその後も一定期間出来なくなる．ネットワーク関係のサービスはインストール後もセキュリティホール等の情報を集めて必要なら，プログラムの更新が必要である．今回のように場合によっては研究室外への悪影響がある以上，ネットワーク管理は学生任せには最早できない．しかし時間が取られ苦労の多い割には，冷や汗の出る仕事である．技術職員個人としてはこの関係のスキルも重要だと考えるが，こうした事を研究室単位で維持管理するのは非効率である．学科単位，学部単位で専門家を配置するべきかも知れない．

参考文献

1）　サーバ構築研究会："Red Hat Linux ネットワークサーバ構築ガイド" 秀和システム

2）　"Software Design Linux Issue すみからすみまで linux ～テクニカル編" 技術評論社

3）山口和紀他："The Unix Super Text（上），（下）"　技術評論社

＊しかし，むしろオンラインで http://www.linux.or.jp からインストールする項目に従って資料を集めるのが効果的である．強力な検索システムがあり，過去の ML，FAQ の記録も検索できる．マニュアルも翻訳されていれば日本語で手に入れる事が出来る．

分散型電子メールサーバの構築と運用

高エネルギー加速器研究機構計算科学センター
○押久保智子　浜田 紀

1．はじめに

今日のインターネットの普及により、電子メールは研究や業務に不可欠なものとなっている。研究所におけサーバは年々増加する利用率に対応し、停止時間の少ない安定的な運用や処理能力の高いシステムとすることが求められているのが現状である。このような要件を満たすため分散型の電子メールサーバを構築して、2001年1月から運用を行っている。様々なデスクトップのクライアントからの利用に対応できるようインターネット標準のプロトコルであるSMTP、IMAP4、POP3をサポートするシステムとした。複数の分散サーバを配置していながら、ユーザに対してはアクセスしているサーバを意識させない環境を提供している。本研究会では、構築した分散システムの概要と、ホスト数が多く煩雑なシステムの運用管理をどのように行っているか、そして一年余りシステムを運用しての経験について報告する。

2．構築にあたっての基本要件

電子メールシステムは一年365日24時間無停止運用を求められているため、第一に障害に対して強いシステムであることが求められた。そして、利用状況の変化に対応できる拡張性のあるシステムであること。また機構内には複数のシステムが稼動しており、それらのシステムのメール配送を収容するために複数システムのメール配送を管理できること。ユーザに対してはIMAPをベースとしたUNIXを意識させない環境、つまりwebブラウザとSSL対応のIMAP(POP)メールソフトで利用できる環境を提供するというものであった。

システムの実装に用いたパラメータは次の通りである。ユーザ数は3,000人以上で10,000以上のアドレスを管理できること。処理能力は、メールを時間あたり10,000通以上、IMAP/POPアクセスを時間あたり12,000以上、５０ユーザの同時接続を遅延なく処理できるものとする。容量は1ユーザあたりメールフォルダが50MB～200MB、メールスプール15MBである。

3．分散型電子メールサーバ構築の概要

3－1．分散型電子メールサーバの構成方法

分散型電子メールサーバの構成方法には、複数台のIMAP/POPサーバの配置によって、ユーザやリソースを各々のサーバに分割して配置する「ユーザ・リソース分散型」(図1)と、リソースを複数台共有し、透過的な利用環境を提供する「分散ファイル共有型」(図2)が考えられる。

ユーザ・リソース分散型では、各ホストにユーザを分割して割り振るため、それぞれのホストの設定は単独のものとして設定できるが、分割したユーザに共通の電子メールアドレスによる配送を行うためにメールハブなどのメールの転送機能が必要となる。また、IMAP/POPサーバへの総称アレスアドレスによるアクセスを提供するために、ユーザ名を判断してメールフォルダのあるホストへ接続させるプロキシー(ディスパチャー)が必要であり、IMAPサーバ障害時には、障害サーバに登録されているユーザは障害復旧までメール機能が利用できないという難点がある。

分散ファイル共有型では、ディスクのデータが各ホストから共通に参照できるため、ディスパチャーの機能を使用することなく統一されたアクセス環境を構築することができる。だが、この

方法においては、メールのスプーリングとIMAP/POPのサーバアクセスなど、同一ファイルに対して異なるホストからの同時アクセスが発生するため、分散ファイルシステムでの排他制御を十分考慮した設計とすることが重要である。しかし、IMAPサーバ障害時にはサービスするサーバは減るが、メール機能は接続し直すことにより利用できるという利点がある。

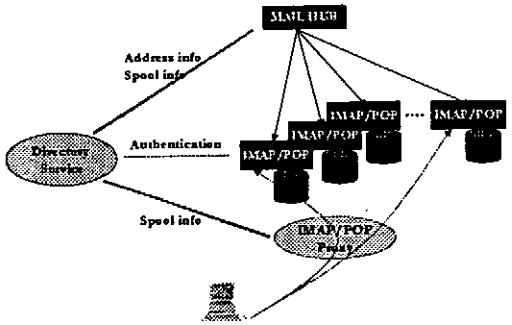


図 1ユーザ・リソース分散型

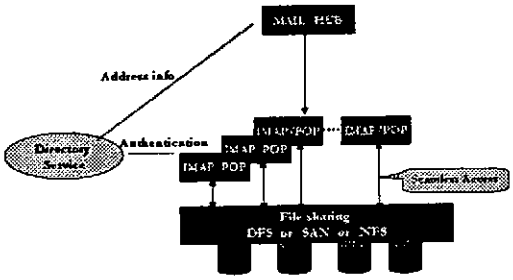


図 2分散ファイル共有型

3－2．システム構成

本システムは、分散メールサーバの配置として図2の分散ファイル共有型を採用した。分散環境を提供するミドルウェアとしてはDCE(Distributed Computing Environment)及びDFS(Distributed File System)を用いる。(DCE/DFSについては、参考文献[5][6]などを参照のこと。) システム設計は、電子メールのサービスを機能ごとに分散し、そのグループ内に同等構成のサーバを複数台配置することで可用性と負荷の均衡を図ることにした。図3に構成概念図を掲げる。

ディレクトリサービスには、DCEの認証サーバやセルディレクトリサービスサーバ、及びDNSサーバ、LDAPサーバをそれぞれ複数配置する。DCEの認証サーバやセルディレクトリサービスにより、透過的ユーザ環境が提供できる。DCEはKerberos Vのセキュリティ技術に基づいており、ホスト間の通信は堅牢に守られる。DCEの認証サーバは、DCEのセルを構成するホストの認証情報とユーザのアカウント情報を保持する。セルディレクトリサービスは、DCE環境のアクセスを統一的なディクトリとして参照するためのデータベースを保持する。これらのサーバはレプリカ作成によって負荷分散と可用性を保証している。

ファイル共有システムには、DCE上の分散ファイルシステムであるDFSを使用する。UNIXのシステムでは古くからNFSがファイル共有を行う手段として利用されているが、メールサーバのような複数プロセスがランダムにアクセスする環境ではファイルサーバの状態を通知する機能がないため、ファイルアクセスへの排他制御が不十分であると思われる。DFSは“トークン”を用いて、サーバの状態や排他制御の管理を行っており、大規模の分散環境において利用できるよう考慮されている。

分散IMAP/POPサーバは、DCE/DFSの提供する透過的な環境では個々のIMAPサーバをあたか

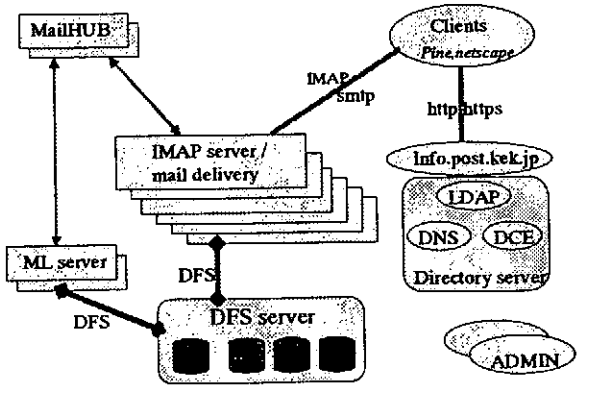


図 3システム構成概念図

IBM RS/6000 モデル B50 375MHz(21台)
IBM RS/6000 モデル 150 (4台)
SSA磁気ディスク装置 RAID5 255GB (2)

もひとつのサーバのシステムであるかのように設定できる。サーバへのアクセスは総称のアドレスを設定し、DNSサーバのラウンドロビン機能を用いて負荷の均衡化を図ることができる。

電子メール配送には、メールハブを導入しインターネットの通信に専念させる。このことにより複数あるサーバのセキュリティの対策や保守を簡便にすることができる。メールハブも複数構築し、負荷分散と可用性を上げる。DNSの同一MXレコードに対し、同列のプレファレンスホストを複数設定することで実装される。

3－3．ユーザ利用環境

ユーザに対してはログインを廃止しUNIXを意識させない、IMAPをベースとしたメールソフトとwebブラウザを利用したデスクトップ環境を提供するため、「ユーザ情報ページ」と称するwebのインターフェースを構築した。セキュリティ向上のため、IMAP4/POP3サーバ及び、ユーザ情報ページは、SSLプロトコルにも対応している。

ユーザ情報ページではパスワードの変更、受信できるアドレス一覧、メール転送の設定、メール送信時の発信者アドレス（From）を統一メールアドレス[1]へ書き替える設定ができる他、リソース情報(クォータ情報)も取得できる。LDAPを利用したアドレス帳の検索、メール配信ログの確認などの機能も備えている。

4．運用－ユーザ管理と情報管理ツールを活用した運用－

ユーザ情報ページと連携した統一的な運用管理を実現した。DCE/DFS環境下ではサーバ管理のコマンドが整備され、管理者権限をもつユーザはDCEセル内のどのホストにおいても、ユーザ登録からホームディレクトリの作成までを一元管理できる。また、ユーザごとのホームディレクトリやスプールをファイルセット[2]として作成することで、サーバを停止することなくユーザリソースのファイルサーバ間の移動を行うこともできる。

各種サーバが複数台ずつ稼動しているため、それぞれのマシンの稼動状態やサービスプロトコルの稼動状況監視、ログ確認など集中管理を行わないとシステム管理は大変煩雑で負担の大きなものになる。そこで各サーバのログを1台のホストに集約して、管理する「情報管理ツール」を構築した。機能としては次のものを実装した。1)ユーザ情報表示システム、2) クォータ情報などの資源情報監視システム、3) 全サーバのログ状況監視システム、4) メール配信ログ確認システム及び、各メールサーバのアクセス数、処理数、負荷値の一覧表やグラフである。各種データを可視化情報としてwebベースのGUI環境で操作することで、日常管理業務は簡便なものとなった。

本システムは現在1,500人近いユーザが利用している。図4はひと月のメールプロセス数をグラフにしたものである。平日には1日あたり6万から8万プロセスを処理している。図5は一日における分散メールスプーラと分散メール発信サーバの処理件数をサーバごとにグラフにしたものである。スプーリ

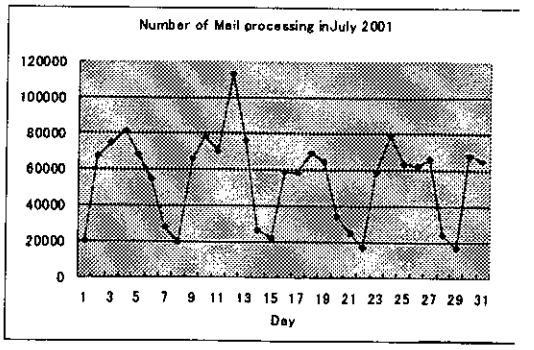


図4　メールのプロセス数（/day）

[1] 機構職員にのみ発行されるフルネームからなるメールアドレス

[2] DFSでは、アグリゲートと呼ばれるUFSのパーティションの中に、ファイルセットと呼ばれるリソース単位が存在し、マウントなどのリソース管理がファイルセットに対しを行うことができる。

ングサーバ及びメール発信サーバはそれぞれ DNS ラウンドロビンにより負荷分散を図っている。各機能のサーバはほぼ同じ曲線を描いており、単純な負荷分散機能でも十分機能していることが分かる。

透過的な分散メールサーバの構築により、障害時の対応や保守においても運用の面で効果を発揮した。DNS のラウンドロビンのエントリーから切り離すことにより、運用を停止することなく、サーバの切り離しや付加などシステム構成の変更を行うことができた。これにより OS のバージョンアップ、パッチ作業、システムパラメータの変更を、メールのサービス機能を停止することなく実施した。ユーザにとっても複数のサーバが存在するので再接続によって、障害のないサーバを使用することができるため、サーバのダウンタイムを最小限に抑えることができた。

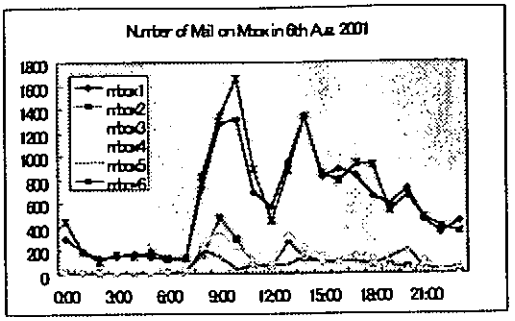


図5 分散スプーラと分散メール発信サーバ

mbox1,5　スプーラ
mbox2,3,4,6 発信サーバ

5．まとめ

DCE／DFS の分散環境に分散型電子メールサーバを構築し、一年余り運用を行った間には、マシンダウンはあったもののシステムダウンは一度もなく、安定したシステムを提供できたと思っている。サーバの配置により負荷分散や可用性、拡張性のあるシステムにもなっている。ユーザに対しても、分散システムであるにも関わらず接続されたメールサーバを全く意識せずに電子メールの送受信を行うことのできるシステムを提供できた。また、運用管理面で負担が大きい分散システムも、情報管理ツールの構築により、負担はかなり軽減されている。

今後の課題として、よりセキュリティを高めるために、ファイア・ウォールの設定などを行っていく予定にしている。

参考文献

[1] 柴田章博、押久保智子、浜田紀、佐々木節「DCE/DFS 環境における分散型電子メールサーバの構築」 情報処理学会分散システム/インターネット運用技術研究会 23-3 (2001.10.5)

[2] Akihiro Shibata, Tomoko Oshikubo, Osamu Hamada and Takashi Sasaki "Buildin mail server on Distributed Computing system", CHEP01 at Beijing, KEK preprint 2001-62.

[3] Akihiro Shibata. "High availability file service using DFS" (in preparation)

[4] Akihiro Shibata. "PostKEK – A new mail system using DCE/DFS－" Talk at HEPiX'99, RAL, 1999 April.

[5] Ward Rosenberry, David Kenney and Gerry Fisher. "Understanding DCE", O'Reilly & Associates, Inc. ISBN 1-56592-005-8

[6] 土門哲也、高清水直美、佐々木節 著「DCE による分散ファイルアクセスの研究」KEK Report 97-13 January 1998 D

[7] Jhone Shirley, Wei HU and David Magig, "Guide to writing DCE applications", O'Reilly& Associaties, Inc ISBN 1-56592-045-7

NTP時刻同期精度のOS依存性について

国立天文台　水沢観測センター
○佐藤克久、浅利一善

1．はじめに

ネットワークへ接続したパーソナルコンピュータ（PC）の時計面を標準時へ同期させる手だてとしてNTPによる時刻同期が普及しているが、このNTPによる時刻同期精度はNTPクライアント側PCのオペーレーティングシステム（OS）内の時計面維持管理方法に依存している可能性がある[1]。

今回、PCに於けるNTP時刻同期精度のOS依存性を明らかにする為に、MS-Windows98とLinuxの両OSについて、NTP時刻同期精度を測定し評価を試みたので報告する。

2．NTPサーバーのUTC時刻参照精度

ネットワーク時刻同期システム(NTP：Network Time Protocol)は、インターネットの様な広域ネットワークでネットワーク上の計算機同士の時刻を同期させるためのプロトコルである。NTPは協定世界時(UTC)を何らかの方法で参照し、ネットワーク上へ時刻情報として提供する計算機(NTP サーバー)と時刻情報の提供を受けて内部時計を合わせ込む計算機(NTP クライアント)によって構成される。最近では、GPS受信機の低廉化とPCのOSとしてFreeBSD等が広まったこ事により、GPS時刻同期型NTPサーバー[2][3]が増えてきている[1]。

今回のPCに於けるNTP時刻同期精度のOS依存性検証は、図１に示す様な水沢観測センターでstratum1サーバーとして運用しているGPS時刻同期型NTPサーバーを用いた。このシステムは、古野電気製のTS-820型GPS受信機を採用し、FreeBSD OS のxntpdデーモンの一部にTS-820対応の改修を行ったものである。

GPS時刻同期型NTPサーバー自身のUTC時刻参照精度は、TS-820型GPS受信機1pps出力と水沢観測センター保時室設置のマスターセシウム原子時計1ppsとの時計比較を約6ヶ月間行い検証した[1]。GPS受信機時計面とセシウム原子時計面との差は標準偏差で31.85ナノ秒となっている[1]。

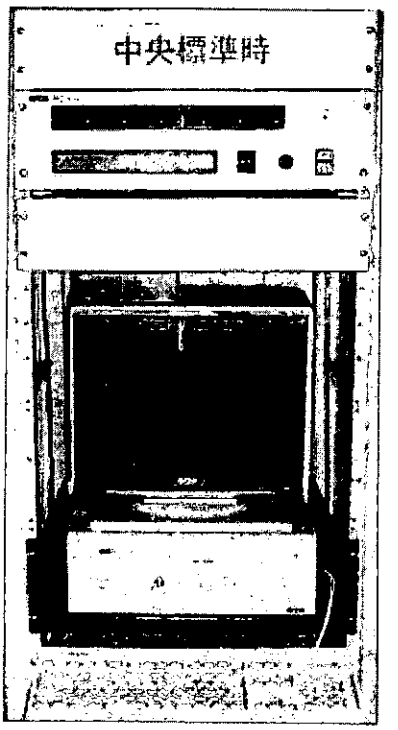


図１：GPS時刻同期型NTPサーバー

3．MS-Windows98 OS におけるNTP時刻同期精度

NTPクライアントソフトウェアによる時刻同期精度測定を行うためには、NTPサーバーとの時刻同期差を解析する為に、測定結果をデータとして保存するログ機能が必須である。今回の同期精度測定には、IBM-PCにインストールした MS-Windows98 OS 上で動作する AboutTime[4]と言うNTPクライアントソフトウェアを使用した。

NTPサーバー時計面とNTPクライアント時計面の時刻差の測定結果を図２に示す。また、同時にデータとして得られる回線遅延時間の様子を図３に示す。

図２ではNTPサーバー時計面とNTPクライアント時計面の時刻差は、約60ミリ秒程度の範囲内に収まる周期性を示している。

図３から、ネットワーク回線の遅延時間は構内LANによる測定であるので通常は殆ど0ミリ秒であるが、時々50～60ミリ秒程度の擾乱が見られる。

IBM-PCではハードウェアクロックとしてシステム・タイマとリアルタイム・クロックがあり、Windows98 OS が参照しているのは54.9ミリ秒毎にカウントアップするシステム・タイマとなっている[5]。図２に見られるNTPサーバー時計面とNTPクライアント時計面の時刻差振幅は約60ミリ秒程度である事から、この時刻差の幅は54.9ミリ秒毎に発生する Windows98 PC のシステム・タイマ割り込みによってNTPクライアントソフトウェアが時計面補正をしている事に起因していると思われる。時刻差振幅中のドリフト傾向は約 7×10^{-6} と見積もられ、PC内部の時計用水晶振動子の周波数偏差に起因すると見られる。

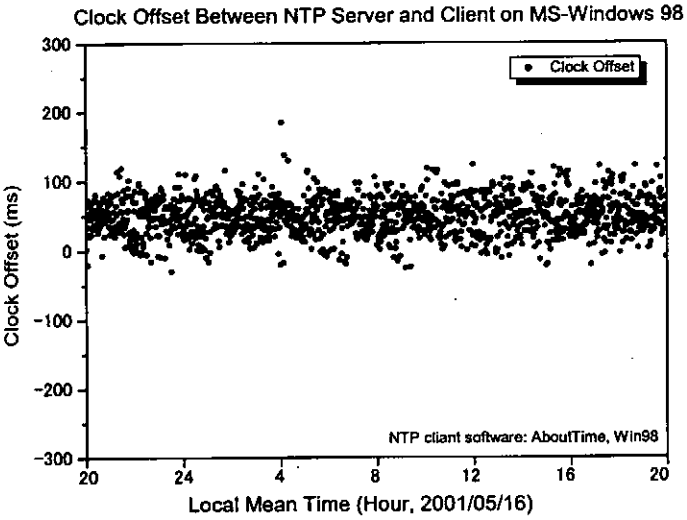


図２：Windows98上のNTPサーバー時計面とNTPクライアント時計面の時刻差

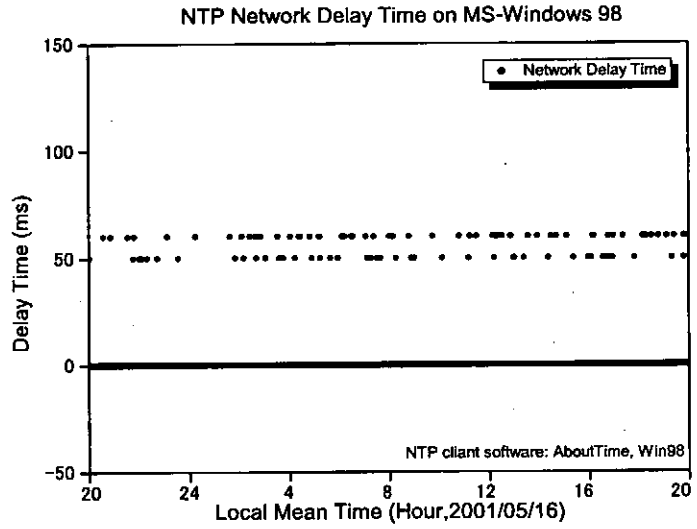


図３：ネットワーク回線の遅延時間

NTPサーバー時計面とNTPクライアント時計面の時刻差は、ハードウェアクロックに用いられる水晶振動子の歩度に起因する直線的な傾斜を示すと思われるが、図２の測定結果ではミリ秒オーダーの変動が現れている。このミリ秒オーダーの変動が現れるのは、NTPクライアントソフトウェア内でネットワーク回線の遅延時間及びNTPサーバとNTPクライアント間の時間差を計算する時に、ネットワーク回線の遅延時間変動が時間差の解へ入り込むためと思われる。

４．Linux OS におけるNTP時刻同期精度

Linux OS におけるNTP時刻同期精度測定は、IBM-PC へ Turbo Linux Ver.4 をインストールしてNTPクライアントを構築し、ntpd Ver.3-5.93e を起動する事により行った。更に、NTPサーバーとの時刻同期差を解析する為にデータを保存する手だてとして、ntpq を cron で1分毎に起動し、ntpq からのレポートをファイルに記録した。

NTPサーバー時計面とNTPクライアント時計面のNTP同期時刻差の様子を図４に示す。また、同時測定による回線遅延時間の様子を図５に示す。

図４から、Linux OS 上のNTPサーバー時計面とNTPクライアント時計面の時刻差は、Windows98 OS 上NTPクライアントで見られた約60ミリ秒振幅現象と異なり、フェーズロック回路に見られるロックイン現象が見て取れる。変動は、24時間の標準偏差で0.95ミリ秒となっている。更にこの図では、時々5ミリ秒程度の擾乱が見られる。図５からは、ネットワーク遅延時間は0.9ミリ秒程度で、勤務時間中のLAN回線の混雑と思われる1.6ミリ秒に達するネットワーク遅延時間の上昇が見られる。ここで、128ミリ秒を超えるネットワーク遅延は ntpd デーモンのアルゴリズムにより無視されている[7]。

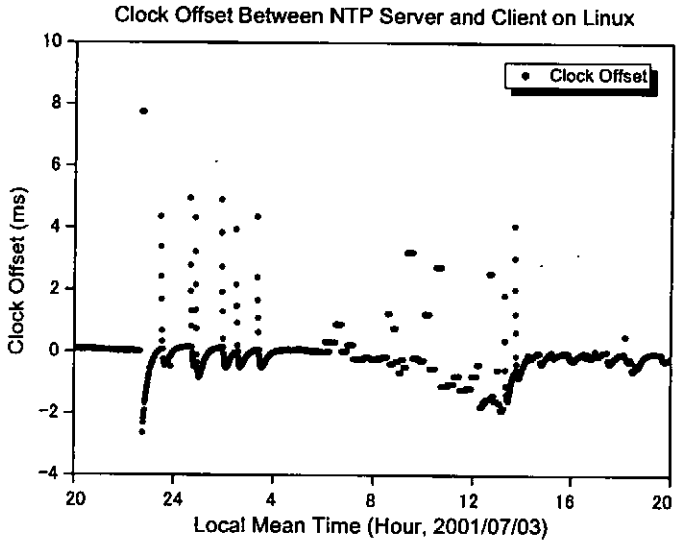


図４：Linux上のNTPサーバー時計面とNTPクライアント時計面の時刻差

図４に現れている5ミリ秒程度のNTPサーバー時計面とNTPクライアント時計面の時刻差の擾乱と、図５中の1.6ミリ秒に達するネットワーク遅延時間の上昇には関連が見られ、ネットワーク遅延時間の上昇がNTPサーバー時計面とNTPクライアント時計面の時刻差の擾乱を誘発していると思われる。

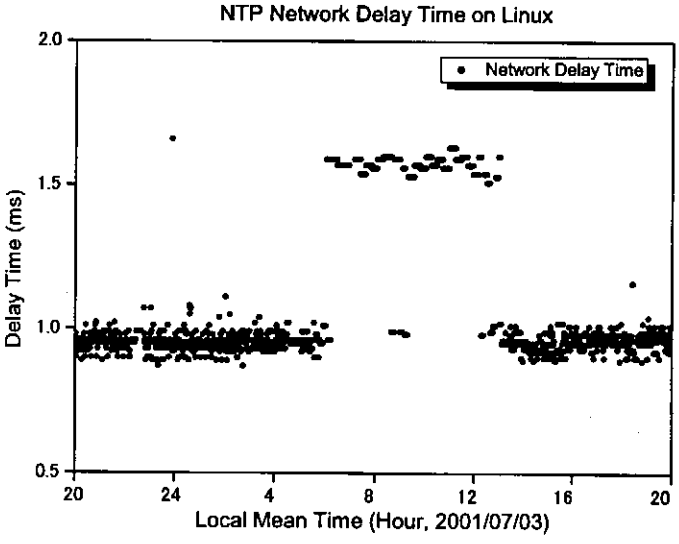


図５：ネットワーク回線の遅延時間

ntpd デーモン開発に貢献している、Mills [6][7] によれば ntpd は Unix や Linux ではカーネル上にカーネルクロックと呼ぶソフトウェア的な仮想時計面を保時し、NTPに拠って参照する外部基準時計面とフェーズロックループ（PLL）を構成している。従って、ネットワーク遅延時間が瞬間的に大きくなると、ntpd デーモン内のNTPサーバー時計面とNTPクライアント時計面の時刻差計算結果に擾乱をきたし、PLLに拠って保時されているカーネル上の仮想時計面の位相が乱れる事になる。実際、図４に見られるNTPサーバー時計面とNTPクライアント時計面の時刻差の擾乱の様子は、PLL回路によく見られる様な、一旦PLLのロックが外れてロックインする挙動を示していると思われる。

NTPサーバー時計面とNTPクライアント時計面の時刻差及びジッターを図６に示す。図６によると、ネットワーク遅延時間のジッターがネットワーク上のパケット数量の増加等により増大すると、カーネルクロックのPLLが外れて両時計面の時間差が一時的に大きくなり、その後PLL引き込みフェーズに移行する様な動作をしている。この引き込み動作には35分程度かかっており、PLLのループコンスタントを示していると思われる。

5．まとめ

MS-Windows98 OS におけるNTPサーバー時計面とNTPクライアント時計面の時刻差は、60ミリ秒程度の幅をもつ周期性があり、これは Windows98 PC のシステム・タイマ割り込みが54.9ミリ秒毎[5]に行われる毎に、NTPクライアントソフトウェアが時計面補正をしている事に起因していると思われる。

一方、Linux OS におけるNTPサーバー時計面とNTPクライアント時計面の時刻差変動には、Unix 系 OS 固有のカーネルクロックのPLLが大きく関与していると見られ、変動幅は24時間の標準偏差で0.95ミリ秒となっている。

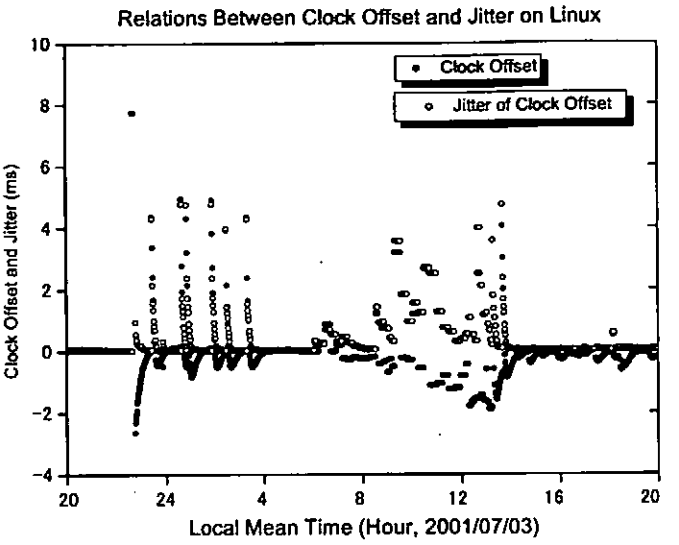


図６：NTPサーバー及びNTPクライアント間時計面時刻差とジッター

MS-Windows はIBM-PCの発展と共に歩んできたDOSの延長線にあり、ハードウェアと密着したOS とも言える。一方 Linux は、様々な計算機上で開発発展して来てマルチプラットホーム型となっている Unix OS で確立された POSIX 及び GNU の思想に基づいた OS と言える。今回の PC に於けるNTP時刻同期精度の OS 依存性検証では、はからずもハードウェアのアーキテクチャ上で時刻管理している MS-Windows と、OS 内部の時刻管理もハードウェアに依存せずソフトウェア的な仮想時計面として処理し、OS 内でクローズしたアーキテクチャで行っている Linux のそれぞれの特徴がはっきりと現れたものと思われる。

参考文献

[1]佐藤克久、堀合幸次、浅利一善、酒井俐、石川利昭、金子芳久、松田浩：GPS時刻同期型NTPサーバーの時刻同期精度について、東北大学技術研究会報告、192-194, 2001.

[2]松田浩：天文保時室とNTPサーバー、天文月報1996年5月号、pp210-215, 1996.

[3]清水康広：GPSによる時刻補正システム、国立天文台報、Vol.2,No.4,pp723-733, 1995.

[4]AbouTime：http://www.arachnoid.com/abouttime/index.html

[5]相沢一石、斎藤健司：'97 IBM PC活用ハンドブック、CQ出版、pp337-339, 1997.

[6]Mills, D.L., "On the accuracy and stability of clocks synchronized by the Network Time Protocol," *ACM Computer Communications Review*, 20, 1, pp. 65-75, Jan. 1990.

[7]Mills, D.L. A. Thyagarajan and B.C. Huffman, "Internet timekeeping around the globe,"In *Proc. PTTI Applications and Planning Meeting*, Long Beach CA, pp. 365-371, Dec.1997.

ホームページの作成による工作室の運用効率化

東京大学工学部マテリアル工学科工作室
○市毛健一　杉田洋一　生出博巳　永山直樹

1．はじめに

近年人員削減と研究室の細分化により、研究室では利用経験のある職員が減少し、工作室の利用システムを引き継ぐことが、困難な状況になっている。当工作室は、研削、切削、放電加工、溶接等の機械加工を行うことができる。他学科からの要望と利用実績により、平成 13 年度より正式に学科外の依頼受け付けることになつた。

そこで、利用システムの説明をWebを利用し加工装置の説明や加工依頼の方法をオープンにすることにより、工学部内の教職員及び学生への利用効率化を行っている。

2．ホームページの作成の作成

2.1) ホームページを公開するには、

ホームページをインターネットに公開するには、インターネットに接続しているWWWサーバにホームページ・ファイルを登録保存しなければならない。

通常は、自分のパソコン上でホームページを作成し、完成時にFTP（File Transter Protocol）ソフトを用いデータ転送を行いWWWサーバーにファイルをアップロード（登録）を行います．当工作室の場合は、ＩＰアドレスの登録されたパソコンを常時接続により、サーバーとしている。サーバーソフト（httpd)として、フリーウェアのAN HTTPDを使用している．これを起動することにより、Windowsマシーンをポート８０にてhttpサーバーにしました。

2.2) ホームページを作成するためのツール

ホームページを作成するには、HTMLタグ（命令文）を使用し WEB ブラウザで表示できるようにしたテキスファイルを作成します。そのために、市販されているホームページ作成ソフトIBM社製ホームページビルダー V6 を使用すると、たいへん楽に作成できます。HTMLの記述言語を知らなくとも、画像の貼り付け文字の配置や大きさの指定など楽に作成ができます。

3．コンセプト

コンセプトとしては、拓かれた工作室である。研究設備の改良や試作は、なくてはならないものであり思考錯誤を繰り返すことは良くあるので、短期間に作成したいものである。研究者独自の加工や加工依頼の効率を計るには、利用初心者への当工作室の使用方法と製作用の機材の紹介により、研究者支援の設備としての体制をＰＲすることである．

上記コンセプトを踏まえ、ページのレイアウトを考え素材を収集した。

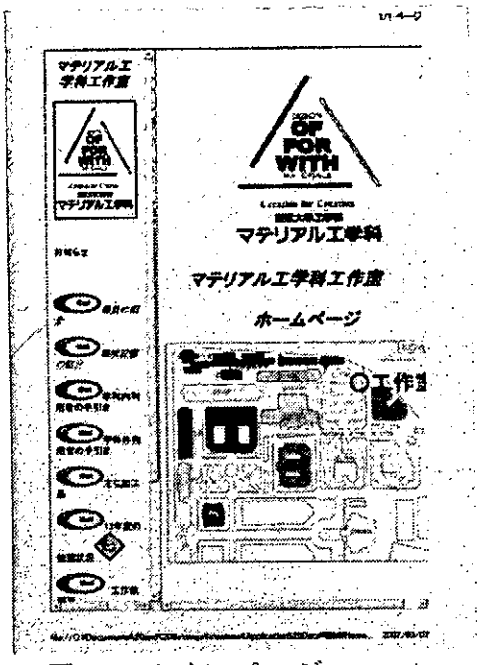
また、公開することはインターネット上で世界中の様々な人に接することになり、そこではセキュリティーが必要不可欠です。PC データの破壊や個人データの漏洩、PC の不正アクセスによって、のっとられ他人の PC に攻撃を加える事のないように管理しなければなりません。

4．ホームページの紹介

メインページは、縦２分割とし左部分をリストに設定し、左部分を説明ページにすることにした。これにより、移動がスムーズに行える。図１にメインページを示す.

シンボルマークとしての、学科マークと本工作室の地図を配置した。

メインのリストとしては、職員紹介・機械設備の紹介・学科内外別の利用案内・主な加工品・依頼状況表・依頼表とし、利用しやすく考えた．図２に機械設備の紹介ページを示す。メインの加工設備を載せた。写真をクリックすることで、機械の仕様を示すページにジャンプします。



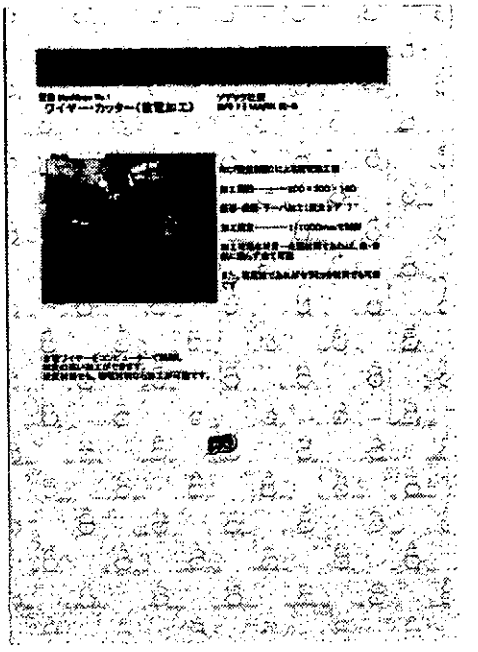
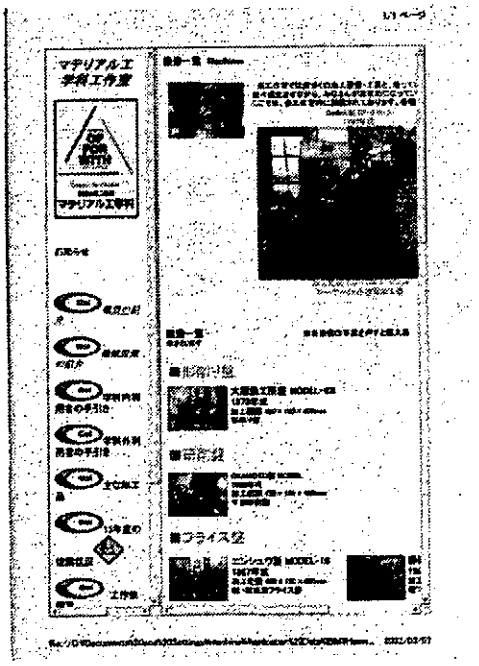


図1.　メインページ



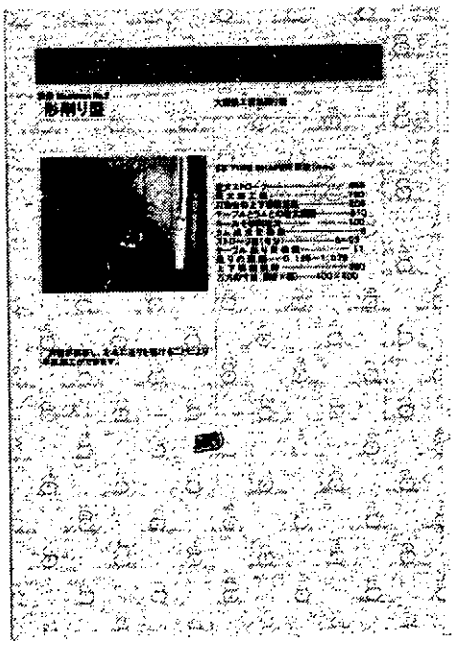


図２．機械設備の紹介ページ

また、作製品のページを示すことにより、相談・依頼の参考になると考えた。図３に製作品のページを示す。さらに、依頼状況を公開することにより、納品までの期間の相談を受けやすく考え今年度依頼状況を公開しました．依頼状況表を図４に示す。
また、クリックすることで依頼表がプリントできるように作製した。
ホームページは、更新やメンテナンスが必要不可欠であり、より利用者の立場のページに変えようとしている．

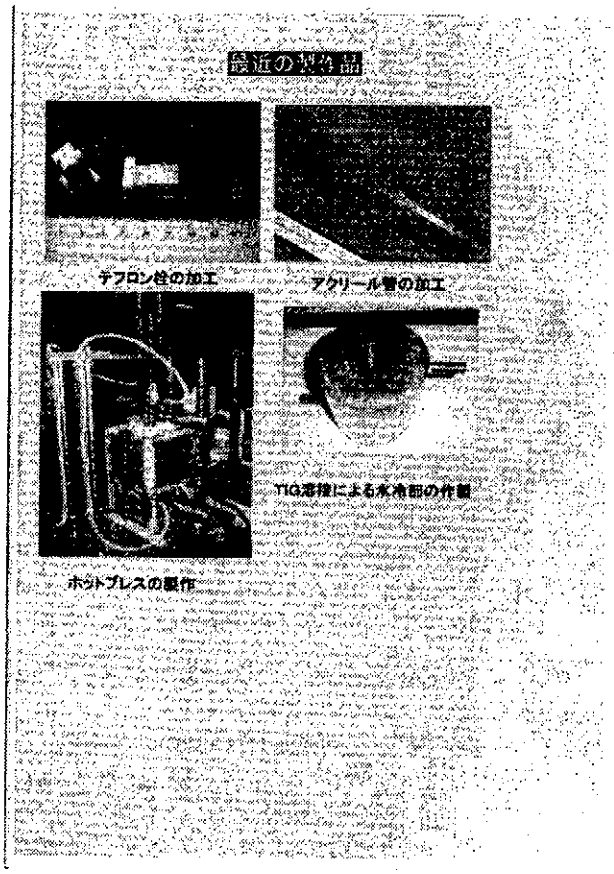


図3.　製作品のページ

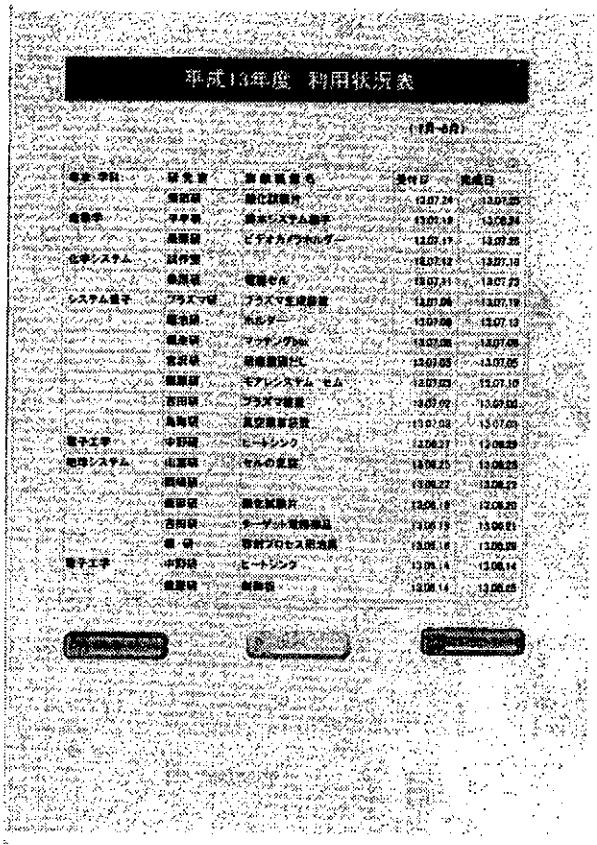


図4.　依頼状況表

５．あとがき

工作室として、利用者の立場に立ち加工設備の運用時間効率の UP や拡充・技能向上の為にも、ホームページは、情報宣伝に不可欠である。ホームページを見てもらうには、より良いページに、こまめに更新・メンテナンスを行わなうことが重要である。

また、コンピュータ能力やソフトの向上等、ホームページは奥が深いところがあり。より良いページ・より良い工作室へと発展させたく考えている。

研究情報 Web システムの紹介

高エネルギー加速器研究機構計算科学センター
柿原春美、八代茂夫

1.はじめに

Web 情報を発信するためのサーバとして，高エネルギー加速器研究機構(KEK) の計算科学センターでは www.kek.jp や ccwww.kek.jp を運用してきている．研究者が情報を発信するサーバとしては，テスト的に kekux などで行なった後に，1996 年からは共通計算機システム上にサーバを設けて運用を行なった．

近年 Web の利用は研究活動を行なう上で欠かせないものになっている．研究成果の発信や情報の収集にとどまらず，従来は anonymous ftp や電子メイルへの添付ファイルで行なっていたデータ交換にも Web を利用することが一般になってきている．このような状況の下で，今回の共通計算機システムの導入の機会に，研究者個人あるいは研究プロジェクトの情報を発信するための Web システムを構築し、2001 年 7 月 17 日より運用を開始した。今回構築したシステムについて報告する．

2.システムの設計方針

本システムの利用目的は研究者が研究に関する情報を発信するためのものであるとした。研究情報を自由に発信できるよう、KEK の公式 Web システム(www.kek.jp)とは独立させ、URL のホスト名部分は research.kek.jp とした。発信する情報に関する責任は、発信者である研究者あるいは研究グループが負うこととした。

計算科学センターが運用し、多数のユーザを有するシステムであるので、以下のように設計方針を定めた。

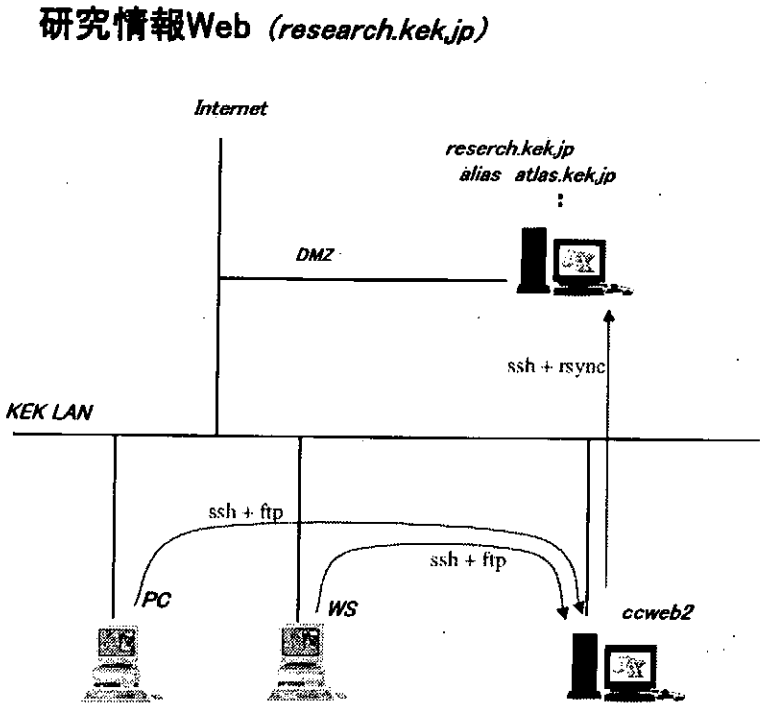
a) セキュアーなシステムであること。
　不正アクセス攻撃に頑強にすることは当然として、更に様々な技術レベルの利用者が使うシステムであるので、利用者の技術力により危険性が生じないようにする。

b) 安定した運用ができること。
　多数の利用者に対してサービスを行なうので、システムのトラブルや、不正アクセス攻撃により運用が中断した場合の影響の範囲が大きい。

c) 小人数で運用
　限られた人員の範囲でサービスをするために、小人数による運用が可能であるよう、運用方針を定め、またシステムの設計に考慮する。

このようなシステムでは、研究グループがそのメンバーだけのために構築するシステムとは異なった、利用者にとっては制約となるシステム構成や運用が避けられない。

3.システムの構築



設計方針を実現させるために、情報発信用ホストと情報更新用ホストを設けることにした。情報発信用ホストは外部への情報発信だけの役割を担う。発信する情報の保守は、ファイヤーウォールの内側に設置する、情報更新用ホストで行なう。両ホスト間でファイルのミラーリングを行なう。ミラーリングは rsync を SSH ポートを通して行なうことにした。よりセキュアーにするために、情報発信用のホストにユーザアカウントを作成しないことにした。また、ホストの機能を単機能にしており、情報発信機能以外には、メンテナンスに必要な最小限のサービスだけを有効にしている。

利用者からの CGI サポートの希望も根強くあるが、セキュリティの観点、システムへの負荷の観点、システムの安定運用の観点からサポートしていない。仮に CGI をサポートするなら、別途専用のホストを設けることになるが、CGI プログラムチェックなどの運用コストを考えると現実的でない。

4. 情報更新用ホストへのアクセス

4.1.アクセスする方法の検討

ftp を SSH ポートを使った情報更新用ホストへのアクセスが利用者に負担なくできる必要があるので、その検討を行なった。まず、Windows で操作性と安全性を検討した。

a) 通常の ftp

利用については最も簡単だが、パスワード情報がネットワークモニタリングシステムにより簡単に覗けてしまうのでセキュリティー上大変危険。

b) scp(unix)、pscp(Windows)
・ディレクトリー毎のコピーができる。使用できるツールが限定される。
・パスワード情報が暗号化されるのでセキュリティーは強固である。

c) ssh ポートフォワード + ftp
・ポートフォワードの事前設定が必要で、ユーザにとって多少負担だが一度設定してしまえば後は楽で、フレンドリーに情報をアップロードできる。
・パスワード情報が暗号化されるのでセキュリティーは強固である。

以上の検討結果を踏まえて、利用者が情報更新用ホストにアクセスする方法は ftp を SSH ポートを通して行なうことにした。ファイヤーウォールの内側といえども、パスワードが暗号化されずに LAN に流れないようにするために ftp のパスは閉じることにした。

4.2.アクセスのためのツール

利用者が情報更新用ホストにアクセスする計算機の OS は UNIX, Linux, Windows, MacOS である。各プラットフォームについて SSH ツールとファイル転送のツールを調査して、推奨するソフトウエアを利用者に示している。

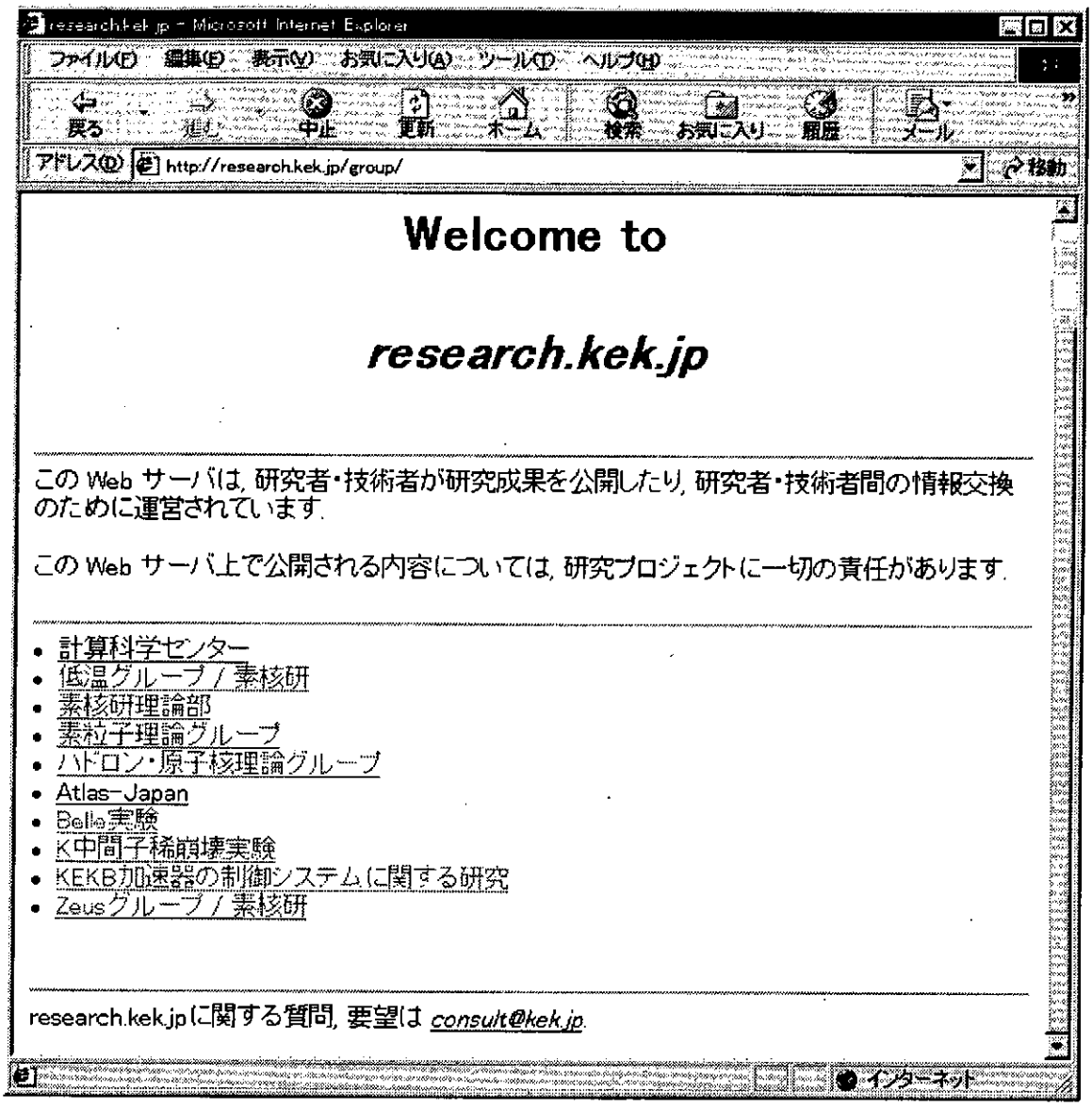
表 1 プラットフォームごとのツール一覧
UNIX, Linux の場合に OS 付属の ftp がパッシブモードをサポートしていればその ftp でよい。

機能	UNIX, Linux	Windows	MacOS
Scp	OpenSSH	Pscp	NiftyTelnet
SSH ポートフォワード +ftp	OpenSSH Lukemftp *	PortForwarder FFFTP	MindTerm Fetch

5. 運用について

各利用者のページのインデックスページへの掲載については、研究プロジェクトのページは原則として掲載している。研究者個人のページは、特定の相手との間での情報交換に使用しており、一般に公開する性格でない場合も多いので、原則としてインデックスファイルに一覧をしていない。希望者のみを一覧に掲載している。

ユーザ数は、最終的には １０００ユーザ、１００グループを想定している。ユーザ領域は、研究者個人のページのクオータ値は標準を 20MB、最大を 100MB、研究プロジェクトは標準を 50MB、最大を 200MB としている。これはシステムの磁気ディスクの容量から定めた値である。



6. さいごに

運用を開始して以来、個人が 75 名、研究プロジェクトが 10 件登録されている。まだ本格的に使われていない。現在ファイアウオールの導入が進んでおり、これが整備されるに従って、研究者が立ち上げている Web サーバから本システムに移行してくることが予想される。磁気ディスクのクオータ値は少なめに抑えている。必要の応じてクオータ値の再検討や磁気ディスクの増強を検討する予定である。情報更新用ホストへのアクセスのパスに SMB プロトコルの要求がユーザから出てきたら検討する予定でいる。

高速熱伝導プログラムの
Ｗｅｂ－ＤＢ連携検証システム構築上の問題点

熊本大学工学部　山本光治

１．緒　言

有限要素法(ＦＥＭ)や差分法(ＦＤＭ)による熱伝導現象のシミュレーションプログラムは、計算モデルの形状、寸法およびその熱的物性値等の初期条件と、発熱現象や物体表面と外界との熱伝達や熱放射等の境界条件を自由に設定できるため、比較的高精度の計算結果が得られる。その反面、時間的変化を計算する非定常解析を行う場合、時間を小さく刻んで繰返し計算を行うアルゴリズムが基本になるため、計算速度は犠牲にせざるを得ない。そのため、パソコンクラスが主流となる教育環境下では、講義時間でのＣＡＥを行う際には大きな障壁になっている。そこで、熱伝導(拡散)現象の時空間領域における周波数特性を用いた高速熱伝導解析プログラムを試作した。本稿では、その有効性を検証するためのWebブラウザとデータベース（ＤＢ）を利用した電子フォーラムの開設準備状況と関連する諸般の問題点について報告する。

２．高速熱伝導プログラムの開発経過

高速熱伝導プログラムの開発は、10年程前に関連研究室に赤外線熱画像装置が入り、その熱画像処理に携わっていた頃に遡る。写真１は当時愛用した仮想メモリとウィンドウでグラフィックス表示が可能なOS-2を搭載した愛用パソコンである。現行バージョンは３Ｄ描画で汎用性のあるOpenGLが利用できるWindowsNTマシンにその席を譲っている。

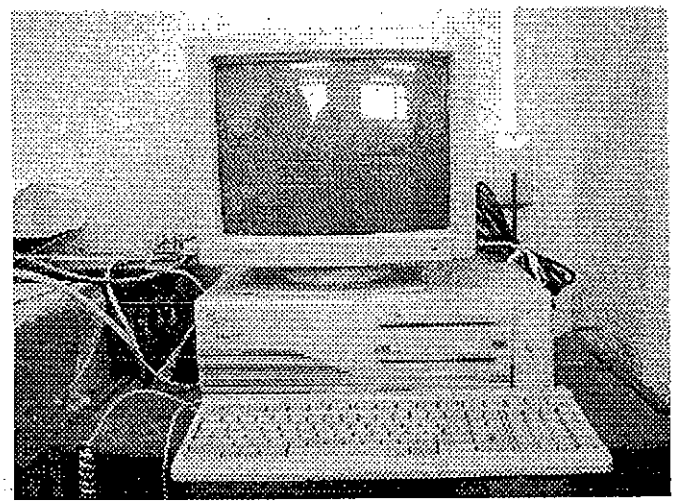


写真１　当時愛用のパソコン（NEC 9801-RA）

３．Web-DB連携システムの導入

過分に漏れず、担当研究室業務の中で頭を悩ませだしたのが氾濫するパソコンの保守管理に関する諸問題等である。解決策として、SOHOな研究室固有のデータベースシステムの必要性を痛感していたころ、書店でPC-UNIXを使ったWeb-DB連携システムに関する書籍[1]が眼に止まり、それを原形とする最初の試験システムの起動に漕ぎ着けた。表１に示すようにハードディスクを取り替える基本的な手法により、頒布元の異なるLinuxで基本的な動作確認等を行っている。その後、電子会議室のソースプログラムを参考に、

(1)投稿記事の修正削除機能（投稿者）　(2)サブフォーラム・オーナー（議長）権限の付与

という独自の機能を組込んだ電子フォーラムに改編した。

残念なことに、Webサーバとデータベースを連携させるツールソフトの頒布が途切れ、実運用に至る前に新システムへの移行を余儀なくされた。

４．新規のシステム

システム構築上のコンセプトとして実機マシンでのコンパイル(configure, make）により、利用者の要望にあった機能を利用できるよう柔軟なシステム作りを念頭に、初期Web-DB連携

表１　初期の Web-DB 連携システムの基本仕様

	ハードディスク A	ハードディスク B	ハードディスク C
カーネル	2.1.36	2.2.14-5	2.2.15-2
頒布元	Redhat5.2J	Redhat6.2J	TurboLinux6.1 (server)
Web サーバ	Apache-SSL (1.3.6)	Apache-SSL (1.3.12)	Mode-ssl (1.3.12-1)
データベース	PostgreSQL6.5.1	PostgreSQL6.5.1	PostgreSQL7.0.0
SSL 暗号化	組込みモジュール	組込みモジュール	DSO モジュール

システムにおける問題点を含め、Java Servlet[2] および PHP[3] で動く別途サンプルシステムを参考に種々の検証を行った。以下に調査結果を取りまとめて報告する。

(1)データベースソフト（PostgreSQL-7.2)

旧バージョンでは、Text が８K バイト以内という制限があったが、新バージョンではプログラム編集やマニュアル編集上の問題もなくなり、市販データベースソフトに匹敵する機能が使用できる。附属ツールソフト（Pgaccess）が主要な新バージョンの Linux では日本語漢字変換入力のキーバインドが動かないという問題点が見られる。

(2) Java Servlet

昨秋 ServletAPI2.3 に対応のサーブレットエンジンが公開されたので、サンプルシステムの移植を試みたが実機マシンに搭載の Linux では移植不能の結果に終わった。基本的な原因は GCC のバージョンの相違に起因した include ファイルの相違によると判断される。

(3)PHP

PHP のバージョン 3、4 における基本的な問題点は見受けられなかったが、一部 PDFlib ライブラリを利用する場合には問題が生じる。PHP-3 の場合、PDF ファイルを扱うための PDFlib ライブラリが頒布元の都合で公開停止になり、現在 PHP-4 対応バージョンのみ頒布されている。前項の Java および GCC に関連し、PDFlib ライブラリを利用する場合には Linux の頒布元の選定には注意を要する。

(4)Web ブラウザ

ServletAPI2.2 サーブレットエンジンを使ったサンプルシステムの試験で、Windows マシンのブラウザからのアクセスでは正常に機能するものの、UNIX 系のブラウザからの入力を受け付けないという問題点が見られた。

(5) 電子認証

Web-DB 連携システムの実運用に際して、Web サーバに SSL 暗号化モジュールを組込むのは必須と思われるが、高額な商用電子認証局を利用する必要はない。各大学等の情報処理センター等で学内用のプライベート電子認証局[3] が早期に開設されることを切望する。

５．終りに

表題に掲げる高速熱伝導プログラムの検証システムと連動させるには、３D 描画速度の抜本的な改善が急務になる。将来並列 DSP（データシグナルプロセッサ）を利用した３次元実構造物におけるリアルタイムなフィードバック制御に利用することも視野に入れ改良を図りたい。

調査研究に際し、本学知能生産システム工学科の小田 勇 教授、里中 忍 教授、坂本英俊助教授および助手の白川英観博士のご支援に感謝の意を表します。研究費の一部は日本学術振興会平成 13 年度科学研究費(奨励 B :13919123)の援助を受けた。紙面を借り関係各位に感謝します。

1)中嶋睦月、PC-UNIX の WWW-DB 連携プログラミング、日経 BP 社、1999 年 4 月

2)小西 敏 、UNIX USER、ソフトバンク、pp.48～57、2000 年 2 月号

3)石井達夫、PostgreSQL 完全攻略ガイド、技術評論社、2001 年 7 月

4)北川 剛 、Software Design、技術評論社、pp.66～76、2001 年１２月号、

Ｗｅｂベース施設管理・運用データベースシステムの構築

電気通信大学技術部　○水谷孝男(mizu@ice.uec.ac.jp)　○仙北谷直美(sen@mce.uec.ac.jp)

１．はじめに

教育・研究の高度化・多様化に対応可能な利用者環境を用意し、施設を有効かつ効率的に運用することを目的として、昨年度より構築している施設管理・運用データベースシステムについて報告する。本システムの導入は全学施設環境整備委員会のもとで検討され、構築にあたり施設データベース作成部会を設置、技術部からは報告者の二人が参画し設計を担当した。

２．施設データベースシステムの開発目的・方向性

本システムの開発目的及び方向性は次の３点である。

（１）施設に関する点検・評価を踏まえた既存の施設の有効活用及び重点的な施設整備が必要との認識に立ち、点検・評価の手段として施設に関するデータベースを構築する。

（２）施設に関する基本データ、図データ及び施設利用のスケジュールデータを連携させ、有効かつ効率的に運用するためのシステムの開発をめざす。

（３）今後の教育・研究の高度化・多様化に対応できる発展性・柔軟性のあるシステムをめざす。

したがって単に固定的なシステムの導入ではなく、逐次変更・拡張が可能な柔軟なシステムの構築を行うことを開発の前提とする。

３．Ｗｅｂシステムの技術的動向の調査

本システムを構築するにあたり、Ｗｅｂ技術を全面的に利用したシステムとすることとし、以下の観点から技術的動向を調査・検討した。

（１）利用者の観点

静的コンテンツ：文書・図の貼付け

動的コンテンツ：サーバサイドorクライアントサイドでプログラムを実行する

（２）開発環境の観点

スクリプトプログラム：開発しやすいが、負荷が高く、高処理能力を必要とする

バイナリープログラム：コンパイルが必要だが、高速処理が可能である

（３）運用管理の観点

クライアントサイド：Java Applet,JavaScript

利用者（ブラウザ）環境に依存しやすい問題があり、管理が複雑になる可能性がある

サーバサイド：サーバ側の管理で一括に管理できる

（４）Webシステム開発環境上の観点

ミドルウェアの利用：開発環境に慣れることにより短時間の開発が可能だか、開発環境に拘束される問題がある

直接プログラムを書く：開発時間は多くかかるが、時代とともに変化する開発環境に柔軟に対応可能

（５）システムの安定性・汎用性からみたOSの選択

Windows、UNIX(Soralis, Linux, FreeBSD, MacOSX)

（６）Webサーバ

ASP(IISを利用した開発環境）＋DB

Apache+PHP＋DB、Tomcat+DB

（７）データベース(SQL-DB)

Oracle、DB2(IBM)、SQL Server(MS)

PostgreSQL(Free)

４．データベースの技術的動向

データベースのデータモデルとしては、ネットワーク型、ツリー型、リレーショナル型（RDB(Relational Database)）、オブジェクト型などがある。

本システムでは、現在多くのシステムで使われているリレーショナル型（RDB）を使う。RDBでは、SQL(Structured Query Language:構造化問い合わせ言語)を用いたデータベースサーバの制御が行われる。

また、ＳＱＬをより簡易に使うためのtoolとしてODBCがある。Web-DBシステムでは、ODBCをJAVA

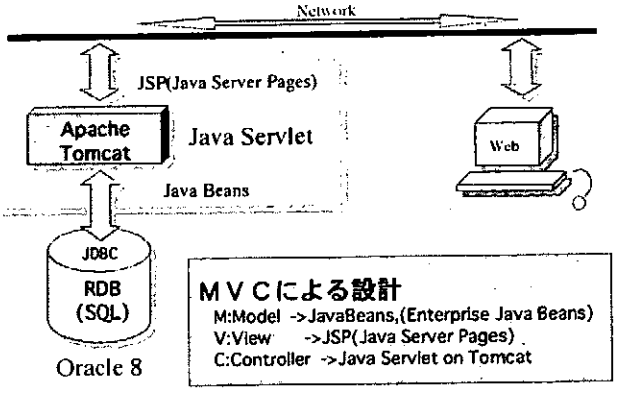


図１　データベースシステムの構成

で利用するためのtoolとしてJDBCが用意されており、Web-DBシステムではJDBCを使用することが多い。

さらに、最近は汎用なデータの記述の方法としてタグ言語でデータベースを表現するXMLなどが使われはじめている。このように、データベースシステムは、日々変化している。また、RDBを動作させるOS環境も激しく変化してるので、同一システムを長期間に亘り有効に使い続けるためには、メンテナンス・再構築を重視して運用していくことが望まれる。

5．データベースシステムの構成(Java Servlet)

データベースシステムの構成を図1に示す。システムの設計には、移植性の観点から使用言語の選択が重要となる。本システムでは、現在多くのサイトにて使われつつあるJava言語を使用した。

また、システム構成の各機能を明確にし、開発時の効率や改良等を行いやすくするために、MVC設計技法を導入した。このことにより、データベース制御部の開発、利用者が直接見るWeb画面の開発、システム全体の動作をコントロールするソフトウェアを分離して開発することが可能である。

6．Ｗｅｂベース施設管理・運用データベースシステム構成

本システムの構成を図2に示す。主に設計図を格納し、施設課等での図データの管理のために使用するデータベース(ApertureDB)と、設備・スケジュールデータを格納するデータベース(OracleDB)の大きく2つのデータベースによって構成され、それぞれは別々の計算機によって動作し、ApertureはWindows Server、OracleDBはUNIXである。また、ApertureDBとOracleDBはODBCを使用してリレーションを張り、データを共有している。

7．Apertureによる施設管理

Apertureによる本システムでの施設管理の特徴を示す。(図3・4・5・6)

(1) 構内配置図->建物図->フロアー図->教室内配置図のように、リンク機能により階層的アクセスし、図を表示可能。

(2) 付属設備等の備品管理が、ODBCを用いたデータベースサーバへのアクセスにより実現が可能。

(3) JW-CAD等のファイル形式にて、CADデータの取り込みが可能。

(4) 作図機能有り。

(5) ネットワークケーブル等を図上で配置替えすることにより、配線経路も自動的に修正することが可能。

(6) Web Serverを付加することにより、Webによる閲覧が可能。

(7) 既にいくつかの大学に導入され、施設管理・防災管理に利用されている。

以上の特徴により、他のデータベースとの連動が可能であり、またこれまで単独の図として存在していた設計

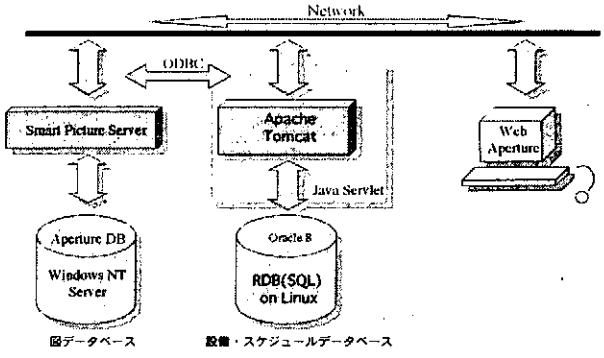


図2　Ｗｅｂベース施設管理・運用データベースシステム構成

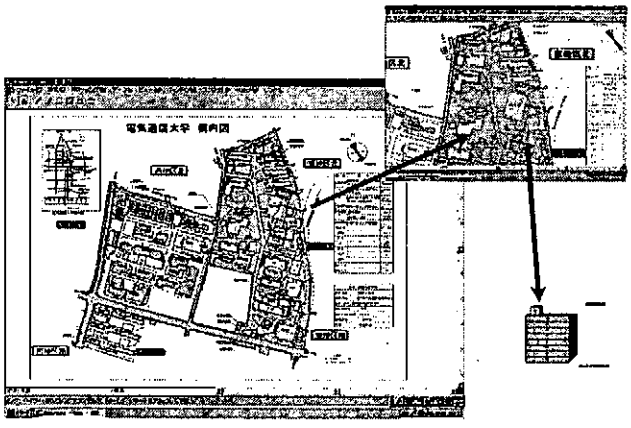


図3　Apertureによる図表示　(学内配置図)

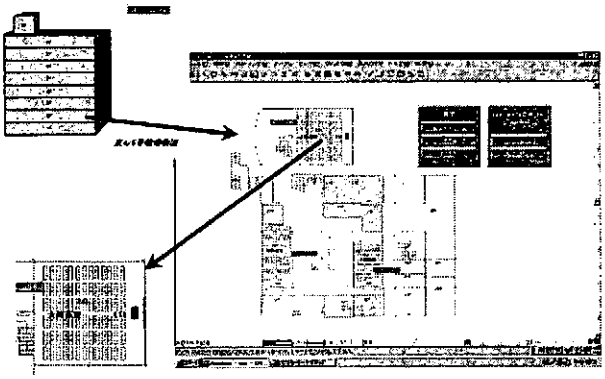


図4　Apertureによる図表示　(建物のフロアー図)

図等が階層的に管理することが可能となる。

8.デモンストレーションによる本システムの具体化への提案

本システムの具体化に向け、学内でのデモンストレーションを数回行なった。手順としては、まずプロトタイプまたは一部動作するシステムを構築し、デモンストレーションを実施。次に本稼働システムの構築を行い、これによるデモンストレーションを行った。このような複数のデモンストレーションにより、主に事務局が持つ運用面での疑問点や不安点をできるだけ減らすように考慮した。同時に、予算面でも理解をるために、学長をはじめ各種委員会において数回のデモストレーションを行った。

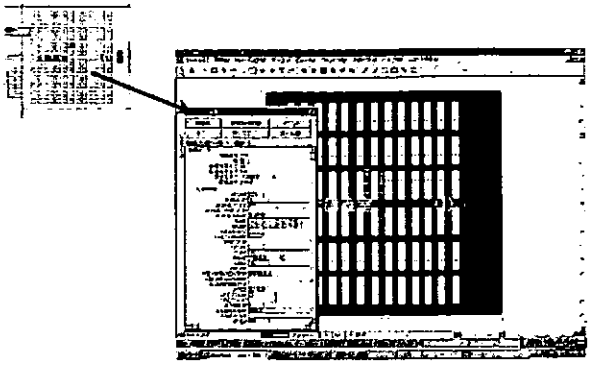


図5　Apertureによる図表示
（講義室のレイアウトとデータベースへのアクセス）

9．事務担当者との打ち合わせ

本システムを実際に使用し、運用していく部署は事務局であり、かつ複数の部課にまたがっているため、事務局全体と、各部との綿密な打ち合わせを数回行い、意見交換をしシステム作成にあたった。このことにより事務局の意見を反映させ、使用しやすいシステムの構築を目指した。

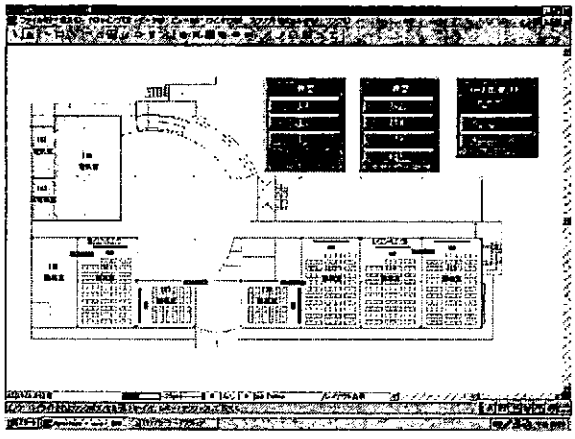


図6　Apertureによる図表示（建物のフロアー図）

10．仕様作成にあたって

上記の過程を踏まえて、担当部署と業者との間で技術的な面を含めて連絡調整をとり、仕様書作成を行った。仕様書作成にあたり注意を払った点は、このシステムが既存のシステムではなく、新しく作り上げていくシステムであるという点である。システムの構成上、図データベース以外はクライアントアプリケーション（クライアントAP）を必要とせず、Ｗｅｂ画面のみで作業ができる点が特徴である。またＷｅｂシステムを使用するため、セキュリティ問題が技術的にも、運用の面でも重要であり、極力安全なシステムにするための技術的な事前調査と仕様作成に多くの時間を費やした。

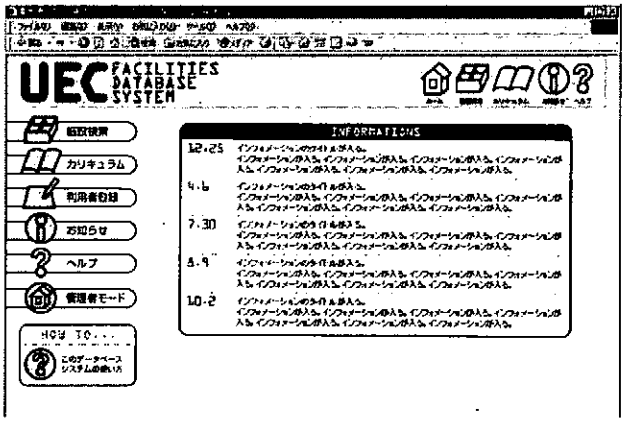


図7　メニュー画面（Web）

11．「Ｗｅｂベース施設管理・運用データベースシステム」の概要

（1）データベースの特徴

本システムは、図データベース、設備・スケジュールデータベースによって構成される。

図データベースは、Apertureを用いた施設の図の管理を行う。Apertureを用いることにより本学の建物、フロア、部屋単位での図表示が階層的に表示が可能となる。また、設備・スケジュールデータベースとのリレーション機能より、付帯設備のデータも管理可能である。

設備・スケジュールデータベースでは、施設管理のデータとともに、スケジュールのデータを管理する。またカリキュラム等で使用される、学科、科目、教官、教室等のデータも管理可能なため、年間スケジュールの管理を行うことが可能である。

（2）Ｗｅｂシステムの概要

Ｗｅｂシステムの概要を以下に示す。

一般利用者モード（ユーザから利用できるサービス）

対象者：教職員

対象施設：講義室、福利厚生施設、宿泊施設、
会議室等

利用できるサービス

各施設の検索項目：施設の収容人数、付帯設備等

各施設の写真、付帯設備一覧表示

各施設の特定の期間のスケジュール表示

各施設のＷｅｂからの予約

カリキュラムの表示

管理者モード（事務担当者が管理するもの）

対象者：事務担当者

対象課：事務局各課

管理する項目：システム管理、施設マスタ管理、
教務マスタ管理、施設予約管理

図７以降に、Ｗｅｂシステムの画面を示す。

１２．導入

２００２年度より運用開始する予定である。

謝辞

本システムを構築するにあたり、施設課、会計課、総務課、教務課、学生課など事務局の諸氏に多大な協力をいただいた。また、梶谷誠学長、前川守評議員、奥澤隆志・萩野剛二郎（前・現）施設環境整備委員長、本間恭二技術部長、桑田正行施設データベース作成部会代表には、本システム構築の機会や助言いただいた。ここに記し、感謝する。

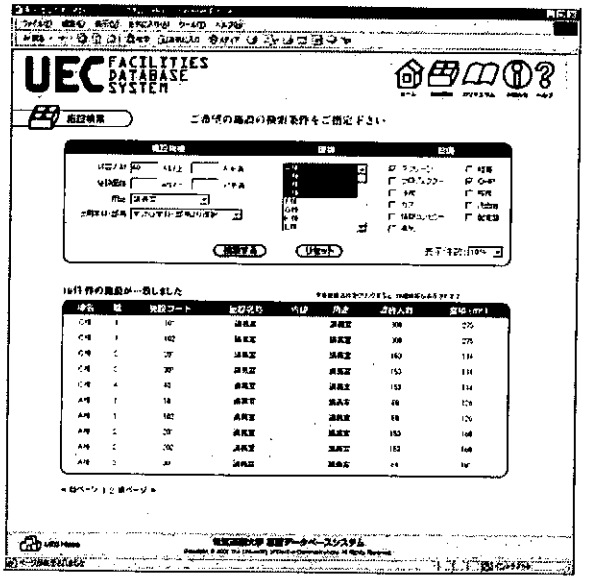


図８　施設検索画面（Web）

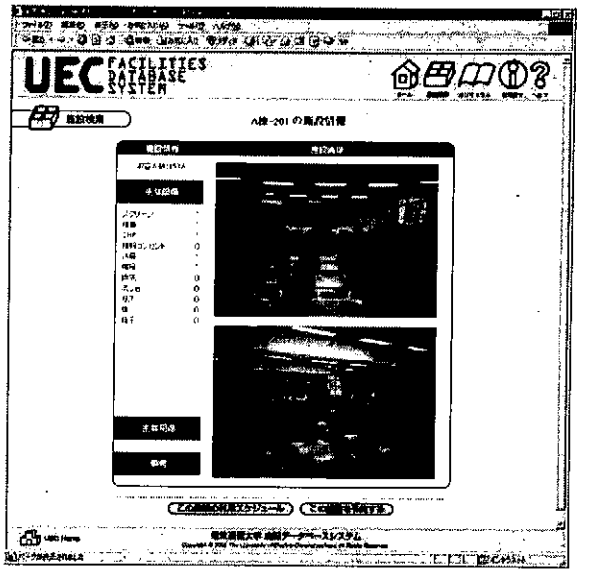


図９　施設表示画面（Web）

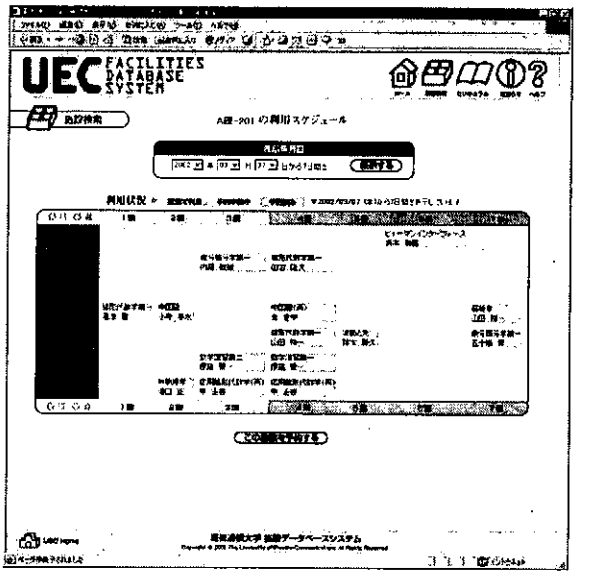


図１０　カリキュラム表示画面（Web）

KEK－仙台間のネットワーク構築

高エネルギー加速器研究機構　計算科学センター
○飯田好美　苅田幸雄

1．はじめに

平成13年11月10、11日に仙台市情報・産業プラザで第16回「大学と科学」公開シンポジウム“失われた反世界－素粒子物理学で探る－”が開催された。その際、高エネルギー加速器研究機構（KEK）で行っているBELLE実験のデータをリアルタイムに会場で表示することになった。そのため、宮城県仙台市にある会場と、茨城県つくば市にあるKEKの間にネットワークを構築した。図1に位置関係を表す日本地図を示す。

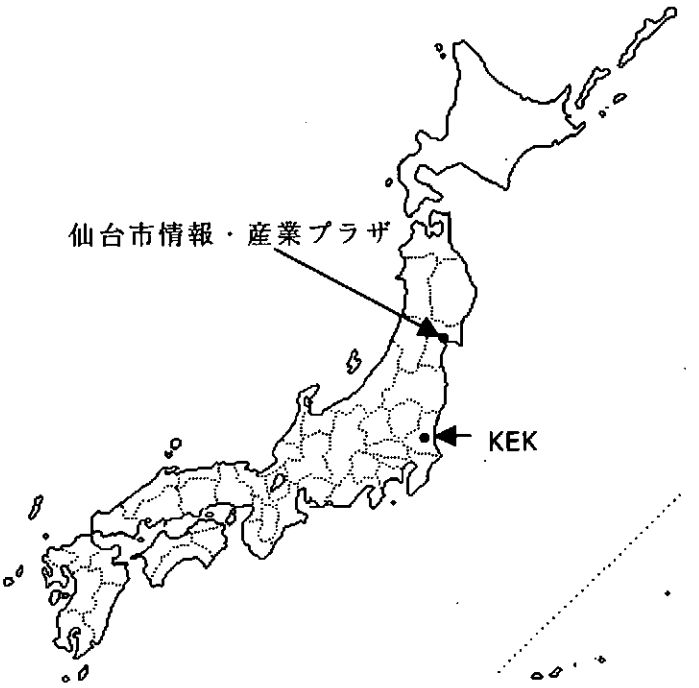


図1　日本地図

BELLE実験とは、粒子と反粒子の反応の違いを解明する素粒子実験である。Bファクトリーと名付けられた加速器でエネルギーの異なる電子・陽電子を衝突させ、B中間子と反B中間子を作り出す。そして、このB中間子と反B中間子の崩壊で発生したすべての粒子をBELLE測定器で検出するものである。

ここでは、これらのネットワークの接続確認試験や、実際のネットワーク構築に関して報告する。

2．ネットワーク構成

図2にネットワークの構成図を示す。今回のネットワークは、KEKからのVLAN(Virtual LAN)をPowered Com社の高速Ethernet専用サービスとJGN(Japan Gigabit Network)のATM(Asynchronous Transfer Mode)を使用して延長したものである。

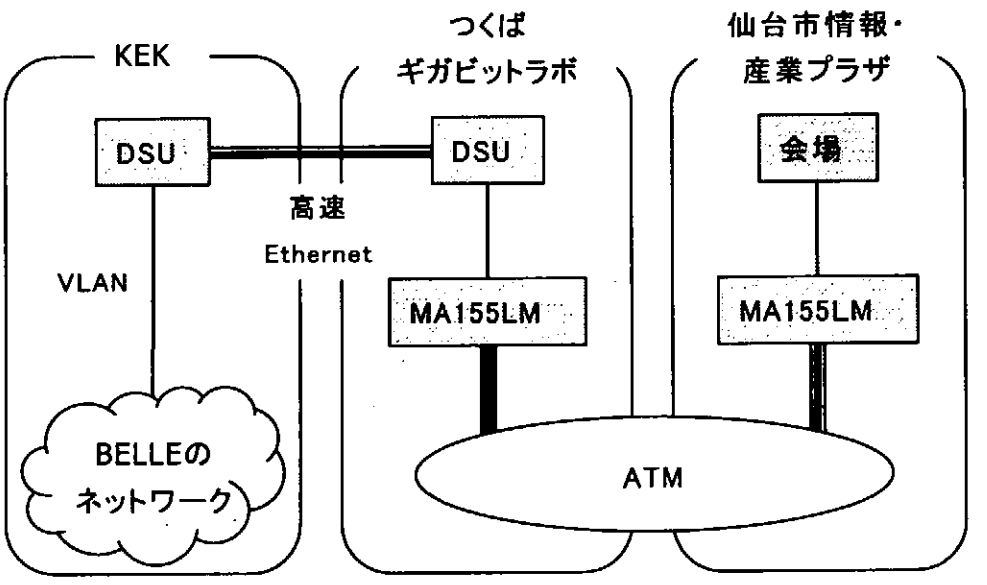


図2　ネットワーク構成図

JGNとは、通信・放送機構が試験的に運用している、研究開発用の超高速光ファイバ通信網、ギガビットネットワーク通信回線のことである。

このネットワークには 10 ヶ所の ATM 交換設備および、54 ヶ所の接続装置が超高速光ファイバで結ばれている。また、共同利用型研究開発施設が全国 5 ヶ所にあり、企業・自治体などへ研究開発設備を提供している。この共同利用型研究開発施設の 1 つであるつくばギガビットラボが KEK と同じつくば市内にあり、ATM 接続装置設置場所の 1 つがシンポジウムの会場である仙台市情報・産業プラザであるため、この設備を利用した。

3．VLAN(Virtual LAN)

VLAN とは、物理的なマシンやケーブルの接続形態に依存せず、仮想的に構成する LAN のことである。ネットワーク負荷の軽減やネットワーク管理の簡素化のためなどに利用されている。

図 3 に KEK の機構内ネットワーク図を示す。機構内の建物にある 66 ヶ所のハブは計算機棟にある中央スイッチを中心に GbE(Giga bit Ethernet)で接続されている。それぞれのハブからユーザの部屋へは 1000/100/10M Ethernet で接続されている。これらのネットワークは研究グループ毎にクラスタと呼ばれるネットワークセグメントに分けられ、それぞれのクラスタは VLAN によって独立になっている。

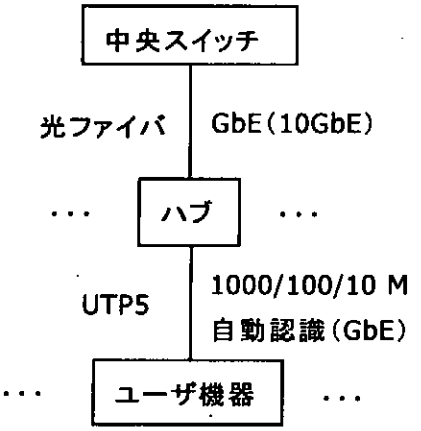


図 3　機構内ネットワーク図

BELLE 実験グループは FB クラスタと呼ばれるネットワークセグメントに属しているため、BELLE 実験のデータは FB クラスタに接続された機器に集められている。これらの機器は、FB クラスタからの接続のみを許可しているため、FB クラスタをシンポジウム会場まで延ばす形にした。そのため、FB クラスタに VLAN を 1 本追加し、それを高速 Ethernet 専用サービスに接続した。

2．2　高速 Ethernet

KEK からつくばギガビットラボまでは Powered Com 社の高速 Ethernet 専用サービスを利用した。図 4 に高速 Ethernet 専用サービスのネットワーク図を示す。このサービスは、Ethernet を DSU(Digital Service Unit)に接続し、光に変換してシングルモード光ファイバで送ることにより、高速接続を実現するデータ通信専用サービスである。Ethernet での専用サービスなので、拠点間は Point-to-Point で接続され、高品質、高帯域が保証される。

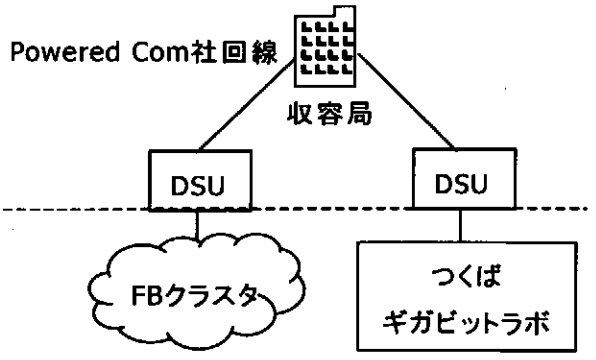


図 4　Powered Com社Ethernetサービス

このサービスによって、FB クラスタの VLAN を KEK からつくばギガビットラボまで通信速度 100Mbps で接続した。

2．3　ATM(Asynchronous Transfer Mode)

ATM とは、セルと呼ばれる固定長フレームを転送する通信方式で、“非同期転送モード”の略である。音声、画像、データなどマルチメディア通信に最適で、高速に情報通信を行う技術である。

ATM と Ethernet の接続にはスイッチングハブの MA155LM/4E を使用した。このスイッチングハブには Ethernet ポートが 4 ポートと、マルチモード(MM: Multi Mode)の ATM ポートが 1 ポートあり、

VLAN、PVC(Permanent Virtual Connection)やLANエミュレーションなどの設定ができる。

まず、PVCについて説明する。図5にATMコネクションの概念図を示す。ATMでは物理ケーブルに対して仮想的に複数のパスとチャネルを割りあてて、データ通信のためのコネクションを作成する。このコネクションはVPI(Virtual Path Identifier)の値とVCI(Virtual Channel Identifier)の値によって設定され、複数のコネクションを作成することで多重通信が可能になる。PVCとはこのコネクションを通信するたびに確立するのではなく、固定的に確立する方法である。これにより終端末をあらかじめ固定して通信することができる。

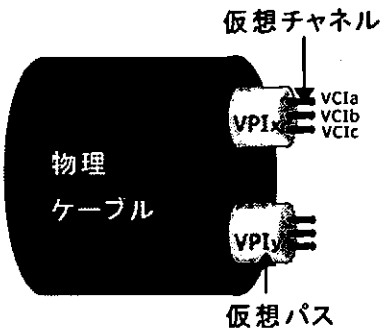


図5　ATMコネクションの概念図

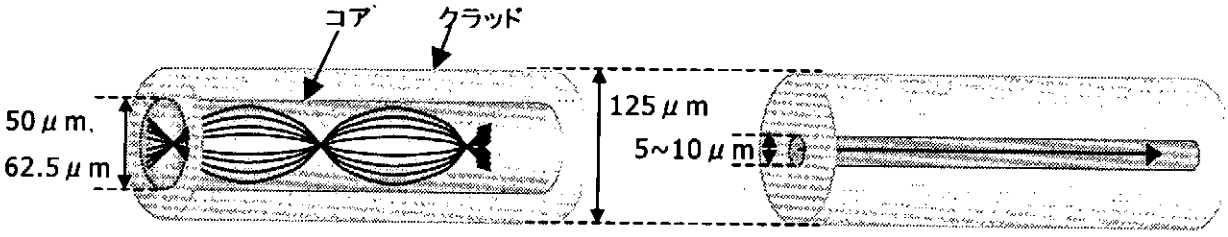
次に、LANエミュレーションについて説明する。これは、ATMのネットワークをEthernetなどのLANに見せかけるプロトコルである。LANに見せかけることにより普通のLANと同様にATMポートを扱い、LANとATM間で継ぎ目のない通信を可能にする。MA155LM/4Eでは、LANエミュレーション機能により見せかけたLANを、普通のEthernetで構成する個々のVLANへ追加することが可能である。

これらの機能を使うことで、ATM網をEthernetのフレームを転送する通信路のように見せることができるため、ATMとLANを1本のVLANのように接続できる。MA155LM/4Eの設定後仙台へ持っていく前にKEK内で動作確認を行った。動作確認はKEKにあるATMスイッチを使い、JGNで設定するPVCと同じVPI,VCIの値をそのATMスイッチでも設定して行った。つくばギガビットラボから仙台市情報産業プラザまでは通信速度50Mbpsで接続した。

4．接続テスト

ATMへの接続に使用したMA155LM/4EにはMMのATMポートしかないが、仙台市情報・産業プラザのATM接続装置にはシングルモード(SM: Single Mode)のポートしか空きがなかった。そのため、MMのポートとSMのポートを接続することになった。

図6に光ファイバケーブルの構造を示す。光ファイバにはマルチモード光ファイバ(MMF: Multi Mode optical Fiber)とシングルモード光ファイバ(SMF: Single Mode optical Fiber)がある。MMFは光を通すコアの直径が50μmまたは62.5μmのケーブルである。コアの部分は中心が最大の屈折率になっており、クラッド部に近づくにつれて緩やかに小さくなっているため、複数の反射角を持った光を通すことができる。複数モードの光がコアの中に存在するため、短い光パルスを入射しても伝搬するに従って伝搬遅延差の影響で光パルスの幅が広がってしまい、長距離転送には向かない。しかし、材料にプラスチックを利用できるため安価であり、折り曲げにも強い。SMFはコアの直径が5～10μmの細いケーブルである。レーザ光など直進性の高い光を入力し、コアとクラッドの屈折率の差が小さいため、光をほとんど分散せず、遅延時間は発生しない。そのため長距離転送や超高速転送に用いられる。



(a) マルチモード光ファイバ(MMF)　　(b) シングルモード光ファイバ(SMF)

図6　光ファイバケーブルの構造

このようにSMFは長距離転送のために強い光を使用しているため、SMの光を直接MMFに接続すると光が強すぎる。実際の測定では、MMのポートにMMFを接続した場合光パワーは-21dBだが、SMのポートにMMFを接続した場合は-8dBであった。そこで、固定減衰器を使用してSMの光を調整した。MM/SM変換器の仕様例を挙げると、MMの送信出力は-18dBとなっている。今回は、5dB、10dB、20dBの固定減衰器を使用し、光パワーメーターで測定しながらテストを行った。その結果10dBの減衰器を使用することにした。減衰器はSMの送信側のポートに接続した。

5．まとめ

今回、つくば市にあるKEKからのVLANを高速Ethernet専用サービス、ATMを使用してシンポジウム会場の仙台市情報・産業プラザまで延長した。通信速度は終端間で50Mbpsである。

これにより、BELLE実験のデータを会場で表示することができた。実験データは会場のLinuxマシンからKEKのLinuxに入り、X(X Window System)を実行することで表示される。実験が行われている間は数秒おきに更新されるため、リアルタイムに表示されていることがわかる。ネットワークには常時3台のPCが接続され、そのうち1台は実験によって得られたイベントをプラズマディスプレイによって大きく表示した。その様子を図7に示す。

ネットワークを利用している際、反応の遅延などは感じられず、KEKにいるときと同じように使うことができた。

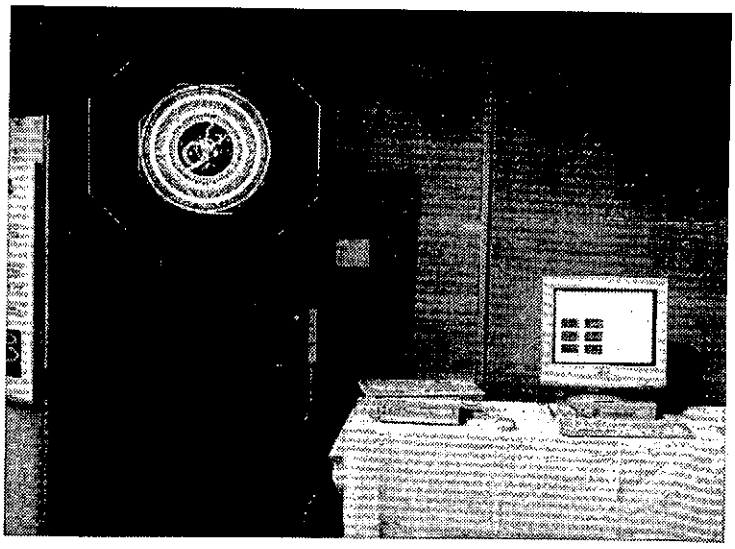


図7　ディスプレイの様子

北海道大学における構内モバイルＬＡＮシステム

北海道大学大型計算機センター
ネットワーク掛　大島　雅明

１．はじめに

ネットワークは、速くて、簡単に、どこからでも利用できることが求められるようになっており、高速化については着々と整備されている。また、ＤＨＣＰ機能の利用により、簡単にそして利用場所を変えても接続できるようになってきた。それでも現在のネットワークは、ケーブルによる有線接続を前提としている。一方、携帯電話やＰＨＳによるメールやホームページの閲覧等の利用が急速に進んでおり、ＬＡＮによる利用と比較して、物理的な接続が不要であるため、どこからでも、簡単にという点では優位性がある。

北海道大学では、平成１２年度補正予算でＰＨＳのデータ通信機能（PIAFS、32/64Kbps）を利用したモバイルＬＡＮシステムを構築したので、ここで紹介する。（現在拡充中）

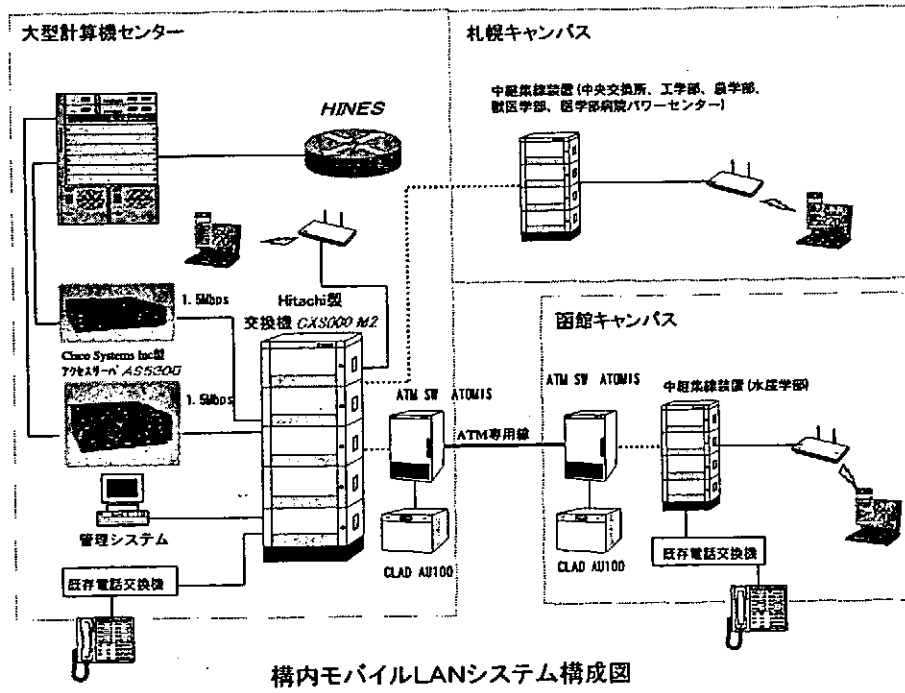
２．システム構成について

このたび導入されたモバイルＬＡＮシステムは、接続したいパソコン端末にＰＨＳデータカード（ＮＴＴのP-inなど）を差し、そこから出される電波（自営用無線帯域）をＰＨＳアンテナ（基地局）が受け、構内電話線を通して中継集線装置（以下交換機とする）に集められ、そこからネットワークにより集められて、学内ＬＡＮに接続されている。また、構内電話用交換機と接続しているので、ＰＨＳ間はもとより内線電話との通話も可能となっている。

以下に、主なシステム構成機器と構成図を示す。

【構成機器】

○中継集線装置（交換機）	７台	○ＰＨＳ用アンテナ	１１６台（＋５３０）
○アクセスサーバ	２台	○管理サーバ	１台

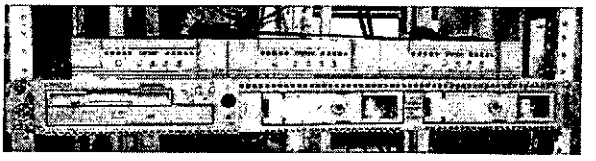


構内モバイルLANシステム構成図

ＰＨＳ用アンテナは、既存の構内電話ケーブル２芯を使って交換機と接続しており、１０００メートル以内であれば局給電で利用が可能であり、それ以上距離がある場合はローカル給電にしなければならない。また、１アンテナにつき同時に３回線までしか利用できないが、回線が輻輳していても通信が始まれば、使用帯域は変動することがない。本システムは、全学をくまなくカバーするまでアンテナ等を設置することはできていない。全学をカバーするためには、数倍の規模のアンテナ等を設置しなければならない。今回は、主に会議室、講義室等多数の教職員が集まる場所に限定されているが、札幌キャンパスの憩いの場所の一つである中央ローンや、北大を南北に横断する中央道路周辺での利用も視野に入れてアンテナを設置している。建物内は配線されていれば基本的にどこでも利用できるが、それでもネットワークを利用する上で制限があったり、できる環境になっていない場所もある。そうした場所のカバーや、屋外でもネットワークを利用したいという希望に多少とも応えるものとなっている。

札幌キャンパスと函館キャンパスは、ＡＴＭ専用線で結ばれており、既に運用されている学内電話と同様にこの回線を利用して接続されている。ＰＨＳ端末（電話器）にローミング機能が備わっていれば、札幌キャンパスと函館キャンパスのどちらにいても電話を受けることができる。





（左からアクセスサーバ、ＰＨＳアンテナ、管理サーバ）

手続きと利用方法について

本システムは、構内モバイルＬＡＮシステムであり、ＮＴＴなどの公衆用ＰＨＳとの接続はできない。利用できるのは、あくまでも自営用規格に対応している端末だけ（H"システムは使用できない）である。さらに、事前に使用するＰＨＳ端末の９桁の製造番号をシステムに登録し、本システムで決められた電話番号をＰＨＳ端末のＲＯＭに書き込んでおかなければならない。こうした手続き・処理を踏まなければ利用することができない。

電話の場合、本システムに登録したＰＨＳ間および内線番号への通話はできるが、学外への通話は、公衆用ＰＨＳや携帯電話を含め全てできないし、外部からの通話もできない。

利用するための必要な準備・手続きは、次のようになる。

① 自営用規格に対応し、なおかつ本システムに対応したＰＨＳ端末の購入する。
② 接続申請書提出とＰＨＳ端末の登録を行う。
③ ＰＨＳ端末への電話番号の書き込を行う。
④ ネットワークを利用する場合、北大で独自に運用しているネットワーク利用者個人番号（ＰＩＤ）とパスワードを取得する必要がある。

これにより、ＰＨＳ用アンテナに電波の届く範囲（屋内ならおよそ４０～５０メートル、屋外なら１００～１５０メートル）ならどこからでもネットワークおよび内線電話としての利用が可能となる。

既にＮＴＴなどのＰＨＳ用データカードを持っている場合、自営用規格と交換機に合う端末であれば本システムに登録することにより、利用が可能となる。

ネットワークに接続する場合は、家庭から利用する場合と同様にダイアルアップＰＰＰ接続

の機能を利用する。接続先の電話番号は、本システムで決められた５桁の番号しか認めていないので、商用プロバイダへ接続することはできない。接続時の認証にはＰＩＤとそのパスワードを用いる。端末と利用者の登録とチェックにより、不正使用の可能性を小さくしている。

通話の場合は、ＰＨＳ端末同士では、システムに登録した電話番号を使い、既存の内線電話にかける場合は、既存の交換機に繋ぐための番号（１桁）と内線番号を使う。

３．管理システムについて

管理システムは、ＰＨＳ端末の管理を行うもので、Web サーバとして動作する WindowsNT マシンで動作する。管理サーバにアクセスを許可された端末であれば、どこからでも Web ブラウザ上から各種管理操作を行うことができるため、遠隔からの登録等の作業ができる。

管理システムでは、以下の機能を持っている。

① ＰＨＳ端末の新規登録や変更、削除、アンテナモードの変更、短縮ダイアルの登録等を行える。メニューに従って必要な情報を入力し、その内容を交換機と管理サーバのデータベースに登録する。

② アンテナの状態表示や接続中端末一覧の表示ができる。監視画面ではエリアを分けて状態を表示し、障害が起きたエリアは赤で表示され、詳細画面では障害が起きたアンテナを特定できる。

③ 管理サーバは２４時間ごとにトラフィックデータを収集し、収集したデータの必要な部分をファイルに保存できる。

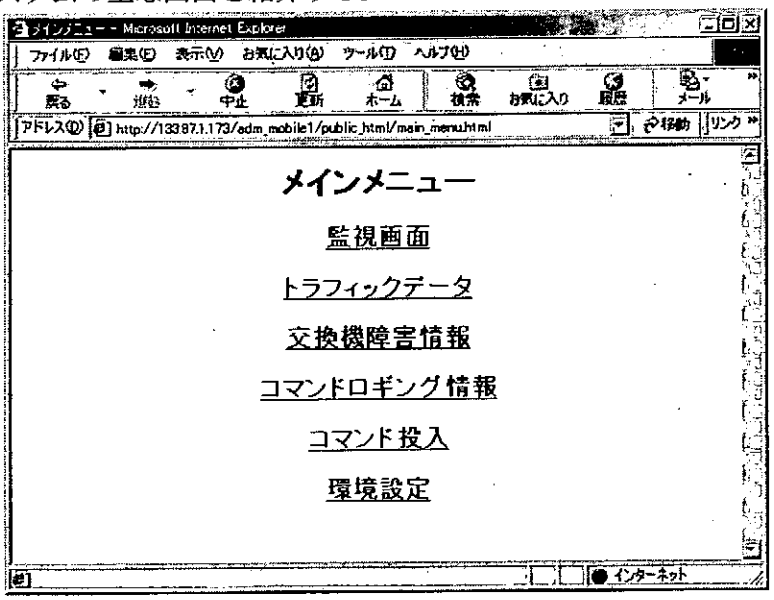
④ 環境設定では基地局表示設定やメニュー画面の編集、交換機へ定期コマンドの投入間隔等を設定できる。

⑤ 交換機の障害情報を自動的に保持し、必要な期間のログを参照できる。

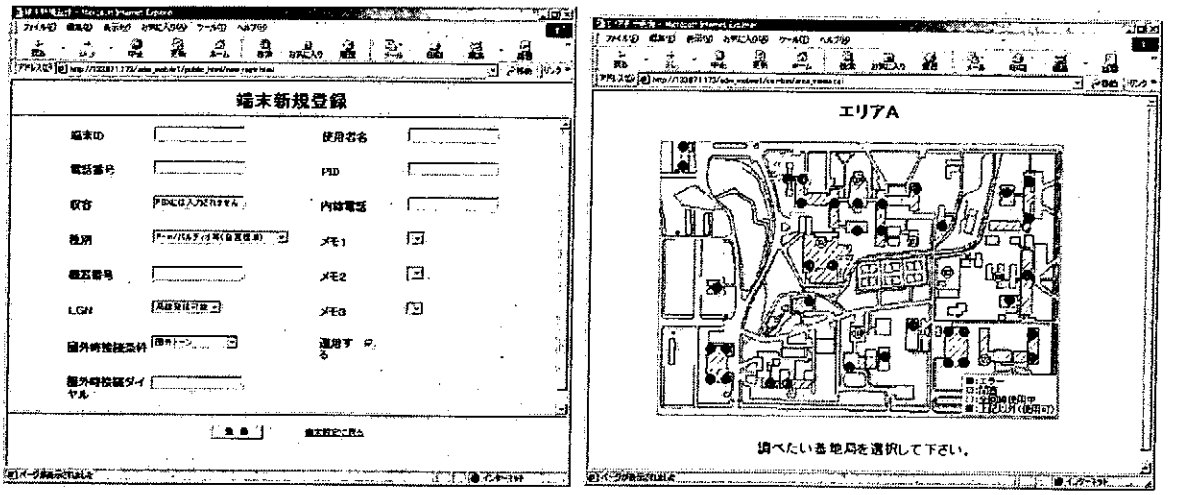
⑥ 交換機に対して自動的に投入する全てのコマンド及び管理者が投入したコマンドのログを採取し、必要な期間のログを参照できる。

管理サーバと交換機はモデム接続されているため、高速に処理することはできない。また、北大では、WindowsNT サーバを使って端末接続や利用者（ＰＩＤ）等の管理を一元的に行っているが、管理サーバのデータは同様に管理することはできない。

以下、管理システムの主な画面を紹介する。



（初期画面とメインメニュー）



（端末新規登録画面とエリアＡの監視画面）

４．おわりに

本システムは、何カ所かに移動してネットワークを使いたい、会議の合間にメールチェックをしたい、等の要望をある程度かなえることができるシステムであると思う。大いに利用されることが期待される。利用が大きく伸びると思われるのは電話である。附属病院では医師連絡に用いられることになり、将来的には学内内線電話がＰＨＳに置きかえることも検討される状況になっている。

電波の到達範囲は、屋外は予想よりも広いが、屋内については設置場所の環境によって大きく変わっている。農学部や理学部の初期に建てられた頑丈な建物や、アンテナがある廊下に物が多く置いてある場所では、どうしても電波の到達範囲が狭くなる。また、屋外では、木々に葉が生い茂る夏も同様である。

新たな利用が始まると、それに伴う新たなトラブルも起こるものである。トラブルを未然に防ぐために、利用規則を明確にし、運用面での工夫も必要になってくるであろう。現在、大幅な拡充を計画しており、平成１４年７月末にはキャンパス内の建物内およびその周辺のほぼ全域で利用可能になると思われる。また、大幅に機能アップされた管理システムを新たに導入される予定となっている。

分散冗長化 DNS system の構築

分子科学研究所 技術課 ○内藤茂樹

1.はじめに

Network の重要性が高まるにつれ、ユーザは 24 時間 365 日 Network Service が利用できることを望むようになってきた。その中でも DNS は Network を利用する上で要となる Service であるため、DNS が停止すると Network 自身が停止していると思われかねない。そこで堅牢な DNS を導入し DNS の停止時間をより短くすることが必要となる。しかし一般的な冗長化を施した Server を導入するだけでは、棟別停電等により Server 自身への電源が断たれてしまうことへの対応が出来ない。そのため異なる棟に Server を分散させる必要がある。さらにユーザへの利便性を考えれば IP address を切り替えて使用し、同じ Service を提供する IP address は統一されていた方が望ましい。それは PC 等の設定によって複数の DNS を登録しておいたとしても、うまく切り変わらなかったり、切り替わるのに時間がかかったりするからだ。分子科学研究所の Network は、複数の IP Network を割り当てた 1 つの論理 Network で運用されているため、棟や階等の物理的な位置に関係なく IP address を使うことが可能であるという特徴がある。この特徴を生かして、1 つの IP address を自動的に切り替えて使用する、棟別停電にも対応した分散冗長化 DNS system を構築した。今回は分子科学研究所の Network の特徴を利用した分散冗長化 DNS system について報告する。

2.分子研 ATM Network

分子科学研究所では現在二つの異なる Network が稼働している。一つは平成 5 年度導入の FDDI と 10BASE-5 を元にした Network で、もう一つが平成 7 年度導入の ATM を基幹部に使用した ATM Network である。

ATM Network では一つの ELAN 上で複数の IP Network address の運用が可能である。この運用形態の利点は同じ ELAN に所属する情報コンセントなら、同じ IP address を利用できる事である。分子科学研究所では全ての情報コンセントが一つの ELAN に所属しているので、実質上所内全ての情報コンセントで同じ IP address を使用可能である。言い換えれば設定の変更変更をしなくても、所内中の部屋を移動して Network を利用することが出来るということになる。この特徴の事を分子科学研究所では“どこでも Net”と呼んでいる。

3.DNS の重要性

近年ますます Network への依存度が増してきた。そして様々な Network 対応アプリケーションが利用されるようになった。そのような状況なので Network の管理者をしていると、利用者からの様々な苦情が増えてきている。その中に「Network が使えない」という内容の苦情があり、調査してみると ping は通るし、Router や Switch には対象となるマシンがしっかり認識されている。しかし利用者は「Network が使えない」と主張する。そこで詳しく状況を調べてみると、ただ DNS が引けないだけだったという経験が何度かある。管理者としては IP レベルでの疎通さえあれば、Network に問題は無いと考えてしまいがちであるが、一般的な利用者にとっては、普段使用しているアプリケーション、Mail であるとか WWW であるとかが使えない(たといただ DNS が引けないだけでしかなくとも)ならば、それは Network が使えないということになる。つまり利用者にとっ

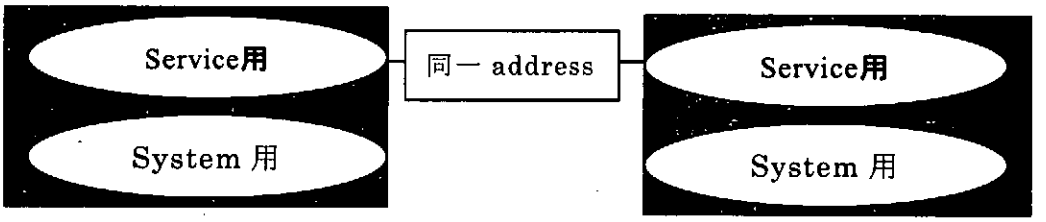
て Network とは、その上で利用出来る Service の事であり、Packet が届くかどうかと言う事ではない。その各種 Service の中でもっとも重要なのが、先ほどから述べている DNS である。何故ならばその他の殆どの Service は、DNS を利用するからである。言い換えれば DNS が止まると、多くの Service が利用できなくなる。そこで障害に強い DNS System を構築し、利用者にとっての Network の停止を出来る限りなくすことにした。

障害に強いと言うと冗長化を思い浮かべる。しかし実際の運用を考えてみると、単純に電源や NIC(Network Interface Card)等を二重化しただけでは余り意味が無いことが分かる。それは本体(Mother Board 等)そのものに障害が発生したら終わりだからである。他にも棟別停電等 UPS の能力を超える長時間停電には対応出来ない。それは DNS が設置されている棟以外の利用者は、その時でも DNS を必要とするからである。このような自体にも対応させようとすると、複数の筐体を使い、しかも各筐体を別々の棟に分散させる必要があるという結論になる。言ってみれば分散冗長化である。

4.分散冗長化 DNS System の実現方法

具体的にどの様にするかというと、main と standby の二つのマシンを用意し、Network 以外同一に設定する。そしてネームサーバ用の address を一つ用意し、main と standby で共用する。この address を Service 用 address と呼ぶことにする。2 台ともそれぞれ System 用 address を別に持っており、DNS を提供するときに System 用 address から Service 用 address へ移行する。つまり、あくまで System 用 address がマシン本来の address であり、Service を提供するときのみに使用するのが Service 用 address である。さらに main と standby をそれぞれ別々の棟に設置する。“どこでも Net”の機能により、棟は別でも IP address の共用が可能である。

下図において四角は NIC であり、一つの NIC で Service 用と System 用の二つの address を使用することを示す



もし、main が停止もしくは Network から孤立したと standby が判断した場合は、すぐさま System 用 address から Service 用 address に移行し DNS を引き継ぐ。利用者が設定するネームサーバ address はこの Service 用 address の事なので、DNS を受け持つマシンが交代したことは利用者には認識されない。このようにして、利用者に一貫した DNS を提供する。さらに main が Network から孤立していた場合は、main 自身が Network から孤立したと判断した後、Service 用 address から System 用 address へ移行する。これは Service 用 address のまま Network へ復帰した場合、Service 用 address を使用するマシンが複数台存在してしまうことを防ぐためである。

問題は standby から main への復帰であるが、今回作成した System では次のようにした。main が復活したことを自動的に確認した standby は Service 用 address から System 用 address に移行する。次に main は自身が Network から孤立していないこと、且つ Service 用 address を使用しているマシンがいないことを確認し、System 用 address から Service 用 address へ移行する。このようにするのは main を受け持つマシンと standby を受け持つマシンを固定しておくためである。理由は DNS へ host を登録するとき、片方の DATA を編集し、もう片方はその DATA をコピーして使うようにするからである。常に新しい DATA を持っている方を main とし、一定時間毎に DATA をコピーする方を standby としておく。こうすることによって、利用者に常に新しい DNS 情報を

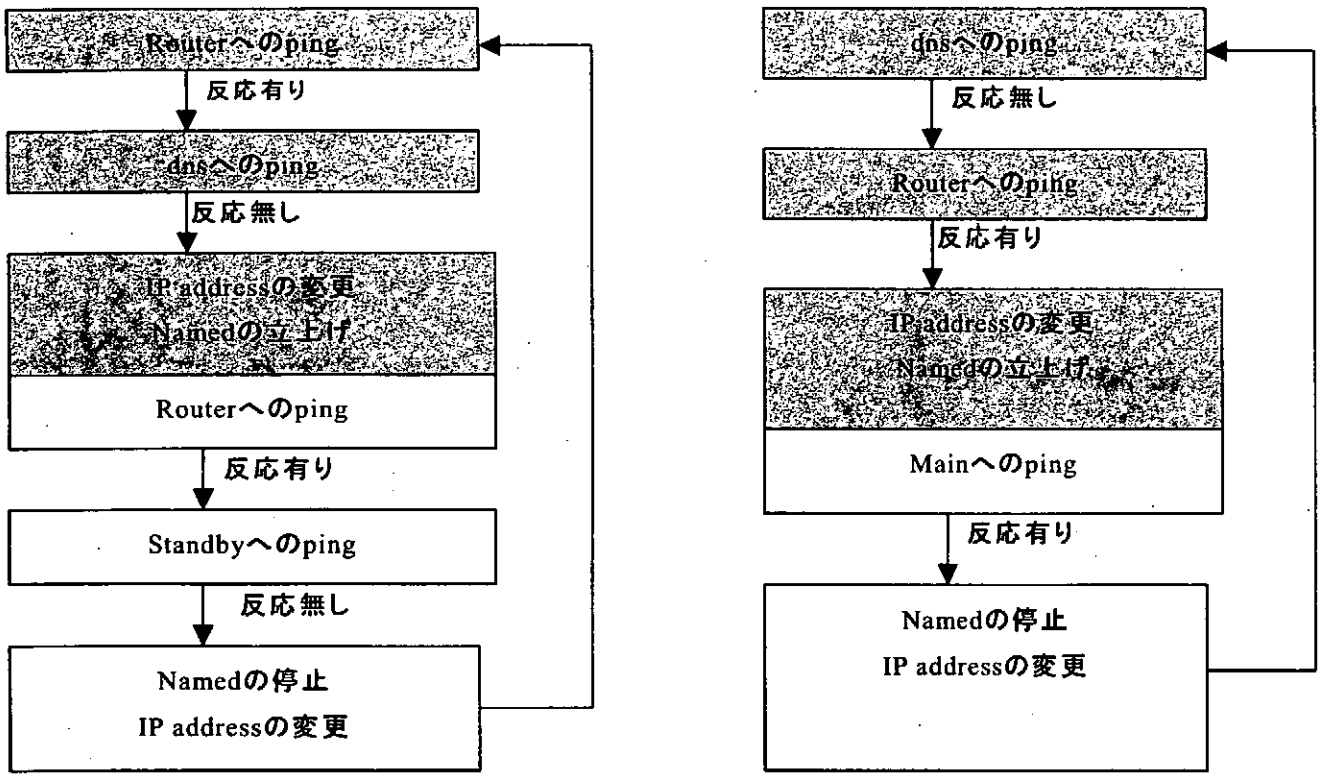
提供出来るようにする。なお、DNS を提供するソフトである named は、Service 用 address への移行時に立ち上げ、System 用 address 移行時に停止することによって、無用なサービスを立ち上げておかないようにする。従ってこの System では DNS の primary/secondly という形態では無い。どちらも primary として動作する。

5 実際の構築

5.1 動作方法

さて実際の System の構築であるが、main と standby が、それぞれ相手が停止もしくは Network から孤立しているかどうかを調べるのには ping を使った。今回は named 自身の状況を判断する機能は組み込んでいない。マシンを DNS 専用とし、しかも所外への公開をしないことにしたため、named 自身が障害を起こすほど、負荷が高くならないだろうと判断したためである。実際 1 年以上運用してきたが named 自身が障害を発生したことはない。Network が孤立しているかどうかの判断は、Router へ ping を打った時の反応の有無によった。反応が無いときに Network から孤立していると断定し、反応が有るときは孤立していないとみなしている。これは Router までの経路が確保されていれば、利用者からの通信は可能であろうとの判断による。実際の流れを図で示す。

下図において左側が main の流れを示し、右側が standby をしめす



main が named の立ち上げのルーチンから始まっているのは、boot 時に standby が DNS をしている可能性があるためである。また main と standby はどちらもそれのみで動作し、他の機器の助けを借りない。理由はもしそれ自身以外の機器の助けを借りて動作していた場合、その機器の状態が System に影響してしまうからである。System に影響を及ぼす可能性がある因子は、出来る限り少なくしたほうが安定性は増すと考えている。

5.2 マシン本体

なお今回使用した機器は次の通りである。

・ 本体:IBM PC 互換機(CPU=P5 200MHz/Memory=64Mbyte)
・ OS:Linux
・ NIC:10BASE-T×2

DNS 専用マシンであることから高性能なマシンは必要としない。また DNS の通信の負荷はそれほど高くないので、NIC は 10BASE-T(10Mbps)で十分である。OS は今後のメインテナンスを考慮して Linux とした。NIC が 2 枚なのは前述の DNS system に使うのものと、普段のメインテナンス用である。DNS System 用の NIC 一枚のみだと、address が切り替わったときに通信が切断されてしまい、それまでの作業が台無しになってしまうからである。実際の運用では各マシンの主 NIC をメインテナンス用に使用し、副 NIC を DNS System 用に使用している。従ってリモートで作業するときには主 NIC から login し、副 NIC は DNS System 専用として、こちらからの login は行わない。当然の事ながら、ぞれぞれの NIC は別の Network address を使用している。主 NIC の address は、管理者のマシンと同じ Network にしてある。それは Router が停止しても通信可能とし、メインテナンスをすることが出来るようにである。一方の副 NIC で使用する System 用 address には、Service 用 address と同じ Network の address を使用している。従って Router が停止しても、DNS System 自体は動き続けることが可能である。つまり分散冗長化 DNS System は Router の状態に影響を受けない。これは「5.1 動作方法」の最後で述べた、System に影響を及ぼす可能性がある因子は出来る限り少なくする、ということを実践する上でも重要である。

5.3 実際の運用

運用テストで main を止めて standby が立ち上がるまでどれくらい掛かるかを見てみたところ、遅くても 1 分以内、早ければ 20 秒程度で切り替わることが解った。実際の運用中に main から standby への切り替わりはたびたび発生している。その原因の殆どは Network が不安定になったために main が孤立したからで、機器本体の不調によるものではない。しかし、重要なことはたびたび切り替わりが発生しているにもかかわらず、利用者からの苦情が無いことである。つまり利用者が DNS の停止に気が付く前に切り替わりが終了していると言うことだと思われる。

6.まとめ

平成 8 年度から ATM Network とその上で実装した“どこでも Net”を運用してきた。その“どこでも Net”の特徴を生かして分散冗長化 DNS System というものを構築することが出来た。この DNS を運用開始してから 1 年以上立つが、この System の利用者からの苦情で、DNS に起因するものは全くと言っていいほど無い。これは目標とした、利用者への一貫した DNS サービスの提供が達成されている証拠だと思われる。作成者としてはこの結果に満足している。

ところで、平成 14 年度からは ATM に変わって GigaBitEther を基幹部に使った Network に変更される。しかし、“どこでも Net”は VLAN 機能を使って引き続き実現される。したがって分散冗長化 DNS System もそのまま運用可能である。実際平成 14 年 3 月 2 日に Network 機器の入れ替えが行われたが、特に何もしなくても分散冗長化 DNS System は、新しい GigaBitEtherNetwork でも問題なく運用出来ている。

これで DNS に関しては、利用者の苦情の原因となる可能性はかなり低くなった。あとは他の Service にも応用が利くかどうかを検討していきたい。

高速ネットワーク(Super SINET)の導入

高エネルギー加速器研究機構　　○濁川和幸、小菅隆、白川明広、阿部勇、木代純逸
核融合科学研究所 技術部　　小川英樹、井上知幸、小平純一
& COACK 開発チーム[1]

1. はじめに

2002 年 1 月より運用が開始された Super SINET[1]には、特定の 4 分野に対して関係する研究機関相互を 1 ギガビットで直結する計画を含んでいる。今回、高エネルギー物理学分野の一部として、我々が行っている COACK (Component Oriented Advanced Control Kernel) [2,3]プロジェクト専用に使用可能なネットワークが、高エネ研(KEK)と核融合研(NIFS)の間で認められ、運用が開始された。我々は、このネットワークを通称「KEK-NIFS ライン」と呼んでいる。

この報告書では、「KEK-NIFS ライン」の導入までの経過と COACK での今後の運用について述べる。

2. 高速ネットワークと COACK プロジェクト

2.1 Super SINET

Super SINET は、国立情報学研究所が主体となり、「先端的学術研究の高度な支援」を目的として設置され、平成 14 年 1 月初旬から運用が開始された研究用ネットワークである。このネットワークは WDM(光波長多重通信)や光コネクタを使用した、10 ギガビットの IP バックボーンを持つ、世界最高速の研究用インターネットである。遺伝子情報処理、高エネルギー物理学、宇宙・天文科学、スーパーコンピューター等を連動する分散コンピューティング(GRID)の 4 分野を対象に、11 の大学や研究機関を接続してスタートした。10 ギガビットの IP バックボーンの他にも、研究機関相互を 1 ギガビットで直結している。「KEK-NIFS ライン」は、この研究機関相互を直結した 1 ギガビットのネットワークである。

2.2 COACK

COACK は、分散型コンポーネントウエアによって構築された、サーバー・クライアント形の実験装置用制御システムである。このシステムは、大学・研究所間での共同開発プロジェクトによって開発され、主に Windows を OS とした PC 上で動作する。Windows マシン同士のサーバーとクライアント間は、DCOM を使用して接続されている。また、Windows 以外のクライアントからの接続も可能とするために TCP/IP によるソケット通信もサポートされ[4,5]、XML によって通信を可能としている。

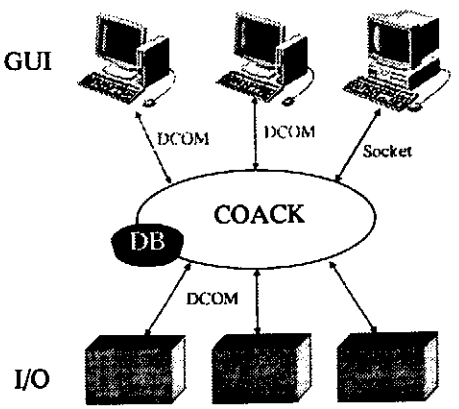


図 1： COACK イメージ図

[1] 現在、「COACK 開発チーム」のメンバーは、高エネルギー加速器研究機構(KEK)、東北大学大学院理学研究科附属原子核理学研究施設(LNS)、核融合科学研究所(NIFS)及びドイツ・ハンブルグにある DEUTSCHES ELEKTRONEN-SYNCHROTRON 研究所(DESY)の 4 機関の技術者・研究者で構成されている。

サーバーは、各機能がコンポーネントとして実装されており、新しい機能(コンポーネント)の追加も簡単・安全に行える設計になっている。これらのコンポーネントは分散可能になっており、高速ネットワーク（SuperSINET）上での分散実用化運転に期待がある。

COACKのクライアントとしては、GUIやI/Oが考えられる。各々のソフトウェアをWindows上で開発する場合は、Visual Basic(VB)で開発することを前提としている。VBでの開発を支援するためのActive Xも用意され、開発が容易に出来るようになっている。

3. 使用目的

先に述べたように、「KEK-NIFSライン」はCOACKの研究開発に使用する。具体的な使用目的としては、下記を考えている。

① COACKを構成するコンポーネントの次世代型ネットワーク分散
② グローバルオペレーション
③ リアルタイム・大量データ転送の実用化研究

①は、COACKの特徴でもあるコンポーネント分散がネットワークを通じても行える事を試験するためのものである。研究所を超えてコンポーネントの分散を行う際の最適分散方式を模索する事を目的に実験を行う。②は、遠隔制御の可能性について調べるためのものである。加速器等の大型実験装置を、COACKを用いて遠隔操作するための実験を行う。③は、高速ネットワークの特長を生かし、大量データ転送をCOACKで使用するための実用化研究を行う事を目的としている。

この他にも、リアルタイムで研究所間の運用支援・協力を行うことにもこのラインを使用する予定である。

4. 導入と現状

このラインを導入するまでには、申請から実際に使用するまでに1年以上の時間がかかっている。この間の経過とKEK、NIFSでの現状を示す。

4.1 導入までの流れ

2000年12月にSuper SINETの計画を聞き、同時に研究機関相互接続の1ギガビットの直接ラインを申請可能な事を知った。個人的に直接接続のラインをCOACKプロジェクトに使用可能ではないかと思い、関係者との協議を開始した。年が明け、2001年1月にはCOACKで使用する事を目的に「KEK-NIFSライン」、「KEK-東北大核理研ライン」の申請をKEKの計算科学センターに対して行った。その後、関係者各位のご理解ご協力が得られ、2001年6月には申請通りに使用可能との正式な回答が得られた。その後、「KEK-NIFSライン」を延長し、「KEK-NIFS-京大ライン」として使用できないかとの問い合わせがあり、COACKメンバーで協議の結果、上記での使用が可能であると判断し、「KEK-NIFSライン」は同時に「KEK-京大ライン」でも使用する事となった。これと時を同じくして、「KEK-東北大核理研ライン」の東北大核理研側は青葉キャンパスまでしかネットワーク接続がされず、東北大の青葉キャンパスから東北大核理研のある三神峯地区までの間をどうするかが問題となった。関係者で話し合いを持った結果、KEK-核理研ラインを断念し、同ラインを物理実験用のラインとして使用する事に変更した。

2001 年 12 月には、KEK、NIFS で各機器の設置作業が行われ、2002 年 1 月 Super SINET 自体の運用が始まると同時に、NIFS 側では「KEK-NIFS ライン」の運用を開始できる状態となった。2002 年 2 月には KEK 内での整備も整い、KEK と NIFS の間での接続確認も完了し、試験運用を開始した。

4.2 現状

「KEK-NIFS ライン」は 4.1 にあるように、実質的に本年 2 月より使用を開始しはじめた所である。KEK 側・NIFS 側では、その接続方法も異なっている。ここでは、其々についての現状について説明する。

4.2.1 KEK サイド

KEK の所内 LAN は、研究所もしくは研究系毎にクラスターが作成されて使用している。本年度、所内 LAN 自体が ATM·FDDI をバックボーンとしたネットワークからギガビット・イーサーネットをバックボーンとしたネットワークに変更され、VLAN を使用して所内のどの場所でも、必要なクラスターを使用する事が可能となった。

KEK で「KEK-NIFS ライン」を使用するのは、COACK プロジェクトのメンバーであり、各々のメンバーは、各自の作業に都合の良い建物で COACK に関する研究開発を行っている。従って、このラインを有効利用するために KEK 内の様々な場所でこのラインを使用可能にする必要があった。この解決策として、新たにこのラインで使用するクラスターを計算科学センターで作成していただき、KEK 内であれば何処でもこのラインを使用可能としている。この時、KEK 側機器(PC)は 1000Base-T での接続を基本として「KEK-NIFS ライン」を使用しているが、100Base-TX や 10Base-T での接続も可能となっている。

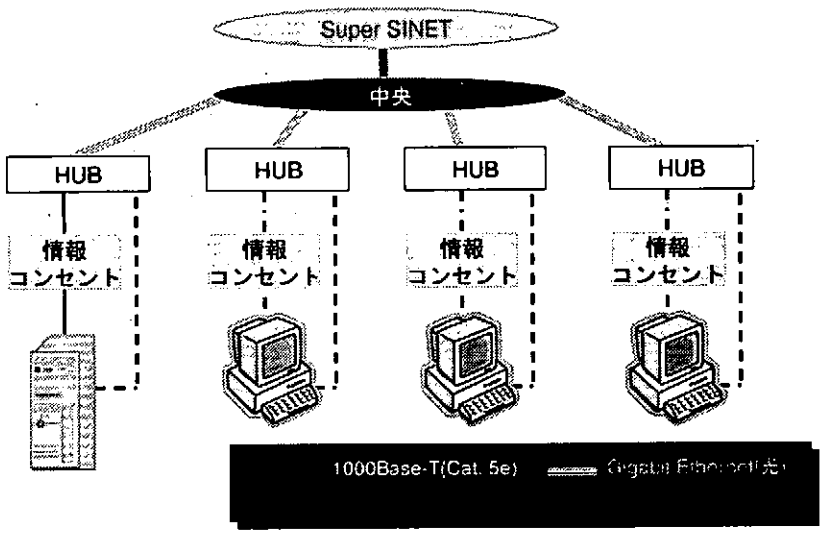


図 2： KEK サイドのイメージ図

4.2.2 NIFS サイド

NIFS では、図 3 で示した通り、「KEK-NIFS ライン」で使用するスイッチング HUB を制御棟にある実験室に置いている。この HUB と NIFS の Super SINET 機器が設置してある Super SINET ノード室とは、NIFS に既設されていた光ケーブルによって接続されている。

「KEK-NIFS ライン」は、制御棟に設置された HUB のポー

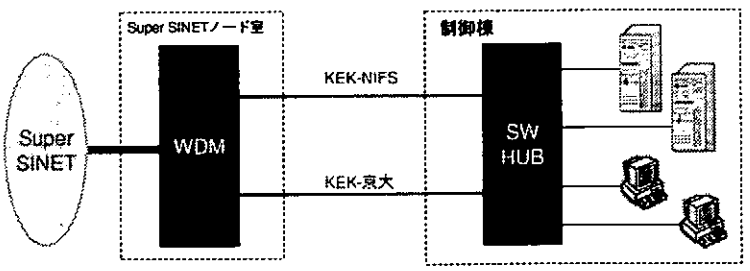


図 3： NIFS サイドのイメージ図

トを直接使用することで使用可能となり、「KEK-京大ライン」は、HUB で折り返して KEK と京大の間を接続している。NIFS 側 PC は、1000Base-SX で HUB と接続されており、HUB のポートには KEK サイドと同じ VLAN 設定がされている。IP アドレスは、NIFS 側機器(PC)も KEK 側で用意したものを使用している。IP アドレスについては、「HEPnet-J」と呼ばれる日本版の高エネルギー物理学用のネットワークと同様の扱い方である。

4.2.3 不具合点

2002 年 3 月 5 日現在で、「KEK-NIFS ライン」にはパケットロスと CRC エラーが数%起こっていることが確認されている。これらの事が起こると、転送性能が大きく低下するとの事であるので、本格的な運用や速度試験等は回復を待っている状況である。

5. 今後の予定

上述 4.2.3 で起こっているエラーを解消すべく、NIFS 側で対策を講じている最中である。具体的にはパケットロス、CRC エラーが NIFS 内の建物間接続に使用している光ケーブルに原因があると推測されており、この接続方式を変更し改善を図る。この作業が終了次第、もう一度ロスの測定を行うことが予定されており、この測定終了後に「KEK-NIFS ライン」を 3 章で述べた使用目的に沿った形で、本格的に稼動させる予定である。

また、「KEK-東北大核理研ライン」を断念したが、KEK を中継とした「NIFS-東北大核理研ライン」での実験も COACK プロジェクトにとって意味あるものと考えている。そこで、物理実験の行われていない期間に、核理研で COACK に使用している PC を青葉キャンパスに移動して、短期間での実験が出来ないかが検討されている。

6. まとめ

今回、「KEK-NIFS ライン」が運用開始できるようになり、KEK と NIFS の間のネットワーク環境が飛躍的に向上した。これにより COACK の新しい運用と開発に更なる発展が期待できる状況となっている。

7. 謝辞

「KEK-NIFS ライン」の実現には、KEK 側の渡瀬 計算科学センター長、苅田助教授をはじめとした同センターネットワークグループの皆様、NIFS 側の津田教授をはじめ NIFS 計算機センターの皆様のご理解とご努力のもとに、国立情報学研究所との折衝などを行っていただいた。この場をお借りして、関係者各位に感謝の意を表させていただきます。

< 参考文献 >

[1] http://www.nii.ac.jp/brief/s-sinet-hodo.pdf (“スーパーSINET 記者会見プレスリリース資料”)

[2] I. Abe, et al., “Recent status on COACK project”, PCaPAC2000, Hamburg, 2000

[3] 阿部勇、他、 “大学･研究所間共同開発プロジェクト COACK”、 本技術研究会

[4] 小菅隆、他、 “計測･制御用簡易メッセージ配信システムの開発”、 平成 12 年度東北大学技術研究会報告(2001)、 P220

[5] 小菅隆、他、 “Non-Windows システム用 COACK インターフェース”、 本技術研究会

実験装置の制御システムにおけるネットワーク対応型ディバイスレイヤの開発

東北大学大学院 理学研究科附属原子核理学研究施設
○武藤正勝、柴崎義信、七尾晶士
COACK 開発チーム

1. はじめに

加速器のような大型実験装置の制御ソフトウェアの構成は、一般的に次の3層から成る。

（1） 実験装置の運転・監視する最上位のヒューマン・インターフェース・レイヤ。
（2） 実験装置を構成する電源、RF、真空などの機器を制御し、モニタからデータを収集する最下位のディバイス・コントロール・レイヤ。
（3） 上記2つのレイヤ間で制御の中枢的役割をするミドル・レイヤ。

ヒューマン・インターフェース・レイヤとミドル・レイヤに関しては、ソフトウェアのコンポーネント化あるいは標準化が、国内外の研究機関からいくつか提案され、一部は実用化されている。また、GUIのためのコンポーネントも既に市販されている。一方、ディバイス・コントロール・レイヤについては、実験装置によって構成する機器の種類、取り扱うデータの種類や量、制御方式が異なるため、これまでは実験装置ごとに制御プログラムが作られることが多かった。そこで、我々はディバイス・コントロール・レイヤの汎用化について新しい試みを提案し、そのモデルの開発を進めてきた。今回はこのディバイス・コントロール・レイヤ・モデルの概要と開発状況について報告する。

2. 開発の背景と目的

図1に一般的な3層構造の制御ソフトウェアの構成を示す。ヒューマン・インターフェース・レイヤでは、National Instruments の ComponentWorks や、LabVIEW の GUI コンポーネントを使ってオペレーションコンソールが容易に構築できる。ミドル・レイヤでは、実験装置の制御機能を汎用化した COACK(Component wear Oriented Advanced Control Kernel)[1]が開発され、主に加速器制御の分野で使用例がある。また、データベースをミドル・レイヤの中心に据えて拡張性、柔軟性を高めた加速器制御システムの例[2]もある。

ディバイス・コントロール・レイヤの主な役割は、実験装置を構成する機器を上位レイヤの指示に従って制御すること、機器の動作状態を監視してその結果を上位レイヤへ通知することである。実験装置を構成している電源やモニタを直接制御するディバイスとして PLC(Programmable Logical Controller)や、GPIB 対応の計測機器などが一般的に使われるが、それらはメーカによってディバイス・ドライバや制御コマンドが異なり、制御方法も実験装置によってまちまちなことから、ディバイス・コントロール・レイヤの汎用化は難しいものと思われていた。

今回のディバイス・コントロール・レイヤを開発した目的は以下ようなことからである。

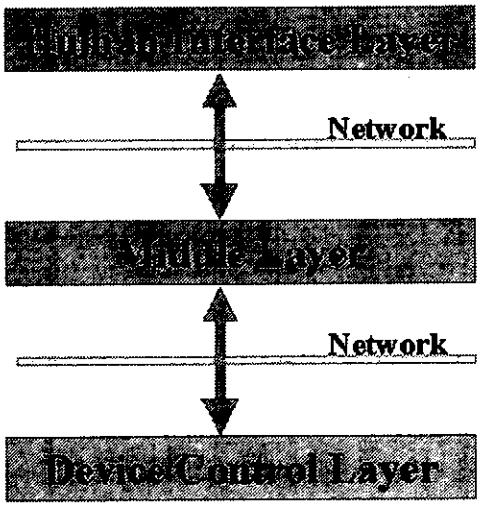


図1． 3層構造の制御システムの例。

・ 開発負担の軽減化

プログラムは他大学・研究機関でも使えるように汎用化を図った。また、大型実験装置でディバイス・コントロール・レイヤにコンピュータを複数使用して制御を分散化する場合には、それらのコンピュータで同じプログラムが使用できるようにした。

・ 拡張性の向上

汎用化を実現する方法として、制御対象となる機器の構成や、制御方法を表すのにデータ記述言語である XML(eXtensible Markup Language) を使い、XML データをもとにしてディバイス・コントロール・レイヤが構築されるようにした。これによって、機器構成に変更があってもプログラムに手を加えずに XML データを書き換えるだけで対応することができる。

・ 2層構造型制御システムへの対応

先の述べたように、実験装置の制御システムの構成は3層構造が一般的であるが、コンピュータの性能の向上によって、特に小規模システムではミドル・レイヤを必要としないケースもある。こうした要求にも応じられ、またインターネット上のどこからでも実験装置の制御や動作状態の監視ができる WAN 対応型システムも構築できるようにした。

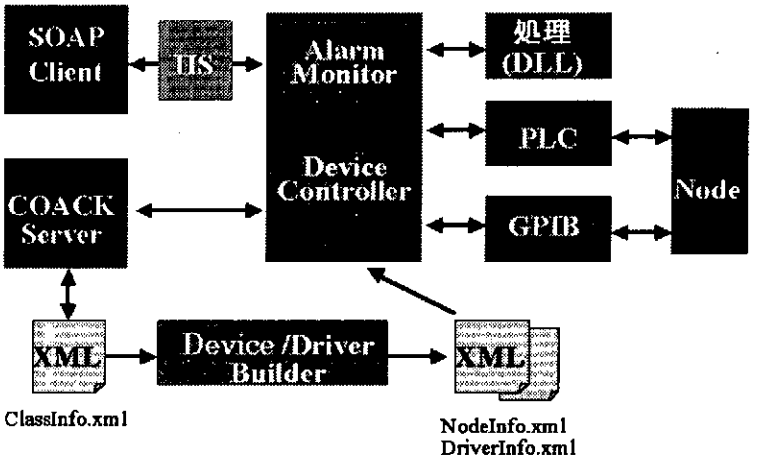


図2．ディバイス・コントロール・レイヤのブロックダイヤグラム。

3. 構成

ディバイス・コントロール・レイヤのブロックダイヤグラムを図2に示す。レイヤはディバイスを直接制御するディバイス・コントローラと、機器構成や制御情報を記述している XML データを編集するためのディバイス／ドライバ・ビルダで構成される。ミドル・レイヤの COACK との通信には DCOM(Distributed Component Object Model)を使い、2層構造型制御システムでのヒューマン・インターフェース・レイヤとの通信には SOAP(Simple Object Access Protocol)が使われる。このディバイス・コントロール・レイヤは Windows 2000 のコンピュータで動作する。

3.1 ディバイス／ドライバ・ビルダ

XML は単純なテキストデータに比べて、要素と要素のタグや属性を指定してデータ内容を記述するので、データの意味を明確に表すことができる。ここには制御対象の機器構成を記述した NodeInfo.xml を生成・編集するディバイス・ビルダと、ディバイス・ドライバの制御情報に関する DriverInfo.xml を生成・編集するドライバ・ビルダがある。これら2つのビルダは、ミドル・レイヤの COACK で使われている実験装置全体の機器構成を記述した ClassInfo.xml をもとにして生成・編集がおこなわれる。ミドル・レイヤに COACK を使わな

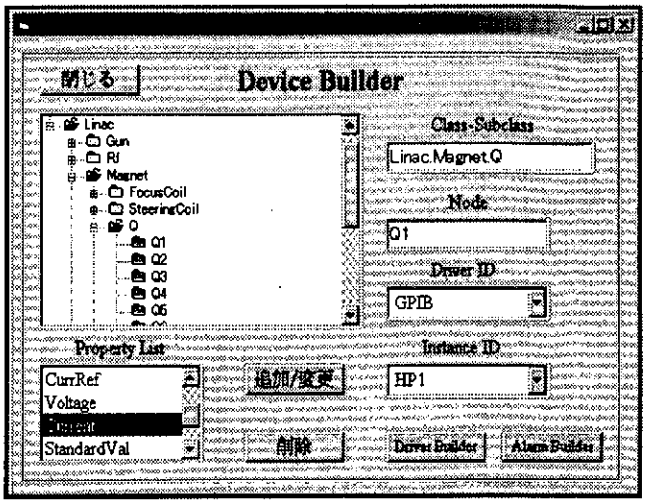


図3．ディバイス・ビルダの表示画面。

いシステムのために、MS-Excel を使って ClassInfo.xml を構築するツールも用意してある。図3はディバイス・ビルダの表示画面で、ClassInfo.xml を読み込んで表示される機器構成リストからこのコンピュータが制御する機器を選択し、その機器の制御対象となるプロパティとドライバとの関係付けをおこなう。図4は Device Builder で作られた NodeInfo.xml の内容である。また、ドライバ・ビルダの画面では制御コマンドなどの制御に必要な情報を入力する。図5はドライバ・ビルダで作られた DriverInfo.xml の内容である。

```
<?xml version="1.0" encoding="Shift_JIS"?>
<!DOCTYPE NodeInfo (View Source for full doctype...)>
- <NodeInfo>
 - <Device DeviceID="Linac">
  - <Device DeviceID="Magnet">
   - <Device DeviceID="Q">
    - <NodeDef NodeID="Q1">
      <Property PropertyID="HvOnOff" DriverID="GPIB" InstanceID="HP1"/>
      <Property PropertyID="Voltage" DriverID="GPIB" InstanceID="HP1"/>
      <Property PropertyID="CurrRef" DriverID="GPIB" InstanceID="HP1"/>
      <Property PropertyID="VoltRef" DriverID="GPIB" InstanceID="HP1"/>
      <Property PropertyID="Current" DriverID="GPIB" InstanceID="HP1"/>
      <Property PropertyID="Status" DriverID="GPIB" InstanceID="HP1"/>
     </NodeDef>
    - <NodeDef NodeID="Q2">
      <Property PropertyID="CurrRef" DriverID="PLC" InstanceID="YEW1"/>
      <Property PropertyID="VoltRef" DriverID="PLC" InstanceID="YEW1"/>
      <Property PropertyID="HvOnOff" DriverID="Program" InstanceID="program1"/>
      <Property PropertyID="Current" DriverID="PLC" InstanceID="YEW1"/>
      <Property PropertyID="Status" DriverID="PLC" InstanceID="YEW1"/>
     </NodeDef>
    </Device>
   </Device>
  </Device>
 </NodeInfo>
```

図4．制御対象を記述した NodeInfo.xml の内容(例)。

```
<?xml version="1.0" encoding="Shift_JIS"?>
<!DOCTYPE DriverInfo (View Source for full doctype...)>
- <DriverInfo>
 - <Driver DriverID="GPIB">
  - <InstanceDef InstanceID="HP1">
    <Interface BoadNO="0" Address="1"/>
    <Initialyze Command=""/>
    <Property PropertyID="DeqCurr" Mode="Read" Command="MEAS:CUR?"/>
    <Property PropertyID="CurrRef" Mode="Write" Command="CURR **.**"/>
    <Property PropertyID="VoltRef" Mode="Write" Command="VOLT **.**"/>
    <Property PropertyID="HvOnOff" Mode="Write" PropertyValue="On" Command="OUTP ON"/>
    <Property PropertyID="HvOnOff" Mode="Write" PropertyValue="Off" Command="OUTP OFF"/>
    <Property PropertyID="Current" Mode="Read" Command="MEAS:CUR?"/>
    <Property PropertyID="Status" Mode="Read" Command="STS?"/>
   </InstanceDef>
  - <InstanceDef InstanceID="HP2">
    <Interface BoadNO="0" Address="2"/>
    <Initialyze Command=""/>
    <Property PropertyID="Current" Mode="Read" Command="MEAS:CUR?"/>
   </InstanceDef>
  </Driver>
- <Driver DriverID="PLC">
  - <InstanceDef InstanceID="YEW1">
    <Interface Address="130.34.61.123"/>
    <Initialyze Command=""/>
    <Property PropertyID="CurrRef" Mode="Write" TagName="CurrRef" RelyNo="D00001"/>
    <Property PropertyID="VoltRef" Mode="Write" TagName="VoltRef" elyNo="D00002"/>
    <Property PropertyID="Current" Mode="Read" TagName="Current" RelyNo="D0003"/>
    <Property PropertyID="Status" Mode="Read" TagName="Status" RelyNo="D0004"/>
   </InstanceDef>
  </Driver>
 </DriverInfo>
```

図5．ディバイス・ドライバの制御情報を記述した DriverInfo.xml の内容(例)。

3.2 ディバイス・コントローラ

ディバイス・コントローラはディバイス・コントロール・レイヤのカーネルとして機能する。ディバイス・コントローラの立ち上げ時に NodeInfo.xml 及び DriverInfo.xml を読み込み、制御する

ディバイス毎にドライバ(クラス)からインスタンス(オブジェクト)を生成させて初期化をおこなう。その後ミドル・レイヤとセッションを張り、ミドル・レイヤからのコマンド待ちの状態になる。ミドル・レイヤから送られてきた制御コマンドは内容が解読され、該当するドライバ・オブジェクトにコマンド内容が伝えられる。ディバイスの動作状態はディバイス・コントローラが常にモニタし、状態に変化があった場合にはその変化内容がミドル・レイヤへ伝えられる。この他に、ディバイスの動作監視から、動作が指定範囲から外れた場合にアラームを発生するアラーム・モニタ機能も付加する予定である。

ディバイス・ドライバとして、PLC については Robotics Ware の FA-Engine、GPIB には ComponentWorks にある ActiveX コントロールを使っている。PLC 及び GPIB 測定器は一般的に使われているものは利用することができる。

3.3 SOAP サーバ

DCOM はファイアウォールを越えてコンピュータ間のコミュニケーションができないので、COACK を使った制御システムは LAN 内での応用に限定される。SOAP は XML をベースとした WAN 対応のプロトコルである。ディバイス・コントローラに SOAP サーバの機能を付加して、インターネット上の SOAP クライアントとディバイス・コントローラがコミュニケーションできるようにした。両者の通信はディバイス・コントローラ側の IIS(Internet Information Service)経由でおこなわれ、受け取った制御コマンドはディバイス・コントローラ内で COACK からのコマンドと同様に処理され、その処理結果は SOAP クライアントに送られる。これによって小規模の実験装置ではミドル・レイヤを使わいで制御・監視システムの構築が可能となる。また、COACK を使った実験装置でも、COACK の動作と並行してインターネットから直接機器の動作監視ができる。

4. まとめと今後の展開

汎用化ディバイス・コントロール・レイヤの開発作業はほぼ順調に進んでいる。機器の構成内容と制御・監視手順を XML で記述したことで、機器構成や制御手順を変更しても制御プログラムを変えることなく XML 記述ファイルの修正だけで対応できることから、柔軟性、拡張性が高まった。また、SOAP の利用によって、どこからでも実験装置の制御や動作が監視できるので、システムの規模と内容に応じた多様な利用が可能となり、応用範囲の広がりが期待できる。

今後は以下のような機能を付加して、幅広く応用に対応できるよう充実をはかる予定でいる。

- アラーム・モニタの機能をディバイス・コントローラに加える。
- センサとの組み合わせでフィードバック制御もこのディバイス・コントロール・レイヤで実現する。制御アルゴリズムを実行するプログラム（DLL）をダイナミックに組み込めるようにする。
- 外部のデータベースとの密結合をはかり、システムの柔軟性を更に向上させる。

参考文献

[1] 阿部勇　他　“大学研究所間開発プロジェクト COACK”　平成 13 年度核融合科学研究所技術研究会

[2] M.Mutoh, et al. "Improvements in Database system for Accelerator Control" Proceedings of International Conference on Accelerator and Large Experimental Physics Control System, Beijing, China 1997

名古屋大学工学研究科における排水監視の自動化

名古屋大学 工学部・工学研究科 技術部
○増田俊雄、 佐々木敏幸

1．はじめに

名古屋大学東山キャンパスの実験系建物からの実験排水は、構内43ヶ所（工学部関係分は16ヶ所）の水質モニタ槽を経て名古屋市公共下水道に流している。モニタ槽には水質監視のためにpH測定装置を常設し、測定されたpH値は各々の建物内のモニタ盤により常時表示されている。異常発生時は、警報信号のみが構内通信回線により学内の廃棄物処理施設の集中監視盤に送られ、所定の処置が行われる。また、各モニタ槽のpH値の記録は、毎日1回定時刻に人力により行ってきた。

今回工学研究科では、この記録と警報監視作業の省力化を図るため、pH値も廃棄物処理施設へ送信、集中化し、現システムの機能を残しつつ、pH値の常時自動記録・グラフの作成・Webによる遠隔モニタおよび異常時の管理者への自動通報など、モニタシステムの改良を行ったので報告する。

当初の目的である監視、記録の省力化の他に、時系列データが取得出来る様になった事により、現在技術部が行っているpHセンサの保守業務上有用な知見が得られることも期待されている。

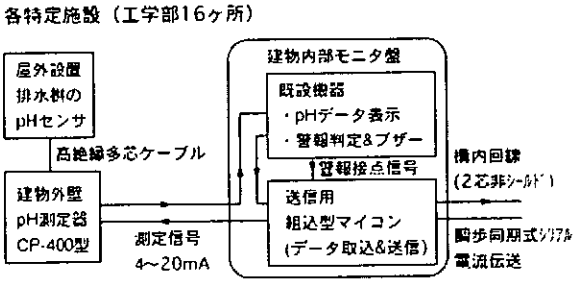
2．システム概要

工学部関係分16ヶ所の各pHセンサの信号は、建物外壁に設置されたph計回路にて4～20mAの直流電流信号(IEC902規格）に変換され、建物内設置のモニタ盤に送られる。モニタ盤では、ph値をデジタルパネルメータで表示すると共に、ph値が基準内であるかどうかの判別を行う。基準値を越えた場合（ph値が30秒間継続して5.0以下または9.0以上の場合）には、警報ランプが点灯し1分間警告ブザーが鳴動するとともに警報用自己保持リレーが作動する。このリレーの接点信号は、廃棄物処理施設実験棟に送られ集中監視盤内の自己保持リレーがONとなる。これにより、集中監視盤の当該特定施設の警報ランプが点灯し、警報ブザーが鳴動する。

今回の改良では、工学部関係分16ヶ所の特定施設モニタ盤内に、pHデータの取得と送信のための回路および所要電源を加えた。

各建物側モニタ盤と廃棄物処理施設側とのデータ転送には、費用・作成の容易さを勘案し、これまで警報接点信号を送っていた構内電話用回線をそのまま利用する電流ループのシリアル通信方式を採用した。また、信号処理の主要部は、チップマイクロコンピュータを搭載したボードを使用した。廃棄物処理施設側では、同じマイコンボードにより集信した信号を、従前通りに機能させる集中警報表示盤につなぐと共に、記録用パソコンに送る。パソコンでは、データの収集・記録等とpH値監視専用WEBページの作成、警報発生時の管理者への電子メールによる通報などを自動的に行う。

3．特定施設モニタ盤内の付加回路と制御ソフト



pH値表示や警報ランプ点灯など、既設置のモニタ盤のこれまでの機能は全て残し、データ伝送に必要な回路を設置した。システム変更に対する柔軟な対応や、部品点数を削減し障害時の速やかな処置が行えるよう、CPU、Memory、A/D & D/A変換器、通信回路等が一つのチップに収まっているシングルチップマイクロコンピュータ（以後CPUと表記する）を使用した。CPUには、価格と仕様から日立製H8/3048Fを選択し、これを搭載したイエローソフト社製CPUボードYH48-1を使用した。また制御用ソフト開発には、同社製デバッグボードとANSI-Cコンパイラを使用した。

CPUへの入力信号は、

1．測定されたpHデータ（CPU入力端子番号：A/D PortのAD0）
pH0～pH14に比例した4～20mAの電流を1～5Vの電圧に変換後、10bit（1024）のA/D変換を行う。

2．警報信号（マイコン入力端子番号：Port4の5bit目）
これまで異常時に廃棄物処理施設集中監視盤に送信していた、モニタ盤内のデジタルパネルメータからの

警報信号（リレー接点信号～集中監視盤側側で、従来の警報機能の残すために使用）

3．施設別のデータ識別用 ID 番号

集信（廃液処理施設）側で正確なデータ受信を行うために、施設毎にデジタルおよびアナログ値両方の識別番号を設け、識別信号とした。尚、アナログ値は A/D 変換器の動作チェックにも利用できる。

・デジタル信号：基板上の DIP スイッチにて設定（２進法）　CPU 入力端子番号：Port4 の 0 ～ 3bit 目

・アナログ信号：基板上のトリマ抵抗で電圧を設定　CPU 入力端子番号：A/D Port の AD1

以上である。これらの信号は、順次CPUのプログラムで処理した後、TXD端子よりEIA574規格（非同期式シリアル通信規格）準拠の信号に変換される。長距離伝送の信頼性の観点から、シリアルの速度は2400bpsと低めに抑えた。CPUのTXD端子と構内回線の接続は、ノイズ除去および連鎖故障排除のため、フォトカプラによる光結合とし電気的に遮断した。また線路抵抗の影響を避けるため定電流ループとした。この定電流回路は、３端子レギュレータ 78M05 と分圧抵抗による簡易回路とした。

送信側 CPU による処理の概略を以下に示す。

0．リセット後の初期化（Power ON 直後 または Watch-Dog-Timer 経由）
　各種レジスタ設定 （入出力モード・通信速度等）

1．Analog ID 入力：　A/D 変換入力選択　10bit A/D 変換　5bit ずつ 2byte に分轄

2．pH 値 入力：　A/D 変換入力選択　10bit A/D 変換　5bit ずつ 2byte に分轄

3．digital (1byte) 入力：　入力ポート選択　　ID 設定 SW データと警報接点 1byte 読取り

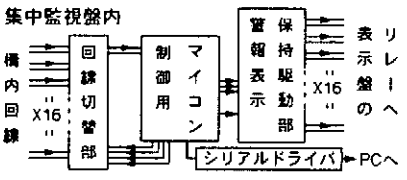
4．シリアルデータ送信(計 6byte)：
　(1) 区切り符号(0x7a)　(2) Analog ID 上位 byte　(3) Analog ID 下位 byte　(4) pH データ 上位 byte
　(5) pH データ 下位 byte　(6) ID SW (第 0 ～ 3 bit) と 警報接点状態(第 5 bit)

5．ループ：　1．に戻る ...

なお、試験運転開始数週間後の昨年８月に、落雷の誘導により、１特定施設においてモニタ盤内の CPU 基板他が破損した。対策としてサージアブソーバ素子を各通信線間に挿入した。その後大きな雷を経験していないため、その効果はまだ確認できていない。

4．廃棄物処理施設集中監視盤の付加回路

集信側の回路とは、データの切替受信部・パソコン側シリアルインターフェース・既存の警報表示盤との接続用リレー回路、およびそれらを制御する送信側と同様のマイコン部で構成した。



各特定施設から送られてくるデータは、回線からの絶縁を兼ねたフォトカプラ経由で切り替え回路に入り、CPU経由でパソコンに中継される。また、各施設のデジタルパネルメータからの警報信号が検出された場合は、ID部を照合し、従前通り既存の集中監視盤の警報ランプおよびブザーを作動させる。

全ての仕事をパソコンと I/O ボードで賄う事も考えたが、既設の集中監視盤との配線の煩雑さなどの点で、一旦前述のマイコンで受信した後、シリアルポート経由でパソコンに配信し、パソコン側ではデータの記録・閲覧等をのみを行わせる様にした。

集信側 CPU による処理の概略を以下に示す。

0．リセット後の初期化　(Power ON 直後 または Watch-Dog-Timer 経由）：
　各種レジスタ設定　データセレクタ番号初期化(0= 最初のモニタ槽)

1．データセレクタ切換　(データセレクタ番号が最大値(15)を 超えていたら 0 に)

2．データ受信ループ：
　5 byte 以上受信し 区切り符号(0x7a)が来るまで 順次保存しながら待機
　10byte 分以上の時間の無信号時はあきらめて 4．へ 飛ぶ

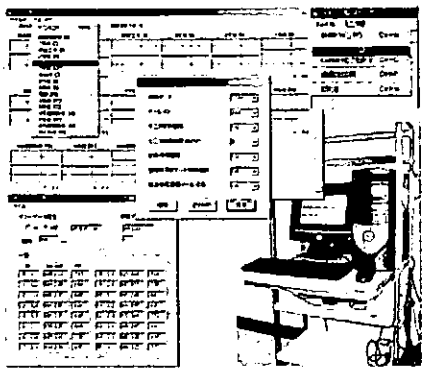
3．各データ取り出し：
　digital 部下位 4bit で ID 取り出し(0 ～ 15 !)
　アナログデータ用 4byte は第 6bit を Set (PC 向け送信時制御コード領域から外すため)
　digital 部第 6bit で 警報接点状態取出し　On なら対応する集中表示盤用接点閉　Off なら 開

4．ＰＣに中継データ送信：

ID(下 4bit) と 警報接点(第 7bit)(第 6bit は常時 Set)
アナログデータ用 計 4byte(第 6bit はすべて Set)
区切り符号(0x0d)
(取りこぼしを防ぐため) 以上6byteのシーケンスを２回繰り返し
5．ループ： データセレクタ番号を１増加　　１．に戻る...

5．記録用パソコン

Microsoft Visual Basic Ver.6により記録・WEBページ作成・警報メール送信のためのプログラムを作成した。集信側マイコンボードからの信号は、Windows2000搭載のパソコン（Dell社製 Optiplex GX150）にて受信し、このプログラムで処理される。



プログラムの主要モジュールの概略を以下に示す。

Main： 各種定義・大域変数初期化・各種API用宣言　処理開始
Configure： 動作設定初期化　各種設定変更&設定ファイル更新
(設定内容：通信ポート・ログ書き出し間隔・グラフ表示更新間隔・
警報リセットモード・警報メール有無)
Acquire： 通信ポート設定
データ取得（タイマ駆動）
モニタ ID, ID 電圧 , データ長確認
各モニタ毎リングバッファに保存　警報発生監視・キュー管理
Monitor： グラフ&現在の PH 値一覧表示（タイマ駆動）
リングバッファ確認後グラフ化・警報表示　WEB モニタ用 HTML,JPEG ファイル書き出し
各種メニュー&ウィンドウリサイズ処理
MonitorL： 個別モニタのグラフ表示
現在までの 1440 点 9 通常 1 日分・タイマで更新) または、指定のログファイルを読み込み表示
モニタ槽選択&ファイルオープン等メニュー処理
MonitorLB： WEBモニタ用個別モニタのJPEGファイル書き出し　現在までの1440点（通常１日分）
Logging： ログ書き出し（タイマ駆動）
必要に応じ年・月の Directory 作成　リングバッファ確認後最大８点の平均値記録　警報レベル判定
Announce： 警報メール通知（タイマ駆動でキュー監視）　定型メールを各監視担当者に送信

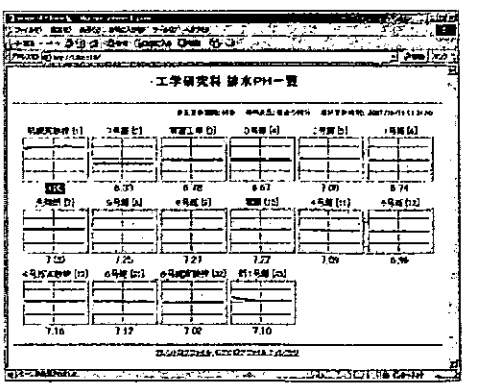
受信と記録

構内回線を使った通信は2400bpsで行っており、16ヶ所のデータは前述の前提で約２秒に１回の割合で取得できる。パソコンでは、これらのデータを連続して読みとり、正常受信ができた連続した８回のデータを平均し、その値を１分に１回の割合でハードディスクにCSV形式で記録している。

現状の設定では、ファイルは、最近１日分のデータ（1440点）用と日替わり用（毎日00:00～23:59のファイル）の２種類有り、前者は新しいデータの入力毎に全てを書き換え、後者は追記保存される。

日付の変わり目毎に、前日を加えたその月のグラフと14時現在（他部局で日１回手記録している時刻）のpH値をＡ４用紙一枚で印刷できる体裁のhtmlファイルが作成される。

データの閲覧



パソコンは学内LANに接続し、WEBサーバ（AN HTTPD）も稼働させている。各所の担当者は各特定施設毎のpHの現在値，警報の状態および最近１時間の変化のグラフをWEBブラウザで見ることができる。特定施設のウインドウをクリックすることで最近２４時間の変動も確認できる。また警報発生後など必要に応じて最近の記録ファイルの取得したり、各施設毎・一ヶ月毎の一覧表も取得できる。

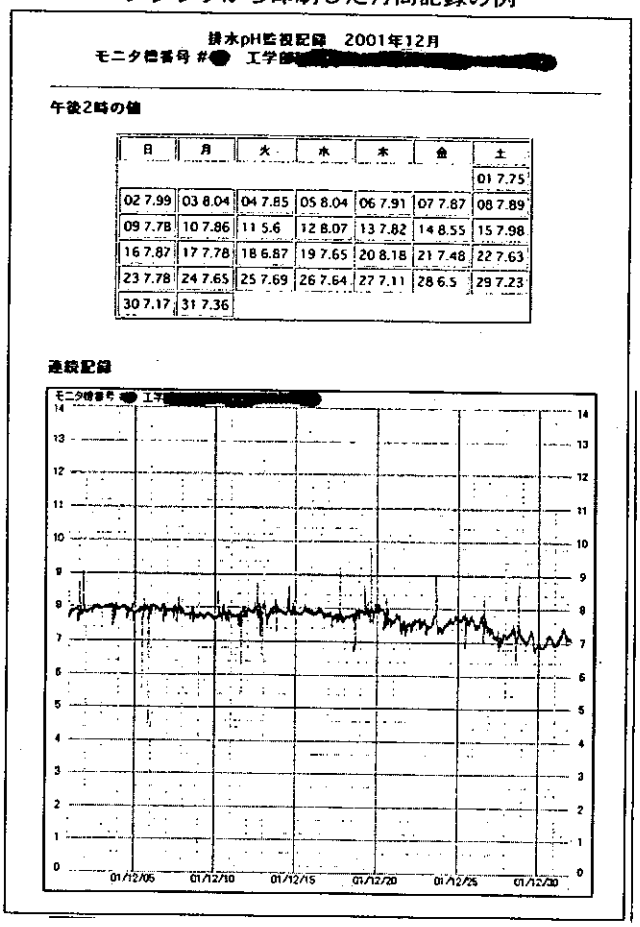
警報発生時の措置

pHの異常値を受信した時には、同じく学内LAN経由で電子メールにより当該特定施設の管理者にその旨を知らせている。（メールでは即時性が無いので、電話回線による自動通報システムを考慮中である。）

その他

・パソコン内の時計の校正：内蔵時計の精度が余り良くないので学内の ntp サーバに同期させている。
・停電対策：無停電電源装置を備え、復電後には必要なソフトはすべて自動起動する。
・リモートメンテナンス：廃棄物処理施設に立ち入れない時が有るため、パソコンのソフトの保守のために VNC サーバを利用している。
昨年７月に試験稼働開始以来の機能追加・バグ修正はこれと ftp によるファイル転送で対応できている。
・定期的な再起動：Windows 上での長期間の連続運転でまれにシステムが不安定になることがあるため、
システム再起動専用の小プログラムを毎月曜日未明に作動させることでこれを回避している。

ブラウザから印刷した月間記録の例


排水pH監視記録　2001年12月
モニタ番号 #● 工学部[redacted]

午後2時の値

日	月	火	水	木	金	土
						01 7.75
02 7.99	03 8.04	04 7.85	05 8.04	06 7.91	07 7.87	08 7.89
09 7.78	10 7.86	11 5.6	12 8.07	13 7.82	14 8.55	15 7.98
16 7.87	17 7.78	18 6.87	19 7.65	20 8.18	21 7.48	22 7.63
23 7.78	24 7.65	25 7.69	26 7.64	27 7.11	28 6.5	29 7.23
30 7.17	31 7.36					

連続記録

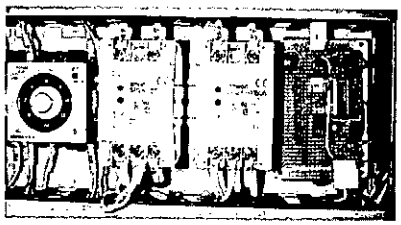
6．まとめ

当初の目的である監視・記録の省力化は達成された。今回のシステム改良で、時系列の細かいデータの蓄積ができることにより、高絶縁が要求されるpHセンサ側配線まわりの絶縁劣化やセンサの汚損状況等の判断材料として、現在技術部で定期的に行っているセンサの洗浄・交換などのメンテナンス作業上有用な情報源となることが期待される。

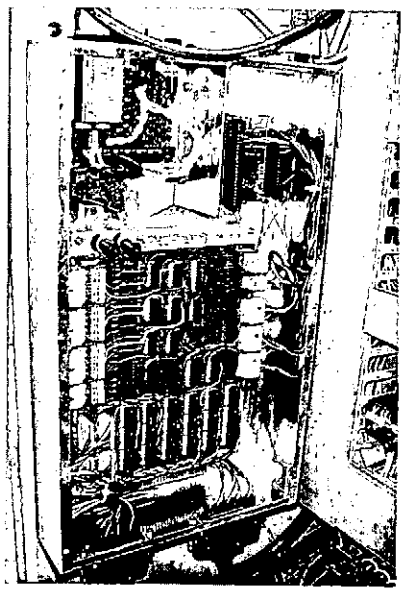
なお今回は、パソコンの OS・プログラム開発環境として Windows & Visual Basic を採用したが、今後同様な連続データ収集システムが要求される時には、システムの安定性の観点からは UNIX 系の OS が良いかもしれない。

謝辞

核融合科学研究所 技術部 計測技術課 山内健治課長ならびに名大 工 技術部 小林勝司技術長の両氏には、データ伝送について有用な助言を頂きました。ありがとうございました。



各特定施設側内付加回路（上）と
集中監視盤内付加回路（下）の様子



関連 URL

AN HTTPD：　http://www.st.rim.or.jp/~nakata/
（Windows95 ～ NT, 2000 用 http サーバのひとつ）
CMAIL WRITER:　http://mikilab.doshisha.ac.jp/~kawasaki/
（メール送信用外部プログラムに使用）
VNC：　http://www.uk.research.att.com/vnc/
（VNS:Virtual Network Computing Windows / MacOS / UNIX 系の混成環境でも、ネット経由で相手デスクトップを操作）
イエローソフト社：　http://www.yellowsoft.com/
（今回使用した CPU ボードと開発システムのメーカ）

国立天文台野辺山太陽電波観測所　新計算機システムの紹介

文部科学省国立天文台　野辺山太陽電波観測所
○ 篠原　徳之、柴崎　清登、横山　央明、下条　圭美

1．はじめに

国立天文台野辺山太陽電波観測所では、1992 年の観測開始以来 10 年間にわたって毎日 8 時間のルーチン観測を休むことなく行っている。観測されたデータは太陽解析の見地からでは地上観測の要となっている。

電波ヘリオグラフ装置により得られるデータは８４台のアンテナで２周波観測を行っているために非常に膨大であり、そのデータ量は１日でCD−R　２枚に保存され今では膨大な量になっている。得られたデータはリアルタイム処理されるため非常に高性能な計算機システムが必要になる。今回の計算機システムの見直しでは実時間処理のスピードアップ、シュミレーション計算のスピードアップ、またデータのアーカイブシステム、データ通信スピードアップに主眼をおき、平成１２年度末に計算機システム全体、構内ＬＡＮの再構築を行ったのでその内容を報告する。

システムのトピックスは、各ユーザが使用する解析端末等にAMD（オートマウントデーモン）を上手く使用し、データ解析がし易くかつ膨大なデータ参照及びその解析環境が簡単に軽く実現できたところである。また基幹ネットーワークにギガビットイーサネット、構内ＬＡＮには１００Ｍビットイーサネットを採用したことによりスムースなデータ移動が可能になり解析処理等のスピードアップが図られた。

2．システム構成

次ページにシステム構成図を示す。次々ページにはネットワーク構成図を示す。

このシステムは中核に SX−5 スーパーコンピュータを置き、周辺マシンとして各々機能を絞ったワークステーションとユーザ端末で構成されている。スーパーコンピュータとワークステーションにはそれぞれ大容量の記憶装置があり相互間はギガビットイーサーネットにより接続されている。

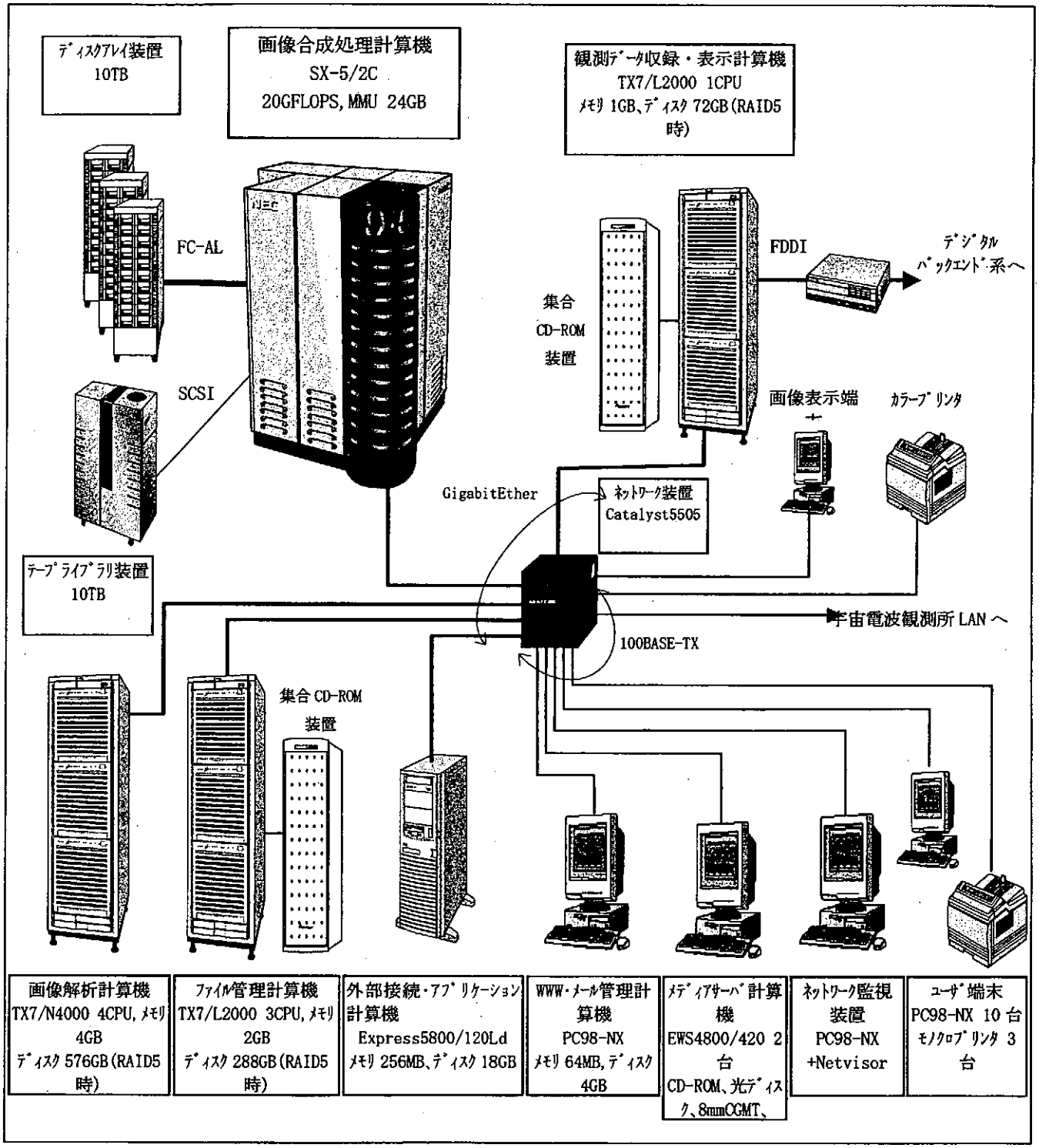
このスーパーコンピュータは最大性能２０GFLOPS を有しており、リアルタイム計算処理に大いに活躍が期待できる性能をもっている。この性能により 84 台のアンテナから得られる電波ヘリオグラフのデータ処理を最小の時間で行うことが可能になった。このことはリアルタイムの太陽電波像を作りいち早く現象を視覚的にとらえることに大きく貢献している。また、スーパーコンピュータによりリアルタイムに計算されたデータを視覚的に画像解析するために配置された周辺ワークステーションも４４０メガヘルツクロックで６４ビット CPU（SPECint95:34.0、SPECfp95:51.4）を 4 台搭載したものが採用され、グラフィックの処理に機能を最大限発揮できるようになっている。他のリアルタイム処理の必要がない画像解析用計算機には同 CPU を 1 台搭載したものを用意し研究者の要望に答えられる画像解析の環境が整っている。

前述したがこれら各々の計算機は大容量記憶装置を装備しており、ギガビットイーサーネットにより接続されている。今回工夫したのはそれぞれの計算機の持つ記憶装置を AMD（オートマウントデーモン）を用いてどの計算機からも同じマウントポイントとして直接アクセスできるようにしたことである。各計算機間のデータ転送も早くなり電波ヘリオグラフで得られる大きなデータ（１データ約１７メガバイト）のやり取りにもストレスなく解析できる環境を作った。

他に工夫した点として機能別に専用計算機を用意した点である。例えば Web 管理・メール管理等セキュリティ上問題がある部分は完全に切り離し単独で動作するように設定した。これにより万が一の侵入等のアタックに対しても万全の体制で太刀打ちができるようなり、仮にウィルス等に感染したとしてもゲートマシンにとどまり被害の拡大化がされない設定になっている。

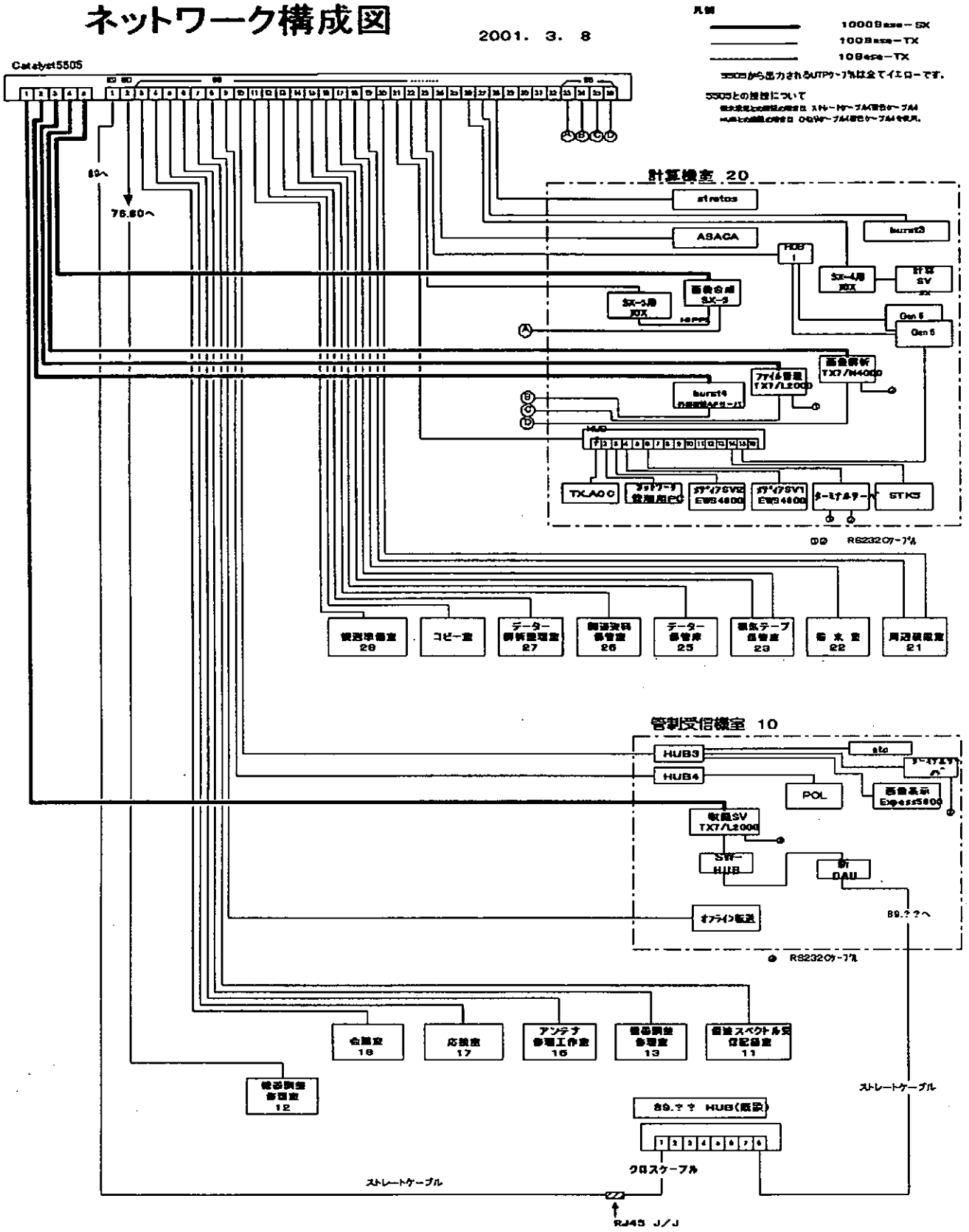
ユーザ端末はワークステーションから PC に変更した。ローカルで計算することがほとんど無くなった現状では X 端末程度の能力で十分である。ユーザは個人の必要性に応じ Linux や Windows を OS にし、主計算機群からは X 端末機能のあるソフトを使い解析等をえる環境を整えた。

システム構成図


ﾃﾞｨｽｸｱﾚｲ装置
10TB
画像合成処理計算機
SX-5/2C
20GFLOPS, MMU 24GB
観測ﾃﾞｰﾀ収録・表示計算機
TX7/L2000 1CPU
ﾒﾓﾘ 1GB、ﾃﾞｨｽｸ 72GB(RAID5時)
FC-AL
SCSI
集合
CD-ROM
装置
FDDI
ﾃﾞｼﾞﾀﾙ
ﾊﾞｯｸｴﾝﾄﾞ系へ
画像表示端
ｶﾗｰﾌﾟﾘﾝﾀ
GigabitEther
ﾈｯﾄﾜｰｸ装置
Catalyst5505
ﾃｰﾌﾟﾗｲﾌﾞﾗﾘ装置
10TB
宇宙電波観測所 LAN へ
100BASE-TX
集合 CD-ROM
装置
画像解析計算機
TX7/N4000 4CPU, ﾒﾓﾘ 4GB
ﾃﾞｨｽｸ 576GB(RAID5時)
ﾌｧｲﾙ管理計算機
TX7/L2000 3CPU, ﾒﾓﾘ 2GB
ﾃﾞｨｽｸ 288GB(RAID5時)
外部接続・ｱﾌﾟﾘｹｰｼｮﾝ計算機
Express5800/120Ld
ﾒﾓﾘ 256MB、ﾃﾞｨｽｸ 18GB
WWW・ﾒｰﾙ管理計算機
PC98-NX
ﾒﾓﾘ 64MB, ﾃﾞｨｽｸ 4GB
ﾒﾃﾞｨｱｻｰﾊﾞ計算機
EWS4800/420 2台
CD-ROM、光ﾃﾞｨｽｸ、8mmCGMT、
ﾈｯﾄﾜｰｸ監視装置
PC98-NX
+Netvisor
ﾕｰｻﾞ端末
PC98-NX 10台
ﾓﾉｸﾛﾌﾟﾘﾝﾀ 3台

ネットワーク構成図

2001. 3. 8



3．まとめ

最近の計算機の動向として最先端の実力を維持しようとすると２年が限界である。今回の全面見直しも前代機導入から２年目で中間見直しを行い４年目で全面見直しを行った。ハード的にはスペースで 1/2 になり使用電力量も半減した。この結果今までバックアップ出来なかった電源設備もバックアップ電源に変更されより信頼性の高いシステムができあがった。１年間の運用結果では途中フリーズや停電の影響もなく保守以外では全く停止することなく非常に安定した運用を続けている。

ソフト面からは、今まで不可能であったリアルタイム的な処理が計算機の性能アップから可能になり、時間変動の早い太陽の情報をいち早く世界中に発信できるまでになった。使用されるソフトウェアも充実され現在は野辺山太陽電波観測所独自の解析プログラム群が出来上がっている。このソフトウェアは太陽電波解析ソフトウェアシリーズとして世界中の太陽研究者に利用されており、このソフトウェアシステムは SSW（Solar Soft　Wear）と呼ばれている太陽解析ソフトウェアシリーズにも登録され利用者は多い。

処理時間の制限が軽くなった現状ではソフトウェアの開発も理想どおりにでき、上記ソフトウェア群の開発も無理なく行うことができるようになった。また特別な技術も必要が無くなったため誰でも普通の知識でソフトウェアの開発が出来るようになり、より使い勝手の良いソフトウェアシステムになってきた。

ハードウェアの見直しによる性能アップ、それに伴うソフトウェアの充実と今回の計算機システムの見直しにより野辺山太陽電波観測所の解析システムは格段に性能がアップした。また安定性の向上によりより信頼の高いシステムが構築できたと思う。

最後に共同作業者である、柴崎　清登氏、横山　央明氏、下条　圭美氏へ設計から立ち上げまでの協力に深く感謝を申しあげる。

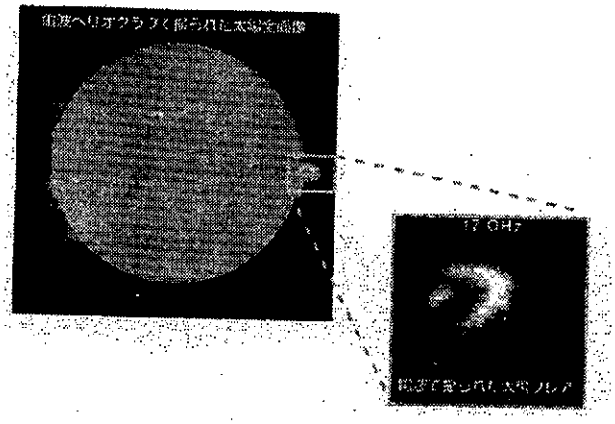
以下は野辺山太陽電波観測所の紹介の一部である。
詳しくは

URL http://solar.nro.nao.ac.jp

をごらんください。

太陽面爆発（太陽フレア）

太陽活動が活発なとき、太陽表面では爆発現象が頻発します。これを我々は太陽フレアと呼んでいます。フレアが発生すると、太陽面上で1千万度以上の温度をもつ物質が生成されたり、電子や陽子が光の速度程度まで加速されます。下の図は、電波ヘリオグラフで撮られたフレアの電波画像で、1千万度の物質の様子が見えています。



野辺山電波ヘリオグラフ



野辺山電波ヘリオグラフは、太陽観測専用の電波望遠鏡です。ヘリオは太陽を、グラフは写真機を意味します。望遠鏡とはいっても実際には、直径80cmのパラボラアンテナ84基が東西490m、南北220mのT字型の線上に配置されたものです。1990年度から2年間で、総工費18億円をかけて建設し、1992年4月に最初の太陽電波画像の撮影に成功し、同年6月末より毎日8時間の連続観測を行っています。

ＯＲＡＣＬＥの業務データベースへの適用

名古屋大学大型計算機センター
○堤　守政

はじめに

名古屋大学大型計算機センターは，大学・短大や高専の研究者を対象に、汎用機やスーパーコンピュータ及びネットワークのサービスを行う全国共同利用機関の一つである。ここで筆者ら技術職員は、基本的な役割の一つとして、利用者登録・管理、計算機利用負担金請求、そして統計処理などの業務システムの開発・保守を行っている。これらの基幹業務は、以前はMVS系汎用機上で実現していた。しかし2000年1月からは、汎用機がUNIXに更新された。このため、当時、本センター研究開発部から提案された計算機運用方針を基に、技術職員が新たに業務システムの主要な設計・開発を行った。このシステムの特徴は、

① 業務で扱うデータはデータベースによって一元管理しデータの独立性と信頼性を確保する
② 担当者はクライアントから各自得意のプログラミング言語や環境でデータをアクセスする

という、いわゆるサーバ・クライアント方式を採用したことである。筆者は当初、①で示したデータベースサーバをWindowsNT上にORACLEを使って作成した。このシステムは、約2年間順調に稼動してきたが、2001年12月からは、より一層の安定性の向上を目指して、UNIX（Solaris8）上に移行した。

今回は、ORACLEを使ったデータベースシステムをセンターの基幹業務に適用した一例を紹介し、業務システム設計時に考慮すべき点や、開発途上で遭遇する問題とその解決方法について、実例を基に述べる。

１．システムの概要

1.1 UNIXサーバ

GP400S ﾓﾃﾞﾙ60

CPU　UltraSPARC-Ⅱ（360MHz）
RAM　1GB
DISC　9GB×2，18GB×2
DLT　DLT7000（35GB／巻）

1.2 UNIXソフトウェア

OS　Solaris8
RDBMS　Oracle8i Enterprise Edition for Sun SPARC Solaris Release8.1.5

1.3 NTサーバ

GRANPOWER5000 ﾓﾃﾞﾙ380

CPU　PentiumⅢ（450MHz）×2
RAM　512MB
DISC　9GB×5，SCSI ｱﾚｲｺﾝﾄﾛｰﾗｶｰﾄﾞ（RAID5，内1台ｽﾀﾝﾊﾞｲﾃﾞｨｽｸ）
DLT　DLT7000（35GB／巻）

1.4 NT ソフトウェア

OS	MS WindowsNT Server Version4.0 (ServicePack6)
RDBMS	Oracle8i Enterprise Edition Release8.1.5
ﾊﾞｯｸｱｯﾌﾟ	Arcserve for WindowsNT J6.5 Single Server Edition

2. 業務内容の整理とツールの選択

大型計算機センターの業務で扱うデータの種類は、大きく分けて2種類に分類できる。一つは計算機の利用者・支払責任者・経理責任者に関連する「登録データ」である。もう一つは、利用者が計算機を使用した結果、履歴として出力される「ジョブ課金・統計用データ」である。

前者の「登録データ」は利用申請書をきっかけとして、センターの事務職員が端末の登録画面から入力し、承認書を発行するという作業が発生する。データ量としては約6千件のオーダである。これらは「登録処理」と「編集・帳票出力」とに整理できる。ORACLE はこの分野の機能が弱いので MS ACCESS を使うことにした。ただし筆者は ACCESS による開発には携わっていない。「参考文献」の田島，奥村の論文を参照されたい。

後者の「ジョブ課金・統計用データ」は、このデータを基にして利用者毎の課金処理や計算機利用統計表を作成する作業を行う。データのオーダとしては1日に約7千件、1年間で２５０万件程度である。毎日発生するこれらのデータをデータベースにロードする処理や日毎のジョブに対する課金、バッチトランザクション処理、そして月初めの課金高の集計等は、関係データベースシステムが最も力を発揮する仕事である。これらは「追加・更新処理」と「検索・集計処理」とにまとめることができる。ただし、課金処理の後工程としての負担金請求書の編集・発行や各種統計表の計算と作成は、ACCESS 又は EXCEL に委ねる。これは前記の「編集・帳票出力」に分類される。

一方、業務システムの重要な機能として、UNIX マシンへのユーザ登録，予実算管理，計算機ジョブ履歴データの CSV 形式への変換，他センターとの登録データの授受，負担金問合せコマンド，mail 用別名の対応，継続処理等々がある。これらも7～8人の技術職員で分担し(Pro*)FORTRAN，Pro*COBOL，perl，sh 等の言語で、各自開発・保守している。

3. 業務データベースシステムに求められる機能

第一に、限られた期限内に開発できるシステムでなければならない。たとえば「8名の技術職員が、約1年の開発でサービスを開始できるツールを選択する」といった条件が入る。第二に、安定して稼動しなければならない。何人かが同時接続しても、高速のレスポンスと信頼できるデータアクセスを実現する必要がある。これらを前提とした上で、現在の業務に必要なデータベースシステム関連の機能を挙げる。ただし、ロールバックやコミット、利用者毎の権限設定、障害回復、インデックスや順序・トリガ、テーブル間の整合性、そして排他制御など、RDBMS として当然備えているべき機能は、ここでは扱わない。

① UNIX マシンがクライアントとしてデータベースサーバに接続可能なこと
　これはサーバが WindowsNT の場合でも UNIX の場合でも必要である。

② クライアント側から ACCESS，VB はもちろん COBOL，FORTRAN を使って接続できること
　技術職員各自が操作可能なプログラム言語を使ってアクセスできる必要がある。

③ 半角ｶﾀｶﾅを含めた日本語データが扱え、自動コード変換機能を備えていること
　氏名や住所は漢字、振り仮名には半角ｶﾀｶﾅを使っている。

④ バッチジョブが組めて、指定日時で自動起動が可能なこと

現在、自動起動はUNIXのクーロン機能を利用している。

⑤ WindowsNTとUNIX間のデータベースの移行がコード変換も含め簡単に行えること

ORACLEではインポートとエクスポートを使えば可能である。

⑥ ストアードプロシージャの呼出し時にパラメータを渡せること

PL/SQLを使った課金処理では、パラメータとして年月を渡している。

⑦ カーソルで抽出した選択集合値を別のカーソルのパラメータとして渡せること

前日計算機を利用した登録番号のリストをパラメータとして、登録番号毎の課金処理を実行するときに必要な機能である。この方法がPL/SQLを使って実現できることは重要である。

⑧ OS側のシェル機能としてファイル名に日付・時刻を組込む機能があること

UNIXの場合シェルで実現できる。WindowsNTの場合はWSHを利用すれば可能であろう。

4．データベースシステム移行時に遭遇した問題と解決方法

使用経験の無いツールを使ってシステムを開発する場合、すべてが思い通りに進むことは少ない。しばしば壁に突き当たる。壁を越せなければ、それまでのシステム作りの努力がすべて無効になるという事態に陥ることもある。以下では、WindowsNTからUNIXに移行するときに筆者の経験した問題とその解決方法を紹介する。

① クライアントとしてのUNIX側からUNIXサーバデータベースへの接続ができない。

ORACLEを使うとき、クライアントがWindowsの場合のUNIXサーバへの接続は問題ない。しかし、クライアントがUNIXのときのUNIXサーバへの接続が、当初できなかった。理由ははっきりしないが、現在は解決している。一つの可能性は、クライアントUNIXマシンの「アドレス解決メソッド」の順番が標準と違っていたことである。これを標準にもどし、更に、クライアントUNIXマシンのtnsnames.oraのネットサービス名をservice_nameと同じにしたら接続できた。

② SJISコードのデータベースからEUCコードの別のデータベースへの移行時にコード変換エラーが発生する。

ORACLEのエクスポート・インポートを使って、SJISコードのWindowsNT上からUNIXのEUCコードに設定したORACLEに移行するときに起きた。原因は半角ｶﾀｶﾅの領域の取り方にあった。SJISコードの半角ｶﾀｶﾅデータ領域に比べEUCコードの場合はシフトコードを考慮して2倍の領域が必要である。

③ UNIX上のデータベースをエクスポート中にOracleのエラーが発生した。そのエラー内容を、エディタを使ってファイルに保存しようとしたところ、UNIXシステムがロックした。

原因は、エクスポートデータの書き出しディスクのパーティション領域が100%に達したからである。これはSEに調査してもらって分かった。

5．業務システム開発・運用の指針

ORACLEデータベースサーバを使った業務システムを開発・運用するにあたって、基本設計として考慮し実施したことの中で、一般にも参考になると考えられる指針を述べる。

① ハードウェアは贅沢にする。

データベースをのせるマシンは複数台用意する。基幹業務を扱う場合、サービス中断はでき

ない。ハード障害は、いつでも起こり得ると考えたほうが無難である。構成はレプリケーションなど色々考えられるが、現在は、単純に WindowsNT マシンを待機させてある。UNIX 側では毎日、エクスポートバックアップを取っているから、WindowsNT にインポートすればよい。普段は開発用・テスト用マシンとしても使用できるので便利である。

メモリを十分大きく取っておけば、チューニング効果がある。ディスクは大容量のものを複数台用意すると、アクセス効率を考えた配置や、リスク分散が可能になる。

② 設計者が先ずやるべきことはデータベーステーブルの内容と関連を定義することである

複数のメンバーで短期開発する場合、インターフェースが定義され、入力と出力そして機能がはっきりすれば、各担当者が独立に開発を進めることができる。

③ 開発にあたっては、できるだけ構成メンバーの特性に合った言語が使える環境をつくる

各自の個性と習得技術を活かして開発期間が短縮できる。

④ マニュアル，参考書はきちんと揃える。サポートには入る。

試行錯誤で開発すると結果的に完成が遅くなる。基本的な約束事はあらかじめ習得しておくほうが効率的である。参考書で全体の構成や仕組みを把握することも大切である。問題が生じたとき、マニュアルを読み直すと、きちんと書いてあることはよくある。ソフトにはバグもある。少なくとも最初はサポートに頼らないと時間を浪費する。

おわりに

クライアント側は ACCESS または（Pro*）FORTRAN，Pro*COBOL を使い、ORACLE をデータベースサーバとした業務システムは、事前に準備期間は半年以上あったが、仕様が確定してからは 1 年数ヶ月という、初めての試みが多いシステムとしては比較的短期の開発期間で順次完成し、現在安定して稼動している。これは各技術職員のプログラミング能力の高さや、ディスククラッシュなどの障害が起きなかったという幸運もあったが、データベースシステムの選択、そしてシステムの作成方針が、少なくとも誤ってはいなかったことを示唆している。そこで、筆者の業務データベースシステム作成と移行の経験から、参考になると考える点を述べた。データベースシステムに係る技術職員諸氏の役に立ててもらえれば幸せである。

最後に、共に業務システムを開発し運用・保守している職場の同僚諸氏に感謝する。

参考文献

[1] 田島嘉則「新利用者登録システムについて」全国共同利用大型計算機センター研究開発論文集 No. 22, 2000

[2] 奥村小百合「ビジネスアプリケーションソフトを用いた業務システムの開発」全国共同利用大型計算機センター研究開発論文集 No. 22, 2000

[3] 堤守政「WindowsNT 上での ORACLE データベースの構築」技術研究会報告 1996 東京分科会

[4] 堤守政「業務システムのデータベース設計と実装」全国共同利用大型計算機センター研究開発論文集 No. 21, 1999

[5] 堤守政「PC サーバ上業務データベースシステムの評価」全国共同利用大型計算機センター研究開発論文集 No. 22, 2000

分析機器予約システムの構築

慶應義塾大学　理工学部中央試験所　○加藤祐一

慶應義塾大学理工学部中央試験所では現在、３つの研究施設と４０余りの分析機器を所有し、学内の研究者に有料で開放している。専任職員２名と嘱託職員３名が常駐し、これらを集中管理、維持するとともに、操作に関する講習や一部の機器についてはオペレートも行っている。

利用者は１日（９：００～１６：００、一部の機器については２０：００まで）を単位とし、事前に予約した上で使用している。

従来、機器利用の予約は装置１台につき１冊のノートと１予約につきＡ４の用紙１枚を使用し手作業で行ってきた。予約～使用～使用時間の集計の流れは以下のようになる。

１．専用のノートに事前にカレンダーを書き込む
２．利用者がノートに所属、氏名等を書き込む
３．職員が「使用記録用紙」に日付、利用する装置を書き込み予約者に渡す
４．毎朝、職員がホワイトボードにその日の予約者を書き出す
５．利用者は使用後使用記録用紙に改めて所属、氏名、使用した時間等を書き込み提出する
６．職員は使用記録用紙を基に手作業で使用時間を集計し、料金を請求する。

上記の方法では

１．職員の不在時には予約ができない。
２．紙の使用量が多い。
３．使用時間の集計（料金の徴収）に関わる作業が煩雑である。
４．予約受付開始時の準備が煩雑である。

等の問題があった。

予約件数は年間３０００件以上にも及ぶため、特に１．に関しては分析作業中や事務処理作業中に手を止めて対応しなければならないため、職員の負担を増加させ作業効率の低下を招いていた。そこで、これらの問題を解決するためパーソナルコンピューター（以下ＰＣ）を利用して予約システムを作り、予約の受付を無人化するとともにデータのデジタル化、紙の使用量の削減を図った。

使用ＯＳは管理が比較的容易で、ネットワークとの相性が良いＭａｃＯＳを、またソフトウェアは同ＯＳ上で動作する代表的なデータベースソフトであるファイルメーカーＰｒｏを選択した。同ソフトはいわゆるカード型データベースで、簡単な言語（スクリプト）でプログラミングができる、単体でＷＥＢサーバーの機能を持つ、ボタンなどのわかりやすいユーザーインターフェースを装備している、などの特徴がある。また、同ソフトは Windows 版も市販されており、後からコンピュータを入れ替える際にも互換性を保つことができる。

データベースの構築にあたっては、マウス操作のみで使用できるよう注意を払った。キーボードからの入力を排することでコンピュータに不慣れな場合でも直感的に使用でき、同時にパスワードによる保護を掛けた場合でもパスワード入力ができず、不正使用を防ぐことができる。

操作の流れは

予約する機種を選択→表示された予約状況を見て予約する日を選択→所属、氏名時間帯を選択→内容を確認して使用記録用紙を印刷

となる。

ファイルメーカーＰｒｏではデータやスクリプトを複数のファイル間でやり取りすることが可能であることから、システムで使用するファイルを２つに分け

１．装置名、日付、その日の予約状況の項目のファイル

２．装置名、日付のほか、利用者の所属や利用する時間帯の項目のファイル

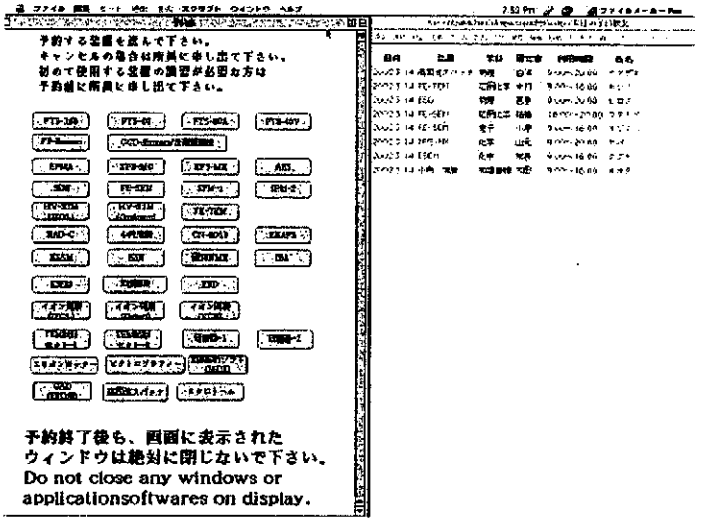
とした。これにより、予約状況を表示する際の検索時間を短縮される。また、月に２回行う受付対象期間の更新時（データ削除を伴う）にも２．の詳細な予約の情報に触れることなく更新が可能になる。両ファイルとも画面に表示されたボタンにスクリプトを割り当て、順を追って画面の指示に従ってボタンをクリックすることで、簡単に入力ができるようレイアウトした。

職員が毎朝手作業で行っていた当日の利用状況の書き出しも、ボタンひとつでＨＴＭＬ書類として保存し、同一画面上にブラウザソフトで表示させることで実現し、大幅に時間を短縮するとともに職員の負担も軽減した。また装置１台に１冊用意していた予約ノートも廃止した。予約の控えと、集計用の記録を兼ねる使用記録用紙は完全に廃止することは難しいが、内容とレイアウトを工夫し、サイズをＡ５にすることで、紙の使用量を半分に抑えることができた。

本システムは２０００年３月より１ヶ月の試験運用を経て、同年４月より本格的に運用を開始した。利用者からは昼休みなどの職員不在時にも予約が出来る、使用記録の内容がわかりやすくなった等、概ね好評を得ている。

また、ここで得られたノウハウをもとに予約制を敷いていない装置の使用記録用、ＲＩ施設への入退室管理用といったコンピュータを設置し、これらを職員が常駐している事務室から遠隔監視するシステムも導入した。

現在は、ネットワーク上への予約状況の開示や、バーコードリーダーを利用して使用時間を直接記録させ、集計作業に利用する方法、一部に残っているノートへの使用記録の廃止などについて検討している。



予約システムの表示画面

表示されたボタンをクリックするだけで入力ができる。

慶應義塾大学理工学部中央試験所ホームページ：
http://www.sfr.st.keio.ac.jp/

技術研究会報告データベース化の検討

岡崎国立共同研究機構　計算科学研究センター、分子科学研究所　電子計算機室　水谷文保

1. はじめに

過去２６年間に２９回の技術研究会が開催され、総数 1992 演題の発表がされてきた[a)]。毎回開催後には、報告書が出版されている。過去技術研究会で開催された「インターネット討論会」において、これらをオンライン検索・閲覧を望む声があった以外に、技術情報のデータベースとしてその重要性を指摘する声は多い。そこで技術研究会報告書のデータベース化を目指した時に存在する課題を整理してみた。また今年度所属機関で既刊誌の PDF 化を行った時の情報を元に、データベース化に必要な労力についても試算してみた。

2. 課題１：著作権

技術研究会は、多機関で持ち回り開催されており、その報告書は、各開催機関によって出版されている。そこに寄稿された論文の著作権の帰属先は明確になっていないのが現状である。これらをデータベースとして一元管理するには、著作権の帰属先問題をまず解決しておかなければならない。考え得る帰属先は、発表者個人、開催機関、技術研究会の３カ所である。一般的には、報告書を出版した開催機関に帰属していると考えるのが自然であるが、著作権の帰属を明言していない以上個人に帰属していると解釈している人も多い。論文をデータベース化する面から考えれば、技術研究会に著作権を帰属し、構築したデータベースそのものの管理運営も技術研究会が行うのが都合が良い。現在「技術研究会運営協議会」という組織は存在しているが、「技術研究会」という組織は存在していない。これは今まで「技術研究会」を組織として意識する必要がなかったためだと思われる。しかし組織として「技術研究会」を認知しなければ、この問題を解決することはできない。さらに技術研究会に著作権を帰属するにあたっては、今までの経緯より組織間の合意とともに個人に対しても合意を取る必要があると思われる。そこでデータベースに向けてのルールについて以下に示す試案を作製した。これを過去に多数回開催してきた高エネ研、核融合研、分子研の技術部課長に提案したところ、了解を頂いた（2001 年４月）。この後は、過去開催機関全部への提案と、寄稿者全員への提案への了解が得られれば問題は解決すると思われるが、全体意志として統一するためには、技術研究会会員という認識が必要となってくることも考えられる。これは発想的には、学会などに近い。技術研究会開催機関がどんどん広まっていることより、運用的に転換期に来ていると思われる。

技術研究会報告の電子化提案より

i. 発表物の著作権の帰属について（著作権が個人や開催機関にあるのでは無く技術研究会にある点）を明確化し、今後の技術研究会開催において要項にその旨を記載する。
ii. 過去の著作物に関しては、開催機関が著作権を有することとして、その著作権を技術研究会に譲渡する。
iii. そのデータベース化等の活用行為に関しては、技術研究会の共有権利とする。
iv. 発表物は、参加機関に参照を限定させることなく、一般に公開する。
v. データベースを発展させるために報告書の作製方法など検討する。
vi. 作製したデータベースの著作権は、技術研究会に帰属させる。

3. 課題２：技術面

電子化された報告書は、過去に平成 10 年度高エネ研で開催された時に作製されたもの [b]、および平成 12 年度東北大学で開催された時に作製されたもの [c]の２点が存在している。それ以外のものについては、既刊誌をイメージスキャンすることで対応するしかない。スキャンされたイメージデータは、取り扱いの便を考えると PDF 化しておくのが良い。今後の発表分については直接 PDF ファイルの回収を可能にすれば、テキスト情報で保管でき、全文内容に対して検索が可能となる。既刊分のイメージ情報しかないものに対しては、分科会名、演題名、発表者名、キーワードなどを収録したテキストデータベースを準備することで検索に対応できると考えている。テキスト情報のファイルに関しても、演題等の基本的な情報がデータベースに別途管理されている方が利用しやすいと考える。従って、論文の PDF 化とは別に、労力的に基本情報のデータベース構築とデータメンテナンスが必要である。さて検索の便を図るために、キーワードは必要な情報であるが、演題名や発表者ほど機械的にデータ抽出ができるものではない。これを補うために現在考えている方法は、当初キーワード情報は無い状態で登録され、その後著者自身または閲覧した利用者がキーワードを登録可能にしておいて、徐々に利便性を向上させる機構を作るというものである。ただしデータベースの質を維持するために、データベース利用時の前提として、ユーザ登録および認証が必要となるであろう。

イメージを OCR でテキスト化することも考えられるが、次項で取り上げる労力を考えると適切とは言えない。発表者個人が過去発表分についてテキスト情報を提供可能ならばイメージ情報と差し替える、という運用も今後検討すべきであろう。

データベースを運用するには、マシン管理など労力および予算が必要となることは明確である。従って予算に裏付けされ組織によって管理されなければ運用は不可能である。運用技術の側面から考えても、それなりの組織必要であることは否定できない。

4. 課題３：労力

既刊紙をデータベース化するには、電子化してファイルにする作業が必要である。この章では、どれだけの労力が必要となるか見積もってみる。

計算科学研究センターでは、毎年「センターレポート」を発行している。３年前からは印刷時に PDF ファイル化（イメージデータ）も行っており、Web で公開している [d]。PDF ファイルが存在しない過去１９年の既刊分について今年度より PDF 化を依頼して現在までに１３号分が終了している。PDF 化する手順は、裁断してページを切り離した後、以下の手順で行われた。

①. 読み取り　各ページをスキャナで取り込みイメージファイル化する
　　読み取り濃度調整も含む
②. 位置合わせ　読み取り時に発生するずれや回転を補正する
③. ゴミ取り　読み取り時に発生するノイズや紙面上の汚れ、裏写りを消す
④. PDF 変換　ファイル変換作業
⑤. リンク作成　掲載先へ移動の便をはかるため目次の項目にリンク処理を行う
⑥. CDROM 化　１冊分ごとに CDROM に記録する

それぞれの作業に要した時間（分）は以下の表のとおりである。

号 数	頁 数	読み取り	位置合わせ	ゴミ取り	PDF変換	リンク作成	CDROM化	分合計	分／頁
No.19	406	520	100	1,170	20	135	10	1,955	4.82
No.18	407	440	105	950	15	115	10	1,635	4.02
No.17	356	335	75	845	25	105	10	1,395	3.92
No.16	352	375	80	775	25	95	10	1,360	3.86
No.15	333	285	100	640	20	100	10	1,155	3.47
No.14	372	395	95	735	20	105	10	1,360	3.66
No.13	410	405	20	495	20	155	10	1,105	2.70
No.12	371	325	95	765	20	115	10	1,330	3.58
No.11	331	340	100	710	20	105	10	1,285	3.88
No.10	319	290	85	930	15	115	10	1,445	4.53
No. 9	315	265	65	795	15	95	10	1,245	3.95
No. 8	297	335	60	1,000	30	80	10	1,515	5.10
No. 7	364	280	60	750	20	105	10	1,225	3.37
合 計	4,633	4,590	1,040	10,560	265	1,425	130	18,010	3.89
比 率		25.5	5.8	58.6	1.5	7.9	0.7	100.0	

上述の作業内容の場合、ゴミ取り作業に半分以上の労力がかかっていることが表より分かる。もしイメージデータからテキスト化をめざしてOCRプログラムによる変換作業を加えるとすると、変換時間はそれほど必要では無いが、必ず発生するエラー（変換ミス）の修正作業と、テキストおよび別途切り出した図や写真などをレイアウトしてページの体裁を整える作業が必要となる。表よりゴミ取り作業は１ページあたり２，３分必要としていることが分かるが、テキスト化には経験上ゴミ取り作業の１０～２０倍という労力が必要である。従って当初よりテキスト化をめざすのは時間・コスト的に困難だと言わざるを得ない。

以上の情報より推測すると、過去発表された約 2000 演題が４ページの論文を掲載していた場合、8000 ページの PDF 化ににはのべ５２０時間が必要なことが分かる。この時間は、一人の技官が片手間に行う作業の範疇を遙かに超えている。従って、それなりの組織づくりを行い多人数で手分けして行うか、もしくは外注に頼る以外に方法は無い。後者の場合、それなりの予算確保が必要なことは言うまでもない。

5. 課題４：継続性

今後開催される分のデータの収録方法が確立していなければ、データベースの存在意味が半減してしまう。そのためには、報告書の形式を決定して開催機関に徹底するか、報告書の発行を技術研究会という組織側で行うようにするしかないと思われる。前者においては、データベースへの登録には、最終的にはデータベース管理組織に委託しなければならないという問題がある。後者の場合、予算的な問題などクリアすべき課題が多い。

6. 課題５：収録範囲

著作権問題が比較的少ないと思われる分子研開催分から徐々にデータベース化していきたいと考えているが、それだけではあまり価値があるとは言えないであろう。少なくとも、今まで開催された２９回分のすべてを収録したいと考えている。ただし、これだけで本当に良いのか、というところが課題である。数年前より開催されている機器分析技術研究会についても対象として考えられる。また岡崎国立共同研究機構の基礎生物学研究所および生理学研究所でも技術研究会を開催してきた歴史があり、それらを対象に組み入れるかも今後検討にあげられるであろう。さらに、全国いたるところで技官を中心とした技術者による様々な研究会が開催されている様なので、それらも検討対象となると思われる。従ってデータベース構築に当たっては、研究会名も情報としておく必要がある。

7. さいごに

過去に開催された「インターネット討論会」では、インターネットが技官間の情報交換の場として利用できることに注目して、「技術情報ネットワーク」構想[e)]を議論してきた。その必然性は誰もが認めるところではあるが、その実現に対してインターネット自身が求心力を持っている訳では無いことが徐々に認識されつつあると思われる。「技術研究会報告データベース」が構築されれば、その利用以外に「技術情報ネットワーク」構築への求心力になりうる予感がある。近い将来、大学・研究所が法人化されることが確実となってきたが、「技術研究会報告データベース」が技術者にいろんな面でプラスとなり、また拠り所にもなりうると思われる。いくつもの課題があるものの、それらを１つづつ解消させて、ぜひデータベース構築を実現させたいと考えている。

さいごに、今回の発表にあたり貴重なデータの提供と公開を快諾して頂いたブラザー印刷株式会社に感謝いたします。以上の私案に対して、意見やアドバイスがありましたら連絡頂ければ幸いです。

参考文献

a) 技術研究会の記録, 核融合科学研究所技術部,
http://etmikan.nifs.ac.jp/kiroku.htm

b) 技術研究会報告, 高エネルギー加速器機構,
http://www-eng.kek.jp/giken/procedng/index.pdf

c) 技術研究会報告, 東北大学,
http://platypus.LNS.tohoku.ac.jp/Program.htm

d) センターレポート, 岡崎国立共同研究機構計算科学研究センター,
http://ccinfo.ims.ac.jp/report

e) 大学および研究所の技術部におけるネットワーク環境とその利用状況について, 伊藤篤, 1999年技術研究会, http://www-eng.kek.jp/giken/procedng/paper/met102.pdf

連絡先

mailto: mizutani@ims.ac.jp

振動を利用した分級装置について

群馬大学工学部
○江原幸蔵

1. はじめに

粉体粒子は通常工業的に大規模な装置で取り扱われている。しかし、工業化になる前段階、すなわち、研究室規模での粉体実験を行う場合、供給量は少量で装置も小型である。著者らは40μm以下の微粒子を分級するため、音波振動を利用した分級装置を考案して、通常の流動層では粒子の凝集によって流動化することのできない微粒子を、簡単な操作で連続的に分級して良い結果を得ている。本装置は目視観察を容易にするためアクリル製である。充填物も金網リングを使用しているので粒子層を通過する気泡の挙動がはっきりと見える。この分級装置は全て手作りであり、電磁振動を利用した上方移動方式による粉体粒子供給機、粒子切替器、捕集方法等にも工夫を施している。本分級装置を例に装置の設計・製作についてここに報告する。

2. 分級装置の設計

本装置の設計に当たって次のような手順で検討を行った。

装置本体の大きさは、所要空気量、それに見合った材料の規格によって断面積が決まる。そこで、ストークスの式を用いて着目粒子の沈降速度を計算をする。この沈降速度に見合った上昇ガス速度（Ut）を与えれば着目粒子は空気抵抗と重力とが釣合い、ある一定点に止まり、それ以上にガス速度を上げれば上昇し外に飛び出してくる。このようにして必要な流量を決定し、流量計等を選定する。

微粒子になると流動化が困難になることは周知の事実である。そこで各種流動化方法を検討した結果、製作が容易で操作も簡単なスピーカー（音波振動）を用いることとした。

3. 装置本体の製作

分級装置を図.1に示す。装置全体の高さは2.2mである。

1 分散板
2 捕集器
3 捕集器
4 粒子供給機
5 攪拌機
6 金網リング
7 発振器
8 増幅器
9 スピーカー
10 圧力計
11 変圧器

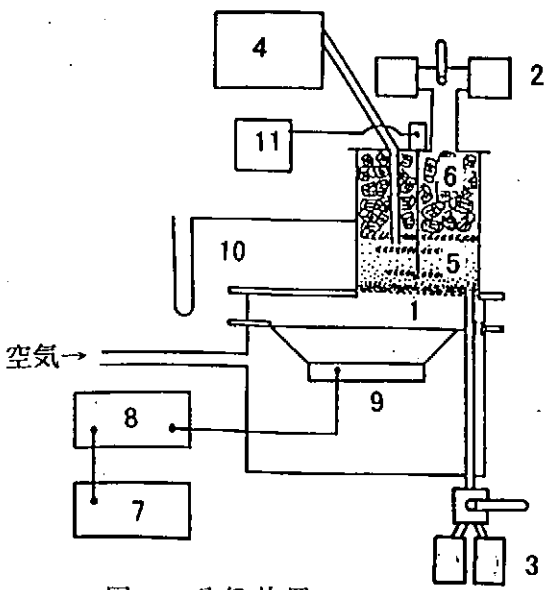


図.1 分級装置

流動層本体は内径 25.2cm、高さ 43cm のアクリル製である。気体分散版は粒子の通り抜け等を考慮し、16 メッシュの金網を一番下に置き、その上にろ布を置いて一番上に No.5C のろ紙を置いてサンドイッチ構造とした。分散板の構造図を図.2 に示す。本体内部には 2 枚の金網で円盤状の撹拌羽根を設置し、フリーボード内へ流入してくる微粒子を撹拌できるようにした。1 枚は凝集したまま飛び出してくる粒子を分散させるために粒子層表面 5cm の所に、もう 1 枚は供給粒子を一様に分散させるために粒子供給口の下 1cm の所に取り付けた。撹拌羽根の上部には直径 2.6cm、高さ 4cm、10 メッシュの円筒型金網リングを 15cm の高さに充填し 60 メッシュの金網で押えた。分散版の下部には空気調整室を設け、その下に直径 38cm、最大許容入力 200w のスピーカーを取り付けた。空気の供給はスピーカーへの負荷を軽減するため装置下部から供給し圧力バランスを保つようにした。スピーカー取付と空気孔の位置を図.3 に示す。

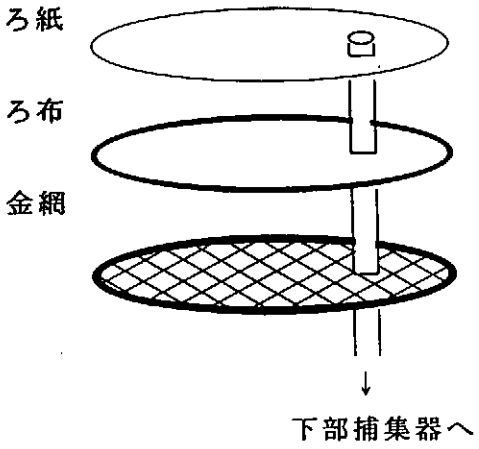


図.2　分散板の構造

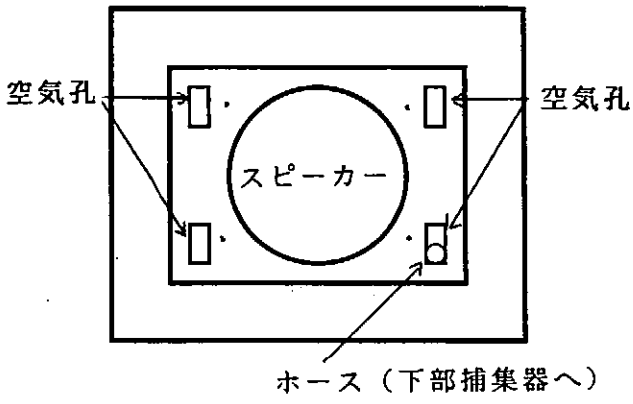


図.3　スピーカーの取付と空気孔

粒子の捕集には上部捕集器（微粉）には軽くて、空気を通過させても圧力損失が少なく、粒子が目詰まりし難くて、しかも簡単に捕集粒子を払い落とせる物として、No.5C のろ紙を円筒状に加工して使用した。また、操作流速を上げた場合は負荷軽減のためにサイクロンで一次捕集を行った。下部捕集器（粗粉）は密閉性があり、しかも軽くて着脱が容易な物としてポリエチレンの瓶を用いた。また、捕集器の切替えには、上部には切替板、下部には切替板＋玉型切替弁を用いた。図.4（a）に上部捕集器、図.4（b）に下部捕集器を示す。

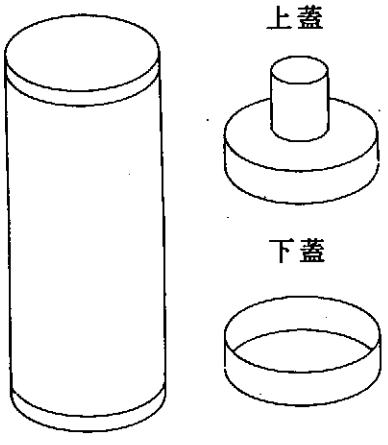


図.4（a）　上部捕集器

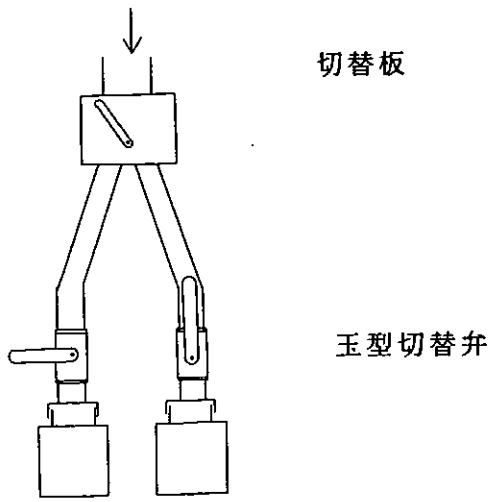
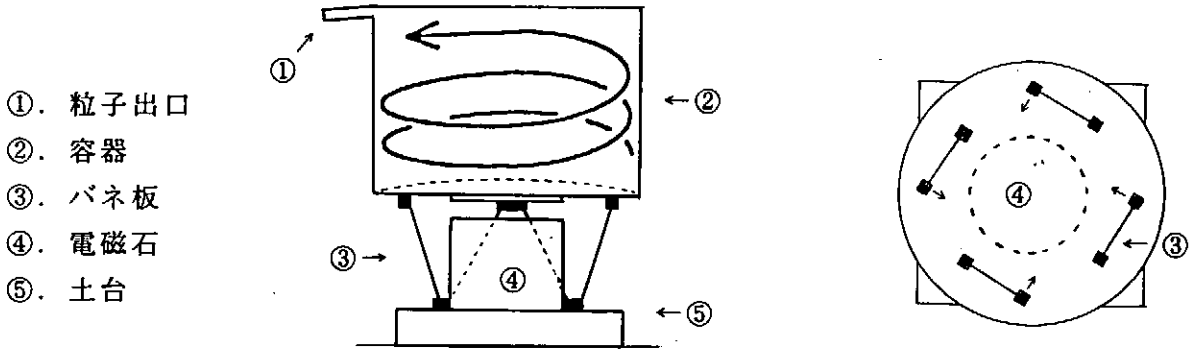


図.4（b）　下部捕集器

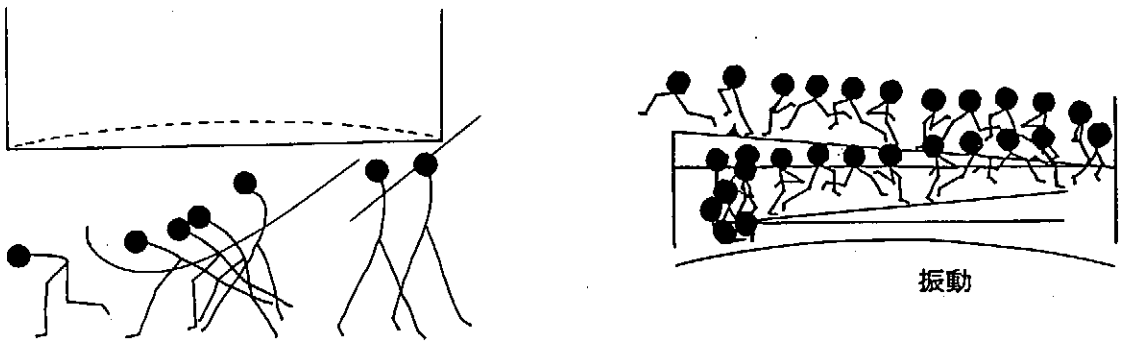
粒子供給機は毎分 10ｇの粒子を一定の速度で分級機に供給する方法として電磁式粉体供給機を参考にし、圧力バランスを考慮し、粉体粒子を下から上へ移動させ、粒子の圧縮を防止することで粉体粒子のスムースな供給が可能になりブリッジや目詰まりを防止できるのではないかと考え供給機の検討を行った。供給機の概略図を図.5 に示す。



（a）供給機　　（b）バネ板の位置と動き

図.5　上方移動式粉体粒子供給機とバネ板

容器は円筒形で容器内側に取り付けた平板のらせん通路は幅 10ｍｍ、上り勾配は 1/10 である。底部は粒子の壁側からの移動を容易にするため凸構造とした。②の容器は４本のバネ板によって土台に連結し保持されている。粉体の入った容器は電磁振動によって全体が斜めの上下方向に振動する。上部容器の動きは体を回転させて斜め上方に腕を突き出す砲丸投げ選手の動きに似ている。容器内の粒子は振動により跳ね上げられて中央から噴水状に外側に移動する。壁側に移動してきた粒子は次の粒子に押されるように、らせんの板状通路の坂道を振動によって上方にスムースに移動する。らせん状の通路を上っていく間に、一部の粒子は板状通路からはみ出し容器内に落下し混合される。粒子移動のイメージを図.6 に示す。供給機上部出口前には供給量を調整するためのガイドを設置した。このガイドの幅はネジを調節する事により容易に操作され、所定の量の粒子だけが通過し、過剰の粒子はガイドによって通路の外に導かれ容器内に落下し再混合をされる。このようにして、容器内の粒子は強い力を受けることもなく、粒子同士が付着・凝集をしたまま常に混合されている。そのため偏析を起こさず、一定の粒度分布を保っている。



（a）　上部容器の動き　　（b）らせん通路上の粒子の動き

図.6　粒子移動のイメージ

4. 最適条件の探し方

風力分級を行う場合、粒子がどのように飛出してくるかを観察することが大切である。最初に粒子層高１cm で流動化ガスを供給した。この場合、最小流動化速度では流動化は起こらず、さらに流速を上げると図.7（a）に示すように粒子層に噴き抜け穴ができる。次に音波振動を与

えると分散版の振動によって噴き抜け穴は無くなり、図.7（b）に示すような均一な流動化が起こり、粒子の飛出しが観察された。また最適な周波数等の設定により図.7（c）に示すように勢いよく粒子が飛出すのが観察された。

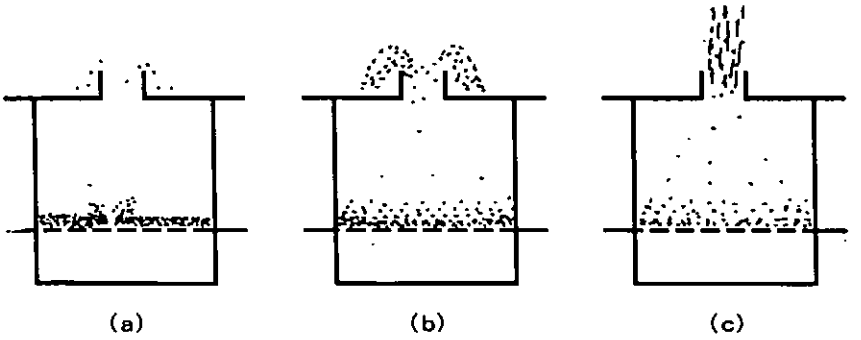


図.7　粒子の飛出し

粒子が流動化し、粒子の飛出しも起きることが確認された。しかし、目視観察において層内分散板中央では振幅が大きく、特に多くの粒子が跳ね上げられていて正しい分級が行われていないことが分かった。そこで、供給粒子を分散させるために層内供給口の下に一枚、分散板から跳ね上げられる凝集粒子を分散させるために分散板の上部に一枚、攪拌羽根を取り付けた。さらに、回転流から上昇流へ層内の流れを変えるために金網リングを充填した。その結果整流効果が現れ飛出し粒子の粒度分布を調べても Ut 以上の粒子は無く個々の粒子に分散したことが分かった。

5. 実験方法および結果

実験にあたっては、フィーダーで毎分一定の重量の微粒子をこの装置のフリーボード部へ供給すると同時に装置下部より空気を供給することによって微粒子を流動化し、装置下部および装置上部に取り付けた粒子の捕集器で粒子を捕集し粒子の重量とその粒度分布を測定した。粒度分布の測定にはセイシン企業製の光透過式粒度分布測定器を用いた。実験に用いた粒子の粒子密度および粒度分布を表.1 に示す。本装置の分級精度は 5～15 μm では 1.5、15 μm 以上では 1.2 以下であった。分級精度を図.8 に示す。

Dp[μm]	Fly ash[wt%]	SiC[wt%]
+0 -3	5	23
+3 -5	9	18
+5-10	18	40
+10-15	13	17
+15-20	17	2
+20-25	10	-
+25-30	7	
+30-40	11	
+40-50	6	
+50-60	3	
+60-80	1	
ρ g[g/cm^3]	2.29	3.23

表.1　供給粒子の粒度分布

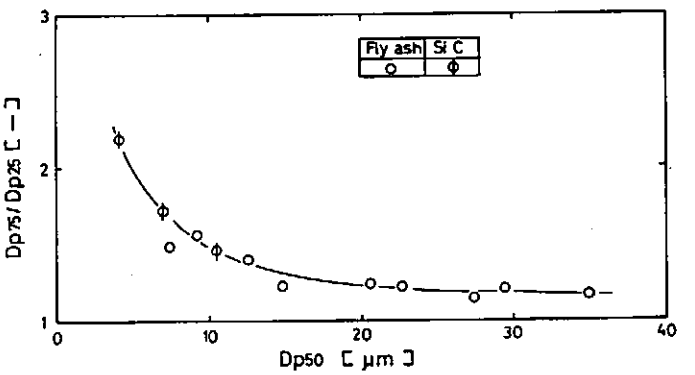


図.8　分級精度

6. まとめ

本装置の製作にあたり乾式分級における粒子の付着・凝集の問題を解決するための知見を得ることができた。

単結晶球・コノスコープ（干渉）像観察装置の開発

北海道大学大学院理学研究科　技術部　機器試料製作技術班
○小檜山 守男　桑島 俊昭　小川 正人　野村 秀彦　加藤 尚史

はじめに

岩石・鉱物の鑑定には、目視による肉眼観察や計器による測定観察がある。岩石実験では、主に結晶光学の基礎を応用して、岩石薄片試料の偏光顕微鏡による測定観察が行われている。岩石中の鉱物には、一軸性結晶と二軸性結晶があり、コノスコープ（干渉）像の観察が有効であるとされている。この観察方法では、光軸方向を偏光板の振動方向に一致させると、光軸を中心にした高次のカラーリング（色環）が観測できる。

一般に行われている偏光顕微鏡では、非常に薄い（2/100㎜）試料を一方向のみから観察するために、習熟を要している。

開発した装置は、単結晶球を偏光板二枚で挟み、偏光板を通した一方向からの光源による偏光振動波を、もう一枚の偏光板により調整し、コノスコープ（干渉）像として出現させて観察する装置であり、日本岩石鉱物特殊技術研究会（1997年10月）で発表され、日本岩石鉱物特殊技術研究会誌「地殻」18号（1999年9月発行）に掲載されたものを、更に設定操作を簡単に行うため各操作部分を新たに開発し完成させた「単結晶球・コノスコープ（干渉）像観察装置」（写真７.参照）である。

1.目的

今までの単結晶球・コノスコープ（干渉）像観察に於いては、観察の方向移動を指で挟む事により行っていたため、不都合な事例が多く存在した。

(1) 2～3の指での挟み込み移動操作による、単結晶球・コノスコープ（干渉）像観察操作。
(2) 光源方向に指が位置する事による入射光等遮断の存在。
(3) 単結晶球の持続的安定位置設定の困難。
(4) 光源発熱体の冷却。

以上の事例を解消するための、新たな装置開発を行う事とした。

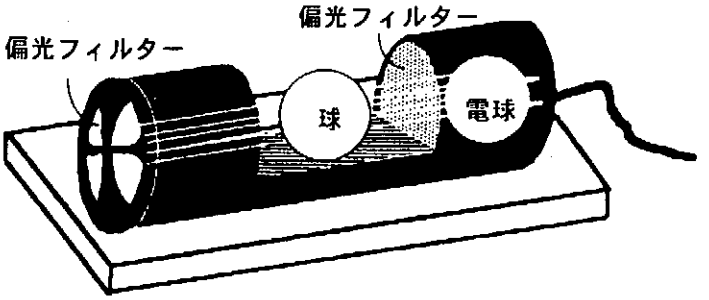


図１「単結晶・コノスコープ（干渉）像観察装置」図
（1999.9発行、日本岩石鉱物特殊技術研究会誌「地殻」18号より転載）

2.単結晶球受け台の製作

今までの単結晶・コノスコープ（干渉）像観察装置（図1）では、単結晶球を指で挟んでの光軸位置探索を行っていたため、時には光軸方向と指の位置が重なる事での入射光遮断が在り、偏光振動波を捕らえる事が困難な状況が生じていた。この状況を解決する単結晶球受け台装置を新たに製作する事とした。

新たに製作された単結晶球受け台の特徴

(1) 単結晶球の大きさに応じた中心点位置設定の上下移動で、床面より80～100㎜の高さ移動を行う。

(2) 単結晶球を支える受け部分は、スチールボール埋め込器具により滑らかな縦方向回転移動補助と安定性維持を行う。

(3) 単結晶球受け部分内部にスラストベアリングをセットし、横方向回転移動を行う。（写真1.2.参照）

以上、3点が上げられる。

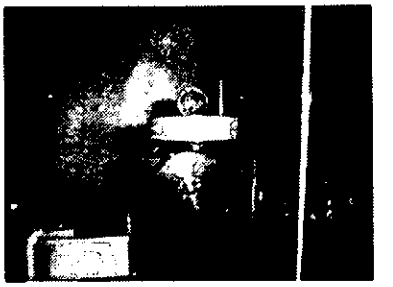


写真1. 単結晶球受け台

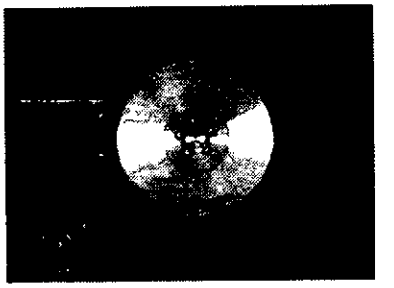


写真2. 単結晶球受け部分

3.観察（目視・計測装置設置）部分装置の製作

従来の観察装置では、観察する部分の移動は図られておらず、コノスコープ（干渉）像を拡大して見るには、光学レンズの手動による前後移動方法で行っていた。

観察部分に案内部品を設定し、偏光フィルターと光学レンズを一体化して前後移動（写真3.参照）させる事により、明瞭なコノスコープ（干渉）像観察と接続器具を用いての観察計器接続も可能となった。

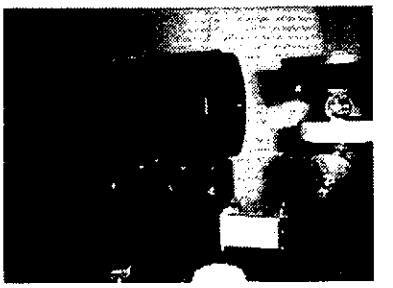


写真3.観察部分装置

4.単結晶球縦方向全角度移動装置の製作

指で挟む事による単結晶球移動操作を、ゴム球を利用して作動させる安定支持装置を製作する事とした。

ゴム球の安定支持装置開発条件

(1) 縦方向全角度に回転可能である事。

(2) 入射光および光軸像遮断の皆無である事。

(3) 簡素な操作である事。

(1)の条件に該当するには、形状をベアリング形式を用いる事とし、特殊ベアリングの調査を行ったが、適合した物は皆無であった。

〔一例として、「株式会社 フリーベア コーポレーション」のフリーベアCタイプ（写真4.を参照）を検討して見たが、一方向開放のため操作上不向きであった。〕

この条件を解決するため、上下方向が解放され、全方向回転式ゴム球支持器具（ベアリング的働きをする）を新たに製作。（写真5.図2.参照）

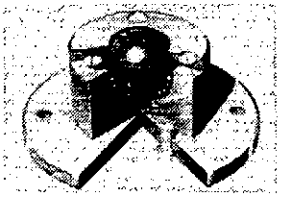


写真4. フリーベアCタイプ

(2)の条件に該当するには、単結晶球前後であり、上下方向での操作に限られるが、受け台の存在する下方向での操作装置は不可能であるため、上方向からの操作支持装置（写真6.参照）を製作。

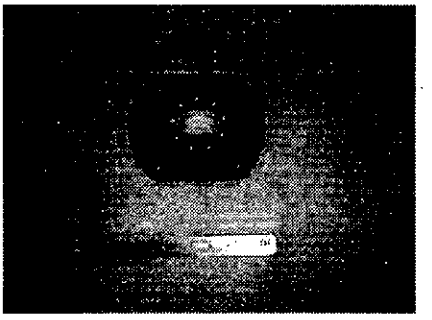


写真5. 全方向回転式ゴム球支持器具

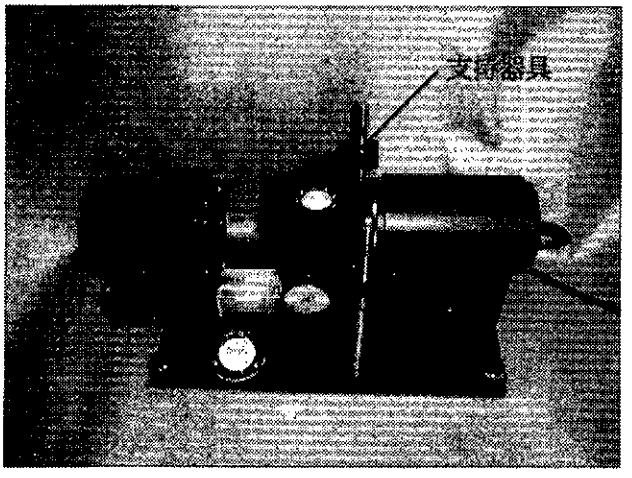


写真6. 装置全体(斜上方向より撮影)

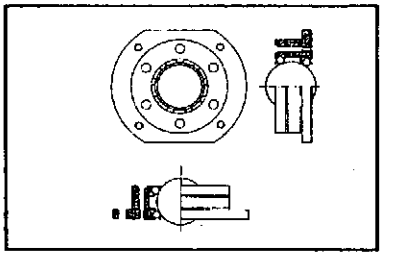


図2. ゴム球支持部品図面

(3)の条件に該当するには、全方向回転をするゴム球の指作動による回転移動操作方式で行う。（図2.参照）

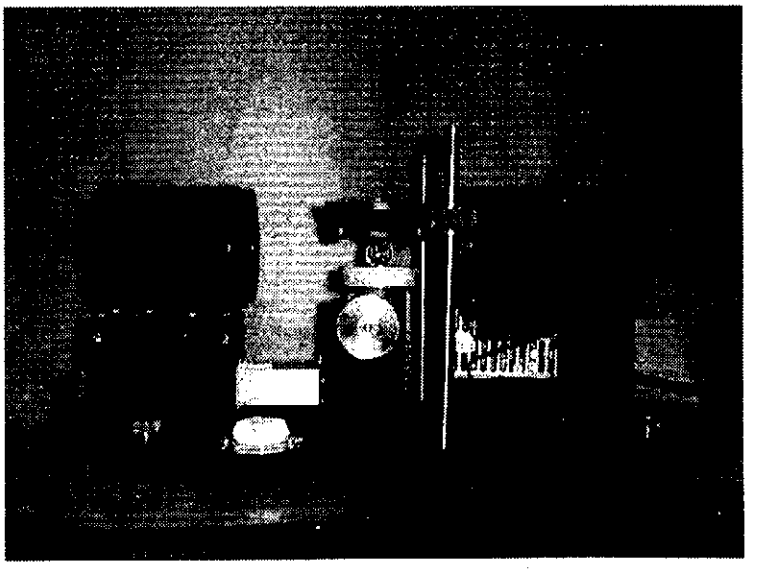


写真7. 単結晶球・コノスコープ（干渉）像観察装置〔全体〕

5.光源発熱体の冷却対策

光源発熱体の冷却対策については、光源体を覆う筒部分上下に通風用スリット加工を施し、筒下方に送風装置を取り付ける事により、上方向冷却送風方式を用いた。送風の開始・終了は、光源体と同時操作で行う。

(写真8.9.参照)

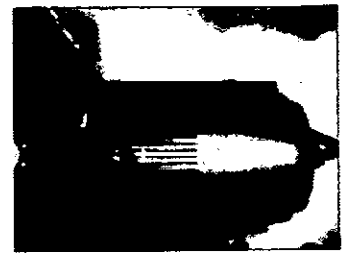


写真8. 送風用スリット

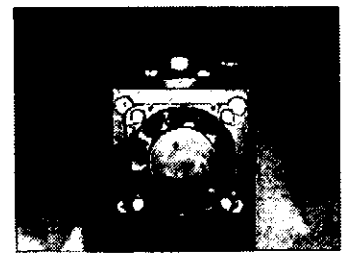


写真9. 送風用ファン

まとめ

新たな「単結晶球・コノスコープ(干渉)像観察装置」の開発により、位置の安定した観察と簡素な多方向移動操作が可能となり、発熱体の冷却対策に於いても効果が認められた。しかし、光源からの入射光調整については今後の解決すべき課題である。

最後に、装置開発についての助言を戴いた、北海道大学理学研究科地球惑星科学専攻 助教授 新井田 清信 氏と前技術長 寺田 省一氏に感謝致します。

なお、装置開発研究の費用は平成１３年度科学研究費補助金・奨励研究(B)(課題番号13916001)による。

参考文献

1.『地殻』18号　日本岩石鉱物特殊技術研究会誌　1999年9月発行
2.「フリーベア製品カタログ」　株式会社フリーベア コーポレーション
3.「ＩＫＯ直動シリーズ型録」　日本トムソン株式会社
4.「ツバキ精密ボール型録」　株式会社ツバキ・ナカシマ
5.「原色鉱物岩石検索図鑑」　柴田 秀賢/須藤 俊男 著　北隆館　昭和63年11月15日 6版発行
6.「原色岩石図鑑」　益富 壽之助 著　株式会社 保育社　昭和57年1月5日　40刷発行
7.「偏光顕微鏡と岩石鉱物」[第2版] 黒田 吉益・諏訪 兼位 著　共立出版株式会社
1996年10月１日 第2版10刷発行

ＪＴ－６０ガス注入装置におけるノイズ対策

日本原子力研究所　那珂研究所
○三代　康彦、平塚一、岩橋孝明、本田正男

1．はじめに

ガス注入装置は、臨界プラズマ試験装置（JT-60）の設備の一部であり、燃料ガス（初期ガス）およびプラズマへの粒子補給に用いられている。本装置では、経年対策・機能向上を図るため、ガス注入弁の更新を図るとともに制御計算機をCAMACからVMEとする改造を2000年に実施した。

しかし、その後の実験運転においてガス注入弁用電源(PEV 電源)の出力電圧異常警報（異常処理動作）によるガス注入弁の動作不良が生じた。改造時、設備単体での動作確認試験で正常動作を確認していることから実験運転時のみ発生するノイズによるものと判断した。JT-60では、プラズマ閉じ込め・制御用コイルによる高磁場環境下であると共に、高電圧（ＮＢＩ）・高周波（ＲＦ）の設備も稼働しており、ノイズ発生源となり得る多くの装置・設備が存在する。調査の結果、ガス注入弁用電源の異常については、負イオン中性粒子入射加熱装置（N-NBI）の運転が起因するノイズによるものであることが判明した。

本報告では、ガス注入装置で受けたノイズ障害について、大型核融合装置における原因の特定および対策方法について述べる。

2．JT-60の概要

JT-60は、世界最大規模のトカマク型核融合装置であり、JT-60本体、JT-60本体付属設備、加熱装置から構成される。

JT-60本体には、主要構造物として、プラズマを磁場により閉じこめるトロイダル磁場コイル(TFC)、プラズマの励起・位置制御・形状制御を行うポロイダル磁場コイル(PFC)、プラズマ周辺を真空に保つ真空容器、これらコイル・容器の重量と電磁力を支える架台がある。

JT-60本体付属設備には、真空容器内部を超高真空に保つため真空排気を行う真空排気設備、初期ガスおよびプラズマへの粒子補給を行うガス注入装置、TFC、PFCへ冷却水を供給する一次冷却設備、電気ヒータと高温窒素ガスで真空容器を加熱し（＜300℃）真空容器内表面の不純物を取り除くベーキング電源設備・ガス循環設備から構成される。

加熱装置には、高周波加熱装置（RF）と中性粒子入射装置(NBI)がある。

表１　主要構造物／加熱装置の主な仕様

機器／設備名	定格電流	発生磁場
トロイダル磁場コイル(TFC)	52.1kA	4.02T
ポロイダル磁場コイル(PFC)		
空心変流器コイル(FC)	±120kA	
垂直磁場コイル(VC)	-8.7kA～	
水平磁場コイル(HC)	50kA	
ダイバータコイル(DC)	±30kA	
	110kA	
機器／設備名	**出力**	**周波数／加速エネルギー**
高周波加熱装置(RF)		
低域混成波帯加熱装置(LHRF)	5MW	2GHZ
ｲｵﾝｻｲｸﾛﾄﾛﾝ波帯加熱装置（ICRF)	6MW	116MHz
電子ｻｲｸﾛﾄﾛﾝ波帯加熱装置(ECRF)	3MW	110GHZ
中性粒子入射加熱装置(NBI)		
正イオンNBI(P-NBI)/14beam	40MW	120kev
負イオンNBI(N-NBI)/1beam	10MW	500kev

表１に JT-60 本体の主要構造物および加熱装置の仕様を示す。

3．ガス注入装置におけるノイズ等からの保護対策

JT-60 装置の周囲は、前項で述べた主要機器により、高磁場、高電圧、高周波の環境下にある。特に磁場に対しては、誘導起電力による機器の損傷や不整磁場の発生を防ぐため、各設備でワンターンの電路形成しないような工夫を必要とする。当然ながら接地は、グランドループを作らないために一点接地とする。ガス注入装置では、配管類の区分毎に電気絶縁を施すための絶縁継手を使用し、信号線にはＶ／Ｉ変換器を使用して、接地・電位を分割することで一点接地を管理している。また、信号線には、シールドケーブル、同軸ケーブルを用いることにより、耐ノイズ性の向上を図っている。

4．ガス注入弁用電源のノイズ対策

4．1　ノイズの発生状況および原因の特定

JT-60 運転時、PEV 電源が異常処理動作により警報を発した。ガス注入装置では、ガス注入弁が１６台あり個々の弁のために駆動用電源が設置されており、同時にではないが、全ての電源で同様な現象が起きている。JT-60 の運転停止時において、ガス注入装置設備単体で実動作試験を実施しているが、この時には異常事象が起きなかったことから JT-60 の運転に関わる他設備の影響を受けていると考えた。

ノイズ（異常）の発生状況と主要設備の運転周期との比較をおこない、当該設備の特定を行った。ノイズ発生と主要設備運転周期を図１に示す。ノイズ発生時期において、異常処理動作発生の周期が N-NBI の運転周期（30s）に同期していた。このため、原因は N-NBI の調整運転であることが判明した。

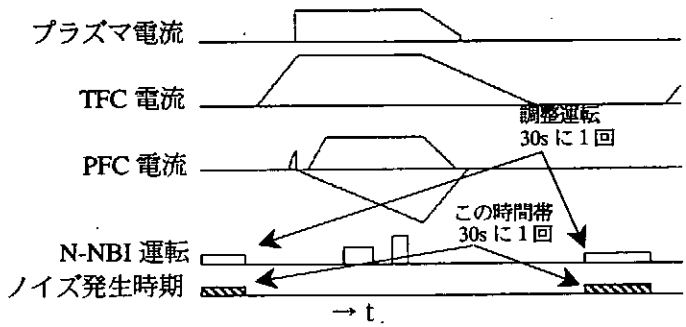


図１　ノイズ発生周期と主要設備運転周期

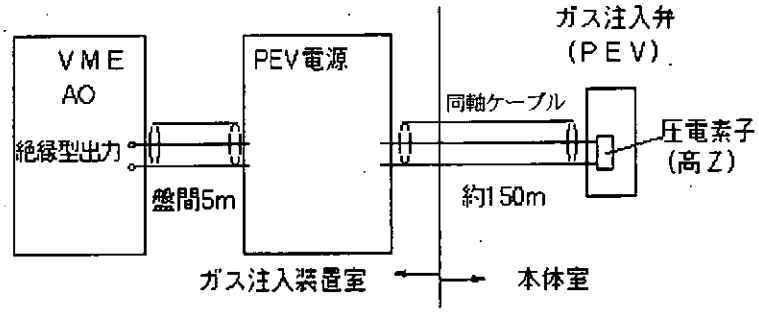


図２　PEV 電源接続図

4．2　ノイズ対策

負イオン NBI に対するノイズ対策について述べる。負イオン NBI では、500kV の加速電圧を印加するために、徐々に電圧を増加し放電を繰り返すという調整運転を行っている。よって、放電の際に、電磁波、接地電位の変動等を起こしていると思われる。

一般的には、ノイズ発生源となる N-NBI 側でシールド等の対策を講じなければならない。しかし、性能の更なる向上を図るという開発を目的としている装置の性格上、改造等のメンテナンス時の効率、ノイズ対

表２　ノイズ対策一覧

対　策	結果／効果
接地線の見直し	特に問題なし
シールド措置	筐体シールド：問題なし ケーブル：同軸使用のため特に問題なし
フィルタの設置	
ノイズカットトランス	効果なし
PEV 電源異常検出回路調整	効果小
フェライトコア	効果大

策に掛かるコスト等を考慮した結果、ガス注入装置側で対策を講じる方が容易と判断した。

PEV 電源接続図を図 2 に、ガス注入装置側で講じたノイズ対策を表 2 に示す。

ノイズ対策の結果、PEV 電源出力側にフェライトコアを装着することが、ガス注入弁と PEV 電源間のケーブルにのる電磁ノイズ（コモンモードノイズ）を除去することに最も効果あることがわかった。
フェライトコアの実装例を図３に示す。



図３　フェライトコア実装例

４．３　フェライトコアの効果

負イオン NBI の出力上昇に伴いノイズレベルの増加が懸念されるため、ノイズに対するフェライトコアの効果について調査した。

フェライトコアの仕様を以下に示す。

・コモンモードチョーク用

ϕ44.5mm×13mm		
初透磁率	μ i	5500±25%
損失係数	tan δ／μ i ×10^{-6}	＜10 (100kHz)

負イオン NBI の運転中にフェライトコア有り／無しのノイズ波形をフェライトコアの巻き数を変えながらディジタルストレージオシロスコープにて測定し、その測定値の絶対値を積分した値で比較を行った。

1 個当たりにケーブルを１０ターン巻いたフェライトコアを直列に設置したときの設置数に対するノイズ除去効果（コア無しに対するコア有りのノイズ成分の比）を図４に示す。

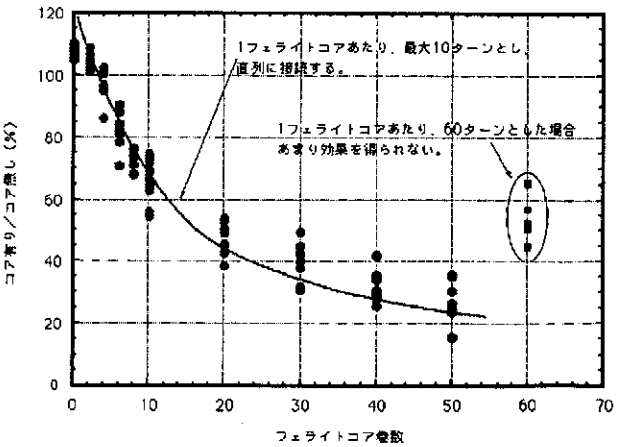


図４　フェライトコアの巻数に対するノイズ除去効果

図より、コアの設置数を増やすと伴に、ノイズ成分が減少してくるのが判る。この結果から現在はフェライトコア１個実装することで異常動作が発生しないことを確認した。今後、負イオン NBI の出力が上昇することにより PEV 電源に掛かるノイズレベルが悪化することがあっても、フェライトコアの巻数を増やすことによって即対応可能である。

また、一つのフェライトコアにケーブルを多く巻いた場合は、ノイズ除去効果がわずかであり、期待する効果を得ることが出来ないこともわかった。(60 ターンのデータ)

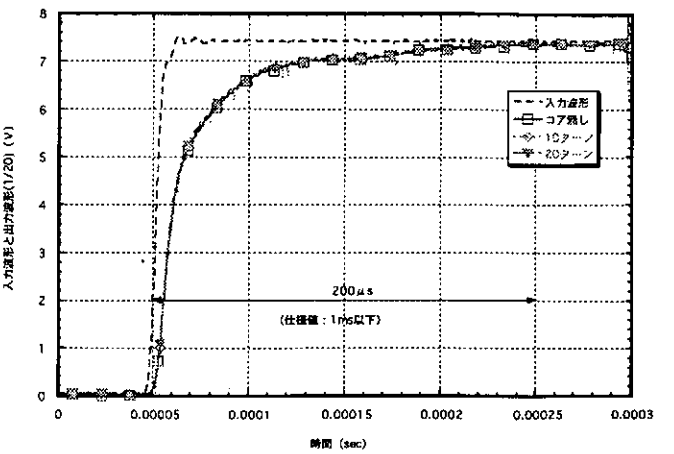


図５　フェライトコアの巻数に対するノイズ除去効果

４．４　フェライトコア実装による影響

フェライトコアを接続することによる PEV 電源出力

波形の立上がり速度の低下の有無について確認を行った。

PEV 電源へ電圧 7.5V のパルスを入力し、フェライトコア無し、フェライトコア(巻数 10)およびフェライトコア(巻数 20：コア×2 直列)の３つの条件で接続し、ディジタルストレージオシロスコープにて出力波形を測定した。

波形を測定した結果、接続したときの PEV 電源出力波形において、３つの条件で立上がり速度に違いは無かった。したがって、フェライトコアを実装しても仕様値 1ms の立ち上がり速度より充分速い立ち上がりがこれまで通り得られることがわかった。

５．まとめ

負イオンＮＢＩの調整運転により発生するノイズを受けて生ずるガス注入弁用電源（ＰＥＶ電源）の誤動作をフェライトコアにより除去することが出来た。今回ノイズに対するフィルター効果のデータを得ることが出来たため、発生源の運転パラメータ（負イオン加速電圧等）の変更に伴いノイズレベルが増えた場合でも、フェライトコアの増設で対応できることを確認出来た。また、フェライトコアを接続したことによるＰＥＶ電源における応答速度への影響の無いことを確認した。

これらノイズ対策は２０００年２月より実施し、その後順調に運転を継続している。

その他として、制御計算機を更新した際、アナログ出力ボードの動作不良が発生した。これは、従来の計算機では収納盤の扉を開放しておいても問題がなかったが、新規計算機では盤周辺のノイズの影響を受けるようである。現状においては、盤扉を閉じて運転を継続している。

大型ヘリカル装置(ＬＨＤ)用真空排気装置の移設･改造

核融合科学研究所
○米津宏昭、飯間理史、小森彰夫、鈴木肇、林浩己、鈴木直之、近藤友紀、岡田光司

1.はじめに

我々技術部装置技術課は、平成９年度から大型ヘリカル装置（ＬＨＤ）用真空排気装置の設計、組み立てにおいて技術支援を開始した。平成 10 年春からはプラズマ実験開始に合わせ、ＬＨＤ用真空排気装置の運転、保守を行っている。更にこれまで幾たびかの小改造の設計、組み立てにも技術関与している。平成 12 年度第４サイクル実験では、プラズマ真空容器の超高真空排気ために、これまで稼動してきた真空排気装置（プラズマ系）に、新たにプラズマ放電用真空排気装置を建設し、２つの真空排気装置で並列真空排気をおこなった。その結果、３分間周期の毎ショットＮＢＩ入射加熱による効率の良いプラズマ放電実験を可能とした。

2.第５サイクル実験以降に向けての新たなる課題

図１に示すように、ＬＨＤの実験計画として第５サイクル実験では、プラズマ性能のさらなる向上を目的として、プラズマ加熱入力パワーを増強するため、中性粒子入射加熱装置（ＮＢＩ）３号機が、これまでの１号機・２号機に加え、真空容器７－Ｔポートからビーム入射を開始する。また、平成 13 年度には粒子制御用ヘッドシステムを建設した。ＬＩＤヘッドの駆動装置は長く（約 13 ｍ）大型であることと、挿入されたＬＩＤヘッドがＮＢＩのビームと干渉しないという条件と、実験室内の装置配置考え合わせ、ヘッド挿入用Ｏポートは、既存の真空排気装置（プラズマ系）が接続されてきた６－Ｏポートが選ばれた。したがって、第４サイクルのような並列真空排気が不可能となり、事項で述べるように、真空排気は７－Ｏポートだけを使用することになった。

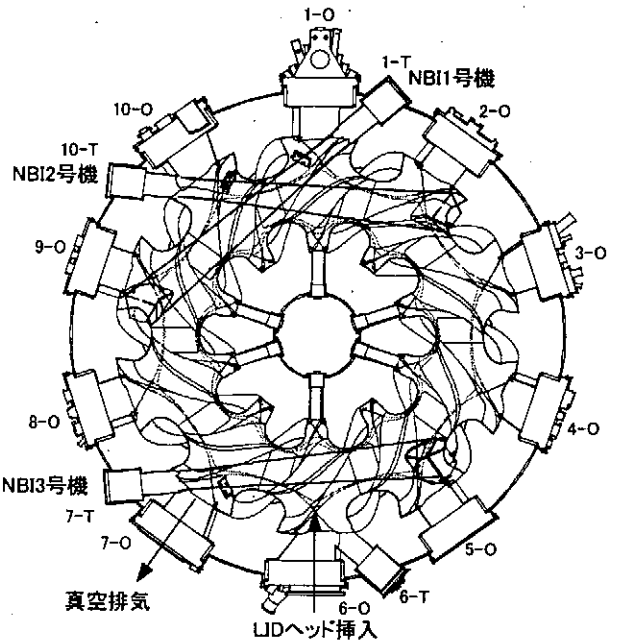


図1 装置配置検討図

3.非常に厳しかった移設・改造の条件と移設・改造の検討

７－Ｏポートに全ての真空排気装置を移設・改造する際、その条件と対策を次のように検討した。

- 移設・改造後の真空排気性能は第４サイクルでの並列真空排気時と同等な性能が必要なので、既存の超高真空ポンプは全て使用する。かつ、各真空排気管は配管径やルートを十分検討し低コンダクダンス化を図る。
- 許される工期が約４ヶ月間と短いので、可能な限り既存の装置アセンブリーを活用する。新規部品の製作を極力控え、移設に徹する。また、運転制御システムも既存のシステムを活用して、新規構築は最小限に留める。
- プラズマ放電用真空排気装置装置2000Aマニホールドに真空容器出入り用マンホールと防塵室通路を６－Ｏポートから移設する。

以上を踏まえて、新真空排気装置の装置構造を検討する際に我々が注目したのは、写真１に示すように真空排気装置（プラズマ系） 1200A マニホールドはクライオポンプ部とターボポンプ部の二分割構造であることと、写真２に示すようにプラズマ放電用真空排気装置 2000A マニホールド後端部には 1530A の増設用開口（ノズル）があること。その結果、具体な構造として 2000A マニホールド後端部に 1200A マニホールドのターボポンプ部を真空ポンプ、ゲートバルブ等一式まるごと１本にドッキング（連結）することにした。

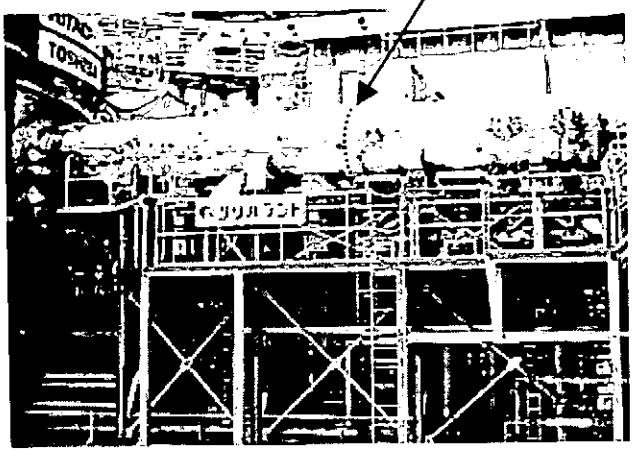


写真１　真空排気装置（プラズマ系）

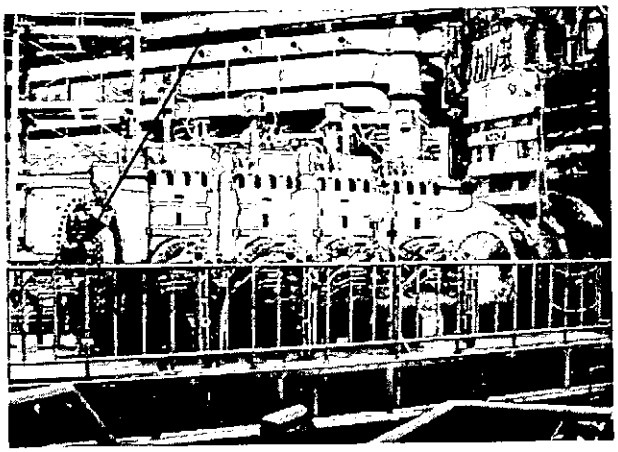


写真２　プラズマ放電用真空排気装置

4.移設・改造の具体的な方針と主な工事項目

２本のマニホールドをドッキングする具体的な方針と主な工事項目を示す。

- ドッキング部には、２本のマニホールドの連結を容易にするため、従来６－Ｏポートと真空排気装置（プラズマ系）の接続に使用されてきた 1200A ベローズを使用する。なお、真空シール方法等の詳細な改造仕様を次項で説明する。
- 真空排気装置（プラズマ系）のクライオポンプは、コンダクタンス低減に有利なるよう真空容器に最も近いプラズマ放電用真空排気装置先端部のポートに移設する。ただし、重いゲートバルブとクライオポンプの設置方向が従来から直立するため、真空シールの健全性を確認する。
- 補助排気であるメカニカルブースターポンプ、ロータリーポンプ及び真空排気配管等は、コンダクタンスを低く抑えるため、全面的に各配管径を見直し実験室内に再配置する。
- クライオポンプの再生ガス排気専用として新たにドライポンプを追加する。
- 新真空排気装置の架台は前方架台、後方架台、計測機器架台から成り（次項図５参照）、前方架台は、剛性向上のため既存の架台に補強脚や梁を追加する。後方架台、計測機器架台は既存の架台を大幅に改造する。ただし、床基礎（アンカー部）は既存を流用する。
- 運転制御系は、従来からのMS-DOSを使った操作端末を流用し、今回の改造は最小限に留める。
- 真空容器出入り用マンホールと防塵通路は、マニホールド周囲のクレーン作業等のメンテナンス空間を考慮して 2000A マニホールド上部に設置し、それに通じる防塵室を別の場所に設置する。

5.1200A マニホールドのドッキングの詳細

６－Ｏポートと真空排気装置（プラズマ系）の接続に使用されてきたベローズの真空シール部は本来金属Ｏリングであるが、接続工事の容易性と真空シールの確実性を重視して図２に示すようにベローズ内面のリブを溶接して止める。また、後方にドッキングする1200Aマニホールドはベーキングを

可能とするため脚部はＬＭガイドにより可動式とし、後方架台はマニホールド一式の自重のみ支持する。したがって、95 ℃ベーキングによるマニホールドの熱膨張は後方移動（伸び）で対処する。ドッキング後のベローズはボルトで剛に固定する。よって、プラズマ放電用真空排気装置には1530Aフランジが大気から受ける約 15ton の真空力に加え、最大荷重として約2tonの地震力＋ＬＭガイドの静摩擦力約2ton（予想）の荷重が軸方向にかかることになる。

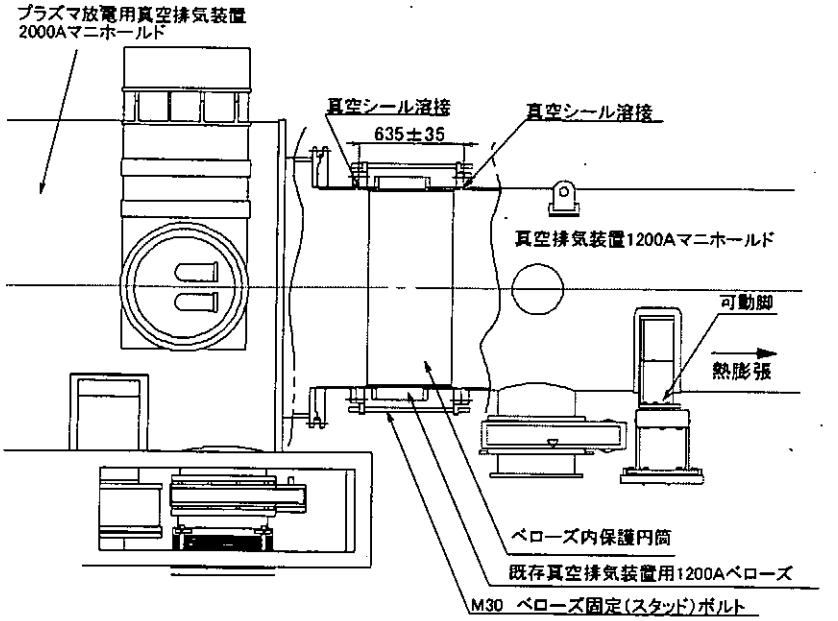
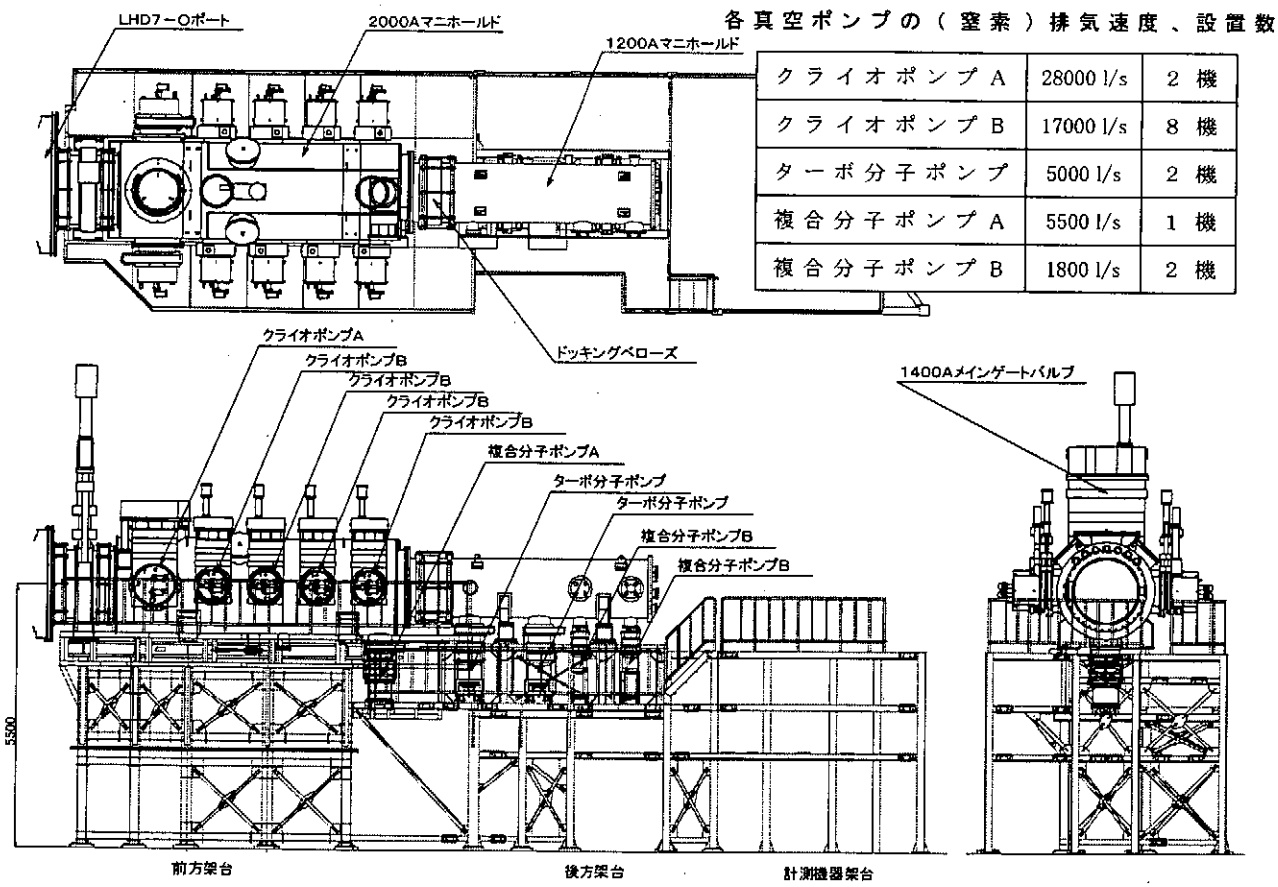


図２ドッキングの詳細構造

6.移設・改造後の新真空排気装置超高真空ポンプの配置



各真空ポンプの（窒素）排気速度、設置数

クライオポンプA	28000 l/s	2 機
クライオポンプB	17000 l/s	8 機
ターボ分子ポンプ	5000 l/s	2 機
複合分子ポンプA	5500 l/s	1 機
複合分子ポンプB	1800 l/s	2 機

図３　新真空排気装置の超高真空ポンプ配置と各ポンプの排気速度

図３に新真空排気装置の超高真空ポンプ配置・架台構造と各ポンプの排気速度を示す。写真３は移転・改造を終えた実機写真である。マニホールド上部にあるダクトはマンホールと防塵室をつなぐ防塵通路である。写真中下は移転・改造後に設置された粒子制御用ヘッドシステムである。

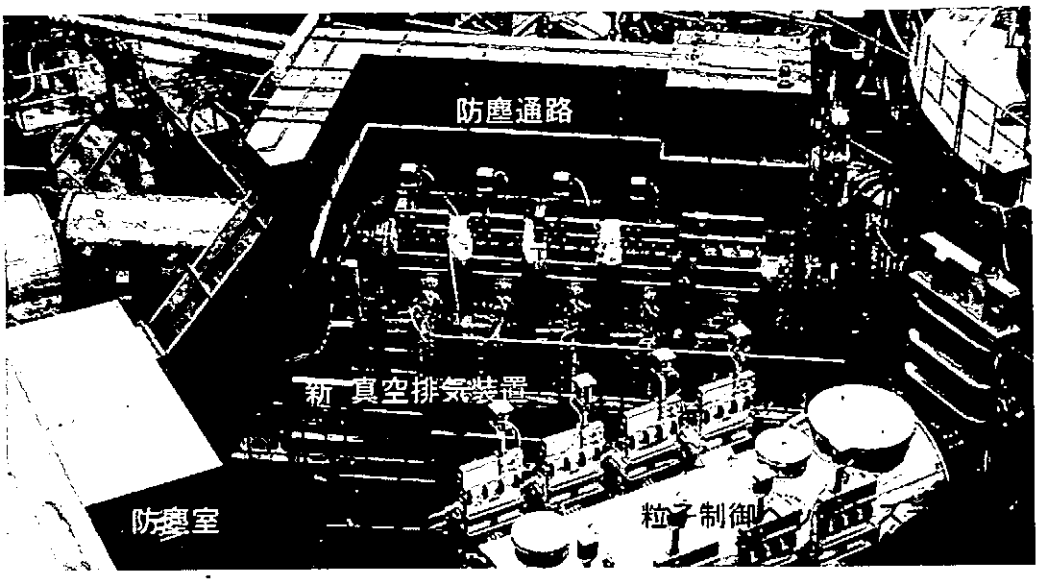


写真３　移転・改造を終えた新真空排気装

7.運転制御の操作端末の改造

新真空排気装置（プラズマ系）運転の操作・監視のための運転制御系を一部改造した。図４に示すようなWindows系ベースの操作端末を導入した。ただし、工事期間が短いので運転制御の信頼性を重視して、真空排気装置（プラズマ系）で稼動していた各真空ポンプ、各真空バルブなどの運転操作は既存のMS-DOSベースの端末で操作する。図４の運転操作端末で操作するのは、プラズマ放電用真空排気装置で稼動していた真空ポンプ、各真空バルブなどに限られる。ただし、今後全ての運転操作をWindows系に改造する予定である。

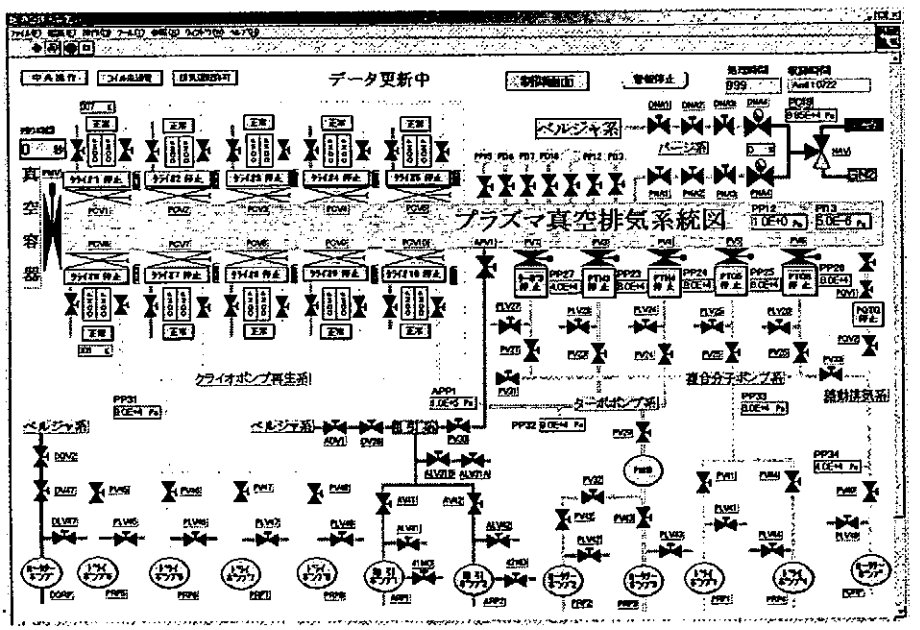


図４　新真空排気装置の運転操作・監視画面

8.最後に

移設・改造工事は、各種動作試験、真空リーク試験を含めて予定通りの期間（約４ヶ月間）で完了できた。その後、第５サイクル実験の半年間、大きなトラブルも無く連続稼動した。実験中は優れた真空排気性能が発揮され、非常に評価の高いプラズマ実験の成功に貢献した。ただ、実験スケジュールの都合で移設・改造後の実行排気速度は測定できなかったので、第６サイクル実験において測定をしたいと考えている。

お詫び：平成12年度東北大学技術研究会報告P.364大型ヘリカル装置用真空排気装置の性能向上と保守の発表報告中、「水素あるいはヘリウムの固体ペレット」という記述は「水素の固体ペレット」の誤りです。ここに訂正させていただきます。

PF-AR Ring真空ダクト改造

高エネルギー加速器研究機構
物質構造科学研究所　放射光源研究系　真空グループ
*三菱電機システムサービス　**株式会社トヤマ
○内山 隆司,堀 洋一郎,谷本 育律,*飯島 寛昭, *大和田 光晴, *川野 壽美
*藤川 雄次, *久積 啓一, *岡本 基, **桑田 拓岳

１．はじめに

従来から使用されてきたトリスタン加速リング（AR）で放射光実験を目的とした研究が数年行われてきた。近年では医学利用にも使用され新しい分野にも幅広く役立てるため、２００１年３月から１２月まで運転を停止して、リング真空系をすべて更新するなどの改造作業が行われてきた。２００２年１月８日にはリングの再立ち上げが開始され、無事に電子ビームを蓄積する事ができた。今回の真空作業でトラブルや注意したい点などがいくつかあったので今後の参考になればと思う。

２．機器性能試験

２－１　チタンゲッタポンプ（PGT-3F:日本真空）

ビームラインがあるセクションはチャンバーを設置してしまうと、場所によってポンプの交換ができない所がでてくるため、フラッシュ時における温度上昇を観察しながらフィラメントの耐久テストを行った。チャンバーはダクトと同じＣｕを使用して行った。初回の試験でトランスのヒューズがよく断線した。原因は、スタートスイッチＯＮの時にトランスにパルス電流が流れヒューズが溶断する事がわかった。（Ｌ負荷のためのラッシュ電流）対策として、タイムラグ溶断型のヒューズに変更した。また、最大電流値（４８Ａ）の調整範囲不備とハンチング現象が観測された。ハンチングの原因はＡＣ２００Ｖラインの同期信号を制御回路で必要としていて、その信号をつくるためのダイオードが破損していて不安定な同期信号で制御していたものと思われる。ダイオードはより耐圧の高いものに変更して対応した。フィラメントの寿命に対してはフィラメントの予熱時間を１分４５秒にし、フルのフラッシュ時間を８分４０秒にしたところ、カタログ値の 1.5 倍の寿命が得られた。フラッシュ時間約４８時間なので１４４時間可能である。（１０年以上使用可能）

２－２　コールドカソードゲージ（C-11 型：日本真空）

日本真空製のコールドカソードゲージ（ＣＣＧ）が唯一極高真空まで測定できるということで採用した。ＣＣＧの較正は電離真空計をスピニングローターゲージにて較正をし、感度計数を算出して最も誤差がないゲージを選び電離真空計との比較（間接測定）で行った。真空度が低い方（悪い）は応答性が良いが、高真空になるにつれて感度が悪くなる。また、ケーブルの長さを換えて応答速度をみてみると、長くなれば長くなるほど応答が遅く指示値も正しく示さないようになった。高真空領域ではコントローラ側の補正回路を追加する事で対応した。

2－3　冷却水流量センサー

ＰＦでも使用している羽根車式センサーを採用した。放射線による破損を防ぐためアクリル部分をアルミに換えひび割れ対策を行った。また交換や調整が容易にできるように、据え付け場所をベンディングマグネットの下に置き、作業しやすい場所に設置した。また、各々のコントローラ側の較正は、テストベンチにて純水を使用して調整した。最初は圧力損失ゼロというキーエンス社の電磁式流量センサーを用いて較正を行ったが、純水では誤差が多く正確に検知できなかった。結局、バネ式の流量センサーを基準にして調整を行った。（水道水なら可能）

3　ダクト受け入れとベーキング作業

3－1　ダクト受け入れ

ＡＲ用真空ダクトの材質が銅であるため、輸送中に自重の重みと揺れと振動で変形するということが起きた。４６台のうち１９台が湾曲に反っていた。（１mm：１１，２mm：７，４mm：１）特殊ジグで修正するため送り返し、梱包方法を再度検討して遊びが無いように木材できっちり留め、緩衝材を硬いものに変更した。クレーン作業時の木箱のたわみ部分も考慮に入れて梱包する必要があった。工場側でのリーク試験の際にレーストラック部をＯリングで試験した時のずれ傷によるものが４台ほどあった。いずれも 0.3mm ほどの深い傷だったためヤスリで削って表面をダイヤモンドペーストで磨きだした。直線部のレーストラックダクトは切削行程の不備ですべてのダクトに段差の削り傷があったため削りなおした。また、ダクトの方でビーム位置モニター（ＢＰＭ）の寸法違いもあり溶接不良なども数台あった。

3－2　アーク部のベーキング

ベークをスムースに行うためジャケットタイプのものとバータイプのもので行った。ベークは立ち上げの時も立ち下げの時も１時間に５０℃以上急激に変化させないように温度調整をして慎重に行った。ステンレスと銅の膨張率の違いにより急激に温度を上げてしまうとリークするおそれがあるので、３時間で１５０℃になるようにコントローラを使用して行った。ベーキング時間は１５０℃一定で２６時間から３０時間の範囲で行った。

3－3　直線部のベーキング

直線部はテープヒーターを使用してスライダックで調整しながらベークをした。時間の関係上、すべてのダクトに関してベークできなかった。

4　据え付け作業

５月上旬よりアーク部の据え付け作業を開始した。２班に分かれ１日３台ずつインストールを行い、またこの作業と平行してリング全体の圧空配管とチタンゲッタ、アブソーバの取り付けを行った。ゲッタのフィラメントが放射光取り出し部に被さるというトラブルがあったが変換フランジの厚みを３０mm と５０mm のものに取り替えて対応した。また、他にもゲッタチャンバーが取り付け不能な所が出てきたりして急遽作り直すものや、ベローズ部のアブソーバの冷却配管のろう付けするときスウェージロックを取り付けたまま溶接してしまったため熱で焼き付いて継ぎ手の役目をしなくなってしまって、糸鋸で切断して付け替える作業と、マグネットのコア部分が物によって寸法が違っていたりして、ダクトを削らなくては入らないもの

もでてきたりした。リング全体を真空に引けたのが１２月中旬になってしまった。

5　作業中のトラブル及び不具合

- レーストラックに傷がついていた（研磨して対応）
- ヘリコフレックスの不備（スプリングの硬さを変更）
- ダクトのねじれ及び垂れ下がり（運搬による：ジグにより修正、ベローズにて吸収）
- ベーキング時にオイル汚れ（バイトンでないＯリングを使用した可能性あり）
- DIPの絶縁不良（梅雨時の湿気による）
- 機器の寸法誤差による据え付け時の不具合（マグネットと干渉しダクトを削る）
- 継ぎ手が付いたまま溶接をしてしまって焼き付いた（取り替え）
- チタンゲッタの干渉（変換フランジの厚みを換えた）
- ゲートバルブのシート面に傷が付く（ロック機構が働かなかった）
- NE４下流のベローズが壊れる（ダクトの押さえがゆるんでいた）

6　まとめ

ＰＦリングを運転しながらの改造だったため初期の準備が遅れたのと、物品の手配が間に合わないなど様々な事があった。ダミーダクトでのヘリコフレックスのリークテストでは上手くいっていたが、実際にダクトを受け入れてベーキングを開始しようとしたところ、どんなに丁寧にフランジを締めてもリークが止まらなかった。ダクト側のレーストラックをダイヤモンドペーストで磨き上げても効果はなく、ヘリコフレックスの問題だと考え、メーカー側に硬度の違うものを用意してもらいテストをかさねた。その結果、ベークしたら止まるものと、締め具合で止まるのと２種類でてきた。最終的には、硬度と仕上がりを良くしたことで上手くいった。また、レーストラックのダクトで、ヘリコフレックスを使用せずに、バイトン Ｏ リングでベークできるものに対してはＯリングを使用した。ＰＦの高輝度化の時に真空ふうしに使用していたｏリングがバイトンＯリングを使用していると思っていたため、このＯリングを使用した事によりシリコン系のオイルが Ｏ リングよりにじみでてダクト全体とゲートバルブ、ターボ分子ポンプ、マスフィルタ、CCGをすべてダメにしてしまった。Ｏリングを使用してベークするときは素性のはっきりしているものを使用すれば良かった。我々の真空に対する固定概念がこういう結果をつくってしまった。今回でもう一つ勉強になったのが、輸送中の梱包方法がしっかりしていないと、長尺のものはほとんど歪んでしまうということ。たまたま、すべて銅ダクトだったからかも知れないが、多少の歪みがベローズで吸収されなければ、リング全体で大きな誤差が生じるということ。また、ＮＥ４の下流ダクトの破損の原因は、マグネット内の押さえジグがダクトに当たっていてダクト同士が繋げなかったため、ベローズに無理な力で吸収させて取り付けてしまったため、ダクトを押さえつける金具がしっかり締められず、真空状態のまま力がベローズに集中してしまってダクトがリング外側に追い出された格好になってしまった。ほんの 2mm 程度のものでもこういうことが起きてしまった。

人数が少ないわりには作業量が多く、圧空配管、架台取り付け、ダクトの繋ぎ込み、真空計、イオンポンプ、ゲートバルブ、ゲッタ、電気配線、コントローラ、冷却水配管、真空の制御系、インターロック、温度計などの設置など自分たちで行った。

7　謝辞

真空グループの作業が１～２ヶ月遅れていたため、各会社の方々にいろいろ無理なお願いを沢山してしまいました。お陰で、無事に期日まで立ち上げる事ができました。また、KEK-Bの真空グループの方々にもいろいろ助けられました。有り難うございました。

三菱重工、日立造船、日本真空、トヤマ、日本バルカー工業、ムサシノエンジニアリング、東京電子、秀和電気、北陸ケン・マシン、アールデック、清和製作所、石塚製作所、富士サービス、ジェーンテック、古本機工、北原商事、ケーサイエンス、あかつき理化学、インフィコン、クリアパルス、伯東、ケーバック、ツジ電子、瀬戸電子、ブイテックス、林栄精器、巴商会、茨城バルブフィッティング、スズデン、チノー、キーエンス、三菱電機システムサービス、の方々に感謝致します。

今後、AR の運転状況や各グループの報告がいろいろなところでされると思います。詳しい事はそちらの報告で見てください。

参考資料

目標仕様

6.0GeV　100mA　ビーム寿命１０時間以上（$I\tau \sim 1Ah$）

ビーム寿命と目標真空度の見積り

真空寿命では Bremsstrahlung が支配的、Dynamic aperture は狭くない

$\sigma v = 1/(p \cdot \tau v) \sim 8000 Torr^{-1}sec^{-1}$、目標真空度　$p/I \leqq 3.5 Torr/A$

必要排気速度　$S/\eta \geqq 4\times10^{9}[l/s/(mol./ph.)]$、$\eta \sim 1\times10^{-5}$ とすると $S \geqq 4\times10^{9} l/s_0$

$\eta \sim 1\times10^{-5}$ に必要な photon dose $\geqq 1\times10^{25}$ [ph./m]　運転時間　$\int Idt \geqq 200A \cdot h_0$

1．PF－AR 高度化計画　研究計画書
2．PHOTON FACTORY NEWS VOL.19 NO.1
3．PHOTON FACTORY NEWS VOL.19 NO.2
4．PHOTON FACTORY NEWS VOL.19 NO.3
5．PHOTON FACTORY NEWS VOL.19 NO.4

大型ヘリカル装置（ＬＨＤ）用
ゲートバルブ制御装置の運用

核融合科学研究所　○岡田光司　舟場久芳

1. はじめに

大型ヘリカル装置(LHD)において、加熱機器・計測機器はそれぞれプラズマ真空容器との取り合いゲートバルブを有している。LHDプラズマ真空容器の超高真空を維持するためには、一括してゲートバルブの開閉を制御する必要がある。LHD用ゲートバルブ制御装置はLHDにおけるプラズマ実験に必須であり、プラズマ真空容器における超高真空の維持・管理の一端を担っている。

我々は教官と共に行っているLHD用ゲートバルブ制御装置について信頼性の維持をはかるために運用を具体化してきた。

2. LHD用ゲートバルブ制御装置の概要

図1にLHDプラズマ真空容器のポートの一例を示す。LHD真空容器の実験用ポート数は約350個あり、そのうちLHD用ゲートバルブ制御装置は約80個のゲートバルブを制御している。

図2にLHD用ゲートバルブ制御装置のシステム構成図を示す。図中において、LHD用ゲートバルブ制御装置によるゲートバルブの操作は制御室の操作用パソコン⑤によって開閉操作を行い、シーケンサー盤⑦に信号が送られる。開または閉の条件が整った場合、信号は本体地下室に設置されているリレー盤④を通り本体室に設置された電磁弁③で開閉用に変換された圧空を供給することによって各機器のゲートバルブが開閉動作をする。

同時に、制御室の監視用パソコン⑥にて各ゲートバルブ①のリミットスイッチからの信号によるゲートバルブ①の開閉状態と、各電磁弁の励磁状態を監視している。

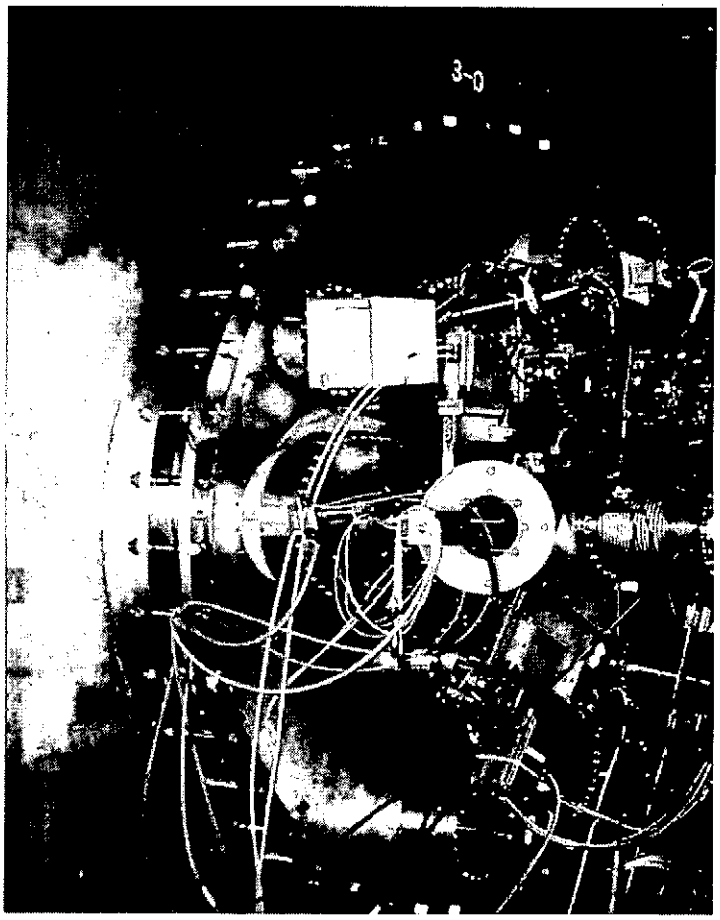


図1　LHDプラズマ真空容器　ポート一例

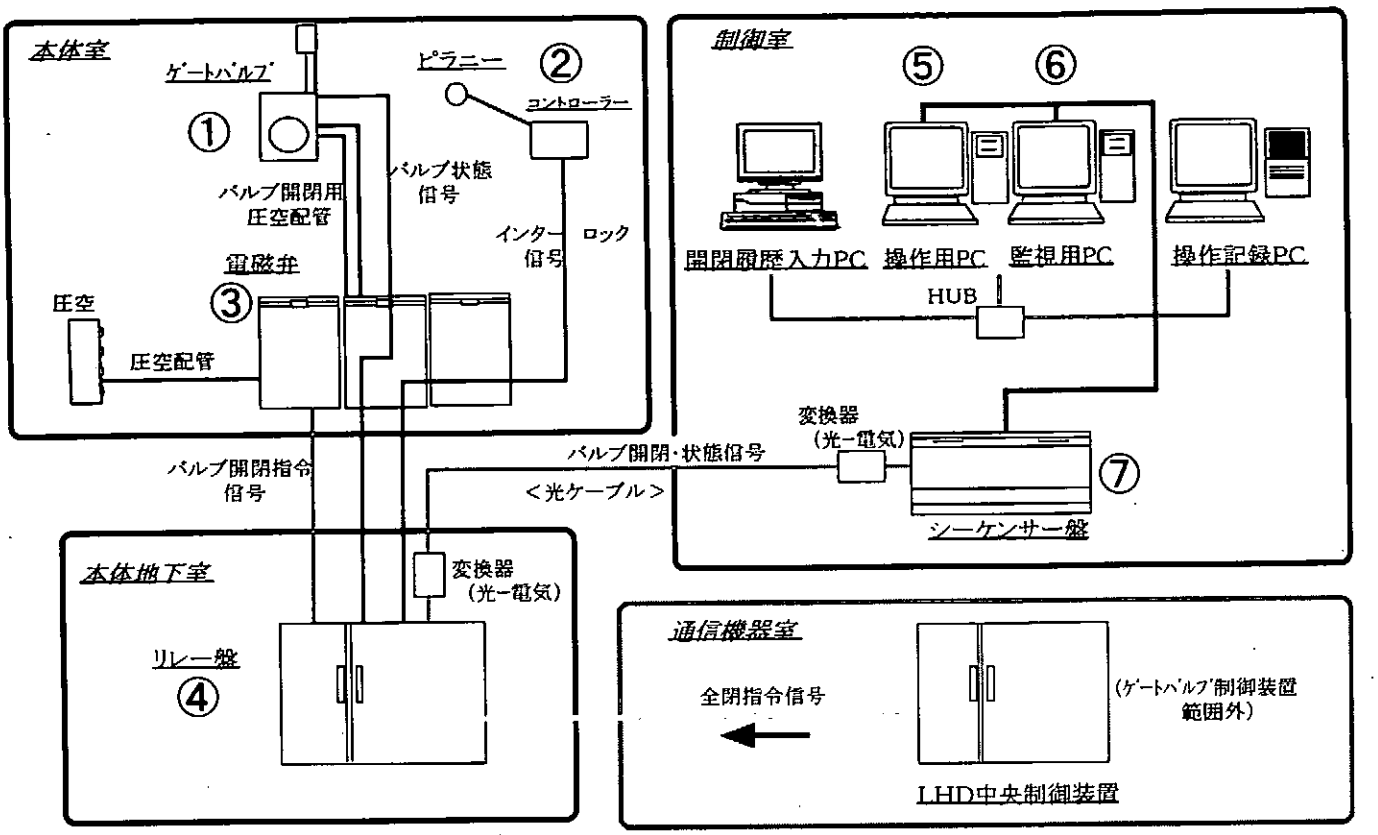


図2 LHD用ゲートバルブ制御装置 システム構成図

LHDプラズマ真空容器ポートにゲートバルブを介して取り付けられた機器は原則としてピラニーゲージが取り付けられている。LHD用ゲートバルブ制御装置はピラニーゲージのコントローラーから接点信号を取っており、この信号は機器側の圧力が30Pa 以上の場合は接点が開くためゲートバルブが閉じるようにになっている。なお、機器側の急激な真空度悪化の場合には、ゲートバルブを閉めるような制御を行っている。実験中、超伝導コイルの急速減磁によるLHD中央制御装置からの全閉指令(全ゲートバルブに対する閉指令)にも対応している。

3. LHD用ゲートバルブ制御装置のメンテナンス

LHD用ゲートバルブ制御装置のメンテナンスとして以下の事項が挙げられる。これらは、LHD用ゲートバルブ制御装置の信頼性維持をはかるため実験前・実験中に行っている。

1; 実験前に新たにゲートバルブを設置する機器、移設する機器について調査を行う。その主な内容は、取り付けポート・フランジの場所、ゲートバルブの種類・形式の特定、また信号の取り合いについてはインターロック用ピラニ真空計の接点にかける電圧等についての調査である。

2; 布設された信号ケーブルの導通チェックと制御室にある操作用パソコンによって開閉操作を行い必要な圧力(5～7 kgf/cm^2)の圧空が供給されていることを確認する。リミットスイッチの動作チェックも行った上で実際に使用するゲートバルブへの接続を行う。接続の際は機器担当者を含め2人以上で確認する。

3; 接続したゲートバルブの動作チェックを行う。機器側の到達真空度が 1.3×10^{-5}Pa に達していることを確認した上で、装置技術課真空担当者によるLHD真空容器の真空度を監視の元、真空中での開閉試

験を行う。

4； 実験中、誤ったバルブの開閉操作を防ぐため機器側の圧力が大気圧である機器や実験期間中にメンテナンスのために外された機器、実験に使用するにあたって準備が出来ていない機器のゲートバルブが動作しないよう本体室内電磁弁盤上部にあるこれらの機器のゲートバルブへの圧空配管のバルブを閉じておく。

4. 実験期間中のトラブルと対策

実験期間中、以下に挙げる不具合が2件あったので報告する。

1； LHD用ゲートバルブ制御装置によって操作したが、動作しないゲートバルブが1個あった。

この原因については、機器側ゲートバルブ自体の不具合により開閉動作が出来なくなったため実験終了後、修理または交換することにした。実験サイクル終了後、不具合バルブを分解し原因究明を行い他のバルブの信頼性向上に役立てる予定である。

2； 実験中ゲートバルブが圧力高(30Pa 以上)によるインターロックによって閉まってしまい、開いた状態を維持できなかった。

この現象は、燃料ガス供給装置(ペレット)のゲートバルブに起こった。その原因を真空計が射出ガスによって瞬間的に真空計に反応し真空度悪化の信号を出してしまうことによって起こると想定した。そこで、LHD用ゲートバルブ制御装置側で対象機器の真空度悪化の信号についてディレイタイマーを設けた。これによってガス供給後 5 秒間は開いた状態が維持できるようになった。しかし、これによっても解決することが出来なかった。実験終了後機器担当者と相談の上、磁場がかかっていない状態でガスを供給し真空計の動作を確認することなどを計画しており現在、原因を調査中である。

5. 今後の取り組み

図3にLHD用ゲートバルブ制御装置管理業務用 web 画面を示す。これは、LHD用ゲートバルブ制御装置の更なる信頼性向上のため、制御対象の各ゲートバルブについてその種類、取り付けポート、フランジ等の管理業務に必要な情報を集め web 上で公開し(所内のみ)、トラブルが起こった場合に迅速に対応できるように準備中のものである。

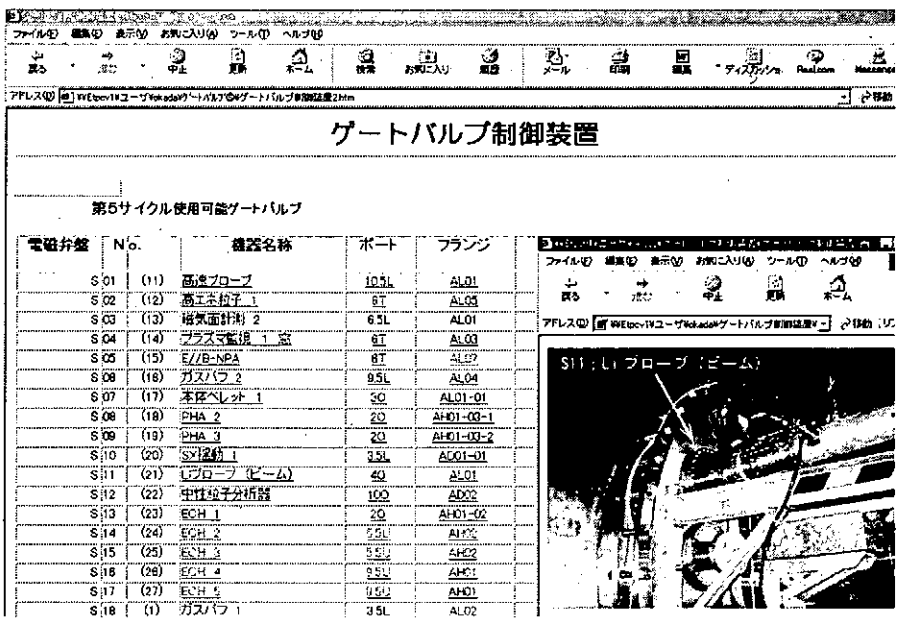


図3 LHD用ゲートバルブ制御装置管理業務用 web 画面

光CTによるJT-60プラズマ電流測定

日本原子力研究所 那珂研究所 JT-60第2試験室
○西山 友和・新井 貴・柳生 純一・阿部 充志*・曽根 勇*
*㈱日立製作所

1．はじめに

臨界プラズマ試験装置（JT-60）は、トカマク型の大型核融合実験装置である。図1にトカマク型装置の原理図を示す。トカマク型では、超高温プラズマが真空容器に触れないように、トロイダル磁場コイル（TFC）の磁場とポロイダル磁場コイル（PFC）によってプラズマ中に流れる電流（プラズマ電流）が作る磁場を合わせて「磁力線のカゴ」を作り、プラズマを閉じ込めている。これらのプラズマや各磁場コイルの直流大電流計測には、ロゴスキーコイル（RKC）が用いられている。RKCは、構造が簡単であり非接触測定で、且つ大電流の測定が可能である。しかし、原理上、電流の変化値を時間積分するため、ノイズ等による積分ドリフトが生じる。特に将来の核融合装置では、プラズマの長時間放電が予想されるため、その影響が懸念される。昨今、電力系統の電流センサなどで光学的に電流を計測する光CT（Current Transformer）が開発、実用化されている。光CTは、センサに光ファイバを用い、ファラデー効果を利用して電流測定するもので、積分器を必要としないのでノイズ環境に強く、より簡単な構造にて大口径の領域を流れる電流の測定ができる等の利点を持っている。しかし、これまでJT-60のような大型装置で且つ直流の大電流（MA級）測定や核融合装置の特有な環境においての使用実績がなかった。

今日、光CTによりMA級の直流電流を発生するJT-60のプラズマ電流を測定し、核融合装置環境に於ける適用性を評価した。

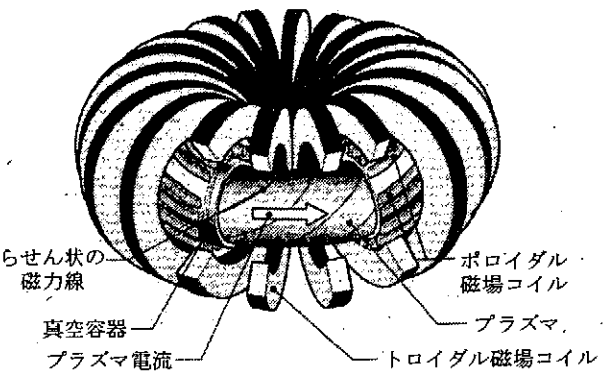


図1　トカマク型装置の原理図

2．光CTの概要

光CTは、磁気光学材料に磁界が加わると透過光の位相が変化するファラデー効果を利用して電流を測定するものである。図2-1に光CTの電流測定原理図を示す。センサとなる光ファイバは、測定対象機器（電流）を囲むように設置し、ループさせる。光源からの光をファイバカプラにて右回り光（CW）と左回り光（CCW）に分岐し光ファイバセンサを透過させる。磁界方向に対して、CWとCCWは、観測位置が逆であるためファラデー効果による位相変化θは、それぞれ進みθと遅れθになる。この結果、ファイバカプラで再び結合された光は2θの位相差を受けた干渉光となる。この干渉強度を測定して位相差θを求めることで、磁界の発生源である電流を測定する。

光CTの主な特徴として、

①シグナル/ノイズ比が良い。

②直流成分の計測が可能。

③センサの電気絶縁の配慮が不要。

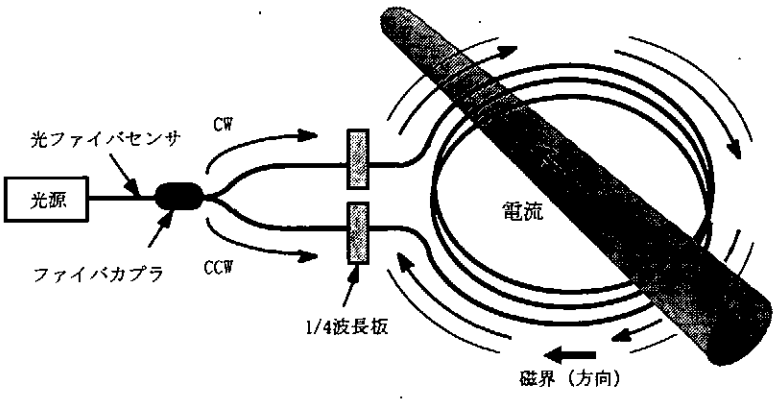


図2-1 光CTの電流測定原理図

④長尺センサの製作が容易で、大口径の領域を流れる電流の測定が可能。

等が挙げられ、核融合装置に利用するに際して、多くの利点を持ち合わせている。

3．JT-60 プラズマ電流の測定

1)目的

光 CT は、光学計測の利点に加えて、大口径の領域や強磁場環境中での電流計測が可能と言われている。しかし、JT-60 のような大型装置での MA 級の直流電流の測定実績がなく、また、こうした実際の核融合装置にて適用する場合に於いては、放射線や強磁場、温度差、ノイズ等の困難な環境において電流計測が強いられ、その影響については不明であった。そこで、JT-60 のプラズマ電流の測定を試みて、核融合環境に於ける光 CT の性能及び影響を評価した。今回は、第１段階として、以下の点について評価する。

①JT-60 でのプラズマ電流測定による、出力性能及び影響の評価

②JT-60 に既設の RKC と光 CT 出力の比較

③パルス電流の長時間測定によるノイズ及び零点ドリフトの評価

2) 光ファイバセンサ仕様

プラズマ電流を測定する光ファイバセンサは、最低損失が得られる波長 1550nm の低複屈折石英ファイバで、光源には同じく 1550nm の SLD 素子を使用した。図 2-2 に、光ファイバセンサの内部構造図を、図 2-3 に全体構造図を示す。光ファイバ芯線は、中央に光の伝送領域である$\phi 5\,\mu$m の石英コアを$\phi 125\,\mu$m の石英クラッドで被覆し、さらに$\phi 220\,\mu$m のコーティング層で保護されている。光ファイバセンサは、大口径の真空容器に巻くため全長 37,000mm の長尺ファイバとし、保護の観点からϕ0.8-ϕ1.2mm の SUS 管及びϕ2.0-ϕ3.0mm の PFA チューブ内に挿入した。

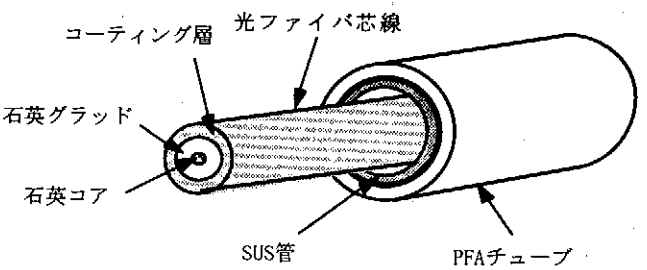


図 2-2　光ファイバセンサ内部構造

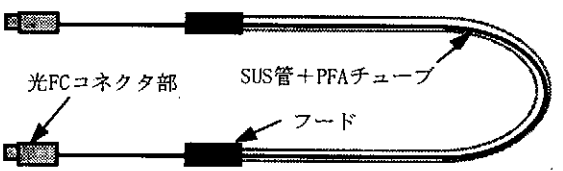


図 2-3　光ファイバセンサ全体構造図

3)光 CT の設置

図 3-1 にプラズマ電流測定用の光 CT 配置図を示す。光ファイバセンサは、可能な限りプラズマをループするように、真空容器の外周に巻き付けて設置した。それ以外の光ファイバ部は、外部の電流、磁界が進入しないように、光ファイバ同士をループが形成されないよう固定した。信号処理回路は、振動の影響がないように本体室の床下に設置した。光 CT の出力データは信号処理回路からツイストペアケーブル及び同軸ケーブルで制御室の各制御盤等を経由し、絶縁アンプ（ゲイン×1、フィルタ無し）、高速の A/D 変換ボードを介して計算機に伝送される。

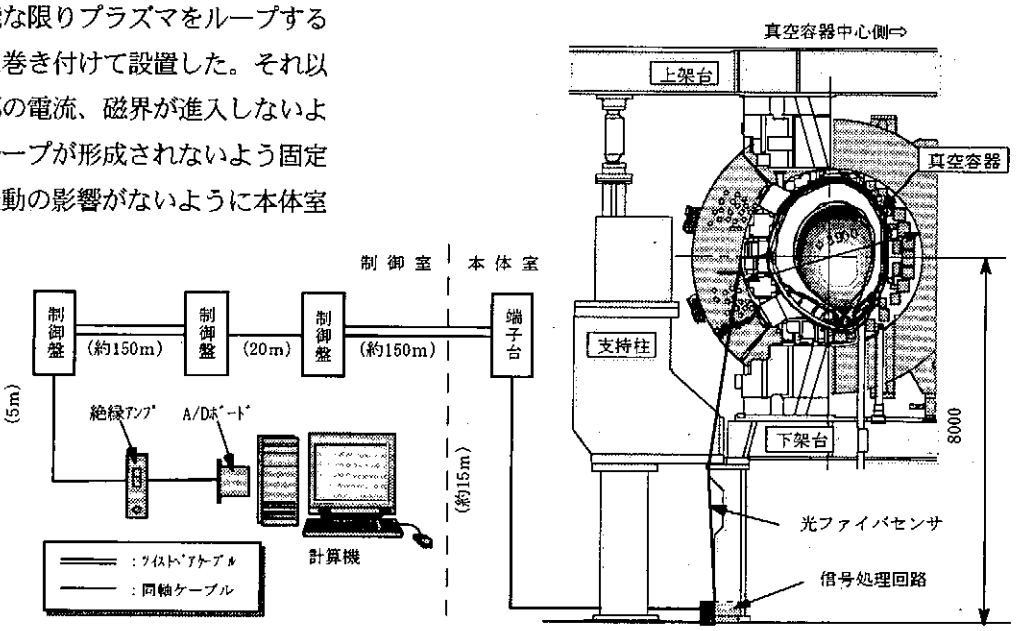


図 3-1　光 CT 配置図

4)プラズマ電流測定による光 CT の性能評価

光 CT により 3 日間に渡る JT-60 のプラズマ実験放電を利用して測定した。光 CT のゲインは、4000 ターンのコイルに DC1A を通電して、4000AT で光 CT 出力が 2.5V とし、これを基に更に 1/1000 に設定した。よって、光 CT 出力のゲインは、±2.5V の出力電圧に対して±4MA（4MA＝最大プラズマ電流）である。尚、測定期間の後半からは、今回のプラズマ電流が 0.6～1.5MA の実験であったので感度を上げるために±2MA に変更した。

(1) 直流大電流の測定評価

図 3-2 にプラズマ電流測定波形図を示す。本図は、光 CT 出力を電流換算し、既設の RKC のプラズマ電流測定値と比較したものである。プラズマ電流 1.2MA の直流大電流に対して光 CT は、応答性よく電流測定できることを確認した。一方、RKC を基準とした場合、最大電流に対して約 5.5%の相対誤差が発生している。また、プラズマ放電の前後において零点がマイナス側にシフトするとともに、プラズマ放電中では出力が変動する事象が確認された。これらは、各種磁場コイル等の外部磁界による影響と思われるので調査することとした。相対誤差については、併せて光 CT のゲイン較正の精度不良も原因の一つと思われる。

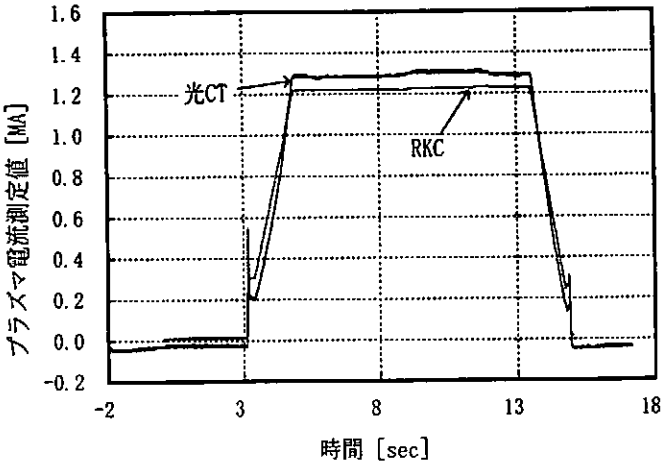


図 3-2　プラズマ電流測定波形図

(2) 外部磁界による影響評価

プラズマ放電中及び前後に於ける光 CT の出力変動について調査した。図 3-3 に、プラズマ放電中のコイル等電流波形図を示す。零点シフトは、プラズマの放電前 20sec 前からと、プラズマ放電後約 50sec 間に確認できる。この間に、励磁されるコイルは、TFC のみである。また、零点シフト事象前後の時間帯と TFC の励磁時間帯もほぼ合っているため、TFC の影響が顕著であると思われる。プラズマ放電中の細かい出力変動については、PFC の影響と思われる。

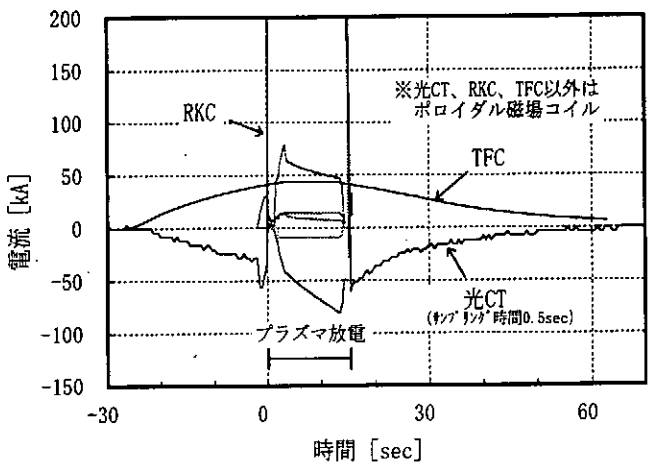


図 3-3　プラズマ放電中のコイル等電流波形図

(3) 光 CT 出力の直線性評価

RKC を基準に、光 CT 出力の直線性を評価した。図 3-4 に、RKC に対する光 CT 出力の直線性波形図を示す。直線線評価にあたって、先ず零点シフトの原因で、分離可能な TFC の影響を補正した。補正は、TFC の影響のみを受けているプラズマ放電後の零点シフトした値（-0.005～-0.02V 程度）を最大電流に加算した。この結果、RKC に対する光 CT 出力は、広い電流域で良好な直線性を得られた。但し、零点が RKC 測定電流値に対してマイナス側

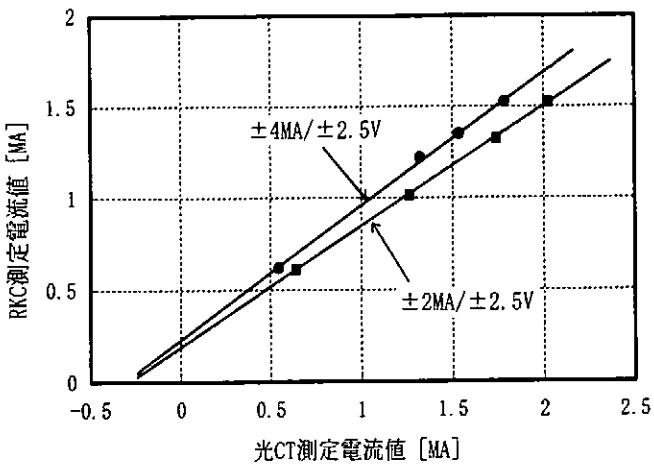


図 3-4　RKC に対する光 CT 出力の直線性波形図

にシフトしている。これは、PFC 等の外部磁界の影響と思われる。

(4) ノイズと零点ドリフトの評価

光 CT のノイズと、それに伴う零点ドリフトの評価を目的として長時間の連続測定を実施した。図 3-5-1 に光 CT 連続測定波形図を示す。その結果、3時間中に5ショットのプラズマ放電を実施しても零点ドリフトは発生しなかった。これは、3日間の測定期間を通しても発生していない。図 3-5-2 に光 CT 連続測定波形図の拡大図を示す。光 CT 出力には、5mVp の微少ノイズが浸透していることが確認された。ノイズレベルは、測定上問題ないレベルであり、且つノイズの浸透箇所がノイズ環境である本体室内に設置された光 CT の信号処理回路や伝送ケーブルと思われるため、その配置次第でノイズレベルを低減できると思われる。また、併せて今回のように微少ノイズが浸透しても、零点ドリフトは発生しないことも確認された。

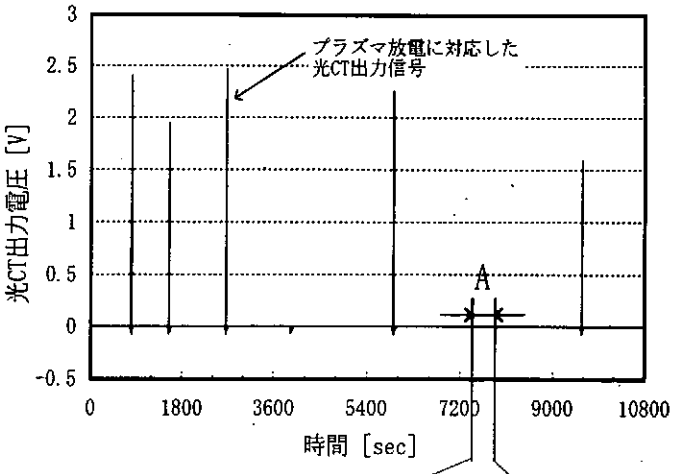


図 3-5-1 光 CT 連続測定波形図

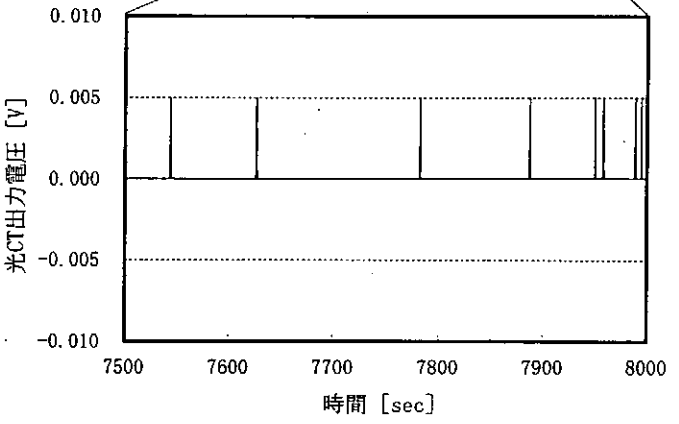


図 3-5-2 光 CT 連続測定波形図（図 3-5-1 の A 部）

4．まとめと今後の課題

今後、核融合装置の電流測定センサとして期待される光 CT の適用性を検証するために、JT-60 真空容器に光ファイバセンサを設置しプラズマ電流を測定した結果、以下の結論を得た。

(1) 直流大電流の測定評価

光 CT にて最大 1.5MA のプラズマ電流を応答性よく測定できることを確認した。また、外部磁界等の影響により、最大電流で約 5%の相対誤差や、プラズマ放電前後での零点シフトが生ずることを確認した。零点シフトにおいては、TFC の影響が大きいと推測した。その他の PFC 等による影響については、更に評価する必要がある。また、光 CT 出力ゲイン較正法についても検討が必要である。

(2) 光 CT 出力の直線性評価

真空容器外周に設置されている既設の RKC に対して光 CT 出力を比較した。TFC 磁場の影響を差し引いた光 CT 出力が広い電流域で直線性のあることを確認した。但し、PFC の影響等を考慮した補正の必要がある。

(3) 零点ドリフトとノイズの評価

測定期間中（3 日間）において、光 CT 出力の零点ドリフトは認められなかった。更に、本体室内に設置した信号処理回路等からと思われる 5mVp の微少ノイズの浸透が確認されるような環境にあっても零点ドリフトは発生しておらず、大電流を長時間、安定に測定できることを確認した。

今後は、光 CT の更なる精度向上を図るとともに、核融合装置への適用性をさらに検証するために、耐放射線、耐極低温・高温、耐真空環境評価等を実施していく必要がある。

JT-60 電源設備の長期保管計画

日本原子力研究所 那珂研究所
○大森栄和 松川誠 大森俊造 寺門恒久 岡野潤 野田政明

1. はじめに

JT-60 電源設備は、大型トカマク型核融合装置 JT-60 の磁場コイルやプラズマ加熱装置に電力を供給する設備である。実験運転においては、瞬間的に約 130 万 kVA という 1 つの発電所出力に相当する電力を供給する能力を持つ大規模な電力設備である。

JT-60 では現在、超伝導コイルを用いた装置に改造する計画が検討されている。この計画では、約 5 年をかけて改造が行われる。これに伴い電源設備の改造も行われるが、既存の機器を最大限再利用するため、改造の間それらの機器を健全な状態に保管しなければならない。このような大規模な電力設備を長期に亘り保管するには細心の注意を払う必要がある。しかし、予算等の制約によって保管のための運転や製作メーカーによる点検を行うことが困難となり、かつ、改造作業を行いながらの保管であるため点検に当たる人員や時間も制限される。そこで、今までの運転実績や経験等を踏まえた上で、簡略化や省力化を考慮した保管の方法等について計画した。

2. JT-60 電源設備の構成

JT-60 電源設備は、トロイダル磁場コイル用のトロイダル磁場コイル電源(T 電源)、ポロイダル磁場コイル用のポロイダル磁場コイル電源(P 電源)、プラズマ加熱装置用の加熱用発電設備(加熱 MG)の 3 つの電源設備から構成される。各電源設備の主な機器構成を表 1 に示す。

表 1　各電源設備の構成機器と定格

機器＼設備	T 電源	P 電源	加熱 MG
電動発電機	出力 215MVA 1 台	出力 500MVA 1 台	出力 400MVA 1 台
サイリスタ駆動装置	19MW 10 面	—	—
セルビウス装置	—	約 3MW 6 面	約 6.7MW 7 面
励磁装置	約 0.8MW 12 面	約 5MW 4 面	約 2.2MW 9 面
油入変圧器等	60.2MVA 等 16 台	107.1MVA 等 約 30 台	9.2MVA 1 台
真空遮断器	遮断電流 40kA 等 18 台	同左 約 25 台	同左 約 15 台
ダイオード整流器	52.1kA 24 面	—	—
サイリスタ変換器	—	120kA 等約 50 面	—

電動発電機(MG)は、実験運転に必要な電力を予め回転エネルギーとして蓄え、瞬間的に大電力を供給するための装置である。MG は、サイリスタ駆動装置、セルビウス装置、励磁装置等により運転を行っている。

T 電源及び P 電源は、コイルに直流の電力を供給する。このため T 電源ではダイオード整流器を、P 電源では 5 種類の磁場コイルに電力を供給するため、定格の異なる 5 種類のサイリスタ変換器群を使用している。また、発電機から出力された 18kV の電圧(T 電源では他に、電力系統から変圧器を介し直接 18kV で受電する回路も有している)を、ダイオード整流器やサイリスタ変換器に合った電圧まで下げるための油入変圧器を有している。

JT-60 電源設備はこの他に、電路を開閉し故障時には電流を瞬時に遮断するための真空遮断器、高調波の抑制や力率改善のための各電力用コンデンサ、各種制御盤、その他の機器から構成される。

3. 機器の長期保管中に懸念される事象

電力設備の機器を長期に亘り保管する場合、以下のような事象が懸念される。

①電気回路の絶縁物が吸湿や汚損等により劣化し、絶縁抵抗が低下することにより回路が短絡・地絡に至る。

②盤内の湿度上昇による絶縁物の吸湿や金属の発錆・腐食を防止するためのスペースヒータが、導体の経年変化や絶縁物の劣化により異常過熱、焼損に至る。

③運転中に発熱した機器を冷却するための冷却水が、配管や熱交換器の腐食等により漏れ出す。

④変圧器やコンデンサ等の油入機器に注入してある絶縁油が、鉄板や放熱器等の発錆、腐食により漏れ出す。

⑤空気に触れている金属部分が発錆・腐食する。

⑥モータ・ポンプ類が絶縁劣化・軸受部の固着・発錆・漏水・漏油を起こす。

⑦機械可動部が、グリースの劣化や長期にストレスがかかることにより固着・損傷する。

⑧制御基板の電源を切っておくことにより、基板の電解コンデンサ等が劣化する。

以上のような事象に注意し、各機器について保管を計画した。

4. 機器毎の保管計画

機器毎の保管計画について、T 電源を例に説明する。

4.1 再使用する機器

(1) MG

T 電源の MG は、直径 6.6m、厚さ 0.4m のフライホイール 6 枚を含む回転体の総重量が 1,100 トンという巨大発電機であり、回転子・固定子の各コイル、フライホイール、上部・中間・下部・スラストの各軸受、補機類で構成される(図 4.1 参照)。

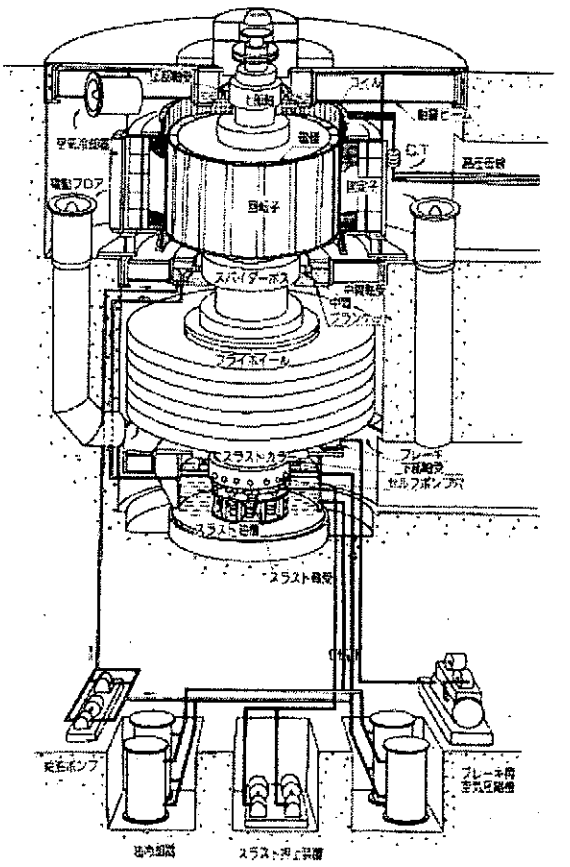


図 4.1 MG 鳥瞰図

MG を長期保管した場合特に注意が必要なのは、コイルの吸湿による絶縁劣化、フライホイールや各軸受メタルの発錆、加重によるスラスト軸受メタルの損傷、潤滑油の劣化等である。最も簡単な保管方法は定期的に MG を運転することであるが、一度の保管運転で 5MWh 以上もの電力量を必要とするため、現実的には困難である。従って、MG を運転しないで保管を行うことになる。コイルの吸湿対策としては、MG ピット内のスペースヒータ電源を「入」とし除湿機を設置する。また、毎年コイルの絶縁抵抗測定を実施し、吸湿状態を管理する。上部、中間、下部の各軸受油槽内に設置されている軸受メタルについては、通常その半分は空気にさらされており、湿気による発錆の可能性がある。そこで、軸受油槽に潤滑油を充満させ、軸受メタルを空気に触れさせないような処置をする。スラスト軸受メタルの剥離防止対策としては、ロータをジャッキアップして加重がかからないようにする。また、フライホイール等の金属の露出部には防錆剤を塗布して発錆を防止する。ポンプ類の運転にはそれほど電力を必要としない

ため、1ヶ月毎に劣化防止のための保管運転を実施する。潤滑油の劣化については、運転開始から既に十数年使用していることもあり、運転開始前にすべて新油と交換する。

(2) 屋外油入機器

ダイオード整流器用変圧器、駆動用変圧器、駆動装置用AC・DCリアクトル、高調波フィルタ用コンデンサ、力率改善用コンデンサ等の屋外油入機器(図4.2参照)の保管にあたっては、油漏れが最も注意すべき事象である(油が漏れることにより内部に外気も混入する)。但し、通電をしない状態では突発的な油漏れの可能性は低いため、月に1回程度点検を行えば良いと考えられる。また、変圧器の絶縁油劣化に対しては、2～3年毎に油分析を実施管理する。コンデンサは1年毎に容量測定を実施する。スペースヒータの電源を「入」とし、冷却ファンのあるものについては毎月保管運転を実施する。また、発錆箇所の補修塗装も定期的に実施する。

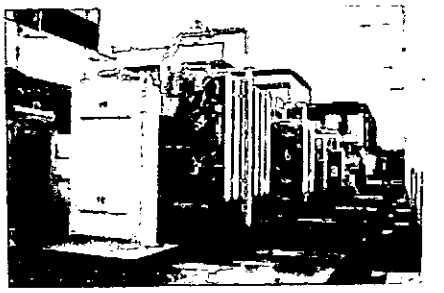


図4.2 変圧器外観図

(3) サイリスタ駆動装置・励磁装置

サイリスタ駆動装置及び励磁装置は、サイリスタ素子、スナバー回路、各種制御装置等で構成される。制御基板の劣化防止や故障の把握のために制御電源は「入」とする。また、吸湿防止のためにスペースヒータ電源も「入」とする。冷却ファンについては毎月保管運転を実施する。

(4) ダイオード整流器

ダイオード整流器(図4.3参照)は、ダイオード整流器盤、ダイオード素子を冷却するための純水冷却装置及び制御保護盤から構成される。改造が行われるダイオード整流器盤以外については制御電源とスペースヒータ電源を「入」とし、純水の劣化や配管の発錆・腐食等の防止のため毎月ポンプの保管運転を実施する。また、純水冷却装置に使用されているイオン交換樹脂を1～2年毎に交換する。

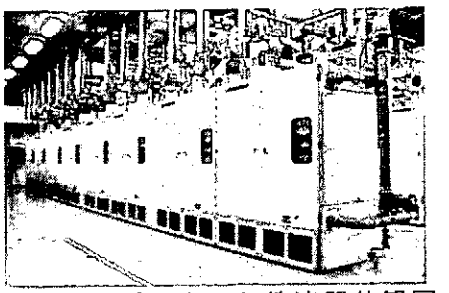


図4.3 ダイオード整流器外観図

(5) 屋外特別高圧閉鎖配電盤

真空遮断器や交流母線等を収めるための特別高圧閉鎖配電盤(26面)の内、屋外に設置されている盤(8面)については、盤内の結露防止のためにスペースヒータ電源を「入」とするとともに、ペルチェ効果を利用した電子除湿機(日新電機製・バンロム電子除湿機)を設置する。

(6) 真空遮断器

真空遮断器は、操作回路電源とモーター回路電源を「切」とし、電路を確実に切り離すために断路位置まで引き出した上で、蓄勢バネにストレスがかからないように放勢状態とする。また、発錆と固着の防止のため各部にグリースを塗布し、1年毎に動作試験を実施する。

(7) 保護継電器

設備の異常を検出するための保護継電器については、接点や金属部分の腐食等が懸念されるため、屋外閉鎖配電盤内設置のものについてはケース内にシリカゲル等の吸湿剤を入れる。

(8) 制御盤・CAMAC・VME

設備全体を運転・監視するためのこれらの機器は、制御基板の劣化防止の他に、制御電源が入っている機器の異常が発生した場合の監視の目的があるため、電源は「入」とする。

(9) 2次冷却水

運転中に発生する熱を冷却するために外部から供給を受けている2次冷却水は、熱交換器や配管内の腐食防止のため定期的に通水を依頼する。

4.2 再利用しない機器

再利用しない機器については、機器の電源を「切」とする。補機類の保管運転も実施しない。電源を切っておくことにより焼損等に至る可能性は低いため、環境に影響を及ぼしたり、他の機器に障害を与えたりするような事象(漏油・漏水等)についての点検のみとする。

5. 保管中の点検

機器を健全に維持する目的からすれば、より詳細に点検を行うことが望ましい。しかし、保管中は改造設計・製作・工事を行いながら点検を行うので、点検に当たることができる人数や時間に限りがある。そのため、簡略化、省力化することも必要である。今までの運転実績や経験から、以下に示す点検を計画した。

5.1 日常巡視点検

装置を運転している場合、機器の状態が急激に変化することによって不具合が発生し易くなるため、機器を常に監視し、不具合を一早く発見することが重要である。しかし、保管中においては運転中のような突発的な事故の可能性は低いと考えられる。このため、毎日実施する日常巡視点検においては、直ちに対処が求められるような不具合のみを点検することとした。点検方法としては建屋の各フロアーを歩いて異音・異臭を確認する程度の簡易なものとする。現在の非運転日の日常巡視点検ではT電源、P電源、加熱MGの3設備を合わせて6人×30分程度を要している。保管中の点検では運転している他設備の日常巡視点検に含めて行うことにより、2人×15分程度となる。

5.2 月例点検

月に一度実施する月例点検では、スペースヒータの状態や漏油、漏水等を中心に、機器の状態を一通り点検する。但し、異音・異臭等がない限り、基本的に盤の扉を開けないでできる範囲の外観点検とする。運転サイクルの間に実施する現在のサイクル点検では、月平均で50人日程度を要するが、3設備で補機の保管運転を合わせても6人日程度で実施できる。

5.3 年次点検

年に一度実施する年次点検では、外観の点検に加え扉を開けた状態での内部点検を実施する。但し、電気的な特性試験は実施しない。現在は製作メーカーによる定期点検や職員等による自主点検を合わせて3000人日程度を要しているが、保管中の点検は3設備合わせて500人日程度と、年間を通して計画的に行えば設備の大半を自主点検にて実施できる。

6. 運転開始前の点検

運転開始前には、最終的な機器の健全性を確認するため、製作メーカーによる細密点検を実施する。また、交換部品の手配に時間を要するような箇所、或いは細密点検で補修が必要になりそうな箇所については、状況調査を兼ねた点検を細密点検の前年度に実施する。

7. まとめ

今回の長期保管計画では、機器を健全に保つことを大前提としながら、保管中の点検を必要最小限に抑えることを考慮した。その結果、現在よりも大幅に簡略化・省力化をすることができた。

JT-60の改造後に如何に安全に運転を再開できるかが最も重要である。このためには、保管中に細心の注意を払って機器の監視を行うと共に、既に20年近い運転を行ってきた機器であるという観点から、余寿命診断等の各種診断についても今後検討してゆく必要がある。

JT-60U 用 18kV 系ケーブルヘッドの絶縁劣化

原研　那珂研；○薄井勝富、山本巧、大賀徳道、疋田繁紀、日下誠*-1

*-1;開発電気（株）

1. はじめに

JT-60NBI 加熱装置の 18kV 系受配電設備の定期点検において、主回路の絶縁劣化が確認された。このため、回路を構成しているケーブル、変圧器等を回路から切り離して、単体での絶縁抵抗測定試験を実施した。その結果、絶縁劣化の原因は特高ケーブル端部のケーブルヘッド（ゴム套管）部表面に付着した粉末状の白色物によるものと推定した。

原因究明のため、主回路 35 フィーダのケーブルヘッドについての状況調査および絶縁劣化診断を行った。図 1 に JT-60 中性粒子ビーム入射（NBI）加熱装置主回路単線結線図を示す。

本報告書では、不具合内容、原因調査および不具合原因について述べる。

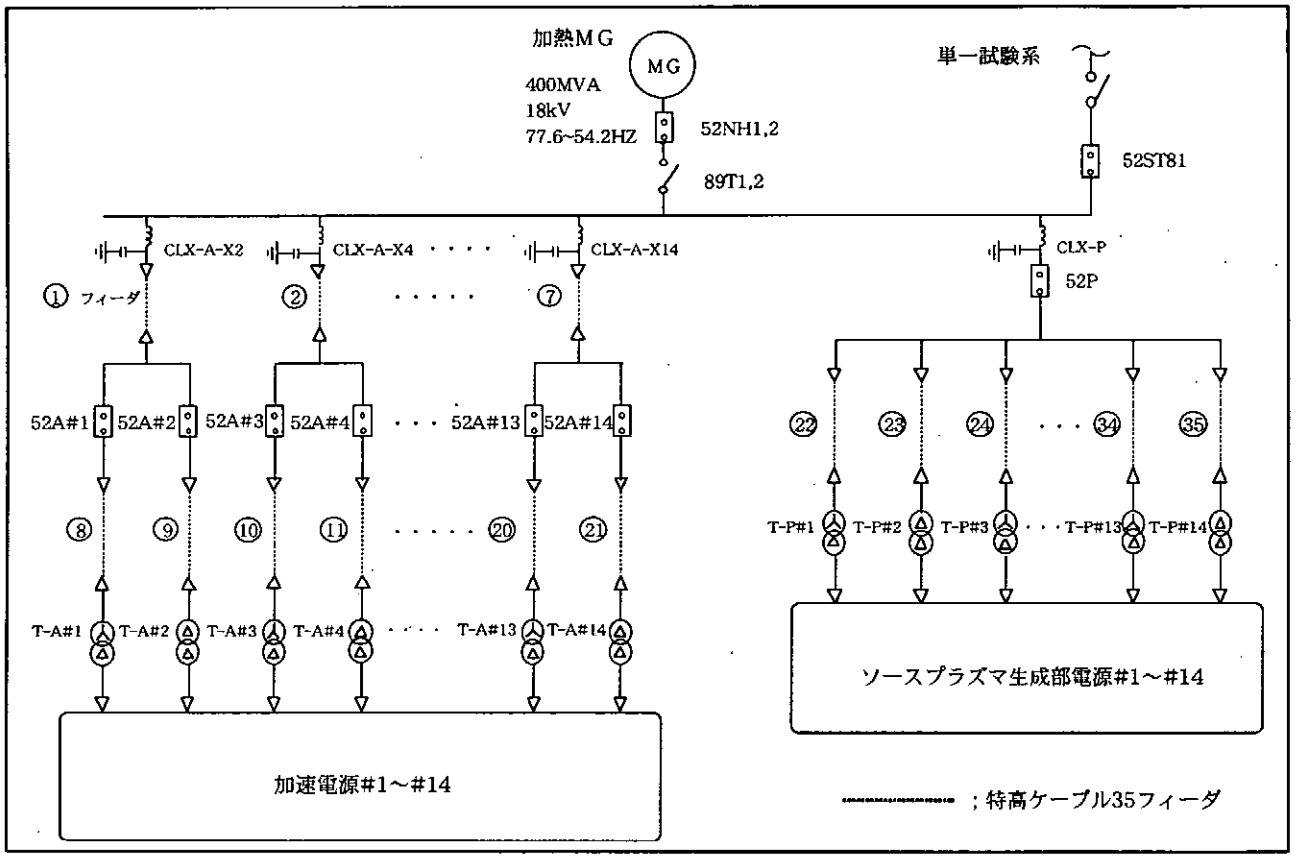


図 1　JT-60 中性粒子ビーム入射（NBI）加熱装置主回路単線結線図

2. 不具合内容

(1)主回路の絶縁劣化

平成 11 年度の定期点検において、遮断器(52P)2 次側～PIG 電源降圧変圧器 14 フィーダの絶縁抵抗測定を実施したところ、抵抗値が 4～7MΩと低下していた。判定値は、100MΩ以上である。よって、ケーブルと変圧器を切り離して確認した結果、変圧器側は正常な値（2000MΩ以上）を示した。また、最初の測定日が湿度 80％と高かったため、天候条件の良い日（湿度；54％）に再度測定を行った結果、900～1400MΩに回復したことから天候条件（湿度）により測定値が大きく変化することが判った。その他の主回路 21 フィーダは特に問題はなかった。

平成7年から平成12年度における遮断器(52P)2次側～PIG電源降圧変圧器14フィーダは、測定日の天候条件に多少の違いはあるにせよ毎年1000MΩ前後で変化している。図2に遮断器(52P)2次側～PIG電源降圧変圧器#1～#14主回路絶縁抵抗測定結果を示す。

その他の21フィーダは、毎年2000MΩ以上で問題はない。

(2)ケーブルヘッド部表面に白色物付着

特高ケーブル35フィーダ(35フィーダ×3相×2=210相)全てのケーブルヘッド（ゴム套管）部表面に粉末状の白色物が付着していた。図3にゴム套管終端部構造図および写真1に白色物が付着したケーブルヘッドを示す。

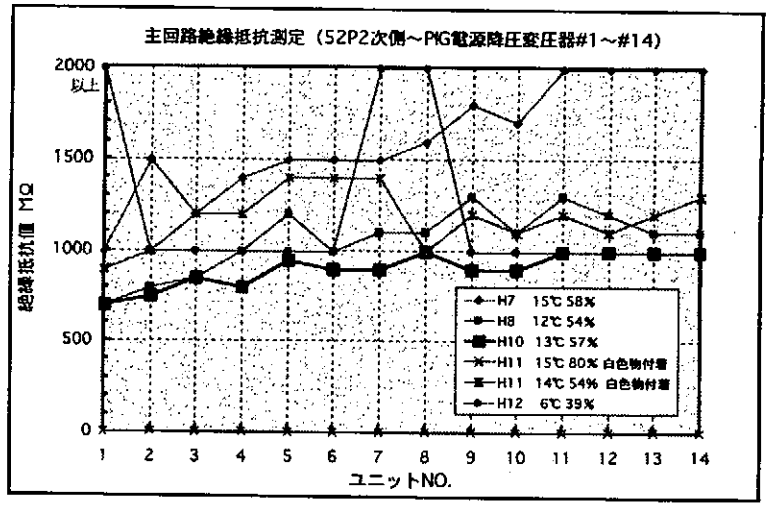


図2　主回路絶縁抵抗測定結果

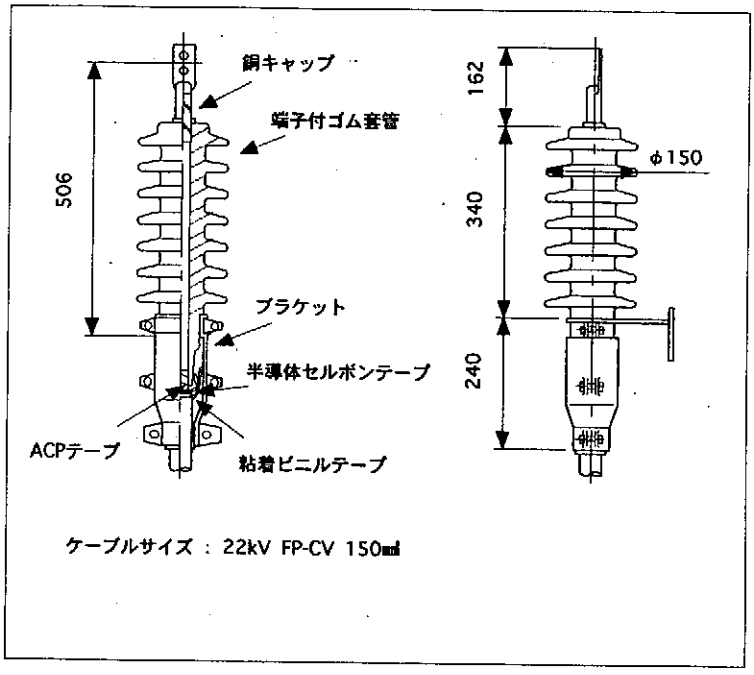


図3　ゴム套管終端部構造図

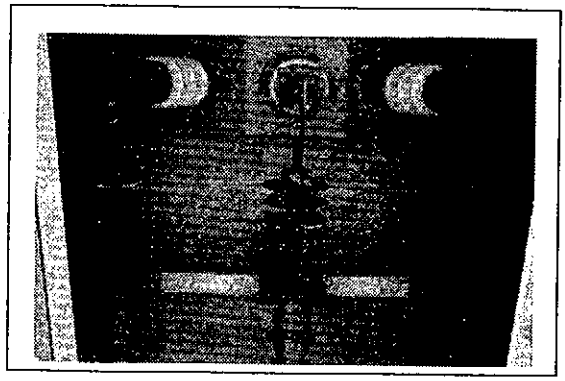


写真1　ケーブルヘッド部に白色物付着

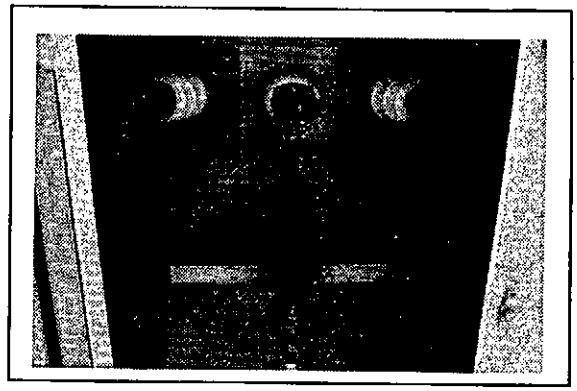


写真2　ケーブルヘッド部清掃後

3.　原因調査

(1)ケーブルヘッド部表面の調査および清掃

まず最初にケーブルヘッド（ゴム套管）部の清掃をウエスを使って行ったが、付着物はほとんど拭き取れず、ナイロン製のブラシにて擦り落とした。次に、ケーブルヘッド表面の放電痕並びにトラッキングの痕跡を調査したが、特にそれらしき形跡はなかった。写真2に清掃後のケーブルヘッドを示す。

(2)付着物の成分分析

ケーブルヘッド部表面の付着物を採取し、成分分析を行い電気特性への影響を調査した。その結果、硫黄、亜鉛、ケイ素が検出された。それ以外の元素は、検出限界以下であった。

また、試料を熱分析計で200℃まで加熱し、重量の減少分を水分量として分析した結果、付着物中の水分量は14%であった。更に、加熱後の試料を室内（湿度;約30%）に2時間放置後、重量を測定したところ、全水分量の約15%が試料に再吸着された。

以上のことから、付着物の主成分は硫黄、亜鉛、ケイ素であること。それはゴム套管の加硫促進剤が分解析出したものであること。その析出物が、空気中の水分を吸収し、ケーブルヘッドの絶縁を劣化させたことが判った。

(3)絶縁劣化診断

ケーブルヘッド（ゴム套管）を清掃した後、ゴム套管の健全性確認のため絶縁劣化診断を実施した。絶縁劣化診断は、試験電圧DC26kV、3相一括にて各フィーダにおけるゴム套管の直流漏れ電流を測定する方法で実施した。図4に絶縁劣化診断試験回路を示す。

その結果、ゴム套管における漏れ電流は、10分値で0.01μAから0.82μAの範囲にあり、特に問題となる値ではないことが判った。また、この漏れ電流値を絶縁抵抗値に換算すると2.6×10^{6}MΩから3.2×10^{4}MΩである。

漏れ電流値の大小差は、測定日の天候条件からの違いによるものと思われる。

図5に例として直流漏れ電流測定（遮断器52P2次側～PIG電源降圧変圧器#5）時の漏れ電流波形を示す。

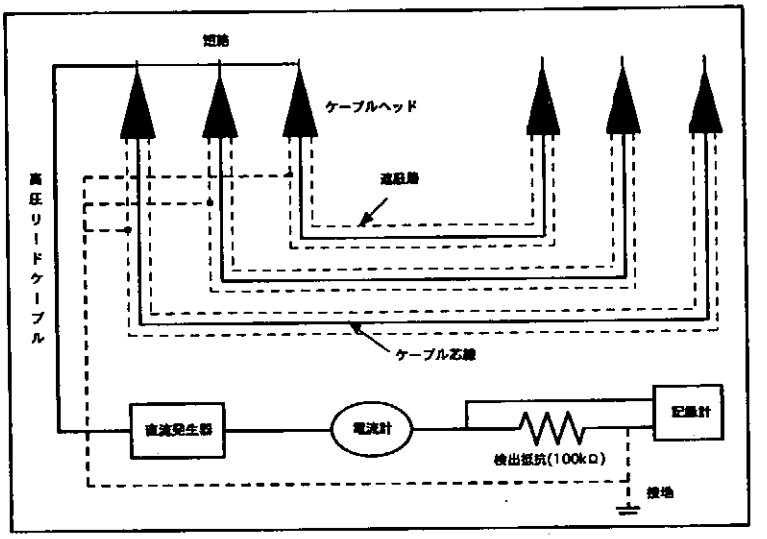


図4　絶縁劣化診断試験回路

4.　不具合原因

原因調査結果から、主回路の絶縁劣化原因はケーブルヘッド（ゴム套管）部表面に粉末状の白色物が付着したためであり、この付着物が空気中の水分を吸収したためにケーブルヘッドの絶縁劣化を招いたものであることが判った。また、この付着物の主成分は、硫黄、亜鉛、ケイ素であることからゴム套管の加硫促進剤が分解析出したものであることも判った。

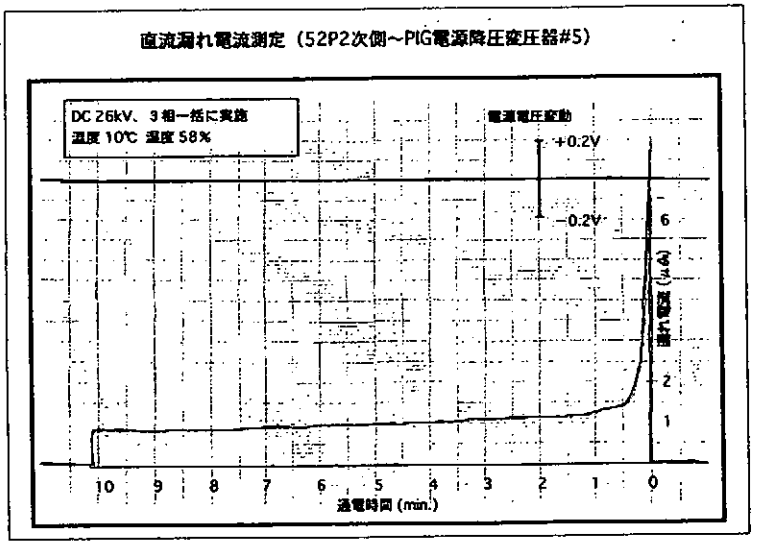


図5　直流漏れ電流波形

5.　次年度における絶縁抵抗測定結果

絶縁劣化診断直後の絶縁抵抗測定結果では、35フィーダ全て2000MΩ以上であったが、次年度の測定結果では、遮断器(52P)2次側～PIG電源降圧変圧器#1～#14の14フィーダ中11フィーダは、1000MΩまで低下していた。

その他のフィーダは特に問題はなかった。また、ケーブルヘッド部表面には、白色物は付着されていなかった。

表1に絶縁劣化診断直後の絶縁抵抗測定結果と次年度の絶縁抵抗測定結果を示す。

測定点：遮断器(52P)2次側～PIG降圧変圧器#1～#14(14フィーダ)

ユニットNo. / 温度・湿度	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10	#11	#12	#13	#14
絶縁劣化診断直後 10℃ 58%	2000MΩ以上	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
次年度 6℃ 39%	2000MΩ以上	1000MΩ	→	→	→	→	2000MΩ以上	2000MΩ以上	1000MΩ	→	→	→	→	→

表1　絶縁劣化診断直後の絶縁抵抗測定結果と次年度の絶縁抵抗測定結果

6. まとめ

(1)主回路の絶縁劣化は、ケーブルヘッド（ゴム套管）部表面に付着した白色物によるものであり、成分分析からゴム套管の加硫促進剤が分解析出し、空気中の水分を吸収したために絶縁劣化を招いたものであることが判った。

(2) ケーブルヘッド（ゴム套管）部表面の付着物を除去し、絶縁劣化診断後は一旦は絶縁抵抗値は回復したが、次年度抵抗値が1部のフィーダで低下していることからケーブルヘッド（ゴム套管）部の絶縁性能の劣化が進行していると思われる。今後も継続して定期的にケーブルヘッド（ゴム套管）部表面の状況調査並びに絶縁抵抗測定を行うこととした。

名古屋大学工学部における実験系排水の現状と水質モニターの維持管理上の対策

名古屋大学工学部工学研究科技術部
布目清成、大久保興平、美原義正、纐纈明三、○近藤一元、伊藤始

1．はじめに

水質汚濁は、近年大きな社会問題となっている。これは当大学においても例外ではなく、水質の管理体制が大きな問題となっている。こうした中で当技術部は、研究科長から委嘱を受け（平成12年8月～平成13年3月）、当学部が関係する16個所の建物・研究施設の実験系排水の現状調査および水質モニターの作動状況調査等を実施した。

調査結果から、モニター槽内の油状物質の存在と水質モニターの電極（以下電極）の劣化が特に問題となった。油状物質が電極に付着すると水質モニターの誤作動や故障の原因となり、また、これが公共下水道に流出すると、下水処理場の処理能力を低下させることにもなる。水質モニターは、設置から期日を経ていたため、全ての槽の電極に何らかの処置が必要であった。

油状物質は回収すると共に、当学部の各専攻等に注意を促した。電極は、洗浄・較正・交換を行ない、またこれらの作業が容易に行なえるよう、提案・工夫を行なった。併せて、槽内の水質（水素イオン濃度：pH）のオンライン監視化の検討も行なった。

2．排水監視システム

図1に当部局の実験系排水の系図を示す。各建物の外にはモニター槽が埋設され、実験室や

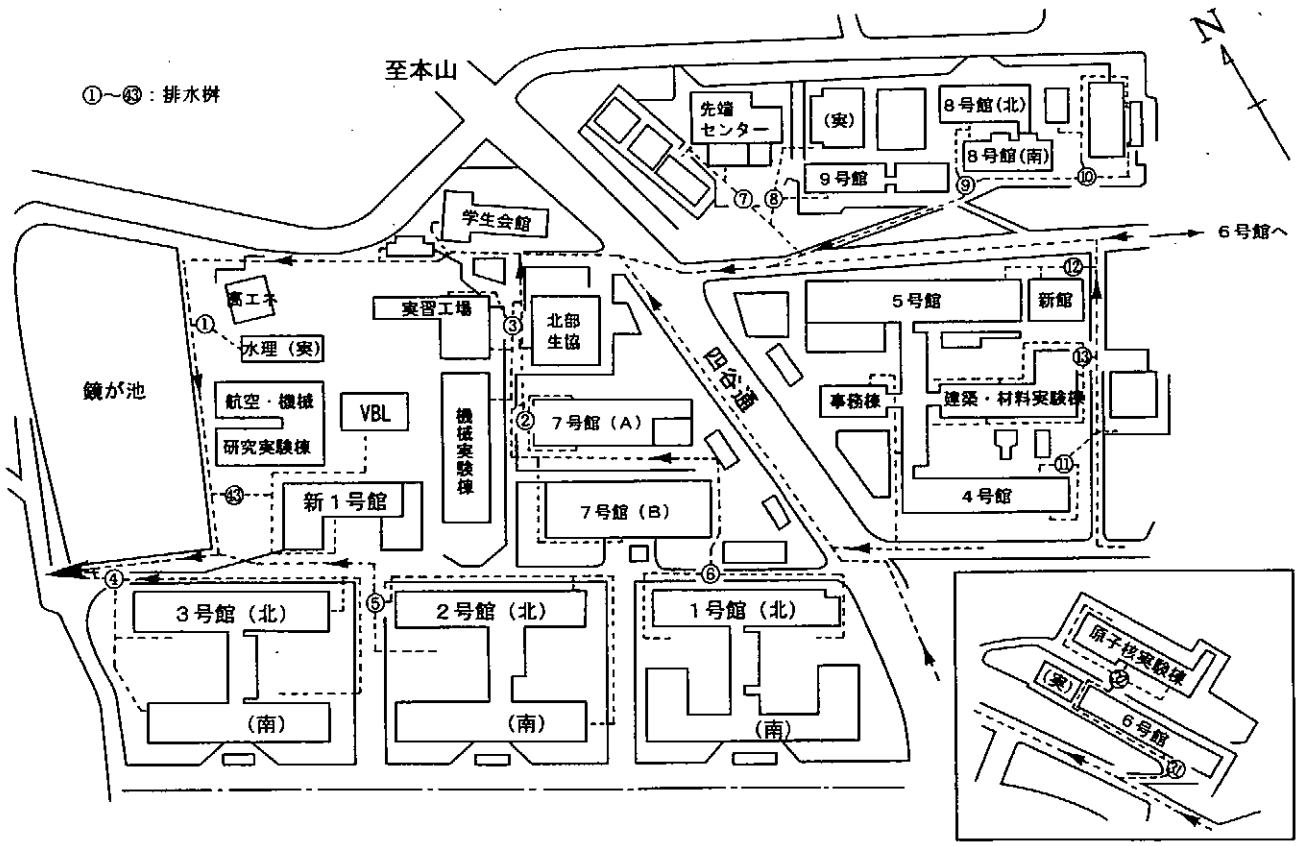


図1　名古屋大学工学部の実験系排水系図

居室から排出された排水は、いったんここへと流れ込み、そこで異物が沈殿され、水質モニターによって水素イオン濃度が測定され、排水幹線を通り、公共下水道へと流れる。当大学東山キャンパスのモニター槽は43個所存在し、当部局が関係するものは、図中1番～43番の16個所である。本排水監視システムは、平成11年4月から正式に運転を開始した。

図2にモニター槽の構造を示す。水深はいずれの槽も1.1m（貯水能力：約1.6m^3）であり、水面からマンホールまでの高さは0.68～2.16mと、場所によって異なる[1]。槽内の排水の出口部には屈曲継手（エルボ）が取り付けられている。これは槽内に流入した異物や油状物質が排水幹線に直接流出することを防ぐ役割を果たす。電極はモニター槽の天井に取り付けられた錘付きのワイヤーロープに固定され、水中に沈められており、槽内の天井に設置された中継ボックス（防水型 ステンレス製）に接続されている。

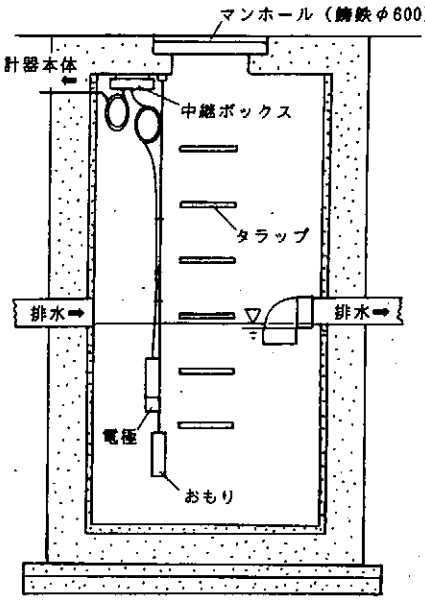


図2 モニター槽の構造

排水の水素イオン濃度は屋外に設置された水質モニターの計器本体と建物内の表示盤に表示され、異常が生じると、表示盤の警報が鳴り、付近の人間に知らせる。東山キャンパス内の全てのモニター槽は名古屋大学廃棄物処理施設で集中監視され、各表示盤からの警報信号はここへと伝送される。

モニター槽1～13、12,13、31,32番には、株式会社COS製CP-480型，電極8300型（測定精度±0.05pH）の水質計が設置され、43番には、電気化学計器株式会社製HDM-136型（自動洗浄機能付、測定精度±0.03pH）が設置されている。

3．現状調査

3.1 調査内容と調査方法

調査内容は、モニター槽内の排水の水素イオン濃度測定と目視、そして水質モニターの作動状況の確認である。前者については、携帯pH計で排水の水素イオン濃度を測定し、槽内の状況（油状物質の有無・排水の混濁・槽底部からのガスの発生・ヘドロの堆積・電極への付着物）を調べた。後者については、水質モニターと携帯pH計との指示値を比較し、電極の作動状況を確認した。調査期間は平成12年9月4日～25日（ヘドロの堆積状況調査は同年12月19日に実施）である。携帯pH計には、柴田科学工業製POT-101型（測定精度±0.1pH）を使用した。

3.2 調査結果

(1)モニター槽内の排水の水素イオン濃度

排水の水素イオン濃度はpH6.59～pH8.69であり、全てのモニター槽が名古屋市の排出基準（pH5～pH9）を満たしていた。

(2)油状物質の有無

3個所のモニター槽（3番，5番，8番）で、その存在が確認された。その内の1個所（8番）は許容し難い量であった。

(3)排水の混濁と槽底部からのガスの発生状況

混濁の高い槽が3個所存在した。また、ほとんど混濁していない槽も3個所存在した。槽底部からのガスの発生については、やや多い槽が1個所、微量が3個所存在した。これらについては、排水の流入量と関連し、流入量の少ない槽ほど混濁やガスの発生が多い傾向にあった。

(4)ヘドロの堆積状況

ヘドロの堆積深さは、5cm以下～25cmであり、多い所でモニター槽の水深の18～23%を占

めていた。ヘドロの性質は、比重の小さいものが主であった。なお、堆積深さの測定には図3に示す道具を使用した。これは当メンバーで考案・製作した。本道具はヘドロの堆積深さの測定と採取を兼ねている。なお、道具はこの他にもマンホール開閉用の道具等を考案・製作した。

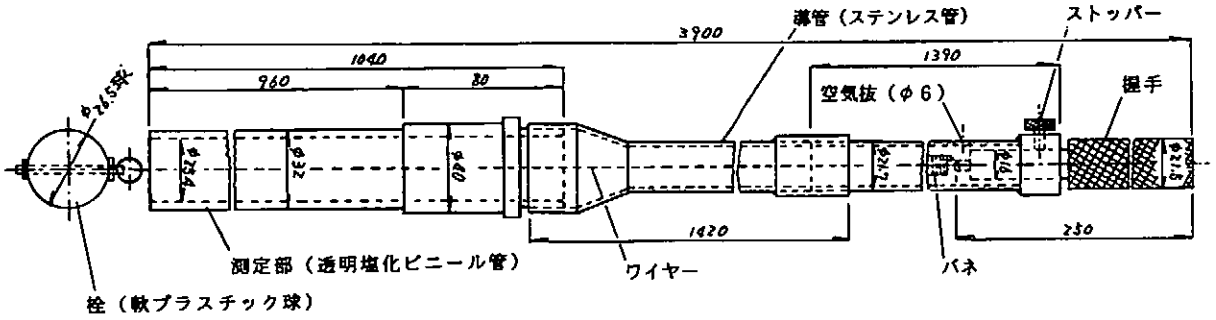


図3 考案・製作したヘドロ堆積深さ測定・採取道具

(5)電極への付着物の状況

一部のモニター槽（2番, 11番）を除き、電極には黒色のヘドロや茶褐色の錆状物質が付着していた。付着物のなかった槽は、本調査期日の前に電極の洗浄等を行なったことに起因する。

(6)水質モニターの作動状況

水質モニターと携帯 pH 計との指示値の差（絶対値）は、電極の劣化の進行状況を表わす一つの指標と考えられる。調査の結果、この値は pH0.06～pH1.26 であった。なお、6番のモニター槽は建物工事で水質モニターが撤去されていたため、調査は行なえなかった。

4．問題項目と対策

調査項目の中で特に問題となった項目は、油状物質の存在と電極の劣化である。なお、電極への付着物にいては、水洗および*酸による浸漬（以下酸浸漬）等を行なった結果、比較的容易に除去することができた。

4.1 油状物質の存在

電極は水没させて設置してあるため、排水の水面に油状物質が存在しても性能にはあまり影響されないと考えられるが、実際にはこれが存在する槽の故障頻度は高かった。したがって電極の保護および環境上[2]の理由から、油状物質は回収した（約25㍑）。本回収作業は、当該モニター槽排水管理責任者の立会の元に行ない、当学部安全委員長から各専攻等に注意を促した。

4.1 電極の劣化

建物工事で撤去された水質モニターを除き、全ての電極を水洗・酸浸漬し較正した[3]～[6]。この結果、水質モニターと携帯 pH 計との指示値の差は、pH0.00～pH0.90 となった。この内、8個所は電極の劣化が進行していると判断したため、再び酸浸漬・較正を行ない、劣化の著しい電極は交換した。なお、較正液には標準較正液（pH4,pH7）を使用した。

電極の劣化の進行状況を表わす指標には、指示値の差が考えられるが、応答時間や酸浸漬時間も指標の一つと考えられる。これらの具体的な数値は、電極の酸浸漬後の応答特性や指示値の差の時間的変化を調べ、水質モニターの測定精度や排水基準値等も考慮に入れて決定した。指示値の差を概ね pH0.2 とし、応答時間は5分、酸浸漬時間は 60 分とした。

図2から明らかなように、電極はモニター槽の天井の中継ボックスに接続されているため、電極の交換作業は槽の内部に入って行なわざるを得ない。この作業を行なうには、安全に関わる問題（槽の底部から発生する窒息性ガス[7]や、槽内に生息する病原菌等による感染の危険性）等を解消せねばならないため、槽の内部に入らず電極を交換する方法を試みた。それは、電極と中継ボックス間の導線を切断し、そこに防水型コネクターを接続し電極を交換する方法である。

＊電極のボディーや液絡部を洗浄する目的で行ない、酸（硝酸：0.1M～0.5M 程度）に電極を浸漬させる方法。

5．水質モニターのオンライン化の検討

屋外に設置された計器本体の裏面には、計測信号伝送用電流ループ出力端子と警報接点出力端子があり、計測信号（DC4～20mA）はこの端子から屋内表示盤のデジタルパネルメーターへと伝送されている。デジタルパネルメーターでは受け取った信号を元に計測値を表示し、この値が任意に設定された値から外れると警報を発する仕組みになっている。

廃棄物処理施設の集中監視盤へは専用線を通じてこの警報信号のみが送られているため、計測値は掌握できない。そこでこれを１個所で集中管理するため、次に示す方法を検討した。

ａ.学内のコンピューターネットワークを利用して計測信号を伝送する。

ｂ.現在の専用線を利用して計測信号を伝送する。

ａ.の方法は、技術的には可能であるが、各建物の表示盤ごとにパソコン等を必要とするため、設備費が高価となり、またその維持管理も必要となるため、あまり実用的ではない。

ｂ.の方法は、前者に比べ設置コストが低く、維持管理も容易である。

6．まとめ

実験系排水の現状は、水素イオン濃度や排水の混濁状況および槽底部からのガスの発生、ヘドロの堆積状況については、さほど問題はなかった。しかし、一部の槽で許容し難い量の油状物質が存在した。油状物質は排水管の管壁等に付着するため、完全な回収は困難である。しかも槽が深い場合は、特別な防具や道具・機械が必要となり、大がかりな作業となる。

維持管理上の対策については、安全上の理由から作業のために槽内に入ることができず、電極の較正作業にかなりの時間を要したが、新たな電極の交換方法を試みた結果、槽内に入ることなく、電極の較正・交換を行なうことが可能となった。この方法は電極の性能が多少低下したが、実用上は差し支えなかった。また交換作業にかかる時間も大幅に短縮された。

ヘドロの堆積深さを測定する道具等を考案・製作したことにより、ヘドロの堆積深さの測定や採取も可能となり、またマンホールの開閉作業も安全に行なえるようになった。

水質モニターのオンライン化については、現在の専用線を利用して計測信号を伝送する方法が技術的にも実現性が高いため、今後検討の余地がある。

＜参考資料＞

［１］名古屋大学東山地区実験排水設備工事図面（日本設備工業　平成11年3月）

［２］工場排水などの水質規制（名古屋市下水道局　平成11年3月）

［３］pH計変換器保全仕様書（株式会社ＣＯＳ）

［４］携帯型pH/ORP計取扱説明書（柴田科学機器工業株式会社　1997年5月）

［５］pH電極の維持管理について（名古屋市上下水道局　平成12年4月）

［６］水質モニター槽の管理作業（名古屋大学廃棄物処理施設　平成12年8月）

［７］中日新聞記事（浄化槽１人死亡　武豊町１人重体　平成12年10月25日夕刊）

＜謝辞＞

本調査のために諸費用や作業場所の確保および安全・技術上の問題で常にご相談・お骨折り下さった当部局の正畠宏祐教授、そして保守点検のための技術的指導や助言をして下さった廃棄物処理施設の千葉光一助教授、藤森英治助手に感謝の意を表する。

調査の進行や技術面でご指導下さった当技術部の小林勝司、丹羽文夫、星野善樹の各技術長、そしてオンライン化技術や微弱電流の配線で諸々の助言をいただいた当技術部の佐々木敏幸専門技術職員、増田俊雄技術主任、また図１の元版の使用を快くご承諾下さった松永憲一技術班長に感謝の意を表する。

KEK-B真空系冷却におけるフローセンサーの問題と対策

高エネルギー加速器研究機構　○白井　満、久松　広美、嶋本　真幸、KEK-B真空グループ*

1.はじめに

KEK-B加速器はCP不変性の破れを検出するための電子・陽電子衝突型の加速器で、1998年より稼動している。トンネル内に設置された各真空チェンバー、ベローズ等は、シンクロトロン放射光による発熱を抑えるために純水を用いて冷却されており、地上で流量をモニターできるようになっている。ここでは、まずKEK-B真空系冷却システムの概要を紹介し、次にこれまでに冷却システムで発生したトラブルの殆どを占めるフローセンサーの問題点とその対策について報告する。

2.真空系冷却システムの概要

KEK-B加速器の概略を図１に示す。加速器は8 GeVの電子が蓄積されるHER (High Energy Ring)、3.5 GeVの陽電子が蓄積されるLER (Low Energy Ring) と呼ばれる長さ3 kmの2つのリングから構成されている。設計蓄積電流はそれぞれ1.1A、2.6Aとこれまでの加速器にない大電流である。この大きい電流から発生する強力なシンクロトロン放射光 (約4MW) による発熱に対処するため、真空チェンバー及びベローズ等の各コンポーネントには冷却チャンネルが設けられ純水による冷却を行っている。冷却区域は４つのポンプエリアに分けられ、それぞれ毎分約2000lの純水が循環している。

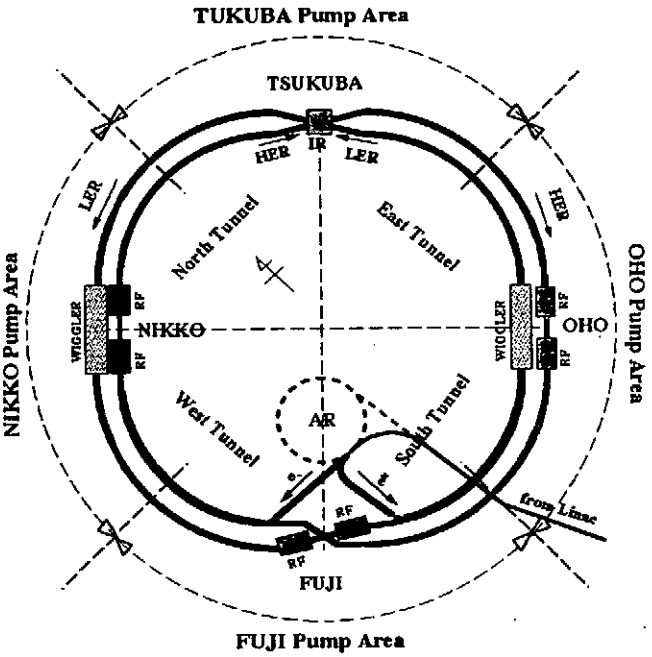


図１．KEK-B 加速器概略図

図２に冷却システムの概略図を示す。地上側は施設部で管理を行っており、冷却水循環用のポンプ、純水温度を一定(25℃)に保つためのプレート式熱交換器、その他の機器、ゲージ等で構成されている。トンネル内は地上から約10m下に位置し、約8m間隔を１冷却ラインとする冷却配管が施され、入り口側にはゴミの侵入を防ぐためのストレーナーが、出口側には冷却水量を測定するためのフローセンサーが取り付けられており、リング全周で約400に及ぶ冷却ラインで構成されている。また、配管には3/4インチ及び1/2インチの銅管を使用しており、継ぎ手の部分には、電食を防ぐためにステンレス製のスウェージロックが用いられている。

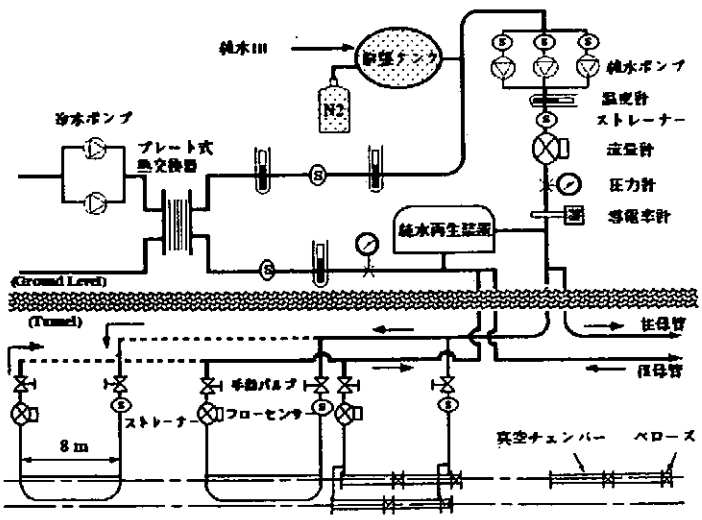


図２．冷却システム概略図

*KEK-B真空グループ：金澤健一、加藤茂樹、末次祐介、久松広美、嶋本真幸、白井満

図３に制御システムの概略を示す。KEK-B加速器制御システムにはEPICS (Experimental Physics and Industrial Control System) が採用されており、加速器コントロール室と12ヶ所の各ローカル制御室間は高速のネットワークで接続されている。端末の真空制御ディスプレイからは各冷却水量の状態をモニターしたり、流量が減少したときにアラームを出すための設定値を入力したりできるようになっている（図４）。また、冷却を行っている区間のベローズ部外側表面には温度計が設置されており、ある設定の温度、例えば80℃以上になるとインターロックが働くようになっている。

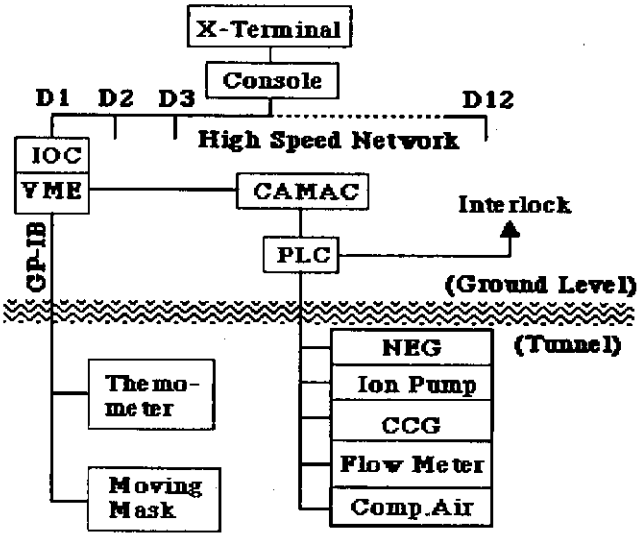


図３．制御システム概略図

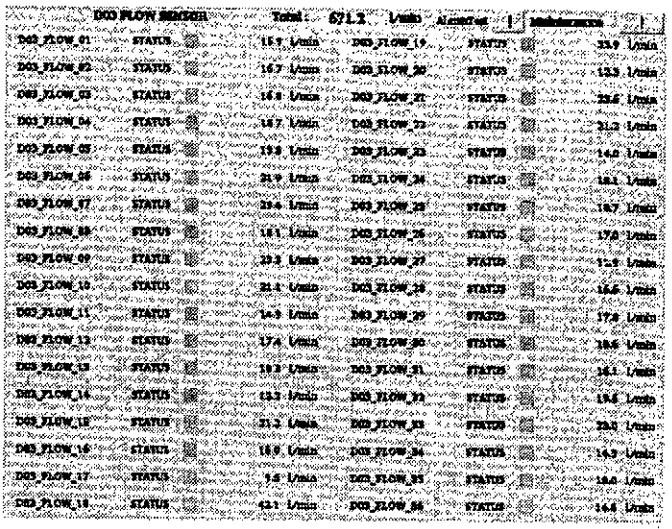


図４．冷却水モニター画面

３.フローセンサーの問題と対策

3.1 概要

真空系冷却システムに使用されているフローセンサーを写真1に示す。本体及び回転軸はステンレス製でカバーはアルミ製である。センサー内部に組み込まれている羽根車は炭素繊維入りジュラコンでできており、6本のうち3本の羽根に永久磁石が埋め込まれている。又、本体内部にはコイルが埋め込まれている。動作原理は単純で、まず水が流れる事により羽根車が回転する。すると羽根車内の磁石による磁場の変化によりコイルに誘導電圧が発生する。その出力電圧が水の流量に比例しているということを利用し、電源モジュールを介した直流電圧を流量に換算して冷却水量を測定するというものである。

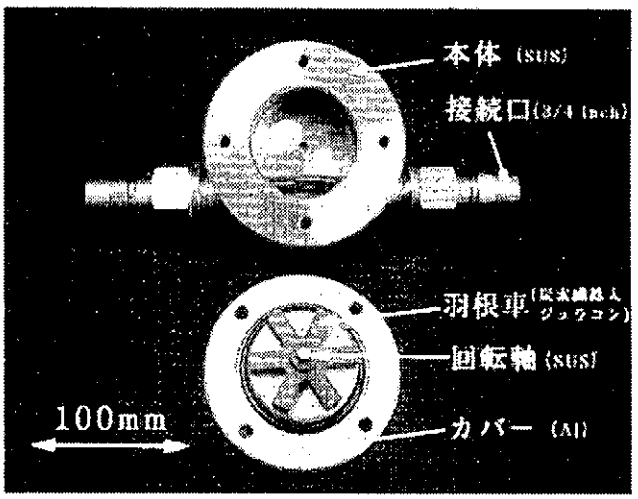


写真１　フローセンサー

3.2 トラブルの状況

KEK-B加速器の運転は98年12月から開始され現在に至っている。この間我々真空グループにおいても大小数多くトラブルが発生し対処してきた。冷却水に関するトラブルも

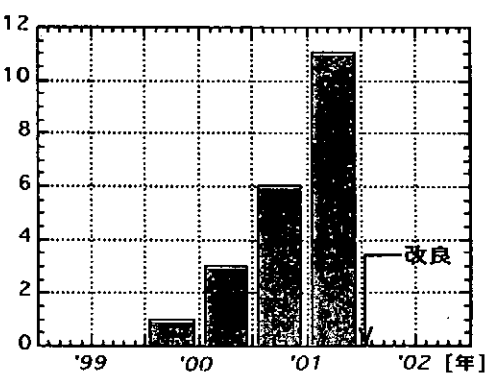


図５．トラブル頻度

起きており、その殆どが水漏れとフローセンサーのトラブルである。図5に運転開始から現在までにおけるフローセンサートラブルの頻度を示す。98年から99年にかけては殆どトラブルは無かったのに対し、00年、01年と年を追うごとに頻度が多くなり、01年前期においてはKEK-B加速器真空トラブル全体の約45％を占めるまでに至ってしまった。トラブルの多くは羽根車が回らなくなり、流量インターロックがかかってしまうというものである。当初、この原因は写真2に示すように回転軸に傷が認められたため、加工上の問題により回転軸と羽根車間のはめ合い公差が設計より小さいものがあり、真空チャンバーや冷却配管等の冷却水路内にあった異物、切粉、ゴミ等が、挟まったものと考えていた。しかし、故障するフローセンサーの数が増すにつれ、写真3に示すように永久磁石が埋め込まれている部分の羽根車に割れが生じ、先端の蓋が浮き上がってしまっている物が発見され始めた。そこで割れが生じている羽根車周辺の付着物を所内の化学室にて蛍光X 線分析をしたところ多量のFeとCuが検出された。更に粉末X線解析法ではFe_3O_4の解析パターンとほぼ一致する結果が得られた。四酸化三鉄は天然には磁鉄鉱として産し、自発磁化をもつもので磁性酸化鉄とも呼ばれるものである。真空系冷却システムにおいてはフローセンサー内の羽根車内に埋め込まれている永久磁石以外、このような化学種が検出されるものは考えにくいため、羽根車の方にも原因があると考えられた。

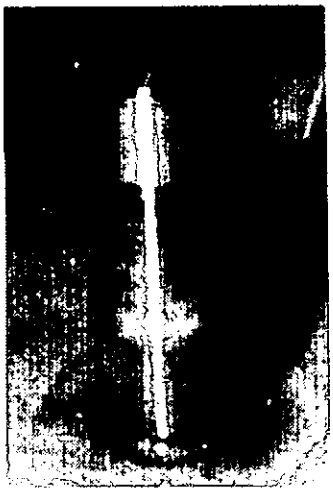


写真2.　回転軸の傷

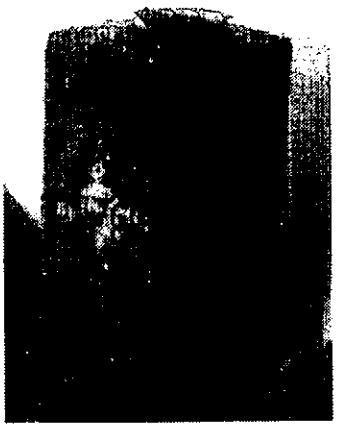


写真3.　羽根車の割れ

3.3　問題点

以上のことからフローセンサーの制作図面を見直したところ、幾つかの問題点があることが解った。第1に、永久磁石としてコストを抑えるために比較的安価で磁束密度、保磁力が強いネオジウム磁石が採用されていた。ネオジウム磁石には数々の長所があるものの錆び易いという短所がある。第2に、羽根車の材質であるが、耐摩耗性を考慮して炭素繊維入りのジュラコン（ポリアセタール）化学名ポリオキシメチレンで作られた。吸水率は0.6～0.7[重量％]と比較的大きい。第3の問題は、永久磁石を埋め込んだ後の蓋の固定方法である。エポキシ系の接着剤で固定してあると認識していたが、実際には蓋を圧入し接着剤は使用していないことが解った。これらの点から羽根車の材質的問題、蓋の固定方法何れかの不具合が原因でジュラコン内部に水分が入り込み、磁石材質の不具合により錆が生じ、それが成長して羽根車が破損した物と判断し、早急に改良することにした。

3.4　改良点

主変更点は永久磁石の材質と蓋の接着方法である。まず永久磁石であるが錆びにくく磁束密度、保磁力がネオジウム磁石と同等なサマリウムコバルト磁石（Sm-Co Magnet）に変更した。写真4に

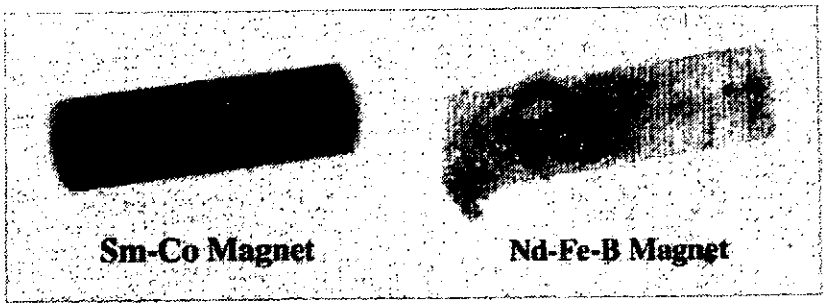


写真4.　永久磁石水中腐食試験

それぞれの磁石を水中に浸す試験をした際の結果を示す。写真は浸して1ヶ月後のものである。サマリウムコバルト磁石はほとんど変化が無いのに対し、ネオジウム磁石は錆が成長して膨らんでいるのがわかる。次に磁石挿入後の蓋の接着方法であるが、圧入方式をやめ、溶着方式に変更した。その際、治具を製作し、溶け込み量を一定に管理できるようにした。溶け込み量2mm、溶着温度は約170℃である。

これらの仕様変更を行った新タイプと旧タイプのセンサーの出力の特性を図6に示す。どちらもほぼ同じ特性を示すことがわかる。これらの結果を踏まえ、2002年夏期シャットダウンを利用しフローセンサー の手直し作業を行った。図7に手順を示す。まず最初に個々の流量を把握するため、超音波流量計を用いて約４００ヶ所における実際の流量を測定した。次に冷却水を止め、水抜きをしてからセンサーのカバーをはずし、それらを地上部へと運び出すと共に規定寸法から100ミクロンを限度に回転軸の磨き作業を行った。磨きには＃300、＃800のサンドペーパーを用い、最後に金属磨き粉を用いて鏡面に仕上げた。回転軸の仕上げが終了次第、新たに製作した羽根車を装着しトンネル内に戻していった。これらの作業が完了するまでに約５週間を費やした。最後に電源モジュールからの各出力を測定し、実際の流量との換算係数を算出し、個々の正確な流量を端末からモニターできるようにした。また、約400台あるフローセンサーにおいて、今後このような故障を少しでも未然に防げるよう、ある単位時間内に有る流量以上の変動があった場合、端末にある真空制御用の冷却水画面上にその場所と時間を表示させる機能が追加された。

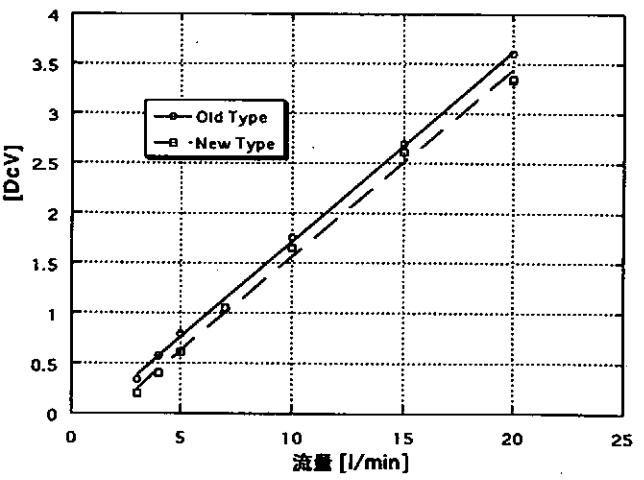


図６．出力特性

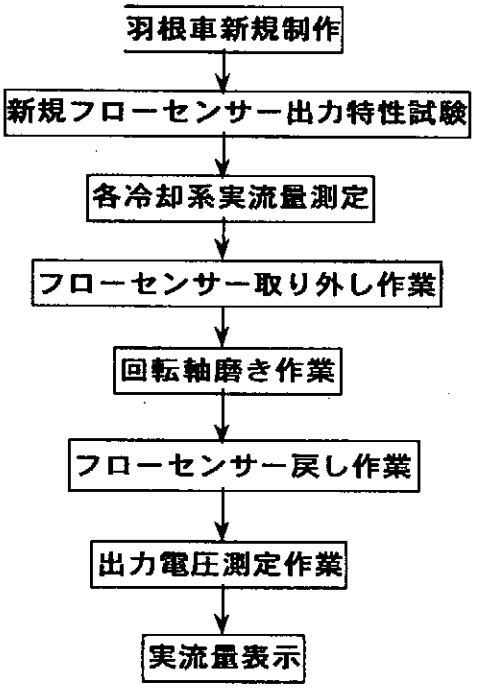


図７．手順

3.5 結果

これら一連の改良を経てKEK-B加速器は2002年夏の長期シャットダウン終了から連続運転が再開され、約６ヶ月経過しようとしている。この間、フローセンサーに関するトラブルは１件も発生していない。

4. まとめ

KEK-B加速器運転に対し、設計初期段階での材料、加工法の選定等の重要性を改めて認識した。

今回の手直しに際して適切なアドバイスをして下さったPS.真空グループの久保富夫氏、化学分析を快く引き受けて下さった共通研究施設の平雅文氏に感謝の意を表します。

電磁石フロースイッチの侵食

高エネルギー加速器研究機構
○大澤康伸　菅原龍平

1、はじめに

加速器には、ビームを加速するために多くの電磁石が必要不可欠である。KEK-BリングやPF-ARリングに使用される水冷式電磁石（旧トリスタンMR・ARリングも含む）には、電磁石保護装置として写真1に示すように電磁石コイルの温度が一定温度以上上昇しないように温度インターロックと、冷却水の流量低下で作動するフロースイッチやゴミの侵入を防ぐためのストレーナーが備えられている。電磁石フロースイッチには、ダイヤフラムを用いた差圧式や、パドルを用いたパドル式等を用いている。フロースイッチとしては、インターロック動作点の設定変更が容易な点から、差圧式のフロースイッチを最も多く使用している。しかし、差圧式のフロースイッチの流量動作点が変化し調整範囲を超えてしまうことが度々あった。今回は、その原因調査と改良結果について報告する。

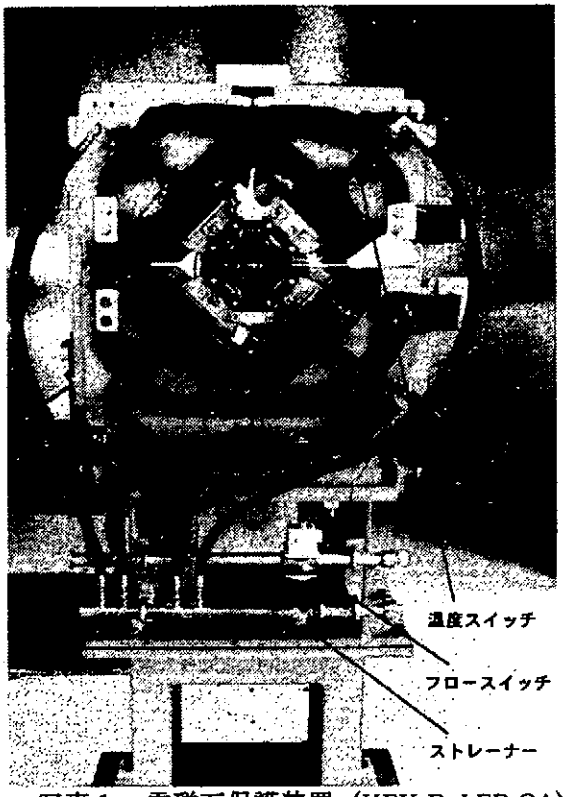


写真1　電磁石保護装置（KEK-B LER-QA）

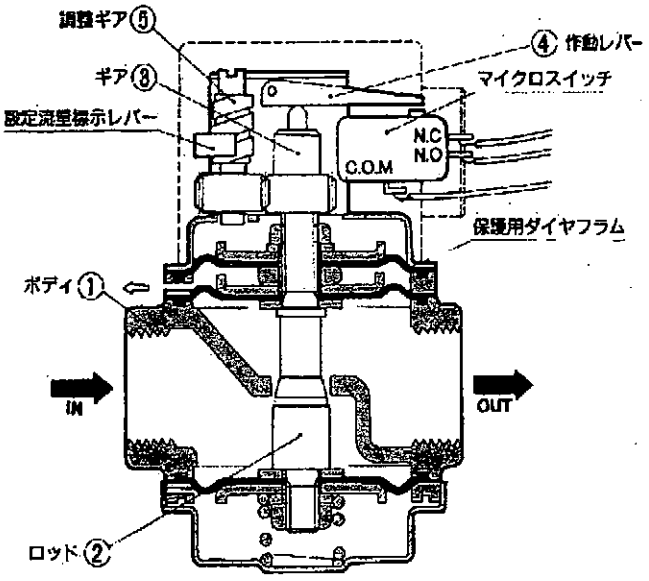


図1　差圧式フロースイッチの動作原理

2、ダイヤフラムを用いた差圧式フロースイッチの動作原理（SMC社）

図1に示すように水が流れると、ボディ①のポート部のオリフィス前後に差圧が生じ、この差圧を上下一組のダイヤフラムで検出し、ロッド②を下方向に変位させ作動レバー④が下がり、マイクロスイッチを作動させる。

流量が増せば、ロッド②は下方向に、減少すれば上方向に変位する。また、ギア③の内面とロッド②頭頂部にネジ山が切ってあり、ギア③は回転すると回転方向に応じて上または下に移動する。調節ギア⑤を回転させギア③を上下方向に移動させ作動レバーの位置を変えることにより、任意の流量での信号検出を行なう事ができる。

3、フロースイッチの流量動作点の変化の原因が何であるか

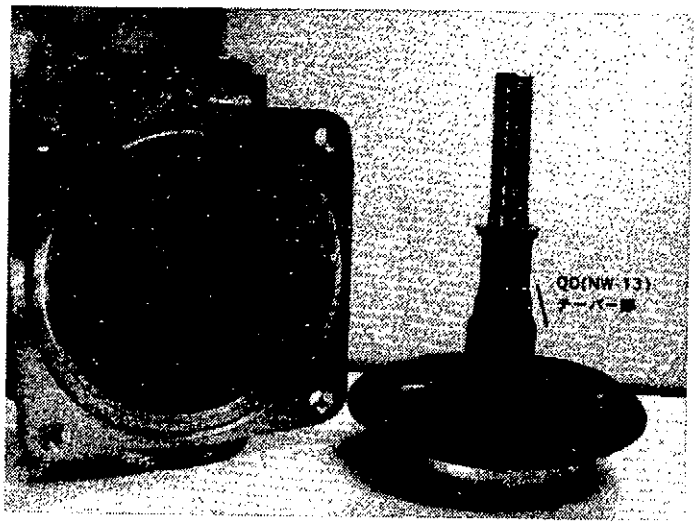


写真２　NW-13　フロースイッチ

PF-ARリングＱＤ（NW-13）電磁石で、2001　年１月24 日（水）午前８時半と25 日（木）午前８時１０分に冷却水インターロックがはたらいた。フロースイッチの調整は最下位置（インターロック設定範囲１～10　ℓ／min 用の１ℓ／min）であった。電磁石のストレーナーのメッシュを見てみたが、ゴミらしい物等の目詰まりはなかった。KEK-Bで使用している予備フロースイッチと互換性があるので交換及び調整をおこなった。電磁石冷却水の通水量を超音波流量計で計ったところ約６ℓ／min 流れていた。その後冷却水インターロックは作動していない。この電磁石のフロースイッチは1999　年７月に交換した履歴があり、約１年半使用していたものである。

原因調査のため、フロースイッチを分解してみたところ、写真２、３でもわかるように真鍮ロッドのテーパー部分が磨耗し、爪で引っ掻いたように削れていた。　図２にトリスタンで約１０年間使用してきた六極電磁石用フロースイッチの侵食の様子を示すが、これと同じ事がARでわずか１年半で起きている。尚、ポンプ施設のストレーナーも昨年の夏に清掃しており、特に目立った汚れは無かった。

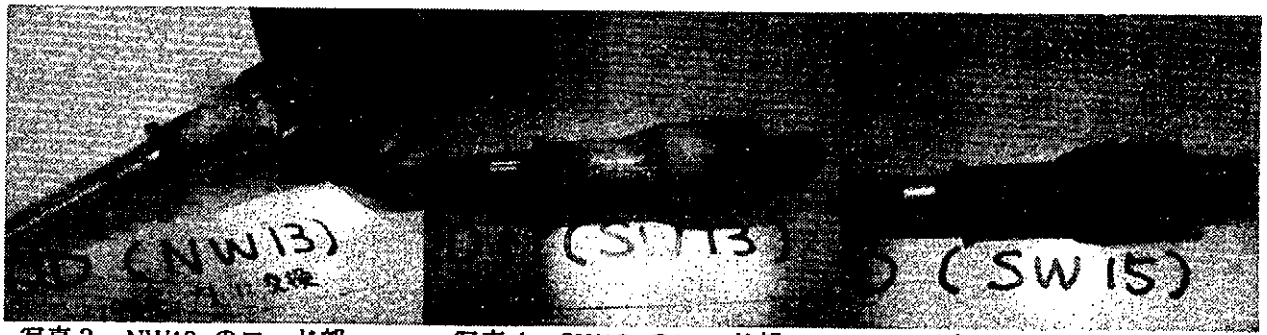


写真３　NW13 のロッド部　　写真４　SW13 のロッド部　　写真５　SW15 のロッド部

他のAR電磁石でも起きていないか２月１日に調査した。SW-13,SW-15　の２台のQ電磁石のフロースイッチを取り外し内部を分解した。写真４、５に示すように、両方ともロッドのテーパー部分は爪で引っ掻いたようにかなり削れていた。ロッドのテーパー部分の削れ量を工作センターの井上均氏に依頼して三次元測定装置を使い測定をしていただいた。その結果をグラフ１にまとめた。

侵食量は、NW-13 の約１年半使用した物よりもSW-13 、SW-15 の約１８年使用した物の方が侵食している。但し、侵食量は、単純に時間に比例している、と言うことではなさそうである。

また、グラフ１に図２のトリスタンのロッド侵食（東芝調べ）を重ねて見ると、約１０年間トリスタンMRの六極電磁石で使用していたわりには、約１年半使用したNW-13 に近い。しかし、AR四極電磁石とMR六極電磁石とでは、使用していた流量が違うはずなので同じには考えられないし、ポンプの系統も違う。

{参考}　設計流量は

トリスタンMRの六極電磁石（SXF）	2.8 ℓ／min
トリスタンMRの六極電磁石（SXD）	3.6 ℓ／min
PF-ARのQD（NW-13）電磁石（超音波流量計で計測）	6.0 ℓ／min

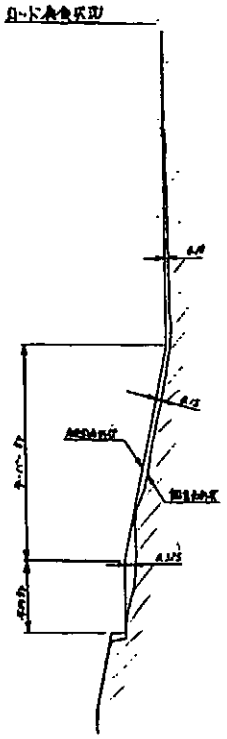
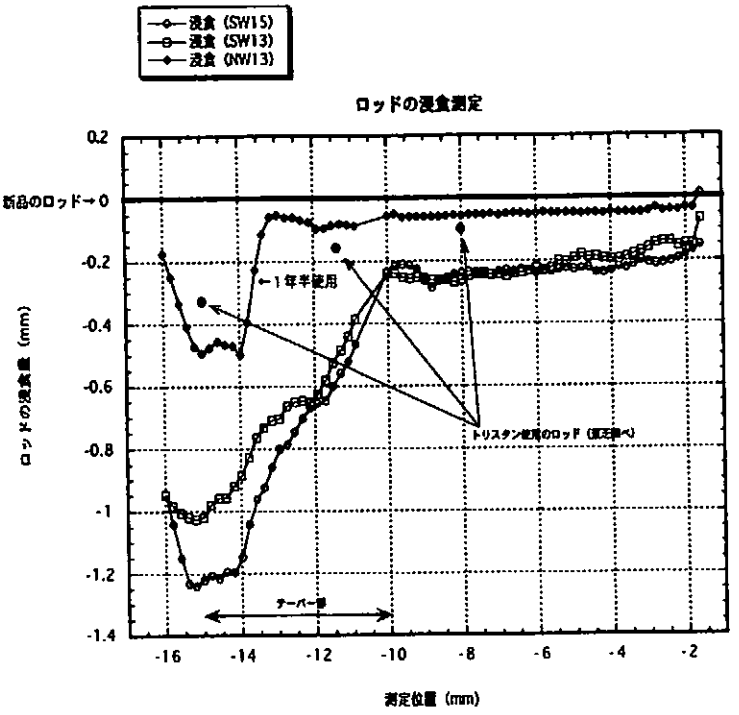


図２　トリスタンのロッド侵食（東芝調べ）



グラフ１　ロッドの侵食測定

トリスタンMRもARも、流れていた電磁石冷却水流量の履歴が無いため、比較判断できない。
水質の電気伝導率に関しては、イオン交換樹脂を使い１μS/cm 以下で使用しているのでほぼ同じである。また、電磁石のストレーナーのメッシュはすべて＃１５０（ステンレス製）の細かいメッシュを使用している。
KEK-Bの冷却水が完成して約３年になろうとしているので、2001 年夏のシャットダウン中に KEK-B電磁石のフロースイッチ４台（B2E.57 、QS3FLE 、SD7ORP.1 、QD1P.16 ）を分解してステンレスロッドの調査をおこなった。
KEK-B電磁石のフロースイッチは、トリスタンMR電磁石の経験からAR電磁石のフロースイッチと同等機のロッド部分を真鍮からステンレスに材料変更された改良特注製品を使用している。

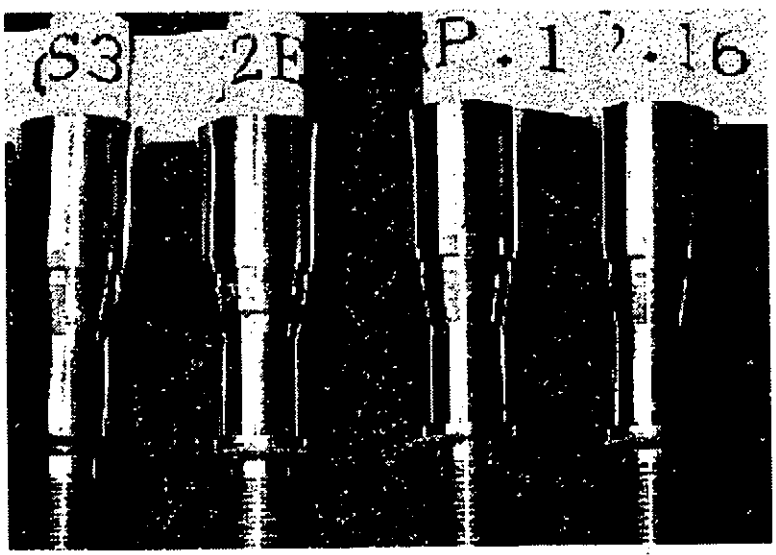


写真６ KEK-Bフロースイッチロッド

ARのQD（NW-13）電磁石に、年半で起こった爪で引っ掻いたような削れ方は、KEK-Bフロースイッチロッドには、見られなかった。写真６を見てもわかるように２倍使用時間が長いにもかかわらず、ほとんど侵食は受けていない。しかし、テーパー部にキズが無いわけではなく、写真７のように顕微鏡で調査してみるとB2E.57 （FL-16 ）やQS3FLE （FL-16 ）の様に、15 ℓ/min以上流した電磁石には、ステンレスが剥ぎ取られた様なキズは見受けられる。SD7ORP.1 （OR-44 ）やQD1P.16 （OR-42 ）の10 ℓ/min以下の電磁石には、この様なキズは見受けられなかった。SD7ORP.1 （OR-44 ）とQD1P.16 （OR-42 ）のロッド２本には、なぜか斜めのぶつけた様なキズがあった。

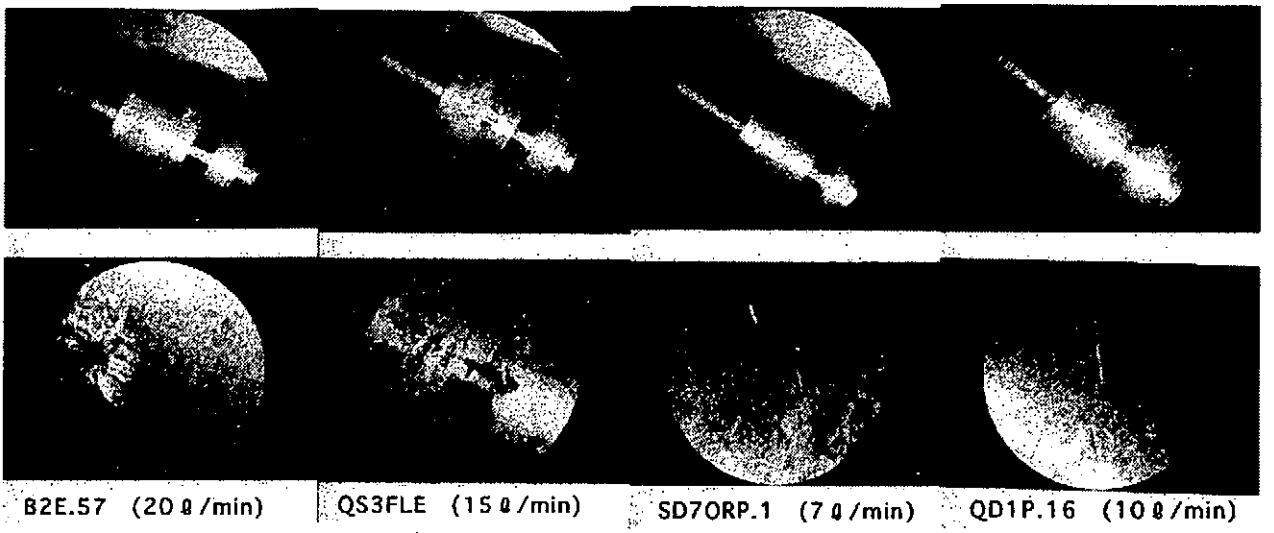


写真7　KEK-B電磁石ロッドの顕微鏡写真

ARやトリスタンMRにおいては、調整と言う事でしばしばインターロックが働くと、すべてのフロースイッチ調整ギアを４５°～９０°回し、設定を下げていた。それは、ロッドの侵食によるものであった。ロッドの侵食が大きくなると、インターロックの動作点（作動位置）が上がってしまうので、インターロックが働かないように下げるように調整していたことになる。また、今までも共通して言えるのは、ボディー側の侵食は１８年間使用しても見受けられていない。

４、考察とまとめ

ロッドの侵食は、トリスタンやPF-ARで使用していたフロースイッチのロッドが真鍮｛黄銅C3604B｝で、亜鉛の含有量30～40％と多く、ボディは銅鋳物｛CAC406(BC6)｝で亜鉛の含有量６％以下と少ないために、脱亜鉛現象がおきにくく、侵食されないと思われる。そのために、真鍮ロッドの選択腐食（selective leaching 又はdealloying, 合金の構成成分の一部が選択的に腐食脱落する腐食）の脱亜鉛現象が起きた事が一つに考えられる。しかし、KEK-Bの真鍮からステンレス製に変更したロッドにも僅かにキズが見受けられるため、金属の腐食問題から考えると、潰食（erosion, 流体との接触時に発生した乱流による衝突作用によって保護膜が破壊された状態で起こる腐食）や衝撃腐食（cavitation, 流速の増加によって発生した減圧気泡が、流速低下で崩壊するさいの力によって保護膜が破壊された状態で起こる腐食）等も考慮しなければならない。但し、潰食が起きているとすると、ロッドだけが削れボディー側には起きていない事が考えずらい。また、衝撃腐食が起きているとすると、ロッドのみ削れる事は考えられるが、ロッド以前に減圧されて気泡ができ、ロッド部分で気泡が崩壊しているような構造でもなさそうである。使用中の電磁石のフロースイッチに、聴診器を付け音を聞いてみたが、気泡が有るような音もしていないようである。現在も調査検討中である。

フロースイッチのロッドは、ステンレス製の物が望ましい。一般にステンレス製にするだけで侵食が遅くなると言われている。ちなみにKEK-Bのフロースイッチのロッドは、真鍮からステンレス製に変更して侵食が遅くなり、効果があったと考えられる。その結果、KEK-Bは１９９８年１１月末に運転開始して以来フロースイッチの目盛りを毎回下げるようなことはしていない。また、２０００年夏の冷却水メンテナンスから約２年半になるが、約１６００台ある水冷式電磁石の内、調整ミスの１台を除いて、フロースイッチのインターロックで電源を落とすような事は起きていない。

５、謝辞

このフロースイッチの調査にあたっては、三次元測定装置を使いロッドの計測していただいた工作センターの井上均氏、化学分析をしていただいた化学センターの神田征夫先生をはじめ別所光太郎先生、ならびに平雅文氏、また協力をしていただいたSMC株式会社に、心より感謝の意を表します。

マイクロ波伝送電力モニターの開発

核融合科学研究所、名大エネルギー理工 1),
○小林策治、尹喜田泰幸、伊藤哲、水野嘉識、久保伸、下妻隆、出射浩、野竹孝志 1)

1. はじめに

核融合科学研究所における大型ヘリカル実験装置(LHD)への加熱装置に電子サイクロトロン加熱(ECH)装置がある。現在 168GHz・82.7GHz・84GHz の周波数のジャイロトロンを使用して実験に寄与している。ジャイロトロンシステムにはジャイロトロン本体及びその冷却水装置、超電導マグネット、安定した高圧電源装置、マイクロ波を伝送しプラズマに入射することの出来る伝送系及び入射アンテナ等たくさんの装置集合体である。このマイクロ波伝送電力モニター(パワーモニター)は伝送系の途中に設置しジャイロトロン発振時のさまざまな情報を得るために開発をはじめた。

2. 目的

ジャイロトロン運転にあたっては発振領域や出力を確実に把握しながら運転していくことがたいへん重要である。そしてマイクロ波伝送中の反射や放電などによる発振管への影響を未然に防ぐことは安定にプラズマ実験をおこなうにあたって欠かせないことでもある。これまでジャイロトロンの発振状態を把握する方法としてミラー伝送の空中伝播中に拡散するマイクロ波を検出することによりモニターしていたがこれによって検出された出力波形では必ずしも発振状態・伝送電力を的確に把握することはできない。この電力モニター開発の目的はLHD入射時でも伝送出力を実時間で把握することである。これによりジャイロトロン運転の安全性を高め入射電力・偏波のモニターが可能となることで実験解析の精度を高めることができる。

3. 構造

今回製作したモニターはマイクロ波伝送路に使用している3.5inchコルゲート導波管マイターベンドの反射板にカットオフの結合孔を並べ、その孔から漏れ出る電力を裏側に設置した副導波管で検出する構造とした。図1にあるように反射面側の自由空間での波数($k_i \sin\alpha$)と副導波管側の波数($k_{//}$)をあわせることによって、また、並べる結合孔径に変化をつけることで角度に対する感度を狭くするとともに高次波の混入も避けられ方向性も確保できるよう工夫をほどこした。また、この裏側に組み込む副導波管の電界方向によって伝送電力の偏波も弁別できる。

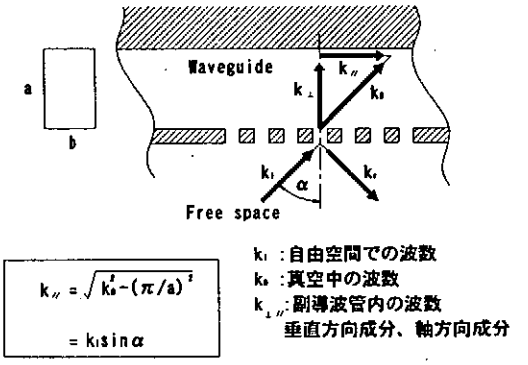


図1 パワーモニター原理図

はじめに図2にあるような比較的寸法の大きな84GHz 用のE面(H面)のみの副導波管を組み込んだモニターを製作し、その性能評価をおこなった。つぎにE/H 両面同一反射板組み込み型の84GHz・168GHz 用の製作をおこない実用化への発展を目指した。

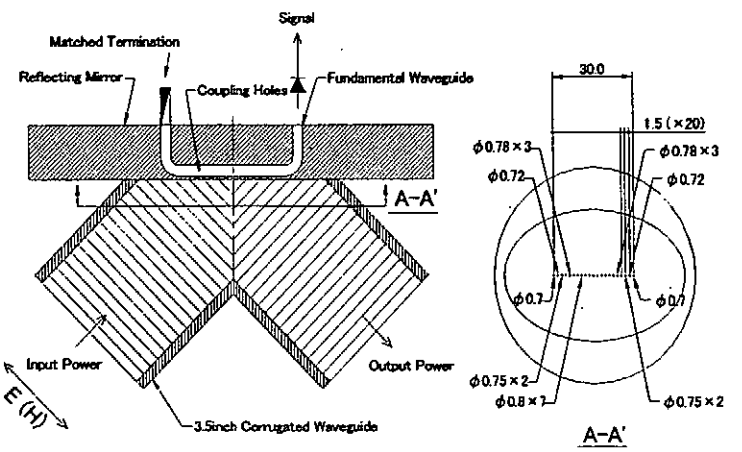


図2 84GHz用パワーモニター概念図

4.　84GHz 用パワーモニターのテスト

低電力・高電力 2 種類の試験をおこなった。低電力試験ではビームに対する角度依存性を確認した。これは角度に対する感度が狭く、高次波の混入が避けられているかの確認のためにおこなった。高電力試験では水負荷評価でのジャイロトロン出力とパワーモニターの検波信号との比較をおこなうことでパワーモニターの結合度を求めた。これは同時に耐電力試験にもなっている。また偏波の変化による検波信号の変化が検出できることの確認をおこなった。

・低電力テスト

ガウスビーム発生器を利用し 2 枚の凹と凸面鏡により反射板位置で約 45mm のビームをつくり放射した。そのビーム上にパワーモニター付反射板を回転台に固定、入射角を 37° ～53° に変化させた時に得られる信号を検出し、ビーム入射角に対する感度を調べた。90度ベンドに設置しているときの通常入射角 45 度のときに最大感度をもち、角度の変化に対して十分優位な変化がある結果がえられた。

・高電力テスト

今回の高電力テストは、発振管として 82.7GHz ジャイロトロンを用い、MOU 出口に導波管を設置、1m伝送後にマイターベンドを取り付け、その後に水負荷を取り付けた図3に示す構成でおこなった。このマイターベンドの反射板にパワーモニターを設置し、ジャイロトロン出力を変化させ伝送出力とパワーモニターの検波信号との相関関係を調べた。ここで使用した検波器は低電力による検出感度較正をおこなっており、両者を比較することでパワーモニターの結合度が求めることができる。その結果を図4にあらわした。伝送電力とパワーモニター信号との関係はほぼ比例関

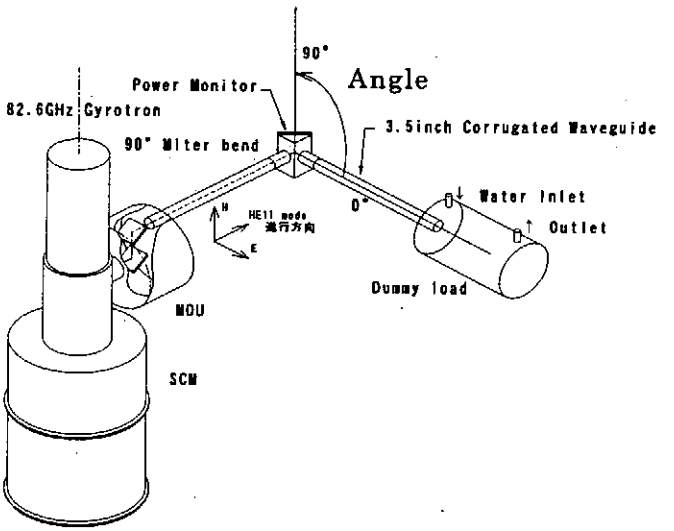


図3　高電力テスト設置構成図

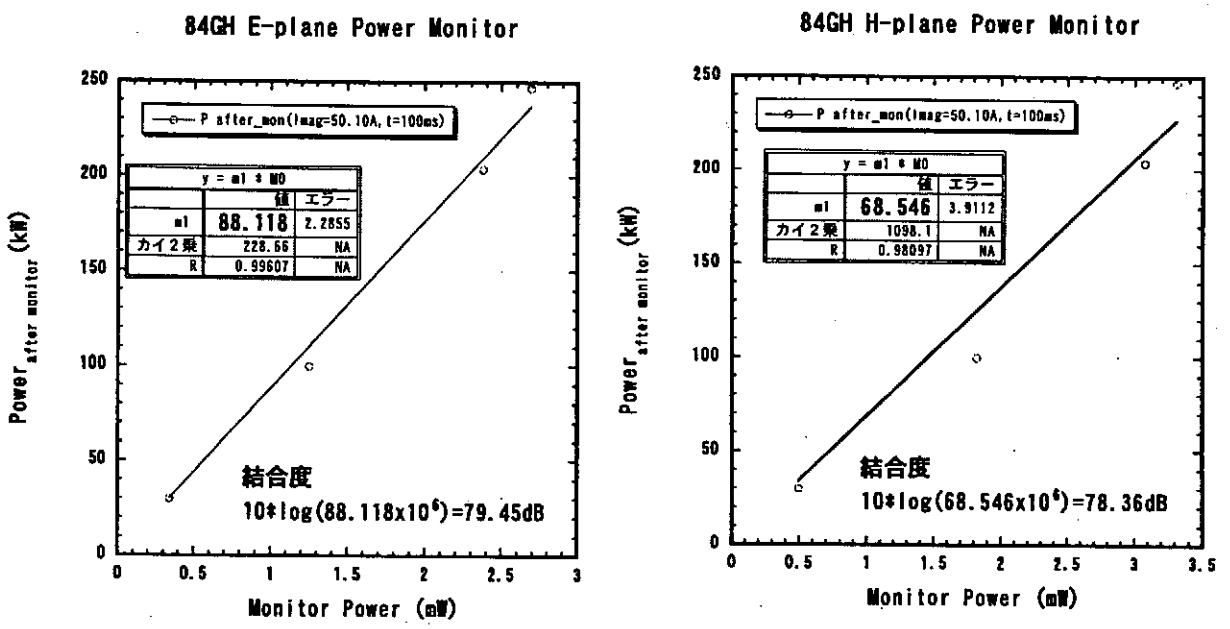


図 4　伝送出力とパワーモニターの検波信号との相関関係

係であり、その結合度はE面パワーモニターで79.45dB、H面パワーモニターで78.36dBであった。また図3における導波管での回転角度(Angle)を0～90°まで変化させ電界方向成分変化させたときのパワーモニターの出力変化を図5に示した。これにより偏波面の変化に対応した信号の変化が確認できた。

以上のテスト結果から、このパワーモニターがLHD入射時でも導波管伝送出力を実時間で把握することができ、また偏波のモニターが可能であることが確認できた。これをもとに実用タイプの製作に取り掛かった。

5. E/Hパワーモニターの製作

われわれのマイクロ波伝送導波管システムには波面を回転することができる偏波器が設置されている。偏波器が回転することで波面がどのように変化しているのかを把握することはプラズマ実験においても大変重要である。そのため図6のように1枚の反射板に2列の結合孔をあけそのおのおのにE面とH面の副導波管を並べて組み込み電界の方向によって伝送電力の偏波を一度に弁別できるように工夫した。この両波面同時測定のできるマイターベンドを84GHz用と168GHz用の2種類を製作した。基本設計値を表1に示した。このうち168GHz用についてテストをおこなった。

6. 168GHz用パワーモニターのテスト

168GHz用パワーモニターは、副導波管での波数を合わせるために結合孔部導波管が1.2618 x 0.83となる。出力部導波管は既製品として購入できるD-Band導波管(1.7 X 0.83)を利用するのが効率的と判断し2つの異なるサイズをテーパーでつなげることとした。サイズが極めて小さく、変化しているため加工法に放電加工を採用した。

・高電力テスト

このテストは、発振管に168GHzジャイロトロンを用い、MOU出口に導波管を設置、3m伝送後にマイターベンドを取り付け、その後に水負荷を取り付けた構成でおこなった。このマイターベンドの反射板にパワーモニターを設置しジャイロトロン出力を変化させながらE面/H面パワーモニターの検波器出力を同時に測定した。ジャイロトロン出力の増減に対応して検波出力が変化しており、その結果を図7に示す。MOU出口から5m導波管伝送後に偏波器(λ/4板)を取り付け、次のマイターベンドの反射板にパワーモニターを設置し、偏波器の角度を変化させて検波出力(E面)を測定し、その結果と偏波器の角度を変化させたときのE面における波面の変化をあらわした計算

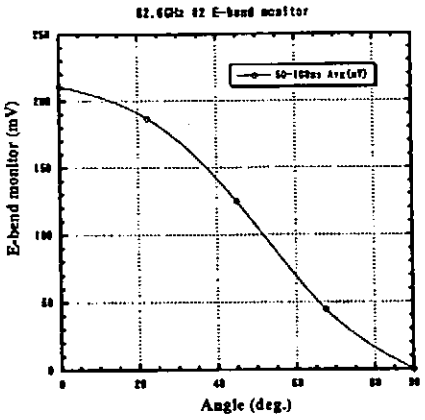


図5 回転角度を変化させたときのモニター信号

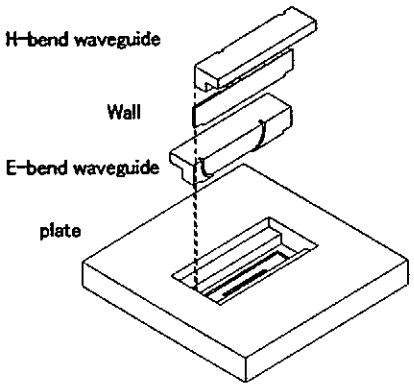


図6 E/Hパワーモニターの組み立て図

表1 基本設計

名称	パワーモニター		
TYPE	偏波弁別機能付	反射板 E and H -plane	
周波数		168GHz	84GHz
結合孔	孔径	φ0.56～0.66	φ0.7～0.8
	孔数	31×2列	21×2列
	孔間隔	1.018mm	1.5mm
出力部導波管 (aXb)		D-Band (1.3X0.648)	W-Band (2.54X1.27)
結合孔部副導波管サイズ	a X b	1.2618 X 0.83	2.54x1.27

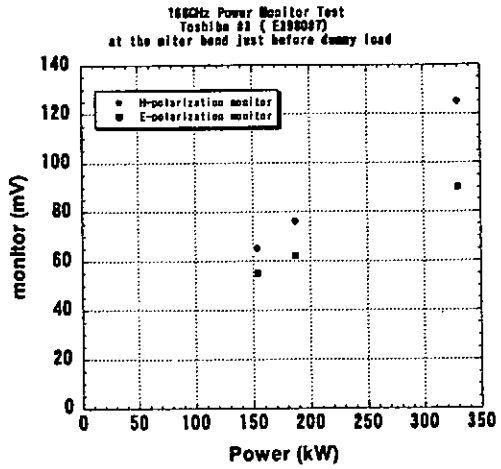


図7 発振出力とE/Hパワーモニター出力の関係

値を図8に示した。このグラフにおける各点が測定値であり、実線がそれに対応する計算値ある。この2つを比較して、良好な測定値であることが確認できた。しかしながら振幅が若干一致していない点は今後確認する必要がある。

これらのテスト結果を受けて、実際に設置し実験に使用していくこととした。

7. 運用

現在実験に使用している7系統すべてに設置を行った。設置場所は伝送導波管途中で2種類(λ/4板、λ/8板)の偏波器を通過したあとである。実際のプラズマ実験での波形例を図9に示す。これを見てもわかるように発振の有無、出力に対応した変化またモードジャンプなどさまざまな情報が読み取れることを確認できた。その他に反射波、偏波面、アークなどさまざまな確認の行うことができた。

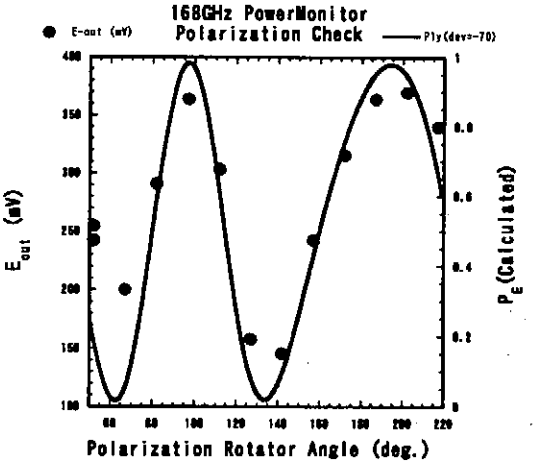


図8 168Hzジャイロトロン偏波器変更実験での測定結果(左)と計算値(右)

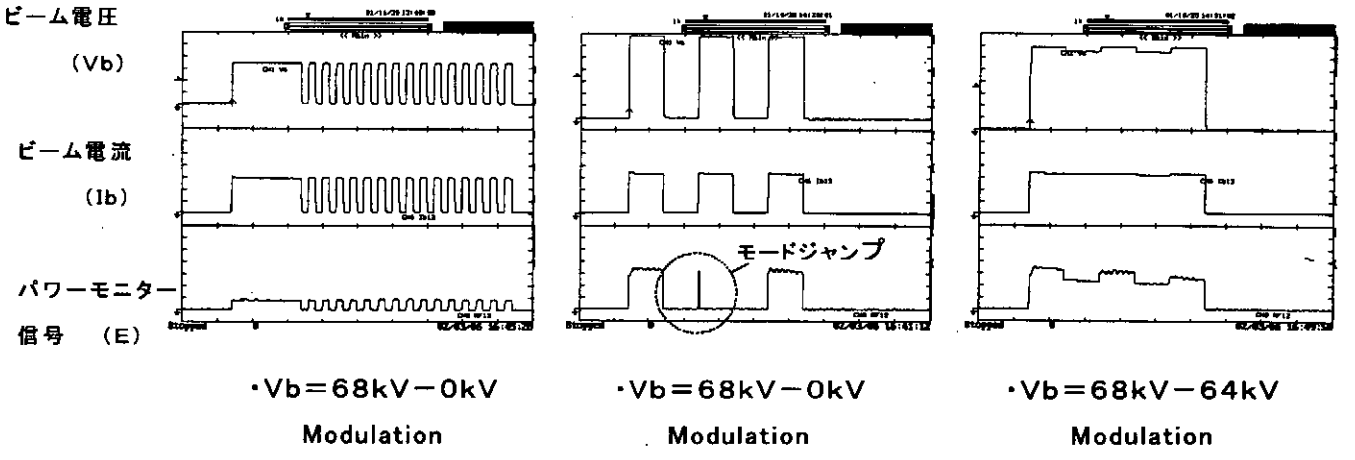


図9 82.7GHzジャイロトロン実験時の信号波形

8. まとめ

伝送電力に対応し偏波も弁別できる信頼性の高いパワーモニターの開発ができた。実績として84GHz用は300kW/2s・460kW/0.7s、168GHz 用は300kW/0.5sまでの運転で利用できており、現在も良好な計測が行われている。

現在このパワーモニターはジャイロトロン出口の光学ミラーにも設置しており、今後発振状態モニターとしても利用しさまざまな用途に活用できるようにしていきたい。

JT-60電子サイクロトロン加熱装置の運転経験

日本原子力研究所　那珂研究所
○下野　貢、関　正美、寺門正之、五十嵐浩一、石井和宏、梶原　健、安納勝人

1．はじめに

臨界プラズマ試験装置(JT-60)では、高周波による局所的な加熱・電流駆動によるプラズマの安定性改善や予備電離の実験を行うため、平成１０年度から電子サイクロトロン加熱装置（ECH）を導入してきた。JT-60 ECHは、周波数110GHzで高周波出力1MWの発振管（ジャイロトロン）を４本持ち、内径31.75mmのコルゲート導波管約60mにて高周波電力を伝送して、入射角度を変えられるミラー型のアンテナ（２基）からJT-60 プラズマへ入射するシステムである（図１参照)。

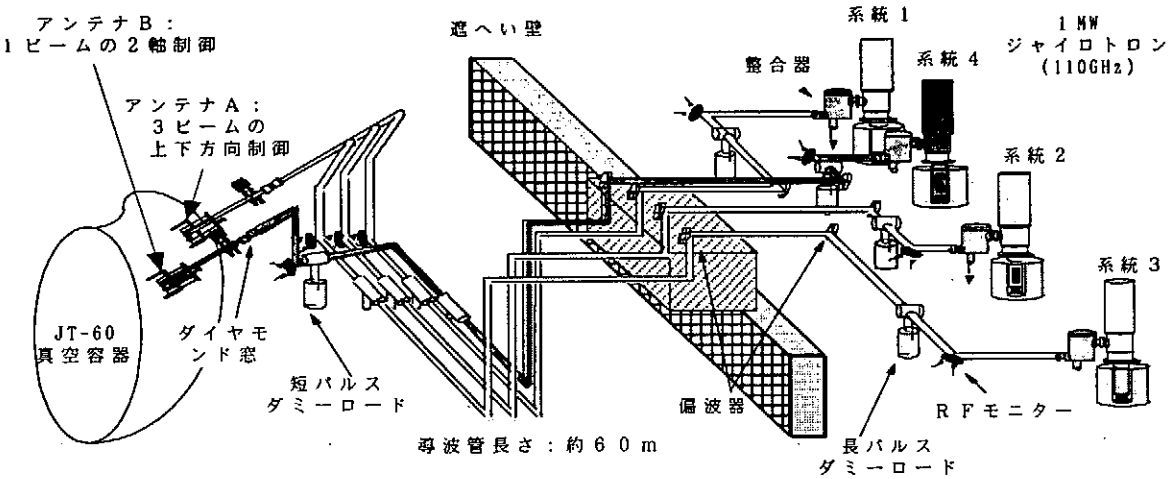


図１　JT-60ECHシステム構成図

ECH用電源設備は、図２に示すように既設の低域混成波帯加熱装置(LHRF)の増幅管（クライストロン）用電源設備に、高速の電流遮断器（IGBTスイッチ）と加速電源を新たに設けることで、ジャイロトロン用電源を実現した。また、電源の最適化やジャイロトロンの改良、伝送系の敷設精度の改善を実施して、2.8MW-3.6s(10MJ)の世界最高レベルの入射を実現できた。

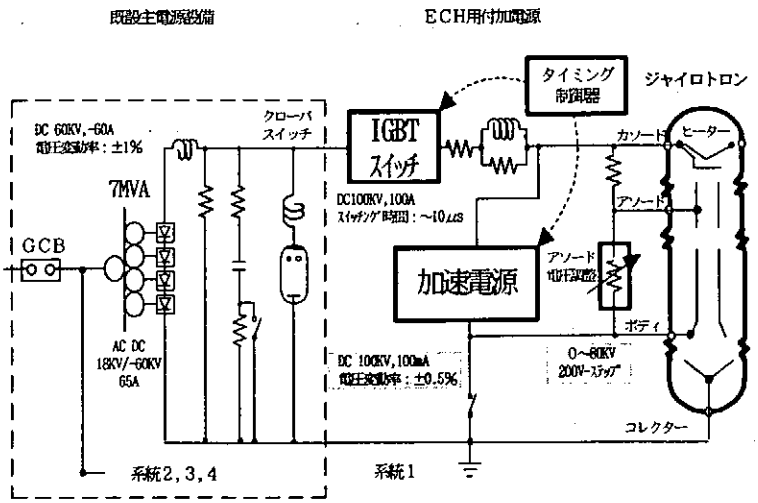


図２　JT-60ECH用電源設備概要

本研究会では、主にECHの運転において発生した問題とその対策を述べる。さらに、モニター系の充実によって運転の省力化を進めていること、及び今後の課題についても報告する。

2．運転時に発生した問題とその対策

2.1 ノイズによるタイミング制御器の誤動作

図２に示すようにタイミング制御器は、高速で大電流を「入・切」するIGBTスイッチと加速電源の電源オン・オフを行う時間管理機能を持つ。そのタイミング制御器に中性粒子入射装置（Neutral Beam Injection）の放電ノイズが悪影響し、ジャイロトロンに高電圧を印加する時間管理機能が正常に動作しないために、ジャイロトロンが発振しない現象が多発した。その対策として、1)入出力回路(TTL)に高速フォトカプラ回路を追加し電気的絶縁を図り、ノイズの侵入経路を遮断した、2)５Ｖと１２Ｖ電源が共有となっていたので、新規に５Ｖ 電源を追加し、それぞれ専用電源とし電源の分離を強化した、3)既存の基板をアルミ板でシールドを行い、電磁波ノイズをカットした（図３参照)。その結果、＃1-3-4系統では大幅にノイズよる誤動作を軽減できた。



図3　タイミング制御器内部

2.2 寄生発振への対応

望む高周波以外に寄生発振により不要な高周波が発生し、その影響として、ジャイロトロンの真空リークやビーム電流の急増現象が発生した。共振器より手前側で発生する不要な高周波が、電子銃部へ逆流して来ることが原因である。その対策として、ジャイロトロン内のビームトンネルにＲＦ吸収体(SiC セラミック)を取り付け、不要な高周波を吸収させることとした。

2.2.1 絶縁セラミックの過熱

大電力で長パルス運転を開始した頃、ジャイロトロンの電子銃の電極部セラミックに、図４に示すように黒く変色した部分でクラックが発生した。黒い部分はセラミックの上薬が変質したもので、上薬のない内面には変化が見られなかった。セラミックの上薬が寄生発振による高周波を吸収し、加熱されることによりセラミックが割れ、真空リークが発生したと思われる。その対策として、上薬を使用してないセラミックに変更した。

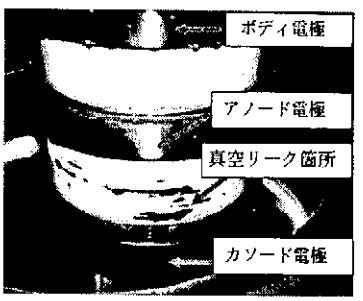


図4　ジャイロトロンの電子電極部外観

2.2.2 ビーム電流の急増現象

図５-(a)の「改造前」に示すように、１秒以上のパルスでは、ビーム電流が急激に増加し、インターロックレベルを越えることがしばしば発生した。ジャイロトロン内部の寄生発振による、カソード表面の加熱で、ビーム電流の急増現象が発生した。そして発

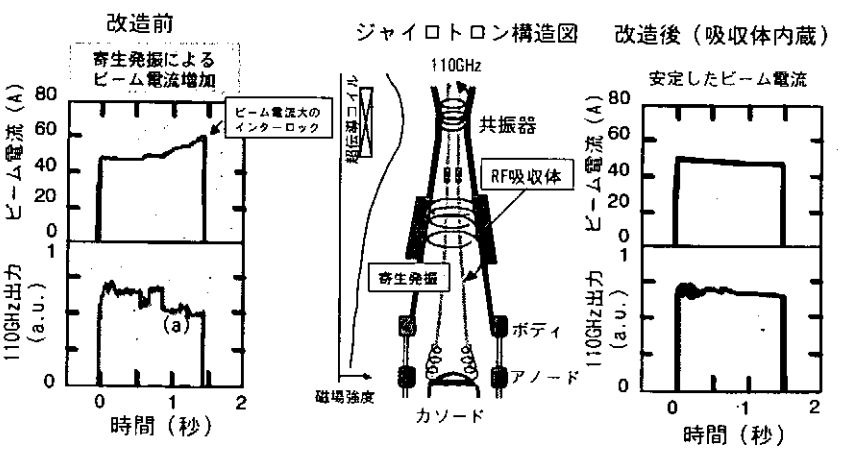


図５ビーム電流の急増現象とその対策

振条件からはずれて、出力が減少した。その対策として、図５-(b)の「ジャイロトロン構造図」に示す部分（ジャイロトロン内のビームトンネル）にＲＦ吸収体(SiCセラミック)を取り付けた。その結果、図５-(c)の「改造後」に示すように、ビーム電流が安定し、長パルスで、ほぼ一定出力での発振が可能となった。

2.3 絶縁セラミックの過熱

ジャイロトロンで発生した大電力の高周波を効率よく伝送系導波管へ導くのが整合器である。整合器内で散乱された高周波の一部が導波管外に入り込み、整合器－導波管間（図１、図６参照）の電気絶縁するため絶縁セラミックが割れ、伝送系の真空リークが発生した。その対策として、絶縁セラミックに散乱した高周波が当たらないように反射板（アルミ板厚さ：10mm）を整合器内部に設置した（図７参照)。その結果、絶縁セラミックの温度上昇が 1/10 以下になり、高出力長パルス運転を行っても真空リークが発生していない。

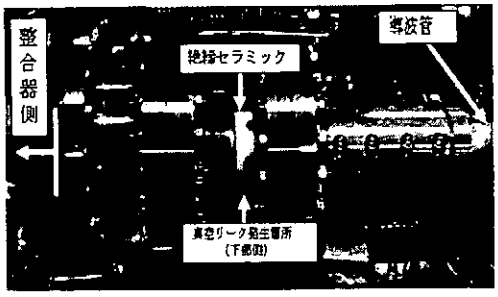


図６　絶縁セラミック取付位置

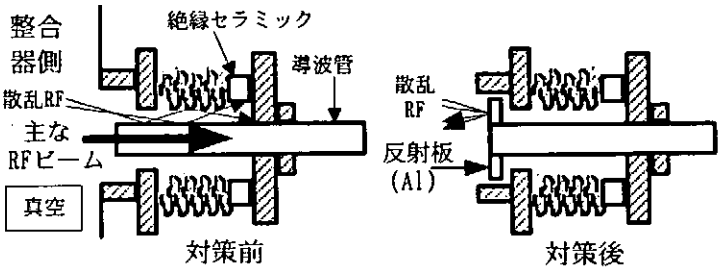


図７　RF反射板取付位置

2.4 伝送効率の改善

伝送効率の目標値 81%に対して、実際の運転で伝送効率測定した結果は表１（対策前）に示すように 60～75%値となった。特に系統２と３の伝送効率が悪い原因として伝送導波管の直線からのずれ（図８参照：系統３）によるものである可能性が大きいことから対策として敷設精度を高める作業を実施した。対策後、伝送効率測定を行ったところ表１(対策後)に示すように、系統３においては伝送効率が大幅(60%→80%)に改善された。（敷設精度の目標値：10m 当たり 1mm）

	伝送効率	
	対策前	対策後
系統１	75%	75%
系統２	70%	75%
系統３	60%	80%
系統４	70%	－

表１　各系統の伝送効率

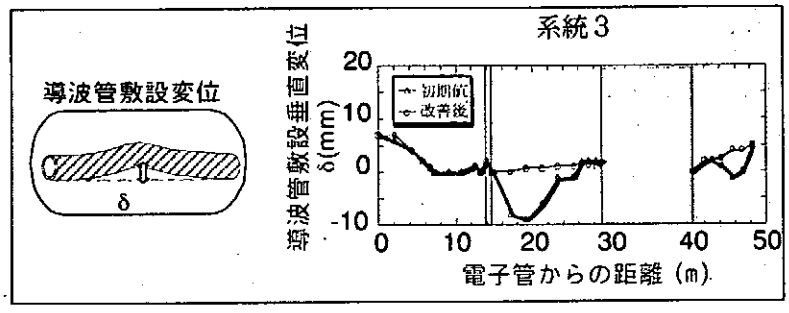


図８　導波管敷設精度測定結果

３．運転の省力化

ジャイロトロンを 1MW 以上の出力で秒オーダーの長パルス運転を行うためには、エージングと呼ばれる作業が必要である。つまり、ジャイロトロンでは、その管内表面からのアウトガスの出方を制限し、徐々に管内からのアウトガスを枯らしながら、ビーム電圧、ビーム電流、出力、パルス幅などを徐々に上げていき、目的の性能を達成させる。現在のジャイロトロンは、初期のエージングが完了している。

日常的なジャイロトロンの運転（手順）としては、超伝導コイル装置の立ち上げに約４０分間程度、ジャイロトロンの発振動作（ビーム電流）が安定するまでに約１時間程度かかる。ビーム電流が安定した状態で実験に必要とする出力パワーがでていることを各種(ビーム電流、検波器出力等）の出力波形でジャイロトロンの出力を確認する。出力パワー測定（入射時間：200ms 以下）も行う。ジャイロトロン出力は超伝導コイル電流やビーム電流（ヒーター電流）等を変化させることで、調整できる。

ジャイロトロンの改良により、寄生発振によるビーム電流の急増現象がなくなり、ビーム電流が安定するようになった。この結果、従来、ヒーター電流の微調整を行いビーム電流の上昇を抑制していた作業が不要とできた。機器制御系の改造を行い、中央制御卓に操作パネルを追加し（２台から４台へ)、また、警報表示パネルを統括表示から系統毎の表示を行えるようにした。さらに、モニター系のネットワーク化を図り、現場に設置したモニターの波形を中央制御卓において見ることを可能とし、プラズマ入射時は現場運転員の人員を減らすことができるようになった。このため、運転員１名で複数のジャイロトロンの運転が可能となった。

４．まとめ

1) 約３年間に発生した不具合の対策等を実施した結果、2.8MW-3.6s(約 10MJ)の世界最高レベルの入射を実現できた。図９に示すように高出力長パルス運転が確実に進展している。(図参照　●：JT-60 での実績値)

2)操作パネルの追加、系統毎の警報表示、モニター系のネットワーク化及びジャイロトロンの初期エージングの終了により、プラズマ入射時における現場運転員の人員を減らすことができるようになった。

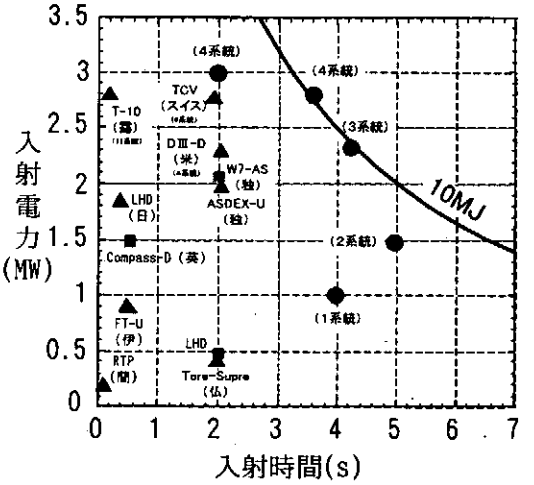


図９　入射電力の進展

５．今後の課題

5.1 安定な同時入射の実現

ある系統で何らかの異常により、高電圧の印加が高速で遮断されると他の系統へ影響を及ぼし、インターロック動作を引き起こす。この現象の原因と考えられるアース系の見直しを実施しているところである。

5.2 ビーム電流減少に対する対策

ジャイロトロンの改造により不要な寄生発振が抑制され、ビーム電流は低減する（図５-(c)改造後参照)。長パルス運転を行うとビーム電流の減少で、ジャイロトロンの発振領域を外れるため発振停止することがしばしば発生する。そのため、発振中にジャイロトロン用超伝導コイル電流を変化（上げる）させることやヒーター電流を変化させることを検討している。

固体燃料内側ガイド管の製作

日本原子力研究所　那珂研究所　○笹島唯之、平塚一、正木圭、木津要、宮直之

1. はじめに

臨界プラズマ試験装置 JT−60 ではプラズマの燃料として重水素を使用している。燃料の補給は、重水素をガスで注入する方式と重水素ガスを冷却し氷状にした固体燃料（ペレット）として入射する方式がある。

プラズマ密度の制御にはプラズマの表面にしか届かないガス注入より、プラズマ中心密度を上昇させることができる固体燃料入射が期待される。また、固体燃料によるプラズマ中心密度の上昇はトーラス外側入射より強磁場側の内側入射の方が大きいと考えられている。

本報告では遠心式固体燃料入射装置を使用している JT−60 での燃料補給効率を高めることを目的に実施した固体燃料の真空容器内側入射用ガイド管の設計、据え付け並びにその結果得られた入射結果について報告する。

2. 固体燃料内側ガイド管の構成

固体燃料入射用ガイド管は図1に示すように水平位置に設置されている遠心加速方式固体燃料入射装置（ペレット入射装置）から飛行してくる固体燃料を真空容器水平ポートの切換器により2ケ所の入射位置へ選択することができる。1ケ所は垂直上側ポートから入射する上側入射用ガイド管、もう1ケ所が新規製作した内側入射用ガイド管となる。

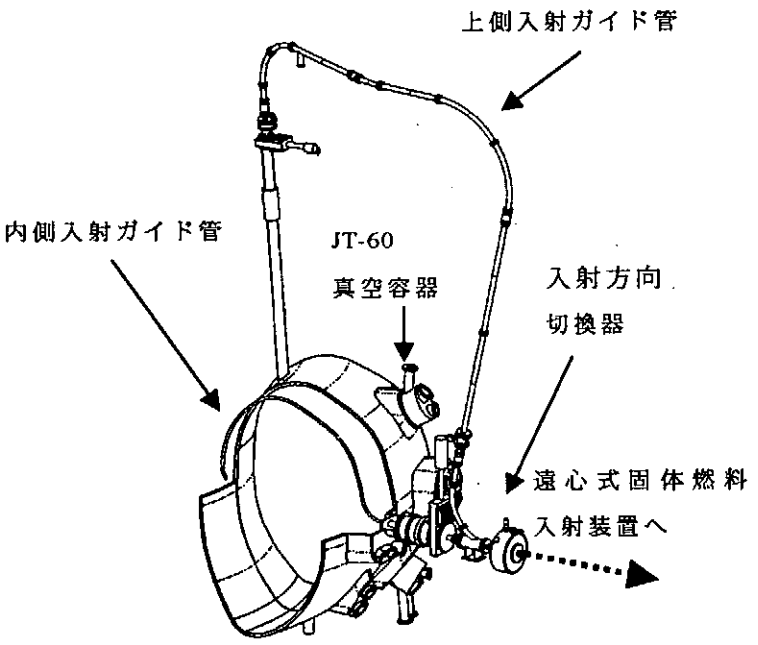


図1　固体燃料内側ガイド管構成図

内側入射ガイド管は飛行してくる固体燃料を収集するファンネル（漏斗状集合管）と固体燃料をトーラス内側まで導くガイド管から構成される（図3参照）。

ファンネルは真空容器水平ポート内に設置され、入り口側口径φ73.1 mm出口口径φ5 mm、全長850 mmの漏斗状の形状をしている。このファンネルで収集された固体燃料はガイド管を経由して内側へ到達する。

ガイド管は真空容器壁とプラズマから真空容器を保護するための第一壁との間に設置され、真空容器の形状と同じ曲率を持ち、最大曲率 R126.01 m、最少曲率 R200 mm（射出口部 R100 mm）、全長 5.9mの 7 分割から構成される。固定方法は真空容器壁に 100 mm間隔でクリートにより固定される。

3. 設計仕様

固体燃料入射装置により生成される固体燃料は重水素ガスを 15K で固化してできた氷を切断し 1 辺が 2.1 ㎜のキュービック状にした燃料となる。生成された燃料は遠心加速ロータにより 100～600m/s で入射される。

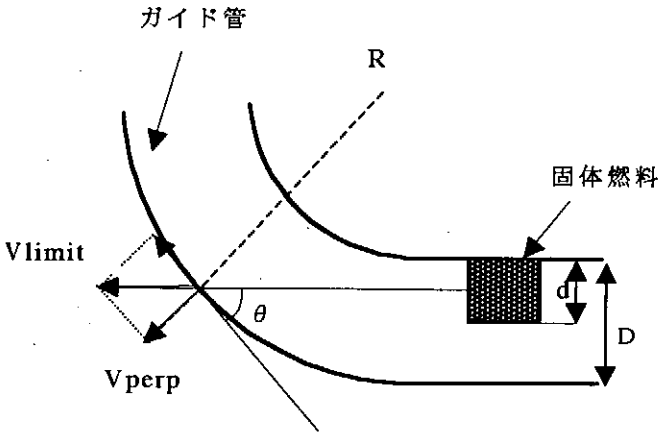
本設計仕様では上記に示す固体燃料を如何に壊さずプラズマのトーラス内側に導くことが可能かを念頭において既設設備との整合性を図り設計を行った。

4. 固体燃料と管壁との衝突角度

ガイド管曲率は入射速度、管口径、固体燃料の口径及び固体燃料の温度に依存する。検討する上で固体燃料は 2.1 ㎜角で温度 15K、ガイド管の内径をφ5 ㎜とし、その時の曲率と入射速度の関係を検討した。

本設計では直進方向で飛行してきた固体燃料が最初に方向を変えるガイド管の最少曲率 R200 ㎜について図 2 に示す簡易モデルを参考に検討した。その結果、垂直方向の限界速度は 15m/s、飛行してくる固体燃料の速度が 100m/s で最少曲率が R200 ㎜以上であれば固体燃料が破壊しないと評価した。

真空容器内に設置されるガイド管の構成で最少曲率は R100 ㎜（射出口）となるが射出部の R100 ㎜曲率については固体燃料の管内での遠心モデルで評価して問題の無いことを確認した。



$V_{limit}=V_{perp}\cdot\sin\theta$

$\cos\theta=1-(D-d)/R$

Vlimit=破壊しない限界速度

Vperp=垂直方向の限界速度

図 2 ガイド管と固体燃料の衝突モデル

5. ファンネル（収集管）の設計

ファンネルを設計する上でファンネルの形状とファンネル内側のスロープについて述べる。図 3 に示すようにガイド管が途切れる箇所の固体燃料は出口から射出する際に散乱する。散乱角度は±2° となり散乱した固体燃料を全て受け止めるには出口口径より入り口口径を大きくする必要がある。

ファンネルの設計は設置する空間の制約を考慮して、入り口側の口径、ファンネルの長さ及びガイド管の曲率、そしてファンネル内のスロープ角度の兼合いで決定される。

設置する箇所は JT-60 の水平ポート内になるため、真空容器内壁面とゲートバルブ間の約 1100 ㎜に納める必要があった。また、この空間にはファンネルからガイド管に接続するときの曲率も考慮しファンネルの長さは 900 ㎜以下に納めることとした。

ファンネルの口径は±2° で散乱した固体燃料を全て受けることができ、且つ、製作時及び据え付け時の寸法誤差及び JT-60 での実験運転時の環境（300℃ベーキング）により発生する真空容器ポート部の熱変位を考慮してφ73.1 ㎜とした。

ファンネル内のスロープ角度は固体燃料の破損する下限速度と固体燃料の飛行速度から衝

突角度を算出し、衝突角度 4.7° 以下となるよう、ファンネル口径及び全長から評価してスロープ角度を 2.3° とした。

次に、ファンネルの設置箇所についての設計について述べる。ファンネルには真空容器ポートと固定するためのフランジが付いている。真空容器とファンネル及びガイド管を直接固定するとプラズマによる誘導電流が流れる回路ができる。この誘導電流とトロイダルコイル磁場の交叉によりファンネルには磁場力が掛かることになる。そこで、ファンネルの固定部には誘導電流が流れないように絶縁セラミックを挟みこみ回路を強制的に切断する構造とした。

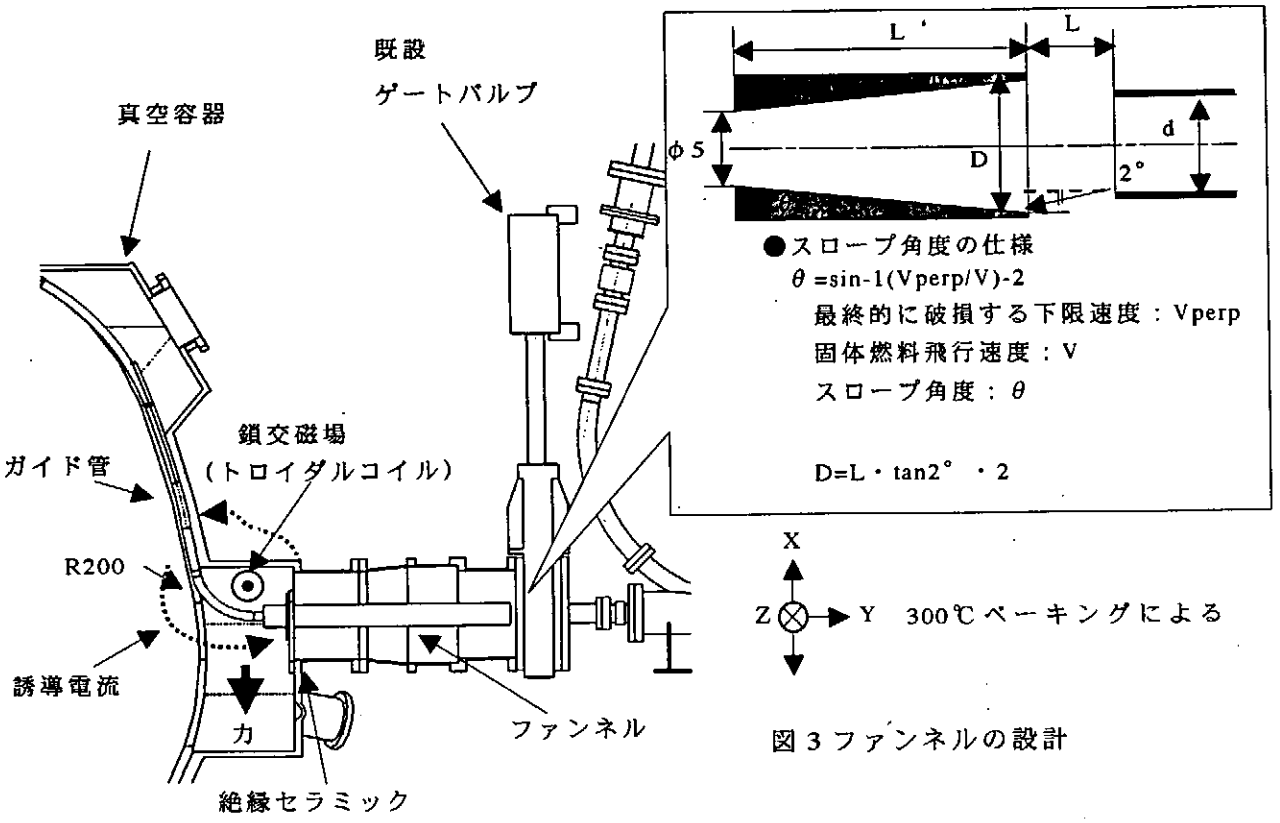


図 3 ファンネルの設計

また、ファンネルは SUS の無垢材を放電加工により刳り貫いた形状であるため重量は約 30 kg となるため、真空容器との固定ボルト及び絶縁セラミックの強度評価を行ってポート部に掛る加速度 10G に耐える構造とした。

6. ガイド管の設計

ガイド管は内径 φ 5 ㎜ のパイプを真空容器曲率と同じにして 7 分割する構造とした。接続部は飛行してくる固体燃料が接続箇所で生じた段差による破損を考慮し、受け口口径を大きくして対処した。

また、ベーキング時の熱膨張の差によるガイド管の影響についても考えた。ガイド管は真空容器内に設置されるため素材を非磁性の SUS 材にしている。真空容器壁はインコネルでできているため、ガイド管とクリートはポロイダル方向にフリーにして熱膨張に対するガイド管の健全性を確保した。また、固定部が万が一溶着して固定された場合でも強度的に問題ないことを確認した。

電磁力によるガイド管の健全性は J×B で評価し、管と真空容器間に 880A 以上流れなければ健全性を保てることを評価した。

ガイド管の射出部についてはプラズマ境界の外側を流れるプラズマ・イオン流の薄い箇所を狙い設置した。射出部の先端は最もプラズマ表面に近い位置に設置されるため、プラズマ粒子に曝されることが考えられる。そこで、第一壁から先端部を保護することを検討した。プラズマ粒子は第一壁に対して 0.015° で入射される。その時の第一壁深さ方向には 0.17 ㎜の位置に粒子が当たると考えられる。更に、ガイド管は熱延びにより 1.2 ㎜変化する。よって、第一壁表面より 1.3 ㎜以上の位置にガイド管射出口を設置すればプラズマから保護することができると評価した。設計では据え付け誤差と安全を考え、第一壁表面から 5 ㎜の位置に設置することとした。

7. ガイド管据え付けに関して

固体燃料内側ガイド管の据え付けは芯ずれ及び段差が生じると固体燃料の破損に繋がるため慎重に行った。

ファンネルについてはφ0.5 ㎜の穴が空いた特殊なレーザーポインタ治具を製作し精度向上を図った。据え付け時にはあらかじめファンネル単体による芯更正を行った状態で真空容器に設置し、図 4 のように既設輸送管槽の芯と合わせ±0.5 ㎜の精度で取り付けを行った。

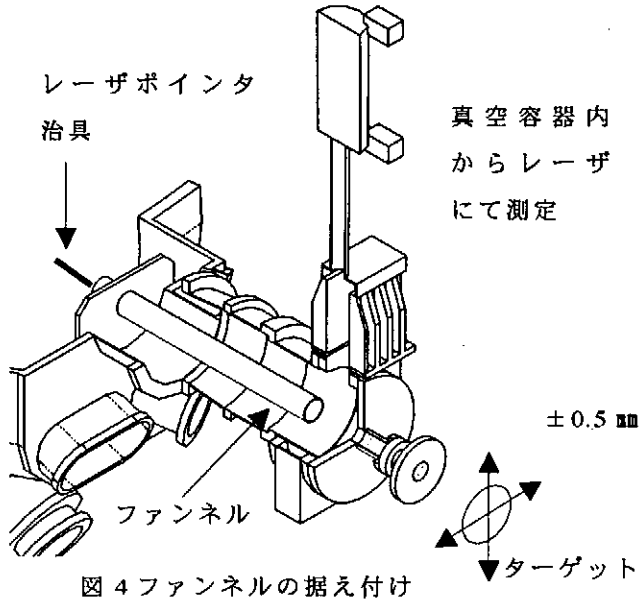


図 4 ファンネルの据え付け

また、7 分割されたガイド管はスリーブを用いた溶接により接続した。接続間隙は 2 ㎜以下の精度で接続して固体燃料の引っ掛かりを無くした。接続部の溶接は R&D を行い溶接機の電流調節にてガイド管内側に溶け込まないように工夫した。

8. まとめ

固体燃料内側ガイド管は据え付け箇所の制約条件の中、様々な角度から設計を行った。特に飛行してくる固体燃料を受けるファンネルの設計に重点を置いた。

据え付け後、既設切換器の上下位置を変化させて入射特性を調べた。その結果、図 5 に示すようにファンネルが設計とおり、ある程度の角度広がりを許容できることを確認した。また、固体燃料内側ガイド管からの入射実験によりプラズマの全密度上昇を確認した。また、上側入射等で得られなかった個々のペレット入射時のプラズマ密度の速い減衰は確認されないことが分かり、プラズマ密度制御により有効なことを確認した。

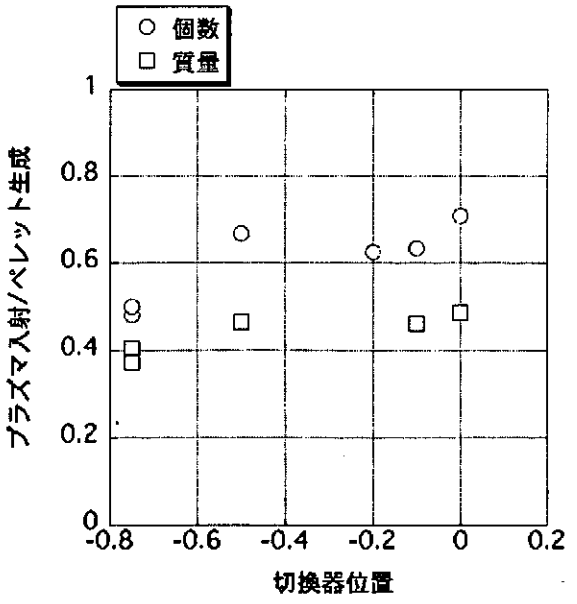


図 5 入射特性試験結果

JT-60 ペレット飛行ビデオの撮影

日本原子力研究所　那珂研究所
○市毛尚志　平塚一　岩橋孝明　本田正男　宮直之

1．はじめに

JT－60 では、高密度プラズマの生成、閉じ込め性能の向上を目的にペレット（重水素等の燃料ガスを液体ヘリウムにより極低温まで冷却し固化したもの）の入射を行っている。入射方式には、高圧ガス（～10Mpa）を利用したガス銃方式と高速回転による遠心力を利用した遠心加速方式がある。プラズマ中心の高密度化と長時間維持にはペレットを連続的に入射可能な後者の方式が有利である。そこで、遠心加速方式ペレット入射装置を新たに開発し、実験に使用している。ペレットサイズは 2.1×2.1×2.1mm（立方体）で、高速回転している加速ローター（全長 900mm）によって遠心加速する。

遠心加速方式ペレット入射装置の開発においては、加速ローターから射出された直後のペレット状態を確認するため、飛行速度の計測及び飛行ペレットの形状撮影（撮影のタイミング信号に速度計測信号を利用）をする必要がある。しかしながら、最近行った装置の遠心加速方式化の改造により、2 箇所設けられていたペレット飛行速度計測センサー用空間のうち 1 箇所を塞ぐこととなった。そこで、測定槽内を通過するペレットを残った 1 箇所の空間と 1 対の観測窓を利用して 2 つの手法（ナノパルスライトによる飛行形状撮影と高速ビデオカメラによる飛行速度計測）を可能にする観測方法としてビデオカメラによる撮影を試みた。

本研究会では、ビデオカメラ撮影による観測方法とその結果得られたペレット健全性の確認結果について報告する。

2．遠心加速方式ペレット入射装置の概要

(1) 本体機器構成

以下に主な構成機器を示す。また、図 1 にペレット入射装置本体外観図を示す。

① 生成槽　；ペレットを生成・切断・装填する。
② 加速槽　；ペレットを加速する。
③ 測定槽　；飛行ペレットの大きさ等の測定や飛行ペレットの撮影を行う。
④ 切換器槽；JT－60 真空容器への入射方向（上側、内側）の選択を行う。

(2) 基本性能

以下に主な基本性能を示す。

① ペレット形状　；立方体（cube）
② ペレットサイズ　；2.1×2.1×2.1 mm
③ ガスの種類　；重水素、水素、ネオン
④ 射出周期　；1～10 Hz
⑤ 射出時間　；～5 s
⑥ 射出速度　；100～1000 m/s

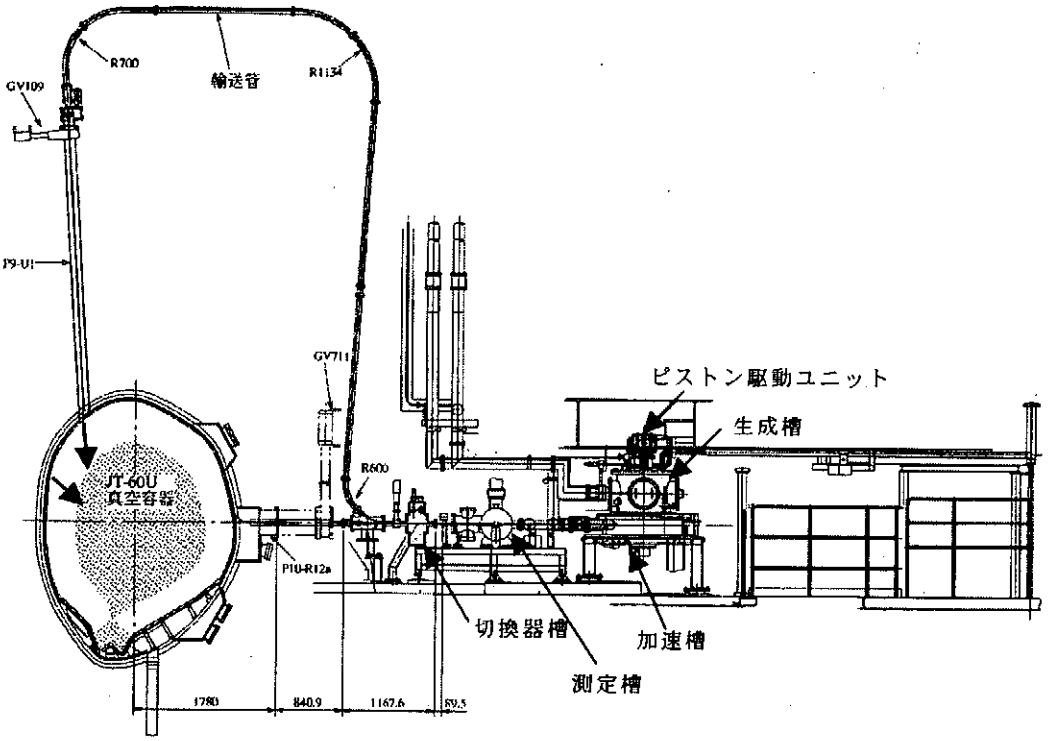


図１　ペレット入射装置本体外観図

３．撮影場所

測定槽内には、μ波質量計（μ波を利用して飛行しているペレットの質量を測定する装置）、集合管、ＳＵＳ飛行管等が設置されている。μ波質量計とＳＵＳ飛行管の間は、ガス抜きの為に 12 mm の間隔をあけて設置されており、この空間をペレットがμ波質量計側からＳＵＳ飛行管側へ飛行する。撮影は、測定槽の両サイドに設けられた１対のガラス窓（φ35 mm ）を利用し、ビデオカメラ等で内部を観察した。図２に測定槽周辺の構造図を示す。また、写真１に撮影場所（測定槽内部）の写真を示す。

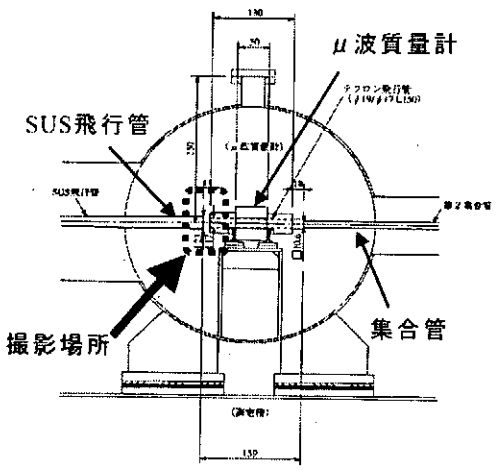


図２　測定槽周辺構造図

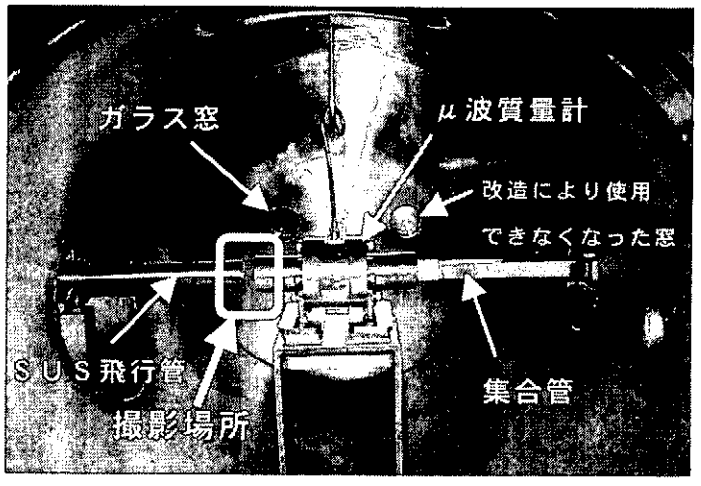


写真１　測定槽内部写真

4．撮影機材

(1) ペレット飛行形状の撮影

- ナノパルスライト(閃光時間 約 180ns[半値幅]、立上り時間 約 50ns)
- デジタルビデオカメラ(映像記録に使用)
- 遅延パルス発生器（ディレー調整幅 50～300μs）
- 凸レンズ（点光源の光を平行光にする）
- 暗幕（撮影場所を暗くして、ライトの点滅をシャッター代わりに使用する）

(2) ペレット飛行速度の測定

- 高速ビデオカメラ（最高撮影速度 40,500 コマ/秒、高速シャッター機能なし）
- メタルハライドランプ（高輝度・冷光源、平行光を連続照射）

5．ペレット飛行形状の撮影

(1) 撮影方法

撮影を行う測定槽付近全体を暗幕で覆い、ペレットの飛行タイミングに合わせてナノパルスライトを点滅して撮影した。図 3 に撮影機器構成図を示す。

タイミング信号にはμ波質量計の出力信号を利用した。遅延パルス発生器については、ペレットがμ波質量計を通ってから撮影位置に移動するまでに要する時間を撮影時のペレット速度（400m/s）から計算し、適切なディレー調整幅を持ったものを製作した。

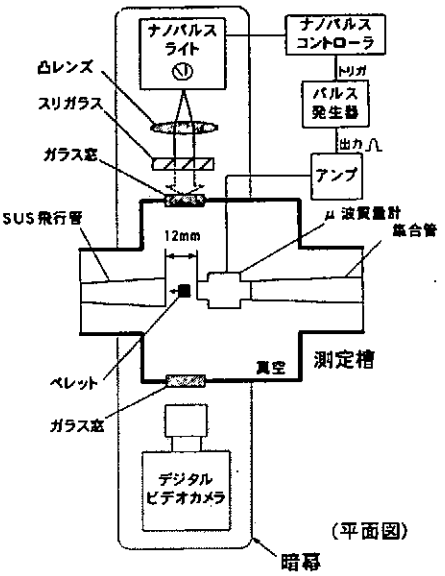


図 3　撮影機器構成図

(2) ナノパルスライトによる撮影映像

ナノパルスライトによるμ波質量計の出力信号は、立上りが遅い、ノイズ成分を含んでいる、ペレットの大きさにより波形の大きさが変わるなどトリガ信号としては問題が多く、さらに装置本体周辺での溶接作業のノイズの影響を受け、撮影の成功確率は 10%程度であった。撮影確率については、遅延時間や周辺環境の対策を行えば更に上げることができると思われる。写真 2 に重水素ペレット（飛行速度：400m/s）の飛行映像を示す。この結果、ペレットが割れることなく飛行していることを確認できた。

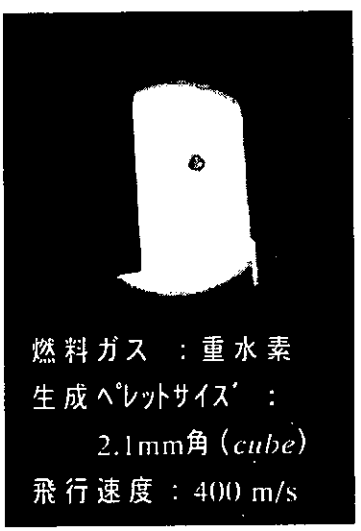


写真 2 重水素ペレット飛行映像

6．ペレット飛行速度の測定

(1) 測定方法

図 4 に機器構成図を示す。高速ビデオカメラの撮影開始タイミング信号にはμ波質量計の出力信号を利用した。ペレット飛行速度は、設定可能最低速度に近い 100.5m/s とした。この結果、写真 3 に示すように一つのペレットが 12mm の空間を移動する間に 5 コマの映像を撮影することができた。そして、この映像上で移動した距離から速度を計算した。

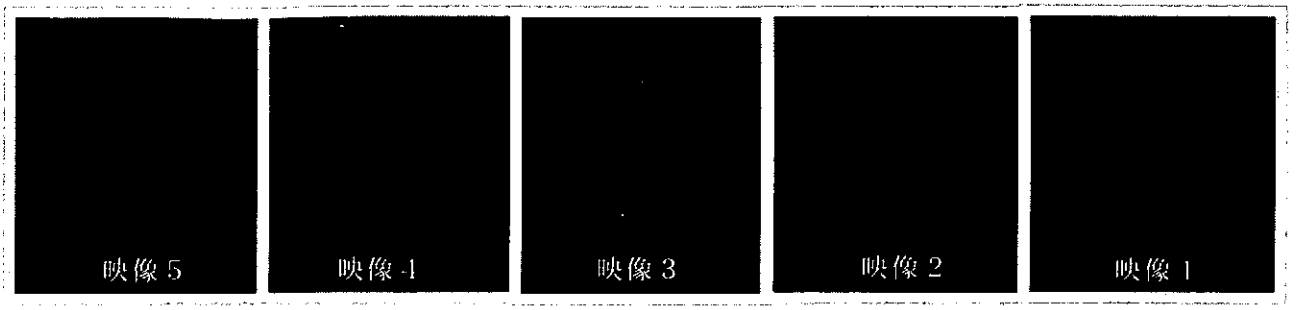


写真 3　ペレットが移動する様子（順序；映像 1⇒映像 5。ペレット飛行方向；右から左）

(2) 飛行速度

ペレット飛行速度の設定値が 100.5m/s の時、コマとコマの間の移動距離は 2.46mm(写真 4)であった。映像間の時間は 24.7μs(1/40,500s)であるので、測定速度は 99.6m/s となる。この値は加速ローターからのペレット射出速度計算値とほぼ同じであり、設定速度に近い速度でペレットが飛行していることを確認できた。これにより、高速ビデオカメラによって 100m/s までのペレット飛行速度の測定が可能であることを確認した。

(3) 高速ビデオカメラによる映像

画像は露出時間の関係で流れており飛行形状は把握しにくいが、ペレット飛行タイミングに合わせたトリガ信号は不要なので、高い確率でペレットの映像を撮影することができる。更に、高速シャッター（～10ns）を内蔵した機種を使用すればペレットの形状の確認も十分対応可能と思われる。

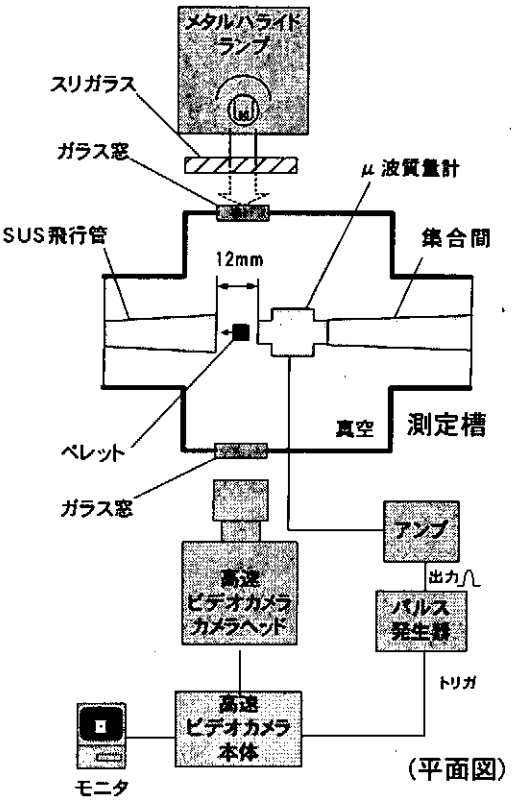


図 4　撮影機器構成図

7．まとめ

(1) ペレット飛行形状の撮影

μ波質量計の出力信号を利用して、ビデオカメラによるペレット飛行形状の撮影が可能であることと射出されたペレットの健全性を確認できた。今回の撮影成功確率は10%程度であったが、遅延時間の設定や周辺環境の対策を行えば確率を上げることができると思われる。

(2) ペレット飛行速度の測定

高速ビデオカメラを利用し、大凡の飛行形状の確認と 100m/s までのペレット飛行速度の測定ができた。そして、ペレット飛行速度はペレット射出速度計算値とほぼ同じであることを確認した。また、高速シャッター内蔵機種であれば、ペレット飛行形状と飛行速度を同時に、かつ正確に確認できる見通しを得た。

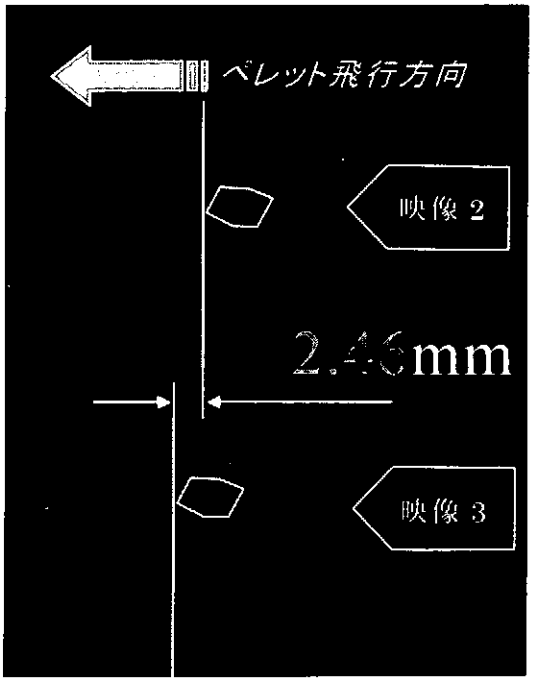


写真 4　映像 2～映像 3 のペレット移動距離

hcp-Coを内包するカーボンナノカプセルの合成の試み

A trial synthesis of hcp-Co particles encapsulated in carbon nanocapsules

三重大学工学部技術部
○前田浩二、中川浩希、和藤　浩、中村昇二

はじめに

現在の面内磁気記録では形状磁気異方性を利用した針状磁性粒子が磁気記録媒体として使用されているが，最近その記録密度を大きくする手段として，結晶磁気一軸異方性を利用した球状磁性粒子が有望視されている．

このようなことから我々は，金属粒子を内包するカーボンナノカプセルが球状であり，また大気中においても非常に安定であることに着目して，ヘリウムガス中においてコバルト微粒子を内包するカーボンナノカプセルを作製し，その磁気特性を報告した[1]．しかしながら，作製したコバルト微粒子の結晶構造は，高温で生成されたfcc-Co微粒子が，hcp-Coに相転移することなくヘリウムガス中で室温まで急冷されるために，期待されたhcp(最密六方)構造ではなく，fcc(面心立方)構造であった．

そこで今回はその改善策として，従来の直流電源ではなくパルス電源を用い，また放電加工の分野において材料の冷却を目的として，液槽(アルコール，ケロシン，純水など)中で放電加工を行なっていることに着目して，ヘリウムガス中ではなく水中(脱イオン水)においてアーク放電を行なうことにより，これまでに問題となったアーク放電時における温度上昇の抑制を試みたのでその結果を報告する．

以上の実験は，カーボン陽極中にコバルト顆粒のみを入れてアーク放電を行なったものであるが，最後に上記のような条件のもとで，コバルト顆粒に加えてあらゆる温度でhcp構造をとるイットリウム(Y)，パラジウム(Pd)などを陽極中に添加することによりhcp-Coが誘導されることを期待し，同じようにパルスアーク放電を水中で試みたのでその結果もあわせて報告する．

Heガス中で直流アーク放電により作製したCo内包カーボンナノカプセル

カーボンナノカプセルを作製する従来の装置概略図を図１に示す．陽極，陰極ともにカーボン棒であり，陽極には適当な穴を開け，その中にCo粒子を充填する．装置内を真空排気した後，50～500Torrの一定圧力のHeガス中において，この電極間でアーク放電を行なうと陽極側のCoとカーボンが蒸発する．それがHeガスと衝突する

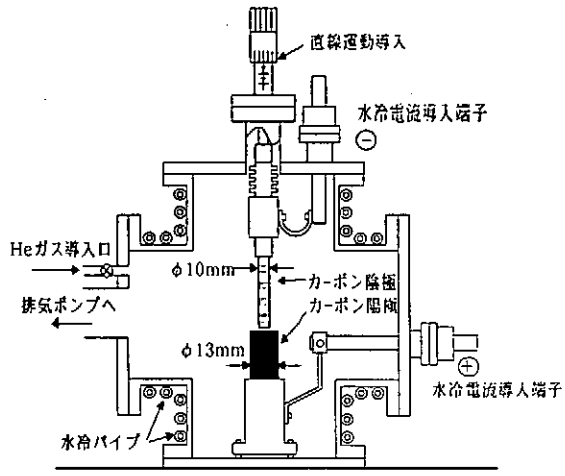


図1　アーク放電による金属内包カーボンナノカプセルの合成装置



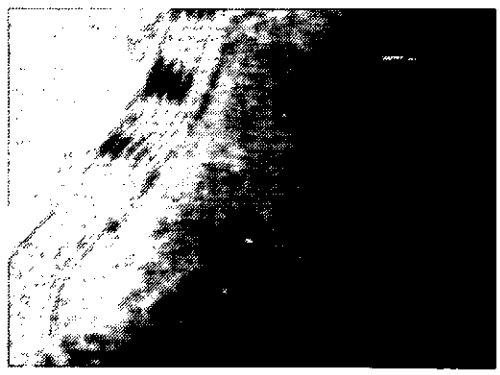


写真1　Co内包カーボンナノカプセル微粒子

ことにより冷却され，液相のCo・カーボン合金微粒子が形成される．そして冷却がより進むと，カーボンの方が融点が高いためにグラファイトが析出し，グラファイト層が形成される．このようにして多層のグラファイト層におおわれたCo微粒子内包のカーボンナノカプセルが生成される．写真１は先程の装置で作製したCo内包カーボンナノカプセルの電顕写真で，粒形は球状で，寸法は600～1600Å程度である．また単純な結晶格子欠陥が見られることから，このCoは単結晶であると思われる．下の写真はナノカプセルを拡大した写真であり，層間隔3.35Åの多層のグラファイトでおおわれており，気密性に優れ，内部のナノ結晶を酸化や加水分解から保護する機能を持っている．図２はそのCo内包カーボンナノカプセルのX線回折パターンである．この結果，Co微粒子の結晶構造はfccになっていることがわかり，期待したhcp構造のCo微粒子は得られなかった．このようにCoの結晶構造がhcpではなくfcc構造になる原因は，カーボンナノカプセル生成過程でfcc-Co微粒子が急冷されることにより，hcp-Coに相転移することなく，焼き入れされたためと考えられる．

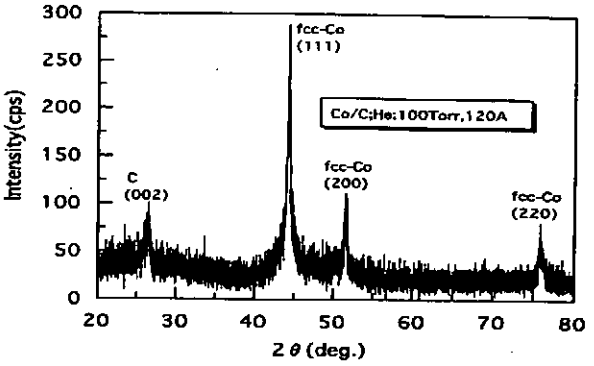


図2　直流アーク放電によるCo内包カーボンナノカプセルのX線回折パターン

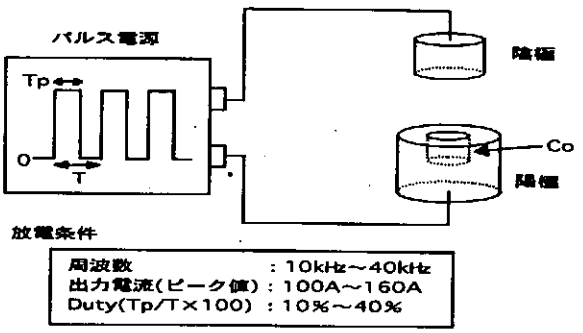


図3　直流パルスアーク放電の放電条件

パルスアーク放電によるCo内包カーボンナノカプセル

そこで従来の直流電源ではなく，図３のように直流パルス電源を用いることにより，アーク放電時における温度上昇の抑制を試みた．放電条件としては，周波数を10kHz～40kHz，Dutyを10%～40%の範囲でアーク放電させ，Co内包のカーボンナノカプセルを作製した．しかしながら結果は直流電源でアーク放電を行なった場合と同様に，fcc-Coのピークしか得ることができなかった．また直流パルス電源を用いて作製したCo内包カーボンナノカプセルの飽和磁化と保磁力は，純Coの場合と比較してかなり小さな値を示した．これは試料中にCoがあまり含まれていないためであり，陽極を調べたところCoの表面が少し溶けているといった状態であった．

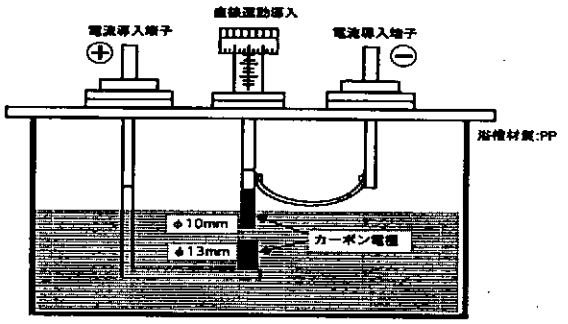


図4　水中アーク放電装置の概略図

水中におけるパルスアーク放電によるCo内包カーボンナノカプセル

次に放電加工の分野において材料の冷却を目的として，液槽中で放電加工を行なっていることに着目して，ヘリウムガス中ではなく水中においてパルスアーク放電を行なうことにより，アーク放電時における温度上昇の抑制を期待し，Co内包のカーボンナノカプセルの作製を試みた．図4がその装置の概略図であり，先程のような真空槽ではなく，ポリプロピレンの容器の中に脱イオン水を入れ，その中にカーボン電極を対向して浸したものであ

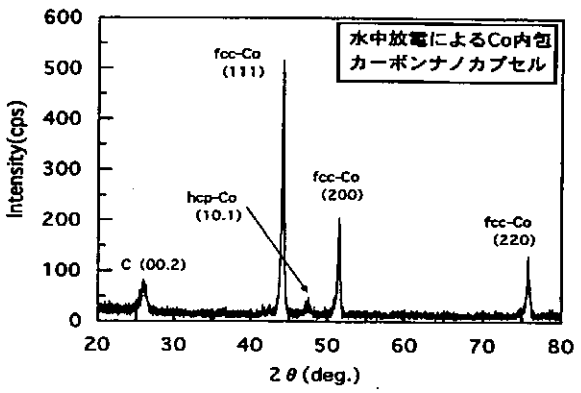


図5　水中アーク放電によるCo内包カーボンナノカプセルのX線回折パターン

る．図5はその試料のX線回折パターンであるが，ここでhcp-Co(10.1)のピークがわずかに確認することができる．この水中アーク放電により作製したCo微粒子の飽和磁化に対する温度依存性を図6に示す．この図中で飽和磁化が昇温過程の400℃付近で増大しているのは，Co内に残っていた反強磁性の炭化物Co3Cが金属Coとカーボンに分解して，金属Coが増えることによると考えられる．またそのことを除いては飽和磁化は昇温過程と降温過程の温度に対してほぼ可逆的に変化している．図7は昇温後の試料のX線回折パターンであり，ここで昇温前のX線回折パターンと比較するとhcp-Co(10.1)のピークが高くなっているのが確認できる．この原因は図8に示すCo微粒子の相変態機構のように試料のグラファイト層が薄いために，Co微粒子がグラファイト層を突き破って互いに直接付着し，より大きなCo粒子を形成する時にhcp-Coへの相変態が生じたものと思われる．したがって完全なCo内包のカーボンナノカプセルではないと言える．写真2は昇温前と昇温後のCo粒子の電顕写真であり，先程のモデルのように昇温後の粒子は昇温前のいくつかの粒子がお互いに付着し，大きくなっていることが確認できる．

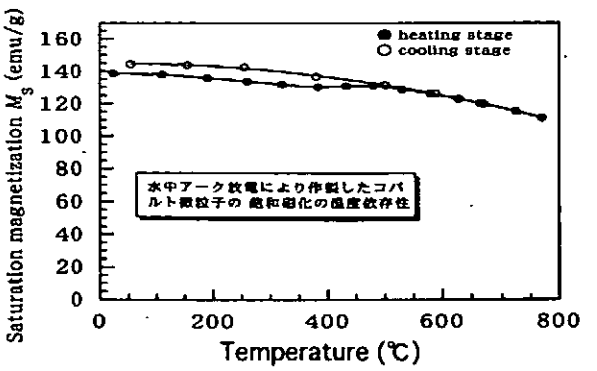


図6　水中アーク放電により作製したCo微粒子の飽和磁化に対する温度依存性

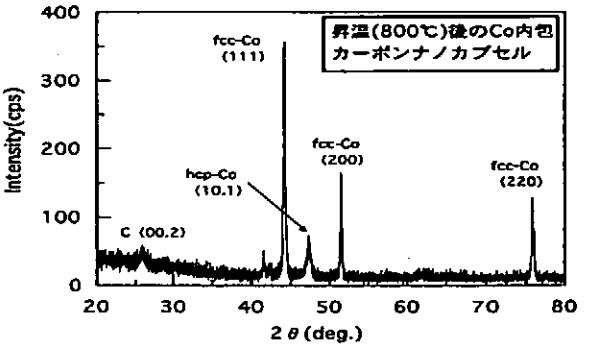


図7　昇温後のCo内包カーボンナノカプセルのX線回折パターン

hcp構造をもつ金属を添加して作製したCo内包カーボンナノカプセル

最後に，あらゆる温度でhcp構造をとるRu,Y,Pdなどを陽極中に少量添加し，水中においてパルスアーク放電を行ない試料を作製することを試みた．このようにCoに加えてPdなどを陽極に添加する理由は，図9に示すhcp-Co内包カーボンナノカプセルの成長機構の予想モデルのようにRu,Y,Pdなどの金属がアーク放電時に核となり，hcp-Coが誘導されることを期待して行なったものである．図10はPdの顆粒とCo顆粒を陽極の穴に入れてアーク放電を試みたCoPd内包のカーボンナノカプセルのX線回折パターンである．同様にCoY,CoRu,CoTeを内包するカーボンナノカプセルの作製を試みたが，いずれの試料もコバルトの結晶構造はfccであり，Y,Pdなどが核となり，hcp-Coを誘導するという結果を得ることはできなかった．

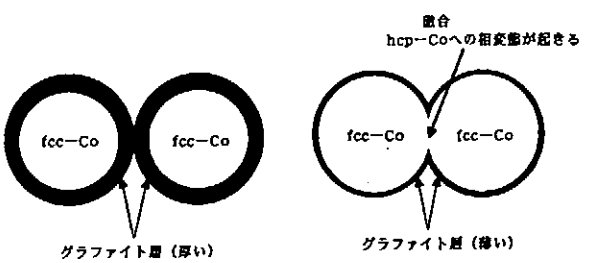


図8　Co微粒子の相変態機構

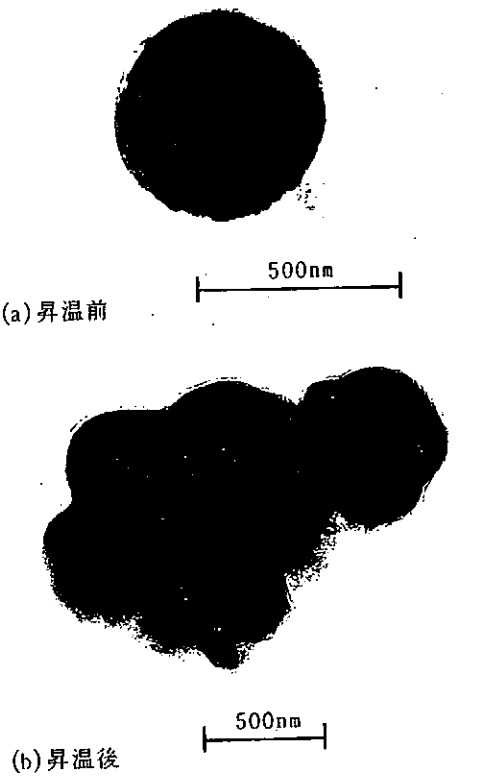


写真2　昇温前と昇温後のCo微粒子

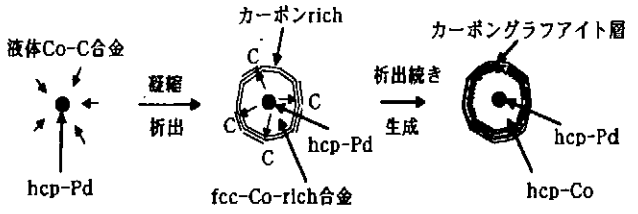


図9　hcp-Co内包カーボンナノカプセルの成長機構

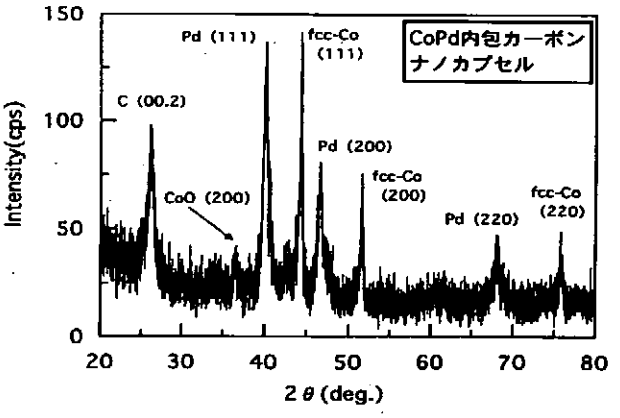


図10　CoPd内包カーボンナノカプセルの
X線回折パターン

まとめ

本研究では，以下に示すアーク放電法により，Co単結晶微粒子を内包するカーボンナノカプセルの合成を試み，その結晶構造，磁気特性等を調べた．

①アーク放電時における温度上昇を抑制するために，従来の直流アーク放電ではなくパルス電源を用いてアーク放電を試み，試料を作製した．その結果，X線回折パターンからは，直流電源で放電した時と同様にfcc-Coの結晶ピークがみられ，期待したhcp-Coの結晶ピークは観察されなかった．

②同様の目的で，Heガス中ではなく水中においてパルスアーク放電を試みた．その結果，Heガスによるアーク放電とは異なり，作製した試料の粒子サイズは大きく，不均一であった．また，試料のX線回折パターンを昇温の前と後で比較すると，hcp-Coの結晶ピークが高くなった．この原因は，試料のグラファイト層が薄いために，Co微粒子がグラファイト層を突き破って互いに直接付着し，より大きなCo粒子を形成する時にhcp-Coへの相変態が生じたものと思われる．したがって，完全なCo内包のカーボンナノカプセルではないと言える．

③あらゆる温度でhcp構造をとるRu,Y,Pdなどを陽極中に少量添加することで，これらの金属がアーク放電時に核となり，hcp-Coが誘導されることを期待して水中でパルスアーク放電を試みたが，Ru,Y,Pdなどが核になり，hcp-Coを誘導するということはなかった．

以上のまとめより，今回の試みは期待した結果を得ることはできなかった．しかし，今後において金属を内包するカーボンナノカプセルの作製にわずかながらでも参考になれば幸いである．

参考文献

(1)前田浩二：コバルト単結晶微粒子内包カーボンナノカプセルの合成とその磁気特製(三重大学技術報告集，1996)

熱電素子を用いた新エネルギーシステム*の開発

群馬大学工学部
○下田勝二　加藤芳春　高橋俊樹　近藤義臣

*特許出願番号：20001-17296

1．研究の背景

石油、天然ガス等の化石燃料は世界的に今後 40-50 年程度で使えきると言われている。日本のエネルギー自給率は１%程度であると言われている。原子力発電では核分裂で発生する大量の放射性廃棄物の処理が問題になっている。また、炭酸ガスによる地球温暖化問題などで、近年、エネルギー問題の解決が最重要課題となっている。我が国で消費される全供給エネルギーは数億kJと言われている。その 66 %が廃熱として捨てられている（図１）。この莫大な廃熱エネルギーの有効利用は２１世紀における課題でもある。地球上に無尽蔵に存在する熱エネルギーや各種器機類で発生して大気中に大量に放出される熱エネルギーを直接、電気エネルギーへ更に化学エネルギーへと変換するシステムを考案する必要がある。廃熱エネルギーや環境内自然エネルギーを直接に有効利用できる。クリーンで無公害なエネルギー循環システムを開発するということがうことが急務である。

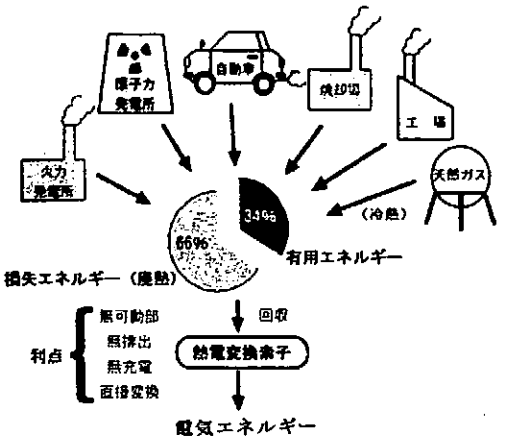


図１　日本の消費エネルギーの総熱量

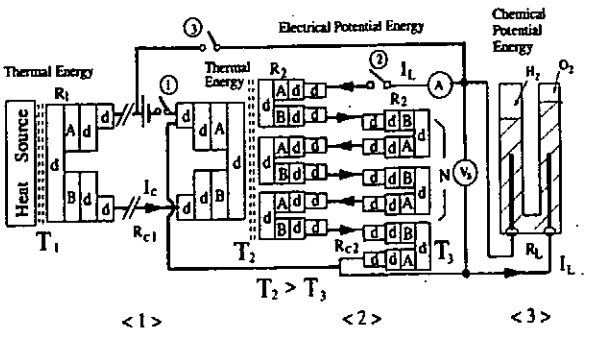
2．研究の目的

著者等は、クリーンなエネルギー源として知られている核融合炉で扱う重水素プラズマの発生法とそのプラズマから発生する高エネルギーイオン及び電子ビーム、X 線、中性子の計測技術の開発の研究に従事してきた。磁場中のプラズマの断熱理論と半導体及び導体中の自由電子の断熱過程を組み合わせた、熱エネルギーを電気エネルギーおよび化学ポテンシャルエネルギーへ直接変換できる、循環型の無公害エネルギー資源・蓄積利用システムを考案した[1]。さらに、自然界に存在する熱や太陽光の光および熱エネルギーを電気エネルギーに直接変換し、水の電気分解等で化学ポテンシャルエネルギーへ変換して、圧縮・貯蔵・搬送が容易なエネルギー資源として、燃料電池や直接燃焼で再び熱エネルギーとして自然界に返す「循環型・貯蔵・無公害・再生型の自動自己工藤型エネルギー小規模実験プラント」を実用化することを目的とする。

3．実験原理

本実験では、図２に実験原理の回路を示す。この回路は３つのセクションからなっている。

＜１＞のセクションではペルチェ効果によって熱エネルギーを転送する。まず、＜１＞の部分の回路に外部電源によって電流を流しＡとＢのペルチェ素子にペルチェ効果を発生させ、T1（吸熱）部に熱エネルギーを与える（加熱）。そして、与えた熱エネルギーをペルチェ効果



A:p-type　B:n-type　d:Cupper

図２　実験原理の回路

によって T_2 部に転送する。T_1 と T_2 は十分に離してあり、その間を銅線で繋いでいる。これによって T_1 から T_2 への熱伝導によりペルチェ効果の消滅を防いでいる。

＜２＞のセクションでは転送された熱エネルギーをゼーベック効果によって電気エネルギーに直接変換をする。まず、T_1 から T_2 に転送された熱エネルギーを＜２＞の回路でゼーベック効果によって電気エネルギーに直接変換をする。また＜１＞のセクションの回路と同様に T_2 と T_3 は、十分に離してあり両者の温度差を保つ構造になっている。これによってゼーベック効果を持続させる。

＜３＞のセクションでは電気エネルギーを化学エネルギーに変換をする。

＜２＞の回路で発生した電気エネルギーで水の電気分解を行い、水素に変換をして化学エネルギーとして蓄える。本実験の場合では、電気伝導率の関係から水ではなく、水酸化ナトリウム水溶液を使用した。

また、この回路では＜２＞のセクションで発生した電気エネルギーを＜１＞の回路にフィードバックし、最終的には＜１＞の回路で使用する電気エネルギーもまかなう構造になっている。したがって、外部電源を用いるのは起動時のみである。

４．実験方法

市販のペルチェ素子は吸熱側と発熱側の近接により、常に発熱側を放熱しないと両側が高温になりペルチェ効果が消滅することは周知である。この致命的な欠点を解決するために、２組の素子を熱伝導の良い導体で任意の長さに離してペルチェ効果の消滅を無くすという方法が本研究の独創的な点である。本実験で使用したペルチェサブモジュールは直径6mmの比較的大きなビスマス・テルル系の熱電（ペルチェ）素子を２個、π型に銅板で繋いだ素子を８組直列に繋いで用いた。

４．１ ペルチェ効果の特性実証実験

図３のような回路を用いてペルチェサブモジュールの特性を測定した。T_1（吸熱）側と T_2（発熱）側が５mm程度と近い距離の場合を図４－１に示す。この図から T_2 側の熱が T1 側に熱伝導してしまい T_1 側の温度が徐々に上がっているのが確認できる。したがってペルチェ効果が徐々に小さくなって薄れて行く。これは、吸熱側と発熱側が近い、市販のペルチェモジュールにペルチェ効果を発生させている場合に相当する。そこで、T_1, T_2 の間を長さ２m離し、両者を銅線で接続し、同様の実験を行った。この結果を図４－２に示す。

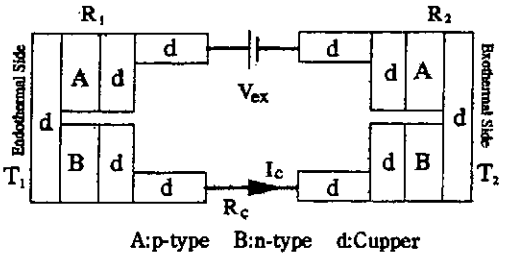


図３ ペルチェ効果の特性実証実験回路図

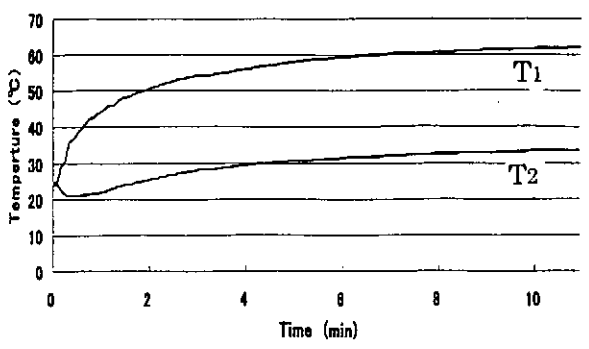


図４-1 ペルチェ効果による温度変化

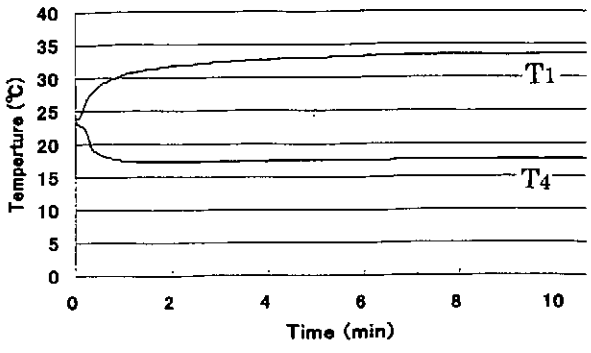


図４－２ 発熱側と吸熱側を離した場合

図４－２から T_4（吸熱）側と T_1（発熱）側を離したことによって T_4 側の熱が T_1 側に熱伝導に

よって伝わる影響が無くなり、温度が平衡していることがわかる。したがってペルチェ効果が持続していることが確認できた。よってペルチェ効果を発生させる場合、発熱側と吸熱側を切り離してもペルチェ効果は維持でき、また、発熱側から吸熱側への熱伝導が無くなりペルチェ効果が持続していることが実証できたと言える。

3-2熱エネルギー転送実験

ペルチェ効果が持続することを実証したが、次に熱エネルギー転送（いわゆる導体内自由電子を用いたHeat pomping）の原理実証実験の結果を示す。温度が平衡になった状態で T_1（吸熱）側を外部熱源によって人為的に加熱し、温度が10℃上昇した状態に保つ。その外部電源による入力熱エネルギーがペルチェ効果によって T_4（発熱）側へ転送されるかどうかを測定した。この実験では発熱温度を T_4 とする。

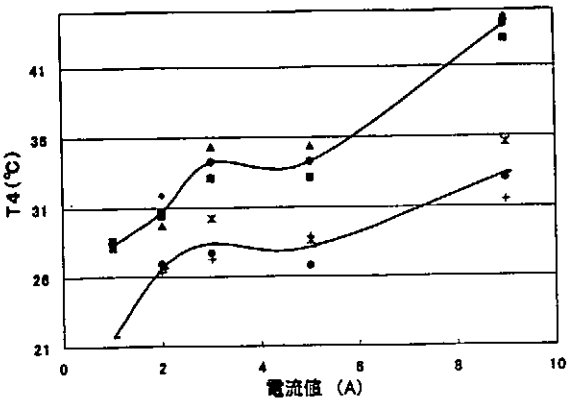


図5-1 T_4（発熱）側の温度変化

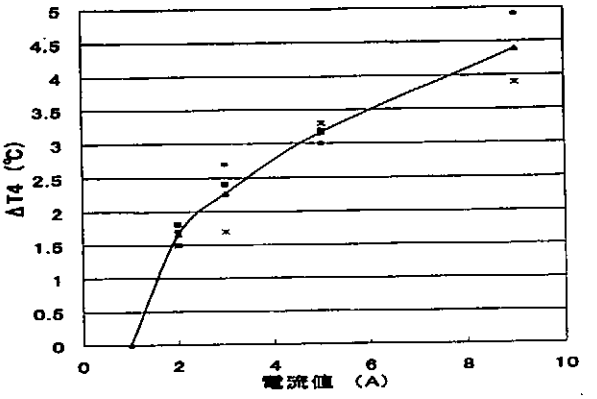


図5-2 T_4（発熱）側の温度の変化量

図5-1に外部熱源無し（下側データ曲線）と外部熱源有り（上側データ曲線）を示す。この図より電流が大きくなるほど温度が加熱前と後で共に高くなっていることがわかる。注目すべき点は、電流が大きくなればなるほど温度差が大きくなることである。温度の変化量Δ T_4（＝加熱後－加熱前）を図5-2に示す。外部電流源からの電流が大きくなればなるほど T_4 の温度変化量Δ T_4 は大きくなっている。この結果は、熱エネルギー転送の電流依存性を示し、熱エネルギーが T_1 側から T_4 側へHeat pompingされて導体内自由電子によるHeat pompingが可能であることの原理実証ができたと言える。また熱エネルギーの転送量は電流に依存し、電流が大きくなればなるほど転送量が大きくなることが確認できる。

3－3 ゼーベック効果の実証実験

図6の回路を用いてゼーベック効果の測定を行った結果を図7に示す。図7から温度差が大きくなればなるほど発生する起電力が大きくなることがわかる。本実験と市販のペルチェモジュールを用いる実験との本質的な違いは、ペルチェサブモジュールを2対使用していることである。市販のペルチェモジュールを使用するとモジュールの厚みが約5㎜程度と加熱側と冷却側が近いために、加熱側の熱が熱伝導によって冷却側に伝わり両者の温度差が小さくなり、その結果ゼーベック効果が減少するが、本実験で2対のペルチェサブモジュールを離すことより温度差を保ちゼーベック効果を効率よく維持され、持続することが可能である。

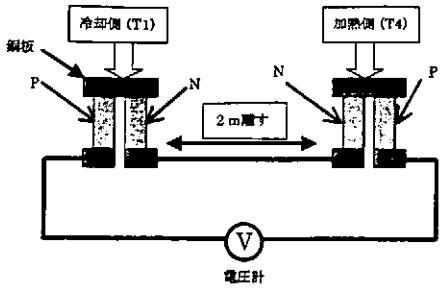


図６ ゼーベック効果の実証実験図

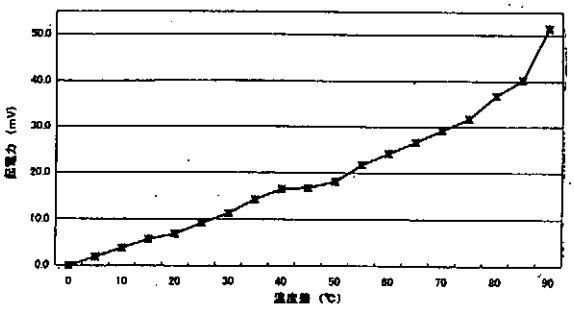


図７ ゼーベック起電力の温度差との依存性

３-４エネルギー変換実験

発生した電気エネルギーを化学エネルギーへ変換するための実証実験を行った。実験では市販のペルチェモジュールを用い、ゼーベック効果を発生させてその発生した起電力で水酸化ナトリウム水溶液の電気分解をして水素エネルギーに変換できるかの実証実験を試みた。与えた温度差は40℃、水酸化ナトリウム水溶液の濃度は、1.4mol、集気時間は30分で、約9.82×10^{5} mol（2.2ml）の水素が集気できる。生成した水素をエネルギーに換算すると、28.1Jになり、これは電力15.6mW，出力7.81mW/h のエネルギー生成量に相当する。この実験より図２の＜３＞の区分での、電気エネルギーから化学エネルギーへの変換が実証できたと言える。

４結論

本研究では、２組の素子を熱伝導の良い導体で任意の長さで切り離しても、ペルチェ効果が維持できることが実証できた。また、熱エネルギーの遠隔転送回路実験により導体内自由電子を利用したHeat pompingが可能であることの原理実証を示した。更に、温度差は40℃で、ゼーベック効果により発生した電気エネルギーを水の電気分解で化学エネルギーへ変換するための区分システムの一区分を用い貯蔵・圧縮搬送容易なエネルギー資源が得られることの原理実証を示した。

参考文献

1） Y.Kondoh, M.Kondoh, K.Shimoda and T.Takahashi ; Innovative Direct Enegy Conversion Systems Using Electronic Adiabtic Processes of Electron Fluid inElectronic Adiabtic Processes of ElectronFluid in Solid Conductors : New Plants of Electrical Power and Hydrogen Gas Resources without Environmental Pollutions : Reseacr Report NIFS-TECH Series, Nationl Institute for Fusion Science, Toki, Japan **NIFS-TECH-11**（2001）

土岐地区の土壌中自然放射能分析結果の相互比較

京都大学原子炉実験所　○義本孝明、馬場貴浩、藤川陽子
核融合科学研究所　　三宅均、山西弘城

1．はじめに

原子力基本法の定義で、「原子力とは、原子核変換の過程において原子核から放出されるすべて種類のエネルギーをいう」とある。核融合炉も、この「原子力」に該当するであろう。原子炉の場合は、「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」に始まり、原子力発電所等の原子力施設の安全審査の客観性、合理性等を高めるため、原子力安全委員会が定めた各種指針等がある。その中に、「環境放射線モニタリングに関する指針」がある。指針の目標は、「①周辺住民等の線量を推定、評価すること　②環境における放射性物質の蓄積状況を把握すること　③原子力施設からの予期しない放射性物質又は放射線の放出による周辺環境への影響の評価に資すること　④異常事態発生の通報があった場合に、平常時のモニタリングを強化するとともに、緊急時モニタリングの準備を開始できるように体制を整えること」とある。核融合炉施設においてもこれらの法令、指針等を積極的に取り入れる（準用する）ことにより、指針の目的である客観性と合理性が高まり、いろいろな方々の理解がより一層得られるものと思う。

核融合科学研究所（NIFS）においても、土岐サイトに移転前からも自然放射線の定点継続測定、自然放射能の成分別分布測定、環境のトリチウム測定を始めいろいろな環境調査を積極的になされてきた。今回は、平成１２、１３年度核融合科学研究所共同研究、平成１２年度技術交流を行い、４種類の異なった測定器・測定方法を用いてNIFS敷地内とその周辺の自然放射線（能）を測定し、測定方法の違いによる特徴点、問題点を検討した。NIFS敷地内の地表は土岐砂礫層に覆われ、その周辺には花崗岩質の地域があり、また、ウラン鉱床が存在するところもある。NIFS敷地周辺は自然放射能が大きく変化し、測定に有利な地域である。

2．測定方法

2．1　可搬型ゲルマニウム半導体検出器を用いた環境γ線測定（略称：In-Situ Ge）

エネルギー分解能のよい大体積Ｇｅ半導体検出器を野外に持ち出し、環境γ線スペクトルを測定する方法である。測定例を写真１に示す。Ｇｅ半導体検出器を地上１ｍのところに設置して１時間程度の測定で、地表面の環境γ線スペクトルが得られる。この光電ピーク面積から土壌中のK-40、U-238系列中の核種（Ra-226、Pb-214、Bi-214）、Th-232系列中の核種（Ac-228、Pb-212、Tl-208）及びフォールアウト核種のCs-137の土壌中放射能濃度、それらの核種の地上１ｍの空間線量率への寄与分を測定する方法で、約３０年前に開発された（ＨＡＳＬ法）。この測定方法の特徴は、地表面に検出器を設置して測定するため、原理的には半無限平面を測定することになるが、実際上は検出器の下部を中心に半径数十ｍの地表面を測定することになる。地上１ｍで測定したスペクトルの光電ピーク面積から土壌中濃度を評価するため、土壌中の成分比及び密度を仮定

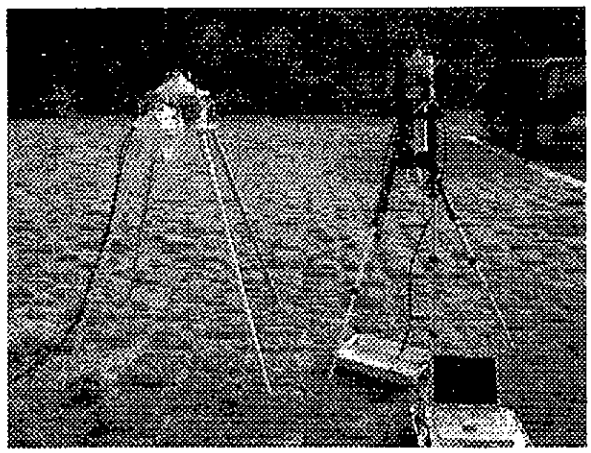


写真１　In-Situ Ge 測定例

して解析することになる。土壌による散乱γ線の線量も同様に計算により求めることになる。
土壌成分：Al_2O_3（重量比13.5%）、Fe_2O_3（4.5%）、SiO_2（67.5%）、CO_2（4.5%）密度：1.6 g/cm^3

2．2　ＮａＩ（Ｔｌ）シンチレーション検出器を用いた環境γ線測定（略称：In-Situ NaI）
In-Situ Ｇｅ測定と同様に、3″ φ×3″ＮａＩ（Ｔｌ）検出器を地上１ｍのところに設置して、数十分の測定時間で地表面の環境γ線の波高分布を測定する。線量率の評価方法は幾つかあるがここでは応答行列法を用いた。この測定方法の特徴は、検出器に入射したγ線を測定することで、地形及び土壌の状態に影響されずに空間線量率を求めることになる。

2．3　遮蔽体付ゲルマニウム半導体検出器を用いた土壌中の放射能測定(略称：LBC Ge)
In-Situ Ｇｅ測定した測定器付近の土壌を表層から深さ別に採取した。試料は風乾後、四分法によりれきを含む土壌においても可能な限り均一に分取し、内容積250cm^{3}の測定容器に封入した。実験室内に設置した遮蔽体付Ｇｅ半導体検出器を用いて放射能濃度を求めた。この測定方法の特徴は、採取し容器に封入した試料を直接測定することにより、土壌中の放射能濃度を求めたことになる。土壌中放射能濃度から地上１ｍへの線量換算はＨＡＳＬ法を用いた。

2．4　誘導結合プラズマ・質量分析装置を用いた土壌中の放射能測定(略称：ICP-MS)
採取した土壌をめのう乳鉢にてテフロン糸製150メッシュ（粒径104μm）を通過するまで粉砕し、510度で24時間灰化した後、硝酸等を添加し、マイクロ波（1300kW）照射下でテフロン製密閉容器内で全量分解した。ICP-MSを用いて親核種であるU-238、Th-232を測定した。

3．測定結果
3．1　NIFS敷地内とその周辺の線量分布
In-Situ Geを用いて線量を測定した結果を図1に示す。NIFS敷地内は比較的線量が低く、特に高台になった場所(ＷＡ)が最も低かった。敷地内の芝の目土に使用している客土のＵ成分が少し多く、線量も周辺に比べ高くなっている(Ｐ－２８)。測定の際に降雨があり、Ｕ成分が倍程度多くなった(ＷＣ降雨時)。NIFS周辺にはＵ成分の多いところ、また、Ｔｈ成分の多いところがあり、線量も20から200ｎGy/hと幅広い地域である。

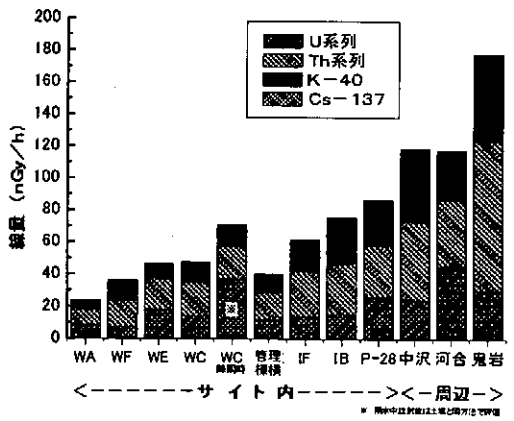


図１　NIFS敷地内及び周辺の線量分布

3．2　In-Situ Ge、In-Situ NaI、LBC Ge による線量の比較
In-Situ GeとIn-Situ NaI及びLBC Geによる線量を比較した。図２に示す。LBC Geは、測定地点の極限られた土壌を採取測定し、放射能濃度から地上１ｍの線量に換算した値である。測定数は少ないが、この地域の特徴である低い線量から高い線量のところまでの分布がありIn-Situ GeとIn-Situ NaIの結果はよく一致した。LBC Geは深さ方向のばらつきが大きいため、また、地形の影響もあり一部に違いがあるが一致している。

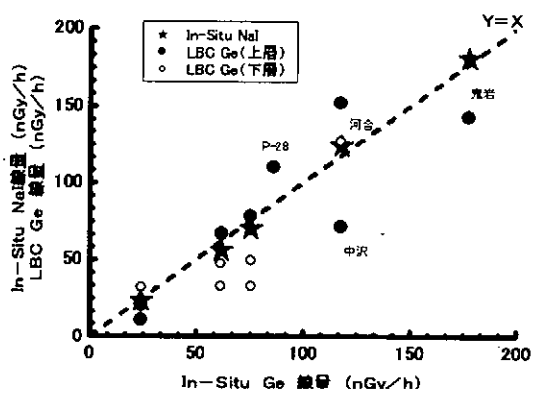
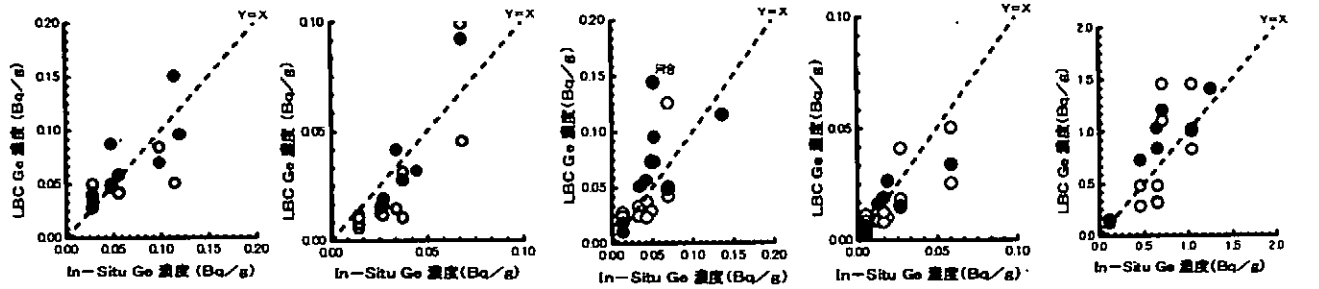


図２　線量の比較

3．3　In-Situ GeとLBC Geによる放射能濃度の相関

Ra-226、Bi-214、Ac-228、Tl-208、K-40の土壌中放射能濃度の相関を図３に示す。In-Situ Geは検出器の設置場所から半径数十ｍの場所を、LBC Geはその場所付近の極一部の土壌を採取し、測定した結果である。土壌中放射能濃度の深さ方向にばらつきが認められるが、表層土壌では、測定している場所（空間）が大きく違っても、両測定器の結果は概ね一致している。



Ra-226　　Bi-214　　Ac-228　　Tl-208　　K-40

図３　In-Situ GeとLBC Geの放射能濃度の相関（●は表層土壌、○は下層土壌）

3．4　In-Situ GeとLBC Geによる放射能の放射平衡

Ｕ系列核種のRa-226とBi-214、Ｔｈ系列核種のAc-228とTl-208の相関を図４に示す。

両測定器ともRa-226は、186keVの光電ピーク面積を用いて評価した値である。この光電ピークはRa-226の185.99keVγ線とU-235の185.72keVγ線が複合しているため過大評価となる。LBC GeのBi-214は試料容器からの希ガスであるRn-222の散逸があるためか、In-Situ Geに比べて低くなっている。Ｔｈ系列核種は両測定器ともよく一致している。

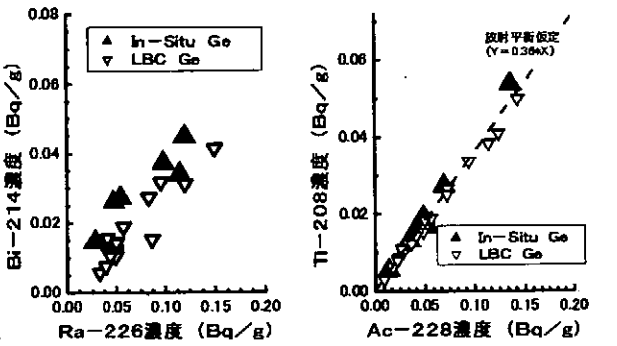


図４　Ｕ、Ｔｈ系列核種の放射平衡

3．5　ICP-MSとLBC Geによる放射能濃度の相関

U-238とU-235の存在比、そして、U-238とRa-226の放射平衡を仮定して、複合した186keVの光電ピーク面積の割合0.566がRa-226のγ線として放射能濃度を求めた。Ｕ系列核種のU-238とRa-226、Ｔｈ系列核種のTh-232とAc-228の相関を図５に示す。両者ともよく一致したが、土壌の風化の過程でRa-226の溶出も考えられ、さらに詳しい検討が必要である。

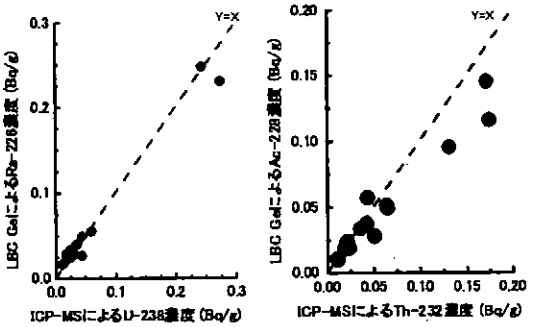


図５ ICP-MSとLBC Geの相関

4．まとめ

４種類の測定器を用いてNIFS敷地内と周辺の自然放射線（能）を測定し、相互比較した。NIFS敷地内はれきが多く、周辺の線量の高い地域では放射能分布が一様ではなく、採取測定した試料の代表性に問題がある。しかし、測定器・測定方法に大きな差異があっても、結果は総じてよく一致した。Ra-226核種は複合ピークの評価法、Bi-214核種はRn-222の散逸の検討等が更に必要である。In-Situ GeでRa-226とBi-214を正確に測定出来るようになれば、地中からのRn-222の散逸が評価出来るかも知れない。

核融合科学研究所放射線モニターシステム

核融合科学研究所
○三宅　均，　山西弘城

1．概　要

核融合科学研究所における大型ヘリカル実験装置(LHD)の高温プラズマ実験ではX、γ、中性子線の発生を伴うことが考えられる。本研究所は実験により発生する放射線の敷地境界における線量が年間50μSvを越えないことを管理目標としている。われわれはこの目標を実現するために核融合実験装置に適応した放射線モニターシステム RMSAFE(Radiation Monitoring System Applicable to Nuclear Fusion Experimental Site)を開発し、1992 年以来整備を進めてきた。本システムは1999年3月のＬＨＤプラズマ実験開始以前には周辺環境放射線量を測定するとともに、実験開始に備えた機能テストを実施した。実験開始後は初期の段階でＬＨＤからの微弱なバースト放射線の発生を検知した。2000 年１月にコンパクトヘリカル実験装置(CHS)の開発実験棟への移設、プラズマ実験開始にともない検出器を増設した。この結果、ＣＨＳ周辺，開発実験棟周辺及び敷地境界の広範囲に設置された複数のモニターにおいてＣＨＳプラズマ実験に起因する微弱なバースト放射線を同時に検知することができた．この際検知された線量は敷地境界で 1nSv 以下であり、極めて微量な線量を識別できることがわかった。このことはシステムが目的とした複数のモニターの連係による敷地境界での実験起因と自然放射線の弁別測定が可能であることを実証したものである。

2．RMSAFE

核融合実験装置からの放射線は自然放射線や他の原子力施設などの場合と異なり、プラズマが発生している短時間（10 秒程度）にかぎり間欠的に発生するのが特徴である。RMSAFE はこの特徴を利用し、各検出器からの信号が短時間に急増する場合をバーストとして識別する回路を組込み、これによって、バーストが検知されると、速い時間変動に対応できるモード（バーストモード）になって、実験起因の線量とバックグラウンドとを弁別して測定できる。本システムの機能テストの結果は開発、性能、及びバックグラウンド変動の問題点等を含めてすでに詳細に報告した[1),2)]。また、この測定により敷地造成や建屋の建設にともなう環境放射線の変動が確認された[2)]。

図１と図２に室内と屋外の放射線モニターの配置を示した。屋外モニタリングポストは 1992 年に７台設置されたのを初めとして、1996 年に５台（WF、WM、IC、IE、IF)、1998 年と 1999 年に各１台（WH、WN）が増設された。1999 年の増設は開発実験棟が完成し、コンパクトヘリカル装置（CHS）が東山キャンパスから移設されたことによるものである。この他に加熱実験棟 NBI テストスタンドや計測実験棟 HIBP 実験室にも室内モニターを設置した。これにより、現在研究所内に設置されている放射線モニターはＸ（γ）用 36 台、中性子用が 11 台である。中性子検出器は 25mm厚ポリエチレン減速材付き３－ヘリウム比例計数管である。Ｘ（γ）線検出器は線量率測定範囲、線量当量に対するエネルギーレスポンス、バースト放射線に対するレスポンスの点から電離箱を採用した。電離箱は通常出力電流を直流アンプで電圧に変換して線量当量率を得る方式をとるが、ここではＸ線やγ線が入射して得られた電荷を連続的に積分することにより線量当量率を得る方式とした。積分電荷は 10ms 毎に増加分に対応したパルス数に変換され出力される。電離箱は設置場所の線量率範囲に適したものを選んで設置した[3)]。線量率範囲は屋外が 0～50μSv/h、制御室等の監視区域が1μSv/h～1Sv/h、実験室が 10μSv/h～10Sv/h である。屋外に設置した検出器は 0.003nSv 毎に１パ

ルスを発生する。この検出器をセシュウム標準線源で校正したところ 50nSv/h～50μSv で良好な線量率特性を有することを確認した[3)]。また、室内モニターは1パルスが 1nSv と 10nSv のものがある。室内モニターも放射線計測協会における校正試験の結果極めて良好な線量率特性とエネルギーレスポンスを有することが確認された[3)]。

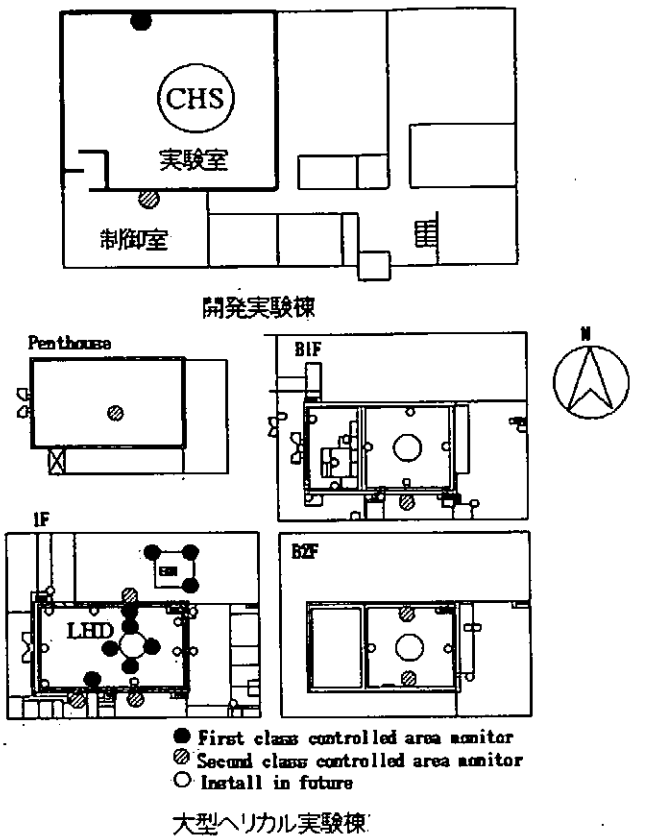


図１．室内モニター配置図

システムの構成を図３に示した。検出器で得られた線量は光パルスに変換され数百メートル離れた中央監視装置に送られる。本システムは検出器で得られた線量をパルス信号で送るため、パルス信号処理さえできれば検出器の種類を選ばない。したがって、発生源や実験条件に合わせた検出器を選択することができ、拡張性が高い。また、光伝送方式であることから電磁ノイズ等の影響を受けないなどの特徴がある。中央監視装置はスケーラ、データ収集計算機（GPIB Controller）、データサーバ及び表示装置（Data Service）から構成される。このシステムは 1996 年の増設の際に新たに設置されたものであり、計算機が従来のワークステーションから Windows PC に変更された。スケーラは検出器から送られた光信号を受け、バースト放射線の識別やその時間変動を分析するための計数処理を行い、得られたデータを GPIB インターフェースによりデータ収集計算機に転送する。データ収集

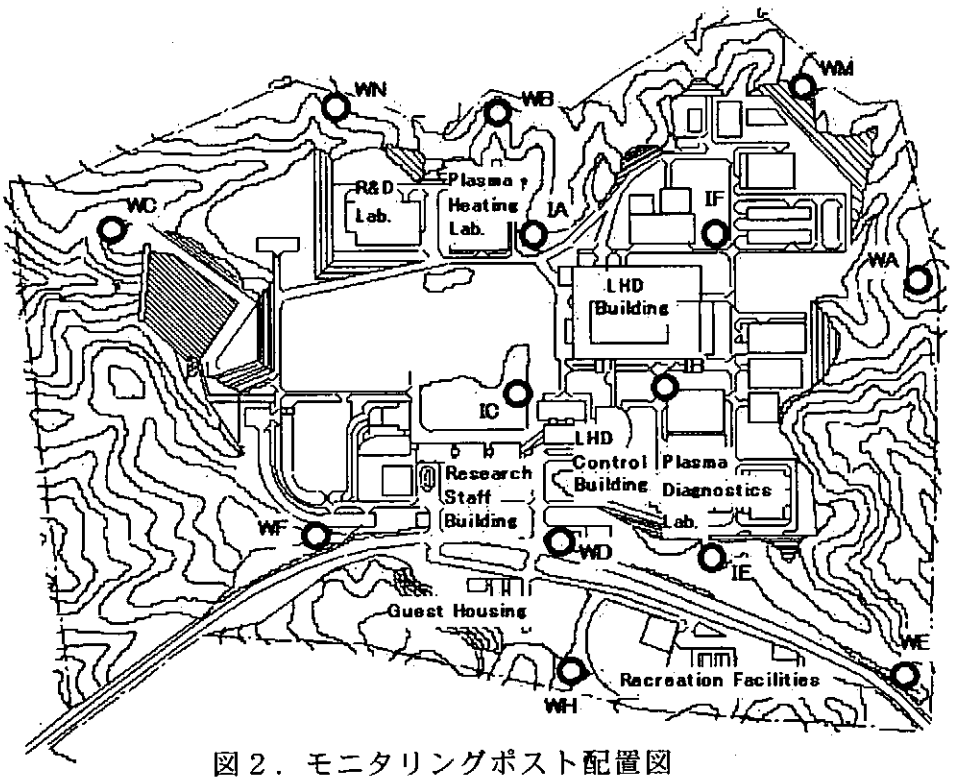


図２．モニタリングポスト配置図

計算機はスケーラの設定、表示のための演算処理とデータファイル作成処理を行いデータサーバにデータファイルを作成する。スケーラにはバックグラウンド（BG）、バースト（BT）とタイムプロファイル（TPF）の３種類の測定モードがある。BG モードではバーストは検出されず、設定時間毎に計数を繰返し、計数値をバッファに格納する。格納された計数値は GPIB の要求によりデータ収集計算機に出力される。BT と TPF モードでも通常は BG モードと同様な条件で自然放射線を計測する。バースト放射線を検知（立ち上がり 50ms の積算値が設定値を超えたとき）するとスケーラは BG 測定を中断して BT あるいは TPF 測定を行う。TPF ではバースト計測を 100 のタイムスパンに分けて入力パルスを計数する。タイムスパンは 10ms から 200ms まで設定できる。なお、プロファイルはバースト直前の 5 スパンも測定される。BT では TPF の 105 スパンの合計が得られる。バーストがどれかひとつのチャンネルで検知されると、全チャンネルがバースト時の機能に移行して動作する。作成されるデータファイルは設定ファイル、BG 計数ファイル、バーストデータファイル、タイムプロファイルデータファイル、日報データファイルである。設定ファイルはスケーラの設定状況と各チャンネルの設定状況を 1 時間毎にチェックし格納する。BG 計数ファイルは設定計数時間毎（現在は 30 秒）の計数値を 1 時間毎に各チャンネル別に格納する。日報データファイルは BG 計数の 1 時間毎の平均値、最大値及び標準偏差を線量当量率で記録する。

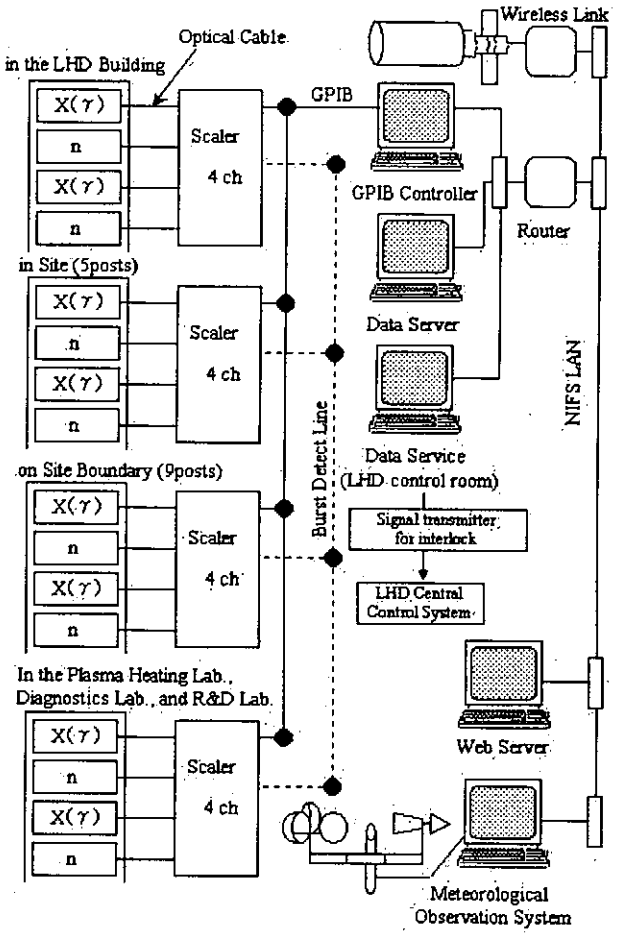


図３．システム構成

表示装置は放射線監視と LHD 中央制御装置へのインターロック発振器を制御する計算機である。この装置は LAN で中央監視装置と接続され、中央監視装置で収集された放射線データをリアルタイムに表示できる。また、日報、週報、月報のトレンド表示や帳票出力もできる。本装置は LHD 制御室で中央制御インターロック装置と接続されており、放射線発生量が敷地境界の管理目標値を超えた場合には LHD プラズマ実験が停止される。

３．バースト放射線の検知

表１と図４にバースト放射線の検知例を示した。表１は LHD におけるもの、図４は CHS におけるものである。LHD では装置南側のステージ上のモニターでバーストが検知され、他の周辺モニターでもバースト放射線が同時に観測された。線量は最大で約 1.6 μSv であった。この際は敷地境界モ

表１．LHD におけるバースト放射線検知例

	post	LHD hall				Site boundary
		North	West	South	East	
Apr 2 1998 09:55	South	0.04	0.38	0.93	not installed	<0.00005
Apr 3 1998 09:32	South	0.10	1.31	1.64	not installed	<0.00005
Apr 4 1998 16:08	South	0.05	0.79	0.94	not installed	<0.00005

ニターで有意な線量の増加はみられなかった。LHDにおけるバースト放射線の発生原因は磁場立ち上げ時の真空容器内ガス圧が低いためであることがわかり、これ以後はガス圧を上げる措置がとられた。このため、この措置以後はLHDにおけるバースト放射線の発生はない。CHSではLHDと異なりプラズマショットのたびに磁場の立上げ、立下げが繰り返される。したがって、そのたびに真空容器内のガス圧調整を行うことになる。このため、しばしばガス圧調整に不備が生じ、図のようなバースト放射線の発生が観測された。この際のバースト検知レベルは室内モニターで10パルスである。図中のタイムプロファイルから実験室のモニターが急激に立ち上がっており（50msで13パルス）、このモニターでバーストが検知されたことがわかる。バースト積算値からは複数の屋外モニター（図2参照）で有意な線量が検知されたことがわかる。このときの線量分布は制御室で実験室の40分の1、敷地境界の一番高い線量のところで約3000分の1であった。この線量分布は常に一定ではなく放射線の発生箇所とエネルギーに依存するものと考えられるが、今後さらに詳細な検討が必要である。平成12年度のCHSにおけるバースト検知数は74回で、積算線量は実験室で約160μSv、制御室で約6μSv、敷地境界の最も多いところで約40nSvであった。いずれの値も放射線安全上はまったく問題なく、敷地境界における値は管理目標値の1000分の1以下であった。すなわち、RMSAFEは敷地境界で年間50μSvという管理目標値を実現するために十分な機能を有することがわかった。

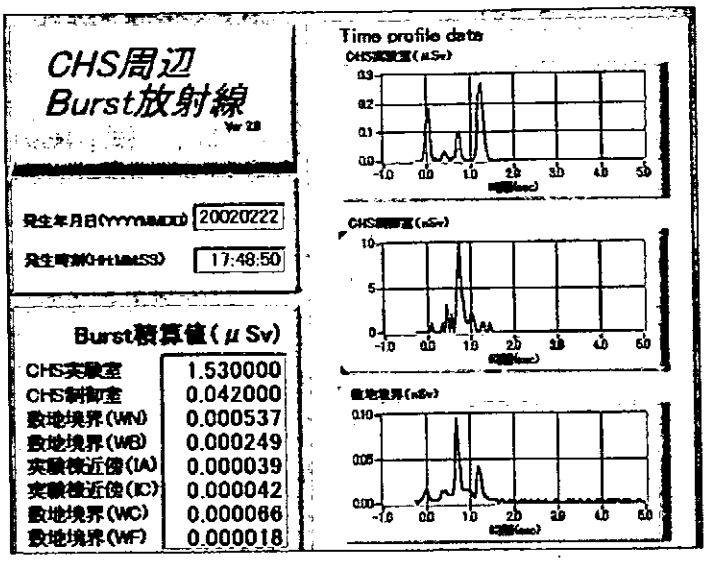


図4．CHSにおけるバースト放射線検知例

4．まとめ

RMSAFEの現状を紹介した。また、実際のプラズマ実験におけるバースト検知例をLHDとCHSについて示した。この結果、敷地境界における極微量な線量も自然放射線と区別して評価できることがわかった。すなわち、RMSAFEが核融合実験装置の放射線監視システムとして極めて有効であることが実証された。

参考文献

1）小平純一、大林治夫、佐久間洋一；バースト対応型放射線モニターシステムRMSAFEの開発、平成3年度高エネルギー物理学研究所技術研究会報告集。

2）三宅均、小平純一、山西弘城、佐久間洋一、大林治夫；バースト対応型放射線モニターシステムRMSAFEの開発（2）、平成6年度高エネルギー物理学研究所技術研究会報告集。三宅均、小平純一、山西弘城、佐久間洋一、宇田達彦、平林洋美、大林治夫；バースト対応型放射線モニターシステムRMSAFEの開発（3）、平成7年度分子科学研究所技術研究会報告集。

3）Miyake H., Yamanishi H., et al., "Radiation Monitoring System Applicable to a Nuclear Fusion Experimental Site(2)", in Proceedings (CD) of the 10th International Congress on Radiation in Proceedings (CD) of the 10th International Congress on Radiation Protection, P-6a-313, (Hiroshima, Japan, May 15-19, 2000)

圧電スピーカの振動速度及び振動振幅の測定

東京工業大学・精密工学研究所
○ 高橋久徳

はじめに：

近年，携帯電話やノートパソコンなどの小型，薄型，軽量化が進むなか取付が容易で，かつ音楽・音声が明瞭に再生できるスピーカが望まれている．しかし，現在主要となっている動電型スピーカは，コイル及び磁石性能から小型・薄型・軽量化には限界がある．これらのことは圧電スピーカを用いることで，薄型・軽量また周波数特性に優れた音を再生することが可能となる．また，磁石を用いていないため，他の通信機器等に与える影響も比較的低く押さえることも期待できる．

圧電スピーカとは：

圧電素子を利用して電気信号を音圧に変換するスピーカを圧電スピーカという．

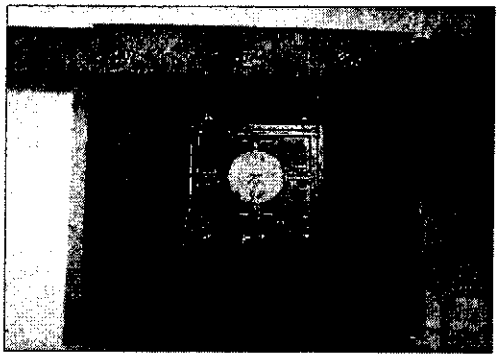
電圧をかけると変形し，外力を加えると帯電する現象を圧電効果(ピエゾ効果)といい，このような性質を持つ素子を圧電素子(ピエゾ素子)といい，俗にＰＺＴという．

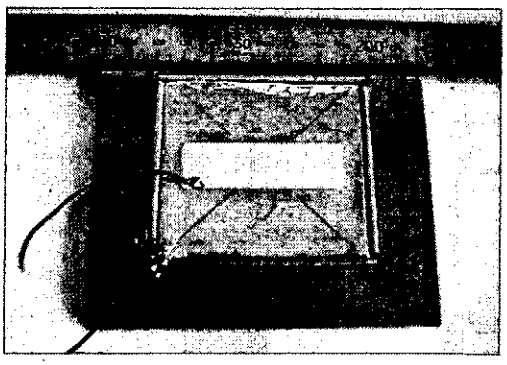
オーディオ機器に使われている一般的なスピーカは，ダイナミックスピーカと呼ばれるタイプである．これは，磁界の中に置いたコイルに電流を流してコイルを前後に振動させ，コイルに連動する振動板を動かして音を出す仕組みになっている．

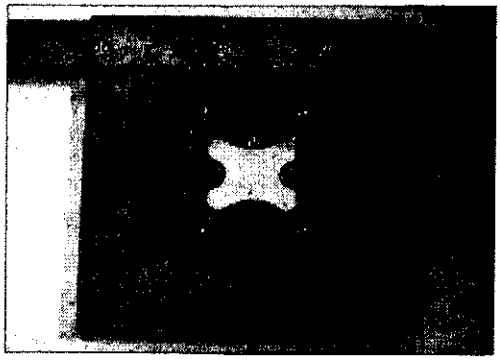
圧電スピーカとは，磁石とコイルの代わりに圧電素子を振動子として用いたスピーカで，圧電素子の変形(加える電圧の方向と大きさで変形する方向や大きさが変わるので音声信号を流せば振動する)を振動板に伝えて音を出すスピーカのことをいう．

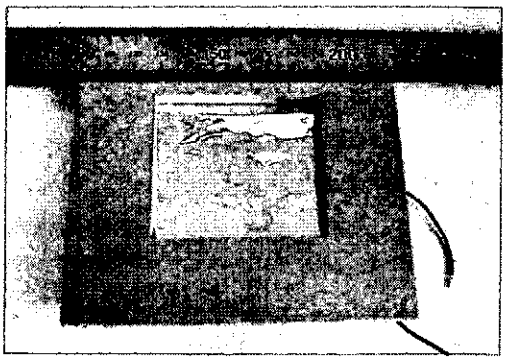
実際の圧電スピーカ：

下記に今回用いたM社製の圧電スピーカと試作した圧電スピーカを示す．









左側がM社製圧電スピーカで右側が試作した圧電スピーカである．見て分かるように，M社製圧電スピーカは両面に圧電素子を貼り付けてあり，振動板にもスリットを入れるなど工夫がしてあるのが分かる.試作した圧電スピーカは振動板には厚さ 50μm のアルミニウムを用いて，片面に厚さ 50μm の圧電素子を片面にのみ貼り付けている構造である.今回は手軽さを考慮してこのような構造で作った．

アドミッタンス特性：

M社製圧電スピーカと試作した圧電スピーカのアドミッタンス特性をインピーダンスアナライザで測定し，比較を行った．

その結果を Fig.1，Fig.2 に示す．

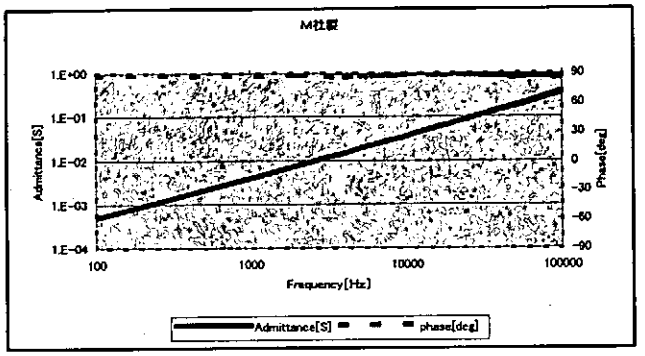


Fig.1
M社製圧電スピーカのアドミッタンス特性

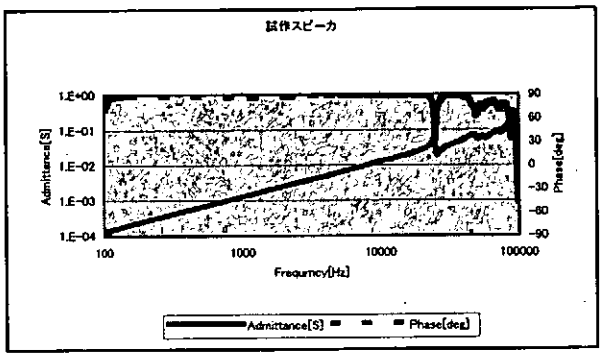


Fig.2
試作した圧電スピーカのアドミッタンス特性

この図よりM社製圧電スピーカは全域に渡ってフラットな特性が出ていることが分かる．試作した圧電スピーカは周波数 25kHz 付近に共振があることが分かる．この結果より，可聴域（20kHz まで）での特性としてはどちらも実用的であると言える．

振動速度及び振動振幅：

今回はM社製の圧電スピーカの振動速度をレーザードップラ振動計を用いて測定を行った．入力電圧は 1 Vp-p である．まず圧電スピーカのあらかじめ決めたライン上を周波数 800Hz として，1mm 間隔の範囲で振動速度を測定し，振動振幅を導いた．

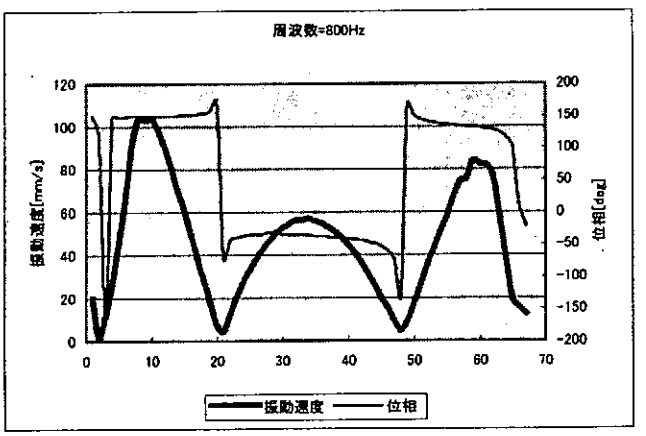


Fig.3
M社製圧電スピーカの振動速度

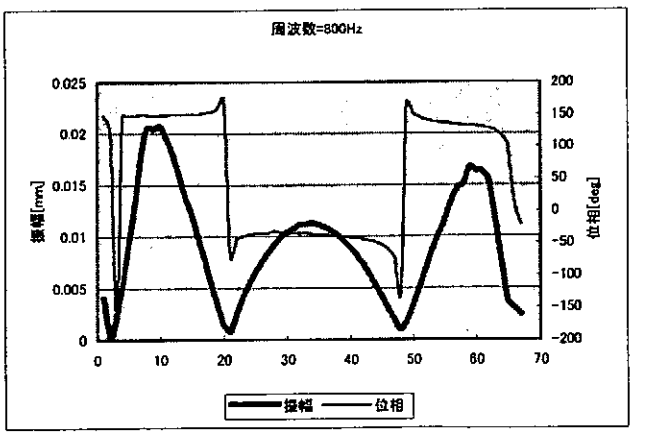
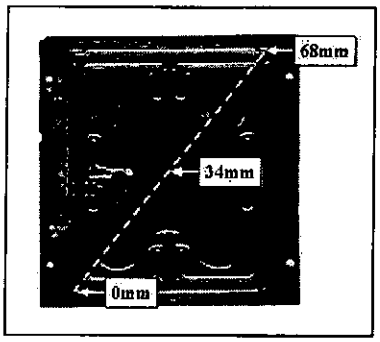


Fig.4
M社製圧電スピーカの振動振幅

その結果を Fig.3, Fig.4 に示す．この図より圧電スピーカの中心部分と端の部分がよく振動していることが分かる．

また，実際の音を評価すると，M社製圧電スピーカは低音がきちんと出ていて，かつ，しばらく聞いていても疲れない音である．試作した圧電スピーカは俗に言う「キンキン」音が多く，耳が疲れる音である．



左記に実際の測定点を示した圧電スピーカの写真を示す．このように左下の点より右上の点までを 1mm 間隔でレーザードップラ振動計を移動させ測定した．

中心部分のみの振動速度の測定：
次に中心部分の振動速度を周波数 100Hz から 10kHz の範囲で測定した結果を Fig.5 に示す．

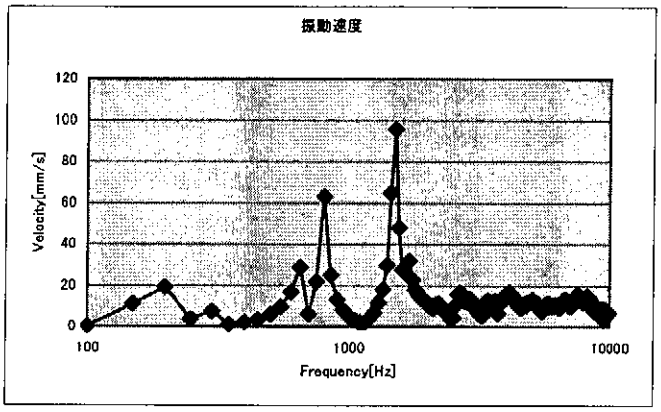


Fig. 5

この図から分かるように周波数 1.5kHz 付近が大きく振動していることが分かる．これは両面に圧電セラミックスを張り付けていることが要因と考えられる．

今後の課題：
有限要素法解析ソフトを用いて最適な設計を行い，実際に圧電スピーカを製作する．
また，試作した圧電スピーカの振動速度も測定する．

謝辞：
この実験をするに当たり，材料を提供していただいた芝浦工業大学講師・小池義和氏に感謝します．また製作を手伝ってくれた，博士課程１年・吉住夏輝氏に感謝します．レーザードップラ振動計の移動ステージの操作方法を伝授してくれた修士課程２年・小杉勉氏に感謝します．

参考文献：

1）小椋、村田：「圧電スピーカの広帯域，高音質化技術」日本音響学会秋季研究発表会講演論文集，PP.639(2001)

熱電発電装置および素子作製器具の開発

東京工業大学 大学院理工学研究科 機械制御システム専攻
古田　基

1．まえがき

熱電発電は異種導体の接点間に温度差を与えることで起電力を生じさせる熱電現象を利用した熱エネルギーを機械的な過程なしに直接電気エネルギーに変換する発電方式である。

熱電発電の性能は素子材料固有の性能と共に加熱，冷却のシステムによって決定づけられる。素子固有の性能としては大きなゼーベック係数をもつ材料の開発は当然必要であるがそれ以外に大きな電気伝導度と小さな熱伝導率という物理的に相反する性質を創出するために新しい不純物の探査，注入量と注入方法等の研究開発が進められているが，加熱，冷却のようなシステム的な研究は比較的少ない。この研究テーマである熱電発電の新しい展開を行うために多孔構造をもつ熱電素子を開発・試作し，加熱・冷却のための燃焼実験を行った。

2．多孔構造熱電素子について

多孔構造熱電素子を用いた場合の加熱・冷却の方法とその特徴について説明する。図１に示すように一対のＰ－Ｎペアーを通気性をもった多孔構造として，可燃混合気を低温接点側の電極部に流して冷却し高温接点電極部近辺で燃焼させることによって加熱する。この場合両接点ではペルチェ熱の吸収，放出があるのはバルク素子の場合と同じであるが，多孔構造素子内に形成される温度勾配にそって可燃混合気が予熱され，結果的には熱伝導による熱損失を高温のエネルギーに再生していることになる。さらに素子内で発生するジュール熱と低温接点で放出されるペルチェ熱も可燃混合気によって回収・再生される。

この場合発生する電気出力Ｐは次式で表されます。

$$P \propto (\alpha^2\sigma)\,\Delta T^2 / Xe$$
$$= (\alpha^2\sigma)\,\Delta T \cdot \Delta T / Xe$$

ただしα，σ，ΔT，Xe　はそれぞれゼーベック係数，電気伝導度，両接点温度差および素子長さである。ここで　$(\alpha^2\sigma)$　はパワーファクターとよばれるもので熱電素子材料の物性値のみで決まるのに対し，$\Delta T^2 / Xe$　は物理的状態に対応している。

$\Delta T \cdot \Delta T / Xe$　のように温度差と温度勾配の積に分けて考えると，温度差は起電力の発生に直接関与し，温度勾配は電流密度に関連していると考えることができ，温度勾配がエネルギー変換上の価値を有しているものと考えられる。つまりΔT一定でも２倍の温度勾配dT/dxの下では電気出力も２倍になる。しかし固体内の熱伝導のみで急峻な温度勾配をつくることは非常に難しいが，ここでは対流伝熱と燃焼によって大きな温度差と急峻な温度勾配をつくることが目標になる。

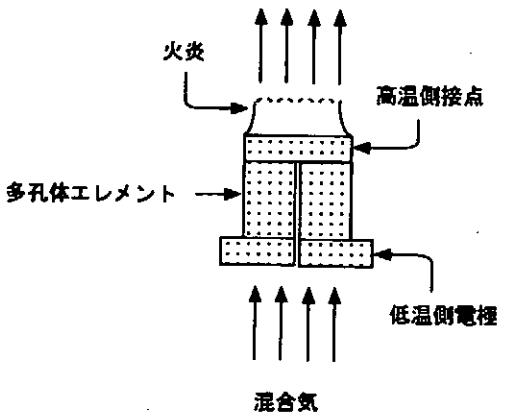


図１　多孔性媒体型熱電発電素子

多孔構造熱電素子を用いて加熱・冷却の特徴を発揮させるための実際の素子構成は材料の供給とか加工性のような現実的な要素を考える必要がある。

3．多孔構造体と燃焼

上記のような多孔構造熱電素子に可燃混合気を冷接点側から流して多孔構造素子の冷接点を冷却した後高温接点側近傍で火炎を形成するように燃焼を制御し，大きな温度差を発生させるが，そのためには多孔構造体内における燃焼現象に対する理解が必要である。燃料の種類，混合気の当量比，流速，また多孔体の構造，空隙率，平均孔径等多くのパラメーターの影響を受けるがここでは流速を変えた場合の多孔構造体内における温度分布を図２に，流速，当量比を変えた場合の火炎位置の変化の様子を図３に示す。自由空間における通常の火炎と較べて火炎反応帯幅は相当に広くなること，および火炎が多孔構造体の下流端あるいは内部に安定化されるパラメーター範囲が明かになる。

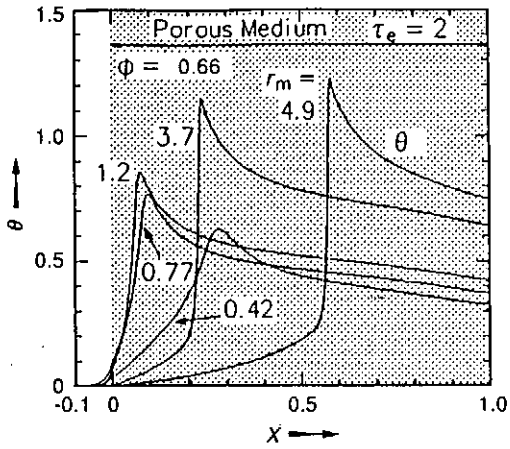


図２　多孔構造体中の火炎の温度分布と位置

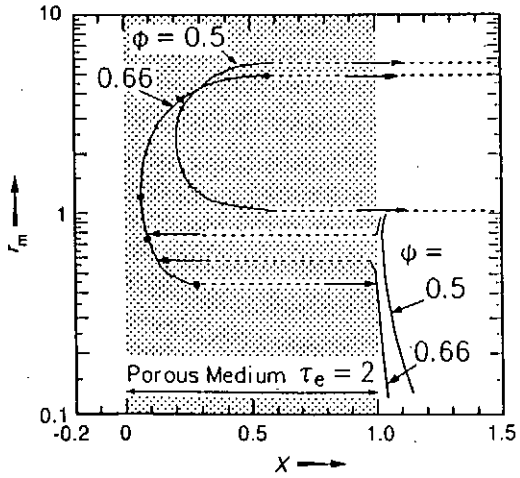


図３　多孔構造体内に安定化される火炎位置

４．多孔性熱電素子の開発及び製作

多孔構造熱電素子を用いて前述のような加熱・冷却の特徴を発揮させるための実際の素子構成は材料の供給とか加工性のような現実的な要素を考える必要がある。素子に要求される基本的な要件として固体－気体間の熱交換がより効果的に行われるように高密度微細加工および集積化が必要あり微細溶接が可能と思われる次の方式を検討した。

a)高電圧放電溶接
b)パルスアーク溶接
c)パルスTig溶接
d)抵抗溶接
e)拡散接合

a)　この方式はコンデンサー（5kV,4μF）にチャージした高電圧の電荷を３点スイッチでトリガーをかけて放電させ，放電電極間に被溶接物を入れて行う。微少スポット溶接が可能だが放電経路が毎回微妙に違う。

b)　タングステン電極間に交流電源を接続しアーク放電を試みたがうまく放電が起こらない。電極をカーボン（鉛筆の芯）にしたところ簡単にアーク放電が起こったが電極の酸化燃焼でギャップ長等を長時間同じ形状を保つことが難しく，またアーク放電開始時の放電経路が不安定で安定したパルス溶接には不適当である。

c)　電極－アース間に短パルスアークをとばして中間に溶接物を入れることにより熱容量のかなり小さな物まで溶接は可能であるが使用した装置の電源内のトーチスイッチがメカニカルリレーを使用しているので短パルスアークの再現性に問題がある。

d)　これも電極を細くして小さな部分の溶接を可能にしたが銅電極の太さを細くすると電流密度が上がり電極自身の温度上昇が激しい。しかし溶接材を変形させて電極を細部に入れることが可能である。

e)　拡散接合についても検討し，セラミクス管にヒーターを巻き密閉型小型電気炉を試作したがこの接合方法は簡便さに欠け，処理時間が長く大きなエレメントの加工は出来ない。

上記を比較検討し，抵抗溶接が他に比べ安定して溶接できたのでこの方式を採用した。

この溶接機の概要は２次側から低電圧大電流出力を取り出すことである。この抵抗溶接に使用した大電流トランスはブラシ部分の破損した 2kVA のスライドトランスのコアに導線断面積200mm^2 のコードを数回巻いて製作し，電極には厚手の銅板を用いた。２次側電流は最大負荷のピーク時には１kAを越えるが出力電圧は５～７Ｖなので濡れた手で操作しなければ危険はない。（写真１）

使用したトランスの特性を測定したのが図４ であるが，コアの形状あるいは材質の違いによるのか角形コアトランスは低い印加電圧時から励磁電流の増加が見られるが，丸形コアの場合は励磁電圧を上げていくと磁気飽和が急激に起こる。このトランスでは入力160V程度までなら磁気飽和の心配が無く，180V程度までなら抵抗溶接のような短時間使用には使える。実際の溶接時にはタイマー回路でトライアックを駆動し，入力側を0.1～0.5秒でパルススイッチングして使用している。抵抗溶接に使用する電極の製作は3mm厚の銅板(断面積15mm^2)と6mm厚の銅板(断面積120mm^2)の２種類を製作し，熱電材の形態（線材，箔材，焼結材）により選択をした。写真２の小型電極は繰り返し溶接による銅板の温度上昇を抑えるために水冷パイプを付けた事で連続溶接でも電極の温度上昇が抑えられ，利用率の向上をはかることが出来た。大型電極で溶接する場合はインターバルがそれほど短くないので温度上昇はあまり気に

ならない。写真３は焼結素子に電極を溶接したところであるがパルス幅と電流値の設定で多孔体をつぶさずに焼結体の表面のみ融かして板材電極を付けてある。

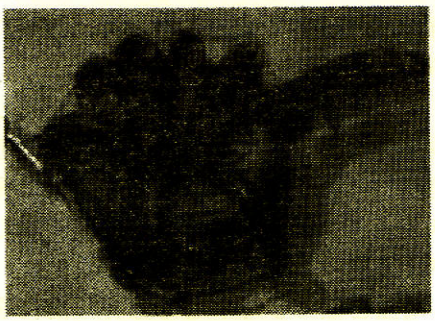


写真１　２次側手巻きトランス

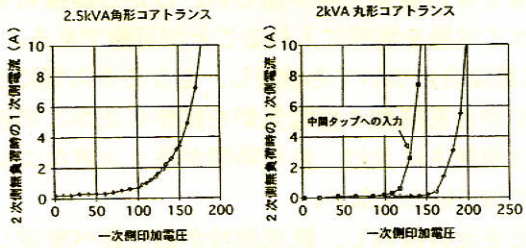


図４　トランスコア特性図

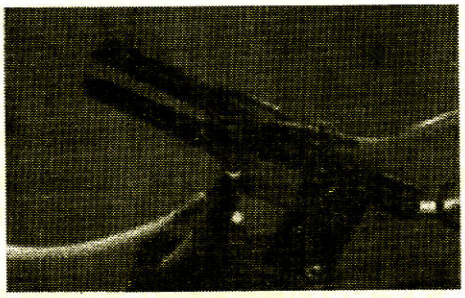


写真２　水冷式抵抗溶接電極

線材を使用した素子の製作は 0.8mm間隔の格子状のセラミックスに 0.6mm径の熱電材を溶接して組み込むので能率よく作業するためには拡大装置が必要になり，双眼拡大鏡を作製した。(写真５は線径１φ)

作業用工具の一種と考えた場合のルーペは，作動距離が長く作業しやすいことと同時に物体を拡大して見るのでその像が鮮明であることが必要である。確認・観察だけの場合は単眼でもよいが，ものを見ながらの作業となると双眼で立体視出来る必要がある。眼鏡の場合は比較的焦点距離の長いルーペで遠距離や中距離を見る事を重点にしているので左右の光軸がほぼ並行になっている。しかし近距離を拡大して立体視するとなると作動距離の長い比較的低倍率な顕微鏡的な構成の光学系を２本用意すればよいが正立像の必要がある。（倒立像では奥行き感が逆になり立体視できない。）

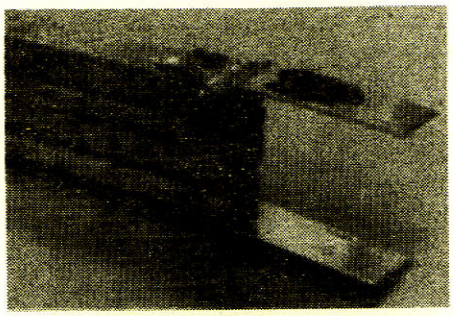


写真３　焼結型多孔体素子に板材電極を溶接

素子を溶接するときにセラミックスの格子状のものに線材素子を入れて溶接していくのでかなり細かな作業になる。そこで一般的な直径８cm 程度のシングルレンズルーペでは拡大率が低く，像の悪化も大きくて目が疲れる。

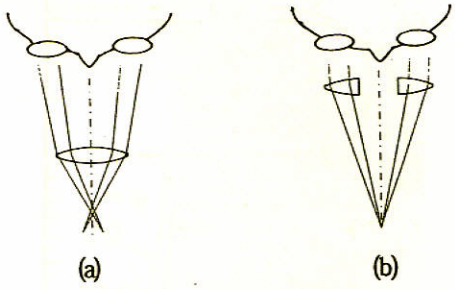


図５　ルーペによる双眼視

直径５cm，焦点距離２０cm 程度の色消しレンズを使った単眼ルーペでは広い範囲がみられないので，レンズを中央で切断し，間隔をあけたものを図５(b)のようにして使用した。これは像の悪化は避けられ，作動距離も長く快適に使えるが，瞳位置はふつうのルーペよりは正確に合わせる必要があり，拡大率は低いままなので，写真４ のような対物側レンズ間隔が接眼部間隔よりも小さな７倍の双眼鏡に接写レンズを組み合わせたものを製作し，拡大率を上げて，ワーキングディスタンスを大きくすることが出来た。接写レンズの中心から照明光を当てることも可能にしてあり，実視界は25mm程の範囲なのでかなり細かな作業にも対応できる。

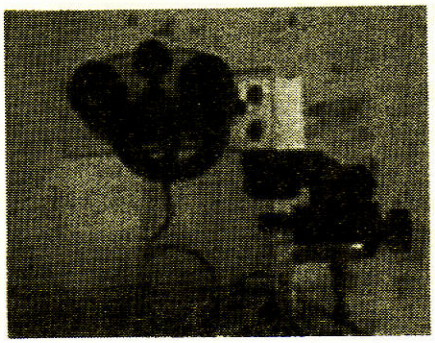


写真４　双眼拡大鏡（上方から）

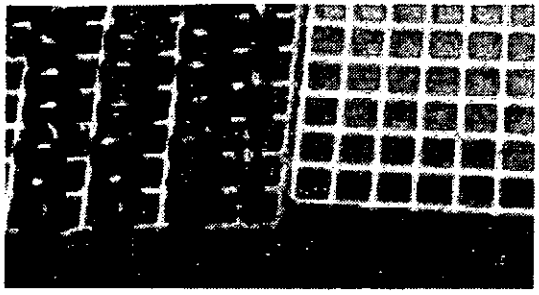


写真 5　ハニカムと線材エレメント

5．多孔性熱電素子による燃焼実験データ

図6 は熱電線材エレメントで燃焼負荷を変えたときの上流側，下流側接点の温度ならびに起電力の変化の様子を示す。上流側の温度は全体としてみると下流側の温度に連動して上昇し，結果的には期待した程の温度差が得られていない。主な理由は熱電対素線径が太いことによる熱伝導の影響と燃焼室から上流側への熱放射の伝搬により予混合による冷却効果が減殺されているためであると考えられる。従って素線径の微細化と熱放射の遮蔽法ならびに上流側の冷却・下流側の加熱等の伝熱促進方法が課題である。

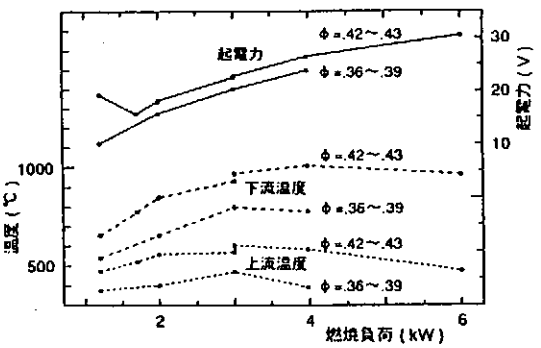


図 6　上流・下流端温度および起電力～燃焼負荷

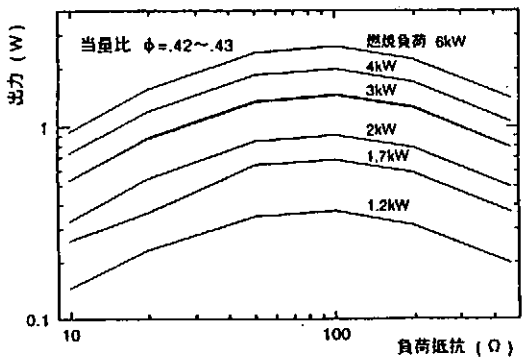


図 7　電気出力～負荷抵抗

外部の負荷抵抗 R を変えた場合の電気出力 P の変化の様子を図7 に示す。常温時のモジュールの電気抵抗値（内部抵抗） r は約 56 Ω で，燃焼加熱時の r の増加を考慮するとこの変化の様子はほぼ理論どおりである。本図には予混合気の当量比 ϕ＝0.42～0.43 の場合のみを示しているが，ϕ を変えても全体的な傾向は同じである。

図8 は鉄-シリコン系円板型焼結素子のデータである。燃焼負荷をパラメーターとし，可燃混合気の当量比を変えたときの上流側，下流側接点の温度ならびに温度差の変化の様子を示す。上流側の温度は全体としてみると下流側の温度に連動して上昇するが条件を整えれば厚さ4mmの素子に対して 500～600 ℃もの温度差が観測された。熱伝導の影響と燃焼室から上流側への熱放射の伝搬により予混合による冷却効果が減殺されている点を考慮し，熱放射の遮蔽の強化および上流側の冷却・下流側の加熱等の伝熱促進方法が今後の課題である。

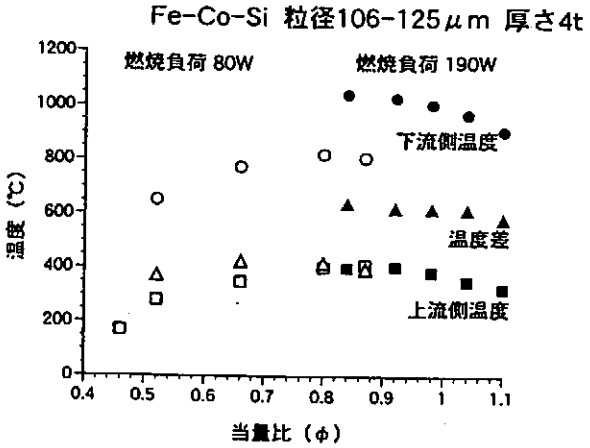


図 8　上流・下流端温度～当量比

6．結び

アルメルークロメル，鉄シリサイト等いくつかの多孔構造熱電素子を開発・試作し，燃焼実験を行った。熱電材料の状態（バルク，箔材，焼結材等）により接合手段は異なるが，多様な材料接合に対応できる手段・手法を得ることが出来た。

位相検出回路の設計Ⅲ

文部科学省　核融合科学研究所　技術部、"プラズマ計測研究系
○伊藤康彦、幅　駸一郎、"川端一男

はじめに

核融合研究における高温プラズマの電子密度計測に用いられるミリ波・サブミリ波干渉計において、干渉信号から密度情報を取得するために位相検出回路が用いられており、これに新たに付加する位相飛越修正回路について報告する。

本回路の位相検出部の仕様を以下に述べる。

・入力信号周波数 -------- 1 MHz
・位相検出範囲 ---------- 31 fringes
・位相分解能 ---------- 1/80 fringe
・応答速度 ---------- 10 μ sec

ここで、1 fringeは位相変化量の360度に相当する。特徴は高い入力周波数での使用において、位相検出範囲が広い割に高分解能な事である。

本回路は13チャンネル遠赤外レーザー干渉計で利用されており、大型ヘリカル装置(LHD)のプラズマ計測に貢献してきた。本回路はその運用過程において問題が発生しており、それは測定中に位相が1 fringeの整数倍で飛越し、位相検出誤差となることである。

この位相データーは計算機に取得された後、飛越部分の修正を半自動で行っている。この処理の実行には時間を要するため、実験の進行に合わせて正確なデーターを提供することが困難である。なお、この問題は各種プラズマ実験装置においても一般的なものである。

位相飛越の原因は本回路への入力信号強度の減少又は雑音の混入により、位相比較部が誤動作するためである。この対策として、飛越検出、飛越前の位相データ記憶及び、飛越修正等の機能を持たせた回路を付加した。本回路はテストベンチでの評価が行われ、飛越修正処理が2～3 μ secで実行できたことを確認した。

1. 位相検出回路

本位相検出回路の構成を図1に示す。図中Aria Aは位相検出部[1][2]であり、ここで位相変化を受けた信号波が位相変化を受けていない参照信号と位相比較され、位相差は電圧値に変換される。

Aria Bは同期信号発生部[1][2]で、位相比較回路を周波数80MHzのsystem clock信号によって同期させる。

Aria Cは位相飛越修正部であり、1チップのCPLD(Complex Programmable Logic Device, 本回路ではAltera社製、EPM7064SLC44-6を使用)で構成される。ここで位相飛越が検出され、飛越修正データを位相比較部へ送出し、アップ・カウンタをプリセットして飛越修正を行う。

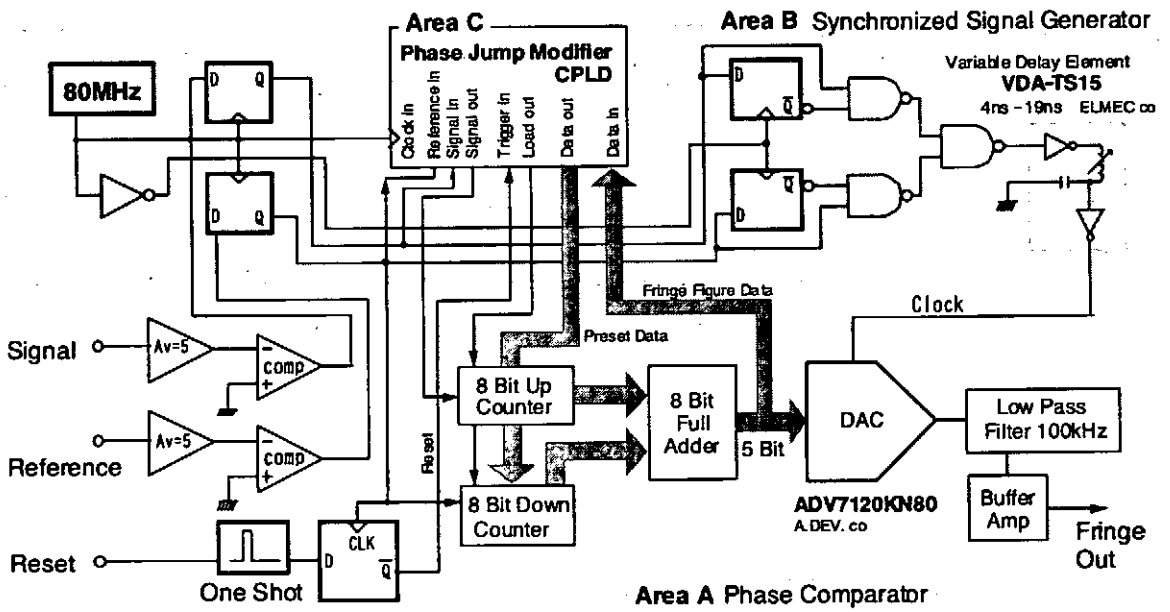


図1. 位相検出回路の全回路構成

2. 位相飛越問題及びその対策

multi-fringe 型の位相検出回路においては、回路へ入力される信号の質の劣化が原因で起こる位相飛越が大きな問題となる。

位相飛越が発生した波形を図 2 に示す。本例では概ね数回の位相飛越が発生しており、プラズマ放電終了時の密度が零となる点がずれている。この原因はプラズマの電子密度の上昇により、プローブ波が屈折され、同検出器へ到達する信号強度の低下が主であると考えられる。図3は本回路のsignal入力に供給される信号電圧の実効値を表しており、飛越が発生している時間において振幅が減少していることがわかる。プローブ波の屈折問題については、光学系を改良することによる対策が進行中である。

位相飛越が発生した場合、その修正処理を行い、プラズマ実験の進行に合わせて正しい電子密度情報を提供できることが望まれる。

位相飛越修正は、計算機を用いれば簡単に実行することができる。しかし、3分間隔で行われるLHDのプラズマ放電実験にこれを適用すると、既存の電子密度計測データ収集システムを実時間対応用に変更しなければならず、その経済的負担は大きい。

そこで上記方式よりも簡単な方法で、位相飛越修正処理を行うため、既存の位相検出回路モジュールに本修正回路を組み込むことを提案し、その試作を行った。

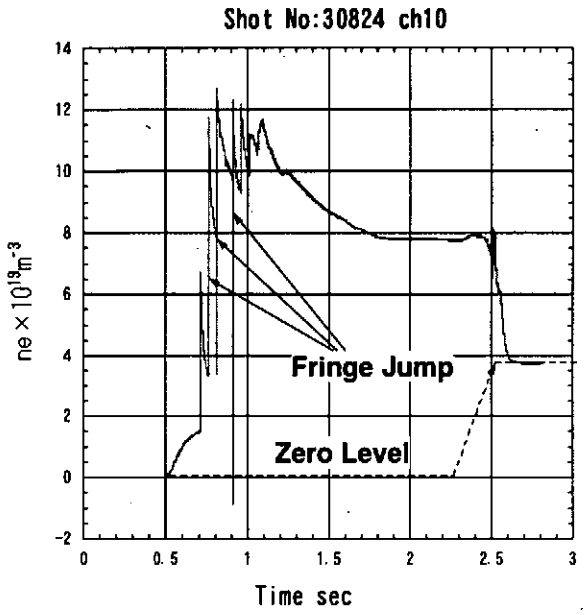


図 2. 位相飛越波形

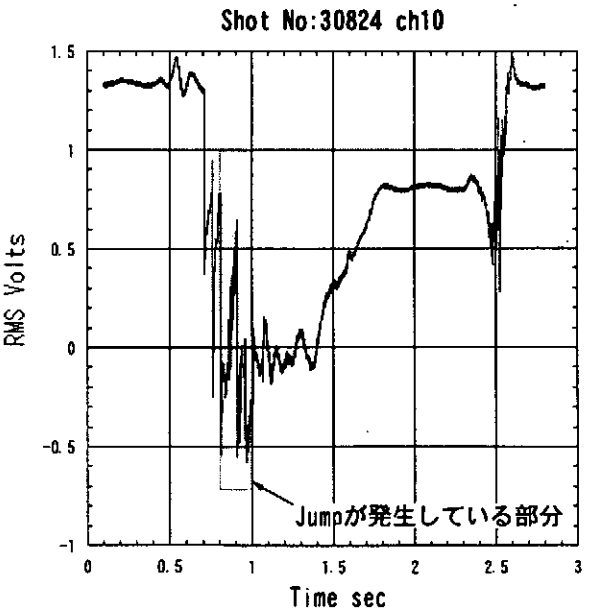
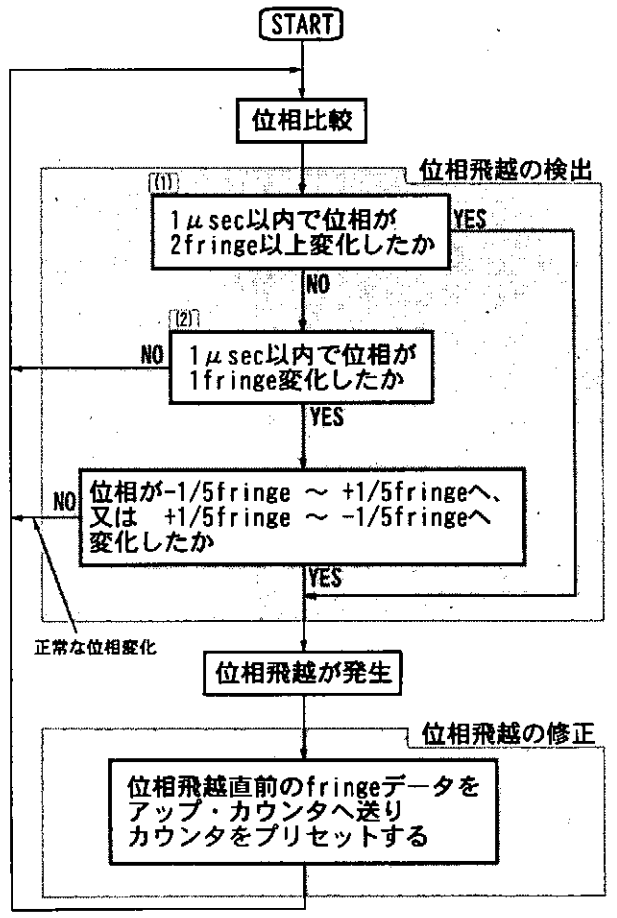


図 3. signal の RMS 波形、信号強度を表す



(1) 2 fringe以上の飛越については同検出後、次の R_f で直ちに修正を行う。
(2) 1 fringeのみ飛越した場合、それが正常な位相変化によるfringeの桁変わりか、或いは飛越によるものかを判別する。

図 4. 位相飛越修正処理の流れ

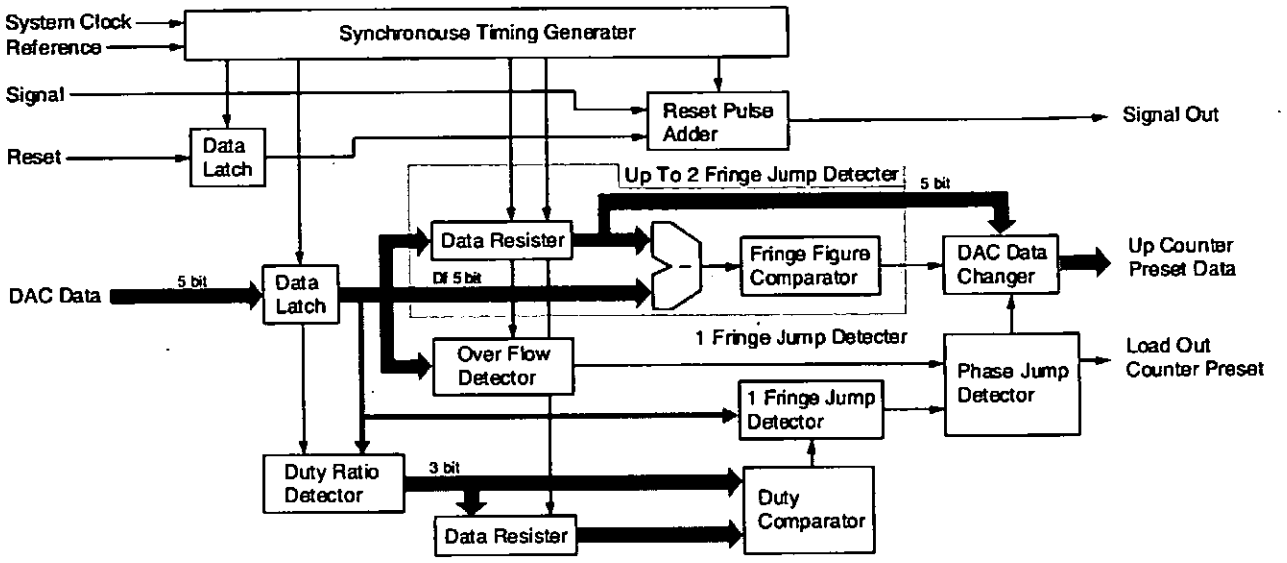


図5. 位相飛越修正回路の構成

3. 位相飛越修正回路

位相飛越修正処理の流れを図4に示す。本回路の動作タイミングは、system clockを基にreferenceパルスの立ち上がりエッジ(以下、R_r)を基本単位としている。

この他に、流れ図には示されていない処理として、位相のオーバー・フロー処理がある。これは、本位相検出器の特性から必要となるもので、それは位相が検出範囲(本回路では31 fringe = ϕ_{max})を超えてオーバー・フローを起こした場合である。このとき本回路の位相－電圧の換算係数がマイナス31倍されてしまうため、オーバー・フロー現象と正常な位相変化との判別が困難となる。

この問題の解消のため、同現象が発生した場合に以下の処理を行う。位相が0 fringeを下回った場合にはϕ_{max}へ、又はϕ_{max}を上回った場合は0 fringeへそれぞれ強制的に位相飛越させる。

図5に図1－Aria Cに示した部分の内部構成を示す。本回路の構成は主に2 fringe以上及び1 fringeの位相飛越を検出する部分、位相のオーバー・フロー処理を行う部分、飛越検出後に位相比較器をプリセットする部分、以上の各部にreferenceから作成した同期信号を供給する部分からなる。

図6は図5中(2)の飛越修正処理についてのタイミングチャートである。本飛越はsignalパルスが1つ欠落したことによって発生している。次に、この事例に絞って回路の動作を概説する。

まず飛越検出には現在のfringeの値D_fを知る必要があり、これはR_r直後の5ビットの加算器出力から読み取る。本回路の使用条件においては、D_fの最小パルス幅が約12 nsecと短いため、データ読み取りのタイミング調整が必要となる。

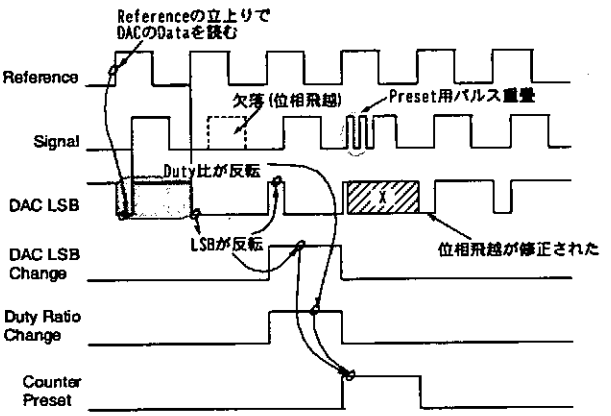


図6. 位相飛越修正処理のタイミング・チャート

本処理では1 reference-cycle = C_r内でD_fが1つ変化した場合、飛越の有無を判定するために以下の条件判断を行う。

(1) 単位C_r内でD_fの最下位ビット(以下、LSB)のduty比が0±20%以内の変化(±1/5 fringeの位相変化量に相当)であった場合、正常な位相変化とする。ここで、このdutyの測定方法は、system clockを8分周したパルスを用いて、R_r直後からカウントし始め、D_fのLSBが反転するまでカウントする。

(2) 上記よりも大きなduty比の変化については、位相飛越と判断する。ここで、このduty変化量を用いた理由を述べる。単位時間当たりの最大位相変化量は経験上、$\Delta\phi_{max}$=約1 fringe/msec以下であるから、これと比較して1/5 fringe/μsecの位相変化量

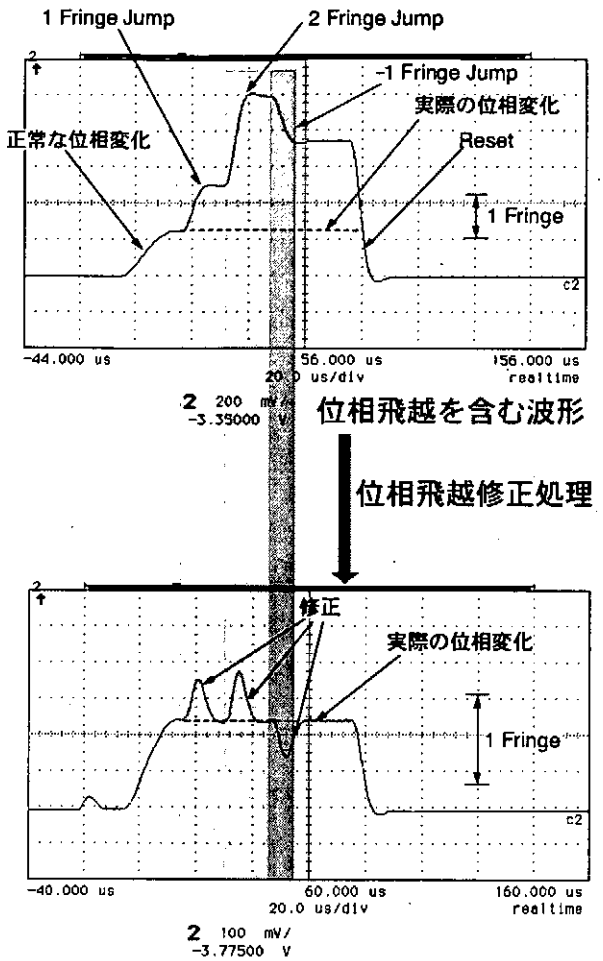


図7. 位相飛越修正処理の結果

は実際よりも非常に大きい。したがって飛越が発生したと判断することができる。

次に位相飛越が検出された場合の修正処理を以下に述べる。

(1) 飛越が起こったときのD_fを、飛越が起こる以前の正しいデータに書き換える。

(2) 位相比較部のアップ・カウンタをD_fで、ダウン・カウンタを零でプリセットする。

(3) アップ・カウンタへプリセット・パルスを送出中にsignalパルスが入力されないとプリセットが行われないので、signalに同処理用パルスを重畳する。

(4) 飛越修正処理中の$2C_f$間はD_fの値を変化させない。

上記の修正処理により$2\sim3C_f$内で飛越が修正されるが、修正が不可能な場合もある。それは密度上昇等の影響により、長時間に渡って位相飛越が発生した時に発生する可能性がある。この期間に密度が大きく変動した場合、それによって位相が1 fringe以上変化すると、飛越前のfringe数と実際の値が異なってしまい、前者のデータは正しい値ではなくなり、誤ったfringeに修正してしまう。

この飛越修正を行うには、波形全体を見てパターン認識的な処理を実行しなければならず、現状では手作業での修正を必要とする。

4. 結果及び考察

本修正回路はCPLDにプログラムされ、既存の位相検出回路[1][2]基板上に仮付けし、その動作テストを行った。図7は位相飛越修正の結果を示しており、この波形は位相検出回路の最終出力信号である。位相飛越を模擬するために、位相飛越波形を任意パスル・パターン発生器によって作成し、本回路のsignal入力端子に供給した。その結果、同図上部に示された位相飛越波形が修正され、同図下部のように一旦飛越してから目的のfringeへ引き戻されていることがわかる。

本例では飛越が生じた後に修正処理を行っているため、修正されるまでの2μsec程度に渡って一旦飛越した影響が波形に現れている。これは位相検出誤差となり、プラズマの密度変化との区別が困難となるため、この影響を回避する必要がある。これを軽減する方法としては、飛越修正処理を行っている期間中、位相比較器の出力を飛越以前の位相に保持させること等が考えられる。

まとめ

multi-fringe型の位相検出回路で発生する位相飛越問題の対策として、位相飛越修正回路を開発した。本回路の位相飛越修正処理は、模擬位相飛越信号を用いた動作テストを行った結果、ほぼ期待通りに機能していることが実証された。

今後は更に様々なパターンの位相飛越信号で本回路をテストし、修正回路の最適化を行う必要がある。その後、これをプラズマ実験へ適用する予定である。

参考文献

[1] 伊藤康彦　他 : 大型ヘリカル装置(LHD)遠赤外レーザー干渉計用位相検出回路の設計, 1999年高エネルギー加速器研究機構技術研究会報告集 p351

[2] Y. Ito : Improved resolution for a multi-fringe phase detection circuit of a far infrared laser interferometer on LHD, Fusion Engineering and Design 56-57 (2001) p965

口頭研究発表会用タイムキーパー装置の製作（Ⅱ）

福井大学技術部　　酒井 孝則

1．まえがき

多数の口頭研究発表が連続して行われる、例えば、卒業研究発表会や修士論文発表公聴会、さらには各学協会の支部大会などの研究発表会において利用できるタイマー装置(タイムキーパー)の開発を行い実用に供してきた[1]～[3]。今回、さらに機能向上を図り、少々大きな会場でも視認性の良好なタイムキーパー装置の製作を行った。

2．開発目的と利用目的

研究発表会においては、座長の他にタイムキーパーと呼ばれる計時係員が講演番号札を設定したり、ストップウォッチを用いて所定時間ごとに予鈴，発表終了鈴，質疑応答終了鈴を鳴らす補助作業を従来から行ってきた。この作業を自動化し、省力化・無人化を図る目的で開発したのが本装置ある。したがって、開発目的からは発表講演者に経過時間を知らせるための装置ではないことは明かで、セッション記号および講演番号表示は会場参加者への掲示であり、時間表示は座長の運営進行のためである。発表講演者には従来通り予鈴などの報知鈴を提供するのが本装置の利用目的である。

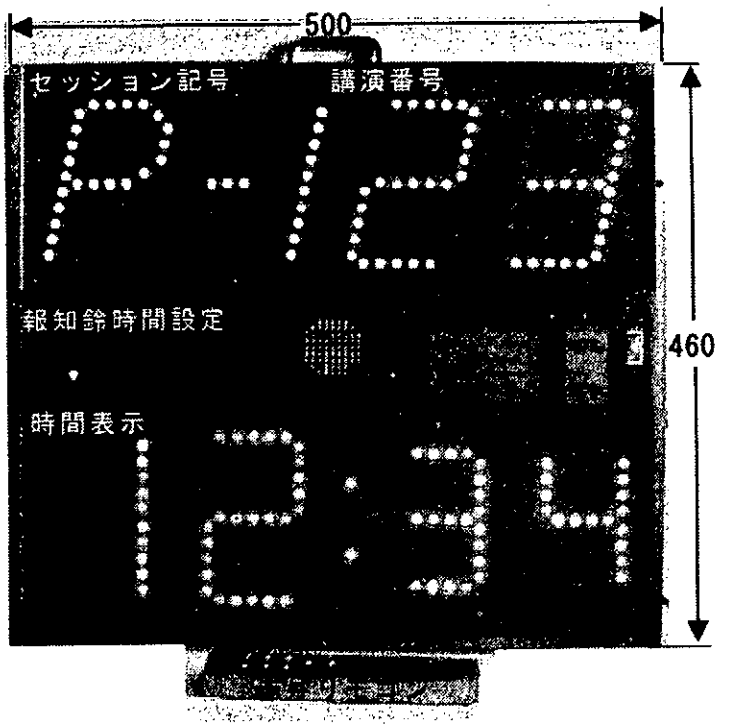


図１　タイムキーパー装置の外観図

3．機能と特徴

図 1 には、今回製作したタイムキーパー装置の外観図を示す。各電光表示の文字高さは約 130mm であるが、この文字を構成している個体の LED（発光ダイオード）の個数やレイアウト、また発光色の選定による外観上の設計変更は可能である。

以下に、本装置の主な機能と特徴を列挙する。

(1) 各研究発表会の講演時間のうち、予鈴発生時間（第１鈴），発表終了時間（第２鈴），

質疑応答終了時間（第３鈴）を予めディジタルスイッチで設定することにより、第１鈴では短く１回，第２鈴では短く２回，第３鈴では長く１回の報知鈴（電子音）が自動的に発生する。

(2) セッション記号は、左上部に *A,B,C,I,P,O,1,2,3,blank* の 10 種類の英数字を順次選択して斜体文字で表示するようになっている。他の文字種に設計変更も可能である。

(3) 講演番号は、右上部にセッション記号に引き続き斜体文字で *199* までが表示可能で、この番号が１桁の場合は左桁シフト回路により中央桁の表示となり、セッション記号との文字バランスを考慮している。

(4) 時間は 99 分 59 秒まで表示可能で、発表時間はカウントダウン（残余時間）表示とし、スピーチタイマー機能となっている。他方、質疑応答時間はカウントアップ（経過時間）表示としている。さらに、時間表示には２色 LED を使用し、発表開始から予鈴発生時間までを黄緑色，予鈴時間を経過すると橙色，発表終了時間には赤色で０表示し、同色で質疑応答時間を表示する。質疑応答時間が終了すると点滅が持続し、講演時間がオーバーしていることを知らせるようになっている。このような表示動作の機能を持つことで、視認性の向上を図っている。

(5) 赤外リモコンにより、発表講演開始，セッション記号および各桁ごとの講演番号の設定，時間の一時停止／解除，報知鈴の発生停止／解除の諸機能を全て遠隔操作できるようになっている。

(6) 研究発表会中は、リモコンの発表講演開始ボタンを１回押すだけの簡単な操作で自動的に講演番号が１増加し、同時に時間計測も開始するようになっている。したがって、誰でも操作することができ、座長自らが操作し運営進行することも可能となっている。

４．各機能の動作説明

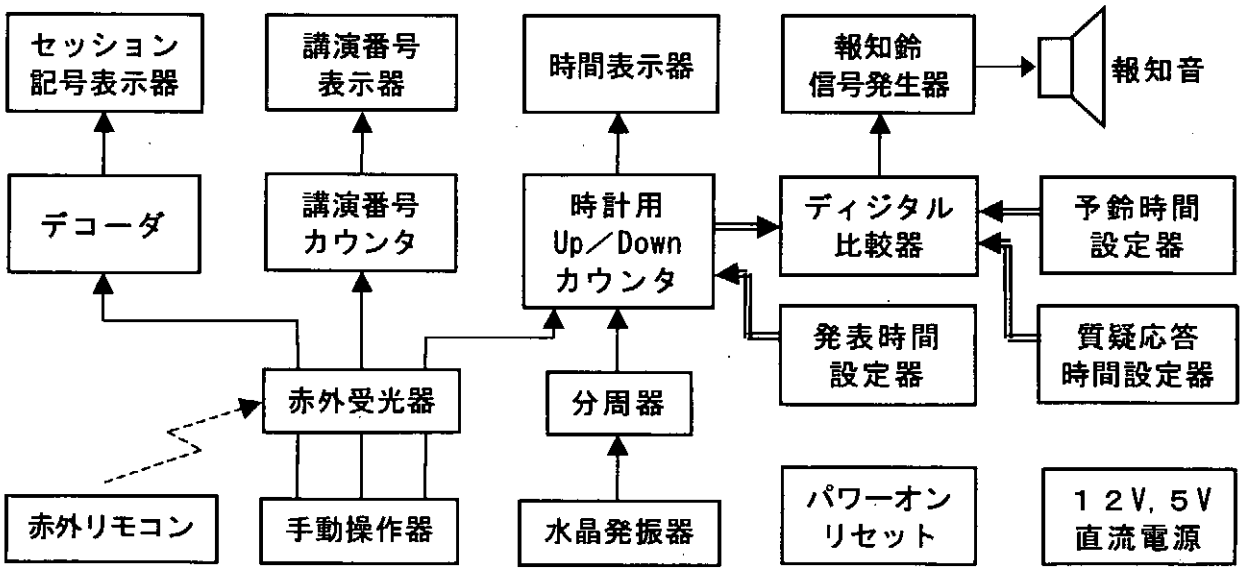


図２　タイムキーパー装置の回路構成図

図２の回路構成図で動作説明をする。この装置の初期設定としては、まず電源投入前に発表時間、予鈴発生時間、質疑応答時間の設定をディジタルスイッチで行う。この設定は前述の各所定時間に報知鈴を発生させるためのものである。ただし、各時間設定器は分単位での設定としている。つぎに、電源を投入するとパワーオンリセット回路により各種カウンタがクリアーし、同時に時計用カウンタには発表時間設定器のデータがプリセットされる。この数値からカウントダウンを開始する。また、電源投入時には、セッション記号は*A*，講演番号は０が表示される。このため、赤外リモコンまたは手動操作器の押ボタンを操作し、セッション記号は *A,B,C,I,P,O,1,2,3,blank* の何れかを選択表示し、講演番号も次に述べる操作のために-１番の数字に予め設定しておく。以上が研究発表会開始までの設定操作である。

発表講演者が発表を開始した時に赤外リモコンの発表講演開始ボタンを１回押すと、赤外受光器の受信信号で講演番号が１増加し、同時に発表時間が時計用カウンタにプリセットされカウントダウンによる計時を開始する。時計用カウンタのデータは、ディジタル比較器で常に各時間設定器のデータと比較しているため、まず、予鈴時間との一致信号が報知鈴信号発生器に入力し、短く１回の報知鈴が自動的に発生する。この時点から時間表示の LED は淡緑色から橙色に変化し予鈴時間が経過したことを知らせる。その後、時計用カウンタが０になると発表時間終了であることから、終了鈴として短く２回の報知鈴を発生する。この時 LED も赤色に変化する。この後は、質疑応答時間でカウントアップ機能に切り換り経過時間表示をする。そして、所定の質疑応答時間に達すると比較器のパルス出力により、長く１回の報知鈴が発生する。この時から時間表示の LED は赤色の点滅動作を繰り返し、講演時間がオーバーしていることを促す。

したがって、以上の一連の動作が研究発表会中においては、赤外リモコンの発表講演開始ボタンを１回押す操作の繰り返しで運営進行できることとなり、従来の方法のように時計やストップウォッチを見ながらベルを押す作業は一切不要となる。

研究発表会会場においては赤外リモコンによる遠隔操作を基本に設計したが、本装置の設置場所によっては光軸が合わない位置での操作も考えられることから、有線による手動操作器も併用できるように構成している。これらの両操作器には、発表講演開始ボタンの他、セッション記号設定ボタン、講演番号各桁設定ボタンとトグル動作による時間の一時停止／解除ボタン、報知鈴発生停止／解除ボタンを設け、各機能が選択・設定できるようになっている。

今回のセッション記号は、つぎの理由から前記 10 種類の文字を選定した。このうち、*O*(Oral)，*I*(Invited)，*P*(Poster)は、それぞれ口頭発表、招待講演、ポスターセッションのプレゼンテーションを表記するためのものである。ただし、ポスターセッション*P*を表示した場合は、予鈴が発生しないようになっている。その他、*A*，*B*，*C*，*1*，*2*，*3*の文字は発表会場の分類などに利用できるものと思われる。しかし、セッション記号が不要な研究発表会もあることから *blank*(空白)も設けてある。この時は図１に表記されているセッション記号と講演番号の間の－(hyphen)も表示しないようになっている。

講演番号は、0～199 までの数字を表示できる設計になっている。講演番号が 1 桁のと

きは、セッション記号との文字バランスを考慮して中央の桁に表示する左シフト回路を付加している。例えば、*P-　3*は*P-3*　と表示することになる。

発表時間および質疑応答時間は、最大 99 分 00 秒まで設定することが可能である。なお、時間表示および講演番号表示はゼロ・ブランキング回路を採用し、さらに省電力化のためにダイナミック点灯を行っている。

電源は、商用電源による DC12V のスイッチングレギュレータを使用し、IC への電源は 5V で供給している。最大消費電力は、講演番号が 88 表示で時間が 88:08 橙色表示の時に 25W となり、そのほとんどが LED での消費電力である。

外形寸法は、縦 46cm×横 50cm×奥行 4cm で、壁掛型を想定し製作している。

5．改良点

今回製作したタイムキーパー装置においては、以下のような改良を加えた。

1) 大型電光表示文字への変更
2) 講演番号表示の左桁シフト回路の付加
3) 10 種類のセッション記号表示の追加
4) ポスターセッションにおける予鈴の発生停止機能
5) 99 分 59 秒までの時間計測幅拡大

6．あとがき

本装置の設計開発にあたっては、計時係員を長年務めてきた教室系技術職員の実体験に基づいたアイデアを盛り込み、最終的には無人化を図る目的で遂行してきた。市販のタイマー装置は各種販売されているが、本装置のような機能を有する研究発表会用タイマー装置は余り見掛けない。

本装置は、ユニバーサル基板上に LED や IC などの個別部品を実装し製作しているため配線には相当な時間と熟練を要する。また、完成品においては製作部品や材料費に約 5 万円を費やし、このうち 2／3 が LED の部品費であったことから、今後の普及にあたっては全面的に低コスト化を図る必要がある。

【参考資料】

[1] 酒井孝則："研究発表会用タイムキーパの製作"，1995 年度福井大学技術部・技術報告集，pp.41-44.

[2] 酒井孝則："研究発表会用タイムキーパの多機能化"，1996 年度福井大学技術部・技術報告集，pp.47-52.

[3] 酒井孝則："ＯＨＰ取付形タイムキーパの試作"，1997 年度福井大学技術部・技術報告集，pp.53-58.

[4] 酒井孝則："研究発表会用タイムキーパ自動化装置の開発"，平成 10 年度高エネルギー加速器研究機構・技術研究会，ポスターセッション P-7.

[5] 酒井孝則："セッション記号および講演番号表示機能を有する研究発表会用タイマー装置の製作"，平成 12 年度機器･分析技術研究会報告(福井大学技術部主催)，pp.95-98，ポスター発表 P-1.

JT-60 新タイミングシステムの開発について

日本原子力研究所　那珂研究所　○赤坂　博美、川俣　陽一、米川　出

1．　はじめに

全系制御設備（以下「全系」と称す。）のタイミングシステム（以下「TS」と称す。）は、トカマク型核融合試験装置 JT-60 においてプラズマの生成、維持、さらにその消滅に至る一連の放電シーケンスを実行する際に、複数機器の動作およびデータ収集などを行うための高精度のタイミング信号を出力するシステムである。さらに放電制御系、プラズマ制御系の VME-Bus システムに対して、プラズマ放電の基準時刻（t=0）、機器故障等によるプラズマ制御停止信号および制御クロック信号等を発信し、放電シーケンス制御における時間基準を発信するシステムとして重要な役割を果たしている。

現在の TS のハードウェアは、種々の機能を有する CAMAC モジュールから構成されている。これらのモジュールは製造後 18 年以上経過しており、製造中止により保守部品の入手、修理は困難な状況にある。また、タイミング信号の追加はハード上（CAMAC のﾁｬﾝﾈﾙ数）の制約から困難な状況になりつつある。そこで、本 TS を抜本的に更新し、システムに柔軟性および拡張性を持たせた新 TS の設計、検討に着手し、その機能検証のためのプロトタイプの開発をスタートさせた。

2．　現在の全系 TS

2．1　構成と機能

図１に現在の全系 TS を中心とした JT-60 の TS 構成を示す。TS は、各設備・機器の制御系が設置されている制御棟、実験棟及び整流器棟の３つの建屋に渡って構成されている。全系 TS は、制御棟 TS、整流器棟 TS に分かれており種々の機能を有する CAMAC モジュールから構成されている。また、全系 TS は制御機能の異なる３台の計算機と CBD(CAMAC Brunch Driver)を介して各々接続されている。制御棟 TS は８台の CAMAC クレートにより構成されている。放電制御計算機システム(Ｉb)に接続される CAMAC クレート７台の部分には、タイミングパルスの発生・伝送及び制御インターロック等のタイムシーケンスを制御するシーケンス制御部とその基本的な時間を作るクロックシステム部があり全系 TS の基本部となっている。一方、実時間制御計算機システム(ＩbR)に接続されている CAMAC クレート１台は、プラズマ制御を行うときに動作するモジュールによって構成され、加熱装置の入射/中断指令を出力する。整流器棟 TS の CAMAC クレート２台は３つの電源（ﾄﾛｲﾀﾞﾙ電源、ﾎﾟﾛｲﾀﾞﾙ電源、加熱用電源）およびフィードバック制御計算機(Ⅱb)のタイミング信号の送受信を行う。実験棟 TS は全系 TS からの信号受信用であり、設備（ガス注入設備やペレット入射装置等）の管理するクレートに全系管理の受信用モジュールが組み込まれている。

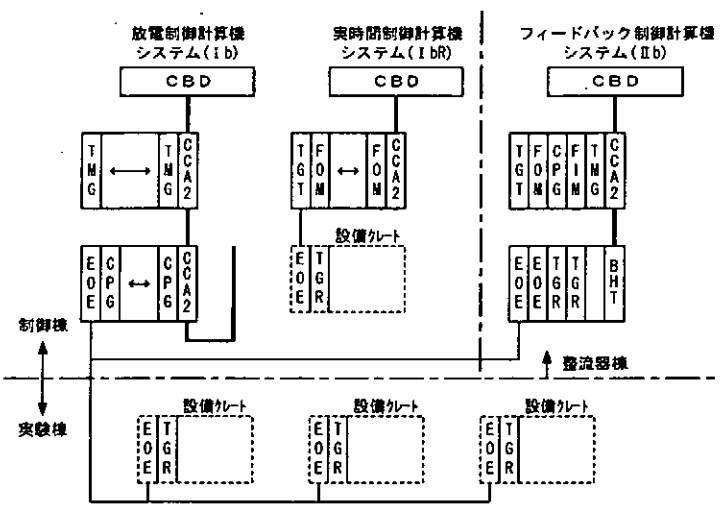


図１　JT-60 の TS 構成図

2．2　放電シーケンスにおける全系 TS

図２に放電シーケンスにおける全系 TS の動作を示す。その概略は、放電４分前に放電制御計算機から送信される放電条件に従い各計算機が接続している TS 用 CAMAC モジュールにプリセット情報（FOM のﾏｽｸ状態、TMG の遅延時間）を設定する。そして、全系 TS は放電１分前に放電シーケンスから CAMAC ファンクションにより起動され、放電１分前信号を各設備に出力する。放電１分前から放電基準時刻（T=０）の間ではトロイダルコイル励磁、ポロイダルコイル励磁、ガス注入等の機器動作の開始信号を出力し、T＝０でプラズマ放電の基準時刻を各設備に発信する。約１５秒のトカマク放電の間には加熱装置への入射/中断指令を出力する。放電が終了すると各設備へ制御停止信号を出力し、最後に放電シーケンスからの指令により制御クロックを停止し一連の処理を終了する。このように全系 TS は放電シーケンスからの指令により動作し、放電シーケンスにおけるタイムシーケンスを管理する。

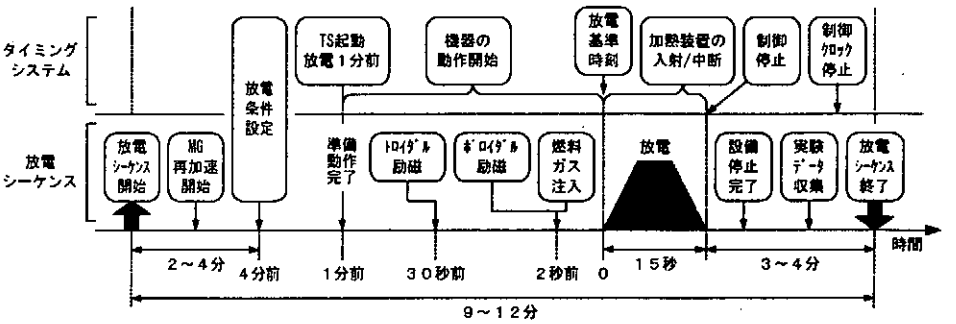


図２　放電シーケンスにおける全系 TS の動作

３．　新 TS の設計・検討

３．１　構成と機能

新 TS の設計検討においては、将来の JT-60 の超電導化改造および長時間放電（現在の 15 秒から約 300 秒）に対応できるシステムとすることを目標とした。即ち、CAMAC モジュールで実施していた信号分岐（FOM）や信号出力時間遅延（TMG）等の機能をソフトウェアに置き換え、システムの柔軟性及び拡張性を最大限に可能とした。信号伝送方式については現在の TGT－TGR による方式から RM（ﾘﾌﾚｸﾃｨﾌﾞ・ﾒﾓﾘ）を用いた方式に変更し信号伝送速度を向上させるものとした。またクロックパルスに関しては現状のプラズマ制御周期（現在 250μsec）に対応するため、50μsec クロックを発生させるものとした。

新 TS のシステム構成（図３参照）は、CPU、CPG、RM、DO/DI のタイミング用モジュールを搭載したクレートを全系側と設備側に設置し、CPU は放電制御計算機とのネットワーク通信及びタイミングロジックの動作等を行い、CPG はクロックパルスの作成を行う。そして、タイミング信号送受信方法は RM を用いた RM 方式とデジタル入出力モジュールを用いた DO⇔DI 方式を併用するものとする。即ち、全系と各設備の通信は RM で行い、設備制御系と機器との取り合いは DO/DI モジュールで行う。

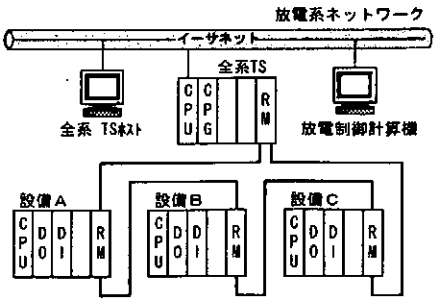


図３　新 TS 構成図

以下に全系 TS の主な機能を列挙する。

- 全系 CPU では、タイミング信号出力のためのロジック条件を判定し RM に書き込む。従って、TMG のタイマー値の設定、FOM のマスクの設定、FIM の接点切換等の個々のタイミングモジュールの機能は全系内のソフトで対応する。
- 設備 CPU ではタイミング情報を読み込むためのポーリング処理（処理時間は検討中）、RM への読込み/書込み処理、タイミング信号入出力のために DO/DI モジュールへアクセスする処理等を行う。

・RM への書き込み、DO モジュールへのアクセス時には記録を残す。
・RM 方式では現状の TGT の入出力点リストのようにタイミング信号エリアを割り当て、タイミング信号の送受信を行う。
・DI は割り込み処理が行えるモジュールとする。
・タイミング信号出力（DO 出力）の ACK 信号は廃止する。（理由は、機器の動作確認を放電制御計算機に組み込まれたシーケンスロジックで判断しており、DO 出力そのものの ACK 信号は不要と考えるからである。）
・基準クロックは全系 TS クレートの CPG により発生させる。出力クロックは、現在の 1msec（又は 10msec）のほかに 50μsec のクロックを発生させる。設定精度は 1×10E-6 と現在の CAMAC モジュールと同等とする。

以上の機能を４項で説明するプロトタイプに構築し、新 TS を開発する。

３．２　現 TS と新 TS との比較

基本的なタイミングロジック（クロックの起動から設備へのタイミング信号出力まで）を基に現 TS と新 TS の比較を行った。（図４参照）以下に新 TS から見た比較結果および考察を記す。

・クロックの出力は CPG モジュール（ﾊｰﾄﾞｳｪｱ）を使用するため現 TS と基本的に変わらないが、新たに 50μsec のクロックを作りフィードバック制御計算機へ出力する。（現在ﾌｨｰﾄﾞﾊﾞｯｸ制御計算機では TS からの 1msec ｸﾛｯｸを分周して 250μsec のｸﾛｯｸを作っている。）
・FIM、TMG、FOM の個々の CAMAC モジュールの機能はソフトウェアで対応する。これにより現在のように追加・変更の際に考慮しなければならない FOM のチャンネル数(8ch)や TMG の設定時間(1msec～65536msec)等、ハード上の制約はなくなる。
・FIM（選択）、FOM（分岐）の機能は時間精度を要求されないためソフトウェアでの機能実現は容易にできる。
・TMG（遅延）の機能は時間精度を要求されることからソフトウエアでの実現方法は、CPU において CPG からの 1msec クロックを取込み、クロックに同期して遅延処理を行う。この方法は、CPU を介して遅延処理を行うという点を除いては現在と同じ方法である。ここで問題となるのは CPU のオーバーヘッド（遅延処理時間＋クロック取込み時間）であるが、CPU 速度（333MHz）およびバス速度(約 10MHz)から CPU のオーバーヘッドは現在の TMG の設定精度(誤差 0～1msec の範囲）を考えれば無視できる程小さな値である。
・TGT、EO、OE のタイミング信号の伝送・変換部分は RM 方式となり光ケーブルで繋がる。伝送速度は RM が 43MB/s であり、TGT の伝送速度(0.125 MB/s)を十分に上回る速度である。
・設備への出力は TGR から DO、設備からの入力は TGT から DI に変わる。

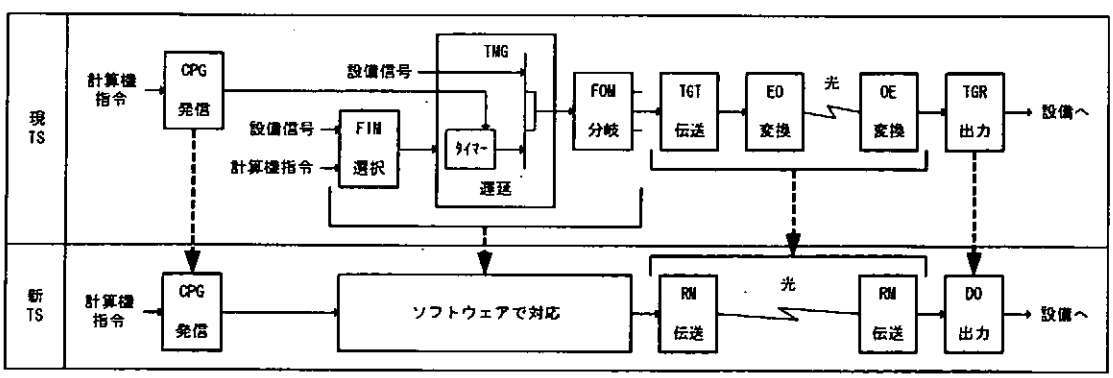


図４　現 TS と新 TS との比較

4. プロトタイプの開発

当初、プロトタイプのハードウェアは、PCI バス上にタイミング用機器を配置する構成としていた。(図５左参照) そして、システムの拡張性を向上させるということから DSP(Digital Signal Processor)を用い、DSP に組み込むタイミングロジックを市販のソフトウェアを使用して作成することとしていた。しかし、以下に示す問題点が明らかになり再検討を行うことになった。

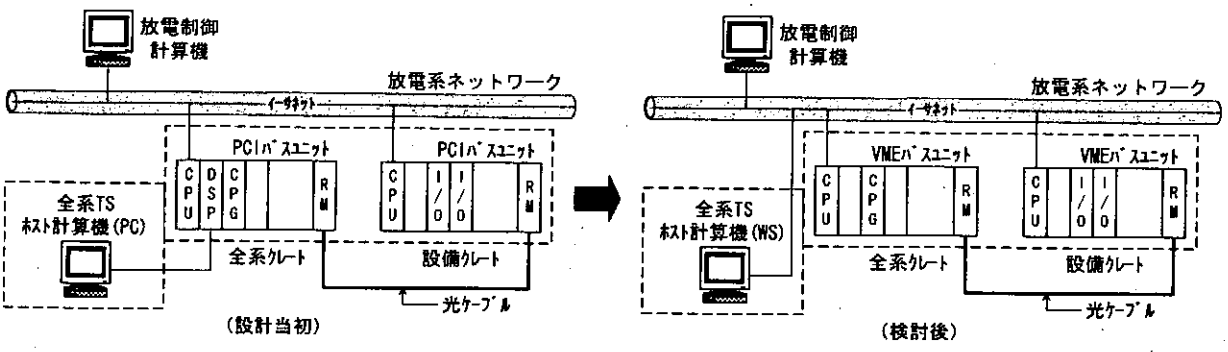


図５　プロトタイプシステム構成図

(問題点)

- DSP 用の RM ドライバがなく、DSP から RM を直接コントロールできない。また、ドライバを開発する場合、開発費が高くなる。
- 市販のソフトウェアを使用してタイミングロジックを作成するため、ロジックと CPU および RM とのインターフェイスソフトが必要であり開発要素が多岐にわたる。
- システム開発環境として PC 環境を想定していたため、リアルタイム OS (VxWorks) の新たなライセンスが必要となる。(現在全系が使用しているリアルタイム OS は UNIX 版である。)

(検討結果)

上記、問題点を解決するため PCI バスから VME バスに変更 (図５右参照) を行い、また、DSP の使用をやめ、タイミングロジック作成は市販のソフトウェアを使用せずプログラムにて作り込むこととした。その理由は、VME バスを利用したシステム(RM も含む)は全系内の他システムで使用しており、ネットワーク通信処理、RM へのアクセス処理等の VME バスシステムに関するノウハウがあり、開発作業がスムーズに行えるからである。そして、ソフトウェア開発費を抑えることができるからである。

5. まとめ

現在の TS における経年化に伴う保守の困難さや拡張性に乏しい状況から、TS を抜本的に更新するため新 TS の設計・検討を行い、以下の開発方針を決定した。

① CAMAC モジュールで構成するシステムから VME モジュールで構成するシステムに変更する。

② CAMAC モジュール (ハード) で行っていた機能 (一部) をソフトウェアで実施する。

そして、新 TS の開発は、プロトタイプを製作しその中で TS 機能の動作確認を行い、最終的には JT-60 に適用できるシステムの完成を目指す。

現在はプロトタイプシステム構成に基づくハードウェアの整備を行っている。平成 14 年度は新 TS のソフトウェアの設計・検討および開発を行い、プロトタイプに組み込み機能の検証を行う。

簡易メッセージ配信システム(STARS)の入退室管理システムへの応用

高エネルギー加速器研究機構 技術部
○小菅 隆、 小山 篤

1 はじめに

高エネルギー加速器研究機構放射光研究施設 (以下 PF)2.5GeV 電子・陽電子蓄積リングには、現在 20 本を超えるビームラインが設置されており、様々な実験が行われている。実験者は実験ホールに立ち入り実験を行うが、入退室の管理は磁気カードリーダによって行われている。今回、実験装置等の搬入を容易に行えるよう入口扉の改修工事が行われる事となり、それに伴って実験ホールへの入退室管理システムが更新されることとなった。

放射光利用実験は昼夜を問わず行われるが、担当者のいない夜間に発生する故障は大きな問題となる。当然、システムには高い信頼性が求めれれる。また、今回のシステム構築に際してはコストを低く抑える事、問題点の修正や改造を手早く行うためシステムの設計から自前で行うことが求められた。

これらの要求を満たすために、これまで小規模な制御システム向けに開発され、安定した動作が確認されている STARS(Simple Transmission and Retrieval System)[1] を採用し、システム構築を行うこととなった。

2 STARS の概要

STARS は小規模な制御システム向けに開発されたサーバ・クライアント型のシステムで、複数のクライアントが TCP/IP Socket 利用してサーバに接続する。STARS サーバは各クライアントから送られてくるメッセージを、そのメッセージ内に含まれる配信先の情報に応じて転送する。それぞれの送受されるメッセージはテキストベースでありシステムとしては非常にシンプルである。また、サーバ部分は Perl を使用して作成されており、様々な OS(オペレーティングシステム) 上で動作することが可能である。さらに、TCP/IP Socket 及びテキストベースでのデータ送受を行うだけである為、様々な開発言語を利用することが出来る。

STARS は通常ネットワークを利用したシステムの分散に利用されるが、クライアントプログラム及びサーバプログラムは同一の計算機内で動作させてもよい。そして、STARS において各クライアントプログラムは、その計算機の入出力装置を利用する等の場合や OS 等による制約がある場合を除き、どの計算機上で動作しても良いし、複数のクライアントが同一計算機上で動作しても良い。また、STARS サーバとクライアントプログラム群をひとつの塊として捕らえると、機能の追加及び削除を動的に行うことのできるシステムと捉える事ができる。

なお STARS は、PF のインターロック集中管理システム [2, 3] や PF のビームライン BL-6A 制御系、COACK (Component Oriented Advanced Control Kernel)[4, 5, 6] の Non-Windows 用インターフェース [7] 等を通して安定な動作が確認されている。

3 ハードウエアの構成

今回作成した入退室管理システムのハードウエア構成を図 1 に示す。入退室管理を行うドアの場所は三箇所で、それぞれ実験ホールの内側と外側に磁気式 ID カードリーダが設置してある。それぞれの ID カードリーダは RS-232C を通してネットワークインターフェースカード (以下 NIC) を経由、ドアシステム専用の Ether ネットに接続される。また、各ドア開閉のためのドライブ信号の出力及びドアの開閉状態の信号入力についてはリレーを経由して NIC に接続される。ここで利用している NIC は RS-232C 及びパラレル入出力を持つもので、ID カードリーダ用及びドア開閉用のどちらにも同じものを使用している。なお、これらの NIC にはセキュリティーのための機構が無いので、ドアシステム専用のネットワークを敷設し、fire wall 介して所内ネットに接続するようにしている。ここで言う fire wall とは、一般家庭向けに販売されている安価なルータの事である。

STARS を動作させる PC は Main と Sub の 2 台が設置してある。動作している OS は FreeBSD 4.3-RELEASE でキーボードやモニターなどは取り外して使用している。通常は Main PC 側で運転を行っているが、万が一、ハードディスクのクラッシュ等が発生した場合は Sub PC に切り替え、ただちに運転を再開する。

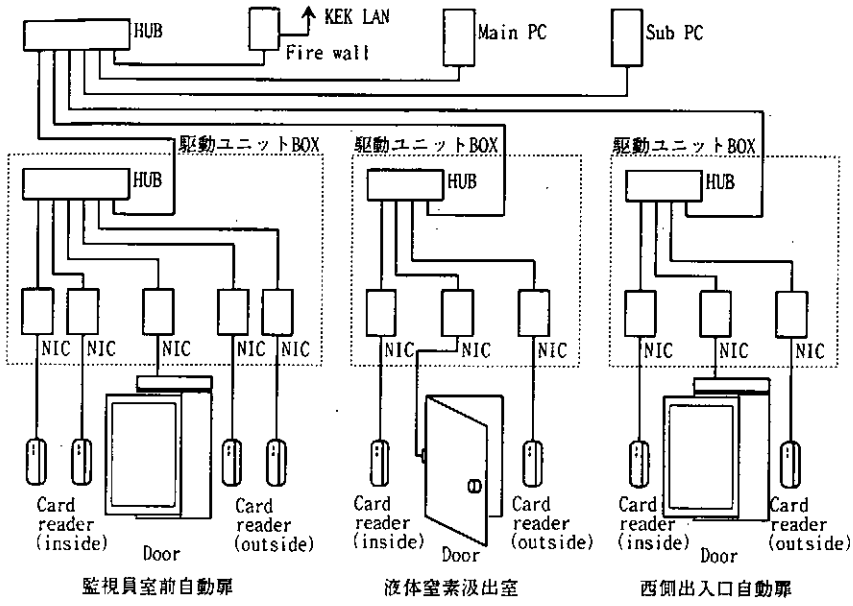


図 1: ハードウエアの構成

4 ソフトウエアの構成

入退室管理システムでは状態表示クライアント及びクライアントマネージャ操作パネル以外のすべてのクライアントプログラムと STARS サーバは同一 PC 内で動作している。ソフトウエアの構成を図 2 に示す。

今回は STARS サーバ自体については既存の物を利用したが、カードリーダクライアント、ドア管理クライアント、Logger、クライアントマネージャ、状態表示クライアントは新たに作成した。なお、Logger 及びクライアントマネージャについては汎用的なものを作成することができた。

4.1 カードリーダクライアント

カードリーダクライアントは、カードリーダ毎に起動させる。NIC に接続された ID カードリーダからの入力がありデータが送られて来ると、パリティーのチェック等を行い、設定されたドア管理クライアント宛てにドアの開要求を出力する。ID カードの磁気情報は時として劣化している場合があるので、どの程度までの読み取りエラーを許容するかの設定が行える。また、読み取りエラーあるいは命令の受信によりカードリーダのブザーを鳴動させる。

4.2 ドア管理クライアント

カードリーダクライアントなどから ID 情報を含んだ開要求が送られてくると、その ID 情報が許可の対象になっているかのチェックを行いドアを開閉する。登録するチェック項目には正規表現が利用できるので、様々なチェックを行うことができる。当然、完全に一致する場合のみに許可を出すようにもできる。なお、項目は複数登録かのうである。。

4.3 Logger

Logger は"record"命令あるいは"_record"イベントを受信すると、日付、時間、メッセージ送信元の情報を付加しログファイルに記録する。ログファイルは日毎の別ファイルとなり、内容はテキストファイルであるのでテキストエディタなどで容易に閲覧できる。本クライアントプログラムは汎用的であるため、入退室管理システム以外でも利用可能である。

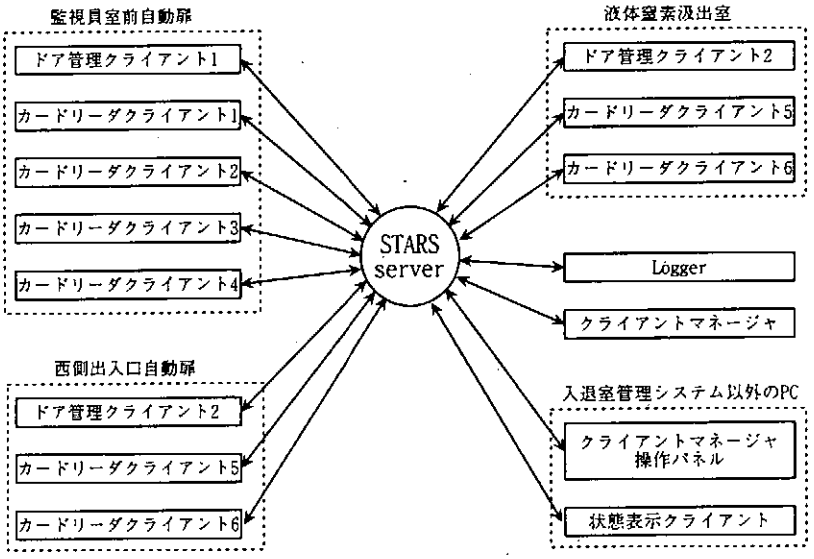


図 2: ソフトウエアの構成

4.4 クライアントマネージャ

クライアントマネージャはあらかじめ登録されたクライアントプログラムの実行を開始したり、停止したりするものである。実際にクライアントの起動や停止を行うプログラムと、GUI(Graphical User Interface) による操作パネル部 (入退室管理システムとは別の PC 上で動作、図 3 参照) に分かれる。

クライアントマネージャを利用すると、STARS は GUI により機能の追加及び削除を動的に行うことのできるシステムとしての方向性がより強くなる。操作パネルも含めクライアントマネージャは Perl を使用して作成されているので様々な OS 上で動作することが可能である。また、Logger 同様汎用的であるため、入退室管理システム以外でも利用可能である。

本プログラムは、あらかじめ登録が必要ではあるがネットワークを通じてプログラムの起動が行えてしまうので、取り扱いについては十分注意が必要である。

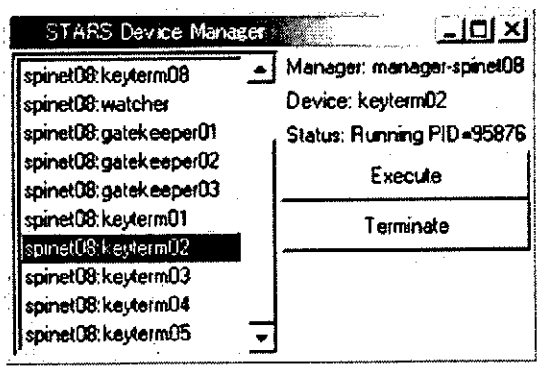


図 3: クライアントマネージャ操作パネル

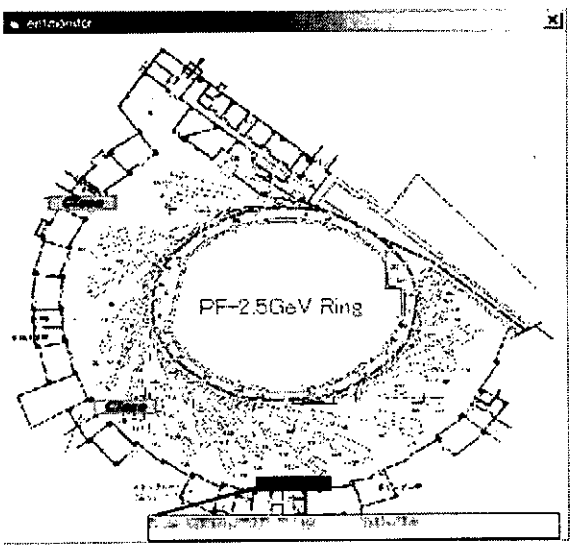


図 4: 状態表示クライアント

4.5 状態表示クライアント

状態表示クライアント (図 4 参照) は、現在の各ドアの開閉状況を表示する。実際に入退室が行われた際は画面上に ID 情報が表示される。本クライアントプログラムは Visual Basic を用いて作成されており、入退室管理シス

テムとは別のPC上で動作する。

5 実際の動作

システム更新に関しては、はじめから大きなトラブルに見舞われた。今回利用するNICに関しては導入前十分なテストを行ったつもりであったが、実際に運転を開始するとすぐにハングアップを繰り返すようになった。

5.1 システムを停止せずに改造

入退室管理システムは既に運転を開始しており、保守のための閉鎖は不可能となっていた。ハングアップの原因を究明するためには、クライアントプログラムに対しさらに多くの情報をログデータ残すため改造を行う必要があったが、STARSはここで威力を発揮した。

ここでは予めプログラムの改造を行い、入れ替えの必要があるクライアントプログラムについてのみ、停止と再起動の作業を行った。それぞれの作業は10秒以内で行うことができたため、この改造は誰も気づかない間に終了してしまった。

5.2 ログデータの解析

トラブルの原因究明にあたってはLoggerが大きな役割を果たした。Loggerへメッセージを保存する手順も非常に簡単で、改造の必要のあったクライアントプログラムへの機能追加も最小限であった。

しばらく様子を見るために運転を行い、ログデータを確認したところノイズ等の原因でNICがハングアップしているような兆候が見られた。また、この他に何らかの原因でシリアルポートの転送先情報が書き換わっている事がわかった。

この結果を受けて、ノイズに関する対策を行うと共にRS-232C周辺のプログラムの改良を行った。

6 まとめ

今回の入退室管理システムではNIC自体がハングアップしてしまうという大きな問題が発生した。システム構築前に十分な動作テストを行ったつもりであったが、テスト内容が不十分であった事等が反省点として挙げられる。

一方、STARSに関しては入退室管理システムにも有効である事が確認できたと共に、他のシステムで利用できるクライアントプログラムを開発することができた。

入退室管理システム全体に関しては、問題解決のためのいくつかの対処を行い、一応は安定して動作しているが、NIC周辺等に大きな見直しをする必要がある。今後この点については、STARSの「保守の際システム全体を停止する必要はない」という特徴を生かし、運転を続けながら改造を行ってゆく予定である。

7 参考文献

[1] 小菅隆, 斉藤裕樹, 伊藤健二, "計測・制御用簡易メッセージ配信システムの開発", 東北大学技術研究会報告 (2001) 220

[2] T. Kosuge, et al., "COACK APPLICATION FOR THE BEAMLINE INTERLOCK SYSTEM AT THE PHOTON FACTORY", PCaPAC2000, Hamburg, 2000

[3] 斉藤裕樹 他, "PF-ARの新しいインターロック集中管理システム", 本技術研究会, NIFS

[4] I. Abe, et al., "COACK-II PROJECT ON ACCELERATOR CONTROL KERNEL DEVELOPMENT", ICALEPCS'99, Trieste, 1999

[5] I. Abe, et al., "Recent status on COACK project", PCaPAC2000, Hamburg, 2000

[6] 阿部勇 他, "大学研究所間共同開発プロジェクトCOACK", 本技術研究会, NIFS

[7] 小菅 隆, COACK開発チーム, "Non-Windowsシステム用COACKインターフェース", 本技術研究会, NIFS

UVSOR の軌道変動

分子科学研究所　KEK[1]　佐賀大[2]
○ 林　憲志　加藤正博　保坂将人　持箸晃　木下敏夫　山崎潤一郎　高嶋圭史
本田融[1]　堀洋一郎[1]　江田茂[2]

要旨

UVSOR の Beam Position Monitor (BPM)システムを更新した。新しい BPM システムは検出回路系に Bergoz 社の市販モジュールを使用し、順調に稼動している。位置読み取り精度は 10mA 以上のビーム電流で数 μm であった。新システムでは高速な測定が可能となり、入射の時間が短縮された。また、データの継続的な蓄積が可能となったことにより、さまざまな時間スケールでの軌道変動が観測されるようになってきている。

1. はじめに

UVSOR ストレージリングはそれぞれが 4 つのボタン電極からなる 16 組の BPM 電極を備えている（図 1）。それらはビームダクトに取り付けられており、偏向電磁石の上下流に計 16 個所ある。既存の BPM システムは、1980 年代前半に配備された [1]. この旧システムでは、各電極からの信号は同軸リレーによって切り替えられ、シーケンシャルに読み取られていた。このため、軌道を一回測定するのに約 1 分が必要であった。信号レベルの調整も自動ではなく、測定ごとにビーム電流値に応じて測定者が調整していた。迅速かつ正確に軌道を測定するため、BPM システムを更新することとした。

UVSOR では、高度化が計画されている [2].ビームのエミッタンスは 6 分の 1 になり、挿入光源の数は倍になる予定である。高度化後は、BPM システムの占める役割はより重要なものとなる。軌道のドリフトは実効的な輝度を低下させるので、正確に測定した上で補正しなければならない。また、挿入光源の独立調整を可能にするためには、挿入光源のギャップ変化に伴う軌道変化を正確に捉えて補正する必要がある。



図 1. BPM 電極

2. BPM システムの更新

新 BPM システムは 16 の信号処理モジュール（Bergoz 社 [3]）を備えている。このモジュール内では、電極で発生したバンチ信号は UVSOR の RF 周波数である 90MHz でフィルターにかけられた後ヘテロダイン検波され、増幅出力される。このシステムでは全ての電極信号は、切り替えリレーは使用せず直接モジュールに並列接続されている。典型的なケーブル長は約 15m であり、各 BPM ごと（4 本）のケーブル長の違いは数 cm に抑えられている。信号処理

モジュールは、水平・垂直のビーム位置に対応する 2 つの電圧信号を DC で出力する。この出力信号はパーソナルコンピューターに送られ、16 ビット精度で A/D 変換される。読み取り速度は 1000 回/秒であるが、測定精度を高めるために約 1 秒間積算される。データは PC 上に蓄積されるとともに、UVSOR のコントロールシステム[4]に送られる。

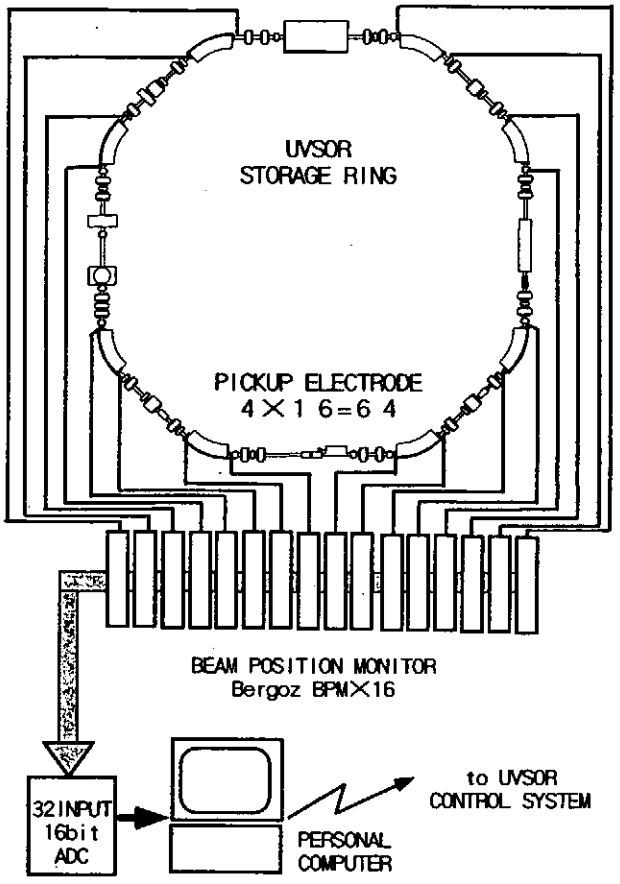


図 2　BPM システムの構成

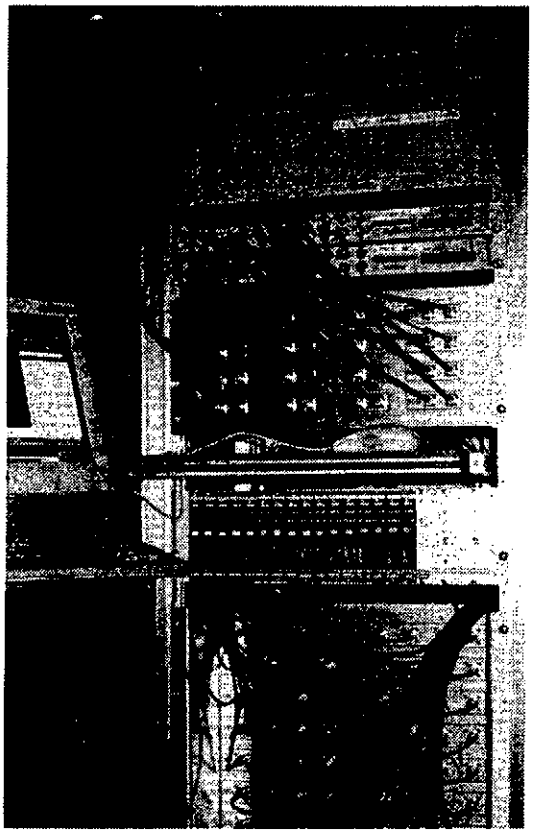


図 3　BPM 信号処理系ラック

ビーム位置検出精度を検証するため、ビーム位置の検出値のばらつきを複数の電流値で測定した（図 4）。その結果、10 mA 以上のビーム電流値においては、検出値の標準偏差は数 μm 以下であることが分かった。

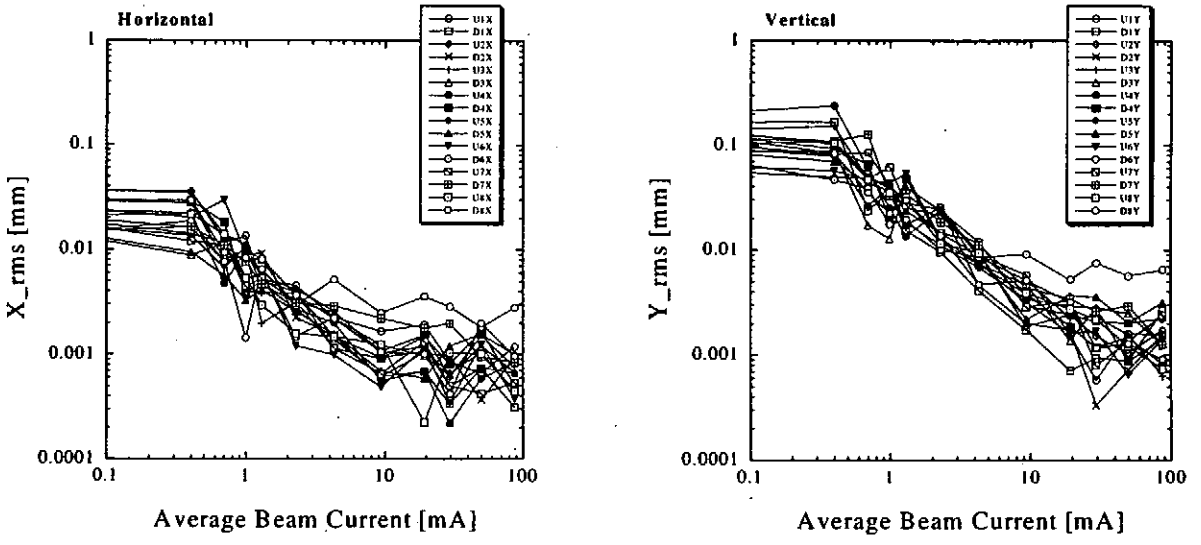


図 4　ビーム位置読み取り値の標準偏差　水平(上)　垂直(下)
（各電流値について 5 回の測定の標準偏差を 16 個の各 BPM について示す。）

3. 軌道変動

新 BPM システムの導入によって、さまざまな時間スケールでの軌道変動が観測されるようになった。ユーザーラン中の典型的な軌道変動を図 5 に示す。UVSOR の入射スキームは、ビーム入射の後ビームエネルギーを 600MeV から 750MeV へ上げ、軌道補正を行った後ユーザーへ提供するというものであるが、図 5 はその後の変動を示している。変動の大きさは、数百 μm のオーダーである。別の軌道変動の例を図 6 に示す。このデータは冷却水の温度調整機構が故障しているときにとられたものである。このときマグネットやチャンバーの冷却水の水温が約 10 分の周期で 2℃程度変動した。これは、クーリングタワーの周期的な ON/OFF によって引き起こされたものである。水温変動に伴う周期的な軌道変動が観測された。変動の大きさは数十ミクロンのオーダーであった。

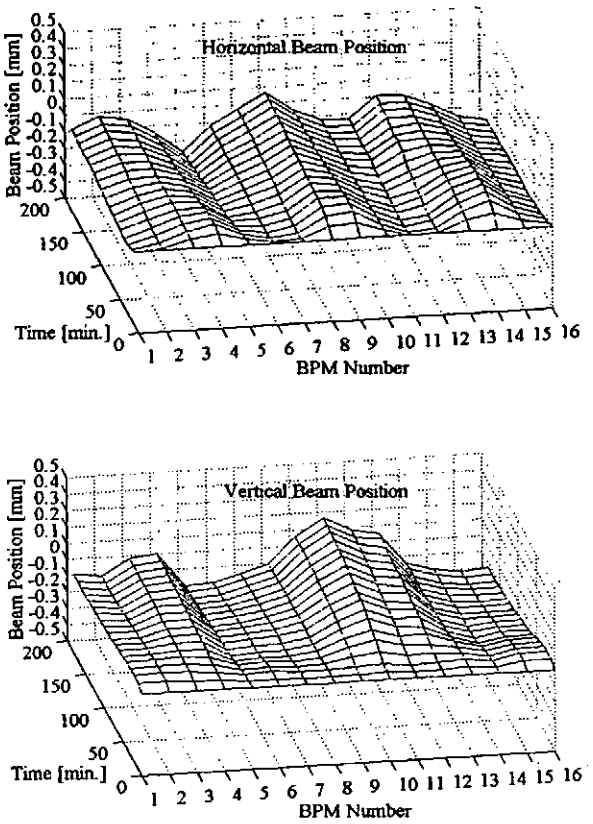


図 5　ユーザー運転中の典型的な軌道変動

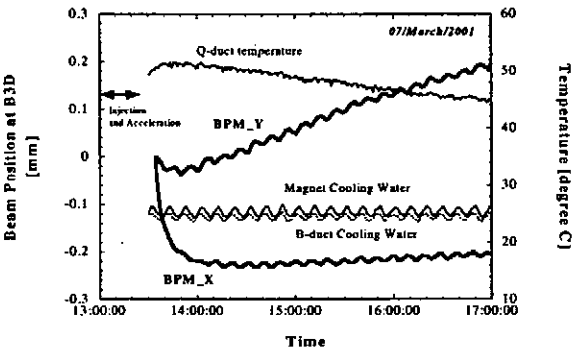


図 6 冷却水の水温変動によって引き起こされた軌道変動の例

4. まとめ

UVSOR の BPM システムを更新した。新システムは順調に稼動しており、1 秒ごとに数ミクロン以内の誤差で軌道を観測している。これによって入射の時間が短縮された。また、ユーザー運転中に小さいとはいえない軌道変動があることがわかった。これらの原因を今後追求していく。また、新 BPM システムを使用した軌道安定化システムを構築していく予定である。

5. 参考文献

[1] T. Kasuga et al., Proc. 5th Symp. Accel. Sci. Tech. (Tsukuba, 1984), 145

[2] M. Katoh et al., Nucl. Inst. Meth. A467-8 (2001), 68

[3] http://www.bergoz.com

[4] N. Kanaya et al., Nucl. Instr. Meth. A 352 (1994) 16

ＬＡＮアダプタを用いた緊急通報装置の試作

分子科学研究所 技術課　○吉田久史、水谷文保、加藤清則

１．はじめに

実験机上でナスフラスコを加熱し合成実験をしていたところ、ナスフラスコが破裂し、ガラス破片と薬品が飛散し、実験者の腕を直撃した。腕にはガラス破片が突き刺さり、血が滴り落ちた。電話をかけようとしたが腕がしびれて指が思うように動かせず、受話器が取れない。プッシュボタンが押せない。そこへ、共同実験者が戻ってきて適切な処置を行った。共同実験者が所要で退出していたほんの十数分の出来事である。この事故を教訓に緊急通報装置の導入を検討した。各実験室に備える緊急通報の方式として、3つの方法が検討された。

(1) 専用線による緊急通報スイッチを取り付ける。

(2) 電話線を利用して、電話器に接続したスイッチを押すと警備員室の電話に個別メッセージが流れる。

(3) 全室に張り巡らされたイーサネットを利用して、緊急通報システムを開発する。

本発表は(3)の方式に基づいた試作器の紹介である。

２．緊急通報システムのハードウェア

図１に緊急通報システムの構成を示す。装置は、各実験室に設置するLANアダプタを用いた緊急通報スイッチ端末（クライアント）とスイッチの状態を監視するためのパソコン（ホスト）から成る。一般的にパソコンやプリンタなどをLANに接続するためのLANボードのことをLANアダプタと呼んでいるが、ここではネットワークのインターフェースを持たない装置をシリアル・ポートやパラレル・ポートを介してネットワークに接続するためのインターフェースを指している。現在では、このような用途の組み込み型LANアダプタは多くの種類があり、安価な製品も市販品されている。そこで本システムでは、(株)ラステーム・システムズのLCNV-232C（LAN-シリアル通信変換ボード)を使用することにした。写真１にLANアダプタの概観を、表１にその仕様を示す。

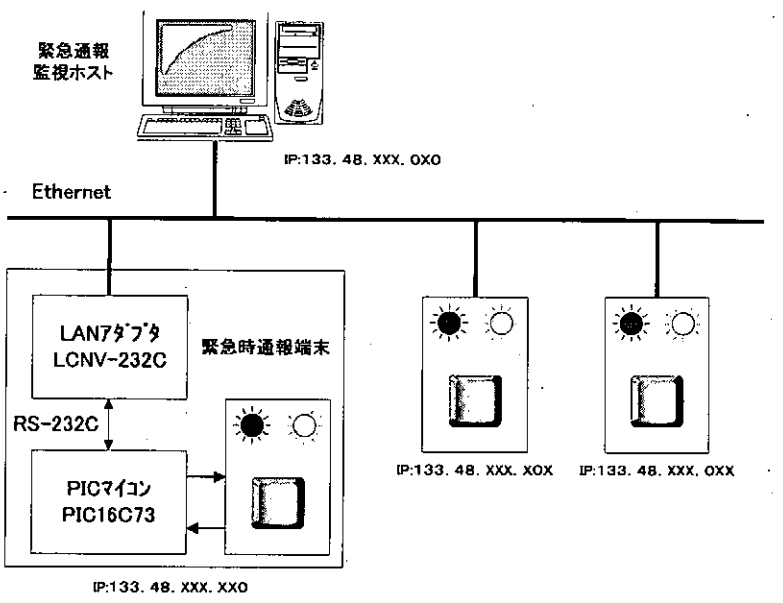


図１．緊急通報システムの構成

緊急通報の手順には二通りの方法がある。手順①はホストがクライアントにスイッチの状態を問い合わせ、クライアントからの応答（ステータス）でスイッチが押されたかどうかを判断する方法である。また、手順②は緊急スイッチが押されたクライアント自身が、ホストに対して緊急通報（メッセージ）を発信する方法である。いずれの場合も、ホストはデータの送信元のIPアドレスを調べることで、何処の実験室からの通報であるかを特定することができる。このような二通りの通報手順を実現するために、LANのデータ通信プロ

トコルにUDP(User Datagram Protocol)を採用した。このプロトコルでは、TCP(Transfer Control Protocol)のようにデータ伝送に先立ってホストとクライアント間の接続を確立するという手順が無く、要求があればクライアントからでもホストからでも送信を開始することが可能となる。しかし一方では、通信の信頼性が低いプロトコルであり、データが確実に相手に伝わるという保証が無い。そこで手順②で発信されたメッセージをホストが受信できなかった場合を想定し、手順①でそれを補うことにした。

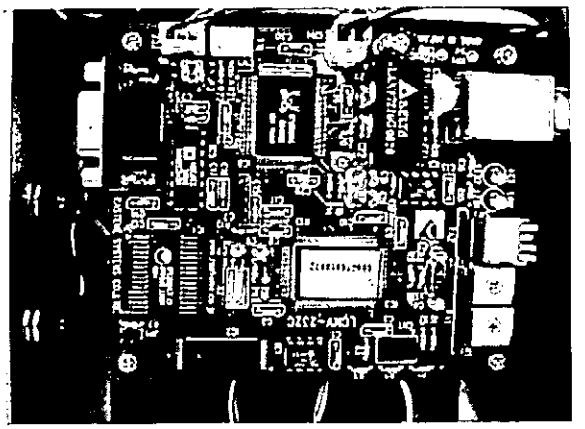


写真１．　LCNV-232C 基板

イーサネット側スペック
TCP/IPプロトコルの採用
ソケットスルー
TCP/UDPを切り換え可能
10Base-Tインターフェイス
IPアドレス、ネットマスクは専用ソフトで設定可能
ボード内のロータリーコードスイッチでIPアドレスの変更が可能です。
RS-232C側スペック
最大ボーレート　230Kbps(RS232C 使用時)
最大ボーレート　460Kbps(TTL　レベル使用時)
RS-232C(D-SUB、内部コネクタ)、TTLレベル信号を選択可能
ボーレート、ビット数、パリティ等は専用ソフトで設定可能
その他
ボード寸法　100mm×90mm(突起部は含まず)
電源電圧　DC+5V

表１．LCNV-232C 仕様

ホストークライアント間の緊急通報の手順を実行するには、端末側にある程度インテリジェントな回路が必要となる。そこで、マイクロチップ・テクノロジー社の PIC マイコンというワンチップのマイクロコントローラを用いることにした。多くの PIC シリーズの中から、USART(Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter)というシリアル通信の周辺回路を内蔵した PIC16C73 を選択した。このマイクロコントローラに関しては、平成９年度　核融合科学研究所技術研究会報告書　P.95 で紹介しているので参考にして頂きたい。製作した回路の図面を図２に、回路基板を写真２に示す。回路図で分かるように PIC マイコンは、水晶振動子と僅かな RC の外付けで使用できる大変便利なチップである。LAN アダプタとのシリアル通信は、送信データ信号線(TXD)と受信データ信号線(RXD)のみを使う簡易型の通信である。PIC16C73 のこの信号

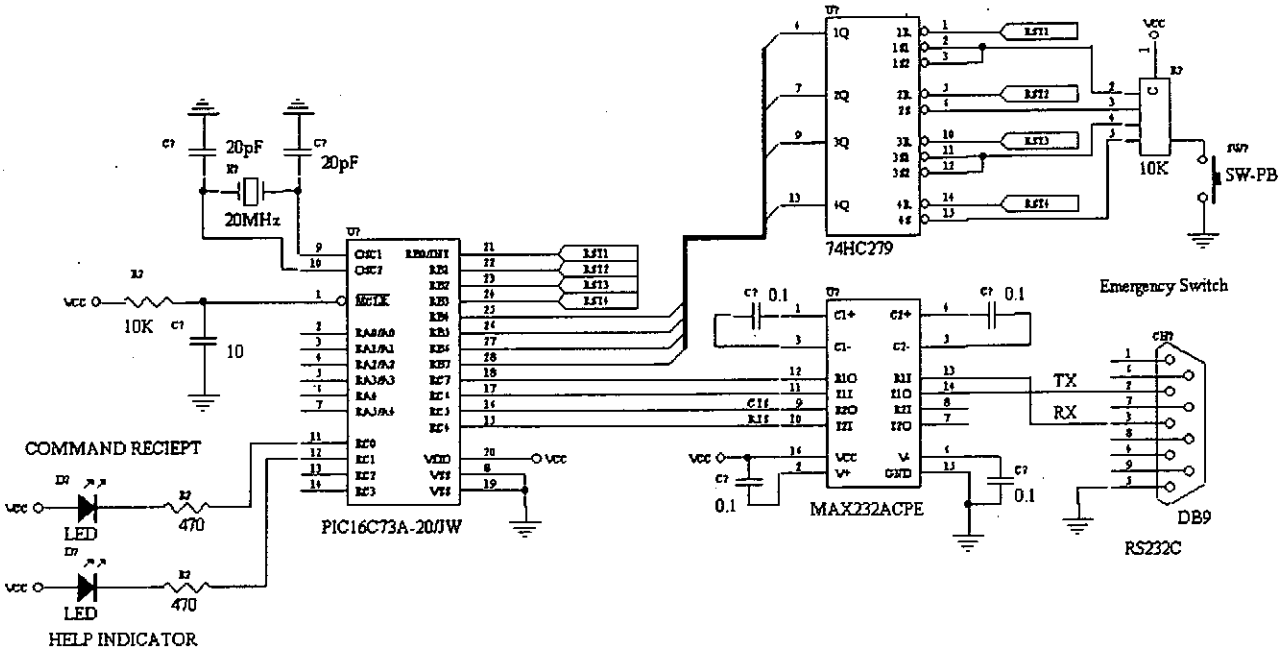


図２．緊急通報スイッチ回路図

線は I/O ポート(RC6, RC7)と共通で使われ、プログラム上でその切り替えを行う。そのポートに接続した MAX232ACPE は、RS-232C 信号のレベル変換用の IC であるが、LAN アダプタが TTL レベルのシリアル通信を提供しているので必ずしも必要ではない。筆者はパソコンのシリアル・ポートに接続して回路の動作テストをする、ので使用した。74HC279 は NAND 回路で構成されるフリップ・フロップで、スイッチの状態をラッチするために用いた。この出力は、入力ポート(RB4)で PIC マイコンに読み込まれ、出力ポート(RB0)によりクリアされる。I/O ポート(RC0, RC1)で駆動する LED は、スイッチの状態の確認用と、ホストからのコマンドを受信した際に点燈することで、システムが正常に動作していることを確認するのに使っている。表 2 に緊急通報スイッチ回路の仕様をまとめた。また、回路基板と電源モジュールを実装した端末装置とスイッチ部の外観を写真 3 に示す。

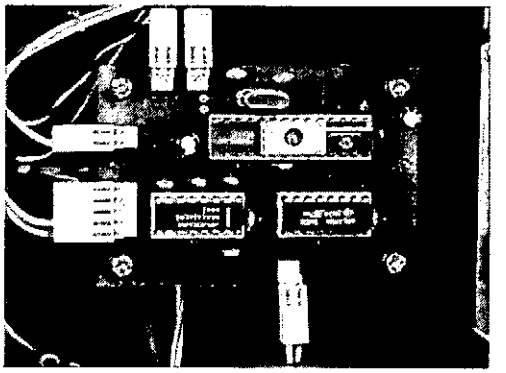


写真２．緊急通報スイッチ回路基板

緊急通報端末のRS-232C設定(プログラムで変更可)	
通信速度	9600bps
ビット数	8ビット
パリティ	なし
ストップビット	1
コマンド－レスポンス機能	
"S"コマンド受信時－スイッチのステータスを返信。 スイッチ開時:"0"閉時:"1"	
"C"コマンド受信時－スイッチをリセット。同時にステータス"0"を返信	
コマンド受信時－LEDモニター(緑)を点燈。	
緊急通報機能	
スイッチが押されたとき、"HELP"文字列をホストに送信	
LEDモニター(黄)を点燈	

表２．緊急通報スイッチ回路の仕様

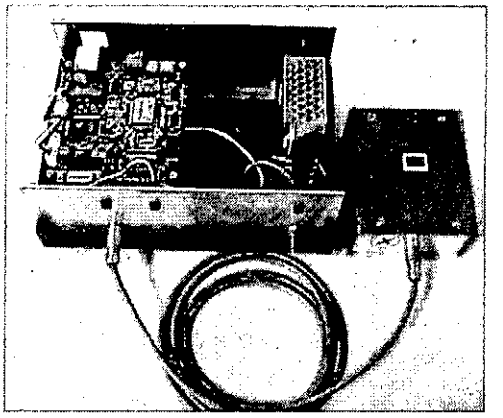


写真３．端末装置の外観

緊急通報の手順を制御するための PIC のプログラムをアセンブラで開発した。ここでは、紙面の都合でそのフローチャートのみ記載する。メイン･ルーチンは、内部レジスタの初期設定を行なった後は、ホストから送られるコマンドを受信するまで待機する。スイッチの状態の調査やホストとの間のシリアル通信は、全て割り込みサービス・ルーチンの中で処理される。通常時の割り込み要因は、内部タイマ 0 による割り込みと USART の受信割り込み（1 バイト毎)の二つである。前者の割り込みは、スイッチの状態を調査する処理に使用している。三番目の割り込み要因は、プログラムの中で発生させる USART の送信割り込みである。これはメイン・ルーチンの中でコマンドに応答してステータスを返信する際と、割り込み処理の中でスイッチが押されたことにより緊急通知を発信する際に、送信割り込みをイネーブルに設定することで発生する。そして、この送信割り込みの設定は、割り込み処理の中で送信バッファにある文字列全ての送信が終わったとき解除する。以上が PIC マイコンのプログラムの大まかな処理の流れである。

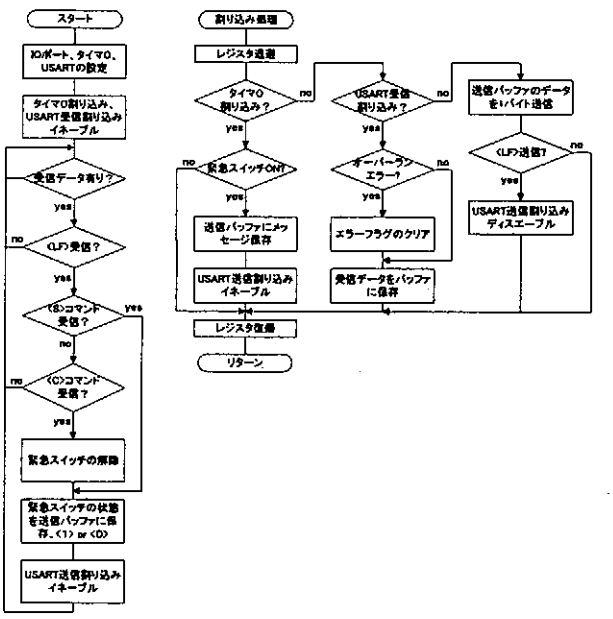


図３．PIC マイコンのプログラム・フローチャート

3．緊急通報システムのソフトウェア

ホストとして Windows マシンを用意し、緊急通報システムの動作を確認するための簡易モニター・プログラムを VB(Visual Basic 6.0)で制作した。図 4 にそのプログラムのメイン・フォームを、図 5 に環境設定のためのフォームを示す。環境設定フォームは、クライアントの IP アドレスなどのネットワーク環境の設定を行うためのフォームである。メイン・フォームで通信を開始すると、ホストは環境設定で登録したリモートアドレス順にステータス・コマンドを送信し、その応答をテキスト･ボックスに表示する。その時、緊急通報のスイッチが押されていれば、クライアントの IP アドレスを緊急通知先のリスト・ボックスに保存する。また、緊急通知のメッセージを受け取った時も、同様の処理を行なって通報を知らせる。

TCP や UDP のネットワーク・サービスを利用したアプリケーションは、VB を利用すれば非常に簡単に制作できる。その手順は、Winsock コントロールをフォームに貼り付け、そのプロパティの通信プロトコルやポート番号などを設定する。そして、データを送信する場合には SendData メソッドを呼び出し、またデータを受信する場合には DataArrival イベントが発生するので、その中で GetData メソッドを呼び出してメッセージを受け取れば良いのである。図 6 はプログラム開発時の Winsock のプロパティ・ウィンドウである。

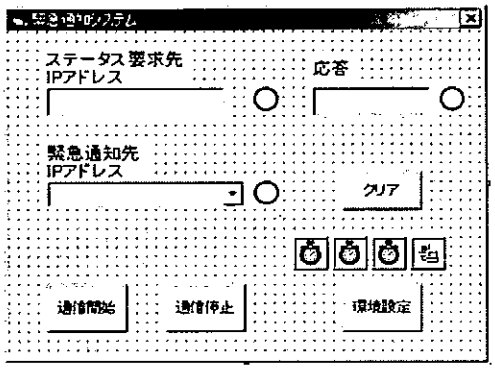


図４．緊急通知システム・メインフォーム

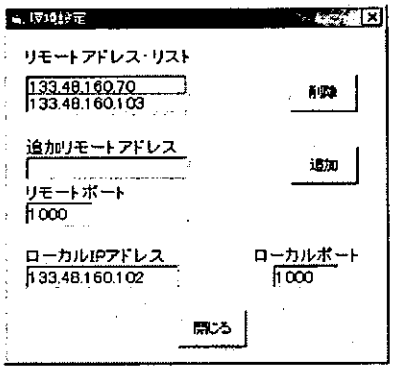


図５．環境設定フォーム

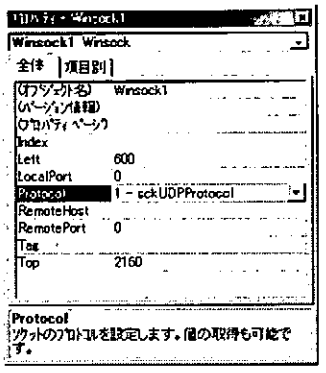


図６．Winsock のプロパティ

4．おわりに

今回は緊急通報スイッチ端末を 2 台製作し、ネットワークに接続したパソコンとの間で通信テストを行なった。結果は概ね良好であったが、時折クライアントからのデータをホストが受信できないことがあった。その原因を詳しく調べてはないが、UDP というプロトコルを採用した時点で想定されたことであり、システムの運用上は問題ないと考えている。あくまで試作ということで、端末のハードウェアも監視側のソフトウェアも動作を検証するためだけの簡易的なものである。今後はもう少し試験運転を重ね、・緊急通知を表示すると共にブザーなどの警報器と連動させる。・実験室の部屋番号を知らせるための専用の表示装置を設ける。・操作性や端末の管理がしやすいプログラムを開発する。などの改良を加えより実用的なシステムに近づけて行きたいと考えている。

カードリーダーとパソコンとWebを連結した入退室システムの構築

名古屋大学工学部・工学研究科技術部
増田 俊雄、若松 進、堀木 幹夫

はじめに

現在、カードリーダーを利用した入退室システムは広く外注で製作可能である。しかし、種々のレベルの入退室システムを構築する場合や、仕様の変更をしばしば行いたい場合は、システムを構成する要素から構築を試みる事は無意味ではない。

厳密な入退室管理を求められる非密封線源使用の放射線施設を模擬して、入退室システムをその構成要素であるカードリーダー、制御用パソコン、制御用電源（自作）、放射能測定機器（ハンドフットクロスモニター(ＨＦＣ)を模擬したサーベイメーター）により製作した。また、入退室システムをローカルエリアネットワーク(ＬＡＮ)と連結する事により、入室状況等をリアルタイムで監視する事も可能となる。

１．放射線施設の入退室システムとは

放射線施設は法律により、厳密な入退室管理が求められる。カードリーダーを用いた放射線施設の入退室システムについて、非密封放射性同位元素取り扱い施設の例を取って説明する。実験室への入室者は予め登録したカードをカードリーダーに読ませる。カードリーダーで読み込まれたデータはパソコンに送られ、登録された作業従事者かどうかの認証を行い、登録者であれば、電気錠に信号を送り解錠する。入室者はそれを確認して実験室へ入る。パソコンは入室者の氏名、入室時間等を記録する。退出時は同様の操作を行い、さらに放射能測定器で汚染の確認を行う。汚染のない事が確認されないと電気錠は解錠されないシステムになっている。実験者が退室するとパソコンに入退室者の入（退）室時間、退出時の放射能レベル等の記録を行う。こうしたシステムにより、法律に厳密に適合した管理が可能になる。

２．入退室システムの構成

今回、構築した入退室システムの構成を表１に示す。カードリーダーはオムロン（株）のものを用いた。カードは名古屋大学の職員証を用いた。制御用のパソコンは NEC（株）の PC-98 機を用いた。放射能測定機器には HFC モニターを用いるべきであるが、可搬型のＧＭサーベイメーターで代用した。制御用のソフトはＯＳの Windows98 との適応を考慮して Visual Basic を用いた。

表１　製作した入退室システムの構成

要　素	規 格
カードリーダー	オムロン　3S4YR-HNFR-002
制御用パソコン	ＮＥＣ　PC-9821V233
ハンドフットクロスモニターの模擬	アロカ製GMｻｰﾍﾞｲﾒｰﾀｰTCS-161
電源	COSEL　K25A
制御ソフト開発環境	Visual Basic 6.0

３．具体的なシステム構成

３．１．制御の流れ

図１に入室時のシステムのフローチャートを示す。カードリーダーにカードを読ませるとそのカードの認証を行う。カードが登録されていなければ、登録されていないという表示がされる。登録カードと認証された場合は電気錠に信号が送られ、入室ＯＫの表示が出る。その後、入室が速やかに行われない場合は入室を促す表示（例えばランプの点滅等）がされ、それでも入室がない場合はカードの読みとり、電気錠の解錠状態が取り消される。入室後は扉の開け放しに対して警告が出される。すべての入室操作が完了後、入室のデータがパソコンに記録される。

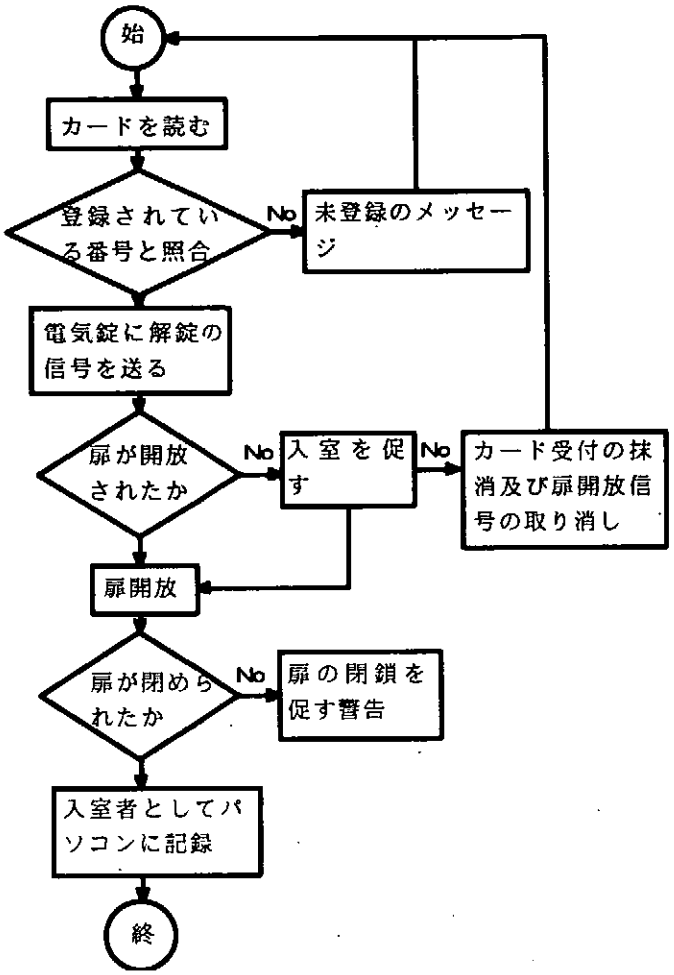


図１　入室制御のフローチャート

退出時には放射能測定機器による汚染検査が必要となり、システムは若干複雑になる。１回目のカードリーダーの読みとりは汚染検査結果と測定者の照合であり、２回目のカードリーダーの読みとりは退室者が汚染検査をパスしているかどうかの判定のために必要となる。退室後、入退室者の実験室滞在時間や退室時の放射能検査結果等がデータベースとして蓄積され、管理される。以上で記述した制御プログラムを変更したい場合は設定により簡単に変更出来る。設定変更画面の一例を図２に示す。例えば、入室時にカードをカードリーダーに読ませ、入室可となった後、入室がなされない場合は入室の許可が取り消される。図の設定（ドア開猶予時間）では４秒後に取り消される様になっているが、対話式の画面で自由に変更出来る。

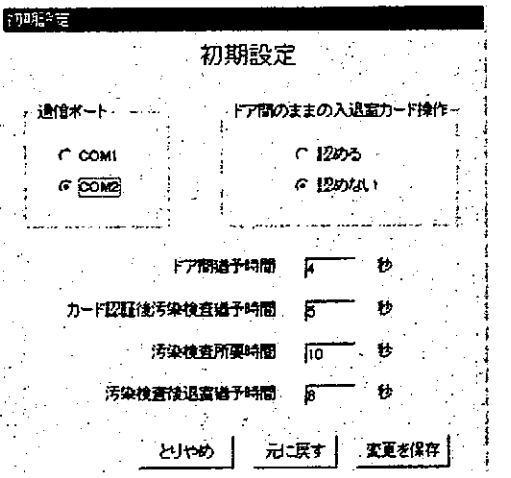


図２　設定変更画面

３．２．パソコンとのインターフェース（ハード面から）

３．１にシステムのソフトの面からの制御を記述したが、この節ではハードな信号制御について述べる。図３に今回作成したシステムにおける信号制御の流れを模式的に示す。信号の送受信にはRS-232C 端子を用いるのが一般的であるが、今回

使用したパソコンには RS-232C 端子が１つしかなかったため、プリンターポートを利用してカードリーダーからの信号入力を切り替えた。扉の開閉状況、ＨＦＣモニターの測定状態、ＨＦＣモニターの測定値が設定値を越えたかどうかのセンシングにはプリンターポートの入力線を用いた。また、扉の錠開閉の電源、サーベイメーター（ＨＦＣの模擬）への電源供給もプリンターポートを通じて行った。こうした制御の方法はパソコンの持っているシリアルポートの数によって異なった形態となる。

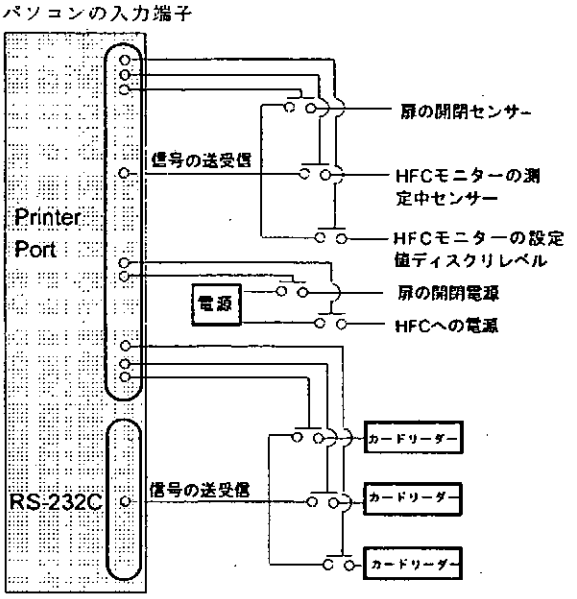


図３　パソコンとのインターフェース

３．３　Web による入退室情報の管理

以上のシステムにより入退室のデータがパソコンに蓄積・保存される。もし、パソコンがローカルエリアネットワーク（ＬＡＮ）等のインターネットに接続されている場合は、入退室の情報をリアルタイムで集中的に管理・監視する事が可能である。

図４に入退室情報を管理するためのブラウザ画面の一例を示す。例えば、画面上の入退室記録の項をクリックすれば、ある期間の入退室者の情報を掲示する事が出来る。また、在室者の項をクリックすると、リアルタイムで現在の入室者の情報が得られる。表２に入退室者のデータを Excel の表形式にしたもの示す。このような処理により、入退室者の管理も簡単に行える。

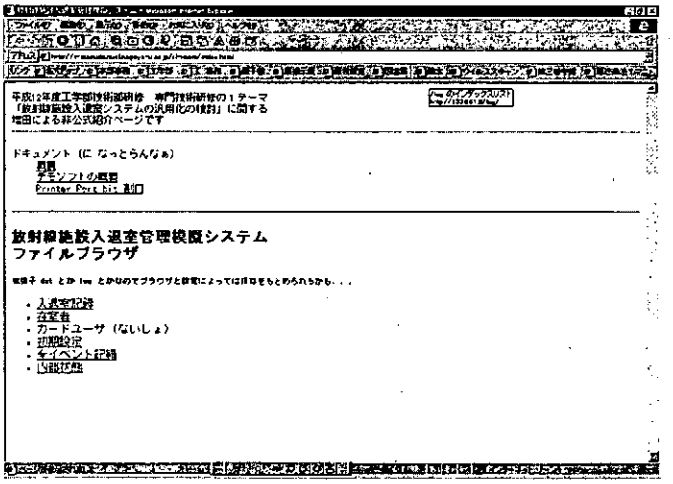


図４　入退室情報管理のブラウザ画面

表２　入退室情報の Excel へのファイル化

入室者	入室時刻 Y/M/D h:m	汚染検査時刻 Y/M/D h:m	退室時刻 Y/M/D h:m	滞在時間 h:m:s
A	2001/10/15 10:17	2001/10/15 12:23	2001/10/15 12:23	2:06:32
B	2001/10/15 13:11	2001/10/15 16:34	2001/10/15 16:34	3:23:07
C	2001/10/16 9:26	2001/10/16 10:31	2001/10/16 10:31	1:05:36
D	2001/10/18 15:43	2001/10/18 18:35	2001/10/18 18:35	2:52:39
A	2001/10/20 12:13	2001/10/20 13:09	2001/10/20 13:09	0:56:54
D	2001/10/21 22:51	2001/10/21 22:57	2001/10/21 22:57	0:06:07

4．入退室システムの価格検討

表3に今回製作したシステムと参照したシステムとの価格比較を行った。本研究のシステムは一式約30万円であり、参照システムは約200万円であった（いずれもＨＦＣの費用は含んでいない）。構成要素の選択により、価格は変動する可能性はあるが、外注製品に比べて格段に低価格によりシステムが構築されたといえる。

表3　入退室システムの価格比較

本研究によるシステム	外　注
カードーリーダー 15,750円 x3=47,250円 パソコン一式 ～150,000円 電気錠 ～80,000円	入退室システム一式 参照システム
合計　～277,250円	2,062,060円

5．まとめ

本研究により、既存のカードリーダーやパソコンを組み合わせて低価格に入退室システムが構築出来る見通しが立った。また、プログラムは自由に変更する事が可能であり、種々の入退室条件（例えば、入室のみの管理、退室時に汚染検査を必要としない場合等）に対応出来る。また、Webとの連結により、入退室情報のリアルタイムでの監視や、情報の蓄積・管理・整理が可能である。

JT-60 保護インターロック VME-bus システム開発

日本原子力研究所　那珂研究所　JT-60 第 1 試験室
○高野正二、赤坂博美、戸塚俊之、米川出

1．はじめに

JT-60 は、トカマク装置本体、ガス注入装置、磁場コイル電源、加熱電源等からなる大規模な核融合プラズマ実験設備である。

JT-60 保護インターロックシステムは、プラズマに起因する異常や、JT-60 各設備の機器故障などの非標準事態（約 100 点）が発生した場合に、プラズマを安全に停止すると共に運転員の安全確保および設備機器を保護するため、各計算機システムや JT-60 各設備に保護動作指令（約 20 点）を出力するハードワイヤードシステムである。図 1 に JT-60 保護インターロックシステムの概要を示す。保護インターロック CAMAC システムは、この非標準事態信号と JT-60 各設備の保護動作状態を、プラント監視を行う運転制御計算機システムに通知する役割を果たしている。図 1 は、地震が発生した場合の動作と記録の例を示す。

現在の保護インターロック CAMAC システムは、JT-60 の実験開始以来 18 年を経過したシステムであるため、経年劣化及び保守部品の入手困難により、今後の維持が困難になりつつある。そのため、新しいシステムに変更する開発を行った。

この発表では、この保護インターロック VME-Bus システムの開発について報告する。

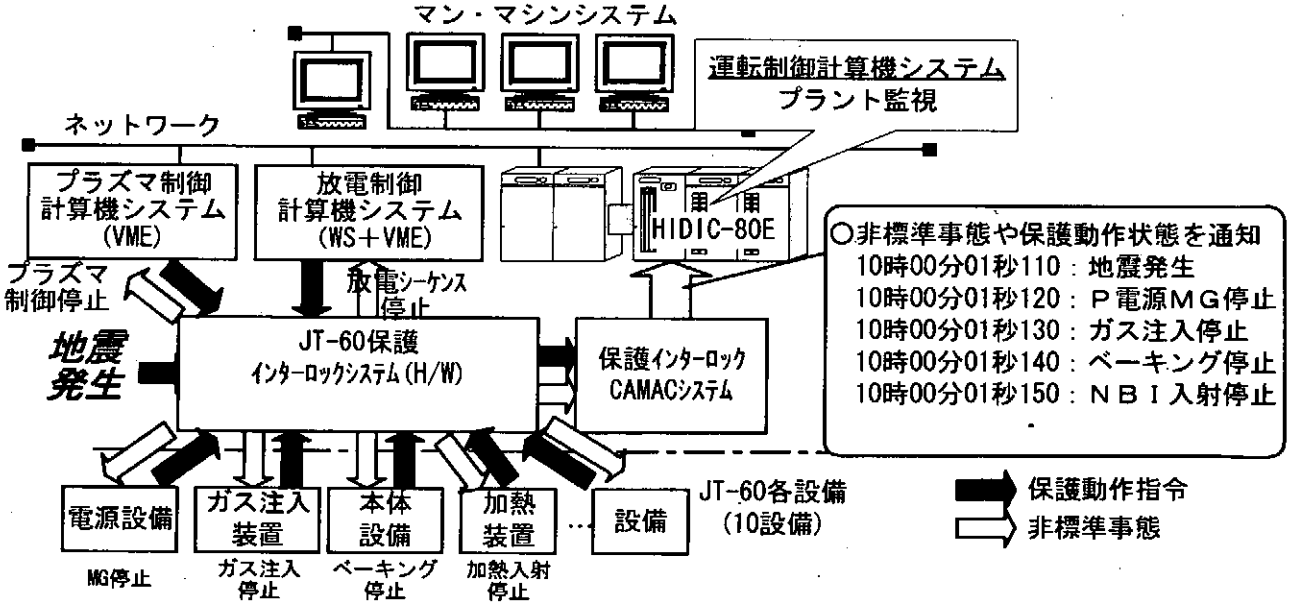


図 1　JT-60 保護インターロックシステムの概要

2．開発目標

新システムの開発にあたっては、下表の点を目標とした。

No.	開発の目標	手段
1	最新の CPU を搭載した計算機システムで構築する。	ワークステーション、パソコン、VME-bus、PCI-bus 等で構成する。
2	既存の制御システムへのネットワーク接続が容易	ワークステーション、パソコン、VME-bus をイーサネットで接続する
3	機能改造に伴う拡張が容易に可能	VME-bus のモジュール追加で容易に実現可
4	プログラム開発が容易	高級言語によるプログラミング
5	故障に対する自己診断機能を有する	VME-bus のバス監視モジュールで実現可能

これらを検討した結果、①JT-60 制御システムを、自前で VME-bus システムに更新した実績がある。②既存の VME-bus システムの予備品が使用できる、などの理由から、VME-bus システムによる開発を選択した。

3．新システムの製作内容

（1）全体構成

図 2 に新保護インターロック VME-bus システムのハードウェア構成を示す。

新保護インターロック VME-bus システムは、CPU ボードに 32 ビットマイクロプロセッサを搭載した MVME2604（モトローラ社製）と I/O モジュールから構成され、ネットワークを介して運転制御計算機システムのワークステーションと通信する。また、新保護インターロック VME-bus システムの CPU 停止や電源断などの異常を検出する RAS ボードを搭載し、システムに異常が発生した場合は、この RAS ボードを介して JT-60 保護インターロックシステム(H/W)に非標準事態信号を出力する。

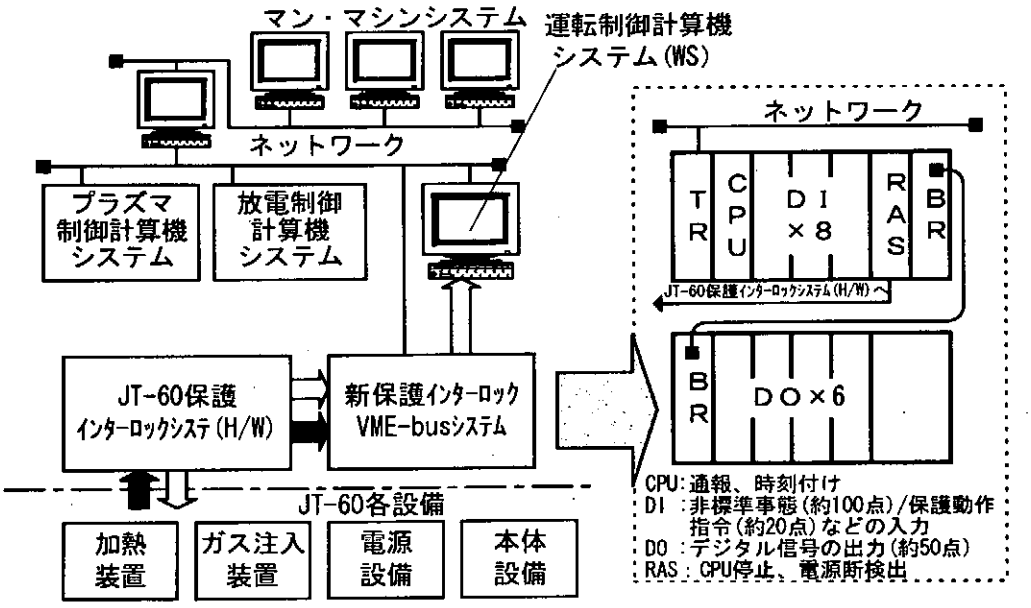


図 2　新保護インターロック VME-bus システムのハードウェア構成

（２）機能

① 非標準事態信号、保護動作指令の時刻付け（10msec 単位）

② 運転制御計算機システムへの通知機能

標準事態及び JT-60 各設備の保護動作状態を、運転制御計算機システムにネットワークを介して通知する。

③ 運転制御計算機システムの I/O 機能の代行

図３に現システム及び新システムの I/O 機能を示す。

従来の運転制御計算機システムでは、非標準事態発生時に JT-60 の運転状態を表示する大型グラフィック盤へ異常表示する信号（運転監視異常信号）の出力や、補助リレー盤の電源断信号等の入力を、プロセス入出力装置（PI/O）を介して実施していた。しかし、新しい運転制御計算機システムのワークステーションはプロセス I/O 機能を持たないため、新保護インターロック VME-bus システムが代わりに実行する。運転監視異常信号の出力の場合は、ネットワークを介して、運転制御計算機システムからデジタル信号の出力要求を受信し、DO を介し大型グラフィック盤に表示を実行する。また、補助リレー盤の電源断信号の場合は、DI を介して入力した信号を、ネットワークを介して運転制御計算機システムに通知する。

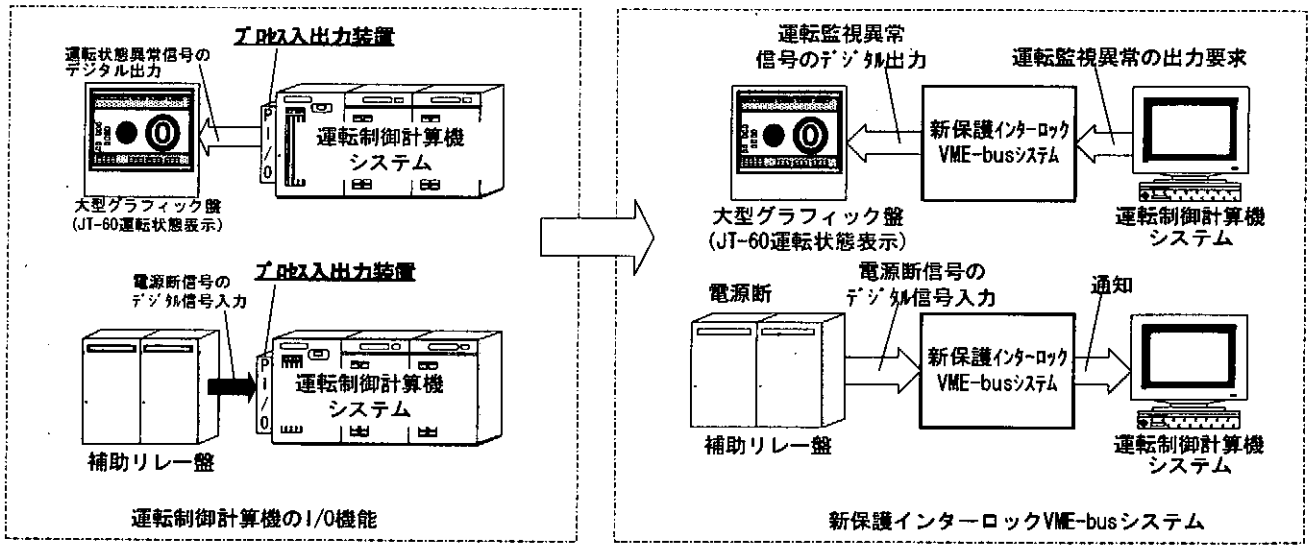


図３ 現システム及び新システムの I/O 機能

④ 運転制御計算機システムへの新保護インターロック VME-bus システムの故障通知

図４に現在の保護インターロック CAMAC システムと新保護インターロック VME-bus システムの故障通知方法を示す

保護インターロック CAMAC システムでは、電源断や CPU 停止時に JT-60 保護インターロックシステム(H/W)と運転制御計算機システムに、故障信号を出力していた。新保護インターロック VME-bus システムにおいても、JT-60 保護インターロックシステム(H/W)への故障信号は、RAS ボードを介して出力する。しかし、運転制御計算機システムへの通知は、ワークステーションがプロセス I/O 機能を有しないため、以下の方法で実施する。

・ 新保護インターロック VME-bus システムが正常時は、ネットワークファイルシステム(NFS)を介して、一定周期(3 秒周期)に運転制御計算機システムにアクセスする。

・ ソフト異常、CPU 停止、電源断が発生した場合に、このアクセスが停止することにより、運転制御計算機システムが、異常の判断を行う。

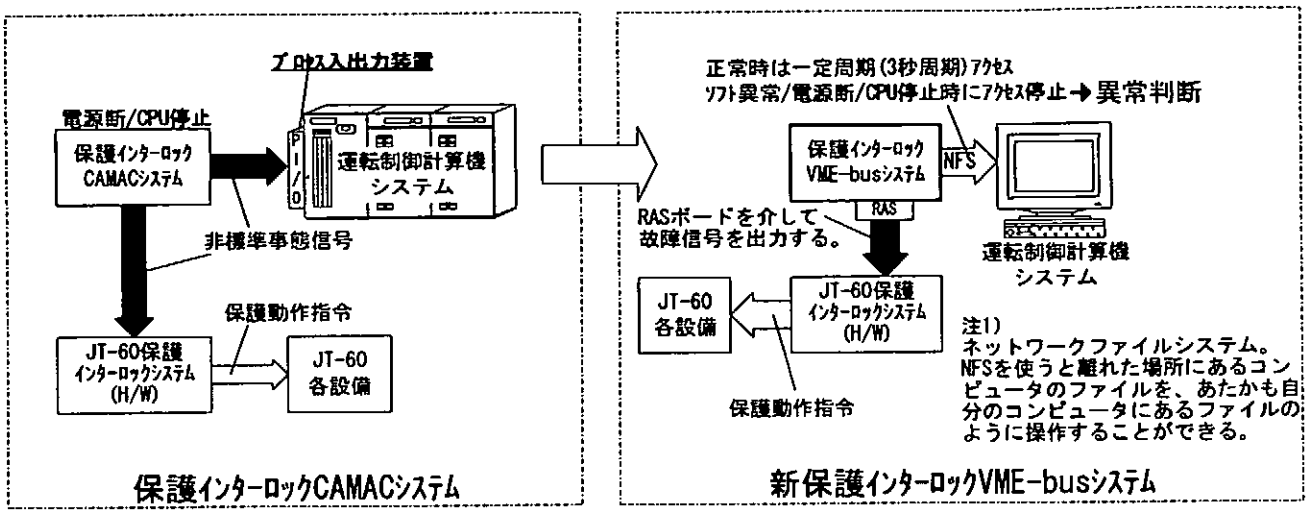


図 4 現システム及び新システムの故障通知方法

4．現在製作中のシステムの問題点と今後の対策

（1）時刻のずれ

時刻付けをおこなうために使用しているハードタイマによる時刻更新において、新保護インターロック VME-bus システムと同シリーズの CPU を搭載し、実稼動している放電制御 VME-bus システムを基準にして比較したところ、1 時間後で約 2 秒のズレが生じていた。

（2）原因

CPU のハードタイマの基本周波数(8.25MHz)と実測値にズレがあると予想される。(放電制御 VME-bus システムの場合は、実測値が 8.32MHz であった。)

（3）原因究明の方法

新保護インターロック VME-bus システムの CPU のハードタイマの周波数を測定する。下記に測定方法を示す。

① タイミングシステムの TMG を用いて、10 秒(精度(公称値)$\pm 1\times10^{-6}$)の基準時間を、保護インターロック VME-bus システムに入力する。

② CPU のハードタイマによるカウント数を計測する。

③ このカウント数を基に、ハードタイマの周波数を求める。

（4）今後の対策

ハードタイマの周波数を公称値ではなく、実測値で使用する。例えば実測値 8.33MHz の場合は、ハードタイマが 83300 回カウントする度に、割込みを発生させ、10msec 単位で時刻更新を行う。

5．まとめ

新保護インターロック VME-bus システムは、MVEM2604 を搭載した VME-bus システムで構成したことにより、開発目標である①最新の CPU を搭載した計算機システムで構築する、②ネットワークへの接続、③機能改造に伴う拡張が容易、④C 言語を使用してプログラム開発が容易、⑤RAS ボードを搭載し、CPU 停止、電源断などの故障検出を行う等の条件を達成した。

Cinosでの多重割り込み処理と時間遅延

Multi Interruptions and Time Delay on Cinos

核融合科学研究所
○高橋千尋、岡村昇一、磯部光孝、吉村泰夫、居田克巳、西村　伸、
南　貴司、藤澤彰英、野村和泉、鈴木千尋,榊原　悟、井口　春和、
横田光弘、松岡啓介, CHSグループ

1. はじめに

Compact Helical System (CHS)はLHDの実験支援装置であり、1988年よりプラズマ実験をおこなっている。この実験データを処理するために実験データ収集解析システム(DAS)も同年より稼動している。CHSでの実験データ量は年々増加し64Mbyte / Shot × 130 Shot / Dayとなってきている(2002年3月)。このため2000年には従来の実験データ処理システムに加えてCHS Integrated Architecture with No Operating System (Cinos)を開発し[1],[2]、2001年には10システムを現場に投入をした(図1)。Cinosの基本構成はVMEによるMulti Computer / Linear Time Monitor within Multi Operating System/ CAMAC / Fast Optical Fiber Link(FOFL)の組み合わせで構築されている。本報告はCinosの特徴の一つでもあるLinear Time Monitor within Multi Operating Systemのもとでの多重割り込み時の評価試験を行ったものである。

2. 開発の背景と目的

Cinos はマルチコンピューティング・マルチOSの構成を持った信号処理システムである。Cinos は入力から出力までの信号処理の時間が最速になるようなアルゴリズムで動作し、データやプログラムの処理量が少なければ処理開始(又は入力開始)から処理終了(又は出力開始)までの時間は短く、それらの量が多ければ処理終了までの時間は長くという時間線形性を維持するためのスケジューリング機能と Keeping Linear Time Low(KLTL:時間線形維持則)を持ち、これらの機能を利用した入出力処理や演算処理ができるのが特徴である。

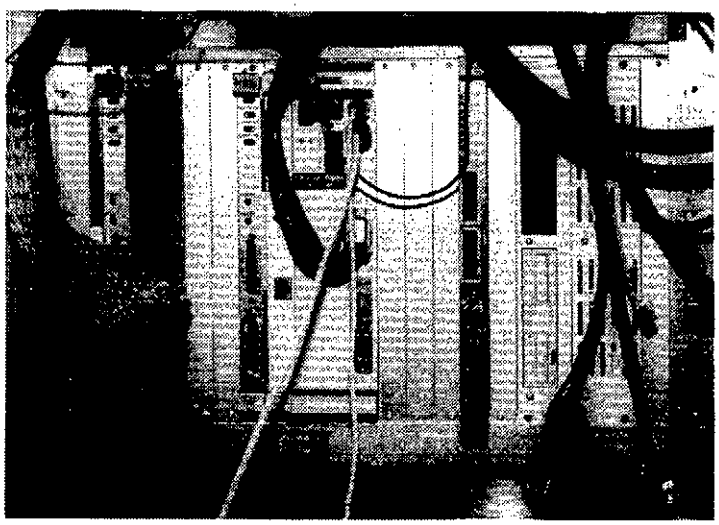


図 1 Cinos システムの基本構成 (コントローラ部分)

対向する考え方としてマルチユーザ・マルチタスク型汎用OSを利用した信号処理システムがあるがデータやプログラムの処理量に関係なくOSのアルゴリズムやスケジューリング特性から上述のような定義づけられた環境での時間線形性を保つことは容易ではない[3]。本稿ではCinosのKLTLが入出力機器から極小の時間間隔で続けて'割り込み'(多重割り込み)が起こった場合でも破綻しないかを試験する。即ち'割り込み'処理(≡例外処理)で発生する時間遅延を一定の範囲以内で維持することができるかを試験し高速信号処理に多重割り込みが適用可能かを判断する目的がある。計算機システムでは接続された入出力機器、又は演算プロセスからのディマンド処理は'割り込み'方式を利用する場合が多い。これはポーリングや時間待ちうけ方式に比べるとディマンドを受付けるプロセスの

起動の瞬時性が高いからである。特に多重のディマンドが起こった場合にはその利点は大きい。CPU は複数の入出力機器から不定期に起こる複数の'割り込み'ではその優先順位に基づいて割り込み処理を行い続ける。さらに'割り込み'の発生する時間間隔が計算機のバス速度や CPU のクロックタイムの周波数近傍でのクリティカルな多重割り込みでもその'割り込み'処理の手法は同じである。このような時間間隔が短い'割り込み'処理では(予めシステムの設計段階で分かっている場合が多い)その'割り込み'受付けのハードウェア的な複雑さ(ハードウェア的にキューイングする)を処理プログラムの巧妙さでカバーするような処理方法が取られる場合が多いためプログラムステップが増加して時間遅延が発生しやすくなる。即ち、多重割り込みが起こり、その発生の時間間隔が短くなればなるほど処理時間の不確定さの増大を'割り込み'処理プロセス自身で作り出していることになる。以下では Cinos の VME バスの周波数近傍(数 MHz 程度)で繰返し多重割り込みが発生した場合にも Cinos の KLTL が機能するかを示す。

3. CINOS 多重割り込みの原理と動作

プラズマ・核融合実験データ処理・制御では CAMAC、VMEが広く利用されているが、それらの入出力機器からのイヴェントの発生は、バスの制御線等を経て信号処理計算機モジュール(VME)、又は直接CPUの割り込みピンに電気信号として'割り込み'として送る場合が多い。しかしながら信号処理計算機側の(主に)OSスケジューリングから来る処理時間の不確定な伸張要素により、'割り込み'の発生からランダムな時間を経てからしか信号処理計算機側でのプロセスで受信できないということを知識として得ている。従ってイヴェントの発生時刻('割り込み'の生成時刻)≠信号処理計算機側のプロセス受付け時間となるためクリティカルな時間依存性の強い'割り込み'を利用した信号処理は出来ないことになる。図 2 に汎用マルチタスク・マルチユーザ OS を利用した実験データ収集計算機で CAMAC/LAM が立ち、それを受け取る実験データ収集計算機での'割り込み'受信までの時間の揺れを示す。この不確定な時間伸張の要素をつくりだす大きな要因の一つは利用している実験データ用計算機がマルチプログラミング環境のもとで動作し、複数のプロセスやスレッドが計算機内でのスケジューリング支配を行ことによる結果が大きく影響を与えている。プラズマ・核融合実験での信号処理・制御計算機のプロセスはI/Oバウンドであることが多く、プロセスのターンアラウンド時間はプラズマ実験のシナリオからその殆どがCPU待ち時間になっている。このため割り込み待ちプロセスは敏速に割り込み処理ができるはずであるが現実にはOSのスケジューリングアルゴリズムなどによって影響を受けイヴェント発生から割り込み受付けまでには程度の差はあれ、数100ミリ秒から数100マイクロ秒程度の遅延時間の発生は避けられないものになっている。本稿で述べるCinosの入出力割り込み処理は汎用OSで見られるような割り込み優先順位の認証と指定による割り込み処理ルーティンは無く単に 「割り込み要求が何個発生している」 かということのみをフートプリント (痕跡) という形式で受付けキューレジスタに記録しておくだけである。汎用OSで見られるような、「自身の割り込み優先順位より同等、又は低いものにはマスクをかけ受付を延期し、高いものにはネストによるコンテクストの切り替えで別のプロセスにCPUを割り振る」

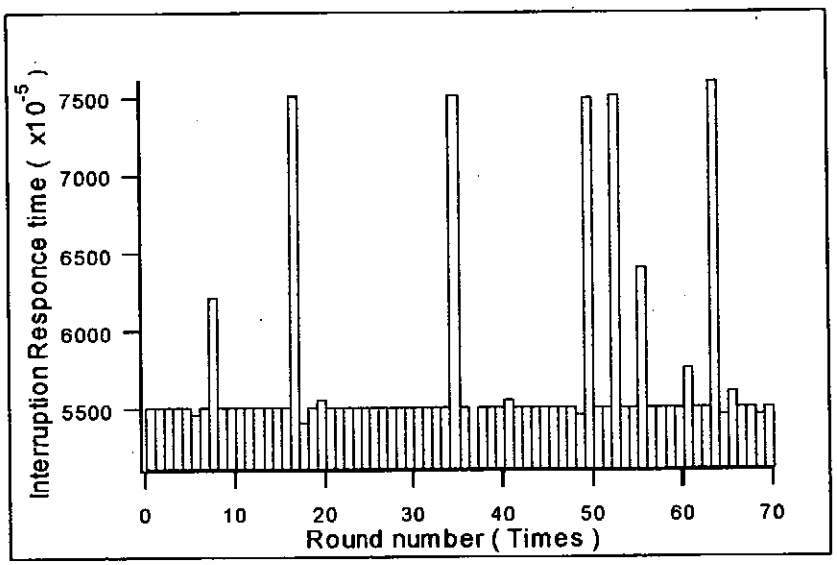


図 2　汎用 OS での割り込み応答時間の伸張

ということはKLTLに負荷をかけるために行わない。Cionosの'割り込み'処理は、'割り込'みが発生したことを優先順位には無関係にフートプリントした上で—即ち割り込みが起こったことを知っていて—'割り込み'用に予めキュースケジューリングされたプロセスで処理を進めるほうがKLTLでは効果的であるとの考え方である。

4. Cinosでの多重割り込みの定義

入出力装置からの割り込み発生時刻を T_0、計算機側のコントローラに届くまでの電気的な遅れを$\Delta t_0 = 0$, プロセスへの受付までの時間をΔt_w, 割り込みを受付けられる確立 N とすると理想的な受け付け待ち時間 Wt は

$$Wt = (\Delta t_0 + \Delta t_w) \times N \qquad (\Delta t_w = 0, N = 1) \qquad (4.1)$$

で $Wt = 0$ となるが、現実には$\Delta t_0 \fallingdotseq 0$ とは考えてもよいが、Δt_wは不確定な要素を持ち、割り込み受け付け確立 N が 1 になるまでの時間を待たなければならない。計算機のなかのプロセスの総本数 Pt は CPU 使用中、CPU 待ち、入出力中に大きく分けることで次のように示せる。

$$Pt = P_H + P_L + P_E \qquad (4,2)$$

ここで、P_Hは自身の割り込みプライオリティより高いプロセスの本数、P_Lは自身の割り込みプライオリティより低いプロセスの本数を、P_Eは自身の割り込みプライオリティと同じプロセスの本数を示す。ここで現在の割り込みを排他しようとするのはP_Hと P_Eになる。ここでは単純にするためにOSのスケジューリングが存在しないと定義すれば、単純に現在の割り込みを受付けられる確立はプロセスの本数に逆比例することで示すことができる。

$$N = 1 / (P_H + P_E + 1) \qquad (4,3)$$

従ってCPU使用中、CPU待ち、入出力中のいずれかにかかわらず割り込み先にプロセスが生成していれば、N=1 以下の受付け確立となってしまっている。定義よりCinosはプロセスが生成していても、予め割り込みがマスクされる確立は 0,逆に実行中のプロセスがネストされる確立も 0 としてあるために $P_H = 0$, $P_E = 0$ より、実効的には (4,3)より N=1 となり、(4,1)は

$$\Delta t_w = Wt \qquad (4,4)$$

で一定となりいつも定められた時間で割り込みが受付けでき結果的にはCinosの時間線形則を維持することになる。従って本報告での多重割り込みを可能にする受付け間隔の最小時間を Wt は示すことになる。

5. 多重割り込み受け付け可能の結果

図3にCinosで多重割り込みを発生させ、その割り込みの最小受付け可能間隔時間の測定結果を示す。これはCAMACモジュールからLAMが立ち、VMEバスの割り込み線を利用してCinosコントローラプロセッサに電気的に伝達される試験環境の結果である。理想的な時間線形則(理論値)はExpectation Line

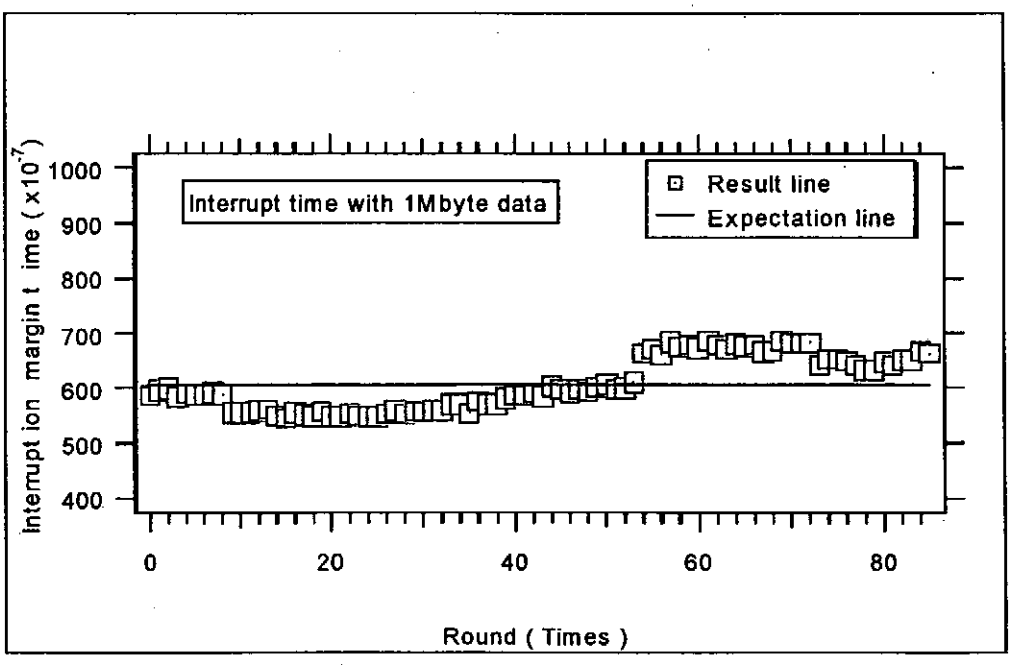


図 3　Cinos での多重割り込時の最小受付け可能時間

で示してある。現実の測定結果はResult Lineで示してある。試行毎にExpectation Lineに対して、数μsec程度の誤差は発生するもののWtは最大で10μsec以下になっている。従ってKLTLのWtは10μsecを維持することになり、現実のプラズマ実験で10μsec以上の間隔で多重割り込みが発生しても運用には問題がないと考えられる。この10μsec以下での揺らぎは現在のところ明確な根拠は得られていないが、Cinosコントローラプロセッサの自身がもつ揺らぎ(100nsec以下程度)、CAMACからの実験データの転送時に起こる揺らぎ(数usec以下程度),VMEバスインタフェースコントローラ(数100usec程度)、VME I/Oモジュール(数usec程度)の合算値程度ではないかと考えている。本測定は試行80回程度のものであるが150回の試行においても偏差は同程度であった。

6. まとめと課題

本稿ではCinosの時間線形則とハードウェア上の特性を利用してI/O多重割り込みが短い時間間隔で起こった場合のI/O割り込み受付けの可能性の試験を行なったものである。マルチプログラミング環境でのI/O割り込み処理はOSが持つスケジューリングアルゴリズムでほぼ決定づけられる。このことはOS支配下のI/O割り込み処理には必ず有限の時間の範囲でOSが割り込みを許可し、禁止する評価尺度を持って管理していることになる。この制限(評価尺度)を取り除いたCinosのI/O多重割り込みの受け付けを利用すればWt≫10μsec では(本ハードウェア構成の場合)高速なI/O多重割り込みに対してフートプリント方式の処理プロセスが成り立つことを示し、バス速度の近傍まで十分な性能を発揮できることを確認した。以下に結果と今後の課題をまとめておく。

[a] 多重割り込みの時間間隔 Wt≪ 10μsecを十分にクリアしており、当初の目的(≪100msec)は達成できている。この時間はVMEバス速度とMPUの割り込み処理ハードロジックアルゴリズムに依存しておりWtはほぼ電気仕様と合致している。

[b] 多重割り込みの時間間隔 Wt≪ 10μsecより間隔の短い範囲での連続割り込みは検証していてないためWtの間隔が10μsec以下でのCinosの時間線形則モデル破綻から、Wtの間隔が10μsec以上に復帰した場合の時間線形則モデル維持ができるかは不明である。

[c] 割り込み処理ルーティンの内の経過時間はKLTLを用いることにより定量的に計測でき、ルーティンの内のステップ数が時間の関数としてプリミティブに追跡可能になった。これにより実験データ収集だけでなく割り込みを伴う制御装置にも応用が可能になる。

[d] 本試験では割り込み処理プロセススケジューリングタイム以外のターンアラウンド時間、CPU待ち時間、スループットの評価が入っていないため、今後これらの実測が必要になる。

参考文献

[1]高橋,横田他, 「CHS実験データ収集解析システムCINOSについて」,分子科学研究所技術研究会報告(2000),p85～88.

[2]Jef Schachter, 「Introduction to MDSplus 」 General Atomics, September 21,1999 San Diego,California.

[3]P.Faraboschi, J.A.Fisher, and C.Young ,"Instruction Scheduling for Instruction Level Parallel Processors," Proceedings of the IEEE, November 2001 Vol. 89,No11 1638-1659

ICRF 用液体スタブチューナのフィードバック制御

核融合科学研究所
○横田光弘，野村吾郎，熊澤隆平，高橋千尋，鳥居祐樹，斎藤健二，山本太郎，
竹内伯夫，新保富士夫，加藤明巳，関哲夫，武藤敬，渡利徹夫

1．はじめに

大型ヘリカル実験装置（LHD）のプラズマを生成、加熱、制御する方法の一つであるイオンサイクロトロン（ICRF）加熱は核融合に必要なイオンの温度を上昇させるのに特に有効な加熱法である。

ICRF では高周波電力を効率良くプラズマに入射するため、高周波加熱源と加熱アンテナ(プラズマにイオンサイクロトロン波を励起する）間に整合器を介在させている。整合器を構成するスタブチューナとしてはフィンガーコンタクトで短絡する方式が多く用いられているが、ここに述べる液体を用いたチューナは世界で最初に試みられた。絶縁ガスと液体中の波長の差異を利用した液体スタブチューナは高電圧(50kV)・定常(30 分)で安定に動作し、2MW 以上の高周波電力伝送能力を有する優れた高周波コンポーネントであり、また高電圧(46kV)で高周波放電することなく液面を可動できることが実証されている。これはプラズマ負荷抵抗の時間変化に対して、フィードバック制御の液面可動によって常時反射電力を抑制することを可能にするとともに、高周波加熱源の真空管へ反射電力を軽減し、定常プラズマ加熱をより効率良くするものである。

この液体スタブチューナは、バルブとポンプを利用した ON/OFF 制御とパルスモーターによるシリンダ駆動の 2 種類の方式で液面を可動させる。また、液面位置を把握するために差圧計を設置している。

今回、シリンダ駆動によるフィードバック制御を Cinos（CHS Integration No Operating System）手法を用いて行ったので報告する。

2．液体スタブチューナとフィードバック制御

LHD 実験ではロングパルス運転が計画されており、ICRF でもその対応準備を進めている。LHD 実験に於ける ICRF 加熱では液体スタブチューナを使用し、第 4 サイクルでは既に ICRF 加熱（約 400kW）のみで 120 秒間のプラズマ放電が持続された。この時の 120 秒程度での運転では、プラズマ放電時間が短いためフィードバック制御なしでも問題は起こっていない。しかし、図 1 のようにロングパルス実験ではプラズマ負荷抵抗の変動とともに、伝送同軸管の熱膨張等により高周波加熱源の真空管へ反射電力が時間とともに増加して

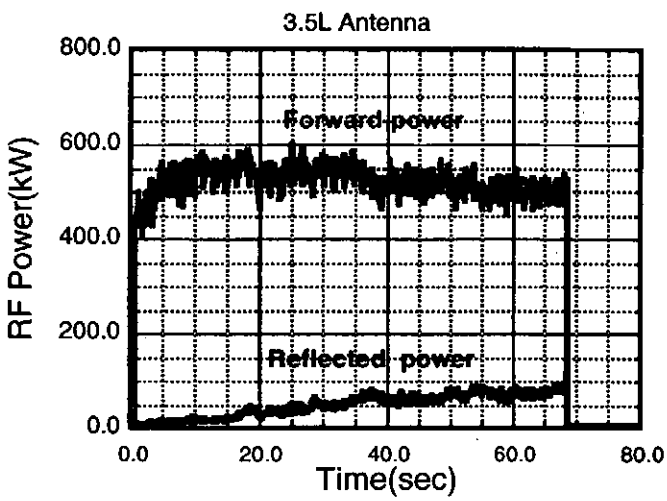


図 1　ロングパルス実験時の反射波の増加

いる。定常運転時において反射電力が大きくなり許容範囲を超えれば、不整合状態になり加熱効率が悪くなる。そのためプラズマ放電時間を長くする場合にはその対策が重要になる。これらの対策として液体スタブチューナのフィードバック制御が必要と考えられた。

3．液体スタブチューナの構成

液体スタブチューナは、高周波伝送同軸管内部に満たされた液体（シリコンオイル）の液面を可動させることによって整合をとっている。今回は、実機を模擬した液体スタブチューナテストベンチを用いてフィードバック制御実験を行った。テストベンチの液体スタブチューナ長は 2.16mあり、同軸管全長に亙り液体を移動させるために液体ポンプとバルブを組合せている。この組合せでフィードバック制御するには機械周動部の大きいもの同士の組合せと粘性の低い液体を動かすことによる波打ち現象のため制御時間の遅れが問題になってくる。このためシリンダ（可動長 1.5m 程度）を直接パルスモータで駆動した液面制御を行っている（図 2 参照）。

テストベンチでは図 2 に示すようにプラズマ負荷抵抗の変わりにピンダイオードを使用した可変模擬負荷を ICRF アンテナ部に取付けてテストを行った。この模擬負荷は印加電圧に応じてアンテナ部の抵抗 R_A が変わる。図 3 に示すように、R_A を 1Ωから 3.8Ωに変えると、液面を動かさないときは電力反射率が 16.5%に増加するが、液面を 75cm 動かすことにより、反射率を 16.5%から 0.1%に減少することができる。（R_A=3.8Ω時）

4．Cinos（CHS Integration No Operating System）

フィードバックシステムにはCinosを利用した。Cinosは 1 サブシステム内に 3 台以上のVME規格を持った計算機(マルチコンピュータシステム)で実験データ

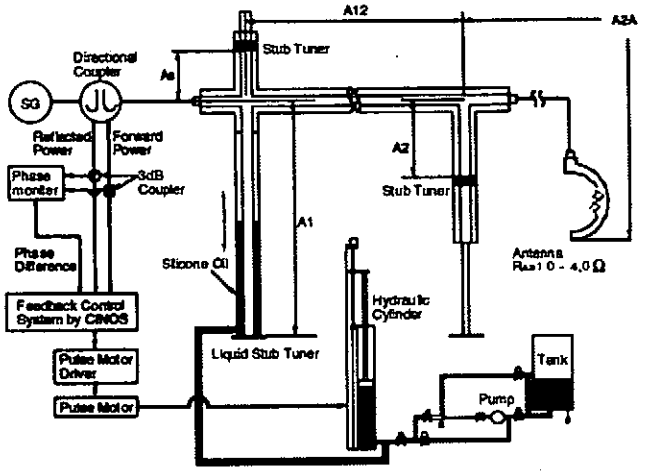


図 2　テストスタンド構成図

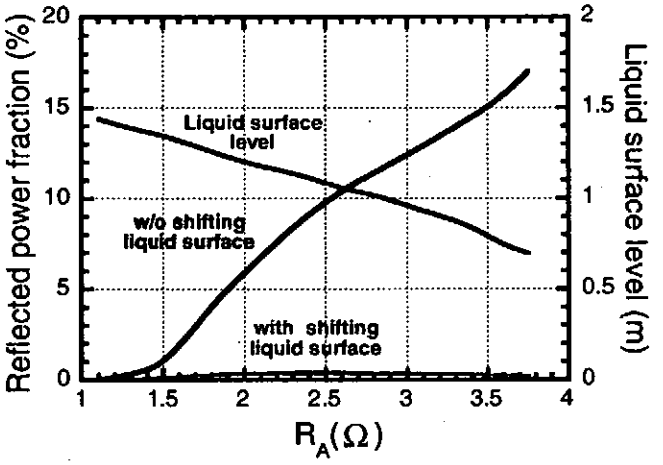


図 3　液体スタブチューナによる反射波の改善

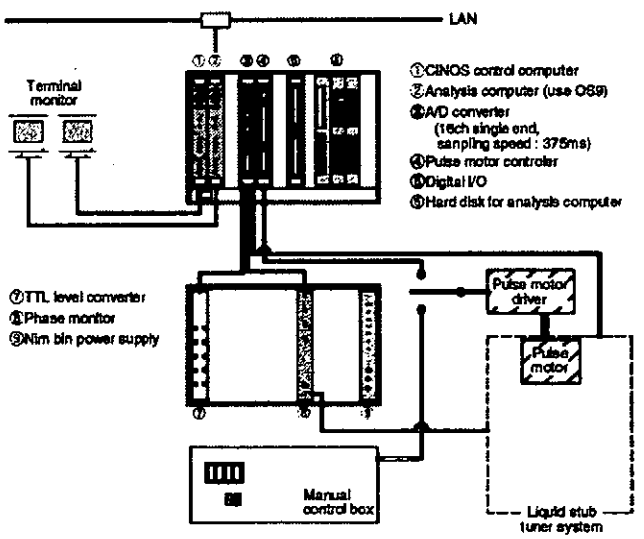


図 4　Cinos 制御系の構成

の収集・解析や実験機器の制御を行うことができる。Cinosの実験データ収集速度、演算速度、制御速度は線形な時間の関数T=ΣnP（Tは処理完了までのスループットタイム、nはプログラムステップ量、PはCPU速度/バス速度/割り込み時間/割り込み戻り時間）で表すことができる。この事は制御系では決められた時間範囲で目標値と偏差の差分収束計算ができることになり、制御環境や条件が一定であれば、整定までの時間誤差は機械周動部のみとなり良好な制御システムを組み上げることができる。

5．Cinosと液体スタブチューナ

液体スタブチューナは高周波発振器でプラズマを生成しながら、最適な加熱効率を常時実現させることを目的としているため、その制御には高速で連続した制御用データ（入射信号、反射信号）の収集とシリンダの位置を移動させるパルスモータの制御機構が必要になっている。このような制御では演算処理を伴うために計算機を利用するのが普通である。通常の計算機システムではOSのスケジューリング、割り込み処理等により絶えずプロセスの時間伸進が短時間に不定期に発生しているために正確な制御量の算定ができない。このことが制御系でステップ応答が悪くなっている一因でもある。このことからCinosシグナルプロセシングを採用した方が時間伸進の少ない精度の高い計算機処理が行え、フィードバック系全体の応答性安定性につながるため本方式を用いて制御を行うこととした（図7に制御ダイアグラムを示す）。今回の構成は、VMEサブシステムに2台のCPUを搭載し（原則は3台以上）、1台目のCPUでは線形時間維持モニタがI/O動作を行い、さらにスケジューリングとKeeping the Linear Time（KLT）を管理する。2台目のCPU（OS-9）ではKLTによってRead/Writeされた制御情報（目標値、偏差、操作量、制御量）をShared Memoryから読み出しフィードバック制

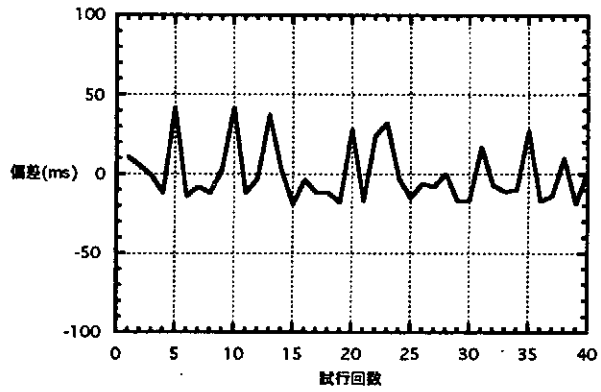


図5　Cinos制御系の応答性

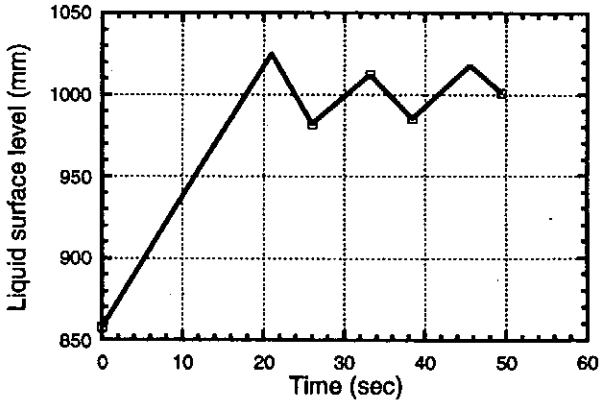


図6　Cinosでの液面制御の応答性

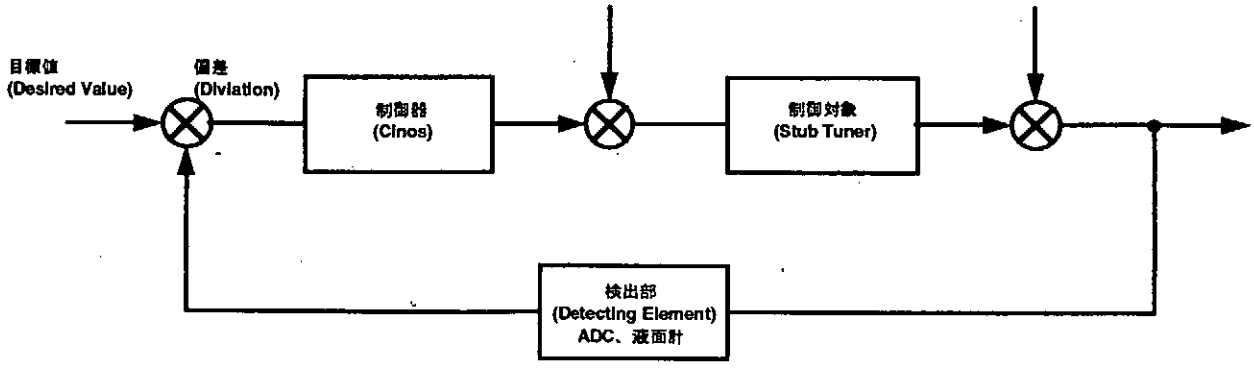


図7　フィードバック制御のブロックダイアグラム

御を行う。

図5に示したのは、A/D Converter起動トリガ入力からパルスモータ起動までの時間を計測したものであり、スタブチューナ制御システム全体でのステップ応答性は±50ms以内に収められていることがわかる。その中にはパルスモータの起動時間も含まれている。図6は液面制御で開始位置を860mm、目標値を1000mmに設定して行ったものである。液面の目標値が高い時にはフィードバック系の不安定性が現れるが、低い時にはシミュレーション範囲内に収まる。

液面のフィードバックは、A/D Converterからの情報をもとにパルスモータコントローラを介して制御を行っている。A/D Converterで取り込んでいるのは入射波、反射波、入反射波の位相差、液面（差圧計）及び模擬負荷抵抗（参考）の情報である。これらの情報（模擬負荷抵抗を除く）を元にフィードバック制御を行った結果を図8に示す。点線がフィードバックなし、実線がフィードバック制御をした状態を示す。今回のこのフィードバック制御試験では予め定めた反射電力以上になったときにフィードバック動作を開始し、方向性結合器の入射と反射信号の位相差の値で液面を上昇させるのか、下降させるのかを決め、その時の反射信号の大小によって3段階にパルスモータの動作速度を変えている。このように液面をフィードバック制御することにより、フィードバック制御なしの時の反射率が16.5%であるのに対し、0.1%にまで減少させることができた。この液面制御時には模擬負荷抵抗R_A=1.09Ω ～3.8Ωを70秒周期で変化させている。

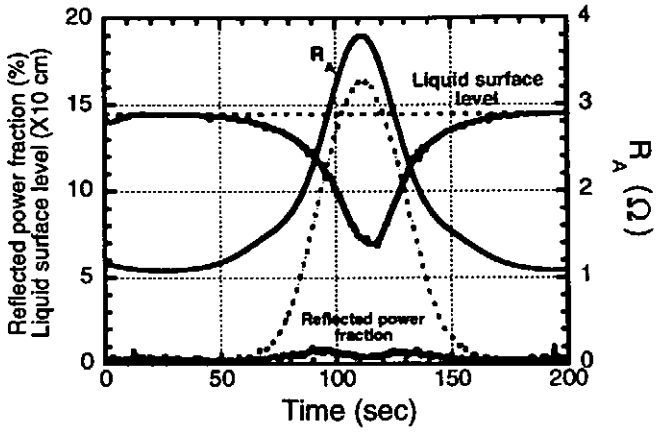


図8　Cinosによるフィードバック制御

6．まとめ

今回のテストベンチを使った液体スタブチューナのフィードバック制御試験によって、反射波を抑制することが可能であることがわかった。今後の課題としては、制御対象が粘度の低い液体であるため、波打ち現象を抑えるような制御をする必要がある。また、Cinos は充分高速で今回のフィードバック制御でも問題は起こらなかった。

今後は実機投入に向けて、準備を進めていく予定である。

参考文献

[1] R.Kumazawa, et al., Review of Scientific Instruments 70, 2665 (1999).

[2] R.Kumazawa et al., to be published in Phys. Plasmas, 8, No.5 (2001).

[3] G.Nomura. et al., 14th Topical conference for RF power in plasmas, 502 (2001).

[4] 高橋,横田他,「CHS実験データ収集解析システムCINOSについて」,分子科学研究所技術研究会報告(2000),P85～88.

Pulse Motor Controller for WE7000

高エネルギー加速器研究機構
○濁川 和幸、小菅 隆、五十嵐 前衛、木代 純逸
太陽計測株式会社 R&D グループ
志賀 安、祖父江 克也

1. 概要

平成 12 年度に横河電機の PC ベース計測器 WE7000 (以下、WE700)で動作するパルスモーター・コントローラーを太陽計測(株)と共同で製作した。このコントローラーは、WE7000 用の開発キット(WE7897)を使用して製作しており、このコントローラーを動作させるためには、専用のコントロールソフトと API(Application Program Interface)が必要であった。

しかし、加速器で実際に使用する場面では、コントローラーを単独で使用する場面はあまり無く、他の WE7000 用モジュールも同時に使用することの方が多い。このため、専用のコントロールソフトウェア・API での使用では、不都合が生じるようになってきた。

そこで、WE7000 用に標準で用意されている「WE コントロールソフトウェア」「WE7000 コントロール API」で動作させるべく、モジュール内部にあるプログラム(以下、ファームウェア)の変更作業を、太陽計測(株)と共同で行った。

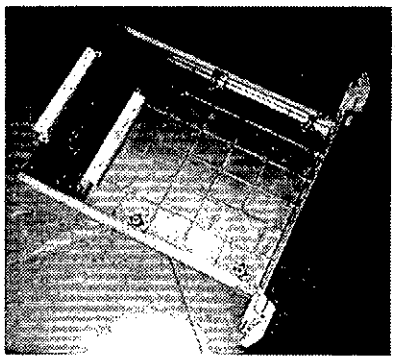


写真 1： WE7897

2. パルスモーター・コントローラー

平成 12 年度にパルスモーター・コントローラーを WE7000 のモジュールとして、太陽計測(株)と共同で製作した。このコントローラーは、WE7897(写真 1)を使用して製作した 2 軸モーター・コントロールモジュールの TWM5501(写真 2,写真 3)と、実際にモーターにパルスを送る部分であるモータードライバ・モジュールの TWM5600(写真 3)で構成されている。

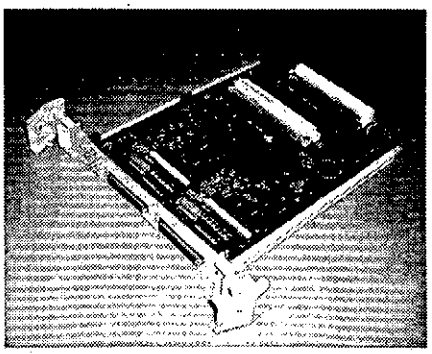


写真 2： TWM5501

現在、統合計画として進められている加速器用のモニターシステムのテストを行うべく、テストシステム(写真 4)が稼動中である。今回のコントローラーは、テストシステムの一部である、Wire Scan (以下、W.S)と呼ばれるビーム形状・位置検知モニターのモニター本体(写真 5)を動かすためのパルスモーター制御に使用している。

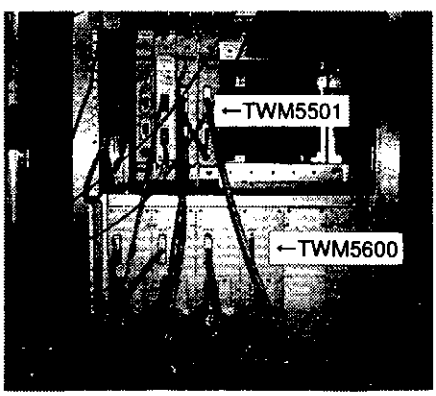


写真 3: TWM5501 と TWM5600

今回のコントローラーを、PLC(Programmable Logic Controller)等の既存のものを使用せず、WE7000 のモジュールとして製作した理由は、次の通りである。

- 統合計画のモニターシステムとして WE7000 を使用

することが考えられており、テストシステムもWE7000で組んでいる。このシステムの一部として稼動するコントローラーも、WE7000で統一し、システムの管理・運用を省力化したい目的のため。

- パルスモーターを単にコントロールするだけでなく、1つのモジュールでパルスモーターを動かした際の各種アンサーバックもモニター可能なものとして、配線等の省力化を図りたいため。
- 多軸同時動作を可能とするコントローラーを必要としたため。

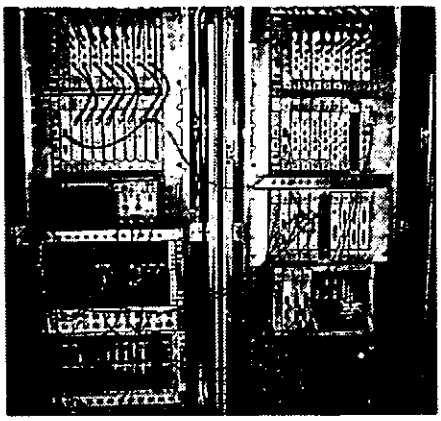


写真4： テストシステム

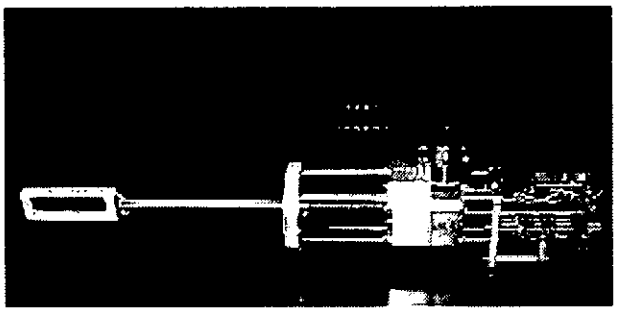


写真5： Wire Scanモニター

3. ファームウェアの変更前

WE7000には、標準ソフトウェアとして、Windows上で動作する「WE7000コントロールソフトウェア」(以下、標準コントロールソフト)があり、各種モジュールを簡単に使用可能である。また、Visual Basic(以下、VB)等で開発を行うユーザー向けに「WE7000コントロールAPI」(以下、標準API)が用意され、APIのファンクション群を使用することで、制御用アプリケーションを容易に開発できる環境にある。しかし、コントローラーのファームウェアを変更する前は、モジュール製作に、WE7897を使用した関係から、標準コントロールソフトや標準APIの使用が出来ず、専用コントロールソフトウェア(図1)と専用APIを使用することになっていた。

先に述べた通り、TWM5501はW.S本体の制御用として、モニターのテストシステムの一部として使用している。このため、他のWE7000用モジュールと統合的に使用する必要があり、標準コントロールソフトやコントローラー専用のコントロールソフトを使用して動作させるの

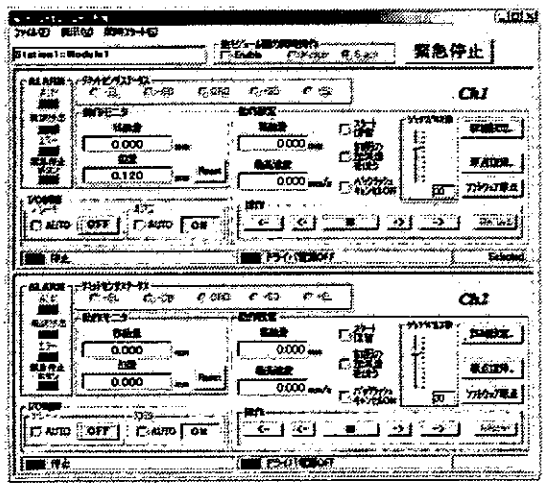


図1： 専用コントロールソフトウェア

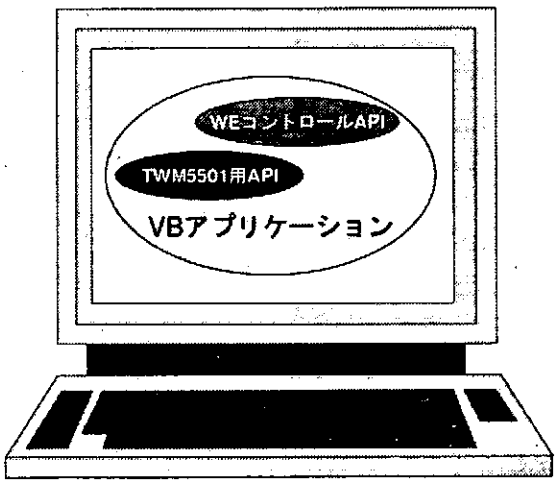


図2： 変更前のアプリケーション

ではなく、API を使用し VB で作成したアプリケーションを使用して、計測・制御を行う必要がある。TWM5501 は標準 API ではなく、専用の API を使用する。このため、アプリケーションの開発には、図 2 で示したように、専用の API と標準 API の両方を使用する構成で作成して開発する必要があった。

4. 変更前に生じた不都合な点(ファームウェア変更の動機)

ファームウェアの変更前でも、専用の API を使用することで、VB でのアプリケーションを開発可能であったし、標準コントロールソフトの代わりとなるコントロールソフトウェアも用意されており、コントローラーを単独で使用する際にはなにも不都合な点は無かった。

しかし、今回のテストシステムのように、他の WE7000 用モジュールと連携させる等の複雑なアプリケーションを開発する必要がある場合には、図 2 で示したように 2 つの API を使い分けながらのアプリケーション開発を行う必要があり、煩雑化していた。加えて、WE7000 の特徴でもあり、API からも呼び出し可能な、モジュール毎のコントロール用パネルもなかった。

また、WE7000 開発キットを使用し、独自のファームウェアを持つために、1 つの計測ステーション(WE400 や WE800)に、他の種類の WE7000 用モジュールと同時に入れて動作させることが不可能となっていた。

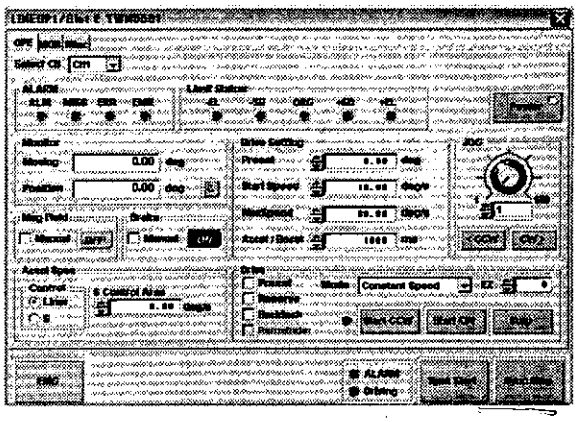


図 3： 移動量等の設定画面

5. ファームウェアの変更作業

4 で述べた不具合点を一気に解決するために、サードパティー製のモジュールであっても、標準コントロールソフト・標準 API に対応させることは出来ないかを考え、横河電機(株)で用意されている、開発ツール(横河モジュール開発用ライブラリ：STlib) を使用してコントローラーのファームウェアを変更することとした。この際のファームウェアのコーディング作業は、太陽計測(株)で担当していただくこととして、モジュール本体を開発したときと同様に、KEK との共同開発の形で、作業を進めた。

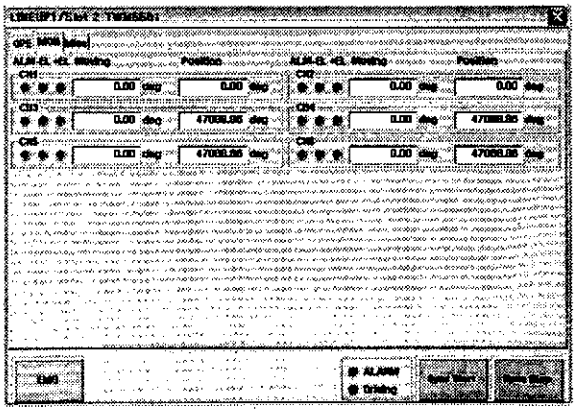


図 4： 全チャンネル・モニター画面

標準コントロールソフトで制御するために TWM5501 用のコントロールパネルも準備した。このパネルの創りこみには、開発ツールのライブラリで用意されている部品しか使用出来ないことになっており、幾つかの点で妥協せざるを得ない部分もあった。図 3～図 5 までが今回作成したコントロールパネルである。各々の画面は、上部にあるタグをクリックすることで画面を切り替え、各種設定や操作が行えるようにな

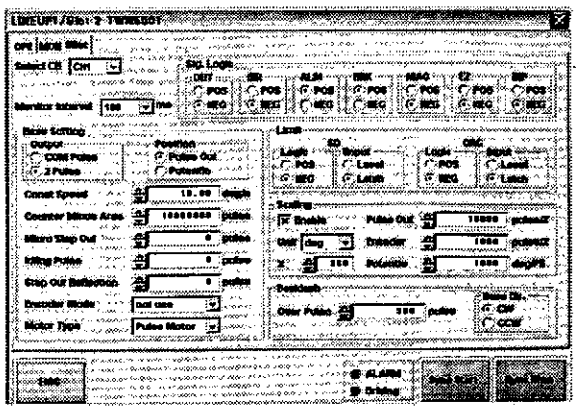


図 5： 詳細設定画面

っている。このパネルは標準コントロールソフトでの使用だけでなく、他の WE7000 用モジュールと同様、標準 API から呼び出すことも可能である。

この作業には、先に述べたライブラリ以外にも GreenHills の C++ SH CrossCompiler, MULTI, Standard Monitor Server 及び Visual C++を使用した。

6. 変更後の状況

ファームウェアの変更作業も終了し、初期の目標は達成された。写真 4 のテストシステムのように、API を使用したアプリケーションソフト開発も標準 API のみを使用すれば良くなり、図 6 で示した通り、他の WE7000 用モジュールの開発環境と同じになった。コントローラーのアプリケーション開発には、標準 API に用意されているファンクションの中の"WeSetControl"を中心に使用し、このファンクションに、コントローラー用に設定した ASCII コマンドを与えることで、コントローラーの制御を行える。図 3～5 に示したコントロールパネルも標準 API を使用して、簡単に呼び出すことができる。このパネルを使用することで、使用者が細かな制御画面まで作成する必要は無くなり、開発時間の短縮にもつながっている。

さらに、WE7000 のネットワーク対応を目指して、昨年度に開発した「DCOM 版 WE7000 コントロール API」[1]も使用可能となり、容易にクライアント・サーバー型のアプリケーション開発をすることも可能である。

また、同一計測ステーションに他のモジュールと混在することも可能となり、設置面においても省スペース等が可能となっている。

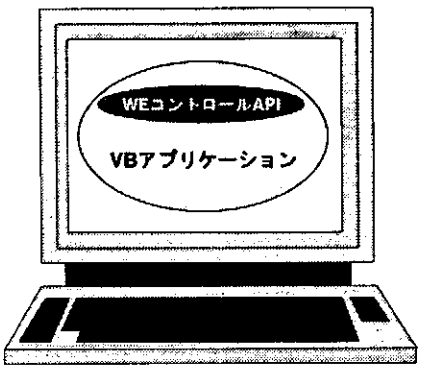


図 6： 変更後のアプリケーション

7. まとめ

このコントローラーは、WE7000 のサードパティー製品として商品化され販売されている。コントローラー開発当初から、加速器専用のコントローラーとして開発するのではなく、広く一般に受け入れられるようなコントローラーを目指し、開発を行った。今回の内部ソフトウェア変更により、サードパティー製モジュールとしては、はじめて WE7000 の標準コントロールソフト・標準 API を使用することが可能なモジュールとなった。これにより、このコントローラーがさらに、一般的なものになったものと確信している。このコントローラーが色々な分野で使用されることを、開発に携わったものとして期待している。

また、今回の経験から WE7897 を使用したカスタム・ボードでも、STlib を使用することで、標準コントロールソフト等が使用可能になることが判明した。今後は、WE7000 のカスタム・ボードの、更なる発展が期待できるものと思われる。

WE7000 には、WE7000 用 LabVIEW ドライバーや、VB でのプログラム開発を行いやすくするための製品である「拡張ツール for WE API」がある。今のところ、今回のコントローラーはこれら 2 つには対応していない。しかし、今後の展開次第ではこの 2 つにも対応させることも可能である。今後、さらなる発展を目指すつもりである。

＜参考資料＞

[1] 濁川和幸 他, "WE Control API の DCOM 化",平成 12 年度東北大学技術研究会報告(2001), P93

Webデータアプリケーションによるグループウェアの開発

三重大学　工学部　技術部
○平山かほる　伊藤　篤　山本好弘　新美治利　中村　勝

はじめに

現在、私達はサーバや学生向け共通施設のＰＣの管理等をグループで行っている。これまでは、各メンバーが分散していることもあり、グループで管理を行う上での意志の疎通および各種情報の共有・蓄積などを行うために、電子メールによるコミュニケーションとホームページを用いた情報の管理を行って来た。しかし、セキュリティ対策における迅速な情報に基づいた連携ある作業の必要性及び情報量（サーバ、PC、セキュリティ対策など）の増加に伴い、従来の方法では機能的に不十分となってきた。そこで、これらの諸問題に対応するためにグループ内の情報ツールとして、オープンソースで改変拡張が自由なグループウェアソフト Sky Board(Top Management Service, Inc)の導入を行った。そして運用を重ねた結果、グループとしての必要なサービス及び有効性が判明した。そこで、更に必要な機能の集約などのカスタマイズを行い運用した結果を報告する。

グループウェア

グループウェアは、ネットワークを用いてグループ全体でのスケジュール管理、情報の共有化を行うことで共同作業の効率化を図り、また個人の知識やノウハウをグループ全体へ広め、蓄積することを促すためのソフトウェアである。

これまではイントラネットとして企業内での導入が進められてきた。その多くはロータスノーツやマイクロソフト Exchange Server などの比較的大きな規模のクライアント、サーバ型のシステムであり、価格の面からも中小規模の組織にとっては導入が難しいものがあった。

しかし、近年の Web をはじめとするネットワーク技術の進歩により、CGI を用いた動的コンテンツを利用することで、様々なサービスを Web 上で行えるようになった。また、インターネットの普及により Web ブラウザが一般的となり、これにより Web サーバと Web ブラウザを組み合わせることで、中小規模向けに低価格なグループウェアを構築、提供できるようになって来た。現在ではサイボウズや iOffice を初めとする中小ベンダーのソフトウェアが数多くリリースされている。なお、これらの多くは Linux を初めとする PC UNIX 上にサーバを構築し、クライアント機としてインターネット接続されたパソコンや携帯電話のブラウザからアクセスを行う形式を取っている。

グループウェアのおもな機能とサービスを表１に示す。

表１　グループウェアの機能とサービス

機　能	サ　ー　ビ　ス
コミュニケーション	Web メール、個別連絡メモ
グループ意志、決定支援	掲示板、回覧版
情報共有	資料集、アドレスブック、Tips、Q&A
共有仮想環境	電子会議室、ホワイトボード
ビジネスプロセス・管理	日・週報管理、ワークフロー管理、PRJ 進捗管理、スケジュール管理、出勤管理施設予約、個人情報管理、取引先・担当者情報、当番表

グループウェア「Sky Board」

今回、導入を行った「Sky Board」は Top Management Service, Inc が開発した Web 上での動的コンテンツを用いたグループウェアソフトである。TCP/IP ベースのネットワーク上で動作しグループウェアの標準機能を備えている。クライアントはブラウザを使用するため比較的操作が容易なうえにシステム管理者の負担も軽減される。サーバ機は、ハードウェア選択の自由度が高く、低スペックの旧型 PC でも動作可能である。全てのパッケージは無償で配布され、OS も含め全てのソフトウェアがオープンソースで構成可能であり、改変後の再配布も認めるライセンス形態をとる。全てのソースコードとデータベース構造が公開されているので、ユーザが使用目的に応じて自由に改変することも容易である。技術的なサポートやカスタマイズは、開発元である Top Management Service, Inc により有償でサポートされているが、ユーザによるメーリングリストも開設されており技術的な情報も豊富である。

システムを構成するおもなソフトウェアは、Web サーバに Apache、データベースに PostgreSQL、Web 用のサーバサイドスクリプト言語として PHP と Java Script、グラフィックツールの GD、日本語形態素解析を行う茶筅を用いる。動作する OS は、Redhat Linux と Free BSD 上での動作が検証されているが、先のソフトウェアが動作すれば商用 UNIX などでも構築が可能である。今回は IBM-PC/AT 互換 PC に、OS として私たちの運用実績がある Turbo Linux Server 6.5 (kernel version 2.2.18-10) を用いてサーバの構築を行った。

Sky Board のプログラムは、HTML 文中に PHP と Java Script で記述されている。ユーザの選択に従って行われるデータベースへのアクセスなど、大半の機能と動作がプログラミングされている PHP のスクリプトは、Web Server の Apache に DSO (Dynamic Shared Object) として動的に組み込まれた PHP モジュールにより解釈、実行される。また、おもにユーザインターフェース機能を受け持つ Java Script は、ユーザの選択に従って送出されたスクリプトがユーザのブラウザ内で解釈、実行される。

Sky Board の構成と動作の仕組みを簡略化したイメージを図 1 に示す。まず、①ユーザが Web ブラウザより Sky Board にアクセス、つまり Web サーバに HTTP 接続要求を行うと、②Apache が要求のあった HTML コンテンツを呼び出し、③内部に記述されたスクリプトが PHP により解析・実行される。データベースへのアクセスが必要な場合は、④PHP の PostgreSQL 関数により SQL 文による問い合わせが行われる。⑤PostgreSQL はデータベースへのアクセス処理を行い、結果を返す。⑥再度、PHP から SQL 文による問い合わせを行い、検索結果を得て⑦PHP が結果を HTML 化し Web ブラウザに返送する。

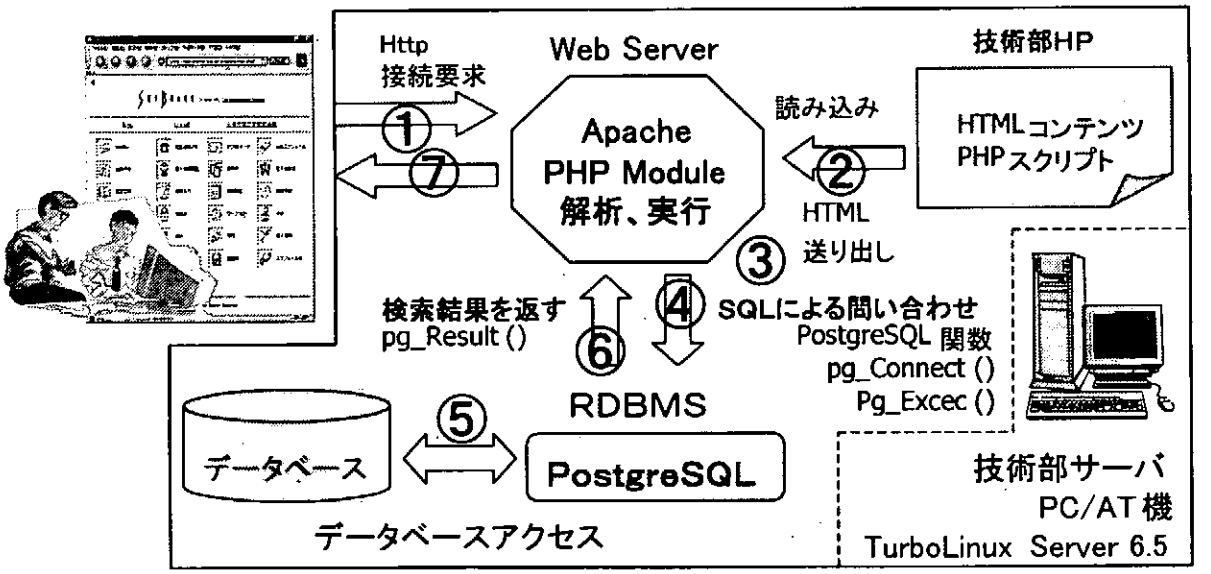


図1 Sky Board の構成と動作の仕組み

各サービスの利用方法とカスタマイズ

Sky Board には、中小規模のオフィスワークを想定した標準的なサービスが各種備えられている（表1）。そして我々が約8ヶ月に渡り運用した結果、数多くのサービスの内、よく使用するサービスと殆ど使用しないサービスが明らかになってきた。グループ内でよく使用するサービスの機能と利用方法を表2に示す。

これまではグループ間での情報交換、共有はメールとホームページで行ってきた。メールは、主に連絡用（作業連絡、セキュリティ情報など）に用いていたが、多い時には週に数十通になることもあり個々に整理、保存する方法では、自分の担当以外の事や古い出来事などで連携して迅速に対応出来ない事が多々発生するようになった。Sky Board の運用により、メールによる連絡は不必要となり、また表2の各サービスを用いることにより作業効率が高まった。以下に実際の運用で感じた利点をあげる。

・インターネットに接続できる Web ブラウザがあればどこからでも全てのサービスが利用できる。
・情報内容別にスレッド展開とデータベース化による共有、蓄積ができる。
・ファイルのアップロード、ダウンロードができるので共有ファイルの管理が簡単。
・メンバーの出勤予定と在席または対応可能かどうかが分かるのでスケジュール調整が簡単。
・メールや回覧で流すほどの事でなくても「メモ、連絡」が容易に書き込める。

表2　ネットワークグループで使用しているサービスと機能

サービス	機　　能	グループでの利用方法
ポータル画面	予定、連絡事項(電話連絡、回覧板の有無)、最近3ヶ月の資料集表示、スケジュール入力、在席の変更が可能。	ログイン時にグループの予定と連絡、回覧を確認する。この画面で全ての連絡、スケジュールが確認できる。
連絡メモ	個人宛の連絡メモ機能。	残す必要のない連絡に使用。
掲示板	内容別に項目を分類できる掲示板機能。書き込みは、5階層まで。スレッドの展開と表示期間が設定できる。	自分の担当に関する出来事、作業を記録し全員でチェックする。企画やセキュリティ情報などテーマ別に記録する。
資料集	テーマごとにファイルのアップロード、ダウンロードができる。	作業手順書、報告書、プレゼン資料などの保存に使用。
回覧板	メンバー全員に確認が可能な回覧。	必ず全員の確認が必要なものに使用。
ホワイトボード	メンバーの在席状況と数行のメッセージが書き込める。	作業や対応が可能な時に在席とする。簡単なメッセージ記録用。
スケジュール	個人または全体のスケジュール管理。それぞれに公開、非公開も設定可能。	個人とグループの作業予定を記録。
出勤予定	出勤予定が書き込める。他のメンバーからの閲覧も可能。	スケジュール調整時に個人の出勤予定を確認する。
Q&A、Tips	分からないことの質問とメモしておきたい事を記録できる。Webブラウザがあれば、出先からでも参照できる。	Q&A は、疑問や気になったことなど、あまり急がない質問用。 Tips は、おもに自分自身のメモ用。

使用を続けていく内に各サービスの機能や全体的なインターフェースに物足りなさを感じるようになってきた。特にトップ画面は各サービスへのショートカットアイコンを張り付けたデザインとなっており、情報の追加・変更が行われていないか確認するには各サービスを起動して行わなければならない。そのようなサービスの一つとして、ポータル画面と呼ばれる主なサービス（新しい連絡メモや情報ボードなど）の新規情報が一覧として確認できるサービスがある。

このポータル画面を通常のトップ画面と置き換えることにより、アクセス時に新規情報の有無が判るようにカスタマイズを行うこととした。また、従来は更新情報のサポート機能が無い資料集サービスをポータル画面で確認できるように変更した。

資料集はデータベースに更新情報の項目が無いので、ファイルのタイムスタンプとPostgreSQLの関数を用いて取得したサーバの時刻を比較することにより、過去3ヶ月のファイルをポータル画面に表示することで実現している。

カスタマイズ後のトップ画面を図2に示す。トップ画面の左フレームに各サービスへのショートカットアイコン、右フレームにポータル画面を配置することでグループ内の連絡事項、スケジュール、情報ボード、回覧及び資料集の新規メッセージが直接確認できるようなった。

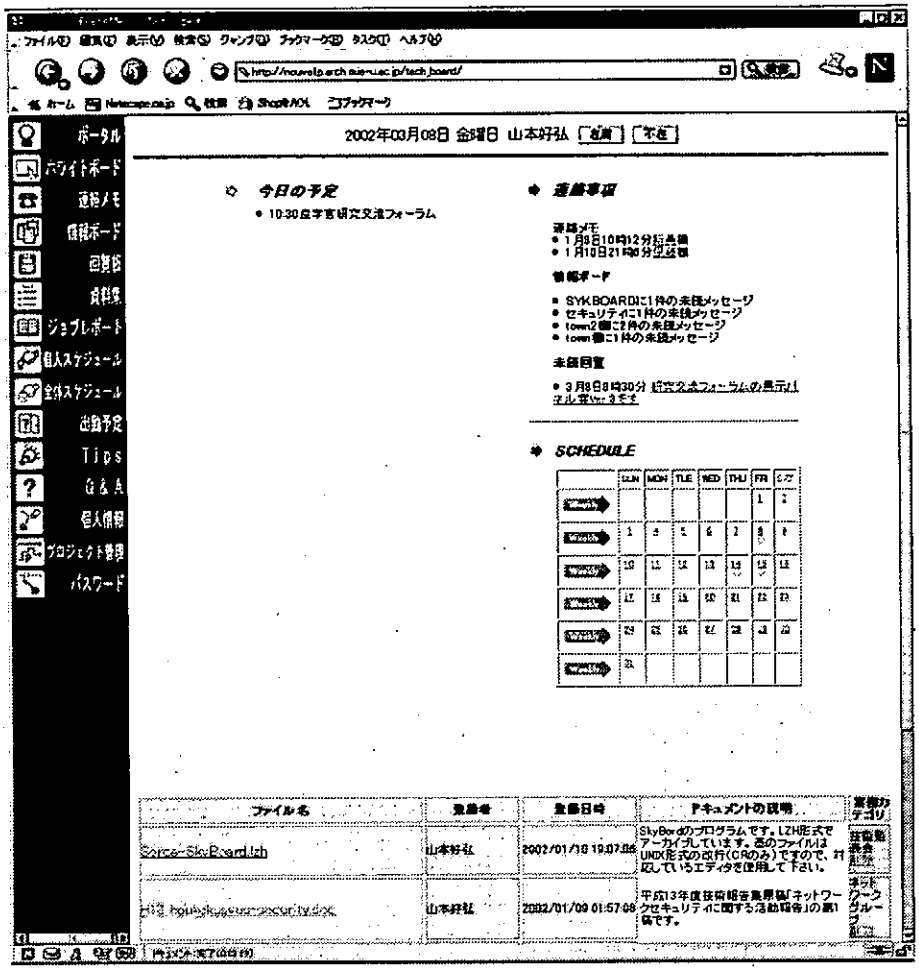


図2　カスタマイズしたSky Boardのトップ画面

おわりに

グループウェアを導入、運用することによりグループによる共同作業の効率化が図れることが分かったので、今後学内の講座や研究グループなどに対し、今回紹介したグループウェアを中心としてファイルサーバ（Windows、Macintoshのファイル共有）、プリンターサーバなどを含めたシステムの提案を行って行きたい。

また、今回のカスタマイズは時間の関係上、機能のアレンジと画面のデザイン変更にとどまったので、今後さらにプログラムの解析を行い、組織に合わせて自由にカスタマイズできるよう学習を行うとともに、私達のグループであまり必要とされなかったサービスについても有効な活用法を検証して行きたい。

参考文献

トップマネジメントサービス、“Linuxで作るグループウェア”，ローカス出版（2000）.
屋比久友秀、“PHP4でカンタンWebDB構築ガイド”、秀和システム（2001）.

JT-60遠隔実験用ビデオ配信システムの構築

日本原子力研究所　那珂研究所
○大島　貴幸、松田　俊明、岩崎　慶太、石川　一哉*
*（株）原子力資料サービス

1. はじめに

JT-60では、遠隔実験参加システムを従来から開発し、運用している。[1] 今回、JT-60中央制御室内とセミナー室内をビデオカメラとマイクにて、インターネットを通じて所内と所外へライブ中継でビデオ配信するシステムを構築した。すでに遠隔実験において、ISDN電話回線を用いたビデオ会議システムで双方向通信しているが、それと併用/拡張する形でこのビデオ配信システムを構築した。近年、ネットワークの回線容量が増強されたのと画像データの伝送技術が発達した理由から、音声、ビデオ（A/V)をストリーミング配信することができた。

このシステムは、A/V信号をReal Producer(PC)でエンコード（動画圧縮加工）、そのデータをReal Server(PC)でストリーミング配信し、クライアント側は、無料のソフトウェアであるReal Player Basicを各端末（PC, Mac, UNIX）にインストールすることにより、簡単に見ることができる。図1に中央制御室をReal Player Basicで見ている様子を示す。

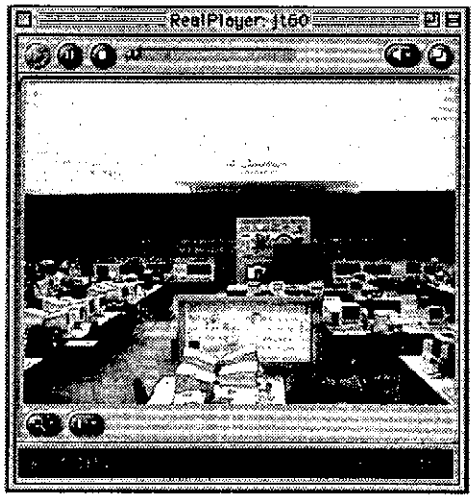


図1　中央制御室の様子

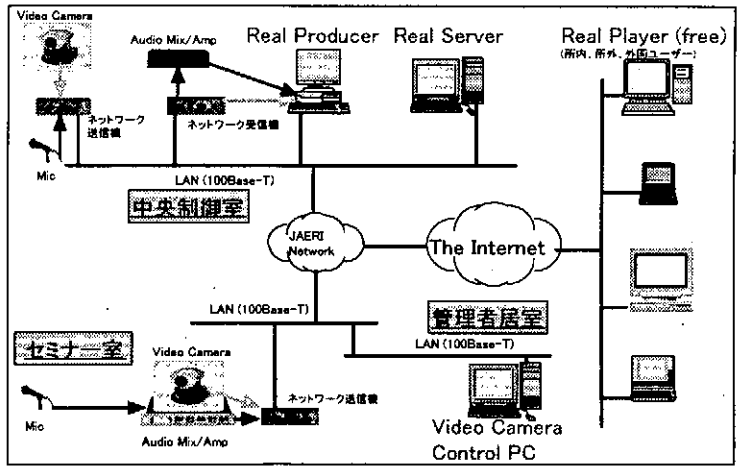


図2 ビデオ配信システム構成図

2. ビデオ配信システム構成

本システムは、ビデオカメラ、マイク、Real Producer、Real Server、ネットワーク送信機/受信機、カメラコントロール用PC（ソフトウェアはPROVILITE/Windows98）等から構成される。カメラの映像は、インターネット上にストリーミング配信され、実験の様子やセミナーや講演会等をクライアント側の端末から見ることができる。ビデオ配信システム構成図を図2に示す。また、中央制御室とセミナー室に設置したビデオ配信システムの各機器の配置をそれぞれ、図3と図4に示す。

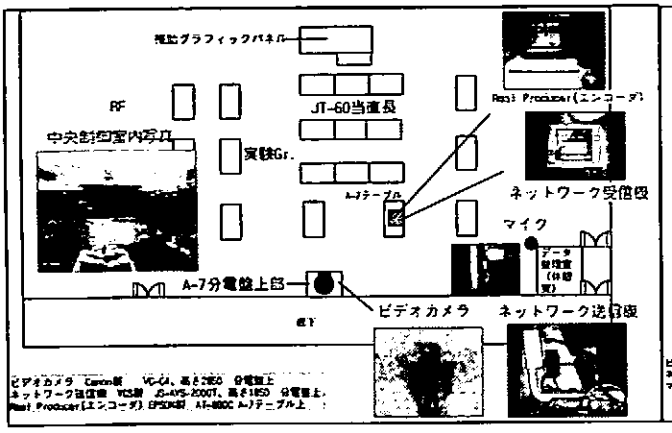


図3 中央制御室各機器の配置

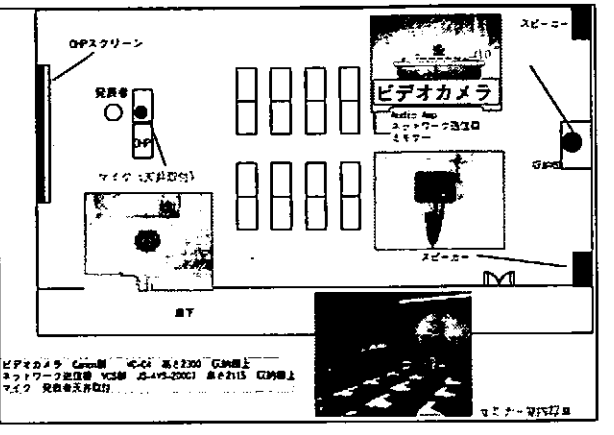


図4 セミナー室各機器の配置

3. ビデオ配信の方式

今回構築したビデオ配信システムの方式は三つある。一つ目は、通常、インターネット上に中央制御室を24時間ライブ中継しているもので、実験時には即、遠隔実験のツールとして有用になる。二つ目からは遠隔実験の拡張になるが、セミナー室において、実験の予定/結果を議論する実験ミーティング、日本原子力研究所（以下、原研）職員の講演、他機関から招聘した先生や外国人研究者のセミナー、各種講習会等が開催される時のライブ中継である。（図5）三つ目は、遠隔地での講演会等のライブ中継の実施があげられる。これらの映像は、必要に応じて、VOD(Video On Demand)用に、 .rm (Real Media)形式ファイルで、webサーバ等に保管されており、後から、いつでも見ることができる（図6）。



図5 セミナー室での発表の様子

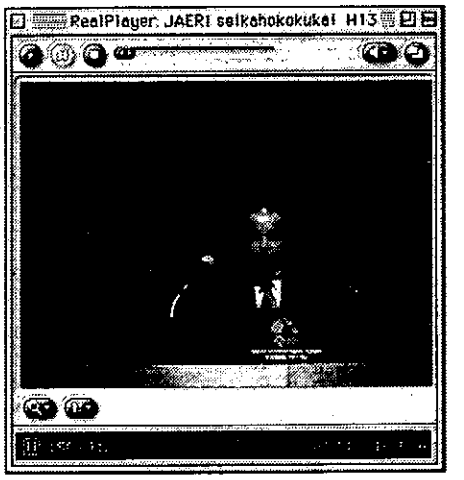


図6 遠隔地での講演会のライブ中継

4. Real Producer およびReal Server

Real Producerのハードウェアは、EPSON Endeavor AT800C (PC;Chipset:Intel 810E,CPU: Pentium 3,Clock: 1GHz,Memory: 512MB (256 x 2),Disk: 30GB,Video board: Ospreyl00 (PCI),Sound: 内蔵AC97,LAN: 100/10Base-TX)を使用している。周辺機器として、Video Camera: VC-C4 (Canon製)、ネットワーク送信機: JS-AVS-2000T (VCS製)、ネットワーク受信機: JS-AVS-2000R (VCS製)、 Audio Mix/Amp: AX-603MK II (Victor製)、フラットスピーカーを使用している。ソフトウェアは、OS: Windows2000、Application: Real Producer 8.5 for Win2000、FTP: Real ProducerのPublisher Tool(FTP機能)またはWS_FTPで構成されている。機能としては、A/V信号を入力して、エンコードし、.rmファイルを作成する。そのデータをリアルタイム

で、Real Serverにネットワーク経由で転送する。視聴者(audience)のネットワーク接続速度環境（28.8kbps～10Mbps）やクリップスピード（34kbps～150kbps）等やReal Serverに対してのポート番号設定、UDPかTCPかのプロトコル設定、ファイルネーム、認証等の各種設定をする。VODコンテンツ編集に関しては後述する。

Real Serverのハードウェアは DELL OptiPlex GX400 (PC;Chipset: Intel 850E,CPU: Pentium 4,Clock: 1.4GHz,Memory: 512MB,Disk: 40GB,LAN: 100/10 Base-TX) を使用している。ソフトウェアは、OS: Free BSD4.3、Application: Real Server Professional 8.01 / 100 license で構成されている。機能としては、Real Serverの起動（オート/マニュアル）、Webブラウザを使った管理機能、Real Producerからの.rmデータ受信、アクセスログ記録、ftpでReal Mediaデータ取得、スプリッティング制御として、前段Real Serverからミラーサイト Real Serverへのデータ受信と、そこからの配信などがある。

5. Real ProducerによるVODコンテンツ作成

Real Producerのソフトウェアを使って、VODコンテンツの作成、編集をすることができる。まず、セミナー等を行った時は、録画機能を使い、.rmファイル形式でReal Producerに保存する。それを時間編集機能で編集し、最終的には、.rmファイルをwebサーバ上にFTP転送機能を用いて送信、保管する。

インターネット上に接続された、クライアント側端末は、Real Player Basicでwebサーバ上のVODライブラリから見ることができる。

6.遠隔地での講演会等ライブ中継

遠隔地での講演会等ライブ中継を実施した（運用実績:H13年12月7日　日本原子力研究所成果報告会 -核融合　東京国際フォーラムにて）。会場へのISDN 3回線(6B:384kbps)をNTTに布設依頼し、原研からは、ポータブルビデオ会議システム、ビデオカメラを持ち込んでセットした。音声は、会場内に流れる放送出力のライン端子(-10dB RCA-P)を特別に準備してもらい、ビデオ会議システムに入力した。会場からのA/V信号は、ISDNを経由し、原研那珂のビデオ会議システムに伝送され、その出力がReal Producer　に入力され、ネットワーク経由で、.rmファイルがReal Serverに転送され、そこから、インターネット上にストリーム配信された。

会場のビデオカメラで、成果報告会の様子をmini DVテープに記録し、後日、VOD用にReal Producerのビデオ入力端子に入力し、.rmファイル、web用コンテンツを作成し、webサーバにおいた。念のため、原研那珂のビデオ会議システムのVHSビデオデッキでも記録しておいた。

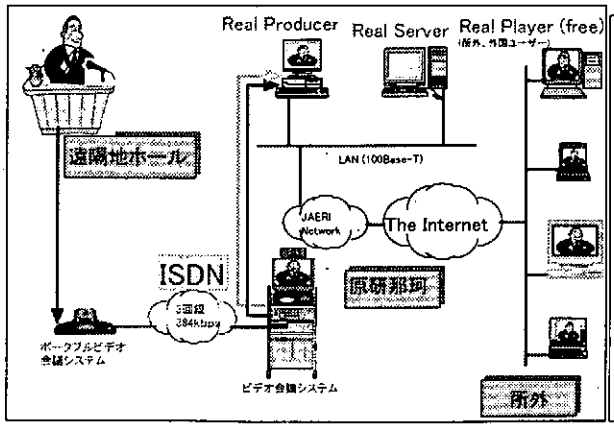


図7遠隔地での講演会等ライブ中継構成図

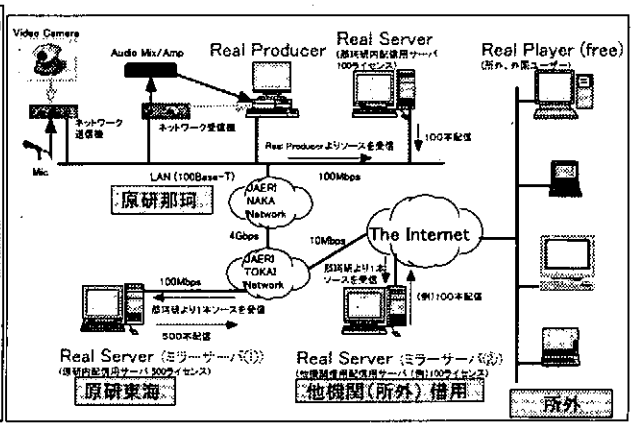


図8　ミラーサイトビデオ配信

7. ミラーサイトビデオ配信

Real Serverの機能として、通常のストリーミング配信以外に、前段のReal Serverから、ビデオソースを1本分けてもらい受信し、それを、ライセンス分（原研那珂は現在100ライセンス）配信できる。実際には、10Mbps LANの聴視者設定で、クリップスピードは150kbpsとなり、原研外部ネットワーク速度10Mbps中4Mbpsの帯域に制限がしたので、4Mbps/150kbpsで、最大約30人分の同時アクセスとなる。ただし、56Kbpsアナログモデムの聴視者設定（クリップスピードは34kbps）もしてあるので、仮に、その聴視者が同時にアクセスした場合、4Mbps/34kbpsで、約100人分のアクセスが可能となる（116人では100ライセンスの制限がある）。

このような形で、他機関からミラーサイトを借用できれば、最大アクセスサイトを多数増やすことができる（図8）。

8. 問題点と今後の予定

Real Producerは、画像エンコード(320 x 240pixel)をしているが、現システム(Pentium 3 1GHz)では、CPUが過負荷状態である（CPU負荷率ほぼ100%）。Pentium 4　2GHz Dual CPUであれば、CPU負荷率約10%との情報があるので、状況が許せば、Real Producerのマシンをアップグレートしたいところである。

前述のように、ネットワークの帯域制限もあるので、さらなる回線容量アップが図れれば、より、高速なクリップスピードと多くのユーザーへの配信が可能となる。

また、現在高性能のビデオカメラ(20倍光学ズーム、mini DVタイプ)を導入したところであり、ビデオ会議システムとの接続調整テストを行っているところである。

実際に、Real Playerを使って、セミナーを見たユーザーから、OHPが見にくいとの指摘があった。これは、OHPの作成に問題がある場合もあるので（細かい字や薄い色で記入、作画）、根本的な解決は難しいが、マシンのアップグレードやネットワークの増強等、条件がそろえば、640 x 480pixelのストリーミング配信を試みたいところである。また、原稿に関しては、例えばPowerPoint図などはSMILを使った直接配信の検討も行う予定である。

9. まとめ

遠隔実験ツールとして、JT-60中央制御室をライブ中継し、所内、所外からいつでも実験の様子が見られる、JT-60遠隔実験用ビデオ配信システムを構築した。従来のビデオ配信方式（ダウンロード方式）に比べ、ストリーミング配信方式はリアルタイムで映像を見られるとともにハードディスクの空き容量問題がない。

セミナー室ライブ中継に関しては、実験予定/結果、セミナー等を広く公開し、また、webサーバ上からVODでいつでも見られるシステムにした。

遠隔地での講演等をストリーミング配信するシステムに関しては、従来のISDN（工夫点）ビデオ会議を拡張し、会場からのライブ中継を受信し、それをストリーミング配信することができた。

システムは、PC 、 Free BSD 、 民生用ビデオカメラ等を組み合わせ低コストでシステムが構築できた。

参考文献

[1]大島　貫幸　他:" JT-60遠隔実験参加システム" 技術研究会報告集　KEK Proceedings 99-16 p.327-330 (1999), http://www-eng.kek.jp/giken/procedng/paper/met098.pdf .

ストックルーム物品管理システムSTARSの開発と運用

東京大学大学院総合文化研究科・教養学部　共通技術室
井上春恵

1, はじめに

東京大学大学院総合文化研究科・教養学部には学生実験や研究室での実験において使用する汎用性の高い物品をまとめて購入、ストックしておき、ユーザが必要な時に必要な物品を必要な個数だけ利用することができるストックルーム（別名：回路室）がある。

本システムSTARS（STockroom Administrate and Request System）は、ストックルームの物品の払い出し登録、及び管理業務の簡素化を目指し開発した。STARSの特徴は、ユーザによる払い出し登録時の処理を簡素化するため、バーコードを利用した点と、必要なデータをデータベース化し、ネットワークとPCを利用してすべての処理を行う点である。本システムSTARSは平成12年度分子科学研究所技術研修において分子科学研究所電子計算機室の水谷文保技官、他皆様からのご指導のもと開発を進め、また東京大学物性研究所低温液化室の土屋光技官の御協力も頂き、平成13年4月から運用を開始している。今回はSTARSの開発結果の紹介、また運用後のバージョンアップの経過について報告する。

2, STARS概要

2-1, 開発背景

これまではストックルームにおける物品の管理、利用集計業務、物品発注業務をすべて手作業で行っていたため多大な労力が掛かっていた。

平成13年3月の時点で物品数は約600点、年間の利用件数は2000件程度（ある1つの物品を1個又は複数個持ち出すのを1件とする。）であった。一連の管理業務、また、ユーザが物品を払い出す際の登録手続きの簡素化が要求されていた。

2-2, STARS概要

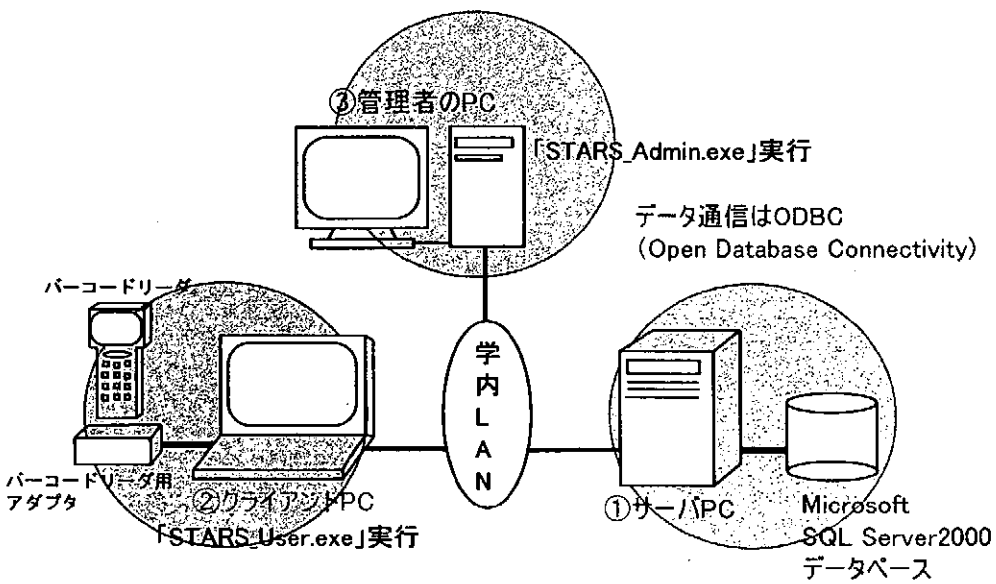


図1　STARS　全体像

図1にSTARSの全体像を示す。学内LANにつながった3ヶ所のPC（①サーバPC、②クライアントPC、③管理者用PC）でデータのやりとりを行う。まず①サーバPCには管理に必要な情報をデータベース化し、保存する。データベースソフトとしてはMicrosoft SQL Server 2000を採用し

た。(図2にテーブル構造を示す。)データの中心となるのは区分(=ユーザ)コードと物品コードの2つで、バーコードを利用するためにそれぞれに4桁、7桁のコード番号を付け、バーコード化した。(バーコードはCode39を採用。)(図3参照。)

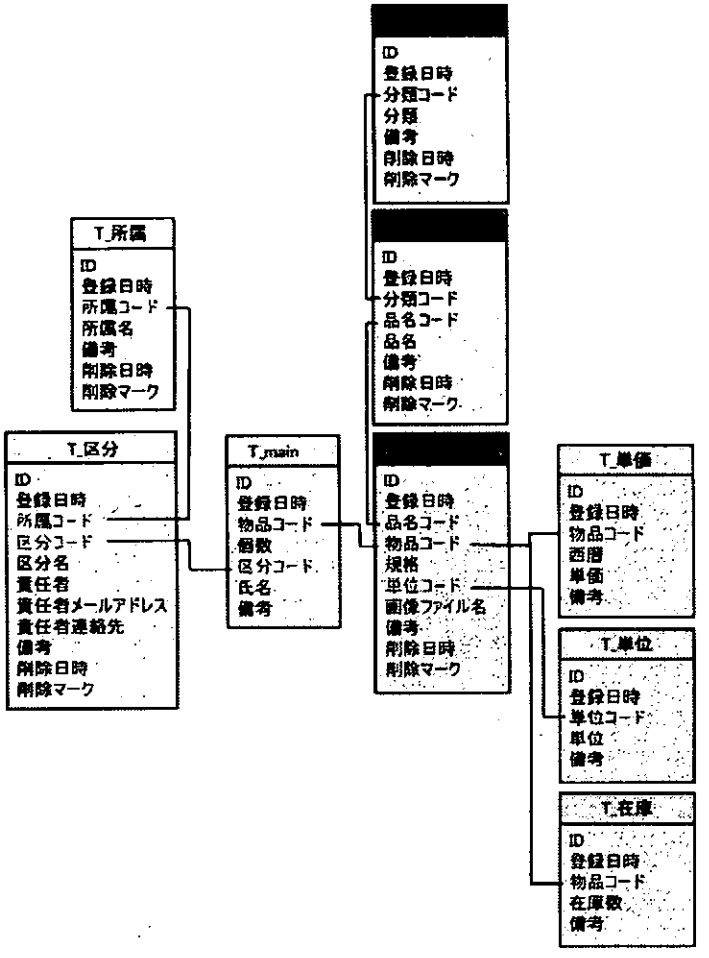


図2　STARSデータベーステーブル構造

無人の回路室には、ユーザが払い出し時に用いるバーコードリーダ(CHIPHER LAB社製ハンディターミナル型バーコードリーダCPT-711)と②クライアントPCが設置してある。回路室を使用するユーザは区分コードのバーコードを持参し(区分バーコードはキーホルダーとしてあらかじめ配布)、また回路室に置いてある全ての物品にも物品コードのバーコードを設置してある。ユーザの払い出し登録操作は、まずバーコードリーダを用いて区分コード、物品コード、個数の3つのデータを登録する。一度に払い出したい全ての物品の登録が終了したら、クライアントPCにRS232Cで接続されたバーコードリーダ用アダプタにバーコードリーダ本体をセットする。データは自動的にクライアントPCに転送され、指定したフォルダ内に特定のテキストファイルができる。(なお、ここまでのシステムはバーコードリーダ本体に組み込んだプログラム(CHIPHER LAB社CIPHER BACIS言語)によって決定される。必要な動作を決定するようプログラムを作成した。)

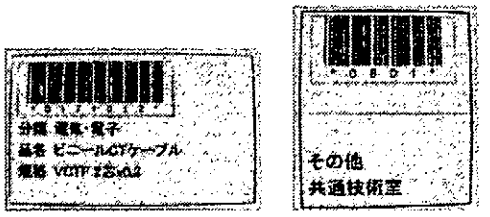


図3　バーコードの例

次に、クライアントPCではプログラム「STARS_User.exe」(Microsoft Visual Basic6.0で開発)を常時実行している。バーコードリーダからクライアントPCにデータが転送される(=テキストファイルができる)のを常時待機していて、転送されるとサーバPCのデータベースへデータの詳細を返すよう問い合わせをする。その結果、クライアントPCの画面上に払い出しデータの詳細(区分名や物品の品名・規格など)に表示するようにしている。(図4参照(クライアントPCでのデータ表示画面)。)ユーザはここで払い出し内容に間違えがないかを確認し、署名をしたあと「転送ボタンクリック」という操作をすることでサーバPCに必要なデータを書き込む。これでユーザの登録作業は終了する。

③の管理者用 PC ではプログラム「STARS_Admin.exe」(Microsoft Visual Basic6.0 で開発) を用いてデータの管理を一括して行う。このプログラムではデータの登録・変更・削除、データ一覧表示、利用集計の一覧表示・印刷、といったことが行える。

②クライアント PC から①サーバ PC、又、③管理者用 PC から①サーバ PC への通信は ODBC(Open Database Connectivity)を利用してデータベースアクセスをしている。

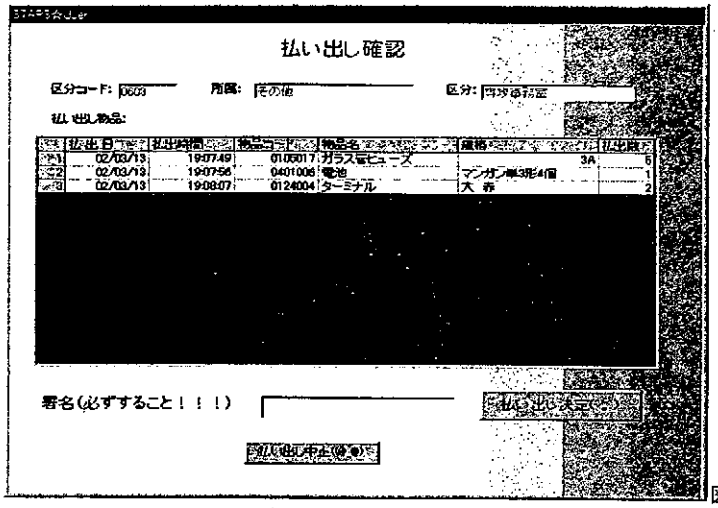


図 4 「STARS_User.exe」の払い出し内容確認フォーム

3, システム運用とその後について

バーコードリーダという媒体を用いることによってユーザによる登録操作が簡素化されたこと、また管理者にとっても PC 上で様々なデータ操作を一括して行えることなど、全体的な業務の効率化を考えると本システム STARS の稼動は大きな前進を見せた。物品の数も当初の 600 点から 1000 点、また 1 年間 (平成 13 年 1 月から 12 月) の払い出し登録数も 2000 件から 3000 件へと増加し、このシステムによる効果も着実に現れていると判断できる。

一方で、ユーザからは物品のデータなどを一覧として公開してほしいということや、管理者にとっては在庫管理や業者との受注業務の簡素化についてなど、新しい要望が出てきたため、これらに対応していくためのシステムのバージョンアップが必要となった。

3-1, 在庫管理

ストックルームの管理業務の中で、物品の受注業務の簡素化が目指された。まずは在庫管理をするためにそれぞれの物品に「最低在庫数」「発注単位」というデータを追加した。また取引業者のデータベースを追加し、業者別に在庫管理、納品管理ができるようにした。

図 5 は、業者別の在庫一覧表示、また納品時の納品数登録 (在庫数変更) の手続きをする画面である。業者ごとに設定したパスワードをそれぞれの業者の担当者に伝達し、パスワードによってそれぞれの納入物品の在庫状況一覧の表示、そして、物品の納品時には納品データ登録 (在庫数データの変更) を一括してできるようなプログラムを Visual Basic6.0 を用いて開発し、クライアント Pc 上で操作できるようにしている。

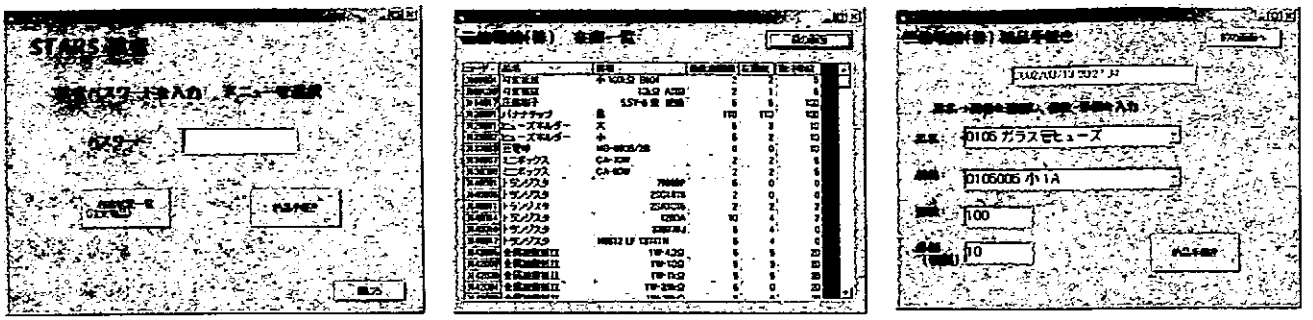


図 5　各業者の担当者による在庫確認、納品登録

3-1, WEB によるホームページを利用した物品一覧公開（試行）

ユーザがあらゆる場所に分散しているため、物品の一覧を公開するにあたってはホームページを作成し、WEB で公開することを目標としている。現段階では、セキュリティの問題等を解決するために必要な設備を整えるため、予算の申請をしているところである。これに関しては今後の課題である。

4, まとめ

本システム STARS はデータベースの立ち上げからユーザインターフェイス、またデータベース管理システムに至るまで、そのほとんどを自分達で開発してきた。その利点は、運用していく中で生じる様々な問題にも即座に対応できる点にあり、運用後の応用が利くという大きな特徴がある。

また、現状としてはこのストックルームの管理をする職員がいないため、すべての業務をさらに簡素化・効率化していく必要があり、課題はたくさん残っている。

一方で本システムを開発・運用・再開発をしてきた中で、こういったデータベース管理システムを回路室の物品管理だけにとどめるのではなく、他のことにも利用していける、いきたい、ということを将来の展望として考えている。

国際会議等における電子出版

高エネルギー加速器研究機構
○片桐 広明、阿部 勇、小林 仁、荒木 栄、小菅 隆、白川 明広、
平 雅文、中島 啓光、濁川 和幸、森 丈晴、吉本 伸一

1. はじめに

我々は、これまでに加速器関連の国際会議における論文の電子出版業務に参加してきた。この分野の国際会議では、JACoW (Joint Accelerator Conference Website) [1]が規定した電子出版の様式が標準的に使用されており、PDF 化作業もこれに沿った形で行なわれる。また今年度は、日本語論文の投稿が可能な「第 26 回リニアック技術研究会」の電子出版業務も担当した。本報告書では、これまでの電子出版に携わった経験を基に、英語及び日本語文書の PDF 化の手法と注意点について述べる。

2. PDF (Portable Document Format)

PDF とは、Adobe Systems 社の開発した電子文書フォーマットで、Windows、Macintosh、UNIX など異なるシステム間でもオリジナルの文書レイアウトを再現することが可能である。閲覧用ソフト Adobe Acrobat Reader が無償配布されていることもあり、様々な分野で幅広く使用されている。昨今では、カタログ、マニュアル、パンフレットなど印刷物ではなく、PDF 化して CD-ROM やインターネットで配布されることも多くなった。印刷／流通コストの削減や更新の容易性、検索／保管の利便性など、出版側、閲覧側双方に利点がある。

3. JACoW スタイルの英語論文電子出版

3.1 概要

JACoW は加速器分野の国際会議に投稿される論文をウェブ上で一元管理することを目的として設立された組織であり、統一フォーマットの作成など電子出版の仕様策定も行なっている。策定されたの出版方式が、非加盟の国際会議で採用されることも増えてきた。

ウェブサイトには 1995 年以降の加盟国際会議へ投稿された論文の PDF ファイルが登録され、著者／タイトル／キーワード／本文中語句による検索が可能である（図 1）。また仕様に基づき作成されたテンプレートファイルや、論文の執筆要領など、投稿者向けの手引きも掲載し、電子出版の普及にも努めている。

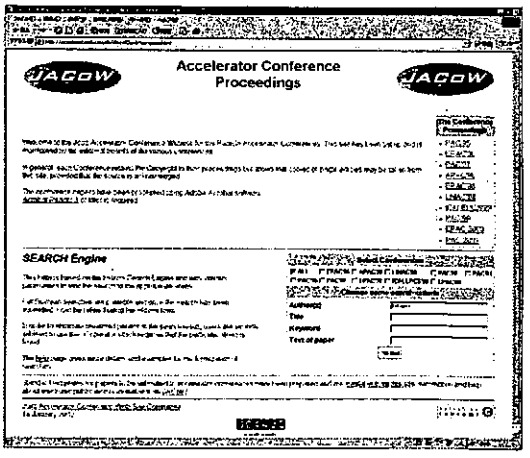


図 1：JACoW の検索エンジン

3.2 PDF 化作業の流れ

JACoW スタイルの電子出版では、基本的に PostScript ファイルを基に PDF を作成する。PostScript とは Adobe Systems 社の開発したページ記述言語で、PDF のベースになった規格でもある。著者がソースファイル作成に使用したワープロソフトが無くとも作業が可能なことが利点である。PostScript ファイルから PDF を作成するためのソフトウェアが「Acrobat Distiller」である。PDF の作成自体は PDF Writer でも可能であるが、Distiller を使用し、

フォントの埋め込みや、画像解像度及び圧縮方法などの詳細な設定を施すことで、使用目的毎に最適化されたPDFを作成することが可能である。

PDFが完成したら、先ず指定通りの書式に仕上がっているかを確認する。これには余白設定、段組設定、フォントの種類、フォントサイズなどの項目がある。投稿論文の中には、テンプレートを使用せず独自の書式で作成してあるものも少なくない。このよう場合、一旦著者に返却し修正を求めることもある。指定外のフォントが使用された場合も修正の対象になる。欧文フォントであれば修正は容易いが、日本語システム上で作成された文書の場合には2バイトコードの問題があり、対処が複雑になる。その詳細は3.4項で述べる。

修正が終了したら、必要に応じて論文タイトル、著者名、検索用語句など一般情報のPDFへの追加、サムネイルの追加、用紙サイズの統一など、体裁を整える作業を経て完成となる。

3.3 PDFの編集方法

Acrobatは目的に応じて、様々なベンダーから供給されるプラグインを組み込むことで、機能の拡張が可能である。Enfocus社製の「PitStop」は、PDFの編集機能を大幅に拡張するプラグインで、修正作業を効率良く進める上で欠かせない。図2にPitStopをインストールしたAcrobatウィンドウの例を示した。テキストだけでなく、グラフィックスの編集機能も持つ。文書レイアウトの大掛かりな修正以外、ほとんどの作業をこなすことが可能である。

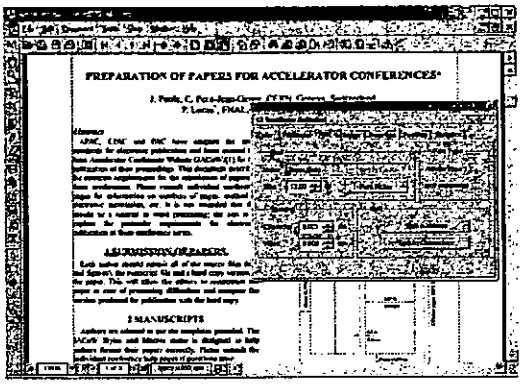


図2：PitStopによるPDFの編集

3.4 PDFでのフォントの扱い

3.4-1 標準14フォント

Times、Helvetica、Courier 各フォントの標準書体及び *Italic* や **Bold** といった装飾書体に Symbol、Zapf dingbat を加えた計14フォントは、PostScriptの「標準14フォント」と呼ばれる。これは、Acrobat Readerがインストールされた全てのシステムで共通して使用できるフォントである。従って、標準14フォントでのみで記述された文書は、オリジナルに忠実な表示が可能となる。この理由から、JACoWでは論文で使用するフォントをTimes、Symbol及びZapf dingbatに限定している。標準14フォント以外を使用した場合には、後述するフォントの埋め込みを行なわない限り、オリジナル通りに表示されるという保証は無く、閲覧者のシステムによっては別のフォントに置き換えられる場合がある。

3.4-2 2バイトコードフォントの問題点

日本語OSの様に2バイトコード文字を扱うシステムで英文書を作成する場合、2バイトコード文字が混入するケースが発生してくる[2]。この場合、英語OSのような2バイトコードを扱えないシステム上ではPDFを表示できない事が多く、事実上修正が不可能である。国際会議に投稿する論文又は海外に発信する文書としては致命的なミスといえる。2バイトコードフォントが使用される具体例として、ギリシャ文字や数学記号（αβπΩ±×≠）などの日本語フォントによる記述、改行コードやスペースの混入などが挙げられる。また、図、グラフの中に指定外のフォントが使用されるケースも多々見受けられる。

日本語フォントが混入したPDFの修正には、日本語システム上での作業が不可欠であり、国際会議における電子出版業務に日本人スタッフの参加が求められる理由ともなっている。

4. 図の編集による PDF の最適化

PDF の構成要素は、テキスト行、線画、ピクセル画に大別される。基本的に、CAD やグラフ系ソフトなどで作成された図は線画に、写真やペイント系ソフトで作成された図はピクセル画に変換される。著者が 1 つの図として描いても、実際には複数の線画の集合として表現される場合が多い。多数の線画で構成された図が含まれた PDF は容量が大きくなりがちで表示や印刷に時間が掛かることが多い。これは個々の線画が位置や色の情報を持つためである。またピクセル画であっても、ソースファイルへの挿入方法によっては細かく分割されてしまうことがある。この様な場合、一つのピクセル画に変換することで、容量を削減することが可能である。ピクセル画への変換は、Iceni Technology 社製プラグイン「Gemini」[3]を使用するのが簡単であるが、Acrobat5.0 で必要な範囲を抽出して JPEG に変換後、Adobe Photoshop などで編集する方法もある。その際、インデックスカラーモードに変換し使用色数を減らせば、さらに容量を抑えることができる。図 3 は約 3 万点のデータを持つグラフの例で、PDF の容量は 1MB にも上る。これをピクセル画に変換した結果、29KB にまで削減できた。（図 4）

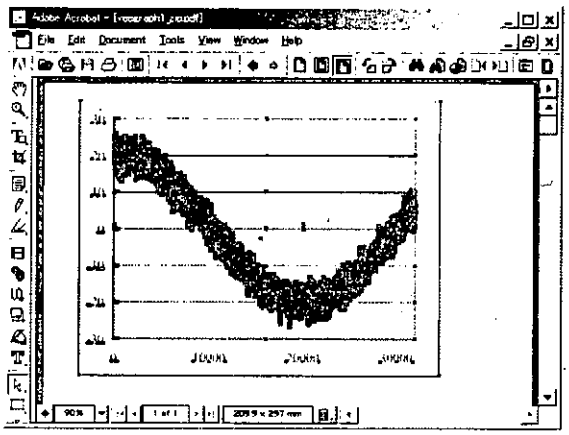


図 3：多数の線画で構成されたグラフ

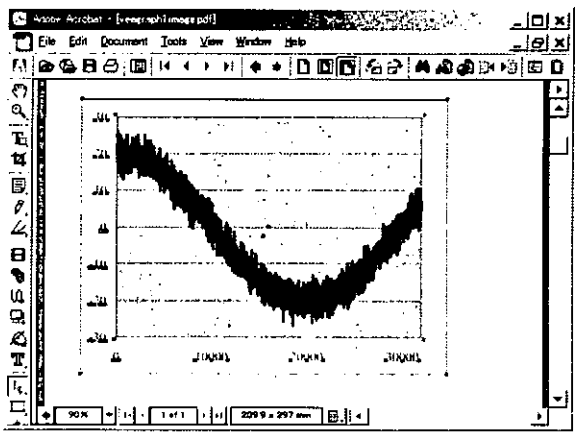


図 4：ピクセル画への変換後

ピクセル画の容量は、その解像度と圧縮方法によって左右される。必要以上に解像度を上げてもメリットは無く、200 から 300dpi 程度が、品質と容量のバランスが良いとされている。図 4 の例では 300dpi に設定した。拡大表示しなければ画質の低下は殆ど感じられない。解像度を落とす場合の補間方法には「バイキュービック法」又は「ニアレストネイバー法」を使用することで画質の低下を抑えることができる。

5. 日本語論文の電子出版

5.1 フォントの埋め込み

日本語文書の PDF 化は、フォントの埋め込みを行なうか否かで、その方法が異なる[4]。日本語フォントは、その表示や印刷に各システム固有の TrueType フォントを使用するのが一般的で、標準 14 フォントの様なアプリケーションレベルでの共通フォントが存在しないことが、その主な理由である。フォントの埋め込みとは、フォントデータを PDF ファイルに含めることで、全てのシステム上でオリジナルフォントの表示を可能にする処理のことを言う。埋め込みを行なわなくとも、標準的な明朝体、ゴシック体などを使用すれば、フォント置き換え機能によってオリジナルに非常に近い文書の表示は可能である。しかし、書体自体は標準的であっても特定のシステムでしか表示できない文字や記号、いわゆる機種依存文字を使用した場合、それ以外のシステム上では文字化けが発生する。また日本語フォント以外でも、Microsoft Office の数式エディタと同時にインストールされる「MT-Extra」など、特定のアプリケーシ

ョンに依存するフォントを使用した場合も同様な問題が起こり得る。フォントの埋め込みにより上記の問題は解決されるが、Acrobat4.0 では Macintosh 上で TrueType フォントの埋め込みが不可能であったこともあり、一般的には行なわれていなかった。Acrobat5.0 のリリースで、この点も解決し、今後は埋め込みを行なうケースが増えると予想される。

一方でフォントを埋め込んだ場合、フォントデータが PDF ファイルに含まれる分、ファイル容量が増加するというデメリットもある。本報告書の PDF 化で比較すると、MS ゴシック及び MS 明朝を埋め込んだ場合で約 500KB、埋め込まない場合で約 360KB であった。また、フォントのベンダーによっては埋め込みを禁止しているため、注意が必要である。

5.2 技術研究会における電子出版

平成 10 年度技術研究会[5]（高エネルギー加速器研究機構主催）及び平成 12 年度技術研究会[6]（東北大学主催）では報告集の電子出版が実施され、PDF が各々のホームページで公開されている。平成 10 年度技術研究会では実行委員会によって詳細な報告書執筆要領が作成され、これに沿ったテンプレートファイル（Windows 用 Word 及び一太郎、Macintosh 用 Word 及び EGWORD）も準備された。報告集は CD-ROM でも配布された。

5.3 リニアック技術研究会における電子出版

平成 13 年には「第 26 回リニアック技術研究会」を高エネ研で主催し、前年度（高輝度光科学研究センター主催）に引き続き電子出版が行なわれた[7]。現在ウェブ上で PDF が公開されている。研究会事務局では将来的な統一も視野に入れ、JACoW テンプレートをベースにして日本語化する形で論文の書式を策定した。さらに Microsoft Word ソースファイルでの論文提出を基本とし、テンプレートを準備した。投稿論文作成方法の内訳は、Windows 版 Word が約 7 割、Macintosh 版 Word が約 2 割、その他のワープロ及び TEX が約 1 割であった。

6. まとめ、今後の展望

これまでに我々の関わった会議、研究会における日本語電子出版は、主催機関ごとに独自の手法で行なわれた感が強い。今後、継続的に開催される会議や研究会で、主催者の負担を軽減し効率的に電子出版を行なう上で、JACoW スタイルのような統一フォーマットの策定、電子出版技術及び情報の共有、継承が不可欠である。また電子出版の分野では、その技術や流行は刻々変化していく。電子文書フォーマットとしての PDF の優位性も未来永劫絶対的なものではなく、常に最新の動向にも目を向けておく必要がある。高エネ研技術部では、電子出版講習会[8]の開催等、技術の習得、普及を行なっている。

参考文献

[1] http://accelconf.web.cern.ch/AccelConf/top-page.html

[2] 濁川和幸、「加速器系国際会議における電子出版」、平成 10 年度技術研究会、高エネ研

[3] 平 雅文、「Gemini 3.1 によるイメージの修正法」、電子出版講習会資料、高エネ研

[4] 吉本伸一、「日本語で電子出版を行なう場合の注意点」、電子出版講習会資料、高エネ研

[5] 平成 10 年度技術研究会、高エネ研、http://www-eng.kek.jp/meeting/

[6] 平成 12 年度技術研究会、東北大学、http://platypus.lns.tohoku.ac.jp/

[7] 第 26 回リニアック技術研究会、高エネ研、http://conference.kek.jp/lam26/

[8] 技術部セミナー「電子出版講習会」、高エネ研、
http://www-eng.kek.jp/seminar/seminar01-1.html

ＡＣＭ－ＡのUNIX化（１）

日本原子力研究所　那珂研究所
○佐藤　稔　岩崎慶太　松田俊明

1. はじめに

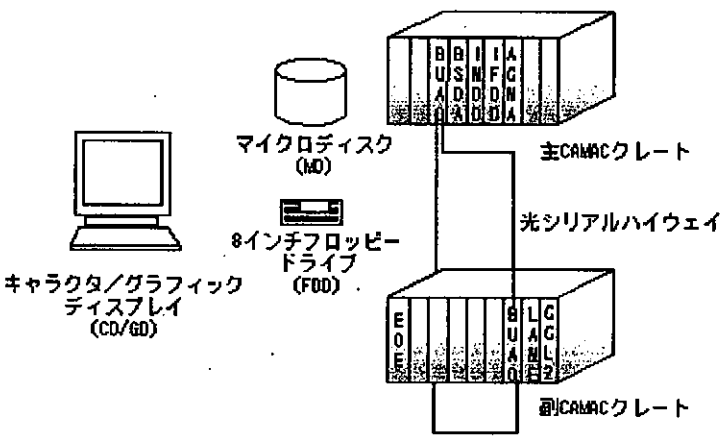
JT-60 データ処理設備では、運用開始から１５年以上経過した現在でも CAMAC の制御に ACM-A というマイクロコンピュータ付補助クレートコントローラを使用している。しかし、近年老朽化及び保守に支障をきたすことから、ACM-A に替わり一部であるが PC や WS で CAMAC を制御するようになってきている。そこで、運用開始から現在に至るまでの ACM-A ソフトウェア開発環境の移り変わりについて現システムと比較して報告する。

2. CAMAC

CAMAC は JT-60 計測において、各計測装置に対応した制御及びデータ収集を行うために使用されている。

3. ACM-A

ACM-A は 16 ビットモジュール型マイクロコンピュータ（インテル 8086/8087,動作周波数：5MHz）を内蔵しており、メモリ(ROM/RAM)モジュール、マイクロディスク(MD)インタフェースモジュール、フロッピーディスク(FD)インタフェースモジュール及びディスプレイ(CD/GD)インタフェースとが一体となって各計測装置の光シリアルハイウェイループで構成される CAMAC システムを制御する。（図１参照）



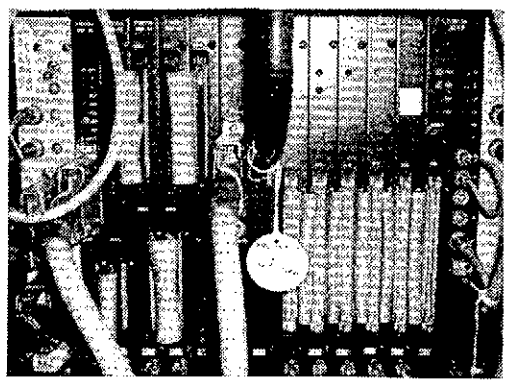


図１ ACM-A構成図

4. 従来の ACM-A ソフトウェア開発環境

ACM-A ソフトウェアは計測装置別に以下の開発環境で開発される。利用者は開発する言語として PL/M-86 を使用する。（図２参照）

4.1 MDS

MDS はインテル社マイクロプロセッサ用純正開発システムであり、運用当初はこの MDS で開

発を行ってきた。しかし、独自の OS(ISIS-Ⅱ)及びエディタを使用するため手間と時間がかかり、かなりの労力を費やした。また、保守費用が高くついたのと部品の調達が困難になってきたのを理由にメーカーが保守を打ち切った。

現在は使われていない。

4.2 PC98

PC の普及によるのと、使い勝手のよさから MDS に替わり PC98 による開発に変わった。OS は MS-DOS、エディタには MIFES を使用した。しかし、利用者が作ったアプリケーションプログラムとリンクするための IO 及び CAMAC アクセスプログラムは MDS 環境下で開発されパッケージされたものであり、そのまま使用することが出来なかった。また、同じように PC98 環境下ではコンパイラ及びリンカーが動作しない。そこで MDS 環境設定プログラム（ACCESS-Ⅲ通称 RUN）を入れることで MDS と同様な環境になった。

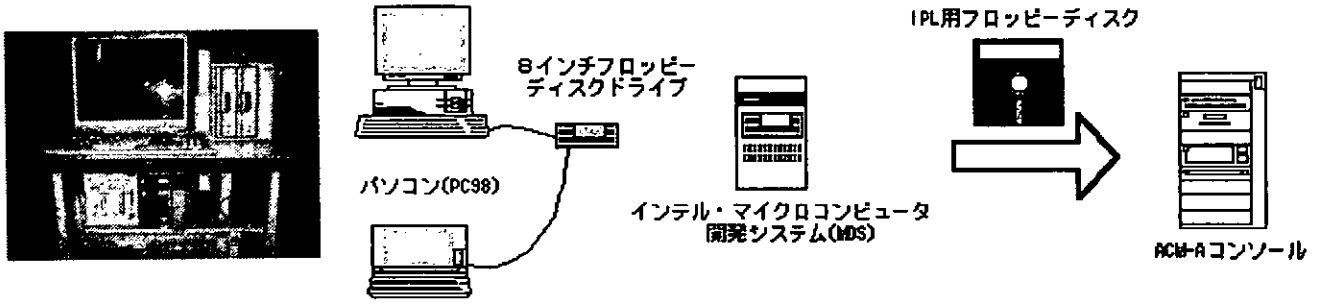


図２ 従来のACM-Aソフトウェア開発機器

4.3 ソフトウェア開発手順

利用者は計測装置を動作させるためのアプリケーションプログラムを作成する。そして、Nucleus(OS)の下コンパイル及びリンクを実行するためのサブミットファイル（今で言うと make ファイル）を作成及び実行してロードモジュールを作り、既に開発されたパッケージソフトウェア（I/O 管理プログラム、CAMAC アクセスプログラム）をそれぞれメモリにロケート(現在は OS が自動的に行ってくれる)する。(図３参照）ただし、このロケート作業を実施する前に利用者はメモリマップを作成して OS、アプリケーションプログラム及び各パッケージソフトウェアを格納する領域（メモリアドレス）を予め指定しなければならない。また、使用できるメモリ容量には限り（最大約 400K バイト）があり、もし容量をオーバーした場合はアプリケーションを親ジョブと子ジョブに分ける必要がある。(アプリケーションの容量がかなり大きい場合は機能別にいくつもの子ジョブに分ける）分けられ

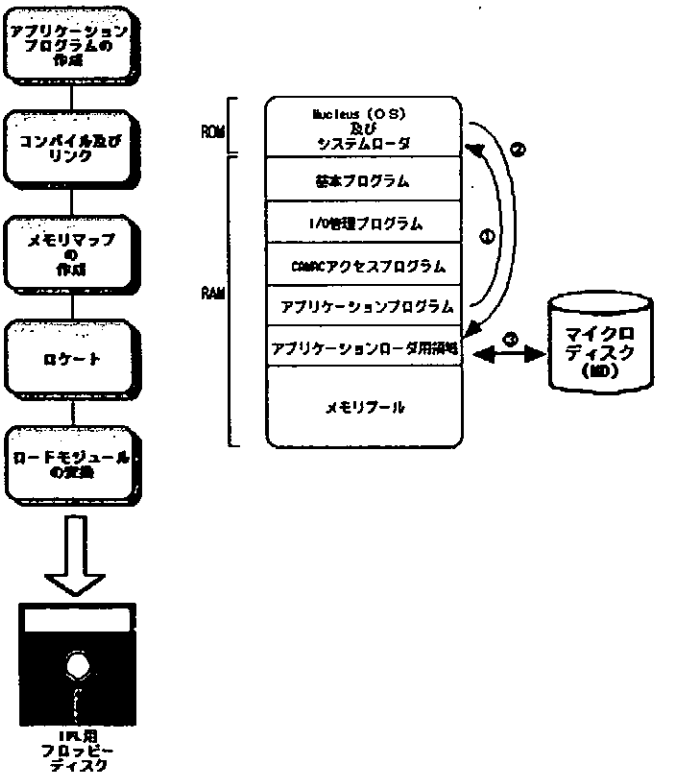


図３ IPL用フロッピーディスクの作成フロー及びACM-Aメモリマップ

た子ジョブをマイクロディスク(MD)に格納し、メモリマップに子ジョブ用の領域を確保する。そしてアプリケーションローダ（パッケージソフトウェア）を使ってメモリマップ上の子ジョブ領域とマイクロディスク(MD)間で出し入れ（現在の OS で言うスワップ機能）を行う。（図3 ①②③：処理の流れ）この場合、親ジョブのアプリケーションプログラムにアプリケーションローダを呼び出す CALL 文を追加して再コンパイルする必要がある。最後にシステムセーバ（ACM-A 上で動作させるための変換ツール）を使い、それぞれのプログラム（ロードモジュール）をフロッピーディスク（8インチ）に書き込む。これで IPL 用フロッピーディスクが出来上がる。

5. 近年の ACM-A ソフトウェア開発環境

ここでは ACM-A に替わるコンピュータとして WS を取り上げる。WS では直接 CAMAC との接続が出来ないので、CAMAC シリアルハイウェイドライバ Kinetic2140-Z1A（キネティック社製）を採用して WS と VME のシステムとなった。これにより開発機器を使わずにソフトウェアを開発し、直接 CAMAC を制御出来る様になった。

5.1 機器構成その1

Sun SPARCstation5 に SFVME（ソルフラワー社製）を取り付ける。これは SBus ベースのシステムで、SBus と VMEbus を接続する拡張ケーブルと VMEbus に変換するアダプタを使用する。但し、SFVME は製造中止となり、2年程前には代理店の保守も打ち切りとなった。（図4参照）

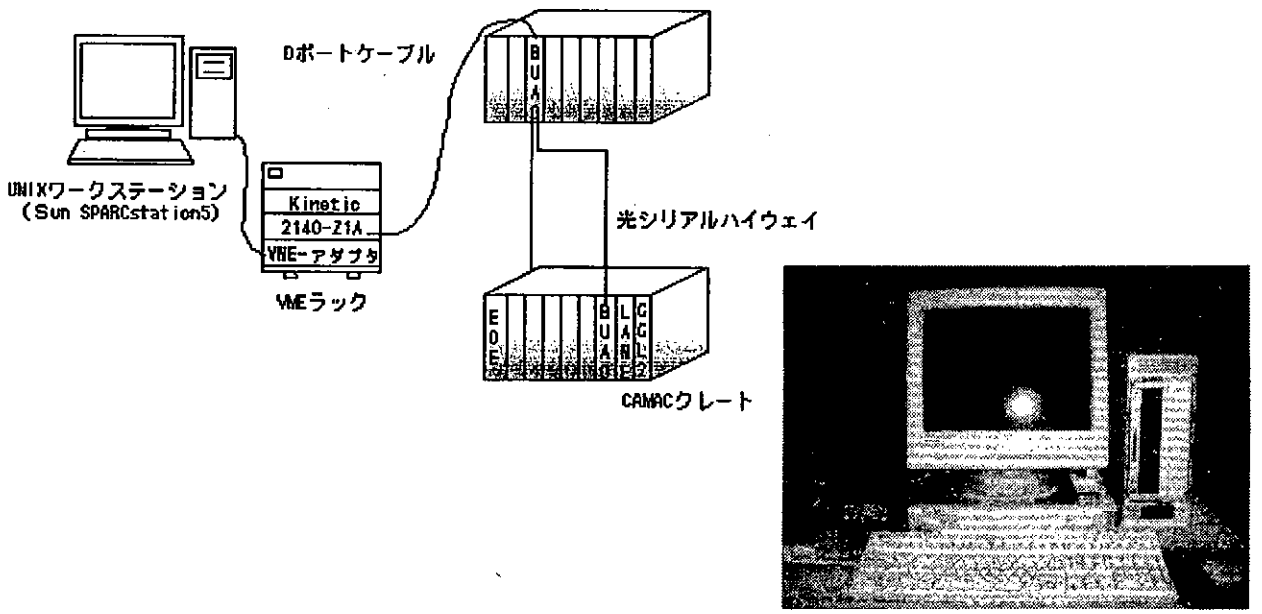


図4 近年のACM-Aソフトウェア開発機器（その1）

5.2 機器構成その２

SPARC-CPU ボード(FORCE コンピュータ社製)を VME ラックに組み込む。これは VMEbus ベースのシステムで、現在の主流である。(図５参照)

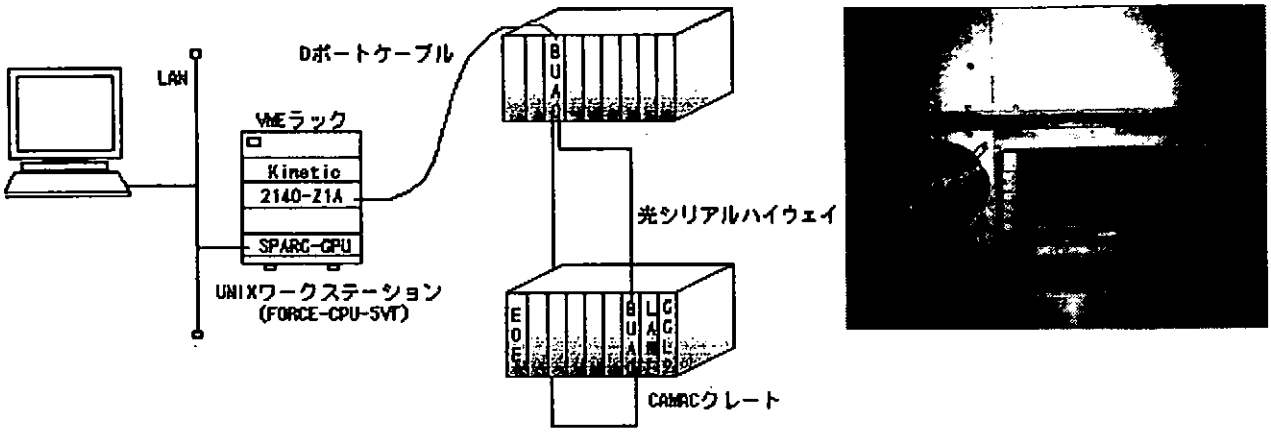


図５ 近年のACM-Aソフトウェア開発機器（その２）

5.3 ソフトウェア開発手順

利用者は MDS や PC98 時のようにメモリや I/O 管理を意識する必要はない。(すべて OS が行ってくれる) C 言語でアプリケーションプログラム及び必要に応じて make ファイルを作成し、コンパイル及びリンクが通れば問題ない。但し、CAMAC アクセスのサブルーチンは用意されていないので、独自で作成するか、直接 Kinetic2140-Z1A デバイスドライバを利用する。

6. まとめ

従来の ACM-A ソフトウェア開発環境から現 ACM-A ソフトウェア開発環境に移る要因は計算機の進化による旧計算機の保守の難しさであった。別に保守が完全に出来れば従来の開発環境でも運用は可能であるが、WS や PC に移行することで操作性及びデバック等の容易さが向上し、尚且つネットワークによる遠隔操作が可能になったことが大きい。

7. 今後の予定

WS 及び PC でのソフトウェア開発環境の整備として、各アプリケーションプログラムに対応した共通サブルーチン作成及びライブラリ化を進めると同時に、現在十数台ある ACM-A を順次 WS 及び PC に移行する予定である。

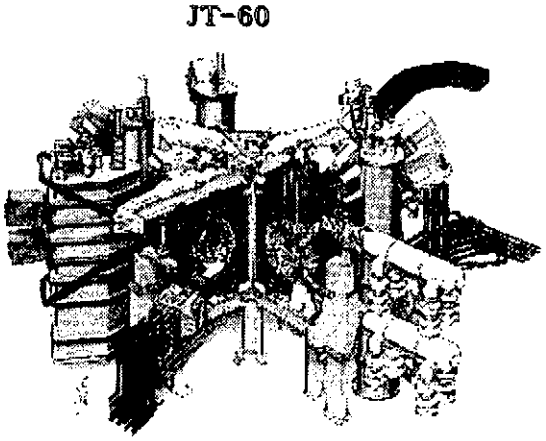
ACM - A の UNIX 化（２）

日本原子力研究所 那珂研究所　　○岩崎慶太　佐藤稔　松田俊明

１．はじめに

プラズマ計測に用いられる JT - 60 データ処理設備は CAMAC モジュールを使用して各計測装置の制御と計測データの収集等を行っている（図１）。その中核となるマイクロプロセッサ付補助クレートコントローラ ACM - A は JT - 60 の放電シーケンスに同期して装置の制御、設定、監視等を行うマイクロコンピュータ付 CAMAC モジュールである。しかしこのシステムのハードウェア、ソフトウェアの調整を行うには構築当初の特殊な技術が必要な為、システムの汎用性を図り WS（UNIX ）化した経緯について報告する。

２．UNIX 版 ACM-A の構成



CAMAC サブシステムは図１に示す通り計測装置の制御とデータの収集を行うものである。UNIX 化以前は、ACM-A（マイクロコンピュータ付補助クレートコントローラ）が BSD-A（バイト・シリアル・ドライバ・タイプ A）を介してシリアルハイウェイ上のクレートを制御し、計測装置内の計測器設定や電源制御、監視等を行っていた。しかしこれらのクレート群（最大６２台接続可能）をコントロールする ACM-A の運用、保守には、PL/M 言語によるソフトの修正や各計測器毎の特殊な運転操作を必要とした。今回の UNIX 化（以下cVACM-A と略す)では ACM-A に替わり汎用性のある OS(Solaris)と言語（C）へ、BSD-A から Kinetic 2140（以下Ｋ２１４０と略 す）シリアルハイウェイドライバへとシステムをリプレースし、運用性、保守性の向上を図った。

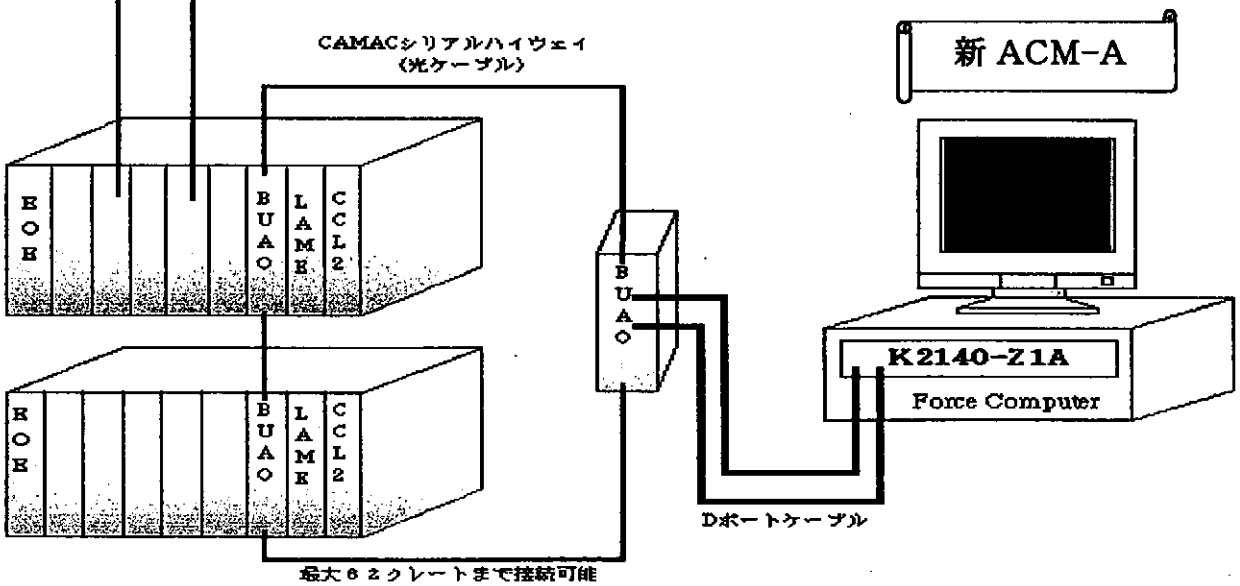


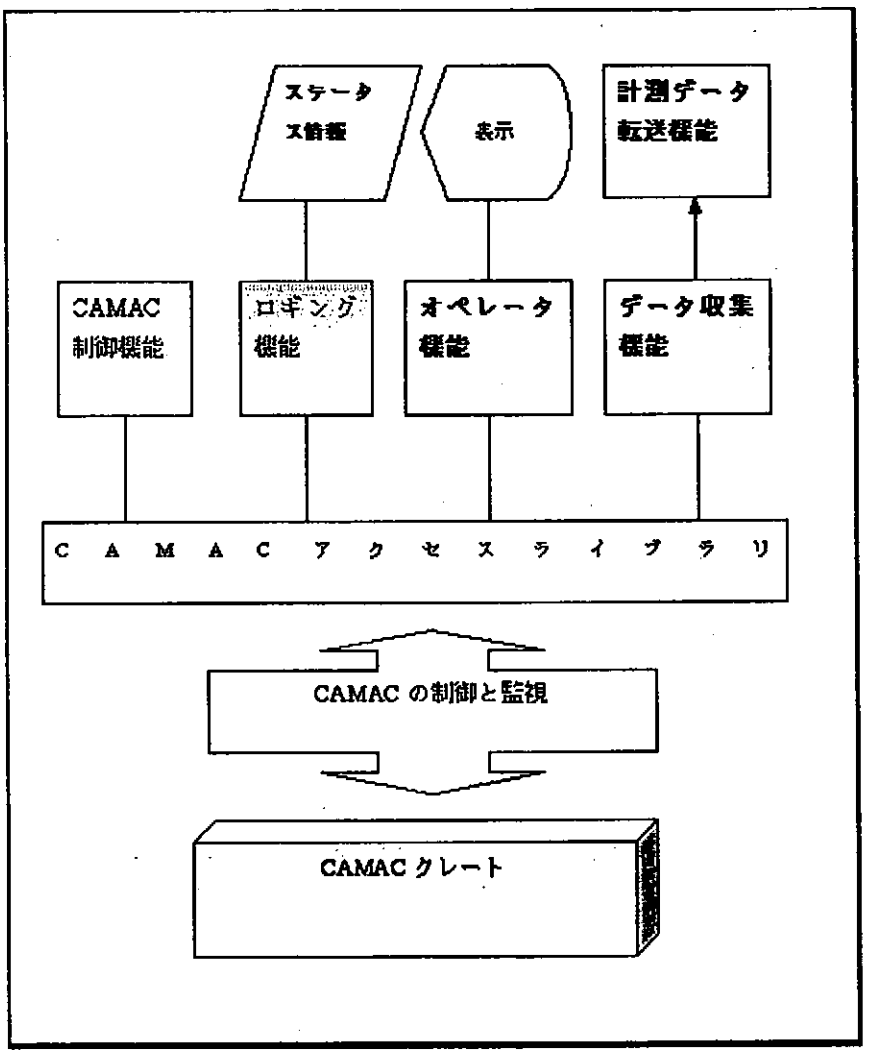
図１

3. CAMAC モジュールの制御

[2. UNIX 版 ACM-A の構成]より CAMAC は各制御装置や上位計算機との信号のインターフェイス機器として用いられている。クレート中のモジュール制御はクレートコントローラ（ACM-A や CCL2）が行う。そしてこれらクレートコントローラを上位計算機（ここでは UNIX ワークステション）が K2140 シリアルハイウェイドライバを介して制御している。またモジュールの制御方法であるが、基本的には CAMAC コマンドと呼ばれる制御信号と、データ（16bit /24bit）との組合わせを発行して行われる。逆にモジュールからは LAM 信号とコマンドに対する応答のみである。CAMAC コマンドは C、N、A、F の４つの組み合わせと、書き込み時の１６ビット/２４ビットのデータを付ける。逆にコマンド発行を受けたモジュールは、Q 応答と X 応答の２つをコントローラに返す。X 応答はコマンドが正しいか否かを、Q 応答はモジュールによって意味付けが異なり、モジュールの設計段階で決められている。また K2140 デバイスドライバからもシリアルハイウェイ伝送エラー、ソフトウェアタイムアウト、パリティーエラー等のステータスが付加されてくるので CAMAC サブシステムの状態は一通り把握できるようになっている。

4. 新 ACM-A ソフトウェアの構成

新 ACM-A ソフトウェアでは CAMAC サブシステムの UNIX 化に伴い ACM-A ソフトウェアを UNIX に移植した（右図）。特に変更したのは CAMAC インターフェース制御装置(CICU)と統合した機能（①）、改良した機能（②）、新規に追加した機能（③）である。



①-1 データ収集機能：メモリーモジュールにコマンドを発行してデータの収集を行い、放電番号に対応するデータファイルを作成し格納する。

①-2 計測データ転送機能：データ収集機能により作成されたデータファイル等を ISP（データ処理設備の基幹的計算機）に転送する。

②オペレータ機能：各計測装置を操作、監視する。

③ロギング機能：CAMAC モジュールのステータス情報を記録する。

4-1. データ収集機能と計測データ転送機能について

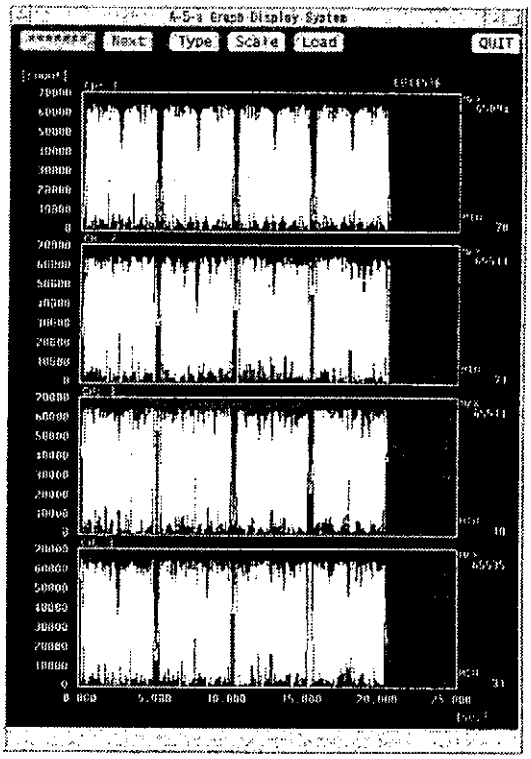
旧 ACM-A の制御はあくまで「モジュールのみ」である。収集したデータは上位計算機 CICU が CAMAC シリアルハイウェイ経由でメモリ中のデータを ACM-A 経由で収集し、LAN と専用アプリケーションで ISP へ

転送していた。ここで CICU も CAMAC を制御していることになるが実は新 ACM-A と同じく K2140 を使用して CAMAC 制御を行っている。このように CICU は ACM-A と交信して CAMAC 制御とデータ収集を行うが、ACM-A 自身を UNIX 化する場合にはあえて CICU を経由する必要はないので LAN 経由で直接 ISP にデータ転送することとした。

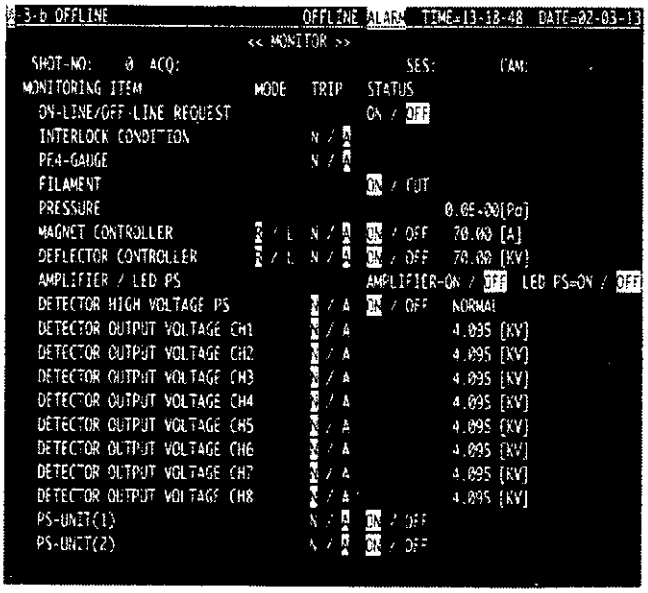
4-2. オペレーション画面の改良

各計測装置を操作、モニタリングする際のオペレーション画面は２色表示の CUI から GUI に改良し、X-Window 対応のグラフィカルな表示とマウス操作を可能とした。また OS に装備されている xhost を使用して他のワークステーションからリモート表示と操作が行えるので現場に限定されずに運転と監視ができる。PC でも XVision 等の X サーバを使い同様の事が行える。ただし GUI を使用したリモートによる画面表示では、端末のメモリやネットワークに若干ではあるものの負荷がかかり、少々面倒な設定も必要である。このような事から軽微なモニタリングやオペレーションをする場合の為に telnet による操作だけで簡単に起動できる CUI 環境も残してある。PC も同様にシンプルかつコンパクトな telnet エミュレータを利用できる。またオペレーション画面のオプション機能として計測データのグラフ表示機能がある。旧 ACM-A ではデータ収集機能により作られた計測データファイルはデータ転送機能により上位計算機である ISP へ転送されてしまい、１shot 分しか表示できなかった。本ソフトウェアでは最新５０shot 分が確保でき、それらの範囲内であれば常時オペレーション画面からデータをグラフ表示することができる。

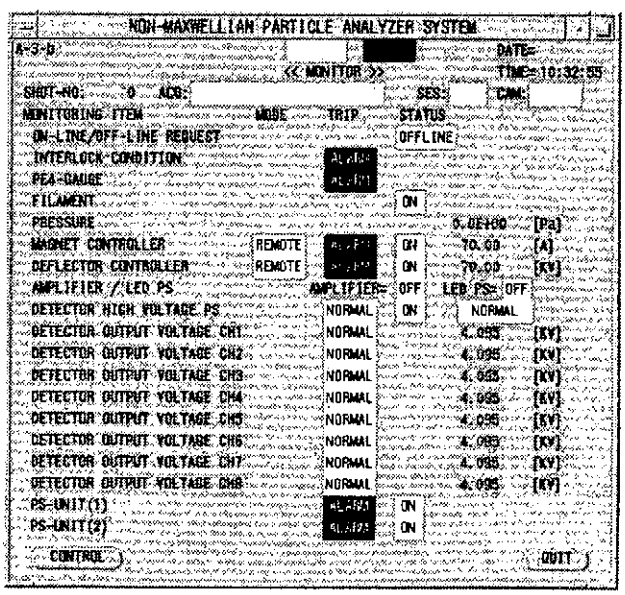
グラフ表示画面



旧 ACM-A 操作画面

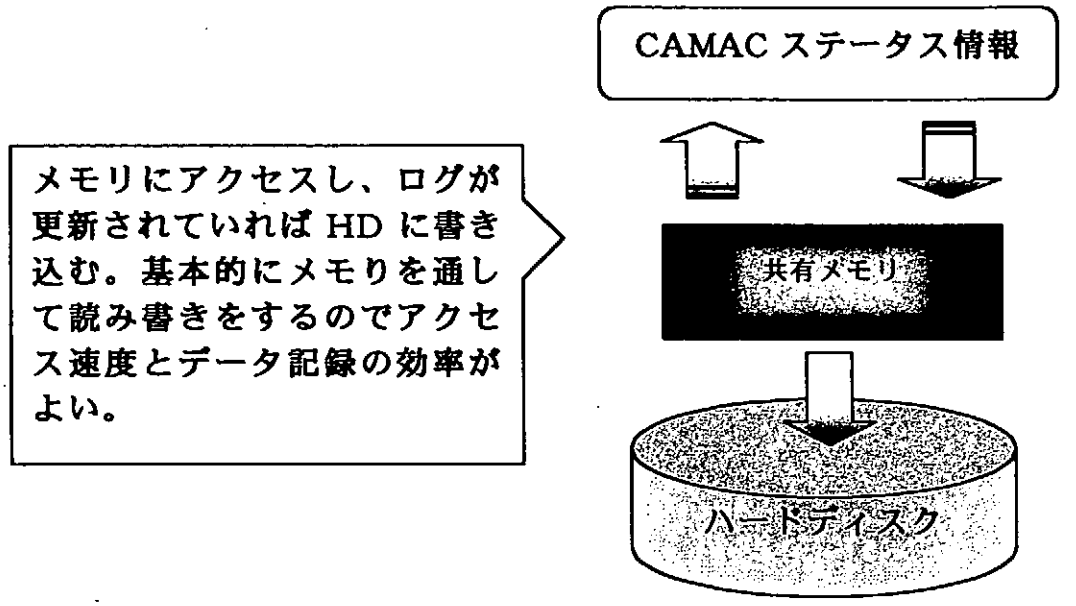


新 ACM-A 操作画面



4-3.ロギング機能

旧 ACM-A ではログ機能がなく CAMAC サブシステムの動作状態や応答等の具体的な情報を得る手段がなかった。新 ACM-A では OS に搭載されているメモリマッピング機能を利用して CAMAC サブシステムの状態を常時記録している。この機能の特徴はファイルの任意の部分がプロセスのアドレス空間に含まれ、ページフォルトによって強制されるまで実際にはメモリに読み込まれず、その内容が修正された場合だけメモリのページがファイルに書き込まれる。そのため自動的かつ効率的にログファイルの記録と参照ができるようになった。



5．おわりに

CAMAC サブシステムは製作から１５年以上を経た機器が多く旧式化しているが、今回の UNIX 化によりソフトウェア開発環境が向上し、オペレータ画面の改良とログ機能により運転、監視の効率が上がった。このように既存の装置を活かしながら新しいハードとの互換性を保ち、それに伴うソフトウェアの改良を以後も進めていく予定である。

尺度空間解析によるひび割れ検出の自動化に関する検討

東京工業大学　精密工学研究所
○丸田　英徳

1　はじめに

近年の情報処理ハードウェアの発達により，比較的高速に画像処理を行うことが容易になり，また，セキュリティ・医療・計測・制御・ヒューマンインタフェースなどの様々な分野で画像処理の応用による作業の自動化・高速化・省力化が進められており，これからもますます広がっていくものと考えられる．一方，コンテンツも大量化大容量化が進み，これまでの一般的に利用されてきた画像処理・認識の手法に加え，これからのマルチメディア時代に向けた新たな手法が必要となる．

本報告では，当研究室で以前から研究・開発を進めてきた尺度空間解析に注目する．尺度空間解析とは，画像の階層的表現形式の一手法で，これまでに数多くの研究がなされ (e.g. [1])，工学的な応用にとどまらず，生物学特に生物の初期視覚モデルのひとつであり，いわゆる"coarse-to-fine"なシステムの開発で重要な位置を占める．今回，本研究室に持ち込まれた事案のひとつである道路のトンネル側壁等に存在する「ひび割れ」の検出に，尺度空間解析を行うことを考えた．本事例の最終的な目標は，車載カメラ等から取得した画像から自動的にひび割れの候補を検出することにある．本報告においては，今後の展開のための基礎実験として，ひび割れを含む入力画像を尺度空間上で表現した場合に，どのような構造があらわれるかについて実験および考察の結果を報告する．なお，用いる画像はすべてグレースケール画像とする．すなわち画像は，画素値という強度を成分としてもつ 2 次元配列として表現される．

2　準備

本節では，本報告で用いる領域分割と尺度空間解析について簡単に解説し，以後の準備とする．今回用いる領域分割は，一般的に $water-sheds$ と呼ばれる手法を離散化したものに相当する．詳細は省略するが ([3])，簡単にいえば，画像 $f(x,y)$（地形）上に沿ってその極点（谷（極小点）または丘（極大点））に流れ込むような「流れ」（水の流れ）を考えた場合，ひとつの極点に流れ込むパス上にある画素は，すべて同一の領域に含まれると考える．すると，画像は一意に領域分割され，各領域には必ず唯一つの極点が存在するという性質をもつ．
（ここで，領域分割は，谷中心（画像でいえば暗部）の Dale Segmentation と丘中心（同じく明部）の Hill Segmentation が考えられるが，予備実験の結果から，今回は Hill Segmentation を用いることにした．）

一方，画像の尺度空間解析では，原画像 $f_0(x,y)$ に対し，拡散方程式

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial\tau}f(x,y;\tau) &= \frac{1}{2}\nabla^2 f(x,y;\tau) \qquad (\tau>0) \\ f(x,y;0) &= f_0(x,y) \qquad \text{(initial value)} \end{aligned} \tag{1}$$

で定義されるボケ画像 $f(x,y;\tau)$ について解析を行う．このボケ画像 $f(x,y;\tau)$ は，

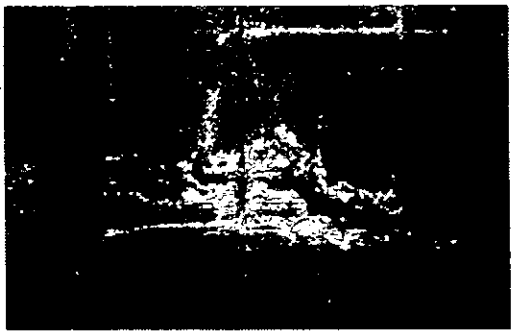


図 1: ひび割れ画像の例 (1)



図 2: ひび割れ画像の例 (2)

$$f(x,y;\tau) = \int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty} f_0(\xi,\eta)G(x-\xi,y-\eta;\tau)d\xi d\eta \qquad (\tau>0) \tag{2}$$
$$G(x,y;\tau) = \frac{1}{2\pi\tau}\exp\left(-\frac{x^2+y^2}{2\tau}\right) \qquad (\tau>0)$$

のように原画像と *Gaussian* との畳み込みで表現される.

領域分割と尺度空間解析の関係であるが, スケールパラメータ τ が大きくなると各領域は統合 (merge) されてき, 画像に含まれる対象は徐々にその構造が失われ, 単純化していく. このとき, 対象の階層的記述が得られ, この記述をもとに構造解析を行い, あるいは目的に応じた最適な τ を決定する.

3 実験および結果

本報告の目的であるひび割れの検出についてであるが, 図 1,2 にひび割れ画像の例を示す.

このようなひび割れ画像の解析には, 従来のテクスチャ解析のような手法は利用できない. そのため, 尺度空間上にこの画像を展開した場合に, どのような構造が得られるかの実験を行った. その結果を図3,4 に示す. それぞれ上から $\tau = 10, 30, 90, 150$ のときの結果である.

4 考察および今後の課題

結果の図から,τ が大きくなるにつれて, 領域の境界線がひび割れの上に安定にあらわれている. しかし, ある τ を超えた時点で, 境界線とひび割れがずれてしまうことがわかった. これは, 基本的にひび割れが画像のエッジとしてあらわれており, ガウシアンによる線形の平滑化フィルターともとらえることのできるボケ変換によって, エッジの性質が τ の増加とともに失われていくと考えられる.

本報告の結果はここまでであるが, まだサンプルの数が圧倒的に少なく, ひび割れ画像の集合がどの程度のバラエティをもつのかを調べることが必要である.

また, 今後の展開方針として上記の理由から, 以下の非線形な拡散方程式による非線形尺度空間解析 (e.g. [4]) を用いることを考えている.

$$\partial_\tau u = div\left(g\left(|\nabla u|^2\right)\nabla u\right) \qquad (\tau>0) \tag{3}$$
$$u(x,y;0) = f_0(x,y) \qquad \text{(initial value)}$$

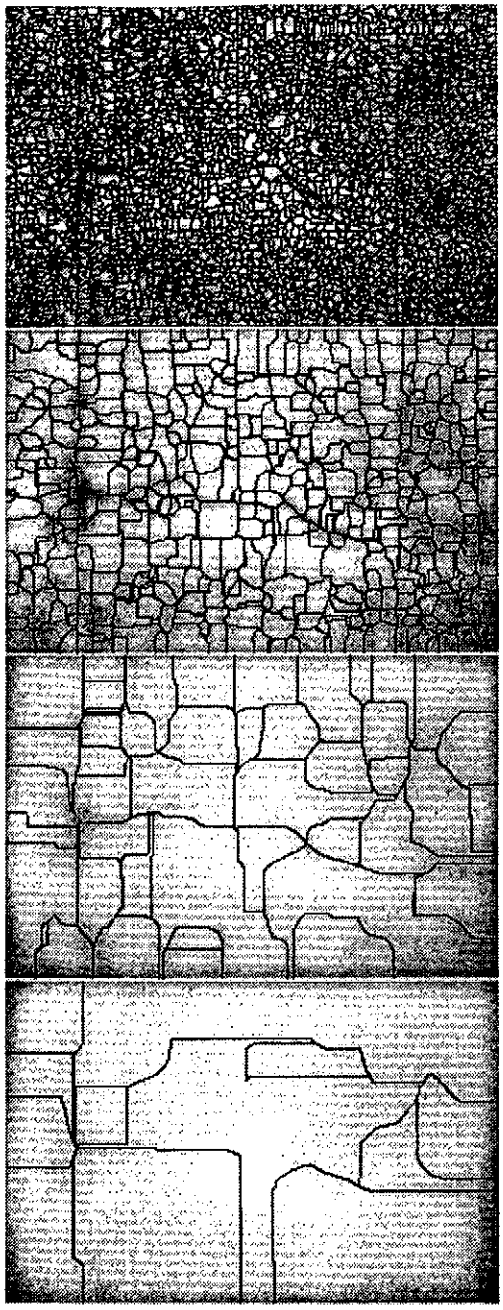


図 3: 実験結果の例 (1)

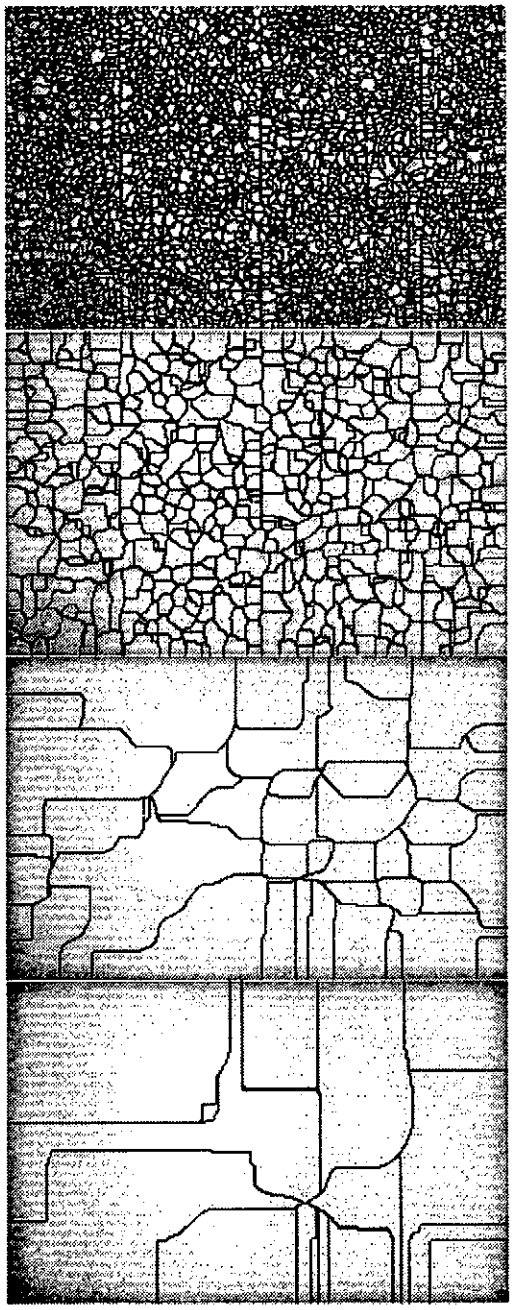


図 4: 実験結果の例 (2)

ただし g は $g>0$ で非増加関数である．(たとえば $g(s)=\frac{1}{1+\frac{s^2}{\lambda^2}}$，ただし λ は定数．[2]) この方程式で定義される階層的表現では，拡散係数（テンソル）g の性質から τ の増加に伴いエッジが強調される．そのため，(うまく g を選ぶと）ひび割れと領域境界線が一致が保たれる可能性がある．

また，今回は触れなかったが，最適なスケールパラメータについても，ボケ画像の情報量エントロピー (Kullback-Leibler divergence)

$$I(f(\tau)|f(\tau'))=\int\int f(x,y;\tau)\ln\frac{f(x,y;\tau)}{f(x,y;\tau')}dxdy \tag{4}$$

などを用いて制御できるのではないかと考えている．

参考文献

[1] T. Lindeberg: *Scale-Space Theory in Computer Vision*, Kluwer Academic Publisher, 1994.

[2] P. Perona, J. Malik: "Scale space and edge detection using anisotropic diffusion", *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol.12, pp629–639, 1990.

[3] S. Chinveeraphan: *A Hierarchical Description of Gray-scale Images based on Image Dipoles*, Ph.D thesis, Tokyo Institute of Technology, 1996.

[4] J. Weickert: "APPLICATION OF NONLINEAR DIFFUSION IN IMAGE PROCESSING AND COMPUTER VISION",*Proceedings of Algorithmy 2000*, pp33–50, 2000.

ＪＴ−６０U用負イオンＮＢＩの分光モニタ装置

日本原子力研究所　○本田　敦・山本　巧・梅田 尚孝

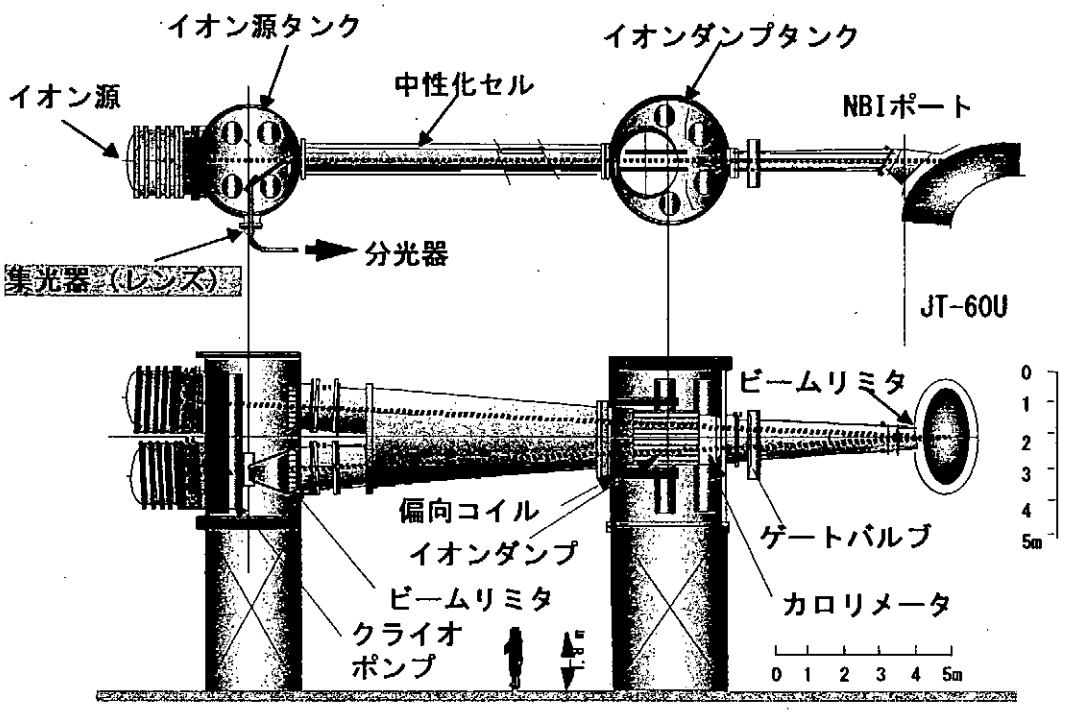
１．はじめに

ＪＴ−６０U用負イオンＮＢＩ装置（N-NBI）は、ＪＴ−６０Uのプラズマ中心加熱と電流駆動を目的として設置された負イオンをベースとする中性粒子ビーム入射加熱装置であり、最大５００ｋｅVにて１０MWの水素または重水素ビームを１０秒間、入射することを目標に開発を進めている。開発課題の一つにイオン源の加速電極への熱負荷の低減があり、現在その熱負荷の原因の一つとして負イオンのストリッピング（加速中における負イオンの付着電子の剥離）による剥離電子の電極への流入が考えられている。ストリッピングの量は、イオン源から引出されるイオンビームのエネルギー分布（スペクトル）を分光計測することで推し量ることができる。

分光モニタ装置は、ビームの光を取込むレンズ系（集光器）、その光を分光器まで伝送する光ファイバケーブル、そして光を波長ごとに分解しその強度を計測する分光器で構成されている。N-NBIの分光計測では、高エネルギーの水素または重水素負イオンビームが、真空中を走行する際に真空中に残存している水素または重水素の分子と衝突して励起され発光する光を観測する。ビーム進行方向に対して斜めの視野角度（１５２ｄｅｇ）に設定したレンズでビーム光を集光すると、ビームエネルギーに対応したドップラーシフトスペクトルが観測できる。このスペクトルから、ビームのエネルギー組成などが推定できる。本装置は平成１３年９月に計測を開始し、その観測データは電極熱負荷低減のための運転条件の最適化に役立っている。

２．N-NBIの概要

第１図にN−ＮＢＩ装置のビームラインを示す。N−ＮＢＩ装置はイオン源で生成された負イオンを引出、加速して、中性化セルで中性ビームに変換し、中性化されたビームはＮＢＩポートを通過して、約２４m先のＪＴ−６０内に入射されプラズマを加熱及びプラズマ電流駆動するものである。

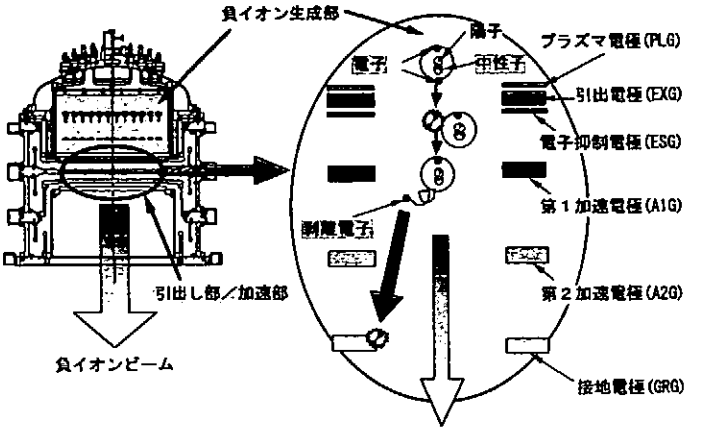


第１図　ＪＴ−６０U用N−ＮＢＩのビームライン

3．負イオン源と電極熱負荷

第２図に負イオン源の断面図を示す。負イオン源はアーク放電を起こしてソースプラズマを作る負イオン生成部と生成された負イオンを引出し、最大５００ｋｅＶまで加速する負イオンの引出し部／加速部に大別される。負イオン引出し部は、負イオン生成部側からプラズマ電極（ＰＬＧ）、引出し電極（ＥＸＧ）、電子抑制電極（ＥＳＧ）の３枚の電極で構成され、ソースプラズマ中で生成された負イオンを生成部から引出し負イオン加速部へ入射するとともに負イオンと同時に引出される電子を回収・処理する機能を有している。また、負イオン加速部は負イオンを所定のエネルギーにまで加速するためのものであり、負イオン生成部側から第１加速電極（Ａ１Ｇ）、第２加速電極（Ａ２Ｇ）、接地電極（ＧＲＧ）の３枚の電極で構成されている。

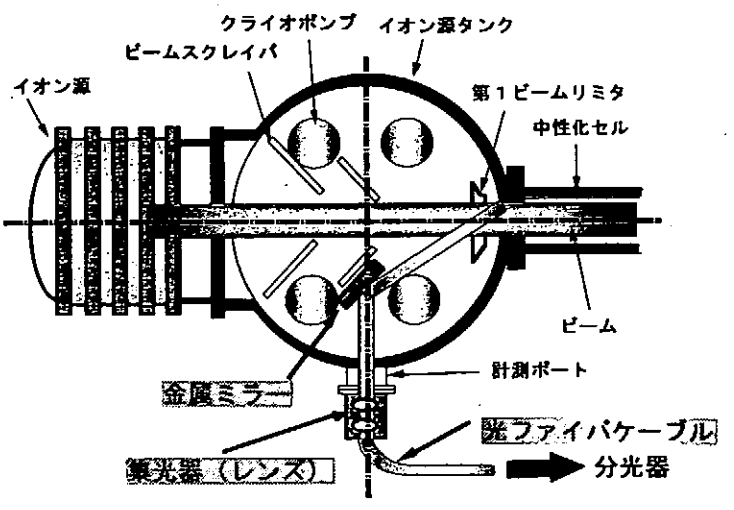
負イオンビームの出力の向上、最適化のために解決しなければならない課題のひとつが、加速部の電極熱負荷を低減させることである。この電極熱負荷の原因は、加速中の負イオンが加速電極内に浮遊しているガス分子に衝突して電子が外れてしまい、この剥離された電子が加速され各電極に衝突し熱負荷の増大に関与していると考えられている。



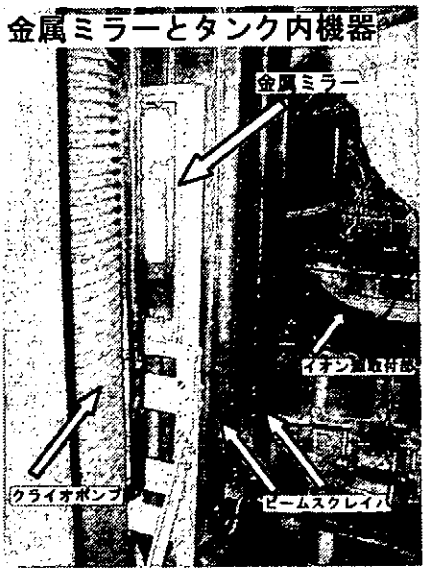
第２図　ＪＴ－６０Ｕ負イオン源

4．負イオンビームの分光測定方法と光学設計

第３図にイオン源タンクの機器配置を示し、写真－１はタンク内（真空容器）機器の設置状態を撮影したものである。負イオン源から引出された負イオンビームのエネルギー分布（スペクトル）を測定するためにはイオン源タンク内を通過するビームを進行方向に対して斜めの視野角度で観測する必要がある。しかし、負イオンＮＢＩ装置のイオン源タンクにある計測ポートはビームに対して直角の視野に設置されている。さらにタンク内部には受熱機器（ビームスクレイパ）や真空排気用クライオポンプなどがあり、ビーム・スペクトルの計測するための視野が確保できない。そこで集光器（レンズ）とビームを結ぶ光軸上に反射用金属ミラーを設置することでビームに対しての斜めの視野角度をつくりスペクトル計測を可能にした。なお、ミラーの材質を金属としたのは設置場所の近傍に超低温（－１９６℃）の冷媒を使用する真空排気用クライオポンプがあるため、一般に使用しているガラスでは材質の変化が生じ破損することが考えられたためである。

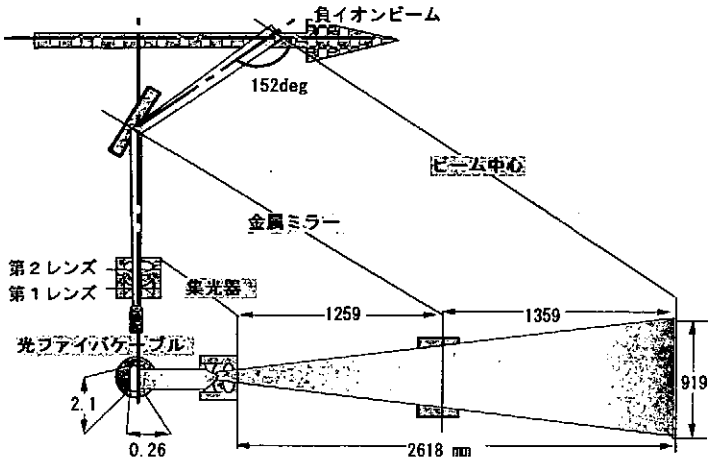


第３図　イオン源タンク機器配置

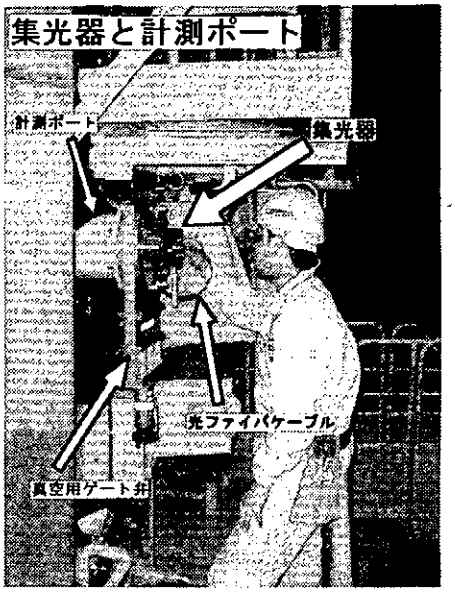


写真－１

第４図に光学系配置を示し、写真－２は集光器周辺機器の設置状態を中性化セル側から撮影したものである。負イオンビームの中心と金属ミラーの中心を結ぶ光軸はビームの進行方向に対して１５２ｄｅｇの角度をなし、ビーム中心から金属ミラーを経て集光器までの距離は約２．６ｍである。計測ポートに設置してある集光器のレンズは第１レンズ（凹形状）と第２レンズ（凸形状）の２枚を組み合わせて、光ファイバケーブル（２．１ｍｍ×０．２６ｍｍ）に結像させている。



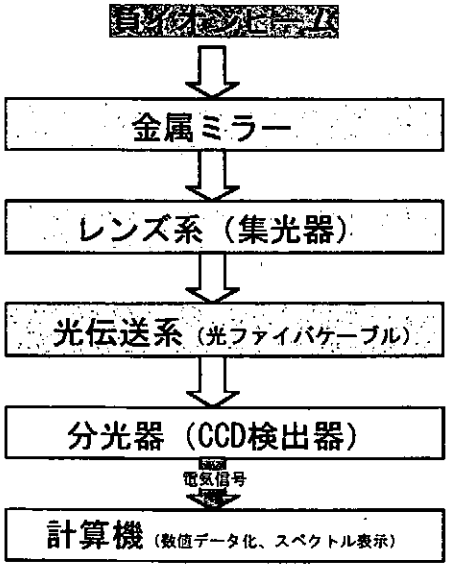
第４図　光学系配置



写真－２

５．分光モニタ装置の性能と構成

第５図に分光モニタ装置の構成、表－１には分光モニタ装置の主な仕様及び性能を示す。分光モニタ装置はイオン源タンク内を通過する負イオンビームの光を表面精度が約３ミクロン以下の平坦度の金属ミラーで反射して集光器（レンズ系）で取り込み、伝送損失１０ｄＢ／ｋｍ以下の光ファイバケーブル（光伝送系）で別室に設置してある分光器まで光伝送する。分光器は波長精度±０．２ｎｍ以内（１８００本／ｍｍの回折格子）で計測する範囲の波長に分解して、素子数２５６×１０２４ピクセルのＣＣＤ検出器で電気信号（数値）に変換し、計算機に送られて処理（数値データ化やスペクトル表示など）が行なわれる。



第５図　系統別構成

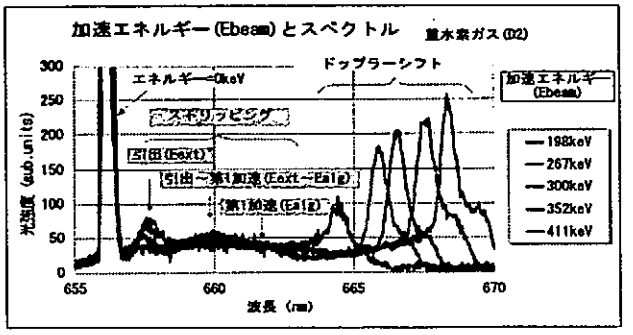
金属ミラー		
表面精度	：	約3.0ミクロン(~4.73λ)以下
反射精度(600~700nm)	：	86%以上
集光器		
焦点距離	：	約2.6m
集光範囲(縦×横)	：	約920mm×120mm
結像寸法(縦×横)	：	約2.1mm×0.26mm
レンズ材質	：	合成石英
レンズ	：	2枚（凸、凹各1枚）
倍率	：	約448倍
光ファイバケーブル		
伝送損失(850nm)	：	10dB／km以下
長さ	：	200m
コア径	：	φ200μm×8
分光器		
回折格子	：	1800本/mm
波長精度	：	±0.2nm
CCD検出器素子数(縦×横)	：	256×1024ピクセル
一度に測定可能な波長範囲	：	約30nm
迷光	：	1×10^{-4}以下

表－１　仕様・性能

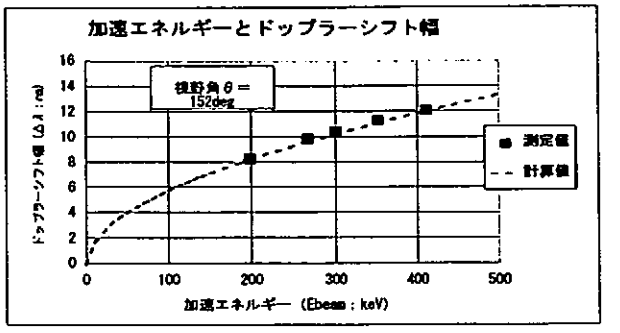
6．ビームの測定結果

（1）加速エネルギーとドップラーシフト

第6図（a）は加速エネルギー（Ｅｂｅａｍ）を変化させたときの負イオンビームの発光スペクトルを示す。図中に示すように約６６４～６６８ｎｍの波長領域に加速エネルギーでドップラーシフトしたピークが観測された。また、第6図（b）は加速エネルギー（Ｅｂｅａｍ）に対するドップラーシフトした波長幅（Δλ）を示したもので、測定値が計算値と一致しており、負イオンビームのドップラーシフトスペクトルを計測していることが確かめられた。



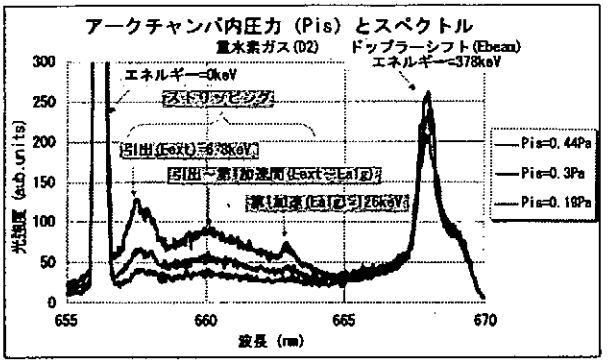
第6図（a）



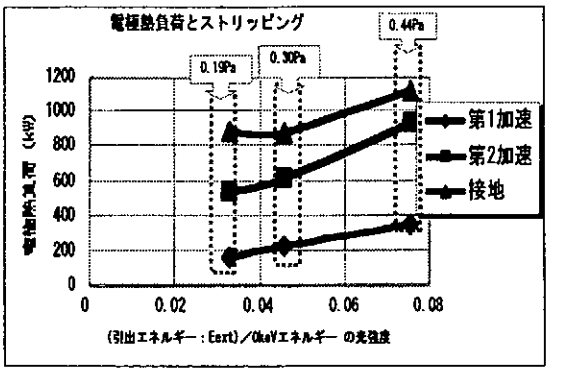
第6図（b）

（2）アークチャンバ内圧力と電極熱負荷

第7図（a）は負イオン源のアークチャンバ内圧力（Ｐｉｓ）を変化させたときの負イオンビームの発光スペクトルを計測したものである。このグラフからストリッピングとおもわれるピーク３点（Ｅｅｘｔ、Ｅｅｘｔ～Ｅａ１ｇ、Ｅａ１ｇ）はアークチャンバ内の圧力（Ｐｉｓ）を高くするとストリッピング・ピークも増加していることが観測された。また、第7図（b）は各電極熱負荷とストリッピング・ピーク（Ｅｅｘｔ）の光強度をあらわしたもので、アークチャンバ内圧力（Ｐｉｓ）が高くなると電極熱負荷も増加する。



第7図（a）



第7図（b）

7．まとめ

（1）　金属ミラーを使用することで、ビーム進行方向に対して斜めの視野角度（１５２ｄｅｇ）に設定でき、ビームエネルギーに対応したドップラーシフトスペクトルが観測できるようになった。

（2）　現在、イオン源加速電極への熱負荷の原因の一つである負イオンのストリッピング（負イオン加速中における付着電子の剥離）は、イオン源ガス圧力が高いほど増加することを明らかにした。

重イオン・ビーム・プローブの加速器制御

核融合科学研究所　西澤章光、井戸毅、川澄義明、加藤眞治、
横田光弘、小川英樹、井上知幸、○塚田究

1. はじめに

大型ヘリカル装置(LHD)において我々は、径電場を測定するために、重イオン・ビーム・プローブ(HIBP)を準備している。HIBPはマイクロ秒程度の時間分解能でプラズマ中の電位を直接測定する事が出来る。また測定されるビーム強度の大きさは電子密度に依存する量でもあり、密度揺動に関する情報を得ることが出来る可能性がある。これによりヘリカルプラズマにおける電位分布、および静電揺動の測定を行い、プラズマの閉じ込めの物理を明らかにする事を目指して研究開発を行っている。

2. HIBPの原理

プラズマ計測における最も重要な計測のひとつに重イオン・ビーム・プローブ法がある。この重イオン・ビーム・プローブ法は、計測のためプラズマ中に1価の重イオン・ビームを入射した時、プラズマとの相互作用(電子衝突イオン化、荷電交換等)により、2価あるいはそれ以上の価数をもって飛出してくる二次イオン・ビームのエネルギー、ビーム強度、運動量などを分析すれば、プラズマの種々のパラメーターを測定することができる。

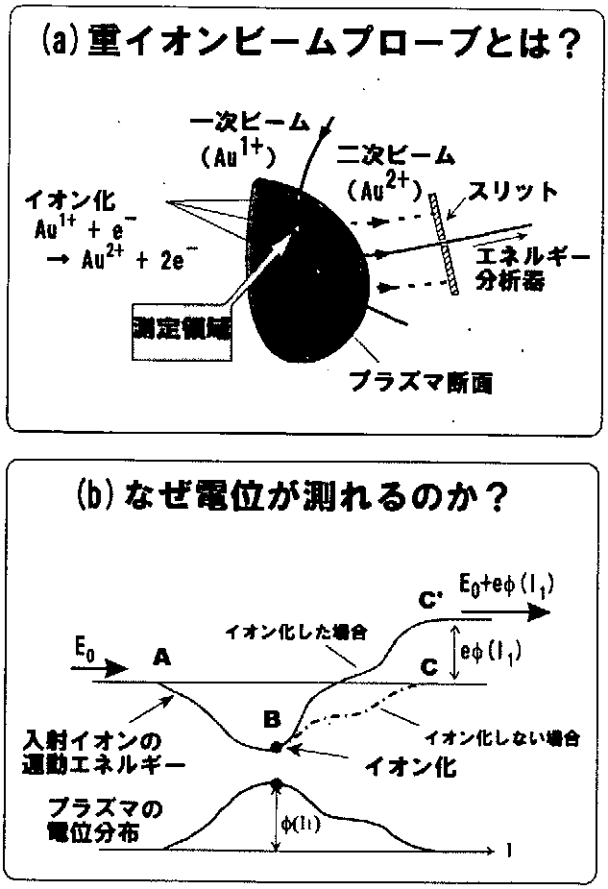


図1. HIBPの原理

特に探針を利用できないような高温プラズマにおいて、空間電位を直接、かつ局所的に測定できる唯一の方法として、幅広く利用されるようになってきた。

プラズマ(～1億度)の中に電極などを入れずに、ビームを入射し、イオン化して出てきたビームのエネルギーを測定することによって電位を算出する(図1(a))。これは、エネルギー保存の法則により、プラズマ中を通過してもイオン化されなければ、通過前後で入射イオンの運動エネルギーは変化しない(図1(b):A→B→C)が、プラズマ中でイオン化される場合を考えると、1価の状態で電位の山を登り(A→B)、2価の状態で電位の山を下るので1価分エネルギーが増加する(図1(b):B→C')。このエネルギーの増分はイオン化した場所の電位に相当するので、これを測定することによりプラズマ中の電位を直接測定することができる。

3. タンデム加速器およびイオン源

地下室にあるイオン源で生成されたビームは、タンデム加速器、ビーム輸送系を経てプラズマの中に打ち込まれ、実験室(1階)に設置したエネルギー分析器を用いて測定を行う(図2)。

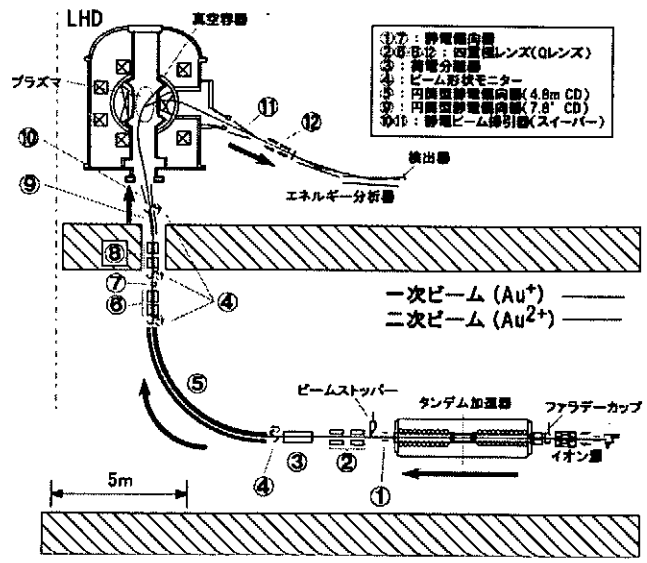


図2. HIBPの構成

タンデムには、「二頭の馬が縦にならんで引く二輪馬車」という意味があり、2段階にイオンを加速することからこの名前がついた。HIBPのタンデム加速器では、高電圧ターミナル部(3 MV)を中央にはさみ、この前後で最初に負イオンが加速器入口から正の高電圧ターミナルに引かれて加速する。そして高電圧ターミナル部で希薄なガスを通過することにより、電子がはぎ取られて正イオンになり、反発力でさらに6 MeVまで加速される。したがって一つの高電圧部でより高いエネルギーに

イオンを加速することができる。このHIBPの高電圧発生部には、Cockcroft-Walton回路がRF昇圧方式で使用されている(図3)。

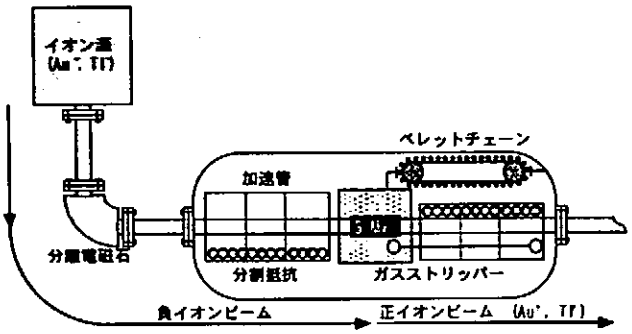


図3. タンデム加速器

一般に装置が大型化すると実効的なラーモア半径や磁場の強さが増大するので、必要なビームエネルギーは急激に大きくなる。このラーモア半径とは、電子もイオンも磁場の中では、磁力線のまわりに円運動し、磁力線の方向に対して、ほとんど磁力線に沿うように動く。その円運動の半径を言い、LHDの大きさ、磁場強度の強さに対応するためには、6 MeVの重イオン(Au^+ビームの場合)を入射することが必要となる(このような高エネルギーでのHIBPは他に例が無い)。従来は、シングルエンドの加速器が用いられてきたが、LHD-HIBPでは加速器の規模を抑えるためにタンデム型の加速器を採用した。タンデム加速器は、計測機器室(2階)の制御盤からTCP/IPを介してUNIX機によって制御される(2002年度に試験運転実施予定)。

イオン源のヒーター、フォーカス等は、PLCによって制御されるが、これらの機器は、すべて100 kVの高電圧に浮いており、特にイオン源制御用PLCには、その搭載可能能力の90%に及ぶ高機能ユニットが装備されている。

また、ビーム輸送系を含むイオン源の真空排気系およびバルブ制御系も別のPLCで制御され、これら2台のPLCは、専用の光リンク(SYSMACリンク)を介してタッチパネルによる現場制御(図4)、あるいは計測機器室からの遠隔操作が可能である。

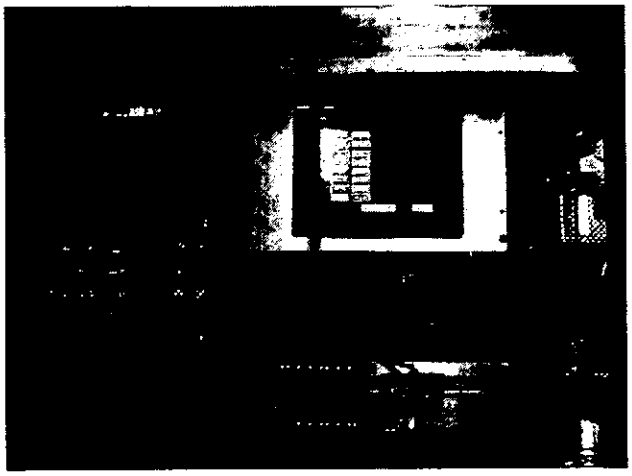


図4. タッチパネルとPLCユニット

4. ビーム輸送系

ビーム輸送系は、静電偏向器、四重極レンズ、電荷分離器、円筒型静電偏向器(4.8m CD、7.8° CD)、ビーム掃引器から構成される。LHD実験では、磁場の影響を避けるため、HIBPのビーム輸送系は、すべて電場制御によって行う。地下室に設置されたCAMACシステム(D/A、A/D)によって制御され、また供給高電圧(~±10 kV)のモニタを行い、CAMACクレートは、ノイズの影響を避けるためシールドラック内に設置されている(図5)。



図5. シールドラックとCAMACクレート

CAMACシステムは、光リンクによるGPIBを介し計測機器室のWin2k機のLabVIEWで制御される(図6)。

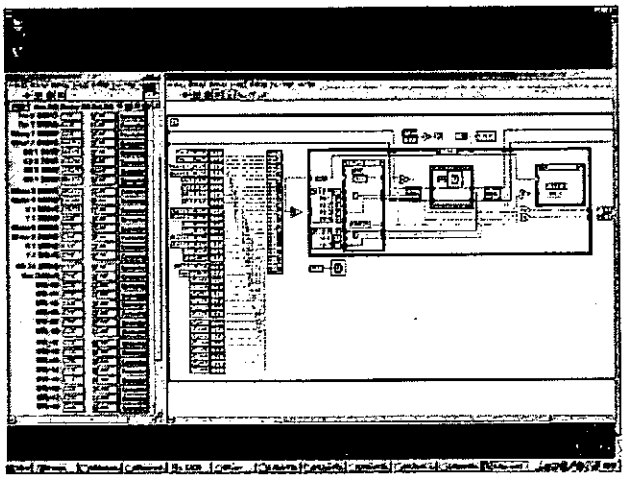


図6. CAMACシステム制御用LabVIEW画面

ビーム掃引器(図7)は、入射側および分析器側に1台づつ設置される。その内部構造(図8)は、8電極からなり、対向する電極に逆極性の高電圧(~±20 kV)を印加し、極性対毎の電場制御によって、プラズマ中の任意の位置にビーム入射

が可能となる。

実験室(1階)の分析器架台に設置された合計8台の任意波形発生器(NF1915)により制御される(図9)。これらのNF1915 は、光リンク(GPIB)を介して計測機器室の Win2k 機の LabVIEW で制御される(図10)。

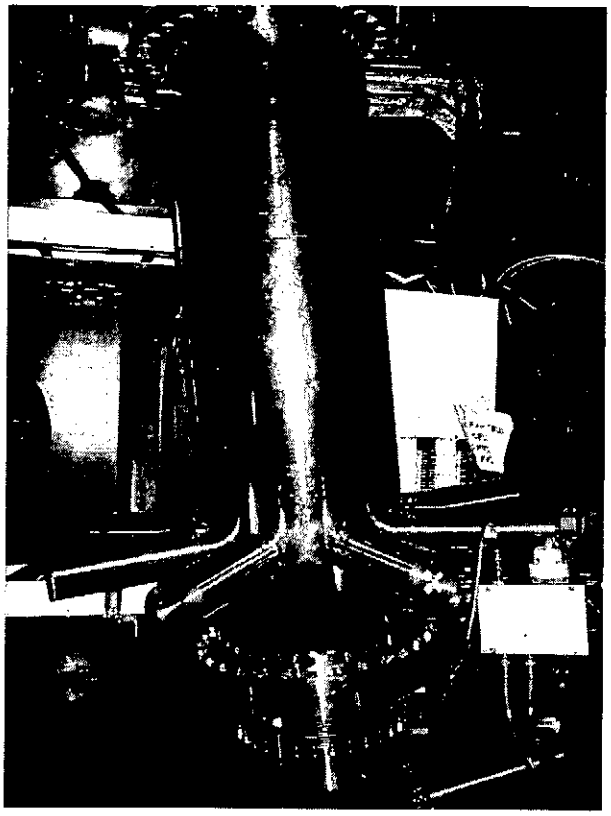


図7. 入射側ビーム掃引器

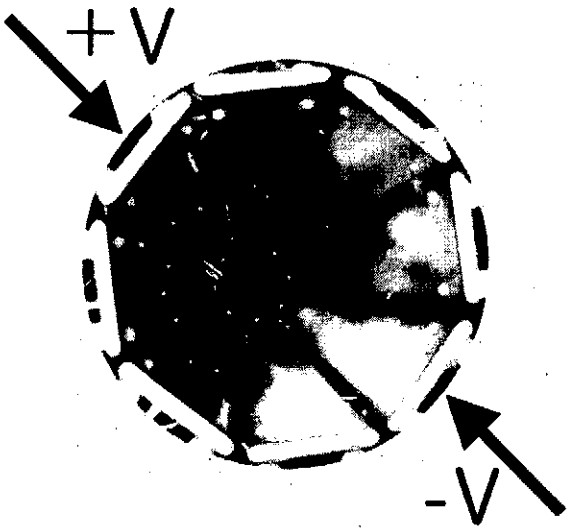


図8. ビーム掃引器の内部構造

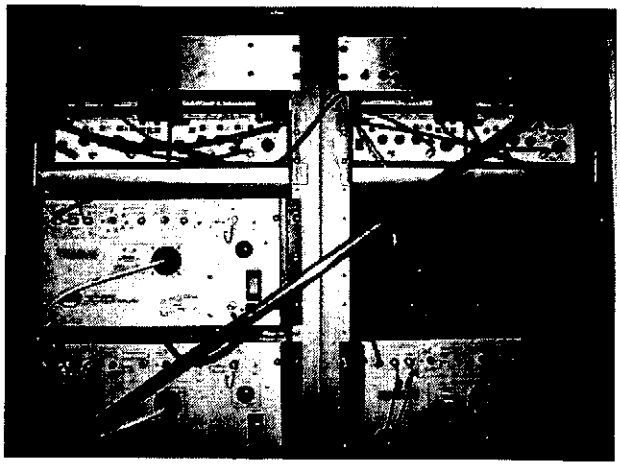


図9. 架台に設置された任意波形発生器

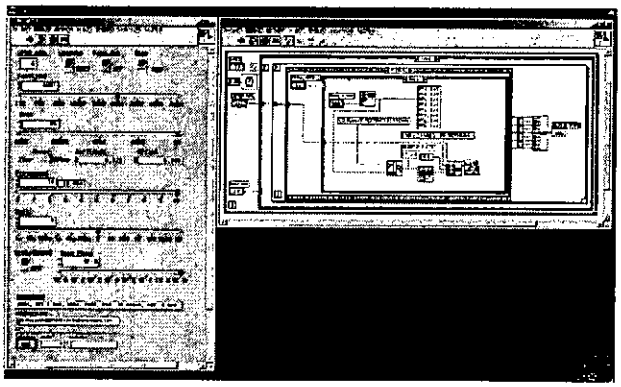


図10. 任意波形発生器制御用 LabVIEW 画面

5. モニタリング・システム

ビーム輸送系では、真空度およびビーム形状を監視する必要がある。

真空度モニタ(TPG256;図11)は、入射側、分析器側各々を光リンクによる RS232C を介して計測機器室の Win2k 機の LabVIEW で制御される(図12)。

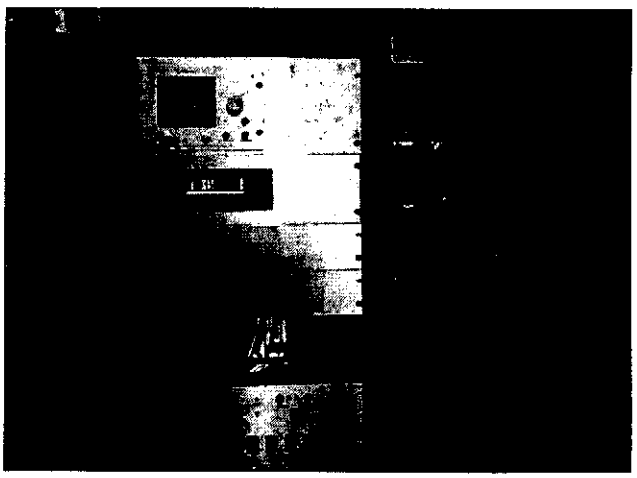


図11. 架台に設置された真空度モニタ

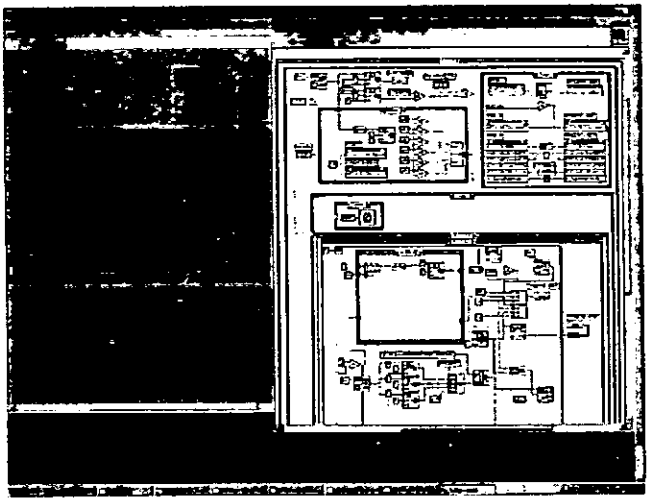


図12. 真空度モニタ制御用 LabVIEW 画面

ビーム形状モニタ(BPM;図13)は、ビームラインに沿って5台が設置されている。プラズマ点火前にビーム輸送試験を行い、プラズマ中へのイオン・ビームの確実な入射を期する。その出力信号は、計測機器室のオシロスコープによって観察される(図14)。

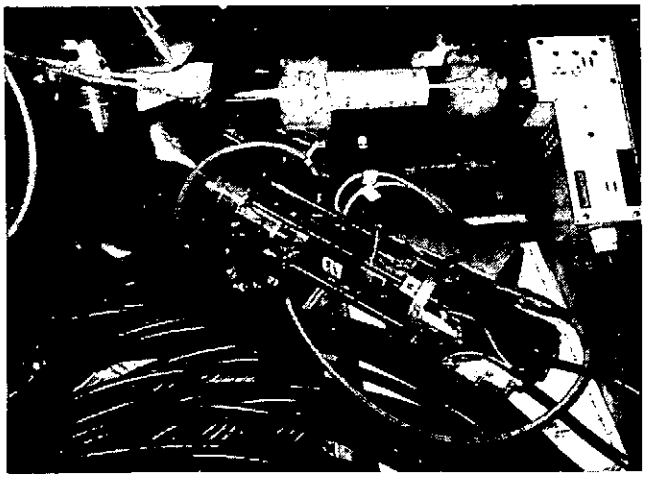


図13. 四重極レンズに取付けられたビーム形状モニタ

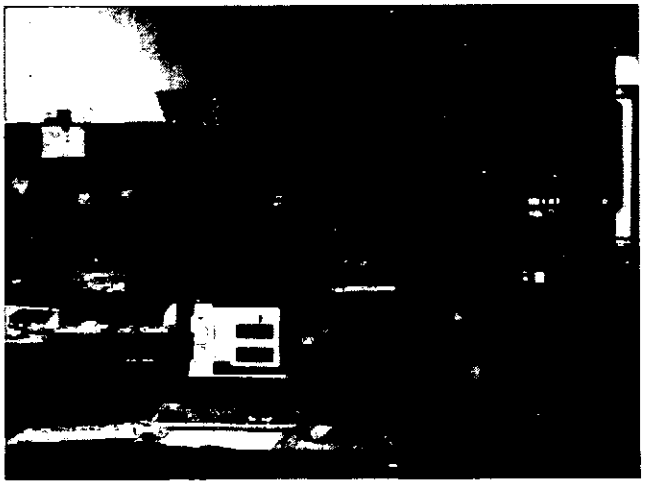


図14. 計測機器室におけるビーム輸送試験

6. まとめ

重イオン・ビーム・プローブ測定器における加速器制御システムの一部を整備した。イオン源、ビーム輸送系、モニタリング・システムの制御を構築するため、光ファイバー敷設からプログラム開発までのほとんどすべてを所員、特に技官が中心となって遂行した。また、現場操作および遠隔操作の併用が可能なシステムとして構築した。

プログラム開発では、既存のソフト・ウェア(LabVIEW 等)と組合せることで、計測機器室以外の任意の場所から機器の状態を把握し、一部は操作でき、また操作履歴の保存・閲覧(データ・ベース化)を可能とする COACK(Component Oriented Advanced Control Kernel あるいは、Component Oriented Accelerator Control Kernel)を NIFS で最初に導入し、制御システムの統合化と利便性を追求した。

2000年3月より加速器の本体への移設を開始し、同時に入射ビームの輸送テストを行ってきたが、2002年度の計画としては、第6サイクル実験に向け、タンデム加速器およびビーム輸送系(入射側および分析器側)の制御システムの完成を目指す。

併せて、分析器(2段階分析器。エネルギー分解能が高く、分析電圧が低い(6 MeV の時で 120 kV)等の特徴がある。;図15)の設置、制御および信号処理(読出し用回路等)システムを構築する。

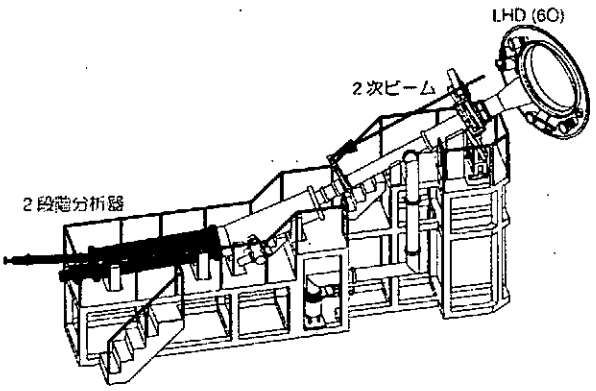


図15. 分析器側鳥瞰図

参考文献

・プラズマ診断の基礎, プラズマ・核融合学会編, 名古屋大学出版会.
・大学院原子核物理, 中村誠太郎監修, 講談社.
・岩本 英司 他, 大電流重イオンタンデム加速装置, 日新電機技報 Vol. 35, No. 3, p. 64, (1990).
・A. Fujisawa et al., A 6 Me Heavy Ion Beam Probe for the Large Helical Device, IEEE Trans. on Plasma Sic. Vol. 22, No. 4, p. 247, (1994).
・Y. Ramada et al., A tandem parallel plate analyzer, Rev. Sic. Instrument. 68 (5), p. 268, (1997).
・吉藤 均 他, 大型ヘリカル装置における HIBP 計測装置用架台の構造解析, KEK Proceedings 99-16, p. 233, (1999).

機関別参加者数　（合計407名）

機関

	参加者数	
	所属	計
1	岩手大学	1
2	宇宙科学研究所	1
3	愛媛大学	1
4	大阪市立大学	6
5	大阪大学	16
6	岡崎国立共同研究機構	19
7	岡山大学	1
8	核融合科学研究所	47
9	学習院大学	2
10	北九州工業高等専門学校	2
11	岐阜大学	4
12	京都大学	20
13	九州工業大学	4
14	熊本大学	8
15	群馬大学	2
16	慶應義塾大学	3
17	高エネルギー加速器研究機構	42
18	神戸大学	1
19	国立天文台	15
20	静岡大学	2
21	千葉大学	1
22	独立行政法人　通信総合研究所	2
23	筑波大学	8
24	電気通信大学	8
25	東京工業大学	7
26	東京国立博物館	1
27	東京大学	30
28	東北大学	28
29	徳島大学	1
30	名古屋工業大学	6
31	名古屋大学	47
32	長岡技術科学大学	2
33	奈良工業高等専門学校	1
34	奈良先端科学技術大学院大学	1
35	日本原子力研究所	23
36	新潟大学	1
37	姫路工業大学	1
38	広島大学	3
39	福井大学	3
40	北陸先端科学技術大学院大学	7
41	北海道大学	9
42	三重大学	6
43	山形大学	2
44	山口大学	4
45	琉球大学	1
	総計	400

民間

	参加者数	
	所属	計
1	(株)友光測範	3
2	アイキューブ	1
3	キャンパスクリエイト	1
4	開発電気(株)	1
5	個人	1
	総計	7

平成13年度核融合科学研究所技術研究会参加者名簿

所属	名前	電話	電子メールアドレス
岩手大学 工学部・技術部	小綿 利憲	019-621-6371	kowata@iwate-u.ac.jp
宇宙科学研究所 M計画室	山脇 菊夫	042-759-8118	yamawaki@newslan.isas.ac.jp
愛媛大学 工学部 機械工学科	阿部 文明	089-927-9737	abe@en1.ehime-u.ac.jp
大阪市立大学 工作技術センター	永田 隆広	06-6605-2751	nagata@expert.eng.osaka-cu.ac.jp
大阪市立大学 工作技術センター	富高 幸信	06-6605-2751	tomitaka@expert.eng.osaka-cu.ac.jp
大阪市立大学 工作技術センター	林野 正善	06-6605-2751	hayasino@expert.eng.osaka-cu.ac.jp
大阪市立大学 事務局(理学研究科・理学部)	松山 利夫	06-6605-3198	matuyama@sci.osaka-cu.ac.jp
大阪市立大学 事務局学術交流課	田中 峰雄	06-6605-3451	mtanaka@ado.osaka-cu.ac.jp
大阪市立大学	宇田 英雄	06-6605-3175	uda@sci.osaka-cu.ac.jp
大阪大学 レーザー核融合研究センターGOD	森尾 登	06-6879-8764	morio@ile.osaka-u.ac.jp
大阪大学 工学研究科	矢野 美一	06-6879-7907	yano@ppl.eng.osaka-u.ac.jp
大阪大学 産業科学研究所 技術室	奥田 良行	06-6879-8530	okuda@sanken.osaka-u.ac.jp
大阪大学 産業科学研究所 技術室	大西 政義	06-6879-8399	ohnishi@sanken.osaka-u.ac.jp
大阪大学 理学部 技術部	市原 敏雄		ichihara@lns.sci.osaka-u.ac.jp
大阪大学 理学部 原子核実験施設	比嘉 健一	06-6850-5510	higa@lns.sci.osaka-u.ac.jp
大阪大学 理学部 原子核実験施設	櫻井 太郎	06-6850-5520	taroy33@mail.goo.ne.jp
バンデグラフ実験室			
大阪大学 理学部 素粒子物理学講座	金子 博之	06-6850-5510	kaneko@hep.sci.osaka-u.ac.jp
大阪大学 理学部 物理学科	古木 良一	06-6850-5371	koki@phys.sci.osaka-u.ac.jp
大阪大学 大学院理学研究科	松岡 健次	06-6850-5508	matsuoka@lns.sci.osaka-u.ac.jp
大阪大学 産業科学研究所 技術室	山田 等	06-6879-8526 ,8397	h-yamada@sanken.osaka-u.ac.jp
大阪大学 産業科学研究所 技術室	田中 高紀		tanaka@sanken.osaka-u.ac.jp
大阪大学 微生物病研究所	和田 多佳志	06-6871-8351	wada@biken.osaka-u.ac.jp
大阪大学 工作センター ガラス工作室	片山 昌造	06-6850-6111	katayama@ns.cw.osaka-u.ac.jp
大阪大学 工作センター	中西 規雄	06-6850-6111	nakanishi@cw.osaka-u.ac.jp
大阪大学 工作センター	岩本 捷治	06-6850-6111	nakanishi@cw.osaka-u.ac.jp
岡崎国立共同研究機構 分子科学研究所	加藤 清則	0564-55-7470	kkato@ims.ac.jp
技術課分子物質開発研究センター			
岡崎国立共同研究機構 分子科学研究所UVSOR	林 憲志	0564-55-7402	h-kenji@ims.ac.jp
岡崎国立共同研究機構 分子科学研究所技術課	永田 正明	0564-55-7210	nagata@ims.ac.jp
岡崎国立共同研究機構 分子科学研究所技術課	吉田 久史	0564-55-7212	hyoshida@ims.ac.jp
岡崎国立共同研究機構 分子科学研究所技術課	近藤 聖彦	0564-55-7213	kondou@ims.ac.jp
岡崎国立共同研究機構 分子科学研究所技術課	山中 孝弥	0564-55-7480	yamanaka@ims.ac.jp
岡崎国立共同研究機構 分子科学研究所技術課	上田 正	0564-55-7480	ueda@ims.ac.jp
岡崎国立共同研究機構 分子科学研究所技術課	内山 功一	0564-55-7212	uchiyama@ims.ac.jp
岡崎国立共同研究機構 分子科学研究所技術課	内藤 茂樹	0564-55-7279	snaito@ims.ac.jp
岡崎国立共同研究機構 分子科学研究所技術課	矢野 隆行	0564-55-7213	yano@ims.ac.jp
岡崎国立共同研究機構 分子科学研究所技術課	鈴井 光一	0564-55-7213	suzui@ims.ac.jp
岡崎国立共同研究機構 分子科学研究所	手島 史綱	0564-55-7275	tetsu@ims.ac.jp
電子計算機室			
岡崎国立共同研究機構 分子科学研究所	水谷 文保	0564-55-7278	mizutani@ims.ac.jp
電子計算機室			
岡崎国立共同研究機構 分子科学研究所装置開発室	豊田 朋範	0564-55-7212	tomonori@ims.ac.jp
岡崎国立共同研究機構 生理学研究所技術課	村田 安永	0564-55-7877	murata@nips.ac.jp

平成13年度核融合科学研究所技術研究会参加者名簿

所属	名前	電話	電子メールアドレス
岡崎国立共同研究機構 分子科学研究所	水谷 伸雄	0564-55-7210	nmizutan@ims.ac.jp
岡崎国立共同研究機構 分子科学研究所 技術課	牧田 誠二	0564-55-7470	makita@ims.ac.jp
岡崎国立共同研究機構 分子科学研究所 技術課	高山 敬史	0564-55-7471	takayama@ims.ac.jp
岡崎国立共同研究機構 分子科学研究所 技術課	柴山 日出男	0564-55-7472	shiba@ims.ac.jp
岡山大学 工学部システム工学科	藤田 慎二	086-251-8066	fujita@sys.okayama-u.ac.jp
学習院大学 理学部 工作工場	下川 祐司	03-3986-0221 内線6468	yuji.shimokawa@gakushuin.ac.jp
学習院大学 理学部 工作工場	宮城 博	03-3986-0221 内線6468	hiroshi.miyagi@gakushuin.ac.jp
核融合科学研究所 技術部	飯間 理史	0572-58-2100	iima@LHD.nifs.ac.jp
核融合科学研究所 技術部	井上 知幸	0572-58-2094	tinoue@LHD.nifs.ac.jp
核融合科学研究所 技術部	大竹 勲	0572-58-2090	ohtake@LHD.nifs.ac.jp
核融合科学研究所 技術部	小川 英樹	0572-58-2099	ogawa@LHD.nifs.ac.jp
核融合科学研究所 技術部	川澄 義明	0572-58-2481	kawasumi@nifs.ac.jp
核融合科学研究所 技術部	河本 俊和	0572-58-2089	kawamoto@nifs.ac.jp
核融合科学研究所 技術部	小平 純一	0572-58-2091	kodaira@LHD.nifs.ac.jp
核融合科学研究所 技術部	関口 温朗	0572-58-2107	sekiguti@LHD.nifs.ac.jp
核融合科学研究所 技術部	高橋 千尋	0572-58-2095	takahashi@nifs.ac.jp
核融合科学研究所 技術部	鷹見 重幸	0572-58-2089	takami@nifs.ac.jp
核融合科学研究所 技術部	夛喜田 泰幸	0572-58-2486	takita@LHD.nifs.ac.jp
核融合科学研究所 技術部	馬場 智澄	0572-58-2306	tbaba@LHD.nifs.ac.jp
核融合科学研究所 技術部	幅 驥一郎	0572-58-2587	haba@nifs.ac.jp
核融合科学研究所 技術部	山内 健治	0572-58-2302	yamauchi@LHD.nifs.ac.jp
核融合科学研究所 技術部	渡邊 典子	0572-58-2313	noriko@LHD.nifs.ac.jp
核融合科学研究所 技術部	安井 孝治	0572-58-2104	yasui@LHD.nifs.ac.jp
核融合科学研究所 技術部	伊藤 康彦	0572-58-2304	itoy@LHD.nifs.ac.jp
核融合科学研究所 技術部	伊藤 哲	0572-58-2293	ito@nifs.ac.jp
核融合科学研究所 技術部	横田 光弘	0572-58-2308	yokotam@nifs.ac.jp
核融合科学研究所 技術部	岡田 光司	0572-58-2105	kokada@nifs.ac.jp
核融合科学研究所 技術部	加藤 丈雄	0572-58-2098	kato@nifs.ac.jp
核融合科学研究所 技術部	加藤 明己	0572-58-2484	kakemi@nifs.ac.jp
核融合科学研究所 技術部	加藤 眞治	0572-58-2478	skato@LHD.nifs.ac.jp
核融合科学研究所 技術部	近藤 友紀	0572-58-2102	kondou@LHD.nifs.ac.jp
核融合科学研究所 技術部	駒田 誠司	0572-58-2097	komada@nifs.ac.jp
核融合科学研究所 技術部	広倉 覚	0572-58-2093	hirokura@nifs.ac.jp
核融合科学研究所 技術部	江嵜 和弘	0572-58-2323	esaki@nifs.ac.jp
核融合科学研究所 技術部	佐藤 守	0572-58-2296	smamoru@nifs.ac.jp
核融合科学研究所 技術部	榊原 二三	0572-58-2322	snizo@nifs.ac.jp
核融合科学研究所 技術部	三宅 均	0572-58-2479	miyake@LHD.nifs.ac.jp
核融合科学研究所 技術部	山本 富雄	0572-58-2322	ytomio@nifs.ac.jp
核融合科学研究所 技術部	小嶋 護	0572-58-2096	kojima@nifs.ac.jp
核融合科学研究所 技術部	小林 策治	0572-58-2488	kobayasi@LHD.nifs.ac.jp
核融合科学研究所 技術部	新保 富士夫	0572-58-2485	shimpo@nifs.ac.jp
核融合科学研究所 技術部	森内 貞智	0572-58-2106	moriuchi@LHD.nifs.ac.jp
核融合科学研究所 技術部	水野 嘉識	0572-58-2295	ymizuno@nifs.ac.jp

平成13年度核融合科学研究所技術研究会参加者名簿

所属	名前	電話	電子メールアドレス
核融合科学研究所 技術部	杉戸 正治	0572-58-2307	sugito@nifs.ac.jp
核融合科学研究所 技術部	浅野 英児	0572-58-2294	asano@nifs.ac.jp
核融合科学研究所 技術部	大砂 真樹	0572-58-2452	ohsuna@nifs.ac.jp
核融合科学研究所 技術部	大場 恒揮	0572-58-2110	ooba@nifs.ac.jp
核融合科学研究所 技術部	谷口 能之	0572-58-2092	taniguch@nifs.ac.jp
核融合科学研究所 技術部	塚田 究	0572-58-2482	tsukada@nifs.ac.jp
核融合科学研究所 技術部	米津 宏昭	0572-58-2101	yonezu@nifs.ac.jp
核融合科学研究所 技術部	野村 吾郎	0572-58-2292	gnomura@LHD.nifs.ac.jp
核融合科学研究所 技術部	林 浩	0572-58-2480	hiroshi@nifs.ac.jp
核融合科学研究所 技術部	林 浩己	0572-58-2103	h_hayashi@nifs.ac.jp
核融合科学研究所 技術部	鈴木 直之	0572-58-2108	n-suzuki@LHD.nifs.ac.jp
北九州工業高等専門学校 技術センター 機械系技術グループ	北嶋 和進	093-964-7245	kitajima@kct.ac.jp
北九州工業高等専門学校 技術センター 機械系技術グループ	清田 栄一	093-964-7245	ekiyota@kct.ac.jp
岐阜大学 工学部技術部	岡本 久江	058-293-2378	river@cc.gifu-u.ac.jp
岐阜大学 工学部技術部	秋田 正之	058-293-2814	akita@cc.gifu-u.ac.jp
岐阜大学 工学部技術部	水上 精栄	058-293-2474	river@cc.gifu-u.ac.jp
岐阜大学 工学部技術部	武沢 一夫	058-293-2575	river@cc.gifu-u.ac.jp
京都大学 エネルギー理工学研究所 附属エネルギー複合機構研究センター	芝野 匡志	0774-38-3541	shibano@iae.kyoto-u.ac.jp
京都大学 エネルギー理工学研究所	東使 潔	0774-38-3541	toushi@center.iae.kyoto-u.ac.jp
京都大学 エネルギー理工学研究所附属	井尻 芳行	0774-38-3541	ijiri@center.iae.kyoto-u.ac.jp
京都大学 エネルギー理工学研究所附属	矢口 啓二	0774-38-3541	yaguchi@center.iae.kyoto-u.ac.jp
京都大学 エネルギー理工学研究所附属	坂本 欣三	0774-38-3541	sakamoto@center.iae.kyoto-u.ac.jp
京都大学 工学部 材料工学専攻	家原 力太郎	075-753-5477	iehara@mtl.kyoto-u.ac.jp
京都大学 化学研究所	楠田 敏之	0774-38-4357	kusuda@scl.kyoto-u.ac.jp
京都大学 環境保全センター	真島 敏行	075-753-7707	majima@eprc.kyoto-u.ac.jp
京都大学 原子炉実験所 技術室	杉本 正明	0724-51-2436	sugimoto@rri.kyoto-u.ac.jp
京都大学 原子炉実験所技術室	義本 孝明	0724-51-2403	yoshimo@rri.kyoto-u.ac.jp
京都大学 原子炉実験所技術室	宮田 清美	0724-51-2388	miyata@HL.rri.kyoto-u.ac.jp
京都大学 総合人間学部	三浦 勉	075-753-8117	miura@phys.h.kyoto-u.ac.jp
京都大学 大型計算機センター	高見 好男	075-753-7413	takami@kudpc.kyoto-u.ac.jp
京都大学 理学部物理学教室	早田 恵美	075-753-3826	emi@scphys.kyoto-u.ac.jp
京都大学 理学部物理学教室技術開発室	藤井 佑生	075-753-3824 .3826	yfujii@scphys.kyoto-u.ac.jp
京都大学 防災研究所技術室	平野 憲雄	0774-38-4290	hirano@adm99.dpri.kyoto-u.ac.jp
京都大学 防災研究所技術室	多河 英雄	0774-38-4290	tagawa@adm99.dpri.kyoto-u.ac.jp
京都大学 工学研究科原子核工学	内藤 正裕	075-753-5841	naito@nucleng.kyoto-u.ac.jp
京都大学	吉田 亘利		
京都大学	西之園 善之		
九州工業大学 情報工学部	井本 祐二	0948-29-7887	imoto@ai.kyutech.ac.jp
九州工業大学 情報工学部	須恵 耕二	0948-29-7600 内線6884	sue@ai.kyutech.ac.jp
九州工業大学 情報工学部生物化学システム工学科	清水 康孝	0948-29-7809	yasu@callisto13.bse.kyutech.ac.jp

平成13年度核融合科学研究所技術研究会参加者名簿

所属	名前	電話	電子メールアドレス
九州工業大学 情報工学部	修行 美恵	0948-29-7833	mie@bse.kyutech.ac.jp
熊本大学 教育学部技術教育	井上 健次郎	096-342-2654	ken@educ.kumamoto-u.ac.jp
熊本大学 工学部	山本 光治	096-342-3728	yfamily@mech.kumamoto-u.ac.jp
熊本大学 工学部	倉田 大	096-342-3781	kurata@mech.kumamoto-u.ac.jp
熊本大学 工学部技術部	神澤 龍市	096-342-3749	waka@kumamoto-u.ac.jp
熊本大学 理学部物理科学科	河野 賢悟	096-342-3358	kawano@gpo.kumamoto-u.ac.jp
熊本大学 工学部技術部	磯部	096-341-6045	isobe@chem.kumamoto-u.ac.jp
熊本大学 工学部技術部	廣田 将輝	096-342-3821	hirota@gipo.kumamoto-u.ac.jp
熊本大学 衝撃極限環境研究センター 極低温装置室	島本 知茂	0968-46-3823	cimaster@sci.kumamoto-u.ac.jp
群馬大学 工学部	下田 勝二	0277-30-1745	shimoda@el.gunma-u.ac.jp
群馬大学 工学部	江原 幸蔵	0277-30-1408	ebara@bce.gunma-u.ac.jp
慶應義塾大学 実験教育支援センター	宗 潤子	045-566-1698	junko@chem.keio.ac.jp
慶應義塾大学 理工学部基礎教室	花田 逸子	045-566-1052	itsuko.hanada@adst.keio.ac.jp
慶應義塾大学 理工学部中央試験所	加藤 祐一	045-566-1472	y-kato@adst.keio.ac.jp
高エネルギー加速器研究機構 計算科学センター	柿原 春美	0298-64-5482	harumi.kakihara@kek.jp
高エネルギー加速器研究機構 技術部・特殊設備課	鈴木 善尋	0298-64-5429	suzukiy@post.kek.jp
高エネルギー加速器研究機構	北川 潔	0298-64-5262	KITAGAWA@post.kek.jp
加速器ビームトランスポート			
高エネルギー加速器研究機構 加速器研究施設	川村 真人	0298-79-6173	masato.kawamura@kek.jp
高エネルギー加速器研究機構 加速器研究施設	福井 佑治	0298-64-5687	yuji.fukui@kek.jp
高エネルギー加速器研究機構 加速器研究施設	本間 博幸	0298-64-5200	hiroyuki.honma@kek.jp
高エネルギー加速器研究機構 加速器研究施設	木代 純逸	0298-64-5273	junichi.kishiro@kek.jp
加速器第四研究系			
高エネルギー加速器研究機構 加速器第3研究系	阿部 勇	0298-64-5695	isamu.ABE@kek.jp
高エネルギー加速器研究機構 技術部	竹中 たてる	0298-64-5206	tateru.takenaka@kek.jp
高エネルギー加速器研究機構 技術部	三国 晃	0298-64-5664	akira.mikuni@kek.jp
高エネルギー加速器研究機構 技術部	小菅 隆	0298-64-5661	takashi.kosuge@kek.jp
高エネルギー加速器研究機構 技術部	濁川 和幸	0298-64-5291	kazuyuki.nigorikawa@kek.jp
高エネルギー加速器研究機構 技術部	内田 佳伯	0298-64-5200 PHS4599	yoshinori.uchida@kek.jp
高エネルギー加速器研究機構 技術部	白井 満	0298-64-5227	mshirai@post.kek.jp
高エネルギー加速器研究機構 技術部	白川 明広	0298-64-5690	akihiro.shirakawa@kek.jp
高エネルギー加速器研究機構 技術部	平 雅文	0298-64-5498	masafumi.taira@kek.jp
高エネルギー加速器研究機構 技術部 加速器	大澤 康伸	0298-64-1171	ohsaway@post.kek.jp
高エネルギー加速器研究機構 技術部加速器第四課	中島 啓光	0298-64-5200 PHS4087	hiromitsu.nakajima@kek.jp
高エネルギー加速器研究機構 技術部加速器第四課	片桐 広明	0298-64-5200 PHS4410	hiroaki.katagiri@kek.jp
高エネルギー加速器研究機構 技術部工作課	高富 俊和	0298-64-5457	takatomi@post.kek.jp
高エネルギー加速器研究機構 技術部工作課	渡辺 勇一	0298-64-5200 PHS4657	yuichi.watanabe@kek.jp
高エネルギー加速器研究機構 技術部工作課	寺島 昭男	0298-64-5470	akio.terashima@kek.jp
工作センター			
高エネルギー加速器研究機構 技術部工作課	東 憲男	0298-64-5470	norioh@post.kek.jp
工作センター			

平成13年度核融合科学研究所技術研究会参加者名簿

所属	名前	電話	電子メールアドレス
高エネルギー加速器研究機構 計算科学センター	押久保 智子	0298-64-5200 PHS4489	tomoko.oshikubo@kek.jp
高エネルギー加速器研究機構 計算科学センター	八代 茂夫	0298-64-5338	Shigeo.Yashiro@kek.jp
高エネルギー加速器研究機構 計算科学センター	飯田 好美	0298-64-5338	yoshimi.iida@kek.jp
高エネルギー加速器研究機構 工作センター	舟橋 義聖	0298-64-5467	yoshisato.funahashi@kek.jp
高エネルギー加速器研究機構 素核研	島崎 昇一	0298-64-5436	shimazak@post.kek.jp
高エネルギー加速器研究機構 素核研	鈴木 祥仁	0298-64-5200 PHS4082	suzukis@post.kek.jp
高エネルギー加速器研究機構 素粒子原子核研究所	笠見 勝祐	0298-64-5599	katsuyu.kasami@kek.jp
高エネルギー加速器研究機構 素粒子原子核研究所	山岡 広	0298-64-5353	yamaokah@post.kek.jp
高エネルギー加速器研究機構 素粒子原子核研究所	氏家 宣彦	0298-64-5564	ujiie@post.kek.jp
高エネルギー加速器研究機構 素粒子原子核研究所	田中 伸晃	0298-64-5599	ntanaka@post.kek.jp
高エネルギー加速器研究機構 素粒子原子核研究所	荒岡 修	0298-64-5348	araoka@post.kek.jp
低温グループ			
高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所	斉藤 裕樹	0298-64-5656	yuuki.saito@kek.jp
物質科学			
高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所	内山 隆司	0298-64-5667	takashi.uchiyama@kek.jp
放射光源研究系			
高エネルギー加速器研究機構陽子加速器制御	門倉 英一	0298-64-5291	eiichi.kadokura@kek.jp
高エネルギー加速器研究機構	佐藤 昌史	0298-64-5596	masato.satoh@kek.jp
高エネルギー加速器研究機構	菅原 繁勝	0298-64-5463	sigekatu@post.kek.jp
高エネルギー加速器研究機構 技術部	西口 三夫	0298-64-5482	mitsuo.nishiguchi@kek.jp
高エネルギー加速器研究機構 技術部 放射線	飯島 和彦	0298-64-5493	kazuhiko.iijima@kek.jp
高エネルギー加速器研究機構 技術部 放射線	穂積 憲一	0298-64-5488	Ken-ichi.HOZUMI@kek.jp
神戸大学 工学部	轡澤 康男	078-803-6370	yosizawa@kobe-u.ac.jp
国立天文台 技術部技術第1課	岡田 則夫	0422-34-3860	okada@design.mtk.nao.ac.jp
国立天文台 技術部技術第1課第1係	岩下 光	0422-34-3794	iwastahk@nao.ac.jp
国立天文台 水沢観測センター	佐藤 克久	0197-22-7126	hisa@miz.nao.ac.jp
国立天文台 水沢観測センター	石川 利昭	0197-22-7152	ishikawa@miz.nao.ac.jp
国立天文台 水沢観測センター	浅利 一善	0197-22-7156	asa@miz.nao.ac.jp
国立天文台 水沢観測センター	坪川 恒也	0197-22-7150	tsubo@miz.nao.ac.jp
国立天文台 水沢観測センター	鶴田 誠逸	0197-22-7155	tsuruta@miz.nao.ac.jp
国立天文台 野辺山太陽電波観測所	坂本 彰弘	0267-98-4332	akiaki@nro.nao.ac.jp
国立天文台 野辺山太陽電波観測所	篠原 徳之	0267-98-4492	shinox@nro.nao.ac.jp
国立天文台 野辺山太陽電波観測所	石崎 秀晴	0267-98-4487	ishizaki@nro.nao.ac.jp
国立天文台 野辺山太陽電波観測所	川島 進	0267-98-4306	kawax@nro.nao.ac.jp
国立天文台 野辺山太陽電波観測所	齋藤 泰文	0267-98-4497	saitoh@nro.nao.ac.jp
国立天文台 三鷹	金子 慶子	0422-34-3860	
国立天文台 三鷹	大島 紀夫	0422-34-3860	
国立天文台 三鷹	山崎 利孝	0422-34-3626	
静岡大学 教育学部	井上 直已	054-238-4638	edninou@ipc.shizuoka.ac.jp
静岡大学 工学部	佐原 D258和	053-478-1017	toksaha@ipc.shizuoka.ac.jp
千葉大学 理学部	大濱 哲夫	043-290-2752	ohama@nmr.s.chiba-u.ac.jp
独立行政法人 通信総合研究所 企画部研究連携室	小室 純一	042-327-7477	j-komuro@crl.go.jp
独立行政法人 通信総合研究所 企画部研究連携室	佐藤 公彦	042-327-6847	kinzou@crl.go.jp

平成13年度核融合科学研究所技術研究会参加者名簿

所属	名前	電話	電子メールアドレス
筑波大学 医学工作室	小林 浩三	0298-53-3034	kkouzou@md.tsukuba.ac.jp
筑波大学 研究協力部	澤村 博道	0298-53-5383	sawamu@is.tsukuba.ac.jp
筑波大学 工作センター	内田 豊春	0298-53-2526	uchida@kousaku.kou-c.tsukuba.ac.jp
筑波大学 第3技術区	川上 彰	0298-53-5568	kawakami@sk.tsukuba.ac.jp
筑波大学 分析センター	池田 智	0298-53-2507	ikeda@chac.tsukuba.ac.jp
筑波大学 研究協力部研究協力課	川原井 勝一	0298-53-5017	kawaharai@bk.tsukuba.ac.jp
筑波大学 研究協力課(プラズマ)	大川 和夫	0298-53-7464	ookawa@prc.tsukuba.ac.jp
筑波大学 プラズマ研究センター	和所 保規	0298-53-7464	easho@prc.tsukuba.ac.jp
電気通信大学 技術部	金子 克己	0424-43-5398	tech_kan@voiceO.hc.uec.ac.jp
電気通信大学 技術部	水谷 孝男	0424-43-5373	mizu@ice.uec.ac.jp
電気通信大学 技術部	仙北谷 直美	0424-43-5399	sen@mce.uec.ac.jp
電気通信大学 技術部 物性技術系	神水 摂	0424-43-5478	kamimizu@pc.uec.ac.jp
電気通信大学 情報通信工学科	有澤 豊志	0424-43-5284	ari@ice.uec.ac.jp
電気通信大学 技術部 物性技術系	瀬尾 洋一	0424-43-5169	seo@ice.uec.ac.jp
電気通信大学	足立 登		adachi@ice.uec.ac.jp
電気通信大学	高橋 和仁		takahasi@mce.uec.ac.jp
東京工業大学 応用セラミックス研究所	長峯 靖之	045-924-5320	ynaga@rlem.titech.ac.jp
東京工業大学 精密工学研究所	丸田 英徳	045-924-5050	hmaruta@hi.pi.titech.ac.jp
東京工業大学 精密工学研究所	髙橋 久徳	045-924-5052	hisanori@pi.titech.ac.jp
東京工業大学 精密工学研究所	松谷 晃宏	045-924-5026	amatsuta@ms.pi.titech.ac.jp
東京工業大学 精密工学研究所	上杉 尚史	045-924-5031	uesugi@pi.titech.ac.jp
東京工業大学 大学院理工学研究科 機械制御システム専攻	岩田 正孝	03-5734-3090	iwatam@mep.titech.ac.jp
東京工業大学 理工学研究科機械制御システム専攻	古田 基	03-5734-2179	mkoda@mech.titech.ac.jp
東京国立博物館 企画部情報課	山崎 陽一	03-3822-1111	yamasaki@tnm.jp
東京大学 共通技術室	吉田 薫	03-5454-6060	yoshida@laputa.c.u-tokyo.ac.jp
東京大学 教養学部共通技術室	野谷 昭男	03-5454-6138	notani@laputa.c.u-tokyo.ac.jp
東京大学 原子力研究総合センター	安本 勝	03-5841-2924	uyasu@mail.ecc.u-tokyo.ac.jp
東京大学 工学系研究科	市毛 健一	03-5841-7175	ichige@material.t.u-tokyo.ac.jp
東京大学 工学系研究科マテリアル工学専攻学科 工作室	永山 直樹	03-5841-7175	nagayama@surfacer.mm.t.u-tokyo.ac.jp
東京大学 工学系研究科マテリアル専攻学科工作室	生出 博巳	03-5841-7175	oide@material.t.u-tokyo.ac.jp
東京大学 工学部マテリアル工学科工作室	杉田 洋一	03-5841-7175	sugita@material.t.u-tokyou.ac.jp
東京大学 総合文化研究科 共通技術室	小田嶋 豊	03-5454-6063	odashima@laputa.c.u-tokyo.ac.jp
東京大学 大学院総合文化研究科 教養学部 共通技術室	井上 春恵	03-5454-6063	h_inoue@laputa.c.u-tokyo.ac.jp
東京大学 大学院理学系研究科	樫村 圭造	03-5841-4130	kasimura@phys.s.u-tokyo.ac.jp
東京大学 大学院理学系研究科 理学部	立川 統	03-5841-4552 (24552)	tatikawa@eps.s.u-tokyo.ac.jp
東京大学 大学院理学系研究科地球惑星科学専攻	吉田 英人	03-5841-4535	yoshida@eps.s.u-tokyo.ac.jp
東京大学 物性研究所	岡部 清信	0471-36-3396 ,3397	kokabe@issp.u-tokyo.ac.jp
東京大学 物性研究所	五十嵐 武	0471-36-3351	igarashi@issp.u-tokyo.ac.jp
東京大学 物性研究所 低温液化室	吉田 辰彦	0471-36-3516	tyoshida@issp.u-tokyo.ac.jp
東京大学 物性研究所 低温液化室	鷺山 玲子	0471-36-3517	sagiyama@issp.u-tokyo.ac.jp

平成13年度核融合科学研究所技術研究会参加者名簿

所属	名前	電話	電子メールアドレス
東京大学 物性研究所 低温液化室	土屋 光	0471-36-3515	tsuchiya@issp.u-tokyo.ac.jp
東京大学 物性研究所工作室	川口 孝志	0471-36-3396	gutti@issp.u-tokyo.ac.jp
東京大学 理学系研究科	杉浦 俊勝	03-5841-4377	sugiura@chem.s.u-tokyo.ac.jp
東京大学 理学系研究科 理学部	川島 孝	03-5841-4626	kawasima@chem.s.u-tokyo.ac.jp
東京大学 理学部物理	山岸 健一	03-5841-8326	kyama@phys.s.u-tokyo.ac.jp
東京大学 物理工学専攻	佐藤 秀和	03-5841-6954	h-sato@ap.t.u-tokyo.ac.jp
東京大学 理学系研究科	吉田 和行	03-5871-4372	yoshida@chem.su-tokyo.ac.jp
東京大学 工学部総合研究機構	大塚 滋	03-5841-7753	ohtsuka@scgo.cu-tokyo.ac.jp
東京大学 工学部応用科学科	飯塚 秀夫	03-5841-7364	zuka@appchem.t.u-tokyo.ac.jp
東京大学 教養学部文化人類学	西沢 弘恵	03-5454-6118	nisizawa@bunjin.a.u-tokyo.ac.jp
東京大学 共通技術室	田辺 美江	03-5454-6139	tanabe@laputa.c.u-tokyo.ac.jp
東京大学 工学部 建築学科	田村	03-5841-6200	tamura@arch.t.u-tokyo.ac.jp
東京大学 工学部 応用化学	坂下 香	03-5841-7260	sakashita@appchem.t.u-tokyo.ac.jp
東北大学 学際科学研究センター	桑野	022-217-5760	kuwano@cir.tohoku.ac.jp
東北大学 金属材料研究所	齊藤 今朝美	022-215-2157	saitok@imr.edu
東北大学 金属材料研究所技術部	伊藤 敏行	022-215-2511	itoh@imr.edu
東北大学 金属材料研究所技術部	松木 邦美	022-215-2170	matsuki@imr.edu
東北大学 情報シナジーセンター	加藤 昇	022-217-6251	kato@isc.tohoku.ac.jp
東北大学 情報シナジーセンター	高橋 洋一	022-217-6252	youichi@isc.tohoku.ac.jp
東北大学 情報シナジーセンター	大沼 忠弘	022-217-6253	oonuma@isc.tohoku.ac.jp
東北大学 情報シナジーセンター	二階堂 秀夫		
東北大学 多元物質科学研究所	山木 賢一	022-217-5401	yamaki@tagen.tohoku.ac.jp
東北大学 多元物質科学研究所	三浦 和浩	022-217-5401	miura@tagen.tohoku.ac.jp
東北大学 多元物質科学研究所 技術室	新田 健一	022-217-5400	nitta@tagen.tohoku.ac.jp
東北大学 多元物質科学研究所 技術室	相澤 勝雄	022-217-5401	aikatu@tagen.tohoku.ac.jp
東北大学 多元物質科学研究所 技術室	工藤 友美	022-217-5669	kudo@tagen.tohoku.ac.jp
東北大学 大学院工学研究科	阿部 幸勇	022-217-6973	abe@space.mech.tohoku.ac.jp
東北大学 大学院理学研究科	平賀 正之	022-217-6599	hiraga@mail.cc.tohoku.ac.jp
東北大学 大学院理学研究科	武藤 正勝	022-743-3416	mutoh@lns.tohoku.ac.jp
附属原子核理学研究施設			
東北大学 電気通信研究所	菅原 宗朋	022-217-5536	munetomo@riec.tohoku.ac.jp
東北大学 電気通信研究所	渡邉 博志	022-217-5536	nabe@riec.tohoku.ac.jp
東北大学 電気通信研究所	末永 保	022-217-5536	suenaga@riec.tohoku.ac.jp
東北大学 理学研究科附属原子核理学研究施設	柴崎 義信	022-743-3400	shibasak@lns.tohoku.ac.jp
東北大学 理学部技術部	佐藤 健	022-217-6418	k-sato@srpe.phys.tohoku.ac.jp
東北大学 流体科学研究所技術室	加藤 誠	022-217-5289	Kato@ifs.tohoku.ac.jp
東北大学 流体科学研究所技術室	浅野 和夫	022-217-5289	asano@ifs.tohoku.ac.jp
東北大学 流体科学研究所技術室	太田 福雄	022-217-5280	ohta@ifs.tohoku.ac.jp
東北大学 金属材料研究所	大久保 昭	022-215-2375	okubo555@lmr.edu
東北大学 理学部物理学科	志田 博	022-217-6469	shida@mail.cc.tohoku.ac.jp
東北大学 多元物質科学研究所	千葉	022-217-5382	chibah@tagen.tohoku.ac.jp
東北大学 多元物質科学研究所	後藤 忠彦	022-217-5366	goto@tagen.tohoku.ac.jp
東京大学 教養学部 共通技術室 低温	芦沢 佳子	03-5454-6063	ashizawa@laputa.c.u-tokyo.ac.jp
徳島大学 工学部	稲岡 武	088-656-7448	inaoka@ee.tokushima-u.ac.jp
名古屋工業大学 応用化学科	小澤 忠夫	052-735-5252	ozawa-t@ach.nitech.ac.jp

平成13年度核融合科学研究所技術研究会参加者名簿

所属	名前	電話	電子メールアドレス
名古屋工業大学 技術部 生産システム工学系	坂井 孝弘	052-735-5547	sakai@ccr.nitech.ac.jp
機械工学班 工作・試験センター			
名古屋工業大学 計測分析センター 低温装置室	井村 仁美	052-735-5534	imura@iac.nitech.ac.jp
名古屋工業大学 工作・試験センター	藤井 末男	052-735-5547	fujii@ccr.nitech.ac.jp
名古屋工業大学 材料工学科	祖父江 孝之	052-735-5315	sobue@mse.nitech.ac.jp
名古屋工業大学 材料工学科	高木 弘	052-735-5314	htakaki@mse.nitech.ac.jp
名古屋大学 理学部 装置開発室	香月 真澄	052-789-2458	katsuki@ufp.phys.nagoya-u.ac.jp
名古屋大学 環境医学研究所	太田 芳博	052-789-3998	ohta@riem.nagoya-u.ac.jp
名古屋大学 工学科 電子機械工学専攻	青木 延幸	052-789-3311	aoki@nuem.nagoya-u.ac.jp
名古屋大学 工学研究科	皆川 清	052-789-3311	minagawa@nuem.nagoya-u.ac.jp
名古屋大学 工学研究科	鬼頭 良彦	052-789-5653	ykitou@nuee.nagoya-u.ac.jp
名古屋大学 工学研究科 技術部	近藤 一元	052-789-4670	kondo@apchem.nagoya-u.ac.jp
名古屋大学 工学研究科 技術部電子・情報技術系	小林 勝司	052-789-2690	kobayasi@nuee.nagoya-u.ac.jp
名古屋大学 工学研究科 機械系技術室	白木 尚康	052-789-2715	shiraki@mech.nagoya-u.ac.jp
名古屋大学 工学研究科 技術部	御厨 照明	052-789-4674	mikuriya@mech.nagoya-u.ac.jp
名古屋大学 工学研究科 技術部	若松 進	052-789-3606	s-wakamatsu@nucl.nagoya-u.ac.jp
名古屋大学 工学研究科 技術部	早川 正人	052-789-4471	hayakawa@mech.nagoya-u.ac.jp
名古屋大学 工学研究科 技術部	藤原 文治	052-789-5653	fujiwara@nuee.nagoya-u.ac.jp
名古屋大学 工学研究科 技術部	堀木 幹夫	052-789-5871	m-horiki@nucl.nagoya-u.ac.jp
名古屋大学 工学部	山本 浩治	052-789-2715	yamamoto@mech.nagoya-u.ac.jp
名古屋大学 工学部	青山 正樹	052-789-3320	aoyama@numse.nagoya-u.ac.jp
名古屋大学 工学部	野崎 公隆	052-789-3749	nozaki@nuac.nagoya-u.ac.jp
名古屋大学 工学部	立花 一志	052-789-3850	tachibana@mech.nagoya-u.ac.jp
名古屋大学 工学部	纐纈 明三	052-789-3320	kohketsu@numse.nagoya-u.ac.jp
名古屋大学 工学部 技術部	荒井 重勇	052-789-3631	arai@cirse.nagoya-u.ac.jp
名古屋大学 工学部 技術部	森田 千明	052-789-3631	morita@cirse.nagoya-u.ac.jp
名古屋大学 工学部 技術部	布目 清成	052-789-2706	nunome@mech.nagoya-u.ac.jp
名古屋大学 工学部 工学研究科	熊澤 克芳	052-789-4468	kumazawa@nuap.nagoya-u.ac.jp
名古屋大学 工学部 工学研究科 技術部	佐々木 敏幸	052-789-4410	sasaki@nuae.nagoya-u.ac.jp
名古屋大学 工学部 工学研究科 技術部	増田 俊雄	052-789-5871	t-masuda@nucl.nagoya-u.ac.jp
名古屋大学 工学部 工学研究科 技術部	長岡 敏彦	052-789-2748	nagaoka@nuie.nagoya-u.ac.jp
名古屋大学 工学部 工学研究科 技術部	千田 進幸	052-789-2787	senda@mech.nagoya-u.ac.jp
名古屋大学 工学部 技術部	小塚 基樹	052-789-4468	kozuka@nuap.nagoya-u.ac.jp
名古屋大学 工学部 技術部	星野 善樹	052-789-4468	hoshino@nuap.nagoya-u.ac.jp
名古屋大学 工学部 技術部	大久保 興平	052-789-5871	k-ohkubo@mail.nucl.nagoya-u.ac.jp
名古屋大学 工学部 技術部	涌井 義一	052-789-4468	wakui@nuap.nagoya-u.ac.jp
名古屋大学 工学部 技術部	林 達也	052-789-3767	tatsu@degas.nuac.nagoya-u.ac.jp
名古屋大学 工学部 工学研究科 技術部	松浦 英雄	052-789-2718	matsuura@mein.nagoya-u.ac.jp
名古屋大学 工学部 工学研究科 技術部	正中 康博	052-489-3113	masa@mml.mech.nagoya-u.ac.jp
名古屋大学 工学部 工学研究科 技術部	鷲見 高雄	052-789-4468	sumi@nuap.nagoya-u.ac.jp
名古屋大学 工学部 電子機械工学専攻	中西 幸弘	052-789-3311	nakanisi@nuem.nagoya-u.ac.jp
名古屋大学 大学院工学研究科	玉置 一雄	052-789-2722	tamaki@mech.nagoya-u.ac.jp
機械情報システム工学専攻			
名古屋大学 大型計算機センター	川田 良文	052-789-4374	kawata@cc.nagoya-u.ac.jp
名古屋大学 大型計算機センター	堤 守政	052-789-4374	a49968a@cc.nagoya-u.ac.jp

平成13年度核融合科学研究所技術研究会参加者名簿

所属	名前	電話	電子メールアドレス
名古屋大学 大型計算機センター	田島 嘉則	052-789-4370	a49981a@nucc.cc.nagoya-u.ac.jp
名古屋大学 理学部 装置開発室	小林 和宏	052-789-2809	koba@indec.nagoya-u.ac.jp
名古屋大学 理学部 装置開発室	松下 幸司	052-789-2809	matusita@indec.nagoya-u.ac.jp
名古屋大学 理学部 技術部	井上 晶次	052-789-2446	inoue@edu3.phys.nagoya-u.ac.jp
名古屋大学 理学部 技術部	河合 利秀	052-789-2446	kawai@ufp.phys.nagoya-u.ac.jp
名古屋大学 理学部 技術部	松岡 博	052-789-2446	matsuoka@ufp.phys.nagoya-u.ac.jp
名古屋大学 理学部 装置開発室	石川 秀蔵	052-789-2809	isikawa@indec.nagoya-u.ac.jp
名古屋大学 理学部物理金工室	中村 洋子	052-789-2445	nakamura@ufp.phys.nagoya-u.ac.jp
名古屋大学 工学部	高田 昇治	052-789-5653	takada@nuee.nagoya-u.ac.jp
長岡技術科学大学 工作センター	吉井 一夫	0258-47-9863	yoshii@mech.nagaokaut.ac.jp
長岡技術科学大学 工作センター	星野 英夫	0258-47-9863	hoshino@mech.nagaokaut.ac.jp
奈良工業高等専門学校 総合情報センター	川辺 涼子	0743-55-6171	kawabe@center.nara-k.ac.jp
奈良先端科学技術大学院大学 研究協力部 研究協力課	須浪 哲平	0743-72-5633	sunami@bs.aist-nara.ac.jp
日本原子力研究所 NBI装置試験室	菊池 勝美	029-270-7452	kikuchi@nbdbcd1.naka.jaeri.go.jp
日本原子力研究所 NBI装置試験室	藻垣 和彦	029-270-7455	mogaki@naka.jaeri.go.jp
日本原子力研究所 NBI装置試験室	薄井 勝富	029-270-7457	usui@naka.jaeri.go.jp
日本原子力研究所 NBI装置試験室	本田 敦	029-270-7455	hondaat@naka.jaeri.go.jp
日本原子力研究所 核融合装置試験部	大森 栄和	029-270-7426	ohmoriyo@naka.jaeri.go.jp
日本原子力研究所 工作技術課	井上 広己	029-282-5154	h-inoue@popsvr.tokai.jaeri.go.jp
日本原子力研究所 東海研究所技術部 工作技術課	海老根 守澄	029-282-5156	me@popsvr.tokai.jaeri.go.jp
日本原子力研究所 那珂研究所JT-60第2試験室	笹島 唯之	029-270-7432	sasajima@naka.jaeri.go.jp
日本原子力研究所 那珂研究所JT-60第2試験室	三代 康彦	029-270-7438	miyo@naka.jaeri.go.jp
日本原子力研究所 那珂研究所JT-60第2試験室	西山 友和	029-270-7438	nishiyat@fusion.naka.jaeri.go.jp
日本原子力研究所 那珂研究所RF装置試験室	下野 貢	029-270-7445	shimono@naka.jaeri.go.jp
日本原子力研究所 那珂研究所核融合装置試験部 JT-60第2試験室	市毛 尚志	029-270-7436	ichige@naka.jaeri.go.jp
日本原子力研究所 那珂研究所核融合装置試験部 JT-60第2試験室	新井 貴	029-270-7434	arai@naka.jaeri.go.jp
日本原子力研究所 那珂研究所核融合装置試験部 RF装置試験室	篠崎 信一	029-270-7442	sinozaki@naka.jaeri.go.jp
日本原子力研究所 那珂研究所核融合装置試験部 JFT-2M試験室	山本 正弘	029-282-6715	yamamoto@axjft3.tokai.jaeri.go.jp
日本原子力研究所 那珂研究所核融合装置試験部 JT-60第1試験室	高野 正二	029-270-7439	takanos@fusion.naka.jaeri.go.jp
日本原子力研究所 那珂研究所核融合装置試験部 JT-60第1試験室	赤坂 博美	029-270-7424	akasaka@naka.jaeri.go.jp
日本原子力研究所 那珂研究所炉心プラズマ解析室	佐藤 稔	029-270-7353	satomi@naka.jaeri.go.jp
日本原子力研究所 那珂研究所炉心プラズマ研究部	岩崎 慶太	029-270-7353	iwasakik@fusion.naka.jaeri.go.jp
日本原子力研究所 炉心プラズマ研究部 炉心プラズマ解析室	大島 貴幸	029-270-7353	oshima@naka.jaeri.go.jp
日本原子力研究所 核融合装置試験部	細金 延幸	029-270-1010	hosogane@naka.jaeri.go.jp
日本原子力研究所 技術部工作技術課	千葉 雅昭	029-284-0967	m-chiba@popsur.tokai.jaeri.ac.jp
日本原子力研究所 技術部工作技術課	大場 敏弘	029-282-5154	
新潟大学 工学部福祉人間工学科	土田 淳慈	025-262-7216	tutida@bc.niigata-u.ac.jp

平成13年度核融合科学研究所技術研究会参加者名簿

所属	名前	電話	電子メールアドレス
姫路工業大学 理学部	岩本 雄二	0791-58-0130	iwamoto@sci.himeji-tech.ac.jp
広島大学 原医研 放射線先端医学実験施設	菅 慎治	082-257-5880	suga@hiroshima-u.ac.jp
広島大学 理学部	石飛 義明	0824-22-7111 内線2660	kinzoku@sci.hiroshima-u.ac.jp
広島大学 理学部	浅田 竜也	0824-22-7111 内線2660	kinzoku@sci.hiroshima-u.ac.jp
福井大学 技術部	酒井 孝則	0776-27-8784	sakai@kozm1.eng.fukui-u.ac.jp
福井大学	篠 競	0776-27-8782	shino@i1nws1.fuis.fukui-u.ac.jp
福井大学	水野 広治	0776-27-8941	mizuno@fuis.fuis.fukui-u.ac.jp
北陸先端科学技術大学院大学 研究協力部 技術室	但馬 陽一	0761-51-1086	y-tajima@jaist.ac.jp
北陸先端科学技術大学院大学 研究協力部 技術室	福島 清信	0761-51-1086	kfukushi@jaist.ac.jp
北陸先端科学技術大学院大学 研究協力部 技術室	伊藤 暢晃	0761-51-1459	n-ito@jaist.ac.jp
北陸先端科学技術大学院大学 研究協力部 技術室	北 宏之	0761-51-1470	kita@jaist.ac.jp
北陸先端科学技術大学院大学 研究協力部 技術室	堀米 利夫	0761-51-1470	horigome@jaist.ac.jp
北陸先端科学技術大学院大学 研究協力部 技術室	宇野 宗則	0761-51-1470	munenori@jaist.ac.jp
北陸先端科学技術大学院大学 研究協力部 技術室	木村 一郎	0761-51-1470	ichirou@jaist.ac.jp
北海道大学 アイソトープセンター	笠原 茂	011-706-6088	kasahara@ric.hokudai.ac.jp
北海道大学 触媒科学研究センター	土生 哲三	011-706-2907	hv@cat.hokudai.ac.jp
北海道大学 大学院理学研究科技術部	小檜山 守男	011-706-2662	m-kohi@sci.hokudai.ac.jp
北海道大学 大型計算機センター	大島 雅明	011-706-2948	ohshima@cc.hokudai.ac.jp
北海道大学 低温科学研究所 技術部	瀬川 鉄逸	011-706-5461	segawa@lowtem.hokudai.ac.jp
北海道大学 低温科学研究所 技術部	中坪 俊一	011-706-5461	naka@lowtem.hokudai.ac.jp
北海道大学 電子科学研究所技術部装置開発技術班	女池 竜二	011-706-2876	meike@es.hokudai.ac.jp
北海道大学 電子科学研究所 技術部	伊勢谷 陽一		iseya@es.hokudai.ac.jp
北海道大学	藤田 実		
三重大学 工学部	山本 好弘	059-231-9398	yamamoto@com.elec.mie-u.ac.jp
三重大学 工学部	平山 かほる	059-231-9424	hirayama@chem.mie-u.ac.jp
三重大学 工学部 技術部	伊藤 篤	059-231-9404	itoa@elec.mie-u.ac.jp
三重大学 工学部 技術部	新美 治利	059-231-9477	niimi@arch.mie-u.ac.jp
三重大学 工学部 技術部	前田 浩二	059-231-9727	maeda@phen.mie-u.ac.jp
三重大学 工学部 技術部	中村 勝	059-231-9674	nakamura@hori.elec.mie-u.ac.jp
山口大学 工学部 電気電子工学科	岡田 秀希	0836-85-9441	okada@ab1610.eee.yamaguchi-u.ac.jp
山口大学 工学部 電気電子工学科	河本 直哉	0836-85-9412	kawamoto@po.cc.yamaguchi-u.ac.jp
山口大学 工学部 電気電子工学科	小橋 克哉	0836-85-9407	kobashi@po.cc.yamaguchi-u.ac.jp
山口大学 工学部 電気電子工学科	田内 康	0836-85-9449	tauchi@eee.yamaguchi-u.ac.jp
山形大学 工学部 情報科学科	夏井 武雄	0238-26-3368	natui@yz.yamagata-u.ac.jp
山形大学 工学部 電気電子工学科	青木 ミヨ子	0238-26-3333	aoki@yz.yamagata-u.ac.jp
琉球大学 極低温センター	宗本 久弥	098-895-8954	hisa@eve.u-ryukyu.ac.jp
個人	長江 幸男	0572-54-2026	
開発電気(株) 名古屋支店	大嶽 利之	052-962-8837	
キャンパスクリエイト	伊藤 文憲	0424-43-5728	ito@campuscreate.com
アイキューブ	近藤 英記	03-5953-6406	hideki@icube.ne.jp
(株)友光測範	大山 慎次	0573-68-4331	t_ogura@uks-gifu.co.jp
(株)友光測範	小倉 忠雄	0573-68-4331	t_ogura@uks-gifu.co.jp
(株)友光測範	小倉 忠大	0573-68-4331	t_ogura@uks-gifu.co.jp

編集後記

平成１３年度核融合科学研究所技術研究会に参加された全国のみなさまご苦労さまでした。今回の技術研究会参加者は最終集計で407名となり、発表件数も口頭86件、ポスターセッション45件の合計131件ということで核融合科学研究所技術部が主催した過去の技術研究会の実績を大幅に上回ったものになりました。参加者数等の増大はここ数年の傾向で、技術研究会が全国に広く浸透し、各機関の技術職員組織等が技術交流の場として積極的に位置づけ、参加している結果であろうと思われます。

実行委員会では技術研究会のすそ野の広がりという観点から参加者が増えることを歓迎しつつも地方都市での開催ということで、会場や宿泊の収容能力の問題等でうまく運営できるかどうかを心配しておりました。実際、宿泊について多くの方々にご不便をおかけした点についてはこの場を借りてお詫び申し上げます。

当日は一部の分科会で急遽、椅子を追加したりするなど盛況な技術研究会でしたが、発表件数が多く、発表時間が15分、質疑５分ということで聴講された方々の中には十分議論ができなかったと思われた方もいらっしゃるかと思います。発表内容では複数の機関での共同開発・作業によるものが増加したことが特徴でした。これは技術面での交流が活発に行われていることの反映であり、さらなる発展が望まれるものであります。

運営上、いくつかの問題はありましたが、技術研究会全般を通して見ると、座長の方々をはじめみなさんのご協力でスムーズな進行ができ、技術研究会を成功裡に終えることができ、みなさんに感謝する次第であります。

開催中に行われた技術研究会運営協議会では次回の東京大学での開催を決めたのをはじめ、大阪大学、名古屋大学などの開催意向も出されるなど当面は研究所と大学の交互開催にすることを確認しています。技術研究会は今後とも参加機関、参加者ともに増えるであろうということが予想されますが、その充実・発展のためには少し工夫が必要な時期に来ているかも知れません。みなさんの英知でより良い技術研究会を創り上げていただきたいと存じます。

最後に、技術研究会への参加を契機にさらに継続的な技術交流へと発展させるというアクションを参加者一人一人が意識的に行い、技術の研鑽を図られることを期待致します。また、本報告書や参加者リストがその一助になれば幸いです。

技術研究会実行委員会

NIFS-MEMOシリーズ出版リスト
(Recent Issues of NIFS-MEMO Series)

NIFS-MEMO-21 飯吉厚夫、藤原正巳、岡本正雄、大藪修義、金子修、笹尾眞實子、須藤滋、菅野龍太郎、武藤敬、村上定義、竹入康彦、冨田幸博、山崎耕造
「LHDにおけるD-^{3}He核融合の検討」
A. Iiyoshi, M. Fujiwara, M. Okamoto, N. Ohyabu, O. Kaneko, M. Sasao, S. Sudo, R. Kanno, T. Mutoh, S. Murakami, Y. Takeiri, Y. Tomita and K. Yamazaki,
"Studies on D - ^{3}He Fusion in LHD", Mar. 1996 (in Japanese)

NIFS-MEMO-22 編集責任、核融合科学研究所、太刀川恭治、山本純也、三戸利行
「核融合科学研究所共同研究、核融合炉用先進超伝導導体、研究調査報告書 2先進金属系超伝導導体」
Editors: K. Tachikawa, J. Yamamoto and T. Mito,
"Studies on Advanced Superconductors for Fuston Device" Part 2 - Metallic Superconductors other tnan Nb_3Sn -", Mar. 1997 (in Japanese)

NIFS-MEMO-23 K. Itoh (ed.), S.-I. Itoh, U. Stroth, T. Iwasaki, M. Yagi and A. Fukuyama,
"Discussion Record of the Workshop on Nonlocal Transport" June 1997

NIFS-MEMO-24 Collapse, Terminating Eventsの物理
日本物理学会 シンポジウム 第52回年会 1997.3.29
"Physics of Collapse and Terminating Events" (in Japanese); July 1997

NIFS-MEMO-25 中村浩章、池田一昭、山口作太郎
「強磁場中でのネルンスト素子の輸送現象とエネルギー変換」
H. Nakamura, K. Ikeda, S. Yamaguchi,
"Transport Phenomena and Energy Conversion of the Nernst Element in a Strong Magnetic Field" (in Japanese); Nov. 1997

NIFS-MEMO-26 核融合科学研究所技術部
「平成９年度核融合科学研究所技術研究会
日時：1998 年 9 月 11 日・12 日 場所：セラトピア土岐」1998 年 3 月
"Proceedings of Symposium on Technology in Laboratories by Department of Engineering and Technical Services" Mar. 1998
(In Japanese)

NIFS-MEMO-27 編集責任、核融合科学研究所、太刀川恭治、三戸利行
「核融合科学研究所共同研究、核融合炉用先進超伝導導体、研究調査報告書 3 酸化物系超伝導導体」
Editors: K. Tachikawa and T. Mito,
"Studies on Advanced Superconductors for Fusion Device, Part 3 - High-T_c Oxide Superconductors -", Mar. 1998 (in Japanese)

NIFS-MEMO-28 陰山聡、佐藤哲也
「ＶＲシステムCompleXcopeプログラミングガイド」
A. Kageyama and T. Sato,
"VR System CompleXcope Programming Guide" ; Sep. 1998 (in Japanese)

NIFS-MEMO-29 北内英章、木田重雄
「回転球殻内のMHDシミュレーションコードの開発」
H. Kitauchi and S. Kida,
"Numerical Code for an MHD Simulation in a Rotating Spherical Shell": Feb. 1999 (In Japanese)

NIFS-MEMO-30 津田健三、山本孝志、加藤丈雄、中村修、渡邊國彦、渡邊令子、津川和子、上村鉄雄
「核融合科学研究所キャンパス情報ネットワークNIFS-LANの構築」
K. Tsuda, T. Yamamoto, T. Kato, O. Nakamura, K. Watanabe, R. Watanabe, K. Tsugawa and T. Kamimura,
"Construction of the NIFS Campus Information Network NIFS-LAN": Oct. 2000 (In Japanese)

NIFS-MEMO-31 文部科学省 核融合科学研究所 安全管理センター
「放射線安全管理年報 -1999年度-」
Safety and Enviromental Research Center, National Institute for Fusion Science,
"Report on Administrative Work at Radiation Safety Center in fiscal year 1999": Apr. 2001 (In Japanese)

NIFS-MEMO-32 渡邊國彦、渡邊令子、津川和子、津田健三、山本孝志、中村修、上村鉄雄
「大型汎用計算機システム2001運用報告」
K. Watanabe, R. Watanabe, K. Tsugawa, K. Tsuda, T. Yamamoto, O. Nakamura and T. Kamimura,
"Report on the Operation and Utilization of General Prupose Use Computer System 2001": Sep. 2001 (In Japanese)

NIFS-MEMO-33 西尾成子、植松英穂、大林治夫、川上一郎、高岩義信、竹田辰興、寺嶋由之介、雛波忠清、藤田順治、若谷誠宏、木村一枝
「日本の核融合研究開発の経緯 1965～1986 関口忠氏インタビュー記録」
Nisio, S., Uematsu, E., Obayashi, H., Kawakami, I., Takaiwa, Y., Takeda, T., Terashima, Y., Namba, C., Fujita, J., Wakatani, M. and Kimura, K.,
An Archival Study on the Fusion Researches in Japan from 1965 to 1986 An Interview with Sekiguchi Tadashi": Dec. 2001 (in Japanese)

NIFS-MEMO-34 岩切宏友、松廣健二郎、廣岡慶彦、山村泰道、PWI一作業会メンバー
プラズマー壁相互作用関連データ集ー１
「プラズマ対抗材料中の水素同位体リテンションと関連する拡散係数・再結合係数データベース」
Hirotomo Iwakiri, Kenjirou Matsuhiro, Yoshi Hirooka, Yasunori Yamamura and PWI-Taskgroup,
Plasma-Wall Interactions Data Compendium-1
"Hydrogen Retention Property, Diffusion and Recombination Coefficients Database for Selected Plasma-Facing Materials"
May 2002 (in Japanese)

NIFS-MEMO-35 文部科学省 核融合科学研究所 安全管理センター
「放射線安全管理年報 -2000年度-」
Safety and Enviromental Research Center, National Institute for Fusion Science,
"Report on Administrative Work at Radiation Safety Center in fiscal year 2000": May. 2002 (In Japanese)

NIFS-MEMO-36 核融合科学研究所技術部
「平成１３年度核融合科学研究所技術研究会
日時：2002 年 3 月 14 日・15 日 場所：セラトピア土岐
"Proceedings of Symposium on Technology in Laboratories by Department of Engineering and Technical Services" June. 2002
(In Japanese)

Printed on 100% Recycled Paper for this Text