

NATIONAL INSTITUTE FOR FUSION SCIENCE

平成19年度 核融合科学研究所技術研究会

日時: 2008年3月10日~11日

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 - Feb. 1, 2008)

NIFS-MEMO-55

Mar. 2008

RESEARCH REPORT
NIFS-MEMO Series

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 may be published in a journal after some rearrangement of its contents in the future.

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

E-mail: bunken@nifs.ac.jp

<Notice about photocopying>

In order to photocopy any work from this publication, you or your organization must obtain permission from the following organization which has been delegated for copyright for clearance by the copyright owner of this publication.

Except in the USA

Japan Academic Association for Copyright Clearance (JAACC)
6-41 Akasaka 9-chome, Minato-ku, Tokyo 107-0052 Japan
Phone: 81-3-3475-5618 FAX: 81-3-3475-5619 E-mail: jaacc@mtd.biglobe.ne.jp

In the USA

Copyright Clearance Center, Inc.
222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923 USA
Phone: 1-978-750-8400 FAX: 1-978-646-8600

平成19年度 核融合科学研究所技術研究会

日時 : 2008年3月10日～11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 both 10th and 11th March 2008 at Ceratopia Toki in Toki city, Gifu Prefecture, Japan, which hosted by the National Institute for Fusion Science(NIFS). 287 people participated and 97 papers were presented from many universities, national laboratories, technical colleges, and some industries in Japan. Technical experience and new techniques were reported and discussed in four fields:"technology of fabrication and cryogenics", "device technology", "diagnostic and control system", and "computer and processing".

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

はじめに

自然科学研究機構 核融合科学研究所
技術部長 山内健治

大学や大学共同利用機関・工業高等専門学校が法人に移行し、5年目を迎えようとしております。それぞれの教育・研究機関では中期目標・計画を設定し、その達成のために特色ある取り組みがなされています。

この間大学等においては、技術組織の活動として大学内部での技術研修や技術研究会の実施がなされてきました。分子科学研究所から始まった技術研究会は、高エネルギー加速器研究機構や核融合科学研究所へと拡がり、技術組織が中心となり全国の大学・研究所の技術職員に呼びかけて交代で開催してきました。大学の技術組織の充実に伴い全国規模の技術研究会を開催する機運が高まり、大学での開催も始まりました。

また発表分科会も従来の工作、電子回路、低温、装置、計算機等から化学器機分析や実験・実習分野と大学の技術職員の受け持つ広い技術範囲となり参加人数も拡大してきました。しかし規模や参加者数が増えるにつれて十分な討論の時間が取れないといった声も上がっております。研究会での報告は現在分子研技術課の大変な努力の結果、データベースとして活用できるようになっていますので業務に活用して頂くことを願っています。また研究会で報告された内容等について理解を深めたい要望がある場合には共同利用機関の技術組織で、その内容について技術交流を行うことが出来る制度を設けておりますので活用してもらい業務に役立てて下さい。核融合研でも毎年十数件の大学や他機関の技術職員を受け入れて技術交流を実施しています。

今後組織の継続、技術の習得と維持・継承の点から考えなければならない外部要因のひとつに少子化が大学に及ぼす影響があります。文部科学省の調査によると、この10年の間に全国に22万校ある小学校のうち約1700校が統廃合によって無くなっています。この少子化の波は数年先には大学をも襲うことになり、多くの大学が入学定員減少により統廃合を余儀なくされることとなります。その様な大学の統廃合による影響を見越して、今まで多くの政策提言を行ってきた松尾学術振興財団が2000年に出した「大学の研究システム改革への6提案」の中で研究支援体制についても提言を行っています。そこでは政府の科学技術基本計画での研究者数と同じ支援者確保が現実性に乏しいことを挙げ、全国に数ブロックのリージョナル研究支援システムを整備することを提案しています。この提案では、研究支援業務の充実を図りながら、その人事・処遇の改善と効率的な機能を目指すもので、今後注目していく必要があります。

また法人移行後多くの大学・研究所では研究者を任期制にして、人事の活性化を図ろうとしています。そのような研究環境の中では研究者の流動化が起こりますから、配属されている研究室の研究内容も変化することになります。それに伴い必要とされる技術もまた変わってくるので、技術職員としてどのように新たな技術を獲得して行くべきかが問われてきます。技術研究会では、全国の大学・研究所の技術職員が一堂に会する機会ですから、積極的に他の大学の技術職員と交流を持ち技術の幅を広げ深めるように心がけて頂きたいと思っています。

今回の技術研究会を開催するにあたり、遠方より来て頂いた参加者の方々、また会場を提供頂いた土岐市や支援を頂いた核融合科学研究会、講師を引き受けていただいた先生方、所長や管理部をはじめ研究所の皆様感謝します。

目 次

第1分科会（工作・低温技術）

- (1) NACA 翼柱の製作.....1
長岡技術科学大学 工作センター ○佐藤賢太、星野英夫
- (2) アルギン酸カルシウム微粒子生成用マイクロチャンネル装置の機械加工.....4
東京工業大学 技術部 精密工作技術センター ○和田 選、杉原輝哉
東京工業大学 技術部 分析支援センター 平井光代
東京工業大学 精密工学研究所 西迫貴志
- (3) コルゲート溝付きマイターベンダの製作.....8
自然科学研究機構 核融合科学研究所 技術部 ○岡田光司、小林策治、谷口能之
自然科学研究機構 核融合科学研究所 高周波加熱プラズマ研究系
久保 伸
- (4) 電子ビーム溶接法によるアルミ製薄肉テーパ円筒の製作.....12
自然科学研究機構 分子科学研究所 装置開発室 ○近藤聖彦、鈴木光一
- (5) イオンビーム照射因子局所計測システムの開発.....15
東北大学 多元物質科学研究所 機械工場 ○鈴木康広
東北大学 多元物質科学研究所 化学プロセス設計研究分野
田中宏幸、佃 諭志、田中俊一郎
- (6) 精密制御定常震源 (ACROSS) の軸受損傷について.....19
名古屋大学 全学技術センター 装置開発系 ○立花健二、鈴木和司、鳥居龍晴、増田忠志
- (7) 人力飛行機用試作センターギア BOX の設計・製作.....23
広島大学 技術センター ○矢吹祐司
- (8) Lバンド導波管における可変位相器の試作.....27
高エネルギー加速器研究機構 共通基盤研究施設 機械工学センター
○岩井正明、坂本信博、小林芳治、川又弘史、
船橋義聖
- (9) 液体ヘリウム移送管の製作と利用成果.....31
千葉大学 理学部 ○吉本佐紀
- (10) ガスクロ分析結果のアナログ出力(クロマトパック編).....35
高エネルギー加速器研究機構 素粒子原子核研究所
○鈴木祥仁、川井正徳、近藤良也、槇田康博
- (11) 東京大学物性研究所低温液化室ヘリウム液化システム概要 3.....39
東京大学 物性研究所 低温液化室 ○阿部美玲、鷺山玲子、土屋 光
東京大学 低温センター 阿部美玲
- (12) LHD 低温システムの現状.....43
自然科学研究機構 核融合科学研究所 ○森内貞智、大場恒揮、関口温朗、前川龍司、
三戸利行

第2分科会（装置技術）

- (1) 光赤外干渉計における室内環境対策47
自然科学研究機構 国立天文台 光赤外研究部 ○岩下 光
- (2) 薄片曲げ疲労試験機の開発 51
熊本大学 工学部 技術部 ○津志田雅之
熊本大学 自然科学研究科M1 鹿田 慧
熊本大学 自然科学研究科 北原弘基、安藤新二、頓田英機
- (3) 加速器と地震 54
東京大学 工学系研究科 ○中野忠一郎
- (4) 大学における廃溶媒管理マニュアルの作成
=京都大学有機廃液処理装置での経験から= 58
京都大学 環境保全センター ○真島敏行
- (5) LHD 実験における不具合調査結果（2） 61
自然科学研究機構 核融合科学研究所 ○小平純一、LHD 装置運転グループ
- (6) 複数変電室を持つ建物の変電室間位相チェックと接地線漏洩電流測定 65
東京大学 工学系研究科 技術部 ○島田規人、安本 勝、中村美雄、高田康宏
- (7) 蛍光X線分析における微量粉体試料の固定法の検討 69
高エネルギー加速器研究機構 共通基盤研究施設
○平 雅文
- (8) 微熱乱流計センサーの製作と中国西部地域での天文観測サイト調査 73
自然科学研究機構 国立天文台・ハワイ観測所
○大島紀夫、佐々木敏由紀
自然科学研究機構 国立天文台・三鷹 三上良孝
自然科学研究機構 国立天文台・岡山観測所 小矢野 久
- (9) 質量分析計を用いた研究支援 77
京都大学 大学院工学研究科 ○桑田啓子
- (10) 高熱負荷下の放射光用ミラーの冷却 80
高エネルギー加速器研究機構 ○内田佳伯
- (11) すばる望遠鏡赤外観測装置自動予冷システムの開発 84
自然科学研究機構 国立天文台 ハワイ観測所 ○小俣孝司、西村徹郎、東谷千比呂、小西真広、
吉川智裕、田中 壱、鈴木竜二、Steve Colley、
David Cook、Bill Gorman、Barney Magrath、
Lucio Ramos、Scot Kleinman
- (12) ファラデーカップにおける異常電流の原因究明 88
東京大学 工学系研究科 ○森田 明
- (13) 火山灰採集装置の設計 92
東北大学 大学院理学研究科 技術部 ○千賀信幸、柴崎義信、機器開発研修室
- (14) スターリングサイクルを利用した温度差発電装置の試作と検証 96
名古屋大学 工学部 技術部 ○中木村雅史、千田進幸、福森 勉、立花一志

第3分科会（計測・制御技術）

- (1) HDLによるシリアル通信ドライバの開発 101
東北大学 工学部・工学研究科 ○阿部茂樹
- (2) 計測タイミング復調回路の設計製作 105
自然科学研究機構 核融合科学研究所 技術部
○伊藤康彦、小嶋 護、大砂真樹、野々村美貴
(有)プレテック 今津節夫
自然科学研究機構 核融合科学研究所 高温プラズマ物理研究系
中西秀哉
- (3) dsPIC マイコンを用いたビーム電流補正装置の開発 109
自然科学研究機構 分子科学研究所 技術課 ○吉田久史
- (4) PF-AR フロントエンドモニターシステム 113
高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所
○濁川和幸、小菅 隆、菊地貴司
高エネルギー加速器研究機構 加速器研究施設 佐藤昌史
- (5) 侵入者自動監視システムの動作検証 117
日本原子力研究開発機構 原子力科学研究所 工務技術部
○蛭田敏仁、木村直行、清水和明
日本原子力研究開発機構 核不拡散科学技術センター
田沼浩二、鈴木美寿、伊藤 透
- (6) PIV を用いた魚眼映像の雲態挙動解析による突風予兆検知の試み 121
東京工業大学 技術部 設計工作技術センター ○岩田正孝
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
川口達也
- (7) 少子高齢化社会に対応した自律移動車椅子の制御および開発 125
宮崎大学 工学部 教育研究支援技術センター ○甲斐崇浩
- (8) J-PARC 実験施設の電磁石電源制御 129
高エネルギー加速器研究機構 素粒子原子核研究所
○鈴木善尋
- (9) 小型 PWI 実験装置 冷却水流量状態監視システムの開発 133
九州大学 応用力学研究所 技術室（高温プラズマ力学研究センター配属）
○東島亜紀
- (10) スプレー熱分解法における基板温度の定量化 137
九州工業大学 情報工学部 技術部 ○荒川 等
- (11) GPS ケータイを用いた海流調査システムの開発 141
九州大学 応用力学研究所 技術室 ○石井大輔
- (12) 月面環境模擬試験 145
自然科学研究機構 国立天文台 RISE 推進室 ○鶴田誠逸、花田英夫、野田寛大、河野宣之

- (13) VLBI 観測データ集中管理システムについて 149
自然科学研究機構 国立天文台 水沢 VERA 観測所
エレクトクス工業株式会社
○佐藤克久、川口則幸、小山友明
小関研介、原田健一
- (14) 放射光ビームライン BL-16A への STARS 導入 153
高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所
○小菅 隆、濁川和幸、豊島章雄、雨宮健太
- (15) 単独使用機器への簡易なCOMMONモードノイズ対策方法 157
東京大学 大学院工学系研究科 技術部・原子力国際専攻
○安本 勝

第4分科会（計算機・データ処理技術）

- (1) 岡崎3機関におけるゲストアカウントシステムの構築……………161
自然科学研究機構 分子科学研究所 ○松尾純一
- (2) ゲスト向けインターネット利用管理機器の導入と運用……………164
自然科学研究機構 分子科学研究所 ○澤 昌孝、岩橋健輔
- (3) 全国共同利用施設化に対応したネットワーク整備……………168
大阪大学 レーザーエネルギー学研究センター 高性能計算機室
○谷口麻梨香、安原裕子、福田優子
- (4) 東京大学におけるパブリックサーバ証明書発行プロジェクトについて……………172
東京大学 情報基盤センター PKI プロジェクト ○大島大輔、佐藤安一郎
東京大学 情報基盤センター アプリケーション支援係
西村 健、佐藤周行
- (5) 名古屋大学ID 運用に伴うツールプログラムの開発……………176
名古屋大学 全学技術センター 研究所・センター技術系（情報連携基盤センター）
○山田一成、堤 守政、田島嘉則
名古屋大学 全学技術センター情報通信技術系（情報連携統括本部情報サポート部）
柘植 朗
- (6) 予算執行管理改善のための管理システムの開発……………180
自然科学研究機構 国立天文台 ○中村京子
- (7) 異機種計算機統合による材料設計専用スーパーコンピューティングシステム……………184
東北大学 金属材料研究所 テクニカルセンター ○一関京子、三浦重幸、野手竜之介、佐藤和弘、
五十嵐伸昭
東北大学 金属材料研究所計算機材料学研究部門 川添良幸
- (8) 各種キューイングシステムの情報取得のAPI化……………188
自然科学研究機構 分子科学研究所 技術課 ○岩橋建輔
- (9) 大規模計算機システムにおける省エネルギー運用の検討……………192
自然科学研究機構 分子科学研究所 ○水谷文保、山田清志
- (10) Linux によるソフトウェアロードバランサの動作・性能検証……………196
北海道大学 企画部情報基盤課 IT 推進グループ ネットワークチーム
○相馬崇宏
- (11) 東北大学加齢医学研究所における eduroam 対応無線 LAN アクセスポイントの構築……………200
東北大学 加齢医学研究所 ○小森和樹、佐藤和則、安達恭子、佐竹正延
- (12) プラットフォームに依存しないファイルサーバの構築及び運用……………204
弘前大学 理工学研究科 ○佐藤勝人
- (13) 中規模ディレクトリサーバの再構築……………208
名古屋大学 全学技術センター（情報連携基盤センター）
○堤 守政
名古屋大学 全学技術センター（情報連携統括本部）
柘植 朗

ポスターセッション

• 工作・低温技術

- (1) 技術研究会の歩みと今後について213
高エネルギー加速器研究機構 加速器研究施設第三研究系
○竹中たてる
- (2) 機械工学センターの短期支援業務の現状217
高エネルギー加速器研究機構 共通基盤研究施設 機械工学センター
○小林芳治、上野健治
- (3) 依頼業務 火山灰採集装置の製作（工作・加工）221
東北大学 大学院理学研究科・理学部 技術部 機械開発研修室
○佐々木厚夫、千葉俊男、津田 隆、小野寺知美、
阿部隆行
東北大学 大学院理学研究科・理学部 技術部 附属原子核理学研究施設
柴崎義信
東北大学 大学院理学研究科・理学部 技術部 物理学専攻 原子核物理
千賀信幸
- (4) Zn 基、Ag-In 基準結晶における単結晶の作製223
東北大学 多元物質科学研究所 技術室 ○大橋 諭
東北大学 多元物質科学研究所 蔡 安邦

• 装置技術

- (5) 火山灰採取装置の回路系225
東北大学 理学研究科 原子核理学研究施設 ○柴崎義信
東北大学 理学研究科 原子核物理分野 千賀信幸
東北大学 理学研究科 機器開発・研修室 佐々木厚夫
東北大学 理学研究科 電子物理学講座 志田 博
- (6) ステッピングモーター制御プログラム試作 2229
高エネルギー加速器研究機構 素粒子原子核研究所
○鈴木祥仁
- (7) 固体ソース H₂O プラズマによる CaF₂ (蛍石) のドライエッチングプロセス233
東京工業大学 半導体・MEMS 支援センター ○松谷晃宏
- (8) ジルコニアセラミックスの EBSP 法による結晶方位の測定237
東京工業大学 技術部 半導体・MEMS 支援センター
○島山直之
- (9) ヴィスコスフィンガリング観察装置の改良241
三重大学 工学部 技術部 ○山本みどり
- (10) 触媒担持型アルコール液相合成法によるナノ構造カーボンの合成243
熊本大学 工学部 技術部 ○百田 寛
熊本大学 大学院自然科学研究科 院生 森 敬一郎
熊本大学 大学院自然科学研究科 横井裕之、黒田規敬

- (11) 窒素ガス発生装置の共用化による維持経費削減の取組みについて……………245
 徳島大学 大学院ヘルスバイオサイエンス研究部 薬学系
 ○飯田 仁、吉岡泰子、吉村好之
- (12) 名古屋大学大学院工学研究科における安全衛生教育の現状と課題……………249
 名古屋大学 全学技術センター 工学技術系第3技術課
 ○堀木幹夫、大久保興平、平墳義正、斉藤 彰、
 松浪有高
 名古屋大学 全学技術センター 工学技術系第1技術課
 中務孝広
 名古屋大学 情報メディア教育センター 江川智昭
- (13) 野辺山における最近の電波環境 3.75GHz 帯での混信対策……………253
 自然科学研究機構 国立天文台 野辺山太陽電波観測所
 ○北條雅典、篠原徳之
- (14) BSI マグネットのシミュレーション……………257
 高エネルギー加速器研究機構 放射光実験施設 ○上田 明
- (15) イオン源加速部の耐電圧試験……………261
 日本原子力研究開発機構 ○佐々木駿一、小林 薫、花田磨砂也、池田佳隆、
 秋野 昇
- (16) ビーム加速装置における磁気遮蔽の検討……………265
 日本原子力研究開発機構 核融合研究開発部門 粒子ビーム加熱システム開発 Gr
 ○秋野 昇、花田磨砂也、池田佳隆
- (17) NBI 加熱装置用データ収集システムのプロトタイプの開発……………269
 日本原子力研究開発機構 核融合研究開発部門 ○本田 敦、篠崎信一、大島克己、清水達夫
 池田住隆
 ストリーム 沼澤 呈
- (18) 中性子比例計数管用の電荷積分器の開発とその応用……………273
 高エネルギー加速器研究機構 放射線科学センター
 ○飯島和彦、佐波俊哉、齋藤 究、中村 一、
 佐々木慎一
- (19) パルスレーザー共振器の装置開発……………277
 高エネルギー加速器研究機構 加速器研究施設
 ○荒木 栄、浦川順治、大森恒彦、奥木敏行、
 栗木雅夫、照沼信浩、舟橋義聖、本田洋介
 清水洋孝、高橋 徹
 広島大学 先端物質科学研究科
 早稲田大学 理工学研究所 坂上和之、広瀬立成、鷺尾方一
 中国科学院 高能物理研究所 (IHEP) 李 小平
- (20) LHD 用真空排気装置における排気速度測定……………281
 自然科学研究機構 核融合科学研究所 ○鈴木直之

(21) JT-60 における真空容器内タイルの熱負荷保護対策	285
日本原子力研究開発機構	○笹島唯之、新井 貴、柳生純一、神永敦嗣、 正木 圭、逆井 章
(株) 日立製作所	八木澤博
(22) J-PARC リニアック 972MHz 立体回路の大電力試験	289
日本原子力研究開発機構 J-PARC センター 加速器開発ディビジョン	○堀 利彦、山崎正義、山口誠哉、長谷川和男、 リニアック高周波源グループ
高エネルギー加速器開発機構	山口誠哉
(23) JT-60U ECH 装置出力変調技術の開発	293
日本原子力研究開発機構 核融合研究開発部門	○寺門正之、下野 貢、澤島正之、五十嵐浩一、 佐藤文明、和田健次、小林貴之、森山伸一、 藤井常幸
(24) LHD における ECH 入射アンテナの改造	297
自然科学研究機構 核融合科学研究所	○伊藤 哲、小林策治、水野嘉識、多喜田泰幸、 岡田光司、久保 伸、下妻 隆、吉村泰夫、 伊神弘恵
(25) JT-60U LHRF 加熱装置におけるアンテナ先端部の補修と監視装置の改良	301
日本原子力研究開発機構 核融合研究開発部門	○佐藤文明、鈴木貞明、長谷川浩一、横倉賢治、 平内慎一、鈴木高志、小林貴之、関 正美、 森山伸一、藤井常幸
• 計測・制御技術	
(26) 核融合科学研究所における環境放射線計測	305
自然科学研究機構 核融合科学研究所 技術部 計測技術課	○三宅 均
自然科学研究機構 核融合科学研究所 安全管理センター	山西弘城
(27) 音波加熱とサーモグラフィ法を利用した非接触非破壊検査	309
熊本大学 工学部 技術部	○大嶋康敬
熊本大学 自然科学研究科	鳥越一平
(28) かぐや (SELENE) 搭載用レーザ高度計の初期成果	313
自然科学研究機構 国立天文台 RISE 推進室	○田澤誠一、荒木博志、野田寛大、右田恵美子、 河野宣之、佐々木 晶
真英計測	坪川恒也
(29) 浅水状態における二次元矩形浮体前方の流れの可視化 および計測実験における問題とその対処	316
横浜国立大学 工学研究院 技術部	○岡田 功

- (30) 金微粒子を堆積させた GaAs の XPS 分析320
 東北大学 多元研 技術室 ○猪狩佳幸
 東北大学 多元研 先端計測開発センター 掛札洋平、米田忠弘
- (31) 太陽直達光・大気散乱光の分光測定による大気汚染測定法の開発322
 東京工業大学 技術部 分析支援センター ○古田 基
- (32) 簡単な装置の監視システムの開発・製作326
 筑波大学 プラズマ研究センター ○嶋 頼子
 筑波大学 数理・物質科学支援室 物理学系 大川和夫
- (33) 遠隔地における計測・制御を行うための機器の試作330
 三重大学 工学部・工学研究科 技術部 ○山本好弘
- (34) 最新のビームライン・インターロックシステム332
 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、小菅 隆、濁川和幸、伊藤健二
- (35) PLC による大型加速器機器制御系の運用状況336
 高エネルギー加速器研究機構 加速器研究施設 ○白川明広
- (36) JT-60U 用 NBI 加熱装置の補助真空排気系/1 次冷却系制御システムの更新340
 日本原子力研究開発機構 ○海老澤 昇、菊池勝美、棚井 豊、竹之内 忠、
 秋野 昇、池田佳隆
- (37) LHD における再突入高速イオンプローブ駆動システムの開発344
 自然科学研究機構 核融合科学研究所 技術部
 ○佐藤 守
 自然科学研究機構 核融合科学研究所 粒子加熱プラズマ研究系
 永岡賢一
- 計算機・データ処理技術
- (38) Ajax を用いたストックルーム出庫管理アプリケーションの開発
 -視認性・利便性向上を目指して-347
 自然科学研究機構 分子科学研究所 ○豊田朋範
- (39) 第一原理計算における各種問題点の解決法351
 東北大学 金属材料研究所 テクニカルセンター
 ○野手竜之介、五十嵐伸昭、一関京子
 東北大学 金属材料研究所 計算材料学研究部門
 川添良幸
- (40) 大規模シミュレーション計算結果の3次元可視化ソフトウェアの統一355
 東北大学 金属材料研究所 テクニカルセンター
 ○佐藤和弘、一関京子、三浦重幸、野手竜之介、
 五十嵐伸昭
 東北大学 金属材料研究所 計算材料学研究部門 川添良幸
 日本 SGI (株) 古田正俊、桐山智文
 (株) KGT ビジュアライゼーション事業部 北川千夏、衛藤奈緒美

- (41) JT-60 データ処理設備データ保管システムの導入359
日本原子力研究開発機構 核融合研究開発部門
○清野公広、小湊俊治、坂田信也、
佐藤 稔、内藤 磨
- (42) 大規模スーパーコンピュータの活用を支える高速ネットワークシステムの構築363
東北大学 金属材料研究所 テクニカルセンター
○三浦重幸、佐藤和弘、一関京子、野手竜之介、
五十嵐伸昭
東北大学 金属材料研究所 計算材料学研究部門 川添良幸
株式会社日立東日本ソリューションズ 公共ソリューション本部
山口 裕
日本ヒューレット・パッカード株式会社 ソリューション技術本部
永島裕之、池上忠嗣
日本ヒューレット・パッカード株式会社 テクノロジーサービス統括本部
高橋英明
- (43) 技術研究会報告集データベースの構築 2367
自然科学研究機構 分子科学研究所 ○水谷文保、澤 昌孝

資料

機関別参加者数	371
あとがき	372

第1分科会
(工作・低温技術)

NACA翼柱の製作

○佐藤賢太^{A)}、星野英夫^{B)}

^{A)} 長岡技術科学大学 工作センター 技術職員

^{B)} 長岡技術科学大学 工作センター 技術専門職員

概要

NACA 翼柱の製作を同時 3 軸制御のマシニングセンタで行った。機械加工上の制限から 5 部品に分け製作することにした。翼柱端部の製作は翼の 2 次曲線の式から導き出した点に、YZ 平面上で工具径補正を行い、ボールエンドミルを用いて行った。しかし、理想とする翼の曲線形状にはならなかった。詳細に工具刃先経路を調べてみるとわずかに切り込み過ぎを生じていることがわかった。その対策として工具径補正を使わず C 言語を用いてボールエンドミル中心点を計算し、NC プログラム作成を行い、再度加工を行った。その結果、NACA 翼の形状を得ることができたので報告する。

1 はじめに

今回製作した NACA 翼柱は、長岡技術科学大学の白樫研究室より加工依頼のあったものである。この翼柱は、全長が 75mm であり、カルマン渦の流出周波数を測定するリング流速計の支持部に翼柱として使用する (図 1)。支持棒から発生する渦を防ぐことで、効力の変動に加わるノイズを小さくするためのものである。以前、製作した翼柱は両端がフラットな形状であったため端部に渦が発生していた。今回は翼柱端部を NACA 翼曲面 (図 2) にした加工依頼であった。

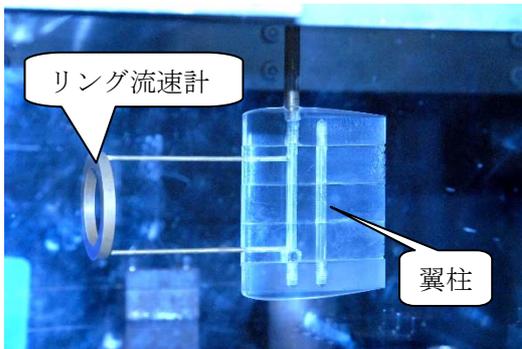


図 1. 実験装置

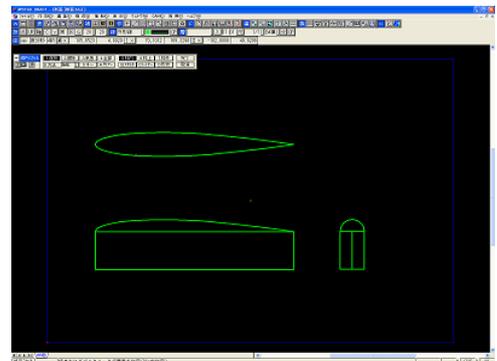


図 2. 翼柱端部

2 加工方法

材料は、比較的入手しやすく安価で比重の小さいアクリル樹脂を用いた。材料の固定方法は、周囲を加工する都合上、ベース下からのネジ止めで行った (図 3)。ネジ穴にはヘリサートを挿入し、固定する際の補強を施した。しかし、今回の翼形状と周囲加工にアクリル樹脂を用いて加工すると、高さ 15mm を超えた時点からビビリ振動が生じてしまった為、1 部品の高さを 15mm とし、5 部品に分けることにした。

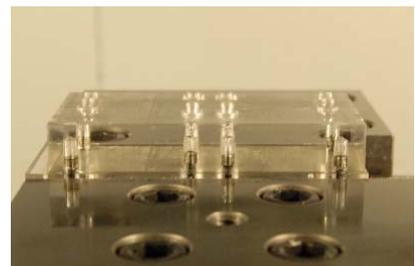


図 3. バイスに固定した様子

2.1 CADによる補正

NACA翼の曲線は、2次曲線を6本連結して成り立っている(図4)。曲線と曲線の連結部を詳細に調べると、わずかに段差が生じていることがわかった。そこで、2次曲線の式から導き出した点をCAD上にプロットし、段差の部分を滑らかになるように補正した。また、翼の末端部分には、0.2mmの直線部分を設け、加工面あらさの影響が形状に出ないようにした。CAD/CAMソフトは倉敷機械 MYPAC DRAFT 9.0Fを使用した。

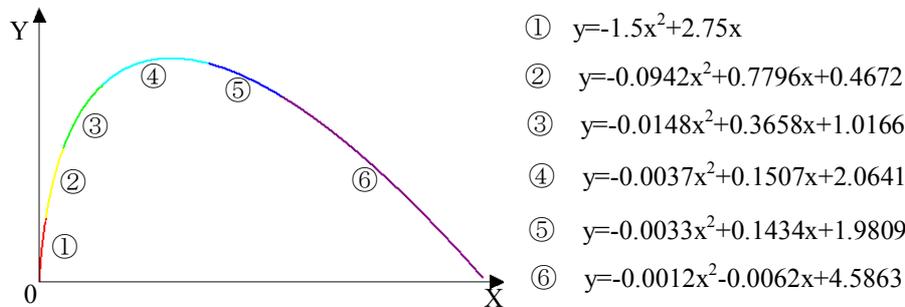


図4. 2次曲線の式

2.2 NCプログラムの作成

翼柱端部の加工プログラムは、C言語を用いて作成した。それぞれの2次曲線の式(図4)からx,y座標を求め、x値をステップ送りに、y値を曲面のRに変換し(図5)、NCプログラムを作成した。最初に作成したNCプログラムは、曲線の座標データをそのまま変換し、YZ平面上での工具径補正で加工を行った。しかし、図6に示すように、工具刃先にわずかに切り込み過ぎが生じていた為、改めて工具刃先経路を算出し、NCプログラムを作成した。工具経路算出方法は次の通りである。

図7に示すように、曲線上の点Aにおいての接線Lに対して、垂直にボールエンドミルの半径R離れた点A'を工具の中心とする。∠A'をθ、A'の座標値をu,vとすると、 $u = x - R \sin \theta$ 、 $v = y + R \cos \theta$ となる。このA'座標はx値を0.01増ごとに求めた。従って、ステップ送り0.01mmのNCプログラムが作成できた。

NACA翼型の周囲加工プログラムは、CAMソフトの側面加工ツールを用いて作成した(図8)。

2.3 加工

マシニングセンタ(森精機 NV4000)にて加工を行った。翼柱端部の部品加工について説明する。初めに、R3.0mm、2枚刃超硬ボールエンドミルで翼柱端面の2次曲線の加工を行う。アクリル樹脂は切削による割れが発生しやすいので、Z方向のオフセット量を徐々に小さくなるように調節し、仕上げを含め3回加工を行った(主軸回転数 $10,000 \text{ min}^{-1}$ 、送り速度 1,500

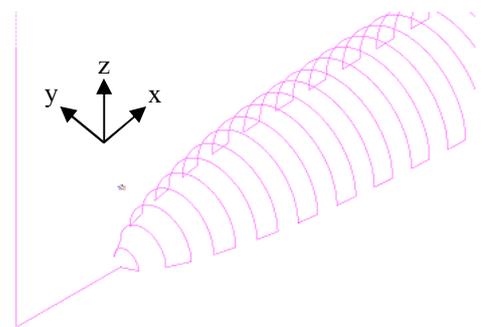


図5. 工具経路(翼柱端部加工時)

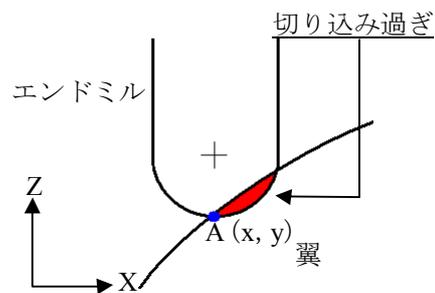


図6. 工具刃先の切り込み過ぎ

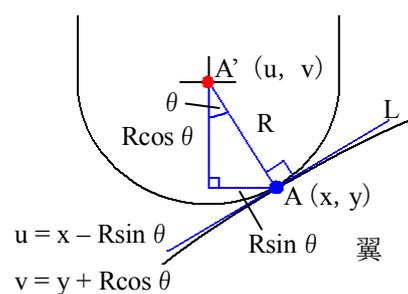


図7. 工具経路の算出

mm/min、加工時間 35 分)。次に、 $\phi 4.0\text{mm}$ 刃長 16mm の 2 枚刃超硬スクエアエンドミルで NACA 翼型の周囲加工を行い、完成となる。翼柱中心部の部品も、同じ方法で加工している(図 8) (主軸回転数 $10,000\text{ min}^{-1}$ 、送り速度 $4,000\text{ mm/min}$ 、切り込み量 0.2mm 、加工時間 11 分 25 秒)。5 つの部品の接着は、通しピンにより位置出し固定し、接着剤で行った。

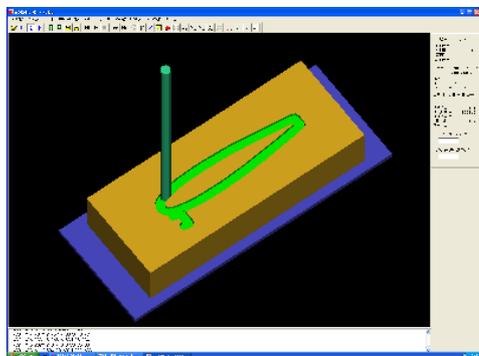


図 8. CAM によるシミュレーション
(翼周囲加工時)



図 9. 加工中の様子

3 まとめ

今回の NACA 翼柱の加工依頼を受けた時点において、以前にも翼周囲の加工を行った経験から、YZ 平面上で工具径補正を行えば、容易に製作できると考えていた。しかし、実際は切り込み過ぎを生じてしまった。専用ソフトや 5 軸加工機があれば簡単な作業だが、この問題に対して、本学工作センター内の設備で解決できたことは大変有意義であった。また、C 言語を用いた NC プログラム作成は初めての経験であり、習得する点が多かった。今回制作した両端部曲線の翼柱は、効力に対するノイズの減少が確認されるなど、実験データにおいても良い結果を得ている。最後に、C 言語のプログラミングに助力いただいた、JST 研究員 原圭祐氏、流体力学についてご指導いただいた、白樫研究室の皆様には感謝いたします。

参考文献

- [1] 高橋麻奈 著 やさしい C++ ソフトバンク パブリッシング株式会社
- [2] 2006 年 長岡技術科学大学 機械創造工学課程 学部 4 年 三富圭輔 著 渦励振発電を利用した自律型河川用流速計の開発～リングに作用する変動抗力からの流速測定～ 指導教員 白樫正高教授

アルギン酸カルシウム微粒子生成用マイクロチャンネル装置の機械加工

○和田 選^{A)}、杉原輝哉^{A)}、平井光代^{B)}、西迫貴志^{C)}

^{A)} 東京工業大学 技術部 精密工作技術センター、

^{B)} 東京工業大学 技術部 分析支援センター (すずかけ台)、^{C)} 東京工業大学 精密工学研究所

1 はじめに

東工大技術部精密工作技術センターの業務の一つとして、精密工作機器を利用する研究室の研究支援がある。本発表では異なった材料を使用したアルギン酸カルシウム微粒子生成用マイクロチャンネルの機械加工の経緯と成果を紹介する。

2 マイクロチャンネル装置製作の研究背景

粒子径が小さく均一な高分子微粒子は、医学、薬学、生体工学分野で開発が望まれている。これまでに実用化されている生成法では粒子系が $300\ \mu\text{m}$ 以下の微粒子を製作することができず均一性にも欠けていた。最近、流体試料の注入、混合、攪拌、分離、抽出する機構部品や流路、溜池などを一つの微小なデバイスに集積した、 μ -TAS (Micro Total Analysis System) の研究が行なわれるようになり、マイクロチャンネルによる微小で均一な液滴が得られるようになってきた。

マイクロチャンネルの加工は、各種ガラス、シリコンウェハ、各種ポリマー等様々な材料に対して行なわれるようになってきている。それぞれの素材に適用される加工法はウエットエッチング、ドライエッチング、機械加工、やその他レーザー加工、X線リソグラフィ、ソフトリソグラフィ、インジェクションモールド等があり、材料により適用可能な加工方法が異なるため、マイクロチャンネルの材料選択は重要である。

マイクロチャンネルの材質に求められる特性は、①高い透明性 (液滴の生成過程等のチャンネル内の様子が外部から顕微観察が可能)、②強い剛性 (液滴生成実験では、連続相や分散層の液量変動の頻度が高く、マイクロチャンネルが流速変化に伴い生じる数百 kPa の内部圧の変動で変形しない) ③高い化学的な耐性 (マイクロカプセル調製に使用する酸、アルカリ、有機溶媒に対する耐性が高ければ高い程装置の使用期間が長くなる) ④表面の濡れ性 (水相が油相に分散している W/O 液滴の場合チャンネル表面は疎水的、油相が水相に分散している O/W 液滴の場合はチャンネル表面が親水的な材料が必須) である。

3 マイクロチャンネルの機械加工の目的

加工依頼者は、PMMA(アクリル樹脂)とガラスを素材とし、機械加工したマイクロチャンネルを用い、型状 (PMMA は十字型、ガラスは5差路型) と分散相、連続相の流速を変化させ、アルギン酸カルシウムの微粒子調整の最適条件の検討を、分散相として純水、塩化カルシウム溶液 (20 wt%) およびアルギン酸ナトリウム水溶液 (0.5 wt%)、連続相としてシリコンオイル 5cSt、シリコンオイル 10cSt およびデカンを用いて行なう事を目的とした。

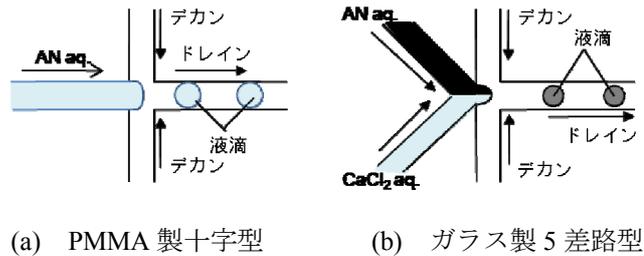
精密工作技術センターは、PMMA およびガラス製のマイクロチャンネルの機械加工を担当した。使用した材料の物性を表1に、機械加工を依頼されたマイクロチャンネルの型状を図1に示す。

3.1 PMMA への微細溝加工

PMMAを使用したマイクロチャンネル装置によるアルギン酸カルシウム微粒子の調製の報告はこれまでに

表 1. ガラスと PMMA の物性

材料	透明性	剛性(Nmm ⁻²)	化学的な耐性	濡れ性
ガラス	透明	ヤング率： 7.40 x 10 ¹²	耐薬品性 あり	親水性
PMMA	透明	引張弾性率： 2.7-3.2x 10 ¹¹	やや侵され れ易い	疎水性



(a) PMMA 製十字型 (b) ガラス製 5 差路型

図 1. 加工依頼されたマイクロチャンネルの形状

ない。PMMA は容易に切削加工ができる点が上げられる。研究の各種条件を検討するために、いく

つかのパターンのマイクロチャンネルを製作する必要があり、NC プログラムを変更するだけで容易に微細溝形状が変えられる工作機械として、マシニングセンタを利用することにした。

3.2 加工法

40mmx40mmx10mm の PMMA 板に流路幅 200 μm、深さ 100 μm の十字型の溝を加工するために、最高回転数は 7,000 rpm/min の工作機械 NC マシニングセンタ (マザック V414 : 図 2) を用いた。切削工具 2 枚刃エンドミル 0.1mm、刃径 0.1mm、をセットし加工した。



図 2. マザック V414

3.3 微細加工溝の評価

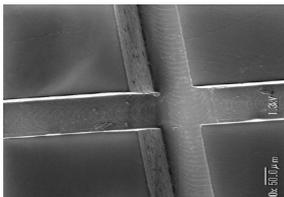


図 3. PMMA 十字型微細溝の SEM 画像

PMMA に加工した微細溝の SEM 画像を図

3 に示す。流路幅は約 197.6 μm (1 箇所計

測)、流路深さは 101.80 μm (8 箇所計測した平均値、標準偏差は : 15.45 μm) であった。しかし、深さ方向は最小 76.08 μm ~ 最大 118.52 μm と 40 μm の誤差がでていることがわかった。これは PMMA 特有の切削熱に

弱く (加工中の熱膨張)、そりやすい (材料のひずみ) ことが原因と思われる。バイス等の横からの力をかけず、1 枚板から 50 角の対角の 4 箇所

にねじで押さえて平行になるように切削しているが、どうしてもそりが出てしまう。樹脂の加工の場合 30 μm 以内の精度に出すのは非常に難しいと言われているが、今後は真空チャックで材料をセットするなど、慎重に加工することでより良いマイクロチャンネル製作が可能と思われる。

4 ガラスへの微細溝加工

ガラスを使用する理由としては、溝を密封する方法がすでに確立されており、PMMA 製マイクロチャンネルを使用するときと比べて液漏れの可能性を大幅に軽減することができる。これにより PMMA 製マイクロチャンネルでは試すことができなかったような流量を、装置に流し入れることが可能となる。

4.1 単結晶ダイヤモンド製エンドミルによる微細溝の加工

加工には、MAKINO KEV-55 フライス盤 (図 4) を使用した。工具は図 5 に示す刃径 0.1mm 単結晶ダイヤモンドエンドミル (アキュエンドミル、マイクロダイヤモンド株式会社製) を使用した。加工材料のガラス板はサイズ 15mm x 15mm x 2mm の合成石英である。使用した MAKINO KEV-55 の最高回転数は 4,000rpm/min であり、そのままではマイクロダイヤモンド社製単結晶ダイヤモンドエンドミルの推奨切削条件である



図 4. MAKINO KEV-55

12,000rpm/min での切削ができないため 4,000rpm/min の 5 倍まで回転数を高められる増幅スピンドルを使用した。送り速度は 1.4mm/min、切り込み深さは 0.004mm であった。表 2 に単結晶ダイヤモンドエンドミル（アキュエンドミル）の実際の加工条件と推奨加工条件を表す。

表 2. 単結晶ダイヤモンドエンドミルを用いた実際と推奨加工条件の比較

	回転数(rpm)	切込み深さ(mm)	送り速度(mm/min)
実際の加工条件	12,000	0.004	1.4
推奨加工条件 (石英ガラス)	12,000	0.01	2.0

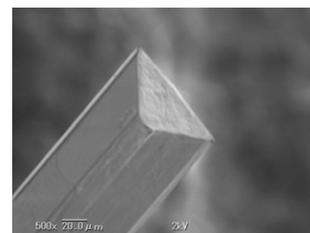


図 5. 単結晶ダイヤモンドエンドミル先端部の SEM 画像

4.2 単結晶ダイヤモンド製エンドミルで製作した微細溝の加工跡の評価

4.2.1 SEM による観察 (VE-8800, KEYENCE)

ガラス製マイクロチャンネルは 4 個加工したが、1 番目に加工したものと 4 番目に加工したものの SEM 画像をそれぞれ図 6 と図 7 に示す。図 6 に比べ図 7 のほうが壁面の形状がかなり崩れている。これは単結晶ダイヤモンドエンドミルを本番カットする前にテストカット用石英ガラスで 2 時間程度切削を進めるうちに工具が摩耗してしまい、

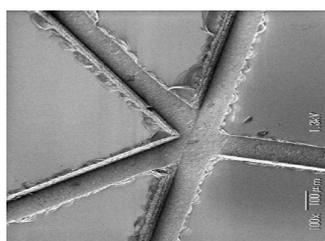


図 6. 1 番目に加工したガラス製マイクロチャンネルの SEM 画像

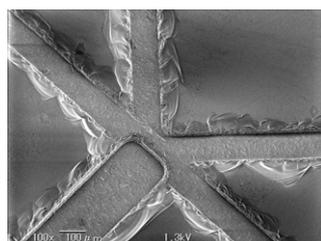
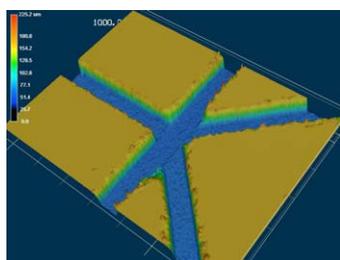


図 7. 4 番目に加工したガラス製マイクロチャンネルの SEM 画像

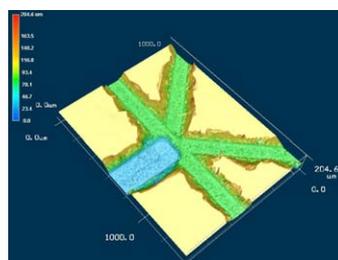
単結晶ダイヤモンドエンドミルの切れ味が落ち、加工精度に影響がでたものと考えられる。

4.2.2 レーザー顕微鏡による観察 (VK-9700, KEYENCE)

ガラス製マイクロチャンネルの表面形状をレーザー顕微鏡 (VK-9700, KEYENCE) を用いて観察を行った。



(a) 1 番目に加工したマイクロチャンネル



(b) 2 番目に加工したマイクロチャンネル

図 8. レーザー顕微鏡により製作した 3D 画像

図 8(a), (b) は、レーザー顕微鏡により製作した 3D 画像である。マイクロチャンネル上面にバリが存在していることが確認できる。表 3 に工具磨耗がマイクロチャンネルの流路幅、

流路深さの加工に与える影響を示す。流路の加工に関しては、流路深さに関してよりも流路幅に関してのほうが、底面部分よりも底面部分のほうが精度が悪いことから、工具の磨耗はエンドミルの先端部分ではなく、先端から数 μ 下の部分に生じていることが分かる。また、1 番目 (図 8(a)) に製作したマイクロチャンネルよりも 4 番目 (図 8(b)) に製作したマイクロチャンネルのほうが設計値と測定値との誤差が大きくなっており、

加工を進めるにしたがって工具の磨耗も進行していることが確認できる。

表 3. ガラス加工の工具磨耗がマイクロチャンネルの流路幅，流路深さの加工に与える影響

マイクロチャンネル	測定位置	流路幅(μm)		流路深さ(μm)	
		設計値	計測値	設計値	計測値
1 番目に製作したマイクロチャンネル 図-8(a)	底面	100	103.335	100	101.544
	表面		147.296		
4 番目に製作したマイクロチャンネル 図-8(b)	底面	200	204.968	100	97.628
	表面		344.300		
	底面	100	107.676	50	49.673
	表面		195.775		

5 製作したガラス製マイクロチャンネル装置を利用したアルギン酸カルシウム微粒子

第 1 番目の一番精度の高いガラス製マイクロチャンネル装置で行ったアルギン酸カルシウム微粒子が生成される様子を図 9 に示す。



図 9. マイクロチャンネル装置でアルギン酸カルシウム微粒子が生成される

6 まとめ

PMMA の加工の場合は流路の精度を上げてマイクロチャンネルを加工していくというより、PMMA の材質がかかえている圧力に弱いという事が液漏れを起こしアルギン酸微粒子生成に支障をきたしているということが今回分かった。

単結晶ダイヤモンドエンドミルを用いて加工したガラス製マイクロチャンネルで、1 番目と 2 番目に製作した微細溝ではぎりぎり実験に成功したが、4 番目のものは加工精度が落ち、石英ガラスに対して単結晶ダイヤモンドエンドミルの摩耗寿命が短かった。これは、12,000 rpm/min の高速回転に上げるため、増速スピンドル（遊星歯車型）を使用したために、先端の触れが 6~7 μm あり、これが寿命を短くした大きな原因になっている可能性がある。今後、単結晶ダイヤモンドエンドミルを使用してガラス製マイクロチャンネルを加工する場合、マキノマシニングセンタ V22 クラスの 40,000 rpm/min まで回転が上げられ、振動が少なく剛性が高い超精密級の工作機械で加工する必要がある。また、今回は、切削液（水溶液）として大きな水滴をワークの上に溜めた状態で切削したのでガラスの破片（切削屑）が加工流路溝に残っていた可能性があり、それが原因で流路側壁を破壊していた可能性もあった。切削液は通常ガラスを加工する場合水を使用するが、もう 1 度検討し直し、ジェット洗浄をしながら加工することも考える必要がある。

参考資料

- [1] 西迫貴志：微細流路を用いた液滴・微粒子作製技術に関する研究，平成 16 年度博士論文，東京大学
- [2] 西川祥一郎：マイクロデバイスを用いたゲル微粒子の生成，平成 18 年度 学士論文 東京工業大学

コルゲート溝付きマイターベンドの製作

○岡田光司^{A)}、小林策治^{A)}、久保伸^{B)}、谷口能之^{A)}

^{A)} 核融合科学研究所 技術部

^{B)} 核融合科学研究所 高周波加熱プラズマ研究系 電子加熱研究部門

概要

大型ヘリカル装置（以下 LHD）の加熱装置の 1 つである電子サイクロロン加熱システム（以下 ECH）では大電力を伝送するとき起こるアーキングを防ぐために伝送路の真空化が行われている。これに対応する伝送路の要素部品であるコルゲート溝付きマイターベンドを製作した。この加工では、今年度導入したマシンニングセンター（以下 MC）を使用した。MC プログラムはマクロプログラムを使うことによりメインプログラムを簡素化することができ入力ミスなどを少なくすることができた。

1 コルゲート溝付きマイターベンド

マイターベンドは LHD まで大電力ミリ波を伝送する伝送路の 90 度曲がり部（図 1）に設置される要素部品である。ミリ波を低損失で伝送するため、伝送路には内壁部に山幅 0.2mm、谷幅 0.6mm、深さ 0.6 mm の連続した溝を持つコルゲート導波管が用いられる。マイターベンド内壁部にも連続したコルゲート溝加工を行う必要がある。

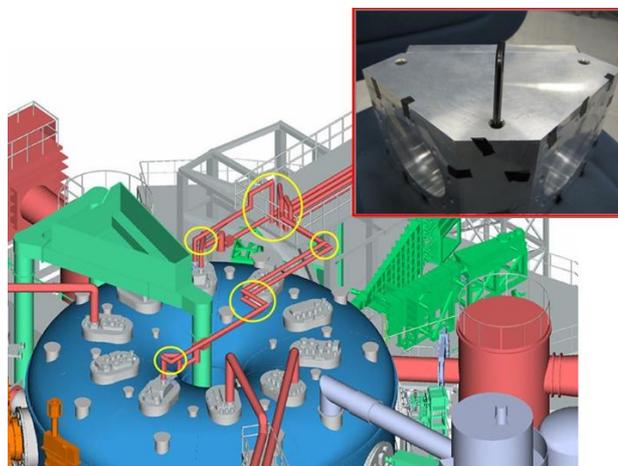


図 1. ECH 伝送路

2 コルゲート溝付きマイターベンドの製作

2.1 マイターベンドの製作

材料は、図 2 に示すような 198mm×198mm、高さ 170mm アルミニウム（AL5052）ブロックである。マ

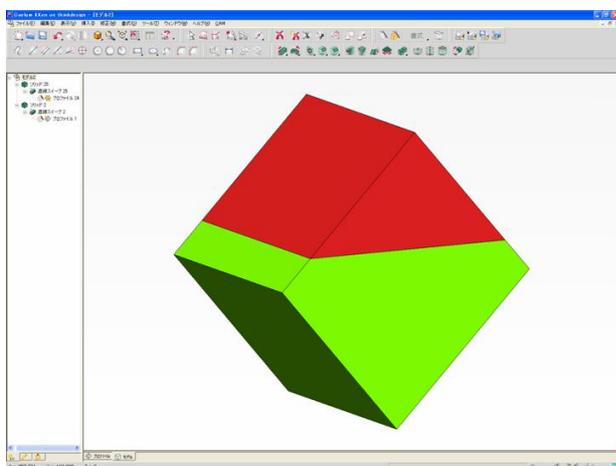


図 2. ブロック

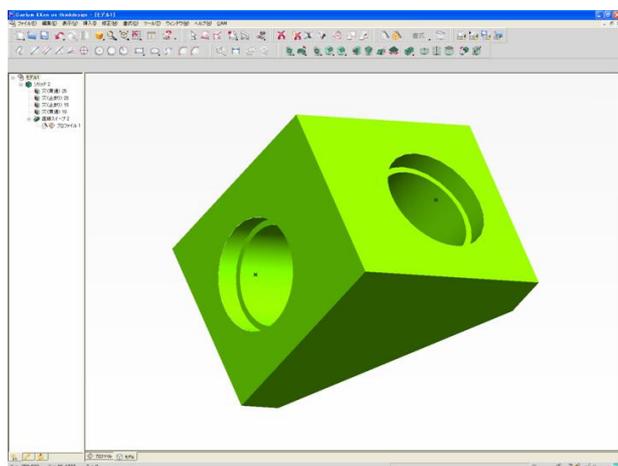


図 3. マイターベンド

イターベンドの外形加工は図2の赤色部を削り、90度に直交するΦ88.9の穴をあける(図3)。

2.2 コルゲート溝の加工

図4にコルゲート溝付きマイターベンドの断面図を示す。MCにてTスロットカッターを使用し、90度に直交する2つの穴内壁にそれぞれ真円切削で125本の溝加工を行う。加工深さは最大で120mmである。このとき、全て真円切削で溝加工を行うと直交する穴の交線上で最初に加工した溝を削ってしまう(図5)。切り込み過ぎをなくすために溝の両端に工具半径分のRをつけた形状(図6)とした。このため、マイターベンドにコルゲート溝加工を行う場合2種類のMCプログラムが必要となった。

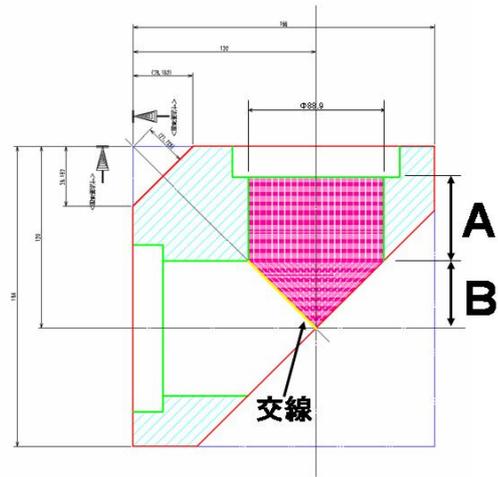


図4. コルゲート溝付きマイターベンド断面図

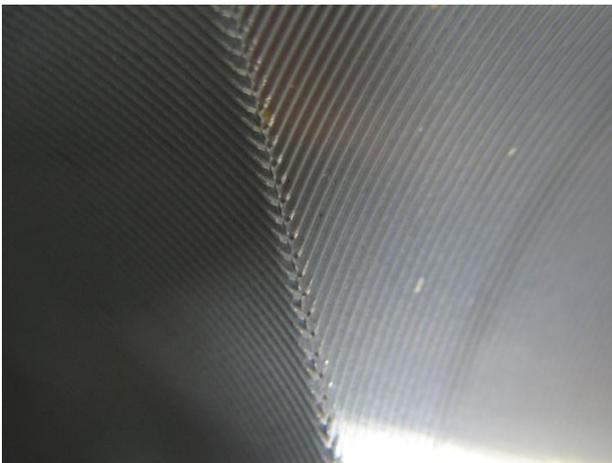


図5. 直交する穴の交線での切り込み過ぎ

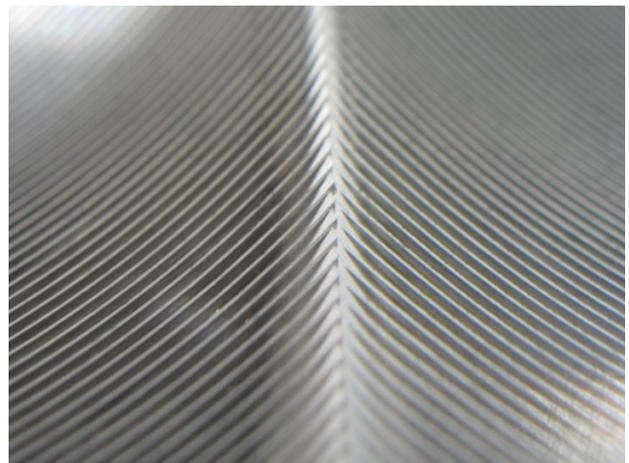


図6. 溝形状変更後

3 工具経路とMCプログラム

3.1 工具経路

加工原点はΦ88.9の穴中心とする。図4のA部において、コルゲート溝加工はΦ30.0mmのTスロットカッターを使用し真円切削で行う。加工深さがZ=-20.0から-75.2までの穴内壁に69本の溝加工を行う。図7にB部での工具軌跡を示す。加工原点より工具径補正を使用し円弧補間開始位置へ移動(①)し、円弧補間(②)にて切削後工具径補正をキャンセルして加工原点へ移動する(③)。続いて工具径補正を使用し円弧補間開始位置へ移動(④)し、円弧補間

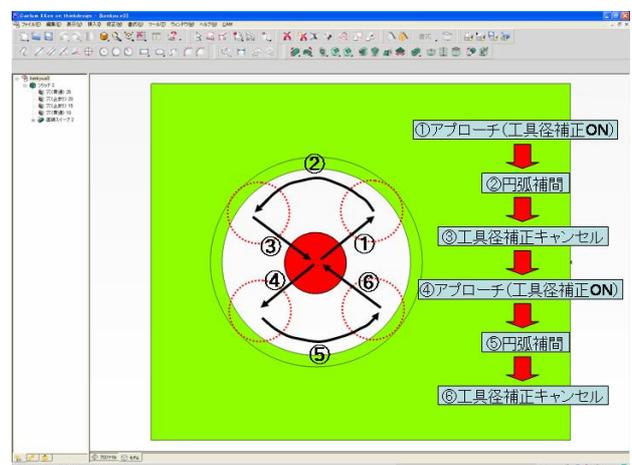


図7. 工具軌跡

(⑤)にて切削後工具径補正をキャンセルして加工原点へ移動する(⑥)。B部では加工深さがZ=-76.0から-120.0までの穴内壁に55本の溝加工を行う。

3.2 MCプログラム

図4のB部について、円弧補間開始位置のX座標およびY座標はZ座標に伴って変化する。1回の切り込みで溝加工を行うMCプログラムの作成には、1つの加工平面につき4点のX、Y座標(図7の赤丸部)が必要である。切り込み回数を増やすと、それに比例して入力座標数も増加する。55本の溝加工のMCプログラムを作成する際に膨大な数の座標値を手入力で行うのは現実的でない。そこで我々は座標値の計算式をMCプログラムにマクロプログラムとして組み込むことにした。図8に示すマクロプログラム①は工具の軌跡を制御し、②は座標値の計算を行っている。

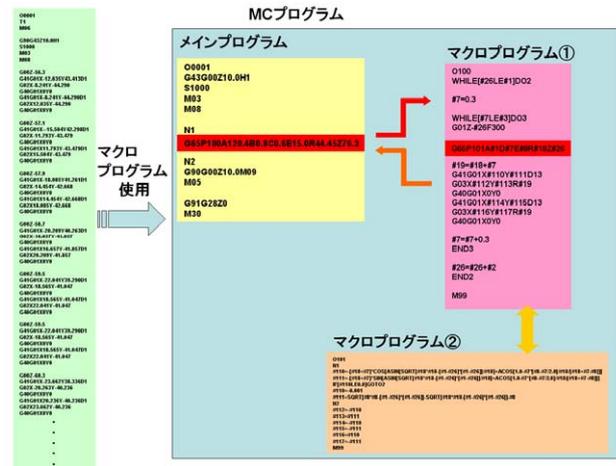


図8. 溝加工のマクロプログラム

3.3 MCプログラムの検証

今回のコルゲート溝加工では、機械加工を行う前に作成したMCプログラムによる工具軌跡を確認するために切削シミュレーターを使った。図9に切削シミュレーション画面を示す。これはドライランをするようにコンピューター上で高速にシミュレーションすることができる。これによって切り込み過ぎ等の不具合を加工前に確認し、プログラムを修正することができた。切削シミュレーターは短時間でシミュレーションできるので複雑な加工プログラムを検証する手段として有効である。

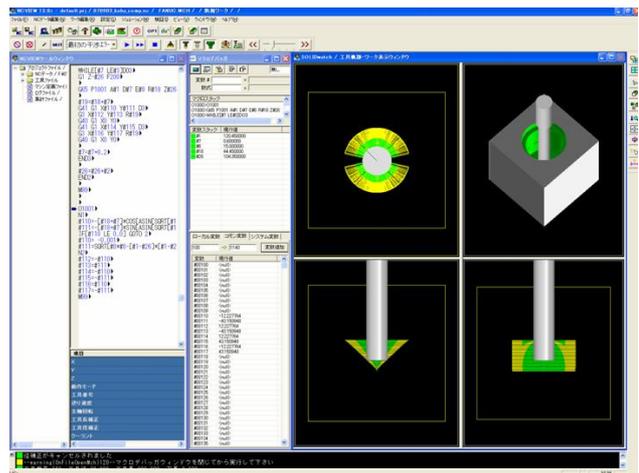


図9. 切削シミュレーション

4 加工精度

マイターバンドにあけた直交する穴の交線上において、それぞれの内壁に加工したコルゲート溝の山と谷は一致していなければならない。バイスに固定したマイターバンドの直交する穴内壁にコルゲート溝加工を行う時は、一方の穴内壁の溝加工終了後一旦バイスから取り外し、取り付け直す必要がある。取り付け直す必要がある。加工原点の設定にはMCが装備している自動計測装置を利用した。計測はオプティカルセンサーによりマイターバンド外径の

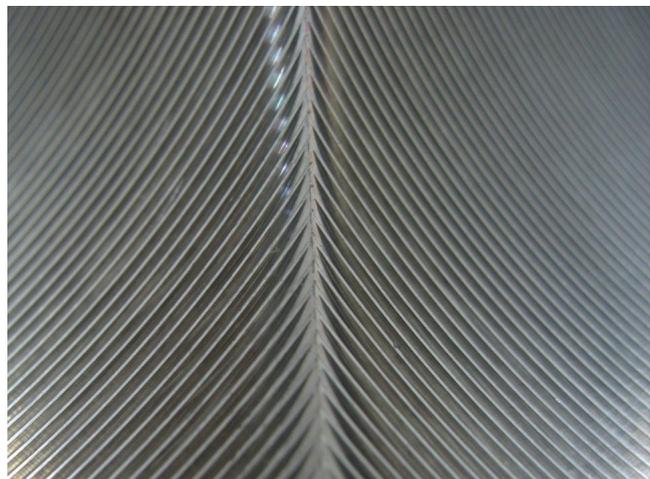


図10. 直交する穴の交線上の溝

測定、溝加工を行う穴内径の3点測定と4点測定をそれぞれ複数回行い測定誤差がセンサーの測定限界以下となるようにした。図10に示すように直交する穴の交線部でコルゲート溝の山と谷は一致している。正確な芯出し作業は高精度な加工を実現できた要因であると考えられる。

5 おわりに

今回の製作に当たっては、製品を加工する前の設計、MCプログラムの構成、試作加工に重点を置いた。更に、試作結果に基づき製作依頼者と対策・検討を繰り返すことにより依頼者の求める製品を短期間で作ることができた。製品の加工を行う前に製作依頼者と十分な打ち合わせを行うことの重要性を改めて感じた。また、MCプログラムにおいてマクロプログラムを作成し利用することは、メインプログラムを簡素化でき入力ミスを少なくすることができるだけでなく、切削条件の変更にも容易に対応できるため省力化に有効であると思われる。現在、製作したコルゲート溝付きマイターバンドはLHDにおいてECH伝送路に多数設置されている。



図 11. コルゲート溝付きマイターバンド

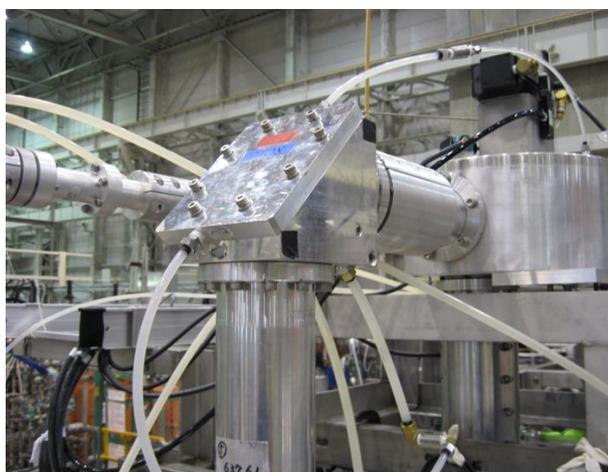


図 12. ECH 伝送路現場写真

最後に、私はコルゲート溝付きマイターバンドの製作を機械加工に対する熟練度の低いなか担当した。MCプログラムにおけるマクロプログラムについての知識も不足しており製品完成までの道のりは遠いものと思われた。そのような状況の中で製品を短期間で完成させることができたのは、製作を行う前に依頼者との打ち合わせにおいて、設計及びマクロプログラムの検討を十分に行うことが出来たからである。製作に当たり設計及びMCプログラムの作成に協力していただいたECHグループの方々に感謝いたします。

電子ビーム溶接法によるアルミ製薄肉テーパ円筒の製作

○近藤聖彦、鈴木光一

分子科学研究所 装置開発室

1 はじめに

衛星を用いて高温な天体から放射される X 線を集光させ撮像することにより、銀河の生成と進化過程を解明する研究に図 1 に示す X 線望遠鏡^[1]が用いられている。X 線は可視光のおよそ 1/1000 の波長であるため、X 線望遠鏡には、高い反射率が得られる極端な斜入射型反射光学系^[2]が用いられる。この光学系は、勾配を有する円筒（以後テーパ円筒と記述する）形状のアルミ製反射ミラーを同心円上に設置させ組み立てられている。このミラーは、4 分割して製作し、同じサイズのを組み合わせることでテーパ円筒が構成されている。その組み立ては、図 2 に示すハウジング^[3]内のアライメントプレートに固定されておこなわれている。

この望遠鏡は 4 分割であること、アライメントプレートが光路の障壁になることが集光効率を低下させているという指摘がある。そこで、ミラーを分割せず一体型のミラーを製作することにより、アライメントプレートの枚数を最小にし、集光効率の向上と望遠鏡全体の軽量化が計画された。そのミラーの製作方法として、扇形状のアルミ板を巻き、その突合せ部を電子ビーム溶接（以後 EBW と記述する）することでテーパ円筒形状のミラーシェルを製作し、その表面に反射率の高い金膜などを施すことが考案された。このシェル厚さは X 線望遠鏡を軽量にするため 0.2 mm を目標としている。しかし、非常に薄いアルミ板 ($t=0.2\text{mm}$ 程度) の EBW は困難で詳細な溶接データが見当たらない。さらに、アルミ製テーパ円筒の EBW となると、その技術は確立されていない。そこで、EBW 装置を使用して $t0.2\text{mm}$ のアルミ製ミラーシェルの製作が可能であるかを検証するため、その 1/2.5 モデルのテーパ円筒を製作したので報告する。



図 1. X 線望遠鏡



図 2. ハウジング内のアライメントプレートと反射ミラー

2 EBW 装置

EBW 装置は、多数の電子を加速し、限られた場所に照射することで局所的な加熱や溶解をすることができる装置である。このことから、EBW 法の特徴として(1)焦点領域を絞ることができ、熱影響が少なく、歪を小さくできる。(2)溶接の再現性が高い。(3)溶け落ちが少なく、溶接条件が広範囲である。などがあげられる。このため、熱伝導率が大きく、他の金属と比較し融点が低いなどの特徴を有するアルミの溶接に適している。

図 3 に使用した日本電気株式会社製の EBW 装置を示す。この装置は電子銃室のアップーコラム、電子ビーム制御室のローアコラム、溶接室のワークチャンバーで構成されている。このワークチャンバー内には

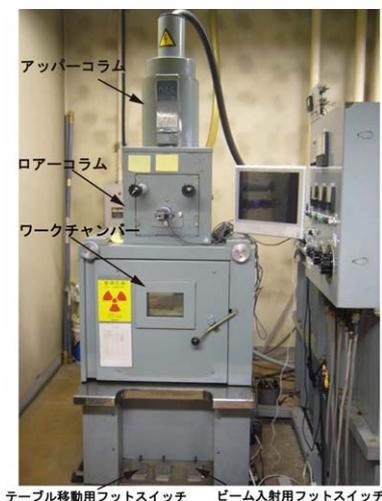


図 3. 電子ビーム溶接装置

XY ステージが設置され、2つのフットスイッチにより X 方向にのみ左右に電動する。主な仕様は、ビーム加速電圧 60kV~150kV、最大ビーム電流 10mA、ステージ最大移動距離 200mm 程度である。

3 薄板アルミの溶接条件

図 4 に示すように 2 枚の t0.2 mm のアルミ板（以後薄板アルミと記述する）の突合せ溶接をおこない、EBW の溶接条件を検討した。この手順を以下に記す。

図 5 に示すように銅製プレート(130×100×t15)上で 2 枚の薄板アルミ（50×50）の端面を突合せ、銅製とステンレス製のバー（W24×L119 ×t9）を重ねて設置して 2 枚の薄板アルミを固定し、10 本の M4 ねじを用いて薄板アルミに均一な圧縮力を負荷する。次にワークチャンバー内の XY ステージにこの溶接治具を設置し、溶接条件を変え EBW をおこなう。そして、ビードが安定する条件を検討する。

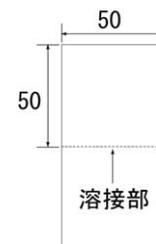


図 4. 突合せの模式図

この結果、ビーム加速電圧 70kV、ビーム電流 1mA、溶接速度 1000mm/min の条件において薄板アルミ溶接が可能であることがわかった。また、突合せ部を密着させること、その段差を小さくすることが重要であることがわかった。この条件で溶接したときの安定したビードの様子を図 6 に示す。また、ビーム電流ならびに溶接速度が不適切な溶接条件において EBW をおこなった例として図 7 に断続穴が生じたビードの様子を示す。



図 5. 突合せ溶接治具

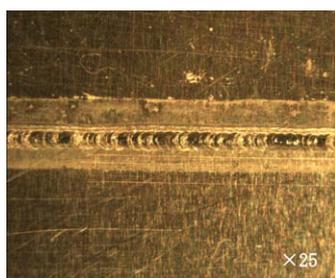


図 6. 安定したビードの様子

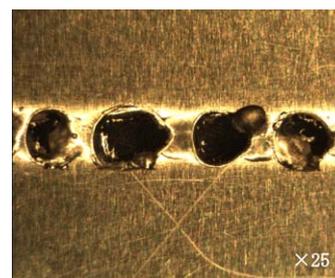


図 7. 断続穴が生じたビードの様子

4 テーパー円筒溶接方法

X 線望遠鏡に使用するテーパー円筒のミラーシェルの形状は望遠鏡の構造から数種類あるが、特性評価実験として用いるミラーの形状は図 8 に示すように大内径 $\phi 153.952\text{mm}$ 、小内径 $\phi 150.000\text{mm}$ 、長さ 75.0mm である。このテーパー円筒のミラーシェルを展開すると扇形状になり、その長さが 485mm 程度となる。薄板アルミで、このサイズの溶接前素材は加工を含め取り扱いが困難となる。そこで、1/2.5 サイズ（大内径 $\phi 61.581\text{mm}$ 、小内径 $\phi 60.000\text{mm}$ 、長さ 30.0mm）のテーパー円筒モデルを溶接実験に用いることとした。

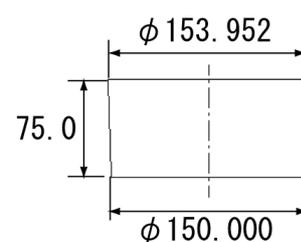


図 8. ミラーシェルの形状

テーパー円筒の EBW は、図 9 に示すワイヤー放電加工した扇形状の薄板アルミ（以後扇板と記述する）を図 10 に示すテーパー形状の治具（H100×W60×L72）に沿うように巻きつけ、その両端を突合せ、溶接部近傍を 2 枚の円弧プレートで固定しておこなう。ただし、カットした扇板を治具に巻きつけ円弧プレートで固定するだけでは、弾性により扇板の突合せ部が治具に沿わないため、この突合せ部に隙間が生じる。そこで、前準備としてテーパー形状治具に沿うように扇板を巻きつけ、その突合せ部に円弧プレートの曲率面を直接押し当て、これらを固定した状態で熱成形（360 度 1 時間）をおこなう。この成形後、塑性変形により突合せ部が円弧形状を保持するため、その隙間を極小にできる。図 11 に EBW 法により製作した 1/2.5 モデルのテーパー円筒を示す。これより、EBW 法によるミラーシェルの製作は可能であることがわかった。



図 9. 扇形状のアルミ板



図 10. テーパ円筒溶接治具



図 11. 製作したテーパ円筒

5 製作したテーパ円筒の評価

万能投影機 (Nikon 製 V-24B) を使用し、製作したテーパ円筒の内径を測定した。この測定は大内径と小内径につき各 4 箇所にておこなった。測定結果は表 1 に示すように、大内径の誤差 $29 \mu\text{m}$ 、小内径の誤差 $15 \mu\text{m}$ であった。この誤差は 4 箇所での平均値と設計値の差を算出した。また、Z 分解能 1nm のレーザプローブ式非接触三次元測定装置 (三鷹光器製: NH3-SP) を使用しテーパ円筒稜線の直進度を測定した結果を図 12 に示す。テーパ円筒両端は熱成形時の形状が反映され、半径で最大 $20 \mu\text{m}$ 程度外側に拡大されているが、ミラーとして使用される中間部分では、テーパ円筒稜線の直進度は $10 \mu\text{m}$ 程度であった。

表 1. 内径測定結果

測定位置	大内径	小内径
1	60.854	60.364
2	62.145	60.569
3	62.393	59.767
4	61.049	59.359
平均値	61.610	60.015
設計値	61.581	60.000
誤差	$+29\mu\text{m}$	$+15\mu\text{m}$

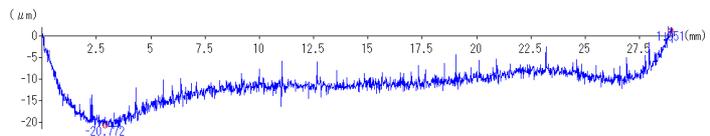


図 12. 製作したテーパ円筒の直進度

6 まとめ

EBW 法により $t0.2 \text{mm}$ のアルミ板の突合せ溶接条件を検討し、加速電圧 70kV 、ビーム電流 1mA 、溶接速度 1000mm/min の溶接条件において溶接できることがわかった。また、突合せの隙間と段差を極小にすることが重要であることがわかった。そして、この条件を用いて EBW をおこない 1/2.5 モデルのテーパ円筒を製作することにより、EBW 法によるミラーシェルの製作が可能であることがわかった。

7 今後の予定

本報告は EBW 法による 1/2.5 モデルの製作検証であったが、原寸モデルの製作をおこなう。また、図 13 に示すように勾配の異なる 2 種類のテーパ円筒を立てに継いだ 2 段テーパ円筒の製作を EBW 法により試みる。

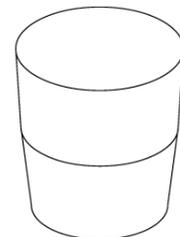


図 13. 2 段テーパ円筒の模式図

参考文献

- [1] U 研 X 線グループホームページ (http://www.u.phys.nagoya-u.ac.jp/facilities/xrt_mk_evj.html)
- [2] 近藤聖彦, et al., “X 線望遠鏡ミラーのレプリカマンドレルの開発”, 平成 15 年度高エネルギー加速器研究機構技術研究会報告集, 平成 16 年 2 月, 1-004

イオンビーム照射因子局所計測システムの開発

○鈴木 康広^{A)}、田中 宏幸^{B)}、佃 諭志^{B)}、田中 俊一郎^{B)}

^{A)} 東北大学 多元物質科学研究所 機械工場

^{B)} 東北大学 多元物質科学研究所 化学プロセス設計研究分野

概要

電子・イオンに代表されるアクティブビームは、産業、医療などの分野で数多く使用されており、またその基礎研究も盛んに行われている。東北大学 多元物質科学研究所 化学プロセス設計研究分野(田中研究室)では、低加速電圧のアクティブビームがもたらす局所的なエネルギー場を、マイクロ・ナノ構造体をボトムアップ的に形成する反応場として活用する研究を行っている。ナノ構造体の形成・成長過程は、反応場内での化学反応や原子の動的挙動に由来し、その形成機構を詳細に検討するためにはアクティブビームの電流密度などを正確に把握する必要がある。今回は、電子・イオンビームの局所電流計測用ファラデーカップの開発経過、及び製作したファラデーカップを用いた入射 Ar イオンのフルーエンス分布計測によるビームプロファイル検討結果について報告する。

1 背景と目的

低加速電圧のアクティブビームにより形成されるナノ構造体の詳細を検討する上で、反応場におけるイオン密度の分布を実測する必要がある。照射する Ar イオンビームのイオン密度分布は図 1 のように分布をもつ為、径方向に精度良く実測することが可能なイオン照射面組込型のファラデーカップの新規設計・製作が必要であり、試作を行うこととなった。

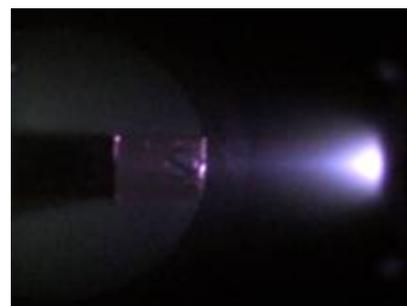


図 1. ファラデーカップへ照射した Ar イオンビーム

2 装置について

2.1 ファラデーカップ

イオンビームの電流密度測定に用いられるもので、金属製で電子が外に逃げないように図 2 のようなカップ状である。また、カップの開口部を孔の開いた板で塞ぐことによりさらに測定精度が向上する。約 250 年前、有名なファラデーが類似装置で電界測定に応用したため、この名前と呼ばれている。

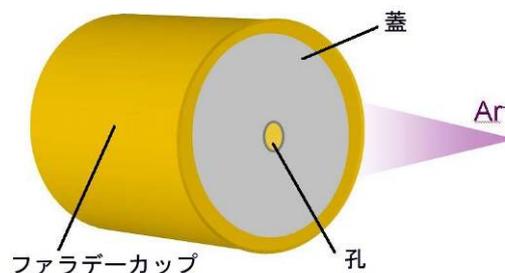


図 2. ファラデーカップの仕組み

2.2 イオンミル装置

透過型電子顕微鏡等の試料製作を行う装置の一つで Penning 型イオン源から 2~10kV で加速した Ar イオンビームを試料に対し水平に近い浅い角度で照射することにより試料の表面を削り薄膜化する装置である。

3 イオン密度分布計測系の設計

- ファラデーカップをイオンミル装置内(図 3)に挿入することを考慮し、台座部分の外径を $\phi 19\text{mm}$ 以下にした。
- 台座部と絶縁層を一体化して中心位置のズレが生じないように一体物とした。
- カップ形状の部品は後部にハンダ付をして配線を固定するため、台座の中心位置上に絶縁層を配置するのを避け、中心位置よりも前面（イオンビーム照射側）にオフセットして配置することによりカップ形状の部品がイオンミルに接触しないように間隔を取った。(図 4)
- ファラデーカップを絶縁層に固定する際に、カップをテフロンで完全に覆うことによりカップの密着性と絶縁性を維持し、それを絶縁層へと固定するように設計した。(図 5)

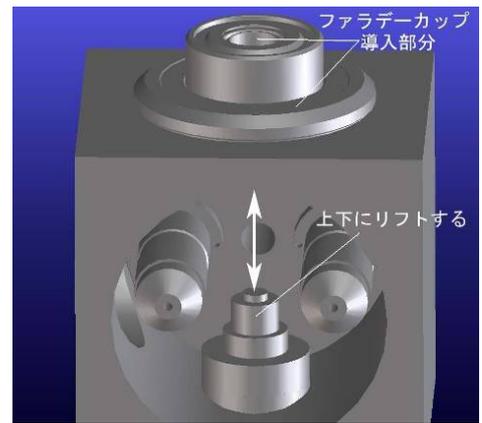


図 3.イオンミル装置内の機構

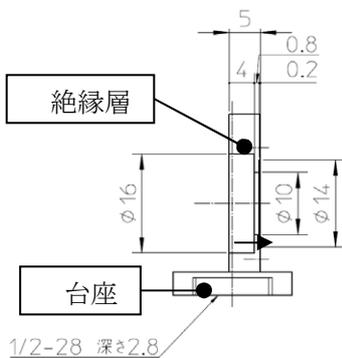


図 4. ファラデーカップ台座、絶縁層

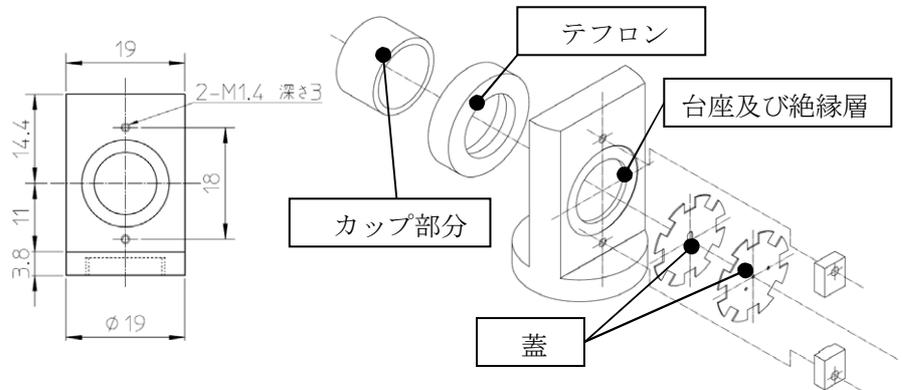


図 5. ファラデーカップ組立略図

- 入射するイオン量・位置を特定するために、径 $\phi 500\ \mu\text{m}$ 中心から $500\ \mu\text{m}$ の間隔で $0\sim 3.0\ \text{mm}$ に合計 7 箇所穴が開いた Mo 板が必要となる。今回は 1 枚に穴を 1 箇所開けた 7 枚の Mo 板を製作するのではなく、Mo 板の前面部をカバーで覆い、2 枚の Mo 板と 2 枚の Cu 板(図.6)を組合わせ回転させて(図.7)装着することにより、7 箇所の測定が可能になるよう設計した。

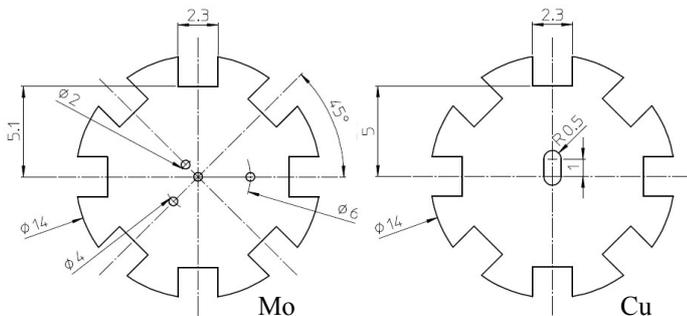


図 6.イオン密度測定用板として用いた Mo と Cu 板

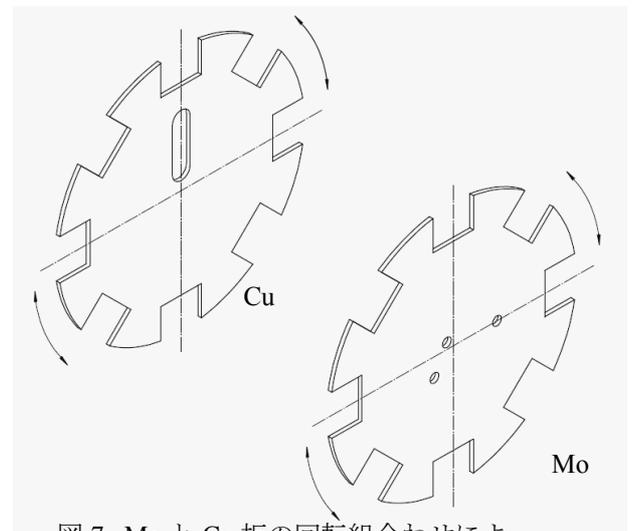


図 7. Mo と Cu 板の回転組合せによる局所 Ar イオンビーム密度測定機構

- ファラデーカップからの配線は既存の導入部のパーツを現品加工し BNC 端子を設置、それを介して外部へ接続することができるようにした。

4 ファラデーカップの製作と照射系への組み込み

4.1 ファラデーカップの製作

機械工場において上記のパーツの試作を行った。

カップ、テフロンに関しては汎用旋盤を用いて加工した。台座、絶縁層は、汎用旋盤で外形、ネジの加工を行い、その後 NC フライス盤で絶縁層部分の切削をした。

Mo 板及び、Cu 遮蔽板については、厚さがそれぞれ 0.25mm、0.1mm と肉薄な為、穴加工も含め YAG レーザ加工機により製作した。

実際に製作したファラデーカップを図 8 に示す。



図 8. 製作したファラデーカップ

4.2 イオンミル装置への組み込み、予備実験

製作したファラデーカップを研究室に納品し、イオンミル内に図 9 のように配置して 9 kV Ar イオンビームを低真空下で照射、前述の Mo 板に設けた 500 μm の穴を通過したイオンの計測を行った。

2 枚の Mo 板を組み合わせて入射する位置を図 10 及び図 11 に示す X,Y 方向に 500 μm 間隔で移動させ、各位置での電流を測定した。測定した電流値と穴径 500 μm から単位時間当たりのフルーエンスを算出し、各位置に対してプロットし計測したところ、中心にずれが生じた。

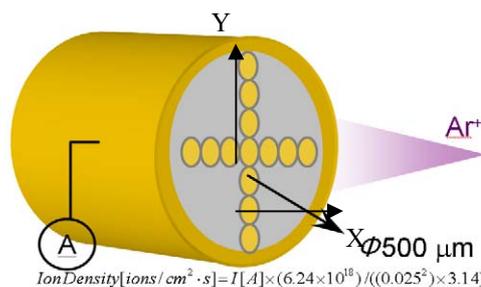


図 10. Ar イオンビーム測定箇所略図



図 9. イオンミル内に設置されたファラデーカップ

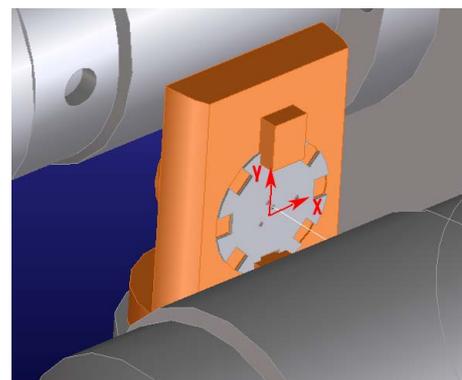


図 11. x、y 軸方向に測定

改良

研究室より再度依頼があり、改良を行うこととなった。装置の組立図を見たところ、イオンガンは O リングのみで固定されている為、x 方向に数ミリの間隔で自由に動いてしまうということがわかった。そこで、x 軸に関しては、データで得られた分イオンガンを前後させ、そこで固定することに、y 軸に関しては絶縁部の下とネジの間にスペーサーを挟んで対応することとした。

5 ビームプロファイルの測定

改良後、再度実測を行った。各位置でのイオンフルーエンスをプロットした結果を図 12 に示す。

X, Y 軸ともに中心で最も電流密度が高く、中心から離れるに従ってその値が減少した。また、X, Y 方向での半値幅の値は、それぞれ 2.3, 2.2 mm であり、ビームの断面形状は円形状である。

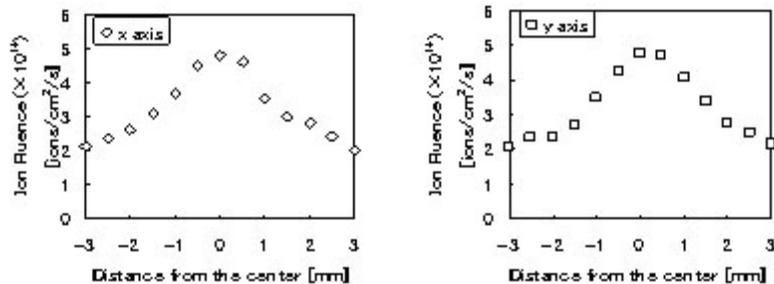


図 12. X, Y 方向 500 μm 等間隔における Ar イオンビームの局所電流密度

6 まとめ、謝辞

試作、改良を行い製作したファラデーカップにより、局所電流密度分布など詳細なビームプロファイルを実測することに成功した。しかし、実計測を行うまでに時間的猶予が少なかった為、装置の改良の余地は見受けられ今後行われる実験に対応した形での改良を行っていききたい。

また、本件に辺り多大なる指導とご協力を頂いた東北大学多元研、田中俊一郎先生、佃諭志先生、田中宏幸さんに大変感謝致します。

参考文献

- [1] 田中宏幸、田中俊一郎、日本金属学会講演概要, 2007 年秋季(第 141 回)大会, P259
- [2] “透過電子顕微鏡 基本用語”, JEOL Homepage (<http://www.jeol.co.jp/technical/dictionary/EMTerms/09.htm>)

精密制御定常震源（ACROSS）の軸受損傷について

○立花健二、鈴木和司、鳥居龍晴、増田忠志

名古屋大学 全学技術センター 装置開発系

1 はじめに

地下構造探査を行う方法の一つに精密制御定常震源（Accurately Controlled Routine Operated Seismic Sourceの頭文字をつないでACROSSと略す。以下アクロスと表記する）がある。これは偏心した錘を回転させ、発生した遠心力を弾性波として地中に放射し、地下から反射された弾性波を受信・解析することにより地下構造の変化を捉えるものである。

名古屋大学地震火山・防災研究センターが淡路島に設置しているアクロスは2台あり、その1台から異常な振動が発生し、運転を停止した。装置を分解したところ、円筒ころ軸受に損傷（フレーキング）が発生していた。アクロスは高速で回転し、かつ地中に強固に固定されるため、使用している軸受は汎用の円筒ころ軸受ではなく、発熱による熱膨張などを考慮して軸受すきまの大きい特殊なものを使用している。そこで、特殊な軸受を使用するのではなく、汎用の軸受の仕様も検討したが、その方法は困難であることがわかり、汎用の軸受の転動面を加工し軸受すきまを拡大して使用する方法を試みた。円筒ころ軸受の転動面は超精密に加工されており、転動面の表面あらさ、真円度、同心度、直線性は高精度加工が要求される。本報告では、汎用の軸受を特殊用に加工し、軸受メーカー仕様とほぼ同等の高精度軸受を製作することができたので報告する。

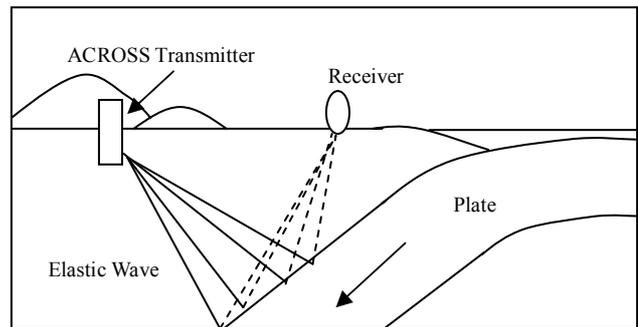


図1. アクロスによる地下構造探査

2 装置の概要と損傷の原因

アクロスの構造を図2に示す。装置は3個の偏心錘を最大回転数1500rpmで回転し、発生した遠心力を弾性波として地中に放射する。偏心錘は合計6個の円筒ころラジアル軸受で支えられている。偏心錘の回転による遠心力は最大で約20000kgfであり、軸受からの発熱が大きいため、油による強制潤滑で冷却している。

アクロスは1995年に淡路島の野島断層付近に設置されてから12年が経過しているが、通算稼働時間は2年4ヶ月（20148時間）である。設置場所は、梅雨時には装置の床コンクリートから湧水が出るなど環境条件が厳しく、今回の軸受損傷は、湧水がアクロス本体側面の穴からアクロス内部に侵入し錆が発生したことが主

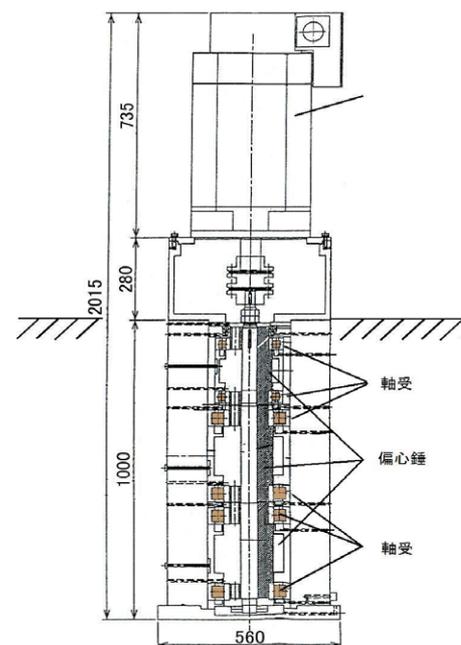


図2. アクロスの断面

原因と思われる。図3に軸受内輪の転動面の写真を示す。最下部の軸受が大きく損傷していることがわかる。

3 軸受部の設計

軸受部の設計においては、大型の軸受が高速回転するための発熱やアクロス本体が地中に強固に固定されることによる軸受すきまの減少などを考慮する必要がある。

軸受すきまの大きさに影響を与えるパラメータとしては以下の項目が挙げられる。

- 1) 軸受内輪と外輪の温度差による軸受すきまの減少
- 2) 軸と軸受内輪のハマアイ
- 3) 軸受ハウジングと軸受外輪のハマアイ
- 4) アクロスを地盤に固定するためのクサビによる圧縮力

実際の軸受について、上記の1)~4)の項目を具体的に見積った結果を表1にまとめた。4)については見積り方法が非常に困難なため、現在、正常に稼動している装置からの推定値である。



図3. 損傷したアクロスの軸受（最下部の軸受が大きく損傷）

表1. 軸受すきまの減少量の見積り（NU1038C3P6 軸受すきま 160 μmの場合）

運転条件	温度差による予圧	内輪予圧	外輪予圧	クサビ加圧	予圧合計 ①+②+③+④	有効すきま合計	評価
	①	②	③	④			
温度差5℃	17	48	24	20	109	51	有力設計案
温度差10℃	33	48	24	20	125	35	
温度差20℃	66	48	24	20	158	2	すきま小

表1より、軸受すきまは軸受と軸およびハウジングとの温度差に大きく影響されることがわかる。装置は強制潤滑されており、温度差は5℃程度に管理されていると考えられるが、5℃の条件においてもすきまの減少量の合計は109 μmとなり、それ以上のすきまが必要となる。

次に軸受すきまと寿命について検討した。

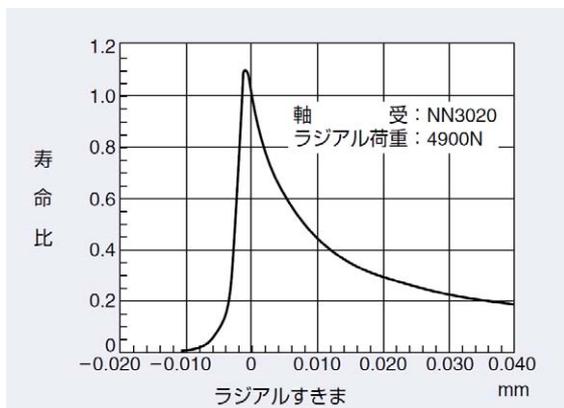


図4. 円筒ころ軸受のラジアル内部すきまと寿命の関係^[1]
NN3020（内径 100mm 外径 150mm 幅 37mm）の場合

図4に軸受すきまと寿命の関係を示した。図より軸受寿命は軸受すきまが零近傍で最大値を示し、すきまが負の値になると急激に寿命が短くなり、すきまが大きい場合は緩やかに寿命が短くなることがわかる。

このことから、軸受すきまは多少大きめに設計することが重要である事がわかる。

以上の結果からアクロスに必要な軸受すきまは、温度差が20℃になっても2 μmのすきまができる160 μm程度必要であると判明した。軸受すきまの設計値は12年前に計算されたが、設計仕様書が残されていないために再計算が必要となった。この結果から初期の設計が正しいこ

とが確認された。

今回、必要な軸受 (NU1038C3P6) すきまは $160\ \mu\text{m}$ であるが、汎用の軸受 (NU1038C0P6) のすきまは $100\ \mu\text{m}$ であるので、軸受すきまを $160\ \mu\text{m}$ に拡大するために軸受転動面の高精度加工を試みた。

4 軸受の加工と測定結果

図5に軸受内輪の形状と加工面を示した。軸受すきまを拡大する方法として、軸受内輪転動面および軸受外輪転動面の加工が考えられるが、加工法が容易である軸受内輪転動面 (内輪外周面) を研削および研磨することにした。加工精度が重要であることから、1) 研削だけのもの、2) 研削後に研磨したもの、3) メーカー品について以下の項目の精度検査を行い比較検討した (括弧内は測定装置を示す)。

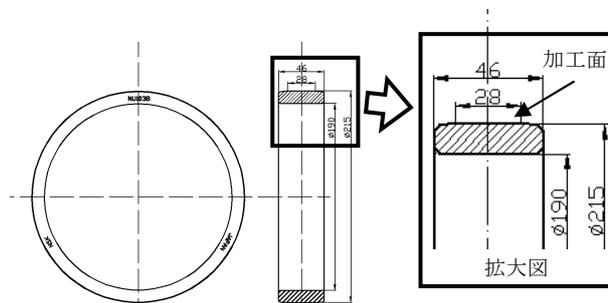


図5. 軸受内輪の形状と加工面

- 1) 表面あらさ (表面あらさ試験機 タリサーフ Taylor-Hobson 社製)
- 2) 真円度 (精密真円度測定器 タリロンド Taylor-Hobson 社製)
- 3) 同心度 (精密真円度測定器 タリロンド Taylor-Hobson 社製)
- 4) 直線性 (非接触三次元測定器 NH-6 型 三鷹光器(株)製)

測定した結果を以下に示す。図6に表面あらさ、図7に真円度、図8に同心度 図9、図10、図11に直線性の測定結果を示した。

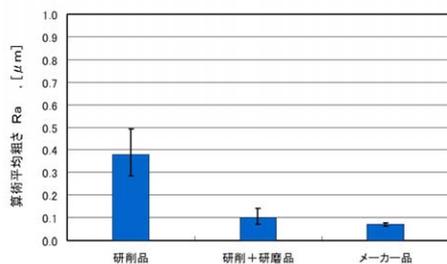


図6. 表面あらさの比較

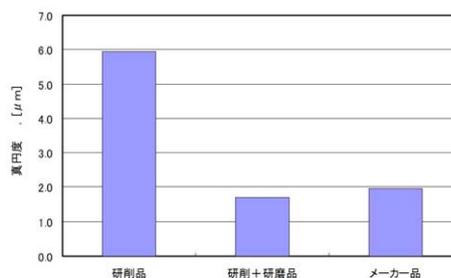


図7. 真円度の比較

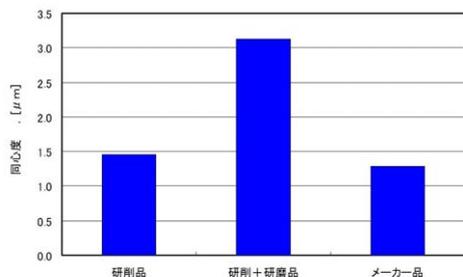


図8. 同心度の比較

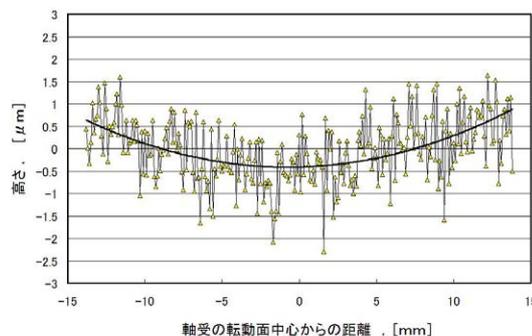


図9. 転動面直線性 (研削品)

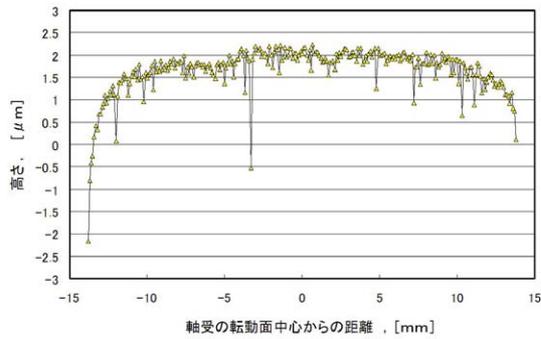


図 10. 転動面直線性（研削＋研磨品）

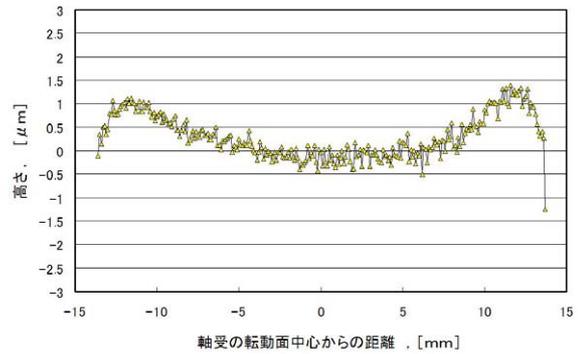


図 11. 転動面直線性（メーカー品）

5 まとめと考察

測定結果は以下のようである。

5.1 表面あらさ

表面あらさは、研削品が $0.4 \mu\text{mRa}$ 、研削＋研磨品とメーカー品は $0.1 \mu\text{mRa}$ であり、研削品が悪い値になっている。メーカー資料^[2]では $\phi 120$ 以上の軸径の場合は表面粗さが $0.4 \mu\text{mRa}$ 以下が推奨されているため、研削＋研磨品がよいと思われる。

5.2 真円度

真円度についても、研削品が $6 \mu\text{m}$ 、研削＋研磨品とメーカー品が $2 \mu\text{m}$ 程度であり、研削品が悪い値になった。メーカー資料^[2]によると、真円度は基本公差で IT 3 とされている。今回の軸受の内輪外径が $\phi 215$ であるので、IT 3 は $10 \mu\text{m}$ を示しており研削だけで基準を満足している。

5.3 同心度

同心度は軸受内輪の外周円と内周円の中心のずれを表しており、研削＋研磨品が $3 \mu\text{m}$ 、研削品とメーカー品が $1 \sim 1.5 \mu\text{m}$ であり、研削＋研磨品が悪い値になっている。これは加工での加工物の保持方法の違いによると考えている。今回の使用方法では、偏心した錘を回転させる装置のため、同心度は重要ではない。

5.4 直線性

直線性は軸受内輪外周面の母線方向の直線性を測定したものであり、研削品、研削＋研磨品及びメーカー品ともに両端部を除けば直線性は $1 \mu\text{m}$ 程度である。研削＋研磨品については、両端部の数ミリに肩のダレが発生しているがその部分は円筒ころと接触しないため影響はないと考えられる。

以上の結果より、軸受加工では研削品でも使用可能であるが、研削＋研磨品が優れていると判断し、交換部品として使用し、より迅速に現状復帰させることができた。

参考文献

- [1] NSK 設計資料 与圧と剛性 P137 <http://www.jp.nsk.com/tech%2Dsupport/spb/design/pdf/134spb.jp.pdf>
- [2] NTN 転がり軸受総合カタログ A39 <http://www.ntn.co.jp/japan/products/catalog/pdf/nb/pdf/nb-01.pdf>

人力飛行機用試作センターギア BOX の設計・製作

矢吹 祐司

広島大学 技術センター

1 駆動系のテーマは

2005 年人力飛行機 (HUES4.0) の双発駆動系は、人間パワーを高効率で引き出す『SDV』の搭載と動力の伝達効率の高い『オールシャフトドライブ化』・外からは、ペダリング部しか見えない『CFRP パイプ内蔵駆動系』というコンセプトで設計・製作することにした。人力飛行機製作活動で、製作した駆動系の紹介と試作駆動系のセンターギア BOX の設計・製作について報告する。

2 双発駆動系の紹介

HUES4.0 に搭載される『SDV』『SDV 用・センター・双胴の各ギア BOX』『オールシャフトドライブ化』『CFRP パイプ内蔵駆動系』について、試作品と本番用を用いて特徴・役割などを紹介します。

2.1 本番用 SDV 搭載双発駆動系

本番用駆動系は、CFRP 角パイプと CFRP 丸パイプを使用して学生たちが製作したコックピットフレーム内に SDV 用ギア BOX・センタードライブシャフト・センターギア BOX が内蔵され、外から見えるのは『SDV』の機構だけです。センターギア BOX から左右に翼内ドライブシャフトが約 2m 伸び左右の双胴ギア BOX に入り、回転軸を 90 度変換してプロペラ用ドライブシャフトを回し、プロペラに回転力が伝達される。ドライブシャフトの総延長は約 7m にもなり単発機に比べ非常に駆動経路が長くなっています (2005.07.06 完成) (図 1)。



図 1. 本番用駆動系

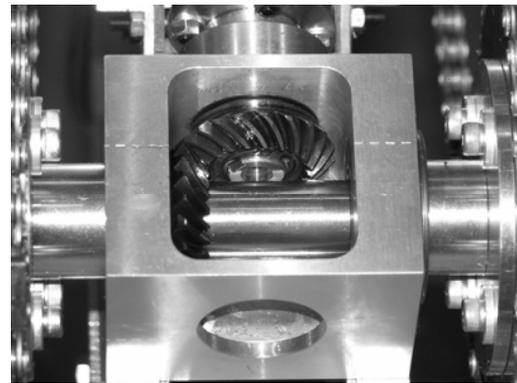


図 2. 試作 SDV ギア BOX

2.2 SDV

HUES4.0 は双発機のため単発機と比較すると駆動効率と駆動系重量でデメリットばかりで、メリットは「カッコイイ」ぐらいです。そこで、人間パワーを普通自転車のペダリングで 100% として、最大で 180% 引き出す『SDV』を採用。SDV は、自転車用に開発された機構なので人力飛行機用にアレンジして製作しています。

2.3 SDV 用ギア BOX

SDV のペダリング駆動力を入力し回転軸を 90 度変換してセンタードライブシャフトに回転力として、出

力し動力を伝える (図 2).

2.4 センターギア BOX

SDVを搭載したため機体の前側が重くなるのでバランスを考えて,ワンウェイクラッチをSDV用ギアBOXではなく,パイロットの頭上にあるセンターギアBOXに内蔵することにした.内蔵されたワンウェイクラッチの役割は「テストフライトでは地面にプロペラが接触したとき」「大会では着水時の脱出など」パイロットの安全性を高めるのに必要な機構です.センターギアBOXは,センタードライブシャフトの回転を左右の翼内ドライブシャフトに分配します(図3).

2.5 双胴ギアBOX

CFRP丸パイプに内蔵され,翼内ドライブシャフトから入力した回転軸を90度変換しプロペラドライブシャフトを回転する.双発機ならではのギアBOXです(図4).

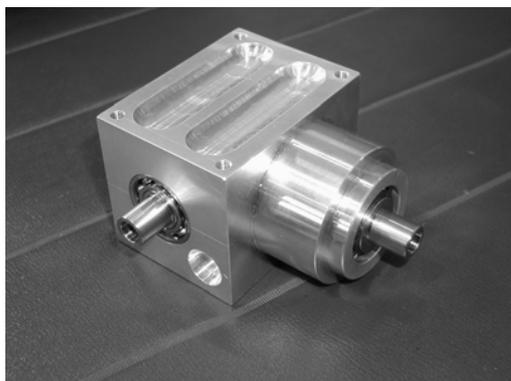


図 3. 試作センターギア BOX



図 4. 双胴ギア BOX

2.6 試作 SDV 搭載双発駆動系

本番用駆動系で,特にSDV周りでトラブルが出ないように試作駆動系で耐久テストをするのと,「SDVのスプロケットの軸間距離」「スプロケットとチェーンの歯数比」「チェーン直線部の角度」「シートポジション」をパイロットの好みにするためと,これはメーカーで試乗してみても解ったのですが,従来の普通自転車のペダリング運動(円運動)に比べSDVのペダリング運動(長円運動)には,高速域になるとSDV独特な感覚があるので,パイロットに慣れてもらうための練習台として製作した.SDV搭載試作駆動系は,出来るだけコストを安く製作したかったので,センタードライブシャフトは2003年度機に使用した翼内ドライブシャフトの1本を,主翼桁と左右の翼内ドライブシャフトは2004年度機に使用した物をセンターギアBOXのスパイラルマイタギアの一つは2002年に使用した物を利用し,フレームは在り合わせのアルミ材で製作した(2005.05.16に完成)(図5).

3 試作センターギアBOXの設計・製作

機体の重量バランスとコンパクト化(軽量化)・メンテナンス性を考ながら最初に市販パーツ『スパイラルマイタギア・ワンウェイクラッチ・ベアリング・ニードルベアリング用内輪・等速ジョイント』を強度・寸法の兼ね合いなど規格表を見ながら選択しセンターギアBOXの構造・デザイン・寸法を考えていく.簡単な物なら頭の中の図面で製作するのですが,センターギアBOXは『入力軸・クラッチ用内輪・ワンウェイクラッチ・2個のスパイラルマイタギア・4個のベアリング・出力軸』が複雑に絡み合ってくるので,方眼紙に簡単なスケッチを実寸で描き製作する.

3.1 クラッチ内蔵スパイラルマイタギアの製作

スパイラルマイタギア (M=2.0 歯数 20 枚) 規格品の軸穴 $\phi 12.0$ を $\phi 15.0$ リーマ穴に加工後キー溝加工, キーを取り付けてある歯車切削ジグにスパイラルマイタギアをセットしてボス部の外径を仕上げ代を残して $\phi 31.0$ に切削, さらにキー溝加工した $\phi 15.0$ 軸穴を $\phi 25.98$ 中グリ加工で拵げ『しまりばめ』で規格寸法 $\phi 26.00$ のワンウェイクラッチを圧入, ワンウェイクラッチのブレーキを利用しボス径を『すきまばめ』で内径が $\phi 30.00$ のベアリングが入るように $\phi 29.98$ で外径を加工, このように内径加工→外径加工→内径加工→外径加工と 4 回拵み変えて切削加工するので芯ブレが出来るだけ出ないように注意して加工する. このパーツは, Fe 製なので出来るだけ軽量化をした (図 6).

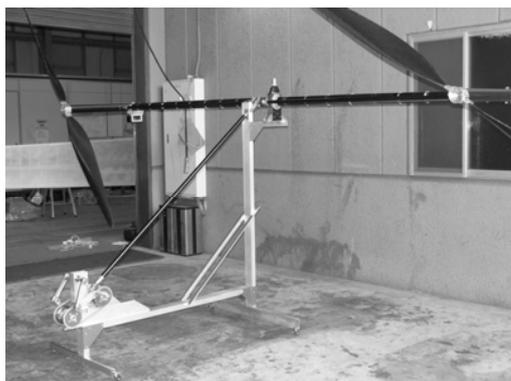


図 5. 試作駆動系

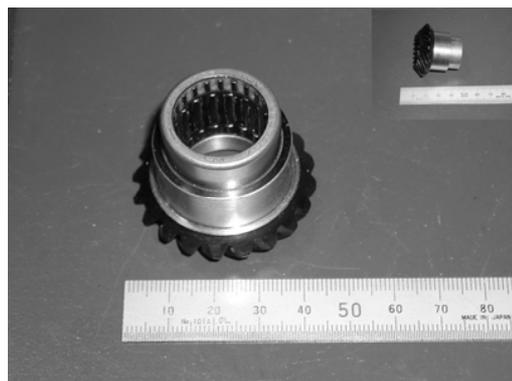


図 6. クラッチ内蔵マイタギア

3.2 クラッチ用軸の製作

以前は, S45C・SUS・Ti から削り出していたが (2005 本番用駆動系から軸は全てジュラルミン 7075 を使用), クラッチローラー接触部分の耐久性に欠けるため試作品には, 内径 $\phi 17.00$ 外径 $\phi 20.00$ のニードルベアリング用内輪を外径 $\phi 17.02$ SUS 中空軸に『しまりばめ』で圧入し耐久性を完璧なものにした. 内輪は浸炭焼き入れ品のため, 圧入する時に割れない事と軸と内輪が使っているうちに滑らない事, 以上の注意が必要です (しまりばめの勘合値は, 私の経験で決めています) (図 7).

3.3 BOX 製作

$\phi 100$ アルミ丸棒より削り出すワンピース物です. 最初に, 旋盤で外径・端面と下穴加工し三段の円柱形にし, チャックに拵み変えクラッチ内蔵側 (入力軸側) のベアリング受けを中グリ加工. 寸法は, $\phi 32.02$ 深さ 82.0 ± 0.1 と $\phi 42.02$ 深さ $53.0 + 0.05 / - 0$ でベアリング受けを加工します. そして, フライス盤を使い BOX 角部分の外側を 74.0×52.0 と内側を $54.0 \times 46.0 \times$ 深さ 46.0 コーナー R5.0 に加工. 更に, スパイラルマイタギアのバックラッシュが 0.1mm 以下になるように中心線をけがき, 出力軸側のベアリング受けをスパイラルマイタギアのスラストの向きを考慮して, バイスに取り付けた BOX 部の上面 (右翼側) が $\phi 28.02$ 深さ 7.0 , さらに, 64mm 下がった下面 (左翼側) には $\phi 32.02$ 深さ 7.0 でベアリング受けをボーリング加工する. 最後に, 肉抜きとタップ立てで作業は完了です. ベアリング受けは, ベアリング寸法より 0.02mm 径が大きい『すきまばめ』で製作, 少し嵌合が甘いですが, テストフライト時や鳥人間コンテストの会場での組み立て安さとメンテナンス性を考慮しています (図 8).

3.4 組み立て

入力軸用のベアリングをかきめて固定し入力軸をスナップリングでベアリングに固定, ワンウェイクラッチ内蔵スパイラルマイタギアにベアリングをはめて, 入力軸に通しながら落とし込み, 出力軸のベアリング

をはめ込み出力側スパイラルマイタギアを噛み合わせた状態にして出力軸にキーを取り付けてベアリングに通していき、キーの位置決めのためスナップリングで固定し、最後にベアリング押さえ兼用の等速ジョイントを取り付けて完了（図9）。



図7. クラッチ用軸

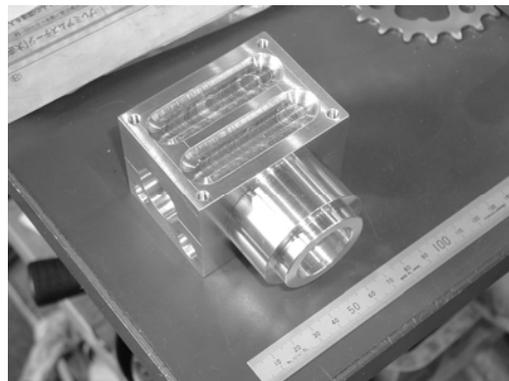


図8. ギアBOX

4 駆動系耐久テストの結果

センターギアBOXが、耐久テスト兼パイロットの練習中、約1ヶ月後にワンウェイクラッチが破損(2005.06.中旬)、原因はスパイラルマイタギアボス部からワンウェイクラッチが40%露出していることと、スパイラルマイタギア圧入部の肉厚不足が考えられ、これらを覆う圧入カバー（図10）を取り付け入力側ギア一式を作り替えた。クラッチが破損した時期には、本番用駆動系の製作に追われていたので、修理を後回しにして本番用駆動系の完成を急いだ。本番用センターギアBOXは、万がーを考慮してクラッチを強化しCFRP角パイプのサイズも最終決定したので、寸法と構造も変更して製作した。圧入カバーを取り付けて、さらに双発の練習台は場所を取るの単発の練習台に改造して修理が完了したのは、大会出発3日前の2005.07.12である。

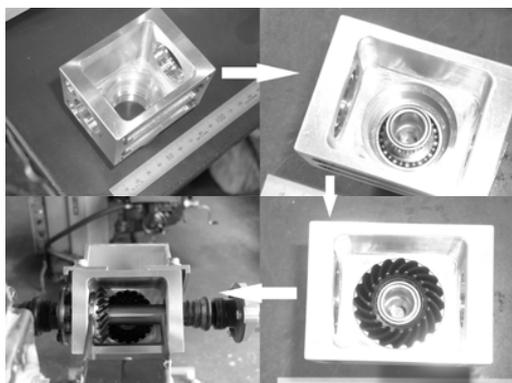


図9. 組み立て手順



図10. 圧入カバー

5 今後の課題

センターギアBOXに関しては、ディスタンス機 Hues の試作用・本番用の良いところと、タイムトライアル機 Kaede のギアBOXなど今までに設計・製作してきたギアBOXにアイデアをさらに加えて、軽くコンパクトなギアBOXの製作。また、駆動系全般では、軽量化と強度のバランスを考えながら1gでも軽くなるよう学生と共に人力飛行機製作活動をごんばっていきたい。

Lバンド導波管における可変移相器の試作

○岩井正明、坂本信博、小林芳治、川又弘史、舟橋義聖

高エネルギー加速器研究機構 共通基盤研究施設 機械工学センター

概要

導波管は、光を含む電磁波の伝送に使用される構造体である。導波管の種類としては、中空導波管、誘電体導波管、マイクロストリップなどがある。中空導波管は、主としてマイクロ波の伝送に利用され、断面形状が方形または円形の中空金属管が使用される。誘電体導波管は、誘電体のみで構成された導波管であり、中心の誘電体の周囲をガラスや空気またはプラスチックなどの屈折率の小さな誘電体で囲んでいる構造である。光ファイバーも誘電体導波管の一種である。マイクロストリップは、板状誘電体基板の表面に線状導体箔を形成し裏面に導体箔を形成した構造の電磁波の伝送路である。

Lバンドは、IEEE (The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. 米国電気電子技術学会) の分類で 0.5GHz から 1.5GHz の周波数帯域にあるマイクロ波である。マイクロ波の分類は、IEEE 以外に EU (欧州連合) や NATO (北大西洋条約機構) などによる分類方法がある。

Lバンド導波管の可変移相器は、ILC (International Linear Collider) に使用する事を目標として開発中の移相器であり、1.3GHz のマイクロ波を伝送するための矩形導波管 (アルミニウム合金の長方形断面を持つ中空導波管) の内部にベーン型の移相器を複数個設置したものである。移相方式は、導波管内に設置されたベーンを回転する事によりマイクロ波の位相が一定の範囲で変えられるようになっている。

1 導波管可変移相器の原理と試作の概要

1.1 導波管可変移相器の原理

導波管は、空気を誘電体 (中心導体がない) としており、同軸ケーブルなどに比べて誘電損失や電気抵抗などに起因する損失が少ないため大電力を長距離に渡って伝送する事ができる。導波管内の電磁波は、管の中に形状や寸法および波長 (周波数) に応じた電磁界を形成 (伝播モード) しながら伝播する。導波管の伝播モードは、TE_{mn} モードと TM_{mn} モード (m, n は、モード番号と呼ばれる 0 から始まる整数) がある。伝播モードは、矩形導波管の TE₀₁ や TE₁₀、円形導波管の TM₀₁、同軸線路の TEM や TE₁₁ などがある。

導波管の可変移相器はベーン型とフラップ型があり、本試作機は導波管内の羽が回転するベーン型を採用している。ベーン型可変移相器は、ベーン (誘電体) の相対角度を変える事により、伝送波の位相を一定の範囲で変える事ができる。ベーンの角度を変えると導波管の等価的線路長が変わるため、導波管内の位相が変わる。

1.2 導波管可変移相器試作の概要

Lバンド導波管可変移相器の試作は、矩形導波管の内部に 6 枚のベーンを設置したタイプ (タイプ 1) と両端に反射板を設置したマジック T 型導波管の内部に 2 枚のベーンを設置したタイプ (タイプ 2) の 2 種類である。タイプ 1 型可変移相器は、両端のフランジを介して、タイプ 1 型およびタイプ 2 型可変移相器や通常の導波管を数十台から百台以上を直列に接続する事ができる。第 1 号機の目的は、ベーンの回転によりマイクロ波の位相が変わる事を確認する事である。また、開発時間の制約などがあり、第 1 号機は導波管全体を

密封構造にしていない。本試作機は、低電圧試験により伝送波の位相が変わる事が確認され、今後、さらに高電圧試験を行う事になっている。

2 導波管可変移相器の構造と製作

2.1 導波管可変移相器の構造

タイプ 1 型は、図 1 に示す外観構造であり、長方形断面の矩形導波管 ($a=165.10\text{mm}$ 、 $b=82.55\text{mm}$) の内部に 2 枚のベーンを 1 組とし合計 3 組 (6 枚) のベーンが直列に組み込まれている。この可変移相器は、両端のフランジを介して、多数の可変移相器や通常の導波管を直列に接続する事ができる。本機は試作機であるため、手前側のハンドルを手動で操作し導波管内のベーンの角度を変える構造になっている。ハンドルの反対側は、ベーンの角度を 1deg の読取り精度で検出するアブソリュート型ロータリーエンコーダが取り付けられている。ベーンと導波管とは電氣的に接触している必要がある。このため、ベーンの回転軸は、ミニチュアベアリングに与圧を付加して内輪と玉および玉と外輪が常に接触しているようになっている。

タイプ 2 型は、図 2 に示す外観構造であり、マジック T 型導波管の両翼に各 1 枚のベーンを配置している。また、マジック T 型導波管の両端はアルミニウム板で塞がれておりマイクロ波の反射板になっている。手前側と上部のフランジは、タイプ 1 型可変移相器や通常の矩形導波管が接続できる構造になっている。マジック T の中央部は、導波管内面と内面における平面の接続部が直交する面内で $R30\text{mm}$ の曲面になっている。また、その交点は円弧で補間されているため 3 次元曲面になっている。図 2 の手前側フランジ内に見える棒状の物質は位相を調整するための誘電体 (ステンレス鋼) である。

ベーンの形状や大きさは、タイプ 1 型とタイプ 2 型で異なるが、ベーンの軸受け構造や回転機構及び角度の検出機構は全く同じである。

タイプ 1 型のベーンは、図 3 および図 4 に示す外観形状をしている。ベーンの羽部の大きさは、幅 44.0mm 、長さ 70.0mm 、厚さ 8.0mm である。ベーンは、羽部の両端に直径 7.4mm 、長さ 62.5mm の細長い回転軸が取り付けられている。ベーンの羽部および両端の軸径などはベーンの解析結果から得られた寸法である。ベーンは、角部などの形状が異なる部分には放電対策などで $R1$ から $R10$ までの丸みが付けられている。また、ベーンの表面は、同様の理由で 0.05mm 以上の突出部がない事と滑らかである事が要求される。



図 1. タイプ 1 型導波管の可変移相器



図 2. タイプ 2 型導波管の可変移相器



図 3. タイプ 1 型可変移相器のベーン

タイプ2型のペーンは、図5に示す外観形状をしている。ペーンの羽部の大きさは、幅80.0mm、長さ152.0mm、厚さ8.0mmである。ペーン両端の軸は、直径8.0mm、長さ17.5mmであり、その先にミニチュア軸受けの取付部がある。ペーンの表面はタイプ1型と同じである。

2.2 導波管可変移相器の製作

図4は、タイプ1型ペーンにおける羽の部分と軸の部分の3次元曲面の拡大図である。この部分は、高電圧をかけたときに放電が発生しやすいので滑らかな曲面が要求される。ペーンの機械加工は、時間的な制約から、タイプ1型は外注、タイプ2型は本機構機械工学センターで内作を行っている。

タイプ1型のペーンは、最初は羽と軸を分離して試作したが、接続部に曲面が形成できない事と回転時に羽の部分が非対称に回転するなどの問題が発生した。その結果、羽の部分と軸の部分を一体化して加工する方法を行う事にした。この加工は、羽の部分を縦にしてマシニングセンタにボールエンドミルを取り付けて片側づつ一筆書きの要領で行った。ボールエンドミルの使用による波型の形状は、山の高さやピッチが幾何学的に計算できるので、山の高さを要求値0.05mmの半分以下となるように加工した。

タイプ2型のペーンは、タイプ1型のペーンと比較して羽の部分が倍以上大きく、羽の部分と軸の部分を分離しないと導波管内に入らない。こちらの方は、軸部が太いため羽と軸を分離しても回転時に羽の部分が非対称とはならない。羽の部分の加工は、基本的にタイプ1型の加工と同じである。

図6は、導波管に組み込んだ状態におけるタイプ1型のペーンを示す。手前から奥に向かって2本を1組として3組のペーンが並んでいる。この状態は、ペーンの角度調整を行っていないためにバラバラの角度である。

図7は、タイプ2型可変移相器（マジックT導波管）における中央部を構成する部品の上半分の写真である。この部分は、他の導波管に接続するフランジがあるために左側半分が3次元曲面加工、右側の面は直立に切立った壁面になっている。この部分の内面加工は、3次元曲面を含む曲面加工がボールエンドミル、壁面が放電加工機による加工である。

マジックT部は、内面の曲面加工や表面の後処理ができないため上下の2分割方式とした。上下の接続部に小さな段差ができるが、その評価は高電圧をかけた実験を行わないと分からない。

この導波管移相器は、市販品、ボルト類、位相調整棒などを除きアルミニウム合金を使用している。主な



図4. タイプ1型ペーンの曲面加工



図5. タイプ2型可変移相器のペーン

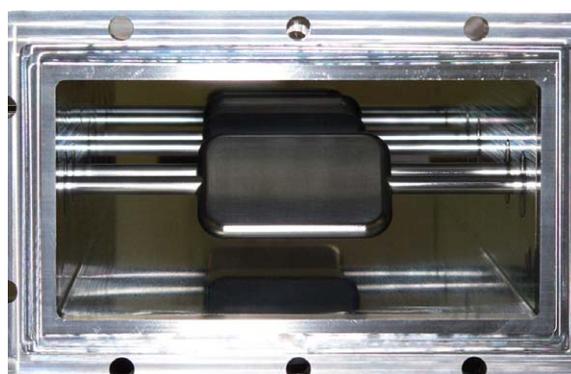


図6. 導波管内におけるペーン

部品の材質は、導波管 (A6063)、フランジ (A5052)、ベーン (A6063)、マジック T 部 (A5052-H34)、その他の部品 (A5052-H34) である。これらの部品は、材質を変えると寸法や形状をそれに合った内容に変更する必要がある。

3 まとめ

本機の試作は、開発期間が短かった事があり、回転導入部に密封機構がない事やフランジと導波管との接続部の溶接構造および回転導入部付近などに対する放電対策が十分とは言えないなどの課題が残されている。一方、タイプ 1 型およびタイプ 2 型のベーンは、当初懸念されていた回転時の対象性の問題や表面の滑らかさなどの問題が予想以上の完成度であった。

本機は、低電圧試験が終わった段階であり、これから実施される高電圧試験により新たな問題が見つかるかも知れない。上記の課題と併せて対処していくつもりである。



図 7. マジック T 導波管の曲面加工

参考文献

- [1] 物理学辞典編集委員会編，物理学辞典，培風館
- [2] 亀井 亨,木原元央共著，“パリティ物理学コース”，加速器科学，丸善
- [3] 大柳宏之編，シンクロトロン放射光の基礎，丸善

液体ヘリウム移送管の製作と利用成果

吉本佐紀

千葉大学 理学部

概要

液体ヘリウム移送管（トランスファーチューブ）を製作したのでその特徴と製作過程について報告する。また利用状況について既製品との比較をし、考察したので報告する。

1 はじめに

液体ヘリウムは極めて温度が低いため不純物が存在すると凝結固化してしまい閉塞密閉の原因となり非常に危険である。またヘリウムは非常に貴重な天然資源であるため、大学など研究機関では蒸発したヘリウムガスを回収して液化し再利用することが一般的である。このため液体ヘリウムはヘリウム以外の物質を取り除いたヘリウムガス雰囲気中（ヘリウム槽）で取り扱われる。液体ヘリウム容器から実験装置への汲み出しは専用の移送管（トランスファーチューブ）で行われる。

2 移送管の構造

2.1 真空断熱二重管構造

前述の通り液体ヘリウムは極めて温度が低いため、断熱をしてやらないと激しく蒸発して移送することはできない。製作した移送管は液体ヘリウムが通る管の外側を真空中で覆い断熱をする真空断熱二重管構造になっている。

2.2 ベロー管による熱収縮への対応

移送管は外管と内管を重ねた二重構造であるが、真空断熱されているため外管は室温、内管は液体ヘリウム温度と 300K 近く温度差が出てしまう。このとき内管は冷却されて熱収縮するのに対して、外管は熱収縮しない。これによる接合部への負荷を避けるため、内管の熱収縮に合わせて伸び縮みできるようなベロー管が外管の中央に挿入してある。

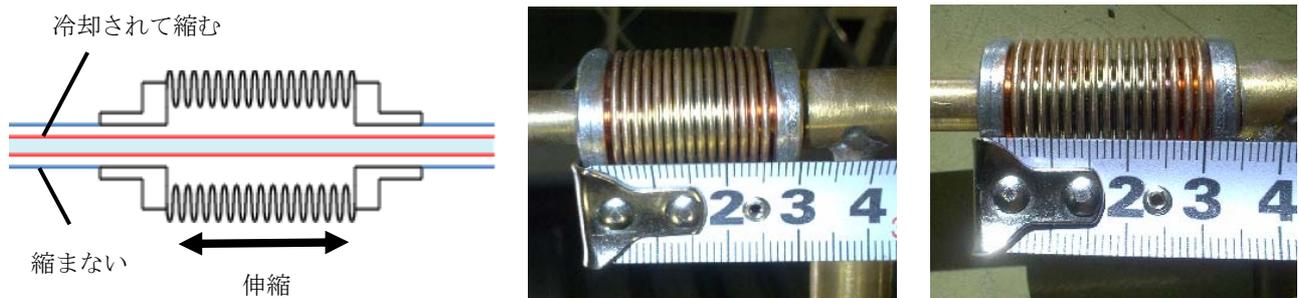


図 1. ベロー構造（左）と収縮の様子（中：収縮時）（右：室温時）

3 製作

製作は大別して切削加工、蝟付け、真空引きによる。接合部位の部品製作は旋盤およびボール盤にて加工した。図面寸法に沿って加工するわけだが、実際には現物合わせを行い微調整を加えながら製作した。

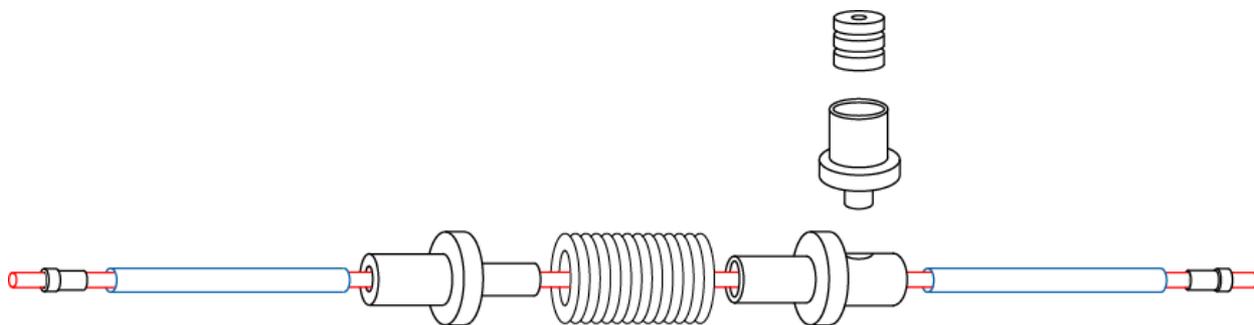


図 2. 組立略図

銀蝟付けおよびハンダ付け後に、溶接部にピンホール等漏れがないかリークチェックを行った。リークがある場合はリークがなくなるまで手直しを繰り返し、最後に拡散ポンプにて真空引きを行った。

4 性能

完成後に実際に使用して性能を確認し、表 1 にスペックをまとめた。浪費率とは「使用量 / 充填量」で、移送途中で蒸発してしまうロスを数値化したものである。表 1 では容器から容器への移送データの平均値を記載している。

表 1. スペック

特徴としては

- ・ フレキシブルであること
- ・ 軽量であること
- ・ 浪費率が良いこと（無駄な蒸発が少ない）
- ・ 移送速度が遅い

などが挙げられる。

全長	4m（ただし弧状に曲げてある）
重量	220 g
内径	2.7mm
外径	5.0mm
移送速度	1.0L/min（加圧 0.3kgf/cm ² ）
浪費率	1.1 倍（10L 汲むのに 11L 使用）
槽の真空度	3.3×10 ⁻⁴ Pa
製作費用	約 20,000 円

既製品の内径 4.0mm の移送管と移送速度および浪費率に関して比較してみた。

【図 4 移送速度】製作品の内径は 2.7mm であるので断面積で比べると半分以下である。このため移送速度は断然遅い。これは構造上の能力であるので仕方がない。グラフではそれ以外の移送条件が同じであるデータをプロットしてある（容器から容器への移送、加圧は 0.3kgf/cm²）。

充填量が増えると移送速度が速くなる傾向がある。これは移送の初期段階では周囲（移送管の内壁や移送先の容器の内壁）を冷却するための蒸発ロスがあり、充填量が増えるとともにその影響が小さくなるためと考えられる。既製



図 3. 移送の様子

品に比べて製作品はこの傾向が小さいように見える。ばらつきはあるが充填量による移送速度への影響は読み取れない。これは初期における蒸発ロスが小さいのかもしれない。流量が少ないので過度の蒸発を抑制し効率よく冷却しているのかもしれない。

【図5 浪費率】一般に充填量が少ないと浪費率が大きくなると考えられる。これは上記と同様で、冷却のために費やす蒸発ロスのためである。既製品ではきれいな特徴は出ていないがその傾向があるようにも見える。一方、製作品では充填量に関わらず浪費率を保っている。やはり上記の移送速度と同様で、流量が少ないので余計な蒸発を抑えているのではないかと考えられる。

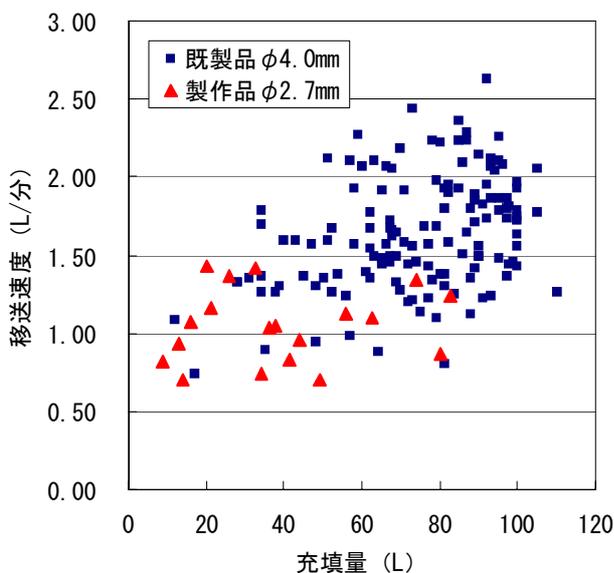


図4. 移送速度と充填量

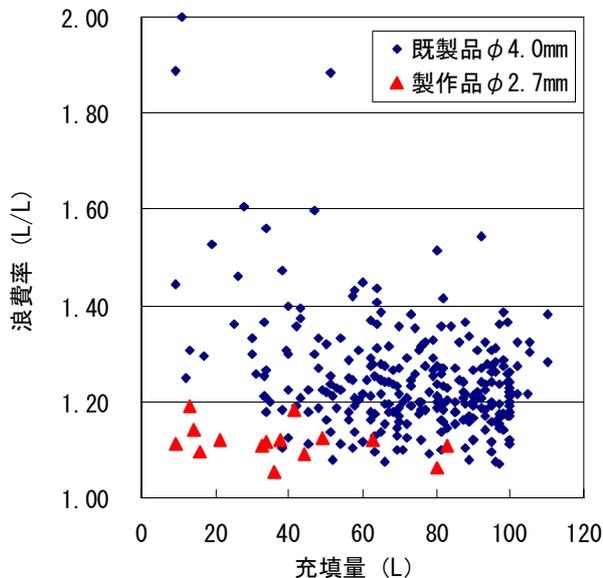


図5. 浪費率と充填量

【図6.平均浪費率】10L幅で各充填量毎に浪費率の平均をだし推移をグラフにすると、少量移送での性能の差がより鮮明に現れた。既製品においては充填量が少なくなるほど移送効率が悪くなり浪費率が大きくなっている。一方、製作品は充填量に関わらず浪費率の小ささを維持している。

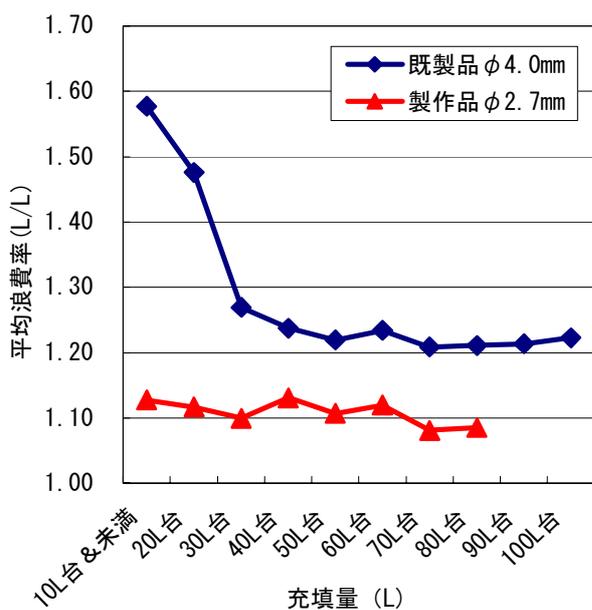


図6. 各充填量毎の平均浪費率

表2には移送性能の具体的数値をまとめた。充填量30L未満に限定した場合、既製品の移送管では浪費率が大きくなると同時に移送速度も低下している事がわかる。

表2. 移送性能

		平均移送速度 (L/分)	平均浪費率 (L/L)
全般	既製品	1.64	1.23
	製作品	1.05	1.11
充填量 30L 未満	既製品	1.05	1.38
	製作品	1.07	1.12

5 利用成果

今回製作した液体ヘリウム移送管は、上記で考察したように少量移送に適している。この特徴を生かし、実験装置への充填に実際に利用され成果を出している。

【NMR（核磁気共鳴装置）への充填】NMRへは液体ヘリウムが枯れることの無いよう定期的に充填する必要がある。充填時は液体ヘリウムの蒸発を伴うため内部の圧力が上昇する。装置の特徴上、圧力の上昇は好ましくなく、充填作業には細心の注意が必要とされている。以前まで液体ヘリウム充填時は圧力の上昇を少しでも軽減するため、排気口を配管から外し蒸発ガスを大気中へ放出していた。ご承知の通りヘリウムガ



図 7. MNR への供給の様子



図 8. 充填時に利用する回収ライン

スは非常に高価であり、この放出分をどうにか回収できないかという事が課題であった。そこで装置付属の移送管から製作品の移送管へ切り換え、更に充填時は配管径の太いバイパスチューブを回収ラインに利用することで、蒸発ガスの回収が実現した。しかし他大学の様子を聞くと装置付属の太い移送管でも回収は行われているようである。ただ装置が不具合を起こすリスクを少しでも回避できるのであるなら、移送時間は多少かかるが安全を優先させたい。

6 まとめ

今回製作した液体ヘリウム移送管の特徴は移送効率がとても良い事である。これは少量移送においてその効果を発揮する。時間は長くかかるが大量移送でももちろん有効である。予算状況が厳しい昨今、少しでも研究経費を節約したい状況においては、液体ヘリウム使用代金を抑制する強い見方となり得ると思う。

今回の製作では旋盤での切削やバーナーによる銀蝋付けなど工作技術が学習できた。また、容器から容器への移送など普段とは異なる（通常は貯槽に備え付けの移送管によって容器へ移送する）作業を行ったことで、実際の利用者が研究室で装置へ汲んでいるのに近い状況を体験できた。

内径を大きくすると移送速度や浪費率がどのようになるのか興味深い所である。今後試してみたい。

参考文献

- [1] 澤 武一 “旋盤加工 基礎のきそ” 日刊工業新聞社
- [2] 池田 博 “技術研究会・低温技術部門報告抄録集 1982-2003”

ガスクロ分析結果のアナログ出力(クロマトパック編)

○鈴木祥仁、川井正徳、近藤良也、槇田康博

高エネルギー加速器研究機構 素粒子原子核研究所

概要

ヘリウム冷凍設備(以下、設備)で使用しているガスクロマトグラフ装置(以下、ガスクロ)の同定分析データ (PPM 値)を設備の制御用計算機に送ることは、制御室における精製モード・冷却モードの切り替え判断や記録データの一元管理等にとって大きい意味がある。昨年度^[1]は、島津 SS 製同定解析ソフト GC-Solution から吐き出されるレポートファイルを LabVIEW で処理することにより 4-20mA 信号に変換することを実現したが、今年度は同ソフトの無いクロマトパック C-R8A のみの環境において行った。これは、島津 SS 製データ転送ソフト クロマトパックサーバーにより転送されてくるデータファイルの中から最新日時のものを選び出し、クロマトパック固有のデータ書式を処理するプログラムを LabVIEW で作ることで可能にした。この方法は他の型番のクロマトパックにも対応できるため島津 SS 製機器を使った多くのケースに応用できる。これにより、本機構内 Belle ヘリウム冷凍設備(超電導スペクトロメーター冷却用)において、クロマトパック C-R8A の分析データを設備制御用計算機(日立 EX-7000)に送り、制御室において集中監視することに成功した。

1 デバイス構成と動作

構成は図 1 の様に、ガスクロ及びクロマトパック、PC、アナログ出力モジュールよりなる。

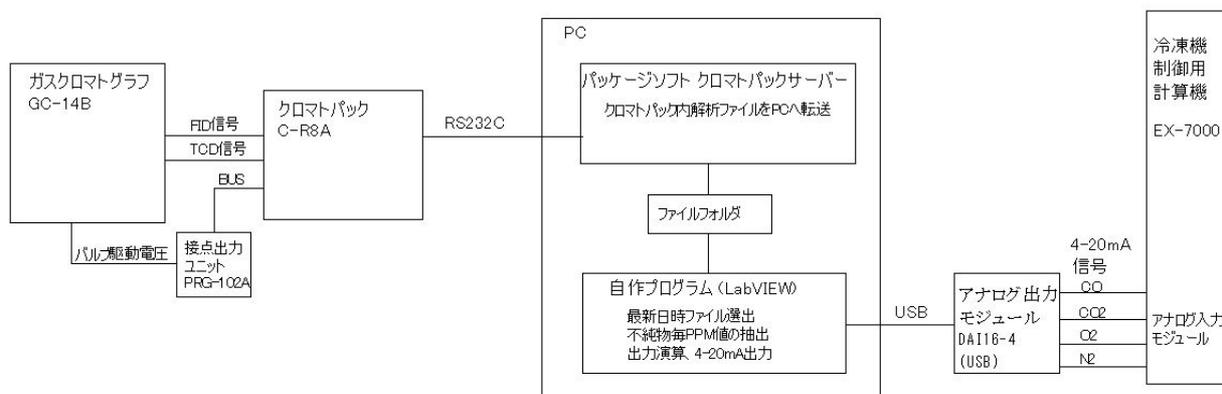


図 1. 機器構成図

クロマトパックでは、ガスクロからのクロマト電圧信号 TCD 側(O₂,N₂), FID 側(CO,CO₂)を解析処理(成分の同定と PPM 値算出)し内部にバイナリーファイルとして保存する。クロマトパックサーバーは、クロマトパック側分析終了毎にデータを RS232C で PC へ転送しアスキーファイル化して保存する。この転送処理は 1 バッチ 1000 回まで可能であり、クロマトパック側の自動分析間隔が 15 分毎の場合約 10.4 日間(1 時間毎の場合 41.7 日間)の連続データ収集が可能である。LabVIEW プログラムでは、PC 内の 2 つのフォルダ(CH.1 O₂/N₂ 用, CH.2 CO/CO₂ 用)内のデータファイル群のタイムスタンプを監視し、それぞれ最新日時のファイルを処理対象にする。そしてデータ内で成分名の検索と測定日時、PPM 値等の抽出を行い、出力演算を行なって USB アナログ出力モジュール(コンテック DAI16-4)から 4-20mA 信号 4 系統の出力を連続的に行うと共に、数値表示、グラフ描画、ログファイルセーブ等を行う。処理ループの間隔はクロマトパック側分析間隔に応じ可変)。

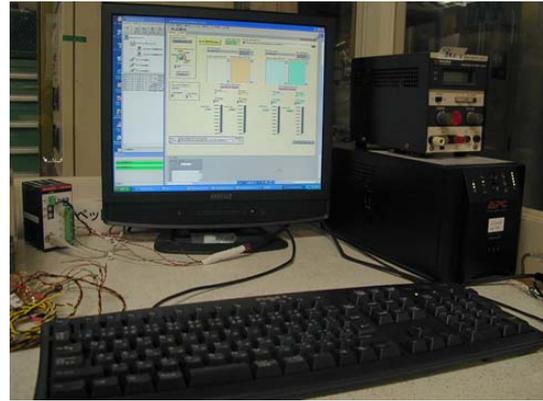


図 2. ガスクロ GC-14B とクロマトパック C-R8A(右端) 図 3. PC(LCD)と USB アナログ出力ユニット(左端)

2 プログラム内容

クロマトパックから図 4.の様なデータファイルが分析終了ごとに2つ転送されてくる。クロマトパック側

```

<INDEX>
"SAMPLE_NAME", ""
"SAMPLE_ID", ""
"OPERATOR", ""
"SPLAM", 100
"IS_AM", 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0
"DFACT", 1
"TYPE", "Unknown"
"DETECTOR", "Other"
"ATTEN", 0
"CH", "Ch1"
"MAXPK", 1
"MAXSL", 0
"MAXID", 2
"CHROM.FILE", "@CHRM1.C01"
"BACK.CHROM.FILE", ""
"METHOD.FILE", "@FIL10.FIL"
"DATE", "07/06/30"
"TIME", "21:39:06"
"RATE", 0
"VIAL.No", -1
"COMMENT", ""

<PEAK INFORMATION>
"PKNO", "R.TIME", "AREA", "HEIGHT", "I.TIME", "I.HEIGHT", "F.TIME", "F.HEIGHT", "MS", "IDNO", "CONC", "NAME",
1, 3.758333, 15415.5, 838.4, 3.433333, -482.5, 4.133333, -469.2, "", 2, 14.41415, "N2"
  
```

での解析条件ファイル名や分析開始日時等に続き、各ピークの情報として、反応時間や面積、PPM 値、成分名等が入っている。データ書式はクロマトパックサーバーの設定で区切り文字種等の変更ができるが、文字列検索処理しやすい様に「”と、」の組合せにした。これらのファイルを自作プログラムにより連続的に処理してアナログ出力を行う。

図 4. データファイル内容(CH.1, N2 のみ検出時)

2.1 フロントパネル

下図フロントパネル メインタブでは、選出した最新のデータファイル名とタイムスタンプ、ピーク関係データ文字列、分析開始日時、PPM 値、4-20mA 変換値等の表示と、PPM 値レンジ、ループ処理周期(データフォルダを見に行く)、ログファイルパス等の設定を行い、グラフタブでは同様の数値とグラフの表示を行う。

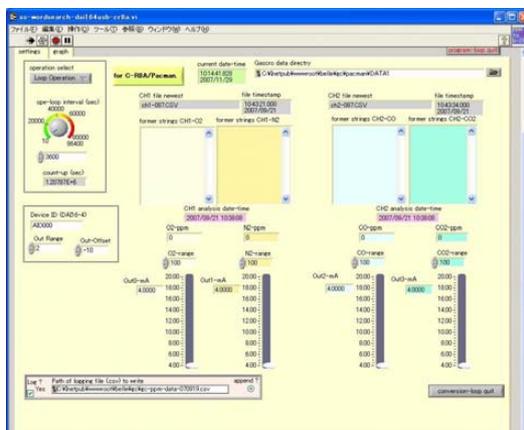


図 5.フロントパネル(メインタブ)

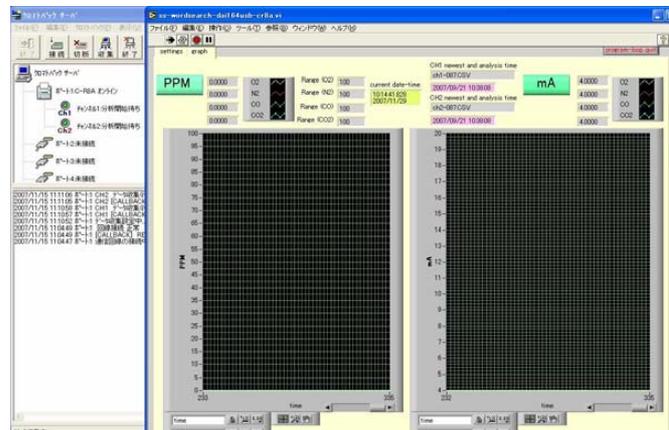


図 6.フロントパネル(グラフタブ及びクロマトパックサーバー)

2.2 ブロックダイアグラム

図 7. がプログラムのソースであるブロックダイアグラムのメイン部分である。O2/N2 用、CO/CO2 用 2つのフォルダ毎処理をケース文で分け、それぞれ最新のファイルを選び出すルーチンとそのファイル内から成分名ごとの PPM 値や日時データを抽出するサブルーチンを通して

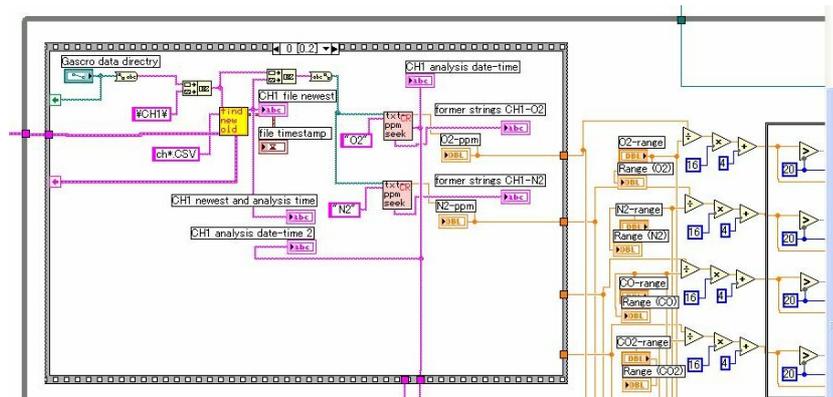


図 7. ブロックダイアグラム(メイン部)

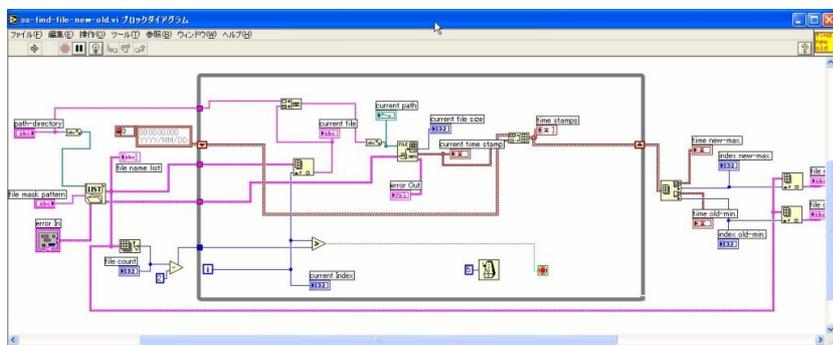


図 8. 最新データファイル特定用ルーチン

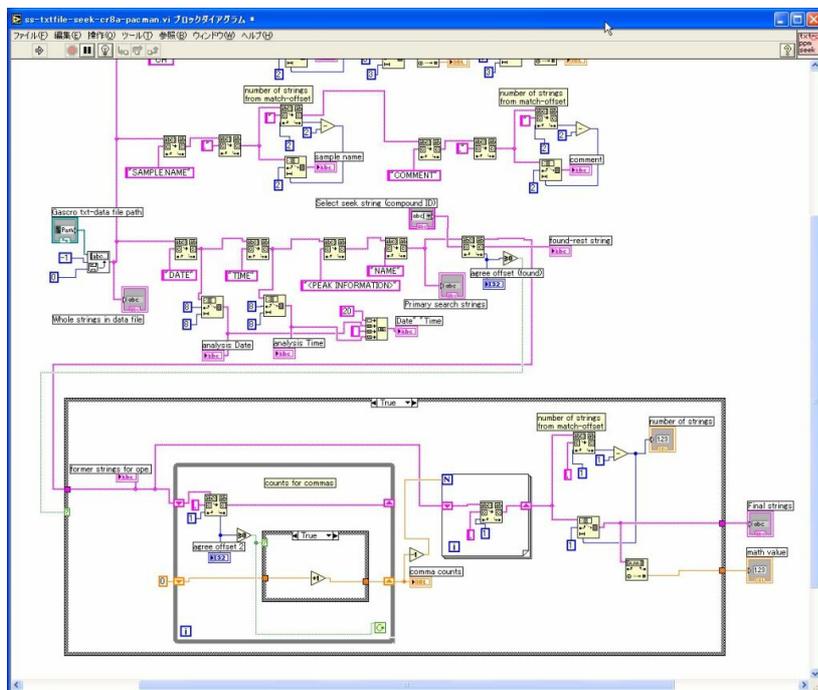


図 9. 成分名ごと PPM 値等抽出ルーチン

分名ごとの PPM 値や日時データを抽出するサブルーチンを通して。右端では設定した PPM レンジに応じて 4-20mA 値に変換している。

図 8. は最新日時時のファイルを特定するルーチンである。フォルダ内の対象ファイルのタイムスタンプデータの配列を作り、最大値(最新日時)、最小値(最古日時)を求めそれぞれファイル名を選び出す。図 9. は成分名ごと

と PPM 値を抽出するルーチンであるが、クロマトパック C-R8A のデータ書式は昨年度作った GC-Solution での書式と違い、成分名部の前に PPM 値データがあるため、文字列検索後に逆戻り処理が必要となる。ピークの数や順番も、O2(や CO)のみの場合、N2(や CO2)のみの場合、O2/N2(や CO/CO2)と順番の場合、その間に成分名不明の非同定ピークも入る場合等、目的成分名までのカンマの数が不定でまちまちであるため、次の様な処理を行うことで対応した。まずデータの中で、ピークデータ行直前の”NAME”を検索し、次に各成分名文字列を見つける。そしてそれ以前の一致前文字列を取出し、”NAME”以降成分名前までのカンマの数を数える。そしてカンマ数分だけ処理ループを回して、PPM 値の直前まで対象文字列を絞り込んでいき、次のカンマ(PPM 値をまたぐ)までの文字数を求めることで、PPM 値のデータ幅が変動しても正確に全文字列を抽出できる様にした。

3 制御用計算機への接続とデータ取得

EX7000 側アナログ入力カードは 4-20mA 駆動電源が無いものだったため、DC24V 外部電源を使う代わりに図 10.の様にシグナルコンディショナー(M-SYSTEM KDY-A-B)を挿入することで対応した。また、図 11.の様に EX7000 で計器割付けを行い、ガスクロ分析データの制御室での取得が可能となった。本機構 Belle He



図 10. シグナルコンディショナーボックス

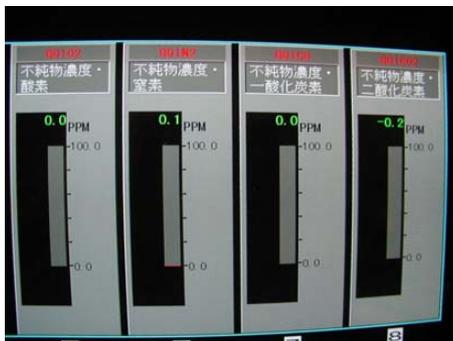


図 11. EX7000 計器表示画面

冷凍設備の加温運転時に PC で収集した分析データの CSV ログファイルが図 12.、それをグラフ化したものが図 13.である。加温時のヘリウム中 N2 成分の時系列変化がとらえられた。

図 12. PC での CSV ログファイル

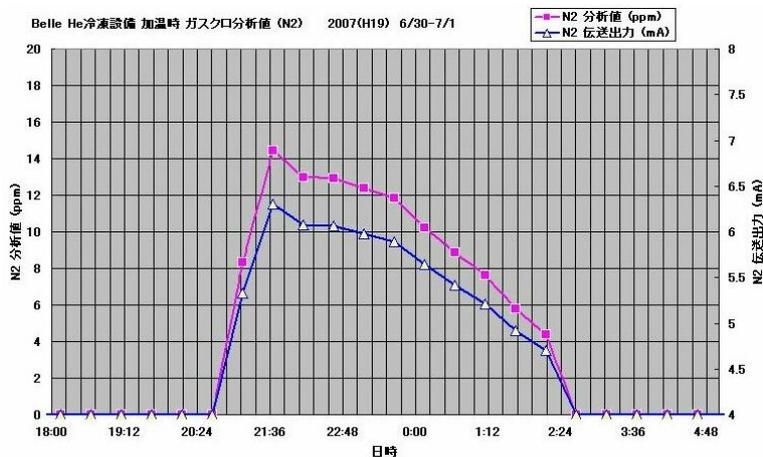


図 13. 加温時ヘリウム中 N2 成分(及び 4-20mA 伝送出力)

4 考察とまとめ

設備の制御用計算機側でガスクロ(クロマトパック)の分析結果データを取得できるようになったことは意義深い。今年度は東海村における J-PARC ニュートリノ超電導ビームライン(JNU)冷却用ヘリウム冷凍設備で、昨年度に作った GC-Solution 書式対応型のプログラムを用いて制御用計算機(太陽日酸 MPICS ベース)に分析データを伝送する予定である。本プログラムは LabVIEW 内蔵の http サーバー機能を用いてフロントパネルの LAN 及びインターネットからの遠隔監視(ブラウザ使用)を行っており、LabVIEW フル開発版に変えれば遠隔操作も可能となる。また Windows の IIS による ftp サービスで、クロマトパックからの転送ファイルや処理後の CSV ログファイルのダウンロードも行っている(書込みとバッティングしない様、タスク設定で一定時間毎にバッチを動かしてバックアップファイルを作りそれを対象にしている)。これらネットワーク機能は便利ではあるが、Windows は頻りに攻撃を受ける(LAN 内でさえも)対象であるため、重要な更新の自動適用が本来必要だが、更新時に自動再起動の場合があるため、現状は手動更新にしている。今後も、システムの使い勝手の向上、プログラムの改良と利便性・セキュリティとの兼ね合いの検討などを行っていく予定である。

参考文献

[1] "ガスクロ分析結果のアナログ出力" ©鈴木祥仁、榎田康博

平成 18 年度名古屋大学総合技術研究会, Mar. 2007(H19), 極低温技術 4o0080

東京大学物性研究所低温液化室ヘリウム液化システム概要 3

○阿部 美玲^{A),B)}、鷺山 玲子^{A)}、土屋 光^{A)}

^{A)} 東京大学 物性研究所 低温液化室

^{B)} 東京大学 低温センター

概要

2006年8月に起こったヘリウム液化機トラブルの修理期間に液体ヘリウムを確保するため、東京大学低温センター(以下、低温センター)で使用していた液化機を東京大学物性研究所(以下、物性研)へ移設し、液化機2台を持つヘリウム液化システムを構築した。今回の発表では、物性研ヘリウム液化システムの変更点について報告する。

1 背景

1.1 液化機トラブル

2006年8月より、ヘリウム液化機の液化率が突然低下するトラブルに見舞われた^[1]。当時週6,000L以上の供給申込があり、原因究明と並行して周辺機関からの液借用などさまざまな対策をとって液体ヘリウム確保を図ったが、液化機の修理に数カ月以上かかることが判明したことや時期を同じくしてヘリウムの輸入量が大幅に減少したことなどもあり、より抜本的な対策を迫られた。

一方、2006年度に東大低温センターでヘリウム液化機更新が決定した。試算したところ、修理期間に液購入や借用を続けるよりも、それまで低温センターで使用していた液化機を物性研へ移設する方が、修理期間に安定した供給を続けられる上、コスト面で有利であることがわかった。そこで、この旧液化機を活用して2台の液化機を有するヘリウム液化システムを構築し、液体ヘリウムの安定確保を図ることにした。

2 新システムについて

2.1 新システムの概要

液化機本体は低温センターの更新工程に合わせて2007年2月に移設した。以後、物性研の既設液化機を1号機、低温センターから移設した液化機を2号機と記す。

新液化システムのフロー図を示す。設置場所の制約があったため、液化機本体のみを移設し、周辺設備は1号機と2号機で共用することにした。このため、以下の変更を行った。なお、前述のとおり周辺機器を共用しているため、2台同時には稼働できない。

- HP・LP・MP・LN2の既設配管を分岐し、バルブを増設した。
- 液化機から貯槽への移送管挿入ポートが1つしかなく、移送管差し替えの労力を省くため、貯槽と各液化機の間にはディストリビュータ(分配器)を設置した(図2)。

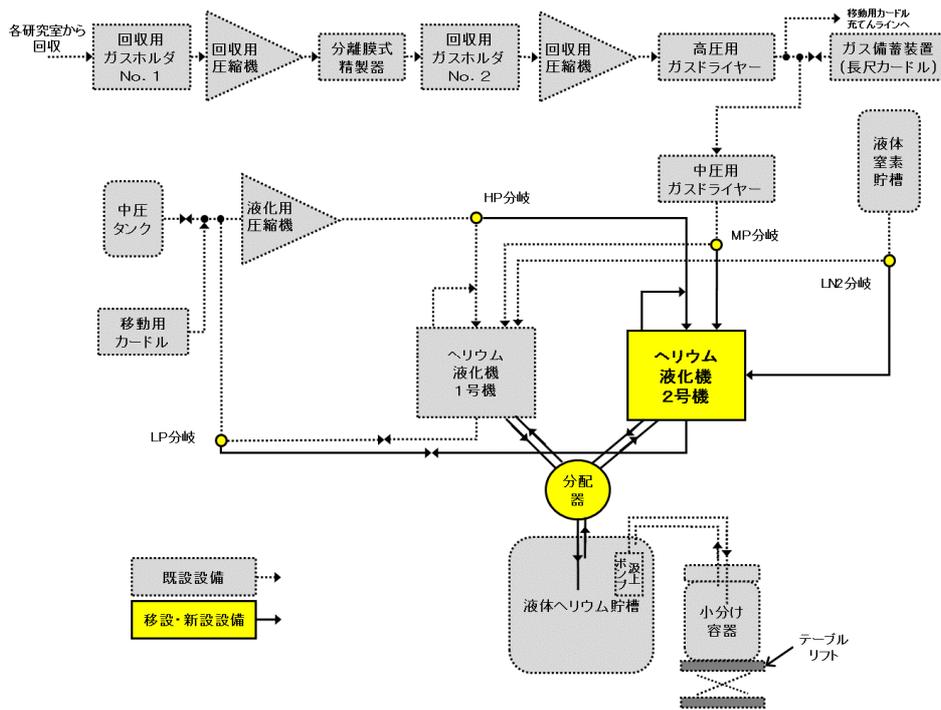


図1：新液化システム フロー(図)



図2：液化機、貯槽及びディストリビュータ

表1：液化機の仕様と圧縮機の設定

		1号機	2号機	
型番		Linde TCF-50		
導入年度		1998	1992	
液化率(純ガス)		200L/h	150L/h	
液化率(不純ガス)		180L/h	125L/h	
圧縮機	吸入圧	0.005MPa	0.065MPa	
	吐出圧	1.60MPa	1.55MPa	
	スライド弁閉度	低段	100%	60%
		高段	100%	100%

2.2 試運転

移設作業は2007年6月に完了した。液化用圧縮機は1号機用に設計されているため、2号機で使用すると圧縮機が過負荷となるので、風量調整および各スライド弁開度調整を中心に調整運転を行った。その結果、仕様通りの液化率を達成した。表1に1号機と2号機的主要仕様及び運転条件の違いを示す。

3 現在までの運転状況

3.1 2号機でのトラブル

稼働中に発生したトラブルを2点挙げる。

- タービン T1 交換
 - T1の動きが不安定で、回転数超過によりトリップする現象が頻発し、2007年8月下旬に完全

に回転しなくなった。T1 を開放し内部を確認したところ、削れたように破損しておりこれを原因と断定した(図 3)。T1 をスペアと交換したところ、この現象は解消した。その後、オーバーホールに出して 2 号機に再装着したところ正常に回転している。



図 3 : 2 号機 T1(低温側)損傷

- ディストリビューター貯槽間での気柱振動
 - 2 号機稼働当初、液化機-ディストリビューター間での気柱振動を予想していたがこちらはほとんど起こらず、ディストリビューターと貯槽との間で発生した。この三重管式移送管は今回の移設に伴い新たに作成したもので、振動の原因は新旧の構造の違いにあると推定している。

3.2 2 号機運転実績

移設にかかった期間の生産量・供給量のトレンドを図 4 にまとめた。修理期間中(2007 年 7 月～9 月)の供給量合計が約 58,600L だった一方、生産量は約 81,700L であった。利用者の要望にほぼ応えることができた点で、今回の移設は成功だったと考えている。

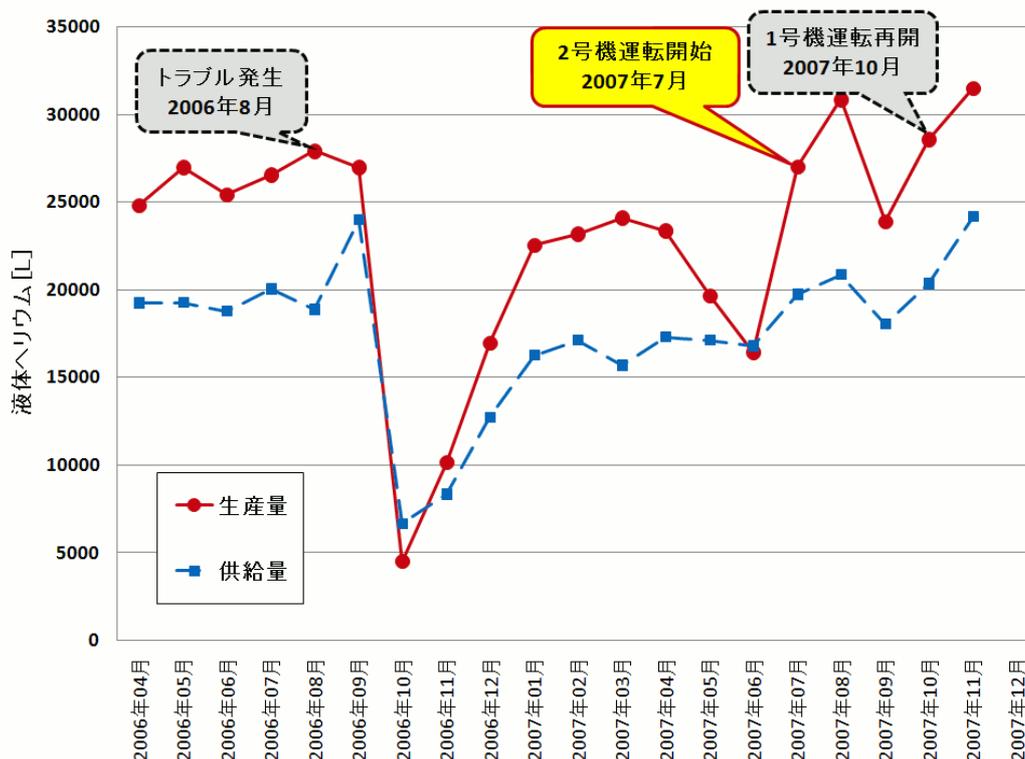


図 4 : 生産量と供給量の推移(2007 年 12 月現在)

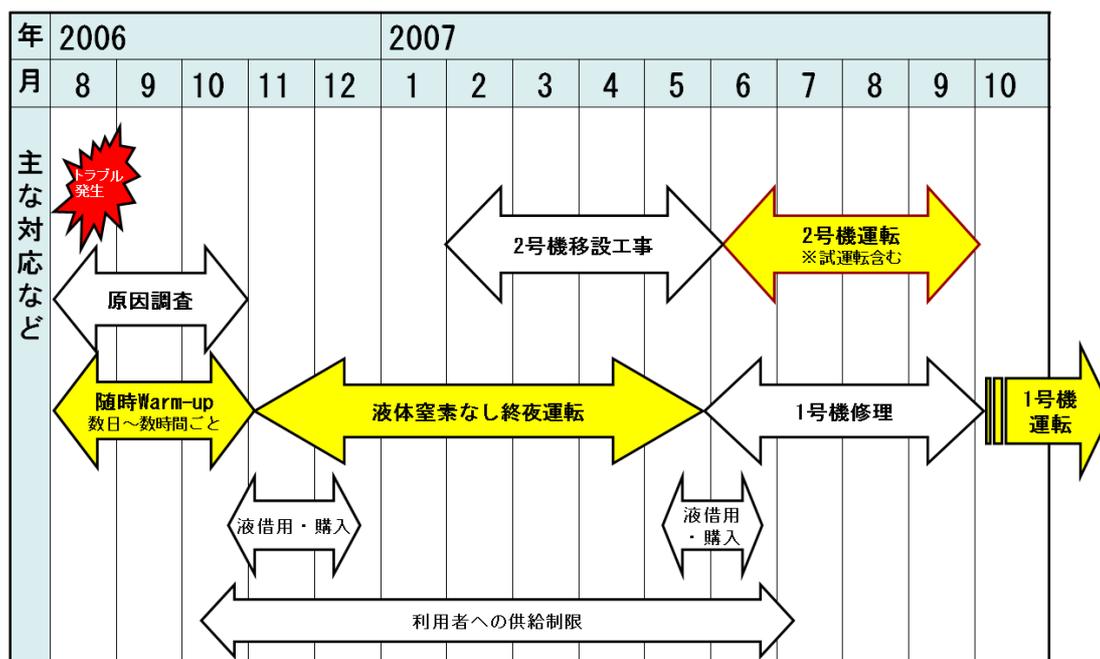


図5：トラブル発生～現在までの経過

4 まとめ

今回、低温センターで更新に伴い不要となるはずだった液化機(2号機)を物性研へ移設し、液化機2台を有するヘリウム液化システムを構築した。その結果、1号機トラブルに伴う供給停止期間を最短にできた上、修理期間中のほぼすべての供給申込に対応できた。

1号機修理は2007年10月に完了した。2008年1月現在、液化率の高い1号機をメインに液化運転を行っている。修理完了後にも、ウォームアップなど停止を伴う作業が何度か発生したが、液化用圧縮機を運転できる状況であれば2号機で液化できるので、キャンパス内への供給停止期間を最小限にとどめることができるようになった。これは2台構成の強みのひとつであると実感している。

さらに、ディストリビュータを設置したことで、少人数でも安全に、かつ迅速に1号機と2号機を切り替えられるので、使いやすいシステムを構築できたと考えている。

なお、今回の移設は1号機修理期間を乗り切るための暫定的な措置であり、今後一層の液体ヘリウム需要増加に対処するためには液化機更新が必要不可欠である。将来の設備更新時には2台構成のメリットを生かして修理・工事等による利用者への影響を最小限にとどめたいと考えている。

5 謝辞

今回の新液化システム構築は、機器提供を承諾した低温センターのみならず、移設に携わった小池酸素工業(株)をはじめ関係スタッフのご協力があって実現できたものです。この場を借りて各位へ謝意を表します。ありがとうございました。

参考文献

- [1] 土屋 光, et al, “ヘリウム液化機のトラブルとその対処”, 2007年度秋季低温工学・超電導学会, 平成19年11月, p282

LHD 低温システムの現状

○森内貞智、大場恒揮、関口温朗、前川龍司、三戸利行

自然科学研究機構 核融合科学研究所

概要

大型ヘリカルコイル装置 (LHD) は、ヘリカルコイル、ポロイダルコイル、超伝導バスライン等で構成される大型超伝導システムを冷凍能力 $9\text{kW}@4.5\text{K}$ のヘリウム液化冷凍機で冷却する世界最大級の核融合プラズマ実験装置である。LHD 低温システムは過去 9 年間で 10 回の長期連続運転を達成し、プラズマ実験に支障をきたすような大きなトラブルも無く、安定な運転を継続してきた。LHD 低温システムの運転実績や現在の運転状況等について報告する。

1 LHD 低温システムの構成

LHD 低温システムの概略フローを図 1 に示す。LHD 低温システムは、寒冷を発生・回収するヘリウム液化冷凍装置、被冷却体である超伝導ヘリカルコイル、超伝導ポロイダルコイル、電磁力支持構造物、80K 輻射シールド、超伝導バスライン及び電流リード、各熱負荷体への寒冷配分を制御するバルブボックス等で構成される。ヘリカルコイルは液体ヘリウムの浸漬冷却、ポロイダルコイルは超臨界圧ヘリウムの強制冷却、電磁力支持構造物と超伝導バスラインは液体ヘリウムの 2 層流強制冷却によって冷却される。これらの冷媒に加え 80K 輻射シールドへの冷却ヘリウムガスも同時に 1 台のヘリウム液化冷凍装置から供給及び回収される。このように、LHD 低温システムはヘリウム液化冷凍装置と被冷却体が密接に結びついた一筆書きのフローとなっており、各装置間の連携をとった統合した操作が必要な複雑なシステムとなっている。

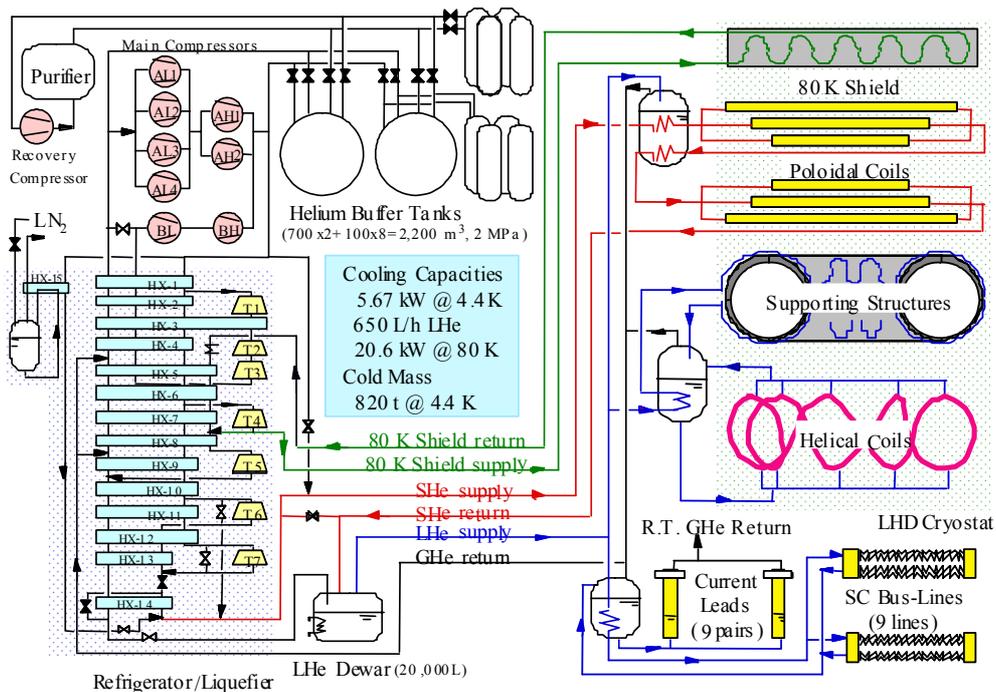


図 1. LHD 低温システム概略フロー

2 LHD 低温システムの運転実績

2.1 運転経過

ヘリウム液化冷凍機単体試運転を経て、1998年2月にLHD低温システムとして第1サイクルの本格運転を開始し、2007年3月に第10サイクルの運転を完了した。図2,3にLHD低温システムの第10サイクル予冷・加温運転の温度推移を、図4に9年間の運転時間履歴とその1例として第10サイクルでの運転経過を示す。LHD低温システムは年に1回の運転が行われる。まず、冷却運転前に外部精製器を使用してシステム系内のヘリウムガス中の不純物濃度が1ppm程度以下となるまで精製運転を行ったのち、超伝導コイル等の熱ひずみを低減させるため各部の温度差を50度未満に制御する予冷プログラムにより寒冷流量配分を行いつつ約1ヶ月かけて冷却及び加温運転を行う。これまでほぼ要求されたLHD実験スケジュール通りに運転してきた。精製・予冷・定常・加温の各運転工程を含め各運転サイクルで5,000時間以上の長期連続運転を達成し、超伝導コイル等を超伝導状態に保った定常運転では4,000時間におよび安定なプラズマ実験環境を提供してきた。第1サイクル運転開始から第10サイクル運転完了までのLHD低温システムの積算運転時間は46,825時間に達し、年間のおよそ2/3となる高い稼働率を実現している。

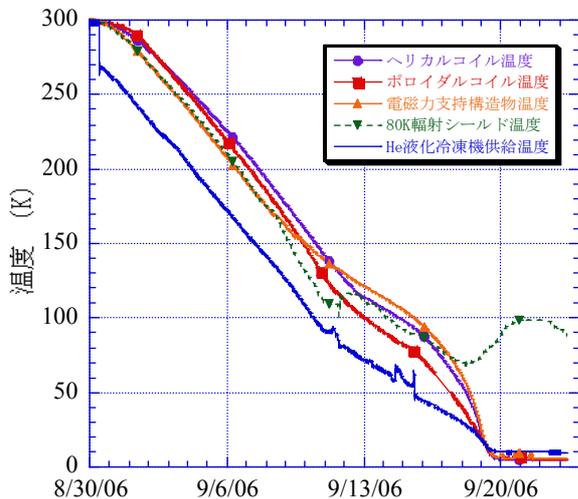


図2. 予冷曲線

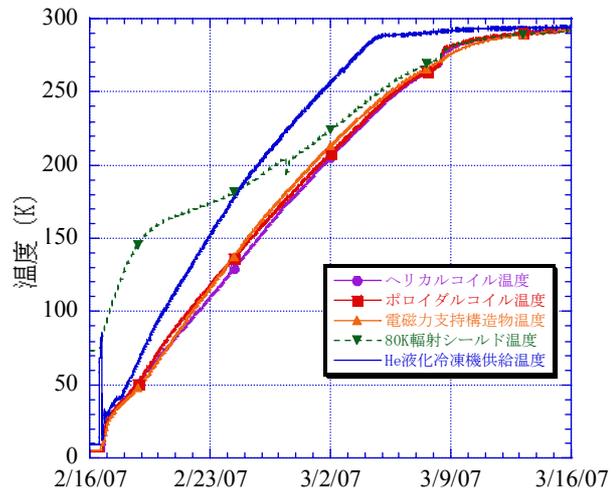


図3. 加温曲線

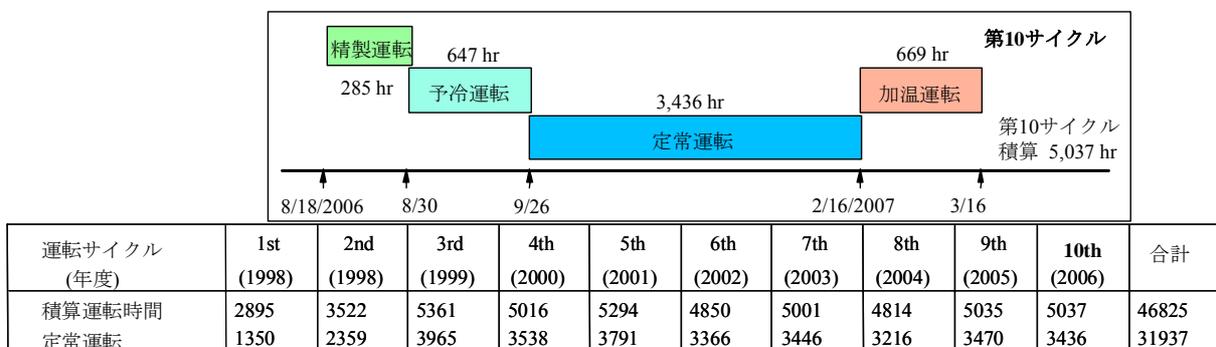


図4. LHD 低温システム運転経過

2.2 故障履歴

LHD 低温システムの第 1 サイクル運転開始から第 10 サイクル運転終了までの主な故障履歴をまとめた。図 5 にその運転サイクルごとの故障件数と要因について示す。9 年間の運転で合計故障件数が 169 件、積算運転時間が 10,000 時間を超え且つ連続運転時間ももっとも長かった第 3 サイクルで故障件数が 29 件と最も多くなったが、故障経験からの点検方法見直しや故障箇所の改善・対策の結果、これ以降の故障件数は減少傾向にある。また要因別では初期故障に相当する事象は減少し、経年劣化と考えられる圧縮機等の回転機器や計測機器に関する事象がその割合を占めてきている。機器故障以外では、不純物によるフィルターの閉塞、及び停電等による圧縮機の停止が主なトラブルとなっているが、これらについては対策を施した第 6 サイクル以降では 1 件も発生していない。

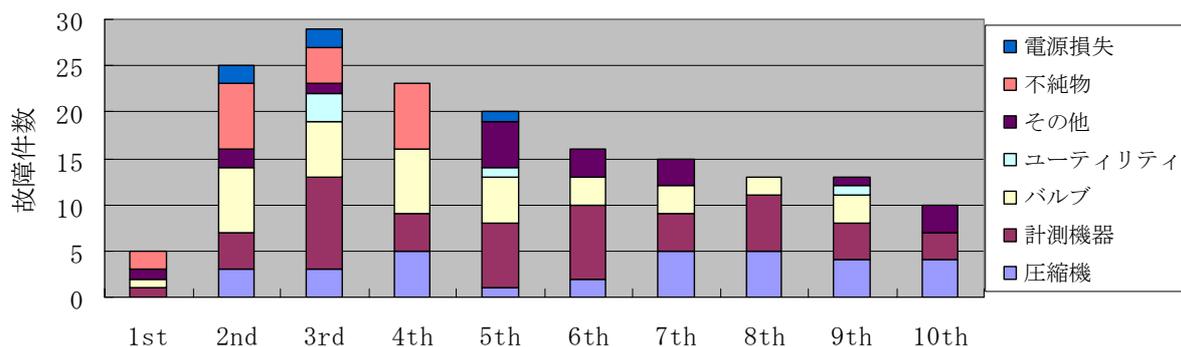


図 5. LHD 低温システム故障件数

2.3 稼働率

表 1 に各運転サイクルで LHD 低温システムが停止するに至ったトラブルの件数とその停止時間及び稼働率を示す。9 年間の運転でシステム停止に至るトラブルが合計 18 件発生し、そのうち制御系の不具合が 9 件、不可抗力である落雷等の瞬時停電が 5 件と冷却水に関する不具合が 2 件、操作ミスが 1 件となっている。いずれも非常用自動制御プログラムや故障箇所の修理等により短時間での運転復帰が可能となり、第 10 サイクルでは 100% を達成し、全体でも 99.3% と高い稼働率を達成した。

表 1. LHD 低温システム稼働率

サイクル	件数	停止時間	稼働率
1st	4 (0)	138 hr	95.4 %
2nd	2 (2)	5.3 hr	99.9 %
3rd	5 (2)	13.8 hr	99.7 %
4th	1 (0)	38.2 hr	99.2 %
5th	1 (1)	3.5 hr	99.9 %
6th	1 (0)	0.1 hr	99.9 %
7th	2 (0)	64.5 hr	98.7 %
8th	1 (0)	54.1 hr	98.9 %
9th	1 (0)	2.3 hr	99.9 %
10th	0 (0)	0 hr	100 %
合計	18 (5)	319.8 hr	99.3 %

() は停電による件数

2.4 改造履歴

LHD 低温システムは、冷却及び加温運転にそれぞれ約 1 ヶ月を要するので 1 年に 1 回のみ運転が行われるため、長期連続運転の高信頼性が必要である。システムの信頼性を向上させるため、9 年間で運転停止期間中に様々な改良や対策を行ってきた。特にシステムの長時間停止やヘリウムガス損失に至ることが懸念される不純物及び停電の対策及び制御系の強化が主な点である。

不純物対策として、閉塞頻度の最も多かった第 1 タービン入口フィルターについて、ろ過面積の拡大を施すとともに、冷却運転前にヘリウムガス中の不純物濃度を 1ppm 程度以下まで精製するような運用とした。さらに、大流量の長時間運転による循環圧縮機用油分離器ユニットからの潤滑油流出量を低減させるため油分離器の追加を行った。

停電及び故障等による循環圧縮機異常停止時の蒸発ヘリウムガス回収のための回収圧縮機と回収配管の増設、及びヘリウムガスインベントリ拡大のためのヘリウムガスタンク増設を行った。

また、停電対策として、自動停電シーケンスプログラムの確立とハードワイヤーの2重化を行い、被害を縮小し短時間での復旧を可能とした。さらには、常用発電機増強により循環圧縮機の動力電源系統を含めた重要機器の常用電源化を図った。

3 LHD 低温システムの現状

3.1 過冷却システム改造

LHDの磁場強度を拡大する目的で、ヘリカルコイルの冷却安定性を向上させるために、ヘリカルコイルに供給する冷媒温度を下げる改造が行われた。図6にLHD低温システムの1つであるヘリカルコイルシステムの冷却フローを示し、赤字又は破線部が改造部である過冷却ヘリウム供給システムを示す。飽和温度の液体ヘリウムを流量分配するヘリカルバルブボックスに、低温排気圧縮機及び減圧槽熱交換器を有するクライオスタットを追加することで、ヘリカルコイルを約3.5Kまで低下させる。2台の低温排気圧縮機により減圧された減圧槽内に過冷却ヘリウムを発生させ、供給側の液体ヘリウムと熱交換された過冷却ヘリウムがヘリカルコイルに供給される。また、新設したヘリカルコイル出口ヒータによりヘリカルコイル液位が制御される。

第10サイクルからこの過冷却システムを追加した運転を開始した。ヘリカルコイル入出口温度約3.2K、3.8Kで過冷却ヘリウム供給流量約50g/sを達成することができた。LHD低温システムとしては約2kWの熱負荷増加となったが、ヘリウム液化冷凍機を持つ冷凍能力の余力により運転が可能となった。現在、過冷却システムの運転制御及びシステム全体のバランスのとれた安定な運転方法の確立をめざしている。

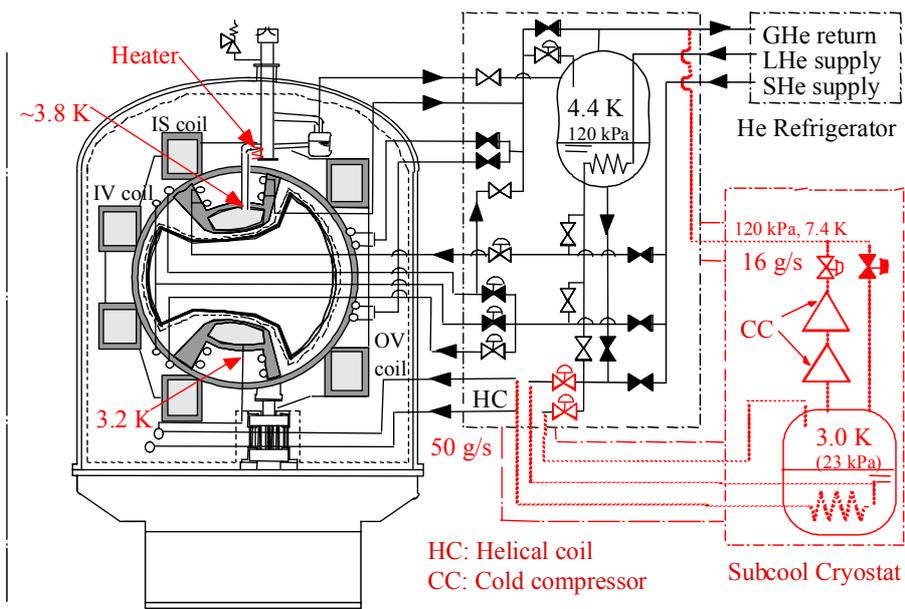


図6. ヘリカルコイル冷却システムフロー

4 まとめ

LHD低温システムは9年間で10回の長期連続運転を行い、適切な点検及び改良・改善を行ってきた結果、稼働率99.3%、積算運転時間46,000時間超を達成し、また新たな装置の追加改造にも対応しつつ、その要求された日程に従い安定なプラズマ実験環境を提供してきた。LHD低温システムとして10年を経過している現在、経年劣化と考えられる様々な不具合等に対し信頼性を向上させるための対策や高効率・省電力化についての検討も進めている。

第2分科会

(装置技術)

光赤外干渉計における室内環境対策

岩下光

自然科学研究機構 国立天文台 光赤外研究部 MIRA推進室

概要

光赤外干渉計は、複数の望遠鏡を組み合わせることで高い空間分解能を達成する次世代の技術です。MIRA 推進室では三鷹で、2台のサイデロスタットを30m離して設置したマイケルソン型の光干渉計を使っており、1000分の4秒角という高い空間分解能で観測が出来ます。この干渉計を使い、色々な恒星の直径の観測や、連星の軌道の精密決定などを行ってゆく予定です。

この、光赤外干渉計の光学部品類を、恒温、低い湿度、無塵の環境に置くために、実験室（赤外実験室と呼ぶ）の環境整備を行ってきました。どのような対策を行い、効果はどれくらいのものか、温湿度と防塵を中心に報告します。

MIRA推進室Web <http://tamago.mtk.nao.ac.jp/mira/index.html>

1 干渉計の原理

- ・干渉：波長の山+山、谷+谷が重ね合さるところは、振幅が大きくなり、山+谷が重ね合わさるところは振幅が小さくなる。→干渉縞が出来る。(図1.)
- ・干渉計：干渉の性質を利用したもの。2箇所と同時に、波長を捕らえ、干渉させることにより、その2箇所の距離（基線長）と同じ口径の望遠鏡と同じ分解能を得る。
- ・マイケルソン干渉計：マイケルソンとピースにより天体干渉計として考案される。1921年にウィルソン山の2.5m望遠鏡に取り付けて、ベテルギウスをはじめいくつかの恒星の視直径の測定が行われた。この時、星の視直径を1000分の1秒の精度で求めた。世界にある光赤外干渉計は、この型が主流。

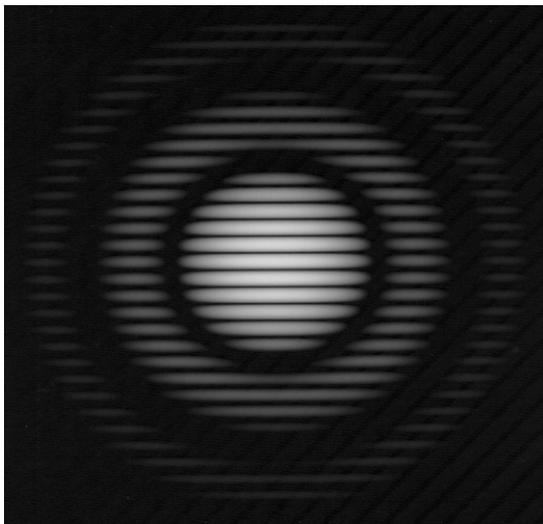


図1. 干渉縞



図2. MIRA-1.2 30m基線干渉計

2 赤外実験室内環境対策（室内面積130.2m²）と結果

①～⑥：空気清浄度測定場所。高さ0.8mで測定

室内温度測定場所：■ B：高さ0.46mと0.15m D：高さ1.79mと0.77m

室内温湿度測定場所：● C：高さ0.77m E：高さ0.7m

室外温湿度測定場所： A：煙突穴の中（高さ2.4m）

V：大型エアコン

I～IV：防振支持付小型エアコン

除湿機：除 空気清浄機：清

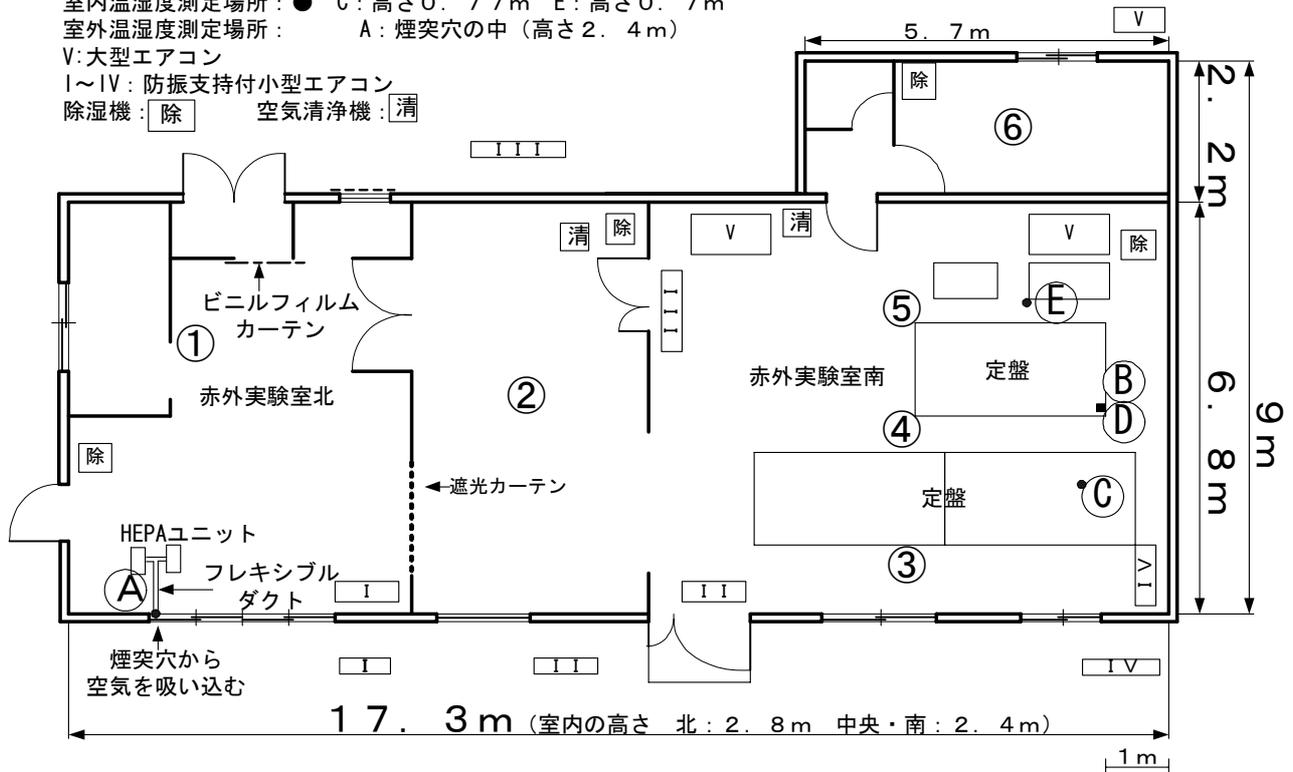


図3. 赤外実験室見取り図

2.1 温湿度

目標：干渉縞を作る際に、光軸を安定させる。光学部品類の品質を長く保つ

- ・温度を1年通して、室温をある程度に保ち、変動を少なくする
- ・湿度を1年通して、低湿度にする

(1) 温度コントロール：防振支持付小型エアコン4台を設置

設定温度：温度と風向を、季節ごとに設定。風速は年中、最小

夏：冷房26℃風向一番上 冬：暖房20℃風向一番下

春と秋は室外の最高気温を見ながら、適度な冷暖房と温度・風向に設定

(2) 除湿：除湿機4台設置（春、夏、秋に使用） 能力：12.0L/日 設定湿度：50%

(3) 加湿：加湿器1台設置（春、秋、冬に使用） 適用面積：プレハブ64m² 設定湿度：40%

(4) 外からの熱遮断：

- ・窓：ダンボールにAL（厚さ0.03mm）を貼り室内側に取り付け（図6参照）
- ・屋根、外壁、土台：断熱ペンキ塗装（太陽熱遮断塗材、名称：屋根クール）

結果

室温：年間を通して、1日の温度変化が、1℃程度に抑えられた

湿度：年間を通じて、30～50%に保つ

→赤外実験室内での光軸のズレが、非常に少なくなり、調整がしやすくなった。

光学部品類の劣化防止に貢献。

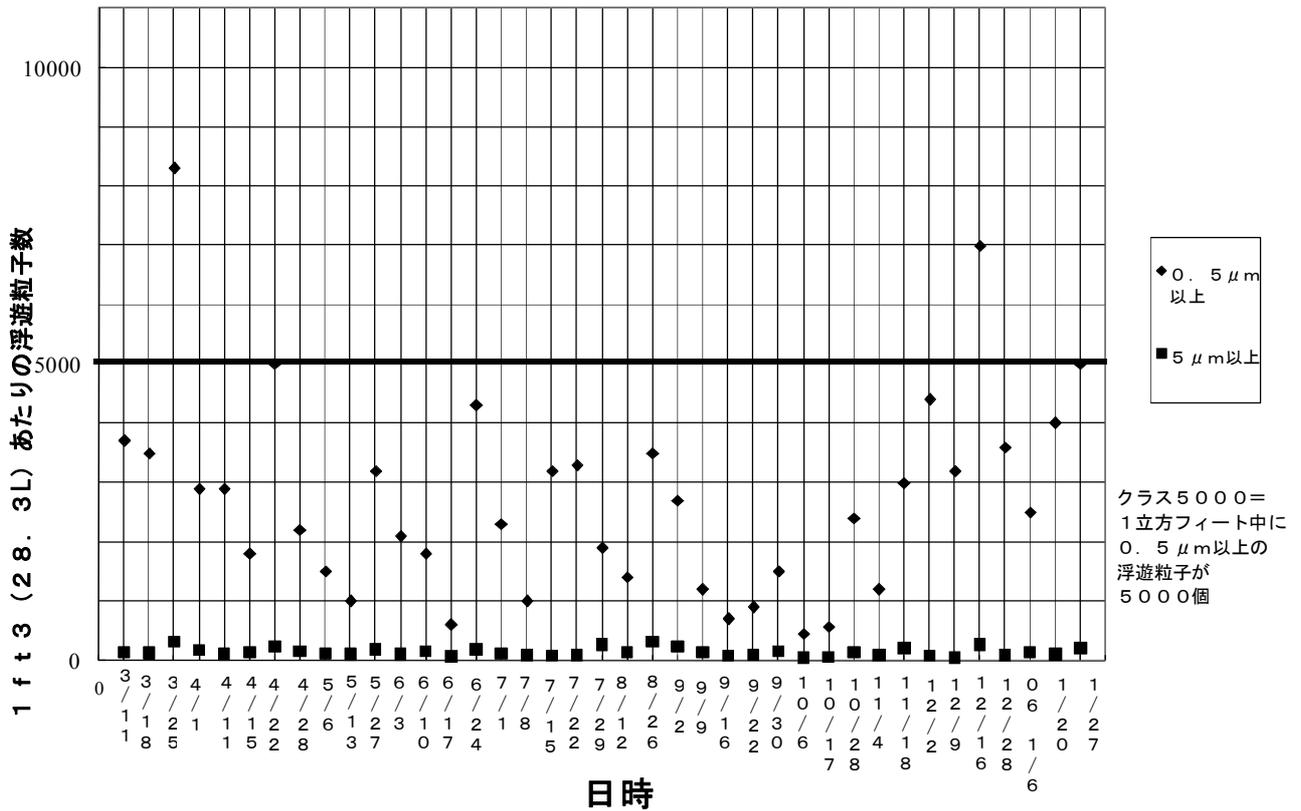


図5. 05年3月—06年1月までの空気清浄度測定結果 (②で測定)

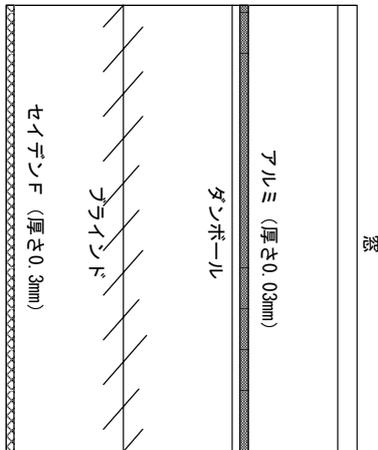


図6. 窓の断熱方法概略図

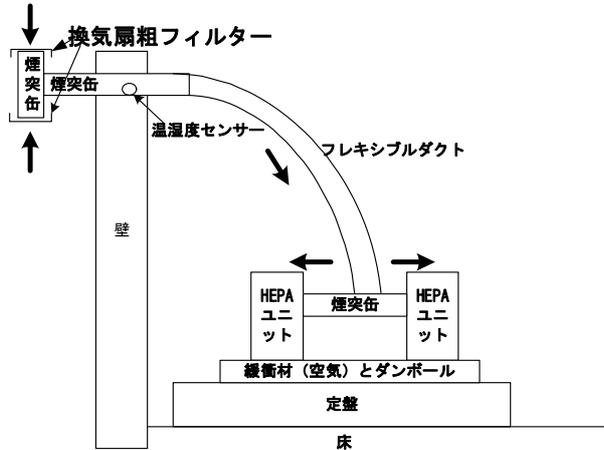


図7. HEPAユニット設置概略図

3 考察

赤外実験室は三鷹に置いて、古い建物（昭和40年代頃建築された模様）であるので、最初の頃は、温湿度の一定化や防塵については、大規模な改修工事が必要と考えていました。

しかし、外壁塗装、HEPAユニットの取り付け、目貼り、小型エアコンの複数台の設置等の小規模な改修により、室内環境を予想以上に改善することが出来ました。

古い建物でも、それほど経費をつぎ込まなくても、手間を掛ければ良い環境が得られると言えます。

薄片曲げ疲労試験機の開発

○津志田雅之^{A)}、鹿田慧^{B)}、北原弘基^{C)}、安藤新二^{C)}、頓田英機^{C)}

A) 熊本大学 工学部 技術部

B) 熊本大学 自然科学研究科 MI

C) 熊本大学 自然科学研究科

1 緒言

機械や構造物の破壊事故の原因は疲労破壊によるものが最も大きな割合を占めている。この疲労破壊は、材料に繰返し応力を負荷することにより降伏応力以下であってもき裂が発生し、破壊にいたる現象である。疲労破壊を調査することは、疲労寿命を予測し機械や構造物の破壊防止、また材料の疲労破壊強度の改善のために重要である。

今回、従来の疲労試験法では試験形状が確保できない材料の疲労破壊特性の調査を目的とし、新たに0.3mmの薄さの短冊状の試験片を用いた薄片曲げ疲労試験機を開発した。また、この試験機を高温環境での疲労破壊挙動が調査できるように改良した。この試験法によりMg合金における室温、および高温での疲労破壊挙動を調査した結果を報告する。

2 疲労試験方法

2.1 試験片形状

Fig.1 に作製した試験片の形状を示す。まず、材料から30mm×3mm×0.3mmの試験片を切り出し、表面を1 μ mのダイヤモンド研磨材で鏡面仕上げした。試験片には、き裂発生点とするための直径0.5mmの円孔を導入した。また、試験片にはステンレス製のチャックを、チャックの下端が円孔中心から1mmの位置になるように接着剤で取り付けた。

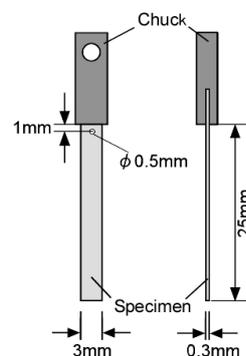


Fig.1 Schematic illustration of the sheet specimen

2.2 疲労試験機の構成

Fig.2 は作製した室温用の疲労試験装置の構成である。Fig.1の試験片を取り付けたチャックを音響用スピーカのボイスコイル部を改造した試験機に固定し、他端を自由端とする。信号発生装置とアンプを用いてスピーカを振動させ、試験片を共振状態になるように周波数を調整する。この共振状態において高い周波数で試験を行う。このとき、試験片全体には曲げ応力が負荷され、試験片の切り欠き部（円孔部分）には引張と圧縮の周期的な応力が加えられる。試験片の振動形態はオシロスコープで確認する。

Fig.3 に高温用に改良した試験機のスピーカ部の構成を示す。試験片全体がほぼ均一な温度になるように石英管に加熱コイルを巻きつけて熱伝対、温度調節器、直流電源を用いて温度制御した。高温になるため、試験片とチャックの固定を接着材ではなく機械的に締め付ける方法へ変更した。また、スピーカの紙製のコーンを取り除き、規則的に振動するように金属製の治具とした。

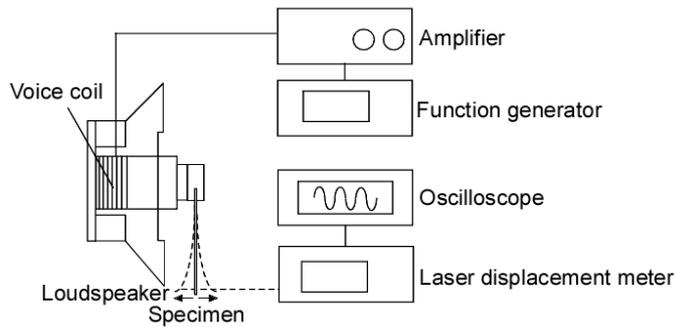


Fig.2 Schematic illustration of the plane fatigue bending machine for thin sheet specimen.

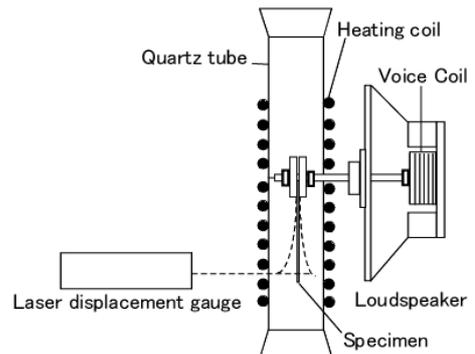


Fig.3 Schematic illustration of high-temperature fatigue testing machine for thin sheet specimen.

2.3 応力評価

ここで、応力の評価は次のようにして行った。まず試験片の下端から 1mm の位置の変位 Y をレーザー変位計により測定し、式(1)の片持ち梁の曲げ応力の式により、応力 σ を評価した。

$$\sigma = 3EIY/2ZL^2 \quad (1)$$

ここで、 E : ヤング率, I : 断面二次モーメント, Y : 自由端の変位量 (共振の状態により固定端の変位量を考慮する), Z : 断面係数, L : 試験片の長さ (チャック下部からレーザー変位計での測定点までの試料長さ) である。式(1)の σ は、チャック下端部の応力を表わすものであり、円孔はチャック下端から 1mm の位置にあるため厳密には少し異なる値となる。そこで円孔のない試験片を用いて、チャック下端から 1mm の位置に歪ゲージを取り付け、振動により生じる曲げ応力を測定し、材料の E から応力を評価した。Fig.4 に Y と歪ゲージによる測定から評価した応力をおよび式(1)による計算値の比較を示す。これより、円孔位置には式(1)の 90% の応力が生じていることがわかった。

次に円孔による応力集中の程度を、有限要素解析ソフト ANSYS を用いて評価した。その結果を Fig.5 に示す。試験片の円孔部を原点とし、幅方向および長軸方向をそれぞれ x および y 方向とし、 y 方向の応力 σ_y を求めた。その結果、円後部の応力は $X=1.5\text{mm}$ の位置の 1.85 倍の値となった。 $X=1.5\text{mm}$ の応力を円孔が無い場合の応力と等しいとして、最終的に円後部に生じる応力振幅 σ_a を次の式で評価した。

$$\sigma_a = \sigma \times 0.9 \times 1.85 \quad (2)$$

疲労試験は室温および 523K で行い、繰り返し周波数は 200~500Hz の範囲で行った。

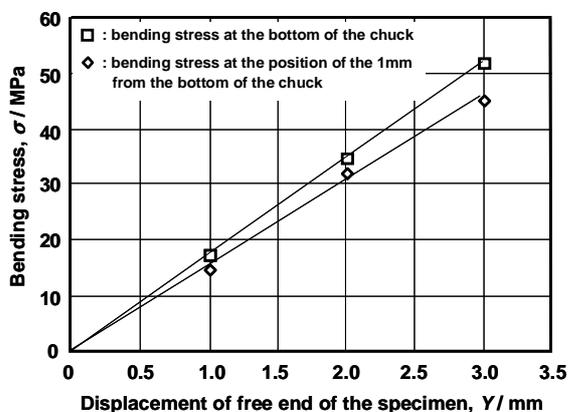


Fig.4 Comparison of the bending stresses at the bottom of the chuck and at the position of the 1 mm from the bottom of the chuck.

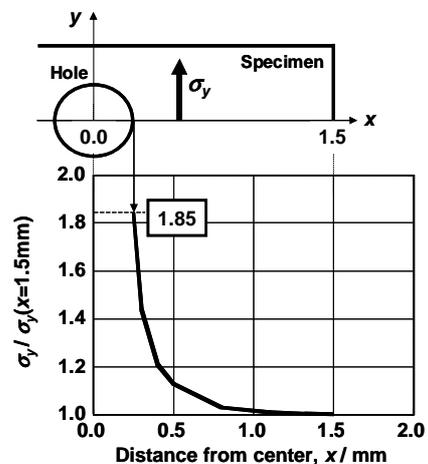


Fig.5 Stress concentration at a hole of specimen calculated by finite element method

3 疲労試験結果

試験材料として Mg 合金である $Mg_{96}Zn_2Y_2$ 合金と AZ31B 合金を用いて試験を行った。Mg 合金は軽量で高比強度な材料であるため、自動車等の輸送機器の構造材料として注目されている。その中で、Kawamura ら^[1]により、高い強度と遠征を合わせ持つ Mg-Zn-Y 系合金が開発されている。この合金には長周期積層構造相を持つという組織的特徴がある^[2,3]。

Fig.6 に疲労試験により得られた $Mg_{96}Zn_2Y_2$ 合金と AZ31B 合金における σ_a と破断までの繰返し数 N_f との関係 (S-N 曲線) を示す。図中の矢印を付記したものは破断していないことを示している。 $Mg_{96}Zn_2Y_2$ 合金の疲労強度は $10^6 \sim 10^8$ サイクルにおいて室温では 200MPa, 523K では 130MPa であった。この値はそれぞれ、室温および 523K における 0.2%耐力の約 50%に相当する。また、AZ31B 合金の室温での疲労限はおよそ 150MPa であり、 $Mg_{96}Zn_2Y_2$ 合金の疲労強度が非常に高いことが分かる。

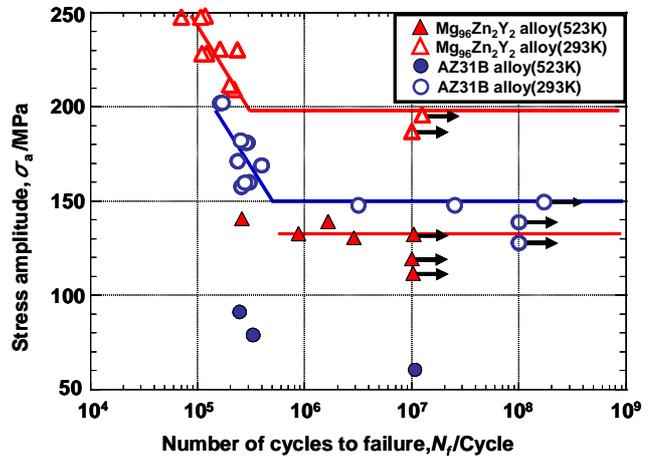


Fig.6 S-N curves of $Mg_{96}Zn_2Y_2$ and AZ31B alloys.

4 結言

今回、薄片曲げ疲労試験機を開発し、室温および高温において材料の疲労強度の調査を比較的短時間で行うことが出来た。従来の疲労試験法では形状が確保できない材料における疲労破壊挙動の調査が今後も期待される。

参考文献

- [1] Y. Kawamura, K. Hayashi, A. Inoue and T. Masumoto: Mater. Trans. 42(2001) 1172-1176.
- [2] E. Abe, Y. Kawamura, K. Hayashi and A. Inoue: Acta Mater. 50(2002) 3845-3857.
- [3] T. Itoi, T. Seimiya, Y. Kawamura and M. Hirohashi: Scripta Mater. 51(2004) 107-111.

加速器と地震

中野忠一郎

東京大学 工学系研究科

1 はじめに

2007年7月16日10時13分、柏崎沖で発生した地震（後に、中越沖地震と名付けられた）は直近の東京電力柏崎刈羽原子力発電所に大きな被害をもたらした。原子力発電所から立ち上る黒煙の様子がテレビから幾度となく放映されたことは、記憶に新しい。1995年1月の兵庫県南部地震（阪神・淡路大震災）、2000年10月の鳥取県西部地震、2004年10月の新潟県中越地震、2005年3月の福岡県西方沖地震、2007年3月の能登半島地震などM6.8を越える大地震が発生している。朝日新聞（2007年7月17日付朝刊）は「内陸型」活動期入りか」との記事を載せている。

地震は巨大施設の原子力発電所に限らず、大型設備が多い加速器施設にも大きな影響を与える。それ故に、加速器の管理・運営上、地震は大敵となっている。本報では、過去に発生した地震が加速器に及ぼした影響の幾つかの事例について報告する。

2 2007年の地震

図1に2007年1年間に日本列島で発生した主な地震の震央地図を示す¹⁾。北海道から沖縄までの日本列島の太平洋側で地震が頻発しており、更に2007年の特徴として能登半島周辺にM7以上の巨大地震が見られる。日本列島が、地震列島だということが理解される。

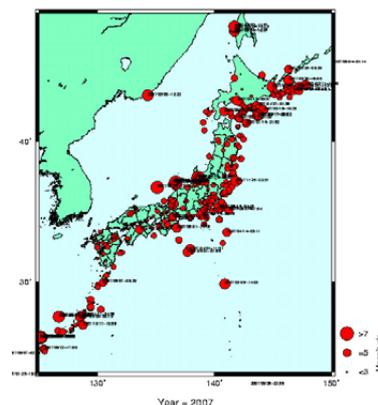


図1 2007年震央地図

3 地震により被害を被った加速器施設

3.1 神戸商船大学の加速器と兵庫県西部地震

神戸商船大学（現在は統合され神戸大学）には米国 NEC(National Electrostatic Corp.)社製タンデム型静電加速器 5SDH（Max. 1.7MV）を中核として、核反応実験用チェンバーや PIXE ターゲットチェンバー、パルスイオン注入装置が付帯設備としてある。なお、加速器は横型である。



図2 新設された加速器 5SDH-2 と 5本のビームライン系



図3 展示されている加速器の内部
兵庫県西部地震により崩壊した 5SDH 加速器の内部構造体（加速器本体）。

1995年1月17日、明石海峡を震源とするM7.3の直下型地震（兵庫県西部地震）

に見舞われ、パルスイオン注入装置を除き、すべてのシステムが横転、また上下震動などの衝撃により破壊された。1995年度の震災復旧予算が付き、加速器は NEC 社製タンデム型静電加速器 5SDH-2（Max. 1.7MV）へと更新され、また付帯設備のオーバーホールなども行われた²⁾。そして、震災の2年後、1997年度から本格使用を開始している。図2に新設された加速器本体と5本のビームラインを示す。地震より破壊された旧加速器（5SDH）の内部構造体は図3に示すように展示されている。スムーズに復旧した好例といえる。

3.2 国立環境研究所の加速器と茨城県南西部の地震

国立環境研究所加速器分析施設には米国 NEC 社製タンデム型静電加速器 15SDH-2 が設置されている。最大発生電圧 5MV で、横型である。

2004 年 10 月 6 日 23 時 40 分に茨城県南部(北緯 35.99、東経 140.09)を中心とする M5.7 の地震が発生した(なお、この年の 10 月 23 日、M6.8 の新潟県中越地震が発生している)。図 4 に最大加速分布図を示す¹⁾。

地震後の点検でイオン源からのイオンビームを最初にエネルギー分析する ESA (Electrostatic Spherical Analyzer) が機能していないことが分かった。ESA の球面電極は真空槽内の回転ステージにセラミック碍子の stand-off を介して取り付けられているが、地震による横方向の揺れにより standoff が折れてしまったことが原因だった。図 5 に破損した stand-off を示す。幸い、stand-off の破損のみで、部品代ですんだ。しかし、最近、茨城県南部及び太平洋側を震源とする地震が頻発しており、今後が心配される。

つくば学園都市には、他に筑波大学研究基盤総合センター応用加速器部門に米国 NEC 社製タンデム加速器 12UD が設置されている。この加速器は縦型で、加速器タンクの高さ 17.9m、直径 4.83m、また最大発生電圧 12MV の性能を有するもので、ビームコースも含め 9 階建ての建屋に納まっている。大地震が発生すると、加速器の内部構造体を保護する目的でターミナル部分の揺れを抑えるシャフトが飛び出す機構になっている。幸い今回の地震では被害はなかった。

3.3 九州大学の加速器と福岡県西方地震

九州大学大学院理学研究院タンデム加速器施設には、自作のタンデム型静電加速器とシングルエンド型静電加速器がある。前者は横型で最大発生電圧 10MV、後者は縦型で最大発生電圧 6MV の性能を有している。

2003 年 3 月 20 日 10 時 53 分、福岡県西方の玄界灘(北緯 33.738、東経 130.175)で M7.0 の地震が発生した(福岡県西方沖地震)。図 6 に福岡県西方沖地震の最大加速分布を示す¹⁾。この地震は、震源の深さが約 9km と浅いことから大きな加速度の地震動(最大加速度が 200gal~500gal)が狭い範囲に集中し大きな被害をもたらした、と考えられる。

九州大学箱崎地区にあるタンデム加速器施設は、タンデム型静電加速器においてターミナルを支持しているパイレックス・ガラス製コラムに 9ヶ所の破損(ガラス割れ)やイオン源室の床の沈下があり³⁾、またシングルエンド型静電加速器は完全に崩壊するなど大きな被害を被った。図 7 に地震で崩壊したシングルエンド型静電加速器を示す。

復旧にあたっては、地震が年度末ということで復旧予算が付くか分からないが状況だったが、取りあえず予算申請し、研究室の予算で立て替えることで見切り発車をした。その後、文科省の災害支援関連経費が付くことになった。これも神戸商船大学とならび災害復旧の好例といえる。しかし、自作の加速器なので、研究室全員が復旧作業に多大な時間を割かなければならなかったのは言うまでもない。

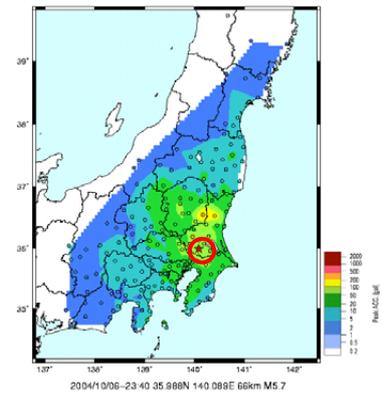


図 4 茨城県南西部で発生した地震の最大加速分布図
2004年10月6日23時40分、M5.7。
○が茨城県南部の震源地。



図 5 破損した stand-off
Standoff はセラミックシャフトの両端に金属製の留め具が付いている。その部分が折れた。

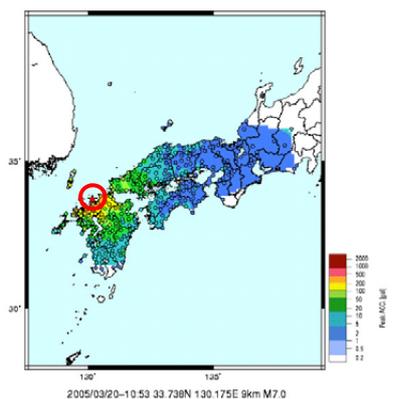


図 6 福岡県西方沖地震の最大加速分布図
2005年3月20日10時53分、M7.0。
○が震源地。

3.4 広島大学の加速器と芸予地震及び大分県西部地震

広島大学大学院工学研究科には日新ハイボルテージ社製シングルエンド型静電加速器 AH-2000H 設置されている。最大発生電圧 2.5MV で、横型である。

2001 年 3 月 24 日 15 時 28 分に瀬戸内海芸予灘を震源（北緯 34.12、東経 132.71）とする M6.4 の地震が発生した(芸予地震)。図 8 に芸予地震の加速分布図を示す¹⁾。図 8 より、芸予地震は震源の深さが約 50km と深いため、比較的強い地震動が広域にわたって分布している特徴がある。

広島大学東広島キャンパスは震源から約 40km にあり、東広島市近郊でも震度 5 強～6 弱を記録した。この地震により加速器施設では、未固定の遮蔽ブロック壁 (1.2t) が東へ 3cm、また電磁石 (5.72t) が東へ 10cm 移動し、積み上げてあった鉛ブロックの東側が崩落した。加速器では、外見上異常は見られず、その後のテスト運転でビームが垂直方向に約-20%ズレており修正を行っている。そして地震発生から約 7 ヶ月後の 2001 年 11 月 5 日、加速器室で轟音が発生し、加速器が崩壊した。図 9 に崩壊した加速器を示す。今回の件に関し装置担当者は、チャージングベルトがコラムの横揺れをある程度吸収したおかげで瞬時の破断は起こらず、絶縁コラム基部接着面の部分的剥離にとどまり、その後約 340 時間の運転に耐えたと判断している⁴⁾。

2002 年 2 月初めに HVEE(High Voltage Engineering Europe)製カラムの先行手配を行い、困難な手続きの末に学長裁量経費が付き、正式契約を 2002 年 5 月に行い、納品は 9 ヶ月半後の 2002 年 10 月半ばとなった。カラムの不具合の修正及びターミナル部の軽量化などの実施で 2003 年 6 月 21 日に修理を終えた。加速器崩壊から約 21 ヶ月を経過した。

2004 年 9 月 21 日 10 時 13 分、瀬戸内海中部を震源（北緯 34.253、東経 132.755）とする M4.6 の地震が発生した（瀬戸内海中部地震）。図 10 に瀬戸内海中部地震の最大加速分布図を示す。この地震で、カラムに 2 カ所の剥離が見つかった。無償修理となったが、オランダまでの搬送・通関手数料は大学持ちとなる。幸い、学長裁量経費より修理予算要求がスムーズに認められた。

2005 年 3 月末、修理済みのカラムの点検後取り付け作業を始めることができた。

2006 年 6 月 12 日 5 時 1 分、大分県中部を震源（北緯 33.133、東経 131.133）とする M6.2 の地震が発生した（大分県中部地震）。図 11 に大分県中部地震の最大加速分布図を示す¹⁾。この地震は震源の深さが 146km



図 7 地震で崩壊したシングルエンド型静電加速器
加速器タンク上部よりの写真。ちょうど蛸が潰れたような姿だが、頭に見える部分がターミナルシェル、足に見える部分がバラバラになったフープ。

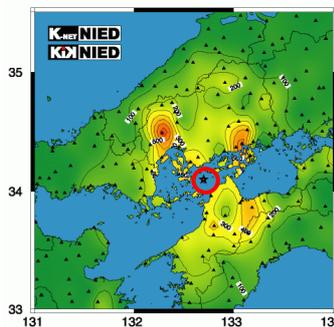


図 8 芸予地震の加速分布図
2001 年 3 月 24 日 15 時 28 分、M6.4。○が震源地。



図 9 崩壊した加速器
加速器タンクを開けた時の状態。加速器本体を支える絶縁コラムの接着面が破断し、ポッキリ折れた状態でターミナルシェルが加速器タンクに接触している。

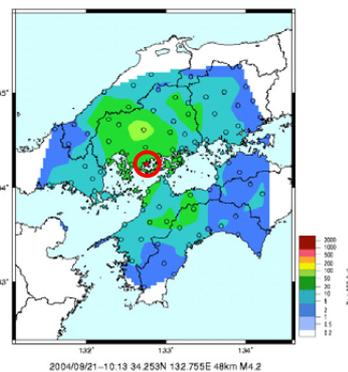


図 10 瀬戸内海中部地震の最大加速分布図
2004 年 9 月 21 日 10 時 13 分、M4.6。○が震源地。

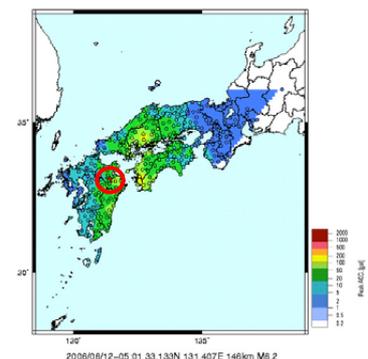


図 11 大分県中部地震の最大加速分布図
2006 年 6 月 12 日 5 時 1 分、M6.2。○が震源地。

と深く、強い地震動が広範囲に広がっている。東広島市では震度 3~4 を観測した。この地震で、カラム基部の磁器絶縁物のうちの 1 個が完全剥離した。2006 年 6 月 14 日、部局支援グループに連絡し現任を受けるとともに、「被害状況報告書」を提出した⁵⁾。復旧は財務省よりの「災害復旧予算」で実施された。三度目にして復旧がスムーズにいった好例といえる。

4 東京大学工学系研究科のイオン加速器 (MALT) について

東京大学工学系研究科に設置されているイオン加速器を表 1 に示す。加速管及びコラムの接合が広島大学と同様の接着剤方式は、HIT の 2 台、RAPID の 1 台である。私のいる MALT (Micro Analysis Laboratory, Tandem Accelerator) の場合は、米国 NEC 社製の技術であるセラミックスと金属の溶着方式となっている。またシングルエンド方式は HIT の 1 台のみで、

表 1 東京大学工学系研究科のイオン加速器

専攻名	加速器のタイプ	ターミナル電圧 電圧発生方式	製造会社
原子力国際専攻 (MALT)	タンデム 縦型	5.0MV ファン・デ・グラーフ (ペレトロン方式)	米国 NEC
原子力専攻 (HIT)	シングルエンド 横型	3.75MV ファン・デ・グラーフ (絶縁ベルト方式)	GIC (ハイボルテージ社)
	タンデム 横型	1MV コッククロフト	HVEE
原子力国際専攻 (RAPID)	タンデム 横型	1.7MV コッククロフト	HVEE

広島大学の加速器とほぼ同様な構造となっている。

MALT の絶縁コラムシステムは震度 5(80~250gal)に耐え得る設計になっている⁶⁾。しかし、芸予地震における西条市近郊での最大地震加速度が、東西、南北、上下それぞれで 273gal、

244gal、151gal であったことから、地盤にもよるが芸予地震クラスの巨大地震が東京を襲った場合、大きな被害が発生することが予想される。また HIT の加速器は広島大学と同様な事態に遭遇することも考えられる。

地震等の自然災害に起因する大型装置の崩壊・損傷では、“壊れる時に壊れる”と事後の修復、処理などが円滑に進むということも、広島大学大学院工学研究科の加速器崩壊の教訓のひとつといえる。

5 おわりに

太平洋プレートとフィリピン海プレートが潜り込むユーラシアプレートと北米プレートの上に、日本列島はのっている。それ故、日本は火山国であるとともに地震国でもある。図 1 に見られるように、日本列島のどこかで大小の地震が毎日のように発生している。本報では地震により大なり小なり被害を被った国内 4ヶ所の加速器施設について報告した。加速器を管理・運営していく上で本報が参考になれば幸いである。

広島大学大学院工学研究科の西山文隆氏、九州大学大学院理学研究院の前田豊和氏、伯東株式会社の小林利行氏に有益な情報を頂きました、ここに感謝いたします。

参考文献

- [1] 防災科学技術研究所強震ネットワーク K-NET
- [2] 谷池 晃, et al, “神船大タンデム加速器の現状”, 第 11 回タンデム加速器とその周辺技術の研究会, 1998 年 7 月 (於: 東工大), pp4-6
- [3] 前田豊和, et al, “九大タンデムにおける福岡県西方沖地震の被害” 第 18 回タンデム加速器とその周辺技術の研究会, 2005 年 7 月 (於:九州大学), pp147-150
- [4] 西山文隆: 報告書「静電型粒子加速装置絶縁コラム・加速管破断に至るまでの経過と被害状況」(2000)
- [5] 西山文隆: 「HVEE 製 AN-2500 用絶縁コラム剥離事故のドキュメント」(2007)
- [6] 入札仕様書「5MV タンデム型静電加速器用の発電システム、絶縁コラム、圧力タンクおよび運転制御システム」伯東株式会社 (1992.2.21)

大学における廃溶媒管理マニュアルの作成

＝ 京都大学有機廃液処理装置での経験から ＝

真島敏行

京都大学 環境保全センター

概要

化学実験等を行なう場合、有機溶媒を使うことが多い。この実験後に発生するのが廃溶媒であり、ほとんどの廃溶媒が危険物に該当する。一部蒸留することにより再利用が試みられているが、ほとんどの場合焼却処理に廻される。その焼却作業を外部の業者に依頼する方法と自営処理する二つの方法があり、当然その作業形態の違いがあり、それぞれの処理方法について述べてみる。

全国的に大学等では諸般の事情により有機廃液処理焼却炉による運転を見合わせ、外部委託処理に切り替わりつつあるのが現状である。京都大学では 34 年前に京都大学有機廃液処理装置(KYS)を設置して自営処理を行なってきたが、他の大学等の傾向と同じく数年前から外部委託として一部搬出を始めている。とはいえ、現在も約 9 大学では学内処理を行っている。いずれにしろ焼却炉の運転と外部委託作業に携わった者として廃溶媒の廃液管理のマニュアル作成を試みた。

また経験を生かし、現場に即した廃溶媒管理や焼却炉の運転管理マニュアルの作成にも言及する。

1 有機廃溶媒について

1.1 京都大学における廃溶媒発生量

京都大学では昭和 49 年 12 月に焼却炉が設置されるまでは廃溶媒を外部委託していた。図 1 は焼却炉設置以降の廃溶媒発生量のグラフであり、年々増加し平成 18 年度は 12 万リットルを超えている。平成 15 年度工学研究科の桂キャンパスが、平成 18 年度から宇治キャンパスの外部委託処理が行なわれている。

1.2 各種法令について

廃溶媒の中には危険物をはじめとして各種法令の中で、特別管理廃棄物、特定有害物質、特定化学物質、毒物、劇物の中に属する物があり、二つ三つと重複する物もめずらしくない。そこで廃溶媒を取り扱うにあたっては次のような法律を遵守する必要がある。

1.2.1 各種法律

廃棄物の処理及び清掃に関する法律、消防法、大気汚染防止法、水質汚濁防止法、下水道法、化学物質排出把握管理促進法 (MSDS,PRTR)、労働安全衛生法、作業環境測定法、毒物および劇物取締法、化学物質審査規正法、土壤汚染対策法

1.2.2 京都大学内での各種規程

京都大学では次のような規程の遵守が求められる。排水水・廃棄物管理規程、環境保全センター管理規程、

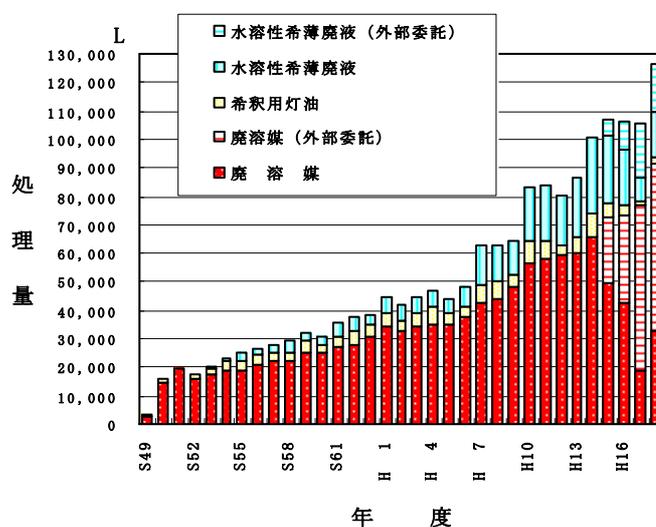


図 1. 有機廃液処理量 (年度別)

環境保全センター協議員会内規、環境保全センター運営委員会内規、環境保全センター廃液処理装置暫定利用要項、廃棄物処理基準、廃棄物処理基準に定める廃棄物の処理に関する暫定措置、廃液情報管理システム運用要項

2 各大学の動向

各大学等では昭和49年度以降、大学内に廃溶媒の焼却施設が次々と設置され、50校近くに達した。その後、平成12年ダイオキシン類特別措置法の施行や、平成16年の国立大学の独立行政法人化等の影響もあり、廃溶媒の焼却施設は激減してきた。

図2のように、大学等内において現在稼働中の廃溶媒焼却は9校と減少し、今後も外部委託に変更する可能性がある。

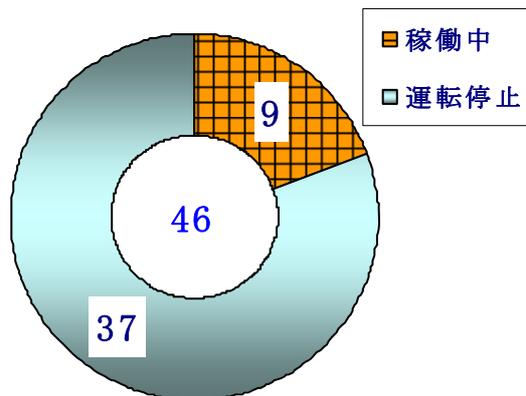


図3は平成18年度京都大学の廃溶媒処理の内訳であるが、約6割が外部委託処理で、4割が学内処理を示している。

3 外部委託処理について

京都大学における廃溶媒の外部委託処理は基本的に部局単位になっている。委託業者の選定から、入札等は各部局の事務室経由で行なっており、環境保全センターはその助言にあたっている。廃溶媒の搬出にあたっては産業廃棄物管理票（マニフェスト）を必ず作成しなければならない。その処理情報は翌年度4月末日までに環境保全センターを通じて総長に報告する。

外部委託処理をしていない部局のうち、塩素系廃溶媒（重量ベース30%以上の塩素を含む有機廃液）は環境保全センターを通して外部委託処理を行なえる。これはあくまでも希望する場合であって、KYSで灯油等を使って希釈処理をすることもできる。回収は月1回、第4火曜日に廻っている。

なお、外部委託にまわす廃溶媒は全て容器（10L）ごとに京都大学情報管理システム（KUCRS）に入力することが条件となっている。有害廃油、廃油、引火性廃油、有害廃希薄水、廃希薄水の5種類に分類し、かつ有害物質名（11種類）やPRTR該当物質の重量も明記する必要がある（表1）。空容器は指定日に返却される。

4 自営処理について

4.1 京都大学における処理手続き

① 廃溶媒は分別して貯留しなければならない。塩素はHClを、窒素はNOxを発生し、水分の多いものは

図2. 大学等における有機廃液焼却炉の稼働状況

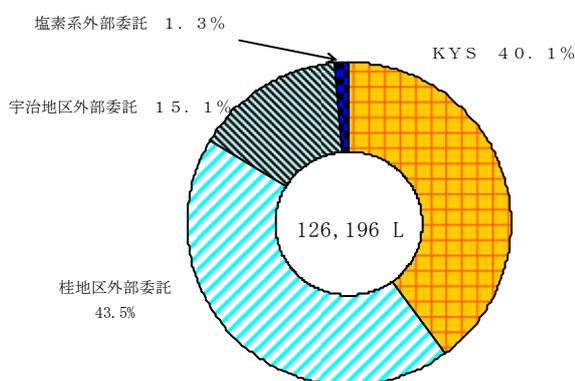


図3. 平成18年度有機廃液処理量

表1. KUCRSのエクセル表
化学物質管理システム 有機廃液一覧

2005/8/30

	入庫番号	消防法	登録日	管理部署	担当者	廃液容器番号	コメント
1	SK00-10 4828	有-引火性廃油	2005/8/23 18:11	高分子・高分子生成論研究室	polym3	00-10-403-05	tol-3.0 cf-0.5
2	SK00-10 4836	有-引火性廃油	2005/8/25 15:20	高分子・高分子生成論研究室	polym3	00-10-403-04	tol-3.0 cf-0.5
3	SK00-10 4839	有-引火性廃油	2005/8/25 17:21	高分子・先端機能高分子研究室	polym1	00-10-401-23	
4	SK00-10 4840	有-引火性廃油	2005/8/25 19:14	高分子・先端機能高分子研究室	polym1	00-10-401-13	
5	SK00-00 321	有-廃油	2005/8/24 13:23	高分子・高分子生成論研究室	polym3	00-00-403-01	tol-3.0 cf-0.5
6	SK00-HAQ 530	有-有害廃希薄水	2005/8/23 10:08	高分子・高分子生成論研究室	polym3	00-HAQ-403-01	dc=2.0 tol-0.5/3# 4
7	SK00-10 4848	有-引火性廃油	2005/8/25 23:23	合成生物・機能化学研究室	shc3	00-10-503-8	
8	SK00-10 4833	有-引火性廃油	2005/8/25 15:21	合成生物・有機金属化学研究室	shc5	00-10-505-08	cf-0.6
9	SK00-10 4834	有-引火性廃油	2005/8/25 15:22	合成生物・有機金属化学研究室	shc5	00-10-505-07	cf-0.6
10	SK00-10 4835	有-引火性廃油	2005/8/25 15:22	合成生物・有機金属化学研究室	shc5	00-10-505-05	cf-0.6

難燃性になるため容器ごとに貯留し、可能な範囲で濃度も把握しておく。

② 廃溶媒の焼却処理を希望する者はまず「利用申し込みカード」(表2、環境保全センターホームページからダウンロード出来る)に必要な事項を記入して運営委員(各部局に1名)に提出する。運営委員は「計画書」を作成して事務室の担当者経由で環境保全センターに届ける。

現在、自営処理の廃溶媒もKUCRSに登録記入を検討中である。

③ 処理日当日は廃溶媒をKYSまで搬送し、廃液中の塩素や窒素、カロリーの濃度調整、ろ過作業等を行なう。KYSの運転はほとんど環境保全センター職員が担当するが、必ず指導員資格を持った者が常駐し、学生等に作業内容について指導し、「運転記録」「モニタリングシステム記録表」を記録する。廃溶媒ラインのストレーナ等はよく目づまりをおこすので定期的に掃除を行ない、焼却終了後は「利用記録」に捺印し、空容器は持ち帰る。

表2. KYS 申込カード

提出年月日 平成15年8月4日 (E)

KYS利用申込カード

※登録番号 _____

廃溶媒 (水分が20%以下であること)
 水溶性希薄廃液 (有機物が5%以下であること)

部局名 工学研究科 (専攻名 材料化学)
 数量 150 L 比重 0.9

主成分 ヘキサン、酢酸エチル、クロロホルム (C 7.0 % H 1.0 %)
 含有元素 C, H, Oのみ S含有 (3 %) N含有 (3 %)
 ハロゲン含有率: ~5% 5~10% 10~15% 15%以上 (%)
 含水率: ~5% 5~10% 10%以上 (%)
 希釈用灯油必要量 0 L

含有化学物質 ベンゼン (2%) シクロヘキサン (5%) クロロホルム (5%) トルエン (2%)

所属 工学研究科材料化学専攻

申込責任者 宇山 浩 (印) (Tel. 2460)
 指導員 宇山 浩 (印) (Tel. 2460)
 利用者 (助教) 宇山 浩 (Tel. 2460)

京都大学環境保全センター

4.2 KYSの管理状況

4.2.1 環境・安全・衛生面について

公害の発生を抑制し、引火の危険性や廃溶媒、使用薬品に注意し、従事者の安全・衛生面にも配慮しなければならない。ゴム手袋やマスク等の着用が望ましい。

4.2.2 排ガスの処理について

苛性ソーダによる中和、バグフィルターや触媒塔による HCl、NO_x、DXNs、HC、SO₂、ばいじんや CO の排出基準を守るよう燃焼をコントロールした運転を行なう。

4.2.3 洗煙水等の処理について

塩濃度の濃くなった洗煙水は沈殿槽に送り、沈殿物は脱水機でケーキとして取り出す。上澄み液にはフッ素、ホウ素、セレン、ヒ素等が含まれることが多いので排水基準を守るように二次処理を行なう。これは環境保全センターの職員が塩化カルシウムや塩化マグネシウム等を使って沈殿除去する。

4.2.4 固形物の処理について

洗煙水槽の沈殿物を脱水したケーキや廃溶媒ろ過残渣は焼却炉で焼却し、その焼却灰やバグフィルターの飛灰、そして洗煙水上澄み液処理後の沈殿物は最終処分として外部委託処理している。

4.3 運転マニュアルの作成

正規の運転マニュアルにとどまらず、現場に即したマニュアルを作成する。年数を経るに従って各所の劣化が進み、当初のように作動しない部分が増えてくる。その対応を迅速かつ経済的に長持ちさせるための注意点や配慮手順等を記録しておく。この記録が代替者や引継ぐ者の運転時に役立つことになる。

5 まとめ

廃溶媒は危険物であるということで、速やかに処理を行なう必要がある。消防法上一定以上の保管量は許されていない。過去にクロロホルムは蒸留してリサイクルする部局があったが、現在行なわれていない。学外処理(外部委託)か学内処理(自営)かのどちらかの選択になり、どちらにも一長一短あるのであるが焼却炉の設備費、維持費がかさむ面から大勢は外部委託処理に傾いている。概して安易さ、経済性が重視されるのであるが、安全性や教育的視点など巨視的な判断も必要となろう。現場の作業に従事する者としては、より安全に、衛生的、効率的、経済的にスムーズに事が運ぶよう手伝うことが使命となる。ここでは京都大学の事例を述べてきたが、廃溶媒の発生者にとって入門的な廃溶媒管理マニュアルになれば幸いである。

LHD 実験における不具合調査結果（2）

○小平純一、LHD 装置運転グループ

自然科学研究機構 核融合科学研究所

概要

核融合科学研究所の大型ヘリカル実験装置（LHD）は実験開始から 10 年間実験を継続してきている。実験開始 4 年目から実験期間中における装置の不具合調査を 6 年間実施してきており、不具合の分析を行い、装置の健全性維持のために貴重なデータとしてきた。LHD 実験装置は初期不良と老朽化がほぼ 1 対 1 で発生しているといった特長が明らかになった。老朽化による不具合を防止するため、適切な部品交換につとめ、重大なトラブルを未然に防ぐための努力をしている。

1 はじめに

実験装置の信頼度、安定度は、一般の工業製品と比較して研究用の特殊な仕様を有するために、必ずしも十分高くはない。特に大型実験装置においては、研究、開発途上の装置部分を多く含んでいるため、総合的な信頼性の確保は困難ではあるが、最新技術をつめこまれた高価なシステムとなっており、重大な不具合を避けることが要求されている。また実験装置は研究上の使命のために高い稼働率を要求されており、長年にわたって安定的に実験するためには、限られた時間と予算の中でメンテナンス期間の確保、部品交換の適正化を計ることが求められている。特に核融合研究における実験装置は装置自体が開発対象であることと極めて大電力・高出力の機器が用いられているため、過酷な条件化での運転であり、多くの不具合が発生することとなり、不具合の原因について調査・分析することは重要である。

核融合科学研究所の LHD 実験装置は、核融合をめざしたプラズマ研究の実験装置としては最も大型の装置の 1 つであり、プラズマ閉じ込めの磁場発生には、世界最大級の貯蔵エネルギーを有する超伝導コイルを用い、冷却のために大型ヘリウム液化機を備え、約半年間の連続運転が要求されている。また、メガワット級の中性粒子ビーム発生装置、高周波発振器など高出力装置がフルパワーで運転することが要求されている。このような大型実験装置においては、故障等の不具合の原因や傾向を探るとともに、如何に対応してきたかを把握することは、技術的な経験を蓄積し今後のトラブル対策への資料とするために重要である。

LHD 実験装置は 1998 年 3 月の実験開始以来、毎年の実験サイクルを順調に積み重ね、2008 年 2 月の第 11 サイクル終了まで 10 年間の運転を行ってきた。第 5 サイクルより実験装置各部の運転上の不具合発生情報を、技術部各課が整理して、装置運転グループでとりまとめを行ってきた。2007 年 2 月までの 6 年間の同一様式による継続調査の結果が得られたので報告する。

2 調査方法

LHD 実験装置は、毎年 9 月から 2 月までの実験期間を基本に運転されており、2 月から 8 月までが点検、改造、調整等の実験準備を行う期間である。不具合調査は 2 月の実験終了後に LHD 実験に関連する装置の運転期間中の不具合について、技術部各課において実施した。調査の目的を今後のトラブル対策のための資料作成ということに限定して取り組んでおり、作業安全を目的としたヒヤリハットのための資料ではない。また、個々のグループにより、記載されたトラブルの程度には差があり、グループ間の比較の資料にはならな

いことを確認している。

調査の内容は例年同じであり、発生日、装置名、不具合の件名、内容、実験への影響、原因、対策日、対策内容、LHD 実験停止日数、LHD 実験への影響日数、等についてできるだけ詳細に記述している。また不具合の原因を、不可抗力、原因不明、ミスオペレーション、設定ミス、点検・部品交換の不足、設計製造不良、ソフトのバグ、配線・配管不良、老朽化、経験不足について、担当者自身が分類して記入している。一件の不具合に複数の原因があることも多いので、原因の分類は複数記入可としている。

3 調査結果

調査結果は個人名等を除いて研究所内に公表しており、実験担当者の共通の認識とすることに勤めている。表 1 に第 5 サイクル以降のショット数と運転時間および不具合件数を示す。運転時間は超伝導コイルの冷却開始から昇温終了までの時間としている。一度発生した不具合がその後何度も繰り返して発生した場合に、その現象への対応マニュアルが出来ている場合には発生回数を 1 回とカウントしている。

表 1. 各サイクルのショット数、運転時間、不具合件数

	ショット数	運転時間(h)	不具合件数	不具合/ショット
第 5 サイクル	9024	5294	82	0.0091
第 6 サイクル	6078	4850	66	0.0108
第 7 サイクル	7510	5001	87	0.0116
第 8 サイクル	7394	4814	145	0.0196
第 9 サイクル	9830	5035	170	0.0173
第 10 サイクル	9594	5037	161	0.0168

不具合の総件数は第 6 サイクルで大きな事故により実験が中断されたため減少したが、第 8 サイクルで増加して第 10 サイクルまではほぼ同様の件数になっている。不具合数が第 8 サイクルで著しく増加している原因は、技術部が掌握する装置が増えたことと、不具合調査が定着し詳細な事象にまで調査が及んでいることの反映であると考えている。1 ショットあたりの不具合件数は第 5 サイクルから第 7 サイクルまではほぼ 0.01/shot であったが、第 8 サイクルで約 2 倍になり、第 9、第 10 サイクルで若干減少してきている。各サイクルの不具合の原因の傾向を調べるために各サイクルの原因分布を表 2 に示した。また、原因分布を図 1 に百分率グラフで示す。

表 2. 各実験サイクルにおける不具合の原因分布

原因分類 (重複あり)	実 験 サ イ ク ル					
	第 5	第 6	第 7	第 8	第 9	第 10
不明	29	20	26	49	60	61
不可抗力	8	12	2	29	34	32
老朽化	11	12	12	28	23	30
点検・部品交換の不足	12	9	13	5	10	7
設計製造不良、ソフトバグ	34	14	26	28	27	25
配線配管不良	4	3	9	5	10	8
設定ミス	4	2	3	3	6	3
ミスオペ	9	5	3	9	8	10
経験不足	5	0	3	3	5	8

グラフから見られる特徴は次のとおりである。第1に、不明が徐々に増加してきており、第10サイクルでは不明が33.2%となった。NBIのブレークダウンノイズにより電子回路が誤動作したものと推測される場合が半数近く含まれており、このような原因究明が困難な例があるが、いっそうの原因究明の努力が必要と思われる。第2に、不可抗力と分類されたものが第8、第9サイクルでは18.2%、18.6%と増えてきた

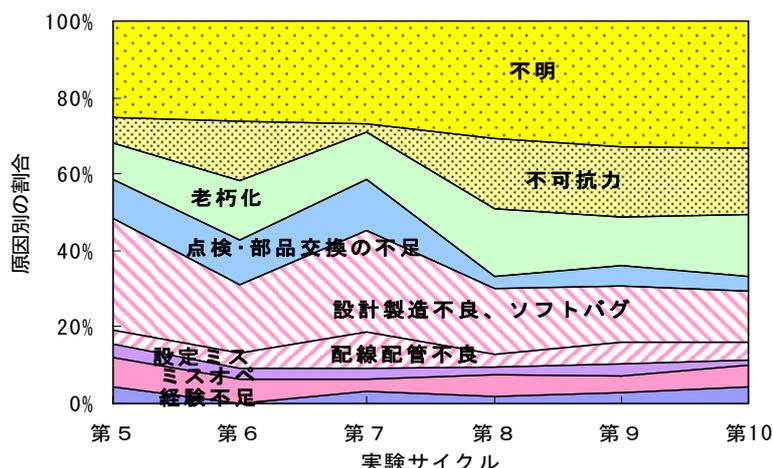


図1. 各実験サイクルにおける原因分布

が、第10サイクルで17.4%と若干減少した。不可抗力の内容としては前サイクルではバルブ、ポンプ、真空窓、PC故障等が、第10サイクルでは保護板、ポンプ、伝送路、イオン源、PC等の故障が挙げられており、技術課題として検討することが重要である。第3に、機器の老朽期（磨耗故障期）に分類される老朽化と点検・部品交換の不足は両者合計で20.1%であり、第7サイクル以降減少傾向にあるといえる。今後も早めの点検・部品交換につとめることが重要である。第4に、初期故障期に分類される設計・製造不良、ソフトバグおよび配線・配管不良の両者合計は第7サイクル以降36.1%、20.8%、20.3%、17.9%と減少傾向にある。装置の新設、改造後には実験開始前の動作試験、バグ出しを十分行うことが望まれる。LHD実験装置の不具合の傾向として老朽期の不具合と初期故障期の不具合がほぼ同じ比率で起こっていることが大きな特徴といえる。一般的に故障発生数は経過時間に対してバスタブ曲線になるといわれており、稼動初期においては初期故障が支配的であるが時間経過に伴い安定期に入り故障は減少し、老朽期において故障が増大する。老朽期の不具合増加が抑えられていることから、部品交換等の老朽化対策が適度に行われており、不具合の発生を予防していると考えられる。

特徴の第5として、設定ミス、ミスオペレーション、経験不足といった人的ミスに基づく不具合の割合は第7サイクル以降9.3%、9.4%、10.4%、11.3%と一定比率を占めておりわずかに増加傾向にある。今後さらに、マニュアルの充実と見直し、教育の充実、ミスを防ぐための自動化等を図る事によってこれらが原因となる不具合を減らすことが重要である。また、どのような経緯で人的ミスに至ったか調査をするなど再発防止のための日常的な努力が必要である。

4 不具合によるLHD実験への影響日数

プラズマ実験への影響日数を調査した結果を図2に示す。影響日数の分類は実験を停止させた日数ではなく、実験条件、測定データの質、運転のモード等に影響を与えた件数（実験停止日数も含む）をカウントしている。

実験への影響が1日を超える件数はほぼ横ばいである。LHDへの入射パワーを上げて実験しているにも関わらず重大な不具合が増えていない

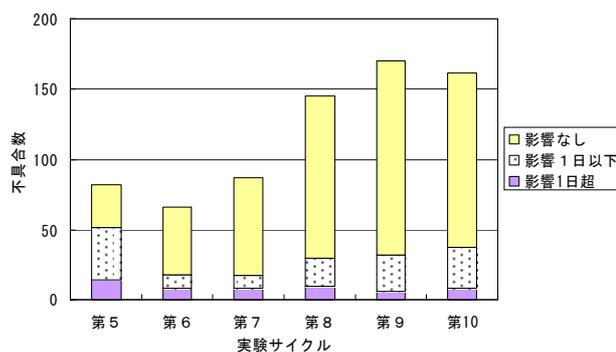


図2. 不具合による実験への影響日数

ことは評価できる点であり、今後も実験準備期間における十分な点検調整をしていくことが重要である。

実験への影響が1日以下の件数は第7サイクル以降増加の傾向がある。不具合が発生した場合に実験への影響を極力少なくするために、不具合箇所を速やかに特定するとともに、予備品の確保により速やかな復旧対応ができるように努力しているところである。

5 まとめ

6年間の不具合調査が同一の手法により継続されてきた。6回の調査結果により、LHD実験装置の不具合についての特徴が明らかになってきた。

初期故障時に発生する不具合と老朽期に発生する不具合がほぼ1対1で発生している。初期故障の要因として、開発的要素の大きい実験装置が毎年のように取り付けられていることが考えられるが、実験開始前に動作試験、バグ出しを十分行う必要がある。

不具合の件数は、調査が詳細な事象にまで及んだ結果かも知れないが増える傾向にある。第7サイクルまではショット当たり約0.01件であったものが第8サイクル以降約0.02件に増加している。今後一層の予防処置を考慮していく必要がある。

不具合の原因不明、不可抗力と考えられる事例が50%程度を占めている。LHD装置自体が開発段階の実験装置であることから必然的な値と言えらると思われる。担当者の努力によって実験を継続しつつ装置の改良を進めているところであるが、開発課題として直視していく必要がある。

人的ミスである設定ミス、ミスオペレーション、経験不足の合計数は4年間増えている傾向にある。マニュアルの追加のみで対応することなく適正なマニュアル化をはかり、教育の充実を進めると共に、一層の自動化を進める必要がある。

LHDの建設期はPCが高性能化して来た時期であり、制御、計測の各部に多くのPCが使われている。これらのハードウェア、OS、アプリケーションの更新を確実にを行うとともに、セキュリティーの徹底をはかり障害の侵入を排除することが重要である。

強磁場実験、特殊磁場配位、長時間放電などの運転方式の新たな変化に確実に対応できることや、放電間隔が3分間という短時間で処理に安定的に対応できるように、システムの高性能化をはかっていく必要がある。また、この資料を保守点検、適正な予備部品の調達参考資料として生かしていきたい。

LHDにおいても点検後の原状回復を忘れたための不具合も起こっている。一般社会には保守が原因となる故障例が多いことにも注意して、保守の前後処理に十分注意して取り組んでいく必要がある。

この不具合調査は各部署から実験に影響しない不具合が積極的に調査されて報告されていること、人的ミスが包み隠さず報告されていることから信頼性の高いデータといえる。このような調査は継続して行うことが重要であり、調査結果をLHD実験に携わるすべての人の共通の認識として今後の不具合抑制のために活用していきたい。

参考文献

- [1] 電気通信学会編 “信頼性工学” コロナ社
- [2] 小平純一, et al, “LHD実験における不具合調査結果”, 平成16年度大阪大学総合技術研究会報告集, 2005年3月, P2-19

複数変電室を持つ建物の変電室間位相チェックと接地線漏洩電流測定

○島田規人、安本勝、中村美雄、高田康宏

東京大学 工学系研究科 技術部

概要

碍子引き配線が混在し 3 変電室が一つの建物にある建物電気設備の問題点を主に、変電室間の位相の対応が一致しているかどうか、また変圧器 B 種接地線の漏洩電流等を調査した。相順は 1 変電室が一次側結線が逆方向であり、また一致していても 2 次側結線で逆になっているものもあった。位相が一致しない場合、三相同士では変電室間の配線の混線により最大で 400V が生じる場合もある。本調査対象建物の誤りでは最大 350V になる。変圧器 B 種接地線電流は一つの変圧器に 2~10A の変動電流が流れているものがあつた。これは電気機器のプラグの接続で接地端子と 1 電源端子が入れ替わっていたためであつた。接地は個別接地が基本になっているが、電気設備の定期点検結果によると、実際には多くが著しく抵抗値が小さく建物構造体と一体になっていると推測される。個別接地により生じるトラブルについても明らかにしている。

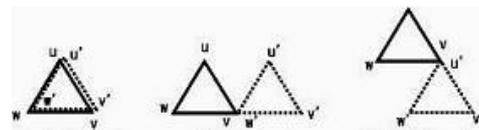
1 はじめに

調査対象建物は昭和の初め頃に建てられたもので約 70 年経過している。この間に階の増築や電気設備の改修も行われている。この経緯については資料が無く不明である。独立法人になったことによって安全管理が強く求められるようになってきている。その経緯のなかで碍子引き配線が混在し、3 変電室があり、従来から接地系統のトラブル報告が寄せられていた建物の安全評価の調査依頼を受け実施した。電気設備の評価基準は多くあり、詳細に実施しようとする項目数は多くなる。そのため、定期的な電気設備点検結果は利用し、新たな調査項目として① 3 変電室間の位相の対応、② 各変圧器の漏洩電流調査、③ 接地配線状況の確認と外観のチェック等を行った。その内容について報告する。

2 原理（結線ミスによる位相問題・漏洩電流・地絡による電圧上昇）

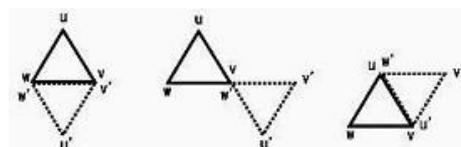
2.1 結線ミスによる位相問題

三相 3 線式（単相 3 線式）変圧器二次側の r,s,t(u,v,w)端子の s(v)端子が一般的に B 種接地になるので、各変電室変圧器は s(v)端子の接地を通してつながっている。異なる変電室三相変圧器の一次側の結線が合わないと、異なる変電室三相変圧器 200V 二次側配線が混線していた場合、接地端子が実際にどの相になるかによって相順が正方向で図 1 の組合せがあり、逆方向で図 2 の組合せがある。正逆いずれでも対応が一致しない場合、組合せによって、端子間電圧は最大で 400V の電圧が現れる。



(a)接地点 v,v' (b) 接地点 v,w' (c) 接地点 v,u'

図 1 三相 200V 変圧器二次側接地点結線による端子間電圧
(相順：基準 正、比較対象 正)



(a)接地点 v,v' (b) 接地点 v,w' (c) 接地点 v,u'

図 2 三相 200V 変圧器二次側接地点結線による端子間電圧
(相順：基準 正、比較対象 逆)

2.2 漏洩電流

一般的な配電用変圧器の二次側は、一次側混蝕時安全対策のため B 種接地が施されている。従って、二次側配電系統電路で地絡や絶縁不良により漏電した場合、その電流は漏電個所、D 種接地線、あるいは建物導電性構造体、B 種接地極・接地線を通して変圧器に戻る。

2.3 個別接地の接地異常による電圧上昇

建物構造体の接地抵抗は、小さい場合が一般的であり、 0Ω とみなして考えることができる。個別接地の変電室が複数ある場合、ある変電室系統に建物導電性構造体に地絡が生じると、建物電位が地絡線電位になり基準電位になる。一方連接接地である B 種接地端子は地絡線電位で押し上げられることになるため、電源線電位が上昇する問題が生じる。電気機器内で地絡があった場合 D 種接地、B 種接地を通して電流が流れることになる。D 種接地線が建物導体構造物から絶縁されている場合、建物電位 E_b は、地絡線電位 E_l として、 $E_b = E_l(R_B / (R_B + R_D))$ になる。D 種接地極抵抗は一般に大きく、建物電位は大きくなる。建物電位を基準、 $0V$ とすると D 種接地線電位が $E_l(R_D / (R_B + R_D))$ になる。B 種連接接地端子電圧は、 $-E_l(R_B / (R_B + R_D))$ になり、各電源線はその分持ち上げられることになる。

3 測定および結果

調査測定は、位相チェック、漏洩電流を調査測定した。調査対象建物には、第 1～第 3 までの 3 変電室がある。位相測定ではこのうち最初に設けられた第 1 変電室の接続状態を基準にして調査した。

3.1 位相の確認

相順の正逆は検相器(日置電気 2005)でチェックした。第 1 と第 2 変電室の相順は正、第 3 変電室が逆であった。

位相の対応は、第 1 変電室を基準として第 2 変電室、あるいは第 3 変電室との両者の三相変圧器出力端子間の電位測定を行った。基準変電室との違いは、相順が正と逆、それぞれの場合に考えられる接続状態(図 1、図 2)から予想される電圧と対応させることで、接続状態を知ることができる。この測定は安全が確保でき引き出し線も細くできる電圧測定だけで済むため本測定で採用した。測定結果は表 1 にまとめた。

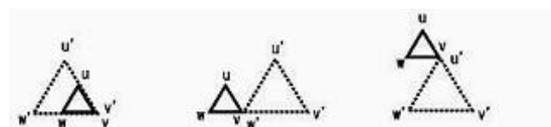
表 1 各変電室間三相変圧器端子間電圧

変電室間の三相変圧器の各出力端子間の電圧(1/200に減衰させて測定した)
第1変電室で測定に使用した三相変圧器は100V出力のTr 3φ 150kVAであった。

第1変電室 第2変電室 両端子間電圧	u u 0.524V	v u 1.044V	w u 0.979V
第1変電室 第2変電室 両端子間電圧	u v 0.543V	v v 0.015V	w v 0.517V
第1変電室 第2変電室 両端子間電圧	u w 0.843V	v w 1.059V	w w 0.541V

第1変電室で測定に使用した三相変圧器は200V出力のTr 3φ 200kVAに変更した

第1変電室 第3変電室 両端子間電圧	u u 1.760V	v u 1.066V	w u 0.912V
第1変電室 第3変電室 両端子間電圧	u v 1.068V	v v 0.015V	w v 1.051V
第1変電室 第3変電室 両端子間電圧	u w 0.915V	v w 1.059V	w w 0.170V



a)本測定の場合 (b) (c)

図 3 電圧が違う三相変圧器二次側接地点結線による端子間電圧(相順：共に正)

基準：第 1 変電室 100V 変圧器、比較対象：第 2 変電室 200V 変圧器

第 1 変電室と第 2 変電室との位相チェックでは基準の第 1 変電室の三相変圧器を 100V 出力を用いたため、端子間電圧は図 3 の組合せになる。測定結果を対応させると図 3 (a)が対応し、相は一致していることが分かった。

第1変電室と第3変電室との位相チェックでは（何れも三相200V変圧器）、相順が正と逆の図2の組合せの何れかに該当することになるが本測定では図2(a)の組合せに該当することになる。v' と w' とが入れ替わって接続されていることが誤りである。

3.2 漏洩電流の測定

各変電室各変圧器B種接地線電流をクランプメータ（緑安全(株) CLM-40AD）により測定した。各変圧器のB種接地線電流がそれぞれの変圧器の漏洩電流になる。この漏洩電流は電路が正常の場合でもあり、その大半がフィルターからの漏洩電流である。測定結果は表2にまとめた。

表2 各変電室変圧器B種接地線に流れる電流の測定

第1変電室				
Tr 3φ 150kVA	Tr 3φ 200kVA	Tr 3φ 100kVA	Tr 3φ 75kVA	
30.3mA	46.5mA	25.5mA	0mA	
第2変電室		第3変電室		
Tr 1φ 200kVA 2~10A(変動)	Tr 3φ 300kVA	Tr 3φ 150kVA	Tr 3φ 150kVA	Tr 3φ 100kVA
	18mA	20mA	10.8mA	2.6mA

第2変電室単相3線式変圧器のB種接地線に2~10Aの変動する電流が流れていた。

3.3 各接地極接地抵抗

各変電室各接地極の抵抗値を電気設備定期点検結果から抜粋しまとめたものが表3である。

表3 各変電室各接地極抵抗（電気設備定期点検より抜粋）

測定年月日	第1変電室接地極			第2変電室接地極			第3変電室接地極		
	A種	B種	D種	A種	B種	D種	A種	B種	D種
H17年9月18日							0.1Ω	0.1Ω	0.1Ω
H18年9月10日	0.4Ω	50Ω	0.4Ω	0.2Ω	0.1Ω	0.2Ω			
H19年9月8日	0.4Ω	50Ω	0.4Ω	0.2Ω	0.1Ω	0.2Ω			

接地状態は図4に示す状態になっていた。

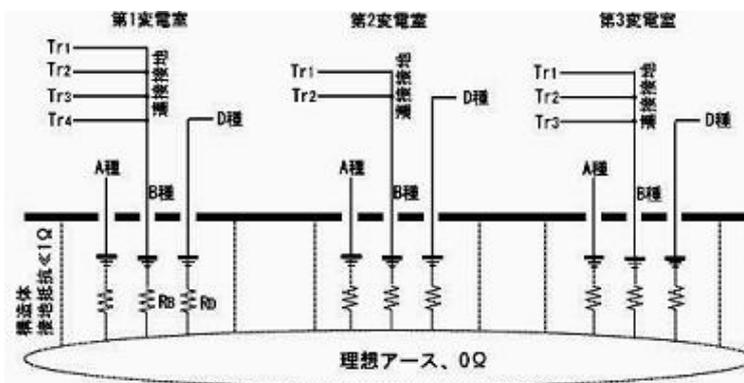


図4 調査対象建物の接地状態(個別接地)

各変電室には何れも接地端子箱は無かった。直接配線接続され入り組んでおり、接地抵抗測定が、接地極のみを切り離なされて測定されていたのかどうか疑問のある状態であった。

4 考察

(1) 位相状態による問題 相が一致しない変電室からの配線が混線している場合、両線間に図1図2に示す異常電圧が生じる。最大で400V生じる場合があり、感電、破損の原因になる。身近に発生するトラブルでは三相誘導電動機の回転の問題がある。この回転方向は相回転によって決まり、接続線の相順が逆だと回転は逆になる。相順を信じるとトラブルの元になるので必ず確認して結線することが必要である。結線を正常に戻すにはあらかじめ相順で問題が発生する個所を掌握し、訂正しないと新たな事故の原因になる。

(2) 漏洩電流 第2変電室単相3線式変圧器のB種接地線に2~10Aの大きく変動する電流が流れてい

た。一般的に、電源周波数成分の漏洩電流の大半は電源フィルターからのものであり、負荷の断続が無ければ大きな変動はなく、若干の変動に限られる。今回発見できた異常漏洩電流は単純な地絡ではない大きく変動する状態であった。このことは施設に報告し、早速施設による調査が行われた結果、電気機器のプラグの結線が電源線に接続すべき1線が接地プラグに接続して使用していたため、電源の供給が電源1線と接地線から供給されていたことが原因であった。

(3) 接地極接地抵抗 電気設備点検結果の接地抵抗は、 1Ω 以下と小さく、独立の接地極の抵抗ではないと推測している。各変電室には接地極端子箱が無く、接地線途中で配線接続されている。点検のときに接地極を切り離なされず接地極抵抗を測定した場合には、負荷側の接地線が建物構造体と接続状態になっていることが考えられ、その結果建物構造体接地抵抗が反映していたのではないかと考えている。

第1変電室のB種接地極抵抗は 50Ω である。一次側高压ケーブル長約3kmとすると電気設備技術基準から求められる抵抗値 38Ω よりも大きく、不良になる。その他の接地極は構造体と一体になっていると考えられ、接地極抵抗は構造体接地抵抗を反映していると考えている。もしそうであるならば、この接地抵抗対策は、構造体接地抵抗が 2Ω 以下であり、構造体を共通接地極にすることができるので、構造体に接続することで良いことになる。但し、B種接地を直接構造体に接続した場合、抵抗が小さくなり逆に地絡時に大電流が流れる問題がある。鉄筋に流れた場合、急加熱によりコンクリートを傷める原因にもなりかねない。

(4) 1建物内複数変電室で起こりうる異常電圧トラブルの具体例

よく起こりうる例として、図5に示すように異なる変電室系統から電源を取りながら信号の授受を行っている場合を考えると、一方の変電室で地絡事故があった場合、その系統電源の対地電圧上昇は最大で290Vが考えられる。他方の変電室では正常と考えると、両者は最大で400V近い電位差が現れる可能性がある。

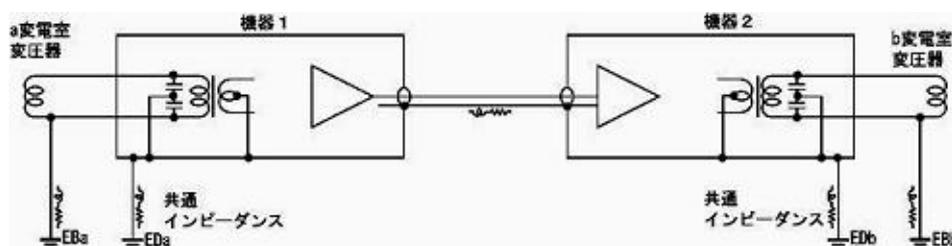


図5 異なる変電室からの電源使用機器間の信号授受に起きる問題

接地点電位を見た場合、一方の機器1が建物導体構造物と絶縁されているD種接地のみに接続され、もう一方の機器2が建物導体構造物に接続されている時、前者の場合、2.3に示すように地絡により電位が発生する。他方機器2の筐体電位は建物導体と同じになるため、両者の筐体間に大きな電位差が生じる。この間に信号系統が接続されるとこの接地線に機器1の地絡線電位をa変電室B種接地抵抗で除した大きさの電流が流れることになる。ノイズトラブルや加熱損傷の原因になりかねない。

5 終わりに

測定に際し、安全管理室室長中尾政之教授、室員の方々、施設担当の方々には施設調査の許可、資料提供や調査協力を得た。記して感謝する。

参考文献

- [1] 3号館建物電気設備調査報告試料
- [2] 平成17,18,19年電気設備定期点検結果
- [3] 安本勝, “電源の対地電圧上昇事故解析による感電・ノイズ対策”, 第8回東京大学工学部・工学系研究科技術発表会技術報告, 1993年

蛍光X線分析における微量粉体試料の固定法の検討

平 雅文

高エネルギー加速器研究機構 共通基盤研究施設

概要

蛍光X線分析法は非破壊でBe-Uの元素分析ができる便利な分析法であるが、試料の性質、目的の測定元素に応じて試料が飛散しないように固定する必要がある。今回、微量の粉体試料の前処理の簡便法としてよく使われる、フィルムを使用した場合の軽元素の検出感度の減少について何種類かの市販のフィルムを用いて測定を行った。また、バインダを用いたペレット成形による測定法について検討を行った。バインダとしてセルロースパウダ、ホウ酸、臭化カリウム、塩化カリウム、塩化ナトリウム、フッ化リチウム、フッ化ナトリウム、塩化アンモニウムについて検討を行い、バインダ自身に含まれる不純物の影響、更にバインダを用いて実際に微量の標準試料を分析した場合の測定精度の違いについて比較を行った。

1 はじめに

蛍光X線分析法は吸収端よりも短い波長のX線を試料に照射し、発生した蛍光X線の波長を測定して定性分析を、その強度から定量分析を行うもので、固体、液体、粉体試料の非破壊分析が可能である。ファンダメンタル・パラメータ法（FP法）により標準試料がなくても半定量が行えることから、広く一般に普及した分析法である。ただし、測定を行うには試料が分解、蒸発、潮解、昇華、飛散等によって試料室や分光器を汚染しないように固定する必要があり、試料の性質、分析の目的を十分理解した上で、最適な方法を選択する必要がある。

粉体試料の固定法には一般にプレスしてペレットを成形する方法、粘着テープを用いる方法、ガラスビード法、フィルムで覆う方法があるが、ペレットを成形するには、ある程度の試料量が必要で、試料が微量の場合は、バインダを添加して量を増やす必要がある。粘着テープを用いる場合はテープの不純物が問題になる。ガラスビード法は融剤を加えて加熱融解し均一なガラス状のペレットを作成するもので、定量性は良いが均一なペレットを作成するには、専用の熔融装置が必要で、また、ある程度の試料量も必要である。ポリプロピレン、ポリエステル、マイラー等のフィルムで覆う方法は簡単であるが、軽元素の蛍光X線の透過が妨げられ測定が困難になる。

本報告では、まず、簡便な方法としてよく使用されるフィルムで固定する場合の軽元素に対する妨害について、実際に使用している市販のフィルムを用いて検討を行った。次に、微量の未知試料についてバインダを用いたペレット法で定性及び半定量分析を行うことを想定して、色々なバインダについて検討を行った。市販のバインダとしては、有機系のポリスチレン系粉末、セルロースパウダ等が用いられるが、C、O等の軽元素の測定も考慮に入れて、主に無機系のバインダを用いて実際に標準試料を測定し、どのバインダが一番有効か、また、どういった成形方法がよいのか検討を行った。

2 分析方法

2.1 蛍光X線分析装置

理学電機工業（株）ZSX100eを使用した。X線管球はRh（4kW）で、上面照射方式である。

2.2 フィルムによる影響の検討

フィルムを使用した場合の発生したX線強度の減少を検討するために、図1のように試料ホルダをセッティングし、リガクの6 μm 厚のPP(ポリプロピレン)フィルム及びPE(ポリエステル)フィルム、Chemplex社の6 μm MYLAR、4 μm PROLENE、6.33 μm PPフィルムをそれぞれ用いて、土壌をプレスしペレット状に成形した試料を覆い、測定を行い、蛍光X線強度をフィルムで覆わない場合と比較した。

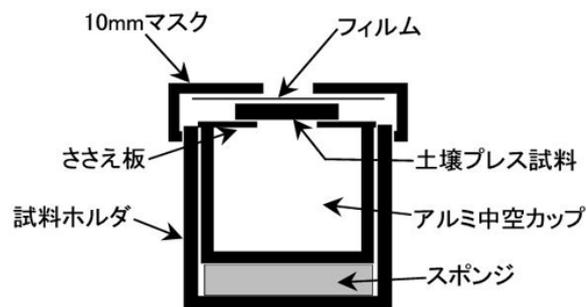


図1. 試料ホルダのセッティング

2.3 バインダを用いた微量試料の測定法の検討

バインダとして使用できる物質の条件としては、分析目的の元素が含まれていない、安定である、安価である、プレスした時の粘着性が良い等があるが、今回はバインダとして一般的に使用されているセルロースパウダ、ホウ酸の他、無機系の軽元素から成る安定な化合物としてKBr、KCl、NaCl、LiF、NaF、 NH_4Cl についてバインダとして使用可能かどうか検討した。その後、土壌標準試料(SO-4)20mgを13mm ϕ 粉体試料用アルミリングとバインダを用い、図2のようなペレットを成形し、測定径10mm ϕ で測定後、FP法で得られた分析値と標準試料の推奨値との比較を行った。

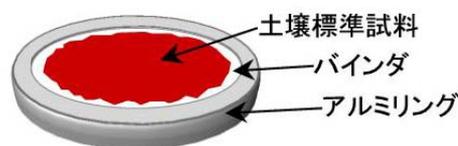


図2. バインダを用いたペレットの成形

3 結果

3.1 フィルムによる影響

5種類のフィルムでそれぞれ試料を覆った場合のX線強度の減少を調べた。図3は発生した軽元素による蛍光X線の透過率の変化をプロットしたものである。PP、PEはそれぞれ6 μm 厚のポリプロピレン、ポリエステルであるが、同じ厚さでもポリプロピレンの方がX線の透過性がよかった。MYLARはPEの一種であり、PEと似た傾向を示した。PP425はChemplex社の6.33 μm 厚のPPフィルムであり、6 μm 厚のPPに比べて若干高波長側の透過性が悪かった。PROLENEはPPの一種であるが、4 μm と非常に薄いものであったため、最も良い透過性を示した。フィルムを選択する際には、耐久性、扱いやすさも考慮にいれなければならないが、PROLENE等のX線透過性の良いフィルムを使用すればNaまでの軽元素については、分析可能であることが確認された。

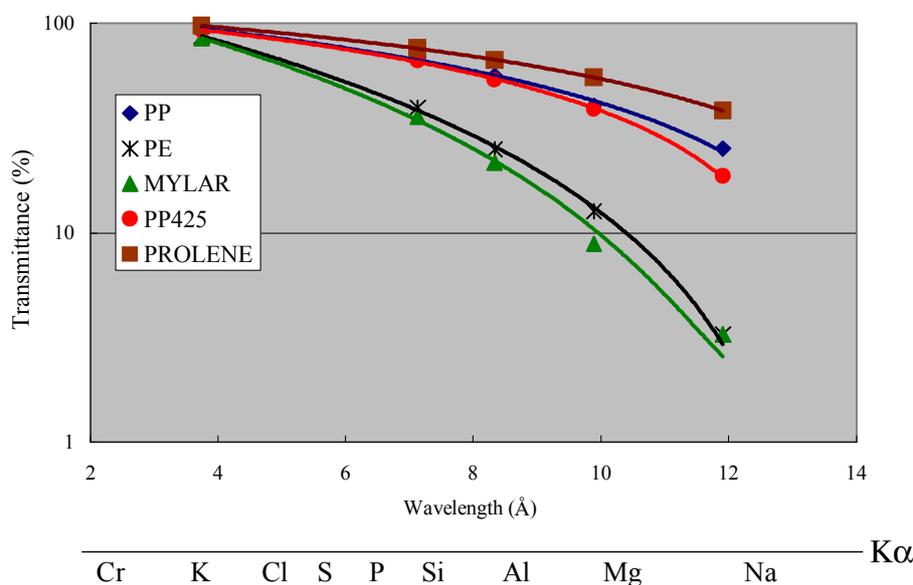


図3. フィルムによるX線強度の変化

3.2 バインダの主成分、不純物による妨害

セルロースパウダ、ホウ酸、KBr、KCl、NaCl、LiF、NaF、NH₄Cl をアルミリングを用いてペレット状に成形し、蛍光 X 線分析を行った。どれも不純物が少なく、作ったペレットも安定であったが、KBr は Br 由来のピークが強く現れ、特に重元素の測定に支障をきたすと思われた。セルロースパウダは扱い易いが有機化合物のため、C、O の測定はできない。ホウ酸は若干、C の不純物らしきピークが確認された。KCl、NaCl、NH₄Cl は Cl 由来のピークと思われる妨害が B の K α 線付近に見られた。

3.3 バインダを用いた微量試料の分析

20mg の土壌標準試料をそれぞれのバインダでできた基材の上に層状に分布するように成形し、FP 法で半定量値を求めた。バインダ無しで土壌試料のみのペレット、バインダを用いずに厚手のろ紙を円形にカットし、その中心に円形に試料を載せてプレスしたものも測定した。表 1 に標準試料の推奨値、バインダ無しで測定した場合との比較を示す。

表 1. バインダを用いた場合の標準試料の測定値 (試料量 20mg)

	推奨値	無し	KBr	LiF	H3BO3	ろ紙	NaF	KCl	NH4Cl	NaCl	Cellulose
C	%	6.7	5.81	6.27	6.4	6.51	6.43	6.45	6.63	6.65	7.09
O		48.87	44.32	45.5	49.27	49.38	50.65	49.93	49.39	49.77	49.23
Na	1	0.78	0.68	0.75	0.78	0.76	0.81	0.75	0.77	0.85	0.72
Mg	0.56	0.91	0.78	0.88	0.9	0.9	0.88	0.85	0.91	0.93	0.86
Al	5.46	6.94	6.09	6.81	6.93	6.93	6.72	6.72	6.9	6.81	6.8
Si	31.97	27.66	27.83	26.43	27.59	27.45	26.99	27.27	27.33	27.01	26.82
P	0.09	0.17	0.17	0.16	0.18	0.16	0.16	0.16	0.16	0.17	0.16
S		0.065	0.076	0.076	0.08	0.074	0.073	0.069	0.076	0.072	0.07
K	1.73	2.35	2.54	2.21	2.32	2.31	2.17	2.34	2.28	2.24	2.24
Ca	1.11	1.38	1.53	1.44	1.55	1.53	1.42	1.48	1.56	1.55	1.5
Ti	0.34	0.47	0.45	0.43	0.45	0.45	0.42	0.43	0.45	0.44	0.43
Mn	0.06	0.09	0.09	0.092	0.1	0.12	0.097	0.12	0.086	0.11	0.14
Fe	2.37	3.38	3.35	3.24	3.4	3.35	3.14	3.22	3.17	3.19	3.48
Zn	0.0094	0.015	0.015	0.013	0.01	0.012	0.012	0.013	0.012	0.012	0.014
Sr	0.017	0.031	0.032	0.014	0.015	0.013	0.013	0.015	0.015	0.014	0.015

FP 法の場合、本来、試料が均一で十分な厚みがなければならず、今回のようにペレットの表面に薄い試料の層が不均一に分布している状態では、満足な結果は得られないはずだが、どのバインダを用いた場合も、Mg、P、Mn 以外は推奨値に近い値が得られた。C、O、Na のような軽元素もバインダ間のばらつきが無く測定できた。ろ紙、セルロースパウダを用いた場合の C、O についても表面をうまく試料で覆うように成形したためか、バインダ無しの時の値とあまり変わらなかった。

次に、試料の量を 2mg に減らして、バインダとして LiF、NaF、NH₄Cl をそれぞれ使用して同様の測定を行った。表 2 に結果を示す。土壌試料中の含有量の少ない Zn、Sr は検出できなかったが、含有量の多い元素については、バインダ無しの場合とバインダを使用した場合とであまり違いは見られなかった。

表 2. バインダを用いた場合の標準試料の測定値 (試料量 2mg)

	推奨値	無し	LiF	NaF	NH4Cl
C	%	6.99	7.15	6.97	7.09
O		50.18	52.62	53.21	51.39
Mg	0.56	0.9	0.91	0.87	0.98
Al	5.46	6.74	6.75	6.79	7.32
Si	31.97	26.69	26.31	26.6	27.29
P	0.09	0.17	0.17	0.16	0.17
S		0.069	0.073	0.076	0.086
K	1.73	2.13	2.01	2.05	1.97
Ca	1.11	1.39	1.29	1.31	1.21
Ti	0.34	0.43	0.38	0.32	0.35
Mn	0.06	0.092	0.058	0.056	0.051
Fe	2.37	3.19	1.57	1.55	1.34
Zn	0.0094	0.013	0	0	0
Sr	0.017	0.026	0	0	0

4 まとめ

微量の粉体試料を蛍光 X 線分析装置で測定する際に飛散を防止するための簡便な方法として、フィルムや

バインダを用いた固定が行われるが、実際に使用しているフィルムについて軽元素測定時の感度の低下について確認できた。バインダを用いる場合の不純物の影響、精度等についても情報を得ることができた。フィルムは簡易的な方法であるが、通常の試料であれば薄いポリプロピレン系のものを使用すれば、Na以上の重元素については測定可能であることが確認された。C、Oなどの軽元素を分析する必要がある時は、LiF、NH₄Cl等の軽元素から成るバインダを用いてペレットを成形する方法が有効であることが確認された。その際、当然、バインダの構成元素は測定できないため、同一試料について複数のバインダを使用した測定を繰り返すことも必要かと思われる。

今後、少ない試料で効果的な測定ができるペレットの作り方、更にそれ以外のユニークな前処理法がないかどうか継続して検討する予定である。

微熱乱流計センサーの製作と中国西部地域での天文観測サイト調査

○大島紀夫^{A)}、佐々木敏由紀^{A)}、三上良孝^{B)}、小矢野 久^{C)}

^{A)} 国立天文台・ハワイ観測所

^{B)} 国立天文台・三鷹

^{C)} 国立天文台・岡山観測所

1 はじめに

最近、中国西部地域で望遠鏡設置のためのサイト調査を進めており、その一環として微熱乱流の測定を行うことになり、センサーの製作、データ取得システムの構築と候補地への設置、データ取得を行ったので報告する。微熱乱流計は2点間の空気中の微小な温度変化による抵抗値の変化を電圧に変換し、これを測定し、CT2値を求める測定装置である。微熱乱流の大きさとシーイングとの間には良い相関あることはわかっている。シーイングは天体の撮像観測の空間分解能を決定し、分光観測の能率をも左右する重要な要素であり、劣化させる要因としては、自由大気、ドーム環境、接地境界層、の3つに支配される。自由大気による影響は大局的な気象条件に左右され取り除くことはできない。ドーム環境については設計時に影響が最小限になるように考慮できる。接地境界層は大気と地表の境界層で、そこでの温度の乱れによって大気の屈折率が乱され、星像が劣化する。一般的には、この層内では高さと共にシーイングの乱れは減少する。また、接地境界層からのシーイングへの寄与は局所的な地形にも大きく影響される。

そこで、候補地でシーイングの乱れの一要因である接地境界層内での屈折率の揺らぎに対して、高さ方向に関しての情報を得るため微熱乱流計で測定し、接地境界層の影響が充分小さくなる高さを求め、その候補地の評価に寄与するために行った。

2 微熱乱流計の構成図

微熱乱流計の構成図を図1に示す。

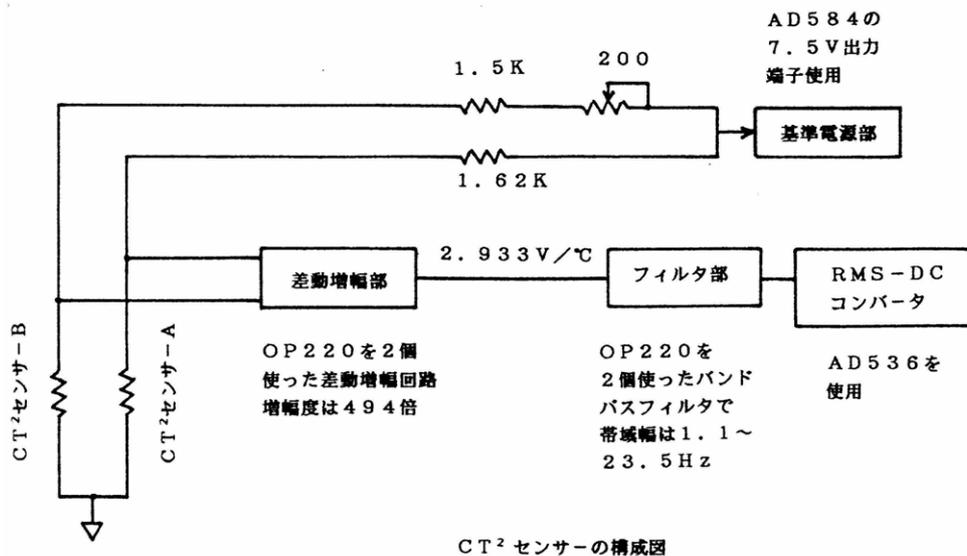


図1. 微熱乱流計の構成図

原理は、基本的に抵抗 2 本のブリッジ回路で、差動増幅器、フィルター回路、RMS-DC 変換回路、データロガー部で構成されている。2 本の抵抗にあたるセンサー A、B は抵抗値が同じになるようにポテンショメータで調整する。このセンサーは本体の制御装置から離れた場所（タワー、望遠鏡、ドーム内等）にあり、抵抗値はそれぞれ電圧に変換され、差動増幅器で約 1000 倍に増幅される。フィルター回路、RMS-DC 変換回路はハワイ大学の装置と比較できるように、帯域幅、サンプリングタイムは同じにした。

3 センサーの製作

今回は、センサー製作を担当したので、これを中心に報告する。

センサーは、マウナケアで使用したハワイ大学製ものと同じ仕様のものを製作した。

上下のポリカーボネイトの板を 4 本のデルリン全ネジ柱で連結し、太さ $25\mu\text{m}$ 、純度 99.7% のニッケル線を巻きつけた抵抗体である。ニッケルワイヤーの温度特性は冷蔵庫で温度を一定にし、ファンにより空気を攪拌して調べ、抵抗を一定にするため、長さを 2m に切り、これを巻きつけ、上下はハンダ付けした。(写真 1) ハンダ付けも $25\mu\text{m}$ と細いので付いたかどうかは同通チェックで確認するしかなかった。巻きつけも切れやすいため、あまり強く張るわけにもいかず、かといって緩すぎるとネジ山から外れる恐れもあり、何個か作っていくうちに張り具合が適切で一定にもなってきた。抵抗値も始めのうちはバラツキが

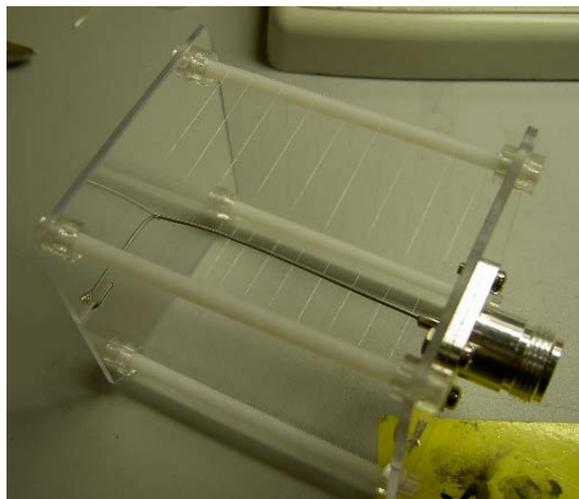


写真 1. 巻き上がったセンサー

大きかったが、張り具合も一定になると共に、長さも一定になったため徐々に小さくなってきた。巻き始めたら集中して、一気に巻き上げる必要があり、途中で手を止めたりすると力加減が変わり、切れることがあった。巻き上がったセンサーは、作業上の保護と氷雨、飛翔物から非常に細く切れやすいワイヤーを保護するためにアミを取り付けできあがる。(写真 3) こうして出来上がったセンサー 33 個の抵抗値は 270Ω ($\pm 4\Omega$) で、規格内であった。

差動増幅は、米国アナログデバイス社の OP220EZ のオペアンプ 2 個を使用し、差動と増幅を同時にできるようにしてあり、増幅度は約 1000 倍である。フィルター部は OP220EZ オペアンプを使ってバンドパス回路を作り、帯域幅を制限している。パルスジェネレーターのサイン波を入力して特性を調べた。その値は 1.1Hz から 23.5Hz である。出力は、交流信号のため直流の信号に変換しないと測定できないので、変換には軍規格の AD 社の AD536ASD の IC を使用してあり、1 枚のプリント基板に 5 チャンネル配置し、パターン化しており、セットリングタイムは 1 秒設定である。ワイヤーセンサーの周辺の温度を測定するために、AD 社製の軍規格の 2 端子温度トランスデューサー AD590MF を使用した。このセンサーは 1°K で $1\mu\text{A}$ の出力で最大 100mV まで引き伸ばせる。10K Ω の抵抗で 1°C が 0.1V に設定してある。データロガーはケスレー社のイーサネット対応の 7401 を使用。分解能 22 ビット 80 チャンネルで、エクセルファイルにデータが取り込めるタイプで、グラフも同時に作成できる。

4 候補地での設置作業

三鷹で製作、実験を行ったこれらの装置を中国西部地域の候補地へ輸送し、接続確認試験を行い、サイトへ設置し、データ取得を行った。今回の候補地は中国西端のタジキスタン国境沿いのカラスである。標高は約4,600m、周囲には氷河を持つ7,500mを超える山が望める。(写真4)ここに40mのタワーを建て、装置を設置した。まず、現地事務所があるカシュガルでシステムの接続テストを行い、設置準備の加工をし、約300km離れたカラスへ移動した。接地境界層を考慮し、センサー2個一対で1チャンネルを、5層5チャンネルと気圧計を写真3のように設置した。図2は1チャンネル分の構成図であり、写真2はタワーに設置されたセンサー。

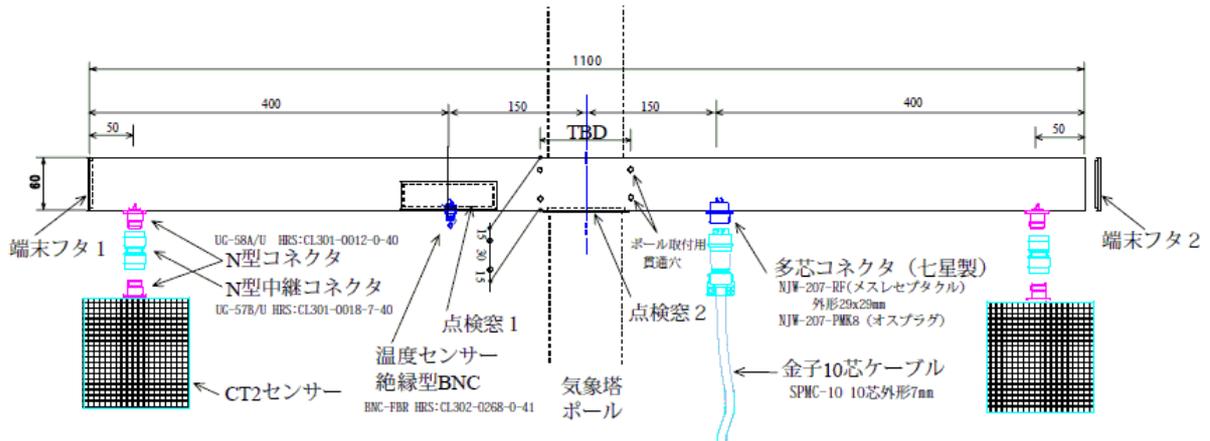


図2. 1チャンネル分の構成図

設置チャンネルの高さ方向の分布は上から以下のようにした。

1. Level 1 36.65m for CT2-1 and Temp-1
2. Level 2 19.15m for CT2-2 and Temp-2
3. Level 3 10.15m for CT2-3 and Temp-3
4. Level 4 6.25m for CT2-4 and Temp-4
5. Level 5 4.15m for CT2-5 and Temp-5
6. Level B 2.65m for Barometer



写真2. タワーへ設置されたセンサー



写真3. タワーの全景

5 データ取得と考察

装置はシステムとして順調に立ち上がり、動作は完璧に動き、データが取得できた(図3)。取得できたCT2データは、Level#1(36.65m)で 10^{-2} - 10^{-4} だったので、シーイングに変換すると0.1秒角以下であった。以前マウナケアで取得されたCT2論文との比較では納得できる数値かと思う。次には、岡山で岡山版と、今回中国で行ったシステムと同じもので比較する観測を予定しており、サイトとしての評価は、この岡山での結果との比較、赤外線雲モニターも設置されているので、長期間のデータの解析、また、できれば今後、各季節で数日ずつのCT2データを取得しての比較検討、さらに、今回のデータの処理中での係数のチェックなど総合的に検討して判断すべきである。

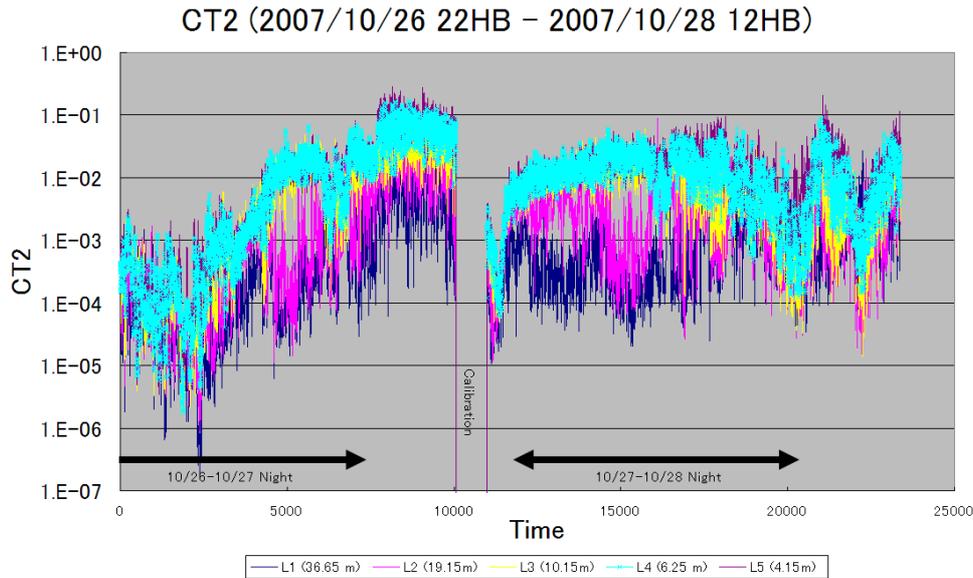


図3. カラス取得されたCT2データ

6 今後の予定

今後は、まずは今回取得できたデータのさらなる解析検討を進め、さらに前述した岡山での比較測定を実施し、システムの比較検討を行う。そして、カラスサイトの評価へ繋げる。また、中国側では、もう一つの候補地、チベット地区内のオマ北にもすでに40mのタワーを建て、ここでのCT2データの測定の要請もある。我々は、ここにも、カラスと同じ赤外線雲モニターも一緒に設置し、全く同じシステムを導入する予定であり、比較検討は容易になると思われる。

将来的にはこのワイヤーを使用してのセンサーでは切れやすくメンテナンスが大変であるので、音波を発生して大気中の散乱によって生ずるエコーを測定し微熱乱流を調べる方法(SODAR)が検討されており、すでに実験は行われていて、この装置へ移行するものと思われる。

質量分析計を用いた研究支援

桑田啓子

京都大学大学院工学研究科 合成・生物化学専攻

概要

京都大学大学院工学研究科合成・生物化学専攻／材料化学専攻共通質量分析室（以下、MS 室と略す）では、平成19年12月現在6台の質量分析計が稼働しており、筆者は当該質量分析計を用いた依頼測定、ユーザーを対象とした技術指導および質量分析計の維持管理を業務としている。ここでは、業務の現状および今後の課題について報告する。

1 装置概要および使用規約

MS 室には磁場型質量分析計が4台、MALDI-TOF 質量分析計および LC-ESI 質量分析計がそれぞれ1台稼働している。磁場型質量分析計は、いずれも日本電子株式会社製 JMS-700（イオン化法：GC-EI, GC-CI, DI-EI, DI-CI）、JMS-SX102A（イオン化法：DI-EI, DI-CI）、GC-mate（イオン化法：GC-EI）、JMS-HX110A（イオン化法：Fab）の4台である。MS 室のユーザーは、合成・生物化学専攻および材料化学専攻教職員および学生が原則であるが、他専攻の教職員および学生のユーザー数も多く使用頻度が高い。



図1

ユーザーが効率よく使用できるよう、そして装置のコンディションを良い状態で保つために、MS 室入口には予約表(左写真参照)を置くとともに、トラブル発生時には使用記録簿への記載および技術職員へ報告してもらっている。Web 上の予約システムを導入したことがあったが、Web での予約状況がユーザー側に伝わりにくい点、測定時間が10分程度と短い点から、通常の質量分析に関しては事前予約は不要であると判断し、現在はおこなっていない。ユーザーによっては長時間使用の希望もあり、そのときはMS 室入口にある予約表への記入で対応している。

また、装置の使用希望者には技術職員による講習会をうけてもらっている。講習会は随時開催し、通常マンツーマンで指導をおこなっている。マンツーマン指導は、時間がかかる点がデメリットと思われがちだが、ユーザーの使用目的、知識レベル、器用・不器用さ、飲み込みの速さなどを即時に把握できることから、講習会の時間が有効に使え、結果的に一人で利用できるレベルに至るまでのコストは軽減されている。また、講習会后に一人で測定することを不安に感じるユーザーに対しては、事前に声をかけてもらって、使用時に同室するようにしている（ちょっとわからないときに自分でなんとかしようと思わず、気軽に質問をしてもらえる）。その取り組みにより、初心者による使用ミスが未然に防げ、装置への負担を軽減している。

2 依頼測定

筆者は MS 室で稼働している質量分析計を用いた質量分析依頼業務もおこなっている。質量分析依頼の目的は論文記載用精密質量測定データまたは生成物の構造確認に分類される。依頼のほとんどは前者の論文記

載用のデータであることから、分析がボトルネックとなることは最大限に避けなければならない、効率のよい測定に努めている。

短時間で効率よく測定するためには、まず、適切なイオン化法の選択が挙げられる。イオン化法の選択には、予想質量数が 800 以下であって高極性ではない試料に関しては EI、それ以外は Fab としている。また Fab に用いるマトリックスの選択には、水溶媒であれば DTTTG、それ以外は NBA としている。そして測定はまず EI、つぎに Fab でおこなっている。EI を先に測定する理由は、EI のほうが測定時間が短いこと、EI で測定不可能だが Fab で測定可能なサンプルは多いが、その逆はほとんどないこと、そして測定費用が EI に対して Fab は 1.5 倍でありできるだけ安価な依頼料金としたいため、の 3 点である。先述したよう分析データがボトルネックとなることは避けたいため、精密質量測定データは即日返却を原則としているが、時間がかかる場合は、その旨と理由を事前に連絡するようにしている。

一方、生成物の構造確認、つまり低分解能スペクトルのみの依頼は、NMR 等ほかの分析手法では化合物の同定が不可能であること、またはとりあえず質量分析で検出される分子イオンピークから生成物を確認したい、の 2 つに大別できる。右図の依頼者のように、低分解能スペクトルのみの依頼で生成物が不明である旨が記載されている場合は、質量分析測定の結果を得てから生成物を考察し、精製するかどうかまたは次の反応へ進むかどうかの判断基準として依頼があると考えられるため、迅速な測定（原則として 10 分以内に結果返却）を心がけている。

研究支援が業務である技術職員の立場から、円滑な研究のための迅速な測定とともに、一律的な測定依頼でなく可能な限りユーザーのニーズに対応することを心がけ、予想される分子イオンピークが検出されなかったサンプルに関しては、ユーザーとディスカッションを行い、精製方法の変更、他の分取ロットの提出などの上、(合成できている、とユーザーが確信しているのなら) 目的物を検出できるよう努めている。

MS 測定申込用紙

9-535 申込年月日 平成 17 年 12 月 26 日 (水)

氏名	██████████	責任者サイン	██████████
所属	合成生物化学専攻 吉田研	内番	2731
試料名 (名称)	KT14-52-1	分析目的	構造解析
◆ 試料に関する情報 ◆			
分子式		<input checked="" type="checkbox"/> LR <input type="checkbox"/> HR	
整数質量数		イオン化法 <input checked="" type="checkbox"/> EI <input type="checkbox"/> FAB	
精密質量数		<input type="checkbox"/> CI (Positive or Negative)	
試料量 (mg / ml 中)	20 / 5-5 Mx	<input type="checkbox"/> FAB (Positive or Negative)	
溶媒	Et ₂ O	Matrix (Matrix: Positive or Negative)	
測定状態での物体保持時間		検出の有無	
保存法 etc.		検出方法	
測定状態 (凍結・乾燥・希釈) 全成分不明です 親ピークはわかりませんが ようくお戻しいしや? 結構 purity は高いかと感じます			

図 2

3 今後の課題

本報告では、質量分析計の維持管理および依頼測定業務を主として述べた。

質量分析計の維持管理に関する問題点は、装置の老朽化に伴う装置の動作不良が挙げられる。とくに MALDI-TOF 質量分析計は動作不良が多いため、予約表には連絡先を記載してもらうとともに MALDI 使用研究室の連絡先一覧を作成し、動作不良が生じたときおよび復旧したときに速やかにユーザーへの連絡をおこなっている。また、トラブルが生じたときには機器委員の教員の方々に電子メールで必ず報告をおこなっている。報告がトラブルの有無以上に、装置老朽化の周知に寄与するのではという考えである。

共通機器の問題点は、「みんなの装置」=「誰の装置でもない」のような誤った認識がおこりがちな点であり、結果として装置の現況把握をしているのが技術職員のみという状況に陥りがちである。機器購入の決定権を有する教員が現状から乖離するという組織特有の弊害を避けるため、技術職員の立場からでも何らかの取り組みが必要と思われ、こうした手法を試みている。

さてこのように動作不良を頻繁に起こす MALDI であるが、他専攻ユーザーを含め使用頻度が非常に高く、ユーザー数は増加傾向にある。新規ユーザーは生体分子とともに合成分子の測定を希望する傾向がある。これは、筆者の所属が工学研究科であるため、有機合成をおこなっている研究室が多く、結果として合成分子の測定が多いことが主要因と考えている。また、MALDI が生体分子以外でも測定可能であることが広く認識されてきたため、測定増加につながっているようだ。こうした現状を鑑みて、動作不良時に技術職員が対応

できるようにトラブル対処法を文書化し、役立てている。

ただ、この傾向については若干の問題がある。合成分子とくに合成高分子の MALDI 測定は、小分子または生体分子（特にペプチド）と比較して試料調製が容易でない。筆者も生体分子の MALDI 測定は経験を有するが、合成高分子の MALDI 測定は経験がなく有効なアドバイスができない。そのため、合成高分子の MALDI 測定に際し、ピーク検出ができないときの判断が難しくなっている。目的物が合成されておらず検出されないのであれば問題ないが、測定技術が不十分であるため検出できない事例との判断が明確でないためである。そこで、測定技術を得るために MALDI 販売会社であるアプライドバイオシステムズジャパン株式会社に相談をおこなった。相談したところ、合成高分子と MALDI マトリックスの組み合わせに関する学術論文を送っていただいた。また、測定不可能であった化合物の構造式を会社に送り、マトリックスの種類などアドバイスをいただけることになった。さらに、合成分子の MALDI 測定ができるよう MS 室においてセミナーを開催していただく方向で検討しており、外部リソースの有効活用を試みている最中である。

LC-ESI の問題点は、使い方がわからないためにここ数年ほとんど使用されていないことがあげられる。もっともソフトなイオン化法のひとつである ESI は、ペプチド、タンパク質、核酸等生体分子の質量分析方法として現在主流になっており、色素など合成分子の分析も可能である。さらには、四重極の特長であるダイナミックレンジが広いという長所を活かして定量分析も行うことが可能である。そこで、ユーザーにこの LC-MS を有効利用してもらうために、講習会を開催することとした（講師：アプライドバイオシステムズジャパン株式会社のアプリケーションサポート部チームリーダー）。講習会一日の開催に 10 万円を要することから、各研究室への連絡とともに、MS 室に案内状を置いて多数の参加者を募っている。講習会のスケジュールおよび内容は、

- ・ 10:00-12:00 LC-MS について講義（講義内容：イオン化の仕組み、各種スキャンモード、LC-MS で使用する溶媒と感度についてなど）
- ・ 13:00-17:00 装置を用いて LC-MS としての使用方法（Q1scan のみ）および Q&A

とした。ただ一日の開催のため機器の使用に関する把握は難しいと考え、測定法の理解を中心として、使用方法に関しては実際に使用する際に技術職員がサポートして不明な点を技術指導する予定である。

以上の述べてきた機器の問題以上に、組織上の問題として依頼測定自体に時間がかかる点がある。現在、所定の申込用紙に記入するだけでなく、責任者（教官）のサインが提出に不可欠となっている。そして、化合物の一部のみが異なるサンプルを 20 種類同時に依頼してくるようなユーザーも多い。ユーザーの研究室と MS 室とは距離が離れていることもあり、依頼に要する時間のほうが、測定時間よりも長いこともありうる。このシステムでは、ユーザーの貴重な時間を浪費させているのではないかと懸念した。ユーザーにその点を質問したところ、気分転換にしているから構わない旨などの回答だったが、簡便に依頼できるシステムの構築を行い、ユーザーが従来法と簡易法を選択できるよう構想を練っている。

具体的には、

- ・ 1 サンプル = 1 申込用紙 → 1 ユーザー = 1 申し込み用紙（責任者のサインも 1 回で済む）
- ・ 申し込み用紙毎にサンプルの構造式および質量を記入 → サンプルの構造式および質量はまとめて 1 枚の紙で提出（ChemDraw 等ソフトで作成し、サンプルには番号をつけて区別できるようにする）

この簡易法の導入が円滑に進めば、さらに便利なシステム（E-メールでの申し込み）も選択肢としたい。筆者は 4 人の技術職員が在籍する技術室を居室としており、技術職員の 1 人は情報技術者である。したがって、依頼測定を電子化していく際に、情報技術者の技術力を拝借し、よりよいシステムを構築していきたいと考えている。

高熱負荷下の放射光用ミラーの冷却

内田 佳伯

高エネルギー加速器研究機構

概要

以前技術研究会でシャックハルトマン法を用いてミラー表面の形状を測定することを発表したが、放射光を用いてのミラーの表面形状の測定方法はその後ほぼ確立するに至った。そこで有限要素法 **ansys** を用いてミラーの冷却方式について数々のモデルで解析を行い最適なミラーの冷却機構の設計を行った後に表面形状を測定することとした。本研究会ではその解析結果を中心に発表する。

1 熱負荷による放射光用ミラーへの影響

放射光用ミラーは集光用等に使用されるが設置場所によっては数 kW の熱負荷にさらされるため冷却する必要がある。しかしただ単に冷やせばいいというわけではなく冷却が不十分であると熱変形により集光条件等が変化してしまいビームラインの性能を十分に発揮できない。ここでミラーの裏面を冷却する場合を例にとると熱変形は大きく分けて①ミラー表面と裏面の温度差によるミラー全体の歪(thermal bowing)②ミラー表面の局所的な温度上昇による変形(thermal bump)とがあるがいずれも **power density**(W/mm²)に比例することが知られている。上述の通り変形は温度差に依存するので原則温度上昇が低いほど変形量は小さくなる。したがって変形を抑えるミラー冷却の設計にあたり温度上昇を解析することとしたが同じ材質、寸法、**power density** であっても必ずしも温度上昇が同じというわけではなく計算も困難であるため有限要素法 **ansys** を用いて解析することとした。

1.1 熱負荷がかかる形状について

PF の放射光は縦方向に狭い発散角(～0.2mrad)をもつため光を受ける向きにより、熱負荷がかかる形状(加熱面)が線状になったり、長方形になったりする。ここで 50×22×11 のシリコンの板の底面を冷却し(熱伝達率(0.012W/m²K))、(1)40×1(2)5×8(power density(1W/mm²), total power(40W)でともに同じ)の熱負荷がかかった

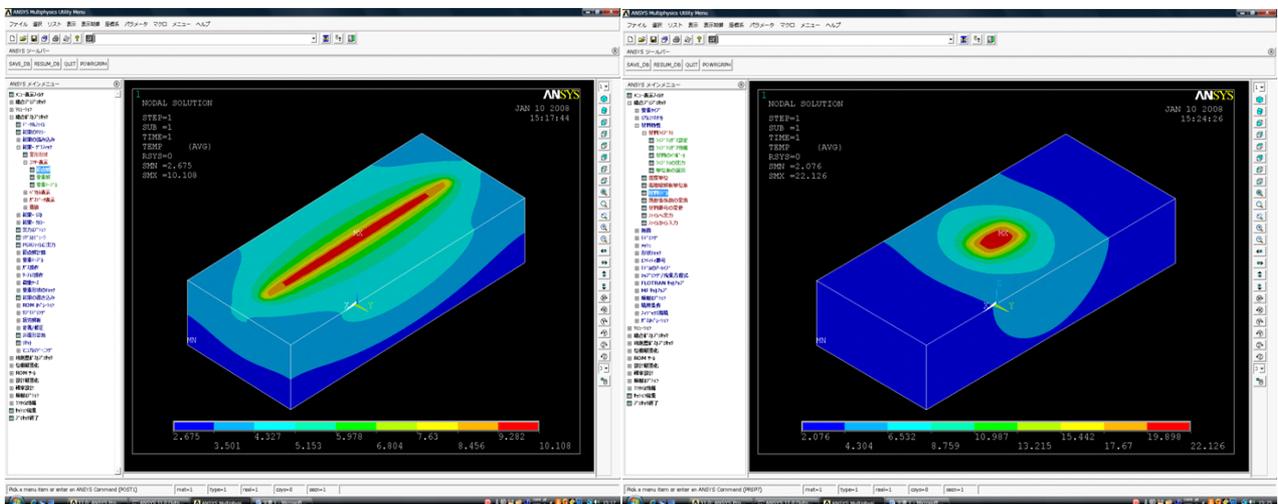


図 1

図 2

場合の解析結果を図に示す。(1)では最大温度上昇に対し10.1℃(2)では20.1℃となる。(1)のほうの温度上昇が低いのは(2)と比較して熱がXY方向によく逃げているためと考えられる。このように寸法等が同じミラーであっても熱負荷がかかる形状によって温度上昇は異なるのでどの向きで光を受けるのがまず重要となる。(1)の形状で光をうけると左右に出射光がずれることとなり隣のビームラインとのやり取りが問題となるが干渉しないのであれば(1)の形状で光を受ける方式を採用することとなる。

1.2 底面冷却・側面冷却と熱負荷がかかっている面と冷却面との距離

ミラーを冷却する場合側面を冷却する方法と裏面を冷却する方法があるが図3,4にそれぞれの解析結果を示す。結果から判るとおり側面、裏面の冷却も温度上昇はほぼ同じである。これはそれぞれの冷却面積(50×11×2、50×22)が同じで光が当たっている面と冷却面の距離(11mm)がほぼ同じことによるためと考えられる。

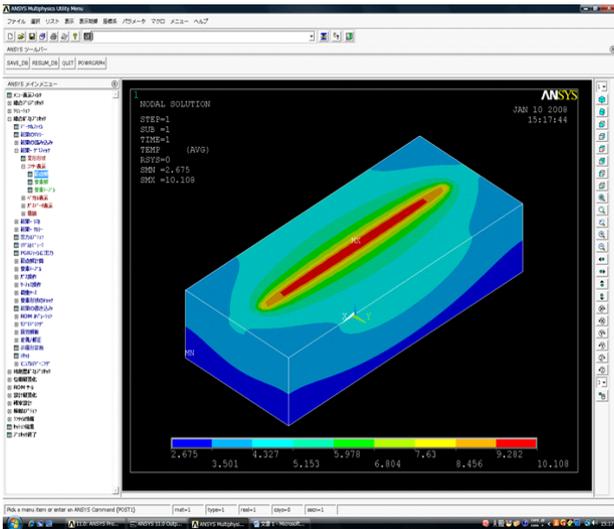


図3(底面冷却)

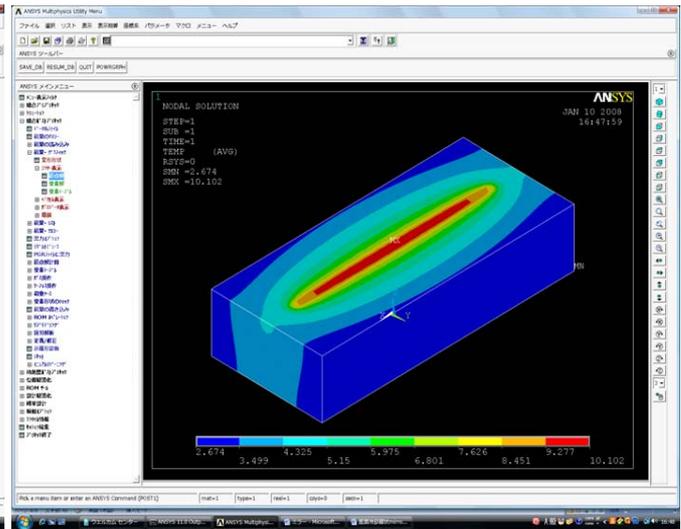


図4(側面冷却)

この場合どちらの冷却方式を採用しても構わないこととなる。しかしミラー作製の見地に立つと違いがでてくる。それは熱負荷がかかっている面と冷却面との距離(R)について検討すれば判ることだが単純に考えると熱負荷がかかっている面と冷却面との距離(R)が小さければ小さいほど温度上昇が低くなると考えがちだがそうではない。表1にRを変化させた側面冷却、底面冷却の解析結果を示し一例として図5,6にR=5,2mmの側面冷却の結果を示す。

	R=11(mm)の温度上昇(℃)	R=8	R=5	R=2
側面冷却	10.1	9.5	9.0	9.5
底面冷却	10.1	9.5	9.0	9.3

表1

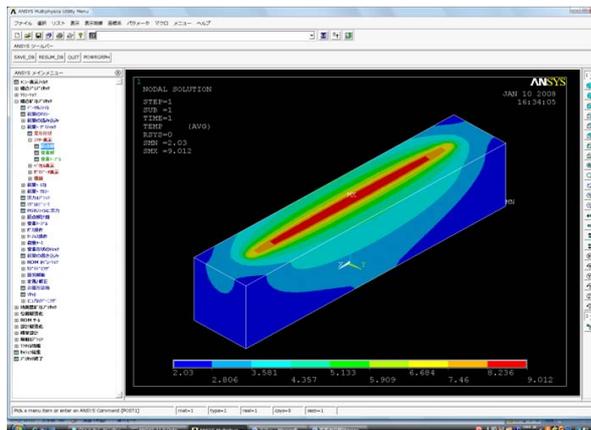


図5

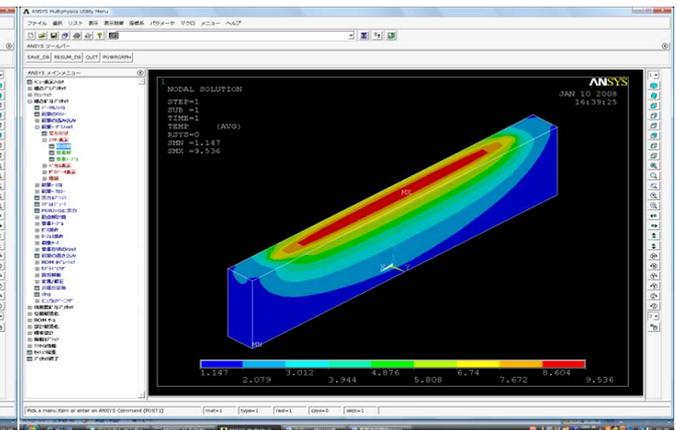


図6

R=5mm までは温度上昇が低くなるが 2mm になると逆に高くなってしまいます。側面、底面冷却とも同じ R=5mm で温度上昇が最低の結果を踏まえるとこのモデルのように冷却面積と比較して加熱面積が小さい場合、熱はある曲率半径(R)をもって逃げ、Rに最適値(この場合 5mm)があるのが判る(これに対して冷却面積と加熱面積がほぼ等しい場合は冷却している面に一次的に熱は逃げる)。ここでミラー作製の見地に立つとミラー表面は数Åといった精度で研磨する必要があるためある程度の厚み(10mm 程度)が必要なこと(薄いと歪んでしまう)とミラー表面積が小さいほうが研磨する面積が小さくなるため精度がでやすく費用も安くなる。そこである厚みがとれしかもミラー表面積を小さくとれる側面冷却のほうが優れていることとなる。ただこのモデルで R=5mm で底面、側面を冷却すれば最適かというともたそうでもない。図 6 は底面、側面とも R=5mm で冷却したモデルであるが温度上昇はさほどかわらない。これは冷却面積がほぼ同じなことに加え、加熱面の X 方向の熱勾配が急なため X 方向に逃げる熱が大きいのに側面の冷却面積が小さくなっていることが原因と考えられる(50×11×2(mm²)から 50×5×2(mm²))。実際 R=5mm で側面の冷却面積を増やして(50×13×2(mm²))解析すると温度上昇は低くなる(図 7)。

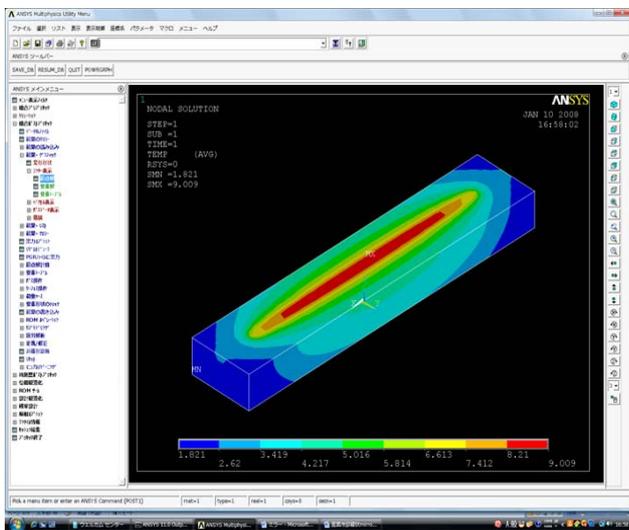


図 6(R=5mm で側面、底面冷却)

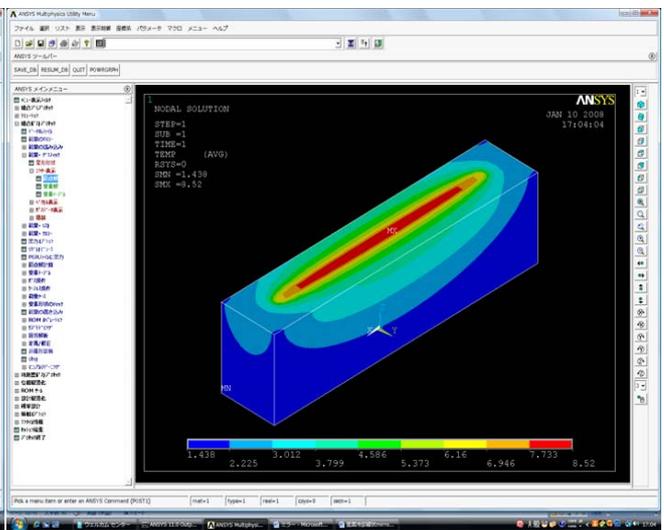


図 7(側面冷却面積拡大)

2 ミラー冷却機構の設計

図 8 に今回設計したミラー冷却機構の概念図を示す

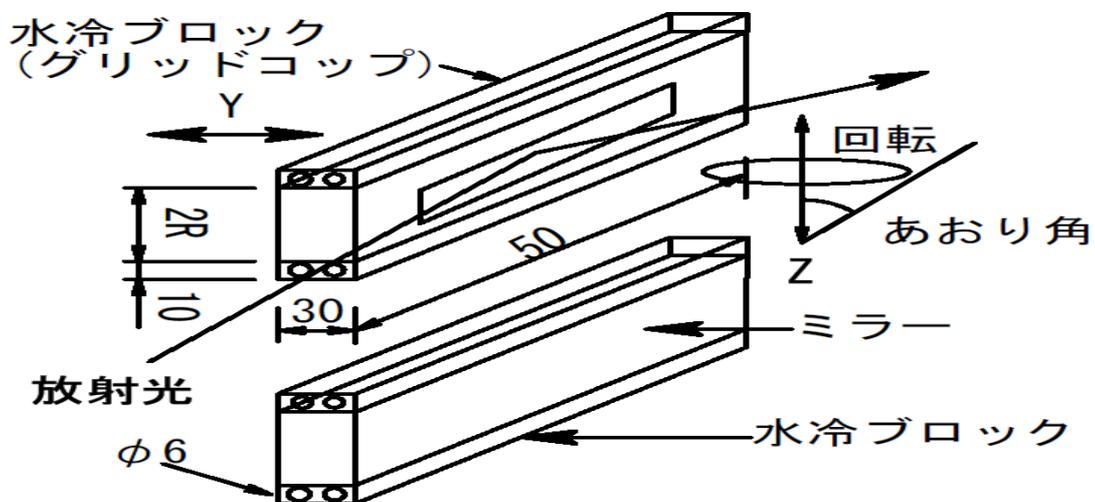


図 8

上述の解析結果を踏まえ線状で光を受けること、側面冷却で冷却面積を大きくとることをまず設計の基礎とした。また R を可変とし R の異なるミラーを縦 2 連に並べ R の違いによる変形を Z 軸の上下に駆動により真空を破ることなく測定できるようにしたことや Z 軸を回転することでミラーへの入射角を変えることにより power density を変化できるようにした。さらに調整がしやすいように Y 軸、あおり角度を変化できるようにし、あおり角以外はモーター駆動できることとしたため原則ハッチに入ることなく(ミラーは X 線防護の理由から実験ハッチに入っている)パラメーター(power density 等)を変えて測定できる設計を行った。

3 今後の展開

このミラーが納入されしだい評価をすることとなる。冷却に関しては冷却板とミラーとの接触が重要となる。熱接触をよくするため間に金属シート(In 等)を挟みこんだりするが今回 2 連にすることで一つは挟みこみもう一つは挟みこまないミラーで測定も容易に可能なため R の違い、間の金属シートの有無、冷却板とミラーと接触する際の締め付けトルクの違い(トルクが大きいと接触はよくなるがミラーが歪んでしまう)により最適なミラー冷却方式の検討ができさらに測定結果により解析のパラメーターで決めることが困難な冷却板とミラーとの間の熱伝達率が予想できることなり今後のミラー設計にさらに役立つことが期待される。

参考文献

- [1] 竹下邦和 ビームライン問題「高熱負荷」 OHO93 高エネルギー加速器セミナー

すばる望遠鏡赤外観測装置自動予冷システムの開発

○小俣孝司、西村徹郎、東谷千比呂、小西真広、吉川智裕、田中壺、鈴木竜二、

Steve Colley、David Cook、Bill Gorman、Barney Magrath、Lucio Ramos、Scot Kleinman

国立天文台 ハワイ観測所

概要

赤外観測装置は、その運用状態において検出器・光学系を極低温に保たなければならない。しかしメンテナンス等の理由により、それらを常温に戻して（昇温）作業後再び冷却が行われることがある。我々の担当する赤外観測装置 MOIRCS は、メンテナンスやフィルター交換の為に年に数度の昇温・冷却が行われてきた。この装置は特に内部の熱容量が大きい為、ヘリウム冷凍機だけでは温度を下げるのに長期間を要する。そこで冷却のスピードを上げるために液体窒素で予冷を行う仕組みが設けられた。これは目標温度に達するまで液体窒素数本を要し、人が付きっきりで監視をしながら丸一週間かかるものであった。マウナケア山頂でのこの長期間に渡る作業は過酷であり、人員配置や過密スケジュール等の問題も深刻であった。その為、これらを自動化し昼夜連続で予冷を行うシステムの開発が行われることになった。本発表では自動予冷システムの開発の経緯と現状を報告する。

1 MOIRCS の予冷

元々、赤外観測装置の予冷は特に温度変化率を考慮せずに行われていたが、MOIRCS での予冷は慎重な温度降下率の制御が必要であった。あまりに速い温度降下率により、光学系や検出器に急激な熱ひずみをもたらし、クラックを発生させてしまうという事例があったからである。また同じ真空容器内でも一番温度の低いところに霜が発生してしまうので、光学系や検出器に霜が付くのを避けるため、それらの温度を他の部位より高めた状態で温度降下を行わなければならなかった。これらの温度制御を、電熱ヒーター、ヘリウム冷凍機、液体窒素予冷管を適切に配置することによって行っている。

1.1 液体窒素による予冷

予冷中は表 1 の様な条件での温度制御が行われている。ここで、コリメータは光学系の温度でもっとも予冷管に近いところ（液体窒素の流量の影響が一番良く出る）、ロボハンドは真空容器の中で一番予冷管から遠く、冷やしにくい所である。このロボハンドの最終目標温度達成をもって予冷が終了する。検出器は霜の付着を防ぐために冷却中はヒーターで真空容器内での最高温度を保ち、霜付着の温度を突破した予冷の最終段階に

表 1. 温度パラメータ

	値
コリメータ温度変化率	±5K/hr 以下
ロボハンド最終目標温度	110K
予冷中検出器温度	ロボハンド温度+30K
検出器最終温度	77K

において、目標温度に落ち着かせている。予冷管は真空容器内部と直接繋がっており、予冷終了後は対流による熱流入を防ぐために真空引きしておくことが必要である。

1.2 手動による温度制御とタンク切り替え

当初、MOIRCS の予冷は専ら液体窒素の栓の開き具合にを調節することにより温度制御を行っていた。山麓施設での実験段階では 150L の液体窒素タンク 7本を 3 日連続で流し続け、精密な温度制御や素早いタンク交換の為に常に傍に人が待機し監視を続けていた。また、マウナケア山頂での手動予冷は、夜間のドーム内での作業が禁止されていることにより、昼間一杯の時間を使っての冷却を 5 日間に渡って行うという過酷なものであった。割ける人材や山頂での健康状態、集中力にも限界があり、流量制御やタンク切替も人手で行う分安定して行われることは困難であった。そこで、予冷システムをリモート化し最終的に無人化することが検討された。

2 自動予冷システムの開発

基本的に MOIRCS において殆どの制御機器は内部に搭載され遠隔操作で動かすことが出来る。温度制御においては検出器のヒーター、昇温時の為の本体ヒーター、ヘリウム冷凍機の ON/OFF などが遠隔制御でき、本体内の各所（8ヶ所）の温度計測も自動で行われたいた。予冷の自動化に必要なのは、液体窒素タンクの切り替え、流量制御と予冷終了後の処理（予冷管真空引き）であった。初期のシステム構成は以下の様であった。

2.1 予冷配管系

液体窒素の流量制御に空気圧駆動の流量制御弁を使用し、2つのタンクの切り替えを行うタンク切替機と組み合わせたシステムを作った。いずれも液体窒素専用の市販品である。流量制御弁は電流値により弁の開閉をし、液体窒素の流量を制御する。タンク切替機はタンクの圧力を感知し、タンクが空になったら次のタンクに切り替える機能を持っている。予冷管の各節目には圧力制御弁が設けられて安全性を向上させている。



図 1. 初期の自動予冷システム

2.2 制御系ハードウェア

電磁弁の ON/OFF、各電子機器の電源の制御は電源制御ターミナルで行っている。流量制御弁のための電流源は mA 単位で設定出来、RS-232C で通信できるものを使った。タンク切替機にはリモートでの監視や制御をする機能が無かったので、RS-232C で制御出来る I/O ターミナルを後付してその機能を持たせた。排出ガスの流量計はタービンタイプの一般的な物で RS-232C で値を読み込むことが出来る。すべての RS 機器はターミナルサーバ経由で TCP/IP 通信に変換、その他の機器も TCP/IP 通信により制御されている。

2.3 制御系ソフトウェア

MOIRCS での真空・温度状態の監視は既に Web 上での監視^[1]が可能である。新たに付加されたセンサ類の監視は CIAX・MOIRCS 制御ソフト^[2]を流用している。これらを Web 上で利用するためのソフトウェアは新たに開発された。取得されたデータを使用し、流量を制御させるデーモン、そのパラメータ設定・手動操作・ログ表示用の Web アプリも開発された。

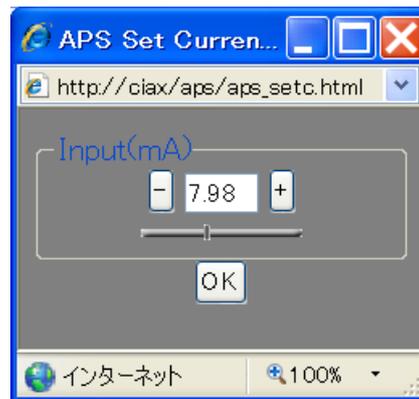


図2. 初期の Web アプリの一部。Ajax 技術によりどこからでも GUI 操作が可能になっている。

2.4 試用結果

冷却対象である MOIRCS は既に共同利用中であるので実験等を行うことは出来ず、年に数度の実地運用でしか評価は出来ない。まずは現場での無人化が第一目標であったので、タンクの切替が正しく動作することが必要であった。最初の運用では、それが正しく機能することが実証された。ただ、依然としてリモートでの人の監視は必要で、流量制御は人手で行われていた。タンク切れが起こった場合も、タンク交換で昼間に人が上がるまではそのまま放置された。(短時間なら放置しただけでも問題は無い。) 流量制御を流量計の値により自動で行うことが試みられたが、温度に影響が現れるまでの時定数があまりに大きく、操作する人の許容限界を超えていたので、パラメータが頻繁に書き換えられ、結果として流量自動制御は成り立たなかった。それでも、現場での滞在時間が大幅に減った(準備、後片付けとタンクの交換くらい)ことは大きな進歩といえた。

3 システム改良の経緯

3.1 真空ポンプの付加

予冷中断・終了時の為に予冷管に真空ポンプを接続し、電磁弁で流路を切り替えて真空容器内の予冷管の真空引きが行えるようにした。真空ポンプは元々 MOIRCS に内蔵されていたので遠隔での制御は最初から出来ていた。電磁弁には NO(Normal open)と NC(Normal close)の種類があるが、電流を流している間はかなり発熱するので、真空容器に流入する側には NO、流出する側には NC の電磁弁を取り付ける等工夫した。タンクが全て空になった時に真空引きが始まるようなソフトウェア(デーモン)が追加され、予冷の効率がさらに高まった。

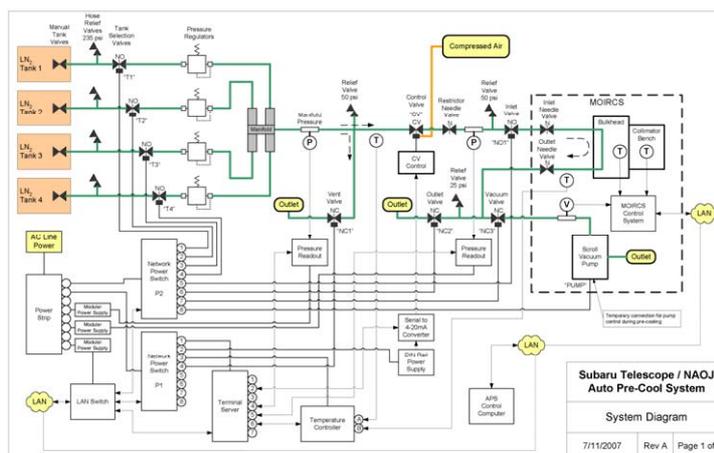


図3. 最終的な自動予冷システムの接続図。配管(太線)、電源線と信号線が示されている。電磁弁の駆動は電源ターミナルで、圧力や温度のデータの取得は RS232C 経由でなされている。

3.2 同時接続タンク本数の増加

タンク切替機の下流をさらに分岐させて同時接続タンク数を4本に増やした。そのため一度のタンク交換で24時間以上持つようになった。電磁弁による切替は、タンク切替機のステータスにより行っている。流量計は詰まり易い為全て外し、流量制御弁の前後の差圧を計ることにした。また真空容器への予冷管の出入り口の温度を測るようにもした。液体窒素が通る弁数が多くなったためか、タンクの必要本数が増えてしまった。

3.3 タンク切替機の除去

タンク切替機を通すと流量の効率が悪くなっていることが予想され、それを取り外すことにした。タンク切替は、タンクの圧力低下を検知して行うことにした。これはうまく動作したが、タンクごとに圧力に個性があることで液体窒素を完全に使い切ることが難しく、冷却に無駄が多かった。

3.4 タンク切替方法の改良

並列に接続されているタンクの圧力を共通にし、タンク切替と温度制御を安定させるようにした。切替時にガスを途中から放出して内部の温度が上がるのを防ぐ機能も設け、出来るだけ継続的に冷却が行われるようにした。迅速なタンク切替と初期ガス放出により、タンク切替時の温度上昇を抑えることが出来た。また、温度降下率の制御もこの段階から本格的に行われ、予冷中盤までは非常にきれいな温度降下曲線を描くようになった。

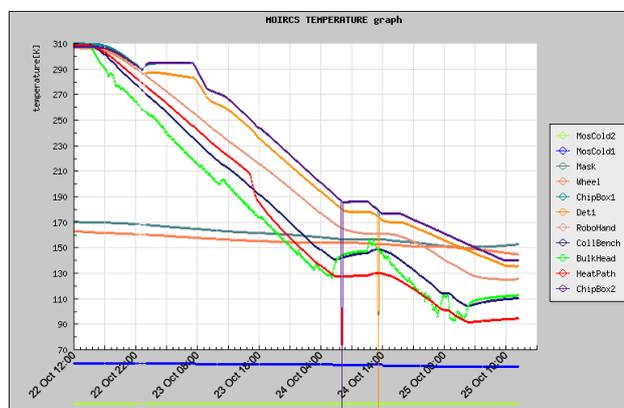


図4. 冷却温度曲線。コリメータの温度が滑らかに下がっていることが判る。

4 まとめ

数度の改良と試用を経て、当初の目標である山頂ドーム内での24時間無人運転はほぼ達成できた。これで1日1回のタンク交換に上がるだけでよいことになる。また、温度制御も人による長時間集中監視の労力を軽減させるレベルまでになった。さらに他の観測装置（IRCS等）への応用も始まっている。今後は、毎日タンクの取替えに行かなくて良いように、最初に全てのタンク（10本）を接続すると共に、より冷却効率を上げることで必要タンク量を減らし、誰でも簡単に扱えるように環境を整えるようにしたい。

参考文献

- [1] Yoshikawa, T. et al. "Application of SQL database to the control system of MOIRCS", SPIE, 2006,6274E-27Y
- [2] 小俣 孝司, et al, "CIAX・MOIRCS 機器制御ソフト", 平成18年度分子科学研究所技術研究会報告集, 平成18年3月, P4-02 - P284-287

ファラデーカップにおける異常電流の原因究明

森田 明

東京大学 工学系研究科

概要

デュオプラズマトロンイオン源から引き出す He^- イオンビーム電流の場合、分析電磁石で曲げる前後のビーム電流は単一イオンであるため、全量を集めることができるならば、ほぼ同じ値を示すはずである。しかし、実際は透過損失があるため約 1/10 になる。デュオプラズマトロンイオン源からの He^- イオンビーム電流を測定する分析電磁石分析前ファラデーカップ(以下分析前 FC)の観測値が、分析電磁石通過後ファラデーカップ(以下分析後 FC)で従来の観測割合の値が観測できないという症状が現れた。この原因究明の経過について報告する。

1 はじめに

本報告のファラデーカップにおける異常電流の問題は、担当装置である横型タンデム加速器(装置名称: RAPID)で利用する He^{2+} イオンビームを引き出すため、イオン源から He^- イオンビームをタンデム加速部分に入射させるため調整している段階で発生した。イオン源から引き出した負イオンビーム電流をタンデム加速部分に入射させる途中の分析電磁石を通す前の分析前 FC で従来のビーム電流値から見ると少ないが加速部を通して求められるイオン電流には十分な電流値 $-0.163 \mu\text{A}$ が得られたにも関わらず分析後 FC ではほとんど検出できなかった。使用した負イオンは He^- であり、セシウムスッパタ負イオン源に見られる他イオンの混入は小さいと考えられるのでイオンビーム電流の観測値は分析電磁石を通した後は従来の一般的な損失割合の減少イオンビーム電流が予想される。しかし分析後の電流は 2nA と損失割合を考慮しても小さすぎる値であった。当初分析前イオンビーム電流を測定する分析前 FC の冷却水系からの電流の流入が原因と思われたが、特定できるまでには至らなかった。本報告はこの原因追及の経過である。

2 装置関係部分の概要

2.1 イオン源からタンデム加速部入射までの構成

この部分は図 1 のように構成されている。イオン源はセシウムスッパタ負イオン源(以下 CI)とデュオプラズマトロンイオン源(以下 DI)がある。後者にはイオン源出口に正イオンを負イオンに転換する負イオン変換器が設けられている。

分析前ファラデーカップ(以下 FC)は CI 用がイオン源出口に、DI 用はビーム通過ダクト終端に設けられている。

いずれも生成するイオンビーム電流は必要イオン以外も含む負イオンビーム電流を観測することになる。DI 用は負イオン変換前の正イオンビーム電流も観測する。

2.2 イオンビーム電流測定用ファラデーカップ

(1) デュオプラズマトロンイオン源用分析前ファラデーカップ(DI 用 FC)

先ずイオン源からの負イオン変換前の正イオンビーム電流を観測し、最大イオン電流にした後、負イオン

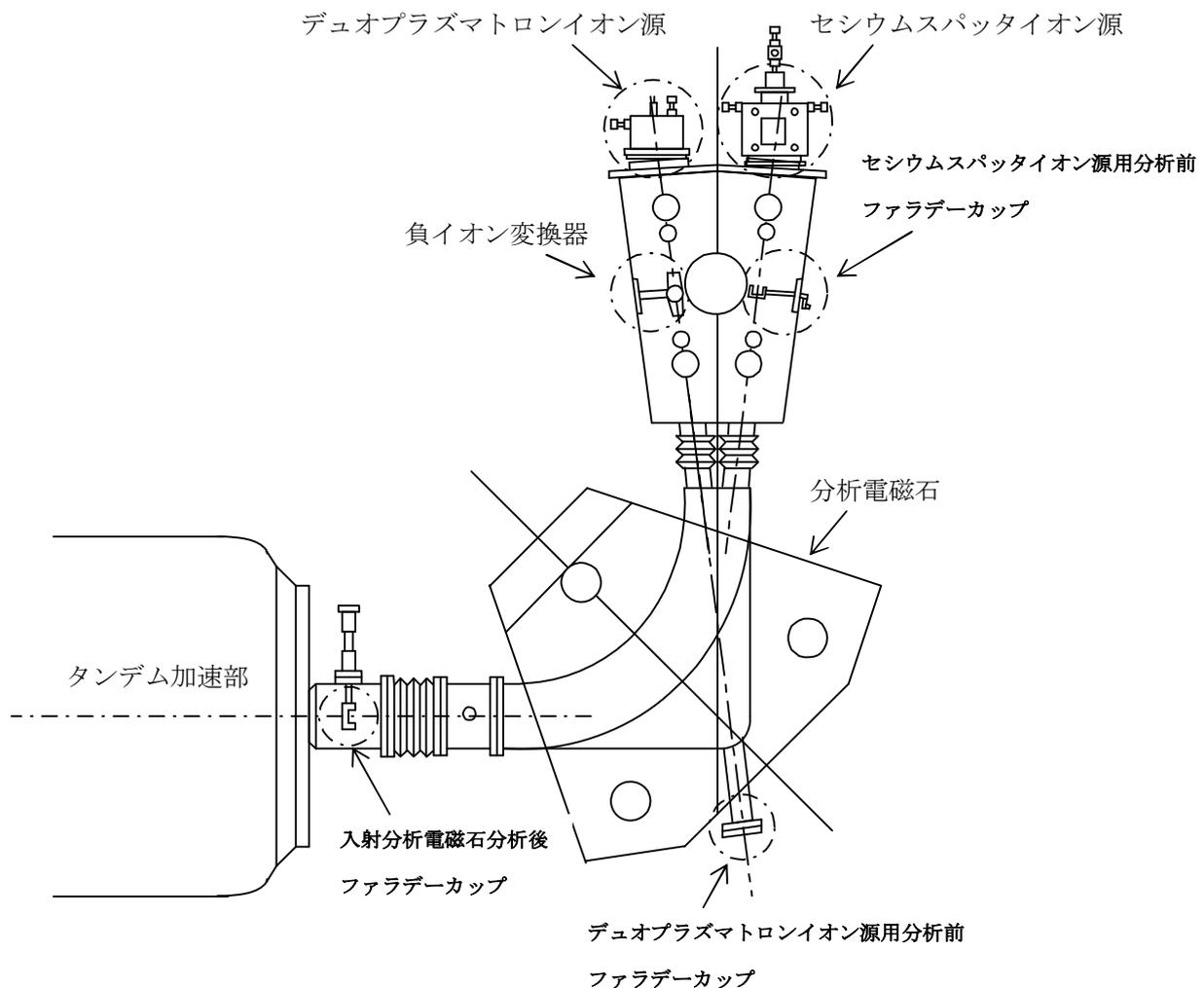


図1. イオン源からタンデム加速部入射までの構成図

変換器内をリチウム蒸気で満たし、そこを通すことで正イオンから負イオンに変換している。最初の正イオン電流は最大で約 $100\mu\text{A}$ 、また引き出し電圧は最大で 20kV もあり、最大で約 2W の消費エネルギーは無視できない。その発生熱を冷却するため、冷却水が常時循環するようになっている。

FC は地磁気により二次電子をカップ内から逃がさない十分な深さがある。径 25mm 、深さ 15.5mm の FC である。

(2) セシウムスパッタイオン源用分析前ファラデーカップ (SI 用 FC)

セシウムスパッタイオン源からのイオンビーム電流測定用でビームコース上を出し入れ可能になっている。前後にアインツェルレンズがある。

(3) 入射分析電磁石分析後ファラデーカップ (分析後 FC)

分析後 FC は二次電子放出を押さえて正確なイオンビーム電流を測定するためサプレッサー電極が全面にある。サプレッサー電極に負電圧を加える方法として、入射負イオン電流や二次電子によりサプレッサー電極をチャージアップすることでサプレッサー電圧を得ている。

2.3 イオンビーム引き出し調整手順

(1) デュオプラズマトロンイオン源イオンビーム

先ずイオン源からの正イオン電流を DI 用 FC で最大になるように調整し、次に負イオン変換器内を過熱しリチウム蒸気で満たしていくことで正イオン電流は小さくなり、途中から負イオン電流に変わる。これを分析電磁石を通して分析後 FC で最大になるように各アインツェルレンズ、磁場を調節する。

(2) セシウムスパッタイオン源イオンビーム

イオン源からの負イオンビーム電流が SI 用 FC で最大になるように調節し、次にコース中心から外れた DI 用 FC の電流が大きくなるように調節し、ビームをばかし分析電磁石通過後のビーム電流を検出し易くし、検出後は SI 用 FC 背後のアイントゥエルレンズと分析後 FC 前方のアイントゥエルレンズで加速部への入射ビーム電流を最大になるように調節している。

2.4 冷却水系

装置専用の冷却水循環系が設けられており、その冷却水往還ヘッダーが装置室内に設けられている。冷却水には蒸留水を用いており、減少分を蒸留水で補給してきている。冷却が必要な各個所には往路ヘッダーから冷却水を供給し還路ヘッダーに戻るようになっている。

イオン源高電圧部分の冷却には耐電圧を得るため代替フロン液により循環冷却している。この代替フロン液はアース電位で熱交換器により冷却水と熱交換している。

3 分析前後のイオン電流収支異常原因の究明

3.1 検出系の異常の有無の確認

分析電磁石分析前 FC の電流測定用リード線を外した電流測定では電流は0であった。またリード線とアース間に電池 9V と高抵抗 50MΩ を直列に接続することによりビーム電流（ほぼ理想的定電流源）を模擬し測定したところ 0.188 μA であり、模擬電流とほぼ同じ値を示した。両結果からリード線以降の測定系に問題は無い。

3.2 冷却水系からの電流混入の可能性

(1) 各冷却水金属導体接続部電位

冷却水系からの電流の流入を予測して使用状態での各冷却水金属導体接続部の電位を測定した。その結果

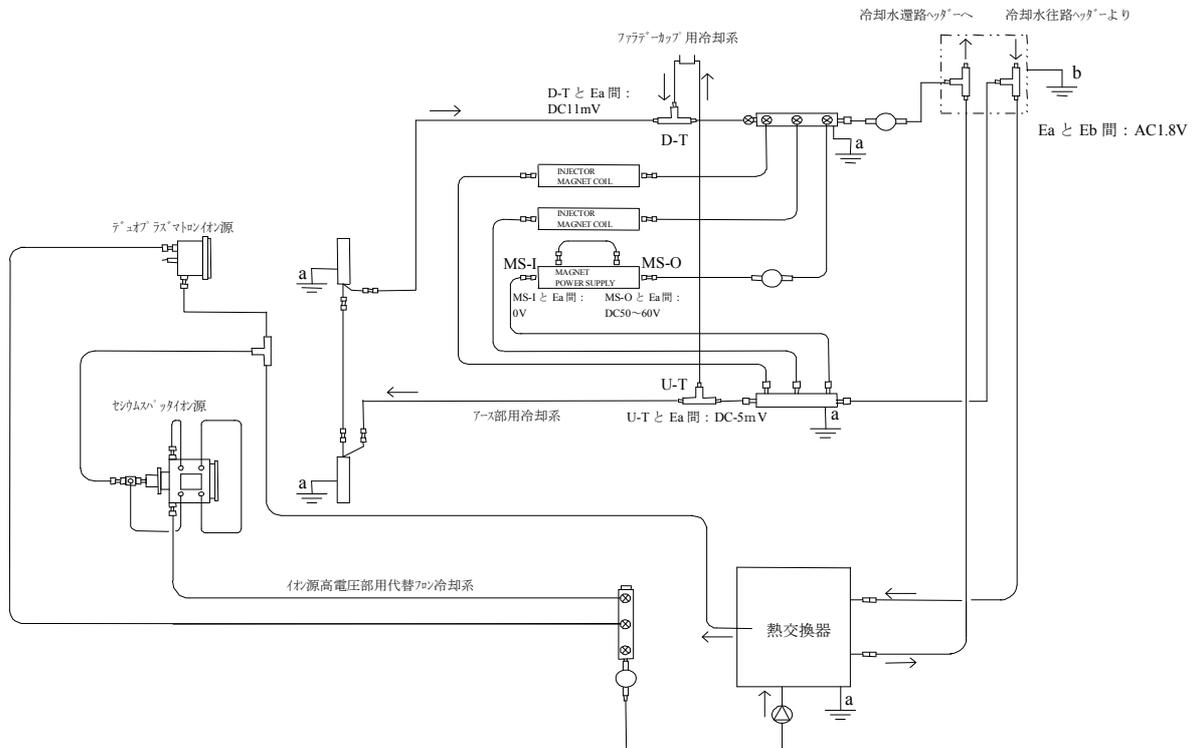


図 2. 各冷却水金属導体接続部電位

を図2に示す。

(2) 冷却水抵抗値の測定

実際の冷却水抵抗がどの程度かを知るため、内径7mmのプラスチックチューブ1mの両端に真鍮製のバルブを取り付け、使用している冷却水で満たして抵抗値を測定した。その結果26MΩの結果を得た。抵抗率は $9.9 \times 10^2 \Omega \cdot m$ になる。蒸留水の場合は $1.5 \times 10^5 \Omega \cdot m$ 以上である。蒸留水の抵抗値よりも著しく劣化しているもの問題になる値ではなかった。因みに水道水の場合どの程度になるか測定したところ1.24MΩの結果を得た。抵抗率は $4.8 \times 10 \Omega \cdot m$ である。DI用FCとアース間の絶縁抵抗を測定したところ49MΩあった。真鍮製ティー分岐部の電位からは説明できず、冷却水の絶縁抵抗が何らかの原因でたまたま劣化したのでなければ電流混入の説明はできないことになる。

(3) 冷却水の帯電

水は絶縁物であり循環することで摩擦電気が生じる。真鍮製ティー分岐部の電位が現れた原因は、循環することで水に生じた摩擦電気の電荷を真鍮製ティー分岐部で集め帯電し電位が現れていたと考えられる。電位は不安定であり、確認できるまでに至っていない。

3.3 他イオン混入の可能性

負イオン変換器をLi蒸気で満たすことで正イオンを負イオンに変換するが、従来に比して変換割合は小さかった。この原因はLi不足が原因であった。他イオンの混入はこのことが悪さをしていた可能性が高い。念のためHeまでのm/zのイオン混入を考えて磁場とアインツェルレンズ電圧をパラメータにしてイオン強度を測定した。その結果が図3であるが、Heまでのm/zには混入は見あたらなかった。Liの入れた負イオン変換器をインジェクター部に取り付ける際にどうしても一時大気に曝すことになる。このときに不純物LiOHが生じる。Liが不足してくるとこのLiOH蒸気が支配的蒸気になり悪さをした可能性が高い。類似の症状が有ったときにさらに大きなm/zまで範囲を広げ確認する予定である。

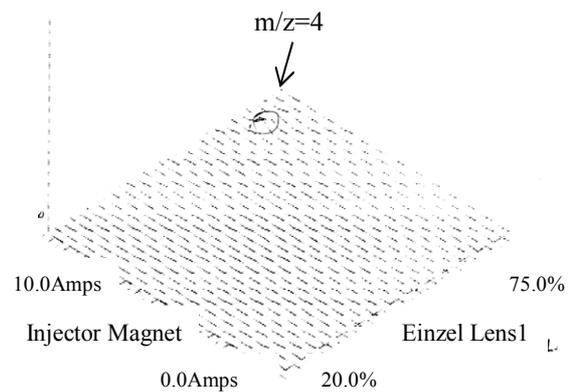


図3. イオン強度

4 対策

原因は明確になっていないが、浮いていた真鍮製ティー分岐部は接地を取るようにした。このことでDI用FCのゼロレベルは1.08nAが0.91nAになり、わずかではあるがティー分岐部の電位の影響を抑制できた。また冷却水系ヘッダーとタンデム加速器接地系統とに現れていた電位差は両者を接続することで解消した。

冷却水系配管経路確認の中で冷却水用プラスチックチューブが真空排気用ロータリポンプの接続管等に接触していたところが損耗していることが4箇所見付き損耗対策を行った。

5 終わりに

当初、磁場電源冷却水接続部電位が大きかったことと、DI用FCの冷却水系がその経路から真鍮製ティー分岐によって取っていると考え、それによる電流の紛れ込みと考えた。しかし、配管経路の確認に誤りがあることが分かり明確に冷却水系からの紛れ込みとはいえないことが分かった。この原因究明過程で明らかになった点を報告することにした。原因究明は今後の宿題にしたい。

火山灰採集装置の設計

○千賀 信幸、柴崎 義信、機器開発研修室

東北大学大学院理学研究科技術部

1 設計の経緯

本火山灰採集装置は2006年7月、東北大学東北アジア研究センターから東北大学大学院理学研究科技術部へ依頼されたものである。これまでの技術支援業務は、主に技術部個人の所属する部門のみであった。しかし、今回の依頼は部門の壁を越え、個人の得意分野を大いに発揮する良い機会となった。また、理学部外からの依頼は今回が初である。火山灰採集装置とは、火山活動時に降る火山灰を時系列でサンプリングするための装置である。また、火山灰を採集する専用装置の開発は日本初の試みで、世界ではイタリアにしかない。設計を行うにあたり、依頼者から使用場所や使用環境などを教えてもらい、仕様を決定し材質や機構を検討した。以下に設計条件を示す。

- ☑ 30日間の無人運転に耐える構造（試料ケースは1個/1日）
- ☑ 硫化水素ガスや酸性雨による腐食を防ぐ構造
- ☑ 山の激しい気候に耐える構造
- ☑ ハンドキャリーのため、なるべく軽量（30kg以下）にする

過酷な条件でかつ長期にわたり無人運転をする装置の設計は初めてであり、とても難しい依頼であった。一号機を設計する上で最も重視した点は、「腐食」である。二号機を設計する上で重視した点は、「重量」である。二号機を製作するまでに出したアイデアは3種類、設計変更を6回行った。

2 提案した二種類の装置の特徴

装置を円滑に動作させる「コツ」は、初期段階において機構を十分に検討し決定することである。今回、私たちは以下の二種類の機構で動作する装置を設計、提案した。

1. 試料ケースを直線状に並べてタイマーにより試料ケース上のマスクを開閉する装置（図1. ライナック型（上））。
2. 試料ケースを円周上に設置し、タイマーに連動して試料ケースを動かす装置（図. シンクロトロン型（下））。

ここで重要なことは、無人運転を行うので壊れにくい機構とすることである。また、装置の製作期間と費用を考えると、部品点数の少ないほど良い。

ライナック型の特徴は、コンパクトに収めることが出来ることである。また、機構はマスクの開閉のみで単純である。試料マスクの開閉方法は、軸となるネジを回転させることでそれに取り付けられたローラー連

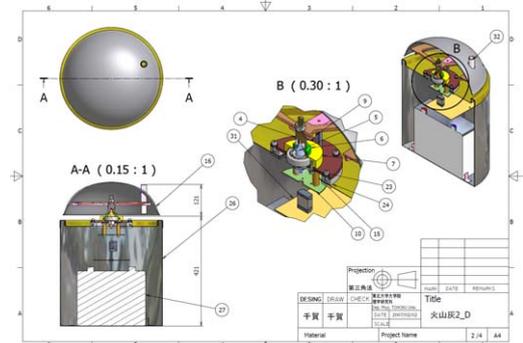
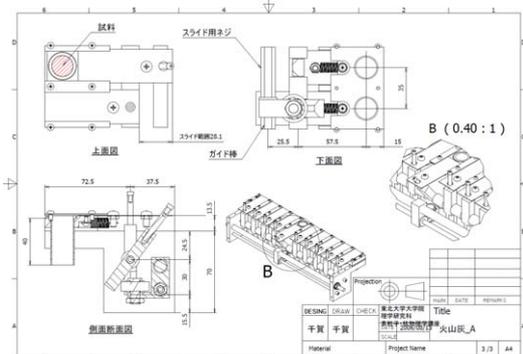


図1. ライナック型(上)とシンクロトロン型(下)

が動き、試料マスクにぶつかる事でマスクが開くというものである。この動作は、あたかもシーソーの片方へ重りを乗せて一方を持ち上げる状態と酷似している。設計重量は約 3.5kg と見積もり、材質も腐食に強いステンレス（SUS304）を使用すると仮定した。

シンクロトン型の特徴は、試料ホルダーを回転させる動作機構である。動作方法は、ベアリングにより支持された軸に円形状の試料ホルダーを取り付けて、それをステッピングモーターにより回転させる。風雨への対策は、上部へ大型の“帽子”のようなものを被せる事で解決を試みた。

3 シンクロトン型を採用

設計した二つの装置を検討した結果、要求された条件を達成できる装置は、シンクロトン型であることが判明した。シンクロトン型装置を採用した経緯について、以下に示す。

表 1. ライナック型とシンクロトン型の比較

	動作機構	部品点数	拡張性	工作性	防塵性	消費電力
ライナック型	単純	約 315 点	○	◎	△	×
シンクロトン型	単純	約 180 点	◎	○	◎	◎

動作機構については双方とも単純であるが、部品点数に圧倒的な差がある。この理由は、ライナック型では一つの試料に一つのマスクが必要なことに起因する。拡張性は設計次第であるが、実際の配置や作業性を考慮するとシンクロトン型の方が大きい。防塵性については、シンクロトン型の方が圧倒的に有利である。この理由は、地面からの高さに関係する。変化の激しい山の気候を考えると、猛烈な雨が降る場合が考えられる。防塵性で最も注意が必要な点は、雨が地面に当り飛び散った雨水の考慮である。この雨水は腐食性があり、かつ水分によるモーター等への影響も考えられる。ライナック型は構造上、低床であるためシンクロトン型の方が圧倒的に有利である。消費電力については、ライナック型が試料マスクを開けるために必要なモーターの回転数は約 23 回であるのに対し、シンクロトン型では 1/30 回転で済む。従って、シンクロトン型の方が圧倒的に低消費電力である事が分かる。以上の通り、各項目においてシンクロトン型が有利となり、以後の設計、製作はシンクロトン型とした。

4 火山灰一号機の完成

試作兼実機として製作した火山灰採集装置は、約一ヶ月の工作与組み立て期間を経て完成に至った。一号機の特徴としては、自動車用バッテリー（36Ah）を駆動部と一緒に密封タンクへ封入した事である。組み立て後の重量は約 25kg あり、携帯性に欠ける結果となった。この理由は、全ての部品に SUS304 を使用したためである。また、構造計算上 100kg 以上の荷重にも耐えるように設計したが、あまりにも過大評価をしてしまったために、無駄に大きくなってしまった。試料ケースの大きさは妥当であったが、降灰量の関係で煙突部へ急遽ロートを挿入した。試料ケースの取り付けは、ワンタッチで出来るように試料ホルダーへ工夫を施した。外見は非常にコミカルであるが、基本性能は確保している。装置上部へ設置した半球体の物体は、防塵防水を目的とする市販の大型ボール（φ330mm）である。また、下部のタンクは市販の密封タンクである。密封タンクと駆動部の全ての接合箇所は O-ring を使用し、タンク内への水の侵入を抑えた。密封タンク内のバッテリーの固定には、L アングルを溶接して紐で固定する方法をとった。また、駆動



図 2. 山に設置された一号

密封タンク内のバッテリーの固定には、L アングルを溶接して紐で固定する方法をとった。また、駆動

回路はバッテリーの上部に配置した。電源や駆動回路の配線は、全て密封タンク内に出来るため、外部からの水や火山性ガスの浸入を高い信頼性で防ぐことが出来た。

5 火山灰一号機の問題点

一号機の製作を終えた感想は、「大きい」、「重い」だった。試料ケースは自作したため非常に手間がかかった。試料ケースはデルリン製で、その構造は円筒管の底面に綿製の生地を針金によって固定する構造とした。試料ホルダーに設置可能な試料ケースの個数は30個であるため、手作業による試料ケースの製作は多大な時間を費やした。駆動部に関しては、軸を片持ち（下部のみをベアリングにより固定し上部へは何もなし）としたため、ガタつきがあり動作バランスが悪かった。また、試料マスクの回転軸は常にステッピングモーターによってブレーキがかかった状態であるが、実際の山への設置時に激しい風によって試料マスクが大幅に回転してしまった。メンテナンス性に関しても、行き届かぬ点があった。装置全体を一まとめとしたのは良いが、充電のたびに重い装置を持ち帰るのは体力的に困難である。また、たとえバッテリーのみを交換したとしても、厳しい気候の山中でモーター及び駆動回路を外しての作業は故障の原因である。これらの問題点を踏まえて、改良火山灰採集装置（二号機）の設計を行った。

6 二号機の設計

二号機の設計を行う上で、最も重視したことは重量である。一号機との大きな違いは、電源部と駆動部を分けた事にある。こうする事で、バッテリー交換時の負荷を大幅に低減する事に成功した。また、バッテリー用密封容器の形状を四角とすることで、安定した固定が可能となった。以下に代表的な改良点を示す。

回転機構の見直し	一号機はマスク（最外殻）が回転したが、試料ホルダー（マスクの内側）を回転させることで外界の影響（突風や豪雨）を最小限に抑えた。
市販の試料ケース	一号機では全て手作りだったが、市販の注射器（10ml@200本/6000円）とすることで同等の性能が得られ、試料ケース作成へ費やす作業時間を大幅に削減できた。
2点での軸受け	一号機の軸は片持ちだったが、上下の二点（固定点と自由端）へベアリングを入れる事でガタつきを無くし、低トルクで高精度の回転を実現した。
電磁ブレーキ	ステッピングモーター自身のブレーキに加え電磁ブレーキを追加することで突風などの予期せぬ影響へも対応した。
材質の見直し	一号機はステンレスを多用したが、ほぼ全てをアルミ材へ切り替えた。これにより重量を45%以上削減できた。また、アルマイト処理により耐食性も確保した。
拡張性の確保	噴火した日時や外気温、湿度などをモニターするセンサーを搭載可能な空間を確保（φ300×H60mm）した。これにより降灰時の気象状態等の把握も可能。
外部動作設定機能	コントローラーを駆動部へ接続し、動作条件を容易に変更できる。また、動作設定後はコントローラーを取り外し、持ち帰りが可能。なお、本体は自動運転する。

上記の通り、一号機に比べて非常に多くの点で改良を施した。重量はバッテリー一部が約13kgに対し、駆動部は機能を増やしたにもかかわらず約5.5kgと劇的な軽量化に成功した。これは、材質の変更のみではなく、構造上不要な箇所の肉抜きを徹底して行った成果である。構造計算上、マスクの上部への積雪は50cm以上でも問題なく動作するはずである。消費電力に関しては、回転精度が大幅に向上したため、モーターへ加わる負荷が減り一号機よりも低消費電力で動作することが出来ると考えられる。電源部（バッテリー）と駆動

部との接続は、市販の防水ケーブルを用いた。コネクタ部についても完全防水とし、駆動部密封容器の防水性能を維持させた。試料ケースの配置にも工夫が施されている。試料ケースは“円周”上に配置されるが、駆動部密封容器の直径は“円周”の直径よりも小さい。この理由は、火山灰が雨水と一緒に捕獲された場合、容器上部への雨水の接触を最小限にするためである。また、一号機の上部には防水防塵を目的とした大型ボールを乗せたが、本二号機には市販の「大型たらい」を用いた事で、更なる防塵性と空間の有効利用を両立する事ができた。

二号機的设计は、上記のように様々なアイデアや工夫を凝らして行った。二号機の図面枚数は約30枚、部品点数は約120点となった。これは、一号機と比べて大幅な削減となった。

7 わずかな設計変更

二号機は、各部品を製作後にアルマイト処理を行い組み立てた。二号機の組み立てはトラブルも無く順調に行われた。しかし、試料ケースを取付ける際に試料マスクを外さなければならないという、メンテナンス上の問題が発生した。これでは、試料交換に手間がかかり、また雨天時などでは内部に搭載される予定の各種センサー等の故障原因になりかねない。そこで、マスクの一部を切断する事で、この問題を解決した。また、電磁ブレーキはスイッチ一つで解除されるように駆動回路へも改良を施してもらった。この改良を施した事により、試料の交換性が格段に向上した。なお、試料マスクには構造上、負荷がかからないため、この改造による強度の劣化はない。

8 めでたく完成

図4に完成した写真を示す。一号機は“クラゲ”のような外観だったが、二号機は“きのこ”のような外観となった。二つの装置とも個性的なデザインで愛着が湧く外観である。なお、現在は出来立てのため輝いているが、山へ設置する際に“カラスよけ”と称されペイントされるはずである。

依頼から完成までは長い道のりで辛い時もあったが、その間に技術的収穫や動いた時の喜びも味わう事ができた。本装置の製作や組み立て、批評をしてくれた方々へ感謝する。

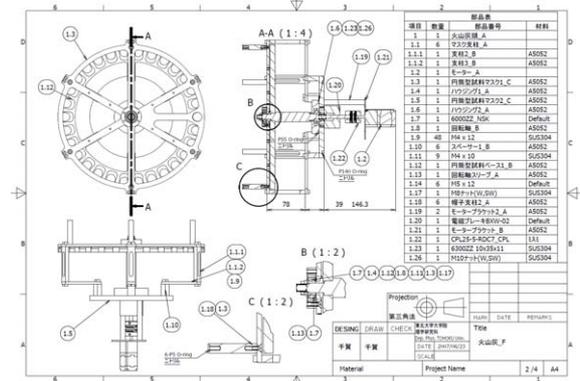


図3. 二号機の組立図



図4. 製作した二号機 (左)、コントローラー (右上)、駆動部本体 (右下)

スターリングサイクルを利用した温度差発現装置の試作と検証

○中木村雅史、千田進幸、福森 勉、立花一志

名古屋大学 工学部 技術部

概要

熱サイクルの一つであるスターリングサイクルは、理論上、最も効率の高い熱サイクルであり、環境に低負荷という特徴を持ち合わせている。スターリングサイクルを用いた模型エンジンは構造がシンプルであり、多くの大学・高専などで、教育教材や実習テーマとして採用されている。本サイクルはエンジンだけでなく、逆サイクルの応用により、冷凍機として利用することもできる。スターリング冷凍機はフロンなどの冷媒を使わない、極めてクリーンな冷凍機として知られ、国際的な研究開発の対象となっている。実際にスターリング冷凍機は多くの企業で技術開発が進められ、商品化もなされている。しかしながら、冷凍機作製にあたっては作動に必要な温度差を数百度まで上げられるエンジンと異なり、発現温度差が小さいため、製作にデリケートな精度が要求される。そのため、エンジンに比べ、参考文献および試作例が極端に少ないのが現状である。

したがって本技術研究は次の2点の目的を持って実施する。(1)温度差発現装置を試作する。(2)自作した装置の性能評価を行う。試作機種は構造が極めてシンプルなスターリング型パルス管冷凍機を採用した。パルス管冷凍機は、膨張部に実体のピストンが存在せず、代わりにガスピストンが発生し、無潤滑、無摺動の機構となっている。したがって装置の簡略化、小型化、および低振動化を実現できる極めて優れた冷凍機である。装置の構成および寸法形状については、「スターリングエンジン国際会議 2007」併催の展示会において、濱口らの出展装置および発表論文⁽¹⁾を参考にした。構造上の特徴は高精度摺動が必要なシリンダ・ピストン部分に市販のガラス製注射器を用いていることである。これにより無潤滑・低摩擦ピストン運動を実現している。完成後の性能評価においては、顕著な冷却性能影響因子である蓄冷材の材質をパラメータにとり、最低到達温度および到達時間の計測を実施した。本試作機のベストデータは -32°C であり、室温 21°C との温度差は 53°C であった。また、到達時間 8 min であった。

1 スターリング冷凍機の動作原理

はじめにスターリングエンジンの動作原理の説明をした後、スターリング冷凍機の原理を述べる。

1.1 スターリングエンジン

図1は熱を仕事に変える機構を示す。左の状態ではシリンダを加熱し、中の気体が膨張すると、ピストンが押し下げられる。次に加熱をやめて、同じ場所を冷却すると、気体が凝縮されて、ピストンが元の位置に戻る。以上の動作を繰り返すことにより、熱エネルギーをピストンの往復運動に変換することができる。ただし、この場合ピストンの動きに合わせて加熱と冷却のタイミングを制御しなければならないため、高速回転させることが非常に難しい。そこでディスプレイサを用いた図2のような機構を考える。ここではピストンの左部が常に加熱され、右部は常に冷却されている。ディスプレイサとは気体や熱を通さない障害物のようなものである。ピストン左端の気体が加熱されると(状態①)、気体は膨張して、ピストンとディスプレイサを右に押し出す(状態②)。その状態でディスプレイサを手で左に移動させると、気体が冷却部に流入する(状態③)。これにより気体が冷却され、ピストンが左に押し戻される(状態④)。ここでディスプレイサを再び

手で右に移動させると、①の状態に戻る。このようにディスプレイサを用いることにより、加熱部と冷却部を分断することができる。さらに手でディスプレイサを操作する代わりに、ディスプレイサとピストンをクランクで連結することにより、自立回転させる機構を作ることができる(図3)。このとき、ピストンとディスプレイサの位相差を 90° に設定することで、中の作動流体にスターリングサイクルを行わせることが出来る。これがスターリングエンジンの動作原理⁽²⁾である。

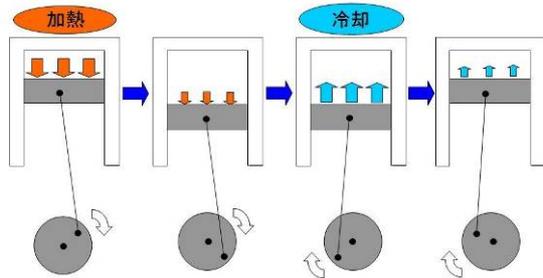


図1. 熱を仕事に変換する機構

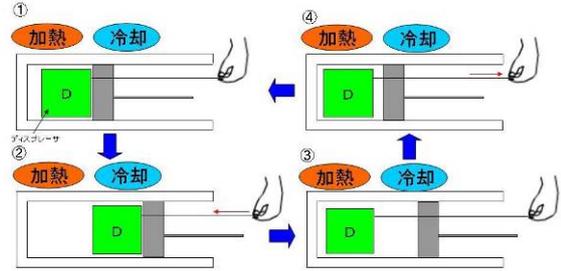


図2. ディスプレーサを用いた機構

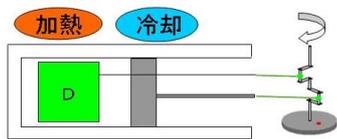


図3. 自立回転機構

1.2 スターリング冷凍機

上で述べたとおり、スターリングエンジンは熱を吸収し、回転運動を生み出す装置である。図4に示すように、スターリングエンジンは加熱部から熱を吸収し、回転運動を行う(①)。ここで加熱を止めてクランクを強制回転させることを考える。このとき中の気体は同じ状態変化を続けるため、加熱部から熱を吸収しようとする(②)。これにより、加熱部は冷却される(③)。これがスターリング冷凍機の原理である。

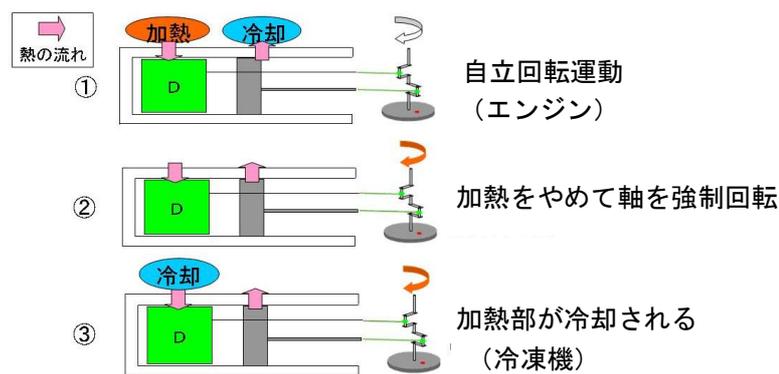


図4. 冷凍機の原理

2 パルス管冷凍機

ここでは本研究で試作したスターリング型パルス管冷凍機について述べる。パルス管冷凍機の機構はスターリング冷凍機のディスプレイサを取り除き、さらにシリンダ先端部に穴をあけて、タンクとシリンダをゴ

ム管でつないだものとなっている（図5）。この状態でピストンを往復運動させると、シリンダ内にガスピストンが発生し、ディスプレイサの役割を果たす。ここで、ゴム管の長さを調節することで、ピストンとガスピストンの位相差を 90° に設定することができる。パルス管冷凍機の長所として、無潤滑、無摺動、低振動などが挙げられる。試作の際は、高精度摺動が必要なシリンダ・ピストン部分に市販のガラス製注射器を流用して無潤滑・低摩擦の機構を実現した。実際に試作したパルス管冷凍機を図6に示す。この装置における冷却部はアクリルパイプの中につめられた蓄冷材の上端部分である。

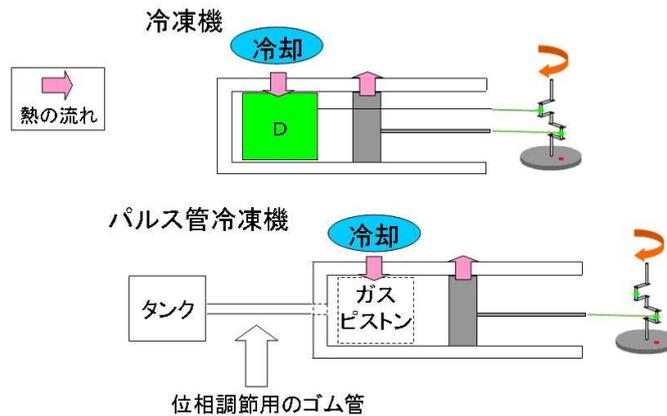


図5. スターリング型パルス管冷凍機の機構

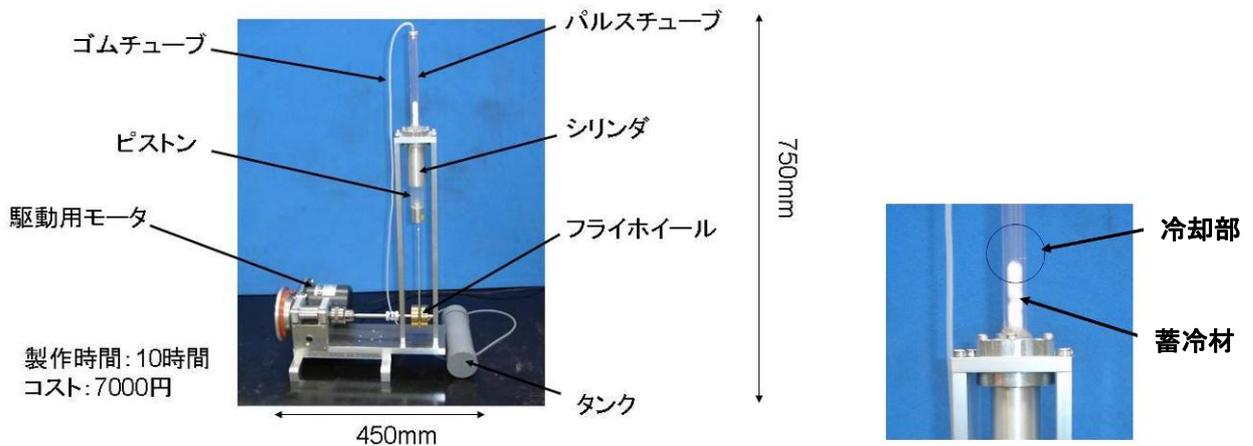


図6. 試作したスターリング型パルス管冷凍機

3 性能評価

自作した装置を使って温度差発現実験を行った。図7は3種類の蓄冷材（ガーゼ、スチールウール、脱脂綿）を使った場合の時間－温度変化のグラフを表す。モータ回転数は715rpmに設定し、作動流体は空気を用いている。最も温度が下がったのは脱脂綿で、8分で -32°C という結果が得られた（室温 21°C 、大気圧下）。図8に冷却により霜が付着した様子を示す。尚、実験中は蓄冷材および冷却部周辺には発泡スチロールのカバーを自作して外気と遮断させた。

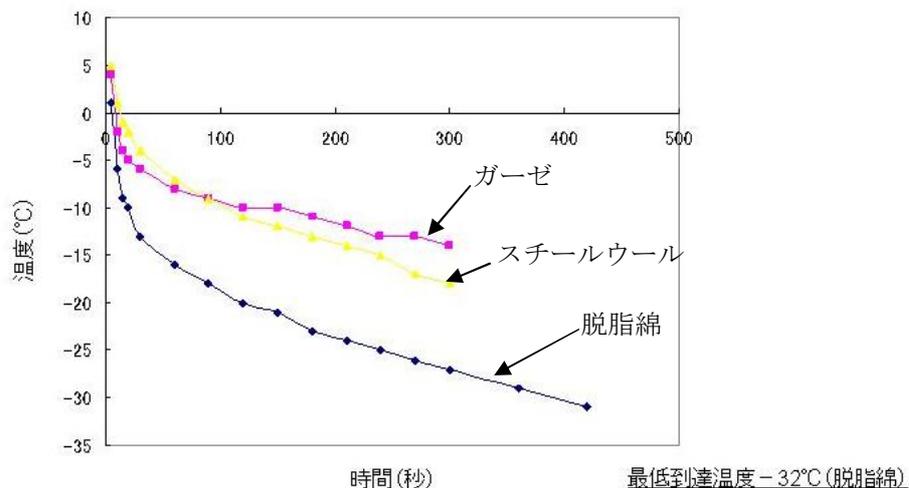


図7. それぞれの蓄冷材における時間－温度変化



図8. 管内に付着した霜

4 まとめ

以下に本技術研究の成果を述べる。

- (1) 構造が極めてシンプルなスターリング型パルス管冷凍機を試作し、動作確認を行った。
- (2) 自作した装置の性能評価においては、室温 21°Cの大気圧下において 8 分で -32°C という結果が得られ、温度差 53°C を実現した。

今後の課題として、本機を応用した製氷機や赤外線センサーの冷却装置の開発、あるいは安全にエネルギー変換機構を学べる教育教材としての適用を目標にし、試作装置としての価値を高めていく考えである。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、明星大学の濱口和洋教授にはスターリングエンジン国際会議展示会において、冷凍機の試作に関する懇切なる助言を頂き、さらに設計の詳細を記述した学会論文を送付して頂くなど、多大なご支援を賜りました。先生のご協力に心から感謝いたします。

参考文献

- [1] Kazuhiro Hamaguchi, Yoshikatsu Hiratsuka, Takeshi Hoshino“Performance Characteristics of an Atmospheric Pulse Tube Refrigerator”, 2nd International Energy Conversion Engineering Conference 16-19 August 2004, Providence, Rhode Island
- [2] 兵頭務, 米田裕彦共著, “スターリングエンジン-その生い立ちと原理-”, パワー社

第3分科会
(計測・制御技術)

HDL によるシリアル通信ドライバの開発

阿部茂樹

東北大学 工学部・工学研究科

1 まえがき

FPGA (Field-Programmable Gate Array)は、書き換え可能であるという利点を生かし、システムを頻繁に更新する必要のある携帯電話の基地局などに使われているだけでなく、携帯電話や音響システムなどの民生品から宇宙探査機にいたるまであらゆる分野で広く用いられている。また、教育・研究用として論理回路の設計実習や最新の半導体設計技術や開発ツールを習得するためのみならず、新しいアルゴリズムやシステム開発のための動作検証に使われている。

回路の設計は、ハードウェア記述言語 (Hardware Description Language)や論理合成ツールを用いたハイレベル設計で行われ、回路記述から FPGA への書き込みデータの作成および実機による動作確認が簡単にできることやシミュレーションツールを用いたデバックも容易であるという利点がある^{[1][2]}。また、市販されている FPGA ボードを活用することで、従来のゲート回路を用いた開発と比較し、配線量や面積を格段に少なくできるとともに開発期間を短縮することが可能となる。

本稿では、技術部への業務として依頼された FPGA 内部に組み込むシリアル通信ドライバの開発について述べる。FPGA を搭載したボードを構築する場合あるいは市販されているボード購入した場合、RS-232C シリアル通信ポート自体を備えていないことも多く、備えていてもそれを動かすためのドライバがないことがある。そこで、パーソナルコンピュータ(PC)からのデータの入出力をシリアル通信で行う場合には、シリアルポートを構築した上で、さらに FPGA 内にドライバ組み込み正確なデータ通信を行う必要がある。

今回は、業務依頼先の研究室が独自に開発したシリアルポートが構築されている FPGA ボード用のシリアル通信ドライバを開発した。シリアル通信ドライバを独自に開発する利点は、FPGA 内に組み込まれる各種処理プログラムに対応できること、システムの仕様変更による入出力フォーマットなどが容易に変換できるなど応用が広がることが考えられる。

2 RS-232C の基本

2.1 シリアル通信の基本動作

非同期シリアル通信である RS-232C は、PC に使われている中低速の通信規格であり調歩同期式である^{[3][4]}。この通信は、送信側と受信側の双方の動作クロックに依存せず

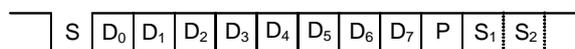


図 1. シリアル通信のデータ構造

ずいつでもデータを転送できる。この方式は、送信側から一方的に送られてくる信号を、受信側の内部クロックを使って信号の有無を判定する。RS-232C は、信号がないときはハイレベルを維持し、正しいスタートビット(Low レベル)の検出後、データビット、パリティ、ストップビットを受信して、データをバッファに格納する。データフォーマットは、図 1 に示すようにスタートビット(S)が Low になったときデータ受信を開始し、続いてデータビット(D0~D7)、パリティビット(P)、ストップビット(S1, S2)の順に転送される。ストップビットは、1 ビットもしくは 2 ビットに設定され、High レベルでデータ終了を示す。送信側は 1 バイトデータの最下位ビットから送信し、それに対応して受信側は最下位ビットからデータを受信する。

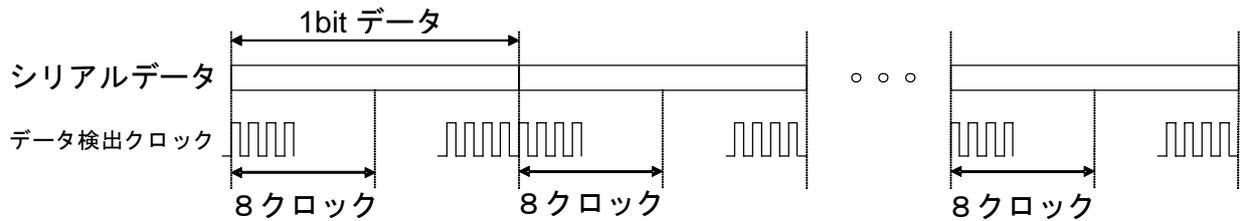


図 2. RS-232C のデータ検出方法

次に、受信側では送られてくるデータをどのようにして検出するかを説明する。シリアルデータを送受するためには、送信側と受信側で通信速度を一致させる必要がある。受信側は、設定された通信速度と通信速度の 16 倍のクロック（以後、データ検出クロックと呼ぶ）を使って送られてくるデータを検出する。図 2 にデータ検出方法を示す。

はじめに、データ検出クロックを使って送られてくるスタートビット(Low)を検出する。Low レベルの検出後、データ検出クロックをカウントするカウンタを起動し、8 クロック後の受信データを獲得する。この 8 クロックというのは、1 ビットデータを通信速度の 16 倍のデータ検出クロックで検出するため、正しいスタート信号であればスタートビットの真ん中の値となる。そこで、値が Low レベルであれば正しいスタートビットであると判定される。もし、このとき値が High レベルであれば初めに検出した Low レベル信号はノイズまたは正しいスタートビットではないと判断され、以後はデータとして獲得せず次の Low レベルを検出するまで待機状態となる。正しいスタートビットと判定した場合は、スタートビット検出から 16 クロックごとにデータを取り込み、シフトレジスタにデータビットである 8 ビットを格納する。スタートビット、データビット長、パリティビットの有無およびストップビット長の設定値の総数が 1 バイトを獲得するためのデータ量で、規定回数になったらデータ取り込みを終了する。データ取り込み終了後、パリティが設定されていれば妥当性を評価し、エラー検出結果を通知する。その後、再度スタートビットの検出待ち状態に移る。

今回設計した 1 バイトデータの取り込みは、データ 8 ビット、パリティビットなし、ストップ 1 ビットとして設計しているため、スタートとストップビットを含めて 10 ビットで構成され、1 バイトデータの取り込みに必要なクロック数は、データ検出クロックで 160 クロック必要となる。

2.2 通信速度

PC と FPGA 間でシリアル通信をする場合、双方の通信速度設定を同じにしなければ通信することはできない。PC の通信速度としては、9,600bps から 460kbps 間の 12 種類のいずれかに設定されることが多い。通信速度の上限は、後述するが PC 側と FPGA 側の信号レベルを変換する必要があり、それに必要なレベル変換 IC の性能によって決まる。

PC 側で通信速度を決定した場合、FPGA 側では FPGA ボードで使用されるシステムクロックを分周して PC 側の通信速度に合わせるためのクロック生成が必要となる。PC 側の通速度(com_clk)を 115.2kbps に設定した場合について、通信速度の決定法を以下に示す。

ここで、FPGA ボードのシステムクロック(sys_clk)を 24MHz とする。FPGA ボードの通信速度を 115.2kHz に合わせるための分周比(d)は、式 (1) で与えられる。

$$d = \text{sys_clk} / \text{com_clk} \quad (1)$$

従って、この例ではシステムクロックを約 208 分周したクロックが通信速度用として使われる。

さらに、スタートビットの正常な検出や各ビットの中心データを取り込むためのデータ検出クロックは、式 (2) を用いて通信速度の 16 倍のクロック(d16)をシステムクロックより生成する。

$$d16 = \text{sys_clk} / (\text{com_clk} \times 16) \quad (2)$$

この例では、システムクロックを 13 分周したクロックがデータ検出クロックとして使用される。

2.3 電圧レベル変換

RS-232C による通信を行う場合、PC 側(RS-232C)と FPGA 側では取り扱う電圧レベルが異なる。このため、送受信にはレベル変換用の IC を用いて信号レベルを変換する必要がある。すなわち、FPGA ボード側の信号レベルは Low が 0V で High が 5V であるのに対し、RS-232C 側は $\pm 3V \sim \pm 15V$ となっているため信号レベル変換を行わなければならない。今回使用した FPGA ボードには、アナログデバイセズ社製の ADM3202 というレベル変換 IC が搭載されており、その構造を図 3 に示す。この IC は 2

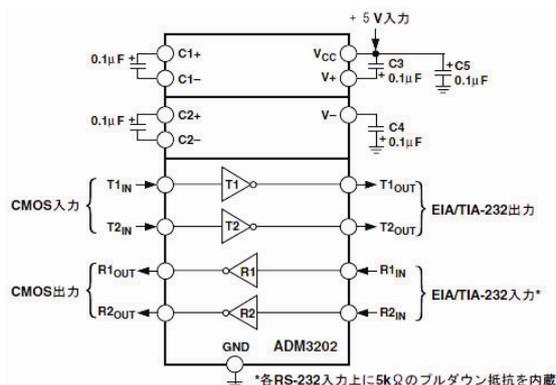


図 3. ADM3202 の構造

チャンネルの RS-232C インターフェースを有し、転送レートも最大 480KHz で動作させることができる。図 3 に示す CMOS 入出力が FPGA ボード側に、また EIA/TIA-232C 入出力が PC 側に接続される。

3 シリアル通信アルゴリズム

今回、HDL で設計した RS-232C のシリアル通信アルゴリズムを図 4 に示す。

以下は、PC から ASCII コードで入出力する場合のシリアル通信手順である。

1. PC と FPGA ボードで統一された通信速度で PC 側からデータを送信し、FPGA ボード側では RXD からデータを受信する。
2. FPGA ボード側では、PC から送信されたデータのスタートビットを検出し、データの取り込みを開始する。このとき、データ検出クロックでスタートビットやデータを検出するために、データ検出クロックのカウント (カウンタ 1) を開始する。
3. データ検出クロックの 8 カウント目を検出し、正確なスタートビットかどうかを判別する。スタートビットでないと判断された場合は、次のスタートビットを検出する状態を維持する。
4. 正確なスタートビットであると確認された後、データ検出クロックの 16 カウントごとに 1 ビットデータを取り込み、8 ビットシフトレジスタの上位から格納する。
5. 格納された ASCII コードの 1 バイトデータを 4 ビットのバイナリデータに変換し、 $(n \times 4)$ ビットシフトレジスタに上位から格納する。ここで n は、デジタル処理で必要とされるデータ数を表す。
6. 必要とされる入力データ数 n 、すなわち $(n \times 4)$ ビットシフトレジスタすべてにデータが書き込まれるまでデータの取り込みを繰り返す。データ数のカウント制御用としてカウンタ 2 が使われる。
7. 必要な入力データ取り込み後、デジタル処理部にデータを転送する。デジタル処理部では、入力データを使い何らかの処理を行い、 $(m \times 4)$ ビットを結果として出力する。
8. 処理結果を PC で表示するために、 $(m \times 4)$ ビットシフトレジスタからバイナリデータを下位から 4 ビットごとに ASCII 変換し、8 ビットシフトレジスタに格納する。
9. 8 ビットシフトレジスタから通信速度のクロックで TXD より PC に出力する。これを m 回繰り返し、すべてのデータを PC へ転送する。

ここで、通信速度(BR)とデータ検出クロック($\times 16$)は、システムクロックを FPGA に取り込み分周させることにより生成し、それぞれ必要な回路に供給している。

上記アルゴリズムでは、ASCII コードで入出力する際のアルゴリズムを示したが、PC から直接バイナリデータで入出力させる場合も考えられる。その場合は、図 4 で示す 8 ビットシフトレジスタ、(ASCII \rightarrow バイナ

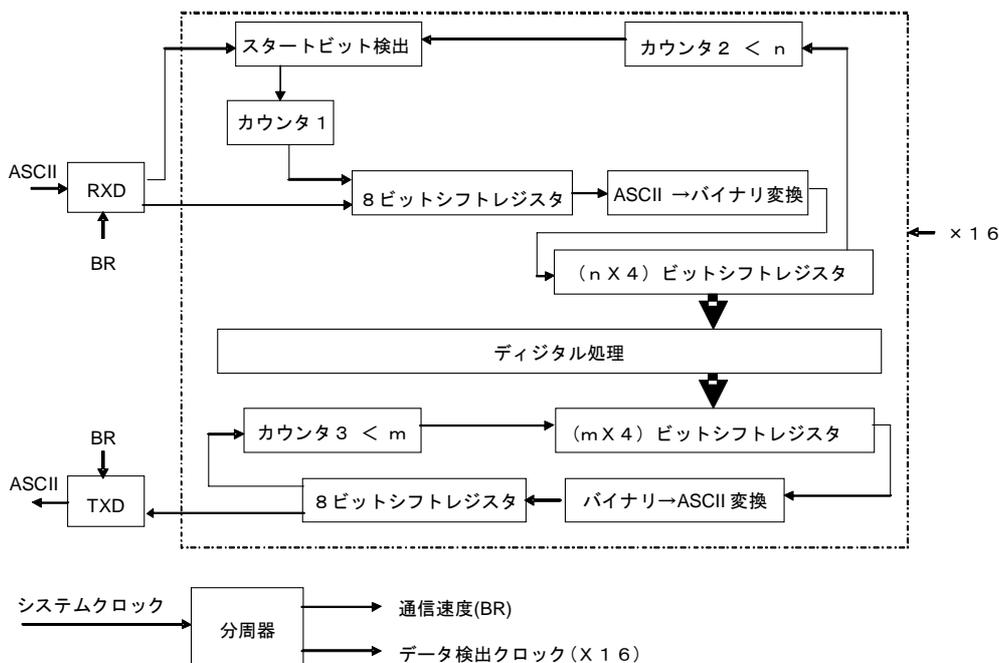


図4. 設計したシリアル通信アルゴリズム

リ変換)および(バイナリ→ASCII変換)回路を取り除くことで簡単に回路を構成できる。したがって、入力は直接 $(n \times 4)$ ビットシフトレジスタに書き込み、出力は $(m \times 4)$ ビットシフトレジスタから直接PCに送られる。

シリアル通信ドライバをHDLで独自に開発する利点を以下に示す。

- ① PCあるいはその他の外部機器に対し、FPGA内部でシステムクロックを分周することにより通信速度を自由に設定できる。
- ② 入出力がどのようなコードで行われても変換処理することで、容易に仕様に合うコードに変換できる。
- ③ FPGA内部のデジタル処理に必要なデータ数(データと制御データを含める)を容易に変更できる。すなわち、 $(n \times 4)$ と $(m \times 4)$ ビットシフトレジスタの長さを容易に変換できる。

4 まとめ・今後の課題

今回は、技術部への業務依頼で行ったHDLを用いたシリアル通信ドライバの開発について、RS-232Cの基本動作とその設計したアルゴリズムについて述べた。この業務では、FPGAボードおよびコアとなるデジタル処理部のHDLとその仕様書のみを与えられシリアル通信ドライバの開発を行った。この開発のためには、シリアル通信の知識だけでなく与えられたFPGAボードやデジタル処理部のHDLの理解、あるいはデジタル処理部を正確に動作させるための制御信号のタイミングなどの詳細を把握する必要がある。この業務は、本務と並行して行ったものであり、また開発途中での仕様変更などの要求にも応じたため約半年の期間を要した。今回の業務において、HDL記述の特長である他のFPGAを使ったシステムへの応用が可能であり、幅広い用途に使用できるものを開発できた。また、自分自身の技術の向上にも役立つ有意義な業務であり、今後この技術を使って様々なシステム開発を行っていきたいと考えている。

参考文献

- [1] 桜井著，“HDLによるデジタル設計の基礎”，テクノプレス。
- [2] 小林著，“入門Verilog-HDL記述”，CQ出版。
- [3] 南山，佐々木著，“通信プログラム入門 -EIA/TIA-232-Eの基礎”，共立出版。
- [4] 服部著，“(RS232Cと通信プロトコルを学ぶ人のための)C言語とデータ通信”，工学図書。

計測タイミング復調回路の設計製作

○伊藤康彦^{A)}、小嶋護^{A)}、今津節男^{B)}、大砂真樹^{A)}、野々村美貴^{A)}、中西秀哉^{C)}

^{A)} 核融合科学研究所 技術部

^{B)} (有)プレテック

^{C)} 核融合科学研究所 高温プラズマ物理研究系

概要

核融合科学研究所の大型ヘリカル装置(LHD)では、観測対象となる高温プラズマの特性を診断するために、多数の計測機器が設置されている。これらの計測機器は LHD の中央タイミング制御装置から配信される基準トリガ信号によって、定められた時刻に 10^{-7} 秒以内の精度で計測データの取り込を行う必要がある。また単純な高精度同期クロックと計測タイミング情報だけでなく、出力信号の制御、グループ化した計測器のみへのトリガ配信及び、イベント情報の送信などの機能も必要となる。

本タイミングシステムの主な構成を図1に示す。配信側では変調器が基準トリガを受けてタイミング情報を含んだメッセージフレームを組立て、高精度同期クロックと変調して光リンク網へ送出する。各計測器へは1本の光ファイバケーブルで接続されている。全ての計測器において光リンク網の伝播遅延時間を同一にする必要がある、長さが揃えられた光ケーブルで配信側からスター状に結線されている。計測器側では送られてきた信号から復調器によってタイミング情報を取り出し、トリガ、クロック及び、イベント信号を生成する。また、変復調器の設定及び操作は Ethernet を経由して計算機から行う。

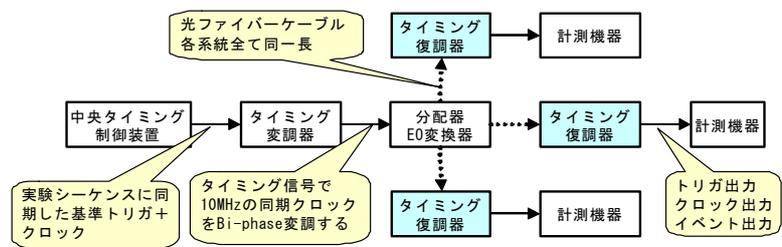


図1. 計測タイミングシステム

このシステムは、1998年からのLHD実験開始時から運用されており、VMEバス規格に準拠したものである。その後プラズマ計測機器が相次いで増設され、これに伴って復調器の増設も必要となってきた。しかしながら、新規に増設する場合、VMEシャーシ及びそのバスコントローラを別途導入する必要があり、そのコスト負担が重くなること、光信号の送受信に使用している光リンクと互換性のある部品が入手できなくなったこと及び、1時間を越える長時間プラズマ放電実験に対応するには、32ビットカウンタではオーバーフローしてしまうという問題があった。そこで、廉価なFPGAマイコンボードに復調回路とLinuxマイコンを組み込み、単体で動作可能な復調器を新たに技術部で開発することになった。本報告では新しい復調器の試作器及び量産器を設計製作した経過について述べる。

このシステムは、1998年からのLHD実験開始時から運用されており、VMEバス規格に準拠したものである。その後プラズマ計測機器が相次いで増設され、これに伴って復調器の増設も必要となってきた。しかしながら、新規に増設する場合、VMEシャーシ及びそのバスコントローラを別途導入する必要があり、そのコスト負担が重くなること、光信号の送受信に使用している光リンクと互換性のある部品が入手できなくなったこと及び、1時間を越える長時間プラズマ放電実験に対応するには、32ビットカウンタではオーバーフローしてしまうという問題があった。そこで、廉価なFPGAマイコンボードに復調回路とLinuxマイコンを組み込み、単体で動作可能な復調器を新たに技術部で開発することになった。本報告では新しい復調器の試作器及び量産器を設計製作した経過について述べる。

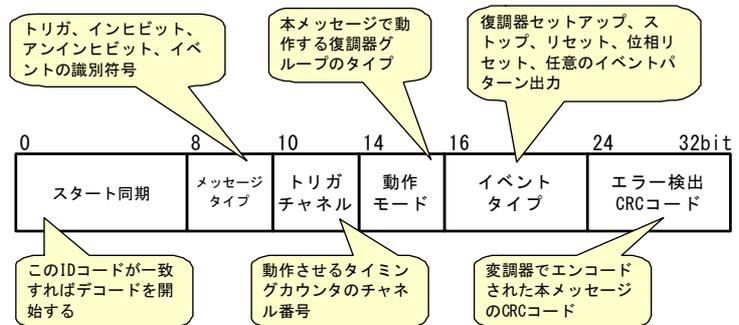


図2. タイミングメッセージフレーム

について述べる。

1 計測タイミング信号

中央タイミング制御装置から各計測機器へ配信される情報は、タイミング変調器によって図2に示す32ビットのメッセージフレームとして作成され、これをNRZコードに変換する。NRZ信号は10MHzの同期クロックをBi-phaseパルス変調して光リンクへ送られる。メッセージフレームは受信エラーを回避するために同じフレームを3回連続して送信する。

2 復調回路の構成

復調回路の構成を図3に示す。受信信号から同期クロックを抽出するためのPLL回路及び、入出力バッファ以外は、ほぼFPGAボード内に収められている。図4には本タイミングシステムの簡単なタイミングチャートを示す。

2.1 同期クロック抽出用PLL回路

復調器側のタイミングカウンタは、送信側の同期クロックと正確に同期して動作しなければならない。しかし変調器から配信される同期クロックは、タイミングメッセージによってBi-phase変調され、その位相が変化しているため、直接利用することはできない。

したがって復調器の基準クロックとなる10MHzの信号を抽出するためにPLL回路を用いる。このクロックは、NRZコードを復調するため、トリガ及びクロック生成カウンタを動作させるために使用される。

また、光信号入力がない場合でも復調回路の簡易動作テストが実行できるように、本PLLから10MHzの内部クロックソースに切り換えることができる。

2.2 タイミングメッセージ復調回路

光入力信号に含まれるメッセージフレームからタイミング情報を取り出し、後段のトリガ及びクロック生成回路の動作開始タイミングを取るための基準となるトリガ信号を作成する。また、同信号に含まれるイベント情報を取り出す。各部の機能を以下に述べる。

光信号から抽出されたクロック信号を基準クロックとして、Bi-phase変調信号からNRZコードを復調する。

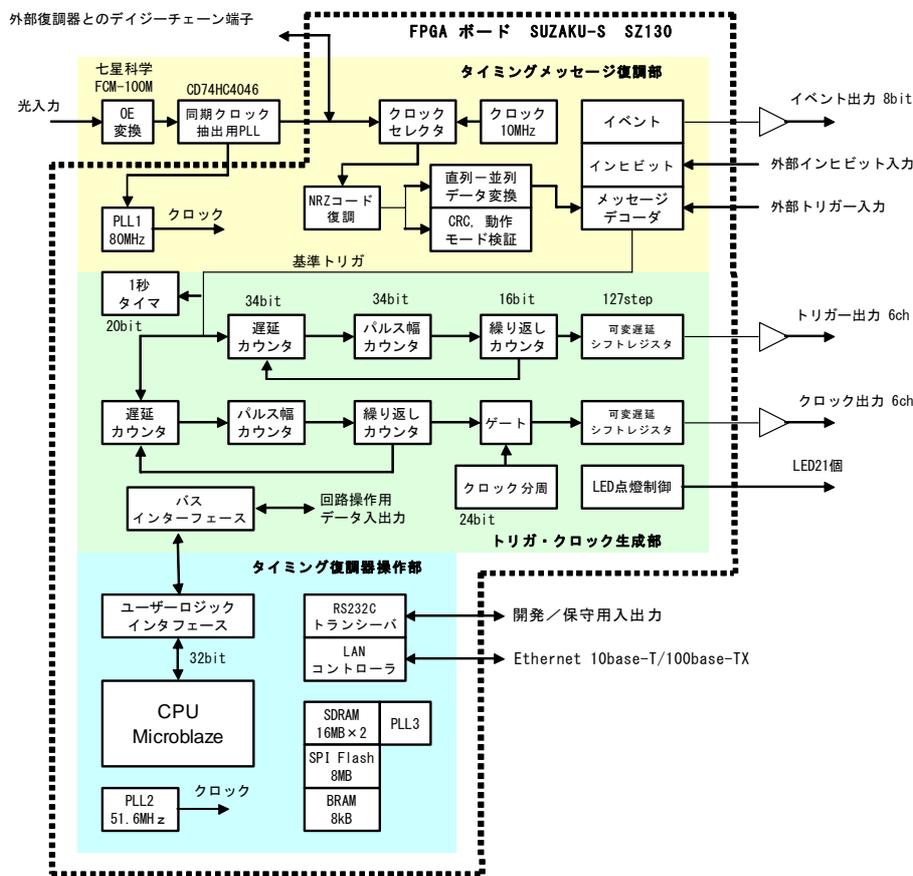


図3. タイミング復調回路の構成

NRZ 信号はシリアルデータであるので、直列-並列データ変換回路で、1つのメッセージフレーム長に相当する32ビット幅の並列データに変換する。並列データは8

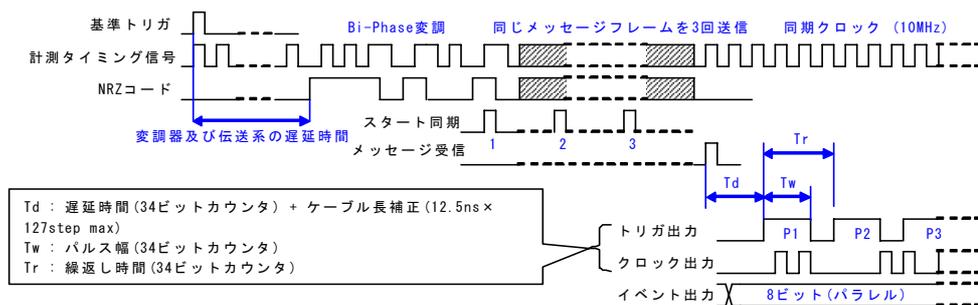


図 4. 計測タイミングシステムのタイミングチャート

ビットのコンパレータによってスタート同期用 ID コードの検出が行われ、タイミングメッセージのデコードを開始する。

デコードされたメッセージは動作モード及びCRCエラーの検証が行われ、両者ともに正常な場合には正しいメッセージとしてレジスタに格納される。3回送られてくるメッセージフレームのうち、1つでも正常なフレームがあれば、正しくメッセージの受信が行われたものと判定する。スタート同期を検出し、その後1つも正常にメッセージが受信されなかった場合は、タイムアウトエラーとなる。

2.3 イベント処理回路

変調器から送られるメッセージフレームに含まれるイベントタイプをデコードし、次に示す動作を実行する。また同様の動作をネットワーク経由で計算機から行うこともできる。

- (1)トリガチャンネルの検出。トリガ及びクロックカウンタへ、動作開始命令とそのチャンネル番号を送出する。
- (2)インヒビット実行及び解除。トリガ及びクロックカウンタの動作を強制的に停止/解除させる。
- (3)セットアップ及びストップ。トリガ及びクロックカウンタの動作準備及び一時停止命令の実行。
- (4)イベント出力。受信した8ビット(パラレル)のイベント情報を外部機器へ出力する。

2.4 トリガ、クロック生成回路

トリガチャンネルを受信した時、その番号とタイミングカウンタ毎に予め設定されているチャンネル番号とを比較し、両者が一致すればそのチャンネル番号のプリセットカウンタが動作を開始する。各カウンタは予め設定されたプリセット値によって波形を出力する。波形の出力例は図4に示してある。カウンタの最終段に挿入された可変遅延シフトレジスタは、1ステップが12.5nsの遅延回路で最大127ステップまで遅延可能である。これは光ファイバケーブル長の調整を補助するために用いられる。

2.5 復調器の操作用組み込みマイコン

復調回路の設定及び、回路の動作状態の読み出しをEthernet又はRS232C経由で行うために用いられる。CPUはFPGAに構成されるソフトマクロのMicroblazeで、OSにはLinuxを使用している。復調回路との通信はCPU側ではMicroblazeに追加したユーザロジックインターフェース回路を通して行う。復調器側では38個の32ビットレジスタを持つバスインターフェース回路があり、これらのレジスタを介してデータ通信が行われる。

3 復調回路の設計製作

本回路を設計するにあたり、市販FPGAボードの選定が最も重要であり、要求される仕様を述べる。

- (1) 現行システムで使用中のソフトウェアの移植が容易であること。ボード内にマイコンが組み込まれており、RPC(Remote Procedure Call)を実行できる環境が必要である。

(2) 16～34ビットのプリセットカウンタを多数実装するため、ゲート規模が100万ゲート以上であり、小型、且つ廉価であること。

以上の条件を満たすものとして、Atmark Techno社製のSUZAKU-S SZ130を選定した。本FPGAボードにはXilinx社製の120万ゲートFPGAが搭載されており、ソフトマクロのプロセッサMicroblazeを組み込むことができ、RPCの実行可能なLinux OS環境が提供される。ボードは名刺サイズで3万円と廉価である。FPGA開発ツールはISE9.1i及びEDK9.1iを使用した。OSであるuClinuxはMMU(Memory Management Unit)が不要でユーザが直接メモリにアクセス可能であるため、デバイスドライバの開発が不要である。

回路設計は、VME型回路の機能と同等のものを、VHDL(VHSIC Hardware Description Language)を使用して設計した。最初は光リンクと復調回路のみを製作し、タイミングメッセージが正しく受信され、CRCエラー検証及びメッセージフレームのデコードが正常にできることを確認した。

次に試作器としてトリガ及びクロック出力を各8チャンネル持つ回路を製作した(図5)。ここでは組み込みマイコンと復調回路間のバスインターフェースの動作確認及び、トリガ及びクロック出力回路の動作試験を主に行った。しかし、8チャンネル構成ではタイミングカウンタがFPGAのシリコンリソース上に広範囲に配置され、CPUの占有できる領域が狭められ、CPUの動作タイミングを確保できなくなり起動しなくなった。解決策として6チャンネル構成に削減し、CPUのクロック周波数を51.6MHzから36.8MHzに低減する対策をとり、シリコンリソースの消費量を抑えた。これにより、基本的な回路機能が動作していることを確認した。



図5. タイミング復調回路(試作器)

上記試作器の完成後、その問題点を改善した量産用試作器を製作した。また省スペース化の要求から筐体の高さを約半分の45mmに抑え、AC電源を内蔵スイッチング電源から、外部ACアダプタに変更した。量産用試作器の動作確認後、プリント基板加工のみ外注して図6に示す量産器を10台製作し、現在は動作試験中である。

4 まとめ

LHDのプラズマ計測システムで使用するタイミング復調回路の設計製作は2度の試作を経て、最終段階の動作試験を進めている。回路の主要部に小型且つ廉価でLinux OSが走り、ゲート規模の大きなFPGAボードを採用することにより、高機能な回路を1つのボードに収めることができた。

CPU動作不良を回避するためにトリガ及びクロック出力のチャンネル数を減じ、またCPUの動作周波数を低減したことについては、開発ツールの自動処理によるFPGA内での回路配置の最適化が不十分であると思われる。この問題は他の回路動作を不安定にする可能性もあるため、手動で最適化しておく必要がある。



図6. タイミング復調回路(量産器)

参考文献

- [1] 小嶋 護, et al, “タイミングシステムの試作開発”, 第15回分子科学研究所技術研究会報告集, 平成8年3月, P148 – P151

dsPIC マイコンを用いたビーム電流補正装置の開発

吉田久史

自然科学研究機構 分子科学研究所 技術課

概要

シンクロトロン放射光を使った赤外・テラヘルツ分光測定において、反射・吸収スペクトルの絶対値強度を求めるために用いるビーム電流補正装置の開発を行った。装置は AD コンバータ（以下 ADC）によりスペクトル強度とシンクロトロン放射光の電子ビーム強度のサンプリングを行い、マイコンで演算処理した結果を逐次 DA コンバータ（以下 DAC）で出力するものである。マイコンには機器組み込み用のワンチップマイコンである Microchip Technology 社の PIC マイコンの最上位機種である dsPIC マイコン（以下 dsPIC）を使用し、赤外・テラヘルツ分光で必要とされるサンプリング速度（10KHz）を目標に、その処理速度の実証と高速化のための検討を行った。

1 はじめに

分子科学研究所の放射光施設 UVSOR-II では、世界最高強度を誇る赤外・テラヘルツビームラインが設置されている。これにより、これまで測定が難しかった微小試料の分光が可能となる。赤外・テラヘルツ分光測定では、反射・吸収スペクトルの絶対値を求めることが重要である。通常、絶対値がわかっている参照試料からの強度 (I_0) と測定試料からの強度 (I) との比 (I/I_0) を測定することで測定対象試料の絶対値を決定する。しかしながら、放射光実験では I_0 と I は同時には測定できないために絶対値の決定は難しいのが現状であった。一般に、シンクロトロン放射光は電子蓄積リングを周回する電子ビームの強度、つまりビーム電流に比例する。従って、 I_0 や I を電子ビーム電流値で逐次補正することができれば、放射光実験では難しかった赤外・テラヘルツ分光スペクトルの絶対値を決定することが可能になる。

2 ハードウェアの構成と回路設計

ビーム電流補正装置の構成を図 1 に示す。反射・吸収スペクトルおよび電子ビームの電流値はバッファアンプを通して 16 ビットの ADC でデジタル値に変換される。赤外・テラヘルツ分光では最大 10kHz 程度のサンプリング速度で測定が行われるので、ADC には変換速度が十分に高速な 1 MSPS の AD7671 (Analog Devices) ^[1] を使用した。

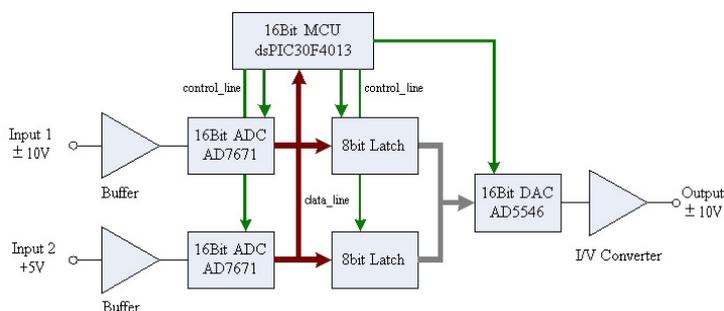


図 1. ビーム電流補正装置のブロック図

また、演算結果をアナログ電圧として出力するための DAC には、セットリング時間 500ns の AD5546 (Analog Devices) ^[2] を使用した。制御用マイコンは 16 ビット長のデータを扱うこと、割り算を高速に実行することなどを考慮し、16 ビットの RISC 型マイコンである dsPIC30F4013 (Microchip) ^[3] を使用することにした。dsPIC30F ファミリー ^[4] は、ADC や UART など PIC マイコンが持つ豊富な周辺回路に加え、最高 120MHz のクロック動作で 30MIPS (マシンサイクル : 33.3ns) の処理能力、乗算や除算の命令、DSP 演算機能などの特徴を有する。

しかしながら、ワンチップマイコンであるがために拡張性に乏しく I/O ポート数などの制限を受ける場合がある。dsPIC30F4013 の場合ワード長の I/O ポートが無いので、ポート B の下位 8 ビットを使用して ADC や DAC とデータのやり取りを行うことにした。そのために、ADC のデータの読み込みは BYTE 線を制御して上位・下位バイトを 2 回に分けて読み込むことになる。また、DAC への書き込みは 8 ビットラッチに上位・下位バイトのデータを書き込んだ後、ワード・データを DAC に転送する手順となる。製作したビーム電流補正装置の回路基板を図 2 に示す。dsPIC は 40 ピンの



図 2.ビーム電流補正装置の回路基板

(a) 部品面

(b)はんだ面

DIP と 44 ピンの TQFP のタイプが提供されているが、試作・開発時に取り扱い易い DIP タイプのものを使用した。一方、ADC は 48 ピンの QFP で DAC は 22 ピンの SOP で供給されていることから、アナログ回路系は全て表面実装部品 (SMD) を使用し同一レイヤーにまとめて配置した。その際、アナログ系とデジタル系のグラウンドの分離することでデジタル回路のノイズがアナログ回路に回り込まないように配慮した。

3 ソフトウェア開発環境と演算処理プログラム

dsPIC のプログラム開発には Microchip 社から無償で提供される統合開発環境 MPLAB IDE と C コンパイラ MPLAB C30 を使用した^[5]。dsPIC のプログラム書き込み器には、同社の USB 接続のプログラマ PICKit 2 を購入した。dsPIC のプログラム開発環境を図 3 および図 4 に示す。

dsPIC のインストラクションには除算命令 (div) があって、16 ビット/16 ビットまたは 32 ビット/16 ビットの演算を 18 マシンサイクルで実行する。また、MPLAB C30 の標準 C ライブラリの中には integer 型 (16 ビット) と long 型 (32 ビット) のオペランドによる整数除算の商と余りを求める関数^[6]が用意されている。今回のプログラムでは演算速度が問題となるので、この整数除算の関数 div_t と ldiv_t を用いてプログラムを製作することにした。

二つの ADC 値の比を求める際、小数点以下の計算は除算の余りを 10 倍したものを再び除数で割ることになる。このとき変数が integer 型だとオーバーフローを起こすので、小数点以下を計算するには ldiv_t 関数を用いる必要があった。この計算を繰り返し実行して、小数点以下 4 桁までの商を求めた。こうして得た二つの ADC 値の比は、最終的に電圧値として DAC で出力することになる。そのためには、割り算の商を 1 ビット当たりの電圧値で除算してバイナリ・コードに変換する必要がある。このためにも ldiv_t 関数を用いて演算を行い、最終的にプログラム全体では div_T 関

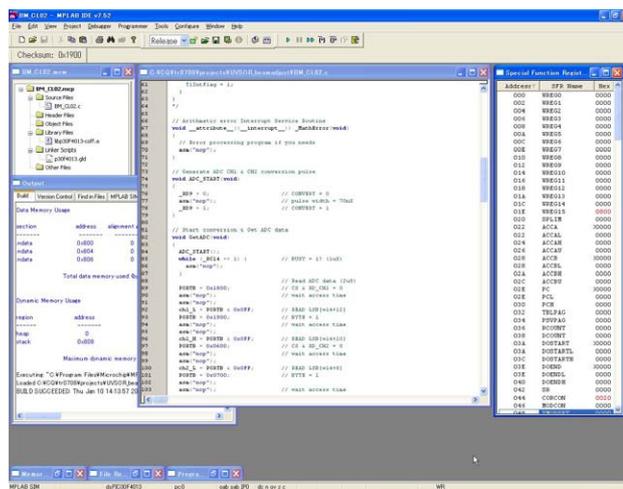


図 3.MPLAB IDE の操作画面



図 4.PICKIT 2 Programmer

数を1回、ldiv_t関数を5回実行することになった。

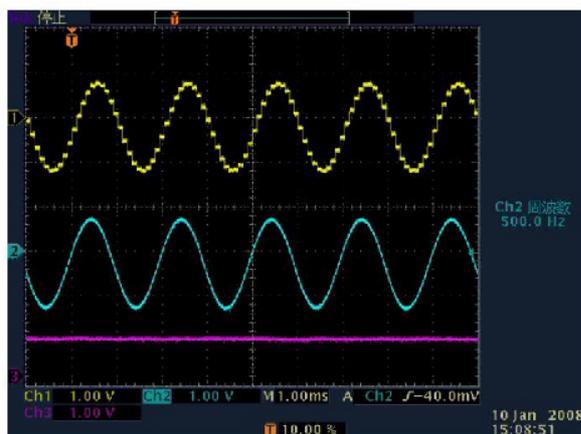
4 動作テストとサンプリング速度の高速化への検討

ビーム電流補正装置の外観を図5に示す。ファンクションジェネレータとDC電源を用いて、本装置の入力1にsin波を入力2にDC電圧を加えて動作テストを行った。その時の入出力波形を図6に示す。図6(a)は500Hzのsin波の入力時、図6(b)は1KHzの入力時の入出力波形であり、上段から(1)出力波形(2)入力1の波形(3)入力2の波形である。AD変換からDA変換に至る一連の処理に要する時間を測定するとAD変換： $1\mu\text{S}$ 、AD変換データの読み込み： $1\mu\text{S}$ 、演算処理： $99\mu\text{S}$ 、DA値の書き込み： $0.5\mu\text{S}$ 、DA変換出力： $0.5\mu\text{S}$ 、総計が $102\mu\text{S}$ となって、サンプリング速度は約9.8KSPSであった。

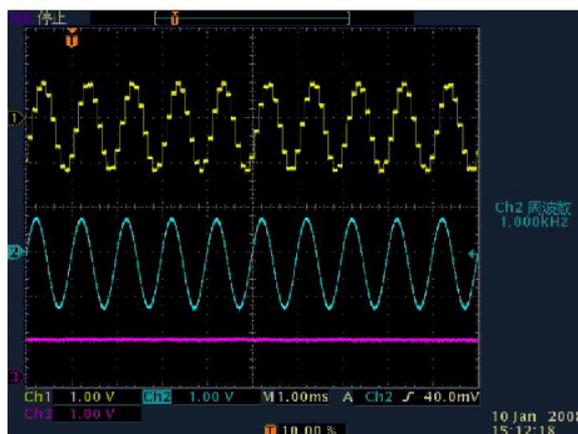


図5.ビーム電流補正装置の外観

動作テストの結果から、本装置を赤外・テラヘルツ分光の測定に応用するにはさらに全体の処理速度を向上させる必要がある。そこで、現状のハードウェアでどこまでサンプリング速度を向上できるかを検討した。

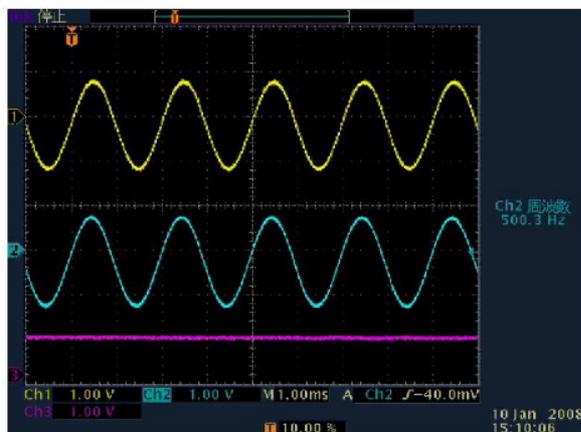


(a) Input :sinwave 500Hz

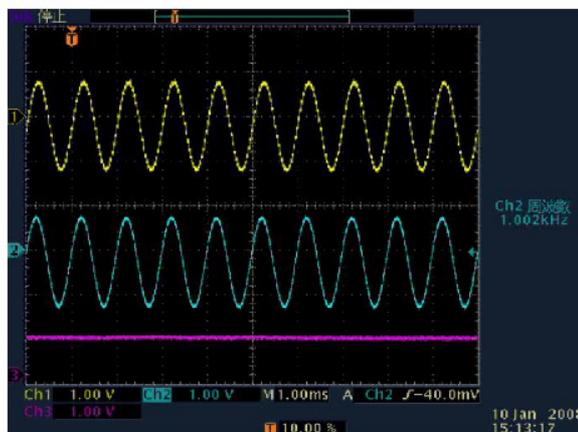


(b) Input :sinwave 1KHz

図6.ビーム電流補正装置のテスト結果



(a) Input :sinwave 500Hz



(b) Input :sinwave 1KHz

図7.演算処理速度を向上したプログラムでのテスト結果

処理時間の内訳から、演算処理を速くすることが全体の速度向上に最も効果的であることがあらためて確認できる。そして、演算処理ルーチン中で高速化が期待できるのは、32 ビットの除算関数を 16 ビットの除算関数で置き換えることである。これを実現するには小数点以下を求める計算の際の被除数を 16 ビットに納め、そのためには除数のビット長を 12 ビットにまで減少させる必要がある。こうして入力信号の分解能を犠牲にすることで、プログラム全体で実行する整数除算の関数は `div_t` 関数が 5 回、`ldiv_t` 関数が 1 回となった。演算処理速度を向上させたプログラムでのテスト結果を図 7 に示す。演算処理に要する時間は $31 \mu\text{S}$ と約 1/3 となり、サンプリング速度は約 29.4KSPS が得られた。

5 まとめ

16 ビットの dsPIC マイコンを使用して、シンクロトロン放射光の赤外・テラヘルツ分光測定に用いるためのビーム電流補正装置の製作をおこなった。入力信号を 16 ビットの分解能で取り込んで演算処理を実行したとき、サンプリング速度は 9.8KSPS が得られた。そして、処理速度向上のために分解能を 12 ビットにまで低下すれば、29.4KSPS のサンプリング速度を得ることができた。ここで、C コンパイラの出力したマシン・コード (HEX ファイル) を MPLAB IDE で読み込み、そのアセンブラ・リストから `div_t` 関数のコーディング内容を調査した。この関数は除算のパラメータをレジスタに受け渡し、そして `div` 命令を使用して割り算を実行するだけの単純なプログラムであった。このことから、演算処理プログラムの改良によるこれ以上の高速化はあまり期待できないと思われる。今後の課題として、分解能を落とさずに高速化を行うためには演算処理能力の高い CPU を選定する必要がある。16 ビットの CPU だけでなく、32 ビットの CPU や演算処理のためのコプロセッサを有するマイコンを含めてハードウェアの構成を検討して行きたいと考える。

参考文献

- [1] AD7671 Data Sheet, Analog Devices Inc.
- [2] AD5546 Data Sheet, Analog Devices Inc.
- [3] dsPIC30F3013/4013 Data Sheet, Microchip Technology Inc.
- [4] dsPIC30F ファミリー リファレンスマニュアル, Microchip Technology Inc.
- [5] 山口晶大, “PIC で体験するマイコンの世界”, トランジスタ技術 2007 年 8 月号, 特集
- [6] 16 ビット言語ツールライブラリ, Microchip Technology Inc.

PF-AR フロントエンドモニターシステム

○濁川和幸^{A)}、小菅隆^{A)}、菊地貴司^{A)}、佐藤 昌史^{B)}

^{A)} 高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所

^{B)} 高エネルギー加速器研究機構 加速器研究施設

概要

放射光施設では偏向電磁石や放射光源から出てくる放射光を実験ステーションまで導くためのビームラインがあり、このビームラインのなかでも加速器に近い部分を特にフロントエンド（基幹部）と読んでいます。

2006 年から PF-AR 地区フロントエンド部の真空度を遠隔監視するためのモニターシステムを新規に構築し運用を開始しました。このシステムはその後、冷却水の流量やガス検知システムを監視するためにも使用されています。本報告書では、本システムを構築するまでの経緯と本システムの構成について報告します。

1 導入前

本モニターシステムの対象は、電子加速器から出てくる放射光を実験ステーションまで導くためのビームラインの中でも加速器に近い部分であるフロントエンドの真空度の監視のために使用しています。

この部分は加速器本体に近いこともあり、真空度が悪くなると加速器の運転まで影響を及ぼす可能性が高い部分であり、本モニターシステム導入前から実験中は運転当番が現場の真空度のチェックを行っておりました。しかしながら、PF-AR 地区は運転当番の待機場所から遠いことや当番中には他の仕事もあるため、8 時間に 2 回程度のチェックで常時監視とは言えない状況にありました。

2 当初計画

2.1 システムについて

本システムは、上記のような状況を改善する目的で、まず真空度に関するモニターシステムを導入し、ネットワークを介した遠隔モニターで異常がすぐに判明することを目指して計画されました。

当初の計画では、図 1 の LAN 接続型/アナログデジタル IO 装置である「KCXH-IOB30RTA」^[1]を真空度の入力装置として使用する計画で進められました。この時のシステムの模式図を図 2 に示します。

当初計画の IO は入室管理システムで使用している IO と同じ IO を使用したため、±2.5V までの電圧しか扱うことができず、真空ゲージからの出力を自作の分圧回路を使用して入力することになっていました。ソフト的には図 2 にあるようにサーバ PC を用意し、ここに KEK-PF のビームライン制御で広く使用されている STARS (Simple Transmission and Retrieval System)^[2]を導入してネットワークを介して IO からのデータを集め、自作の GUI 画面もしくは Web でデータをモニターする計画でした。また、STARS の機能の一つであるログシステムでデータを収集しておき、過去のデータも必要に応じて閲覧可能にする計画でした。



図 1. KCXH-IOB30RTA

2.2 問題点

初期システムでは、担当者が計画途中で多忙になり自主開発で進める予定であった分圧回路の制作が遅れました。また、担当者の勉強を兼ねたこともあり、担当者がソフトウェアの開発に不慣れで、GUI関係のソフトウェア開発も進まず、計画そのものが頓挫していました。

3 現モニターシステム

3.1 新システムの検討

2-2節で述べたとおり計画が進んでおらず、今後の計画を練り直す必要が出てきました。時を同じくして図3で示したMW100^[3]と呼ばれるネットワーク対応のデータアキュイジションが横河電機から販売されたのを知り、デモ機を借り受け今までの問題点を解消できるかを検討しました。この機器の特徴として、ネットワークに接続してデータの入力さえ行えば、図4のようにWeb上での簡単な設定することでWeb画面としてデータの遠隔監視が出来る点が挙げられます。これにより、今まで抱えていた問題点が一気に解決することになります。また、本体にデータを記録しておくことも可能で当初計画していたシステムがこの機器のみで実現可能でした。

そこで、今後はこのシステムを導入してPF-ARフロントエンドモニターシステムを再構築することとしました。

3.2 基本構成

MW100はコンパクトフラッシュのメモリーカードを挿入することが可能で、このカード上にデータを保存して置くことも可能なので、この機器単体で当初の計画通りのシステムを組むことも可能ですが、既に導入されていたサーバPCを無駄にすることなく使用するよう構成することとして、図5のとおり当初計画の構成からIO部分のみをMW100に変更するのみにしました。

3.3 ソフトの構成

GUIとしては図6の運転当番が詰めている部屋に常時表示しているもの（専用GUI画面、この図では後から述べる増設後の信号が含まれた図になっています）と図7のWebで確認できるものの両方を用意しています。図6の専用GUIはVisual

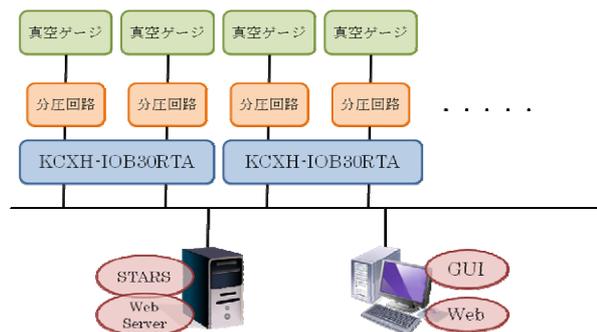


図2. 当初計画のシステム模式図

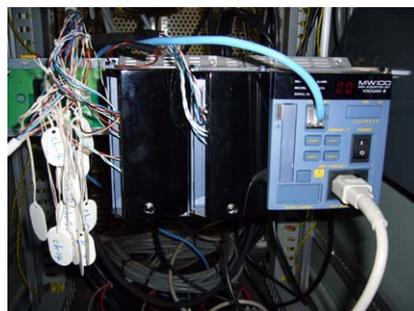


図3. MW100



図4. MW100の演算式設定画面

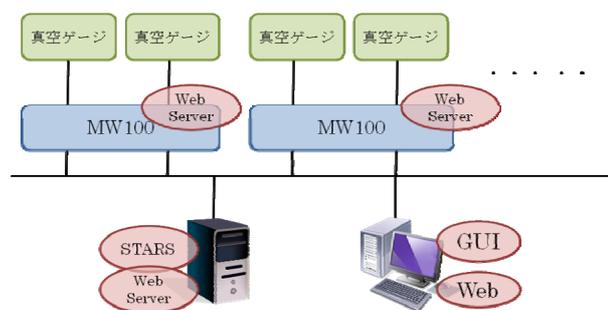


図5. 現システムの概念図

Basic 6 で作成した STARS のクライアントプログラムという位置づけです。このプログラムでは、閾値の設定することでアラーム音を出し、図 6 でも表示されているとおり、当該データの表示を赤表示にして注意を喚起する機能も有しています。図 7 の Web を使用した表示では、一日分のデータがグラフ表示され、日にちを指定することで、過去のデータを確認することも可能となっています。この表示は Perl を使用してサーバ側で作成された画像を Web 表示しています。

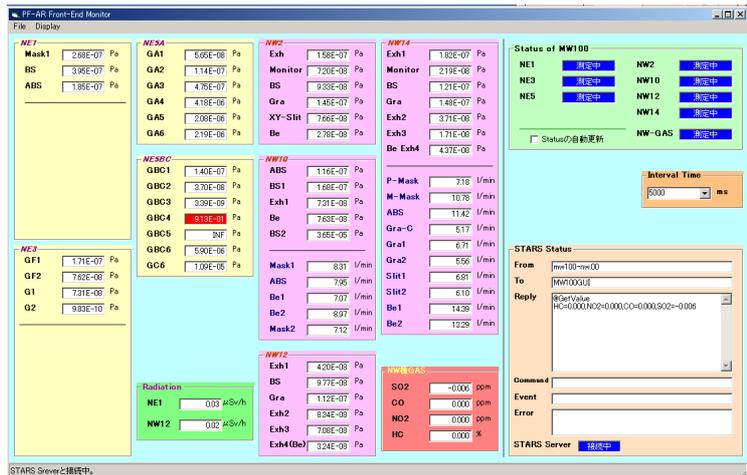


図 6. GUI 画面（現状の全信号モニタ用）

各データの流りはそれぞれ図 8 と図 9 のようになっています。GUI プログラムは MW100 とは直接データのやり取りを行わず、必ず STARS を介してデータをやり取りする形式になっています。STARS は専用 GUI 画面からデータの要求があった時にはその時に MW100 から取得したデータを専用 GUI 画面に渡し、さらにそのデータをロギングしています。また、Web 画面での表示要求があった場合はロギングしたデータをサーバ側で加工したうえで、Web 表示用の画面を作成します。MW100 と STARS とは常にデータのやり取りを行っており、たとえば GUI 側のプログラムに問題があった場合でもデータは常に STARS が導入されているサーバ PC 上にロギングされています。もちろん、STARS 自体は複数のプログラムからのデータ要求に対応可能ですので、図 6・図 7 の GUI 画面を同時に表示することも問題なく行えます。

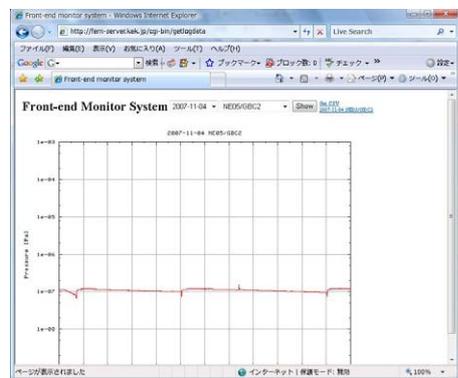


図 7. Web でのデータ表示

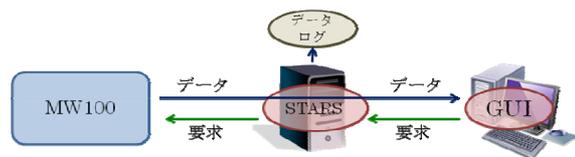


図 8. 専用 GUI でのデータの流れ

さらに、前でも述べたとおり MW100 単体としても Web 画面としてデータをモニターすることが可能です。本システムでも図 10 のようにこの機能を使用することが可能となっています。これにより、上記の STARS を介したデータ表示に問題が行った場合でも、データの入力を直接行っている MW100 単体でデータをモニターすることも可能になっています。

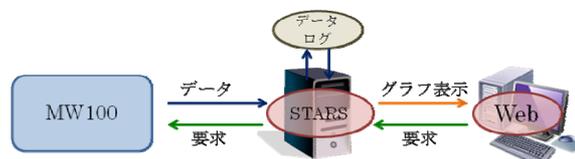


図 9. Web 表示でのデータの流れ

4 導入後

本システムは導入後一年以上経ちました。導入当初に真空ゲージから来る電圧を本当の真空値に変更するための変換式が複雑なため、一台の MW100 に複数の信号を入力した場合には、演算式設定枠が足りなくな

るのではないかと問題がありました。この件については開発元の横河電機さんにも協力していただき、効率的な設定方法を行うことで、一応の問題解決を見えています。

その後は、大きな問題点もなく、其々のビームライン担当者や運転当番の一躍を担っている三菱電機サービスの方々にも評判が良く、ADの数を増やして実験ホール内の放射線モニター、フロントエンドの冷却水のウォーターフローディテクタ（図10）からの水量、実験で使用した各種ガスを排出するためのガスモニター（図12）の遠隔モニターとしても稼働しています。この場合でもガスモニター以外は入力すべき信号が現行のMW100の近くあったので、MW100自体を増設するのではなく、ADユニットのみを増設することで対応しています。従って、設定変更の点や金額的な面でも、比較的容易にモニター信号（チャンネル数）の増設が可能でした。

5 将来展望

今後も、現在フロート式になっている冷却水のモニターを羽根車式に変更するのに伴い、冷却水の水量計が増えていく予定となっています。また、現在はPF-ARのモニターとしてしか導入していませんが、予算の工面が出来次第、PFのビームラインにも導入する予定になっています。

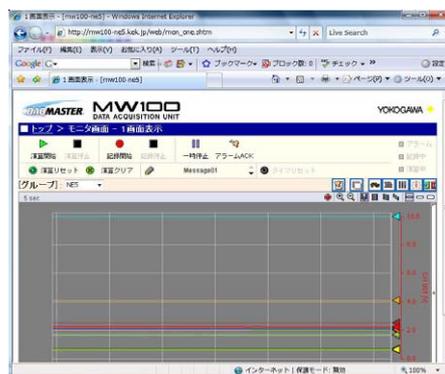


図10. MW100 のデータ表示画面



図11. ウォーターフローディテクタ



図12. ガスモニター

参考文献

- [1] <http://www.karacrix.jp/hardware/kcxh-iob30rta.htm>
- [2] T Kosuge et al, "Recent Progress of STARS", PCaPAC2005 proceedings, March 2005
<http://conference.kek.jp/PCaPAC2005/paper/THA3.pdf>
- [3] <http://www.yokogawa.co.jp/ns/daq/acquisition/mw100/ns-mw100-01-ja.htm>

侵入者自動監視システムの動作検証

○蛭田敏仁^{A)}、木村直行^{A)}、田沼浩二^{B)}、清水和明^{A)}、
鈴木美寿^{B)}、伊藤 透^{B)}

^{A)}(独)日本原子力研究開発機構 原子力科学研究所 工務技術部

^{B)}(独)日本原子力研究開発機構 核不拡散科学技術センター

概要

原子力関連の重要施設、公共施設やライフライン等への不審者、不審物や不法侵入者等の監視方法として、カメラ映像による人為的な監視は、監視員による確実な認識と的確な判断が可能で、誤報が少なく迅速かつ柔軟な対応措置ができることから最も有効な手段である反面、監視対象エリアの拡大に伴う人為監視の限界や監視員の負担増による監視対象物の見逃しが避けられない等の問題点が存在する。近年、監視カメラの映像処理技術の向上に伴い高性能で高機能な画像処理技術を適用して不審者等を機械的に自動検知する監視システムの構築が一部で行われ、公共施設、ライフライン等への導入事例が紹介されている。これらの自動監視システムの導入は、監視員の負担の軽減、監視対象物の確実な早期発見等、警備業務の信頼性の向上、効率化及び合理化が期待される。

原子力科学研究所では、原子力施設への不審者や不審物等の早期発見、警備業務の合理化及び効率化を目的に、国外の代表的な画像解析ソフトウェアを用いた侵入者自動監視システムの実用化開発を実施している。今回、本システムによる種々の検知性能検証試験と屋外での長期耐環境性能検証試験等を実施した結果、当該画像解析ソフトウェアの主要パラメータである監視(検知)ルールを適切にカスタマイズすることにより、原子力施設の敷地境界フェンス周辺の警備等においても充分使用に耐えることが検証できた。

1 侵入者自動監視システムの構成

本システムの基本構成は、図 1. に示す通り、CCTV 監視カメラ、ビデオキャプチャーボード、画像解析ソフトウェア及び解析用パーソナル・コンピュータ(PC)から構成される。CCTV 監視カメラには一般の NTSC 出力付きのカラー又はモノクロアナログカメラを使用し、NTSC ビデオ信号を解析用 PC の拡張スロットに挿入したビデオキャプチャーボードに入力して Quarter-VGA (320x240 画素、15~30 フレーム/秒) 程度にデジタル化する。デジタル化された映像データは、画像解析ソフトウェアに入力されて検知対象物と想定されるオブジェクトを自動的に抽出し、内部データベース情報と比較・検証することにより、オブジェクトの識別が行われ、予め設定された検知対象物体であるか否かを特定する。次に、警戒ライン、警戒エリア、徘徊頻度等から成る検知ルールに基づく画像解析をリアルタイムで行い、条件が満足された検知対象物体に対して警報を発報する。警報発報時は、音声又はブザー等により警告を発するとともに、検知対象物体の静止画を発報履歴として PC のハードディスクへ記録する。また、遠隔監視が必要な場合には LAN 経由で静止画付きの警告メールを自動的に送信する。

2 侵入者自動監視システムの要件

誤報や失報を極力少なくし、安定な自動監視を行うためのシステム要件は、天候や自然環境等の外乱に左右されず、検知対象物体を含む人、車両、物体の識別性能に優れている必要があり、具体的な要件として以

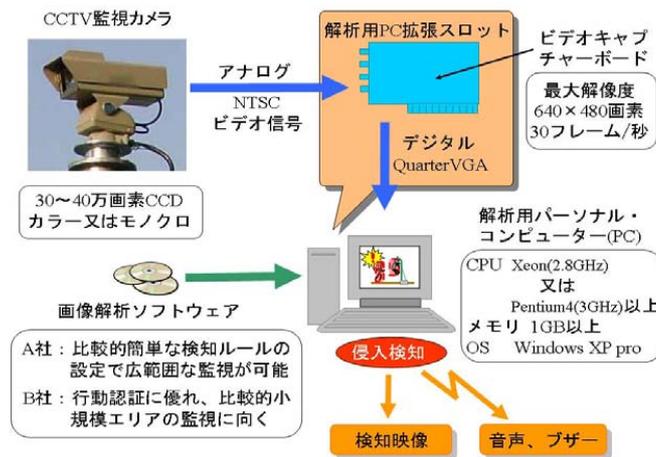


図 1. 侵入者自動監視システムの基本構成

下の機能・性能が求められる。

- ①監視映像から検知対象物体を確実に認識し、人、車両、物体の識別が速やかにできること。
- ②雨、雪、日照変化等の気象条件に左右されず安定な検知が年間を通じて可能なこと。
- ③海面の変化、木々や草花の揺れ等、周囲の外乱に左右されず安定な検知が可能なこと。
- ④監視ルールに柔軟性があり、監視員によるルールの設定・変更が容易であること。
- ⑤運用状態に応じて検知ルールの切り替え、組合せが容易に可能なこと。
- ⑥警報発報の解析が PC 上で簡単にでき、発報履歴の管理が容易であること。
- ⑦システムに拡張性があり、大規模システムへの発展性が考慮されていること。

3 検知性能検証試験

原子力科学研究所では、2005 年末当時、市販で購入が可能で侵入者自動監視に適用可能な画像解析ソフトウェアについて、性能及び機能等の比較検討を行い、本目的に有効と判断した 2 機種 of 画像解析ソフトウェアを選定し、監視システムの評価モデルを構築するとともに、様々な場所に移動し性能試験ができるよう可搬性を考慮した移動型侵入者自動監視装置を製作した。図 2 に移動型侵入者自動監視装置の構成と実機の外観を示す。

本装置は、高感度デイナイト CCTV 監視カメラ（昼間はカラー映像、夜間はモノクロ映像に自動切換え）、画像解析用 WindowsXP PC と拡張スロットに挿入された PCI ビデオキャプチャーボードから構成され、さらに LED 赤外線投光器を装備することにより昼夜における検知性能の検証を可能としている。監視カメラからの NTSC ビデオ信号は、映像トランスミッター／レシーバを介して空間伝送され、一方はビデオキャプチャーボードに入力されてデジタル映像に変換後、検知ルールに基づく画像解析を行い、もう一方はデジタルビデオレコーダに録画してバッチ処理による侵入経路の特定、分析等に利用する。監視カメラ、LED 赤外線投光器及び映像トランスミッターは可搬性を考慮して三脚にマウントされ、これらの機器への電源供給には充電式の密閉型鉛蓄電池を使用している。

本装置を使用し、原子力科学研究所の施設境界フェンス周辺において、晴天の昼間及び月明りの夜間時に模擬侵入者による性能検証試験を実施した。図 3 に示す通り、監視エリア内の樹木・枝・葉等による背景映像に影響されず、フェンスのよじ登り及び一定時間の滞留等、模擬侵入者の検知について良好な結果が得られた。また、赤外線灯光器による暗視映像についても赤外線の到達エリア（約 20m）内においては昼間と変わらない満足な結果を得た。

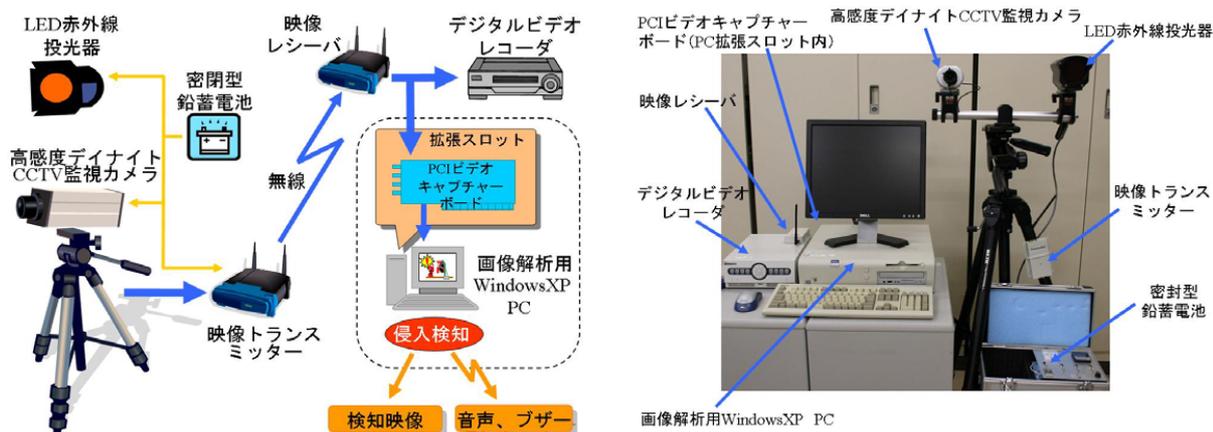


図2. 移動型侵入者自動監視装置の構成と外観



フェンスのよじ登りを検知（昼間と夜間）

一定時間の滞留検知（夜間）

図3. 移動型侵入者自動監視装置による検知性能検証試験映像

4 長期耐環境性能検証試験

屋外の実運用における不審者・不審物等の自動監視の要件として、雨・日照変化等の気象条件、樹木・雑草等の背景映像、さらに小動物や野鳥等の出没に影響されないで誤報、失報がなく安定した検知ができることが重要になる。これらの検証を行うため、原子力科学研究所の既設建家周辺において長期耐環境性能検証試験を実施した。

4.1 機器構成と試験内容

図4に長期耐環境性能検証試験に使用した監視カメラと監視区域の概略図を示す。監視カメラには高感度デイト CCTV 監視カメラを使用し、約6mのポール頂上に設置したカメラケースに収納した。カメラケースは電動雲台(X、Y軸)により画角が自由に調整できるようにし、種々の監視アングルにおいて建家周辺の連続監視を行った。カメラ映像は同軸ケーブルで侵入者自動監視装置に入力され、その他の機器構成については基本構成とほぼ同等である。監視区域における警戒線及びエリア設定は青色領域に示した通りで、監視区域中には、コンクリート通路、芝生、照明灯等が存在し、監視カメラから既設建家までの距離は約15mである。

4.2 試験結果と考察

2007年5月中旬から10月末日まで約5ヶ月半、実運用に近い監視条件下で耐環境性能検証試験を行った。この間、7月中旬に台風4号による暴風雨や激しい降雨が数回あり、また、芝生と雑草等もかなり生育した。表1にこの間にハードディスクへ記録した発報履歴の集計結果を示す。

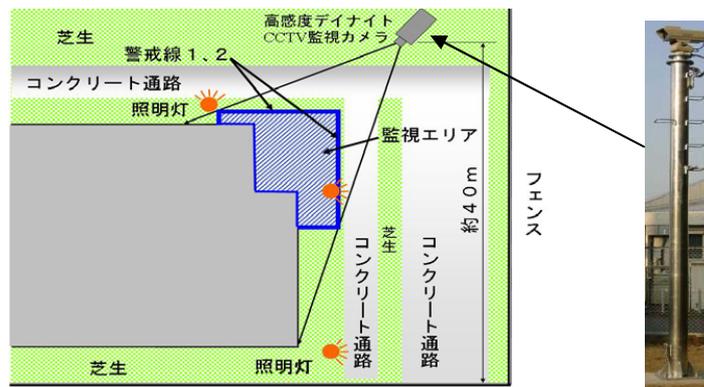


図4. 長期耐環境性能検証試験に使用した監視カメラと監視区域の概略図

表1. 長期耐環境性能検証試験の結果

(凡例) ◎非常に良い ○良い △誤報性有り —該当せず

検知物体	気象条件				備考
	晴/曇		雨		
	昼間	夜間	昼間	夜間	
人物	◎	◎	◎	◎	複数人数も検知
小動物等	△	△	△	△	注1
雑草等	△	△	△	△	注2
対照明灯等	—	△	—	△	注3
対太陽光	◎	—	—	—	

注1:カメラケース前面ガラスの蜘蛛の巣や野鳥、大雨時の水滴等により誤報が多発

注2:雑草等が膝位に生育し、風で揺らぐと誤報が多発

注3:照明灯のON/OFF、雨天時夜間の照明灯の反射、近傍道路を走行する車のライトで誤報が発生

表1の結果を考察すると侵入者自動監視システムの実運用において以下の問題点が指摘される。

- ◆監視対象物体が人物（歩行、走行、ほふく）及び車両の場合は、昼夜に拘わらず確実に検知できるが、監視エリア内の構造物、植物、道路等と同系色の人物については検知率が低下する。
- ◆台風等、激しい降雨時には誤報が多発する。
- ◆監視エリア内の雑草、樹木等は生育状況に応じて手入れする。
- ◆照明灯は明かりが構造物等に著しく反射しないよう工夫する。
- ◆通常運用時においても誤報が多い場合は、人間、車両、不審物等の検知対象物体毎に検知ルールを細かく設定し、2つ以上のルールを組み合わせ、アラートを発生するよう工夫する。

5 まとめ

近年、様々な画像処理・解析技術を適用した映像監視装置が製品化されているが、適用に当たっては、カメラの設置位置、監視エリアの自然環境、気象条件を十分に考慮し、導入することが求められる。適切な機器の設置及び検知ルールの設定等により、従来の屋外用ボリュームセンサ（赤外線ビーム式、マイクロ波式等）と同等か、それ以上の性能が期待できることを今回の動作検証で確認した。

PIVを用いた魚眼映像の雲態挙動解析による突風予兆検知の試み

○岩田正孝^{A)}、川口達也^{B)}

^{A)} 東京工業大学 技術部設計工作技術センター

^{B)} 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

概要

本報では青空に浮かぶ雲を見上げていると、時によっては大気の壮大且つ三次元的に動き回る複雑な動きが見える様なイメージとして受けることに着目し、この「大気の可視化」を簡便且つ受動的な方法として、地上から見える範囲を魚眼撮影で写し込んだ全半球映像内の“雲自体を観測手段のトレーサ”と見立てた。これを近年、問題化する突風に対してその全天の雲態挙動の解析に画像計測法では比較的安価に構築できるPIV (Particle Image Velocimetry) 法を用い、挙動の流線可視化による予兆検知の試みを報告する。

1 はじめに

本報は、流体などの研究環境ではミクロ的な使われ方が多いPIVをあえてマクロ的応用として、近年、大規模化と頻発する傾向にある“突風”や“集中豪雨”など局地的な気象災害の予測に寄与する事を目的にしている。現在、この発生メカニズムを求める手段としては、電波による降水粒子などの移動する速度をドップラー原理により測定し、そこから風速などを求める気象レーダーとしては広域型のドップラーレーダーや上空用の局所型のウィンドプロファイラなどの装置が気象庁で実用化されている。本報では、低コストを前提に“空を見上げる”程度での感覚で簡便かつ実写保存ができる有視界内魚眼撮影（全半球映像）情報の各コマ間に記録された逐次移動した“雲位置の差分情報”より、強風での流速度、竜巻での渦巻き度などを危険因子として予測する流線可視化解析法の提案を試みたものである。

本法の想定している特徴を示す。

長所：安価・軽便、記録・解析性を持つ迅速な実写局所検知方法

短所：全天に雲が皆無もしくは、相当量在っても濃淡が極小状態で撮影映像に分解能が無い場合従って、雲が撮影でき十分に解析ができる気象状態が前提であるために、現象自体に雲が極めて少ない様な「じん旋風」や「ビル風」の様な突風、強風には原理的に対応が難しいと考えている。さて、気象庁が定義している用語では、突風（急に吹く強い風で継続時間の短いもの）、強風（風の強い状態の総称で風速が15m/s以上の強い風。風に向かって歩きにくく、傘がさせない）となっている。

本報では、局所的な自然災害を解明する上で闇雲に撮影解析するのではなく、ある程度の予測を加味したいと考え、その予測データに気象庁の図3. アメダスで定時観測される約17 km メッシュの約1300地点の温度、風向、風力、気圧等の集約データをオンラインでモニタリングし、且つ、抽出条件が設定できればより効果的に突風や竜巻などによる急激な変化域が絞り込める可能性も視野にある。従って、その抽出点近傍にあるアメダス及び移動経路上に本撮影システムがあれば、現象解析と併せ実映像を得る学術的にも意味を持つと考え、実用化への検討を考慮している。近年の突風災害の例を図1. に示す。



図1. 突風災害の例^[1]

2 トレーサとしての雲とは何か

本報での「雲態」とは、急激な天候変動の要因となる対流雲、下層雲などを“地上から見上げた時に最も下にある雲同士の挙動”であり、それが画像として取り込める状態を指す。理想的な状態としては、抜けるようなコントラストと現象速度がある“夏の入道雲”である。本対象では分類的には対流雲と下層雲となる。

雲の定義：大気中にかたまって浮かぶ水滴または氷粒（氷晶）の事を言う。

雲を作る水滴や氷晶の1つ1つの粒を雲粒と言い地上が雲に覆われていると霧となる。

雲の色について：一般的に、雲は可視光線（光）を反射しやすく白く見える傾向がある。しかし、雲の厚さや内部の雲粒の密度、太陽光の角度によってさまざまな色に見える。白い雲は、粒が小さな雲粒が比較的混み合っただけに浮かんでいる状態のため、太陽光の反射率が高く白く見えるが、雨粒があまり成長していない事になり、降雨になる事は少ない。

さて、“雲の発生は上昇気流による”処が大であるが同時に天気を崩す関係もある。

雲の発生する主なパターン

- 低気圧や台風風に風が吹き込む → 強風
- 前線が接近した → 上昇気流
- 地面が熱せられる → 上昇気流
- 上空に冷たい空気が流れ込んだ → 強い雷雨
- 気流が山を越える → 山の斜面に沿って空気が上昇するので風上側に雲が発生

これらの現象要因から、アメダスでの広範囲測定データからこうした現象を捉える一助になると考えられる。

本報では、通年検出を前提に現象としては急速に発達する低気圧の通過に伴う強風とその図2. 寒冷前線付近に生じる狭い範囲の“積乱雲の成長”による激しい上昇流に伴い発生するかも知れない突風や竜巻とその逆の高度冷却による激しい下降気流に伴う発生するかも知れないダウンバーストに絞りたいと考えている。季節的な要素としては、夏の積乱雲も対象としている。何れの場合においても本報では、“上空にある雲の発達・移動現象が地表面への影響として、風の形で具象する”との仮定による。従って、雲の挙動が強風での流速度、竜巻での渦巻き度などの危険因子として把握できると推定している。尚、西高東低による気圧配置や寒気の吹き出しによる強風は関東圏では雲の発生を伴いにくく、対象にしにくいと考える。

表 1. 雲の分類

分類		定義・条件	通称・特徴
層状雲	上層雲	巻雲	すじ雲（以前は「絹雲」と称した。）
		巻積雲	高度 6000m 以上、 温度 -25℃ 以下
		巻層雲	うろこ雲、さば雲 うす雲、太陽や月の暈の原因
	中層雲	高層雲	おぼろ雲
		高積雲	高度 2000~6000m ひつじ雲
	下層雲	層積雲	高度 2000m 以下、 温度 -5℃ 以上
層雲		高度 300~600m	きり雲（灰色～薄墨色の雲）霧雨の原因となりうる。
乱層雲		雨雲、連続した雨や雪を伴う。	
対流雲	積雲	高度 600~6000m	わた雲 むくむく雲 晴れた日に現れる。上面がドーム形、下面が水平。
	積乱雲	最大高度 12000m	雷雲、いわゆる入道雲。かなとこ雲



図 2. 寒冷前線の立体図



図 3. アメダス観察施設

【アメダス】 Automated Meteorological Data

Acquisition System の略称で、正式には「地域気象観測システム」と言う。

約 17km メッシュに 1 か所の割合設置の観測データは、10分に1回電話回線等を通じて気象庁に送信される。

観測所番号 46141（藤沢市辻堂西海岸）

測定項目：気温、日照時間、
風向、風力、降水量

3 魚眼映像と試行解析について

本報では、全天で起きている現象を全てを一括で捉えるには最重要は“画角”で一般的には全半球を網羅する全周魚眼（180° ±360°）撮影だが機材が比較的高価となるので、安価でのシステム構成を模索した。尚、解析には“画質”も同様に重要であるが高画質化は記録密度として高コスト・大容量ともなるので処理速度からもその見極めも要注意だ。この魚眼撮影系で、実際にどの様に撮影できるかを検証してみた。

【魚眼映像の特徴】

- ◎カメラのパン・チルト(横縦方向移動)を行わなくても全体風景の可視情報を含み撮り残しが無い。
- ◎逆光時も曲面レンズにより光線が分散され、比較的その影響が少ない。
- ◎魚眼特性である湾曲映像により遠近感が強調され、独特な映像効果がある。

P I Vは連続撮影したコマ間の映像の類似性に着目して、相互相関関数により変位した情報を追いかける解析法で、過去に行った海波^[2]、^[3]や大気^[4]の可視化の経験から現出するであろう問題点を挙げる。

- 雲流動（形状・雲高・雲底・風向）情報の明瞭度
- 雲態の濃度・色相差によるコントラストの明瞭度
- 気団混合（大気不安形状混濁情報）による明瞭度
- 外乱因子：昆虫や鳥、航空機、構造物などや降水や太陽光の写り込み、風による揺すぶられなど

解析に必要な映像情報として求められる項目を挙げる。

- 映像の解像度：空間分解能(画角・ピント、被写体深度)、時間分解能(コマ数・シャッター速度) 対比(明度、彩度、S/N比)
- 解析の精度：解析点の設定など

試行段階として、㈱キムラタン社製超小型全周魚眼カメラ NM-30 を用い、動画 640×480pixel・10fps で無作為で撮影した例を図4. に示す。撮影条件：ノーマルレンズ使用、有効画素数約30万画素、.mpeg録画

図5. 解析可視化例では、解析点を全周部外を含めて横35点、縦25点で、魚眼部有効横28点、縦25点とした。この解析法では非圧縮画像を用いるべきだが撮影データが10fpsの.mpegである事と雲速が遅かった事を考慮して、解析ではコマ数を間引き、撮影時の1/50の速度とする.jpegとして抽出し、加えて連続する4分間の時間平均のコマ間の変化量を解析した結果を加えた。意外と容易との感触を得た。カメラは、仕様より屋内用と考えたが屋外での無限遠の識別性能は高かった。この日の雲の主體的な動きは左から右、つまり北から南に移動を視認しており4分間の平均方向でもそれを裏付けている。端緒であるがこの映像で見ると意外と太陽の写り込みによる露出に与える影響が少ないことと5sec間隔の遅速インターバル撮影でも対応できることが分かったので、高画質化での機材の見直しを行った。但し、この時間間隔では突然、鳥や航空機が1コマのみに記録される為とその影響対策が必要となる。



図4. ノーマルレンズ搭載型

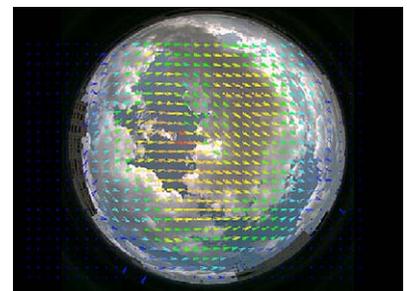


図5. 左図の解析例

※矢印：移動方向を示し、赤色が速く青色は遅い

撮影地：東京都目黒区大岡山 東京工業大学キャンパス内、海拔約20m

撮影日：2007/05/31 PM2:00

現況：撮影の3時間後、首都圏にヒョウを伴う豪雷雨があった。

撮影：カメラ NM-30、640×480 pixel (standard VGA) 10fps 93KB/コマ 撮影時間約5min (約125MB)

4 P I Vによる突風検知用撮影機材について

本報では、静止画でのインターバル撮影と限定し画質の高品位を最優先に選んだ安価デジカメに魚眼化用の前玉装着式魚眼レンズを装着した状態を図6. に示すが、意外なほどにシンプルなシステム構成となった。

- (1) 撮影機材：カメラ（キャノン製 Power Shot S5IS）＋レンズ（レイノックス製 全周魚眼コンバージョンレンズ DCR-CF185PRO）＋アダプターリング（レイノックス製 RB52S2＋RA6252）
- (2) 撮影条件：800万画素（3264×2448）、約2.8MB/コマ、キャノン付属ソフト（ZoomBrowserEX）制御下でのインターバル撮影（最短設定5 sec）によるパソコン録画（.jpg）

図7より、解析に必要な十分な解像力が、また全周魚眼では半球方向がほんの僅かだが狭い写角であった。



図6. 撮影風景と機材



(a)全周魚眼時

(b)同望遠時

図7. 本撮影系による実写（江ノ島方面）

5 まとめにかえて

本報のそもそものキッカケは気象用語で言う処の「観天望気」である。これは自然現象や生物の行動の様子などから天気予測を行う事であるが近年の気象予報の精度向上及びその報道により、都市部に住む者にとっては日中に空を見る機会が少なくなったなど感じた事による。そんな時に、P I Vに興味を持ち異常気象のニュースを見るたびにもう少しまともな映像が撮れないものかと単純に「空を眺めれば何かが分かる」と思った事にあるからだ。しかしながら、対象とする“突風”は低気圧による強風に比べて意外と発生頻度が極小であり、思った以上にその捉えるチャンスも極めて難しい自然現象であることを再認識した。

次に、魚眼映像による雲態挙動可視化で得た知見と問題点を挙げる。

- 天頂部と周辺部で見た目の不自然な画像のために座標変換による補正の必要があるかどうか検討。
- 一眼撮影では雲の高度位置情報が得られないために、肝心の移動方向では方位は分かるものの三次元的には上昇（多分、成長中と考える）なのか下降（多分、消滅中と考える）かの判別が困難。
- 雲態挙動に見合う相互相関性が確保できれば、インターバル撮影でも解析は可能である。

尚、本報の一部は平成19年度科学研究費補助金（奨励研究 No.19917005）の助成を得て行った。

参考文献

- [1] 朝日新聞 2006.11.8（朝刊），“北海道常呂郡佐呂間町若佐で竜巻が発生し、9人が死亡した災害”
- [2] 岩田正孝，川口達也，“P I Vを用いた海波の流線可視化計測法の試み”，平成18年度機器・分析技術研究会報告集（広島大），平成18年9月，P1-P4
- [3] 岩田正孝，川口達也，“P I Vによる俯瞰海面挙動の流線可視化法の試み”，平成18年度名古屋大学総合技術研究会（装置技術研究会報告集），平成19年3月，P62-P65
- [4] 岩田正孝，川口達也，“P I Vを用いた雲態挙動の流線可視化法の試み”，平成19年度機器・分析技術研究会報告集 in とやま，（富山大学），平成19年8月，P13-P16

少子高齢化社会に対応した自律移動車椅子の制御および開発

甲斐崇浩

宮崎大学工学部教育研究支援技術センター

概要

少子高齢化が進む現代社会において、高齢者ならびに身体に不自由を抱える人々の生活を支えるための技術開発が様々な方面においてなされている。また、合計特殊出生率が低下するわが国において、高齢者ならびに身体に不自由を抱える人々を介護する介助者の労働力を少しでも軽減するような技術開発が不可欠となってきた。そこで本研究では、介護する人たちの負担を軽減できるよう、介護現場の問題点を明らかにし、それら問題点を克服するような制御を組み込んだ自律移動車椅子の基礎研究と開発を目的としている。

本論文では、自律移動車椅子の周辺環境情報取得手段である赤外線センサと超音波センサを搭載した IR-US モデルと測域センサを搭載した URG モデルとの走行比較実験を行ったので制御についての検証結果を述べることにする。

1 自律移動車椅子の構成

これまでの研究において、電動車椅子 MD-100（松永製作所製）を改造し、障害物を回避しながら壁沿い走行をする自律移動車椅子ロボットのシステムを構築している。本来 MD-100 は、使用者のジョイスティック操作によりコントローラから左右の独立した DC モータに制御電圧が送られることでジョイスティック操作に応じた走行を行うものである。本研究における自律移動車椅子では MD-100 にコンピュータと各種センサを接続し、自律移動車椅子の周辺環境情報により走行ルールを判断し、制御電圧をコンピュータからモータに送ることで自律移動車椅子の走行制御を可能にしている。



図 1. 自律移動車椅子の概観

2 自律移動車椅子のモデル

2.1 IR-US モデル

自律移動車椅子（以下車椅子ロボット）IR-US モデルは、車椅子ロボットの周辺環境情報の取得手段である、赤外線センサと超音波センサの 2 種類の距離センサが複数個搭載されたモデルである。これらのセンサは車椅子ロボットから壁や障害物等を検出し、その間の距離に応じた電圧値を出力する。赤外線センサは GP2D12(SHARP 製)を使用し、車椅子の両側の壁や障害物を検出するために搭載している。GP2D12 は、検出距離と出力電圧においておおむね反比例の関係となっており、対象物体との距離が近づくほど出力電圧は高くなる特性になっている。また超音波センサについては BTE054(ベストテクノロジー製)を使用している。超音波センサは比較的指向性の広いセンサなので主に車椅子ロボット前方の障害物検出のために搭載している。BTE054 は、検出範囲の中で最も近い物体との距離を出力するが、検出距離と出力電圧の関係は比例関係となっており、対象物体との距離が近づくほど出力電圧は低くなる特性になっている。それぞれのセンサから出力された電圧値をコンピュータに搭載している AD/DA 変換ボードにより信号変換し Navigation Algorithm へ

入力される．その後 Navigation Algorithm で処理された結果（次回動作命令）が AD/DA 変換ボードで信号変換され車椅子ロボットのコントローラ部へ入力されることで，周辺環境情報により自律移動する車椅子ロボットを実現している．図 2 に車椅子ロボットのシステム構成図（IR-US モデル）を示す．

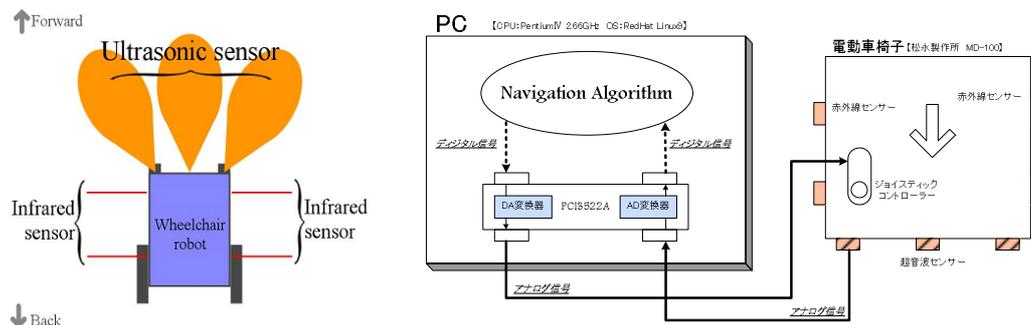


図 2. 車椅子ロボットシステム構成図（IR-US モデル）

2.2 URG モデル

車椅子ロボット URG モデルは車椅子ロボットの周辺環境情報の取得手段として，レーザ距離計の一種である測域センサが搭載されているモデルである．本研究においてはこの測域センサに北陽電機株式会社製の URG-04LX を使用している．このセンサは赤外レーザ光により水平面上の空間を 0.36 度間隔で 240 度スキャンし，検出体との距離と方向を取得できる小型軽量の測域センサである．この URG を使用することにより広範囲，長距離データを取得することが可能であり周辺環境に応じた車椅子ロボットの自律走行が可能となる．URG とコンピュータとは USB により接続され，データの送受信には専用の通信プロトコルを必要とする．この通信により得られた周辺環境情報データを Navigation Algorithm に入力し行動ルール（次回動作命令）が決定された後，処理結果が車椅子ロボットのコントローラ部へ入力されることで，周辺環境情報により自律移動する車椅子ロボットを実現している．図 3 に車椅子ロボットのシステム構成図（URG モデル）を示す．

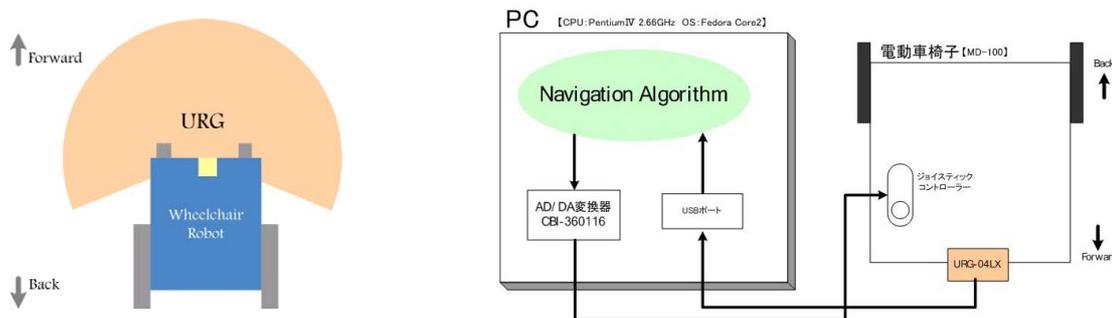


図 3. 車椅子ロボットシステム構成図（URG モデル）

3 IR-US モデルと URG モデルによる走行制御

前述した IR-US モデルと URG モデルの右側壁沿い障害物回避行動における走行制御の比較実験を行う．

3.1 シミュレーションソフトウェアによる実験環境構築

本研究においてシミュレーションソフトウェアを用いて車椅子ロボット，各種センサおよび実験環境をモデル化し走行制御に関する比較実験を行う．シミュレーション環境の構築には移動ロボットシミュレーションソフトウェア Webots (Cyberbotics 社製) を用いた．本ソフトウェアは移動ロボットのシミュレーションを

行う上で標準的なソフトウェアであり，本ソフトウェアにあらかじめ組み込まれたセンサやアクチュエータのモデルを使用する．さらに VRML (Virtual Reality Modeling Language) による 3D グラフィックスを用いて物体の形状を立体表現することで，ユーザが独自に移動ロボットや実験環境を Webots 上でモデル化しシミュレーションを行うことができる．モデル化された移動ロボットは現実のロボットと同様にユーザが作成した制御プログラムで動作する．

3.2 IR-US モデルにおける走行制御ルール

IR-US モデルにおける走行制御ルールを構築するために図 4 のようにセンサ配置を定義した．

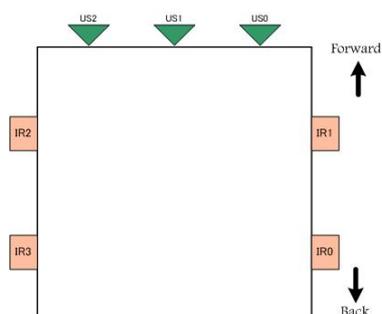


表 1. IR-US モデルの走行ルール

反応したセンサ	車椅子ロボットの行動
IR0	Go Straight
IR1	Turn Left
US0	Turn Left
US1	Rotate Left
US2	

図 4. IR-US モデルにおけるセンサ定義

車椅子ロボット両側の赤外線センサを IR0, IR1, IR2, IR3, 前方の超音波センサを US0, US1, US2 とし赤外線センサおよび超音波センサそれぞれに閾値を設定した．閾値条件を満たしたセンサを反応したセンサとしたときの車椅子ロボットの行動を表 1 のように定義した．前述したとおり，原則的にこの車椅子ロボットは障害物を回避しながら右側壁沿い走行をするように設計している．この基本行動をするために主に超音波センサ US0, US1, US2 が反応したら障害物があるとみなし障害物回避行動をとる．さらに赤外線センサに関しては右側壁沿い走行をするので走行ルールの条件には IR0, IR1 のみを使用し右側壁から近づき過ぎなくまた離れ過ぎないような行動をとる．

3.3 URG モデルにおける走行制御ルール

URG モデルにおける走行制御ルールを構築するために，図 5 のようなセンサエリア分割を定義した．前述したとおり URG は車椅子ロボット前方 240 度の範囲をスキャンすることができる．

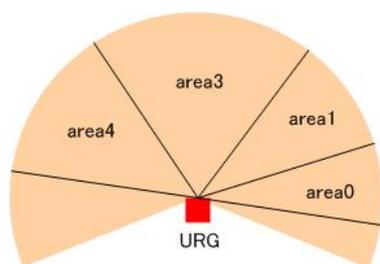


表 2. URG モデルの走行ルール

反応したエリア	車椅子ロボットの行動
area0	Go Straight
area1	Turn Left
area2 area3	Rotate Left

図 5. URG モデルにおけるエリア分割

そのスキャン範囲を 4 つのエリアに分割した．area0, area1 に関しては主に右側壁を認識して右側壁沿い走行をするための役割であり，area3 および area4 に関しては主に前方障害物を認識して障害物を回避する行動をするための役割として設計した．URG モデルにおいても各エリアにおける閾値を設定し，閾値条件を満たしたエリアを反応があったエリアとし車椅子ロボットの行動を表 2 のように定義した．

4 実験結果

IR-US, URG 両モデルについて宮崎大学工学部 2 階廊下をモデル化した環境において走行実験を行った。両モデルともに多少の走行差はあるものの右側壁沿い走行を実現することができた。車椅子ロボットにおいて滑らかな走行ができるか否かが、乗り心地の快適さが決まってくる重要な要素のひとつであると思われる。乗り心地の快適さに関しては各モデルのコントローラを実機に移植して実際に走行させ比較することが最良の方法だが、図 6 のシミュレーション実験における車椅子ロボットの横揺れに関する軌跡データに示すとおり両モデルともに若干の揺れは残るものの URG モデルの方が蛇行が少なく滑らかな走行を実現できていることがわかった。これは赤外線センサ、超音波センサおよび URG のセンシングエリアの問題が影響しているものと考えられる。IR-US モデルは車椅子ロボット周囲のセンシングエリアに死角が発生することや測定距離が短いことに対して、URG では車椅子ロボット周囲 240 度を全てセンシングできることや測定距離が IR-US モデルに比べると長いということが原因ではないかと思われる。

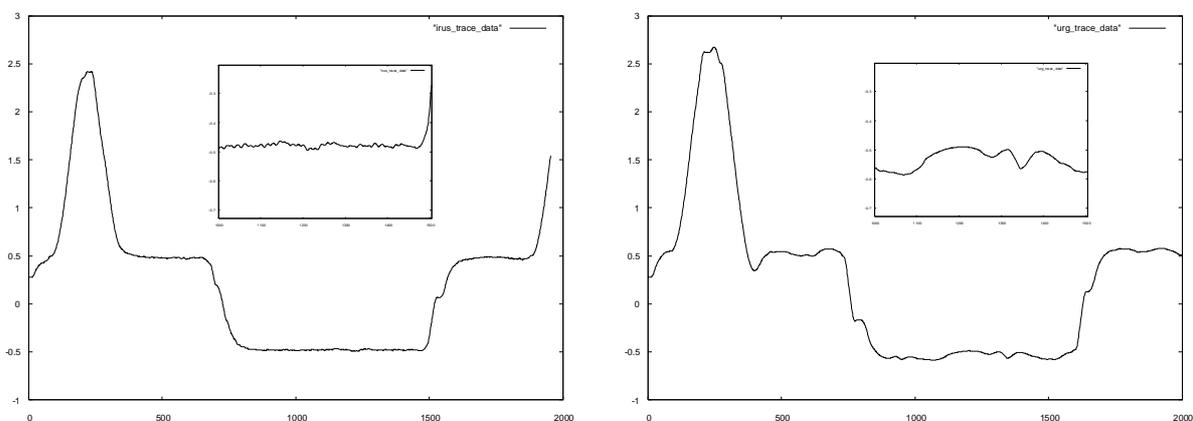


図 6. 車椅子ロボットの横揺れに関するシミュレーション実験結果 (IR-US モデル[左], URG モデル[右])

5 謝辞

この研究に関して宮崎大学工学部情報システム工学科卒の上村公一君の多大な協力により本報告ができたことを心から感謝申し上げます。

本研究は、平成 19 年度科学研究費補助金 (奨励研究) 課題番号 19929009 の補助を受けて研究を行ったことを報告いたします。

参考文献

- [1] 上村公一, 「仮想環境と実環境における車椅子ロボットの自律走行の実現—シミュレーション環境の構築と GA による走行ルール最適化—」, 平成 16 年度卒業論文
- [2] 北陽電機株式会社, 「測域センサマニュアル」

J-PARC 実験施設の電磁石電源制御

鈴木善尋

高エネルギー加速器研究機構 素粒子原子核研究所

概要

現在、茨城県東海村、J-PARC、大強度陽子加速器施設において原子核素粒子実験施設、ニュートリノ実験施設が建設中です。この両施設で使用するビームライン用電磁石電源、超伝導電磁石電源、320kA ホーン用パルス電源の制御について報告します。これらの装置には装置固有の運転操作や制限があります。その部分に装置固有のコントローラを開発組込むことにより、上位コンピュータからの制御（運転操作）を安全で容易なものとしています。これらの制御（運転）は最終的に MySQL データベースを通しユーザ（実験運転グループ）に渡されます。装置の状態はデータベースを通して知ることができます。運転は1つの装置に対して1つの設定データをデータベースに書き込むことにより行われます。MySQL データベースは様々なプラットフォームに対応しているため、ユーザは容易に独自の運転操作画面を作成し、運転操作を行うことが出来ます。

1 ビームラインの電源装置

原子核素粒子実験施設（図-1）・ハドロン実験ホールにおいては、陽子加速器からのビームをハドロン実験ホールへ導く1次ビームライン部分に電磁石電源が38台、ホール側では実験用ビームライン K1.1BR, K1.8



図 1. 東海 J-PARC 大強度陽子加速器施設

用に電磁石電源が32台配置されます。ニュートリノ実験施設では、加速器からのビームを岐阜県の神岡へ向けるためのビームラインがあり、そこには常伝導電磁石用電源21台、超伝導用電源1台（8000A）、ニュートリノ生成用にターゲットから発生した中間子を収束するための320kA（キロアンペア）パルス電源2台が設置されます。電源装置のほとんどがつくばから移転使用されます。

常伝導電磁石電源の仕様は1974年にアメリカから輸入された12相サイリスタの直流電源をベースとし、それ以後の製作電源は仕様を統一し、拡張時、故障時の互換性を確保しています。K2K（つくば to 神岡）のニュートリノ実験に使用されたパルス電源の製作仕様は常伝導電源に準じています。そのときに内部に組

み込まれたコントローラの仕様は、既存の電磁石電源制御の仕様（さらに上位：外側にある仕様）と同じになるように設計された。このことは、上位のビームライン制御のコンピュータ、中間のインターフェースの設計、保守維持管理に重要なことです。制御する装置が同じ仕様であることは、インターフェースが同一の物が使用でき、また、ソフト面においても、同一のソフトで処理でき、開発、保守が効率の良く行えます。また、超伝導電磁石用電源の製作仕様は常伝導電磁石の電源と同一となるよう注意を払ってあります。このことにより、超伝導電磁石電源のインターフェース（コントローラ）は常伝導電磁石電源のインターフェースと同じものが使用可能となります。

J-PARC（東海）のビームラインで使用する電磁石電源は、最も古い物で製造が1974年で、全てがつくばの実験ホール、ビームラインで使用されていたものです。これらがJ-PRCで容易に再利用できる理由は、小型であること、入力電圧、冷却水の仕様が統一されていることが挙げられますが、遠隔制御、インターロック系の仕様が同一であることも重要な点です。これらのことにより、大規模なビームラインの電磁石電源が電源コントローラを通して、パーソナルコンピュータ（PC）により容易に制御可能となります。PCに電磁石電源の情報が集まり、制御可能となればしめたものです。後はネットワークの力により、遠方からの制御が容易に実現できます。

2 電磁石電源の制御

電磁石電源（常伝導）の制御（操作）は、通常、現場において人手で行うもPCあるいはインターフェース（コントローラ）が行うも同じです。コンピュータやコントローラは多数の電源装置の運転操作を同時に処理できます。このインターフェースは20年ほど前から開発された（共通の）モジュールが使用され続けています。これらのモジュールはスタンダードバス仕様のZ80-CPUボード、 GPIBボード、16BIT デジタル to アナログコンバータ（DAC）、22bit 積分型アナログ to デジタル（DAC）、24bit 接点入力カード、24bit 接点出力カード、差動16チャンネルマルチプレクサ等です。STD-busカードの特徴は1機能1カードとなる大きさで、基本的に、バスバッファIC、アドレスデコード回路、データラッチ回路、外部との入出力IC、そ

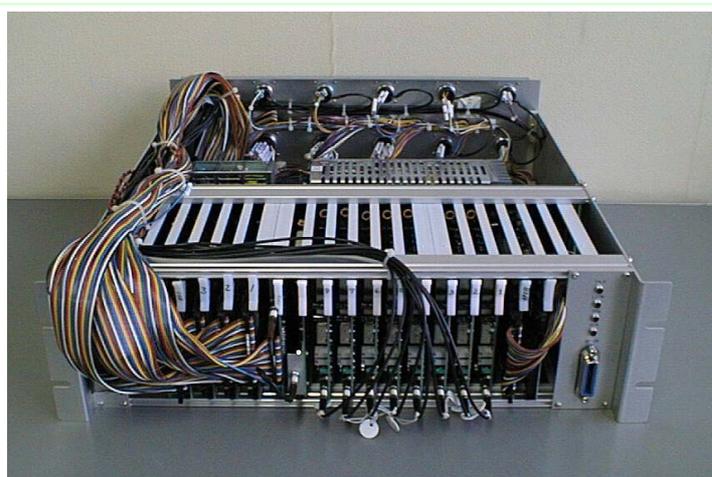


図2. 電磁石電源コントローラ（PSCx8）

の他機能ICを載せると一杯になります。プリント基板のライン太さは、はんだ付け、修理が可能な太さですので、長期間の使用、保守に耐えます。

図-2は電磁石電源コントローラ（PSCx8）で同時に8台の電磁石電源の制御を行います。この装置への命令はGPIBラインより、データ（8台分の電流設定データ）を送ることにより開始されます。PSCx8はデータを受け取ると、以下の一連の処理を自動で行います。

- 電磁石電源のインターロックのリセットを行い異常の有無を

チェックする

- 電源装置の電流の出力極性を受け取ったデータと一致するように電源装置の極性を切り替える
- メインコンタクタを投入し運転を開始、徐々に電流を上昇させ、目標電流に設定する
- 定常運転状態となった後は電源装置の監視を行い、異常停止時はSRQ割り込みにより上位コンピュ

ータに割り込みをかける

- 電流設定データ 0 を受け取った場合は徐々に電流を下げ、0 となった後、メインコンタクトを OFF とし、上位コンピュータに SRQ 割り込みにより、動作の完了を伝える

以上のような動作をしますので、上位のビームラインコントローラ(PC)の役割は電源装置固有の操作、運転から開放されます。上位コントローラに残る役割は、PSCx8 からのモニタデータの収集とデータベースへの更新、ユーザのデータベースへの運転設定値の書き込み時にその値を PSCx8 に送ることです。PSCx8 は 8 台の電磁石電源を同時に運転操作し、電磁石電源運転時は絶え間なく周期的に装置の状態を監視します。異常が発生した場合は、サービスリクエスト(SRQ)割り込みを上位コントローラ(PC)にかけます。上位のコントローラはこの割り込みの場合のみ特定の対応をすることができます。例えば、この時に異常内容のログを残すようにプログラムします。

3 320kA パルス電源の制御

ニュートリノビームラインにおいて、ホーン電磁石は重要な働きをします。ニュートリノ生成はパイ中間子崩壊により行いますので、まずパイ中間子のビームを作る必要があります。パイ中間子は、加速器からの陽子ビームをターゲットへの衝突により発生します。パイ中間子の収束はホーン電磁石により行いますが、この時に 320kA のパルス電流を必要とします。パルス電流は 2 ミリ秒ほどのサイン波の半周期分です。この電力は数十 kW です。このホーン電磁石を直流で運転できない理由は、パルス運転の電力を千倍してみると分かりますが、直流運転の電力は概算数十メガワットになり、不経済で実現できないことが分かります。冷却も困難です。

このホーン用パルス電源の運転は 3 秒周期のコンデンサの充電期間と加速器からのビームの取り出しに合わせての 320kA パルス電流の発生です。ホーン電源コントローラ (HMPS) は加速器の運転に同期し、充電器の ON/OFF、充電電流の制御、パルス電流の発生、監視を行います。これら一連の動作は HMPS 内部のマイクロコンピュータ(Z80)により処理されます。上位コントローラ (PC Windows XP) は電流設定データを HMPS に送るのみで済みます。HMPS の構成は PSCx8 同様に STD-bus のカード類により構成されています。

4 ニュートリノ超伝導電磁石電源の制御

超伝導電磁石の運転が常伝導電磁石と異なる点は、電流の設定 (上昇、下降) に多くの時間 (1~2 時間前後) を必要とする点と超伝導のコイルがクエンチした場合の処理、保護装置の運転操作です。ニュートリノビームラインの超伝導電磁石 28 台は直列接続され、インダクタンスは 14mHx28、蓄積エネルギー 10.6Mj です。電源装置は 8000A、10V です。保護装置はクエンチ時には、超伝導コイルの保護のために、電源装置をコイルから切り離し、内部エネルギーを外部のダンプ抵抗で消費させます。超伝導電源をユーザが運転を行う場合、常伝導電磁石の運転と同様に容易に行えるようにするために、超伝導電源コントローラ (SMPS) を製作します。このコントローラも上記、常伝導電源コントローラ (PSCx8)、ホーン用パルス電源コントローラ (HMPS) と同様に、STD-bus 仕様のカードで構成し、プログラムを行います。主なプログラムの変更点は電流の設定 (上昇、下降) 部分であり、16bit-DAC を用い、1 秒間に 1 アンペアの割合で電流の設定を行います。DAC へのデータの書き込みは、250msec タイマ割り込みにより処理されます。保護措置は SMPS により超伝導電源の運転と連動して ON/OFF の操作が行われます。このことにより、超伝導電源の運転も常伝導電源の運転と同様に、運転電流のデータを渡すのみで可能となります。停止時は 0 (ゼロ) を送ります。

5 ビームライン全体の制御とまとめ

東海でのニュートリノビームライン全体の制御のブロック図を図-3に示します。電磁石電源は2つの建物に分散配置されます。ビームラインコントローラ (PC) と PSCx8, SMPSC, HMPSC は GPIB の同軸ケーブルで接続されます。このラインを通して、周期的に電源装置の状態がモニタされ、MySQL データベースに書き込まれます。ユーザはデータベースに運転データ (電流設定値) を書き込むのみで、ビームラインの電磁石電源の運転が可能です。電源装置固有の操作は、下位のコントローラ、PSCx8, SMPSC, HMPSC が処理します。ユーザは LAN を通してデータベースにアクセスします。ユーザは実験に応じ、適切な形でデータを読み取ることが出来、またユーザ独自の運転操作の画面を自身の PC 上に容易 (安価) に実現可能となります。

J-PARC でのビームライン建設で、KEK つくばで使用した多くの装置を再利用しますが、その理由として、電磁石電源の仕様が統一されていたこと、コントローラで使用するカード (STD-bus) 類が共通化されていたこと、その他、建設、維持管理の容易さをあげることが出来ます。

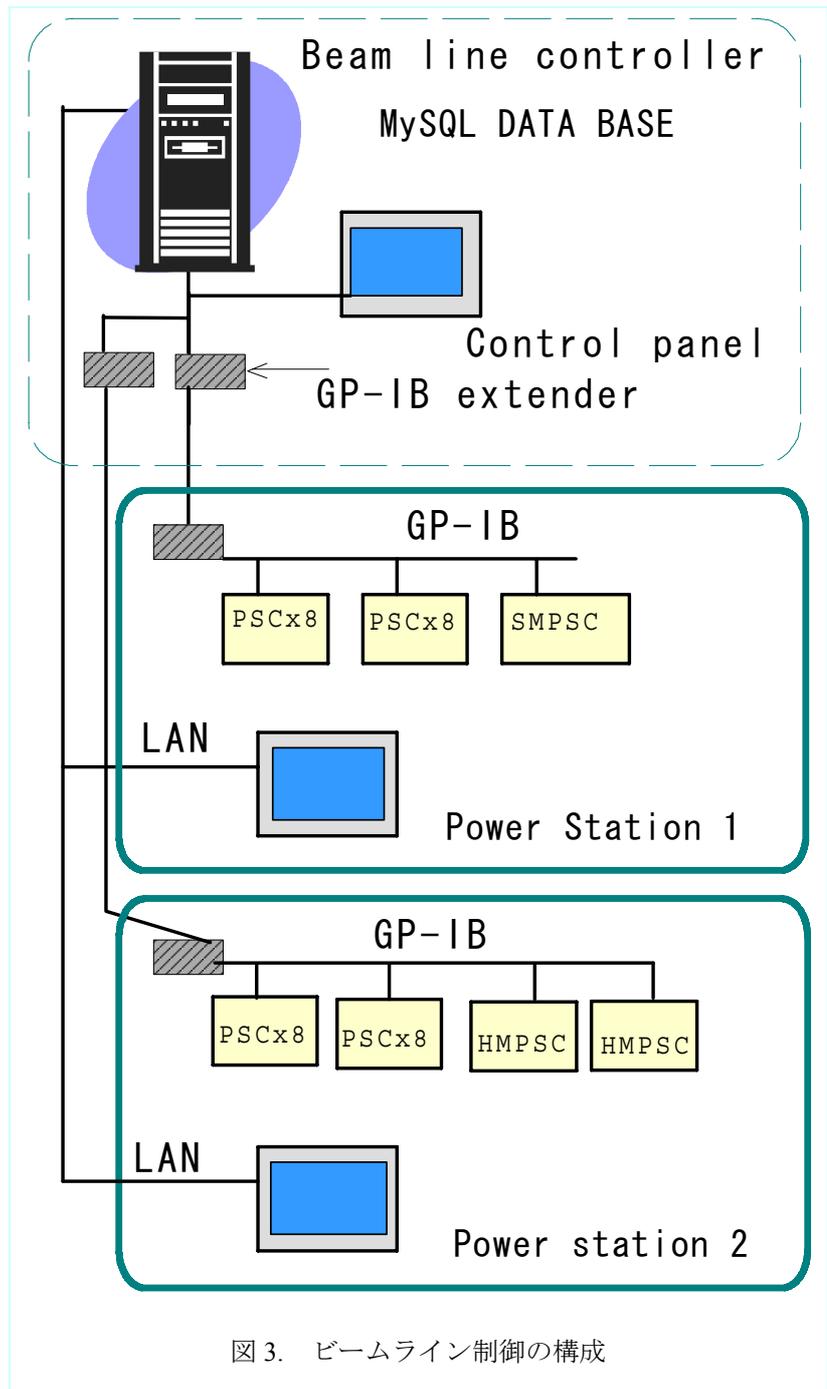


図 3. ビームライン制御の構成

参考文献

- [1] 「電磁石電源の維持管理と制御」 鈴木善尋、KEK 技術交流会、KEK Proceedings2006-6.
- [2] Beam line Control and Database. Y. Suzuki, PCaPAC, WEP49, 2005 年 3 月、葉山
- [3] The Neutrino Beam Line Control System. Y. Suzuki, et al. ICALEPCS1999, Trieste, Italy.
- [4] 「ニュートリノビームライン 250kA ホーン用パルス電源」 鈴木善尋 他、第 5 回加速器電源シンポジウム、KEK Proceedings99-20, P78-96.
- [5] Control and Timing of the 250kA Pulse Magnetic Horn. Y. Suzuki. et al. ICALEPCS-1997, CHINA, Beijing.
- [6] An Interface for the Neutrino Beam Line Control System. Y. Suzuki, et al. International workshop on control systems for small and medium scale Accelerator 1996, Tsukuba.

小型 PWI 実験装置 冷却水流量状態監視システムの開発

東島亜紀

九州大学応用力学研究所技術室（高温プラズマ力学研究センター配属）

概要

小型 PWI 実験装置における各磁場コイルの冷却水流量の状態監視を、実験装置から離れた遠隔地（制御室）で行うことが出来るシステムの開発を行った。その開発について報告する。

1 開発背景

当センターでは、小型 PWI(Plasma Wall Inter)実験装置での実験を行っている。小型 PWI 実験装置は、磁場コイルを用いて磁場を生成し、プラズマを真空容器内に閉じ込める小型球状トカマク装置(大半径 $R = 0.3 \text{ m}$, 小半径 $a = 0.2 \text{ m}$) である。

実験において、小型 PWI 実験装置の各磁場コイルには、電磁場を発生させるため、数十 kA の大電流が流される。この大電流によるコイル発熱からコイル自身を守る為に、実験中、各磁場コイルには熱を取り除くための冷却水を常に流している。冷却水の流量が既定値に達していない場合には、運転を止めるなどの措置をとる必要があり、流量の状態は常に監視していなければならない。これらの冷却水流量は、実験装置傍の冷却水配管に取り付けられた流量計で監視できる。しかし実験中は、各磁場コイルやそのフィーダーに大電流が流れるほか、実験に用いる高出力のマイクロ波発振装置によるマイクロ波の発振、プラズマ点火中における X 線の発生などがあり、人体への安全上、実験装置のある本体室は鉛遮蔽扉で締め切られ立ち入ることが出来ない。従って、実験中は実験装置傍にある流量計の値を読むことができず、常時監視することができない。

設置されているこれらの流量計は、流量計に設定する値より流量が下がった場合、接点信号が出力される仕組みのものである。従って、この接点信号を利用することで、冷却水流量の状態を監視することができる。この接点信号用のケーブルを、実験装置から離れた遠隔地（制御室）まで引き回して監視することは可能ではあるが、将来的に監視対象機器の数が多くなった場合、多くの信号ケーブルを長い距離にわたって敷設する必要があり、多大な労力を要する。そこで遠隔地（制御室）にて、冷却水流量の状態を簡便に常時監視ができるように、この接点信号を利用した冷却水流量状態監視システムの開発を行った。

2 冷却水流量状態監視システムの基本構成

各磁場コイルの冷却水流量状態監視を行うための条件を挙げる。

- 各磁場コイルに流す冷却水の流量を、接点信号を通じて常時監視する
- 接点信号の授受に際して、基準電位の混在に対応できるように、電気的な絶縁をおこなう
- 接点信号を監視し、冷却水が流れていない、もしくは最低限必要な流量（設定値）を下回った状態を、エラーとする
- 一つでも磁場コイルの冷却水流量の状態がエラーになった場合は、警報を鳴らす。
- エラー発生時には、どの流量計がエラーになっているのか、各磁場コイルそれぞれの状態を視覚的に判りやすい画面で監視できるようにする。

- 遠隔からの監視を可能とする。

これらを踏まえ、変更や信号増設等が比較的簡易であり、視覚的に判りやすい画面設計が可能なプログラミングツール「LabView」を用いて、基本構成を考えた（図1）。

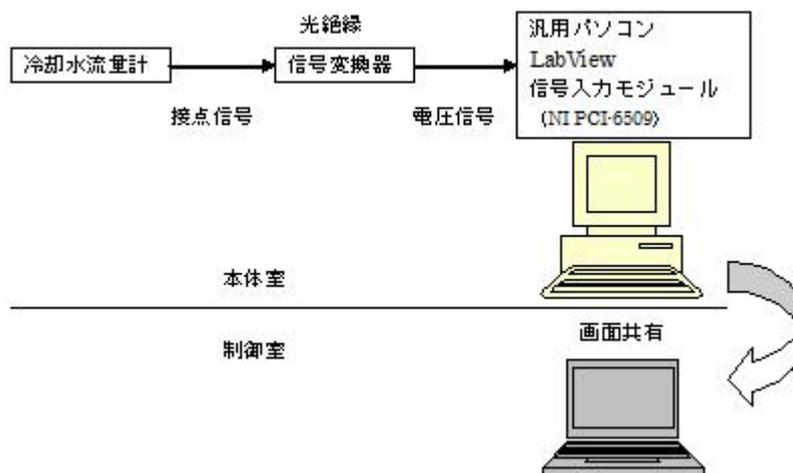


図1. 基本構成

LabView の信号入力用モジュールには、PCI ボード NI PCI-6509（96 チャンネル 5V/TTL/CMOS デジタル信号入力対応）を選択した。また既存の流量計から出される信号は接点信号であり、信号入力用モジュールで受け取る信号は電圧信号である。よって、接点信号を電圧信号に変換する必要がある。

信号入力用モジュールにて取り込んだ信号により、冷却水流量の状態を判断し画面に表示させるプログラムを LabView で作成する。

LabView 及び信号入力用モジュール（NI PCI-6509）を組み込んだ汎用パソコンは、冷却水流量計が設置されている本体室に配置し、接点信号ケーブルの敷設距離を短くする。この汎用パソコンを、Ethernet ネットワークに組み込み、同ネットワーク上に属する遠隔地（制御室）の汎用パソコンを用いて、画面の共有を行う。

3 接点から電圧への信号変換器の作成

冷却水流量計からの接点信号を電圧信号に変換し、かつ電氣的絶縁をおこなう信号変換器の作成を行った。

冷却水流量計のリレーボックス側から出される接点信号は、設定値より流量が下がればスイッチが ON になる設定である。

チャンネル毎の電氣的絶縁は、各チャンネルにて絶縁型 DC-DC コンバータを用い、冷却水流量計側に電源を供給した。PCI-6509 モジュール側へ電圧信号を出力するための電源は各チャンネルで共通で良い。また、冷却水流量計と LabView PCI-6509 モジュール間ではフォトカプラを用いて光絶縁を行い電氣的に絶縁し、接点信号が ON になった場合は 5 V、OFF の場合は 0 V の電圧信号を PCI-6509 へ出力する。その回路図を図2に示す。

この回路を 1 チャンネルとし、磁場コイルの冷却水流量監視だけでなく、今後接点信号による何らかの装置等の状態監視を行う場合も想定し、計 40 チャンネルの接点信号を電圧信号に変換する変換器を作成した。

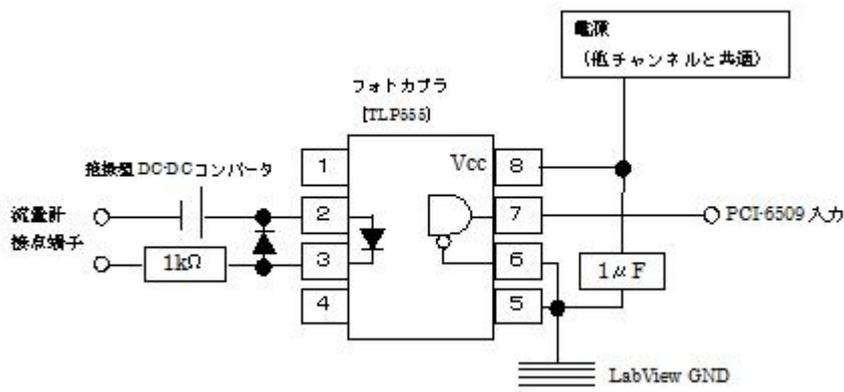


図 2. 接点入力ー電圧信号出力回路

4 LabView での冷却水流量状態監視システムの作成

LabView にて、冷却水流量状態監視システムを作成した。

視覚的に判りやすいように、各磁場コイルの冷却水流量に対し各ランプボタンを作成し、正常の場合は緑、異常の場合は赤を表示させる (図 3)。また、異常の場合は、対象ランプが赤になったと同時に、警報を鳴らし聴覚的にもエラーが起こったことを知らせるようにする。

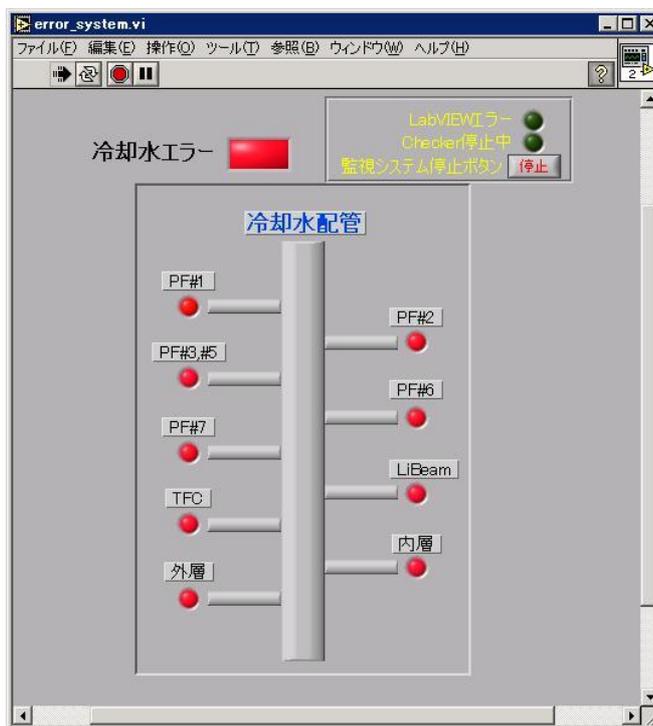


図 3. 冷却水流量状態監視システム画面

プログラムの処理の流れとしては

- 初期処理 : PCI-6509 モジュールの初期化と各フラグのクリア (OFF) を行う。
 ※フラグ モジュール読み込み状態フラグ
 各警報フラグ(各電圧信号の状態を示す)
- 読み込み処理 : PCI-6509 より全チャンネルの電圧信号を読み込む。モジュールよりデータを取得でき

なかったら、モジュール読込状態フラグを ON にする。取得できた場合は OFF にする。

- 電圧信号チェック処理：読み込んだ各電圧信号の状態をチェックし、警報フラグへ反映させる。
電圧信号：0V → 警報フラグ：OFF。 電圧信号5V → 警報フラグ：ON。
- 各フラグチェック：各フラグの状態をチェックし、どれか一つでも ON の状態ならば画面上に反映させ、警報を鳴らす。

読込処理から各警報フラグチェック処理までを繰り返す。

また、この冷却水流量状態監視画面は、WindowsXP の付属アクセサリであるリモートデスクトップ機能により、本体室に設置されている本体パソコン以外の LAN 上のパソコンで閲覧可能となっている。これにより、遠隔地での冷却水流量の常時監視を可能にしている。

5 任意の流量計異常の警報音停止機能の追加

実験装置の各磁場コイル以外に、冷却水を使用している装置（リチウムビーム装置）があり、この装置の冷却水流量状態をシステムに組み込んでいる。

しかし、この装置は温度を上げて実験を行うこともあり、その場合は冷却水を止めて使用する。この場合、リチウムビーム装置の冷却水流量計より常に流量異常の信号が送られ、警報が鳴り続けることになり、新たに別のエラーが発生したとしても、警報音では判断できない。このため、他の流量計の状態は、時折画面を確認しなければ判らず、他のコイルの冷却水異常を感知しにくくなる恐れがあった。

このような事象を避けるため、この装置に対する冷却水流量の異常は、汎用パソコンの画面的に現状のままランプで表示させるが、新たにランプの横にチェックボックスを作成した。このボックスにチェックを入れることによって、警報だけを手動で止めることが可能な機能を追加した。これにより、確実に冷却水流量の監視がおこなえるようになった。

6 今後の課題

今まで、冷却水流量状態監視システムを使用しているが、問題点としていくつか挙げられる。

まず、冷却水流量状態監視画面を本体室以外でのパソコンで閲覧しているが、リモートデスクトップの機能上、システムの警報が閲覧しているパソコンからしか出力されない点である。本体室で作業をしている場合に備えて、本体室に設置してある本体パソコン側でも、警報を出力できる機能を考えなければならない。

また、本冷却水流量状態監視システムは、警報を鳴らしてエラーが発生したことを実験者に知らせるが、コイル電源など他機器へエラーが発生したことを伝達する機能は有しない。従って、各磁場コイルに冷却水が流れていない、または設定量より流量が少ない場合に、エラー信号を他機器へ出力し、エラーが復帰されるまで運転をさせないなどの機能を拡張できれば、実験オペレーション上の安全性がより高まると思われる。

小型 PWI 実験装置は計画を終了し、今後新しい実験装置に移行することになる。新しい実験装置でもこの状態監視システムを拡張し利用できるように、これからも開発を進めていきたい。

参考文献

- [1] TOSHIBA フォトカップラ・データブック, 株式会社東芝 半導体事業本部, 1994 年発行
- [2] LabVIEW Basics I 初級コースマニュアル, NATIONAL INSTRUMENT 発行
- [3] NI-DAQ クイックスタートガイド, NATIONAL INSTRUMENT 発行
- [4] SCB-100 100-Pin Shielded Connector Block Installation Guide, NATIONAL INSTRUMENT 発行

スプレー熱分解法における基板温度の定量化

荒川 等

九州工業大学 情報工学部 技術部

はじめに

近年、薄型ディスプレイや太陽電池などの透明導電性ガラスを用いた製品は需要拡大が衰えることを知らない。透明導電性ガラスの製造はスパッタ法やCVD法が主流となっている。一方、スプレー熱分解法は、大気中で成膜可能であることから設備投資を抑えることができる反面、前者には性能面で劣る。スプレー熱分解法では、原料である溶液を加熱したガラス基板にスプレー噴射することで原料は薄膜として基板表面に熱分解、堆積させる。その過程で見られる一時的な基板温度の低下が、性能低迷の一つの要因でないかと考える。本研究では、放射温度センサや熱電対を用いて基板表面温度を定量化する手法を提案し、それらを備えたスプレー熱分解薄膜作製装置の製作を行った。薄膜作製工程における温度変移を検証し、予測される最適な薄膜作製条件を報告する。

1 温度測定^[1]

温度は物体に潜在するエネルギー状態を示す重要な物理量といえ、その状態によって物性や現象に多大なる影響を及ぼす。温度を測定する方式としては、対象物に接触して測定する接触方式と対象物から距離を隔てて温度に依存した放射されるエネルギーを観察する非接触方式に大別される。ここでは、前者の方式による熱電対と後者の方式による放射温度センサを併用することで、それぞれの特徴を活かして基板表面温度の定量化を実施する。

1.1 接触方式

一般に、接触方式による温度測定では、水銀などの熱膨張を利用した液柱温度計、白金抵抗体などの金属の電気抵抗率を利用した抵抗温度計、ゼーバック効果による熱起電力を利用した熱電対などが用いられる。いずれも正確に温度を測定するためには、温度計となる検出部と対象物の熱的接触（熱伝導）を良くして相互の温度を一致する必要があるが、比較的容易に確度が得られる反面、応答が遅いという欠点を持つ。

1.2 非接触方式

黒体 (black body : 完全放射体) とは、あらゆる波長においても入射した全ての放射エネルギーを吸収する物体、または、放出する物体と定義される。ある絶対温度 T の黒体の単位時間当たり放出される電磁波のスペクトルは一定であり、放射発散度 E_λ としては式(1)から図1のようなプランク分布を表す。ただし、 E はエネルギー、 λ は波長、 h はプランク定数、 c は光速、 ε は放射率 (黒体は1) とする。あらゆる物体でも絶対温度 (0K : -273.15°C) 以上ならば、プランク分布に基づき波長に依存した放射率による放射エネルギーが放出される。

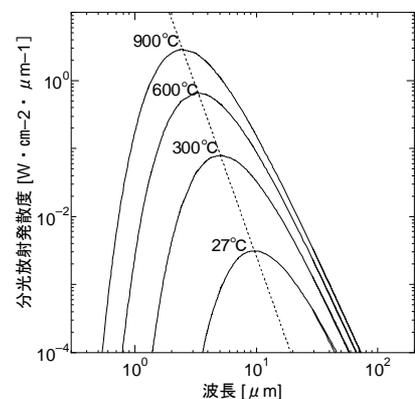


図1. 黒体の分光放射発散度

$$E_\lambda = \varepsilon \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1} \quad (1)$$

一般に、非接触方式による温度測定において、測定温度に適した赤外線波長領域を検出できる放射温度センサが利用される。対象物の表面温度に依存した測定値が得られ、応答性や試料に影響を与えない点で本課題に適している。一方、確度を求める場合、対象物の放射率を正確に求める必要や光学経路の影響を受けるため検出系の特性と対象物の放射率の校正が重要となってくる。ガラス基板では、赤外線領域波長の $3\mu\text{m}$ 程度以上で放射率が上昇し、透過率が減少に転ずるため、外部の映りこみも考慮すると検出感度 $5\mu\text{m}$ 程度のセンサがよく用いられている。

2 スプレー熱分解薄膜作製装置

ここでは、前述の熱電対、放射温度センサを用いて基板の表面温度の測定を行うことのできるスプレー熱分解法による薄膜作製装置を製作した。図2に示すように、装置はスプレー、熱電対、放射温度センサ、フィルター、および、それらを制御・信号処理のための回路から構成されパソコンによって統合管理できるシステムとした構成である。

スプレーには、扶桑精機製 STA-6R、ノズル口径 0.5mm を採用した。噴霧された液体の平均粒径は $32\mu\text{m}$ (カタログ条件下) であり、ノズル口径や霧化エア圧に依存する。装置のフランジ上部に最大3個までスプレーの取り付けが可能であり、条件や原料の異なるスプレーを用いて多層膜、ドーピング膜などの作製が容易となる。スプレーは、霧化エア、ニードル部開閉用エアの空圧駆動となっており、パソコンの平行ポートから空圧電磁弁を介して自動運転することができる。

熱電対 (LABFACILITY 製 K 型 (アルメルークロメル)、ファイバガラス皮膜、 $-50\sim 450^{\circ}\text{C}$) を採用した。できるだけ基板表面温度を正確に測定するために露出した形状の熱電対の温接点を基板表面に接触させて検出を行うため、温接点や測定対象が堆積物によって導電性を持ち始めると温度測定が困難になると懸念される。

放射温度センサ (キーエンス製 FT-H30、検出素子サーモパイル、検出温度 $0\sim 500^{\circ}\text{C}$ 、検知波長 $8\sim 14\mu\text{m}$ 、応答 10ms) を採用した。本装置では、スプレーによって噴霧された溶液が放射温度センサのレンズ等を汚染する恐れがあるため、基板-スプレーの距離 250mm に対して基板-センサの距離 400mm とした。さらに、センサと基板間の光路上に保護フィルターを設置した。そこで、次節に後述する試験の結果、フィルターには、ポリエチレン、ポリプロピレンの5層構造を持つ食品包装用ラップフィルムを選定した。

温度検出回路において、H8 マイコン (秋月電子通商製 AKI-H8・3664BP タイニーマイコンキット) は、熱電対、放射温度センサからの検出信号を10ビット A/D 変換してパソコンのシリアルポートへ送信する。なお、熱電対では、温度センサ (アナログ・デバイセズ製 AD592) を用いてゼロ接点補償を行っている。H8 マイコンの動作プログラムは、Windows の Cygwin 上の GCC で開発を行、起動時にパソコンよりマイコン側へ転送される。

パソコンでは、ボーランド C++Builder の環境で開発したアプリケーションによって、温度情報の取得、スプレーやヒーターの自動操作および時間経過のデータ保存といった機能を備えている。

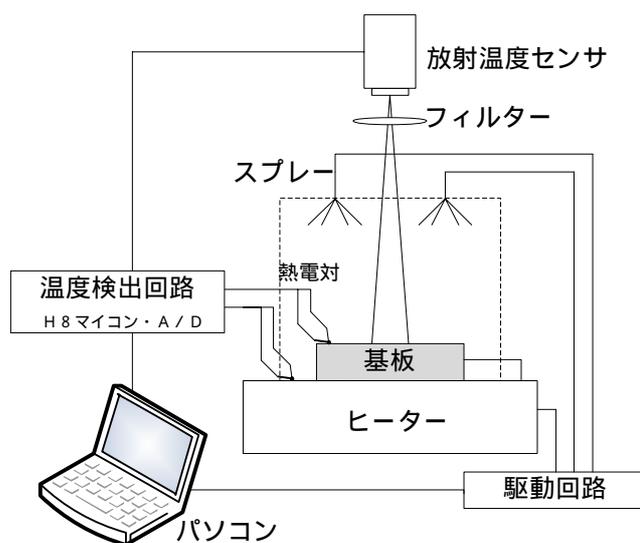


図2. スプレー熱分解薄膜作製装置

3 赤外線特性および光学系の校正

前述したように、放射温度センサを用いた温度測定は、対象物や光路における赤外線に対する特性に注意しなければならない。通常のフィルターに使用されるガラス板では検知波長が透過してしまい、逆にガラス基板の表面温度は測定できない。赤外線用の光学部品としてシリコンやゲルマニウムが用いられるが、大変高価である。そこで、安価な食品包装用ラップフィルムに着目し、保護フィルターとして容易に随時交換できると考えた。表1のように各社から製造されているラップフィルムについてフーリエ変換型赤外分光(FT-IR)測定を行い、赤外線透過スペクトル(図3)と波長8~14 μm における平均透過率(表1)を求めた。ただし、測定器は日本分光製 FT/IR-7000 を使用した。

表1. 食品包装用ラップフィルムの仕様と透過率測定結果

製造元	源材料名	添加物名	温度 []		FT-IR測定	ガラス赤外線
			耐熱	耐冷	透過率 [%]	透過率 [%]
A社	ポリエチレン	なし	110	-60	88.1	93.9
B社	ポリエチレン、ナイロン (3層)	脂肪酸誘電体	160	-60	82.9	90.2
C社	ポリエチレン、ポリプロピレン (5層)	特殊ポリエチレン、グリセリン脂肪酸誘電体	150	-60	90.5	92.5
D社	ポリ塩化ビニリデン	脂肪酸誘電体、エボキシ化植物油	140	-60	65.8	74.7

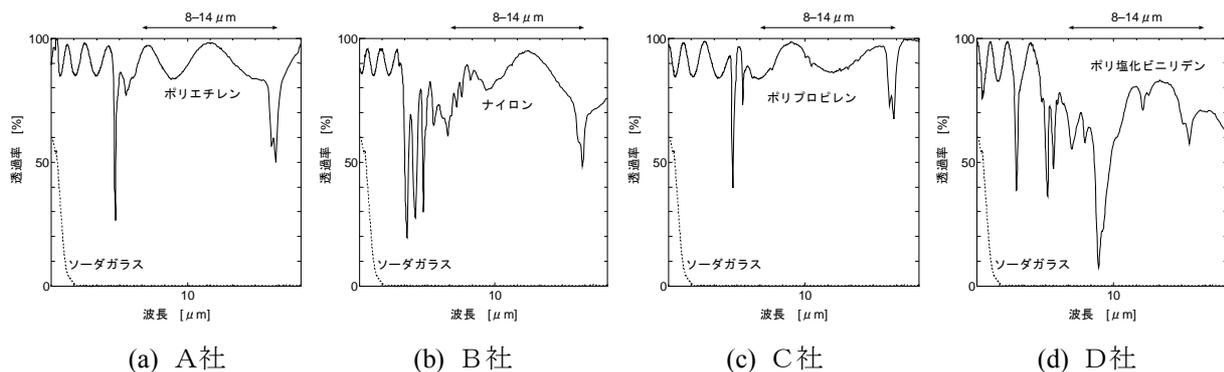


図3. 食品用ラップフィルムの赤外線透過率スペクトル

放射温度センサを用いてガラス基板(ムトー化成製スライドガラス、ソーダガラス、厚さ1mm)の表面温度測定を行った結果を図4に示す。ただし、ヒーターはホットプレート(アズワン製 CHP-250D、最高温度 550 $^{\circ}\text{C}$ 、1400W)を使用し、デジタル表示からヒーター温度を読み取ることができる。ガラスの放射率は 0.9~0.95 とあり、ホットプレート温度に最も漸近する放射率として 0.91 に設定した。次に、フィルターとして各ラップフィルムを装置に取り付けて同様に測定を行い、ヒーターの 500 $^{\circ}\text{C}$ を基準にガラスが放射する赤外線に関する各フィルターの透過率を算出した(表1)。

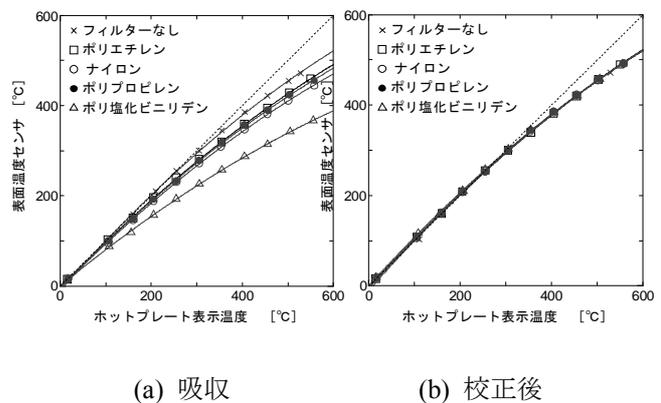


図4. 表面温度測定とラップフィルムの依存性

その透過率から放射温度センサの値を校正し直した図4(b)の曲線によると、各フィルムの透過率の温度依存の差異はないといえる。FT-IR測定と放射温度センサから得られたラップフィルム透過率を比較すると、概ね対応しており、数値の差異は放射温度の検知波長と感

度の関係によると考える。これらの結果より、いずれのラップフィルムを使用しても放射温度を検出可能であるが、フィルターには耐熱温度および透過率を考慮して C 社のポリエチレン-ポリプロピレン (5 層) ラップフィルムが適していると判断して、これを採用した。

4 スプレー噴射による基板温度変移

使用するスプレーの噴霧状態は、スプレー先端の溶液路のニードル開閉度および霧化エア圧に依存する。ニードル開閉度のネジ調整は、原料溶液が流れ出す最小程度に設定し、霧化エア圧 70kPa 以上は、溶液流量の再現性が取れずに不安定であった。霧化エア圧 50kPa におけるエタノール溶液のスプレー噴射時の時間経過に対する温度変移を熱電対、放射温度センサを用いて同時測定を行った結果を図 5 に示す。ただし、時間 0~60[sec]時に噴射を行った。噴射した状態と溶液が空になった霧化エアのみを噴射した状態を比較すると、溶液による影響はほとんどなく、寧ろ溶液により大量の熱容量を持つとみられる霧化エアによって基板表面温度が減少することが分かった。噴射 3 秒後から温度減少が抑制されるのは、ヒーター自身の自動温度制御が強く働くように見える。熱電対は、温度減少および増加のともに激しく、その要因として霧化エアが熱電対の導線本体にあたることによって大きく熱が奪われると考える。また、フィルターに付着した溶液が蒸発するまでの間、放射温度センサの温度増加が遅れることも懸念される。図 5(b)から噴射直後の温度減少率を 15°C/sec と見積もり図 5(c)に示す。ヒーターの温度制御誤差±10°Cとすると、基板表面温度の減少を防ぐためには噴射時間は 1~2 秒以内にしなければならない。

おわりに

スプレー熱分解法による薄膜生成手法に関する報告がたくさんされており、本研究で求めた噴射時間と大きな隔たりがないことが分かった。通常、スプレー条件はその装置によって経験的に見出されるが、基板表面温度を的確に知ることができれば、最適条件の導出も容易になるといえる。最後に、ご指導を頂いた九州工業大学情報工学部の古川昌司教授、安田敬准教授に深く感謝する。なお、本課題は平成 19 年度科学研究補助金 (奨励研究, 課題番号 19918003) の助成を受け実施した。

参考文献

- [1] NEC 三栄株式会社, “三栄レポート No.106 サーモグラフィの原理と応用”

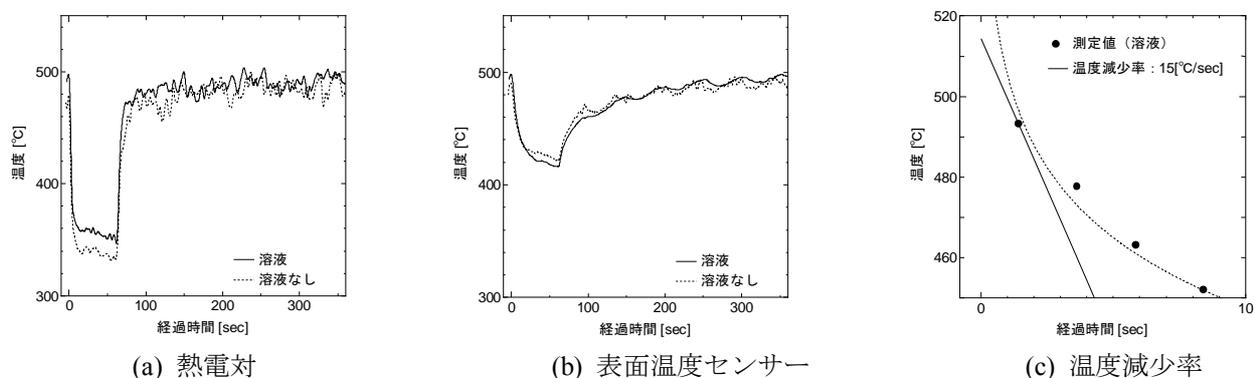


図 5. スプレー噴射による基板温度変移

GPS ケータイを用いた海流調査システムの開発

石井 大輔

九州大学応用力学研究所 技術室

1 緒言

地球上には、永い年月を経て多種多様な生物が共存し合っており、我々人類もその和の一部である。しかしながら、我々人類は地球の時間刻み（存在史）からは到底予想し難い急激なる種々の発展を過度に追求したばかりに、その反動として、今日の地球温暖化やそれに伴う地球環境変動を引き起こしてしまい、自らの首をも絞め続けていることは疑う余地もない。そして、本来共生の道とともに歩むべき仲間であるはずの多種多様な生物、そして地球そのものに対して、深刻で且つ取り返しのつかない重大なるインパクトを今尚もたらし続けていることに、今更ながら後悔の念が深い。そのため、近年、生物の種・個体・生態系の異変や絶滅が危惧される中、我々は生物多様性の維持・保全に対して、なお一層の見識向上と努力が急務である。

ところが、我々は陸上・海洋を問わず、共生相手である生物のことについて、殊更理解が不足している。例えば、地球上に存在する生物が空間的分布形態として斑状性構造（パッチネス構造）を形成することは生物学的現象として古くから知られる一方、何故そのような分布形態を生物が取り得るのか、パッチネス構造の生成・維持・消滅機構について、先駆的研究（例えば、川合ら, 1969 1）；大久保, 1979 2）は数例あるものの、21 世紀を迎えた今日においても未だ完全には明らかにされていない。

近年、海洋表層流動の収束・発散場が海洋表層における基礎生産場と関わりがあるとする仮説をもとに、新しい知見の報告や様々な海域において複数の漂流ブイを用いた海洋表層流動観測が実施されている（例えば、柳・石井ら, 2005 3）；石井ら, 2007 4）；柳・石井ら, 2008 5）。これらは、生物・化学過程だけの考察にとどまらず、物理的視点から海洋基礎生産との関連性を解明しようとするもので、貴重な研究事例である。

海洋表層における収束・発散の時空間特性を連続的に捉えるためには、時空間的に密な観測データが収集可能な海洋レーダーが非常に有用である。しかしながら、海洋収束・発散の鉛直構造を知りたい場合には、海面下 1m 程度までのごく表層しか計測できない海洋レーダーでは対応できない。そのため、所望深度における物理諸量を把握するためには、海流を追従するために必要な抵抗力ドロッグを所定の水深に配置した漂流ブイ観測が必要である。著者らは、柳・石井ら（2008）5）の研究を継続するために、九州・有明海を研究対象海域として想定しているが、彼らの観測結果から推察したところ、鉛直方向には最低でも密度躍層付近に 1 基、その上下層に 1 基ずつ、計 3 基の漂流ブイが不可欠と考えられる（各層における水塊構造が異なるため）。また、水平的な収束・発散構造を測るためには、従来どおり、最低でも 3 基の漂流ブイが必要となる（推定する収束・発散値は、複数の漂流ブイが成す多角形の面積時間変化から算出されるため、N 角形を構成するためにはブイが N 基必要 ($N \geq 3$)）。以上のことから、三次元的な収束・発散構造を現場海域において直接観測で捉えるためには、少なくとも 9 基 (3×3) の漂流ブイが必要である。

しかしながら、所属研究室で所有する漂流ブイは 3 基しかなく、現時点では上記台数を確保できない。また、所有する測器は市販品で非常に高価なため（一式で 60 万円程度）、残り 6 基を調達するのは予算的にも厳しいことから、現状ではこれが研究進展へのボトルネックとなっている。加えて、当該ブイは機能拡充が困難であること、空中重量が約 20kg、アンテナ部が約 3m あることから、測器運搬や海域投入・回収時の作業にかなりの人手を要するなど、若干操作性が悪いことも懸念材料である。故に、海洋における三次元的な収束・発散構造、およびそれらと海洋基礎生産との関連を解明するためには、既述の問題点を改善した、安

価で小型軽量、且つ従来品の機能と同等、もしくは高機能化した信頼性の高い漂流ブイおよび海流調査システムを新規開発することが不可欠である。

2 目的

本研究は、入手が容易で且つ安価・小型軽量、その上、近年の多機能化により今や利用者の必需となった GPS (Global Positioning System : 全地球測位システム) 機能を持つ携帯電話を搭載した漂流ブイと、データ一元管理機能・海洋流動解析ツール・可視化ツール等を含む総合アプリケーション (web 版) を新規開発することを目的とする。そして、コストパフォーマンスに優れた海流調査システムを運用することにより、既述したボトルネックを解消し、海洋学的研究課題に対する真相究明の一端を担うことを目指す。

3 海流調査システムの概要および構築事例

今回開発した、GPS 機能付き携帯電話 (以下、GPS ケータイと呼称する) を搭載した漂流ブイおよび当該観測システムの概略図を、図 1 に示す。基本的な構成は、安価で小型・軽量、単純機構で取り扱いやすさを重視した自作漂流ブイと、Web ならびにインターネット環境を利用した一連のデータ観測環境であり、既存の携帯電話事業者 (携帯キャリア) における提供サービスやインフラを利用する設計コンセプトである。

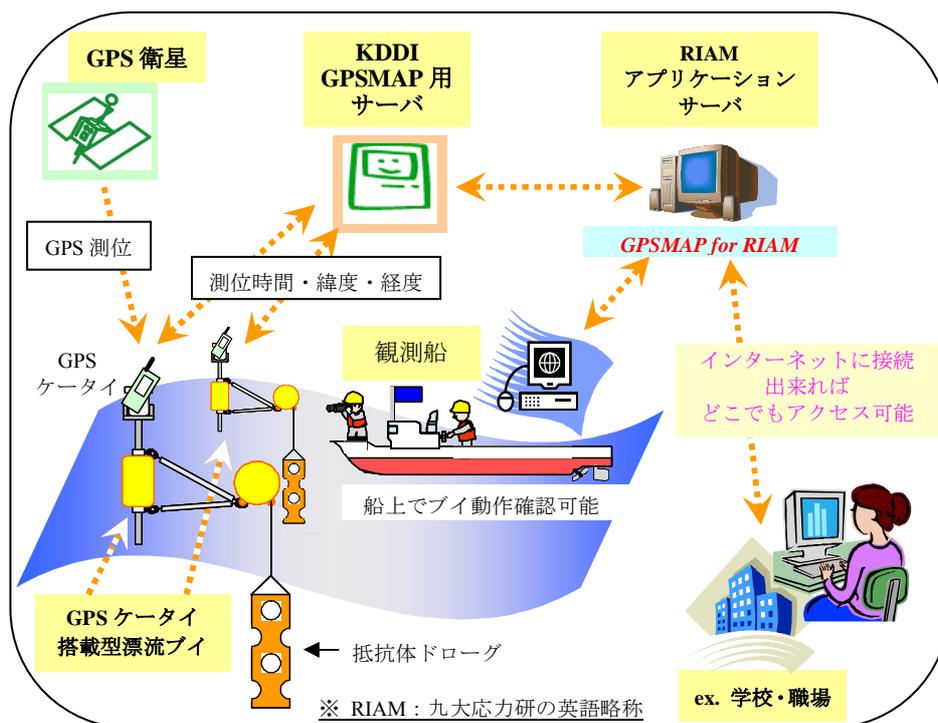


図 1. 新規開発した漂流ブイ観測システムの概略図

現在、携帯キャリアならびに GPS ケータイは種々存在する。本開発で利用する携帯キャリアの選定には、GPS ケータイによる位置計測性能 (GPS 測位精度) と本システム開発に対して柔軟性を有するキャリアサービス (インフラ) を重視し、各携帯キャリア端末を利用した性能評価を実施すべきであろう (維持費・通信費等は、どのキャリアも大差はない)。今回は、前述した点や既存資料、本システム開発に対する拡張性などを精査した結果、KDDI (au) を本開発で利用する携帯キャリアに選定した (携帯キャリア間における GPS 性能評価やサービス内容についての報告は、別の機会に譲る)。

海洋観測を実施する場合、観測機器の設定は観測事前にセットアップするのが一般的であり、観測途中で

計測時間や計測モードを変更するのは容易なことではない。このことは漂流ブイ観測においても同様であり、一旦ブイを現場海域に放流すると、わざわざ回収した上でブイの設定変更をしなければならず、非常に不便なケースが発生する。また例えば、石井（2007）6）が開発した漂流ブイ観測専用アプリケーションなどを流用し、現場特性を把握しながらブイ連続観測を継続しないと、観測したのはよいものの、後日データ解析を行なった時に結果として当該観測自体が水泡に帰す場合も想定され得る。そのため、リアルタイムに各漂流ブイの位置情報を識別しながら、流速や軌跡、収束・発散値などの物理諸量を確認できる機能や、遠隔操作による漂流ブイの観測設定変更機能、危険回避に伴うブイ緊急呼び出し機能を観測システムに搭載することは、漂流ブイ観測を実施する上で非常に重要である。

本開発では、GPS ケータイを利用することに加え、付随する KDDI 提供の位置情報提供サービス「GPSMAP type2」といったユーザカスタマイズが可能なサービスを利用することで、以下に示す「GPSMAP for RIAM」と名付けた漂流ブイ観測システムを構築した。GPS ケータイにより測位した位置情報（緯度・経度）は、現在標準とされている世界測地系（World Geodetic System 84 ; WGS84）によるものであるが、観測時に利用する漁船などに搭載されている GPS 機器は、従来日本で標準利用されていた日本測地系（TOKYO）のものがまだ多く残っている。そのため、正確かつ迅速にブイを回収する時の情報を漁船側へ即座に提供できるように、観測された世界測地系の位置情報を日本測地系に座標変換できる機能も追加した。なお、測地系変換に関しては、石井（2006）7）を参照されたい。

図 2 に、今回作製した自作漂流ブイの概観と海域投入時の写真（右）を示すが、従来利用していた既製品（左）と比べて、空中重量が約 1/20、全長が約 1/3 と小型軽量化でき、且つ費用も 1/5 以下で構成できた（機能・性能は同等以上）。また図 3 に、Web ブラウザ上に表示した「GPSMAP for RIAM」のログイン画面を示す。ここにおいて、サーバユーザ認証を行ない、実際のシステムを利用することになる。



図 2. 既製品漂流ブイ（左）と新規開発した GPS ケータイ型漂流ブイ（右）



図 3. 新規開発した漂流ブイ観測用 Web システム「GPSMAP for RIAM」の Web ブラウザ表示画面（上）およびログイン画面拡大図（下）

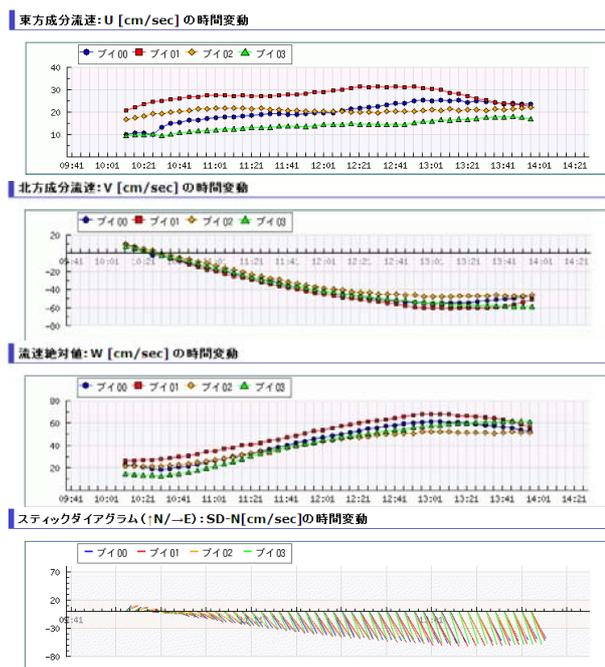


図 4. サーバ上で解析された web 描画結果の一例

なお、本システムの基本構成は、PHP (Hypertext Preprocessor ; 動的に Web ページを生成する Web サーバの拡張機能の一つで、そこで使われるスクリプト言語のこと) と MySQL (高速性と堅牢性に定評のあるデータベース管理システム) を利用したものであり、PC ブラウザからのユーザ要求に対して動的に解析処理ができるように設計している。なお、図 4 および図 5 は web ブラウザ上で描画・閲覧できる流動解析結果の一例である。

4 結言

今回、GPS 機能付き携帯電話を搭載した自作漂流ブイおよび当該ブイを用いた海洋観測における一連のデータ取得環境を設計・開発した。これにより、搭載機能の変更や拡充、観測インフラの整備・改良が自前で好きなように構築することが可能になった。中でも、従来市販品とは異なり低価格で小型・軽量に構成可能な GPS ケータイ型漂流ブイの測器拡充により、三次元的な海洋収束・発散場の現場観測がコストパフォーマンスの高い計測環境を整えて実施できるようになり、今後この分野の研究進展が大いに期待される場所である。本開発が、物理的視点からのアプローチとして、海洋物理場と海洋基礎生産場の関連究明の一端を担うことが出来れば、幸いである。

5 謝辞

本開発を遂行するにあたりお世話になりました、扇精光株式会社・山口文春氏、小淵和哉氏、橋口誠氏、KDDI 株式会社・岩本栄隆氏に感謝の意を表します。

参考文献

- [1] 川合英夫, 坂本久雄, 百田方子(1969) : 黒潮表層水の収束発散に関する研究-I . 南西海区水産研究所研究報告, **1**, 1-14.
- [2] 大久保明(1979): 拡散不安定とパッチネスの発生. 海洋と生物, **3**, 54-57.
- [3] 柳哲雄・石井大輔・日向博文・石丸隆 (2005) : 植物プランクトンパッチネス構造の生成機構. 2005 年度日本海洋学会秋季大会講演要旨集, 203.
- [4] 石井大輔, 柳哲雄, 吉川裕, 増田章(2007) : 漂流ブイと海洋レーダーを用いた対馬海峡における表層収束・発散場の評価. 海の研究, **16**, 237-251.
- [5] 柳哲雄, 石井大輔, 屋良由美子, 日向博文, 石坂丞二 (2008): 有明海湾奥部における表層低塩分水の水平収束・発散とクロロフィル a 濃度の関係. 海の研究, **17**, 1-10.
- [6] 石井大輔(2007) : 漂流ブイ計測用可視化システムおよび流動場解析ツールの開発. 九州大学応用力学研究所技術職員技術レポート, **8**, 7-12.
- [7] 石井大輔(2006) : 緯度・経度から平面直角座標系への変換について. 九州大学応用力学研究所技術職員技術レポート, **7**, 85-90.

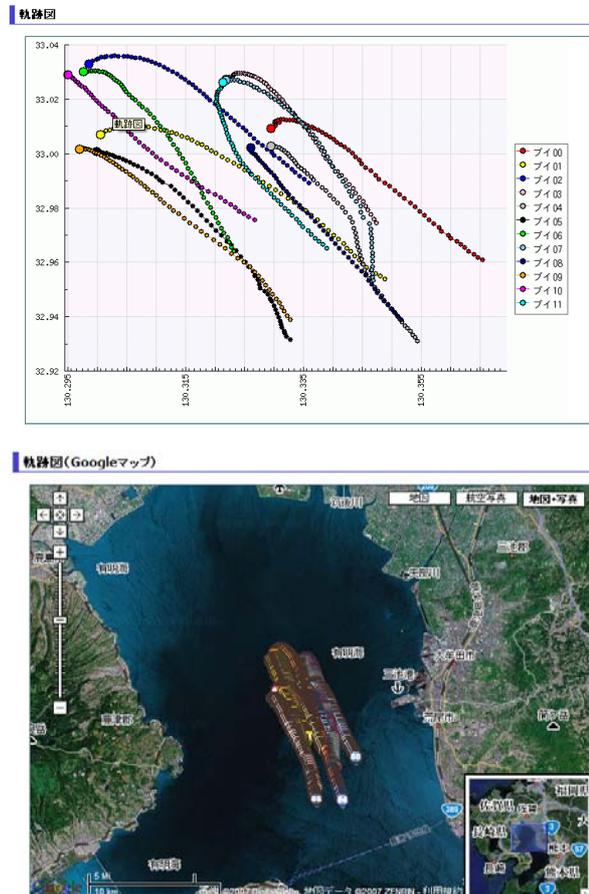


図 5. 放流中の GPS ケータイ型漂流ブイの軌跡
図を GPSMAP for RIAM 上に描画した一例

月面環境模擬試験

○鶴田誠逸、花田英夫、野田寛大、河野宣之

国立天文台 RISE 推進室

1 はじめに

国立天文台水沢 RISE 推進室では現在 2007 年 9 月に打ち上げられた月探査衛星「かぐや」及び子衛星「おきな（リレー衛星）」「おうな（VRAD 衛星）」の観測・運用を進行中である。「かぐや」等は月周回によって月の表面を観測することによって月の起源・進化の解明及び将来の月面探査のための技術的データを得ることを目的としている。このミッションでは月の回轉變動を直接観測することはできない。RISE 推進室では次の月探査計画として月面での天文観測を計画している。月面に光学望遠鏡を設置して星の軌跡を観測することによって月の回轉變動を直接計測することにより、その内部構造をより詳細に明らかにすることを目的としている。望遠鏡は月着陸機に搭載されて設置されると考えられるが、月面環境については例えば温度環境・地盤特性・放射線・日照変化・ダスト等、未だ多くの不明な点がある。長期間の観測にはこれらの課題を検証し、対策を講じなくてはならない。その中で特に望遠鏡を設置する月土壌についてはアポロ計画によってある程度のデータが得られている。今回は、その月土壌を模擬した砂を利用して沈み込みや飛散について実験を行っているのでその途中経過について報告をする。

2 月面天測望遠鏡（ILOM）概要

月面天測望遠鏡（ILOM: In-site Lunar Orientation Measurement）は写真天頂筒（PZT:Photo Zenith Tube）型を計画している。PZT は過去に緯度・経度観測に用いられ、焦点距離の 1/2 の距離に反射鏡としての水銀皿を置き、レンズ直下に焦点を結ぶ構造となっている。特徴として、1)焦点距離をかせげる、2)望遠鏡が多少傾斜しても星像中心のずれが小さい、等の利点がある一方で、3)レンズ直下におかれる受光素子で光量が減少する、などの不利な点もある。ILOM の設置場所は温度変化が比較的安定している極域を予定している。

ILOM では受光装置として CCD を用いる。鏡筒材質は低熱膨張率の CFRP を使い、日照による温度変化を軽減するために多層断熱材で覆う。また、水銀皿・電子回路等の保存温度に限界があるものについてはヒータによる温度制御を行う。姿勢は 2 軸または 3 軸制御を予定している。望遠鏡の仕様を表 1 に、概念図を図 1 に示す。現在、岩手大学工学部と共同で ILOM モデルを製作中であり、その外観を図 2 に示す。

表 1. ILOM 仕様

項目	仕様
口径	0.2m
焦点距離	2.0m
形式	PZT 型
分解能	1" ($\lambda = 500\text{nm}$)
観測星の等級	13 等級以下
検出器	CCD
1 画素サイズ	9 μm × 9 μm
画素数	4096 × 4096
視野	1 度 × 1 度
積分時間	100 秒以下
目標精度	1 画素の 1/1000

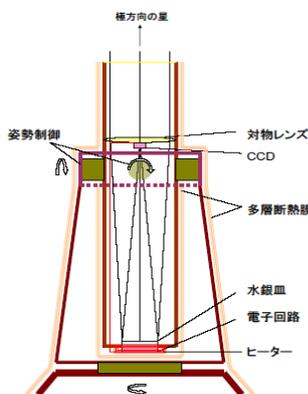


図 1. ILOM 概念



図 2. ILOM モデル

3 月面環境に対する検証項目

1章で述べたように月面環境に対する検証・実証項目は多く、それらのいくつかを簡単にまとめると以下のようになる^[1]。

(1) 温度環境：月面極域の温度は -50°C 程度と低温であるが、昼夜の温度差が約 $\pm 10^{\circ}\text{C}$ 程度と小さく、比較的安定しているが、太陽仰角の変化による温度変化に対して鏡筒・着陸機等の熱変形を小さくする熱制御が必要である。

(2) 地盤特性：月レゴリス上での経年沈下の程度の把握、舞い上がりによるコンタミネーションとその除去方法の確立等が必要である。

(3) 放射線：レンズ・電子回路等への影響が考えられるが地上での検証は簡単ではない。

(4) ダスト：レンズへの付着・機構部への混入の影響とその除去対策、付着による熱的特性変化の検証等が必要であるが、真空環境での試験は簡単ではない^[2]。

他にも検証しなければならない項目としては電場環境・微小隕石への対策等多々あるがいずれも地上で行うことは簡単ではない。

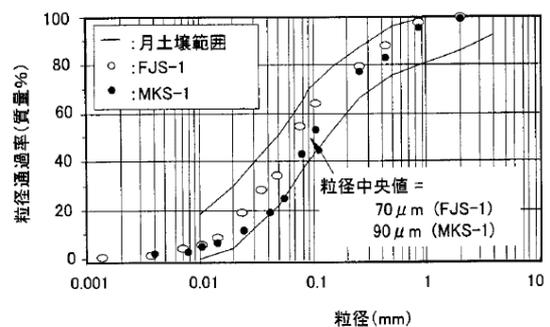
4 模擬月土壌

今回の実験で使用している模擬月土壌（シミュラント）はJAXAと清水建設（株）が月面環境試験のために製作したものを譲り受けたものである。いくつかの岩の種類をベースとして製作されているが、実験に使用しているシミュラントは富士山の火山岩をベースとしたもので（FJS-1）、その化学組成・粒度分布を表2、3に示す。アポロ計画で持ち帰られた月レゴリスとほぼ同様な組成・粒度分布で作られている。

表 2. 模擬月土壌化学組成

成分	月 土 壤		模 擬 月 土 壌			
			米 国 製		国 産	
	アポロ 11	アポロ 14	MLS-1	JSC-1	FJS-1	MKS-1
SiO ₂	42.20	48.10	43.9	47.7	49.14	52.69
TiO ₂	7.80	1.70	6.3	1.6	1.91	1.01
Al ₂ O ₃	13.60	17.40	13.7	15.0	16.23	15.91
Cr ₂ O ₃	0.30	0.23	-	0.0	0.00	0.00
FeO	15.30	10.40	13.4	7.4	8.30	7.50
Fe ₂ O ₃	0.00	0.00	2.6	3.4	4.77	4.78
MnO	0.20	0.14	0.2	0.2	0.19	0.22
MgO	7.80	9.40	6.7	9.0	3.84	5.41
CaO	11.90	10.70	10.1	10.4	9.13	9.36
Na ₂ O	0.47	0.70	2.1	2.7	2.75	1.90
K ₂ O	0.16	0.55	0.2	0.8	1.01	0.58
P ₂ O ₅	0.05	0.51	-	-	0.44	0.14
S	0.12	-	-	-	0.00	0.00
H ₂ O	0.00	0.00	-	-	0.43	0.50
Total	99.90	99.83	99.2	98.2	98.14	100.00

表 3. 模擬月土壌粒度分布



5 着陸機脚を模擬した模型の落下時の飛散量計測と沈み込み実験

5.1 実験の目的

ILOM は月着陸機に搭載されて月面に設置されるものと考えている。その場合、前章で述べたように月面への着陸時のレゴリスの舞い上がりの様子、また、その時の粒度分布の推定、機器への付着の程度等を検証しておくことが必要である。さらに、着陸後の沈み込みの程度を把握することによって姿勢制御の方法を具体的に検討することができる。以上を推察するために、着陸機脚の足型模型を使って落下実験を行っている。

5.2 実験装置（1）：真空チャンバー

月面環境を模擬するためにはシミュラントを真空環境下に置く必要がある。しかしながら真空チャンバーにシミュラントを置いてそのまま真空ポンプで吸引したのでは、シミュラントに混入した空気が噴出し、そ

れに伴って、砂の舞い上がりが起こり、真空ポンプに吸引されてしまうことが経験されている (JAXA/NAL)。そこで、今回の実験に使用する小型チャンバー (内寸76×76×42cm) とポンプとの間にフィルター (濾過精度 $0.35\mu\text{m}$) を挿み (図3)、バルブを絞って徐々に吸引してみた (図4)。その結果、目視では舞い上がりは確認できず、また、確認のために敷いたガラス板についても大気圧に戻した後の顕微鏡検査で砂は確認できなかった (図5)。この結果から今回の方法でシミュラントを真空環境下に置くことが可能と判断した。



図3. フィルター



図4. 排気装置



図5. シミュラント

5.3 実験装置 (2) : 足型模型

試作した着陸機脚を模擬した足型模型を図6に示す。半球型・円錐型・台形型・皿型の4種類を試作してシミュラント上に落下試験を行ったところ、皿型に比べて他の模型は落下時の傾きが比較的大きく、後に述べるレーザ変位計の光線が外れることから、実験は皿型の足模型で行っている。この足型の上部にはコーナーキューブプリズムを納めた筒を取り付ける。筒は落下中の傾きを小さくするためのガイド役を兼ねている。月の重力は地球の1/6であり、実験は月の6倍の重力下で行うことになる。ここで相似則を考慮すると、皿型模型の下部の直径は6cm、ガイド部を含む重量は約171gであるので、月面では直径36cm、重量37kgに相当することになる。

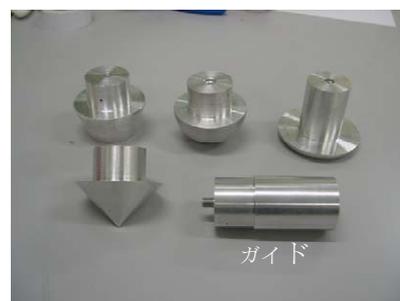


図6. 足型模型

5.4 実験装置 (3) : 落下装置およびレーザ変位計

図7に落下実験装置の概念、図8、9にその様子を示す。シミュラントを入れた容器を周囲への飛散防止用アクリル製箱にセットする。落下実験装置は、ソレノイド2個の心棒で模型を固定し、電流を流すことで心棒を吸引し、模型を落下させる構造となっている。落下後の沈み込みの変化の測定は、図に示すような簡単なレーザ干渉計で測定する方法を採用した。図8に示すリアブッシュは5.3節で述べたように、模型の筒を挿入して傾きをできるだけ小さくするためのガイドである。

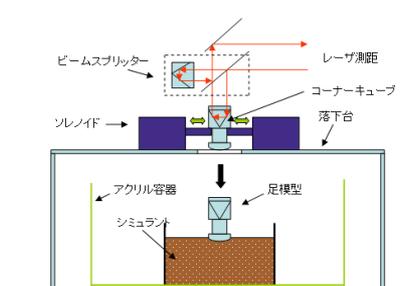


図7. 実験装置概念

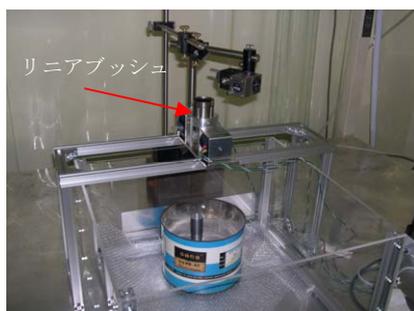


図8. 実験装置

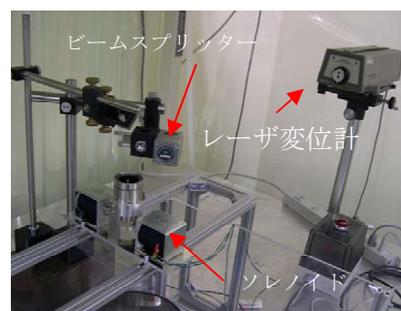


図9. 実験装置

6 実験結果

6.1 実験結果（1）：かさ密度の測定

シミュラントのかさ密度の違いによって落下時の飛散量、落下後の沈み込みに違いが出るのが予想されたので、予めトルクメーター（図 10）を使ってトルクとかさ密度の関係を測定した。結果を図 11 に示す。この結果を使って実験ごとに測定したトルクからその時の密度を推定することができる。



図 10. トルクメーター

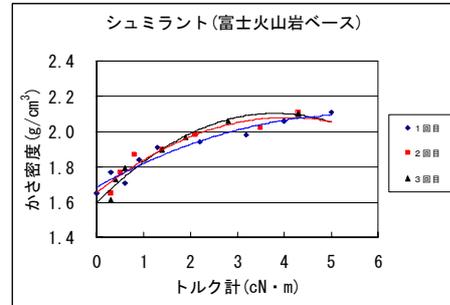


図 11. かさ密度とトルクの関係

6.2 実験結果（2）：飛散量

落下実験の様子を図 12、13 に示す。図では判別が困難であるが、密度が大きいと落下時の沈み込みが小さいことが確認された。シミュラントの密度と飛散量の関係を図 14 に示す。密度が大きいと飛散量がほとんど無いことがわかる。それは目視でも確認できた。



図 12. 1.83g/cm^3



図 13. 2.08g/cm^3

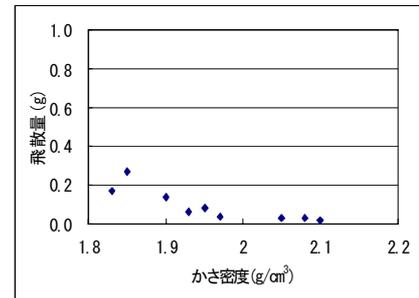


図 14. 密度と飛散量の関係

6.3 実験結果（3）：粒度分布

密度が小さい場合に飛散したシミュラントの粒度分布をスケール付ルーペ（ $50\mu\text{m/div}$ ）で観察した。その結果、凡そ、 $50\sim 100\mu\text{m}$ を中心とした粒径が多く、最大 $1\sim 1.5\text{mm}$ 、最小 $10\mu\text{m}$ 以下の粒径の分布と確認できた。これはメーカーのデータとほぼ一致する。

7 まとめ

月面天測望遠鏡（ILOM）計画における月面環境模擬試験のうち、足型模型を使った月レゴリスの模擬砂を利用した飛散の実験の様子、及び沈み込みの計測実験の計画を紹介した。実験は半ばであり、今後大気中での沈み込み測定を行った後、真空チャンバーにセットして本格的な実験を行う予定である。

参考文献

- [1] 清水建設（株）, “「レゴリスダストの月着陸ミッションへの影響の調査検討」報告書”,平成 11 年 9 月
- [2] 櫻井博, “粒子の気中個数濃度と粒子分布の計測技術と標準”,産総研計量標準報告,Vol.4,No.1,P53-63,2005

VLBI 観測データ集中管理システムについて

○佐藤克久^{A)}、川口則幸^{A)}、小山友明^{A)}、小関研介^{B)}、原田健一^{B)}

^{A)} 国立天文台 水沢 VERA 観測所

^{B)} エレックス工業株式会社

概要

東アジア地域に VLBI 観測網を形成する計画の一環として、複数のフォーマットで記録された VLBI 観測データを相関処理装置向けに集中的に一元管理するシステムを開発した。このシステムは、観測局当たり最大 1Gbps で記録された観測データ 4 局分を統一データとして蓄積し、相関処理装置へ出力するもので、倍速 2Gbps で 4 チャンネルを同時記録する能力を有している。

1 はじめに

星を観測する場合、地上観測機器では大気層の影響が少ない電波での観測が優位である。ここで、望遠鏡の「解像力」は、

$$\text{解像力} = (\text{観測波長}) / (\text{望遠鏡の口径})$$

で与えられるが、光に比べて波長が長い電波域では、例えば口径 1m の光学望遠鏡と同一解像力を得るためには、約 300km の口径の電波望遠鏡が必要となる。この課題を解決するため、多数の電波望遠鏡を数 10km から 1 万 km の距離に並べて電波を互いに干渉させる VLBI (Very Long Baseline Interferometry: 超長基線電波干渉法) が開発されている。

1.1 VLBI 観測装置

VLBI は数 10km から 1 万 km 隔たった数ヶ所の観測局と観測データから相関処理で干渉データを生成する相関局により構成される。観測局側では、パラボラアンテナ、受信装置、一観測 (24 時間程度まで) 当たりテラバイトクラスのデータ記録装置 (交換型ハードディスク装置や高密度高速磁気テープ記録装置) そして超高安定度を有する水素メーザ原子時計 (周波数標準) という機器構成で観測し、記録データを相関処理施設へ輸送する。相関局では各観測局からの記録データを同期再生相関処理する。VLBI 装置構成を図 1 に示す。

1.2 日韓共同開発 VLBI 相関局

国立天文台は 2005 年 7 月、韓国天文研究院との間で VLBI 相関器の技術協力・共同開発を行う協定を締結している。日韓共同開発 VLBI 相関器の主目的は、国立天文台水沢 VERA 観測所に所属する VERA 観測局 4 局と韓国天文研究院が建設中の韓国 VLBI 観測網 (KVN) の VLBI 観測局 3 局を結合した観測網を構築するもので、2008 年完成予定である。その後は、図 2 に示す様な日本国内の関連機関の VLBI 観測局や韓国、さらに中国の VLBI 観測局を加えた東アジア VLBI 観測網を構築する予定である。

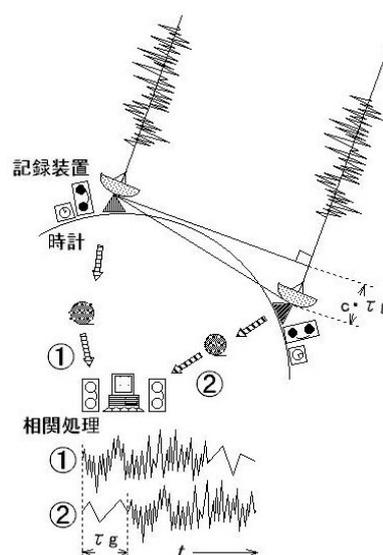


図 1: VLBI 装置構成



図 2: 東アジア VLBI 観測網

2 VLBI 観測局データ記録方式

VLBI システムは 1960 年代に米国で Mark-I データ記録方式として開発され、720kHz レートの 1 ビットサンプリングデータを当時の大型計算機 IBM360/50 で 90 分かけてソフトウェア関連処理していた。その後、本格的な VLBI システムとして磁気テープベースの Mark-II、Mark-III、Mark-IV データ記録方式が順次開発され観測運用に供されてきた。現在は Mark-IV やハードディスクベースの Mark-V (256・512・1024Mbps) データ記録方式(図 3)が運用されている。韓国 KVN 観測局では Mark-V 記録方式を採用している。また、独自にカナダで開発された S2 型 VLBI データ記録方式がカナダをはじめロシア、オーストラリア、ヨーロッパなどで観測運用されてきた。

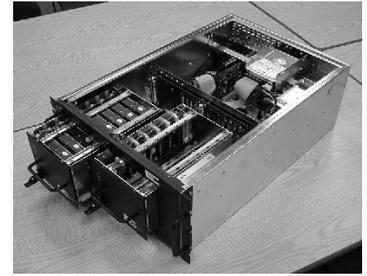


図 3 : Mark-V 記録装置

一方、国内では 1977~1978 年にかけて通信総合研究所（現情報通信研究機構:NICT）が K-2、その後 K-3、K-4 と磁気テープベースのデータ記録方式を開発し、現在はハードディスクベースの K-5 (128・256・512Mbps) データ記録方式（図 4）やネットワーク型の e-VLBI が運用されている。国内の大学連携 VLBI 観測では K-4、K-5 記録方式を採用している。また、水沢 VERA 観測所は、VERA システムの専用記録方式となるテープベースの VERA (1024Mbps) データ記録方式（図 5）を開発し運用している。



図 4 : K-5 記録装置

図 5 : VERA 記録装置

3 VLBI 標準インターフェース

アンテナ間の距離（基線）が長い程解像力が向上するという VLBI 観測手法であるが、Mark-IV、S2、K-4 という VLBI 記録方式の非互換性のために国際共同観測が困難であった。2000 年 7 月、これら各種 VLBI 記録方式の互換性を保つ事により国際共同観測を可能とし、天文学、測地学の両面で有益な科学的成果を得る為に各国の VLBI 研究者の連携で VLBI 標準インターフェース（VSI）が策定された。

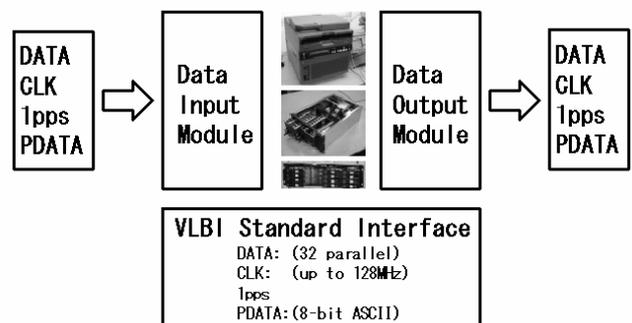


図 6 : VLBI 標準インターフェースブロック図

この VSI は図 6 に示す様に、Mark-IV、S2、K-4 等の記録方式に標準的な入出力フォーマットを規定する事により、それぞれの記録方式で記録されたデータ間で互換性を保つものである。VSI 策定後に開発された Mark-V や K-5、VERA、e-VLBI の各データ記録方式はそれぞれこの VSI 仕様に準拠した入出力を備えている。

4 VLBI 観測データ集中管理システム

VLBI 相関器では 2 局分の観測記録データを同期再生する事により相関処理を行う。これまでのテープベースによるデータ記録方式同士の場合は VSI によりデータの互換性を保ちつつ、テープ再生のタイミングと速度制御により同期再生を実現してきた。しかしながら、日韓共同開発 VLBI 相関器では当面 VERA 観測局 4 局と KVN 観測局 3 局により記録された観測データを処理する事となるが、VERA はテープベースの VERA 記録方式、KVN はハードディスクベースの Mark-V 記録方式を採用しており、記録媒体が異なるもの同士の同期再生を行う必要がある。また、今後構築される東アジア VLBI 観測網で観測記録されたデータを処理す

る場合には、テープベースとハードディスクベースの記録媒体の混在に加え上記の様々な記録方式に対応する事が求められる。

日韓共同開発 VLBI 相関器では以上の要件を満たす VLBI 観測データ集中管理システムとして、大容量 VLBI データバッファ装置 (RVDB) を開発した。

4.1 大容量 VLBI データバッファ装置の構成

RVDB は VLBI 相関器の入力側整合器として働き、テープベースとハードディスクベースの記録媒体が混在する様々な VLBI 記録方式で記録された観測記録データを各記録装置の VSI 出力 (DOM) から非同期の VSI フォーマットとして受け入れ、全観測データを観測時刻をタグとして一旦内蔵ハードディスク上へ蓄積する。その後相関器側からの要求により記録時の観測時刻タグを基にして RVDB からデータを再生し、同期した再構築 VSI フォーマットとして相関器側へ引き渡す。RVDB 装置の概念図を図 7 に示す。

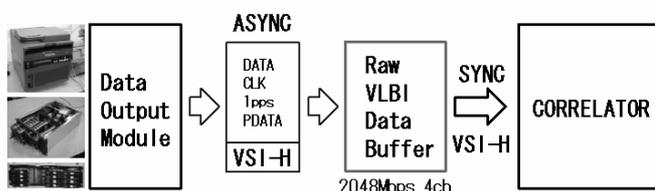


図 7 : RVDB 装置概念図

RVDB は図 8 に示す様に、入出力ユニット、4 台のハードディスクバッファ装置及びそれらの間を結ぶ 10 ギガビット・イーサネットによって構成されている。入出力ユニットには、VSI で規定されている試験用データ (テストベクタ) 生成・検出回路 (TVG/VR) が組み込まれており、回線試験や記録再生試験に有用である。

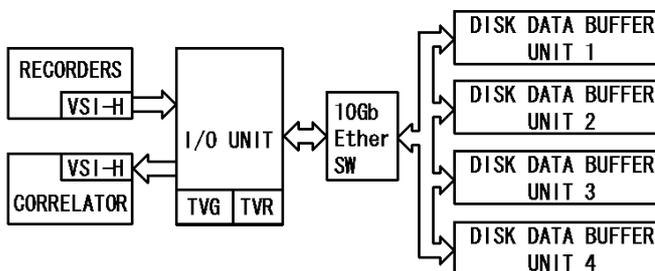


図 8 : RVDB 装置ブロック図

RVDB は相関器のストリーム毎に 1 セット、計 2 セット使用される。相関器から両ストリーム共同観測時刻タグの観測データ再生要求をそれぞれのストリームを担う RVDB へ送り、各 RVDB からは同じ観測時刻タグの観測データが再生される事により、ストリーム間の時刻同期が取られる事になる。

RVDB 装置の機器構成を写真 1 に示す。左側の装置 2 台はハードディスクバッファ装置で、試験のために半分の台数を接続している。右側の装置 2 台は入出力ユニットで、試験のために倍の台数となっている。入出力ユニットの内 1 台の TVG により生成された VSI 仕様の試験用データをハードディスクバッファ装置で記録再生し、他方の入出力ユニット内 TVR にて記録再生エラーの有無を検証している。記録再生レートは最大 2048Mbps×4 チャンネル、合計 8192Mbps を達成している。

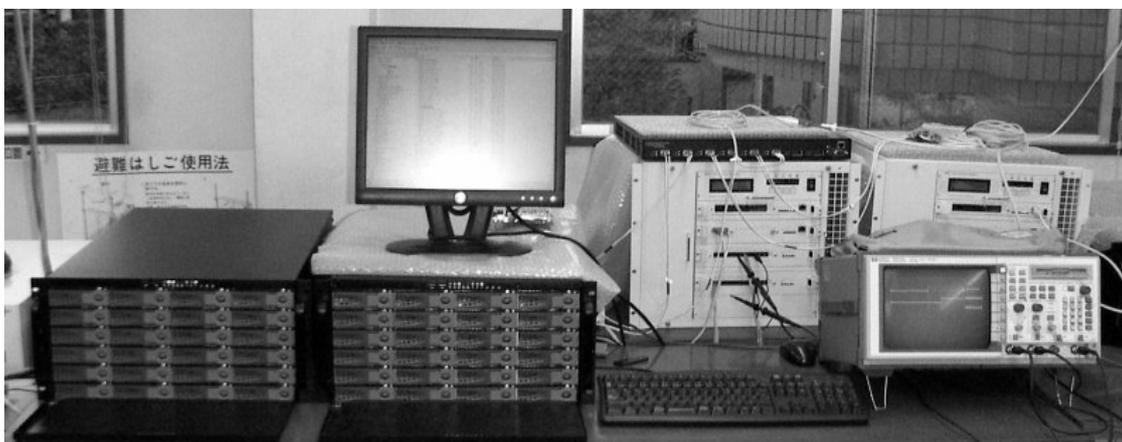


写真 1 : RVDB 装置の機器構成

4.2 大容量 VLBI データバッファ装置の仕様

RVDB の仕様は以下の通りである。

- 記録容量 : 30TByte (7.5Tbyte×4 ユニット、HDD 容量による)
- 記録レート : 1024Mbps/2048Mbps
- 最大記録時間 : 1 チャンネル当たり 16 時間 (1024Mbps、4 チャンネル)
- 再生レート : 2048Mbps (1024Mbps 記録時倍速再生)
- 制御計算機からの記録・再生 : 任意記録レート、1/2・1/4・1/8・1/16 再生レート選択
- 10GbEther : Layer 5 以上
 - ・ VRTP(VLBI Real time Transport Protocol)
 - ・ VRTCP(VRTP Control Protocol)
- Layer 1 ~ 4
 - ・ 10GBASE-LR/IP/UDP
- 観測データ : D ポート(VSI-H 入力形式)
 - ・ 1024Mbps (32MHz clock × 32 parallel)
 - ・ 2048Mbps (64MHz clock × 32 parallel)
- C ポート(VSI-H 出力形式)
 - ・ 2048Mbps (64MHz clock × 32 parallel)
- テストベクタ : VSI-H 形式、ADS-1000 形式

5 まとめ

国立天文台水沢 VERA 観測所に所属する VERA 観測局 4 局と韓国天文研究院が建設中の韓国 VLBI 観測網 (KVN) の VLBI 観測局 3 局を結合した観測網によって観測されるデータを相関処理する、世界最大となる VLBI 相関処理装置用の集中データ管理システムを開発した。観測網は今後日本国内の関連機関の VLBI 観測局や韓国、さらに中国の VLBI 観測局を加えた東アジア VLBI 観測網として構築される予定である。

このシステムは大容量 VLBI データバッファ装置 (RVDB) と称し、1 台の入出力ユニット、4 台のハードディスクバッファ装置及びそれらの間を結ぶ 10 ギガビット・イーサネットによって構成されている。RVDB は日韓共同開発 VLBI 相関器の入力側整合器として働き、VERA、Mark-V、K-5 等の非同期かつ記録媒体が混在する複数の記録形式を観測時刻タグを基に一旦ハードディスクバッファ装置に蓄積し、同一観測時刻タグの観測データを同時再生する事により、同期した再構築 VSI フォーマット形式の観測データとして相関器へ出力する。RVDB の記録再生レートは最大 2048Mbps×4 チャンネル、合計 8192Mbps を達成している。

参考文献

- [1] 小林秀行, “日本と韓国による VLBI 相関器の共同開発について”, 2005 年 7 月 7 日
(<http://veraserver.mtk.nao.ac.jp/VERA/kobayashi/JKVLBIMOUmain.html>)
- [2] 小林秀行, “東アジア VLBI 観測網”, VLBI 次世代相関器ワークショップ, 平成 2004 年 8 月
(http://www2.nict.go.jp/w/w114/stsi/old_raag/soukankiws/pdf/Kobayashi1.pdf)
- [3] “誕生! 東アジア中核天文台連合(EACOA)”, 国立天文台 アstro・トピックス (143)
(http://www.nao.ac.jp/nao_topics/data/000143.html)
- [4] “VLBI Standard Interface”, MIT Haystack Observatory
(<http://www.haystack.mit.edu/tech/vlbi/vsi/index.html>)

放射光ビームライン BL-16A への STARS 導入

○小菅隆、濁川和幸、豊島章雄、雨宮健太

高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所

概要

高エネルギー加速器研究機構放射光科学研究施設では、シンプルかつ汎用性及び拡張性をもった制御用ソフトウェア「STARS(Simple Transmission and Retrieval System)」^{[1][2]}を基本とした放射光ビームライン制御系の統一化^[3]が進行し、成果をあげている。今回、BL-16A の再構築に伴ってビームライン制御系を新しく構築することとなり、他のビームライン同様 STARS を基本としたビームライン制御システムを構築する事となった。ここでは、実際のシステム構築において発生した問題及びその解決、実際の導入に際する詳細について報告する。

1 BL-16A の制御対象となるハードウェア

今回再構築されたビームライン BL-16A (写真1) はアンジュレータから放射される放射光を利用する真空紫外のビームラインであり、図1に示すような光学系の配置となっている。このうちマスク、ワイヤーモニタ、ミラー(M0、M1、M2、振り分けミラーMp、M3、M3')及び回折格子(G)はパルスモータにより駆動される。また、マスクにはリニアエンコーダが、M2 及び回折格子の軸にはそれぞれ超高真空に対応したロータリーエンコーダが取り付けられている。



写真 1. BL-16A

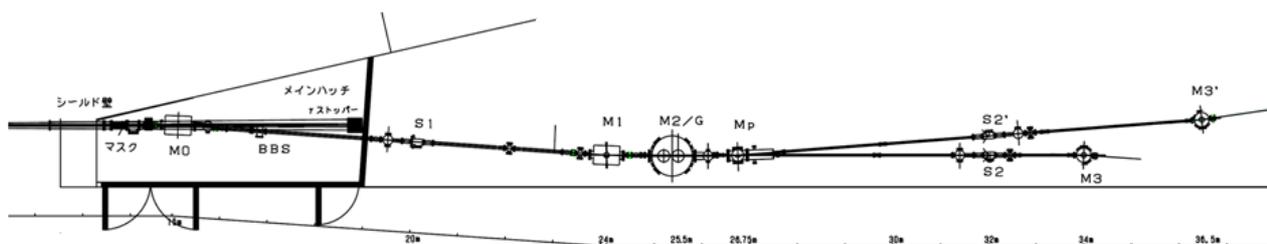


図 1. BL-16A 光学系の配置

1.1 パルスモータ

ワイヤーモニタ、ミラーなどのコンポーネントの駆動軸数(=パルスモータの数)は、マスク 2 軸、ワイヤーモニタ 2 軸、M0 が 5 軸、M1 が 5 軸、M2 が 1 軸、回折格子 1 軸、振り分けミラー 3 軸、M3 が 4 軸、M3' が 4 軸の合計 27 軸である。

各パルスモータは規格に合わせたそれぞれのパルスモータドライバに接続され、2 台のパルスモータコントローラ(ツジ電子製 PM16C-04XD)により制御される。更にこれら 2 台のパルスモータコントローラは Ethernet を介して STARS を用いた制御システムに接続される。

1.2 エンコーダ

マスクの X 軸と Z 軸にはリニアエンコーダが取り付けられており RS-232C ポートを持った表示ユニット (SONY LY52) に接続されている。この表示ユニットはシリアルデバイスサーバ(MOXA NPort 5110)を用いて Ethernet に接続されている。また、M2 及び回折格子の回転軸には超高真空に対応したロータリーエンコーダ (HEIDENHAIN RON 905 UHV) が取り付けられており、それぞれエンコーダ用 PC に内蔵されたカウンターカード(HEIDENHAIN IK220)に接続され、角度が読み取られる。

1.3 ワイヤーモニタ

放射光ビームのプロファイルを測定するためのワイヤーモニタの出力 X 軸、Z 軸の 2 系統はそれぞれ一台ずつのピコアンメータ(KEITHLEY 6485)に接続される。このピコアンメータは RS232C ポートを有しており、シリアルデバイスサーバ(MOXA NPort 5410)を介して Ethernet に接続される。

2 STARS システムのインストール

STARS は PF においてビームライン制御のほか、ビームラインインターロック集中管理システム、実験ホール入退室管理システム、キー管理システムなど幅広く利用されており、さまざまな再利用可能なアプリケーションプログラムが開発されている。STARS では複数のクライアントプログラム(User client、I/O client 等)が TCP/IP ソケットを介して STARS サーバに接続しメッセージの送受を行う事で一つの制御システムを構築してゆく。

STARS サーバ及びクライアントプログラムは同一コンピュータ上にあっても良いが、ネットワークを介した別々のコンピュータ上で動作させても良い。STARS を使用したシステム構築は非常にフレキシブルであり、目的に応じて様々な構成をとる事が出来る。今回は 2 台のパーソナルコンピュータ(以下 PC)を用い M2 及び回折格子のエンコーダ用プログラムを分離した形でシステムを構築する事とした。(図 2 参照)

2.1 PC およびネットワーク

ピコアンメータやマスクの表示ユニットに接続されたシリアルデバイスサーバ、2 台のパルスモータコントローラ、メイン PC 及びエンコーダ用 PC の 2 台の PC は制御専用の LAN に接続する事とした。また、この LAN からはブロードバンドルータを介して、機構内のネットワークにアクセス出来るようにした。メイン PC(OS: Windows XP Professional)では M2 及び回折格子エンコーダ用プログラムを除く全ての STARS クライアントおよび STARS サーバが動作する。また、メイン PC にはネットワークインターフェースを 2 つ用意し、片方は専用の LAN に、もう一方は機構内のネットワークに接続した。ユーザーが持ち込んだ PC などからの STARS へのアクセスは、この機構内ネットワークに接続されたインターフェースを経由して行う事ができる。更にエンコーダ用 PC には旧式の PC を用意した。M2 及び回折格子のロータリーエンコーダ 2 軸に対して PCI バスのカウンターカード IK220 が 4 枚必要となる。現状で PCI のスロットを 4 つ以上備えた PC を入手するのが簡単では無かったため、他で使用していた古い PC(OS: Windows 2000 Professional)を流用する事となった。

2.2 STARS ソフトウェアの配置

M2 及び回折格子エンコーダ用のプログラム群はエンコーダ PC 上で動作する。なお、エンコーダ PC では

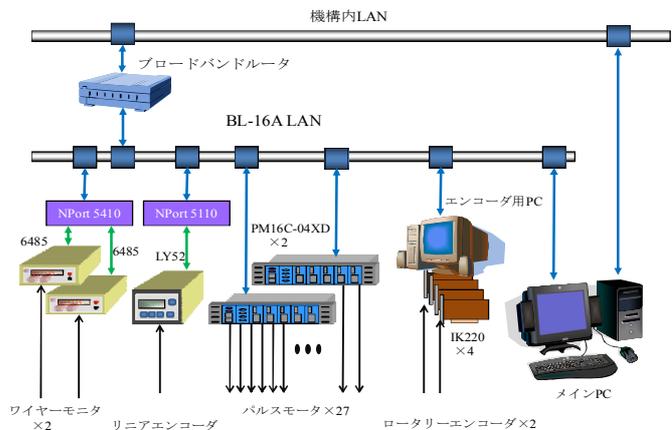


図 2. システム構成

別途 STARS サーバを動作させることとした。当初、エンコーダ用 STARS クライアントは直接メイン PC 上の STARS サーバに接続する予定であった。しかし、サーバの再起動等でネットワークが切断するとクライアントが終了、現在地をリセットしてしまうといった問題があった。今回のビームライン立ち上げでは、メイン PC を移動するためにサーバを停止する必要があるが、その都度エンコーダ原点の再設定を行うのは効率が悪い。エンコーダ用 STARS クライアントプログラム側で対処する方法もあるが、プログラム自体をシンプルにするため、ここではエンコーダ用 PC 上で別途 STARS サーバを動作させ、これに接続する事でメイン PC が停止してもネットワークの切断が起きないようにした。メイン PC の STARS サーバとの接続は今回新たに作成した STARS Bridge を用いるようにしている。なお、メイン PC 上では STARS サーバ、パルスモータコントローラ用 I/O Client、マスクエンコーダ用 I/O Client、ピコアンメータ用 I/O Client、STARS Bridge、操作用 GUI、仮想的なビームラインコンポーネントとして機能する、Virtual component client 等が動作する。

3 システムの動作チェックと調整

PC やネットワークの準備及び STARS のインストール作業が終了した後には動作チェックや不具合等の対応が必要となる。ここでは、STARS システムのインストール後実際に行った作業について述べる。

3.1 パルスモータ動作チェックおよび電流の調整

STARS システムのモータ制御用 GUI を使用し、1 つずつ実際にパルスモータを動作させ「正しい方向に回転しているか」、「回転はスムーズであるか」、「発熱等がないか」などの動作チェックを行った。また、可動範囲を超えてしまった際に、インターロックとして動作するリミットスイッチが正しく機能するかのチェックも合わせて行った。今回パルスモータドライバの機種選定と手配、パルスモータコントローラからパルスモータドライバ、パルスモータドライバからパルスモータまでの配線は自前で行う事となったが、作業時間に余裕がなかった事もあり誤配線などが頻発、予想以上の労力を費やす事となった。その後パルスモータの励磁電流の調整も、モータひとつひとつの動作を確認しながら行っていった。

3.2 可動範囲の確認と原点設定

パルスモータの各軸については、可動範囲の確認と原点の設定が必要である。各軸には原点を検出するためのセンサーが可動範囲の中心付近に設置されているので、このセンサーの値が変化した所を原点とし、パルスのカウントを 0 にセットする。今回使用したパルスモータコントローラには、原点を検出ための機能が備えられており、原点を検知すると自動的に停止する。実際の手順としては、はじめに端まで移動させ原点検出のためにスキャンを行い、原点を検出し停止したところでパルスモータコントローラのパルス値を 0 にセットする。次に CW 側のリミットスイッチに当たるまでモータを駆動し、停止したところで値を記録、続いて同様の事を CCW 側のリミットスイッチについて行う。最初 STARS システムのモータ制御用 GUI を用い手動で行っていたが、最終的には Perl によるスクリプトプログラムを作成、すべて自動で行えるようにした。なお、STARS では Perl スクリプトの作成用に、サーバへの接続、メッセージの送受が簡単に行える Perl ライブラリが用意されている。

3.3 エンコーダ読み取りプログラムの調整

エンコーダ読みの確認を行ったが、M2 及び回折格子のロータリーエンコーダ読みとった値のばらつきが大きい事が問題となった。そのため、テスト的にエンコーダ用クライアント側に平均をとる機能を付加する事となった。しかし、エンコーダ用クライアントを改造のために停止すると、現在の値がリセットされ、再び原点検出の操作を行わなければならない。ここでは必要なのは効果を検証する事なので、エンコーダ用 PC 上に Virtual component client と同様の手法で、エンコーダ用クライアントからの読みとった値を平均して返す

STARS クライアントプログラムを動作させる事とした。STARS ではシステムの機能に変更を加えてもシステムを再起動する必要は無いので、この手法を使えばエンコーダの値がリセットされることはない。図3は回折格子の角度を固定して一定時間毎にエンコーダの値を読み取った結果であり、上は平均を取る前、下が平均(読み取り回数 20 回)を行った後のデータである。この結果から平均をとれば実用上問題無い事が分かり、エンコーダクライアントの改造をビームライン調整が終了した時点で行う事となった。

3.4 M2、回折格子用プログラムの調整

M2 及び回折格子用の Virtual component client へ角度やエネルギーの設定コマンドを送信すると、Virtual component client は角度やエネルギーからパルスモータへ送るべきパルス数を計算し、パルスモータコントローラ用クライアントにパルス数を送信する。送信するパルス数は計算式より求める事が出来るが、実際には機械的な制度等の問題で誤差が生じる。ここでは使用する範囲で M2 及び回折格子を動かして、パルス数とエンコーダの値を記録。その値を元にフィッティングを行い、計算パラメータに反映させる事で誤差を最小限にとどめるようにした。

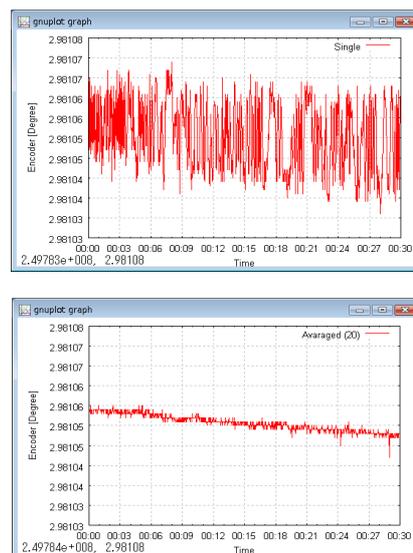


図 3. 平均前(上)と平均後(下)

4 実際の使用

STARS システム導入及びシステムの動作チェックと調整が終わると、ビームライン担当者によるビームラインの調整が始まる。今回ビームラインの調整には「可動範囲の確認と原点設定」で利用したスクリプト作成用のライブラリを提供した。また、新たに.NET 環境で動作する GUI も作成した。(図 4 参照)

5 まとめと今後の課題

今回 STARS の利用により、容易に BL-16A ビームライン制御システムを構築する事が出来た。しかし、今回パルスモータ関連の設定及び手直しなど、システムの動作チェックと調整の部分で労力を費やす事となった。動作チェックおよび調整作業の効率化は今後の課題である。また、今回使用したスクリプト作成用のライブラリは非常に有効に機能した。今後はこのスクリプトを GUI から動作させるための機能開発を行ってゆく予定である。

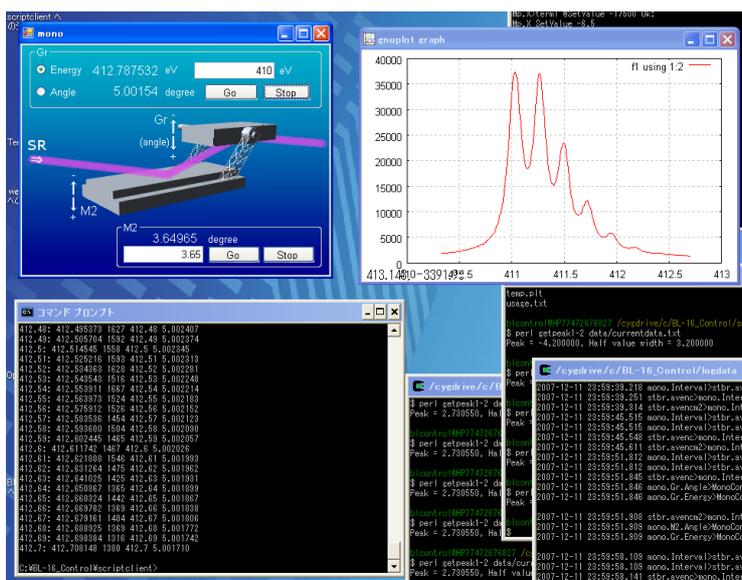


図 4. スクリプトと GUI

参考文献等

- [1] <http://stars.kek.jp>
- [2] T Kosuge et al, "Recent Progress of STARS", PCaPAC2005 proceedings, March 2005
- [3] 小菅 隆, et al, "P F におけるビームライン制御標準化に関する取り組み", 平成 17 年度分子科学研究所技術研究会

単独使用機器への簡易なコモンモードノイズ対策方法

安本勝

東京大学大学院工学系研究科 技術部・原子力国際専攻

概要

コモンモードノイズ発生電気機器は多く存在し、それから発生するコモンモードノイズは、電源系統から接地系統や建物導体構造物を循環し、空間電磁界を作る。また共通インピーダンスになる接地系統の電圧降下が相互干渉しノイズトラブルを引き起こす事例は多い。本報告は単独に使用している電気機器に限ってこのコモンモードノイズを簡単に抑制する方法について明らかにする。また対策上必要になるコモンモードノイズ等価回路定数を求める簡易な方法についても明らかにする。

1 はじめに

導入電気炉に大きなコモンモードノイズが観測された。温度制御は一般的なサイリスタによる位相制御が行われている。電気炉使用室内では色々な実験装置があり、主に熱電対による温度測定が行われている。外部磁界対策が不十分に成らざるを得ない場合が多く、従って電磁界を発生するコモンモードノイズ電流はできるだけ抑制することが必要である。一方、本来ノイズ発生電気炉への対策は電位の安定性を確保する接地線で行なうべきではなく、フィルターを入れるなど電源ラインで対策するべきだが、電源用となると大きくスペースの問題で容易ではない。接地線を外すことでコモンモードノイズは抑制できるが、万一漏電した場合の感電防止という安全上からは問題である。安全とノイズ抑制の両対策を可能にする方法として、接地線にチョークコイルを入れることで両対策が可能になる。ただし、この対策方法は接地線でのチョークコイルの電圧降下があるので、この部分が共通インピーダンスにならない被対策電気機器単独で使用する場合には限られる。またチョークコイルの電流容量を大きくできない場合、過大電流による加熱損傷を防止するため、漏電遮断器付きブレーカのある場所しか導入できない。漏電遮断器付きブレーカは、感電を防止するためだけではなく、電熱機器の過熱損傷時に生じる漏電を検知するなど、実験機器の安全対策に一般的になると考えている。単独使用機器にコモンモードチョークを入れる方法は、一般的使用方法として適用可能な条件は広がっていくものと考えている。この対策方法について報告する。

2 コモンモードノイズ源

ノイズ対策対象電気炉の温度制御はサイリスタによる位相制御である。実体回路はフィルタまでは図1で現される。しかし、一般的に電気機器内部回路は不明であり、もし分かる場合でも回路からノイズ源等価回路を解析的に求めることは難しく、実質的にブラックボックスとして扱わざるを得ない場合が多い。このようなときに単純化したコモンモードノイズ等価回路を以下の簡易な仮定により簡易測定で求めることができる。

電気機器のノイズ源の等価回路定数は、フィルター定数に

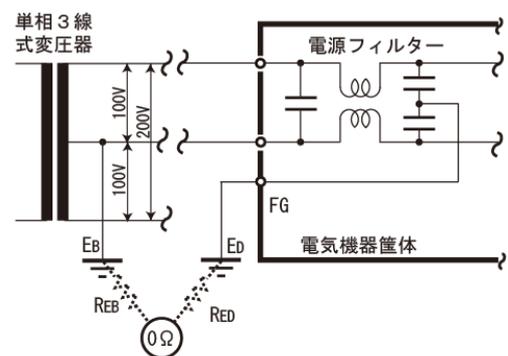
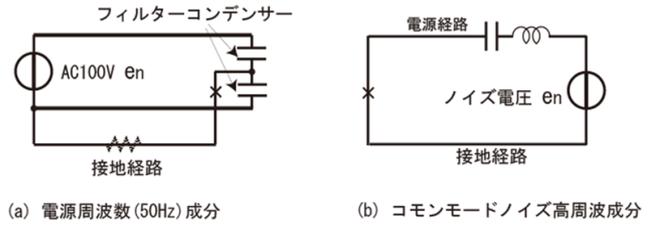


図1. 実体回路

より決まると考えられ、周波数によって図2のようになる。50Hz 商用周波数については、図2(a)の等価回路になり、容量性リアクタンスになる。

高周波数成分が主になるノイズについて図2(b)の等価回路になり、誘導性リアクタンスが主成分になる。



×印で既知抵抗を挿入しそこに加わる電圧を測定した。電源周波数成分については開放状態で現れる電圧も測定した。

図2. 等価回路

2.1 電源周波数成分の等価回路

電源経路と接地経路が作る循環路等価回路インピーダンスは、商用周波数の場合、容量性リアクタンスが支配的インピーダンスになる。従って、開放状態での電圧と既知抵抗に加わる電圧を知ることによって容量性リアクタンスを求めることができ、その値からフィルタコンデンサの容量を求めることができる。

鳳一テブナンの定理から開放電圧 V_o 、挿入する既知抵抗 R_k 、それに加わる電圧 V_{Rk} 、求める容量性リアクタンス X_u として、

$$V_{Rk} = R_k \frac{V_o}{\sqrt{R_k^2 + X_u^2}} \quad (1), \quad X_u = R_k \frac{\sqrt{V_o^2 - V_{Rk}^2}}{V_{Rk}} \quad (2)$$

容量性リアクタンスになるので C は次式になる。

$$C = \frac{1}{2\pi f X_u} \quad (3)$$

2.2 高周波成分の等価回路

高周波成分についても、ノイズの等価電圧源電圧 e_n 、抵抗 r_n は小さくリアクタンス x_n が主成分とすれば、既知抵抗 r_1 を加えた時の r_1 に加わる電圧 e_1 、既知抵抗 r_2 を加えた時の r_2 に加わる電圧 e_2 とすると以下のよう求めることができる。

$$e_1 = \frac{e_n r_1}{\sqrt{r_1^2 + x_n^2}} \quad (4), \quad e_2 = \frac{e_n r_2}{\sqrt{r_2^2 + x_n^2}} \quad (5), \quad e_1^2 r_1^2 = r_1^2 e_n^2 - e_1^2 x_n^2 \quad (6), \quad e_2^2 r_2^2 = r_2^2 e_n^2 - e_2^2 x_n^2 \quad (7)$$

$$e_n = \sqrt{\frac{\begin{vmatrix} e_1^2 r_1^2 & -e_1^2 \\ e_2^2 r_2^2 & -e_2^2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} r_1^2 & -e_1^2 \\ r_2^2 & -e_2^2 \end{vmatrix}}} = e_1 e_2 \sqrt{\frac{r_2^2 - r_1^2}{e_1^2 r_2^2 - e_2^2 r_1^2}} \quad (8), \quad x_n = \sqrt{\frac{\begin{vmatrix} r_1^2 & e_1^2 r_1^2 \\ r_2^2 & e_2^2 r_2^2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} r_1^2 & -e_1^2 \\ r_2^2 & -e_2^2 \end{vmatrix}}} = r_1 r_2 \sqrt{\frac{e_2^2 - e_1^2}{e_1^2 r_2^2 - e_2^2 r_1^2}} \quad (9)$$

r_n は一般的に接地極抵抗で決まると考えてよく、小さく無視できる。

3 等価回路定数の測定結果

一般的にノイズ源はインバータや温度制御等、電源周波数に同期して制御しているものが大半である。従って、オシロスコープによる観測ではトリガーを

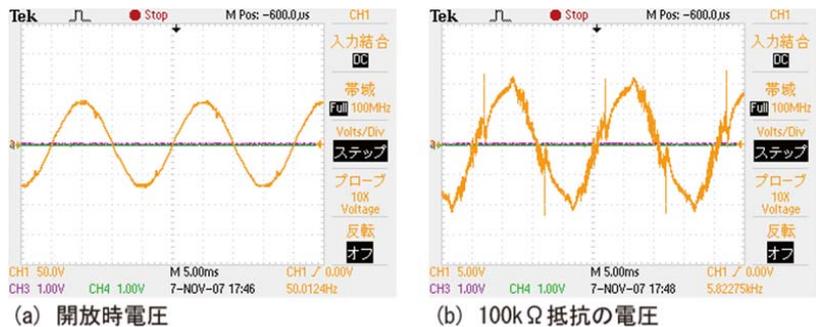


図3. 電源周波数 (50Hz) 成分の観測波形

ラインにして観測することで安定な観測が可能である。

3.1 電源周波数成分

図 3 (a) から $V_o = 71$ (V)、図 3 (b) から $R_k = 10^5$ (Ω)に加わる電圧 $V_{Rk} = 10$ (V)より、 $X_u = 7 \times 10^5$ (Ω)になる。これを式(3)に代入して、 $C = 4 \times 10^{-9}$ (F)になる。図 1 のフィルターの並列コンデンサ容量になる。従ってフィルターコンデンサー 1 個の容量は、 $C/2 = 2$ (nF) になる。

等価ノイズ電圧 $e_{n(rms)}$ は図 3 (a)の観測結果の 2 倍から 100 (V) になる。

従って接地線を直接接続した場合、0.1 mA の電源周波数成分のノイズ電流が流れることになる。

3.2 高周波成分

$r_1 = 500$ (Ω) のとき、図 4 (a)に示すように、p-p で $e_1 = 2.8$ (V) であった。また、 $r_2 = 1000$ (Ω) のとき、図 4 (b)に示すように、p-p で $e_2 = 3.8$ (V) であった。また主な周波数成分は、デジタルオシロスコープ FFT 機能で測定した結果、図 5 に示されるように、55kHz、85kHz、170kHz がある。周波数によってリアクタンスが変わるが、p-p から求めたリアクタンスに大きな違いが無いと考えている。全体の包絡線から p-p を求め、等価回路定数を求めても十分評価に耐えるものであると考えている。

ノイズ源の等価ノイズ電圧 $e_{n(p-p)}$ は、 $e_{n(p-p)} = 4.48$

(V)、近似的に正弦波に近似できるとして実効値は最大値 2.24 (V) の $1/\sqrt{2}$ になる。従って実効値 $e_{n(rms)}$ は、1.6 (V)

になる。等価リアクタンス x_n は、 $x_n \approx 630$ (Ω) になった。従って、直接接地線に接続した場合に流れる電流は $i_{n(p-p)} \approx 7$ (mA) になる。

対象装置がある建物の 2007 年電気設備定期点検結果によると D 種接地極と B 種接地極の抵抗値はそれぞれ 0.8 (Ω) と 3.4 (Ω) 両者の和は 4.2 (Ω) で、求められたリアクタンス $x_n \approx 630$ (Ω) よりも十分小さく、実際無視できる値である。

4 ノイズ対策

波形観測の結果被対象電気炉から発生するコモンモードノイズの高周波成分の主な周波数は、85kHz であり、その周波数でコモンモードノイズ源等価リアクタンスよりも十分大きなリアクタンスになる 300mH のインダクタンスになるチョークコイルを挿入した。このときの挿入前後の電流を測定したものが図 6 である。(a)が挿入前、(b)が挿入後である。図からコイル挿入後高周波成分電流が見事に抑制されていることが分かる。

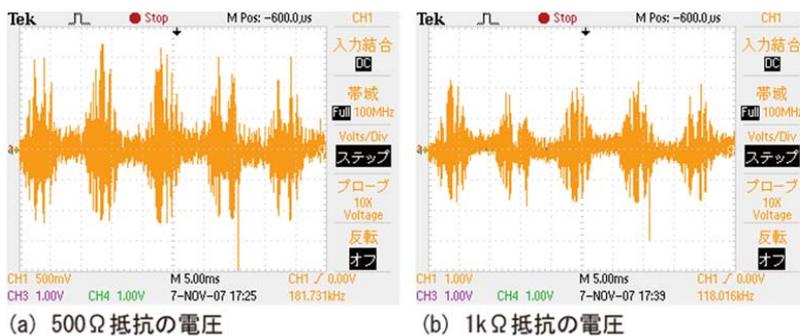


図 4. 高周波数成分の観測波形

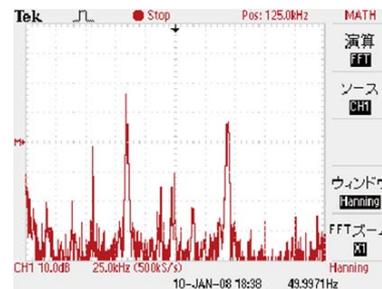


図 5. 500 Ω に加わる電圧のデジタルオシロスコープ FFT 機能による周波数スペクトラム

コモンモードノイズを発生する単独使用電気機器の場合、コモンモード対策としては接地線を接続しないようにすることで他への影響を抑制できる。しかし、感電の安全対策上は接地線を接続することが必要である。安全を確保し、また同時にノイズ対策を兼ねる方法として、コモンモードチョークコイルを接地線と電気機器の接地端子と

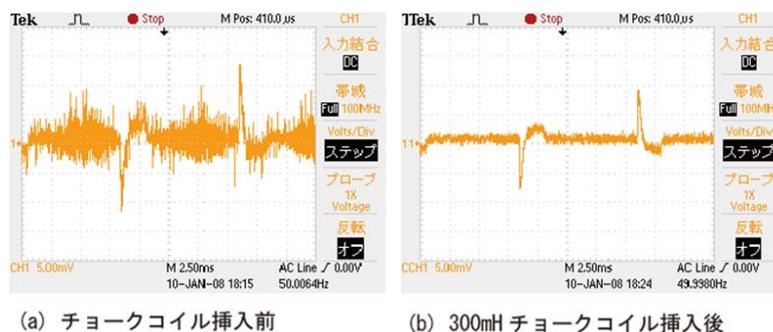


図 6. 接地線に流れる電流

の間に入れることで共通インピーダンスにはならずコモンモードノイズを抑制できる。また安全も確保可能である。但し、十分な容量のチョークコイルでない場合、容量以下の電流で動作する漏電遮断付きブレーカを使用していることが必要である。

ノイズ対策に入れたチョークコイル 300mH でありフィルターコンデンサー容量との共振周波数がノイズ周波数成分と共振しないようにすることも必要である。またコモンモードノイズ電流循環路内にコモンモードノイズエネルギーを消費させるため、等価的抵抗値を高めることも必要である。この実現には、例えば、損失の大きなチョークコイルを使用するか、許容できる範囲の抵抗も直列に接続するか、また変電室の各変圧器 B 種接地に法規を満足する範囲の抵抗を入れる方法がある。チョークコイルは使用透磁率材の特性にヒステリシス損失が大きなものを選択することになるが入手できるものに制限されるため、選択幅が小さい。

5 安全対策

電気機器筐体は、安全確保のため、接地線を接続することが必要である。これは漏電時でも電気機器の電位を電気機器を操作する人がいる周囲床等の電位と同じにすることが基本になっている。接地線はこのことを保証するものでなければならない。

チョークコイルを接地線に入れることは電位差を作ることの意味するが、電源周波数成分に対してはこの電圧降下は小さく問題にならない。一方ノイズ周波数成分に対しては電圧降下は大きい、高周波成分のコモンモードノイズ電圧は一般的に小さく安全上特に問題にならない。

チョークコイルは十分な電流容量にすると大きくなり、ブレーカボックスなどの限られたスペース内には納められない。もし、漏電電流遮断器付きであれば漏電検出電流まで電流容量を小さくでき、従ってコモンモードチョークコイルも小さくできるため、スペースの問題は解決する。

6 終わりに

接地線は理想的にはインピーダンスが存在しないことである。しかし、一般的な電気設備では、安全を目的にしており、ノイズ対策については考慮されていない。例えば、接地系統は各電源系統毎ではなく幹線として一つであり、それから分岐する方法になっている。コモンモードノイズ電流が流れるとこの幹線部分が共通インピーダンスになり分岐回路共通の電圧降下になる。この電圧降下は相互干渉レベルを高めるため、これを抑えらるとなると、共通インピーダンスを低くすることが難しい状態では、できるだけコモンモードノイズ電流を抑制することが必要になる。本方法は、共通インピーダンスにならない個所のインピーダンスを高めることでコモンモードノイズ電流を抑制する方法である。実験場所には単独使用電気機器は多く存在し、またコモンモードノイズ電流源になっているものも多いと考えている。本対策方法は、費用も少なく済み簡易なコモンモードノイズ対策方法になると考えている。

第4分科会
(計算機・データ処理技術)

岡崎3機関におけるゲストアカウントシステムの構築

松尾純一

自然科学研究機構 分子科学研究所

概要

自然科学研究機構岡崎3機関においては所外からのユーザーに所内ネットワークを使用してもらう機会が割りと多く、研究会などにおいてはもはや必須となっています。

しかし、その一方でゲストユーザーのネットワーク利用を誰がどう管理するかという問題があり、当機関においては内部のネットワークがファイヤーウォールやセキュリティポリシーで固められていく一方、コンファレンスセンターやロッジといったところのゲストが使用できる所のネットワークは簡単なFWは設置されていたものの、所外からのユーザーは任意の設定を行えば無制限にネットワークを使用できる状態となっていた。

今回、そのゲスト用のネットワークを利用した不正アクセス事件が発生したため、早急なゲストアカウントシステムの構築が求められ構築しました。参考になればと思うところをまとめます。

1 きっかけ

ゲスト用ネットワークを経由した不正アクセス事件が発生、改善が求められた。

1.1 原因

内部ネットワークはFWとMACアドレスベースの認証システムにより守られていたが、ロッジに通じるネットワークに対しては簡単なFWのみの構成となっていた。

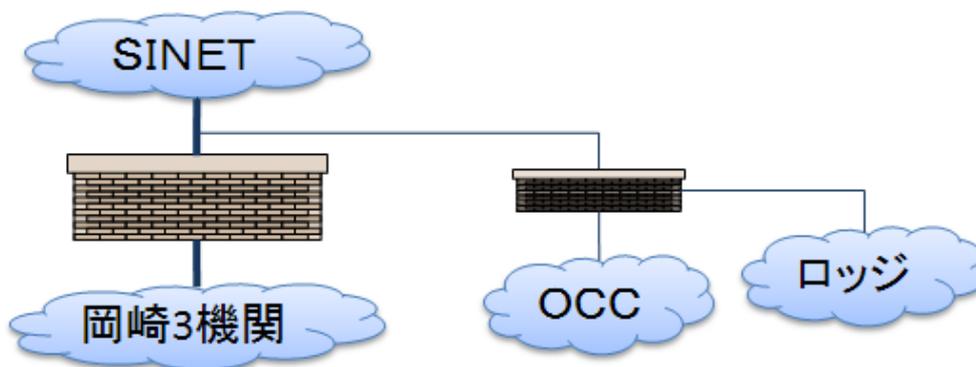


図1

(OCC : 岡崎コンファレンスセンター)

1.2 発覚した問題点

FWのログにより不正アクセスを起こしたパソコンのMACアドレスはすぐに判明したが、いったいそれが誰の所有であるかを示すデータが無かった。また、その所外ユーザーがゲスト用ネットワークを使用した際の最終的な責任の所在を明確にしておく仕組みが無かった。

1.3 対策

所外からのユーザー一人一人に対してゲスト用のアカウントを発行し、ゲスト用ネットワークに接続する際にはそのアカウントを入力しなければ接続できないシステムを構築することに。

ゲストのアカウントを発行するシステムが整備されるまでゲスト用ネットワークの切断。しかし、長期に渡る停止はかなりの影響があるため早急な構築が求められた。時間が限られているため外注では間に合わないとの判断により自前での開発を前提とした。

2 ゲストアカウントシステム構成

Linux(CentOS)+Free-RADIUS, Apache, MySQL,PHP でサーバを構成した。

ネットワークはRADIUSによる認証が可能なスイッチ (Consentry LANShield CS1000) と無線LAN認証スイッチ (Colubris Networks MSC-5500) を連携させ構成した。

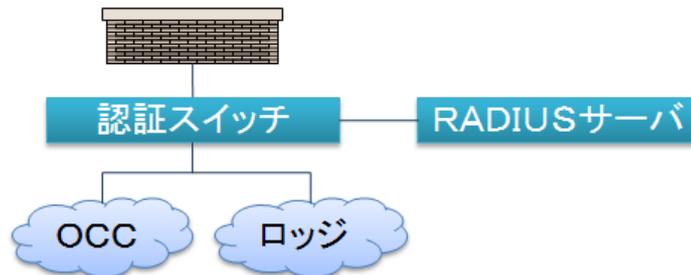


図 2

2.1 OCC用ゲストアカウントシステムの仕組み

OCCの使用申請を提出する際に、その期間OCCのゲスト用ネットワークを使用するゲストを発行できるアカウント名（機構内ユーザアカウント）を書いて提出してもらう。事務の方でそれを見てゲストを発行できるアカウント名と期間をOGAMのWEB画面よりこのシステムに登録してもらうと、登録されたユーザーにはその旨のメールが届き、指定された期間OCCのゲスト用ネットワークを使用できるアカウントがOGAMのWEB画面より発行できるようになる。

問題が発生した際の責任者はOCCの使用申請提出責任者とした。



図 3

2.2 ロッジ用ゲストアカウントシステムの仕組み

宿泊予約システム（外部メーカーが作成したもの）に連動させ、宿泊予約をする際にネットワーク利用申請も出来るようにした。

問題が発生した場合の責任者は受け入れ担当責任者の上司とした。

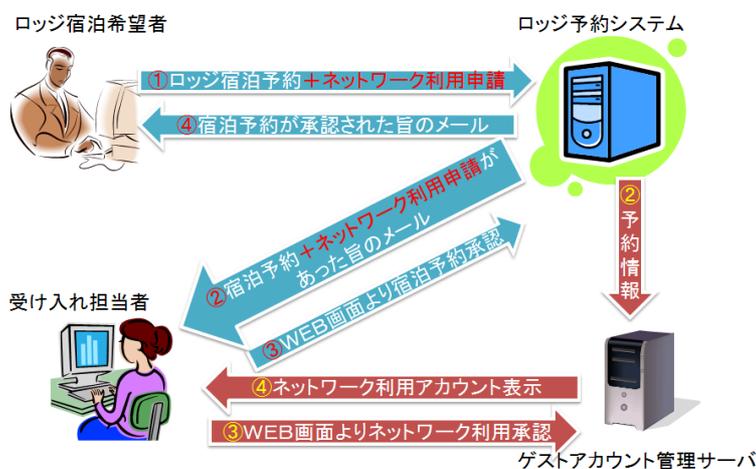


図 4

3 影響対策

切り換え後はゲストアカウントを登録する操作が発生するため、各方面に対して何回も打ち合わせや、会議を行い理解とご協力をお願いした。

3.1 事務部との打ち合わせ

ロッジとOCCを管理している国際研究協力課に対してシステム開発段階から画面構成やシステムの仕組み、このシステムが稼動した際に行ってもらう作業内容についての説明等の打ち合わせを開発ステップごとに行い理解を得た。設計前には大まかなシステム設計を、設計段階では画面の遷移図を元に、システム稼動可能段階ではテスト操作をもとに打ち合わせを行い、理解を得られるよう心がけた。

3.2 説明会の開催

各研究室の事務を担当されている方、各部門のネットワークの管理を担当されている方に向け利用説明会を開催し、一通りのシステム概要と、ゲストアカウント発行手順を知ってもらった。

3.3 ドキュメント作成

事務情報化推進室と連携し、日本語版と英語版のゲスト用ネットワーク利用説明書を作成した。

3.4 導入後のシステム改善点

- ・OCC用のゲストアカウント一括発行機能追加等、各種要望にこたえるようにしている。

4 まとめ

今回はネットワークの不正利用事件から急な改善を求められることとなり、時間が限られた中でどのようなシステムが構築できるかということが大きな課題であった。情報セキュリティ対策において常に先手を取っていくことは難しいかもしれませんが、皆様におかれましてもネットワークの弱点をもう一度見直していただく機会にさせていただければと思います。

ゲスト向けインターネット利用管理機器の導入と運用

○澤昌孝、岩橋健輔

自然科学研究機構 分子科学研究所

概要

分子科学研究所ネットワークでは登録端末以外はインターネット利用できない様に L3 スイッチで MAC アドレスフィルタリングを実施している。ゲスト等が持込端末で利用するには、NAT 機器を介する等の対応が必要になる。計算科学研究センターではゲートウェイ「POPCHAT コミュニティサーバ」^[1]を使用しており、採用するまで経緯と運用状況及び問題点などを紹介する。

1 導入

1.1 背景

分子科学研究所（以下、分子研）内ネットワークは持込 PC が引き起こす問題（不正アクセス等）が発生し、2006年3月より L3 スイッチで MAC アドレスによる通信制御を行うことで、登録端末以外のインターネット利用ができなくなった。

分子科学研究所は共同利用研究施設が幾つかあり、ゲスト等の持込 PC でのインターネット利用の需要がある。私が所属している共同利用研究施設の計算科学研究センターでも準備が必要となった。

1.2 接続制限状態でのゲスト向けインターネット利用の方法

MAC アドレスが未登録な PC を制限している状況下でインターネット利用させるためには、以下の方法が挙げられる。

- 1)未登録 PC の MAC アドレスを使用期間のみ登録して DHCP で接続する。
- 2)MAC アドレス登録済みの USB 等の外付け NIC を貸し出し、未登録 PC に接続する。
- 3)WAN 側の MAC アドレスが登録済みの NAT 機器の下流に未登録 PC を接続する。

各方法の利点及び欠点を検証する。

1)の場合

利点

- ・特に用意する機器はない。

欠点

- ・未登録 PC の MAC アドレスを調べる必要あり。
- ・MAC アドレス登録する担当者が不在の場合、しばらく使用できない。

2)の場合、

利点

- ・ネットワーク担当者の登録作業が不要。

欠点

- ・NIC のドライバをインストールが必要な場合あり。
- ・NIC のドライバが持ち込み PC の OS に対応している必要あり。

- ・会議等で持ち込み PC が多い場合は、その分の NIC が必要になるため不向き。

3)の場合、

利点

- ・ポート（プロトコル）単位で通信を制御することが可能（対応機種のみ）。
- ・MAC アドレス等で下流接続 PC を制御できる（対応機種のみ）。
- ・会議等の持ち込み PC が多い場合でも対応可能。

欠点

- ・上流ネットワークから下流ネットワークの端末の情報（MAC アドレス）が見えない。
- ・下流ネットワークの接続制限をしていないとつなぎ放題になる。
- ・下流ネットワークの接続 PC が多い場合や複数の PC が大きな帯域の通信を行うとき、個々の PC の通信速度が低下する。

2 機器の選定

計算科学研究センターのゲスト向けインターネット利用の条件として以下のものがあつた。

<条件>

- ユーザが簡単にインターネット利用できること。
- インターネットに詳しくない職員でも利用手続き作業ができること。
- 接続 PC を制御・監視できること。
- ポート（プロトコル）単位で通信制御できること。
- センター行事等で 20～30 名程度のゲストが PC を持ち込むことがあること

上記条件から 1.2 の 3) の NAT 機器での方法を採用することになった。感覚としてはホテルで提供しているインターネットサービスのようなものを想定した。

実際に出張で利用した宿泊者用インターネット利用システムで製品名を覚えているものがあり、開発元に資料請求したところデモンストレーション及び説明の申し出があり、来てもらうことになった。

デモの製品は「POPCHAT コミュニティサーバ」(以下 POPCHAT) であり、条件と比較した。

a) ブラウザでインターネット利用手続き。4～10桁の数字によるワンタイムパスワードの設定可能 (図 1)。

b) 設定ログインが管理者権限とパスワード発行などの最小限の権限とで別設定可能。また開発が日本メーカーであるので日本語表示。



図 1. ワンタイムパスワード発行画面



図 2. トラフィック量表示画面

- c)大雑把ながらプロトコル単位で表示可能 (図2)。
- d)大雑把ながらプロトコル単位で表示可能 (図2)。
- e)営業日く、80 台ぐらいの接続まで大丈夫。

上記の比較を見る分ではまずまず条件を満たしているものと判定したが、これ一つ検証しただけで決定するのは早いと判断し、この時点での導入決定は保留にした。

InteropTokyo2006 等のネットワーク機器品評会にてその他の製品も探したが、会社全体のネットワークを想定したものなど1施設のゲスト向けとして使用するにはオーバースペックなものや予算を大幅に超えているものがほとんどで、最終的に POPCHAT の採用を決めた。

3 計算科学研究センターのゲスト向けインターネット環境構成

センター内で共同利用者などのゲストがインターネット接続することは会議室及びゲストルームの2箇所で、幸いなことに同一のネットワーク用パッチパネル配下であったため1台のHubを介すのみで2箇所部屋へのライン構築は容易であった。ある程度多くのPCが持ち込まれる会議室には無線接続することを想定して、無線アクセスポイントも設置した。ゲストルームは2名定員であるためそれほど多くのPCの接続はないものとして有線のみとした (図3)。

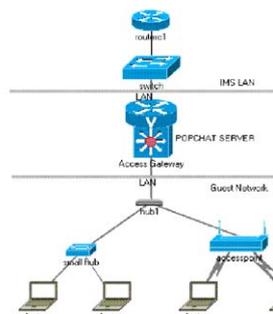


図3. ゲスト用ネットワークモデル

インターネットへの接続はブラウザを開いて初めに適当なサイトに表示する際に強制的にワンタイムパスワード入力画面にさせる方式で、計算科学研究センター用に、利用に関する規程、利用条件 (OS の修正パッチが適用されていることが必要であり、ウイルスに感染されない状態であること等) の記載がこのページ (図4) してある。ゲストが入力するパスワードは数字によるパスワードであるためゲストの負担は少ないと考える。他にすることはIP設定を自動取得 (DHCP) にする (無線の場合は WEP キーによる接続設定も要する) 程度である。

また、この計算科学研究センターはその分野上、PCを持ち込まないゲスト向けに計算機環境の貸し出し需要がある。さらに最近では MacOS と WindowsOS 両方ともに需要があるため、iMac に WindowsOS もインストールしてどちらの OS でも使用可能なものを数台設置した (図5)。当初は OS のパスワードだけでログインした後、ゲストは制限なくインターネットを利用できる状態であ

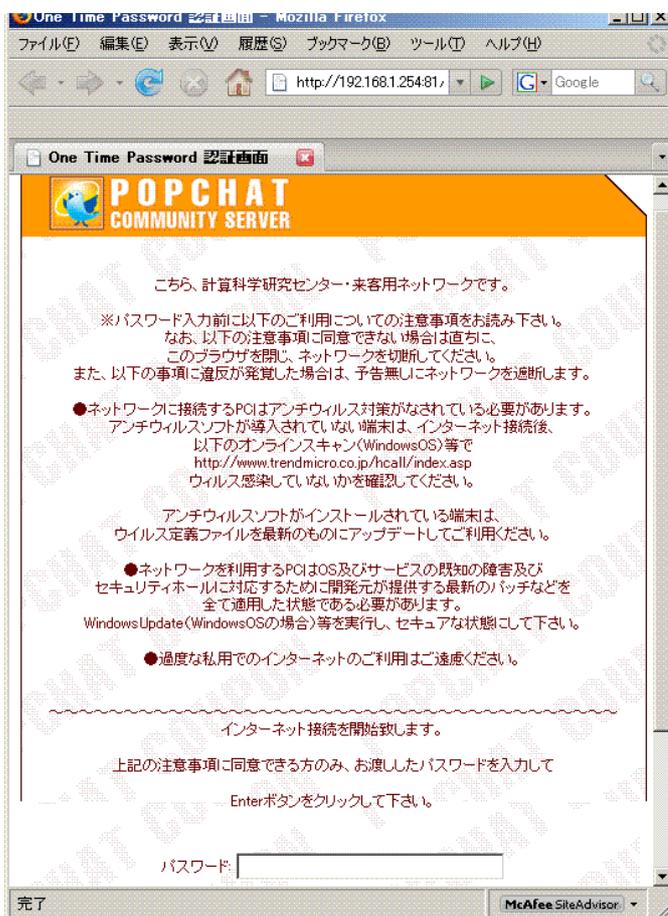


図4. ワンタイムパスワード認証画面

ったが、過去に悪意有る第三者に OS のパスワードが破られ、インターネットを介して研究所内端末が攻撃された例もあることから、これらゲスト用 iMac も POPCHAT の LAN に置くことにし、ネットワークを利用する際にはワンタイムパスワードを要する様にした。

万が一、POPCHAT ネットワーク利用中にインターネット悪用が発覚した場合は図 6 にある「切断」でインターネット利用を強制停止できる。



図 5. ゲスト用 iMac

4 運用上の問題

4.1 デモンストレーション時との仕様変更

当初の広告及びデモンストレーションでは、ゲストの持ち込んだ PC が分子研ネットワーク以外の環境に固定設定されていても POPCHAT 側が PC に対しての代理ゲートウェイ、代理 DNS の様に振舞う機能が搭載していたが、こちらに実装されたときにはその機能は外されていた。しかし他のゲートウェイ機器でも持込 PC の IP 設定は DHCP にしておくものがほとんどであるため、利用者には大きな戸惑いはないようである。

5 今後の改善点など

現在一年ほど運用しているが、トラブルなく順調である。一度作業会として数日間で 10~20 台ほどのゲスト PC の接続があったときも、期間内トラブルなくゲストにインターネットを利用していただいた。

今後はゲストがゲストルーム以外にホスト教員の部屋などで持込 PC にてインターネットを利用したいという要望がある。現在考えている構成はゲスト LAN 用に別途 VLAN を作成し、教員部屋がある棟にゲスト VLAN を伸ばして無線アクセスポイントを置くことを考えている (図 7)。

部屋番号	強制切断	接続開始時間	切断予定時間	金額	パスワード発行方式	パスワード発行番号	IPアドレス	MACアドレス
計算センター-未使用	切断	2008/01/11 15:33	2008/01/11 23:00	0	otp	08011115292700	192.168.1.191	00:00:E2:5A:2D:CF

図 6. インターネット利用者 (端末) 一覧

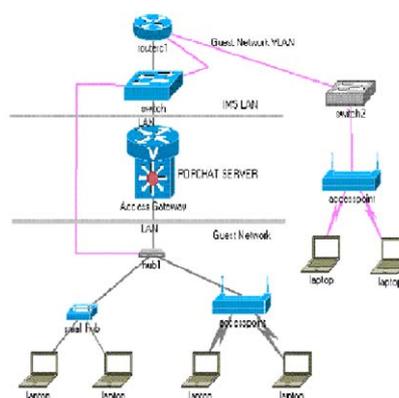


図 7. VLAN を利用した他棟への拡張モデル

参考文献

- [1] POPCHAT ホーム (<http://www.popchat.jp/>)

全国共同利用施設化に対応したネットワーク整備

○谷口麻梨香、福田優子、安原裕子

大阪大学レーザーエネルギー学研究センター 高性能計算機室

概要

大阪大学レーザーエネルギー学研究センター（以下、レーザー研とする）は、平成 18 年 4 月より全国共同利用施設となった。しかし、現在のネットワークシステムは平成 17 年 3 月に導入したもので、全国共同利用施設化はシステム導入後に決定されたため、システム全体として対応することは不可能であった。システム面だけでなく、予算的な制約も厳しい中、認証ネットワークの導入、共同研究者用ネットワークの整備など、全国共同利用施設としてのネットワーク環境整備について報告する。

1 認証ネットワーク導入

レーザー研のネットワークは、MAC アドレス制限を用いた DHCP サーバで運用されていた^[1]。従ってユーザーがネットワークに接続するためには、新しい機器ごとに、事前の申請が必要であった。

2006 年 5 月より、大阪大学全学無線 LAN の試行が開始された。これは SSL-VPN による認証で、ID とパスワードを入力することによってネットワークが利用できるものである。

これを参考にして、レーザー研でも認証によるネットワーク利用ができれば、無線ネットワークの整備や共同研究者用ネットワーク整備などができるのではと考え、導入を検討した。

1.1 導入検討

認証サーバは、NEC システムテクノロジー株式会社の AuthenticationGateway を導入した。

認証ネットワークシステムは、多種多様なものがあるが、非常に高価であったり、クライアントに制限があるものが多かったため、下記項目を選定の基準とした。

- 安価であること
- ライセンス数が無制限であること
- クライアントに専用ソフトウェアが不要であること
- Windows や Mac などの OS を選ばないこと
- 利用履歴を残せること
- 認証サーバの OS が Linux で管理しやすいこと

1.2 認証ネットワーク概要

認証サーバにより、ILE-AGNET と共同研究者 AGNET の二種類のネットワークを実現した。(図 1)

ILE-AGNET は、レーザー研ユーザーが利用し、認証すればレーザー研内ネットワークにも、外部ネットワークにもアクセス可能なネットワークである。共同研究者 AGNET は、共同研究者などの外部ユーザーが利用し、認証されれば、外部ネットワークにのみアクセス可能となる。レーザー研内ネットワークへのアクセスはできない。

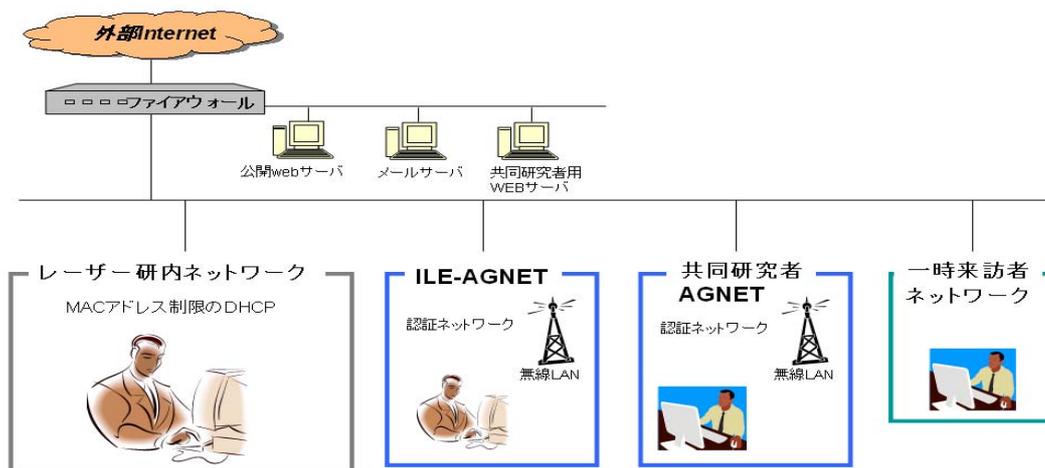


図 1. ネットワーク概要図

1.3 ILE-AGNET 運用開始準備

レーザー研ユーザーが利用する ILE-AGNET のアカウント・パスワードはメールサーバと同じとし、メールサーバのパスワードレベルをより厳格なものにすることとなった。

この方針により、利用申請をしたユーザーがメールのパスワードを一度変更すれば、メールサーバから認証サーバにアカウント情報を渡すツールを開発した。その他、運用管理に必要なツールの準備や、各部屋のネットワーク設定、説明 web ページ (図 2) の作成などを行い、2007 年 5 月より ILE-AGNET を運用開始した。

1.4 ILE-AGNET 運用後の問題点

ILE-AGNET 運用開始において、WEB やメールでのアナウンスはもちろん、利用方法説明会などを行ったが、やはり様々な OS や web ブラウザによつての動作の違いにより、接続できないと相談に来るユーザーが多かった。

web 認証では、ポップアップブロックが一番多い原因だった。認証サーバのポップアップを許可する設定が必要だったが、web ブラウザのブロックは解除したものの、Yahoo や Google ツールバーでブロックされていたケースや、古いバージョンの OS など、どうしても接続できない場合があったりと、運用開始直後は個別の対応が必要だった。

また、認証サーバの URL が、web ブラウザのお気に入りに登録できないため、いちいち URL を入力しなければならなかったのが非常に煩雑であったことから、お気に入りに登録できる URL の web ページを作成し、認証サーバへのリンクをはった。

SSH 認証もできるのが、AuthenticationGateway の利点であり、web 認証に比べ容易にアクセスできるので、SSH 認証で利用しているユーザーも多い。ただ、MacOSX ユーザーは標準のターミナルから SSH が利用でき



図 2. ILE-AGNET web ページ

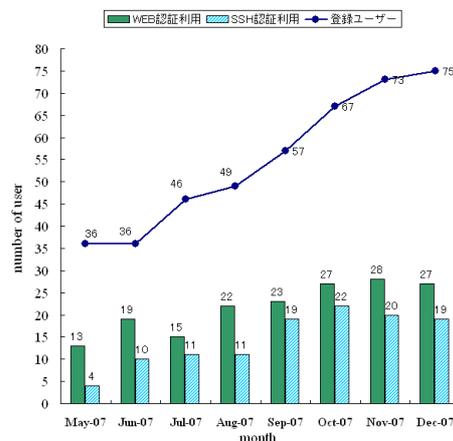


図 3. AGNET 利用状況

るが、Windows ユーザーは SSH ソフトのインストールが必要であるため、普段使っていないユーザーには少し敷居が高かった。

2 無線ネットワークの整備

認証ネットワークの運用開始に伴い、ネットワーク運用委員会の議論の下で、無線アクセスポイントはすべて ILE-AGNET 配下に移行することとなった。

既存の無線アクセスポイントは MAC アドレス制限が必要であったため、無線アクセスポイントの管理が別々になり、同じ部屋に無線アクセスポイントが二つ、三つ設置されてしまうこともあった。しかし ILE-AGNET 配下に接続する場合は、利用者が特定され、ログもとれるので、MAC アドレス制限は不要とした。これにより、管理者の手間も軽減され、グループごとに乱立していた無線 AP をまとめるなど、無線ネットワークの整備ができた。

3 共同研究者用ネットワーク整備

既存の共同研究者ネットワークは、センター内受け入れ職員の手承を得ること、利用の都度ファイルに必要事項を記載すること、決められた場所のみで利用すること、利用規約を遵守することなどの条件の上、事前申請不要で固定 IP アドレスで利用でき^[2]非常に好評であった。運用上の問題はなかったが、ファイルへの記入のみのためインシデント時のユーザーの特定が不確かであったり、サーバが接続されているセグメントであったため、固定アドレスの設定を少し間違えると、重大なトラブルを引き起こす可能性もあり、見直しが必要であった。そこで、共同研究者用ネットワークとして、一時来訪者用ネットワークと共同研究者 AGNET の二種類を整備した。

3.1 一時来訪者用ネットワーク

一時来訪者用ネットワークは、従来と同様ファイルに記入の上、固定アドレスを設定して利用するネットワークである。外部ネットワークにのみアクセスできる。事前申請は必要なく、一時的に web やメールなどを利用したいユーザーのためのネットワークである。従来からの変更点は、新規作成した一時来訪者用セグメントでの利用ということである (図 1)。また、利用場所を削減し、職員の目の届く場所のみにした。

3.2 共同研究者 AGNET

共同研究者 AGNET は、ILE-AGNET と同じ認証サーバを用いたネットワークである。外部ネットワークにのみアクセスできる。レーザー研内ネットワークにはアクセスできない。こちらは事前申請が必要であるが、利用場所の変更にも柔軟に対応でき、無線でも利用できるようにしている。認証サーバに利用ログが残るので、インシデント時のユーザーの特定も可能となった。

3.3 共同研究者 AGNET 運用開始準備

共同研究者のアカウントは任意とし、最大で年度末までのアカウント有効期限をつけ、SSH 認証時にパスワードを変更できるようにした。また、共同研究者 AGNET の申請書 (兼誓約書) には本人及びレーザー研受け入れ責任者の自筆サインが必要であり、来訪前に申請をする場合の手続きが困難であるため、共同研究者は来訪前に電子的に申請書を送付しておき、来訪時に、自筆



図 4. 共同研究者用 web

サインと引き換えにアカウントを渡すという流れとした。

3.4 共同研究者用 web

共同研究者用 web サーバの構築を行った。公開されている web サーバとは別に、レーザー研来訪時にのみアクセスできる web サーバを整備し、共同研究者が来訪時に必要な情報を掲載している。

3.5 共同研究者 AGNET 運用状況

2007年9月の共同実験時に、共同研究者がネットワークを無線で利用したいという要望があったため、共同研究者 AGNET を試行した。施行ユーザーは1名だったが、申請手続きや、認証手順など、問題なく行えた。その後、無線アクセスポイントを追加整備し、利用ユーザーは増えている。来年度からは、ネットワーク申請も共同研究申込のプロセスに組み込むことが決まっており、アナウンスを開始している。

4 最後に

全国利用施設としてのネットワーク整備は、予算的な制限や、様々な利用者の意見もある中、できる範囲で徐々に対応を行ってきた。共同利用はまだ始まったばかりで、色々な要望が出てくると思われ、他機関の仕組みなども参考にしながら、今後も検討をしていこうと思っている。

また、大阪大学総合情報通信システムの ODINS5 期整備も進んでおり、2008年4月1日運用開始に向け、順次導入を行っているところである。全学無線 LAN を、学内ユーザーのみでなく一時来訪者も利用できるシステムも予定されている。

これに合わせてレーザー研では、新 DHCP サーバを導入し IP アドレスの移行を行おうとしており、現在この準備中である。ネットワークは、利用者にとっては動いていて当たり前という感覚があるため、既存の運用にできるだけ影響を与えず、新しいサービスを開始したり、移行したりすることが求められている。できるだけシンプルなシステム構成を心がけ、セキュリティ強化と使い勝手の良さとのバランス、利用者へのわかりやすいアナウンスと教育を考えながら運用していきたい。

謝辞

ネットワーク運用には、ILE-NET 係、ネットワーク運用委員会、ODINS 事務担当、の皆様にも多大なるご協力をいただいたことを、ここにお礼申し上げます。

また、本報告の機会を与えていただいた、核融合科学研究所技術部の皆様に感謝いたします。

参考文献

- [1] 谷口 麻梨香, et al, “レーザーエネルギー学研究センターのネットワーク運用について”, 平成 16 年度大阪大学総合技術研究会報告集, 平成 17 年 3 月, 第 5 技術分野 5-15
- [2] 福田 優子, et al, “大阪大学レーザーエネルギー学研究センターにおけるメールとネットワークの運用管理”, 平成 18 年度名古屋大学総合技術研究会 情報・ネットワーク技術研究会報告集, 平成 19 年 3 月, p17-p20

東京大学におけるパブリックサーバ証明書発行プロジェクトについて

○大島 大輔^{B)}, 西村 健^{A)}, 佐藤 安一郎^{B)}, 佐藤 周行^{A)}

^{A)} アプリケーション支援係 ^{B)} PKI プロジェクト

東京大学情報基盤センター

概要

大学等の教育・研究機関での Web サイトで、シンポジウムの申し込み、各種問い合わせ等の通信に SSL(Secure Socket Layer)を使って通信路を暗号化することは、すでに浸透し常識になりつつある。

こうした社会情勢の中、国立情報学研究所（以下、NII）は、全国の大学・大学共同利用機関等を対象にサーバ証明書の普及推進と証明書発行プロセスの研究をすることを目的として、「サーバ証明書の発行・導入における啓発・評価研究プロジェクト」^[1]（以下、NII サーバ証明書プロジェクト）を開始した。東京大学（以下、本学）でもサーバ証明書^[2]の重要性は以前から認識しており、SSL 通信に対応したサーバを多数運用している。そうした現状を踏まえた上で東京大学情報基盤センターが本学の受け口となり、NII サーバ証明書プロジェクトへの参加を決めた。

情報基盤センター（以下、本センター）では、学内の申請受け口となる組織（東大登録局（以下、TRA (The University of Tokyo Registration Authority))) を立ち上げたほか、運用規定 (CP/CPS) とサーバ証明書発行申請書の様式を作成し、さらにプロジェクトの広報をするため Web ページ^[3]を立ち上げた。本稿では本センターにおけるサーバ証明書発行プロジェクトの活動について報告する。

1 はじめに

本センターでは、大学における認証の調査・研究を行うプロジェクト（以下、PKI プロジェクト^[4]）を 2005 年 1 月に発足させた。PKI プロジェクトでは電子証明書を発行するためのフローや発行における担当者の負荷等を調査・研究するため、プロトタイプの CA (UT-CA: The University of Tokyo Certification Authority) を 2006 年 3 月に構築したほか、2007 年 5 月から東京大学内におけるパブリックサーバ証明書（以下、サーバ証明書）を発行するプロジェクト（以下、PSC (Public Server Certificates Project)）を発足させた。

以下、第 2 章では NII サーバ証明書プロジェクトに参画した背景および目的、第 3 章では PKI プロジェクトが実施してきたこと、第 4 章では今後の課題を述べ、第 5 章で本稿の総括をする。

なお、本稿でいうサーバ証明書とは、主な Web ブラウザの証明書ストアにインストールされ信頼されたものであり、いわゆる自己証明書といわれるものではない。

2 NII サーバ証明書プロジェクトに参画した背景および目的

第 2 章では、NII サーバ証明書プロジェクトに参画した背景および目的について述べる。

2.1 NII サーバ証明書プロジェクトに参画した背景

本学では、学部、研究科、研究所、全学センター等の部局（以下、部局）や研究室ごとに Web サーバやメールサーバ等を管理・運用しており、サーバ証明書を必要とする場合においても部局独自に商用認証局に申請している。また、本来ならばサーバ証明書が必要とされるだろうサーバにおいても予算面等の理由でパブリックなサーバ証明書をインストールしていない場合もある。NII では今回のプロジェクトにかかる費用を

2009年3月までは無料とする決定をした。PKIプロジェクトではTRA（東大登録局）を立ち上げたのを機に本学での申請の受け口となることで、サーバ証明書を必要とするサーバ管理者に対して広くいき渡らせたいと考えている。

2.2 NIIサーバ証明書プロジェクトに参画した目的

NIIサーバ証明書プロジェクトに参画する目的は次のとおりである。

- ・適正な管理をしているサーバに対して、正しい手順でサーバ証明書を発行することができる体制の構築
- ・信頼できるサーバ証明書を使うことによる Web サーバ等の信頼性の向上およびサーバ管理者、サーバ利用者（閲覧者）のリテラシーの向上

3 PKIプロジェクトが実施してきたこと

第3章では、本稿の中心であるPKIプロジェクトが実施してきた方策について述べる。

3.1 TRAの立ち上げ

学内のサーバ証明書申請受け口となる組織（TRA）をPKIプロジェクト内に立ち上げた。TRAは、本学のドメイン「u-tokyo.ac.jp」配下にあるサーバ管理者の申請を受け付けることになる。

各部署のサーバ管理者はNIIのサーバ証明書を必要とする場合、TRAの審査を受けなければならない。ただしサーバ管理者の審査は、直接TRAから審査を受けるのではなく3.2で述べる東大部署登録局の審査を受けることを原則とする。

TRAはサーバ管理者に対して次の事項を実施できることを要求している。

- ・CSR（証明書発行要求:Certificate Signing Request）を作成できること
- ・CSRにあわせて作成される私有鍵の管理に責任が持てること
- ・取得したサーバ証明書のインストールができること
- ・サーバの管理に日々責任が持てること 等

審査は対面で行い、その面接記録を保存している。審査は、(1)職員証をもとにした本人確認、(2)当該サーバの管理体制の聞き取り、(3)ドメインの管理体制の聞き取りなどといった内容である。対面による聞き取りは審査の手間はかかるが、適正でない管理をしているサーバ（サーバ管理者）に対してサーバ証明書を発行してしまつては東大全体の信用問題となり、そういった観点からも厳格な面接をすることは当然のことである。なお、2008年1月現在の取得を含めたサーバ証明書の申請枚数は35枚である。

3.2 TLRAの設置

PKIプロジェクトでは、東大規模のサーバ管理者に対して3.1のような審査を個別に行うことは現実的ではないと考え、TRAの支部であるTLRA(The University of Tokyo Local Registration Authority:東大部署登録局)を設置することにした。

TLRAは2008年1月現在で、情報基盤センター、史料編纂所、新領域創成科学研究科、本部事務局、生産技術研究所の5部署で設置されている。TLRAについてはさらに3.6.1で述べる。なお、CSRとは証明書発行要求(Certificate Signing Request)といい、認証局（本稿ではNII）に対して証明書を発行してもらうための情報のことである。

3.3 Webページの立ち上げ

TRAの立ち上げに伴いサーバ証明書申請方法等を広報するため、Webページを立ち上げた。

3.4 申請書の作成

サーバ証明書の申請に必要な書類を作成した。申請書は TLRA 設置するための帳票と TRA に直接申請するサーバ管理者向け帳票とに大別され、それぞれの目的に応じた申請書を作成した。

3.5 CP/CPS の作成

PKI プロジェクトでは NII サーバ証明書プロジェクトに参加するために CP/CPS を作成した。CP/CPS(Certificate Policy/Certification Practices Statement)とは、サーバ証明書を適正に発行・運用するための規定である。本 CP/CPS は、RFC3647 で定めるような標準的な記述形式をとらず、運用ポリシーの必要な部分のみ記述している。

3.6 PSC の RA 構築モデル

PSC の RA 構築モデルは次のとおりである。

3.6.1 UTnet を利用した RA 構築モデル

PKI プロジェクトでは、東大規模のサーバ管理者に対して個別にサーバ証明書を発行することは現実的ではないと考えた。そこで UTnet (The University of Tokyo network system : 東京大学情報ネットワークシステム) という組織に着目した。UTnet とは本学における情報ネットワークシステムの名称であるが、一方では部局のネットワーク管理者を統括する組織でもある。PKI プロジェクトでは本学の特長である UTnet に TLRA を担当してもらうことを考えた。UTnet が TLRA を担当すればより申請者 (サーバ管理者) に近くなるため、審査はスムーズに行われるであろう。現在はすべての部局の UTnet 担当者が TLRA を担当してはいないが、3.2 で述べたとおり一部の部局では TLRA が設置されている。

実際の申請の流れを説明する。サーバ管理者は、最初に自分が管理しているサーバのドメイン担当者に相談する。自分が属するドメインの管理が正しく管理されていれば TLRA (UTnet 部局担当者) に申請がいき、TRA が本学での最終審査を行う。

具体的な申請フローは次のとおりである。(1)申請者→(2)自分が所属しているドメイン管理者(※)→(3)TLRA(UTnet 部局担当者)(※)→(4)TRA→(5)NII という手順で審査は行われる。NII での審査後、認証局で発行された証明書は、先ほどとは逆に NII→TRA→TLRA→ドメイン管理者→申請者というフローで申請者 (サーバ管理者) に発行される。

※ (2)と(3)は同一組織 (人) の場合が多い

3.6.2 個別にサーバ証明書を発行する場合

PKI プロジェクトでは PSC の RA 構築モデルに該当しない例外的なサーバ (ドメイン) も、多数存在していることを認識している。TRA ではこれらの例外的なサーバ (ドメイン) に対して、個別にサーバ証明書を発行するという手続きも同時に行っている。

具体的な申請フローは、(1)申請者→(2)TRA→(3)NII という手順で審査は行われる。NII での審査後、認証局で発行された証明書は、先ほどとは逆に NII→TRA→申請者というフローで申請者 (サーバ管理者) に発行される。

3.7 東大シール

商用認証局ではサーバ証明書を購入した顧客 (Web サーバの管理者) に対して、サーバシールというサービスを提供している。サーバシールとは、Web サイトの閲覧者に対して、当該サーバが実在するということを見える化するものである。PKI プロジェクトでも試行運用ではあるが、サーバシールのサービスを開始する

準備を進めている。名称は仮に東大シールとする。

4 今後の課題

2007年5月にPSCを開始してから複数の課題が浮上してきた。以下で具体的な課題を述べる。

4.1 TRAが個別に審査するサーバが増えた場合の対応

TLRAの審査によらずTRAが個別に審査するサーバが増えた場合、現状のTRAの体制では人数が足りないことは明白である。これに対応するにはTRAで審査のノウハウを蓄積し、一定のマニュアルを作り段階を踏んでTLRAに委譲したいと考えている。

4.2 東大シールの具体化

東大シール試行運用に向けて準備を進めている。東大シールを具体化するには次の課題がある。

- ・サーバの要件
 - 専用のサーバを購入し、ドメインを取得すること
- ・サーバを停止させない運用
 - 電源の二重化を実施すること
- ・アプリケーション関係
 - 主なWebブラウザで問題なくシールを検証できること（各ブラウザに対応すること）
 - シールのデザインを作成すること 等

上記の課題については解決に向けて順次進めていく予定である。

4.3 TLRAのさらなる設置

現在はまだ多くのUTnet部局担当者がTLRAを担当しているわけではない。今後はさらに多くの部局のUTnetが担当するTLRAを設置し、末端にいるサーバ管理者がサーバ証明書の申請をしやすい環境を構築したい。そのためには、より広く学内に認知してもらう広報が必要である。

5 おわりに

PKIプロジェクトが目指したことは、サーバ管理者からのサーバ証明書発行申請を、正しい手順で正しく発行するというフローの構築および信頼できるサーバ証明書を使うことでサーバ管理者やサーバ利用者のリテラシーを向上させることである。そのためにPKIプロジェクトでは、登録局(TRAとTLRA)の立ち上げ、広報活動(Webページの立ち上げ等)、サーバ証明書申請書の作成、学内のRAの構築などを実施してきた。

今後はさらに様々な事例を審査しサーバ証明書発行フローのノウハウを蓄積して、サーバ管理などを含む学内のコンサルティング業務などを行いPKIプロジェクトの存在をアピールしたいと考えている。

参考文献

- [1] 国立情報学研究所「サーバ証明書の発行・導入における啓発・評価研究プロジェクト」：
<https://upki-portal.nii.ac.jp/cerpj/>
- [2] カーライル・アダムズ, スティーブ・ロイド, ピアソン・エデュケーション, 「PKI公開鍵インフラストラクチャの概念, 標準, 展開」, ISBN:4-89471-248-2, 2000.
- [3] パブリックサーバ証明書発行東大登録局：<http://www.pki.itc.u-tokyo.ac.jp/cerpj/>
- [4] 東京大学情報基盤センターPKIプロジェクト：<http://www.pki.itc.u-tokyo.ac.jp/>

名古屋大学 ID 運用に伴うツールプログラムの開発

○山田一成^{A)}、堤 守政^{A)}、田島嘉則^{A)}、柘植 朗^{B)}

^{A)}名古屋大学全学技術センター 研究所・センター技術系（情報連携基盤センター）

^{B)}名古屋大学全学技術センター 情報通信技術系（情報連携統括本部情報サポート部）

1 はじめに

名古屋大学内で運用している情報システムは、大小さまざまな規模のものが多数あり、それぞれ利用者を特定する為の利用者 ID が必要で、利用者からみると、利用者 ID を複数覚えなければならず、管理者からみると、それぞれ利用者管理をしなければならない。このような問題を解決するため名古屋大学では学内のさまざまな情報システムに共通利用できる ID（全学 ID）を平成 17 年 1 月から正式運用している。しかし、この全学 ID には、次のような問題^[1]が出てきた。

・ ID から個人を特定されやすい ・ 一人で複数の全学 ID を所持 ・ 卒業生や退職者への ID 発行
これらの問題を解決するために、ID から個人を特定されにくくし、生涯利用できる一人 1 ID を付与するという考えから名古屋大学構成員（学生、教職員、卒業生、退職者）に名古屋大学 ID を発行することとなり、平成 20 年 1 月運用を開始した。

今回、全学 ID から名古屋大学 ID へ移行するにあたり、名古屋大学 ID 作成ツールや運用時に使用する管理運用ツールを開発したので報告する。

2 開発環境

全学 ID 及び名古屋大学 ID はどちらも LDAP(Light weight Directory Access Protocol)サーバに登録される。そこで、新たにテスト環境用の LDAP サーバを立ち上げることとした。また、開発するツールプログラムは、コマンドラインにて実行する CUI 版とブラウザ上で操作する GUI 版を求められており、CUI 版は perl で、GUI 版は JAVA プログラムの JSP/サーブレットを使用することとした。そして、これらが動作するように開発環境用のアプリケーションサーバも立ち上げ、ツールプログラムを実行するテスト環境を構築した。さらに並行して、ツールプログラム開発言語（JAVA）の勉強会^{[2] [3]}を著者らで週に一度、2 時間程度、2 ヶ月間、合計 16 時間程度実施し学習をした。

2.1 LDAP サーバのテスト環境構築

テスト環境用 LDAP サーバの開発環境は表 1 のように構成した。

表 1 開発環境

機 種	SUN Fire V240	OS : Solaris9(SunOS 5.9)
LDAP サーバソフト	Sun ONE Directory Server 5.2	

名古屋大学用の OID(Object Identifier)を使用し、名古屋大学 ID 用各種属性を定義した。

LDAP データは、テスト用に LDIF(LDAP Data Interchange Format)形式として作成し、投入した。

2.2 プログラム開発環境用アプリケーションサーバ構築

プログラム開発環境用アプリケーションサーバの開発環境は表 2 のように構成した。
すべてのモジュールはソースプログラムからコンパイルし、インストールをおこなった。
Perl から LDAP へ接続するために perl-ldap を使用した。JAVA から LDAP への接続には、LDAP に特化してい

る点を考慮し、Novell 社が開発・提供している JLDAP(LDAP Class Libraries for java)を使用することとした。なお、JLDAP は、IETF(Internet Engineering Task Force)が標準化を進めている API(Application Program Interface)である。

表2 開発環境

機種	SUN Fire V240	OS : Solaris9(SunOS 5.9)	
モジュール	perl 関係 : perl-5.8.7 perl-ldap-0.33 Convert-ASN1-0.20 IO-Socket-SSL-0.991 Net_SSLeay.pm-1.30 DBD-mysql-3.0006_1 DBI-1.51 Jcode-2.06 Authen-SASL-2.10 TermReadKey-2.30 XML-Parser-2.34 Digest-MD5-2.36 URI-1.35	MySQL 関係 : mysql-5.0.24 SSL 関係 : openssl-0.9.8b Apache2 関係 : httpd-2.0.59 openldap 関係 : openldap-2.3.21 db-4.4.20	Java 関係 : java 1.5.0_06(jdk1.5.0_06) jakarta-tomcat-5.0.28 mod_jk2.0.4 novell-jldap-2006.09.28 maven-2.0.7

管理・運用ツールのログを保存するため、mysql、DBI、DBD-mysql をインストールした。

その他、コマンドライン上に入力するパスワードを表示しないようにする TermReadKey や文字コードを変換する Jcode、Apache と Tomcat を連携させる mod_jk2 もインストールした。

また、クライアントのブラウザと Apache が安全に通信するために SSL(Secure Sockets Layer)通信をおこなうよう設定をした。

3 ツールプログラムの概要

2. で示した開発環境を使って著者らが開発したツールプログラムは次のとおりである。今回「属性値管理」を中心に概要を述べる。ただし、ツールプログラムは、要望等によって、日々改変がおこなわれており実際とは異なる場合がある。

- ・ 名古屋大学 ID 作成
- ・ エントリの移動・消去
- ・ 管理者用パスワード変更
- ・ 属性値管理
- ・ パスワード通知書作成
- ・ 作業記録の作成

3.1 名古屋大学 ID 作成

教職員及び学生の基本データをもとに、名古屋大学 ID を発行し LDAP サーバに登録するための LDIF 形式ファイルを作成するツールである。Perl にて作成。

名古屋大学 ID の体系はアルファベット（小文字）2桁+数値7桁で、ランダムな英数字である。

また、生涯一人1IDが原則であるため、学生から教職員へ身分が変更された場合などの処理が必要である。

3.2 エントリの移動・消去

異動や退職・退学により、エントリ（LDAP サーバに実際に登録されている実体）に登録されているユーザを移動・削除するツールであったが、生涯一人1IDの関係上、エントリの属性値を変更して対応することとなったため、3.4 で示すツールで対応することとした。

3.3 管理者用パスワード変更

パスワードと初期パスワードはエントリの属性のひとつとなっており、初期パスワードを SSHA(Salted

Secure Hash Algorithm)にて暗号化してパスワード属性に格納するツールである。Javaにて作成。

3.4 属性値管理

改姓や退職などにより、登録しているユーザの属性値を変更・追加・削除するツールである。件数の多い属性値更新処理用（一括処理用）に CUI 版（Perlにて作成）、件数の少ない属性値更新処理用（数件処理用）に GUI 版（Javaにて作成）を作成した。また、複数属性値にも対応した。

このツールに求められた主な仕様は次のとおりである。

- ① 情報連携基盤センターの管理者と各学部の管理者が利用するが、それぞれ更新できる属性が異なる。
- ② 更新対象の属性名が変更・追加・削除されてもツールプログラムは改変しなくても良いこと。

この主な仕様に対して次のとおり対応することとした。

対応：それぞれの管理者に対して、変更・追加・削除が可能（許可）な属性には ” 1 ”、不可能（不許可）な属性には “ 0 “が入力された更新権限表を作成し、この更新権限表を基に変更・追加・削除が可能な属性を判断することとした。

・ CUI 版の概要

更新内容が書かれた次の書式の入力ファイルを読み込み、各属性値を変更(U)・追加(A)・削除(D)する。

(入力ファイル)

indata.csv 更新内容が書かれたファイル 1行1件、タブ区切り、文字コードは shift-jis

データの並びは次のとおり

該当するエントリの名古屋大学 ID、変更・追加・削除しようとする属性名、変更の種類（削除：D
変更：U 追加：A）、変更後の属性の値

例 1（属性値が 1 個の場合）： ja2345678 fax U 789-8888

例 2（属性値が 2 個の場合）： ja2345678 fax U 789-8888 789-9999

(属性値の変更部分のコード)

```
$result = $ldap -> modify($dn, <- dn でエントリ指定。変更属性名の属性値を  
replace => {$hzokusei => [@hgozokuseiti]}); 変更後属性値に変更する
```

(属性値の追加部分のコード)

```
$result = $ldap -> modify($dn, <- dn でエントリ指定。追加属性名に属性値を追加する  
add => {$zokusei => [@zokuseiti]});
```

(属性値の削除部分のコード)

```
$result = $ldap -> modify($dnval, <- dn でエントリ指定。削除属性名を指定  
delete => {$szokusei => []});
```

・ GUI 版の概要

ブラウザ画面にて、各属性値を変更(U)・追加(A)・削除(D)する。

(属性値の変更部分のコード)

```
lc.modify( dn, new LDAPModification(LDAPModification.REPLACE, new LDAPAttribute( hzokusei,  
hgozokuseiti )); —>dn でエントリ指定。変更属性名の属性値を変更後属性値に変更する
```

(属性値入力画面)

変更・追加する場合は変更したい属性名のボタンをクリックし、編集画面にて編集する。削除したい場合は削除したい属性名のボタンをクリックし、削除画面にて削除する。

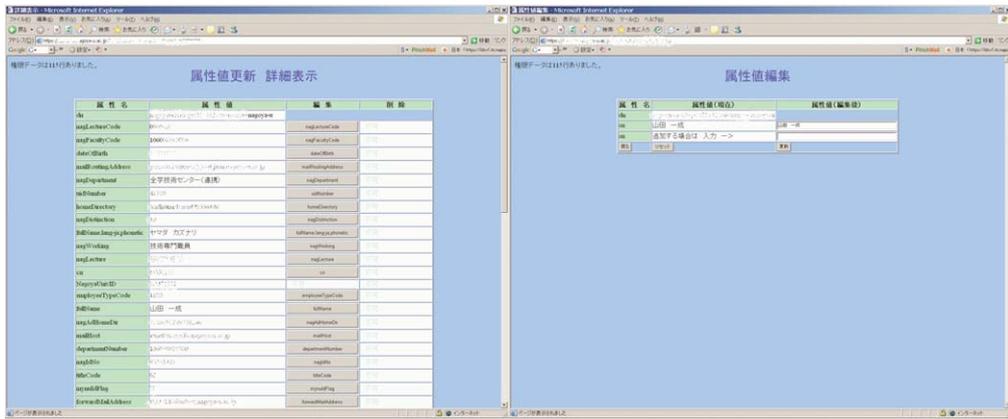


図 1

3.5 パスワード通知書作成

新規に名古屋大学 ID を発行したときに、初期値として設定したパスワードを利用者に通知するものである。また、パスワードを失念したと申し出があった場合など、個別に出力する機能もある。Java にて作成。

3.6 作業記録の作成

各ツールプログラムの作業記録をログとしてデータベースへ保存するようにしている。具体的には、作業前と後にそれぞれの時点でのエントリ内容を LDIF 形式として保存し、元に戻したい場合には、その LDIF ファイルを使って復元をおこなう。Java にて作成。

4 おわりに

今回、平成 20 年 1 月から運用を開始した、名古屋大学 ID サーバの管理・運用ツールに関して述べた。正式運用の名古屋大学 ID 用 LDAP サーバの稼働が 12 月下旬であったこともあり、予定よりテスト期間が短くなってしまった。また、細かな仕様変更も重なった。このような状況ではあるが、12 月採用者等に新規名古屋大学 ID を発行しユーザ登録を完了することができた。また、教職員宛にパスワード通知書を作成し通知も完了した。さらに、管理者用パスワードツールも大きな問題なく利用できている。今後は、仕様変更によるメンテナンスと作業担当者に使いやすいツールを作成するなどの課題は残っているが、これらを踏まえてプログラム開発をしていきたいと考えている。

最後に、本開発を進めるにあたり、「平成 19 年度名古屋大学技術職員研修（情報通信コース）」の研修内容が開発環境の構築（サーバ証明書等）に役立った。更に、日頃サポートしてもらっている情報連携基盤センターの同僚諸氏に感謝する^{[4][5]}。

参考文献

- [1] 間瀬健二・平野 靖・梶田将司, “名古屋大学 ID の導入について” 名古屋大学情報連携基盤センターニュース, Vol.5 No.4 2006.11
- [2] 岡田謙一他, “新 Java 教科書” (株) ソフト・リサーチセンター
- [3] 山田祥寛, “10 日でおぼえる JSP/サーブレット入門教室 第 2 版” (株) 翔泳社
- [4] 堤 守政・田島嘉則・山田一成・田島尚徳, “名古屋大学 ID のための管理・運用ツールの作成について” 技術研究会報告, 分子科学研究所, No.17 2006.3
- [5] 田島嘉則・山田一成・柘植 朗・堤 守政, “名古屋大学 ID サーバ正式運用に伴うツールプログラムの開発” 研究開発論文集, 全国共同利用情報基盤センター, No.29 2007.10

予算執行管理改善のための管理システムの開発

中村京子

自然科学研究機構 国立天文台

概要

国立天文台では予算は主にプロジェクト単位で配分されるが、2,3の委員会にも運営経費として配分されている。委員会予算は多くはないこともあり、その執行管理は主に委員が行っている。実際の会計処理は全台的な会計システムで行われるが、委員会予算をこの大規模な会計システムのみで管理するには大仰であり、今までは別に手作業で執行管理を行っていた。ただ他に主業務がある上での作業のため、予算額がそう多くはないとはいってもそれなりの時間を要した。そこで主業務にこれ以上悪影響がでないよう、委員会予算関係の作業時間を減らし効率をあげるために新たに管理システムを開発した。今回は主業務についての発表ではないが、業務改善のために作成した本システムについて報告する。

1 はじめに

2004年度の法人化で発足した自然科学研究機構は新たに導入した「財務会計システム」で会計処理を行っており、国立天文台も法人化当初からこのシステムを使用している。予算が配分されている各プロジェクトの事務担当がシステムに入力した後は、財務課の各担当がしかるべき処理を行い、各種購入や旅費交付等が行われる。この財務会計システムは会計実務者にアカウントが交付される。予算は少数の委員会にも配分されており、担当所管の事務組織がないところは委員が予算執行管理を行うが、実務は特別にプロジェクトの事務担当に依頼する場合もある。現在私が委員を務めている技術系職員会議運営委員会もそのような委員会の一つである。私自身は2005年度から予算を担当しているのだが、財務会計システムを直接扱うことはせず、予算の使用額を把握する程度であった。2007年度になって事務担当の本業務が増大したため委員会予算の執行体制の見直しが行われたのだが、これを機に予算管理業務の明確化と実務処理の簡素化を実現した。

2 委員会の予算管理体制

2.1 技術系職員会議運営委員会

国立天文台では法人化に際し、技術系職員全体に関わる事項の審議を行い必要に応じて建議する機関として、技術系職員全員がメンバの技術系職員会議を新たに設けた。ただし全員が会する全体会は原則年に一度の開催であるため、通常は会議が選出した委員で構成する運営委員会が活動する。技術系職員会議は法人化前には別の名前で非公式組織として活動していたものが母体であって、当時は台内で技術シンポジウムを主催する際の旅費予算を配分されていた。正式組織となった後は予算額も若干増えたため、運営委員会では技術系職員の技術力向上の事業などにも予算を活用している。

2.2 従来の予算執行体制

法人化前の旧技術系職員会議では、会計実務は当時の予算担当が所属しているプロジェクトの一事務担当Aに特別に依頼して行っていた。法人化後もその形を踏襲したため、実務はAが継続して担当した。その関係を図1に示す。

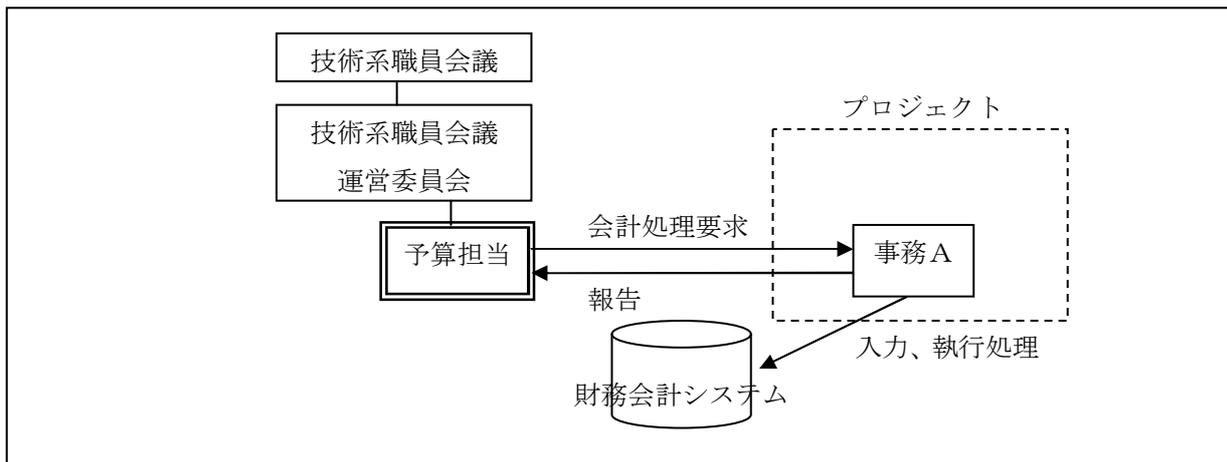


図 1. 従来の予算執行体制

2.3 予算執行体制の変更

A が所属するプロジェクトの事務作業が本年度から増大することとなったため、A 個人に依頼していた会計処理のあり方を再検討することとなり、国立天文台として正式に A 所属のプロジェクトの事務が技術系職員会議予算の担当所管となった。この変更を機に会計実務の作業は管理が伴わない作業（金額の計算と財務会計システムへの入力等）のみとし、運営委員会の予算担当は財務会計システムのアカウントを新たに取得し、予算の執行処理全般を一元管理することとした。

新しい体制では、予算担当の実作業を増やさないう別に予算管理システムを開発し、予算申請からの処理を一部自動化した。またこれは運営委員が予算執行状況を随時確認し監査もできるよう web ベースのパスワードログインシステムとし、予算担当委員・監査委員・その他の委員で実行される処理内容を変え、担当者別の権限を明確化した。図 2 が変更した体制である。

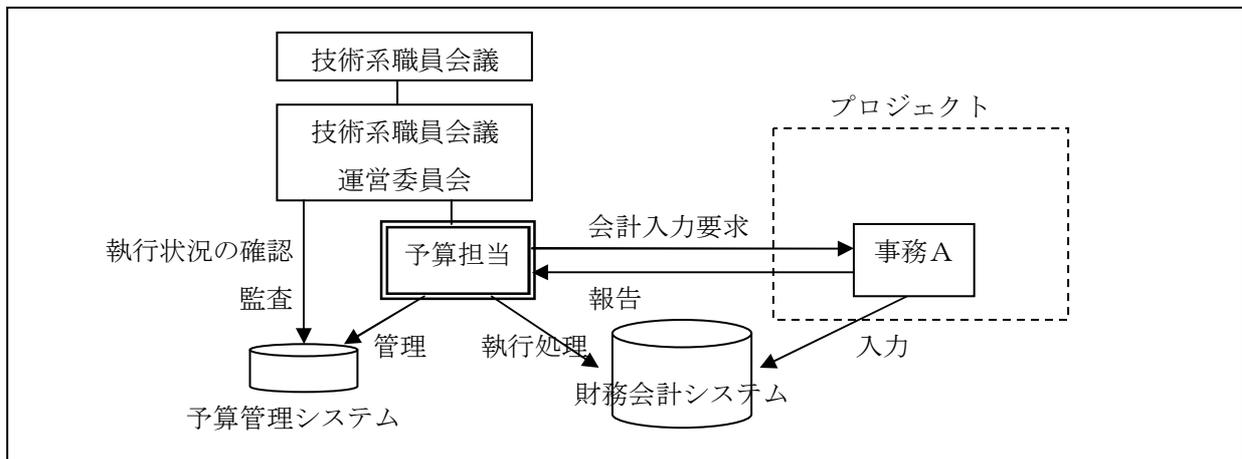


図 2. 現在の予算執行体制

3 予算管理システム

3.1 システム概要

予算管理システムは Apache (v1.3) が常駐する web サーバ (Solaris 7) 上にあり、perl 言語で書かれた CGI

プログラムである。DB としては同じサーバ上の MySQL (v4.0) を使って申請情報や予算額、執行状況等のデータを管理する。予算申請者や運営委員は自端末から web ブラウザを通してシステムに入り、入力その他の処理を行う。ただし本システムは財務会計システムとは連動するものではなく、従来手作業で行っていた予算執行管理の自動化を目指した、予算担当の作業を補助するためのものである。予算申請者や予算担当とシステムとの関係の概要を図 3 に示す。

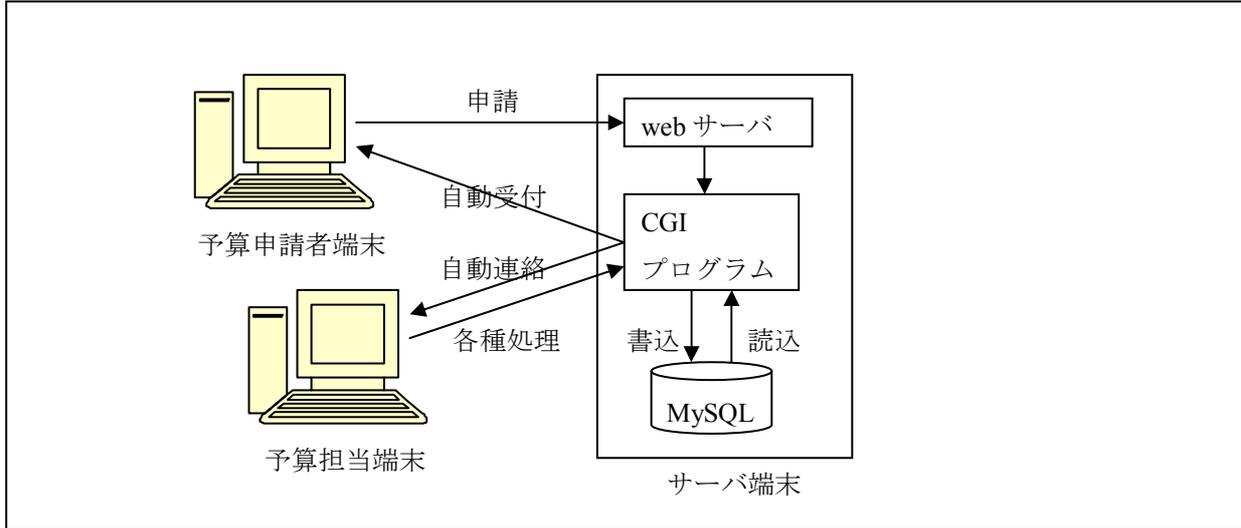


図 3. システム概要

3.2 処理の流れ

予算管理システムを使った処理の流れを図 4 に示す。予算申請者が申請フォームに入力すると、CGI プログラムが予算担当に申請連絡をメールで通知する。通知を受けた予算担当は、自動作成された HTML ファイルを開き入力データを確認し必要に応じ変更し、問題がなければ受理する。すると CGI プログラムは会計実務へ申請情報を財務会計システムに登録するよう通知する。

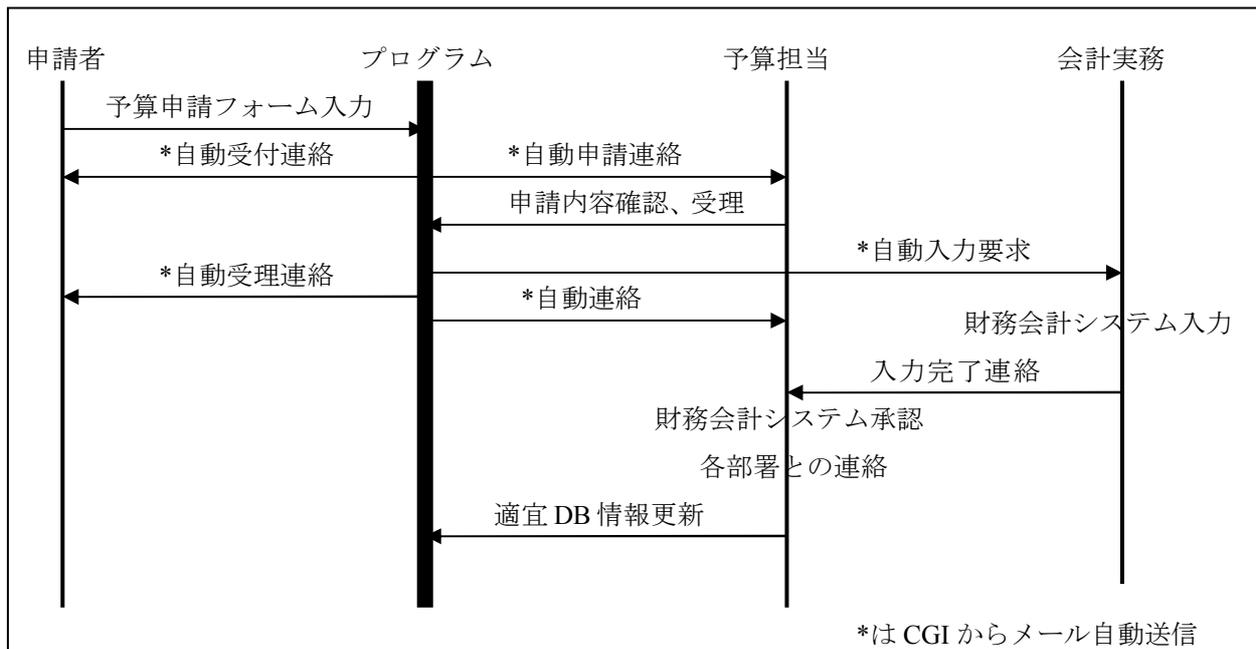


図 4. 処理の流れ

3.3 CGI の処理概要

CGI プログラムは申請フォームとデータ管理の二つに分かれる。申請フォームは台内で公開している技術系職員会議ホームページにリンクされており、関係者であればいつでも申請できる。申請フォームは入力された情報を HTML ファイルに保存する。予算担当がその HTML ファイルをブラウザに表示し確認・修正のうえ申請を確定すると、申請されたデータが DB に登録される。以前は手作業で行っていた各種連絡が自動化され時間の短縮になったと共に、データを間違えなく正確に伝えることができるようになった。また以前はエクセルファイルにデータを一つ一つ自分で書込み、変更も手作業で行っていたのだが、本システムのおかげでデータの扱いがはるかに楽になった。

データ管理プログラムはログインユーザの権限に応じた処理を実行する。予算担当は DB に登録された全データの閲覧と編集が可能である。監査役は等級号俸等の個人情報の部分を除いた全データの閲覧が可能であり、他運営委員は予算執行額の全体状況が閲覧できる。これにより入力された情報を安全に管理するとともに、関係者全員が予算執行状況をいつでも把握できるようになった。

3.4 本システムの開発について

これらのプログラムは今回すべてを新しく開発したというわけではなく、申請フォームは以前に行っていたユーザ管理の際に作成したプログラムをもとに、データ管理プログラムは現在本務で運用しているファイル管理プログラムを基本として作成した。従って本務への支障を最小限として比較的短時間で開発することができた。また逆に言えば、これら以前からの資産があったことが今回本システムを作る動機になったともいえる。

4 まとめ

今回の発表は本務で開発したシステムについてではなく、副業務で必要に迫られて急遽作成したものであった。そのため特に目新しい技術をシステムに盛り込んだというわけではなく、今まで培ってきた技術を組み合わせで作成したものである。ただ、今までは他のユーザのためにシステムを開発するばかりであったのだが、今回は自分のために開発したものであったため、作成したシステムを自ら検証するという機会を得ることができた。実際に使ってみると、データ変更をもう少し簡単な操作で実現できないものか、このデータは一覧にも表示したほうがよいのではないかなど、使い勝手の点でさまざまな示唆を与えられている。これらは本務で開発しているシステムにも応用できるものであり、今回の経験をフィードバックしてユーザがより使いやすいシステムを今後作っていきたいと思っている。

また今回のシステム開発の背景にある委員会の予算執行体制は、法人化で台内の体制が大幅に変更されたにも関わらず実務の役割分担があいまいなままで取り残されたものであった。今回の開発にあたっては、法人化が施行されて 4 年目の本年度になって、ようやく施行以降のごたごたが片付きつつあり新たな体制が固まりつつあることを感じた、そのような機会でもあった。

異機種計算機統合による材料設計専用スーパーコンピューティングシステム

○一関京子^{A)}、三浦重幸^{A)}、野手竜之介^{A)}、佐藤和弘^{A)}、五十嵐伸昭^{A)}、川添良幸^{B)}

^{A)} 東北大学金属材料研究所 テクニカルセンター

^{B)} 東北大学金属材料研究所 計算材料学研究部門

概要

東北大学金属材料研究所（以下「金研」という）は、物質・材料の学術研究および応用研究の世界的中核拠点の一つとして、対象物を鉄鋼から金属全般、さらには非金属へと広げつつ、研究の高度化とその社会へ還元を目指している。このため、金研においては、従来の理論と実験を中心とする研究体制に加えて、シミュレーション研究を融合した新しい材料研究体制の実現を目指して、種々の企画を立案・実現させて来た。平成5年度のスーパーコンピューティングシステム（以下「スパコンシステム」という）導入以来、それを活用することによって多数の高度な研究成果を挙げてきたが、今後必要とされる高度な材料設計シミュレーション研究内容に対応するため、5年間ほどはその需要を十分に処理可能なスパコンシステムを平成18年度に導入した。

スパコンシステムは、1台の演算装置によっては処理が不可能な大規模ジョブを処理する必要があり、また共同利用施設でもあるので、複数の利用者が同時に効率良くサイズや処理内容が異なるタイプの計算プログラムを実行できる必要がある。全体システムとしての処理効率向上のために、大規模ジョブ用のスーパーコンピューター本体に加え、多数の小規模ジョブやテスト計算を効率良く実行出来る高速なスカラプロセッサを多数連結したアプリケーションサーバーを導入し、利用者がどのサーバーにも容易にアクセスできる環境としてストレージを中心に異機種計算機を結合したシステムを構築した。スーパーコンピューターとアプリケーションサーバー群は、それぞれ機種が異なり、製造メーカーも異なる計算機群である。利用者に提供する際は、計算機間の差異を感じさせることなく、統合されたひとつのシステムとして見えるよう検討した。スパコンシステムの概要、導入にあたって検討したユーザーインターフェース、導入後のシステムチューニングなどを中心に報告する。

1 スーパーコンピューティングシステム

金研で導入したスパコンシステムはスーパーコンピューター (HITACHI SR11000 モデル K2) のほかに、アプリケーションサーバーA (NIWSGene/S Turbo)、アプリケーションサーバーB (HP ProLiant BL35p)、アプリケーションサーバーC (SGI Altix 450)、ファイルサーバーおよびバックアップサーバー (IBM System p5 520)、ストレージシステム (日立 SANRISE AMS1000)から構成されており、これらのサーバーが高速ネットワークで統合的に接続されている。システム概要を図1に示す。スパコンシステムの基幹ネットワークは10Gbpsで、各サーバーとストレージシステムとは、アプリケーションサーバーA以外ファイバーチャネルで接続されている。

スーパーコンピューターは、HITACHI SR11000 モデル K2 51 ノードで、理論演算性能は7.5TFLOPSの性能、総主記憶容量は5TBを搭載している。各ノードのソフトベクトル化機能も強化されており、超大規模なベクトル化および並列化プログラムを実行する。アプリケーションサーバーAは、稼動系として独立した2台の密結合分散メモリー並列型演算サーバーによって構成される並列演算用システムである。高性能密結合分散

並列アーキテクチャの計算サーバーであり、特にスケーラビリティに優れるのが特徴であるので、並列化効率の良い特定のプログラムの実行に使用する。アプリケーションサーバーBは、48 台の演算ノードとそれらをギガスイッチで相互に接続した汎用性の高いクラスター構成の計算サーバーである。AMD64 のアーキテクチャに汎用 OS である Linux を搭載しているため、ほとんどのプログラムが実行可能となっている。材料設計に有用な市販のアプリケーションを多数インストールしている。アプリケーションサーバーCは、総主記憶容量 384GB を持つ分散共有メモリアーキテクチャの計算サーバーで、大容量のメモリーを使用するプログラムを実行する。

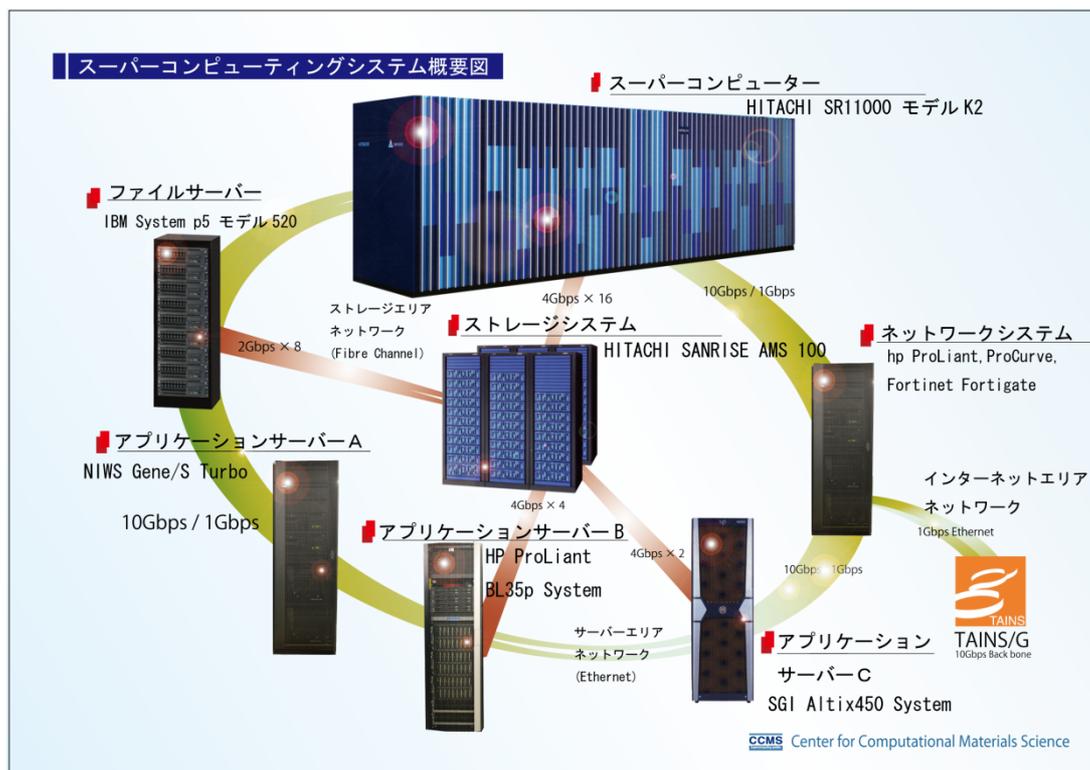


図 1. スーパーコンピューティングシステムの概要図

2 ストレージシステム

以前のスパコンシステムでもスーパーコンピューターと複数のアプリケーションサーバーを導入していたが、ディスクは各サーバーに直接接続する DAS (Direct Attached Storage) 接続であった。使用しているうちには、ディスク容量が不足したサーバーとディスクに余裕のあるサーバーが出てきたが、DAS 接続では基本的にディスクはそのサーバーが占有して使用するためほかのサーバーに流用することはできず、ディスク容量が不足してきたサーバーではそのつどディスクを購入して増設していた。そこで、今回はストレージシステムを導入し、共通のプールから各サーバーに必要な量だけディスクを割り当てられる SAN (Storage Area Network) 接続とした。ユーザーのホームディレクトリやサーバーのローカルディスクとして使用する高速の FC ディスクを物理容量で 300TB、ホームディレクトリやシステムアプリケーションのバックアップ領域およびスパコンシステムユーザーの PC のファイルサーバー領域として使用される SATA (Serial ATA) ディスクを物理容量で 700TB の計 1PB のストレージシステムを導入した。

2.1 ストレージのレイアウト

1PB のストレージをサブシステム#1 から#8 に分け、それぞれ FC ディスク、SATA ディスクの混在した構

成にした。FC ディスクは RAID5、SATA ディスクは RAID6 で構成し特に SATA ディスクの信頼性を高めている。サブシステム#1 から#4 の総量約 125TB はユーザーのホームディレクトリ (/home、/home01、/home02、/home03) に割り当てることにしているが、当面、/home だけとし 31TB を割り当てている。サブシステム#1 から#4 の SATA ディスクは、ホームディレクトリのバックアップ用とし、サブシステム#1 のホームディレクトリのバックアップはサブシステム#2 に、サブシステム#2 のホームディレクトリのバックアップはサブシステム#1 に取っている。また、将来的にディスク使用量が増大することに備え、長期間使用しないファイルを FC ディスクから SATA ディスクに移行するマイグレーション処理も行えるように設定してある。なお、まだ使用していないディスクは、ストレージの省電力機能によりスピンドウン（回転停止）している。

3 ジョブインターフェースの統一

スパコンシステムはそれぞれ特徴をもった異種の計算機から構成されている材料設計専用のシステムであるが、スーパーコンピューターで実行するには効率の良くないアプリケーションソフトウェアもあり、アプリケーションサーバーが補完するようシステムを構成している。システム全体の実効効率を上げるためには、センターの意向通りにジョブを実行してもらう必要があり、ユーザーが機種の違いを特別意識することなく設定キューにジョブが投入できるようなシステムを開発した。スパコンシステムはスーパーコンピューターでは Load Leveler(以下「LL」という)、アプリケーションサーバーでは LSF (Load Sharing Facility) と 2 つのジョブスケジューリングソフトウェアを使用しているが、LL と LSF を連結し、仮想的に単一に見えるジョブスケジューリングシステムのインターフェース（以下「ジョブ一元管理システム」という）である。

3.1 コマンド体系の統合

ジョブ投入のコマンドは LL では `llsubmit`、LSF では `bsub` と異なっていたため、ジョブ一元管理システムでは新たに `submit` という統一コマンドを作成した。`submit` コマンドではジョブが投入された場合には、アプリケーションごとに内部で適切な環境変数を追加したジョブのコマンドファイルを自動的に作成して実行するようになっている。また、ジョブを削除するコマンドとして `jobdel`、ジョブの状態を表示するコマンドとして `statj`、キューの状態を表示するコマンドとして `statq`、キューの設定情報を表示するコマンドとして `qinfo` コマンドを作成した。

【 ジョブを投入する `submit` コマンドの例 】

例. スーパーコンピューターへのジョブ投入

```
% submit EB vasp
```

EB はスーパーコンピューターのキュー

例. アプリケーションサーバーへのジョブ投入

```
% submit cg03 input_file
```

cg03 はアプリケーションサーバーの Gaussian のキュー

3.2 実行サーバーの統合

本来であれば、LL のコマンドは LL がインストールされているサーバーからのみ、LSF のコマンドは LSF がインストールされているサーバーからのみしか実行できないが、ジョブ一元管理システムでは内部で `rsh` コマンドを発行し、対象のサーバーでコマンドを実行しているため、スーパーコンピューターとアプリケーションサーバーの区別なく、どのサーバーからでもコマンドが実行できるようになっている。

3.3 携帯電話への表示

ジョブやシステムの状況は一定時間ごとに Web サーバーへアップロードされ、ユーザーは指定の URL へ

携帯電話でアクセスすることで自分のジョブの情報を確認することができる。携帯電話の画面の大きさは限られているため、表示は文字列を短縮して画面内に収めるようにしている。これにより、ユーザーはどこからでも自分のジョブの状況を確認することができ、システム管理者はシステムの状態を確認することができる。

4 システムチューニングツールの開発

4.1 稼働状況のリアルタイムグラフの作成

スパコンシステムの各サーバーは特徴をもっており、その特徴を生かすようなジョブ実行を目指している。そのためにはまず現在の使用状況をリアルタイムに把握することが重要である。今回更新したスパコンシステムの多くは、1ノードが複数のCPU(コア)から構成されているが、CPUがどのように利用されているか、どのアプリケーションがどのような割合で利用されるかをシステム管理者の視点で直観的に把握するため、瞬間毎の各CPUの使用状況をグラフ化する稼働状況のリアルタイムグラフ化システムを開発中である。図2にリアルタイムグラフの一部(スーパーコンピューターの稼働状況)を示す。

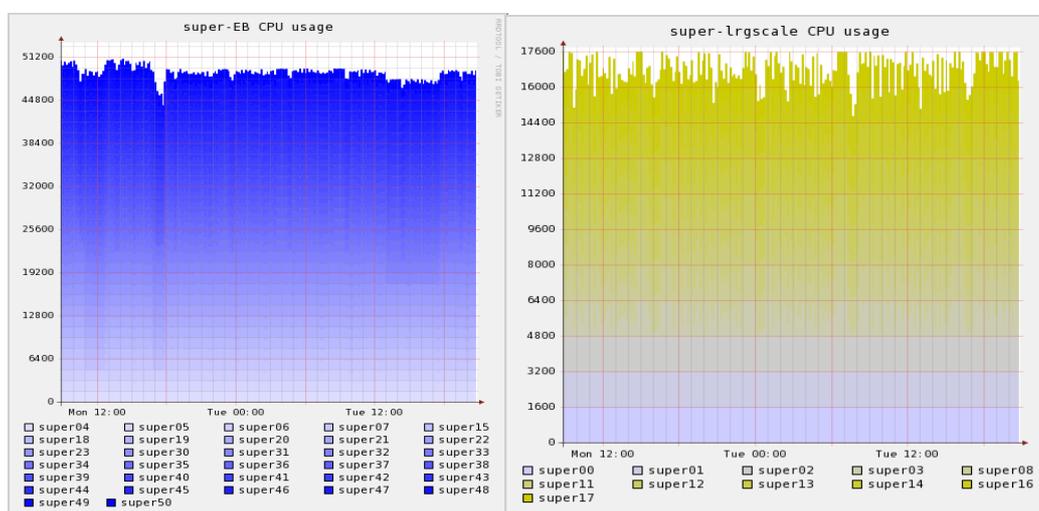


図2. リアルタイムグラフ一部(スーパーコンピューターの稼働状況)

4.2 ジョブ制御機能

スパコンシステムは共同利用施設として利用されるため、スーパーコンピューターの利用率を上げるとともに、ユーザーのジョブが偏らず平等に実行される必要がある。そのため、LLのジョブの稼働状況から必要な情報を抜き出し、それをもとに各クラスに割り当てるノード数算出し、さらに各クラスで起動できるジョブ数を決定してLLに対しジョブの起動指示を行うジョブの起動制御を開発中である。

5 おわりに

スパコンシステム更新から9ヶ月経った。スーパーコンピューターはほぼ85%以上使用されており、アプリケーションサーバー群も順調に目的とする用途どおりに使われつつある。さらにそれぞれのアプリケーションの最適な実行環境のプラットフォームの見直しを行い、研究支援に充分効果を発揮するよう運用していきたいと思っている。

最後に、今回のスパコンシステムの更新は、責任研究部門である川添研究室の教員およびベンダーのSEの方をはじめ営業の方など多くの人の協力によって実現できたものである。ここに深く謝意を表す。

各種キューイングシステムの情報取得の API 化

岩橋建輔

自然科学研究機構 分子科学研究所 技術課

概要

自然科学研究機構岡崎共通研究施設計算科学研究センターの共同利用サービスのコンピューターシステムは、様々なベンダーのコンピューターを使って運用されている。共同利用ユーザーがこれらのコンピューター上で計算するには、バッチスクリプトを作成し、これをキューイングシステムに投入する必要がある。コンピューターシステム毎にキューイングシステムが異なるため、本センターでは NQS 互換の Job Queuing System (JQS) という各キューイングシステムへの wrapper を作成・運用しているが、JQS の設計仕様上の問題点も明らかになってきた。そこで、その問題点を解消するためにキューイングシステムの情報取得の API を定め、API に準拠したコマンドを作成した。

1 背景

自然科学研究機構岡崎共通研究施設計算科学研究センターの共同利用サービスでは、今年度「超高速分子シミュレータシステム (SGI 製 Altix4700 および富士通製 PrimeQuest)」(通年)、「汎用高速演算システム (NEC 製 SX-7 と TX-7)」(2008 年 1 月末まで)、「高性能分子シミュレータシステム (日立製 SR11000 後継機)」(2008 年 3 月から)の 3 つのシステムを運用してきた。(図 1)

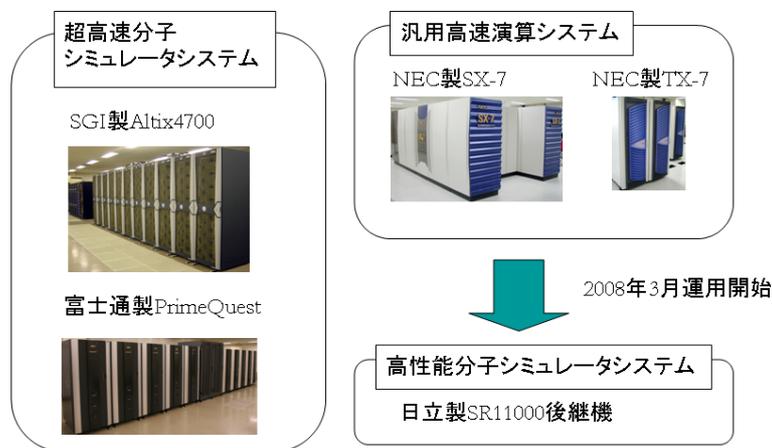


図 1. 今年度運用したシステム

これらのシステムでユーザーの計算ジョブを順番に実行させるためにバッチキューイングシステムが導入されている。しかし、Altix4700 では PBS Professional、PrimeQuest では ParallelNavi for Linux、SX-7 では NQS II、TX-7 では LSF、SR11000 後継機では LoadLeveler が使われているが、これらのキューイングシステム間に互換はない。そのため、本センターではユーザーの利便性を図るために NQS 互換で各キューイングシステムへの wrapper となる Job Queuing System (JQS) を以前から導入している。しかし、きめの細かい情報を提供するにあたって、本質的に JQS が抱えている問題が顕著になってきた。

2 現行の JQS

2.1 仕組み

LSF のシステムに対してキューの情報を読むためのコマンド `jstatq` を例に JQS の仕組みを考えて見ることとする (図 2 左)。`jstatq` はすぐに `jqs.conf` を呼び出す。この `jqs.conf` というのは、各キューイングシステムの動いているサーバーの場所などの共通の変数だけでなく、各 JQS コマンド個別のオプションの処理やそれぞれのコマンド・システムに対応した読み取りの専用コマンドが記述されている。それぞれの読み取りの専用コマンドは、キューイングシステムへ必要な情報が得られるようにそれぞれ違うコマンドを送り、テキストとして出力を行っている。この状況をもう少し抽象化したのが、図 2 右である。

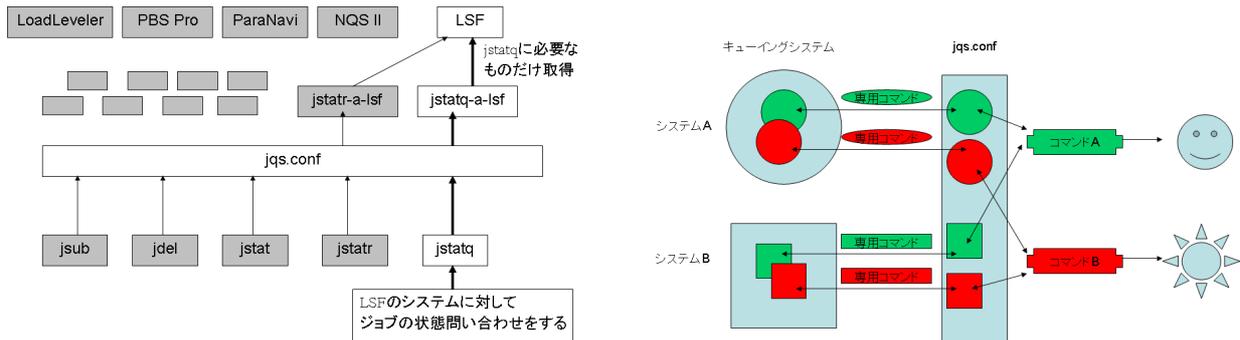


図 2. (左) 現 JQS の実装と (右) 現 JQS のイメージ図

2.2 問題点

上記の仕組みでの問題点は大きく分けると 3 つある。1 つ目は保守性の悪さである。システムネイティブのキューイングシステムのバージョンアップが行われて出力が変更される場合があり、上記のように専用コマンドが複数ある場合にはその個数だけ修正をする必要がある。2 つ目はユーザーの親和性の悪さである。基本的に出力はネイティブな書式のまま出力され、非統一な表示となっている。3 つ目は開発のコストの高さである。コマンドのオプション処理・読み込み・切り出し・整形の処理がきれいに分離されていないため再利用性が悪く、別の情報を提供しようとするとき再利用が全くできなかった。この一因には、シェルスクリプトで書かれていたことも挙げられる。

3 JQS の API とその応用

3.1 方針

先の問題点を踏まえ、改良の 4 つの方針を記述する。1 つ目は各キューイングシステムに対する問い合わせを一元化することである。これは、一度の問い合わせで可能な限りの情報を集め、メモリー上に格納することを意味する。2 つ目は、問い合わせ関数はキューイングシステムからの出力の読み取りとデータの格納に専念させることである。出力の読み取りの失敗がバグを発生させる原因なので相当注意が必要な部分である。3 つ目は、各コマンドで問い合わせ関数で得られたデータを基にオプション処理や出力の整形に専念させることである。これにより、出力に関しても統一を図ることができる。4 つ目は、perl を使って記述することである。データの格納に柔軟性があり、そのデータを読み込むために各コマンドは JQS 専用の関数を使って記述できるようになる。これがタイトルにある情報取得の API 化である。

これらの概念を図にしたものが、図 3 である。

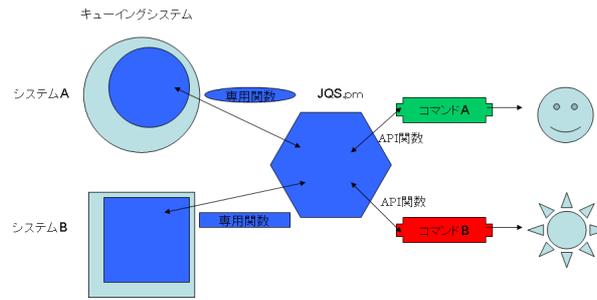


図 3. JQS の API を使ったときのイメージ図

3.2 全 API

現在の API は大別すると 7 種類ある。それぞれの詳細はここでは割愛するが、名前から類推できるようなものである。

- キューイングマネージャーからできる限りの情報を読みとる関数


```
jqs_new($server, $username, $cache_mode);
```
- キャッシュモードのとき、ファイルとして qstat などの結果を保存させる関数


```
jqs_store($server);
```

```
jqs_cache_created_time($jqs);
```
- 問い合わせを行ったサーバー、ユーザー、グループなどを返す関数


```
jqs_server($jqs);
```

```
jqs_uid($jqs);
```

```
jqs_gid($jqs);
```

```
jqs_user($jqs);
```

```
jqs_group($jqs);
```

```
jqs_all_queue($jqs);
```

```
jqs_all_status($jqs);
```
- キュー全体のそれぞれの状態の総数などを返す関数


```
jqs_queue_total_cpus($jqs, $queue, $status);
```

```
jqs_queue_total_jobs($jqs, $queue, $status);
```

```
jqs_queue_total_users($jqs, $queue, $status);
```

```
jqs_queue_total_groups($jqs, $queue, $status);
```

```
jqs_queue_user_cpus($jqs, $queue, $status, $uid);
```

```
jqs_queue_user_jobs($jqs, $queue, $status, $uid);
```

```
jqs_queue_group_cpus($jqs, $queue, $status, $gid);
```

```
jqs_queue_group_jobs($jqs, $queue, $status, $gid);
```

```
jqs_queue_immediate_run($jqs, $queue);
```

```
jqs_queue_available_cpus_all_at_time($jqs, $queue);
```

```
jqs_queue_available_cpus_in_all($jqs, $queue);
```
- キューを構成するノードの状態を返す関数


```
jqs_nodes_list($jqs);
```

```
jqs_node_total_cpus($jqs, $node);
```

```
jqs_node_used_cpus($jqs, $node);
```

```
jqs_node_idle_cpus($jqs, $node);
```

```
jqs_max_idle_cpus($jqs);
```

```
jqs_total_idle_cpus($jqs);
```
- 個々のジョブの詳細に関連する返す関数


```
jqs_job_number($jqs, $queue);
```

```
jqs_job_id($jqs, $queue, $nth);
```

```
jqs_job_name($jqs, $queue, $nth);
```

```
jqs_job_raw_user($jqs, $queue, $nth);
```

```
jqs_job_raw_group($jqs, $queue, $nth);
```

```
jqs_job_raw_uid($jqs, $queue, $nth);
```

```
jqs_job_raw_gid($jqs, $queue, $nth);
```

```
jqs_job_enc_uid($jqs, $queue, $nth);
```

```
jqs_job_enc_gid($jqs, $queue, $nth);
```

```
jqs_job_status($jqs, $queue, $nth);
```

```
jqs_job_cpus($jqs, $queue, $nth);
```

```
jqs_job_memory($jqs, $queue, $nth);
```

```
jqs_job_time($jqs, $queue, $nth);
```

```
jqs_job_reason($jqs, $queue, $nth);
```

jqs_job_node(\$jqs, \$queue, \$nth);

jqs_job_node_list(\$jqs, \$queue, \$nth);

- ジョブがどの CPU, メモリーで動いているかを返す関数

jqs_job_cpu_number(\$jqs, \$queue, \$nth);

jqs_job_cpu_node(\$jqs, \$queue, \$nth, \$mth);

jqs_job_cpu_id(\$jqs, \$queue, \$nth, \$mth);

jqs_job_memory_number(\$jqs, \$queue, \$nth);

jqs_job_memory_node(\$jqs, \$queue, \$nth, \$mth);

jqs_job_memory_id(\$jqs, \$queue, \$nth, \$mth);

jqs_job_memory_size(\$jqs, \$queue, \$nth, \$mth);

3.3 応用例

JQS の API を使って記述したものを 2 つ紹介する。図 4 は一般のユーザーがシステムで走っているジョブの状態を確認するコマンドの出力例である。左側の JQS 付属のコマンドでの表示では、ネイティブな出力結果の名残を見ることができる。一方、右側の API を使って柔軟に記述した結果、使用総 CPU 数や空き CPU の情報が得られている。また、ユーザー名は一対一に対応するような変換を施すことが可能となった。

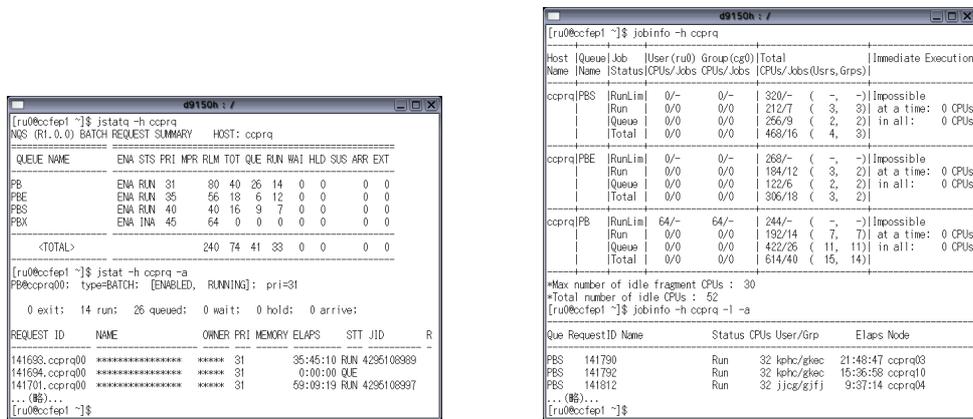


図 4. コマンドラインによるジョブ情報の表示 (左) JQS での表示と (右) JQS の API を使った表示

図 5 は、Altix4700 におけるジョブの使用 CPU (セルの上段) とメモリー (セルの下段) の場所の表示したものである。使用している CPU とメモリーの距離が物理的に近いことが図から読み取れる。

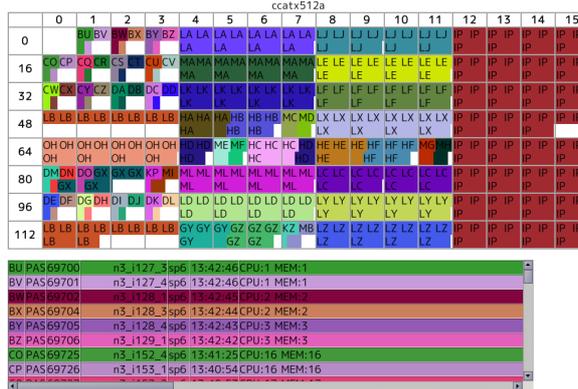


図 5. Altix4700 におけるジョブの使用 CPU とメモリーの場所の表示

4 今後の課題

情報表示の API の不足を補うだけでなく、さらに拡張してジョブ投入の部分にも API の適用の可能性を探っていききたい。

大規模計算機システムにおける省エネルギー運用の検討

○水谷文保、山田清志

自然科学研究機構 分子科学研究所

概要

2003年度導入したグリッドコンピューティングシステムを3年半運用してきた中で、消費電力量を削減させる試みを2年間取り組んできた。当初は一般に言われる空調設定温度を上げる効果に注目したが、大規模計算機運用においては顕著な効果が得られなかった。多数空調機を必要とする大規模システムでは、不必要な空調機を停止させることにより、消費電力量を抑える高い効果が得られることが判明した。

1 はじめに

省エネルギー（以下省エネ）の意識は社会的常識と言えるが、計算機における電力の位置づけは必然性でとらえられ、省エネを前面に考慮する意識はあまり高くなかったと言える。この傾向は、近年まで発熱量（消費電力量）の上昇を黙認しながら性能向上優先で開発が行われてきた歴史からも分かる。その中で大型計算機運用においては、空調機に視点を置いた省エネの取り組みがいくつか散見される。空調機の設定温度に注目し、最低温度に設定することが省エネに効果的である[1]という報告は、現在の常識では考え難い結果であるが、温度制御方法が現在の機器とは全く異なっていた、と考えることで一応理解出来る。しかし現在一般的には、オフィスにおいて冷房設定温度1度上げるとは1%の省エネ効果がある、と言われることから、「可能な限り設定温度を上げて欲しい」と施設課電気係より要請されている。計算機運用において冷房設定温度を上げることは故障率を引き上げることを意味し、安定運用の観点からは単純に受け入れ難い。計算機も単なる電気機器であり、製造業者による温湿度条件が規定されている。しかし最大許容温度で運用することで故障頻度が増えれば、予期せぬシステム停止によって長時間の計算が無駄になった分の損失消費電力量を考えた時に、単純に設定温度による空調機の省電力だけの問題で済まないことは明白である。製造業者に聞いても、温度が低い方が故障率は低くなるので「可能な限り設定温度を低くしたい」というのが本音である。この「可能な限り」という曖昧な基準を明確にすることは、非常に難しい。

2003年より開始されたNAREGIプロジェクトでは、その年度末にグリッドコンピューティングシステムを導入した[2]。このシステムは、大型計算機とPCクラスタの2システムから構成されるが、本格的なPCクラスタの導入は当センター初であるため、導入には慎重な対応を行った。一般に大規模なPCクラスタは、常時1台は止まっている、と揶揄されるほど故障が多発すると言われる。計算機の利用形態が1ノード単位であればそれほど影響を受けることはないが、本プロジェクトでは大規模高並列計算手法の開発が目的の1つであることから、1つのプログラムが多数ノードを占有するため、故障による影響は多大となる。例えば128ノード並列計算を行っている状態でたった1ノードが故障しても、128ノード並列計算は停止してしまう。導入直前のテスト期間では、空調機の設定温度を最低温度の17°Cにしても故障頻度が多く、ラックに排気ファンを増設するなどの調整により、運用開始時には449ノードのシステムで1ヶ月に1ノード程度の故障率までの状態になった（現在は2ヶ月に1ノード程度）。これは最長24時間制限のジョブ環境では比較的安定した運用が行えていると言え、満足できる状況である。この最大限にエネルギー消費する状況で1年運用した後、省エネを検討することにした。

2 引き上げ可能温度の決定とその効果

フリーアクセスを有する計算機室環境において、空調機は室内吸気・床下排気を行っているため、大型計算機のように床下吸気・室内排気を行う装置は効率的な熱交換が可能である。しかしPCクラスタは実装密度を上げるため、前面吸気・背面排気とならざるを得ないため、室内で吸排気する故に高温な排気を再吸気する恐れがあり、熱交換を効率的に行うにはレイアウトなどの調整が不可欠である（図1）。

本システムは、1年間の運用経験で安定稼働が確認できたので、筐体内温度を維持しながら熱交換効率向上させて上昇可能な空調温度を決定する方針で検討を開始した。大型機計算機とPCクラスタの2システム構成のうち、大型機側は筐体内推奨温度の上限が比較的高く、また排気を吸入する可能性が低いことから、PCクラスタ側に注目してその筐体内温度を維持することを前提条件とした。つまりPCクラスタが安定運用出来ている時点の筐体内温度を把握しておき、熱交換環境を改善して筐体内温度の引き下げが実現できれば、改善前の筐体内温度になるまで空調設定温度を上昇させることは運用上全く問題が発生しない。これが「引き上げ可能温度」にあたりと考えた。

導入後PCクラスタの筐体内温度を採取しWeb上で位置関係を再現した状態で参照可能な環境（図2）を構築した[2]。1年間の監視結果より筐体内最高温度が50℃以下であること、温度が様でなくラック下部に高温ノードが集中していることが観察された。この温度ムラは、床下から冷風が吹き上げる環境と矛盾すると思われたが、吹き上げ速度が高速であることを考えると、風速が早いラック下部ほどベルヌーイ効果による負圧量がより多く発生し、その気圧差によって高温排気がラック全面の隙間から前面に逆流して再吸入する現象が発生していると予想した。そこでメンテナンスに支障を与えず、地震で移動しないように配慮した自立型の構造物を設置し、閉鎖空間をラック前面に構築することで、背面と比較して前面側を加圧させて、排気の逆流を押しえ込むことを考えた（図3）。

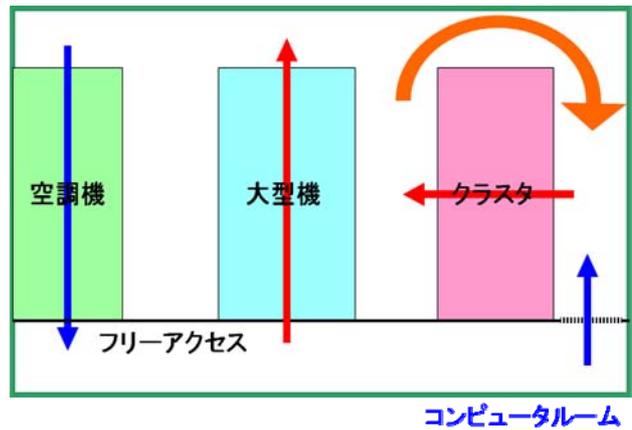


図1. コンピュータールーム模式図

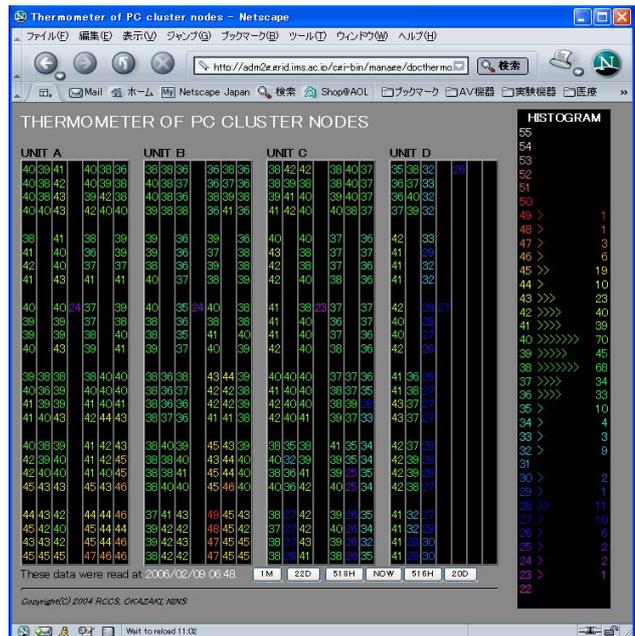


図2. PCクラスタの温度一覧表



図3. 上段：導入当初、下段：構造物設置後

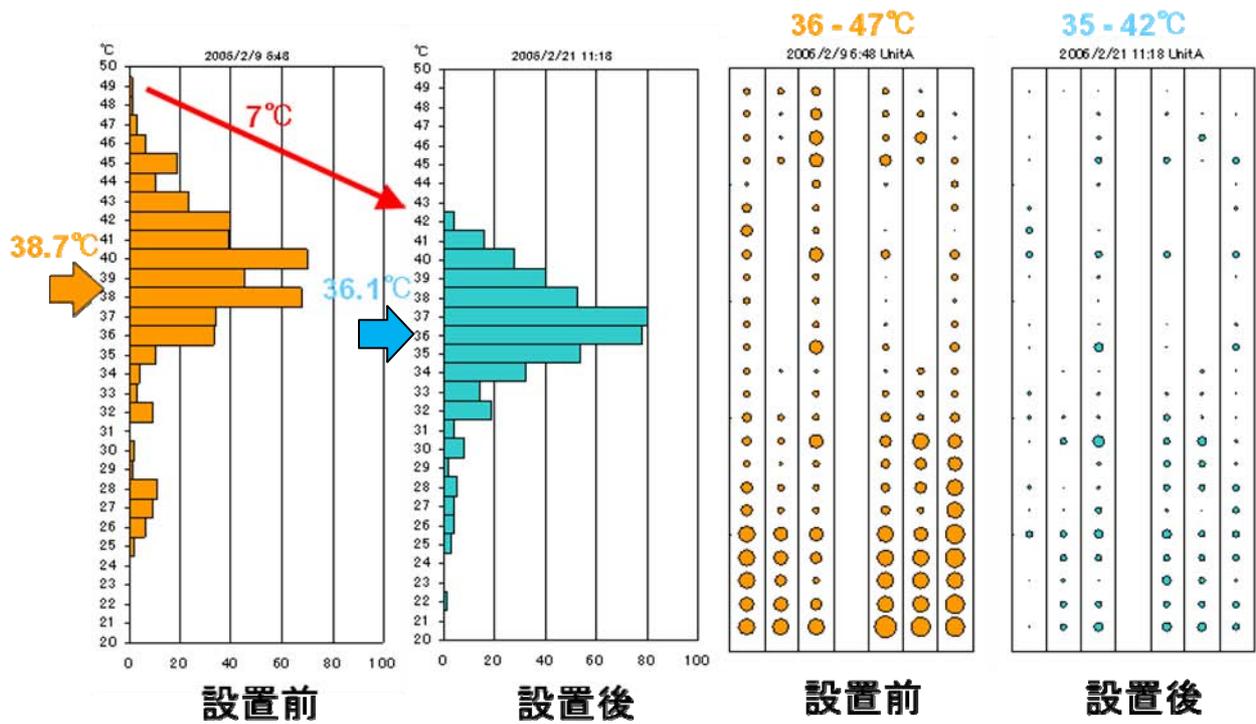


図4. 温度分布 (449 ノード分) 図5. 温度ムラ分布 (128 ノード配置図)

この構造物は、柱にエレクターパイプ、屋根に波形プレート（防燃）、側面にビニールカーテン（防燃）を使用した。設置の結果、最高温度で7°C、平均値で2.6°C引き下げられた（図4）。さらに温度ムラも減少させることに成功した（図5）。この結果より、意図通り閉鎖空間による加圧効果が得られたと考えられた。

最高 50°Cで安定した運用ができた実績を考慮し、空調設定温度を 1°C上昇させては PC クラスタ全体の温度分布状況を 1 週間観察して、空調設定温度を当初の 17°Cから 4°C引き上げても設置前最高温度未滿（48°C程度）であることを確認した。この設定温度 21°Cで 2005 年 12 月から 4 ヶ月運用を行ったが、稼働率や外気温の影響を考慮しても、4°C引き上げた空調機消費電力量の削減効果は、認められなかった（図6）。しかしこれまでの計測結果より、全消費電力量における空調機の占める割合が 4 割程度と高いことが判明した。

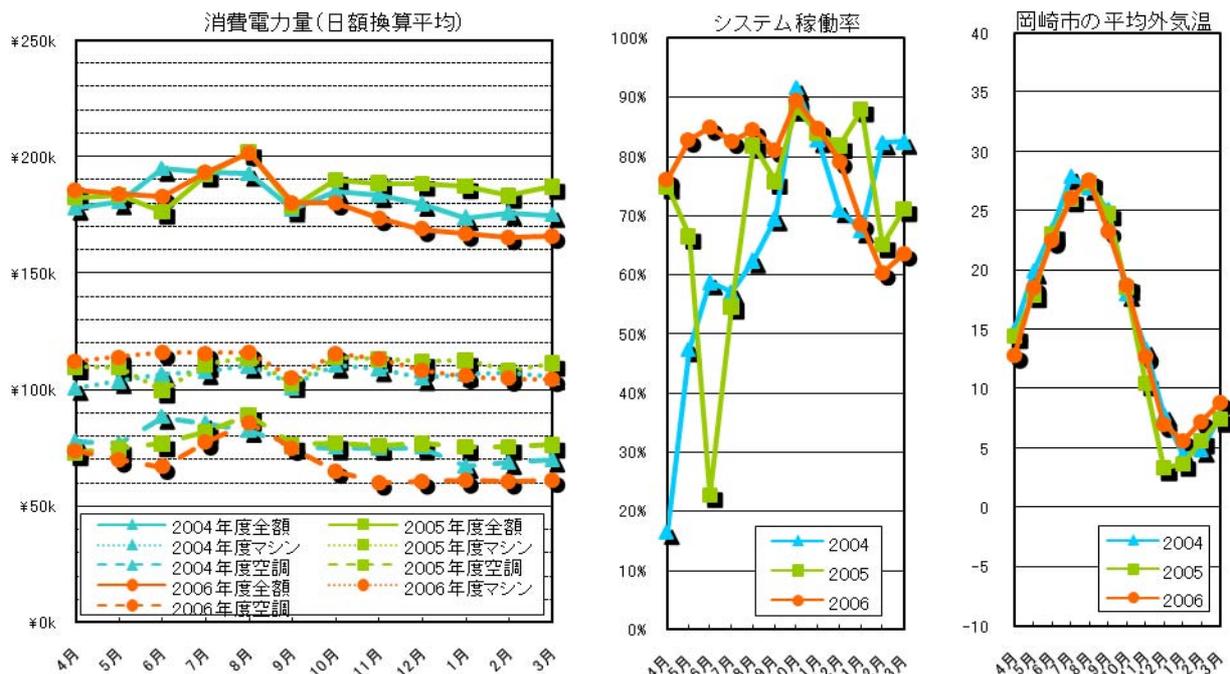


図6. 消費電力量に対するシステム稼働率および岡崎市の平均外気温

3 空調機停止による効果

本システムでは、13 台中 12 台の空調機を運転しているが、ピークとなる夏季以外は冷房能力が過剰であることは明白である。全空調機に電流計を設置して計測値を採取した結果、空調機を稼働させるだけで 65A 程度消費し、最大 2 台のコンプレッサが動作しても、110A 強程度しか消費しないことが観察された（図 7）。冷房未稼働状態で常時 6 割程度消費電流があることから、不必要空調機の停止は、高い省エネ効果があることが示唆された。そこで空調機を停止させることによる省エネ効果を測定することにした。2006 年 5 月に 1 台、6 月に 2 台停止させ風量および PC クラスタ温度に影響が無いことを確認した。その後 7-9 月は 12 台で運用し、再度 10 月に 1 台、11 月から年度末まで 2 台停止させた。11-12 月度において、空調機消費電力量で前年同期比 26.9%減少、全消費電力量では、前年同期比 14.6%減少した（図 6）。

4 考察

計算機室で必要冷房能力を設計する時に、最大外部進入熱をおおざっぱに見積もる方法として面積（平米）×0.1kW という計算式を教えた。これによれば本システム設置場所は、約 20kW の外部進入熱を見積もれば良い。この値は空調機約 1 台分の冷房能力に匹敵する。ピーク時にシステム全体で 12 台の空調機を必要とすることは、本システムが外部進入熱に対して 11 倍の熱量が内部で発生していることを意味する。設定温度 1℃で 1%の効果が外部進入熱に対するものと考えれば、本システムでは 0.1%未満の影響であり、設定温度 4℃上げた効果が認識できなかったのは当然の結果であると考えられる。

不必要空調機の停止は省エネ効果が高い結果が得られたが、停止で分散された仕事量により稼働機の消費電力量が増加すると考えたが、実際の結果では減少する空調機が存在することが観察された。原因を室内レイアウト（図 8）に求めたが、推測不能だった。しかし室外機レイアウト（図 9）を見ると、特定室外機が停止したことで、周辺温度が低下した一部室外機の熱交換効率が向上した、と考えると理解できる。このことから、室外機レイアウトも熟慮して熱交換効率を向上させることは、省エネ効果が高いことが考えられる。

参考文献

- [1] 伊奈諭, “電算機センターの省電力化について”, 昭和 59 年度名古屋大学プラズマ研究所技術研究会報告集, December 15-16, 1984
- [2] 水谷文保, “グリッドコンピューティングシステムの導入”, 平成 15 年度高エネルギー加速器研究機構技術研究会報告集, March 26-27, 2004

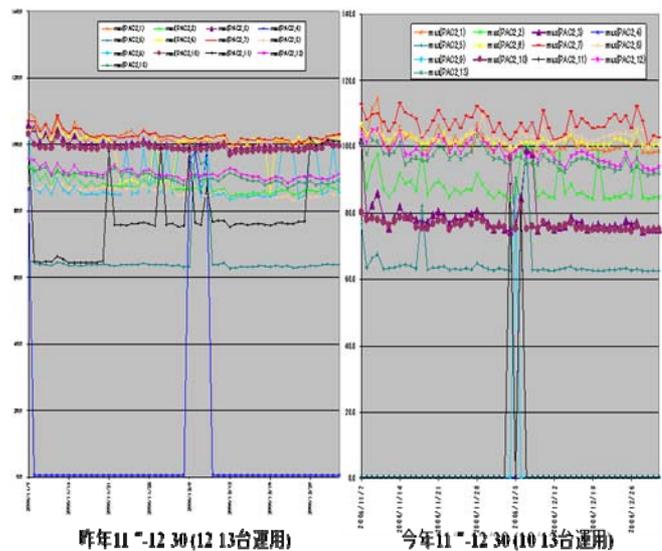


図 7. 空調機消費電力量比較(2005 年対 2006 年)

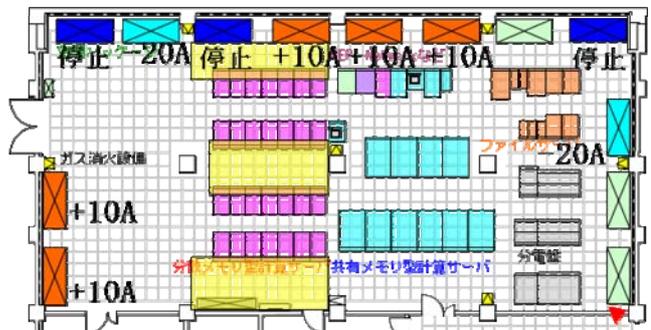


図 8. 室内レイアウト

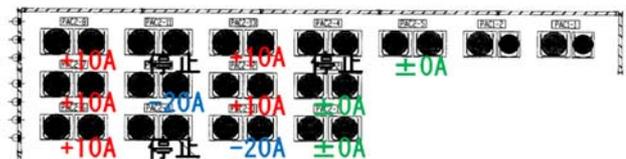


図 9. 室外機レイアウト

Linuxによるソフトウェアロードバランサの動作・性能検証

相馬崇宏

北海道大学 企画部情報基盤課 IT推進グループ ネットワークチーム

はじめに

情報社会の進展によりネットワーク上のサービスが一般化した現在、コンピュータそのものの処理能力が飛躍的に向上しているにもかかわらず、1台のサーバでは到底処理しきれないほどのサービス要求（リクエスト）が発生する状況に至っている。そのため、多数のリクエストを複数台のサーバに負荷分散させることによってユーザサイドから見た処理性能を上げるための、ロードバランサと呼ばれるネットワーク装置を利用することが日常的となっている。しかし、ロードバランサは非常に高価であり、アプライアンス（ハードウェア）として提供されるためにポート数の制約が厳しく、柔軟な設定が難しい等の問題がある。

ソフトウェア的な負荷分散には DNS ラウンドロビンや Iptables の DNAT を利用する方法や、LVS (Linux Virtual Server)がある。本稿では LVS の構成要素である IPVS (IP Virtual Server)を利用し、それらの困難の打開を試みた。本稿では、IPVS の基本的な設定方法や、簡単な処理性能について述べる。

1 ロードバランサ

以下、ロードバランサの基本的概念について簡単に述べる。

1.1 ロードバランサ基礎

複数台存在する実サーバへのリクエストを一元的に受け、設定された負荷分散アルゴリズムに従って実際にリクエストを処理する実サーバへとリクエストを転送する仕組みである。実サーバは転送されたリクエストに対して応答を返す。

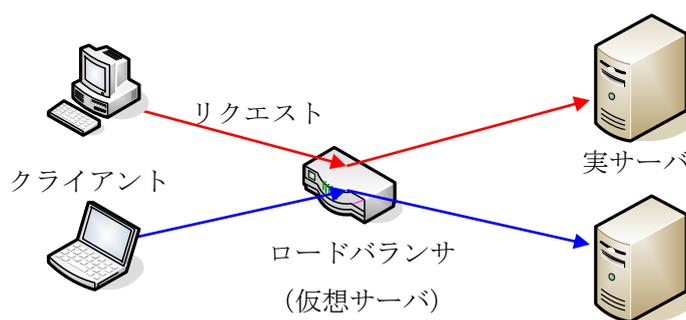


図1. 負荷分散基本概念

図1では各クライアントに割り当てられる実サーバが固定されているような例となっているが、これは負荷分散アルゴリズムによって変更することが可能である。

また、一般にロードバランサに実サーバの稼働状況を監視させ、ダウンした実サーバにはリクエストを転送しないといた冗長性の確保も実現できる。但しこれだけではロードバランサ自体に障害が発生した場合に一切のリクエストが受け付けられなくなるため、複数台用意したロードバランサを自動で切り替えるなどして通信を確保することもできるものがある。

1.2 L4 スイッチと L7 スイッチ

ロードバランサは L4 スイッチや L7 スイッチと呼ばれることもある。”L”は Layer を表し、”4”や”7”は OSI 7 層モデルの階層を表す。L4 はトランスポート層 (TCP 及び UDP) であり、L7 はアプリケーション層を指す。

L4 スイッチは、実サーバへのリクエストの割り振りを IP アドレスやポート番号によって決定し、リクエストパケットを実サーバへと転送する。

L7 スイッチではロードバランサが一旦リクエストを処理し、アプリケーションレベルの情報 (Web 閲覧であればどのページのデータの要求か、等) を参照した上で実サーバにリクエストを割り振る。この時 L7 スイッチはプロキシサーバとして動作することになる。

2 LVS と IPVS

Linux でロードバランサを実現するには、LVS^[1]というオープンソースプロジェクトの成果物であり、L4 スイッチの機能を持つ IPVS^[2]というソフトウェアを利用する。以下、IPVS の導入から設定について簡単に手順を示す。ロードバランサの OS は CentOS 4^[3]を利用するものとする。

より正確には、IPVS のコードは既にカーネルに組み込まれており、IPVS を制御するためのソフトウェアである ipvsadm をインストールし、設定することになる。

2.1 ネットワーク構成

ネットワーク構成は以下のものとする。IP アドレスはあくまで例であり、異なってもよい。

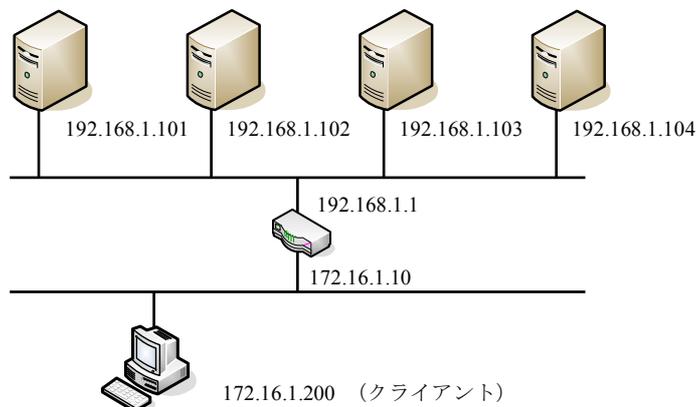


図 2. ネットワーク構成例

2.2 ロードバランサ OS インストール

テストに用いたマシンの OS には CentOS 4 を利用している。参考 Web サイト[3]から OS のイメージファイルを手入手できる。インストールするに当たり特別な注意点は無い。全てデフォルトのまま構わない。

2.3 IPVS インストール

IPVS のインストールは yum から行える。root としてログインし、

```
yum install ipvsadm
```

とコマンドを実行すればよい。

2.4 IPVS 設定・起動

IPVS の設定は/etc/sysconfig/ipvsadm に記述する。このファイルは yum からはインストールされないので手

動で作る必要がある。この例では HTTP リクエストを 4 台の実サーバに負荷分散させるものとする。下記が /etc/sysconfig/ipvsadm に記述する内容である。

```
-A -t 172.16.1.10:80 -s rr
-a -t 172.16.1.10:80 -r 192.168.1.101 -m
-a -t 172.16.1.10:80 -r 192.168.1.102 -m
-a -t 172.16.1.10:80 -r 192.168.1.103 -m
-a -t 172.16.1.10:80 -r 192.168.1.104 -m
```

”-A”で始まる行において、”-t”でリクエストを受け付けるロードバランサの IP アドレスとポート番号を指定し、”-s”で実サーバへの負荷分散アルゴリズムを指定する。”rr”は単純ラウンドロビンである。ラウンドロビンの他、重み付けラウンドロビンやソースハッシュも利用できる。”-a”の行で実サーバを設定する。”-t”で、”-A”行にあるロードバランサの IP とポート番号を指定し、”-r”で実サーバの IP アドレスを、”-m”でパケット転送方式を指定する。”-m”は NAT を示す。負荷分散のアルゴリズムやパケット転送方式は他にも数種類ある。詳細は `man ipvsadm` で表示される。

IPVS の有効化は root でログインし、

```
/etc/init.d/ipvsadm start
```

で行える。

2.5 パケット転送の有効化

ロードバランサ宛に送られてきたリクエストパケットを実サーバに転送できるようにする。root としてログインし、

```
echo '1' > /proc/sys/net/ipv4/ip_forward
```

と実行する。ロードバランサの再起動時にも有効にするには /etc/sysctl.conf を編集し、

```
net.ipv4.ip_forward=1
```

としておけばよい。

2.6 実サーバ設定

パケット転送方式に”-m” (NAT)を指定した場合には、デフォルトゲートウェイをロードバランサの IP アドレス (この例では 192.168.1.1) にすればよいだけで、他に実サーバに特別な設定は必要ない。負荷分散を行うプロトコルに対応したサーバソフトウェアをインストール・起動すればよいだけである。HTTP サーバは以下の手順でインストール・起動できる。

```
yum install httpd
/etc/init.d/httpd start
```

このままではどのサーバへのアクセスか判断できなくなるので /var/www/http/index.html を新規に作り、ホスト名を書いておけばよいだろう。

```
echo “ホスト名” > /var/www/http/index.html
```

2.7 動作確認

適当なクライアントからブラウザでロードバランサにアクセス (例では `http://172.16.1.10/`) を繰り返した場合に、web ページの内容として表示されるホスト名が変われば成功である。

3 性能

ごく簡単ではあるが、httpd に付属のベンチマークツール `ab` を用いてロードバランサの性能を計測した。

ロードバランサには Pentium 4 3.4GHz Mem 2.0GB HD 160GB のハードを用いた。計測コマンドは

ab -n 10000 -c 100 http://IP アドレス/

である。実サーバは全て自ホスト名を表示するだけの短いページを返す。それぞれ 3 回計測し平均をとった。

表 1. リクエスト処理性能 (requests/sec)

	実サーバ 1 (Pentium 4 3.2GHz Mem 2GB HD 120GB)	実サーバ 2 (Pentium 4 3.2GHz Mem 2GB HD 120GB)	実サーバ 3 (Pentium 4 3.0GHz Mem 1GB HD 80GB)	実サーバ 4 (Pentium 4 3.0GHz Mem 2GB HD 80GB)	合計
単体	4212	3460	2103	3460	13235
ロードバランサを介して個別アクセス	4153 (上記 98.6%)	3445 (99.6%)	2155 (102.5%)	3347 (96.7%)	13100 (99.0%)
ロードバランサを介して 4 台に負荷分散	12699 (単体測定時の総計の 96.0%)				

「個別アクセス」とは、ロードバランサを介さずに直接実サーバにリクエストを発行した時の、「ロードバランサを介して個別アクセス」とは、ロードバランサを通るが 1 台の実サーバにのみ固定してリクエストを転送し処理させたときの処理件数である。本テストには、別用途に利用しているマシンを用いたため、中にはハードウェア性能に対し、単体でのパフォーマンスが優れないものもある。

ロードバランサを介させた場合はやはり若干のパフォーマンス低下が起こっているが、測定回数が 3 回ずつと小さく、用意できた環境ではロードバランサを介するときに余計なルーティング設定をさせているため、誤差の範囲内と考えるても差し支えないと考えられる。実サーバに直接アクセスした時の処理性能総計 13235 と比較して、負荷分散させた時の処理性能 12699 は 4%程度の性能低下しかなく、オープンソースで無償で利用できるロードバランサとしては十分な性能を持っているといえよう。

4 まとめ

ごく簡単ではあるが、IPVS の利用法と性能について述べた。IPVS はインストールから設定にいたるまで非常に簡単であり、性能もかなり高い。本稿では触れていないが keepalived というソフトウェアを利用すれば実サーバの死活監視も行える。また、ロードバランサ自体の冗長化も機能として持っており、一般的な用途には充分であろう。

本学でも負荷分散アプライアンスとして利用している Alteon は、定価で 300 万円以上するものであるが、ロードバランスのみに限って IPVS を用いるならば、20 万円程度の安価なサーバでも充分と思われる。冗長化のため複数台用意するとしても、費用の面で大きな利点があるだろう。

今後 IPVS による負荷分散を全学メールサーバにおいて実運用する予定であり、実運用の結果も踏まえ、口頭での発表を行う予定である。

参考 Web サイト

- [1] The Linux Virtual Server Project - Linux Server Cluster for Load Balancing (<http://www.linuxvirtualserver.org/>)
- [2] IPVS Software - Advanced Layer-4 Switching (<http://www.linuxvirtualserver.org/software/ipvs.html>)
- [3] www.centos.org - The Community ENTerprise Operating System (<http://www.centos.org/>)

東北大学加齢医学研究所における eduroam 対応無線 LAN アクセスポイントの構築

○小森和樹、佐藤和則、安達恭子、佐竹正延

東北大学 加齢医学研究所

概要

東北大学加齢医学研究所（以下、当施設という）において eduroam 対応の無線 LAN アクセスポイントを構築したので報告する。eduroam とは TERENA Taskforce on Mobility が規定した国際ローミング基盤で、ヨーロッパ全域・豪州、台湾などに広く普及しているデファクトスタンダードである。[1]IEEE802.1X+RADIUS プロキシツリーによって構成され、ユーザは全世界の eduroam 対応施設にてネットワークを自由に利用することができる。eduroam スタンダード方式では、利用先の IP を使用するため利用先の内部情報が覗けてしまうなどの問題があり、日本では VPN 技術と組み合わせて構築することが推奨されている。そこで我々の施設では eduroam 用の SSID は VPN 通信のみ許可するよう設定した。しかしながら、この方式では VPN サーバを持たない eduroam 参加者は利用できないため、eduroam+VPN 方式に対応していないゲスト用 SSID を立て認証ゲートウェイ（NetSpring 社、FEREC）と組み合わせたシステムを用意した。これにより施設のセキュリティを弱体化せず eduroam に参加し、非常に利便性の高い無線 LAN 環境を構築することができた。

ネットワーク利用の需要が高まり、携帯電話を利用して移動先でネットワークを利用する人が増えているが、eduroam は携帯電話によるネットワーク通信と比較して通信速度である。また、自施設のネットワークが利用できるため利便性が高い。残念なことに日本国内では未だ 6 機関しか参加しておらず、利用可能な場所が非常に少ないが、今後 eduroam の知名度が上がり、利用できる環境が増えれば eduroam の利便性は格段に向上する。eduroam の今後の普及に期待したい。

1 eduroam とは

eduroam とは TERENA Taskforce on Mobility が規定した国際ローミング基盤で、ヨーロッパ全域・豪州、台湾などに広く普及しているデファクトスタンダードである。IEEE802.1X+RADIUS プロキシツリーによって構成され、ユーザは全世界の eduroam 対応 AP を自由に利用することができる。

eduroam の認証方式である IEEE802.1X とは LAN スイッチや AP でユーザを認証するための仕組みである。各クライアント端末はサブリカントと呼ばれる認証クライアントソフトをインストールする。サブリカントは 802.1X 認証に必要な情報を決められた手順にしたがって LAN スイッチや AP に送る。情報を受け取った LAN スイッチや AP は情報を認証サーバ（RADIUS）に送り、正規のユーザであることが確認されると LAN が利用できるようになる。なお IEEE802.1X の認証方式は現在 5 種類あり、eduroam では EAP-TTLS が推奨されている。

RADIUS プロキシツリーの概念図を図 1 に示す。eduroam の ID はアカウント名とレルム情報からなる。各 RADIUS サーバはレルム情報を見て該当のサーバに問い合わせを行う。このレルム名には DNS ドメイン名と同じものを使うことが推奨されている。eduroam スタンダード方式は、利用先のネットワークをそのまま利用する方式である。しかしながらこの方式の場合、利用先の IP が端末に振られるため、内部向け情報等が覗

けてしまったり電子ジャーナルを外部の人間なのに利用できてしまうなどの問題がある。こうしたトラブルを避けるため、日本では VPN 技術と組み合わせて構築することが推奨されている。

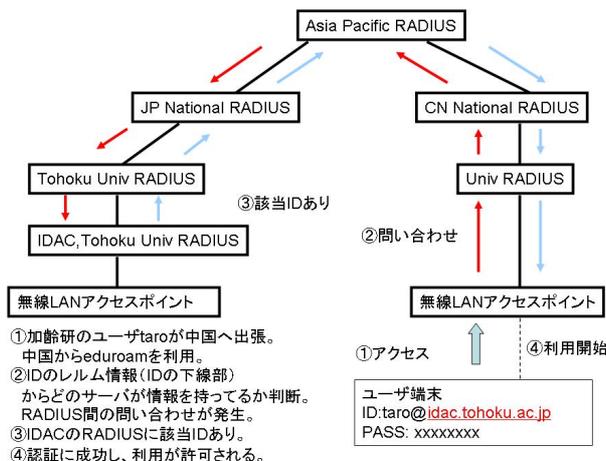


図 1. 「RADIUS プロキシツリーによる認証」

2 背景と目的

2.1 会議室の利便性とセキュリティ

これまで当施設では外部の人間が利用する可能性のある会議室等においても、通常の所内ネットワークを提供していた。セミナーやデモなどで外部の人間が会議室にてネットワークを利用する際は、各部屋の情報コンセントへ有線ケーブルで接続することになる。セミナーやデモといった衆人環視の場での事ではあるが、セキュリティ的に好ましい状況ではなかった。また複数の PC でネットワークを利用するケースがあり、その場合は HUB を設置していたが配線が手間であるという問題もあった。

2.2 所外でのネットワーク利用

大学では短期留学や講演等により、関連機関に出向くことが多く、出先で自施設のネットワークを使いたいという要望が存在した。また、大学内においても部局ごとにネットワークポリシーに差があり、部局間をまたいで行われる委員会やプロジェクト会議などの際に非常に不便であった。例えば、「部局 A では MAC アドレスによる制限をかけているため、部局 B の利用者が部局 A で無線 LAN を利用するためには部局 A の管理者に許可を得て MAC アドレスの登録をしてもらい必要がある」ということが想定される。

こうした事情を背景に東北大学では「どこでも TAINS」という VPN ベースの部局間無線ローミングの取り決めがなされ、対応が推奨されたが当施設では未だ整備しておらず、不便なままであった。

上述の問題を解決するため、eduroam とどこでも TAINS に参加し、当施設の会議室に eduroam 対応無線 LAN アクセスポイントを構築することにした。

3 方法と結果

上記問題に対応するため、マルチ SSID 対応の無線 LAN アクセスポイント（以下、AP という）を利用して無線 LAN 環境を構築した。図 2 に今回構築したネットワークの概念図を示す。利用者の状況に合わせ SSID を選択できるよう設計した。それぞれのネットワークごとに適した認証の仕組みを採用することでセキュリ

ティの向上を図った。

また、所外でのネットワーク利用については eduroam とどこでも TAINS という 2 種類のローミングに参加したこと。また、VPN サーバを構築したことで対応した。

3.1 eduroam 用 SSID

利用者は eduroam+VPN 方式に対応している施設からのゲストを想定している。利用者は IEEE802.1X 方式の認証後、自施設の VPN サーバへコネクションをはり、VPN サーバ経由で通信を行う。これにより利用者は使い慣れた環境を利用することができ、当施設の利便性が向上した。また、このネットワークは認証後、全ての IP に対しての VPN 通信のみ許可するよう設定してある。

3.2 どこでも TAINS 用 SSID

利用者は東北大学の他部局からのゲストを想定している。利用者は自部局の VPN サーバへコネクションをはり、VPN サーバ経由で通信を行う。このネットワークは認証を必要としないが、東北大学の IP への VPN 通信のみ許可するよう設定し不正利用を防止した。

3.3 ゲスト用 SSID

利用者は eduroam とどこでも TAINS のいずれも利用できないゲストを想定している。このネットワークは認証ゲートウェイ (FEREC、Netspring 社) によってセキュリティを確保している。今回使用した認証ゲートウェイの特徴として、該当ネットワークに接続した PC で Web ブラウザを立ち上げると、DNS による名前解決要求をすり替えて自動的に認証画面を表示するという機能がある。これによりユーザは普段の設定を変更することなく、プラグアンドプレイによる認証及びネットワーク利用が可能になる。

なお、このネットワークの利用者は当施設の IP アドレスを利用することになる。そのため、このネットワークを独立したセグメントとして隔離し、当施設の情報等を保護した。また、このネットワークからはインターネットとメール程度のみ利用できるよう通信を制限した。

3.4 所内ユーザ用 SSID

利用者は当施設のユーザを想定している。内部向けネットワークであり、通常の所内 NW とほぼ同等のサービスが利用できるよう設定してある。そのため、部外者に利用されないよう WEP によるパスワードと認証ゲートウェイによる 2 重のセキュリティを採用した。

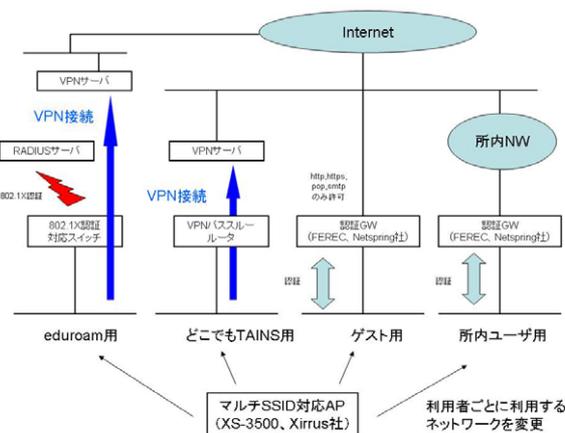


図 2. 「構築した無線 LAN 環境」

4 考察

今回の無線 LAN 環境の構築にあたり、マルチ SSID 対応 AP を利用し、複数の特徴ある認証方式を採用したことで、セキュアかつ利便性の高い無線 LAN 環境を構築することができた。また、eduroam やどこでも TAINS といったローミング基盤に参加した事で施設の利便性を向上させると共に、当施設の教職員の利便性も向上させることができた。所外で eduroam やどこでも TAINS に対応した AP を利用できるのはもちろんのこと、それ以外のネットワークからでも VPN 通信が許可されていれば、当施設のネットワークを利用することができる。

しかし、この環境が現在有効に活用されているとは言いがたい状況にある。日本において eduroam はユーザに対する知名度が低く、現在（2008 年 01 月）の eduroam JP への参加機関は 6 機関（国立情報学研究所、北海道大学、東北大学、高エネルギー加速器研究所、京都大学、九州大学）しかない。また、図 3 に現在 eduroam JP にて公開されている参加機関一覧のページを示すが、この表には参加機関において利用できる施設や、AP の認証方式等の情報がなく、利用のための情報を用意に入手できる状況になっていない。こうした状態では日本国内の eduroam ユーザが円滑に利用できない。



Institution 機関	Department 部門	Site 場所	Prefecture 都道府県	Status 状況	Authn Used 認証方式	Access Granted 許可されたアクセス	Detailed site 詳細サイト
National Institute of Informatics 国立情報学研究所		Chiyoda-ku 千代田区	Tokyo 東京都	Deployed	802.1x	?	eduroam_standard
Hokkaido University 北海道大学		Sapporo 札幌市	Hokkaido 北海道	Deployed	802.1x	?	
Tohoku University 東北大学		Sendai 仙台市	Miyagi 宮城県	Deployed	802.1x TKIP PEAP	?	VPN
High Energy Accelerator Research Organization 高エネルギー加速器研究機構		Tsukuba つくば市	Ibaraki 茨城県	Deployed	802.1x	?	
Kyoto University 京都大学		Kyoto 京都市	Kyoto 京都府	Federated	802.1x	?	eduroam_standard
Kyushu University 九州大学		Fukuoka 福岡市	Fukuoka 福岡県	Federated	802.1x	?	

Status key

- Deployed: Site is federated to the eduroam system and wireless deployed.
- Federated: Site is linked to the eduroam system but wireless deployment is still under development or partially deployed.
- Development: Site is under development of eduroam system.
- Consideration: Site is under consideration for deployment.

Key of Access granted

- eduroam_standard: The eduroam standard protocols including VPN, HTTP(S), IMAP, POP3(S) and SMTP(S) are granted.
- VPN: Only some popular VPN protocols are granted.

図 3. 「eduroam JP の参加機関一覧ページ」

また、当施設において IEEE802.1X 認証について設定を行った事があるユーザはごく少数であり、利用先の AP ごとに適切な認証形式を選択し、設定を変更できるよう IEEE802.1X 認証についてのユーザ教育が終了するまでは時間がかかることが予測される。

こうした問題は残っているが、eduroam は非常に有意義な仕組みである。現在、ネットワークに対する需要は非常に高まっており、携帯電話やノート PC を利用して出先や移動中にネットワークにアクセスする人が増えている。しかしながら携帯電話からのネットワーク利用の場合、LAN と比較して通信速度が遅いという問題がある。一方で eduroam のような VPN を利用したローミングの場合、現地の LAN を利用するため通信速度の問題を解決することができる。現在は、参加機関の少なさから利用可能な環境が少なく、不便であるが、今後 eduroam の知名度が上がり、利用できる環境が増えれば eduroam の利便性は格段に向上する。eduroam の今後の普及に期待したい。

参考文献

- [1] eduroam JP (<http://www.eduroam.jp/>)

プラットフォームに依存しないファイルサーバの構築及び運用

佐藤勝人

弘前大学 理工学研究科

概要

附属施設の地震火山観測所では、教育研究に使用されている PC 群が、Mac OS X、Linux、Windows の複数の OS で構成されている。PC の数が増加するにつれて、異なる PC 間におけるファイルのやり取りが容易ではなくなってきた。

そこで、プラットフォームに依存しない環境を整えることを目的とし、大容量のファイルサーバを新たに構築した。本稿では、ファイルサーバの構築、各プラットフォームでの環境設定及び運用状況について報告する。今回構築したファイルサーバの全体を写真 1 に示す。



写真 1. ファイルサーバ

1 システム設計

ファイルサーバを構築するにあたり、以下の条件が必要であると考えた。

- 1) 予算の関係からファイルサーバ用 PC は既存のものを使用し、ファイルサーバは、安定性と信頼性を重視し集中的に管理できるものとする。
- 2) ファイル共有は、各プラットフォームに対応した安定性のあるプロトコルを採用することとする。
- 3) 各プラットフォームにおいて、同じディレクトリ構成で使用できるようにサーバを設計する。

2 システム構成

以下の内容で、前述の要件を満たす機器を導入した。

- 1) ファイルサーバには、既存の Apple 社製 Mac mini Intel Core Duo (CPU : 1.66GHz、メモリ : 2GB) を使用し、ファイルサーバ用の外付けハードディスクには、BUFFALO HD-Q1.0TSU2/R5 (USB2.0 接続、RAID 対応) を導入した。サーバ OS には、Mac OS X Server 10.4.11 を採用した。Mac OS X Server は、UNIX ベースで構成されており、安定性及び信頼性が備えられている。ファイルサーバでは、Mac OS X Server 標準搭載のサーバ管理ツールやリモート管理ツールまたは SSH 経由で集中的に管理できる。サーバ管理ツールを図 1 に示す。

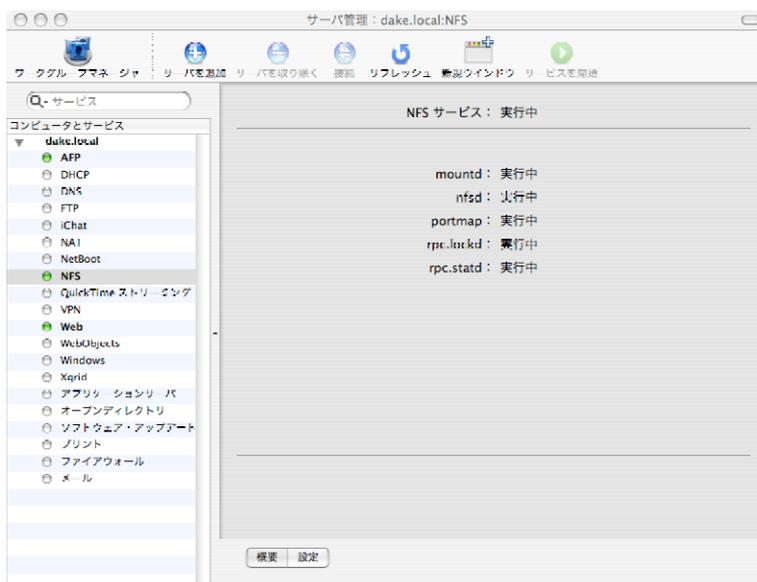


図 1. Mac OS X Server 標準搭載のサーバ管理ツール

- 2) ファイル共有は、サーバ OS 標準で実装されている NFS のファイル共有プロトコルを使用した。
- 3) ファイルサーバ用外付けハードディスク内に各ユーザ権限のディレクトリを作成する。クライアント側から見た場合、領域の全体もしくは一部が NFS でマウントできるように設定する。

3 ファイルサーバの構築

3.1 ファイルサーバ環境

ファイルシステムは「HFS Plus (Mac OS 拡張フォーマット)」のジャーナリングファイルシステムを採用し、ファイルシステムの整合性を確保する環境にした。この環境に NFS 共有を実現することによって、各プラットフォーム間での文字コードの相違を吸収することができた。

3.2 NFS サーバの設定

UNIX 系 OS では/etc ディレクトリに各種設定が保存されるのが一般的であるが、Mac OS X Server 10.4 では、NetInfo データベースに反映させなければならない。NetInfo データベースの編集は、Application/Utilities/NetInfo Manager で設定を行う。NetInfo Manager を図 2 に示す。

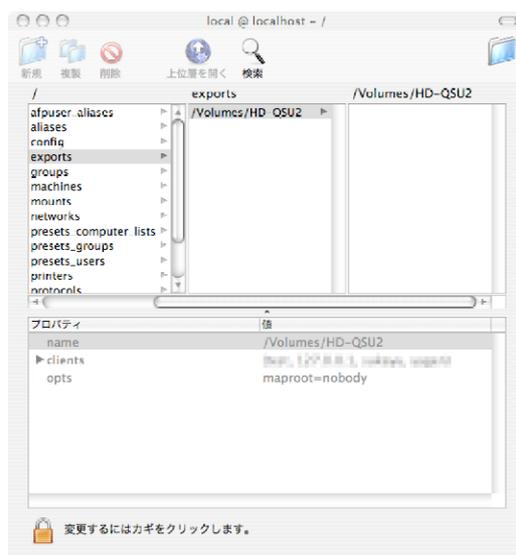


図 2. NetInfo Manager ツール

1.NFS クライアントの登録：NetInfo データベースの machines 項目にエントリを追加

IP アドレスとドメイン名の対応表を作成する。UNIX 系 OS の/etc/hosts に相当する。

2.NFS サーバの設定：NetInfo データベースの exports 項目にエントリを追加

nfs サーバで公開するディレクトリを記述し、NFS サーバとして動作させるために必要なデーモン (mountd、nfsd) を起動させるための設定である。UNIX 系 OS の/etc/exports に相当する。

3.NFS 用ユーザの設定：NetInfo データベースの users 項目の編集

NFS 用ユーザを登録して uid(ユーザ ID)の調整を行い、ユーザ識別認証に備える。

UNIX 系 OS の/etc/passwd に相当する。

3.3 NFS クライアントの設定

それぞれのプラットフォームにおいて、NFS サーバで公開する領域の全体もしくは一部が NFS マウントされ、各ユーザの読み書きの権限が保持される必要がある。そのためにクライアント側のユーザ名及びユーザ ID を NFS サーバのユーザ名及びユーザ ID と同期させることによって、ユーザ認証に対応させた。下記にプラットフォーム毎の設定を示す。

• Mac OS X

NetInfo データベースの mounts 項目にエントリを追加することで、オートマウント環境で使用できる。

• Linux

/etc/fstab にエントリを追加することで、オートマウント環境で使用できる。今回動作確認したディストリビューションは、Vine Linux、Turbolinux、Frdora Core、Knoppix である。

• Windows XP 2002

Windows XP では、NFS が OS に実装されていない。そこで、Microsoft 社が無償で提供している「Windows Services for UNIX (SFU) バージョン 3.5 日本語版」^[1]を導入することにした。このプログラムは、Windows を既存の UNIX ベース環境に統合するためのツール群がパッケージされている。SFU は、Windows XP より後のバージョンでは Windows Server 2003 R2 の一部として提供され、名前が「UNIX ベースアプリケーション用サブシステム (SUA)」に変更になり、安定性の向上とともに機能が強化されている。現行バージョンの Windows Vista のラインナップでは、Windows Vista Enterprise および Windows Vista Ultimate に SUA が搭載されている。次に作業の詳細を示す。

- 1) 「Windows Services for UNIX」の NFS クライアントコンポーネントをインストールする。
- 2) サーバ側の/etc/passwd ファイルと/etc/group ファイルを使用して、ユーザ認証に必要な情報を Windows Services for UNIX 管理ツールでマッピングを行う。Windows Services for UNIX 管理ツールを図 3 に示す。

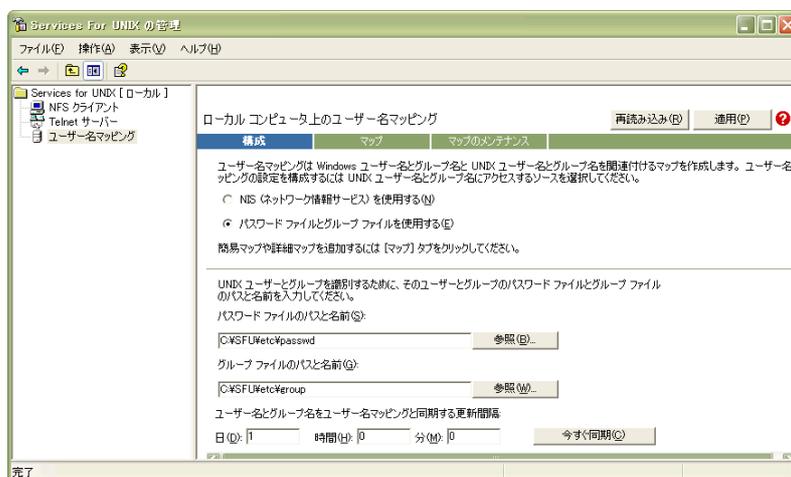


図 3. Windows Services for UNIX 管理ツール (マッピングの設定画面)

- 4) Windows 側で passwd ファイルを編集し、ユーザ名とユーザ ID 情報をサーバ側と同期させる。

4 ファイルサーバの運用

- 今まで Linux マシンで処理していた GB オーダーの大容量の地震観測データファイルのバックアップ処理が安定して実行できるようになった。cron を利用したバックグラウンドでのバックアップ作業も安定して行えている。
- 地震観測データのバックアップ処理として、例えば DVD メディアへ書き出す場合、他のプラットフォーム上の便利なツール群を有効利用できるようになった。その他にもいろいろなメリットが生じている。

5 最後に

現段階では今回構築したファイルサーバ構成で安定して稼働しているが、より安定性の向上を計るために RAID 機能の導入を検討し、NFS クライアント OS の新バージョンとの整合性について、動作検証を行い環境整備を進める。

現在、LAN 接続可能な大容量 NAS サーバが安価で購入しやすくなってきたことから、将来の NAS サーバの導入を視野に入れ、ファイルサーバとの連携及び移行がスムーズに行えるようシステム構成の整備を行っていきたい。

参考文献

- [1] 「Windows Services for UNIX (SFU) バージョン 3.5 日本語版」ダウンロードサイト (<http://www.microsoft.com/downloads/details.aspx?displaylang=ja&FamilyID=896c9688-601b-44f1-81a4-02878ff11778>)

中規模ディレクトリサーバの再構築

○堤守政^{A)}、柘植朗^{B)}

^{A)}名古屋大学全学技術センター（情報連携基盤センター）

^{B)}名古屋大学全学技術センター（情報連携統括本部）

1 概要

名古屋大学では、全構成員の認証や情報サービスのためのユーザ ID・所属等を管理する LDAP (Lightweight Directory Access Protocol) サーバを運用している。筆者は、これらのサーバの標準化計画に従い、LDAP サーバの再構築を担当した。本稿では、この作業で必要になった中規模クラスの LDAP サーバの構築・管理技術として、インストール、エクスポート・インポート、バックアップ・リストア、インデックス、レプリケーション等について実践的な報告を行う。

2 はじめに

名古屋大学では、学生・教職員など全構成員を対象とした、認証や情報サービスのためのユーザ ID・所属等を管理する LDAP サーバを運用している。このサーバには、過去 5 年間使用されてきた全学 ID (4 万 7 千件)、最近移行された名古屋大学 ID (3 万 8 千件) が格納されている。これらのサーバは、基本的には 2 台のマシンでマルチマスターレプリケーションを行い、更に 2, 3 台のコンシューマサーバにサフィックス情報をレプリケートする方式で運用されている。更に現在は、各部署で行われてきた WEB サーバ・電子メールなどのサービスを一ヶ所で管理するためのユーザ情報、そして教育用情報システムのためのユーザ情報も格納しつつある (現在 3 万件)。筆者は、この LDAP サーバを Sun Java System Directory server 5.2 (SJSDFS5.2 ,OS: solaris9) で再構築する作業を担当した。

本稿では SJSDFS5.2 における①インストール、②エクスポート・インポート、③バックアップ・リストア、④インデックス、⑤レプリケーションについて、再構築・運用の経験から、参考になると考えられる技術報告を行う。

3 インストール

SJSDFS5.2 のインストール方法は 2 種類用意されている。今回は、入手した検証済 patch が対応しているという理由で、圧縮アーカイブを使用する setup コマンドによる方法を採用した。インストールするサーバは DNS に登録されていて、ネットワーク上で名前解決できなければならない。このときインストーラはネットワークドメイン名を自動的に取得する。サーバのユーザ ID とグループは、たとえば (ldap52, noaccess) など、ログインできないものが推奨されている。しかし patch の種類によっては、LDAP サーバインストール時のデフォルト ID とグループを前提としている場合があるので、事前に確かめておくことよい。

インストール時には、サフィックスを一つ指定するが、これはダミーとして適当に作っておいた。理由は、インデックスの章で説明する。

対象とする組織に固有の属性を格納するときなど、出来合いのものだけでは足りない場合は、エントリを作成する前にスキーマの定義が必要である。まず、属性をいくつか定義した後で、その属性の必須・任意の区別をしたオブジェクトクラスを作成する。ここで、その組織独自の属性及びオブジェクトクラスを定義する際、世界で一意のものを作りたい場合は、IANA(Internet Assigned Numbers Authority)から当該組織の OID (オ

プロジェクト識別子) を取得することができる。

インストール時点での、エントリのパスワード格納形式のデフォルトは SSHA 形式である。他の形式を使用するときは、管理コンソールから変更可能である。同様に変更可能なパラメータとしては、サイズ制限、検索制限、時間制限、アイドルタイムアウト、そしてデータベースキャッシュ、各サフィックスのエントリキャッシュ等がある。これらは格納データの量や属性の質によって適切に設定する。またログの設定も行うことができる。

4 エクスポート・インポート

4.1 エクスポート

一般に、エクスポート方法は 3 種類あり、それぞれ出力内容が異なる。簡単には管理コンソールを使う方法がある。この際、エクスポートするサフィックスは自由に選択可能であるが、出力された ldif ファイルには冗長な情報が含まれている。次に db2ldif コマンドによるエクスポートがある。これは管理コンソールで出力する場合よりも簡潔になっている。また他のサーバに移行する場合でも、ACI 情報と共に必要な内容が含まれている。以下に db2ldif コマンドの実行例を示す。

```
/usr/sbin/directoryserver - s serv01 db2ldif - s "dc=abc" - a $USER_HOME/file_abc.ldif
```

最後は ldapsearch コマンドによる ldif 形式を指定した出力方法である。-L オプションを付加して ldapsearch コマンドを実行すると、そのままインポート可能な ldif 形式で出力される。しかし“(objectclass=*)”で検索した場合には、ACI 情報は出力されない。

なお環境変数を設定しないまま ldapsearch や ldapadd コマンドを実行すると、旧版が起動されてしまい、正常に動作しない。SJSDDS5.2 の ldapsearch コマンド等を起動するためには、LD_LIBRARY_PATH に *ServerRoot/lib* を追加し、*ServerRoot/shared/bin/ldapsearch* 等を使う。

4.2 インポート

ldif ファイルのインポート方法は、管理コンソールによるものと ldapadd コマンドによるものがある。前者を使うと GUI 形式でインポートできるので便利である。エラーが発生しても処理を継続するモードが選択できる。管理コンソールによるインポートを使って、ユーザ定義のスキーマやインデックス定義エントリを読み込ませることも可能である。

5 バックアップ・リストア

5.1 バックアップ

管理コンソールを使ったバックアップが簡便である。同じ機能は db2bak コマンドとして用意されているので、UNIX の cron 機能を使って定期的に行うことも可能である。リストアするときには、*ServerRoot/slaped-serverID/config/dse.ldif* ファイルが必要な場合があるので、これもバックアップしておく。

5.2 リストア

バックアップファイルが存在すれば、管理コンソールのリストアボタンから、バックアップ年月日・時刻を確認して、簡単にリストア可能である。このバックアップファイルを使って、別システム上でリストアすることもできる。そのためには、独自定義スキーマがある場合はあらかじめこれをインポートし、サフィックスも作成しておく。またインデックスの再作成やレプリケーションの設定も行う必要がある。

あるサフィックスの ACI を含む全エントリとインデックスとを別システムに移行する方法としては、以下

の手順がある。①. 対象サフィックス以下を `db2ldif` コマンドでエクスポート。②. `-L` オプション付きの `ldapsearch` コマンドで当該インデックス情報を `ldif` 形式で出力する。③. 移行先 LDAP サーバ上でスキーマを設定し、サフィックスを作成しておき、先ほどの両 `ldif` ファイルをインポートした後、再インデックス処理を行う。

6 インデックス

6.1 インデックスの作成

ユーザ設定の属性に対しインデックスを張るためには、管理コンソールを使って対象属性を選択し、インデックスリストに加えた後、再インデックス処理を行い、インデックスデータベースを作成する。再インデックスは `db2index.pl` コマンドを使う方法もある。インデックスが実際に機能しているかどうかは、実際に `ldapsearch` コマンドで当該属性を検索してみて判断する。別サーバでも同じサフィックスを作成する時は、インデックスエントリも `ldif` ファイルに落とし込み、当該システム上にインポートすると、インデックス対象属性を抽出する手間が省ける。しかしこの場合でも、管理コンソール上での当該属性の選択及び再インデックス処理は必要である。ちなみに、マニュアルには、「レプリケーションを行う場合に、レプリカの初期化を行うとインデックスも再作成される」と書いてあるが、少なくともユーザ定義の属性インデックスは、新規には作成されなかった。また、LDAP サーバの運用中に全インデックスの再インデックス化処理を実行することは可能であるが、システムに対する負荷が高くなり、情報サービスのレスポンスに影響することがあるので注意する必要がある。

以下では、インデックス化対象属性の設定エントリ位置を示す。

```
cn=index,cn=サフィックス名,cn=ldbm database,cn=plugins,cn=config
```

ところで、インストール時に作成されたサフィックスの場合は、そのインデックス内容を表すエントリの DN の当該部分名が指定したサフィックス名とは異なり、「`userRoot`」という名前で作成されてしまう。後から管理コンソールで作成するサフィックスの場合は、サフィックス名とそのインデックスを表す DN の当該部分名は一致する。これが、インストール時に作成したサフィックスは実際には使用せずに、ダミーにしておくことを推奨した理由である。

6.2 「インデックスリストのしきい値」の変更

インデックス化対象の属性において、ある属性値を持つエントリが非常に多い場合、その属性値のインデックスリストが「全 ID しきい値」を超える場合は、当該属性値のインデックスが作成されない。これは、当該属性値のインデックスリストを維持するコストが、それがインデックス化されていない場合の検索コストを超えたと判断するしきい値である。この値は `nsslapd-allidsthreshold` で設定するが、デフォルト値は 4000 になっている。今回、この値を増加させる依頼があった。そのためには、「ディレクトリサーバインスタンスの停止、及びディレクトリデータの再初期化が必要である」と、マニュアルに記述されている。しかし、筆者は当該サーバがマルチマスターレプリケーション状態であったことを活用して、以下の様にした。①. LDAP サーバ `slapd` を停止、②. `dse.ldif` ファイルの `nsslapd-allidsthreshold` の値を変更、③. LDAP サーバ `slapd` を起動、④. レプリケーションの機能を利用して、別サーバから当該サフィックス以下のエントリデータを初期化、⑤. 再インデックス化処理

結果としては、この方法によっても、`nsslapd-allidsthreshold` 値の変更は有効になることが分かった。

7 レプリケーション

7.1 シングルマスターと専用コンシューマの設定

管理コンソールで作業する。まず、コンシューマ側で以下の設定を行う。

1. レプリケーションマネージャのパスワード設定
2. サフィックス上で、レプリケーションウィザードを使って、専用コンシューマレプリカを定義する
次に、マスター側のサフィックス上で以下の設定を行う。
 1. レプリケーションウィザードを使い、マスターレプリカとレプリカ ID を定義する
 2. コンシューマに対するレプリケーションアグリーメントを定義する
 3. マスター側からコンシューマに対しエントリデータを初期化する

7.2 マルチマスターレプリケーションの設定

1. 双方のサーバにおいて、レプリケーションマネージャのパスワード設定
2. 双方で、レプリケーションウィザードを使って、サフィックス上でレプリカ ID、マスターレプリカの定義(このとき、レプリカ ID は各サーバ毎に別の番号を設定する。対象サフィックスが複数あるとき、同一サーバインスタンス上では同じレプリカ ID を付けてよい)
3. 相互に相手側に対するレプリケーションアグリーメントをサフィックス単位で定義する
4. 完全なデータが存在するマスター側サフィックスから別マスターサフィックスに対しエントリデータを初期化する (このとき、後者のマスター側サフィックスにデータが存在していたら上書きされる)
レプリケーションの状態表示が「増分更新」になっていても、受信側のサーバでエラーになったり、レプリケーションマネージャが「無効」のときは、レプリケーションできていないことがある。本当にレプリケーションできているかどうかは、実際にデータを書き換えてみて確かめる必要がある。

8 まとめ

以上、LDAP サーバの再構築技術について、実際の経験を踏まえて紹介した。この設定作業によって、ユーザ情報サービスの基盤となるシステムを多少とも堅牢なものにすることができた。また、エントリデータ内容を別システムに移行する作業もスムーズに行えるようになった。

今後は、サーバ毎の管理コンソールを統合又は分散管理する方法について習得することが課題である。

最後に、様々な設定値の検討をしてもらった内藤久資准教授、平野靖准教授、そして情報連携基盤センターの同僚、富士通 SE 諸氏に感謝する。

参考文献

- [1] Sun Microsystems, “管理ガイド Sun ONE Directory Server5.2”, Sun Microsystems, 2003 年 6 月
- [2] Sun Microsystems, “インストールおよびチューニングガイド Sun ONE Directory Server5.2”, Sun Microsystems, 2003 年 6 月
- [3] 堤守政, “LDAP による利用者管理方法の検討”, 全国共同利用情報基盤センター研究開発論文集 No.26, 2004 年 11 月
- [4] 堤守政, 安藤八郎, 川田良文, 高橋一郎, 田島尚徳, “NIS から LDAP への利用者管理方式の移行”, 大阪大学総合技術研究会, 2005 年 3 月
- [5] 堤守政, “LDAP サーバのマルチマスターレプリケーション”, 全国共同利用情報基盤センター研究開発論文集 No.29, 2007 年 10 月

ポスターセッション

技術研究会の歩みと今後について

竹中たてる

大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構

加速器研究施設第三研究系

概要

2005年、大阪大学より技術研究会の方向性について、まとめ依頼があり、記述したものです。大阪大学技術研究会の運営協議会ではこの文章の骨子を参考として提出しましたが全体にわたる物をここで報告させていただきます。

技術研究会の歩みとしてはどのように大学がこの研究会に参加し技術研究会が幅広く発展しているか、また、多面的活動と課題では運営方法・開催場所・開催分野・広報などについて記述しました。そして最後に参加・発表の推移を表としてまとめました。

1 あゆみ

技術研究会は皆さんがご存知のように昭和50年共同利用機関の分子科学研究所から始まりました。まだその時期は、大学においては技術職員の旅費確保も困難な状況にありましたが、共同利用機関で発表者に旅費を支出することで、それが徐々に知れわたり、回を重ねる毎に参加者が増え規模も大きくなっていきました。

技術職員の研修や研究会に対する期待もあり、文部省が技術職員研修の促進を1996年ころ打ち出した時期に大学等に研修に対する予算が計上され始めました。各大学・研究機関で技術職員の研究会参加のための旅費が確保できるようになり、条件がかなり緩和され、各大学からの自費参加が普及しました。その頃(1996年)から急速な膨らみを持ち始めます。それは、技術研究会の開催を共同利用機関から大学に広げ始めた時期とあいまっています。

技術研究会を開催し始めてから既に35年経過しました。当初は分子研で年2回開催され、その後、分子研、高エネ研、核融合研の持ち回り開催を軌道に乗せ27年が経過しました。1995年頃、分散開催なら大学・研究所でも開催可能であると幾つかの大学・研究所が名乗りを上げ、1996年度に電通大・天文台、名大、北大の4機関3ヶ所で分散方式により開催されました。電通大と天文台は距離的に隣接しており電通大を会場にして見学コースは天文台に設営し両機関がそれぞれの持ち味を発揮し協力して制御・回路・装置・計算機の分科会を開催しました。名大の分科会は装置・工作・ガラス細工でした。そして北大は低温関係などとそれぞれの大学の特徴を生かした開催でもありました。分散方式の各会場を合わせると参加者も大変多く分科会での議論も十分深まり成功に終わっていました。

この頃から運営のあり方を考える機運が高まりKEKにまとめが依頼されました。数機関と意見の調整を行い1998年度のKEK開催から「大学・大学共同利用機関等技術研究会運営協議会設置要項」を適用し技術研究会運営協議会を発足しました。この技術研究会設置要項は開催大学においても説明がしやすく、分かりやすい技術研究会として浸透し、技術研究会の発展に大きく寄与しました。共同利用機関、KEKは経験を惜しみなく大学に継承しその役割を果たしてきました。

大学で開催されることで共同利用機関だけの開催だったときより技術職の壁がひとつとれ、より技術職員の一体感が出来て全国に広がっていきました。大学と交合に開催することが定着化し、2000年度からは3研

究機関と東北大、東大、大阪大、名大、と順次開催され次年度は核融合研開催の後に京都大が予定されています。また、熊本大、愛媛大での開催が表明されています。

昨年度の分子研開催で技術研究会の参加者延べ人数は 8669 人を超え、全国技術職員数（6000 人）の 1.5 倍（145%）になり、発表は 2815 件に達し単純計算では半分（47%）の技術職員が発表したことになります。

技術研究会の運営にも I T 技術の採用が進み、CD 出版、参加費の電子化処理、分科会のネットワーク管理、開催案内・予講習・報告集等の HP 掲載、発表論文のデータベース化による一元管理が分子研によって行われ 35 年を遡って閲覧できるようになっています。また、電子化処理に KEK の電子出版グループから各機関に出張し、普及に努めました。各機関とも事前の報告集作成など効率化が進み開催当日の混雑を大幅に緩和できるような努力が見られます。また、口頭・ポスター発表等に独自の工夫が持ち込まれており、発足当時と比較すると規模、内容等で大きく上回り充実している様子が伺えます。

今後、法人化が推進されていくと技術職員の評価、社会貢献、活動の説明など多様な要素が入ってきます。このような状況のなかでこそ、多くの方が技術発信を行う技術研究会のさらなる充実発展が必要です。そのためには技術研究会運営協議会において開催地を決めるのみならず、より充実していく運営方法の検討に時間を割く必要があると考えます。

2 技術研究会の運営と課題

2.1 開催方法および運営について

- ① この技術研究会は機関の自主性を培い技術職員の自立を促すものとして重要な存在です。
- ② 多数の大学で開催を表明していることは望ましいことで技術者間の交流が囑望されている証です。
- ③ 開催規模が大きいと大雑把になりやすいが、他分野の方と広く議論・意見交換が出来、幅広い知識が習得できる。一方、分散型の開催はテーマが絞り込め技術・交流を深めていくことが出来、共通の話題がもちやすい。全体開催、分散開催はそれぞれの良さがあるので運営はその開催方法にあった適切な配慮が必要です。
- ④ ある機関だけに開催が集中することは望ましくない。ただ、分散型が続くと根幹になる機関が見えなくなり継続・継承した運営が停滞する可能性もある。これを維持するためには共同利用機関で定期的な隔年開催を採用することが提起され、数年前の運営協議会で確認されています。
- ⑤ 当面各大学・研究機関においては全体会議を開催し、分散方式が妥当だと思われる機関は名乗りをあげ、隣接している機関で複数募ったら分散方式で開催を促す。最低 6～8 分科会がそろえば 2,3 機関で実施できます。会場が東と西に分かれ、参加しやすい立地条件をそろえていることも一つの方法です。また、ある程度のテーマのオーバーラップが必要です。これは地方大学・高専でも可能です。
- ⑥ 参加者の増大に伴い発表内容についてじっくり議論が出来ないなどの話しも聞く、ある技術研究会で主催者いわく参加登録人数のわりには分科会への参加者数が少なく、残りの人はどこに行ったのだろうか、数多くの人が参加してないのではないだろうかと懸念していました。

2.2 開催場所と会場について

- ① 規模が大きくなると小さな機関では開催場所の確保が難しい。
- ② 開催場所を開催機関外に求めれば解決すると思われるが、開催時の担当が大変であると同時に経費がかさみ参加者に跳ね返ります。
- ③ 規模が拡大することにより一機関で開催が出来ない時の問題解決として分散開催が考えられ

る。この方式で1996年度には開催され成功を収めています

2.3 技術分野のながれ

- ① 技術研究会の分科会として低温技術が1981年に加わり、分析関係は1995年からスタートし独立した分析技術研究会として開催されている。ここ数年実験・実習を主とした研究会も開催されています。
- ② 分科会の性格として工作技術は加工技術より製作技術が主になり、計算機技術は情報・ネットワークに変わりつつあります。また、大学での開催は教育実習、ガラス加工、地震、地学、化学なども分科会として設置されるようになりました。生物、生理学関係は岡崎の研究機構で毎年研究会が開催され28年の歴史を積み重ねています。現在、技術職員の関係する技術分野の研究会は大学・共同利用機関独自にかなり広い分野を包括し展開されています。多面的発展も重要であるが、少し整理された研究会の模索も必要ではないだろうか。

2.4 学会方式による運営について

- ① 学会などのように年会費を徴収し当番機関（ホスト）を決め事務局を置いて運営する。多分当番が1年という訳には行かず数年の継続が望ましい。これは運営母体の定着化で安定した開催が補償できるかもしれませんが、しかし、ホスト機関は人的に数年補償できるかどうか分からず当番機関への負担が増大する。当然短期間パートなどで運営する必要があります。運営費が少ないと継続困難となり長続きしない。学会方式は参加者が自分達で運営費も含めて開催をしていくので技術職員の自律に繋がる。ただ、これを進めた後から、大学・機構に支援要請はできにくいと思われます。
- ② 文部科学省からの公的支援による継続的開催はどうであろうか、KEKで模索しようとしたが中断した。理由として支援を受けなければ開催できないと言う理由が成り立たなかった。継続的な支援を維持するには文科省との窓口を確保しなければならない。それは、困難であった。

2.5 有効な広報について

- ① ISSN 国会図書ナンバー取得についてはとっているところと、とっていないところがある、継続的な刊行物で無いと取得しにくい。
- ② 科学技術振興財団へ出版物を寄贈した（検索に使用したいということでKEKでは数回この財団へ提出し天文台でも送ったが現在は続いていない）。
- ③ 技術研究会の開催を各学会誌に宣伝していただき、自他とも認めざる得ない技術研究会を作り上げていく。2004年度は加速器学会誌に阪大の技術研究会開催を掲載してもらった。主催者は可能な限りいろいろな雑誌に掲載する手続きは取れないだろうか。
- ④ 2005年に低温技術の関係だけを20年間くらい遡り、編集し纏めた冊子をKEKで発行した。「技術研究会・低温技術部門報告抄録集1982-2003」池田博 他編集、これには各機関の方が協力し、技術研究会でも紹介がありました。

3 技術研究会の参加・発表人数の推移(表-1)

表 1. 技術研究会の参加・発表人数の推移

(作成 2007/11/21 竹中)					
年度	年度	開催機関	分科会数	参加者数	発表件数
S50	1972	分子研			5
S51	1973	分子研			6
S51	1974	分子研			6
S52	1975	分子研			7
S52	1976	分子研			9
S53	1977	分子研		44	8
S54	1978	分子研			11
S54	1979	分子研			11
S55	1980	分子研		79	23
S56	1981	分子研	低温開催		28
S57	1982	KEK	4分科会	170	45
S58	1983	分子研		150	35
S59	1984	プラスマ研		269	65
S60	1985	KEK		200	69
S61	1986	分子研		150	49
S62	1987	プラスマ研		214	57
S63	1988	KEK	5分科会	287	91
H1	1989	分子研		206	61
H2	1990	核融合研		285	79
H3	1991	KEK		256	86
H4	1992	分子研		250	86
H5	1993	核融合研		273	78
H6	1994	KEK		281	69
H7	1995	分子研	分析開催	275	74
H8	1996	電天名北	7分科会	530	139
H9	1997	核融合研		284	78
H10	1998	KEK		350	115
H11	1999	分子研		380	112
H12	2000	東北大	7分科会	480	160
H13	2001	核融合研		407	131
H14	2002	東大	10分科会	699	249
H15	2003	KEK		407	122
H16	2004	大阪大	8分科会	647	243
H17	2005	分子研	5分科会	40	108
18	2006	名古屋大	8分科会	756	300
2006年度までの合計の参加者数、発表数				8669	2815
参考資料：平成5年度核融合科学研究所技術研究会報告集					

4 謝辞

この報告文を記述するに当たり大阪大学松岡健次氏、KEK 徳本修一氏、舟橋義聖氏、浅岡聖二氏、平雅文氏に貴重な助言を頂きましたのでこの場をお借りしてお礼を申し上げます。また、技術研究会に尽力を尽くされた皆様と諸先輩に感謝の意を表したいと思います。

機械工学センターの短期支援業務の現状

○小林芳治 上野健治

高エネルギー加速器研究機構 共通基盤研究施設 機械工学センター

概要

機械工学センターは、機構が推進する加速器科学に関する研究活動に必要な装置、計測機器及び供試体等につき高度な加工、製造、計測、制御技術等、機械工学分野での基礎開発研究を行い、未開拓で高度な新規技術の構築のための基盤研究を推進することが目標である。その中で私たちが対応している短期支援業務の現状を報告する。

1 はじめに

高エネルギー物理学を扱う機構の研究者が、研究活動に必要な装置、計測機器及び供試体等につき高度な加工、製造、計測、制御技術等、機械工学分野での支援業務及び支援業務から発展した独自の機械工学の基礎開発研究を行うことが、機械工学センターの活動目標である。この支援業務の内容に関して、図面が無い開発段階からの開発プロジェクトへの参画を、中期・長期支援業務への参画活動とし、図面が完成あるいは完成状態に近い場合、短期支援業務として受け付けるしくみがある。この短期支援業務について、活動内容を報告する。

未開拓で高度な新規技術を必要とする装置であっても、機械工学（設計）の立場から構成する装置、部品等に分解すれば、図面のない開発段階あるいは、図面がある程度完成している段階の2段階である。これらの窓口は、2種に区別しているが双方互いに連携を取り、無理なく、無駄なく対応できるように、マンパワーを主に調整しながら、対処している。数値で見ると、短期支援業務は400から500件/年度である。短期支援業務のこの6年間の推移を図1に示す。図面が確立している内容であれば短期支援業務としていることから、この短期支援業務は簡単な加工も含まれるが数ヶ月の工数を要す業務もある。管理表の一部を表1に示す。詳細は後述するが、設備上対応できない案件、数量が多く繰り返し作業となる加工業務について

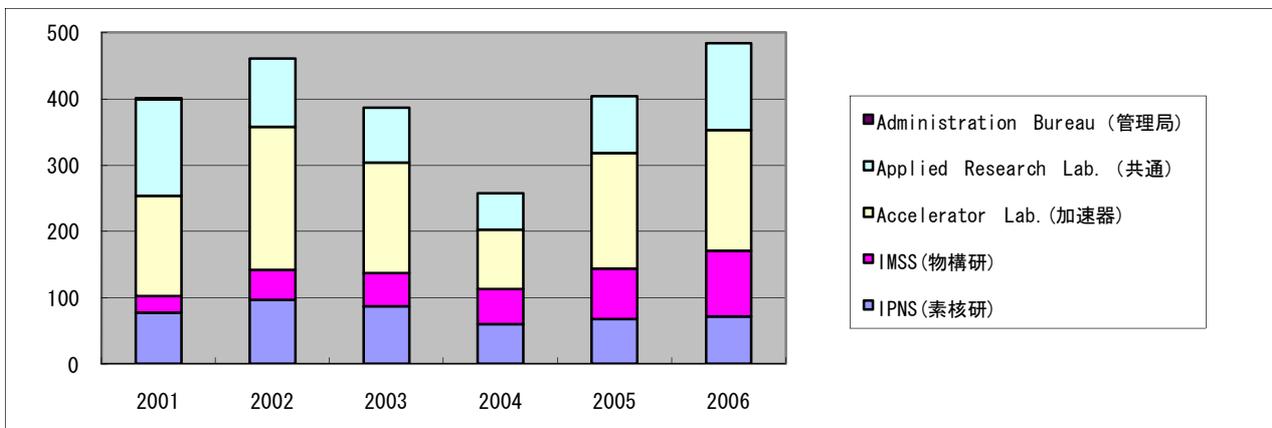


図1. 短期支援業務の依頼件数の推移

2004年度は、法人化直後の予算組み替えから依頼する側の予算の割付が徹底せず、件数が減少した。実際には、400件近い依頼数であったと推定される。

は、協力企業へ依頼している。内製、外製の比率は、表2に示すように95%：5%のように内部での対応を重視している。

表1. 受付例（一覧表の一部）

月別作業状況				
	受付	完了	未完	完成
05年から	21	21	0	
4月	31	31	0	36
5月	28	28	0	31
6月	47	47	0	40
7月	55	55	0	44
8月	38	38	0	47
9月	45	44	1	54
10月	44	44	0	38
11月	40	40	0	45
12月	44	42	2	35
1月	41	38	3	36
2月	28	23	5	36
3月	43	28	15	37
合計	505	479	26	479

表2.

所属別依頼数		
素核研	74	14.7%
物構研	102	20.2%
加速器	189	37.4%
低温	129	25.5%
放射線	1	0.2%
機械工セ	10	2.0%
合計	505	100.0%

班別担当件数		
A	98	19.4%
B	364	72.1%
C	9	1.8%
D	5	1.0%
E	8	1.6%
F	20	4.0%

A-E 機械工学センター内の担当グループ

F 協力会社
主にBグループが短期支援業務を行っている

2 しくみについて

研究、実験遂行には多くのアイデアの中から必ず「ものづくり」の工程が必要であるが、それには、加工設備と技術、および製作図面がなくてはならない。そこで、これらの維持、発展のために機械工学センターはしくみを構築し、このしくみを維持発展させることに日常注力している。

上記で述べた短期支援業務の対応能力を支えるしくみとして

- ① 工作委員会：各研究系から委員が構成され年4回委員会を開催し、年度方針、運営、予算及び依頼者への情報共有化を図る。重要な依頼業務の対応協議の場でもある。
- ② レイアウト委員会：機械工学センター内から委員が構成されている。工場内のレイアウトを中心に使いやすい、また安全なレイアウトを目標に必要時に開催している。
- ③ CAD委員会：機械工学センター内から委員が構成されている。機構内職員のPC対応も含め効果的なCADシステムの導入、維持管理及びソフトの維持等を実施している。
- ④ 機械工学センター内の全体会議：受付状況の情報交換と対応上の問題点などあれば協議する。月1回開催している。また、輪番制でセンター員が興味ある加工事例を報告し、情報の共有化を図る。

なお、一部の依頼部品については、仕様上設備が無い、対応技術が特殊、日程的に無理などの理由から、外部協力企業へ加工を依頼している。外部への依頼の判断基準としては、上記の理由の他、2度目以降の繰り返し加工、数量が多い加工としている。原則内部でしか加工できない依頼品、短期支援業務といえ新技術の芽になる依頼については、積極的に当機械工学センターで行うこととし、関係者に理解を求めている。

また、このしくみを維持するために以下の活動を実施している。特に教育の機会として

- ① 工作機械技術講習会：年2回開催し機構内外の学生、職員、研究者への機械の安全な使用方法の教育。修了者は機械工学センター内の指定された工作機械の使用ができる。
- ② 製図講習会：図面の見方、書き方について指導している。機械工学センター員が著したテキストにより行う^[1]。アイデアを具体化するツールとして図面化すること、図面化すれば必要な部品が得られること、機械技術者と議論できることを理解してもらうことにある。

3 窓口業務と活動事例

機械工学センターが製作対象とする部品に要求される技術は、具体的に

- ① 超精密加工、高精度加工
- ② 加工部品の精密計測技術
- ③ 拡散接合、ロー付け接合、異材質の接合
- ④ 超真空技術、真空容器製造技術
- ⑤ 超伝導（低温）技術
- ⑥ 真空下の機械要素設計、高速回転技術
- ⑦ 制御技術

等が含まれた装置製造技術になる。加速器工学の場合、これらの技術レベルは、一般産業装置に比べ非常にその数値が高い。例えば、加速管用セルの場合、その面粗度は拡散接合工程のため $0.1\mu\text{m}$ から $0.05\mu\text{m}$ 、であり、加速管装置内真空度は、加速粒子がその進行をさえぎられないために 10^{-6}Pa ～ 10^{-8}Pa である。目的（必要条件）を明確にして、加工工程を適切に選択すれば、加工レベル（仕様）の達成は可能である。

このような背景のもと、依頼される短期支援業務の受付けの内容と活動内容は、依頼者との直接の面談を必須条件としている。その席で依頼者のアイデアを正確かつ加工可能な図面に反映するために

- ① エンジニアリングコンサルト：専門的な高度な案件は、センター内のエキスパートへ委託している。
- ② 図面化の指導、加工のしやすい、精度が得やすい図面化の指導：窓口で対応している。
- ③ 関係者による検討会も開催を実施している。また、緊急対応体制もあって、時間外、休日の受付工事対応も依頼者の必要度に応じて対応している。

これらの活動は、目立つことがないがその効果は大きい。結果、図面、依頼内容が明確になれば、センター職員が実際の加工したり、あるいは組み立て調整作業がをしたりして、機能的に良質な部品、装置が作れると考えている。製作した製品の一部を図4，5，6に示す。

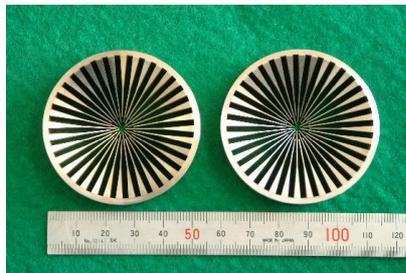


図4 磁場遮蔽用部品
φ54 x t10 ニッケル49%鋼材



図5 イオン検出器部品
Sus310s 材



図6 コイル間スペーサー
G10材 総数50個（一部）

4 社会活動

機械工学センターの現状を茨城県の企業の方に理解していただくことを目的に、2003年、2004年の2回実習講座を準備した。筆者が担当したNCプログラミングは以下のようなものである。

1. 数式などで指定された加工面が存在する製作図面に対して、特別な器材を使用せず現有工作機械に備わっている機能を用い簡単に加工するプログラミングを作成する技術。
2. このような機能が装備されていない制御装置においては、それらの数式をNCデータに変換してNCプログラミングする。

取り上げた対象部品と図面を図7に示す。

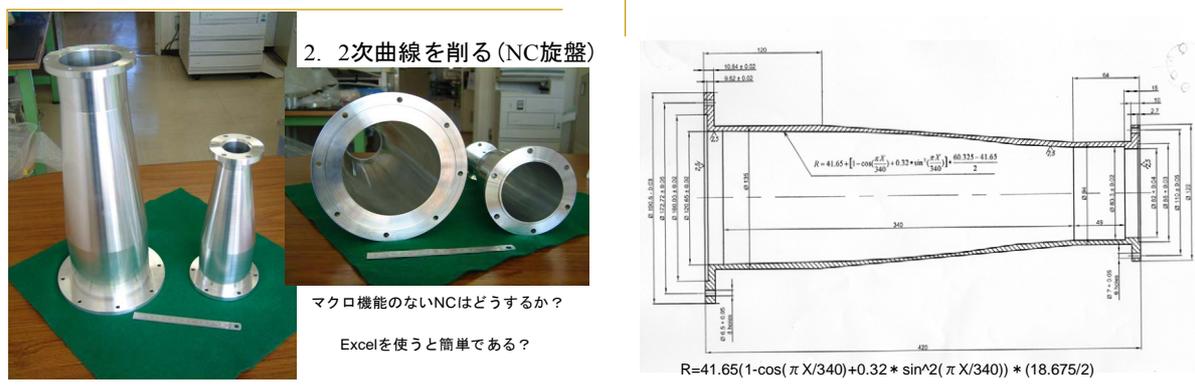


図7. NCプログラミングの対象とした部品(左図)とその図面(右図)

使用ソフトは、マクロトレーサー(フリーソフト)、NC VIEWER(フリーソフト)を用いる。以下、講習例題の中から、3例を紹介する。

課題1: 厚さ2mmで長さが150mm、幅0.2mm~任意の短冊状の部品を任意の枚数、製作する。

例題2: パターン加工(ボルト穴のみ付け)、任意の円周上に任意の個数のセンターもみをする。

例題3: 曲線 $R=41.65(1-\cos(\pi X/340)+0.32 * \sin^2(\pi X/340)) * (18.675/2)$

を加工する。この対象部品の概観写真を写真2に示す。検討課題図面を図7に示した。

以上は、マクロ機能を用いてプログラミングする基本的事例を扱った。この機能を有効使用すると、プログラミング時間短縮、加工精度上及び加工時間上の効果も得られる。

5 まとめ

短期支援業務が、積極的に活動しなければ中期・長期の開発プロジェクトが順調に活動できない。この短期支援業務のしくみを中心に、機械工学センターの取り組み現状を述べた。この状況を将来に亘って維持するためには、加工技術情報、ノウハウをNC工作機械のソフトデータとして管理することに注力しているが、限界がある。このための対策として人材育成、特に後継者育成が急務であると考えている。

参考文献

- [1] 舟橋義聖編集 製図 K E K Internal 2002-13 March 2003 D
- [2] 小林芳治他 高度加工技術講習会、K E K, 茨城県、(株)つくば研究支援センターと共同開催 2003、報告書は、日本機械工業連合会のつくば研究支援センター「研究支援活動の促進による産業活性化に関する調査研究報告書」に掲載されている。
- [3] 小林芳治他 高度加工技術講習会、K E K, 茨城県、(株)つくば研究支援センターと共同開催 2004

依頼業務 火山灰採集装置の製作（工作・加工）

○佐々木厚夫、千葉俊男、津田隆、小野寺知美、阿部隆行^{A)}、柴崎義信^{B)}、千賀信幸^{C)}

東北大学 大学院理学研究科・理学部 技術部

^{A)} 機器開発研修室

^{B)} 附属原子核理学研究施設

^{C)} 物理学専攻原子核物理

はじめに

2006年7月に、東北アジア研究センターの嶋野先生（現 静岡、富士常葉大学）から技術部に火山灰採集装置（一号機）の製作の依頼がありました。装置を製作するにあたり必要とされる専門技術を持った職員が集まり、協議検討をしました。その結果、物理学専攻の千賀さんが意見をまとめ設計、図面を引く。その図面をもとに機器開発研修室の職員で、部品等の製作加工をする。組みあがったものに、核理研の柴崎さんが駆動・制御の回路系を担当、と決まり製作した。

2007年5月に、一号機の使用で分かった問題点を修正した、改良型の火山灰採集装置（二号機）を二台、製作依頼がありました。前回と同様に製作した。

今回は、機器開発研修室で受け持ちました、火山灰採集装置の一号機と二号機の製作・加工（主に、NCフライス盤によるプログラム加工等）について報告する。

1 火山灰採集装置（一号機）の製作

出来上がった図面をもらい、確認検討をして製作に取り掛かる。材質がステンレス（火山性ガスによる腐食を考慮して）であり、φ300の寸法の部品もあり、加工に時間が掛かると予想された。

主軸や支柱、サンプルケースやフランジなどは旋盤で加工をする。現物合わせの箇所もあり、汎用旋盤で加工をした。

フランジに、穴あけやネジ切りのもみつけ、円筒型の試料マスクや試料ベース等の加工はNCフライス盤で加工をした。

サンプルケースのフードとなる市販のサラダボウルに穴をあける。

1.1 NCフライス加工

円筒型試料マスクと円筒型試料ベースの加工は、NCフライス盤でプログラム加工をした。牧野フライスのAHNC-74型、プログラムソフトはFeatureCAMを使用した。

1.2 円筒型試料マスク

サンプルケースのふたとなる部品である。外周は旋盤で加工。内側の肉抜きをプログラムで加工する。

1.3 円筒型試料ベース

サンプルケースが付く部品である。内側の肉抜きと外周のケースが入る溝をプログラムで加工する。



写真1. 一号機

1.4 部品組み立て

出来上がった部品を仮組み立てする。ほぼステンレス製で、一体型にしたせいで重くなった。これにモーターや回路、バッテリー等を取り付けて、火山灰採集装置（一号機）の完成となる。

2 改良型火山灰採集装置（二号機）の製作

一号機の使用で、依頼者より指摘された問題点を修正した、改良型の火山灰採集装置（二号機）の図面をもらい、確認検討をして再び製作に取り掛かる。今回は二台製作と増えましたが、材質がアルミ（腐食は表面処理で対応）に変更になり加工しやすくなった。

2.1 円筒型試料マスク

治具となる板にしっかり固定をして加工をする。外周と内側の肉抜き、煙突がつく穴あけをプログラムで加工する。

2.2 円筒型試料ベース

内側の肉抜きと外周のサンプルケースの入る溝の加工をする。

2.3 アルマイト処理

アルミニウムの耐食性や耐候性を向上させる表面処理。研修室では設備がないので、専門の業者に依頼した。

2.4 放電加工

サンプルケースのフード、モーターや回路が収まる容器は、市販のステンレスのタライや、ふた付きの容器等を使用。φ20位の穴あけが必要で、容器の厚さが薄いため、ドリルやエンドミルでの加工では変形等のおそれがあるので、ソディック製の型彫り放電加工機 AM3L 型で加工をする。



写真2. 二号機

2.5 部品組み立て

出来上がった部品を仮組み立てする。前回の一号機と比べて軽くなりコンパクトになりました。バッテリーを別にしたせいもあります。持ち運びが楽になり使いやすくなったと思う。これにモーターや回路、バッテリー等を取り付けて改良型火山灰採集装置（二号機）の完成となる。

3 まとめ

一号機は材質がステンレスなため、切削量や送り速度があまり上げられなかったり、押え金具の位置の関係で数回に分けて加工して、時間がかかった。また、他の加工もあったので夜間にプログラム加工をするなどして、いろいろ苦労した。

二号機は材質がアルミになったので、二台分と増えましたが滞りなく加工ができた。モーター部の市販の容器に穴あけが、加工範囲ギリギリの高さではあったが、無事に加工できた。

Zn 基、Ag-In 基準結晶における単結晶の作製

○大橋 諭^{A)}、蔡 安邦^{B)}

^{A)} 東北大学 多元物質科学研究所 技術室

^{B)} 東北大学 多元物質科学研究所

緒言

1984年に Shechtman らによって急冷 Al-Mn 合金中に発見された準結晶¹は、従来の結晶学では許されない5回の回転対称性と格子面間隔が準周期的であるという特徴を持ち、その構造の特異性から一般的な合金に比べて電気伝導性の低さや高い硬度、低摩擦係数などの物性を示す。初期に発見された準結晶は液体急冷等で得られた合金中でのみ確認されており、準安定物質と考えられていたが Tsai らの研究に代表される熱力学的に安定な準結晶²が報告されて以来、基礎と応用の面から様々な研究が進められている。準結晶の構造や物性を詳細に研究する上では、これらの単結晶が求められている。本報では熱力学的に安定相が得られる Zn-Mg-RE 準結晶³ (RE:希土類金属) および Ag-In-Yb 準結晶⁴について、単結晶(単準結晶)の育成を試みた。Zn-Mg-RE 準結晶にはフラックス法を、Ag-In-Yb 準結晶にはブリッジマン法をそれぞれ用いた。また、フラックス法においては、坩堝の種類により2つの方法を用いた。

1 Zn-Mg-Dy 準結晶—フラックス法 (ステンレス坩堝)

フラックス法は、単結晶を液相(過飽和溶液等)から成長させる方法の一つであるが、本報では状態図を基にして原料(Zn および Mg)をフラックスとして単結晶を育成した。

Zn(純度4N)、Mg(4N)およびDy(3N)を原子数比46:51:3で調製し、ステンレス坩堝(φ16 x 70 mm)にアルゴンガス雰囲気下(600 torr)で封入した。ステンレス坩堝の封入においては、専用のアーク溶接機(G. E. S 製)を使用した。このステンレス坩堝を透明石英管(φ20 mm)に封入(アルゴンガス~10 torr)し、試料の断熱性およびステンレス坩堝の耐酸化性を高めた。この石英管をさらにステンレス容器に入れ、電気炉を用いて原料の溶解および単準結晶の育成を行った。700°C、2時間で原料を溶解させ、続けて600°Cから540°Cまで1K/時で徐冷して単準結晶を育成した。

約540°Cの時点では単準結晶と熔融状態の金属(主にZn₂Mg)が共存しているため、ここでステンレス容器を電気炉から取り出し、速やかに遠心分離機にかけて(2000 rpm、20分間)単準結晶と熔融金属を分離した。得られたZn-Mg-Dy単準結晶は2~3 mmのサイズがあり、準結晶に特徴的な正12面体をしており5角形の結晶面をはっきりと確認出来る(図1)。REとしてDyの代わりにY、TbおよびErを用いた準結晶についても同様の方法で単準結晶を育成することができた。試料を溶解する温度や徐冷条件、電気炉から取り出す最適な温度等はそれぞれ異なると見られるが、この方法で単準結晶を効率よく作製できることが確認された。

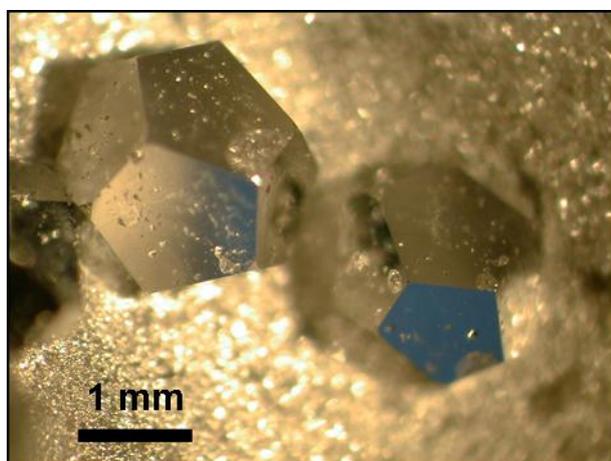


図1. Zn-Mg-Dy 単準結晶の光学顕微鏡写真

2 Zn-Mg-Dy 単結晶—フラックス法（アルミナ坩堝＋ステンレスプレート）

Zn-Mg-RE 単結晶がステンレス坩堝の壁面から結晶成長することを考慮し、ステンレス坩堝のかわりにアルミナ坩堝（ $\phi 15 \times 100$ mm）を用い、原料と共にステンレスのプレート（ 7×50 , t1.0 mm）を装入して単結晶の作製を行った。原料の仕込み組成は 1 章と同様である。アルゴンガス雰囲気下で原料の入ったアルミナ坩堝を石英管に封入し、電気炉を用いて 1 章と同条件で単結晶を育成し、遠心分離により単結晶を分離した。得られた単結晶の写真を図 2 に示す。1 章の場合と異なり、アルミナ坩堝表面に結晶成長は見られず、ステンレスプレート上に結晶成長が確認された。こちらの手法は、1 章と比較して単結晶の取出しが容易であり、プレートの種類を自由に選択可能である。

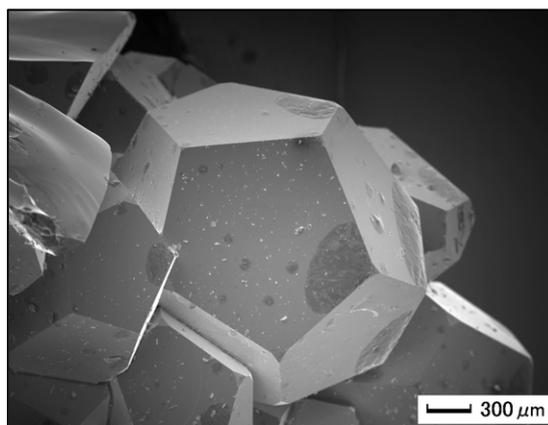


図 2. Zn-Mg-Dy 単結晶の電子顕微鏡写真

3 Ag-In-Yb 単結晶—ブリッジマン法

ブリッジマン法は熔融した試料を一端から凝固させて単結晶化させる方法である。本報では、縦型固定式の炉を用い、温度勾配を設けた区間を一定の速度で試料を降下させることにより単結晶を育成した。

Ag（純度 4N）、In（4N）および Yb（3N）を原子数比 42:42:16 で調製し、ブリッジマン用アルミナ坩堝（ $\phi 15 \times 100$ mm）に装入し、石英管で封入し内部をアルゴンガス雰囲気（600 torr）とした。これを縦型ブリッジマン炉（マテルズ製）にセットし、 800°C で 2 日間かけて原料を溶解した後、試料最下部の温度が約 300°C になるまで 0.2 mm / 時で降下させた。この間の温度勾配は約 6.2 K / mm、試料最下部の降温速度はおよそ 1.2 K / 時である。得られた Ag-In-Yb 単結晶のサイズは $\phi 10 \times 25$ mm（図 3）であり、背面ラウエカメラにより単結晶に特有である 5 回回転対称軸が確認され単結晶であることを確認した。

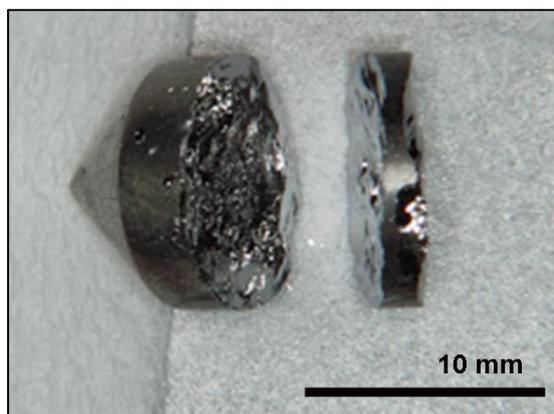


図 3. Ag-In-Yb 単結晶（一部）の光学顕微鏡

まとめ

Zn-Mg-RE 単結晶と Ag-In-Yb 単結晶をそれぞれフラックス法とブリッジマン法を用いて作製した。特にフラックス法では遠心分離機を用いることで、育成した単結晶を容易に分離できることを確認した。試料作製時の坩堝やプレートを変える（ステンレス、モリブデン、アルミナ坩堝等）ことで他の単結晶もしくは結晶にも適用することが可能である。

参考文献

- [1] D. Shechtman *et al*, *Phys. Rev. Lett.* **53** (1984), 1951.
- [2] A.P. Tsai *et al*, *Jpn. J. Appl. Phys.* **26** (1987), L1505.
- [3] I. R. Fisher *et al*, *Phil. Mag. B* **77** (1998), 1601.
- [4] 長谷川 淳, 東京理科大学修士論文 2003 年.

火山灰採取装置の回路系

○柴崎義信^{A)}、千賀信幸^{B)}、佐々木厚夫^{C)}、志田 博^{D)}

A) 東北大学理学研究科附属原子核理学研究施設

B) 東北大学理学研究科原子核物理分野

C) 東北大学理学研究科機器開発・研修室

D) 東北大学理学研究科電子物理学講座

概要

理学研究科技術部では、2003年に各技術職員が持っている技術を横断的に機能させ、大学の研究や教育に貢献するための業務運用組織を立ち上げた。この組織は、これまで技術職員が所属する部署に限ったサービスを提供していたものを、部署に限らずだれでも相談や支援を受けることができるものである。今回の装置の製作も、まさにそうしたなかで依頼を受けたもので、技術職員を抱えていない教員や研究者が、技術職員から支援を受けるモデルになるものと思う。

今回の依頼は、2006年7月に依頼されたもので私は装置を動作させるための回路系の設計と製作を担当した。この装置は、火山灰を長期にわたって定期的に採取するための複数のサンプルケースが取り付けられており、一定間隔でケースを移動して火山灰を採取するような構造になっている。

打合せを行う中で、採取方法について色々アイデアが出されたが、最終的には、採取のための窓を1か所とし、一定時間毎にサンプルホルダが回転して次のケースが窓の下になるような構造となった^{[1][2]}。また、設置場所への搬入は、人力で行うことになるため軽くする必要があった。装置の重量もさることながら、電力をバッテリーにたよらざるを得ないため、バッテリーの重量も考慮する必要がある。小型のバッテリーは容量が小さいため、回路が消費する電力を抑え、且つ長時間動作させる工夫も重要となった。

これらの問題を解決するために、モータにはパルスモータを使用して位置決めにかかるコストを減らした。また、一連の動作シーケンスを行うための回路は、回路変更が発生することも想定し、回路そのものをプログラミングでき、また低消費電力のCPLDを使用した。

1号機は、2007年2月に引き渡し実際に採取を行ったが^[3]、動作の一部に不具合が見つかった。ただし、採取を中断して装置を回収し改良することはせず、そのまま使い続けている。その後、2号機の依頼を受け、1号機での不具合点を改良した装置を製作し、今年の10月に完成した。

1 動作条件の検討

この装置は、火山灰を採集・保存するためのサンプルケースを30個装着し、基本的には1日に1回動作して新しいサンプルケースで採集を行うという構造のもので、30日以上にわたって動作させることが必要である。まず、この動作回路に要求された項目としては次の通りとなる。

- 1、低消費電力。
- 2、位置合わせ。
- 3、時間間隔設定。

1.1 低消費電力

装置の電力は、主にバッテリーのみで賄う必要がある。また設置場所も自動車が入れる場所とは限らない。運搬が主に人力となることを考慮し重量を抑える必要がある。そのためには、装置を軽量化することも必要だが、バッテリーを軽くする必要がある。小型のバッテリーとするために太陽電池等の補助電源を用いるこ

とも考えられるが、塵等の問題のため採用することは難しい。これらのことから、電力源はバッテリーのみとし回路を工夫して消費電力を抑えることとした。

回路は、全体を管理するための主回路とモータを動かすための駆動回路とで構成する。主回路は常に動作しており、消費電力の大半を占める。駆動回路は、モータが動作するときには大きな電力を必要とするがそれ以外の時には電力の供給を止めることができるためトータルとして電力の消費は少ない。消費電力を抑えるためには、主回路を構成する部品数を減らすとともに、消費電力の少ない部品を選ぶことである。

1.2 位置合わせ

装置には 30 個のサンプルケースが取り付けられており、モータを回して次のサンプルケースと採取窓を一致させる必要がある。これを 30 回繰り返したときにずれがないように位置を合わせなければならない。位置合わせにセンサーなどを用いずに簡単に行う方法としてパルスモータの利用があげられる。パルスモータは、パルスあたりの回転角度が決まっているため簡単な回路で正確な位置決めを行うことができる。

1.3 時間間隔設定

火山灰の採集は、1 日分をためたのち次のサンプルケースで新たに採集を開始する。ただし、この時間は火山の噴火状況により数分間隔から数日まで幅広く変えることが求められたため、この設定値を固定ではなく外部から変更可能とした。

2 ハードウェア構成

回路に使用した主な部品を表 1 に、回路全体の概略図を図 1 に示す。

表 1. ハードウェア構成

部品名	品番	供給元
CPLD ボード	CPLD デザインキット X2C256-7TQ144C	XILINX
パルスモータ	CSK523AP-M30	オリエンタルモータ
電磁ブレーキ	BXW-02-12H-DC12V	三木プーリ

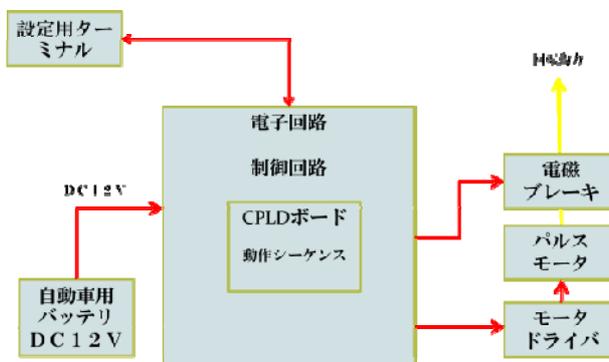


図 1. 回路概略図

CPLD ボードは、XILINX 社が出しているデザインキットを用いた。このボードには 256 のマクロセルが実装された CPLD が搭載されており、消費電力も小さい。また、プログラムに必要なツールも同梱されている。

パルスモータは、標準的な 12V 出力のバッテリーを電源とするため、12V で動作するタイプのものを選択した。また、この装置は、高速で動かすことはないので、より小型で駆動トルクが確保できるようにギヤ付きのものを選んだ。

パルスモータへの電力供給は、消費電力を抑えるためモータを動作させるときのみに行う。しかし、電力がない状態ではモータの保持トルクが無くなり、外部の力により容易に回転してしまう。そのために電力の供給がない時に回転しないように無励磁タイプのブレーキを取り付けた。

これ以外に、内部設定を変更するための取り外し可能なターミナルを製作した。ターミナルでは、動作間隔の設定の他に、動作角度及び動作間隔の単位（分、時）の設定とそれぞれの設定値の表示を行えるようになっている。

3 ロジック回路

装置全体の動作は、主回路に組み込んだロジック回路により制御される。回路に必要な機能は以下の通りとなる。

- 基準となる時間を発生する回路
 - ・ システムクロック(1.8432MHz)から 1ms の信号を作る。
 - ・ パルスモータへ送るパルスの基準信号 (500Hz)作成。
 - ・ 時間間隔設定のための時間信号 (10s) 作成。
- 動作間隔を管理する回路
 - ・ 10秒ごとに時間をカウントして、設定時間になったらトリガする。
- モータを管理する回路
 - ・ モータの電源を ON、ブレーキを解除し 3 秒間ウエイトした後設定したパルス数のパルスをもータへ送る。
- 状態を管理する回路
 - ・ 各回路へ現在の状態を知らせる。
- ターミナルとの通信を行う回路
 - ・ ターミナルの接点情報を読み取り、各設定レジスタを設定する。
 - ・ 現在の設定状態表示するためのデータを出力する。

これらの機能は、それぞれモジュールとして開発しシミュレーションなどのテストを行い、最終的に一つにまとめて全体の回路として CPLD にインプリメントした。表 2 にこの機能を実現するために使用した CPLD のリソースの数を示す。今回使用した CPLD は、マクロセルが 256 個実装されているもので、そのうちの約 50%を使っている。リソース数としてはまだ余裕があり、将来の回路変更への対応にも十分可能性を残している。

表 2. ISE が出力したこの回路作成に使用したリソースの数

Macrocells Used	Pterms Used	Registers Used	Pins Used	Function Block Inputs Used
131/256 (52%)	292/896 (33%)	118/256 (47%)	33/118 (28%)	284/640 (45%)

回路作成は、XILINX の無料の開発ツールである ISE9.2i Web パックを用い、回路の記述は VHDL を用いた。

4 稼働試験

完成した装置の稼働試験を2007年9月末に行った。若干の不具合が見つかり、プログラムの修正や回路の追加を行い10月に依頼者のもとへ送った。

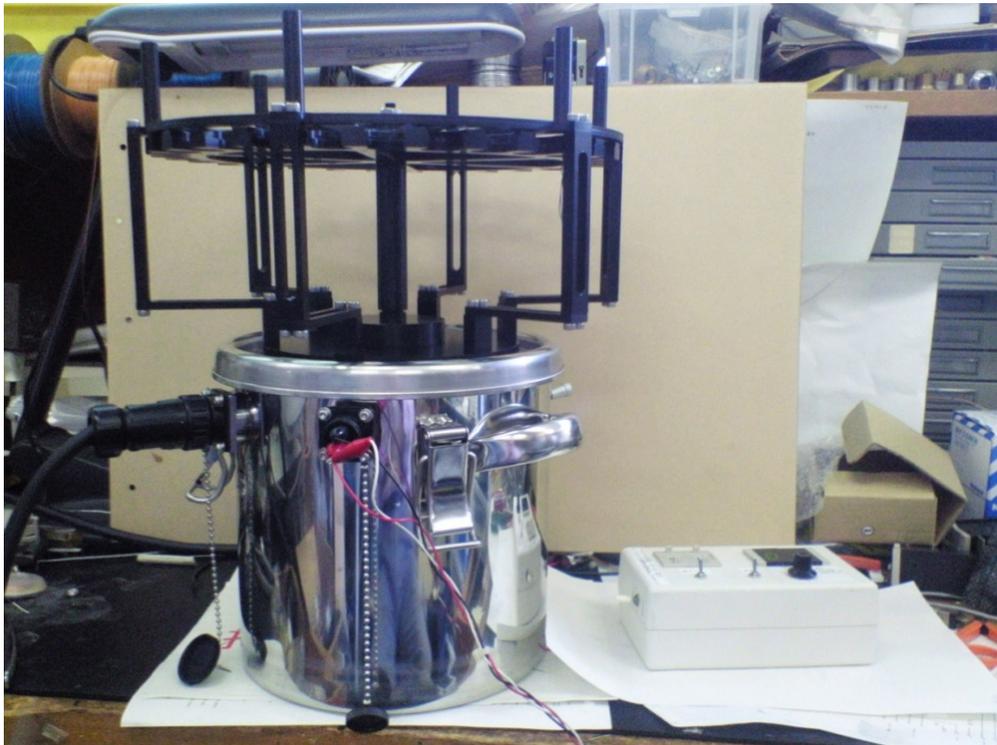


図2. 装置の稼働試験（右下に見えるのがターミナル）

5 まとめ

今回の装置は、前回製作した1号機の不具合箇所を修正しより完成度の高い装置となった。特に取り外し可能なターミナルをつけたことにより、動作中に設定の変更や位置合わせ、テスト動作などを行うことが可能となり使いやすい装置となっている。また、今回の製作を通じて理学研究科技術職員がそれぞれの専門知識・能力を生かして協力し、装置などの開発を行うきっかけとなったことは意義深い。

この装置の今後の開発予定については、まだ白紙の状態であるが、いくつか課題が残っている。これから現場へ設置され動作した時に新たな問題点が見つかるかもしれない。これらについては今後も支援する予定である。

最後に、この装置の開発にあたってさまざまなご意見ご協力いただいた技術部の皆様に感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 千賀 信幸, et al, “火山灰採集装置の製作”, 本研究会, 2008年3月10日-11日
- [2] 佐々木 厚夫, et al, “火山灰採集装置の製作（工作・加工）”, 本研究会, 2008年3月10日-11日
- [3] 嶋野 岳人, “リアルタイム 自動火山灰採取 装置の開発”, 日本地球惑星科学連合 2007年大会, 2007年5月19日-20日, V238-P003

ステッピングモーター制御プログラム試作 2

鈴木祥仁

高エネルギー加速器研究機構 素粒子原子核研究所

概要

原研タンデム加速器・短寿命核実験で、ビームスリットやビームモニターの駆動に用いるステッピングモーター制御プログラムを昨年度来試作してきた(National Instruments 社 LabVIEW(以下 LV)及び FieldPoint(以下 FP))。2008 年頭、実際にビームラインに組み込み実験に使用される予定だが、本報告ではその直前までの進捗状況をレポートする。特にビームモニター駆動系では、Oriental Motor 社製コントローラを使用せず FP パルス発生モジュールからドライバーへ直接パルスを送ってモーター駆動し、FP リレーモジュールからの接点信号で CW/CCW 方向切替えを行った。また、FP 内 RealTime-OS(以下 RT-OS)側へ PC でコンパイルしたプログラムを転送し、RT-OS 側の WEB サーバー機能をクライアント PC のブラウザから使うことで、PC をサーバーとしないネット経由操作・監視を目指している。

1 ビームスリット駆動系の進捗

ビームスリット駆動系は、昨年度に 1 ユニット用のプログラムを LV6.1 環境で試作したが、その後ビームモニター駆動系 FP(パルス発生モジュール含む)が LV7.1(及び FP4.1)からでないと正常動作しないことが判明したため LV7.1 で作り直した。また実際の 2 ユニット構成に合せプログラムを改造すると共に、コマンドの記述方式を LV6.1 時代のものから簡略化された新方式のものへ変更した。(デバイス構成図等は昨年度の報告^[1]を参照されたい。) 図 2. にプログラムのフロントパネルを示す。プルダウンメニューから原点復帰、スリット挿入、連続運

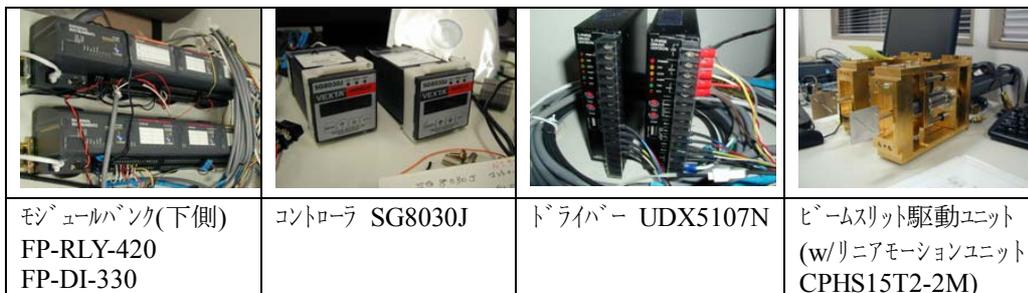


図 1. ビームスリット駆動系機器

転等運転モードを選ぶと FP リレーモジュールから接点信号の組み(ブール配列)の形でコントローラに操作命令が入る。DI モジュール関係(図 3.)では、コントローラからの BUSY 信号による駆動中表示に加え HOME, END 各 2 箇所のマイクロスイッチ検出による緊急停止動作を追加した。コントローラが緊急停止状態になるといかなる操作も受け付けず、その位置から抜け出す動きさえもできなくなる。そのため、マイクロスイッチ検出結果をブールの的に無効にする論理スイッチをプログラム上に設けた。図 4. は FP へのコマンド送出の変遷で、LV6.1 時代にはコンフィギュレーションファイル.iak を開き、FP の IP アドレス、モジュール名、アイテム名でタグを造り、そのタグを FP 読み書き用 vi に渡すという面倒さがあったが、LV7.1 以降では FP 用 IO 定数に操作対象のアイテム名までの事項を列記しておけば、すぐに読み書き用 vi に渡せるという便利な方式になった。リニアモーションユニットの分解能は 0.004 mm/pulse に設定(0.002 も選べる)し、HOME 位置からビームスリット挿入位置までの長さが 61 mm であることから CW 方向 15250 パルスをコントローラ側にプログラムした。

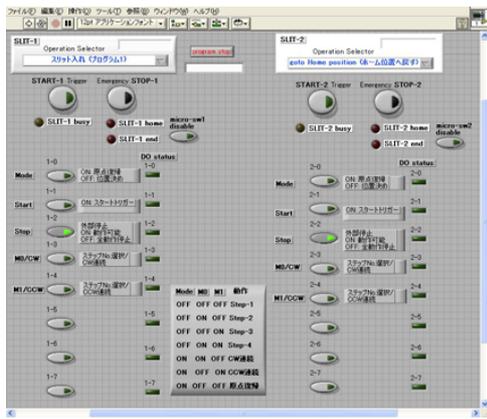


図 2. ビームスリット操作作用フロントパネル

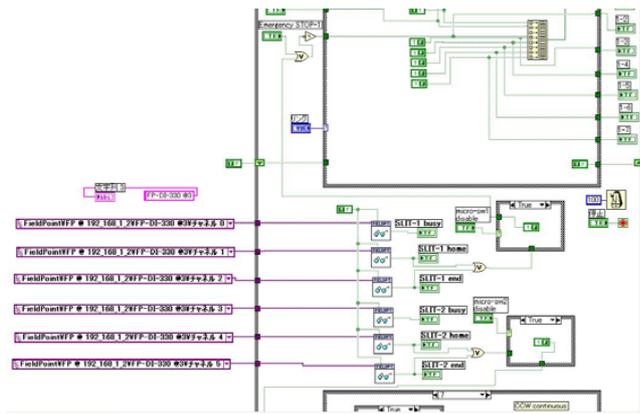


図 3. ブロックダイアグラム(DI 関係)

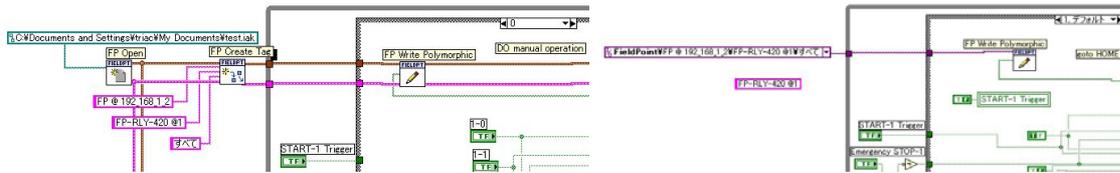


図 4. (左側)LV6.1 時代の FP 操作記述、(右側)LV7.1 以降の簡略化された方式

2 ビームモニター駆動系の進捗

ビームモニター駆動系のデバイス構成を図 5. に示す。FP パルス発生モジュールからドライバーに直接パ

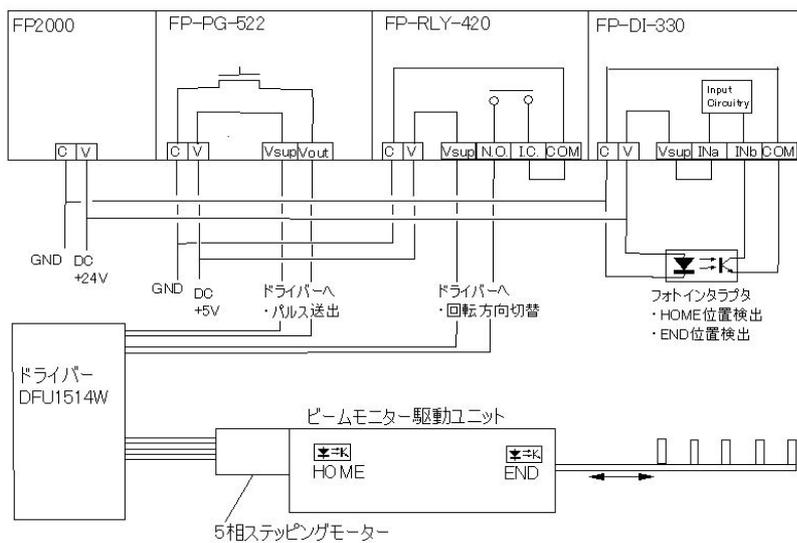


図 5. ビームモニター駆動系デバイス構成概念図

ルスを送り、FP リレーモジュールからステッピングモーター回転方向(駆動ユニットの出し入れ方向)の切替信号を送った。駆動ユニットではフォトインタラプタ(SUNX PM-T44)が HOME、END 各位置に有り、FP DI モジュールにより検出して緊急停止操作及びHOME位置原点出しを行うようにした。パルス発生モジュールは分解能 $100 \mu\text{S}$ 設定でデューティ比 $1/30$ にしたので、周期 3ms 、周波数 333Hz のパルスをドライバーに

送った。図 7. にプログラムのフロント

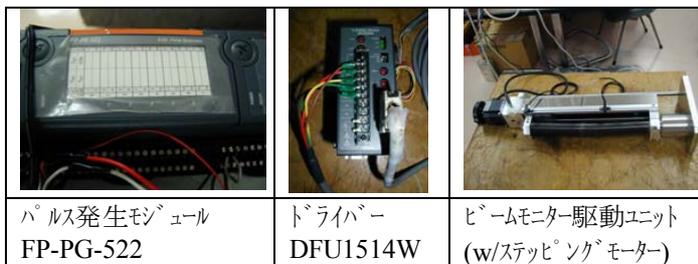


図 6. ビームモニター駆動系機器

パネル、図 8. 以降にブロックダイアグラムを示す。まず Configuration タブで On Time, Off-Time のパルスデューティ比を設定、分解能を $100 \mu\text{S}$, 10ms , 1S から、モードを有限、連続 から選

び、FP パルス発生モジュールへ書き込む。この操作は同モジュール内 8 つの Ch. 各々別々の設定が可能であるが、プログラム上は multi アイ

テムに対してサイズ 8 の配列を一括書き込みに行っている。Individual Control タブでは各 Ch. 専用の単一アイテムに対して書き込み操作をしている。次項で述べる理由から実機テストは Ch.0 のみを個別操作の対象にした

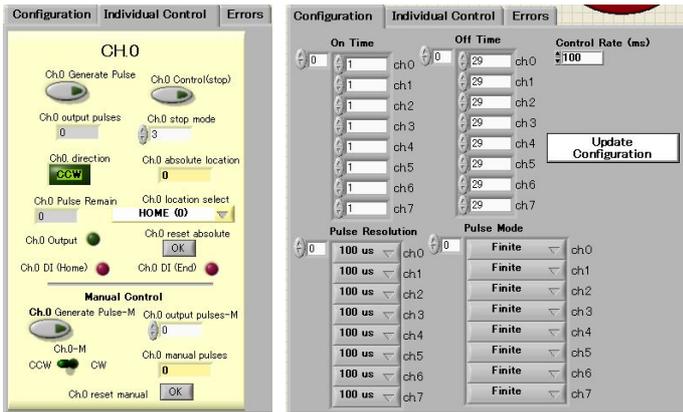


図 7. ビームモニター操作作用フロントパネル

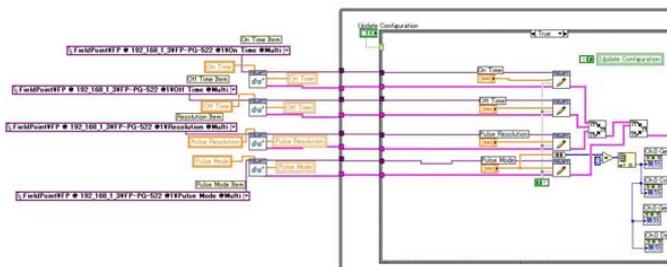


図 8. ブロックダイアグラム(Configuration 関係)

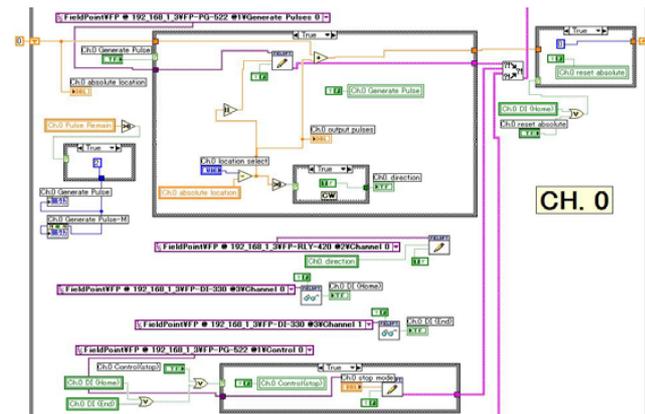


図 9. ブロックダイアグラム(個別 Ch.操作等)

中に Generate Pulse ボタンを再度押してしまうミスがあると絶対位置計算がだめになってしまうため、Pulse Remain 値が正でパルス残りがある条件下では Generate Pulse ボタンを無効化して押せなくするようにした。これはスイッチのプロパティノードの一つ“無効”を使っている。Control Stop ボタンもこの措置をした方が良いが安全を優先して行っていない。フォトインタラプタで HOME、END 各位置を検出している状況下では

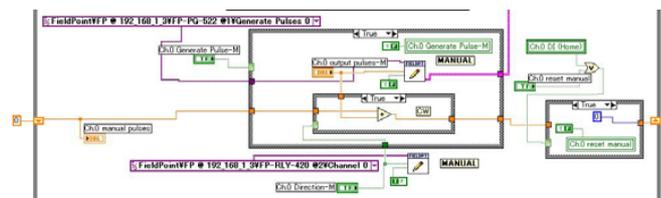


図 10. ブロックダイアグラム(マニュアル操作関係)

パルス送出を止めてしまうため抜け出す動きさえもできなくなる。これはビームスリットでの場合と同じくブールの的に無効にする論理スイッチをプログラム上に設けることで回避した。実使用上、リングプロパティでのプリセット位置選択肢以外に、微調整や任意パルス数、任意方向での手動駆動を行いたい場合が想定されるため図 10.のようにマニュアル操作機能も設けた。この場合も CW/CCW の方向に応じてシフトレジスタでの絶対位置積算(加減算)を行っている。また前記に同様に HOME 位置検出あるいは絶対位置リセットスイッチによるゼロ戻しもできる。しかしプリセット、マニュアル各方式の絶対位置積

プログラムで行うが、全 Ch.を個別に操作できる大きいコードサイズのものも作ってある。操作は、location select プルダウンから希望する駆動位置(HOME、ファラデーカップ等 5 種類のビームモニター位置)を選択する。これはリングプロパティ内にラベル名とパルス数(希望位置)の組みとして登録してある。選ばれた希望位置とシフトレジスタによる加減算値(直前の絶対位置)との差をとることで、必要な移動量(駆動パルス数)とその方向(極性)を決め、差が正の場合 CW(前進)方向に駆動すべく FP リレーモジュールから接点 ON 信号を、また FP パルス発生モジュールから必要な駆動パルス数の絶対値をそれぞれドライバへ送る。これらは自動的に行われ、ユーザーは希望位置を選んでから Generate Pulse ボタンをクリックすればよい。シフトレジスタによる絶対位置数値と必要駆動パルス数が表示され、CW/CCW の方向がランプ表示される。また駆動中には Pulse Remain アイテムにより目的位置までの残りパルス数をカウントダウン表示、Output アイテムにより駆動ランプの表示を行う。安全措置として、手で Control Stop ボタンが押されるか、フォトインタラプタで HOME 位置あるいは END 位置を検出した時には、パルス発生即停止信号を送る。シフトレジスタによる絶対位置数値は、HOME 位置検出あるいは絶対位置リセットスイッチを押すことによりゼロに戻される。また駆動

算値に相関が無いため、途中で一方の方式を行った場合は一度 HOME 位置に戻す原点操作が必要となる。

3 RealTime-OS 側での実行と WEB サーバー試用

通常、プログラムは PC 側の LabVIEW 上で実行し付属の NI 社 WEB サーバー機能でクライアントブラウザからの操作、監視を提供できる。FP では内蔵 RealTime-OS 側にこれらの機能があるため PC が無くても実現できることになり、むしろクロック等が不安定な Windows-OS と違い RealTime 環境でのプログラム動作が期待でき、モーター駆動でのパルス制御遅れの不安も無くなるはずである。試用を行った手順と制限、結果について述べる。まず、実行ターゲットを PC 上 LabVIEW から RT ターゲット(FP の IP アドレス)へ切り替え、プログラム名は 8.3 形式(pulse-00.vi 等)にする。次にツールから“アプリケーション又は共有ライブラリ(DLL)を作成”と進むと、`¥¥IP アドレス¥c¥ni-rt¥startup¥startup.exe` がターゲットとしてグレイアウト、FP 起動時にアプリケーション(startup.exe)を立ち上げる設定にチェック。ビルド(コンパイル)を始めると FP 側へ startup.exe が転送される。ビルド前には以下に挙げる制限をプログラム上で回避しておかないとエラーで転送できない。この startup.exe は FP 内/ni-rt/system/www に置く.htm ファイルでその参照方法を記述するが、まず PC 側 LabVIEW の WEB サーバー設定メニューから”組み込み(クライアントから操作も可)”を選び.htm ファイルとして保存、それに以下 2 箇所の修正をしてから ftp や MAX3.1 で上記 www フォルダに転送しておく。

```
<PARAM name="LVFPPVINAME" value="/ni-rt/startup/startup.exe/pulse-00.vi">
```

```
<EMBED SRC=".LV_FrontPanelProtocol.rpvi71" LVFPPVINAME="/ni-rt/startup/startup.exe/pulse-00.vi" ~ ~
```

クライアント PC のブラウザからは `http:// FP の IP アドレス/xxxx.htm` のようにアクセスする。プログラムを作るときの制限事項はビルドエラーをつぶしながら NI 社サポートに確認したところ以下である。

- ・ ブールスイッチ類の機械的動作の制約:ローカル変数を使ってない場合=>押されたらスイッチ, 離されたらスイッチ, 押されたらラッチ, 離されたらラッチの 4 個のみ使える。ローカル変数を使ってる場合=>押されたらスイッチ, 離されたらスイッチの 2 個しか使えない。ゆえにいかなる場合も、離されるまでスイッチ, 離されるまでラッチの 2 つの動作は選べない。
- ・ FP Close(Polimorphic)関数(エラー処理等のため)は使えない。

ローカル変数の使用を減らして複雑にはなるが”配線化”していき、スイッチが押され True となったらケースストラクチャ内で False 定数により元に戻すなどの回避策を行った。またビルド前プログラム名の 8.3 形式制限に加え、クライアントへサービスする方式(.htm ファイル内構文で指定)の制限として、組み込み式(操作も可)のみ許され、スナップやモニターといった監視(画像転送)のみの方式は指定できない。

クライアントから使って見た結果、FP 側からの応答が遅くフロントパネル表示までにけっこう時間がかかる。スイッチ 1 個とランプ 1 個などの小さなプログラムではリモート操作できたが、今回のビームモニター駆動系での 8ch.全てを動かす大きいコード量のプログラムの場合スイッチ操作に反応しなくなった(ローカル PC 側 LabVIEW 上での実行ではプログラム操作の不具合は無かった)。さらなる試行錯誤が必要である。

謝辞

本件では本機構 素粒子原子核研究所 短寿命核実験グループの渡辺裕氏、平山賀一氏、岡田雅之氏にご指導、ご助言をいただいております、ここに厚く感謝するものである。

参考文献

- [1] "ステッピングモーター制御プログラムの試作" ○鈴木祥仁

平成 18 年度名古屋大学総合技術研究会, Mar. 2007(H19), 装置技術 2p0215

固体ソース H₂O プラズマによる CaF₂ (蛍石) のドライエッチングプロセス

松谷晃宏

東京工業大学 半導体・MEMS支援センター

概要

H₂O の固体 (氷) をプロセスチャンバー内に設置し、これを H₂O ガス供給源とする H₂O プラズマの生成に成功した。また、この H₂O プラズマを用い、紫外から赤外領域まで透明な光学材料の蛍石 (CaF₂) のドライエッチングに成功した。さらに、H₂O プラズマの発光分光分析を行い、H₂O から解離した OH の存在を確認した。これにより、広い波長範囲での回折格子やフレネルレンズなどへの応用が期待できる。また、本研究で開発した H₂O プラズマは、殺菌や紫外光源としても応用可能であると考えられる。

1 はじめに

光・電子デバイスの微細加工では、化合物半導体のドライエッチングプロセスが精密なパターン製作において大変重要な技術である。このようなドライエッチング技術では一般的には反応性ガスがプロセスガスとして用いられる。これまでに筆者は、揮発性のヨウ素結晶をプロセスチャンバー中に設置することにより、エッチングガスの固体ソースとして用い、レジストマスクのベーク温度以下における InP の垂直平滑ドライエッチングに成功した[1]。また、GaAs 系材料に対しても塩化ヨウ素 (ICl₃) を用いることで同様の固体ソースドライエッチング技術の開発に成功した[1]。

ところで、光・電子デバイスの材料は化合物半導体だけではなく、フッ化物や酸化物のような材料も用いられている。筆者は以前に、水蒸気(H₂O)のプラズマ中に OH が解離して存在することを観測したことを報告した[2]。一般に OH は反応性に富むことから、OH の存在するプラズマがドライエッチングプロセスにも有効な可能性はある。H₂O を用いたプロセスでは、Jimbo らにより、Al のエッチングにおける側壁薄膜とレジストのアッシングに F+H₂O のダウンストリームを用いた例が報告されている[3]。しかしながら、H₂O プラズマによるドライエッチングの報告例はほとんどない。筆者は液体ソースおよび固体ソースの水(H₂O)プラズマによるドライエッチングプロセスを提案する。誘導結合型(ICP)の液体ソース H₂O プラズマの発光分光分析と質量分析については、筆者はすでに報告したので[2]、この報告では、および固体ソースの水(氷)を用いた CaF₂ のドライエッチングプロセス技術について述べる。

2 固体ソース H₂O (氷) プラズマによる CaF₂ (蛍石) のドライエッチングプロセス

実は、液体ソースプラズマの装置は、H₂O に限らず、配管の途中やマスフローコントローラ中での結露で配管が詰まってしまうことがあり、加熱機構を十分に設けなければならないため装置構成がやや複雑になる。筆者はこの複雑性を解決するために、図 1 に示すような、シンプルな構成の H₂O プラズマ装置を考案した。装置には一般的な平行平板型のエッチング装置を改造し、高周波電極の対向電極の代わりに石英板を配置し、高密度プラズマを発生させるために、サマリウムコバルト(SmCo)リング型磁石を設置した[4]。試料は、水冷された高周波電極上に設置した。試料には光学研磨された直径 1cm、厚さ 1mm の CaF₂ (蛍石) 結晶を用いた。H₂O はプロセスチャンバー内に設置されたビーカー内の水から供給した。ビーカー中の水は、プロセス

チャンパーを真空にする時の気化熱で凍り、固体ソース（氷）となる。気体の H_2O はこの氷から昇華することによってプロセスチャンパー内に供給される。 H_2O 気体の量は氷の表面積に依存するため、流量制御は例えばビーカーの個数や直径を変えることにより可能である。また、試料台としてステンレスの他に直径 4 インチのシリコン(Si)も用いた。

図 2 に、 CaF_2 のエッチングレートのプロセス圧力依存性を示す。高周波のパワーは 300W とした。 CaF_2 のエッチングレートはプロセス圧力の増加とともに減少することがわかる。 V_{dc} はプロセス圧力の減少とともに増加したことから、本実験の CaF_2 のエッチングにおいては、イオンエネルギーがエッチングメカニズムの一つの要因となっていると考えられる。

図 3 に上部石英板を通して観察した H_2O プラズマの発光スペクトルを示す。プロセス圧力は 2Pa, RF のパワーは 300W とした。この図より、OH (307nm and 283nm), H (656nm) and O (777nm)からの発光が観察され、 H_2O が解離していることが分かる。また、OH, H, O の発光強度比は Si の試料台や磁場（磁石）の有無に依存していることがわかる。

図 4 に、 CaF_2 のエッチング深さの高周波パワー依存性を示す。プロセス圧力は 2Pa とした。 CaF_2 のエッチング深さは RF パワーの増加とともに増加した。また、 CaF_2 のエッチング深さは、Si の試料台や磁場（磁石）の有無に依存していることがわかる。筆者の以前の実験で、プロセスチャンパー中の Si の存在は、プロセスプラズマ中の酸素（O）を減少させることがわかっている[5]。また、図 3 での磁場の有無や試料台材料により OH の発光強度が変化することから、 CaF_2 のエッチングレートは H_2O プラズマ中の OH の比となんらかの関係があると考えられる。

図 5 (a), 5 (b)のそれぞれに、エッチング後の CaF_2 の典型的な表面と鳥瞰的な光学顕微鏡写真を示す。RF パワーは 300W, プロセス圧力は 2Pa である。エッチングのマスクには、ハニカムパターンの厚さ 100 μm のアルミナセラミックスを用いた。エッチング深さは約 2 μm である。これらの写真より、表面は光学デバイスへの応用に対して十分な平滑性を有していることがわかる。触針式表面形状測定器（Dektak）を用いてエッチング面の粗さを測定したところ、Ra は約 1.1nm であった。これは、光の波長よりも十分小さいため、光デバイスへの応用に対する問題はない。また、目視による観察ではあるが、透明性に関してもエッチングをしていない試料と同様であることを確認しており、カラーセンターなどの欠陥も観察されなかったことから、この点においても光デバイスへの応用に対する問題はないと考えられる。

3 考察

エッチングの仕組みを考察するため、エッチングガスに反応性をもたない Ar を用いて比較実験を行った。図 6 に Ar を用いた時の、 CaF_2 のエッチングレートのプロセス圧力依存性を示す。RF のパワーは 300W とした。 CaF_2 のエッチングレートは、Ar の流量が 5sccm と 10sccm の時は圧力の減少とともに増加したが、Ar の流量が 25sccm の時は 5sccm と 10sccm の時とは逆の傾向を示した。 H_2O プラズマによる CaF_2 のエッチングレートの圧力依存性は、小流量の Ar による圧力依存性と同様の傾向を示していることがわかる。本実験では、 CaF_2 のエッチングに対する OH の寄与は必ずしも明らかにはならなかったが、これについては現在調査中である。しかしながら、本研究で提案した CaF_2 のエッチングプロセスは、回折格子やフレネルレンズなどの光デバイス製作への応用が期待できると考えられる。

4 結論

H₂O の固体（氷）をプロセスチャンバー内に設置し、これを H₂O ガス供給源とする H₂O プラズマの発生装置を開発した。

また、この装置を用いて、紫外から赤外領域まで透明な光学材料の蛍石（CaF₂）のドライエッチングを行った。さらに、H₂O プラズマの発光分光分析により H₂O から解離した OH の存在を確認し、さまざまな放電条件により OH の発光強度が変化することがわかった。

蛍石（CaF₂）のドライエッチングのエッチング表面は非常に平滑であり透明性も確保されていることから、広い波長範囲での回折格子やフレネルレンズなどへの応用が期待できる。また、本研究で提案した H₂O プラズマの発生方法は、殺菌や紫外光源としても応用可能であると考えられる。

本研究は、科学研究費補助金基盤研究（C）（#18510108）の援助を受けた。また、実験装置の使用に関し東京工業大学精密工学研究所小山二三夫教授、実験にご協力いただいたサムコ株式会社大槻秀夫氏に感謝する。

参考文献

- [1] A. Matsutani, H. Ohtsuki and F. Koyama: Jpn. J. Appl. Phys. **45** (2006) 8374.
- [2] A. Matsutani, H. Ohtsuki and F. Koyama: *Proceedings of the SPP-24* (2007) 139.
- [3] S. Jimbo, K. Shimomura, T. Ohiwa, M. Sekine, H. Mori, K. Horioka and H. Okano: Jpn. J. Appl. Phys. **32** (1993) 3045.
- [4] A. Matsutani, H. Ohtsuki, K. Ohashi, T. Yokoyama, H. Yamakage and F. Koyama: Jpn. J. Appl. Phys. **43** (2004) L960.
- [5] A. Matsutani, H. Ohtsuki and F. Koyama: 18th International Symposium on Plasma Chemistry (ISPC-18), 6A-4-94, Kyoto, Japan, (2007).

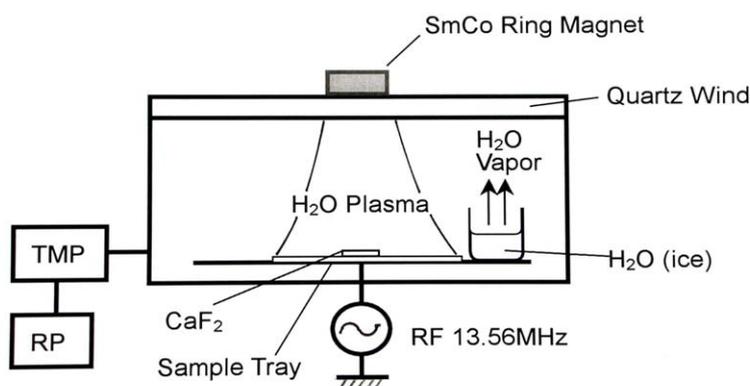


図 1. H₂O プラズマ装置の概略図

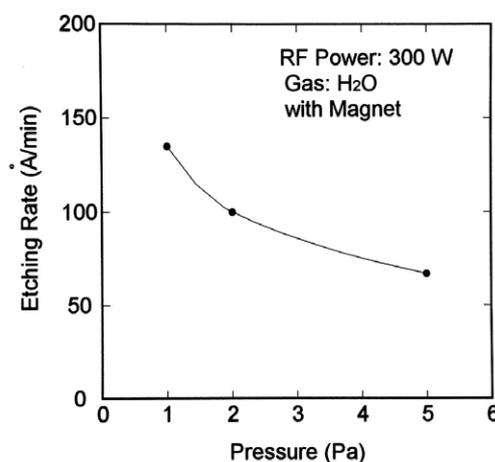


図 2. CaF₂ のエッチングレートのプロセス圧力依存性

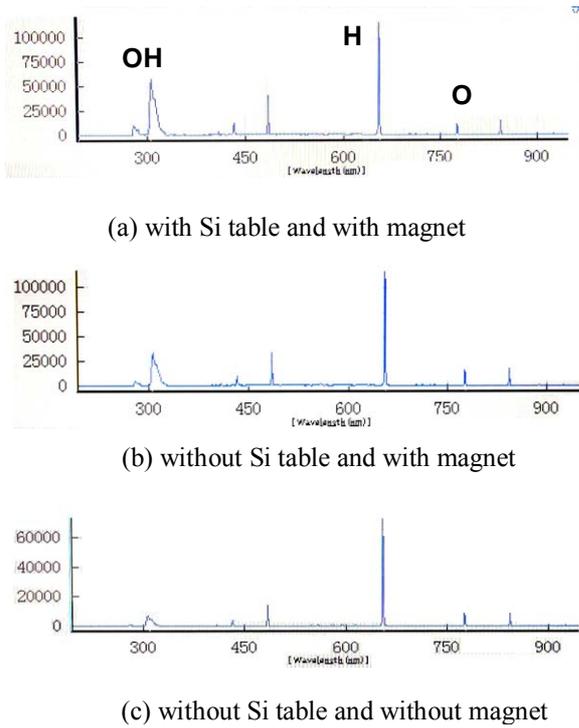


図 3. H₂O プラズマの発光スペクトル
縦軸は発光強度 (a.u.) を示す。

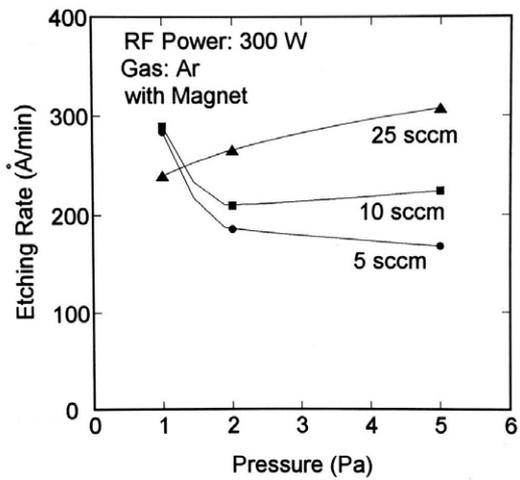


図 6. Ar を用いた時の, CaF₂ のエッチング
レートのプロセス圧力依存性

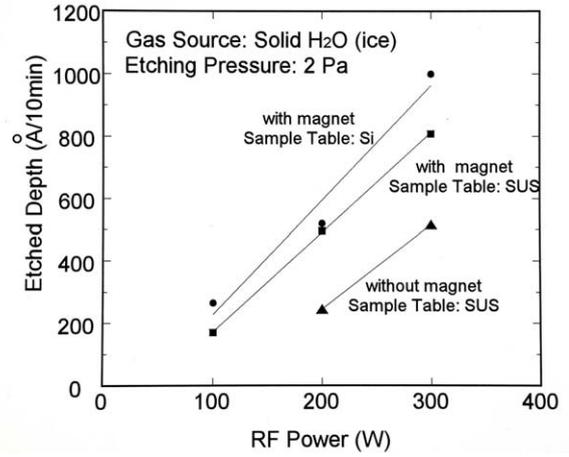
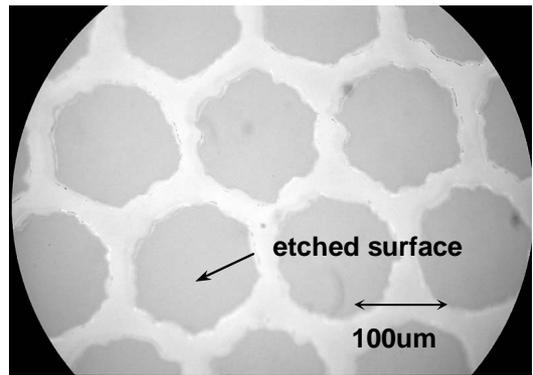


図 4. CaF₂ のエッチング深さの高周波
パワー依存性



(a)



(b)

図 5. エッチング後の CaF₂ の(a)表面と
(b)斜め方向からの光学顕微鏡写真

ジルコニアセラミックスの EBSP 法による結晶方位の測定

畠山直之

東京工業大学 技術部 半導体・MEMS 支援センター

1 概要

試料表面の結晶方位の分析は TEM を用いての分析方法が挙げられる。しかし、セラミックスを薄片化させなければならず、TEM 試料作製は非常に困難である。

近年、結晶方位を同定する手法として後方散乱電子回折像 (EBSP: Electron Backscatter Patterns) 法が普及し材料の研究、開発に用いられており、その有用性は非常に高い。EBSP 法では試料表面から 50nm 付近の情報を得るため、表面の研磨は精密に仕上げなくてはならない。またセラミックスでは非導電性であることによりチャージアップが発生するために導電性のコーティングが必要である。一方、導電性コーティングを施しても電子線による熱エネルギーのダメージ等から良好な情報を得られない事がある。ジルコニアセラミックス(ZrO_2)は高強度と高靱性のセラミックス材料で絶縁体のために研磨も非常に難しい。これらの問題から結晶方位の観察例も非常に少ない。今回、EBSP 法によるジルコニアセラミックス(以下ジルコニア)を Pd/Sn 触媒化溶液による導電性を付与し結晶方位の測定を試みたので報告する。

2 供試材および試料調整方法

2.1 材料

図 1 は本研究で用いた材料は結晶構造が未知のジルコニアである。EBSP 測定の際には $20 \times 20 \times 10$ mm 程度に切り出し試料の調整を行った。図 2 に XRD (Panalytical: X'Pert PRO MPD) の測定結果を示す。この図の結果と計算結果を比較することにより結晶系は斜方晶 ($a=0.5091$ nm, $b=0.5176$ nm, $c=0.5108$ nm) の可能性があることがわかった。一般的にはジルコニアには CaO(酸化カルシウム)や Y_2O_3 (酸化イットリウム)等の希土類酸化物を混ぜるが、EDX 分析(HORIBA:EMAX ENERGY)の結果、これらの元素が含有されていないことがわかった。また、ジルコニアの結晶構造は単斜晶、立方晶、正方晶の相転移の材料として知られているが、今回得られた結果はこれと一致しない。



図 1. ジルコニアセラミックス

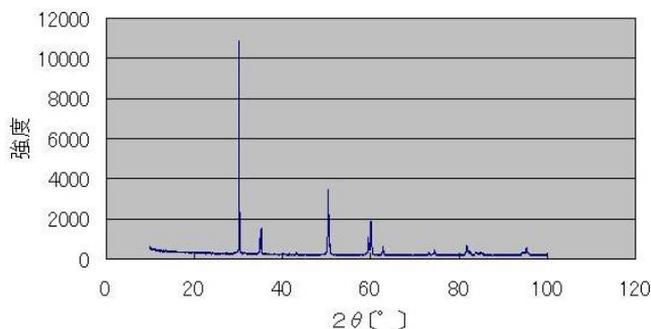


図 2. X 線回折パターン

2.2 研磨処理

EBSP 測定は反射回折による菊池パターンを元に結晶方位解析を行う。電子線から得る情報が表面から 50nm 程度の深さであることから試料表面の凹凸や、加工変質層などの影響により明瞭な菊池パターンが得ることができなくなる。そこで良好な表面の状態が EBSP 測定には非常に重要となる。試料は粗研磨、精研磨を経た後に機械的研磨と化学的研磨を併用し砥粒径 $0.02\mu\text{m}$ のコロイダルシリカで琢磨した。



図 3. カーボンコーター

2.3 カーボンコーティングによる導電性付与

図3にコーティングに用いたカーボンコーター(日立イオンスパッタ E-1010+カーボンコートユニット)を示す。マニュアル添付のカーボン蒸着量を参照し10nm、12.5nm、15nmの膜厚でコーティングを施した。図4に示すようにカーボンペーストで覆った後にアルミテープで覆い1mm四方程度を計測面とした。



図4. 導電処理

2.4 Sn-Pd 触媒化溶液による導電性付与

ジルコニアの導電性付与には Sn/Pd 触媒化処理が有効であるという報告^[1]があることから Sn/Pd 触媒化処理による導電性の付与を試みた。表1に示すように Sn/Pd 触媒化溶液の作成法を示す。①PdCl₂+HClの溶液を作る。②SnCl₂+HCl少量を混ぜ、15時間置く。③15時間後に更に新しい SnCl₂+HClを混ぜる。図5に作成した Pd/Sn 触媒化溶液を示す。膜厚は浸漬時間で調整する。導電性膜厚は触針式表面形状測定器 (ULVAC:DekTak) を用いて測定した。セラミックス表面の研磨面が粗かったため限られた測定しかできなかった。測定できたもの3点を用い図6に示す。この図より EBSP 測定に必要な10nm~20nm程度の薄膜を得るには60秒程度の浸漬時間が適当であると考えられるため EBSP 測定用には75秒、90秒、115秒の3つの浸漬時間で触媒化処理を行い、導電性を付与した3種類の試料を用意した。



図5. Pd/Sn 触媒化溶液

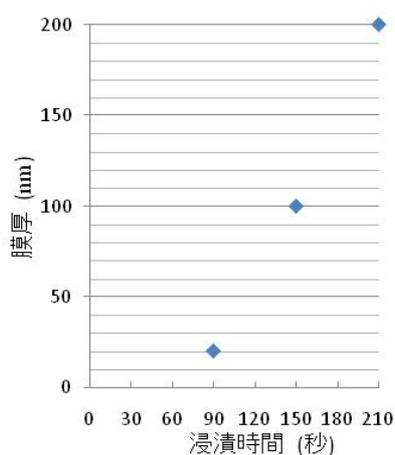


図6. 膜厚測定

表2. Pd/Sn 触媒化溶液作成

Original solutions		
Pd 液	Sn(1)	Sn(2)
0.05g PdCl ₂	0.2g SnCl ₂ ·2H ₂ O	2.3g SnCl ₂ ·2H ₂ O
15ml HCl(37%)	1ml HCl(37%)	2ml HCl(37%)
30ml H ₂ O(distilled)	1ml H ₂ O(distilled)	2ml H ₂ O(distilled)
Pereparation		
①Pd 液+Sn (1) を良く混ぜ合わせる。		
②15 時間待つ		
③Sn (2) を加える		

3 結果及び考察

3.1 導電性付与による菊池パターンの形成変化

EBSP 測定には SEM(日立ハイテク:S4300SE)に付属の EBSP 装置(OXFORD INSTRUMENTS:INCA Crystal)を使用して行った。図7と図8は砥粒0.02μmのコロイダルシリカで琢磨後にカーボン蒸着したものと Pd/Sn 触媒化溶液で導電性を付与したものの菊池パターンである。菊池パターンは非弾性散乱電子の回折像であり、試料調整面が最適の状態であればバンドは鮮明に検出される。図7に示すように(c)はカーボン膜厚が15nmであるものでは菊池パターンの検出は確認されたが更なる薄い(a)、(b)に示すように10nm及び12.5nmでは鮮明な菊池パターンが確認できた。

図8に Pd/Sn 触媒化溶液で導電性を付与したものを示す。こちらは(a)75秒、(b)90秒、(c)115秒の浸漬時間で、それぞれ菊池パターンは鮮明に確認できた。最も薄く蒸着されていると考えられる Pd/Sn 触媒化溶液の処理の方がカーボン蒸着より鮮明な菊池パターンが見られたので、EBSP 測定には Pd/Sn 触媒化

溶液による導電性の付与が有効だと考えられる。

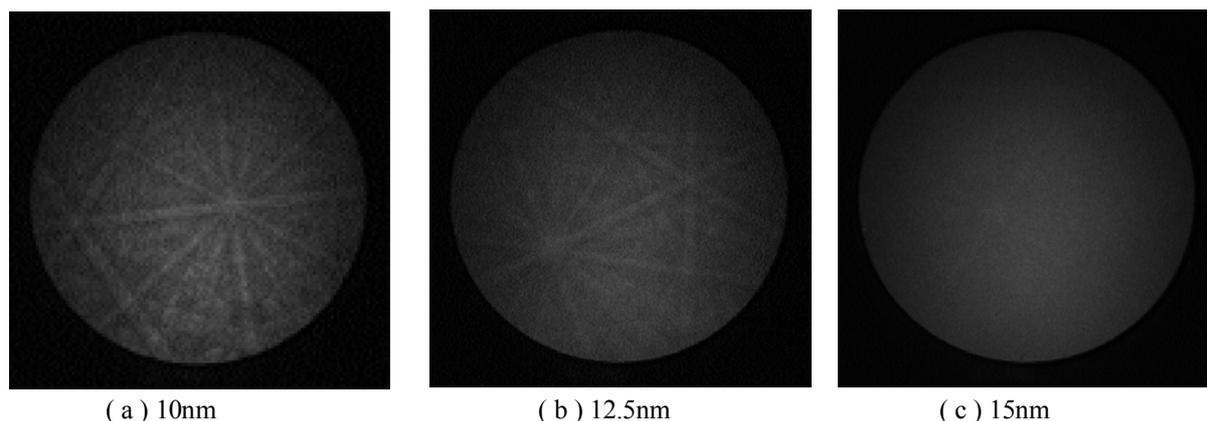


図 7. カーボン蒸着処理による菊池パターン

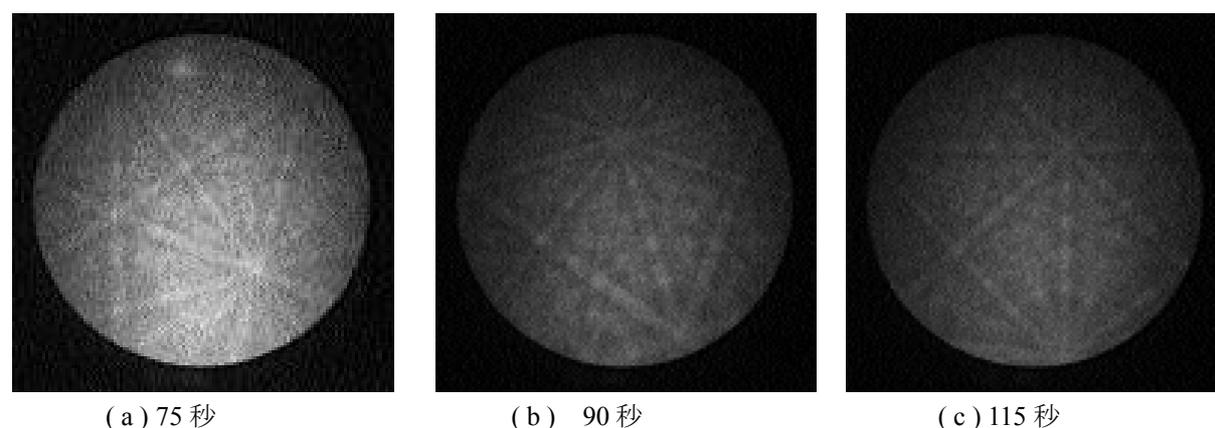


図 8. Pd/Sn 触媒化処理による菊池パターン

3.2 結晶方位解析

次にカーボン蒸着のものと Pd/Sn 触媒化処理のものとで結晶方位解析の測定を試みた。加速電圧は 20kV とし測定はチャージアップとドリフトを避けるために $0.01\mu\text{m}\sim 0.03\mu\text{m}$ のステップサイズで $3\times 3\mu\text{m}\sim 4\times 4\mu\text{m}$ の領域を方位解析し測定時間を 15 分～90 分程度に調整して行った。図 9 に Pd/Sn 触媒化処理を浸漬時間 15 秒で導電性を付与したものの EBSD 測定結果を示す。(a)のように菊池パターンは時間が経つと検出されず Band Contrast は乱れ、流れて見えている。この時(b)菊池パターンを見るとマッピング中に矢印 a のようにチャージアップが始まり菊池パターンが見えなくなる。このように他の浸漬時間 60 秒、90 秒の試料でも同じような状態から早い段階でのチャージアップが始まった事で菊池パターンは検出されなくなり方位解析ができなかった。

一方、カーボン蒸着のものでは膜厚 15nm では鮮明な菊池パターンは得られず方位解析はできなかったが膜厚が 10nm、12.5nm では可能であった。図 10 に膜厚 12.5nm のものを示した。 $3\times 3\mu\text{m}$ の領域をステップサイズ $0.01\mu\text{m}$ で 1 時間程度で方位解析を行うと(b)に示すように一応方位解析はできた。しかし(a)Band Contrast を見るとライン b で横方向に明確な線が入っており、他の部分でも横方向に細かい乱れたが画像になっておりチャージアップの影響があった。同様にして図 11 に薄膜 12.5nm の試料

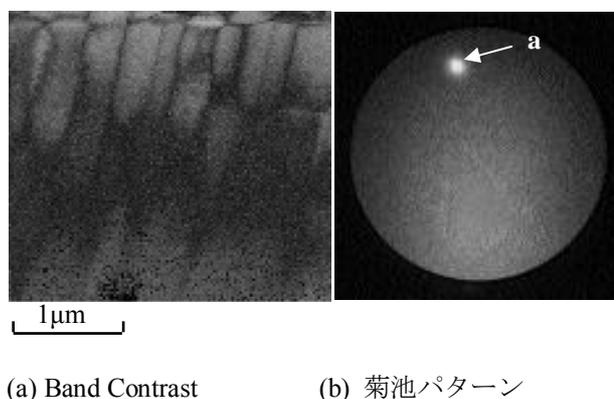


図 9. Pd/Sn 触媒化処理の浸漬時間 115 秒による

(a)Band Contrast マップ および(b)菊池パターン

の短時間の測定での方位解析を示す。領域 $4 \times 4 \mu\text{m}$ 、ステップサイズ $0.03 \mu\text{m}$ で 30 分程度の時間で方位解析を行った。図 11(a) Band Contrast が非常に鮮明に出ている。図 10(a) の Band Contrast マップと比べてみるとチャージアップの影響がなく結晶粒界が曲線でないことがわかる。

ここでの Band Contrast は菊池パターンの鮮明さを表す指標であり、マップでは白く表される箇所ほど得られた菊池パターンが鮮明であることを意味している。結晶粒界では菊池パターンが不鮮明になることから、黒の点が連なっている線状の領域を結晶粒界と見なすことができる。図 11(a) の Band Contrast マップから粒径は結晶粒径 $0.2 \mu\text{m} \sim 1 \mu\text{m}$ 程度の微細組織であるということがわかる。しかしながら図 10(b) と図 11(b) の結晶方位マップでは結晶粒内に方位の異なった点が認識されているものが多く正確には方位解析は確定できていない。

4 おわりに

今回行った結果は Pd/Sn 触媒化処理による導電性の付与で菊池マップは鮮明に検出されることが分かった。しかしながらチャージアップの時間が 10 分程度の早い段階で始まり EBSP 計測をすることができなかった。これは今回のジルコニアが

微細組織であったために高倍率で微細領域を測定するため強い電子線のエネルギーが表面の Pd/Sn に影響を与えていると考えられる。C 膜の方が良好な結果ではあったが、長時間ではチャージアップが発生するため 30 分程度の測定時間が適当であったが、方位解析が的確ではなかった。結晶構造が異なっている可能性もあるため、もう一度考え直す必要がありそうだ。また今後は触媒化溶液のエージングタイムや濃度や温度など様々な条件を変えることで長時間の EBSP 測定に最適な Pd/Sn 触媒化処理法を考える予定である。

参考文献

- [1] D.Katrakova et al.: Prakt.Metallogr, Vol.39, No.12(2002), P.644.
- [2] Rika Yoda et al.: KOBE STEEL ENGINEERING REPORTS, Vol.55, No.1(Apr.2005)

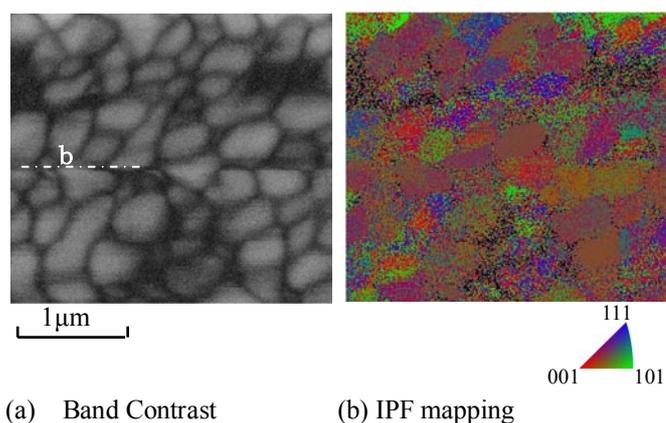


図 10. C 膜厚 12.5nm における測定時間約 1 時間での (a)Band Contrast マップおよび(b)結晶方位マップ

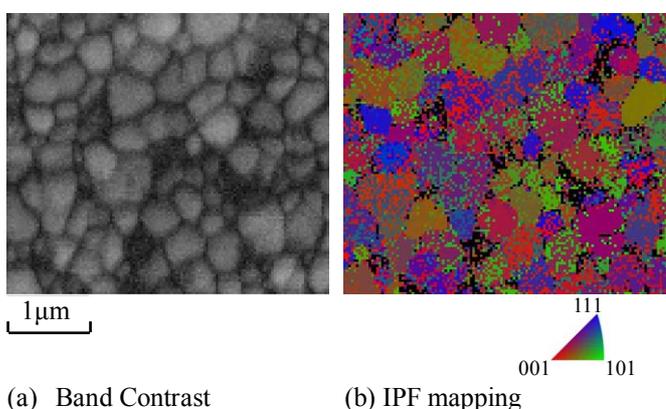


図 11. C 膜厚 12.5nm における測定時間約 30 分での (a)Band Contrast マップおよび(b)結晶方位マップ

ヴィスコスフィンガリング観察装置の改良

山本みどり

三重大学 工学部 技術部

概要

縦横方向サイズに対して高さ方向が極端に小さいヘレーショウセルを用いて、高粘性流体に低粘性流体を注入するヴィスコスフィンガリングの実験では、低粘性流体が手のひらの指を開くような形や様々な形を描きながら広がっていく様子が観察できる。このことから広がった低粘性流体の部分はフィンガーと呼ばれる。私が携わっているヴィスコスフィンガリングの実験は、フィンガーの成長過程をビデオ撮影し、その画像から 2 流体の界面現象についての知見を得る目的を持ち行っている。しかし、2 流体の組み合わせによりコントラストの悪い画像になる場合や、フィンガーの成長速度が速いときはフィンガー先端の部分がブレた画像になる場合も多く、画像処理に時間と労力を要していた。よりクリアな画像を得ため CCD カメラを変更することになり、ブレた画像の対処に有効なプログレッシブカメラを試したところ、画像処理がかなり楽に行えることが分かった。

1 装置

図 1 に装置概略を示す。セル下方からカメラで画像取り込みを開始、低粘性流体の流路にとり付けた圧力センサより圧力計測を開始、低粘性流体注入という順でフィンガリングの実験を行う。画像データと圧力データの同期用に、圧力計測中は LED が点灯する。

2 カメラと画像取り込みボードの機種選択

まず画像のブレ対処として、カメラを高速撮影用にするかプログレッシブカメラにするかの選択では、どの実験も同一条件で撮影した画像をデータとして使えるほうがよいと考え、プログレッシブカメラを試すことにした。プログレッシブカメラは奇数/偶数フィールドを同時に出力する機能を持つため、1 フレーム中で時間のずれのない画像が得られるが、画像処理装置も必要になるということであった。

カメラは白黒撮影用機種から 1 秒に 29.2 フレーム取り込める SONY XC-HR70 (画像取り込みボードを除く付属品一式) を、ボードは XC-HR70 の適合機種からユレシス社の DOMINO Melody を選択し、それぞれ別会社から借用した。そのため両方の借用期間の重なっているのが数日となり、実際に実験を撮影できるかどうかぎりぎりの日程になってしまい、照明などかなり悪い条件下での撮影となった。(図 2)

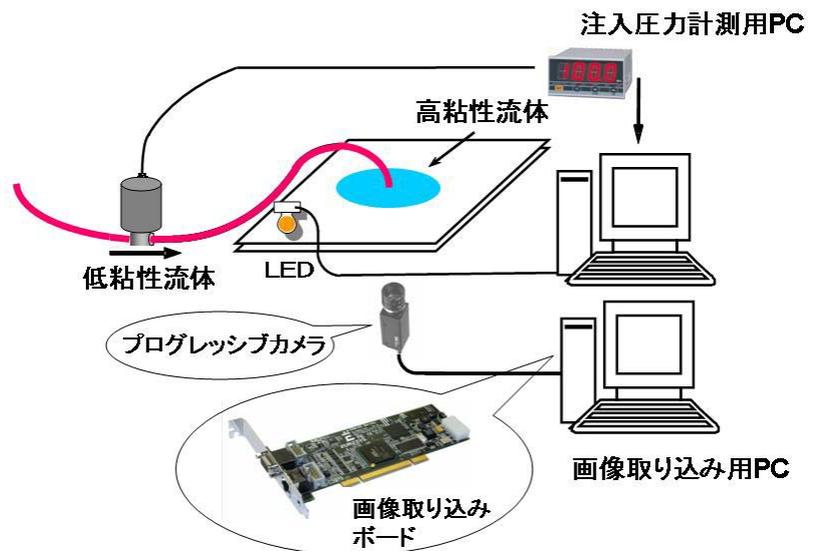


図 1. 装置概略

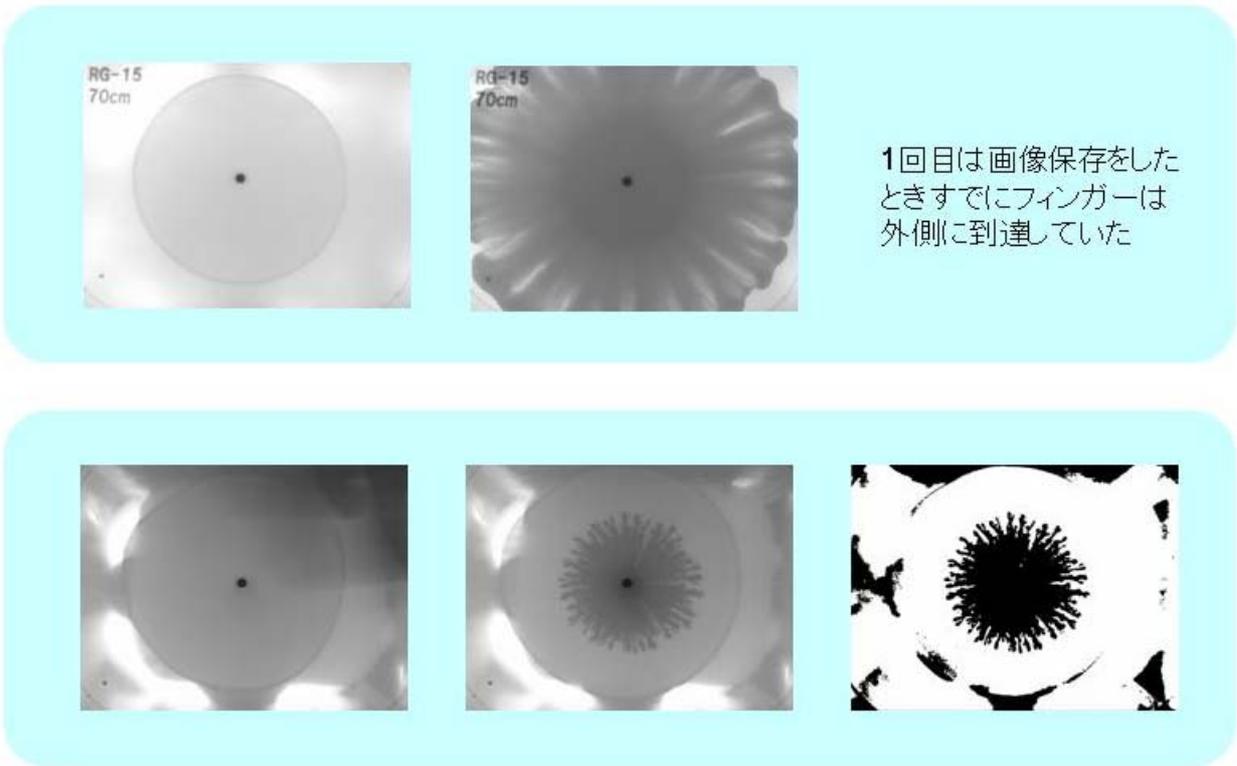


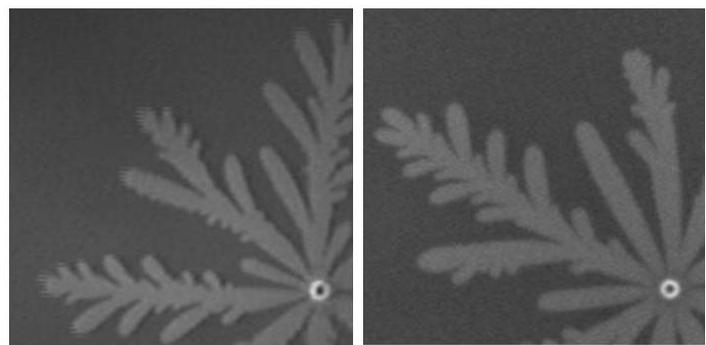
図2. プログレッシブカメラ確認実験

3 二値化処理

プログレッシブカメラ確認実験は1フレームずつしか保存できなかったため、1回目はフィンガーをとらえそこない、急遽やり直した2回目で1フレーム確保できた(図2、下段中央)。これを画像処理したところ2回目はさらに照明が悪条件下であるにもかかわらず、手補正なしで二値化できることが分かった。(図2、下段右)

4 まとめ

確認実験で非常に良い結果を得たので、借用と同機種を購入しヴィスコスフィンガリングの装置を組み替えた(図1)。(株)アド・サイエンスさんの協力を得て2500フレーム取り込みまでできるようになり、70秒間の実験まで撮影可能となった。現在、20コマとばしまでフレームレートをを行いながら2500コマ取り込みができるので23分間の撮影が可能となっており、フィンガリングの実験においてはほぼ十分観察ができる。初期目標の45分撮影までできるよう今後も改良を進めて行きたい。



(a) 前CCDカメラ

(b) プログレッシブカメラ

図3. 画像比較

同条件実験の画像を図3に示す。(a)の前カメラではフィンガー先端部分は偶数フィールドと奇数フィールドの時間差でブレが生じているが、(b)のプログレッシブカメラではフィンガー先端にブレはない。

触媒担持型アルコール液相合成法によるナノ構造カーボンの合成

○百田寛^{A)}、森敬一郎^{B)}、横井裕之^{C)}、黒田規敬^{C)}

A) 熊本大学工学部技術部生産構造技術系

B) 熊本大学大学院自然科学研究科/院生

C) 熊本大学大学院自然科学研究科

1 緒言

フラーレンやナノダイヤモンド、カーボンナノチューブなどに代表されるナノ構造カーボンは、特殊な分子構造を有しており、従来の材料にはない特性を示すため、エレクトロニクスや医療など様々な分野での応用が期待されている。その中でも、単層カーボンナノチューブ(Single-Wall Carbon Nanotube:以下 SWNT)は、特異な電気的、機械的特性を有しており、新しい金属、半導体材料として近年注目されている。2002年に Zhang らにより、アルコール中でのカーボンナノチューブの安価な合成法である液相法が提唱されたが、この方法では SWNT ではなく多層カーボンナノチューブが合成された¹⁾。一方、CVD 法ではナノチューブ成長部に触媒金属を担持したゼオライトを用いると、SWNT が合成されることが知られている。そこで本研究では、液相法でナノチューブ成長部に触媒金属を担持したゼオライトを用いる方法を採用し、低コストで且つ小規模で簡単に合成条件を変えることのできる SWNT の合成装置を開発することを目的とした。

2 実験方法

本研究では、炭素源としてエタノールを使用し、外側に循環冷却水槽を有するガラス試験槽からなる装置を採用した。実験装置図を Fig.1 に示す。SWNT を成長させる基板には、Fe 触媒と Co 触媒をそれぞれ担持させたゼオライトを表面に付着させたヒーターを使用した。ヒーターを装置に設置後、試験槽をエタノールで満たし、試験槽に残留している空気を取り除くために試験槽に窒素ガスを充填し、ヒーターを 10 分間通電加熱した。触媒の表面温度は、補正をした放射温度計を用いて測定した。過熱後、触媒の表面に黒色の生成物が見られたので、本研究ではこの生成物を SEM により観察し、その構造をレーザーラマン分光により評価した。

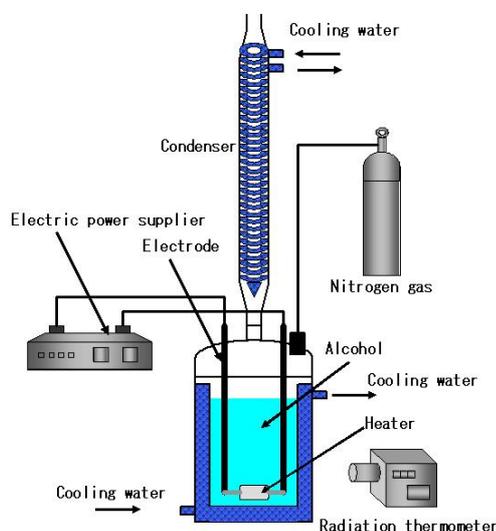


Fig.1 実験装置図

3 実験結果及び考察

Fig.2 および Fig.3 にそれぞれ Fe 触媒, Co 触媒を用いたヒーター表面の SEM 写真を示す. これらの SEM 画像より, いずれの触媒を用いたヒーター表面からも直径数十 nm のオーダーの繊維状の物質が多く含まれていることが確認できた. Fig.4 に Fe 触媒を用いたヒーター表面の黒色部におけるラマンスペクトル測定結果を示す. 1590cm^{-1} 付近に見られるピークは, グラファイト構造に起因するモードであり, G-band と呼ばれ, 1350cm^{-1} 付近に見られるピークは, 不純物や欠陥に起因するモードであり, D-band と呼ばれている. これらの結果より, 触媒表面の生成物にはアモルファスカーボンなどの不純物の割合が多いか, または生成された繊維状の物質に欠陥の割合が多いと考えられる. Co 触媒を使用した場合にも, Fig.5 に示すように D-band が強く観測された. また, Fe 触媒, Co 触媒いずれを使用した場合にも, 高温になるにつれ G-band のピーク位置が低波数側にシフトしており, 繊維状の物質のグラファイト化度が高まったと考えられる. Co 触媒の場合は, G/D 比に着目すると, 温度が上昇するにつれて G/D 比が向上されているのが確認できたため, 欠陥や不純物の割合が減少していると考えられる.

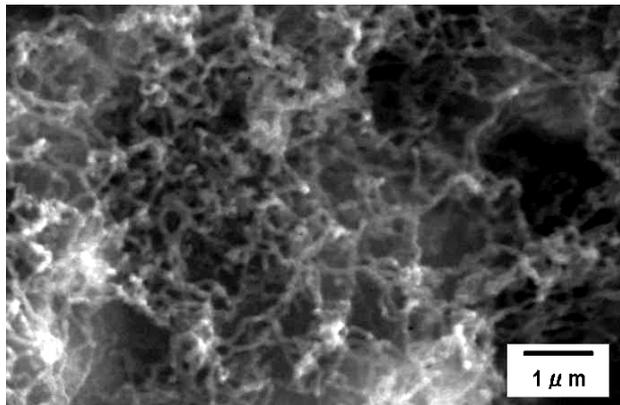


Fig.2 Fe 触媒を用いたヒーター表面の SEM 像.

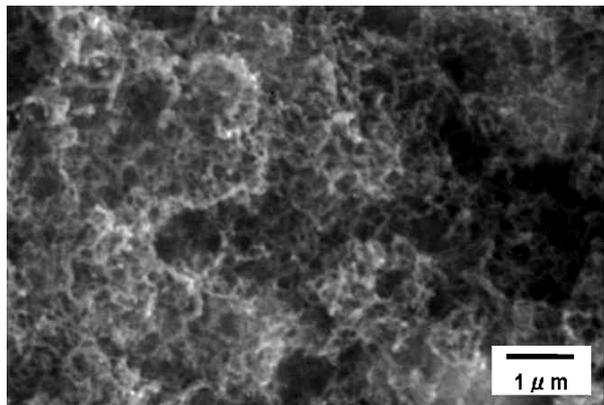


Fig.3 Co 触媒を用いたヒーター表面の SEM

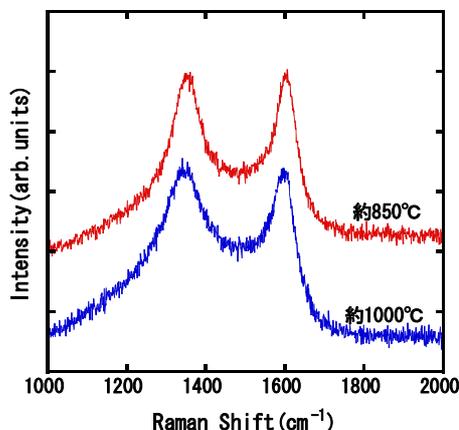


Fig.4 Fe 触媒表面の黒色部のラマンスペクトル.

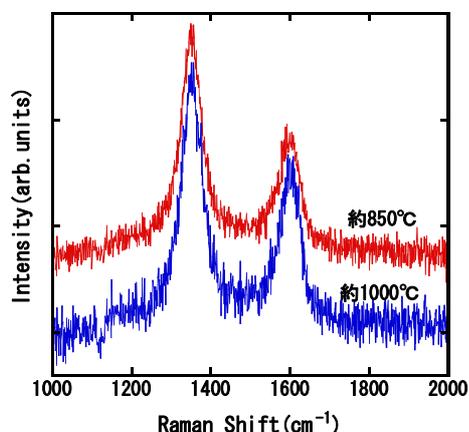


Fig.5 Co 触媒表面の黒色部のラマンスペクトル.

1) Y.Zhang et al., Jpn.J.Appl.Phys. 41(2002)408-411

窒素ガス発生装置の共用化による維持経費削減の取組みについて

○飯田仁、吉岡泰子、吉村好之

徳島大学 大学院ヘルスバイオサイエンス研究部 薬学系

1 はじめに

平成 14 年度末、文部科学省「教育研究拠点形成支援プロジェクト」費用により、質量分析装置(以下“MASS”と略)「Bruker 社 Esquire2000T」が追加導入され、附属装置として薬学系では初号機となる窒素ガス発生装置(以下“N₂Gen.”と略)が設置された。当時は MASS の直近に設置でき、電源を入れておけば大気中の窒素を分離し窒素ガス(以下“N₂”と略)を MASS に供給してくれる非常に便利な附属装置であると認識していた。しかし、この N₂Gen.は 24 時間連続運転の装置であり、運転中の騒音と発熱が大きく、近くでは大きな声で話をしないと会話が成立せず、さらに MASS を設置した部屋の室温が非常に不安定になった。

このような状況から騒音源や発熱源など、MASS を含む分析装置の周囲環境を著しく乱すような附属装置は分析装置の設置場所とは異なる場所(部屋)へ設置する必要性があった。さらに 24 時間連続運転であり内蔵されている圧縮機の運転時間(1 万時間毎)により管理されている定期整備間隔の固定化が避けられない状況についても改善の必要性を強く認識するようになった。なお、定期整備費用は 1 万時間で約 20 万円、2 万時間で約 30 万円であり、1 万時間毎に交互に行うようにメーカーから推奨されている(概ね毎年必要)。

2 取組み

平成 17 年度末には概算要求設備である「生体物質構造解析システム」の一部として、機能目的の異なる MASS「Waters 社 LCT Premier」、「Waters 社 Q-TOF Ultima」、「Applied 社 4000QTRAP」の合計 3 台が同時に追加導入された。これら 3 台の MASS には前出の N₂Gen.が附属しており各々の MASS と 1 対 1 に接続されている。ただし、上記 MASS の一部を除き、N₂は測定時のみ必要とし非測定時は不要になり N₂Gen.を停止させることが出来るため、少しではあるが定期整備間隔を長くすることが可能になっている(Applied 社の MASS 用 N₂Gen.は 24 時間運転)。

2.1 設置場所の検討

はじめにでも述べたが、この N₂Gen.は騒音源と発熱源になる。そのため 3 台もの N₂Gen.を同じ部屋に設置し同時運転を行った場合、悲惨な状況を想像することは容易である。何よりも Q-TOF に附属している「Cap LC」は温度管理が厳しく周囲温度を 22℃に保つ必要がある。そのため N₂Gen.と真空ポンプなどはパーティションで分離し別室(機械室)に設置することとした。発生する熱の排熱には機械室の換気扇とは別の大型換気扇を取付けそれに接続されたダクトの一方を N₂Gen.に取付け屋外に直接強制排気(排熱)することとした。また、別室に N₂Gen.を設置したので停止操作を忘れることが予想されたため、N₂Gen.に遠隔操作キットを別途追加し運転要求信号を発生させられるようにした。

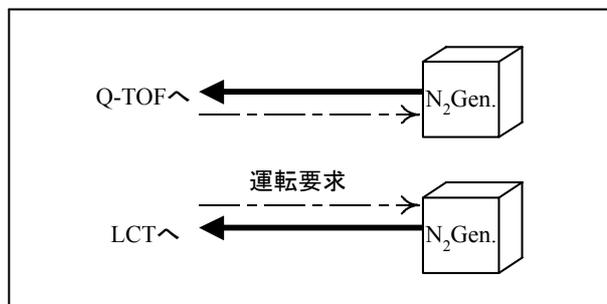


図1 従来の接続概念図

2.2 共用化の実施（その1：物理的共用について）

N₂Gen.の共用化について MASS のメーカーに確認した後行った。以降は Waters 社の2台(LCT と Q-TOF)についての説明である。N₂Gen.のメーカーにも確認し共用化の概念と必要部品を追加購入した。この共用により1台の N₂Gen.を排他的に運転し2台の MASS へ N₂の供給が可能になり、残り1台の N₂Gen.を停止することで定期整備期間の延長が可能になった。手法として、2台の N₂Gen.の窒素ガス出口に逆止弁を介してクッションタンクに接続する。クッションタンク出口で2分岐しそれぞれに圧力調整器(レギュレータ)を取付け MASS に N₂を供給した(図2)。

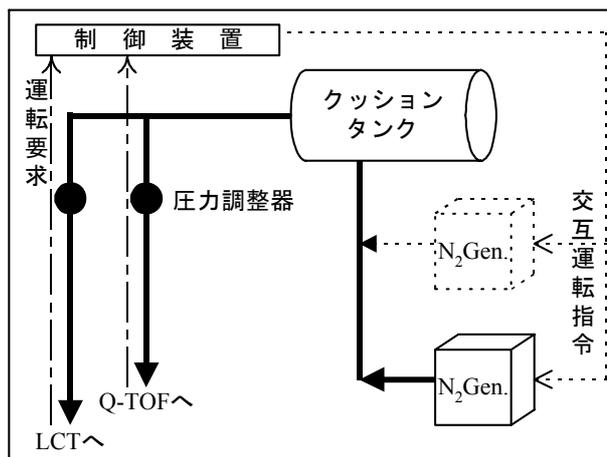


図2 物理的接続の概念図

2.3 共用化の実施（その2：消費電力と運転時間の軽減について）

前節で説明したが、物理的に共用しただけではどちらかの MASS が窒素ガスを必要とする測定中は N₂Gen. が連続運転となる。設置場所である機械室の温度上昇を可能な限り抑えるためにも、N₂Gen.を間欠運転とし停止時間を作り、発熱量の削減とともに消費電力量の削減も試みた。手法としてその 1(2.2 節)で設置した圧力調整器の二次側に電磁弁を取付け測定時に電磁弁が開き、N₂が MASS に供給されるよう変更した。さらにクッションタンクに圧力センサーを取付け、圧力センサーにより運転信号を発生させ N₂Gen.に供給し間欠運転となるように変更した(図3)。

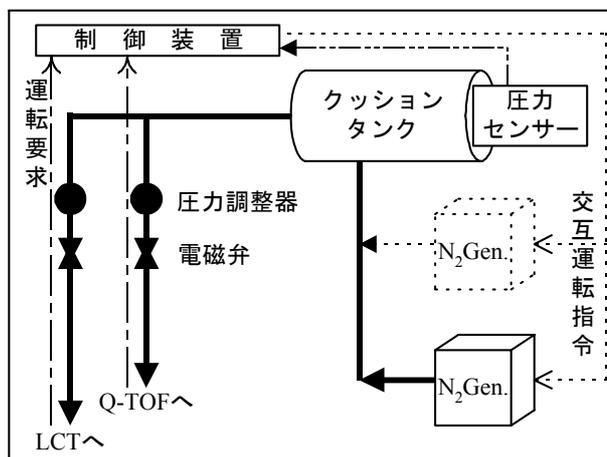


図3 消費電力の軽減に関する概念図

3 効果の確認

共用化を実施した上での効果を確認したので表1にまとめる。表中の電力量とは、N₂Gen.の電源側に電力量計を設置し指示値を計測したもので、運転要求時間とは2台の MASS の運転要求時間をタイマーにて計測したものである(どちらかが ON で計測開始)。単位時間電力とは電力量を運転要求時間で除したものである。

表1 消費電力の変化

測定期間	電力量 [kWh]	運転要求時間 [hour]	単位時間電力 [kWh/hour]	備考
06.11.21~06.12.26	494.70	463.9	1.066	その1(物理的共有)
07.02.28~07.07.27	657.04	1530.1	0.429	その2(センサー追加)

取組み前のデータを収集していないが、2台の N₂Gen.が独立して運転していたためその1で測定した約2倍の消費電力が必要であったと思われる。圧力センサー追加後は N₂Gen.が間欠運転となり、“運転要求時間 > 運転時間”となるため、単位時間あたりの消費電力で比較すると、圧力センサーを追加することで約50%に半減できた。データは無いが共用化前と比較すると約30%まで消費電力を削減できたと思われる。

4 共用化の発展的展開

4.1 MASS の追加について

2章で共用を実施した N₂Gen.に対して、第三の MASS(Waters 社 LCT Premier)の管理依頼(供用換え)がありさらに 1 台が追加されることになった。1 台の N₂Gen.からの N₂発生量に限界があるので、MASS による測定の状況を確認しながらの取組みとなった。手法としては2.2節で実施した2分岐を3分岐に変更した。もちろん制御装置も 3 台に対応させるため手直しを行った。図 4 に現在の接続状況を示す。図中では今回追加した MASS を LCT2 として表記した。現在のところ 3 台の MASS を接続しても測定に関して問題は発生していない。しかし、さらなる分析機器類の追加に関しては、インバータの追加によるソフトスタートなど別の手法が必要になると思う。

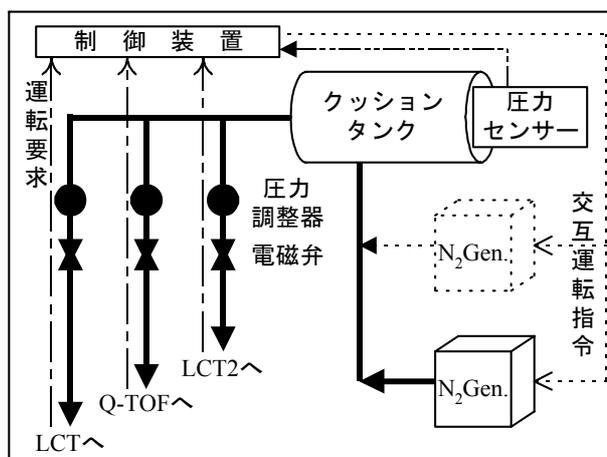


図4 現在の接続状況図

4.2 別機器への N₂ 供給について

薬学系の初号機となった N₂Gen.を MASS(Esquire 2000T)から離し NMR 用空調機械室に移動し、クッションタンクと圧力センサーを追加した。また樹脂配管を天井裏に敷設し N₂を MASS に供給できるようにした。測定状況確認後、さらに別機器である「円二色性分散計」も接続した。従来は「円二色性分散計」で必要とする N₂は、7,000 ㊦の N₂ポンベを使用の都度購入・交換し使用していたが、この移動を機会に N₂Gen.から供給できるように改造した。手法は 2.2 節で述べたもので、「円二色性分散計」まで天井裏に樹脂配管を敷設し、さらに N₂の消費量を確認するために積算流量計を取付けた。図 5 に接続の概念図を示す。この接続による効果の確認を行ったので表 2 に示す。

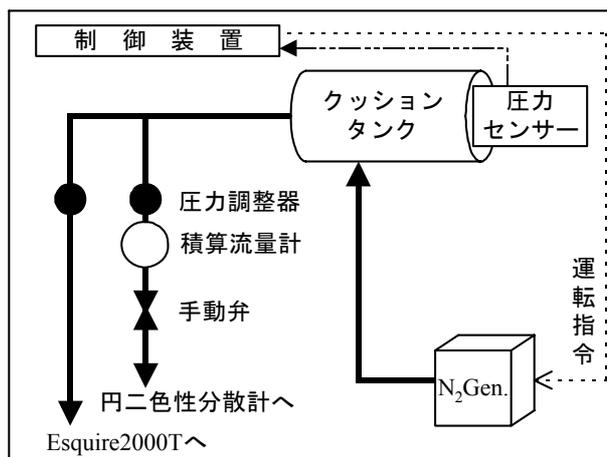


図5 別機器への供給概念図

表 2 電力量の変化

測定期間	電力量 [kWh]	運転要求時間 [hour]	単位時間電力 [kWh/hour]	備考
07.08.20~07.08.27	182.88	7day×24=168	1.089	対策前
07.09.03~07.09.10	80.70	7day×24=168	0.480	Esquire 2000T のみ
07.09.19~07.09.26	98.49	7day×24=168	0.586	円二色性分散計接続

圧力センサーを取付け、N₂Gen.を間欠運転にすると、単位時間電力が半減した。円二色性分散計を接続した場合は、単位時間電力が若干増加したが、接続後 4 ヶ月間の積算流量値は 73,058 ㊦であり、電力量の削減に加えて 7,000 ㊦ N₂ポンベ約 10 本の購入費用が削減でき、N₂ポンベの個別購入費用が不要になったため、維持経費削減の効果は十分にあった。

5 まとめ

同じ N₂Gen.が複数台ある場合は、共用化すればかなりの経費削減効果を実証できた。最終的に MASS を 3 台接続した N₂Gen.の電力量については表 3 に示す(4.1 節の結果)。MASS を 3 台接続しても表 3 のように単位時間電力で比較すると物理的共有に比べて約 70%になり、電力量金の削減が実現できていることが分かる。

表 3 3 台接続時の電力量

測定期間	電力量 [kWh]	運転要求時間 [hour]	単位時間電力 [kWh/hour]	備考
07.10.16~07.10.30	226.85	336	0.675	MASS3 台接続

一般に電力量は研究室や分析センター(室)単位での計測になり削減の効果を確認(実感)することが難しいが、今回、個別装置に電力量計を取付け検証した結果、小さな対策でも大きな効果が発揮できる事が分かった。ただし、このような取組みを行う上で多少の投資費用は必要であるが、取付け作業が比較的簡単であり自ら作業を実施したため部品のみで済み、MASS3 台で N₂Gen.を 1 台共有した場合は約 15 万円、円二色性分散計を追加した場合は約 12 万円であった。今回の取組みで購入・追加した主要な部品のリストを表 4 に示す。なお定期整備間隔が約 2 倍になったことより投資費用(部品費)は早期に回収が可能である。また、電気代(電力量)においても大幅に削減でき、CO₂ 削減に貢献できたと考える。一方、円二色性分散計に関しても N₂ ボンベ購入費用(過去 2 年間で 47 本購入)も削減されるので、さらに維持経費の削減が将来的にも可能であり、コストパフォーマンスの高い対策であった。

このような省エネルギーに対する取組みは、分析機器の更新により年々右肩上がり続ける消費電力量の抑制が可能であり維持経費の面からだけでなく、現在地球規模での対策が急がれている地球温暖化防止に対する取組みとしても有効である。今後も小さな事から経費削減と省エネルギー(CO₂ 削減を含む)に対する取組みを実施し、大きな削減に繋がるように続けていきたいと思う。

表 4 対策に使用した主要部品リスト

品名	規格	メーカー
遠隔操作キット	OCX-792	アネスト岩田
クッションタンク	SAT-36C-100	アネスト岩田
圧力調整器(レギュレーター)	AR20-02G	SMC
電磁弁	VCA31-1G-02F	SMC
圧力センサー	PS30-103R-N(ポートブロック付)	日本電産コパル電子
積算流量計	CMR70	山武
リレー	G2R-2-SN	オムロン
樹脂配管(ナイロンチューブ)	AX-1206	アオイ
圧力センサー用電源	FMP24-R13	TDK
普通電力量計※	S23 形	東芝

※普通電力量計は四国教施研総合サービス株式会社より借用

6 謝辞

今回の取組みに際し、様々なご助言を賜りました先生方に厚く御礼申し上げます。また、電力量計をお貸し下さった、四国教施研総合サービス(株)の皆様にも深く御礼申し上げます。

名古屋大学大学院工学研究科における安全衛生教育の現状と課題

○堀木幹夫^{A)}、大久保興平^{A)}、平墳義正^{A)}、斉藤彰^{A)}

松浪有高^{A)}、中務孝広^{B)}、江川智昭^{C)}

^{A)} 名古屋大学全学技術センター工学技術系第3技術課

^{B)} 名古屋大学全学技術センター工学技術系第1技術課

^{C)} 名古屋大学情報メディア教育センター

概要

名古屋大学大学院工学研究科（以下「工学研究科」という）において、環境安全管理室が中心になって、国立大学の法人化以降取り組んできた安全衛生教育の内容について、報告を行う。

1 はじめに

国立大学は平成16年4月に法人化され、安全衛生に関する主たる準拠法令が人事院規則から、労働安全衛生法（以下「安衛法」という）になり、いくつかの従来にない安全衛生の取り組みが必要となった。安全衛生教育についても新たな取り組みが必要となった。安衛法第59条の1では新たに雇い入れたものに対する教育、同3項では危険または有害な業務に従事するものに対する教育を義務づけている。

安衛法は言うまでもなく、労働者に対する法律であるが、大学という職場は労働者である教職員に対して、何倍もの学生・院生等が存在し、学生・院生等の安全・衛生環境の保全なくして、大学の使命の達成はあり得ない。名古屋大学ではこれらのことを担保するため、名古屋大学安全衛生管理規程で、安衛法の趣旨を学生・院生にも適用することを明確に規定している。それを受けて、工学研究科においても、規程の内規で、学生・院生等に対する準用を規定している。当然のことながら、学生等に対しても安衛法の趣旨に則り教職員と同様の教育が実施される。

2 工学研究科における安全衛生教育

工学研究科においては、1に述べた趣旨に添い、教職員、学生に対する安全・衛生教育を実施してきた。以下、教育教材の作成、具体的な教育の実施、e-learningへの挑戦、教育内容の検討の各項目で報告する。

2.1 教育教材の作成

はじめにの部分で大学の構成員として、教職員と学生・院生等が存在することを述べた。安全・衛生教育を実施するにあたって、教職員と学生・院生等にはその位置づけに大きな差異があることを認識しなければならない。教職員には安衛法等の法律を遵守し、安全・衛生に取り組み大学の教育・研究の使命を高める立場がある。それに対して、学生・院生は能力的にも未熟な部分があり、法令遵守の観点よりも、いかに安全で衛生的な環境を保持し、教育・研究に関与するかの観点が重視される。

これらの観点を踏まえ、工学研究科では従来からあった「安全の手引」に加えて、「環境・安全・衛生ガイドライン」（以下「ガイドライン」という）を作成した。図1にガイドライン作成にあたっての考えを示す。国立大学の法人化に伴って、安全・衛生の主たる準拠法令が人事院規則から安衛法に変わったことにより、法令遵守の観点が強まった。そのため、新たに作成した「ガイドライン」には法律による遵守条項の内容を

全面的に取り入れた。しかし、安全・衛生には、法律には盛り込まれない多くの部分がある。例えば、地震時の対応や応急手当の方法などである。つまり、安全・衛生の担保というものは法律の遵守に関わる部分と従来から蓄積されてきた安全・衛生に関わる膨大な知識群が合理的に合体された形で担保される。これらのことを貫いて「ガイドライン」を作成した。それに対して、「安全の手引」は従来から存在したもので、主に学生・院生等への教材として、マニュアル的な側面を重視し、比較的平易な言葉で記述されている。

合理的な合体=ガイドライン

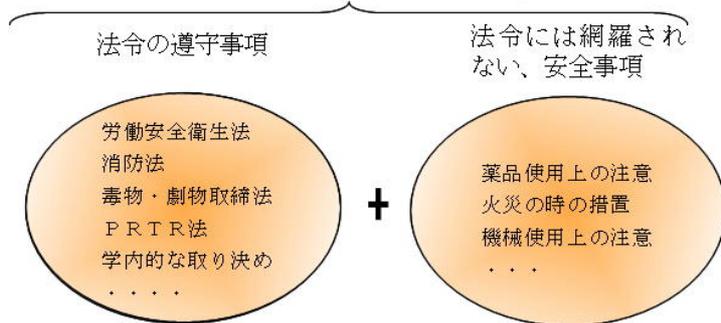


図1. ガイドライン作成の考え方

その他、安全の各論について、以下の教材を作成し、ホームページに貼って、広く、活用を促した。

安衛法第59条第1項の全般的な安全衛生に関する教材として、①労働安全衛生法概要、②化学実験室における労働安全衛生法対応、③工作機械取扱教育、④工作機械取扱各論。

安衛法第59条第3項の危険または有害な業務に関する教材として、①低圧電気取扱教育、②レーザー取扱教育。その他の教材として、①消防法—危険物取扱に関する教育等の教材を作成した。これらの教材はHPからダウンロード出来る形態とし、各専攻、研究室で自由に活用出来るようにした。

2.2 具体的な教育

安全・衛生教育の対象として、安衛法からの要請による教職員、法に準用される学生・院生等があることを先に述べた。環境安全管理室として、それらに対する教育を部局の安全衛生組織である安全・厚生委員会で年度始めに行うよう周知した。

新たな雇い入れ者に対する教育は新たな雇い入れ者を具体的にリストアップし、各専攻等の安全衛生委員に教育をお願いした。学生・院生等に対する年度始めの教育はHP上の教材や「安全の手引」による教育を促し、環境安全管理室員による出前教育を積極的に配置した。

表1. 平成19年度の環境安全管理室による出前教育

日付	専攻等	人数
4月10日	量子工学専攻	約40名
4月18日	化学・生物学専攻応用化学分野	約40名
4月27日	電気系専攻	約120名
5月8日	化学・生物学専攻分子化学工学分野	約40名
5月10日	社会基盤工学専攻	約120名
5月21日	IV系（機械理工学専攻、航空宇宙工学専攻）・マイクロ・ナノシステム工学専攻合同	約120名

表1に今年度実施した各専攻の学生・院生等に対する環境安全管理室からの出前教育の状況を示す。

今年度、環境安全管理室による年度当初の出前教育で、新規に4年生（一部新規のM1）となった工学研究科全体の学生の約60%に教育を行ったことになる。

表2に具体的な教育の内容の一例を示す。

これらの教育内容や時間は各専攻の専門や各専攻からの時間枠の要望を考慮し、種々アレンジした。

表2. 安全教育内容の一例

教育内容	講師	時間
安全に関する全般的事項	堀木幹夫	15分
低圧電気の安全	平墳義正	25分
レーザーの安全	斉藤彰	15分
機械工作の安全	大久保興平	15分
化学実験の安全	松浪有高	20分

講師の話をついに飽きさせずに聞いてもらい、理解してもらうかは、永遠のテーマである。これらへの工夫として、専攻の教員からの要望で、教育の最後に小テストを配置した。冒頭、「教育の最後に小テストを行います。成績の悪い人は別途レポートの提出を課します」と断って。

小テストの一例を以下に示す。3択式で正答にレ点を付けるというものである。

1.

通常の泡消火器の放出時間は 10 秒程度である。

通常の泡消火器の放出時間は 15～20 秒程度である。

通常の泡消火器の放出時間は 30 秒程度である。

.....

8.

空気中の酸素濃度が 21%未満を酸素欠乏状態という。

空気中の酸素濃度が 18%未満を酸素欠乏状態という。

空気中の酸素濃度が 10%未満を酸素欠乏状態という。

問題の内容は極めて簡単なものであるが、講義に集中させるという点では効果があった。今後、問題の質等は工夫をしていく必要がある。

環境安全管理室員による安全・衛生教育は一定の効果を上げていると思えるが、以下の課題も提起されている。

3 今後の課題

3.1 e-learning への挑戦

今年度、各専攻の学生・院生に対する年度当初の安全・衛生教育はある程度綿密に実施できた。各専攻の安全教育は年度当初に集中することから、環境安全管理室員に負担が集中する。従って、これらの負担を軽減するために、いわゆる e-learning 教材の開発を目指している。e-learning の手法については別の文献^[1]に譲るが、Web 等を活用し、パワーポイント等の画面に音声を同期させ、学習者が画面を見、音声を聞きながら、集団又は個人で学習を行う手法である。

図2に情報メディア教育センターの協力を得て、作成した教材の画面の例を示す。

左の欄には教材の全体的なタイトル(目次)が示され、中央には講師の講義の動画、右の欄には、講義に使用されているパワーポイントの画面が示されている。これらの画面は学習者の選択により、動画のみの画面にしたり、パワーポイントのみの画面にすることが出来る。各節の最後には理解の度合いをはかる問題も配置されている。

これらの e-learning 教材を開発することにより、環境安全管理室員の負担は軽減出来ると思える。また、こ



図2. 作成した e-learning 教材の画面の例

これらの e-learning 教材を開発することにより、環境安全管理室員の負担は軽減出来ると思える。また、こ

の教材は多様な形態で活用出来る。Web 上に設置することにより、各人がダウンロードして、個人学習や研究室単位での学習に活用出来る。

しかし、こうした e-learning 教材の弱点として、講師と面と向かっていないことによる緊張感の欠落、学習効果の低減等の問題がある。それらを補完する手法として、大教室に生徒を集めて、e-learning 教材を活用して講義を行うやり方やメディアスタジオのようなディスプレイターミナルを多数有する場所に人を集めて、対話式で講義を行う手法等が考えられる。どちらにしても、こうした長所と短所をよく把握した上で、活用する事が必要であるが、e-learning は今後の教育教材開発の一つの大きな柱になっていくであろうことは間違いない。

3.2 教育内容の検討

安全・衛生教育には多くの目的がある。直接的には安全や衛生についての知識群を掌握することにより、災害を防止することにあると思える。学生・教職員の災害を防止するためにはどうした教育を実施することが効果的かという観点から、教育内容を精査することが今求められている。

表 3 に今年度の工学研究科での災害事例を示す。

表 3. 平成 19 年度における工学研究科の災害事例 (12 月末日迄)

日付	専攻等	被災者	災害内容
4/16	化学系	3 年生	るつぼを強熱していて、実験用白衣左袖に着火、右手ではたき消した。右手にやけど
5/30	化学系	M2	試薬庫上の廃棄物の入った段ボールが落下。段ボール中のシリカゲルをかぶった。
7/10	物理系	M1	引っ越し作業中にしゃがんだ状態から立ち上がり、開いていた電源盤のふたで頭部を切傷
9/7	材料系	M1	硝酸瓶のふたをつかんだ拍子に落下し、足に薬品がかかった。
9/18	機械系	講師	机周辺で、移動しようとして、膝がひねった。右膝半月板から、関節、靭帯が断裂
9/27	化学系	M1	真空封入したガラス管のピンホールから、空気が入り、液体窒素から取り出したとたんに、空気が膨張し、破裂。
10/19	化学系	4 年生	注射器で有機溶剤を移送中、管がはずれ、液が飛び散り、眼に入った。
10/24	化学系	M2	ドデシル塩酸塩をシリンジとフィルターで、ろ過中、管がはずれ、液が飛散。顔にかかる。
11/17	化学系	4 年生	ドライアイスを粉碎中、ドライアイス同士で手を挟み、指を骨折
12/4	化学系	M1	硬くなった真空コックを無理に回して、根本から、割れ、手を切った。

上記の災害の原因を詳細に検討してみると、動作に起因しているものが、多くの割合を占めている。このことから、災害を防止するためには化学薬品の危険性や低圧電気の危険性といった知識を得ることも勿論重要であるが、それに加えて、実験等の環境に内在しているリスクをいかに感受性よく掌握するかということが災害防止に効果的であることが分かる。このことから、危険予知やリスクアセスメントといった実践的な安全教育も重視していくことが、重要である。

参考文献

- [1] 谷口泰広、中務孝広、”名古屋大学における OpensourceLMS の活用事例”、平成 18 年度名古屋大学総合技術研究会情報・ネットワーク技術研究会報告集、平成 18 年 3 月、p68-71

野辺山における最近の電波環境 3. 75 GHz 帯での混信対策

○北條雅典、篠原徳之

国立天文台野辺山太陽電波観測所

概要

野辺山太陽電波観測所では偏波強度計によりマイクロ波帯 1 GHz ~ 80 GHz の間の 7 周波数の太陽電波を受信し太陽活動を常時ルーチン観測をしている。今回新たに問題にしたのは混信である。この太陽偏波強度計はすでに 50 年以上にわたり観測を行ってきている。もともと観測周波数を決定する段階で民生の部品を活用できるような周波数であった為、もちろん天文保護バンドではなく時代が進むにつれてその混信の度合いも悪化の一途をたどっている。

今回報告する、3.75 GHz 帯は赤道上空を軌道とする、静止通信衛星の C 帯ダウンリンク (3.4 ~ 4.2 GHz) 周波数のインバンドにあたる。その為に太陽が赤道付近の高度になる春分、秋分の時期に約 1 ヶ月間は静止通信衛星からの送信波が大きな混信ノイズとなり観測に障害をおよぼす。本発表では対策の為の調査とその結果に基づいた対応策について報告する。

1 偏波強度計について

偏波強度計は 7 周波数 (1, 2, 3.75, 9.4, 17, 34, 80 GHz) で太陽全面から出てくる電波の強度と偏波とを正確に測り、太陽の活動の様子をしらべている。太陽活動が活発な時期には、激しい爆発現象 (太陽フレア) が、頻繁に起こる。その時に発生する高温・高エネルギーの電子から出る電波を多数の周波数で計測することで、もとの爆発のメカニズムを解明することがこの装置の目的である。よって混信波の影響を受けることなく観測をすることが重要である。図 1 で野辺山偏波強度計の全景、図 2 で太陽静穏時の観測記録、図 3 で太陽バースト発生時の観測記録を示す。



図 1. 野辺山偏波強度計

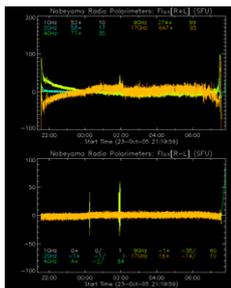


図 2. 太陽静穏時の観測記録

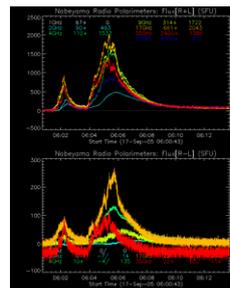


図 3. 太陽バースト発生時の観測記録

2 偏波強度計への 3.75 GHz 帯混信状況

偏波強度計で観測している周波数帯の中で 3.75 GHz 帯は赤道上空を軌道とする、静止通信衛星の C 帯ダウンリンク (3.4 ~ 4.2 GHz) 周波数のインバンドにあたる。その為に赤道付近の高度になる春分、秋分の時期に静止通信衛星が太陽観測域に入る為、同一周波数である 3.75 GHz 帯観測周波数に静止通信衛星の混信の影響をうける。

図 4 に春分、秋分期の太陽と静止通信衛星位置をしめす。

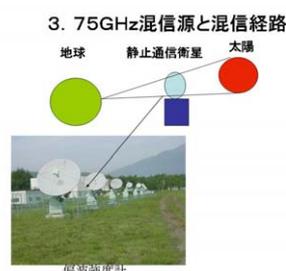


図 4. 春分、秋分期の太陽と静止衛星位置

3. 75GHz静止通信衛星からの混信

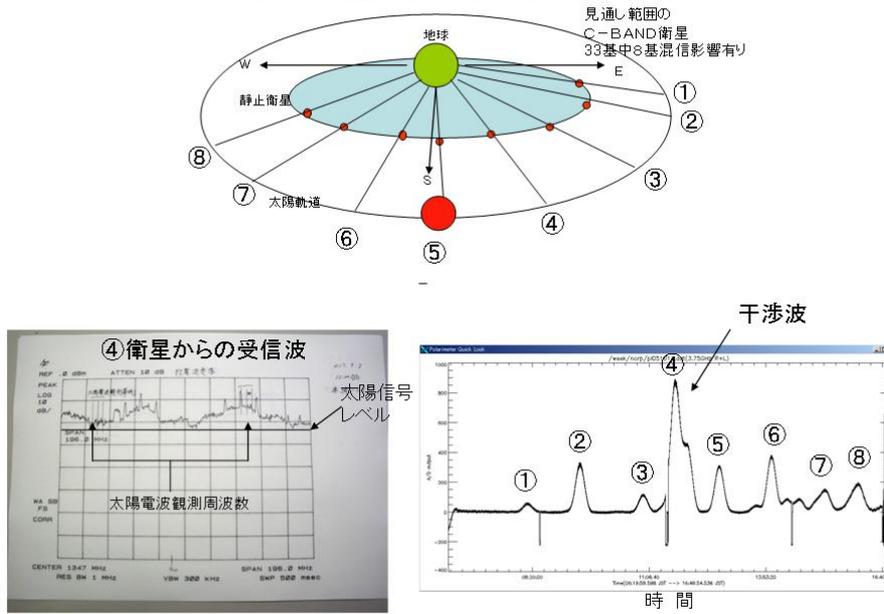


図5. 3. 75GHz帯静止通信衛星からの混信状況

図5 3. 75GHz帯静止通信衛星からの混信状況に示すごとく混信を大きく受ける赤道軌道上の静止通信衛星は8基確認されている。

3 混信軽減対策検討と対応策

混信源が静止通信衛星であることを鑑み、次に対策検討調査とそれに基づく対応策をのべる。

3.1 混信源通信衛星の周波数スペクトラム調査

混信を回避する為の受信周波数を特定する為に被混信通信衛星の運用している周波数スペクトラムを調査した。図6に混信源通信衛星の周波数スペクトラム調査測定系を、図7に混信源通信衛星の周波数スペクトラムをしめす。

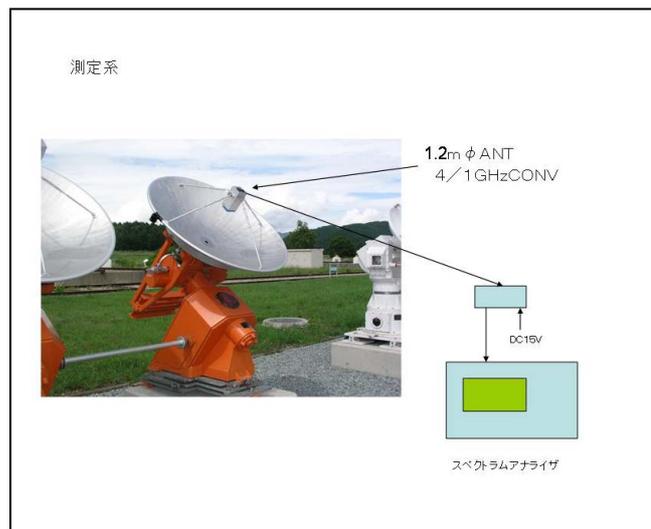


図6. 混信源通信衛星の周波数スペクトラム調査測定系

静止通信衛星周波数スペクトラム

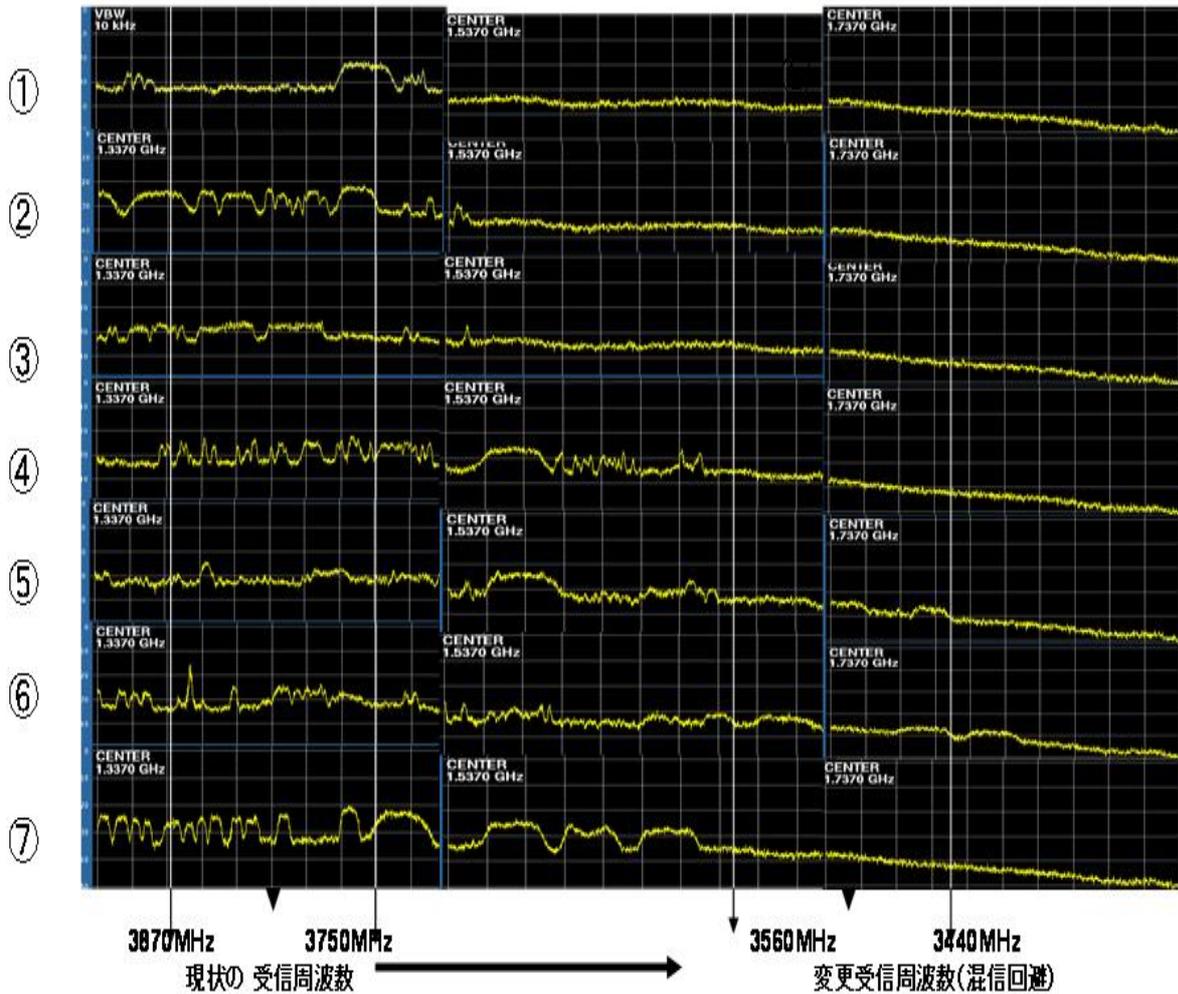
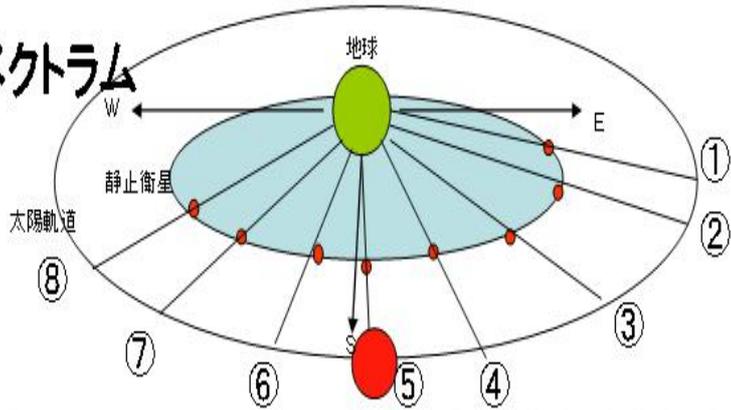


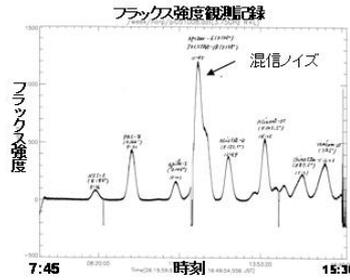
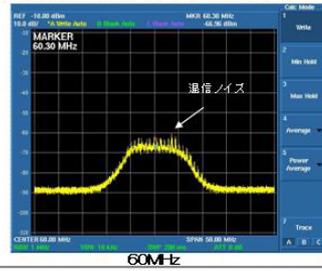
図 7. 混信源通信衛星の周波数スペクトラム

衛星の運用時の周波数スペクトラムの調査結果から現在の太陽電波観測周波数（3870、3750 MHz）から 310MHz 低い周波数（3560MHz、3440MHz）にすることにより混信が回避されることが判明した。

3.2 太陽電波観測周波数の変更による効果と考慮点

太陽電波観測周波数の変更により図 8 観測周波数変更による効果に示すごとく混信は軽減された。

受信周波数変更による混信軽減状況
1) 周波数変更前(中間周波部位)



2) 周波数変更後(中間周波部位)

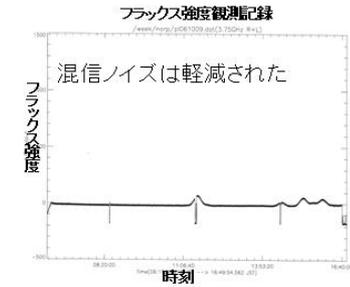
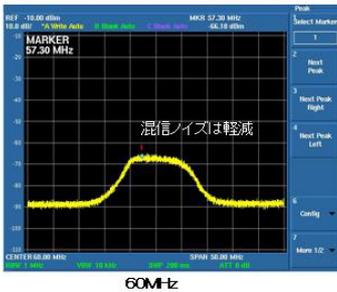


図 8. 観測周波数変更による効果

太陽電波のフラックス強度は周波数に関係しており、周波数を変更することによりフラックス値が変わることになり、従来観測データとの連続性が保てなくなることを考慮する必要が生じてくる。

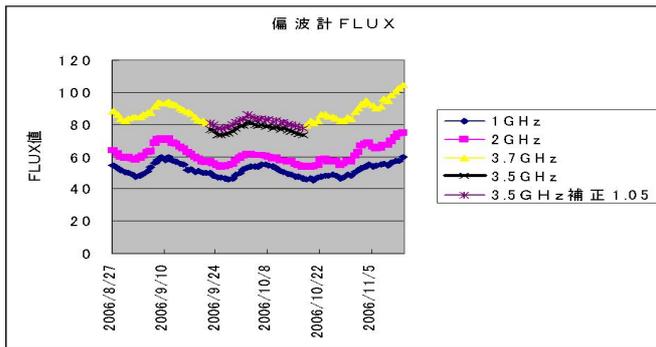


図 9 フラックスの実測値に示すごとく、周波数を変更することにより値が約 5% 低下する。従来データとの連続性を考慮し周波数変更した値に対し 1.05 の補正をすることも方策と考えた。

図 9. フラックスの実測値

4 まとめ

本調査結果から太陽電波の観測運用方針を次の通りとした。

- 1) 平常時期は現状観測周波数を受信する LO (局発周波数) を 3.81GHz で運用する。
- 2) 春分、秋分時期は静止通信衛星からの混信を回避できる周波数 LO を 3.5GHz で運用する。
春分時期 (2月20日～3月20日の間)、秋分時期 (9月20日～10月20日)
- 3) 周波数変更によるフラックス値の補正はその時期の前後のフラックス値で判断する。(例 1.05)
- 4) LO (局発周波数) の設定はシンセサイザを採用し、受信周波数を変更する。

参考文献

- [1] http://www.hamers.co.jp/white/t_d/sunnoise.html#
- [2] 理化年表 平成 19 年

BS 1 マグネットのシミュレーション

上田 明

高エネルギー加速器研究機構 放射光実験施設

概要

2006年10月より2007年9月までスイス、ジュネーブ郊外にある European Organization for Nuclear Research、CERNにおいて「日本 - CERN技術職員海外派遣研修」を行った。CERNでは Beam Transfer グループに加わり、CLIC Test Facility 3(CTF3)用キッカー電源関連の仕事、及びPSブースター入射部に新規に制作されるBS 1 マグネットのシミュレーションを行った。

ここでは、そのうちBS 1 マグネットのシミュレーションについて報告する。

1 Linac4 計画による PS ブースター入射部の改造とBS 1 マグネット

CERNでは、現在のLINAC 2をLINAC 4に置き換え、供給するビームのプリリアンスと強度を2倍にする計画が進行している。この改造に伴いPSブースターの入射部もマグネットの増設、再配置が行われる。入射部には4台のBSマグネット(BS1,BS2,BS3,BS4)が新たに増設される。

図1に改造後のマグネット配置を示す。まず周回ビームはBS 1 マグネットで偏向された後、入射してくるHビームとBS 2 マグネット内で同一軌道となる。そしてHビームはストリッピングホイールに導かれる。

図1から明らかなようにHビームはBS 1 マグネットのすぐ横を通る。そのためBSマグネットのうち最初のBS 1 マグネットはHビームの軌道に影響が無いようにマグネットの外側では、磁場が無いようにする必要がある。マグネット内に対してマグネット外側の磁場は、1%以下が要請されている。

この要請のためBS 1 マグネットは、渦電流シールドによって漏れ磁場を防ぐセプタムマグネットのような構造を持つものでなければならない。ビーム軌道から見積もられる渦電流シールド(セプタムシールド)の厚みは最大30mmである。

またこのBS 1 マグネットの主な仕様は、コア長200mm、アパーチャー(H×V)110×46mm、そして最大磁場0.63Tである。マグネットを駆動するパルス電源は、立ち上がり立下り40 μ sec、フラットトップ100 μ secのパルス波形を発生する。

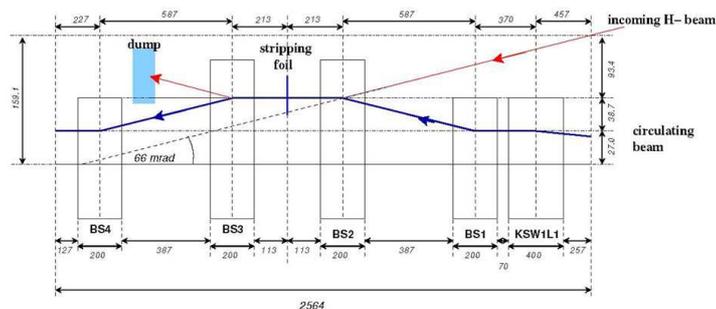


図1. PSブースターの入射部(改造後)

2 マグネットギャップ内磁場と漏れ磁場 (2D transient 解析)

渦電流シールドは、厚みを 5mm,10mm,20mm とかえながら ANSYS 2D transient 及び OPERA 2D transient により解析し、外部磁場の影響が十分小さくなる 20mm と決定した。ここでは、最終の 20mm モデルでの OPERA 2D transient 解析の結果を示す。

2.1 シミュレーションモデル

図2にBS1マグネットのモデルを示す。対称性を考慮してマグネット中心より上部のみシミュレーションした。

マグネットのギャップは 110×46mm、C型のフェライトコア（青）が銅またはアルミの厚み 20mm のシールド（薄い青）によって囲まれている。またギャップの後、及びフェライトコアの後に1ターンのコイル(赤)を配置している。

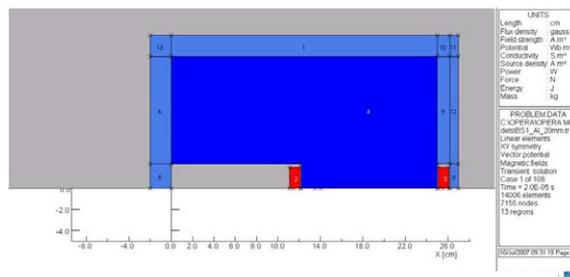


図2. BS1マグネットのモデル (2D)

シミュレーションのためのメッシュは、電流パルスの立ち上がり時間 (40 μ sec) を考慮して、渦電流シールド部の内側は 0.3mm となるように留意して生成した。

2.2 ギャップ内磁場のシミュレーション結果

まず、ギャップ内の磁場分布を図3（銅）、図4（アルミニウム）に示す。横軸は渦電流シールド内面 (X = 0) からの距離、縦軸は磁気回路での値でノーマライズした磁場である。

これを見るとギャップ内 80mm 程度まではほぼ様な磁場分布となっている事がわかる。また渦電流シールド面に近い部分では渦電流によるロスにより磁場が銅で 0.5%程度、アルミニウムで 0.8%程度低下する事がわかる。

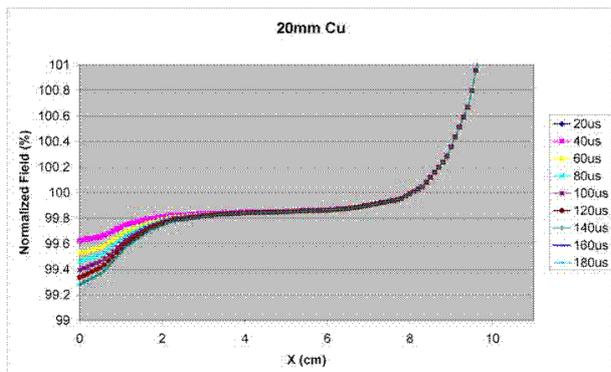


図3. ギャップ内中心磁場 (銅)

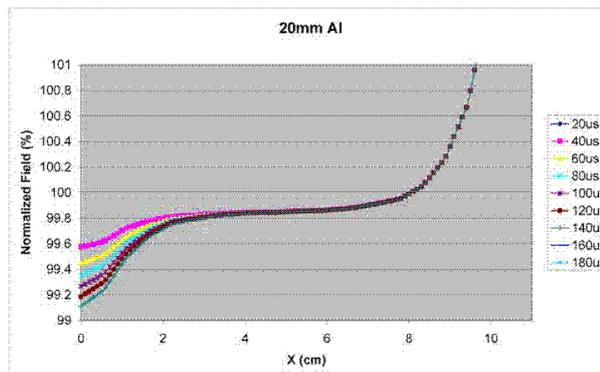


図4. ギャップ内中心磁場 (アルミ)

2.3 漏れ磁場のシミュレーション結果

次にマグネット外部に漏れ出す磁場についての結果を図5に示す。渦電流シールドを持つマグネットの漏れ磁場は、電流パルスより遅れて発生しパルス幅も電流パルスより長くなる事が知られている。そのためグラフは横軸に時間軸をとる。そして縦軸は渦電流シールド面から 5mm (コア面より 25mm) の部分の磁場である。

まず、電流パルスは $T = 0$ より立ち上がり、 $180 \mu\text{sec}$ 後に立ち下がる。しかしこの図5より漏れ磁場は $500 \mu\text{sec}$ 後ようやく立ち上がりはじめ非常に長いパルス幅を持っていることがわかる。しかし漏れ磁場のピークはアルミニウムでマグネット内部磁場の0.2%、銅で0.13%という非常に低い値である。しかも漏れ磁場は電流パルスより遅れて発生するため、たとえその大きさが大きくともそのタイミングでは、Hビームは存在しない。

この結果により厚み 20mm の渦電流シールドを持つ BS 1 マグネットの漏れ磁場は、Hビームに影響を与えないことがわかる。

2.4 シールド内の渦電流

このモデルでは、漏れ磁場は電流パルスの立ち上がりより $500 \mu\text{sec}$ おくれて立ち上がるが、これはどうしてであろうか。

まず一般にマグネットギャップ内のパルス磁場により発生する渦電流は、はじめシールド内面に発生する。そして徐々に電流分布の範囲が広がりついにシールド外面に達する。ここで渦電流シールドの外面側の電流密度を図6に示す。

図6によりこのモデルの場合は、外面まで渦電流が到達するのに約 $500 \mu\text{sec}$ かかることがわかる。

つまり外面における渦電流が外部漏れ磁場を発生させるため、漏れ磁場の立ち上がりは $500 \mu\text{sec}$ 遅れるのである。

3 マグネット入口、出口の磁場の影響 (3D static low μ 解析の結果)

20mm 厚の渦電流シールドを用いることで Hビームは漏れ磁場の影響を受けないことがわかった。しかしマグネットの入口、出口に近い部分ではマグネット内部の磁場が外側に回り込む。この磁場が Hビームの軌道上にどのくらいあるかを調べるために OPERA 3D コードを使用してシミュレーションをした。しかし 3D transient 解析は長い時間を要するために、ここでは、簡易的に渦電流シールドの透磁率を非常に低く ($\mu = 0.001$) 設定してシールド内に磁場が入り込めない状態にした low μ 法で解析をした。

3.1 シミュレーションモデル

図7にマグネットモデルをしめす。この場合も対称性を考えてマグネットの上半分のみシミュレーションした。このモデルはコア長 200mm に対してシールド長は 250mm である。また電流を流す 1 ターンのコイルもシールドで覆い、コイルからの漏れ出す磁場もシールドしている。

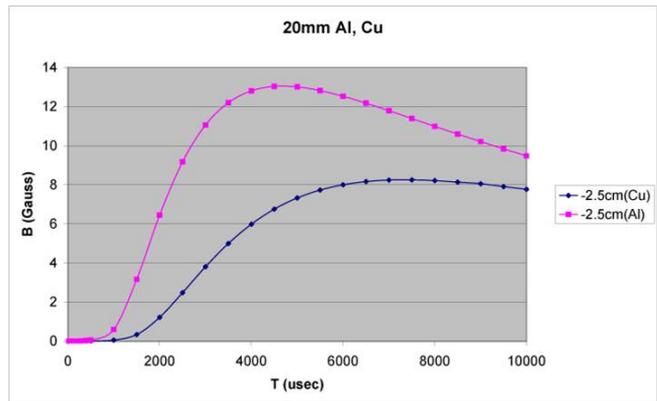


図5. 漏れ磁場

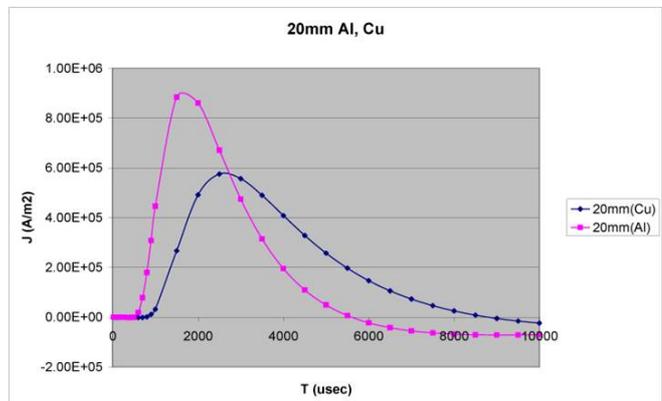


図6. 渦電流シールド外面での電流分布

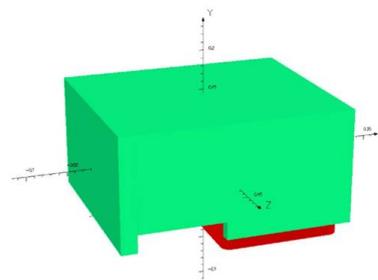


図7. BS 1 マグネットのモデル (3D)

3.2 ビームエッジに沿った磁場分布

図8に磁場分布の結果を示す。これはマグネット上方から見た図でビームは図の上から下へ抜ける。またオレンジ色の線がHビームの内側エッジの軌跡である。この図によりマグネット内の磁場（赤い部分）は、マグネット外側にはほとんど漏れていないことがわかる。

次に図9にビームエッジに沿った磁場の強さを示す。ここでビームはマイナス方向からプラス方向へ抜ける。ビームエッジの軌跡はマグネット入口よりも出口の近くでマグネットに近づくためグラフのピーク対称ではなく最初のピーク（マグネット入口からの磁場が影響）は次のピーク（マグネット出口からの磁場が影響）より小さくなる。しかしこのモデルの場合二つ目の大きいピークでも、その磁場は、マグネット中心磁場の0.4%である。これにより長さ250mmのシールドによりマグネット入口及び出口から回り込む磁場の影響は小さい事がわかる。

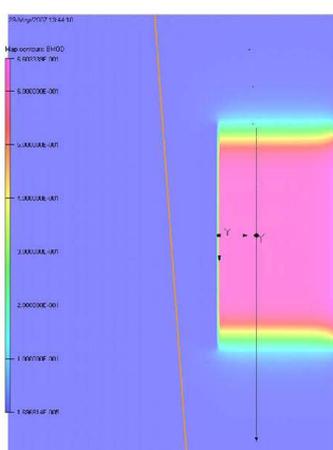


図8. 磁場分布

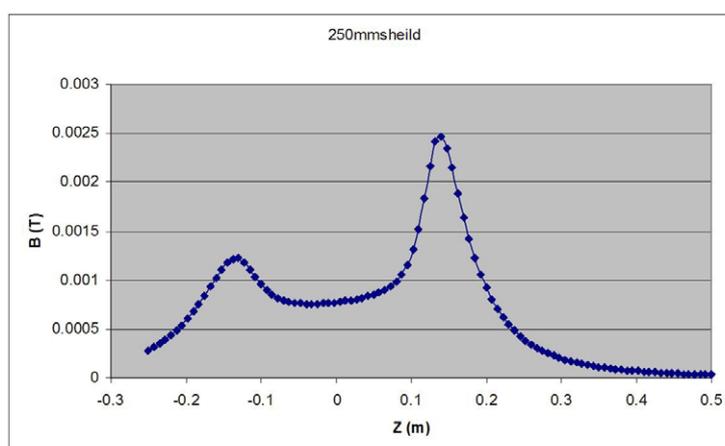


図9. ビームエッジに沿った磁場

4 まとめ

ANSYS 及び OPERA による 2D transient 解析と OPERA による 3D static low μ 解析の結果により LINAC4 計画のために新たに PS ブースターに設置される BS1 マグネットは、20mm 厚 250mm の長さの銅またはアルミニウムの渦電流シールドを用いれば、Linac 4 から入射される Hビームに影響を与えないことがわかった。

この BS1 マグネットのシミュレーションは CERN での研修の後半、約 8 ヶ月間をかけて行った。CERN においては OPERA により 3D transient 解析により簡易的な low μ 解析でなく、渦電流シールドを持つモデルも試みたが、時間的な制約のため終了する事が出来なかった。

現在も、高エネルギー加速器研究機構においてこの 3D transient 解析の計算を継続して行っている。

参考文献

- [1] F.Gerigk, M. Vretenar, "Linac4 Technical Design Report", CERN-AB-2006-084 ABP/RF, December 2006

イオン源加速部の耐電圧試験

○佐々木 駿一、小林 薫、花田 磨砂也、池田 佳隆、秋野 昇

独立行政法人 日本原子力研究開発機構

1 はじめに

JT-60Uでは、高エネルギー中性粒子入射のために、500kV、22Aの重水素負イオン源が設計され、完成後約12年間核融合プラズマの研究に利用されている[1]。JT-60負イオン源の問題点の一つは、3段静電加速器を有する負イオン源の耐電圧性能である。これまで、耐電圧改善のために、加速器内部の陰極3重点近傍の電界低減ために大型電界緩和リングや大気側のスパークギャップの装着などの改善のための対策を行ってきたが、動作可能な最大加速電圧は約400kVであり、設計値の80%程度に留まっている[2,3]。そこで、新たに耐電圧試験装置を建設し、JT-60負イオン源の絶縁破壊について詳細に調べた。実験では、加速段毎に電圧を印加し、各加速段の耐電圧特性を測定し、比較した。また、加速器内部の加速電極を全て取り除き、電極間を絶縁している強化プラスチック製(FRP)絶縁管単体の耐電圧特性についても調べた。本稿では、新たに建設した耐電圧試験装置を紹介した後、JT-60負イオン源の耐電圧特性について報告する。

2 耐電圧試験装置

従来、JT-60負イオン源の耐電圧特性はJT-60U本体に設置した状態で調べられてきており、イオン源へのアクセスや測定時間が制限され、十分に耐電圧特性を理解するには至っていない。さらに、JT-60Uに取り付けた状態では、イオン源の暗電流や真空度等の耐電圧特性を理解する上で重要となる物理量を高速かつ精度良く測定することは困難であった。このため、JT-60負イオン源単体を簡便にかつ機動性良く実施するとともに、物理量の高速測定を実現することが強く望まれていた。そこで、JT-60負イオン源を独立して試験するための試験装置を建設した。図1に建設した耐電圧試験装置を示す。耐電圧試験装置は、電源、真空排気ポンプ、X線しゃへい体で構成されている。電源は最大300kV、10mA出力することが可能であり、イオン源へ200kΩの限流抵抗を介して接続した。

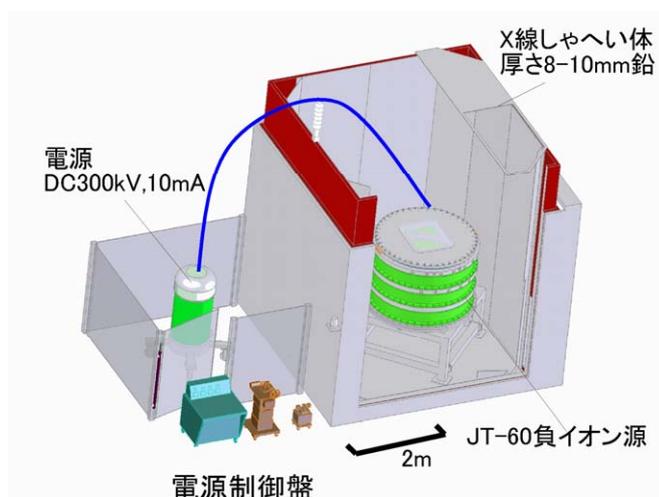


図1. 耐電圧試験装置

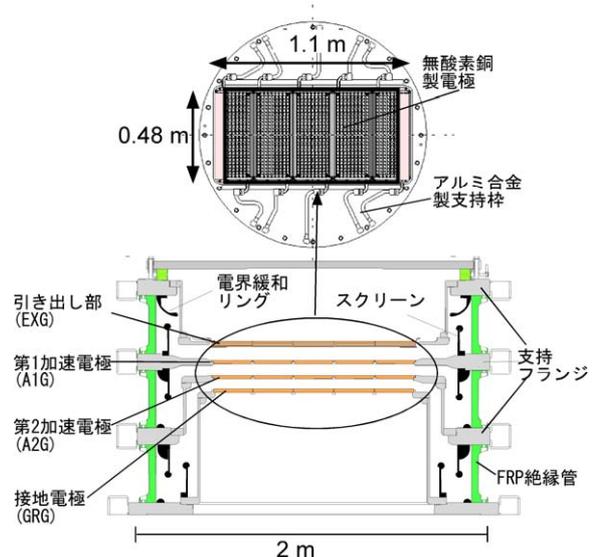


図2. JT-60負イオン源(ソース部は除いている)

真空排気ポンプはイオン源内部を真空にするためのものであり、15001/sの排気速度を有するターボ分子ポンプである。これにより、イオン源内部の真空度を約 10^{-3} Paに保った。X線しゃへい体として、他の設備で用いていた厚さ8mm~10mmの鉛板を流用した。このしゃへい体は電圧印加時にイオン源内部で発生するX線をしゃへいするものである。なお、電源電流が全てX線発生に寄与するとしても、しゃへい体境界で実効線量を法定値(1.3 mSv/3ヶ月)以下とするために、実験では電源の出力電圧及び電流をそれぞれ200kV及び3.5mA以下に制限した。

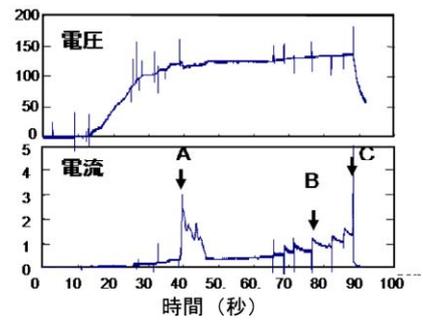


図3. 電圧及び電流波形

電源の出力電圧及び電流は高速のオシロスコープ(最大サンプリング周波数20MHz)を用いて測定した。また、イオン源の接続フランジ上に設けられた4個の観察窓(直径350mm)それぞれにインターネットカメラを配置し、イオン源内部全体を観察した。さらに、イオンゲージ及び残留ガス分析器を用いてイオン源内部の真空度及び残留ガス分析を測定した。

3 JT-60 負イオン源

図2にJT-60負イオン源を示す。但し、耐電圧試験は負イオン生成を行うアークチャンバーを取り除いて実施した。加速部は引き出し部(EXG)と3枚の加速電極(第1加速電極:A1G、第2加速電極:A2G、接地電極:GRG)で構成された3段の静電加速器である。無酸素銅で製作された電極には、幅48cm×高さ110cmの領域にビームが通過するための孔が1080個設けてある。電極は直径~1.6mのアルミ合金製の枠に組み込まれ、支持されている。高電圧が印加される電極間ギャップの長さは、EXG-A1G間が75mm、A1G-A2G間が65mm、A2G-GRG間が55mmである。また、各加速段の支持フランジは直径~1.8m、長さ33cmの大型の強化繊維プラスチック(FRP)製絶縁管によってお互いに絶縁されている。実験では、各加速ギャップ間に高電圧を印加し、それぞれの耐電圧特性を調べた。さらに、電極及び電極支持枠を取り除き、各加速段で用いられているFRP絶縁管単体の耐電圧特性を調べた。

4 耐電圧特性

本実験で実施した典型的な電圧印加手順について説明する。図3に典型的な電圧及び電流波形を示す。電圧は0kVから徐々に増加させた。図中のA点で見られるように、電流が急激に上昇した場合には、電圧の増加をやめ、同じ電圧を維持し、電流の減少を待った。電流がほぼ上昇前の値まで減少した後、再度電圧を増加した。B点近傍で見られるように、時間をかけても電流が減少しない場合には、~1kVステップで電圧を増加した。C点では、非常に短い時間で電流がインターロックレベルである3.5mAを超え、電源が停止した。

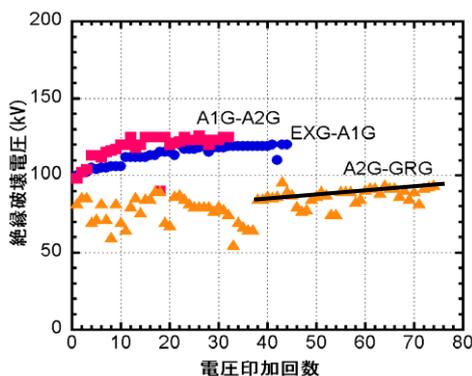


図4. 各加速ギャップ間の耐電圧特性

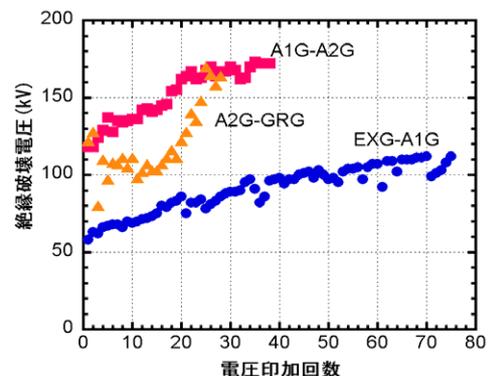


図5. FRP単体の耐電圧特性

電源復旧後、くりかえし同様な手順で、イオン源に電圧を印加し、コンディショニングを進めた。図4にイオン源の圧力が $1 \times 10^{-3} \text{Pa}$ の時の各加速ギャップ間の耐電圧特性を示す。絶縁破壊はイオン源内部の真空側で生じており、EXG-A1G, A1G-A2G 間の耐電圧は電圧印加回数とともに微増し、各々~130kV まで到達した。この値は、以前に、今回の実験と同じ圧力で、コンディショニングを十分に実施した（電圧印加回数:2000回）後に得られた耐電圧（~140kV）[3]より僅かに低い値であり、電圧印加回数を増加させることによって以前のレベルまで到達すると予想される。A2G-GRG の耐電圧は電圧印加回数 30 回近傍で大きく減少し、その後電圧印加回数とともに増加した。約 70 回程度の電圧印加回数で測定を打ち切っているために、耐電圧がどの程度まで増加するか分からないが、前回の実験で得られた実績を考慮すると、他の加速ギャップ同様 140kV まで増加すると予想される。

JT-60 負イオン源は 3 段全体で 500kV、1 段当たり 167kV の絶縁耐力を有することが設計されている。今回得られた実験結果は設計値の~80%であった。この低い耐電圧特性の原因を調べるために、加速部から電極及び電極支持枠を取り除き、FRP 絶縁管単体での耐電圧試験を行った。図5に FRP 単体の耐電圧特性を示す。EXG-A1G 間で用いている FRP 絶縁管の耐電圧は、他の FRP 絶縁管の特性と異なり、電圧印加回数とともに緩やかに上昇した。これは、EXG の電極支持枠を取り除いたことによって、電界分布が大きく乱されたために、放出される電子の軌道が大きく変わり、FRP 絶縁管やアノード上の新たな表面のコンディショニングが必要になったためであると予想される。A1G や A2G の電極支持枠を取り除いても、電界は乱されることは無いため、A1G-A2G 及び A2G-GRG 間で用いている FRP 絶縁管の耐電圧は僅か 30 回程度の電圧印加回数で設計値に到達した。これらの絶縁管の耐電圧は、電極及び電極支持枠が装着された時の値より大きな値であった。この結果はイオン源の耐電圧が主に電極及び電極支持枠間の耐電圧によって決定されていることを示している。

5 電圧印加時のイオン源内部の発光現象

絶縁破壊位置をさらに絞り込むために、絶縁破壊時の放電位置を調べた。直接絶縁破壊時の放電位置を測定することは困難であったために、放電によって生じる電子の発生位置から放電箇所を推定した。電極間で絶縁破壊を生じた場合、放電で発生した電子は電極間の電界によって加速され、その電子の一部は電極孔を通り抜け下流に到達すると推定される。そこで、電子がアクリル板に衝突した時に生じる電子励起発光（青白色の可視光：カソードルミネッセンス）から絶縁破壊時の放電箇所を調べた。実験では、接地電極の背後に、接地電極とほぼ同じ大きさを有するアクリル板を設置した。発光は、4 台の CCD カメラを用いて測定した。

EXG-A1G 間に耐電圧の上限に近い高電圧（~120kV）を印加した場合、アクリル板上に青色斑点を観察した（図 6-a）が、イオン源は絶縁破壊に至らなかった。この状態から僅かに~1kV 程度電圧を上昇した時に、絶縁破壊は生じており、その時 CCD カメラの映像は変化しなかった。この原因として、CCD カメラの録画速度が遅いことや絶縁破壊が電極以外つまり支持枠で生じていることが推定される。後ほど紹介するが、A2G-GRG 間の絶縁破壊時には、比較的大きな青白色発光が観察されていることを考慮すると、絶縁破壊時の CCD カメラの映像に変化が無かった原因は CCD カメラの録画速度が遅いためではなく、絶縁破壊が電極支持枠で生じていると考えられる。

A1G-A2G 間に耐電圧の上限に近い高電圧（~120kV）を印加した場合、青白色の斑点に加えて、白色の発光を観察した（図 6-b）が、イオン源は絶縁破壊には至らなかった。この状態から僅かに~1kV 程度電圧を上昇した時に、絶縁破壊は生じており、その時 CCD カメラの映像は変化しなかった。EXG-GRG 間同様、絶縁破壊は主に電極以外つまり支持枠で生じていることが推定される。

A2G-GRG 間に耐電圧の上限に近い高電圧 (~90kV) を印加した場合、その他のギャップと異なり、**図 6-c** に示すように、絶縁破壊時に比較的大きな青白色発光を観察した。ほぼ絶縁破壊が生じるたびに、青色発光を観察しており、絶縁破壊が主に加速電極間で生じていると推定することができる。また、発光位置は主に第 1 セグメントと第 2 セグメント境界、第 4 セグメント第 5 セグメントの境界であった。これらの領域では、イオンビームを収束するために、セグメント電極が焦点に向けて傾けて取り付けられており、電界が集中している可能性がある。今後、絶縁破壊原因の究明に向けて、同領域の電界を詳細に計算する予定である。

6 まとめ

3 段静電加速器を有する JT-60 負イオン源の耐電圧改善研究の一環として、耐電圧試験装置を建設し、JT-60 負イオン源の絶縁破壊について調べた。その結果、FRP 単体の耐電圧は 170kV/段であり、設計値を満足した。これに対して、加速電極及び支持枠間の真空ギャップでの耐電圧は 100~130kV/段であった。これにより、放電破壊は主に加速電極及び支持枠間の真空ギャップで生じていることが分かった。

参考文献

- [1] Y. Ikeda, et. al. : "Present status of the negative ion based NBI system for long pulse operation on JT-60U", Nuclear Fusion, Vol. 46, pp.S211-219, 2006
- [2] 菊池勝美他 : "JT-60U 負イオン源加速部の高電圧印加時の発光現象と耐電圧特性", JAEA-Technology 2007-027(2007)
- [3] M. Hanada, et. al. : "Correlation between voltage holding capability and light emission in a 500 keV electrostatic accelerator utilized for fusion application", IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, vol. 14, No.3, 572 (2007).
- [4] 菊池勝美他 : "N-NBI 用イオン源加速部における絶縁耐力と内部放出ガス特性", JAEA-Technology 2006-016(2006)



図 6. 高電圧印加時のイオン源内部の写真

ビーム加速装置における磁気遮蔽の検討

○秋野 昇 花田 磨砂也 池田 佳隆

日本原子力研究開発機構 核融合研究開発部門 粒子ビーム加熱システム開発 Gr

1 はじめに

臨界プラズマ試験装置 (JT-60U) を超伝導化する JT-60SA 計画は、中性粒子入射加熱装置 (以下「NBI 装置」という。) のパルス幅を現在の 30 秒から 100 秒に延長すると共に、トカマク本体側から現在の 3 倍程度の漏洩磁場が印加される。安定なビームを 100 秒間引き出すためには、この増大した漏洩磁場に対する磁気遮蔽対策が急務となり、そのための検討を行った。図-1 に現在の JT-60U 装置と超伝導化改造後の JT-60SA 装置のそれぞれの断面図を示す。NBI 装置は、トカマク本体の周囲に正イオンを用いた垂直ビームライン 10 基、接線ビームライン 4 基、負イオンを用いたビームラインが 1 基設置されている。

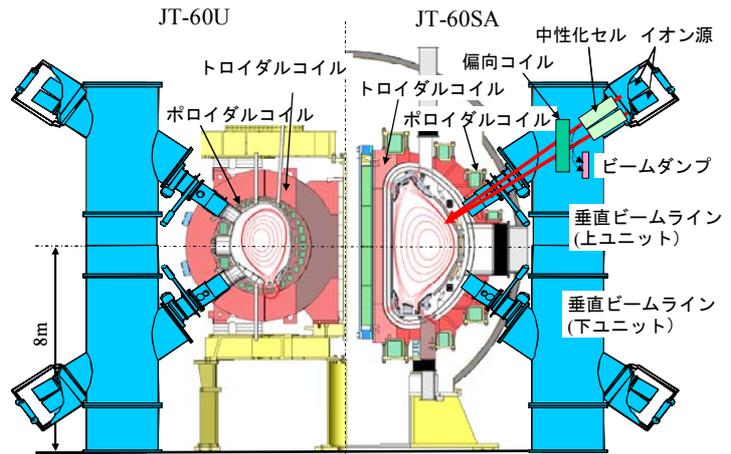


図 1. JT-60U 装置と JT-60SA 装置断面図

垂直ビームライン 10 基、接線ビームライン 4 基、負イオンを用いたビームラインが 1 基設置されている。垂直ビームライン上ユニットにおける磁気遮蔽構造を図-2 に示す。垂直ビームラインは図-1 に示すように、トカマク本体に対して約 35 度の入射角を持って設置され上下でユニットを構成しており、イオン源で生成した正イオンを加速するとともに、その高エネルギーイオンを中性化し D0 ビームとしてトカマクプラズマに入射する。また、中性化しなかったイオン (D+ビーム) は偏向磁石により曲げられイオンダンプに導き熱として処理される。この NBI 装置において、トカマク本体 (プラズマ及び PF コイル群) からの漏洩磁場はイオン軌道に悪影響を及ぼす。このため、イオン源やイオンを中性化するための中性化セルには、図-2 に示すように電磁軟鉄とミュンメタルからなる 2 重構造の磁性体を設置した受動的な磁気シールドを行うと共に、磁気シールドを行わない中性化セル出口より偏向磁石をへてビームダンプに至るまでのイオンビームの通る空間には、打消コイルを設置して能動的に磁場を打消し、残留イオン軌道の不要な偏向を抑制している¹²⁾。

JT-60 装置本体からの漏洩磁場の比較では、従来の JT-60U はポロイダル磁場コイルがトロイダル磁場コイルの内側に設置されていたが、JT-60SA 計画では、ポロイダル磁場コイルはトロイダル磁場コイルの外側となるため、NBI 装置との距離が大幅に近づき従来の漏洩磁場の約 3 倍と非常に大きな

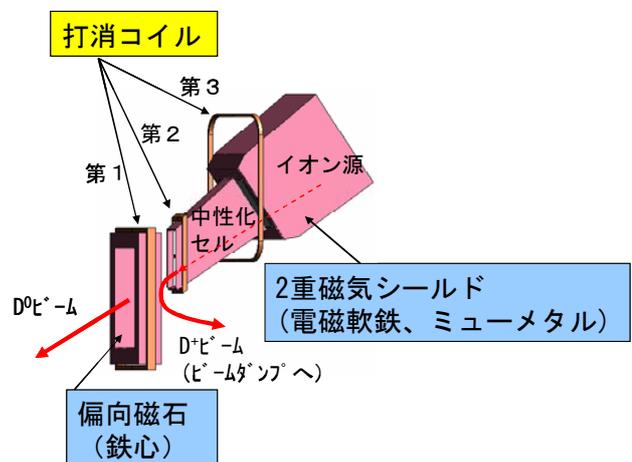


図 2. 垂直ビームラインの磁気遮蔽構造

値となる。その結果、現在の磁気シールドを改良なしにそのまま使用した場合、2重磁気シールドの部分は磁気飽和して、イオン源、中性化セル部分の漏洩磁場は許容限界(1~2 ガウス)を超えることとなる。また、偏向磁石部分では、漏洩磁場過大のため、イオンビームは理想的な偏向軌道からそれビームダンプにあたらなくなり、他のビームライン機器を損傷する可能性がある。

本研究では、磁気飽和特性を考慮した3次元磁場解析コード(ビーム軌道計算も含む)を用いて、JT-60SAにおける最適な磁気遮蔽体の構造や打消コイルの設計を行った。

2 磁気シールドの考え方

JT-60SA で想定される運転シナリオではプラズマ電流 $I_p=5\text{MA}$ 、 $\text{high-}\beta$ 100 秒放電の場合に漏洩磁場は、最大となる。その時の垂直ビームライン付近の漏洩磁場分布を図-3 に示す。漏洩磁場はイオン源近傍で約 300 ガウス、中性化セル出口から偏向磁石付近では約 800 ガウスとなる。ここで、JT-60SA 本体のプラズマ電流を 6 本のフィラメント電流で近似している。

この漏洩磁場の下、偏向コイルにより残留イオンビームがダンプに導くことが出来るよう、磁気遮蔽体の補強・追加、打消コイルの増力等のシミュレーション設計を行った。なお計算の前提条件として、(1)既設の磁気シールド及び打消コイルは可能な限り再使用する。(2)磁気シールドを施す場所は、シールドしたい場所に極力近づける方がより効果的であるが、工期・工費の面から NBI タンク内へのシールド設置は極力避けた設計とする。また、空間的な制約から極力磁性体をコンパクトにすることと、重量物を取付ける際の強度的な問題を考慮して設計する必要がある。また、イオン源に追加する磁性体については、フィラメント交換時のイオン源取付・取外作業等、保守性を考慮した設計が不可欠である。(3)NBI 装置に追加した磁気シールドが誘起するポロイダル磁場が JT-60SA 装置本体へ与える影響を少なくするため、NBI タンク周りへの大規模な磁気シールド用磁性体の追加は検討の対象としない。

3 磁気遮蔽検討結果

上記の考慮事項を含めて計算した結果を図-4 に示す。イオン源周り及び中性化セル部分の磁気遮蔽には、現在設置されている 2 重磁気シールドの外側に 12mm 厚の SS41 磁性体を追加補強し、さらに第 3 打消コイルに通電する電流値を約 3 倍(現状 1200A 空冷式を 3500A 水冷式)にすることで、イオン源及び中性化セル内の磁場は 1~2 ガウス程度となり、許容値以内とすることができる。一方、偏向磁石付近(中性化セル出口)の磁場は、これらの対策だけでは JT-60U での設計値であ

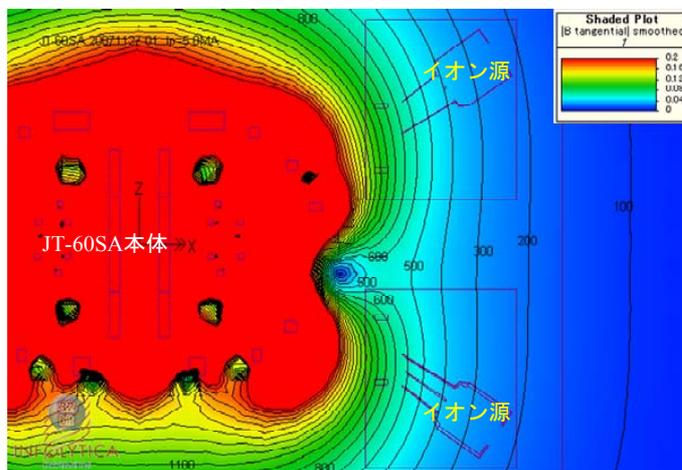


図 3. 5MA プラズマ放電時の漏洩磁場

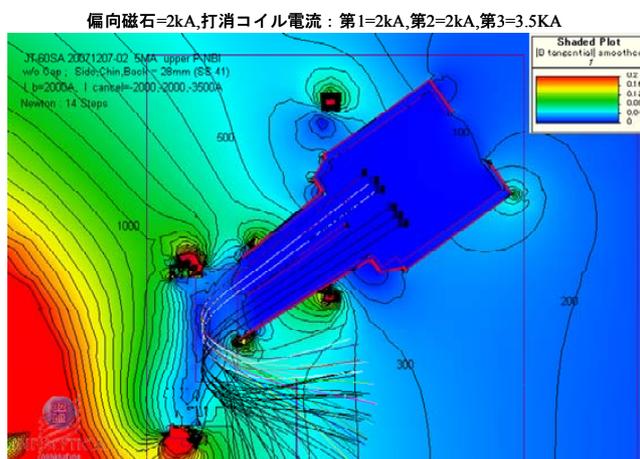


図 4. 磁気シールド設置時の磁場分布

る 10 ガウスまで低減することは困難であった。このため次章に示すように、残留イオンビームがビームダンプに導かれているかを、ビーム軌道計算を行い確認した。

4 ビーム軌道

図 5~7 に磁気シールド対策後のイオンビーム軌道計算結果を示す。図-5、6 は垂直面、水平面で見たいオンビーム (D+) の軌道を示す。ここでイオン源の引出面から加速エネルギーを有した 54 本のビームを計算している。イオンビームは磁気遮蔽がされた中性化セルを出て、偏向コイル磁場により反射し、ビームダンプに導かれる。なお反射したイオンビームは漏洩磁場により複雑な軌道を描きながらビームダンプに到達することが分かる。図-7 は、ビームダンプにイオンビームが衝突した時の展開図を示す。ここで橙色の面がビームダンプを示す。漏洩磁場がない場合のイオンビーム軌道 (緑色) は、局所集中もなくバランスよくイオンダンプで熱化処理されているのが分かる。一方、今回の磁気シールド対策を行った場合のビームダンプへの衝突位置を赤丸で示す。数点がビームダンプを外れているものの、イオンビームの大部分をビームダンプ

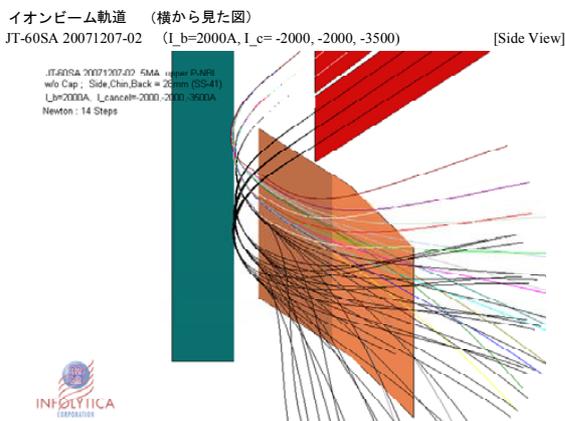


図 5. イオンビーム軌道 (垂直面)

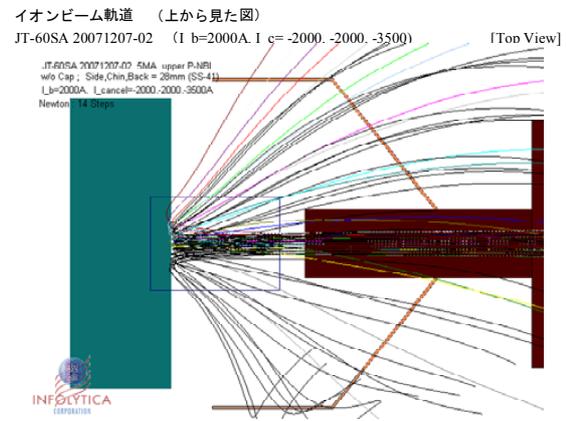


図 6. イオンビーム軌道 (水平面)

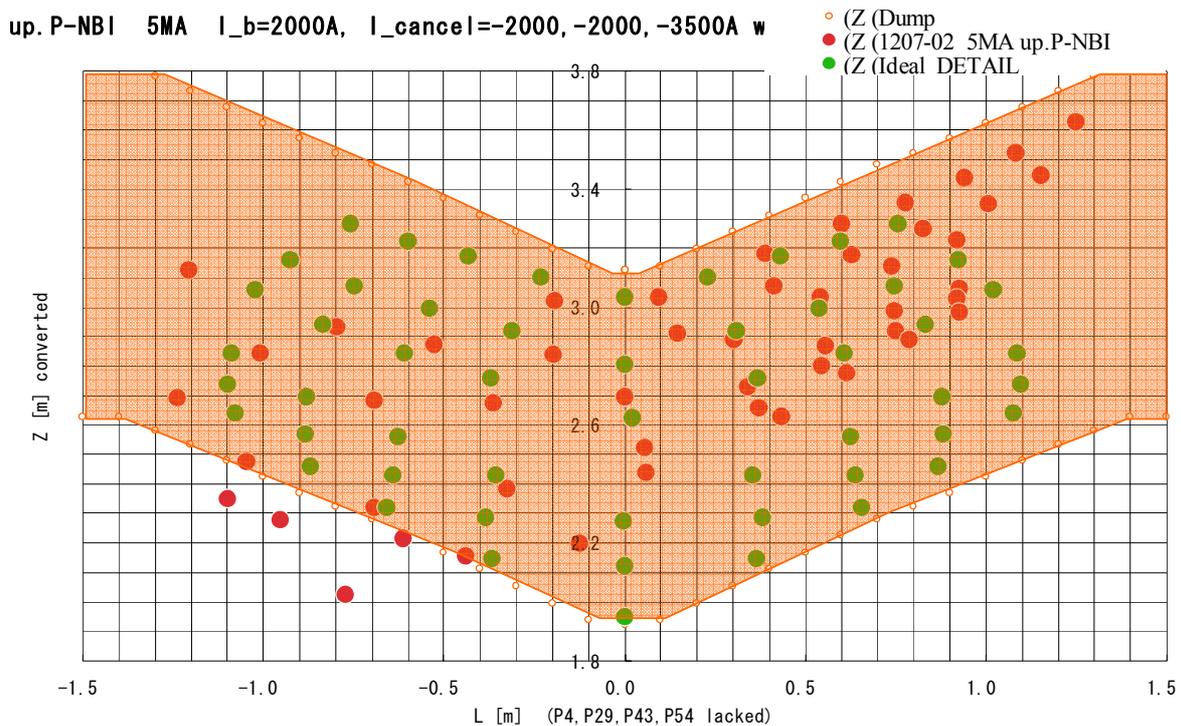


図 7. 垂直ビームラインのイオンビーム軌道 (展開したビームダンプ上での衝突点)

に導かれていることが分かる。ただし左右のアンバランスが発生するため、ビームダンプでビームの集中が見られており、今後、ビームダンプの許容熱流束について検討を進める予定である。なお今回、接線入射ユニットについても磁気遮蔽の追加検討を行っており、垂直ユニット同様にイオン源近傍への磁性体追加と打ち消しコイル通電電流の増大により大部分のイオンビームをビームダンプに導くことができることを確認した。

5 トカマク側への誤差磁場

NBI 側の磁気遮蔽対策を行うと、それにより JT-60SA 本体へ誤差磁場を与える。今回の対策により発生した本体側の誤差磁場を図-8(a), (b)に示す。ここで NBI は、垂直ビームライン 8 基 (#1,2,3,4,5,6,13,14)、接線ビームライン 4 基 (#7,8,9, 10) 全てに磁気遮蔽対策を実施している。プラズマ表面位置は、 $R=4\text{m}$ 付近である。トロイダル方向としてはビームラインが集中する 30 度付近で 10 ガウス程度、反対方向の 240 度付近で -5 ガウス程度の誤差磁場が発生することが分かる。プラズマに対する誤差磁場の許容レベルに関しては、詳細な実験がないため良くわかっていないのが現状であるが、今後、このデータを基にして JT-60SA 本体側に装着することが検討されているサドルコイル等の設計に反映する予定である（それによる NBI 側での影響をさらに確認する必要がある）。

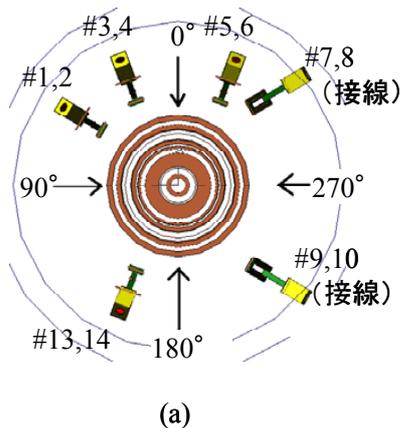
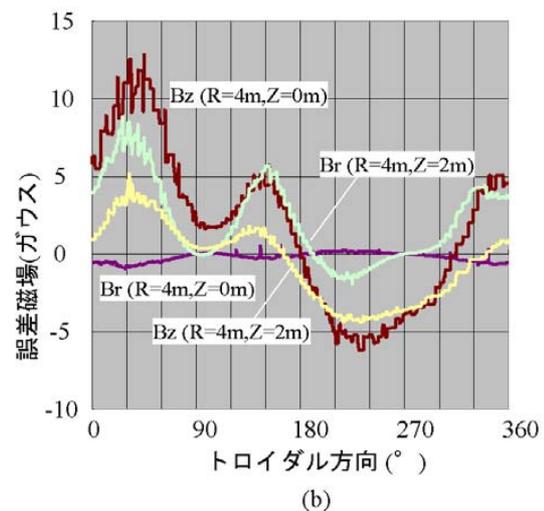


図 8. JT-60SA 本体の誤差磁場



6 まとめ

JT-60SA 化改造時に於ける漏洩磁場増大に伴う磁気シールド対策のシミュレーション設計を行った。その結果、イオン源及び中性化セル付近については、従来の 2 重磁気シールドに厚さ 12mm の磁性材(SS41)を追加すれば磁気遮蔽が可能であることを確認した。また、偏向磁石付近については、打ち消しコイルに印加する電流を現状の約 3 倍程度流すことが可能であれば、イオンビームの大部分をビームダンプに導くことができることを確認した。ただし一部のビームが外れる他、ビームダンプでの熱集中の発生が予測され、今後、分子イオンを含めた軌道の検討を進める予定である。

参考文献

- [1] 栗山正明他 ; JEARI-M87-169, “JT-60 粒子入射加熱装置の設計及び技術開発” (1987)
- [2] 田中 茂他 ; JAERI-M82-140, “JT-60 中性粒子入射装置の磁気遮蔽” (1982)
- [3] 河合視己人他 ; JAERI-M91-223, “JT-60 の高性能化改造に伴う JT-60NBI の磁場系の対応” (1992)

NBI 加熱装置用データ収集システムのプロトタイプの開発

○本田敦^{A)}、篠崎信一^{A)}、大島克己^{A)}、清水達夫^{A)}、沼澤呈^{B)}、池田佳隆^{A)}

^{A)}日本原子力研究開発機構 核融合研究開発部門

^{B)} ストリーム

1 はじめに

日本原子力研究開発機構核融合研究開発部門では、臨界プラズマ試験装置(JT-60)を用いて高性能プラズマの長時間維持を目指した研究開発を行っているが、2007年からJT-60本体を超伝導トカマク装置に改造するJT-60SA(JT-60 Super Advancedの略)計画が新たに日本と欧州で進めることとなった[1]。JT-60SA計画では、ITERのサテライトトカマクとしてITERを支援するとともに、原型炉に向けた高圧力定常化プラズマ研究が行われる。このため12基からなる正イオン中性粒子入射加熱装置(以下NBI加熱装置)は、全体で24MW(2MW/基)、100秒間の入射が求められている。既設のNBI加熱装置の最長入射パルスは30秒であり、JT-60SAの100秒入射を実現するためには、電源設備の増力化に加え、データ収集システムを含めた制御系設備の大幅な改造が必要である。さらに、既設の制御系設備はJT-60の運転開始から20年以上使用され、機器の高経年化による故障が頻発してきているとともに、同設備の機器は特注品で占められており、今後、代替品による交換保守が困難であると考えられる。そこで、JT-60SA用NBI加熱装置(100秒入射対応用)のデータ収集システムとして、新たに高信頼性、低コスト、汎用性がある機器を組合せたプロトタイプを設計・製作した。さらにJT-60の運転環境で動作させ、その性能を検証した。本報告書は、JT-60SA用データ収集システムの開発について報告する。

2 NBI加熱装置と既設計算機・データ収集システム

2.1 NBI加熱装置

NBI加熱装置は、イオン源で生成された正イオンを引出、加速して、中性化セルで中性ビームに変換する。中性化されたビームは、NBIポートを通過してJT-60内に入射され、プラズマの加熱及び、電流駆動に利用される。図1にNBI加熱装置(準垂直入射ユニット)のビームラインを示す。

NBI加熱装置は12基のユニットで構成されており、各ユニットは、重水素プラズマからD⁺イオンを引き出し、加速するイオン源(2台/1ユニット)、加速電源系(加速電源、減速電源)及びソースプラズマ電源系(アーク電源、フィラメント電源、偏向磁石電源、打消コイル用電源等)で構成された電源設備、中性化セルや残留イオンダンプ等のビームラインで構成されている。これらのユニットに加えて、NBI加熱装置は、全ユニット共通の1次冷却系、補助真空排気系、冷媒循環系、受配電設備および制御系設備で構成されている。

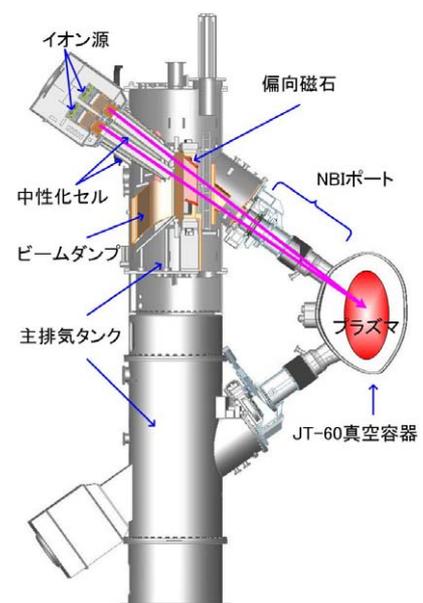


図1. NBI加熱装置ビームライン

2.2 既存の計算機・データ収集システム

NBI 加熱装置の制御系設備は、制御盤と計算機システムから成り、前者が NBI 加熱装置の基本動作である電源の通電/停止、遮断器の投入/開放などを管理し、後者が機器のデータ収集・計算処理などの応用動作部分を管理している。図 2 に既設の計算機システムの構成を示す。データ収集は、CAMAC(計算機によるデータ収集・制御用のバス規格)システムと現場データ収集盤で行っており、これらのデータは上位の運転系ワークステーション(WS)に転送され運転管理が行われる。表 1 に既設収集機器の仕様を示す。CAMAC システムで収集するデータは、イオン源用電源からのアナログ信号及び設備の運転状態を示すデジタル信号であり、各機器ごとに高速アナログ(サンプリング周期: 10ms)、低速アナログ(サンプリング周期: 200ms)、低速デジタル(サンプリング周期: 400ms)の信号として収集されている。このため、3つのクレート単位に分けてデータ収集されている。また、現場データ収集盤(8式)で収集するデータは、ビームライン機器の温度、真空度等のアナログ信号及び、設備の運転状態等を示すデジタル信号を定周期(200ms)で収集している。

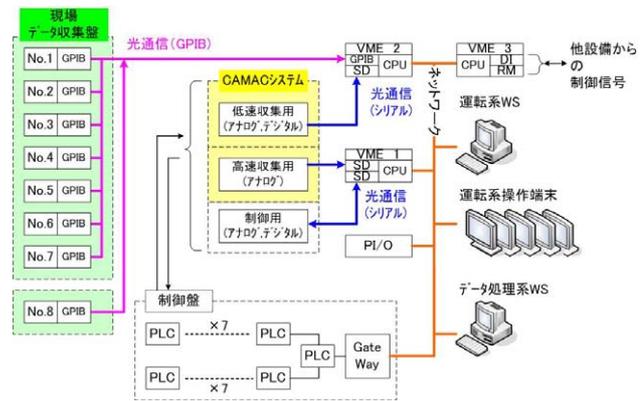


図 2. 計算機システム

表 1. 既設収集機器仕様

収集機器	インターフェイス	データ点数		収集周期	収集VME
		アナログ	デジタル		
高速アナログ用収集クレート	シリアルハイウェイ	308	—	10ms	1
低速アナログ用収集クレート	シリアルハイウェイ	153	—	200ms	2
低速デジタル用収集クレート	シリアルハイウェイ	—	809	400ms	2
現場データ収集盤	GP-IB	1273	1840	200ms	2

JT-60SA 用のデータ収集システムの構築にあたっては、これらのデータ処理機能を確保するとともに、収集時間を現行の 30 秒から 100 秒以上に対応する必要がある。

3 プロトタイプの設計・製作

JT-60SA 用のデータ収集システムの設計にあたっては次の点を考慮した。

- (1) 経費削減とともに改造を柔軟に実施するために、原子力機構独自に設計・製作する。
- (2) 規格に則った汎用品で構成することで、互換性機器や長期間の保守部品の確保を行う。
- (3) できるだけ機器間の相互リンケージを簡素化し、機器故障によるシステム全体への影響を低減する。

以上の点を考慮し、近年性能向上が著しくかつ低価格化が進んでいる PC ベース計測器とプログラマブル・ロジック・コントローラ(PLC)を基本構成機器とし

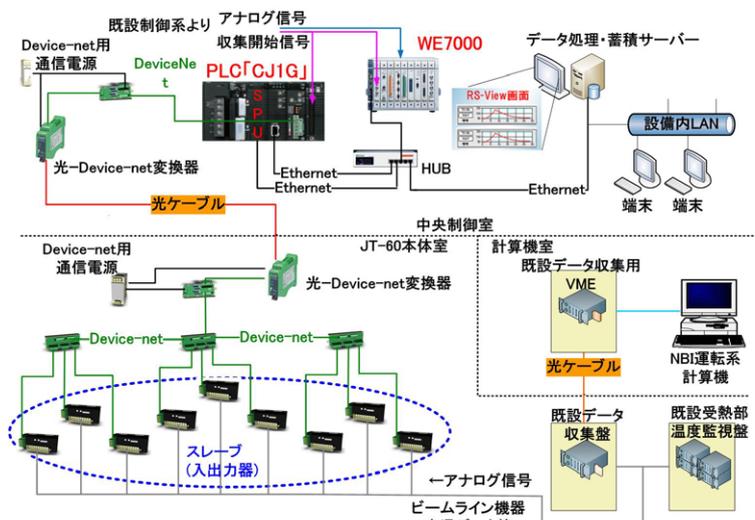


図 3. データ収集システムのプロトタイプ

て採用し、プロトタイプ的设计・製作した。図 3. にデータ収集システムのプロトタイプの構成を示す。

3.1 高速データの収集系

高速アナログデータ収集は、サンプリング周期 10ms、各チャンネル間(20ch/1 ユニット)の収集時間精度 1 ms 以内、データ収集時間 100 秒以上の性能を有することが求められる。この条件を満足する PC ベース計測器を調査した結果、横河電機製：WE7000 が、チャンネルあたりの単価が安く、20ch 以上の多チャンネルを 10ms サンプリングで 100 秒以上収集でき、収集時間精度 (収集時間精度：90 μ s) も十分性能を満足するものであることが分かった。さらに当機構で導入実績があることからプロトタイプでは、この WE7000 を採用した。

3.2 低速データの収集系

JT-60 本体室(現場)のデータ収集のために、PLC と Device-net(IEC 標準規格に準拠したフィールドネットワーク製品)を組み合わせたシステムを採用した。PLC はコストパフォーマンスの高さ、保守の容易性、市販のソフトウェア(ツール)の導入で、効率的な自主開発ができるという利点がある。また、長時間の時系列データ収集のために、SPU ユニット(PLC のデータを CSV ファイルとして収集・保存する)を併用することで対応した。機種としては、低コストで Device-net の機器と SPU ユニットの両方制御できる、オムロン製 CJ1G をこのデータ収集システムに採用した。また、現場の収集機器はノイズ環境下に設置するため、優れた耐ノイズ性能を発揮する Device-net を採用するとともに、中央制御室の PLC~JT-60 本体室の Device-net 機器間(ケーブルルート距離約 200m)の接続には光ケーブルを採用した。なお、既設光ケーブルを流用するため Device-net との光変換器には、フェニックスコンタクト社製：PSI-MOS-DNET CAN/FO 850/BM を使用した。

3.3 データの処理、蓄積、表示

各計測器(WE7000, PLC)で収集した 100 秒間のデータは、CSV ファイルに変換して設備内ネットワーク経由で、データ処理・蓄積サーバ(PC)に転送され、ハードディスクに格納される。収集したデータは、SCADA (ラダープログラミング、監視コントロール及びデータ収集用基本ソフト[Supervisory Control and Data Acquisition の略])で監視画面を作成し、収集したデータファイルの表示等を容易に認識できるようにした。SCADA としては、当機構で実施した大型ヘリウム冷凍設備の制御システムの自主開発[2]で実績がある Rockwell Software 社製 RSView32 を採用した。この SCADA は(1)プログラミング経験が少なくても作成が容易である、(2)PLC と PC 間の通信は標準規格準拠ソフトウェア(OPC サーバ)で提供が受けられソフト開発が不要、(3)将来的に見た場合拡張性が高い、などの特長があり、今回、この検証システムの構築にあっても Rockwell Software 社製 RSView32 の SCADA を使用することで、効率的なプログラミング(画面作成)を行うことができた。

4 プロトタイプの性能検証

NBI 加熱装置の実験入射運転時において、1 ユニット(#2)の運転データ収集をプロトタイプ収集系で行い、その性能検証を行った。実施にあたっては既設のデータ収集システムと同時並行してプロトタイプでデータ収集し、両者の収集結果を比較することでプロトタイプの性能を検証した。

4.1 高速データの収集

図-4.の上側に既設の CAMAC、下側にプロトタイプで収集した高速アナログ信号(10ms サンプリング)の電圧、電流波形を示す。同一ショットにおいて、収集された 20 チャンネル全ての信号の時間ズレ、数値の差等を調べた結果、時間ズレは無かった。プロトタイプで測定した値と従来の計測装置で測定した差は $\pm 0.5\%$ 程度であった。

4.2 低速データの収集

図-5の上側に既設の計測装置、下側にプロトタイプの PLC で収集した低速アナログ信号の温度データを示す。プロトタイプで測定した値と従来の計測装置で測定した差は±0.5% 程度であった。また、プロトタイプにおいては、従来の計測装置の 200ms のサンプリング周期に対して、100ms という短いサンプル周期で、100 秒間という長時間収集が可能であり、長パルスのデータを高速に収集することができる。さらに、既設データ収集盤はデータ収集中に機器異常(エラー)を起こすことが多く、解除ために定期的にリセットを行っており、データの途中で欠損部が生じていたが、プロトタイプである PLC ではエラーを起こすこともなく安定した動作でデータ収集を実行していることもわかる。

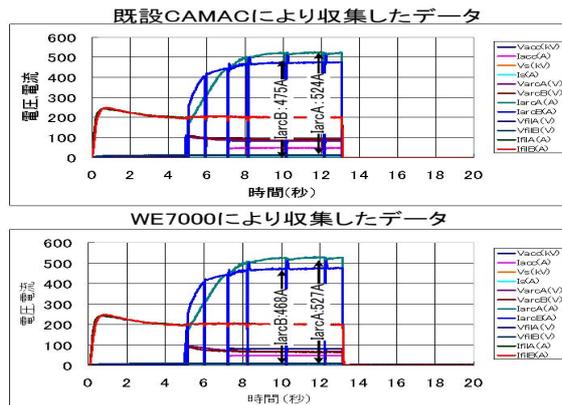


図 4. 高速アナログデータの比較

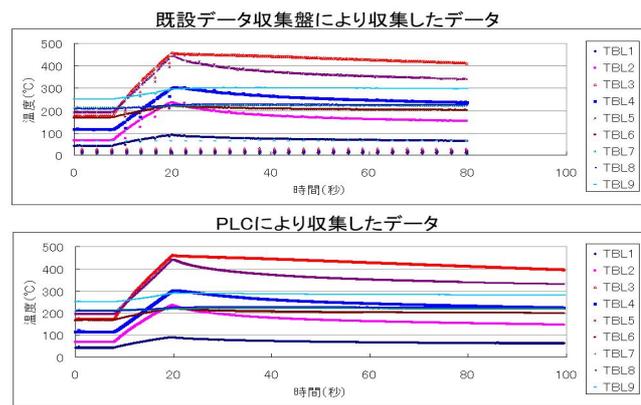


図 5. 低速アナログデータの比較

5 まとめと今後の検討項目

JT-60SA 用 NBI 加熱装置に対応するデータ収集システムを低コストで構築するため、収集精度が高く、耐ノイズ性にも強い、PC ベース計測器(WE7000)と PLC を組み合わせたシステムを開発し、データ収集試験を実施した。この結果、目標とする性能(収集時間精度の高さ、長時間のデータ収集等)でデータ収集が実行できていることを確認できた。

今後の検討項目としては、(1)段階的に計測器等を増設し、収集データ量(J-60SA 用では既設 12 ユニット相当)を増加による PC の処理能力を分析し、分散化処理等の評価や、(2) SCADA で効率良く WE7000 や PLC で収集したデータを表示するために、PC へのデータフォーマット変換を高速に行う「SCADA 用変換ソフトウェア」の開発等があり、これらを本検証システムに反映させながら完成度を向上させていく予定である。

参考文献

- [1] 菊池 満他 : “日欧の幅広いアプローチ計画と国内計画による JT-60SA 計画”, プラズマ・核融合学会誌, 82, 8, P455-469 (2006)
- [2] 本田 敦他 : “JT-60U における NBI 加熱装置用ヘリウム冷凍設備の PLC 制御”, JAEA-Technology 2006-020 (2006)

中性子比例計数管用の電荷積分器の開発とその応用

○飯島和彦、佐波俊哉、齋藤 究、中村 一、佐々木慎一

高エネルギー加速器研究機構 放射線科学センター

1 はじめに

高エネ研は線形加速器、シンクロトロン等から構成される複合型の大型加速器が稼働する共同利用施設である。このような加速器施設では加速粒子のターゲットへの照射や、ビームロスにより周囲に光子線や中性子線などによる放射線場が形成される。そのため、十分な遮へいを設置するとともに、その周囲の放射線量を監視することにより、施設内の作業員や周辺地域への安全を担保している。シンクロトロンのビームは典型的には数マイクロ秒以下の時間内に取り出されるために、これに伴う放射線場は、極めて短い時間内に生成される（以下、バーストとする）。このような場の線量を市販のパルス計測回路を持つ測定器で計測しても「数え落とし」により正確な値が測定できない。本報告では、加速器施設においてバースト状に発生する中性子線線量を測定することを目的に、中性子計数用の比例計数管の出力を数え落としの発生しない電荷積分モード（電離箱型）で読み出すことを可能とする電荷積分器を開発した。中性子線量をパルス型検出器で計測するレムカウンタや高エネ研で連続放射線監視装置に使用しているパルス型の放射線モニター（Stand-Alone Radiation Monitor 以降 SARM）と比較し、バースト時及び高線量場の中性子線量率測定における特性を調べたので報告する。

2 電荷積分器

本報告で開発した電荷積分器は、高エネ研で使用している光子用の電離箱型放射線モニターの電荷積分器を中性子用に改良したもので、市販の中性子比例計数管に接続し、電離箱検出器として動作させることができる。図1に電荷積分器を実装した中性子用 SARM（1 又は 2 インチ He-3 または BF₃ 比例計数管に 6.5cm のポリエチレンをかぶせた検出器部からなる）を、図2に電荷積分器のブロック図を示す。この電荷積分器は検出器中に発生した電荷量を積分回路により積分し、一定電圧に達したときにリレーによって強制的にリセット（放電）を行い、そのリセット間隔で積分量（線量率）を求める。具体的には、リレーによってリセットされた 0V から積分を開始し 1V に達すると再びリセットをする動作を繰り返す。電離箱出力は、鋸歯状波形となり、鋸波のボトムピークーボトムの間隔が積分量（線量率）に対応する。今回開発した電荷積分



図1. 中性子用電離箱型 SARM

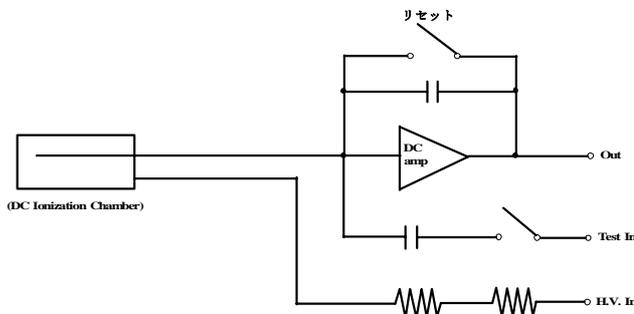


図2. 電荷積分型前置増幅器

型の前置増幅器は、検出器側表面上の中性子線源(Am-Be) に対して 0V から 1V までの電荷積分時間として 37MBq あたり 2000 秒、370MBq は 200 秒、3.7GBq は 20 秒である。中性子線量の増加に伴い 1V までの積分時間が短くなり、傾きの短い鋸波状波形となる。電荷積分回路の動作原理を示したものを図 3 に示す。

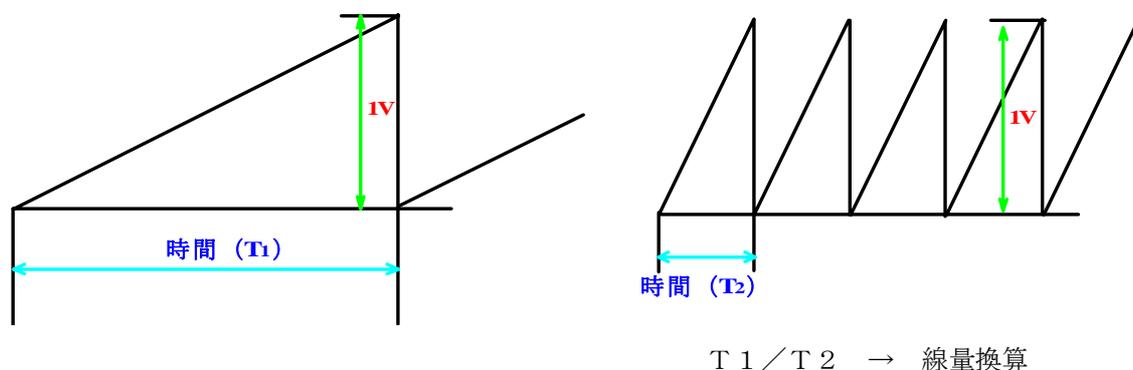


図 3. 電荷積分器の出力波形の例

この（時間－線量）変換値をパルスに変換するため電荷積分器の出力段にデジタル微分回路が組み込まれており、この回路で鋸波状波形の傾きの値に応じたパルスを出力している。これにより、電離箱型検出器でありながら、読み出しの簡単なパルス出力が得られるという特徴を持っている。

3 校正定数の決定

本報告で特性を調査したのは 1 インチ及び 2 インチの He-3 比例計数管と BF₃ 比例計数管である。これらの計数管は高エネ研の放射線集中監視システムで中性子検出器として用いられているものである。校正定数はパルス型 SARM と同様の 6.5cm のポリエチレン減速材をまいた状態で Am-Be 370MBq 線源を用いて決定した。それぞれの校正定数を表 1. に示す。

表 1. 各比例計数管電離箱時の校正定数

計数管	校正定数(μ Sv/h/cps)
1 インチ He-3	34.5
2 インチ He-3	13.8
1 インチ BF ₃	72.5
2 インチ BF ₃	13.7

4 中性子線量測定箇所及び測定手法

4.1 KEKB リング

バースト状の中性子が発生する箇所として KEKB ファクトリー電源棟縦穴 (D8 電源棟内) 地上部において測定を行った。この縦穴は半径約 40cm、深さ約 10m で KEKB リングトンネル室に接続しており、この接続部から約 20m の位置に KEKB ファクトリー HER ダンプが設置されている。周長約 3km の HER に蓄積された 8 GeV、数 100mA の電子ビームは、リングが運転を停止する際に、数 μ 秒内にダンプに入射される。このため電源棟縦穴出口では数 ms の時間幅を持つ中性子が測定される可能性がある。蓄積電流値を変化させることにより、バースト時の線量を変化させ測定を行った。比較のため積分型と同一形状の 2 インチ He-3 比例計数管を用いたパルス型 SARM との同時測定を行った。

4.2 PF-AR リング

PF-AR リングのビーム入射点付近では、2.5 GeV 2.5Hz の数 nA の電子ビームがリング入射に伴いビームロ

スを起こしてバースト状の中性を発生している。入射点の直上付近に積分型と 2 インチ He-3 比例計数管のパルス型 SARM、Studsvik 製 2202D 型レムカウンタを設置し計測を行った。

4.3 ミュオン第 1 実験室

バースト状で高線量率が測定可能な箇所としてミュオン第 1 実験室ビームダンプ遮へい体上において測定を行った。この箇所はビームオン時立入禁止エリアであり、停止時の緊急時以外には人の立入はない。放射線科学センターでは実験室内への影響を考慮して、実験が開始される毎に測定を行ってきた。陽子ビームがターゲット及びビームダンプに入射される毎に高線量率の中性が確認された。入射される 500MeV 陽子ビームの時間構造を図 4 に示す。今回、ガンマ線の影響が少ない 1 インチ BF₃ 比例計数管を用いて、同型のパルス型 SARM、レムカウンタ及び固体飛跡検出器 (CR-39) と同時測定を行った。

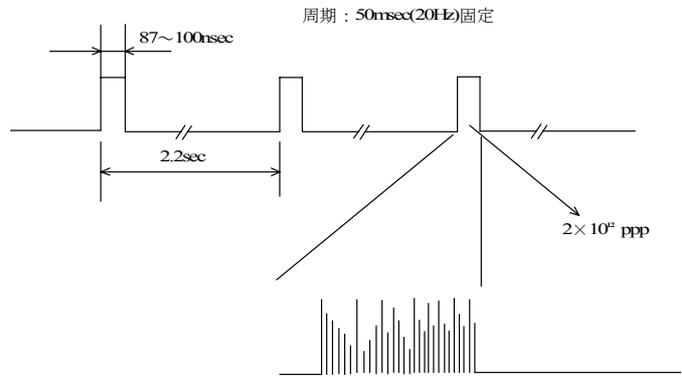


図 4. ミュオン第 1 実験室 ターゲット及びターゲットダンプに入射される 500MeV 陽子ビーム

5 測定結果

5.1 KEKB リング

積分型とパルス型を設置し連続測定を行った結果、パルス型はビーム入射及びダンプ時について測定値が得られた。積分型は HER ダンプ時にも測定値が得られ、パルス型と比べ高い線量率が測定された。積分型は入射時に発生する中性子(パルス型より約 0.02-0.04 μ Sv/h)は測定レンジの下限以下となり測定されなかった。図 5 にダンプ時の電流値に対する線量率測定値を各検出器について示す。図中の記号はダンプに至った原因を示している。この図から積分型はダンプ時電流に対して良好な直線性を示しており、数え落としは発生していないことが確認された。一方パルス型は線量率の低い入射に伴う中性子は測定できているが時間幅の短いダンプ時の中性子は大幅に数え落としている。

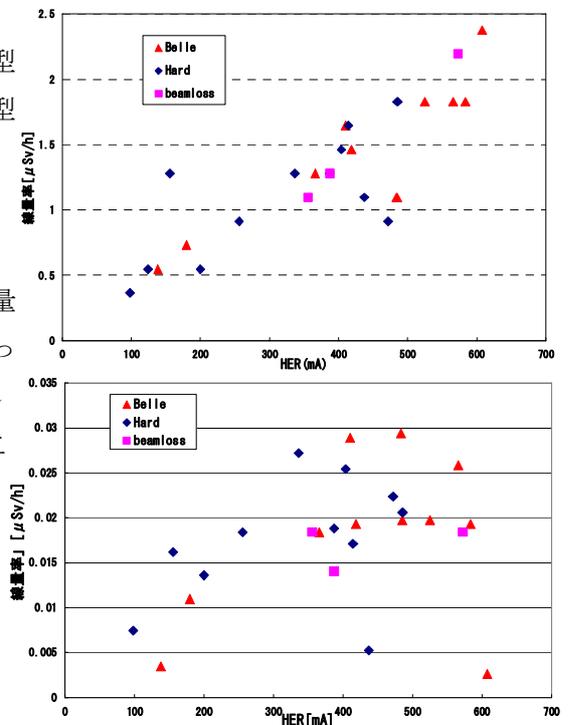


図 5. ダンプ時電流と SARM 測定値の相関図 (上: 積分型 下: パルス型)

5.2 PF-AR リング

積分型およびパルス型、レムカウンタの全てに対応のあった入射時の線量率について、積分型およびパルス型の測定値をレムカウンタの測定値を基準としてプロットしたものを図 6 に示す。パルス型がレムカウンタの測定値に対して飽和しているのに対し、積分型は直線状の分布を示している。レムカウンタとパルス型 SARM の測定値に大きな差はないが積分型が約 2 倍の線量率を示していることが確認された。

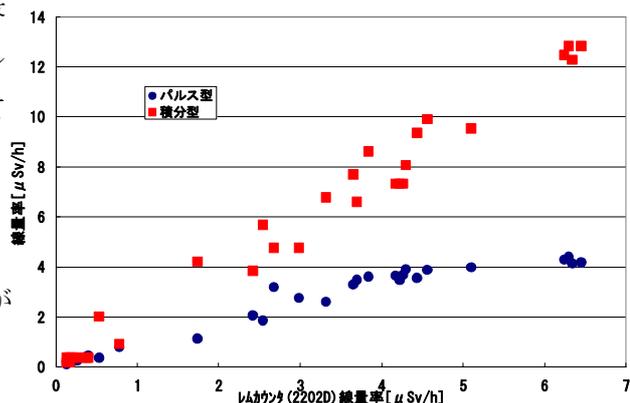


図 6. AR 入射時における中性子線量率測定結果

5.3 ミュオン第 1 実験室

ミュオン第 1 実験室ビームダンプ遮へい体上の測定結果を原理的に数え落としの発生しない固体飛跡検出器 (CR-39) から得られた線量率を基準にしてプロットしたものを下記の図 7 に示す。パルス型の場合は 1 インチ BF₃ で約 100 μSv/h の線量率から測定値が飽和する傾向を示し、正しい線量率を与えない。レムカウンタの場合は 200 μSv/h の線量率から飽和する傾向を示している。一方、電離箱型は 1 インチの場合 100 μSv/h 以下では CR-39 より高い線量率を示しているが 200 μSv/h を超える箇所では他の検出器と比較して CR39 に近い線量率が得られた。更に、印可電圧を約倍にすることによってより測定値が上昇することが確認された。これは電圧を上げることによって電離電荷の再結合の影響を軽減できたためであると考えられる。

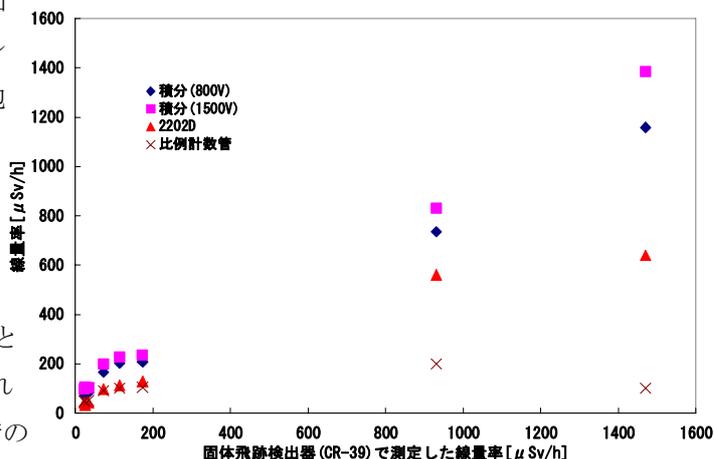


図 7. 固体飛跡検出器 (CR-39) と 1 インチ BF₃ (積分型、パルス型)、2202D との比較

6 結論

市販の BF₃ 及び He-3 比例計数管を接続して電離箱検出器としての動作が可能となる電荷積分器を開発した。この電荷積分器を実装した中性子検出器を、バースト状の中性子場において試験を行い、パルス型中性子線測定器と比較して、飛躍的に高い計数率場に対して適用可能であることが実証された。

参考文献

- [1] 佐波 俊哉, et al, “KEKB ファクトリーアポート時の線量率測定”, RAD-S 2000/64
- [2] 飯島 和彦, et al, “中性子比例計数管用の電荷積分器の開発とその特性”, 日本放射線安全管理学会 第 2 回学術大会
- [3] 飯島 和彦, et al, “中性子比例計数管用の電荷積分器の開発とその特性 (その 2)”, 日本放射線安全管理学会 第 3 回学術大会

パルスレーザー共振器の装置開発

○荒木栄^{A)}、浦川順治^{A)}、大森恒彦^{A)}、奥木敏行^{A)}、栗木雅夫^{A)}

坂上和之^{C)}、清水洋孝^{B)}、高橋徹^{B)}、照沼信浩^{A)}、広瀬立成^{C)}

舟橋義聖^{A)}、本田洋介^{A)}、李小平^{D)}、鷲尾方一^{C)}

^{A)} 高エネルギー加速器研究機構 (KEK) 加速器研究施設

^{B)} 広島大学 先端物質科学研究科

^{C)} 早稲田大学 理工学研究所

^{D)} 中国科学院 高能物理研究所 (IHEP)

概要

KEK-ATF 加速器の電子蓄積リングのビームラインである真空ダクト上にパルスレーザー共振器を設置しました。その共振器とは、10W の近赤外のパルスレーザーを蓄積し強度を増幅する装置で、その増幅されたレーザーと ATF の超低エミッタンス電子ビームを衝突させ、レーザーコンプトン散乱によって ILC 陽電子源となる高輝度ガンマ線を生成する基礎実験を行うものです。その装置と真空容器およびムーバー架台の製作と設置状況について報告する。

1 はじめに

高強度の偏極ガンマ線ビームは物理学の多くの分野で有力な実験手段として期待されている。特に素粒子物理学の分野で計画中の国際リニアコライダー (ILC) では、偏極ガンマ線から対生成により作り出された偏極陽電子をビームに使用することで新現象の発見能力が大幅に向上する[1]。また高強度の偏極ガンマ線は原子核の研究にも大きな役割を果たす。

1.1 パルスガンマ線生成の基礎実験

我々は ILC のための偏極用電子生成法として、円偏光レーザービームと電子ビームを衝突させ逆コンプトン散乱により高強度の偏極ガンマ線を作る事を提案している[2]。また、ヘリカルアンジュレータ方法では、150~250GeV という高エネルギーの電子ビームを 200m のヘリカルアンジュレータの中を通す事により偏極ガンマ線を生成させる。150GeV 以上という高エネルギーの電子ビームを単独で用意する事は ILC の建設、立ち上げ、運転、ビーム品質の維持のいずれに於いても大きな懸念材料となる。逆コンプトン方式の陽電子源は数 GeV 程度の電子ビームを用いるので主リニアックとは単独に用意する事ができる。そして、原子核実験への応用を考えた場合、アンジュレータ方式に比べて小規模の施設で実現できる。この優れた特徴を持つコンプトン方式のパルス蓄積型で偏極ガンマ線源の開発および基礎実験を ATF 加速器で行っている。

2 パルスレーザー共振器

本装置の方式では電子ビームとレーザービームの双方を蓄積された状態で繰り返し衝突させる。電子ビームは蓄積リング内であればバンチ構造をしておりパルスのであり KEK-ATF ダンピングリングを蓄積モードで使用する。電子ビームのエネルギーは 1.28GeV、1 バンチあたりの強度は 1×10^{10} 個である。レーザー共振

器は、パルスレーザーを用いるため光エネルギー密度が飛躍的に向上し高効率化する[3]。但しパルス同士の衝突なのでタイミング制御は格段に難しくなる。理論値ではレーザーとの衝突により 6×10^4 個/パルス（バンチ）のガンマ線が生成され、その最高エネルギーは約 30MeV である。（図 1 参照）

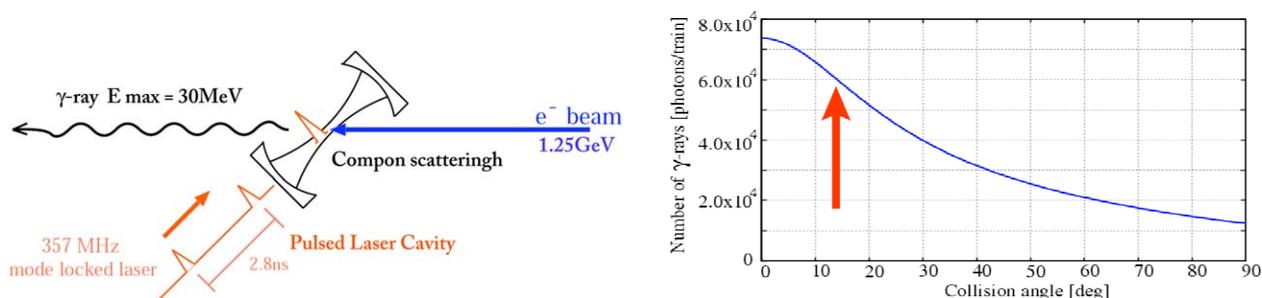


図 1. ガンマ線生成原理（左図）と期待されるガンマ線生成数（右図）

2.1 共振器本体

レーザー共振器はファブリーペロ型共振器であり、真空容器に納められて蓄積リング部に挿入されるレーザー共振器の基本構造部である。向かい合わせたに置かれた両端の高反射率凹面鏡ミラーによって構成され、ミラー間にレーザービームを入射すれば二つのミラー間で反射を繰り返しレーザー光は閉じ込められる。全ての光波の位相を揃えてやれば閉じ込められた光の振幅は何倍にも増大する。位相の共鳴条件が満たされ、かつ蓄積共振器長とパルス間隔が一致（整数倍）すれば、共振器中心において光の強度の増大が可能である。そのミラー間の距離はピエゾ素子によってその位置を精密にコントロールする。その位置決めフィードバックは、空洞の前後で反射光位相と透過光位相をモニタすることにより行う。

この装置では蓄積されたレーザービームと電子ビームを小角度で衝突させる。共振器を構成するミラーと電子ビームの干渉を避けるために、共振器の長さ（ミラー間）は 420mm と長くなる。このためフィードバックには高い安定性と精度が要求される。強度 4 nJ/パルス （バンチ）のモードロック YAG レーザーを使用し、レーザーパルス列を共振器に送り込み蓄える。その構成パラメータを表 1 に示す。パルスレーザーの共鳴による増強効果（図 2）は、現構成では 300 倍程度に達しているが、フィードバック回路が最適化しておらず長時間の保持が出来ていない。

2.2 高真空チェンバー

ATF の電子蓄積リングのビームは世界最高の低エミッタンスを持っている。このビーム性能を維持するためには、電子ビームの通り道（ビームパイプ）の内壁面は滑らかでかつ電氣的に一体となってビームに対するインピーダンスを低く保つ必要がある。一方で蓄積リングに挿入されるレーザー光共振器は、その構造上

表 1. 共振器のパラメータ

Parameters (laser & cavity)

Laser Section	
Type	YAG-VAN (1064nm)
Power	10 W
Frequency	357 MHz
Pulse Width	7 ps (7WHM)
Cavity Section	
Length	420 mm
Mirror Reflectivity	99.6 %
Beam Waist	60 μm (in 2σ)
Crossing Angle	12 degree

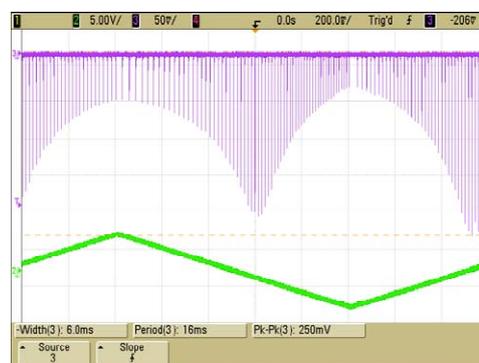


図 2. 共振器長の調整

緑線がピエゾ素子の印可電圧変化で共振器長が変化する。紫線が共振器の透過光量で共振器内に光が溜まると透過光が減っている様子が見られる。

電子ビームパイプに比べて遥かに大きく（太く）そのままでは、電子ビームに対するインピーダンスが高くなり、エミッタンスに悪影響を与える。これを防止するために、レーザー光共振器を貫通するビームパイプが組み込まれている。そのビームパイプにはレーザー光が通過するために必要な大きさで、かつ、電子ビームに対する悪影響を最小限に抑えるだけの穴が明けてある。そして、ビームパイプと交差しているレーザー共振器全体を図3のような角形チェンバーで覆う形になっている。よって、全ての部品を超高真空対応にして、ネジに至っては銀メッキで組み上げている。前後に電子ビームパイプとレーザービーム入射ポート、左右に粗排気とイオンポンプ取り付けポートを備えている。共振器の調整時には、蓋を外し大気開放しなければならないが、導入初期は頻繁にアクセスする可能性が高く、また、高真空対応にするため、蓋のフランジ部分は O リング（バイトン）と金属ガスケット（ヘリコヘックス）の両対応にした。



図3. 共振器本体（上）と真空チェンバーに組み込まれた実器(下)

2.3 共振器ムーバー架台

典型的な電子ビームサイズは約 $100\mu\text{m} \times 10\mu\text{m}$ (rms) で、両ビームの衝突実験にはレーザービームの位置を調整しなければならない。そのため共振器チェンバー本体はビーム進行方向に対して垂直方向（上下および横方向）に調整可能な架台に載せる必要がある。また、レーザービームの安定には入射用のモードロック YAG レーザーとその光路を架台上部に真空チェンバーごと設置しなければならない。ATF 加速器では実績のある運搬可能なアクティブ架台を基に設置スペースに収まるよう製作した。その下部（図4）には位置調整機構がついており動径方向（X 方向）、ヨー（Y 軸回転）、高さ（Y 方向）、ロール（Z 軸回転）とピッチ（X 軸回転）の調整ができ、パルスモーターを介して $2\mu\text{m}$ の精度で制御できる。代表的な高さ調整機構のムーバー脚の可動テストを図5に示す。これらの可動調整は、安全移動装置と共に PLC で制御され、架台の位置モニタはレーザー変位計を用いてサブミクロン単位で行われる。



図4. ムーバー架台の調整機構

3 ATF 加速器への組み込み

ATF 加速器の夏期停止期間を利用してダンピングリングの北直線部に設置した（図6）。総重量は 1t を超えるがその位置には直接クレーンで設置できないため、ムーバー架台を組み上げた後、チルローラで運び込み、振動に弱いレーザー回路系を設置し、

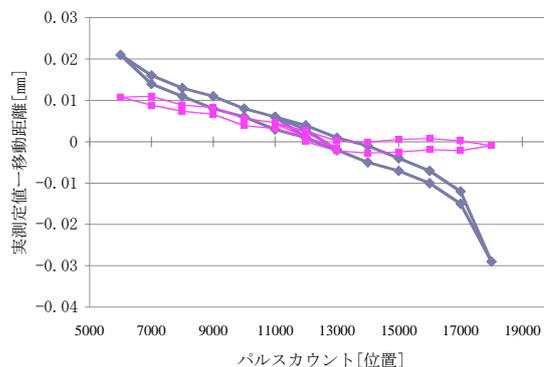


図5. ムーバー架台の可動テスト
青線がリニアゲージ、紫線がレーザー変位計の測定値である。傾きおよび二つの差は測定方法による誤差で、共に再現性は高くバックラッシュは $3\mu\text{m}$ 程度で問題なくビーム衝突調整に使用できる。

光路および共振器の調整を行った。

共振器本体とのチェンバー天蓋は現地でアクセスするために専用の昇降機を設置して作業効率を高めた。そして、真空中に影響を与えないよう細心の注意を払い作業を行った。しかし、体積と内容物の表面積が電子ビームパイプと比べると遙かに大きい。初期の真空チェンバー単体試験では、粗排気+スパッタイオンポンプ（100L/S）2台構成で行ったが高真空到達時間が大変遅く、ヘリウム・リーク検出器を用いて $10^{-10}\text{Pa}\cdot\text{m}^3/\text{S}$ 程度のリークテスト後、 $2\times 10^{-5}\text{Pa}$ （5日間）までしか到達

できず、脱ガスも酷くベーキングを行うべきであるが、 piezo素子などの高温非対応の部品があるため現在断念している。その後、粗排気系に 300L/S クラスのターボ分子ポンプを備え数回の真空作業を繰り返した。現在、電子リングのビームパイプ真空系も接続して非加速器運転時のリング平均の真空度は $2\times 10^{-7}\text{Pa}$ であり、共振器チェンバーの真空度は $6.4\times 10^{-6}\text{Pa}$ まで達し、漸く加速器の運転に影響の少ない真空値に到達した。



図 6. 加速器に組み込まれた共振器

4 ガンマ線検出器

コンプトン散乱によるガンマ線は、電子ビーム進行方向に生成されるため、共振器後方の編曲電磁石の後ろに設置しなければならない。幸い ATF 加速器には既存の CW 型レーザーワイヤモニタが本共振器のすぐ下流にあり、その検出器が設置済みで共有利用が可能のため、信号検出試験にそのまま使用して最初のガンマ線信号を捕捉する事とした。ガンマ線のエネルギーおよびタイミング等の条件により検出器の最適化を進める予定である。

5 考察

今回組み込んだパルスレーザー共振器は、初の蓄積リング型加速器への組み込みであり構造上や真空上の大きなトラブルなく設置することが出来た。また、執筆時点では、共振器自体の性能およびフィードバック回路は現在も発展開発中であり、電子ビームとの衝突実験は行われておらず、ガンマ線の信号を捕らえることが出来ていない。本研究会の発表時には衝突実験による最初の実験データが報告できることを期待している。また、今後は共振器のミラーを超高反射率（99.9%）に換装しパルス増強効果 1000 倍を目指し長時間の安定共鳴のフィードバック技術の開発を進める予定である。そして、この様な piezo素子を使用したメカニカル装置を含む超高真空対応に関して経験が浅く見識者のお知恵を拝借して、今後の装置の完成度を高めたいと思います。

参考文献

- [1] The role of polarized positrons and electrons in revealing fundamental interactions at the Linear Collider, G.Moortgat-Pick, et.al. hep-ph/050711,CREN-PH-TH/2005-036 (2005) ,
- [2] Conceptual Design of a Polarized Positron Source Based on Laser Compton Scattering, S.Araki, et.al. physics/050916, KEK Preprint 2005-60 (2005)
- [3] Enhancement of Laser Power from a Mode Lock Laser with an Optical Cavity, M.Nomura, et.al. Proceedings of EPAC 2004, Lucerne, Switzerland, p.2637-2639 (2004)

LHD 用真空排気装置における排気速度測定

鈴木直之

自然科学研究機構 核融合科学研究所 技術部

目的と概要

大型ヘリカル装置 LHD (Large Helical Device) では、容積が 210m^3 ある真空容器を、18 台のクライオポンプと 6 台のターボ分子ポンプを使い、 10^{-6}Pa 程度の超高真空まで真空排気をして、プラズマ実験を行っている。我々は過去 3 年間において、LHD で使用されている真空排気装置の排気速度を測定してきた。その目的は研究者にとっては排気速度の数値を得るということであるが、我々技術職員にとっては数年にわたって継続することで排気装置の性能が維持されているかどうかを確認した。今回はその結果について報告する。

1 はじめに

1.1 装置概要

大型ヘリカル装置 LHD は超伝導磁場コイルを用いたヘリカル型プラズマ閉じ込め装置である。プラズマは、大半径が 3.9m、小半径が 1.6m、容積が約 210m^3 のドーナツ形状をとっている真空容器内で生成させる。真空容器の材質はステンレス鋼で、内壁には保護板と呼ばれるステンレスと銅のクラッド材を使用したタイルが隙間なく張り巡らされており、その表面積は約 2000m^2 となる。図 1 に LHD 真空容器内部の写真を、図 2 に真空容器を上から見た模式図を示す。

この真空容器を真空排気する排気装置は 2 系統設置されている。一つは常時稼動し続ける真空排気装置 (以下主排気装置) で 1 台あたり水素における排気速



図 1. LHD 真空容器内部

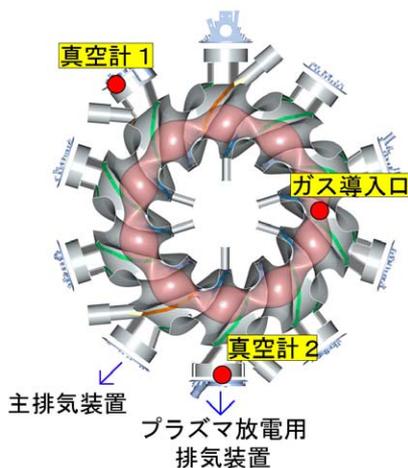


図 2. LHD 真空容器

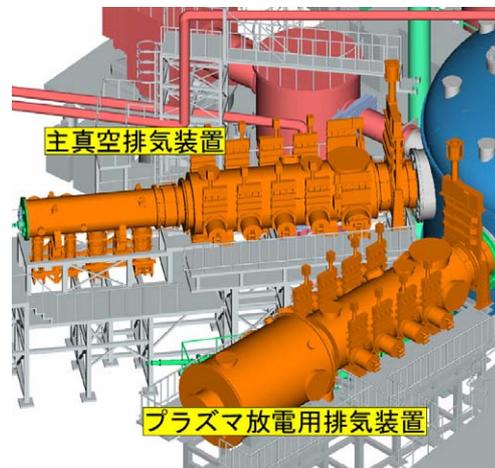


図 3. 排気装置概観図

度が約 $42\text{m}^3/\text{s}$ のクライオポンプが 10 台と、5 台のターボ分子ポンプで構成されている。もう一つはプラズマ実験をする時だけ使用する排気装置（以下プラズマ放電用排気装置）で、こちらも同様の排気性能を持つクライオポンプが 8 台と、1 台のターボ分子ポンプで構成されている。両排気装置ともにクライオポンプは直径 2m のダクトにゲートバルブを介して設置されているが、主排気装置のダクト内部は空洞であるのに対し、プラズマ放電用排気装置はダクト内部に LID ヘッドシステムと呼ばれる実験装置が格納されている。

図 3 にそれぞれの排気装置の概観図を、表 1 にポンプのスペックを示す。

2 実験方法

2.1 概要

排気速度を測定する方法として一般的に知られているのが「定圧法」である。これは真空排気をしながら一定量 $Q[\text{Pam}^3/\text{s}]$ のガスを流し続け、排気と導入が釣りあった時の圧力 $P[\text{Pa}]$ を測定することで、排気速度 $S[\text{m}^3/\text{s}]$ を求める方法である。

Q 、 P 、 S の関係は $S = Q/P$ で与えられる。今回はこの方法を使用してプラズマ放電用排気装置、及びプラズマ放電用排気装置と主排気装置を同時稼動した時の排気速度を測定する。

2.2 方法

ガス導入口と真空計の配置図は図 2 に示した通りである。ガス導入はマスフローコントローラ（max. 1000scm）により行った。ガス種は水素である。真空計は電離真空計を用いた。設置位置は 2005 年は真空計 1 のみ、2006 年からはプラズマ放電用排気装置の吸気口付近に真空計 2 も設置した。

実験手順は以下のように行った。

1. 排気速度を求めたいポンプを稼動させ排気する。
2. マスフローにより水素ガスを真空容器内に導入し、電離真空計にて圧力を計測する。
3. 何点か計測してグラフにプロットし、その傾きから排気速度を求める。

測定は、2005 年に 2 回、2006 年に 2 回、2007 年に 1 回行った。2005 年は両排気装置を稼動させた状態のみ、2006 年と 2007 年はプラズマ放電用排気装置のみを稼動させた状態でも測定した。

3 実験結果

図 4 にプラズマ放電用排気装置のみを稼動させたときの排気特性、図 5 に両排気装置を稼動させたときの排気特性を示す。図中にグラフの傾きから求めた排気速度の値も記す。

4 検討

4.1 排気速度の値

図 4、5 を見ると真空計の設置位置によって値が異なる。真空計 1 の値は 4.2 節で述べるように真空計 2 の値より大きくなっており、排気速度としては吸気口に近い真空計 2 の値を採用したい。その確認の意味で排気速度の理論的な計算を試みた。

表 1. 各排気装置におけるポンプの性能

	主排気装置	放電用排気装置
クライオポンプ	$43\text{ m}^3/\text{s} \times 2$ 台 $42\text{ m}^3/\text{s} \times 8$ 台	$42\text{ m}^3/\text{s} \times 8$ 台
ターボ分子ポンプ	$5.5\text{ m}^3/\text{s} \times 2$ 台 $4.4\text{ m}^3/\text{s} \times 1$ 台 $1.1\text{ m}^3/\text{s} \times 2$ 台	$4.4\text{ m}^3/\text{s} \times 1$ 台
合計	$440\text{ m}^3/\text{s}$	$340\text{ m}^3/\text{s}$
ダクト内部	空洞	内容物あり

（値は全て水素における排気速度）

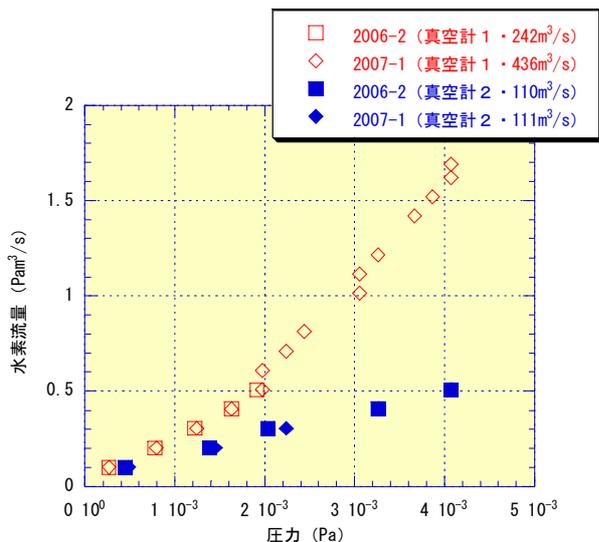


図4. プラズマ放電用排気装置の排気特性

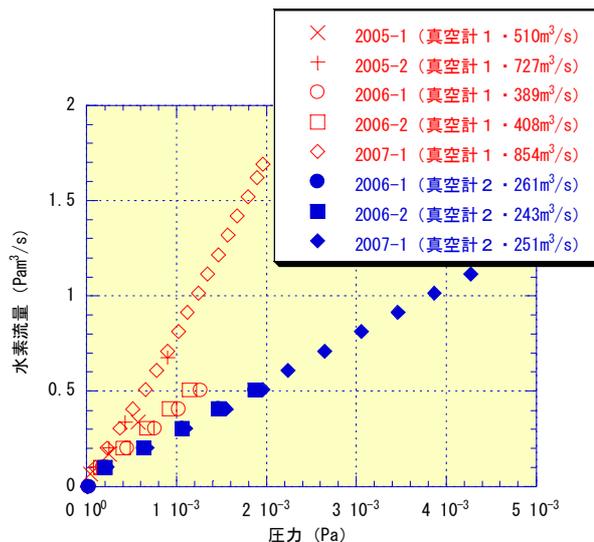


図5. 両排気装置を稼動させた時の排気特性

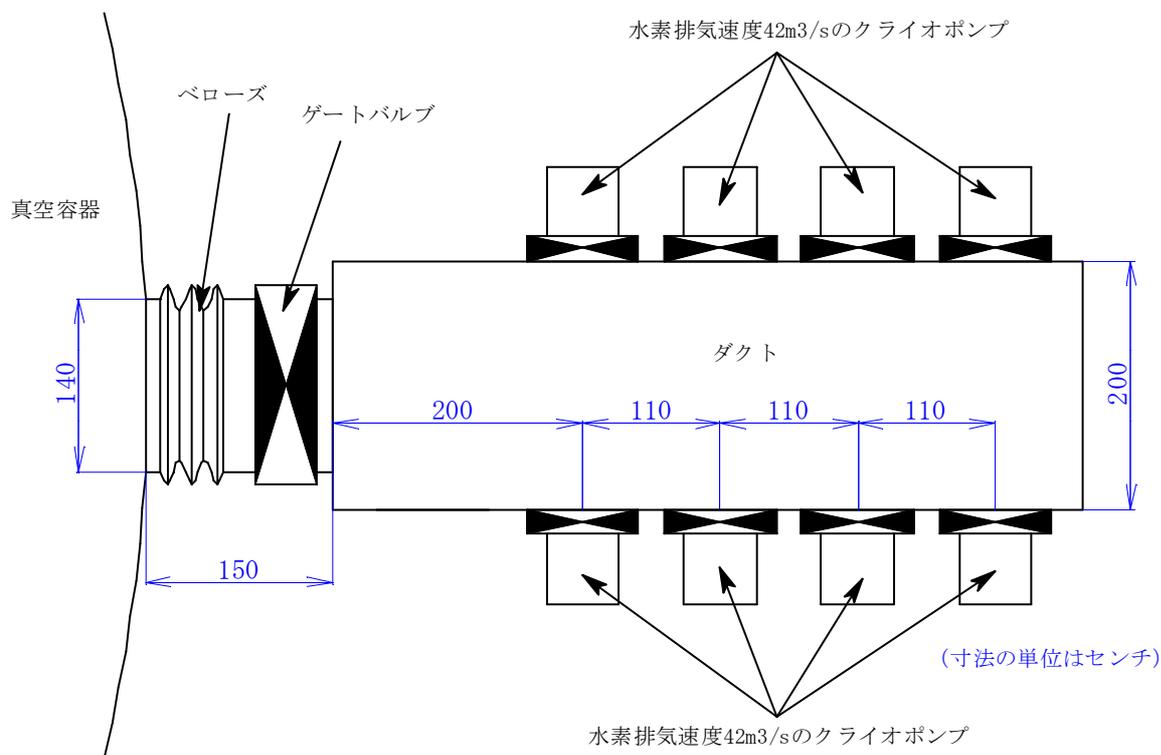


図6. プラズマ放電用排気装置のモデル図

図6はプラズマ放電用排気装置のモデル図である。ターボ分子ポンプはクライオポンプに比べて排気速度が1桁小さいのでここでは省いた。排気装置の排気速度はポンプの性能だけで決まるのではない。ポンプが設置されているダクトの太さや長さで決まるコンダクタンスが重要な要素となる。このコンダクタンスとポンプの排気速度を合成したものが排気装置の実行排気速度となる。

今回は、計算を簡単にするためゲートバルブ、ベローズの部分太さ1.4m、長さ1.5mの短い円筒管とみなし、ダクトの部分も太さ2mの短い円筒管とみなし実行排気速度を計算した。

この仮定を元にして計算したところ、 $148\text{m}^3/\text{s}$ を得た。実際には、プラズマ放電用排気装置には内容物が存

在するため、排気速度はこの値より低くなるはずである。図4の真空計2から求められる排気速度は $110\text{ m}^3/\text{s}$ 程度であり、計算値よりも低くこの点での矛盾はないため排気速度の値としては適当であると思われる。つまり今回の方法で排気速度を求めることは可能である。

4.2 真空計の設置場所と排気速度

図4、図5ともに真空計1から求められる排気速度は真空計2から求められる排気速度よりも大きい。これは真空計1の位置が図2に示すようにガス導入から分岐された位置に設置されており、導入されたガス量全てが真空計1の位置を通過していないためであると予想している。つまり真空計1を通過しているガス流量は導入された量より小さく、真空計1を通過しているガス流量を縦軸に取れば、グラフの傾きはもっと小さくなると思われる。

どの程度真空計1を通過したかは正確には分からないが、大雑把な見当をつけることは可能である。プラズマ放電用排気装置のみを稼働させたとする。ガス導入口から真空計1を通過して排気されるルートの上は、その逆（時計回り）のルートの上の約3倍である。排気コンダクタンスは長さに反比例するので、導入された水素ガスの約1/4が真空計1の方を流れ、約3/4が反時計回りの方に流れると思われる。図4の真空計1から求められる排気速度を1/4倍すると、 $60\sim 110\text{ m}^3/\text{s}$ となる。この値は吸気口の排気速度 $110\text{ m}^3/\text{s}$ と同程度かそれ以下の値であり、矛盾は生じていない。

4.3 真空計1によるグラフの傾きが年ごとに異なる理由

図4、図5において、真空計2によるグラフの傾きは2年とも安定しているのに対し、真空計1によるグラフの傾きは年毎に異なる。この理由としてまず考えられるのが真空計の精度、再現性の問題である。ただしこの真空計の精度は $\pm 15\%$ なのでこのことだけで約2倍の傾きの差を説明することはできない。

次に考えられるのが真空計1の近辺で局所的な排気が行われている可能性である。今回の測定ではガス導入をしてから測定値がある程度安定するまでに時間がかかった。このことは、導入直後は水素の排気、吸着が行われ、その後水素の再放出が行われていたからであると考えている。真空計測定子の排気作用はその典型例である。またLHD真空容器は実験中に水素ガスの排気を促進するため、水素吸着金属であるチタンを容器壁に蒸着させている。これは容器全面ではなく局所的なものであるため、この影響も考えている。

5 まとめと課題

LHDのような規模の大きい真空容器、真空排気装置でも従来の方法により排気速度の測定は可能であることが分かった。またその値はプラズマ放電用排気装置で $110\text{ m}^3/\text{s}$ 、2台稼働時は $250\text{ m}^3/\text{s}$ （ただしプラズマ放電用真空排気装置吸気口での値）であり、2年間における排気性能の劣化は見られなかった。

注意すべき点は真空計の設置位置である。設置位置が異なるだけで排気速度の値は数倍も変わってしまう。今回主排気装置の排気速度測定のデータがないのは、諸所の理由により主排気装置の吸気口付近に真空計が設置できなかったからであり、今後の課題である。

真空計1によるグラフの傾きが年ごとに異なる原因は結局明らかにできなかった。これを明らかにするためには、まず真空計の相対的な校正が必要である。今回の結果から、データの直線性は明らかになったので、プロットするデータを少なくする代わりに1データあたりの測定時間を長く取って、より安定してから測定値を記録するようにすることも必要である。

JT-60 における真空容器内タイルの熱負荷保護対策

○笹島唯之^{A)}、新井貴^{A)}、柳生純一^{A)}、神永敦詞^{A)}、正木圭^{A)}、逆井章^{A)}、八木澤博^{B)}

^{A)} 独立行政法人 日本原子力研究開発機構

^{B)} ㈱日立製作所

概要

臨界プラズマ試験装置 JT-60 では真空容器内に約 12000 枚のタイルが設置されている。これらのタイルは図 1 に示すようにプラズマの不純物ガスを排気するための黒鉛製のダイバータ、容器壁を熱負荷から保護するための黒鉛製の第一壁、プラズマの閉じこめ性能向上を目的に磁場リップルを抑える効果のある磁性体フェライト鋼製のタイルに分けられている。

平成 18 年には、黒鉛製ダイバータタイルの一部が脱落し、実験運転を停止する事象が発生した。また、点検の結果、フェライト鋼タイルの一部が溶融していることも確認された。

本研究では、タイル脱落の経緯を紹介するとともに、タイル脱落の原因となったタイルへの熱負荷の低減を目的とした保護対策と結果について報告する。

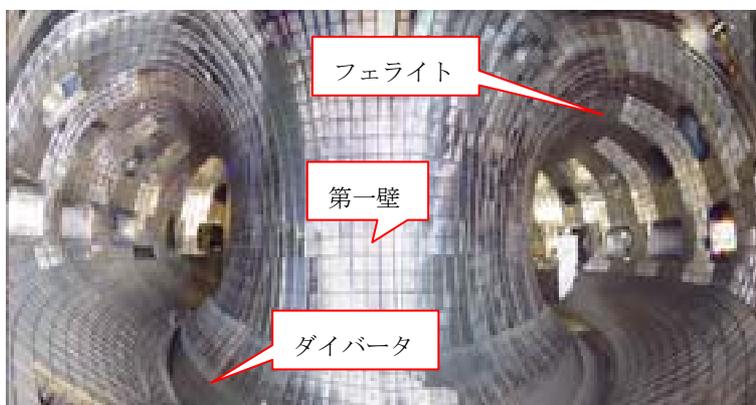


図 1. 真空容器内に設置されているタイル

1 経緯

1.1 タイル溶融と脱落事象

平成 18 年 6 月の実験放電中、ディスラプション直後に JT-60 真空容器に大きなリークが発生した。真空リークの原因は、脱落したダイバータの外ドームタイル 1 枚がポート内に落下し、計測窓の石英ガラスを破損したためであった。直ちに真空容器内を点検した結果、該当するタイルを固定していたステンレス製の M6 六角ボルト 1 本が溶融したことにより破損したことが確認された。

図 2 に示すように外ドームタイルの構造は最も熱負荷が高い場所（プラズマ面）には黒鉛製のタイルがステンレス製の M6 ボルト 1 本により台座を介して設置されている。このタイルは 2 枚組みで 1 ユニットとして真空容器に設置されている。真空容器にはドーム基盤が設置され、タイルを固

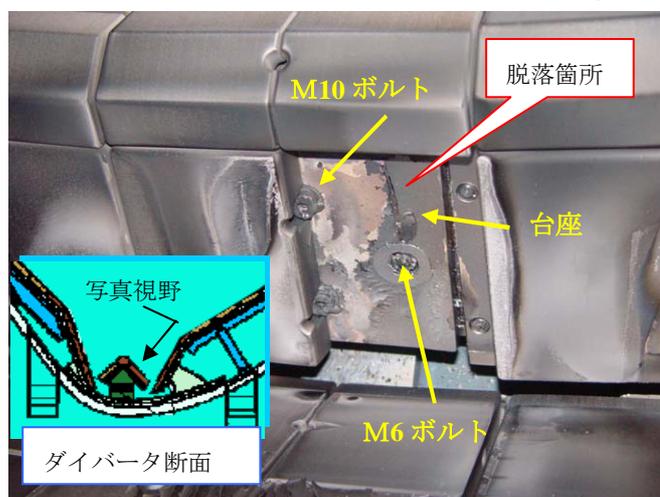


図 2. 脱落した外ドームタイル

定する台座は M10 のステンレスボルト 2 本で固定している。

点検では脱落していたタイルと同様の構造または位置に設置されているタイルについて損傷や溶融についても点検を行った。その結果、脱落した箇所の台座固定用ボルト 2 本の溶融や別の箇所でのタイル固定用ボルトの溶融も確認された。また、それ以外の第一壁やフェライト鋼タイルの点検も行いフェライト鋼タイルの溶融も確認された。

1.2 ダイバータタイルが溶融に至った原因の推測

調査の結果タイル脱落に至った原因として 3 つの事実が観測された。1 つ目は図 3 に示すように脱落したタイルの表面の片側だけが損耗している点、2 つ目はタイルを固定している台座が片面だけ偏って炭素の付着が確認された点、そして、3 つ目はタイルと台座のユニットをばらした結果、台座においてタイルとの接触面に加工後のバリを確認した点である。この 3 つの観測事実から脱落したタイルはタイルが台座に対して片当たりしていたためタイルに生じた熱がうまく逃しきれずタイル固定用ボルトに集中してしまったものと考えられた。

タイルの熱負荷評価を行うため平成 18 年 6 月までの熱電対の温度データを検証した結果、150℃時において最高温度 350℃程度、ベーキング 300℃時では 420℃程度であったため、問題は無かった。しかし、タイルのボルトが溶融した点で考えるとタイルを固定しているボルトが 1400℃（SUS の融点）程度まで上昇したことになる。このときの台座のベース温度は真空容器ベーキングの温度 300℃と考えると温度上昇は 1100℃程度となり、タイル一枚に約 0.7MJ の熱量が入ったことによるものと考えられる。これは 20 秒放電で一度に入ったとすると、平均 35kw になり、1 枚当たりのタイル表面に来たとすると 3MW/m² の流入熱量となる。

1.3 フェライト鋼タイルが溶融に至った原因の推測

フェライト鋼タイルの溶融ではリップル低減化設計時における解析結果、フェライト鋼タイル表面には 0.34MW/m² の熱負荷がかかることが予想されていた。この熱負荷では、フェライト鋼タイルの表面温度は約 100℃程度の温度上昇であり、タイル表面熱負荷としては問題とはならなかった。しかし、タイル側面に直接熱負荷



図 3. 溶融部分解調査

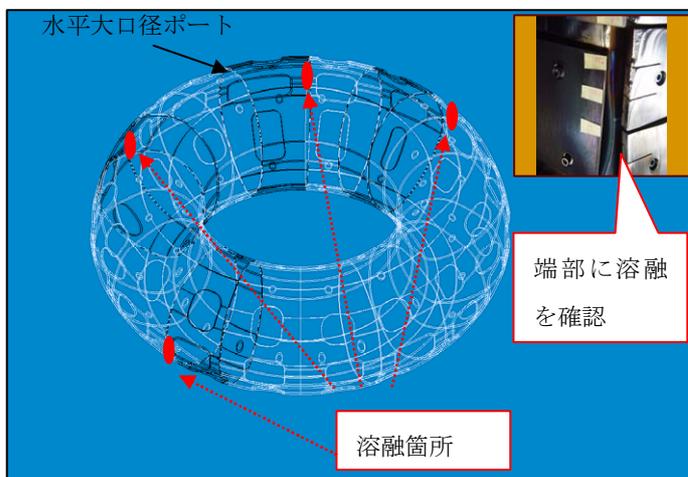


図 4. 溶融フェライトタイル

がかかる場合には熱負荷は集中するため問題となる。そこで、熱負荷の集中を避けるためにタイル設置誤差（段差）を考慮してタイルにテーパ加工を施している。図 4 に示すように溶融したフェライト鋼タイルは大口径ポート隣のタイルであり、かつ隣接した黒鉛製タイルが無い場所であった。その他のフェライト鋼タイルの表面等は健全であることや第一壁と隣接しているフェライト鋼タイルの端部には異常がないことから大口径ポートの周辺に設置されているフェライト鋼タイルで第一壁タイルが設置できない箇所に溶融が生じたと思われる。

2 対策の検討

2.1 ダイバータ外ドームタイルの熱負荷保護対策

ダイバータ外ドームタイルについては脱落の原因となったタイルと台座の片当たりについて対策を行った。1 つは既設台座 125 枚を新規に制作し、加工箇所のバリの無いものを使用した。また、台座とボルト頭の接触を上げるため新規台座を使用した。

次に、タイルに入る熱負荷を積極的に逃がすためにタイルと台座間に厚さ 0.38 mm のカーボン素材のシートを挿入し、接触率を上げ、熱伝導を向上させ固定ボルトへの熱集中防止を図った。

カーボンシートは東洋炭素製の高純度化処理シート（PF - 38UHP）を使用した。カーボンシートの選択としては厚みとタイルと台座を固定する際のトルクによる関係から選択し、さらに、カーボンシートを数枚重ねて厚くすることも考えたが作業性を考慮する上で最も適した厚みのシート 1 枚のみを挿入することに決定した。

タイルと台座の熱伝導の解析結果を示す。タイルと台座は M6 ボルトとナットで固定したモデルで評価した。まず、タイルと台座間に隙間が出来ている状態を仮定し、タイル端部にプラズマによる熱が集中した場合を想定し、タイル端部に 1400℃ の温度条件を与えた。図 5 (a) にタイルと台座が接触していない場合の結果を示す。タイルに溜まった熱は逃げずにタイル内部に有るナットに熱が集中し、ナット部も 1400℃ となり溶け出す温度になってしまう。

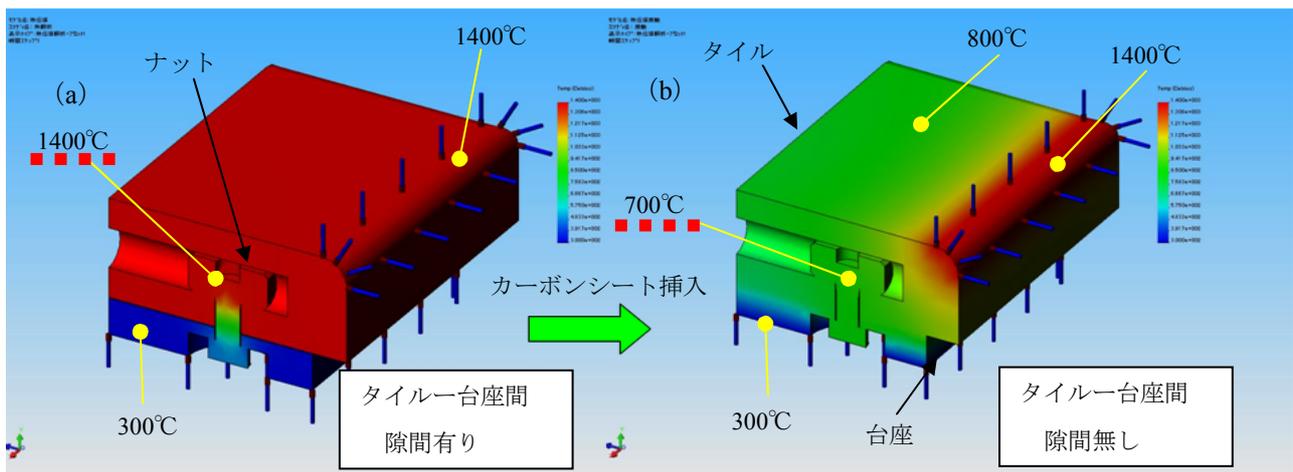


図 5. 熱伝導解析

対策によるタイルと台座間に接触を向上するためにカーボンシートを挿入した対策を施した場合については、タイルに生じる熱負荷を同じ条件の温度設定 1400℃ を端部に集中し、タイルと台座を完全接触として評価した。解析結果として図 5 (b) に示すように熱はタイルには溜まらず台座側へ逃げていくことが分かり、そのため、ナット部は 1000℃ 以下になり SUS の融点を下回る。よって、熱がナット部に集中せず分散するため健全性が保たれる結果となった。

2.2 フェライト鋼タイトルの熱負荷保護対策

図6に示すように熔融したフェライト鋼タイトルは大体積プラズマ実験によりプラズマの位置をタイトル側に近づけた時に若干のプラズマ粒子がフェライト鋼タイトル端部に集中したものである。対策としてはプラズマ粒子が入射されても直接フェライトタイトルに粒子が入らないようにポート開口部の側壁に第一壁と同じ材質の黒鉛製保護タイトル（保護板）を設ける処置を施すこととした。この保護板には渦電流が生じる。よって、タイトルの大きさや形状はタイトルの渦電流を小さくするためにタイトルの大きさを小さくしタイトルに生じる電磁力を下げる設計をした。また、ループ電流による電磁力を回避するために固定方法を一点止めとし、電磁力による回転作用を抑制するために台座を嵌め合い構造とした。

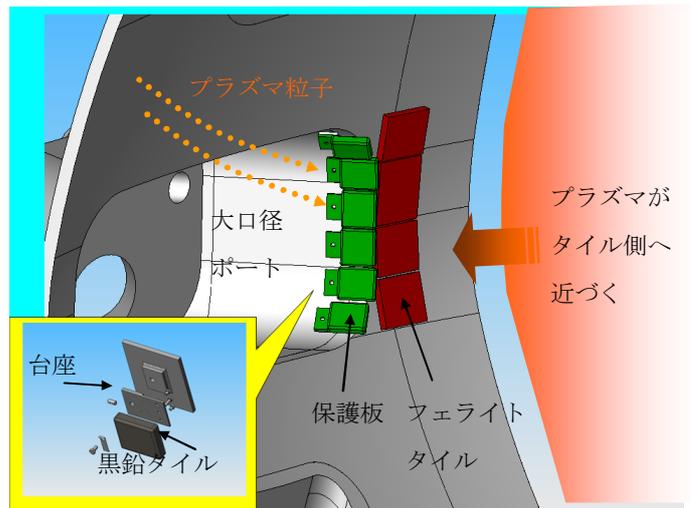


図6.フェライトタイトル熔融保護対策

3 熱負荷対策後の結果と今後の課題

3.1 熱負荷保護対策後の結果

外ドームタイトル部にカーボンシート挿入の前後の降温状態を図7に示す。タイトル脱落時は放電終了後カーボンシート有りの外側ダイバータタイトルの温度は下がっているが外側ドームタイトルの温度は下がらず、時間

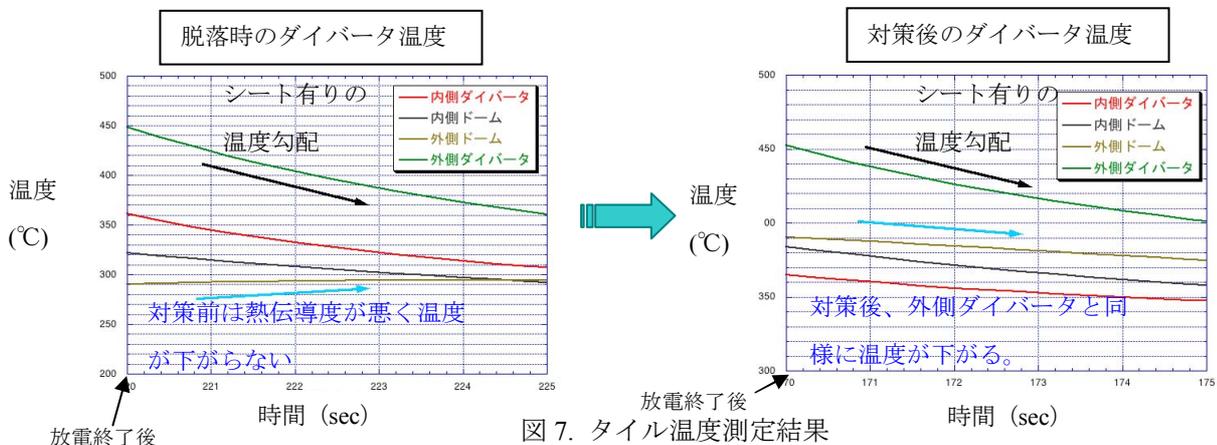


図7. タイル温度測定結果

遅れで下がる傾向にあった。対策後は同じく放電終了後の温度を確認したところ外側ドームタイトルの温度も外側ダイバータタイトルの温度勾配と共に下がってきている傾向が見られたためカーボンシートにより熱伝達が向上したことが分かった。よって、高熱負荷が生じるダイバータ部にカーボンシートを挿入し接触を上げたことは熱負荷保護に有効である。

3.2 今後の課題

熱負荷保護対策後のフェライト鋼タイトル熔融部のタイトルの状態を目視で確認していないが現在の実験放電の結果、フェライト鋼タイトル熔融に関する金属不純物等は確認されていないため熔融は無いと思われる。今後、真空容器内の熱負荷保護対策後のタイトルを目視で観察し、有効性を確認する予定である。

J-PARC リニアック 972MHz 立体回路の大電力試験

○堀利彦^{A)}、山崎正義^{A)}、山口誠哉^{A,B)}、長谷川和男^{A)}、リニアック高周波源グループ^{A)}

^{A)}日本原子力研究開発機構 J-PARC センター 加速器開発ディビジョン

^{B)}高エネルギー加速器研究機構

概要

972MHz 高周波源の立体回路で使用される WR-975 規格の導波管で構成される評価用の 15m 長立体回路及び、J-PARC 用に開発されたサーキュレータの大電力下での位相変動量を測定した。今回の実験で得られたデータから実機立体回路の最大位相変動量は 5.3° と推定され、一方サーキュレータの最大位相変動量は 6° であった。立体回路の数値である 5.3° は、実機の導波管に恒温化対策を行うか否かを判断する重要な値であるが、現有の 324MHz 低電力 RF 制御系の実績から考えて制御可能な位相量であると判断される。以上の検証実験の結果、実機の導波管は空冷で使用することに決定したが、室温変化が直接位相変動に反映されるため、立体回路が敷設される室温の温度管理が非常に重要である。

1 はじめに

現在 J-PARC リニアックの高周波源グループでは、ビームエネルギーの 400MeV 回復に向け高 β 領域 (200MeV 以上) で使用される 972MHz RF 機器の最終仕様を検討中である。その一つに、立体回路を構成する導波管の恒温化対策について決断する必要が生じた。そこで今回、972MHz RF テストスタンド(1)に評価用の 15m 長立体回路を組み立て、空冷導波管の温度ドリフトによって生じる位相変動量を新たに構築した測定系(測定精度: $\pm 1^\circ$) で計測した。この試験終了後、J-PARC 仕様で開発された大電力サーキュレータ(2)(3MW ピーク、4% duty、日本高周波製)の位相特性も計測したので、併せて報告する。

2 大電力試験時の RF 機器構成と位相測定システム

2.1 評価用 15m 長立体回路

972MHz RF 機器の評価試験は、陽子加速器開発棟の地下 2 階に設置されている 972MHz RF テストスタンドで約 6 年前より継続的に行っている。今回の大電力試験を行うにあたり、図 1 に示す新たな立体回路を組み立てた。主な構成機器は上流側から大電力サーキュレータ 1 台(図中の水色)、3 スタブチューナ 1 台、図中の黄色で示した E コーナ、H ベントを含む 10 個の空冷導波管で構成された 15m 長の立体回路及び空洞負荷の代替であるダミーロードである。実機の立体回路長は 30m 程度になる予定である。導波管の温度変化に伴う位相変動量は立体回路長とリニアな関係にあるため、今回は 1/2 スケールでの評価となった。

2.2 位相測定システム

導波管とサーキュレータを測定する際の相違は、基準側/測定側の入力 RF 信号をピックアップする方向性結合器の場所が異なるだけであるため、代表例として導波管測定時を図 1 に示した。今回新たに構築した位相測定システムは RF 信号のレベルを調整、分配するための 5 台の RF コンポーネント、位相差を調整するための可変長同軸管、2 台の測定器、測定器の 2 入力 RF レベルを測定するピークパワーメータなどから構成されている。測定器には 4GHz オシロスコープ (TDS7404 型 Agilent 製) と 972MHz 用位相検出器 (測定精

度 $\pm 1^\circ$ 、日本高周波製)を使用したが、これらの基準/測定側の2入力には15m長立体回路の上流/下流側に設置されている方向性結合器からの順方向RF信号である。2台の測定器を併用することで、位相データを互いに検証しながら実験できるメリットがあり、非常に有用であった。図2には模擬信号と可変長同軸管を用いて、位相検出器電圧の較正を行った時の結果を示す。この図より位相差と電圧値には負の直線性(同軸管長の長い方向が位相のプラス方向)があり、その電圧と位相の換算係数は 18mV° であった。最後にデータ収集系であるが、位相検出器の出力パルス電圧はサンプルホールド回路に入力され、ここでDC化された後、LR8100Eペンレコーダ(YOKOGAWA)へ入力される。この電圧値はGP-IB経由で1秒に1回のサンプルレングレイトで計算機に取り取り込み、時系列データとして保存される。

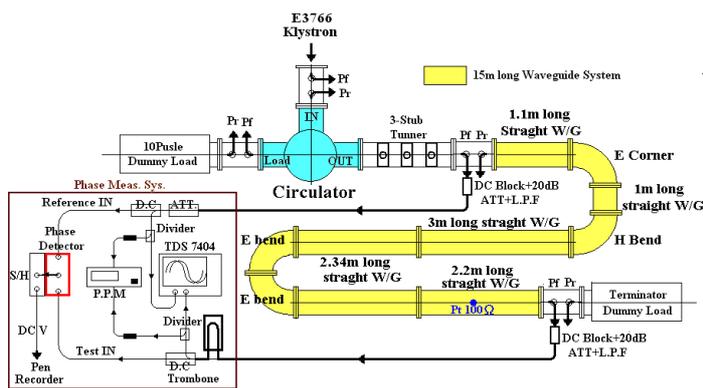


図1. 評価用立体回路並びに位相測定系の機器構成(概略図)

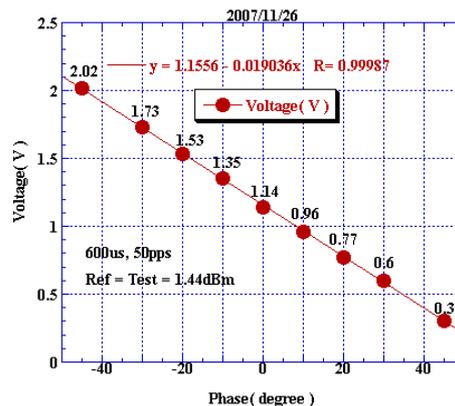


図2. 位相検出器電圧の較正

3 位相測定

3.1 WR975 導波管位相測定の背景と大電力試験時の運転条件

定常運転時における導波管(空冷)温度変化の主原因には 1)室温変動、2)各種のインターロック動作によるRFの停止、がある。2)の場合、RF停止と共に導波管温度は徐々に下がるが、この時間的な差温が位相変動を生じさせ、変動量はRFが再起動されるまでの停止時間に依存する。インターロック原因が解除され再度RFが起動された時、低電力RF制御システム(LLRF)は位相制御を開始する⁽³⁾が、制御量にも上限があるため変動量が多い場合には必要性能を満たすことが出来ない。この対策として、導波管表面に配管を溶接してこれに温調された冷却水を流す導波管の恒温化は、RFの有無に関係なく導波管温度を保持でき非常に有効であるが、冷却水漏れ時の対応などデメリットも多い。以上のことから、RFが再起動した後の位相変動量とLLRFでの制御量との大小が導波管の恒温化を決断する一番の判断材料であるとの見解に基づき、今回の大電力試験を実施した。試験時の972MHzクライストロン(E3766型 TOSHIBA)の運転条件はパルス繰り返し数:50pps, RFパルス幅:600 μ s, ピーク電力:2MW, 平均電力:60kWである。この条件は平均電力で比較すると、当面想定される実機の運転条件:25pps, 600 μ s, 3MW (MAX)の約1.3倍の運転パラメータである。

3.2 15m長立体回路の位相測定

今回の大電力試験で得られた位相検出器電圧(赤)と導波管表面温度(青、代表点として2.2m長導波管、Pt100 Ω 白金抵抗体で計測)との推移を図3に示す。なお、試験中の室温変化は $21\pm 1^\circ\text{C}$ 以内で、意図的にRFを停止する以外、クライストロンは2MWピークの出力で安定に動作した。試験開始時刻の導波管温度は室温状態で、RFON後その温度は徐々に上昇し約2時間で平衡温度に達した。この温度不平衡期間の検出器データ

を図2で得た変換係数で換算したところ位相変動量は 3.5° と算出されたが、この値はオシロスコープで計測された 4.3° と比較して 1° 以内の誤差範囲であった。次に導波管温度と検出器電圧をプロットしたものが図4で、この図から位相変動量と温度変化の換算係数は $0.53^\circ/\text{°C}$ と算出された。この実験値は導波管長($L=15\text{m}$)、導波管材質(Al)の線膨張係数($\beta=23.2\times 10^{-6}/\text{deg.}$)、温度変化($\Delta T=6.5^\circ\text{C}$)から算出される導波管の伸張量と管内波長($\lambda_g=392.98\text{mm}$)との比から求めた計算値： $0.51^\circ/\text{°C}$ と良く合致した。導波管温度が平衡状態に到達した時刻(図3の横軸：2時間時点)での位相検出器電圧は1.418V、導波管温度は 28°C であった。この時刻からRF OFF/ONの時間間隔を300、150、75、30、15、3秒と変え実験を進めたが、RF OFF操作をする前には必ず先述の電圧と温度が再現している(温度平衡状態に回復している)ことに注意した。

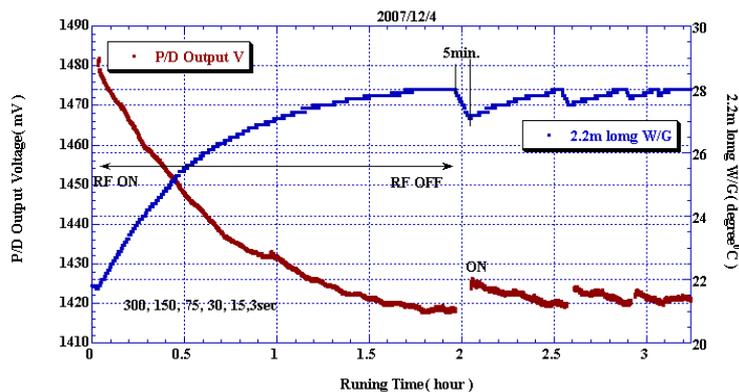


図3. 導波管位相測定時の位相検出器電圧(赤)と導波管温度(青)の推移

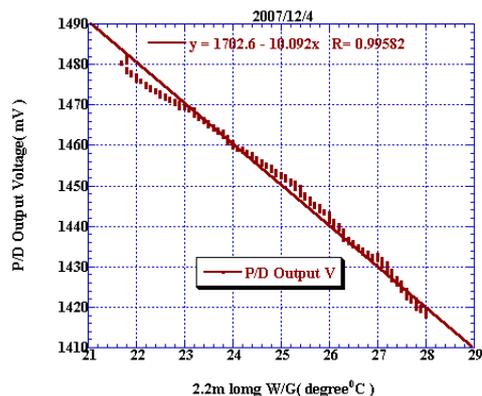


図4. 導波管温度と検出器電圧の関係

3.3 サーキュレータの位相測定

サーキュレータの位相変化は、フェライト温度に依存しているため本来はこの温度との関係を調査しながら実験を行うべきであったが、サーキュレータ内部をモニタする覗き穴が最適な位置に無かったため、今回は位相検出器電圧のみで位相変化を測定した。導波管温度測定時と異なる点は、RF 停止期間を先の6点に加えて7, 11, 452, 600秒の4点を追加したことで、それ以外は同じ測定手順で実験を進めた。

4 実験結果

4.1 15m 長立体回路

時系列データからRF 停止期間毎の電圧差、温度差を求め、RF が再起動された直後の位相変動量を算出したが、今回は測定誤差の少なかった差温データを採用した。図5はその変動量とRF 停止期間との関係を示したもので、90秒より短い停止期間での変動量は 0.1° 以下であり、変化率も90秒以上の場合と比較して非常に小さいと言える。RF 停止期間が5分時の変動量は 0.47° であった。この時の時系列データを解析した結果、RF が再起動した90秒以降の導波管温度は時間の経過と共に28秒/ 0.1°C (一次近似)の割合で徐々に低下することがわかった。

4.2 大電力サーキュレータ

解析の結果得られた代表例として、図6にRF が停止した時刻(横軸：0)の5秒前から1分経過後までの位相変動量の推移をRF 停止期間(4,7,11,15秒)毎に表示したものを示す。なお、この図は時系列の測定データ

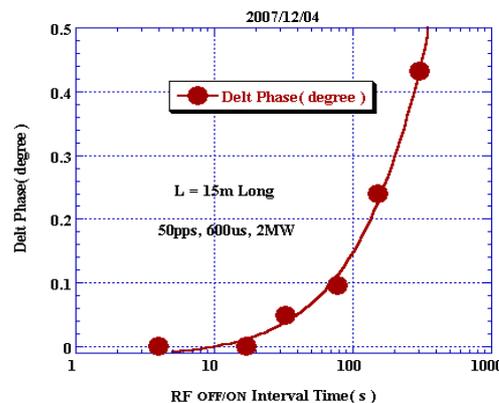


図5. RF 再起動直後の位相変動量とRF 停止時間との関係

から RF 停止の時刻を図 6 の時間軸 : 0 に置き換えるデータの加工を施した。図より RF 再起動直後の位相変動量は 0.9, 1.65, 2.4, 3.41° であり停止期間が長くなると共に大きくなるが、一方その値は時間の経過と共に比較的早い時間で指数関数的に小さくなる傾向が見られる。先の代表的な 4 点に加えて 76, 152, 301, 452, 600 秒、合計 10 点の RF 停止期間と位相変動量との関係を図 7 の Delt Phase(赤)に示した。図から位相変動量は導波管の場合とは逆に 90 秒以内の RF 停止期間では増加するが、90 秒以上停止した場合には最大値の約 6°、一定となる結果が得られた。次に、RF 停止時刻の位相値の 1° 以内にまで変動量が回復する (図 6 中のデータが縦軸の 1° を横切る時刻) 時間をリカバリー時間と定義して、この時間と RF 停止期間との関係を図 7 の Recovery Time に示した。図からリカバリー時間も 90 秒を境に同様の傾向にあり、90 秒以上 RF が停止した場合のリカバリー時間は最大値の約 26 秒、一定となる結果も得られた。

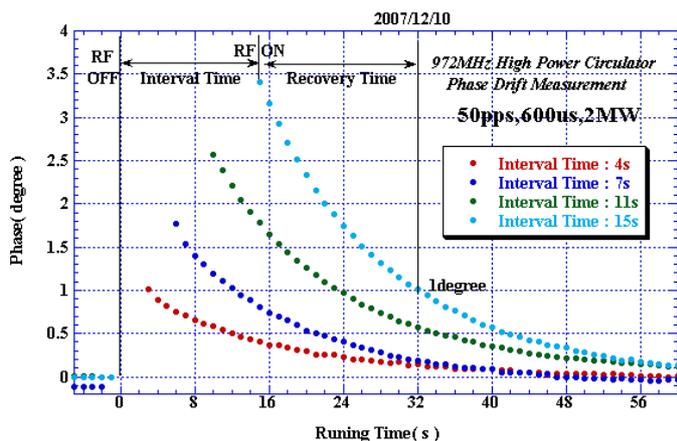


図 6. RF 停止期間(4, 7, 11, 15 秒)別の位相変動量の推移

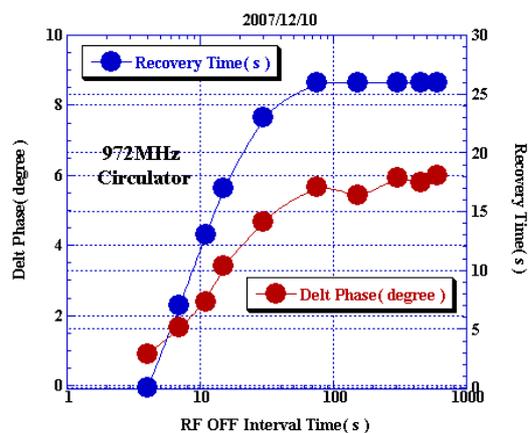


図 7. 位相変動量とリカバリー時間の RF 停止期間との関係

5 考察とまとめ

今回の大電力試験(平均電力 : 60kW)の結果、評価用立体回路と新規サーキュレータの 5 秒と 5 分の RF 停止期間における位相変動量は各々 0/0.47°, 1.2°/6° であり、導波管温度が室温状態から飽和温度まで変化した時の位相変動量は 3.5°、温度上昇は 6.5°C であった。今回の導波管測定で得たデータを元に、実機での導波管長(L=30m)、当面の運転条件(25pps, 600 μs, 3MW, 平均電力:45kW)、一番条件の厳しい導波管温度が室温まで低下した場合の位相変動量を算出したところ、5.3° であった。この数値は現有の 324MHz 低電力 RF 制御系の実績から考えて制御可能な位相量であると判断し、導波管の恒温化対策は行わないと結論づけた。しかし、この数値は立体回路が敷設される室温の温度変動を考慮していない場合のデータであり、導波管を空冷で使用する場合、室温変化が直接位相変動に反映されるため (同様のスケールで位相/導波管温度の係数を算出すると 0.72°/°C)、室温の温度管理は非常に重要であると言える。

参考文献

- [1] K.Suganuma, et al., “J-PARC リニアック用 972MHz サーキュレータの開発 (1)”, Proceedings of the 1st Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, August 4-6, 2004, Funabashi, p275-277
- [2] T.Hori, et al., “972MHz RF テストスタンドの活動状況 2007”, Proceedings of the 4th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, August 1-3, 2007, Wako Japan, p425-427
- [3] Z.Fang, et al., “RF Feed Back System of the J-PARC LINAC”, Proceedings of the 4th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, August 1-3, 2007, Wako Japan, p507-509

JT-60U ECH 装置出力変調技術の開発

○寺門正之、下野貢、澤島正之、五十嵐浩一、佐藤文明、

和田健次、小林貴之、森山伸一、藤井常幸

日本原子力研究開発機構 核融合研究開発部門

概要

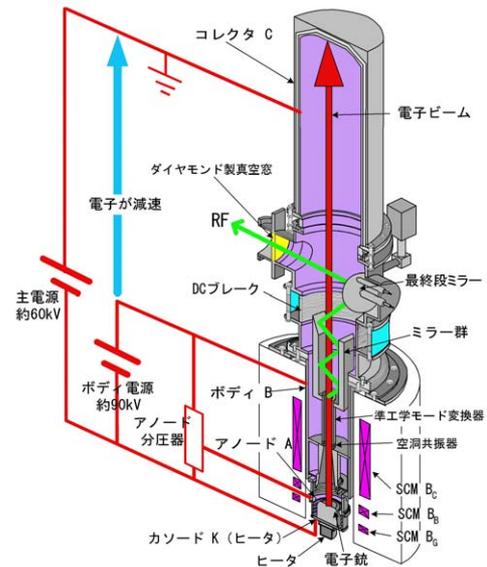
炉心プラズマの研究開発を行っている JT-60U では、電子サイクロトロン加熱 (ECH) 装置を使用した高周波出力変調運転を行っている。その方法は、高周波源であるジャイロトロンのアノード電圧を制御することによりジャイロトロンの主電源である特高電力を遮断することなく出力を変調させるもので、変調周波数が 12.2Hz~500Hz において変調度 (パワー) は約 80% である。しかし、今後予定されている JT-60 Super Advanced (JT-60SA) 計画において、電磁流体力学 (MHD) 的不安定性である新古典的テアリングモード (NTM) を抑制するための手法として、その周波数に合わせて変調入射する必要性が生ずる。そこで、ジャイロトロンの高周波出力を数 kHz 程度に変調する技術の検証を行った結果、周波数 3.5kHz で変調度が 84% の発振変調に成功した。実用レベルのパルス幅としては、3.0kHz (400msec) までの発振変調が可能である。以下に、JT-60U ECH 装置の出力変調技術と試験結果について報告する。

1 JT-60U ECH 装置

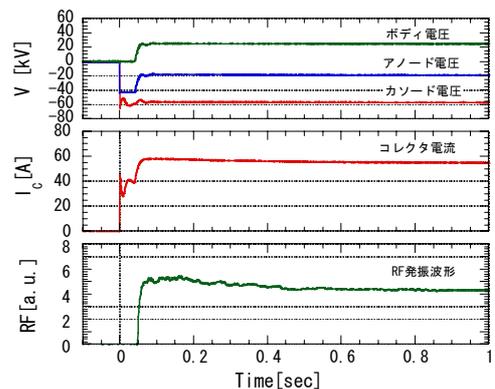
1.1 110GHz 用ジャイロトロン

ジャイロトロンは電子管の一種で、ミリ波帯の電磁波 (RF) を発振することが出来る。第 1 図に、ジャイロトロン構造と電源給電図を示す。ジャイロトロン発振には、カソード電極から電子ビームを安定に引き出すことが重要であり、通常はコレクタ電極とカソード電極 (C-K) 間に約 90kV の高電圧で約 60A の大電流 (コレクタ電流 I_c) を安定に供給する必要がある。しかし、JT-60U のジャイロトロンはボディ電極とカソード電極 (B-K) 間に約 90kV で 1A 以下の電力を加えることで、C-K 間に加える電圧を約 60kV と通常より 30% 以上小さくすることができる。また、それによりコレクタ電極とボディ電極 (C-B) 間で電子ビームの減速されたエネルギーが回収され、より高効率の運転が可能となる。さらに、C-K 間に加えるメインの電圧変動がある程度大きくても、B-K 間に加える電圧の変動を小さくすることで電子ビームを安定に引き出すことが出来る。

第 2 図に、ジャイロトロン発振開始から 1 秒間の発振波形を示す。初めに、主電源で C-K 間に電圧を加えてコレクタ電流が 30A~40A まで引き出される。次に、B-K 間に加速電圧を加えることでコレクタ電流が 60A 近くまで引き上げられ RF が発



第 1 図 ジャイロトロン構造と電源給電図



第 2 図 発振開始から 1 秒間の発振波形

振する。この時、カソード電圧は大きく振動しているが、加速電源が立ち上がったからの B-K 間の電圧は安定しているため、発振に影響はない。

1.2 アノード変調の原理

JT-60U の ECH 装置では、アノード電極の電圧（アノード電圧）を変調することにより電子ビームを引き出したまま発振を変調する方法を採用している。この方法は、高電圧で大電流の主電源の入り切りを高速で繰り返す方法に比べて、高コストのスイッチを要しない。

ジャイロトロンは、アノード電圧が発振条件から外れると発振が停止してしまう。アノード変調運転では、この特性を利用してアノード電圧を変化させて意図的に発振条件から外すことで、ジャイロトロンの出力を変調している。アノード電極へは、B-K 間に接続されているボディ電源（BPS）と並列に接続されたアノード分圧器で分圧して給電している。

ジャイロトロンには、調整するパラメータとして、BPS 電圧、アノード分圧器電圧、ヒータ電流、超伝導磁石（SCM）キャビティコイル（ B_C ）電流、SCM バッキングコイル（ B_B ）電流、SCM ガンコイル（ B_G ）電流がある。BPS 電圧とアノード分圧器電圧を設定することで A-K 間の電圧（ V_{A-K} ）と A-B 間の電圧（ V_{A-B} ）が設定され、さらに、ヒータ電流を設定することで電子ビームの電流（ I_C ）が決定される。次に、SCM B_C 、SCM B_B 、SCM B_G の電流値を調整することで磁場強度が変化し、最適な発振条件とすることが出来る。

通常の運転では、ジャイロトロンの出力が 1MW 程度となるように調整されているが、発振変調運転では若干出力を下げた調整としている。これは、ジャイロトロンが発振停止から回復するときに V_{A-K} を通常より若干大きくなるように BPS 電圧とアノード分圧器電圧を調整する必要があり、また SCM の設定も発振時は発振しやすく、発振停止時は発振停止しやすい設定としなければならない、より細密な調整が必要となるために、安定に発振させるためにはどうしても出力を下げる必要がある。

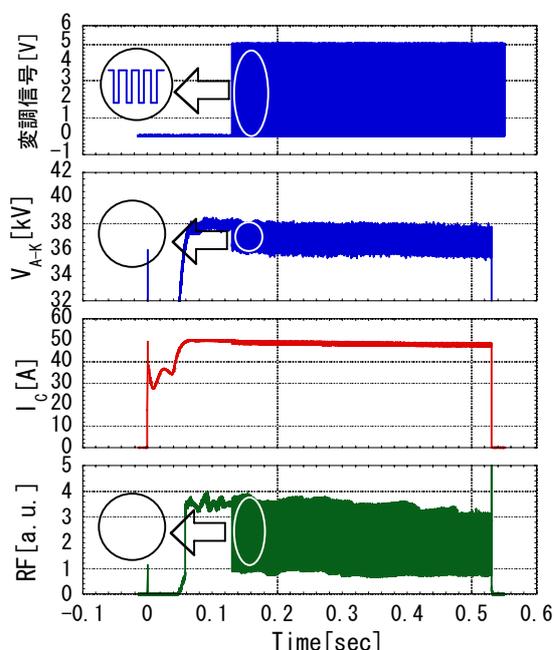
2 出力変調試験

2.1 変調調整

変調調整を行うにあたり、変調周波数を高くするために、変調周波数に同期してアノード電圧が変化する時の充放電電流を少なくする対策を行った。内容は、アノード分圧器のコンデンサ容量の変更と、特高同軸ケーブルのリターン部とシース部の抵抗器の変更である。

発振変調運転においては、RF のオン／オフの時間を 50%ずつとするには変調信号のデューティサイクルを調整する必要がある。これは、アノード分圧器分圧基板の OFF から ON になる時と、ON から OFF になる時の動作速度に違いがあるためである。

変調信号のデューティを 70～80%とし、ヒータ電流、BPS 電圧、SCM 各電流を調整し、アノード分圧器電圧を 2.6kV 程度変化させた。また、パルスの立ち上りは発振が安定していないため、主電源を加えてから 130msec 程度遅らせて変調を開始することにより 1.6kHz/300msec、2.0kHz/500msec、2.5kHz/400msec、3.0kHz/400msec の発振調整に成功した。また、変調幅が 60msec と短いながら、3.5kHz の発振調整にも成功した。



第3図 3.0kHz 変調時の波形

第3図に、周波数 3.0kHz で変調した時の波形を、第4図にその時の拡大波形を示す。第4図に示すように、発振幅にはバラつきがあるものの、パルス前半とパルス後半での発振幅に違いがある。パルスの後半はパルスの前半に比べて I_c が低いため発振条件が狭くなりその分発振幅も狭くなるが、周波数が高くなると変調の幅 (RF の幅) が短くなるため、パルスの立ち上りと立ち下がりに要する時間が同じでも、周波数の高い方が発振停止時間のパルス全体に占める割合が多くなる。さらに、周波数が高くなると発振時間帯に発振させ、発振停止時間帯に発振を停止させる調整がより難しくなり、より精密な調整が要求される。また、周波数が高くなると発振時間と発振停止時間の幅を同じとなるように変調信号のデューティを高くしても、分圧基板の動作速度の限界となる。現状の分圧基板では、3.5kHz 以上の周波数での発振変調は難しい。

2.2 変調度

変調前の出力 (P_1) と変調によって低下した出力 (P_2) の比を変調度 m_p ($m_p=P_2/P_1$) で表すことが出来る。理想的には変調度が 1 となるように発振変調運転をすることが望ましいが、アノード制御による発振変調では難しい。

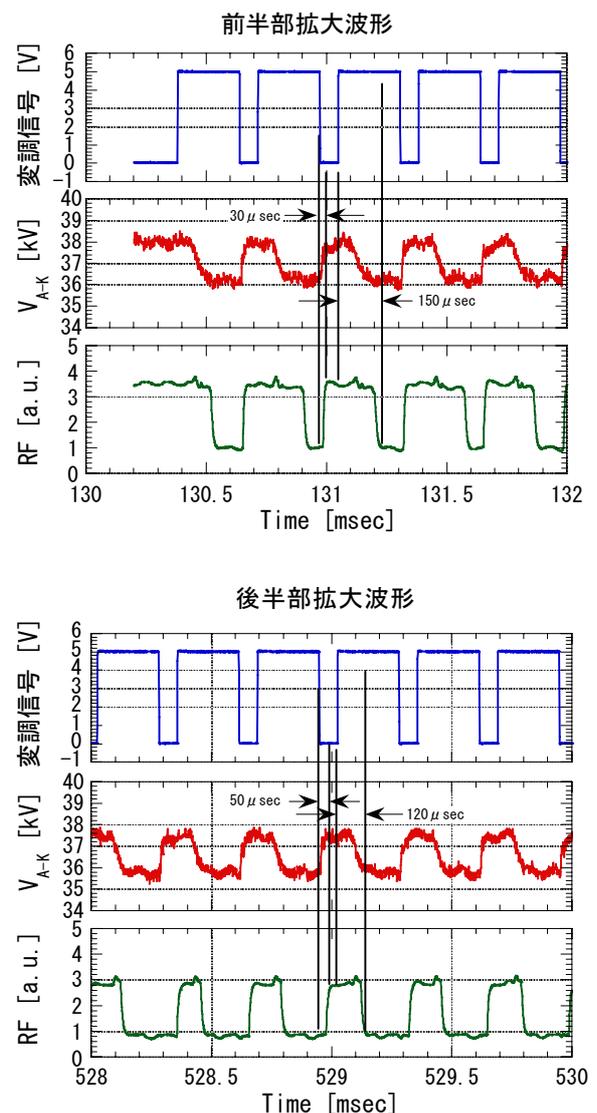
高周波出力は、JT-60U 真空容器のポートに設置されたダイヤモンド製真空窓の温度上昇により推定することが出来る。しかし、変調周波数が高くなると、パルス前半と後半でデューティが変化してしまう。また、ある程度のパルス幅がなければ温度上昇が小さく、正確な測定が難しい。

そこで、変調していない時の設定と、変調によって出力が低下した時の設定の2つの設定において、短パルスダミーロードを使用してパワー測定を行い、その割合から変調度を求めることとした。短パルスダミーロードは 1MW の RF を 200msec まで入射することが可能で、入射された RF は内部で散乱を繰り返し全て熱として吸収され、冷却水にて除熱される構造となっている。そのため、冷却水の温度上昇から吸収された電力を計算することが出来る。その出力から、伝送損失を引いた値がジャイロトロン出力となる。

測定の結果は、変調していない時の出力は約 800kW であったのに対し、変調によって低下した出力は約 127kW であった。よって、変調度は約 84%となる。

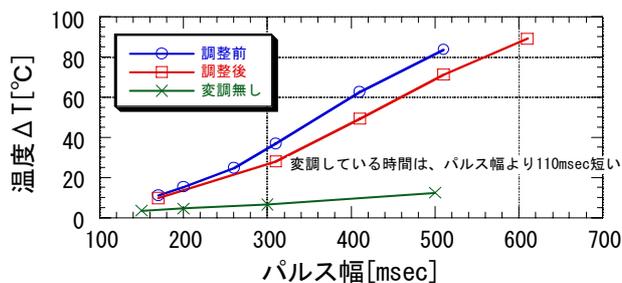
2.3 放射器の温度上昇

パルス伸長の制限になっているものの一つに、ジャイロトロン内の放射器 (準光学モード変換器) の温度上昇がある。放射器の温度上昇の原因の一つは、ジャイロトロン内の寄生発振である。これは、空洞での主モード発振効率が低下すると、放射器を通過する電子ビームの質 (エネルギー、分散) が良いままであるため、円筒形に近い形状の放射器入口付近で寄生発振し温度が上昇するものである。温度が上昇したままで放置すると、最悪の場合放射器の変形や破損につながる恐れがあるため、目安として温度の上昇が 120°C を越えない範囲で運転している。



第4図 3.0kHz 変調時の拡大波形

発振変調運転は、設定を故意に発振条件からずらして発振を停止させているため、通常の運転よりかなり放射器の温度上昇が大きい。だが、最適な発振調整を行うことによりある程度は温度上昇を抑えることが出来る。第5図は、変調運転をしていない時と2.0kHzで発振変調運転した時の放射器の温度上昇である。図に示すように、パルス幅500msecにおいて、変調運転をしていない時の温度上昇が約12°Cである



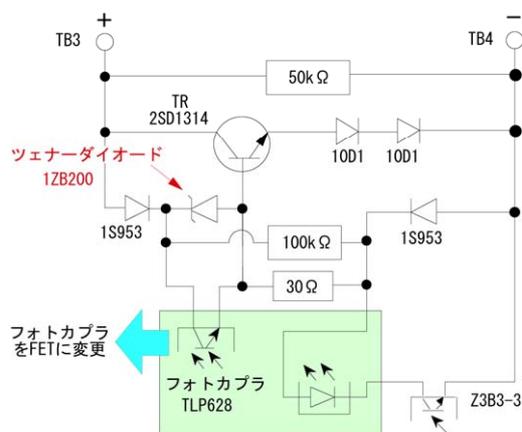
第5図 変調の有無による放射器出口部温度上昇の比較

のに対し、変調運転（変調幅390msec）時は約80°Cであった。その後、精密な発振調整を行うことにより同じ変調幅での温度上昇を約70°Cと、10°C以上抑えることが出来た。しかし、発振幅が610msec（変調幅500msec）での温度上昇は約90°Cでまだ上昇傾向にあるため、これ以上伸長する場合は注意が必要である。ただし、現在では放射器の構造を改良することで、ある程度温度上昇を抑えることが出来ることが分かっている。

3 今後の課題

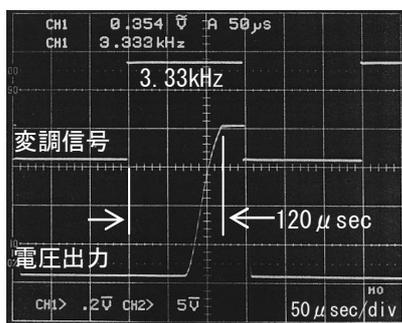
3.1 分圧基板の動作速度

既存の回路構成のままでは、変調周波数は3.5kHzが限界である。その原因の一つは分圧基板の動作速度である。分圧基板の回路を第6図に示す。また、第7図は、3.33kHzの変調信号により分圧基板の電圧が変化している動作波形である。変調信号が変化してから分圧基板の出力電圧が変化するまでの時間差は120μsec程度であり、周波数の高い変調を行う上での制限となる。つまり、変調信号のデューティが50%とすると、周波数を4.16kHzより高い変調は出来ないことになる。計算上はデューティの調整で多少は高くすることも可能であるが、実動作では限界がある。この動作速度は、第6図に示すツェナーダイオードをショートする為に用いる素子（フォトカプラ）の動作速度に依存している可能性が高いので、周波数を高くするためには動作速度の速い部品の選定が必要である。

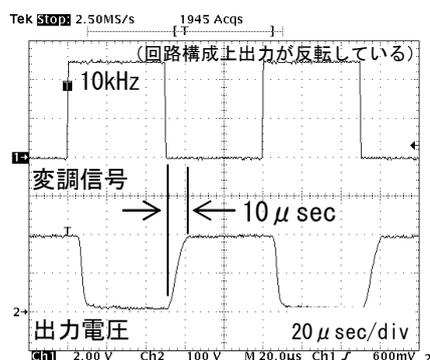


第6図 分圧基板回路図

そこで、新たにFETを使用した分圧基板を試作した。第8図に示すように基板単体での動作試験においては、10kHz以上の変調が可能である。今後、この基板を利用して変調試験を行う予定である。



第7図 改良前の分圧基板動作波



第8図 FETを用いた分圧基板動作波形

4 まとめ

電源回路の定数変更や精密な調整により、周波数3.0kHzでパルス幅400msecのジャイロトロン出力変調に成功した。パルス幅を制限しているのは、ジャイロトロン内部の放射器の温度上昇であるが、計画されている放射器の改造により改善される見通しである。一方、周波数を制限しているのはアノード分圧回路のフォトカプラであると考え、FETを用いた新型の分圧基板を試作して回路単体での10kHz動作を確認した。

LHD における ECH 入射アンテナの改造

○伊藤哲、小林策治、水野嘉識、多喜田泰幸、岡田光司、

久保伸、下妻隆、吉村泰夫、伊神弘恵

核融合科学研究所

1 LHD-ECH

核融合科学研究所ではプラズマ放電装置 LHD(Large Helical device)によりプラズマ実験を行っている。高性能のプラズマを生成するにはプラズマを高温に加熱する必要があり LHD では三種の加熱装置を用いている。そのうちプラズマ中の電子を電磁波により選択的に加熱するものが ECH(Electron Cyclotron Heating)とよばれるもので、9 台の発振器を用いて 2MW 以上のパワーを LHD に入射できる。この発振器（ジャイロトロンという）から LHD までの経路図を図 1 に示す。図中右側にそれぞれ発振周波数と出力が異なるジャイロトロンが設置してあり左側の LHD まで直線部のコルゲート導波管と進行方向を変えられるマイターバンドを用い約 80~120m の距離でマイクロ波を伝送している。ジャイロトロンは、77GHz,82.7GHz,84GHz,168GHz の 4 種類の周波数に分かれており、それぞれ、パルス運転時には 1MW,0.5MW,0.8MW,0.5MW の出力が可能である。ジャイロトロンから出たマイクロ波は光学整合ミラーボックスで進行軸垂直方向にガウシアン分布をもつ形状に変換され、伝送ロスを減らすために内面周方向に矩形溝を切っている円形コルゲート導波管を通して LHD まで送られる。その間、パワーの正常伝送を監視するためのモニターや電界の異常集中によるアーキングを即座に発見し運転を停止するためのアークセンサー、およびプラズマに効率よくマイクロ波を結合させるためその偏波方向を変えられる偏波器、出力を測定するためのダミーロード（水負荷）などで構成されている。最終的にマイクロ波は LHD の上下及び側面に設置されている入射アンテナシステムを経てプラズマに吸収される。なお、各伝送路とも電力密度が高く、特に高出力や定常用のジャイロトロンの系統においてはアーキング防止のため数台のターボポンプを用いた真空排気伝送路システムになっている。

今回はこの ECH 入射アンテナシステムの 1 つである側面入射に用いるアンテナの改造を行った。

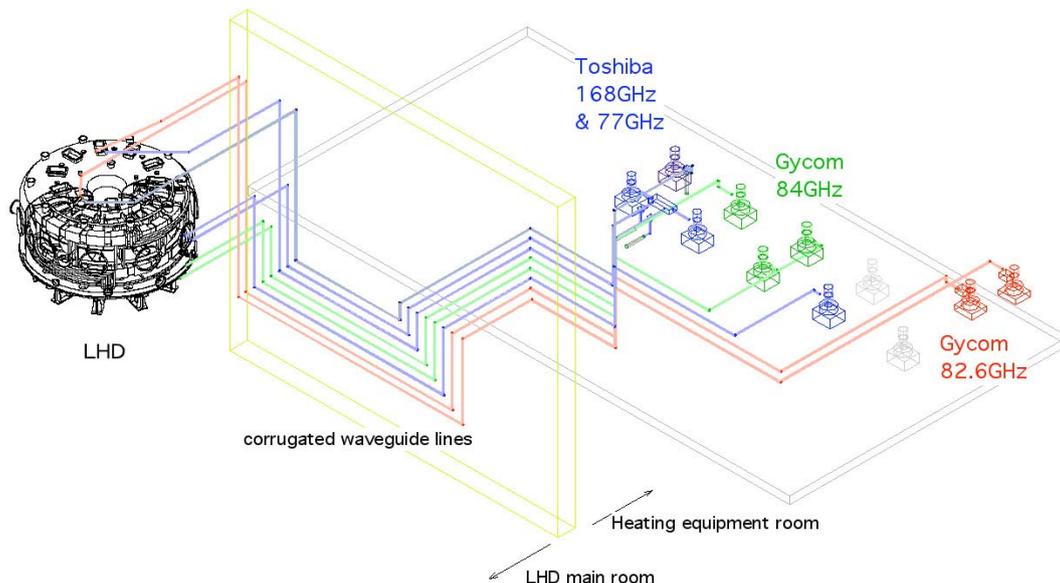


図 1. LHD-ECH システム

2 入射アンテナの改造

ECH 用入射アンテナは前述の通り高出力のマイクロ波（波長数ミリ）を準光学的に伝送しプラズマに結合させるため、ミラーシステムを採用している。これは円形断面形状の導波管により伝送されてきたマイクロ波がその短波長的な性質により光学的な振る舞いを示すためミラーの入反射によってその進行方向を変えることができ、このミラーを複数枚用いることで LHD 真空容器内のプラズマの特定部をねらって加熱することができるものである。今回改造したものは LHD 側面入射ポートに設置してあるもので2枚組で用い、1枚は自由伝搬中では進行距離に応じてパワー分布領域が広がってしまう性質を抑えるための収束鏡と、もう1枚は前述のプラズマの特定部を狙うための平面可動鏡である。通常収束鏡はその性質上固定されており、可動鏡は平面ミラーを用いミラー中心の不動点を中心に上下左右に傾斜できる。この場合は±15度の範囲を持つ。LHD 真空容器内に設置された可動鏡を駆動するためには通常外部（大気中）よりモーターを使って行う。これはプラズマやマイクロ波などの高エネルギー粒子が飛び交う真空容器内にこれらの影響を無視して高精度が要求されるモーターを設置するのは信頼性に劣るためである。なお、我々ECHグループではLHD定常磁場の影響を避けるため超音波モーターを使用している。

この外部モーターと内部のミラーをつないで駆動させているのが動力伝達部で、今回の改造範囲である。今まではモーター軸からステンレス製ワイヤーを伸ばし、反対側におもりをつないでモーターの動き（回転を直進軸方向の動きに変換）によりその中間点につないだミラーを駆動させていた。ところが前述のプラズマの影響かこのワイヤーがしばしば（2～3回）切れてしまうことがあった。設置位置はプラズマより十分離れているのだが、危険部位と思われる所を覆っても別の部位で切れてしまい根本的な解決にはならず、しかも一度切れてしまうと全く駆動できなくなり実験に影響を及ぼすため、思い切ってワイヤーをアルミ製のリンク機構に変えることとした。図2右写真が改造後の駆動系を含むアンテナである。

設計方針としては、2つの実験サイクルの間（半年程度）に設計製作からテストと設置まで行うため大規模な改造は難しく、既存のミラー及びモーターは変えず駆動機構のみを変えるものとする。この駆動部はLHD容器内に持ち込みが制限されておらず加工のしやすいアルミニウム合金と、軸と軸受けのかじりをなくするため軸側のアルミの表面に硬度コーティングを施したものとステンレス材（SUS316）を使うこととする。動力伝達には基本的にリンク機構を用いモーターのトルクに耐えられる機構や、ミラーの回転方向とあおり方向を同時に駆動させても軸の振れや追従が起こらないようにすることが必要である。もちろん現状のミラー駆動範囲を維持したままとする。なお、ワイヤー駆動に用いていたおもりは駆動時のバックラッシュによる誤差をなくするためそのまま設置することにした。この機構の概念図を図2左図に示す。

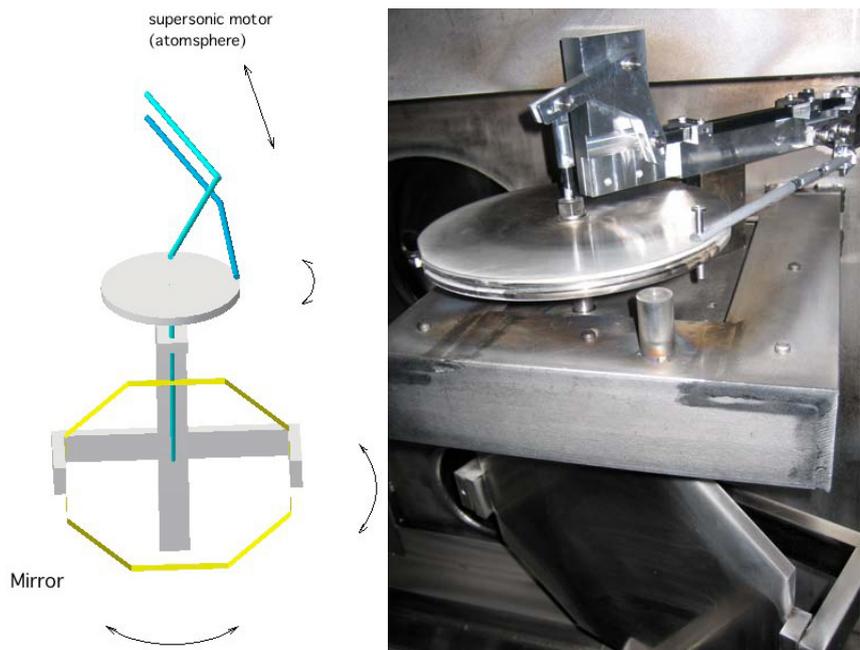


図2. 改造後 LHD に設置された駆動ミラー（右）とその機構図（左）

3 製作、テスト

LHD 真空容器内に取り付けてあるものをそのまま利用するため、取り外してテストする時間は限られている。先行して駆動部品を発注しておき、それぞれのはめあいや真空特性を調べておいた。最終的に設置される LHD 真空管理の目的から真空中で多量のガスを放出する材質は使用が禁止されており、技術部装置技術課や部品を発注した製作技術課と綿密な打合せの結果、使用候補となる数種のアلمコーティング剤の真空特性を調べておく必要があったからである。なおアルマイトコーティング材はガス放出量が多いので使用を控えた。その後アンテナを取り外してすぐに大気で組み立て駆動試験を行った。

外部（大気中）でのテストでもなるべく実機と同様の環境で行うべきだが、モーターなどは価格が高く、しかもしばらく使う予定のない予備品としてしか置いておけないので、少し安価で使い回しがきき実機と同様のトルクを持ったステッピングモーターを使うこととした。なおこれは真空中でも強磁場付近でも使用できない。このモーターを遠隔で操作し、付属のプログラム言語でテストシーケンスを作成した。実際の駆動速度と駆動量、精度を確認し、実際にレーザーをミラーに当てながらその軌跡が狙った仮想 LHD プラズマ中を移動しているかを方眼紙とメジャーで計測しながら行った。実機の駆動は多いときで1日あたり数10回の移動があるが1日の実験時間で平均して5～6回程度なので100～200回の試験をすれば1サイクルの実験あたりで十分である。これより20回程度の繰り返しを1日続けるという試験を1週間程度行い、健全性を確認した。一部機構部のバックラッシュの影響か再現性が悪いため、モーター制御で修正することとした。これは、ある方向から同じ方向に向かうのは問題ないが逆方向に向かうときにはバックラッシュの影響を受けて指令値よりも少ない動きをする。これをなくすためにおもりをつけて常にミラーが機構部に押しつけられてバックラッシュをなくす状態をつくったのだが、それでもうまくいかないのでプログラムを改造して、逆方向に向かうときには指令値（座標）を通り越してから再び逆転し指令値座標に戻るよう制御系を変更することとした。これにより再現性良く駆動するようになった。

はめあい部を駆動する際、通常は潤滑を保つためグリスなどを使うのだが LHD 真空容器内では認可されておらず、今回は金属同士とコーティング面での摩擦のみを考えれば良く他の影響はそれほど重要ではない。むしろ大気と真空の切れ目での正確な動力の伝達が重要となる。実機は LHD に直接設置されており、モーターを含めたその駆動系も同じ座標系に設置されているため、LHD 用超伝導マグネットの冷やし込みや放電容器の真空引きによって生ずるずれはほとんど考慮する必要がない。また大気圧による駆動トルクの影響もないように設計されている。よって真空状態での試験でも大気と同様に駆動軸のみ考慮すれば良く、あえて言えば外部要因のない（手の触れないような）状態での動作確認である。ミラーと駆動機構が全て入る大型の真空容器を用意し駆動軸を大気と真空の取り合いとし、軸を2つの O-ring で止めターボポンプで約 1×10^2 Pa の真空状態でテストした。この真空容器の側面には観測用に3つの ICF70 のポートがあり、その1つからアクリル製の窓を通してレーザーを入射しミラー中心に当てて、容器上部の ICF203 と ICF253 のアクリル窓から容器内壁のレーザー軌跡を確認した。残念ながらミラー設置と窓の関係が悪く外へレーザーを出すことができず、大気のような確認方法がとれなかったが、こちらでも繰り返し試験の結果ビームの再現性は十分確認できた。この試験風景を右図3に示す。図中央部にステンレス真空容器があり向かって右側にレーザー、左にモーターがある。



図3. 真空試験風景

4 設置、稼働

真空駆動試験終了後、LHD 真空容器内に取り付けを完了した。超音波モーターとの接続後、試運転を兼ねてレーザーを使って LHD 真空容器内で実際の入射位置に光跡が向かっているかを設置したスクリーン上で確認した。スケジュールが詰まっていたので実機での十分な駆動テストはできなかったが、大気中ではあるが無事問題なく動作確認できた。

この後 LHD も真空中に引かれプラズマ実験が開始された。実際に遠隔操作してみると特に問題なく動作しているようだが、このアンテナは実験要請による運転回数が少なく、また真空中もあって正確に動作しているかを確認するのは難しい。プラズマ実験においてマイクロ波入射に対する反応がよく見えるプラズマの電子温度上昇などを参照することができるのだが諸事情（実験条件予定など）ありはっきりしたデータは出ていない。

5 まとめと今後

改造前に LHD 真空容器中で原因不明で何回か切断されていたミラー駆動機構のワイヤーを信頼性の高いリンク方式に変更し、組み立て、試験を通して実機に取り付けることができた。現在はとりあえず順調に動いているようだが、実際の駆動を見る方法がないので今後は観測窓から熱画像データを見るなど実験系と相談しながら進めたい。

また、将来的にはマイクロ波入射の定常運転が予定されており、この高パワーのマイクロ波による熱吸収により真空中で冷却（水）のない状態では1分程度でミラー表面が 100℃を超える。さらにこれを次のショットまでに問題ないような温度まで冷却するには相当な時間を要する。そのためミラー自体に冷却機構を追加する必要がある。これを有限要素法を使って冷却水流量に対するミラーの温度上昇をシミュレートした。ミラー表面に 300kW 出力定常運転時のガウシアン分布の熱流束を与え、厚み方向には下から上に向かって中心を通過して内径 10mm の冷却水（1.5m/s）パイプでの冷却を仮定する。この計算により冷却水出口水温は約 65℃に抑えられている。また同時に熱応力によるミラーの変形量も計算した。歪み量の最大値は端部で 0.4mm、中央部では 0.04mm 程であり、入射方向の変化には影響がない範囲である。これをもとに十分な冷却能力を持つ構造を設計し、冷却配管による駆動トルクの負荷が増えるのであればモーターを含めた駆動機構の改造を今後行う予定である。

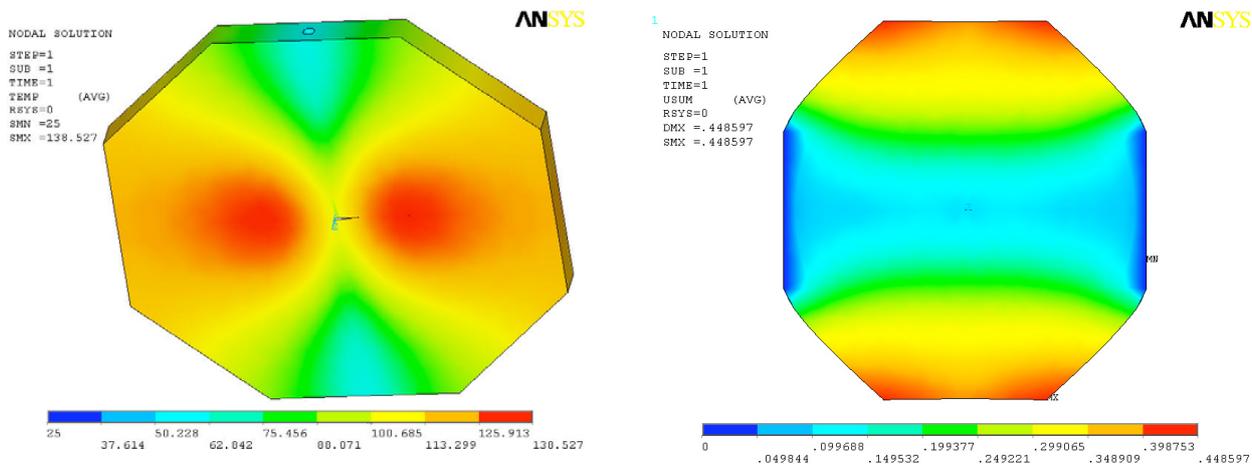


図 4. (左) 定常運転時でのミラー上発熱分布。

(右) 定常運転時での熱歪み分布

JT-60U LHRF 加熱装置におけるアンテナ先端部の補修と監視装置の改良

○佐藤文明、鈴木貞明、長谷川浩一、横倉賢治、平内慎一、鈴木高志、小林貴之、

関正美、森山伸一、藤井常幸

日本原子力研究開発機構 核融合研究開発部門

はじめに

JT-60U 低域混成波 (LHRF) 加熱装置においてアンテナは、高周波放電や高温プラズマからの熱によってアンテナ先端部が一部溶融し、高周波入射性能の劣化が問題となっていた。高周波を効率良く入射するためにはアンテナを健全な状態に保つ事が重要であり、先端部の導波管形状を修正し、金属面を平滑にする補修を行った。また、以前から赤外線カメラを使用したアンテナ監視装置によって、アンテナ先端部の温度上昇を測定、監視していたが、視野と画像解像度が十分でなく、また、経年劣化による動作不良が著しくなってきたため更新、改良を行った。

本研究では、入射パワーの増大、入射効率の改善を目的として実施したアンテナの補修及び監視装置の改良について報告する。

低域混成波 (LHRF) 加熱装置の概要

JT-60U 低域混成波 (LHRF) 加熱装置の構成を図 1 に示す。LHRF 加熱装置は主な設備として、励振増幅系、大電力増幅系、伝送系及びアンテナから構成されている。励振増幅系では、標準信号発生器から出力された 2GHz 帯、数 mW の高周波をアンプで数 W に増幅し、大電力増幅系では、進行波管 (TWT) で~50W まで増幅し、LHRF 装置の心臓部であるクライストロンで単管あたり最大 1MW まで増幅する。この増幅した高周波電力を約 100m の伝送系導波管にて伝送し、多分岐型アンテナから JT-60U 真空容器内のプラズマへ入射する装置である。

<基本仕様>

周波数 : 1.74~2.23GHz

発振出力 : ~1MW (単管あたり)

発振幅 : 10 秒

クライストロン数 : 8 本

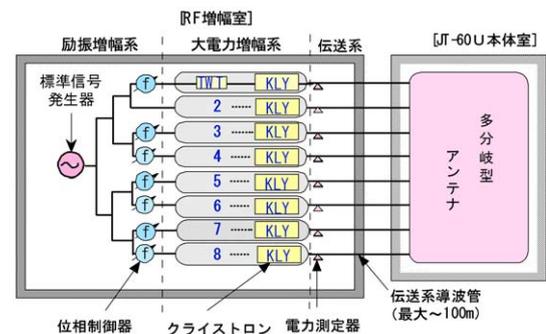


図 1. LHRF 加熱装置構成図

1 LHRF アンテナ

アンテナとは、大電力高周波をプラズマへ入射する装置であり、4 列 4 行の合計 16 本の導波管からなる。図 2 にアンテナの外観図を示す。導波管の材質はステンレスであり、高周波損失を低減するために高周波が通過する内表面には銅メッキを施している。高周波電力は大気と真空を分ける真空窓を通り標準導波管に伝送される。そしてオーバーサイズテーパー管を通り 12 分岐モジュールを経てプラズマへ入射される。また、アンテナの取合いにペローズを使うことにより、前後方向の移動を可能とし、アンテナ先端とプラズマとの距離を調整できるようにしている。

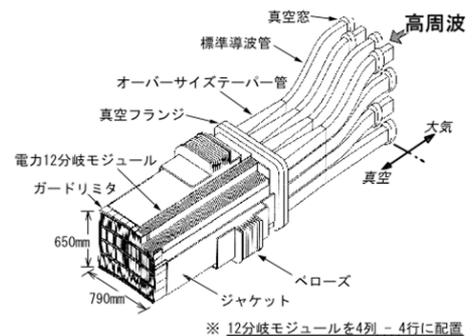


図 2. LHRF アンテナ外観図

2 LHRF アンテナ先端部損傷状況

アンテナ先端部を図 3 に示す。先端部は、各列ごとに 11 枚の仕切板で分割されている。アンテナは、高周波放電や高温プラズマからの熱にさらされるため、その使用環境は極めて厳しいといえる。特に先端部の一部溶融などが原因とみられる入射パワーの減少、入射効率の低下などの性能劣化が問題となっている。高周波を効率良く入射するためにはアンテナを健全な状態に保つ事が重要であり、導波管形状を修正し、金属面を平滑にする補修が必要となる。各年度の定期点検時には実際、アンテナ先端部にはかなりの損傷が見られている。今回補修を行ったのは、他の列に比べ損傷の大きい 2、6、7 列である。また、8 列は以前の実験（平成 15 年～16 年）での損傷が激しく、今回は補修を見送ることとした。2 列では、仕切板 2 枚の表面が溶融し、その他数枚の仕切板で角部が溶けるなどの小さな溶融が確認されていた。6 列では、仕切板 3 枚で深さ 1mm 程度の溶融が確認された。その他数枚で、両隅にうっすらとした溶融が確認された。7 列では、平成 16 年の実験で全ての仕切板が長さ 30mm、深さ 20mm 程度えぐれ、溶融していた。

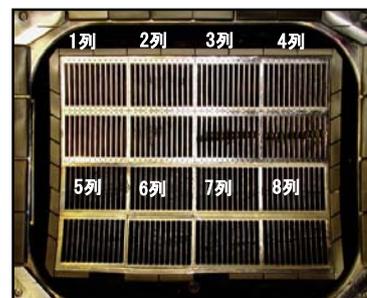


図 3. アンテナ先端部（補修前）

3 LHRF アンテナ先端部の補修方法と補修後の状況

アンテナ先端部の補修には特殊な方法を用いる必要がある（図 4-1 参照）。まず、フレーム、仕切板（厚み 2.5mm）部分において溶融した部分を研削し、突起やバリの部分をハンドグラインダー等を用いて滑らかにする。その後、SUS 製のあて板を使い溶接を行った後、仕上げを行い平滑にする。研削時に仕切板の板厚より削らないように注意し、また溶接時の仕切板の熱変形を防ぐ必要がある。溶接を行う際には仕切板の間隔が狭い（約 10mm）ため特殊な先細のトーチを使用し、さらに仕切板の間に銅板を挟む手法を用いる（図 4-2 参照）。銅板は、溶接時の仕切板の変形防止や徐熱の役割を担っている。仕切板で滑らかな変形が確認された場合は、特殊な間隔調整用の工具を挟み、微調整することによって、より均等な仕上げを行った。

本補修は、JT-60U 真空容器内で行われる。真空容器内は作業空間が狭く、補修を行える人数は制限されてしまう。さらに溶接や研削時の塵などを飛散させないためにグローブボックス内での作業となる。これらの多くの制限の中で精密な補修を行わなければならない。

アンテナ補修後の状況を図 4-3、4-4 に示す。補修を行った先端部表面（2、6、7 列）は、ほぼ平滑に仕上がった。ただし、7 列では仕切板の間隔が奥行き 40～60mm のあたりで狭くなっているところが数箇所ある。奥には間隔調整用の工具が届かないため、補修が困難である。ただし、滑らかな変形であるため、耐電圧特性が著しく劣化する可能性は低いが、運転にあたっては入射パワーを注意深く上昇させる必要がある。

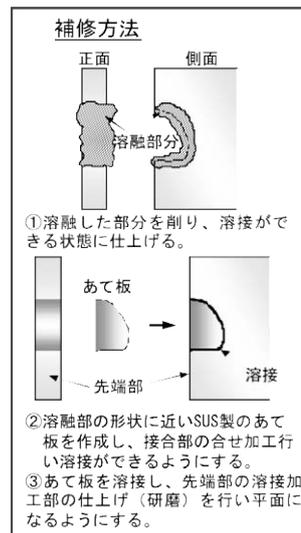


図 4-1. アンテナ先端部補修方法



図 4-2. アンテナ先端部の補修



図 4-3. アンテナ先端部の比較



図 4-4. アンテナ先端部（補修後）

4 LHRF アンテナ監視装置の改良

アンテナでは、高周波放電や高温プラズマからの熱による損傷を防止するために赤外線カメラによる温度監視を常時行っている（図5-1参照）。平成4年から赤外線カメラを用いてJT-60U実験中のアンテナ先端部の温度変化を監視してきたが、カメラの老朽化と測定窓表面の汚れにより、鮮明な画像信号が得られなくなってきた。また、赤外線カメラはJT-60U真空容器付近に設置してあるため、運転中は遠距離（約100m）のRS-232C方式で制御を行っていたが、通信速度の低さによるデータ収集トラブルやノイズが原因と思われる不具合も頻繁に発生するようになってきた。このような状況では、アンテナ先端部の監視に支障をきたす恐れがあるので、赤外線カメラの交換及び制御方法の改善を行って、測定性能の向上をはかった。

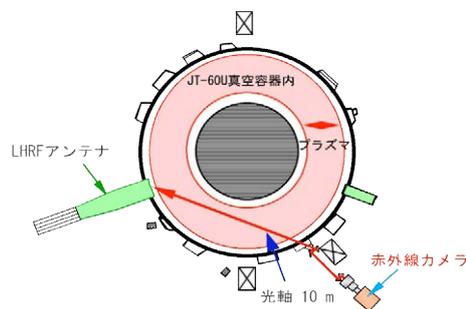


図 5-1. LHRF アンテナ監視カメラ光路

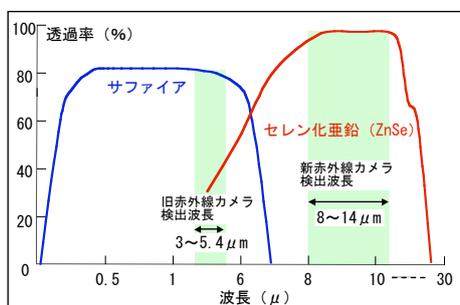


図 5-2. 真空窓材の比較

赤外線カメラを交換するにあたって、真空容器に取付ける真空窓も同時に交換した。旧赤外線カメラは検出波長が短いため、サファイア窓を使用していた。今回交換した赤外線カメラは二次元素子を用いているため検出波長が長く、サファイア窓では必要な帯域を透過することが出来ないため、JT-60Uでも実績のあるセレン化亜鉛（ZnSe）を採用した（図5-2参照）。交換した赤外線カメラは、以前と比べ基本性能が向上している。6項で示すが、画素数、視野分解能などの向上によりアンテナ先端部を細部まで監視することが可能

となった。また、遠隔制御の方式をRS-232CからIEEE1394に変更したことで、高速通信が可能になり、以前は行えなかったリアルタイムの映像を操作端末（パソコン）に取り込み測定、監視ができるようになった。さらにノイズが原因と思われる動作不良も減少し、操作性が飛躍的に向上した。

赤外線カメラを用いた温度監視システムを図5-3に示す。赤外線カメラが設置されている環境は極めて厳しい環境である。アンテナ先端部を直視するとプラズマから放射される中性子の影響で、赤外線カメラ内部のCCD素子が損傷してしまう。そこで、中性子の照射を回避するため反射ミラーを4枚用いて光軸をコ字形にしている。さらに赤外線カメラ本体を中性子シールドで覆うことにより中性子による影響を軽減している。また、本設置場所は、JT-60Uトロイダル磁場コイル付近であるので強磁場（約580G）による悪影響を防ぐため16mm厚の磁気シールドボックスで覆っている。

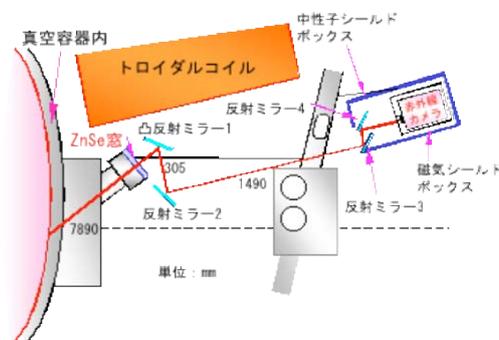


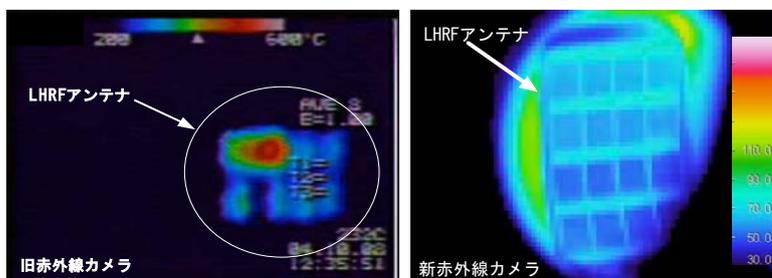
図 5-3. 温度監視システム図

設置後に重要なのは、視野調整と温度較正である。視野調整を行うには、まず赤外線カメラの固定位置を正確に決める必要がある。これまでの固定方法は、赤外線カメラの台座を自在に動かせるように不安定な構造となっていたため、振動などにより、視野がずれることがあった。今回は、台座を複数のボルトで固定させ、上下方向に微調整できる機構を設けた。これにより安定で精度の高い調整を行えるようになった。反射ミラーは、赤外線カメラの光軸上にコ字形に配置し、4枚それぞれを手動で角度調整して、アンテナが最適な位置に見えるように合わせる。視野範囲が極端に狭いため、反射ミラーの角度が1枚でもずれるとアンテナが視野に入らず、繊細な調整が必要である。温度較正では、アンテナと赤外線カメラの距離が遠い（約10m）ことも

あり現在の視野分解能ではターゲットの大きい熱源が必要であることがわかった。今回は、アンテナ先端部付近の熱電対温度と比較することで対応したが、今後さらに正確な較正を行うための課題となった。

5 新旧 LHRF アンテナ監視装置の比較

新旧赤外線カメラの画像を比較したものを図 6 に示す。旧赤外線カメラではアンテナが不鮮明であり、画面中心からのずれも大きい。新赤外線カメラでは、アンテナが鮮明で画面中心に確認出来ている。画素数、視野分解能などの性能向上と、カメラを支える架台が安定したことにより振動による視野のずれが小さくなったことが影響していると考えられる。



6 今後の注意点

6.1 LHRF アンテナの注意点

図 6. 新旧 LHRF アンテナ監視カメラ画像の比較

LHRF加熱装置の運転を行っていくうえでアンテナの損傷は、使用環境が厳しいこともあり、完全には避けられないのが現状である。損傷を最低限に抑えるために、アンテナ先端での放電光を検知し、光の強さによって高周波入射を停止させるインターロック、アンテナとプラズマの位置関係、赤外線カメラや熱電対による温度監視等が重要となってくる。また、前回の点検において補修が困難と思われた7列を補修することができた。それにより、今回使用しない8列が使用している他の列に比べて温度が低いことによる熱応力の発生に注意する必要がある。

6.2 LHRF アンテナ監視カメラの注意点

LHRF アンテナ監視カメラは、周辺の構造物によって制限された場所に設置してあり、視野の調整範囲が極端に狭いので、真空排気ならびにベーキング等の熱による真空容器の変位により生じる視野のずれが懸念される。さらに、強磁場の中で測定するため、シールドボックス及び赤外線カメラ本体の保護や固定などを十分に施すことが重要である。また、現在行っている視野調整の方法は、時間や手間を要する。今後は、赤外線カメラ、反射ミラーの台座にマイクロメータ付のジャッキを取付けることや、反射ミラーの角度を遠隔制御し、調整を自動化して調整精度や時間を短縮する方法を検討したいと思う。また、温度較正においては、赤外線カメラの設置距離が遠い（約 10m）ため熱源が小さいと視野分解能の関係で正確な較正が行えない。ターゲットが大きく熱が均等に伝わる熱源が今後必要である。

7 まとめ

LHRF アンテナは 10 年以上にわたり JT-60U の実験に貢献してきており、各年度の停止期間には先端部の補修や点検を行っている。アンテナ先端部の損傷は、耐高周波電力の劣化や、アーク放電を頻発させ、入射電力の減少や入射効率の低下につながるため、補修を行うことは LHRF 加熱装置の運転を行っていくうえで重要な項目となっている。今回の補修においては、困難と思われていた箇所を補修を行うことができたので、入射電力の増大が期待でき、今後の JT-60U の実験運転に大きく寄与できると考えている。

また、アンテナ監視カメラを交換したことにより、以前より精度の高い測定画像で温度監視、リアルタイムでの高速制御ができるようになった。その結果として、アンテナの損傷防止対策を強化することができた。

核融合科学研究所における環境放射線計測

○三宅 均^{A)}、山西弘城^{B)}

A) 核融合科学研究所 技術部 計測技術課

B) 核融合科学研究所 安全管理センター

概要

核融合科学研究所は1997年3月の大型ヘリカル装置(LHD)によるプラズマ実験の開始以前から土岐サイト周辺の環境放射線の測定を継続して行っている。当初は熱蛍光線量計(TLD)を用いていたがTLD素子の製造ロットによる感度の相違(ロット依存性)や経年劣化などの問題から数年間の比較測定を実施後ガラス線量計(RPLD)に変更した。また、電子ポケット線量計による測定を数箇所のポイントで実施し、ガラス線量計との比較データを収集している。1982年9月からTLDを用いて開始された土岐市内における3ヶ月ごとの定点測定は測定ポイントの変更、廃止、追加を経て、現在は14点で測定を行っている。また、1998年4月から多治見市内に7点の測定ポイントを設置して土岐市内と同様に測定を開始した。本報では、長年にわたり測定したTLD及びGDを用いた環境放射線測定データを示し、TLDからガラス線量計への素子の変更にいたるまでの経緯と測定結果の概要を紹介する。また、将来の測定素子としての電子ポケット線量計の可能性について検討した結果を報告する。

1 はじめに

核融合科学研究所はその前身である名古屋大学プラズマ研究所の時代から土岐地区における環境放射能及び放射線の測定を実施してきた[1]。この測定は「プラズマ実験により発生する放射線の人体への影響を、もともと天然にある放射線の人体への影響の変動幅よりもずっと少なくするというのが放射線防護の立場であるが、そのためには天然にある放射線がどのくらいで、どのような変動幅をもつのかということの認識が重要である。」という観点からはじめられた。この活動は土岐市の小中学校及び高校の理科の先生とともに活動している、土岐市プラズマ研究委員会では実施されてきたものであるが、これとは別に研究所

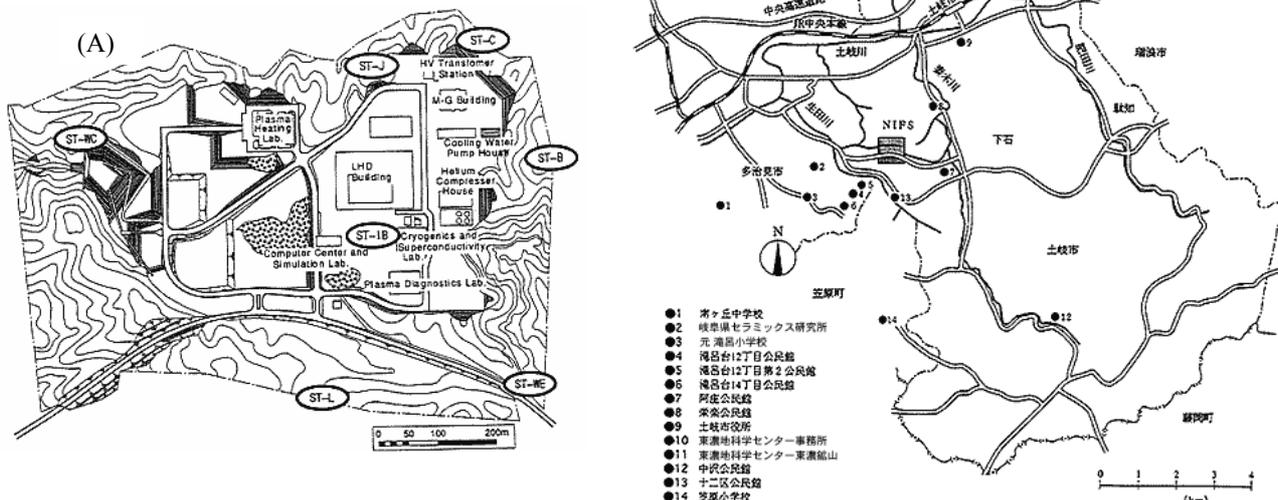


図1. 測定ポイント

独自のポイントを設けて測定を行ってきた。図1に測定ポイントを示した。(A)は研究所の敷地内のポイント6箇所、(B)は敷地の外のポイント14箇所である、このほかに鉛5cm厚ブロック内の計21ポイントに設置している。

2 測定方法

TLD素子はNational製UD-200S、TLD読取り装置はNational製UD-502を、RPLD素子は旭テクノガラス社製SC-1、RPLD読取り装置はFGD-201を使用した。設置は図2に示した百葉箱を用いた。この百葉箱のなかにおのおのの素子を3個ずつ防水用のビニール袋に収納して設置した。設置期間は3ヶ月とした。読取り装置は ^{137}Cs 標準線源で基準照射した素子(設置素子と同じロット)を用いて、測定のと度較正した。



図2. 百葉箱

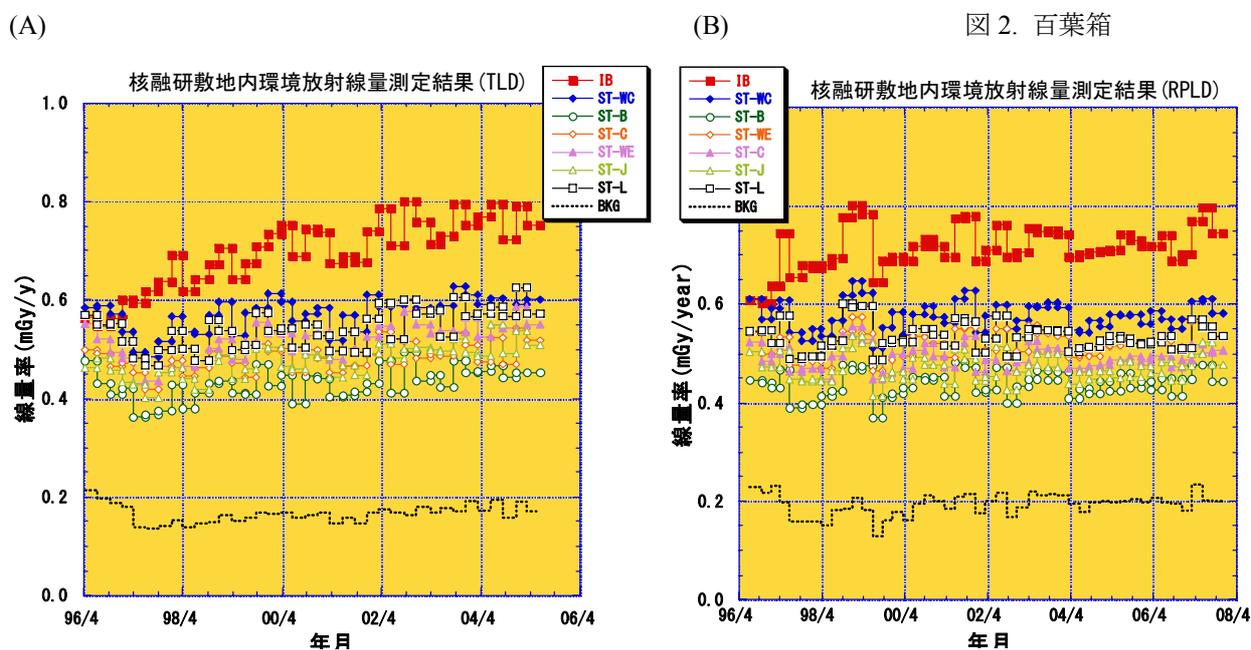


図3. 研究所内ポイントの測定結果

3 測定結果

図3に研究所内ポイントの測定結果を示した。(A)はTLD、(B)はRPLDの結果である。TLDは1996年4月から2005年6月の、RPLDは1996年から2007年12月までの結果である。図中のBKGは鉛厚5cmブロック内に設置した線量計の結果である。BKGはTLDで $0.165 \pm 0.016 \text{ mGv/y}$ 、RPLDで $0.191 \pm 0.024 \text{ mGv/y}$ であった。また、図3のBKG意外のポイントではIBを除いて 0.4 mGv/y から 0.6 mGv/y の間で推移した。一方IBのポイントでは1996年4月から2005年6月にかけて 0.6 mGv/y から 0.75 mGv/y 程度まで約20%上昇していることがわかった。RPLDのBKGの値がTLDのBKGの値に比べ若干大きくなった原

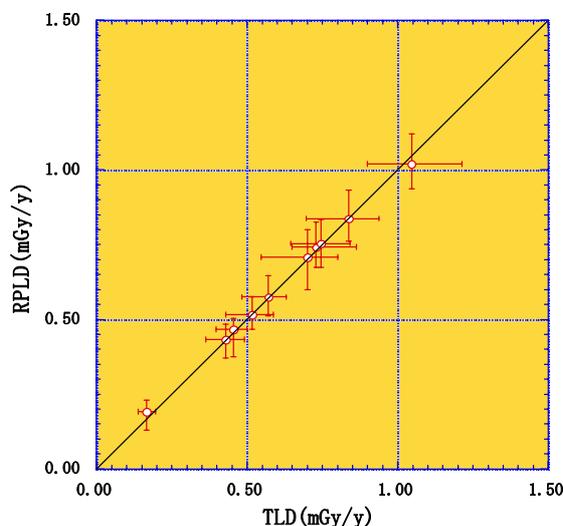


図4. TLDとRPLDの比較

因としては線量計の自己線量の相違や宇宙線に対する感度の相違等が考えられたが、これまでの研究で、これらに線量計による大きな差はないことがわかっている[2]。図4にTLDとRPLDの各測定ポイントの測定期間中の平均値をいくつかの測定ポイントについてプロットした。エラーバーは各ポイントの最大値と最小値の幅を示している。図中の直線はTLD=RPLDを示したものである。この図から、TLDとRPLDの各ポイントの測定結果が良く一致していることがわかる。このことからBKGの結果についても測定のゆれの範囲であるといえる。図5にIBのポイントの詳細図を示した。参考として近傍に設置されたAr電離箱検出器のその月の平均値をプロットしてある。1996年から1998年にかけてIBの測定ポイント周辺では制御棟などの建設工事にともなう基盤整備など多くの工事が頻繁に実施された。図5に現われた線量の増加はこれらの影響によるものと考えられる。図4の(B)からも明らかなように施設が完成した後はこのような変動はなくほぼ一定な状態で現在にいたっている。このようなTLDとRPLDの長期に渡る比較測定の結果、RPLDはTLDと同等の性能を有していることがわかり2005年6月から研究所による環境放射線測定はRPLDのみにより測定を実施している。図6に(A)に土岐地区の(B)に多治見地区のRPLDによる測定結果を示した。土岐地区では中沢公民館(図中NAKA)が約1mGy/y、土岐市役所(図中CITY)が0.9mGy/yで高く、多治見地区では笠原小学校(図中K-SHO)が約0.9mGy/yで高いほかは0.5mGy/yから0.7mGy/yの範囲でほぼ一定で推移している。研究所も図3から0.4mGy/yから0.7mGy/yの範囲にあることから、土岐地区や多治見地区とほぼ同じレベルであり、中沢公民館等の線量の高い地域の50%から70%の環境放射線であることがわかる。

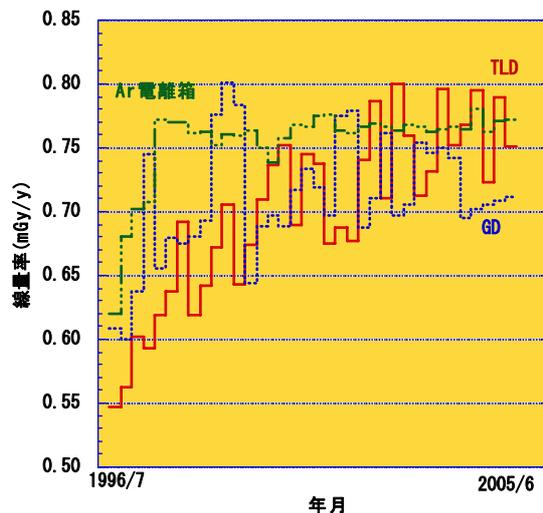
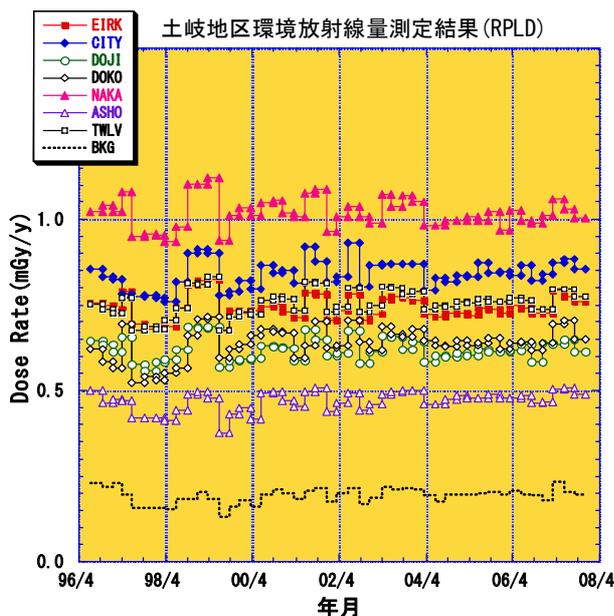


図5. IB詳細図

(A)



(B)

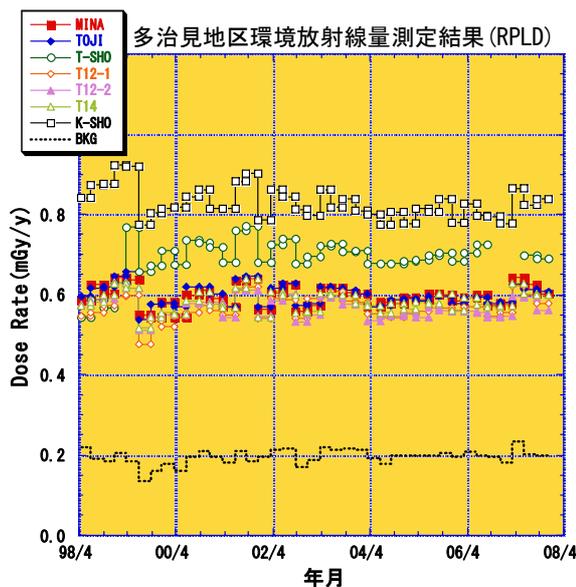


図6. 土岐地区及び多治見地区の測定結果

4 電子線量計の適用

電子線量計（EPD）は（１）高額な読取り装置を必要としないので小規模のモニタリングに導入しやすい、（２）設置中の線量率変化を捉えられるなどの利点がある。EPD を環境放射線測定に適用できるかを検討するために RPLD との同時測定を図 1 に示した 21 の測定ポイントで実施した。使用した EPD は ThermoEedtron 社製 EPD-Mk2 である（図 7）。図 8 に測定結果の一例を示した。3 ヶ月間の測定で得られた線量率は 0.2mSv/y から 1.2mSv/y の範囲内でよい直線関係にあることがわかった。ただし、値は EPD が 20%程度高い。また、線量が高いほどその度合いが大きくなった。EPD と RPLD を鉛 10cm 厚で囲った空間に長期間設置して、線量計の自己線量を比較した。結果は EPD が 0.02 から 0.03mSv/y、RPLD が 0.02mGy/y であり、自己線量には大きな差異がなかった。また、¹³⁷Cs 標準線源による校正の結果 EPD は約 8%高めの結果を示すことがわかった。これらのことから EPD と RPLD にはガンマ線に対する感度の違いがあるものと考えられる。今後 EPD を環境測定に適用するには校正定数を明らかにして補正する必要がある。



図 7. 電子線量計（EPD）

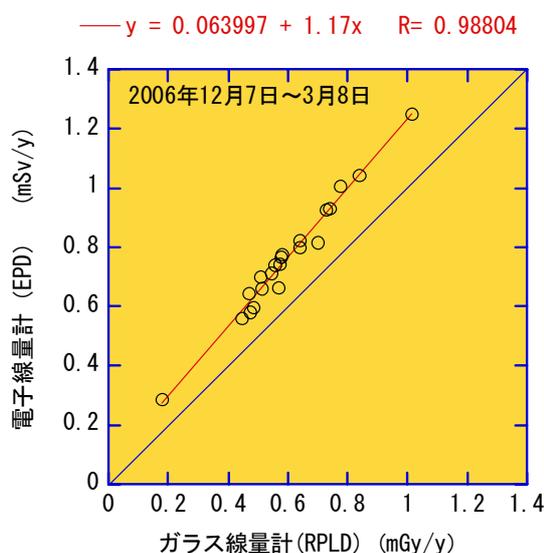


図 8. ガラス線量計と電子線量計との比較

5 まとめ

核融合科学研究所における熱蛍光線量計（TLD）とガラス線量計（RPLD）を用いた環境放射線の測定結果を報告した。TLD も RPLD も環境放射線を測定するうえで大きな差異はなくどちらも有効な測定手段であることがわかった。現在 RPLD による測定を継続して実施、研究所ホームページ<http://www.nifs.ac.jp>の安全管理センターのページにて報告している。また、電子線量計（EPD）の環境放射線測定へ適用性を検討するために RPLD との比較測定を実施した。その結果良い線量直線性と相関性が得られたが値に 20%程度の違いがあり、EPD による環境放射線測定を行うには適切な補正が必要であることがわかった。

参考文献

- [1] 名古屋大学プラズマ研究所共同研究報告「土岐地区の環境放射能の測定」1～6
- [2] 山西弘城 他、「トンネルを利用した TLD とガラス線量計の自己線量の測定」,保健物理,38(1),45-49(2003)
- [3] 山西弘城 他、「トンネルを利用した TLD とガラス線量計の宇宙線硬成分に対する感度評価」,保健物理,39(2),108-112(2004)

音波加熱とサーモグラフィ法を利用した非接触非破壊検査

○大嶋康敬^{A)}、鳥越一平^{B)}

^{A)} 熊本大学 工学部 技術部

^{B)} 熊本大学 自然科学研究科

1 はじめに

熱を利用した非破壊検査であるサーモグラフィ法には、自然発生的に生じる欠陥部の温度差を計測するパッシブ法と熱負荷を与え欠陥部の温度差を計測するアクティブ法がある。アクティブ法を精度よく実施するには、加熱むらがないように加熱の空間的分布と時間制御の精度が求められる。しかし、2つの要求を同時に満たすものは少なく、高価な装置が必要である。そこで、加熱方法に音波を利用することにより、2つの要求を同時に満たす簡便で安価なシステムを構築し、薄膜の内部剥離を模した試験片の非破壊検査を行った。

2 原理

2.1 加熱原理

密閉容器内で音波を発生させた場合を考える。

密閉容器内の気体を理想気体、断熱過程であると仮定し以下の値を用いて温度と圧力の関係を示す。

U : 気体の内部エネルギー[J]	Q : 気体が外部から受ける熱量[J]
W : 気体が外部にする仕事[J]	m : 気体の質量[kg]
T : 気体の温度[K]	P : 気体の圧力[Pa]
R : 気体定数[J/kg/K]	c_v : 気体の等容比熱[J/kg/K]
c_p : 気体の等圧比熱[J/kg/K]	γ : 気体の比熱比

熱力学第一法則より

$$\Delta U = Q - W \quad (1)$$

また、理想気体に対して以下の関係式が成り立つ

$$\Delta U = mc_v dT \quad (2)$$

$$W = PdV \quad (3)$$

断熱過程であるから

$$Q = 0 \quad (4)$$

式(1)から(4)より

$$mc_v dT = -PdV \quad (5)$$

また、気体の状態方程式

$$PV = mRT \quad (6)$$

の両辺を微分し dV について整理すると

$$dV = \frac{mR}{P} dT - \frac{V}{P} dP \quad (7)$$

式(5), (7)より

$$mc_v dT = VdP - mRdT \quad (8)$$

ここで, 気体定数

$$R = c_p - c_v \quad (9)$$

より, 式(8)は

$$mc_p dT = VdP \quad (10)$$

となり, 気体の比熱比

$$\gamma = c_p / c_v \quad (11)$$

と式(9), (11)を式(10)に代入すると

$$mR \frac{\gamma}{\gamma-1} dT = VdP \quad (12)$$

となる. 式(6), (12)より

$$dT = \frac{\gamma-1}{\gamma} \frac{T}{P} dP \quad (13)$$

を得る. よって, 音波による圧力変動で加熱を行うことができる.

2.2 欠陥検出原理

密閉容器内で音波を発生させ圧力を加えると温度が上昇するため, 検査対象表面の温度も上昇する. 温度変動の大きさは熱抵抗の影響を受けるため, 検査対象内部に欠陥があれば, 正常な部分とは熱抵抗が異なるため, 温度変動の大きさも異なるはずである.

正弦波状の圧力変動に同期してサーモカメラで画像を集録するが, 圧力変動の周期 T_p に対してサンプリング周期 T_s を図1のように十分に短くすることは困難なため, 図2のように $T_s = T_p + \alpha$ でサンプリングを行い等価的に図1のサンプリングを行う.

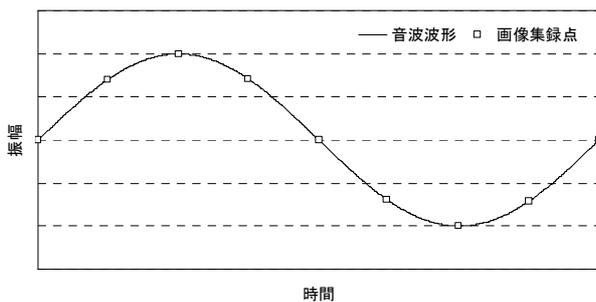


図1. $T_s < T_p$ の場合

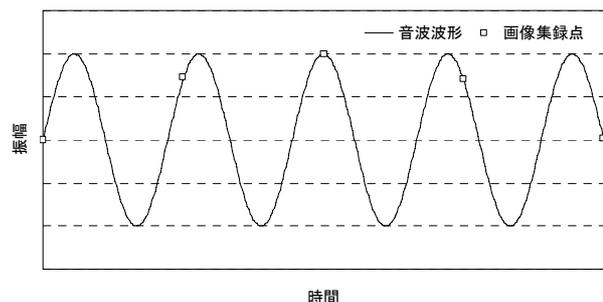


図2. $T_s = T_p + \alpha$ の場合

検査対象表面の温度も圧力信号と同様に正弦波状に変化しているので, 集録した画像の1つの画素ごとに圧力変動との相関係数を求める. 相関係数 R は式(14)に示すように時間遅れのない離散信号の相互相関である.

$$R = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_k y_k \quad (14)$$

欠陥部は正常部と相関係数が異なるので, 欠陥を判定できる.

3 実験

3.1 実験装置

図3に実験装置の構成を示す。

容器内の底面にスピーカーを設置し、サーモカメラで観測するために、上部にGe光学ウィンドウを用いている。試験片は容器内の土台の上に固定する。

サーモカメラはIEEE 1394でPCと接続し、付属ソフトウェアのTherma CAM ResearcherでRS-232Cへのステップ入力の立ち上がりをトリガとして画像の集録を行うよう設定する。

PCでは、National Instruments社のLabVIEWを用いて、スピーカーより放射する音波、サーモカメラの画像集録のタイミングを制御する。

3.2 試験片

図4に示すように、アルミ片の表面にTと彫り、10 μ m鉄製シートで表面を覆い内部欠陥を模した試験片を用いる。

3.3 画像処理

画像処理の流れを図5に示す。サーモカメラで集録した画像は、Therma CAM Researcherで閲覧可能なファイルのため、グレースケールのBMPファイルに変換する。次にBMPファイルからJPEGファイルに変換する。次にJPEGファイルをフリーソフトのcsvjpegを用いて、画素ごとに濃淡を数値化したCSVファイルへ変換する。次にperlで作成したスクリプトで、CSVファイルの値と画像を集録した時点のスピーカーに入力した電圧の値を用いて各画素の相関係数を求める。次に求めた相関係数より、jpegcsvを用いてJPEGファイルへ変換し欠陥を判定する。

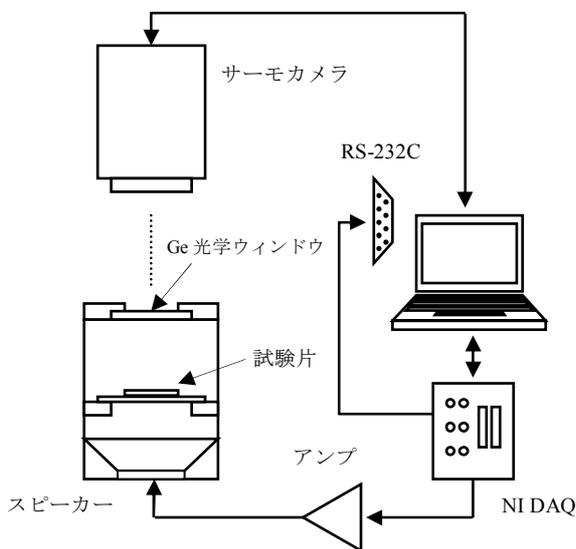


図3. 実験装置構成

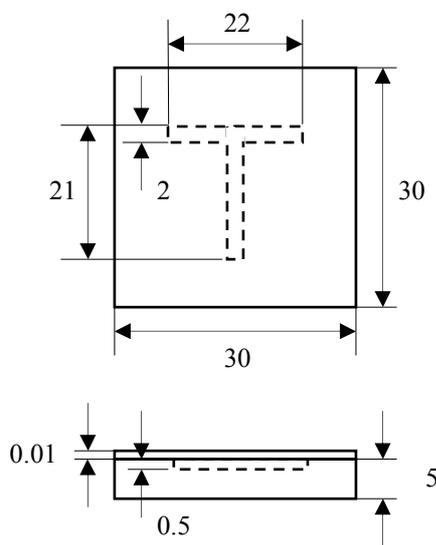


図4. 試験片

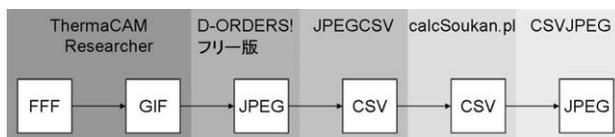


図5. 相関処理手順

3.4 実験結果

図4で示す試験片を用いて、加熱音波の周波数は5Hz、1周期あたり16点の画像集録、集録周期数は4Hzで行った結果を示す。

図6は集録した画像の内の1枚、図7は加熱音波との相関係数を求めた画像である。

相関処理後の画像では、中央に濃くTの文字が現れていて、欠陥がある部分は周りの欠陥が無い部分との温度変動が異なることが確認できた。

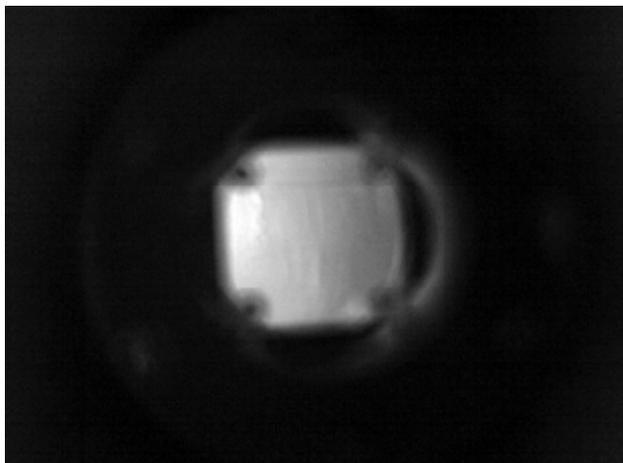


図6. 相関処理前の画像



図7. 相関処理後の画像

4 おわりに

本報告で、音波加熱を利用したサーモグラフィー法による非破壊検査方法を提案し、薄膜の内部剥離を模した試験片で、欠陥部を検出することに成功した。欠陥部が数 μm 以下の微小な試験片で行った実験では、欠陥部を検出することができなかった。これらは、加熱による温度変動を大きくし、サーモカメラの温度分解能が高くなると検出可能になるのではないかと考えられる。また、画像取得後に数種のプログラムを用いて、相関処理を行ったが、実際の製品等の検査を行う場合は、メインプログラムから数種のプログラムを呼び出し、画像集録を行いながら相関処理を行うように改良する必要がある。

謝辞

本研究は、平成18年度科学研究費補助金(奨励研究)の交付を受け実施することができました。

参考文献

- [1] 鳥越, 石井: “音を利用した表面積測定”, 計測自動制御学会論文集, Vol.34, No.3, p182-187, 1998
- [2] 末富: “音響式熱拡散率センサーの研究”, 修士論文
- [3] 松尾: “音を利用した薄膜の非破壊非接触検査の研究”, 卒業論文

かぐや (SELENE) 搭載用レーザ高度計の初期成果

○田澤誠一^{A)}、荒木博志^{A)}、野田寛大^{A)}、坪川恒也^{B)}、右田恵美子^{A)}、

河野宣之^{A)}、佐々木晶^{A)}

^{A)} 国立天文台 RISE 推進室

^{B)} 真英計測

概要

宇宙航空研究開発機構の月周回衛星「かぐや」(SELENE)は2007年9月14日10時31分01秒に種子島宇宙センターよりH-IIAロケット13号機にて打ち上げられた。「かぐや」は月周回軌道に到達後、2機の子衛星「おきな」(Rstar)、「おうな」(Vstar)を正常に分離し、3機の衛星は予定どおりの軌道に投入された。現在、主衛星は高度約100kmの周回軌道上で定常観測を行っている。本発表ではレーザ高度計(LALT)の機器仕様、初期成果について紹介する。

1 はじめに

レーザ高度計(LALT: Laser ALTimeter)は主衛星に搭載されている機器の1つであり、主衛星から月面までの距離(高度)を測定する。主衛星は月の極軌道を周回するため、月全球の測定が可能である。

LALTの主要目標は、1)月の形状の高精度決定、2)極域を含む月面全領域での地形高度図の作成、3)子衛星を使った月重力場探査(RSAT/VRAD)から得られる重力場データと合わせ、月内部構造についての情報取得である。LALTはレーザの反射を利用しているため、月面の日照・日陰に関係なく地形の測定が可能で、極地域のように太陽高度が低く、常に日陰である領域(永久影)でも地形データを取得できる。このため極域の高精度高度図の作成に重要な役割を果たすことが期待されている。また緯度75度以上の極域の高度データを取得するのは「かぐや」のLALTが初めてである。ミッション1年間の計測点間の平均距離は赤道付近で約2km、極付近で約100m程度である。

2 機器仕様

LALTは主衛星から月面に向かってレーザ光(パルス幅15ns)を発射し、月面で反射された光が戻るまでの往復時間を測定することで主衛星と月面間の距離を測定する機器である。図1にLALTの測定原理を示す。

主衛星から月面までの距離Rはレーザ発射時刻を t_0 、月面からの戻り光受信時刻を t_1 、光速度cとすると次式で表される。

$$R = c(t_1 - t_0) / 2$$

レーザにはNd:YAGレーザを使用している。送信視野(送信レーザの拡がり角)は0.4mradであるため、主衛星の高度を100kmとすると月面上ではビーム拡がり径40mのフットプリントが形成される。受信視野は送信視野の3倍弱である1mradとしてある。表1にLALTの仕様を、図2にLALTの構造を示す。

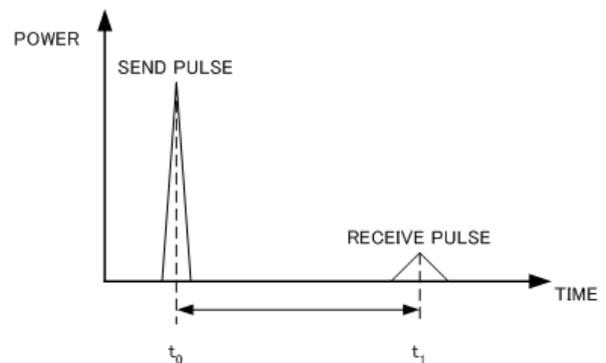
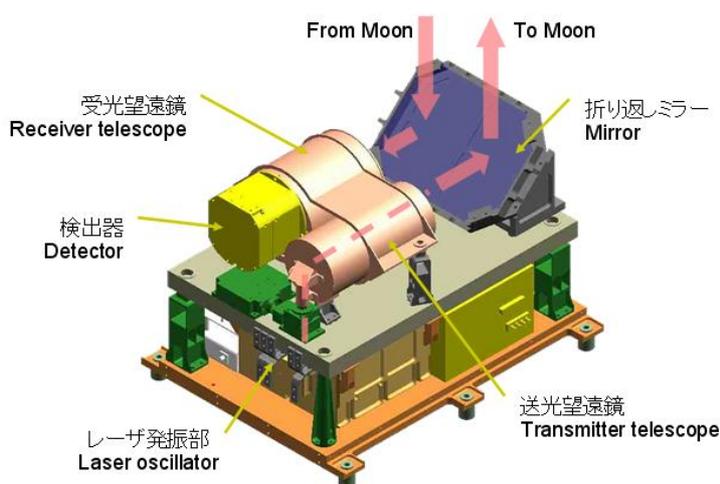


図1. LALTの測定原理

表 1. LALT 仕様

項目	機能、性能	備考
測定波長	1064nm	Nd: YAG
測定距離	50km~150km	
レーザ繰り返し周波数	1Hz	
レーザ出力	100mJ	
レーザパルス幅	15ns	
送信望遠鏡口径	φ 73mm	
受信望遠鏡口径	φ 100mm	
観測方向	+Z方向	常に月面を向くように設置
送信視野	0.4mrad	100km で、フットプリント径 40m
受信視野	1mrad	
レンジ精度	±5m	100km 測距時



LALT-TRの内部
Inner structure of LALT-TR



LALT-TR
レーザ送受信部, Laser Transmitter / Receiver

図 2. LALT の構造

3 軌道上初期チェックアウト結果

定常運用に移行する準備として機器の健全性を確認した。表 2 に初期チェックアウトの一覧を示す。2007 年 9 月 23 日（かぐや打ち上げから 9 日後）に月遷移軌道上にて打ち上げ後初めて機器に電源を投入し、単体での機能確認を行い、低圧電源および温度制御機能が正常であることを確認した。つづいて月周回軌道投入後の 11 月 1 日も同様の機能確認を行った。さらに 11 月 24 日から 25 日にかけて単体の高圧機能確認を行い、レーザ発振用の高圧電源、レーザ発射機能、および測距機能が正常であることを確認した。高圧電源の確認はわずかな残留ガスでも放電の原因となり、機器に重大なダメージを与える可能性があるため、ほぼ 1 日かけて 0V から 2.5kV（最大出力電圧）まで徐々に上げていくといった方法で行った。

最後に 12 月 11 日から 12 日にかけて「かぐや」全機器を起動した状態でアンローディング動作確認を行った。アンローディングとは衛星の姿勢制御に使用するリアクションホイールに蓄積された角運動量を、限界に達する前に外力を与え放出する作業である。実際にはスラスタを噴射して外力を与える。スラスタガスによる高電圧の放電を未然に防ぐため、高電圧を使用する機器はスラスタ噴射前に高圧を OFF する必要がある。LALT も前述の通り高電圧を使用しているため、アンローディング中はレーザ発射を停止し高圧 OFF の待機状態となる。アンローディング終了後、高圧を ON してレーザ発射を再開する。アンローディング動作確認の結果、全機器で問題のないことが確認された。

表 2. LALT 初期チェックアウト一覧

日付	内容	備考
2007年09月14日	かぐや打上げ	電源 OFF
2007年09月23日	単体機能確認 (月遷移軌道上)	低圧電源、ヒータ確認
2007年11月01日	単体機能確認 (月周回軌道上)	低圧電源、ヒータ確認
2007年11月24日、25日	単体高圧確認	高圧電源、レーザ確認
2007年12月11日、12日	アンローディング総合動作確認	全機器 ON
2007年12月21日	かぐや定常運用開始	

4 初期成果

高圧機能確認時の測距機能確認時 (11月25日) に取得したデータを図3、そのときの「かぐや」の軌道を図4に示す。図3上部のグラフは月の南極上空から北極付近までの高度データを反転し、時系列でプロットしたものである。極域で高度計データが取得されたのは「かぐや」の今回の測定が世界初である。このときの「かぐや」軌道はピタゴラスクレータ (63.5N, 63.0W 付近) 上空 (図4) を通り、ちょうど中央丘を通過するタイミングがあったため、図3下部のグラフで示すようにクレータ中央丘をとらえることに成功した。中央丘の傾斜はデータから約25度であることが分かったが、このことから高度100kmで25度までの急な傾斜地の測定も可能であることを実証するデータを取得できた。

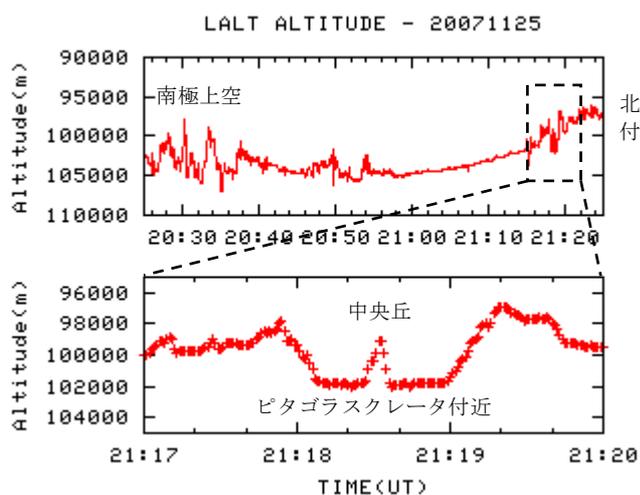


図3. ピタゴラスクレータ通過時の取得データ

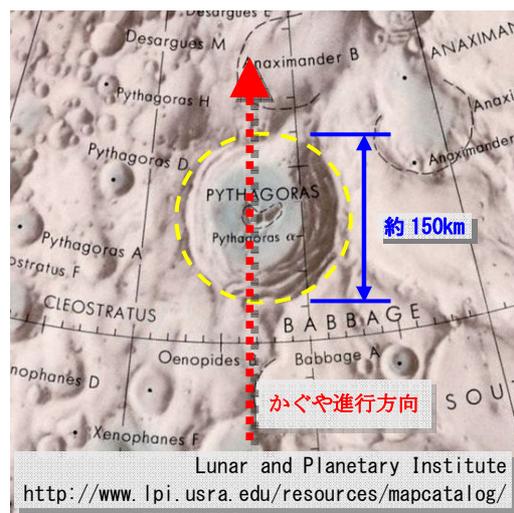


図4. ピタゴラスクレータ通過時の「かぐや」軌道

5 まとめ

かぐや打上げ後の各種機能確認により LALT が正常に機能してことが確認できた。また高度データに関しても高精度で高頻度に取得可能であることが確認できた。

参考文献

- [1] 坪川恒也, et al, “月周回衛星搭載用レーザ高度計の概要”, 第21回天文学に関する技術シンポジウム2001集録, 2001年12月, P4-14

浅水状態における二次元矩形浮体前方の流れの可視化および

計測実験における問題と対処

岡田 功

横浜国立大学 工学研究院技術部

概要

表記「浅水状態における二次元矩形浮体前方の流れの可視化および計測」の卒業研究実験において起こりました問題点についてどのように対処したかを報告する。まずこの実験についての説明をしてから、本題の報告をする。

1 緒言

造波抵抗と船体まわりの自由表面流れについて、従来は主に船の後続波が研究対象とされてきたが、約40年前に船首における砕波現象が船体抵抗と密接な関連を持つと知られるに及んでから、船首まわりの自由表面現象も研究対象とするようになった。しかし砕波現象は、極めて複雑な非定常現象であるため、物理的構造に関して解明されていない部分が多い。特に、船首前方の流れ領域では、砕波現象によって渦が発生しているという説があるが、これを実験によって明確にとらえた例はいまだに無い。渦の存在の有無は、船体抵抗に対して重大な影響を及ぼす。よって本実験では、砕波現象を伴う浮体前方の自由表面流れを二次元的に可視化することで、渦の存在を明確にする。また一般に、自由表面現象が水深の影響を受けて変化することが知られているが、浅水状態に関する実験的研究は、装置の制約からあまり行われていない。従来の研究から深水状態での砕波現象に関して、Froude数による波形の相似性が確認されているが、浅水状態で確認されるかについても、本実験で調査する。

2 実験概要

本実験では回流水槽、浅水試験装置、および二次元矩形模型を用いて、浅水状態における砕波現象を再現する。また界面活性剤を用いて、表面張力の影響を調整する。これらを基盤として、可視化実験と波高計測を行う。可視化実験によって視覚的にとらえた自由表面下の流れを観察および記録することで、二次元的な渦の有無を確認する。また、波高計測によって作成した無次元化波形を比較することで、浅水状態における波形の相似性の有無を確認する。

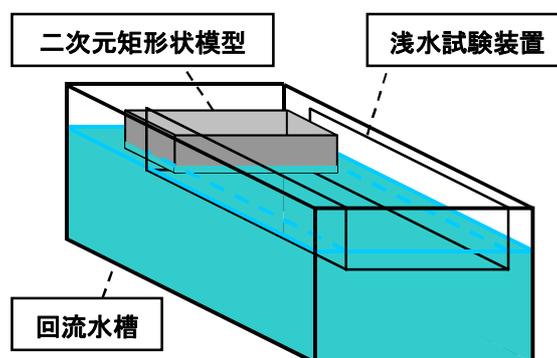


図1. 実験装置配置図

3 可視化実験

本実験ではレーザシートとトレーサ粒子を用いて、模型前方付近の自由表面下流れから、二次元平面を切り出して可視化し、デジタルカメラで記録する。図2。

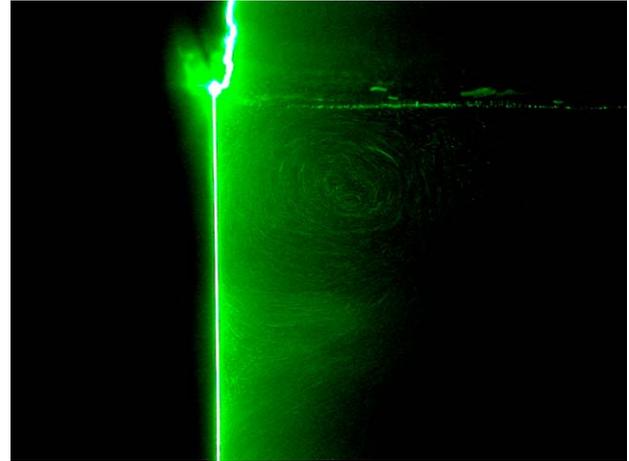


図2. 模型前方の流れ

4 波高計測

本実験では、サーボ式水位計を使用して波高を計測する。相似性のパラメータには吃水基準の Froude 数を採用する。同 Froude 数および同吃水水深比における波形を比較し、模型前面近傍の波形と、碎波前縁の位置から相似性を判断する。

5 実験結果

- 図2より碎波現象を伴う模型前方の流れ領域において、渦の存在が確認された。
- 図3により波形の相似性は浅水状態においても確認された。

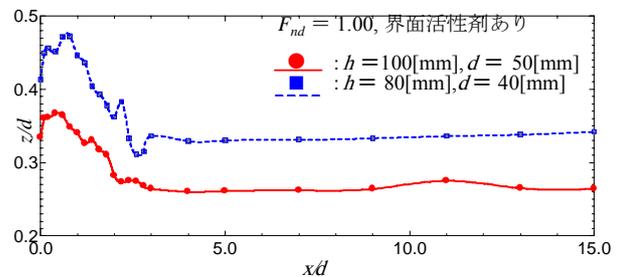


図3. 平均波形の比較

6 実験に際しての問題点と対処方法

結果としては、5で書かれているが、この実験を遂行するに当たり色々と問題が有りましたので以下に書き記します。

実験では、回流水槽を使います。回流水槽で実験する場合の共通の問題点は、長水槽を使う場合と比較して、模型が小さくなり今まで問題にならなかった水の表面張力の影響が大きくなり表面張力の影響を弱める必要がある。図4。白線内に表面張力の影響による波が見て取れる。これを除去するために界面活性剤を表面に噴霧して影響を弱めている。図5。

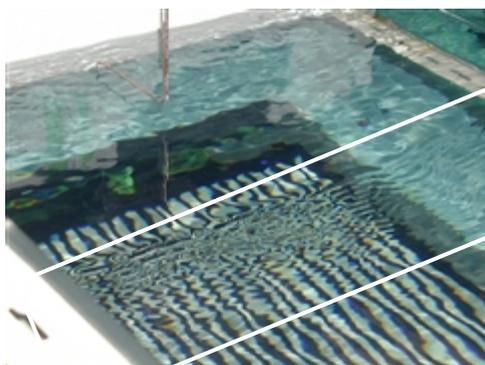


図4. 表面張力有り

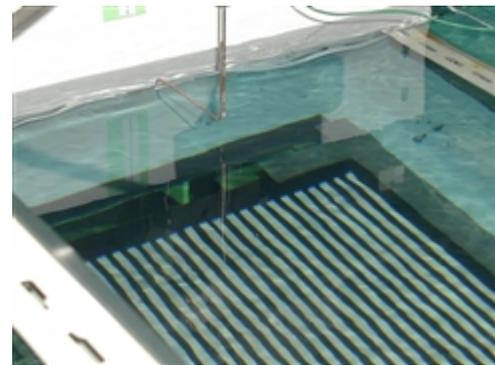


図5. 表面張力弱

表面張力の影響がなくなると非常に滑らかで鏡のような水面になる。図5。

6.1 可視化実験

今回初めて回流水槽の可視化実験に際してトレーサー粒子とレーザーシートを使用した。全て初めてだったので、トレーサー粒子の取り扱い方法を色々と調査する必要があった。

10 μm の粒子を水に馴染ませるには、少量の中性洗剤を使って混ぜるのであるが、これが馴染みにくい、洗剤を多く使うと泡が立ちすぎて可視化には不向きになる。そこで泡立ちが少ない洗剤を探した。レーザーシート装置の出力が小さいので装置の位置決めが必要であった。浅水試験装置と回流水槽の間に波が立つので可視化にさいして、真横からの撮影が困難で斜め下方からの撮影になった。また、目視では明らかに渦の存在が確認できるのであるが、デジタルカメラの性能に限界があり、図2以上に鮮明な画像を取ることが難しかった。

6.2 波高計測

浅水試験装置で水路制限し、尚且つ2次元矩形模型を設置したために水路が極端に狭くなり流速を上げると水位が上昇したために(図6)、模型の位置を図7のように下流側へ移動した。

この変更は、ある程度の改善になったが、その影響で碎波の波形を計測するポイントで浅水試験装置の梁が計測ポイント上に来てしまった。水位装置の通常の計測方法は、ポイント真上から針を水面に置くため、そのまゝでは、計測不可能となる。図8。

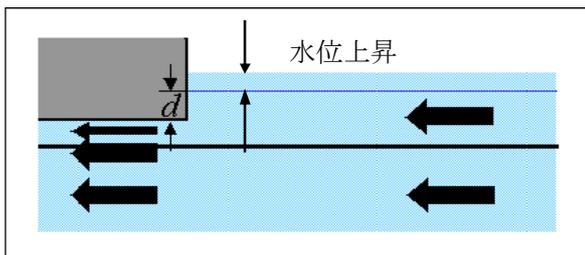


図6. 水位

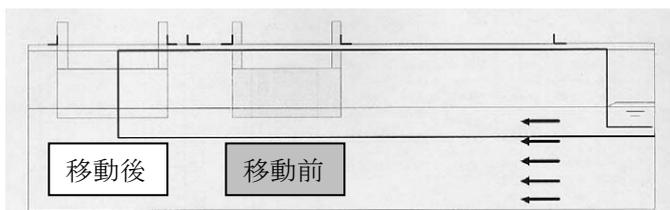


図7. 模型移動

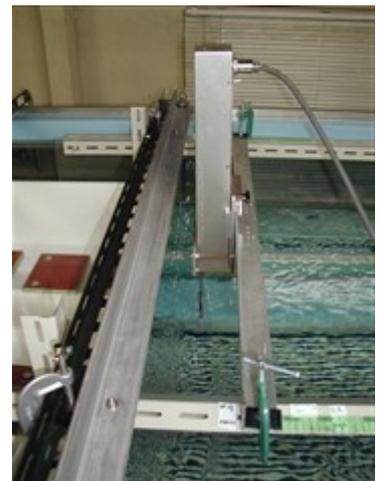


図8. 水位計

そこで図9のような計測針を自作する必要があるが出てきた。

計測針は、導電性の材質なら何でも良いが、ある程度、剛性がなければならぬので銅製の2mm ϕ の棒材を使用して加工を行った。トライアンドエラーで工作していくのであるが、中々うまく出来なかった。

一番の問題点は、シフトする長さには、やはり限界がありあまり長すぎると振動して使い物にならなかった。限界長さは、

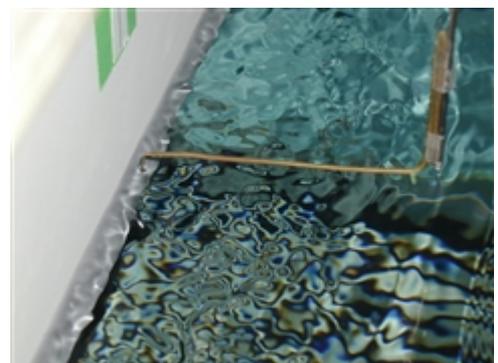


図9. 自作計測針

130mm(図10)でそれよりも長いと、水面上で振動してしまうことがわかった。

今年度は、初年度ということもあり、船首を二次元矩形模型に見立てて渦が見られる事を第一目標としてきた。当初の目的は一応クリアできたが、次年度以降は、更なる改善が必要になる。

- 光源位置の変更
- 模型形状の変更
- 実験条件の見直し
- 評価方法の見直し

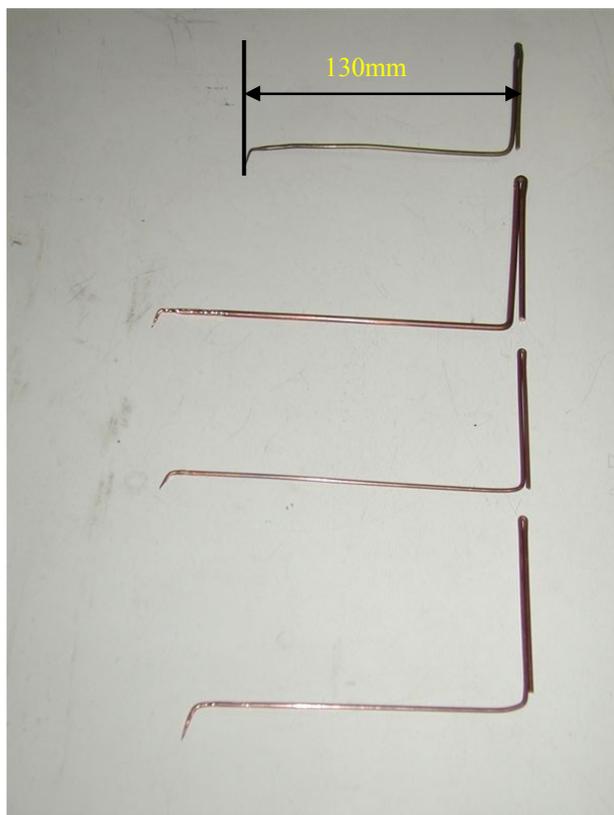


図10. 針長さ比較

金微粒子を堆積させた GaAs の XPS 分析

○猪狩佳幸^{A)}、掛札洋平^{B)}、米田忠弘^{B)}

^{A)} 東北大学 多元研 技術室

^{B)} 東北大学 多元研 先端計測開発センター

概要

X線光電子分光法(XPS)は、導体、絶縁体問わず、X線照射によって試料から放出される光電子の運動エネルギーから、その試料を構成する元素を同定し、組成分析するものである。また、ESCA(Electron Spectroscopy for Chemical Analysis)とも呼ばれるように、それぞれの構成成分の化学結合状態を分析することが可能である。既に、多くの物質についてXPS分析が行われており、化合物を含む、単結晶などの純度の高い物質の解析は、これらの過去のデータをもとに容易に行うことが出来る。しかし、金微粒子を堆積させたGaAs基板を、XPSを用いて分析したところ、単純に解釈できないピークのシフトが見られた。そこで、このピークシフトの起源を調べるために、分析装置の Multipoint Analysis 機能や Ar⁺ Etching 機能を使って、二次元的、三次元的に追跡を行った。

1 半導体上に堆積させた金微粒子について

本研究で用いた試料は、半導体基板上における金微粒子の自己組織化構造の研究のためのものである。図に示すように、基板としてGaAsを使用し、その表面の半分程度の領域に金微粒子(直径20nm)が堆積している。この試料に対し、Kratos社製複合表面分析装置XSAM-iによるX線光電子分光(XPS)分析を行った。

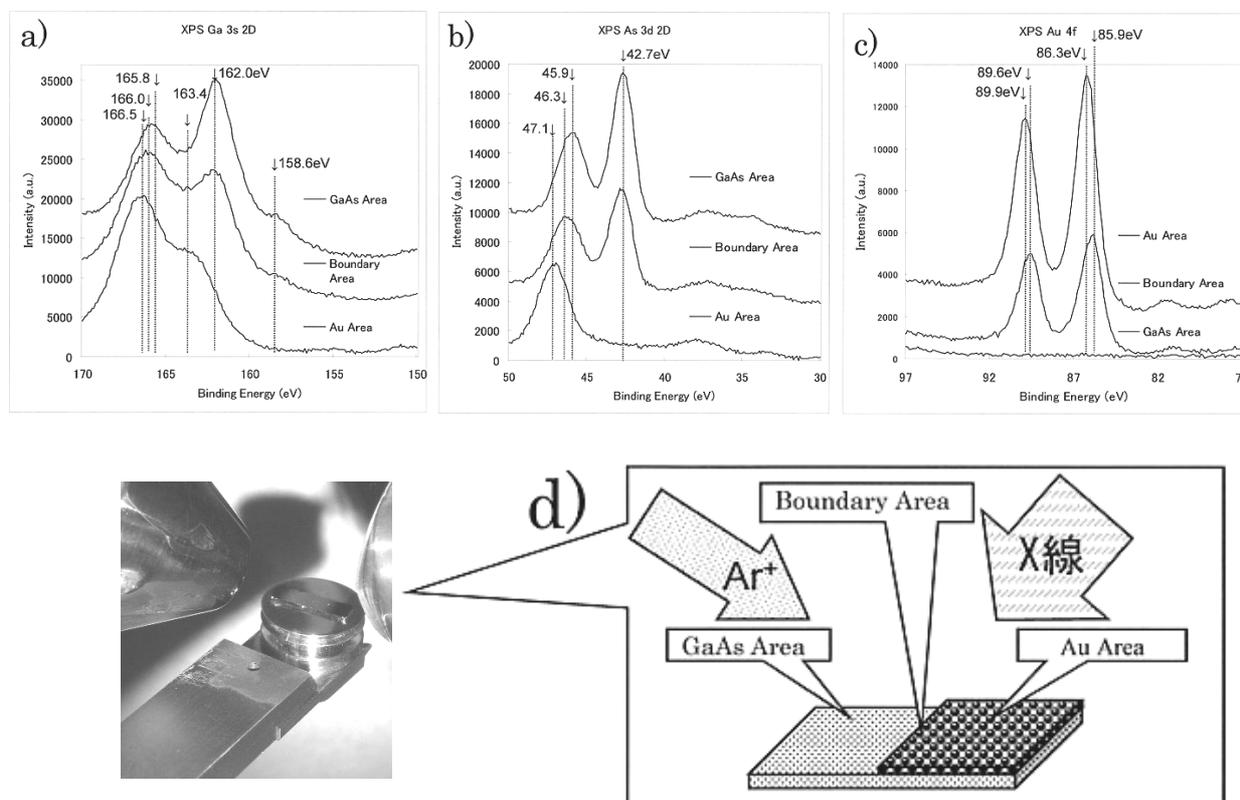


図 1. 試料の形体および XPS 分析の概略(水平方向の分布分析の例)

2 XPS 分析の結果

代表的な XPS 分析の結果を以下に示す。GaAs 基板領域、金微粒子堆積領域、境界領域でのピークの違い、GaAs および金微粒子堆積領域での深さ方向でのピークの違いをそれぞれ測定した。

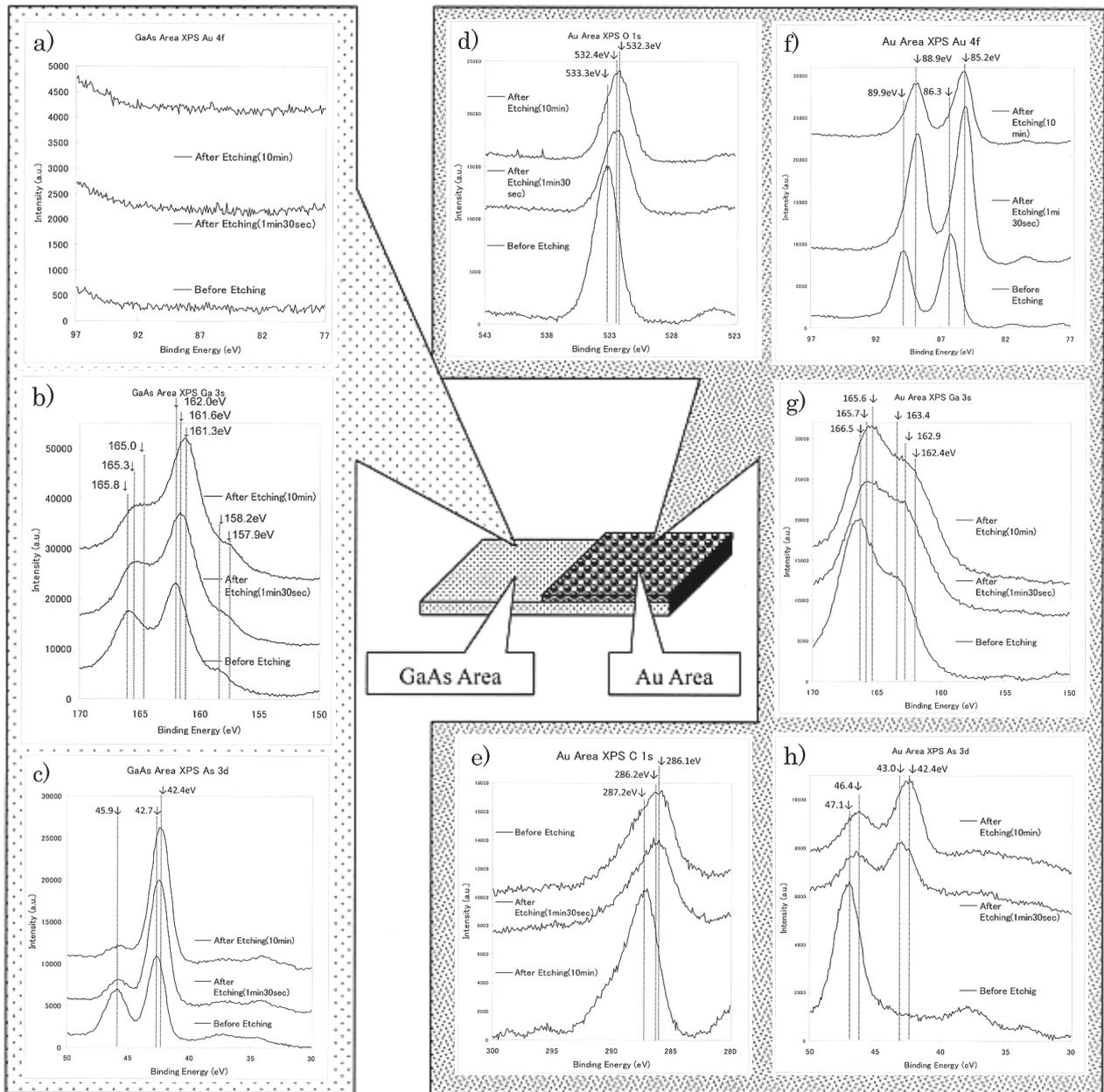


図 2. XPS 分析の結果(基板領域と金微粒子領域における深さ方向分布分析の例)

3 ピークシフトの原因について

XPS のピークがシフトする代表的な原因として、化合物形成による内殻電子の結合エネルギーの化学シフト(Chemical Shift)や導電性の不足による帯電(Charge Up)が挙げられる。しかし、現在のところ今回検出された、金微粒子堆積領域における高結合エネルギー側への 1eV のピークシフトは、これらの原因では説明できない。その他の原因として、金と半導体との接合によるショットキー効果や炭素汚染や溶液としての水の影響などが考えられる。そのため XPS 分析の結果を解析し、何が原因であるのか考察した。

太陽直達光・大気散乱光の分光測定による大気汚染測定法の開発

古田 基

東京工業大学 技術部 分析支援センター

1 背景

大気汚染は自動車や工場から排出される NOx や SOx それに煤、塵埃、紫外線によるオキシダント等様々な要因により引き起こされる。都市に人口が集まり、社会活動・生産活動の集中が起こることにより大気汚染も局地的に発生するので、都内および郊外で太陽光が紫外部から可視光および近赤外にかけて散乱・吸収される度合いを測定し、大気汚染の指標が得られないかを探ってみた。写真-1 は、低空にスモッグが立ち込めている状態を撮影したものである。



写真-1. 低空にスモッグが立ち込めている様子

2 準備

事前準備として天体観測用頂角 60 度の分光プリズムを 2 個接続した分光器を製作し、一眼レフカメラに取り付けたものが 写真-2 である。



写真-2. プリズム分光器

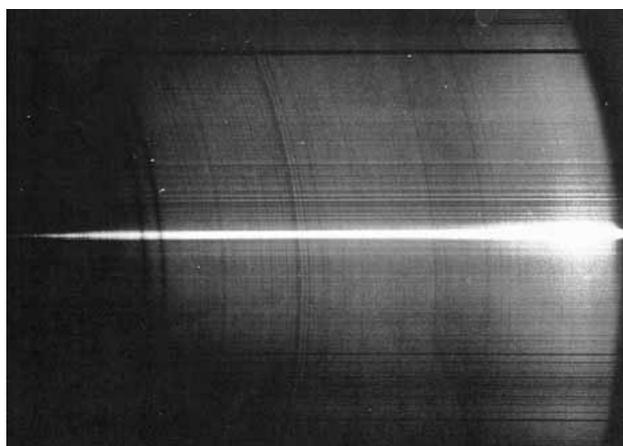


写真-3. 太陽・青空光スペクトル

この分光器のスリットを縦位置にセットして地平高度の違いによるスペクトル変化を捉えたものが 写真

-3 である。太陽の像をスリットの中央に結ばせることにより太陽像の上下のスペクトルを捉えて、高度差による違いを可視化出来る様にし、いろいろな条件のもとで撮影を行った。

汎用分散型分光器により室内からも青空光のスペクトル測定を行った。時刻や地平高度差によるスペクトル変化は 450~600nm の範囲では全体的に強度が変化するのみで際だった差は見られない。図-1 は晩秋の晴れた日のデータで、500nm を基準とした相対強度で表しているが 300~450nm の範囲のスペクトルは朝と夕方では短波長側はオゾン等の吸収の影響が現れ、大きな差異が見られた。また地平高度差による違いは短波長域ほど大きい時刻差による違いほど顕著ではなかった。図-1 に示したデータは機器を簡単に移動することができないので西側の窓から地平高度を変えて測定を行い、予備データの収集を行ったものである。

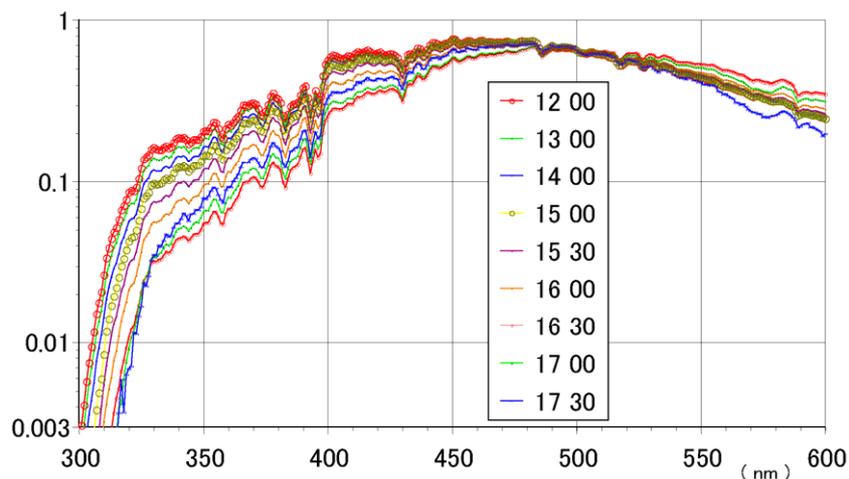


図-1. 汎用分光器で計測した時刻経過によるスペクトル変化

今まで測定したデータでは午前中はスペクトルにほとんど変化が見られなく、午後3時以降はスペクトルの時間変化が激しく、汎用分散型分光器で時間変化を追跡するのは多少きびしかったが、スリットを開け気味にして信号強度を大きくすることによりアンプの時間応答性を上げて対応した。

3 分光測定器の製作・計測

グレーティング分散で紫外域まで撮影出来る紫外用分光器を製作した。結像レンズは市販の紫外線用写真

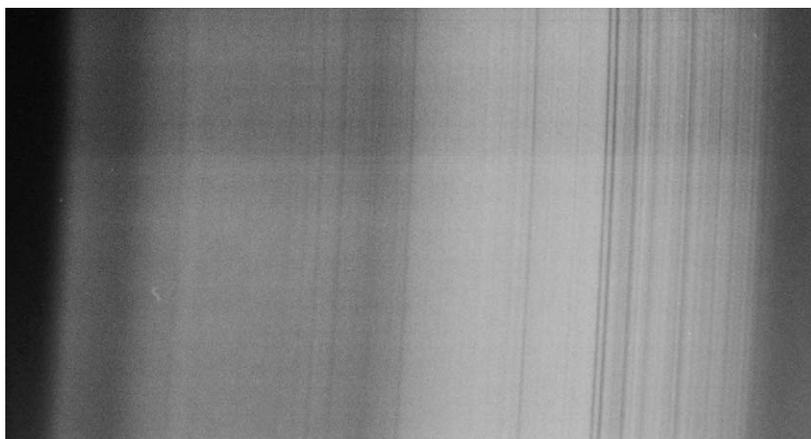


写真-4. グレーティング分光器で撮影したスペクトル例

レンズを用い、集光レンズ・コリメートレンズは石英シングルレンズを使用した。グレーティングは紫外域にブレイズされているものを使用して、フィルム面は光軸に対して傾けている。石英の屈折率特性のためCa線近辺にフォーカスしてあるので550nm近辺以上はディフォーカスとなってしまった。

写真-4はこの分光器で撮影したスペクトル例である。これで撮影したスペクトルはプリズム分光器で撮影したものと違い、厚いプリズムによる球面収差の影響がなくスペクトル線の曲りが少ないので画面上下の比較や他のコマとの比較はしやすくなっている。

可搬性小型分散型分光器を用意し、それをフィールドに持ち出して測定を始めた。データ収集にはノートパソコンとUSB接続し、また分光器への測定光の導入は、自由雲台に取り付けた石英レンズ筒からファイバーを経由して分光器へ接続している。使用した高分子ファイバーには900nm以上に少し大きな吸収があるが1000nm程度までの測定は可能である。プリズムや回折格子を使用する分光器は使用フィルムや検知器の種類によって波長感度が異なるのでスペクトル比較を行う場合は白熱電球等の光源を用いて比較校正を行う必要がある。

4 おわりに

可搬性分散型分光器で東の空を、高度を変えて青空光のスペクトル測定を行ったのが図-2である。波長範囲を広く表示しているので少々見づらいが初冬の午前中と日没直前の地平高度45度と地平高度2度のデータであり、相対的に夕方になると紫外域強度は落ちて長波長側が高くなっている。低空から来る光は厚い大気層を通るので、高度差によるスペクトルの差がよくわかる。日没近くになると特にUV-Bがほとんど検知

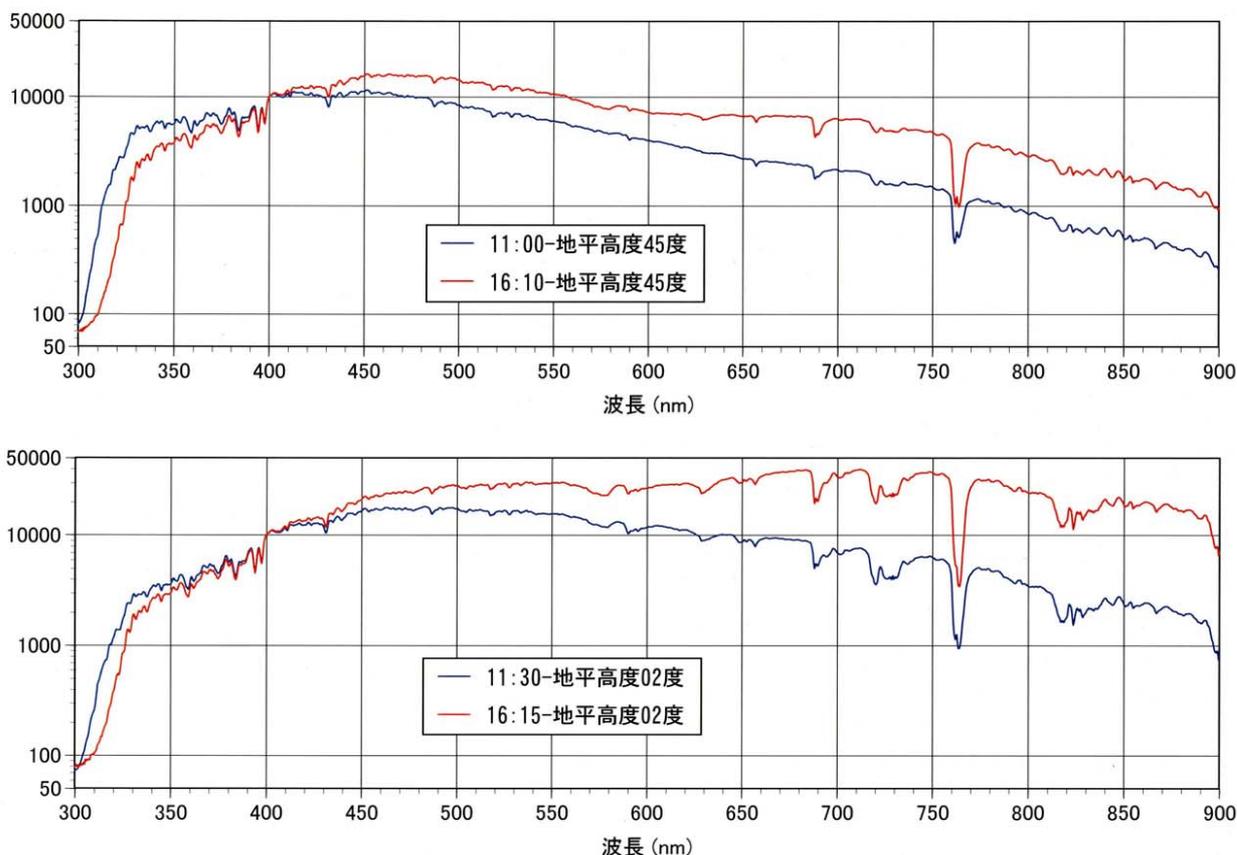


図-2. 可搬性分散型分光器で取得したデータ例

できなくなっているがこれは成層圏オゾン濃度が日照によって変化していると考えられる。日没近くになりスペクトル測定箇所太陽離角が大きい空の部分は青みを増してくるが紫外域の強度は低いままである。明け方と夕方では見かけの空の青みは同じ様に見えても紫外線強度の差が大きいように思われる。

このデータは遠景がはっきりと見える日であったが、遠景がはっきりせず霞がかかった日のデータは紫外域の特に 340nm 以下の波長の信号が大きく落ち込む事もある。

散乱光（青空光）のスペクトルを時刻や場所をかえて撮影して比較したが、撮影場所や時刻によりスペクトルの波長エネルギー分布に相違が見られた。特に短波長帯（～430nm）では都市域と郊外で同じ時間帯、同じ太陽高度、太陽離隔で比較すると大きな違いが見られた。これは人間の活動に由来する塵埃が大気に浮遊する量の違いとなってスペクトルに変化を及ぼしているとおもわれる。

曇天や雨天の日もデータ収集を行ったが、雲が上空の光を拡散・散乱するのか、スペクトルはほとんど同じで高度や方角の違いによる差が少ないデータが得られた。

都内や郊外など様々な場所でのデータを収集して、より客観的な解析が出来るようにデータ数を増やして行く予定である。

なお、本研究の一部は平成 19 年度科学研究費補助金奨励研究（課題番号：19917016）の補助を受けて行われた。

参考文献

- [1] 太陽エネルギーの分布と測定 柴田和雄・内嶋善兵衛 編
- [2] 大気汚染と気候の変化 原田 朗 著

簡単な装置の監視システムの開発・製作

○嶋頼子^{A)}、大川和夫^{B)}

^{A)} 筑波大学 プラズマ研究センター

^{B)} 筑波大学 数理・物質科学支援室 物理学系

概要

制御装置のオンラインでの監視とデータの蓄積は、装置の安全な運転の為に非常に重要である。本年度、クライオポンプの運転監視目的として、ワンチップマイコン (PIC) と Xport で構成したデータ取得システムを製作し、データベース(postgres)と PHP を利用してブラウザよりデータを監視できるシステムを構築した。本システムは安価であり、安定に稼働している。その開発過程とシステムについて報告する。

1 背景

1.1 クライオポンプ

プラズマ研究センターでは、大型の液体ヘリウムパネル (3.5K) と併用して小型冷凍機を使用したクライオポンプ (ULVAC 社製 CRYO-U20P 15K) 10 台を稼働させてプラズマ閉じ込め装置 GAMMA10 による実験を行っている。図 1 は GAMMA10 セントラル部の中性粒子入射装置 (NBI) タンクに取り付けられたクライオポンプである。

1995 年に 10 台のクライオポンプの状況と NBI ビーム関連データをモニターするシステムを構築した。東芝製ワークステーション (AS4080) と CAMAC クレートを GPIB で接続しクライオポンプデータの収集・表示・保存、NBI ビーム関連データのショット毎の取り込みと上位のワークステーションへのデータ転送をするシステムである。

クライオポンプの状況を把握するデータとしては、クライオパネル部の温度、供給 He 圧力、回収 He 圧力の 3 点で、GAMMA10 の東西各 5 台を計測し、得

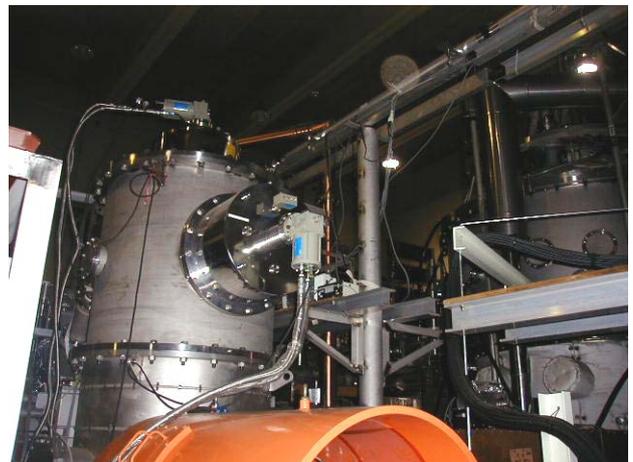


図 1. GAMMA10 取り付け部

られたデータにタイムスタンプを加え 268 バイトで 1 レコードを構成するシーケンシャルバイナリ形式で保存する (ワークステーション上 (SUN OS4.1)) 専用ソフトウェアにより表示・監視していた。

1.2 システムの移行

ワークステーションの老朽化により、故障の頻度が増えたが、部品調達が困難となっていた。更に、予定される上位のワークステーションの更新に伴い NBI ビーム関連データのファイル転送が困難 (NFS マウントできない為) となることが分かった。システムの移行が検討され、PC-CAMAC 方式で上位ワークステーションに直接取り込むことが検討されたが、この方式ではプラズマショット毎しかデータが収集されない。クライオポンプのデータはプラズマショットに関わらず、常時監視が必要である為、クライオポンプのデータは独立させて収集、表示するシステムを構築することになった。

2 A/D変換・データ送信

2.1 PICによるA/D変換

PIC(Peripheral Interface Controller)は米国マイクロチップ社が開発したワンチップマイコンで、1個のICにプログラムを格納するメモリや、演算機能、タイマ、アナログ入力、シリアル通信などの周辺モジュールが内蔵されているものである。

本システムで取り込むアナログデータは GAMMA10の東西に集められており、それぞれ5台分15個である。東西の距離が離れていることから東西に1台ずつ、A/D変換・データ送信モジュールを置いた。PICはアナログ入力ポートが多く、シリアル送受信ポートも有する16F877を選択する。アナログ入力ポートは8個、分解能は10bitで300円程度である。製作したシステムを図2に示す。2つのPIC(A),(B)を使用し、(A)のアナログポートに入力された電圧をデジタル変換し、シリアル通信出力として、(B)へ送信する。(B)は受信の割り込みを受け、(B)へ入力されているアナログデータをデジタル変換し、(A)からの受信データと合わせて、シリアル通信出力する。(A)の送信完了時、(B)の受信完了時に盤面のLEDを光るようにし、どちらかの送受信が異常を起こしたときに分かるようにしてある。

これらのPICのプログラムはCCS社(Custom Computer Services,Inc)のPCM-Cコンパイラで開発した。プログラムは非常に簡単で、あまりC言語に詳しくなくても記述することができる。コンパイル後に出来たHEXファイルをPIC-programmer(秋月電子)によりPICに書き込む。製作したモジュールを図3に示す。PICの動作

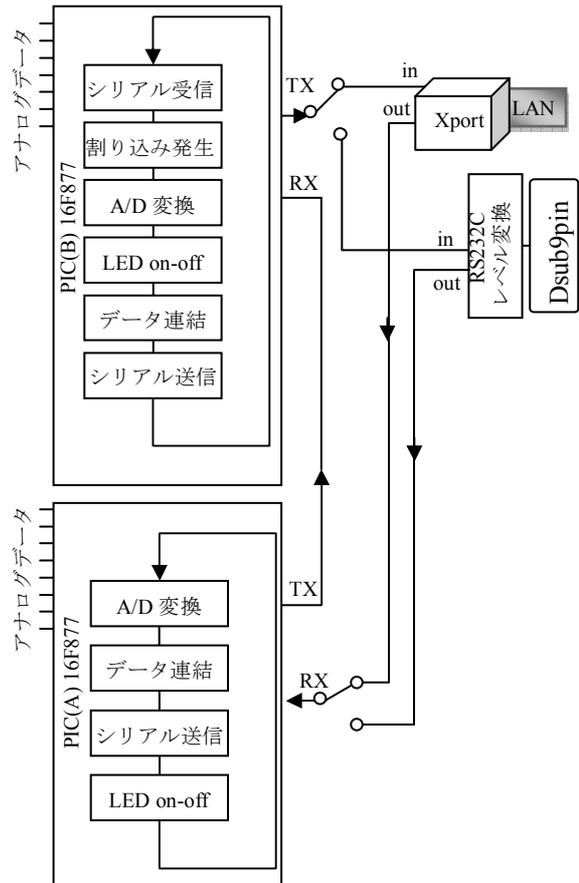


図2. A/D変換・データ送信システム図

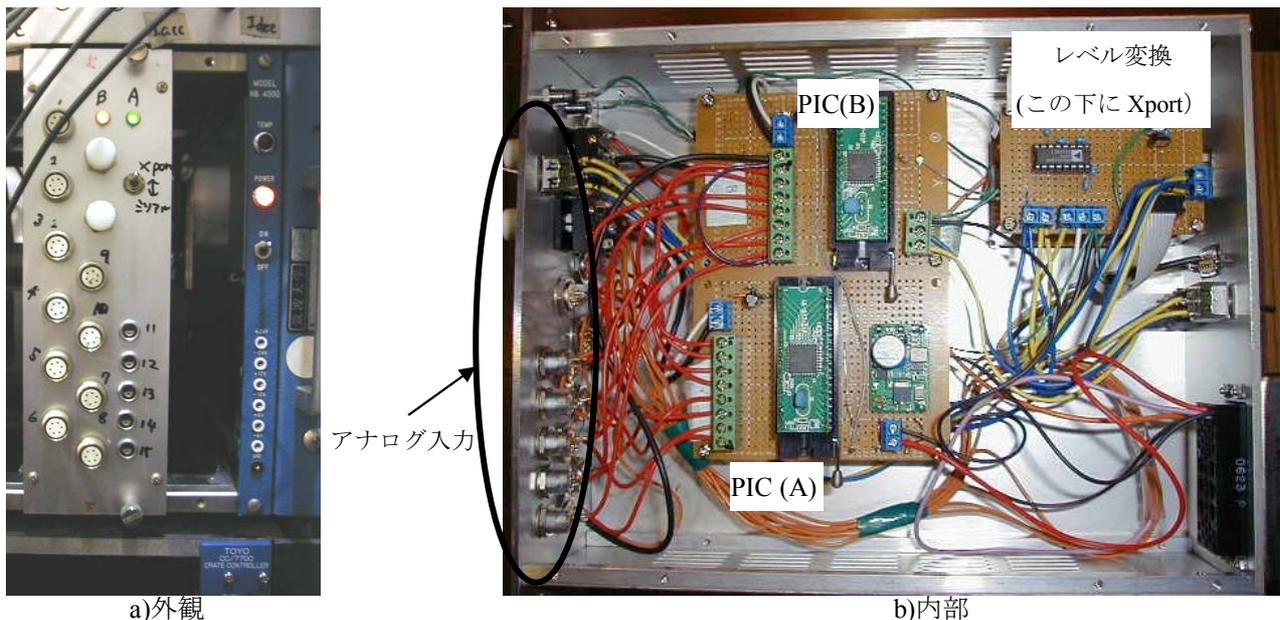


図3. A/D変換・データ送信モジュール

電源は5Vで、製作中は電池を利用し、机上でテストを行った。PICへのプログラムの書き換えを何度も行う為、ゼロプレッシャーソケットを使用している。また、NIMモジュールのケースを利用し、BIN電源より電源を得ている。

2.2 Xportによるデータ送信

Xportはラントロニクス社 (<http://www.lantronix.jp/index.html>) の製品で、その機能の1つにターミナルサーバ (Ethernet-シリアル変換器) を持ち、大きさはLANコネクタ程度、単体で8000円程度の部品である。本システムでは、写真には写っていないが、図3のレベル変換基盤の下段につけてある。

PICからのデータは0V,+5Vで送信される。パーソナルコンピュータ(PC)のシリアル通信ポートを利用する時はレベル変換 (ADM3202等) が必要だが、Xportのレベルは0V,+5Vであるので不要である (以前のバージョンでは信号レベルが0V,+3Vだった為分圧する必要があった)。今回は、ネットワークが使用不可になった場合もPCとシリアルケーブルで接続すればデータ収集が行なえるよう、レベル変換とDsub9ピンコネクタを付け、スイッチで切り替えられるようにした。Xportとの通信はXportにIPアドレスを設定し、telnetでXportの10001番ポートにアクセスする事により可能である。図4は西側のシステムにtelnetでアクセスした状況である。



図4. Xportへのtelnetでの通信状況

PIC(B)からの送信は

```
printf("%s,%2.3f,%2.3f,%2.3f,%2.3f,%2.3f,%2.3f,%2.3f\r",
```

```
data,datab[0],datab[1],datab[2],datab[3],datab[4],datab[5],datab[6]);
```

という構文で、dataはPIC(B)においてgetsを用いて取得したPIC(A)の8チャンネル分のデータのカンマ区切りの文字列となっている。datab[0]~datab[6]はPIC(B)のデータである。PIC(B)で作り出した15個の電圧値のカンマ区切り文字列が、ネットワークを通じて参照できることが確認できる。

2.3 PCの設定

本システムでは、データをPCに表示し、監視する。データ収集・表示のためにPCインストールしたプログラムを表1に示す。製品は全てフリーソフトであるが、これらはwebサーバには用意されている事が多く、特別にインストールする必要が無い場合が多い。今回は、グループのPCでデータ収集・表示したいという要望により、PCをサーバのように使用することにインストールを行なった。Xportで送信されるデータはtelnetにより得る事が出来るのでvisual basicやjavaなど様々なツールで利用する事が出来るが、今回はサーバの入れ替え期限があり、以前に経験したことのあるもので構築することとなった。

表1. PCにインストールしたもの

Apache	Webサーバソフトウェア
PHP	プログラム言語 (データ収集・表示)
postgres	データベース
JpGraph	グラフ生成用ライブラリ

3 データ収集・表示

PCでのデータ収集・表示システムの図を図5に示す。東西のXportから送られるデータはPHPのプログラムで収集する。PHPによるXportへのtelnet通信はfsockopenを使用して行う。fgetcsvでデータを得ることができる。東西それぞれのシステムから収集したデータは電圧値なので、係数を掛けて温度・圧力に換算し、タイムスタンプなどを追加し、データベースに保存する。データ収集とデータベースに書き込むPHPプログラムを作成し、バッチファイルを作ることによって、ユーザが自由に起動・停止が出来るようにしてある。

データベースに保存したデータの取り扱いもPHPで行なう。データベースで扱うことにより条件検索が可能になる。条件により抽出したデータをグラフ表示する為に、PHP言語に対応した高機能なグラフ生成用ライブラリJpGraphを用いた。JpGraphの英語版は非商用での利用で無償であり、<http://www.aditus.nu/jpgraph/>からダウンロードできる。JpGraphは様々なモジュールが用意されており、比較的簡単にグラフ化が行なえるが、細かいところの調整が難しいという難点がある。ブラウザで日時検索し作成したグラフを図6に示す。実験中はすべてのクライオポンプの最新のデータが一面に表示され、監視できるようになっている。

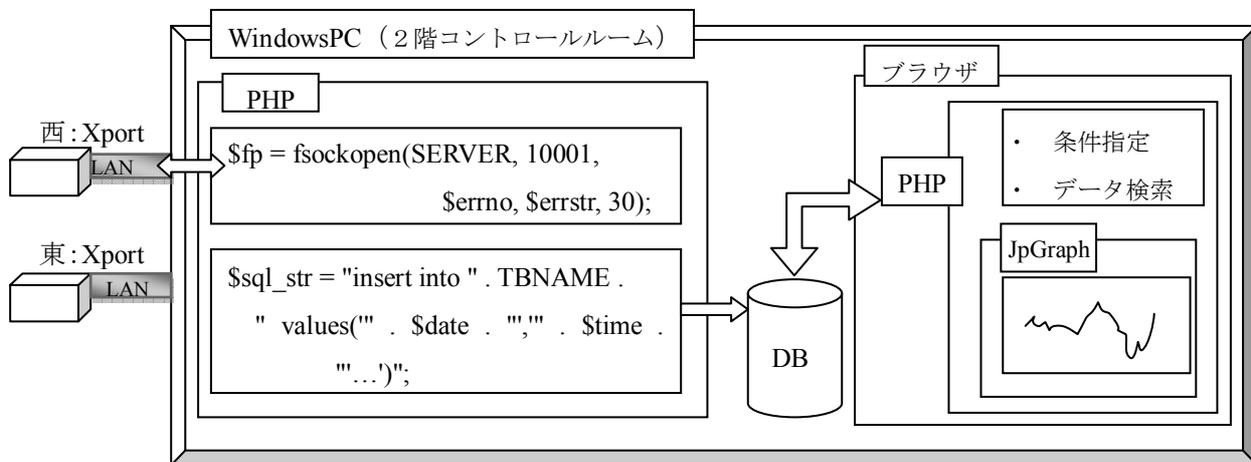


図5. PCによるデータ収集・表示システム図

4 おわりに

データの取り込みから表示・蓄積までを行なう、監視システムを製作するのに成功した。本システムは、夏の実験休止中に2週間程度で製作し、秋の実験から安定に稼働している。初めてのハードウェアからソフトまでの製作で、多くのことが勉強になった。

余り経験がなくとも製作することができたのは、システムや、ネットワークの面でそれぞれの技術職員の方のアドバイスがあつてのことであり、ここに感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 後閑 哲也, “C言語によるPICプログラミング入門”, 技術評論社
- [2] 大津 直史, et al., “X-Port を利用した携帯電話による装置監視の試み”, 第17回分子科学研究所技術研究会報告集, 平成18年3月, P80-P83

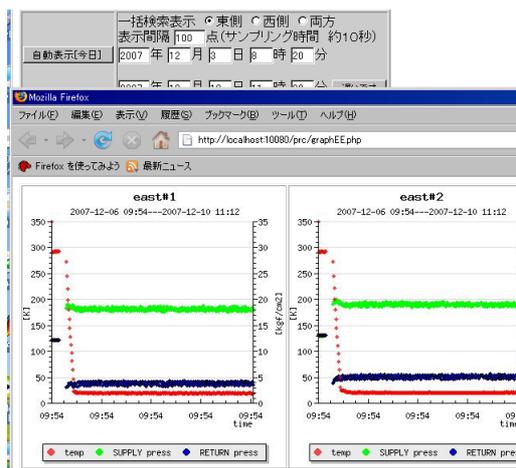


図6. グラフ表示

遠隔地における計測・制御を行うための機器の試作

山本好弘

三重大学 工学部・工学研究科 技術部

概要

現在、PC を用いた計測、制御は当たり前のように用いられている。しかしながら、測定場所が屋外の場合や測定箇所が多数ある場合など、PC の使用が難しい事例においては専用のデータロガー等が用いられて来た。また、データロガーに収集されたデータはオフライン（手動）で PC 等に再度読み込ませる必要がある場合がほとんどである。

近年では、組込用の 1 チップマイコン（マイコン）の発展により、高性能で小型、省電力のマイコンが次々と発表されている。このようなマイコンを応用した製品として、ネットワークとシリアルの変換機能を持ったモジュールが現れて来ている。

そこで、この変換モジュールと実際のデータの収集、制御等を行うためのマイコンを組み合わせ、ネットワークからリモート操作により、温度、湿度等のデータを収集するための装置の試作を行ったので概要を紹介する。

1 機器の構成

これまでネットワークを使用するための一番の問題点は各プロトコルの実装であったが、LANTRONIX 社のデバイスサーバ XPort のネットワーク、シリアル変換機能を用いて簡単に行えることが可能となった。

実際の温度、湿度のデータの収集は PIC マイコンにて行い、制御コマンドや測定データは XPort を経由してネットワークによる通信を PC と行う（図 1 に装置の概要を示す）。

XPort はネットワークとシリアル変換として機能し、PC からの要求（温度の計測）については、マイコンが温度センサの示す電圧値の A/D 変換を行い、XPort を経由して送信することにより実現している。

1.1 XPort の概要

XPort は RJ45 コネクタ大の筐体（図 2）に図 3 に示すネットワークプロトコルが実装されているデバイスサーバである。

主な機能としては、シリアル TCP/IP 変換、GPIO TCP/IO 変換をはじめとして、HTTP、telnet、SNMP サーバ機能、SMTP、DHCP クライアント機能および ICMP、IP、TCP、UDP、TFTP の通信機能がある。

シリアル通信に関しては、最大 920Kbps の通信速度での通信が可能であり、

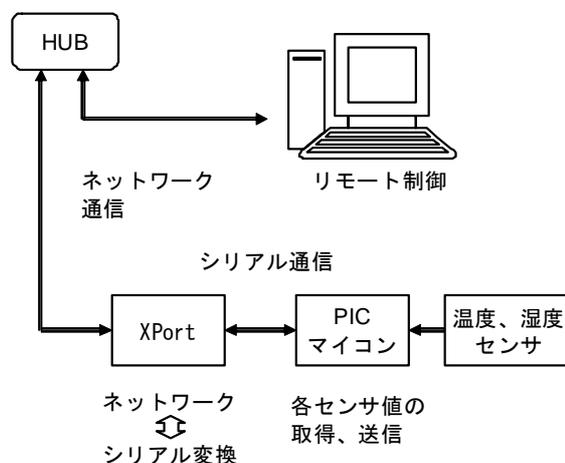


図 1. 計測機器のブロック図



図 2. XPort の外観

また DTR、DCD、CTS、RTS のモデムコントロール、XON/XOFF、CTS/RTS のフローコントロールが可能となっている。

各機能毎にポートが割り当てられており、これらのポートに対して通信を行うことにより各機能を使用することが可能となる。また、これらの設定はメーカ提供のツールを用いて、ネットワークおよびシリアル通信にて行う。

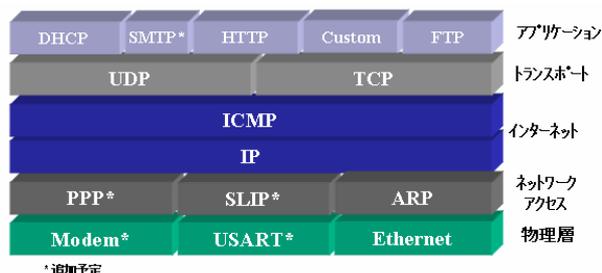


図 3. XPort のプロトコルスタック

今回は、XPort をサーバ、PC をクライアント、およびシリアルは各コントロールを使用しない設定で試作を行った。

1.2 PIC マイコンの概要

温度、湿度を計測するためのマイコンの概要を図 4 に示す。

ここでは、MicroChip 社の PIC16F88 を使用し、半導体温度センサ (LM35D)、高分子湿度センサ (HS-15) による電圧出力を PIC マイコンの内蔵の 10bit A/D コンバータによる量子化および送信を行うためのコマンドの実装を行っている。

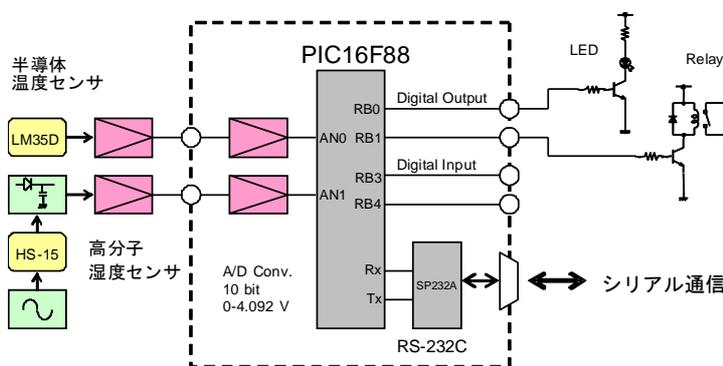


図 4. 計測用マイコンのブロック図

2 制御ソフトウェア

まず簡単なテストプログラムを WindowsPC 上の ExcelVBA を用いて作成し動作の確認を行った (図 5)。

テストプログラムは、Windows の Winsock AP を用いて、TCP による通信を行っている。マイコンとの通信は、まず TCP の接続を確立し、温度、湿度を計測するコマンドの送信を行い、計測データの受信を行った後に接続の解除を行う手順で行っている。この手順を設定された時間間隔で回数分行いグラフ化を行っている。

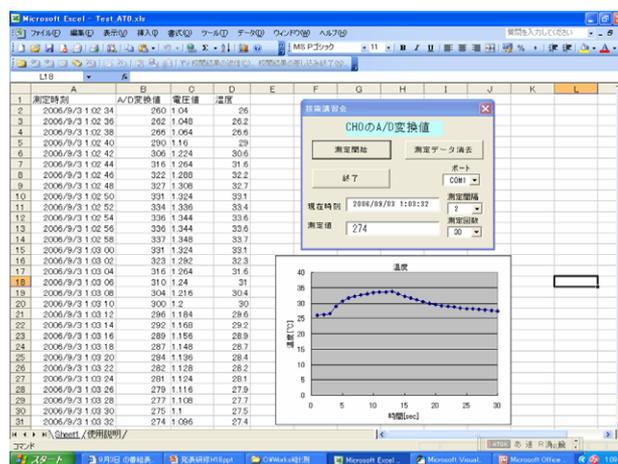


図 5. Excel の VBA を用いたテストプログラム

3 まとめ

現状では、温度、湿度のデータが得られるだけであるが、ネットワークによるリモート制御へ向けての足掛かりは出来たと思われる。今後は、実際の計測制御に則した計測用マイコンおよびネットワークプログラムの開発を行う必要がある。また、XPort 内のメモリにカスタムファームウェアの組込が可能であるので、こちらの開発も併せて行う予定である。

最新のビームライン・インターロックシステム

○齊藤裕樹、小菅隆、濁川和幸、伊藤健二

高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所

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リング及び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。複数の実験ホールに多数の実験用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ビームライン・インターロックシステム(BLIS)が設置されている。これらのBLISはインターロック集中管理システム(CCS)に接続され、安全かつ効率の良い放射光利用実験遂行のために統合的に管理・制御されている。

2 ビームライン・インターロックシステムの概要

2.1 ビームラインとBLIS

ビームラインはメイン・ビーム・シャッター (MBS)、ブランチ・ビーム・シャッター (BBS)、ダウンストリーム・シャッター (DSS)、ゲートバルブ、真空ゲージ、冷却水系、圧搾空気系、ハッチ、及びミラー、モノクロメータなどの光学系から構成される。BLISはこれらビームラインの構成要素を統合的に管理・制御し、真空保持、構成要素の保護、放射線被曝からの運転者・実験者の防御などを行い、運転、保守、実験を安全かつ円滑に遂行するために使用されている。

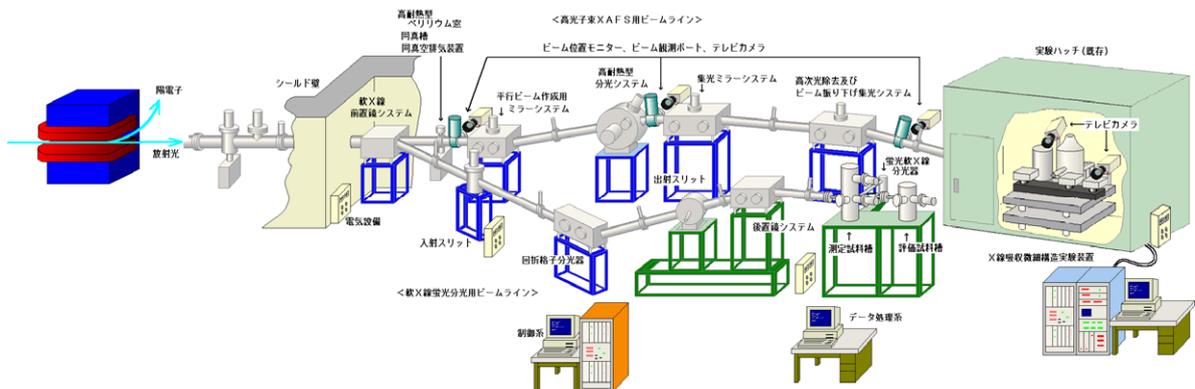


図1. ビームライン

2.2 BLISの変遷

初代システムはハードワイヤロジック回路とシーケンサ (PLC) 制御のシステムとハードワイヤロジック回路のみのシステムの2種類が存在した。第2世代となると全面的なPLC制御のシステムになり、1989年に第3世代となる様々な仕様のビームラインに対応した統一BLISが完成した。その後長年にわたり運用されていたが、1997年にタッチパネル付き液晶表示盤と一部に省配線システムを採用し、低価格化を目指した改良版が製作された。しかし更なる低価格化を目指して、第4世代の開発が1998年に行われた。

2.3 第4世代 BLIS

低価格化を推し進め、可能な限り既製品で構成されたシステムとなっている。前世代のシステムとの互換はないが、誤操作を防ぐため操作系の互換性は保っている。また、配線工程を減らすためとシステムの分散化のために全面的に省配線システムを導入している。省配線システムは、オープン・フィールドネットワークの DeviceNet を採用した。

第4世代 BLIS で採用したシステムの主なコンポーネントを以下に説明する。

- メインユニット

DeviceNet マスタユニットを実装した中型 PLC を内蔵する。

PLC のプログラムは第3世代の物を基本として作られている。



図2. メインユニット



図3. メインコントローラ

- メインコントローラ

ビームライン全体が操作できる操作盤である。ビームライン全体のステータスがタッチパネル付き液晶表示器であるプログラマブルターミナル (PT) に表示されており、キーを回すことで操作画面に切り替わる。主に運転者が操作する操作盤で、異常等のリセットもここで行う。前面に非常停止スイッチのビームダンプスイッチが実装されている。

- ステーションコントローラ

各実験ステーションに設置され、ブランチビームラインの操作盤である。ブランチビームラインのステータスが PT に表示され、タッチパネルでゲートバルブが、右側のスイッチで MBS、BBS、DSS 等のビームシャッターの操作が行える。メインコントローラ同様前面にビームダンプスイッチが実装されている。



図4. ステーションコントローラ



図5. I/O 収納ボックス

- I/O 収納ボックス

DeviceNet の I/O ユニートを内蔵し、ビームライン数か所（ビームラインの規模による）に設置され、ビームライン構成要素が接続される。

これらのコンポーネントは DeviceNet 専用ケーブルで接続する。PT に関しては別途、RS-422A ケーブルで PLC と接続する。また、すべてのコンポーネントには AC100V を供給する必要がある。

3 最新の BLIS

第 4 世代の開発が行われて 10 年経つが、その間に様々な改良・変更を加えてきた。以下に最新システムの改良・変更点を説明する。

3.1 PLC の変更

従来使用していた中型 PLC (OMRON C200HX) と同等の性能を持ちながらより小さい小型 PLC (OMRON CJ1G) を採用した。この PLC は各種ユニットと接続するのにベースユニットを必要とせず DIN レールに直接実装する事が出来る。

3.2 PT の変更

オプションで DeviceNet インターフェースが利用可能なものを採用した。DeviceNet で接続する事により、従来必要だった RS-422A ケーブルが省けることになる。また、この機種は RS-422A インターフェースも標準で持っているので従来のシステムにも接続可能である。従来使用していた機種よりやや大型になっている。

3.3 各コントローラ筐体の改良

従来使用してきた筐体はコストダウン優先だったため、メンテナンス性が犠牲になっていた。ラックに設置したままで筐体背面から配線作業やメンテナンスを行うのだが、クローズドドラックや筐体背面にアクセスし辛い場所に設置した場合には作業性が悪くなる。また、前面に実装されている PT のメンテナンスの際には設置されているラックから一旦外す必要があった。実際に運用してみて、この事が結構な問題であることが分かった。そこで、ラックに設置したままフロントパネル全体が開けられる様にし、配線もメンテナンスも筐体前面から行う様にした。筐体自体は市販品を使用しコストが上がるのを防いでいる。PT が大型化したため従来の筐体より大型になってしまったが、メインコントローラに関しては PLC が小型になった事もありメインコントローラ内に PLC を内蔵する事が出来た。これは従来でいうメインユニットをメインコントローラ内に取り込んだ事になる。



図 6. メインコントローラ



図 7. フロントパネルオープン

3.4 CCS との接続の変更

BILS は CCS と接続し、CCS からステータスのモニタリングとビームライン使用許可等の制御信号を受けている。従来は端末送受信機を介して CCS と接続していたが端末送受信機の老朽化や、より細かなビームラインの管理・制御のため Ethernet で CCS と接続する事にした。ネットワークインターフェースとして Plat'Home 製 OpenBlockS を使用し、PLC と OpenBlockS 間は RS-232C で通信する。

PLCによる大型加速器機器制御系の運用状況

白川明広

高エネルギー加速器研究機構 加速器研究施設

概要

最大加速エネルギー8GeVの電子・陽電子線形加速器の主要機器制御にプログラマブルコントローラ(PLC)を導入してから10年余りを経過した。制御対象としては直流電源、真空機器が各数百台と、その他少量多種の機器がある。これまで目立った問題も無く安定に運用を行っているが、最近経年劣化によると思われる故障が出始めている。その他の故障事例も含め、現在の運用状況について報告する。

1 PLCによる制御システムの現状

1.1 PLCによる制御の対象機器

電子陽電子線形加速器(以下「リニアック」と言う。)では、熱陰極型電子銃で発生させた電子ビーム及び電子を金属標的に照射して生成させた陽電子ビームを、大電力高周波により加速させている。ビームの軌道制御は集束・四極・ステアリング等の各種電磁石により行う。また、ビームダクトを超高真空中に保つためにイオンポンプ等の真空機器がある。以上の機器類及び安全インターロック系をPLCにより制御している。リニアックは全長約800mに及び、各機器は分散配置されているため、PLCもそれに応じて数十箇所に分散している。制御対象機器類及びそれらの現在までのおおよその使用年数を表1に示す。

なお大電力高周波源制御用のPLCについては別の担当者によるものであるため、以下本稿では一部の特記事項を除き対象外とする。



図1. 高エネ研電子陽電子線形加速器

1.2 運用状況

PLCは通常、様々な種類の「モジュール」を集積させて、ある特定の目的に供する。例えば電磁石電源制御の場合は電源・CPU・通信・接点入出力・DAC・ADCのモジュール群から成る。これらを一つのボックスに組み込んで「コントローラ」と称し、制御対象機器との間を信号線で接続する^[1]。各コントローラと加速器

表1. PLCにより制御を行っている機器類

機器分類	機器数(概数)	PLC組込コントローラ数	最長使用年数
真空機器(真空計、真空バルブ、イオンポンプ)	430台	22台	11年
ビーム軌道制御用電磁石電源	530台	50台	10年
安全インターロック系	3系統	8台	9年
ビームバンチャー系(ステッピングモータ、位置検出器)	10台×2組	2台	8年
電子銃(直流電源、真空機器)	20台×3組	5台	11年+7年※
陽電子生成標的操作系	1組	1台	6年
大電力高周波源	70組	70台	10年

※ 7年前より全面的に更新している。

制御系コンピュータとの間は、イーサネットにより制御通信を行っている（図2）。運用において特徴的なこととして

- i) 機器数が多い
- ii) 同じような機器配列の繰り返しで分散配置している
- iii) 大電力機器等からの電磁ノイズの影響を受けることがある
- iv) 加速器の近傍に設置する都合上、放射線管理区域内にある
- v) 通年24時間運用

等が挙げられる。iii)～v)は不具合の発生要因となり得る。障害の具体例は別途後述するが、総じて安定に動作している。

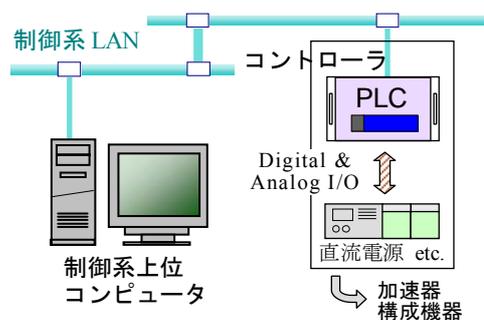


図2. 制御系における PLC の位置付け

1.3 PLC 導入の経緯

リニアック制御系に PLC を採用する契機となったのは、1995 年頃より始動した KEKB プロジェクトに伴う電子陽電子入射器の増強改造であった。改造によりリニアックは全長にして約 1.6 倍の長さとなり、機器数がほぼ倍増した。新規に増加した機器類に対応すると同時に、それまで十数年にわたり運用していた旧制御機構^[2]を置き換えて性能を統一する目的で、リニアック制御全体にわたって PLC を導入した。当時はこのように加速器機器制御に対して PLC を大規模に採用した例は希少であり、導入に際して適合性の評価を実施している^[3]。

2 不具合事例及びその対策

これまでに経験した不具合発生事例を表2に示す。表中の発生件数は10年間の通算である。

2.1 突発的事象に起因する事例

突発的な原因としては外部からの電磁ノイズや放射線、商用電力ラインの電圧変動等がある。これらは一過性であり、ほとんどの場合で物理的な破壊を伴わず、再起動をかけて正常復旧する。但し、現象が頻発する場合や、そうでなくても重要度の高い機器については、防護策が必要となる。

CPU エラーの発生した電子銃はリニアックの途中の、加速器本体に間近な場所に位置している。電子銃制御 PLC は厚さ 1m のコンクリート遮蔽ブロックの内部にあるが、それでも加速された電子ビームからの大量の放射線の影響は免れず、放射線が原因でエラーとなった可能性が高い。対策として PLC のバスラインを延長し、コントローラをリニアック近傍に残したまま CPU を取り出して遠隔地に移動させる措置をとった。

真空機器では、イオンポンプ電源と接続していた接点出力モジュールの特定の接点で電圧レベルが大きく低下し、メーカー修理となった。原因の特定は難しいが、ポンプ電源からのサージ電圧印加が疑われる。

商用電力ラインの瞬時停電や電圧低下により CPU 動作不安定となったケースでは、電力ラインに UPS を

表2. 高エネ研電子陽電子線形加速器における PLC の不具合発生事例

使用場所(制御対象)	不具合分類	不具合症状	推定原因	通算発生件数
電子銃	CPU エラー	CPU メモリチェックエラーで停止	放射線	1 件
真空機器	接点出力故障	特定の出力接点の電圧レベルが低下	不明(サージ電圧?)	1 件
真空&電磁石	CPU エラー	CPU 動作が不安定	商用電力の瞬停・変動	4 件
電磁石電源	CPU エラー	CPU メモリチェックエラーで停止	不明(電磁ノイズ?)	2 件
電磁石電源	CPU エラー	CPU 内部データ消失	不明(電磁ノイズ?)	1 件
電磁石電源	電源故障	電源モジュール故障、電源供給停止	経年劣化	1 件
電磁石電源	DAC エラー	DAC モジュール停止(再現性あり)	不明(経年劣化?)	1 件
安全インターロック	CPU エラー	信号出力異常/CPU 停止	不明(電磁ノイズ?)	2 件
安全インターロック	通信エラー	PLC 間リンク通信のエラー	接続方法/接続形態	22 件

設置することで、以後のトラブルをほぼ回避できるようになった。

安全インターロックの CPU エラーは 2 件とも同一の PLC で発生している。当該 PLC は大電力高周波源と信号授受を行っているコントローラであるため、電磁ノイズの混入が疑われる。2 回ともリセットにより正常復帰しており、一過性の現象であった。ちなみに大電力高周波源自身にも PLC が組み込まれており、そちらにおいては安全系よりも CPU エラーの頻度が多少高いと聞いている。安全系では特に対策を講じていないが、重要度が高いため、システムを二重化して冗長性を持たせることを検討中である。

2.2 経年劣化に起因すると見られる事例

PLC メーカーによれば、PLC の寿命に影響する部品の一つは電解コンデンサーであり、それは DAC、ADC、電源、リレー接点出力等のモジュールに使用されている。果たして、当方でも 9 年間使用してきた電磁石電源コントローラの 1 つの電源モジュールが故障し、出力がなされなくなった。全体的にメーカーの定める推奨交換周期を超過しつつあるが、これが初めてのケースであった。今後も続発することが予期される。

別の電磁石コントローラで生じた DAC モジュールのエラーは原因不明であるが、一過性の異常では無く、やはり 9 年間連続使用してきたモジュールであるので、経年変化と無関係ではないであろう。

いずれの事象についても、対策として古いモジュールから逐次交換を進めていく必要がある。

2.3 その他の事例

安全インターロック系での通信エラーは、他の不具合とは趣が異なり、通信モジュールの使用形態に起因するものと見られる。これは 3 台の PLC 間の情報共有を目的とした、PLC 独自規格のネットワークである。

この 3 台の間には起動の際の順序がある。起動して安定運用に入った後に、最初に起動すべき PLC だけが一時停止すると、復活しても以降の通信が不可能もしくは不安定となる。通算 22 件という発生件数の大半は、この「途中で一時停止した PLC」に起因すると見られる。また、この 3 台間の距離のバランスが偏っており、そのために通信が不安定になった可能性もある。対策としてこれを 2 本のネットワークに分割したところ (図 3)、障害の発生が皆無となった。ちなみにこれは遠隔地に情報を提供するが目的の通信であるので、通信エラーが安全に関わる動作に対して影響を及ぼすことは無かった。

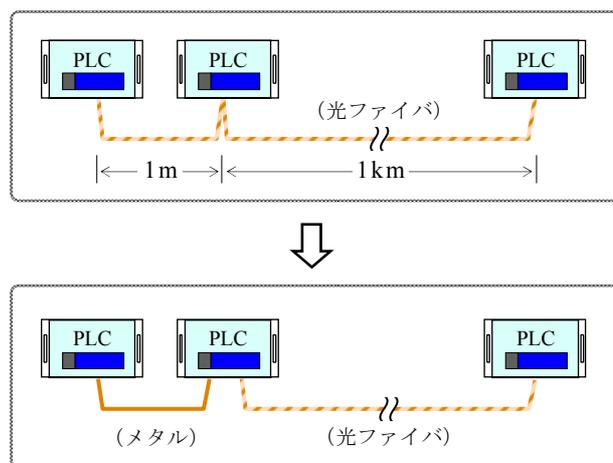


図 3. 通信エラー解消のための PLC ネットワーク分割

3 考察

不具合事例のうちで言えば「使用上の注意不足」である通信エラーの件数を除けば、不具合発生率にして PLC 1 台あたり平均 0.02 件/年程度であり、安定度が高いと言える。

経年劣化について、一般的に機器の寿命は使用環境や制御負荷にも左右されるものである。しかし現状で空調管理下の実験施設内で使用しており、負荷も PLC の性能からみて大きく余裕があることから、これらの条件の改善による寿命の延長効果は期待できない。経年を機に PLC の廃止も視野に含めた制御系の再構築、という選択肢もあり得る。しかし、全般的に性能面での不足の指摘は特に出ていないため、経費の節約の観点からも現システムの存続を前提とし、更新が必要な箇所のみ部分的に対処していくものとする。

4 まとめ

電子陽電子線形加速器（リニアック）において、真空機器・電磁石電源といった主要機器の制御に PLC を導入してから 10 年以上を経過した。突発的な電磁ノイズ他の影響により一過性障害を生じながらもその発生率は極めて低く、これまで安定した運用を行ってきた。最近になって経年劣化によると見られる故障が出現し始めたため、現制御システムの存続を前提として必要な対応を施し、運用を継続する予定である。

参考文献

- [1] 白川明広, et al, “電子線形加速器における電磁石電源コントローラの更新”, 高エネルギー加速器研究機構技術研究会報告集 (KEK Proceedings 99-16) , 1999 年 3 月, P391-P394
- [2] K. Nakahara, et al, “CONTROL SYSTEM FOR THE PHOTON FACTORY 2.5GeV ELECTRON LINAC,” Nuc. Instr. and Meth. in Phys. Research A251 (1986) 327.
- [3] A. Shirakawa, et al, “A FEASIBILITY STUDY OF PLC IN THE PF LINAC CONTROL” (in Japanese), Proceedings of the 20th Linear Accelerator Meeting in Japan, Sept. 1996, P218-P220

JT-60U 用 NBI 加熱装置の補助真空排気系／1 次冷却系制御システムの更新

○海老澤昇、菊池勝美、棚井豊、竹之内忠、秋野昇、池田佳隆

独立行政法人 日本原子力研究開発機構

1 はじめに

JT-60U 用中性粒子入射装置（以下 NBI と略称）は、JT-60U プラズマを加熱するための装置であり、JT-60U 真空容器の周囲に 15 基が配置されている。NBI は、入射装置本体に加えて、電源系、1 次冷却系、補助真空排気系、及び冷媒循環系等の各付帯設備で構成されている。NBI は、1986 年の完成から約 22 年が経過しているため、ここ数年、これらの設備の制御システムの経年化により故障が頻発しており、システムの更新が必要となってきた。特に、補助真空排気系設備と 1 次冷却系設備の制御システムにおいては、部品の生産が中止しており且つ後継互換機が無いため、部品交換による修理が不可能となっていた。このため今回この 2 つの設備の制御システムの全面更新を実施した。実施に当たっては、コスト低減を図るために、エンジニアリングメーカーに依頼することなく、原子力機構自身で制御システムの更新を行った。本稿では、この補助真空排気系設備と 1 次冷却系設備の制御システムの全面更新について報告する。

2 補助真空排気系及び 1 次冷却系設備と制御システム

2.1 補助真空排気系及び 1 次冷却系設備

補助真空排気系は、NBI 運転時の立ち上げ時に、大気圧からクライオポンプが作動できる圧力領域まで真空排気するとともに、クライオポンプ再生時の放出ガスを真空排気するために用いられている。補助真空排気系の系統は大別すると主排気系と粗引き系から成る。主排気系は 15 あるビームライン毎に設置されたターボ分子ポンプ（TMP[Turbo Molecular Pump]と略称する）で構成されている。各 TMP の排気ラインは共通のマニホールド配管を介して TMP 背圧ポンプ系に接続されている。TMP 背圧ポンプ系は、4 台のメカニカルブースターポンプ（MBP と略称する）と 4 台のドライポンプ（DRP と略称する）で構成されている。また、粗引きポンプ系は大気圧から TMP 作動領域までビームラインの真空排気を行う系統であり、3 台の MBP と 4 台の DRP で構成されている。表 1 に各ポンプの仕様を示す。

1 次冷却系は、イオン源の電極やビームライン機器の冷却、及び電源系設備（主にレギュレータチューブ及びインバーター電源）の冷却を行う。系統は大別するとビームライン循環系と RV 循環系から成る。イオン源電極やビームライン機器を冷却するビームライン循環系では、通水する NBI 運転ユニット数に応じて、ビームライン循環ポンプの運転台数を 2～3 台に決定している。これらの循環ポンプに加えて、クライ

表 1. 補助真空排気系設備主要ポンプ仕様

機 器	数 量	仕 様
ターボ分子ポンプ	17 台	大阪真空 HR-5000 排気速度 5,000L/sec (D ₂ ガス) 定常回転 14,400rpm
メカニカルブースターポンプ	7 台	大阪真空 RD2500 排気速度 2,070m ³ /h
ドライポンプ	8 台	日本エドワーズ DP180 排気速度 180m ³ /h

表 2. 1 次冷却系設備主要ポンプ仕様

機 器	数 量	仕 様
ビームライン循環ポンプ	3 台	エバラ 両吸込型渦巻ポンプ 350×200CKNM 吐出量 3,675m ³ /h 揚程 135m
RV 循環ポンプ	2 台	エバラ 片吸込型渦巻ポンプ 200×150IFWM 吐出量 635m ³ /h 揚程 60m
クライオ凍結防止ポンプ	1 台	エバラ 片吸込型渦巻ポンプ 250×200IFWM 吐出量 700m ³ /h 揚程 50m

オポンプ運転時の放射冷却によるビームライン冷却水配管の凍結を防止するために、クライオ凍結防止ポンプが備えられている。RV 循環系には、2 台のポンプがあり、その内の 1 台を選択して運転する。もう一台のポンプは、故障等が発生した場合のバックアップである。表 2 に冷却水ポンプの仕様を示す。

2.2 既存の制御システム

補助真空排気系及び 1 次冷却系設備の既存の制御システムは、日立製 HIZAC シリーズの PLC を使用していた。これらの制御システム構成を図 1 に示す。補助真空排気系は、サンプリング 46ms、プログラムエリア

16k ワードの HIZAC:P-2000H の基本ユニット (CPU) と 26 台の増設ユニットで構成される。各増設ユニットは 64 チャンネル (16 チャンネル×4 モジュール) の入出力 (I/O) ユニット、電源及び伝送部からなり、一つのパッケージに収納されている。



図 1. 日立製 HIZAC シリーズ PLC システム構成

入出力総点数 1,664

点 (DI1,168 点, DO496 点) である。ラダープログラムは、排気共通部、ビームライン共通部、及び各ビームライン (15 ユニット) 制御部の系統別に整備されており、総数は 3,252 ラインである。

1 次冷却系の制御システムは、入出力点数とプログラムメモリ容量の制限のために、プログラムエリア 2 k ワード、サンプリング 25ms である HIZAC:P250 の小規模システムを採用していた。基本ユニット 2 台 (I/O64 点を含む)、I/O 増設ユニット 3 台で成り、入出力点数は 320 点 (DI160 点, DO160 点) である。1 台あたりの P250 の最大入出力点数は 256 点であるので、基本ユニットを 2 台用いていた。ラダープログラムの総数は約 260 ラインである。今回、稼動から 22 年経過した HIZAC システムの高経年化のため、この制御システムの全面更新を実施した。

3 システム選定

22 年前の PLC と現在の PLC の性能を比較すると、現在の PLC は低価格の汎用機種においても、処理速度、ワーキングメモリ容量、入出力点の拡張性及び通信インターフェイス等の性能は優れている。機種選定の基準として、これらの基本性能に加えて、PC 端末で遠隔監視・操作が可能であることを考慮した。さらに、既設のラダープログラム内容を調査し、以下の事項をソフトウェアの選定基準とした。

- ・ 論理演算命令比較や旧システムで用いているワード演算処理を行うために、BASIC ライクなフロー言語等の置換え処理等が容易に可能であること。
- ・ 短期間での制御更新が必要であることから、ソフトデバック及び PLC 単体でのシーケンス試験が容易にできること。

上記の条件を満たす機種はいくつかあったが、当グループが 2005 年に実施した冷媒循環系 PLC 計装制御

システム更新^{*}[1]での実績や同システム開発で培った経験を考慮し、オムロン製 SYSMAC CS1H シリーズを選定した。

4 新規 PLC システム

補助真空排気系及び1次冷却系設備に新規導入したオムロン SYSMAC CS1H シリーズの PLC システム構成を図2に示す。補助真空排気系に対して1台の CPU ベースと3台の増設 I/O ベース、1次冷却系に対しては

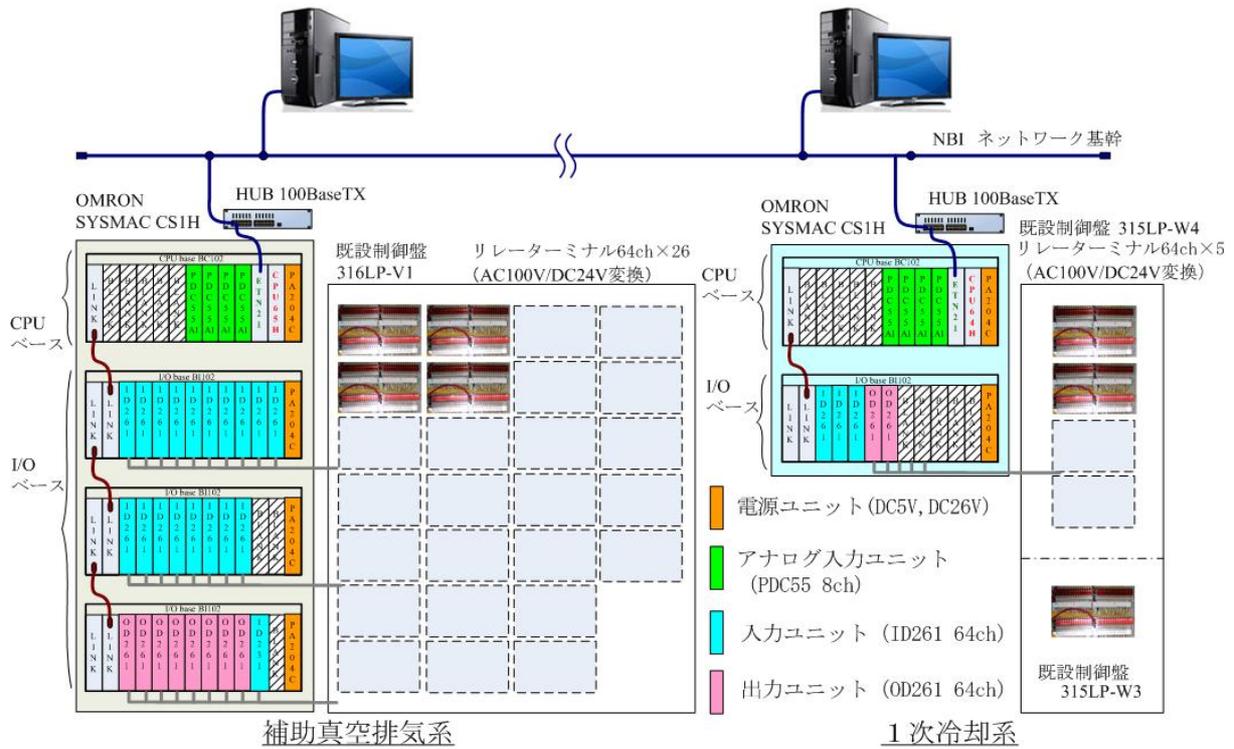


図2. オムロン製 SYSMAC CS1H シリーズ PLC システム構成

1台の CPU ベースと1台の増設 I/O ベースを用いて、各制御システムを構築した。I/O バス通信のために、CPU ベースと増設ベースとは互いに接続されている。CPU ベースは32bitRISCプロセッサを使用しており、プログラム容量 60k ステップ、データメモリ 128k ワード、最大入出力点数 5,120 点の性能を持つ。各ベースは1台当たり最大で10ユニットの装着が可能であり、独自に DC5V、DC26V 電源も有している。通信ユニットとして、一般的な Ethernet 100Base-TX 規格を採用し、TCP-IP 通信プロトコルで PC 端末と通信を行い、ラダープログラミングソフトやグラフィック操作画面ソフトで作成したデーターを PLC と PC 端末間で通信する。アナログ入力ユニットは絶縁型直流入力タイプであり、新たに増設したものを含めて合計 32ch を装備した。一方、デジタル I/O ユニットの点数と整合性を取るために、1ユニットあたりの接点数が 64 であるものを用いている。また、旧システムの入出力接点の出力電圧（AC100V）を本システムで用いている I/O ユニットの出力電圧（DC24V）に変換するために、電圧変換を行うリレーターミナルを配置した。これにより、信号配線の大幅な変更を回避した。リレーターミナルから PLC までは、専用の多芯線で接続した。ラダープログラミングは、メーカーから提供されている CX-Programmer を使用して作成した。基本的には旧システムでの制御ロジックをそのまま CX-Programmer を用いて書き換えた。CX-Programmer を用いたプログラミングは簡単な手法で回路図を作成できるものである。図3に示すように、単純に基線から論理演算記号をショートカットキーまたは指定アイコンで書き込み、そこに入出力または内部補助リレーのアドレスを割り当てることによって回路を作成することができる。また、回路中の接点や出

リレーは信号の ON-OFF 状態によって色が変わるため、回路の接続状態を容易に認識することができる。

実際のプログラミングでは、新旧ラダーソフトの基本論理演算命令機能の違いなどがあったために、単純に、旧システムのプログラムを CX-Programmer を用いたプログラムで置き換えるばかりでなく、新システムに適応する新たなロジックも考案した。さらに、旧システムでのフロー言語命令は、新システムにおいては、豊富な関数命令の組合せによって置き換えた。CX-Programmer でのプログラミング作業は、分割分担して作成し、最終的に全体を統合した。

各機器の運転状態や制御を容易にするために、CX-Designer ソフトで作成したグラフィック画面を採用した。(監視画面の例：図4)

5 動作確認とまとめ

新システムの導入にあたっては、個別機器の動作確認の後、総合試験を実施し機能が正常に動作することを確認した。その後、補助真空排気系及び1次冷却系設備は何の問題も無く極めて安定に運転されており、今回の制御システムの更新作業が極めて円滑に実施できたと考えられる。

20年以上経過した制御システムの多くは、経年化の問題を抱えるが、今回のように両設備で入出力数約2,000点、ラダーソフト3,600ラインの制御システムにおいても、低価格な汎用PLCを導入することで、ユーザー独自にシステム更新が可能であることを示したことは、今後の高経年化対策の指針を示すものである。加えて、最近のPLCが有するPLCネットワーク機能を用いることで、既存システムでは不可能であった遠隔制御が可能となり、運転監視における運転員の負担軽減及び各機器の詳細な状態判別が可能となり、機器トラブル箇所の調査と修復が迅速となった。

参考文献

- [1] 本田 敦 他, et al, “JT-60U における NBI 加熱装置用ヘリウム冷凍設備の PLC 制御”, JAEA-Tecnology2006-020, 2006 年
- [2] 菊池 勝美 他, et al, “NBI 補助真空排気系設備及び1次冷却系設備制御システムの更新”, JAEA--Tecnology2008- , 2008 年

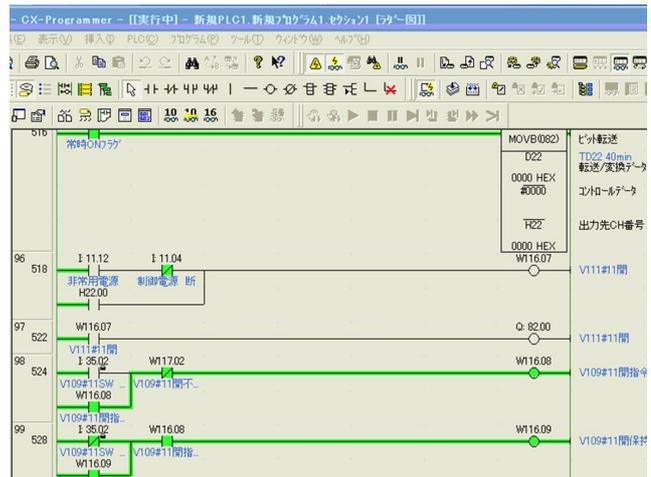


図 3. CX-Programmer プログラミング画面

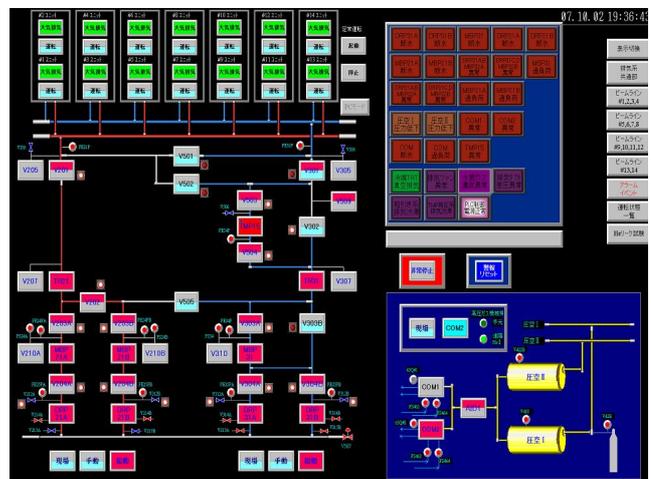


図 4. 監視・制御用グラフィック画面

LHD における再突入高速イオンプローブ駆動システムの開発

○佐藤守^{A)}、永岡賢一^{B)}

^{A)} 核融合科学研究所 技術部

^{B)} 核融合科学研究所 粒子加熱プラズマ研究系

概要

2007 年度 LHD 実験第 11 サイクルより、新たに再突入高速イオンプローブ (図 1) を導入しプラズマ周辺部の高速イオンを計測している。計測場所は、高速イオンのパワーが非常に高いため、計測時にプローブを挿入し、非計測時には引き抜いておく必要がある。今回は、その遠隔制御駆動システムを、PLC を用いて開発した。



図 1. プローブ全体写真

1 システムの構成

このシステムの構成図を図 2 に示す。このシステムは駆動部、制御部、操作部からなり、それぞれが別の場所に設置されている。LHD 本体近傍は非常に強い磁場が発生するため、プローブを取り付けるポート周りは、プローブの駆動に関わるものや計測を行うセンサー類のみで構成し、また磁性体の使用を最小限に抑える。プローブ駆動の制御や各種信号の入力は、ケーブル長で約 50m 離れた位置に設置した 19 インチラック内の PLC やアンプ等で行う。また、LHD の実験中は本体室に入ることができないため、制御室より PC を使用しネットワーク経由で遠隔で操作する。

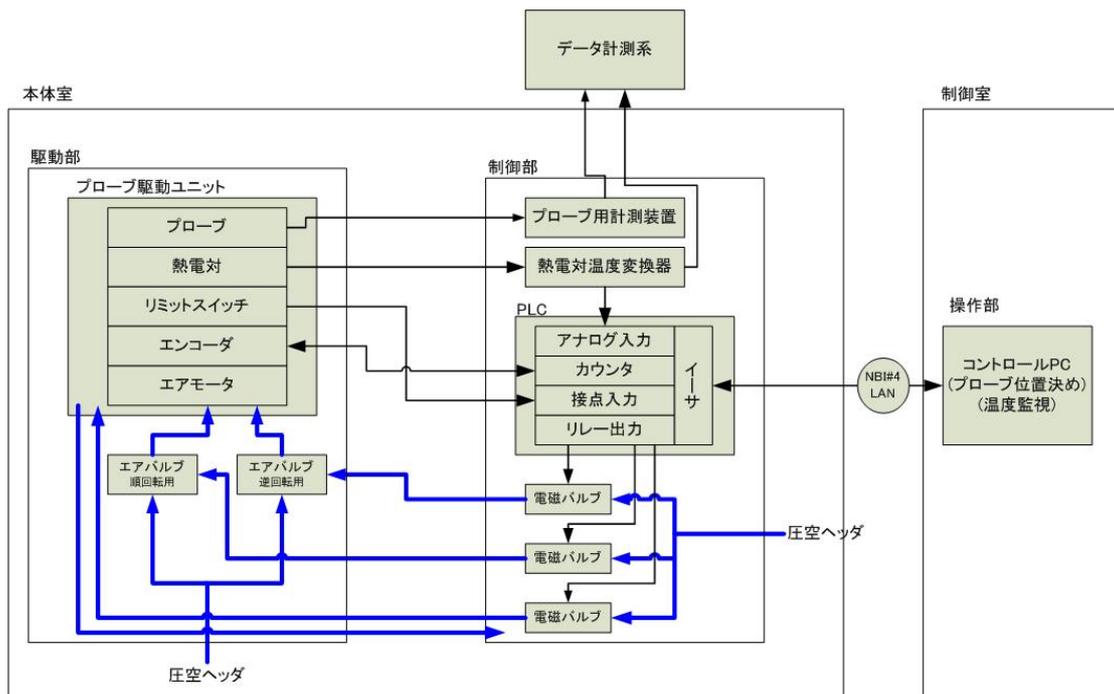


図 2. 再突入高速イオンプローブ駆動システムブロック図

2 駆動部の開発

前述したように、実験中は非常に強い磁場が発生するので、本体付近に磁性体をおくことができない。また、磁石を用いた駆動方法は磁場により誤作動を起こす可能性があり、システムの安全性や信頼性を保つためには使用することができない。そこで磁石を使用しない駆動方法として、エアモータか超音波モータが考えられる。超音波モータには入力したパルスのみで動くという位置制御するには大きな利点があるが、今回のシステムでは大きなトルクが必要であるため、エアモータを使用することにした。

駆動部分の上限部、下限部にリミットスイッチを設けプローブの駆動範囲を制限する。また、ロータリーエンコーダを使用し駆動軸の回転数を測ることで、プローブの位置を検出する。

3 制御部の開発

制御部には安全性、信頼性の観点から PLC を採用した。PLC には、コンパクトで扱いやすいことと使用経験があることから、横河電機の FA-M3 シリーズを使用することにした。

PLC での制御の項目を次に示す。

- プローブの差し込み、引き抜き
- プローブの位置検出
- 自動での位置制御(±1mm)
- リミットスイッチによる動作範囲の制限
- プローブ冷却エアのオンオフ
- プローブ用電源のオンオフ
- プローブ温度のモニタ
- 温度による自動冷却オンオフ
- 温度によるプローブ自動引き抜きインターロック

これらの項目を満たすように、専用のラダー図作成ソフトウェア (図4) を用い、PLC のリレー、タイマー、各種入出力の動作条件を書いていく。



図 3.19 インチラック内機器配置

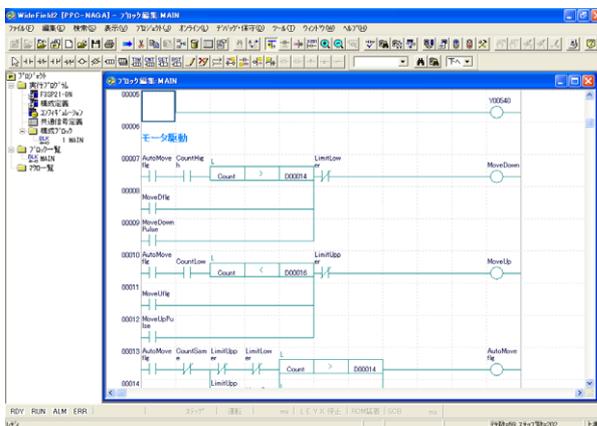


図 4. ラダー図作成画面

3.1 エアモータの制御

プローブの自動での位置制御 (任意の位置への自動での移動) を考えたとき、エアモータの停止時間の問題がある。エアモータは文字通りエアの供給で駆動するわけだが、エアの供給停止後もチューブ内の圧力がモータ駆動圧力を下回るまでモータは停止しない。このシステムでは、LHD 本体の磁場の影響で駆動部に電磁バルブを使用することができないため、制御部に電磁バルブを設置し、そこからシンプレックスチューブを使用してエアを送っている。その長さが 50m あるため、エアの供給を遮断した後もチューブ内の圧力がエアバルブの動作圧力を下回るまでの時間遅れが大きい。

供給エアの圧力をエアバルブの動作最小圧力近くまで下げることで時間遅れを小さくすることはできる。しかし、エアバルブを確実に動作させるためには、供給エアの圧力をバルブの動作最小圧力より多少大きく設定しておく必要があり、時間遅れをゼロにするのは非常に困難である。

そこで、カウントが目標値に一致してから止めるのではなく、時間遅れの分をあらかじめ考慮して、その分だけ前に止める方法をとることにした。

4 操作部の開発

制御室からの遠隔操作用のプログラムは VisualBasic6.0 を用い Windows 上で動作するソフトウェアを作成した。PLC との通信には TCP/IP を使用している。基本的に駆動部の制御は PLC で行っているため、操作部では PLC の状態の読み取り、各制御用パラメータの書き込み、操作開始の指令を行えばよい。

画面上のボタンのオンオフで PLC 上のリレーを操作するのだが、リレーのアンサーバックを見てリレーの状態とボタンの状態との不一致を防止している

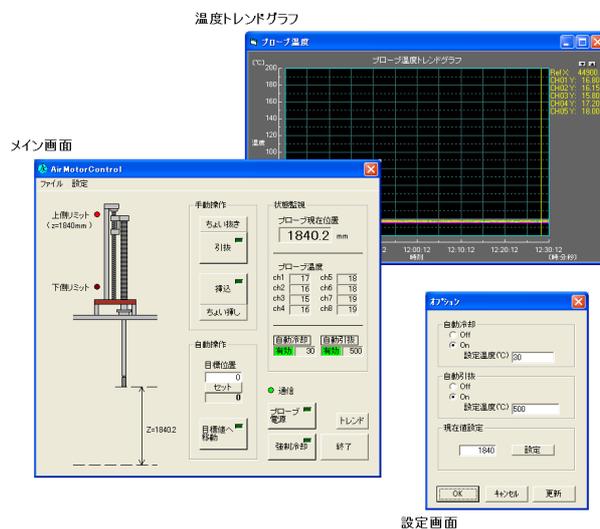


図 5. 操作画面

5 結果と考察

動作確認の結果、機械的な部分の動作に問題は無く、PLC による各種動作の制御については、ひとつずつ動作を確認しながら修正を施し完成に至った。自動位置制御では、プローブの現在位置と目標位置が十分に遠い場合、駆動中のチューブ内圧力が十分安定するので毎回ほぼ同じ位置で停止し、誤差±1mm を十分にクリアした。

現在位置と目標位置が近い場合、目標値まで到達しないが、エアをパルスの短時間送り 1mm 程プローブを動かすための操作ボタンを追加し、手動で位置を微調整することによりこれを補うこととした。

6 今後の課題

6.1 信頼性の向上

プローブに限らず LHD 本体内部に取り付けてある機器は、何らかの故障があったとき、LHD の実験の遂行に大きな影響を及ぼす可能性がある。そこで、故障を未然に防ぐためのインターロックや、故障したときの冗長システムを考えなければならない。ソフト面では、バグの排除や誤操作を防止するような操作画面の作成、ハード面では、予備のリミットスイッチを取り付ける等の対策が考えられる。

6.2 プローブに関するインターロック

このシステムは、当初はプローブ駆動に関する制御を目的として開発したが、プローブを用いた実験の結果、プローブ用の電源の操作や過電流による電源のインターロック等、プローブ計測そのものに関する制御も必要であると感じた。

Ajax を用いたストックルーム出庫管理アプリケーションの開発

－視認性・利便性向上を目指して－

豊田朋範

自然科学研究機構 分子科学研究所

概要

分子科学研究所装置開発室で出庫管理を行うソフトウェア(以下「出庫管理ソフトウェア」)は、パーソナルコンピュータの OS の変遷に伴って大規模な改良を行い、Windows に移行する際に著者を含む装置開発室職員が在庫品の情報をデータベース化して、ストックルームの端末(PC)から Web ブラウザを介して出庫手続きを行う形式¹⁾を採用し、現在使用されている。

現在の形式は Web ページの各種情報入力によく見られる、HTML(Hypertext Markup Language)の form 関連タグであるテキストボックスやラジオボタン、チェックボックスで形成したものである(図 1)。これはこれで十分使用に耐えうるものではあるが、1つ1つ順を追って出庫部品を選択していく従来の形式を踏襲するもので、Windows の GUI(Graphical User Interface)を生かしていない。また、複数種類の出庫には一連の出庫手続きを繰り返す必要がある。

一方、Web アプリケーション製作技術はブロードバンド環境の普及もあいまって、近年飛躍的な進展を見せている。中でも Google 社の Google Maps はマウスホイールの回転で視認ポイントを拡大・縮小させ、マウスのドラッグで視認ポイントを移動させるなど、自由度は非常に高い。このアプリケーションを実現させている技術の根幹にある JavaScript で GUI を生かした、分かりやすく使いやすい出庫管理ソフトウェアを構成できないかと考え、開発に着手した。

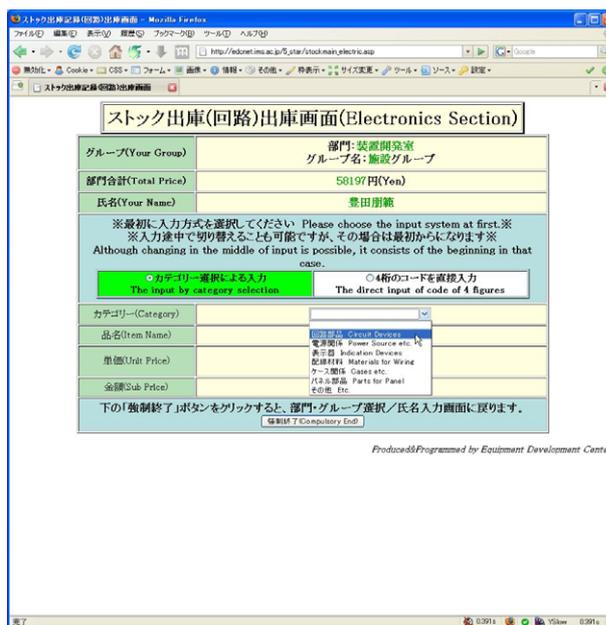


図 1. 現在の出庫管理ソフトウェア

1 なぜ Ajax を使用するか

1.1 JavaScript の歴史と Ajax への進化²⁾

JavaScript は 1995 年に LiveScript という名称で登場した、Web 技術ではかなり長い歴史を持つスクリプト言語である。当時 Web ブラウザで大きなシェアを獲得していた Netscape Navigator(以下 Netscape)があれば他の動作環境が不要なこと、HTML しかなかった Web ページのインターフェースを大きく向上させることが出来ると注目されたが、近年まで「冬の時代」を過ごして来た。

その 1 つの要因は、JavaScript の実装が Web ブラウザ毎に異なっていたことである。「閲覧者の環境に依存しない」ことを基本理念とする Web ページにおいて、Web ブラウザ毎の動作の相違は閲覧者(クライアント)

にとっても Web ページ製作者にとっても大きな障害となる。

もう 1 つの要因は、JavaScript に関連したセキュリティが問題になったことである。JavaScript の登場から普及までによく見られた「Web ブラウザのステータスバー表示をリンクに応じて変化させる」ことが、リンクを偽って閲覧者を悪質な Web ページに誘導する、無限に別ウィンドウを開かせて Web ブラウザどころか OS を強制終了するしかなくなる事態に追い込む「ブラウザ・クラッシャー」などへと悪用されることとなり、JavaScript を使用することが閲覧者の警戒を呼ぶようになった。

JavaScript が一般の Web ページでの使用を警戒・敬遠されている間に仕様の標準化(1997 年)が進められ、クライアントとサーバ間で必要に応じて通信を行い、JavaScript で動的に Web ページを加工・成形する Ajax(Asynchronous JavaScript + XML)技術へと進化した。

特に 2004 年から 2005 年にかけて Google 社が GoogleMaps や Gmail などの自社サービスに Ajax を積極的に採用したことで、JavaScript は再び脚光を浴びることとなった。懸案だった Web ブラウザ間の動作の相違も、前述の標準化に準拠した Web ブラウザへの実装と、ブラウザ間の相違を解消する各種ライブラリの登場で大幅に改善された。

1.2 JavaScript の利点

クライアント側における動的な Web ページ生成手法は、JavaScript の他に Macromedia 社(現 Adobe 社)が開発した Flash、Microsoft 社が開発した ActiveX などがある。在庫管理ソフトウェアの開発において Flash や ActiveX でなく Ajax すなわち JavaScript を選択したのは、いくつかの理由がある。

第 1 に、簡単且つ安価に開発環境を構成できることである。Flash の開発には Adobe 社の Flash、ActiveX の開発には C++ など別途開発環境を導入する必要があり、これらは概して高価で PC に相応のスペックを要求する。対して JavaScript の開発環境としては、最低限 Web ブラウザと Windows 付属の「メモ帳」など汎用テキストエディタがあれば良い。

第 2 に、製作したアプリケーションの実行に際して別途ソフトウェアを必要としないことである。開発環境以外で製作した Web アプリケーションを使用するには、Flash player や ActiveX などをクライアント側でインストールする必要がある。対して JavaScript は動作環境が Web ブラウザに実装済みであり、新たにソフトウェアをインストールする必要はない。

1.3 在庫管理ソフトウェアの開発環境

前述のとおり、JavaScript を用いた Web アプリケーションの開発・実行には特別なソフトウェアをインストールする必要はない。しかし、開発を容易且つ便利にする環境はあった方が良い。

JavaScript にも有償の IDE(統合開発環境)は多数あるが、Web ブラウザの 1 つであり Netscape の流れを受け継ぐ Mozilla Foundation の Firefox に開発用アドオン(拡張機能)を組み込むことで、無償で開発環境を整備・拡張できる。今回は Firefox 最新版(本稿執筆時点でのバージョンは 2.0.0.11)に表 1 のアドオンを導入した。

テキストエディタも有償無償多数あり機能も様々であるが、今回は筆者がライセンスキーを得ているサイトー企画の「秀丸エディタ」(<http://hide.maruo.co.jp/>)を使用した。「秀丸エディタ」は Windows では定番と言われるソフトウェアで、複数のファイルを 1 つのウィンドウで開けるタブ機能をはじめとする豊富な機能を有し、使用者が使いやすいように見た目をカスタマイズできる。また、動作も軽快で使いやすい。

部品がある棚をクリックすると、部品棚を正面から見た図として別ウィンドウが開く(図6)。実際の部品棚に見立てて作成した引き出しにマウスカーソルを当てると色が変わり、クリックすると引き出しが開く(図7)。ある引き出しを開いたまま別の引き出しを開くことも閉じることも可能である。更に部品にマウスカーソルを当てると、その部品の説明と写真がチップ表示される(図8)。

このような動的な Web ページは HTML だけでは不可能であり、Ajax を用いることで Flash や ActiveX を使わずとも Web ブラウザのみで実現できる。また、これらは Internet Explorer 並びに Opera でも動作を確認している。



図6. 別ウィンドウで開いた部品棚



図8. 部品説明のチップ表示

図7. 部品棚の引き出しを開いた様子

3 まとめと課題

Ajax を用いることで、Flash や ActiveX を使わずに動的な Web ページの構成が可能となった。知識として得ていたが使用する機会がなかった CSS(Cascading Style Sheet)も使用できるようになった。

まだ開発に着手して日が浅く、使用したライブラリの機能を十分使っているとは言えないので、今後解析と動作検証を進めたい。また、たとえば部品をダブルクリックすることで今回は体裁を整えるにとどまったカートに品名や価格を表示させるなどカート部分との連携、カートからの出庫品削除など機能追加、更には現在稼働中のデータベースとの連携を進め、自由度の高い出庫管理ソフトウェアを製作したい。

筆者が Web ページ制作を始めた頃、JavaScript が多用されていたが程なく「冬の時代」を迎えた。Ajax として再会した JavaScript はオブジェクト指向を取り入れた本格的なプログラミング言語であり、多種多様な可能性を秘めていると感じている。

参考文献

- [1] 豊田朋範, "ストックルーム出庫管理システムのデータベース化", 大阪大学総合技術研究会報告集
- [2] 水野貴明、草野太輔, "知られざる JavaScript の世界", 日経ソフトウェア 2006 年 3 月号, P72-74

第一原理計算における各種問題点の解決法

○野手竜之介^{A)}、五十嵐伸昭^{A)}、一関京子^{A)}、川添良幸^{B)}

^{A)} 東北大学金属材料研究所 テクニカルセンター

^{B)} 東北大学金属材料研究所 計算材料学研究部門

1 はじめに

第一原理計算は物質の原子構造と電子状態を計算により導出し、その物質の各種特性を予想、評価するのに有用な方法である。全電子法や量子モンテカルロ法等の理論上確実性が高いが計算負荷の大きい手法も、最近の計算機の高性能化により可能となってきた。このように多分野で活用されている第一原理計算であるが、使用法を誤ると計算に失敗するだけでなく誤った結果を導き出す可能性もある。

第一原理計算の多くは、構成粒子間の相互作用を近似し、指定した初期構造から self-consistent に緩和構造に到達する手法をとる。各々の手法はそれぞれ特徴的な挙動をとるが、計算している系が妥当な挙動をしているか否かの判断には、それぞれの手法の理解が不可欠である。妥当でない挙動を示した場合、その原因を調べなくてはならない。この原因は多くが考えられ、第一原理計算を理解しているだけでは判断できない部分が多く存在する。計算機に起因する要因も含め、不具合の起こっている箇所を特定し、それぞれ適切に対処する必要がある。実際の計算時の問題点は、複数箇所の不備が組み合わさった結果として現れる場合も多い。

本報告では、本所にて盛んに行われている第一原理計算の不具合対処の経験から得たノウハウを統合的に紹介する。まず不具合の起こりうる箇所を分類して、それぞれの箇所での不備が引き起こす現象の特徴から不具合箇所を特定し、回避策を決定して適切な計算結果に近づくための方策を述べる。

2 不具合箇所の分類とその特徴

不具合を含む箇所により、次のように分類できる。(図1) 箇所により特徴的な挙動を示す。

2.1 第一原理計算特有の要因

2.1.1 不適切な計算手法の採用

第一原理計算にはさまざまな手法があり、計算対象の系や、導出したい物理量によりそぐわない計算手法がある。このような手法を採用しても計算結果が得られる場合があり、計算操作自体は問題点を有さないが、計算結果は誤差が大きいもしくは適切な値を示さない。計算結果が得られない場合は妥当でない計算挙動を示す。適正なエラー処理を行っていないプログラムでは異常終了することもある。

2.1.2 不適切な計算パラメーターの指定

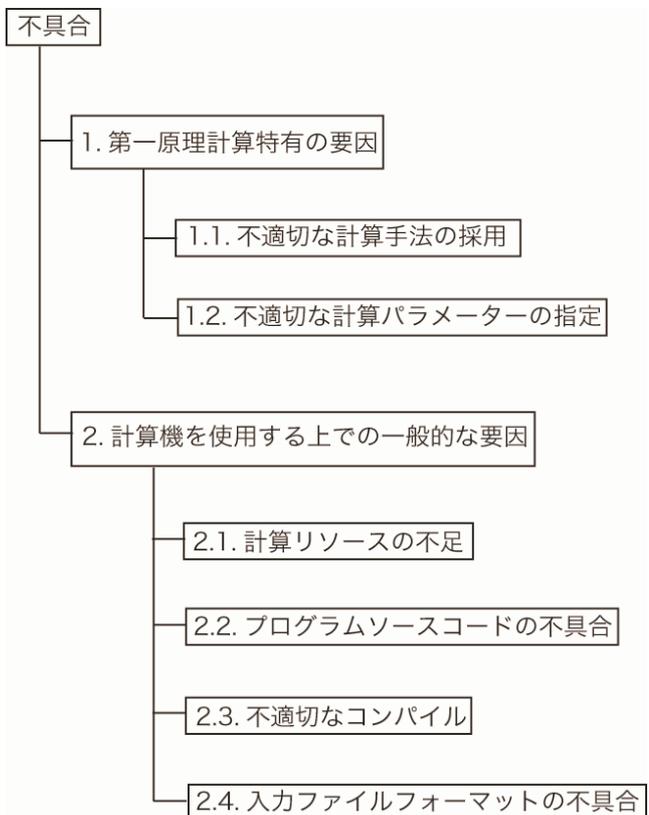


図1 不具合を含む箇所の分類

各々の手法に対し、指定する必要のあるパラメーターが異なる。また、同じ手法においても、プログラム、ソフトウェアがサポートしないパラメーターもある。この箇所に不具合を含む場合は意図した現象を計算していないことになるので、計算挙動が乱れ計算結果が得られない場合が多い。適正なエラー処理を行っていないプログラムでは異常終了することもある。しかし計算結果が得られる場合もある。得られた場合も結果は誤っている。

2.2 計算機を使用する上での一般的な要因

2.2.1 計算リソースの不足

CPU 性能や I/O 性能が充分確保されていないと非現実的な時間を要する。物理メモリー、ディスク容量が不足すると実行不可能に陥る。

2.2.2 プログラムソースコードの不具合

プログラムコードが間違っている場合、意図した動きをしない。多くは異常終了する。異常終了しない場合も妥当でない値の出力を続ける。間違っているルーチンが計算結果に与える影響が小さい場合は妥当に見える計算結果を示す場合がある。この場合誤差が大きい。また希ではあるが、規格に適合している同種コンパイラでも、製品によりコードの解釈が微妙に異なる場合があり、問題が生じることがある。この場合もコードが間違っているケースと似た問題が発生することが多い。

2.2.3 不適切なコンパイル

コンパイラは一般的に、使用するハードウェア構成で効率的に実行できるよう自動最適化を行う機能を有する。この最適化度を上げると、書かれているプログラム通りでなく、より効率的なアルゴリズムに置き換える操作を自動で行う。プログラムによっては置き換え前後で解釈の差が生じ、意図した動きをしなくなる。ゆえに、計算が異常終了する場合が多い。異常終了しない場合も、不適切な値を出力し続けたり、計算挙動が突然乱れたりする。

2.2.4 入力ファイルフォーマットの不具合

計算には入力が必要であるが、ファイルから読み込む場合、プログラムで想定しているフォーマットになっていなければならない。ファイル読み込み処理のエラーで停止する。

3 不具合箇所の特定と対処

発生した問題の特徴から、どの分類箇所で不具合が発生しているかを特定する必要がある。判別に有効な方法を挙げる。さらに特定された不具合への対処法を挙げる。

3.1 第一原理計算特有の要因

ここに不具合を含むか否かを判断するには、第一原理計算とその手法の理論的理解が必要である。計算の進行挙動が第一原理計算として妥当か否かを判断しなければならないからである。計算が妥当でない挙動を示した場合も、その原因が第一原理計算特有のものなのか否かはすぐには判断できない。計算機使用における一般的な要因を常に考慮しつつ特定を進める必要がある。

3.1.1 不適切な計算手法の採用

理論上、計算対象を扱うのに適さないもしくは扱えない手法を採用しているケースなので、手法の見直しが必要となる。手法を決定する前に、計算しようとする現象を扱える手法であるか検討すべきである。また手法が妥当か不明のまま計算を行った場合、パラメーターサーベイ等により計算結果が示す現象の妥当性を確認する作業が必要となる。

3.1.2 不適切な計算パラメーターの指定

最も多いケースである。生じる問題は多種多様で、本要因によるのかそうでないかは容易に判断がつかない。しかし入力パラメーターは数が多く、確率的に不具合のある可能性が高い。他の箇所の不具合に特徴的な現象を示す場合以外は、他の箇所を疑う前に入力パラメーターが意図したものになっているかをまず一通りチェックするのが適当である。また入力パラメーターの変更による計算挙動や計算結果の変化が妥当であるかを確認することが、意図した現象を計算できているか否かを判断するのに有効である。図2に実例を示す。電子構造計算プログラム Gaussian において金属膜の構造計算を準備する際に単位格子ベクトルのパラメーターを間違えた例である。左が計算したい構造であるが、間違えたことにより全く違う右の構造を計算することとなる。

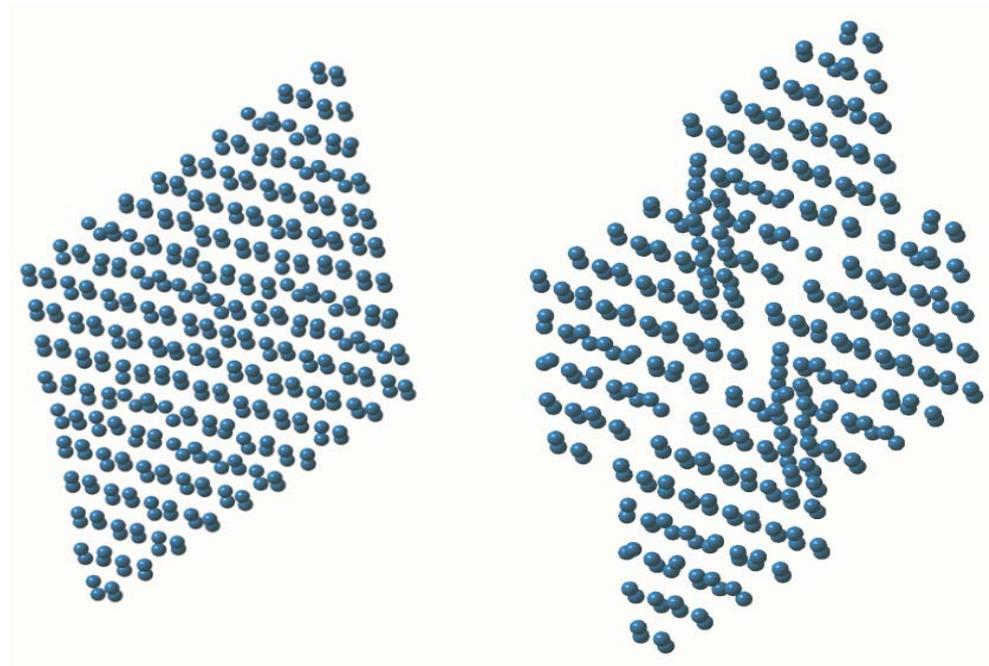


図2 金属膜計算用の可視化された原子座標パラメーターの正しい例 (左) と間違った例 (右)

3.2 計算機を使用する上での一般的な要因

このケースは第一原理計算に限らず一般的にも適用できる。問題点が特徴的な場合が多く、3.1 に比べ判断が付きやすいケースが多い。

3.2.1 計算リソースの不足

リソース不足は比較的特定しやすい。物理メモリーが不足した場合、計算が停止するか、スワップアウトにより極端に実行時間が長くなる。メモリー不足のエラーメッセージ以外で停止することもあるが、その際にはその他の不具合との判別が必要となる。特定にはメモリー使用量の監視コマンドで監視する、メモリー使用量を抑えるよう入力パラメーターを変更し再実行する等の確認方法が有効である。ディスク領域が不足した場合、I/O エラーにより計算が停止する。ディスク使用量を確認することで特定できる。CPU 性能、I/O 性能が不足した場合は計算がなかなか進まない。CPU 使用率、I/O 量を監視すれば特定できる。入力パラメーターの変更やプログラム最適化、並列化等が対処法として挙げられる。

3.2.2 プログラムソースコードの不具合

問題点が劇的に現れた場合は判別しやすい。第一原理計算として考えられない挙動を示すことが多いからである。特定には他のコンパイラ製品や異種ハードウェアアーキテクチャを持つ計算機での実行による検証が有効である。純粋なコードの不具合であればどの場合でも同じ問題点が現れる点の特徴的である。また計算が異常終了しない場合は、判別が比較的難しい。妥当にみえる結果を算出する場合があるので注意が必

要である。他の要因も考慮しつつデバッグ作業を並行して行うことが多い。コンパイラの解釈の差が問題を引き起こした場合、他のコンパイラ製品や異種ハードウェアアーキテクチャを持つ計算機による検証で差が現れる。ただし 3.2.3 で示す最適化度の違いによる差が生じないので、これにより判別できる。解釈の差は不完全なプログラミングにより生じるため、基本的に忠実にプログラミングを行うことにより解消できる。例を図 3 に示す。平面波基底擬ポテンシャル法プログラム VASP にて金属クラスターの構造最適化計算中に異常な計算挙動を示した (右) ため、異種ハードウェアによる検証を実施すると異なる挙動をとることが判明した。プログラムのどの箇所で差が生じるか特定し、コンパイラによるサブルーチン内のローカル変数呼び出し時の解釈の差が原因となっていることが判明した。プログラム修正により左の正常な挙動となった。

```

N E dE d eps ncg rms rms(c)
CG : 1 -0.793723552080E+01 -0.79372E+01 -0.11107E-08 70 0.360E-04 0.212E-04
CG : 2 -0.793723725452E+01 -0.17337E-05 -0.17047E-08 70 0.401E-04
19 F= -.79372373E+01 E0= -.79372373E+01 d E =-.102712E-01 mag =0.300000E+01
N E dE d eps ncg rms rms(c)
CG : 1 -0.793723803029E+01 -0.79372E+01 -0.70079E-09 70 0.309E-04 0.169E-04
CG : 2 -0.793723935460E+01 -0.13243E-05 -0.11943E-08 70 0.311E-04
20 F= -.79372394E+01 E0= -.79372394E+01 d E =-.102733E-01 mag =0.300000E+01
N E dE d eps ncg rms rms(c)
CG : 1 -0.793724004435E+01 -0.79372E+01 -0.57525E-09 70 0.253E-04 0.151E-04
CG : 2 -0.793724104409E+01 -0.99975E-06 -0.87239E-09 70 0.283E-04
21 F= -.79372410E+01 E0= -.79372410E+01 d E =-.102749E-01 mag =0.300000E+01
N E dE d eps ncg rms rms(c)
CG : 1 -0.793724143327E+01 -0.79372E+01 -0.32609E-09 70 0.220E-04 0.120E-04
CG : 2 -0.793724219870E+01 -0.76543E-06 -0.62730E-09 70 0.217E-04
22 F= -.79372422E+01 E0= -.79372422E+01 d E =-.102761E-01 mag =0.300000E+01

N E dE d eps ncg rms rms(c)
CG : 1 -0.793723547991E+01 -0.79372E+01 -0.10774E-08 70 0.359E-04 0.211E-04
CG : 2 -0.793723722413E+01 -0.17442E-05 -0.16983E-08 70 0.398E-04
19 F= -.79372372E+01 E0= -.79372372E+01 d E =-.102711E-01 mag =0.300000E+01
N E dE d eps ncg rms rms(c)
CG : 1 -0.793723800764E+01 -0.79372E+01 -0.71043E-09 70 0.306E-04 0.170E-04
CG : 2 -0.793723934102E+01 -0.13334E-05 -0.12023E-08 70 0.314E-04
20 F= -.79372393E+01 E0= -.79372393E+01 d E =-.102732E-01 mag =0.300000E+01
N E dE d eps ncg rms rms(c)
CG : 1 -0.792362423669E+01 -0.79236E+01 -0.10945E+01 140 0.175E+01 0.718E-01
CG : 2 -0.791107132899E+01 0.12553E-01 -0.48118E-02 140 0.157E+00 0.558E-01
CG : 3 -0.792316539964E+01 -0.12094E-01 -0.67701E-03 140 0.519E-01 0.232E-01
CG : 4 -0.792538767979E+01 -0.22223E-02 -0.14514E-03 140 0.234E-01 0.143E-01
CG : 5 -0.792660015722E+01 -0.12125E-02 -0.82878E-04 132 0.167E-01 0.115E-01
CG : 6 -0.792678705169E+01 -0.18689E-03 -0.17369E-04 87 0.922E-02 0.488E-02
CG : 7 -0.792690903794E+01 -0.12199E-03 -0.65520E-05 84 0.533E-02 0.277E-02
CG : 8 -0.792698758567E+01 -0.78548E-04 -0.24189E-05 79 0.324E-02
21 F= -.79269876E+01 E0= -.79269876E+01 d E =-.214858E-04 mag =0.300000E+01

```

図 3 金属クラスター計算時に発生した妥当でない挙動 (右) とプログラム修正後の正常な挙動 (左)

3.2.3 不適切なコンパイラ

この要因での不具合は特徴的な計算挙動を示すので、比較的容易に特定できる。2.2.3 に示した現象の場合、この要因を第一に疑うべきである。コンパイルオプションを変更しての実行により挙動が変われば、少なくともこの要因を含んでいる。逆に挙動が変わらない場合はこの要因ではない。最適化度を下げれば問題は収まるが、パフォーマンスに問題が残る場合は、最適化後の解釈が最適化前と変わらないよう、ソースコードを修正する必要がある。

3.2.4 入力ファイルフォーマットの不具合

多く発生する不具合の 1 つである。計算の読み込み I/O の段階でエラーが発生するので、特定は容易である。バイナリーファイルの場合、異種ハードウェア間で互換性がないのが原因となっていることが多い。テキストファイルの場合、当該ファイルをテキストビューアーで見ても問題ない場合が多い。改行コードの違い、テキスト内へのコントロールコードの混入、tab の混入等が考えられる。それらを判別できるテキストビューアーで特定する。このケースは計算機の使用経験の浅い使用者に多発する。

4 おわりに

第一原理計算における問題点の発見法と対処法を紹介したが、これらは第一原理計算の知識のみならず、また計算機知識のみならず、双方の知識がなければ効率的問題解決は難しい。多くの機関では、第一原理計算の知識はその研究部門で、計算機の知識は計算機運用担当部門で保有しており、統合的に扱える人材を保有する機関は少ない。これは、第一原理計算自体が高度の理解を必要とする分野であるのと、深い計算機知識を得るためには多数プラットフォームでの使用実績が必要であるためである。前者は研究者が、後者は技術者が担っている機関も多い。それぞれの専門家の協力体制でも不可能でないが、2 つの分野は専門が大きく異なっているため効率が悪い。本報告が第一原理計算の実行上の問題を解決するための参考となれば幸いである。

大規模シミュレーション計算結果の3次元可視化ソフトウェアの統一

○佐藤和弘^{A)}、一関京子^{A)}、三浦重幸^{A)}、野手竜之介^{A)}、五十嵐伸昭^{A)}、川添良幸^{B)}、
古田正俊^{C)}、桐山智文^{C)}、北川千夏^{D)}、衛藤奈緒美^{D)}

^{A)}東北大学金属材料研究所テクニカルセンター

^{B)}東北大学金属材料研究所計算材料学研究部門

^{C)}日本 SGI (株)

^{D)} (株) KGT ビジュアライゼーション事業部

概要

東北大学金属材料研究所計算材料学センター（以下、本センター）では 2007 年 3 月にスーパーコンピューティングシステムを更新し、運用を開始した。このスーパーコンピューティングシステムは高度なシミュレーション計算による材料設計開発に特化したシステムで、スーパーコンピューターをはじめ、アプリケーションサーバー、ファイルサーバー、ストレージシステム、可視化システムおよびネットワークから構成されており、全国共同利用施設のコンピューターとして国内外の研究者から使用されている。

このスーパーコンピューターのシミュレーション計算結果は計算ソフトウェアによりその出力形式が異なり、可視化は専用のソフトウェアを利用して行っていた。研究者は計算ソフトウェアごとに可視化ソフトウェアを使い分ける必要があり、そのため研究者も管理者も多種多様なソフトウェアの習得が必要であった。可視化データの表示には専用ソフトウェアが必要なため他の場所で表示したい場合はデータやソフトウェアを持ち運ばなければならず、また、ソフトウェアによっては非常に高価なものもあった。そのため、シミュレーション計算用のソフトウェアが多種であってもそれを可視化できるソフトウェアを共通にできれば研究者も管理者も可視化が効率よく行え、習得等の負担も少なくなる。さらに、3 次元可視化データを Web 上で配信し、フリーソフトウェアで 3 次元可視化することができれば、世界中どこでも利用できることになる。スーパーコンピューティングシステムを更新により、大規模な計算も可能になり出力結果も複雑化するため、分子構造や電子雲の状態を分かりやすく可視化することが重要になってきた。また、その結果を即時に効率よくディスカッションやプレゼンテーションで利用することが必要となってきたため、それに特化したプレゼンテーションシステムを導入、構築したので併せて紹介する。

1 可視化ソフトウェアの一本化

本センターで導入したスーパーコンピューティングシステムでは多くの研究者が Gaussian や VASP というソフトウェアを使い計算を行っている。この 2 つに限らず、どの計算ソフトウェアから出力されるデータ形式にでも対応できる汎用性の高い一つのソフトウェアで効率的に可視化できないかを検討した。その結果、下記を十分実現できる AVS/Express（以下、AVS という）で実現することにした。

- 計算ソフトウェアが変わってもすぐに対応できること
- 複雑な構造体の 3 次元立体視ができること
- 3 次元アニメーションを電子的な発表にそのまま使用でき、世界中どこでも共有データを可視化できること

1.1 AVS/Express について

AVS は汎用性が高く入力データ用のカスタマイズができるため、色々な 3 次元データが扱えるのが特徴である。AVS での処理の結果得られた GFA (Geometry Flipbook Animation) 形式の 3 次元可視化データはフリーソフトウェアである 3D AVS Player で回転など分子構造体をいろいろな角度から立体視することが可能である。

3D AVS Player は、PowerPoint に貼り付けることができるので、3 次元可視化結果をプレゼンテーションでそのまま利用できることも特徴の一つである。

1.2 AVS/Express のモジュール開発 1

Gaussian は AVS に標準で入力モジュールがあり可視化可能であったが、本センターで利用の多い VASP には対応していなかった。そのため、スーパーコンピューティングシステムを更新時に入力モジュールを KGT にて開発し、本センターへ導入した。すでに組み込まれていた Gaussian 用入力モジュールとしては Gaussian の計算結果である log file から分子構造を読み込み、原子の表示オブジェクトを出力する機能を持つものと、cube file から電子雲の状態を読み込み、電荷密度などのフィールドデータを出力する機能を持つものがあった。開発した VASP 用の入力モジュールは、VASP の計算結果ファイルを読み込み、電荷密度のフィールドデータと原子の表示オブジェクトを出力する機能を持つものとした。

図 1 は VASP 可視化での AVS の操作モジュールの結線図である。AVS で可視化した計算結果を図 2 に示す。

- ① 入力モジュール： VASP 計算結果を AVS フィールドデータ形式に出力
- ② マッピングモジュール： XYZ 面を作成するモジュール
- ③ マッピングモジュール： 複数の等値面を作成するモジュール
- ④ マッピングモジュール： 任意の場所の断面を表示する
- ⑤ 出力モジュール： 3 次元形状オブジェクトを表示する
- ⑥ キャプチャーモジュール： 形状データの変化を GFA データ形式に保存する

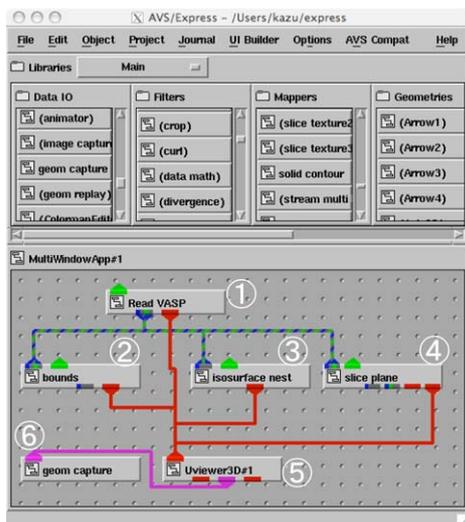


図 1. AVS の操作 (モジュール接続例)

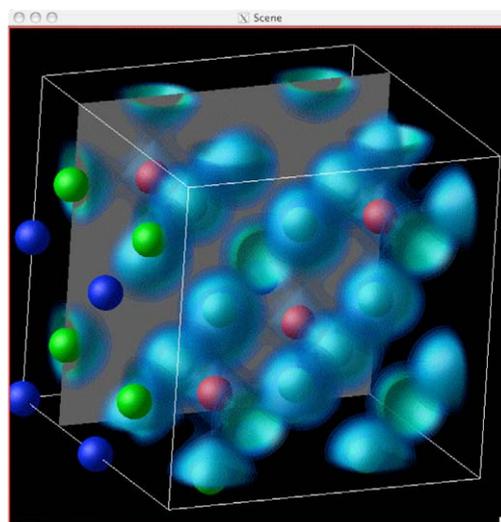


図 2. AVS での VASP 可視化例 (図 2 ⑤の出力)

1.3 AVS/Express のモジュール開発 2

最近、本センターの計算ソフトウェアで利用者が増えたものに東北大学金属材料研究所計算材料学研究部門で開発したフルポテンシャル全電子混合基底法による第一原理計算プログラム TOhoku Mixed-Basis Orbitals *ab-initio* program) (以下、TOMBO)がある。TOMBO の可視化には、研究者は専用可視化ソフトウェアが無いため、計算結果データとその都度プログラムによって並べ替えを行ってから AVS で可視化していた。しかし、これ

は手間がかかり、研究者が新たに使用するたびに並べ替えのプログラムのインストールや使用方法を知らせなければならない。これを簡単に行うため AVS 入力モジュールとして開発することにした。これにより、計算結果をそのまま読み込むことができるためより使いやすいものとなり、使い方が簡単になったことで利用者も増えた。

導入時に VASP、そして、今回、TOMBO に対する入力モジュールを開発し利用頻度の非常に高い計算ソフトウェア上位3種に対応できた。今後、計算ソフトウェアの利用が変化してきた場合でも、本センターで研究者の要求する可視化に対応が可能である。

1.4 AVS による総合的な可視化利用

図4は図1の⑤で出力された結果を⑥でキャプチャーし、GFA データ形式に変換したファイルをフリーソフトの 3D AVS Player で簡易に3次元立体視した例である。実際に PC 上の操作で360度回転することができ、簡単な透視法(または平行法)で立体的に見ることができる。また、高価な専用モニターが無くとも安価な専用ステレオメガネで3次元立体視表示も可能である。通常は非常に大きな計算結果の生データを相手に渡して可視化しなくてはならないが、研究者から加工された数 MB の可視化データ(GFA データ)の提供さえあれば、3D AVS Player で誰でも3次元立体視データを動かして見ることができる。

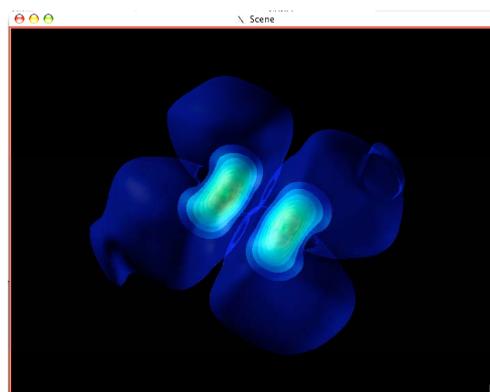


図3. AVS での TOMBO 計算結果の可視化



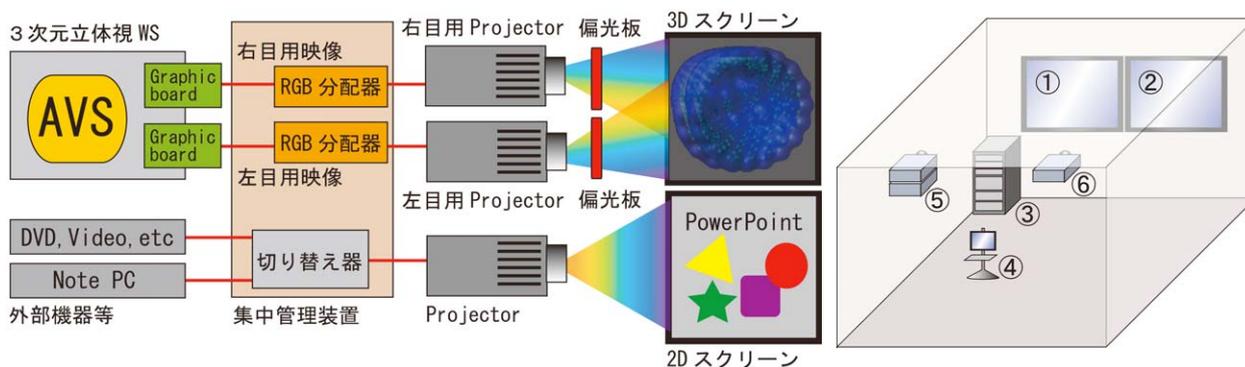
図4. 3D AVS Player での3次元立体視例

2 プレゼンテーションシステムの導入

今回、本センターで利用頻度の高い異なる計算ソフトウェアの計算結果の可視化を AVS で統一的に可視化することを実現したが、応用として AVS の効果的な利用を検討した。AVS の機能として立体視用機器があれば構造をもっと詳細な立体画像として見せることが可能であるので、スーパーコンピューティングシステムの総合的な利用の一環として、計算から研究プレゼンテーションまでを効果的に行うことを目的に3次元可視化プレゼンテーションシステムを導入、構築した。

2.1 システム構成

システムの構成を図5に示す。偏光3次元立体視スクリーンと通常の2次元スクリーンが並んでおり、立体視表示をしながら通常の PowerPoint 等のプレゼンテーションを行うことができる。もちろん、通常のプロジェクター2面としての使用も可能であるので、ビデオと PowerPoint、PowerPoint 2面使用などプレゼンテーションシステムとしての応用範囲は広い。図6に示すのが集中管理操作装置(電源、画像音声の入出力切り替え等)と AVS の3次元立体視用の Workstation である。図5①のスクリーンを図7の3次元立体視偏光メガネで見ることにより、実際に浮き出ているように見え、複雑な分子構造体や電子雲の状態の詳細が手に取るように見える。図8は実際のセミナーの様子である。今回導入したことにより参加者全員が同時に3次元立体視モデルを見ながら議論できるようになり研究上大変効果的である。



- ①偏光3次元立体視スクリーン ②2次元スクリーン ③プレゼンテーション集中管理装置
④3次元立体視 Workstation ⑤偏光3次元立体視プロジェクター ⑥2次元プロジェクター

図 5. プレゼンテーションシステム構成



図 6. プレゼンテーション
集中管理装置と3次元
立体視 Workstation

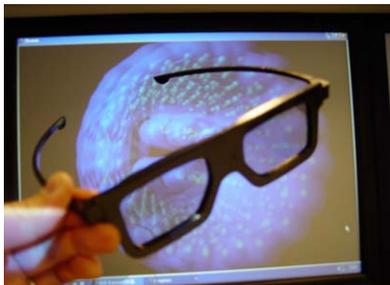


図 7. 3次元立体視偏光メガネ



図 8. プレゼンテーションシステム
を使った研究者のディスカッ
ション風景

3 おわりに

今後、スーパーコンピューティングシステムを利用した計算結果がさらに大規模複雑化していくことが考えられる。もちろん出力されるデータも複雑な分子や電子の状態を解析する必要が出てくる。可視化は結果が正しいかを判断するために大変重要な意味を持つが、研究者も管理者も費用や労力をあまりかけず迅速に行う必要がある。

可視化ソフトウェアを統一することによって、本センターを利用する研究者は計算結果の可視化を計算ソフトウェアによらず簡易に行えるようになり労力が減ったとともに複雑なデータを効率よく可視化できるようになった。フリーソフトウェアで3次元可視化することができるので、プレゼンテーションや論文等にも利用しやすくなった。管理する側も管理がしやすく、可視化ソフトウェア購入の経費を押さえることができるようになったため、その他のサービスの質を向上させることができた。

人員削減の中、技術支援スタッフが研究者の複雑化していく要求にいかにか効率的に今まで以上に質を上げて応えていくかが大切である。可視化ソフトウェアの利用法を指導することもさることながら、システムが効率よく利用されるよう努力していきたい。

謝辞

スーパーコンピューティングシステム導入およびシステムの更新にあたり、共著者以外の多くの方々に協力と努力していただいた。また、モジュール開発にあたり、東北大学金属研究所計算材料学研究部門の教員の方々にも大変お世話になった。ここに記して感謝する。

JT-60 データ処理設備データ保管システムの導入

○清野公広、小湊俊治、坂田信也、佐藤稔、内藤磨

日本原子力研究開発機構 核融合開発部門

1 はじめに

JT-60 データ処理設備ショット間処理計算機 (Inter-Shot Processor : 以下「ISP」と称す) は、JT-60 データ処理設備の中心的な役割りを担う計算機であり、JT-60 実験放電にて得られた各種プラズマ計測データ (実験データ) の収集、保存等を行う。また、収集された一部の実験データについて物理量変換処理 (以下、定型処理と称す) を実施し、実験データベースサーバと呼ばれる実験データ管理用計算機に転送している。

ISP では、JT-60 実験運転のショット間にデータ収集から、磁気テープ保存までのすべての処理を行うように設計されていた。近年の計測装置の高性能化及びデータ収集系の改良等により、データ量が毎年増加し、ISP の CPU 使用率、I/O 待ち等の負荷が増大する。

そのため、ISP の負荷低減のためにデータ保存系の見直しを行い、実験データを区分毎に分けて磁気テープに保存していた処理をより単純なショット単位での保存へ、また磁気テープ保存からディスクへの保存に変更した。ディスクについては、近年のストレージ技術の発展により低価格で大容量タイプの「ATA (AT Attachment) ディスク」を搭載したシステムが市場に多くなり、信頼性も向上しているので上記のディスクを使用したNASサーバ (JT-60 データ保管システム) を導入して実験終了後に計測データを保存するようになった。

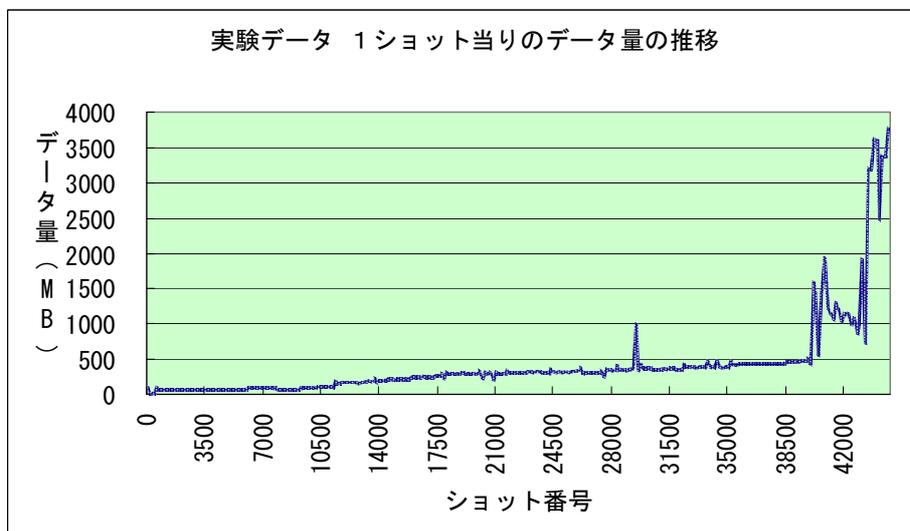


図 1. JT-60 計測データのショット当りのデータ量の推移

2 既存の実験データ保管システムの構成

既存システムでは、各種計測装置等から実験データが収集され、一時保管場所としてディスクアレイ装置に保存を行っている。その後、ディスクアレイでは、収集されたデータを区分毎(A区分～E区分)に分けて各区分のデータ量が2GBになった時点でSDLTライブラリ装置の磁気テープへの保存を自動で行う処理になっていた。

また、利用者への実験データ提供については、ディスクアレイ装置上にある、最新の実験データ格納領域

(900GB)と磁気テープとのやりとりに使用する領域(100GB)を用いて、約 800 ショット分のデータを提供することができた。しかし、近年データ収集系の改良等により実験データが増加し、すぐに提供することができるショット数が減少する傾向にあった。

このディスクアレイ装置に無い実験データを利用者が利用したい場合は、磁気テープ装置からの再格納処理(磁気テープからディスクアレイ装置に書き戻す。)をする必要があり、非効率的な運用となっている。

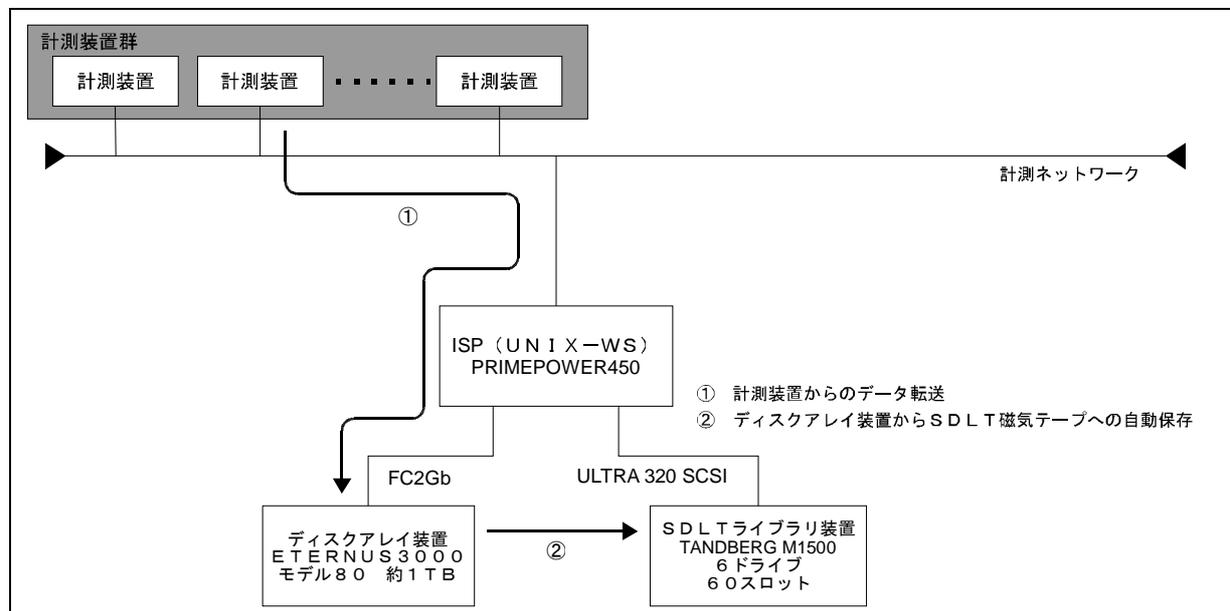


図 2. 既存システムの構成

2.1 既存システムでのデメリット

- ① SDLTライブラリ装置への自動保存システムの制限により、1データが2GB以上のデータの場合、保存することが出来ず、近年の高性能化された計測装置からの大容量の実験データを保存できない。
- ② 古い実験データの参照についてはディスクアレイ装置から削除されていないものは問題ないが、削除されてしまっているものについては、オペレータによりSDLTライブラリ装置への磁気テープ搬入操作(再格納操作)、再格納アプリケーションの起動操作が必要となり非効率であった。

3 NASサーバ導入後の実験データ保管システムの構成

既存システムのデメリットと最近のNASサーバ(ディスクアレイ装置)が、大容量、低価格、高信頼性及び利便性の点で格段によくなってきていることを考慮した結果、既存システムの一部をこれらの装置に置き換え、全ての実験データをNASサーバに保存することとした。これにより新たに「計測データ自動転送システム」を作成し、収集された実験データを指定時刻に自動でNASサーバに保存する仕組みを整備した。この計測データ自動転送システムでは、NASサーバ以外でもNFSマウントされたものであれば、何にでも転送保存できるので、将来のシステム拡張性が高いものとなっている。

この仕組みが整備されたことで再格納操作が不要となり、SDLT磁気テープへの保存は、NASサーバの障害で消失した場合のみを意識した単純なバックアップを行うだけのシンプルな構成となった。単純なバックアップとなるが、膨大な容量の実験データなので障害復旧には膨大な時間がかかることが想定され、優先して参照したいショットの実験データを復元できるように、バックアップ単位はショット単位とした単純な磁気テープ保存装置を整備した。(図3)

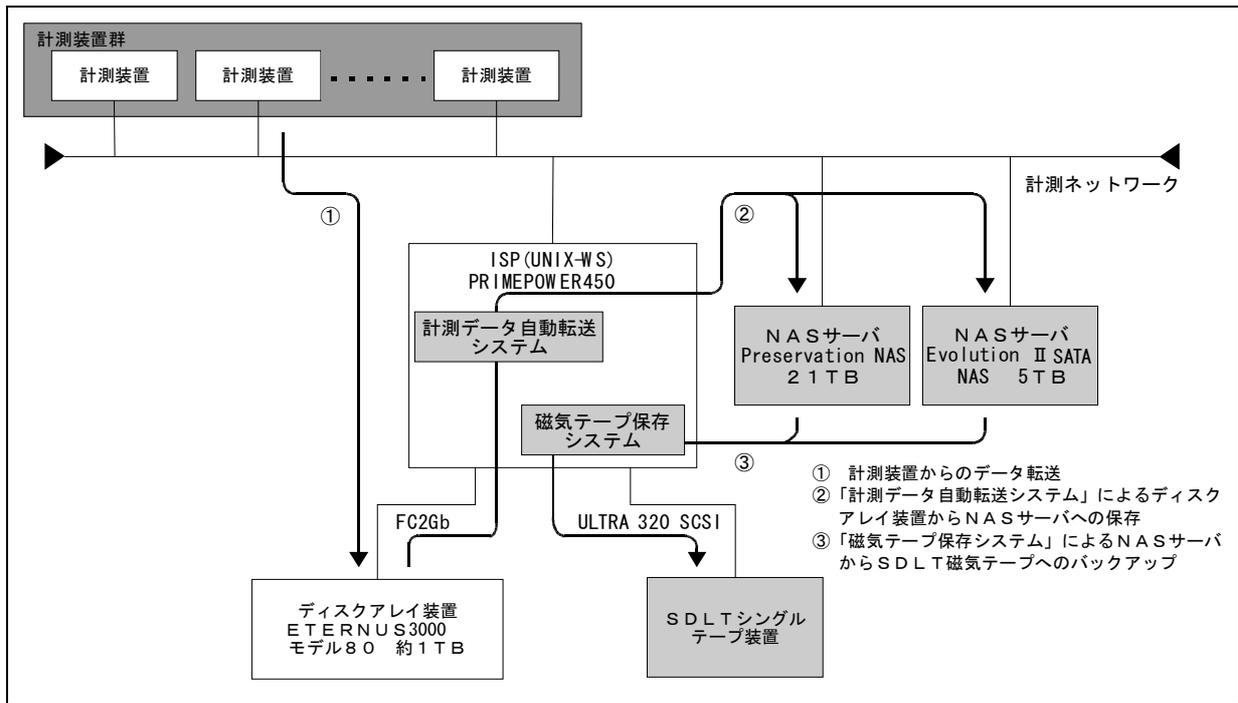


図 3. 導入後のシステム構成図

運用面では、プラズマ実験中はディスクアレイ装置に実験データを蓄えておき、NASサーバへの転送は、ネットワークを介するので実験中のネットワークトラフィックを考慮し、夜間に実験データ自動転送システムによって転送を行うこととした。その後、磁気テープ保存装置により、SDLTへの保存を行う。実験データの利用では、当日の実験データについてはディスクアレイ装置に格納されており、ネットワークを介さないで、定型処理等の再計算処理のアクセスはストレスなく利用できる。

3.1 NASサーバの仕様

NASサーバ	NASsvr1	NASsvr2
モデル	Preservation NAS(Intelヘッド部分)	EvolutionII SATA NAS/GS
OS	米国 GateStor Data System Corporation 製(Linux ベース)	米国 GateStor Data System Corporation 製(Linux ベース)
CPU	デュアルコア Intel(R) Xeon プロセッサ 5110×2	インテル(R)Xeon プロセッサ 2.8GHz(FSB 800MHz)×2
メモリ	FBDIMM 1GB 667MHz DDR2 ECC×2 (最大 32GB)	DDR 512MB withECC×2(1GB)
RAID Level	RAID5	RAID5
キャッシュメモリー容量	512MB withECC×2	512MB withECC
インターフェース	シリアルATA	シリアルATA
ディスク数	32(750GB×30(RAID5)+ホットスタンバイ×2)	14(500GB×11(RAID5)+ホットスタンバイ×1+OS部×2)
ディスク容量	750GB	500GB
ディスク回転数	7200回転	7200回転
修復機能	HDD 挿入検出時オートリビルド, HDD 障害検出時オートリビルド(ホットスタンバイ時), Bad Block 修復	HDD 挿入検出時オートリビルド, HDD 障害検出時オートリビルド(ホットスタンバイ時), Bad Block 修復



導入したNASサーバ写真

4 今後の課題

直近の実験データでは1ショットで3.5GBを超えてきている状況である。(図1)

今後の計測装置の高性能化により益々実験データが巨大化することが予想される。NASサーバがさらに低価格・大容量になれば必要時に随時増設することで対応は可能だが、長時間放電を行った場合のデータはファイルシステムの限界まで到達する可能性もある。この場合、現在は Solaris9 のOSであるが、Solaris10へ移行しZFSファイルシステムなどで巨大ファイルに対応することも検討する必要がある。また、NASサーバ本体のOSによって扱えるファイルサイズ、ファイルシステムの最大サイズも変わってくるのでこちらについても検討する必要がある。

巨大かつ膨大な実験データについては、複数同時アクセス、可逆性のある圧縮データ転送、間引き圧縮転送、実験データの圧縮保存を考える必要がある。また各種実験データのインデックス情報(データサイズ、データの内容、データの所属する種別、保管場所、ショット単位のテーマなど)のRDB化により、多様な検索条件に対応させ利用者の過去データの検索の利便性を高める必要もある。

5 まとめ

JT-60データ処理設備では、今後の膨大な実験データに対応するために様々な対策を行っているが、IT関連の装置は陳腐化やNASサーバ等のディスクアレイ装置の価格下落がはやく、専用のインタフェースを利用したものは新装置へ容易に移行できないことがある。一方、今回のNASサーバなどは一般のLAN回線を利用したインタフェースでありNFSマウントを利用し汎用性が高くなっている。また磁気テープ保存装置では磁気テープ装置のデバイス名を登録するだけで、UNIXのtarコマンドで利用できる装置であれば固定装置に依存されなくなっている。この様な汎用的なインタフェースを利用することで、将来へ拡張性も持った柔軟でシンプルなシステムとなり、運用も比較的簡単なものとなった。

大規模スーパーコンピュータの活用を支える

高速ネットワークシステムの構築

○三浦重幸^{A)}、佐藤和弘^{A)}、一関京子^{A)}、野手竜之介^{A)}、五十嵐伸昭^{A)}、川添良幸^{B)}、
山口裕^{C)}、永島裕之^{D)}、高橋英明^{E)}、池上忠嗣^{D)}

^{A)} 東北大学金属材料研究所 テクニカルセンター

^{B)} 東北大学金属材料研究所 計算材料学研究部門

^{C)} 株式会社日立東日本ソリューションズ 公共ソリューション本部

^{D)} 日本ヒューレット・パッカード株式会社 ソリューション技術本部

^{E)} 日本ヒューレット・パッカード株式会社 テクノロジーサービス統括本部

概要

東北大学金属材料研究所（以下、「金研」という）は、物質・材料の学術研究、応用研究における国際的な中核拠点としての役割を担っている。金研では、理論と実験の研究に加えスーパーコンピュータ等を活用したシミュレーション研究を融合した研究体制を導入しており、2007年3月に従来の10倍の演算性能を誇る大規模なスーパーコンピュータを導入した。それに伴い、その処理能力に見合った高速で堅牢なネットワーク環境の再構築を推進した。基幹部分では10Gbpsの帯域を確保し、利用者端末側でも最大1Gbpsのフレキシブルなネットワーク環境を構築した。さらに基幹部分のネットワーク機器と経路の二重化を図り、ネットワーク上のボトルネックや停止が研究の進展を妨げることが無いよう、耐障害性や信頼性の向上を目指した。以上のような設計思想に基づいて構築した高速ネットワークシステムについて紹介する。

1 ネットワークシステムの全体構成

金研のスーパーコンピューティングシステム（以下、「スパコンシステム」という）はスーパーコンピュータ（HITACHI SR11000 モデル K2）に加えて、アプリケーションサーバ3機種（NIWS Gene/S Turbo、HP ProLiant BL35p、SGI Altix450）を擁し、高度な材料設計シミュレーション研究に特化したシステムとなっており、さらにこれらの計算サーバ共通のファイルサーバ（IBM System p5 520）及びストレージシステム（HITACHI SANRISE AMS1000）を配置している。また、一般のネットワークサービス用にメールサーバをはじめとした各種インターネットサーバがある。これらスパコンシステムネットワーク（以下、「本ネットワーク」という）の全体構成を図1に示す。

本ネットワークにおいて、基幹となる内部ネットワーク（図1中のInternal部分）はコアスイッチA（HP ProCurve 5406zl）を核として、スーパーコンピュータ、アプリケーションサーバ等の計算サーバ及びファイルサーバ並びにメールサーバ等を直接コアスイッチに収容することにより、10Gbps（但し、メールサーバは1Gbps）での高速接続を実現している。また、このスパコンシステムが設置してある建物（スーパーコンピュータ棟）から、多くの主要ユーザーがいる別棟（2号館）へも光ファイバ及びコアスイッチB（HP ProCurve 6410cl）を介して10Gbpsの高速接続を提供している。なお、この基幹の内部ネットワークは各コアスイッチ及び各サーバとの接続経路を二重化し、耐障害性及び信頼性の向上を図りネットワーク上のボトルネックや停止が研究の進展を妨げることが無いシステムを目指した。

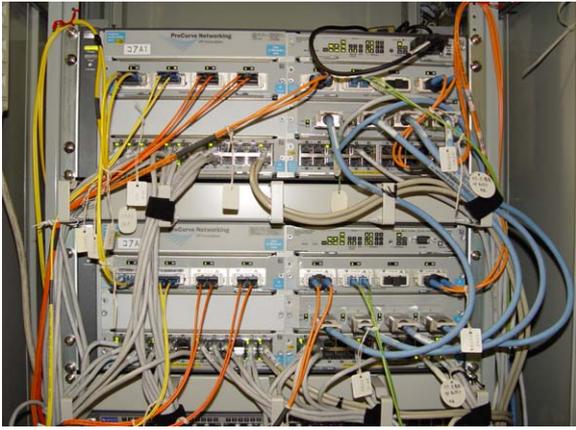


図 2. コアスイッチA

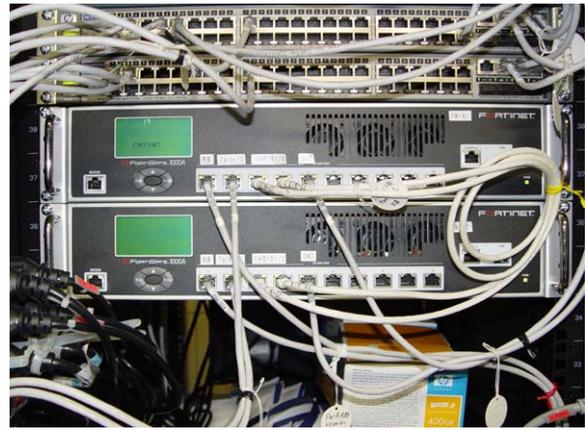


図 3. ファイアウォール装置

また、ファイアウォール装置の下に DMZ を設け、アンチスパムサーバ、ウイルスチェックサーバ、プロキシサーバ、DNS サーバ等を配置し、外部ネットワークとのメール中継、プロキシによる Web アクセス、内部ネットワーク上の Web コンテンツの公開サービスを行っている。これら DMZ に配置したサーバもすべて装置、経路ともに二重化しサービス停止が発生しないようにしている。さらに外部ネットワークからスパコンシステムへのセキュアなリモートアクセスを可能とするため、SSH 中継サーバ及び SSL-VPN サーバを設置している。SSH 中継サーバはインターネットサーバ B (HP ProLiant DL380 G4) 上で稼働している。また SSL-VPN サーバはアプライアンス型 (F5 FirePass1230、図 5) を採用した。

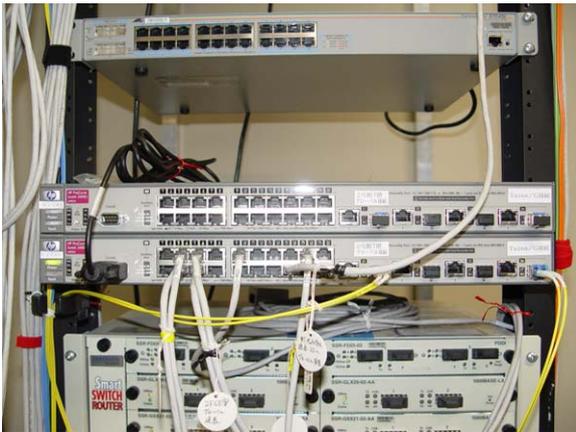


図 4. エッジスイッチA

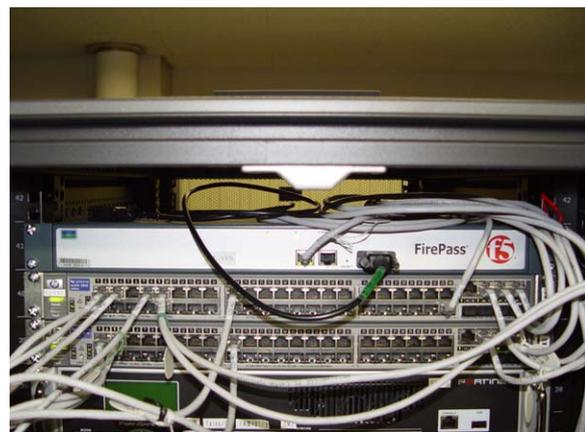


図 5. SSL-VPN装置

また金研では、スパコンシステムネットワークとは別に、一般のネットワークサービスを提供するためのネットワーク (以下、「所内ネットワーク」という) があり、通常、スパコンシステムを利用しない研究室等はこれらの所内ネットワークに接続している。しかし、これらの研究室等でも研究内容によりスパコンシステムを利用する研究者もいるので、所内ネットワークからのスパコンシステム利用を可能とするため両ネットワークを結合する必要がある、今回のシステムでは専用のファイアウォール装置を導入し、これを介して接続している。なお、ここに設置したファイアウォール装置も外部ネットワーク接続用と同機種 (FORTINET FortiGate-1000A) とした。

3 メールサーバ、インターネットサーバ

ここではネットワークサーバの主要素であるメールサーバとインターネットサーバについて述べる。本ネットワークでは、内部ネットワーク上にメールサーバ (HP Alpha Server DS25) 2 台を設置し、Active-Active

のクラスタ構成で冗長化を図り、経路も二重化してコアスイッチ A と 1Gbps で直接接続している。このメールサーバでは、SMTP、POP、IMAP のメールサービスの他に、DNS プライマリサービス、ネットワークサーバ全体のログ収集、SSL-VPN 利用者の RADIUS サービス、本ネットワーク内の共通アカウント管理のための NIS マスタサービス等を担い、さらに本ネットワーク利用者の Web コンテンツを一元管理するための Web コンテンツサーバにもなっている。

次に内部ネットワーク用のインターネットサーバ A (HP ProLiant DL380 G4) について述べる。インターネットサーバ A も 2 台構成とし、冗長化と負荷分散を図り、内部ネットワークの DHCP サービス、DNS サービス (セカンダリ)、NIS サービス (スレーブ)、ウイルスチェックサービス、メール中継サービス等を行っている。さらに、前述したように DMZ にはインターネットサーバ B を配置し、こちらも 2 台構成で冗長化と負荷分散を図り、外部向きの DNS サービス、ウイルスチェックサービス、プロキシサービス、メール中継サービス、Web メールサービス、SSH 中継サービスを行っている。

4 メール送受信及び Web アクセスのためのセキュリティ対策

本ネットワークでは、メール送受信及び Web アクセス用のセキュリティ対策として、トレンドマイクロ社の IMSS (InterScan Messaging Security Suite) 及び IWSS (InterScan Web Security Suite) をインターネットサーバ A、B に導入している。また昨今、急増してきている迷惑メール (スパムメール) への対策としてアンチスパムサーバを導入し、外部ネットワークからのメールはまずこのサーバで受取り、1 通ずつスパムか否かをチェックし、スパムと判定した場合はそのメールのタイトルに>>>SPAM<<<という文字を付加して利用者宛てに配信することにより、利用者側でのスパムメールの処置を容易にしている。このアンチスパムサーバは HP ProLiant DL380 G4 上に imatrix 社の matriXscan を導入してアプライアンス化している。なお、導入から約 9 ヶ月間、上記の運用でスパム対策を実施してきた結果、正常メールがスパムメールとされる誤判定率は非常に低いことが確認できた。そこで、今後はこれまでの運用方針を変更し、スパムと判定したメールは利用者宛てに配信せずにこのアンチスパムサーバ上に利用者毎に保管し、利用者は各々このサーバにアクセスして、これらのメールの処置ができるような仕組みに移行する方向で検討中である。

5 おわりに

以上、かなりおおまかではあるが、金研に新しく導入したスパコンシステムネットワークについて、その概要を紹介した。システム導入後、これまで約 9 ヶ月運用してきたが、特に大きなトラブルもなく順調に稼働しており、この高速で堅牢なネットワーク環境の提供により、大規模スーパーコンピュータをはじめとする各計算サーバ等を活用した高度な材料設計シミュレーション研究を支えている。今回のスパコンシステムネットワークの再構築では、前システムでの経験と反省を生かして、サーバ、ネットワーク機器、経路を可能な限り二重化することにより耐障害性や信頼性の向上を目指した設計を行った。これまでの運用状況から見てその目的は十分に果たせていると考える。これも一重に責任研究部門である川添研究室の教員の方々並びに新スパコンシステムの納入ベンダーの SE はじめ多数の関係者の方々の理解と協力によるものであり、ここに深く感謝する。また、今回の新システム導入について検討を開始した 2005 年度当時は、現在金研テクニカルセンター基盤技術室長である和田繁男氏がネットワークグループの中心となってネットワークシステム全体の検討を行っており、基礎設計段階における同氏の発案と指導があつて今回の高速で堅牢なネットワーク構築が実現した。同氏に改めて深く感謝する次第である。なお、日本 HP の導入事例として、本ネットワークの再構築が紹介されているのでご参照願いたい。<http://h50146.www5.hp.com/enterprise/casestudy/tohoku/>

技術研究会報告集データベースの構築 2

○水谷文保、澤昌孝

自然科学研究機構 分子科学研究所

概要

技術研究会報告集データベースの収集作業は、2002 年度より 5 年間に渡り行ってきた。収集完了以降は、収録を前提とした開催通知と電子ファイルの回収、データベースへの登録の一連の流れが確立できた。昨年度は SNS 環境を整備し、技術職員関係者に限定して閲覧・検索環境を構築してご利用頂いている状況である。今年度より、機器・分析技術研究会および実験・実習技術研究会もデータベース集録へ参画頂けることになったことを受け、両技術研究会の過去 12 回分の報告集の収集を行った結果、現時点で登録件数は 3443 件となった。さらに収録する前提として問題となった論文毎の Web での公開可否設定機能を整備した。また SJIS では記録不能な文字に対応するため、収集作業の全課程において記録情報を UTF-8 で統一することで克服した。

1 はじめに

「技術情報交流ネットワーク」構想[1]に触発されてインターネットを活用した技術交流や技術情報のコンテンツ化および蓄積について模索を始めたころ、それまで 3 機関で持ち回り開催されていた技術研究会が隔年で総合大学においても開催され始めことで発表された技術情報がさらに分散してしまう点に危惧を感じ始めたことをきっかけとして、技術研究会報告集データベース（以下 DB とする）を構築すべきだと結論するに至った。この判断の背景には、過去の報告集を一覧することが出来なかったばかりか、開催の歴史が 30 年を超えたことで当初の関係者が退職され始め過去の技術情報が失われ始めていたことも大きな影響があった。実際分子研開催分のバックナンバーも底をつき、当時の参加者が保有している報告集以外に参照できない状況になり始めていた。そこで平成 13 年度から 5 年間に渡り DB 化の検討および電子化などデータ収集に取り組み、DB 構築が完了した [2][3][4][5][6]。

DB 構築と同時に、DB を全国の技術職員の共有資産として活用して頂くため、Web 上の利用環境も整備したが、暫定版ということもあって不特定多数が閲覧可能であった点が問題点として指摘を受けていた。そこで閲覧者範囲を限定しできる公開環境を検討した結果、SNS (Social Network Service) 環境を整備することで参加者が技術職員を中心としたコミュニティ範囲に限定できるため、SNS 環境に DB 公開環境を作り込むことで、閉じた参加者範囲でのみ DB を公開する環境を構築した[7]。SNS への参加者は、163 名（2008/1/11 現在）とまだ少なく、今後の利用拡大が課題である。

これらを踏まえ、本年度 DB への取り組みにおいて、DB 構築の大きな転機があったので報告する。

2 新規開催分の収録

前々回の技術研究会では、分子科学研究所で開催したこともあって、新規開催分の収録を手探り状態で行ったところがあった。その経験を踏まえ、前回の名古屋大学総合技術研究会では、開催通知において Web 公開と DB 収録を前提条件として明記すると同時に、報告論文の電子ファイルの回収をあらかじめお願いすることができた。また実行委員会側からの発案により、分科会毎に分冊された全報告集に DB 紹介ページを掲

載して頂いたのは、大変効果的であった。回収した Word のファイルを元に PDF ファイル作成を実行委員会側でやって頂いたことで、作成済みの PDF ファイルから速やかにデータ追加作業を終えることができた。PDF ファイルの作成は、発表者自身が行うと手間が分散できるものの質の統一が難しいところがあるため、今回は実行委員会側の判断により実行委員会側で一手に行って頂いたが、かなりの作業量があったことは想像に難くない。実行委員会側で対応できない場合には、DB 管理側が行うか発表者からの提出で対応するかについては、今後も検討していくことになると思われる。

これらの流れは、今回の技術研究会や、同時期に行われる実験・実習技術研究会においても踏襲される方向で進んでおり、過去のデータ収集および新規データ収集の両面に道付けができたことで、継続的な DB の管理維持体制を確立できたと言える。

3 収録研究会の拡大

3 共同利用研で持ち回り開催していた時期においても、その回限りの共通性が無い技術分野で分科会が設置されることがあったが、総合大学で開催されるようになったことで広範囲な技術分野に渡る技術研究会の性格を持ち始めて分科会数が増える傾向があるものの、専門性が限られた共同利用研が主催する場合は限定された分科会にとどまり、継続開催が難しい技術分野（分科会）が存在している。このことは、分野によって技術交流が行えない年があることを意味する。この問題により、持ち回り開催されている技術研究会の流れから派生して、特定技術分野に絞った技術研究会が独立開催される傾向がある。その中でも 10 年以上の歴史を重ねてきた分析・機器技術研究会、本年度で独立開催 2 回目となる実験・実習技術研究会においては、技術研究会と比較的重複参加者が多い。それぞれは異なる運営母体を有する独立した技術研究会であるが、参加に関しては技術職員であれば特に限定されることが無い点で共通しており、技術職員の共有資産としてこれまで構築してきた DB と同様に報告論文が閲覧できることは意義があると言える。そこで両技術研究会の報告集の収録について打診を行ってきたが、加藤清則分子研技術課長のご尽力と、名工大の小澤忠夫技術主幹、玉岡悟司技術主幹のご助力を頂き、発表者から収録論文公開への対応などのデータ管理および将来的な継続収集の責任を分子研が負うことを条件として、過去の報告集の提供並びに今後開催する時の収集協力について、昨年同意に至った。

それを受け、早速両技術研究会の各開催機関より報告集のバックナンバーを譲り頂いたので、昨年末に電子化作業と DB 登録作業を完了させることができた。これにより昨年度の名古屋大学総合技術研究会分を収録時点で 2801 件となった収録件数が、3443 件へと大幅に増加した。

4 公開範囲設定機能の追加

本年度富山大学開催による機器・分析技術研究会では、収録同意に至る以前に開催されたことから、Web 公開が前提でなかったため、Web 公開を希望しない意志を明確に示している発表者がいる、との要請を受けて、Web 上の閲覧に対して個々の論文に公開レベルを設定できる様に、プログラムの改良および DB 構成を変更して再構築した。

さらにこれまで一般公開向けのページ上では、一切内容の閲覧ができない状態で運用してきたが、上述の例とは逆に公開したいという発表者の要望にも対応できる様に、一般公開レベルに設定した論文ならば一般公開向けページ上で論文の内容が閲覧できるようにした。

これによって発表者の幅広い要望に応えられるようになったと同時に、DB 収録や Web 公開の障害となっ

ていた問題の1つを解消することができた。

5 作業文字コードの変更

目次情報の収集作業は、情報の正確さの確認や発表氏名を網羅する（目次には研究会当日発表する1名のみを記載することが多い）必要があるため、Windows上でテキストエディタを使って編集作業を行っているが、エディタ上で表示されていても保存する文字コードにSJISを使っていたため、保存時に文字化けする現象が発生した(図1の②)。このことから、作業の全過程の保存情報をUTF-8に統一して作業を行うための検討を行った。

WindowsのNotepadは、データ保存時にDOS時代から引き継がれているSJISで保存するANSI形式以外に、UTF-8で保存が可能なので、Notepad上で編集してUTF-8で保存したものをDB登録に用いることにした。なおエディタによっては、特殊文字を入力できない場合があり、例えば単純にコピー&ペーストした瞬間に文字が化けてしまう場合があった(図1の③)。このソフトではUTF-8で保存が可能であるが、前出の状況でUTF-8で保存したものをNotepadで読んでも正常な状況ではなかった(図1の④)。正常にUTF-8で保存したファイルも同様に表示できなかった。この様なエディタは編集作業には向かない。ちなみにWordおよび

Wordpadは表示上の問題は無いが、WordはUTF-8保存指定が可能である点、WordpadはUnicodeの保存指定しかできないので編集作業には向かないが情報が欠落することは無い。

UTF-8で保存されたファイルは、先頭に3byteのBOM(Byte Order Mark)が挿入される場合があることが知られているが、実際にNotepadまたはWordで保存したUTF-8ファイルは先頭にBOMが挿入されていた。従ってDBへ登録する作業のなかでBOMを読み飛ばさないと不必要なバイナリコードごと登録してしまう現象が発生した。また使用コードにUTF-8を設定したLinux上であっても、BOMを含むファイルを表示等の操作をすると、1行目にゴミとして表示される現象が観察された(図1の⑥)。

さらにUTF-8で保存されたデータを画面表示させる場合、プログラムによってSJISで対応不能な文字が正常に表示できない場合が観察された。例えば、Notepadで正常に表示されるテキストファイルをDBサーバに

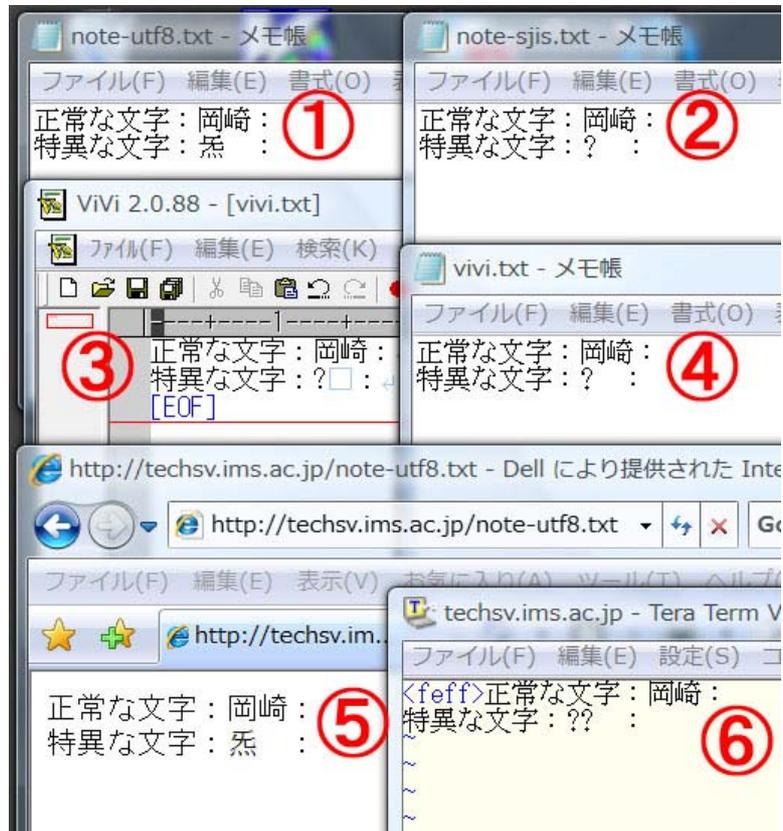


図1. 文字表示の例

WindowsVista64上で表示させた例。

- ①はNotepadで編集している状態。
- ②は一度ANSIで保存したファイルを再度Notepadで開いた状態。
- ③は①からviviへコピーペーストした状態。
- ④は③でUTF-8で保存したファイルをNotepadで開いた状態。
- ⑤は①でUTF-8で保存したファイルをLinuxのWebサーバに送りIEで参照した場合。
- ⑥は⑤のマシンへTeraTermで接続し、viで開いた状態。

送り、端末ソフト TeraTerm を使って DB サーバ上でファイル操作をする過程では、正常に表示されないことがあった（図 1 の⑥ vi を使用。cat, more は正常に表示）。DB サーバ上の Web サービスのフォルダに UTF-8 ファイルをおいてブラウザからアクセスすると正常に表示された（図 1 の⑤）。このため、作業を行う過程で表示の不具合が支障になる場合があるが、サーバ上ではほとんどインタラクティブにファイルを操作することがないため、データの欠落が無い点を意識していれば問題なく UTF-8 ベースで作業が行えることが分かった。これにより、該当文字を含めた DB を再構築することができた。さらに、該当文字を使ってブラウザから検索を行って見たところ、正常に動作することを確認した。

6 クロスリファレンス

発表者全数の把握と発表者から報告論文の対応表を作る目的で目次情報を集計しなおしたところ、人名の明確な誤字やデータ処理ミスなどが判明できた。それを元に目次情報データを修正することで、情報の質の向上を図る効果があった。しかし人名に用いる漢字で、新字体／旧字体あるいは「己、巳、已」などの近似文字の統一性の無さ、また漢数字で同じように見えて異なるコードの文字を使用している例など、様々な問題も見えてきた。目次情報における組織名の不統一は当初より問題として意識していたが、人名にも多くの問題があり、今後どのように対応するか検討していきたい。

7 さいごに

収録研究会の拡大に際し、関係諸氏のご協力を頂きましたことを実名掲載するとともにここに感謝いたします。また印刷物である報告集のスキャニングによる電子化作業は、中村宏樹分子科学研究所長による所長奨励研究費により行われました。

参考文献

- [1] 伊藤篤, “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”, 平成 10 年度高エネルギー加速器研究機構技術研究会 March 4-5, 1999
- [2] 水谷文保, “技術研究会報告データベース化の検討”, 平成 13 年度核融合科学研究所技術研究会報告
- [3] 水谷文保, “技術研究会報告データベース化の試み”, 平成 14 年度東京大学総合技術研究会報告
- [4] 澤昌孝、水谷文保, “技術研究会報告集データベース構築への取り組み”, 平成 15 年度高エネルギー加速器研究機構技術研究会報告集, March 26-27, 2004
- [5] 水谷文保、澤昌孝, “技術研究会報告集データベース構築への取り組み 2”, 平成 16 年度大阪大学総合技術研究会報告集, March 3-4, 2005
- [6] 水谷文保、澤昌孝, “技術研究会報告集データベースの構築”, 平成 17 年度分子科学研究所技術研究会報告集, March 2-3, 2006
- [7] 水谷文保、澤昌孝, “技術情報ネットワーク SNS 環境構築”, 平成 18 年度名古屋大学総合技術研究会報告集, March 1-2, 2007

資料

機関別参加者数 (合計 287 名)

機関名	参加人数
愛媛大学	2
横浜国立大学	3
学習院大学	2
岩手大学	3
岐阜大学	2
宮崎大学	1
京都大学	10
九州工業大学	3
九州大学	2
熊本大学	7
広島大学	3
弘前大学	1
三重大学	6
山口大学	1
千葉大学	1
大阪市立大学	5
大阪大学	15
大島商船高等専門学校	2
筑波大学	1
長岡技術科学大学	3
鳥取大学	2
電気通信大学	2
東京工業大学	5
東京大学	11
東北大学	16
徳島大学	3
北海道大学	2
名古屋工業大学	7
名古屋大学	44
琉球大学	1
徳山工業高等専門学校	2
有明工業高等専門学校	1
日本原子力研究開発機構	13
物質・材料研究機構	1
理化学研究所	2
国立天文台	14
高エネルギー加速器研究機構	25
分子科学研究所	18
核融合科学研究所	45
	287

(2008/02/05 17:00 現在)

あとがき

平成 19 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勞様でした。技術研究会は平成 12 年度からは隔年で核融合研，分子研，高エネ研以外の機関で開催するようになり，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付け，参加するようになりました。法人化以降は，全国の機関で技術職員の研究会や研修集会が多くもたれるようになり，技術職員の技術成果の発表や交流を持つ機会が増えました。今回の技術研究会でも，研究所を挙げて協力していただけることになりました。

核融合研で開催する技術研究会は，所内での開催が交通手段，会場の関係で困難であるため，外部の会場を借用しての開催となります。そのため開催会場の都合で，工作技術と低温技術を合同で開催することになり，該当する分科会参加者にはご迷惑をおかけすることになりましたこととお詫び申し上げます。今回の技術研究会の特色は，研究部からの協力もあり，各分科会で技術的な講演をそれぞれしていただいたということと，発表時間が 15 分，質疑が 5 分ということでは十分な議論ができなかったという前回の反省点から，プログラムでは発表時間にやや余裕を持たせたという点です。活発な技術交流でさらなる発展が望まれるものであります。

今後の技術研究会は，全国で発表や技術交流する機会が増える分，独自性，特色のある技術研究会を開催し，充実した研究会として発展させていく必要があると思われまふ。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します。また，今回の技術研究会開催のためにご協力いただきました，核融合科学研究所の管理部，研究部をはじめとする研究所の皆様感謝しますとともにお礼を申し上げます。

技術研究会実行委員会	実行委員長	谷口能之		
	実行委員 第 1 分科会	岡田光司	小林策治	
	実行委員 第 2 分科会	米津宏昭	土伏悌之	
	実行委員 第 3 分科会	横田光弘	井上知幸	
	実行委員 第 4 分科会	林 浩	大砂真樹	
	実行委員	馬場智澄	小川英樹	水野嘉識

Web 版技術研究会報告集の閲覧方法について

概要

1975 年度より開催されている技術研究会、並びに機器・分析技術研究会や実験・実習技術研究会の過去全ての報告集は電子化作業が完了し、全 3443 論文のうち Web 公開拒否を除いた全て（現時点では 3437 論文）を Web で参照可能です。各論文は、研究会毎の発表リストから選択するだけでなく、全文検索を含む様々な検索を利用して探し出すことが可能です。以下の案内を参照頂き、ぜひご活用ください。

1 公開環境について

誰もが閲覧できる Web 環境で、技術研究会報告集の論文を公開することは多くの問題点があり、これまで何度も議論を繰り返してきました。そこで誰もが参照可能な Web 環境では、基本的に題名等の公開にとどめています。これとは別途利用者を限定できる環境を整備して、その環境下では論文閲覧ができる様に整備しています。この利用者限定環境には、SNS (Social Network Service) を利用しており、招待された方のみが参加できる SNS へ登録することで、全論文の閲覧が可能になります。参加は技術研究会参加範囲に限定しています。論文の公開は、要望により論文単位で「一般公開可」や「Web 参照不可」なども設定しています。

2 アクセス方法

利用形態に応じて、以下の URL までアクセスしてください。

一般公開版（論文参照不可） <http://techsv.ims.ac.jp/GEN>

利用者限定版（論文参照可） <http://techsv.ims.ac.jp/SNS>

一般公開版ページは、利用者限定版ページへリンクしています。もし一般向けに公開しているホームページ等へリンクしたい場合には、一般公開版ページをリンクするようにして下さい。

SNS へ登録するには、既に SNS に登録済みの方から招待メールを送付頂く必要があります。もし身近に登録済みの方がいない場合は、下記問い合わせ先までご一報下さい。担当者より招待メールを差し上げます。

3 利用者限定版の登録方法と使い方

招待メールを受信したら、メール上の URL へアクセスして登録手続きを行って下さい。登録時には、利用規約を一読願います。登録方法など、SNS の使い方は、「利用の手引き <http://techsv.ims.ac.jp/WIKI>」を参照してください。利用者限定版ページ下部には、常に「利用の手引き」へのリンクが掲載されています。

登録すると 1 日 1 回ニュースメールが届きますが、これを止めたい場合は、「設定変更」メニューから設定可能です。技術研究会報告集データベースを利用したい場合は、SNS 画面左上にある黄色の「データベース検索」ボタンをクリックして下さい。登録が済んだら、利用規約の範囲の身近な方に、ぜひご紹介ください。

4 問い合わせ先

今後の開催分についても、下記の運用責任組織でデータ登録を行い、データベースを維持していく所存です。本件以外にも、本データベースや SNS の運用についてなど問い合わせは、下記までお願いいたします。

運用責任組織	自然科学研究機構 分子科学研究所 技術課
担当者	水谷 文保
メールアドレス	mizutani@ims.ac.jp