

NATIONAL INSTITUTE FOR FUSION SCIENCE

平成 5 年度核融合科学研究所技術研究会

日時：1994年3月23日-24日

場所：セラトピア土岐、土岐商工会議所

核融合科学研究所技術部

(1994年6月27日受理)

NIFS-MEMO-14

1994年7月

**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. This document is intended for information only and for future publication in a journal after some rearrangements of its contents.

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to the Research Information Center, National Institute for Fusion Science, Nagoya 464-01, Japan.

平成5年度
核融合科学研究所技術研究会
日時：1994年3月23日～24日
場所：セラトピア土岐
土岐市商工会議所

核融合科学研究所技術部

Proceedings of Symposium on Technology in Laboratories

by

Department of Engineering and Technical Services

Abstract

The Symposium on Technology in Laboratories was held on March 23 and 24 at Ceratopia Toki, and Toki Chamber of Commerce and Industry in Toki City, Gifu Prefecture, Japan. This symposium was hosted by National Institute for Fusion Science (NIFS).

There were 273 participants from many Japanese universities and laboratories, from some Japanese industrial world. Seventy eight papers were presented in the symposium. Technical experience and new techniques were reported and discussed being divided into five sessions; technologies of fabrication, cryogenics, diagnostic and control system, computer and experimental apparatus.

Keywords: symposium, technology, fabrication, cryogenics, diagnostic, control system, computer, experimental apparatus

はじめに

核融合科学研究所	技術部長	村井勝治
技術研究会	実行委員長	都築哲哉
実行委員		加藤明己
実行委員	工作技術分科会	杉戸正治
実行委員	低温技術分科会	多喜田泰幸
実行委員	計測・制御技術分科会	小平純一
実行委員	計算機・データ処理技術分科会	加藤丈雄
実行委員	同	小島 護
実行委員	装置技術分科会	河本俊和

今日の科学技術は、より新しいものを求めてすばらしいスピードで発展進歩しています。物づくり、システムづくりを基本にする我々技術者にとって、手を動かすとともに学ぶことと、影響しあうことはますます重要になっていると思います。

技術研究会は1976年に分子研で開催されて以降、回を重ね、全国の大学、研究所関係の技術者にとって無くてはならないものになってきました。

特に今回の技術研究会は研究会参加者の旅費を主催研究所で負担しなかったにもかかわらず、273名の参加者と、78件の発表が得られ、盛況でした。また研究所間討論会を開き、各研究所の研究会に対する位置づけ、これからの研究会を今後どう発展させていくか、主催研究所を拡大していくこと等について意見交換を行い、その結果を懇親会で報告し、参加者に積極的に受けとめられた点で特徴があったと思います。

核融合研の実行委員会では技術研究会の技術的交流をさらに質的に高いものにしていくために、新たな発展方向を議論してきました。たとえば、分科会の1つのテーマが年間を通じての技術的交流にしていくことが出来たらすばらしいと思っています。全国の大学、研究機関の技術部の充実が、さらに科学技術の発展を生み出すことを期待して努力していきたいと思います。

また、技術研究会の推進状況を、核融合科学研究所飯吉所長より、5月に開催された「国立大学附置研究所長会議」に報告、技術職員の技術交流を図ることの重要性を訴えるとともに、研究会をもっと多くの機関で開催でき、開催経費の文部省支援が受けられるよう要望して頂きました。

その結果、文部省の支援のもとに「技術研究会」と「技術研修会」を合わせてより多くの機関で開催できるよう検討を進めて頂いております。

最後になりましたが、研究会の開催に当たって多大の支援を頂いた「核融合科学研究会」ならびに核融合科学研究所の皆様、会場設営に全面的支援を頂いた土岐市役所、土岐市商工会議所の皆様に厚く御礼申し上げます。

次の研究会でまたお会いしましょう。

目次

第1分科会 (工作技術)

(1) 工作技術及び安全教育ビデオ教材の開発	.....	1
名大理	香月真澄、五藤俊明	
(2) 大型ヘリカル装置真空容器1/5モデルの製作	.....	5
核融合研	神原二三、山本富雄、杉戸正治、水澤清二、 米津宏昭、林浩己、江寄和弘、都築哲哉	
(3) 試験加速器ダンピング・リング・マグネット用位置調整架台の製作	.....	9
高エネルギー研	船橋義聖、竹内康紀、浦川順治、吉岡正和、 竹田繁、小泉晋、 (株)ATC 金沢靖哲	
(4) たわみ法によるYoung率の測定	.....	13
熊本大教養	田中一夫	
(5) ピエゾ素子を用いた微小移動機構とその応用	.....	17
名大工	小塚基樹、平野誠一、山内健治、涌井義一、 高木誠、熊澤克芳、鷺見高雄、白木尚康	
(6) 微動ステージの開発	.....	21
名大理	河合利秀、小松雅宏	
(7) 電子シンクロトロンビーム診断用放射光ビームラインの設計製作	.....	25
高エネルギー研	竹田繁、吉岡正和、浦川順治、早野仁司、内藤孝、 東大核研 奥野英城、吉田勝英、武藤正文、丸山浩一、 椎野二男、橋本義徳、増田均、法村香音子、 東大物性研 神谷幸秀、小関忠、篠江憲治、 理研 大熊春男	
(8) ボール逆止弁付き、OILパブラの開発	.....	29
京大工	宮城恒雄	
(9) 半導体多結晶材料の製作	.....	33
静岡大電子工研	勝野廣宜、助川徳三	
(10) レーザー核融合用KDP、KD*P結晶の大型結晶育成技術の開発	.....	36
阪大レーザー研	川上加奈、松尾悟志、金辺忠、 中塚正大、中井貞雄、 阪大工 佐々木孝友	
(11) ベネトレーター搭載用月地震計の姿勢制御機構の開発とその軽量化	.....	40
名大理	増田忠志	
(12) ビーム診断機器の設計、製作	.....	44
阪大核物理研	永山啓一	

第2分科会(低温技術)

(1) N.M.R.装置ヘリウムガス回収系の製作	49
東大教養	小田嶋豊、粟井恭輔
(2) 小規模実験の液体ヘリウムの汲み出しから回収まで	51
熊大理	河野賢悟、松山勇二
(3) オイルセパレータ吸着剤の精製	53
原研	樫村隆則、秋野昇、大賀徳道、菊池勝美、 國枝俊介、栗山正明、朴木敏郎、清水和彦
(4) 低温吸着による希ガスの分離	57
東大理	座主繁男、比屋根隆
(5) W A S A超伝導電磁石の開発	60
高エネルギー研	山岡広、山本明、榎田康博、田中賢一、木村誠宏、 平林洋美、 日本鋼管(株) Uppsala 大学
(6) H e ガス排気時のクライオポンプ再生	64
原研	秋野昇、朴木敏郎、樫村隆則、菊池勝美、 國枝俊介、栗山正明、大賀徳道、清水和彦
(7) 17/19テスラ超伝導マグネットの性能試験	68
筑波大低温セ	池田博、吉崎亮造
(8) SDC超伝導電磁石の開発-電磁力に対する線材強度の評価について	72
高エネルギー研	田中賢一、山本明、榎田康博
(9) 低温で使用する材料の機械的性質	76
名大理	井上晶次
(10) 高温超伝導体のピン止め力の測定	80
静大教養	増田健二
(11) 液体H e トランスファーチューブのモーター駆動ニードルバルブ	84
分子研	鈴井光一、加藤清則、早坂啓一、高山敬史、 吉田久史、浅香修治
(12) 液体ヘリウム移送用ポンプの開発	87
分子研	鈴井光一、高山敬史、早坂啓一、加藤清則、 吉田久史、浅香修治
(13) 保冷槽リーク操作の自動化	89
原研	菊池勝美、秋野昇、朴木敏郎、樫村隆則、 國枝俊介、栗山正明、大賀徳道、清水和彦
(14) 大型ヘリカル装置本体の初期冷却計画	93
核融合研	森内貞智、佐藤定男、三戸利之、山田修一、 馬場智澄
(15) 液化装置更新の報告	96
東大低温セ	内山隆司、土屋光
(16) 極低温中で使用できる封じきりバルブ	100
分子研	加藤清則、加藤眞治、高山敬史、早坂啓一

第3分科会 (計測制御)

(1) アバランシェ・パルサの高速化 (Ⅲ)	105
京大炉	高見清
(2) 伝送線路トランスを用いたPFL型キッカーpulse電源の試作	109
高エネルギー研	上田明、三橋利行、春日俊夫
(3) 大電力パルス電源用同軸型ダミーロードの試作 (2)	113
高エネルギー研	本間博幸、設楽哲夫、穴見昌三、
日本高周波(株)	柏木厚
(4) JT-60Uにおけるトムソン散乱測定装置用遠隔視野調整機構の開発	117
原研	山下修、北村繁、吉田英俊
(5) JT-60Uにおけるトムソン散乱測定装置に於ける光軸調整機構の改良	121
原研	北村繁、山下修、吉田英俊
(6) JT-60計測用共通真空排気設備真空制御系の改良	125
原研	千葉真一、蔀守正
(7) 高周波真空入射制御装置の開発	129
原研	清野公広、篠崎信一
(8) CHSデータ処理系におけるDSPを用いた高速演算とWavelet変換への適用	133
核融合研	高橋千尋、CHSグループ
(9) X線用4軸型回折計の制御	137
名大工	山内健治、高橋功、原田仁平
(10) NDPMによるビーム幅の時間変化のリアルタイム測定	141
高エネルギー研	門倉英一、川久保忠道
三菱電気	石田忠治
(11) VME Interrupt & I/O Register Module	145
高エネルギー研	村上武
(12) シリコン検出器読み出し用コントロール・チップの試作評価	149
高エネルギー研	藤田陽一、池田博一、田中真伸、池田光男、
総研大	稲葉進、B-Factoryシリコン検出開発グループ
奥野祥二、	
(13) パルス法NMR用パソコン制御パルスジェネレータの製作	153
京大工	家原力太郎
(14) A TIME EXTENDED OPTICAL READOUT TRANSMISSION SCHEME TO A HIGH-DENSITY DETECTOR SYSTEM	157
高エネルギー研	N.Ujiiie,H.Ikeda,Y.Unno
(15) ミリ波帯ヘテロダイン干渉計装置	161
筑波大プラズマ研	伊藤康彦、大山直幸、間瀬淳、玉野輝男
(16) 高速重イオン・ビーム・プローブ計測装置の建設と測定	165
核融合研	川澄義明、浜田泰司、西沢章光
(17) 高速重イオンビーム測定装置用増幅器の製作	169
核融合研	幅驥一郎、川澄義明

第4分科会 (計算機・データ処理)

(1) 加速器ヒューマンインターフェースネットワークセグメント	173
高エネルギー研	阿部勇、中原和夫
三菱電機サービス(株)	田中政彦
(2) PF低速陽電子源における制御システム	177
高エネルギー研	白川明広、榎本收志、栗原俊一、小林仁、 設楽哲夫、中原和夫
(3) Visual Basicを使用した加速器制御	181
高エネルギー研	濁川和幸、門倉英一、秋山篤美、石井和啓、 加藤直彦、中川秀利
(4) 東海地区学術ネットワークの整備	185
名大大型計算機セ	瀬川午直
(5) MSP上に作成したUNIX風コマンド環境	189
名大大型計算機セ	脇田晋弥
(6) ILE-NETを利用した実験データ処理について	192
阪大レーザー研	島田京子、藤井丈暢、斉藤昌樹、福田優子、 和田幸裕、坂上仁志、大西芳紀、児玉了祐、 畦地宏、加藤義章、西原功修
(7) KEKにおけるテレビ会議システムの構築と運用	196
高エネルギー研	中村貞次
(8) 表計算ソフトを使用したRIの減衰補正計算テーブルの作成	200
東北大金材研	三浦重幸、高橋三幸、佐藤伊佐務
(9) 辞書型KIND新検索システムの開発	204
東北大金材研	伊藤敏行、中名生充、和田繁男、森倫子、 秋山庸子、大野かおる、中道琢郎、川添良幸
(10) パソコンを用いた残留ガス自動監視装置の試作II	208
信州大学	小林史利、塚田穩敬、大村貴弘
(11) 新計算機システム及び新ネットワークの紹介と1年の運用から	212
核融合研	加藤丈雄
(12) 埼玉大学キャンパス情報ネットワークシステムの構築法	216
埼玉大学	福島又一、石川幸一
(13) 東京大学情報ネットワークシステム UTnetの構築及び運用について	220
東大大型計算機セ	井爪健雄、前谷強志、後藤信孝、椿山惣一郎
(14) JT-60制御用計算機コンソール I/Oのワークステーション化	224
原研	下野貢、戸塚俊之
(15) LANを用いたインターロックシステムの監視	228
高エネルギー研	斉藤裕樹、小菅隆、伊藤健二
(16) トリスタン制御システムにおけるワークステーション導入の現状及び展望	231
高エネルギー研	荒木栄、三増俊広、浦川順治、秋山篤美、川本崇
(17) 激光XII号のレーザー制御装置の性能向上	235
阪大レーザー研	木村孝志、鈴木和浩、漆原新治、金辺忠、 実野孝久、中塚正大、中井貞雄

第5分科会（装置技術）

(1) LaB ₆ BN陰極スパッタイオンポンプの開発・試作	239
鈴鹿高専	三好正行、船戸康幸、
川崎医大	虫明基、
核融合研	久保田雄輔、赤石憲也
(2) JT-60第一壁のその場ボロン化処理	243
原研	柳生純一、平塚一、新井貴、萩原徳男、西堂雅博
	小池常之、清水正亜
(3) その場ボロン化処理前後の真空特性	247
原研	新井貴、平塚一、柳生純一、神永敦嗣、小池常之、
	西堂雅博
(4) JT-60第一壁の損傷と保守	251
原研	児玉幸三、安東俊郎、新井貴、正木圭、鶴見聰、
	岸谷和廣、神永敦嗣、笹島唯之
(5) NBIポート内壁保護板の損傷状況と対策	255
原研	山本正弘、柘澤稔、栗山正明
(6) NBI装置水冷抵抗器の異常と補修	259
原研	薄井勝富、高橋春次、小泉淳一、高安利男
(7) JT-60操作用配電設備・非常用電源の運転保守	263
原研	大森俊造、大森栄和
(8) 大型ヘリカル装置制御システムの検討について	267
核融合研	谷口能之、高橋千尋、小嶋護、加藤明己、
	村井勝治、山崎耕造、LHD建設グループ
(9) JFT-2Mにおける外部ヘリカル磁場を用いた制御システム	271
原研	柏好敏、徳竹利国、長谷川浩一、岡野文範、
	鈴木貞明、斎藤雅也
(10) 60GHz電子サイクロトロン加熱(ECH)を用いたディスラプション制御システム	275
原研	本田敦、柴田孝俊、菊池一夫、小又将夫
(11) 放射光基幹ビームチャンネルにおけるロギングと故障の早期発見	279
高エネルギー研	浅岡聖二、金谷範一、小出常晴、前沢秀樹
(12) PF2.5GeVストレージリング真空ダクト冷却系の監視	283
高エネルギー研	瀧山陽一、堀洋一郎、小林正典
(株)三菱電機サービス	飯田秀一、武石泰夫、井上芳昭、川野壽美、
	佐藤好美、大島正裕、大和田光晴
(13) 分子科学研究所・装置開発室における装置開発体制について	287
分子研	浅香修治
(14) パルス偏向電磁石の磁極高（間隙）拡張改造	289
高エネルギー研	金子直勝、入江吉郎、藤森寛、安達利一、
	染谷宏彦
(15) 超音波噴霧熱分解法による万能超音波造粒装置の開発	293
三重大工	市川貴之、龍田雅夫、上野素裕
(16) LHDにおける電磁力支持構造物の耐震解析	297
核融合研	林浩己、米津宏昭、田村仁、LHD建設グループ

資料1. 技術研究会の推進について	301
資料2. 技術研究会の歴史	303
資料3. 機関別参加者数	304
資料4. アンケートのまとめ	305
編集後記	314

工作技術及び安全教育ビデオ教材の開発

名古屋大学理学部技術部 研究機器開発班 ©香月真澄
極限基礎技術班 五藤俊明

1. はじめに

大学において工作技術を修得することは、より良い装置を開発し実験及び研究を効率的に進めるうえで、極めて重要である。現在、理学部物理学科では、大学院生を対象に、装置の設計から製作までを行う機械工作実習を実施し、成果を上げている。

機械工作実習において、今まで使用してきた教材用テキストに加え、ビデオ教材を並行して使用することにより、実際に使用する工作機械や安全に対する予備知識が一段と向上することが期待できる。これにより、大学院生及び学部学生の実験に必要な工作技術及び安全についてわかりやすく教えることができる。

我々は、平成4年度科学研究費補助金奨励研究(B)にビデオ教材「大学院生向け工作技術及び安全教育の開発」を公募し採択され、その開発を行ったので、その報告をする。

2. ビデオ教材の構成

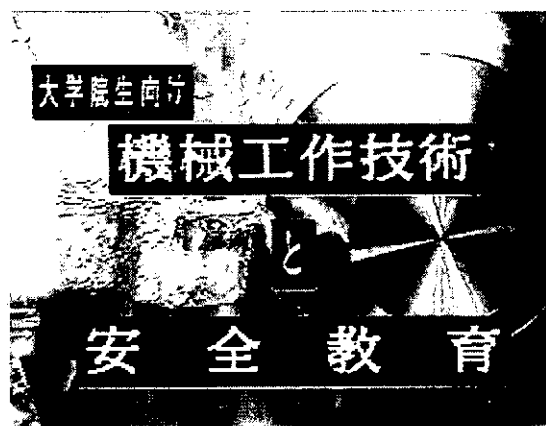
上映時間を、約1時間とした。

内容は、次の通りである。写真は、抜粋した項目ごとのビデオ映像写真である。

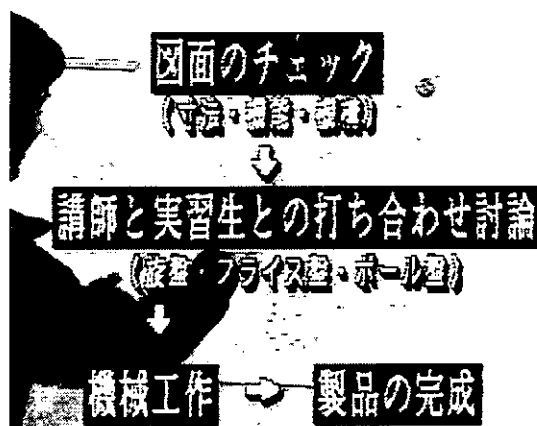
- (1) 目的
- (2) 物理金工室を中心に、今までに開発した装置例の紹介(4件)
- (3) 機械工作実習で実習生が開発、改良した製品の紹介(2件)
- (4) 工作実習全体の概要

講師と実習生との討論 { デザイン
機 構
材料の選択 } → 図面を書く(手書き・CAD)

→ 図面のチェック → 機械工作 { 旋 盤
フライス盤
ボール盤 } → 製品の完成

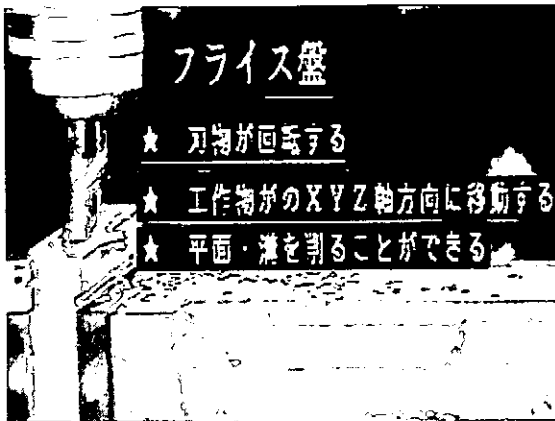


(1)

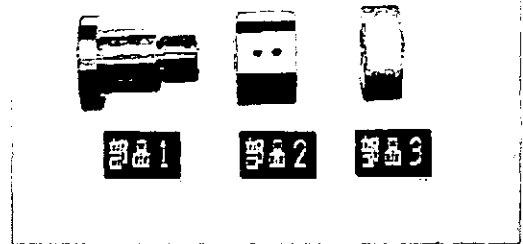


(4)

- (5) 旋盤、フライス盤、ボール盤の基本原理（主な工作機械で何ができるかを説明）
- (6) 工作機械の選択（モデル製品を使つての図面のイメージと工作機械の選択）



(5)

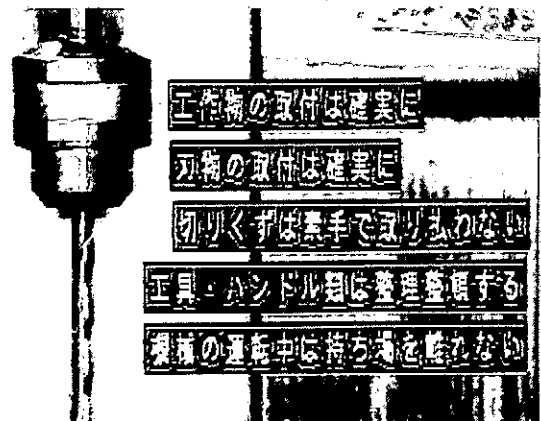


(6)

- (7) 安全な服装（機械工作を始める前に確認）
- (8) 旋盤の各部の名称と働き
 - ☆切削工具の材質と種類
 - ☆削る材質によるバイト刃先の角度の違い
 - ☆ノギス、マイクロメータなどの測定工具の種類
 - ☆守らなければならない安全心得
- (9) フライス盤の各部の名称と働き
 - ☆切削工具（エンドミル、正面フライス等）の種類
 - ☆守らなければならない安全心得
- (10) ボール盤の各部の名称と働き
 - ☆ドリル、面取りカッターの種類
 - ☆守らなければならない安全心得
- (11) 旋盤を使用した機械工作の仕方（モデル作品の工作手順を説明）
- (12) フライス盤を使用した機械工作の仕方（モデル作品の工作手順を説明）



(7)



(10)

- (13) けがき、ポンチ
- (14) ボール盤を使用した穴明け作業
- (15) ネジ立て作業（ハンドタップによる）
- (16) その他の工作機械の紹介
 - ☆帯鋸盤・シャーリング・コンターマシン
- (17) その他の工作技術の紹介
 - ☆ろう付・アーク溶接
- (18) エンディング

3. 成果

- (1) ビデオ教材の使用により、事前学習効果の向上が認められた。

具体的には、

- ① 工作機械の基本原理の修得により、工作機械で何が工作できるかが理解された。
- ② 工作手順が能率的になった。

- (2) 危険作業の防止と安全教育の効果が確認された。

ビデオを見せることによって作業を注意して行うようになった。

具体的には、

- ① チャックハンドルをチャックに取り付けたまま始動するとハンドルが飛ぶ危険性を前もって学んだ。
- ② 切りくずを素手で取り除かなくなった。
- ③ 手袋をはめたまま作業しなくなった。
- ④ 作業靴を着用するようになった。

- (3) 機械工作実習希望者に対して一度にガイダンスができた。そのため、講師の負担が減った。

過去4年間の受講者と希望者の数を示す。

1990年	15名	(希望者	15名)
1991年	25名	("	25名)
1992年	23名	("	25名)
1993年	24名	("	31名)



【講師（左）と実習生の実習風景】

4. 今後の計画

- (1) 構成及び映像などを改良し、上映時間を短縮する。
- (2) 誰でも利用できるように貸し出しをする。
- (3) 最近、留学生が急増しているので、外国語版ビデオ教材を制作する。
- (4) 新大学院生を、対象にした基礎工作ガイダンスとして30分のダイジェスト版を制作する。94年4月18日に使用する予定がある。
- (5) 各大学、研究所において機械工作実習を担当している全国の技術職員の意見を聞き入れて、より良いものにしていきたい。

5. 謝辞

このビデオ教材を制作するにあたって、名古屋大学理学部物理金工室のスタッフならびに実習の講師の方々、又、ナレーションを担当して下さった名古屋大学理学部数学科の小崎和子氏には、この場を借りてお礼申し上げます。

6. 引用文献

- 1) 「JISハンドブック 機械要素」 日本規格協会(1988)
- 2) 小林輝夫「図解 機械工作(1)」 オーム社(1974)
- 3) 為谷誠八「旋盤作業」 日刊工業新聞社(1976)
- 4) 本田巨範「フライス盤マニュアル 工具・加工編」 大河出版(1979)
- 5) 徳丸芳男「機械一般 三訂版」 実教出版(1971)

大型ヘリカル装置真空容器1/5モデルの製作

核融合科学研究所技術部 ○榊原 二三 山本 富雄 杉戸 正治 水澤 清二
米津 宏昭 林 浩己 江岸 和弘 都築 哲哉

1. モデルの製作理由

当研究所では土岐市の新研究所に大型ヘリカル実験装置（LHD）を建設中である。LHD装置はワークステーションを使用したCADを用いて、設計がなされているが、螺旋構造をした複雑な大型装置なので、中性粒子入射装置の導入経路や各種計測器の取付方法等について、モデルを製作して確認をする必要がある。このために今回LHD真空容器の水平断面、内壁面を重視した1/5モデルを製作した（図1）。

真空容器モデルの製作方法は種々考えられるが、製作に至るまでの経過と製作内容について報告する。

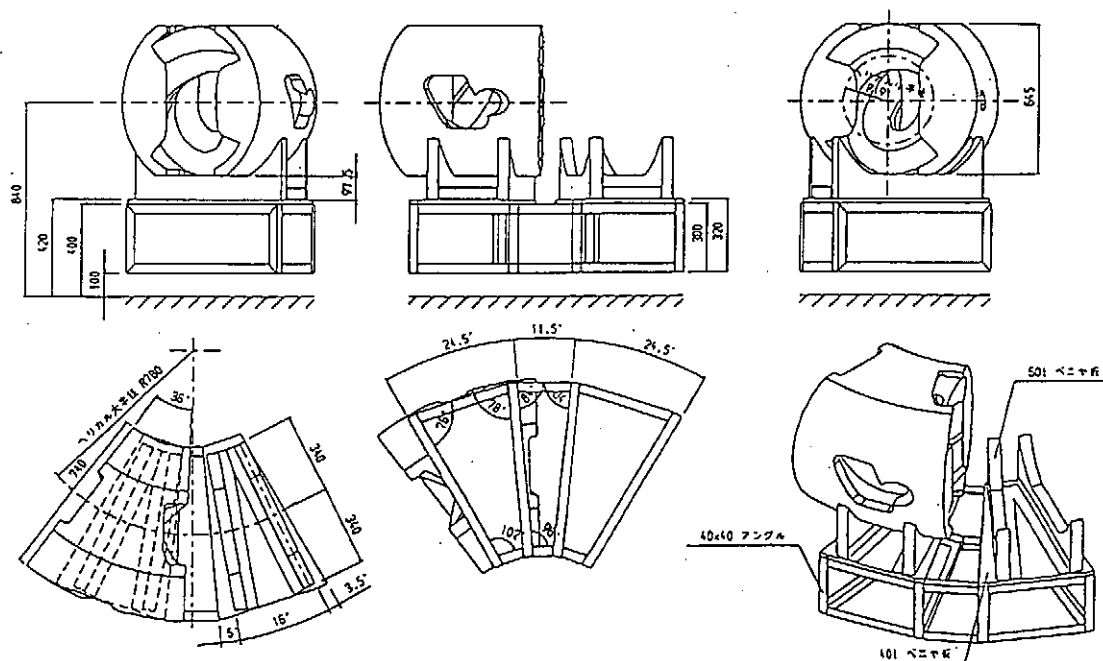


図1 枝ポート及びヘリカリコイル溝無し（今回製作）のLHD真空容器

2. モデルの利用方法

このモデルは、LHD真空容器の設計をはじめ種々の研究開発の推進に活用される。ここでは、いくつかの利用例を紹介する。

1) ダイバータの各コンポーネントの設計

ダイバータ板、バップル板、カーボンシートポンプなどの設計

2) NBIビーム経路の設計

真空容器への熱負荷の検討、アーマタイルの設計

3) 計測装置の設計

ポート視野の確認、各種計測機器の設計

4) 磁力線モデルの製作

ヘリカル・ダイバータ、ローカル・アイランド・ダイバータ（LHD）、計測装置の設計に役立てるため、真空容器モデルの内部に磁力線の位置を示すモデルの設置を検討している。

3. モデルの製作方法の検討

LHD真空容器は螺旋構造をした複雑な形状のため、単純な加工方法では製作できない。多軸のNC工作機械を使えば、ブロックからの切削加工が可能であるが、機械の調達と、専用のプログラミングデータが必要である。

今回のモデル製作は研究開発用に利用できるモデルを、限られた予算と期間で製作するため、板材を積み重ねる方法とした。

第1案は板材に切出し用部品図を糊付けし、切出し線にそってジグソーやコンタマシンで切断後ベルトサンダ等で仕上げる。

第2案は点列確認参考図により点列を実際の加工順序に再整列しNCデータを作り、このデータを元にNC機械で加工する。

当初は立て型マシニングセンタで加工をする予定であったが、NCデータ作りの工数等もあり、第1案で製作することにし、このときの精度は1mm以内とした。

図面はCADグループがLHD本体設計に用いている3次元モデルをもとに、水平断面図を作成した。この水平断面図（型紙として使用）の枚数はA1サイズで363枚で、部品として加工した塩化ビニール板の枚数は920枚にのぼった。

板材を積み重ねる方式で製作することにして、LHD実機の真空容器図面（図2）の断面図を参考にして板厚と枚数の検討をした。こうして作成した真空容器1/5モデルの断面図が図3である。この断面図はZ=0がトーラス赤道面で、No.1~No.43（ボード番号）は図面作図（型紙製図）と組立て時に必要な番号である。製図に使用した紙は、伸縮や皺のでない特別な紙を使った。

板厚に5mmと10mmを使用したのは、ヘリカル溝部とトーラス部の内壁面の曲線の段差をを少なくするためである。（板厚は薄いほど曲線はなめらかにできるが、枚数が増えて作業が膨大になる。）

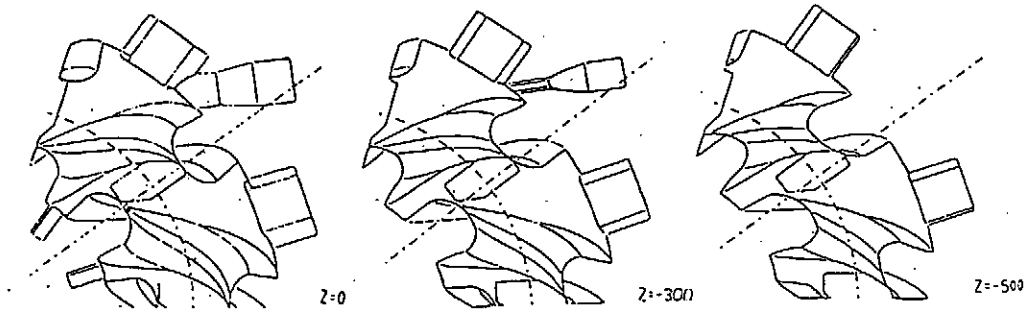


図2 LHD実機の真空容器図

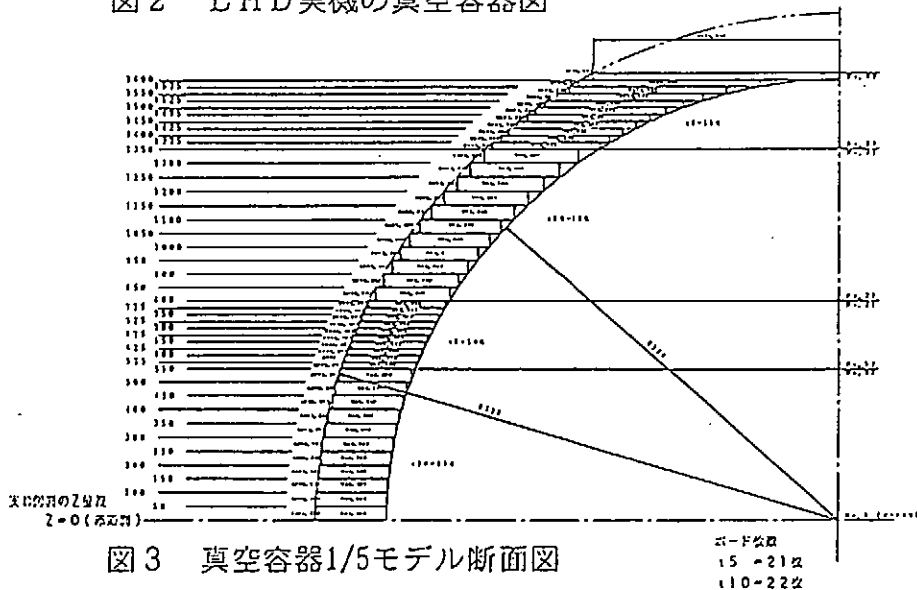


図3 真空容器1/5モデル断面図

図4は部品ボードを積み重ねた図（模式図）である。部品ボードは角を容器内壁面に一致させるが、ヘリカルコイル溝部とトラス部との関係により同じボードでもせりだす断面の上下が変化するため、切出し線を選択を工夫した。図面の枚数も考慮して、各ボードサイズに合せ断面図（型紙）のレイアウトを行った（図5）。

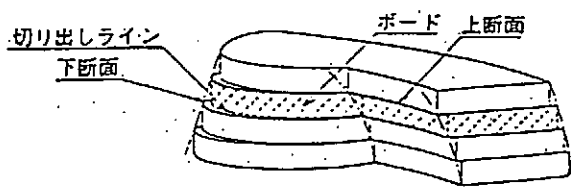


図4 ボード切出しラインの選択

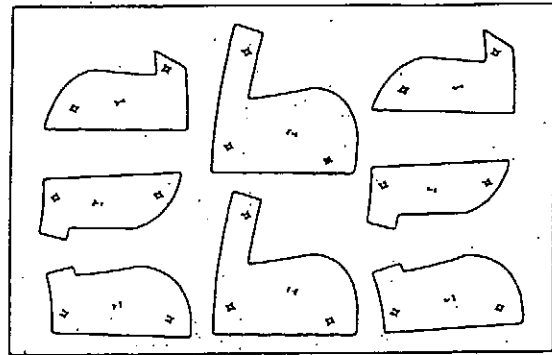


図5 CADによる型紙の割り付け

4. 材料の選定

材料は価格、加工性、見栄え等を考えて、以下の3種類から選んだ。

ベニヤ板、透明アクリル板、塩化ビニール板

3種類とも、素材のままでは板厚に不揃いがあり、加工の必要がある。

透明アクリル板：透明度がなくなり、割れやすく、高価

ベニヤ板：切断面がきたない

塩化ビニール板：安い、加工性がよい

結論として、塩化ビニール板を使用することにした。この塩化ビニール板を板厚5mmのもの、板厚10mmのものをとりまぜて86枚重ねてモデル製作をおこなった。

塩化ビニール板には素材そのままでは、板厚に0.3~0.9mmの不揃いがあり、木工用自動カンナ機で加工をした。このカンナ機の加工幅が500mmしかないため、部品によっては分割したものもある。

5. 製作

加工作業はまず型紙を切出した後、材料の有効利用をはかるため、素材に貼る時適切なレイアウトを行った。次に、素材の切出しは、920枚にのぼるボードを正確に作るという根気仕事であった。ボードの加工後は、組立基準用のノックピン穴、各ボードの番号、ヘリカル溝部のねじれ（ボードを裏返すとねじれは反対になる）等がまちがいないか、またボードを重ねた時寸法は正しくできるか、等の確認をするための仮組立作業（写真1、2）を入念に行った。

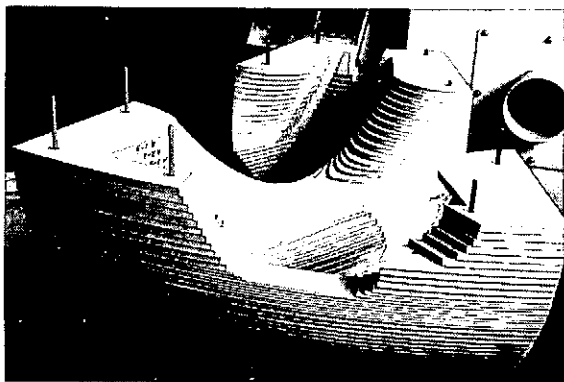


写真1 仮組立36度分の下半分

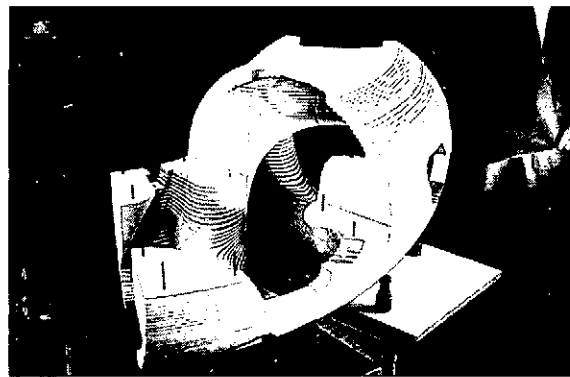


写真2 仮組立72度部分

切出したボードの接着作業は6、7枚ごとに分割して接着、ここでの歪みのでない接着方法に苦労した。出来上がったブロックをトラス赤道面の下部は固定とし、上部は3個に分割、取り外して内部や断面が観察できるようにしてある。

接着剤の選定と接着作業のノウハウがこのモデルの組立精度に大きく影響した。

接着剤は低粘度速乾性の硬質塩化ビニール用を使用し、注射器を利用して手早く塗付することにした。接着剤を塗付したボードは接着するまで押さえておく必要があるが、この押さえかたもラフにすると歪みが出て、寸法精度がとれず工夫が必要であった。

仕上は2セット製作したうちの1セットには、段差を埋めるパテを塗り(写真3、6)なめらかにし、実際の真空容器にできるだけ近い型にした。ここで使用したパテも各種テストを行い、コーキング剤(液型変成シリコンシーラント)を使用することで、ほぼ希望通りの型にできたと考えている。

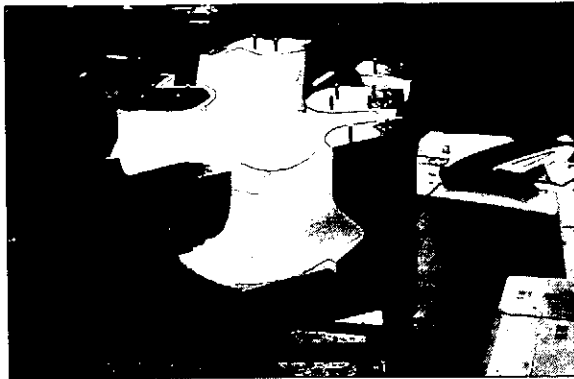


写真3 72度部分の下半分

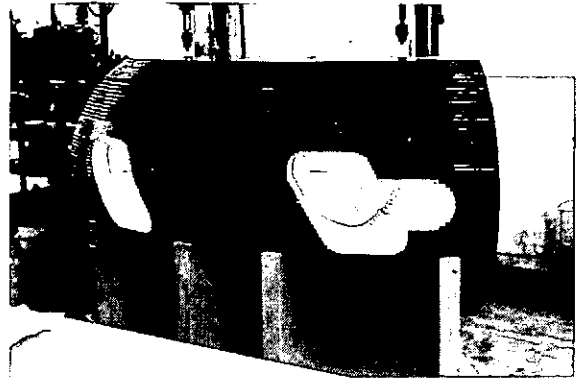


写真4 ポート側の72度部分

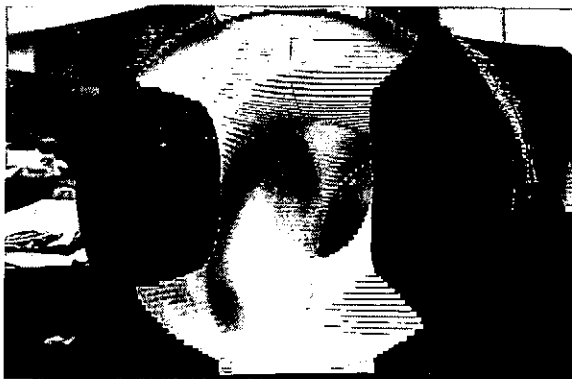


写真5 パテ無しの72度部分

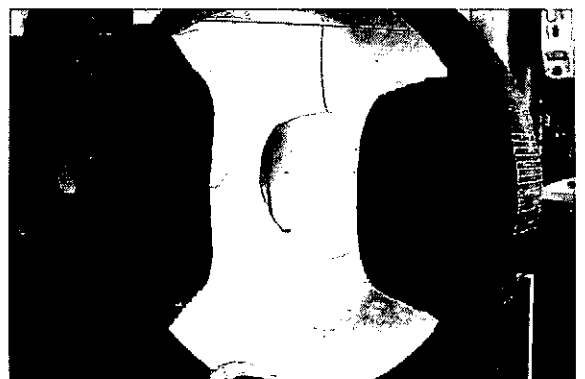


写真6 パテうめの72度部分

6. まとめ

当初加工は単純作業で簡単に製作できるとあまく見ていた。しかし作業を初めたところ、機械加工は少ないものの、手作業の工数が多く、工夫を要する部分も多数あり、以外に納期がかかってしまった。

モデルが完成して、多数の研究者に見てもらったところ、今後のLHD装置建設や計測装置についての活発な議論があり、このモデルの活用への期待の大きさが感じられた。

このモデルの製作にあたっては多くの人の協力を得ました。ご協力いただいた皆様に感謝いたします。

試験加速器ダンピング・リング・マグネット用位置調整架台の製作

高エネルギー物理学研究所、株式会社ATC*

舟橋 義聖、竹内 康紀、浦川 順治、吉岡 正和、
竹田 繁、小泉 晋、金沢 靖哲*

1.はじめに

垂直方向のビーム・エミタンスを 10^{11} (radm) レベルまで減衰させて、マルチバンチ偏平ビームを長期間安定に供給することが試験加速器ダンピング・リングの目的である。〔1〕これを実現するためには、設計軌道に対してマグネット等を垂直方向 1σ で $30\mu\text{m}$ 以下という精度で設置しなければならない。また、地盤の変動による床の相対位置の日変化等によって生じる磁石の相対的位置変化を自動的に補正する必要がある。この目的のため5自由度で $5\mu\text{m}$ 以下の精度の位置制御が遠隔で行える機構を開発して、マグネットの初期位置を保持する試験加速器ダンピングリング用アクティブ架台を製作した。また、架台テーブル上にマグネットを設置するとき使用する調整機構付台も試作した。本報告では、ダンピングリング内のアライメントの方法も含め報告する。

2.試験加速器(ATF)ダンピングリングの概要

図 1に試験加速器建屋の平面図を示す。

ダンピングリングは、長径53.4m、短径27.6mのレールトラック状である。コンクリート製のシールドブロックで囲まれた、地上方式のトンネルである。トンネルの内側の丈は3mで、天井補強用ビームのある部分は2.2mである。ビームラインの高さは、床から1.2mである。曲線部は、1台の偏向電磁石で10度分を曲げる。この偏向電磁石と2台の4極電磁石と2台の6極電磁石で1ユニットを構成し、これが1台の架台上に設置される。架台18台で半円を作る。2箇所直線部には、それぞれ4台のウイグラー電磁石がウイグラー用架台に設置される。

図 2はシールド内直線部の写真である。

試験加速器の設置される床振動測定も加速器が性能を十分発揮するためには、必須要件である。架台と試験加速器の設置される床の振動特性の測定をした。その結果を図 3にしめす。架台の共振周波数は、60Hzから80Hzになる。20Hzから40Hzにかけて10から20倍程度架台上の振幅が床振動より大きくなっている事がわかる。しかしこの振幅値なら、垂直方向のエミタンス増大に特に関与する量ではない。

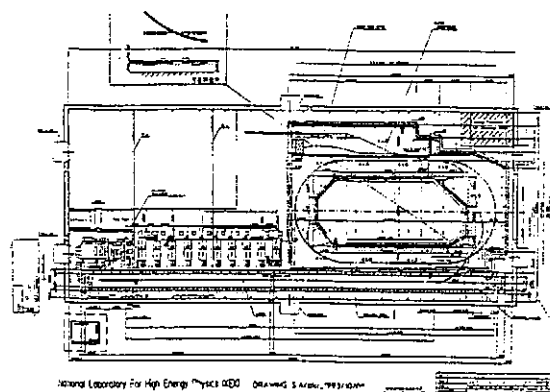


図-1

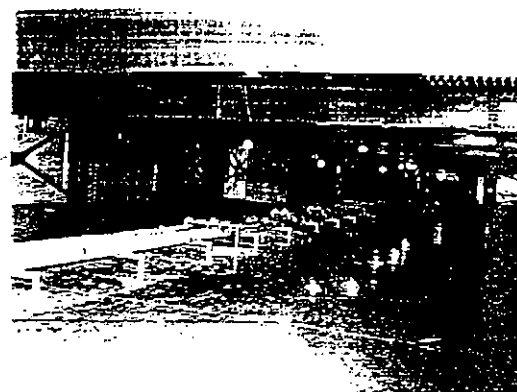


図-2

3. 架台の構成と動作

3-1. 曲線部位置調整架台 (アクティブ架台)

図 4 にアクティブ架台試作3号機の全景写真を示す。アクティブ架台は、基礎底板、ムーバ-3台、定盤で構成されており、ムーバ-と定盤の接続は、球座でおこなっている。

基礎底板は、30mmの鋼板製で、ムーバ-の設置される所のみフライス盤加工してある。

図 5 に3号機用Aムーバ-の構造を示す。

このムーバ-の設計にあたりFFTのコース・ムーバ- (2) を参考にした。また、構造を単純化するため多くの一般既製部品を使用している。ムーバ-は、下段よりビ-ム方向 (Z軸) 制御、水平方向 (X軸) 制御、垂直方向 (Y軸) 制御装置の順に構成されている。ムーバ-の受け座は3種の方法を併用した。ポイント受け座を支持するムーバ-を、Aムーバ-と呼ぶ。V溝受け座、フラット受け座を支持するムーバ-を、それぞれBムーバ-、Cムーバ-と呼ぶ。X軸位置制御は、パルスモ-ターでボールネジを駆動して、レールガイドに沿ってXテーブルを移動させることにより行う。Y軸位置制御は、パルスモ-ターで、スクリュウジャッキを駆動して、左右の保持板に2本ずつ設けたレールガイドに沿ってYテーブルを上下させることにより行う。Z軸位置制御機構は、Aムーバ-にのみ設けてあり、ネジの押し引きによりテーブルを移動する半固定方式である。各軸の位置制御範囲は、40mmである。

定盤は、3台試作した。ここでは、検査結果を踏まえて最後に試作した定盤の仕様について述べる。定盤の大きさは、長さ2340mm、幅800mmである。ステンレス鋼板 (SUS304) を上板に、鋼板を下板に使用し、上板と下板のジョイント材にコンクリートを用いた。定盤の重量は、約1.2tである。下板には、ムーバ-と接続のため3種類の受け座を取り付けている。

3-2. 直線部位置制御架台 (ウイグラー用架台)

図 6 にウイグラー用架台の写真を示す。

ウイグラー用架台は、基礎底板、ムーバ-3台で構成されている。ウイグラー・マグネットの取り付けは、ムーバ-Y軸テーブルに設けた球座を直接マグネットに固定する。

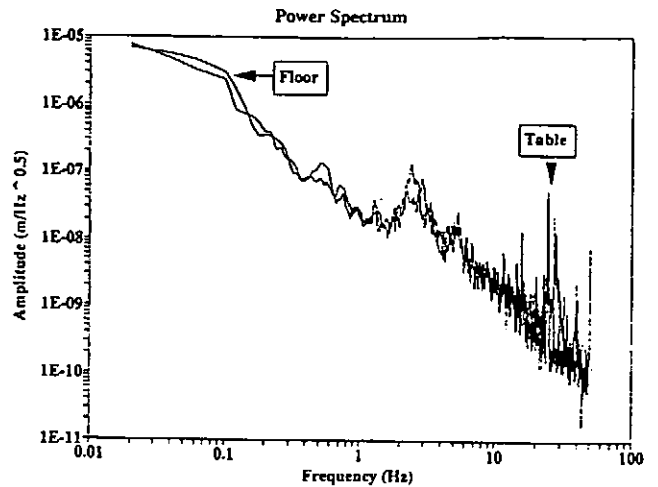


図-3



図-4

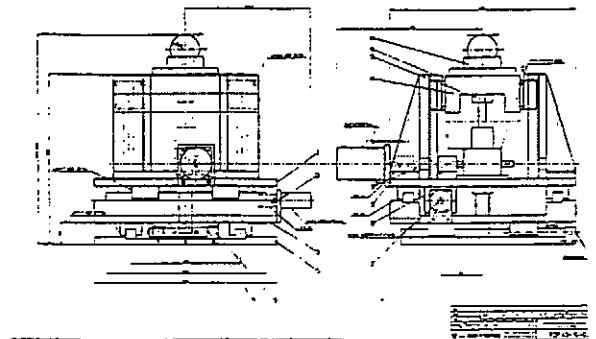


図-5

ウイグラー用架台（ムーバー）は、曲線部のアクティブ架台を基本に設計した。アクティブ架台の制御機構の中で、ウイグラー・マグネットのアライメントに必要な垂直方向（Y軸）の制御装置のみで構成されビームラインの高さを合わせるための鋼製アングル材で製作した台に載っている。3台のムーバーの形状は、同一であり、Y軸の位置制御の方式は、曲線部アクティブ架台のY軸制御と同一である。



図-6

4.位置精度の測定

精度測定の手順は、ムーバー単体において、X軸およびY軸方向の動作確認を行い、移動方向の変換点での位置決め精度が $5\mu\text{m}$ 以下であることを確認する。

その後、曲線部の架台は、定盤とダミー負荷（865Kg）を載せて、架台のY軸の位置決め精度を測定した。測定には、最小読み取り $1\mu\text{m}$ のマグネスケールを使用した。図7に曲線部アクティブ架台の2号機と3号機のY軸の測定結果を示す。

図から、位置決め精度は、上昇方向 $2\mu\text{m}$ 、下降方向で $5\mu\text{m}$ である。方向変換点でのバックラッシュは、2号機で $5\mu\text{m}$ 、3号機では $1\mu\text{m}$ 程度である。

バックラッシュの改善は、スクリュウ・ジャッキの送りネジを台形ネジからボールネジに仕様変更したためである。また、動作の再現性は良好であり、 $1\mu\text{m}$ 程度の精度で位置制御可能である。

図8は、ウイグラー用架台の測定結果を示す。測定条件は、架台にウイグラー・マグネット（重量2t）を載せて測定した。

Y軸の位置精度は $2\mu\text{m}$ 程度である。

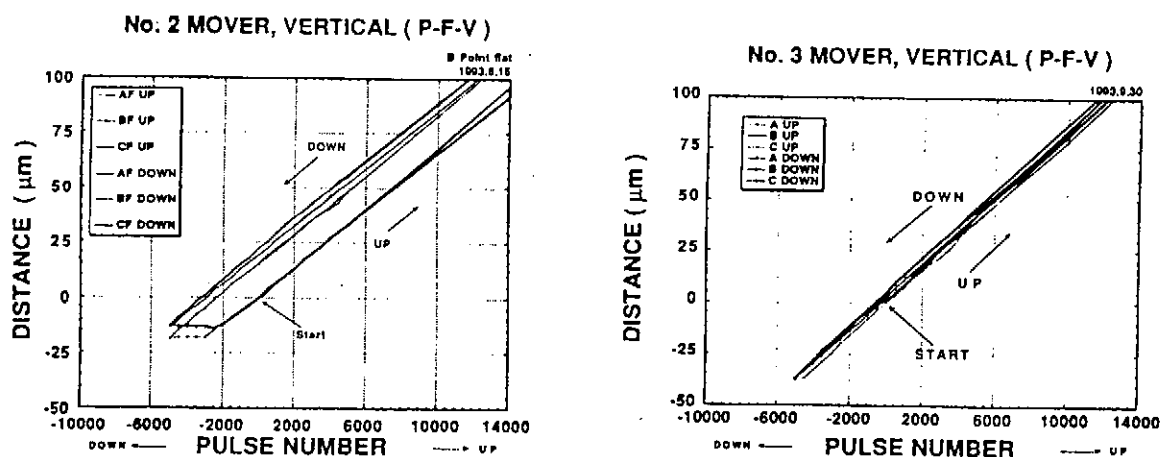


図-7

5. 架台の製作状況

5-1. 曲線部アクティブ架台

試作を2回で、3号機まで製作した。また、ムーバーは、単体で2種類のR&Dも行っている。曲線部の架台の精度の善し悪しで、ダンピングリングの性能を決定してしまう。1994年夏頃までR&Dを続行し、94年度に本機18台を製作する予定である。

5-2. ウィグラー用架台

試作機の動作性能は良好であり、構造も比較的単純である。試作機の改造もふくめて、ウィグラー用架台本機8台を製作終了し、現在ダンピングリング内にインストール中である。

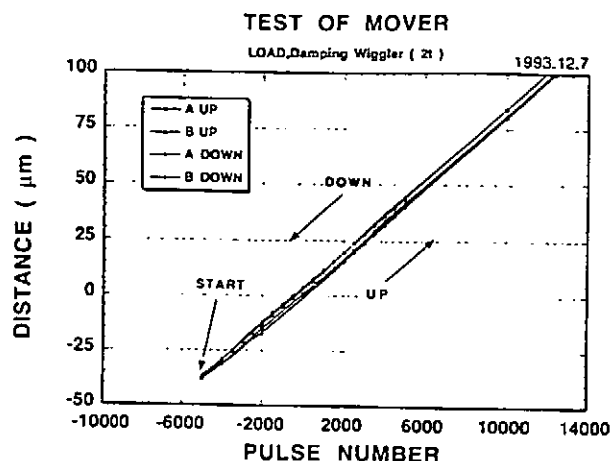


図-8

6. 架台のアライメント

シールド内天井の高さが、低いいため架台等の搬入には、エヤーパレットを使用する。ビームラインの建設に向け、超小型（吊荷重1t）の梁内走型のクレーンを敷設した。マグネットの初期アライメントには、温度の影響も考えて移動型の恒温室を試作中である。また、ベンド・マグネットの定盤上での初期アライメント用の台には、特に操作の簡便なリンク方式の台を試作している。

7. まとめ

製作目的には、以下の4項目を掲げた。

1. 加速器の性能をふるに発揮するためにマグネットの位置制御を $5\mu\text{m}$ 程度の精度でおこなう。
2. 低周波の外乱に対してアクティブな制御をおこなう。
3. KEK内にアライメント技術を蓄積する。
4. 低価格で高性能なムーバーを製作する。

これら課題を解決しながら、1996年8月の完成をめざし製作を進める。

参考文献

- (1) J. Urakawa et al. "The Damping Ring of Accelerator Test Facility for Linear Collider" Proc. of HEACC-92, Hamburg (1992) p.124
- (2) N. Ishihara et al. "Position Control Table For FFTB Final Lenses" Proc. of HEACC-92, Hamburg (1992) p.945

たわみ法によるYoung率の測定

熊本大教養 田中一夫

1. はじめに

熊本大学の教養部で2年次に開講している物理学実験のテーマの一つに、「たわみ法によるYoung率の測定」がある。ここでは、金属棒の両端を水平に支え、その中央部に荷重をかけてたわませ、中央部の垂下を光のてこと読みとり望遠鏡を使って測ることによってYoung率を求めさせている。この実験の目的は、望遠鏡と光のてこの使い方に慣れることと同時に、たわみとYoung率の関係を理解することにある。たわみでは伸び・縮みが場所によって異なるので、たわみとYoung率の関係を本当に学生に理解させるには測定棒の中央部以外の垂下も測定させて理論値と比較検証させる必要がある。そのためには、あらかじめ現有の装置を使って、検証実験ができるかどうかを確かめておく必要がある。そこで、筆者は、レーザー光を使うことにより光のてこの倍率を大きくし、測定棒の9箇所の垂下を測って理論値と比較検証をした。

最近、光のてこの代わりにダイヤルゲージを使って、垂下を測定する試みが報告されている^{1, 2)}。時間が限られた学生実験では、光のてこよりも簡便に垂下が測定できるダイヤルゲージの方が適していると思われる。しかし、その際、ダイヤルゲージのバックラッシュとゲージによる荷重が問題になる。筆者は、これら問題点についても調べた。

2. 実験

測定棒として幅 1.59 cm、厚さ 0.687 cm、長さ 44 cmの鋼鉄棒を使った。測定棒に加えたおもりは1個 470 gだった。測定棒の中央部に1個加えるごとに棒の垂下を測定し、最大5個まで加えた。棒の中央部と中央部から左右に 4, 8, 12, 16 cmの合計9箇所の垂下を測定した。

(1) 光のてこによる測定

試験台に測定棒と平行に補助棒をわたす。光のてこの後の二つの足を補助棒にのせ、前の足を測定棒にのせる。レーザー光を鏡にあてると反射してスクリーン上（鏡とスクリーンの距離は 18.9 m）にスポットができる。測定棒の中央に荷重をかけると、前の足が後の二つの足を軸にして下方に回転し、スクリーン上のスポットも下方に動く。スポットの動いた距離から、棒の垂下の距離が求まる。測定上注意しなければならないことは、光のてこを場所を変えてセットするので光のてこの回転半径にばらつきが生じることである。そこで、補助棒に長さ方向に平行に溝を一本切った。光のてこの後の二つの足をその溝に入れることにより、補助棒と二つの足との平行性を増し、回転半径のばらつきを小さくした。これによって棒の垂下の測定誤差を $2\mu\text{m}$ に収めることができた。もう1つ測定の上で問題になるのは、光のてこによって測定棒に余分な荷重が加わることである。この荷重（約 15 g）をできるだけ小さくするために、光のてこにおもりをつけた。おもりの位置を変えることにより、光のてこの重心を動かし、測定棒にかかる荷重を 2 g にした。これ以上軽くすると、試験台の小さな振動で光のてこが動く。

(2) ダイヤルゲージによる測定

上下・左右に移動可能な装置にダイヤルゲージをとりつけた。これにより測定棒の任意の位置にダイヤルゲージを当てることができた。測定上問題となるダイヤルゲージのバックラッシュとゲージが測定棒に及ぼす荷重については、3.(2)で考察する。

3. 結果および考察

(1) 光のてこによる測定

図1は鋼鉄棒の中央部に荷重 W をかけたときの、棒の中央部から右半分の各場所の垂下 h を W に対して示したものである。図中の X の値は中央から測定場所までの距離を表している。どの場所に対しても、 h の W に対する変化は原点を通る直線で表せる。これは、応力が歪と比例関係にあること、すなわち応力がYoung率を使って表せることを示している。

図1で示した垂下が、たわみの理論に合っているか否かをみるため、垂下 h の理論式を導いた。図2は、距離 $2l$ 隔てた2個の平行な刃先上に一樣な棒を置き、 $2M$ の荷重を中央に加えたときの棒の変形を示したものである。原点 0 を棒の中央にとり、棒の鉛直方向の変位 y を

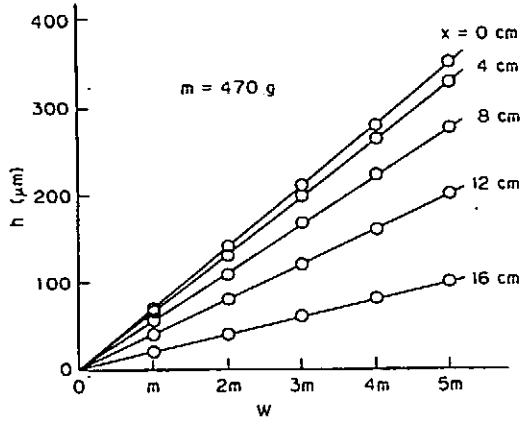


図 1

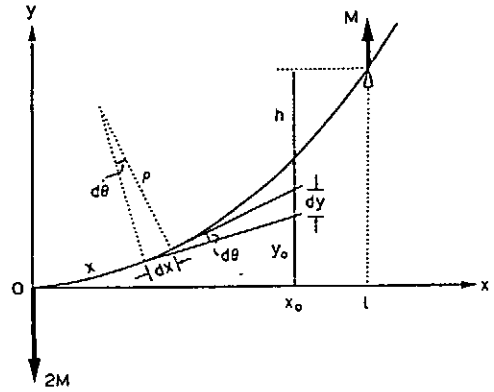


図 2

水平方向の位置 x の関数として表している。中央から x 離れた微小部分 dx の変形は観測点 $x = x_0$ での変位 y_0 に、 $dy = (x_0 - x)d\theta$ の寄与をしている。この dy を積分すると、 x_0 での変位 y_0 は

$$y_0 = \frac{M}{EI} \left(\frac{1}{2} l x_0^2 - \frac{1}{6} x_0^3 \right) \quad (1)$$

となる。ここで E は Young 率、 I は棒断面の二次モーメント³⁾である。また、 x_0 での垂下 h は

$$h = \frac{Ml^3}{3EI} \left\{ 1 - \frac{3}{2} \left(\frac{x_0}{l} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{x_0}{l} \right)^3 \right\} \quad (2)$$

となる。場所依存を表しているのは、括弧の中の部分である。

図 3 は測定した h を X/l に対してプロットしたものである。ここで、○印は測定値を示し、実線は(2)式から計算した値を示している。測定値は計算値にほとんど一致しており、棒が理論通りにたわんでいることを示しているようである。しかし、 h の値をそのままプロットした図では、測定値と計算値の間のずれが相当大きくないと見えない。したがって、測定値と計算値を比較するには、ずれを拡大してみる必要がある。そこで、計算値 h_c からの測定値 h のずれを百分率 $(h_c - h)/h_c \times 100$ (%) で表した。図 4 は図 3 を $(h_c - h)/h_c \times 100 - X/l$ の図にかき直したものである。ずれの最大値は 3% 位であるが、これは $1\mu\text{m}$ に相当し、光にてこの測定誤差の範囲内にある。この結果は、検体が確かに理論通りにたわんでいることを示している。

ここで、理論通り変形していないと $(h_c - h)/h_c \times 100 - X/l$ グラフで検出できる例を示す。図 4 に示した同じ鋼鉄棒の $X/l = 1/2$ の場所に余分な荷重 300 g を加えた。この場合の変形は(2)式では表せないはずである。図 5 に示した結果は、右半分のだわみが大きく、左半分のだわみが小さいことを示しており、これは予想通りと言える。実際の実験では余分な加重が加わることはほとんどない。理論通り変形しないとすると検体が一樣でないときであろう。その状態を作るため今度は同じ鋼鉄棒の右半分に幅 1.50 cm、厚さ 0.20 cm、長さ 19.0 cm のアクリル板を両面テープでつけた。図 6 に結果

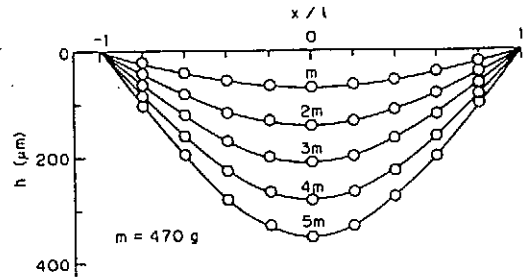


図 3

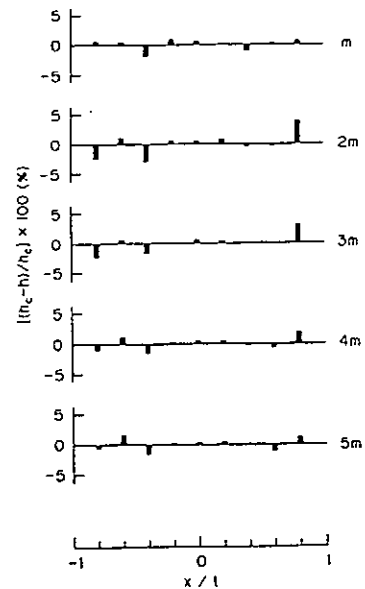


図 4

を示す。右半分、とくに $X/l = 4/5$ での垂下が小さく、左半分の垂下が大きい。荷重が増すと共に、この傾向が小さくなっている。この結果は、棒の右半分のたわみがアクリル板で抑えられたことを示している。このように、 $(h_n - h)/h_n \times 100 - X/l$ 図は理論値からの小さなずれが場所ごとに表せるので、理論に合わない検体の検定に使えるはずである。

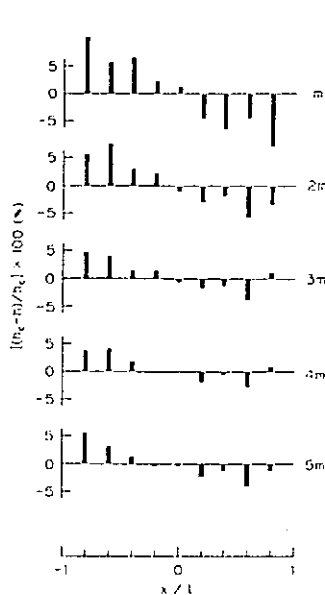


図 5

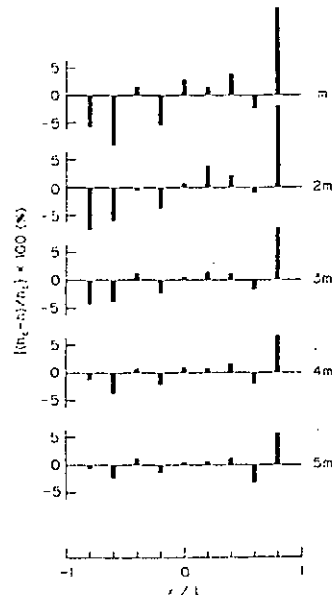


図 6

(2) ダイヤルゲージによる測定

ダイヤルゲージで垂下を測定する際に問題となるのは、ゲージのバックラッシュとゲージが測定棒に及ぼす荷重の影響である。まず、バックラッシュがどれ位あるかを調べた。バックラッシュがあれば、同じ状態で測っても、ゲージの目盛が増加の途中か、減少の途中かで指示値が違はずである。図 7a の下向きの棒グラフはゲージの目盛が増加する途中 (⇒) の読みを 10 回行った結果である。横軸は目盛を、縦軸は頻度を示している。5006 μm が 1 回、5008, 5009, 5011 μm がそれぞれ 2 回、5010 μm が 3 回だった。上向きの棒グラフはゲージの目盛が減少する途中の読み (⇐) を 10 回行った結果である。5024 μm と 5026 μm とがそれぞれ 4 回、5025 μm が 2 回である。上向きの棒グラフと下向きの棒グラフの差は約 15 μm ある。この結果はバックラッシュが確かにあり、その大きさが光のこの測定誤差より約 10 倍 (15 μm) であることを示している。この大きなバックラッシュを小さくしない

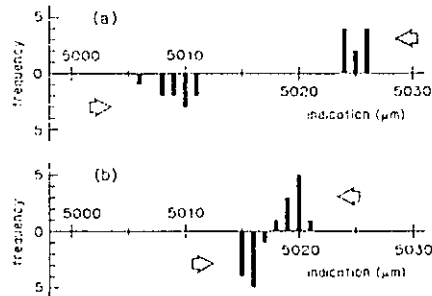


図 7

限りダイヤルゲージを光のこの代りに使うことはできない。そこで、ダイヤルゲージの構造を調べて、バックラッシュが小さくできるかどうかを検討した。図 8 にダイヤルゲージの内部の構造を示す。ダイヤルゲージはスピンドル S の直線運動をピニオンで回転運動に変えて拡大するものである。この図で、E はバックラッシュ防止用のうずまきばねである。E が歯車を一定の向きに押し付けて、バックラッシュを防止するはずであるが、実験結果をみると完全には防止の役目を果たしていない。C はダイヤルゲージの荷重の幅を JIS規格内 (70 g以内) にするためにつけられているばねである。この構造で気になることは、ばね C がスピンドル S を斜め方向から引いていることである。斜め方向に引いているので、スピンドルの動きを妨げている可能性がある。試しにばね C をはずして図 7a と同じ実験をした。結果を図 7b に示す。上向きと下向きの各棒グラフの差は約 4 μm である。図 7a と 7b の結果は、ばね C をとり去ると、バックラッシュによる誤差が 15 μm から 4 μm に小さくなることを示している。この 4 μm は光のこの測定誤差の 2 倍であ

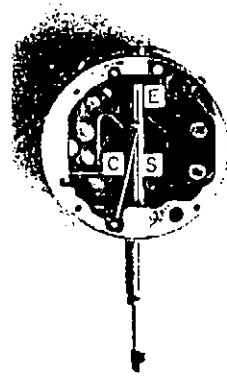


図 8

るが、垂下の測定で許せる範囲内の誤差だと考えられる。

もう一つの問題であるダイヤルゲージの荷重を調べた。ダイヤルゲージにバックラッシュがあるので、目盛が増加の途中か減少の途中かでゲージの荷重が違ふ可能性がある。そこで、電子天秤を使って、ゲージの目盛が増加の途中と、減少の途中のゲージの荷重を測定した。図 9a はばね C が付いたダイヤルゲージで 10 回行った結果を示している。横軸には天秤の表示の読みを、縦軸には頻度を示している。ゲージの目盛が増加する途中 (⇨) の荷重は約 55 g で、目盛が減少する途中 (⇩) の荷重は 77 g で、両方の荷重には 22 g の差がある。次に、ばね C をとり去ったゲージで 10 回測定した結果を図 9b に示す。ゲージの荷重は、目盛が増加する途中と減少する途中とで同じ値 (22 g) である。また、ゲージの荷重のばらつきは 4 g で、これによる垂下の違いは棒の中央部で $0.6 \mu\text{m}$ で、光のてこの測定誤差の約 1/4 である。

以上述べてきたように、ばね C をとると、バックラッシュに関係した問題点は解決され、誤差は光のてこの測定誤差とほぼ同程度になる。しかし、ゲージの荷重は 22 g ある。中央部以外で測定しようとする棒に図 5 でみたような左右非対称な変形をもたらす。この場合には、測定棒の中央に対して対称な場所にゲージと同じ荷重を加えればよいことが理論的な考察⁴⁾から導かれる。前述したように、ゲージのバックラッシュによる測定誤差は光のてこの測定誤差と同程度であるので、ダイヤルゲージで測定棒の任意の場所の変形の様子を知ることができる。図 10 は図 4 と同じ鋼鉄棒をダイヤルゲージで測ったものである。測定中ゲージと対称な場所に 22 g のおもりを載せていた。 $(h_0-h)/h_0 \times 100$ の値のばらつきは小さく、図 4 と同様に測定誤差内にある。この結果は、光のてこの代わりにダイヤルゲージを使って棒の任意の場所の垂下を測ることが可能であることを示している。

4. ま と め

鋼鉄棒の中央部に荷重をかけ、9 箇所の垂下を光のてこで測定して理論値と比較検証した。さらに、光のてこのかわりにダイヤルゲージを使う際の問題点を検討した。結果は以下の通りである。

- (1) 垂下の理論値 h_0 と測定値 h とのずれを百分率 $[(h_0-h)/h_0] \times 100$ で表すと、理論からのずれがうまく表現でき、理論通りでない変形の検定ができる。
- (2) ダイヤルゲージの中の一つのばねをとり去ることにより、ゲージによる測定誤差を光のてこの測定誤差と同じ程度にすることができた。
- (3) ダイヤルゲージの荷重が無視できない場合でも、測定棒の中央に対して対称な場所にゲージと同じ荷重を加えると、測定棒の任意の場所の垂下が測定できることが分かった。

(2) と (3) の結果は、光のてこの代わりにダイヤルゲージを使って簡便に棒のたわみが測定できることを示している。

文 献

- 1) 東原正治, 大西良雄, 迫田昭一郎, 宇野正邦: 日本物理学会1989年秋の分科会講演予稿集, 第4分冊(1989)268.
- 2) 未岡修, 金 弼: 物理教育, 41巻, 2号(1993)161.
- 3) たとえば 大学自然科学教育研究会編: 物理学, 東京教学社, 1979, p.58.
- 4) 田中一夫, 伊藤喜久男, 原 一博, 紙谷正夫: 熊本大学教養部紀要 自然科学編 第29号 (1994)43-52.

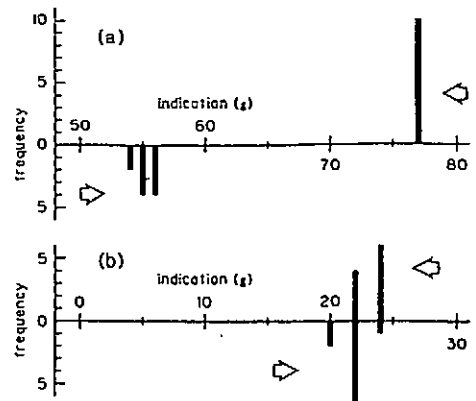


図 9

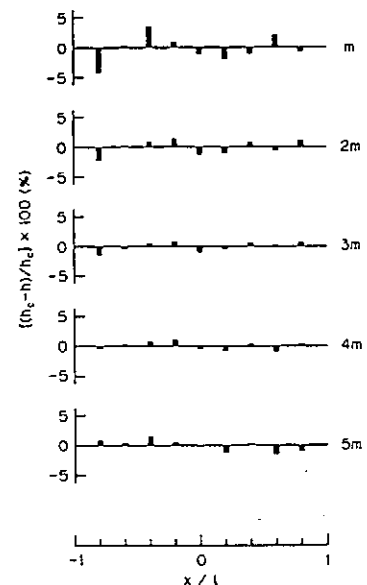


図 10

ピエゾ素子を用いた微小移動機構とその応用

名古屋大学工学部技術部

○小塚 基樹, 平野 誠一, 山内 健治, 涌井 義一
高木 誠, 熊澤 克芳, 鷺見 高雄, 白木 尚康

1, はじめに

大学の工作室や研究室に所属する技術職員は、近年めざましく発展してきた各種の技術を、研修を通じて習得し研究の多様化に対応していかなければならない。

工作室を例にとれば、従来のような機械工作技術だけでは通用しなくなっている。

最近では各種実験装置のほとんどが、コンピュータで制御されている。その流れに取り残されないためにもメカトロニクス技術の習得をテーマとし、その一環として今回の微小移動機構を開発する事とした。

この試みは、毎週1時間程度、自主研修として参加者各自がそれぞれのテーマを持ち、ある程度の成果を得るまで進めた後、システムとして組み合わせ動作を確認しながら問題点を改良する形で行った。

2, インチワーム機構の設計と製作

ピエゾ素子は高温で焼き固めた多結晶体のセラミックスである。このセラミックスに電極を付け、直流電界を加えて分極処理を施すと初めて、圧電性セラミックス振動子となる。これをインチワーム機構に取り入れた。

図1に示すように、ピエゾ素子の両側にはブロック状の電磁軟鉄がエポキシ系接着剤（アラルダイト）で接着しており、その回りにコイルが巻いてある。

微小精密駆動するためには、図2に示すようにまず両側の電磁石に通電しインチワームを固定する①、次に右側の電磁石の通電を断ち②、

ピエゾ素子に通電すると、ピエゾ素子が伸び右側のブロックが動く③、

そして右側のコイルに通電し固定する④。左側の電磁石の通電を断つと離れる⑤。次にピエゾ素子の通電を断つと縮む⑥、素子が縮んだ所で左側の電磁石に通電し固定する⑦。この様に順番に電圧を加えたり、断つたりする事により微小精密駆動する事になる。こ

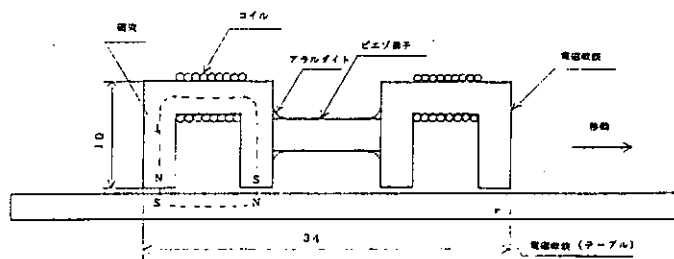


図1 インチワーム機構の概要図

れらをコンピュータで制御して目的を果たす事ができる。

3, ピエゾ素子駆動用高圧電源と制御回路

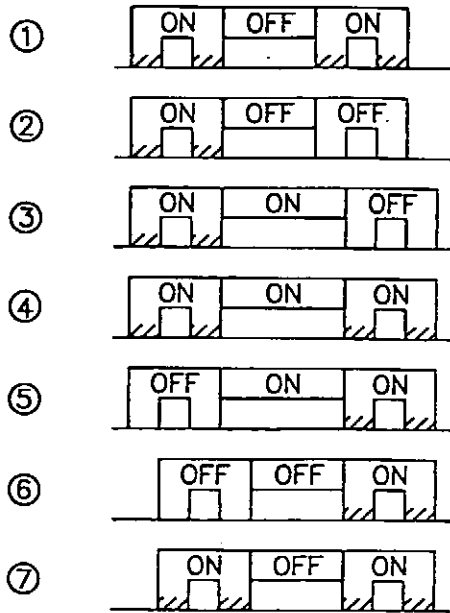


図2 インチワームの移動形態

ピエゾ素子を用いたインチワーム機構を駆動するためには、100V程度のピエゾ素子供給用電源と5V程度の電磁石供給用電源が必要となる。

この回路は、0~120V程度まで可変できる高圧電源部と、12Vのオペアンプ用電源部、および5Vの制御用電源部からなる。

高圧電源部は、5KΩの可変抵抗器を操作することによりピエゾ素子にかかる電圧を調整することができる。つぎにインチワーム（ピエゾ素子および電磁石）の制御であるが、電磁石はCPUからの信号をトランジスタでスイッチングを行い制御する。また、ピエゾ素子の制御は、素子に

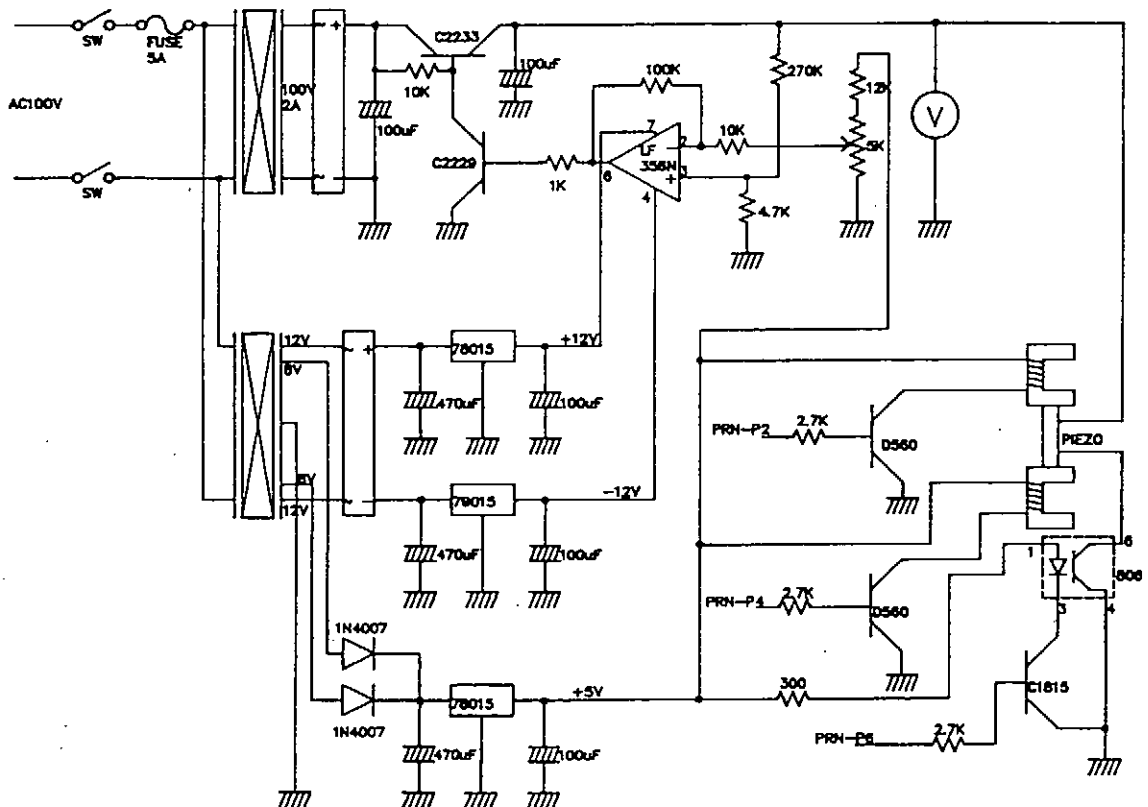


図3 インチワーム駆動用高圧電源回路図

高電圧が供給されているため電磁石のようにできないので絶縁スイッチとしてフォトトランジスタを使用した。今回製作した電源部の回路図を図3に示す。

4, 動作測定

製作したインチワーム機構が希望どおりの動きをするか、実際のシステムとして移動量の測定をしてみた。

測定の方法としては、非接触での測定方法ということでレーザー測長器を用いた。結果(表1)からも分かるように、各ステップごとの移動量にばらつきが発生し、再現性が全くない状態である。

原因が、ピエゾ素子と電磁石のどちらにあるのかを確かめるため図4のような測定を行い、ピエゾ素子の動きを確認した。測定方法は、インチワームを基板(電磁軟鉄板)に対し垂直に置き、基板に接している電磁石に通電し固定する。次にピエゾ素子に100Vの電荷を加え、その伸びと再現性を測定した(表2)。また、非接触のレーザー測長器は最小単位での数値が不安定なため、接触式ではあるが電子マイクロメータを測定器として使用する事とした。

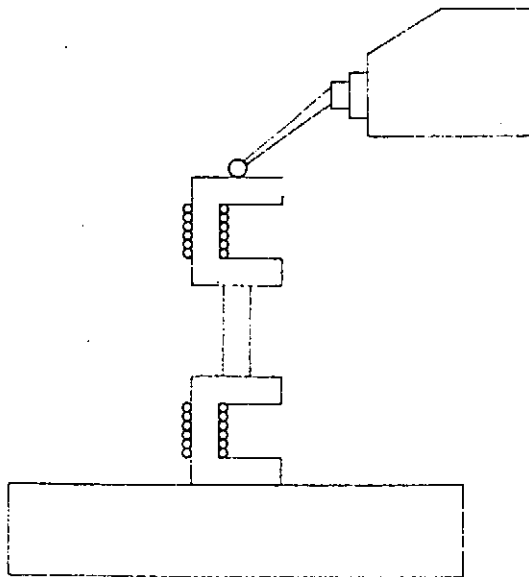


図4 インチワームの動作試験概要

表1 インチワームの移動量 (初期型)

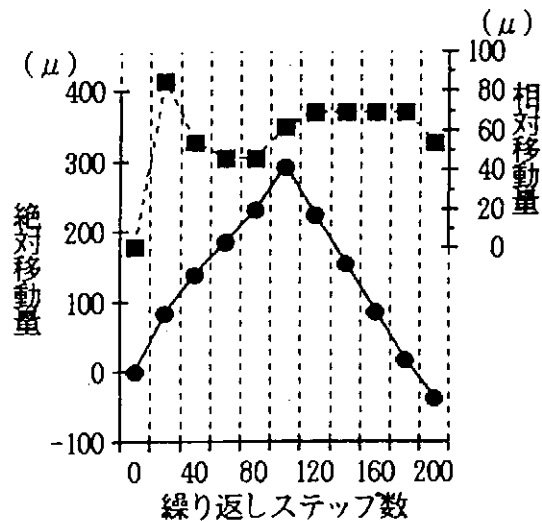


表2 ピエゾ素子の動作結果

100V無負荷

初期値 0 μ

電加	目盛(μ)
ON	4
OFF	0
ON	4
OFF	0
ON	4
OFF	0
ON	4
OFF	0
ON	4
OFF	0

また、インチワームの製作精度を光学顕微鏡を用い測定したところ、図5のように片側の電磁石が傾いて装着されていた。

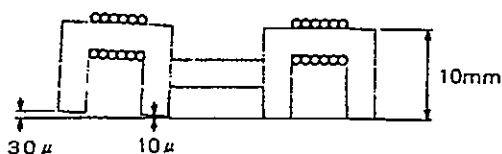


図5 インチワームの装着誤差

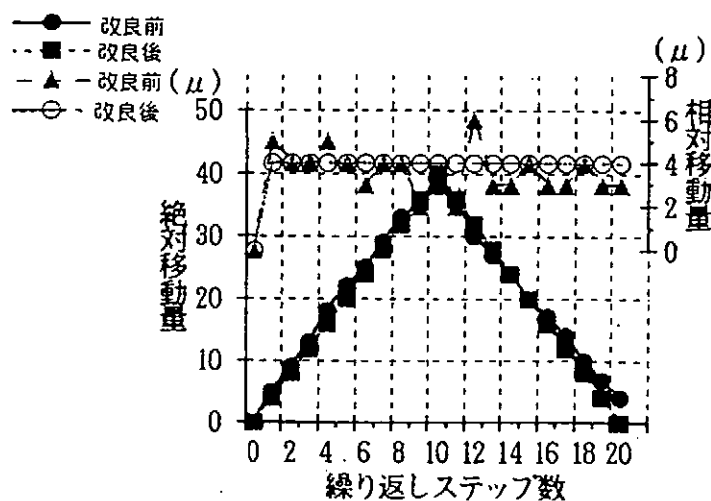
基板と電磁石の平行度を出すため、一度電磁石をピエゾ素子よりはずし、電磁石に通電した状態で基板に固定しながらピエゾ素子をエポキシ系接着剤（アラルダイト）で接着する方法で装着しなおした。

表3はインチワームの改良前と改良後の動作比較の表である。改良後は、移動量・再現性も安定した。

表3 改良前後の動作比較

5, 今後の課題

これまで行ってきた実験により、インチワームの移動量の再現性は確保できたが、まだ直進性や負荷がかかった時の磁石の滑りなどの確認が行われていない。これらの問題点が確認できないと μm の制御はできないと考えられる。今後はこれらの点を早急に確認して行きたい。



6, まとめ

前項で述べたような諸問題が解決すれば、X-Yテーブルの微小移動制御や、回転テーブルの円周上に接線方向に取り付けて微小回転制御も可能になると考える。

今回の実験を通じて日常の工作では0.01mm程度の誤差は無視していたが、微小制御機構においては極めて大きな障害となることが分かった。また、今回のような企画を継続して行うためには、本人の自覚と努力もさることながら、廻りの研究者の協力も極めて重要と思われる。

微動ステージの開発

理学部技術部 河合利秀、物理学科基本粒子研究室 小松雅宏

1. はじめに

光学顕微鏡を利用した非接触式形状測定機（二次元座標測定機）は精密メカニカルステージとCCDカメラをコンピュータ制御することによって被測定物の形状を計測するものである。この方式における性能はメカニカルステージ（直線案内精度および可動範囲）によって左右される。我々が必要とする計測範囲と精度の要求に応える非接触式形状測定機はその製作コストが課題となる。

本論文のテーマである‘微動ステージ’は、既存メカニカルステージに搭載することによって総合的な精度を大幅に改善しようとするものであり、非接触式形状測定機の精度向上を低コストで実現する有力な手段となるものである。

2. 微動ステージの概要

微動ステージは光学顕微鏡を利用した非接触式形状測定機（以後、親機と呼ぶ）の載物台と同一寸法とすることが可能なので、これを交換して用いることにより、従来の座標精度を向上させるものである。親機が持っているX-Yステージ（メカニカルステージ）は粗動専用とし、顕微鏡視野付近の微動を微動ステージが担当することにより、微動ステージの精密な座標分解能とCCDカメラの画像処理技術によって親機より高い精度の座標測定を可能とするものである。

微動ステージ搭載の様子を図1に示す。

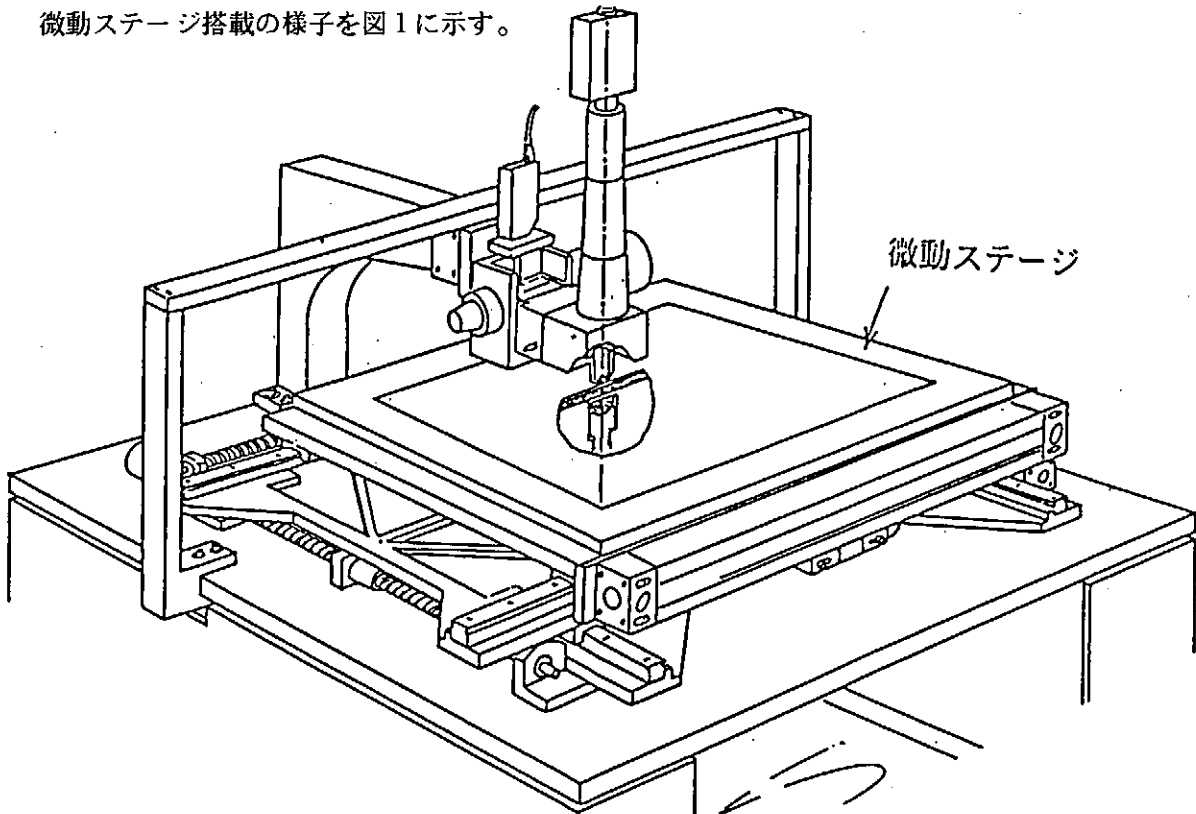


図 1. 微動ステージを搭載した非接触式形状測定機

図1では微動ステージが従来の載物台と同じ大きさなので、外観の変化はほとんど無い。

a. 微動ステージの仕様

原子核乾板を用いた素粒子実験の高精度化を目的とした今回の微動ステージに要求される仕様は、親機のメカニカルステージより1桁以上高い座標読取り再現精度(0.2~1 μ m)と、CCDカメラで捉えた画像範囲付近の微少移動(1~2mm)である。

b. 既存メカニカルステージに微動ステージを組み合わせる

この微動ステージを親機の載物台の代わりとして、メカニカルステージの上に乗せて用いる。この時、各ステージの座標軸は合致することが望ましい。

既存メカニカルステージの制御システムに微動ステージ制御用のボードを追加して一つの制御システムとする。親機のメカニカルステージは粗動専用としておおよその位置制御にとどめ、精密な位置制御は微動ステージ側で行う。親機と微動ステージの座標のつながりは、補正も含めてすべてコンピュータのプログラムによって処理する。

3. 微動ステージの特徴と応用

以上のように微動ステージにより粗動と微動の機能を分割して計測システムとして統合することにより、低コストで1桁以上の座標分解能を得られる。

微動ステージのこうした特徴を活かし、従来の設備に微動ステージシステムを拡張することで低コストでサブミクロン領域の分解能を持った計測システムとして再利用できる。生物分野、半導体分野など多くの設備は多大な費用が必要となるが、微動ステージは従来の設備が無駄なく利用できる。微動ステージの直線案内機構は平行ばねなので、摺動や直線案内ベアリングを使用した機構でしばしば問題となる座標再現性の不確かさが理論上出ないなど、従来にない優れた特徴が多く存在する。微動ステージの特徴を列挙すれば以下の通りである。

- a. 高い直線案内精度
- b. 優れた座標分解能と再現性
- c. 低コスト
- d. 微細構造の検査や計測における優位性

4. 微動ステージの明細

微動ステージは直線案内機構を構成する平行ばね、駆動機構、座標読み取り機構、駆動範囲制限のためのリミットスイッチ、フレーム、ガラス、駆動用電子回路および、駆動専用コンピュータによって構成されている。本論では、これらの明細を述べるスペースがないので、微動ステージの各部の明細は「微動ステージの開発：1993年度名古屋大学理学部技術報告」にゆずり、ここでは簡単に各部の要点を説明する。

a. 基本メカニズム

微動ステージの直線案内機構は平行ばねを組み合わせたものである。平行ばねは、従来からよく知られた機構であるが、単純な平行ばねによって直線案内を得ようとすれば駆動方法に多くの困難を生じる。そこで、単純な駆動方法(送りねじなど)によっても高精度の直線案内が得られるよう工夫したのが本微動ステージに用いた平行ばねによる基本メカニズムである。

b. X-Yステージ

平行ばねによる直線案内機構の基本メカニズムを直交配置（入れ子構造）することによりX-Yステージが得られる。このX-Yステージは中間のフレームの剛性不足がおこりがちなのでこの点に注意を払う必要がある。

c. 平行ばね部分のユニット化

以上のX-Yステージは平行ばねを16個使用する。1軸だけ取り出して直線案内機構を見直すと、一辺の隅に2個の方向の異なる平行ばねが近接している。この部分を直線案内を構成するフレームから独立させてユニット化すると、平行ばねの微妙な調整が他の部分と切り離され、組立て工程が大幅に簡略化できる。

d. 駆動方法

微動ステージの駆動機構は小型で故障の少ないものがよい。我々は小型サーボモーターと送りネジを用いた駆動機構を採用した。送りねじは微動ステージの荷重条件を考慮した強度で最小のものを使用する。サーボモーターはギアヘッド付の小型のものを使用する。送りネジとサーボモーターはたわみ軸継手（カップリング）を使用する。

e. 座標の読みだし

直線案内の座標読みだしは差動トランス（リニアトランス）を用いる。差動トランスは微動センサーの一種で、センサー部分の移動距離に比例した電圧が得られる。従来差動トランスは10ミクロン程度の精度とされていたが、それは直線性の問題であって、補正を加えれば1ミクロン以内の座標読み取り精度が得られる。差動トランスの原理は相互インダクタンスの変化をアナログ電気信号に変換することから、読み出し回路を工夫することにより分解能を高めることができる。実際にハイデンハインのゲージと比較した結果、 $0.2\mu\text{m}$ 以内の座標再現精度を確認した。

f. フレーム

フレームは、平行ばねユニットの他に、駆動ユニット、座標読み取りユニットが取付く。これらのユニットは取付け位置が多少調整できることが望ましい。

g. その他必要なもの

我々は真空チャックを用いて原子核乾板を固定するので真空引きの機構をあらかじめ組み込んでおく必要がある。

微動ステージは極めて精密な部品で構成されているので、メンテナンス時の取り扱いが難しい。親機から取り外す際に事故が発生しやすいので、こうした場合の安全装置を用意する必要がある。

5. 性能の評価

試作した微動ステージのX、Y軸の総合的な座標再現精度を図2に示す。

座標再現性の試験方法は、親機のステージを止め、顕微鏡視野の中心に目印を導入し、このときの座標値を基準として、微動ステージのみを任意に動かし、目印を視野中央に戻したときのずれを見たものである。図2から、ほぼ0.2ミクロンの座標再現精度があるとことがわかる。これは我々の当初の仕様を十分満足している。

寿命の評価は100時間連続運転を実施したにとどまっている。平行ばねの耐久性や駆動機構の消耗など、本格的な評価はこれからである。

技術研究会以後、試作機の平行ばねの止めねじが緩むというトラブルが発生したが、新しい微動ステージでは平行ばねの止めねじを接着剤で固定するよう改善した。

Reproduceability

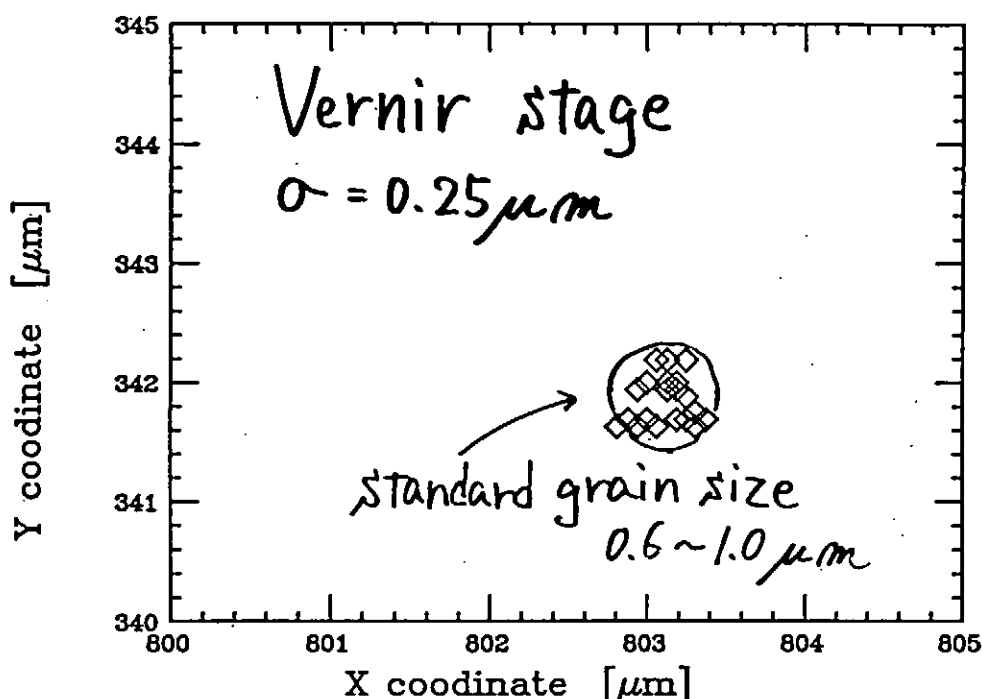


図3 微動ステージの座標再現精度

6. おわりに

微動ステージの開発により、原子核乾板を利用したニュートリノ実験（CERN-CHORUS）における素粒子飛跡自動解析システムに用いる精密座標測定機（非接触式形状測定機）の精度向上に見通しを与えた。

平行ばねユニットなどの部品は現在外注業者によって製作されている。これらの部品は高い工作精度が必要であるが、我々の要求を十分満たしている。駆動ユニットの軸受け機構、たわみ継手、送りねじ、送りねじの受けなど、いずれも微細な加工で高い工作精度が要求されるが、これらの部品もほぼ満足できるものに仕上がっている。現在民間の工場で使用されている工作機械は我々が必要とする加工精度を充分クリアできる能力を持っている。

今回の微動ステージの成功は、顕微鏡の光軸焦点の微動機構にも平行ばねユニットを使用したZ軸微動ステージへと発展し、原子核甲板の厚み方向の画像データ処理の高速化にも一役買うことになっている。

<参考文献>

- 1、河合利秀、小松雅宏：微動ステージの開発 1993年度名古屋大学技術部技術報告 P30～42

電子シンクロトロン of ビーム診断用 放射光ビームライン of 設計製作

KEK	竹田繁、吉岡正和、浦川順治、早野仁司、内藤孝
東大核研	奥野英城、吉田勝英、武藤正文、丸山浩一 椎野二男、橋本義徳、増田均、法村香音子
東大物性研	神谷幸秀、小関忠、篠江憲治
理研	大熊春男

0. はじめに

KEKでは、将来計画として電子、陽電子線形加速器リニアコライダーの開発研究が行なわれている。リニアコライダーは図1に示す様にそれぞれの電子、陽電子源、Sバンド入射器、ダンピングリング、主線形加速器、最終収束系からなる。このリニアコライダーで要求されるパラメータは、ほとんどすべての要素について現在の加速器技術を上回る数値が要求されている。そこで我々は、試験加速器(ATF)を建設し加速器要素技術の開発を行なっている。ATFの中でもビームのエミッタンスを小さくするダンピングリングの性能開発は大きなテーマとされている。ダンピングリングはウィグラーマグネットを含むシンクロトロンで、周回するビームが放射減衰によってエミッタンスを減少させ、そのままビームを取り出して主線形加速器に入射するまでを行なう。ATFのダンピングリングは、アクティブ架台、ダンプトキャビティなど世界最高の性能を出すための多くの試みがなされる予定であるが、同時にそのビームの特性を測定するモニターの開発も要求されている。我々は、ダンピングリングから出る放射光を用いたモニターの開発を計画している。放射光を用いたビーム位置、ビームサイズ、パンチ長の測定は、電子蓄積型加速器では広く行なわれているが、シンクロトロンではあまり行なわれていない。この研究は、ATFのダンピングリングと同じエネルギーレベルの実験用シンクロトロン of 東京大学原子核研究所電子シンクロトロン(ES)に放射光ビームラインを建設し、測定実験を行なうことによって、そのビームの特性を調べると共に測定技術の開発を行なうことを目的としている。本稿では、放射光を導くビームライン of 設計、製作について報告する。

1. ストリークカメラ、ゲートカメラによるビーム診断

放射光は、シンクロトロンの中を回っている個々の電子から発散されるため、その時間情報、サイズは放射光が発散された時点における電子ビームそのものを示している。

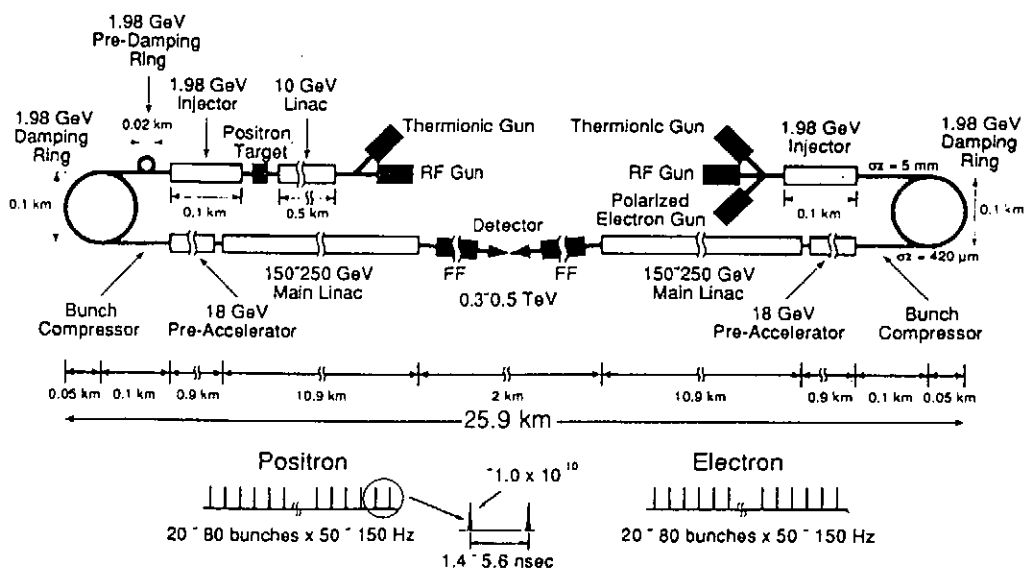


図1 JLC(Japan Linear Collider) 概念図

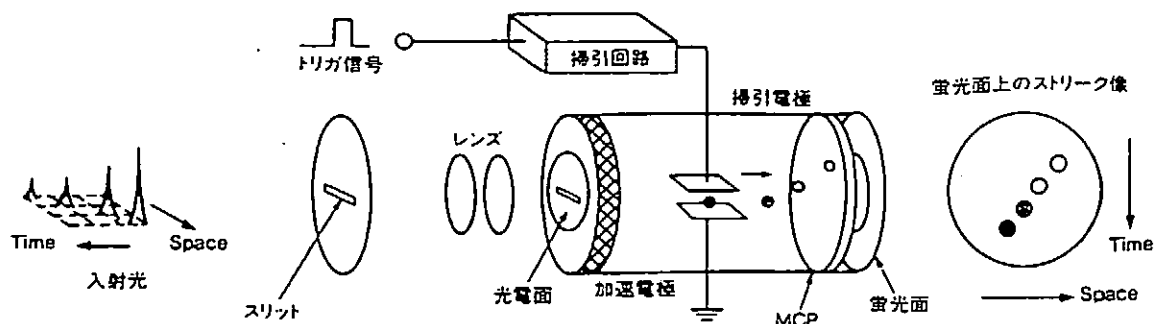


図2 ストリークカメラの原理図 (浜松フォトニクス カタログより)

ストリークカメラは、図2に示すように光を一度電子の流れに変え、その電子を高速で掃引することによって光の時間分布を測定するものである。このストリークカメラで放射光を測定することによって周回する電子ビームのバンチ長を測定することが出来る。計算では、ESで ~ 100 ps、ATFのダンピングリングは、 ~ 10 psであろうと予測されている。また、加速周波数と同期させることによって周回毎の変動も測定することが出来る。

ゲートカメラは、マイクロチャンネルプレートを使った光増幅機能を持ったカメラでそのゲートの時間を合わせることによってシンクロトロンの各周回毎のビームの横方向の拡がりを見ることが出来る。

これらの装置に放射光を導くためには、放射光の発散する方向にそったビームラインが必要になり、また同時にシンクロトロンから発生する放射線を避けるために、可視光のみを反射するミラーが必要となる。

2.ESの放射光ライン

図3にESのリングと今回設計した放射光ビームラインの配置を示す。ビームラインは、ベンディングマグネットの中心から接線方向に延ばし、コンクリートシールドの手前でミラーによって 64° まげて可視光だけをシールド外部まで導く。ミラーの直後までは真空中にある。

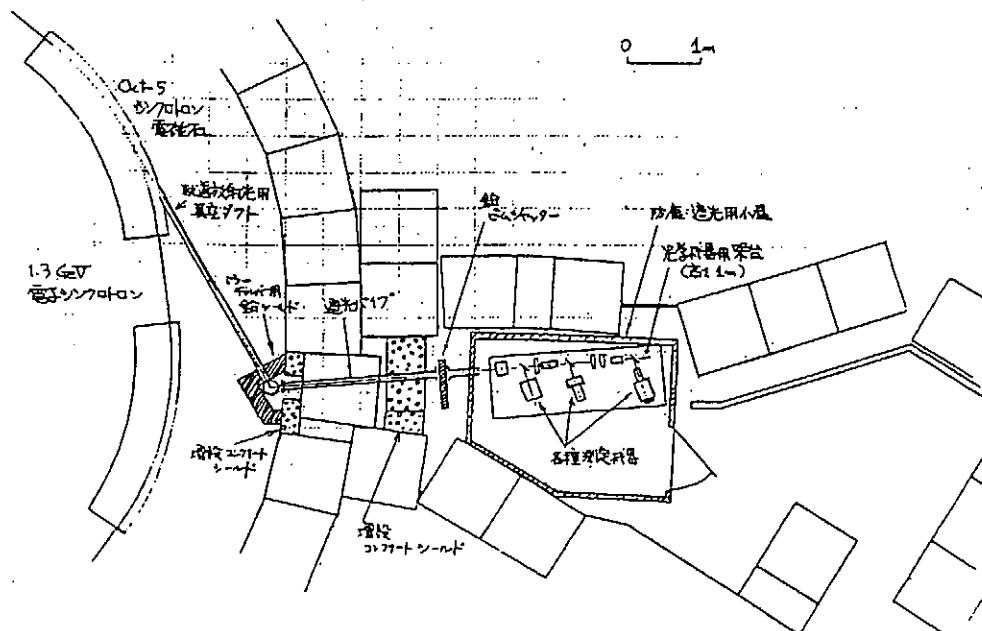


図3 電子シンクロトロン(ES)に於ける放射光ライン

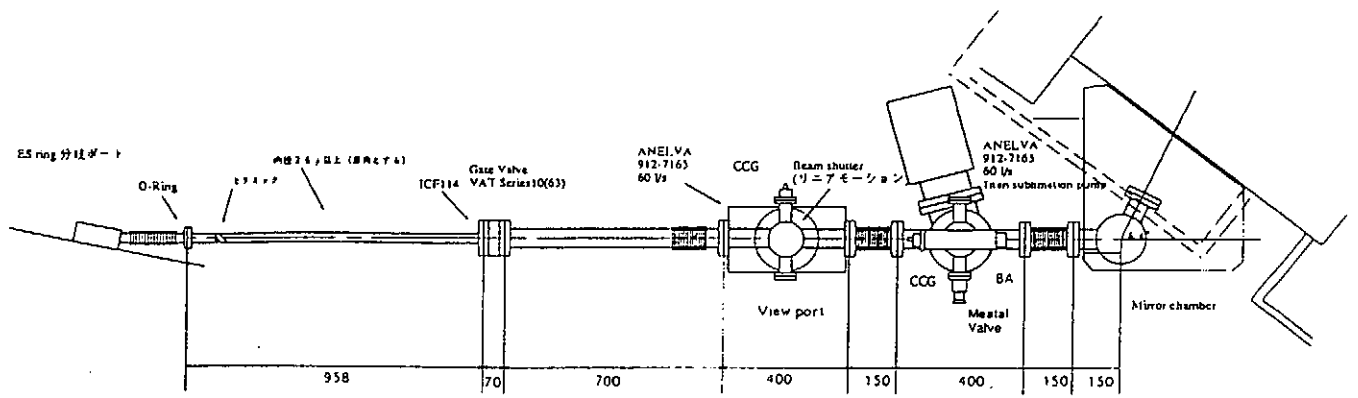


図4 放射光ビームライン

このビームライン設計の基本方針は、

- 1) 測定系で十分な光量を得るためにアパーチャを十分にとること。
- 2) シンクロトロン振動の影響を受けないようにすること。
- 3) ミラーの反射率低下を防ぐために、高真空とする。

として設計を行なった。

実際に設計した、ビームラインの構成を図4に示す。分岐ポートからベンディングマグネットを抜けるまでは2.6φの細いパイプを使い、そのパイプは渦電流の効果をさけるために薄肉とし、さらにセラミックで絶縁した。その下流にはゲートバルブで真空を切ることが出来るようにした。その先には、合計3ヶ所のベローズを入れ、リングの振動が伝わらないようにした。一番下流に6.4°光を曲げるミラーを配置した。このミラーのチャンバーは図5に示す様に全方向に対して光軸を調整できるようにアライメント機構の上に乗せる設計とした。また、このミラーはλ/2の平面度を持つ、アルミミラーで縦偏光の光に対して80%以上の反射率が得られることが計算された。この真空チャンバー内に入れたミラーは、真空度が悪いとカーボン系の分子が付着し反射率が低下する。そのためミラーチャンバー付近は特に高真空であることが要求される。実際には、リングの真空度は $\sim 10^{-6}$ [Torr]とあまり良くない真空度であるため専用の排気系が要求される。この設計では、真空排気系はイオンポンプとチタンサブリーメーションポンプの作動排気としミラーチャンバーを高真空に保つようにした。

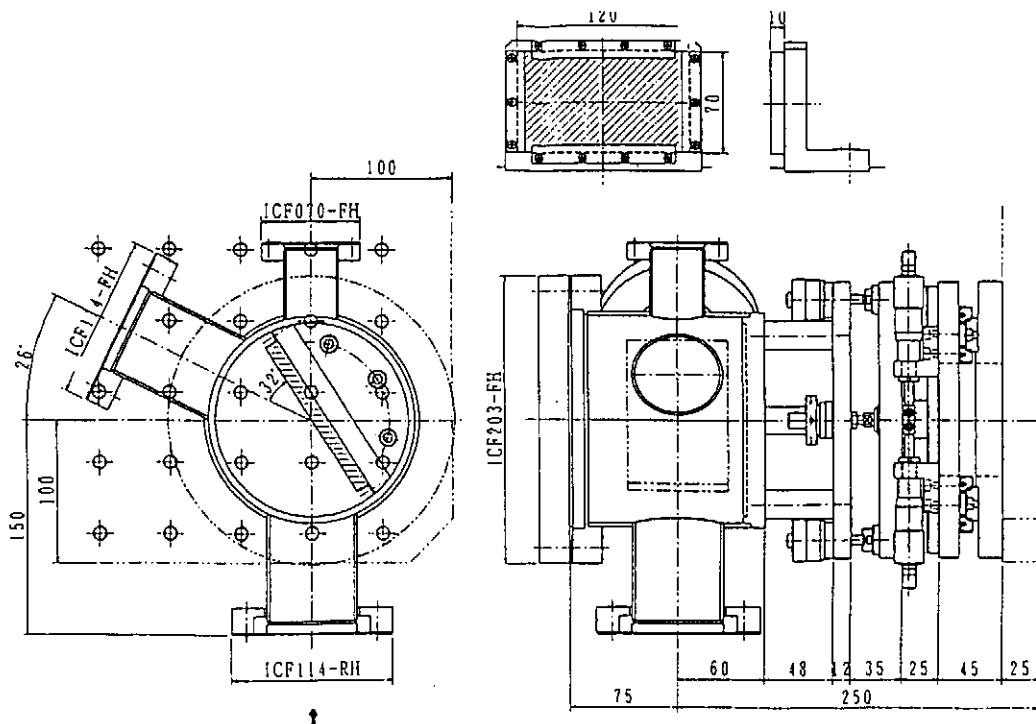


図5 ビームライン ミラーチャンバーアライメント部

その結果、1)は ICF114のビューポートを使い ~ 2.7 mradのSRを取り出すことが出来る。2)は、ミラーまでの真空チャンバーは、3段階に渡ってベローズで振動が絶縁され、外側のコンクリートシールドと同じレベルの振動であることが測定された。3)は、差動排気、コンビネーションポンプを採用し計算では、 7.0×10^{-9} [Torr] $\sim 3.2 \times 10^{-11}$ [Torr]の高真空となる予定である。

3.まとめ

以上述べてきたように計算上は初期の目的を満たす設計が完了したがこのビームラインは、現在製作中でありまだその性能は評価されていない。このビームラインを使った実験は、東京大学原子核研究所の探採実験として94年4月以降行なわれる予定であり、それに向けて現在準備中である。

参考文献

- 1) Proceedings of the First, Second, Therd Workshop on Japan Linear Collider(JLC), KEK Report
- 2) 真空技術、堀越 源一郎、東京大学出版
- 3) 実用真空技術総覧、実用真空技術総覧編集委員会、産業技術サービスセンター
- 4) 真空ハンドブック アルバックコーポレーション
- 5) Handbook on synchrotron radiation Vol.2 GEOFFREY V.MARR 1987
- 6) Handbook of optical constants of solids EDWRD.D.PALK
- 7) Optical constants..... H.-J.Hagemann et al., DESY SR-74/7 May 1974

ボール逆止弁付き、O I Lバブラの開発

京都大学 工学部
宮城 恒雄

はじめに

現在、地球規模的環境汚染が叫ばれるなか、水銀についても使用上、管理上厳しく規制されている。今回の研究開発の課題である水銀バブラは、ガラス管ライン内の空気と不活性ガスとの置換を目的とする機構を有する。この機構は気圧差により、水銀を媒体にし、中空（円筒形）のガラス製フロート弁を垂直に押し上げて真空を保持する。これに流量計（気泡）の機構を兼ねた利用価値の高いものである。

しかし、この水銀バブラは、未だ解決されていない幾つかの問題がある。

これらの問題解決の方法として、媒体としてO I Lを使用し、弁機能を斬新な発想に基づきOリングとボールを組み合わせた、完全密封形ボール逆止弁による、ガス置換機構（気泡ガス流量計付き）を独自に開発できたので報告する。

[1]水銀バブラの機構と性能及び問題点

バブラとしては、(図1)に示すように2分割でき、水銀フロート弁は下部に位置する。上部にはコックがあり、一方は真空排気装置へ、他方は置換ガス容器に接続された単純な機構である。このバブラの最大の機能的欠陥による問題点を要約すると、(1)ガス置換は水銀中を通過し、大気中へ解放される。

(2)水銀を媒体とする流量計である。(3)ガラスフロート弁の形状による研磨加工の困難さは、真空保持性能（シール効果）を不安定にし、ガス置換時に、空気及び水銀の混入を容易にする。(4) (1) (2) (3)により、装置内外へ水銀汚染が避けられない。

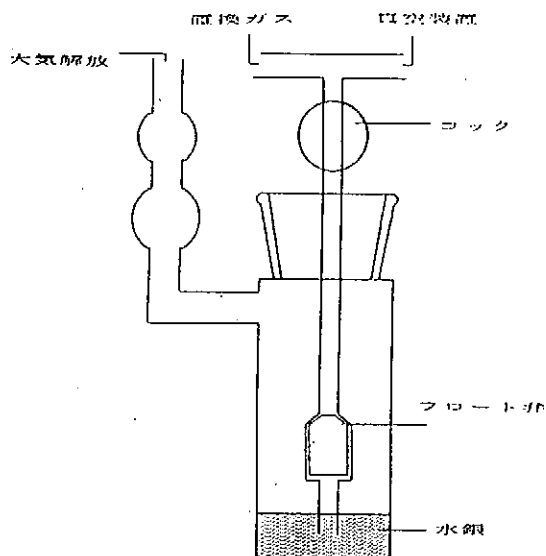


図1 水銀バブラ

[2]斬新な発想に基づく機構の研究開発

1. ボール逆止弁の機構について

通常の真空技術においては、Oリングを規格溝に装着し、上部からフランジ等によりこれを加圧し、溝面に適当なつぶし代を与えて、密着性を高め、流体のリークをなくすことが可能である。

今回、開発するボール逆止弁の機構は、[1]で述べた欠点を解決するものであるが通常のOリングの使用法と少し異なった方法を用いる。弁としてボールを使用し、ボール上部は解放し、大気圧により、ボール下部に装置したOリングを加圧し、真空シールを行う。そこで独自の装置を考案し、ボールとOリングの相関関係について実験を行った。

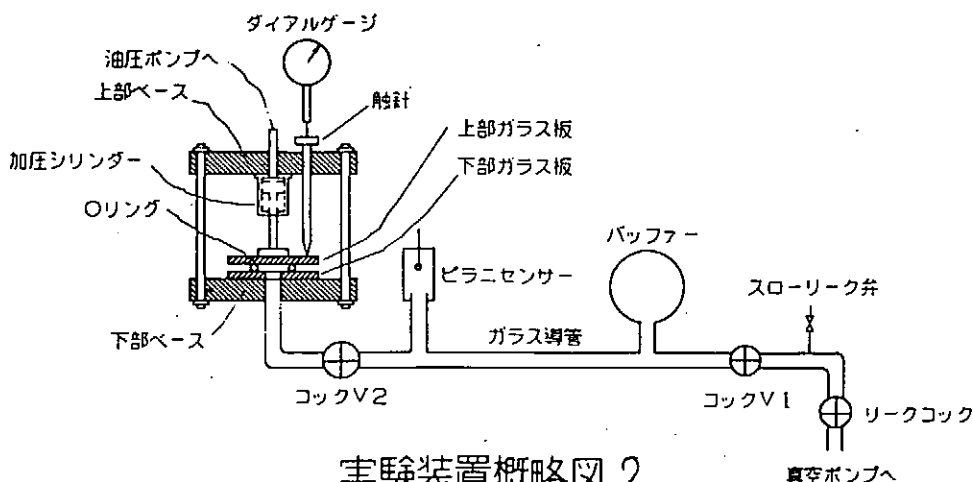
[3] Oリングとガラス面の真空における相関関係

1. 相関関係の測定方法

この実験装置（図2）は（1）ガラスの面粗さとOリング、（2）Oリングとボールの真空における相関関係の測定を主目的とし、Oリング加圧部と真空排気系の構成とする。

Oリングの加圧部は、円盤状の上部板ガラスと下部板ガラスの間にOリングを挿入し上部板ガラスの中央部を加圧シリンダーにより圧縮力（大気圧+1~3kg）を加え、さらに下部板ガラス（光学研磨処理）の中央部の小穴から真空引きをおこない、Oリングの変形量（つぶし代）はダイヤルゲージで測定する。

上部板ガラスは、カーボランダムで研磨した、#240、400、800、1200、3000、光学研磨ガラス（4000Å）。これらと組み合わせて測定するOリングの材質は、フッ素ゴム、ニトリルゴム、シリコンゴム（白、赤）である。



実験装置概略図 2

2. 相関関係の測定

測定は（1）圧縮力とOリングの変形量、（2）圧縮力とOリングの接触面積、面圧、（3）圧縮力と面粗さによるリーク量、（4）圧縮力とフッ素ゴムのつぶし代（パーセント）、（5）圧縮力と真空度変化時間（ビルドアップ法による一定幅の圧力上昇に要する時間）、について調べたが、（3）、（5）のフッ素ゴムに関してのみ記載、他は省略する。

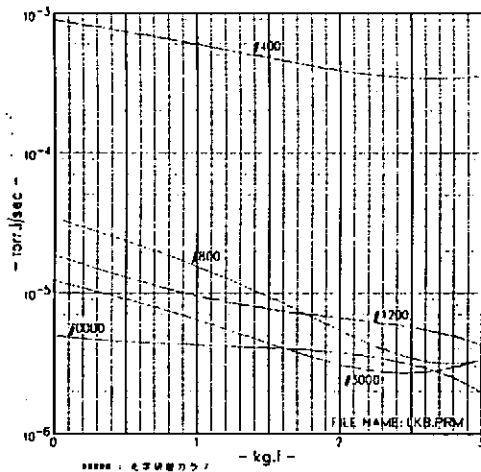


図3 圧縮力と面粗さによるリーク量

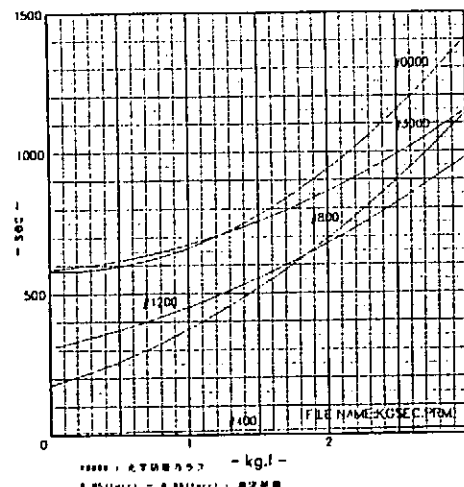


図4 圧縮力と真空度変化時間

3. 測定結果の分析とボール逆止弁への適合性について

測定結果を分析すると、ガラスの面粗さとOリングの間に、一種の相性のようなものがあり面粗さを細かくしても、必ずしも真空シール効果が高くなり、また面圧が高くなれば真空シール効果が逆に低くなるものがある。したがって、Oリングの材質、面粗さ、圧縮力が、相乗効果的に関係した特異点で真空シール効果が高まると思われる。

また電子顕微鏡写真で表面の細部の状態を走査すると、当然ながら、粗い粒度に比例して貝殻状の割れ模様が生じ、(研磨圧によるものであると考えられる)キズが深く、大きくなっている。

以上の測定結果から、Oリングの材質(4点)では、フッ素ゴムが、硬さ(弾力)、接触面積、面圧、真空シール効果、の4点のバランスが、他の材質のOリングと比較して、最も優れている。

そこでOリングはフッ素ゴムを使用。Oリング溝は、#800(図5)以上に相当する、ダイヤモンド#200にて研磨加工をおこなった。

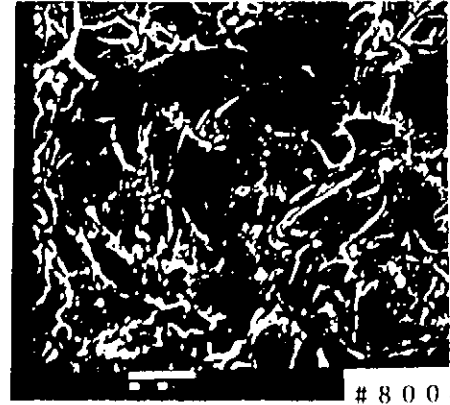


図5 電子顕微鏡写真研磨砂による粗さ、#800(白点から点まで10ミクロン)

[4]OILパブラの機能測定

1. ボール逆止弁の真空保持性能と測定について

装置は、前記(図2)のOリング加圧部に、溝加工したボール弁を接続し、テストボール(鋼球)として、径違いによるボール弁圧力上昇試験を行い、次に、材質の違いによるボール弁圧力上昇試験(非鉄金属のガラス(図6)、セラミック、ナイロン)の測定をおこなった。真空保持性能(測定範囲、 $5 \times 10^{-3} \sim 5 \times 10^{-2}$ torr)は、鋼球とガラスについては(1.483×10^{-5} torr, I/sec)、セラミック(1.836×10^{-5} torr, I/sec)。ナイロン(3.444×10^{-4} torr, I/sec)であった。

この原因は、面粗さによるものと、真球度による違いであると考えられる。

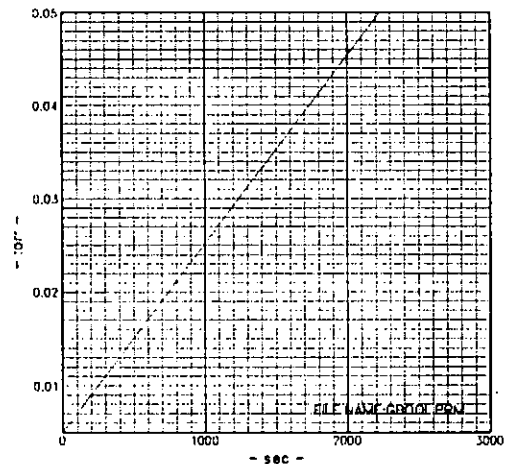


図6 ガラス、ボール圧力上昇試験 (1.483×10^{-5} torr I/sec)

2. ガス置換の流量計とOILの適合性について

水銀の流量計は水銀で弁機能と置換ガス流量計を兼ねているが、気泡が見えにくい欠点をもつ。OILパブラはこれらに独立機構を採用したため、流量計の媒体に水銀を使用する必要がなくなり、したがって、新しく蒸気圧の低いOILを使用した。

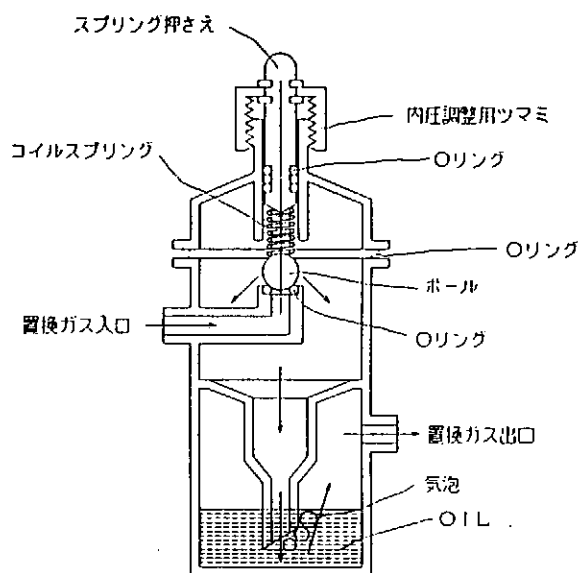
[5]実際の使用に供する設計について(上記の結果をふまえて)

実際の使用については油回転ポンプを使って装置内(0.1~1torr)を真空引きし、Arガ

スで置換を行う際に必要な機能を持った、逆止弁とガス流量計のOILバブラである。不安定物質はその取り扱い方によっては火災、爆発等大事故にもつながる大変危険な物質である。今回開発したボール逆止弁つきOILバブラに関しては上記の測定結果をもとに設計した。機構については、上下2室で独立機能を持ち、そのうえ分割構造であり、使用材料については、今回はOリング（フッ素ゴム、P15）、ボール（ガラス、17, 4φ）を組み合わせた逆止弁と、OIL（シエル製オンジナOIL）を媒体として使用した。

[6]OILバブラの特徴

- (イ)水銀に変わり、OIL使用のため安全である。
- (ロ)クリーンな環境が確保でき、衛生面もよい。
- (ハ)微圧調整が可能である。
- (ニ)今回設計したのものについては、リーク量も 1.653×10^{-5} torr. l/sec(outが込み)であり、実用できる。
- (ホ)不活性ガスの純度を低下させにくい。
- (ヘ)置換に要する、不活性ガス流量(ゲージ圧0.06kg/cm²)が非常に少ない。
- (ト)高価な不活性ガス(アルゴン)の節約になる。
- (チ)泡流量計としての発泡性能が大変よい。
- (リ)Oリングの交換は簡便である。
- (ス)Oリングは安価で反復使用が可能である。
- (ル)耐久性に優れて、長期間使用できる。



ボール逆止弁つきOILバブラ

まとめ

ボール逆止弁付きOILバブラは、従来から使用されている置換ガス装置の一部である水銀バブラの構造上に於ける欠陥から、真空気密性及び水銀汚染等の多くの解決しなければならない課題があった。(水銀使用廃止については国の強い方針である)これらの課題解決にあたり、Oリングとボールという画期的な取り合わせの逆止弁、OIL媒体による流量計を設計製作した。機能測定においては、Oリングの規格外の使用にたいして、独自に、測定装置を考案し付属する以下の測定を行った。イ) Oリングとボール、Oリングとガラス表面荒さ、Oリング材質の違いによる適応、圧縮によるつぶし代、面圧による気密。ロ) 電子顕微鏡による表面走査。その結果、研究遂行上は勿論のこと環境面、安全性は言うに及ばず、経済性にまで開発の成果がでている。

半導体多結晶材料の製作

静岡大学電子工学研究所

勝野 廣 宣、助川 徳 三

1) はじめに

液相成長法により半導体単結晶の成長を行なう場合、その原料として半導体多結晶材料が必要となる。GaAsなどはすでに市販されているが、新しい材料の場合には原料が市販されておらず、またメーカーに製作を依頼すれば量的に少量であるため購入価格が高くなってしまふ。

従って、液相成長法により新しい半導体結晶の成長を行なう場合には半導体多結晶材料を自前で製作しなければならない。

我々は、最近短波長発光デバイスあるいは太陽電池用材料として注目されているカルコパイライト型半導体の1つであるCuGaSe₂多結晶材料の製作方法について検討し良好な結果を得たので報告する。

2) 液相成長法

半導体の結晶成長法には、液相成長法の他に塩化物気相成長法、有機金属気相成長法、分子線気相成長法などがあるがこれらの成長法は有毒ガスの除害装置あるいは超高真空装置が必要である。

液相成長法は、図1に代表的な「スライドポート法」の概略図を示すが、グラファイト製のポート、石英製の引張り棒

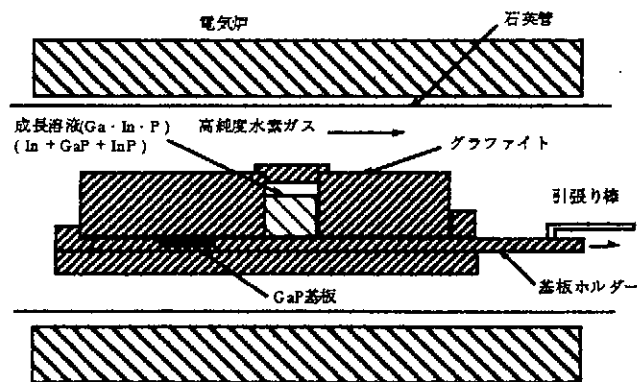


図1 スライドポート法の概略図

り棒そして石英管内に水素ガスを流すという非常に簡単な装置で、かつ結晶成長が熱平衡状態で行なわれるという利点を有している。図1は、GaP基板上にGaInP混晶を成長させる場合を示しているが、通常InにGaP多結晶とInP多結晶を溶解させた溶液を成長に用いるためにそれらの多結晶材料が必要となる。

3) CuGaSe₂多結晶材料の製作

我々は、現在短波長発光デバイスや太陽電池用材料として注目されているカルコパイライト型半導体の1つであるCuGaSe₂単結晶を液相成長法によりGaAs上に成長する研究を進めている。ところで、CuGaSe₂多結晶材料は市販されていないため、その製作方法について検討した。

半導体多結晶を製作する場合、まず相図 (Phase Diagram) が必要となる。

図2に、 $\text{Cu}_2\text{Se} - \text{Ga}_2\text{Se}_3$ の相図を示す⁽¹⁾。この相図から CuGaSe_2 は Cu_2Se と Ga_2Se_3 がそれぞれ50mol%で合成され、その融点は1070℃であることがわかる。この相図から、通常はそれぞれ50mol%の Cu_2Se と Ga_2Se_3 を混ぜ合わせ、温度を1070℃以上に上げ、冷却する方法が考えられるが Cu_2Se も Ga_2Se_3 も化合物であるためそれらを製作しなければならない。

そこで、我々は次のような新しい製作方法を検討した。

CuGaSe_2 は、Cuが25at%、Gaが25at% Seが50at%で構成される。従って、これらの構成元素から直接 CuGaSe_2 を製作する方法を考えた。

図3に CuGaSe_2 多結晶製作の概略図を示す。内径22mmΦ、外径25mmΦの石英管の上部にCu 9.4g、Ga 10gを入れた内径15mmΦ、外径18mmΦの石英ボートを、下部にはSe 22.1gをセットした。

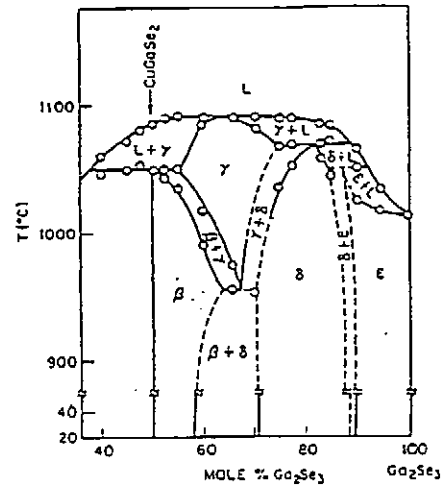


図2 $\text{Cu}_2\text{Se} - \text{Ga}_2\text{Se}_3$ 相図

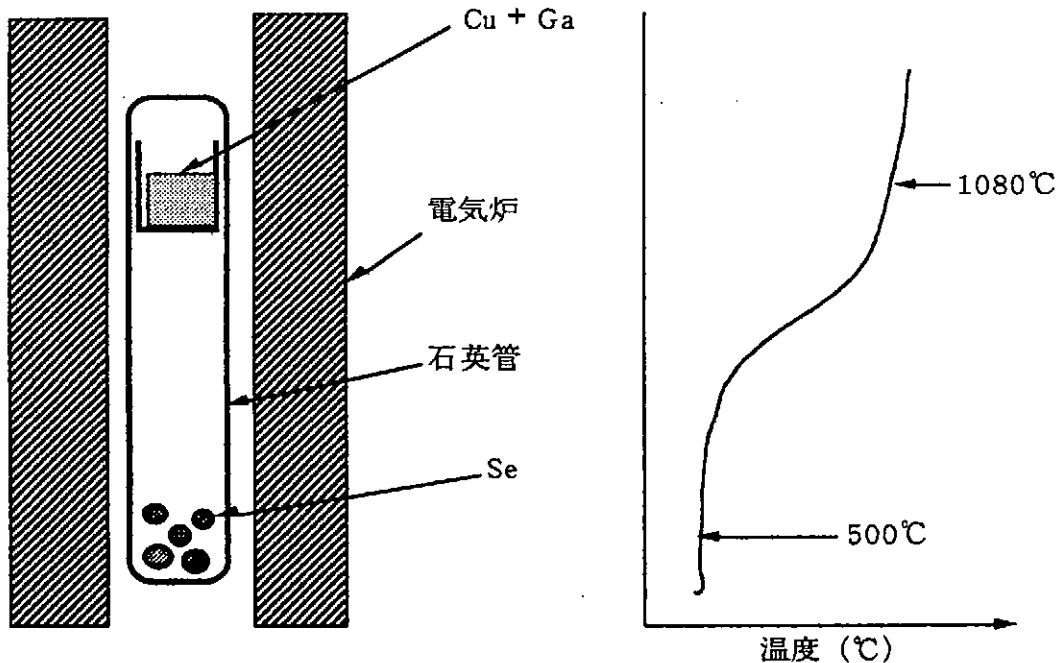


図3 CuGaSe_2 多結晶成長概略図

この石英管を真空排気装置で 1×10^6 Torr. まで排気したのち封じきる。それを、図に示す縦型2ゾーン電気炉にセットし高温側を 1080°C 、低温側を 500°C にあげ、この状態で24時間保持する。その後、高温側を毎時間当たり 10°C で 800°C まで冷却し電気炉をPower Offした。

図4に、電気炉から取り出した石英管の様子を示す。

下側にいれたSeはすべて蒸発していた。

図5に、高温側にできた結晶を示す。

直径 15mm φ、長さは約 40mm であった。

この結晶の先端部、中央部、後端部の組成分析をエネルギー分散型X線分光法により行った。

(分析装置 JEOL JSM-T330A)

図6に、組成分析結果を示す。先端部、中央部、後端部とも1%程度の違いはあるが、ほぼ所望の組成の CuGaSe_2 になっていた。



図4 電気炉から取り出した石英アンブル

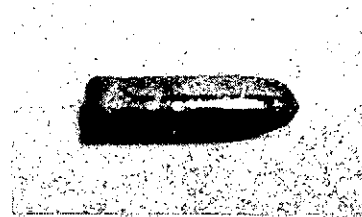


図5 製作した CuGaSe_2 多結晶

測定点	元素の組成(at%)		
	Cu	Ga	Se
先端部	26.04	24.14	49.82
中央部	25.56	24.21	50.22
後端部	25.23	24.95	49.82

図6 組成分析結果

4) まとめ

液相成長法により結晶成長を行なう場合に必要となる半導体多結晶材料の簡便な製作方法について検討し、良好な結果を得た。我々の考案した方法は、石英管を用いているため材料の融点が最高 1100°C 程度に制限されるが非常に簡単であり、他の材料製作にも広く応用できる。

参考文献

- (1) Palatnik, L.S. and Belova, E.K. : Izv. Acad. Nauk SSSR, Neorgan. Mat., Vol.3 : 2194, 1967

レーザー核融合用 KDP、KD*P 結晶の大型結晶育成技術の開発

川上加奈[○] 松尾悟志 金辺 忠 佐々木孝友* 中塚正大 中井貞雄
阪大レーザー研 * 阪大工電気

1. はじめに

現在、レーザー核融合においてはターゲットへの吸収効率の向上とホットエレクトロンの先駆加熱の抑制のために基本波長 $1.053\mu\text{m}$ の大口径ガラスレーザーの短波長変換を行ないターゲットの爆縮実験を行っている。私達はこの波長変換素子としての非線形光学結晶の育成技術の開発を行なっている。

比線形光学結晶に望まれる条件としては波長変換効率が高いこと、紫外領域 (2ω , 3ω) まで透明であること、レーザー損傷に強いこと、光学的歪みが少なく良質であること、大型単結晶が短期間で育成できることなどが挙げられる。KDP, $p\cdot\text{KD}^*\text{P}$, KD^*P はこれらの条件を満たす水溶性のイオン結晶である。

KDP (KH_2PO_4) は従来より広くレーザーの波長変換素子として使用されている。KD*P は、KDP 中の水素を重水素化したもので (KD_2PO_4)、 $1.05\mu\text{m}$ 近傍での吸収係数が小さいため高出力高繰り返しレーザーの波長変換に適している。また、ポッケルス駆動電圧が小さいため光スイッチとしても使用されている。KD*P のうち重水素化率の低い $p\text{KD}^*\text{P}$ 、特に重水素化率 15.7% のものは $1.05\mu\text{m}$ での整合角の波長幅許容が大きくブロードバンドで大発散角レーザーの波長変換に有用であるとして注目されている。これらの結晶の大型化、高速育成、高耐力化、などの育成技術について報告する。

2. 結晶育成

KDP、 $p\cdot\text{KD}^*\text{P}$ 、 KD^*P 結晶の育成方法は飽和育成溶液中の温度を下げる温度降下法である。種結晶として Z カットした板状の KDP を導入し種結晶上に結晶を c 軸方向に成長させる (図1)。育成槽の構造は図2 に示す。育成槽は内槽と外槽からなる二重槽構造である。育成溶液のはいった内槽の温度は外槽の水温によってコントロールしている。このような育成槽を用いて表1 に示す育成条件で結晶の大型育成に成功した。図3 に育成した結晶を示す。

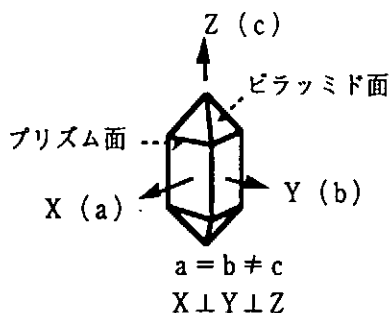


図1 KDP 結晶の結晶軸

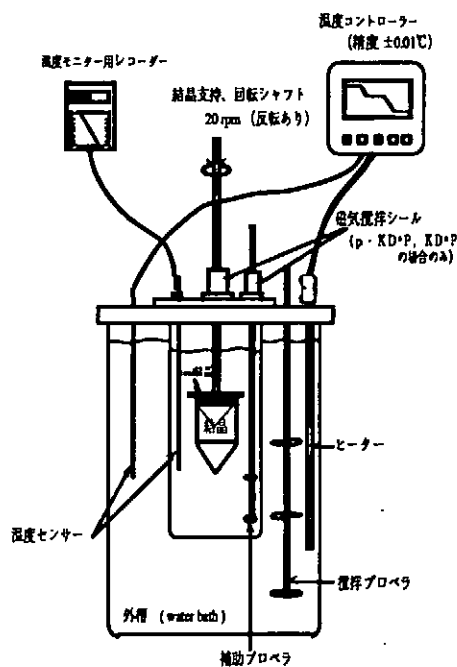


図2 結晶育成槽の構造図

表1 KDP、p・KD*P、KD*Pの育成条件

	KDP	p・KD*P	KD*P
育成溶液	超純水 市販特級KDP粉末	超純水 + D ₂ O 市販特級KDP粉末 重水素化率調節	$P_2O_5 + 3D_2O \rightarrow 2D_3PO_4$ $2D_3PO_4 + K_2CO_3 \rightarrow$ $2KD_2PO_4 + D_2O + CO_2$ 合成
種結晶	Zカット板	Zカット板	Zカット板
育成方法	温度降下法	温度降下法	温度降下法
育成温度領域	50 ~ 30 °C	重水素化率による	30 ~ 5 °C 低温領域育成
最大結晶サイズ	40×42×65 cm ³ 種結晶サイズの拡大	9.0×9.2×11.1 cm ³ (13.3±0.7%)	11.2×7.4×10.8 cm ³
育成日数	10ヶ月	1ヶ月	1ヶ月
育成溶液量	300 L	9 L	18 L
平均成長速度	2 mm/day 高速育成	2.2mm/day	2.5mm/day

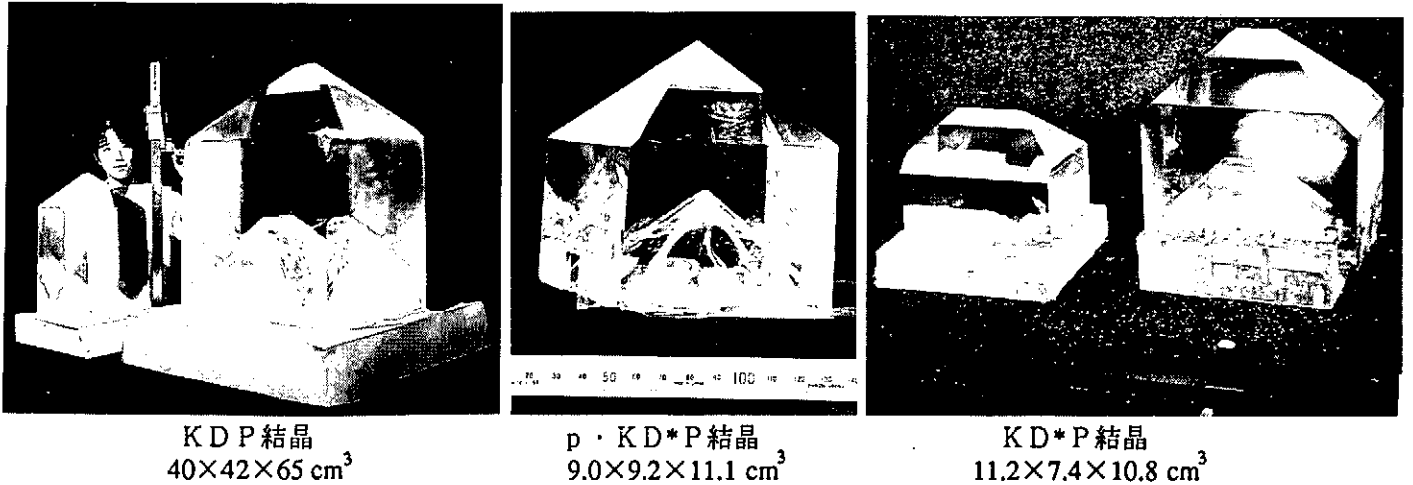


図3 育成された結晶

2- (a) 大型種結晶の作製

育成はc軸方向にのみ成長させるので大型結晶を得るには目的のサイズの大型種結晶が必要である。種結晶のサイズを拡大するにはa、b軸方向に速く結晶を成長させることがのぞましい。通常、KDPの育成溶液はpH4で結晶の成長はa、b軸方向よりc軸方向によく伸びる。しかし、育成溶液をpH5に調整するとa、b軸方向の成長が促進されることがわかった(図4)。この成長の性質を利用して大型種結晶の製作を行なった。

2- (b) 高速育成

結晶を高速でc軸方向に成長させるには雑晶析出を抑制し、a、b軸方向の成長を抑え

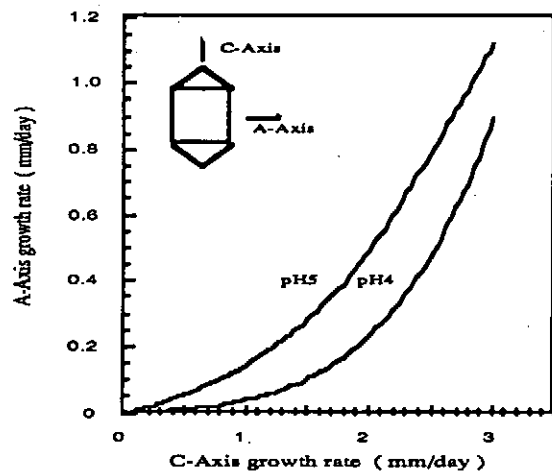


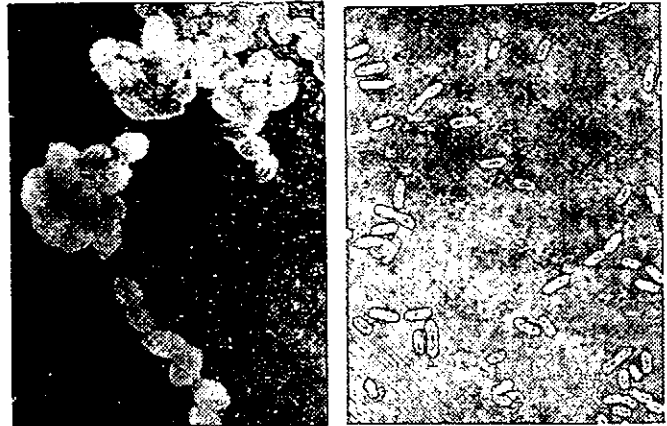
図4 pHとa(b), c軸の成長率の関係

る必要ある。それには育成溶液への金属不純物三価クロム、三価アルミニウムの添加が有効であることがわかった。KDP結晶についてはCrCl₃·6H₂Oを0.3 ppm、AlCl₃·6H₂Oを1.5 ppm添加することで40cm級大型結晶の高速成長（平均2mm/day）が可能になった。

3. 結晶の耐レーザー損傷性の向上

KDP結晶の1.05μmのレーザーに対するレーザー損傷しきい値は5~10 J/cm²で他の光学材料が20 J/cm²程度であるのに比べ低い。この原因は育成溶液中の有機炭素が結晶内に取り込まれるからであることが考えられる。私達は育成溶液中の有機炭素量を減少させることで耐レーザー損傷性が向上することを証明した。

まず、有機炭素はの大部分は育成溶液中に発生する雑菌及びその死骸偏であることを明らかにした。育成溶液中には菌類が存在し、育成中に増加することがわ



イースト菌 グラム陰性かん菌

図5 育成溶液中に存在する代表的な菌類

かった。図5に育成溶液中の菌の写真を示す。図6に育成溶液中の菌の増殖の推移を示す。このような有機炭素を減少させるため、育成溶液の前処理に限外ろ過フィルターを使用し、育成中には酸化剤としてH₂O₂を添加し紫外線照射を行なう方法を開発した。その結果、総有機炭素量は0.1ppmに減少させることに成功し、レーザー損傷しきい値は20 J/cm²程度に向上した（図7）。

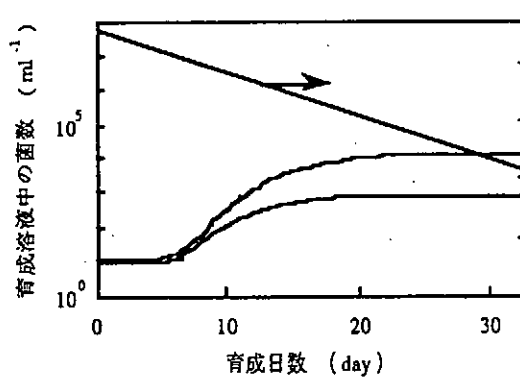


図6 育成溶液中の菌の増殖の様子

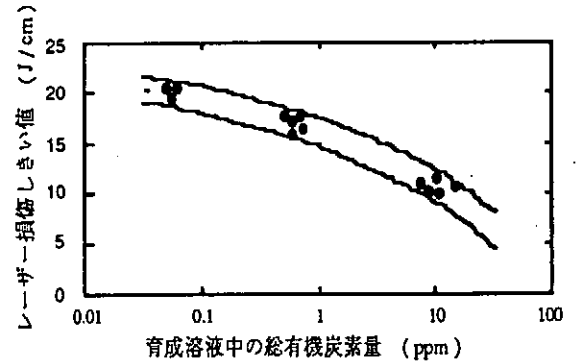
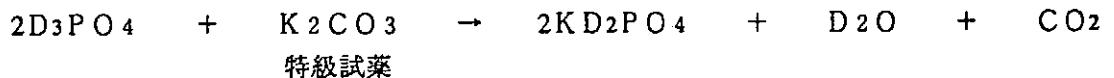
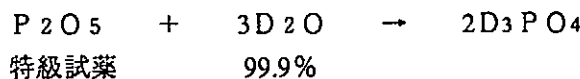


図7 育成溶液中の総有機炭素量とレーザー損傷しきい値の関係

4. KD*Pの合成

KD*Pの合成には重水素溶液を用いるので空気に接触すると空気中の水素と重水素が変換し高置換率KD*P結晶の育成ができなくなる。そのため、KD*P育成溶液の合成は窒素置換したバキュームグローブボックス内で図8のような装置で行う。



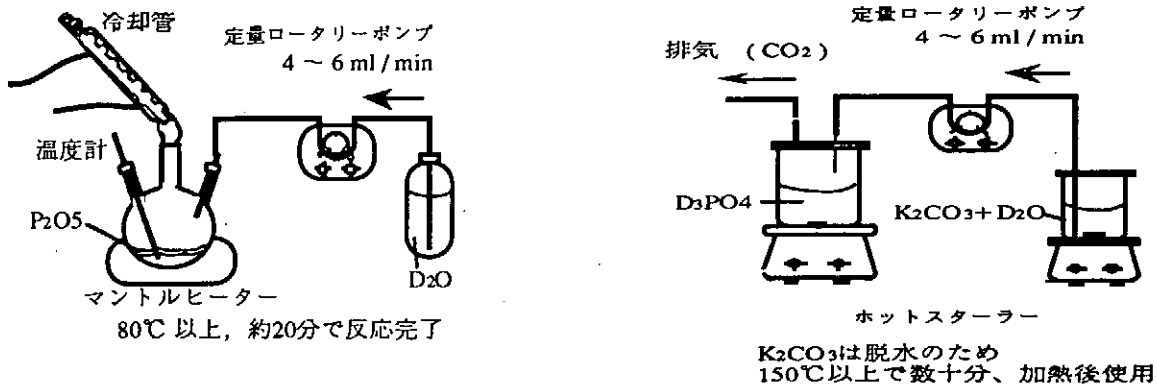


図8 KD*P 育成溶液の合成装置

5. 結晶の重水素化率の測定、調節

結晶の重水素化率の測定は、近赤外法 (NIR法) で行った。他にも方法はあるが操作が簡便である、迅速に結果が得られ安価であるという理由によってこの方法を採用した。サンプル結晶の質量を量り D₂O に溶解し 1.66 μm での吸収を測定する。1.66 μm の吸収は OH 基の吸収であり、KDP 中のすべての H がこの吸収に定量的に現れることと、KDP 濃度に関係がないことを確認した。故に、1.66 μm の吸収を測定することで定量した KDP 結晶中の H イオン量がわかり、重水素化率の算出ができる。

p · KDP 結晶を育成する場合、育成溶液の重水素化率とそれより成長する結晶の重水素化率は一致しない。目的の重水素化率を持つ結晶を確実に得るために、育成溶液とそれより析出する結晶の重水素化率の関係を明かにした。図9に育成溶液と析出する結晶の重水素化率の関係を示す。育成溶液は目的の重水素化率より高く調節しなくてはならないことがわかった。

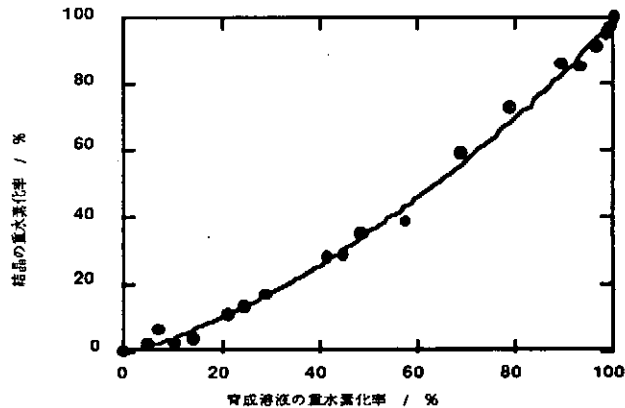


図9 育成溶液と析出する結晶の重水素化率の関係

6. まとめ

大型単結晶の育成を行った。KDP 結晶については 40cm 級、p · KD*P、KD*P については 10cm 級の世界最大級の結晶育成に成功した。

大型種結晶の作製は育成溶液の pH を 5 に調整すると a、b 軸の成長が促進されることを利用して行った。高速育成については金属不純物 (CrCl₃ · 6H₂O, AlCl₃ · 6H₂O) の添加が a、b 軸の成長が抑制、雑晶析出防止になることを利用して 40cm 級の結晶を 2mm/day で育成できた。耐レーザー損傷性の向上については酸化剤 H₂O₂ 添加と紫外線照射により育成溶液中の有機炭素量を 0.1 ppm 以下にすることで耐レーザー損傷しきい値を 20 J/cm² 程度に上げることができた。結晶の重水素化率は NIR 法により迅速、簡便、安価に測定できるようになった。重水素化率の調整は育成溶液と成長する結晶の重水素化率の関係を明かにすることで目的の重水素化率を持つ結晶を確実に得られるようになった。

ペネトレーター搭載用月地震計の 姿勢制御機構の開発とその軽量化

名古屋大学理学部装置開発室
増田 忠志

1. はじめに

ペネトレーター（写真1）とは、惑星表面に無人科学計測ステーションを展開するためのミサイル型の機器運搬体のことであり、わが国では1997年に予定されている月探査に高感度地震計、熱流量計等を搭載して月面に貫入させ、月の裏側の地殻構造や中心核の大きさを調査する。ペネトレーター実験は、宇宙科学研究所能代ロケット実験場にある日本でも最大級の大型真空槽に設置された発射装置を利用し、模擬の月空間を再現し行われている。ペネトレーターは、月面に対して垂直の角度で、月面下2~3mの深さに設置される予定であるが、貫入誤差を生じる可能性があり、月震計には、貫入後に月の重力方向に対して取付角を補正するための姿勢制御機構を装備する必要がある。開発は宇宙科学研究所との共同開発であり、すでに4年目を迎えている。本報告は、当初開発した45度貫入方式の月地震計姿勢制御機構のバンプ方式（起上小法師方式）の概要とCFRPの軽量化において発生した事例およびCFRPの材料試験について報告する。

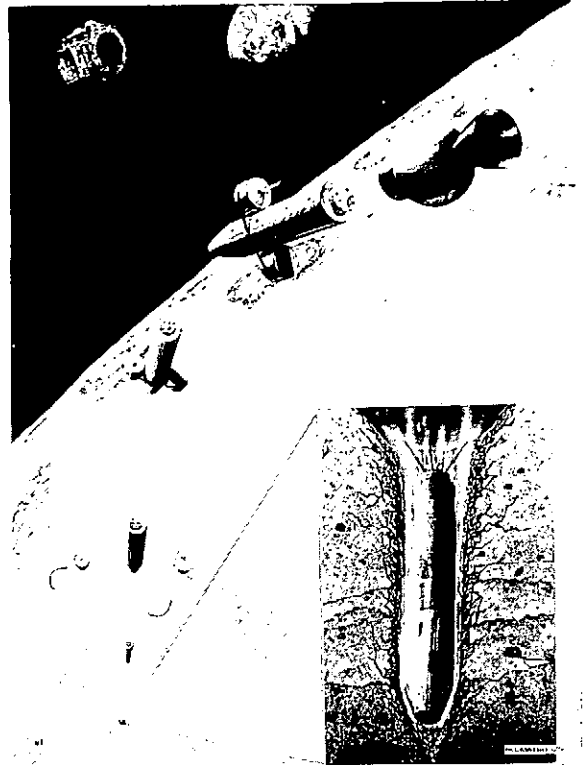


写真1 ペネトレーターの想像図

2. 姿勢制御機構の構造と要求性能

図1は、起上小法師方式のバンプ3号機モデルの構造を示した。X軸は、内筒フランジ③より内側の部品全体が360度回転し、Y軸は、地震計取付部本体②が±25度回転する。姿勢角度は、X軸用錘⑨とY軸用錘⑩によって制御され貫入角度誤差が補正される。

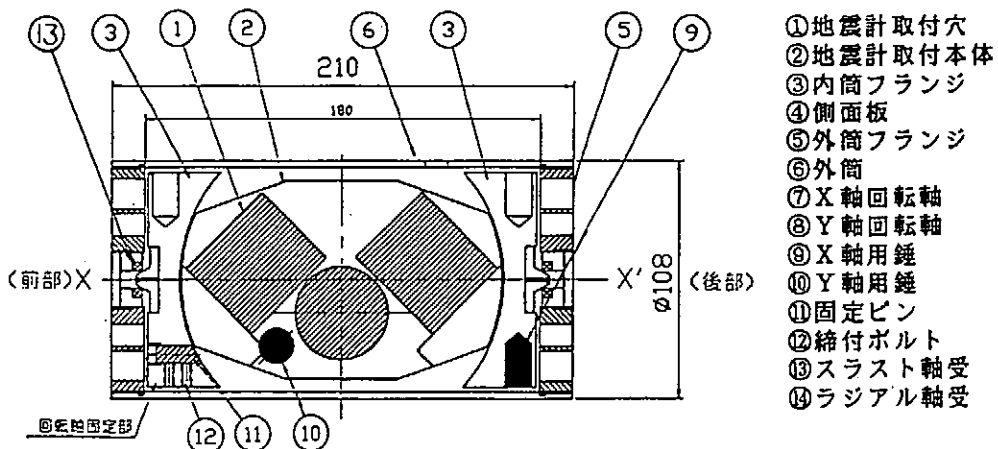


図1 バンプ方式3号機モデルの構造

この制御機構は、以下のような多くの技術的問題を解決する必要がある。

- (1) 使用環境が -40°C で、 10000G という大きな加速度に耐える。
- (2) 0.1° 以下の非常に高精度で位置制御できる。
- (3) 超軽量化（月震計を除く総重量は、 1.8kg 以下）

特に、 10000G という大きな加速度から、衝撃に弱い駆動機構の損傷を防止する衝撃吸収法は、軸受部をゴムで保持し、衝撃荷重を軸受に作用させない方式を独自に開発した。姿勢制御機構の制御方式は、パッシブ方式とアクティブ方式がある。パッシブ方式は、月面に対して 45° に貫入したペネトレーターを制御する方式であり、起上小法師のように重心錘で制御する方式である。これまでにNO. 1～NO. 6モデルの6回の実験を行った。アクティブ方式は、モーター駆動方式であり、月面に対して垂直に貫入したペネトレーターを制御する。現在はアクティブ方式を開発中であるが、ここでは、パッシブ方式で使ったCFRP材料の強度試験結果とCFRPで製作した内筒フランジに発生した事例を報告する。

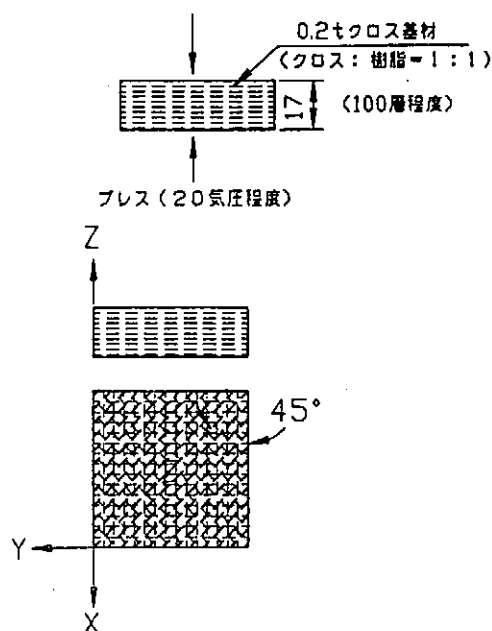
3. 軽量化材料の選定

軽量化においては、CFRP、Be、Ti、A7075等の比強度の高い材料を使用する必要がある。しかし、Beは、有毒金属であり、実用的な軽量化材料としては、CFRP・A7075・Tiを選定し、それぞれの材料特性を生かした使用法を行っている。CFRPは、比較的単純な形状で単一応力の作用する部品に、アルミは複雑な形状をした部品に、チタンは、ネジ等の小物部品に使用し軽量化を行っている。

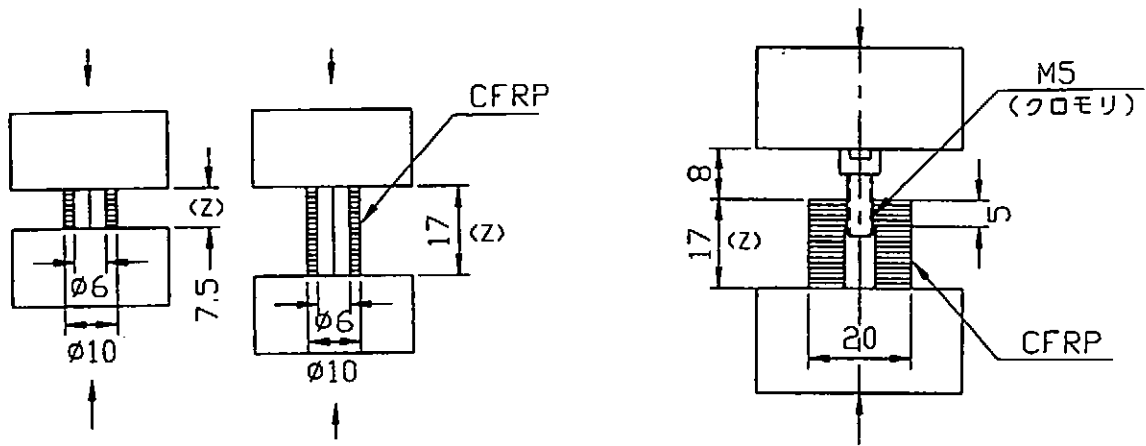
3-1 使用したCFRPの基礎物性値と材料試験結果

表1は、使用したCFRPクロス積層板の基礎物性値を示した。図2は、積層板の圧縮試験とネジのせん断試験の形状を示し、表2は、その実験結果を示した。CFRP圧縮試験結果は、メーカーの圧縮応力の公表値より3倍以上強い結果を示しており、これについては、メーカーとしては、複合材料の強度のパラツキ等を考慮して低く公表しているとのことであった。また、ねじのせん断試験結果では、せん断応力値は、ほぼ $20\text{kg}/\text{mm}^2$ 程度の値を示した。しかし、CFRP材料は、ねじ切り加工時のタップの摩耗が非常に早く、タップ摩耗がせん断応力値に大きく影響することが判明した。

表1 CFRPクロス積層板の基礎物性値



基礎物性	クロス積層板物性値 (kg/mm ²)	
縦弾性率	$E_x=E_y$	4400
	E_z	700
横弾性率	G_{xy}	1600
引張応力	σ_x	25-30
	σ_y	25-30
	σ_z	2-4
圧縮応力	σ_x	25-30
	σ_y	25-30
	σ_z	20
層間せん断応力	τ	4-7
曲げ応力	σ_{xy}	40-50



圧縮試験の形状

ネジのせん断試験の形状

図2 圧縮試験とネジのせん断試験の形状

表2 CFRP材料試験結果

	番号	せん断荷重 P (kg)	せん断応力 fs (kg/mm ²)	備考
ネジ(M5) せん断テスト (圧縮荷重)	1	1400	24.4	タッパ新品
	2	1287	22.4	
	3	1181	20.6	
	4	733	12.8	タッパ摩耗
	5	366	6.4	
$f_s = P / z \pi d_1 (0.8p)$ $z = \text{ねじ山数} (6.8)$ $d_1 = \text{おねじの谷径} (4.2)$ $p = \text{ピッチ} (0.8)$				
	番号	圧縮破断荷重 W (kg)	圧縮応力 σ_z (kg/mm ²)	備考
圧縮試験	1	3700	73.7	
	2	3502	69.8	
		$\sigma_z = W/A$	A=断面積(50.2)	

3-1 NO. 4モデル後部内筒フランジ③の破損

図3は、CFRPで製作した後部内筒フランジ③の破損箇所を示した。層間剝離による大きな割れはA部とB部に発生しており、A部の割れは断面全体に達しており欠損しかけていた。内筒フランジ面の衝撃応力は10kg/mm²程度であり、剝離の発生は後部フランジのみで、前部フランジは、肉眼で観察される割れが発生していないことから、破損原因は以下のように推定した。

- (1) 実験後、内筒フランジと側面板の曲率半径を測定した結果、前部側の両者の曲率半径は比較的合致していたが、後部側面板の曲率半径は、内筒フランジの曲率半径に比べて3.5mm大きく加工されており、組立時に、内筒フランジには曲げ応力がすでに発生していた。この曲げ応力の値は計算では40kg/mm²程度あり、組立時にすでに僅かな層間剝離が発生していた可能性がある。
- (2) 内筒フランジの曲面の角は、CFRP繊維の積層方向から非常に層間剝離しやすい部分である。

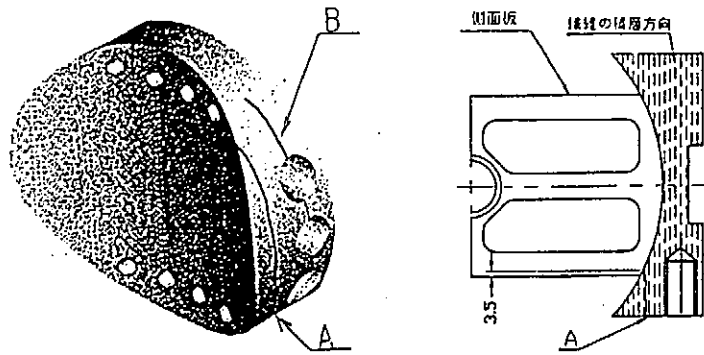


図3 CFRPで製作した後部内筒フランジの破損箇所

(2) NO. 6モデル後部内筒フランジ(CFRP)の剝離とその改良

図4は、クロス積層板の積層方法を改良した後部内筒フランジの形状と剝離箇所を示した。剝離箇所(1)は、完全に剝離しており、剝離箇所(2)は、一部で剝離が発生していた。しかし、前部内筒フランジは肉眼で観察できる剝離はなかった。剝離原因については、後部側のみ剝離が発生したことから、後部内筒フランジの配線用溝の加工ミスによるものと考えられる。前部内筒フランジは、配線用溝の長さは8mmであるが、後部側は、加工ミスにより溝を長く加工してしまったので、円筒状に巻いたクロス積層板がすべて切断されてしまい剝離したと考えられる。

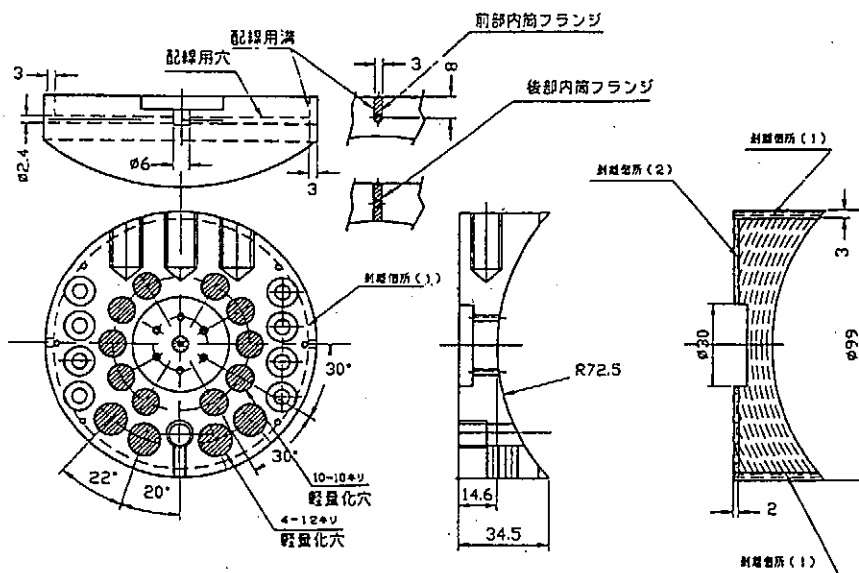


図4 後部内筒フランジの形状と剝離箇所

4. CFRPの軽量化における今後の課題

(1) CFRP 3次元クロスの使用

現在使用している2次元クロスは、層間せん断応力値が低く、この値が3~4倍増大する3次元クロスの使用が望ましい。

(2) 加工法の確立

CFRP材料の加工方法は材料強度特性に大きく影響を与えるのでCFRP材料の加工方法をさらに確立する必要がある。

(3) 金属との組合せ

CFRP材料で部品全体を製作するのではなく、曲率等の形状の複雑な部分は金属で製作し、その他の部分をCFRP材料で製作する。このように金属とCFRPを組合せて、お互いをネジ等で結合して製作する。

1. はじめに

大阪大学核物理研究センターには、全国共同利用施設としてAVFサイクロトロン（入射器）と、リングサイクロトロンの2基によって構成された複合加速器が設置されている。加速エネルギーは陽子ビームを加速する場合において、AVFサイクロトロンで65 MeVに加速した後、リングサイクロトロンに入射してさらに400 MeVまで加速される。加速器から取り出された粒子ビームは、ビーム輸送系を通過して実験室に輸送され共同利用研究の実験に使用される。ビームコースは三本あり、長いビームコースでは輸送距離は約80 mあり、輸送途中にビームロスが発生すると、構成部品にビームが当たり、実験の計測DATAにノイズが増加するなどの悪影響がでる。又、機器を保守する観点からみれば金属部分の放射化、半導体製品の劣化、損傷などの悪影響を受けることになるので、ビームロスを出せるだけ少なくすることが肝要である。さらに、ビーム輸送系はビームの性質を形成する役目も担っており、ビームをターゲットまで輸送する過程において、要所に配置されたビーム診断機器を使い、ビーム形状や大きさを随時確認しながら所期のビーム性質を形成する。今回はビーム輸送系に設置するために設計、制作したビーム診断機器について報告する。

2. ビーム診断機器概要

ビーム輸送系に設置するために次の4種類のビーム診断機器を設計、制作した。ここで各機器の概要を簡単に記述しておく。

- 1) ビームビューアー
- 2) 往復動型ビームプロファイルモニター（ワイヤーセンサー）
- 3) ビームスリット
- 4) ビームストッパー

2-1. ビームビューアー

ビームビューアーは、蛍光スクリーンをエアシリンダーによって駆動することによりビーム軸に挿入される。ビームが蛍光スクリーンを通過するときに生じた蛍光は、TVカメラにより撮影され制御コンソールにおいてモニターTVに表示される。ビームビューアーの長所は、ビームの断面形状をオペレーターがリアルタイムに、そして直観的に把握出来ることにあり、これによってビームの調整操作がしやすく、オペレーションに要する時間の短縮に役立っている。短所としてはビームが蛍光スクリーンを通過する際にエネルギーを失うことにより、ビームの性質が変化する事があげられる。図1参照。

2-2. 往復動型ビームプロファイルモニター（ワイヤーセンサー）

タングステンロッドをビームの進行方向に往復運動させてビーム電流の密度分布を測定する。この機器を導入した目的はビーム性質の定量的把握、たとえば半値幅などを記録するためである。

2-3. ビームスリット

ビームの位置変動が発生したときに、モニターするために設置した。

2-4. ビームストッパー

ビーム輸送系のビーム調整中、一時的にビームを止めるために用いる。又、

ビーム電流をモニターする事が出来る。

これらの機器の内、今回はビームビューアーの設計、制作の要点、及び現在における問題点について報告する。

3. 設計、制作の要点

ビーム診断機器の設計、制作は過去にも行ったが、既存のビーム輸送系へ取り付ける事を前提としていたので、設計上さまざまな制約があった。今回はビーム輸送系を新しく制作する機会を得たので、制約が少なく自由な設計が出来た。そこで、既存のビームビューアーにいくつかの改良を伴う設計を行うことが出来たので以下に記述する。

3-1. 蛍光スクリーンの設計、制作

既存のビームビューアーに使用している蛍光スクリーンはビームダクト直径に対して寸法が小さく、ビーム調整時に粒子ビームが蛍光スクリーンの範囲を越えてしまい見えなくなることがあった。そこで蛍光スクリーンの面積をビームダクトの80%程度をカバーする大きさにした。

粒子ビームをビーム輸送系の中心に通すことをビームの軸出しと言い、ビーム調整時の重要な調整操作となっている。ビーム診断機器にとってビームの軸出し調整が容易に行えることはオペレーターからの重要な要請である。この機能を持たせるためには二台のビームビューアーが同時に見える必要がある。ビームが一台目のビームビューアーを通過した時点でのエネルギーロスにより、二台目のビームビューアーには性質が変わってしまったビームがやってくる、しかし通過する際のビームのエネルギーロスを小さくできれば、ビーム中心の情報は残っており、オペレーターによるビームの軸出し操作は十分に可能である。エネルギーロスを小さくするには、蛍光スクリーンの材質を低密度の物質にし、厚さを薄くすれば良い。実際にはアルミニウム薄板(0.4mm)を用いることで陽子ビーム400MeVに対して約400KeVのエネルギーロスとし、ビームが2枚の蛍光スクリーンを串刺しに通過することが出来るようにした。これにより、二台のビームビューアーにビームを通過させながら、ビームの軸出し調整ができるようになった。

蛍光スクリーンは当初購入する計画で数種類の市販品を検討したが、さまざまな制約があり目的とする製品を得ることが出来なかった。そこで、蛍光スクリーンを製作する事になり試行錯誤の末、目的の性能を得ることが出来た。制作方法は、アルミニウム薄板をエッチング加工して目盛りを表示する。これに蛍光物質を沈殿させることにより均一に塗布する。図2参照。

3-2. TVカメラの放射線損傷の軽減

TVカメラの撮像素子にはCCDと撮像管の2種類が市販されている。それぞれの特徴としてCCDは放射線損傷に対して弱い磁場の影響を受けない。撮像管は放射線損傷に対して強い磁場の影響を受ける等が上げられる。但し、現時点で撮像管型のTVカメラは特殊用途を除いて制作、販売している会社はほとんどない。TVカメラの選択枝として価格を含めて考えた場合CCDカメラになってしまうのが現状である。CCDカメラを使用する事を前提として、放射線損傷の軽減を計るためTVカメラに望遠レンズを使うことで、ビームダクトから遠ざけて床面付近に設置した。そして鉄材を用いてTVカメラに放射線遮蔽を施した。図1参照。

3-3. 蛍光スクリーン照明

TVカメラの映像を鮮明に見るために、照明は大切な要素である。蛍光スク

リーンに刻まれた目盛りとビームによる発光がバランスよく見えるようにするために、照明用豆球ランプの電圧を変化させて、蛍光スクリーンのビームによる発光と照明光の比率を調整できるようにした。また豆球ランプの直接光がTVカメラに入らないこと、反射した光が蛍光スクリーンに写らないようにすることが肝要である。

3-4. リミットスイッチの信頼性向上

ビームビューア本体部分は簡単な構造なので既存の機器と特に変わるところはないが、過去に何度かリミットスイッチの故障を経験しているため、今回の制作にあたってはエアシリンダーに取り付けることが出来る近接スイッチを用いることにより信頼性の向上を計った。ここで一つの問題が発生した。使用した近接スイッチが磁気によって作動するリードスイッチであったことから、大型の電磁石の近傍にビームビューアを取り付ける場合に漏洩磁場による誤動作が発生した。原因となっている漏洩磁場を実測してみると、電磁石の最高磁場(14.5KGauss)に励磁した状態で200~300Gauss程度であった。そこで製造メーカーの技術者と相談してリードスイッチの感度の低いタイプを使用することにより、漏洩磁場による誤動作を回避した。

4. 現在における問題点

4-1. 往復動型ビームプロファイルモニター

このモニターを導入した理由は2-2節で述べているが、現実にはオペレーターはビームビューアで得られたTVモニターの映像を、ビデオプリンターでプリントしたものを記録として残し、このモニターはほとんど使われていない。この理由として考えられることは、ビームビューアと往復動型ビームプロファイルモニターとでは作動するビーム電流の感度が異なる事が上げられる。実用的なビーム電流は前者では0.1nAであるが、後者では1.0nAと10倍の感度の差がある。

私見ではあるが、後者の感度はこのタイプのワイヤーセンサーモニターとしては今のところ限界だと思われる、よって定量的な記録を残すためには、TVモニターの映像から、画像処理によって必要な情報を抽出する方法がよいと思う。

4-2. 画像処理

ビームビューアによって得られた映像からビーム電流の密度分布を抽出するために、パソコンによるビデオ信号の画像処理を試みた。パソコンによる画像処理はビデオ信号をカーソルの位置指定により2次元表示できるので、目的としたビーム電流の密度分布をグラフ表示する事が出来るようになった。さらに3次元表示、等高線表示も可能となった。しかしこの画像処理はリアルタイムに表示する事が出来ないことから、オペレーターにはほとんど使用されていないのが現状である。

ここで言えることはオペレーションの現場で必要とされる装置は、リアルタイムに表示出来なければ使用に耐えないと言うことである。現在これを実現するためにTVモニターにビデオ信号のプロファイルをスーパーインポーズできる装置を計画中である。

5. 結果

ビーム輸送系用に数種類のビーム診断機器を設計、制作したが、結果的に言えることは、現場のオペレーターにとって使いやすい機器を設計することが重要な要素である。今後の設計にはこれを教訓として生かしたいと思っている。

図1. ビームビューア構造

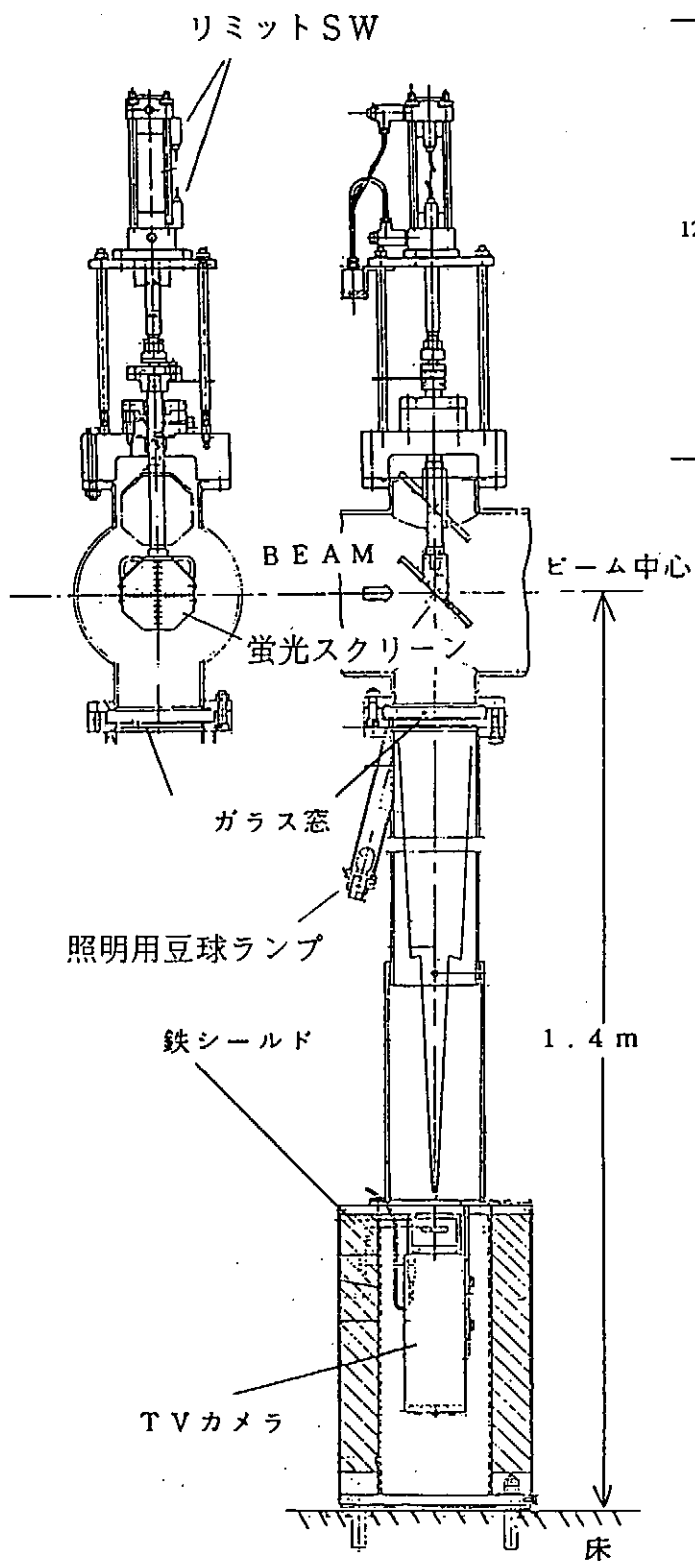
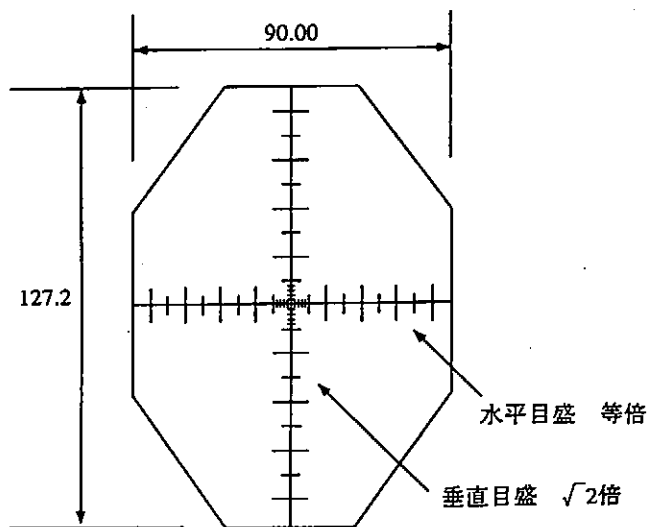


図2. 蛍光スクリーン



アルミニウム薄板の制作
 材質 Al 0.4mm厚
 目盛 エッチング加工
 ~0.1溝

蛍光材料
 極光 Phosphor
 P22-GN4
 塗布方法 沈殿

N. M. R. 装置ヘリウムガス回収系の製作

東京大学教養学部 小田嶋 豊
粟井 恭輔

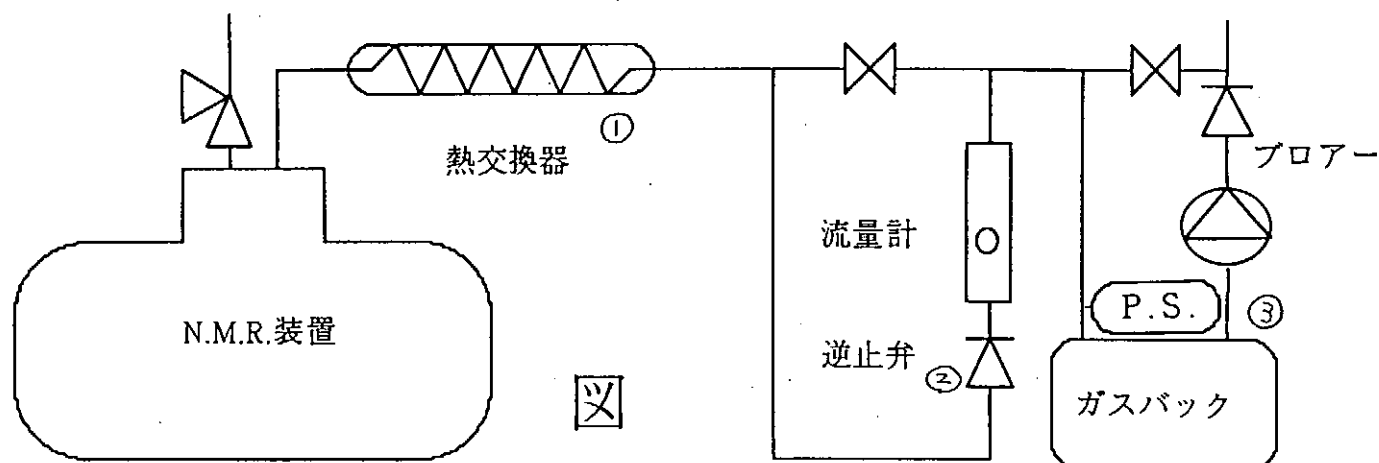
現在N. M. R. 装置は多くの大学、研究所に設置されています。今年度東京大学教養学部にも新たにN. M. R. 装置が設置されました。

従来教養学部ではこの装置のヘリウムガス回収系は業者に製作依頼をしていましたが、今回はこの技術研究会で学んだことを生かして自分達の手で製作することを試みました。

このヘリウムガス回収系の大きな特徴は3つあります。

- 1、N. M. R. 装置出口に熱交換器を取り付け配管の結露をなくしたこと。
- 2、N. M. R. 装置内を常に正圧に保つための逆止弁と他の研究室からヘリウムガス逆流を防ぐための逆止弁はこの研究会で京都大学化学研究所楠田氏が発表された逆止弁を使用したこと。
- 3、ガスバックに回収されたヘリウムガスは、タイマを使って簡単に自動回収できるようにしたこと。

今回製作したヘリウムガス回収系のフロー図です。



1、装置の回収口に熱交換器を取り付けて、回収配管が結露しないようにしました。熱交換器は銅のパイプに銅の板を6枚ハンダ付けした簡単なものです。

2、装置内に空気等を混入させないように逆止弁を取り付け、装置内が常に0.1～0.2 kg/cm²の圧力維持できるようにしました。また、この逆止弁はブロアーの出口側に取り付け他の研究室からのガスの逆流を避けるようにしました。

*この逆止弁は1990年3月分子科学研究所技術研究会報告・13で京都大学化学研究所の楠田氏発表の「シリコンゴムを使用した低圧逆止弁の製作」を参考に製作し取り付けました。

3、装置からの蒸発量を測定し蒸発量に合わせてガスバックを特別注文し部屋に設置しました。ガスバック内のガス回収は、タイマーでブロアーを起動させ、圧力スイッチで停止させるという簡単な自動回収装置を製作しました。

各使用機器の説明

1、熱交換器は平面壁内の熱伝導式 $q = k A (T_1 - T_2) / L$ (J/s) を参考にして製作しました。

熱交換器の形状

銅パイプ 28.5φ、肉厚 1mm、

フィン、銅幅 50mm、長さ 900mm、厚さ1mm、フィン6枚

2、逆止弁

京都大学化学研究所楠田氏考案の逆止弁（ヘリウム逆流防止弁）使用

参考資料 1990年度技術研究会報告 136～138ページを参考にして製作しました。

3、流量計

オメガ社製 0～500 ml/min

4、プレッシャセンサ

オムロン社製、形式 E8CC

5、デジタルタイマ

オムロン社製、形式 H5CR

6、ガスバック

容積 1.5 ml

7、プロアー

吐出圧 0.4 Kg/cm²、流量 55 l/min

以上が使用した機器です。

製作上の注意などは特になく逆止弁に付いても参考資料を利用すれば誰でも装置のニーズにあったものを製作できると思います。

これからもこの技術研究会で学んだことを職場に役立てていきたいと思っています。

小規模実験の液体ヘリウムの汲み出しから回収まで

熊本大学理学部物理学科 河野 賢悟 松山 勇二

1.はじめに

熊本大学極低温装置室では、液体ヘリウム利用の85%が6リットル以下の小型実験装置である。これら小規模実験に適した液体ヘリウムの汲み出しから回収までを紹介する。

2.液体ヘリウムの利用の現状

液体ヘリウムを利用した実験をする場合、実験者は実験用クライオスタットを低温室まで運び、液体ヘリウムをトランスファー後、ガスバックをつないで持ち帰ることになる。実験用クライオスタットの中には、試料やセンサー、それらの接続ケーブル等がある。また光学実験などではクライオスタットが光軸にセットされている。実験のたび毎に、これらを取り外して低温室まで運ぶということは非能率的でトラブルも起きやすい。実験室が2階や3階にあるグループは手軽に実験できる環境ではない。

実験開始から終了までのフロー

実験用クライオスタットの予冷 → シグナルケーブルの取り外し → ガス配管の取り外し
→ 実験システムとの分離 → 実験用クライオスタット運搬 (2,3階→低温室 まで~200m)
→ トランスファー

この後、実験用クライオスタットにガスバックをつけて逆をたどることになる。

また、ヘリウムガスが無くなるまでガスバックを持って低温室を往復しなければならない。

3.液体窒素容器に液体ヘリウムを入れる

液体ヘリウムを実験室まで運ぶとなると、液体ヘリウム容器画筆用である。低温室では30~50リットルの容器しか保有しておらず、これらの重量は~50kgもあり、5~6リットルの実験には不向きである。

そこで、10リットル程度の容量を持ち、重量10kg前後の容器として液体窒素容器を利用することにした。筑波大学低温センター 池田氏らのデータ¹⁾を元にMVE製 LAB 10 を採用した。容器の仕様は表-1の通りである。

トランスファーチューブが差し込めるようにフランジを取付けた。容器を液体窒素で予冷した後、

(液体窒素の追い出しは容器をひっくり返せばよい)

液体ヘリウム汲み始めから約4分、0.43リットルの蒸発で溜り始め、10分、1.8リットルの蒸発で8リットルの液体ヘリウムが溜まった。

容器重量が9kgと非常に軽く液体窒素の感覚で液体ヘリウムを運ぶことができた。

実験装置へのトランスファーはフランジをゴムチューブで止めているので容器の内圧をあまり上げることができず、1時間程で6リットルの液体ヘリウムを溜めることができた。

液体窒素容器のネック部は強化プラスチックでできているので真空断熱層保護のため、液体ヘリウムが無くなった段階で液体窒素容器として使用する。

MVE LAB 10	
容量	10ℓ
蒸発量	0.18ℓ/日
口内径	54mm
高さ	546mm
外径	260mm
空重量	9kg
材質	アルミ
内外径材質	強化プラスチック

表-1 液体窒素容器 仕様

4.ヘリウムガスの回収

液体ヘリウム5~6リットル程度の実験に必要な 5m^3 ガスバックを用意し、これに車輪を取付けて学内を移動できるようにした。これを実験室の窓際まで移動し、2~3階から下にホースを降ろして庭で回収する。実験室や低温室での回収は、ガスを移送すればよいので一般に市販されている日立のボルテックスプロアを利用した。仕様は表-2のとおりである。

このプロアをレジャークーラーに格納し、吸入側を回収と直結した。吐出側からのガスはクーラー内に放出、これをクーラー送出口より回収することになる。これは、クーラー内圧が高いので、吸入側に漏れがなければ他は少々漏れていても空気の混入は無いと思われる。また、密閉されたプロアは、ヘリウムガスが移送されるかぎり、そのガスで、冷却される。

この回収プロアはオイル上がりがなく、 5m^3 のガスバックを30分程度で回収することができる。

VB-70WS-G 吸い込み特性	
風量	0.25 m^3 /分
静圧	280 mmAq
出力	60 w
重量	6 kg

表-2 日立プロア 仕様

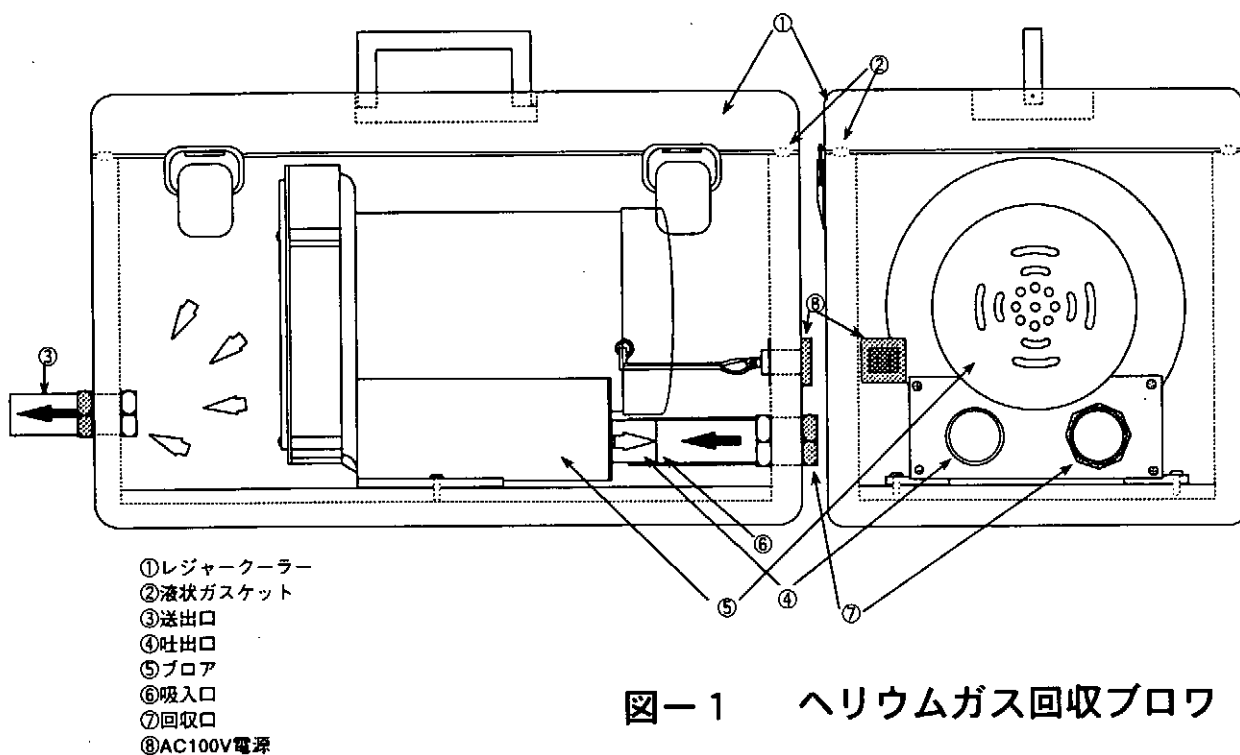


図-1 ヘリウムガス回収プロア

5.まとめ

小規模実験において、液体窒素容器やプロアを利用すれば機動性、取り扱い、価格の面で非常に優れていることがわかった。

今後は、液体窒素容器のフランジ面の強化と、ガラスデュワーによる実験を液体窒素容器で検討していく。また、ヘリウムガス回収においては、合成ゴムのガスバックは重く、ガスの純度低下は無視できない。これをクラレ製のエパールフィルム使用のガスバックに置き換えることを検討していく。

参考文献

- 1)固体物理 Vol.20 No.2 1985 筑波大学 池田 博 吉崎 亮造
- 2)MVEカタログ 3)日立ボルテックスプロアカタログ 4)クラレドライコレクター技術資料

オイルセパレータ吸着剤の精製

日本原子力研究所 那珂研究所

○樫村 隆則 秋野 昇 大賀 徳道 菊池 勝美
 國枝 俊介 栗山 正明 朴木 敏郎 清水 和彦

TEL : 0292-70-7452 FAX : 0292-70-7459

1. 装置の概要

(1) JT-60用NBⅠ冷媒循環系

JT-60用NBⅠ冷媒循環系は、ヘリウム圧縮機、ヘリウム冷凍機、液体ヘリウムデューワー、液体ヘリウムを輸送する長尺のトランスファーライン及び負荷である14基のクライオポンプから構成されている。

(2) ヘリウム圧縮機

ヘリウム圧縮機は、ヘリウムガスを圧縮する減圧ポンプ及び主圧縮機、ガスと油を分離するオイルセパレータ、圧縮機から吐出された高温ガスを冷却するアフタークーラと高温の油を冷却するオイルクーラ、圧縮機潤滑用のオイルポンプから構成される。冷媒循環系で使用しているヘリウム圧縮機は、回転式容積型（スクリュウ圧縮機）の圧縮機である。

スクリュウ圧縮機は、雄ロータと雌ロータとの噛み合いにより連続的にガスを圧縮するもので、両ロータの歯と歯の間、及び刃先のケーシング間の機械的接触はなく、その間に油を噴射することによって、ガスの密封が行われ、また、それと同時に潤滑冷却が行われるようになっている。即ち、スクリュウ圧縮機内では、オイルミストとヘリウムガスの混合気体となり、したがって、圧縮機吐出側では、清浄なヘリウムガスを得るために油とガスとの完全分離が必要となる。油とガスとの分離は、オイルセパレータ及びアフタークーラなどにて行われる。

ヘリウム圧縮機内のガスと油の流れを図1に示す。減圧ポンプ用吸入サクシヨンストレナーから吸入され減圧ポンプで圧縮されたガスは、減圧ポンプ用アフタークーラを通り主圧縮機内に送り込まれる。また、主圧縮機用サクシヨンストレナーから吸入され主圧縮機で圧縮された

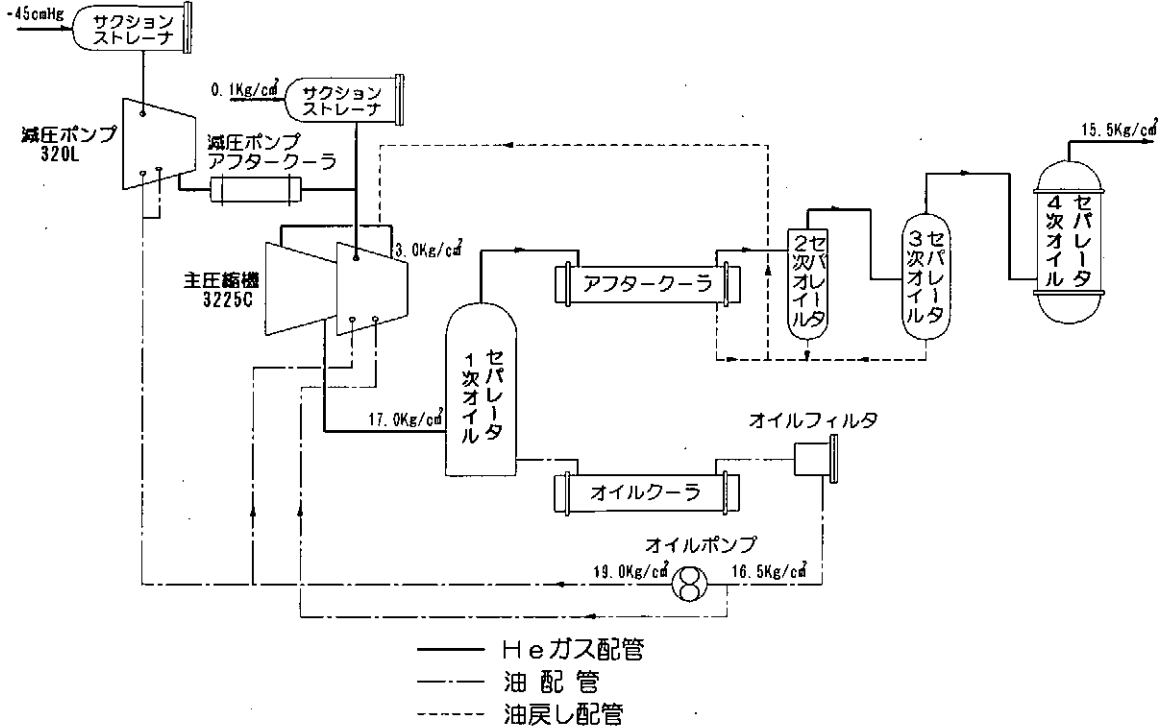


図1 ヘリウム圧縮機内のガスと油の流れ

ガスは、1次から3次オイルセパレータでガスと油に分離され、4次オイルセパレータでさらに分離されて、清浄なガスとなってヘリウム冷凍機へ供給される。また、1次オイルセパレータで分離された油は、オイルクーラ、オイルフィルターを通りオイルポンプで加圧され、圧縮機へ潤滑油として送り込まれる。アフタークーラ、2・3次オイルセパレータで分離された油も、連続的に圧縮機のサクシオンに戻される。

(3) オイルセパレータ

本装置では、1次から4次までのオイルセパレータが設けてある。1次から3次オイルセパレータは機械的分離方式を採用しているため、圧縮機運転中に連続的に主圧縮機へ戻ることができる。4次オイルセパレータは、吸着分離方式を採用しているため、分離した油の系外へ除去は吸着剤の交換以外に方法がない。新しい、吸着剤と交換した後は、新吸着剤水分除去を目的とした精製運転を必要とする。4次オイルセパレータ内には、吸着剤として図2に示すように活性炭とモレキュラシーブスが充填されている。

2. 吸着剤（活性炭）の交換基準

① 運転時間が8000時間を越えた場合（メーカーの推奨基準）

② 運転中常時4次オイルセパレータ出口の油汚染量が1.0ppm(vol)を越えた場合

③ 2次・3次オイルセパレータ油戻し故障して大量の油が活性炭に混入した場合

④ 吐出配管中に油の痕跡が認められた時

⑤ 3次オイルセパレータ出口弁から4次オイルセパレータまでの配管に油が存在する場合

今回の活性炭交換基準としては、①に該当する運転時間が8000時間を越えたということで行った。

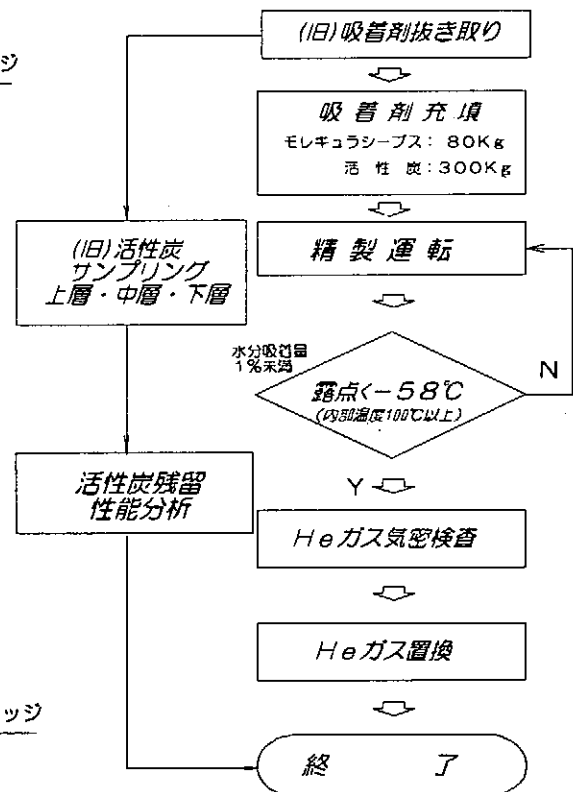
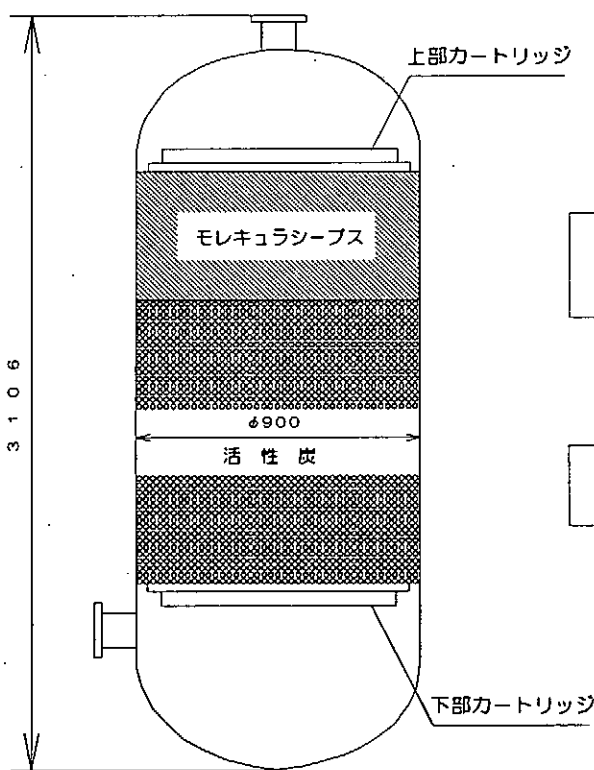


図2 4次オイルセパレータ内部構造図 図3 4次オイルセパレータ精製運転手順

3. 精製運転

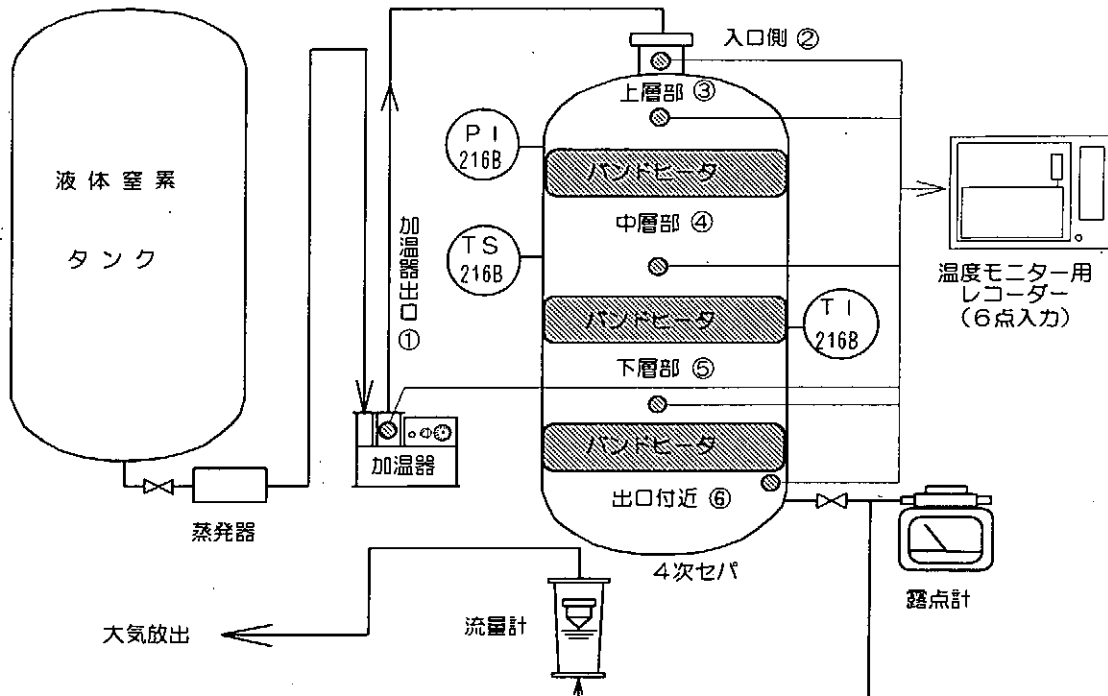


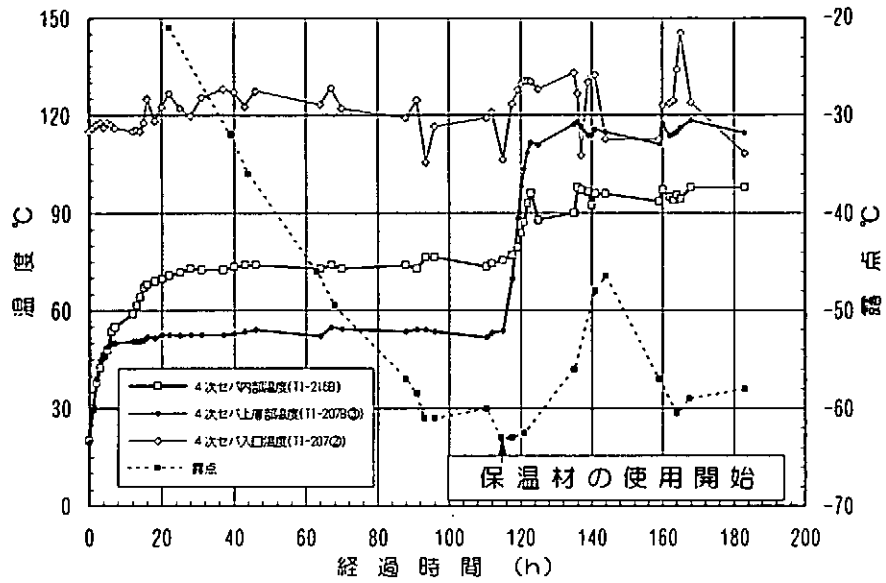
図4 4次オイルセパレータ精製運転系統図

4次オイルセパレータの精製運転手順を図3に示す。(18) 吸着剤の抜き取りと同時に活性炭の残留性能分析を行うため、セパレータ上層部・中層部・下層部のサンプリングを行った。

新吸着剤の充填は、オイルセパレータ容器内を洗浄した後に行い、新品の活性炭300kgとモレキュラシープス80kgを充填した。

精製運転は、新品モレキュラシープスの水分除去を主な目的としていることから、オイルセパレータ内温度を100℃以上130℃以下になるように調節し、露点を確認しながら実施した。露点は-58℃以下を目標とした。セパレータの温度設定上限値130℃は、上部フランジにバイトンOリングを使用しているためにその許容ベーキング値から決めた。精製運転系統を図4に示す。窒素ガスは、液体窒素タンクから蒸発器を通り、加熱器で昇温してオイルセパレータに入り、流量計を通過して、大気放出される。露点はオイルセパレータ出口にてモニターした。温度制御は、加熱器とオイルセパレータ胴体の温度スイッチとオイルセパレータ胴体部上中下3箇所に設置してあるバンドヒータで温度調整を行った。温度モニターは、加熱器出口、オイルセパレータ入口・上層部・中層部・下層部・出口の計6箇所に取り付けた熱電対と、既設温度計の合計7箇所で行った。ガス流量は、出口流量計で30~40m³/Hになるように調節した。図5に精製運転データを示す。代表的なところとして、4次オイルセパレータ内部温度(TI-216B)、上層部温度③、入口温度②をプロットした。精製運転開始から約110時間は初期的な水分の追い出しということで、露点を確認しながら進めた。その後、露点がほぼ一定になったところで、さらに枯らす意味でモレキュラシープスが詰まっているオイルセパレータ上層部を保温し、ベーキング効果をあげることにした。その結果、上層部温度は120℃近くまで上昇し、内部温度も100℃近くになった。露点もその効果が顕著に表れて一時的に残っていた水分が追い出せたことが判る。その後、ほぼ一定に保ちつつ約40時間精製運転を進め露点も下がり、目標値であるモレキュラシープスの温度100℃以上、露点-58℃を維持できるようになったので、合計約180時間、約9日間の精製を終了した。

図5 4次オイルセパレータ精製運転データ



4. 活性炭残留性能分析結果

活性炭残留分析結果を表1に示す。表から、上層部・中層部では、劣化が小さいが、下層部では劣化が進んでいることが分かる。このまま活性炭を使用していくと活性炭の油分吸着能力が低下、破過に至る課程が加速度的に進むと言われていることを考えると、今回の活性炭交換は、適切な時期にできたと思われる。

サンプル	充填密度 (%)	水分 (%)	ベンゼン吸着力 (%)	揮発分 (%)
上層部	0.466	1.1	37.6	3.7
中層部	0.466	1.1	38.7	3.0
下層部	0.604	1.0	10.7	24.0
新品	0.412		50.0	10.0

表1 活性炭残留性能分析結果

5. まとめ

- ① 活性炭の残留分析結果からも適切な時期に交換することができた。
- ② 連続精製運転にて4次オイルセパレータ出口の露点-58℃を得ることができた。

低温吸着による希ガスの分離

東大理・地球惑星物理学 座主 繁男・比屋根 肇

1. はじめに

地球内外物質中の希ガス(He,Ne,Ar,Kr,Xe)存在量及び同位体組成—特に太陽系初期の組成を表わすと考えられる始源成分—は、惑星大気の起源・進化を解明する上で重要な情報を与える。固体試料中の希ガスを質量分析するには、研究目的により電気炉やレーザー装置で加熱融解したり化学薬品で溶解して、ガスを抽出、その抽出ガスに含まれる水素、水、窒素、二酸化炭素あるいは炭化水素などの希ガス分析を妨害する不純ガスを除去する。精製された希ガスは、各元素に分離し、逐次気体用質量分析計VG5400に導入して測定を行い、解析する。この過程中、分離操作を行なうおもな理由は、同時にガスを分析計に入れると、あとで分析される元素ほど、イオン源の排気作用の影響を受け、失われたり同位体組成の変化を生ずるし、特にネオンの分析では、 ^{40}Ar は $^{40}\text{Ar}^{2+}$ として ^{20}Ne 測定を妨害する。又、真空度低下によって強いイオンビームが以前に行った分析の際にイオン源電極や分析計内壁表面にたたき込まれた希ガスを再びたたき出すメモリー効果を引き起こすからである。したがって、精密かつ正確に質量分析するためには、超高真空技術とともに、各希ガス元素を個々に分離する技術が必要である。希ガスは、その性質上化学的に不活性なので物理的に分離、すなわち吸着剤を温度変化させ低温にするほど、より軽い元素が吸着する性質を利用する。この報告書では、惑星実験研究室で開発使用している冷却システムを紹介する。

2. 希ガス分離

2-1 ヘリウムとネオン

これらの希ガス元素を分離するには、極低温が必要なので、以前は同時に測定していたし、質量分析上それほど問題はなかったが、マントル物質である海嶺玄武岩のようにヘリウム存在量がネオンの量の数桁多い ($^4\text{He}/^{20}\text{Ne} > 400$) と分析計のイオンソース部で同位体分別を起こし、ネオン同位体比が変化するので、今ではどこの研究室でもクライオジェニック・クーラーを使って分離している。東大理学部希ガス分離装置は、住友重機械工業のSRD204冷凍機と希ガス容器の側面に取り巻いたヒースヒーター30オーム(25℃)により構成されている(図1)。

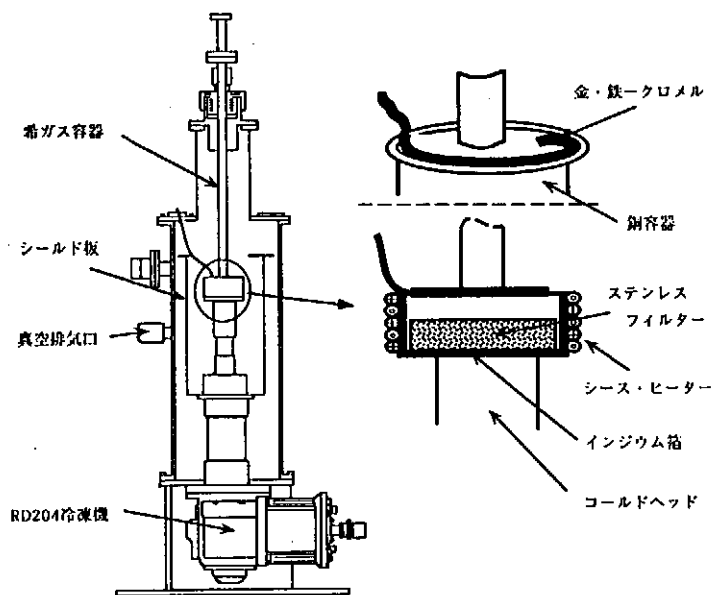


図1 希ガス分離装置

このSRD冷凍装置は、ヘリウムガスを冷媒にして密閉型G-Mサイクルにより作動する長寿命、低騒音の小型極低温冷凍機で、到達温度20 Kにクールダウンするのに、約75分かかる。本来コールドヘッドに密着してヒーターを希ガス容器の底に埋め込み、接触面を研磨するのがベストではあるが、このシステムでは、容器内に若干の温度勾配を生じるのを、銅容器にして熱伝導を良くして補っている。また温度センサーとして、金・鉄-クロメル熱電対を使っているが、それが容器の上部に口付けしてあるのは、熱伝導で電対から逃げるのを少なくして温度測定を行うためである。容器内につめてある吸着材料として0.5 μmのステンレス・ミクロンフィルターエレメントを使い、その温度をそれぞれ平衡にして、一定量のヘリウムとネオンとの混合ガス10⁻⁶ccを吸着させて、残留ガス分析する。

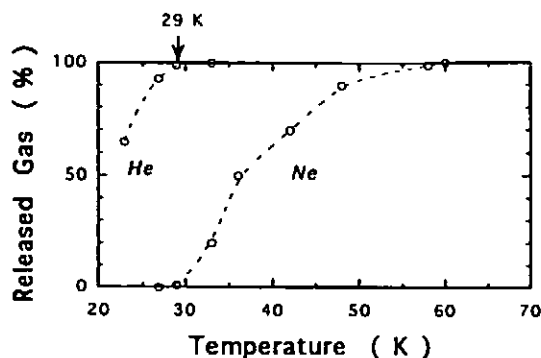


図2 A He と Ne の温度変化による吸着脱着曲線

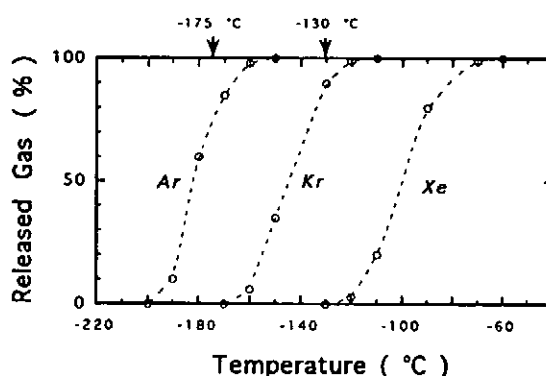


図2 B Ar, Kr, Xe の温度変化による吸着脱着曲線

図2 Aは、このような実験で得られたヘリウムとネオンの温度変化による吸着脱着曲線である。この図より29 K以下（ヒーターに0.4 A）では、ネオンが吸着剤表面にトラップされるので、平衡状態で1分間分析計にヘリウムを導入し、測定排気後、約70 Kにあげてネオンを脱着して分析する。ネオン測定の際は、どうしてもアルゴンは完全に分離できないので、液体窒素で分析計内にアルゴンをトラップする必要がある。また、ネオン吸着剤としてステンレスフィルターを使用しているのは、活性炭ほど汚れていなく、簡単に不純ガスを脱ガスできて、非常にクリーンである。希ガス実験室によっては、この温度制御システムひとつで重い希ガス元素も吸着分離しているところもあるが、われわれの装置では少し複雑で時間のかかることをしており、次に述べる様に重い希ガスは先に活性炭にトラップする。

2-2 アルゴン、クリプトン、ゼノン

図2 Bは、吸着剤として活性炭をつかい、Ar, Kr, Xeの温度変化による吸着脱着曲線である。固体惑星物質中の相対的希ガス存在量は、アルゴンが最大で、クリプトンはその20分の1、ゼノンでは4桁ほど少ない。したがって、分離濃縮することが必須であり、そのために希ガストラップラインのデッドボリュームをすくなくする上で、活性炭の温度を液体窒素温度から100°Cまで、広い範囲でコントロールするシステムが必要である。

図3は、自作の温度制御システムで希ガス容器（12直径×100高さ）にかぶせてつるし、液体窒素とニッケル線ヒーターとで、-175、-130、100℃にそれぞれ平衡にして、個々に元素分離している。このイラストでは、当初テフロンをカバーするアルミナカプセルがなかったため、テフロン容器が衝撃に弱くよく底面がわれてこまっていたが、改良後は、そのようなことはなく丈夫である。精製した希ガスは、図2Bに示すように、まず-175℃にコントロールされた活性炭にKr、XeとArの一部をトラップ後、もう一つの活性炭は液体窒素温度にしてArをトラップする。各活性炭容器には、ミニバルブが付けてあり、このバルブの開閉を巧みに行き、アルゴンの一部をもう一方に移す操作を行なうことにより、ArとKr、Xeの分離を行っている。Xeの脱離には、液体窒素のジュワーをはずしてヒーターだけで100℃に活性炭をあげて行う。

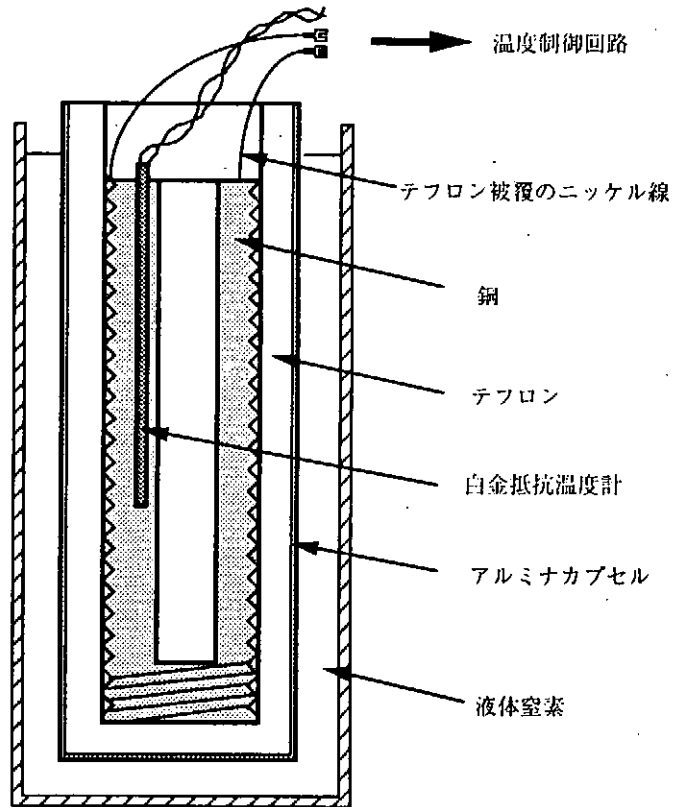


図3 温度制御システム

3. 応用

低温吸着による希ガスの分離技術をつかい質量分析した最近の例²⁾として、キンバーライト中では発見されていない多結晶質の特殊なダイヤモンドであるカルボナードの起源について、希ガスの元素組成・同位体組成から手がかりを探ると、²³⁸Uの壊変・自発核分裂に起因する多量の核反応生成物を発見した。さらにカルボナードの生成には、数百ppm以上の高濃度のウランを持つ環境が関与していることがわかった。

参考文献

- 1) Hiyagon H. 1989, *Mass Spectroscopy*, 37, 325 - 330.
- 2) Ozima M., Zashu S., Tomura K. & Matsuhisa Y. 1991, *Nature*, 351, 472 - 474.

WASA超伝導電磁石の開発

KEK ○山岡 広、山本 明、楨田康博、田中賢一、木村誠宏、平林洋美
日本鋼管(株) 高須展夫、阿部 盛一
Uppsala大学 Roger Ruber

1. はじめに

現在、高エネルギー物理学研究所ではスウェーデンにあるUppsala大学と共同で超伝導電磁石の開発をおこなっている。この電磁石は、Uppsala大学に設置される検出器の一部として組み込まれる予定である。測定器の全体図を図1に示す。この測定器の特徴として、水素の滴を測定器中心部からたらし、そこにビームを衝突させて実験をおこなう測定器である。

一般にこのような粒子検出器のための各測定器等は、衝突によって飛び散った粒子が壁を通過し易いように、構造は可能な限り薄くつくる事が重要である。このため、この超伝導電磁石では、軽くて剛性のあるコルゲート板を真空容器外筒に用いることにした。更に、熱伝導冷却、Al安定化線及びAl-stripを採用することにより軽量化が達成され、粒子の通り易さをしめす輻射長は $1.2X_0$ 以下となった。

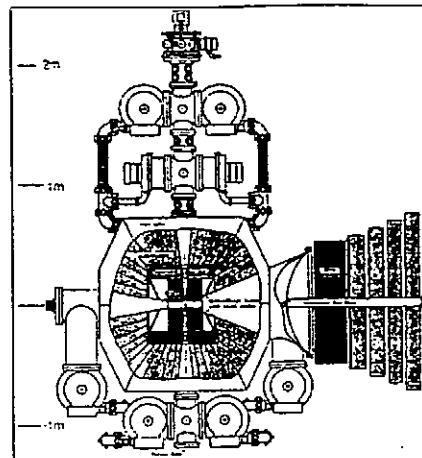


図1 WASA4π検出器

2. 電磁石の設計

2.1 基本設計

要求される磁場は中心磁場1.3T、大きさは、長さ550mm、外径φ650mm、内径φ490mmである。更に、このマグネットには水素の滴を通すため孔を中心に設けなければならない。

基本的な計算結果を表1に示す。ここで用いられた超伝導線材はNbTi/CuのAl安定化線で運転電流は臨界電流値の68%とした。このときの臨界温度は5.7Kで、運転温度は4.5Kであるため1.2Kの温度マージンがあることになる。この値はこの電磁石の安全率のようなものである。

表1 基本パラメーター

Electrical parameters;	
Central field	1.3T(1.5T)
Nominal current	890A(1030A)
Inductance	0.3H
Stored energy	120kJ(160kJ)
E/M	7.1kJ/kg(9.5kJ/kg)
Mechanical parameters;	
Cold mass	17kg
Total weight	20kg
Radial Mag. pressure (@Z=0)	1.12MN/m ²
Axial Compressive force	0.16MN

表2 超伝導線材基本パラメーター

Superconductor	NbTi/Cu
Stabilizer	Pure Al
RRR in pure Al	> 1500
NbTi:Cu:Al	1 : 0.89 : 6.4
Outer dimension	1.2 × 1.8m ²
Superconductor diameter	0.767mm
Insulation thickness	0.04mm
Insulation material	Formvar
I _{critical} @2T,4.2K	1415A
J _{critical} @2T,4.2K	5740A/mm ²
Yield strength @77K	107MPa

2.2 シュミレーション

電磁石の超伝導状態がやぶれてクウェンチを起こしたときの電磁石内部の温度上昇や電圧上昇を予測するためにクウェンチ解析を実施した。解析に必要なデータは各構成材の熱伝導率と構成比である。結果は最大到達温度は約100K、電圧上昇は約450Vと予想され、絶縁材が溶ける温度:約450K及び絶縁が破れる電圧:1kVから比べると十分に低い値と考えられる。

磁場解析では、中心磁場を1.3Tと定義したときの解析^[1]をおこなった結果、最大磁場は約1.6Tとなり、このときにコイルは約0.2mm膨らむと予想される。

電磁石励磁中にコイルには電磁力がかかるが、この値を解析してみると、コイルにかかる応力は、複合応力で約45MPaと予想される。この値はコイルの耐力である107MPaと比べると十分に低い値である。

コイルが軸方向にずれたとき、どのくらい力がかかるか解析^[2]した。この計算はUppsala大学のRoger Ruber氏によっておこなわれた。結果は、軸方向に10mmずれたときには約1.6kN力がかかると計算された。

3. 構造

3.1 全体構造

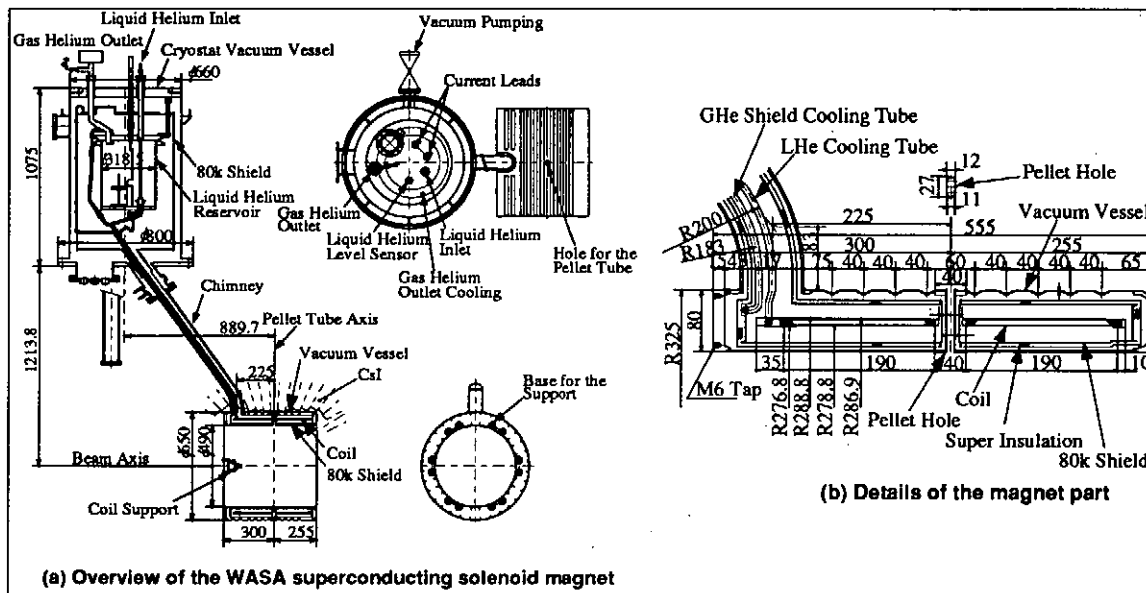


図2 WASA超伝導電磁石全体図

WASA超伝導電磁石の全体図を図2に示す。液体ヘリウムをためるためのデュワーは地上から約3mのところにある。電磁石と隣り合った測定器であるCsIは電磁石との隙間が数mmしかない。コイルは80Kシールドで囲まれており、コイル自身は4層構造になっている。

クライオスタットをコルゲート構造に変えた事による重量比は、Al板を用いたときの重量を1とすると約0.37となる。また、このときの輻射長は $0.118X_0$ となった。

クライオスタットの構造材として、当初、ハニカム板を採用することが検討されたが重量比があまり得しないことと、コストの関係からコルゲート板の採用となった。材料はA5083-Oで容応力は74MPaである。座屈に対する基準は2atm以上とした。座屈圧を手計算で求めることは困難であるため、有限要素法を用いた。この結果、図2に示す構造では座屈圧は0.28MPaという結果になった。この構造を元に構造解析をおこなった結果、1atmの荷重をかけたときの変形は外筒で約0.15mm、内筒で約0.1mmで、最大応力は約63MPaと計算され許容応力以下となった。

コイル部と80Kシールドへの熱侵入^[3]はそれぞれ、1W及び15Wと計算された。液体ヘリウムの循環方式はサーモサイホンで冷却方式は構造を薄くすることができる伝導冷却とした。

4. 各種R&D

4.1 サポート強度試験

コイル及び80Kシールドは図3に示すサポートで支持される。強度試験はこの2種類のサポートについておこなった、試験項目は単体での引張り試験と実際の構造を模擬した複合試験があり、この複合試験では引張り試験と曲げ試験の2種類をおこなった。サポートが耐えなけ

ればならない荷重としては、コイルが10mm軸方向に動いたときのDecentering forceである1.6kN以上である。もし、この荷重以下で壊れた場合にはサポートがこの力を支えきれずにコイルが自由に動いてしまうことになる。

単体での引張り試験結果は、コイルサポートが363kg、シールドサポートが449kgであった、破断場所はキリ孔の所であった。しかし、これらの値は設計値と比べると約2倍低い値になっている。この原因について考えてみたところ孔の周囲に応力集中が起きていると考えられた。その値を計算してみると2.2という値になった。複合試験の引張り試験結果は930kgとなり、この値はサポートに均等に荷重がかかっていなかったためと考えられる。曲げ試験の結果は、ひずみ等は測定していなかったもの特に異常は認められなかった。

以上の結果から、固定孔周辺での応力集中をさけるため、サポートを太くすることにした。

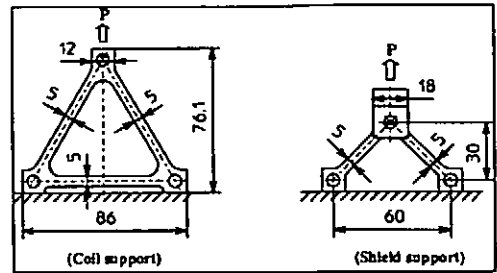


図3 各サポート形状

4.2 クライオスタット真空試験

クライオスタットの製作途中でいくつかの試験をおこなった。試験内容は、(a)真空時のクライオスタットの変形、(b)リークテスト、(c)寸法測定である。

真空時のクライオスタット変形の測定結果を図4に示す。測定値は有限要素による解析値と若干ずれているが、ほぼ同じオーダーである。リーク試験の結果は、リーク量が $\Delta Q = 1.31 \times 10^{-12}$ Pam/sec以下となり特に大きなリークはなかった。重要部の寸法測定も全て許容範囲内であった。

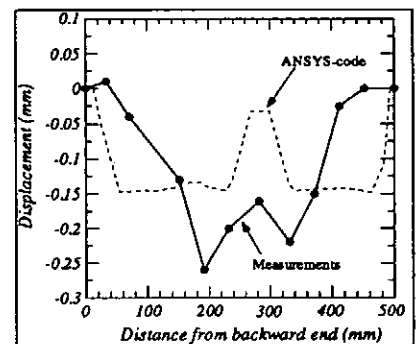


図4 真空時の容器の変形

5. コイル励磁試験

5.1 テストコイル

コイル巻線の練習のために巻いたコイルを用いて、励磁試験をおこなった。試験方法はコイルをクライオスタットの中に吊るし、そこに直接液体ヘリウムを入れ冷却した。試験では電流を2.5A/secであげていき、100A毎に電流を止め状況を観察した。

試験結果であるが、図5に示す通り、目標値890Aに対して520Aでクウェンチを起こしてしまった。その後、数回励磁してみたがほぼ同じ電流値でクウェンチした。これは臨界電流値の43%である。

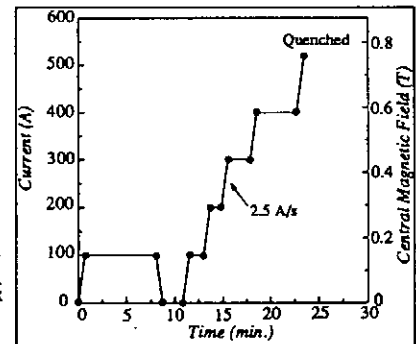


図5 テストコイルの励磁状況

5.2 メインコイル

試験のためのセットアップはテストコイル励磁試験と同じである。励磁試験方法も電流を2.5A/secであげ、100A毎に電流を止め状況を観察した。

試験結果は図5に示す通り、320Aでクウェンチした。1回目のクウェンチ後再度励磁を試みたが励磁できなかった。この値は臨界電流値の23%である。

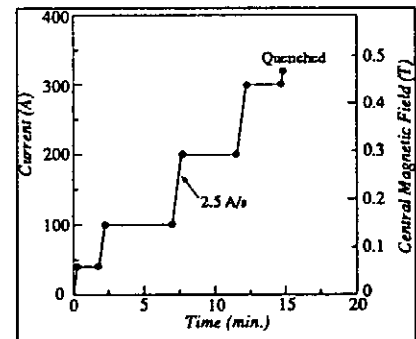


図6 メインコイルの励磁状況

6. 考察

6.1 テストコイル

原因について考察してみると、余ったリード線の固定方法が甘かったためと考えられる。

このため励磁中にリード線が動いて渦電流が発生し、クウェンチを引き起こしたのではないかと考えられる。更にもう一つ考えられることは、巻線練習用の線材を使っているために、臨界電流が実際には低いところにあったのではないかと考えられるが、このことについては調査中である。試験後、コイルをクライオスタットから取り出し詳細に観察してみたが特に異常は見られなかった。

6.2 メインコイル

試験後、コイルを取り出したところコイルがサポートリングからはずれてクライオスタットに置き去りになっていた。コイルを観察してみると、リード線が焼き切れていた。この原因はサポートリングとコイルとの接着が不完全であったと考えられ、更に本来ならボルトによっても固定されるはずであったが、このときはやっていた。このために床に埋まっている鉄筋とコイルが引き合ってしまう外れたのではないかと考えられる。その後、コイルを切断して断面を観察してみたが特に異常は認められなかった。このときに引き合っていた電磁力は800Nと計算された。

7. 設計変更

7.1 せん断応力試験

コイルとサポートリングとの接着強度を高めるため、いくつかの条件を変えてこの2面間でのせん断試験をおこなった。試験した条件は(a)表面粗さの違い、(b)表面の洗浄方法による違い(c)絶縁材料による違い、(d)熱サイクルによる違い、(e)試験片形状による違いである。

この中で試験結果に違いがでたのは(a)表面粗さの違いと(c)絶縁材料による違いである。表面粗さの違いでは#60のヤスリで仕上げた面と機械加工してなめらかにした面との違いを測定したが、結果は機械仕上げでは約3MPaであった強度が、5MPaまで向上した。絶縁材料による違いではKG(カプトン・ガラス)とGKG(ガラス・カプトン・ガラス)とを比較したが、ここでも約3MPaであった強度が、5MPaまで向上した。

7.2 改良点

以上の結果から、図7に示すような改良をおこなった。

以上の変更により、コイル全長が190mmから188mmになり、このためコイルターン数が1ターン減るがほとんど影響はないと考えられる。また、Al-stripが3層から2層になったが、このことによるクウェンチ時の温度上昇はAl-stripが3層のときと比べて、ほとんど変わらないと予想される。

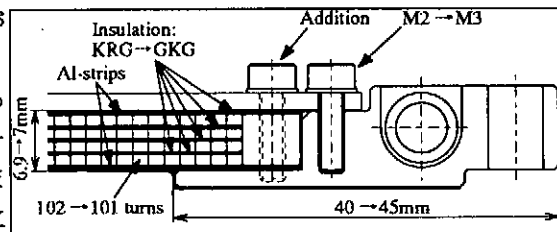


図7 電磁石の改良点

8. まとめ

WASA超伝導電磁石の設計はほとんど終了した。電磁石R&Dは更にいくつかあるものの、コイルは現在製作中である。

以上のことから、電磁石の問題点はすでに解決し、現在順調に進行中であると考えられる。

参照

- [1] ANSYS Revision 4.4, Swanson Analysis System, Inc. 1989 U.S.A.
- [2] Roger Ruber, "Calculations on the New Yoke Design", WASA memo. March, 1992.
- [3] Roger Ruber et al., "The Design of a Superconducting Solenoid for WASA", WASA report. October, 1993.

Heガス排気時のクライオポンプ再生

原研 那珂研究所 ○秋野 昇 朴木敏郎 櫻村隆則 菊地勝美
 國枝俊介 栗山正明 大賀徳道 清水和彦
 TEL 0292-70-7452 FAX 0292-70-7459

核融合実験炉に於けるHe燃焼灰の輸送・排気の問題及び、D-³He核融合反応によるα粒子研究のため、JT-60では中性粒子入射加熱装置(NBI)14ビームラインのうち、5ビームラインを用いて、³He及び⁴Heビームの入射実験を行った。Heビーム入射の際のビームライン内Heガスの排気は、水素ガス排気用に設計された凝縮型クライオポンプのクライオパネル表面にArガスを吸着させたArトラッピング法によるクライオソープションポンプを使用した。

1. NBI装置の概要

JT-60NBI装置は、準垂直方向のビームラインが10基、接線方向のビームラインが4基の合計14基のビームラインから構成されている。各ユニット内には水素ガスに対して140万L/sの排気速度を有するクライオポンプが設置されている。クライオパネルは、1ビームラインに6枚設置され、さらに仕切板にて3つの室(P₁、P₂、P₃)に分割することにより、中性化セルより流れ出る室温ガスを効率よく排気するための作動排気方式を取っている。各クライオポンプモジュールは、図-1に示すようにステンレス綱をキルティング構造にしたクライオパネル、アルミニウムのシェvronバッフル、熱シールド板で構成されており主クライオポンプの有効排気面積はP₁、P₂室ともに約7m²、ドリフト排気部であるP₃室のクライオパネルは約1m²で、1ユニットあたりのクライオポンプ有効排気面積は約15m²である。

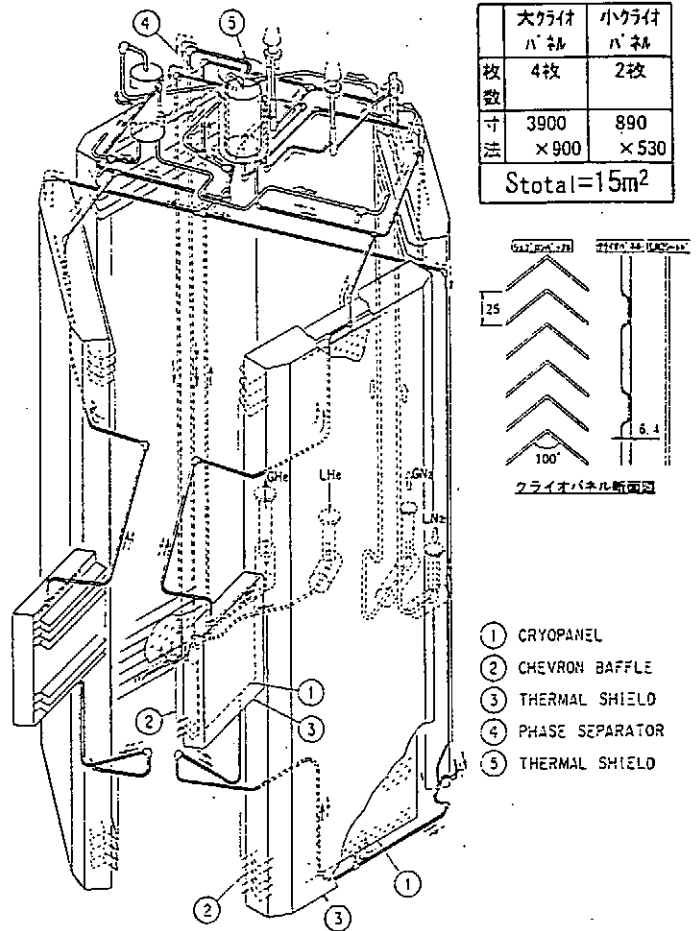


図-1 JT-60NBIクライオポンプ鳥瞰図

2. Heガス排気方法の決定

He凝縮型クライオポンプを用いてHeガスを排気しようとしたとき、低温面の凝縮作用を利用してのHe

ガス排気は、Heガスのラムダ点(2.2K)での飽和蒸気圧が37 Torrであるため、本方式では実用的に不可能である。そこで、原研では一般的にHe排気装置に使われている低温面の吸着作用を利用した方法を採用した。低温吸着作用を利用したHeガス排気は、モレキュラシーブス、不活性ガス(SF₆, Ar, N₂)等をクライオパネル面に吸着させてHeガスを排気しようとするものであるが、モレキュラシーブスを使用した場合、クライオパネルの全面にモレキュラシーブスを接着剤により固定する必要がある。そうした場合接着剤のエロージョンによる劣化、剥離等が問題となる。一方、吸着媒に不活性ガスを使用した場合にはこのような心配は全く無い。また、不活性ガスとしてSF₆を使用することは、Heガス排気的面からは排気速度、吸着性能共に非常に有効である。しかし、SF₆ガスの凝固点が常温付近であるため外部からガス導入を行った場合に、全てのガスがシェブロンバッフルに吸着されてしまう。そのため、6枚のクライオポンプモジュール全てについて、クライオパネルとシェブロンバッフルの間にSF₆ガス導入管を設置する必要がある。さらには、この導入管を常温以上にしないとSF₆ガスが導入できず、この操作が大変な労力を有する。一方、吸着媒にArガスを用いた場合はどうかというと、Arガスの凝固点は-201°Cであり、シェブロンバッフルを冷却している液体窒素温度(-196°C)より低いいため、シェブロンバッフルにArガスが吸着して、クライオパネルまでArガスが到達しないなどという事はない。

3. 吸着媒にArガスを用いたときの問題点

吸着媒にArガスを用いた場合の問題点として、Heガスの飽和吸着量がNB I Iユニットで780 Pa m³と少ないことが挙げられる。780 Pa m³の根拠は、Ar凝縮層を用いたHeガス排気予備実験に於いて取得したデータである。その試験内容は、HeガスとArガスを定められたシーケンスに従ってガス導入を繰り返し行ったときに、クライオポンプがHeガスをどこまで排気できるかを確認したものである。吸着量が780 Pa m³まで到達したときに、クライオポンプに吸着されていたHeガスが脱離し、その結果、クライオポンプが不安定となり再生に至ってしまった。また、NB Iのビーム入射実験は通常1週間連続(20~30ショット/日;1ショット)で行い、ビーム入射実験終了後にクライオポンプの再生操作を全自動に行っている。1ショットで導入されるHeガス量は約15 Pa m³であるため、上記の条件でビーム入射実験を行うと2日程度でクライオポンプの再生を行う必要がある。そのため、今回初めて重水素排気中のクライオポンプ9ユニットが定常運転状態を維持したままで、He排気中クライオポンプの再生、再立ち上げ操作を手動で行った。

4. Heガス吸着量の低減

Heガスの飽和吸着量がNB Iクライオポンプ1ユニットあたり780 Pa m³であることからArガス凝縮層を用いたクライオソープション場合、クライオパネル面に吸着されるHeガス量を最小限にすることが重要となってくる。そのため通常のビーム入射シーケンスではイオン源のフィラメント立上げ、及びエージングを12ショット行ってからJT-60プラズマへのビーム入射が標準のガス導入シーケンスとなっているが、上記の目的からHeガスを導入するのは実際にプラズマへビームを入射するときだけとし、フィラメントの立上げ、イオン源エージング時はガス導入を行わないこととした。また、Arガスの導入は初期の段階で1650 Pa m³導入し、クライオパネル表面にArガス

凝縮層を形成させる。その後30分放置（クライオポンプの安定と残留ガス分子の除去）してからHeガス導入前にさらに300 Pa m³のArガスを導入した。300 Pa m³はHeガス導入量の約20倍（予備実験にて得られた最適値）にあたるものである。Arガス凝縮層を用いたクライオソープションポンプの排気速度は³Heガスに対して550m³/s（37m³/s/m²）、⁴Heガスに対しては480m³/s（32m³/s/m²）であった。

5. クライオポンプの再生、再立ち上げ

クライオポンプの再生は、クライオポンプへの冷媒（LHe, LN₂）を停止することで自動的に再生が行われる。しかし、ガス種の違いによりその再生形態が異なる。重水素ガスを吸着しているクライオポンプの場合、LHe量の低下によりクライオパネル表面温度が上昇し、クライオパネル表面に吸着されていた重水素ガスが放出される。一旦放出されたガスはクライオパネル下部の低温面に再吸着される。このようなガス放出及び再吸着を何度か繰り返した後、クライオパネル再生が行われるため、他のユニットへ及ぼす熱負荷は極めて少ない（図-2参照）。これに対して、Heガスを吸着しているクライオポンプを再生する場合は、クライオパネル上部の温度上昇によりHeガスが放出されるが、放出されたHeガスは重水素ガス再生時のようにクライオパネルに再吸着されることはなく、短時間で再生終了となる（図-3参照）。そのため、クライオポンプ内のLHeが瞬時に蒸発し、液体ヘリウム循環系に影響を及ぼし他の定常運転中クライオポンプに悪影響を及ぼすことが懸念される。このこ

図-2 クライオポンプ再生時の主排気タンク内圧力変化 (D2)

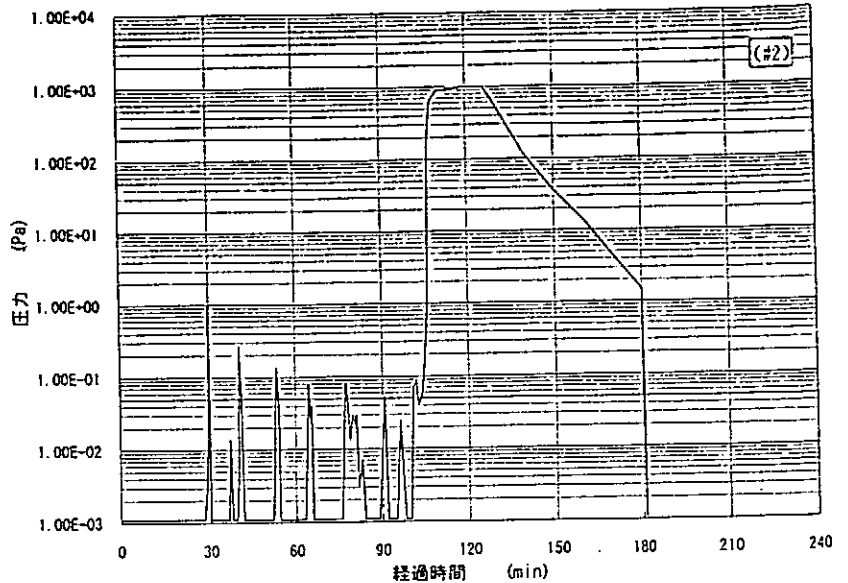
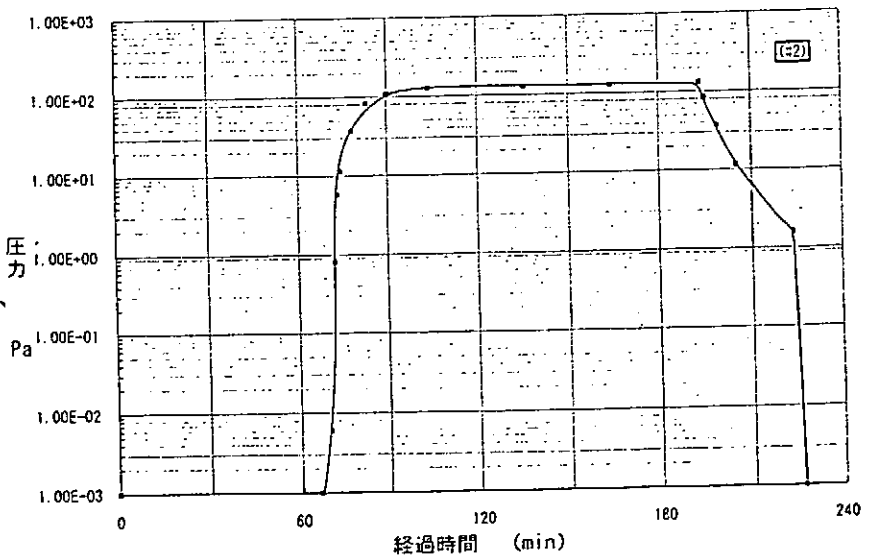
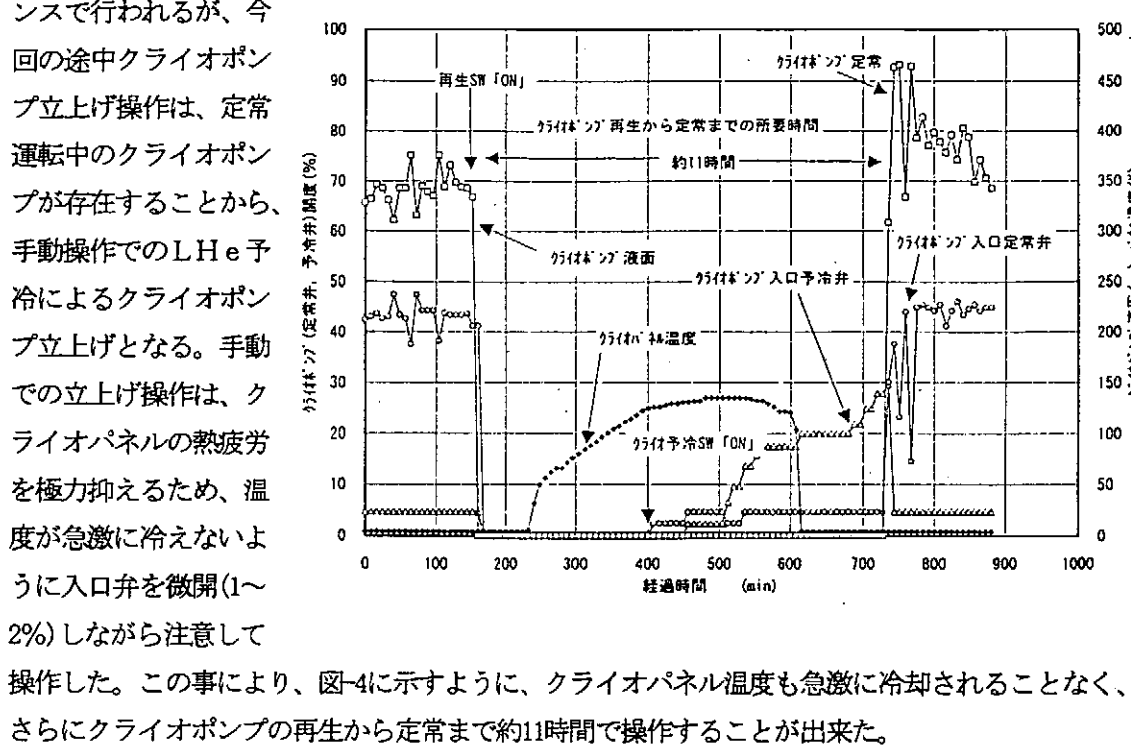


図-3 クライオポンプ再生時の主排気タンク内圧力変化 (3He)



とから、クライオポンプを同時に複数ユニット再生するような時には、再生のピークが重ならないようクライオポンプのユニット選択を行った。

次に、再生終了後のクライオポンプ再立ち上げ操作について、通常の立上げはGHe予冷～LHe予冷～クライオポンプ定常と全て自動シーケンスで行われるが、今回の途中クライオポンプ立上げ操作は、定常運転中のクライオポンプが存在することから、手動操作でのLHe予冷によるクライオポンプ立上げとなる。手動での立上げ操作は、クライオパネルの熱疲労を極力抑えるため、温度が急激に冷えないように入力弁を微開(1～2%)しながら注意して



操作した。この事により、図-4に示すように、クライオパネル温度も急激に冷却されることなく、さらにクライオポンプの再生から定常まで約11時間で操作することが出来た。

6. まとめ

クライオポンプ14ユニットのうち、Heビーム使用5ユニットのクライオポンプについて途中再生/再立ち上げ操作を実施した。本操作は、約10年間装置運転を行って来て初めての経験であるため、手動にてバルブ操作を実施した。そのことにより以下に示すような有意義なデータを取得することができた。

1. クライオポンプ再生による急激な負荷変動に対して、出入口弁を手動操作することにより、他のユニットが再生することなく安定な運転ができた。また、操作完了まで約11時間であった。
2. クライオポンプ各部温度が急激な温度勾配とならないよう入口弁を操作したことにより、He冷凍機への瞬間的な負荷変動量を10%以下に抑えることができた。
3. 今後の自動化運転に向けて、基礎的なデータが取得できた。

17/19テスラ超伝導マグネットの性能試験

筑波大学 低温センター 池田 博
物理学系 吉崎亮造
TEL 0298-53-2485 FAX 0298-53-2482

1. はじめに

筑波大学低温センターでは実験用大型装置として強磁場超伝導マグネットがある。昨年まで 16テスラ超伝導マグネットを13年間使用してきた。しかし、経年劣化により超伝導マグネットが寿命となり使用出来なくなった。平成5年3月後継装置として17/19テスラ超伝導マグネットが設置された¹⁾。本報告では、この強磁場超伝導マグネット (17/19T) の試運転及び性能試験とヘリウムガス回収ハンドリングシステムの製作について報告する。

2. 強磁場超伝導マグネットの概要

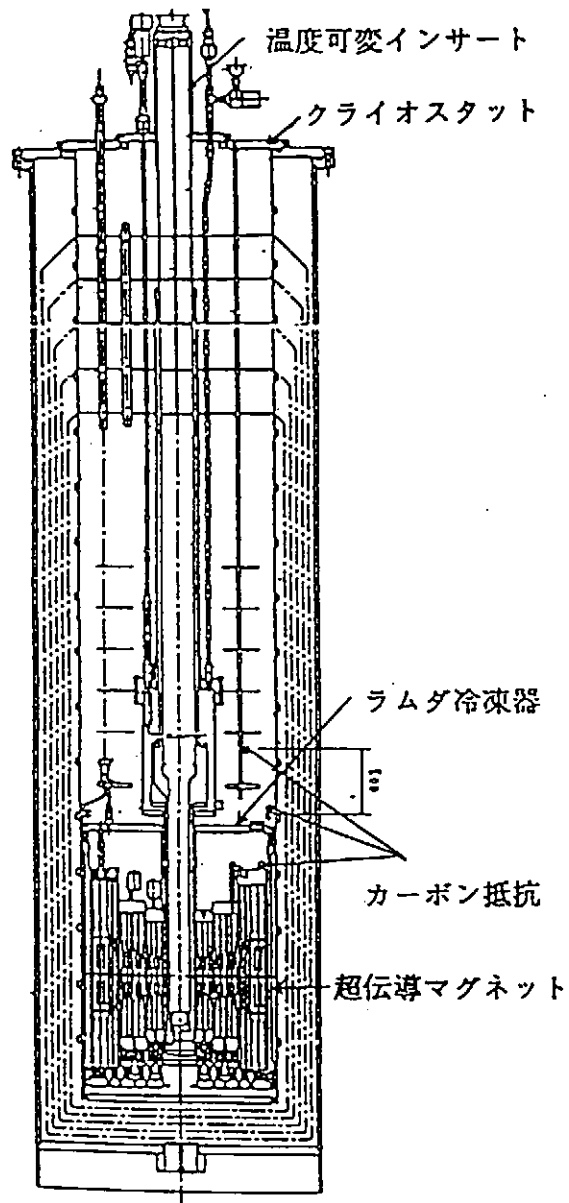
装置はクライオスタット、温度可変インサート、超伝導マグネット、ラムダ冷凍器の4つから構成されている。図1に装置の概略図を示す。クライオスタットの外側の材質はアルミニウム合金でトップフランジと液体ヘリウム槽はステンレス鋼である。このクライオスタットには、液体窒素槽が無く断熱真空槽に巻かれたスーパーインシュレーションのみで液体ヘリウムを2日間保持出来るようになっている。温度可変インサートは液体ヘリウムとヘリウムガスによってヒーターと減圧ポンプを使用して温度制御される。液体ヘリウムの流量制御は、ステッピングモーターによってニードルバルブが駆動され、設定温度に保つようにニードルバルブの開度が制御される。超伝導マグネットの線材はNbTiとNb₃Snで構成されている。マグネットには超伝導熱スイッチが取り付けられており、ヒーターによって永久モードにすることが出来る。マグネットのクエンチ保護用に、抵抗とダイオードが取り付けられている。ラムダ冷凍器はマグネットをラムダ点 (2.17K) 直上の2.2Kに保持し19Tまでの強磁場を発生することが出来る。マグネットをラムダ温度にするには、液体ヘリウム槽より液体ヘリウムをニードルバルブで制御しながら熱交換器を通してポンピングする。マグネットの温度は、マグネットの上に取り付けてあるカーボン抵抗によって温度をモニターすることが出来る。

3. 強磁場超伝導マグネットの試運転及び性能試験

マグネットサポートに超伝導マグネットを取付け、インサートのインジウムシールを行い、断熱真空槽の真空引き、リークテストを行った後、以下の手順で超伝導マグネットの冷却と性能確認を行った。

(1) ヘリウム槽に予冷の液体窒素を導入する。ヘリウム槽内の温度モニターは、ラムダ冷凍器から10cm上 (R1)、ラムダ冷凍器 (R2) マグネット直上 (R3) の3カ所にカーボン抵抗が取り付けられている。(2) 液体窒素がヘリウム槽を満たしたら、蒸発口に逆流防止弁を入れマグネットが液体窒素温度になるように、一昼夜放置しておく。(3) 液体窒素を完全に追い出す。温度モニターによってマグネットの温度が液体窒素温度以上であることを確認する。次に系内を真空排気し、ヘリウムガス置換を3回行う。最初は窒素ガスなので時間がかかる。このときの系内の排気圧力は-40~-50cmHgまでとする。(4) 液体ヘリウム容器 (250L) より液体ヘリウムのトランスファーを開始する。ここで注意すべきことは、トランスファーチューブの先端をマグネットのトランスファー口にしっかりと差し込むことである。もし、この差し込みが不完全だとマグネットの下部から冷却することが出来なく、大量の液体ヘリウムを使用することになる。マグネットが液体ヘリウム温度になるま

では 5.3~10.6cmHg程度で液体ヘリウム容器を加圧する。トランスファーを開始してから1時間半程度で液体ヘリウムがクライオスタットに溜まり始め、トランスファー開始後2時間でクライオスタットの液体ヘリウム液面計が100%になった。このとき液体ヘリウムの使用量は80リットルであった。(5)液体ヘリウムをサンプル槽に導入し、温度コントロールの確認を行った。サンプル槽に導入される液体ヘリウムは、設定温度に対応したニードルバルブの開度をステッピングモーターによって行っている。サンプル槽を真空排気し、ベース温度(1.5K)の確認、各温度での制御テストを行い、設定温度に対して±0Kで安定することを確認した。(6)マグネットの動作試験は、液体ヘリウム温度(4.2K)の場合とラムダ冷凍器を使用した(2.2K)の場合の2通りある。4.2Kのとき超伝導マグネットを励磁するにはマグネット用電源と超伝導ヒータースイッチを入れ、超伝導マグネット制御盤の磁場の設定、スイープレイトの設定を行い、セットポイントスイッチを押すと目的の磁場に向かって電流がスイープし、磁場を発生する。4.2Kでは電流97.23Aで17Tまでの磁場の発生を確認した。さらに17Tで一度、永久モードにして再び電源と接続し異常のないことを確認した。2.2Kのときにはラムダ冷凍器によってマグネットの温度を2.2Kにする。マグネットの温度はカーボン抵抗の抵抗値によってモニターする。ラムダ冷凍器はキニーポンプ(3000L/min)により排気し、ニードルバルブを調整することにより約40分程でマグネットが2.2Kに冷却される。マグネットの冷却が終了したら液体ヘリウムがクライオスタット内に十分あることを確認して4.2Kのときと同様に磁場の設定を行い励磁を行う。17Tまでは通常モードなのでスイープレイトを3.5A/minにして20分程で達成できた。17Tからはスイープレイトを1A/minにして15分で電流108.67Aで19Tが達成された。その時の様子を図2にチャートとして示してある。4.2Kのときと同様に一度、永久モードにして再びヒーターによって接続テストを行った。これにより、この強磁場超伝導マグネットの仕様である液体ヘリウム温度(4.2K)で17テスラ、ラムダ点温度(2.2K)で19テスラの安定な磁場の発生が



図一 1 強磁場超伝導マグネット(17/19 T)の概略図

確認された。

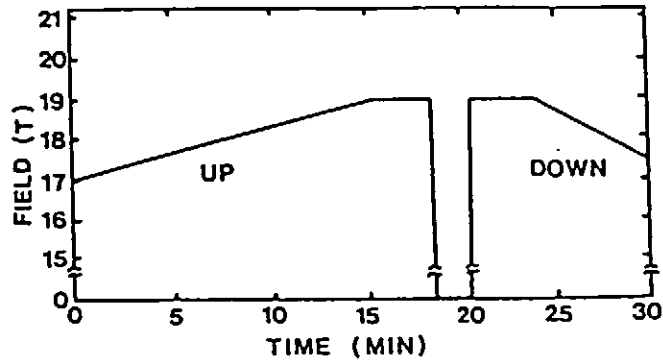


図-2 発生磁場と時間スイープ

4. ヘリウムガス回収ハンドリングシステム

実験にこの強磁場超伝導マグネットを使用する場合、冷却に使用したヘリウムガスを効率よく回収するために、ヘリウムガス回収ハンドリングシステムを製作した。製作したハンドリングシステムの系統図を図3に示す。回収ヘリウムガスの流れは大きく分けて減圧系と自然回収系の2つである。減圧系はキニーポンプに接続されておりラムダ冷凍器用(V13)、サンプル槽の減圧(V10)、ヘリウムガス置換(V4, V8)に使用される。

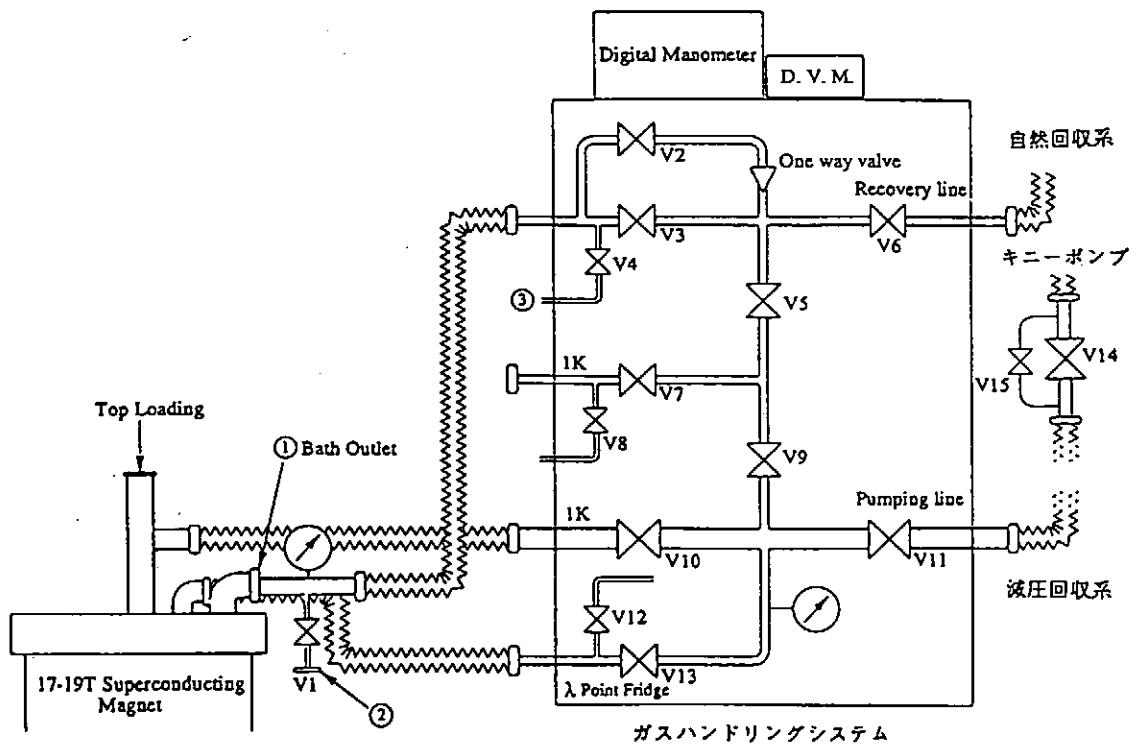


図-3 ヘリウムガスハンドリングシステムの系統図

自然回収系は定常状態では逆流防止弁 (one way valve) を通してヘリウムガスを回収する (V2)。液体ヘリウムをトランスファーしている時は、バイパス弁 (V3) を開けてヘリウムガスを回収する。その他に、このガス回収ハンドリングシステムには、減圧系と自然回収系の両方の圧力をデジタルマノメーターによってモニター出来るようになっている。またクライオスタット内の3カ所の温度は、抵抗値によって表示できるようにデジタルマルチメーターを取り付けてある。ガス回収ハンドリングシステムの配管は銅管とステンレス製フレキシブルホースを使用した。バルブはコンパクトで安価なボールバルブ (WHITEY) を使用し、減圧系 (V10, V11) は口径1インチ、自然回収系 (V2, V3, V5, V6,) は口径3/4インチのボールバルブを使用した。このヘリウムガス回収ハンドリングシステムの特徴は、回収ヘリウムガスを減圧系あるいは自然回収系に簡単なバルブ操作のみで切替えることが出来ることである。また、常時クライオスタット内の情報として圧力や温度をモニターすることが出来る。

5. まとめ

新しく購入された強磁場超伝導マグネット (17T/19T) の性能試験とヘリウムガス回収ハンドリングシステムの製作について報告した。従来の強磁場超伝導マグネットと大きく違う点は、液体窒素槽が無いことである。これにより今までのように1日に1回は必ず液体窒素を充填しなければならなかった手間から開放された。サンプル槽の温度コントロールもステッピングモーターによって制御することによってより安定性が増した。ヘリウムガス回収ハンドリングシステムの製作によって予冷、トランスファー、減圧等の操作が簡単に出来るようになった。現在、この強磁場超伝導マグネットは毎週連続使用しているが順調に稼動している。今後は、クライオスタットに挿入するインサート部として回転出来るものや磁化を測定できるものを製作したいと考えている。

謝辞

本報告書を作成するには、性能試験、ハンドリングシステムの製作について物質工学系大貫惇睦助教授、大学院生の菅原仁氏に御協力して頂きました。ここに深く感謝致します。

引用文献

- 1) OXFORD INSTRUMENTS LIMITED : High Field Solenoid System Manual

SDC超伝導電磁石の開発 —電磁力に対する線材強度の評価について—

高エネルギー物理学研究所
田中賢一、山本明、楨田康博

1. 序論

粒子加速器を用いた素粒子実験では、粒子の衝突により生成された2次粒子（荷電粒子）のエネルギー・運動量を、磁場を利用した測定器によって測定する。この磁場を発生させるためにソレノイド型超伝導電磁石が用いられるが、これは被測定粒子の減衰や3次粒子の生成等精密測定を妨げる要因でもあり、電磁石の被測定粒子に対する透過性（薄肉化）が求められる。一方、電磁石にはその発生する磁場により大きな電磁応力が加わるため、超伝導線材にはその応力に対して十分な強度が要求される。我々は、この相反する要求を最適化するために、電磁石内に生じる応力と線材の強度に関する解析と実験的検証を行なった。

2. 実験及び解析

2-1 電磁力解析

電磁石内の電磁応力の大きさを見積るために有限要素法を用いた解析プログラム“ANSYS”に依る磁場解析を行なった。以下にその結果を示す。¹⁾（詳細は第14回技術研究会報告「SDC薄肉超伝導電磁石の開発I」を参照のこと）

軸方向応力・・・15MPa
フープ応力・・・42MPa

2-2 線材の強度試験

上記の電磁力により線材の受ける影響を調べその強度を評価するために、実際に電磁石に使用される線材から切り出した試料を用いて強度試験を行なった。

2-2-1 引っ張り強度試験

引っ張り応力試験は、室温、LN2温度、LHe温度の3点で行なった。以下にその結果、図2-2-1に応力 v s歪み曲線を示す。¹⁾

	室温	LN2	LHe
引っ張り強さ [MPa]	61	142	296
0.2%耐力 [MPa]	55	72	77

2-2-2 圧縮応力試験

圧縮応力試験は、室温で行なった。また、歪みは応力に垂直な方向を測定した。これは、軸方向の電磁応力が周（フープ）方向の延びにどのように影響するかを調べるためである。以下にその結果を、図2-2-2に応力 v s歪み曲線を示す。

圧縮応力 [MPa]	周方向歪み [$\times 10^{-3}$]
0.00	0.000
-3.32	0.009
-7.23	0.017
-12.14	0.052
-14.72	0.083
-17.99	0.124

2-2-3 複合応力試験

複合応力試験は、室温で行なった。試験装置を図2-2-3 aに示す。但し、引っ張りと圧縮双方の応力を同時に変化させる（電磁石内の状況）ことは出来ないで、補助器具により予め一定の圧縮応力を印加した状態で引っ張り試験器にかける方法を探った。以下にその結果を、図2-2-3 bに応力 ν s 歪み曲線を示す。

印加圧縮応力 [MPa]	引っ張り強さ [MPa]	0.2%耐力 [MPa]
0.00	63.18	57.14
3.38	60.91	55.50
7.40	59.32	53.30
11.90	56.82	50.27
15.00	57.95	49.75
18.38	57.50	45.20

3. 試験結果の解析

3-1 複合応力試験結果のLHe温度への換算

引っ張り応力試験結果よりLN2温度及びLHe温度での耐力と室温での耐力の間には以下の関係が成り立つ。

$$\sigma_{0.2}(\text{LN2}) = 1.309 \times \sigma_{0.2}(\text{室温})$$

$$\sigma_{0.2}(\text{LHe}) = 1.400 \times \sigma_{0.2}(\text{室温})$$

これを複合応力試験結果に適用すると、圧縮応力15MPaが印加された状態で、それぞれの温度での0.2%耐力は次のようになる。

$\sigma_{0.2}(\text{室温})$ [MPa]	$\sigma_{0.2}(\text{LN2})$ [MPa]	$\sigma_{0.2}(\text{LHe})$ [MPa]
49.75	65.12	69.65

これより、実際に電磁石内で生じる応力は線材の0.2%耐力の60%程度であり、この線材は予想される電磁応力に対して十分な強度をもっていることがわかる。

3-2 より簡単な線材強度評価の検討

複合応力の条件を忠実に模擬することは通常非常に困難である。このため、引っ張り及び圧縮試験の結果のみを用いて線材の強度を評価する方法を検討した。

電磁石内に生じる複合応力下では、線材は周方向の引っ張り応力だけでなく軸方向の圧縮応力によっても周方向に伸びを生じる。従って、この分の補正をどう扱うかが問題になる。以下にその考え方を示す。

- 1) 引っ張り試験より引っ張り応力 ν s 周方向の歪みの関係を求める。
- 2) 圧縮試験より圧縮応力 ν s 周方向の歪みの関係を求める。
- 3) 1)、2)より周方向に同じ量の歪みを生じる圧縮応力 ν s 引っ張り応力の関係を求める。
- 4) 3)により圧縮応力を引っ張り応力に換算し、これと本来の引っ張り応力を加えたものを換算引っ張り応力とする。
- 5) 換算引っ張り応力を引っ張り試験結果と比較し、線材の強度を評価する。

この方法を用いて線材の強度を再評価してみる。

1) 図2-2-1

2) 図2-2-2より $\sigma_{ax} = 15$ [MPa]では $\epsilon_{hp} = 0.082 [\times 10^{-3}]$

- 3) これと図2-2-1より $\sigma'_{hp} = 5.0$ [MPa]
- 4) $\sigma_{HP} = \sigma_{hp} + \sigma'_{hp} \rightarrow \sigma_{HP} = 42 + 5.0 = 47$ [MPa]
- 5) 引っ張り試験より $\sigma_{0.2}$ (LHe) = 77 [MPa] であるので、
 $\sigma_{HP} / \sigma_{0.2}$ (LHe) = 0.610 となり、3-1の結果と一致する。

4. まとめ

- 1) SDC超伝導電磁石用超伝導線材の機械的強度は、計算された電磁応力に対して十分大きいことが検証された。
- 2) 電磁石用線材の強度は、換算引っ張り応力を用いることによって、複合応力試験を行わずに評価できることがわかった。

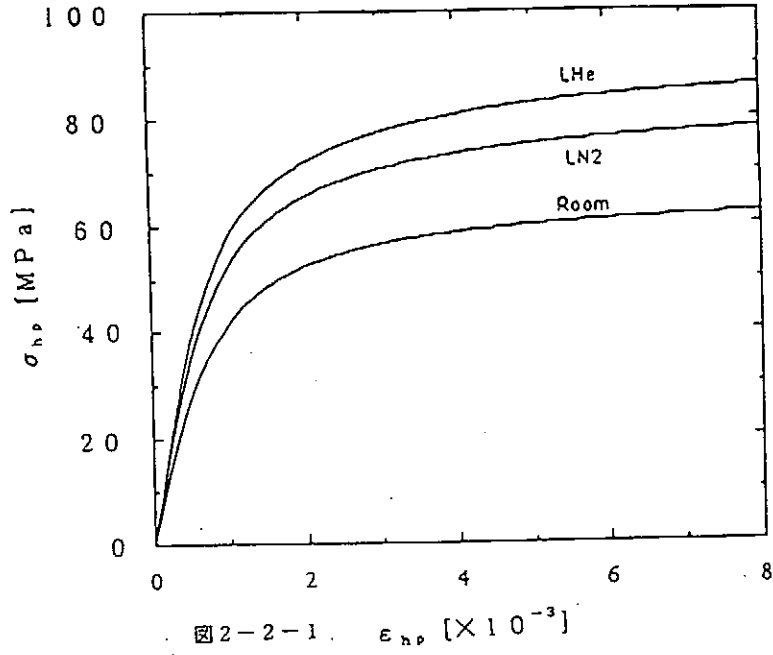


図2-2-1 $\epsilon_{hp} [\times 10^{-3}]$

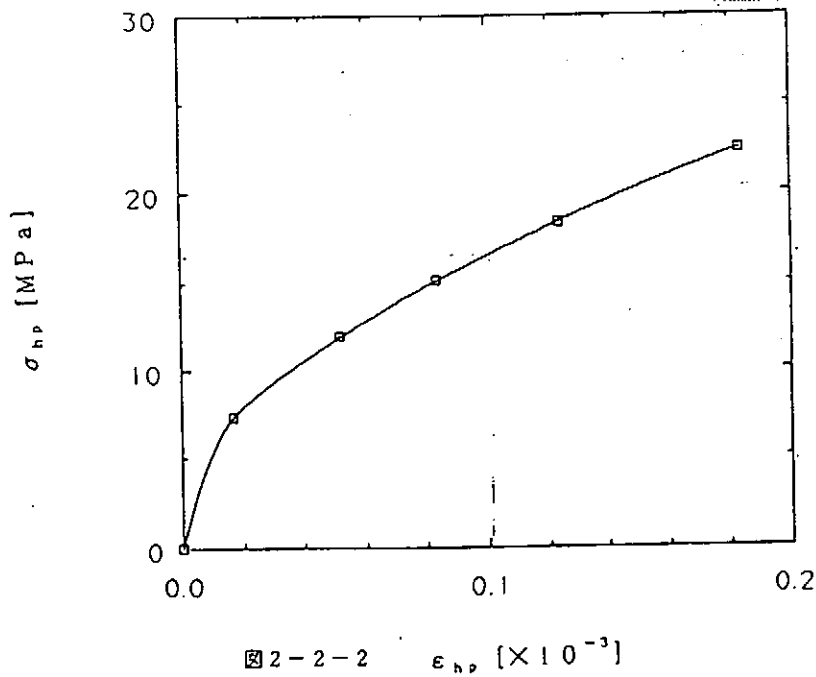


図2-2-2 $\epsilon_{hp} [\times 10^{-3}]$

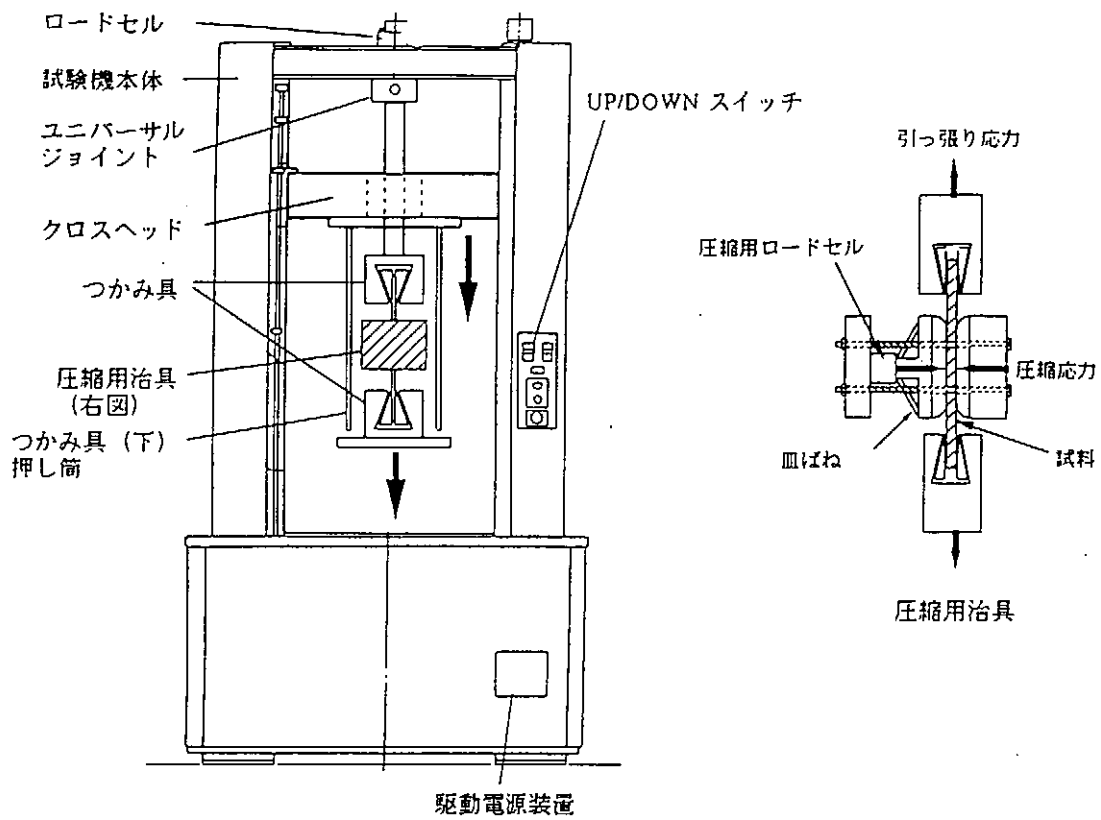


図 2-2-3 a

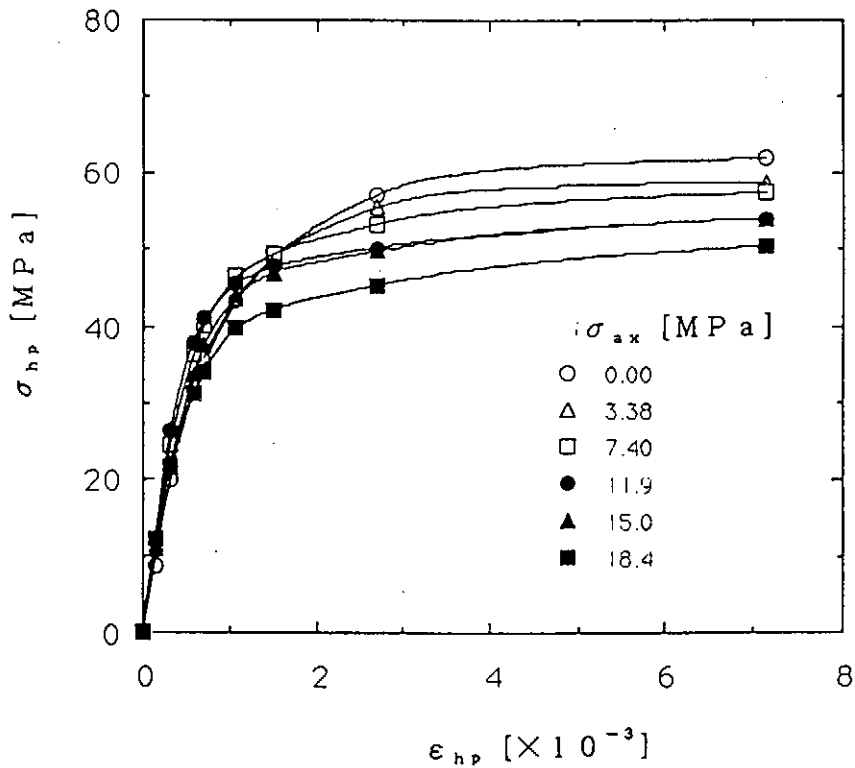


図 2-2-3 b

低温で使用する材料の機械的性質

名古屋大学理学部 井上 晶次

== はじめに ==

最密六方構造 (hcp) 固体 ^3He の核磁性を明らかにするために、希釈冷凍機温度 (約 10 mK) を出発温度として、銅と固体 ^3He の二段核断熱消磁で、固体 ^3He を予想される磁気秩序相への転移温度である $20\mu\text{K}$ まで冷却することを試みている。

低温発生装置を設計する上では、使用する材料の熱的性質、電気的性質、機械的性質の検討が必要である。本報告では、固体 ^3He の磁化測定容器、固体 ^3He の圧力計を製作するために、各種材料の常温における引っ張り試験を行い、目的とする固体 ^3He の磁化測定容器、金属板ダイアフラムの固体 ^3He の圧力計を製作したのでその経過を報告する。

== 固体 ^3He の圧力計 ==

固体 ^3He の圧力測定は、圧力に対応してダイアフラムが変位する性質を利用して行われる。圧力計の形状を図-1に示す。固体 ^3He は銀微粒子を充填した容器内に閉じこめられており、容器の一つの面をダイアフラムとする。ダイアフラムに接着した可動電極と他の固定電極の静電容量を測定し変位を知ることができる。この静電容量から圧力の変位を求める。

このダイアフラムの材料には以下の性質が求められる。

- 1) 磁界中における核比熱 (表-1) が小さいこと。
- 2) ヤング率が小さく、降伏応力が大きいこと。

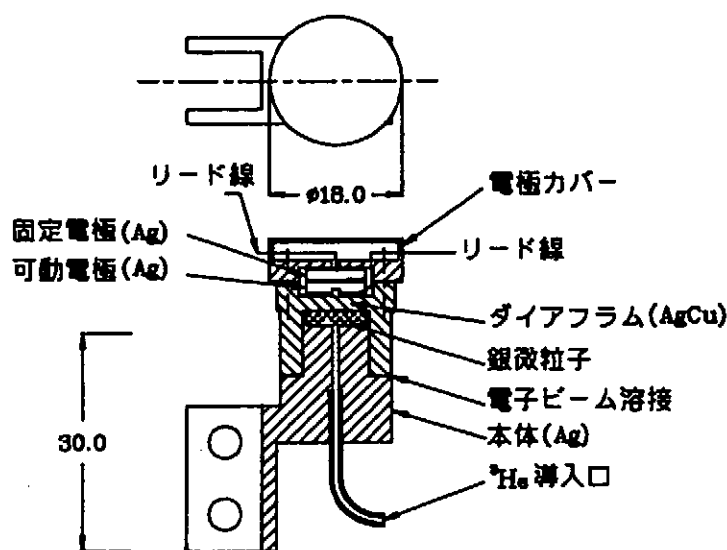


図-1 固体 ^3He の圧力計

元素	キュリー定数 $10^{12}\text{K}\cdot\text{m}^3/\text{mol}$
W	0.00272
Ag	0.0205
Ti	0.0694
Si	0.202
Be	1.07
Cu	4.05

表-1 核比熱の小さい材料

これまでは、ダイアフラムの材料として、銀銅、ベリリウム銅を使用してきたが、核比熱のより小さい材料として、銀銅、銀チタン、銀シリコン、比較検討する材料として、銀、銅、真鍮、アルミ、銀マグネシウムについて、引っ張り試験を行い強度を調べた。その結果を図-2に示す。

銀チタン、銀マグネシウムについては、田中貴金属工業からテスト用材料として提供していただきました。

引っ張り試験の結果、核比熱の小さい材料である、銀シリコン、銀チタンはいずれも銀よりも引っ張り強さが小さくダイアフラムとして不適当であり、銀銅を使用してダイアフラムを製作した。銀シリコンについては、材料表面を観察すると、銀とシリコンが十分に混ざらず、場所によりその混合状況の違いが明らかであり、製作に問題があるといえる。銀チタンについては、製作した母材そのままであり、加工率を上げることにより多少の改善は可能であるが (田中貴金属工業部内資料) 銀銅より引っ張り強さは小さい。

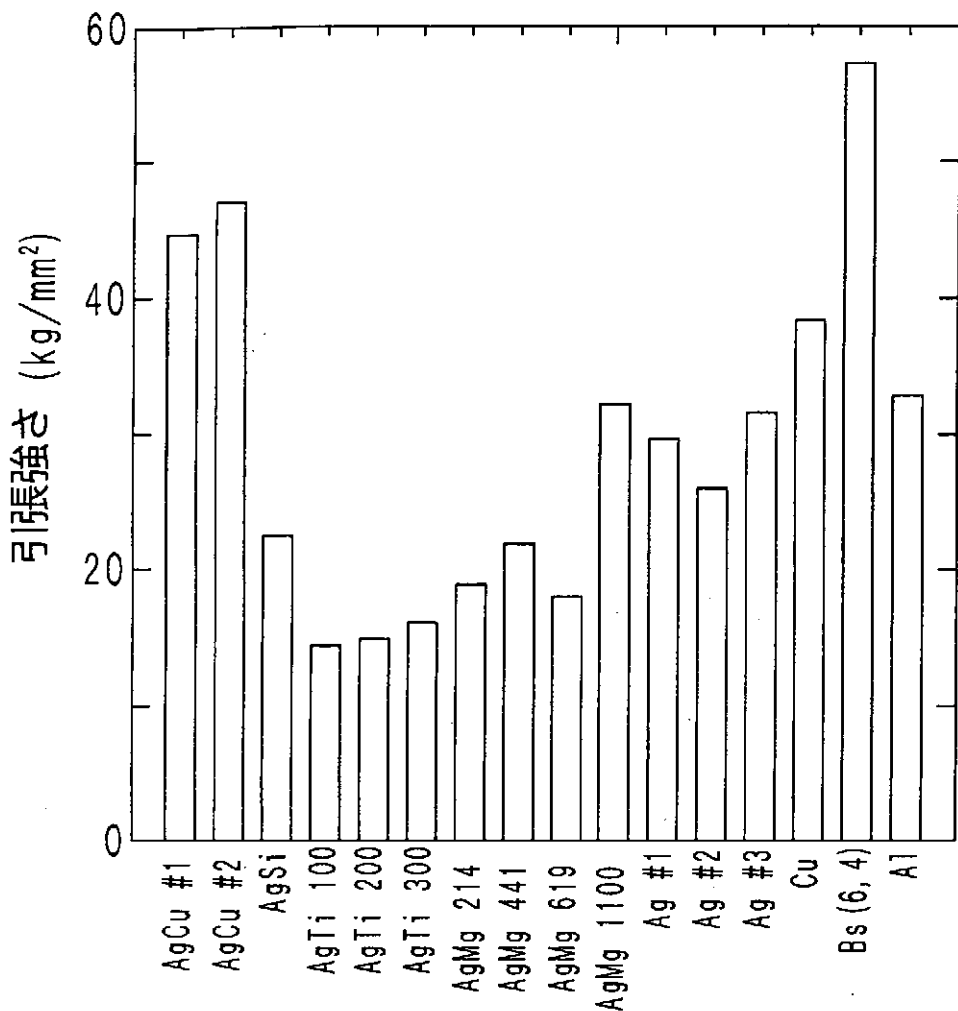


図-2 各種材料の引張強さ

==== 固体³Heの磁化測定容器 =====

固体³He容器には、以下のような考慮をする必要がある。

- ① 磁化測定は高周波(1MHz)NMRを使用して測定する、そのため金属容器では高周波が容器内の³Heに届かないこと、さらに消磁によって生じる渦電流による発熱をなくすため、金属以外の材料を使用する。
- ② hcp固体³Heを作るには約100kgf/cm²以上の圧力が必要であり、実験は170kgf/cm²までの高圧で行うため、耐圧強度として200kgf/cm²程度が求められる。

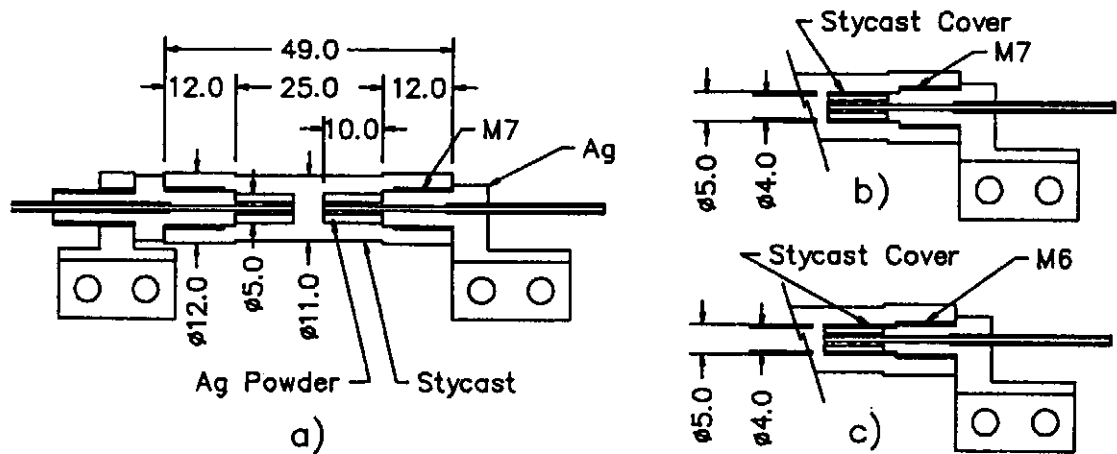


図-3 圧力容器

容器の形状を図-3に示す、a)は基本設計、b)は二次設計、c)は最終設計である、容器は、銀キャップと STYCAST本体で構成されている。STYCASTの製作は、主剤と硬化剤を混合し真空排気を行い脱泡する。脱泡後、型に流し込み圧力容器の母材を製作し、硬化後、型から取り出し旋盤加工する。銀キャップの先端部分には銀微粒子を圧着し他端には ^3He 導入パイプを取付けてある、 ^3He の予冷はこの銀を通して行われる。組立は、STYCAST本体と銀キャップのネジ部分を STYCASTで接着する。

== 容器耐圧テストの結果と対策 ==

製作した容器は常温下で 200kgf/cm^2 を目標に昇圧を行ない漏れ、破壊のテストを行う、次に液体窒素温度において同様のテストを行い漏れ、破壊が無ければ合格とする。このテストの結果を図-4に示す。縦軸は、テストの圧力を示す。

図中サンプルNo. 1~5は STYCAST 1266 で図-3 a) の形状である、内4個が $110-170\text{kgf/cm}^2$ で破壊した。No. 6~14は STYCAST 1264である、No. 6は図-3 a) に示す形状である、 200kgf/cm^2 で容器は破壊しなかったが、内部の銀分が破壊された。これは銀粉表面にSTYCASTが浸透し銀粉の内側と外側に圧力差が生じたため考えられる。実際の使用状況では、このように銀粉にSTYCASTが浸透すると銀粉の表面積が減少し好ましくない、そこで銀微粒子にSTYCASTが浸透ないように、外径4mmの銀微粒子を内径4mm、外径5mmのSTYCASTでカバーし、図-3 b) に示す構造に変更した。この構造でのテスト結果がNo. 7~13である、この結果漏れが生じる圧力、破壊される圧力は向上したが、目標とする 200kgf/cm^2 まで安定して耐えるには至らなかった。そのために強度的に弱いと考えられるSTYCASTのネジ部分をM7をM6に変更し、b)と同様に内径4mm、外径5mmのSTYCASTでカバーし、図-3 c) に示す構造に変更した、更に常温での耐圧テストの限界を 180kgf/cm^2 で合格とした、No. 14がそのテスト結果である。液体窒素温度において同様のテストにおいても 180kgf/cm^2 に耐えることができた。

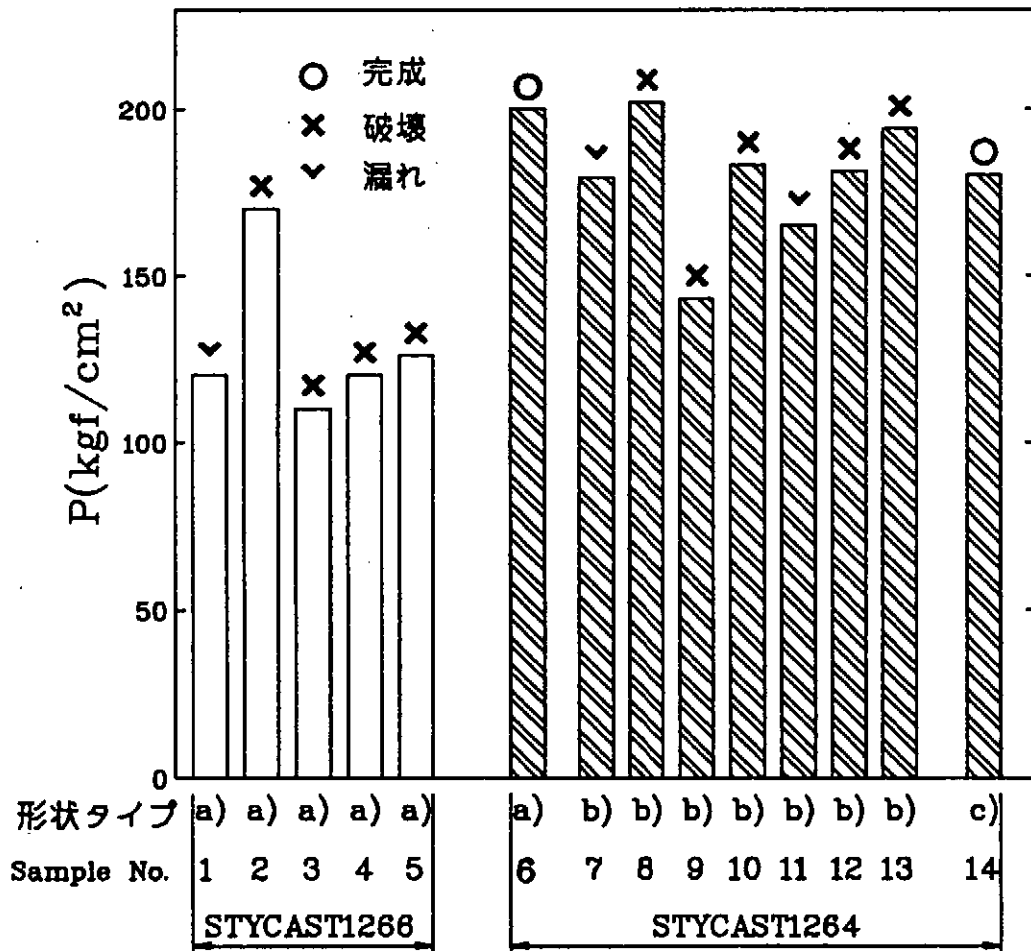


図-4 容器の耐圧テスト結果

== 破壊の力学的考察 ==

材料の破壊を考える上では材料の機械的性質を知る必要がある。そのために引張り試験を行い、弾性破壊¹⁾について引張り伏点 σ_r から考察した。

今回製作した容器はある圧力で破壊している、これは材料が弾性を失い降伏することによって弾性破壊を起こしている、ここでは、最大主応力説及びせん断ひずみエネルギー説で考える。

1. 最大主応力説

3主応力の内最大である応力 σ が材料固有の値に達したときに破壊する、すなわち引張り降伏点 σ_r で破壊する。

2. せん断ひずみエネルギー説

弾性体内に保有されるせん断ひずみエネルギーが材料固有の値に達したときに破壊する単位体積あたりの、せん断ひずみエネルギー U_d は

$$U_d = \frac{1+\nu}{6E} \left\{ (\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 \right\}$$

引張りの降伏点 σ_r に対応する $U_d = \frac{1+\nu}{3E} \sigma_r^2$ と上式を等しくおけば

$$(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 = 2\sigma_r^2$$

と表示される。

E : ヤング率 ν : ポアソン比

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$: 各軸方向の応力

最大主応力説、せん断ひずみエネルギー説をもとに破壊する圧力を計算した結果を表-2に示す。

	改良前 STYCAST 1266		改良後 STYCAST 1264	
降伏応力 (kgf/cm ²)	560		591	
内半径 (mm)	2.5	3.5 (M7)	2.0	3.0 (M6)
外半径 (mm)	5.5	6.0	5.5	6.0
せん断ひずみ歪エネルギー説	257	213	296	256
最大主応力説	368	276	453	355

表-2 せん断ひずみエネルギー説・最大主応力説の弾性破壊圧力 (kgf/cm²)

== まとめ ==

圧力計用ダイヤフラムとして、銀シリコン、銀チタンは、引張試験の結果その強さは銀どうより小さく不適當であると判断した。

STYCAST 1264は1266より降伏応力が大きく、圧力容器に適している。

実際の降伏応力は、メーカーの示す値²⁾に対して1266では130%、1264では 88%であった。

弾性破壊はせん断歪エネルギー説による計算値の60%—70%で生ずる、これをネジ部分の応力集中によると考えると、今後の設計の目安とできる。

== 謝辞 ==

破壊の力学的考察について、農学部生物材料機械学 堤 成晃教授から助言を頂きました。

== 文献 ==

- 1) 黒木剛司郎 森北出版 基礎機械工学全書 1 材料力学
- 2) Emerson & Cuning Japan 技術資料 No. 7-2-26, No. 7-2-26C

高温超伝導体のピン止め力の測定

静大教養 増田健二

§1 はじめに

静岡大学教養部では、7年前から理・工・農の2年次の物理実験に高温超伝導実験を取り入れ、年間880名が実験を行っている。実験内容としては、超伝導体の上に磁石を浮かせる磁気浮上の実験と電気抵抗の温度変化の測定である。

前回の分子研の技術研究会では磁場分布を測定し、磁石を浮かせる力となる反磁性電流のモデル化ということを中心に発表した。今回は浮上した磁石を水平方向に動かすと、どのような力が働くのかについて、2種類の製法による超伝導体で比較してみた。さらにヘルムホルツコイルを用い、その磁場中に超伝導体を挿入した場合、どのような力が働くのかについても測定した。

§2 実験装置と試料の特徴

図-1に水平方向に超伝導体を動かした場合の抵抗力を測定する装置を示す。目盛板を用いて、1mm間隔で超伝導体を移動させ、超伝導体上の小磁石に感じる抵抗力を鋼鉄線のねじれの剛性率から求める。ねじれ角の測定は、レーザーを用いて測定する。

ここで用いた試料は、一般的な固相焼結法に加えて、ピン止め効果の大きい半熔融凝固法(MTG法)のY系超伝導体である。2種類の製法の違いは半熔融法の場合、(分子比 Y:Ba:Cu = 1:2:3の割合)の質量の10%の銀粉を入れ混合しピン止め点をつくり、電気炉で焼く場合、図-2に示したように焼結する段階で1100℃まで温度を上げ、半熔融の状態に保ったのち凝固させる点に大きな違いがある。

半熔融の超伝導体の特徴的な現象としてクレーン効果を示す(図-3)。これは、液体窒素に浸っていた半熔融法の超伝導体にネオジム磁石を押し付けつり上げている様子である。この現象は、ピン止め効果が大きいことにより生じる特徴的なものとして演示実験等でも用いている。

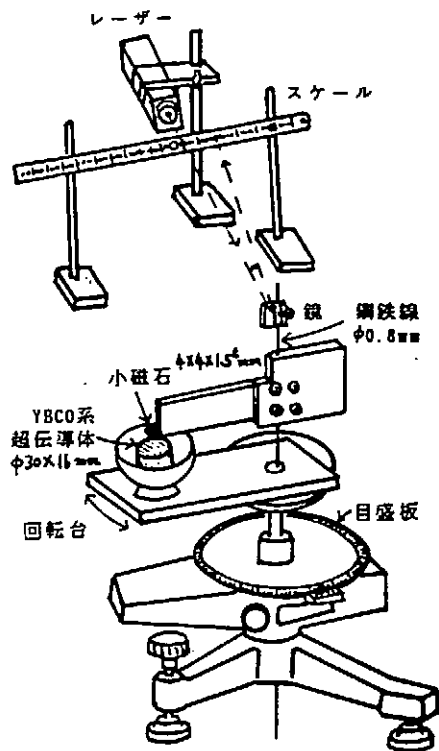


図-1

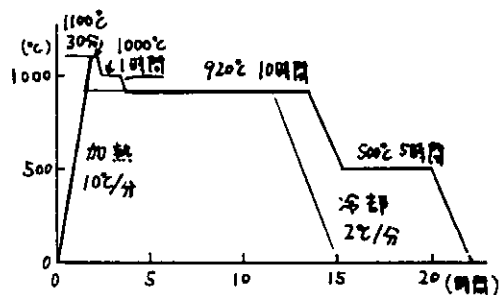


図-2

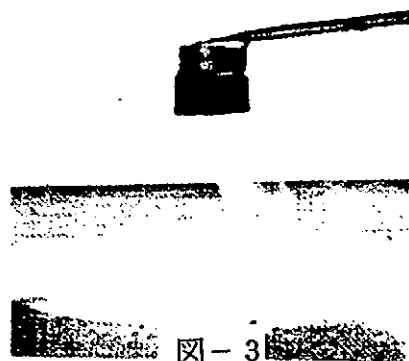


図-3

§ 3 水平方向に超伝導体を動かした場合の抵抗力の測定と磁場分布

図-4に小磁石を超伝導体表面から1.5mmの高さに保って、超伝導体を水平方向に移動させた場合の実験結果を示す。この場合、超伝導体表面の中心軸上の磁場の値は800Gとなる。この実験では、小磁石を超伝導体のほぼ中心部分に置き移動させた場合の抵抗力の変化を測定するもので、固相法では220dyn、半溶融法では1000dyn程度の抵抗力が働いていることが分かる。磁石の高さを変えて同様の実験をいくつか行い得られた抵抗力を表面磁場の関数としてまとめたものが図-5である。固相法・半溶融法とも、表面磁場が40G程度から抵抗力が生じ、半溶融法の抵抗力は、表面磁場が大きくなるのに伴い増加していくことが分る。図-5から、抵抗力は超伝導体を貫く磁束と密接に関連し、半溶融法は固相法よりも常に大きな抵抗力を示し、半溶融法では、ピン止め点が多く磁束のふるまいも複雑になっていると考えられる。

これを示す実験として、超伝導体表面に小磁石を設定した場合の裏面での中心軸上の磁場を測定した結果を示す(図-6)。固相法では、常伝導状態に対して9割程度の磁束が通り抜けていることが分る。これに対し半溶融法では、表面磁場が200Gを越えると中心軸上への磁束の集中が見られこのような磁束のふるまい方の違いが大きな抵抗力の原因になっているものと考えられる。

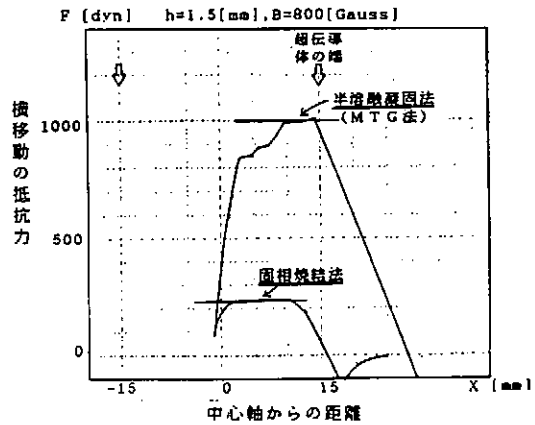


図-4

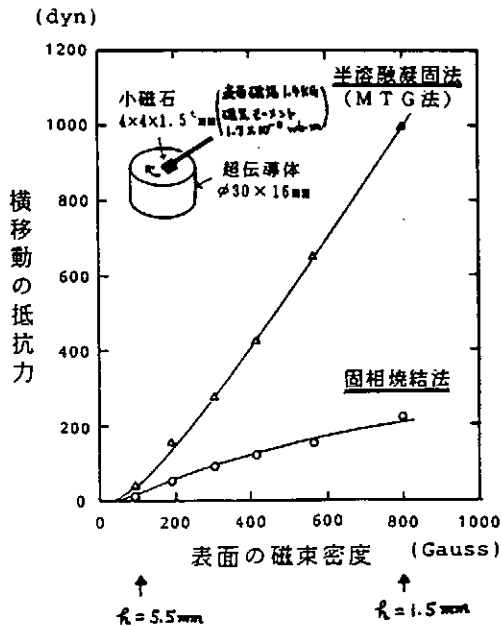


図-5

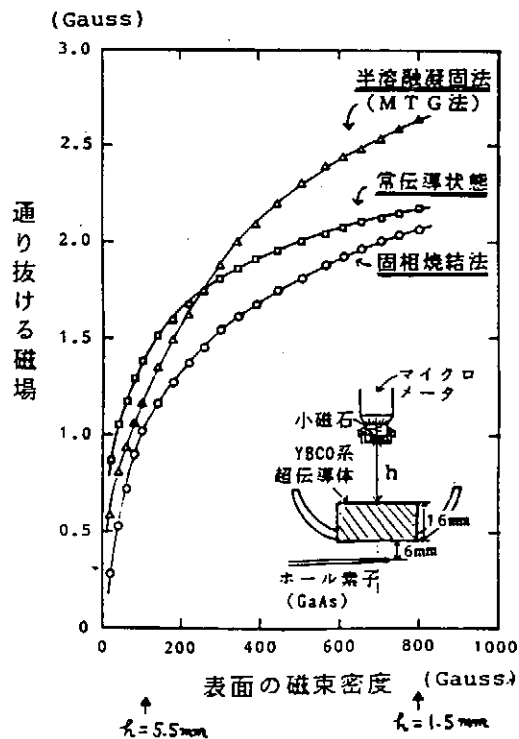


図-6

反溶融法の超伝導体裏側の磁場分布を磁石の高さ h が 5.5mm と 1.5mm にした場合を比較する。超伝導体の挿入による磁場分布の変化分は、磁石の下向きの磁場において、超伝導状態と常伝導状態の磁場の差を示したもので、 h が 5.5mm の場合には、上向きの磁石の磁場を打ち消す磁場が生じる (図-7, 上)。これに対し、 h が 1.5mm にすると磁石と同じ下向きの磁場が中心部分に生じる。(図-7, 下) このように中心軸上への磁束の集中が見られ、特徴的なものとして、図-3 のような超伝導体がつり上げられる現象となる。

§4 ヘルムホルツコイルを用いた磁場分布と抵抗力の測定

半径 115mm 巻数 1000turn のコイルを 2 つ作り、半径分の 115mm の間隔に固定する。ヘルムホルツコイルは中心部分に均一な磁場をつくるためのもので、実際の測定より中心軸から半径 30mm の部分が均一な磁場となっている。そして半径 15mm の超伝導体を中心部分に置き、超伝導体裏側の磁場分布を測定した。160G の均一磁場における超伝導体の挿入による磁場分布を図-8 に示す。上が半溶融法、下が固相法である。固相法では反発する磁場は同じであるのに対して、半溶融法は中心軸に近づくほど弱くなっていることが分かった。このことは混合状態において、超伝導体内へ磁束が侵入し、磁束にそって常伝導状態の部分が生じ、その部分がピン止め点となって磁束が集中し、トラップされることから生じた現象と説明できる。

超伝導体の挿入による磁場分布の変化分
小磁石 $(4 \times 4 \times 1.5 \text{mm})$ (断面図 1.116)
半溶融法 (M.T.C) 試料

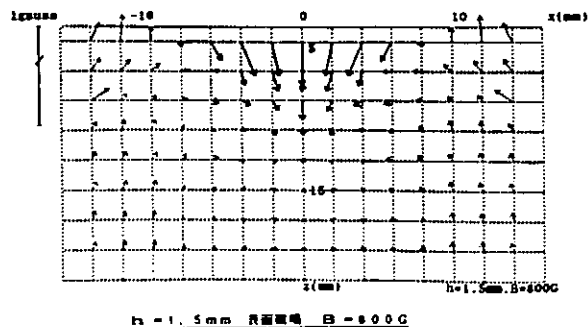
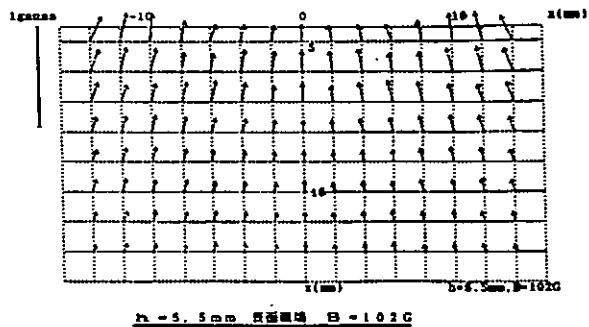


図-7

超伝導体の挿入による磁場分布の変化分
Helmholtz coil $B = 160G$ ($I = 3.9A$)

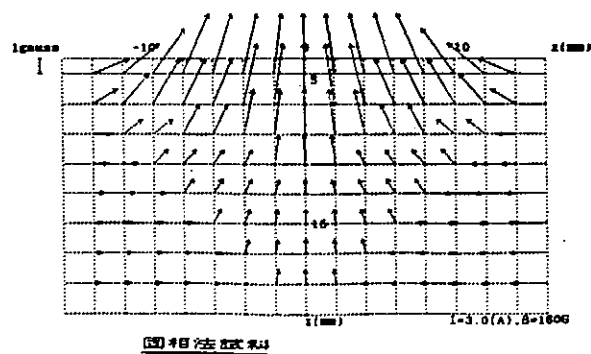
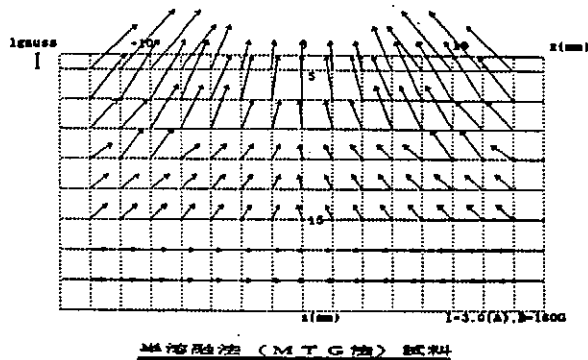


図-8

ヘルムホルツコイルの中心部分に超伝導体を吊し滑車でコイルを移動させた場合、どのような力が超伝導体に働くか、鋼鉄線のねじれ角から測定する。測定は中心から160mmの距離の零磁場から、半径を弧として移動させ、中心軸にきたらまた元に戻るという方法で測定した。

実験結果を図-9に示す。いずれの試料も移動させた中心方向と逆向きの力が大きくなっていき、90mm程度を境にその力は弱くなっていき、中心軸上ではほぼ零となる。次にコイルを外側に向けて移動させると、零磁場においての磁場がトラップされることが分かる。

図-9を印加磁場と磁化の関係のグラフにすると図-10になる。零から印加磁場を増加させていくと、反磁性の効果が徐々に強まり、中心軸で半溶融法で印加磁場の1/10程度の反磁性の磁化を生じる。同様に印加磁場を減少させていくと、ヒステリシスがあり一部がピン止めされ、磁束は超伝導体中にトラップされたままになる。

8.5. まとめ

- (1) 固相法と半溶融法の試料に対して、小磁石を水平方向に移動させたときの抵抗力について定量的な測定を行った。
- (2) 小磁石とヘルムホルツコイルを用いて磁場分布を測定し、半溶融法の試料では、中心軸上への磁束の集中が確かめられた。
- (3) ヘルムホルツコイルによる印加磁場と試料の磁化の関係をグラフ化し、磁束の一部がピン止めされ、超伝導体中にトラップされることを示した。

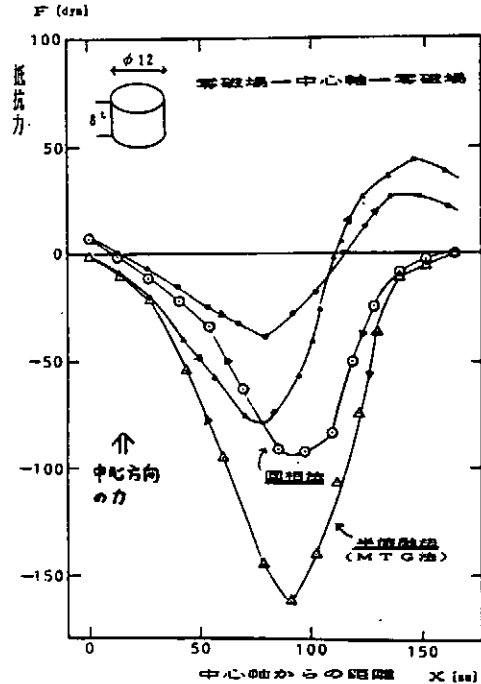
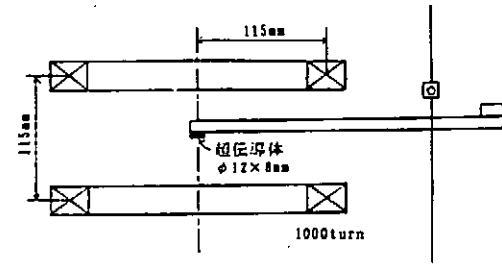
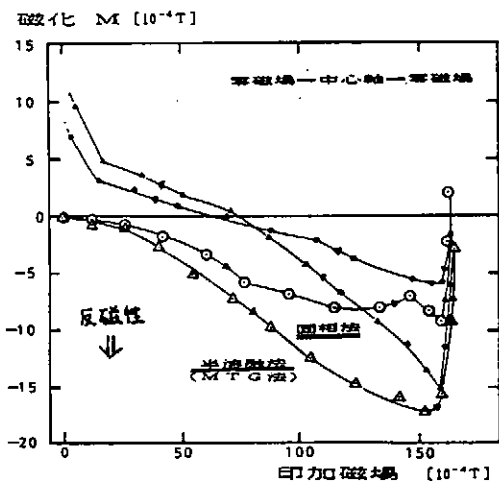


図-9



$$\begin{aligned}
 F &= -\frac{dW}{dx} = \frac{d}{dx} (MH) \\
 &= M \frac{dH}{dx} = \frac{M}{\mu_0} \frac{dB}{dx} \\
 M &= \frac{F}{dB/dx} \mu_0 \text{ [A/m]}
 \end{aligned}$$

図-10

液体Heトランスファーチューブのモーター駆動ニードルバルブ

分子科学研究所 ○鈴木光一 加藤清則 早坂啓一
高山敬史 吉田久史 浅香修治
TEL0564-55-7210、FAX0564-53-5729

1、はじめに

分子科学研究所極低温センターでは液体Heを大型貯槽から小口容器へ汲み出す作業をユーザー自身が簡単に行えるよう、作業行程を自動化した液体He自動充填システムが設備されている。このシステムは分子科学研究所独自で開発され昭和63年にこの技術研究会でも報告されて以来順調に稼働している。しかし、幾つかの改良点も同時に浮き出て来ていた。今回、所内における新装置の開発を推進するIMSマシン¹⁾プロジェクトの一環として、従来型の改良点を克服するアイデアを盛り込んだ新規の液体He自動充填システムが採択され、新装置として製作された。

そのシステムの一部である液体Heのトランスファーチューブに付随する流量制御弁（ニードルバルブ）を電気的に制御する事を目的とした、モーター駆動型ニードルバルブについて報告する。なお、自動充填システムについての詳細は文献2)を参照されたい。

2、概要

従来型では、手動式のニードルバルブを持つ一般的なトランスファーチューブ（移送管）のハンドル部に平歯車を取り付け、移送管の側面に取り付けられたパルスモーターによって駆動する方式³⁾であった（図1）。この方法では、歯車のかみ合わせの遊びがあるために、精密な流量調節が困難である。また、弁座の磨耗によって、一定期間使用後に弁の閉止位置がずれてくるが、これを調べて歯車取り付けネジを調整する手間がかかるという欠点があった。さらに、弁の駆動には低速回転と比較的大きなトルクを必要とするため、モーターや歯車が大きくて重く、またモーターが移送管の側面に取り付けられるので、移送管及びその支持構造物に力学的負担がかかりやすい欠点があった。

上記の問題点を解決するため、（図2）及び（図3）に示す移送管一体型のモーター駆動制御弁を開発した。

3、構造及び動作

ニードル弁の基本構造は通常の手動タイプと同様で、手動タイプはハンドル部のネジを手動操作により回転させて弁を開閉するが、このハンドル部を中空の超音波モーター駆動に置き換えたものが今回のものである。

このモーターの中空部と同軸位置に移送管を配置し、超音波モーターの固定子（ステーター）を移送管と同軸の固定軸に保持する。超音波モーターの回転子（ローター）は、同じく同軸の管により、ニードルバルブの弁体を上下させる機構に結合する。以下、バルブ駆動部の組立図（図3）をもとに各部の動作を説明する。（）内の数字は組立図中の番号である。

ニードルは雄ネジ(002)に固定され、モーターから伝達される動力を雌ネジ

(001)によって直線運動に変え、ニードルを上下させて弁の開閉を行う。

超音波モーター(S05)の構成部品のうち、向かって右側が進行波を発生するステーター（弾性体と圧電素子）、左側がローター（ライニング材と回転体）。ステーターはトランスファーチューブ本体(014)に固定されている。

(S06)の皿バネはローターを適切な圧力でステーターに押し当て、さらにローターのセンタリングを行なっており、モーターの発生トルクはこの圧力によって決められている。(S03)は皿バネの圧力調整ネジ。ローターとの隙間を小さくすることによりバネを圧縮する。さらに、バネのセンタリングも行なう。

(011)はベアリングハウジング。モーターのローターの軸受けを構成し、その外側は後述するトルクリミッタの軸受ベアリングのレースになっている(S03)、(005)、(004)はこれらの構成部品である。

(S01)はボールプランジャ。モーターからの駆動力はこのプランジャを経て雌ネジに伝達される。これはニードルが完全に閉じたあと、さらにトルクが加わらないよう、トルクリミッタとして動作する。規定のトルクがかかると、モーター側と雌ネジ側が分離する。ボールプランジャのスプリング圧力を調整することにより、最大トルクを変えらる。(006)、(007)、(008)はこれらの構成部品である。

(003)は雄ネジの回転防止用のスプラインガイド。実際には少々角変位があっても吸収できる様、先端の接触部を球状にしてある。

ローターには透過型フォトセンサと楕状のチョッピングプレートで構成された回転エンコーダーがあり回転角度を検知する。また、トルクリミッタ部分には反射型フォトセンサと反射プレートを設けてトルクリミッタの作動を検知する。この機構により弁座の磨耗や変形があっても、弁の閉止点を外部から検知して自動的に再調整できる。

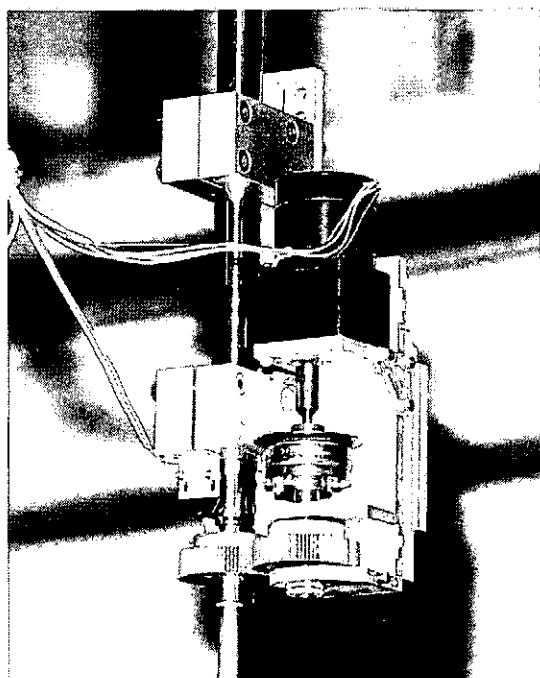


図 1



図 2

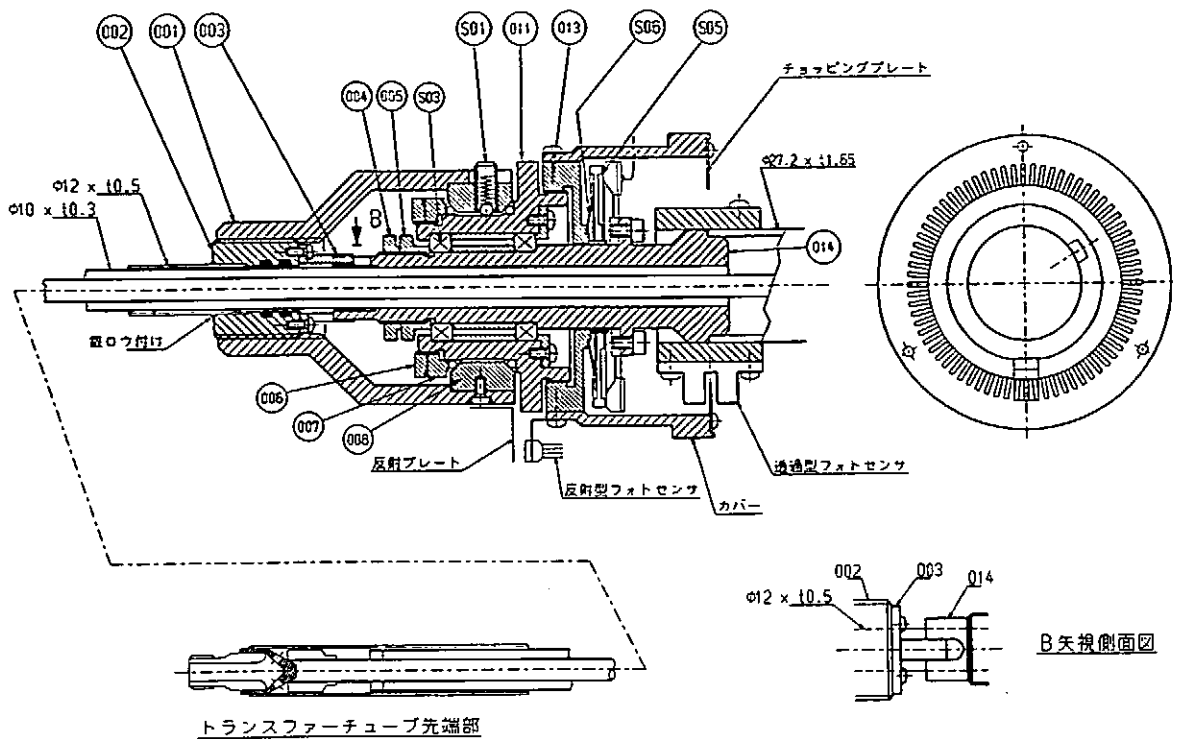


図3 駆動部組立図

4、まとめ

今回、駆動源として超音波モーターを採用した。通常の電磁作用を用いたモータに比べて超音波モーターには以下の特徴がある。

- 1) 軽量、小型で高トルクが得られ、構造が単純である。
- 2) 低速回転が減速機等を用いなくても得られる。
- 3) ローターの慣性が小さいので応答性が良く、制御性が良い。
- 4) 磁気の影響を受けなく、磁気ノイズを発生しない。
- 5) 停電など停止時には保持トルクがあり、ブレーキなど必要性が無い。
- 6) 中空構造（リング状）にできる。

ここで使用したモーターは、(株)新生工業社製USR-60、軸タイプで改造により中空にした。

今回の製作したモーター駆動制御弁は上記の特徴が活かされ、精密な流量制御弁であり、しかも小型にすることができた。さらに、ボールプランジャとフォトセンサを用いることにより、弁の閉止点のずれを自動的に調整する機構が実現できた。

- 1) 浅香修治：「分子科学研究所装置開発室における装置開発体制について」平成5年度核融合科学研究所技術研究会、第5分科会で報告
- 2) 加藤清則 他：“液体ヘリウム自動充填システム”名古屋大学プラズマ研究所技術研究会報告(1988)65
- 3) 脇坂義美、山本純也：“モーター駆動による液体He抽出管の自動閉止装置の試作”高工研第2回技術研究会報告(1986)49

液体ヘリウム移送用ポンプの開発

分子科学研究所

極低温センター、装置開発室

鈴木光一、○高山敬史、早坂啓一、加藤清則、吉田久史、浅香修治

TEL 0564-55-7470 , FAX 0564-55-7448

1. はじめに

我々は、分子研装置開発室IMSマシンプロジェクトの一環として液体ヘリウム移送用ポンプの開発に取り組んできた。

大型の液体ヘリウムコンテナから小型の液体ヘリウム容器に液体ヘリウムをトランスファーする方法としては加圧によるものが一般的である。しかし、加圧による汲み出しには流量の設定ができないとか容器にかける圧力の限界などいろいろと制約が出てくる。

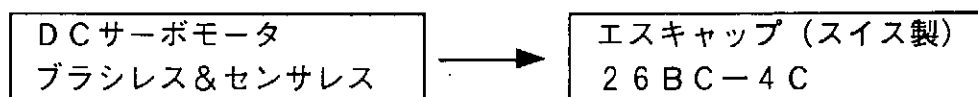
そこで、既存のトランスファーチューブを使用して今回製作したポンプを取り付けることによって液体ヘリウムをトランスファーする方法を開発したので報告する。

2. モータの選定とポンプの製作

2-1 モータの開発

液体ヘリウムがふんだんに使えるという利点を生かして超伝導巻線モータの開発というところから話を進めたが、これには時間と経費がかかるため結局この話は立ち消えになった。

そこで、モータの条件として以下の2点が重要となる。まず最初に液体ヘリウム中でも動作するモータが必要である。これは既存するトランスファーチューブの先端にポンプを取り付けて使用すればポンプの構造が簡単になる。次に実際に市販されているモータでなるべく小型のものがよい。これも先ほどと同様な条件からきている。以上の2点からモータの種類を次のように決定した。

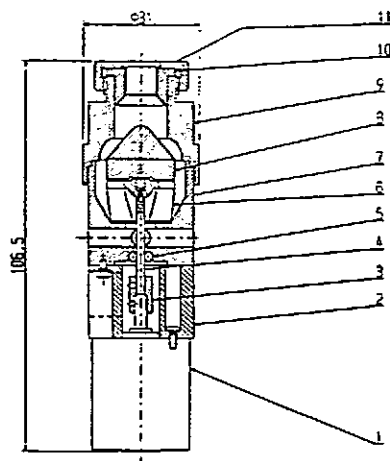


2-2 ポンプの種類

ここでは製作が簡単なため、現在ほとんどの液体移送用ポンプで使用されている方式である遠心式ポンプを採択することにした。

3. ポンプの構造

図1にポンプの構造を示す。モータとタービンはカップリングでジョイントされケーシング内に収まっている。穴より吸い込まれた液体ヘリウムは案内コーンにより導かれて吐出口より吹き出される。吐出口はトランスファーチューブの延長管を取り付けるネジに合わせて作られているため、そのままトランスファーチューブに接続できるのでどんなものでも対応可能である。構造図からみられるように非常に単純な構造となっている。



- 1: モーター ブラシレスDCサーボ 26BC-4C (Portescap Suisse)
- 2: ジョイント (アルミ合金)
- 3: カップリング (アルミ合金)
- 4: タービンシャフト (SUS304)
- 5: ベアリング (SUS440C)
- 6: タービン (樹脂)
- 7: ケーシング (アルミ合金)
- 8: 案内コーン (アルミ合金)
- 9: 吐出管 (アルミ合金)
- 10: アダプタ (SUS304)
- 11: キャップ (アルミ合金)

図1 ポンプの構造

4. ポンプの性能試験

図2のように実際にポンプを取り付けたトランスファーチューブで汲み出しを行った。実験は容器の圧力を完全に大気圧にしてからガラスのデュワー瓶に液体ヘリウムが溜まる速度を測定した。その時のモーターの電源電圧と供給スピードは図3のようになる。ちなみに容器を加圧して汲み出した供給スピードを比較のために掲載した。

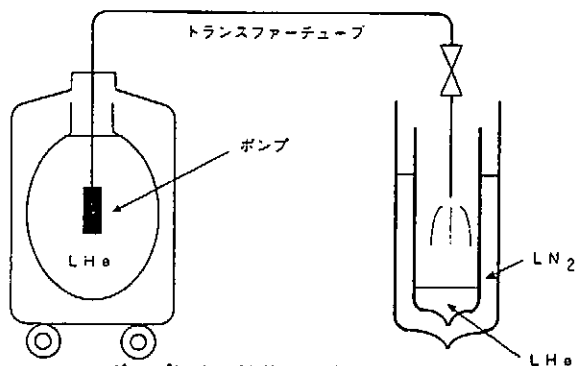


図2 ポンプによる液体ヘリウム汲み出し

5. 結果および考察

まずポンプによる汲み出しが可能であった。これは液体ヘリウム中でもモーターが正常に回ったことを意味する。また、液が溜まり始めるまでの時間を比較してみると加圧による汲み出しよりもポンプによる汲み出しの方が多少ではあるが早いことがわかった。しかし、液が溜まり始めてからは加圧による供給スピードの方が断然早い。

今後の課題としてこのポンプを使用することによって液面計と組み合わせた液体ヘリウム自動補給装置が可能である。また、超伝導巻線モーターの開発も進めていきたい。

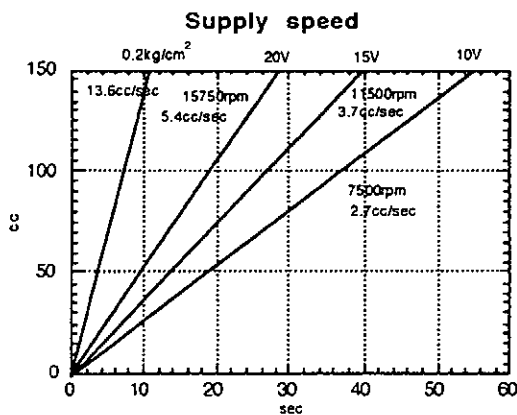


図3 供給スピードの比較

参考文献 1. Advances in Cryogenic Engineering, Vol.35

保冷槽リーク操作の自動化

原研那珂 菊池勝美、秋野 昇、朴木敏郎、櫻村隆則
 國枝俊介、栗山正明、大賀徳道、清水和彦
 TEL. 0292-70-7452 FAX. 0292-70-7459

1. NBI冷媒循環系の概要

JT-60用中性粒子入射加熱装置（以下、NBI）は、JT-60プラズマを高速中性粒子ビームにより追加熱するためのものであり、JT-60周辺に設置されている。これらは、垂直ビーム入射ユニット10基と接線入射ユニット4基から構成され、各ビームライン内には、ビーム入射時に使用される多量のH₂又はD₂ガスを排気するための大容量排気クライオポンプが設置されている。NBI1基当たりのクライオポンプは、大小2種類（大型クライオポンプモジュール4個、小型クライオポンプモジュール2個）からなり、計6個のクライオポンプモジュールから構成されている。各モジュールは、液体窒素温度まで冷却されたシェブロンバッフル、シールド板と3.7K超低温の液体ヘリウムで冷却されたクライオパネルから成り、面積は合計で15m²、NBI1基あたりの排気速度は、H₂ガスにおいて約140万ℓ/secである。

NBI冷媒循環系の液体窒素ラインは、液体窒素タンクより供給されクライオポンプのシェブロンバッフル、シールド板及び、冷凍機初段熱交換器の冷却に使用され、その終端は大気解放とした開ループとなっている。また、クライオパネルを冷却するヘリウム系は、ヘリウム冷凍機で作られた液体ヘリウムを液体ヘリウムデュワーに蓄積し、そこから長尺トランスファーラインを介して負荷である14基NBIタンクの各クライオパネルに供給される。このヘリウム系は、中圧タンク、ヘリウム圧縮機等から成る完全な閉ループを構成している。

図-1に3.6K/3000Wの冷凍能力を有するHe冷凍機のフローを示す。5段階で液体ヘリウム温度まで冷却するための熱交換器、断熱膨張により冷却を行う膨張タービン、閉ループヘリウム系内の不純物を吸着する内部吸着器、各ヘリウム流量及び流路切り替えのための自動調節弁からなり、それらは全て真空断熱された保冷槽内に収納されている。

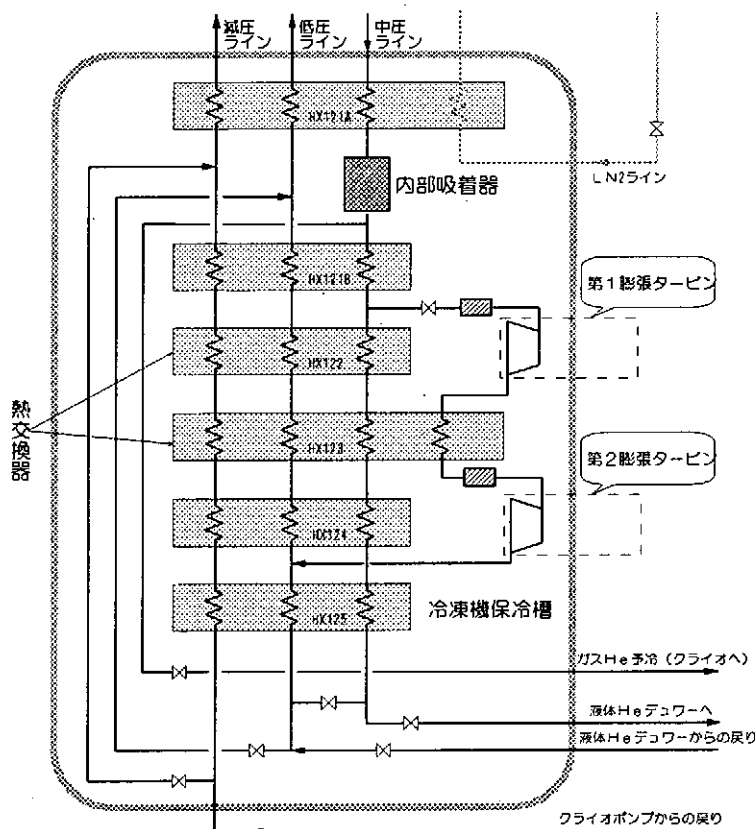


図-1 冷凍機フロー

器、断熱膨張により冷却を行う膨張タービン、閉ループヘリウム系内の不純物を吸着する内部吸着器、各ヘリウム流量及び流路切り替えのための自動調節弁からなり、それらは全て真空断熱された保冷槽内に収納されている。

2. 運転及び純度管理

冷媒循環系は、月曜日に立ち上げ火曜日から金曜日のビーム入射実験終了まで定常運転され、その後再生運転とし停止に至る。設備の運転開始から14基クライオポンプが定常状態になるまで約17時間を要する。クライオポンプの再生及び冷媒系設備の停止には、5～6時間を要する。運転は、図-2に示すように2週間の連続運転と、1週間のメンテナンス週を1標準サイクルとして実施され、計算機システムの自動化により昼夜連続運転して行われる。なお、JT-60運転スケジュールにより3週連続運転等のケースも考えられ、不規則な運転スケジュールに対応しなければならない。特に不純物の管理の面で、本設備はヘリウム精製器を備えていないために、運転中の閉ループ内不純物は液体窒素温度に冷却された活性炭による内部吸着器により除去する方式としており、その対応が問題となる。運転において問題となるのが系内の不純物量であり、連続運転時間に比例して、冷凍機内部不純物はこの吸着器にそのほとんどが蓄積される。閉ループ内への不純物の混入の原因としては、クライオパネル温度を3.7K以下とするため内部圧力を減圧(-45cmHg)としていることから、僅かな大気の吸入が考えられる。特に3週連続運転を行うような場合には、吸着器内の不純物量の蓄積が限界になることが考えられ、運転前に吸着器内の残留分を極力無い状態にしておく必要がある。

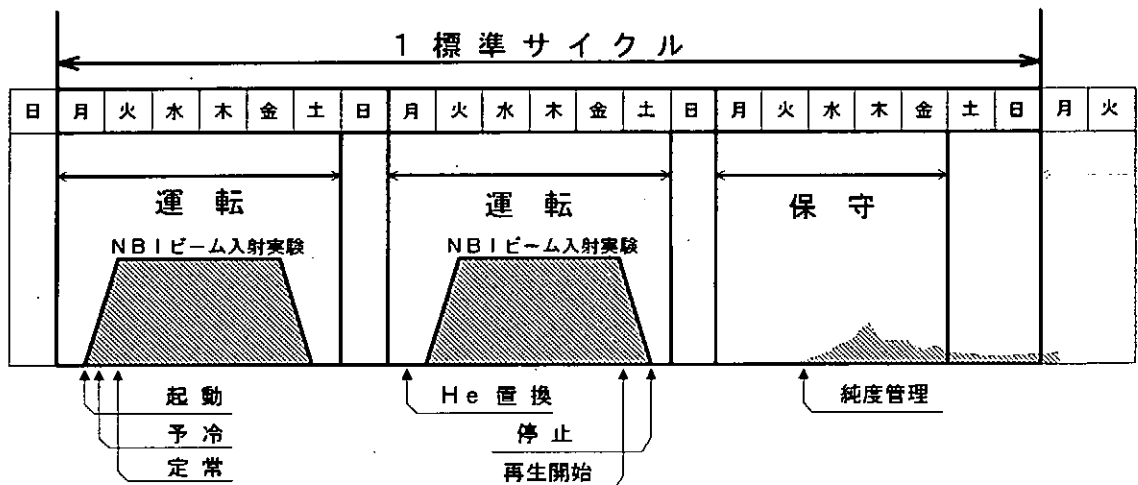


図-2 NB I加熱装置 冷媒循環系設備 運転パターン

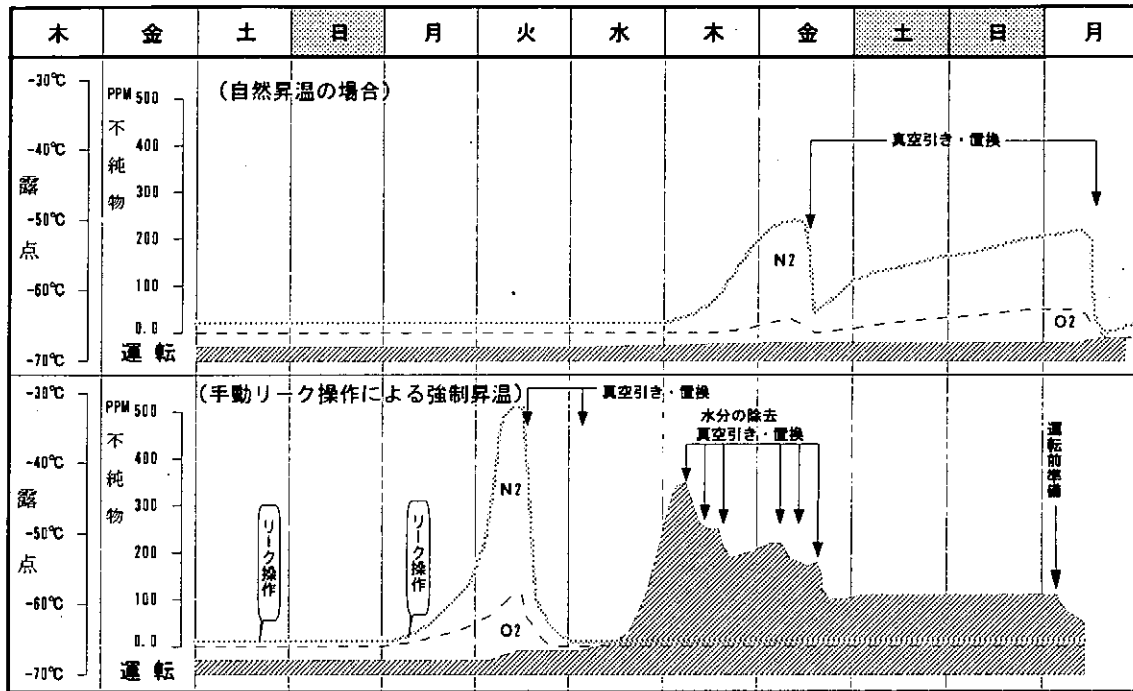
不純物増大によるトラブルは、内部吸着器の不純物吸着量が限界を越えることによる配管の閉塞、タービンの破損等が考えられる。一方、1週間のメンテナンスでは、吸着器の自然昇温による O_2 、 N_2 不純物の再生は可能ではあるが、水分は吸着器内部温度が水分の再生温度まで昇温されないため、除去しきれずにサイクル運転の繰り返しで蓄積されてしまうこともある。そのため時々、強制的に保冷槽内に常温の窒素ガスを導入し、内部吸着器の温度を上昇させ確実に再生させる操作を行ってきた。この保冷槽のリーク操作は、手動操作によるもので保冷槽内部機器に急激な温度変化を与えないよう導入量の微調整を行う必要があり、慎重に行わなければならない。

図-3は、サイクル間のメンテナンス週における一週間での自然昇温と強制昇温での吸着器不純物の再生パターンの違いを示す。上段の自然昇温では、メンテナンス週後半の木、金曜日に O_2 、 N_2 が再生され、水分は再生されずに運転週の繰り返しで残ってしまうことがわかる。図下段は強制昇温時の不純物再生パターンを示す。これは手動操作で冷凍機保冷槽のリーク操作を実施したときの再生パターンである。まず、運転停止時の土曜日に-70cmHg (60 Torr)までリークを行い、再び月曜に-50cmHg (260 Torr)までリークすることにより、図のように N_2 及び O_2 不純物は月曜日から火曜日にかけて完全に再生される。また水分は、水曜日後半から再

生が始まり、メンテナンス（He置換作業）により内部の昇温を促進させることにより、大部分の水分を翌週の月曜日までに再生・除去することができる。この手動による保冷槽のリーク操作を、以下の作業改善を目的として自動化を図った。

1. 作業の大幅な負担の軽減
2. 安定した昇温を可能とするため一定化したシーケンスの導入
3. 遠隔でのリーク操作を可能とする

図-3 自然昇温とリーク操作での吸着器不純物の再生パターンの違い



3. 自動リーク装置

図-4に、保冷槽自動リーク装置概略図を示す。まず、既設保冷槽真空排気用配管部リーク弁に配管を接続し、真空ストップバルブ、リーク流量を制御するマスフローコントローラを取り付け、その上流は既設のGN2配管に接続した簡単な装置構成とした。リーク量の制御としては遠隔制御可能とするため、離れた部屋からマスフローコントローラに制御信号を送るプログラマブル電圧発生器を設置している。この電圧発生器は、

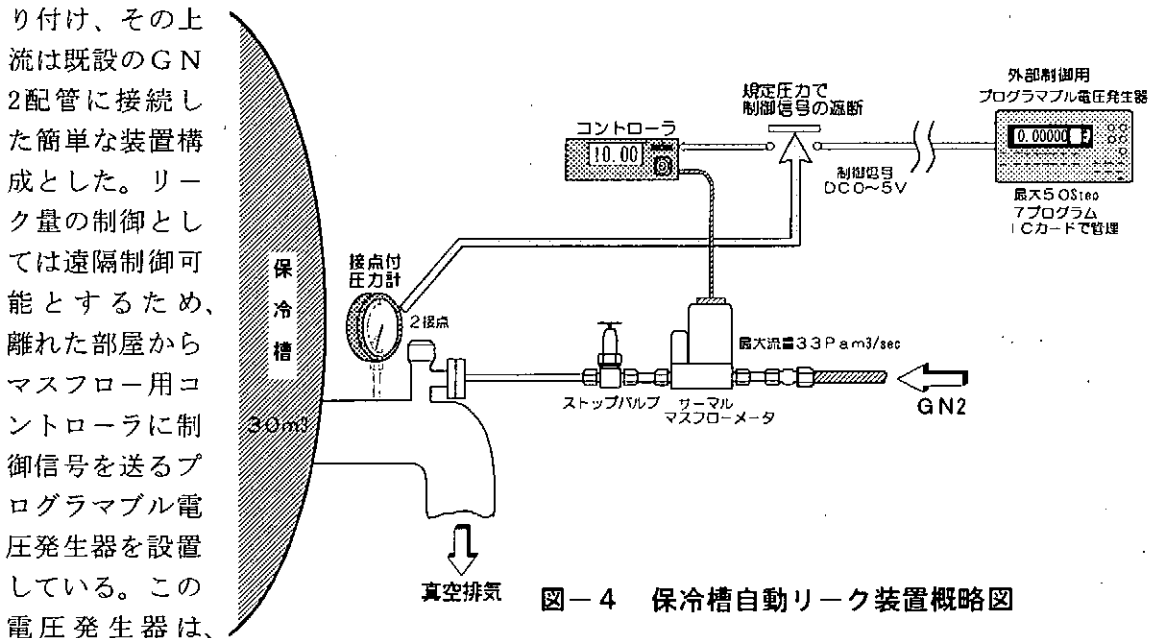


図-4 保冷槽自動リーク装置概略図

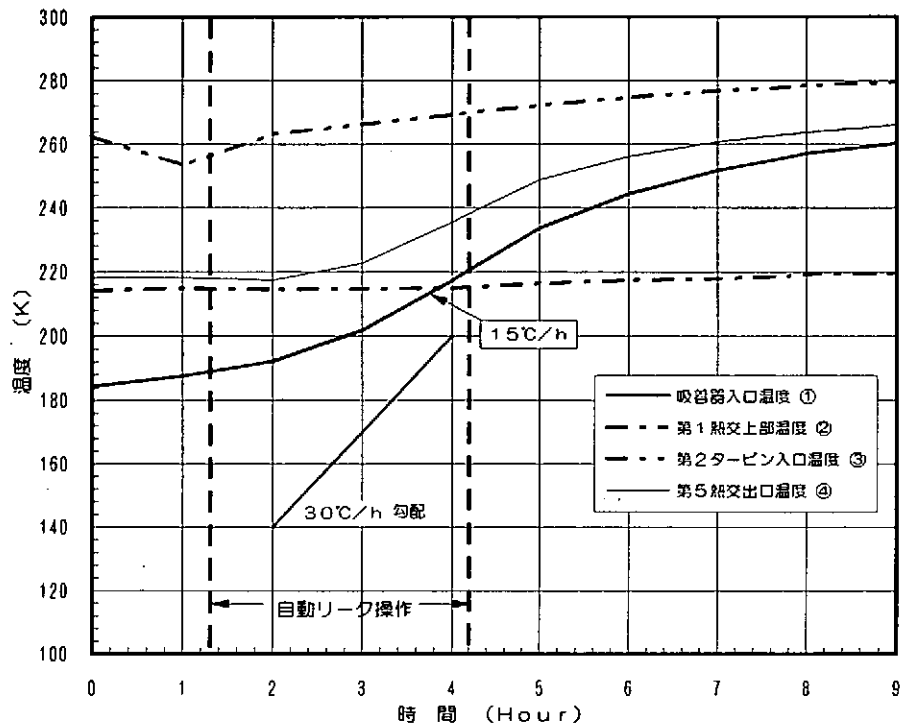
ガス導入シーケンスをステップ工程管理でき、最大50ステップの設定が可能となっており、ICメモ리카ードにより導入シーケンスの違うパターンを記憶管理できるものを使用した。ソフトでの導入シーケンス停止は可能ではあるが、2接点付き圧力計を取り付け-70cmHgと-50cmHgでSWを切り替えることにより、最終的には、リレー接点でマスフロー制御信号を遮断する自動停止シーケンスとした。

4. 自動リーク操作時のデータ

自動リーク装置を設置し、実際にリーク操作を実施したデータを図-5に示す。運転停止後、約3時間の自動リーク操作で強制昇温した時の冷凍機内各部の温度変化の状態を示す。プロット点①③④は熱

容量の小さい配管部温度で、温度変化はリーク操作中にすぐに温度上昇を始める。②の熱容量の大きな熱交換器部ではリーク操作後、緩やかに温度上昇する傾向にある。リーク操作前の目標として、冷凍機内部機器に急激な温度変化を与えない様、温度勾配30℃/Hを越えないよう自動リークシーケンスを設定した。図から、

図-5 保冷槽自動リーク操作時の冷凍機各部の温度



実際に温度変化勾配が最大の所で15℃/Hと約半分の勾配に押さえることができています。自動リーク操作後の吸着器の再生の傾向は、手動でのリーク操作同様パターン(図-3)でO₂、N₂はもちろん、水分の再生が確実に出来ることを確認した。また、今後のリークシーケンスの最適化によりリーク操作での昇温制御を可能とし、より安全な吸着器の水分再生操作を確立したい。

5. まとめ

保冷槽リーク操作を自動化することにより、以下の作業の安全性と合理化を行うことができた。

- 一定のガス導入シーケンスにより、操作の安全性が確保できた。
- メンテナンス一週間内での吸着器内水分の再生を確実に行うことが可能となった。
- 運転員への負担が軽減された。
- 遠隔でのリーク操作が可能となり、入出制限がある管理区域内への入出が不要となった。

大型ヘリカル装置本体の初期冷却計画

森内貞智、佐藤定男、三戸利行、山田修一、馬場智澄
核融合科学研究所

1. はじめに

大型ヘリカル装置 (LHD) は全コイルが超伝導化される世界で最初の核融合実験装置となるため、コイルの超伝導動作を確実にするうえで、常時液体ヘリウム温度での冷却が保証される必要がある。これを実現するにはコイルの断熱設計に加えて、ヘリウム液化機的设计と冷却方式の確立が重要となる。特にLHDのような大型装置の冷却では、被冷却体を均一な温度に冷却しにくく、超伝導マグネットだけでなくその支持構造物の熱応力も重要な問題となる。

2. LHDの概要

LHD本体の主要構成要素は、図1に示すように、2本1組の超伝導ヘリカルコイル、6本3対の超伝導ポロイダルコイル、これらを支える電磁力支持構造物、常温のプラズマ真空容器、輻射シールド、これらを収める断熱真空容器などからなる。

被冷却体の主な構成としては、ヘリカルコイル、ポロイダルコイル、電磁力支持構造物であり、約850 tonもの被冷却重量である (表1)。

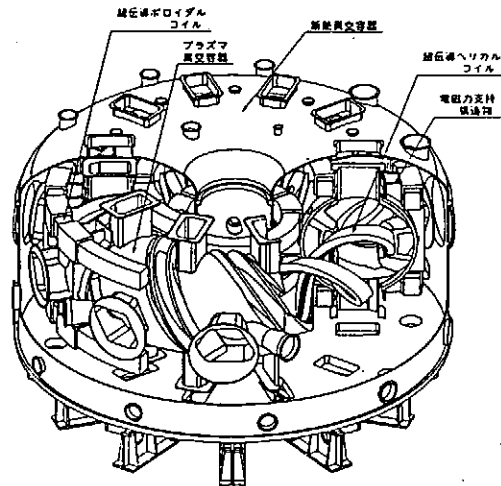


図1. 大型ヘリカル装置全体図

表1

4.4Kレベル被冷却体の重量構成

ヘリカルコイル	170 ton
ポロイダルコイル	270 ton
電磁力支持構造物	410 ton
合計	850 ton

3. ヘリウム液化冷凍装置の構成

コールドボックス	2台 (タービン7台、熱交換器15段) 5.65kW/4.4K、20.6kW/80K、650L/h (カルノー効率22%)
ヘリウム圧縮機	8台 (油噴射式スクリュウ単段圧縮機) 吐出圧力1.86MPa、流量0.96kg/s (19365Nm ³ /h) 出力3.49MW (AC6.6kV)
液体ヘリウム貯槽	20,000L、蒸発率3%/day
液体窒素貯槽	50,000L、設計圧力 1MPa (9.9kg/cm ² G)
ヘリウムバッファタンク	700m ³ 、設計圧力 2MPa (20kg/cm ² G)
ガス回収精製装置	加温器 (250kW)、乾燥器、低温精製器等
計算機制御装置	EWS (3台)、VME (2台)、入出力装置等

4. 冷却システムの予冷手順

装置の予冷は以下の3ステップで行われる。

1) 室温から110Kまでの冷却

予冷用熱交換器 (HX15) により、液体窒素でヘリウムガスを冷却し、得られた低温ヘリウムガスを被冷却体に供給する。予冷時は大きな温度差がつかないように室温のヘリウムガスを混合して温度調節する。本予冷運転モードの最終段階で高温側膨張タービン (T5~T7) を起動する

2) 110Kから20Kまでの冷却

低温側膨張タービン (T3~T4) を起動し、寒冷をタービンで発生させる。液化機の予冷用バイパス弁を切り換え、冷凍運転を行う。最終段階で2台の超臨界膨張タービン (T1~T2) を起動する。

3) 20Kから4.4Kまでの冷却

7台の膨張タービンで寒冷を発生させ、液体ヘリウム貯槽から液体を液送し、被冷却体をヘリウム温度まで冷却する。

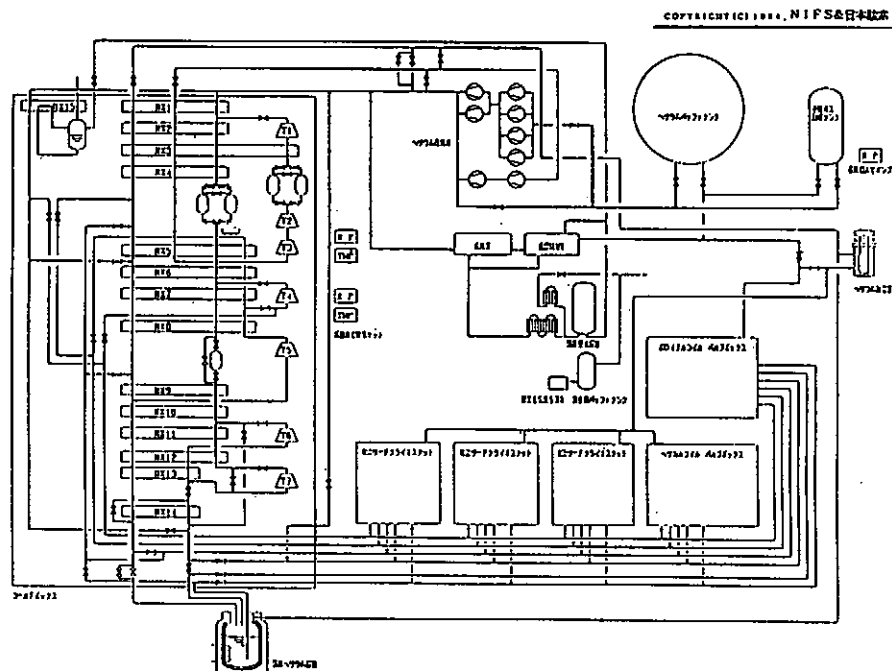


図2. 大型ヘリカル装置冷却系統概略図

5. 電磁力支持構造物の初期冷却

電磁力支持構造物の冷却方式は、2相流ヘリウム強制冷却方式が採られている。電磁力支持構造物の外表面に冷却配管を這わせ、ヘリウムを強制圧送して間接的に冷却する方式である。

実験計画により2週間の限られた期間に約850tonもの被冷却体を均一に冷やすためには、下記のようなさまざまな問題がある。

- 冷却経路の圧力損失を大きくとれないため、冷却流路断面形状を複雑にできず、また冷却長を長くできない。

○冷却流路の分岐を多くすると、流れに偏りができ分配制御が難しい。

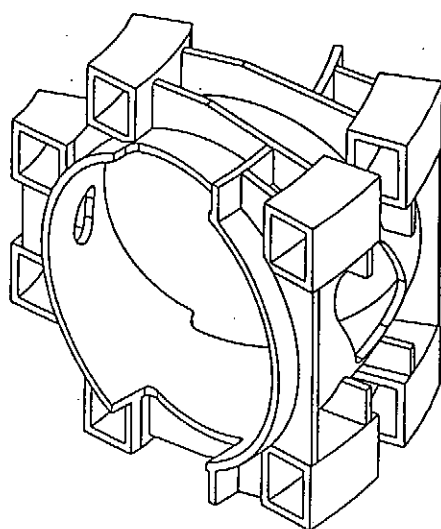
○冷却流路が垂直に配置されると圧力振動がおこる可能性がある。

○冷媒の入口と出口を近づけると熱交換により冷却効率が悪くなる。

以上は初期冷却時の、2相流ヘリウムの特徴的な問題である。2相流ヘリウムの流動挙動は、気体と液体の存在割合、配管配置状態、流体の流量、気液の物性値などに大きく依存する。2相流ヘリウムは非均質流であるため、各々の状態での方程式や境界条件を計算するのは困難である。したがって、ヘリウムの物性を考慮した均質流モデルに基づく1次元解析により、現在検討している。今後解析コードを積極的に利用し、より詳細な計算を行う予定である。

また、電磁力支持構造物は、複雑な形状で被冷却重量が大きいので、3次元熱伝導解析により、温度分布と熱応力の検討を行う。冷媒入口と被冷却体の許容温度差を大きくすることによって、計算上の大幅な予冷期間の短縮ができる結果が出ると考えられるので、許容温度差の再検討が必要である。

これらにより、予冷時間と予冷手段（配管の配置、系統）の最適化を行っていく予定である。



材質 SUS316
板厚 100mm

表2. 電磁力支持構造物に
対する各配分条件
電磁力支持構造物熱負荷

4.4Kレベル：0.49kW

80Kレベル：1.56kW

液化機供給条件（概算値）

圧力：1MPa

圧損：0.15MPa以下

流量：0.3kg/s

予冷期間：2週間

配管径：17.5mm

許容温度差：50K

図3. 電磁力支持構造物（36°モデル）

6. おわりに

本冷却システムは浸漬冷却、超臨界ヘリウム強制冷却、2相流強制冷却等を含む複雑な冷却方式となっている。したがって、各運転モードにおけるヘリウム液化冷凍装置と各負荷設備の条件に整合性のとれた、運転シナリオの確立と制御システムの構築が必要である。表2で示す液化機供給条件は、実際に予冷運転を行わなければならない要素がある。今後ダミー負荷を用いたヘリウム液化冷凍装置の試運転、及び次年度からの複合負荷試験等を実際に行い、結果をまとめ解析していこうと考えている。

液化装置更新の報告

東京大学低温センター ○ 内山 隆司
土屋 光

1. はじめに

本センターのヘリウム液化装置は昭和49年度にSulzer社製装置が設置されて以来、昨年平成4年度まで18年間稼働を続けてきた。しかし長年の使用により、ヘリウム液化機、圧縮機（レシプロ）外部低温精製機、長尺ポンプ等のシステムの老朽化が甚だしく、最近の増大する液体ヘリウムの需要にも対応できなくなってきたばかりか、安全面においても非常に危険な状態になっていた。また、液化装置から発生する振動、騒音が近隣の住民に迷惑をかけていた。

この事情を受け、関係者の努力の結果、平成4年度に新しい液化装置（Linde社製TCF-50型）へと更新がなされた。

旧液化機との大きな違いは、

- ① 外部精製から内部精製になったこと
- ② レシプロ圧縮機からスクリュウ圧縮機に変わったこと
- ③ 自動化されたこと
- ④ 液体ヘリウム貯槽が1000リットルから3000リットルになったこと

である。このことにより、外部に漏れる振動・騒音がなくなり、液化運転時間の制限がなくなり、また、液体ヘリウムの増大する需要にも余裕をもって対処出来るようになった。

2. 装置の概要

ヘリウム液化までのガスの流れは次のようである。

空気成分を含む回収ガスは回収用圧縮機で圧縮され、乾燥器を通った後、一旦長尺ポンプ（不純ガスカードル）に貯蔵される。この不純ヘリウムガスはヘリウム液化機に内蔵された内部精製器に導かれ、不純物を熱交換器中で凝縮及び凍結・固化させることにより分離する。

ヘリウム液化機の液化方法はクロードサイクルであり、液化機本体に設置された膨張タービンにより寒冷を発生し、さらにJ-T弁によりヘリウムを液化し、液体貯槽に貯液する。また、効率的な寒冷発生及び液化を行うための補助寒冷として液体窒素を使用している。

3. 装置の性能・仕様

液化システムの主な構成装置の仕様は次の通りである。

(1) ヘリウム液化機

型 式	TCF-50型	
	2段ガスベアリング式膨張タービン型	
	ガス精製システム内蔵型	
液化能力	純Heガス使用時	150ℓ/hr
	98%Heガス使用時	145ℓ/hr
	90%Heガス使用時	125ℓ/hr

予冷時間 3時間以内
液体窒素使用量 140ℓ/h r 以下

(2) 液化用ヘリウム圧縮機

型式 油噴射式スクリー式2段圧縮機
吸入圧力 0.6 kg/cm²G
吐出圧力 16.0 kg/cm²G
吐出流量 1430 N m³/h r
主電動機 240 kW

(3) 液体ヘリウム貯槽

型式 縦型円筒ガスシールド式
充填容量 3000ℓ
設計圧力 1.0 kg/cm²G
蒸発率 1%/day 以下

(4) ヘリウム乾燥器

型式 縦型円筒自動切換式(24時間切換)
充填材 モレキュラーシーブス
精製時間 24 h r
再生時間 24 h r
運転圧力 150 kg/cm²G
処理流量 123 N m³/h r × 24 h r

(5) ヘリウムバッファタンク

型式 縦型円筒式
設計圧力 9.5 kg/cm²G
内容積 15 m³

4. 稼働状況

ヘリウム液化機には精製器が内蔵されている。従来の低温精製方式では再生作業が必要であり連続精製が出来ず、これがシステムのスループットを決めていたが、この制限がなくなった。

近隣に振動を与えていたレシプロ圧縮機(旧圧縮機)が、振動の少ないスクリー圧縮機に変更されたことにより振動がなくなった。また、騒音を低減させるために圧縮機室内の吸音・遮音対策を行った。コンプレッサー室外で騒音測定をした結果、46 dBであった。その値は、隣接する住宅地の暗騒音と同じくらいのレベルの数値である。このために近隣からの苦情がなくなり、液体ヘリウムの需要が増加したとしても、液化機を長時間運転できるようになった。

ヘリウム液化機にはコンピューター制御装置が付属されており、液化機の予冷、液体窒素供給、タービンの起動及び精製器運転及び液化機の停止など、ほとんどの操作が自動化されている。このため日常的な作業は非常に簡素化された。しかし、システムがブラックボックス化しているため、後述のように運転条件の変更が必要になった場合には逆に対応が困難になる面がある。

液体ヘリウム貯槽には、汲みだし口が2カ所設けてある。貯槽の容量は1000リットルから3000リットルとなり、汲み出しも自動化されたことで、供給がスムーズに行えるようになった。現在、週に2000リットルの供給を行っている。

5. 課題とまとめ

液溜（図1参照）にたまったヘリウムを3000リットル貯槽に移すのに、初期の段階では約1時間30分かかっていた。これは液溜（S142）に早く液が溜まり、トランスファーチューブの予冷が十分行われる前に液が貯槽の方に流れてしまったからである。液溜にたまったヘリウムのほとんどはトランスファーチューブ内でガス化され、貯槽にガス状態で送られるため貯槽の内圧が高くなり液化機がトリップをしてしまうことが頻繁に起きた。これを避けるためにCV142のバルブがヘリウムガスのもどりの温度（TI170）60Kになったら強制的にバルブを15.5%開けて貯槽内の圧力を0.2kg/cm²以上になるようにした。内圧が0.2kg/cm²以上ないとガスのもどりのラインにあるCV173のバルブが開かないからである。バッファタンクから3000リットル貯槽に手動で圧力をかければ問題はないのだが、頻繁に調整しないといけないためこの様なことをした。今ではこの時間ロスはなくなり、始動後2時間40分で貯液が始まっている。

液化機、圧縮機、液体ヘリウム貯槽等は、制御用コンピューターにより監視、制御され起動から停止まで問題なく全自動運転が行われている。現在のところ、将来の液体ヘリウム需要増にも十分に耐え得るものと考えられる。

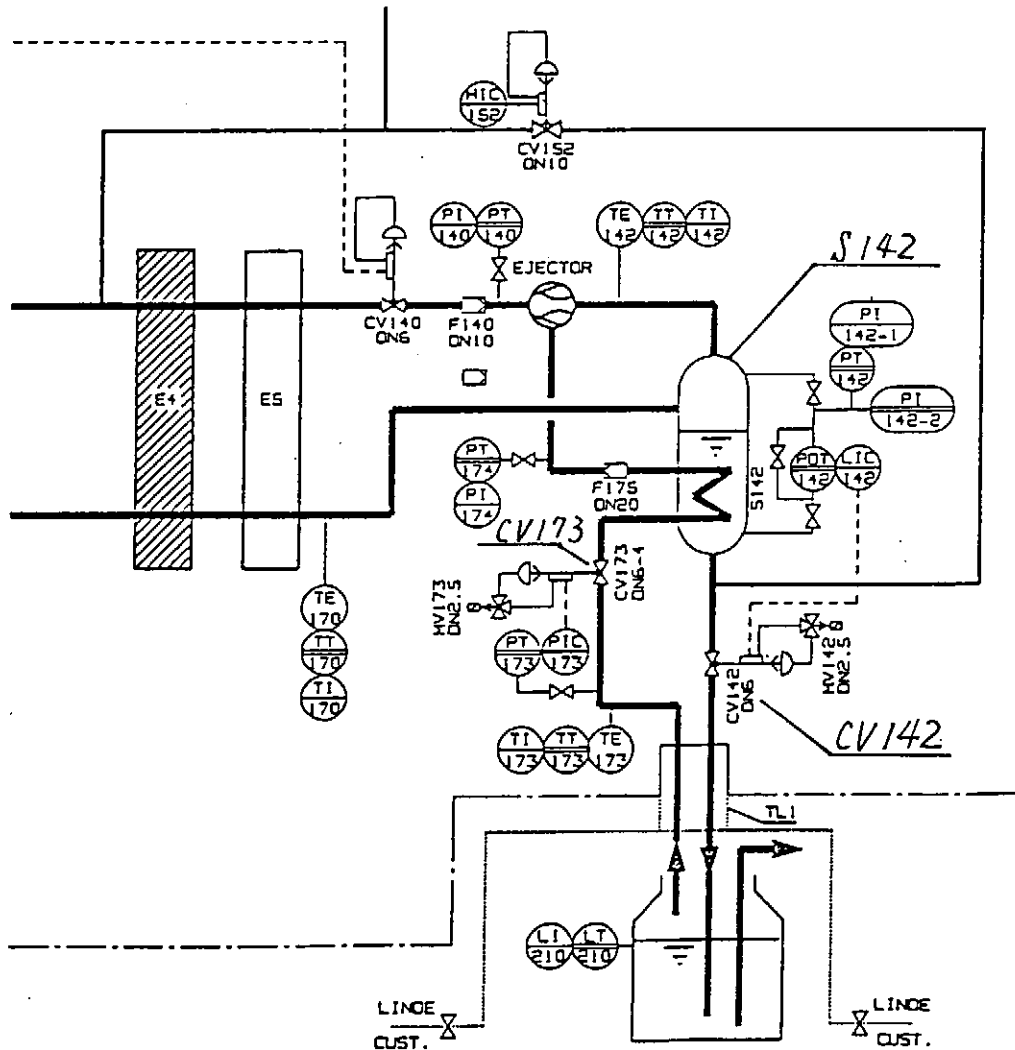
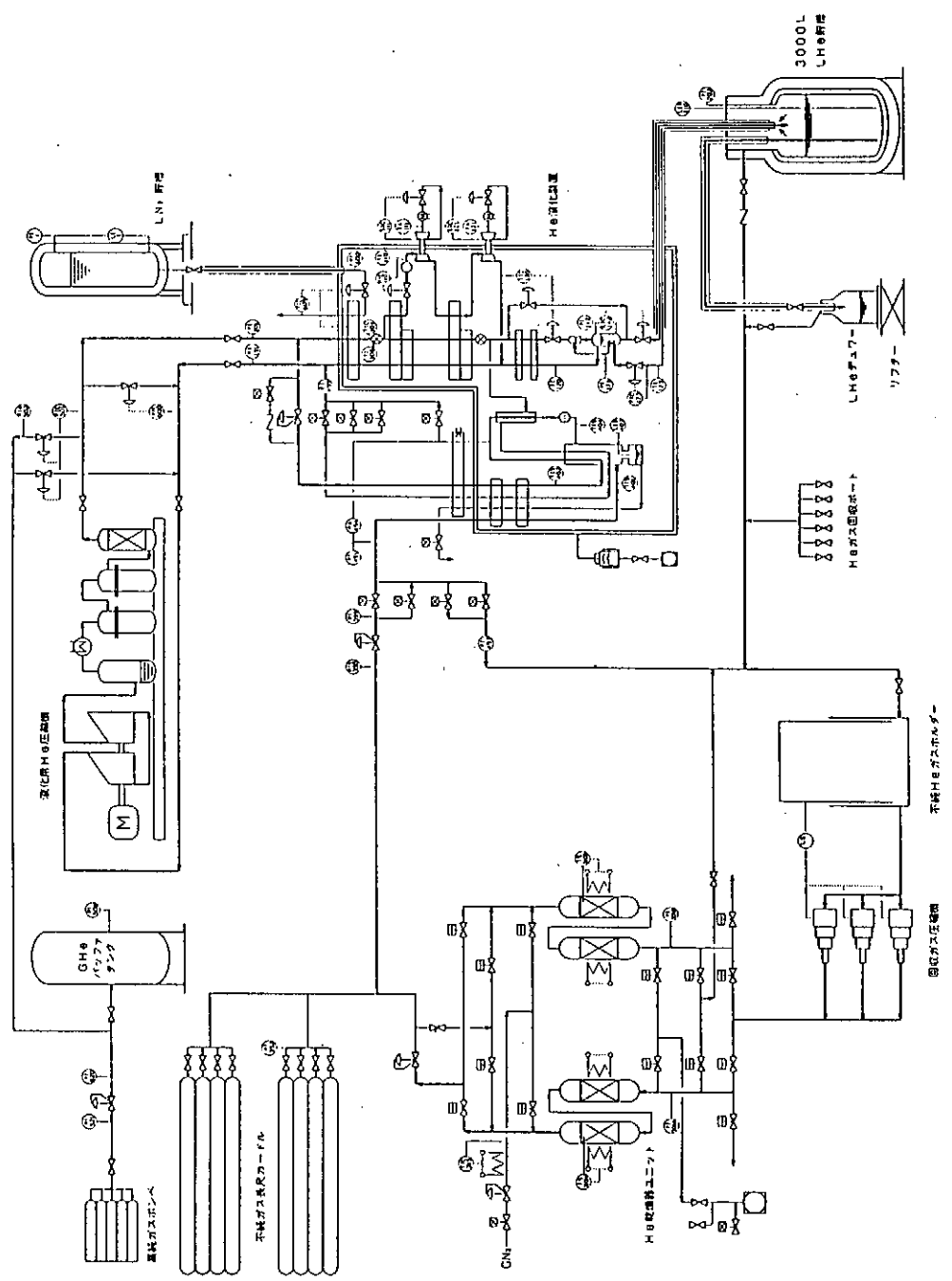


図 1

東京大学低温センター H₂液化装置



極低温中で使用できる封じきりバルブ

分子科学研究所
極低温センター、装置開発室
加藤清則、加藤真治、高山敬史、早坂啓一
Tel 0564-55-7470, Fax 0564-55-7448

1. はじめに

我々は、超伝導マグネットの円筒形のボア内(内径32 mm)に、断熱真空で囲まれた空間を持つ真空断熱インサートを挿入し、その中の温度を変えて実験に用いている。そのインサート内に測定系を組み込み、さらにサンプルや温度計を取り付けている。ボア内の限られた空間に、真空断熱インサートと測定系を組み込む必要があるために、断熱真空部分は封じきりにしている。これは断熱空間を排気する排気管が取り付けられないためである。この封じきりするための方法には、今まで円筒状の中空はんだを排気しながら圧着しはんだ鍍で封じきっていた。しかしこの方法は封じきる時に経験を要し、またはんだの入手も難しい。そこで、我々はインジウムワイヤとカットオフバルブを組み合わせた、新しい真空封じきり方法を開発した。この方法は極低温雰囲気、磁場条件中で使用することを目的としている。使用する材料は入手が容易なものばかりである。

2. 超伝導マグネットの概略

図1に、12テスラ超伝導マグネットの概略を示す。ボア内径は32mmでありその中に真空断熱インサートを挿入し、He-3を用いて0.5 Kを発生させている。シングルショット型のHe-3冷凍器であり、一回あたりの0.5 K 持続時間はおよそ3時間である。

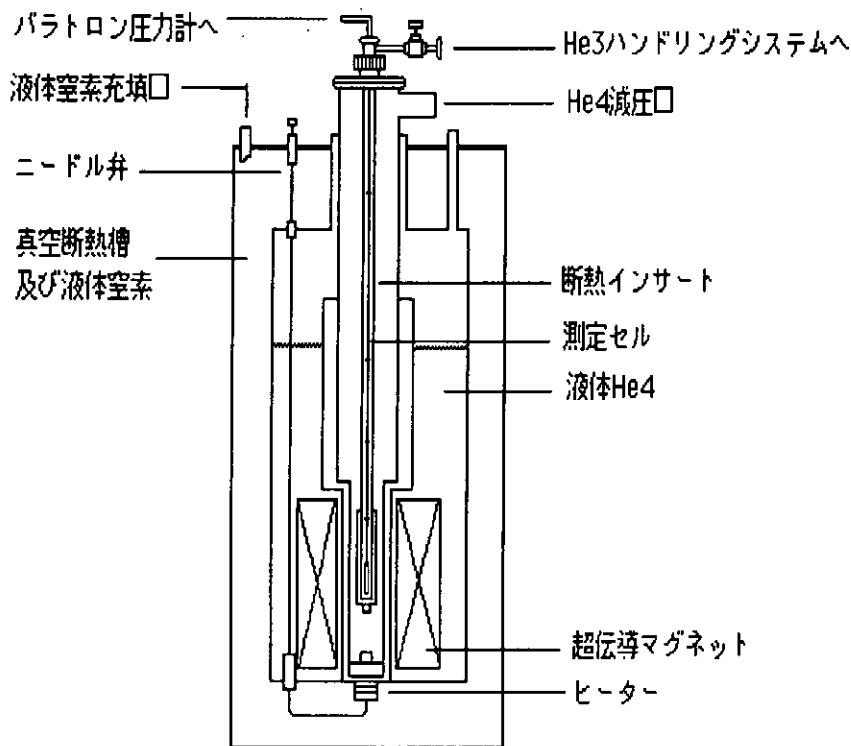


図1 超伝導マグネットの概略

3. 真空断熱インサートの製作

図2(a)にインサートの全体図を示す。インサート上部のKF25 フランジを介して測定系を挿入する。図2(b)に断熱部分の部品組立図を示す。パイプの材質はステンレススチールを用い

た。外管外径 28mm、肉厚1 mm、内管外径 22 mm、肉厚1 mmである。封じきり部板、内蓋、リングはステンレス、厚さ5mm である。断熱される部分の内部長さは 250 mm である。組立は溶接でおこなった。

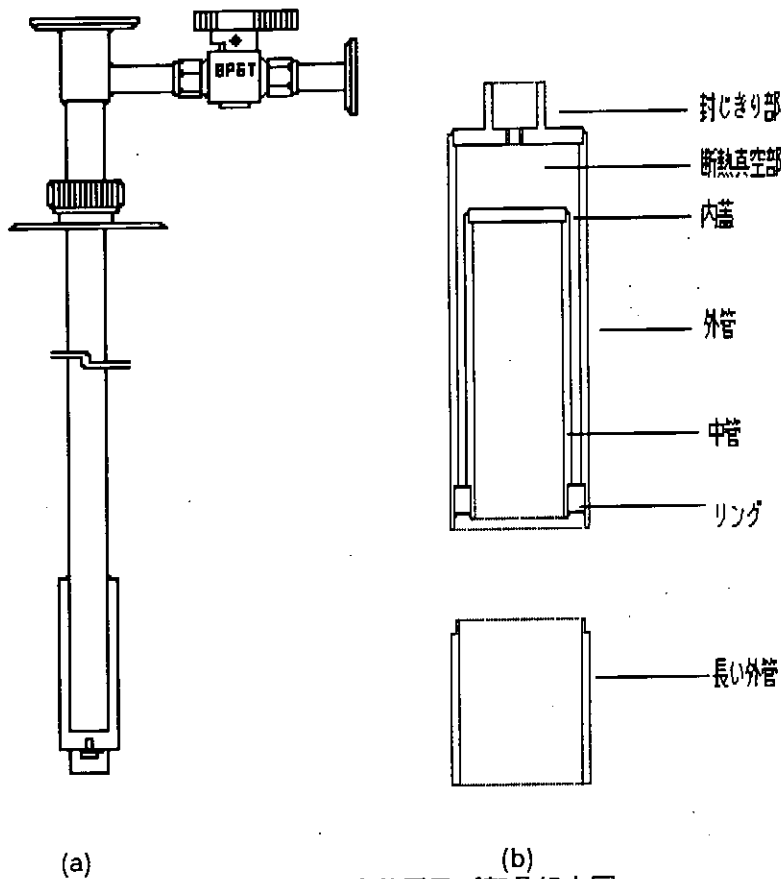
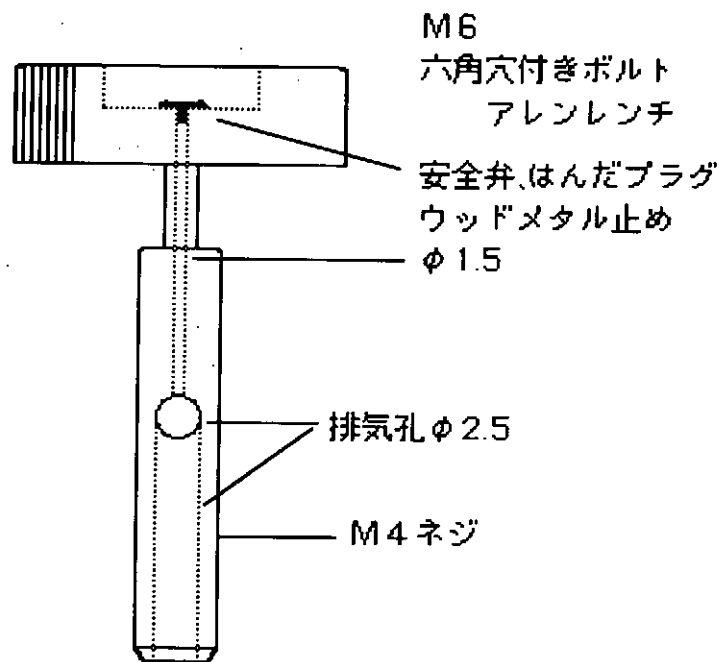
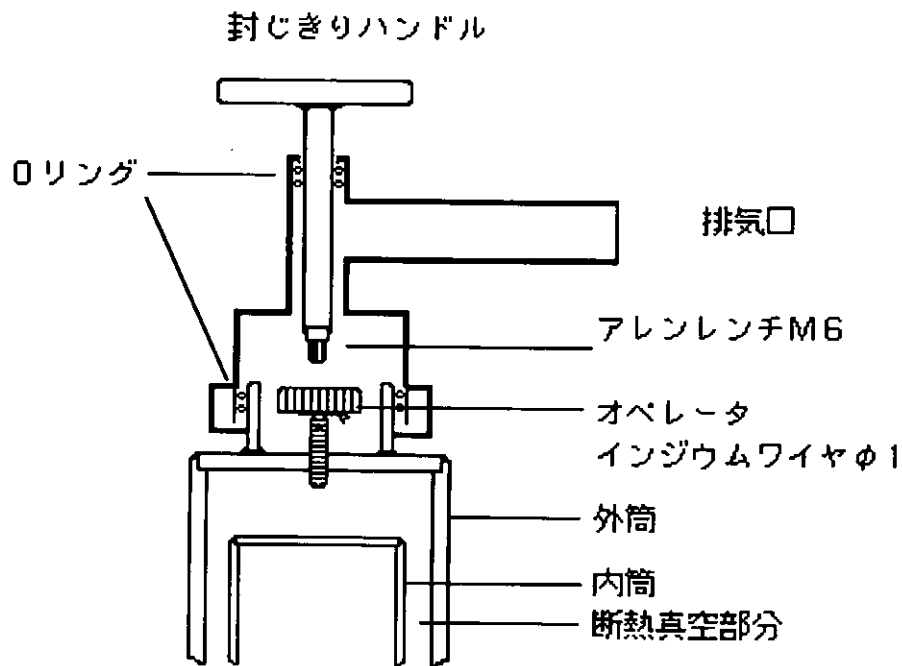


図2 全体図及び部品組立図

排気しながら封じきるために、市販カットオフバルブを改造し治具を作った。カットオフバルブは東理社のトランスファーチューブを排気するために購入したものを利用した。ステンレス丸棒の先端に0.2 mm程度の厚さの中肉薄肉管部分を作り、M 6 アレンレンチを10 mm 切り圧入した。それにステンレス丸棒をTの字に溶接しハンドルとした。オペレーターにはM6六角穴付きボルト(M6x12)のネジ部を削り丸棒にし、そこにM4のネジを切り直した。ボルトの中心には排気孔として直径2.5 mm の穴をあけ、そこに直角に穴をあけ連結した。ネジの頭部に直径1.5 mm の穴をあけ、はんだを詰めウッドメタルではんだ付けし安全弁とした。シール材には、直径1 mmのインジウムワイヤを使用した。図3に改造カットオフバルブとオペレータを示す。カットオフバルブの袋ナットの内径にあわせて、封じきり部のガイド外径を決める必要がある。我々の場合は外径 18 mm である。

封じきる準備をしてから排気をする。図3に示すようにネジを数回まわし、立てておく。ネジ頭の下部に真空グリースを塗り、インジウムワイヤをボルト周囲にまわし両端を重ねておく[1]。ハンドル先端のアレンレンチをボルト頭に差し込んでからカットオフバルブの袋ナットを締め込む。それから排気する。ターボポンプまたはデフュージョンポンプで排気する。1-2日排気すれば十分である。封じきるときは、ゆっくりとハンドルをまわしていく。抵抗が感じられたらさらに1/4ほど締める。締め切れればポンプを止めてハンドルを引き上げる。これで封じきりは完了する。オペレータをねじって締めることになるので、インジウムワイヤが横ずれをおこしていないかの確認のために封じきり後にオペレータをはずしてみた。ワイヤは広がっていたがネジ切れてはいなかった。十分なシールができていた。



オペレーター

図3 改造カットオフバルブ治具とオペレーター

4. 試験

溶接の各段階でリークデテクタで漏れ試験をおこなう。封じきりが完了したら液体窒素に断熱真空部分を差し込んで内部に液体窒素が流入しないことを確かめる。その後液体窒素に浸けてリークテストをおこなう。合格すれば実地のテストをおこなう。図4に我々が行った実地試

験の例を示す。温度計は Pt-Co を用い、断熱インサート内の測定セルに取り付けてある。

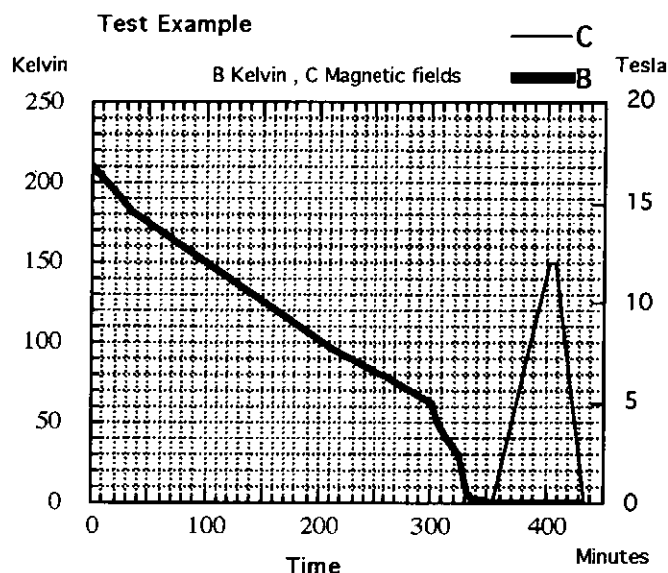


図4 実地試験の例

超伝導マグネット内は実験に使用した直後であったので内部は冷えていた。インサートを半分ほど装置内に挿入し放置し、80 K まで冷却した(挿入から255分経過、0.5 K/分)。インサート全体を挿入し、ニードル弁を少し開けてL.He-4 を流し入れ 4.2 K まで冷却した(0.63 K/分)。キニーポンプで He-4 を減圧し He-3 を凝縮した(所要時間15分)。L.He-3 を減圧し 0.5 K を得た(同11分)。その温度を維持したまま磁場を 12 T 加えた(同50分)。5分間 12 T を維持した後磁場を下げた(同25分)。回収 He-3 ガスの圧力増加から経験的に 0.5 K 保持時間を見積もると3時間になる。これは、はんだシールした断熱真空インサートと同等の性能を持つ。

本試験の後、94年1月、2月、3月にそれぞれ3日づつ実験に使用しているが問題はない。初めて封じきってからほぼ2年が経過しているがまだ真空劣化の兆候はみられない。

5. まとめ

(1)極低温雰囲気中、高磁場で使用できるカットオフバルブ型の新しい真空封じきり法を開発した。(2)封じきり治具は市販室温用カットオフバルブを改造した。シール材にはφ1mmインジウムワイヤを用いた。ボルトを改造してオペレータとした。(3)この技術を用いれば、超伝導マグネット用の温度可変断熱インサートだけでなく、液体ヘリウム容器に直接挿入できる温度可変インサートができる。

本方法は、岡山大学理学部、大嶋孝吉教授との共同実験から生まれました。感謝いたします。

参考文献

- [1] Richardson and Smith ,EXPERIMENTAL TECHNIQUES IN CONDENCED MATTER PHYSICS AT LOW TEMPERATURE, Addison Wesley publishing Co., Inc.
Balshaw, ELEMENTARY PRACTICAL CRYOGENICS, Oxford Instruments Ltd

アバランシェ・パルサの高速化(Ⅲ)

京都大学原子炉実験所 高見 清

1. はじめに

元々、興味を持っていたが、1989年、放射光(広島大学計画)単バンチ運転用電子線型加速器(ライナック)の短パルス電子銃の可能性に関して、質問を受けたことをきっかけにして本格的にアバランシェ・パルサの高速化に取り組み始め、現在は、パルサの高速化に専念している。

これまでに異なるタイトルを含めて4回報告しているため、今回は5回目である。報告は、その時点で得た知見等も報告してきたが、立上り時間が100pS近くになり、これまでとは異なる認識もある。～100pSを実現する手法や知見を報告する。

2. 多段回路の考察

前回、文献等を参考にトランジスタ2SC3736(NEC)を使い、トリガ段と出力段に分割した回路を報告したが、段数の増加(大振幅化)でこれまでと同様に波形の振動が大きくなった。また、伝送線の評価は、立上り時間～200pSで有効と思えた段間の回路パターン調整も立上り時間～100pSにはマイナスと思える結果であった。そこで、私なりに多段回路の動作を考察した。

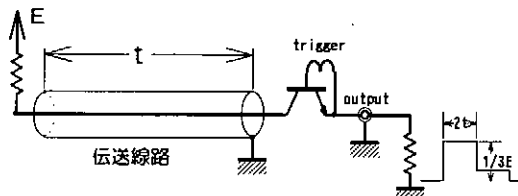


図1. 伝送線式アバランシェ・パルサ

図1は、伝送線式(line type)パルサのスイッチとしてアバランシェ・トランジスタを使った回路である。ベースにトリガを加えて2次降伏現象を起こさせ、スイッチ動作を行う。但し、理想スイッチと異なり、アバランシェ・トランジスタの2次降伏状態は、ショート(電圧零)ではなく、1次降伏電圧の約1/3がトランジスタに残る。このため、伝送線と負荷側のインピーダンスが等しい場合、スイッチON時に負荷と伝送線に生じるパルス電圧は、1次降伏電圧の約1/3になる。そして、伝送線の開放端からパルスが戻っても負荷と伝送線間に電圧が残るために主パルス後にペDESTALを生じる。伝送線特性インピーダンスに比べて負荷側インピーダンスを小さくすれば、ペDESTALを小さくできるが主パルスも小さくなる。

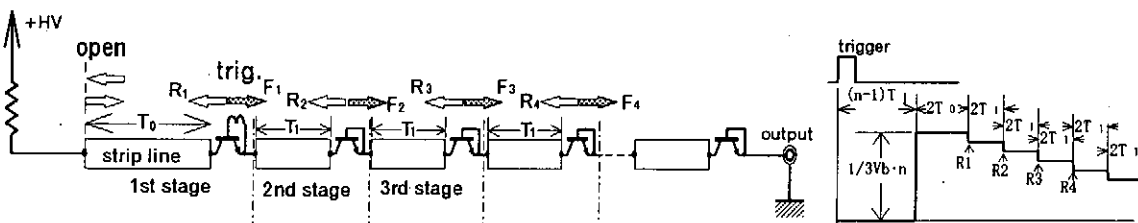


図2. 伝送線型多段伝送線式パルサ

出力波形

多段アバランシェ・パルサの回路動作を考察する上で、トランジスタとトランジスタの間を伝送線で接続した図2の回路を考える。初段のトランジスタは、ベースにトリガを加えてスイッチ(トランジスタ)をON(2次降伏)させ、2段目以降は、伝送線の電圧を上げてスイッチをON(2次降伏)させる。トランジスタ全てを一つのスイッチと見れば、一つの伝送線式パルサであるが、各段も伝送線とトランジスタで構成する伝送線式パルサであり、伝送線式パルサの多段接続になっている。

多段接続した伝送線式パルサは、初段のスイッチがONして発生した負荷側に向かうパルスが、次のスイッチをONし、電圧が加算され、その次のスイッチに向かう。このように初段で

負荷側に向かったパルスは、アバランシェ・トランジスタを順次ONしながら電圧が加算されて出力に現れる。出力は、約 $1/3 \times 1$ 次降伏電圧 \times 段数のステップ・パルスになる。

一方、初段トランジスタで伝送線側に発生したパルス（逆極性で $1/3 \times 1$ 次降伏電圧）は、伝送線の開放端と同極性で反射されて負荷に向う。出力パルスからの遅れは、初段伝送線の往復時間になる。このパルスで出力を1段分（約 $1/3 \times 1$ 次降伏電圧）下げる。2段目のトランジスタの反射波は、初段の反射波よりも段間伝送線の伝搬時間 (=t) 遅れて発生して、段間伝送線から初段のトランジスタを通り、初段の伝送線の開放端で反射されて負荷に向う。初段の反射波よりも $2t$ 遅れて出力電圧を1段分電圧を下げる。同様に3段目は2段目よりも $2t$ 遅れて負荷に向う。このように、段毎に $2t$ づつ遅れて負荷に加えられ、出力パルスは階段状に下がる。これが多段パルスの立下がりが遅くなる理由であり、立下がり時の振動は本質的に生じる。この回路を、伝送線型多段伝送線式パルサと名付けた。

ステップ応答パルスから矩形波を得るには、出力を同軸ケーブルでクリップしたり⁽¹⁾、2台のパルサで合成して得られる⁽²⁾が、立上り後できるだけ静かに立下がるパルスが必要なので、伝送線型多段伝送線式パルサは不適當である。

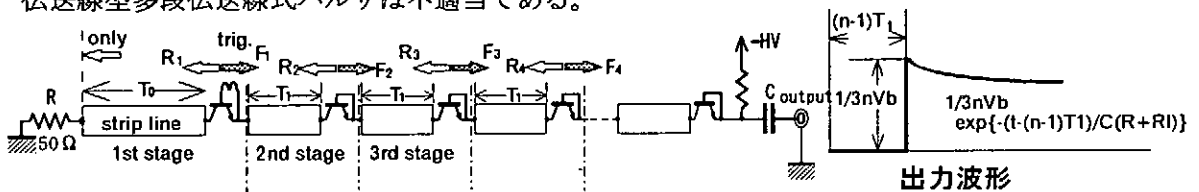


図3. CR放電型多段伝送線式パルサ

静かな立ち下がりが期待できるパルサとして図3を考えた。

全てのトランジスタを一つのスイッチと見るとCR (Capacitor, Resistor) 放電型パルサで、図2の初段伝送線の開放端を特性インピーダンスで終端する。各トランジスタから伝送線路側にくるパルスを吸収し、負荷側に反射させないので立下がり振動が生じない。立ち下りは $C * (R+R1)$ の時定数で決まる。CR放電型多段伝送線式パルサと名付け、今後、ステップ・パルサに採用する。この回路は、終端抵抗側に階段状で立上る、出力と同じ振幅のパルスが生じることに注意が必要である。

3. 多段伝送線式パルサによる2SC3736の評価

2SC3736 (NEC) を図3の回路でテストした。（実際は、先の考察と並行して行った。）

片側全面アースのプリント板上に長さ約30cmの50Ω伝送線路を引き、片端を50Ωで接地（終端）し、もう一方は、コンデンサー、出力コネクタを通してオシロスコープに入力する。終端

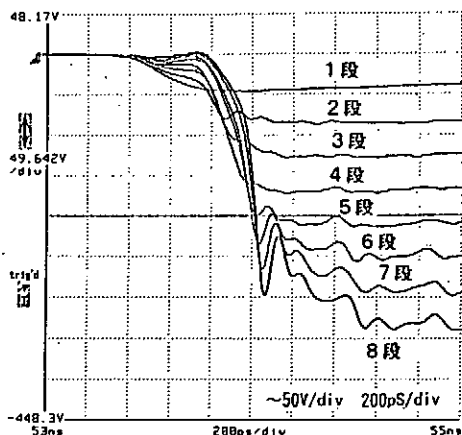


図4. 2SC3736の段数追加による波形変化

抵抗の近くをカットし、2SC3736を接続し、ベースにトリガを加える。コンデンサーの近くに高抵抗を通して高圧を加え、トランジスタを1次降伏にバイアスする。これで、1段のアバランシェ・パルサとなる。その後、約4cm毎に伝送線をカットし、そこにアバランシェ・トランジスタを追加し、バイアス電圧を上げながら、波形を観測する。

こうすると、トランジスタを追加しても、初段トランジスタからオシロスコープまでの伝送線の長さは変わらないので、トランジスタ追加によるパ

ルスの遅れも測定できる。2SC3736を1段から8段まで追加し、得られた波形を図4に示す。図4から、次のような知見が得られる。

(1) トランジスタの追加は、振幅が大きくなるだけでなく、立上りも速くなる。

(2) 遅れ時間は、アバランシェ・トランジスタの1次降伏から2次降伏への移行時間であるが、トランジスタが5段位になると、1段当たりの遅れは、 $\sim 20\text{pS}$ となる。これは、トランジスタ内部のリード線インダクタンス $\sim 1\text{ nH}$ による遅れ($\sim 10\text{pS}$)も含まれているので、1次降伏から2次降伏への移行時間は、十分大きなエネルギーを加えると $\sim 10\text{pS}$ 以下と予測できる。これまでに移行時間を測定した報告の有無を知らないが、この値はかなり小さく、二次降伏現象は、急峻で大きな電界でベース層をトンネルする現象と予想させるものである。(私の仮説)

NECデータ・ブック⁽³⁾に示す2次降伏現象は、ここでいう2次降伏状態に長時間($\sim \mu$ 秒)滞在することで、トランジスタ内部に局部的破壊が生じ、著しく低い電圧まで下がる現象を説明していると判断する。ここでいう2次降伏現象は、本⁽⁴⁾にも示されている。

(3) 2SC3736は、立上り時間が $\sim 150\text{pS}$ 以下になると振動が大きくなり、高速化するほど、振動も大きくなる。振動を無視して、8段から16段に増やしてみたが、立上り時間 $\sim 110\text{pS}$ が限界であった。以上の結果から、2SC3736で立上り時間 100pS は、実現できないと判断した。

この測定は、特性が揃った2SC3736を使い、段数を追加しても同じバイアス電流(トランジスタによっては電圧)にしている。この傾向は、他のトランジスタにもあると予測する。

多段伝送線式パルサは、トリガを加えたトランジスタから1本ずつ順次スイッチしていく。この結果、段数増加で、スイッチ時にトランジスタに加わるエネルギーが段々大きくなり、高速化する。限界速度は、遅れ時間 $\sim 10\text{pS}$ に近いと予測するが、トランジスタの浮遊インピーダンスや伝送線等で制限を受けると考える。

4. トランジスタのテスト

これまで、2SC3736(NEC)を使って高速化を行ってきたが、高速化の限界が明確になった。そこで、昨年夏、タイム・ジッタの大きいMMBT5551L(MOT)6段を2SC3736 4 + 1 2段でドライブする回路を試作した⁽⁵⁾。波形の振動が大きく、実用に耐えなかったが、一応、振幅 $\sim 1,000\text{V}$ で、立上り時間 $\sim 120\text{pS}$ を得た。この結果から、1段で遅いトランジスタも多段化すれば、 $\sim 100\text{pS}$ クラスを実現できることが明確になった。そこで他のトランジスタをテストした。

今回は、英国ZETEX社から表面実装型トランジスタ10種類のサンプル提供を受けてテストした。少数個で少ない時間のテストであるが、次のような知見を得た。

(1) FMMT2222Aは、振幅は小さい(1次降伏電圧は $\sim 130\text{V}$)が、最高速のトランジスタであった。多段接続時に並列抵抗不要のトランジスタである。以前、サンプル・テストで使い易いトランジスタとして紹介した2SC4173(NEC)に似ているが、振幅は大きい。

(2) FMMT5550, FMMT493, FMMT494, FMMT495は、それぞれ振幅は異なるが、1本での特性は、MMT5551L(MOT)に似ている。何れも並列抵抗が必要なトランジスタである。

(3) (2)に示すトランジスタは、できるだけ高い電圧を加えた方が、発生するパルス電圧が大きく、立上りも速くなる。しかし、高すぎると漏れ電流が増加し、タイム・ジッタが大きくなり、電圧が制限される。テストで電圧を加え始めると、時間と共に漏れ電流が少なくなり、加えられる電圧が大きくなる傾向がある。

テスト開始からの変化が大きいため、トリガを加えず、トランジスタに数 μA の電流(1次降伏状態)を流し、2~3日間エージングした。少ないサンプルであるが、このエージングで漏れ電流低減(DCクリーニング?)効果があった。図5にエージング前と直後の1次降伏特性の

変化を示す。数時間経つと特性はエージング前の特性に近づくが、テスト開始後の漏れ電流低下が速くなった。しかし、MMBT5551L(MOT)は、今回テストしたZETEX社のトランジスタほど明確な効果がなく、全てのトランジスタに有効な手段ではないが、試みとして薦める。

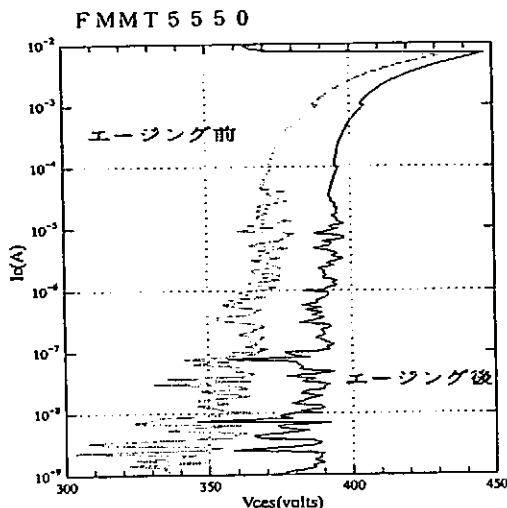


図5. エージング前後の降伏特性

4) アバランシェ・パルサ専用であるFMMT415も基本特性はMMBT5551L(MOT)に似ているが、テスト開始からの経時変化が他のトランジスタに比べて少なく、エージングが不要であった。価格の違いは、一つここに見い出せる。1次降伏電圧のばらつきはあるので、1次降伏電圧による選別か、並列抵抗の調整が必要である。

5) 他に、HT2, BSS64, BCX41, FMMTA43もテストしたが、アバランシェ・トランジスタとしては、有用と思えない特性であった。

5. ZETEX社のトランジスタによる多段化テスト

1) 図3の回路でFMMT2222Aの多段化テストを行ったが失敗した。1本では高速であるが、2段目、3段目と増やしても2SC3736のようにならず、段数を増やすとタイム・ジッタが大きくなった。並列抵抗が無くとも安定に動作するトランジスタは、伝送線の電圧を上げて2次降伏させる動作に感度が低く、多段化による高速化が難しいトランジスタと思われる。

2) FMMT415の8 + 3段構成で得られた波形を図6に示す。振幅が~1,200Vで、立上り時間130pS

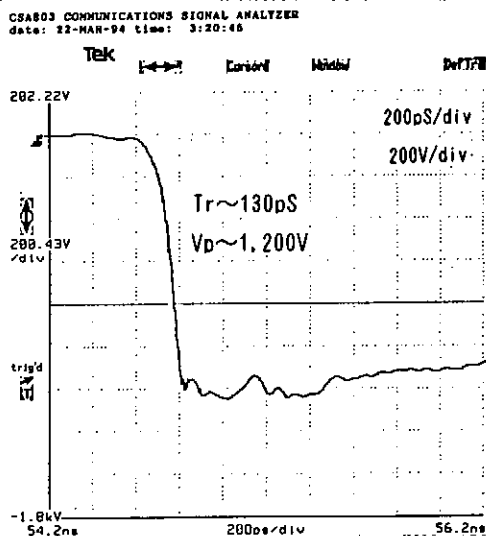


図6. FMMT415 8 + 3段で得た波形

を得ている。昨年夏の試作より立上り時間は少し遅いが、波形は、かなり実用レベルに近づいた。しかし、タイム・ジッタが大きく、立上り時間を余計悪くしている。

6. 終わりに

立上り時間は、今回も100pSを切れなかったが、今後、しばらくトランジスタの選択や選別で高速化に努力する。タイム・ジッタは、2SC3736との併用で改善できると考えている。

実用レベルのパルスに近づいたので、電子銃への実装テストを行いたいと考えている。

発表の終わりに、遊びや試作を勧めました。技術の追求が、技術者としての存在を示す一つの道と考えます。

本技術開発は、原子炉実験所研究助成費（平成2・3・4・5年度）等々の援助を受けることで、ここまで継続することができました。ここに深謝致します。

参考文献

- (1) 高見 清, 「アバランシェトランジスタのブレイクダウン特性」核融合研技術研究会 1991. 3, P180
- (2) 高見 清, 「アバランシェ・パルサの高速化(II)」14回分子研技術研究会, 1993. 3, P133
- (3) NEC, 「表面実装ディスクリート・デバイス」データブック, 1991. 2, P880
- (4) 伝田精一訳, 「SEBC-4 トランジスタの特性と性能限界」産業図書, 1969. 4, P68
- (5) 高見 清, 「超高速アバランシェ・パルサの開発」Proc. of the 18th Linear Accelerator 1993. 7, P80

伝送線路トランスを用いた PFL型キッカーpulse電源の試作

高エネルギー物理学研究所

上田 明、三橋利行、春日俊夫

1、はじめに

高エネルギー物理学研究所、放射光実験施設において、伝送線路トランスを応用してサイラトロンのカソードとpulse forming line(PFL)の外部導体側を共に接地する形式のキッカー電磁石用のモデルPFL型pulse電源の試作をした。

通常、この型の電源は同軸線路の外部導体側を接地するのでサイラトロンのカソードは接地することができず、サイラトロンがスイッチングするたびにカソードは高電圧となる。そのためドライバー回路等は、絶縁構造としなければならない。もしこのアース配置でカソードを接地すると、アース間に電流が流れ負荷側には流れない。今回はPFL前方に伝送線路トランスを配置するとにより、サイラトロンのカソードを接地しても、その同相電流に対する阻止インピーダンスによてアース間を流れる電流を防いで負荷にパルス電流が流れるようにした。今回はこの方式に添ったモデルPFL型pulse電源を製作し、テストしたので報告する。

本文ではまずPFL型パルサーの接地点の問題について述べた後、本電源で使用した伝送線路トランスの原理について説明し、電源の概要、測定結果、同相電流とインダクタンスの関係について述べ、最後に結論を述べる。

2、PFL型パルサーの接地点

PFLでパルスを作るための回路を図1に示す。この回路では、同軸線路に電荷をためて、サイラトロンをスイッチすることにより、同軸線路にたまっていた電荷を負荷に流しパルスを作る。

このようなパルス成形回路は、一般的にサイラトロンのカソードを接地して使用する¹⁾。この方式では、サイラトロンがONした時、PFLの外部導体の電位がアースに対して浮き上がり、また、それが振動してノイズ源になる等の問題点がある。通常キッカー電源では、充電電圧が高電圧(50kV程度)になるので、外部導体と同軸線路のまわりの物体との絶縁がもたない。そこでPFLの外部導体を接地する方法をとる²⁾。このときは、グリッド・トリガー回路を絶縁構造とする必要がある。

ここでサイラトロン・カソードとPFL外部導体の双方を接地すると、アース間を流れる電流によりロードに正常なパルス電流が流れない。今回、試作した電源では、伝送線路トランスを用いてアース間を流れる電流を防いでサイラトロンのカソードとPFLの外部導体を接地した。この回路の概念図を図2に示す。

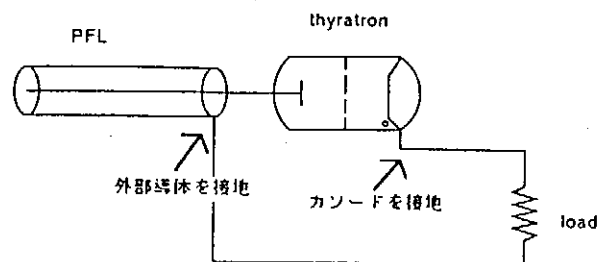


図1.PFL型パルサー

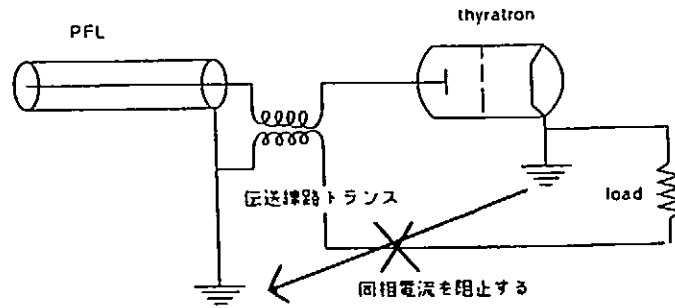


図2. 試作電源の概念図

3、伝送線路トランス

伝送線路トランスは、図3に示すように伝送線路とフェライト・コアにより構成されている。この図において同軸線の心線より負荷を通り外部導体側へ流れる差動電流の経路に対してはフェライトは何も働かない、しかし、負荷を通らずアース間を通る同相電流にたいしては、インダクタンスを生じ、このインダクタンスにより電流をおさえる。

今回、この伝送線路トランスに使用したフェライト・コアはトーキン製のFR/25/15/12型である。このフェライト・コアの大きさは使用した同軸線RG8A/Uが通る最小の大きさになるように選んだ。ここでフェライトとして透磁率の高い物の方が、阻止インダクタンスが大きくなるので、より同相電流をおさえるが、一般的に透磁率が高い物ほど周波数特性が悪くかつ低電流でも飽和する傾向にあるので、ここでは、材質としては初透磁率4000、6000、12000の3種類をテストした。伝送線路トランスは同軸線は4mにコアを、各材質共に200個通したものを使用した。図4に伝送線路トランスの写真を示す。

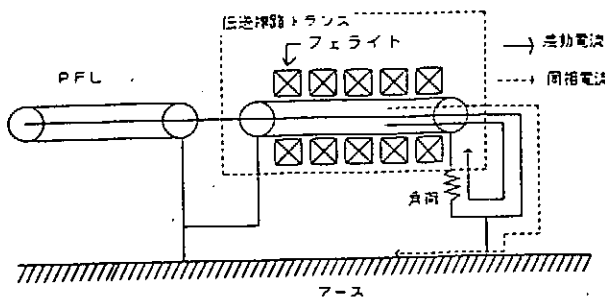


図3. 伝送線路トランス

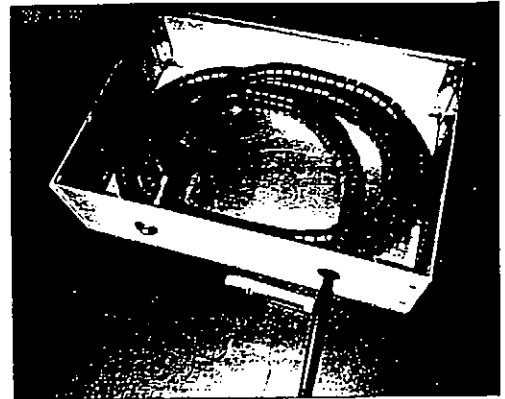


図4. 伝送線路トランス写真

4、電源の概要

今回製作した電源の仕様は最大100A、 $1\mu\text{sec}$ のパルス電流を発生させるものとした。使用したサイラトロンはEEV社製の6587型で、PFLとして特性インピーダンスは 52Ω の同軸線路RG8A/Uを100m使用した。充電電源にはGLASSMAN社製の高電圧電源EH10P10型を用いPFLに電荷を $1M\Omega$ の抵抗を通して供給するようにした。

また、ここで負荷としては無誘導抵抗 22Ω を2個、直列に並べて 44Ω として使用した。

サイラトロン・ドライバー回路はインピーダンス50Ωのパルス、ホーミング・ネットワークを使用して3μsecのパルスを作り、そのスイッチングはトランジスタ(2SC1953AP)をアバランシェ・モードで動作するようにした。

5、測定結果

5-1 サイラトロン・アノードの電圧と出力電流の測定

結果を図5に示す。ここではアノードの電圧は、テクトロニクスP6015A型の高電圧プローブ、出力電流はピアソン社製110A型のCTにより測定した。図のように充電電圧が5kVの時に約4.8A、パルス幅1μsecの電流が流れた。また、サイラトロン・カソードと、PFLの外部導体を共に接地しているにもかかわらず、正常なパルス電流波形になっているのがわかる。

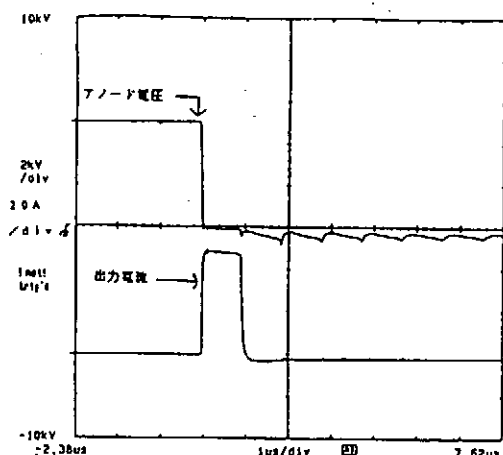


図5.出力電流波形

5-2 外部導体に現れる電圧の測定

カソードのみを接地した場合に外部導体に現れるノイズ源となる電圧を測定した。ここではPFLの外部導体での電圧を、カソードのみを接地した場合(図6に示す)及び、伝送線路トランスを使用して、カソード及び外部導体を共に接地した場合(図7に示す)の2つを測定し比較した。測定はPFL終端にプローブを付けて行なった。

カソードのみを接地した場合には500Vpeakのパルスに対して始め約-450Vになり、その後、200Vまで跳ね上がり長い間に渡って減衰振動しているのが見られる。次にこれが外部導体も接地した場合は、電圧のふれが20V程度に抑さえられ約10分の1になっていることがわかる。

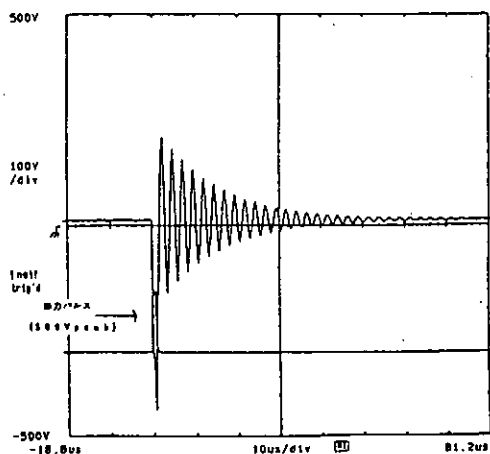


図6.外部導体に表れる電圧
(カソードのみを接地)

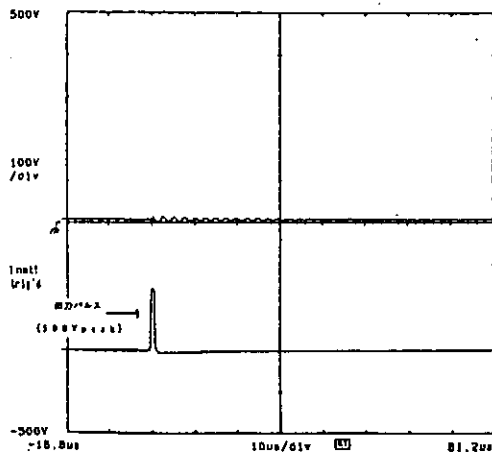


図7.外部導体に表れる電圧
(カソード及び外部導体を接地)

5-3 同相電流の測定

同相電流を3種のフェライトごとに測定した。測定はピアソン社製のCT、2100型により行なった。充電電圧5KV、パルス電流50Aで測定した結果を図8に示す。これを見ると同相電流は最大でも2.5A程度に抑さえられていることがわかる、またフェライトの初透磁率が大きい方が同相電流が小さくなるが、しかし、初透磁率4000と6000の差にくらべ6000と12000との差は小さくなっていることがわかる。

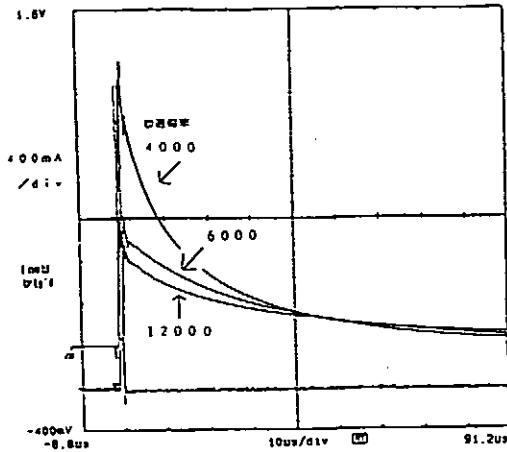


図 8.同相電流波形

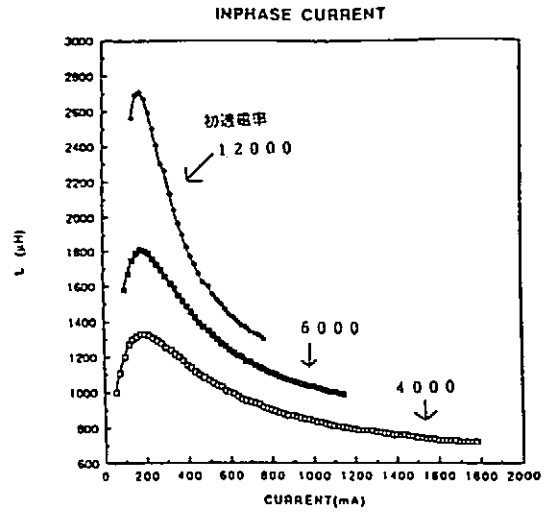


図 9.同相電流に対するインダクタンス

6. 同相電流とインダクタンスの関係について

測定した同相電流波形から各電流値での時定数を測りそれをもとに、各同相電流に対するインダクタンスをもとめた。結果を図 9 に示す。この図を見ると各フェライトとも同相電流の大きな場所では、インダクタンスが小さくなっていることがわかる。このインダクタンスの落ち込みがコアの飽和によると考えられるのでインダクタンスをコアの B-H 曲線より計算した⁴⁾。結果を実測値と共に図 10 に示す。この図によると、同相電流に対するインダクタンス L は測定値から求めた値とコアの飽和より求めた値とは、よく一致している。

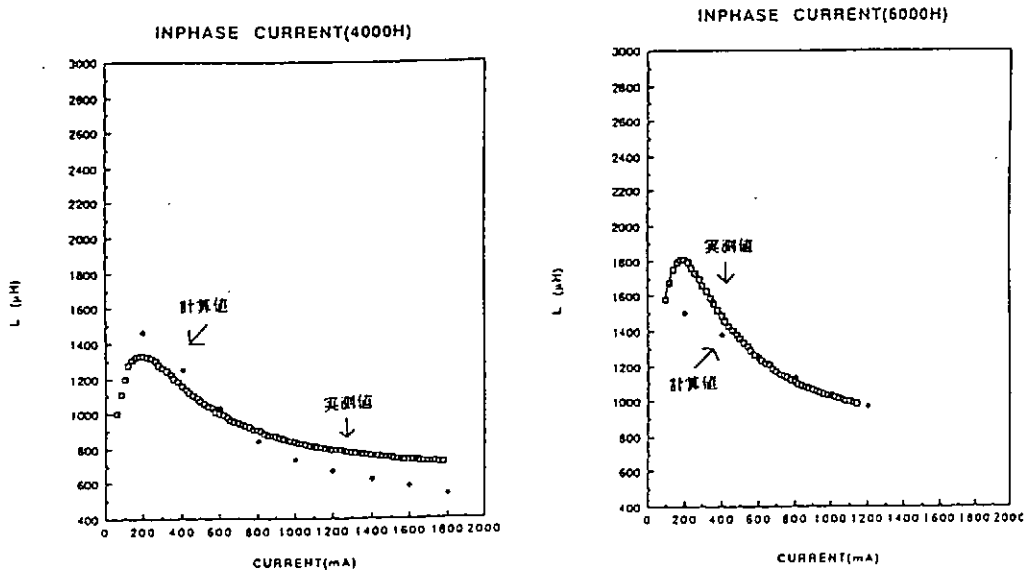


図 10.同相電流に対するインダクタンス (計算結果)

7. 結論

伝送線路トランスをもちいて、サイラトロン・カソードと PFL 外部導体とを同時に接地するような回路構成にして、出力電流 50 A に対し同相電流は最大 2.5 A に抑さえられ負荷へ正常なパルス電流を流すことができた。そして、サイラトロン・カソードのみを接地した時に比べて、外部導体でのノイズは 10 分の 1 になった。また、アース間を流れる同相電流に対する伝送線路トランスのインダクタンスは、使用したフェライトの飽和が支配的であると考えられる。

参考文献

- 1) "サイラトロン・データブック" EEV (1988).
- 2) K.TAKATA, 他, "FULL APERTURE KICKER MAGNETS FOR KEK PROTON SYNCHROTRON" KEK-76-21 (1977).
- 3) 山村, "トロイダル・コア活用百科" CQ出版社 (1983).
- 4) "フェライト・コア カタログ" トーキン (1992).

大電力パルス電源用同軸型ダミーロードの試作(2)

高エネ研 PF 本間博幸、 設楽哲夫、 穴見昌三
日本高周波(株) 柏木厚

1. はじめに

高エネルギー物理学研究所放射光入射器では、KEK-B入射器へ向けての増強が行われている。この加速器はB中間子による物理実験を行うためのもので、エネルギーが8 GeVの電子ビームと3.5 GeVの陽電子ビームを必要とする。このためマイクロ波源ではビーム加速に使用する大電力クライストロンのピーク電力を現在の30 MWから46 MWに増やし、更にマイクロ波パルス圧縮方式を新たに用いることとしている。

このことに伴いクライストロン用パルス電源では、ピーク出力電力を現在の80 MWから110 MWとし、出力パルス幅も平坦部で従来の2 μ sが4 μ sになるよう半値幅を3.5 μ sから5.6 μ sにすることにしている。しかし半値幅については設計値が得られているものの、平坦部の幅がまだ目標より不足している。又、その他にもパルスの立ち下がり後に予想以上のバックスイングが存在することがわかり、波形の改善が急がれている。

現在得られているパルス性能はパルス成形回路(PFN)そのもの、電源内配線引き回しの影響、スイッチであるサイラトロン特性、給電線インピーダンス、そして負荷であるパルストランス及びクライストロン特性等を総合したものである。出力波形の調整も今のところ、これら全てを接続した状態でしか行えず、パルス平坦部の不足や予想以上のバックスイングについてどの箇所が原因なのかを明らかにできていない。このようなことから、PFNの出力波形をパルストランス及びクライストロンとは切り離れた状態で正確に測定するために、抵抗値の周波数特性が平坦で、リアクタンス成分を持たない同軸型ダミーロードの試作を進めてきた。最近その耐電力性能が、初期目標の80 MWまで向上したのでこれまでに得られた知見を報告する。

2. 同軸型ダミーロードの検討

図1に試作品の原型となったトリスタンで使用されている市販の高周波同軸ダミーロード(日本高周波製、WX152D相当)の構造を示す。内導体は熱伝導の良いベリリアパイプ(外径4.2 mm)の表面に金属抵抗皮膜を焼結したもの2本を直列に接続したもの(全長600 mm)である。外導体は電力損失が一樣になるよう指数関数状にしており、終端で内導体に繋がっている。冷却は水冷方式であり、皮膜の表側とベリリアパイプの裏側に樹脂性のパイプを配置し2 mm程の狭い隙間を作る事により、流速を速めている。

この市販品の最大平均電力は80 kWとパルス電源の平均電力値(30 kW)を十分上まわる。又、使用周波数帯域もDC~800 MHzとパルス電源出力の帯域DC~1 MHzに対して十分なものとなっている。DC抵抗値及び特性インピーダンスは50 Ω である。パルス電源の出力インピーダンスは6 Ω であるので、DC抵抗値を6 Ω にするためには抵抗皮膜の厚みを21 μ mから177 μ mにする必要がある。ここで、50 Ω の構造体を6 Ω のDC抵抗値で用いることから生じるリアクタンス成分は、構造体の全長とパルスの周波数帯域からほとんど無視することができる⁽¹⁾。耐電圧的なことに関しては、パルス電源の最大出力電圧22.5 kVを用い図1の内導体3点(a~c)での表面電界強度を計算したところ、いずれも1 kV/mm程の値にしかならず、内部をSF₆で加圧することから問題ないと考えられる。以上のことから、トリスタン

高周波ダミーの構造体はそのまま用い、抵抗膜の厚さのみを変更して、パルスピーク電力で80 MWまで耐えるダミーロードを開発する事にした。

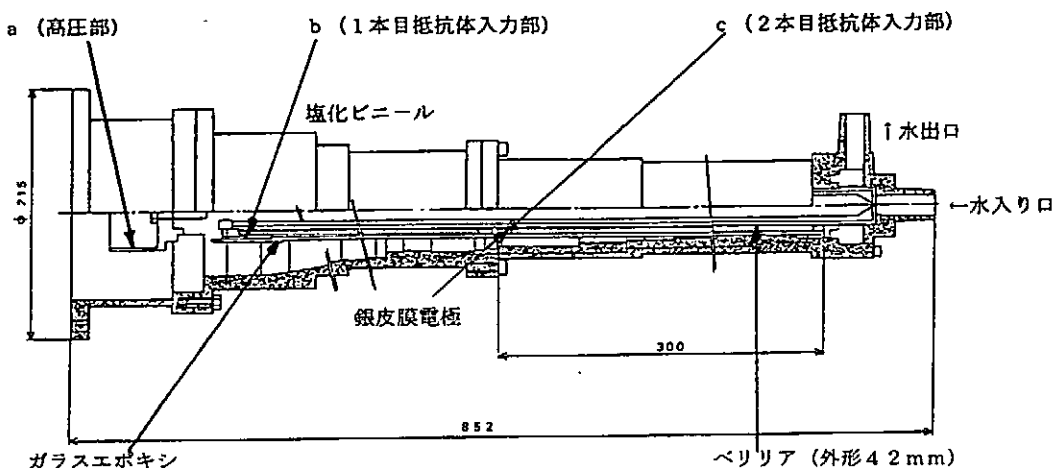
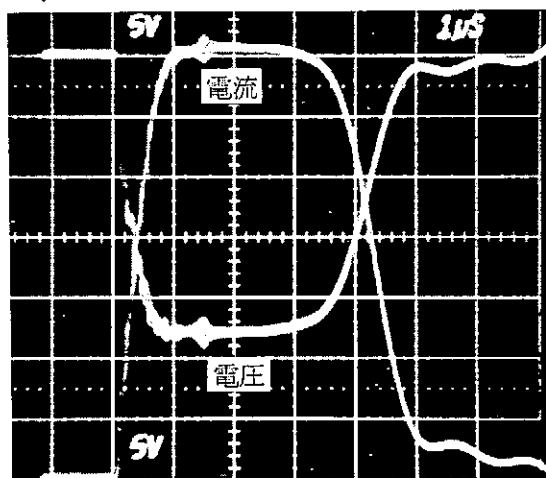


図1 高周波同軸ダミーロードの構造

3. 大電力試験の結果

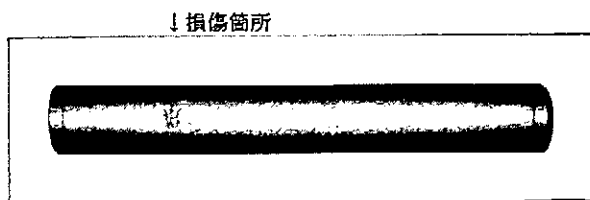
大電力試験では、少ないピーク電力から少しずつ大きな電力を加えていく事とし、電力を増やすごとに印加されるパルス電圧、電流の測定を行い、これらの値からピーク電力値を算出した。次の電力レベルへの移行は同一電力で10分間様子を見て異常がなければ行うこととした。パルス電圧の測定にはソニーテクトロニクス社製高圧プローブP6015を、電流の測定にはピアソン社製カレントトランスのモデル101を用いた。写真1に後述の抵抗試料Dに約80 MWの電力を投入した際の電圧、電流波形を示す。

表1はこれまでに試した4種類の抵抗試料(A~D)について、その製作、試験条件及び試験結果をまとめたものである。試験結果のピーク電力は試料Cを除き、その値までは問題なく電力を入れる事ができたが、次のレベルのところで異常が起こったことを示す。試料Cは最後まで問題なく電力を入れる事ができた。又、備考では、その異常が試料のどの部分で、どの時点で起きたかを示した。記号↑は次のレベルへ電力を増やす途中で異常が起きた事を、同じく→は次のレベルへ増やした後、ある時間経過後に異常が起きた事を示す。



(上) パルス電流 500A/div
(下) パルス電圧 5kV/div
時間軸 1μs/div

写真1 パルス電圧、電流波形



← 写真2 試料Aの損傷

表1 大電力試験のまとめ

試料	A	B	C	D
抵抗焼結回数	8	8	12	12
製作条件				
電極焼結回数	1	1	11	5
ベリリア表面	●	○	○	○
試験条件				
パルス幅 (μs)	2	2	2	2
パルス繰り返し (PPS)	50	50	50	50
冷却水流量 (%/分)	22	25	25	25
試験結果				
パルス電圧 (kV)	5.6	14.5	21.5	22
パルス電流 (A)	840	1750	3650	3400
ピーク電力 (MW)	4.7	25	78.5	74.8
備考	抵抗破損	電極破損	問題なし	電極破損
	↑	→10分	90分間	→50分

試料Aはピーク電力4.7MWを入れた後、次のレベルの7.3MWでこわれ、抵抗膜がパイプの円周方向に筋状に失われていた。写真2にその様子を示す。この場合のパルス電圧は5.6kVと非常に低く、損傷部分と相対する樹脂パイプの表面には放電痕は見られなかった。又、7.3MWでの1パルスのエネルギーが抵抗膜のみに全て吸収されるとしても、温度上昇を計算すると4℃にしかならずこの材料の許容温度上昇値170℃に比べ問題とならないレベルである。これらのことから原因は耐電圧的なものでも、ピーク電力そのもののためでもないといえる。トリスタンダミーでは抵抗膜の固着強度をあげることを意図して、ベリリア表面を凸凹にしているが、この試料でも同じ加工を行っていた(表1のベリリア表面の●はこのことを示す)。図2、写真3(上)にこの試料の表面断面曲線の測定結果と表面状態を示した。これより約50 μm 以上の凹凸があることがわかる。この値は前述した皮膜の厚み177 μm に比べて無視できない。この凹凸が皮膜厚みにも反映しているとすれば、抵抗値は部分的に不均一になっていると考えられる。そのためパルス電流は均一に流れず、皮膜に温度むらが生じ、熱的な歪みが発生し840A以上の電流では損傷に結び付いたのではないかと推測される。

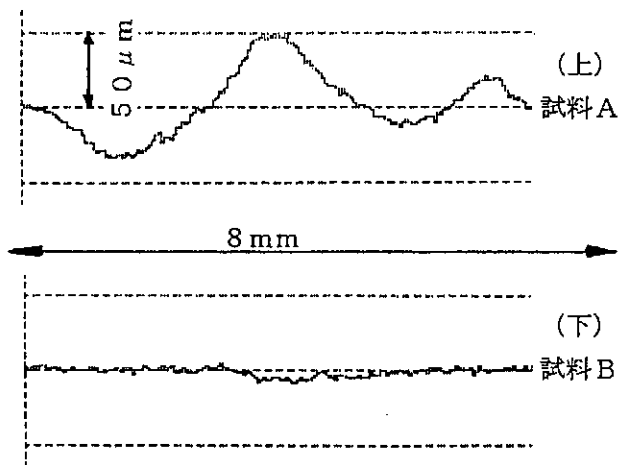


図2 表面断面曲線

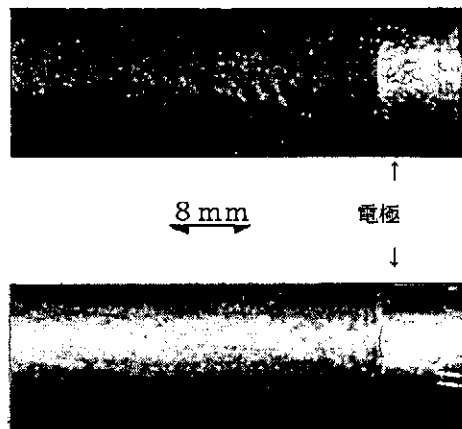


写真3 抵抗表面の様子

試料Bは、上の結果を踏まえベリリアの表面加工をやめたものである。図2（下）にこの試料の表面断面曲線の測定結果を、写真3（下）に表面状態のAとの違いを示す。この試料では25 MWの電力までは問題なく入れる事ができたが、次のレベルに電力を増やしてから10分後に異常が起き、2本の抵抗体を接続するための銀皮膜電極部分がAの場合の抵抗皮膜と同様に円周方向に筋状に失われている事がわかった。電極材料は抵抗皮膜の上から塗布して焼結を行うが、試料A、Bではその回数が1回だけであった。試料Cではこの回数を11回とし、電極厚みを増すようにした。又、抵抗皮膜についても6Ωにするのに必要な塗布焼結回数をそれまでの8回から12回に増やし均一性を高めるよう心掛けた。その結果、78.5 MWまで電力を投入でき、その後90分の試験運転を問題なく終了できた。

この後、試料Cはパルス電源の保守に何度か用いられたが、あまり大きくない電力レベルで抵抗体が溶融する事故が起こった。これは何等かの条件で発生した気泡が狭い冷却水路（2 mm）と水平置き使用のために抜けきらず、抵抗表面全体を一様に冷却できなかったためと考えられる。その後に製作した試料Dは大電流パルスが抵抗皮膜に流れ込んだ部分と厚くなった電極の先端部分との間で放電が起こる可能性を考え、それを未然に防止するために、Cで増やした電極厚みを半分の5回に減らしたものである。しかしこの試料の試験では75 MWの次のレベルの80 MWにした50分後に電極部分が以前と同様な破損を起こした。このことから電極焼結回数は5回では不十分であり、11回以上の回数が必要である事がわかった。放電防止のためには電極の先端部分を丸める事にした。

4. 大電力試験のまとめと今後の課題

- (1) トリスタンで実績のある高周波同軸ダミーロードの抵抗及び電極皮膜を強化し、出力インピーダンス6Ωのパルス電源から80 MWのピーク電力を加える事ができた。
- (2) 試料Dの試験結果から電極焼結回数は5回では不十分であり、11回以上の回数が必要である事がわかった。
- (3) 試料Cを実用した際のように構造上必ずしも一様な冷却が得られない場合があるので、今後構造体を縦置きにして使用することとした。
- (4) 今回の試験結果を基に安全係数を十分とったピーク電力110 MW用のダミーロードを製作中である。完成後、増強されたパルス電源の出力波形の改善に十分役立てる予定である。

5. 謝辞

このダミーロードの大電力試験の準備等に協力して頂いた三菱電気サービスの方々に感謝します。

6. 参考文献

- (1) 大森俊一、「高周波基礎測定」、P145、コロナ社

J T-60 Uにおけるトムソン散乱測定装置用遠隔視野調整機構の開発

日本原子力研究所 那珂研究所

山下 修・北村 繁・吉田英俊

1. はじめに

J T-60の大電流化改造（改造後の名称はJ T-60 U）に対応して、従来のトムソン散乱測定装置（空間測定点数8点）の性能向上を計るために、種々の新規開発・設計・製作と改良を実施した。本報告では、その中でレーザービームに対するトムソン散乱光集光系の視野を実験運転中を含め常時監視し且つ適切に調整できる遠隔操作可能な機構について述べる。

- 1) 大電流化改造に伴ってトムソン散乱の測定領域を倍増（約2.3 m）させるため、空間点数70点の測定を集光系設計の大きな指針とした。そのためプラズマ中心部測定用には広視野角の反射鏡型集光器を新規に開発・導入することとしたが、観測窓の制約によって反射鏡型集光器ではプラズマ周辺部を見込むことができないためプラズマ周辺部測定用には従来の屈折レンズ型集光器を一部改造して使用することにした。従って合計2台の集光器でトムソン散乱光を集光することになった。
- 2) 空間測定点数70点を確保しつつ散乱光伝送用の光ファイバーの使用量を極力抑える事と観測視野幅を小さくしてS/N比向上を計る事を目的として、散乱光測定位置でのレーザービーム幅を可能な限り縮小する収束レンズを新規に設計して取付けた。ファイバーバンドルの横幅はプラズマ中心部測定用で約1.1 mm、プラズマ周辺部測定用で約1.55 mmとした。この結果、プラズマ周辺部測定系ではレーザービーム幅と観測視野幅の最小の余裕がバンドル面上の左右振分けで約0.1 mm（ファイバーのクラッド径の半分）となった。
- 3) この最小余裕幅は、トムソン散乱によって特に電子密度を測定する上で厳しい値である。このため実験運転時に常時レーザービーム位置が視野内にあるかどうか確認し、視野から外れている場合にはレーザービーム位置に観測視野位置を適切に再設定する必要がある。そこでレーザービーム位置に対する観測視野位置の検出と調整を可能にする視野調整機構を新規に開発した。またJ T-60 Uの実験運転時には集光器を設置した本体室に入室できないため、この機構はレーザー室側から視野調整が実施できる遠隔操作可能型とした。

トムソン散乱測定装置を健全に運転し測定精度の向上をはかる観点から、この「遠隔視野調整機構」の開発はJ T-60 U用トムソン散乱測定装置の高性能化にあたっての主要開発項目の一つであった。現在この機構は順調に稼働し当初の目的を十分に果たしている。

2. 視野調整の原理

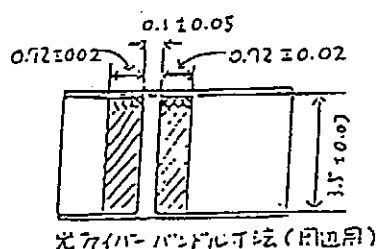
視野調整機構の概念図を図1に示す。集光光学部の散乱光集光用光ファイバーバンドルの上下端に視野位置検出用光ファイバーバンドル対を設置する。これにより、図2に示すようにレーザービーム光軸と2つの集光光学部（周辺プラズマ用、中心部プラズマ用）の散乱光測定用観測視野中心軸間の光軸合わせが可能となる。レーザービーム光軸と観測視野中心軸との相対ズレ量を求める原理としては、まず視野調整用観測視野からの散乱光を集光レンズで光ファイバーバンドル対の端面に結像して2つの光ファイバーバンドルに分割される割合から規格化信号差 (Δ) を求めることができる。次に下部及び上部視野調整用観測視野からの散乱光を同時に測定して得られる2つの Δ からレーザービーム光軸と散乱光測定用観測視野中心軸との位置関係（平行ズレ量 (y) と回転ズレ量 (d)）を求めることができる。この平行ズレ量 (y) と回転ズレ量 (d) を零とするように平行移動ステージと回転ステージの移動量を算出して移動させる。原理的には1回の移動で規定の位置 ($y=0, d=0$) にすることが可能であるが、通常は再度観測視野中心軸とレーザービーム光軸とのズレを測定してズレがないことを確認する。

3. 遠隔視野調整機構の開発

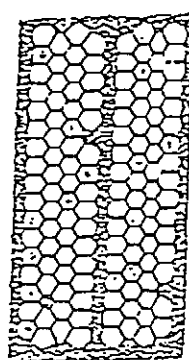
遠隔視野調整機構は視野位置検出部と視野位置調整部に大きく分けられる。視野位置検出部は2ヶ所のズレ量を測定するために2組の検出系と信号処理ユニットが必要であるが、1組分の検出系として2分割された光ファイバーバンドル対と散乱光の波長を選択する1対のフィルターおよび1対の光電子増倍管 (PMT) から構成される。本調整機構の開発を進める上で鍵になる検出系の主な開発項目は以下のとおりである。

- 1) 左右に分割した光ファイバーバンドルの製作寸法は下記のとおりで、1対の光ファイバーバンドルのすき間を最小にするように配慮している。

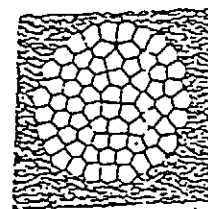
光ファイバーバンドル (2分割) の形状



光ファイバーバンドルの実装図



集光器側



検出器側

- 2) 図3は平行移動操作に対する下端部及び上端部視野調整用観測視野の規格化信号差(Δ)を表したもので $\Delta=0$ のところがそれぞれの場所で観測視野中心軸とレーザービーム光軸が一致した位置である。又、平行移動量に対する Δ の変化が $\Delta=0$ の付近ではほぼ直線的であることから今回製作した光ファイバーバンドルの特性は本調整機構の性能を確保するために十分であった。
- 3) 視野位置検出器においては、散乱光の波長(実験運転、レーリ散乱較正)が選択できるようにフィルターを取付けられる構造とした。

次に、視野位置調整部は図1に示されるように光ファイバーバンドル用ステージ(遠隔操作により平行移動、回転移動が可能)、駆動シャフト、モータ駆動ユニット(モータ回転を検出する回転計を含む)、及びレーザー室に設置されたモータ駆動コントローラから構成される。本ステージはトロイダル磁場コイルに接近して設置されているため実験運転時に強い磁場がかかるのでDCモータはトロイダル磁場コイルから離して設置する必要がある。このため駆動シャフトは2.7mの長さとしてモータ駆動ユニットを離して設定した。又、DCモータ回転はレーザー室に設置されたモータ駆動コントローラにより制御される。今回開発した遠隔視野調整機構では、ステージの移動量を検出する機構をステージの部分に付けずにモータ駆動ユニットのみで移動量を検出する方式として耐ノイズ特性の向上を計った。この方式では精度確保に不安が残るが試験の結果目標とする設定精度が確保できた。

4. 得られた成果

遠隔視野調整機構の開発で得られた成果は次のとおりである。

- 1) レーザビーム位置における相対位置検出精度は、検出系の誤差(形状誤差を含む)と位置の設定精度の分も含めて ± 0.2 mm以下であり極めて高精度に位置検出ができた。
- 2) 遠隔視野調整機構の設定精度として光ファイバーバンドル用ステージの平行移動で $10\mu\text{m}$ 、回転角度で7秒が達成できた。
- 3) 散乱光の波長をフィルターで選択することにより実験運転時又はレーリ散乱較正時のいずれでも光軸合わせが可能なシステムとして完成した。
- 4) 遠隔操作機構を採用することで、実験運転時にも観測視野中心軸をレーザービーム光軸に常時合わせることが可能となった。

以上トムソン散乱測定装置としてJT-60Uで要請される性能・機能を発揮する上で鍵となる遠隔視野調整機構の開発を計画通り達成したことで、JT-60Uの実験運転時にトムソン散乱測定装置を極めて信頼性高く運用することが可能となり十分なS/N比の実験データを常時提供している。

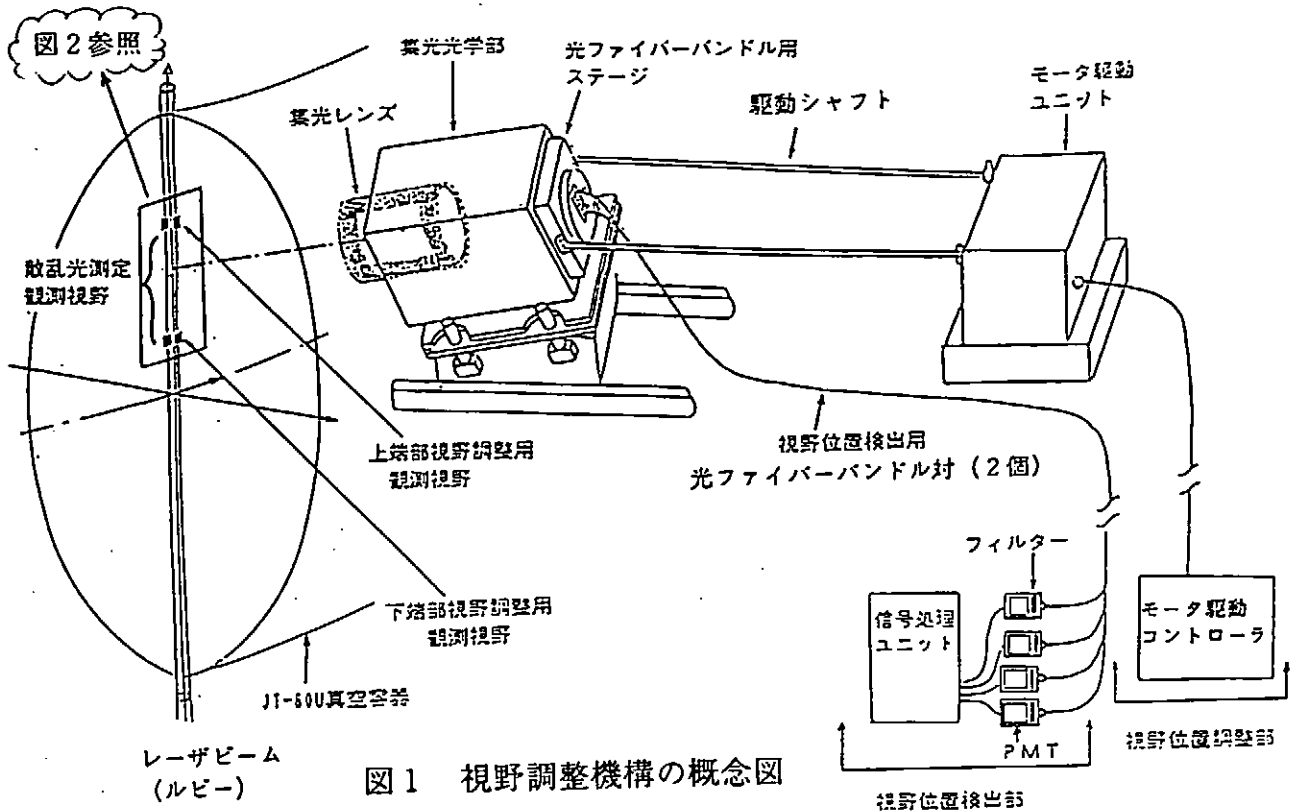


図1 視野調整機構の概念図

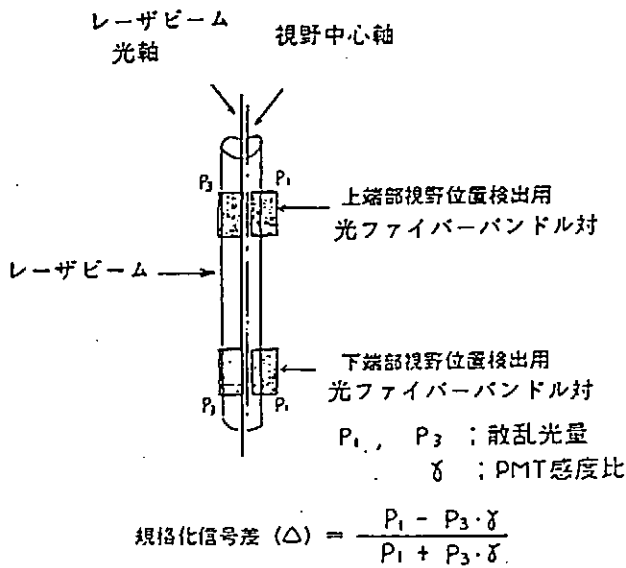


図2 視野調整の原理図

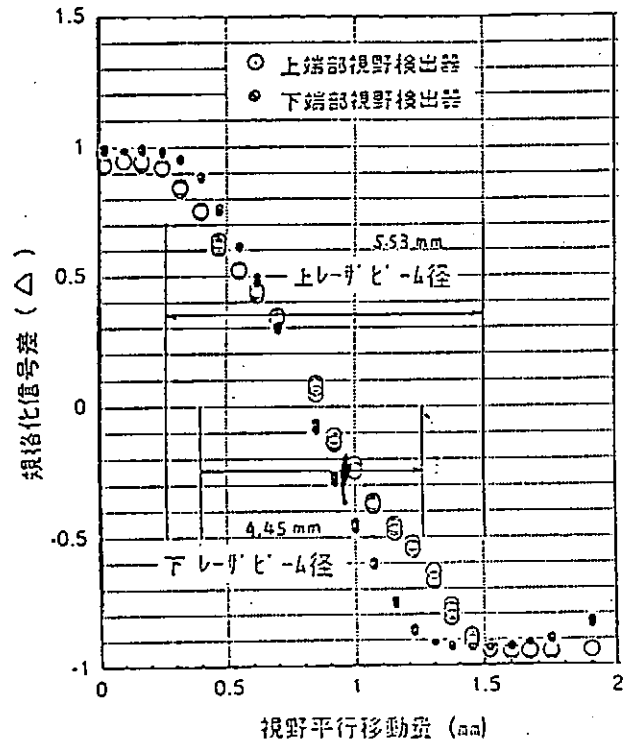


図3 平行移動量と規格化信号差 (Δ) の関係

JT-60Uトムソン散乱測定装置に於ける光軸調整機構の改良

日本原子力研究所那珂研究所
炉心プラズマ第1実験室
北村 繁 山下 修 吉田 英俊

1 始めに

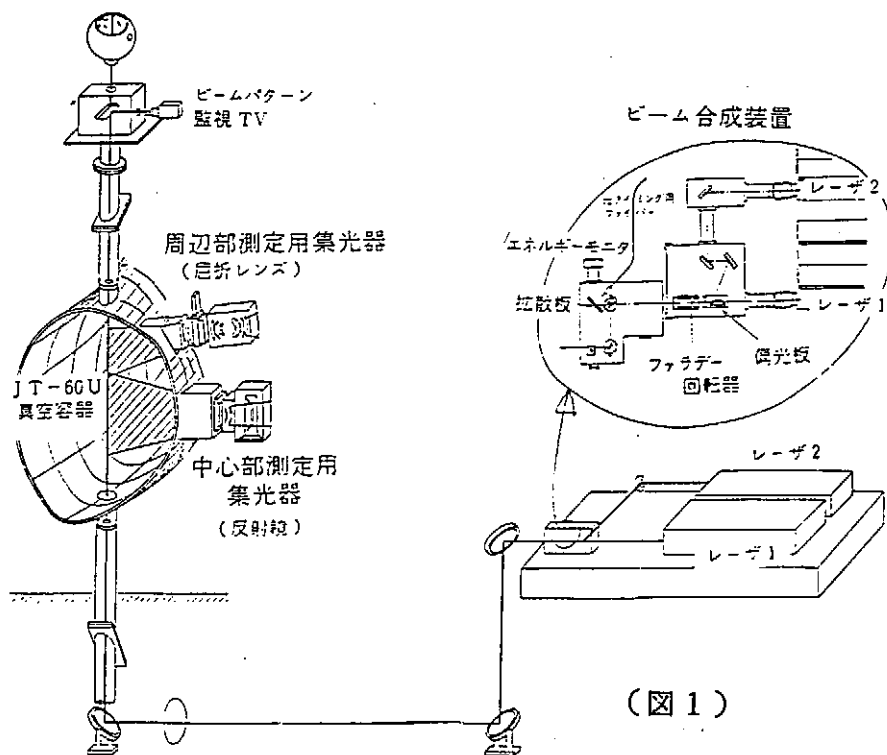
JT-60Uは臨界プラズマ条件の達成を目的として茨城県那珂町に建設された核融合実験装置である。JT-60Uにはプラズマの状態を測定する為に各種の計測装置が取り付けられている。このなかの一つであるトムソン散乱測定装置はレーザをプラズマに入射したときに発生する散乱光を分光してプラズマの電子温度と密度を測定する為のものである。ここでは2台のルビーレーザを交互に発振させそれぞれの出力をビーム合成部で1本の軸に合わせた後に、真空容器の定められた空間位置を通るように調整している。また、散乱光を測定している集光器の視野はレーザビームの幅に対して等倍から約2倍以内になるように設計されているため、集光器の設定と視野調整はレーザの軸と正確に一致するように調整されていなければならない。

この報告書は、当装置で発生したレーザビームの軸ずれ問題とその対処法、そして集光器の視野揺動の発生とこれに対する改良についての結果を記したものである。

2 レーザ軸ずれ問題と軸調整機構の改良

(1) 軸ずれの状況と原因の推定

図1にJT-60Uトムソン散乱測定装置の概要を示す。



この装置で実験データを収集しているときに、レーザ2による散乱光のデータが取れなくなるという現象が発生することがあった。この時の状態をビームパターン監視TVで見るとレーザ2のビームだけが軸ずれを起こしているのが観測された。この異常について調査した結果を図2に示す。

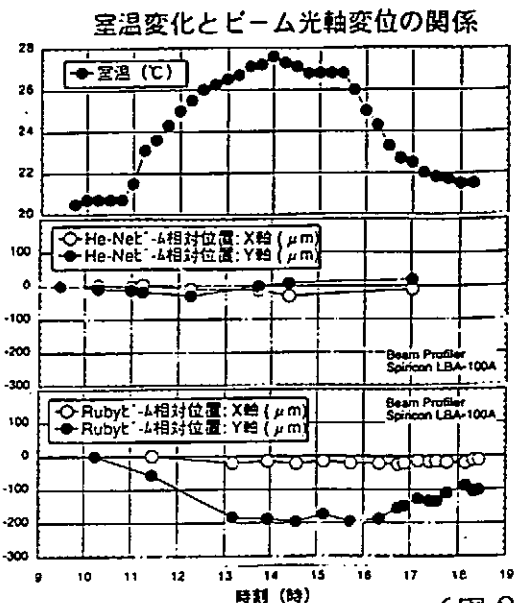
この図は時間毎に室温を変化させその時にレーザ軸がどのように変化するかを調査した時の状況を示している。横軸は共通で時刻、上段は室温の変化、中段は光軸調整用のHe-Neレーザの軸ずれ量、下段はルビーレーザの軸ずれ量を示す。

これから、

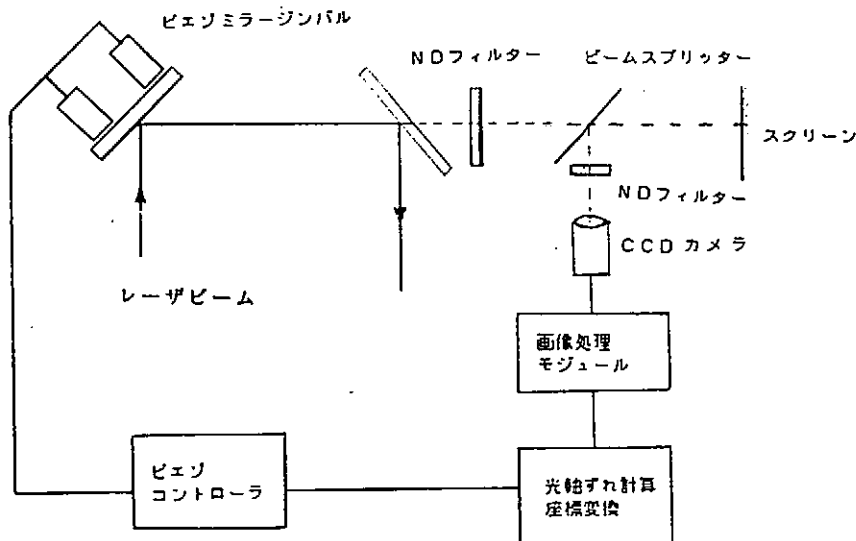
- ① 軸ずれは室温の変化と関係している。
 - ② 軸ずれの発生箇所は発振器内部にある。
- という事が判った。

(2) 対策

現在、ずれが発生した場合には、ビーム合成部内にあるレーザ2専用のミラーを調整しながらレーザ軸を所定の位置に戻してゆくという方法を取りながら運転を行なっているが、軸ずれの発生を根本的に防止する為には発振器の内部に手を加える必要がある。しかしこの為には発振器の内部を調査して原因を追及し対策を施すことになり、レーザを測定に供しながら行なうことは困難である。このため、もっと簡単に対処出来る方法として、現在手動で行なっている軸ずれ調整をパソコンを使用して半自動で行なう機構を採用する事にした。図3にこの軸ずれ補正機構の概念図を示す。



(図2)



(図3)

軸ずれの修正は、

- ① ルビーレーザーが発振したときのビームパターンをCCDカメラでモニタし、軸ずれのチェックを行なう。
- ② 軸ずれが発生したと判断した時にはこの画像データから軸ずれ量を求め、これを補正する為の修正量を計算する。
- ③ この修正量にもとづいて piezo素子を使用したミラージンバルを動かし、軸ずれを修正する。

という手順で行なう。

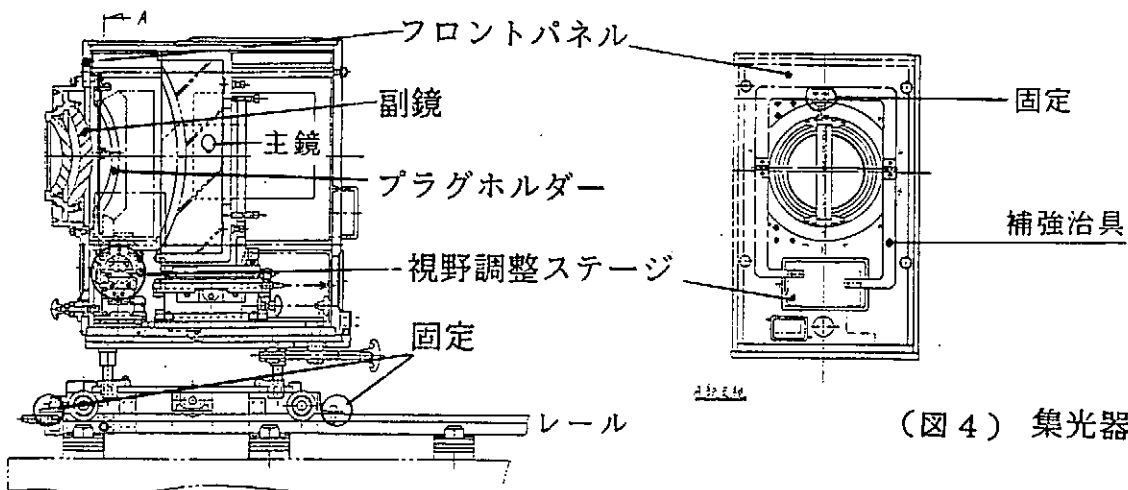
(3) 結果

この軸ずれ補正機構は現在ミラージンバルのテスト中であるが、近々実機に据え付ける予定である。

3 集光器視野の揺動問題

(1) 問題

強磁場での実験になってから、プラズマの中心部を測定している集光器のデータにばらつきが見られるようになった。この原因を集光器のアライメント測定装置のデータをもとに調査した結果、集光器の視野とレーザー光軸が実験放電に伴ってずれを生じているためであることが判明した。このとき、レーザー軸は正常であることから揺動の原因は集光器にあると考えられる。中心部測定用集光器の構造を図4に示す。



(図4) 集光器の構造

この集光器はレールの上に設置されており、引出してメンテナンスが出来るようになっている。測定時にはトロイダルコイルの間に押込んでレールと集光器の後部を固定している。この集光器は反射型で、主鏡で集光された光は副鏡で反射され、光ファイバープラグに入る。光ファイバープラグは視野調整ステージに固定されたプラグホルダーに挿入され、視野調整に伴って動くようになっている。視野調整機構はプラグホルダーを集光器の光軸を中心に回転させる機能と水平にシフトさせる機能を持っている。この集光器の構造から視野の揺動を起こす可能性のある部分としては次の3ヶ所が考えられる。

① プラグホルダー

プラグホルダーは図4に示すように弓形をした柱状（高さ約40mm、横幅約8mm、奥行約20mm、）のもので、縦方向に光ファイバープラグを差込んで固定する為の穴の列

が開けられており、下側部分が視野調整機構に固定されて自立型構造になっている。この部分に力が加わると変形を起こす可能性が考えられる。

② 視野調整ステージ

視野調整機構の水平シフト部はバネで引かれているステージをネジで押込んで動かす構造となっている。このため、ステージにネジで押す方向にバネの引戻す力より大きな力が加わるとステージは動く事になる。またステージの構成部品の一部に磁性体を使用されており、磁場で力を受ける原因となっている。

③ 集光器筐体

集光器の外側パネルはアルミ合金製で出来ている。この為、この部分を磁束が通ると渦電流が発生し、電磁力で集光器全体を動かす力が加わることが考えられる。また、プラズマの急激な消滅による衝撃的電時磁力が加わったとき、現状の固定箇所だけではレールの上で動いてずれてしまうことが考えられる。

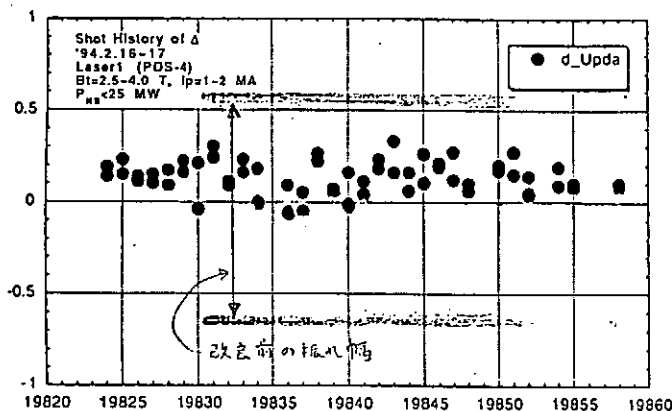
(2) 対策

以上の3カ所について、次の様な改良を加えた。

- ① 視野調整機構の水平ステージと連動する補強治具を取り付け、プラグホルダーの上部を固定出来るようにする。(図4参照)
- ② 視野調整機構の水平ステージをネジの回転で左右に動く方式に変更し、さらにステージに使用されている磁性体を非磁性材に交換する。
- ③ 集光器全体が動く可能性についてはレールへの固定を集光器の前部にも追加し、より強固な固定方法にする。また、磁束の通過しやすいフロントパネルを抵抗率の高い材質に交換し、渦電流を低減する。(図4参照)

(3) 結果

上記の改良を加えた結果、強い磁場条件の測定でも視野の揺動はかなり抑えられていることが判った。(図5)に改良後の視野の揺動の状況を示す。横軸は実験の通番である。縦軸の Δ は軸ずれの規格化信号差(*)を意味する。参考までにトロイダル磁場(2.5~4T)に対する改良前の視野の揺動範囲を図中に示した。



(図5)

4 まとめ

以上、レーザの軸ずれと集光器視野の揺動問題に関しトラブルの状況とその改良について簡単に述べた。調査に関しては放射線管理区域という性質上、物品の移動、加工場所、作業時間等各種の制約があり、十分な原因追及を行なう事が出来なかったが、集光器視野の揺動に対しては有効な処置を行なうことが出来た。現在集光器の要所に変位計を取り付けて揺動の原因を調査しており、結論が出せるものと期待される。

(*) (JT-60Uにおけるトムソン散乱測定装置用遠隔視野調整機構の開発 山下)参照

J T - 6 0 計測用共通真空排気設備 真空制御系の改良

日本原子力研究所 ○千葉真一 部 守正

はじめに

J T - 6 0 計測用共通真空排気設備の真空制御は、真空制御システム (V C S) により行っていたがソフト上のトラブルによりシステムダウンが発生し真空制御が不能になる等の故障が度々あった。このトラブルを解決するため新たに真空現場制御盤を設置し、システムダウンにより真空制御が不能になったとき即座に真空現場制御盤に切替わり、真空排気運転を停止することなく真空排気が続行できるよう改良を加え良い成果を得た。今回はこれらのシステムの概要及び、改良内容について報告する。

真空排気設備の概要

計測用共通真空排気設備は、他の計測装置と異なり、それ自体直接実験データを収集することがなく、各種計測装置のサポート設備であり、J T - 6 0 (臨界プラズマ試験装置) のために開発された各種計測装置を大気圧から超高真空まで効率よく又確実に真空排気する為の真空機器を集中制御・管理する設備である。本設備は、各種計測装置の重要な基盤設備として貴重な実験放電に常に対応可能な安定稼働が厳しく要求されるもので、特に真空排気設備及びその制御設備は一体となっており類似の実験装置には見られない大規模な真空排気システムを形成している。

真空排気設備の機器構成

真空排気設備の全系統の中から代表的な系統の機器構成を図1に示す。この設備は、計測装置や真空配管の内部を真空に排気するロータリーポンプ・メカニカルブースターポンプ・ターボ分子ポンプ約35台、計測装置や真空配管の内部の圧力を測定するピラニー真空計・B-A型電離真空計約80台、真空配管内部の流体を制御する真空バルブ約200台で構成されており、J T - 6 0 計測装置を 10^5 pa ~ 10^{-6} pa まで真空排気する性能を有するものである。

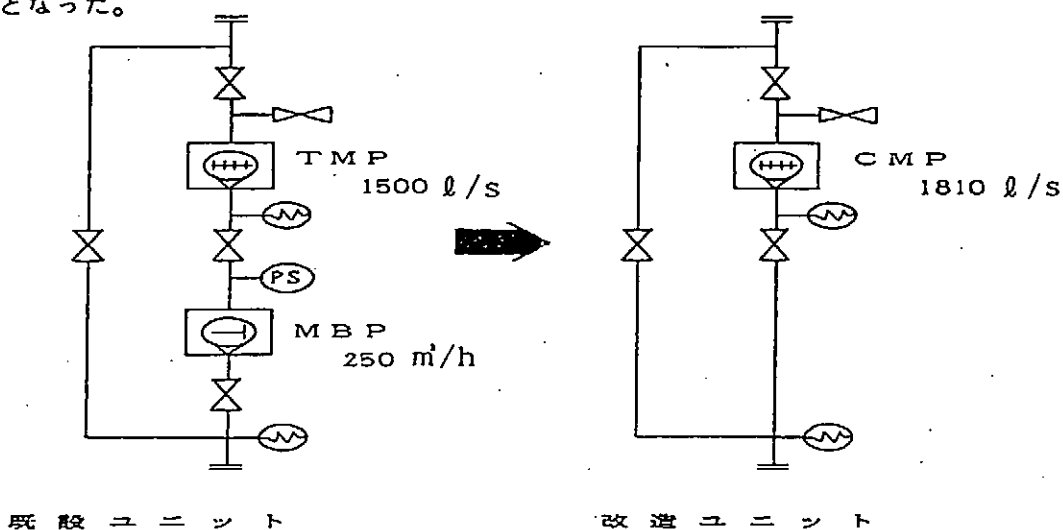
真空制御系改良の必要性

①大電流化改造工事（JT-60U）による真空排気ユニットの機器構成の変更

②重水素実験放電による機器操作の遠方化

③真空制御システム（VCS）のシステムダウン回避

①については、大電流化改造工事による計測装置の大幅な撤去や再配置、増設が行われた。再配置、増設された一部の計測装置の真空排気ユニットは、スペース的な問題や合理化によりユニットの真空機器構成の変更を行った。例えば中間排気ユニットも合理化により下図の様な機器構成となった。



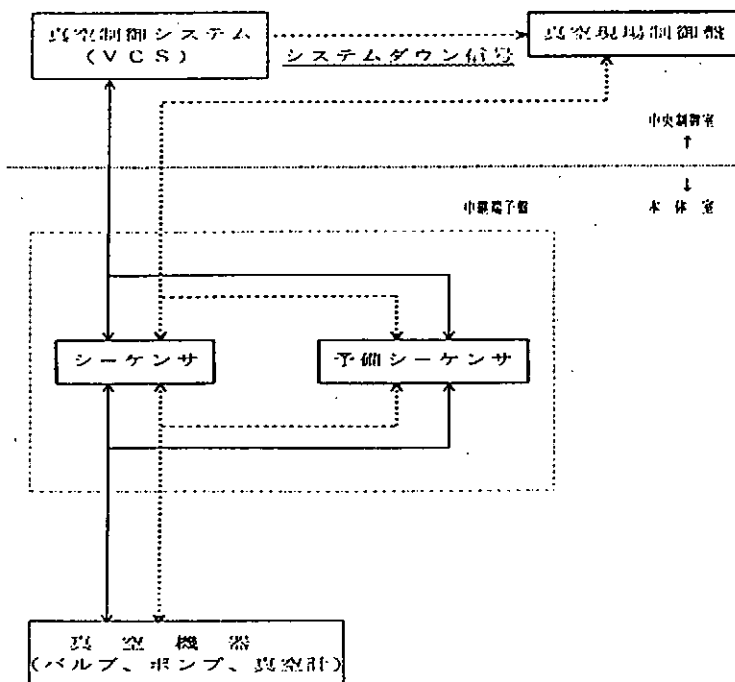
真空制御システムは既設ユニットの機器構成でソフトが組んであるので、ユニットの機器構成が同じであればどこへ再配置されても制御する事ができるが、上図右側の様に機器構成が既設ユニットと違ってしまうとソフトを変更しなければ対応する事が出来ない。しかし、このソフトは各機器間とのインターロック・整合性・他設備との信号の授受等、非常に複雑に組まれており、このソフトに手を加える事は、かなりのリスクを覚悟しなければならない為、ソフトを変更する事なくハード側で対処する必要がある。

②については、今までは真空計のフィラメント断線による予備フィラメントへの切替え操作や真空機器のエラーリセット操作など、すぐに本体室に入室し行っていたが改造後のJT-60Uでは重水素を用いた実験放電が行われ中性子や放射線が発生する。その為フィラメント断線や真空機器に不具合が生じて、直ちに本体室に入室し、調査・復旧する事が出来なくなり、復旧する為にはJT-60Uの実験放電を停止し、更にかかなりの時間を浪費し、それから復旧作業に入るという過程を踏まなければならないので、JT-60Uの運転効率からしてもこれらを遠方で操作する必要がある。

③の真空制御システムは、マイクロコンピュータで行っている為、必ずつきまとうソフトウェア上のバグの問題がある。このバグは年に2～3回程度で、幾つかの複数の条件やコマンドが、たまたま組み合わさった時に発生し極めて発見の困難なものであり今だに見つかっていない。ソフトバグが発生した場合、システムが暴走してしまう為、機器保全の為システムダウンとさせていた。その為、真空機器全停止→プラズマ診断計測装置も停止→JT-60実験運転停止といった状態になってしまう。これはJT-60の設計思想がシステムに不具合が発生すると、それにより2次的な不具合が発生しない様に機器を停止するよう作られていたからである。しかし、今度のJT-60Uの設計思想は、不具合発生時にはなるべく最小範囲の機器停止にとどめ、なるべく運転を続行するという今までとはまったく逆になってしまった。よって、JT-60Uではシステムダウンとなっても真空排気運転を続行できる様バックアップするシステムが必要である。

制御系改良内容・結果

上記の改良の必要性①～③を全て考慮し、新たにバックアップシステムとして真空現場制御盤とシーケンサを新設した。この新設した真空現場制御盤は、今までの真空制御システム(VCS)の制御機能ばかりでなくJT-60Uで構成が変わった計測装置の真空排気ユニットも全て遠隔で制御する事が出来る。更に今までは真空ポンプのエラーリセットや真空計のフィラメント切替え操作などで本体室の入室を余儀なくされていたが、この真空現場制御盤ではこれらの操作を遠隔で行う事が出来る様になった。又、既設の中継端子盤を改造し新たに設置したシーケンサで模擬信号を作る事でVCSのソフトを変更する事なくJT-60Uで構成が変わった真空排気ユニットも運転出来る様になった。しかし、VCSのソフトバグはまだ未解決なので、ソフトバグによるシステムダウンとなっても自動的に真空現場制御盤に制御が切替わり現場の機器を止める事なく運転がそのまま続行出来る様シーケンサによるバックアップ機能を持っている。



制御信号フロー図

ここでシーケンサを選んだ理由は、ソフトバグがほとんど発生しないという事と、これだけの大規模なシステムを組んでもソフトが複雑

ならず後々のメンテナンスやソフト修正が比較的簡単に行える点で選んだ。更に、このシステムではシーケンサ2台とも同じソフトを組んであり1台のシーケンサがダウンしても、もう1台のシーケンサでそのまま運転が続行出来る様になっている。

まとめ

この様に真空現場制御盤やシーケンサを新たに設置し再構築した結果、現在では計測用共通真空排気設備の運転が全停止する様な事はほとんど皆無となった。これにより従来の様な真空機器全停止→プラズマ診断計測装置の停止→JT-60実験運転停止という今までのパターンが改善されJT-60Uの運転効率アップに貢献できるものとなった。現在システムは順調に稼働し、システムとしての完成度はかなり高いものとなったが、今後もさらに運転経験を重ね設備の改良及び、システム化を計っていく必要があると考えるものである。

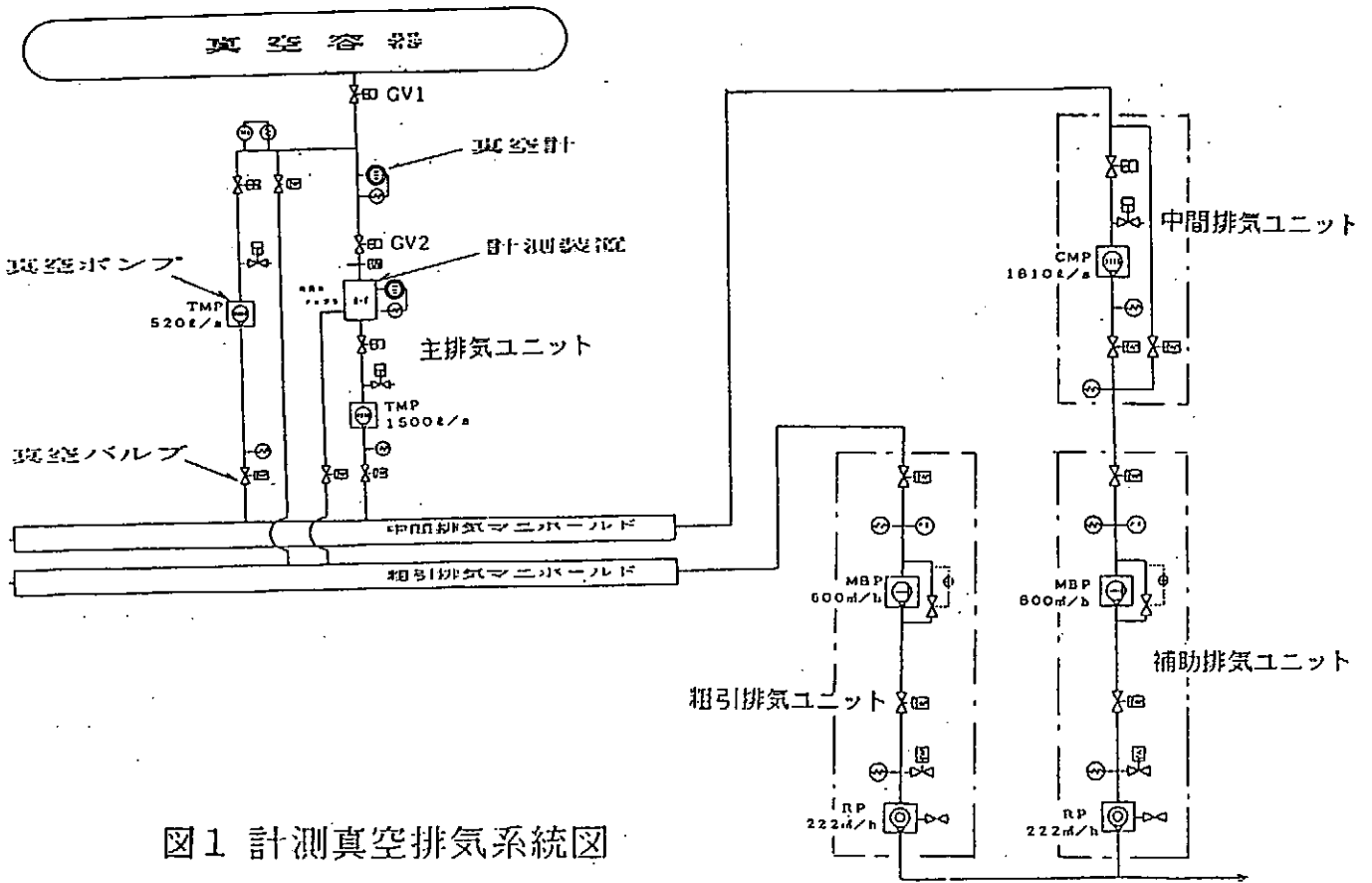


図1 計測真空排気系統図

高周波真空入射制御装置の開発

日本原子力研究所 那珂研究所 清野公広 篠崎信一

1. システムの目的及び設計方針

J T - 6 0 高周波加熱装置制御設備は、MS - 1 7 5 R F 計算機 (N E C) と C A M A C システムを利用した制御系 (以下MS制御系) で構築されており、4ユニット運転制御及びデータ処理を行っている。

本高周波真空入射制御装置は、このMS制御系と、独立に新たな制御系として併設され、ワークステーション (W S) 並びに V M E モジュール群より構成されている。

現行のMS制御系は、運用開始後10年以上経過し、ハードウェアの老朽化に伴い、保守性が低下している。

また、マンマシン性についても、条件設定に時間がかかり、C R T の画面も暗い状況である。さらに、4ユニットの運転制御及びデータ処理を1台の計算機で行っているため、各ユニットの独立した入射パターンの運転ができない。

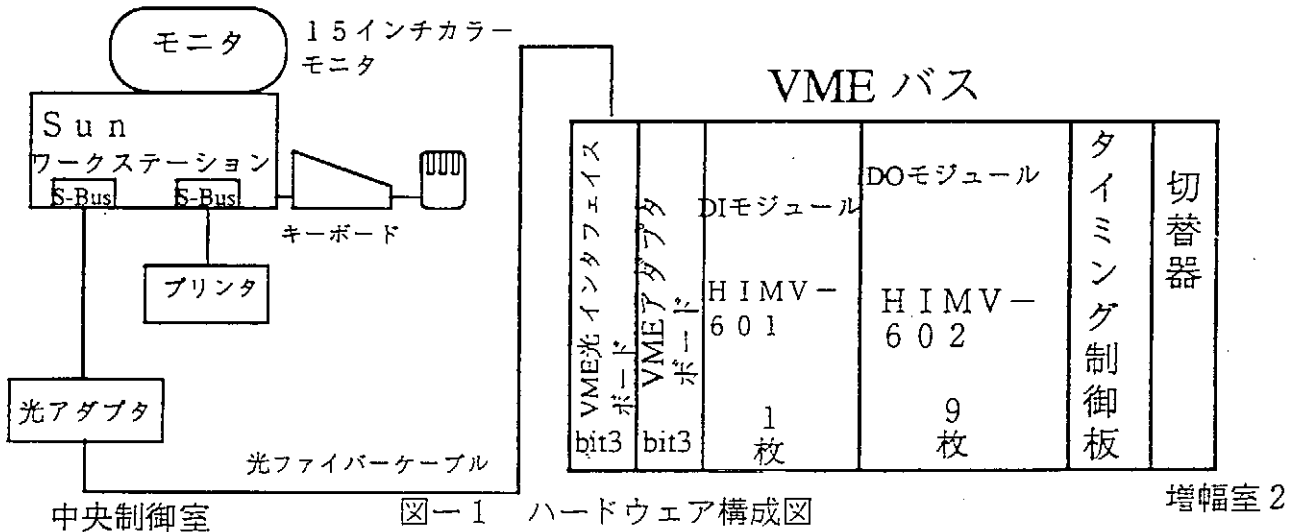
よって、これらの問題点を改善することを目的として、下記の指針に基づいて設計を行った。

- 1)ハードウェアは、全4ユニットの内、1ユニットについての構成として、将来増設及び機能追加を行うものとする。
- 2)マンマシン性は、WSをベースに他設備 (全系、計測装置) と同質のものとする。
- 3)保守性、経済性を考慮して、CAMACシステムに代わる、I/Oモジュール (V M E) を採用する。
- 4)現行のMS制御系とは、独立に構築してMS制御系の機能を損なわないようにすること。
- 5)アプリケーションソフトは、C言語にて開発すること。

2. 概要

本システムは、ワークステーションを中央制御室に設置し、WSのSbusより光伝送装置より現場 (約200m離れた増幅室) のVMEラックのモジュールに接続されている。

VMEラックには、DI/DOモジュール、信号切替器、及びタイミング制御板が実装されている。以下にハードウェアの構成を図-1に示す。



3. RFパラメータ制御

現在の運転方法で条件を設定する場合は、RF計算機による条件設定画面より低速ループ、高速ループを通り、CAMACのDOに接続され各装置に条件が設定される。

本真空入射制御装置を設置したことにより、1部の条件設定が信号切替器により、WSの設定かRF計算機の設定かを切り替えることができるようにした。

よってMS制御系としては、RF計算機の指令に割り込んでWSの制御系が追加した形となり、真空入射を行う場合、WSが制御系の主導となり、プラズマ入射時は、RF計算機が主導となる。

また、各計算機が独立した運転ができよう、MS-175計算機とWS間の通信を行わないようにした。

以下にRF制御パラメータシステムを示します。

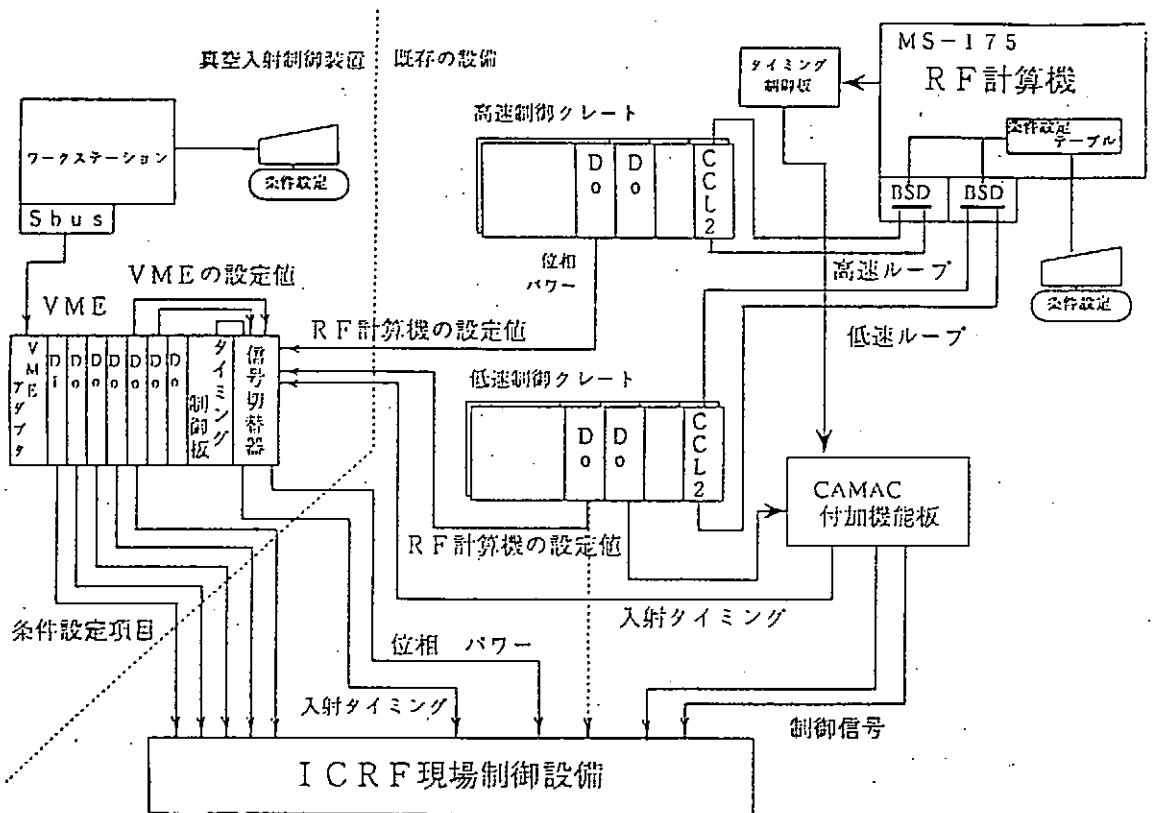


図-2 RFパラメータ制御系統図

4. 各種機能

1) 条件設定機能

短パルス入射（真空入射）用とプラズマ入射用の制御条件設定画面をもち、切替ができる。

設定された制御条件は、デジタル信号にて出力されRF現場制御設備に対して、パラメ

ータを設定する。

また、真空入射中でも、シーケンスを停止させずに制御条件を変更でき、パラメータの設定ができる。

図-3に、WSの表示画面を示す。

2) 状態監視機能

最小限のインターロック信号を入力して、それに伴った処理を行い、サンプリング周期については、任意に変更可能とした。

また、外部からの信号により自動エージング処理を行い、入射パワーの増加減を行えるようにした。(図-3のWSの表示画面を参照のこと。)

3) 真空入射ON/OFF制御機能

WSからタイミング制御板に入射信号(ON/OFF)を送り、タイミング制御板にて、パルス幅を決めて、装置の入射を行う。

パルス幅の設定は、WSからの信号により、任意に変更可能とした。

4) 条件設定ログ保存機能

シーケンス開始、停止及び変更時に入射条件の設定値がログファイルにテキスト形式で保存される。(図-4の運転ログファイルを参照のこと。)

また、装置の異常が発生した場合でも、その項目がログファイルに保存される。

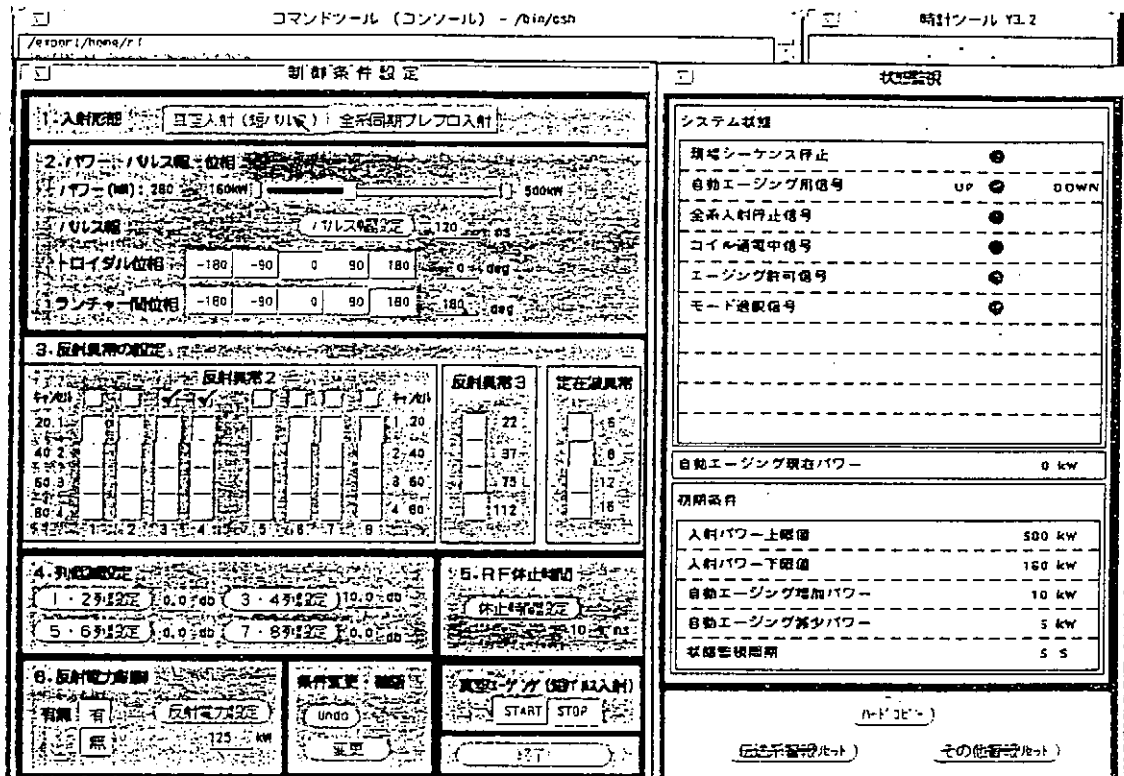


図-3 WSの表示画面

1993/12/16 11:26.23	始	pw= 430,pl= 70,cr= 180,ln= 180,c2=11111111,a2=9990999999999999,a3=150,sw=15,ls=14.012.010.0 8.0,pc= 2,rc=1
1993/12/17 16:35.42	始	pw= 120,pl= 40,cr= 180,ln= 180,c2=11111111,a2=9990999999999999,a3=150,sw=15,ls=14.012.010.0 8.0,pc= 2,rc=1
1993/12/17 16:35.42	終	pw= 120,pl= 40,cr= 180,ln= 180,c2=11111111,a2=9990999999999999,a3=150,sw=15,ls=14.012.010.0 8.0,pc= 2,rc=1
1993/12/17 16:35.46	始	pw= 120,pl= 40,cr= 180,ln= 180,c2=11111111,a2=9990999999999999,a3=150,sw=15,ls=14.012.010.0 8.0,pc= 2,rc=1
1993/12/17 16:35.49	終	pw= 120,pl= 40,cr= 180,ln= 180,c2=11111111,a2=9990999999999999,a3=150,sw=15,ls=14.012.010.0 8.0,pc= 2,rc=1
1993/12/17 16:35.52	始	pw= 120,pl= 40,cr= 180,ln= 180,c2=11111111,a2=9990999999999999,a3=150,sw=15,ls=14.012.010.0 8.0,pc= 2,rc=1
1993/12/17 16:35.52	終	pw= 120,pl= 40,cr= 180,ln= 180,c2=11111111,a2=9990999999999999,a3=150,sw=15,ls=14.012.010.0 8.0,pc= 2,rc=1
1993/12/20 14:16.54	始	pw= 120,pl= 40,cr= 180,ln= 180,c2=11111111,a2=9990999999999999,a3=150,sw=15,ls=14.012.010.0 8.0,pc= 2,rc=1
1993/12/20 14:16.56	終	pw= 120,pl= 40,cr= 180,ln= 180,c2=11111111,a2=9990999999999999,a3=150,sw=15,ls=14.012.010.0 8.0,pc= 2,rc=1
1993/12/20 14:18.22	始	pw= 120,pl= 40,cr= 180,ln= 180,c2=11111111,a2=9990999999999999,a3=150,sw=15,ls=14.012.010.0 8.0,pc= 2,rc=1
1993/12/20 14:18.27	終	pw= 120,pl= 40,cr= 180,ln= 180,c2=11111111,a2=9990999999999999,a3=150,sw=15,ls=14.012.010.0 8.0,pc= 2,rc=1
1993/12/20 14:40.50	変	pw= 100,pl=100,cr= 0,ln= 0,c2=00000000,a2=40404040608036020,a3=150,sw=15,ls=30.030.030.030.0,pc=10,rc=1
1993/12/20 14:41.00	始	pw= 190,pl=100,cr= 0,ln= 0,c2=00000000,a2=2020202020202020,a3=150,sw=15,ls=30.030.030.030.0,pc=10,rc=1
1993/12/20 14:51.43	始	pw= 100,pl=100,cr= 0,ln= 0,c2=00000000,a2=2920202020202020,a3=150,sw=15,ls=30.030.030.030.0,pc=10,rc=1
1993/12/20 14:51.52	終	pw= 100,pl=100,cr= 0,ln= 0,c2=00000000,a2=2020202020202020,a3=150,sw=15,ls=30.030.030.030.0,pc=10,rc=1
1993/12/20 14:52.01	始	pw= 100,pl=100,cr= 0,ln= 0,c2=00000000,a2=2020202020202020,a3=150,sw=15,ls=30.030.030.030.0,pc=10,rc=1
1993/12/20 14:52.01	終	pw= 100,pl=100,cr= 0,ln= 0,c2=00000000,a2=2020202020202020,a3=150,sw=15,ls=30.030.030.030.0,pc=10,rc=1
1993/12/20 14:52.13	始	pw= 100,pl=100,cr= 0,ln= 0,c2=00000000,a2=2020202020202020,a3=150,sw=15,ls=30.030.030.030.0,pc=10,rc=1
1993/12/20 14:52.13	終	pw= 100,pl=100,cr= 0,ln= 0,c2=00000000,a2=2020202020202020,a3=150,sw=15,ls=30.030.030.030.0,pc=10,rc=1
1993/12/20 14:52.16	始	pw= 100,pl=100,cr= 0,ln= 0,c2=00000000,a2=2020202020202020,a3=150,sw=15,ls=30.030.030.030.0,pc=10,rc=1
1993/12/20 14:52.16	終	pw= 100,pl=100,cr= 0,ln= 0,c2=00000000,a2=2020202020202020,a3=150,sw=15,ls=30.030.030.030.0,pc=10,rc=1
1993/12/20 14:55.52	変	pw= 100,pl=100,cr= 0,ln= 0,c2=11111111,a2=2020202020202020,a3= 30,sw=15,ls=30.030.030.030.0,pc=10,rc=1
1993/12/20 14:58.05	始	pw= 210,pl= 60,cr= 0,ln= 0,c2=11111111,a2=2020202020202020,a3= 30,sw=15,ls= 5.0 5.030.030.0,pc= 8,rc=1
1993/12/20 14:58.59	変	pw= 320,pl= 60,cr= 0,ln= 0,c2=11111111,a2=2020202020202020,a3= 30,sw=15,ls= 5.0 5.030.030.0,pc= 8,rc=1
1993/12/20 15:01.57	変	pw= 320,pl= 60,cr= 0,ln= 0,c2=11111111,a2=2020202020202020,a3= 30,sw=15,ls= 5.0 5.030.030.0,pc= 8,rc=1
1993/12/20 15:02.03	終	pw= 320,pl= 60,cr= 0,ln= 0,c2=11111111,a2=2020202020202020,a3= 30,sw=15,ls= 5.0 5.030.030.0,pc= 8,rc=1
1993/12/20 15:02.06	始	pw= 320,pl= 60,cr= 0,ln= 0,c2=11111111,a2=2020202020202020,a3= 30,sw=15,ls= 5.0 5.030.030.0,pc= 8,rc=1
1993/12/20 15:02.06	終	pw= 320,pl= 60,cr= 0,ln= 0,c2=11111111,a2=2020202020202020,a3= 30,sw=15,ls= 5.0 5.030.030.0,pc= 8,rc=1
1993/12/20 15:07.21	始	pw= 670,pl= 60,cr= 0,ln= 0,c2=11111111,a2=2020202020202020,a3= 30,sw=15,ls= 5.0 5.030.030.0,pc= 8,rc=1
1993/12/20 15:08.25	変	pw= 670,pl= 60,cr= 90,ln= 180,c2=11111111,a2=2020202020202020,a3=110,sw=15,ls= 5.0 5.030.030.0,pc= 8,rc=1
1993/12/20 15:10.50	始	pw= 670,pl= 60,cr= 90,ln= 180,c2=11111111,a2=2020202020202020,a3=110,sw=15,ls= 5.0 5.030.030.0,pc= 8,rc=1
1993/12/20 15:10.51	終	pw= 670,pl= 60,cr= 90,ln= 180,c2=11111111,a2=2020202020202020,a3=110,sw=15,ls= 5.0 5.030.030.0,pc= 8,rc=1
1993/12/20 15:10.50	始	pw= 670,pl= 60,cr= 90,ln= 180,c2=11111111,a2=2020202020202020,a3=110,sw=15,ls= 5.0 5.030.030.0,pc= 8,rc=1
1993/12/20 15:11.02	終	pw= 670,pl= 60,cr= 90,ln= 180,c2=11111111,a2=2020202020202020,a3=110,sw=15,ls= 5.0 5.030.030.0,pc= 8,rc=1
1993/12/20 15:11.03	始	pw= 670,pl= 60,cr= 90,ln= 180,c2=11111111,a2=2020202020202020,a3=110,sw=15,ls= 5.0 5.030.030.0,pc= 8,rc=1
1993/12/20 15:11.24	終	pw= 670,pl= 30,cr=180,ln=-180,c2=11111111,a2=2020202020202020,a3=110,sw=15,ls= 5.0 5.030.030.0,pc= 8,rc=1
1993/12/20 15:11.33	終	pw= 670,pl= 30,cr=180,ln=-180,c2=11111111,a2=2020202020202020,a3=110,sw=15,ls= 5.0 5.030.030.0,pc= 8,rc=1
1993/12/20 15:12.24	始	pw= 670,pl= 70,cr=180,ln=-180,c2=11111111,a2=2020202020202020,a3= 30,sw= 6,ls= 5.0 5.0 8.030.0,pc= 8,rc=1
1993/12/20 15:12.25	終	pw= 670,pl= 70,cr=180,ln=-180,c2=11111111,a2=2020202020202020,a3= 30,sw= 6,ls= 5.0 5.0 8.030.0,pc= 8,rc=1
1993/12/20 15:15.54	始	pw= 670,pl= 70,cr=180,ln=-180,c2=11111111,a2=2020202020202020,a3= 30,sw= 6,ls= 5.0 5.0 8.030.0,pc= 8,rc=1

図-4 運転ログファイル表示

5. まとめ

本真空入射制御装置を取り付けたことにより、JT-60高周波加熱装置を運転する上で、プラズマ入射のショット間エージング(真空入射)が効率よく運転することができた。

また、WSを使用したことにより、画面での日本語表示、マウスでの入力等、マンマシン性が向上した。

機能面でも、従来運転ログを記録していたが、WSにより自動的に記録されるため、運転員の労力が軽減された。

今回は、試作程度にWSを導入してRFの運転が効率よくできることが実証したので、今後は、このWSを他のユニットについても取り付けさらに運転の効率化を図ると共に、MS制御系の機能(プレプロ制御、運転監視、全系通信等)を移行させて、すべての処理をWSで行えるようにしたい。

1.まえがき

実験データ収集・解析システム(DAS)を運用していくうえで実時間処理を行なうことは重要な命題である。すなわち実験データ収集系においては入力に対する出力の線形性をいかに保つかとすることであり、解析系に於いてはいかに演算精度を落とさずして高速な数値演算を行なわせるかということが重要である。近年周波数解析の手法としてFFTでは解析困難であった時系列周波数解析の法としてウェーブレット変換(Wavelets Transform)が注目されている。我々はこのウェーブレット変換を利用してDAS上での時系列周波数解析を、CHS実験中に比較的頻繁に発生する(200プラズマショット中におおよそ1~3ショット程度以下)電磁インパルスノイズを想定して、このウェーブレット変換がDASの実時間処理に与える影響をDASとDSPを利用した場合とに分けて簡易なシミュレーションを試みた。通常、プラズマ実験に於ける加熱装置(ECH, ICH, NBI)の駆動開始時間は全てが同一時に動作するのではなく適宜な時間間隔をおいて始まってゆき、さらに各々は適宜な時間だけ駆動し各々別々に停止してゆく手順をとっている場合が殆どである。図1にその概要を示す。

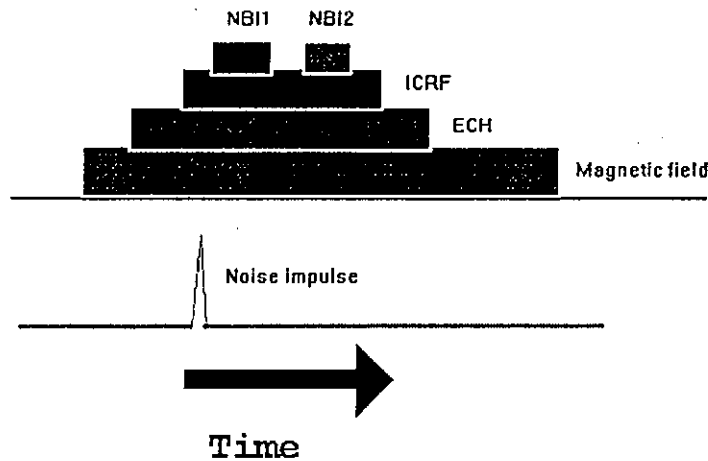


図 1 加熱装置の運転タイミング

このような運転モード時にプラズマパラメタの周波数バウンダリが変化すれば(加熱装置の立ち上げ、下げのときにはプラズマパラメタの急瞬な周波数変異などを伴いやすい)その特異点発生を知る必要にせまられることが多い。従来はこのような場合は凡その特異点を知るためにフーリエ変換のウィンドウ幅を狭めるなどして周波数の変異する時間を特定しようしていたが精度のあるものではなかった。このような場合にウェーブレット変換

は有用であるが演算アルゴリズムが複雑であるためにそれがDAS にあたる実時間処理上の遅延に関するデータを具体的に取得することも目的である。

2. シミュレーションの手法

シミュレーションを行なうにあたっては次の基本式を用いた。

アナライジングウェーブレットはMexican hat を用い次式を用いた。

$$\psi(t) = \frac{d}{dt^2} e^{(-\frac{t^2}{2})} = (1-t^2)e^{(-\frac{t^2}{2})} \quad (1)$$

ただしDSPにおけるアナライジングウェーブレットは浮動少数点法などからくる複雑さをさけるため次式を満足する方形波をもちいた。

$$\psi(x) = 128 \text{ 但し } (0 \leq x \leq \frac{1}{2}), \psi(x) = -128 \text{ 但し } (\frac{1}{2} < x \leq 1) \quad (2)$$

さらにウェーブレット関数には次式を用いた。

$$\psi^{(a,b)}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad a \text{ is } \frac{1}{\omega}, \quad b \text{ is offset of time domain.} \quad (3)$$

$(a, b \in R, a \neq 0)$

ウェーブレット変換をうける関数は次式で示される。

$$f(a,b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{+\infty} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) f(t) dt \quad (4)$$

変換をされるデータは(2)で示した方形波であり、変曲点は半波長折り返し点近傍においてある。解析手法を表1に示す。

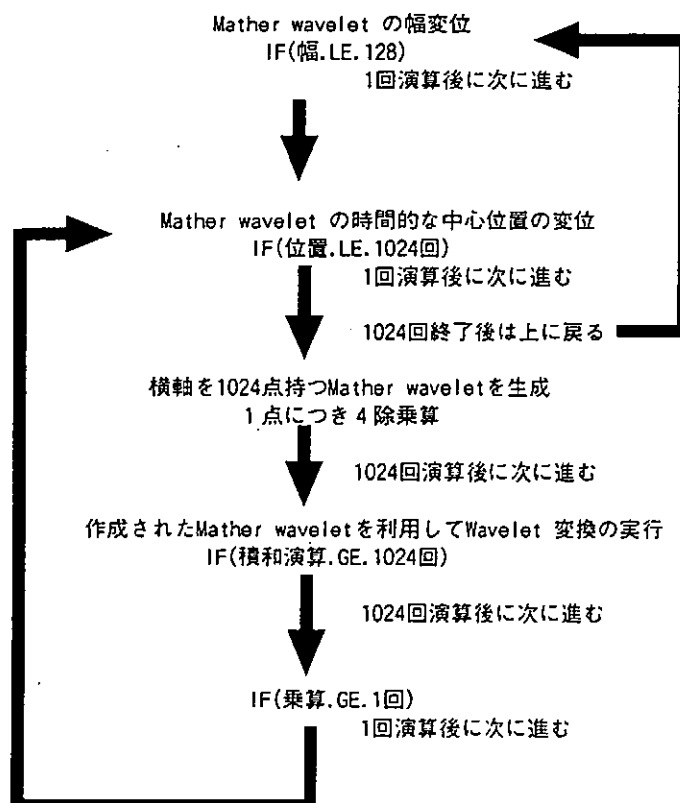
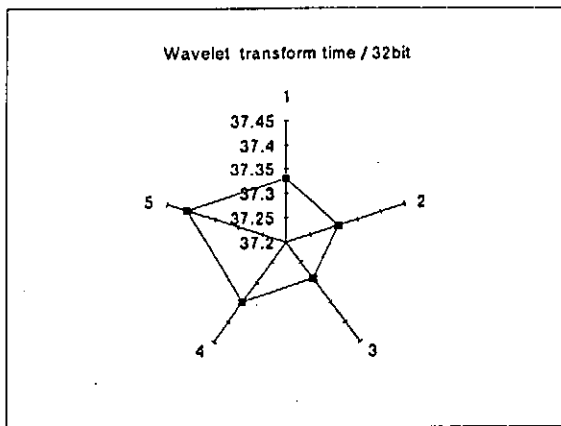


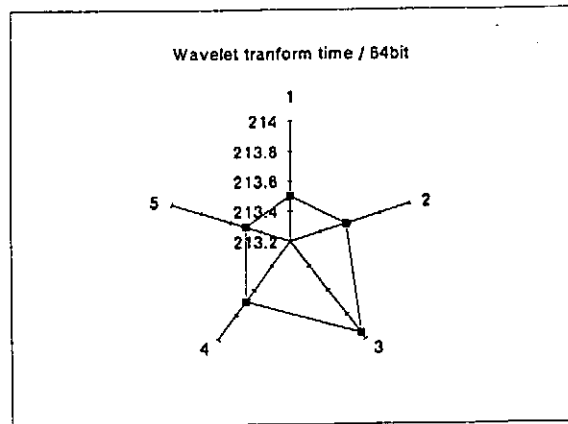
表 1 ウェーブレット変換の演算手続き

3. シミュレーションの実行

演算にあたっては $f(t)$ は128点の幅を持ち、 $\psi(t)$ は1024点の幅を持っている。DASの計算機は32Bitと64Bitの2台を用いて試算した。演算環境はシングルユーザにしてあるがオペレーティングシステム(OS)はOS内でのプロセスの自生についての制限は排他されていない。演算精度は両計算機ともにプログラム上で同じにしてありここでは計算機の演算速度での違いが単純に累積評価されることになる。32Bitの演算については演算時間が長大になるため64bitの場合の1/64にプログラムのネスティングを減らしてあることに注意をしてほしい。結果を図2(a),(b)に示す。



(a) 32Bit



(b)64Bit

図2 汎用計算機での演算時間
(半径方向の目盛は時間,時計周りの数字は試行回数)

この結果から言えることは実時間処理系では出力時間を結んだ閉曲線が真円になるべきであるが、演算時間の長さもさることながらその結果の出力時間のばらつきである。シングルユーザ環境のもとで数100msec内外の遅延誤差が生じるならばマルチユーザ/マルチタスクでは実時間処理系の計算機のもとでは過大な負荷をかけることになってしまう。つぎにDSPでの演算結果を表2にしめす。演算行程は現在のところアナライジングウェーブレットの選択性多様性の問題とか高速フーリエ変換(FFT)で利用するバタフライ演算法に似た方式などの利用方の見極めなど現時点での最適化された高速ウェーブレット変換法を利用するには至らなかった。したがって本報告でのウェーブレット変換法は表1に沿ったものである。

測定法： DSP内のRAMの指定されたアドレスから検査数を取りだし定数を乗し別のRAMに結果を書き込む単位プログラム。

1単位プログラムの実行時間：

$$1.5 \text{ clock} \times 100 \text{ nsec} = 1.5 \mu\text{sec}$$

測定法： 各々RAMの256点ずつのデータを読みだし、それらを乗しかつ結果を256回加算する単位プログラム。

1単位プログラムの実行時間：

$$270 \text{ clock} \times 100 \text{ nsec} = 27 \mu\text{sec}$$

Mather wavelet の時間方向への変位

$$4 \times 1024 \times 128 \times 27 \mu\text{sec} = 14.1 \text{ Sec}$$

Mather wavelet の作成とWavelet 変換

$$4 \times 1024 \times 1.5 \mu\text{sec} = 615 \mu\text{sec} / 1 \text{ Mather wavelet}$$

$$1024 \times 128 \times 615 \mu\text{sec} = 80.6 \text{ Sec}$$

Mather wavelet transform に最低でも必要とされる時間

$$14.1 \text{ Sec} + 80.6 \text{ Sec} = 94.7 \text{ Sec}$$

表2 DSPでの演算速度の評価

4. シミュレーションの結果とこれからの課題

結果においては計算機とDSPでは式(2)で示されるアナライジングウェーブレットの関数系にその違いはあるもののDSP側で汎用計算機に比較して2倍程度の処理速度の改善が見られた。これはさらにアナライジングウェーブレット関数を予めDSPの外部メモリに記録しておきこれを利用することによりさらに演算時間の短縮には効果があるものと考えられる。しかしながら本ウェーブレット変換においてはFFTに代表されるような高速な数値展開が行なわれていないために単純な積和演算の繰り返しになっているのも事実であり解決すべき問題は少なくない。そしてウェーブレット変換は現在のところ実時間処理をねらった汎用計算機では入力/出力線形性の維持は難しいものがあるであろう。当面には次のような課題があると認識している。

- ①アナライジングウェーブレット関数選択肢決定法
- ②高速アルゴリズム (Fast Wavelet Transform)の研究
- ③固定化小数点/浮動小数点に係る演算精度の問題

今後は上に示す項目について技術研究開発を行なってゆきたい。

X線用4軸型回折計の制御

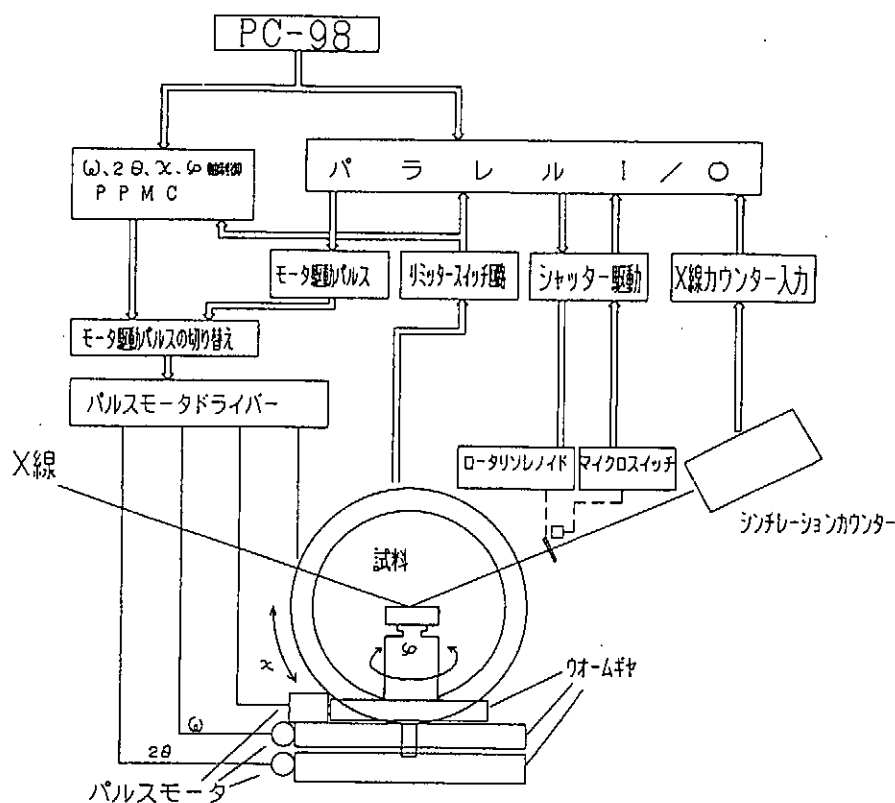
名古屋大学工学部技術部 山内健治

” 応用物理 高橋 功 原田 仁平

はじめに

X線の入射方向に対して結晶試料の傾きを広い範囲にわたって変化させながら散漫散乱の強度を測定するために4軸型回折計が用いられている。本装置の機械駆動部分は試料に対するX線の入射方向を変化させる必要があるために、1図に示すように4軸をパルスモータの制御により変えることができるようになっている。なお機械駆動部分は、応用物理工作室に於いて製作されたものである。回折計の軸はパルスモータにより角度を制御し、X線のシャッターやフィルターを切り替え、散乱されたX線強度をカウンターにより測定し、その結果をインターフェイスを介してマイクロコンピュータAIDAX-3000（アイ電子社製Z80CPU）に転送するように接続されていた。このマイクロコンピュータのフロッピーディスクが壊れて修理不可能となったためコンピュータをPC98に置き換えることになった。そのために制御回路をソフトウェアも含めてすべて作り直すこととなった。

以前の装置の回路図を参考にしながら極力PLDによるIC化を試みた。4軸を制御するパルスモータは同時に駆動するために、1軸毎にパルスモータ制御LSI（PPMC101B—アンペール社製）を使った。



1図 X線4軸回折計の構造と制御概略

本装置の使用目的と概略

X線や電子線を物質に入射し、そこから得られる散乱波により原子レベルの構造を知ろうとする場合に、電子線についてはレンズが存在し現在電子顕微鏡を用いると原子オーダの分解能が得られている。しかし電子顕微鏡像から単原子や分子の直接観察を行うことは試料と支持する膜とからの散乱波のコントラスト比が非常に小さいため困難である。実像と回折パターンが

フーリエ変換の関係にあることから物理的なレンズ作用を計算機に行わせ試料の原子位置座標を求めることが結晶構造解析と呼ばれるもので、従来から蛋白質、高分子の構造決定などに広く使われてきた。

その他に、結晶の熱振動や結晶に乱れがある場合、たとえば結晶格子内の1種の原子が

多種の原子によって不規則的に置換される時、あるいは格子歪みがある場合には、散乱強度は逆格子点以外にも分布する。これは散漫散乱と呼ばれており、その強度はブラッグ反射に比べて3~4桁低い。

ブラッグ反射や散漫散乱を解析し、結晶の構造ならびに結晶中にある乱れた構造を決定するためにX線の入射に対して任意の結晶面を設定できるような広い範囲で試料台を変化できる4軸型回折計が有用である。測定に対して柔軟に対応できるように機械的駆動部、制御回路部及び測定用ソフトウェアはすべて自作である。

4軸回折計は 2θ 、 ω 、 χ 、 ϕ 軸からなり ω 、 2θ は単独で回転できるが χ 、 ϕ は連動して回転する。各軸はパルスモータとウォームギヤにより駆動されバックラッシュを防ぐためにコイルバネ、スラストベアリングとダブルネジで鋼球を押し構造となっている、またソフトの暴走によるモータが機械的な動作限界を越えないようにリミットスイッチを設置してある。1図に示すように各軸のモータはパーソナル・コンピュータ(PC-98)のバスに直結されるPPMCの信号をモータドライバーに送ることにより制御される。

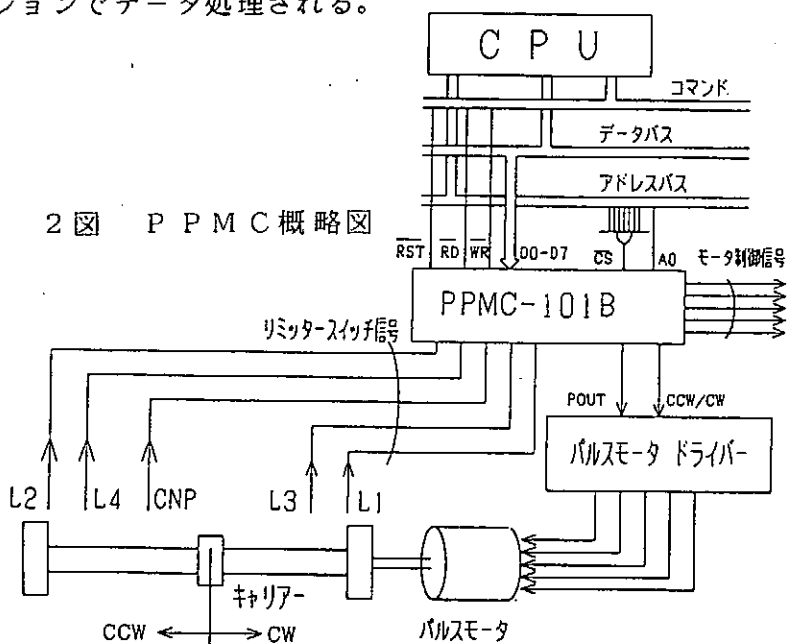
またパラレルI/Oを介してコンピュータから直接ドライバーに信号を送ることもできる。リミットスイッチからの信号はPPMCに送られてモータを停止させるとともにコンピュータにも送られる。X線をカットするためのシャッターやX線の特定領域波長をカットしたり強度を低下させるためにソレノイドコイルに金属薄膜を取り付けたバランスフィルターを用いている。パラレルI/Oからのコンピュータ信号をトランジスタでバッファしてロータリソレノイドのコイルに通電すると同時にマイクロスイッチ等の信号で動作の確認を行っている。また散乱X線の強度はシンチレーションカウンタでデジタル信号となりコンピュータに読み込むことができる。測定されたデータは通信回線を通じて大型計算機またはワークステーションでデータ処理される。

各軸制御回路

4軸を同時に高速運転するときコンピュータで各軸のパルスレートを計算しながら出力するのは困難であるため、各軸毎にパルスモータ制御用ICを使用した。アンペール社のPPMC101Bは8ビットのデータバスに直結できコマンド、データを書き込むことにより動作する。またステータス情報を読み込むことにより異常停止原因、現在のモータ回転方向や相励磁情報が分かる。データの読み込みにより残りのステップ数も知るようになる。リミットスイッチからの信号によりモータを停止させることも可能である。主なコマンドは(1)定速動作 (2)加減速動作 (3)即停止や減速停止 (4)単パルス動作 (5)リミットスイッチまでの移動 (6)加減速動作のための初期設定などである。

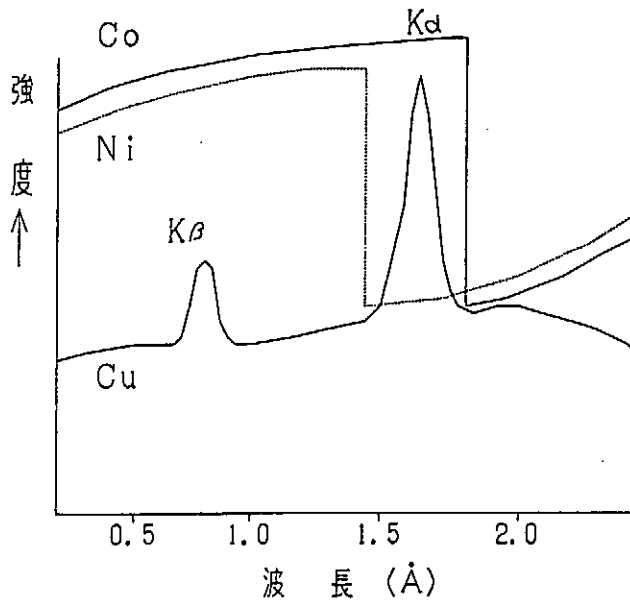
各軸についてリミットスイッチが取り付けられてあり機械的な限界点を越してモータが回転した場合に直ぐPPMCに停止信号を出すとともにCPUにもその状態を知らせる。4個のPPMCを1枚のPC98用ユニバーサル基板に納めた。

4個のPPMCを1枚のPC98用ユニバーサル基板に納めた。



シャッター駆動回路とカウンタデータの読み込み

シャッターおよびバランスドフィルターは、X線光軸に対してロータリーソレノイドによって出し入れすることができる。X線が物質に当たると一部は透過し残りは吸収される。



吸収率の波長に対する吸収曲線は連続ではなく不連続点はいくつかあり、これを吸収端とよぶ。吸収端は入射X線の波長が、電子を励起させるエネルギーのところで起き、この励起された電子がエネルギー準位の低いレベルに落ちる時に特性X線を放つ。電子が励起されるエネルギー準位によってK吸収端、L吸収端などいくつか吸収端がある。X線にCuの特性X線CuK α を使用する場合、Ni、Coは原子番号がCuの前後であるばかりでなくK吸収端もCuK α の前後である。従ってNiのフィルターとCoフィルターを使用した時の各々の観測値の差がCuのK α の強度となる。散漫散乱の場合に散

乱X線の強度が弱いためにバランスドフィルターの役目は重要である。

バランスドフィルターの構造はホルダーの四角な窓にそれぞれNi、Coの薄膜を貼りつける。X線に対する吸収率を変化させるためには膜厚を変えなければならない。ロータリーソレノイドを回転させX線に対する薄膜の角度をつけることにより等価的に厚みを変化させるようにしている。シャッターやフィルターが確実に開閉しているかどうかの確認はマイクロスイッチ及び小型磁石の接近で開閉するリードリレーからの信号によっている。

散乱X線の信号入力

散乱されたX線強度の取り込みにはシンチレーションカウンタが使用されている。市販されているNIMのモジュールに組み込んだカウンタ(大阪電波社製)を用いているために、パラレルI/O 8255を介して仕様書のタイミングで6桁BCDコードの数値を読み込む。

回路簡略化のためのPLDの活用

今回製作した制御回路にPAL、GALを使い、かなりのTTLICをまとめて実装の簡略化をはかった。コンピュータバスからパラレルI/Oをアクセスする場合のエンコーダ部分、リミットスイッチからの信号処理部分、シャッターやフィルター駆動部のラッチロジックを置き換えた。3~6個程度のTTLが1個に納まるために配線箇所を減少と実装スペースを小さくすることができた。

ドライバーソフトについて

制作したソフトは以下のようなものである。コンパイラはMS-C Ver 4を用いた。

1、PPMCの初期化

加減速駆動に必要な起動パルスレート、高速パルスレート、起動から高速回転までに要するパルス数を書き込む。

2、パルスモータの加減速による高速駆動

初期化により台形駆動に必要なデータがセットされているのでコマンドに続けて回転パ

ルス数を送れば起動する。最大ステップ数は16、777、216であるためにデータを3回に分けて書き込んでいる。

3、シャッター、フィルター開閉

4、データム（回折計に機械的原点復帰）駆動

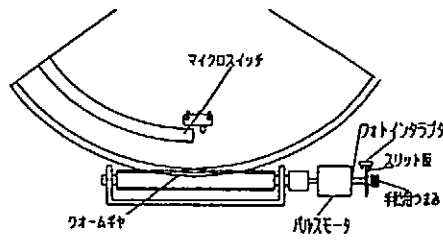
回折計の機械的な原点に各軸を合わせることをデータムという。粗調整には原点に取り付けられたマイクロスイッチまで各軸のパルスモータを高速に駆動させる。微調整はスリットのついた円盤がパルスモータの軸に付けられたにフォトインタラプタの光の通過によって合わせる。試料台を回転させる ω 軸についてはマイクロスイッチが2個付けられ正確さを期すようになっている。

5、散乱X線データ入力

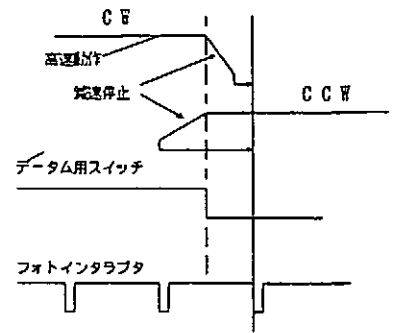
終わりに

CPUがZ80のマイクロコンピュータから汎用のパソコンPC98に変更したが機械的な部分

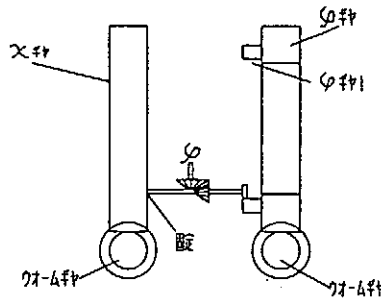
2 θ , ω 軸の構造



精度 2 θ : 0.001°
 ω : 0.002°

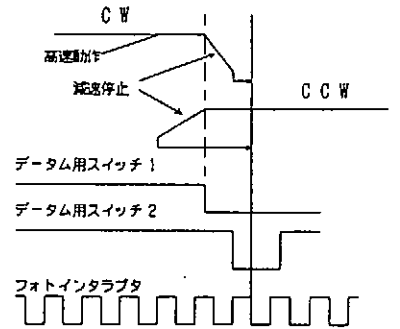


χ , ϕ 軸の構造



精度 ϕ : 0.02°
 χ : 0.01°

ϕ のデータム



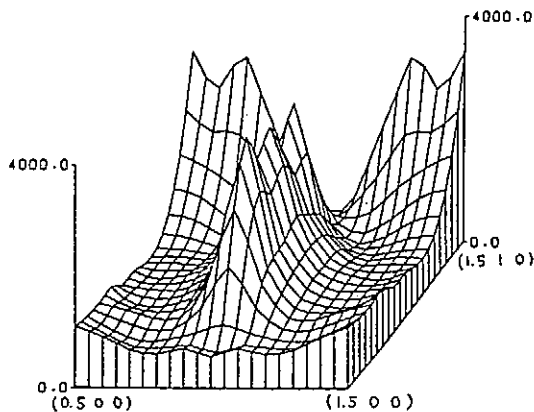
4図 データム処理

には手を加えず、回路系以降を作り変えた。変更に伴って特に新しい機能を加えたわけではないがOSとしてMS-DOSとなったためデータの互換性についての改良がみられた。フロッピーに落としたデータは、その後の処理をする場合に他のパソコンやLANに接続されたワークステーションに簡単に転送できるようになった。また以前はFORTRANとアセンブラで書かれていたプログラムをC言語に統一することができた。

この装置により測定された散漫散乱強度の結果を示す。

参考文献

- 1、X線用4軸回折計装置の製作 平野 行平 他
1983年2月 高エネルギー物理学研究所
技術研究会報告集
- 2、4軸型回折計のオンライン化によるSRO散漫散乱の測定 恩田正一
昭和56年名古屋大学工学部応用物理修士論文



5図 測定結果例

NDPMによるビーム幅の時間変化のリアルタイム測定

高能物理学研究所 門倉英一、川久保忠通
三菱電気 石田忠治

1. 概説

現在KEK-PS-ブースターリングには水平方向、垂直方向に1台ずつNon Destructive Beam Profile Monitor (以後NDPMと略)が挿入され、計算機処理により、ビームプロフィールの時間的なマウンテンビュー、プロフィールの重心の時間変化、ビーム幅の時間変化の測定をおこなっている。又、主リングには水平に2台、垂直に1台のNDPMにより同様の測定をおこなうと同時に、2台の水平方向のNDPMの組合せによりモーメントスプレッドの時間変化も測定している。

ブースターや主リングの入射チューニングにおいて、最も大事な測定量は入射時のビーム幅の測定値である。入射に関係するマグネットの電流を変えながら、入射時のビーム幅が最小になるように調整する。本来ならこの入射調整において、このNDPMによる測定値を参考にしながら調整できれば良いのであるが、採集したデータを一旦計算機で処理して出力するため、データ採取開始から出力まで約2分の時間がかかり、入射調整に使うには現実的でなかった。そこで計算機処理をせず、何とかリアルタイムでビーム幅の時間変化が観測出来ぬかと考え、その測定システムを考案した。このリアルタイムで採ったビーム幅の時間変化の測定結果と、従来の計算機処理をして出力した結果とが非常に良い一致を示したので以下に報告する。

(文献1)

2. 非破壊型モニター (NDPM) システムと従来のビーム幅の検出法(Conventional Type)

a. 機械装置と電子回路

シンクロトロン周回ビームは、真空リングのなかで残留ガスに衝突し、ある確率で正イオンと電子のペアを作る。外部電極板に正電位を供給すると(図1参照)、生成された正イオンは、垂直の収集電界に沿って下から上に動き、センサー(我々はマイクロ・チャンネル・プレート(以後MCPと略)を用いている)に突入する。その中では多数の電子が増殖されるので、MCPの出口に複数個のアノードを配置すると各アノードにはビームのプロフィールに比例した電流が流れる。このアノード(チャンネル)の信号はそれぞれ電子回路を通して増幅され、コンピュータに送られる。

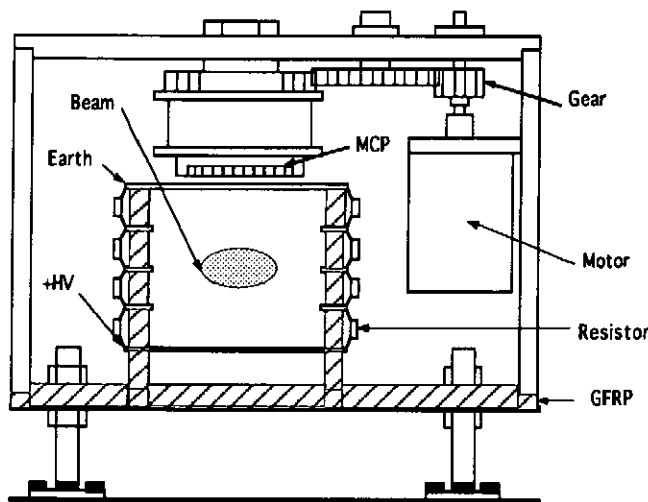


図1 MCPセンサーを用いたNDPM概観

b. キャリブレーション

このシステムの最も重要な点は、MCPの劣化によって経年的に大幅にGainが変わるため、各チャンネルのセンサー、プリアンプ、VFC、FVC、メインアンプなど全部含めたGainのキャリブレーションを予め行なう事である。キャリブレーションは、図2の右図に示す(キャリブレーション位置)のように、センサー上のアノードの方向をモーターによつて90°変更し、ビームの方向と垂直にセットする。この位置で各アノードは同じ強さのビームによって作られるイオンの量を受けることに

なる。即ち、各チャンネルのトータルGainが同じ場合は、各チャンネルの計算機に取り込むすべての信号も図3の回路系 (New Type)のすべてのIC(A)の入力信号も同じとなる。しかし、実際は、各チャンネルのGainが異なるので、従来型(Conventional Type)では計算機によってチャンネル間の信号の大きさの比をGain定数として測定時のチャンネルの信号を規格化する。又、新計測法(New Type)ではチャンネル間のGain調整をIC(A)で行い、すべてのIC(A)の出力信号が同じになるようにする。例えば、最も各チャンネル間のGain差が大きい物としては、ブースター (水平方向) に使用している物である。このMCPセンサーは約5年間使用したものであり、ビーム通過頻度の多い中央部分のチャンネルの劣化が大きく、Gainが低下している。チャンネル間のGainの大小を比較すると最小と最大で3倍程度の差がある。

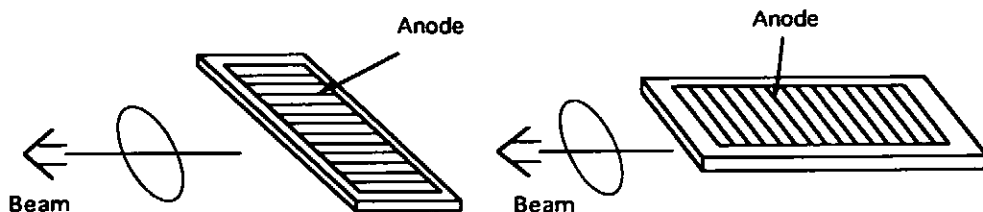


図2 センサーのアノードとビーム方向 (左図：測定時、右図：キャリブレーション時)

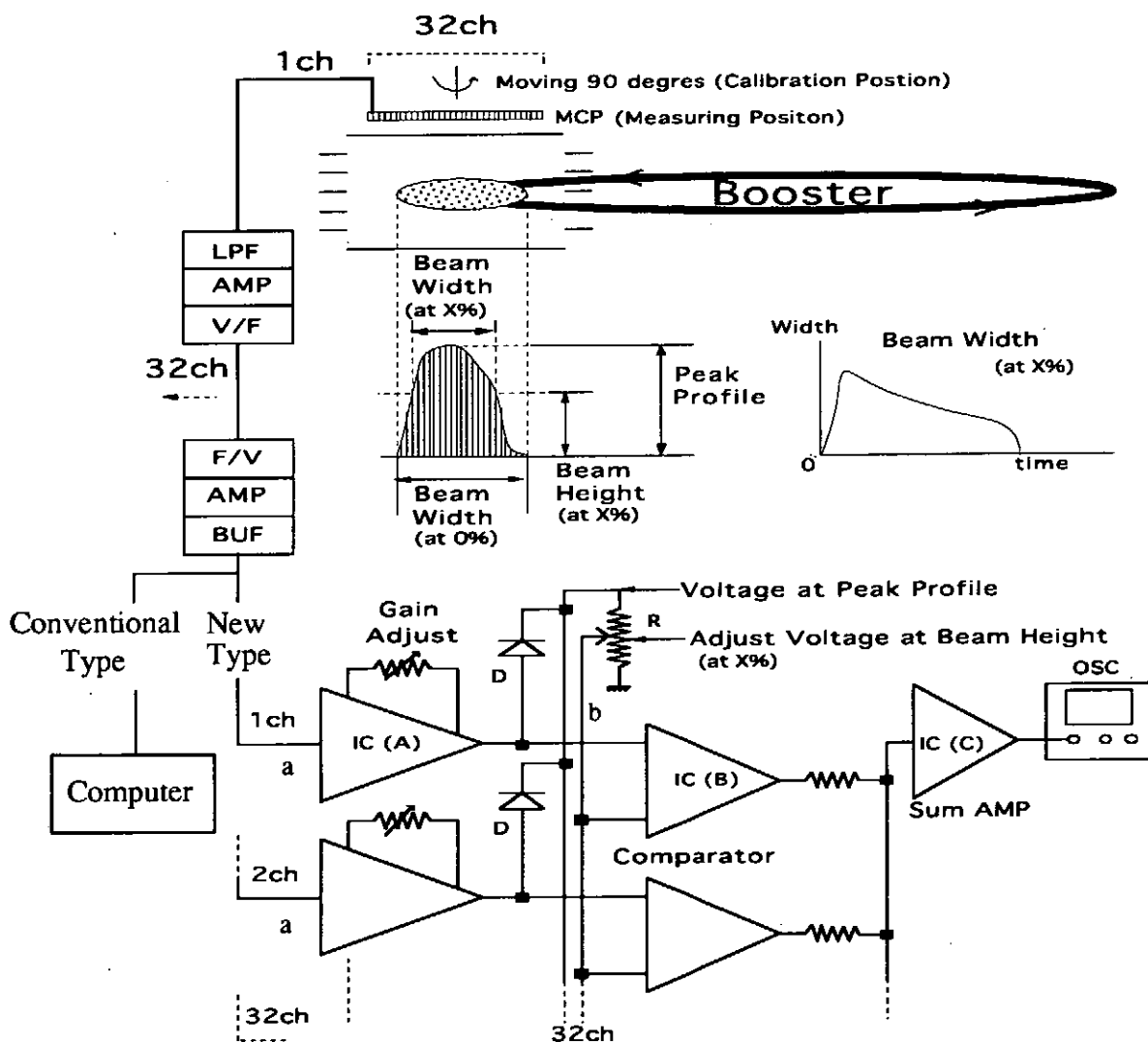


図3 NDPMシステムとビーム幅検出回路

c. ビーム幅の検出

ビーム幅の検出は、図2の左図（測定位置）に示すように、センサー上のアノードの方向を、ビームの方向に平行にセットする。これにより各アノードには、その位置でのビーム粒子密度に比例したイオンの量を受けることになる。この値を（図3の(Conventional Type)の分岐で示されたように）計算機に送り込み、処理して各時間毎のビーム幅を出す。

3. ビーム幅のリアルタイム測定法（新計測法）(New Type)

概説で述べたように計算機を介すとビーム幅の出力に約2分の時間がかかり実用的でない為、図3の(New Type)のような回路系を製作した。この検出回路では、各チャンネルからの信号をもらい、IC(A)でGain補正を行った後、ダイオード(D)列により各時刻のPeak Profile Heightを求める。この値を元に、ヒヒット抵抗(R)でx%のBeam Height値を決め、これをすべてのチャンネルのコンパレーターIC(B)のThreshold Levelとする。各チャンネルのコンパレーターIC(B)では、信号レベルがThreshold Levelを越えた時にONとなる。足し算器IC(C)により、ONとなったコンパレーター（即ち、ビームプロファイル信号のBeam Height(x%)を超えたもの）の数を求める。この数に比例定数を乗じたものがとりもなおさず設定したBeam Height(x%)のビーム幅となる。この出力の分解能は、センサー上のアノードの数によって決まる。

4. 測定結果

図4の左図は、フースターリンクのBeam Profile Height 50%時の計算機（従来の方法）によるビーム幅データであり、右図は検出回路で得た（新検出法）（ヒヒット値が4時）ビーム幅データであり、両者は良く一致している。図5のグラフの縦軸の値は、フースターリンクのNDPMの従来法におけるBeam Profile Heightの%値であり、横軸はこれと形が一致する新検出法のヒヒット抵抗の値を表わしている。測定には40MeVのフースターリンクを変えて、二つのビーム入射状態を作り、入射エテの無い時とある時とで行われた。当然の事ながらこの入射条件の異なった測定結果には有意の差がない。この図でデータラインが直線にならないのは、検出回路の特性（図6参照）に因るものである。

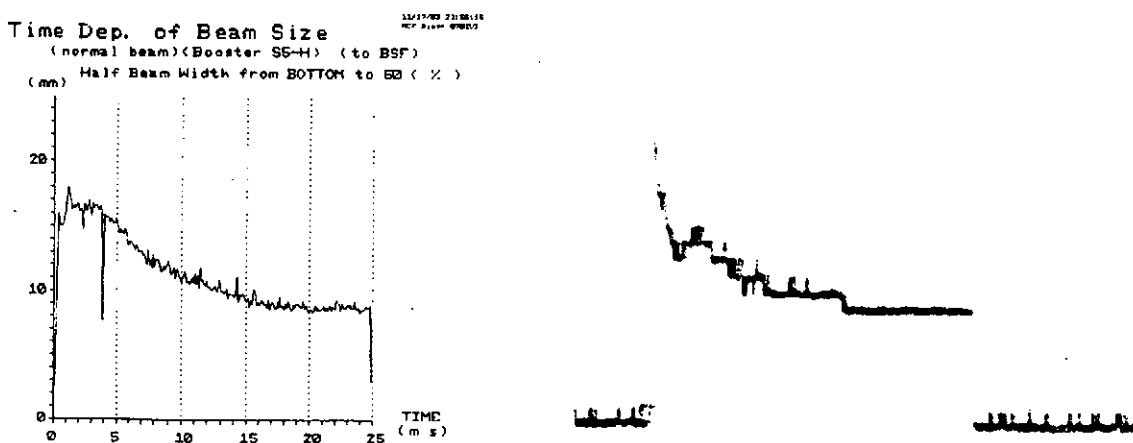


図4 左図：フースターリンクの計算機のビーム幅データ（従来法）（Beam Profile Height 50%時）
右図：新検出法のビーム幅データ（ヒヒット値=4）

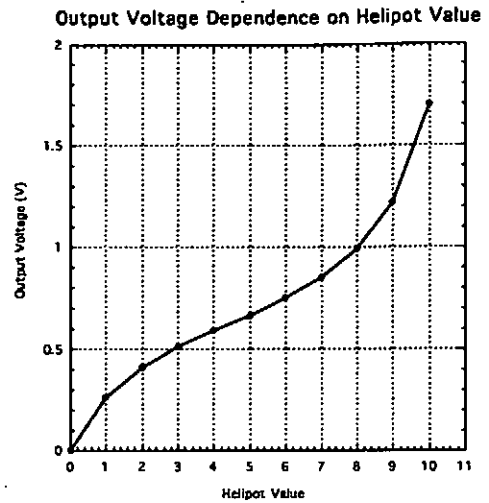
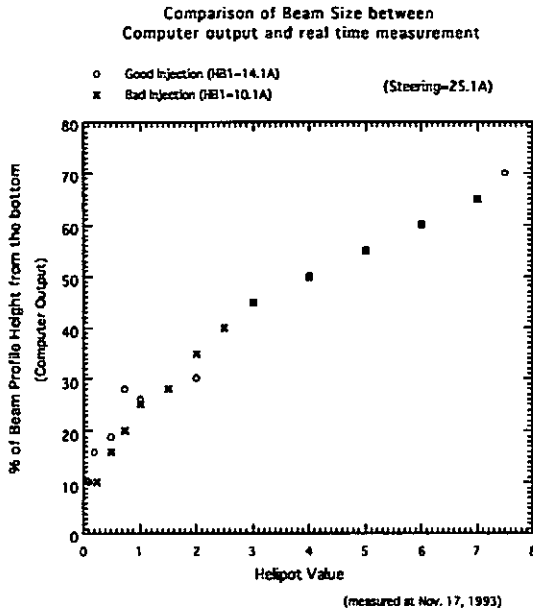


図5 プースターリンクの計算機のビーム幅データ（従来の検出法）のBeam Profile Heightの%値(縦軸)と新検出法でのヘルポット抵抗(横軸)の関係
(○：入射エラーの無い時、×：入射エラーのある時)

図6 検出回路のヘルポット抵抗(横軸)とヘルポット抵抗出力(縦軸)の関係
(即ち、図3の1ch(Gain=1)の $a=1.7V$ 、他のchの $a=0V$ として出力 b を測定)

5. まとめ

新しく考案した電子回路を利用したビーム幅の時間変化のリアルタイム測定は、従来の計算機で処理した結果とよく一致している。この新方式は、測定に時間がかからず、文字通りリアルタイムで、ビーム幅のリンクへの入射から引き出しまでの測定ができるので特にチューニングに便利である。将来この新方式の操作をVME計算機システムに組み込み、タッチパネルから行いたい。

文献1. T.Kawakubo, T.Ishide, E.Kadokura, Y.Ajima and T.Adachi, "Fast Data Acquisition System of a Non-Destructive Profile Monitor for a Synchrotron Beam by using Micro Channel Plate with Multi- Anodes", NIM A302, pp.397-405, 1991.

VME Interrupt & I/O Register Module (2Bit+8Bit)

KEK・物理部回路 村上 武

1. はじめに

高エネルギー物理実験のデータ収集においてのエレクトロニクスではコンピュータとのインタフェース的な役目をもつリアエンドエレキと検出器（デテクター）の信号を取込んだり、処理するフロントエンドエレキとに分けられる（図・1）。前者はデジタル信号を処理し、主にCAMAC等が使用されてきた。また後者はアナログ信号が主でCAMAC、TKO、NIM等が使用されてきた。

割込みを発生するものには今まではCAMACモジュールのインターラプトレジスターを使用してきた。

ところが昨年よりオンライングループがVMEをリアエンドエレキとして使用し、CAMACと置き換えてきている。それによりVME版のインターラプト I/Oレジスターモジュールの要求があり、今回開発製作したのでこの技術研究会で御報告致します。

VMEボードサイズで、ある割込み（インターラプト）でデータの読み書き出来ることと、このモジュールを介してデータの読み書き出来るモジュールです。

このモジュールはインターラプトレジスター機能とI/Oレジスター機能の2機能があります。

2. 機能及び性能

1) インターラプトレジスター機能

インターラプト信号として2チャンネルのL EMO入力があり、個々にインターラプトがかけられます。またインターラプトが入ると、フロントパネルにBUSYがNIM信号で出力されLEDが点灯します。インターラプトが入って、フロントパネルにBUSYが出力される迄の時間は7.1nsです。インターラプトがセットされるパルス幅は6ns迄テスト済みです。

2) I/Oレジスター機能

A) インプットレジスター

外部から8チャンネルの入力をVME経由で取込みます。

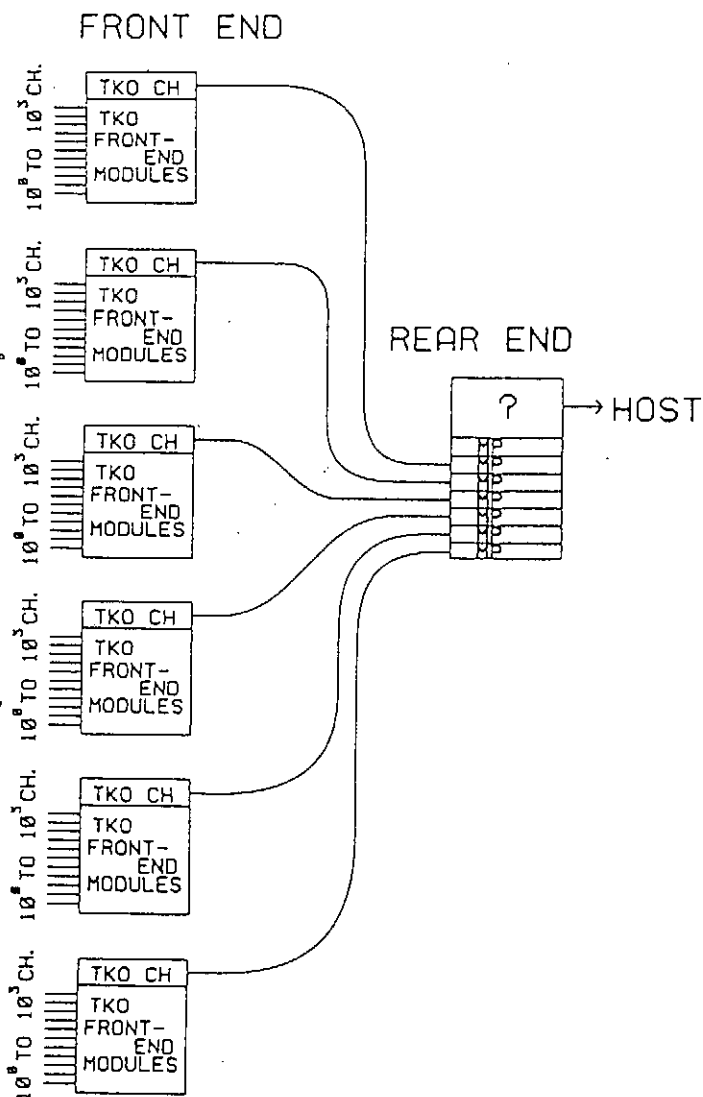
取込方法として3つのモードがあります。

モード指定はVME経由で行ないます。

A-1) ラッチモード

(L a t c h m o d e)

外部からのデータをフロントパネル入力のトリガーのタイミングでラッチする。



図・1 高エネルギー実験の回路系区分

A-2) フリップフロップモード

(Flip-flop mode)

外部からのデータを非同期で自分のタイミングでラッチします。

A-3) スルーモード

(Through mode)

外部からのデータをそのままVMEでリアルタイムで見ることができます。

B) アウトプットレジスター

NIMレベルで8チャンネル分出力(フロントパネル)します。

各出力には2つのモードがあります。またモードの混在が可能です。

B-1) パルス出力(Pulse out)

NIM標準パルス波として出力する。パルス幅は200ns固定です。

B-2) レベル出力(Level out)

NIM標準レベルとして出力する。

上記機能のブロック図を図・2に示す。

3) その他

—マスク(Mask)機能

インターラプトを受付たり無視したりする情報をレジスター内に保持しておく。コントロールステータスレジスター(CSR)に情報をセットしてマスク機能を制御する。

—パワーオンリセット機能

モジュールに電源投入時にレジスター及びP.A.I.等をクリアーしておく。またVME側よりのシステムリセットでもクリアー信号が発生する。

3. アドレス及びその他の設定

下記に示すアドレス指定でそれぞれのモードでの読み書きが出来る。またCSRのセットはデータバスで下記に示す様にビットセットしてマスク機能を制御する。

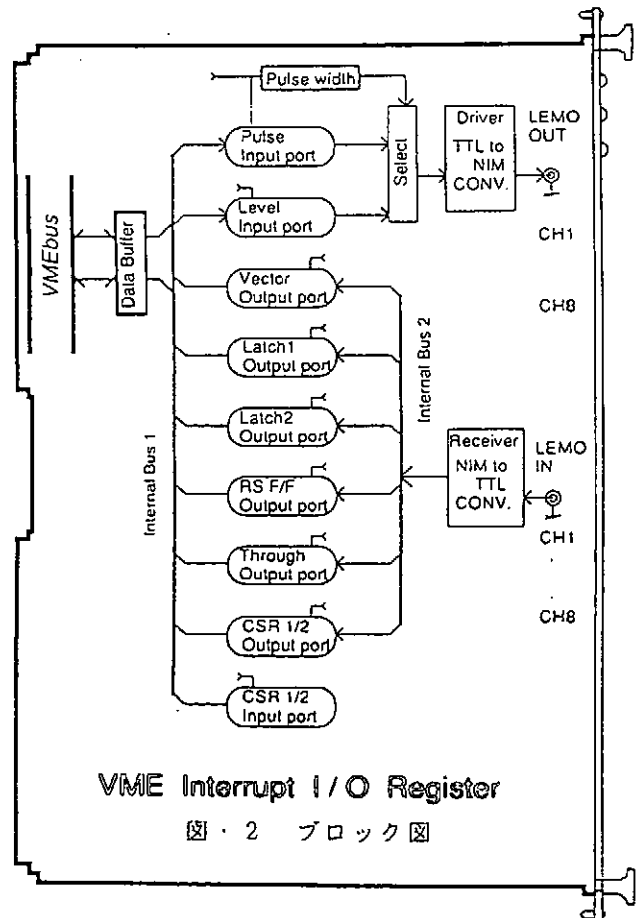
<<Address Map>>

<Address><7 bit 0><Mode> <Data Access>

X+00	Data Read	Latch1	D08
X+02	Data Read	Latch2	D08
X+04	Data Read	R/S FF	D08
X+06	Data Read	Through	D08
X+08	Data Write	Pulse	D08
X+A	Data Write	Level	D08
X+C	Data Read/Write	CSR1	D08
X+E	Data Read/Write	CSR2	D08

<<CSR Set>>

<Data bit>	<Write>	<Read>
D07	-	BUSY3
D06	ENABLE3	ENABLE3
D05	-	BUSY1/2
D04	ENABLE1/2	ENABLE1/2
D03	MASK1/2	MASK1/2
D02	-	-
D01	CLR1/2	-
D00	CLR3	-



VME Interrupt I/O Register

図・2 ブロック図

<<DIP SW>>

デップスイッチの設定

1) Vector セット

SW1=スイッチON状態(Low)がアクティブ。ベクター指定は1~8
例えばF0(Hex)は1~4までOFF、5~8まではONにする。

2) Interrupt IDおよびIRQ設定

SW3=スイッチOFF状態(High)がアクティブ。インターラプトIDをバイナリーで1~7をセットする。スイッチの状態はSW5の割込み要求優先度と一緒にする。

4番目は未使用

SW5=スイッチON状態がアクティブ。割込み要求の優先度で#7が最優先。どれか1つだけONにする。8番目は未使用

<<ジャンパースイッチ>>

-5.2V電源をDC-DCコンバーターより供給するか、J-AUX(30ピン)コネクタより供給するかを選ぶ。P1/J1のピン配置はVME規格書を参照していただき、J-AUXは載っていないので図・3に示す。

4. 性能、その他

-基板サイズ; VMEスタンダードモジュール
233.4(W)x160(D)mm(9"フル・ユー・サイズ)

-電源及び消費電力;

5V 1.9A 9.5Watts

-性能

1) セットアップ時間(Set up time)

インターラプト信号がフロントパネルより入り、ボード内でインターラプト信号がセットされるまでの時間。

① IN1~8がセット

(TTL Logic)と、

② FAST IN1~2がセット

(ECL Logic)

されるのとの2種類がある。

結果 ①→14.3ns

結果 ②→2.7ns

2) BUSY 1, 2 (LEMO OUT) 出力時間

→7.1ns

3) BUSY 3 (LEMO OUT) 出力時間

→42.8ns

4) インターラプトスルー時間

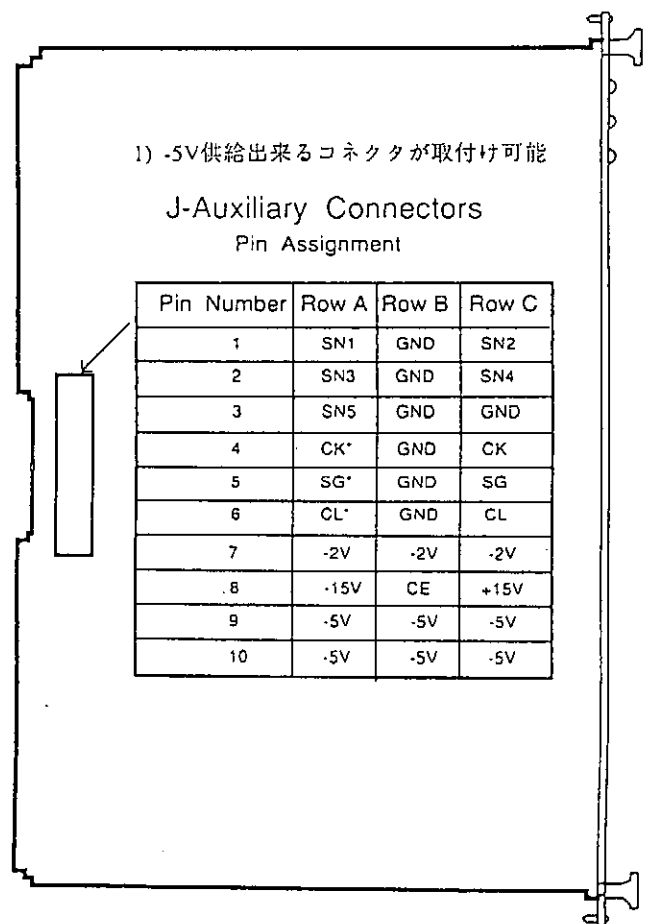
インターラプト信号が入って、マスターがデータを取込む迄の時間

→5.7ns

5) VMEバス上からフロントパネルのデータアウト

迄の時間

→11~19ns



図・3

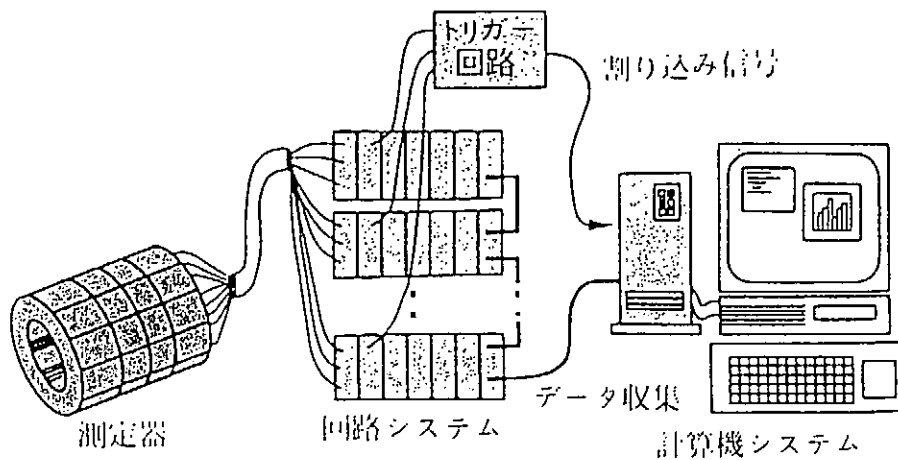
J-Aux: Connector Pin Assignment

5、総合テスト及び評価

テストはOS-9のDeBuggerと豊伸製のコントローラーを使用している。当初デザインの際に考慮したCAMACのインターラプトレジスター、I/Oレジスターと同等でVME規格にも準拠しています。VME基板上で実装できたのかなりの部分をPAL等で出来たからと思われる。またDC-DCコンバーターを使用しなくてもよければ更にチャンネル数をあげることが出来る（これに関してはJ-Auxiliary connectorを使用できる様にしてあり、モジュールを実装するVMEのバックボードによる）。

KEKではすでに標準品として利用者に供給している。

簡単なシステム例を図・4に示す。



図・4 高エネルギー実験のシステム例

6、参考文献

- 1) VMEbus Architecture Manual Rev. C 1
(MOTOLOLA)
- 2) インターフェース Feb. 1987
- 3) CAMAC STANDARD MODULES FOR HIGH ENERGY
PHYSICS EXPERIMENTS AT KEK
(KEK Internal 80-3 June 1980)

シリコン検出器読み出し用コントロール・チップの試作評価

高エネルギー物理学研究所 物理研究部 ○藤田陽一、池田博一、田中真伸、池田光男、稲葉進
総合研究大学院大学 奥野祥二
他 B-Factory シリコン検出器開発グループ

1 概要

KEK B・ファクトリーの測定器中、B 中間子の崩壊位置検出を行うために開発の進められているシリコン検出器 (Silicon micro-vertex detector) は検出器モジュール (チャンネル数約 9 万)、データ・スキャナ、イベント・ビルダーからなるシステムによって読み出される予定です。この検出器は厚さ 300 μm のストリップ型半導体検出器で、シリコン中を通過する荷電粒子により生じた自由電子を電極に集め、荷電粒子の検出を行います。検出器から得られた微弱信号は読み出しシステムによりデジタル・データに変換され、大型計算機に転送され解析されます。

この読み出しシステム中の各ブロックは更にいくつもの IC によって構成されています。これらのうち制御回路のいくつかにはアナログ及びデジタル混在の CMOS VLSI が使用されます。このうち、既に試作設計・製造がなされ試験の終了している 3 種類のカスタム ASIC、コントロール A、B、C チップについての試験結果報告を行います。

2 シリコン検出器の読み出しシステムについて

読み出しシステムの概要を Figure 1 に示します。シリコン検出器から得られた信号はプリアンプによって前置処理を受け、検出器モジュールより約 1m 離れたデータ・スキャナ (Fig.1 における ControlBox) に転送されます。このデータ・スキャナ内で AD 変換され FIFO メモリに蓄えられた後は、20m 程のケーブルを通してエレクトロニクス・ハット内のメモリ・モジュールへ送られます (Central System)。データ収集はオンライン・コントロールの下に実行されます。

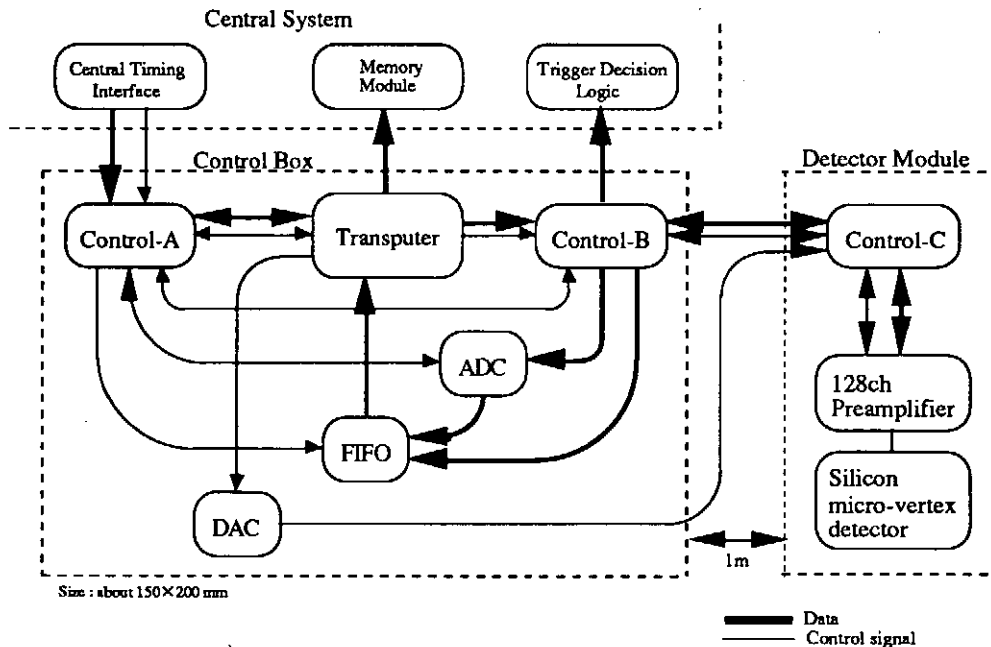


Figure 1 シリコン検出器読み出しシステム

3 コントロール・チップ

◇コントロール A

コントロール A チップは検出器モジュールから約 1 m 離れたデータ・スキャナ内に置かれます。このチップの役目はより上位から送られてくる制御信号をもとにデータ収集シーケンスの制御及び事象（イベント）データを FIFO に書き込むためのフォーマットを指定します。実際に使用される個数は 3 4（予定）。

回路構成は大まかには CSR レジスタ、12-bit カウンタ、10-bit シフトレジスタ、その他からなります。CSR レジスタはトランスピュータにより 8-bit データの読み書きが行われ、下位へのデータ収集開始やテスト用制御信号の送信、下位からのデータ収集状況や割り込みの発生等の受信が行われます。各ビットの内訳は Table 1 に示されます。12-bit カウンタはヒット・データのカウンタ、10-bit シフトレジスタはデータ収集のシーケンサとしてタイミングを決定します。

データ・バスは CSR レジスタの双方向 8-bit の他、トランスピュータへの 24-bit バス及びコントロール B チップへの 8-bit バスを備えています。

クロック：16MHz

チップ・サイズ：3.99 × 3.92 mm

プロセス：1.2 μm CMOS Fabricated by European Silicon Structures (ES2)

回路規模：周辺を除いた基本セル数で 426

消費電力：約 50 mW at 5.0V

使用 CAD：Silicon Compiler System Solo 1400 (Platform: Sun sparc station 2)

ボンディング・パッド数：68

パッケージ・タイプ：84 ピン LCC

Table.1 Read and write significance of CSR register

bit	write	read
0	RESET	PRESET
1	WRSTART	OVERFLOW
2	PRESET	ACQUISITION
3	DATABEGIN	DATABEGIN
4	Forced-TRIGGER	TRIGGER
5	Forced-TRUNC	TRUNC
6	Forced-ABORT	ABORT
7	Forced-DATAEND	DATAEND

◇コントロール B

コントロール B チップは A と同じく、検出器モジュールから約 1 m 離れたデータ・スキャナ内に置かれます。役目はコントロール C より転送されるデータのレシーバが主となります。実際の使用個数は 1 3 6（予定）。

回路構成としてはアナログ・バッファ、10-bit/4-bit データ・アセンブラその他ラッチ、ゲート回路からなります。

データ・バスはコントロール C への 4-bit バス、FIFO メモリへの 8-bit バスを備えます。

クロック：16MHz 及び 2MHz

チップ・サイズ：5.6 × 4.3 mm

プロセス：1.2 μm double metal, double poly n-well CMOS Fabricated by Seiko Instruments Inc. (SII)

使用 CAD：Cadence Analog workbench II、Seiko SX-9000、etc. on Sun sparc station 2

ボンディング・パッド数：78

パッケージ・タイプ：120 ピン PGA

◇コントロール C

コントロール C チップはプリアンプ・チップ、検出器で構成される検出器モジュール中に配置されます。5つのプリアンプ・チップの制御が役目となります。実際の使用個数は136（予定）。

回路構成としてはアナログ・バッファ、4-bit/8-bit データ・アセンブラその他ラッチ、ゲート回路からなります。

データ・バスはプリアンプ・チップへの10-bit バス及びコントロール・チップへの4-bit バスを備えます。

クロック：16MHz 及び 2MHz

チップ・サイズ：8.4 \times 1.7 mm

プロセス：1.2 μm double metal, double poly n-well CMOS Fabricated by Seiko Instruments Inc. (SII)

使用 CAD：Cadence Analog workbench II、Seiko SX-9000、etc. on Sun sparc station 2

ボンディング・パッド数：67

パッケージ・タイプ：120 ピン PGA

3 試験環境

専用の試験基板を制作してチップのテストを行いました。基板の回路構成ですが、コントロール・チップの他にプリアンプ・チップの代用としてのロジック回路（コントロール C チップとのハンドシェイク動作のため）、プルダウン（アップ）抵抗、定常的な応答をするポートの状況を確認するための LED、各チップの接続のためのジャンパ台からなります。

試験は以下の環境の下に行いました。

電源電圧：デジタル、アナログ部独立に 5.0 V 供給

入力ポート：10 k Ω プルダウン（ポートによってはプルアップ）

出力ポート：オープン

双方向ポート：双方向バス・トランシーバを介して2つのポートに分割した後、上記に従う。

入力テスト・ベクトル：

Cadence Verilog-XL で使用したシミュレーション・データを流用。このために SUN 上にて TSSI Test Development Series (TDS) を用いデータ変換処理を行った後 (Figure 2)、パターン・ジェネレータ YHP HP16520A に転送、この HP16520A によりクロック 20MHz (標準 16MHz) にてターゲット IC を駆動。

出力応答信号：

ロジック・アナライザ YHP HP16550A によりモニタ (サンプリング周波数 250MHz)、また信号の詳細なモニタのためにデジタル・オシロスコープを用いた。

4 試験内容

試験項目を以下に示します。一例として Figure 2 に FIFO メモリへの書き込みの状況について示します。

- ・トランスピュータへの割込み
- ・CSR の書き込み及び読出し
- ・データ・アクイジッション・シーケンス
- ・プリアンプ初期パラメータの設定
- ・プリアンプからのヒット・データの読出し
- ・プリアンプからのアドレス・データの読出し
- ・FIFO へのサンプル・データの書き込み

以上の各項目について試験を行った結果、特に問題なく正常動作が行われていることを確認されています。

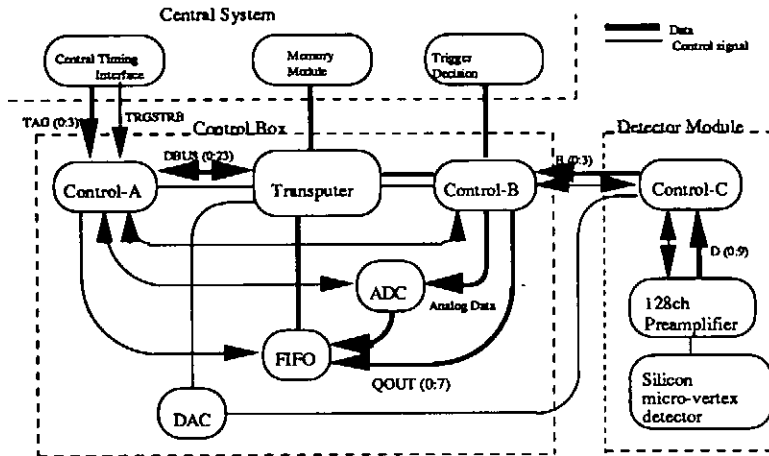


Figure 2 FIFOsへのデータの書き込み

5 要約と今後の予定

KEK B・ファクトリーのシリコン検出器の読出しシステムにおいて制御用集積回路コントロール A、B、C チップの組み合わせ試験結果は以下のように示されます。

クロック周波数 20 MHz (標準 16MHz) 駆動下において

- ・プリアンプへのパラメータ・ダウンロード
- ・ヒット情報の読出し
- ・ハンドシェイク回路の動作
- ・プリアンプのアドレス読出し

以上について正常動作が確認されています。

また、今後の予定としては

- ・トランスピュータとの組み合わせ試験
 - ・その他のコントロール・チップの評価
- が挙げられます。

パルス法NMR用

パソコン制御パルスジェネレータの製作

京都大学・工学部 家原力太郎

1. はじめに

金属・合金、特に磁性体内の核のNMR（核磁気共鳴）は、その共鳴周波数を見いだすことによって、他の方法では得られないマイクロな立場からの情報を得ることができる。我々の研究室では、これまで種々な方法で多くのNMR信号を検出してきた。しかし、磁性体のNMR測定では、対象となる核種の多様性に加えて磁性イオンの種類や磁気的狀態などによって共鳴位置・緩和時間・パルス幅などが異なり装置自体も各種多様な方法が取り入れられてきた。

最近では、磁性体の中でも金属間化合物などの研究が進むにつれて、ゼロ磁場から超伝導電磁石などの外部磁場を使ったり、温度範囲も液体He温度(4.2K)以下の極低温から数百度の高温まで要求されるようになってきた。さらに、このような条件での研究にあわせて、測定データの解析面でも省力化が要求され、パソコンを用いたシステム化が計画された。

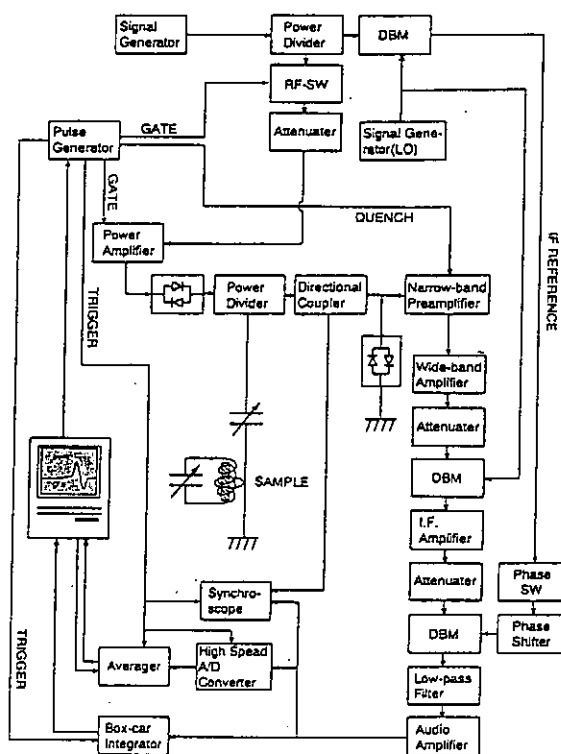
パルス法NMRで緩和時間を自動的に測定するには、複雑なパルス列を作り出すパルス発生器が必要である。しかし、市販のパルス発生器は極めて高価であり、研究室の予算ではこれに対応する装置の購入は困難である。また、様々な実験条件に対応する必要があるため、改造が自由にできる単純な回路が望ましいことから、パルス発生器を自作する計画を進めてきた。

2. スピンエコー法による緩和時間の測定

今回製作したパルスジェネレータは、パルス法の代表的手段であるスピンエコー法を用いて縦緩和時間（核スピン格子緩和時間 T_1 ）と横緩和時間（核スピン格子緩和時間 T_2 ）を自動的に測定することを目的としている。

静磁場中での核スピンは、ある振動数で磁場ベクトルの回りを運動している。そのような状態で、高周波パルスを物質に加えると物質内部では核スピン運動がおこり、ある種の条件を満たせば核スピンの回転座標系上で一定方向にそろい、それが誘導起電力を発生する。これをスピンエコーと呼ぶ。スピンエコー法とは、このエコーを高感度の受信機で検出し、その強度か

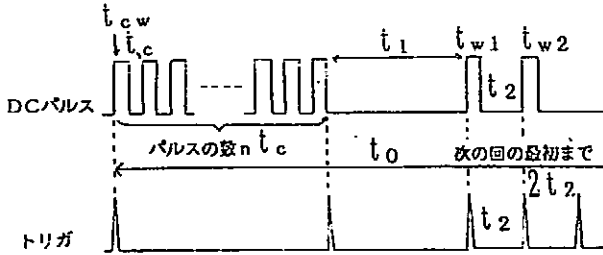
Phase-coherent, pulse NMR spectrometer



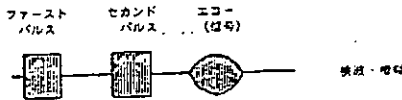
ら核スピン系の緩和時間やエコースペクトルを得る実験手段である。

緩和時間の測定には、基本的なパルス列としてパルス幅が任意に変えられ、また間隔も変えられる二つのパルスが必要である。

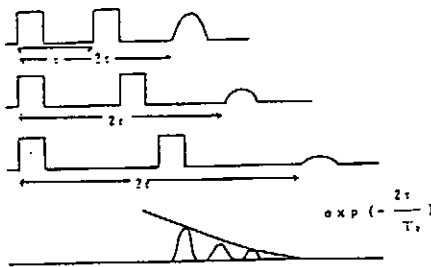
横緩和時間 T_2 は、パルス間隔 τ を変化させたときのエコー強度の減衰の時定数として定義される。即ち T_2 を評価するには、 τ の関数としてエコーの積分強度を測定する必要がある。エコーはA/D変換された後、積算機で積算され自動的にパソコンに取り込まれるが、その操作を異なる τ に対して繰り返し行なう。従って T_2 の自動測定のためには τ を自動的に変化できる機構が必要となる。



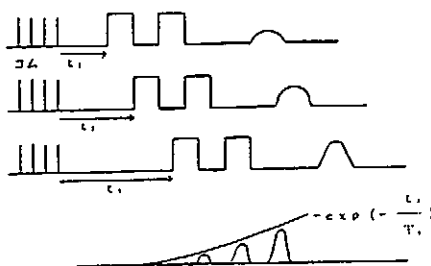
一方、縦緩和時間 T_1 の測定方法にはいろいろあるが、幅の広いスペクトルをもつ金属磁性体に対しては、基本的な手法である飽和コムパルス法を用いる。コムパルス法では、核スピンをエネルギー飽和させるために、最初のパルスに先立って、飽和用のパルスを複数加える。これは、くしに似ているのでくし状パルス又はコムパルスと呼ばれる。コムパルスの数・幅・間隔などは実験によって異なり、自由に換えられる必要がある。 T_1 とは、核スピンス系が飽和してから回復するまでにかかる時定数であるので、その測定にはコムパルスと最初のパルスまでの間隔をパラメータとし、スピンエコーの強度を測定する。従って T_1 の自動測定にはこの間隔を自動的に変化させる必要がある。また、 T_1 の測定にはコムパルスがないときのエコー強度とコムパルスがあるときのエコー強度の差をプロットすることになるので、コムパルスがあるときとないときを交互に繰り返す機構が必要となる。



T₂ の測定法



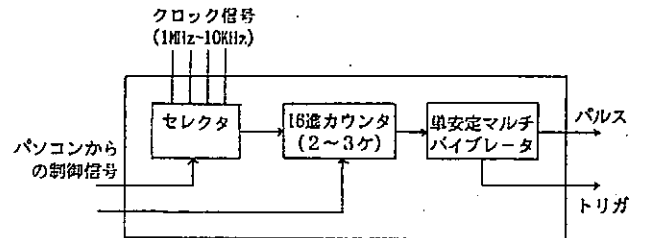
T₁ の測定法



3. 回路設計の基本

金属磁性体の核スピン格子緩和時間をスピンエコー法で測定するため、オーソドックスな手段である飽和コムパルス法を用いた回路を基本とし、測定から解析までパソコンで制御するシステム構成を基本とした。タイミング回路には同期式と非同期式があるが、NMRパルスジェネレータとしては精々 $1 \mu\text{sec}$ の精度があればよく、また同期式の回路の設計は難しいので回路が簡単になる非同期式にした。

一般的に、TTL Up/Down カウンター IC には、74192 のような10進 (BCD) と74193 のような16進 (2進4ビット) のものがある。通常、パルス発生器をパソコンと接続せずに独立に使用すると、人間は10進法になれているため10進入力のリジタルスイッチなどを用いてクロック信号をカウントしなければならない。一方、パソコンはもっぱら16進で信号を出力するので、いずれにしても、どこかで10進か16進に変換するデコーダを使わなければならない。これは、回路として複雑になるので、パルス発生器を独立に使うのではなくて、常にパソコンで制御する方法を選ぶことにした。



4. シャーシの工作

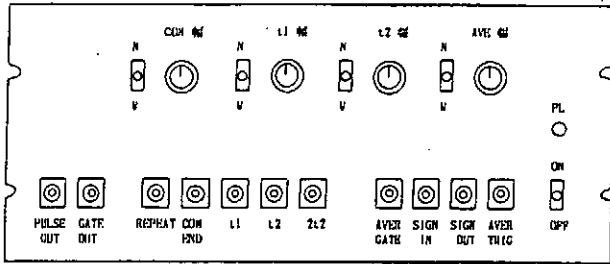
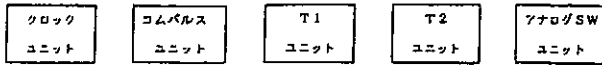
パソコンの拡張スロットに、TTL 平行出力モジュール (コンテック PO-96T (98) K) を挿入する。この出力は、CPU の OUT 命令によりデータバスを通じて該当する出力ポートのラッチ回路に保持され、ドライバを通じて出力される。

この出力ポートは、8ビットずつの単位に D0~DB まで12ポートあり、1ポート当り 256種の信号を送ることができる。従って、パソコンから96個の信号が出ることになるので、平行ケーブルでシャーシ裏面の50ピンコネクタ2個で受ける。なお、シャーシ内では5枚のプリント基板に分割して作製することとする。

なお、シャーシ前面のレイアウトは、各出力を BNC レセプタクルで取り出すとともに、可変 SW・VR などを配置することとした。

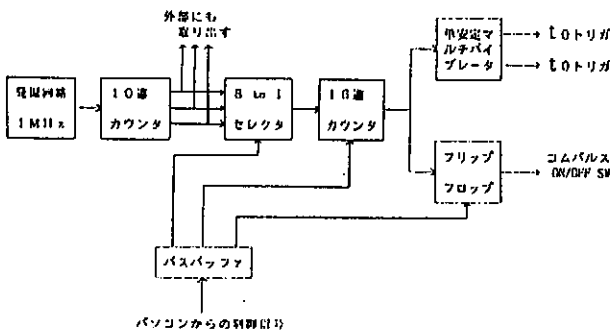
(各ユニットとパネルレイアウト)

PULSE GENERATOR



5. クロックユニット

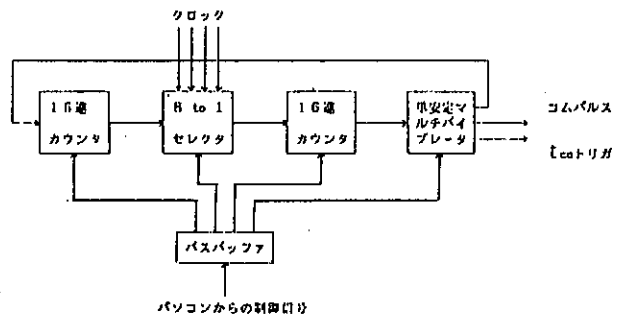
1 MHz の水晶発振器とインバータを用いて 1 MHz (1 μ Sec) の基本クロックパルスが発生する。それを 8 個の 10 進カウンタ IC を用いて 1 桁ずつ 0.01 Hz (100 Sec) までのクロックパルスが発生する。そのうち 1 つをセレクタで選択し、さらに 2 個の 16 進カウンタを用いて任意の時間のクロックパルスを作り出す。それを適当なパルス幅にするため、単安定マルチパイプレータを通じて、繰り返しトリガとして出力する。実際には、後続のユニットの初期化のためにわずかに早めにアドバンストリガも出力している。また、コムパルスありとなしを交互に繰り返すための機構として、フリップフロップ回路を用いて 2 倍のタイミングでパルスを出力している。



6. コムパルスユニット

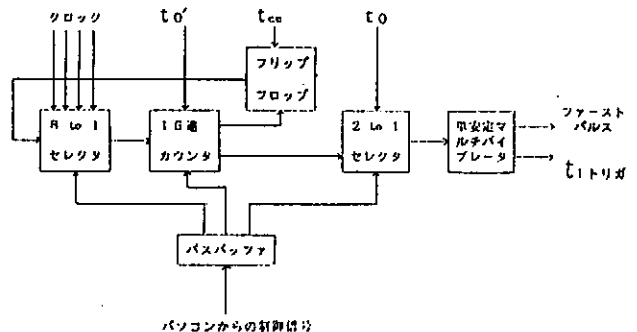
クロックユニットからやってくるトリガを単安定マルチパイプレータで指定の幅に広げてコムパルスを作る。同時にその信号は、指定の回数まで 16 進カウンタに入力され、パルスサイクルが繰り返される。

コムパルスの間隔は、クロック信号をセレクタで選択し、それを 16 進カウンタでカウントすることによって作る。指定の個数のコムパルスが発生したら単安定マルチパイプレータでコムエンドトリガが発生する。



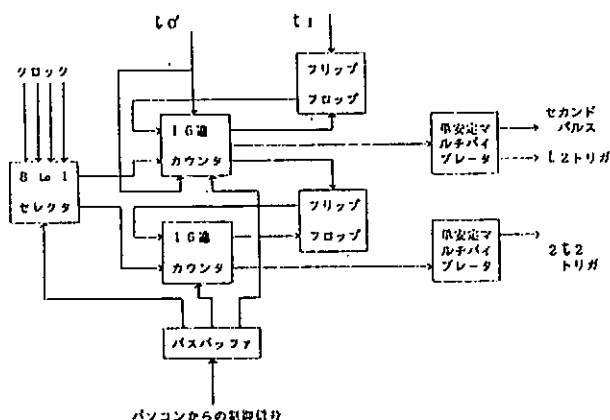
7. T₁ ユニット

クロック信号をセレクタで選択し、それを 16 進カウンタでカウントし時間 T₁ を作る。16 進カウンタの初期化はあらかじめトリガで行なっておく。コムエンドが入力されるとフリップフロップはセレクタを ON にし、カウントを開始する。カウントが終わるとフリップフロップを OFF にする。カウンタが出力したパルスは、2 to 1 セレクタに入力される。これは、コムパルスが発生させない時にはパルスを繰り返す基準とするためである。選択されたタイミング信号は、単安定マルチパイプレータで指定の幅のパルスにして出力する。また T₁ トリガとしても出力する。



8. T_2 ユニット

クロック信号をセレクタで選択し、それを2系列の16進カウンタでカウントし時間 T_2 と $2T_2$ を作る。16進カウンタの初期化は、あらかじめトリガで行なっておく。 T_1 が入力されると、フリップフロップは第1系列のカウンタをONにし、カウントを開始する。カウントが終わるとそのフリップフロップをOFFにすると同時に、次のフリップフロップを通じて、第2系列のカウンタをONにする。このカウントが終わると、フリップフロップをOFFにする。第1系列・第2系列のカウンタの出力は、それぞれ単安定マルチバイブレータに入力され、セカンドパルスと T_2 トリガおよび $2T_2$ トリガを出力する。



9. まとめ

このパルスジェネレータは「安く・早く・簡単に」を第一命題として強引に作り上げた。研究室ではそれまで、緩和時間を自動測定する設備がなく、また、研究室の予算が限られており安く作るということが特に要求されていたからである。デジタル回路の素人が教科書や雑誌を読みながら、何度か失敗を繰り返しながら設計製作したので、いくつか問題点もある。

- ① パソコンからの出力ボードに、ラッチ回路を内蔵したパラレルボードを用いた。これはパルスジェネレータ本体の回路を簡単にするためであったが、価格が58000円であり今回の最大の出費となった。また、96本のケーブルをパソコンから本体ボードまで引き回すことになり、多少わずらわしくなった。
- ② パソコンの入出インターフェイスとしては8255などが一般的であり、最近では安価なボードも市販されている。汎用性をねらうといった意味では、そういったものを選択したほうがよかったかもしれない。
- ③ 汎用16ビットカウンタの8254シリーズなどでも、10MHzのクロックを扱えるものもありまた、データラッチ回路も内蔵されているのでうまく使えばよりシンプルな回路ができるのではないかと期待している。

研究室の多様な実験目的にあわせたこのような装置であるが、現在では特にトラブルもなく卒業研究や新しい材料の開発研究のため実験が進められており、省力化という面や経済的にも貢献ができたものと思う。今後は、これらの改良と開発に努力していきたいと思う。

A TIME EXTENDED OPTICAL READOUT TRANSMISSION SCHEME TO A HIGH-DENSITY DETECTOR SYSTEM

N. Ujiie, H. Ikeda, Y. Unno

National Laboratory for High Energy Physics, KEK, 1-1 Oho,
Tsukuba-shi, Ibarakiken, 305 JAPAN

Abstract

Extended time division multiplexing(TDM) combined with wave division multiplexing (WDM) is used to form the WTDM data-transmission system having optical devices. This system has a possible application as a detector with an enormous number of readout channels(> a few million),e.g. typical silicon micro strip detector for the SSC or LHC as well as others used in future high-energy physics experiments. The optical WTDM data-transfer scheme has a factor of 1000 reduction in the number of a cables and so very fast, yet has individually readout.

SI. Introduction

高エネルギー物理学において、磁場の中を通過する荷電粒子の通過位置を測定し、その飛跡から粒子の運動量を測定するため種々の飛跡検出器が使用される。通過する荷電粒子の運動量は、3次元空間での位置測定によって得られる。SSCやLHCのようなビームエネルギーの高い Tev 領域の衝突型加速器では、検出器サイズの大型化と高磁場中での通過荷電粒子の位置測定の精度が重要になる。経済性と、半導体技術の進歩により、精度良い位置測定の検出器としてシリコン検出器が広く用いられている。シリコン検出器の位置精度として $<15\ \mu\text{m}$ ($50\ \mu\text{m}$ pitch spacing)程度の値が得られている。

一方、現在多用されているtracking detector としてのドリフトチェンバーの位置分解能は、5 mm spacing で約 $150\ \mu\text{m}$ 程度の位置分解能が得られている。これから、同一運動量の精度を得るために、衝突点からの距離の関数として $\sqrt{1/10}$ だけサイズを小さくできる。位置分解能の高精度化とサイズの縮小化の観点から、シリコン検出器が多用されるゆえである。SSC及びLHCのシリコン検出器を含めた主な測定器の読出しチャンネル数を表1に示す。なお、SSC計画は昨年('93)10月中止が決定された。表1で示される様に、シリコン検出器の読出しチャンネル数は数百万から1千万チャンネルに上る。また、シリコン検出器はビームの衝突点に最も近く位置し、読出し用エレクトロニクスと共に放射線損傷 (radiation damage) の影響を最も強く受け、狭空間に設置される。

シリコン検出器の面白さは、検出器自身の位置の高分解能機能などの特性と共に、検出器からの微小信号処理とその伝送方法について面白さがある。特に、狭空間、強放射線環境下での検出器信号の超多チャンネル読出し、データ伝送は、各実験グループのアイデア合戦でもある。

表1：大型衝突型加速器の読出しチャンネル数

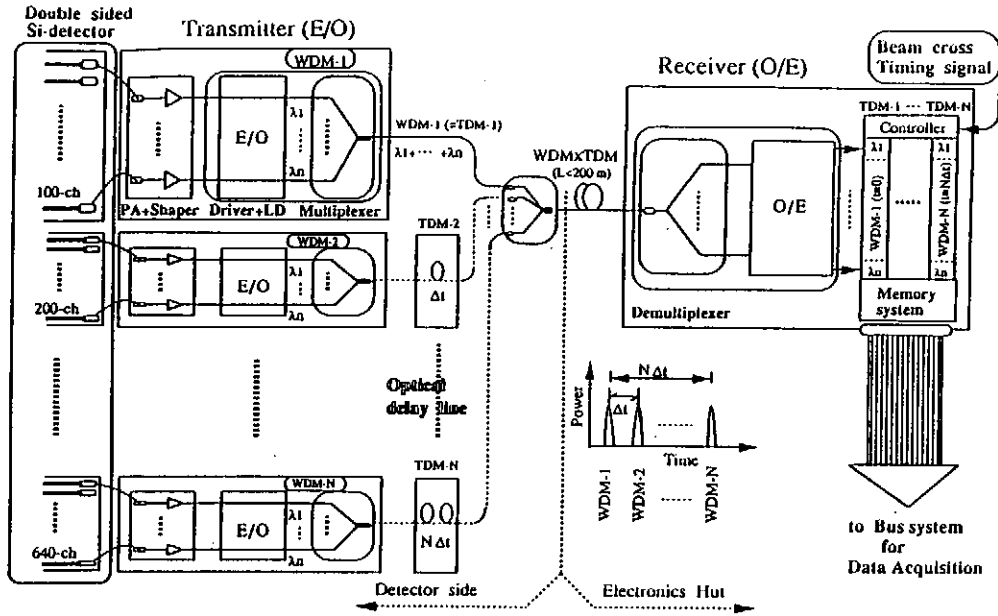
LHC		(SSC)	
Detectors	Readout channels	Detectors	Readout channels
ATLAS:		SDC: silicon microvertex	6,500,000
inner silicon tracker	4-5,000,000	straw chamber	137,164
outer silicon tracker	9,000,000	MSGC-ITD	1,400,000
MSGC	3,000,000	scintillating fiber (option)	473,200
TRD straws	300,000	preshower detector	47,104
LAr accordion calorimeter	60,000	central calorimeter	68,512
LAr preshower detector	300,000	muon drift chamber	89,864
CMS: MSGC	10,000,000	GEM: silicon strips	3,000,000
silicon microvertex	6,000,000	IPC	?
wall-less drift chamber	>600,000	LAr Calorimeter	62,880
		BaF2 EM calorimeter	15,584
		muon drift chamber	410,000

S2. Time division multiplexing system with wavelength division multiplexing(WTDM)

多量のデータの読出し方式として、種々、効率の良い方式が考案されてきたが、我々は光通信の世界で実用化しつつある波長多重通信(Wavelength division multiplexing (WDM))方式を提案し、高エネルギー実験への実現化の為の技術的な可能性と現状について述べる。更に、今回WDM方式に加えて、WDMの時分割多重方式(WTDM)を提案し、その実現に光遅延線の使用で容易に実現可能で、データ伝送容量を格段に向上できることをしめす。図1にWTDM多重通信方式の概念図を示す。

検出器からの信号は、アンプで信号増幅、波形整形され、N個のわずかに異なる発振波長を有するレーザーダイオードアレイを動作させる。ダイオードからの纜に異なる波長の光は合波器で合波され、N個の光信号が多重化され1本の光ファイバーで出力される。この合波光は受信端の分波器によって元の信号光に復調されフォトダイオードで検出され電気信号に変換される。これが波長多重通信の原理である。WDMシステムの高エネルギー物理学への応用(特にSi検出器等)は、1)検出器端でデータ圧縮用のエレクトロニクスが不要、2)検出器と1対1の読出しが可能で信頼度が増す、3)S/N比が高い、4)高速、大容量のデータ伝送が可能、5)ケーブルの質量を劇的に軽減できるなど極めて魅力に富むものである。高エネルギー実験での同時、多発多量の信号データは、SSCの例をとると16 ns 毎にビームの衝突が繰り返され生成される。更に、これらのデータを1 ns 毎に時分割して出力することで伝送容量を格段に増加し、伝送ケーブルの量を軽減できる。この時分割多重度をm とすると、WTDMによる多重度は積(nm)で与えられる。波長多重度をn=100、時分割多重度をm=16 とすると1600 の多重度が得られる。検出器近傍の質量の軽減は、通過粒子のエネルギー損失を少なくし、位置精度の向上という観点から重要な影響を与えるパラメータでもある。

図1 Optical combined WDM transfer system



S 3. State of the art of the optical devices

3-a) Light source

WDM システムの Si 検出器への応用にあたり、光源としての Laser diode(LD)は重要である。上記時分割システムの実現のための高速性と、Si 検出器への熱伝導を考慮した低電力化、高密度化の為のアレー化、更に耐放射線性等の性能が要求される。現在作製されている LDとその諸特性を表2 に示す。

表2 Fabricated laser diode array(LD) during the past few years

Wavelength (μm)	Channel number	LD-Type	Features	Fabrication	Authors & published
1.55	20	DFB Ind-drive	$\delta\lambda < 0.5 \text{ nm } (=5\text{\AA})$ Ith=15-22 mA, S=400x50 μm x2 fch	SR lithography accuracy<0.1nm	(NIT) M.Nakao et.al [4] Elect Lett, Vol25/ '89
0.86	102	Fabry-perot Buried-heterostructure	$\Delta\lambda=4.5 \mu\text{m}$, MQW, Ith=1.8mA, $\eta=42\%$	MOCVD Ridge-shaped GaAs	(SONY) H.Narui et.al [5] Dig. 12Int.Semicon. Laser Conf.Davos. 90
0.96	> 1 Million (p>2 Million/cm ² , 2-Dim Matrix)	VCSEL	$\phi=1-7\mu\text{m}$, Ith=1.5 mA(5x5μm x2 ISQW), $\eta>28\%$	MBE InGaAs:Resonator	(AT&T) J.L. Jewell, et.al [6] CLEO'90, CFFI
0.93-0.95	64 (8x8 2-Dim Matrix)	VCSEL	$\Delta\lambda=354\mu\text{m}$, $\delta\lambda=26\pm 3\text{\AA}$ Ith=14.7mA	MBE InGaAs	(Bellcore+AT&T) C.J.Chang-Hansnain Elect Lett, June/91[7]
0.85	64 x 1 (1-Dimensional)	VCSEL Ind-drive	$\Delta\lambda=84.625 \mu\text{m}$ $\delta\lambda=849.4 \pm 0.8 \text{ nm}$ Ith=2.1 +/- 0.1 mA Vth=12V(4V)	MBE GaAs/AlGaAs	(AT&T) [8] R.A.Morgan et.al Elect Lett, Aug/91
0.85	64 x 1 (1-Dimensional)	VCSEL Ind-drive	$\Delta\lambda=20 \mu\text{m}$, $\delta\lambda=0.3\text{\AA}$, 10GHz	Planer self-aligned AlAs/AlGaAs	(Sandia NTL) G.r. Olbright, CLEO, JThA3 '91 [9]

$\Delta\lambda$: LD spacing, $\delta\lambda$: Wavelength space, Ith: Threshold current, Vth: Threshold voltage, MQW: Multi Quantum Well, "A": Angstrom, η : quantum efficiency, ϕ : Cavity diameter of SEL-LD, SR: Synchrotron Radiation, MBE: Molecular beam epitaxy, DFB: Distributed feedback, VCSEL: Vertical cavity surface emitting L, MOCVD: Metal-organic chemical vapor deposition.

3-b) Multi and demultiplexer

現在制作されている合波器、分波器とその特性を表3に示す。

表3 Fabricated Multi & Demultiplexer developed during the past few years

Wavelength (μm)	Diffraction order	Type	Characteristics	Fabrication	Authors & published
1.3	42 (28)	Waveguide grating	Δλ=1nm spacing Resolution=0.63nm Crstlk<-10dB Size=10x20mmx2	RIE+PHOTO-LITHOGRAPHY SiO ₂ /#7059/SiO ₂	(NTT) H.Takahashi, et.al Elect Lett, Jan/ '90 [9]
0.78-0.802	9	Coplaner grating lens	Δλ=3 nm spacing Crstlk<-20dB(-7 dB) Size=23x10mmx2	RIE Si-base	(Osaka Univ) Shogo Ura, et. al Applied optics, Vol 29, Mar/ '90 [10]
?	20	Reflecting	Δλ=4 nm spacing	?	CREMER,C.,et.al ECOC '90
1.5	>50	Spectrometer	Δλ=3 nm spacing Resolution=0.3nm Crstlk<-19 dB Size=12x2mmx2	OMCVD +CAIBE InP/InGaAsP	(Bellcore) J.B.D. Soole, et.al Elect Lett, Jun/ '91 [11]
1.2-1.6	>30 (Capable of 100ch)	Grating spectrograph (Rowland type)	Δλ=3.7nm spacing. Crstlk<-25dB Loss=7 dB Size=2x3mmx2	Low pressure epitaxy InGaAsP/InP	(Siemens) C. Cremer, et.al Appl. physics.Lett., Aug/ '91 [12]

Crstlk: Cross talk, RIE: Reactive ion etching, OMCVD: Organic metal chemical vapor deposition, CAIBE: Chemically assisted ion beam etching, Elect Lett: Electronics letters.

3-c) Others

他の主なシステムのデバイスとして送、受信器回路がある。1 ns の時間分解能を得るには 1 GHz の性能があれば良いが、10 GHz (又は 10 Gbit/s) 程度の性能の要求については、現在技術的に十分この性能を満足するものがある。受信器側の回路設計については、受光ダイオードとの組み合わせで、高速かつ低雑音性が要求されるため、トランジスタの半導体の組成 (Heterojunction-bipolar-transistor:HBT(AlGaAs/GaAs),GaAs.....) や回路設計に多くの工夫が見られ山ほどの論文がある。送信器については、単に LD をドライブすれば良いのかほとんど論文が見当たらない。

更に、このシステムの Si 検出器への応用にあたって特に注意しなければならないのは、ビーム衝突点に最も近くに位置するため、フロントエンド (検出器端) でのデバイス (エレクトロニクスも含めて) の放射線損傷である。ガンマ線に対しては 1 M rad/a few years、中性子に対しては $[10^{13}/\text{cm}^2]/\text{year}$ が予測されている。一般にガンマ線や中性子は、半導体デバイスの電流利得のカットオフ周波数の逆数に比例するので高速デバイスに対する耐放射線性に対しては有利である。

Summary

光通信における WDM システムを、光遅延線を用いて時間拡張した WTDM 通信システムを提案した。この通信方式を Si 検出器の読み出しシステムに適用することで劇的にデータ転送容量を増し、ケーブル質量の軽減に寄与できることを示した。

ミリ波帯ヘテロダイナ干涉計装置

筑波大学プラズマ研究センター

○伊藤康彦 大山直幸 間瀬淳 玉野輝男

1.はじめに

筑波大学プラズマ研究センターではタンデムミラー形プラズマ実験装置GAMMA10において、プラズマの半径方向の電子密度分布を1ショットで測定するため、従来から準光学伝搬素子と1次元検出器アレイを組み合わせたホモダイナ方式の位相イメージ法干渉計を使用してきた。本研究では位相イメージ法を2次元化するための準備として、従来の装置をヘテロダイナ方式に改造した干渉計について、動作試験を行った結果を報告する。

2.位相イメージ法ヘテロダイナ干涉計の構成

装置の構成を図1に示す。周波数70GHzのクライストロン出力は方向性結合器により入射波と参照波に分割され、入射波はポリエチレン製レンズによりシートビーム状に拡大され、プラズマ断面全体に照射される。プラズマを透過し、その密度に比例した位相変化 $\Delta\phi$ を受けた透過波は光学系により集光され、プラズマを透過しない参照波をビームスプリッタにより同軸上に重ね合わせて両者を干渉させ、これをレンズを通してミリ波検知器アレイ上に集光させ1ショットでプラズマの径方向密度分布の像を描かせる。ここで、ミリ波検知器アレイの出力信号には $\Delta\phi$ の成分が含まれるが、これを位相検出回路を動作させるため数百kHz～数MHzの中間周波に $\Delta\phi$ を移す必要があり、従来のホモダイナ受信方式を使用した場合、クライストロンのリペラー素子への変調電圧及び光学路の長さを調整し、必要な変調周波数成分を得ている。

ホモダイナ方式は参照波を得るため図1のガン発振器を使用せず、入射波から分割した参照波のみを用いる。この方式はミリ波発振器が1台で済み装置構成が簡単となるが、参照波は導波管の長さが十メートル以上に及び透過波の光路よりも減衰が大きくなり、2次元の位相イメージングを行おうとした場合には参照波のビーム断面の周辺部でのパワーが十分得られなくなる。

これに対し、参照波用にもう1台周波数70GHzのガン発振器を周波数混合部近傍に設けたヘテロダイナ方式とすれば、十分な参照波パワーが得られる。この場合、位相検出回路へ入力するための中間周波信号を得るため、クライストロンとガン発振器の発振周波数の間に一定の差周波数 f_s を持たせ、これらを周波数混合することにより差周波数 f_s のビート信号を得ている。しかし、実際には各ミリ波発振器は発振周波数が電源電圧及び温度等の変動により常に変化し、これによりビート周波数 f_s も変化して位相検出回路の動作周波数領域を越えてしまうことがある。このためビート周波数安定化回路を用いてガン発振器の発振周波数を制御し、これをクライストロンの発振周波数の変動に追従させ、ビート周波数を f_s 近傍で安定化させる。周波数変換回路はミリ波検知器周辺回路が大電力高周波加熱装置からの雑音を受けて安定化回路の動作が不安定になり、ビート周波数が変動して位相検出回路の動作範囲を越えてしまうことがあるため、ビート周波数を基準発振器出力成分である中間周波数に変換するためのもので、必要に応じて設置する。位相検出回路では透過信号と参照信号が位相比較されて $\Delta\phi$ は電圧に変換され、

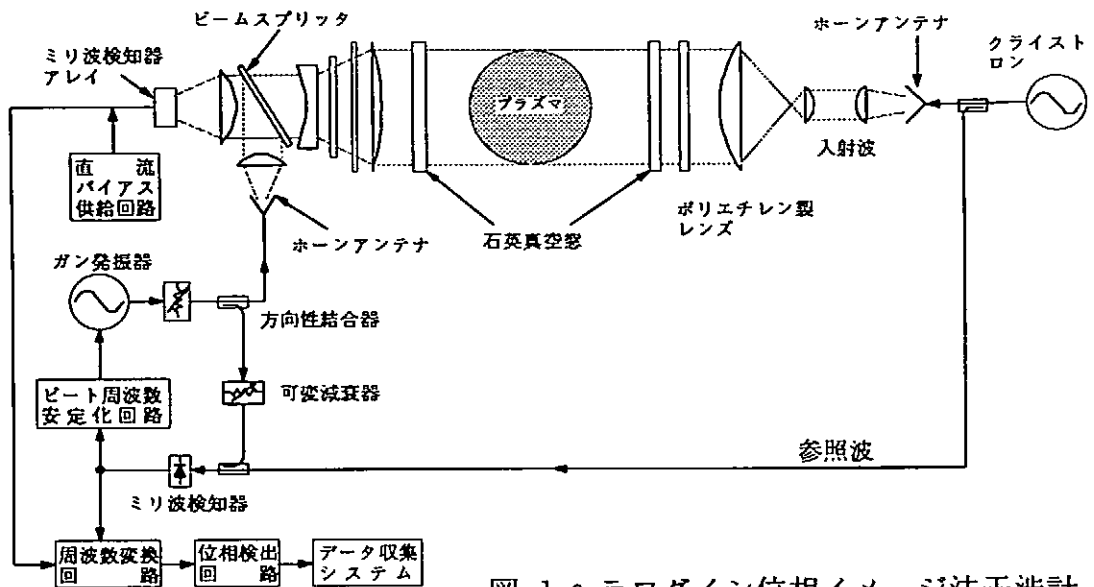


図-1 ヘテロダイン位相イメージ法干渉計

これをパソコンで観測する。

4. ビート周波数安定化回路

ここでは、PLL(Phase Locked Loop)回路を用いてビート信号と基準発振器出力との周波数のずれを検出し、その周波数差がゼロに近づくように制御された電圧信号をつくり、ガン発振器に印加し発振周波数を帰還制御する。

参照波用ミリ波検知器の出力信号はコンパレータによりTTLレベルに変換され、分周器TC9122Pで1/40に分周される。また2MHzの水晶発振モジュール出力も1/40分周され50kHzの基準信号が出力される。次に2つの信号は位相比較器MC4044によって周波数比

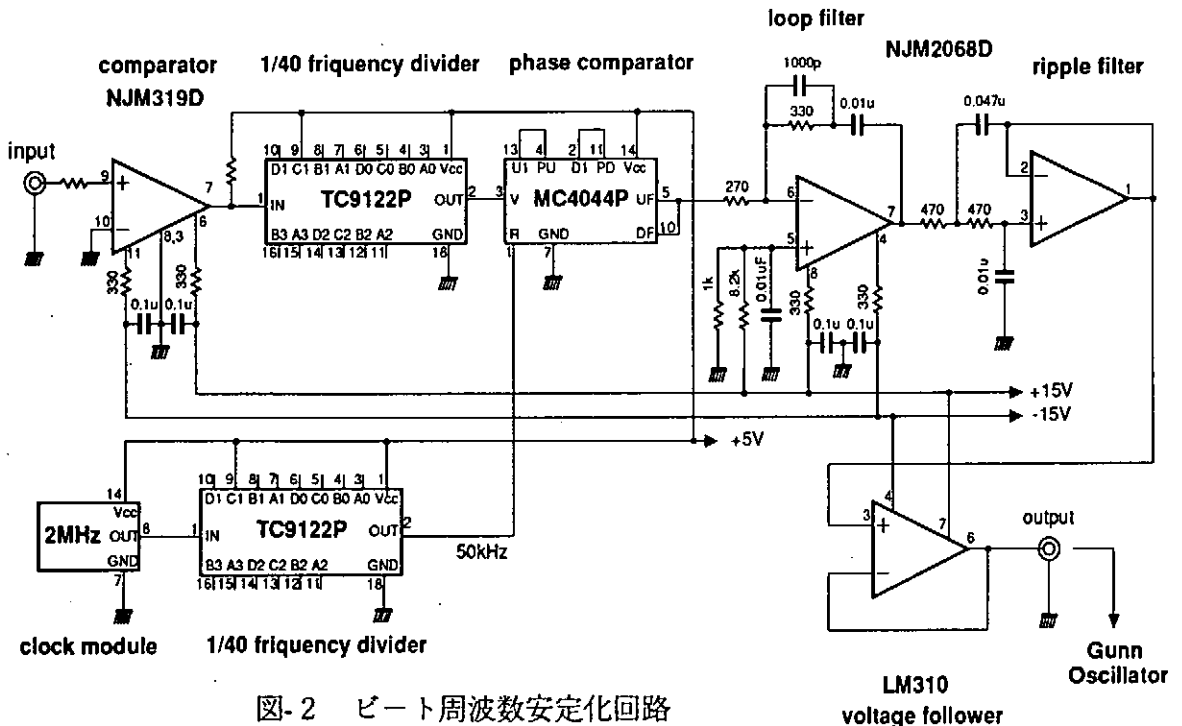


図-2 ビート周波数安定化回路

較及び位相比較され、その周波数差及び位相差が基準周波数50kHzのパルスのデューティの変化となって出力される。次にこれをアクティブ形ローパスフィルタによりPLLの応答特性の決定及び基準信号の50kHz成分が減衰され、更にアクティブ形ローパスフィルタで高調波成分が除去され、バッファを通してガン発振器の周波数変調端子に供給される。これによりビート周波数が2MHzに近づくようにガン発振器の発振周波数が制御される。

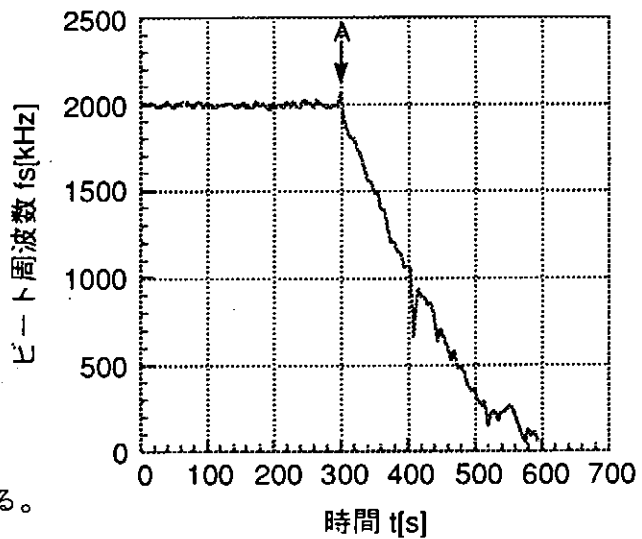


図-3 ビート周波数の時間変化

5. 測定結果

ビート周波数安定化の有無によるビート周波数の時間変化を測定した結果を図-3に示す。図のA点までは安定化を掛けた場合であり、ビート周波数は2MHz±20kHzの範囲で安定しており、A点以降の安定化を掛けない場合はビート周波数がゼロ近くまで大きく変動していることがわかる。

次にビート信号をスペクトラムアナライザで観測した結果を示す。図-4 aはビート周波数の安定化を掛けない場合で、スペクトルの帯域は広く中心周波数も2MHzから徐々にずれて行く。図-4 bは安定化を掛けてPLL回路のロックアップ時間 t_L (PLLのロックが外れた状態から、基準周波数にロックするまでにかかる時間)を0.1msに設定した場合のスペクトルであり、6dB帯域幅で2MHz±10kHzと安定化無しの場合に比べてスペクトルは鋭い。 $t_L=1ms$ では2MHz±15kHzと帯域は少し広がり、 $t_L=10ms$ では安定化無しの場合と同じ様なスペクトルであるが、中心周波数は2MHz近傍で安定する。

図-5にPLL回路の出力信号波形をオシロスコープで観測した結果を示す。 $t_L=0.1ms$ の場合のPLL出力には商用電源ハムの50Hz成分が顕著に見られる。これは t_L を遅くして行くとローパスフィルタの積分効果によって

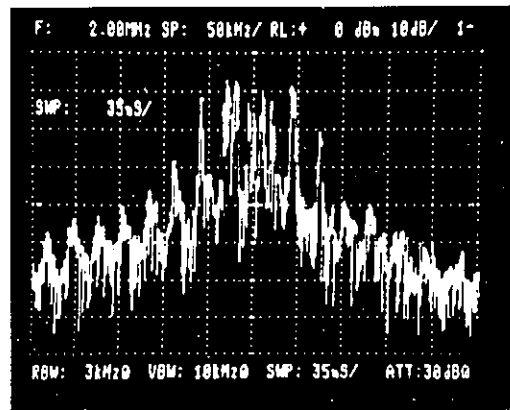


図-4 a ビート周波数のスペクトル (安定化無し) X:50kHz/div, Y:10dB/div

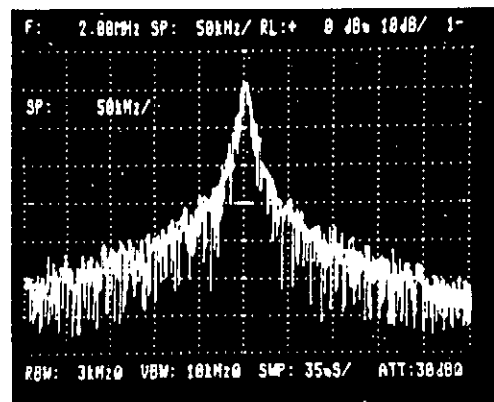


図-4 b ビート周波数のスペクトル (安定化有り) X:50kHz/div, Y:10dB/div

50Hz成分は徐々に減衰して行き、同時にスペクトルの帯域も広がる。したがってスペクトルを悪くする主な原因が電源からの誘導ハムによる影響であることがわかる。以上の結果から t_L を速くすればビート信号のスペクトルは鋭くなりビート周波数の素早い変動にも応答できるが、同時にPLL回路は雑音に対しても敏感になり、ロックが外れ易くなり動作が不安定になる。以上の理由により、本装置ではスペクトルのQが比較的良好で t_L ができるだけ遅い値である1msに設定した。

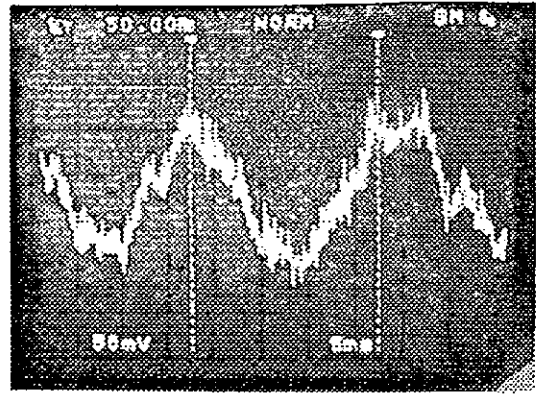


図-5 PLL回路の出力信号波形
 $t_L=0.1\text{ms}$ X:5ms/div, Y:50mv/div

次に、ヘテロダインシステムを位相イメージ法干渉計へ適用した結果について報告する。本装置では密度分解能として1/130フリンジ以下（線密度の $4.3 \times 10^{11}\text{cm}^{-2}$ に対応）を得ることができた。

また、位相イメージ法干渉計をホモダイン方式からヘテロダイン方式に変更したことにより、参照波パワーを従来の値の約20倍に改善することができ、1次元のミリ波検知器アレイを2次元に拡張するために十分な参照波パワーが得られた。これを従来の1次元位相イメージ法の光学系に適用した結果、プラズマ実験前の予備試験の段階で、ミリ波検知器アレイ上でビームの中心軸から縦方向に $\pm 25\text{mm}$ の範囲で位相検出回路が安定に動作することを確認できた。この結果から本装置の光学系の倍率が4.3倍であり、プラズマの直径が約20cmであることから、プラズマの径方向全域の密度測定が可能であると言える。

現在、ビームの横方向の幅を広げ2次元の検知器アレイに対応するため、従来から使用してきた光学系の倍率の調整を行っている。

7.まとめ

ヘテロダイン干渉計のためのビート周波数安定化回路及び周波数変換回路を用いて、位相検出回路を安定に動作させることができた。またヘテロダイン方式により2次元の位相イメージングを行うために十分な参照波パワーを得ることができた。

今後の課題としては、プラズマ加熱装置等から受ける雑音により安定化回路の誤動作を防止するための、ミリ波検知器周辺回路の雑音対策及び誤動作に強い安定化回路の回路方式の検討等がある。

8.参考文献

- 1)板野・山本・間瀬・築島「帰還制御による二つのクライストロン発振器のビート周波数安定化」電子通信学会研究会資料 MW77-4 1977
- 2)鈴木・黒木・米山「60GHz帯NRDガイドガン発振器の周波数安定化」電子情報通信学会 MW93-76 (1993-10)
- 3)高松重治「わかるPLLの応用テクニック」日本放送出版協会 (1990)

高速重イオン・ビーム・プローブ計測装置の建設と測定

核融合科学研究所 川澄義明、浜田泰司、西沢章光

1. HIBPの目的と原理。

現在、プラズマの閉じ込めに関し異常に大きな粒子の輸送があることが解ってきた。この現象を解明する目的で、我々は重イオン・ビーム・プローブ (Heavy Ion Beam Probe) 測定装置を建設してきた。測定原理は、閉じ込め磁場に垂直にエネルギーを揃えた1価イオン・ビームをプラズマの中に打ち込みプラズマ電子と衝突して2価となったイオン (異なった軌道) を検出し、エネルギー分析をする (図-1)。このイオンのエネルギーの増加 (又は減少) 分の大きさから1価から2価となった位置の電位を算出するものである。

この測定では、強磁場中でのラーマ半径を大きくする必要から、質量の大きい高エネルギーのビームが必要となる。さらに、この測定原理から電子密度変化 (揺動) やポロイダル磁場の大きさの測定をすることもできる。

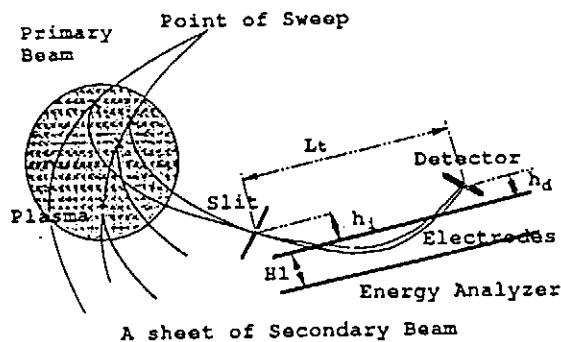


図-1 HIBPの測定原理

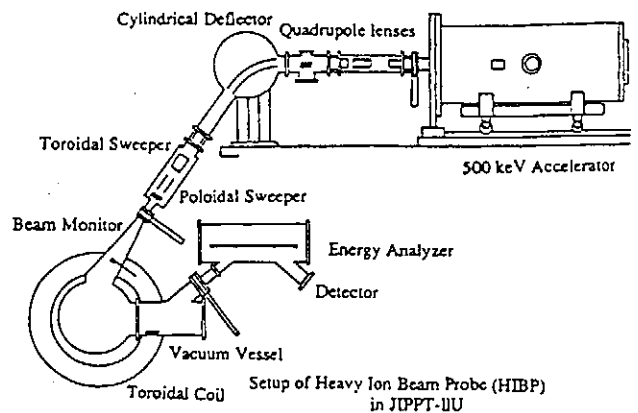


図-2 HIBP計測装置の全体図

2. イオン軌道計算と計測装置の全体図。

この測定の設計 (幾何学的条件) はプラズマ装置の入口・出口ポートの位置で決まる (ラーマ半径) 閉じ込め磁場の強さからビーム・イオン種 (リチウム: Li , セシウム: Cs , タリウム: Tl) やエネルギーが決まり、さらに入射偏向電圧、エネルギー分析偏向電圧等が決まってしまう。

我々は最大ビーム・エネルギー $E_p = 500 \text{ keV}$ 、で閉じ込め磁場 $B_0 = 30.0 \text{ kG}$ 、プラズマ電流 $I_P = 300 \text{ kA}$ のプラズマを測定対象としている。

図-2は現在完成し、測定に供しているHIBPの全体図を示したものである。全体の主な構成イオン源、ビーム加速管、ビーム収束系、ビーム偏向部 (CD)、ビーム掃引系、ビーム・モニタ系、スリット系、エネルギー分析器、イオン検出器、真空排気系、アンプ、データ処理系から成っている。

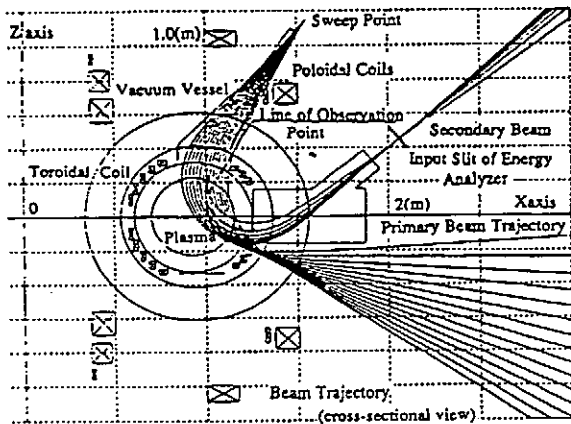
加速器は 500 keV 連続シングル・エンド型静電加速器、加速器のタンク内には 500 kV 耐圧用絶縁として SF_6 ガスを6気圧封入してある。

加速電源としてはコンバータ → インバータ → コッククロフトの回路であり、超高安定電源でリップルは 500 keV 、 1 mA 時で 2 V p-p 以下であった。

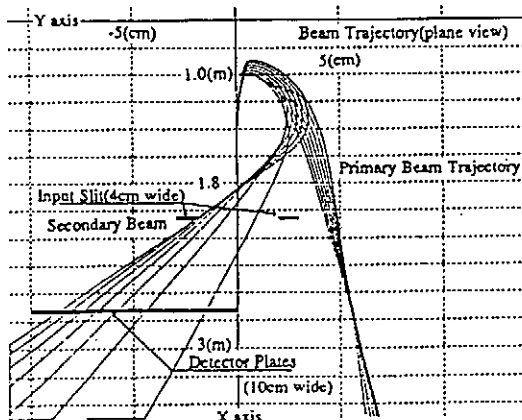
3. 一次イオン・ビームの制御。

イオン源は小スペースの加速管内に入れるために小電力、小型という条件から熱放出型を使用した。また、イオン源の交換を極力少なくする為に加熱重ね塗りをして長寿命（約 80 h 以上）型に改良することに成功した。

C・Dはビームを曲げる方向に収束特性を持つため、C・Dの前でビームを一旦収束させ（四極電極）、発散状態でC・Dに入射させることでプラズマ中で収束（ 5ϕ 以下）させる方式を取った。イオン源の交換、時間変化、電圧の変化等、で常時ビームの位置と分布の状態を監視している必要がある。そこで我々はビームの位置と分布をモニターする為にヘリカル状のw線（ 0.5ϕ ）をピッチ角 45° でビームに垂直に設置し回転させた。回転が 180° 異なる位置では x 軸-y 軸 2 成分の測定ができる。この回転モニターを4ヶ所ビーム経路に設置し常時ビーム状態を確認している。



(a)

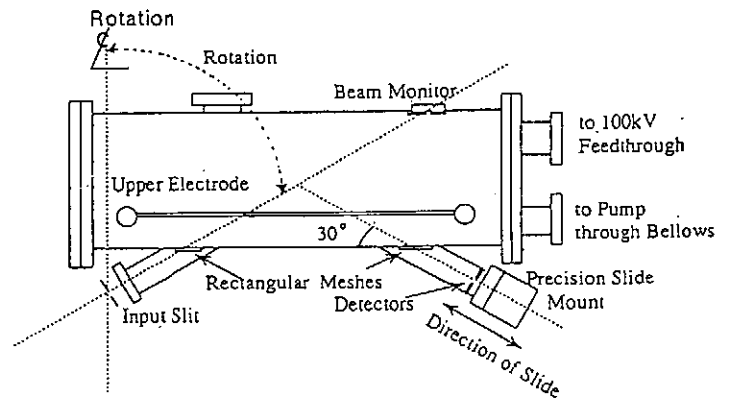


(b)

図一 3 ビーム軌道

a) 断面図 b) 正面図

このモータは乾型ベアリングを用いてノイズを 0.05 nA 以下に抑ええることで s/n 比を上げ、入射ビームをプラズマ中で 5ϕ 以下に制御している。更に放電管内のビーム径を測定する為、200 keV の C_K ビームを放電管内に打ち込みトロイダル磁場を変化させ固定モニタで検出した。この時の信号の比から、Li と Cs に対応、Cs に混じって Li も放出されていることが判った。しかし 350keV の T₁ ビームを放電管内に打ち込み、同様にトロイダル磁場を変化させ固定モニタで検出したが、此の場合は、T₁ のみの成分であることを確認した。



図一 4 エネルギー分析器

4. 分布計測としてのエネルギー分析器。

エネルギー分析器は単純さとマルチ・チャンネルとしての使用に適した平行平板型とした、ビームの入射角は二次の収束特性使用から 30° とした、平行平板の電場歪みの補正板と付属抵抗は電場均一性の保持、および付属抵抗の冷却の煩わしさを避けるために取り除いた、この代用としてコロナ・リングを取付け、偏向板として成型電極を用いた（図一 4）、これによる電位の直線性の逸脱は計算機による最適化で 10^{-4} 以下となり、その等電面の幅を約 150mm にすることができた。

コレクタは現在 32ヶの多チャンネルとし、上下2ヶを一对（16CH）として使用している。その後の amp とデータ収集系もそれぞれ 32ヶ必要となる。

$E_p = 350 \text{ keV}$, $B_t = 3.0 \text{ T}$, $I_p = 200 \text{ kA}$, での二次ビームの軌道を描いた場合、入射ビームは入射スリット部で $\theta = \pm 2^\circ$ の拡がりを持って入る為、入射角 (面内角) による誤差を考慮しなければならない。しかし $\theta = 30^\circ \pm 3^\circ$ の範囲では X 方向変化は 2×10^{-4} となるのが二次の収束特性の計算から分かった。 ($V_a = 100 \text{ keV}$ で $\pm 25 \text{ V}$ に対応)

又プラズマ電流 $I_p(r)$ によって二価ビームは大きくトロイダル方向に (約 4°) ズレル (図 3 b) 此のため入射ビームは分析器に斜めに入射 (面外角) し、大きな測定誤差を生じることになる。

20 kHz でトロイダル掃引をすることで、この誤差を除くことに成功した。 (100 kHz まで可能)

マルチ・チャンネル (32CH) として分析器の入口・出口スリットを大きく広げ、2mm 間隔のメッシュで電場歪みの補正をしたがビームの収束点が移動する。そこで 25 keV、2 kG、定常 Li ビームで収束点の移動を調べた。その結果、収束点の移動量は計算結果と良く一致していた。しかし、32CH 全ての収束点が同位置で一致するかは実験的には未だ調べていない。

5. 中性ガスによるエネルギー分析器の Calibration.

水素ガスを放電管内に詰め、一次ビームを打ち込む、そこで発生したシート状の 2 価ビームを利用して分析器のアライメントを取った、この方法は一次ビームを使用した場合と比較して、幾つかの特徴を持ち、精度が高い。 (I_p による影響がない、光ノイズが無い、電磁ノイズが無い)

$B_t = 2 \text{ T}$, H_2 ガス $\sim 1 \times 10^{-3} \text{ Torr}$, ポロイダル掃引 60 Hz 200 keV の T^{1+} を打ち込んだ

場合を図 5 に示した。入口スリット 4 分割、中心に 2 分割のコレクタを使用した場合である。ガス圧が高い場合、入口スリットとエネルギー分析した後のコレクタ信号は大きく異なる。

スリット信号は、1 価及び 2 価等を含む、(図の縦軸は 10 倍異なることに注意) コレクタの信号は 2 価のみである。 T^{1+} の衝突断面積は、200 keV では、1 価から 2 価より 1 価から 0 価、0 価から 1 価になる方が大きい。この現象で入口スリットとコレクタの信号の違いを説明することができる

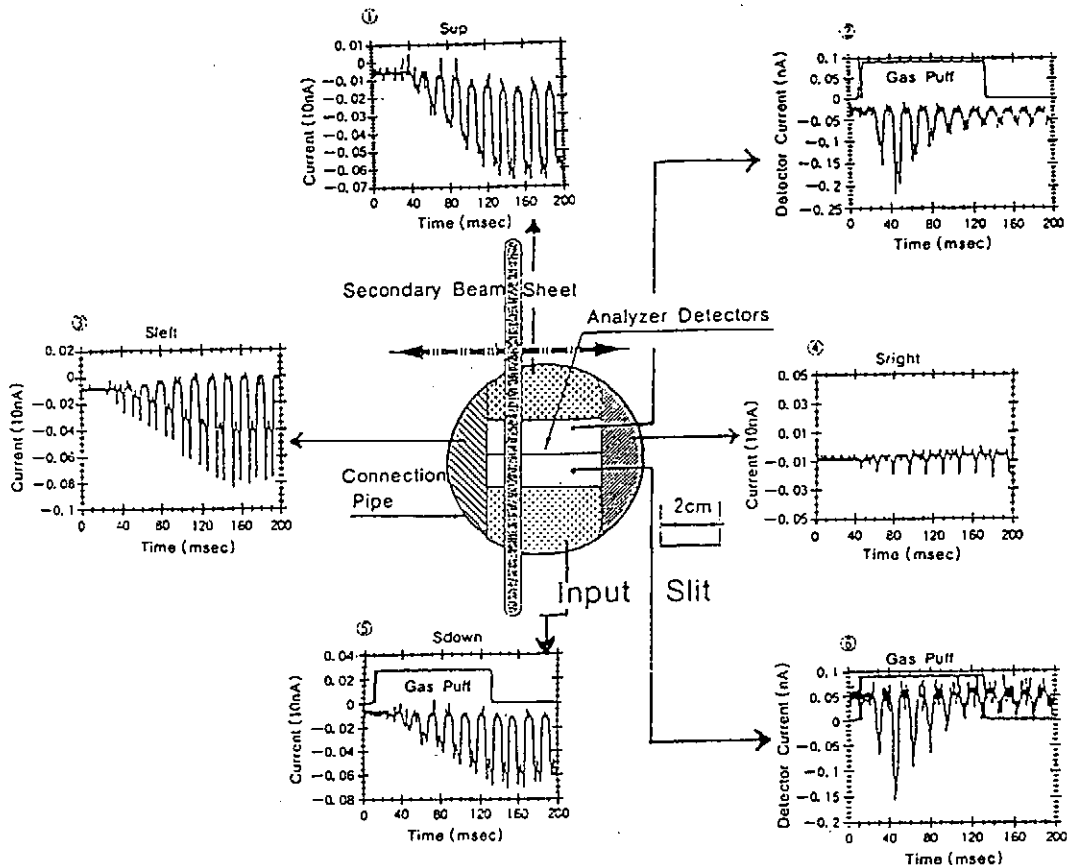


図 5 スリット部 (4 ヶ) の信号とエネルギー分析後のコレクタ (2 ヶ) 2 価ビームの信号比

中性ガス中に一次ビームをポロイダル掃引し、2価イオンを検出した。図-6は 200 keV, 2.4 T, の典型的な信号である。検出電流は鋭いピークが観測され、ゆっくりした変化の信号がありそして鋭い減衰を観測した。鋭いピークは数値解析でもサンプル体積の発散で起きている、又ゆっくりした変化は中性ガスによる2価が起きている所、鋭い減衰は真空容器の底辺部でのビームのカットを示してる。これらから、1価から2価に変化したビーム位置の確認ができる。

我々は、現在スリット13ヶ、コレクタ26ヶ使用してるが、スリットとコレクタ2ヶ(一対)との対応を調べる為、分析器の電圧を掃引し対応する上下のコレクタの信号を見た、スリットの1つに盲を付けることで正確な対応位置の確認ができた。

中性ガスによる電位計測を行った、ポロイダル掃引とトロイダル掃引による、このピーク値を連ねたものが実験値による算出電位を示す、中性ガス中は零電位であるとするピーク値が分析器の面外角に垂直に入射、このピーク値を連ねたものが分析器の特性となり零電位の補正值となる、この方法は時間分解能が悪くなるが正確な分析器の Calibration ができる。

中性ガスで分析器を Calibration した後、プラズマにビームを打ち込みコレクタで2価の信号を見信号のベースにプラズマの光ノイズが重なっていた。このノイズは偏向板からの反射光がコレクタに入ることによるノイズで、分析器の偏向板表面をノコギリ状に加工することで無くすことができた。

プラズマの崩壊時の強大な光信号は変化の同期が一致するが、掃引によるイオン・ビームは時間的に遅れが生じる。この差を利用して 32 CH のコレクタとその配線の位置の対応確認ができた。

実際の電位分布測定の実験は、電位分布計算の精度を上げる為、上下・コレクの信号を均等化する目的で分析器の偏向板電圧を微調整してから信号を受けることにしている。

6. まとめと今後の方針。

- 1 一次ビームの形状を常にモニターできる。
- 2 エネルギー分析器の改良。
偏向電極板にコロナ・リングを取付けた。
偏向電極板を加工しノイズを減少させた。
メッシュによる取束点の移動を計測した。
- 3 面外角の変化による誤差の除去ができた。
トロイダル掃引(20 kHz)による方法。
- 4 サンプル体積の発散(特異点)を発見した。
プラズマ計測点の決定が可能となった。
- 5 中性ガスでのエネルギー分析器の Calibration 。
・実ビーム(2価イオン)による正確な分析器の Calibration ができた。
・ガス中の零電位の測定が出来た。

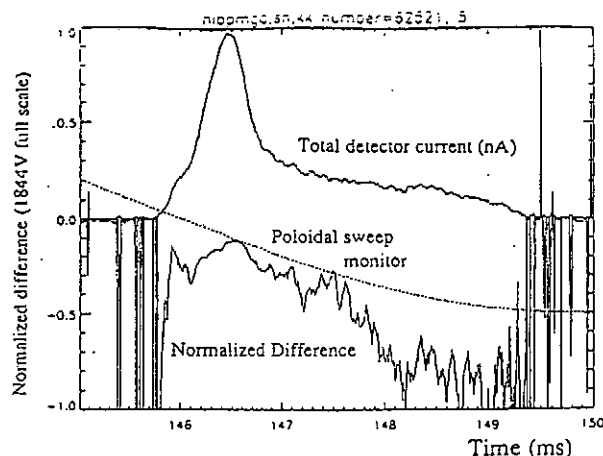


図-6 中性ガスによる典型的なコレクタ信号と零電位による分析器 Calibration (ND) 値

今後の方針

- 1 変形セラトロンの開発。
これから密度揺動の測定を計画している、プラズマ中心では微小の信号となる為、アンプのノイズの大きさが大きな問題である、此のため、イオン検出器に特殊な電流増幅器として平板セラトロンを使用することを考えた。(MCPでは出力電流を大きく取れない為)
平板の二次電子増倍を作り、各チャンネル毎に分けて増倍させる方法で、増幅率の大きさ、動作安定度、必要な板の幾何学的寸法等のテストが必要となる。
- 2 多入射ビーム化。
一次入射ビームを多ビーム(2, 3本)に分けることで、同時多点測定ができる(密度揺動計測の位相関係)そのための1つの方法は、ビームを横長にしてスリットでビームを多本に切ることである。この方法は、大電流で太いビームが必要となる。

高速重イオンビーム測定装置用増幅器の製作

核融合科学研究所技術部 ○幅 駿一郎 川澄 義明

1. 増幅器の仕様

我々は高速重イオンビーム計測装置(HIBP)の分解能をあげるため、検出器のマルチ化(32チャンネル)を考えた。このためこの装置に使用する増幅器も32チャンネル必要となった。

また、この増幅器を設置する場所は、小さな空間(直径50mm、長さ200mm)であるので小型化をはかる必要もある。

ここで使用しているHIBPでは、数nA(10^{-9} A)の電流と数 μ S(10^{-6} S)の時間変化を測定する必要があるので、増幅器としての仕様は表1の通りである。

入力インピーダンス	$10^9 \Omega$ 以上
入力バイアス電流	100pA以下
周波数特性	DC~300kHz
雑音	出力で数mV

表1

高入力インピーダンス	$10^{12} \Omega$
低バイアス電流	100pA
広ゲイン帯域幅	20MHz
低ノイズ	10nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$
低歪率	0.0003%(1kHz)
高スルーレート	25V/ μ S
負荷駆動能力	600 Ω

表2 OPA2604の特性

これらの仕様を満たす増幅器は、初段に使用するオペアンプによってほぼ決定される。周波数特性からは、高周波用となり、入力インピーダンスからはFET入力となり、FET入力で高周波用で且つノイズレベルの低いものを選定する必要がある。また32回路必要なので、価格も重要なファクタとなる。こうした条件を満たすオペアンプとして、業務用オーディオ機器に使用することを主目的に開発された、OPA2604を使用することにした。OPA2604の特性を表2に示す。なお価格は約1,000円である。

2. 回路

前項の仕様にもとずいて、回路の検討をした結果、周波数特性、増幅度および出力ケーブルを長く延ばす(10~15m)必要性から、増幅器の構成は3段構成とした。

初段は数nAの微小電流の増幅と周波数特性を両立させるため、電流増幅器とし、フィードバック抵抗は $10^9 \Omega$ とした。

2段目は全体として必要な増幅度から100倍の増幅器とした。

3段目は同軸ケーブル(インピーダンス50 Ω)を延ばすための(15m)インピーダンス変換器とした。図1が全回路図である。

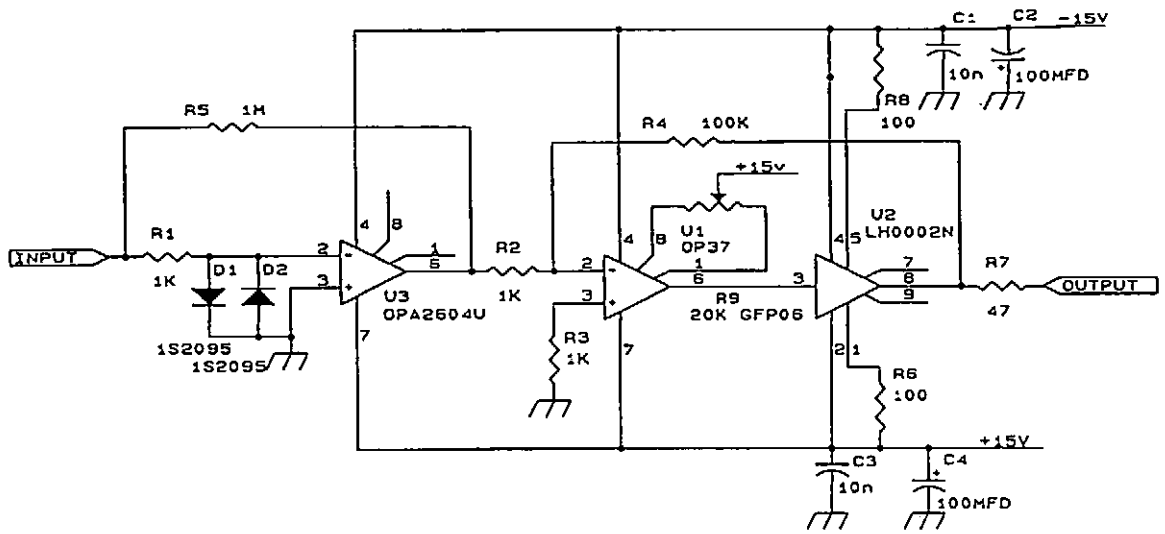


図1 回路図

3. 実装、組立

図1の回路を小さな空間（直径50mm、長さ200mm）に収めるため、初段のICは外形寸法の小さい表面実装タイプを採用し、全体を収めようとしたが、スペースがたりず、プリント基板を初段（図2）とその他の2分割とし、初段部分だけ円筒部分におさめ、2・3段目は円筒からつきでた部分に別の箱をつけた。最初は、2・3段目のプリント板を1個の箱に2階立てにして32チャンネル分入れたが、発振になやまされ、結局16チャンネル分ずつ2個の箱にした（写真1）。

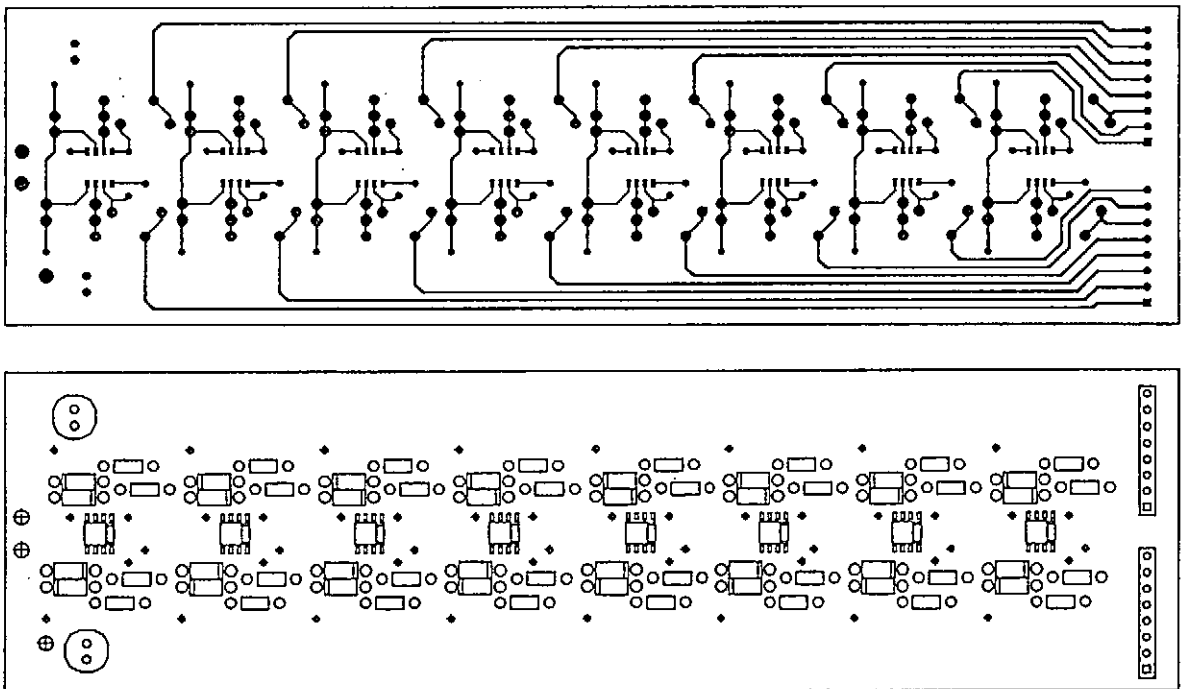


図2 初段プリント板

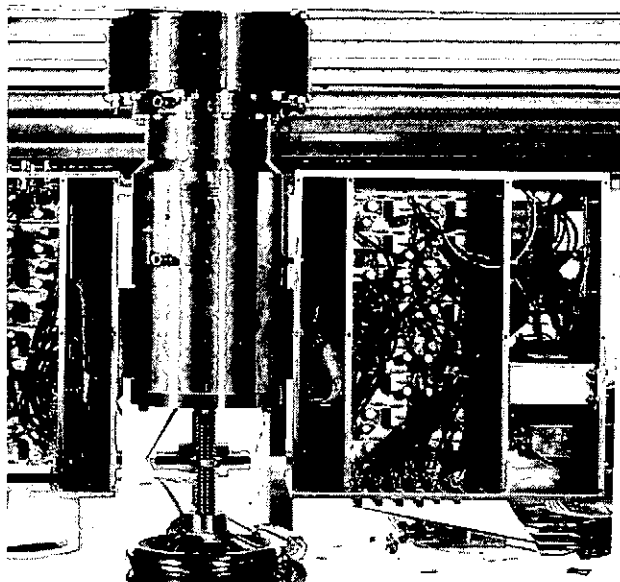


写真1 増幅器2・3段目

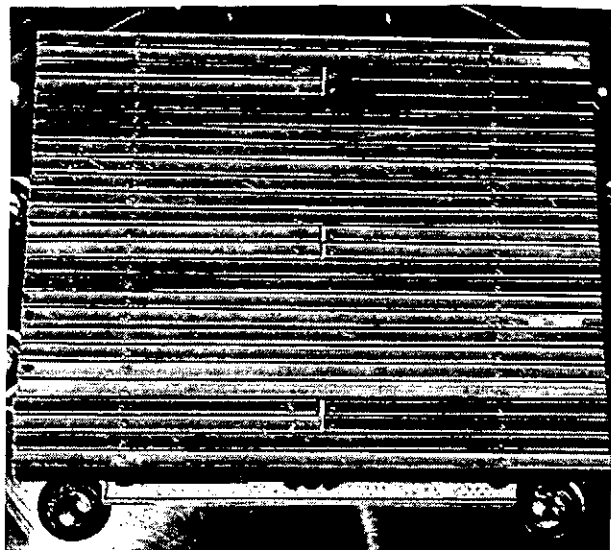
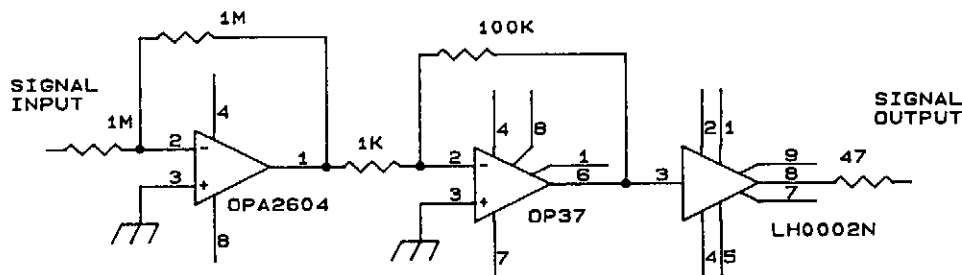


写真2 電極

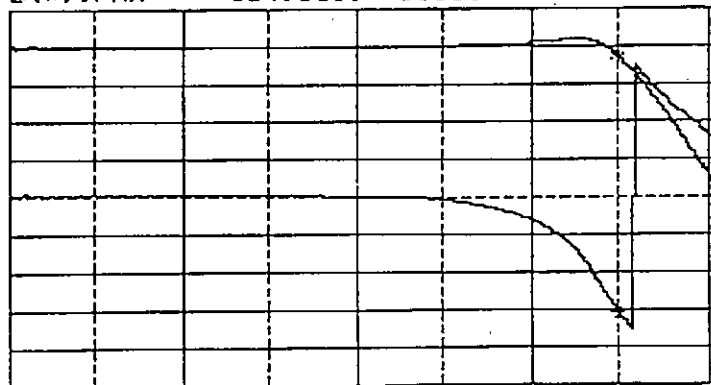
4. 特性、測定

こうして組立てた増幅器の周波数特性と各チャンネル間のクロストーク、ノイズ等を測定した。

周波数特性は-3dBポイントで300kHzを達成した。



MRK(216):304 000.00Hz WARM UP
 A(*):MAG 37.50dB 10dB/ 0.00dB
 B(*):PHA -154.0deg 50deg/ 0.0deg



LOG START:100Hz LOG STOP:1MHz
 OUTKB: -30.00dBm ST:21.0sec
 IRG:20dBm RBW:30Hz VBW:10kHz X1-8 1Mn

図3 周波数特性の測定

クロストークについては、250kHzで隣接チャンネルで1/3程洩れるので、改善の必要がある。

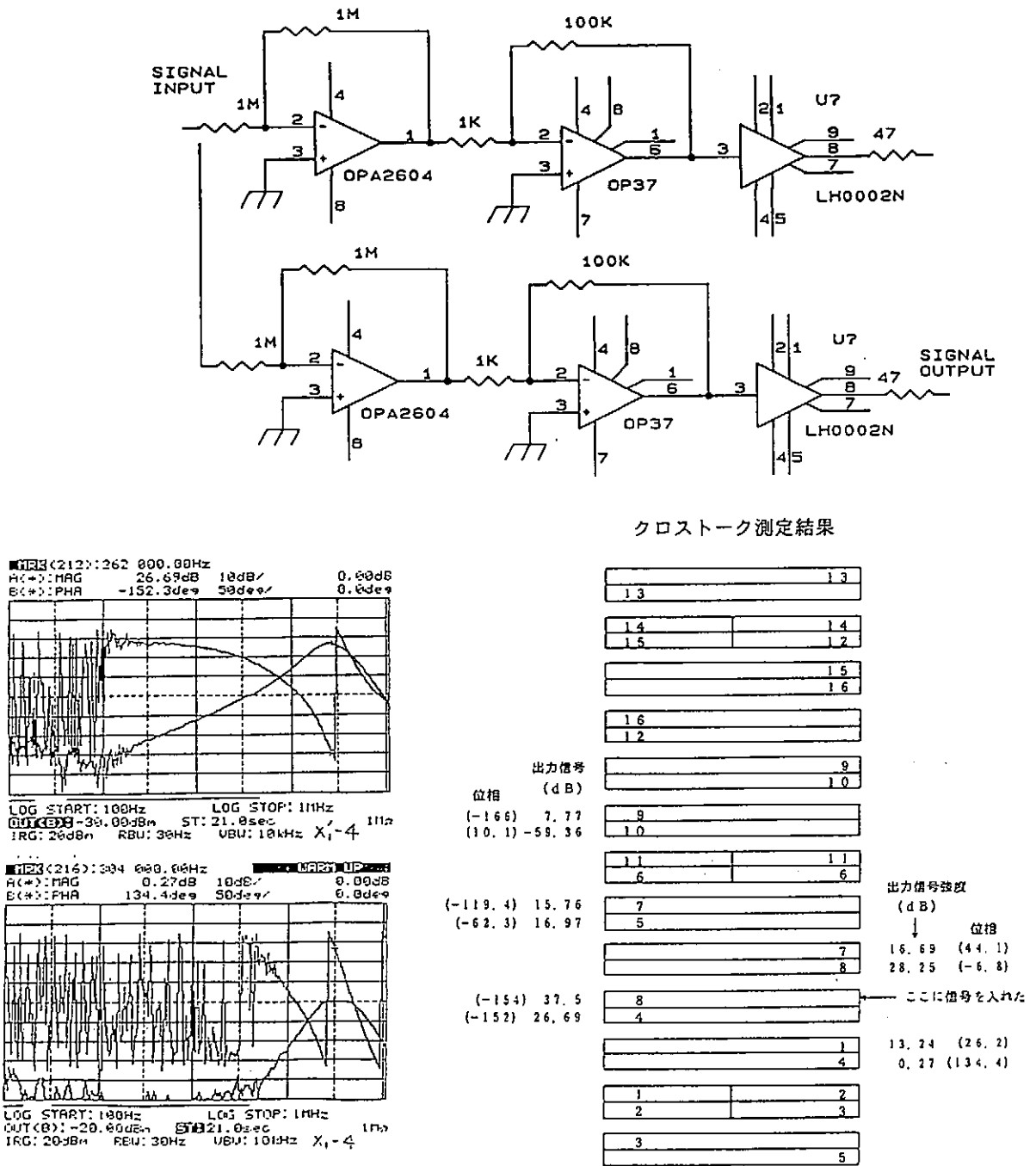


図4 クロストーク測定回路、測定結果

5. まとめ

周波数特性は目標通りに達成した。

ノイズは出力端子にて200mV、これは目標値の100倍程ある。少なくするのは、かなりの努力が必要である。

クロストーク：250kHzにて隣接チャンネルで1/3程出る。1/50程度にする予定である。

加速器ヒューマン インターフェース ネットワーク セグメント

(3. クライアントサーバーのグレードアップ)

高エネルギー物理学研究所 阿部 勇、中原和夫
三菱電機サービス(株) 田中政彦

概要

高エネルギー物理学研究所に於ける2.5 GeV 線形加速器のための操作・表示系(ヒューマンインターフェース)に関しその構築と実用化について、これまで以下の報告を行って来た。

「1. PFリニアック制御用ネットワークセグメント(1.ベンチテスト)」¹⁾

「2. PFリニアック制御用ネットワークセグメント(2.プロトタイプの実用化)」²⁾

今回は、これらのシステムについて、(3. クライアントサーバーのグレードアップ)と題し、平成5年度に行った事について報告する。「2」まで報告したシステムは、現在、安定動作し実験に供している。各種の機能、性能向上、ウィンドー化のため、今回はシステムのグレードアップを行った。加速器ヒューマンインターフェース(I/F)も大きく進歩しているが、ここでの関心点は、ソフトウェアの生産及び管理であり、手法としてOOP及び、オブジェクト分析手法が大きい問題点となっている。加えて高度運転支援システムが重要であり、最終ゴールとしての位置づけを念頭においてグレードアップを行った。

1. 加速器ヒューマン I/F

加速器とそのオペレーションの為のヒューマンインターフェースは、実験装置としての加速器性能を引き出すため、また能率的運転と稼働率を上げるため、技術の時代的進歩を反映して、これまで様々な方策がとられてきた。ハードワイヤーの時代から、計算機制御の時代に、そして計算機制御の時代の中でも、ミニコンの時代からスケールダウンが可能になり、より高性能、低価格化を推進してワークステーションやPCの時代へ³⁾、またそれに伴うOSの進歩もめざましいものがある。メーターやツマミのぎっしり並んだ制御盤で複数の人間が忙しそうに操作するスタイルから、定型処理ボタンを計算機にまかせ、确实、高速さを狙った制御方式へ移行して来た。さらに、高度情報処理型制御の時代に突入し、そこでは、人間の経験等を何らかのスタイルで計算機にインプットし、例えば、マルチメディア等による積極的運転支援型計算機制御がテーマになってきている。図1では本所の幾つかの加速器の建設運転時期と関連分野の移り変わりを示している。図2では、CPUの進歩を示した³⁾。急進ぶりが解る。

これらの状況下、日進月歩のハードシステムの上で、便利な表示系・操作系を考えた場合、柔軟な表示系としてPCとWindowsの選択が最適であり、その上で高生産的な描画環境、操作作用言語として、低学習コストの点からも、Visual BASIC, Visual C++が有力な選択肢である。

2. マルチベンダーネットワーク

メーカー間、機種間を越えてのネットワーク接続が当たり前になった現在、複数種類のコンピュータを共存、分散処理させることは、多少の問題はあっても必要な手段としてかなり実現している。現在制御卓は、まだWANを必要とはしていないが、LANレベルで加速器実験装置としてクローズした運転形態をとっている。マルチベンダーの問題点としては、メンテナンスの人員、保守経費の点で必ずしも節約的ではない事が指摘される。ここでは、DOS/PC(IBM, Fujitsu), Mac, HP, テクトロニクス等が、それぞれの特徴から必要な機種として

NetWareの元に運転しており、且つクライアント-サーバーとしての接続、NFS、高速なピア通信等が制御卓ネットワークの必要機能として運転されて来た。それぞれ得意とする計算機分野でスタンドアロン運転されていたものが、ネットワークレベルでの分散環境を手に入れることが出来ている。回線としては、イーサネットから、FDDI/CDDI, FR, ATM (622Mbps) と今後予想されるメディアも着実に進歩しており (図1)、今後の対象としても開けてきている。

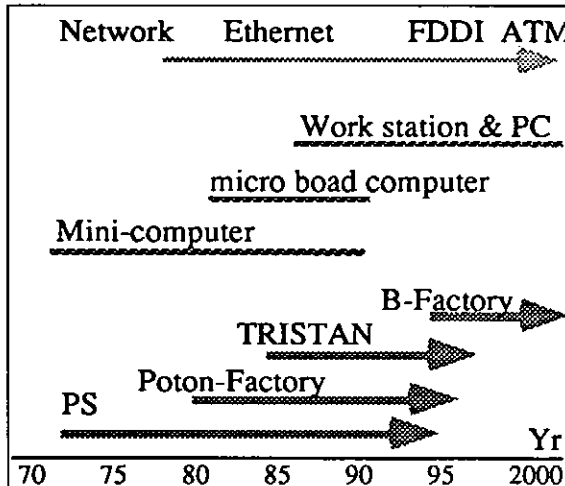


図1 加速器と計算機及びネットワークの経過

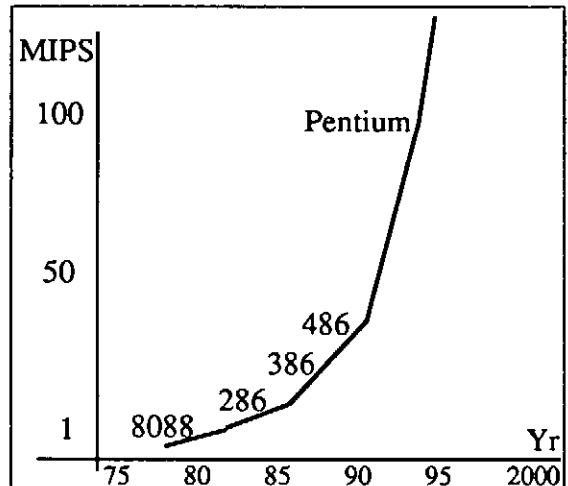


図2 CPUの速度進歩⁻³⁾

3. 改良点

マルチベンダーネットワーク (及びマルチプロトコル) を肯定的にとらえ、加速器ヒューマンインターフェースにおいてクライアントサーバー・スタイルでのセグメント関連の強化を推進したが、その内容を以下列記する。()内は、従来の問題点及び改善目的を記している。

- 1) サーバーの大容量化、(これまで1.5GBでバンク状態だったため。)
- 2) 信頼性の向上 (UPS, HardDisk Array, Mirror)、(過去数回サーバーダウンがあった為)
- 3) クライアントの高速化、メモリー増強、疑似マルチタスクの採用、(操作感の改善)
- 4) Windowsの採用、(視覚的オブジェクト化の推進の為)
- 5) オブジェクトの調査とクラス定義、(プログラム生産性、保守性の向上のため)
- 6) ネットワーク監視体制の充実、(信頼性、セキュリティーの確保目的)

以下、これらについて図示し (図3)、概要を述べる。

4. サーバーでの改良

MS-Netの時代から (具体的にはDSLINK (富士通) を採用した)、NetWare (ノベル) に移行してきた。理由として、DSLINKでは、比較的不明なトラブルが多く、かつシングルベンダーネットワークであった事で、一方、NetWareはマルチベンダーネットワークで、マルチプロトコルサポートも運用出来、クライアントの管理が強化されている事が上げられる。必要な台数のクライアントをより高速で運用し、必要な機能を得る為に、サーバーの強化と信頼性の向上を計った。これまでのPCサーバーから専用機サーバーに変更し、非常電源の設置、ハードディスクアレーによる、ミラー及びデュープレックス運転、マルチサーバー運転を狙った。新規サーバーは既存システムと混在した構成で運転する (図3)。NetWare 4.01のサポートは現在国内では、ほとんど不可能な為、アップグレードに遅れを来たした。十分立ち上がる前に、さらに高速なCPUの出荷がアナウンスされるなど、その進歩 (図2) は止まることを知ら

ないが、今後数年間は今回導入したサーバーシステムで安定運転が可能であると考えている。

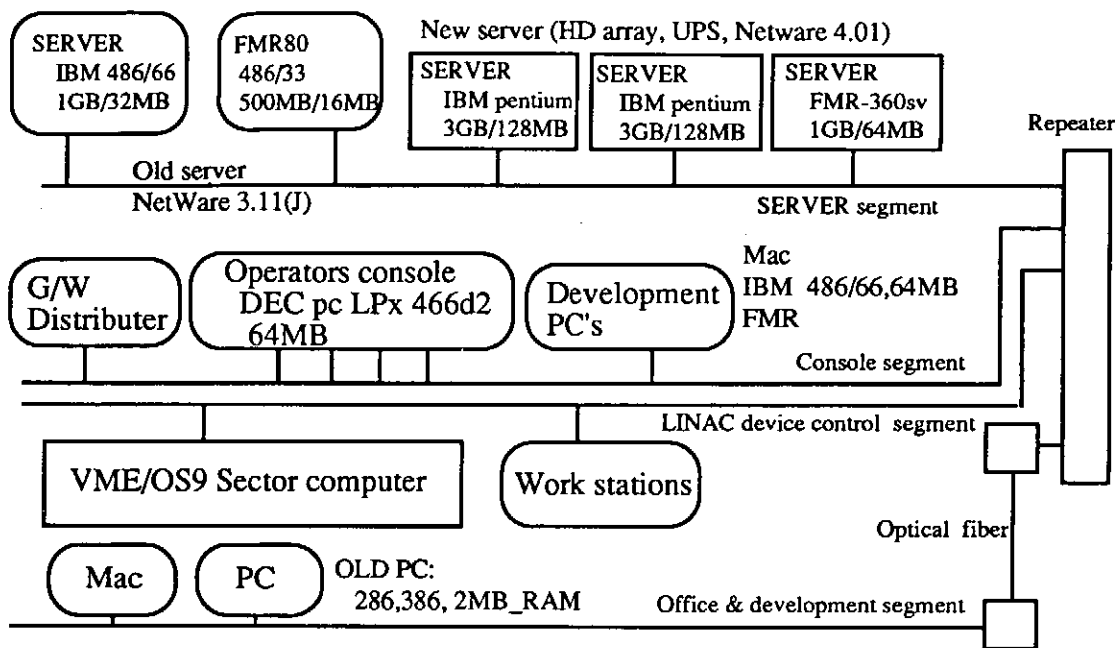


図3 加速器ヒューマンインターフェースセグメント図

5. クライアントでの改良

操作系セグメントは、クライアントとして機能別に制御卓用PC、開発ステーション、ゲートウェイ (G/W)、デバイスコントローラPC等で構成している (図3)。これまでのDOSマシンをWindows用に運用するためには、メモリ空間、処理速度の点で問題があるため、CPUを486以上に更新し、メモリも必要なサイズまで増強し、バス、イーサネット、ビデオカードの選択について吟味した。DSLINK時代にもWindowsのテストは試みて来たが速度的に満足出来るものでは無かった。現在の環境においては、かなり満足出来るものになり、良好な運転をしている。その上でのソフトの工夫も可能になってきた。以下概要を述べる。

5-1. 制御卓OS (Windows)

放射光LINACでは、従来、専用描画ドライバー (MOS-9500) から、OS無しPCへ、そしてDOSのPCによる描画システム等と更新してきた。最近までCPUとしては、386/25MHz等の条件下で運転してきた。シングルタスクの為、プログラムアレーをChainで切り替え、各プログラムは、立ち上げ時にサーバーからダウンロードし、RAMメモリに展開した為、プログラム切り替えは比較的高速であった。1993年後半からは、徐々に486/66MHzのCPUに切り替え始め、Windowsの疑似マルチタスク上で各種アプリケーションが運転出来るようになった。しかし、これまでのシングルタスク用ピア通信は不都合が生じてきた。制御卓にはシングルユーザー・マルチタスクが便利である事も多いため、OS/2, NextSTEP, Windows NT等のOSを検討し始めた。現在、比較データを取れる様に環境準備を進めている。今後さらに特徴的なOS (Chicago, CAIRO, WorkPlace) 等によって、益々幅広い高度な応用運転が期待できる。速度的問題は、今後ハードの進歩で補えると方向 (図2) が明白である。1993年のミニコン更新時には、10年以上運転してきた古いリアルタイムOSより、最近のDOSが速度的に上回った事をPCシステム構築で既に実際確認できた⁴⁾。

5-2. 加速器関連オブジェクト

Visual-BASIC は、Windows 操作言語として、便利で学習コストが低く、簡単に運用できる等の特徴をもつ。既にBASICを知っている人ならば、一般に半日以内のレクチャーで十分学習でき、その後は、ON-LINE Help で十分スキルを高めていく事が可能になっている。X-Window 等とは比べもにならない程、生産的かつ容易である。高速マシンを使えば描画速度もかなり満足出来、今後ハードの進歩(図2)で益々高速化されることが、現時点でも明白であり速度の点では心配はない。従って、画面の分解能についても益々向上する事必至である。

ソフトにも運用寿命を設定出来れば、最適投資が見えてくる。最近、ハードの進歩に加え、運用しているシステム、アプリケーションもすぐに陳腐化現象がおき1~2年で古くさいものになってくるなど、結果的ソフトの運用寿命が短くなってきている。そのバージョンアップもめまぐるしく、また乗り換えも頻繁であることから保守の手間は以外に減少化傾向にはない、むしろ増大傾向に有ると言える。そこでは、最適投資の考え方が重要になってくる。加えて高生産性、柔軟性、保守性が重要である。これらの観点から結果としてVisual-BASIC for Windows (VB) を選んだが、その運用におい最も重要なのが、VB が提供しているOBJECT の考え方である。単にWindow を容易に作成出来ると言うより、我々は、そのOBJECT の運用に注目した。手続き型記述より普遍的なオブジェクトを分析抽出し可能な限り抽象化されたモジュールを作成する事が最適であると考えた。VB のイベントドリブン方式では、各種のメッセージによって独立したイベントを駆動できるが、継承関係に弱い欠点がある。

5-2. 上位クラス構築

上記の理由からクラス間の継承関係を実現する事及びVBのサイズの制約を解決するため、VBとのリンクが可能であるVisual C++を採用することにした。加速器の構成要素を分析する手法や一般的ツールについては、平成6年度に再検討する事にしているが、とりあえずスーパー/ルート・クラスと下位クラス構造の構築を進めた。ユーザーは最終オブジェクト(インスタンス)だけをVBの上で操作し、面倒な通信やファイル管理等一切知らずに出来る様に、プログラム開発負担の軽減を目標とした。ライブラリー、関数を呼ぶ手法ではなく、上位クラスからの継承によって最終的にはインスタンスのみを操作すれば良いと言うツールの様な環境整備を目標としている。クラス階層においてネットワークに分断される場合は、メッセージパッシングのみによって通信する階層分けを行う事にした。

6. まとめ

Windows 下でのアプリケーション等に於いては、かなりの改善が見られた。しかし、サーバークライアント・スタイルによる加速器ヒューマンインターフェース・ネットワークの改善のいくつかは、スケジュールより遅れ平成6年度にかかった。今回はシステム改善概要のみ報告し、各種の性能データについては、次回のいずれかに報告を行う予定である。

参考文献

- 1) NetWare System for the PF LINAC console. 阿部勇、他 リニアック研究会 1992年9月
- 2) プロトタイプの実用化. 阿部勇、他 第14回分子研研究会、平成5年3月11日 P.246
- 3) 日経コンピュータ. 1994年4月18日 P.30
- 4) PC-Based Device-layer Control System in the PF LINAC. 阿部勇、中原和夫、武藤正勝

Proceedings of the 18th Linear Accelerator Meeting in Japan Tsukuba 21-23 July 1993 P.335

PF低速陽電子源における制御システム

高エネルギー物理学研究所

白川明広、榎本收志、栗原俊一、
小林 仁、設楽哲夫、中原和夫

1. はじめに

本所の放射光実験施設 (PF) 2.5-GeV 電子・陽電子線形加速器は、放射光リング、トリスタンリングへのビーム入射を目的とした施設であるが、入射時以外の空き時間を有効利用して、低速陽電子を発生させて物質科学研究に供するための実験装置の整備を進めている[1]。装置の概略を述べると共に、装置の制御系について、特に、遠隔制御用プログラムのオブジェクト指向プログラミングによる改善を試みたので、これについて記述する。

2. PF低速陽電子源の概要

一般の低速陽電子源では、陽電子発生源として放射性同位元素を用いているが、陽電子顕微鏡のように大強度の陽電子ビームを必要とする実験には困難が伴う。PF低速陽電子源 (図1) では、加速器を用いて $10^9 e^+/s$ の陽電子ビーム強度を達成することにより、この実現を目指すと共に、この大強度陽電子ビームを種々の物質科学研究に供しようとするものである。PF低速陽電子源では、2.5-GeV 電子線形加速器からの電子ビームを一次ビームとして使用する。陽電子発生用の標的は、既設の建物を利用する関係上、加速器の終端部に置き、これに 2.5-GeV の電子ビームを当てる。標的は 5 放射長の厚みの水冷されたタンタルと 13 枚のタングステン箔 (厚さ 25 μm) で出来ている。電子線形加速器からの電子ビームがタンタル標的の中で制動放射による γ 線を発生させ、これによる電子・陽電子対生成で放出された陽電子ビームは、タングステン箔の減速材で熱化した後に、低速陽電子ビームとして再放出される。生成させた低速陽電子を効率良く引き出して次の輸送路に送り出すために、メッシュとシリンダーから成る静電レンズ系を設けている。低速陽電子輸送路は、地下の発生部から地上の実験エリアまで約 30m にわたる。輸送用のビームパイプには、直巻きコイルおよびヘルムホルツコイルによりソレノイド磁場がかけられている。パイプは内径 60mm で、ICF114 のフランジにより接続されており、パイプとパイプの接続部には補助コイルを使用し磁場が途切れないように注意した。これにより、ビームライン全体がほぼ均一なソレノイド磁場となり、低速陽電子はこの磁場に巻き付けられて輸送される。又、適当な箇所にステアリングコイルを設置し、ビーム軌道を補正している。陽電子輸送路のうち、最初の 10m の直線部には陽電子を直流化する装置が設置される。又、標的から直流化装置に至る部分は最大 60 kV に昇圧が可能である。このため、昇圧させる部分の機器を遠隔制御する必要があり、シーケンサーとパーソナルコンピュータ (以下「パソコン」と言う。) とで制御システムを組んでいる。そこで動作させる制御プログラムのオブジェクト指向プログラミングでの改善を図ったものであり、これについて後に詳述する。

輸送路には 2 m 毎に排気速度 60 l/s の

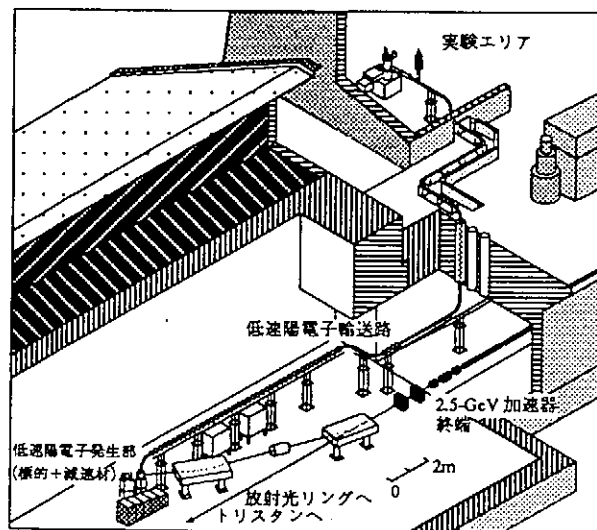


図1 PF低速陽電子源全景

イオンポンプを設置して、 2×10^{-7} Pa 程度の真空度に到達している。輸送路の最終端部には、ソレノイド磁場による集束系から静電集束系への変換装置を置く。陽電子の再放出顕微鏡等への応用を考慮して、高輝度化装置を設置する。実験室のビームラインは、現在は1本だけであるが、将来は複数の実験装置にビームを切換入射可能なシステムを設置する。実験装置としては、2光子角相関測定装置や再放出顕微鏡の基礎実験装置を準備している。

1993年12月現在、およそ10Wの電子ビームを標的に入射して、実験室で 4×10^4 e⁺/sの低速陽電子が得られている。これは、単位ビーム電力当りの陽電子数に換算すると目標値の1/20にせまった値であり、減速材に熱処理等を施していないことを考えれば、最終的に、一次ビーム電力30kWで目標値 2×10^9 e⁺/sの低速陽電子を得ることは十分可能と考えている。

3. PF低速陽電子源の制御系

PF低速陽電子源の制御対象物には、冷却水循環装置、陽電子生成部の陽電子引き出し用高電圧電源や、陽電子輸送用コイル電源、イオンポンプ電源、陽電子ビームモニター駆動系などがある(表1)。原則として、電源類やコントローラをまとめて実験室エリアに置き、輸送上のコイルやポンプ等と個々に長いケーブルで結び、個別に操作している。

しかし、高電圧電位に昇圧される部位の機器については、手動での直接的な操作が不可能なため、シーケンサーを介して遠隔操作を行っている。すなわち、関係機器をシーケンサーと共にまとめて高電圧ステーション内に組み込み、光ファイバーモデム、より対線を介して、接地電位側のパソコンと接続している(図2)。パソコンとシーケンサーの間は、JIS C6361-1971規格の電気信号を途中で光信号に変換し、調歩同期式、速度9600 bit/sで通信を行っている。パソコン上に、操作命令の内容に応じて通信文を作成するプログラムを構築した。

4. 遠隔制御用プログラム

遠隔制御プログラムは、Microsoft Visual Basic (MS-DOS版)を用いて作製した。Visual BasicではWindows-likeな画面を作るためのツールが用意されており、容易にグラフィック画面を作製できる。また、イベントドリブンプログラミングであり、イベント毎に、行われるべき手続き(プログラム)を関係づけて記述するので、プログラムは必然的に構造的になる。イベントの例として、操作プログラム画面上の「出力ON」というボタンをマウスクリックすると「マウスクリックイベント」が発生し、これに付帯しているソースコードが実行されて、電源出力をONにするための通信が行われる。

今回作製した制御プログラムでは、高電圧電源操作、ソレノイド操作など、各種機器毎にウインドウを用意し、同一種類の機器の操作ボタンをまとめて1つのウインドウ内に配置している。プログラムは合計10枚程度のウインドウから成る(図3)。その中には互いに類似し

表1 制御対象機器一覧

被制御機器名	用途	接地側	高電圧側(遠隔制御)
冷却水循環器制御器	冷却水循環ポンプ用	1台	—
高電圧電源	陽電子引き出し用	—	4台
直流定電流電源	ソレノイドコイル用	18台	12台
直流定電流電源	ステアリングコイル用	25台	6台
イオンポンプ電源	150 l/s ポンプ用	—	1台
〃	60 l/s ポンプ用	8台	—
エアシリンダ制御回路	ビームモニタ入/出	4台	1台

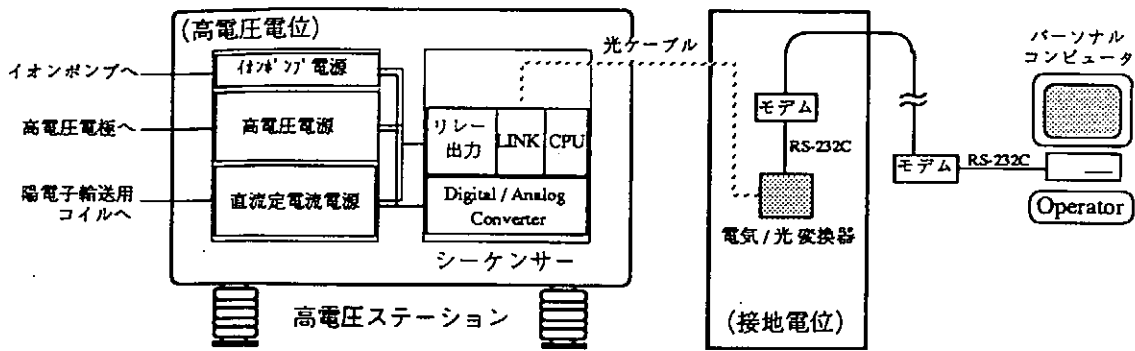


図2 高電圧部機器の遠隔操作系構成図

たウィンドウもあるが、作製は個別に行い、内部構造の共通化は徹底してない。この意味で、開発時の効率は良くなかった。また一方では、あるウィンドウ内での動作が他のウィンドウの状態に依存したり、他のウィンドウの中身を変更してしまうといったケースもある。更に、ウィンドウ相互間のみならず、1つのウィンドウ内のイベントルーチン相互間も独立性が良くなく、あるイベントの発生が他のルーチンの動作に影響を及ぼすケースがある。

こうした状況下では、プログラムを修正/拡張する場合に、関連する箇所すべてに手を加えねばならず、煩雑になる。このように構築したプログラムは、実行時には特に問題はないので、現在も継続して使用しているが、将来、変化に対応しきれなくなる事態は十分予想される。

5. オブジェクト指向プログラミング (OOP) の導入

上述のような問題点を解消するために、OOPを導入し、より扱い易くすることを狙った。その際に、使用アプリケーションをVisual BasicのMS-Windows版に変更した。これは、グラフィックの解像度が高い、開発環境がより良い等の利点を持つためであるが、MS-DOS版でOOP化が図れないということではない。OOP化として具体的に行った処置は、以下のような事である。

1つの操作ウィンドウを1つの「オブジェクト」と見做し、他のオブジェクトとの相互干渉をなくす（「隠蔽」を良くする）。オブジェクト（ここではウィンドウ）同士は、メッセージのやり取りをするだけにする。メッセージには、データ（変数）や、動作の命令などが含まれる。これを達成するために、メッセージ受渡しに用いる変数を、送り手と受け手のオブジェクトだけが認識できるように適用範囲（スコープ）を設定し、かつ、受渡し以外には使われない

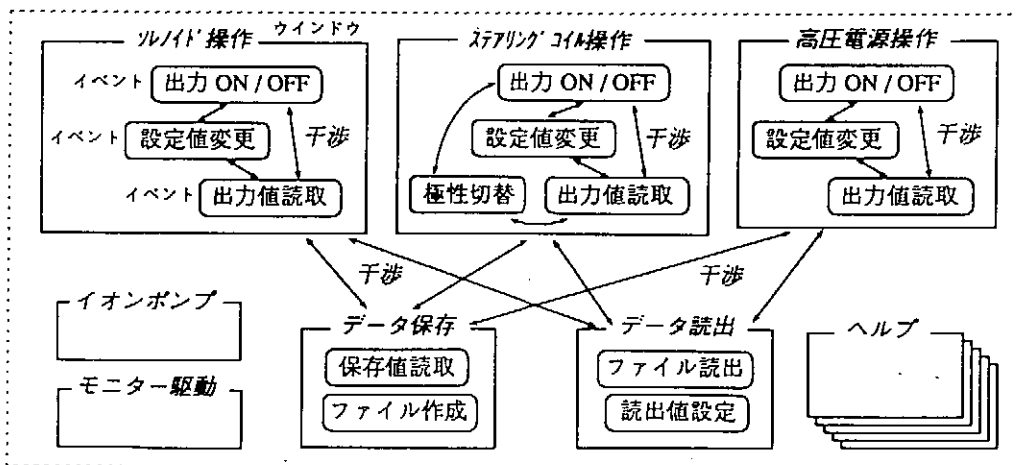


図3 改善前の遠隔操作通信プログラムの構造。オブジェクト間で（ウィンドウ同士、イベント同士で）相互に干渉している。

ようにした。更に、互いに類似したウインドウ同士は、中身を可能な限り共通化して、1つの「クラス」として括った。例として、ソレノイド電源とステアリングコイル電源は、ハード自体は同一であり、設定電流値の大小や極性反転の有無といった相違（プロパティの差異）しかないので、両者は同じクラスに属する（=同じ「親」から派生した）と捉えることができる（図4）。プログラムコード中の変数はグローバル変数でなく、スコープ付きローカル変数のみ、というのは留意すべき点である。以上のような改良を行った結果、プログラムの修正、変更、拡張等の作業性が良好となり、かなり取り扱い易くなった。

理想的には、同一種の電源全部を1つのオブジェクトとしてまとめて捉えるのではなく、電源1台を1つのオブジェクトとした方が、より徹底したOOP化をしたことになる。しかし、オーバーヘッドが大きくなり、コンピュータの記憶容量、メモリの制限から現時点では好ましくない。仮に実施できたとすれば、電源の台数の増減には、クラス内でのインスタンスの単純な増減で対応できるし、電源仕様の変更の場合には、親クラスの内容を改訂するだけでインスタンスの内容も自動的に改訂される。但し、Visual Basicでは、この「継承」の概念が弱いので、実際には今少し手数が要る。

6. まとめ

2.5-GeV線形加速器を利用した低速陽電子源の整備を進めている。その概要について、制御システムに重点を置いて記述した。装置の中で、高電圧に昇圧する部分の機器を遠隔制御するためのシステムを構築し、オブジェクト指向プログラミング（OOP）への改良を試みた。使用する言語（Visual Basic）の限界（継承機能が弱い）という理由から、満足できるOOP化は難しいが、ある程度のレベルまでは達成でき、プログラムの生産性、保守性、信頼性、拡張性が大きく改善された。

参考文献

- [1] 榎本他、PF低速陽電子源建設報告（1）、KEK Report 93-13, December 1993.

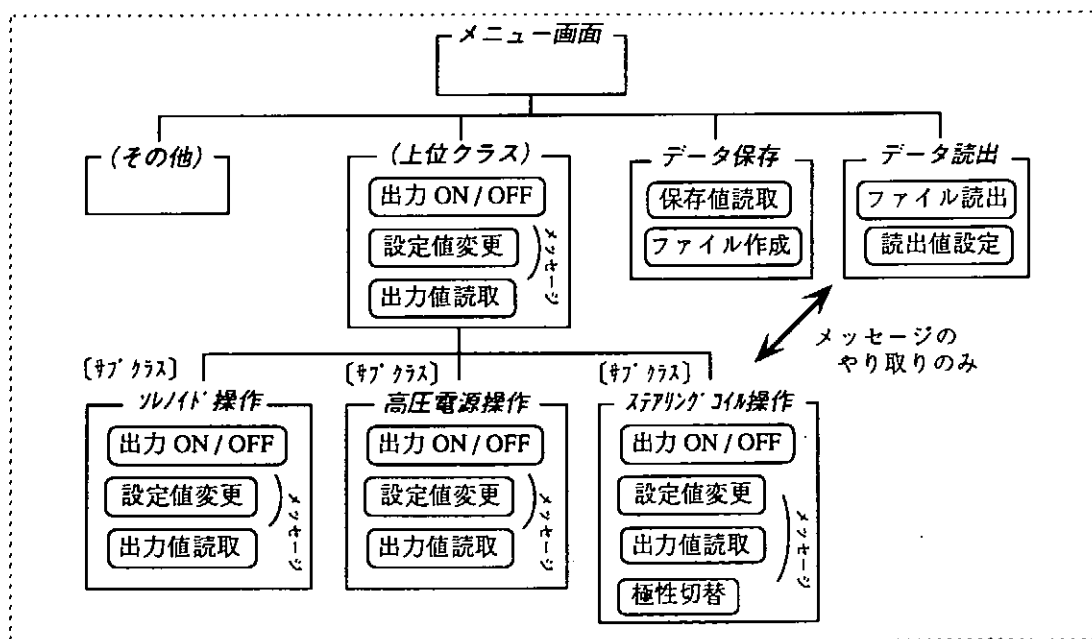


図4 OOP化後の遠隔操作プログラムの構造。オブジェクト、クラスといった概念を導入し、オブジェクト間の隠蔽を良くしている。

Visual Basic を使用した加速器制御

高エネルギー物理学研究所 陽子加速器制御
濁川和幸、門倉英一、秋山篤美
石井和啓、加藤直彦、中川秀利

1. はじめに

陽子加速器の制御システムは、主にVME計算機を用いて、またマンマシン・インタフェースに中央制御室に設置したタッチパネルを使用して、陽子加速器の各種制御を行っている。この程、前段加速器の各種電磁石の電源制御を従来のミニコンからVME計算機に置き換える作業を行った。置き換えに当たっては、中央制御室での電源制御を可能にし、さらに従来同様に側室と呼ばれる電源の設置してある部屋でも電源制御を行う必要性が出てきた。その際側室に置くマンマシン・インタフェースにタッチパネルではなくMS-Windowsを使用した。この時のプログラム開発に比較的容易にWindowsのプログラムを作成できるVisual Basicを使用した。

2. 構成

2.1 ハードウェア

ハードウェアの構成は、図1に示した通りである。VME計算機とマンマシン・インタフェースを司るPC/AT互換機とは、RS232Cで接続されており、通信速度は9600bpsとなっている。VME計算機とCAMACは、Kinetic社の2917 (VME側)、3922 (CAMAC側) を使用して16Bitの平行接続になっている。通信速度はカタログ値で950Kb/secである。今回の変更は、PC/AT互換機からCAMACモジュールまでの間でそれ以降は、従来通りにCAMAC間は、光通信によるシリアルリンク、CAMACと電源のコントローラ間は、光通信による1553B仕様のシリアルリンクになっている。ちなみにVME計算機は、MAP (Manufacturing Automation Protocol) と呼ばれるネットワーク・システムで相互通信を行っており、PC/AT互換機はMAP上のどのVME計算機 (シリアルポートを持っている計算機) にも接続できる様になっている。

MS-Windowsを動かすための、PC/AT互換機の仕様は、CPU 80486(33MHz)、RAM 16MBytes、ハードディスク 150MBytesのもので、ブックサイズのデスクトップ型である。モニタは、14インチのマルチスキャン・モニタを使用している。Windowsの画面サイズは、800ドット×600ドットで使用している。

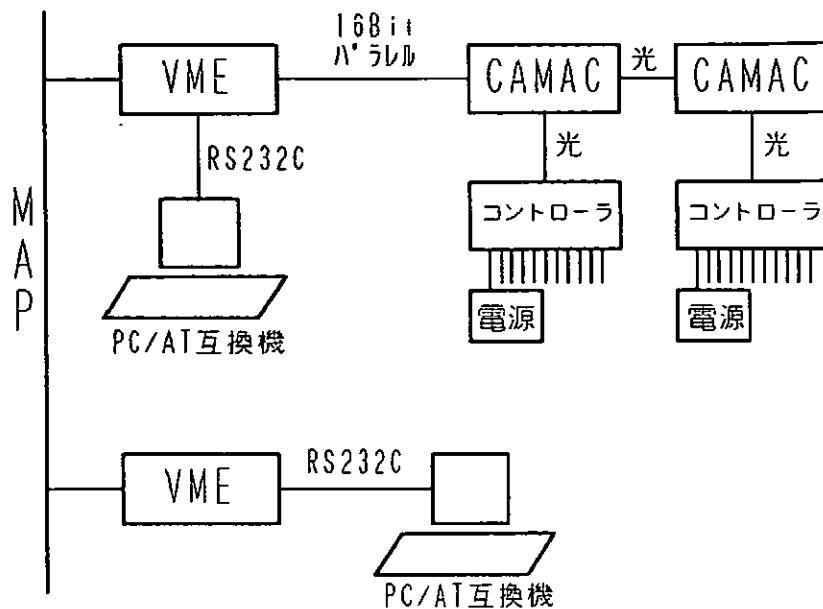


図1.ハードウェア構成

2.2 ソフトウェア

PC/AT互換機上にWindowsから行った指示は、RS232Cを通じてVME計算機に伝わり、VME計算機側では、VME計算機上のプログラムである、“GPTE”（タスク名、以下同）と呼ばれるプログラムに取り込む。“GPTE”は、ネットワーク（MAP）を通じて同じくVME計算機上のプログラムである“POLB”に指示を出して、それを受けた“POLB”がCAMACモジュールに命令を送って電源の各種制御を行っている。電流値等の読み返しは、VME計算機上のプログラムである“POLB”が一定時間毎に監視をして、変化があったときだけ上記と逆の経路を辿ってPC/AT互換機上に表示される。

3. Visual Basic

3.1 プログラム開発

Visual Basicは、MS-Windows上で動作するプログラムを比較的容易に作成するためのプログラム開発言語である。今回は、英語版のVer3.0 Professional Editionを使用した。Visual Basicでのプログラム作成の流れは、FORMと呼ばれるWINDOWの窓に、ツール・ボックスよりコマンド

ボタン、テキストボックス等のツール類を選び、マウスで配置していく。各個の配置は、ちょうどお絵書きソフトウェアで、絵を書いていく感覚である。ツールには、プロパティ・ウインドウがありボタン類の色、フォント、文字の大きさ等の細かな設定が行えるようになっている。実際の実行ベーシックのコードは、ツール類をダブルクリックして現われる、コード・ウインドウに、記載していく。Visual Basicは、以上の繰り返しでプログラムを作成していく。デバッグは、インタプリタで行える。この時に、デバッグ・ウインドウが表れ各種デバッグが出来るようになっている。また、Visual Basicは、コンパイルすることにより、EXEファイルを作成することも出来る。これら一連のプログラム開発作業中にWindowsの詳しい知識は特に必要とされない扱いやすさが、Visual Basicの最大の特長であり利点である。このプログラム開発環境があったからこそ、マンマシン・インタフェースにMS-Windowsを選んだといえる。

3.2 電源制御プログラム

実際にVisual Basicで作成した制御画面は、図2の通りである。制御対象の電源数が多いので、FORM上にセルを配置してまとめて電源の情報表示を行い、各電源の設定にはセル上をクリックして表れる、別のFORMで行う。全体的な動き、例えばすべての電源のOFF等は、画面上部にFORMを用意して、そこで行えるようになっている。データ等の保管や読み出しも同じFORM上で操作が行える。

4. 問題点と将来

4.1 問題点

現在、実際の制御に使用されているが、反応速度の遅さが使用者から指摘されている。現システムでの反応速度は、電源のON/OFFで2～3秒程度、電流値等の設定で4～6秒程度となっている。この電源類は、従来からのタッチパネルによる制御方法も使用できるが、タッチパネルによる反応速度は、WINDOWと比べて約1.5倍である。解決策としては、以下の対策を試みている。まず第1に、VME計算機とPC/AT互換機の接続方法の見直しである。これは、今のRS-232Cの通信速度を9600bpsから19200bpsにあげることや、接続方式そのものをBus接続に変更して、通信速度をあげることなどである。第2にPC/AT互換機のグラフィック処理速度の効率アップである。これは、表示処理の効率アップを行ってプログラムの速度をあげようという考えである。どちらも平行して作業を進めている。

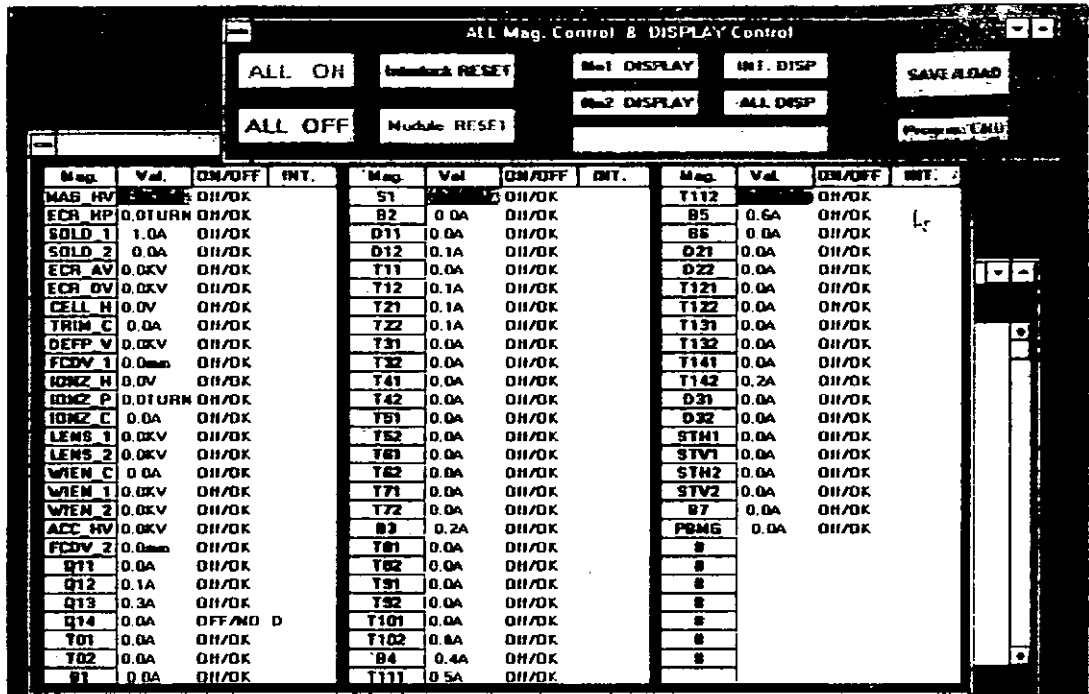


図 2.電磁石電源の制御画面

4.2 将来

個人の好みにもよるが、Windowsをマンマシンインターフェイスに使用した制御が好評であるので、PC/AT互換機を中央制御室の制御卓内に組み込み加速器制御を行なうことも考えている。この時に使用するPC/AT機は、デスクトップよりも19インチラックに収まるFA用PC/AT互換機かVMEbus型のPC/AT互換機を考えている。また、プログラム開発環境は、Visual Basicはもちろんのこと、より高度な処理を実現するために、Visual C++やBorland C++等のWindows対応言語を使用していくことになると思われる。

【参考文献】

1. ピーター・ノートン et al. : (株) カットシステム Visual Basic 2.0 Windows版
2. H.KOMADA et al. : KEK Proceeding of the Meeting on Engineering and Technology in Basic Research (p157-p160)

東海地区学術ネットワークの整備

名古屋大学大型計算機センター
瀬川 午直
segawa@naha.cc.nagoya-u.ac.jp

1. はじめに

名古屋大学では、平成元年度より3カ年で名古屋大学キャンパス情報ネットワーク(NICE)の建設が始まった。NICEの敷設により学内の情報ネットワークとしての通信基盤が整備され、各学部、学科等が直接相互通信できるようになった。4カ所にまたがる各キャンパス間の通信も東山キャンパスと専用デジタル回線(192Kbps-1.5Mbps)で接続されている。

一方、学外に目を向けてみると、名古屋大学は、JAIN(Japan Academic Inter-university Network)に参加し、LAN間接続実験を行ってきた。JAINとは、学術情報センターのX.25パケット交換網を利用したX.25上でのIPによるLAN間接続実験である。平成4年度からは、学術情報センターによる「学術情報ネットワークインターネット・バックボーン」(SINET)が運用ネットワークとして開始された。このように、広域ネットワークが整備され、東海地区の大学等にもLANが構築されると、次にLAN間接続が予想される。

本センターは、第4地区のノードセンターでもあり、東海地区におけるネットワークの中心的役割を果たす必要がある。このため、平成4年度から東海地区の大学等のインターネット接続のための環境整備を行ってきた。ネットワーク環境の整備について振り返ってみると、大きく次の3つに分類できる。

- ・ JAINの時代(平成元年8月～平成4年3月)
- ・ JAINとSINET共存の時代(平成4年4月～平成5年3月)
- ・ SINETの時代(平成5年4月～)

この報告は、これらの3つの時代に整備した作業と今後の計画について述べる。

2. JAINの時代(平成元年8月～平成4年3月)

名古屋大学におけるインターネット(JAIN)への参加は、平成元年8月に九州大学大型計算機センターとのLAN間接続試験から始まる。JAINは各地区にNOCを構成し、東海地区は、本センターがJAIN-NAGOYAを引き受けている。図1は、NICEが完成した頃のネットワーク接続図である。X.25接続のうち、愛知教育大学は、岡崎共同研究機構に設置された学術情報センターのノードに接続している。

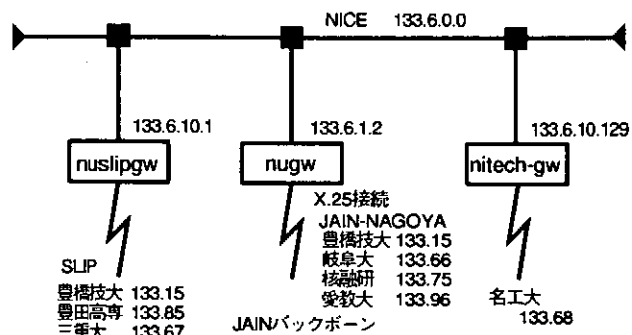


図1 JAIN接続図(平成4年3月現在)

3. JAINとSINET共存の時代（平成4年4月～平成5年3月）

(1) バリアセグメントの設置

SINETは、4月の運用開始と同時に、一部の大学との通信に利用しているが、まだSINETへの全面移行には問題が残る。しかし、今後はSINETへの移行が予想されるため、早急にLAN間接続のための環境整備をする必要がある。また、NICEはサブネットを使っていないので、学外組織間の通信がNICEの幹線を通る可能性がある。このため、学外接続用バリアセグメントを設置し、NICEとはプロキシ-ARPを使ってサブネット化し、ルータにより通信パケットを分離することにした。バリアセグメントにはSINET参加のための近隣大学接続用集合ルータ（chikusa）を設置し、新たにLAN間接続をする場合には、集合ルータに接続することとした。他のネットワーク組織との接続もすべてバリアセグメントに接続する。なお、NICEとの接続用ルータおよび集合ルータには、大型汎用機の利用者の便宜を図るため、FNAブリッジ機能を搭載した。

また、接続に当たっての規則の整備や事務手続きを定め、10月には、東海地区の大学等に運用方針について説明会を行った。11月にバリアセグメントの設置と各種ルータの設定を行い、本センターに設置されている3台の対外接続用ルータをバリアセグメントに移設した。バリアセグメントの接続構成図を図2に示す。

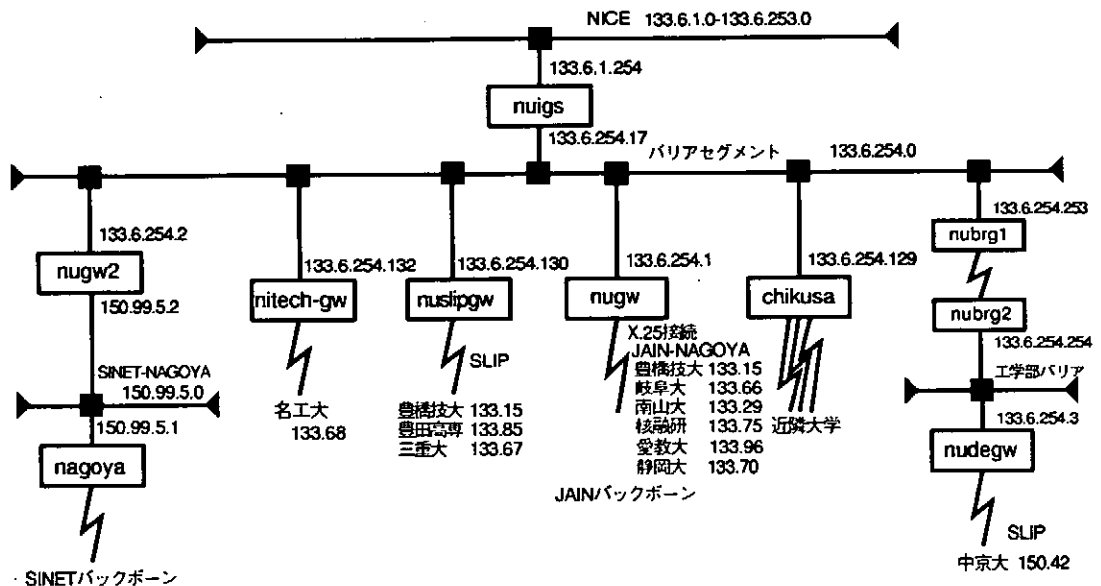


図2 バリアセグメント接続構成図 (平成4年11月現在)

(2) 集合ルータへの接続

11月で近隣大学等LAN間接続のための環境整備が終了した。集合ルータへの接続が始まると、バリアセグメントにJAINとSINETのメインルートが流れることになり、各ルータで設定が必要になる。12月に入り、新たに2組織を集合ルータに接続し、3月までに4組織をX.25接続およびSLIP接続から集合ルータに移行した。SINETと他のネットワーク組織との調整が進んだことから、3月29日をもってJAIN-NAGOYAを解散し、SINET-NAGOYAに引き継ぐこととした。解散時の接続状況は、JAINが5組織、SINETが7組織であった。

4. SINETの時代（平成5年4月～）

3月30日にメインルートをすべてSINETに切り替え、SINET-NAGOYAを立ち上げた。4月に入り、バリアセグメントとNICEを区別するためにBクラスのネットワークアドレス（133.6）からCクラスのネットワークアドレス（192.50.56）に変更した。また、NICEとだけ通信をするような特定の研究分野のネットワーク組織を接続するために、新たに学内用バリアセグメント（192.50.57）を設置し、ここにHEPnet-Jを接続した。このように接続形態によりセグメントを分離するとネットワークの管理がしやすくなる。10月には、学術情報センターのSINETルータがchikusaと同じ集合ルータに置き換えられた。11月にSINETルータに東海インターネット協議会（TIC）を接続し、今までchikusaに接続されていた南山大学がTICに経由に接続変更された。従来からのX.25接続およびSLIPによる接続はすべて集合ルータへの専用線接続となった。現在のネットワーク接続状況を図3に示す。

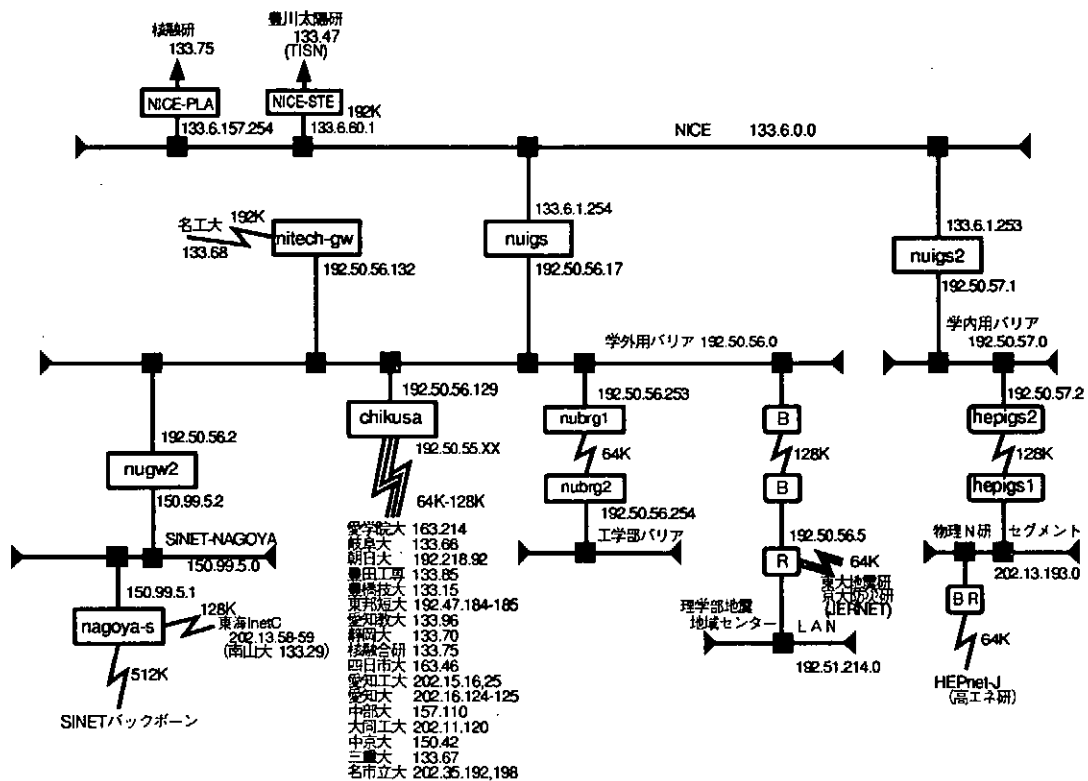


図3 東海地区学術ネットワーク接続図（平成6年4月現在）

5. 今後の増強計画

図3に示すとおり、集合ルータには現在17組織が接続されている。8月までにさらに5組織の接続を予定している。chikusaは、最大20ポートまで用意されており、早急に2台目の集合ルータの導入について検討する必要がある。また、学術情報センターの通信回線やネットワーク機器の増強計画も予定されており、これらの状況をふまえてNICEの機器拡充も考えていかななくてはならない。学外用バリアセグメントの packets 通過量が今後さらに増えることが予想されるため、学外用バリアとしてFDDIを敷設し、FDDIに直接集合ルータを接続する予定でいる。（図4）

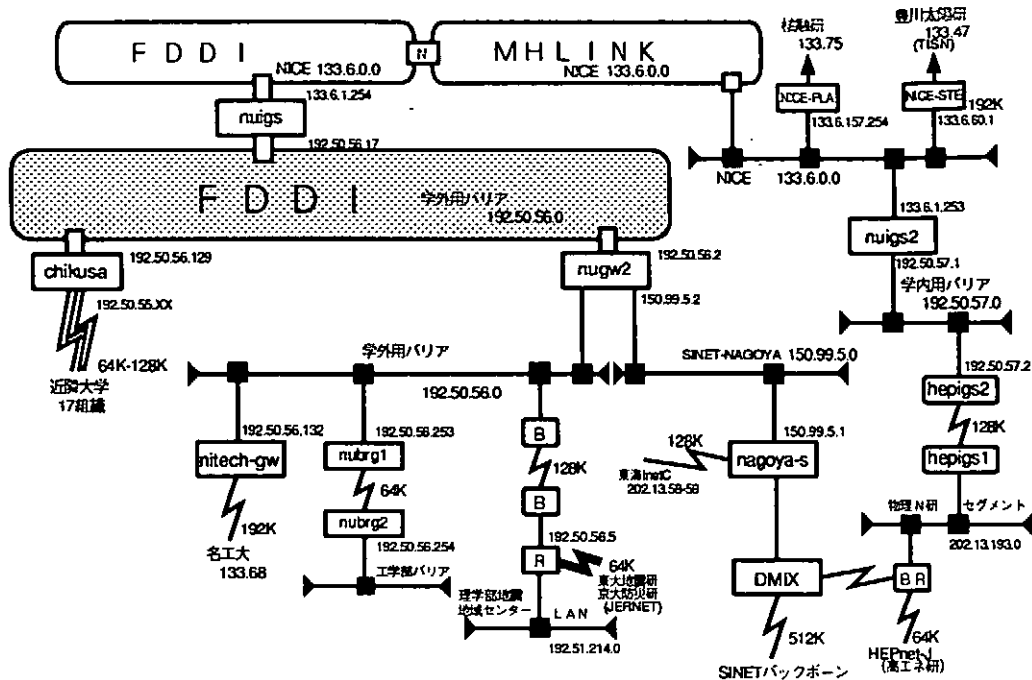


図4 FDDIバリア構成図 (案)

6. おわりに

SINETの運用が始まってから2年間のLAN間接続のための環境整備についてまとめてみた。LAN間接続については、本センターでのネットワーク機器の管理や設置スペース等を考え集合ルータを設置することにした。接続側から見ると名大側に設置するルータを購入する必要がないというメリットがある。設置した集合ルータは、マルチプロトコルで接続でき、FNAプロトコルが利用できるという特徴がある。従来からのネットワーク接続とTCP/IP接続を統合することも可能であろう。

運用ネットワークへの参加となると、技術的な問題の他に事務的な問題も新たに生じ、事務処理のための規則も定める必要がある。学外用バリアは、NICE技術専門委員会が管理・運営し、接続に関して責任分解点等も明記している。

参考文献

- [1]山口由紀子、長谷川明生、浦部達夫、東海地区における大学LAN間接続について、名古屋大学大型計算機センター研究開発部研究報告No.18,pp.59-73(1992)
- [2]長谷川明生、山口由紀子、マルチポート・ルータの導入について、名古屋大学大型計算機センターニュースVol.23,No.4,pp.319-327(1992)
- [3]山口由紀子、長谷川明生、浦部達夫、NICEと外部組織とのLAN間接続について、名古屋大学大型計算機センター研究開発部研究報告No.19,pp.63-69(1993)

MSP上に作成したUNIX風コマンド環境

名古屋大学大型計算機センター
脇田 晋 弥

1. はじめに

ワークステーション等のUNIXシステムで使われているコマンドは、入出力のリダイレクト、パイプ等の機能も含め使いやすく便利である。そこで大型計算機のMSP (Multidimensional System Products) 上で使えるように幾つかのコマンドを作成した。この結果、MSPでUNIX風にリダイレクト、パイプ風の処理が行えるようになった。

2. 作成コマンド一覧

以下に記した15個のコマンドを作成した。

cal : カレンダーの表示をする。
cat : データセットの内容を出力する。
cp : データセットのコピーをする。
cut : レコードの特定の項目の削除をする。
echo : 引数文字列の表示をする。
grep : 正規表現を含む文字列の検索をする。
head : データセットの先頭の出力。
lpr : プリンターに出力する。
ls : データセットの一覧を表示する。
rm : データセットの削除。
sort : データセットの内容の並び替え。
tail : データセットの末尾の出力。
tr : 文字の置き換えをする。
uniq : 重複行の単一化をする。
wc : データセット内の語数の表示をする。

3. コマンド作成の方針

作成方針としては『UNIXシステムを利用しているユーザが、MSPでコマンドを使用したときに、違和感なく自然に使用できるコマンドを作る』を方針として、次のことを決めた。

・C言語を使用する。

これはUNIXコマンドのほとんどがC言語で作られているからで、MSPでもC言語を使うことにした。MSPのC言語システムは、実行時のオプションでリダイレクトの記号が指定でき、ファイルを入出力することが出来る。また、コマンドラインからのパラメータの受け渡しが、簡単に出来るようになる。

・複数のデータセットが指定できるコマンドでは、ワイルドカードを使ってデータセットの指定が出来るようにする。

・コマンドのオプションもUNIXのものと、同じ文字を使い、同じ指定方法で、同じ働きをするようにする。

・以上のことを考えて作成したコマンドで、UNIXシステムのパイプ風に行うことが出来る様にする。

4. MSPでの実現方法

UNIXとMSPではファイルシステムが違い、MSPではUNIXの様にツリー状のディレクトリ構造になっていない。データセットのワイルドカード指定をし易くする為に、データセットの指定方法をディレクトリ風にするに決めた。登録番号、区分/順データセット、メンバーをディレクトリ構造に対応

づけた。図1は、対応の表である。ルートディレクトリの下には、登録番号ディレクトリがあるものとする。各ユーザのカレントワーキングディレクトリは、自分の登録番号のところとし、登録番号ディレクトリの下には、各自のデータセットがあるものとする。区分データセットはサブディレクトリとして下にメンバーがあるものとする。

図2は、コマンドにデータセットを指定するときの、指定の仕方である。③の他のユーザのデータセットを指定する場合は、登録番号ディレクトリが違うものと見なし、/ (ルートディレクトリ) からのパス (登録番号ディレクトリ) を指定しデータセットを指定する。

ワイルドカード指定が可能なところは、データセット名とメンバー名のところとする。

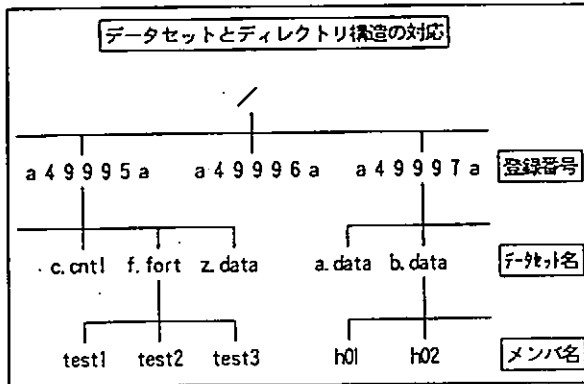


図1

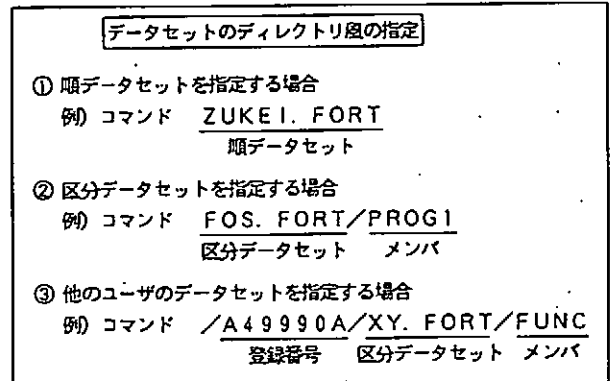


図2

4.1 ワイルドカード指定の方法

UNIXシステムでは実行されたコマンド文字列中に、メタキャラクタ文字が存在する場合には、シェルと言うUNIXのコマンドインタプリタがその記号を認識している。そのメタキャラクタが文字列の置き換えに使われている記号 (ワイルドカードキャラクタ) なら、その記号の含まれた文字列とマッチするファイル名に置き換えて、コマンドを実行している。

作成したワイルドカード指定のできるコマンドでは、コマンドの内部でデータセット名の置き換えを行っている。コマンドが実行された時に、まずMSPのカatalogエントリを読み、データセット名のテーブルをコマンド内に作成する。そのデータセットテーブルにデータセットパターンでマッチングの処理を行う。図3の例) の場合では、データセットパターンにマッチするデータセットは3つあるので、この3つのデータセットについて処理を続ける。

メンバー名も指定されているので、続いて3つのデータセットにメンバーのマッチング処理をする。順データセットについてはメンバー名が指定されているので処理を省くことになる。区分データセットについてディレクトリ情報を読み、メンバーテーブルをコマンド内に作成する。そのメンバーテーブルにメンバーパターンでマッチング処理を行う。図4の場合ではF2.FORTで2つのメンバーが、XY.FORTで1つのメンバーがマッチする。図4の例) のGREPコマンドでは、処理の対象となるデータセットは3つになる。

- ・ F2.FORT (MEM1)
- ・ F2.FORT (MEM2)
- ・ XY.DATA (MEMXY1)

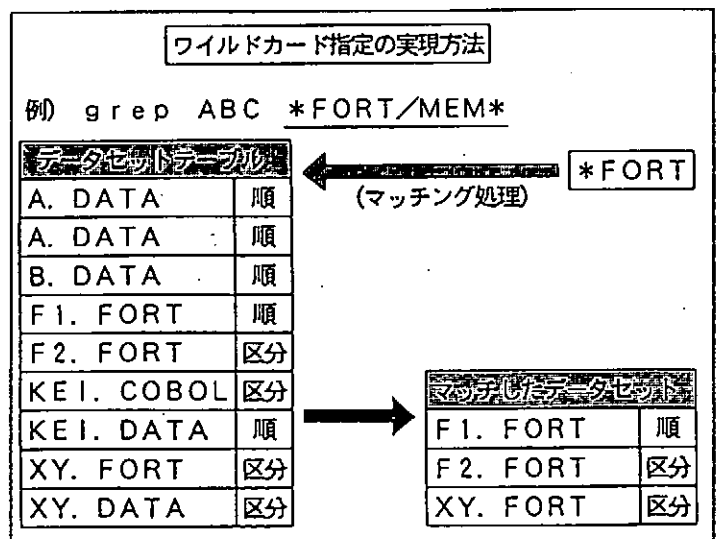


図3

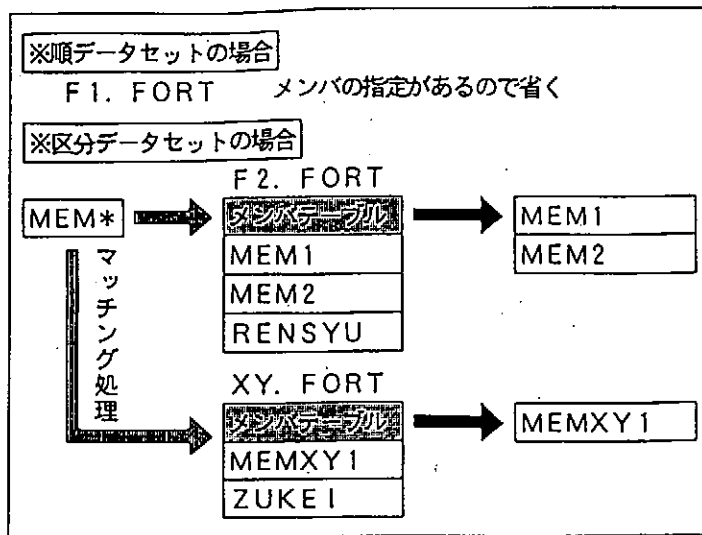


図4

4. 2 パイプ風処理の実現方法

パイプ風の処理機能を実現させる為、PIPEコマンドを作った。これは、コマンドインタプリタの様なもの、実行をすると入力待ちのプロンプトを出す。

パイプ記号をもちいたコマンドを入力すると、パイプ記号をプログラムで認識し、パイプ記号の前後でコマンドを分解する。図5の例) ls | headでは、lsとheadに分解する。lsコマンドを実行するが、この時出力をリダイレクトを使いインコアファイル(仮想記憶領域上でシュミレートしたファイル)に出力する。lsの実行が終わったらheadコマンドの実行をする。この時はリダイレクトを使いインコアファイルから入力する。これでコマンド列は終わりなので、headコマンドの出力は標準出力にする。これでパイプ記号を用いたコマンド列の実行は終わりである。インコアファイルは、ファイルを仮想記憶領域上でシュミレートしているの、高速な入出力を実現する。但し、コマンドは先頭のものから順に実行される為、幾つもパイプでつなげたコマンドの実行は時間がかかる。

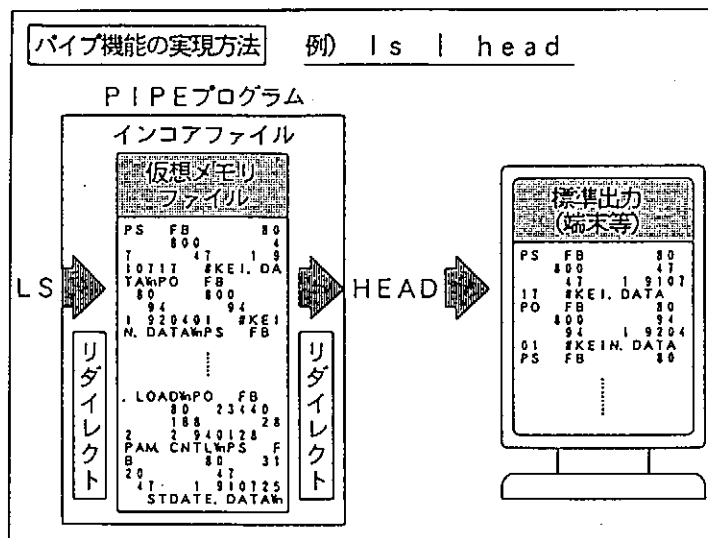


図5

5. まとめ

作成方針で決めたことは実現できたが、問題点としてデータセット数の多いユーザーでは、コマンドの実行速度が遅い。これはワイルドカード指定を可能にするためコマンド毎にデータセットのテーブルを作成するためだと考えられる。自然な感じで違和感なくコマンドが使えるのは、データセット数が50~600個位までである。

もう一つは、パイプ風の処理を行う時にはPIPEコマンドで処理モードを変えなければいけないことである。これは、パイプが使えるモードの中からは、MSPコマンドで使えないものがあるからである。

今後は、これらの問題の解決とコマンド数を増やしていきたいと考えている。

●参考文献

C言語使用手引書 : 富士通

UNIX systemV ユーザ活用ガイド :

S. G. コーチャン | P. H. ウッド著 玄 光男 | 荒 実訳

UNIX プログラミング環境 :

Brian W. Kernighan | Rob Pike 著 石田晴久 監訳

ILE-NETを利用した実験データ処理について

大阪大学レーザー核融合研究センター

○島田京子、藤井丈暢、斉藤昌樹、福田優子、和田幸裕、坂上仁志、大西芳紀、児玉了祐、睦地 宏、加藤義章、西原功修

1. はじめに

大阪大学レーザー核融合研究センターでは、平成3年5月よりEthernetをベースとした部局内LAN（通称ILE-NET）の運用を開始した。

ILE-NETでは、ファイル転送、仮想端末機能、所内・所外間の電子メールといった一般的な利用法だけでなく、実験スケジュール管理システムや実験データベースへの自動登録等、センター独自の利用もされている。

ILE-NETの特徴として、異機種間のデータ共有、実験データの高速転送、ファイルサーバーを用いたデータの一括管理等が挙げられるが、これを利用することにより、激光XII号実験で得られた計測データをその処理に応じた計算機へ容易に転送出来るようになった。

今回は、激光XII号実験で得られたデータの、ILE-NETを用いた処理について例を挙げて紹介する。

2. ILE-NETの概要

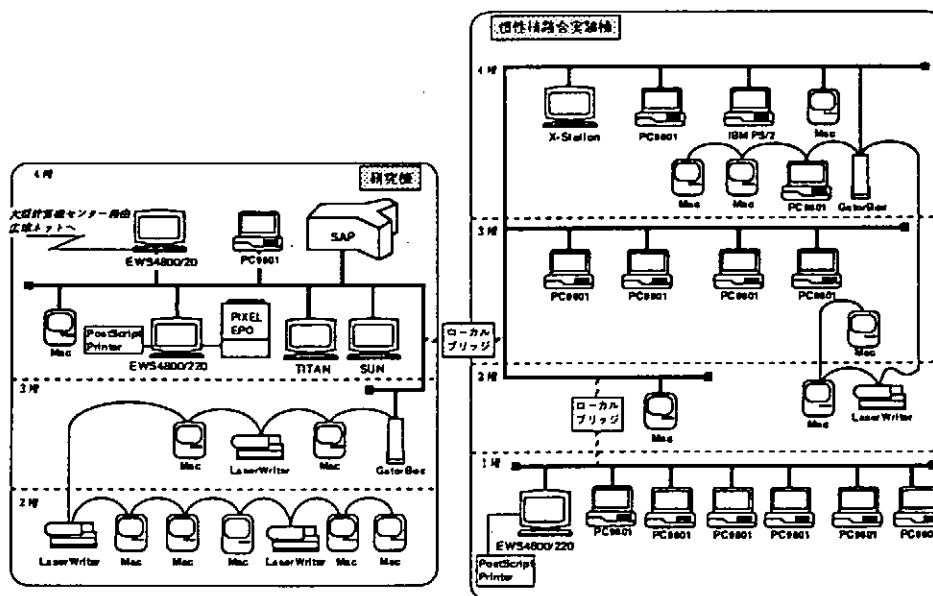


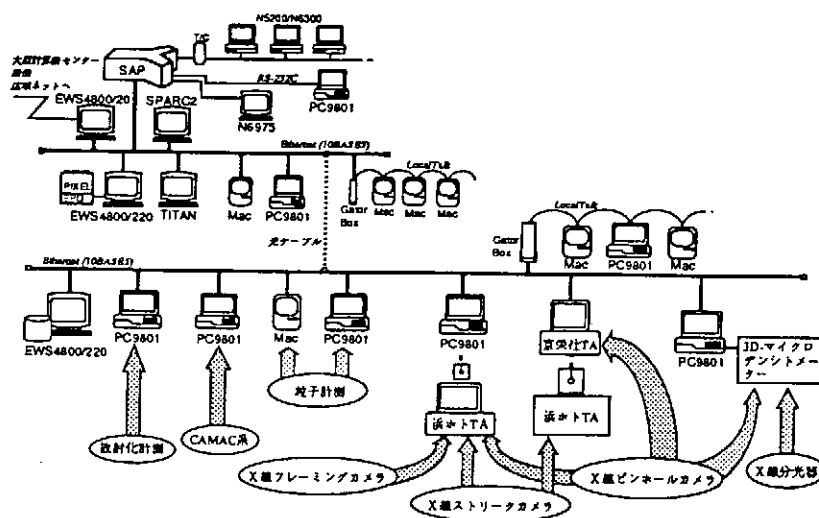
図1 ILE-NET接続図

ILE-NETの概要を図1に示す。現在のところ、慣性核融合実験棟の1階部分と2～4階の居室部分、及び研究棟の3つの部分から成り、これらはローカルブリッジを介して接続され、各々のトラフィック量が他に影響しないよう配慮されている。慣性核融合実験棟の居室部分は、将来各階のトラフィック量が増大した際、容易に切り放しができるよう拡張性を考慮し、2～4階の縦方向（縦幹線）と各フロア（横幹線）にセグメントを分けている。1階の爆縮計測室、レーザー制御室は電磁シールドルームになっているため、ノイズの混入を避けるため光ケーブルで居室部分と接続した。一方、研究棟では、3階から4階にかけてEthernetケーブルが敷かれ、光ケーブルで慣性核融合実験棟と接続されている。また、MacintoshとLaserwriterを繋いだLocalTalkも、GatorBoxをゲートウェイとして用いEthernetに接続されて

いる。現在、UNIXワークステーション5台（EWS：3台，TITAN：1台，SUN：1台）、パソコン56台（PC9801：20台，Macintosh：35台，IBM PS/2：1台）、SAP1台、合計62台の計算機で構成されている。

ILE-NE T導入の目的としては、1. 画像データをはじめとする大容量実験データの高速転送、2. 既存機器の有効利用と異機種マシン間のデータの共有、3. ファイルサーバーによる実験データの一括管理、等が挙げられるが、これらを実現するネットワークとして、1. 一般的なLAN（ハードウェア、ソフトウェア）を用い、ベンダーに左右されない異機種接続が可能なること、2. 部分的な拡張だけでなく、異なるネットワークを含めた拡張が容易であること、3. マシン間の通信管理が容易なること、4. 計算機に不慣れな者でも操作が容易であること、を考慮している。

3. データ処理の現状



激光XI号実験で使用されている主な計測器とそのデータ収集機器、及び発生するデータ量は、表1のように分類できる。このうち、プラズマカロリメータや放射化計測等の比較的小量のデータはそのままフロッピーディスクに保存され、パソコンで解析される。

表1 主な計測器とデータ量の分類

項目	計測器	データ収集機器 (インターフェース)	データ量	
粒子計測	放射化	マルチ・チャンネル・アナライザー	10kB	
	CR-39	トラック解析器	数B~数MB	
	中性子半影カメラ	テンポラルアナライザー	1MB	
放射率計測 プラズマ温度計測	プラズマカロリメータ FFX	PC9801 (CAMAC)	数百kB	
X線計測	時間分解	ストリークカメラ	テンポラルアナライザー	1MB
		フレンジングカメラ	テンポラルアナライザー	1MB
	画像	ピンホールカメラ	テンポラルアナライザー	1MB
			フィルム-デンシトメータ	数百kB~数MB
	分光	結晶分光器	テンポラルアナライザー	1MB
			フィルム-デンシトメータ	数百kB~数MB

画像データは、計測器から直接オンラインでテンポラルアナライザー（以下TAと略す）に格納される。TAは、浜松ホトニクス社製のものを使用し、CCDカメラでとらえた画像をデジタル化して蓄積するとともに、簡単な処理、解析機能を内蔵している。TAに格納されたデータは、フロッピー渡しで、ILE-NE Tに接続されて

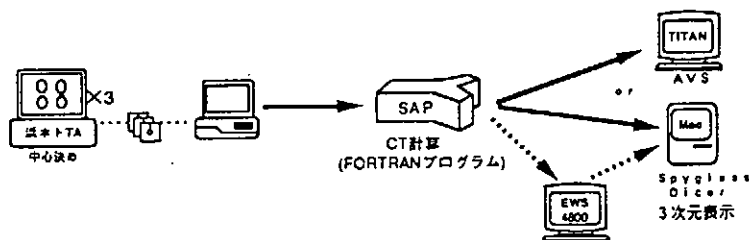
いるPC9801からファイルサーバーに転送される。ファイルサーバーは、PC9801からPC-NFSを起動することによりPC9801内蔵のハードディスクと同様にアクセスでき、UNIXを意識することなく、PC9801から実験データをEWSに転送することができる。また、MacintoshからGatorShare (AppleShare) を用いることにより、Macintoshのハードディスクと同様にアクセスできるようになっている。

データ収集後の処理については、等高線表示、鳥瞰図表示、プロファイル表示、2次元・3次元グラフィック表示、補正計算等その他の処理がある。これらをどの計算機を使って行うかは、データの大きさ、計算機的能力、ユーザーの好み等により決定され、いくつかの方法がある。その一覧を表2に示す。例えば、補正やCT再生等の高速を要求される計算はSAPで行い、大容量データの等高線や鳥瞰図、プロファイル等の表示は、表示速度や多色表示に優れたUNIXワークステーションで行う。また、加工後の小さいデータのグラフ表示解析、図面や報告書作成等には優れたGUIを持つMacintoshが使われている。

表2 処理用計算機と主なアプリケーション

計算機		用途	アプリケーション
汎用機	ACOS950N	高速計算 2次元、3次元グラフィック 等高線、鳥瞰図表示	FORTRAN言語 SX-View GRANSY
	UNIX ワークステーション	EWS4800	等高線、鳥瞰図、プロファイル表示	micro-RESEARCHER II
パソコン	TITAN	2次元、3次元グラフィック	AVS、Dore等
	PC9801	計算 設計	BASIC、c言語 ロータス123等
	Macintosh	設計 グラフ表示	Excel等 KaleidaGraph等

以下に主要な処理ルーチンとして、X線ピンホール画像データの処理例を紹介する。



3台のX線ピンホールカメラでとらえた画像は、それぞれ、浜松ホトニクス製のTAのフレームメモリーに収集され、内蔵のハードディスク及びフロッピーディスクにセーブされる。その後、SAPへファイル転送し、CT再生の処理を行う。処理されたデータは、TITANやMacintoshへ転送し、各アプリケーションで可視化できる。

図2は3方向からのX線ピンホール像をMacintoshのSpyglassで表示したもので、

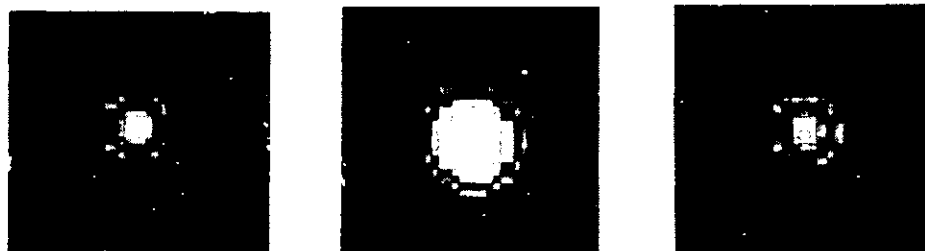


図2 X線ピンホール像

図3はそれらをCT処理した結果をMacintoshのSpyglassDicerで3次元表示したものである。また、図4は同じ結果をTITANのAVSを用いて表示したものである。

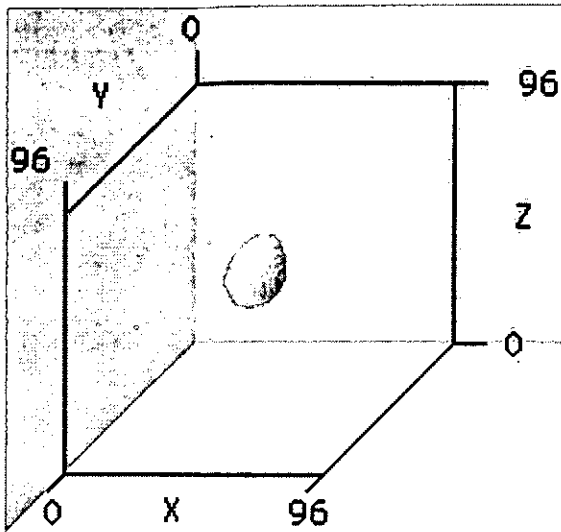


図3 Macintoshでの3次元表示

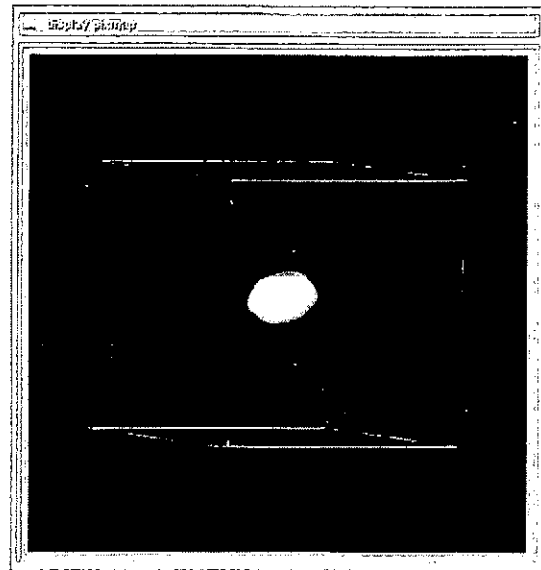


図4 TITANでの3次元表示

ここで、問題になったのが、1. SAPからMacintoshへ直接ftp出来ない、2. SAPでの処理が複雑、3. SAPとEWSやMacintoshの間でバイナリデータの互換性がない、等である。これらの対策としてEWSを介したSAPとMacintoshのデータ転送、SAP上でコマンドプロシジャーの作成、EWS上でのファイル変換を行うよう工夫した。更にそれら一連の処理をEWS上でシェルスクリプトにして実行することで、作業を軽減した。ユーザーは、MacintoshやTITAN等最終的に表示させたい計算機で、対話式に一連の処理を行えるようになっている。

4. まとめと今後の課題

ILE-NETでは、異機種マシンが容易に接続可能なデータ処理用計算機ネットワークが実現され、データの高速度転送、異機種間のデータ共有、画像データの一括管理が可能となった。また、データ転送に関する作業も省力化され、それぞれの計算機の特長を生かした処理の分散が可能となった。今後は、現在フロッピー渡しで行っているTAデータのやり取りの部分、GP-IBを用いてパソコン制御し、データ収集から処理の過程の自動化を進めていく予定である。

また、平成6年度より、未接続の実験棟へのEthernet及びFDDIの導入、ODINSへの接続等が予定されており、今後はグループ間でのデータ共有や、画像を含めたデータベース等も検討している。

KEKにおけるテレビ会議システムの構築と運用

高エネルギー物理学研究所

中村 貞次

1. はじめに

高エネルギー物理学研究所では、高エネルギーに関する情報交換として電子メール、FAX、郵便などでの交換が主だが時代の進化に伴い本所では、1991年12月からテレビ会議システムを用いた情報交換を開始した。主に日米協力のグループが米国の会議に利用している。

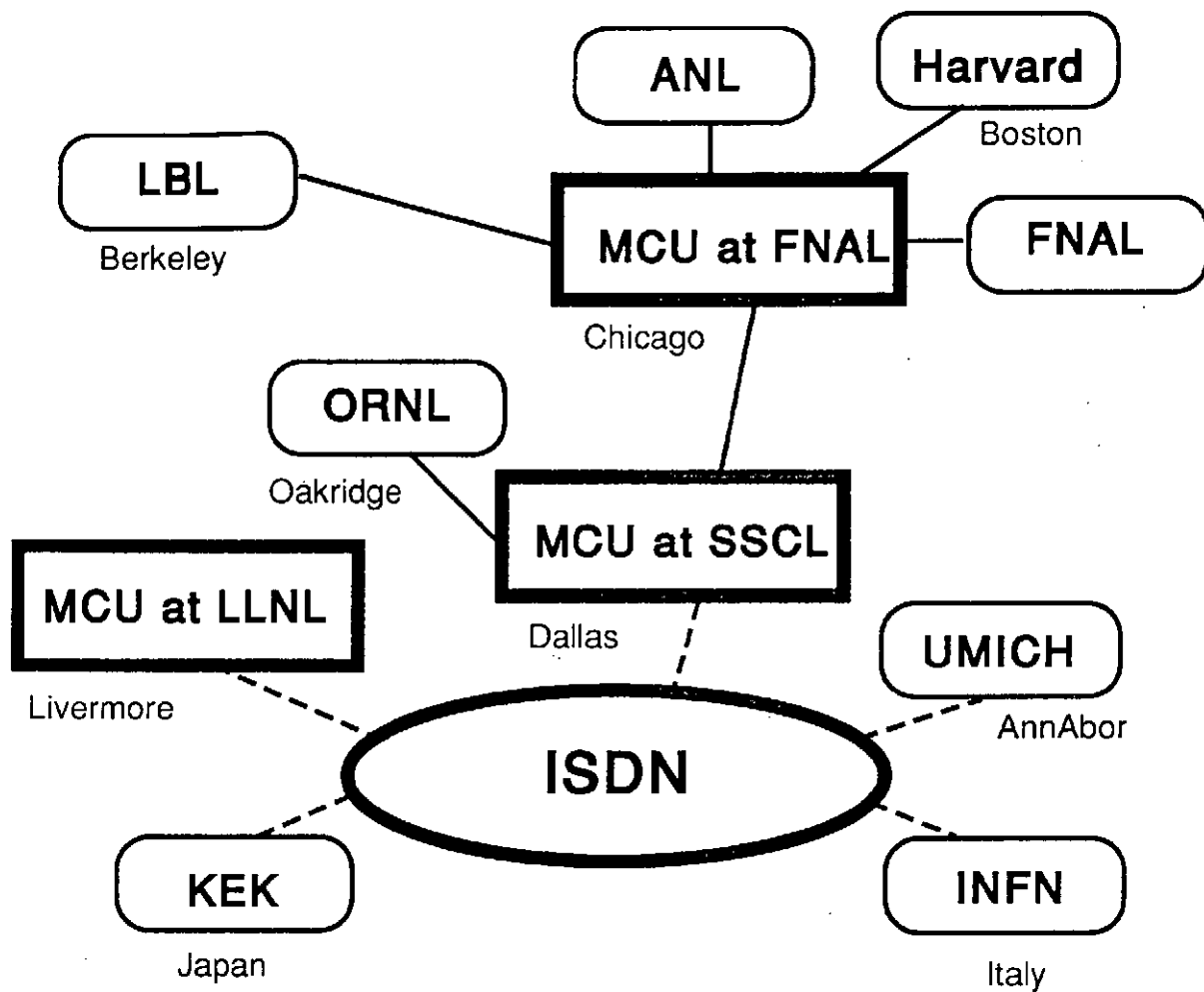
本所では、テレビ会議システムを用いた日本と米国を結ぶ媒体として国際ISDN (Integrated Services Digital Network)を利用しており映像、音声、データなどを128Kbpsの速度で送信している。このテレビ会議システムを運用する様になり緊急を要する会議や資料を用いた会議などを遠隔地に居ながらもリアルタイムで行なえ、出張する時間の短縮ができる事などから多くのユーザーに利用されている。今回は、本所でのテレビ会議システムの運用と接続先及び来年度の計画について紹介する。

2. 主な運用報告

'91年11月に米国のVideo Telecom社から日本の代理店を通してCS350 (テレビ会議システム名称)を導入した。導入当時は、テレビ会議システムの国際標準規格がまだでたばかりで、個々のテレビ会議システムはそれぞれそのメーカー独自のやり方で符号化していた。その為にVideo Telecomのテレビ会議システム同士でないと送信出来なかった。同11月には、各サイトとのテレビ会議を行う為の媒体でもあるISDNを導入し、翌月には日本と米国間を中心としたテレビ会議システムの試験、運用を開始した。開始当時は、相手サイトのと接続できないというトラブルが多くKEK側が悪いのか米国側が悪いのか切り分けを行う為に、NTT及びKDDに国内と国外にLoopBack機能を確立して頂いた。





'93年2月には、国際標準化されたテレビ会議システムが出回るようになり、KEKでもCS350から国際標準化H.261対応のMediaMaxにアップデートを行った。これにより他機種の国際標準化されたテレビ会議システムと送信が可能になった。同4月には、ユーザーがテレビ会議システムを使用する為の講習会を行い、受講者にはテレビ会議システム使用許可のライセンスを発行し、ライセンスが無い者にはテレビ会議システムの使用を禁止した。また今後、ライセンスを取得する為のユーザーにビデオを作成し、ビデオを参照の上ライセンスを発行して行く。

3. 現状の構成図



Sites List

ANL	Argonne National Lab
FNAL	Fermi National Accelerator Lab
HARVARD	Harvard Univ
INFN	Italian National Institute for Nuclear Physics
LBL	Lawrence Berkeley Lab
LLNL	Lawrence Livermore National Lab
ORNL	Oak Ridge National Lab
SSCL	Superconducting Super Collider Lab
UMICH	Univ of Michigan

	MCU
	Codec
	ISDN
	Dedicated Circuit

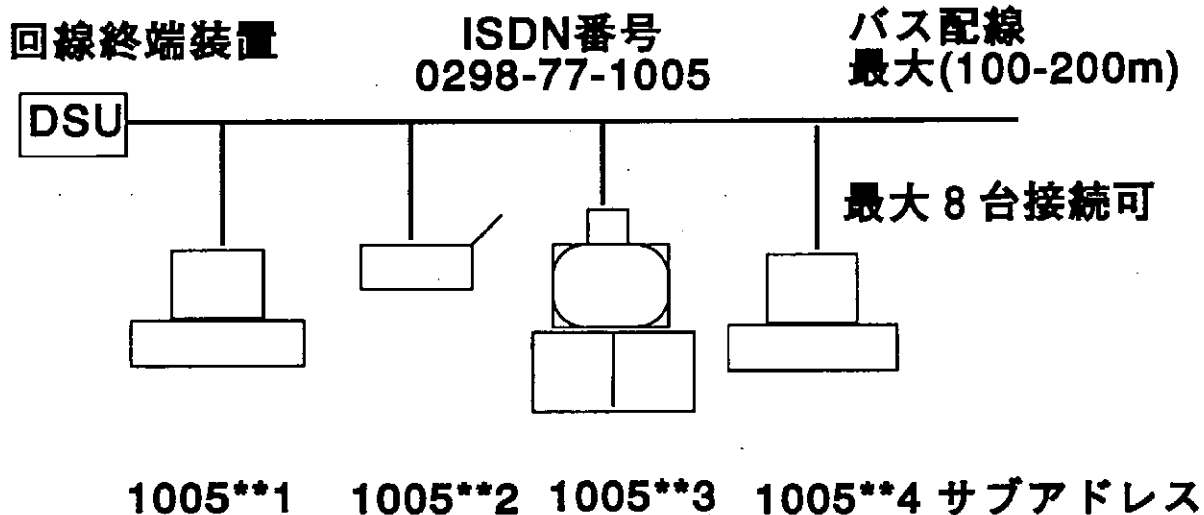
4. ISDNとは

ISDN(Integrated Services Digital Network)とは、デジタルネットワークにより映像、音声、画像、データ等様々な情報通信を汎用的なデジタルインターフェースを介して総合的に提供するサービスである。INS64の基本インターフェースとして2B+Dが提供され、Bchを情報Dchを制御用に割り当て64Kbpsを2本、16Kbpsを1本とした構成からなる。ISDNは、バス配線上に最大8台までの端末が接続可能であるが早くBchを獲得した端末が使用可能となる。それを制御しているのがDchである。また、バス配線上に複数の端末が接続されている状態で相手側から指定した端末に着信したい場合、端末ごとにサブアドレスを割り当てることができる。これは、あらかじめ発信側と受信側でどの番号にどの端末が割り当てられているか知っておく必要がある。

ISDN(Integrated Services Digital Network)

基本インターフェース INS64 2B+D

Bch 情報 映像、音声、データ
Dch 制御



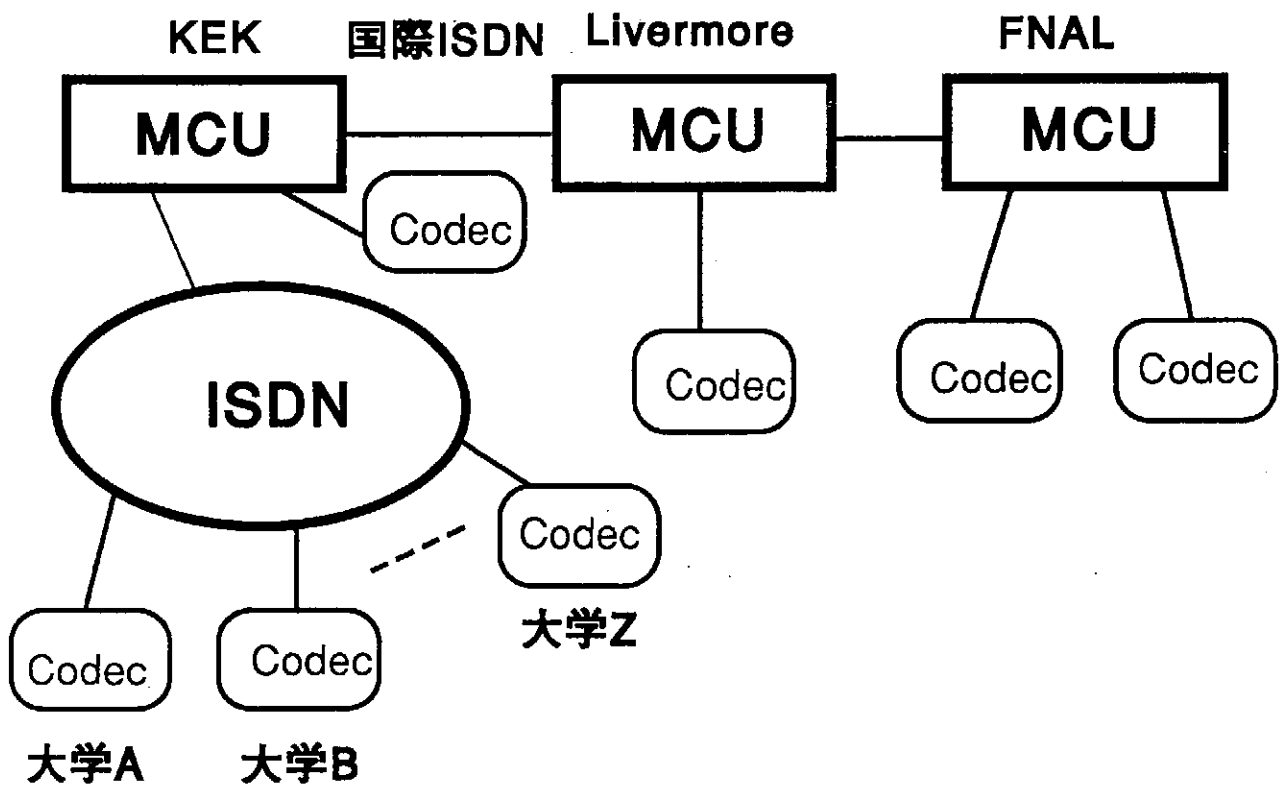
DSU(Digital Service Unit)

- 電気的特性
- 給電

5. 今後

今までのテレビ会議システムは、高価な物で且つメーカー独自の交信しかできなかつた。しかしテレビ会議システムの国際標準化に伴い、他社同士の通信も可能になり各社とも安価なテレビ会議システムを販売するようになった。これにより各大学では、安価なテレビ会議システムを導入して行く計画がなされている。また、KEKでもそれに対応すべく来年度には国際標準化された多地点制御装置(MCU2)を導入し、国内での多地点会議を展開して行く。また、国外でも米国のLivermoreで国際標準化された多地点制御装置(MCU2)が運用されており今後は、米国と多地点会議を行う場合でも国内では、複数のサイトが参加できるようになり使用頻度も今以上に高くなるであろう。また、Livermoreではテレビ会議の予約システムが稼働中でありKEKもそれに賛同し、Internetを介して予約並びに検索が可能である。今後は国内でのテレビ会議の予約をLivermoreの予約システムに賛同するか、国内のみの予約システムを作成すべきか検討中である。

● 国内及び米国との多地点会議



表計算ソフトを使用したR Iの減衰補正計算テーブルの作成

東北大学 金属材料研究所 三浦重幸、高橋三幸、佐藤伊佐務

1. はじめに

放射性同位元素（以下、R Iと記す）を使用する施設では、R Iの使用等に際し「使用、保管、廃棄の帳簿」に必要事項を記帳し、1年毎に閉鎖することが義務づけられている。通常は年度毎に区切って帳簿を閉鎖し、次年度分を新たに作成することになるが、その際それぞれのR Iの放射能（単位：ベクレル（Bq））の減衰補正が必要となる。この放射能の減衰補正計算も、管理しているR Iの数が少ない場合は電卓を使用して計算してもそれほど苦労はないであろうが、その数が多くなると非常に大変な作業となってくる。そこで、今回この計算をパソコンのアプリケーションソフトのひとつである表計算ソフトを使用して行うことにした。過去にはBASIC等のプログラミング言語を使用し、プログラムを作成して計算したこともあったが、プログラムの作成段階で、デバッグに時間をとられたりすることを考えれば、今回の計算のような場合にはこのような市販のアプリケーションソフトをうまく利用する方がはるかに便利で確実である。

当初、この表計算ソフトを使用したR Iの減衰補正計算は、業務上の必要性から私共のR I施設で所有するR Iについてのみ行った。しかし一度基本となるワークシートの構成（フォーム）や計算方法等を考えてしまえば、その後は最小限必要な情報として核種名とその半減期を入力するだけでどのようなR Iにも適用できる、ということで現在知られているすべてのR Iを対象とした「減衰補正計算テーブル」を作成した。

2. ワークシートの構成

今回は表計算ソフトとして「Lotus 1-2-3」を使用した。これは作表、計算、グラフ作成とひとつのソフトででき、また日付関数も用意されているので今回のような「半減期」という時間（期間）を扱う計算にも適している。図1に今回作成した「減衰補正計算テーブル」のワークシートのCRT画面のハードコピーを示す。この図により以下にそれぞれの列セルについて

A1: [ﾊﾞﾊﾞ 8] *放射性同位元素の放射能減衰補正テーブル													入力
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	放射性同位元素の放射能減衰補正テーブル												
2													
3	<ナトリウム>原子番号：11					5種				計算日			
4			検定日				半減期						
5	核種	年	月	日	放射能(Bq)	数値	単位	(年換算)	年	月	日	放射能(Bq)	
6	Na-21	1993	4	1	3.700E+07	22.5	分	4.281E-05	1994	4	1	0.000E+00	
7	Na-22	1993	4	1	3.700E+07	2.602	年	2.602E+00	1994	4	1	2.835E+07	
8	Na-24	1993	4	1	3.700E+07	15.02	時間	1.715E-03	1994	4	1	0.00000	
9	Na-24m	1993	4	1	3.700E+07	0.0202	秒	6.405E-10	1994	4	1	0.000E+00	
10	Na-25	1993	4	1	3.700E+07	60	秒	1.903E-06	1994	4	1	0.000E+00	
11													
12	<マグネシウム>原子番号：12					3種				計算日			
13			検定日				半減期						
14	核種	年	月	日	放射能(Bq)	数値	単位	(年換算)	年	月	日	放射能(Bq)	
15	Mg-23	1993	4	1	3.700E+07	11.3	秒	3.583E-07	1994	4	1	0.000E+00	
16	Mg-27	1993	4	1	3.700E+07	9.46	分	1.800E-05	1994	4	1	0.000E+00	
17	Mg-28	1993	4	1	3.700E+07	21.1	時間	2.409E-03	1994	4	1	0.00000	
18													
19	<アルミニウム>原子番号：13					7種				計算日			
20			検定日				半減期						
94/03/11	12:03	PM									半角		英大
メニュー	編集	再編集	絶対	ジャンプ	窓切換	演算表	問合せ	グラフ	再計算				

図1 ワークシートのCRT画面

表1 ワークシートの構造及びその内容

列セル名	内 容
A :	[ハバ8] →核種名 (文字データ)
B :	[ハバ5] →検定日 (年) (数値データ)
C :	[ハバ4] → " (月) (数値データ)
D :	[ハバ8] → " (日) (数値データ)
E :	(S3) [ハバ10] →放射能 (Bq) (数値データ) └仮数部小数点以下3桁の指数表示の意味
F :	[ハバ10] →半減期 (数値) (数値データ)
G :	[ハバ5] → " (単位) (文字データ)
H :	[ハバ10] @IF (G6="年", F6, @IF (G6="日", F6/365, @IF (G6="時間", F6/(365*24), @IF (G6="分", F6/(365*24*60), @IF (G6="秒", F6/(365*24*60*60), @IF "ERROR")))) →計算式 (数値データ) 半減期を年換算する
I :	[ハバ5] →計算日 (年) (数値データ)
J :	[ハバ3] → " (月) (数値データ)
K :	[ハバ3] → " (日) (数値データ)
L :	(S3) [ハバ10] +E6*(1/2)^(((@DATE(I6-1900,J6,K6) -@DATE(B6-1900,C6,D6))/365)/H6)

で説明する。まず、列Aは核種名を入力するセルで文字データとして半角10文字まで入力する。もちろんこれ以上入力してもかまわないが、半角10文字を超えた分は右側のセルにデータが入力された時点で表示されなくなるだけである。次に列B、C、D、はそれぞれ数値データで、放射能があらかじめわかっている日付 (例えばRIの検定日) を年・月・日と入力するセルである。列Eはあらかじめわかっている放射能の値をBq (ベクレル) 単位で入力する数値データセルである。このあらかじめわかっている放射能とは列B、C、Dで示した日付における放射能の値である。つづいて列F及びGはそのRIの半減期を入力するセルで、列Fには半減期の値 (数値データ)、列Gはその半減期の単位 (年、日、時間、分、秒のいずれか (文字データ)) を入力する。列Hは後の減衰補正計算を簡単にするために半減期をすべて年の単位に変換するセルである。計算式の詳細については表1を参照してほしい。次の列I、J、Kは実際に放射能を知りたい日付を年・月・日で入力する数値データセルである。そして最後の列Lが列I、J、Kで示す日付におけるそのRIの放射能の値 (Bq) を計算する計算式を入力する。ここで、放射能の減衰補正計算には以下の式を用いた。

$$A = A_0 \cdot (1/2)^{(t/T)}$$

A₀ : ある時刻 (t = 0) における放射能 (Bq)

t : t = 0からの経過時間 (単位は半減期に合わせる)

T : そのRIの半減期

A : t = 0から時間tだけ経過した後の放射能 (Bq)

列Aから列Kまでのセルに必要なデータが正しく入力されていれば、最終的に必要とする減衰補正計算の結果がこのセルに示される (数値データ)。この列セルLの計算式の詳細についても

表1を参照してほしい。この表の計算式中で@DATEというのは、この表計算ソフトで用意された日付関数で「指定日の日付連番を得る」ものであり、この日付関数があるおかげで今回の計算がだいぶ楽になっている。

表2に以上のようにして作成した減衰補正計算テーブルの一部を表計算ソフト上の印刷機能を用いて出力した例を示す。また図2にはこの減衰補正計算テーブルの応用として、表計算ソフトのグラフ作成機能を使用してR1の減衰曲線を描かせた例を示す。この表計算ソフトを使用することにより放射能の減衰の様子等も簡単にグラフ化できるので、数値上だけではわかりにくいデータの相互比較等の点でも有用である。このようにグラフの作成も簡単にできるということも今回この表計算ソフトを使用した理由のひとつである。

表2 作成した減衰補正計算テーブルの一例（コバルトの例）

<コバルト>原子番号：27 11種

核種	検定日			放射能(Bq)	半減期			計算日			放射能(Bq)
	年	月	日		数値	単位	(年換算)	年	月	日	
Co-55	1993	4	1	3.700E+07	17.5	時間	1.998E-03	1994	4	1	0.00000
Co-56	1993	4	1	3.700E+07	78.76	日	2.158E-01	1994	4	1	1.490E+06
Co-57	1993	4	1	3.700E+07	271	日	7.425E-01	1994	4	1	1.455E+07
Co-58	1993	4	1	3.700E+07	70.8	日	1.940E-01	1994	4	1	1.038E+06
Co-58m	1993	4	1	3.700E+07	9.15	時間	1.045E-03	1994	4	1	0.00000
Co-60	1993	4	1	3.700E+07	5.271	年	5.271E+00	1994	4	1	3.244E+07
Co-60m	1993	4	1	3.700E+07	10.47	分	1.992E-05	1994	4	1	0.000E+00
Co-61	1993	4	1	3.700E+07	99	分	1.884E-04	1994	4	1	0.000E+00
Co-62	1993	4	1	3.700E+07	1.5	分	2.854E-06	1994	4	1	0.000E+00
Co-62m	1993	4	1	3.700E+07	13.9	分	2.645E-05	1994	4	1	0.000E+00
Co-63	1993	4	1	3.700E+07	27.4	秒	8.688E-07	1994	4	1	0.000E+00

3. ファイルの構成

このようにして現在知られている1,400核種のR1すべてについてデータを入力し減衰補正計算テーブルを作成した。しかし、これだけ多数のデータであるのですべてをひとつのファイルとすることは現実的でないし、またパソコン上のメモリの都合等で一度に取り扱えるデータ量にも制限がある。さらに多数のデータをひとつのワークシート上に作成すると自動再計算をさせたりしていると画面スクロールのスピードが低下するという弊害も出てくるので、

今回は表3に示すように103元素1,400核種を17のファイルに分けて作成した。ひとつのファイルがあまり大きくなり過ぎないように、各元素毎の同位元素の数により5元素毎または10元素毎にひとつのファイルとすることを基本とした。ファイル名もそのファイルに格納されたデータの原子番号を対応させた。また表からも明かなように、残念ながらこの17のファイルは1.25Mbyteフロッピーディスク1枚に納めることはできずに2枚になってしまった。このようにデータファイルが多少大きくなるのが、今回のように一般のアプリケーションソフト

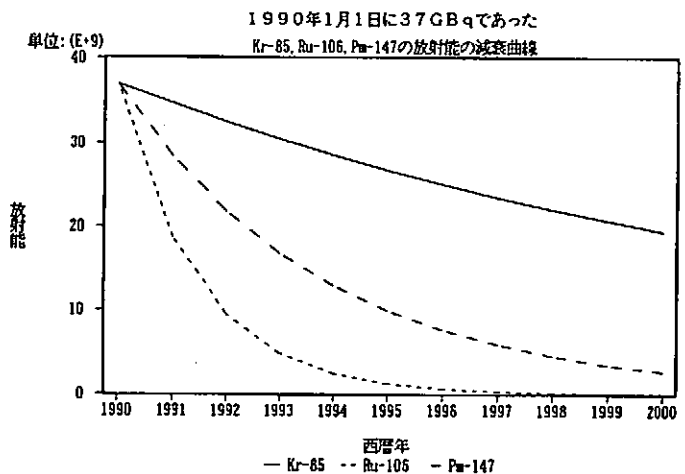


図2 グラフ作成機能の使用例

表3 データファイルの構成

	ファイル名	サイズ (バイト)	内 容
デ ィ ス ク 1	1-10. WJ2	52, 679	H ~Ne 10元素27核種
	11-20. WJ2	125, 249	Na~Ca 10元素61核種
	21-30. WJ2	176, 506	Sc~Zn 10元素84核種
	31-35. WJ2	123, 322	Ga~Br 5元素78核種
	36-40. WJ2	165, 322	Kr~Zr 5元素81核種
	41-45. WJ2	139, 104	Nb~Rh 5元素87核種
	46-50. WJ2	123, 419	Pd~Sn 5元素109核種
	51-55. WJ2	151, 663	Sb~Cs 5元素118核種
	56-60. WJ2	106, 056	Ba~Nd 5元素77核種
	9 ファイル	1, 219, 584	60元素 722核種
デ ィ ス ク 2	61-65. WJ2	120, 944	Pm~Tb 5元素86核種
	66-70. WJ2	93, 497	Dy~Yb 5元素87核種
	71-75. WJ2	101, 272	Lu~Re 5元素99核種
	76-80. WJ2	101, 896	Os~Hg 5元素101核種
	81-85. WJ2	84, 582	Tl~At 5元素98核種
	86-90. WJ2	59, 246	Rn~Th 5元素63核種
	91-95. WJ2	61, 155	Pa~Am 5元素68核種
	96-103. WJ2	87, 861	Cm~Lr 8元素76核種
		8 ファイル	713, 728	43元素 678核種
合計	17 ファイル	1, 933, 312	103元素 1, 400核種

トを利用する場合のひとつのマイナス面と言えよう。

4. おわりに

以上、現在知られているすべてのRIについての減衰補正計算テーブルをパソコンの表計算ソフトを使用して作成した。そして実際に日常の放射線管理の業務を行う上で便利に使用し、RI管理に役立っている。

今回は放射線に関するデータのうち、すべてのRIについての半減期のデータのみを対象としてコンピュータに入力したが、放射線に関してはさらに多くの情報、例えば「崩壊形式」、「放射線エネルギー」、「放出率」等があるのでこれらのデータもつけ加えてパソコン上で手軽に扱える「放射線データベース」のようなものがないかと考えている。そのためにもまず放射線に関するデータが現在どのようにデータベース化されているか等について調査する必要がある。

参考文献：

- 「放射線データブック」(地人書館 村上悠紀雄、團野皓文、小林昌敏 編)
- 「放射線概論」(通商産業研究社 石川友清 編)
- 「とまどい知らずのLotus 1-2-3 R2.1J 入門」(ばる出版 佐藤徹 著)

辞書型 K I N D 新検索システムの開発

東北大学金属材料研究所

伊藤 敏行、 中名生 充、 和田 繁男、 森 倫子、 秋山 庸子、
大野 かおる、 中道 琢郎、 川添 良幸

要旨

本論文で、本研究所材料科学情報室で構築した大規模材料データベース「K I N D」の新方式によるマン・マシン・インターフェイス検索システムの開発の概要について報告する。新検索法の最大の特徴は、利用者が検索する為のキーワードを入力することなく、画面に表示されたキーワードの順次選択のみにより目的の論文を得ることができることにある。又、この検索中に現在検索しているデータベースのキーワード構成とその論文数を知ることができる。本方式により、従来型データベース検索時のキーワードに関する知識が不要となり、より早く楽に検索できるようになった。

はじめに

現在コンピュータ用データベースは、世界のいたる所で作られ、また広範に使用されている。材料の研究においても、3元系、4元系と材料設計は複雑化の一途をたどっており、新着雑誌全てに目を通せない現状にあり、材料データベースは研究遂行に不可欠である。本研究所材料科学情報室でも材料データベース「K I N D」を構築し、また、本研究所の研究者も、金属系のデータベースとして M E T A D E X (米国金属学会作成データベース)、I N S P E C (英国電気工学関係学会 I E E 提供データベース)等を良く利用している。しかし、その検索システムについては、基本的に様々なキーワードを入力し、ヒットした論文数を確認し、目的の論文を絞り込んでいく方法がとられており、目的の論文を得る検索方法としての使いやすさについての追求はなされていない。又、本研究所材料データベース「K I N D」は、ホスト計算機 I B M 9 3 7 0 上のリレーショナル型関係データベースである S Q L / D S (Structured Query Language/Data System) 環境で動作し、データ蓄積件数の増大と、データが論文型であることによる検索スピードの悪化が一つの問題になっている。これらの問題点の解決方法として本研究では表型検索システムの開発を行った。

1. 副表データ構造化作成

S Q L では、複数の表をあたかも1つの表のように、関係付けて利用することができ、基本表に対し、どのような副表を構成したかによって、データベースの使い勝手が大きく左右される。従って、この問題の解決の方法は、副表とそのデータを如何に構成するかにかかっている。

通常の D B M S (Data-Base Manegement System) では、データベースへのデータ投入時に、インデックスを指定したり、自動的にキーワードに対してインデックスを作成するなどして、素早い検索環境をつくっている。これは、作成されたインデックスデータが、個々のキーワードのそれぞれの総数と、それぞれのキーワードに対してヒットする論文が結びついていることを示している。もしこれを覗くことが出来れば一つの有効なデータであるといえる。しかしそれらは単独の表として、検索者が覗くことも使用することもできない。そのような意図をもったシステムではなく、さらにキーワードインデックスは表化

された形にはなっていないからである。新検索方式は、このインデックス化されたキーワード表をより構造化発展させ、視覚化したものである。以下にその構成を示す。

1-1. 表構成

新検索システムの表構成は以下の通りである。

1. 基データ表（最終表示用データ表で1論文当たり14項目からなる表）
2. エレメントデータ表（研究材料の系別論文数からなる表）
3. 材料コンビネーション別データ表（研究材料の4元系種別論文数からなる表）
4. 材料データ表（論文中の記入材料名及び論文数からなる表）
5. 材料データ及び基データIDN表（基データの材料キーワード項目から切り出したデータ表）
6. シングルキーワード表（シングルキーワード別論文数からなる表）
7. 複数特性キーワード表（複数特性キーワード別論文数からなる表）
8. 特性キーワード及び基データIDN表（基データの特性キーワード項目から切り出したデータ表）

1-2. 検索及び副表の関係

検索の流れと副表の関連を図1に示す。材料に関する副表は4表、特性キーワードは3表からなり、2つに共通する表として基テキストデータに最終的に結び付いている。

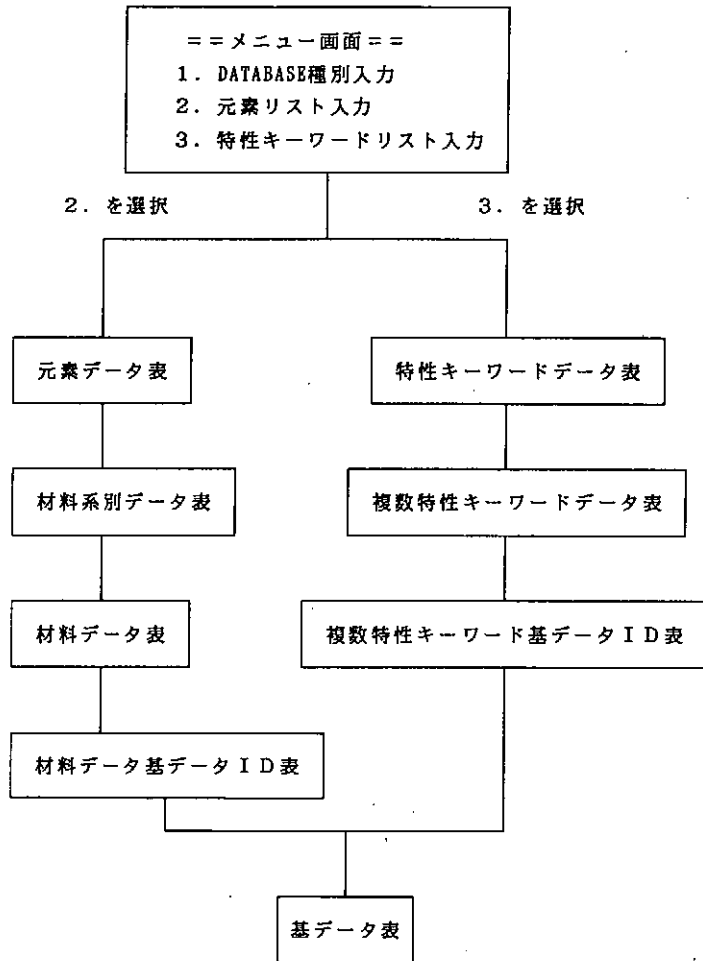


図1 副表と検索の流れ

```

*** ** EEEEEEE LLLL CCCCC 0000 MWM MWM EEEEEEE
** ** EE LL CC C 00 00 MWM MWM EE
** ** EE LL CC 00 00 MWM MWM EEE
** ** EE LL CC C 00 00 MWM MWM EE
** ** EEEEEEE LLLLLL CCCCC 0000 MWM MWM EEEEEEE

t   ooo KKK KKK 11111 NNNN NNN DDDDD
ttttt o o KK KK 111 SN N NN DD DD
t   o o KKKK 111 NN N NN DD ODD
t t o o KK KK 111 SN N NN DD DD
tt   ooo KKK KKK 11111 NNN NNN DDDDD

***** MENU *****
1. Basic KIND Database
2. KINLIB(iar) Database
3. Dictionary KIND Database
4. FACT Database (Sample)
5. KCHART (Chart of INR)
*****

Input Number : 3

PF3=Quit PF5=Database
    
```

図2 KINDロゴ画面

2. 検索方法

検索は、最良のマン・マシン・インターフ

エイズを得る方式で、キーワード入力のいらない全て選択による検索を可能した。これはキーワード入力で迷うことを解放することを目的としたシステムである。検索の項目種別は研究物質材料と特性キーワードの2種とした。この2種が副表として構成することができ、著者名検索は従来の検索方式で十分と考えられるからである。

ネットワークに接続された各自の端末よりホスト計算機 IBM 9370 に接続し、"KIND" と入力すると現在構築中のデータベース選択画面が「KIND」のロゴマークと共に図2のように表示される。Internet により（全世界から利用可能である）以降順次目的のものを選択していくことで目的の論文に到達することが出来る。

その検索の流れを特性キーワードについて図3に示す。図3の(a)は特性キーワードのリスト検索結果画面であり、各キーワードについてそれぞれヒットする論文件数が件数の多い順に表示される。

(b)は、(a)で3番目の Antiferromagnet を選択した結果の画面である。同様にヒットする件数の多い順に表示される。単独でのキーワードでは270件であったが、この複数キーワードではかなりヒット件数が減少しているのが分かる。通常のデータベース検索での絞り込み作業といえる。

(c)は、(b)で5番を選択した結果の画面で、論文データベースの基データが参照される。ここで原論文を取得する時はFaxを指定する。材料による検索も同様の操作で目的の論文にたどり着くことができる。また、参照する論文件数が多い場合、材料検索から特性キーワード検索結果との and をとることもできる。

3. 副表データ作成プログラム

本辞書型検索システムは通常のデータベースのように新規データ

```

*** Result of Search ***
SUPPORTED BY MATERIALS DICTIONARY
Database Name : MAGNETIC PROPERTIES
  
```

No.	Keyword	Num. Papers	No. Keyword	Num. Papers
1:	magnetic	646	2: spin	622
3:	magnet	368	4: model	350
5:	field	280	6: others	277
7:	antiferromagnet	270	8: anisotrop	257
9:	effect	248	10: transition	227
11:	phase	194	12: magnetization	187
13:	interaction	183	14: structure	170
15:	temperature	166	16: electron	156
17:	crystal	135	18: high	129
19:	exchange	121	20: film	118
21:	susceptibility	106	22: metal	104
23:	theory	103	24: state	100
25:	system	96	26: glass	93
27:	wave	93	28: energy	92
29:	amorphous	88	30: curie	86

Num. of Hit Data : 137
Input No. : 7
Message :
====>
PF3=Quit PF4=List PF5=Result PF6=Comb. PF7=Down PF8=Up PF9=Down45 PF10=up45

(a) 特性キーワードリスト画面

```

*** Result of Search ***
SUPPORTED BY MATERIALS DICTIONARY
Database Name : MAGNETIC PROPERTIES
  
```

No.	Multiple Keyword	Num. Papers
1:	antiferromagnetic	39
2:	antiferromagnet	19
3:	heisenberg antiferromagnet	17
4:	antiferromagnetic heisenberg	8
5:	antiferromagnetic transition	8
6:	antiferromagnetic coupling	6
7:	ising antiferromagnet	6
8:	antiferromagnetic ordering	5
9:	antiferromagnetically	4
10:	antiferromagnetism	4
11:	heisenberg antiferromagnetic	4
12:	antiferromagnetic correlation	3
13:	antiferromagnetic interaction	3
14:	antiferromagnetic state	3
15:	ising-like antiferromagnet	3

Num. of Hit Data : 139
Input No. : 5
Message :
====>
PF3=Quit PF4=List PF5=Result PF6=Comb. PF7=Down PF8=Up PF9=Down45 PF10=up45

(b) 特性キーワード検索結果画面

```

===== Result of Search =====
====>
1.....2.....3.....4.....5.....6.....7.....
ID : MG920449 OPT: Y2
AUT: AMITSUKA H., SAKAKIBARA T., MIYAKO Y., SUGIYAMA K., YAMAGISHI A. AND DATE M.
SOU: J. Magn. Magn. Mater., 90491 (1990) 47-48, North-Holland
TIT: Field induced magnetic transition in U(Ru<1-x>Rh<x>)<2>Si<2>(0<- x <- 1)
LAB: Department of Physics, Faculty of Science, Hokkaido University, Sapporo 060, Japan
ABS: U(Ru<1-x>Rh<x>)<2>Si<2> exhibits metamagnetic (like) transitions in the whole range of x by applying a strong magnetic field. A magnetic phase diagram is obtained as functions of x, transition field HCN and antiferromagnetic transition temperature T<N>.
TYP: EXPERIMENT
MAT: U(Ru<1-x>Rh<x>)<2>Si<2>
SHA: POLYCRYSTAL
FOM: 0
PRO: metamagnetic (like) transitions, magnetic phase diagram, transition field, antiferromagnetic transition temperature
MEA: 0
FIG: Fl. A magnetic phase diagram obtained by specific heat and susceptibility
PF1=Help PF3=Quit PF5=Fax PF7=Forward PF8=Backward
  
```

(c) 複数特性キーワード検索結果基テキストデータ表示画面

図3 辞書型検索画面

を簡単には追加出来ない。
それはそれぞれのキーワードにヒットする文献数を結び付けて表示する為、新規基テキストデータを作成する毎に、キーワードに対するヒット文献数が全て違ってしまふからである。この為7種の副表データ全ての入れ替え作業を行わなければならない。また、SQLにデータテーブルを作成したりデータを投入する作業を行うため、SQLに習熟している必要があり、この副表データ作成の手間を最小限

にすることが本辞書型検索システムのクリアすべきもう一つの課題である。この解決の為、副表データ作成プログラムを開発した。そのメニュー画面を図4に示す。このプログラムメニューの1から9までを順次選択することで7種の副表データが作成され、またSQLに副表データテーブル作成及びデータロードが自動的に出来るようになっている。7種の副表データ及び検索システムは、REXXプログラムにSQL言語を組み込んで作成した。

4. まとめ

本表型検索法によると、それぞれの検索データが表型に表示されるため、少し時間をかければ、検索しようとするデータベースの全体をほぼ掴むことが出来る。又、課題であった単検索当りの検索時間は大幅な短縮が実現された。問題点としては、大きなデータベースでは複表の構造化作成に時間がかかること、及び検索のステップに一定の流れがあり、それを変更する検索は現状では出来ないことである。今後、検索時の and 検索がどこでも使えること、また材料キーワードの辞書分類について研究する必要がある。

```
**** Make Out of Dictionary Database on KINLIB ****

1. Make out KINLIB Dictionary Data
2. Make out Sum Data File
3. Make out Total Sum Data File
4. Make out Others Keyword Data
5. Make out Table to SQL
6. Data Load to SQL
7. Make out Key3 & Mat4 Data
8. Cut of the Wkey_aut_ID data
9. Get of the DBSPACE
0. exit

*****

Input No. ?
```

図4 辞書型検索データ作成
プログラムメニュー画面

パソコンを用いた 残留ガス自動監視装置の試作Ⅱ

信州大学工学部 小林史利 塚田穂敬 大村貴弘

1. はじめに

A1蒸着膜の製作条件を把握するため、残留ガス自動監視装置の試作を行ってきた¹⁾。前回は真空容器に質量分析管を取り付け、同装置を構築しデータの取り込み方法およびその動作結果について報告した²⁾。今回は同装置の分析管取り付けに際して差動排気を行い、残留ガス自動監視装置の構築を試みた。本報告においては、先ず構築した同装置の概要およびデータ処理について述べた後、分析計の出力に及ぼす種々の影響、残留ガスの同定方法および蒸着中の残留ガスの自動監視について述べる。

パソコンに取り込み、残留ガスの挙動をリアルタイムでディスプレイ上に表示することが出来た。今回はデータ処理系には手を加えず、質量分析管を新たに構築した差動排気系内に設置し、分析部専用の真空排気系を構築して、高真空バルブを介して真空容器に取り付ける差動排気方式を試みた。こうすることにより、分析部が高真空に保たれ、より一層鮮明な分析が出来ることを期待した。図1に同装置の構成を示し、その外観を写真1に示す。ここで、真空蒸着装置にはHIGH VACCUUM COATER (EBH-6, ULVAC) を使用し、真空度の測定には電離真空計 (GI-TL3, ULVAC)、質量分析には四極子型質量分析計 (MSQ-150, ULVAC) を使用した。パソコンには PC-9801US (32bits, 16MHz) を使用し、A/D変換ボードは差動増幅器内蔵の逐次比較方式12ビット、変換速度60 μ secのもの (98AD12, INTERFACE) を使用した。

2. 装置の概要

2-1 装置の構成

本装置は真空蒸着装置に接続される残留ガス分析部およびデータ処理部により構成される。本装置の構築にあたっては、既に昨年度、真空容器に高真空バルブを介して分析管を取り付け、質量分析計の出力をパ

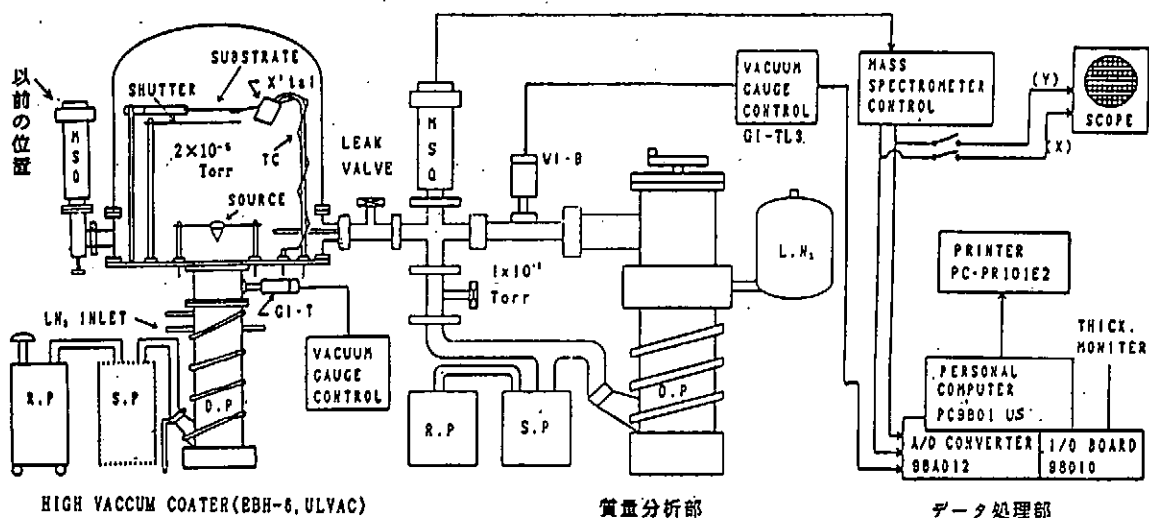


図1 装置の構成



写真1 システムの外観

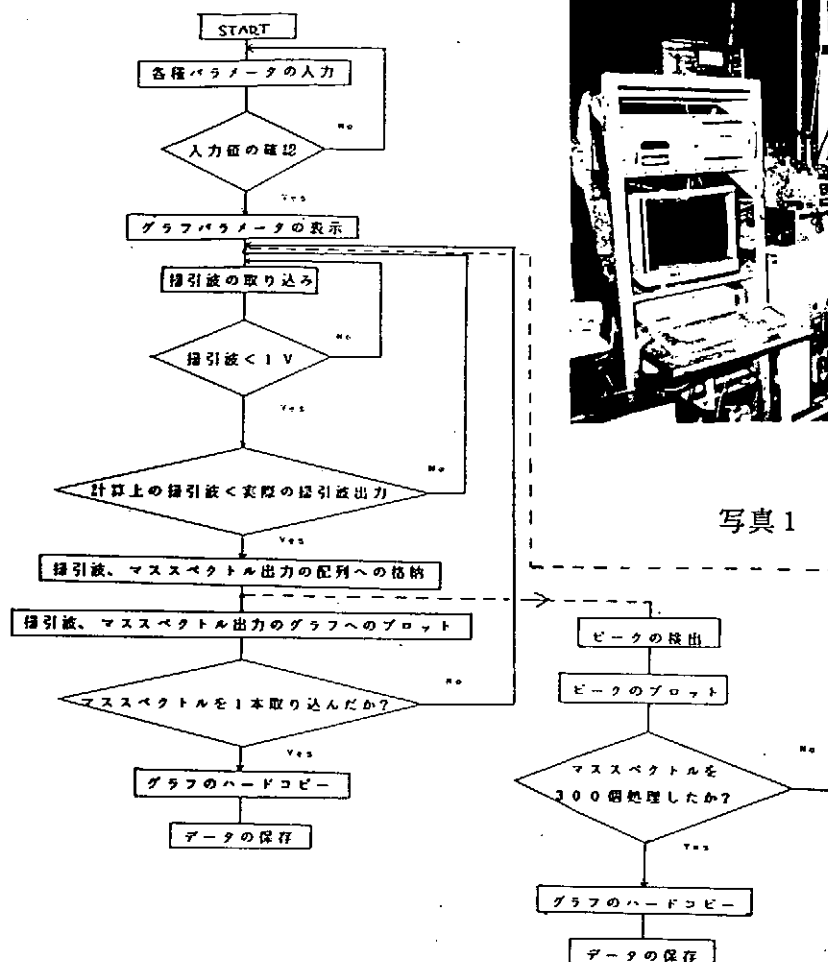


図2 フローチャート

2-2 データ処理

データの入力には計測を行いながら、A/D変換ボードより順次測定値を入力するリアルタイム処理を施し、ディスプレイ上に表示すると共に、取り込んだデータはそのまま生データとして配列に格納した。データとして入力する信号は、分析計から出力される鋸歯状の掃引信号と同信号に導かれる分析信号との2種類からなり、分析信号の取り込みは、常に掃引信号を参照にしておこない、同信号の立ち下がりを検出することにより、掃引1回分の分析信号の入力が開始されている（以後、この掃引1回

分の分析出力信号全てを総称して、マススペクトルと呼ぶ）。

具体的には、掃引信号の出力電圧(10V)を100分割し、0.1V掃引信号電圧が上昇するごとに分析信号を入力している。この動作を順次100回繰り返し、掃引信号に対応した分析信号を入力している。掃引時間は2秒としていることから、サンプリング時間は0.02秒となっている。

3. 質量分析計の出力に及ぼす種々の影響
 残留ガス (1×10^{-6} Torr) の分析を行い、 N_2 ガスのピーク出力の変化を測定した。

(1) エミッション電流の影響

分析管のイオン源の熱フィラメントに流すエミッション電流を0.1~1mAの範囲で変えて、高温になるフィラメントが分析出力に及ぼす影響を調べた。その結果を図3-(a)に示すが、出力は電流の増加と供にはほぼ直線的に増加し、約6倍の変化を示した。

(2) SEM電圧の影響

二次電子増倍管(SEM)の電流増倍率は供給される印加電圧により大きな影響を受ける。そのため、印加電圧を930V~3.0kVまで変化させ、出力を測定した。結果を図3-(b)に示すが、出力は供給電圧が高圧になるに従い急激に増加し、4桁もの増加を示した。

(3) 分解能が感度に及ぼす影響

質量分析計において、分解能と感度の兼ね合いから、最適な分解能を実験より設定する必要がある。ここでは、分析計の分解能ダイヤル目盛りを変えながら、その出力を測定し結果を図3-(c)に示した。

これらの結果より、実験においてはエミッション電流は仕様書のとうり0.2mAとし、SEM電圧、分解能とも出力変化のほぼ中央値である2kV、632の値を採用した。

4. 残留ガスの同定方法

四極子質量分析計の出力は、各成分毎に等間隔で出力されることから、既知のガスを真空容器内に注入し、マススペクトルのピーク位置を“主なガスのクラッキングパターン”を参照して³⁾、当該するガス成分を同定した。図4にスペクトルを重ねて出力した結果を示す。同結果は、分析計の質量範囲を m/e 1~50と設定した後、 1×10^{-6} Torrのもとで、 $He + N_2 + CO_2$ の混合ガスを注入したものである。 He は質量数4、 N_2 は28および CO_2 は44をそれぞれ示している。これより H_2O 、 O_2 さらに N_2 のフラグメントと思われる $m/e14$ を同定することが出来た。

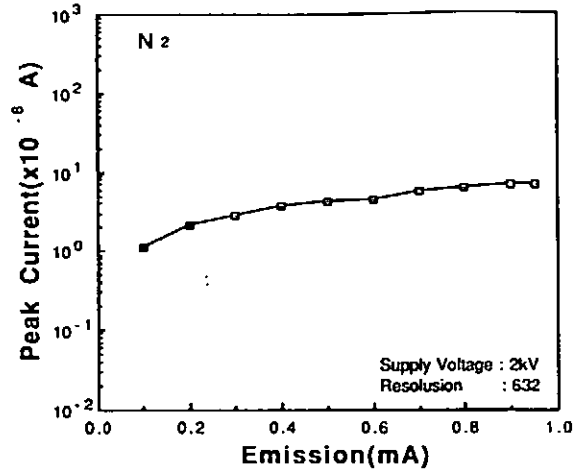


図3-(a) エミッション電流の影響

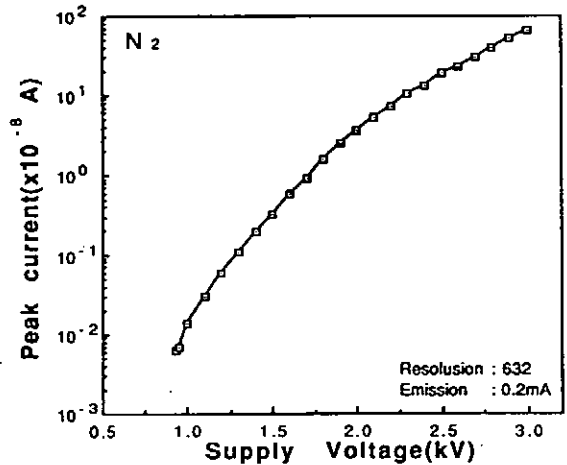


図3-(b) SEM電圧の影響

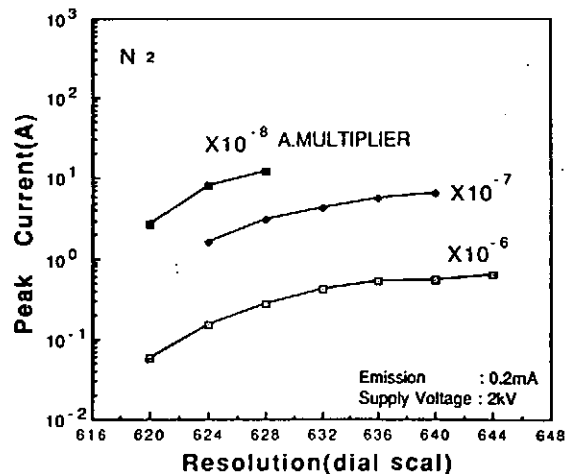


図3-(c) 分解能が感度に及ぼす影響

5. 蒸着時の残留ガスの自動監視

蒸着速度を一定に制御し(10Å/S)、蒸発源にはAl塊(純度99.99%)、フィラメントにはバスケット型(B-3, Nilaco)を使用し、その抵抗加熱により蒸発させた。その際、残留ガスを監視・分析した結果を図5に示す。同図上側には膜厚および蒸着速度の制御結果も併せて示した。同結果より、フィラメントの加熱と共にH₂Oが急増すると共に急激にCO₂が増減し、Alが蒸発を開始するとH₂O、O₂は徐々に減少するなど残留ガスの挙動に大きな変化がみられた。

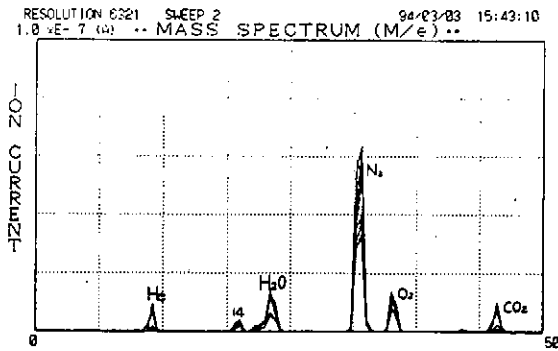


図4 残留ガスの同定

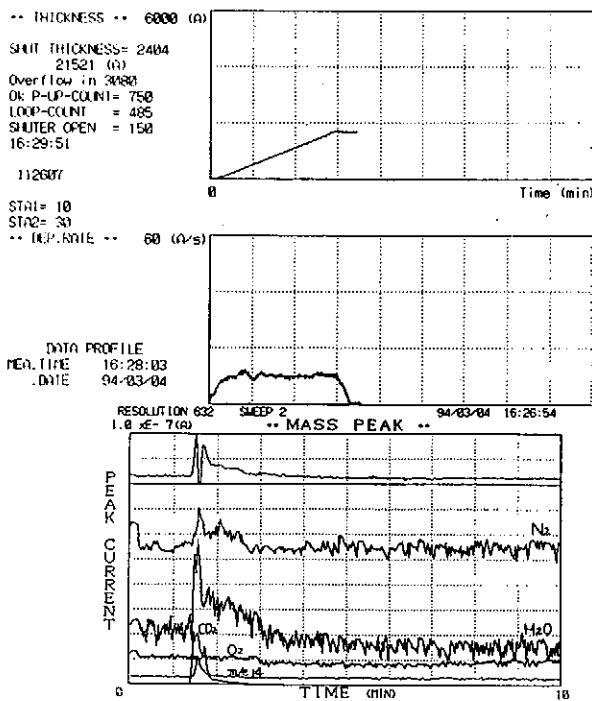


図5 蒸着中の残留ガス監視

6. まとめ

薄膜製作中に残留あるいは発生するガスの挙動を実時間で自動監視する目的から、今回は分析管取り付けに際して差動排気を行い、残留ガス自動監視装置を構築した。

データ処理においては、掃引信号の立ち下がりトリガとして、掃引信号電圧に対応した分析信号を入力することが出来た。データ処理には3種類のプログラムを開発し、マススペクトル、複数の成分の時間変化をリアルタイムで表示し、さらに解析プログラムによりデータを三次元表示した。

残留ガスに及ぼす種々の影響を調べ、エミッション電流については0.2mA、SEM電圧および分解能は出力変化のほぼ中央値である2kV、ならびにシャープな波形を示す632の値に設定した。残留ガスの同定にあたっては、H₂, He, m/e14, H₂O, N₂, O₂およびCO₂を同定することが出来た。

蒸着時の残留ガスの自動監視については、フィラメントの加熱に伴い、H₂Oが急増すると共に急激にCO₂が増減し、Alが蒸発を開始するとH₂Oは急に、O₂は徐々に減少するなど残留ガスの挙動を捕らえることが出来た。しかし、差動排気により分子線として飛翔するガスに対して、2カ所の直角継ぎ手を設けたこと、パスが長くなったことから、直接分析管を取り付けた場合に対して、各出力の時間経過波形に違いがみられた。これは今後の課題として残すことになった。なお、当研究の一部に対して長野県科学振興会より、補助金を頂いたことに感謝致します。

文献

- 1) 小林他：パソコンによる蒸着膜マルチ監視制御システムの試作、電子情報通信学会信越支部大会講演論文集、82、(1991)。
- 2) 小林他：パソコンを用いた残留ガス自動監視装置の試作、第14回分子科学研究所技術研究会(1993)。
- 3) 不破、藤井著：四重極質量分析計(原理と応用)、講談社(1997)。

核融合科学研究所計算機センター
加藤 文雄
kato@nifs.ac.jp

〔1〕はじめに

核融合科学研究所の新計算機システムは平成4年度に予算化され、機種選定等を経て、4年度末から運用を開始した。

新計算機システムは、『大型シミュレーション研究用解析装置』としての日本電気製のスーパーコンピュータSX-3/24Rと『大型汎用計算機システム』としての富士通製のM-1800/20とVPX-210である。これらは土岐地区（岐阜県土岐市）に完成した計算機実験棟に設置された。

また、計算機センターでは、新システム導入を機に、土岐地区に計算機利用のためのネットワークを構築するとともに、名古屋地区との間を1.5Mbpsの高速デジタル専用回線で接続した新ネットワークを構築した。

ここでは新計算機システム及び新ネットワークの紹介とともに、ネットワークの運用、更には今後の課題などについて報告する。

〔2〕新計算機システムの紹介

新計算機システムは、『大型シミュレーション研究解析用装置』としての日本電気製スーパーコンピュータSX-3/24Rと『大型汎用計算機システム』としての富士通製M-1800/20とVPX-210である。

(1)大型シミュレーション研究解析用装置

大型シミュレーション研究解析用装置はSX-3/24Rを主システムとし、高速な磁気ディスク装置と光磁気ディスクを用いた大容量外部記憶装置などから構成される（図1）。大型シミュレーション研究解析用装置は、文字通り、メモリサイズが1GB程度を越える大規模なシミュレーション研究用のジョブの実行を想定（限定）しており、利用にあたっては計算機利用共同研究とは別に「大型シミュレーション研究プロジェクト」としての利用に限定されている。また、システムの運用及び運転も同プロジェクトが行っている。

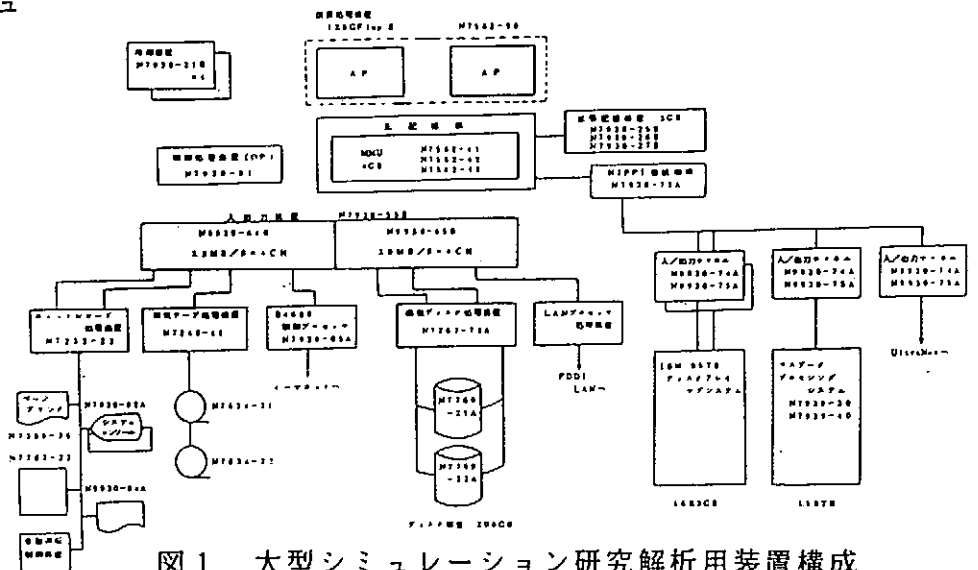


図1. 大型シミュレーション研究解析用装置構成

(2) 大型汎用計算機システム

大型汎用計算機システムは、超大型汎用計算機 M-1800/20とミニ・スーパーコンピュータ VPX-210/10S及び高性能グラフィック・ワークステーションなどのサブシステムから構成されている(図2)。

M-1800/20システムはAVM (Advanced Virtual Machine) 機能のもとで、二つのOSを稼働している。一つは、汎用OSのMSP/EX(以下、このシステムを「MSP」と呼ぶ)で、従来のシステムの継承を計るものであり、他の一つは、UNIX OSのUXP/M(以下、このシステムを「UXP」と呼ぶ)である。VPX-210/10SのOSもUXPと同様なUXP/M(以下、このシステムを「VP」と呼ぶ)である。VPはUXPのバックエンドとして構成され、ベクトル演算のCPUサーバとして、UXPやMSPからのバッチ・ジョブの実行を受け持つ。

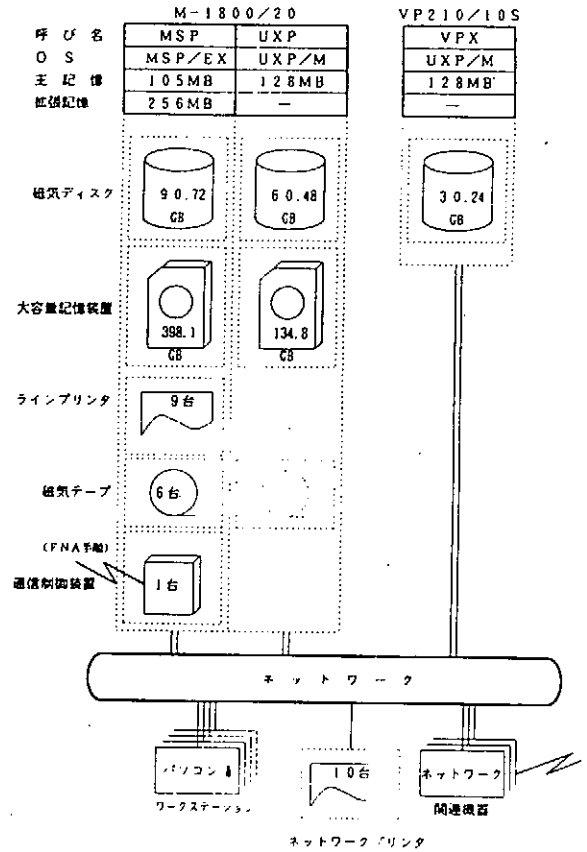


図2. 大型汎用計算機システム概要

(3) 新ネットワーク・システムの紹介

核融合科学研究所は核融合研究の共同利用機関であり、国内/海外の共同研究者及び関連研究機関と研究情報の交換や計算機資源の活用を図る必要がある。核融合科学研究所ネットワーク(以下「NIFSnet」と呼ぶ)は、旧名古屋大学プラズマ研究所時代から構築されたネットワークをもとに、国内外のネットワークと接続されるまでに発展してきた。NIFSnetの構成を図3に示す。

(1) 所内ネットワーク

研究所内ネットワークは、新規に構築した土岐地区のLANと既存の名古屋地区のLANに大別される。各々についての概要を以下に紹介する。

① 土岐地区のLAN

1993年2月に新計算機システムが土岐地区計算機実験棟に導入されたのを機に土岐地区に計算機利用のためのLANを構築した。このLANは、これまでに完成していた各実験棟間にFDDI(100 Mbps)用光ループを敷設し、それぞれの実験棟内に支線としてのEthernetケーブルを敷設したものである。

但し、これは、計算機利用を目的とした当面のLANであり、近い将来には、研究所全体のマルチメディア化に対応できる「情報ネットワーク」が構築される必要がある。

②名古屋地区のLAN

名古屋地区には、1988年に敷設された Ethenet ケーブルによる LAN がある。この LAN は実験データ処理用の計算機用の LAN (DECNET) と AppleTalk が接続されており、PNA, TCP/IP, DECNET を始めとしたマルチ・プロトコルで利用されている。ここに接続されているホスト数は 300 台にもおよび、接続数の上でも、トラフィック量の上でもパンク状態が続いている。

③土岐と名古屋地区の接続

土岐地区の LAN と名古屋地区の LAN は 1.5Mbps の高速専用回線で接続されている。但し、LAN 間接続にはこの内の 768Kbps が利用され、残りは、汎用計算機の NLP 接続用などに用いられている。

(2) 所外ネットワークとの接続

①日米データリンクエージ

日米科学技術協力事業 (核融合) の一環として、1986 年より運用が開始された。当初は、米国ローレンスリバモア国立磁気核融合研究所計算機センターとの間を相互で独自に開発した IFC-CXP プロトコルによって接続した。その後、1991 年からは TCP/IP 手順にもとづいて米国の ESnet と接続するようになった。

②学術情報センター網

当センターでは、1984 年より DDX を利用した NINET に加入し、運用を行ってきた。NINET が学術情報センター網に移行した後、X.25 にもとづく 48Kbps の回線を 2 本利用して、NINET と共に TCP/IP 手順による JAIN に参加し運用を始めた (1991 年)。尚、1993 年には JAIN から SINET に切り換えるとともに、名古屋大学内のノードとの間を 128Kbps にアップグレードした。

③名古屋大学キャンパス情報ネットワーク (NICE)

名古屋大学のキャンパス内にある当研究所は NICE の整備に合わせて 1992 年に接続を行った。これによって、名古屋大学内の共同研究者との間での高速な情報交換等が可能になっている。

④核融合研究機関との接続

国内で核融合研究を行っている拠点機関の間では専用回線等による接続も行っている。主な接続は、3 本の専用回線を用いた京都大学ヘリオトロン研究センター、INS64 回線を用いた大阪大学レーザー核融合研究センター、DDX-P 回線を用いた東北大学工学部がある。

(4) ネットワーク運用

日常的な研究活動において、ネットワーク環境は不可欠なものになってきておりネットワーク運用は重要である。当研究所では、研究系の代表者からなる作業会と調整しながら、以下の項目を始めとしたネットワーク運用にあたっている。

(1) IP アドレス管理

- (2) ホスト名とその管理
- (3) DNSとNIS
- (4) 経路制御
- (5) 障害時の対応

〔5〕 今後の課題

ネットワーク運用についての今後の課題の内、主なものを以下に列挙する。

(1) ネットワークの監視システムの構築

ネットワークの信頼性を高め、障害への迅速な対応を図るためには、日常的にネットワークを監視できるシステムの構築が必要である。

(2) 大量データ転送への対応

シミュレーション演算結果、画像データ、実験データなどはますます大量なものになってくることが予想される。このような大量のデータを高速に転送できる強大でかつ柔軟なネットワーク構築への対応が求められる。

(3) ネットワークに接続された機器の管理

今後とも発展・拡張されるネットワーク及び接続機器の維持・管理を研究所に適した方法で進めていく必要がある。

(4) 情報提供サーバの構築

CPUサーバのみならず、情報（ニュース、掲示板、共通データベース等）を提供するサーバ・システムを構築する必要がある。

(5) ネットワークのセキュリティ機能の強化

ネットワークに接続された個々のホストのセキュリティを高めることはいうまでもないが、ネットワークとしてのセキュリティを高めることがより重要になる。

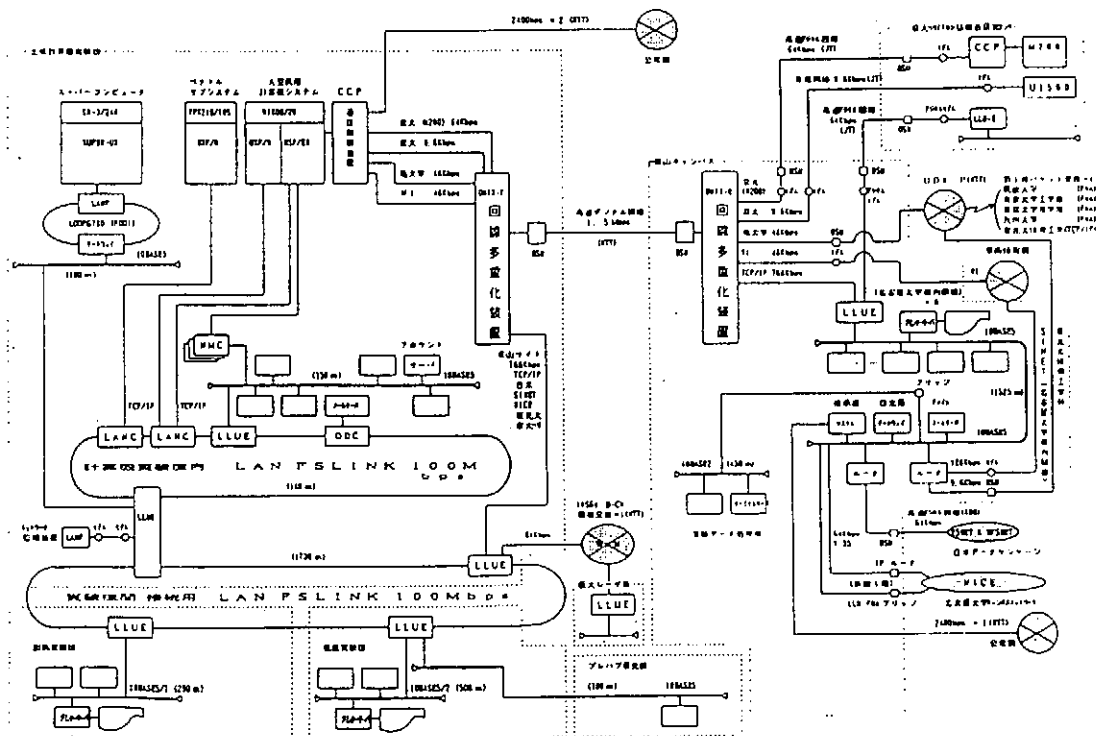


図 3. ネットワーク構成

埼玉大学キャンパス情報ネットワークシステムの構築法

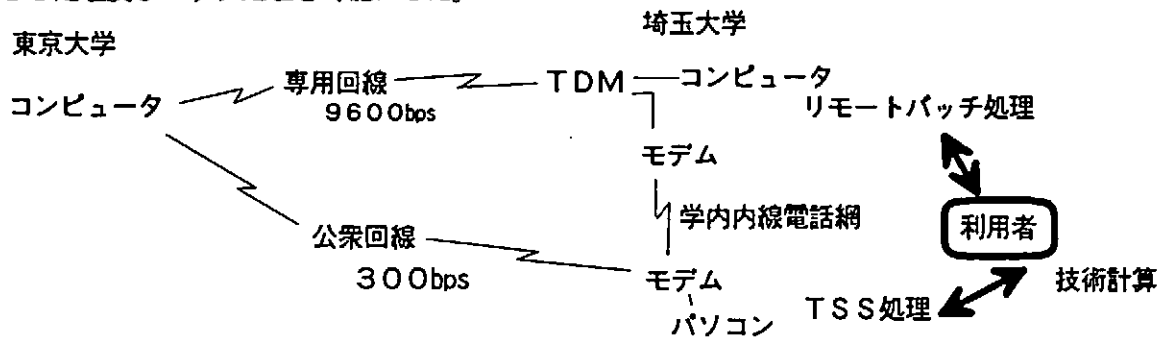
埼玉大学総合情報処理センター 福島又一 石川幸一

はじめに

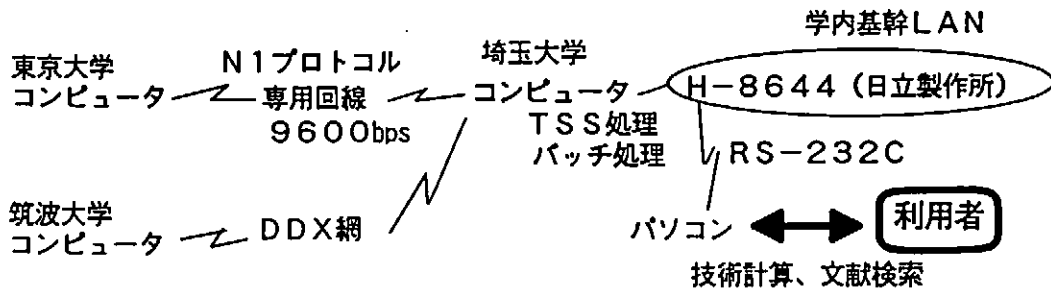
本稿は、埼玉大学のネットワークの歴史的な経過と、その経験に基づき設計したSONET (Saitama university Open NE Twork) についてまとめたものである。

1. ネットワークの沿革

昭和52 ('77)年、主にコンピュータは科学技術計算用に利用されていた。当大学では、全国共同利用の東京大学大型計算機センターと専用回線及び電話回線を使い、計算機室や各研究室に設置した端末機からTSS処理及びバッチ処理を可能にした。



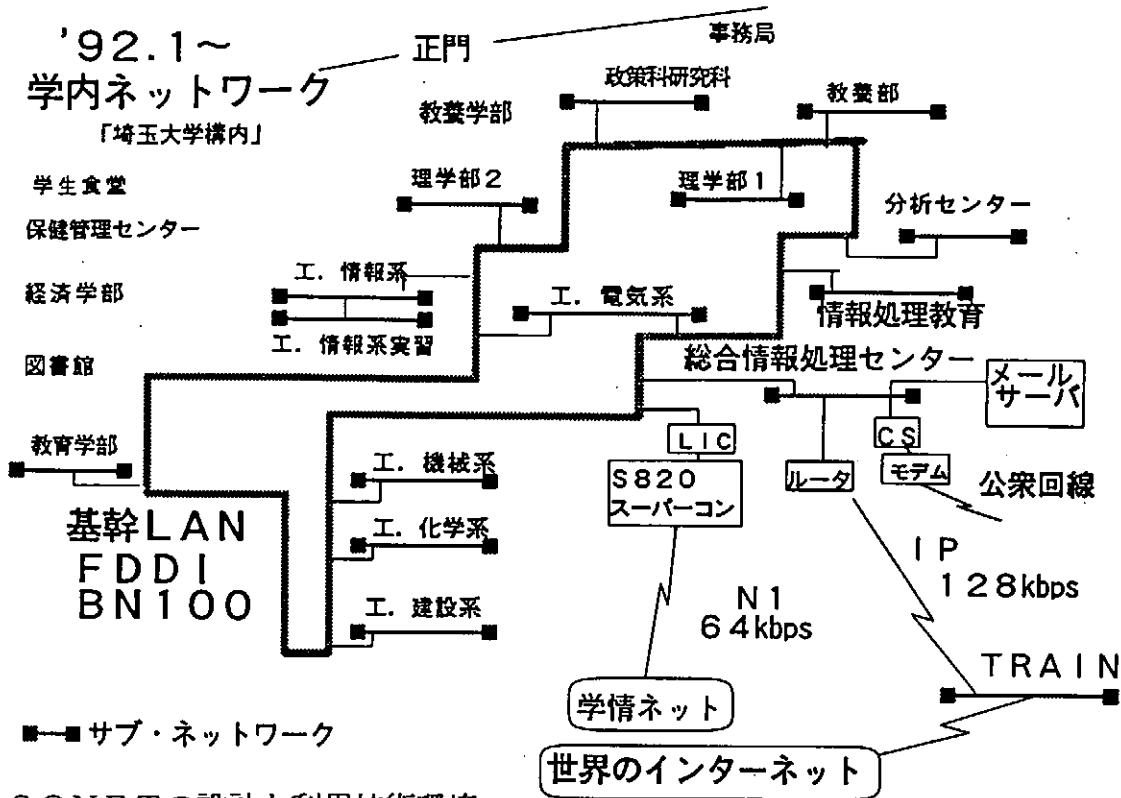
その後、通信速度の高速化、専用端末機からパソコンへの移行、データ専用内線電話網の制度化等の改良を進めた。昭和60 ('85)年には、光ファイバケーブルを利用したトークンリング方式による学内基幹ネットワークと、N1プロトコルによる全国大学間ネットワークが開始した。この時代では、パソコン用通信ソフトウェアの開発、RS-232Cによる簡易データ回線の開発、光ファイバケーブルによる学内基幹ネットワークの運用等を行った。



イーサネットによるネットワークは、昭和63 ('88)年に工学部の電気工学科及び電子工学科で開始したEE-netが最初である。平成元 ('89)年には、将来のインターネットワークへの接続を予想してIP (Internet Protocol) ネットワークアドレスのClass-Bを取得した。また学外とは、j u n e tへ加入して電子メール及びニュースの発信を開始した。

平成3 ('91)年12月には、総合情報処理センターの設立に伴いスーパーコンピュータが導入された。これと共に、FDDI (BN100:日立製作所)による100Mbpsの基幹ネットワークを運用し、各部局で動作中のイーサネットを収集した総合的なネットワークとして稼働を開始した。

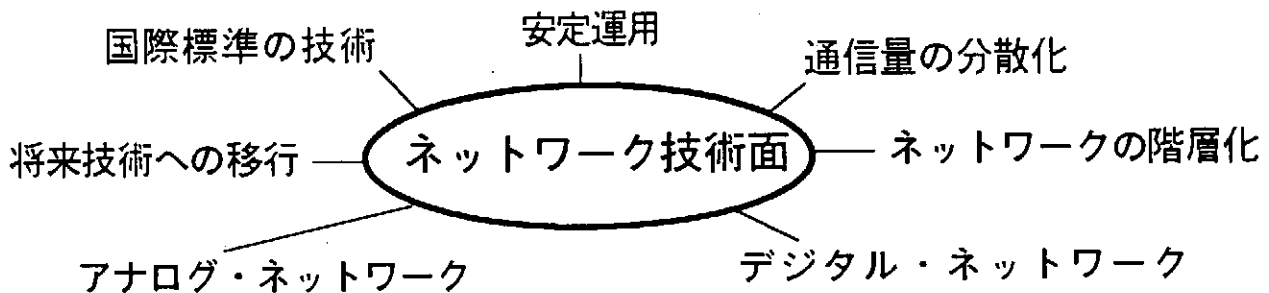
平成4 ('92)年8月には、東京大学大型計算機センターを中心とした東京地域ネットワークTRAIN (Tokyo Regional Academic Inter-Network) の発足にともないIP接続で加入した。



2. SONE Tの設計と利用技術環境

SONE Tの設計は、現在の通信技術やネットワーク技術、及び将来の技術予想、埼玉大学の環境等を踏まえて行った。

ネットワークを構成する物理層については、一般情報処理通信に用いるデジタルネットワークとマルチメディア通信に用いるアナログネットワークを組み合わせた複合システムで構成されている。設計に重点を置いたテーマは、国際標準技術の採用、ネットワークの分散化、運用管理の簡便化及び機密保護等である。



1) 基幹ネットワーク用ケーブルの敷設

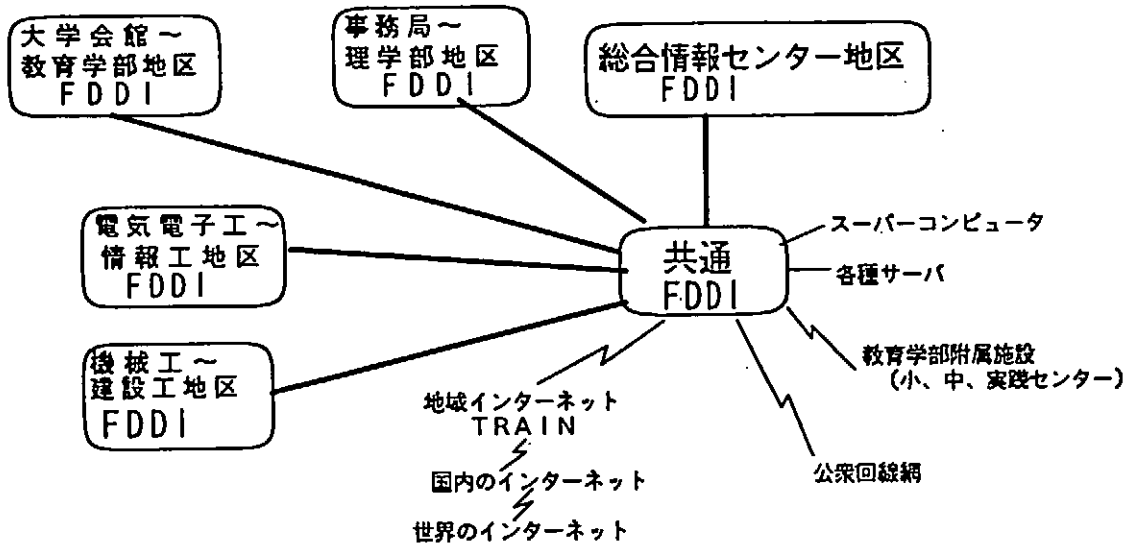
一般情報処理通信については、多芯混合光ファイバケーブルとして、将来のATM (Asynchronous Transfer Mode: 非同期転送モード) 方式等による通信への移行も考慮して、キャンパス内に対して総合情報処理センターから放射状に4方向に向け敷設した。

マルチメディア通信 (画像) については、建物間を光ファイバーで結んだシステムと、同軸ケーブルを用いたシステムで比較検討した。現在の光ファイバー用ノード機器は、性能と価格の面から遠距離伝送に有利であるが、近距離伝送の場合は同軸ケーブルを用いたシステムの方が性能及び価格面でも有利であるので、同軸ケーブルを用いたシステムとして設計した。

2) 基幹ネットワーク

基幹ネットワークの通信速度と通信プロトコルの選定は、大学の通信機器の設置構成、通信送受先、通信量、ネットワーク構成機器の追加変更等を考慮した。

基幹ネットワークとして検討したシステムは、複数のスーパーコンピュータと複数のファイルサーバーが大学構内に分散している環境である。この場合には、システム間を1.5Gbps程度の高速度通信を行うHIPPI等のシステム、データ通信と映像通信を600Mbps程度で行うマルチメディアシステム、



データ通信として国際標準規格で100Mbpsの通信を行うFDDIシステムがある。

当大学では、HIPPIを有効に利用する機器構成でないこと、現在のマルチメディアシステムの製品が開発途上の段階と思われることから、安定運用期にあるFDDIシステムを採用した。他のシステムに比べ劣る通信速度については、キャンパス内を6FDDIループに分割し、それらのループを結合して高速化と安定化を行った。

選定されたFDDIのノード機器は、米国Synernetics社製のLANplex6004で、高速な内部Bus、接続されるイーサネットを高速スイッチングにより各ポートごとに10Mbpsで通信が可能であり、機密保護のためのデータフィルタリング機能等が優れている製品である。またFDDI間を結ぶFDDI間接続装置は、米国Cisco Systems社製のAGS+/4を選定した。

3) サブネットワーク

サブネットワークは、部局、学科、建物、接続台数等から構成単位を決めている。

物理的な構成は、ノード機器に付加されたスイッチングHUB装置から該建物の各階廊下まで放射状にカテゴリー5 (10BASE-T) のツイストペア線を配線し、HUB装置を設置する。利用者は、廊下のHUB装置に接続するツイストペア線以降の接続作業を行うことによりネットワークに加入できる。

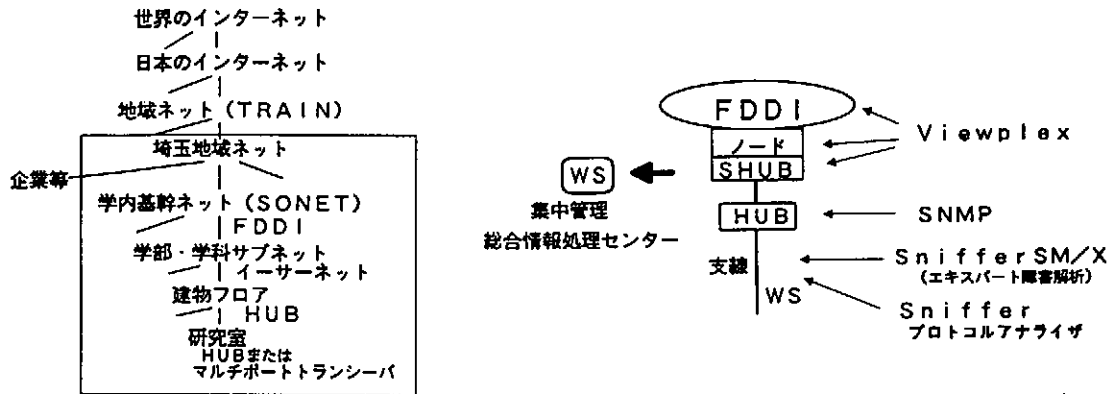
この接続方法の利点は、スイッチングHUBを使うことにより同一サブネットワークでも各支線が独立に10Mbpsの通信速度を利用できること、ツイストペア線を階層的に使うことにより配線工事の簡素化、障害の局所化、カテゴリー5によるツイストペア線の物理的強度および100Mbpsへの流用等の利点がある。

4) ネットワークの階層と管理

現在のネットワークは、例えば一般の電話回線分野が電気通信事業法等で法的整備が設けられているのに比べて、技術が過渡期であり法的整備が無く実験的ネットワークの状態と思われる。そこでネットワークを安定的に運用するには、通信量の分散、機密保護、故障箇所の局所化等を行う必要があり、次の階層化と管理方法で設計した。

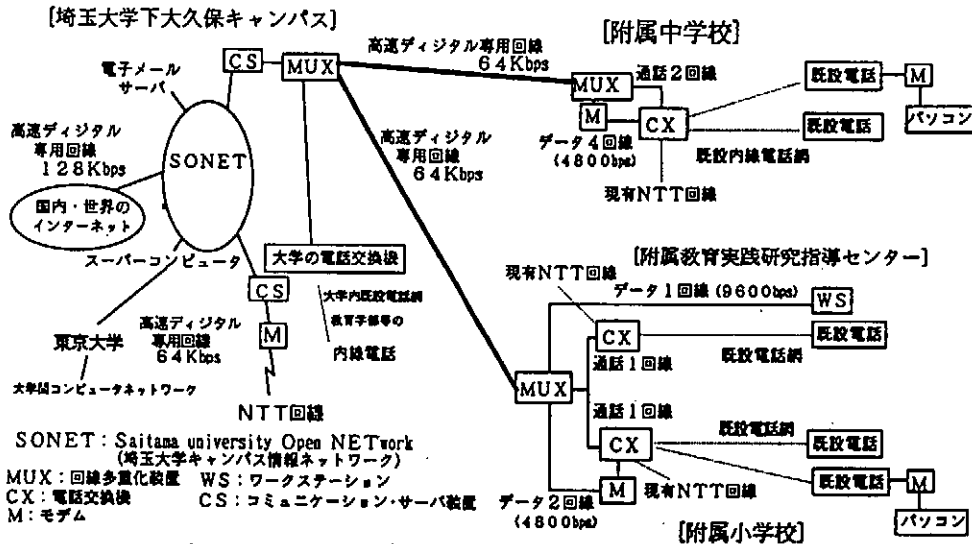
ネットワークの階層化は、地域ネットのTRAIN、今後埼玉大学の近隣の大学や企業間を結んだサブ地域ネット、キャンパス内を6ブロックのFDDIに分けた学内基幹ネット、学部や学科単位のサブネット、FDDIノードからスイッチングHUBを介して建物の各階のHUBを中心としたフロアーネット、さらにHUB以降の各研究室単位のマイネットに分けられる。

ネットワークの管理については、総合情報処理センターを拠点としてFDDI、サブネット、支線まで集中管理する。管理システムは、FDDIノード機器をSun Net ManagerとViewplexの複合システム、またHUB機器をSNMPによる情報のシステムで構成した。また支線の障害管理はLANアナライザを選定した。



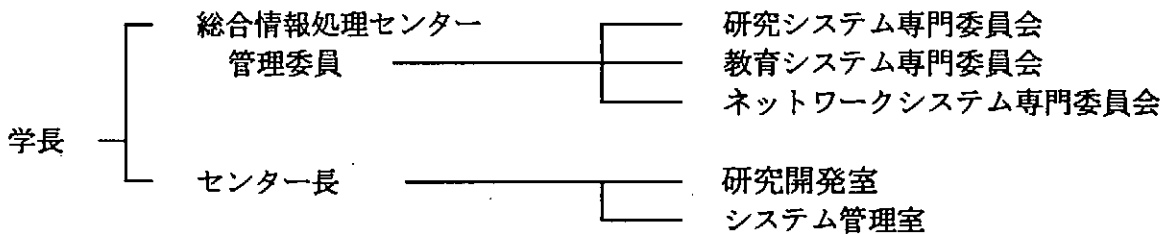
5) 教育学部附属施設との接続

当大学には、大学キャンパスから約4 Km離れた市内に教育学部の附属施設として中学校、小学校、教育実践研究指導センター等からも利用できるように設計した。利用内容は、附属施設のパソコン教室や研究室から電子メールや文献検索等の利用、また大学の内線電話網と附属施設の内線電話網を接続した。初期の運用としては、回線サービス品目の最低品目である64 Kbpsによりデータ系4回戦、音声系2回線を開始した。



3. ネットワークの運営について

現在の管理運用体制では、ますます多様化している情報処理技術環境に対応できない。そこで、当センター管理委員会では、各規程を改定して、管理委員会内に研究システム、教育システム、ネットワークシステムの各専門的事項を調査、検討し処理するための専門委員会を制定した



東京大学情報ネットワークシステム UTnet の 構築及び運用について

東京大学大型計算機センター UTnet 運用掛
○井爪 健雄 前谷 強志 後藤 信孝 椿山 惣一郎

1 はじめに

東京大学の構成員数は約 29,000 名で、キャンパスは本郷地区をはじめ比較的大きな地区が 7ヶ所あり、全国に部局、研究施設が点在している。これらのキャンパスすべてを対象とした学内 LAN として東京大学情報ネットワークシステム (UTnet:Universitu of Tokyo network system) の建設が始められた。

「東京大学情報ネットワークシステム UTnet は研究及び教育に必要な情報通信を行うための基盤設備である。UTnet はデータはもとより画像や音声を学内のどこからでもいつでも通信することができる情報ネットワークである。また、UTnet では大学における研究・教育のみならず各種業務にも利用できるように、安全性を考慮したシステムを構築する。」という基本理念に基づき、平成 2 年度から建設が行われ、完成した所から順次運用を開始していった。平成 4 年度には建設が終了し、平成 5 年度から本運用に入り、現在約 1 年が経過した。

ここでは、UTnet の構築及び運用について紹介する。

2 UTnet の構築

1 年次は、本郷地区、2 年次には駒場第一、駒場第二、六本木地区及び本郷地区のマルチメディアネットワーク、3 年次には、田無、中野、白金地区、その他遠隔研究施設及び事務用の文書情報伝送システムの構築を行った。

2.1 UTnet の構成

2.1.1 基幹ネットワーク

基幹ネットワークは、各キャンパスに 100M bps の伝送能力をもつ FDDI(Fiber Distributed Data Interface) リングを用意し、本郷地区を中心としてデジタル専用回線で接続している。

本郷地区 には 4 つの FDDI リングがあり、それぞれ、一般リング、マルチプロトコルリング、マルチメディアリング及び事務用リングと名付けている。FDDI リングの総延長は 12.3Km であり、各リングにはそれぞれ、49 台、31 台、4 台、24 台のノード装置 (ルータ又はブリッジ) が接続されている。

一般リング TCP/IP プロトコルを用いたリングであり、支線に対する経路制御 (routing) を行うことによりトラフィックに関する管理を行った運用をしている。

UTnet の基本的な利用は、TCP/IP プロトコルリングを用いることを原則としている。

マルチプロトコルリング 一般リングと同じく原則として TCP/IP を用いているが、研究・教育上必要と認められるものであり、なおかつ実績があるプロトコルについては、経路制御を行わない透過的利用を認めている。理学部を主体とした DECnet プロトコルなどが利用されている。

マルチメディアリング マルチメディアリングは、410Mbps の伝送能力があり、ISDN 内線網による利用や、NTSC による画像データの転送、TCP/IP での利用などが行われている。

事務用リング 事務用リングでは、NetWare(IPX プロトコル) を用いた文書情報伝送システムを構築し、事務文書の作成・送付・印刷が高率よく利用できる。

駒場第一地区 [教養学部他] には、一般リング相当の研究用リング(ノード数9台)と基礎教育環境を整備するための教育用リング(ノード数7台)の2つを構築した(総延長4.9Km)。

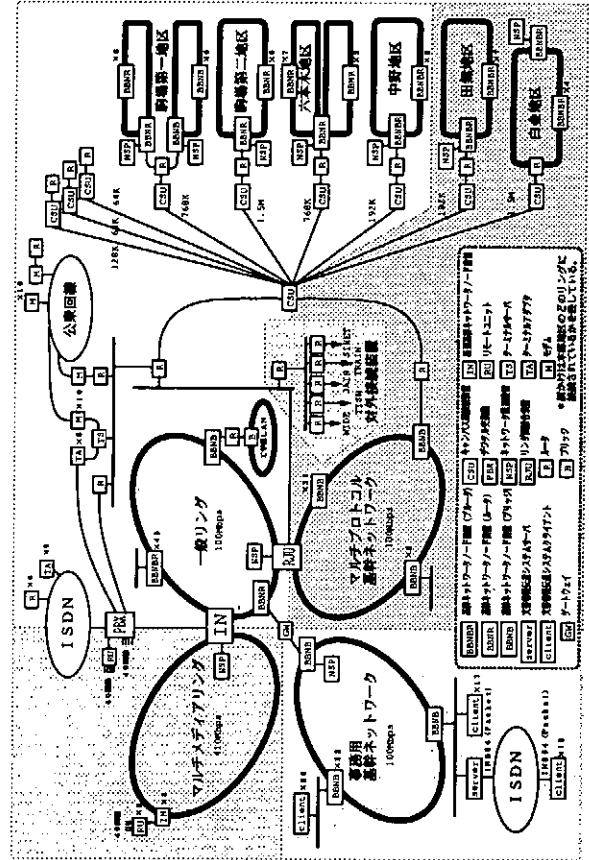
その他一般リング相当のリングを、駒場第二地区(ノード数10台、総延長2.9Km)六本木地区([生研]ノード数8台、総延長1.9Km)、([物性研]ノード数3台、総延長0.7Km)、中野地区(ノード数3台、総延長0.2Km)に、マルチプロトコルリング相当のリングを、田無地区(ノード数8台、総延長1.4Km)、白金地区(ノード数5台、総延長1.2Km)に構築した。

2.1.2 支線ネットワーク

支線ネットワークは、一般的には10Base-5などにより建物内を一筆書きで張り巡らせる方法が用いられていたが、一般利用者によるネットワーク機器の接続が難しく、障害が発生した場合には、その障害が支線ネットワーク全体に波及してしまうため、UTnetでは縦系と横系を分割した。縦系には、10Base-5等を使用した所もあるが、主に10Base-Tを使用し、ノードからHUBを経由して各階に設置したHUBに接続した(カスケード接続)。UTnetとしては縦系までの構築を行った。

利用者はHUBに10Base-Tのケーブルで接続を行えば良く、機器の接続が容易である。

しかし、10Base-TのHUBはリピータなので、段数制限があるため、拡張性に問題があるが、この場合には縦系と横系をブリッジを介して接続することを推奨している。



2.1.3 キャンパス間接続

キャンパス間接続は本郷地区を中心に192Kbps以上の高速デジタル専用回線を使用し、両端をルータを用いて接続した。

2.1.4 遠隔研究施設接続

遠隔研究施設との接続は、各施設での利用形態等を考慮したうえで、高速デジタル専用回線、ISDN網、公衆電話網のいずれかを用いて接続した。

2.1.5 対外接続

対外接続としては、WIDE, TISN, SINET, JAIN, TRAINの各ネットワークとの接続を

行っている。UTnet では、対外接続用のセグメントを用意し、外部のネットワークと接続を行ったため、UTnet のバックボーンに不必要なトラフィックを発生させないようにしている。

2.2 UTnet の運用

UTnet 建設期間は、暫定的な運用組織として設置した情報ネットワークシステム運用センターが建設及び運用を行ってきたが、建設終了後の全面的な運用がはじまってからは、大型計算機センターが運用を行うことになった。

全面運用がはじまってからの運営体制は、本学直轄の UTnet 運営委員会及びそのもとに企画と技術の2つの小委員会を設置し、UTnet を円滑に運用するために大型計算機センター研究開発部の強化(助教授1, 助手1)ならびに UTnet にかかる実務を担当する UTnet 運用掛(技官5)が設けられた。

また、UTnet の構成、役割分担、申請手続き等、運用していく上で指針となる規則(東京大学情報ネットワークシステム運用規則)を本学評議会のもとに作成した。

運用経費については、特別設備維持費とそれを越える部分についてはそれぞれ2分の1の学内共通経費負担、部局負担で賄うこととした。部局負担学の目安は、各部局が管理する支線数(サブネットの数)による。

なお、事務用ネットワークの運用は、事務局(経理部情報処理課など)が中心となり行っている。

大型計算機センターでは、FDDI リングやキャンパス間接続等の基幹ネットワーク部分を管理し、部局の建物内にある支線ネットワークは大型計算機センターとの協力により各部局で管理している。

UTnet 全体を一元的に管理することは地理的にも人間的にも大変困難であるため、部局には部局担当者を置き、端末設置接続申請等の事務手続きや、事務連絡、接続時の技術支援や支線ネットワーク上のトラブル対策等を行っている。

UTnet 運用掛では、基幹ネットワーク機器の管理、ネットワークの運用状態の監視、障害対策、IP アドレス、ネットワーク機器等さまざまな情報の管理及び利用者からの機器設置、利用に関する相談業務等を行っている。

ネットワークの監視 各 FDDI リングには、ネットワーク監視装置が設置してあり、ノード装置の状態やループバックの状態等が一目でわかるように表示されている。また、障害状況や各ノード装置ごとのトラフィック量等のグラフ表示等ができる。本郷地区の4つのリングに接続されている監視装置は、UTnet 運用掛に設置され、常に監視できる状態にあるが、夜間、休日等人がいない時や他のキャンパスに設置された監視装置は見るできないという問題がある。今後、夜間休日等の監視体制や一箇所ですべて遠隔監視が行える方法を考える必要がある。

障害対策 UTnet は、基幹リングのノード数が多く、地理的に広範囲に及んでいるため障害発生時の対応が大変である。障害の発見は、ネットワーク監視装置による場合や、利用者からの電話や電子メールでの連絡、その他使用中に異常を発見する場合等がある。障害発生時には、部局担当者や利用者から障害の状態を詳しく聞くとともに、ping や traceroute 等のコマンドにより障害箇所を発見し、原因を追及する。障害の対策は、部局担当者と連絡を取りながらノード装置の再起動等の対処を行ってもらう。それでも障害が復旧しない場合は、調査のための機器や工具を持って現地に調査に行くことになる。

UTnet の基幹ネットワークはリング構成になっているためノード装置に障害が発生した場合は、同一リング上の1台だけであればループバックにより他のノード装置には影響がないが、同一リング上で2台以上のノード装置に同時に障害が発生した場合は、障害の発生したノード装置には含まれたノード装置がネットワークから切り放されてしまう。そのため、特に迅速に対応しなければならない。

ハードの故障等で修理に時間がかかる場合は、故障したノード装置を基幹リングから切り放したり、取り敢えず他の機器を接続して対応する等の方法をとっている。ノード装置等の重要な機器に対しては交換用の機器を用意できれば良いのだが、予算面等の問題により現状ではできていない。

停電 ネットワーク機器は、基本的に24時間稼動していなければならないものであるが、電源設備点検等のための停電が年に数回ある。停電により、UTnetのルータ等が停止してしまうと外部との通信および、キャンパス間通信などができなくなる。そのためそれらの装置の電源供給は、CVCF（無停電電源装置）を使用したり、別系統の電源を用意して無停電化をはかっている。

申請手続き UTnetに機器を接続する場合には申請書を部局担当者に提出し、IPアドレスを取得しなければならない。IPアドレスの割り当ては、部局毎に割り当てられたサブネットワークアドレスを部局担当者が割り振り、部局管理者（部局長）の承認を得る。割り振られたIPアドレス等は、UTnet運用掛に報告され、一括管理している。

相談業務 UTnet運用掛には、ネットワークに関する様々な質問が寄せられてる。端末の設置に関する質問（IPアドレス、どのようなハード・ソフトウェアが必要か又はその設定について等）や、ネットワークの障害に関する質問、支線ネットワークやサーバ等の設定に関する質問などが主である。

なお、UTnet運用掛では、年4回UTnet広報を発行して、UTnetに関する技術的、手続きの事や各部局でのUTnetの利用に関する紹介等を行っている。

2.3 利用状況

支線ネットワークが整備されるにつれ、端末数が増え現在約3,500台以上の端末が接続

されている。また、ネットワークのトラフィック量も大幅に増加してきている。

2.4 おわりに

UTnetが完成してから、約1年間運用を行ってきたが、この間にも基幹ネットワークノード装置の増設や、キャンパス間接続用の専用線の回線速度アップなどがあった、また、最近各キャンパスにおいて建物の建設が盛んに行われているため、それらの建物にも基幹ネットワークノード装置を設置する必要が出てきた。従って、当面はUTnetの維持管理を行う傍ら該当部局と一緒に設置作業を行って行くことになる。

1. 概要と開発背景

J T - 6 0 制御システム (図 1 参照) は、プラズマ放電制御機能とプラント制御監視機能を司る複数の制御装置とこれらを統括する「全系制御設備 (以下「全系」と称す。) から構成されている。この制御システムの中核である全系計算機システムは、5 台の 16 ビット制御用ミニコンピュータ H I D I C - 8 0 E (以下「H 8 0 E 計算機」と称す。) から構成されている。しかし、その製作から 1 0 年以上を経過し、ハードウェアの老朽化に伴い、保守が困難と成っている。この対策としては、H 8 0 E 計算機を最新の計算機システムである W S や V M E バスシステムに移行することが考えられる。しかし、このためにはソフトウェア開発に要する時間や費用の点で問題があるために早急な対応ができない。

そこで、H 8 0 E 計算機システムの見直しを行った結果、H 8 0 E 計算機本体よりも周辺機器に問題があることが判明した。H 8 0 E 計算機周辺機器としては、キャラクタ C R T、タイプライタ、ラインプリンタ、磁気テープ装置、プログラムローディング用 8 インチフロッピー装置、コンソール入出力装置 (以下「C I / O」と称す。) 等がある。この中でも特に重要な C I / O の C R T が経年劣化のため文字の認識が困難な状態にある。また、製造から 1 0 年以上経過しているため交換部品の調達ができない。

そこで、C I / O と H 8 0 E 計算機間の信号の取り合いを調査したところ、C I / O と H 8 0 E 計算機間が R S 2 3 2 C (9 6 0 0 ビット / 秒 : 信号線は、総数 7 本) で接続されていることが解った。そこで、ワークステーション (以下「W S」と称す。) に標準として備えられている R S 2 3 2 C ポートを使用し、通信ソフトウェアの開発を行えば、1 台の W S に集約したシステムができるのではないかと考えた。

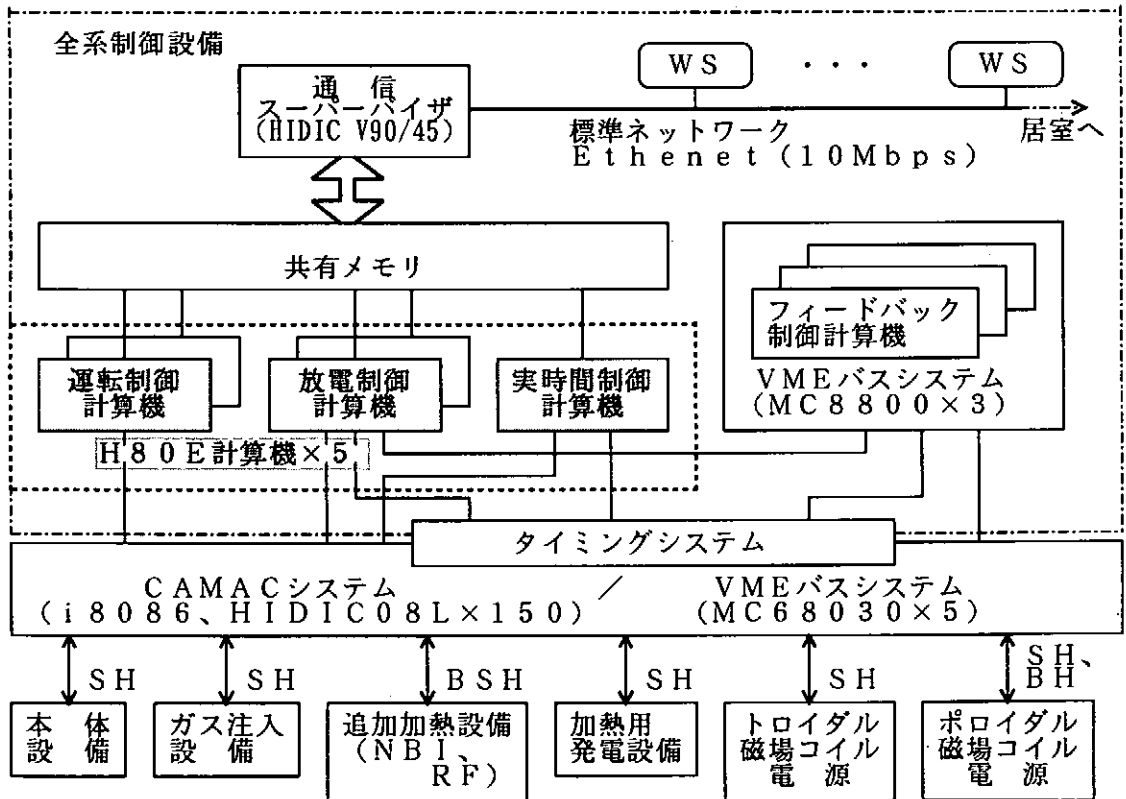


図 1 J T - 6 0 制御システム

2. ハードウェア構成

システムのハードウェア構成を図2に示す。

本システムは、WSの標準シリアルポートと増設されたシリアルポートに5台のH80E計算機のY-BUSから延びるC I/O用インターフェスを接続し構成されている。また、WSは既設のネットワークに接続されている。

ハードウェア機器の仕様は以下の通りである。

- ①ワークステーション : SUN Sparc IPX
: 19インチCRT
- ②増設シリアルポート : Performance Technologies, inc
S-BUS 4 Port I/O Module PT-SBS530
- ③プリンター : Canon LASER SHOT A404G II

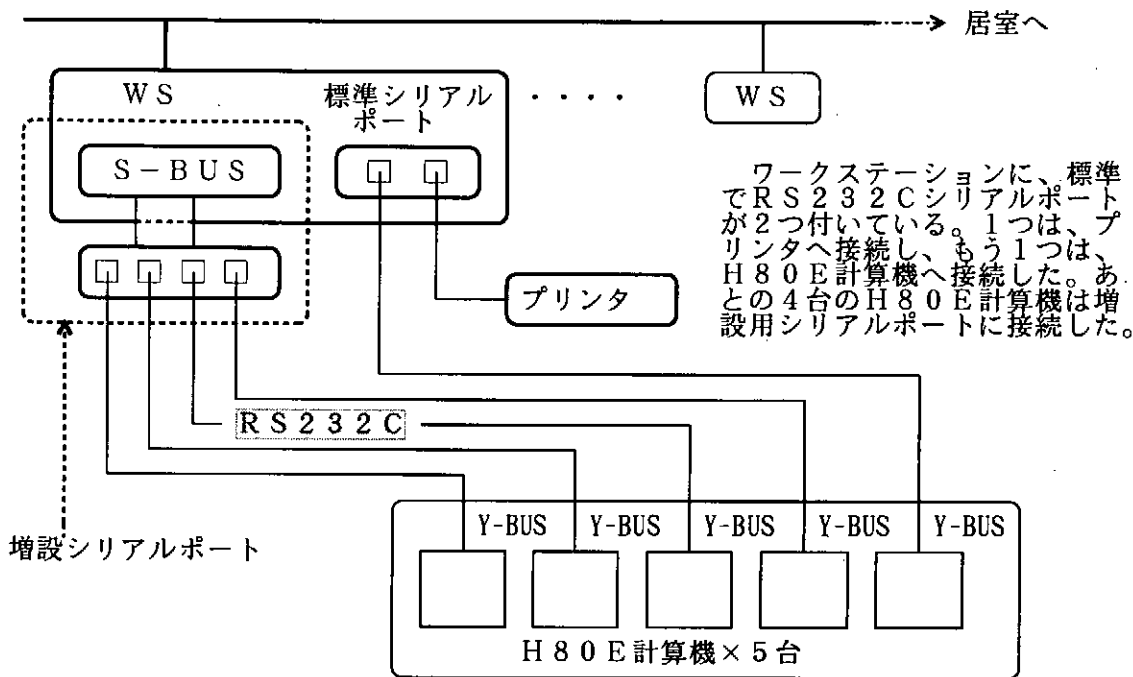


図2 ハードウェア構成

3. ソフトウェア構成

ソフトウェア構成を図3に示す。ソフトウェアは、コントロールプロセスとエミュレーションプログラム(×5)から成り立っている。(画面構成は、付録1参照)

I. コントロールプロセスの機能は、以下の通りである。

- ①エミュレーションプログラムの起動/停止
- ②タスク検索

タスク検索機能ウインドウにタスク番号、タスク名称、タスク略称、タスクレベルGFC番号等を表示し、タスク情報を検索方法に従って検索する。検索方法は、“タスク番号/タスク略称/プログラム名称”の3種類がある。

- ③画面ハードコピー

II. エミュレーションプログラムは、H80E計算機との通信を司る通信プロセスと、キーボードや画面表示の制御等を行うプロセスから構成される。また、C I/OのCRT再表示やプログラムローディング機能を実現した。その他に既存の操作をより使いやすくするために幾つかの機能を追加した。追加機能を以下に示す。

- ①登録コマンドの登録／実行
キーボード入力操作を登録しておくことにより、一連のキーボード入力をコマンドリストとして実行できる。
- ②コマンドの再実行
実行したコマンドリストを繰り返し実行できる。
- ③特殊機能プログラムの起動
基本的に登録コマンドリストの実行と同様であるが、コマンドリストの実行結果を任意のファイルに書き込むことやこの実行結果を使用した解析プログラムを登録することにより、エミュレーションウィンドウの中で解析プログラム等の実行ができる。
- ④UNIXモードへの移行
UNIXモードとエミュレーションモードを1つのウィンドウ内で自由に切り替えることができる。また、UNIXモードに於いてもH80E計算機からのI/Oエラー等のメッセージは、無条件に表示される。
- ⑤他のWSからのリモート操作
本CI/O用ワークステーションに接続されているネットワーク上の他のWSからTCP/IPプロトコルを用い、H80E計算機のコンソール操作が出来るものとした。

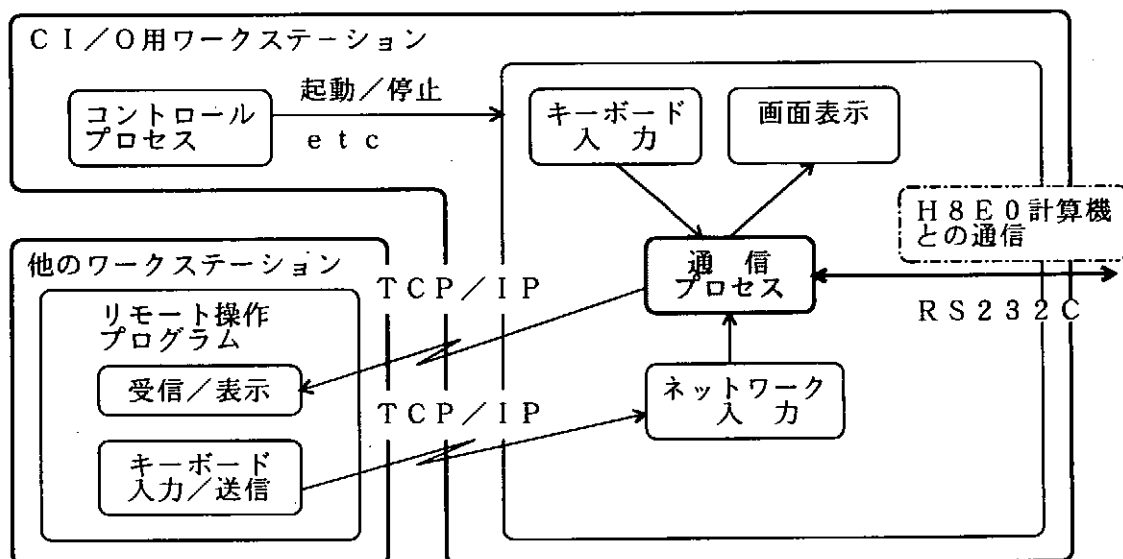


図3 ソフトウェア構成

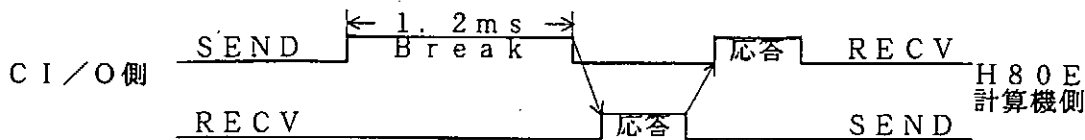
4. ソフトウェア開発の問題点

通信プログラムは、CI/Oの取り扱い説明書の通信手順を基に作成し、テストしたが正常に通信が行えない。そこで、ロジックアナライザを使用し、CI/OとWSとのRS232C信号の変化の違いを調査した。(図4参照)

通信不具合の原因は、WSの「Break信号*1」が長すぎるために、H80E計算機からWSへ応答を発行しても、WSから応答が無いために、H80E計算機側が通信エラーを検出しているためであった。そこで、標準のBreak信号出力システムコールからioctlシステムコールのオプションであるデータラインのHIGH/LOWを操作する機能を使用してにてBreak信号をCI/Oと同じ時間(1.2ms)出力するプログラムを作成した。

*1: Break信号は、H80E計算機への入力割り込みを行う。

① コンソール入出力装置の場合 (CI/O)



② ワークステーションの場合 (WS)

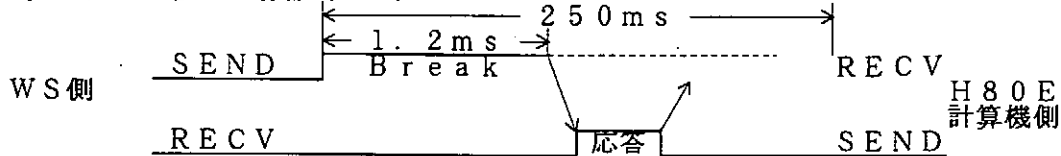


図4 ソフトウェア開発の問題点

5. まとめ

5台のコンソール入出力装置を安い費用で1台のワークステーションに集約しその結果次のような保守管理上の効果がもたらされた。

- ①ハードウェアが最新のものとなり、故障頻度が低下する。
- ②作業スペースの確保できた。
- ③UNIX上で動作するプログラムの開発により操作性の向上し、H80E計算機の保守管理のための新たなユーティリティが容易に作成できる。
- ④ネットワーク化に対応でき、居室等から他のワークステーションを使ってリモート操作ができる。

付録1 ワークステーション化されたCI/Oの初期画面

LANを用いたインターロックシステムの監視

高エネルギー物理学研究所 放射光実験施設
齊藤裕樹、小菅隆、伊藤健二

1. はじめに

文部省高エネルギー物理学研究所の放射光実験施設では、2.5GeV電子・陽電子蓄積リングからの放射光を使用した様々な実験が行われている。実験ホールには現在21本のビームラインが設置されており、ビームラインインターロックシステム^{1) 2) 3) 4) 5)}及び集中管理システムは^{6) 6) 7)}、実験者の放射線被爆からの防護、各ビームラインの真空保持、及びその構成要素の保護を目的として設置され、安全かつ円滑な放射光利用実験の遂行に大きく寄与している。

集中管理システムのロギングは、今までラインプリンターのプリントアウトにより行っていた。しかし、ログデータの保存に場所をとる、検索が非常に困難である等の問題があった。今回、ロギング用のパソコンを新たに設置し、さらにローカルエリアネットワーク(LAN)で各インターロック担当者居室のパソコンと接続することにより、ログデータの検索、保存、遠隔監視が容易に行えるシステムが構想された。

2. 構成

現在は、5台のパソコンで、10BASE2を使用し、小規模なネットワークシステムを構成している。総ケーブル長は約200mであり、2つのトランクセグメントを持つ。ネットワークOSには、1) 拡張性が高い、2) 導入に関して専門的な知識が要らない、3) 低価格である、などの理由でLAN smart(日興通信社製)を採用した。なお、LAN smartは、専用サーバを必要としないPeer to Peer型であることや、マルチタスクで動作するためサーバの設定でも、サーバ機能のみに占有されないという特徴を持っている。ロギング及びファイルサーバマシンとしてはPC9801VXを、集中管理システムのラック内に設置した。

研究棟にある各インターロック担当者居室のパソコンと研究棟1Fにあるインターロック保守部品ストック管理用パソコン(すべて98シリーズ)はサーバマシンと接続されている。なお、中間にはマルチポートリピータを使用し接続距離の延長をはかった。

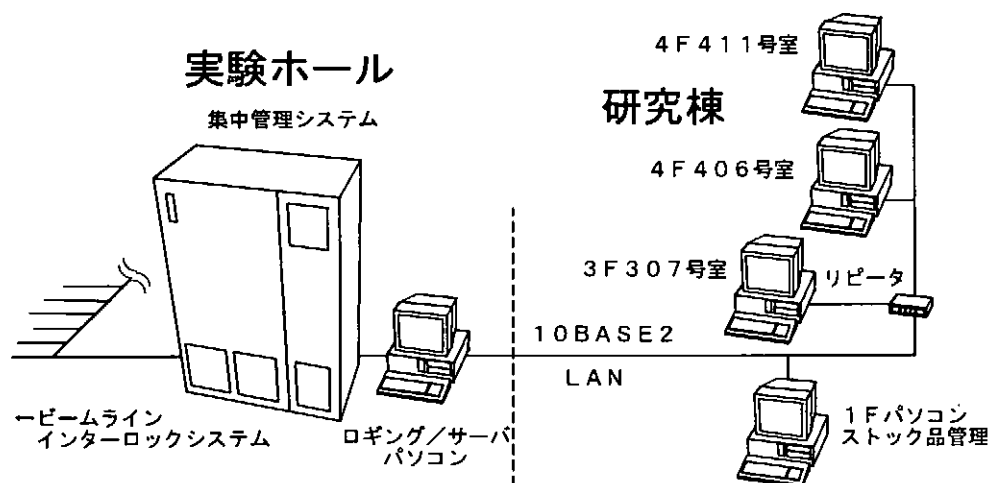


図1. システムの構成

3. 段階的な導入

L A Nで複数のパソコン間を接続することは初めての経験であったので、以下に述べるように段階的な導入を行った。

① 2台のパソコンで試用

まず、始めに2名のパソコン間でL A N smartの導入を試みた。セットアップ等は比較的簡単に行えたが、サーバ設定時はメインメモリへの常駐量が多い、ネットワークに開放したハードディスクにアクセスされると処理速度が遅くなる、という点が目に付いた。しかし、ワークステーション設定時はメインメモリへの常駐量も少なかった。そこで、ロギング用パソコンをサーバに、その他はワークステーションに設定することにした。

② 3台のパソコンで試験運用

サーバ設定のパソコンを一台追加し、L A N smartの安定性、他のアプリケーションソフト使用時の安定性、ファイル共有時の安全性等の試験を行った。一部のソフト使用時に多少不都合があったが、それさえ注意すれば安定性、安全性とも問題はなかった。

③ 研究棟内での運用

担当者全員を接続し、個別に所有していたインターロック関係ファイルをサーバマシンに集め、整理し共有を行った。また、打ち合わせなどの連絡用に電子メールも導入し、やっとネットワークらしい形になった。

④ 集中管理システムと接続

リピータ設置、ケーブル敷設等を行い、サーバマシンを集中管理システムのラック内に設置し、ロギングを開始した。なお、集中管理システムとの接続にはR S 2 3 2 Cを用いた。

⑤ 本格的な運用

研究棟1 Fには、インターロック関係ストック品がまとめて置いてある部屋がある。そのパソコンを、ストック品の出庫、入庫等を一括して記録するという目的でサーバマシンに接続し、本格的な運用を開始した。

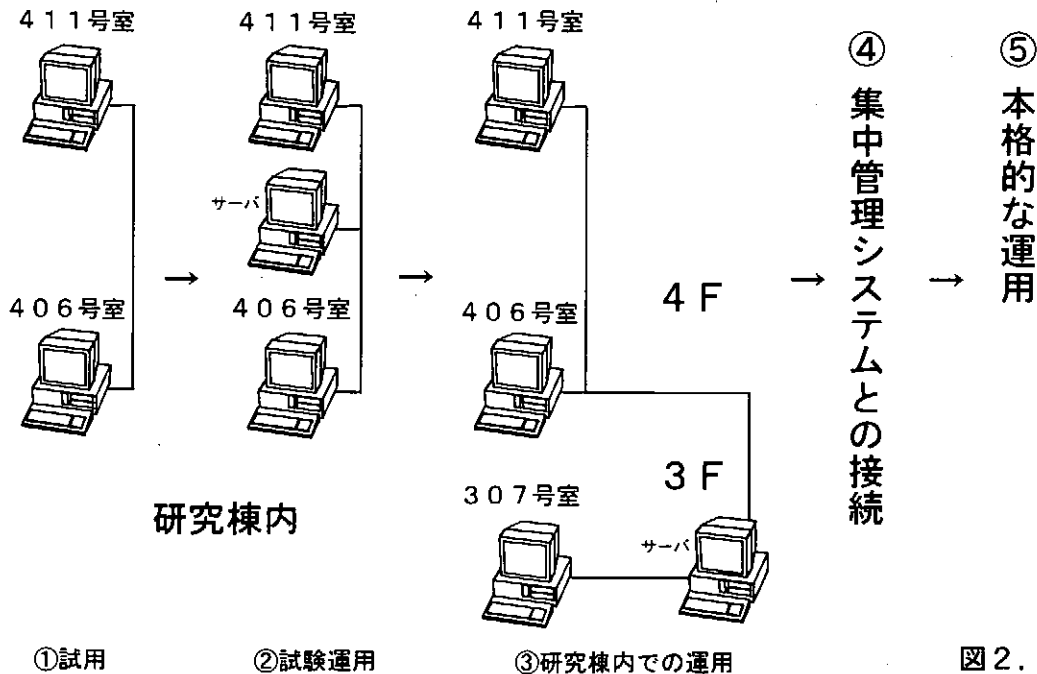


図2. 段階的な導入

4. 運用の状態

①集中管理システムのロギング

ロギング/サーバマシンでは通常ログ管理ソフトが動いており、集中管理システムから送られてくる最新のデータの画面表示や、過去のデータの検索ができるようになっている。また、異常発生
のデータが集中管理システムから送られてきた際には、各担当者に電子メールを自動的に送
出する。

ログデータは逐一ハードディスクにセーブされており、担当者は居室のパソコンからのログ
データ参照、最新ログデータのリアルタイム監視等が可能である。

また、ロギング/サーバマシンはリセットボタンを押すだけでネットワークの接続やログ管理
ソフト起動を行う様になっているので、担当者が居なくても再起動できる。

②電子メール

簡単な電子メールソフトを作成し、担当者間の連絡に使用している。また、ログ管理ソフトの
異常時メール送出機能と併用する事により、異常発生時のすばやい対応が可能である。

③ファイルの共有

ロギング/サーバマシンにはインターロック関係のファイルが集められ、そのハードディスクを
ネットワークに開放し、担当者間で共有を行っている。フロッピーディスクでのやり取りがなくな
ると言うことはかなり便利である。

④ストック品の一括管理

1Fのパソコンではストック品の入庫、出庫を一括して記録している。そのデータはロギング/
サーバマシンのハードディスクに記録され、居室のパソコンからの参照が可能である。

⑤バックアップ

居室のパソコンの中の1台には光磁気ディスクドライブが接続されており、ログファイルの整理
やロギング/サーバマシンのハードディスクの定期的なバックアップを行っている。

5. まとめ

本システムの構築により、インターロックシステム及び集中管理システムのログデータ管理が飛躍
的に進歩した。また、各担当者間のファイル共有は予想以上に有意義な事で、迅速な業務遂行に大き
く貢献をしている。

L AN smartについては、ネットワークに関する知識を特に必要としなかったこと、段階的に構築出来
たこと等により、トラブルの少ない導入が可能であった。

本システムの問題点としては、L AN smartは現在98専用なので異機種計算機間の接続が困難であ
る事や、ロギングを始めてわかったのだが、ロギングとファイルサーバを1つのパソコンで行ってい
るので非常に処理速度が遅い事が挙げられる。また、課題として、他のスタッフへのログデータの公
開をどうするかということが考えられる。今後これらの問題点及び課題を克服していく予定である。

参考文献

- 1) Y. Satow, T. Kosuge, N. Kosugi, H. Namba and H. Kuroda PHOTON FACTORY ACTIVITY REPORT, 4, 331(1986)
- 2) Y. Satow, T. Kosuge, and T. Matsushita, Nucl. Instr. Meth., A264, 502 (1988)
- 3) 小菅隆、佐藤能雅 名古屋大学プラズマ研究所技術研究会報告 P206(1988)
- 4) T. Kosuge, Y. Saito and K. Ito, KEK Internal 90-20 (1990)
- 5) Y. Satow, K. Ito, and T. Kosuge, Rev. Sci. Instrum., 60, 1961(1989)
- 6) 小菅隆、佐藤能雅、伊藤健二 プラズマ核融合技術研究会報告 P242(1984)
- 7) 小菅隆、齊藤裕樹、伊藤健二 核融合科学研究所技術研究会報告 P172(1991)

トリスタン制御システムにおけるワークステーション導入の現状及び展望

高エネルギー物理学研究所 加速器 ○荒木 栄 三増俊広 浦川順治
秋山篤美 川本 崇

1.はじめに

トリスタン加速器の制御システム^[1]は、光ファイバー・トークンリングで結ばれた25台の制御用コンピュータ(日立 HIDIC80)及び、各計算機の下につながれたCAMACからなるが、現状のシステムで、最近の複雑な加速器制御の要求を満たすことは、処理能力やメモリ容量の不足により困難となった。そこで、現状のシステムをメインシステムにしながら処理能力の分散等を行うためにUNIXワークステーションとVMEを制御システムに導入し複雑な制御を可能にした。今回は、ワークステーションを用いたビーム軌道補正計算等を中心に述べる。

2.今までのトリスタン制御システム(メインシステム)

2.1 ハードウェア

25台の制御用コンピュータ(HIDIC80)は、N対Nの10Mbpsの転送速度を持つ光ファイバー・トークンリングでつながれている。それらは、計算機ごとにオペレータ・コンソール用、真空制御用、RF制御用等に役割分担して使用している。

インターフェースとしては、CAMACを使用し、HIDIC80からシリアルカムックレートコントローラを通して、総数180台のCAMAC Crate、約3000枚のModuleを制御している。

2.2 ソフトウェア

プログラムは、インタプリタ言語とコンパイラ言語を上手に組み合わせて使用している。前者は、"NODAL"であり、後者は、"PCL"である。NODALはBASICのようなものでマルチコンピューティングシステムで使用でき、PCLはFORTRANに似ている。ハードウェアに直接アクセスする最も基本的なソフトウェアは、PCL言語で書かれていて、NODAL側からPCL言語によって書かれた関数プログラムやデータモジュールを呼び出している。ミスオペレーション等からハードウェアを守るためのプロテクションはPCLのレベルで行われている。

2.3 ビーム軌道補正計算

加速器制御に於いてビーム軌道の補正は不可欠であり、軌道のズレを検知して基準の軌道に合わせるため軌道補正用マグネットを用いて補正する。メインシステムでの軌道補正計算は、KEKの大型計算機(日立 HITAC, 富士通 FACOM)にビーム軌道のデータを送り大型計算機上の"PETROK"という軌道補正計算用ソフトウェアを用いて行っている。

一方、KEKでより汎用な軌道解析計算コード"SAD(Strategic Accelerator Design)"^[2]が開発され、いろいろな軌道解析が大型計算機上で行われてきた。SADはFORTRANで書かれているため容易に移植可能で、最近ワークステーションにも使用可能になった。そこで新しいコントロールシステムでは、このコードを軌道解析用ワークステーション上で使用して軌道補正計算あるいはオプティクスの計算等を行い、加速器制御に役立てている。

3.メインシステムの問題点

メインシステムは10年前に作られたため、制御用コンピュータは16bitマシンであり、メモリ不足から複雑なプログラムが書きにくく、CPU能力の不足により高速データ処理が出来ない。

[1] S.Kurokawa et al.,Nud.Instr.and.Meth.A247 (1986) 29

[2] K.Oide,Nucl.Instr.and Meth.A276 (1989) 427

また、グラフィックも遅く複雑なグラフィック操作も容易でないなどの問題が出てきた。そこで、以下に述べる新しいシステムをこれらに追加し補うこととなった。

4.新しく追加されたコントロールシステムについて

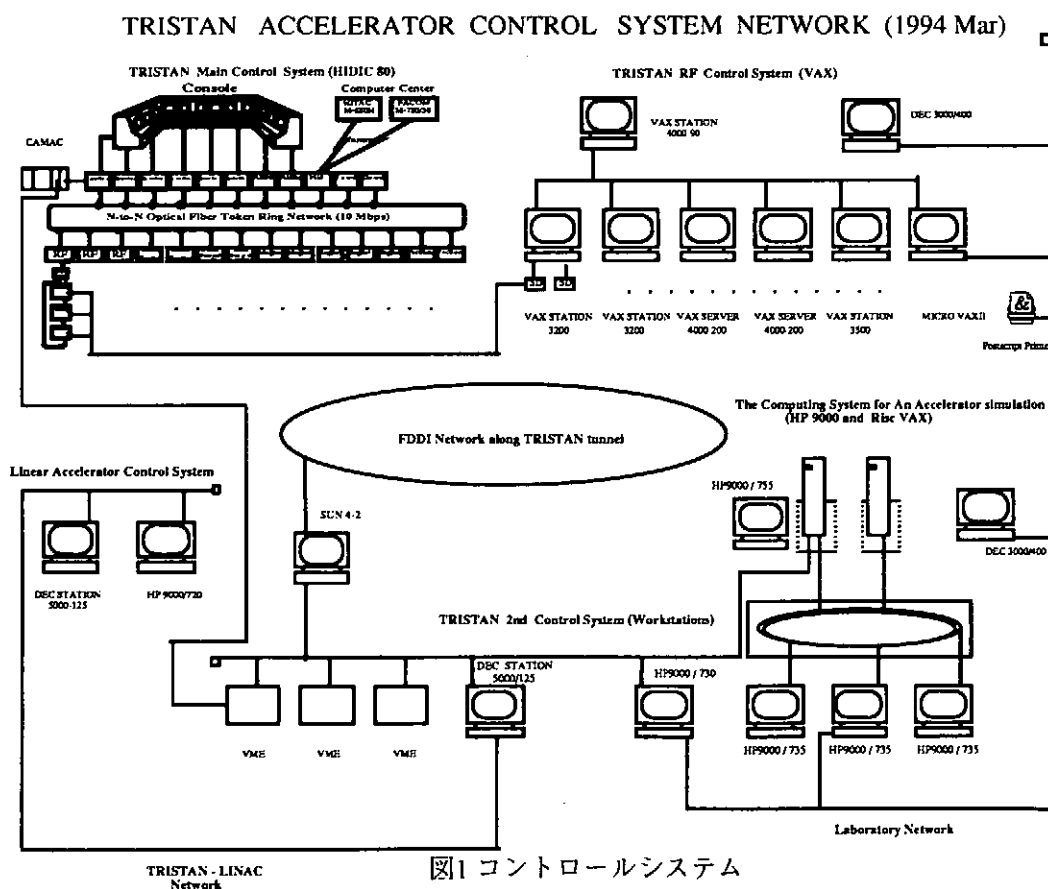
ハードウェアは、Open System, Multi vendorを合い言葉に、なるべく標準的なものを使うよう心がけた。ソフトウェアも移植の容易性を重要視した。近年のワークステーションのCPUの急速な進歩により加速器に関する色々な計算に使用していたHITAC System ($35.3 \times 2 + 39.3 \times 2 = 149.2$ Mflops) と同等以上のワークステーション群 ($40 \times 5 = 200$ Mflops) が加速器の専用計算機として整備された。このワークステーション群と加速器制御システムを有機的に結合させるために新システムを構築して色々な加速器実験を可能にした。

5.新しいトリスタン制御システム

新しく付け加えられた制御システムの概要を簡単に述べる。

5.1 ハードウェア

図1に示すように新しく加えられた制御システム (TRISTAN 2nd Control System) は、VME, UNIXワークステーション及びXターミナルからなり、メインコントロールシステムと軌道解析用計算機システムにつながっている。軌道解析用計算機システムは5台のHPワークステーションからなり、各々FDDI によってつながられている。また、HP社のタスクブローカというソフトウェアを用いてバッチジョブを空いてるワークステーションに振り分けワークステーション間の負荷分散を行っている。新しく追加されたシステムのUNIXワークステーションは、VMEとCAMACを通してメインコントロールシステムと通信し、コンソールとして用いられている。



5.2 ソフトウェア

プログラムは主にC言語で書かれていて、グラフィックスはMotifとPVWAVEを使用している。MotifとPVWAVEは、X Window Systemに基づいているため、色々なワークステーションのXターミナル等で使用可能である。また、特にPVWAVEでのプログラミングは比較的容易である。ビームの軌道補正に使用する軌道補正計算コードSADは、FORTRANで書かれている。

6. 今までのトリスタン制御システムと新システムとの通信

HIDIC計算機は、Ethernetのような標準的なネットワークをサポートしていないため新しく追加されたシステムとの通信は、VME及びCAMACを使用した図2のようなものになっている。

- 1) ワークステーション(WS)からVMEにデータを送る。ここでWSとVMEはEthernet (TCP/IP)でつながれていて、ソケット通信を用いてデータを送っている。
- 2) VMEは、VME-CAMACインタフェースボードとCAMACの補助クレートコントローラ(ACC)を通じてWSからのデータをCAMACのメモリー・モジュールに書き、HIDICに割り込みを入れる。
- 3) HIDICはクレートコントローラ(SCC)を通してメモリー・モジュールのデータを読んでデータに応じた作業を行い。作業が終わると終了Flagやデータをメモリー・モジュールに書く。
- 4) VMEは、HIDICから作業が終了した連絡を受けるとメモリー・モジュールからデータを読んでワークステーションに送る

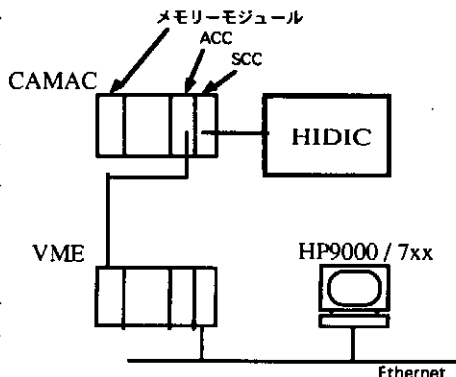


図2

7. ワークステーションのパネルから行っている制御

現在、ワークステーションから以下に述べる制御が可能になっている。コンソールパネルはMotifで書かれ、ヒストグラムは図3に示すようにPVWAVEで書かれている。

- 1) ビーム軌道情報の表示、保存
加速器のリングに設置されている約400個のビームポジションモニターからデータを読み、水平、垂直方向のビームポジションの値の表示、Diskへの保存を行う。
- 2) 軌道補正用マグネットのキック角情報の表示、保存
加速器中に設置されている水平軸用320個と垂直軸用200個の軌道補正用マグネットのキック角情報の表示、保存をする。
- 3) SADコードによるオブティックスの生成、保存
トリスタン加速器のオブティックスの生成、保存をワークステーションのコンソールパネルからする事が出来る。
- 4) ビーム軌道補正
ビーム軌道の測定値を用いて、軌道補正するための軌道補正用マグネットのキック角の計算を、SADコードで行う。
- 5) ビーム軌道の自動測定及び自動運転
1993年10月、加速器の研究実験として、各四極電磁石の磁場強さの誤差をビームを使って測定したが、その連続自動測定を可能にした。

8. 軌道補正のスピードアップ

メインシステムで軌道補正を行う場合は、図4に示すような順番で処理して軌道補正計算を大型計算機で行ない、補正全体で約4分間要する。

それに対して新システムは図5に示すように、ハードウェアで処理する部分を並列に処理して、軌道補正計算はワークステーションで計算される。処理と計算機の違いにより、補正に要する時間が約2分に短縮された。加速器実験には軌道補正が不可欠であり、それに要する時間が短縮されることは大変意義がある。

9.今後の展望

以上、現在のワークステーションの導入状況を述べてきたが、これからはより安く、より効率良くプログラム作成が出来るように、ハードウェアの面ではPCの導入、ソフトウェアの面ではMotifに替わるVisual BASIC, Visual C++の導入を検討している。また、より効率的にデータ処理を行うために"オラクル"等のデータベースソフトウェアの導入も行われようとしている。そして、B-FactoryやJLC等次期大型プロジェクトのR&DとしてMulti CPUシステムに於ける制御システムを構築するためのVsystemやEPICS等の導入も検討中である。

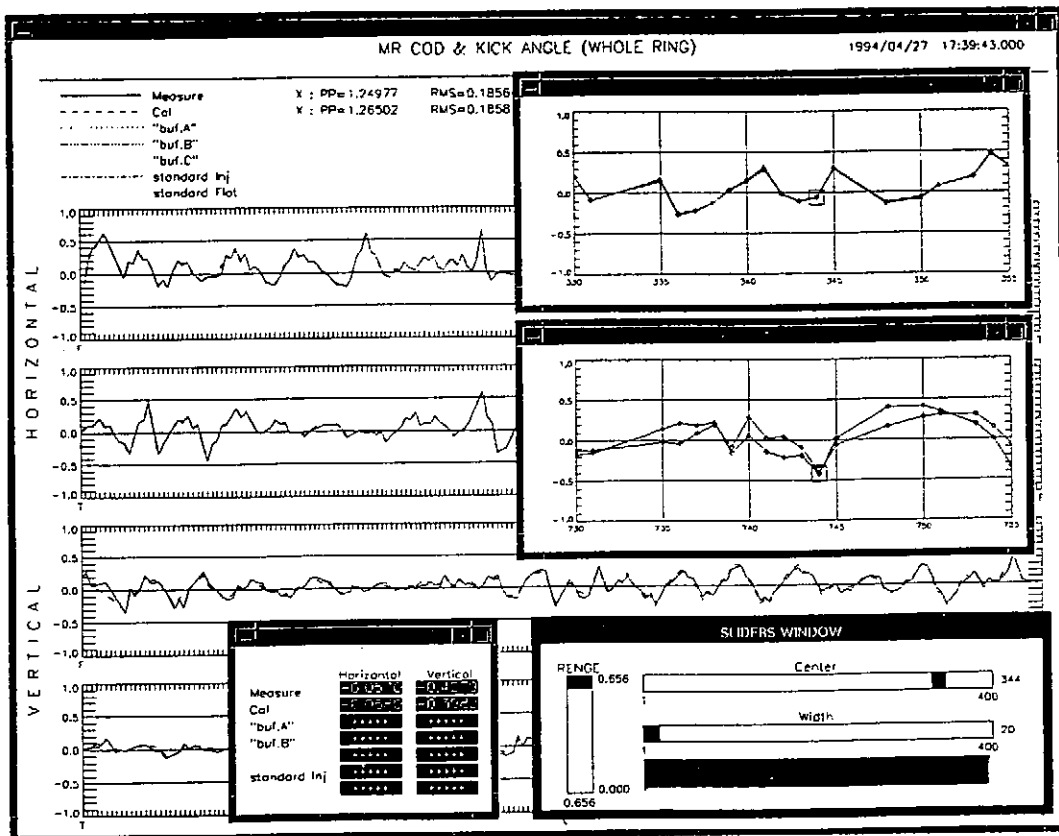


図3 ビームポジションの表示

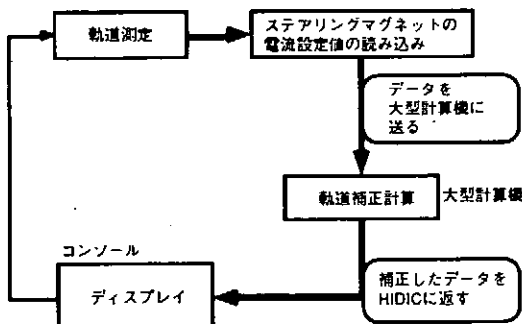


図4 メインシステムの軌道補正

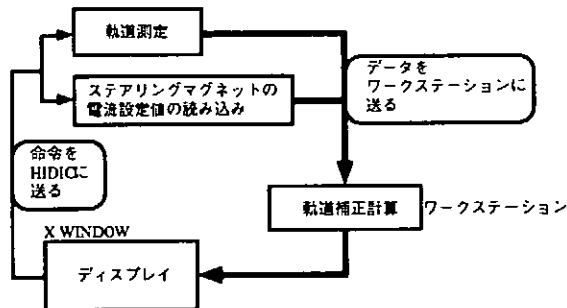


図5 新システムの軌道補正

激光XII号のレーザー制御装置の性能向上

大阪大学レーザー核融合研究センター

木村孝志、鈴木和浩、漆原新治、金辺 忠
実野孝久、中塚正大、中井貞雄

1. はじめに

大阪大学レーザー核融合研究センターでは、激光XII号ガラスレーザーを用いてレーザー爆縮実験が実施されている。爆縮実験を行なう上で出力エネルギーの安定性や計測精度、レーザー波形の計測が重要である。これらの条件を満足するためには、レーザー装置の信頼性、安定性に加え、オペレーターの負担を軽減するためにも制御装置の自動化が要求される。

従来の制御装置では数カ所に分かれている制御装置の操作を独自に行なっていた。また、レーザーショットメニュー設定、つまり、爆縮実験に必要な照射エネルギーをもとにコンポーネントの選択及び充電圧の計算を行ない、オペレーターコンソールより入力する作業を手作業で行なっていた。オペレーターにとっては負担となるばかりでなく、計算、設定の人為的ミスの発生も無視できないものがあった。

今回、これらのショットオペレーションの省力化、自動化を目標にレーザー制御装置の改良を行なった。またレーザー出力エネルギーの高精度化も行なった。

2. レーザー制御システムの構成と改良

激光XII号のレーザー制御装置は、レーザー制御部、光計測部、波形計測部、レーザーアライメント部、集光照射部、発振器部の6つに大別される。各部の主な機能と役割を表1に、構成を図1に示す。図1の各ブロックは制御装置のある部屋を示し、細い矢印は制御信号の流れを、太い矢印は測定データの流れを、破線は現在開発中であることを示す。制御用のコンピュータには、NEC PC-9801シリーズを使用している。各パソコンの結合にはRS-232Cを、制御装置や計測器にはGP-IB、RS-232Cを、ネットワークサーバー(WS)にはTCP/IPを使用している。結合は、既存の資源を有効に活用し、トラブル発生時には切りはなして独立に動作が可能となるように行なった。新規に結合したのはレーザー制御部と光計測部、波形計測部と発振器部である。

レーザー制御部のプログラムはN88-BASICで記述されていた為、メモリ空間、処理速度、構造化の点で改良が非常に困難であった。そこで、レーザーショットメニュー設定を自動化する必要性もあり、レーザー制御部のプログラムをC言語で作成しなおした。C言語を選択した理由は、N88-BASICに比べて高速で、自由度が高く、第三者によるプログラムの変更が容易となるからである。言語の変更により、プログラムの改良が可能となった。

2ヶ所の制御装置の結合によって以下の点が改良された。

- 1) 光計測部のデータ収集の自動化
- 2) 発振器部の遠隔操作
- 3) 波形計測自動化用の信号の送受信

1)の改良では、ショットオペレーション時にオペレーターはレーザー制御部のみを操作する

表1 制御装置の主な機能と役割

制御装置	機能と役割
レーザー制御部	コンポーネントの選択、増幅器の充電圧設定 充放電指令、フラッシュランプの良否判定
光計測部	レーザー出力エネルギーの計測
波形計測部	レーザー波形の計測
レーザーアライメント部	レーザーアライメント、YAGレーザーの出力
集光照射部	集光アライメント、集光条件の設定、ビームの遮光
発振器部	光シャッター(OS)の動作タイミングの測定

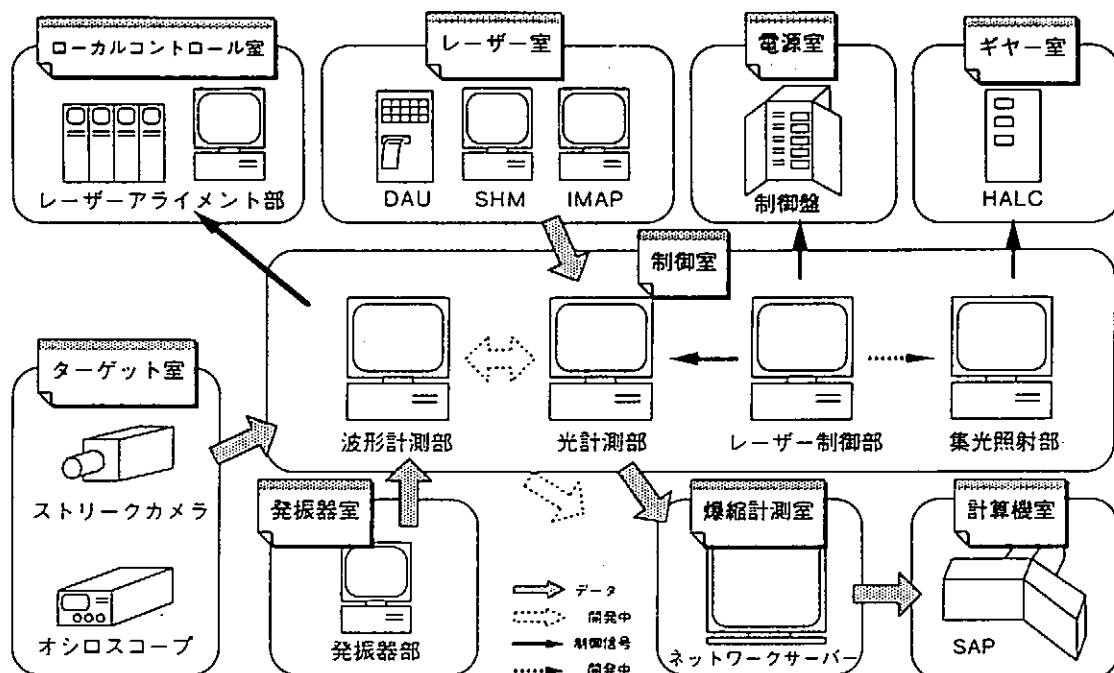


図1 レーザー制御システムの構成図

だけでよくなり、レーザーショットが終了すると、自動的にエネルギーデータを収集し、ILEネットワーク（当研究所内のネットワーク）へデータを転送することが可能となった。ILEネットワークに送られたエネルギーデータはILEネットワークにつながっているコンピュータで閲覧が可能である。2)の改良では、レーザー出力の安定性に重要な光シャッターの動作タイミングをレーザー制御室で確認できるようになり、その結果、集中制御性が高まった。3)の改良では、レーザー波形の計測器（ストリークカメラ、オシロスコープ）の計測可能状態の準備が自動的に行なわれるようになった。また、現在構築中の12ビーム波形計測システムの自動化への拡張性を高めた。

3. レーザーショットメニューの自動設定

レーザーショットメニュー設定は、爆縮実験に必要な照射エネルギーをもとにコンポーネントを選択、充電々圧を計算し、オペレーターコンソールより入力する作業のことで、レーザー制御部の重要な操作となっている。このコンポーネント選択と充電々圧の計算は、各コンポーネントの種々のパラメータ（ディスク増幅器の小信号利得、ロッド増幅器及びディスク増幅器の電圧-利得特性、飽和増幅補正係数）と実験前に行なっているメニューショット（繰り返し使用可能なコンポーネントのみによるテストショット）のエネルギーデータを用いて行なう。この計算方法は、まず、希望出力エネルギーに対してメニューショットエネルギーと飽和増幅補正係数より必要な利得を計算する。この飽和増幅補正係数とは、増幅器への入力エネルギーが大きくなった時生じる飽和現象を補正するためのものである。次に、その必要利得と各部の光学素子の損傷エネルギー密度を判断してコンポーネントを選択し、選択されたそれぞれの増幅器の充電々圧を計算する。その後、オペレーターコンソールより設定値を入力する。手作業で12ビームすべての計算を行なう場合、十数分の時間を要する事もあり、人為的ミスが発生する可能性も生じる。

そこで、レーザーショットメニュー設定の自動化を試みた。その計算部分のフローチャート（簡略版）を図2に示す。計算を自動化するにあたって問題となったのが、コンポーネントの選択方法、飽和増幅補正係数のコンポーネント台数依存性、そして、12ビームに分岐する前の前置増幅器列の設定であった。特に、前置増幅器列の設定は12ビームすべての設定に影響を及ぼすため、最適の設定値を計算することが困難であった。その問題は、メインルーチンの12ビーム分の必要利得を計算しているところで前置増幅器列に一番影響するビーム（必要利得が最大のビーム）を決定し、そのビームを優先して計算することで回避している。また、コンポーネントの選択方法は、下流側を優先して選択し、充電々圧を決定している。こうすることで高出力時のレーザーによる光学素子の損傷を回避することが出来る。また、計算プログラムをC言語で記述してレーザー制御部のプログラムにリンクしているので、計算から設定までの作業をすべてレーザー制御部内で一括して自動化することが出来た。この自動化によってレーザーショットメニューの計算と設定の時間を大幅に短縮し、人為的ミスも皆無にすることができた。

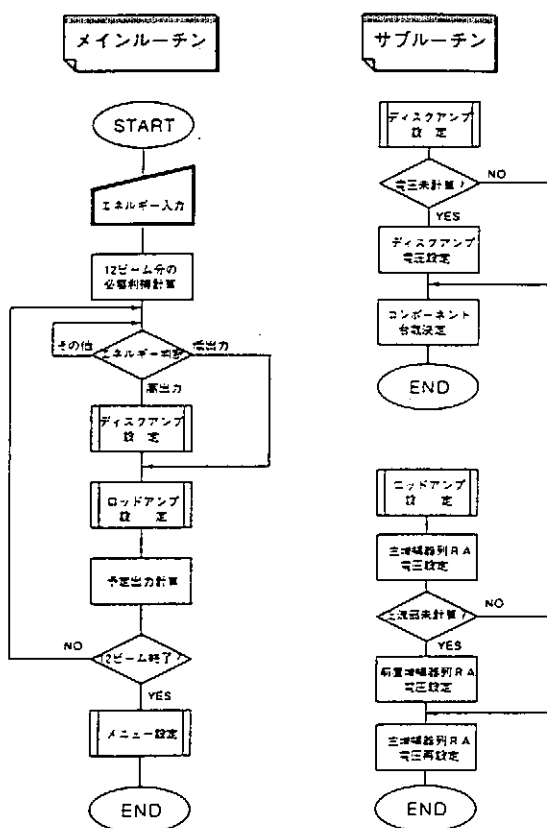


図2 メニュー自動設定のフローチャート

4. レーザー出力エネルギーの高精度化

レーザーショットメニュー自動設定のルーチンに種々のパラメータを入力してレーザー出力エネルギーを計算させてみたところ、設定出力と出力誤差の関係は図3(a)のようになった。縦軸は実際に出力したエネルギーと設定出力の比を表している。出力誤差1が望ましいが、図のように全域にわたって±40%の出力誤差が見られる。この要因を調べてみたところ計算のアルゴリズムには問題がなく、計算パラメータ、特に飽和増幅補正係数の精度によるものだとわかった。過去の実験データを参照し、また、テストショットを行なうことによってパラメータを作成しなおした。そのパラメータにより再計算した結果を図3(b)に示す。出力誤差が±20%に減少し、レーザー出力エネルギーが高精度化されたのがわかる。しかし、中エネルギー（1～500J）の出力誤差は、低エネルギー（<1J）や高エネルギー（>500J）の出力誤差よりも大きいのが見受けられる。これは、実験で要求されるエネルギーが高エネルギーと低エネルギーに集中し、中エネルギーのデータが少ない為である。この問題はショットを繰り返し、データを蓄積することによって解決される。また、他の誤差要因として各コンポーネントの特性の変化の影響が考えられる。これについては補正係数の導入を検討している。

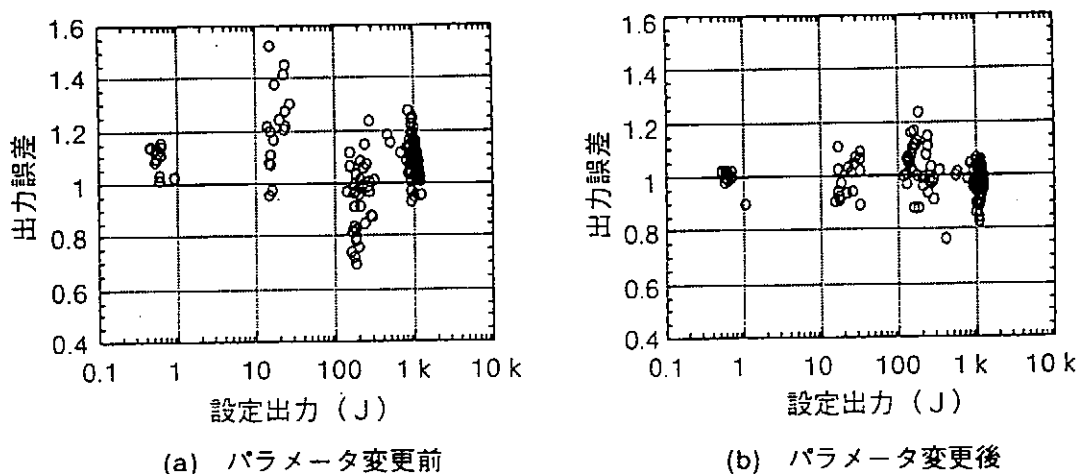


図3 レーザーエネルギーの出力誤差

5. おわりに

各制御装置を結合することによって、ショットオペレーションの一部の作業を省力化、自動化することができた。また、レーザー制御室への集中制御性を高めることが出来た。さらに、レーザー制御部のプログラムをC言語に変更しレーザーショットメニュー自動設定のルーチンを加えたことにより、メニュー設定時間の短縮、人為的ミスの軽減、レーザー出力エネルギーの高精度化を実現することが出来た。

LaB₆, BN 陰極スパッタイオンポンプの開発・試作

三好正行、船戸康幸

(鈴鹿高専)

虫明 基

(川崎医科大学)

久保田雄輔、赤石憲也

(核融合科学研究所)

1. はじめに

真空をともなう大型実験装置において、高真空度を保ち、かつ大気暴露と排気を頻繁に繰り返すことが可能な実験装置が要望される場合が多い。

しかし、現実には解決すべき課題が多い。大型の真空容器をともなう核融合プラズマ実験装置においては、大気暴露と排気の頻繁な繰り返しが、真空の状態とその質を左右してしまう。十分な排気作業（ベーキング処理等に代表される真空ダクト内壁の吸着水分や残留ガスの除去作業）によっても、効率、経済性等を考慮すると、事実上なかなか容易ことではない。

このようななかで、真空容器内壁における残留ガス放出率低減に関する手法のひとつとして表面改質の考え方がある。今回、この表面改質の立場から、真空容器内壁への成膜材料候補として提案されている六硼化ランタン（Lanthanum Hexaboride : LaB₆）を用いてスパッタリングコーティング実験を行い、それにともなう残留ガス分析を行い、スパッタイオンポンプの開発のための基礎実験を行う。

2. 実験装置

実験装置は、スパッタリング用真空容器、分析室、電離真空計、四重極質量分析計および真空ポンプから構成されている (Fig.1)。スパッタリング用真空容器中の陰極などの配置概略図を Fig.2 に示す。陰極材料は、外径φ 50[mm]、厚さ 5[mm]の LaB₆(Lanthanum Hexaboride : 六硼化ランタン) を用いた。また、スパッタリング用真空容器および成膜モニター用のサンプル片は、SUS-304 製である。到達圧力は、分析室内で約 1.3×10^{-5} [Pa]、スパッタリング用真空容器内で約 1.3×10^{-4} [Pa] である。

3. 実験方法

まず、成膜前の大気圧からの排気を行い、各真空容器の到達圧力を電離真空計で、また分圧を四重極質量分析計で測定した。次いで、プラズマ生成および LaB₆ 陰極のグロー放電スパッタリングを行った。スパッタリング終了後、真空容器内における分圧の時間的変化を測定した。

また、スパッタリングによる生成膜の組成分析を XPS (X-ray Photoelectron Spectroscopy) によって行う。

4. 実験結果と考察

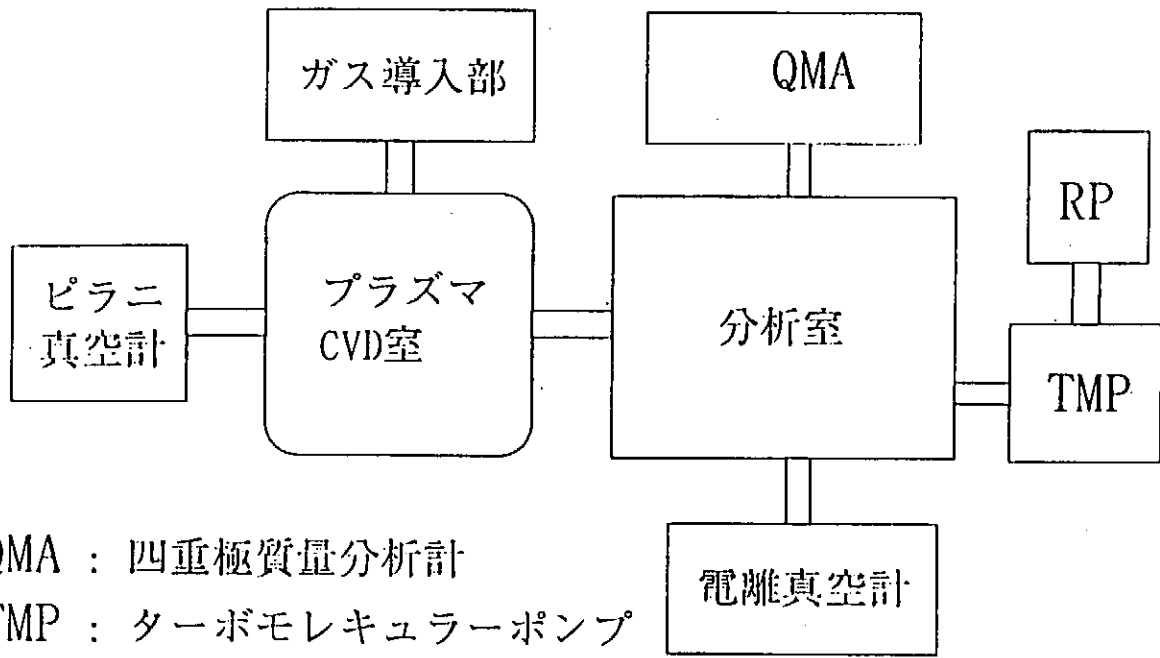
スパッタリングを行うにあたって、プラズマを生成するためのアルゴンガスを 17.3[Pa] の圧力で真空容器内に導入した。プラズマ源の放電電圧は 500~1000[V]、放電電流は 10~250[mA] であった。今回は、1 個の陰極材料を使用して、スパッタリングは 70 分間継続して行った。

膜生成後、真空容器内の H_2O の分圧の時間的変化を測定した結果を Fig.3 に示す。時間が経過するごとに H_2O の分圧が低下していくことが確認できる。最初、かなり急な感じで減っていき、30分位後あたりから緩やかに減っていく。真空容器内における残留ガスは、 H_2 (Mass Number : $m/e = 2$)、 H_2O ($m/e = 18$)、 N_2 と CO ($m/e = 28$) から構成されていると考えられる。そして、分圧測定によって LaB_6 薄膜生成後は明らかに残留ガスの分圧組成が違う。これは、主として残留気体である H_2O が、 LaB_6 薄膜内に取り込まれることにより起こることだと考えられる。

つぎに、スパッタリング用真空容器の中に入れておいたサンプル片を XPS 測定し、生成膜の組成分析を行った。まず膜の表面には、主として O, C, La, B が存在する (Fig.4)。La, B に関してはスパッタされたものだと考えられる。O, C は、サンプルを取り出すときに大気にさらしたときに付着したものと思われた。しかし、膜の内部の組成を調べるためにエッチング処理 (1, 3, 10, 20, 40 [min]) を行い、再度 XPS によって測定した結果、膜の内部にも存在することが分かった。これは、 LaB_6 をスパッタしたときに真空容器内の残留ガスがスパッタ膜に取り込まれたものと考えられる。

5. まとめ

- (1) 真空容器内壁への LaB_6 スパッタ蒸着により、真空容器内の H_2O の分圧が低減されることが分かった。
- (2) 膜の内部にも残留ガスの成分である O, C が、存在し、その取り込みメカニズムを検討している。
- (3) 真空容器内の残留ガスの低減および成膜のための、効率の良い LaB_6 のスパッタ条件等、今後の課題である。



QMA : 四重極質量分析計
 TMP : ターボモレキュラーポンプ
 RP : オイルロータリーポンプ

Fig.1 実験装置構成概略図

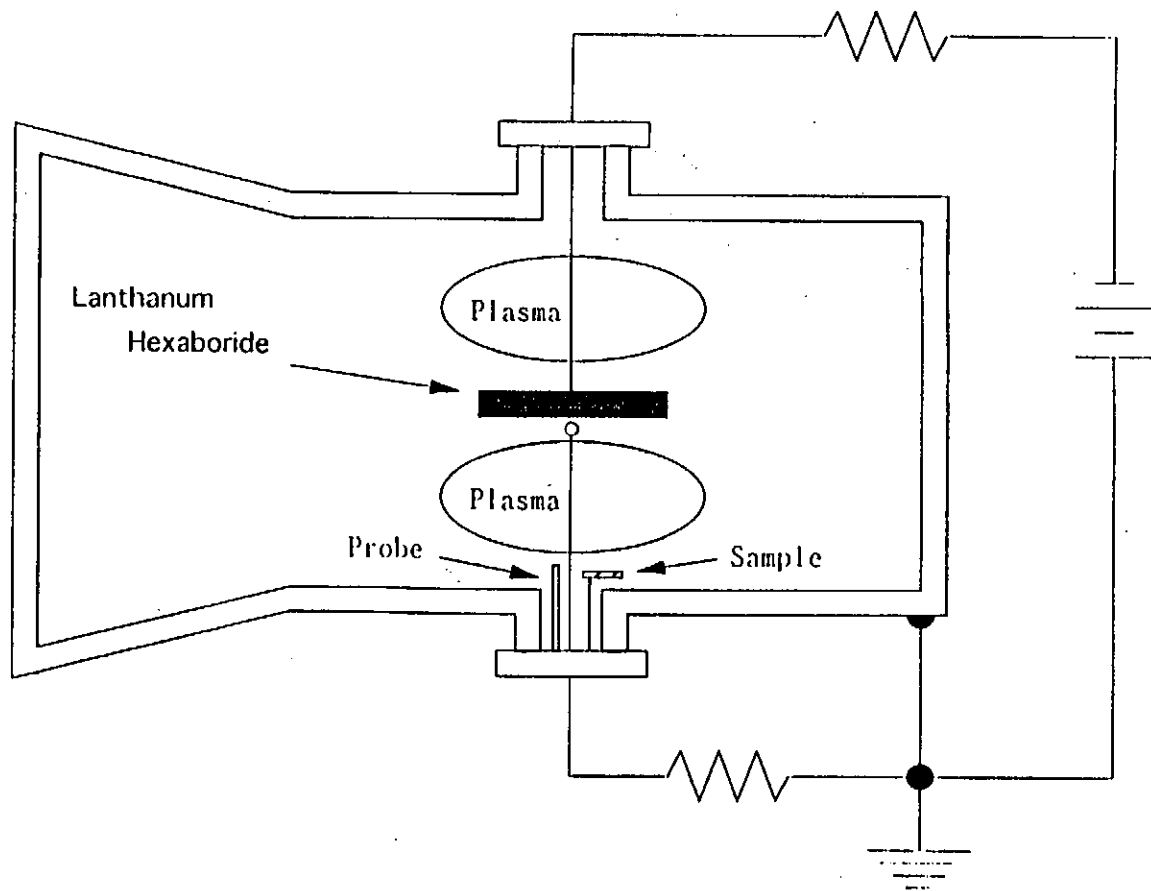


Fig.2 LaB₆陰極スパッタ放電の原理図

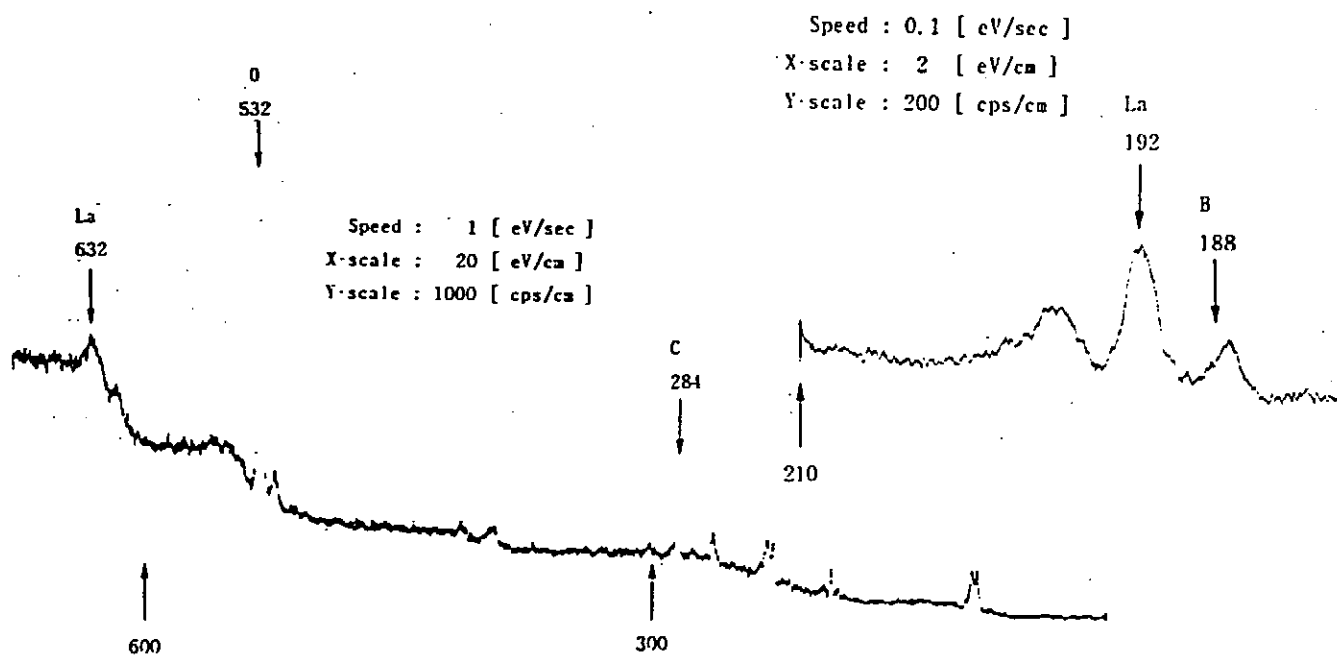
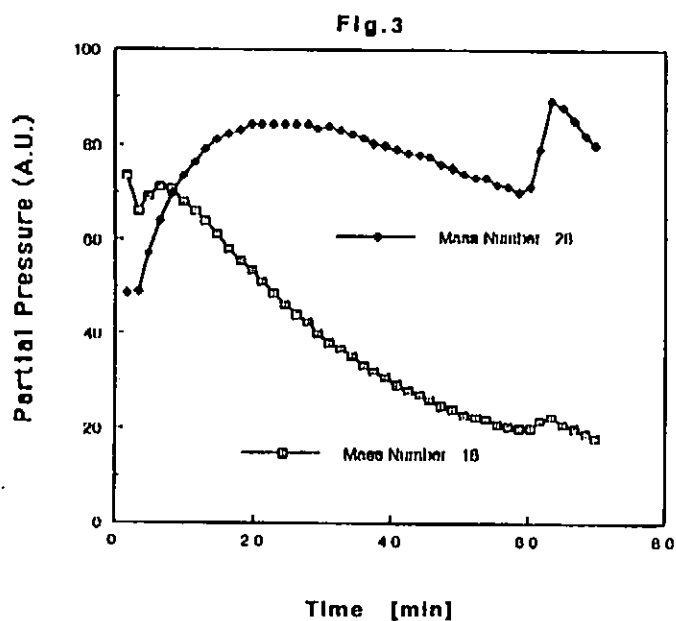


Fig. 4 XPS 測定例

6. 参考文献

- 1) 森貴叙, 赤石憲也, 久保田雄輔, 本島 修, 船戸康幸, 虫明 基, 花岡 裕: 真空, 35 (1992) 28.
- 2) 虫明 基, 赤石憲也, 森貴叙, 久保田雄輔, 船戸康幸, 本島 修: 真空, 36 (1993) 490.

J T-60 第一壁のその場ボロン化処理

日本原子力研究所 那珂研究所 ○柳生 純一、平塚 一、新井 貴、萩原 徳男
西堂 雅博、小池 常之、清水 正亜

1. 概要

トカマク装置においてプラズマ性能を向上させるためには、燃料粒子及び不純物粒子の制御を効果的に行うことが重要である。最近トカマク装置の内壁をボロンコーティングすることによって、プラズマ性能を向上させた報告がなされている。これら他の例はジボランを用いているが、臨界プラズマ試験装置 (J T-60) ではそれらとは異なり、デカボラン ($B_{10}H_{14}$) を大型トカマク装置としては初めて用いたその場ボロン化処理 (ボロナイゼーション) を実施している。J T-60 におけるボロナイゼーションは、真空容器内に存在する酸素を第一壁表面上に固定化し、不純物としてプラズマ中に混入する酸素量を低減させること、更には、ボロンは原子番号5の物質であるので、第一壁の低Z化を目的としている。

ボロナイゼーションの概要は、常温で固体のデカボランを $100\sim 150^{\circ}C$ に加熱・蒸発させ、デカボランガスとして真空容器内に供給し、ヘリウムガスを支持ガスとするグロー放電 (BGD) によりデカボランを分解し、第一壁表面にボロン膜を生成するものである。

2. デカボラン

ボロンコーティングには、ジボラン (B_2H_6) やトリメチルホウ素 ($B(CH_3)_3$) を作動ガスとして用いる方法がある。しかし、ジボランは特殊高圧ガスに該当し、危険有害なガスであるため、安全対策のため複雑な設備となってしまう。また、トリメチルホウ素の場合、ボロンと炭素の共存する膜が作製されることが知られており、ボロン単体の膜を作製するには適していない。そこで、常温で固体、かつ、取り扱いの容易なデカボランを用いることにした。表1にデカボランの性質を示す。

表1 デカボランの性質

デカボラン (Decaborane)				
沸点	融点	外観 (常温)	毒性	備考
$213^{\circ}C$	$99.9^{\circ}C$	固体 (斜方晶) 無色、粉末	TLV値 (許容値) 0.05 ppm	1) アルコール、ベンゼンに可溶 2) 水に不溶 3) 火気厳禁、冷所に隔離保管

3. その場ボロン化処理設備

その場ボロン化処理設備は、真空容器内にボロナイゼーションの作動ガスであるデカボランを供給するためのデカボランガス供給系と未反応デカボランガス及び反応生成物を安全に系外に排出するためのデカボラン専用排気系からなり、グロー放電装置を含めたかたちでその場ボロン化処理設備 (ボロナイゼーションシステム) を構築している。デカボランガス供給系は、デカボランガス供給部、ヘリウムガス供給部、ガス排気部、窒素ガス供給部、温度制御部、モニター部、圧空部、制御部から構成され、デカボラン専用排気系は、ガス排気部、ガスモニター部、制御部から構成される。また、デカボランガス供給系及びデカボラン専用排気系には、それぞれ大気放出される排気ガス中に未反応のデカボランガスが残存しないよう安全に処理する除害装置が設置されている。図1にボロナイゼーションシステムの概要を示す。

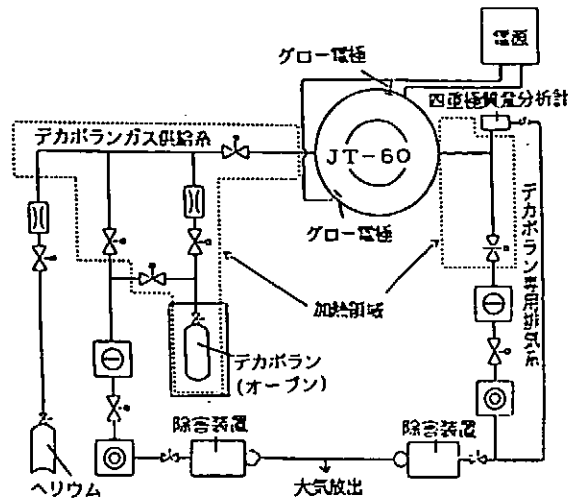


図1 ボロナイゼーションシステムの概要

1) デカボランガス供給系

デカボランガス供給系は、原料のデカボランを原料容器に入れた状態でオープンに収納し、加熱（～150℃/30min）してデカボランガスを発生させ、マスフローバルブ（MFC）にて最大約 $3.6 \times 10^{-2} \text{ P a m}^3 / \text{ s}$ まで流量制御しながら真空容器にデカボランガスを供給しており、供給配管はデカボランガスが再凝縮しないように加熱（～110℃）している。ヘリウムガス供給部に関しては、グロー放電時にMFCにて流量制御できるとともに、安全処置のため他設備にヘリウムガスを容易に充填できるものである。また、系内はリークが発生しにくい構造（溶接構造）の上に負圧条件で使用しているが、安全のために除害装置の出口側にブレイクモニタを、真空容器とデカボランガス供給系の取り合い部とオープン内にガス検知器を設置している。

2) デカボラン専用排気系

デカボラン専用排気系は、高排気速度 $3000 \text{ l} / \text{ s}$ 以上のターボ分子ポンプによりボロナイゼーション時の圧力において、実効排気速度 $1.25 \text{ m}^3 / \text{ s}$ を得ることができる。また、ボロナイゼーション中の真空容器内の残留ガス分析が行えるように四重極質量分析計（残留ガス分析装置）を有している。デカボランは常温では安定だが蒸気は毒性であるため、未反応デカボランガスの排気に関しては、デカボランガス供給系と同様に除害装置を介し、出口側にブレイクモニターを設置するなど安全対策を実施している。除害装置内には排ガス処理剤（過マンガン酸カリウム）が20kg収納されている。

3) グロー放電

ボロナイゼーションにおけるグロー放電は、ヘリウムガスを放電圧力まで供給し、電極を陽極、真空容器を陰極として両電極に直流電圧を印加してグロー放電を起こさせ、安定電流を得た後にデカボランガスの流量を調整する。

4. 運転効率の向上を目的とした改造

1) 強制冷却機能

従来150℃から30℃まで自然冷却すると9時間を要していたが、オープンの冷却速度を強制冷却（ファン）により早め、同一条件では約3時間で終了できることを確認した。

2) 遠隔制御・モニタ機能の追加

中央制御室より遠隔操作にてデカボランガス供給系とデカボラン専用排気系を集中制御

監視を行っていたが、制御盤とパソコンをインターフェイスすることによって数値データの収集、遠隔操作、監視等をパソコンにて行なえるようにした。

3) 真空容器内デカボラン供給口の増設

膜厚の均一化を図るため、従来1箇所だったデカボランガス供給口を真空容器内の上下に6箇所ずつ、合計12箇所に増設した。

5. ボロニ化膜の測定と評価

ボロナイゼーションにおいて第一壁に作製したボロン膜の諸特性、即ちボロン膜の厚さ、元素組成、含有する水素濃度等を測定するため、JT-60真空容器に簡単に脱着できるボロニ化膜厚測定装置を開発した。本装置は同等な2ユニットから構成され、トロイダル方向に180°離れた2箇所の上側垂直ポートに取り付け、JT-60真空容器を高真空状態に維持したまま試料を取り付けたサンプルホルダーを所定の第一壁表面と同じレベルまでワイヤーによって降ろすことができる。ボロナイゼーション実施中は、試料を第一壁表面と同じレベルに保持して、第一壁表面と同じ条件でボロン膜を作製する。そして、ボロンコーティング終了後には、速やかに試料を取り出し所定の測定を実施する。以下に第2回と第3回のボロナイゼーションによって作製したボロン膜の測定結果について記す。

1) 膜厚

膜厚に関しては、AES（オージェ電子分光法）によるボロン膜の深さ分布の測定とSEM（走査電子顕微鏡）による観察のクロスチェックを実施した。第2回ボロナイゼーション（デカボラン使用量15g、真空容器温度300℃）まではデカボランガスの吹き出し口が1箇所であったため、デカボランガス供給系に近いポート（P-4ポート）とデカボラン専用排気系に近いポート（P-13ポート）では、それぞれ80nmと2nmのボロン膜が製作されていた。しかし、このままではプラズマ性能の向上に有効なボロナイゼーションの特徴が発揮されず、短期間の効果しか得られない恐れがあるため、全体的に均一な膜ができるよう、改造を実施した。ボロン膜均一化のための改造方法としては、通常ガス供給口を増やすか、または、パルス放電を行なう方法が考えられる。JT-60では、大型装置であることとボロナイゼーションをできるだけ短期間に実施できる方法をとることを考慮して、デカボランガスの供給口を1箇所（P-5ポート）から真空容器内でトロイダル方向に時計、反時計の方向にそれぞれ2本の主配管（内径10mm）を引き回し、枝管によって12箇所の供給口を設けた。デカボランガス輸送時の配管内圧力は、粘性流領域となるため、デカボランガス流量が12箇所の吹き出し口で同じになるように管径及び長さを考慮した。改造工事実施後、第3回ボロナイゼーション（デカボラン使用量50g、真空容器温度250℃）を行なったところP-4ポートとP-13ポートで測定した膜厚は、それぞれ100nmと400nmとなり、全体の均一度としては改善されている。

2) 元素組成

AESにより膜中の元素組成を調べた。第2回ボロナイゼーションでは、金属試料と黒鉛試料上においてボロン/ボロン+炭素の比が95%以上のボロン膜が製作されていたが、第3回ボロナイゼーションでは、85~90%と前回よりもボロンの割合が少ない膜ができていた。これは、グロー放電電流の設定が2回目よりも3回目の方が高かったため、BGDにて第一壁が強く叩かれ、膜中により多くの炭素成分が混入したためと推測される。

3) 水素含有量

NRA（共鳴核反応法）により水素濃度と水素濃度の深さ分布を調べた。第2回ボロナイゼーションでは、P-4ポートのみボロン膜の水素濃度を測定したが、水素/ボロンの比で約10%の軽水素が膜中に均一に含まれていた。これに対し第3回ボロナイゼーション

ンでは、前回と比較して真空容器温度を50℃下げて実施したが、P-4ポートで約11%、P-13ポートで約14%の軽水素を含んでいた。また、深さ分布から密度を得たが、第3回時でできたボロン膜の密度は、測定結果から1.8~2.0 g/cm³と推定され、通常の結晶性固体ボロンの密度が2.3 g/cm³であることを考慮すると大型装置内のコーティングにも拘わらずかなり良い膜ができていると言える。

表2 第4回までのボロナイゼーションの条件及び膜厚、水素含有量の変化

回数及び実施日 膜厚測定条件及び結果	1st 92-7-30	2nd 92-9-1	3rd 93-2-17	4th 93-7-2
デカボラン消費量 (g)	10	15	50 (45)	100 (96)
ボロナイゼーション実施時間 (h)	10	10	36	57
真空容器内温度 (deg℃)	300	300	250	250
デカボランガス吹き出し口数	1	1	12	12
推定されるボロン化膜厚 (nm)	30	45	150	300
測定によるボロン化膜厚 (nm)	—	80-2	100-400	210-1500
ボロン含有量 (%)	—	95	85~90	90
ボロン化膜厚中の水素保有量 (%)	—	10	10~14	19~23

6. 効果

ボロナイゼーションの効果として第1回及び2回目のボロナイゼーションから、真空容器大気開放直後では酸素不純物を5分の1、炭素不純物を2分の1 (OH放電時)に、JT-60運転期間中のボロナイゼーションにおいては、酸素不純物を3分の1 (OH放電時)にそれぞれ減少することができている。また、従来は、大気開放後にベーキング (300℃)、TDC (弱電流放電洗浄)、Heグロー放電等にて壁調整を行なった後に、~200ショット程度かけて得られた不純物レベル (不純物密度約1%)に1回のボロナイゼーションで到達している。

7. まとめ

デカボランを用いたその場ボロン化処理装置を開発し、JT-60第一壁へのボロナイゼーションを現在までに5回実施し、ボロン膜の測定を3回行った。

- 1) JT-60におけるボロナイゼーションは、デカボランの使用量によってトータル時間が左右される。例えば、デカボラン100gの場合は約90時間を要し、内60時間がデカボランガスを供給してBGDを実施している時間である。また、ボロナイゼーション終了時の原料容器降温時間に多大な時間を要していたが、オープンに強制冷却機構を追加したことによってボロナイゼーションの効率化を図ることが出来た。
- 2) 第2回ボロナイゼーションまでは、デカボランガスの吹き出し口が1箇所であったため、ボロン膜の厚みのトロイダル方向への分布は不均一であり、不均一度は40倍であった。均一度改善のため、真空容器内のデカボラン吹き出し口を12箇所に増設して第3回ボロナイゼーションを行なった結果、膜厚分布の均一度は4倍程度と大幅に改善することができた。

その場ボロン化処理前後の真空特性

日本原子力研究所 那珂研究所 ○新井 貴 平塚 一 柳生 純一
神永 敦嗣 小池 常之 西堂 雅博

1、はじめに

JT-60では、性能の良いプラズマを発生し維持するための一つの大きな要素として、真空容器内壁（第一壁及びダイバータ板）の壁面状態の調整を行っている。これは、「コンディショニング」と呼ばれる一連の清浄化作業によって行われ、この一種にその場ボロン化処理（ボロナイゼーション）がある。

その場ボロン化処理は、ヘリウムのグロー放電中に水素化ボロン（JT-60ではデカボランを使用）を注入し、第一壁表面にボロンの被膜を薄く蒸着（100～400 nm）させるものである。第一壁にボロンを付着させることにより低Z化し放射損失を低減することができる。また、ボロンは、酸素と強く結合する性質がありプラズマ中の酸素不純物を低減することができる。これらの効果により高性能プラズマを作ることができる。

清浄度管理としては、真空容器の圧力測定及び残留ガス分析を行い、清浄度の判断を行っている。測定系は、差動排気することにより圧力の高い状態でも測定可能であり清浄度を監視できる。その場ボロン化処理後は、燃料ガス（重水素等）を除くと超高真空のマスパターンと同じになった。本報告では、測定系の紹介とその場ボロン化処理の前後の真空特性を報告する。

2、コンディショニング

JT-60では、定期点検期間に真空容器を空気で置換し大気圧にしてから開放し、損傷した第一壁、ダイバータ板等を交換する。これにより実験時に維持していた清浄度が保てなくなってしまう。このため、JT-60立ち上げプロセスにおいて清浄度を上げるため、下記のような種々の清浄方法を実施する。

- 1) ベーキング 真空容器をガス及び電気ヒータにより300℃まで加熱でき、初期の水分等を除去するのに有効。ポートについては150℃まで可能。
- 2) 弱電流放電洗浄（TDC） トロイダル磁場0.45T、プラズマ電流15KA程度のプラズマをつくり洗浄する。初期の段階では、燃料ガスとして主に重水素を使用して酸素、炭素の追い出しを行い、後にヘリウムガスを使用して壁に吸蔵した水素、重水素の追い出しを行う。
- 3) グロー放電洗浄（GDC） 真空容器内の圧力0.5Pa（ヘリウム）にてグロー放電を行い不純物をたたき出し清浄にする。
- 4) その場ボロン化処理（BGD） デカボランをグロー放電にて分解してボロンを第一壁表面等に蒸着させ不純物を低減する。ヘリウムを、0.8Pa程度まで注入し、この中に6SCCMのデカボランを注入する。
- 5) プラズマ放電壁調整 プラズマ実験において、プラズマを第一壁へ接触させて物理スパッターリング等で不純物を壁から追い出し清浄にする。この時、加熱装置も同時にエージングを行う。

JT-60の清浄度を上げるために、これらの洗浄方法を単独あるいは組み合わせて使用する。この時、清浄度を測定する手段として差動排気系を有する残留ガス分析計（RGA）と電離真空計を組み合わせた測定系を用いて監視する。

3、その場ボロン化処理装置の構成

その場ボロン化処理は、ヘリウムのグロー放電中に水素化ボロン（JT-60ではデカボランを使用）を注入し、第一壁表面にボロンの被膜を薄く蒸着させるものである。第一壁にボロンを付着させることにより低Z化し放射損失を低減することができる。本装置の構成は、デカボラン供給系、専用排気系、グロー放電装置、膜厚測定装置、測定系等から構成されている（詳細は、本報告の「JT-60第一壁のその場ボロン化処理」を参考にされたし。）デカボランは、常温で固体の状態であり温度を上げることにより気化する。供給系の配管は、運転している時150℃程度にベーキングされており、デカボランガスとして存在している。これをグロー放電中の真空容器内に均等になるように分配して蒸着（第3回目のその場ボロン化処理では100~400nmの膜厚を有した）している。

4、測定系について

測定系は、差動排気系を有するRGAと電離真空計を組み合わせた測定装置を使用しており、図-1にシステム系統図を示す。本装置は、JT-60真空排気設備のC系統マニホールドの後ろ側に取付けられ、3系統のオリフィス及びバルブにより測定圧力範囲を切り換えることができる。差動排気の主排気ポンプとしては、200L/sのターボ分子ポンプを使用している。機器の制御系は、光通信で400M以上離れた中央制御室よりコントロールされており、最終的にパソコンのCRTでデータ表示される。RGAでは、主に酸素不純物に関係した分圧うちM/e=18（水分）、M/e=28（一酸化炭素）、M/e=44（二酸化炭素）、燃料ガスであるM/e=4重水素、ヘリウム及びM/e=2（軽水素）について常時観測している。図-2に、グロー放電有無によるマスパターンを示す。これは、ボロナイゼーション中、グロー放電により注入されたデカボランが分解されてマスパターンに現われない（上の図）が、グロー放電を停止するとM/e=116付近をピークとするデカボランのクラッキングパターンが現われる。この時の真空容器圧力は0.8Paであり差動排気領域となっており、オリフィスを介したRGA付近の圧力は 3×10^{-4} PaであるがRGAが十分安定に作動する圧力範囲となっている。

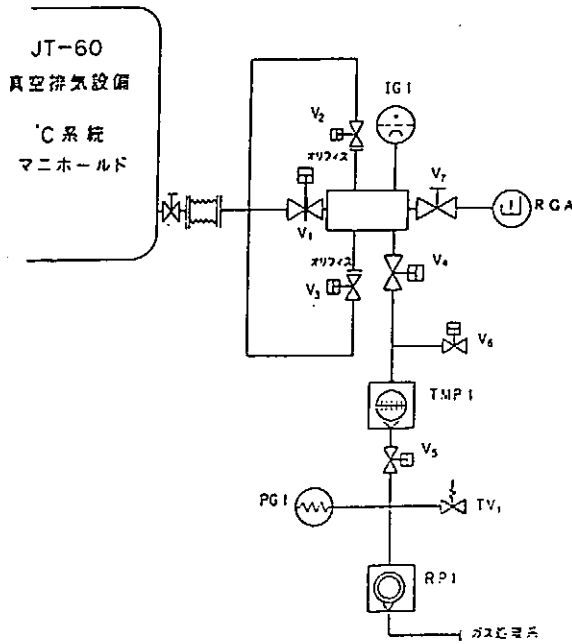


図-1 システム系統図

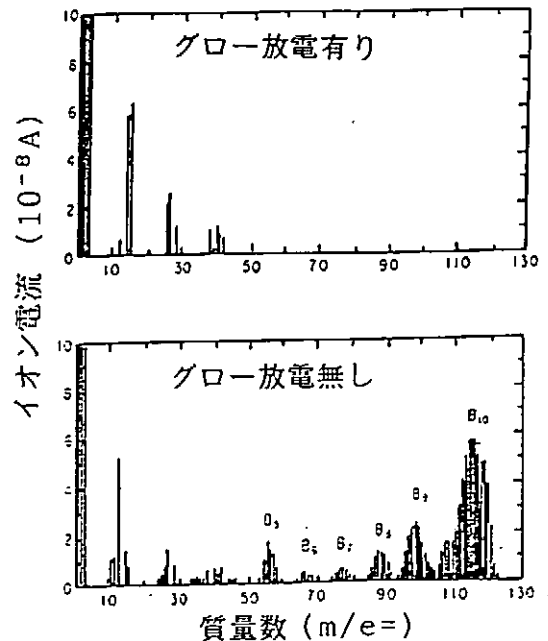


図-2 グロー放電有無によるマスパターン

5、測定結果

RGAによる測定は、先に述べたように各々のコンディショニング時に酸素不純物に着目してモニターしている。各々のコンディショニングとは、常温（初期排気状態）、ベーキング、TDC及びGDC、ボロン化処理、OH壁調整実験、実験の状態であり、この期間は、約1.5～2ヶ月程度の期間を要している。常温以外は、真空容器温度250～300℃である。

図-3に代表的な各コンディショニング時の分圧変化（第3回ボロナイゼーション）を示す。第3回ボロナイゼーションでは、約50gのデカボランを消費し100～400nmのボロン膜を生成している。この時のM/e=18、28、44の変化は、常温からベーキングにより水、炭化水素系が除去されTDC、GDCによりベーキングでは取り除けなかった水、一酸化炭素、二酸化炭素の酸素系が取り除かれると予想される。この後、ボロン化処理を行うことでゲッターリング作用により各分圧が減少する。最終的に第一壁をプラズマでたたくことで第一壁を清浄化しプラズマの不純物量を低減する。M/e=18は、1/20～1/30程度に減少する。ここで全圧の変化に着目すると常温からベーキングした時放出ガス量の増加で全圧が上昇し、TDC、GDCでは動作ガス圧（ヘリウム、重水素）が0.1～0.8Paと高く、これが壁に吸蔵され徐々に放出されることにより全圧が決まり、その圧力は、 $3\sim 5 \times 10^{-5}$ Pa程度である。図-4は、各コンディショニングのM/e=18の変化を今まで実施した回数毎にグラフにしたものを示す。第2回ボロナイゼーション実施後の質的に最も良い状態であり全体的なレベルも低くなっており、通常レベルの1オーダー下の 5×10^{-11} Aであった。この時のプラズマの実効電荷数（Zeff）および酸素不純物量の値は、各々1.7～2.0、0.3%以下であった。第4回目の場合は、BGDを行う10日前にトラブルにより真空容器を大気圧にしたため、その後のコンディショニングを十分行うことができないままボロナイゼーションに入り、OH実験を行い不純物を低減することができなかった。このことは、BGDの前に壁の状態を十分清浄にしておく必要があることを示唆している。

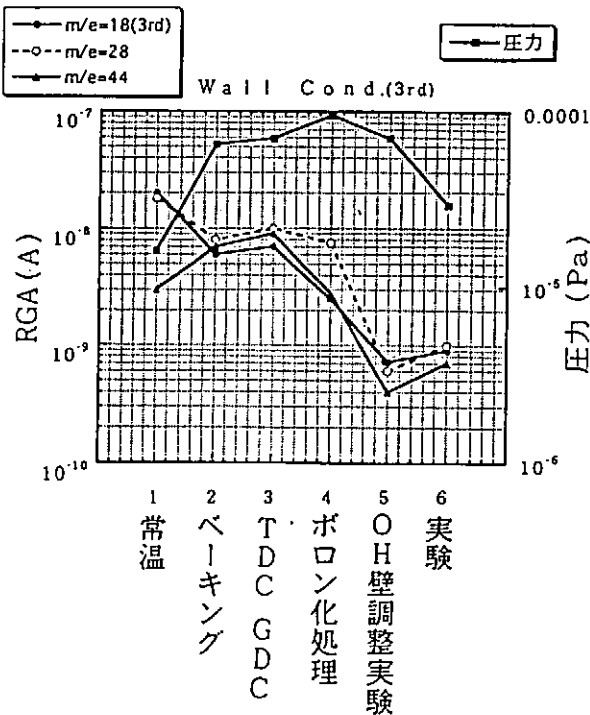


図-3 コンディショニング時の分圧変化
(代表例)

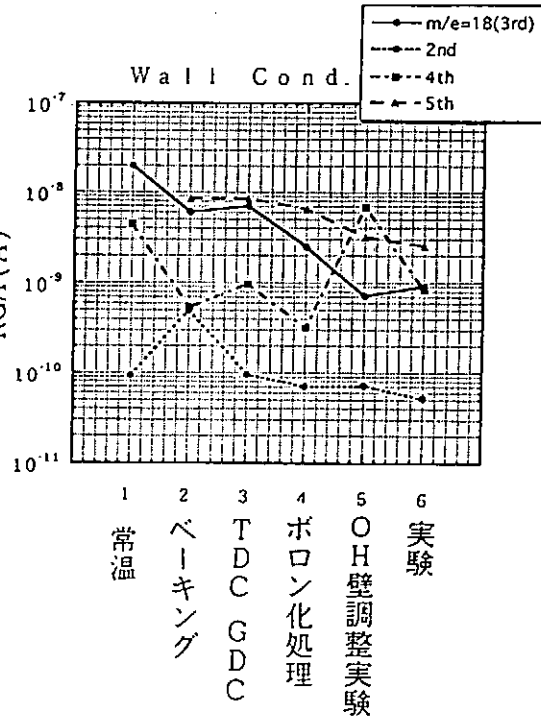


図-4 コンディショニング実施毎の
M/e=18の変化

図-5にプラズマ中の酸素不純物量と $M/e = 18$ (水分)のBGD実施前後の変化を示す。第2回目が全体的に清浄化された状態であり酸素不純物および水分圧も低くなっている。3回目以降については、初期のコンディショニングが不完全な状態でポロナイゼーションを行っているように思われる。4回目については先に述べたように直前に大気圧にするような状態での実施であったため実験の際でも水の分圧が思うように低下しなかった。

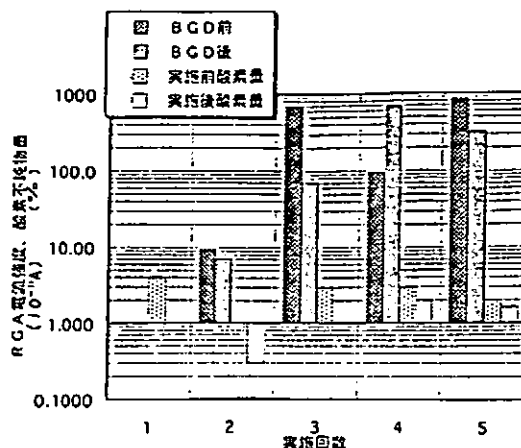


図-5 酸素不純物量と水の分圧の変化 (BGD実施前後)

6、考察

まとめ

- 1) 差動排気することにより測定圧力範囲が拡大しBGDの時でも測定可能であり、BGD中の分圧測定することで真空容器内の圧力変化を監視することができた。
- 2) RGAにより雰囲気中の酸素不純物(水分等)を監視することで第一壁(真空容器内壁)の清浄度を大まかに確認することが可能であることがわかった。
- 3) ポロナイゼーションを行うことで真空中の質を向上し酸素不純物の少ない状態にすることができた。

今後の課題

- 1) RGAのデータを蓄積し、プラズマ中の不純物との相関が取れるようにし、効率的な運転(ポロナイゼーション)が行えるようにする。
- 2) 測定したデータが速やかに判断できるようにパソコンによるデータ処理系を充実させる。

J T - 6 0 第一壁の損傷と保守

日本原子力研究所 那珂研究所 ○児玉 幸三、安東 俊郎、新井 貴
正木 圭、鶴見 聡、岸谷 和廣、
神永 敦嗣、笹島 唯之

1 概要

日本原子力研究所、那珂研究所に設置されている臨界プラズマ試験装置（J T - 6 0）は、例年11月～12月に定期点検（定検）を実施しており、本体真空容器もこの時期に大気開放し、第一壁等の改修整備を行っている。

J T - 6 0の真空容器には12270枚の第一壁が取付けられている。第一壁は、運転中高熱負荷に晒され、損傷や損耗が生じるので、交換または調整を必要とする。また、J T - 6 0は、1991年の大電流化改造後、重水素ガスによる運転を行っており、真空容器等の放射化や残留トリチウム対策等に伴う放射線管理が必要になっている。本報では、J T - 6 0の第一壁等の損傷状況とその保守作業管理（品質管理、放射線管理、その他の安全管理）について報告する。

2 第一壁等の損傷状況

1991年以降に本体真空容器を大気開放し、真空容器内で作業を行った回数は7回である。この内訳は、定検等年度計画に基づいて作業を実施したのが5回、他の2回は運転中に不具合が生じて実施したものである。表-1に1991年3月以後の真空容器内の主な作業及び第一壁等の保守を示す。

表-1 J T - 6 0 第一壁の保守状況

作業時期	主な作業内容	損傷タイル交換	タイル緩み増締め	損耗部調整第一壁	損耗部調整ダイバータ	保護用第一壁	ダイバータ計画交換	分析用タイル
91年 5月	ダイバータ段差調整				406			
91年 7月	中性子計測器調整							
91年 12月	91年度定期点検				62	97		15
92年 3月	計測用シャッタ落下							13
92年 12月	92年度定期点検	3	34	11	251	154	442	12
93年 9月	損傷ダイバータ修復	10	86					
93年 12月	93年度定期点検	2	3,205	31	405	34	426	49
小計		15	3,325	42	1,124	285	868	89

1) 損傷タイルの交換

92年の定検時に交換した損傷タイルは熱負荷によるものが1枚、重水素ペレットによる損傷が2枚であった。93年9月の損傷タイルは、取付けボルトの緩みによりタイルが浮上がり熱負荷が集中して損傷したものである。

2) タイル緩み

93年9月にタイル取付けボルトの緩みが原因でタイルが損傷した。この時、ダイバータタイルの点検を行い応急的に回り止め対策を行った。93年定検時には取付けボルトの緩み対策を見直し、全ダイバータタイル及びその周辺の第一壁の対策を行った。

3) 損耗部調整

91年5月は、ダイバータ板の全てのダイバータタイルの段差を実測し、更に段差調整を行ったものである。その後、定検の都度損耗部の除去の為に実施している。

4) 保護用第一壁

保護用第一壁は真空容器のポート等の開口部周辺で、金属が溶融している部分を保護するために対策行っているものである。91年の定検から計画的に実施しているもので、92年の定検時が最も多く、以後対策を必要とする箇所が減少している。

5) ダイバータタイルの計画交換

ダイバータ板は、計画的にB₄Cコンバージョン処理したタイルと交換している。92年はf列、93年はe列を実施した。

3 作業管理

真空容器内作業の工程を図-1に示す。

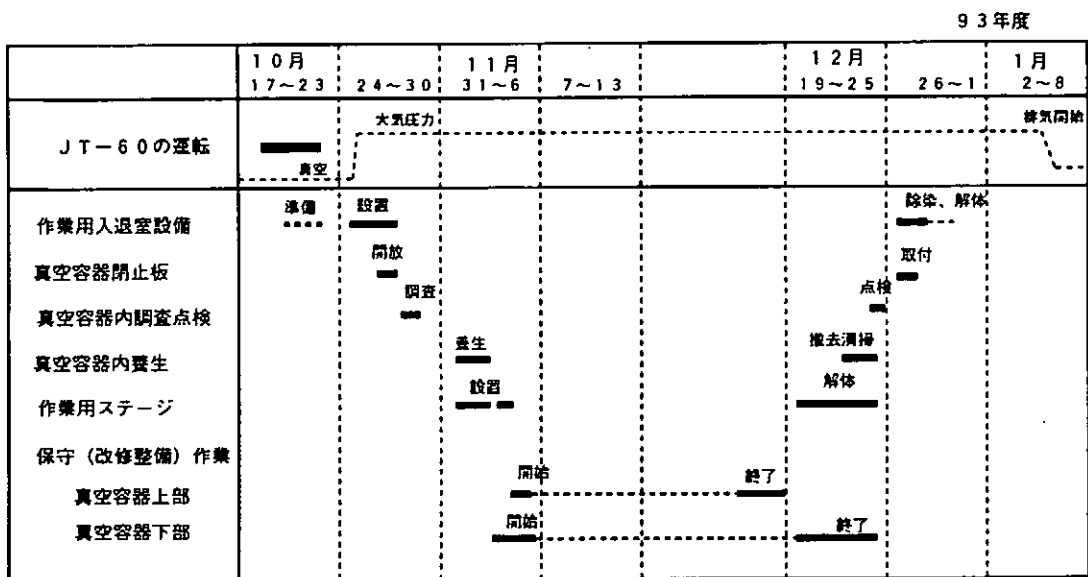


図-1 真空容器内作業の工程

1) 作業準備

真空容器の作業用ポートは、床面8mの高さにある。入退室設備は、作業者の入退室以外に、真空容器内の清浄空気の取り入れ、作業資材の搬出入及び放射性汚染防止のために設置している。

この外に、通常の入退室口以外に非常口を設け、有事に備えている。

2) 真空容器閉止板開放と換気

真空容器閉止板(作業用ポート(内径約50cm)閉止板)開放後、真空容器は3,000m³/hの排気速度で換気を行う。

3) 真空容器内の調査

真空容器内の作業に先立ち放射線管理に必要なデータの収集と、真空容器内の不具合箇所の調査を行う。

- 4) 真空容器内養生
第一壁等の保護、下側ポートへ物品の落下防止、塵埃の浸入防止を目的として、ビニールシート等によって養生を行う。
- 5) 吸引清掃ユニットの設置
真空容器内の清掃を行うために、吸引清掃ユニットを設置する。吸引清掃ユニットの排気は、HEPAフィルタを介して真空容器内排気系に接続している。
- 6) 作業用ステージの設置
真空容器は、ポロイダル断面で高さ3.3m、横幅2.4mである。従って、真空容器上部の作業を行うには、作業用ステージが必要となる。作業用ステージは、真空容器の水平付近で全周に渡って設置する。また、この作業用ステージは、必要に応じて部分的に脱着が可能である。
- 7) 真空容器内作業の後仕舞い
真空容器内作業の終盤では、真空容器上部から手順に養生の撤去、清掃、点検を行って、作業の終了を確認する。更に、最終点検を行って真空容器に閉止板を取付け、入退室口の解体、真空容器の真空リーク試験を行って作業が完了する。

4 放射線管理

- 1) 外部被曝線量当量の管理
被曝線量当量の管理は、真空容器内の作業開始前に計画被曝線量当量を定め、作業者の直読式の個人線量計を併用して管理をしている。真空容器の閉止板を取り外した後、真空容器内作業に先立ち、真空容器内部の線量当量率および真空容器内の表面密度の測定を行う。93年10末の真空容器内部の線量当量率は、 $40 \mu\text{Sv/hr}$ であった。真空容器内の線量当量率は、 ^{58}Co の影響が大きく、実際の被曝線量当量も ^{58}Co の減衰に従って減少している。
- 2) 内部被曝線量当量の管理
内部被曝の要因としては、 ^3H の吸引及びタイル取付け時の溶接（座の取付け等）時に発生するミストの吸引が想定される。内部被曝の評価は、作業開始前にJT-60の運転実績から ^3H の発生量を推定して行っている。また、溶接作業による内部被曝の評価は、溶接箇所の放射化状況と実際に計画している作業から評価している。こうして行った内部被曝線量当量は、十分低い値であるが、万全を期して半面マスクを使用して作業を行っている。
- 3) 汚染防止対策
作業者の汚染を防止するために専用の作業衣（防塵衣）、帽子、ゴム手袋、足袋を着用している。また、真空容器内から物品（作業工具等）を持ち出す場合は、作業用入退室設備内で ^3H の汚染検査を行い、汚染防止を図っている。

5 一般安全管理

真空容器内作業において放射線以外の安全管理として酸素欠乏症の防止、有機溶剤中毒の防止及び残留水素化ボロンによる障害防止に万全を図っている。以下にそれぞれの対策を示す。

- 1) 酸素欠乏症の防止対策
 - a. 有資格者（酸素欠乏危険作業主任者）を選任し作業の監督を行っている。
 - b. 真空容器内作業員数に制限（最大：18名、最小：2名）を設け、作業員数の表

示を行っている。

- c. 真空容器内にアラーム付酸素濃度計を2台配置し、30分毎に記録している。
 - d. 真空容器内の作業者は、入退室毎に氏名と時刻を記録している。
 - e. 真空容器内の換気速度は、 $3,000\text{m}^3/\text{Hr}$ である。
 - f. 真空容器内入り口に専任の監視人を配置し、入退室の監視を行っている。
- 2) 有機溶剤中毒の防止対策
- a. 有資格者（有機溶剤作業主任者）を選任し、作業の監督を行わせている。
 - b. 有機溶剤（アセトン）を使用するときは、真空容器内に持ち込む量を必要最小限としている。
 - c. 有機溶剤を使用するときは、真空容器内作業者に連絡している。
- 3) 残留水素化ボロンによる障害防止
- a. 真空容器の閉止板を開放する時に専用検出器で残留水素化ボロンがないことを確認している。
 - b. 真空容器内作業者は、定期的に健康診断を行っている。

6 品質管理

1) 塵埃管理

- a. 換気用空気は、HEPAフィルタを介した清浄空気を導入している。
- b. 真空容器内作業は専用の防塵衣に着替えて行っている。
- c. 搬入物品は搬入前にアセトン等で洗浄して搬入している。
- d. 第一壁タイルは、工場段階で真空バックをして塵埃の浸入を防止している。

2) 作業管理

- a. 作業開始前に作業要領書を作成し、作業を行っている。
- b. 作業場所の養生を行い、第一壁等の保護を行うとともに狹隘部への物品の落下防止を図っている。
- c. 物品の搬入出はリストを作成し置き忘れのないようチェックしている。
- d. QCシートによって作業の確認を行っている。

3) 評価及び点検

- a. 部内のチェック&レビュー委員会による調査、検討評価を行っている。
- b. 真空容器閉止板取付け前に総点検、最終点検を行っている。

7 まとめ

1) 第一壁の損傷と修復

- a. 第一壁の損傷は、熱負荷の増加とともに増加している。
- b. 第一壁の修復は、タイル損耗部の調整または交換によって行っている。
- c. 第一壁は、計画的に交換または追加取付けを行っている。

2) 作業管理

- a. 外部被曝、内部被曝について事前に評価し管理している。
- b. トリチウムによる汚染防止に勤めている。
- c. 酸素欠乏症及び有機溶剤中毒防止等に万全を期している。
- d. 品質管理に十分に配慮している。

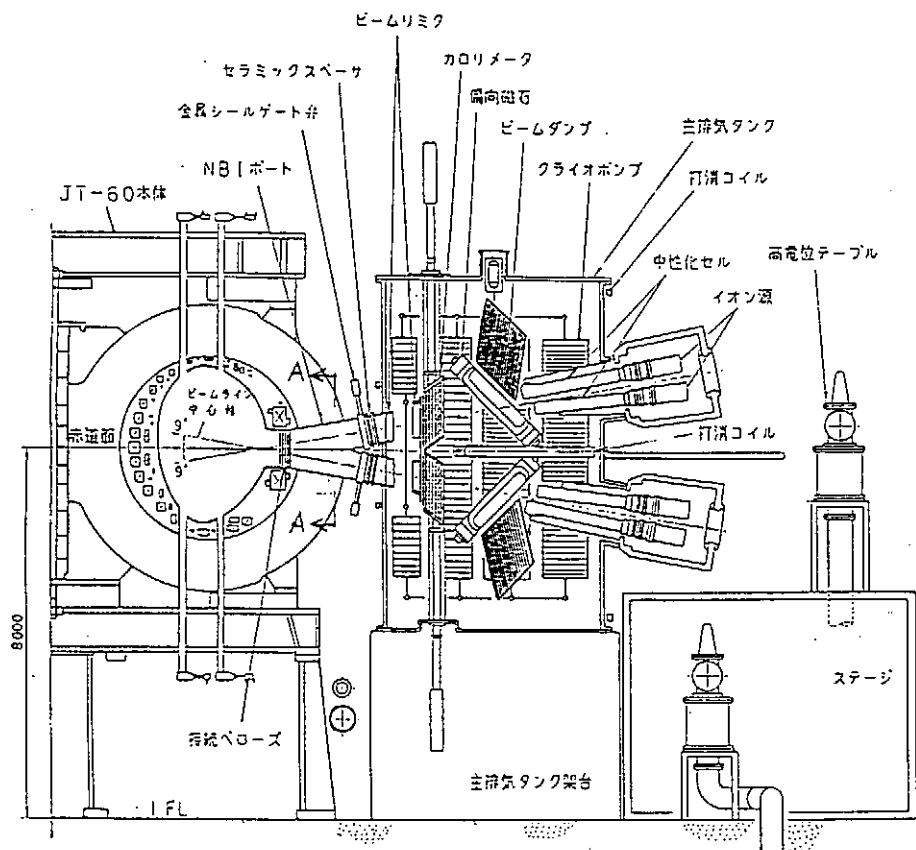
NBIポート内壁保護板の損傷状況と対策

日本原子力研究所 那珂研究所

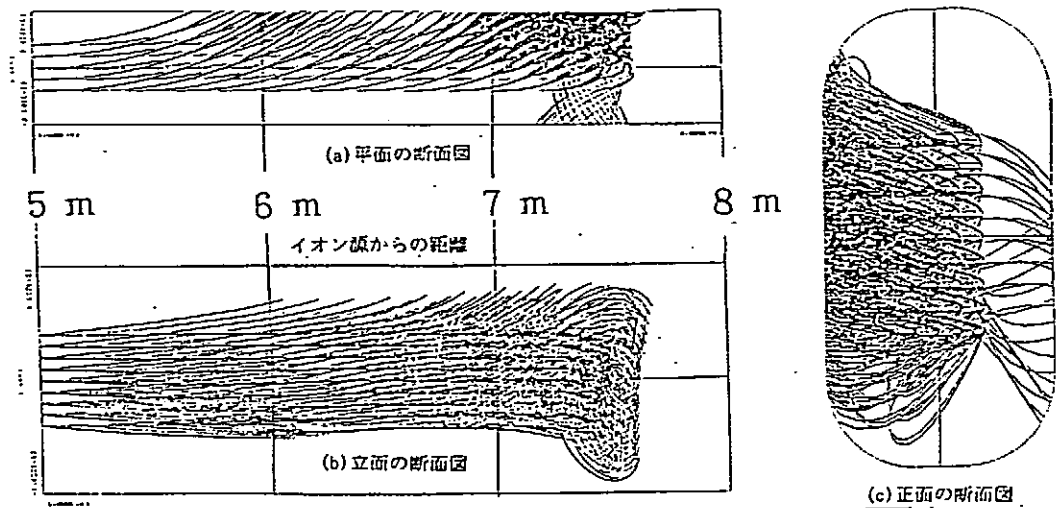
山本正弘、椋澤 稔、栗山正明

1. 概要 JT-60NBI装置は、10基の垂直NBI装置と4基の接線NBI装置から成る。本報告は、損傷等の不具合が発見された#7,8と#9,10接線NBI装置（偶数番号は上側のビームラインで、奇数番号は下側のビームラインである）のNBIポートに関して述べる。第1図は、接線NBI装置の横から見た断面図である。上下1対のイオン源から発射されたビームは、ビームラインに沿ってJT-60真空容器に入射され、2本のビームラインは、一体となって1つのNBIポートを通過する。ビーム入射の際、中性粒子ビームは、ポート内の常温ガスと衝突して再電離し、トカマク磁場の影響で曲げられてポート壁に衝突し、壁面から粒子を叩き出すが、この結果、後続の入射ビームと新たに叩き出された粒子と衝突する事になり、再電離粒子が加速的に増加するので、入射パワーの損失、即ち再電離損失が増加し、プラズマ中に所定のパワーを入射することができなくなるばかりか、ポート壁の溶損を引き起こす。このため、NBI装置の入射ポートは、主に、この再電離粒子による入熱から内壁を保護するために、接線NBIポートの場合、等方性黒鉛の再電離保護板（ここでは単に保護板と言う）で覆っている。JT-60の保守期間にポート内部に入って調査した結果、保護板に幾つかの不具合が発見された。

第2図(a)(b)(c)は、#7,8接線NBIポート内部の計算による再電離粒子の軌道を示し、この図からポート壁に衝突する位置が推定できる。また、第3図は同じ領域における保護板に対する熱負荷分布の計算結果で、最大熱負荷は $130 \times 10^4 \text{W/m}^2$ である。なお、この値はポート内部のガス圧に依存し、圧力が高くなると更に大きな熱負荷になる。

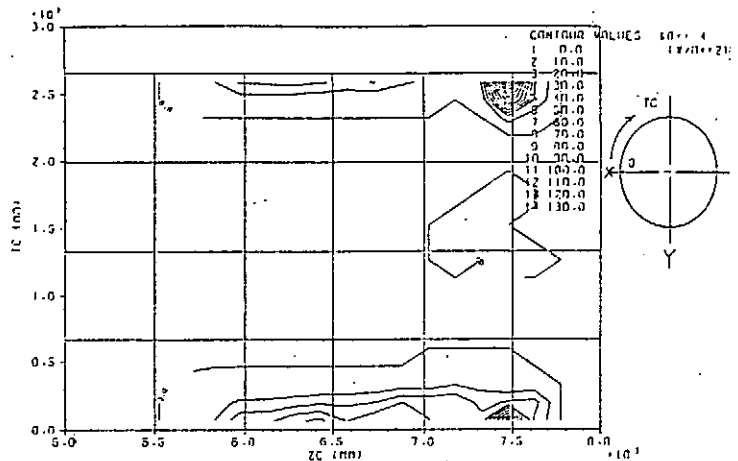


第1図 JT-60接線NBI装置断面図



第2図 接線NB Iポート部の再電離粒子軌道

2. 損傷状況 第4図は、#7,8の接線NB Iポートに取り付けられた保護板の配置を示す展開図で、図中に、ポート内で調査を行った時の保護板や熱電対の損傷状況を示した。保護板等の損傷状況は、①保護板を固定しているスタッドボルト/ナットが溶融していた。○印は、ナットとスタッドボルトが溶着してナットが外れない状態のものを示し、△印は、ナットの一部が溶融している程度のものを示す。この損傷状態から再電離損失による熱負荷の大きさと分布を大体推定することができる。写真1



第3図 接線NB Iポート部の再電離損失の熱負荷分布

はスタッドボルト/ナットの代表的な損傷状況である。②図中の117番の保護板を固定しているナットは殆ど溶融してしまい、手で動かすと固定している保護板がガタガタ動くほどの状態であった。修復は、保護板を破壊することなくスタッドボルト・ナットを取り除いて新規のものを溶接し、保護板はそのまま旧品を使用して行った。③図中115番の保護板に取り付けている熱電対が、隣接する保護板同士の隙間からの入熱で、リード線が溶断しているのが発見された。この原因は、再電離ビームが予想以上に保護板に対して直角に近い角度で入射したためと考えられる。修復は、熱電対をロー付けした保護板を新しく製作し、且つ、熱電対は、比較的熱負荷の小さい保護板用の熱電対と接続替えをすることによって行った。熱電対シース部を新しくポート外に引き出したり、熱電対を引き直すことが技術的に困難なためにこのような方法を採用した。熱電対の接続替えをした部分は、熱負荷が非常に小さいことなどからステンレス製の保護板で覆った。根本的な対策としては、熱電対のリード線を保護板同士の隙間から見え

ないように、より保護板の下に配線したり、カバーで覆うなどする必要がある。④#7,8ポートには保護板そのものの損傷は見られなかった。

次に、#9,10接線NBI装置の保護板等の損傷具合について述べると、以下の2件であった。①保護板の固定用スタッドボルト／ナットの一部分が溶融していた。その位置は、#7,8とほぼ同じであるが個数は少なかった（スタッドボルトとナットが溶着していたもの7組、ナットの一部分が溶融していたもの5個）。②保護板1枚にクラックが入っていた。修復は、熱衝撃特性の良い炭素繊維強化黒鉛材料で新しく製作した保護板と交換して行った。

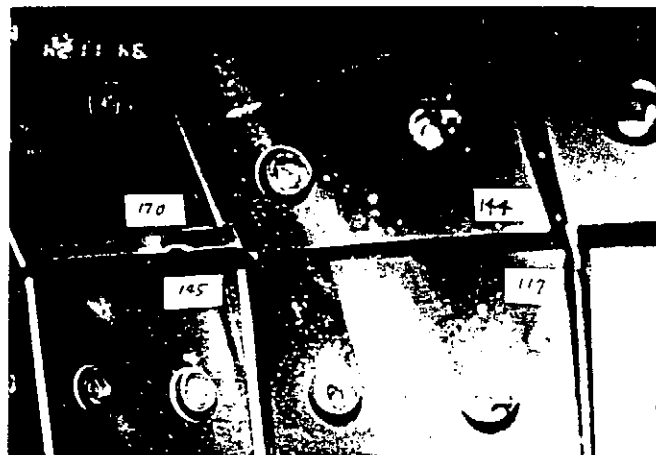
第5図は、熱電対（TC803）が指示不能になったショット前後の温度上昇率と熱流束を縦軸に、そのときのショット番号を横軸にプロットしたものである。丸印は、#7,8の最大値を示し、四角印は、#9,10の最大値を示す。なお、最大値はいずれのショットも#7,8はTC805番の熱電対で、#9,10はいずれのショットもTC802番の熱電対で計測された。熱電対が指示不能になった時の温度上昇率は、 $284^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 、 $\text{約}470\text{W}/\text{cm}^2$ と、計算値を大きく上回る熱負荷が瞬時に入ったと考えられる。また、その時の熱電対の測定カーブは、 1000°C まで急上昇したところで測定範囲の上限を越えたため、実際はもっと温度上昇率や熱流束が大きかったと推定される。再電離損失の大きかった原因として、プラズマ実験の条件を調べると、トロイダル磁場や変流器コイルの電流値等を直前のショットに比較して大幅に急に変えている。そのために、再電離ビームの当たる場所が漏洩磁場の変化によって保護板の新しいところに衝突するようになって、放出ガスが大きくなり、このために熱負荷が大きくなって、結果的に熱電対が損傷したと考えられる。この時の再電離損失は、#7,8及び#9,10共に60%以上であった。ここで述べられている熱電対の取り付け位置を第6図（第1図のA-A断面を示す）に示す。

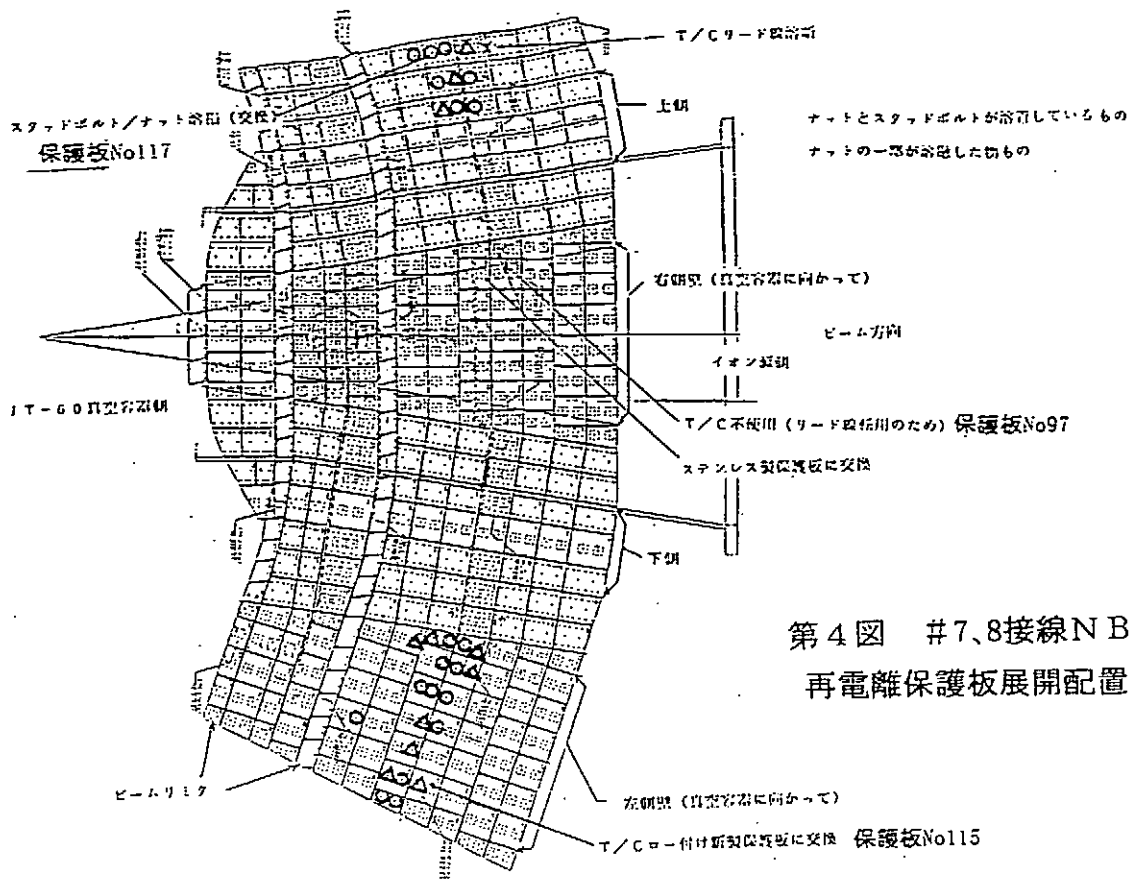
現時点において、スタッドボルト／ナットの根本的対策は保護板製作や取り付け作業に要する時間的制約から実施されていない。次回の装置の定期点検時には、再電離粒子の衝突が激しい部分の保護板の構造及び固定方法を第7図のように変更して、再電離粒子がスタッドボルト・ナットに直接衝突しないように改造する予定である。

3. まとめ

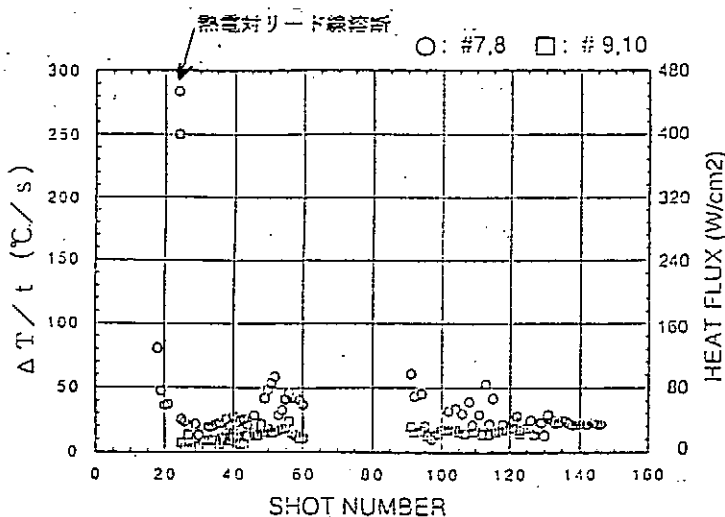
- (1) 接線NBIポート部の再電離粒子の軌道計算結果と実際に再電離ビームが保護板に衝突している位置は、大体の傾向は合っている。再電離ビームによる熱負荷は、プラズマパラメータを変えると再電離損失が急激に大きくなる場合があるので注意を必要とする。
- (2) 接線NBIポート内の保護板自体の損傷は1枚だけであった。損傷した保護板の対策として、等方性黒鉛材料を熱衝撃特性の優れた、炭素繊維強化黒鉛材料に変更した。
- (3) 保護板を固定しているスタッドボルト／ナットの溶損に対して、現在は、応急処置的な対策であるが、次回の装置の定期点検時には、再電離ビームがスタッドボルトナットに衝突しないように保護板の構造を変更して根本的な対策をする予定である。
- (4) 熱電対の損傷については、次回の装置の定期点検時に再度チェックして、必要があればリード線が隣接する保護板同士の隙間から再電離ビームに直撃されないように、配線ルートを変更したり、保護カバーで覆う予定である。

写真1 スタッドボルト／ナットの代表的な損傷状況

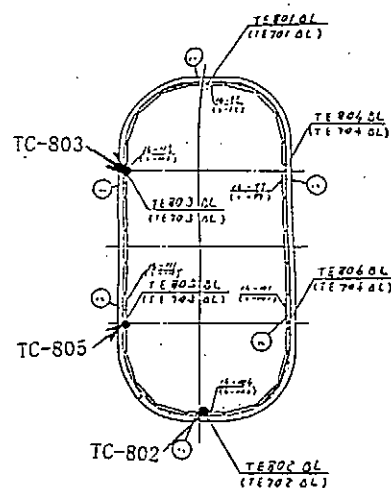




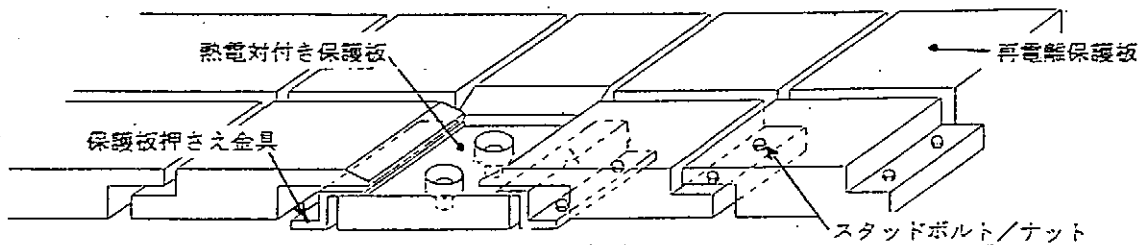
第4図 #7,8接線NB I
再電離保護板展開配置図



第5図 接線NB I ポート再電離保護板部温度上昇率と熱流束



第6図 熱電対取り付け位置
(第1図A-A断面)



第7図 再電離保護板改造概念図

NBI装置水冷抵抗器の異常と補修

原研 那珂研究所 ○薄井勝富 高橋春次 小泉淳一 高安利男

1. はじめに

JT-60中性粒子入射加熱装置（以下、NBI加熱装置と言う）は、昭和58年に据え付けをはじめ、昭和61年より入射実験を開始し、主要機器は製作から10年が経過している。昭和63年から、毎年定期点検を実施しているが、点検結果から水冷抵抗器の抵抗値が徐々に大きくなる傾向が判明した。平成4年定期点検で水冷抵抗器14台中の1筒について分解点検を行ったところ抵抗器の異常が発見された。このため、平成5年定期点検では、全台の水冷抵抗器について分解点検をした。

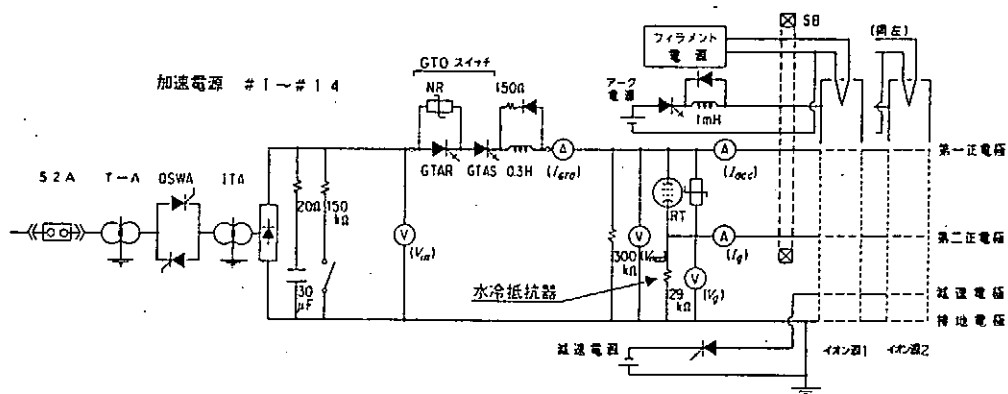
本報告は、水冷抵抗器の異常の状況、異常原因の推定および補修作業について述べたものである。

2. 水冷抵抗器の概要

NBI加熱装置は、14ユニットのビームラインユニットから構成され、それぞれのユニット毎にイオン源用電源が用意されている。このイオン源用電源には、イオン源加速部2段加速のうちの2段目に相当する第2正電極に電圧を印加するために、レギュレータチューブと共に水冷抵抗器を使用している。

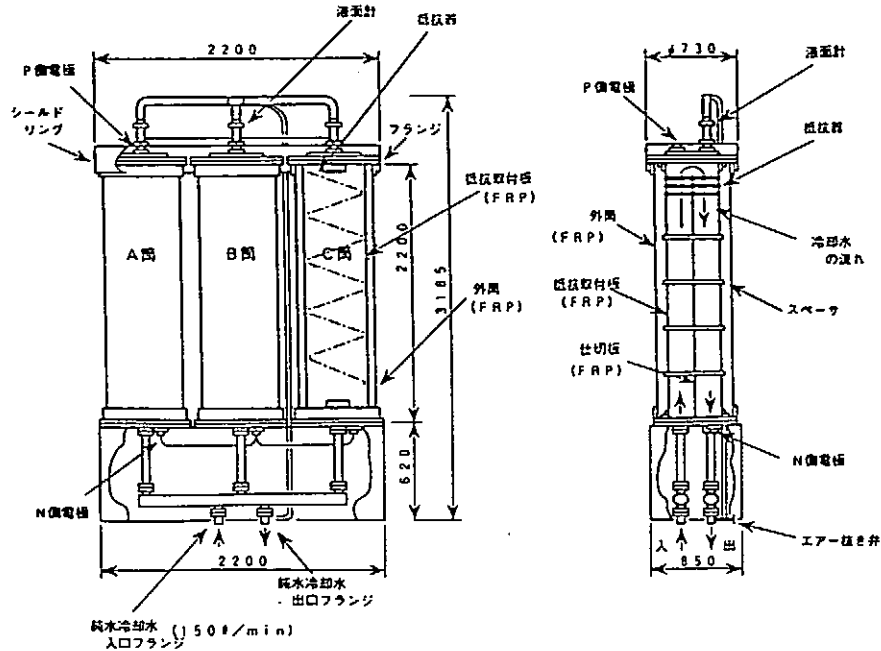
第1図に、1ユニット当たりのイオン源用電源の単線結線図を示す。

水冷抵抗器は、円筒の水冷容器を3本並べたものである。本抵抗器は600Ωのセラミック質抵抗器を150直列に接続したものを、3本並列に接続している。セラミック質抵抗器は水冷抵抗器1ユニット当たりで450本使用し、14ユニット全体で6300本使用している。



第1図 イオン源用電源の単線結線図

第2図に、1ユニットあたりの水冷抵抗器を示す。



第2図 水冷抵抗器

水冷抵抗器を以下の様な条件で運転した結果、抵抗値が大きくなるといった異常が定期点検で発見された。

セラミック質抵抗器 (ER25ASH) $600\ \Omega$ ($\pm 10\%$)、
 結線 150直-3並列、合成抵抗値 $30\ \text{k}\Omega$ (気中) $29\ \text{k}\Omega$ (水中)
 水冷容器に収納
 パルス負荷: $280\ \text{kW}/\text{DC}\ 90\ \text{kV}$ 、10秒ON-290秒OFF
 抵抗器1本あたり: 電圧600V、パルス負荷625W (定格電力の25倍)

3. 水冷抵抗器の異常の状況

本抵抗器14台のうちの、すべてについて以下のような異常が確認された。

- (1) 水冷抵抗器の抵抗値が、表-1に示す通り設計値 気中 $30\ \text{k}\Omega$ ($\pm 1\%$)を遥かに超えている。
- (2) セラミック質抵抗器表面の被覆 (エポキシ塗装) が膨れている。

また、セラミック質抵抗器と金具取り付け

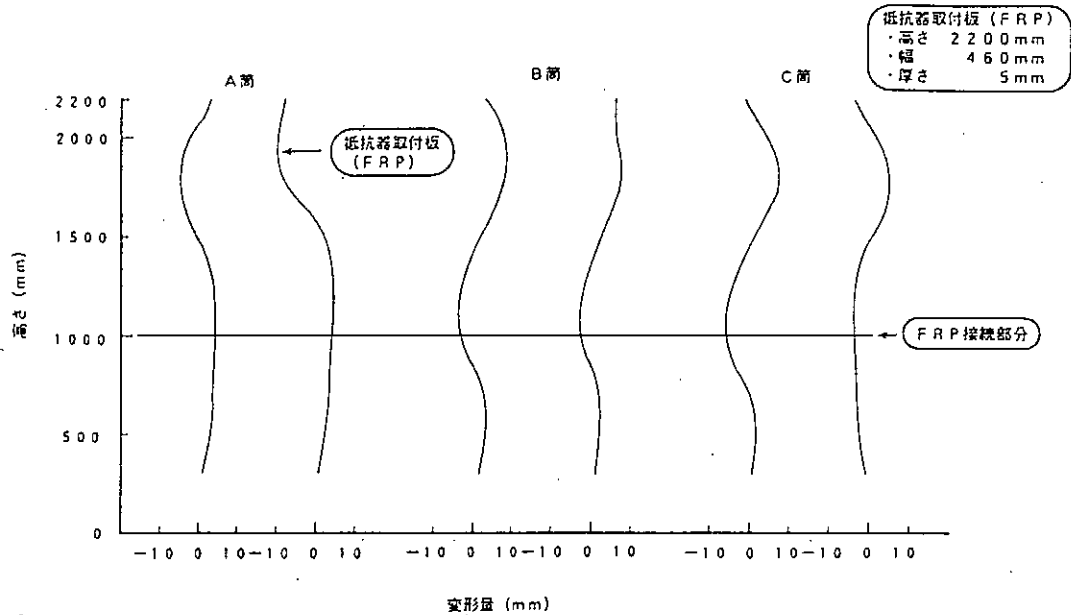
表-1

ユニット No.	単位: $\text{k}\Omega$			合成抵抗値 (気中)
	A節	B節	C節	
#1	94.0	95.6	96.6	31.8
#2	101.9	103.5	101.4	34.1
#3	100.5	101.2	99.0	33.4
#4	97.7	100.3	96.6	32.7
#5	97.2	96.6	94.5	32.0
#6	94.5	96.1	95.5	31.8
#7	97.1	96.5	94.1	32.0
#8	94.4	94.6	94.2	31.5
#9	98.1	98.4	94.1	32.3
#10	100.1	99.3	97.4	33.0
#11	100.4	98.5	92.8	32.4
#12	95.7	97.7	96.3	32.2
#13	94.4	93.4	94.6	31.4
#14	92.4	93.4	94.6	31.2

部分に亀裂があり、亀裂部分から水分が吸収されている。

(3) 抵抗器取り付け板 (FRP) は、表面を防湿のためのウレタン塗装を施したもので、2本の板を平行に並べその間にセラミック質抵抗器150本取り付けられているが (第2図参照)、その2本の板がS字状に変形している。

第3図は、#10抵抗器取り付け板 (FRP) の変形を表わした図である。接続部分である高さ1000mm付近から変形が起こっている。



第3図 #10抵抗器取付板 (FRP) の変形

4. 異常原因の推定と補修

水冷抵抗器の異常原因の調査として、抵抗器の製作メーカーによるパルス電圧、インパルス電圧試験および原研による検討から表-2の様な結果が考えられる。

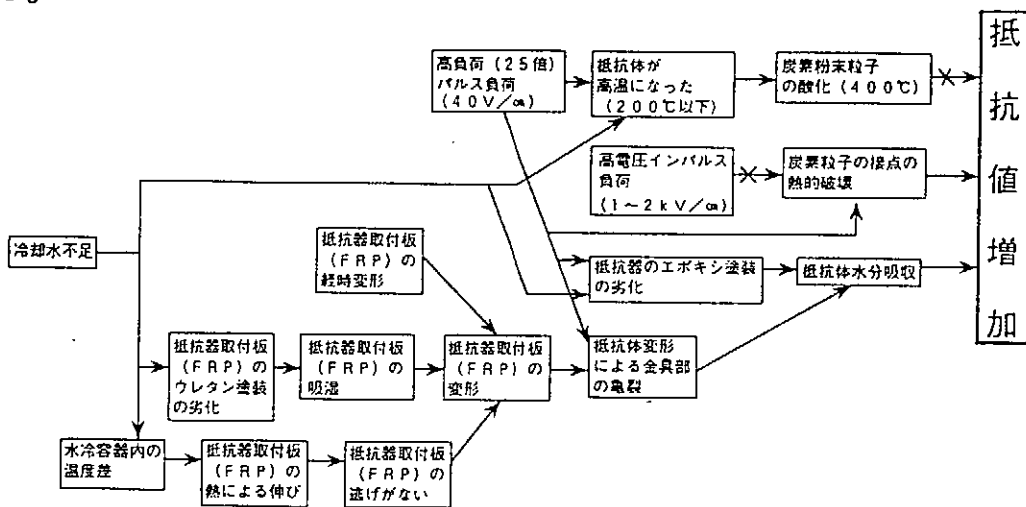


表-2 水冷抵抗器の異常原因

水冷抵抗器の異常について、以下の補修作業を実施し、抵抗器の異常の進行を防ぐこととした。

- (1) セラミック質抵抗器の抵抗値の大きいものについて、総本数6300本の中の152本について新品のものと交換を行った。
- (2) セラミック質抵抗器の亀裂部分について、総本数6300本の中の575本についての補修塗装（エポキシ塗装）を行った。
- (3) 抵抗器取り付け板（FRP）の接続部分について、全数（14台）について補強板を取り付けた。

5. まとめ

水冷抵抗器の異常に対する補修として、抵抗値の増加については、水冷抵抗器内のセラミック質抵抗器の交換を行った。

また、セラミック質抵抗器の金具取り付け部分の亀裂および亀裂部分からの水分の吸収については、亀裂部分の補修塗装を実施し、抵抗器取り付け板（FRP）の変形については、補強板を取り付けた。

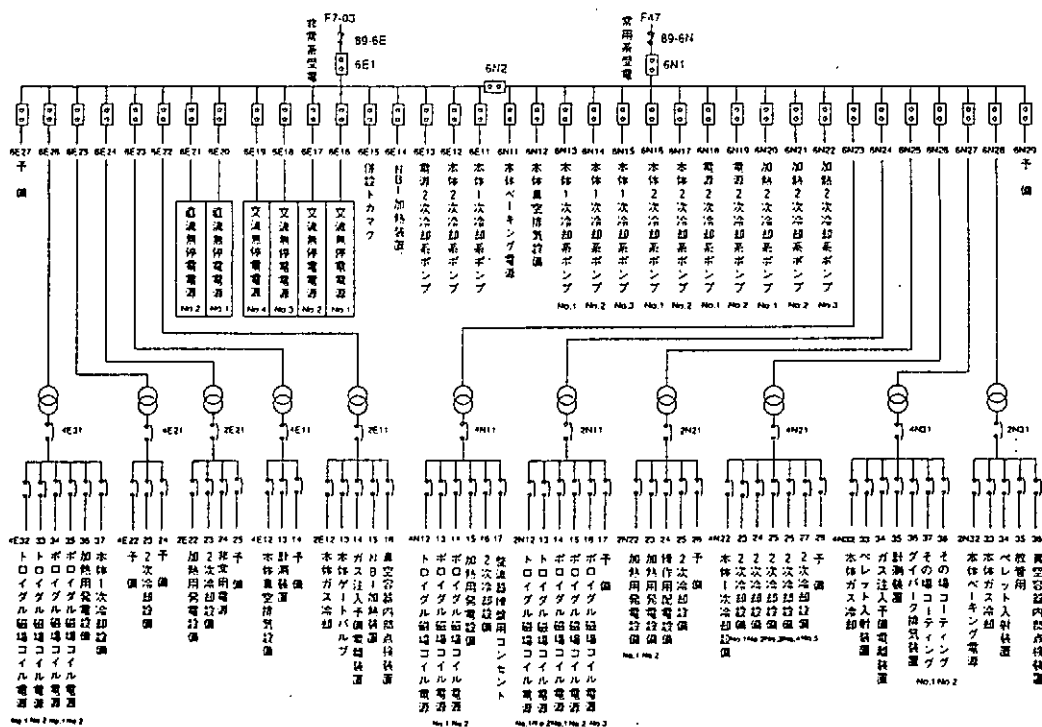
今後、水冷抵抗器の不具合を防ぐには、抵抗器の定格倍率、水分吸収の防止対策および冷却水量の検討が必要であると考えられる。

J T-60 操作用配電設備・非常用電源の運転保守

日本原子力研究所那珂研究所 大森俊造 大森栄和

1、はじめに

J T-60は、核融合炉の入・出力が等しいという臨界プラズマ条件を目指す大型トカマク核融合試験装置である。J T-60操作用配電設備・非常用電源設備は、那珂研究所の中央変電所より6.6kVにて受電し、J T-60の各装置、機器（トロイダル電源MG、ポロイダル電MG、加熱用発電設備の補機、1次冷却設備、2次冷却設備、真空排気設備、ベーキング電源、全系制御設備等）に電力を供給する設備である。操作用配電設備（常用系受電）は、商用電源喪失時に保安電力を必要としない負荷へ給電し、非常用電源（非常系受電）は、商用電源喪失時に中央変電所の非常用ディーゼル発電機（6500KVA×2機起動うち1機送電）により20秒後に受電し、各負荷へは順序投入装置の投入指令によりしゃ断器を投入し給電する。またJ T-60計算機および制御系の重要な負荷に対しては、無停電電源設備により給電している。交流無停電電源として鉛蓄電池（2500AH×2セット）及びCVCF（定電圧・定周波数インバータ500kVA×4台並列冗長システム）が、直流無停電電源として整流装置2セット及び鉛蓄電池（500AH×2セット）が設置されている。J T-60操作用配電設備・非常用電源設備の単線結線図を第1図に示す。J T-60操作用配電設備・非常用電源設備は昭和58年10月に竣工し、その後、原研により運転保守が行われている。設置後12年が経過しており、これまで大きなトラブルもなく順調に運転されてきた。



第1図 J T-60 操作用配電設備・非常用電源単線結線図

これまでに経年劣化に伴い直流及び交流用無停電電源蓄電池の更新、CVCFの主回路部品である転流リアクトル、転流コンデンサおよびACフィルタコンデンサの更新及び順序投入装置（プログラマブルシーケンサ）の更新を実施した。

本報告では、JT-60操作用配電設備・非常用電源の運転保守の概要及び無停電電源蓄電池とCVCFの主回路部品（転流リアクトル、コンデンサ）の劣化調査結果及び順序投入装置の更新の経緯について報告する。

2、操作用配電設備・非常用電源の運転保守の概要

原研による運転開始・・・S58年11月

運転委託契約・・・・・・S59年4月より

日常点検・・・・・・設備の異常の有無、電圧、電流、電力等の記録

無停電蓄電池の点検整備・・・・週間点検、3ヵ月点検

設備定期点検・・・・1年周期（中央変電所の全停電に合わせて実施）

1～2年前からしゃ断器（高圧 低圧）、保護継電器、メータ校正、コンピュータ（CAMACシステム）の定期点検及び無停電蓄電池の週間点検等を運転委託によって実施している。

3、これまでの部品、設備の更新履歴及び経緯

昭和58年に原研によって運転開始してから平成6年3月までに実施した部品、設備更新の履歴を第1表に示す。以下に順序投入装置の更新理由と無停電電源鉛蓄電池及びCVCFの主回路部品（インバータ転流リアクトル、転流コンデンサ、ACフィルタコンデンサ等）の更新に到るまでの劣化状況の調査結果について述べる。

交換部品及び更新機器	S60 年	S61 年	S62 年	S63 年	H1 年	H2 年	H3 年	H4 年	H5 年
1. 無停電盤内冷却ファン ACスイッチ盤（13台） 全系統設備配電盤（2台） 出力変圧器盤（5台） 直流無停電設備（10台） CVCF4セット（56台）	○10月 ○10月 ○10月	○11月		○11月 ○11月	○11月		○11月	○11月 ○11月 ○11月	
2. 各種ヒューズ （全数 1465本）							○11月		
3. 交換無停電電源鉛蓄電池 A系蓄電池（165セル） B系蓄電池（165セル）						○1月		○3月	
4. 直流無停電電源蓄電池 A系蓄電池（51セル） B系蓄電池（51セル）							○8月 ○8月		
5. CVCF部品（4セット） ACフィルタコンデンサ（96台） インバータ転流リアクトル（48台） インバータ転流コンデンサ（96台）								○6月 ○11月 ○11月	
6. 順序投入装置（シーケンサ）									○11月

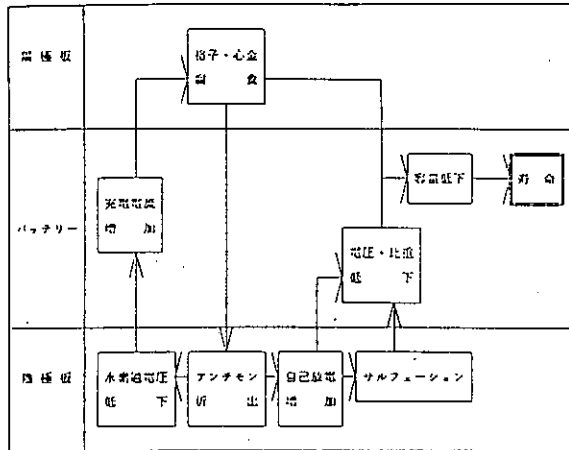
第1表 部品、設備の更新履歴

(1) 順序投入装置 (プログラマブルシーケンサ) の更新

商用電源喪失時に非常用発電機から受電する時、負荷のラッシュカーレントによる非常用発電機の過負荷を避けるため緊急を要する負荷から必要なタイミングでしゃ断器の順序投入をするために設置されており、プロセッサ、DI、DOモジュールから構成される。停電信号、非常用発電機の電圧確立信号等をDI入力として条件が成立すればDOから非常用電源のしゃ断器へ順序投入指令を出す。更新した理由は以下の通りである。
 ①停電時に100%の確立で動作することが要求されている。
 ②製造後12年が経過し、信頼性の低下が懸念される。
 ③部品の製造が中止になっており、故障した場合の修理が困難である。

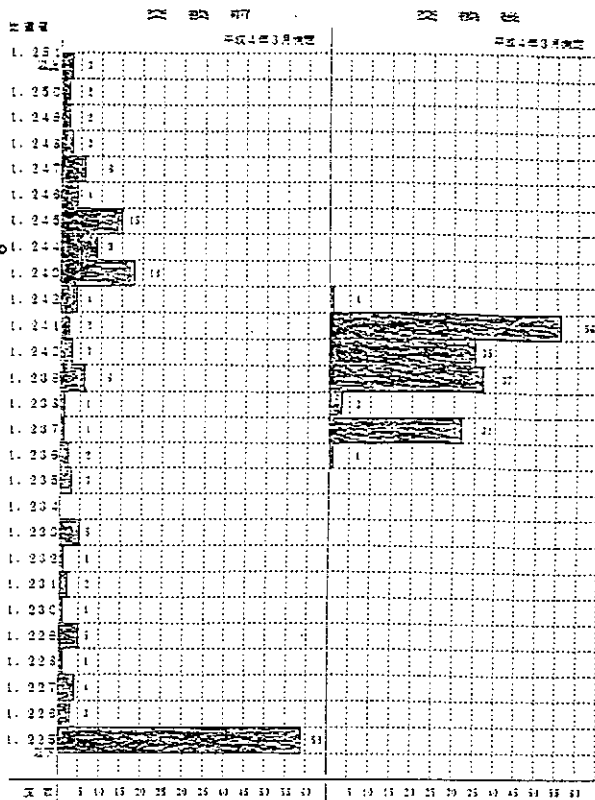
(2) 無停電鉛蓄電池の劣化調査

鉛蓄電池の基本劣化パターンを第2図に示す。劣化の原因はひとこと言えれば蓄電池の充電による腐食である。充電すると徐々に陽極の格子・心金(鉛-アンチモン合金)が腐食してアンチモンが陰極へ析出し、陰極では鉛-アンチモンによる局部電池を形成し、水素過電圧の低下による充電電流の増加と内部放電が増大し、電圧及び電解液比重が低下し寿命に達する。鉛蓄電池の寿命の定義は、1セルについては、定格容量の80%に達した時、セル全体では、定格容量の80%に達したセル数が全体の10%になった時である。鉛蓄電池の劣化の調査については電解液(希硫酸)の比重測定及びセル抜取りによる容量測定(メーカーの加速寿命試験データと比較)を実施した。



第2図 鉛蓄電池の基本劣化パターン

交流無停電電源の蓄電池2セット(A系、B系)のうちB系の更新前後の電解液の比重分布を第3図に示す。JT-60で使用している蓄電池の比重は20℃換算で 1.240 ± 0.01 が正常範囲であり更新直前では正常範囲以下(比重1.230以下)のセル数は73セルに達していた。セル抜取りの容量測定による寿命調査データ及び比重追跡調査データは紙面の関係で本報告には示すことは出来ないが、それらのデータを比較すると比重1.230以下のセルは、ほぼ容量80%以下であることが確認出来た。



第3図 交流無停電用鉛蓄電池B系比重分布

(4) CVC F 主回路部品の劣化調査

交流無停電電源設備CVC Fの主回路部品の抜取り調査は外観構造、電気特性、解体調査を実施した。以下に結果及び特徴について概略を述べる。

(a) インバータ転流リアクトル

鉄心のワニスの変色が見られ、インダクタンス調整用ギャップに亀裂が見られた。また、鉄心とコイル間に挿入している楔（エポキシ積層板）及びヨーク絶縁に焼損の痕跡が見られた。さらに写真1のように巻線及びレアー絶縁紙が焼損していた。

(b) ACフィルタコンデンサおよびインバータ転流コンデンサ（フィルムコンデンサ）

プラスチックフィルムを誘電体としてアルミニウムを蒸着しているが、写真2（ACフィルタコンデンサ）のようにフィルム面からアルミニウムが蒸発し、異常クリア状態見られた。電気特性は、静電容量の減少、絶縁抵抗の低下、 $\tan\delta$ の低下が見られた。

(c) ACスイッチ消弧用コンデンサ（フィルムコンデンサ）

電気特性に問題なく、あまり劣化は進行していないので分解調査はしていない。

(d) 直流フィルタコンデンサ（アルミニウム電解コンデンサ）

ドライアップ、ショート、巻ずれ等の劣化や異常が見られなかった。ただし陰極箔の保護皮膜耐電圧が約11Vと大きくなり劣化が始まり出していたものがあつた。

調査結果の特徴

リアクトルの劣化は、インダクタンス調整ギャップの亀裂によりインダクタンスが減少し過電流が流れ焼損に到つたものと推定される。寿命から考えると意外である。原因はリアクトルの振動が考えられる。この設備の場合引出しタイプのインバータトレイにリアクトルが固定されており、固定部ネジの増し締めをこれまで実施していなかったことが要因として考えられる。電解コンデンサは、あまり劣化が進行していなかったのは意外であつた。これは電流が少ない状態で使用しているためと考えられる。フィルムコンデンサについてはACスイッチ消弧用コンデンサに劣化が見られなかったが、常時充電はされているものの保護動作のときしか大きい電流が流れないためと思われる。

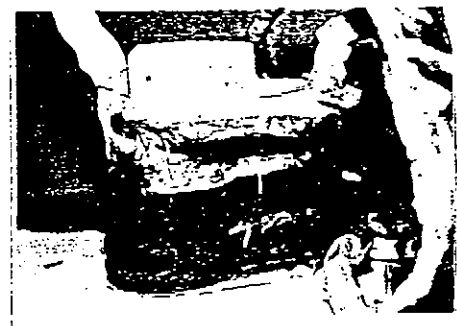


写真1
(黒い部分が焼損の痕跡)

4、まとめ

これまで大きなトラブルもなく順調に運転されてきた。この設備は連続運転であり、定期点検期間も短期間しか取れないため、抜取りによる部品の劣化調査を実施している。蓄電池及びコンデンサのように数が多いものは費用の点からも有効である。無停電電源の未更新のコンデンサについては平成6年度中に更新する予定である。

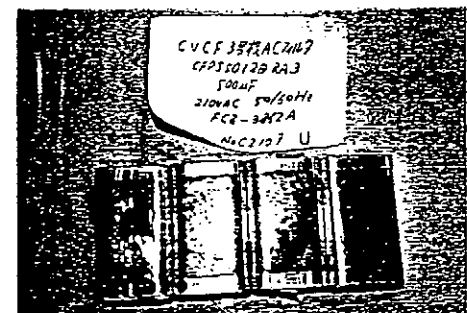


写真2
(白く光っている部分が異常クリア)

大型ヘリカル装置制御システムの検討について

核融合科学研究所 ○谷口能之、高橋千尋、小嶋 護、加藤明己
村井勝治、山崎耕造、LHD建設グループ

1. 大型ヘリカル装置制御システム建設計画

大型ヘリカル実験装置は平成9年度完成を目指し現在建設中である。制御システムの建設は平成8・9年度に計画され、種々の検討がなされている。この制御システムについて現在検討されている基本的考え方について述べる。

2. 基本概念

大型ヘリカル装置は、本体を中心に超伝導用ヘリウム液化冷凍装置、電源、加熱、計測装置他多くの装置群から構成され、核融合実験装置としては従来にない大規模な複合システムである。大型ヘリカル装置の運転の特徴を生かしながら効率よく行い、十分な実験成果を得るためには、制御システムが多数の設備機器を円滑に制御することが必要である。制御の観点から、大型ヘリカル装置は、以下のような特徴を持つ制御対象である。

- (1) 多数の装置群から構成された大規模な複合設備
 - －信頼性
- (2) 実験条件に合わせて広範囲な自由度が要求される実験設備
 - －柔軟性
- (3) 装置の機能が固定的なものではなく、常に高い目標を目指す、成長する設備
 - －拡張性

3. 運転方式

大型ヘリカル装置の運転は、狭義の設備運転制御と実験制御とに分けられる。これらにおいて機能分散と集中監視・制御について以下の方針を持つ。

方針1：効率的な機能分散

各サブシステムは単独の運転をする限り、機器制御装置だけで必要な全てのモード（実験の他、保守調整等考えられる運転全てを含む）で支配下にある全ての機器を自在に制御できるようにする。又、少なくとも実験運転については、中央実験制御計算機または本体制御計算機からの指令によって完全な制御ができるようにする。

方針2：柔軟な集中監視・制御

中央制御システムは、大型ヘリカル装置を構成する全ての設備・機器について、それらの運転操作を可能な限り監視し、それらの動作状態を常に把握しているものとする。また必要に応じて中央からの集中制御を可能とする。

4. 基本構成

図1に大型ヘリカル装置制御システム概念図を示す。

大型ヘリカル装置制御システムは、基本方針実現のために機能分担して制御を行なう階層構成化されたサブシステムと、総合運転のために、それらの装置を統括して集中監視制御を行なう中央制御システムから構成される。中央制御システムは実験制御を行う実験制御計算機と、運転制御を行う本体制御計算機により構成される。サブシステムは、それぞれ機

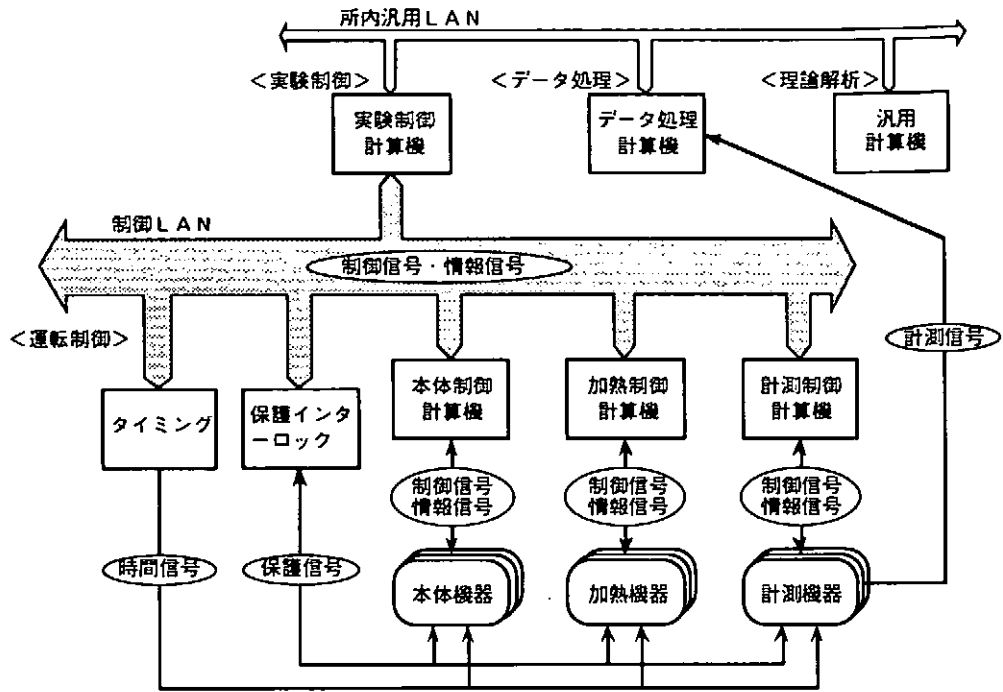


図1 大型ヘリカル装置制御システム概念図

能別に分担され、加熱装置に関しては加熱制御計算機が、計測装置に関しては計測制御計算機により構成される。それぞれの制御装置はネットワーク接続され、制御信号及び情報信号の伝達はこのネットワークを介して行う。制御信号において、実験シーケンス制御上高い時間精度を必要とするタイミング信号や安全性を確保するために高速の応答が必要となる保護インターロックの保護信号はハードウェアードにより接続をするものとする。

図2に大型ヘリカル装置制御システム構成図を示す。

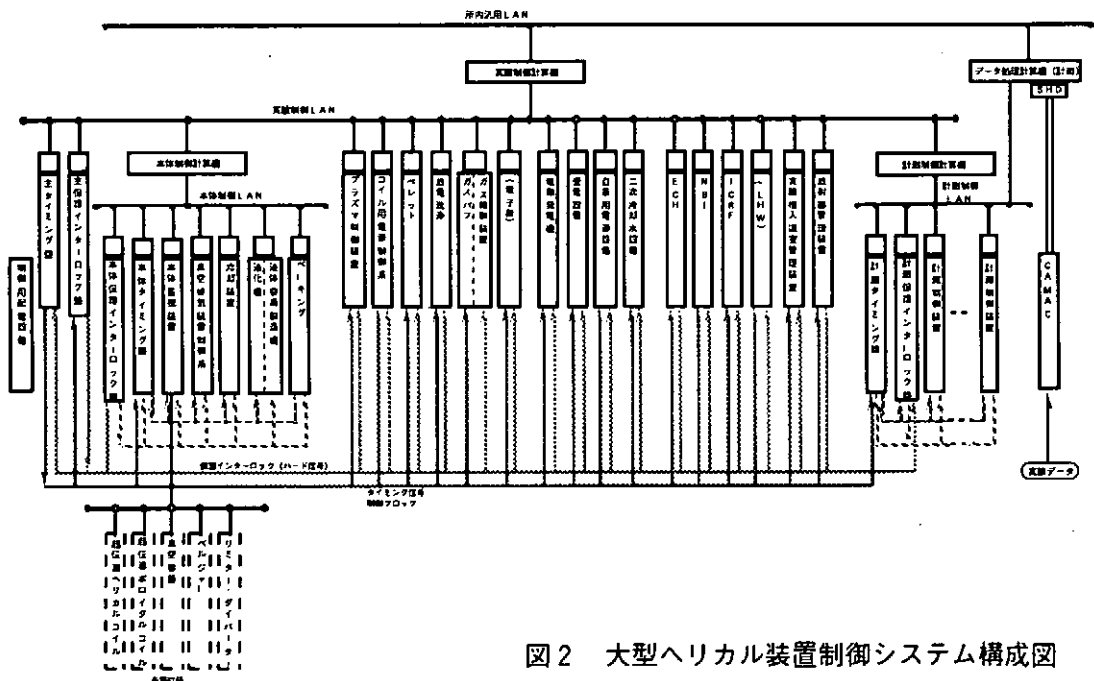


図2 大型ヘリカル装置制御システム構成図

5. 運転モード

5.1 運転モード設定の目的

運転モードは以下の用途のために設定する。

(1)安全管理上の便宜

人の入室制限、磁場励磁、放射線の発生等を明確化する。

(2)制御装置設計上の便宜

中央実験制御と本体制御の役割分担を明確化する。

各機器の運転状態を対応させる。

(3)運転・実験上の便宜

現在の運転状態の確認を容易にする。

ただし、モード設定により運転の柔軟性やシステムの拡張性が損なわれないように特に留意する必要がある。

5.2 基本モードの設定

上記(1)をベースに設定する。

- 1) 停止モード
- 2) 設備運転モード 本体棟入室制限
- 3) コイル通電モード 本体室入室制限・磁場発生
- 4) プラズマ実験モード 本体室入室禁止・磁場&放射線発生

上記(2)をベースにして設定の内容を記す。

中央制御計算機と本体制御に有機的に分割した。

停止モード

制御装置を含む全設備が運転休止状態である。

ただし、特殊試運転を含める。

設備運転モード

各サブシステムは原則的に独立に運転可能とし、実験制御では状態確認のみ行う。本体制御装置では本体の制御をつかさどる。ただし、実験に必要な一部のデータは実験制御システムにまとめて保存する。

コイル実験モード

本体制御装置又は実験制御装置がコイル通電全体を統括・制御する。

プラズマ実験モード

実験制御装置がプラズマ実験全体を統括・制御する。

尚、基本モード内での運転の柔軟性・拡張性を確保する必要がある。

図3に各運転モードに於ける設備運転状態を示す。

6. 制御システムで検討が必要な主な機能

今後大型ヘリカル制御システムでは以下の主な項目について更に検討を進める必要がある。

6.1 運転監視機能

(1) プラント運転監視・運転データ収集

LHDの統括監視及び全体管理のため、サブシステム毎に定義されたプラント運転デー

データを収集する。特に本体系の運転データは本体制御計算機が、また実験のための全体的な基本データは実験制御計算機が扱う。

(2) 運転モード維持・移行管理

運転操作許可／禁止、移行前チェックを行う。ただし、運転モード移行は運転員が介入して行われるものとする。

(3) トリップシーケンス処理

保護インターロック動作及び故障状態の推移を解析することにより、異常個所や異常原因の同定を支援する。

6.2 実験管理機能

(1) 実験条件管理

実験条件とは、LHDを構成する設備機器の制御システム（サブシステム）をどのように動作させ、どのようなプラズマを生成するかを定めるパラメータの集合である。この実験条件を集中的に作成・編集・保存・管理するもので、LHD全体のプラズマ実験運転の運用を決定する重要な機能。

(2) 実験シーケンス監視制御

LHDの各制御設備全体の協調をとりながら、安全にかつ効率よくプラズマ実験へと導くため、実験シーケンス制御は運転員よりシーケンス開始要求が入力された後、適切なタイミングで各サブシステムと制御メッセージを通信し、実験シーケンスを進行するための機能。

(3) タイミング制御

プラズマ実験において再現性の高いプラズマを得るため、関連するサブシステムの同期運転に必要なタイミング信号を生成する機能。

6.3 保護インターロック機能

安全かつ柔軟な運転を可能とするために、何らかの異常（機器故障、誤動作）が発生した場合に、機器設備間の損傷や人身への影響等を防止、又は異常の拡大を防止するための機能。

6.4 マンマシンインターフェース

大型ヘリカル装置の運転では、本装置特有の運転操作となり、運転・実験に則したマンマシンインターフェースの開発も必要である。マンマシンインターフェースは、誤操作を防止し、効率化を図った上、人間的に分かり易い容易な操作が可能なものなくてはならない。

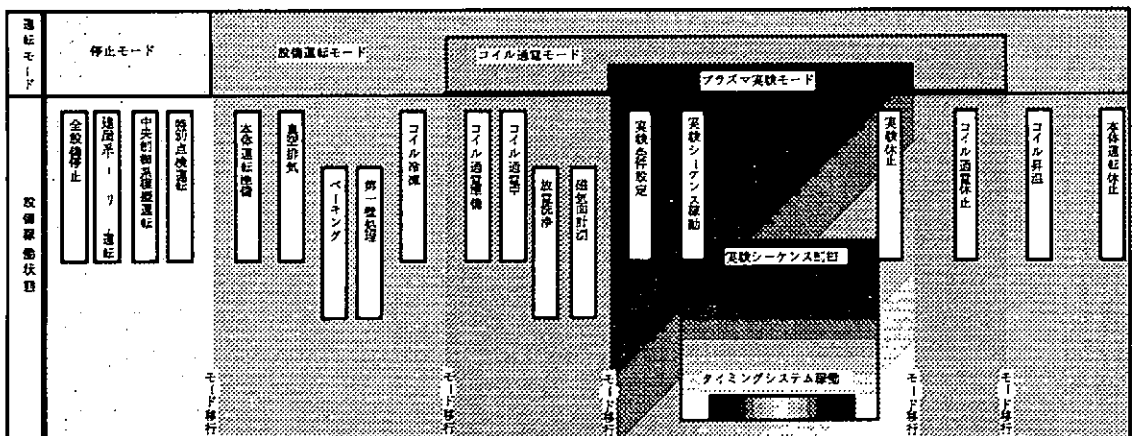


図3 運転モードと設備運転状態

JFT-2Mにおける外部ヘリカル磁場を用いた制御システム

日本原子力研究所 柏 好敏 徳竹利国 長谷川浩一
岡野文範 鈴木貞明 斎藤雅也

1.はじめに

JFT-2Mでは、ディスラプション制御、周辺プラズマ制御等の実験目的のため、プラズマに各種のヘリカル磁場を印加できるコイルと電源を製作し、良い結果を得ている。

これらのシステム構成及び製作する上での工夫、運転経験の事例を報告する。

2.外部ヘリカル磁場システムの構成

外部ヘリカル磁場を発生するコイルは、各種の磁場モードを可能にするため3種類設置してある。

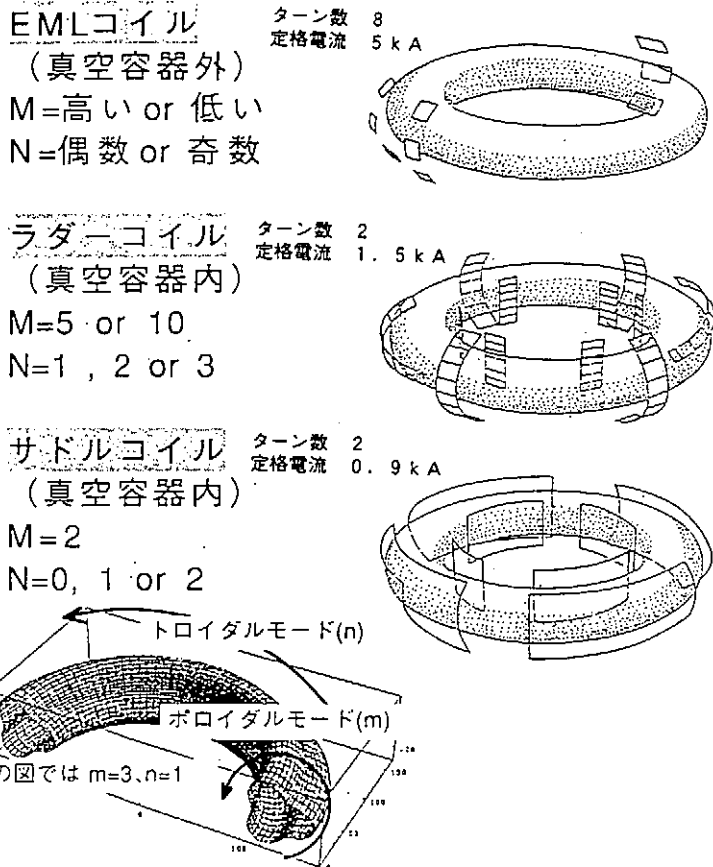
図1に外部ヘリカル磁場コイル配置図を示す。

EML (エルゴディック マグネティック リミター) コイルは、真空容器外側に設置してあり、上、中及び下の3コイル一組のコイルが全部で3組ある。

梯子型をしたコイルはラダーコイルと呼び、真空容器内部に設置してあり、中心側及び外周側の2コイル一組のコイルが全部で6組ある。

鞍型をしたコイルはサドルコイルと呼び、真空容器内部に設置してあり、中心側及び外周側の2コイル一組のコイルが4組ある。

図1 外部ヘリカル磁場コイル配置図



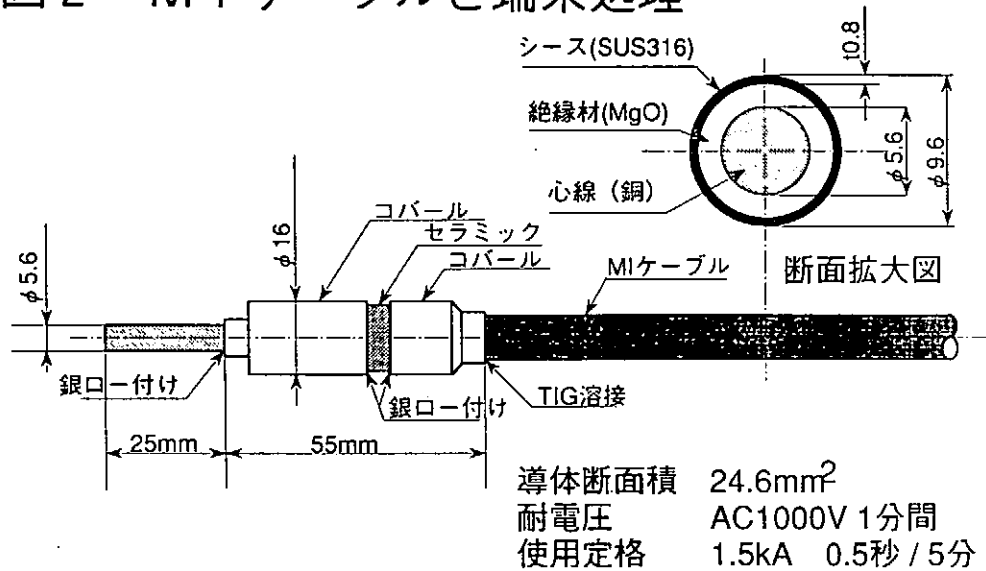
サドルコイル及びラダーコイルは、真空中で使用するため、アウトガスの発生が少ないものであり、プラズマからの熱影響を受け難い素材であることを考慮して、MI(Mineral Insulated)ケーブルを使用した。

図2にMIケーブルと端末処理を示す。

MIケーブルは、シースがステンレス製で心線が銅であり絶縁材はMgO（酸化マグネシウム）で構成されている。外径は、使用電流及び曲げ加工を考慮し9.6mmのケーブルを使用している。

MIケーブルの端末処理は、セラミック端子を用い、心線-シース間の絶縁及び絶縁材の飛散防止をしてある。

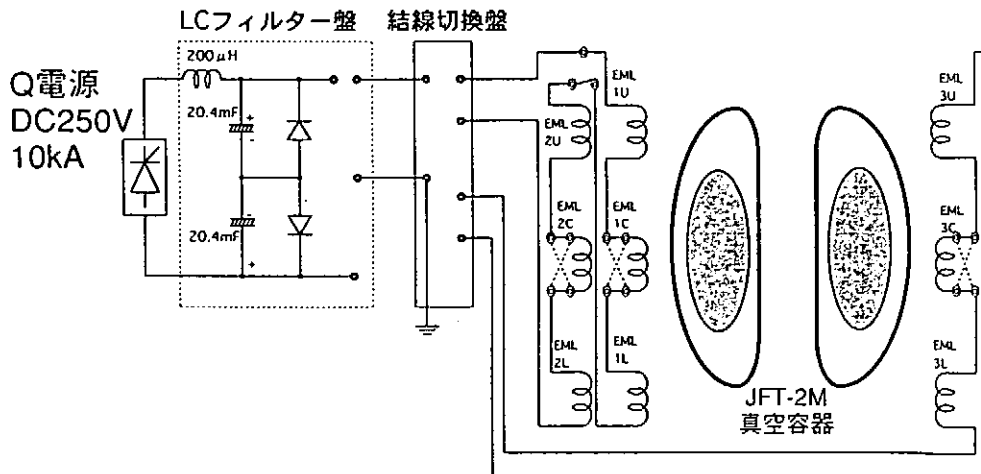
図2 MIケーブルと端末処理



EMLコイル用電源は、サイリスタ直流電源（250V、10kA）、平滑回路用LCフィルター盤、結線切換盤で構成されている。

図3にEMLコイル用電源系統図を示す。

図3 EMLコイル用電源系統図

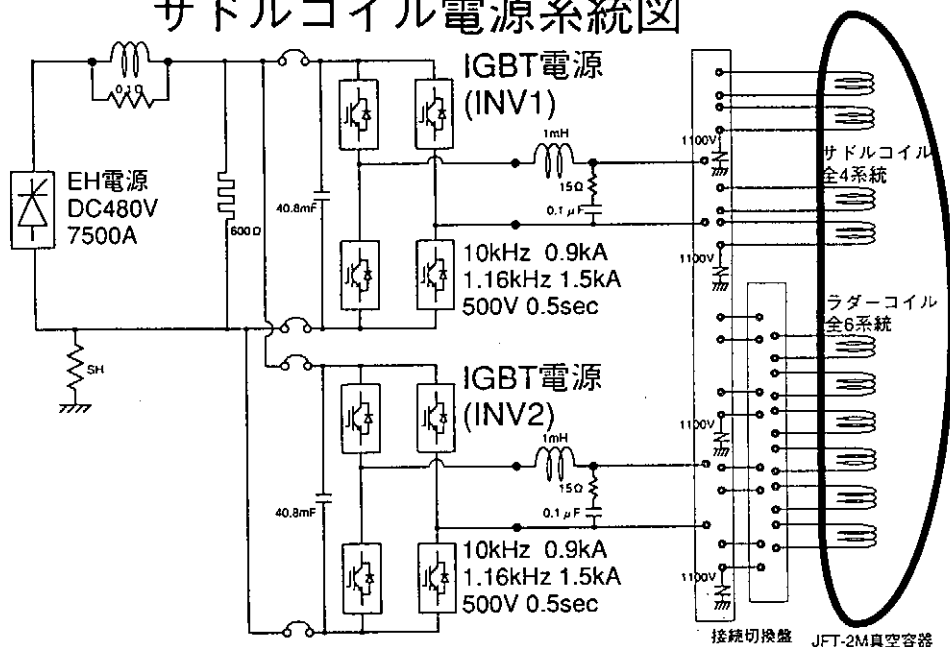


サドルコイル及びラダーコイルは、電源を共用しており、サイリスタ直流電源（480V、7.5kA）、IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)素子を用い、PWM制御しているチョップパ電源であるIGBT電源（10kHz、0.9kA、0.5sec又は、1.16kHz、1.5kA、0.5sec）、結線切換盤で構成されている。

図4にラダーコイル及びサドルコイル電源系統図を示す。

又、プラズマからの過大な電圧吸収のため電源側からのコイル系統ごとにサージアブソーバーを取り付けてコイルを保護している。

図4 ラダーコイル及びサドルコイル電源系統図

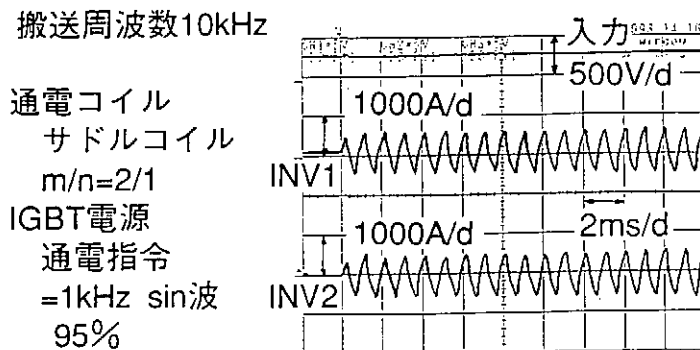


各直流電源及びIGBT電源は、プラズマ制御盤でコイルへの通電波形を制御している。

図5にIGBT電源の代表的な通電波形を示す。

この波形は、搬送（チョッピング）周波数10kHzで1kHz sin波を通電指令している。入力側の直流がIGBT電源によりチョッピングされ1kHzの電流が出力されている。この電流をコイルに0.5sec間通電している。

図5 IGBT電源の代表的な通電波形



3. 運転経験の事例

EMLコイル及び電源は、平成元年6月に完成し実験運転を行ったが、実験通電中コイルが振動するため、平成元年8月に上及び下コイルの支持補強を行った。支持補強は、トロイダルコイルから真空容器へ固定場所の変更を行った。尚、中コイルは、真空容器が真空状態となると計測器と干渉するため支持変更は行っていない。

平成3年6月及び平成4年8月は、中コイルの結線切換部位置の変更を行い、作業性の向上を図った。

ラダーコイル、サドルコイル及びIGBT電源は、平成3年5月に完成し実験を開始した。

ラダーコイル及びサドルコイルは、定期的に結線切換盤から絶縁抵抗測定を行っていたが、平成3年10月にラダーコイル及びサドルコイルの絶縁低下が著しくなり実験に支障をきたすようになったため、真空容器を大気解放し、絶縁低下箇所の調査及び修理を行った。

調査の結果、各コイルを結ぶ中継部のMIケーブルセラミック端子部が、プラズマにより何らかの金属コーティングがなされ絶縁低下を起こしたと判明した。

修理内容は、セラミック端子部の金属コーティングの除去を行った。又、セラミック端子部を絶縁強化のため被っていたテフロンチューブは、実験中に分光によりフッ素分圧の上昇が観測され、実験に悪影響を及ぼすことから、テフロンチューブからステンレス製バインド線で固定したフィルム状のポリイミドに変更した。さらに中継部は、プラズマから見込める部分に可能な限りステンレス製カバーを取り付け金属コーティングの防止対策を行った。

これらの修理及び対策を行った結果、ラダーコイル及びサドルコイルの絶縁低下は現時点では発生していない。

また、サドルコイルに於ては、通電中にコイルが共振するためコイルの固定箇所を増加させ支持強化を行った。

IGBT電源は、平成4年7年及び平成5年7月にINV1,INV2のIGBT素子保護用ヒューズが溶断し、IGBT素子も故障した。

この原因は、IGBT電源が通電中に計測機器信号にノイズを与えるため、ノイズ除去用としてIGBT電源と結線切換盤間に取り付けたコンデンサ(0.1 μ F)の突入電流によりIGBT素子に過電圧が加わり故障が発生したものであった。(図4ラダーコイル及びサドルコイル電源系統図参照)

対策は、IGBT素子に過電圧が加わらないようノイズ除去用コンデンサに抵抗(15 Ω)を直列接続した。

4. まとめ

- (1)外部ヘリカル磁場制御システムを「ディスラプション制御」、「周辺プラズマ制御」の目的で製作して初期の目標を達成した。
- (2)真空容器内の絶縁低下対策を実施した。
- (3)IGBT電源ノイズ低減のためのRCフィルターを回路に接続した。

60GHz電子サイクロトロン加熱 (ECH)を用いた ディスラプション制御システム

日本原子力研究所

本田 敦 柴田孝俊
菊池一夫 小又将夫

1. はじめに

JFT-2M用電子サイクロトロン加熱(以下ECHという)装置は、高周波によるプラズマの追加熱装置の中で最も高い周波数を使用する装置であり、高周波加熱技術及び高周波加熱装置の研究開発に実績を積んできた。本報告では、JFT-2Mプラズマのディスラプションを回避するために使用したECH装置について述べる。

2. 装置の性能と構成

ECH装置の性能を表1に示す。発振周波数60GHz、高周波発振出力400kW(200kW×2系統)、最大入射幅500ms、パルス変調周波数1Hz~10kHz等である。また、その構成は大別すると、高電圧直流電源、ジャイロトロン発振器駆動装置、ジャイロトロン発振器、高周波モニタ装置、プラズマ結合器及び冷却系の7系統から成り立っている。

表1 JFT-2M用ECH装置の性能

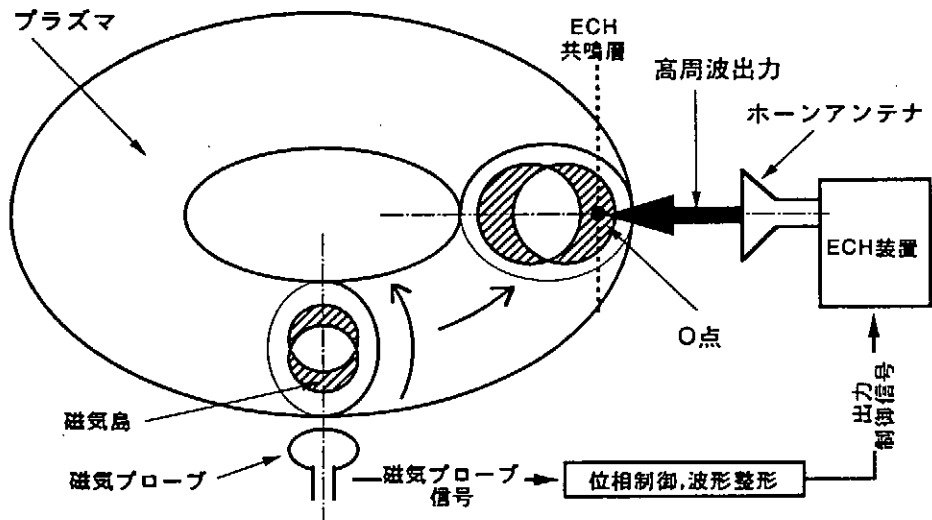
発振周波数	60GHz
高周波発振機出力(2系統)	400kW(200kW×2)
入射時間(最大)	500ms
ビーム電圧(DC)	-80kV
ビーム電流	8A
アノード電圧(DC)	21.0kV
アノード電流	≤0.1mA
パルス変調周波数	1Hz~10kHz
超電導磁石(主コイル用)電源定格電圧	10V(DC)
超電導磁石(主コイル用)電源定格電流	15A
受電設備容量	3.3kV, 5.2MVA(AC, 3φ)
高電圧直流電源容量(5系統分)	-90kV, 45A

3. ディスラプション制御システムの概要

3-1 ディスラプション制御の原理

ECH装置によるディスラプション制御の概念を図3-1に示す。ディスラプション現象とは、プラズマ内部で磁場構造が変形を起こすと、磁気島と呼ばれる低温度部が形成され、この磁気島が大きく成長した時、プラズマの構造を変化させ、最終的にプラズマを崩壊させ、プラズマ電流を消滅させてしまう現象である。この現象が発生すると、トカマク装置に急激な熱負荷によるダメージなどの色々な悪影響を与えるので、これを抑制（回避）することが必要となる。このため前兆であるプラズマの変形を磁気プローブで検出して、ECHの高周波出力を直接磁気島に入射し局所加熱することで、成長を抑制させディスラプションを回避する方法が考えられた。ただしプラズマ中の磁気島は回転しているので、磁気島を直接加熱するためにはECHの高周波出力を磁気島の回転周波数（1 Hz～10 kHz）に同期させ、更に磁気プローブとホーンアンテナの設置場所が違うため位相を調節し、ECHパワーを磁気島のO点の位置に精度良く入射させることが、この制御法では重要なことである。

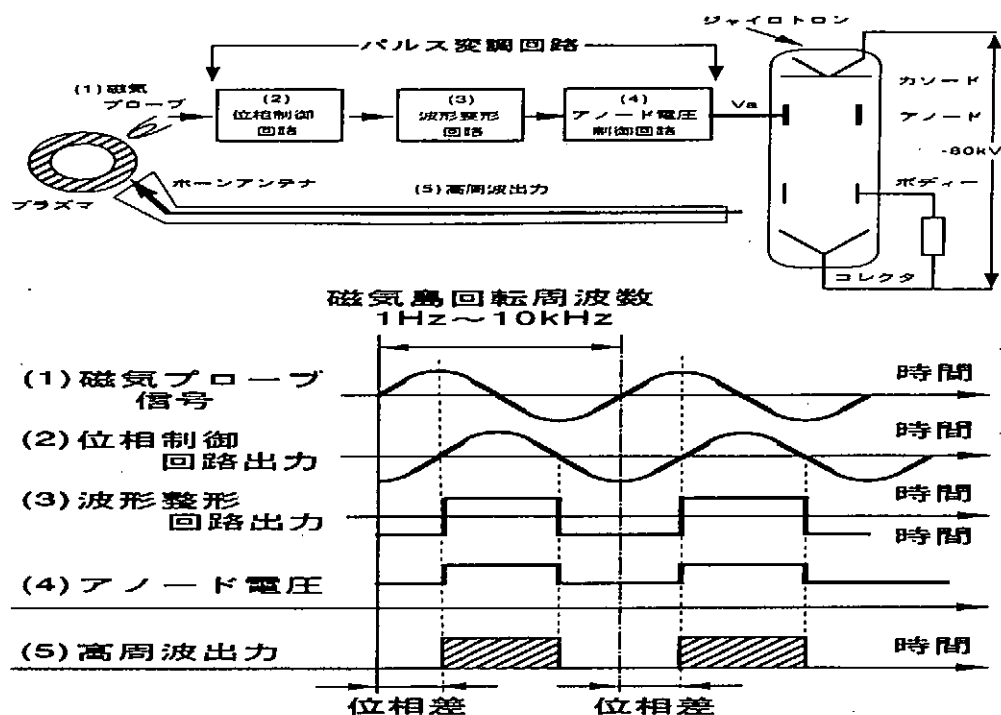
図3-1 ECH装置によるディスラプション制御の原理



3-2 ディスラプション制御システムの構成

ディスラプション制御システムの構成を図3-2に示す。まず、磁気プローブ(1)でプラズマの変形による振動を検出する。その信号を位相制御回路(2)に送り位相を調節する。そして波形整形回路(3)でパルス幅を調節し、矩形パルスに変換する。これをアノード電圧制御回路(4)を通してジャイロトロン発振管のアノードに電圧を印加させる。ジャイロトロン発振管は、時間応答性が良くアノード電圧に応じた高周波出力を発振する。この高周波出力(5)をホーンアンテナからプラズマに入射させ、ディスラプション制御を行なう。

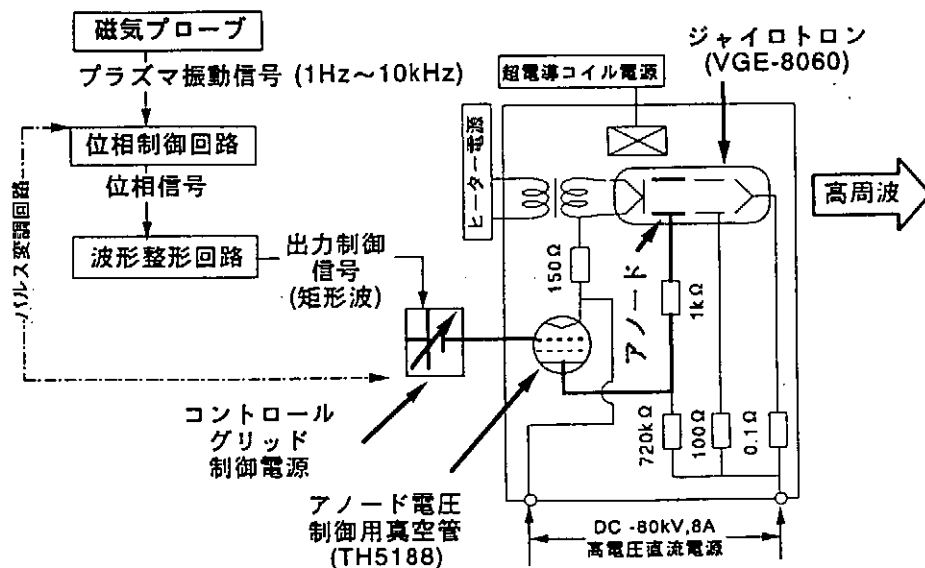
図3-2 ディスラプションシステムの構成



3-3 アノード電圧による高周波出力制御

ジャイロトロン発振管部の電源回路を図3-3に示す。パルス変調回路の中の波形整形回路からの出力制御信号を、ジャイロトロンのアノード電圧制御用真空管のコントロールグリッド制御電源に送り、バイアス電圧を変化させる。この制御によりジャイロトロン発振管のアノード電極にかかる電圧を変化させ、発振する高周波出力を変化させる。

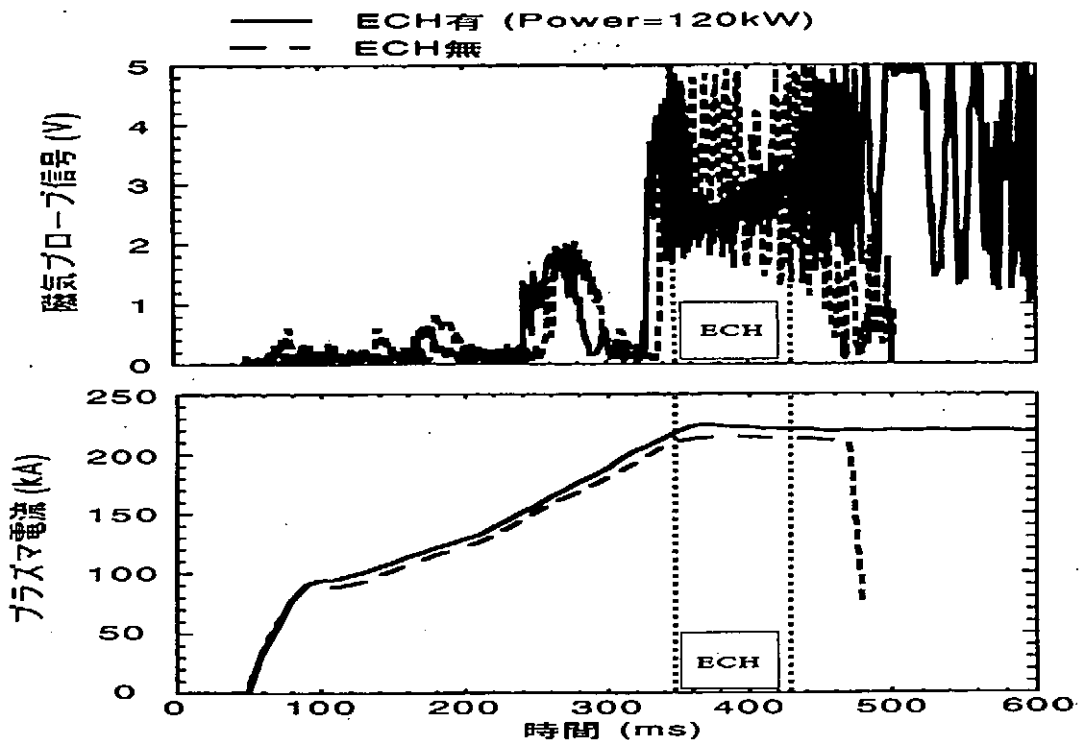
図3-3 ジャイロトロン発振管部電源回路



4. 実験結果

図4-1は、同じ放電条件のプラズマでECHの高周波出力が有、無のときのデータ比較したものである。グラフの横軸にはプラズマ放電開始からの時間を取り、上図の縦軸には磁気プローブ信号、下図ではプラズマ電流をとっている。図からわかるように、ECHの高周波出力(約350~430ms)を入射したときは、プラズマの振動が抑制されて、安定な放電が持続し、ディスラプションが回避されている。

図4-1 不安定プラズマに対するECHパワー有、無の比較



5. まとめと今後の予定

5-1 まとめ

- (1) ディスラプション制御に有効なECHシステムを開発できた。
特徴 <1> 1Hz~10kHzのパルス変調が可能
<2> プローブ信号に合わせた制御が可能
- (2) ECHシステムを使用し、ディスラプションを回避し、安定した放電が得られることを確認し、新たな制御法を見出せた。

5-2 今後の予定

- (1) ECH装置を用いたディスラプション制御の詳細な実験を実施し、制御法として確立させること。
- (2) ECHシステムの増力(1MW/5系統)を実施し、高加熱入力の実験を行っていく計画である。
- (3) ECH装置で電子温度を上げて電流駆動効率を改善する実験を、高密度電流駆動(FW)装置と組み合わせて行っていく。

放射光基幹ビームチャンネルにおけるロギングと故障の早期発見

高エネルギー物理学研究所 放射光実験施設

浅岡聖二 金谷範一

小出常晴 前沢秀樹

1. はじめに

高エネルギー物理学研究所放射光実験施設は2.5GeVの放射光専用リングを持つ、放射光の共同利用施設である。放射光は高エネルギー電子が磁場によって曲げられるとき発生する電磁波で、赤外線からX線までを含む強い連続光である。この放射光実験施設ではそれぞれの部門がそれぞれの役割を持って放射光利用実験を支えている。

基幹ビームチャンネル [1] の役割は、以下の3点に要約される。

- 1) リングより放射光を取り出して実験室まで導き、多くの分光器や実験装置に光を供給する、放射光のビームトランスポートである。(光ビームのトランスポート)
- 2) 放射光用ストレージリング中での電子ビームの寿命や安定性にとって欠くことのできない超高真空を、実験中に起こるかも知れない真空リーク事故から守る。(真空安全)
- 3) 入射中などにリングから発生するガンマー線やX線の被爆から実験者を守る。(放射線安全)

現在約22本の放射光基幹ビームチャンネルがリングと放射線防護用コンクリート遮蔽壁との間に設置され、それぞれの実験装置につながっている。基幹ビームチャンネルは、真空遮断用の3つのゲートバルブ、真空リーク事故に対処するための高速遮断バルブや衝撃波遅延管、放射光遮断用水冷ヒートアップゾーバー、ガンマー線遮断用ビームシャッターと幾つかの水冷マスク、ベリリウム窓などからなり、これらが超高真空に保たれて、光源リングと実験室側のビームラインとを結んでいる。これらの内、バルブ、アップゾーバー及びシャッターは放射光利用実験に対応して、年間数百回以上開閉駆動され、またアップゾーバー、マスク及びベリリウム窓は、その間強力な放射光にさらされ続けることになる。このようなビームラインコンポーネントの動作不良や真空リーク、放射光の熱による熔融等は放射線安全と光源リングの真空保護の見地から直ちにビームラインの閉鎖とリングの運転停止に結び付くものである。

従って、放射光実験施設全体の安定的な運転のためには、放射光基幹ビームチャンネルの開閉駆動するコンポーネントのステータス信号をロギングしたり、真空度を監視することで早期に故障を発見し、放射光利用実験を停止しないようにすることが不可欠である。

ロギングシステム [2] は各コンポーネントの開閉動作のシーケンスを記録するとともに、真空度、バルブ開閉時間等をグラフ表示することもできる。これらをチェックすることによって、早期に装置の故障等を見出し、短期停止期間に応急処置を施すとともに、年2回(夏、冬)の長期停止期間中の保守作業計画の策定が円滑に行うことができるようになる。今回はこのような放射光基幹ビームチャンネルにおけるロギングの方法と、故障の予知、特定(トラブルシューティング)とその対処の仕方に付いて報告する。

2. 監視システムの概要

開閉ステータス信号と各種インターロック信号はCAMACのモジュールを通して計算機に送られる。真空度を示すアナログ信号はCAMACのA/Dコンバーターを通して計算機に送られる。

これらのデータは、計算機で処理され、ウィンドウ上で様々な情報がグラフィック表示されるとともに、必要な数値情報も選択できるようになっている。また開閉ステータスやインターロックステータスは時系列に従ってプリントアウトされ、トラブルシューティングや放射線安全上の記録として保存される。(図-1)

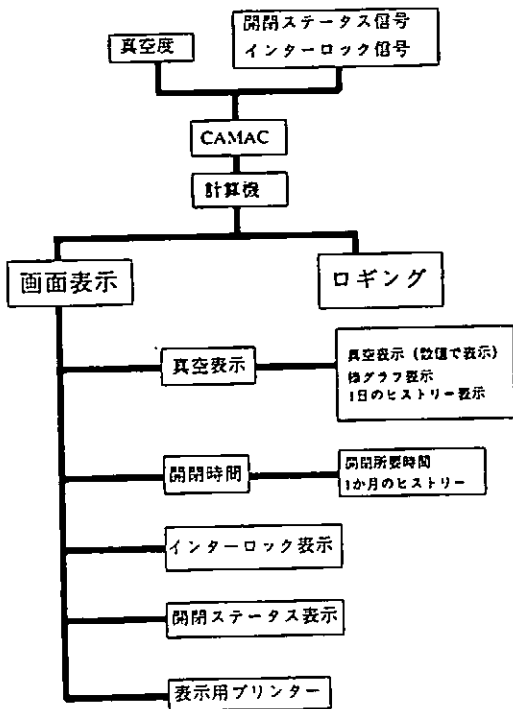


図-1 監視用ブロック図

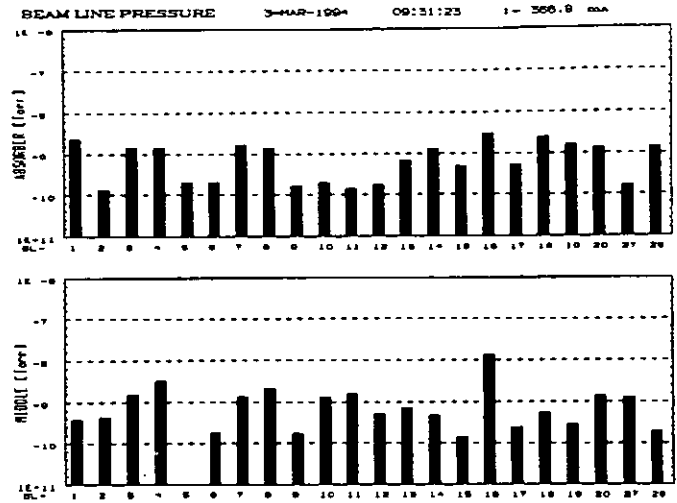


図-2 上流側 (上) と下流側 (下) の真空度

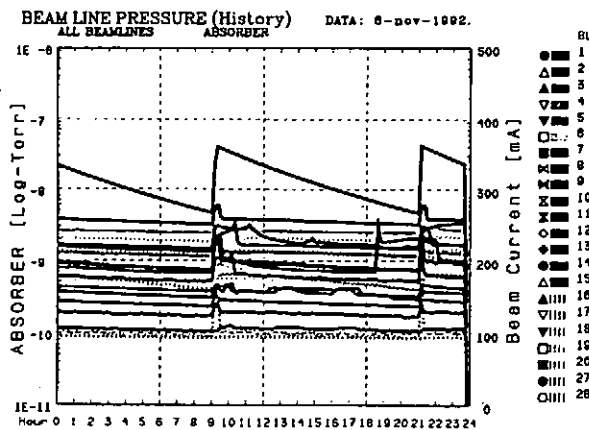
2.1 監視用のグラフィック表示

1) 基幹チャンネルの上流側及び下流側の真空度

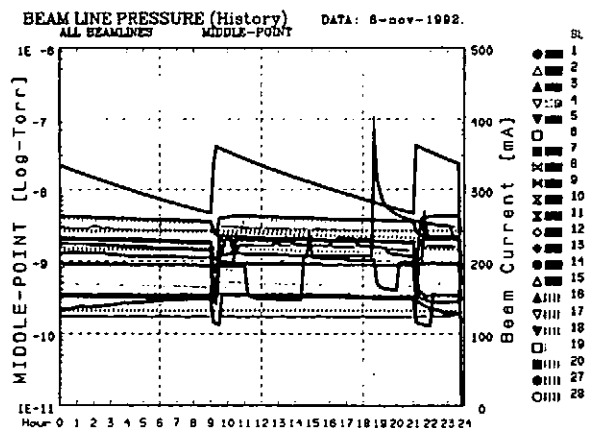
上流側の真空表示を見ることで真空トラブルの原因がリング側にあるのか基幹チャンネル側にあるのか判断することが出来る。又下流側は、実験室側の真空度の悪化などを検知することが出来る。(図-2)

2) 各部真空度のヒストリー (24時間)

全ラインの真空度の時間変化を見ることで、異常の有無が判断出来る。(図-3) しかし普段から表示を見て正常な状態のパターンを把握していなければ、異常の識別は出来ない。



(図-3-a) 上流側真空度ヒストリー



(図-3-b) 下流側真空度ヒストリー

2.2 監視用ステータス情報

1) 開閉ステータスとインターロックステータス表示

基幹ビームチャンネルにかかわる全てのステータス信号を表示することで、トラブルを生じた場合のトラブル箇所の特定ができる。

2) 真空度の数値情報

監視用のグラフィックス表示の他に、真空度について詳しい数値情報が得られるようになっている。

2.3 故障予知のための情報

1) 各コンポーネントの開閉所要時間

駆動系を開閉するたびに開閉時間を表示する。これを一回一回の開閉時間に付いてチェックすることが出来る。

2) 各コンポーネントの開閉所要時間のヒストリー

バルブの開閉時間の変化を見ることでバルブの故障等を早期に予知することが出来る。

開閉動作時間のバラツキや増大が故障の前兆になる。もし故障が予知された場合には、短期停止期間中に応急処置を施すが、応急処置で直らない物については、長期停止期間中に交換作業を行うように計画を立てていく。(図-4)

大口径自動遮断弁 (例) BL-6

1993年5月~7月

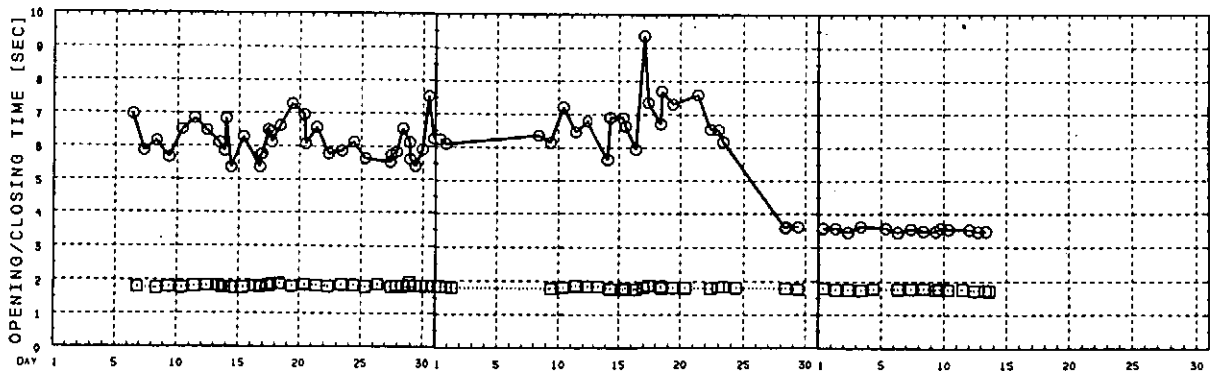


図-4 開閉時間のヒストリー
(開動作時間-○ 閉動作時間-□)

3) 真空度のヒストリー (各ラインごと、24時間)

監視用画面表示の他に、真空度のヒストリーを各ライン毎に取り出して見ることで、さらに詳しい情報がえられ、故障の箇所や性質が特定できる。

4) 開閉ステータスとインターロックステータスの時系列ロギング

ロギングについては基幹ビーム

チャンネルにかかわるすべての開閉ステータス信号、各種インターロック信号などの変化をプリンターにすべて打ち出すようになって

いる。
ステータス信号の時系列ロギングは、故障あるいはトラブルの原因を判断するうえで大変重要な情報となる。(図-5)

```

6-NOV-1992 18:38:19 BL-1 FCV ILCK DOWN
8-NOV-1992 18:38:19 BL-1 AB OPEN OFF
8-NOV-1992 18:38:19 BL-1 ALL-OPEN OFF
8-NOV-1992 18:38:20 BL-1 AB CLOSED ON
8-NOV-1992 18:38:20 BL-1 LV OPEN OFF
8-NOV-1992 18:38:20 BL-1 IV OPEN OFF
8-NOV-1992 18:38:20 BL-1 VDRQ OFF
8-NOV-1992 18:38:20 BL-1 BS OPEN OFF
8-NOV-1992 18:38:21 BL-1 IV CLOSED ON
8-NOV-1992 18:38:21 BL-1 LV CLOSED ON
8-NOV-1992 18:38:22 BL-1 BS CLOSED ON
8-NOV-1992 18:38:22 BL-1 ALL-CLOSED ON
8-NOV-1992 18:38:22 BL-1 VAC-ILCK DOWN
    
```

図-5 時系列ロギング

ロギングのプリントアウトは膨大な量になるが、これは万一事故が発生した場合の原因調査上の第一次資料になるため保存されている。

3. 年度別故障リスト

過去5年間の故障の状況を下表にまとめてある。(表-1)

このように監視システムで基幹ビームチャンネル全体を見ることで故障等を減らすことが出来るようになってきた。

	AB部	IV	BS	LV	FCV	ILCK	その他	合計
1989年	1	5		2	1		1	10
1990年		1	1	5	1	1	2	11
1991年		2		1	2	1	2	8
1992年				2	3		1	6
1993年			1		1	1	1	4

表-1 年度別故障リスト

4. 最後に

このような監視体制のもとに最小限の故障で安全に放射光共同利用実験が行われているのは、それぞれの役割をはたしている多くのスタッフの努力によるものである。現在放射光実験施設では、大小合わせて年間数十件以上の故障が起きているが、重大な故障は上のような努力によって年間数件以内に収まっている。今後このような監視体制を充実させて行くとともに、得られた情報を詳しく解析することによって、さらに一段と故障を減らして行くことが出来ると考えられる。

又、このようなアーターの蓄積は、装置の改良や開発 (R & D) による施設の性能向上のための基礎になるものと考えられる。

参考文献

- [1] S.Sato, T.Koide, Y.Morioka, T.Ishii, H.Sugawara and I.Nagakura :Nucl.Instrum.Methods 208(1983) 31.
- [2] 金谷範一、佐藤繁、浅岡聖二：“放射光実験施設における基幹ビームライン用制御及びインターロックシステム” KEK Internal 91-9 (1992).

PF2.5GeVストレージリング真空ダクト冷却系の監視

高エネルギー物理学研究所 放射光実験施設 光源研究系：瀧山陽一、堀洋一郎、小林正典
(株)三菱電機サービスセンター：飯田秀一、武石泰夫、井上芳昭、川野壽美、
佐藤好美、大島正裕、大和田光晴

1. はじめに

電子、陽電子蓄積リングにおいてインターロックの役割は、実験ユーザーやスタッフの放射線被曝を防止する目的のものと、蓄積リングそのものの故障等を最少限に食い止める目的のものがある。高エネルギー物理学研究所放射光実験施設2.5 GeV電子・陽電子蓄積リング(PFリング)においてもインターロックシステムは両目的で設備されている。

このレポートでは、PFリングの真空ダクトをシンクロトロン放射光(放射光)の熱負荷から保護する目的で設けられた、光アブソーバ及び真空ダクトの冷却系の冷却水流量を監視するシステムについて述べる。

2. PFリングの概要

PFリングの概要を図1に示す。周長はおよそ187メートルであり、楕円形をしている。ダクト内の圧力はおよそ 3×10^{-10} Torr(蓄積電流350mA時)である。28台の偏向電磁石毎に配水盤がおかれ、84台の流量センサーが設置されている。PFリングの真空系を構成するコンポーネントの制御信号やステータスは、リング地下6箇所のステーションを経由し、2階コントロール室の制御卓のパソコンに表示される。

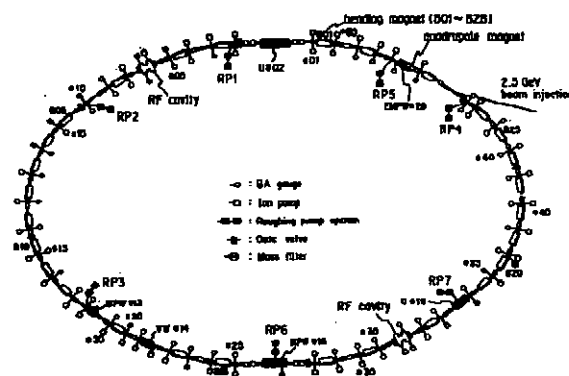


図1. PFリングの概要

PFリング全周から発生する放射光のパワー W [W]は、ビームエネルギー E_b [GeV]、蓄積電流値 I_b [mA]、偏向軌道半径 r [m]として、

$$W = 88.5 \times E_b^4 I_b / r$$

より求められる⁽¹⁾。ビームエネルギー2.5GeV、蓄積電流400mAとするとPFリングの真空ダクトの壁がうける熱量は偏向電磁石部1mあたりに換算するとおよそ2.9kWである⁽¹⁾。

この放射光パワーを吸収するためにアルミ製ダクトの部分には冷却水パスを設け直接通水し冷却している。また、ステンレス製ダクトやセラミックスダクトの部分には銅製アルミ製の光アブソーバを挿入し、影をつくることによって発熱を防いでいる。図2にその一例を示す。冷却水の流量はそれぞれのアブソーバの形状や経路により異なる。

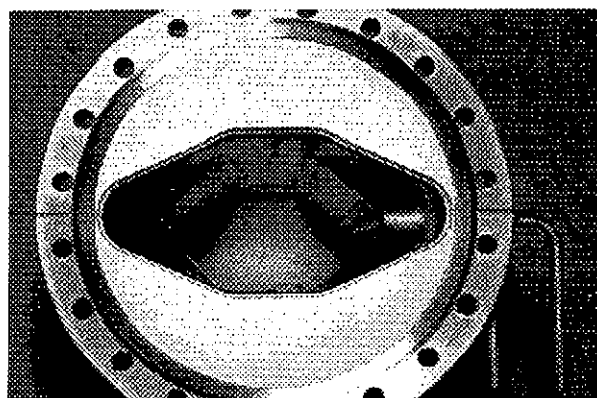


図2. ダクトに挿入されたアブソーバ

3. 流量センサーの導入

1983年にPFリングの真空系インターロックが高エネルギー物理学研究所 放射光実験施設光源研究系北村英男氏が担当し構築された。イオンポンプ、B-Aゲージ、ゲートバルブ、冷却水流量を監視し、圧力悪化、冷却水停止等の場合は、ゲートバルブを閉じPFリングを真空的に遮断し、圧力悪化を最小限にとどめ、B-Aゲージなどのフィラメントを真空悪化による焼損から保護する目的でOFFするものであった。同時にパソコンによるインターロックシステムの監視が開始された。

冷却水監視は、28台の配水盤毎に1台の流量センサーを設置することから始まった。留意した点は、

- 1)冷却水の圧力は 10kg/cm^2 であるため、センサーの耐圧はそれ以上であること。
- 2)冷却水の流量が減少した場合には確実に停止信号が検出できるものであること。
- 3)電氣的ノイズ等に影響されにくいタイプであること。
- 4)将来的に導入する台数が多いため、コンパクトな形状でかつ低コストであること。
- 5)センサー部の清掃、オーバーホールなどの保守に手がかからないこと。

であった。重力式、バネ式、マグネット回転式など数種類のセンサーについて検討した結果、重力式、バネ式は、ゴミつまり、錆び付きなどにより2)と5)の項目に不安があったため、コスト的には高価であったが、冷却水停止時に確実に停止信号を検出できるマグネット回転式を導入した。

4. 1985年真空系の改造と問題点

1985年夏の運転停止期間にPFリングのビーム寿命の改善と蓄積電流を増やすため、真空系の大改造を行った。放射光の照射による発熱によって真空が悪化することを防ぐためであった。すでに冷却水のパスが設けられているアルミダクト以外のすべての部分に光アブソーバを追加した。追加した光アブソーバは、物理的制約で寸法が制限されたものが多く、光アブソーバに流れる冷却水の流量が改造前に取り付けいていた場所での流量よりも極端に少なくなった。このためセンサーの回転が不安定になりインターロックが誤動作することが多くなった。また、新規に挿入した光アブソーバの数が増えたため、モニターすべき箇所が増えた。これらの問題に対処するため、センサーとアンプ系の性能を向上させる見直しを検討した。

5. センサーの改良

最初に導入したセンサーを図3に、現在使用しているセンサーを図4に示す。

導入時は、流量が $10\text{l/min}(0.00016\text{m}^3/\text{s})$ 程度の比較的流量が多い領域で使用したためセンサー本体の羽車の回転不安定は生じなかった。しかし追加した光アブソーバは、最低 $1\text{l/min}(0.000016\text{m}^3/\text{s})$ から最高でも $4\text{l/min}(0.00066\text{m}^3/\text{s})$ 程度の流量であったため出力低下による動作不安定が生じた。

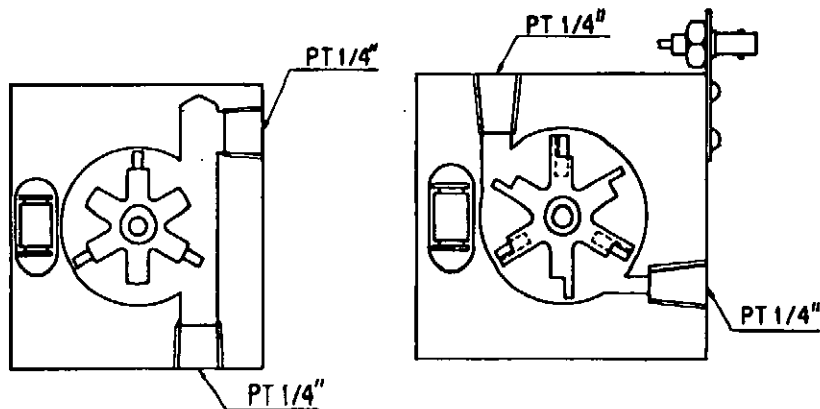


図3. 導入時に使用したセンサー

図4. 現在使用しているセンサー

図5に導入時に使用していたセンサーと改良し現在使用しているセンサーの流量に対する回転数を比較したグラフを示す。縦軸の目盛りは、回転数(rps)、横軸の目盛りは、流量(l/min)である。改良後、回転数が大きくなり、かつ感度(回転数/流量)が大きくなり低流量まで測定可能になっている。

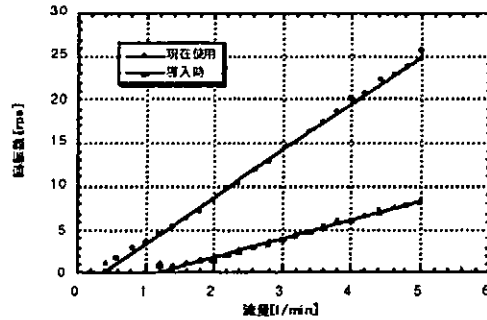


図5. 導入時と改良したセンサー回転数の比較

6. アンプ回路の改良

導入時に使用していたアンプ回路の概要を図6に示す。この回路は、流量センサーの検出コイルからのAC入力をアンプで増幅整流し、コンパレータの基準電圧と比較してリレーを動作させる方式であった。高エネルギー物理学研究所陽子加速器部門で使用されていた物の、回路定数を変更して導入した。理由は陽子加速器部門での稼働実績があったことと、F/Vコンバータを利用するより安価であったことであった。

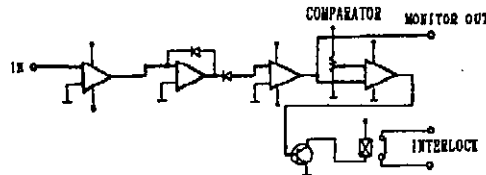


図6. 導入時使用していたアンプ回路の概要

現在使用しているアンプ回路の概要を図7に示す。この回路は、AC入力をF/VコンバータでDCに変換してコンパレータの基準電圧と比較してリレーを動作させる方式である。F/Vコンバータの検出下限を下げることによって少ない流量にも対応できるようにした。回路の設計、製作にあたっては、テストベンチで流量の変動やノイズに対するテストを繰り返し行い、性能の向上を図った。

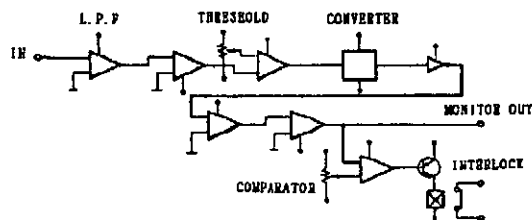


図7. 現在使用しているアンプ回路の概要

7. モニター系

各光アプソーパーの冷却水流量は異なるので、全システムに画一基準流量を設定し運転停止信号を出力するわけにはいかない。それぞれの流量を計測し、その通常値を計測して出力の70%を運転停止信号のリレー動作点に設定した。また、瞬間的なノイズで誤動作しないようにリレーの動作に時定数を持たせる工夫をした。誤動作を起こす回路の調整及び保守のためにオペアンプの出力を取り出せるように端子を設け、この出力を利用しセンサーの安定性と流量の変動を集中的にモニターするシステムを構築した。図8に示す。28箇所の配水盤に取り付けられたセンサーからの出力は、リング室地下にある6箇所のステーションでアンプ回路を介しDC出力に変換される。その後104チャンネルのマルチプレクサーを経由して集中制御ラックに送られ、A/D変換ボードでパソコンに取り込まれる。

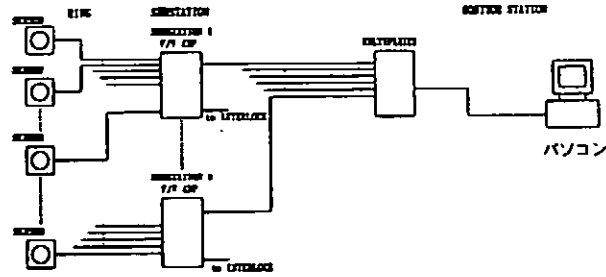


図8. 冷却水モニターシステム

図9はパソコンの画面表示である。横軸の目盛は時刻である。全体で1日に対応している。前述のようにそれぞれの冷却水系の流量は異なるので縦軸は、通常蓄積リング運転時の流量を計測して基準とした値に対する瞬間流量の比(=変動率)としたものである。画面右の数字は各センサーのアドレスに対応し、流量の変動率(%)を数字で表したものである。この例は、比較の変動率が多い例を示したものである。

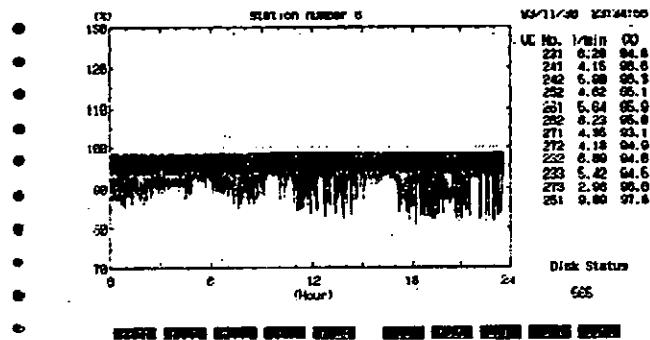


図9. 冷却水モニターのパソコン画面のハードコピー

8. まとめ

はじめて28台の流量センサーを導入してから、84台の流量センサーを用いて、安定したシステムとして完全に稼動するまで10年間かかった。真空ダクトの改造の度に、冷却水系統の変更があり、センサーの保守を行いながら問題点の改良を少しずつ行ってきた。

冷却水が停止し、インターロックシステムが動作してPFリングの損傷を防ぐ様な事態は今まで起こったことはない。しかし流量センサーの不安定からインターロックシステムが誤動作し、起こった運転停止は1993年12月2日に2度あった。この時、冷却水モニター系のパソコン画面に通常と違うパターンが現れていて、注目していた時であった。今後このパターンを経験として生かしたい。

このレポートでは、導入当時と現在使用しているセンサーについて構成や性能を比較したが、ここにいたるまでには、何種類かのセンサーや羽根車を試作し、トライ&エラーを繰り返してきたがこれですべてが終わったわけではなく、今後も保守を続け数多くの事例を経験して、改良の必要が生じれば行うつもりである。

9. 謝辞

冷却水センサーを最初に導入するとき、陽子加速器研究系における使用経験、試作データ、回路系等すべてについて情報を提供して頂いた高エネルギー物理学研究所 陽子加速器研究系 久保富夫氏に感謝いたします。

最初のセンサーを導入した時、PFリングの真空系インターロックを担当していた北村英男氏(高エネルギー物理学研究所 放射光実験施設 光源研究系 挿入光源グループ教授)にインターロックシステムとの接続、アンプ系回路の調整と校正について多くのご指導を頂いたことに感謝いたします。

現在使用しているアンプ系回路の製作をした(株)東京電子担当者皆様の適切なアドバイスに感謝いたします。

10. 参考文献

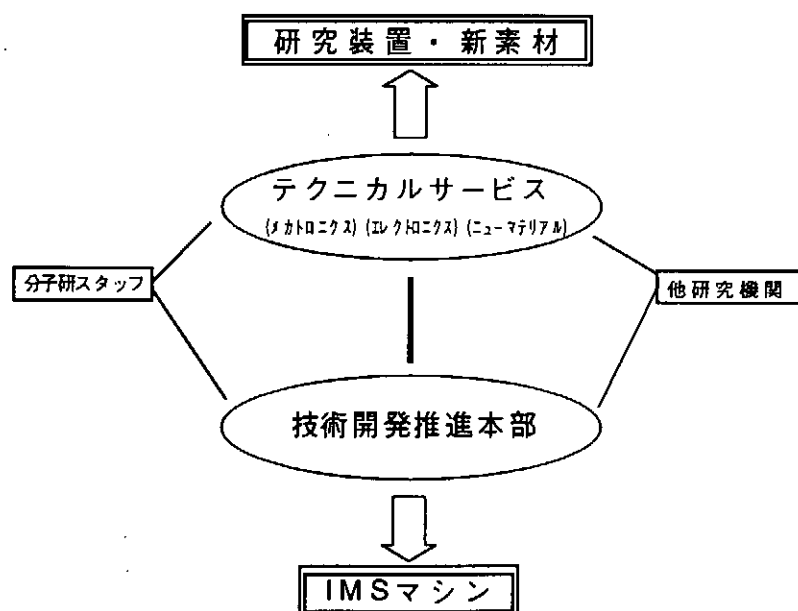
- 1) 小林正典、放射光第5巻第3号(1992)、“電子ストレージリングの真空”

分子科学研究所・装置開発室における装置開発体制について

分子科学研究所 装置開発室 浅香修治

分子科学研究所・装置開発室では、その内部機構として「技術開発推進本部」を平成3年度から新たに設置した（下図参照）。この機構は、最近の分子科学関連技術の急速な広がりを見越して、技術進歩に即応できる態勢を常に確保し、技術協力・技術導入が容易にできることを目的として設けられたものである。本部での最も重要な仕事の一つは、「アイデアの重視」と「所内外と装置開発室との共同開発」を基本とした新しい研究装置（名付けて「IMSマシン」）の企画・技術的調査・設計および試作を行うことである。この組織の専任者は、現在、装置開発室の助手2名と技官3名があたっており、各テーマに応じて研究所内の研究者・技官、民間共同研究者が加わって共同開発の体制を確保している。IMSマシンのテーマは、1年ごとに分子研所内に広く公募し、その申請の中から「IMSマシン選定委員会」によって選定される。このIMSマシンを製作していく作業は、装置開発室のサービスセクション（メカトロニクス、エレクトロニクスおよびニューマテリアルセクション）の協力の下に行っている。

このようなIMSマシンの創造と装置開発室のもう一つの仕事、サービス業務が両立して初めて装置開発室の責任を果たしうるものと考えている。またこのような活動は、新しい装置を次々と生み出すと同時に、技術開発推進本部を中心として、研究者と技術者の間にこれまでにない新しいタイプの知的・技術的交流を作り出していると考えられる。



技術開発推進本部について

推進本部の目指すところ

1. 分子科学関連技術の広がりへの対応
2. 装置開発技術の深まりへの対応
3. 長期技術開発
4. 新技術の導入
5. 独自技術開発の活発化
6. 技術内容、研究者意識、技官意識の活性化
7. 技術的・人的交流の活発化

基本的考え方

1. 専任の技官
2. 独自の装置、技術開発（IMSマシンの製作）
3. 共同開発の促進

IMSマシンについて

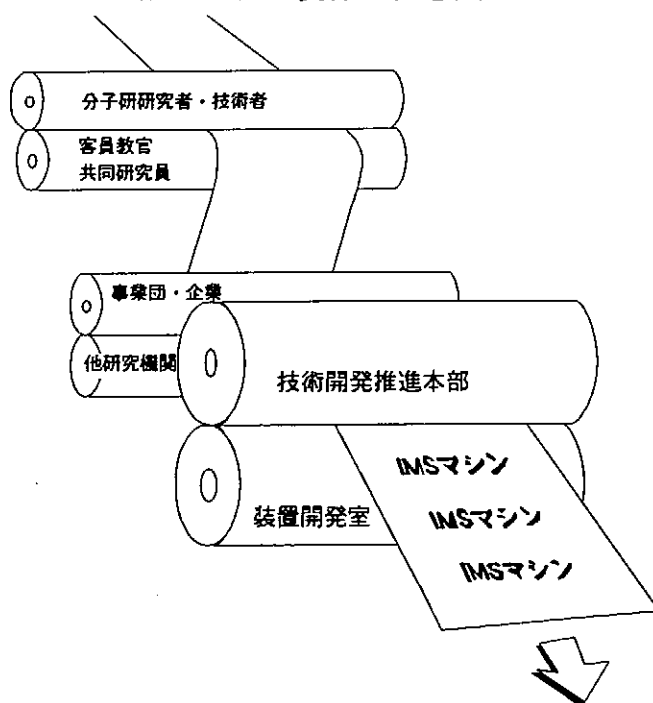
1. アイデアを重視した分子研独自の研究装置、技術の開発
2. 研究所内外と装置開発室との共同開発の促進
3. 企画、技術的調査、設計、製作、評価を一貫して行う

技術開発推進本部の専任者（平成5年度）

助手：浅香修治、安正宣

技官：岡田則夫、鈴木光一、吉田久史

IMSマシン製作の概念図



パルス偏向電磁石の磁極高（間隙）拡張改造

高エネルギー物理学研究所

○金子直勝
安達利一

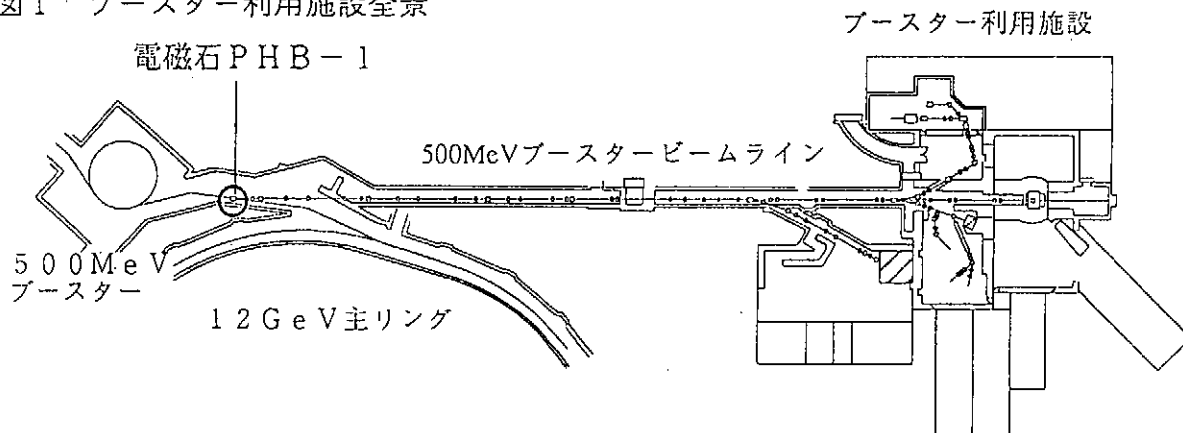
入江吉郎
染谷宏彦

藤森寛

1. 改造の概要

高エネルギー物理学研究所のブースター利用施設は図1に示すように、12 GeV陽子加速器のブースターリングから主リングへの入射ライン上に設置されたパルス偏向電磁石PHB1によりパルス毎に振り分けられた500 MeV陽子ビームを用いて、中性子実験、中間子実験、医学利用を行っている。

図1 ブースター利用施設全景



以前より500 MeVビームラインでのビームロス軽減の為、ブースター利用施設ビームラインの最上流であるPHB1セラミックチェンバーのアパーチャ拡大の要求があったが、PHB1磁極高（間隙）67 mmに対して高さ64 mm（高さ内寸54 mm）のセラミックチェンバーが使用されており、現行のままではアパーチャを拡大する事が出来なかった。

新規の電磁石製作が予算的に不可能であるため、図2に示すようにウインドフレーム型のヨーク中心部に積層けい素鋼板によるスペーサを取り付ける方式での改造を考えた。磁極高（間隙）を67 mmから106 mmに拡張し、現行のヨーク部、コイル部はそのまま使用する。励磁波形は、図3の様な50 Hz正弦波半波で繰り返しは最大20 Hzである。以下この改造について報告する。

図2 電磁石PHB1

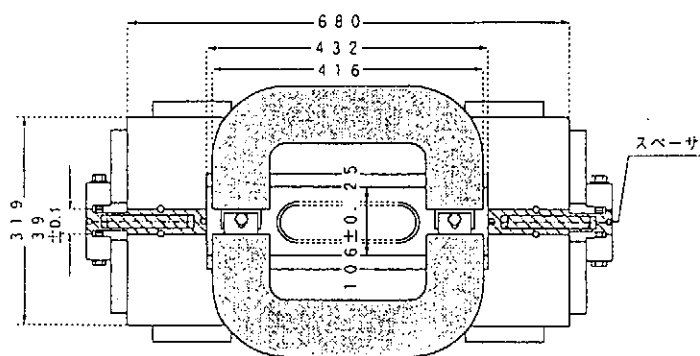
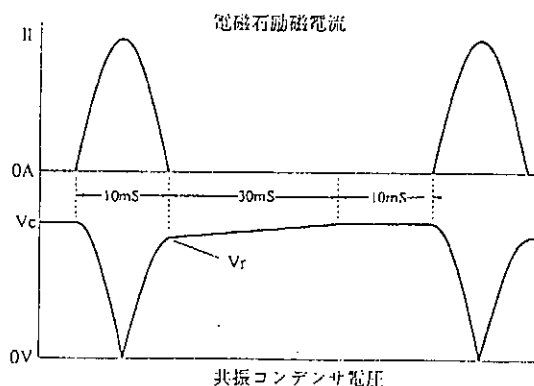


図3 励磁波形



2. 基本設計計算

ビーム軸方向の有効磁場長は従来、経験式
 有効磁場長 $l = \text{磁極長 } l_c + \text{磁極高 } h_g$
 が用いられていたが、今回は磁場に対する
 マージンを考慮して

有効磁場長 $l = \text{磁極長 } l_c \times 1.1$

として設計した。主要パラメータを表1に
 示す。表中の磁束密度 B 及びコイル励磁電流
 I (ピーク) は、この有効磁場長での計算値
 である。

表1 電磁石主要パラメータ

	改造前	改造後
磁極高 [mm]	67	106
磁極長 [mm]	460	460
磁極幅 [mm]	240	240
有効磁場長 [mm]	506	506
偏向角 [°]	7.2	7.2
コイル巻数 [turn/pole]	14	14
コイル直流抵抗 [mΩ]	11.2	11.2
中心部磁束密度 [T]	0.902	0.902
コイル励磁電流 [A]	1719	2717

3. 計算機シミュレーション

以上の値を用いて2次元での磁場計算をPOISSONを用いてシミュレーションした。
 この計算の結果

- ・コイル励磁電流 (ピーク) $I = 2719$ [A] にて中心部磁束密度 $B = 0.902$ [T]
- ・中心部磁束密度の99.95%に落ち込む水平方向の長さがセンターから3.8 [cm]
- ・ヨーク中の磁束密度は最大で1.5 [T] 以下
- ・電磁石のインダクタンス $L = 1.38$ [mH]

となり、電磁石に関しては改造後も使用可能であると判断した。

図4 電磁石1/4の磁場曲線

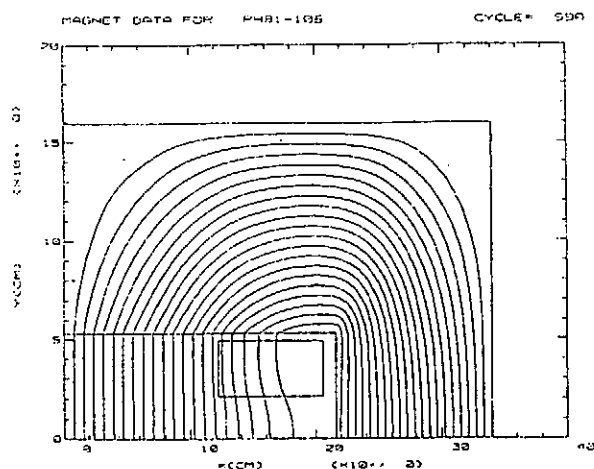
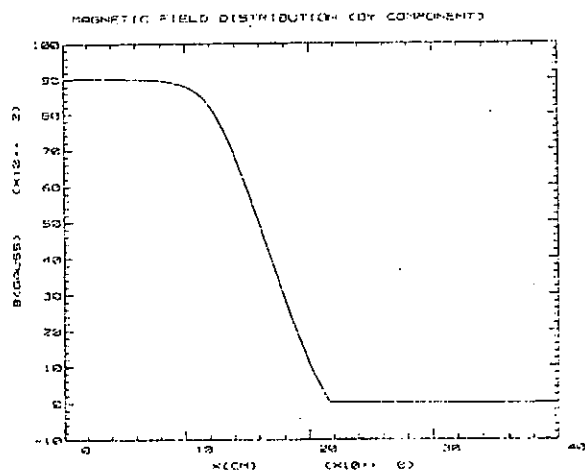


図5 median-plane上の磁場



4. 電磁石の電力損

次に冷却系の確認及び電源の仕様を決定するため、この電磁石の電力損を計算した。

4-1. ジュール損

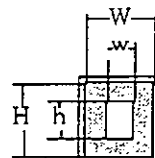
50 Hz 正弦波半波で20 Hz 励磁した場合のジュール損は

$$W_j = I^2 \times R = 20 \int_0^T I^2 R dt = 5 I_p^2 R T \quad R: \text{直流抵抗} \quad T: \text{パルス幅}$$

4-2. エディロス

図6の形状のコイルに対して作用する
 磁場 B の変化が50 Hz 正弦波半波、
 繰り返し20 Hz で生じた場合のエディロスは

図6
 コイル形状



$$W_e = 4 \times l \times (20 \pi^2 / 12 \rho T) \times \{ B_x^2 (WH^3 - wh^3) + B_y^2 (W^3 H - w^3 h) \}$$

ρ : 抵抗率

ΣB_x^2 、 ΣB_y^2 は POISSON により求めた各コイル中心での値。

4-3. 鉄損

POISSON により求めたヨーク内の平均磁場から、鋼板の鉄損特性より鋼板 1 枚当りの鉄損 W_{i1} を求める。

$$\text{ヨーク鉄損 } W_i = W_{i1} \times (l_c / 0.35) \times 0.97 \times (10 \text{ mS} / 50 \text{ mS})$$

0.35 : 鋼板厚さ [mm] 0.97 : 鋼板占積率

4-4. 端部発熱による損失

端部発熱は計算による正確な値を求める事ができない為、現用電磁石の実測損失を参照して、改造後の端部発熱による損失を 1.0 [kW] と推定する。

以上の方法で求めた電力損を表 2 に示す。

表 2 電磁石電力損

電流 [A]	2719	2400
コイルジュール損 [kW]	9.11	7.10
ケーブルジュール損 [kW]	5.60	4.36
コイルエディロス [kW]	4.19	3.26
ヨーク鉄損 [kW]	0.14	0.12
端部発熱 (推定) [kW]	1.00	0.78
計 [kW]	20.2	15.6

5. 電磁石改造

ヨークスペーサ組み込み後の様子を写真 1 に示す。

写真 1 改造後の電磁石

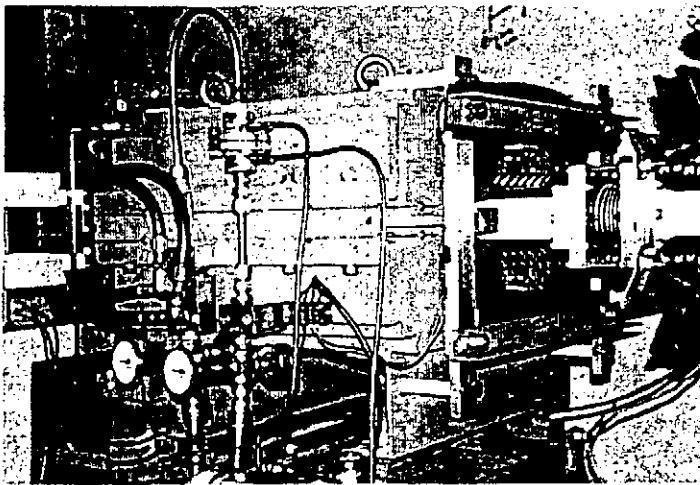
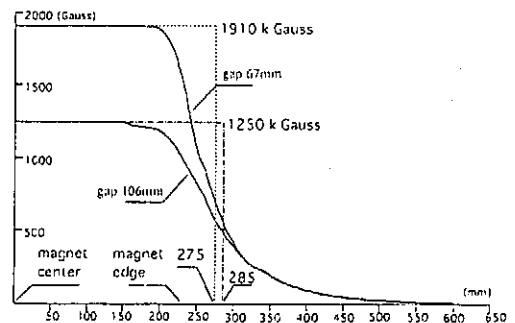


図 7 ビーム軸方向磁場測定



電磁石改造後、DC 360 [A] で励磁を行い磁極間中心及びビーム軸方向の磁場測定を行った。磁極間中心の磁束密度は、計算値 1.194 [T] に対して実測値 1.26 [T] となり、この電流値では計算値より高い磁場が得られている。

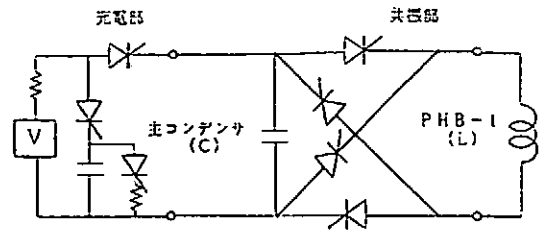
ビーム軸方向有効磁場長は測定の結果、570 [mm] となった (図 7)。この値は、 $l = l_c + h_g$ とほぼ一致しており、この結果 7.2° の偏向角を得るためには磁束密度 $B = 0.80$ [T]、ピーク電流 $I = 2410$ [A] となる。またこの違いによりインダクタンス測定結果も 1.49 [mH] と計算値より大きい値となった。

6. 電源改造

6-1. 原理

パルスマグネットと主コンデンサーにより LC 共振回路を構成する。充電部より主コンデンサーに電荷が充電され、SCR を点弧することでパルス偏向電磁石が励磁され再度コンデンサーに電荷を回収している。

図 8 等価回路



6-2. 過渡現象

電磁石に流れる電流は、正確には RLC 共振回路の減衰振動波形となり、波形ピークまでに減衰がある。この減衰を近似式より

$$e^{-(R/2L)t} = \exp(-\pi R \sqrt{C/L} / 4) = 0.96 \quad R: \text{電磁石ロスの抵抗換算}$$

とし、コンデンサー初期充電電圧を求める。また電磁石の電力損から再充電回路の仕様を決定し電源改造を行った。

7. 結果

電源改造完了後 20 Hz 連続で励磁テストを行った。写真 2 より

コンデンサー充電エネルギー
108.49 [kW]

コンデンサー復帰エネルギー
88.49 [kW]

2400 [A] 励磁での損失電力は
20.0 [kW] となる。

この電流での電力損計算値は
15.6 [kW]、これに

SCRロス 2.0 [kW]

コンデンサロス 1.0 [kW] (推定値)

が加わり、さらに端部発熱は推定値より大いと思われ(改造前よりも温度上昇しているが、具体的な数値をあげることはできない)電力損に関しては、ほぼ良い一致である。

また 2720 [A]、20 Hz 励磁でのテストではコイル冷却水は 30°C 上昇しており、コイルジュール損、コイルエディロスによる発熱は、計算値 13.3 [kW] (コイル冷却水 13 l/min. で 29.5°C 上昇)と一致している。

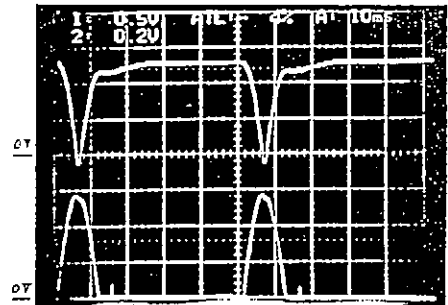
8. まとめ

改造当初、コイルに大きい振動が発生した為、急遽コイル押さえを製作し(写真 1 参照)現在は順調に運転を行っている。

運転時には、約 2400 [A] ピークの励磁でビーム偏向を行っており、計算と一致している。また、この時の電源電圧のレベルは最大定格の 86% となった、これは改造前と同様の値であり、ほぼ設計通りであった。

写真 2 励磁波形

上 コンデンサー電圧 1300 V
下 マグネット電流 2400 A



超音波噴霧熱分解法による万能超音波造粒装置の開発

○市川貴之、龍田雅夫、上野素裕（三重大学工学部分子素材工学科、機械工学科、機械工学科）

[1] 緒言

造粒とは、微細な粉体、あるいは液状物質から、ある程度以上の粒径をもった粒子をつくりだす操作全般を言う。造粒技術を使った物を、我々は日常生活で多く使っている。たとえば、インスタントコーヒーや病院でもらう顆粒状の風邪薬等がそうである。これらの製品は、大規模な工業用プラントで様々な方法で製造されるが、生成粒径は0.1mm~5mm程度である。

リチウム2次電池正極活物質、燃料電池の電解質や酸化物超伝導体の合成にとって、原材料の混合の仕方やその粒径は、合成や焼結状態を左右する。これまで、これら材料の合成方法は、いわゆるセラミックス法で行ってきた、すなわち酸化物原料を乳鉢で混ぜ合わせ、それらをペレット状に成形し、電気炉で適当な温度で焼結させ生成していた。このような方法では、原子・分子レベルで均一に原材料が混合されておらず、粒径もそんなに小さくにはならない。

本装置開発の目的は、これら従来の合成方法の欠陥を抜本的に改善することにある。すなわち、原子、分子レベルで原材料を混合し、サブミクロンサイズの粉体を生成することにある。

[2] 装置の特徴

①原材料を溶液に溶かし、超音波振動子で溶液を霧状化させる。②霧状化させて直ちに高温炉（この装置の場合は常温~1000℃まで任意に可変可能）で目的とする合成物質以外をガス化し、原材料は個溶体の微粒子として合成、その焼成した微粉体のみを回収した。③粉体は、フッ素樹脂フィルターへ直接回収した。④霧状化した液滴を緩やかに（2sec以下）炉内移動させるため、また液（ガス）漏れを防ぐため、循環式アスピレーターを用いて回収側の空気を吸引した。⑤原料を溶解する溶液の酸性度が極めて強い場合でも、装置として完全に機能できるように、液体やガスが接触する部分の材料部分は、すべて耐酸性材料のフッ素樹脂、石英ガラス、ガラス、金を使用した。（フッ素樹脂のことを通称テフロンというが、これはデュポン社のフッ素樹脂の商品名である）⑥超音波造粒装置は、市売されていないが、実験装置として他でも^(注1)作製されている、本装置がこれまでの装置と異なる部分、いわゆるノウハウは、振動子の改良部分と回収用フィルター容器にある。

[3] 超音波造粒装置の概要図と可動方法

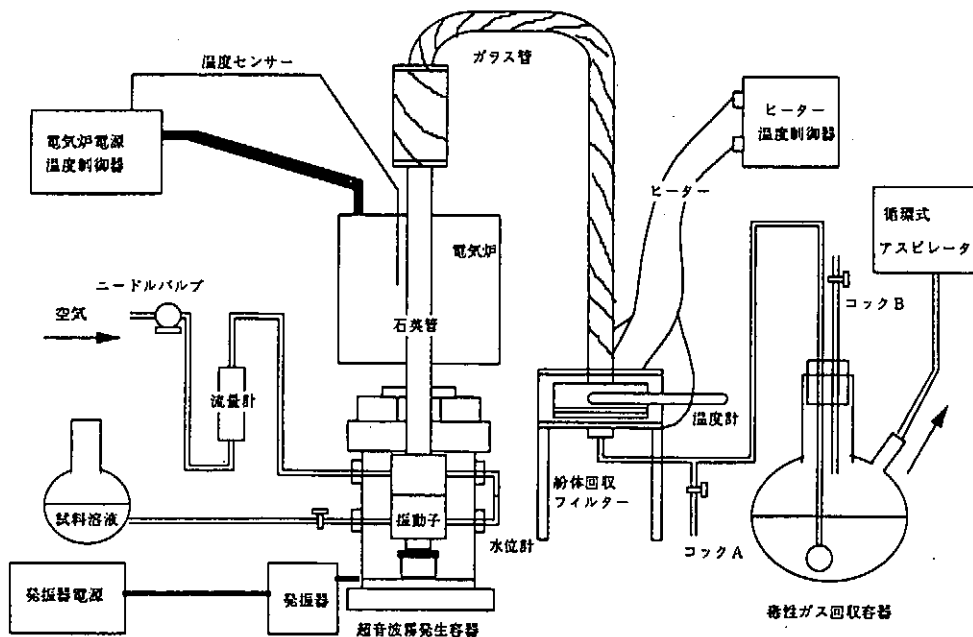


図-1 超音波造粒装置の概要図

装置の可動方法は以下の通りである。

①溶解された試料溶液を、試料ビンに入れる。②循環式アスピレーターのスイッチを入れ、ただちに、コックAとコックBを閉じ、空気を装置内部にとり入れる。（必要により他のガスを使用

する) ③そのままだと流量が多すぎるので、空気採り入れ口のニードルバルブを調整して、流量を2 l/minにする。④コックCを開け、試料溶液を超音波霧発生容器の40mm位の水位まで入れる。⑤電気炉の電源を入れ、温度制御器で目的とする温度に設定する。(今回の場合は800℃) ⑥ガラス管と粉体回収フィルター容器の外側に巻いている、フレキシブルヒーターの電源を入れて、約150℃にコントロールする。(100℃以下になると、ガス化した水が液体となり管に付着する。その部分に粉体が付着すると回収が面倒である、又フィルターに水が付くと目詰まりを起こす) ⑦流量や温度が設定値になったことを確認して、超音波発振器の電源を入れ、試料を霧状化させる。霧状化した液滴試料は、容器内の空気の流れに沿って炉内を移動する。高温状態の炉内を通ることにより、水分や有機物はガス化するとともに、原材料は、球状の超微粉体となって凝縮され、フッソ樹脂フィルターに直接回収される。

〔4〕装置の構成部分の説明

次に、装置の主要部分について説明する。

①超音波霧発生部

これは、発振器電源、発振器、超音波霧発生容器から成り立っている。超音波霧発生容器内にある振動子は、フッソ樹脂で加工された容器の下部に、フッソ樹脂でコートされたo. ringで両側を挟んで取り付けられている。なお、この発振器の回路は、ナショナル超音波加湿器FE-05KYJのパーツを使用した。

本装置の超音波霧発生容器の概要図を図-2に、又この超音波霧発生容器に使用した振動子の規格と応用例を、表-1(註2)に示す。

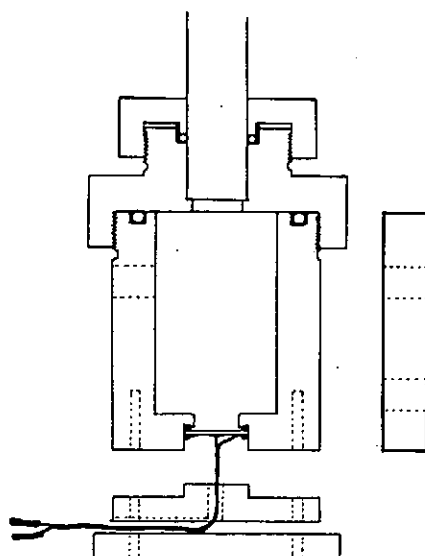


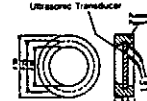
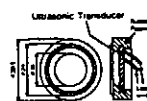
図-2 超音波霧発生容器の概要図

超音波加湿ユニット Ultrasonic Humidifier Units

固定値・性能 Ratings and Characteristics

品名 Part No.	EFE9EVR7M81	EFE9EVR7M82
共振周波数 Resonant Frequency	1.63 MHz ± 50 MHz	
共振インピーダンス Resonant Impedance	2.2 Ω max.	
静電容量 Capacitance	2350 pF ± 20 %	

寸法寸法図
Dimensions in mm
(not to scale)



応用例 Application Example as Ultrasonic Humidifier
● 超音波加湿器

項目 Item	Item	Rated value
駆動回路入力電圧	Input Voltage of Driving Circuit	AC 48 V
駆動回路消費電圧	Power of Driving Circuit	35 W max.
霧化量	Misting Volume	450 cc/hour min.
駆動周波数	Driving Frequency	1.7 MHz
使用温度範囲	Operating Temperature Range	0°C to 45°C

表-1 超音波振動子の規格と応用例

この振動子を使用する場合、水などのようにあまり粘度がない溶液では、溶液の水位は実験的に40mm前後が一番霧状化量が多いことがわかっている。だから、水位が分かるように、ガラス管で水位計を作った。なお、この容器の直結部分には、総てフッソ樹脂でコートしたo. ring 又は、フッソ樹脂のシールテープを使っている。

②電気炉

これは、自家製の物である、できるだけ霧化した液滴が、炉内を通る時間を稼ぐため、電気炉の長さは300mmの長さになっている。石英管の太さから計算すると、流量計部分の常温での流量が2 l/minの時、約2秒で炉内を移動することになる。この値は炉の温度が常温の場合であり、炉の温度は通常500℃~1000℃であるので、これより遙かに速く流れることになる。試料や設定温度により、流速は適正な量に変える必要がある。流速のコントロールはニードルバルブで行う。

③電気炉と粉体回収容器との連結部分

電気炉で加熱され、石英管中で粉体となった試料は、ガラス管を経て粉体回収フィルター容器に入るが、石英管とガラス管の直結には、フッソ樹脂のジョイントを使っている。粉体回収フィルター容器も、ガスが接触する部分は、すべてフッソ樹脂製にしている。これは、フッソ樹脂が耐酸性であるという事と、100℃以上の高温に耐えることが出来るからである。この直結部分は、フ

レキシブルヒーターで、ガス化した部分が液体にならないよう、絶えず100°C以上（通常150°C）に加熱されている。

④粉体回収容器

粉体回収容器の概要図を図-3に示す。この容器は、フッ素樹脂、フィルター受けとしてのサポートスクリーン、フッ素樹脂でコートしたo, ring、温度計で構成されている。又サポートスクリーン下部の容器部分は図-4のように扇状に溝を加工して、ガスの流通がスムーズになるよう工夫がされている。

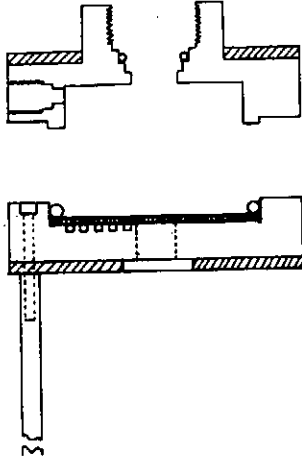


図-3 粉体回収容器の概要図

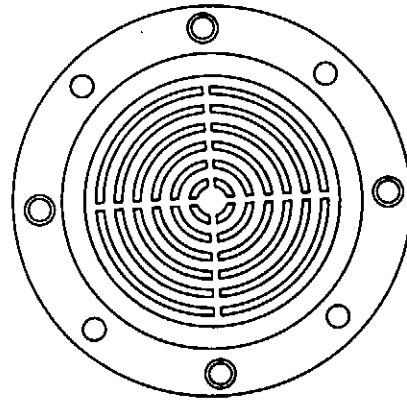


図-4 粉体回収容器の下部部分

なお、今回粉体回収容器に使用したフッ素樹脂フィルターは、アドバンテックス社製のポリフロンフィルターPF060である。このフィルターの保留粒子は6μmとなっているが、気体中の粉体を回収する場合、最初は少し小さな粒子はフィルターを通り抜けるが、やがて付着した粒子自身で微細なフィルターを作るので、かなり微細な粒子でも保留することができる。PF060より目の細かいフィルターを使って見たが、ガスの流量抵抗が大きい為能率が非常に低下した。連結部分と同様にこの部分も周りをヒーターで100°C以上に加熱している。

⑤超音波振動子の改良

通常市売されている振動子の構造は、図-5のようになっている。これは、溶液と接触する部分がステンレス製になっている。そのため、あまり酸性溶液でない場合は、使用に差し支えないが、酸性度が高い溶液の場合は、ステンレスの表面が溶けたので使用できない。特にこの種の実験は、強酸性の溶液でなければ溶解しない物質を多く使用するので、このままでは使用できない。そこで、金はあらゆる物質中でもっとも安定しており、かつ耐強酸性物質であるので20μmの金箔を図-6の道具を使って表面に貼り付けた。接着剤はスイスのチバギー社製のアルラダイドAV138（硬化剤であるハードナーHV998も必要）を使用した。

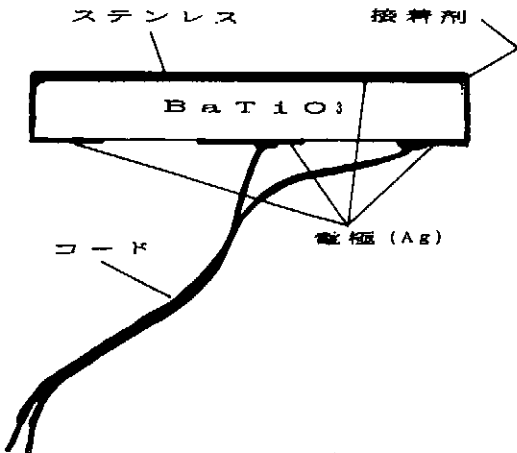


図-5 振動子の概要図

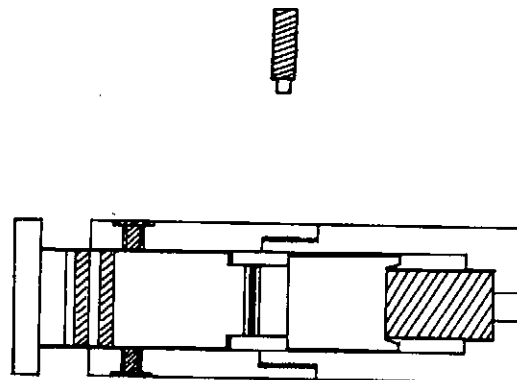


図-6 箔貼り付け道具の概要図

〔5〕超音波振動子の周波数と霧状となった液滴径の関係について

超音波振動子の周波数と、霧状となった液滴径の関係については、Lang^(注3)が実験的に次式を導いている。

$$d = 0.34 (8\pi\gamma / \rho f^2)^{1/3}$$

上式のdは平均液滴径 (cm)、fは振動周波数 (Hz)、 ρ は溶液の密度 (g/cm^3)、 γ は溶液の表面張力 (dyn/cm) である。上式から、平均液滴径へは溶液の密度や表面張力も影響を与えるが、振動子の周波数が大きく寄与することが分かる。本装置に用いた振動子の周波数は、1.63 (MHz) であるので、水を噴霧した時の平均液滴径は、文献から25℃における水の密度0.997 (g/cm^3) と表面張力71.22 (dyn/cm) の値を引用して上式に代入すると2.98 (μm) になる。上式のように、液滴から飛び出した液滴径は約3 μm であっても、電気炉で瞬時に水分等がガス化されるので、溶質だけ個体として残り、原材料だけの個溶体粉末となる。粉体が丸くなるのは、シャボン玉が丸くなるのと同様に、球の状態のとき表面積が一番少なくなり安定しているからである。

〔6〕結果と考察

燃料電池の個体電解質の材料である、ジルコニアとスカンジウムを使ってこの装置で熱分解造粒を試みた。試薬は、水への溶解が容易な硝酸塩を使うこととした。具体的には、硝酸スカンジウム-Sc (NO_3)₃・4H₂O----3mol%、オキシ硝酸ジルコニウム-ZrO (NO_3)₂・2H₂O----97mol% の水溶液を使い、電気炉の温度は800℃、流量は2l/min でおこなった。回収率は原材料の約80% (他の方法では約30%^{注1)}) であった。回収されなかった残りの約20%は、以下の部分に有ると思われる。

①フィルター表面や内部に残っている。

②石英管の表面に付着している。(超音波発生容器と電気炉の間と、電気炉の少し上部で石英管の表面が100℃以下になる部分ができる)

③超音波発生容器の水位を約40mmにしている必要があり、しかも少なくなると霧が発生しなくなるので、最後にある程度溶液が残る。スカンジウムの試薬は、金の何倍もするので回収率を高めることは極めて重要なことである。①と②の回収は無理であるが、③の部分は水を追加してもう一度超音波噴霧熱分解を行えばよい。

この方法で生成された粒子を、電界放射型走査電子顕微鏡 (日立S-4000) で撮影した写真を写真-1に示す。これらの写真から2次粒子の平均粒径はサブミクロンオーダー、1次粒子の粒径は約10nm程度であることが分かる。この粒子を透過型電子顕微鏡 (日立H-800) を使って撮影した60万倍のイメージ像を写真-2に示す、左側は、右側は電子線解折像である。この写真から極めて微細な結晶粒子が生成していることが分かる。又、この粉体をX線解析した結果、立方晶の結晶になっていることが分かった。今後の課題としては、電気炉の温度、流量、溶液の濃度、発振器の出力等によって、粒子の粒径や状態がどのように変化するかをつきとめる必要がある。今回は間に合わなかったが、平均粒径だけでなく正確な表面積をBET法等で測定する必要もある。

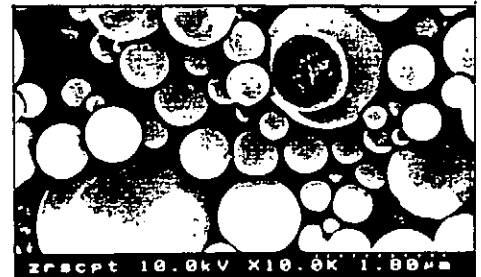


写真-1 粒子の走査電子顕微鏡写真

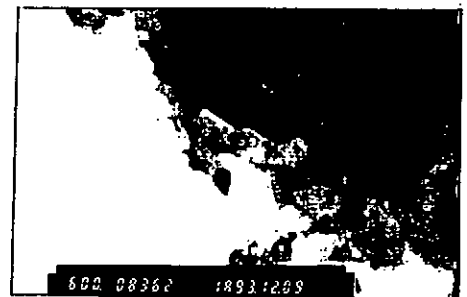


写真-2 粒子の透過電子顕微鏡写真

謝辞：本装置を作成するに当たって、振動子へ金箔を貼り付ける技術的指導をいただいた、北海道松下電器 (株) 圧電技術課の川村様に厚くお礼申し上げます。

参考文献及び資料

(注1) 日本セラミックス協会東海支部学術研究発表会 (1993.11.30)

(注2) '93/'94圧電セラミックスCATALOG (松下電器)

(注3) R. J. Lang, J. Acoustic Soc. Am., 34, 6(1962)

LHDにおける電磁力支持構造物の耐震解析

核融合科学研究所 林 浩己、米津 宏昭
田村 仁、LHD建設グループ

1、はじめに

核融合科学研究所では、大型ヘリカル装置 (Large Helical Device 以下LHDと呼ぶ) を岐阜県土岐市に建設中である。LHDの構造の一部である電磁力支持構造物 (断熱支持脚を含めた) の地震に対する健全性を評価するために、構造解析プログラムANSYS5.0aを用いて耐震解析を行った。今回は、電磁力支持構造物全体の0.3G静解析及び固有値解析結果を報告する。

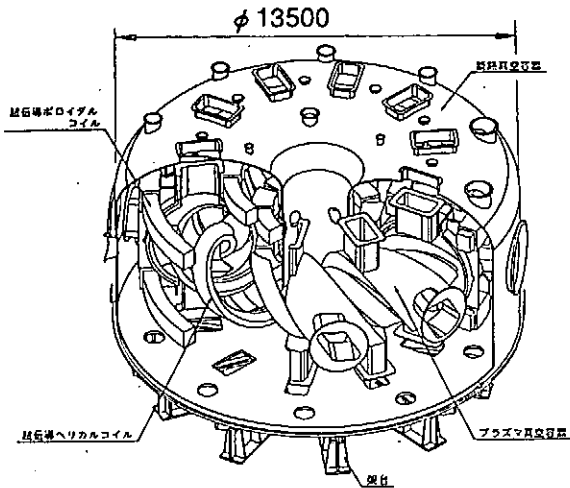


図1 LHD全体モデル

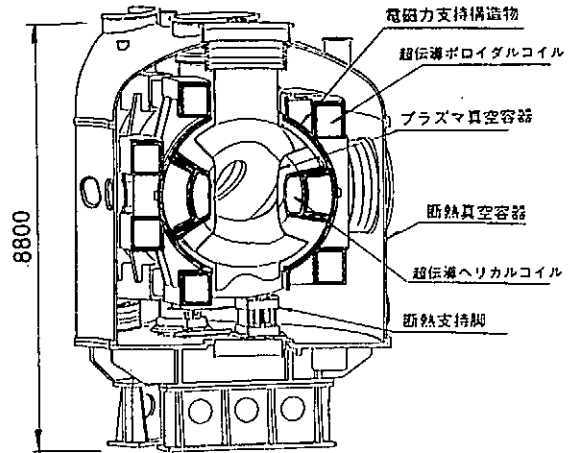


図2 LHDカットモデル (72 分割モデル)

2、電磁力支持構造物及び断熱支持脚の概要

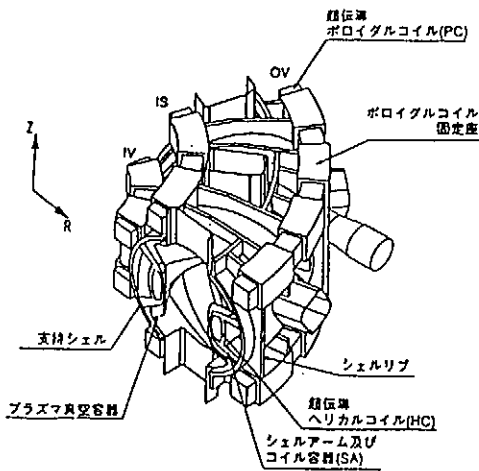


図3 電磁力支持構造物

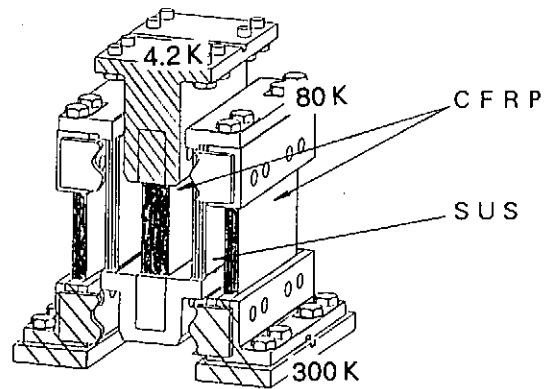


図4 断熱支持脚

電磁力支持構造物は、3対の超伝導ポロイダルコイルと2本の超伝導ヘリカルコイルの電磁力を支える構造体である。コイルの電磁力は、ポロイダルコイル1本で最大 (フープ力 IVコイル) 約1100 ton/mと非常に大きく、これらのコイルの電磁力を支えるため非常に複雑な構造で総重量は約850tonである。その電磁力支持構造物を10本の断熱支持脚で支える構造になっている。

その断熱支持脚の特徴として、

- ☆ コイル及び電磁力支持構造物が極低温 (4.2K) に冷却されるため、10本の脚の常温部からの熱侵入を防ぐため断熱性を十分考慮した構造である。
- ☆ 電磁力支持構造物 (外径約12m) の、熱収縮による変形を吸収できる構造である。(大半径方向 (R) に、約7mm)
- ☆ 10本の断熱支持脚で850tonの電磁力支持構造物 (コイルを含む) の重量を支える構造である。

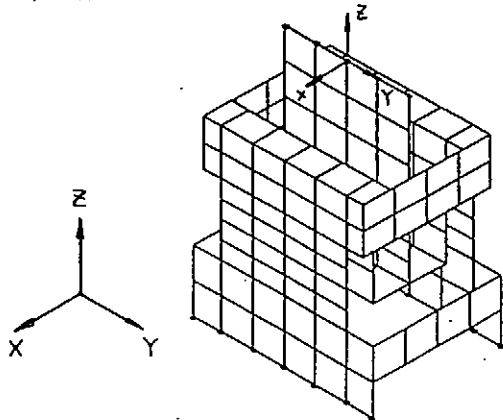
以上3つを満足し、なおかつ、地震発生（震度5～6 約0.3G）において、断熱支持脚の剛性が十分に保つことができる構造であることが必要である。よって耐震解析にて設計の健全性の確認が必要となった。

3、電磁力支持構造物（断熱支持脚を含む）のモデル化

電磁力支持構造物全体をモデル化する場合、最初に断熱支持脚のモデル化の妥当性が十分でない解析における信頼性がない。また電磁力支持構造物全体のモデル化は、コンピュータの制限（ディスク容量、計算時間）に大きく影響するため、完全なモデル化は不可能である。そこで、モデルを簡略化することにより解析を行った。断熱支持脚については、3-1に示すモデルを作成し、剛性及び固有値の妥当性を検討した

3-1 断熱支持脚のモデル化

1) 断熱支持脚の解析モデル



物性値は、各材料の物性値を入力

モデルを簡略化したところは、弾性係数及び密度を補正し入力

図5 断熱支持脚の解析モデル

2) 断熱支持脚のバネ定数

X方向 10.8ton/17.7mm

Y方向 58.7ton/2.10mm

-Z方向 96.1ton/0.755mm

今回のバネ定数の解析結果は、メーカーの解析値とほぼ一致した。

3) 断熱支持脚の固有振動数

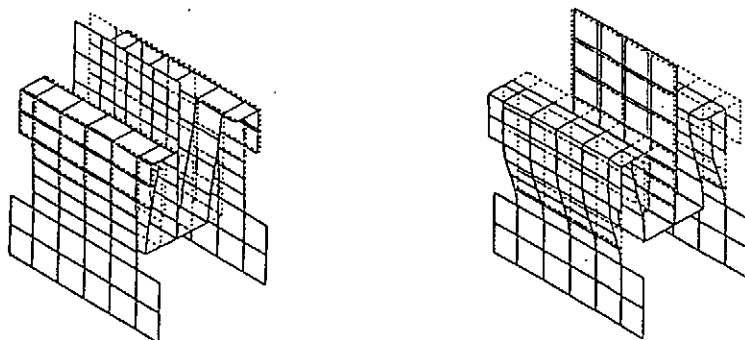
モード1 = 13.5Hz

モード2 = 44.6Hz

モード3 = 76.9Hz

モード4 = 99.7Hz

モード5 = 119.9Hz



モード1

モード2

図6 断熱支持脚 モード1 モード2における固有振動数（破線：変形前 実線：変形後）

断熱支持脚の最低固有振動数は、13.5Hzであり、全体モデルでは、850tonが上部にあるためその固有値は低くなると考える。

3-2 電磁力支持構造物のモデル化

電磁力支持構造物全体を簡略化して下記のようにモデル化した。3-1の断熱支持脚（10脚）の上部に電磁力支持構造部をのせて、解析モデルを作成した。電磁力支持構造部分は、コイル及びリブがあるた

め、断熱支持脚と比較して非常に剛性が高いと仮定し物性を入力した。重量についても、実際の重量(850ton)となるように物性を入力した。

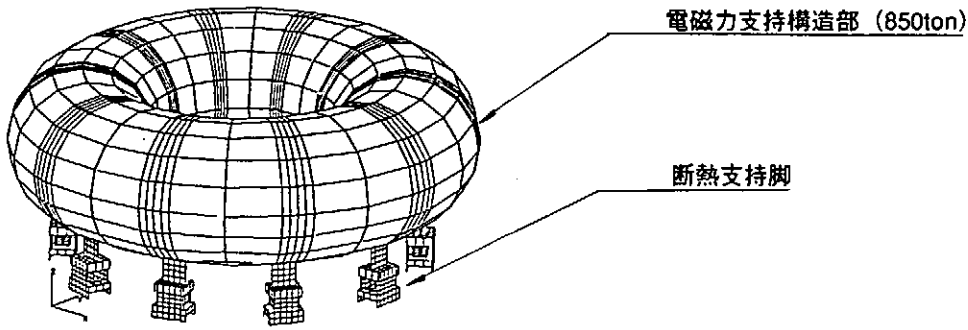


図7 耐震解析モデル (節点数: 3020 要素数: 2580)

4、解析結果

4-1 0.3G静解析

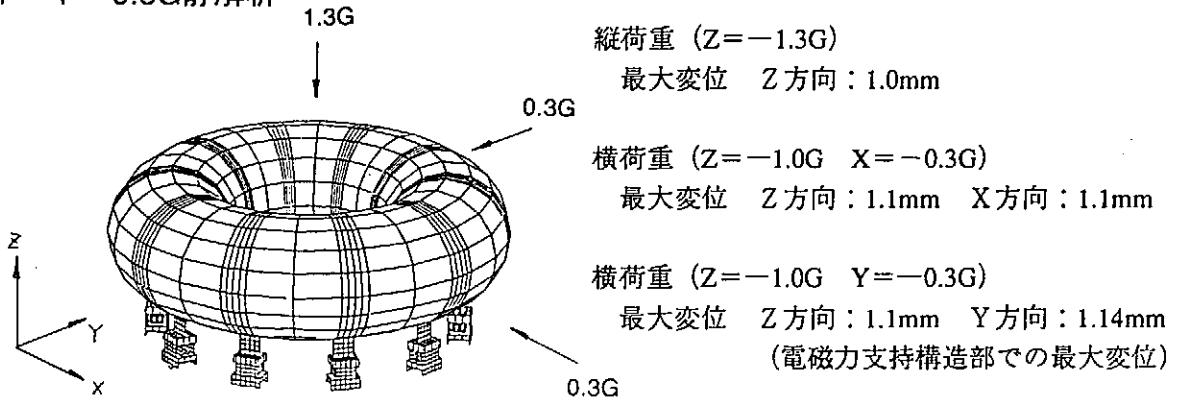
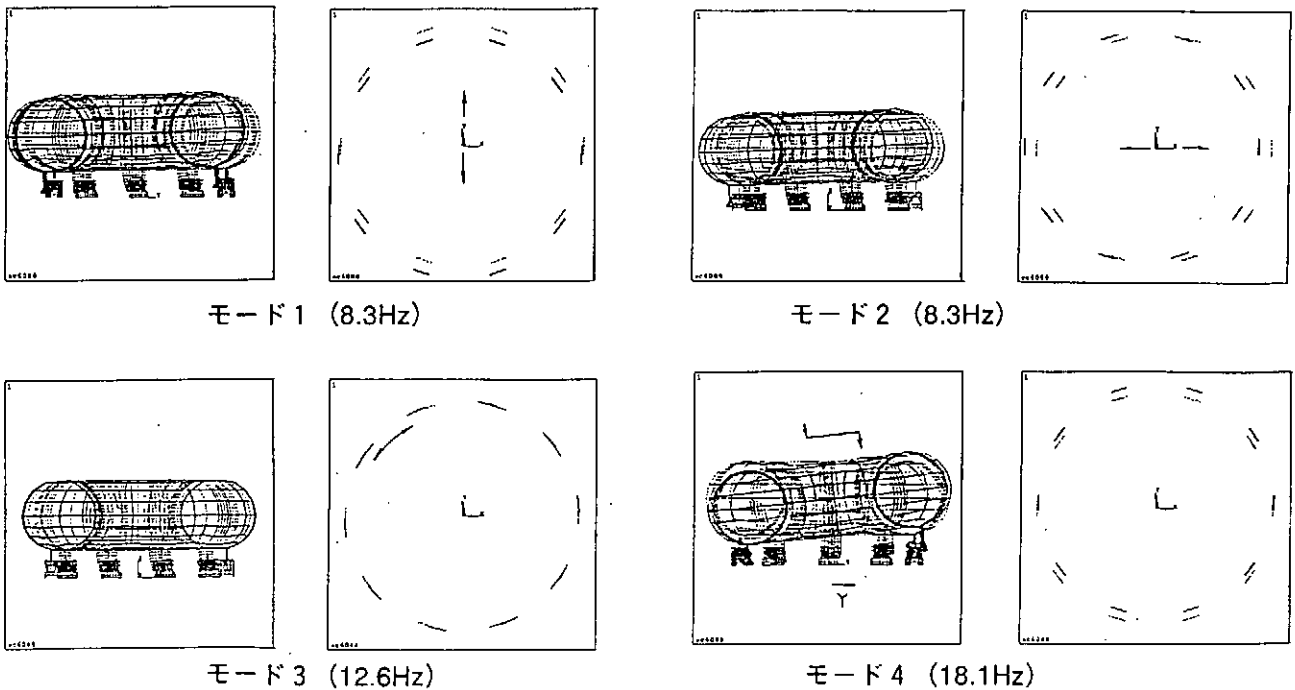
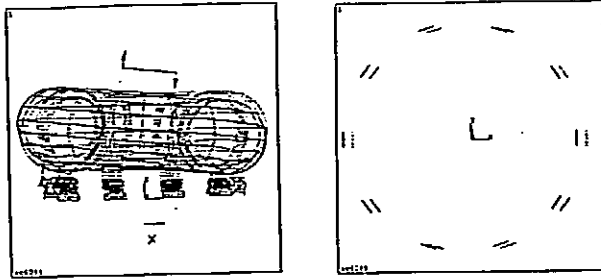


図8 荷重条件

4-2 固有値解析





モード5 (18.2Hz)

図9 電磁力支持構造物全体の固有振動数(モード1～5) (破線:変形前 実線:変形後)

5、まとめ

電磁力支持構造物全体の耐震解析

静解析 (0.3G)

縦荷重 (Z方向)	最大変位	Z方向: 1.0mm	
横荷重 (X方向)	最大変位	Z方向: 1.1mm	X方向: 1.1mm
横荷重 (Y方向)	最大変位	Z方向: 1.1mm	Y方向: 1.14mm

固有振動数解析

最低固有振動数 8.3Hz (モード1及びモード2)

最低固有値8.3Hzの値は、地震波に共振する可能性があるため、今後地震波を入れた時刻応答解析が必要と考えられる。その結果健全性に問題があれば、共振しても耐えられる断熱支持脚の構造又は、共振しない構造にする必要がある。

技術研究会の推進について

平成6年5月9日

核融合科学研究所技術部

1. 概要

近年の科学技術の急速かつ多様な発展の下で、大学および研究機関における技術者の役割はますます重要になってきている。

そのため、技術研究会は、これらの技術者の向上心を促進させるとともに、より高度で実践的な経験に接する機会を与え、総じて技術の向上と交流を図る目的で、従来から、分子科学研究所、高エネルギー物理学研究所および核融合科学研究所において開催されてきた。

本年度の技術研究会は、同様の主旨で、核融合科学研究所において平成6年3月23日～24日に270名を越す参加を得て開催した。

2. 技術研究会の歩み

1976年に分子科学研究所で始められた技術研究会は年を追って発展してきた。技術研究会の発足当時における各研究機関の技術部門は次のような状況にあったと言われている。

「我が国における研究支援技術の現状は、諸外国と比べて劣悪であり、この事態を改善するためには、下記の二つの面での努力が必須である。

(1) 優れた技術者をしかるべく処遇できる行政上の方策を講ずる。

(2) 技術者が自ら新しい技術を習得する機会をつくる。

また、技術者は普通閉鎖的な職場にあり、他の技術者との交流が少ないため、独善におちいり、新しい技術や批判を受け入れにくく、単なる『余人を以て代え難き名人』に留まる場合が多い。こういう場合、科学と技術の発展変貌に応じて、常に研究の遂行に資するという事は困難である。

一方、大学等で専門的教育を受けた若い技術者が、希望と意欲に燃えて就職しても、理論に裏づけられた体系的技術指導を受ける機会に欠ける現状では、正しく評価され、かつ研究を支えることに誇りを持つ有能な技術者に育つことに困難がともなう。」(分子科学研究所第2回技術研究会報告集)

これらの状況を打開するために、各研究機関で数々の努力を積み重ねられてきており、特に(2)の目的のために技術研究会を開催してきた。即ち、技術系職員の組織が整備されるとともに、技術研究会の全国的な技術交流活動によって新技術を習得、自らの立脚点を明確にして将来の展望を開く機会としてきた。

3. 技術研究会の内容

この研究会は、大学及び研究機関等の技術者が、日常業務で携わっている実験装置の維持管理の話題から改善開発の話題にわたる広範な技術活動について、発表する研究会である。発表方法も通常の学会等とは異なり、日常業務から生まれた創意工夫、苦労話、失敗談等も重視し、技術者の交流と技術向上を図ることを目的として、次の5分科会に分かれて発表、討論をおこなった。

(1) 工作技術分科会：加工・組立技術、ガラス・セラミック工作他

(2) 低温技術分科会：低温機器装置・低温実験技術、低温材料他

(3) 計測制御分科会：計測制御自動化・省力化、システム技術、信号処理技術他

(4) 計算機・データ処理分科会：計算機システムの運用管理、アプリケーション開発、ネットワーク構築、パソコン応用他

(5) 装置技術分科会：実験装置・研究施設技術、真空関連技術、安全管理・信頼性技術他

4. 研究所間討論会

技術研究会の途中、直轄研究所からの代表を中心に、技術研究会についての意見交換を目的とした研究所間討論会を行った。テーマは、(1)各研究所において、現在の技術研究会の位置付けをどう考えているか、(2)技術研究会を今後どのように発展させていくか、といった内容であった。参加していただい

た研究所は、高エネルギー物理学研究所、分子科学研究所、宇宙科学研究所、天文台および核融合科学研究所であり、さらに毎回多数の発表者が参加している日本原子力研究所那珂研究所にオブザーバーとして参加していただき、22名の会議となった。

(1) 各研究所における技術研究会の位置づけについて、

主催研としての3研究所からは、技官にとって発表の登竜門であること、研究会は所内でも積極的に意義を認められ支障なく開催できるが、技術研究会が大きくなり主催が大変である、といった意見が出された。また、他の研究所からは、技術部が研究会に取り組むほどの組織的な力がない、現在のような分科会と共通の話題が少ない、といった趣旨が出された。原研からは、装置試験部のハード、ソフトなどの改造、改良、メンテナンス等について学会で発表しない、話す機会の少ない者が、聞いて役に立つような情報の提供になるものを発表させていただいていると報告された。

この研究会で発表する回数を重ねることにより、学会などで他の研究者の前でも発表できるようになってきている。また論文等にまとめる力が付いてきていることははっきりと現れてきている。技官の仕事に対する成長といった側面については、一体となって仕事を進めている教官との関係もかなり影響される。技術部ではしかるべき研修を重ねていくことが大事である。また、この研究会において他の研究機関で働く人たちとのコミュニケーションをはかり交流を広げていくことが資質の向上に有効ではないかと思われる。

(2) 分科会の見直し

発表件数の増大、発表内容の多面性等に対して、各研究所の技術部がどのように考えているか討論になった。いろいろな提案や試みが紹介されたが、結論として、各研究機関の現状と今後の固有基本技術および大型化するシステム技術の動向をふまえて分科会の構成を見直し、技術交流の場として実のあがるものにしていく。開催研の判断で現状の5分科会にこだわらない。学会と違って、現場の失敗、工夫等を話してもらうために、1発表を25分から30分として十分時間をとったものとする。

(3) 研究会開催機関の拡大

今回主催研究所での旅費負担はしなかったが、270人を越える参加者と78件の発表件数があった。このことは技術者の研究会への参加が広く理解されている結果と思われる。主催する研究所の旅費負担が軽くなったが、さらに開催する研究所を増やして全国的なネットワークをつくるのが考えられる。

今後開催経費の面で文部省に面倒みて頂けたら、さらに多くの機関での開催が可能になると思う。本研究会と共通の話題がないという研究機関の話もあったが、全部のテーマをもたなくても共通するところで参加することでも良いと思う。

(4) 技術分野毎の研究所間技術交流の促進

この研究会での交流が、研究会の場だけでなく、年間を通して職務に反映する共同研究のような形で交流していく必要がある。今後、分科会を通じて交流の具体化を探っていくことにしたい。

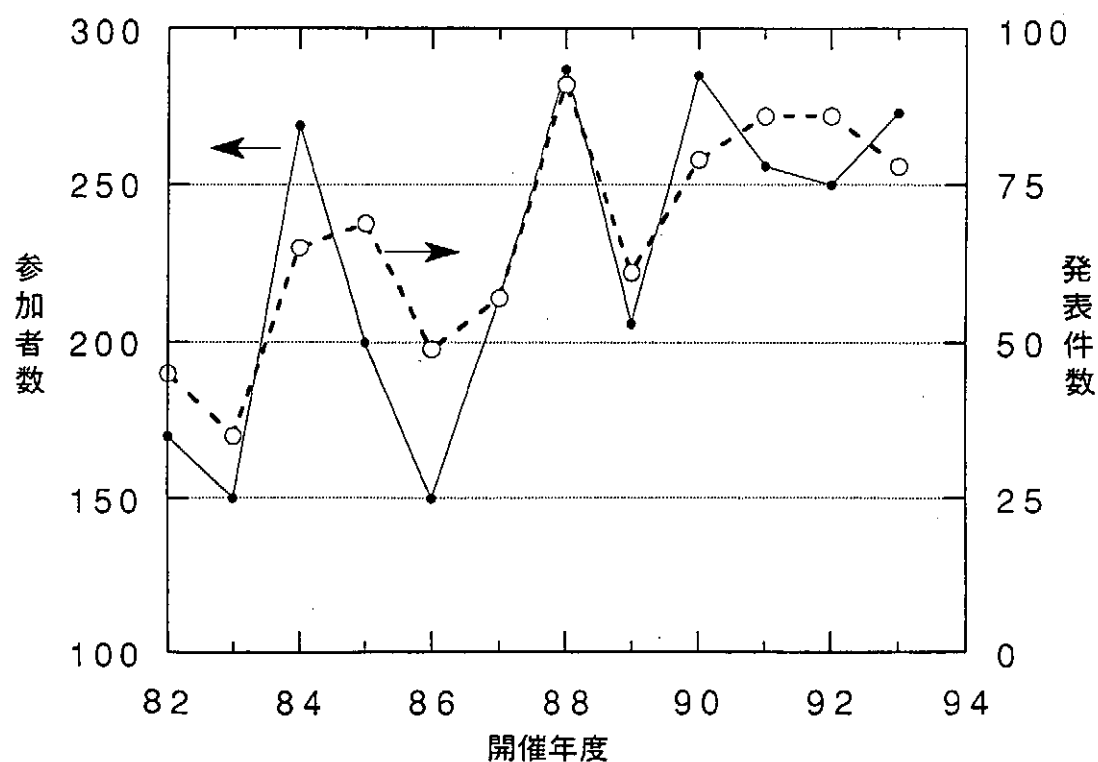
5. 研究所長会議および各研究所長へのお願い

研究所長各位に、今後ますます技術研究会が充実発展するようご理解とご協力をお願いするとともに次の事項を要望します。

- ・各研究機関で技術研究会の持ち回り開催を理解していただき、主催を引き受けていただけるよう検討をお願いします。
- ・開催経費の面においては、文部省の支援が受けられるよう研究所長会議として働きかけていただくことを要望します。
- ・技術職員が技術的交流を図っていくことに対して、各研究機関で便宜を図っていただけるようお願いいたします。

技術研究会の歴史

年度	開催研	開催日	参加者	発表件数
S 50	分子研	1976/2/26		5
51	分子研	1976/7/20		6
	分子研	1977/2/		6
52	分子研	1977/7/1		7
	分子研	1978/2/		9
53	分子研	1978/6/2	44	8
54	分子研	1979/7/1		11
	分子研	1980/2/		11
55	分子研	1981/1/30	79	23
56	分子研	1981/7/1		28
57	高エネ研	1983/3/17-18	170	45
58	分子研	1984/3/2-3	150	35
59	プラズマ研	1984/11/15-16	269	65
60	高エネ研	1986/3/19-20	200	69
61	分子研	1987/3/19-20	150	49
62	プラズマ研	1988/3/29-30	214	57
63	高エネ研	1989/3/23-24	287	91
H1	分子研	1990/3/19-20	206	61
2	核融合研	1991/3/19-20	285	79
3	高エネ研	1992/2/6-7	256	86
4	分子研	1993/3/11-12	250	86
5	核融合研	1994/3/23-24	273	78



機関別参加者数 (合計 273名)

・ 国	立核分高宇国統学	大融子工宙立計術	学合科ネ科学天文数情	共科学ル科学文理報	同学研ギ研究台研究セ	利研究一物理研究所	用研究所物理学研究所	機関等 (100名)	3	5	名
									2	1	名
									3	7	名
										1	名
										2	名
										2	名
										2	名
・ 国	立大九京熊埼静信筑電東東富豊名名福北三	立大九京熊埼静信筑電東東富豊名名福北三	立大九京熊埼静信筑電東東富豊名名福北三	立大九京熊埼静信筑電東東富豊名名福北三	立大九京熊埼静信筑電東東富豊名名福北三	立大九京熊埼静信筑電東東富豊名名福北三	立大九京熊埼静信筑電東東富豊名名福北三	立大九京熊埼静信筑電東東富豊名名福北三	1	6	名
										2	名
									1	0	名
										3	名
										3	名
										6	名
										1	名
										7	名
										6	名
									1	8	名
									1	1	名
										2	名
										1	名
										2	名
										6	名
									2	3	名
										3	名
									1	1	名
										2	名
・ 国	立鈴八立大私学慶の	立鈴八立大私学慶の	立鈴八立大私学慶の	立鈴八立大私学慶の	立鈴八立大私学慶の	立鈴八立大私学慶の	立鈴八立大私学慶の	立鈴八立大私学慶の			
										2	名
										2	名
・ 公	立大私学慶の	立大私学慶の	立大私学慶の	立大私学慶の	立大私学慶の	立大私学慶の	立大私学慶の	立大私学慶の			
										5	名
・ 私	立大私学慶の	立大私学慶の	立大私学慶の	立大私学慶の	立大私学慶の	立大私学慶の	立大私学慶の	立大私学慶の			
										2	名
										3	名
・ そ	の日本阜間	の日本阜間	の日本阜間	の日本阜間	の日本阜間	の日本阜間	の日本阜間	の日本阜間			
									1	8	名
										2	名
										8	名 (7社)

アンケートのまとめ

アンケートには、114名の回答をお寄せいただきました。多くの方々から貴重なご意見を頂き、ありがとうございます。この結果は、今後の技術研究会の発展のための参考にさせて頂きたいと存じます。尚、アンケート結果については、Q1.2の所属機関と参加分科会を除いて以下のような内容になっています。寄せられたご意見（記述部）についてはそのすべてを掲載しました。

3. 技術研究会への参加回数

	初めて	5回未満	5回以上
第一分科会	7	13	14
第二分科会	5	6	13
第三分科会	1	7	2
第四分科会	7	11	2
第五分科会	5	15	6
	25	52	37

4. 旅費の負担について

	主催者負担（発表者）がよい	参加者負担でよい	その他
第一分科会	18	12	4
第二分科会	11	11	2
第三分科会	6	4	0
第四分科会	14	5	1
第五分科会	10	9	3
	59	41	10

5. 技術研究会の案内発送及び締め切りについて

	こんなものでよい	案内はもっと早く	その他
第一分科会	27	5	2
第二分科会	19	5	0
第三分科会	7	2	1
第四分科会	15	4	1
第五分科会	12	10	1
	80	26	5

6. 日程・スケジュールについて

	大体よい	その他
第一分科会	30	4
第二分科会	20	4
第三分科会	8	2
第四分科会	15	4
第五分科会	20	4
	93	18

9. 旅費負担を伴わなければあなたの所属機関で研究会の主催が可能ですか

	できると思う	できない	他にも問題がある
第一分科会	6	17	8
第二分科会	7	8	4
第三分科会	2	5	0
第四分科会	5	7	2
第五分科会	12	7	3
	32	44	17

アンケート質問事項（記述部）

7. 分科会について、内容、分け方、数、その他お気付きの点をお書き下さい。
8. 今回の研究会全体（懇親会を含む）の運営上でお気付きの点をお書き下さい。
10. 今回の技術研究会では、これまで主催研で用意していた発表者の旅費を確保できない事態になりましたが、研究会の規模が大規模化している現状で、主催者の費用負担がかなり大きくなってきていることから見ても、今後、この研究会を発展させるためにも、財源の確保を含め、研究会のあり方（持ち方）についての工夫が必要な時期に来ていると判断しています。このことについてのご意見をお書き下さい。

回答

第1分科会参加者分

7

- ・場所が離れていたため、他の分科会へ行くのが不便であった。
- ・分科会が別建物となったのが少しつらかった。
- ・技術交流を深めるために分科会を少なくする方向が望ましい。特に分科会間の移動及び入退室が苦痛である。
- ・第1分科会が別の建物で行われたが、できれば同じ建物で
- ・私は、工作技術分科会がメインでしたが、本来の工作技術という意味あいからは件数が少ないように思います。
- ・第1分科会は工作技術であるが、材料作りをやっているものは五つの分科会のどれにも属さない。五つの内の一つを総合部門としていただけないだろうか？
- ・工作技術についての苦勞話や失敗、また改良などの話をもっとあるとよいのですが。あまりデータ中心になると今後発表したい人でもちょっと構えたりするのではないのでしょうか。
- ・工作技術については人数が多すぎるので、半分くらいになるように内容で二つに分けて欲しい。
- ・個人的には特に問題はないと思います。ただし、できるなら分科会の細分化をしたらよいのではと感じました。
- ・もう少し細かく分けた方がよいかも。
- ・発表者は時間を守っていただきたい。発表内容も大切だが、持ち時間で要領よくまとめて発表するのも務めだと考える。座長は大変だと思うが上手に進行させて下さい。
- ・内容が工作技術ということから離れているようなものが多いと思います。基本的なことでは発表しづらい気がする。工作技術でないものを分けた方がいい。
- ・第1分科会の発表件数が例年より少なく残念である。また、分科会会場はできるだけ同一フロアとし、分科会をまたがって発表を聞くことができるよう工夫されたい。
- ・工作本来の加工方法等の発表が少なかった。
- ・討議・質問の時間にかなりきつい発言があったが、学生実験の専任の方と工作系で学生実験を受け持っている方とでは状況差があると思います。厳しい現状の中から発表されていると考えられますのでよろしくをお願いします。

- ・工作技術分科会に参加しましたが、その中でも安全教育ビデオ教材の開発は大変役に立つものと思われました。しかし、半導体関係については化学的分野も入っており判りづらかったです。
- ・大体よいと思う。
- ・第1分科会については、発表者が少なすぎるのももう少し増やす努力をして欲しかった。
- ・第2分科会の部屋に入れませんでした。

8

- ・マイクは手持ちはつらいので、持たなくてよいものがないと思う。
- ・参加しやすいものを感じました。ご苦勞様でした。
- ・主催研の施設外の会場での運営にさぞご苦勞があったと思います。ありがとうございます。
- ・すべての発表者にはマイクを使用できるようにして下さい。
- ・良くできていました。
- ・会場は一カ所にして欲しい。移動に時間がかかる。
- ・できれば会場は一カ所がよいと思いますが、参加人数の増加に伴い、もう少し余裕のある日程を組む必要があると思います。
- ・工作系の発表が少ないのが気になりますが、他はありません。
- ・大変に役員の皆さんが積極的に且つ、親切に運営されていて良かったです。
- ・大変ご苦勞さんですが、これからもこの会を続けて欲しい。
- ・第1分科会だけが別会場で不便を感じたので一つの会場にして欲しかった。
- ・技術講演等をプログラムに入れられませんかでしょうか。

10

- ・技術研究会を学会に変更してはいかがでしょう。
- ・個人レベルで旅費を調達できるよう努力する。
- ・今回の技術研究会に出席するに当たり、当学科の予算にて旅費を賄うつもりだった。それが、学部で出張として旅費が出るようになった。これからはこのように参加者が旅費を確保できるようにすべきだと思う。
- ・学会等はどのように運営されているのか参考してみればどうでしょうか？
- ・規模拡大は今後不必要だと思う。人員、設備の負担が大きい。この人数では深まるべき交流が浅くなると思われる。(特に異業種間)
- ・同感です。各大学、研究所から旅費が出る場所はそのまま、それが用意されない大学、研究所には今まで通り旅費を配布してはどうか。そのために大体でよいから旅費を見積もれないだろうか。技術研究会がもっと発展することを願います。
- ・すごく難しいことだと思います。一同に会してのメリットがある研究会の規模が大きくなると予算が大きくなって財源確保が難しいのは判ります。かといって規模を小さくすると分科会的なイメージが強くなり全体の交流が少なくなるような気がします。やはり主催研の負担を軽くする意味でも新たな主催研が増えることを願うしかないですね。後、別な観点から、発表内容の吟味をしてはいかがでしょう。(発表側の)製作途中の話より、完成後の吟味をもっとすべきです。
- ・研究会の旅費はもってもらいたいと思うが、財源の確保が難しいなら各所族の負担でもしかたないと思う。三研の研究会とも同じでなく、セラトピア土岐を使用するなら4つの分科会でもいいのではないか。(第1分科会は離れ過ぎ)発表が多い場合はポスターセッションを取り入れてもいいのではないか。この会場なら大丈夫だと思う。質問の尻切れ蜻蛉が多い。OHPの字が小さい。
- ・全体的に費用負担がどれくらいかかっているのか判らないので何ともいえないが、今後参加者から参加費としてたとえば1000~2000円集めては？(全然足りないかも知れないが)
- ・分科会によって実施場所や時期を設定すればよいと思う。複数の所属機関で担当すれば負担は減ると思う。分科会によっては二年に一度の実施でも良いと思う。すべて一度に実施することは大規模になって担当する機関が大変だと思う。

- ・旅費の無い者には参加費用の工面が難しい等の問題があり、何らかの方法で発表者の旅費を確保できるようにお願いしたい。
- ・初めての参加であるためよく判らない。年会費を集めるとかしてはどうか。
- ・旅費は参加者負担でよい。聴講するばかりですが、この会に参加できるのが嬉しく思います。
- ・たとえば、発表者に謝礼金として一律にある金額を支払う方式も考えられるのでは。
- ・研究会は今後も続けていただきたい。できれば発表者の旅費は出して欲しい。
- ・研究機関や大学の技術者のための研究会であるので、できるだけ所属機関に費用を負担させることが必要であると思う。研究会自体は日頃の業務上の工夫や開発した技術の発表のチャンスであり、また年一度の技術交流の場であり続けることを事務局に期待する。発表したい分科会を発表者に選ばせてみてはいかが。
- ・会場をできるだけ費用のかからない場所で。学会のように会員制とし、会費を集める。
- ・技官の旅費の無いところではこの状態が進むと参加できなくなるので、何とか発表者の旅費は出して欲しい。
- ・事前に研究会の主催が判っていただけに、発表者の旅費だけは確保して欲しかった。以前もちゃんと出ていたし、分子研、高エネ研も財源を確保していただけに、言い方は悪いが、核融合科学研究所のミス（準備不足）としか考えられない。
- ・会員制にして、年会費を徴収してはどうだろうか。会場は今まで通り三研究所で回り持ちで開催する。実行委員は各大学関係から確保する考え方で。
- ・学会の運営を参考にするしかないでしょうか？各大学、研究所に負担金を割り当てる等の方法は不可能なんでしょうね。

第2分科会参加者分

7

- ・このままで良いと思います。
- ・他分野の話も聞けるのでなるべく大きな分け方が望ましい。
- ・もう少し部屋が大きい方がよい。50名程度は座れるように。
- ・第4分科会について、加速器がらみの計算機の話は第5分科会の方がよいと思う。（前回の高エネ研でもそうであったため。）
- ・概ね良い。学会とは異なる目的で開催されているので、このことは十分承知して講演する必要があると考えます。
- ・満足。
- ・第2分科会、OHPの光量が足りないのか？見づらかった。
- ・会場が狭かった。何を発表したいのか焦点がずれていたものがいくつかあったように思われます。発表時間を10分くらいにして、質疑応答を10分くらいとった方がよいと思いました。
- ・近年いくつかの分科会にまたがるような発表が多くなってきている。そこで、今までの分科会に加えて共通なものセッションを設けてはどうだろうか？
- ・出席者の割に会場が狭かったように思う。
- ・発表者のOHPの使用について、文字、グラフが全体的に小さくて見づらいのもっと大きく書いて欲しい。分科会の会場の収容人数について、分科会によっては座れないところがあったのでなるべく大会議室のようなところで行った方がよい。
- ・概ね良いと思う。3分科会ほど聞いたが、あまりダブリが無かった。やはり会場は一つの建物の方がよい。

8

- ・分子研は多人数（50名以上）集まれる場所がありません。このような会場が使えるのは素晴らしい

ことです。

- ・会場が小さい。プログラムを見やすくして欲しい。たとえば、タイトル一覧と各予稿の対応をつけ易くするなど。
 - ・懇親会での飲食（量、質）関係は良かったと思う。次回分子研での開催時により参考となりました。
 - ・良
 - ・満足、ありがとうございます。
 - ・年一回全国の人達と懇親ができて良かった。国立大学では全国的に技術部が発足してきています。技術部の運営等について話し合える時間があればよいと思います。
 - ・できればすべて同一の建物で行われた方が良かった。分科会によっては狭い部屋があった。
 - ・計画、プログラム作成、受付、会場運営、お茶のサービス等すべてにわたって苦勞があったと思いますが、おかげで楽しく参加させていただきました。
 - ・懇親会は夕食頃に行くとどうしても帰る人が多いので、昼食を兼ねて行った方がよいと思います。もっと多くの人が集まると思います。
- 全分科会が同じ場所だと良かった。（そんなには気になりませんでした）

10

- ・主催者が旅費を支給しなければ、主催者の負担は大変楽になります。しかし、小さな大学では参加費用が捻出できない状況もあります。新たに旅費支給の別組織をつくり、毎年その組織が旅費を支給するような方向に持っていけないのでしょうか。
- ・学会のような組織を作れないか。年会費が収入になる。あるいは参加費を値上げする。いずれにせよ旅費は出すとしても発表者だけでよいだろう。または、招待講演者だけなどでも良い。
- ・技術部の旅費が少ないので、技術職員への旅費を増やすことが必要。
- ・旅費については原則は参加者負担でよいと思うが、旅費がないと出席不可能という人が居る以上希望者には出して欲しい。
- ・技術研究会発展のために文部省(?)へ財源確保をお願いしたい。
- ・旅費の問題については、自前では解決できないこともあり、できれば、発表者分は用意できる方がよいと思う。技官の旅費問題が解決できればよいが、それまでは確保できるところの負担をお願いしたい。旅費が出ることで発表しようかという人もいると思う。
- ・旅費についてはある程度の自己負担はしかたないと思う。
- ・何らかの形で参加者への旅費を確保されるようご努力お願いします。技術研究会が発展することを願っています。
- ・学会と同じように会員制として会費をとる。または参加している人が所属の組織から費用をとる。開催地は三研究所だけでなく大学も含めて持ち回りで行う。
- ・内容を厳選して、発表を少なくした方がよい。中には低温工学、超伝導学会で発表した方が適当と思われるものがある。もっと技術研究会にふさわしい会にすべき。費用については、いろいろ難しい問題があると思うが参加費を徴収しては。(例 3000円/人)。分科会を2グループに分けて隔年開催とする。(個人的には好ましくないと思うが)。
- ・開催時期をもっと早めた方がよいと思う。
- ・学会のような会にして、年会費を集めて運営する方式はどうか。それと出されている技術報告集の販売を考えていくことも良いのではないか。さらには雑誌としての販売も可能だろうか。

第3分科会参加者分

7

- ・良いと思います
- ・発表件数が多い場合はポスターセッションを取り入れたらどうか。同じ所属の人を1カ所の時間帯に

集中しないほうがよい、身内だけの発表になる傾向がある。

- ・専門が多岐にわたっているので、おおむねこの方法しかないのではと思います。
- ・もっと他分野の人でも理解しやすいように話して欲しい。
- ・現行のままでいいと思う。
- ・現在の分科会では、専門の幅が広すぎる。細分化が必要である。
- ・生物系の技術研究会は基生研が主体となって行われていますが、分析に関する分野がなく発表しにくいのではないかとと思われる。

8

- ・非常によいと思う。
- ・発表内容から類推して、分科会を変更する必要があると思われる報告があった。

10

- ・核融合に対する可能性が（2050年代には出来るのではと知っている人もいるが）が薄れている現状ではやむを得ないのではないだろうか。
- ・旅費は参加者負担で、このまま大きく発展していく形でよいと思う。
- ・発表者の旅費の確保が出来ない状態になってきたようであるが、出来るだけ発表者には負担を軽くするようにした方がよいと思う。たとえば参加者に一部負担してもらって開催することが出来るのでは。
- ・技術研究会は、学会の年度総会等とは違った意義をもっているので、主催者の意図によって発表分科会を絞っても良いのではと思われます。旅費に関しては、全額補助が困難な場合は、一部負担でも良いのではないかと、参加する側としては出張の扱いになれば、公務として位置づけられる。
- ・学会のようにある程度自立できる様な組織にできたら会費制にするか、現状では、開催の運営のみの負担でも良いと思います。（なるべくなら発表者の旅費が出せばよいが大変だと思う。）

第4分科会参加者分

7

- ・「材料技術」、「放射線管理技術」等についてもどこかの分科会に明記してもらって発表する側としても分科会の選択が楽になると思う。
- ・内容はよい、数が多すぎる
- ・数、分け方にこだわることはないと思う
- ・第4分科会は計算機関連とネットワーク関連を分けたほうがより内容の濃い研究会になると思う。今年度の補正予算でほとんどの大学にネットワークも敷設されていることですし。
- ・第4分科会に実験系の発表が多かったのも、参加者には難しかったのではないだろうか。
- ・分科会により数の多少があるので、ポスターセッションを入れて調整すべきである
- ・苦労した点などをもう少し具体的に話があっても良いと思う。声の小さい人にはマイクをつけて欲しい。
- ・内容については問題がないと思いますが、発表の分科会を変更される時は事前に連絡が欲しい様な気がします。
- ・できれば同じ建物でやって欲しい。
- ・発表者の声が聞き取りにくい人もいたのでマイクを用意した法がよい。初めて参加したが内容も高度なものも多く参考になりました。初めての参加でしたが内容も高度なものも多く参考になりました。計算機関係はネットワーク中心の内容が多く、計算機を利用した幅広いものを発表する方が増えればよいと思います。

8

- ・研究発表会から懇親会まで1時間は長すぎる。繰り延べてもいいから2日目は早く終わるようにして欲しい。
- ・交流会の時間をもう少し長く（お酒ぬきで）とると良いと思う。技術管の仕事と技術の継承について考えてみたい。
- ・マイクがなく声が通りにくい（エアコンがONになると全部聞こえない）。
- ・特に問題はないと思います。（ただ些細なことですけど、1回目のお茶コーナーに砂糖と紅茶がなかったのが残念です。）
- ・お茶のサービスは特に必要ないと思う、（飲みたい人は缶ジュース等かってくればよい）飲む飲まないに関わらず一人500円は高いと思う。
- ・全出席者、挨拶する方の名簿が必要と思います。
- ・出席者の名簿があれば良い。
- ・懇親会は時刻を考えれば当然晩飯をかねることになるから、もう少し腹の足しになるものを用意して欲しい。

10

- ・この技術研究会は主催してきた3研究所の努力協力でここまで発展させてきたもので、これを今後もさらに発展させていくべきだと思います。そこでこれまでの実績を文部省等にアピールし、技術研究会の必要性を認識させ開催のための経費を参加機関名で要求し、その年の主催研究所にその予算をつけさせるという様なことはできないものでしょうか。
- ・できるだけ多くの場所で持ち回りでやれると良い。
- ・参加費（資料集代）をとっても良いのでは。文部省の予算を「技術研究会」として要求する。（技術の仕事を認識させるきっかけにもなる）
- ・旅費等は参加者負担もやむを得ないと思う。それぞれの機関で技官における研修の位置づけを高め、旅費等の確保を充実させることが必要である。
- ・テキスト、プロシーディングの発送を機関単位にしたり、実費を集めても良いのではないか。
- ・全分科会をまとめるのは大変。いくつかに分けて、開催できれば規模を分散できるのでやりやすいのでは。そのためには3研以外にも開催できるようになればよい。
- ・この研究会は技術者にとってとても有意義だと思います。これからももっと発展させていく必要があると思いますが、財源の確保については良く判りません。
- ・特定の機関のみ旅費を確保するという方法がよいと思う。
- ・特定の機関が負担する形にすれば良いのでは。

第5分科会参加者分

7

- ・だいたい良いが、分野にとらわれない基礎や応用等の広い範囲の研究会（これも一種の分科会ととらえても良い）として機能しても良いのでは。
- ・予稿集をもう少し充実したものにして欲しい。一人1ページぐらいで作成すべきである。
- ・分科会によって発表数がかなり異なっている。調整も行われていると思うが、分科会と発表内容が異なるものもあるので、分科会名をもっと曖昧なものにして、数の調整をしやすくした方がよい。
- ・分け方については、主催者の意志を打ち出した方がよいが、発表時間については30分と20分ぐらいに講演者に選択させる方がよりチャンスを多くすると思えます。
- ・工作技術は分けた方がよいのかなという気はするが、発表件数を見るとしかたないという気がする。
- ・分科会の内容がよくわからなかった。テーマと分科会があっていない。
- ・私の入っている第5分科会はいろいろあって幅広い分野でありすぎると思う。もっと分科会が多くて

も良いのではないのでしょうか。

- ・もう少し、分け数を少なくして、色々な内容が聞けるようになって欲しい。
- ・ポスターセッションもあった方がよい。
- ・初めて参加させていただいたので良く判らないが、良かったのではないかと思う。
- ・工作技術と装置技術の分類が曖昧。装置のハード、表面、コンポーネントを含めた分科会とプラズマ及びビームに関する分科会に分けたらどうでしょう。

8

- ・第4分科会はマイク設備がなかったので、発表内容が聞きずらかった。
- ・両方とも大変良いと思いました。
- ・施設見学の方も、希望をとって、分科会との時刻の調整ができれば良かった。
- ・特に問題は感じられずありがたいと思った。ご苦労様でした。
- ・セラトピア土岐の会場は、とても良かったが、各会場の音響装置が不備なようだ。後ろの方で聞くと、講演者の声が全く聞こえなかった。
- ・第1分科会だけ離れていたのは残念だった。できれば統一して欲しかった。
- ・座長のリード（発表者への助言など）が少しあった方がよいのではないか（質問者へも）。
- ・会場、受付、懇親会ともに良かった。
- ・宿泊施設の紹介が早く必要だと思う。案内がなかったように感じた。
- ・いろいろの大学、分野の人達と話し合うことが出来ました。

10

- ・これまでは各主催機関のご努力に頼っていたわけですが、技官の研修費を確保することが大切だと思います。今回、私たちの機関では大学の共通費から経費を負担していただき参加しました。
- ・それぞれの機関の技術部等が自立する方向でいけば、このこと自体が技術部の発展や、自立の良いチャンスだと思うので、それぞれの機関が努力すべきである。
- ・文部省として予算を確保すべき。「技術者協会」なるものを作って運営してはどうか。専門別に大学が持ち回りで企画できれば一番良いと思います。
- ・技術部でこの研究会への旅費が措置されているので、4～5名参加可能である。各大学でも同じように旅費支給が可能と思われるので講演者も含め出席者負担でよいと思う。大学事務局だけでなく、技術部宛にも案内を出してもらいたい。本学の場合締め切り後に案内を知った。懇親会の日程以前に参加者名簿を発行して欲しかった。あらかじめ知っているともっと交流が進むと思う。
- ・地域別（関東、関西）などで開催できれば旅費等の負担も減るとされる。さらに技術部が各大学で設置されてきており、旅費等もそこで負担できる体制のところもある。不公平感もあるが、所属機関で出せるところは、そこに出してもらい、不足分を補助するなどケースバイケースで対応できないだろうか。
- ・国立大学、研究機関を中心とした技術系職員の交流の場として位置づけ、個別の技術については全国の大きな機関が分科会をより深くするように持っていくのも現実的な解決策かもしれません。とにかく主催側は大変だと思いますので旅費、宿泊費etc.は計算も含め参加者側にまかせないと。
- ・研究会の大規模化で運営が大変なことは判っています。旅費の件も発表者には出して欲しいと思いますが、これも不可能ならば出なくても仕方がないと思います。全国規模にしたいとお話でしたが、貴研究所でも運営が大変なものを、他の大学で実行できるとはとても思えません。勝手な意見で申し訳ないですが、是非この研究会の運営を続けていただきたいと願っております。
- ・発表者の中で機関の出張旅費や科研費や委任経理金などを用意できる方は多数いると思いますので、発表者の中でどうしても用意できないという方には、できるだけ主催者負担が望ましい。私も今回は、科研費奨励Bに当たっていたため用意出来た次第。
- ・分科会の中に技術室の運営等についてのみの項目もあっていいのではないか。
- ・出席、発表を依頼するときにその機関に旅費の協力をお願いする。たとえば大学の場合は学長、学

科長等に主催研から願いの文章を出して願うする。

- ・技術研究会が今では学会のようになっているのではないのでしょうか。もう少しだけた内容のものの方が良いと思います。
- ・だんだんに内容が学会なみになってきており、最初の主旨が崩れつつあるように思える。
- ・原則として発表者は主催者側で、聴講者は所属機関で負担した方がよい。
- ・準備から最後まで大変お疲れさまでした、又参加できたらと思います。
- ・難しい点が残されたが、各機関に働きかけ予算を増すよう考えるのがよい。
- ・技術研究会という様に、互いの問題点を持ち寄って議論する場にすれば参加者負担で問題ないと思う。研究成果を発表していただく会なら発表者の不満は残るでしょう。

編集後記

「編集後記を担当してください」と言われ、編集にほとんど携わっていない者が書くハメになりました。本来は、期限までに届かなかった報告書の提出を求めて督促の電話をしたり、身内の未提出者にイヤミを言って出させるなどしてやっと原稿を揃えることができた人が、編集にあたっての苦労話や愚痴などを誰にも気兼ねなく書けるのがこのコーナーであると思います。と言っているにもかかわらず、覚悟して書くことにします。

まずは、平成5年度核融合科学研究所技術研究会に参加された全国の皆さん！ごころうさまでした。今年の研究会は如何でしたでしょうか？今回の研究会を主催した実行委員会の一人として、3点にわたって技術研究会を『総括』してみたいと思います。

(その1) 旅費の扱いについて

今回は種々の理由により、参加者への旅費を支給しない形で開催しました。実行委員会では、『参加者が大幅に減る』ことを覚悟しました。ところが、蓋を開けてみると例年並みの参加者が見込まれ、実行委員一同は大層驚きました。これは、技術研究会が18年の歴史を持つなかで、全国の大学や研究機関に根づいてきたことを示していると言えます。また同時に、このことは技術研究会の開催にあたって極めて重要な事実を示すものとなりました。それは、これまで分子研・高エネ研と当研究所の3研が回り持ちで主催してきましたが、これ以外に主催者の枠を大幅に拡大できることを示しました。

(その2) 研究会の開催方法について

今回、分科会の開催と並行して「研究所間討論会」を開催しました。これは、以前から指摘されてきた研究会の開催方法について意見交換をすることがテーマでした。討論会は、分子研・高エネ研以外の機関にも呼びかけました。また、懇親会の後半にも「技術研究会の在りかた」をテーマに参加者の方からの発言の場を設けました。これらを通じて、「自分の大学で是非とも開催したい」とか「特定の分野の分科会なら開催できそうだ」との前向きな発言を聞くことができました。これらは、今後の開催にあたっての大きな参考になりました。皆さん 有り難うございました。

(その3) 研究会の発展について

核融合科学研究所では、5月に開催された「研究所長会議」で技術職員の技術的交流を図ることの重要性を訴えるとともに、研究会をもっと多くの機関が開催するように呼びかけ、また開催経費について文部省の支援を受けられるよう働きかけて頂くことなどを内容とした要望を提出しました。結果は好評とのことでした。伝え聞いたところでは「うちの研究所でも開催してもよい」とか「正式に申し入れがあれば、前向きに検討したい」などの意見が寄せられたとのことでした。

研究所のみならず、大学における技術職員の様子も以前に比べると大きく様変わりしているようです。参加者リストをみると、〇〇大学技術部所属とあったり、△△技術専門職員とあったりしています。技術職員の位置づけが高まりつつあります。更なる発展を期待します。

NIFS-MEMOシリーズ出版リスト
(Recent Issues of NIFS-MEMO Series)

- NIFS-MEMO-1 都築哲哉、東井和夫、松浦清剛、「パソコンによる JIPP T-IIU プラズマの平衡位置フィードバック制御」1991年4月
T.Tsuzuki, K.Toi and K.Matsuura, "Feedback Control of Plasma Equilibrium with Control System Aided by Personal Computer on the JIPP T-II Tokamak" ; Apr.1991 (In Japanese)
- NIFS-MEMO-2 久保田雄輔、大林治夫、宮原 昭、大野和子、中村光一、堀井憲爾、「環境磁界の研究 (I) 三次元積分磁束計の開発」1991年7月
Y.Kubota, H.Obayashi, A.Miyahara, K.Ohno, K.Nakamura and K.Horii, "Development of Three-Dimensional Compact Magnetic Dosimeter for Environmental Magnetic Field Monitoring" , July,1991 (In Japanese)
- NIFS-MEMO-3 「核融合科学研究所技術研究会; 1991年3月19、20日 土岐文化プラザ」1991年8月
"Proceedings of Symposium on Technology in Laboratories; Mar. 19, 20, 1991" Aug. 1991 (In Japanese)
- NIFS-MEMO-4 「プラズマ中におけるカオス現象」1991年8月
"Chaotic Phenomena in Plasmas" , Aug. 1991 (In Japanese)
- NIFS-MEMO-5 山崎耕造、「ファジー論理のトロイダルプラズマ制御への応用」1992年2月 "Fuzzy Logic Application to Troidal Plasma Control" , Feb. 1992 (In Japanese)
- NIFS-MEMO-6 平成3年度 核融合科学研究所 支援調査共同研究報告書 「大出力マイクロ波源の開発に関する調査研究」1992年4月
"Development of High Power Microwave Source" , Apr. 1992 (In Japanese)
- NIFS-MEMO-7 平成3年度 核融合科学研究所 共同研究(調査支援研究)研究成果報告書
「プラズマにおけるカオス現象」1992年11月
"Chaotic Phenomena in Plasma, II" , Nov. 1992 (In Japanese)
- NIFS-MEMO-8 NIFSシンポジウム報告書「核融合炉材料照射用強力中性子源の設計と大学の役割」1993年1月
"Design of Intense Neutron Source for Fusion Material Study and the Role of Universities" , Jan. 1993 (In Japanese)
- NIFS-MEMO-9 平成2、3、4年度 核融合科学研究所共同研究研究会研究成果報告書
「開放磁場における電位と輸送機構」1993年4月
(Ed.) K. Yatsu and T. Hatori "Potential Formation and Transport in Open Field Line Systems" , Apr. 1993 (In Japanese)
- NIFS-MEMO-10 伊藤公孝、「人口太陽は燃えるか -核融合研究最前線-原子力オープン・スクール講演」1993年5月
K. Itoh, Reports of NIFS Collaboration Workshop from 1990 to 1992 at National

Institute for Fusion Science.

"At the Front of Fusion Research -Introductory Lecture Open to Public-" ,
May 1993 (In Japanese)

NIFS-MEMO-11 (Ed.) T. Kato

"Atomic Physics and Radiation in Divertor and/or Disruption Plasmas" ,
Aug. 1993 (In English)

NIFS-MEMO-12 平成4年度 核融合科学研究所 共同研究(調査支援研究) 研究成果報告書
「プラズマのカオス現象(まとめ)」1993年10月

"Chaotic Phenomena in Plasma, III" , Oct. 1993
(In Japanese)

NIFS-MEMO-13 久保田雄輔、野田信明、相良明男、井上徳之、赤石憲也、本島修、

「プラズマ対向材料の開発・研究用高熱負荷試験装置ACT」1994年3月

"Electron Beam Irradiation Test Facility for Research and Development of Plasma
Facing Components" , Mar. 1994
(In Japanese)