

NATIONAL INSTITUTE FOR FUSION SCIENCE

核融合科学研究所技術研究会

日時：平成2年3月19, 20日

場所：土岐市文化プラザ

核融合科学研究所技術部

(1991年6月20日受理)

NIFS-MEMO-3

1991年8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.

核融合科学研究所技術研究会

日時：平成2年3月19・20日

場所：土岐市文化プラザ

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 19 and 20, 1991 at Toki-Bunka Plaza in Toki City, Gifu Prefecture, Japan. This symposium was hosted by National Institute for Fusion Science (NIFS).

There were about 280 participants from many Japanese universities and laboratories, and from some Japanese industrial world. Eighty 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研究会
実行委員長 藤 若 節 也

平成元年 5月、名古屋大学プラズマ研究所が発展改組され 文部省 核融合科学研究所として新設されたのに伴い旧技術室も技術部としての新たなスタートをし 2年が経過しました。

この間、技術部は新研究所の中核である L H D (Large Helical Deviceの略)建設支援を主目標と位置づけ、現在は設計のフェーズであります。プラズマ研当時の中・小型実験装置とは異なり世界最大規模のしかも超伝導コイルによる実験装置であります。

このような、より先端的な技術を要求される研究において技術職員は夫々の専門技術と蓄積された経験を駆使して、研究を技術面からサポートしています。しかしこうした要求に答えて行く技術者は、常に先進の技術を身につけて行く機会が必要です。いくつかあるそれらの機会の一つとして旧プラズマ研当時から開いておりました 3研 (分子科学研究所、高エネルギー物理学研究所、プラズマ研究所) 合同の技術研究会を、飯吉新所長並びに管理部の強力なご理解を得てプラズマ研究所を核融合科学研究所に置き換え継続して開催する事ができました。

この技術研究会はご案内にも記しましたように、大学・研究機関の技術者はもちろん、産業界の技術者も交えて夫々の研究成果の発表、苦労話、失敗談、悩み等を討論し、新たな刺激、明日への活力を得る事を目的としています。

今回は研究所の新キャンパスを見ていただくためにも土岐市文化プラザを会場といたしました。宿泊その他不便をお掛けした部分もありましたが、300名近い参加者を数え、産業界からも 13名の参加を得、5つの分科会共立ち席もない程の盛況でした。これは参加した技術者の前向きの姿勢を現す以外の何物でもありません。今後もこの技術研究会がより一層の発展を見る事を期待いたします。

最後になりましたが核融合科学研究所を支援して頂いている「核融合科学研究会」から運営費の一部を援助して頂き、塚本保夫土岐市長ならびに「東濃先端科学技術交流推進協議会」会長も兼ねられる鈴木喜義「土岐商工会議所」会頭より祝辞を頂きましたことに紙面をお借りして感謝の意を表します。

また、旅費の面倒を見て頂いた管理部研究協力課、宿泊の面倒を見て頂いた土岐商工会議所、不慣れな場所での会場設定に全面的支援を頂いた土岐市役所、の皆様本当にありがとうございました。そして実行委員会と協力してくれた技術部の皆さんご苦労さまでした。

目 次

工作技術分科会

1. 高温用パルス分子線源の製作.....	1
分子研 岡田則夫	
2. パソコンを用いた蒸着膜制御システムの試作II.....	5
~PC8801からPC9801へのシステムアップ~	
信州大工 小林史利、桜井光夫、芹沢秀夫	
3. 高圧ガス噴霧法によるTi-Cu系アモルファス合金粉末の作製.....	9
東北大金研 笹森賢一郎、小西満月男、木村久道、 井上明久、増本 健	
4. 表面うねり成分を制御した試料面の製作.....	13
長岡技大 星野英夫	
5. センサフィードバックによるならい制御装置の製作.....	17
信州大工 山崎隆夫、佐藤元太郎	
6. 大型希釈冷凍機用試料回転機構の試作.....	21
東北大科計研 布田幸雄、岩渕健二、庄子征一、高橋勝男、 佐々木正治、斎藤俊郎、伊藤栄一、相沢勝雄、 相沢武雄、嶺岸宏治	
7. 高温超伝導体の作成と学生実験用装置の製作.....	25
静岡大教養 増田健二、長島弘幸	
8. 複合微細加工機の開発.....	29
東大生産研 岡本伸英、藤野正俊	
9. 三次元CADシステムによる希釈冷凍機的设计.....	33
名大理 河合利秀、佐藤利和	
10. 学生実験のテーマ更新におけるエレクトロニクス装置の製作II-磁化測定-.....	37
名大理 水野晴夫	
11. 資材係中央部品室の電算化.....	41
核融合研 水澤清二、鈴木早由美、藤若節也	

12. 回転型磁気プローブの試作2号機	45
核融合研	藤若節也
13. ファインセラミックスの切削加工	47
核融合研	山本富雄、杉戸正治、榊原二三、藤若節也
14. 超高真空用「多段同軸回転導入機構」の開発	51
名大工	熊沢克芳、平野誠一、行平憲一、涌井義一、 鷺見高雄、小塚基樹
15. 惑星探査機搭載用ガス・シンチレーション比例計数管の開発（プロトモデル）	55
名大理	鳥居龍晴、増田忠志、小泉和司、石川秀蔵、 高松軍三、三輪治代美

低温技術分科会

1. NMR用 ³ Heクライオスタットの製作.....	61
名大理 西澤和宏	
2. 低温・磁場中比熱測定 of 温度計及び周辺技術.....	65
名大理 井上晶次、西岡 孝、紺谷雅昭	
3. 超電導トロイダル電磁石用He冷凍装置.....	69
日本酸素(株) 金田知士、伊藤厚之	
4. 高エネルギー加速器用高磁場超伝導電磁石の開発.....	73
高エネルギー研 山岡 広、山本 明、槇田康博	
総合研究大学院大学 川畑秋馬	
5. 4.2K ~ 1.8Kにおける白金コバルト温度計の温度特性.....	77
高エネルギー研 田中賢一、木村誠宏、槇田康博、箕輪宣弘	
6. 液体窒素の学内供給システム.....	79
東大低温センター 佐藤幸一、内山隆司	
7. 極低温下での繰返し応力に伴う温度変化.....	83
東北大工 前川一郎、玉川規一、柴田博司	
8. ヘリウムプラグ(ヘリプラ)の開発.....	87
分子研 早坂啓一、加藤清則、高山敬史、堀米利夫	
9. ヘリウム液化機モニターシステム.....	91
分子研 加藤清則、吉田久史、高山敬史、早坂啓一	
10. 臨界電流密度測定装置の製作.....	95
筑波大低温センター 池田 博、吉崎亮造	
11. 高速・多発ベレット入射装置の開発.....	99
原研 長谷川浩一、河西 敏、三浦幸俊、鈴木貞明、	
装置・技術管理室	
三菱重工業(株) 小田泰嗣、小野塚正紀、下村知義、他	
12. 高速ベレット入射装置の開発.....	103
京大ヘリオトロン 馬場智澄、須藤 滋、白井俊男、	
神戸製鋼所 菅野正大、坂 繁樹	

13. カメリング・オンネス研究所の液化システムについての報告	107
東大教養	小田嶋 豊
14. 大阪市大におけるHeガス精製系のトラブルとその対策	111
大阪市大	田中峰雄
15. 超伝導導体の材料技術（その1）	115
日立電線（株）	酒井修二、森合英純
16. 核融合科学研究所超伝導コイル試験装置	119
核融合研	山田修一、山本純也、三戸利行、高畑一也、 柳長門、大竹 勲、西村 新

計測・制御技術分科会

1. 静電型ビーム偏向装置の開発	123
阪大理	水田高志、岩田 博、坂本道夫、野尻洋一
2. 低エネルギー (<1keV) 中性粒子分析装置の開発	128
原研那珂核融合	岡野文範、三浦幸俊、装置・技術管理室、 プラズマ実験研究室
3. DBS-LSV光学系の試作	132
埼玉大工	細井健司
4. カロリメータの温度測定と制御の高精度化	136
阪大工作センター	岩本捷治、西脇 醇、白江公輔
阪大理	松尾隆祐、崎山 稔、徂徠道夫、菅 宏
5. 学生実験用小型熱蛍光測定装置の製作	140
阪大理	市原敏雄、交久瀬五雄、池谷元伺
6. ポッケルセル・ドライバーの製作	144
分子研	吉田久史
7. 激光XII号ガラスレーザー装置の高調波光モニターの性能向上	148
阪大レーザー研	鈴木和浩、漆原新治、金辺 忠、実野孝久、 中塚正大、中井貞雄
8. 激光XII号ガラスレーザー装置のレーザー波形制御	152
阪大レーザー研	森尾 登、金辺 忠、実野孝久、中塚正大、中井貞雄
9. AIによるCAMACシステムの故障診断の試み	156
核融合研	谷口能之、小嶋 護、秀熊 茂
10. AN APPLICATION TO A HIGH ENERGY PHYSICS EXPERIMENTS OF THE OPTICAL-TRANSMISSION READOUT SYSTEM	160
National Laboratory for High Energy physics, KEK	Norihiko Ujiie
11. 通信交換回路モジュールの設計	164
高エネルギー研	片桐広明、中原和夫
12. ビームライン電磁石電源のインテリジェント化	168
高エネルギー研	鈴木善尋、高崎 稔、皆川道文
13. 放射光ビームライン・インターロック集中管理システム	172
高エネルギー研	小菅 隆、斉藤裕樹、伊藤健二

14. イメージスキャナによるオシロ写真波形の自動処理化	176
核融合研 有本英樹	
15. アバランシェ・トランジスタのブレーク・ダウン特性	180
京大原子炉 高見 清	
16. アモルファスコアモニターの特性	184
高エネルギー研 内藤 孝	
17. LOW-LEVEL RADIOACTIVE ISOTOPES CONTAINED IN MATERIALS USED FOR BETA-RAY AND GAMMA-RAY DETECTORS	188
阪大理 松岡健次、江尻宏泰	
高エネルギー研 上窪田紀彦	

計 算 機 ・ デ ー タ 処 理 技 術 分 科 会

1. 名大大型計算機センターのUNIXシステム 193
名大 瀬川午直
2. 汎用大型計算機システムへの“UNIX”OSの導入と試験運用 196
核融合研 加藤丈雄
3. ジョブエントリ・サブシステムの切換えに伴うセンタールーチンの改訂 200
核融合研 津川和子、伊藤恵美、加藤丈雄
4. 光ディスクの活用及び情報管理について 204
東京大 石塚泰史
5. 電子銃運転支援／診断型知識ベースシステムの設計（知識獲得表現 [1]） 208
高エネルギー研 阿部 勇、中原和夫
東北大 北村正晴
6. 電子銃制御系と運転支援・診断型エキスパートシステムの
 オンライン化（システム構成） 212
高エネルギー研 横田光弘、大沢 哲、阿部 勇
7. 加速器制御へのニューラル・ネットワークの応用について 216
東北大 武藤正勝、大沼忠弘、柴崎義信
高エネルギー研 阿部 勇
8. 会話型データ解析ソフトウェアPV-WAVEの
 核融合実験データ処理への応用について 220
核融合研 小嶋 護、秀熊 茂
9. プロファイルモニタの画像処理 224
高エネルギー研 荒木 栄
10. 強制対流膜沸騰実験装置オンライン情報処理システム 228
 (試験発熱体温度、発熱率、実験データのオンライン処理と画像化)
京大 濱 勝彦
11. CAD・FEMのコースウェアの開発 232
電通大 小野寺和宏
12. SAPシステムにおけるビジュアルライゼーションシステム 236
阪大レーザー研 福田優子、澤井和美、藤井丈暢、石野扶未、西原功修

13. HINES 掲示板：HINES BOOK の紹介	240
-P202 HINES 掲示板プロジェクト-	
北大	辻 満、計良広幸、田副優美子、吉井英一
14. 研究棟の端末配線システムの構築	244
高エネルギー研	渋谷義和
15. 加速器用操作・表示系ネットワークの開発と運転	248
高エネルギー研	阿部 勇、白川明広、中原和夫
16. 東北大学総合情報ネットワークシステム(TAINS)を利用した 中性子散乱データ集積システムについて	252
東北大	大沼忠弘
17. 基礎生物学研究所におけるネットワーク構築	256
岡崎基生研	大川敏生、三輪朋樹

装置技術分科会

1. 走査型電子顕微鏡に取付けたEDX-WDXによる
コンバインアナリシスシステムの開発 259
東大理技術部 立川 統
2. Study on Water Cooling of an Annular-Coupled Cavity
for the JHP 1GeV Proton Linac 263
高エネルギー研 吉野一男、影山達也、両角祐一、山崎良成
3. 2次元ビーム分布測定装置 267
原研那珂 小又将夫、薄井勝富、海老沢昇、藻垣和彦
4. 高熱負荷試験装置 (JEBIS) 271
原研那珂 大楽正幸、秋葉真人、荒木政則、井上多加志、
水野 誠、小原祥裕、奥村義和、関 昌弘、田中 茂、
渡辺和弘、横山堅二
5. JT-60 ICRF 整合回路の装置技術及び運転保守 275
原研那珂 寺門正之、安納勝人、篠崎信一、藤井常幸、
森山伸一、木暮重幸、小川芳郎、三枝幹雄
6. 低域混成波 (LHRF) 加熱装置セラミックウインドウの放電破壊 279
原研那珂 高橋春次、沢島正之、日下 誠、佐藤 稔、
関 正美、池田佳隆、菅沼和明
7. JT-60 2次冷却設備の冷却水管理 283
原研那珂 井坂正義、関口修一
8. 4GJ フライホイール付電動発電機のオーバーホール 287
原研那珂 池田幸治、市毛尚志、竹下 明、大森憲一郎
9. JT-60U プラント監視用系統図表示とその編集機能の開発 291
原研那珂 戸塚俊之、赤坂博美
10. 核融合トリチウム燃料サイクル研究施設 (原研トリチウムプロセス研究棟) その I
設計及び建設 295
原研 松田祐二、本間 隆、田中吉左右、成瀬雄二
11. 核融合トリチウム燃料サイクル研究施設 (原研トリチウムプロセス研究棟) その II
運転及び安全管理 299
原研 本間 隆、松田祐二、成瀬雄二、TPL 運転管理グループ

12. 放射光X線用ビームラインBL-3Aの光学系について.....	302
高エネルギー研 森 丈晴、佐々木聡、三国 晃	
13. 高速遮断バルブの負荷動作試験.....	306
高エネルギー研 菊池貴司、三国 晃	
14. ギャップスイッチ始動監視装置の開発とその効果.....	310
電総研 竹田昭平、佐藤康宏	
15. 大型ヘリカル装置本体設計におけるCAD/CAE.....	314
核融合研 米津宏昭、LHD設計室、装置技術課	
<研究会参加者数>.....	319
<アンケートのまとめ>.....	320

工作技術分科会

高温用パルス分子線源の製作

分子研 装置開発室 岡田則夫

1. はじめに

最近、気相光化学の研究において、分子線とレーザーを組合せた実験は非常に重要な手法となってきた。 (分子線とは、一定方向に等速に進む分子の流れをいい、この条件が満たされるのは分子が通常真空中を進む場合である。) 特に、超音速分子線を用いることにより、極低温で無衝突の分子流が実現でき、分光及び光化学反応の研究に非常に有効である。また、分子線中には弱い分子間相互作用で結合した分子クラスターも同時に生成され、分子科学の新しい研究対象として活発に研究されている。

分子線源 (分子線ノズル) は二通りに大別される。一つは時間的にまた空間的に定常な連続噴射分子線源、もうひとつは、不連続なパルス噴射分子線源である。

連続噴射を用いる実験では、通常大排気量の真空装置が必要であるが、限られた真空ポンプの排気量で実験を行う場合は、パルス分子線源を使用して排気系の負担を大幅に軽減させる方法が取られている。自動車の燃料噴射装置 (フューエルインジェクタ) をパルス分子線源として用いるのは、1978年頃シカゴ大の三上 (現 東北大 理 助教授) と S. A. Rice がメルセデスベンツのものを使用した¹⁾ のが始まりで、現在でも世界中の研究者に広く愛用されている。

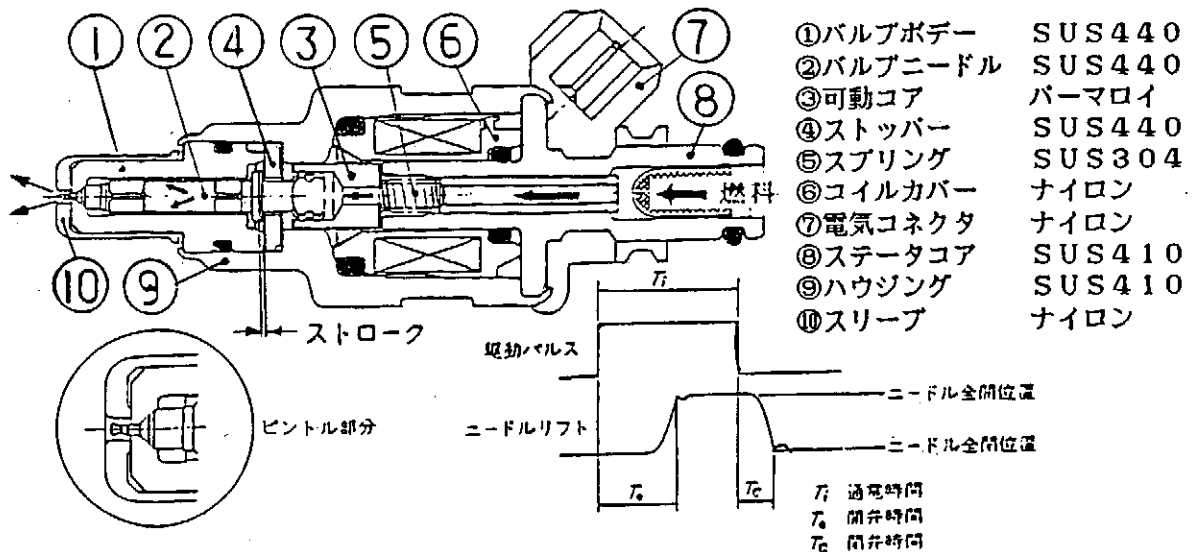
最近、電流ループ機構やピエゾ電気素子等を用いて繰り返し周波数の向上や、パルス幅の短小化を実現したパルス分子線源が市販されている。しかし、フューエルインジェクタを含め、これらの製品は常温に近い試料での実験にのみ使用しうるものである。

そこで今回、金属酸化物や高分子量化合物等の固体 (液体) で高温加熱を必要とする試料を用いる実験を可能にすべく、入手が容易で安価なフューエルインジェクタを改良することにより先端部を約500℃まで加熱できるパルス分子線源を製作したので報告する。

2. フューエルインジェクタの構造・動作

Fig. 1 に今回使用したフューエルインジェクタ (トヨタ マークII用) (以後インジェクタと呼ぶ) の略図を示す。

Fig. 1



マークIIの場合ピントル式インジェクタ(A1)と、2吸気ポートエンジン用の2ホール式インジェクタ(B11a)の二種類あり、今回使用したのはA1のタイプである。仕様としては、耐熱温度120℃ 寿命 5×10^8 回の動作 最小応答時間2ms バルブニードルとバルブボデーのクリアランス5 μ m程度 ストローク50 μ m程度である²⁾。

次に動作を説明する。

ソレノイドコイルに通電時間 T_i の駆動パルスが加えられたとき、可動コアが吸引され、可動コアと一体となっているバルブニードルは(1) T_o なる時間で最大リフトの状態になる。(2) 最大リフト到達直後は、バルブニードルのフランジ部がストッパに衝突し、しばらくしてバルブニードルは最大リフト状態で安定静止し、弁は全開となり燃料は矢印の通路を通り噴射される。次に(3) 駆動パルスが切られるとバルブニードルは T_c なる時間でスプリングの反発力にて弁を閉じる。(4) 弁を閉じた直後はバルブニードルのシート部がバルブボデーに衝突し、しばらくしてバルブニードルは閉弁状態で静止する。インジェクタは以上(1)～(4)の動作を繰り返す³⁾。

インジェクタをパルス分子線源として用いる場合、燃料(ガソリン)を試料(ガス)に置き換えればよいのであるが、以下の工作が必要となる。

(I) バルブニードルの先端のピントルは、ガソリンの噴霧形状を広くドーナツ化させる役目をしている⁴⁾。しかし、分子線源としてはなるべく軸方向に均一な密度をもった分子線を得たいので切り取って(折って)使用する。

(II) ステータ コア(燃料コネクタ)部分は $1/4$ インチパイプ径まで旋盤で細く削りスウェッジロックを使用すれば脱着が容易になる。(薄肉となるので内側のメッシュを取り去りカラーを挿入しておくとしっかりロックができる。)

(III) スリーブは燃焼後ミスト等からピントルを保護する目的で装着されているのでこれも取り除く。以上である。

上記のインジェクタの短所は作動(4)におけるバルブニードルの挙動、すなわち、メタルどうしの衝突によるバウンドが試料の切れの悪さとなり実験データの質を落としてしまうこと、及びパルスの幅や繰り返しが貧弱なことである。前者のバウンドを軽減するため、同じソレノイドタイプでもバルブニードルをテフロン製にしたジェネラルバルブが、後者の改善には、ダブルソレノイドタイプのエド・グラントノズル、ピエゾ素子を用いたピエゾパルスノズル、電流ループ機構を用いたジェントリー・ギースバルブ等が市販されている。しかし、これらのノズルは駆動電源も含めると非常に高価であるため使用している研究者は少ない⁵⁾。

3. 高温用パルス分子線源の製作及び性能

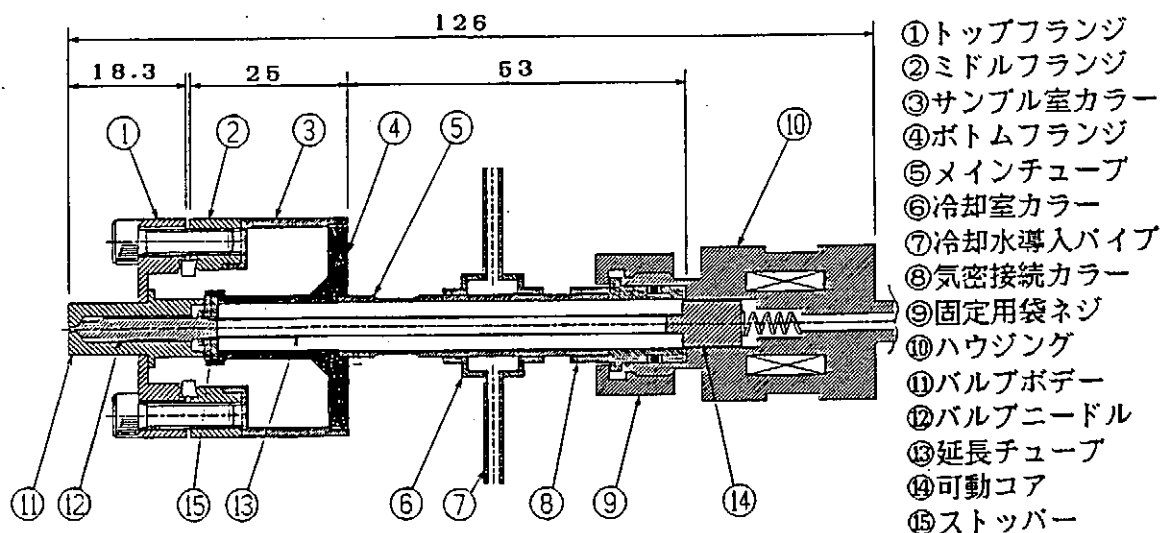
前記の市販のパルス分子線源は噴出部のシール(弁の開閉)にバイトンやテフロンを使用しているため加熱限界は約200℃までである。しかし、ここで述べるインジェクタの噴射部(先端作動部)はメタル(どうし)でシールしているので500℃位の加熱下でも安定作動を得られる。

そこで先端作動部だけを加熱し、ハウジング部(耐熱温度120℃)は水冷して昇温をおさえる構造にすれば良いと考えた。Fig. 2に今回製作した高温パルス分子線源を示す。

バルブボデー、バルブニードル、ステータコア、スプリング、ハウジングはインジェクタの部品を流用している。試料(固体及び液体)のつめ替えはトップフランジ(ICF-34)をはずして行い、昇温はフランジとサンプル室外壁にシーズヒーターを巻いて行う。

バルブボデーは、Oリング溝部分を旋盤にて切削(内容量を増すため)した後トップフランジと電子ビーム溶接してある。(他の部分はアルゴンアーク溶接を用いた。)

Fig. 2



トップフランジ上面には6-M2タップPCD21深サ4mmがボルト穴と割り振りに設けてあり、ユニカルノズル等が取り付けられる。バルブボデーの下部（ストッパーと接触する部分）は、一部放電加工によりスリットを入れ試料の流入口とした。インジェクタの場合、ストッパーは馬蹄形をした2mm厚のものだが、そのままでは開口部が大きく、昇温時に試料（蒸気）が水冷ジャケット方向（温度の低い方）へ逆流してしまう。そこで1mm厚のものを2枚製作し、互い違いに配置して使用することにより逆流を少なくさせた。メインチューブはSUS³/₈インチB-A管を用い一部肉厚を薄くして熱の伝導を抑えさせた。バルブニードルと可動コア（一体構造）は、首の部分で切断し、SUS管外径3mm 0.2mm厚を用いて延長した。（接合には、スポット溶接機を使用した。）水冷ジャケットはSUS丸棒から一体構造で製作し、冷却水導入パイプにはSUS¹/₈インチB-A管を用いた。ハウジングはM16ピッチ1mmのネジを設けることにより袋ナットでメインチューブと接続している。（S-10バイトンOーリングを使用している。）

袋ナット及びトップフランジをはずすことにより簡単に各パーツの分解・清掃を行える。駆動電源はインジェクタを使用する場合と同じものでよい。

次に、ここで製作したパルス分子線源の動作試験の結果について述べる。

パルス動作の検討は、アルゴン気体を試料として用い、パルスレーザーを用いた光イオン化により行った。Fig. 3は、試料室温度500℃、パルス繰り返し10Hzの条件で、パルス分子線源とレーザーとの遅延時間を順次変えて、イオン強度を測定したものである。この結果より、パルス幅は約2msで安定して動作することがわかった。なお、高温時（約500℃）における水冷ジャケット部の温度は約300cc毎分の水量で約5℃の上昇にとどまり、ハウジング（駆動コイル）の保護には充分であった。

Fig. 4は最近分子研富宅グループで行われた高温用パルス分子線源とジェネラルバルブを組合わせた実験の略図であり、Fig. 5にその結果を示す。

セシウムは高温加熱を必要とする試料で、パルス分子線源を用いる実験に使用するのは初めての試みである。Fig. 5に示すように、この実験でセシウム原子に40個以上のアンモニア分子をつけたクラスターが初めて観測された。

Fig. 3

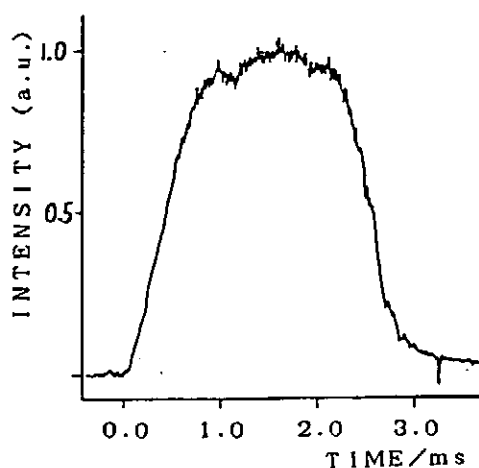


Fig. 5

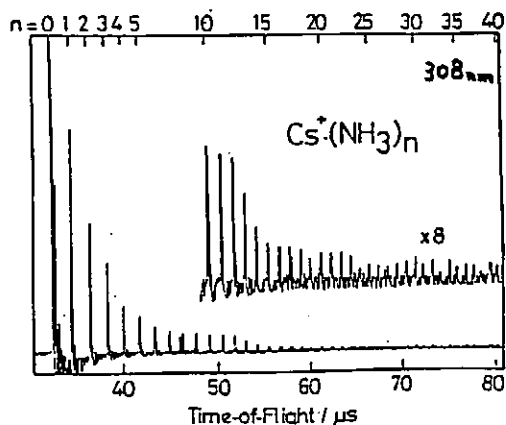
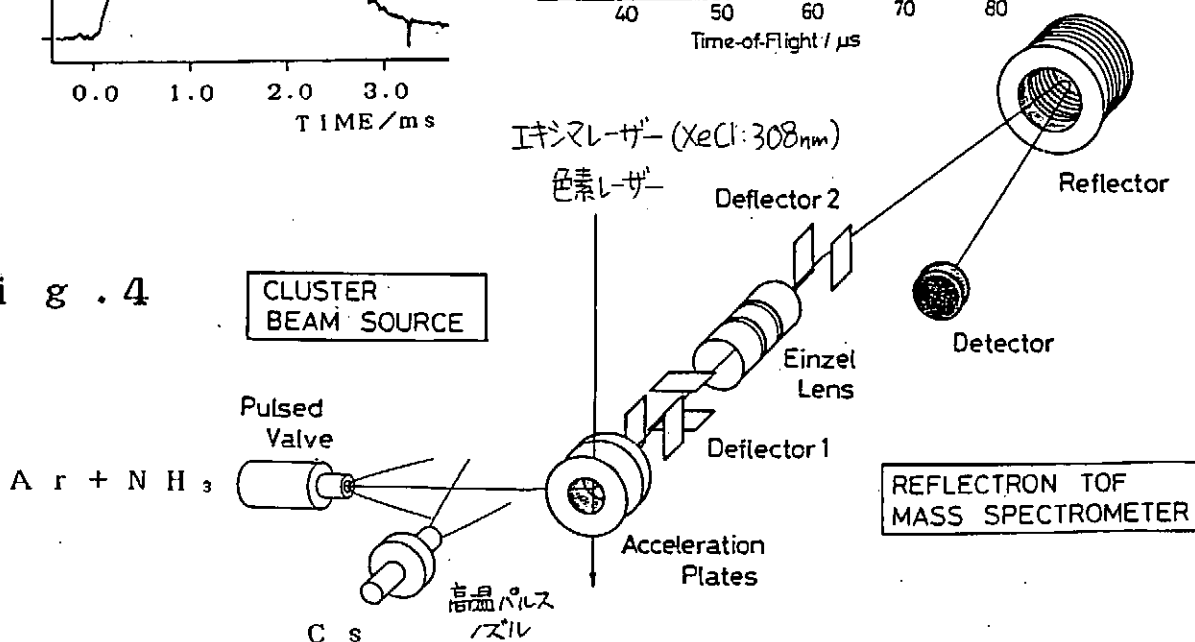


Fig. 4



4. まとめ

今回製作した分子線源は、パルス分子線を用いる実験領域を大幅に拡大するものである。今後の研究の大きな進展を期待したい。

製作にあたり御支援を頂いた分子研機器センター 富宅喜代一助教授、ならびに日本電装株式会社 ガソリン噴射技術部 開発課 武田英人氏に深く感謝します。

参考文献

- 1) 三上直彦 (私信).
- 2) 武田英人 (私信).
- 3) 藤沢英也, 小林久徳 : 電子制御ガソリン噴射 (株式会社 山海堂).
- 4) 小川王幸, 東篠重樹 : 自動車技術 燃料噴射ノズルの現状と将来 Vol 41, No 10 (1987).
- 5) 正島宏祐, 篠原久典 : 分光研究 光化学と分光計測 第3講 分子線技術 39, 187 (1990).

パソコンを用いた蒸着膜制御システムの試作 II

～PC8801からPC9801へのシステムアップ～

信州大学工学部 小林史利 桜井光夫 芹沢秀夫

1. はじめに

我々の研究室では、大気汚染物質の測定に用いるレーザ・レーダの開発に取り組んできた。この開発において、受信望遠鏡の製作を担当し、反射鏡表面にはA λ 蒸着を行い、反射率を高めた。¹⁾

以後、A λ 蒸着膜の製作条件が膜の反射率および耐久性に及ぼす影響について検討を行ってきた。その結果、蒸着速度が付着力に大きな影響を及ぼしていることが判った。²⁾ そのため、前回はPC8801を用いた蒸着膜制御システムを試作したが³⁾、今回は制御方法の変更と共に、処理速度の速いPC9801UV11を用いてシステムアップを試みたので報告する。

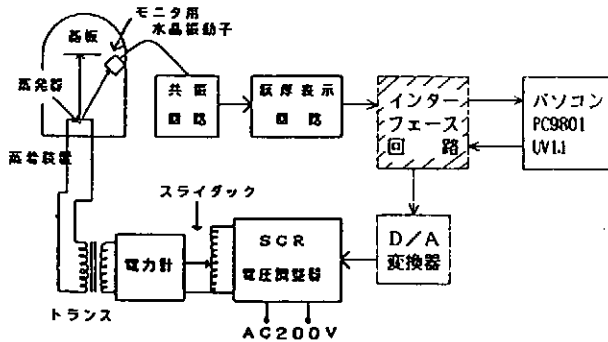


図1 システムの概要

2. 蒸着膜制御システム

2.1 システムの概要

システムの概要を図1に示す。このシステムは水晶振動子およびその共振回路、膜厚表示回路、およびパソコンからなる膜厚測定部とパソコン、SCR電圧調整器およびトランスからなる電力制御部から構成される。

初期のPID制御においては、パソコンとしてPC8801を用い、次にPC9801を図中の斜線で示すインターフェイス回路を製作し、接続してシステムを構成した。

蒸着は、真空度 5×10^{-5} Torrのもとで、蒸発源にAl(99.99%)を用い、バスケット型フィラメントの抵抗加熱により行った。また、蒸発源と基板およびセンサーとの距離は約15cmとした。

2.2 デジタルPID制御⁴⁾

ここでは、従来のバイアスを掛けたON/OFF制御に替えて、デジタルPID制御を行った。

PID調節計を使ったフィードバック制御系は、図2のように示される。同図において点線で示されるパソコンでの処理は、プログラムにより設定された設定値と測定された制御変数を比較して偏差を求め、PID演算を行っている。そして、その演算により求められた操作変数をD/A変換器を介して出力し、制御対象を制御している。

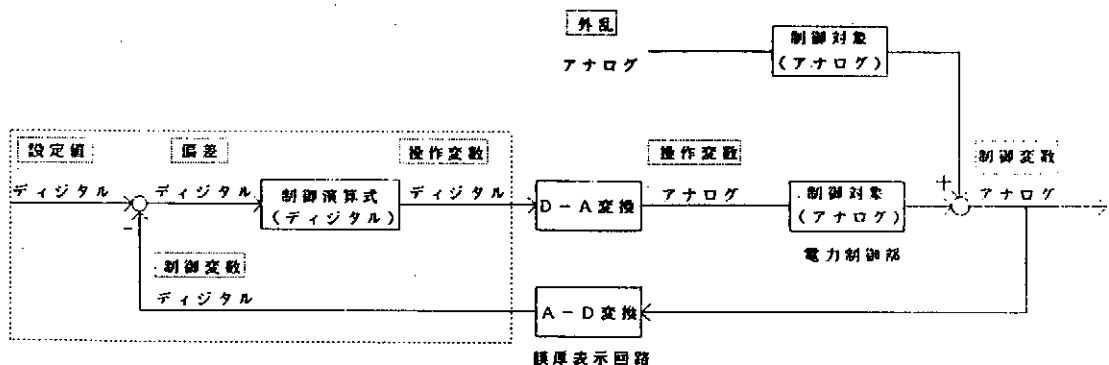


図2 フィードバック制御のブロック図

ここでは、PID動作に関する詳しい説明は省くが、P：比例、I：積分、D：微分、各動作の操作変数をデジタル制御の表現で表すと、k回目のサンプリング時点での操作変数Mkは、

$$M_k = K_p [e(k) + \frac{T_s}{T_i} \sum e(k) + \frac{T_d}{T_s} \{e(k) - e(k-1)\}] + M\phi \quad (1)$$

と表される。ここで、e：偏差、Kp：比例ゲイン、Ti：積分時間、Td：微分時間、Ts：サンプリング周期をそれぞれ表している。

また、(1)式をまとめると次のように表される。

$$M_k = [KPS \cdot e(k) + KIS \cdot \sum e(k) + KDS \cdot \{e(k) - e(k-1)\}] + M\phi \quad (2)$$

この報告では、各係数項 KPS、KIS、KDSを次に述べるステップ応答法により求め、(2)式を用いPID制御を行った。

2.3 ステップ応答法によるPID係数の決定法⁴⁾

ステップ応答法とは、図3のように、設定値に達するまでにプリ設定値を決め、この値に対して1周期だけON/OFF制御を行って、そのときの周期を用いてPID係数を計算する方法である。

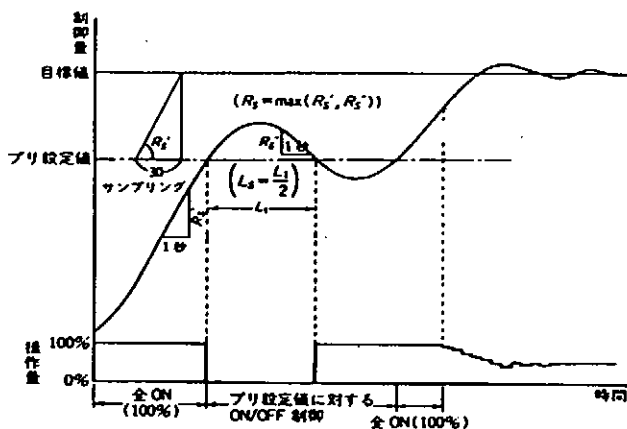


図3 ステップ応答法の実際

PID係数は、図中の測定値を用いて次のように計算される。

$$K_p = \frac{1.2}{R_s L_s}, \quad T_i = 2L_s, \quad T_d = 0.5L_s$$

ここで、最大傾きRsは、Rs'とRs''の絶対値の大きいものを使い、むだ時間Lsは、ON/OFF制御の半周期L1の1/2を用いる。ここでは、1秒間に3回の割合で計測を行っていることから、Ts=0.33(sec)とすることにより、(2)式の係数項が求まる。

2.4 プログラムのフローチャート

本システムのフローチャートを図4に示す。このフローチャートは2系列のプログラムを同時に表現したものである。実際には同図A点でPID係数を求めるプログラムとPID制御を行うプログラムに分かれる。

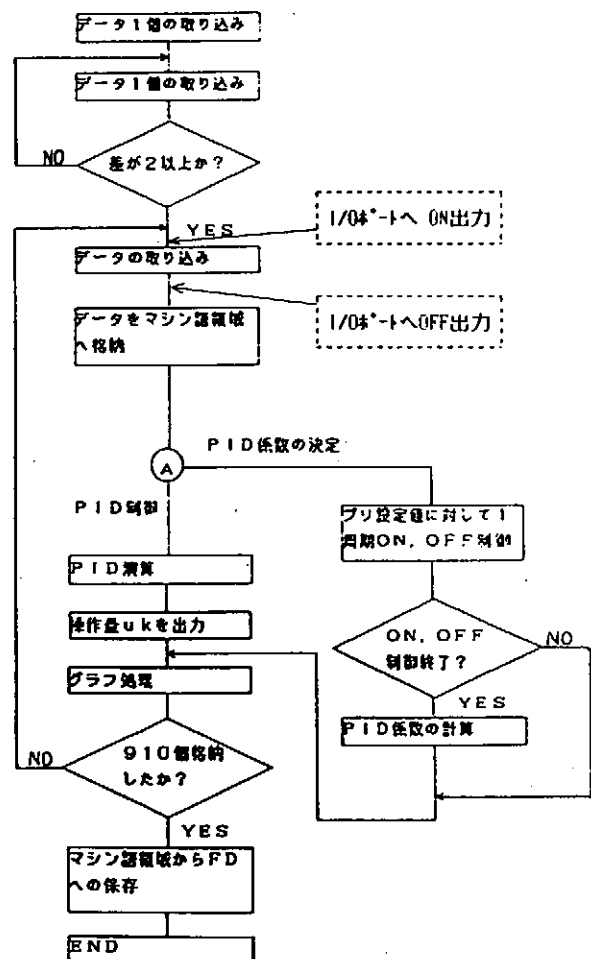


図4 プログラムのフローチャート

前者のプログラムでは膜厚表示部の出力データを5分間(910個)取り込み、蒸着速度をリアルタイムでグラフ表示すると同時に、PID係数の決定を行い、後者は決定された係数でPID制御を行っている。

3. PID係数の決定例および制御例

図5はステップ応答法を用い、設定値(STA=20Å/s)とし、プリ設定値(PRI=15Å/s)に対して1周期ON,OFF制御した結果を基に解析を行い、PID係数を決定したものである。図中のKPS=8, KIS=0.5, KDS=31の数値は、それぞれ決定した係数項を示している。

この係数項を基に制御した例を図6に示す。同図は蒸着速度を10Å/s一定にする制御を行った結果を示している。これより、同速度は40~60秒後に設定値に到達した後、±2~5Å/sのバラツキで制御されていることが判る。

4. システムアップ後の制御例

前章の実験においてPC8801ではデータの処理速度に限界があり、PID制御を行うに当たっては、リアルタイムで膜厚のグラフは表示できなかった。

そこで、パソコンを処理速度の速いPC9801UV11機に変更するため、インターフェース回路(図1参照、詳しい回路の説明は紙面の都合上省く)の設計ならびに製作を行い、制御実験を行った。その結果を図7(a)~(c)に示す。(a)、(b)は10Å/s一定にする制御を行った結果であり、それぞれ膜厚、蒸着速度を表示している。また(c)は100Å/s一定制御したものである。これらの結果より、蒸着速度は30~40秒後に設定値に到達した後、±2~5Å/sのバラツキで制御されていることが判る。

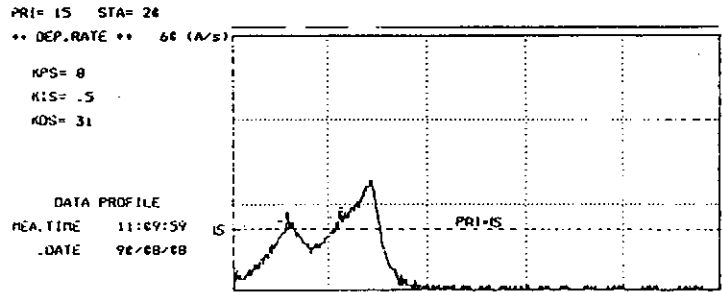


図5 PID係数の決定例

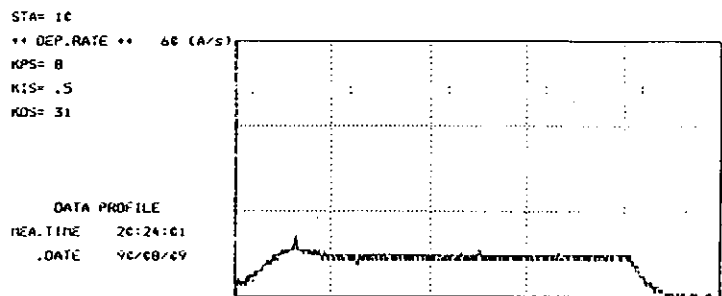
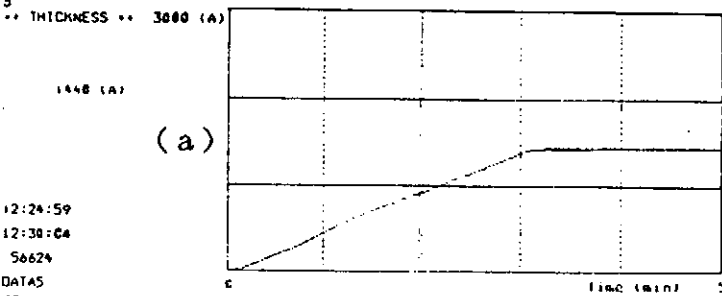
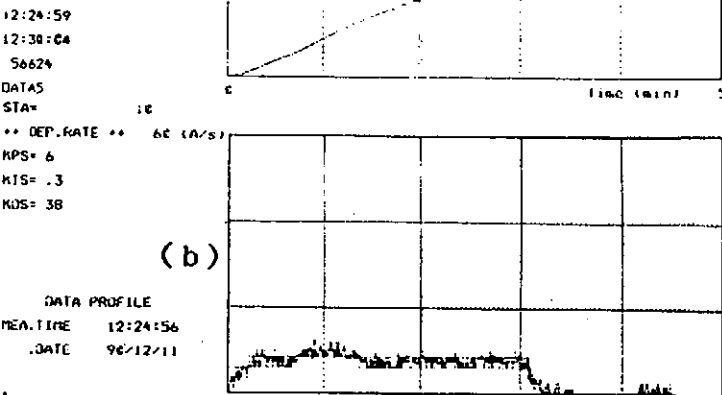


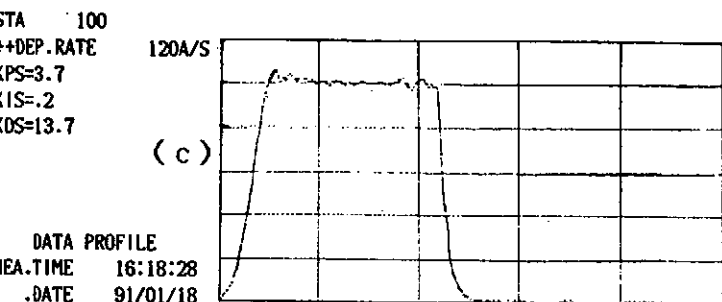
図6 PID制御例 I (10Å/s)



(a)



(b)



(c)

図7 PID制御例 II

(a)膜厚,(b)10Å/s,(c)100Å/s

さらに、膜厚についてもリアルタイムでグラフ表示されていることが判る。

5. データ処理時間の測定

PC8801からPC9801へ変更したことにより、処理時間がどの程度改善されたのか測定を行った。

測定にあたっては、図4の「データ取り込み」前に、I/OポートへON、後にOFF信号を出力し、データロード信号との関係を2ch波形解析器(FFTアナライザ:AD-3525,A&D)で観察した。これらの測定結果を図8に示す。同図の(a)~(c)は上側のデータロード信号を基準としてそれぞれ測定した結果であり、次に述べるプログラムに対応するI/Oポートからの出力波形を示している。

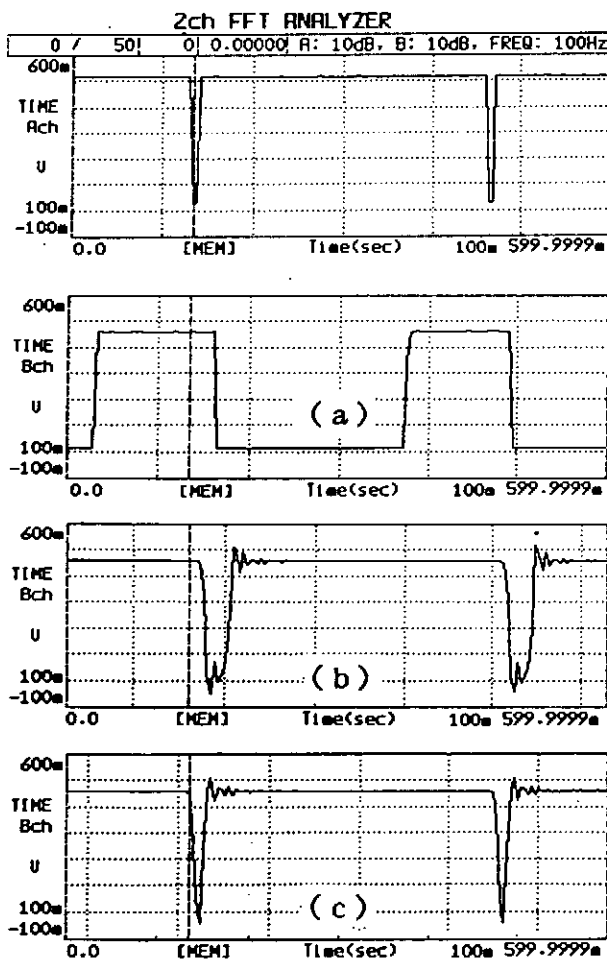


図8 データ処理時間の測定

(a) PC88を用いて BASICとデータ取り込み部をマシン語で書いたもの。

(b) PC98を用いてBASICで書いたもの。

(c) (b)をBASICコンパイラを使用してコンパイルして走らせたもの。

これらの結果より、パソコンをPC88からPC98へ変更したことにより、処理時間が1/5以下になること、さらにBASICコンパイラを用いることにより、1/8以下になることが確認された。

6. まとめ

A Q 蒸着膜の付着力に対する蒸着速度の影響を検討するために、前回試作した蒸着膜制御システムのソフトおよびハード両面についてシステムアップを行った。

その結果、パソコンによるデジタルPID制御においては、PID係数をステップ応答法により求め、その係数を用いて操作変数を演算し、制御することにより最高100Å/s一定の制御をすることが出来た。また制御と同じく1秒間に3回の割合で膜厚、蒸着速度の表示もすることが出来た。

さらに、PC8801からPC9801へ機種を変更したことにより、処理時間は約1/5程度改善されることが判った。

これらの結果より、今回のシステムアップによって、当システムはより性能が向上したことが確かめられた。

参考文献

- 1)小林史利：“450φ放物面反射鏡の試作”，分子科学研究所研究報告, No.9(1981).
- 2)小林、野村、鹿野：“Al蒸着膜の付着力に対する蒸着速度の影響”，電子通信学会論文誌, Vol. j68-c No.7, pp580-581(1985).
- 3)小林、芹沢、野村、鹿野：“PC8801を用いた蒸着速度制御システム”，電子情報通信学会信越支部大会講演論文集119(1989).
- 4)高橋安人：パーソナルコンピュータによる自動制御計算法、オーム社(1982)

高压ガス噴霧法によるTi-Cu系アモルファス合金粉末の作製

東北大学金属材料研究所

笹森賢一郎

小西満月男

木村久道

井上明久

増本健

要旨

著者らが開発した高压ガス噴霧装置を用いて、Ti₅₀Cu₅₀合金でのアモルファス粉末の作製の可能性を検討した。Ti基合金は酸素との反応性が高く、しかもアルミナルツボとの反応性も高いことから、液体急冷法によるアモルファス合金粉末の作製は困難と考えられていた。今回、黒鉛ルツボを用いて急冷粉末の作製を試みた結果、平均粒径17.3 μmの球状の微細粉末が得られ、粒径10 μm以下ではアモルファス構造をもっており、約25%の収率でTi-Cu系アモルファス粉末が得られることが明らかになった。

1. 緒言

Ti基合金は高比強度および高耐食性を示すことから、FeやAl基合金などと同様に工業上重要な金属材料である。Ti基合金をアモルファス化することが出来れば、さらに高い比強度と耐食性を具備した新材料を作り出し得ることが期待される。この合金は比較的融点が高く、高温において非常に活性であることから、主として回転電極法¹⁾により粉末を作製し、粉末冶金法を用いてバルク化されてきた。しかしながら、この方法で得られる粉末の粒径は通常100 μm以上であり、ガスの熱吸収による急冷効果は小さく、アモルファス化はできない状況にある。

より大きな急冷効果を持ち、より微細な粉末を得る方法の一つとして、高压ガス噴霧法がある。この方法では、平均粒径10~30 μmの粉末を作製することが可能である。本稿では、黒鉛ルツボを用いた高压ガス噴霧装置により、Ti₅₀Cu₅₀合金のアモルファス粉末を作製することに成功した結果について報告する。

2. 急冷粉末の作製条件の検討

使用した装置は、図1に示す著者らが開発した高压ガス噴霧装置²⁾である。高压ガス噴霧法における粉末の粒子径と平均冷却速度との関係では、粒子径の小さい粉末ほど早く冷却されることが知られている。このことから、アモルファス粉末の作製を試みる場合、噴霧液滴を細かくする必要がある。

ガス噴霧での粉末の平均粒径 D_m は下記に示すLubanskaの式³⁾で表されることが知られている。

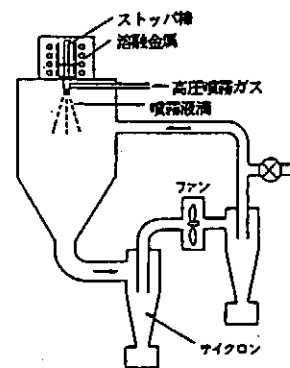


図1. 高压ガス噴霧装置

$$\text{平均粒径 } D_m = K \left[\nu_l D \sigma / \nu_g \rho_l V_g^2 (1 + M_l / M_g) \right]^{1/2}$$

K: 定数

ν_l : 溶湯の粘性率

ν_g : 噴霧ガスの動粘性率

D: 溶湯直径

σ : 溶湯の表面張力

ρ_l : 溶湯密度

V_g : 噴霧ガス速度

M_l : 溶湯流量

M_g : 噴霧ガス流量

この式から、主として溶湯直径Dと溶湯流量 M_l を小さく、噴霧ガス速度 V_g と噴霧ガス流量 M_g を大きくすれば細かい粉末が得られることが分かる。ところで、噴霧ガスの速度と流量は、使用するガスボンベの充填圧力により、ほぼ上限が定まってしまう。一方、溶湯流量は、ガス噴霧ノズル内径、溶湯の粘性率、溶湯押し出し圧および噴霧ガスの噴出しによって生じるガス噴霧ノズル先端部の負圧による吸引力などの要素により大きく変化する。

そこで、ガス噴霧を安定的に持続させ、しかも溶湯流量を決定づける大きな要素であるノズル先端部の負圧を調べた。負圧の測定は、長野計器製作所製の圧力計(タイプGC70)を用い、噴霧ガスの種類、噴霧ガス圧、ガス噴霧ノズルの形状およびノズルの長さを変化させて行った。

図2はヘリウム、窒素、アルゴンの各ガスを用いて噴霧した際の、ノズル先端部の負圧におよぼすガス噴霧ノズル長さの影響を示している。負圧はHeガスでは29.5mmから31.0mmのノズル長さの範囲で増大し、31.0mmにおいて約0.4 kg/cm²の最大値を示した後、さらにノズル長さが増大するに伴わずかに減少する。Ar、N₂ガスでの負圧は、ノズル長さが29.5mmから31.5mmに増大するに伴い増大し、31.5mmで約0.9 kg/cm²の最大値を示した後、急激に減少する傾向にあり、ArとN₂ガスの明瞭な差は見られない。

図3は先端部が45°および90°テーパ形状をもつガス噴霧ノズルにおける、負圧におよぼす噴霧ガス圧の影響を示している。45°テーパノズルでの負圧は、ノズル内径が1~5mmφにおいてほぼ同じであり、噴霧ガス圧が100 kg/cm²のとき約0.6 kg/cm²の最大値を示す。一方、90°テーパノズルでの負圧は、噴霧ガス圧が60 kg/cm²以上においてほぼ正圧となり、その正圧は噴霧ガス圧の増加に伴い増大する。

以上の知見に基づいて、Ti₅₀Cu₅₀合金の粉末作製条件は表1のように選定した。すなわち、噴霧ガスは、熱伝導度が大きく高い冷却能を持ち、しかも他のガスと比較して生じる負圧が小さい、つまり溶湯流量を小さくできるHeガスに決めた。ところで、噴霧ガスとしてHeを用いた場合の常用噴出圧力は、ガスポンベの充填圧力と配管内圧損により、100 kg/cm²程度に制限されている。また、粉末の微粉化には噴霧ガス圧を高くすれば良いことが分かっているので、噴霧ガス圧は100 kg/cm²とした。ガス噴霧ノズル先端部のテーパは、噴霧ガス圧が100 kg/cm²のとき、安定に負圧を生じる45°とした。ガス噴霧ノズル長さは、Heガスを用いて噴霧ガス圧が100 kg/cm²のとき、溶湯流量を安定して小さくできる負圧が得られる30.5mmとした。ガス噴霧ノズルの内径は、溶湯流量を小さくできる1mmφとした。

3. Ti₅₀Cu₅₀合金粉末の作製法

母材は、アーク溶解炉により溶製した。これを高圧ガス噴霧装置の高周波溶解炉において、黒鉛ルツボ中で再溶解した。黒鉛ルツボの底の中心には穴があり、ガス噴霧ノズルにつながっている。Ti₅₀Cu₅₀合金粉末は、ルツボ底の穴をふさいでいるストッパーを上げて熔融金属をガス噴霧ノズルに送り込み、ノズル通過直後に高圧Heガスで噴霧することにより作製した。このときの粉末作製条件は表1の通りである

作製した粉末の構造はX線回折により、粉末形態と断面組織は走査電顕と光顕により調べた。また、熱的性質は示差走査熱量計により、粉末粒径はマイクロトラック粒度分析計により調べた。

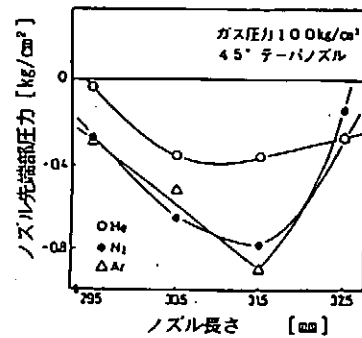
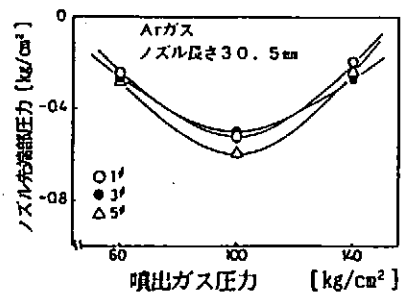
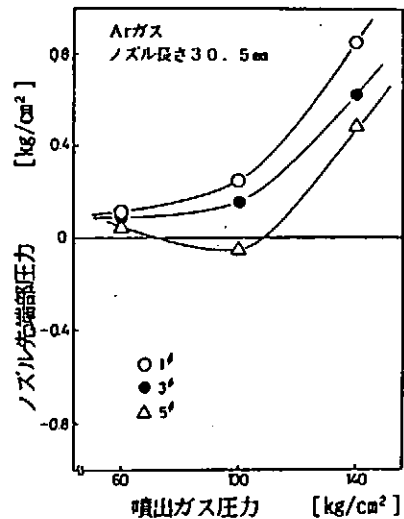


図2. 負圧におよぼすノズル長さの影響



イ. 先端部45°テーパのガス噴霧ノズル



ロ. 先端部90°テーパのガス噴霧ノズル

図3. 負圧におよぼす噴出ガス圧の影響

表1. ガス噴霧条件

噴霧ガス	噴霧ガス 圧力	浴湯押出 圧力	ガス噴霧ノズル 内径	噴出温度
He	100 kg/cm ²	1 kg/cm ²	1 mm φ	1473 K

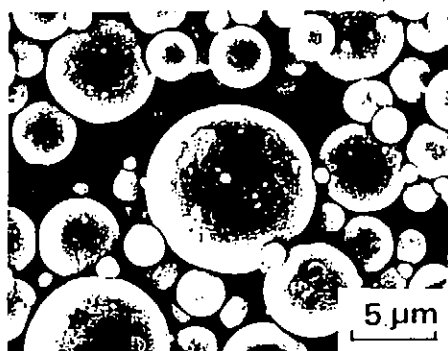


図4. 粉末の形態を示す走査電子顕微鏡写真

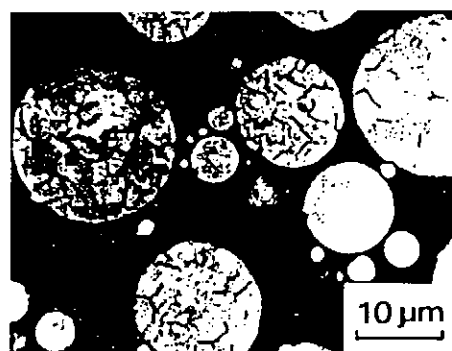


図6. 粉末の腐食後の断面を示す顕微鏡写真

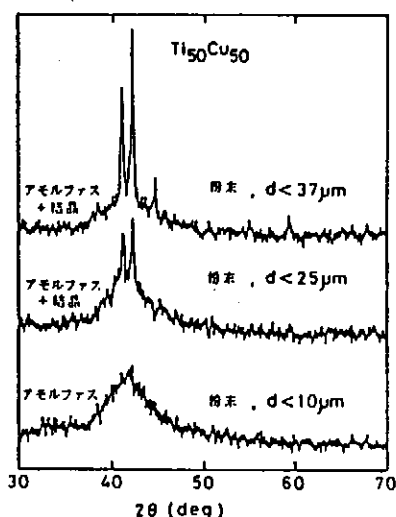


図5. 粉末のX線回折図形

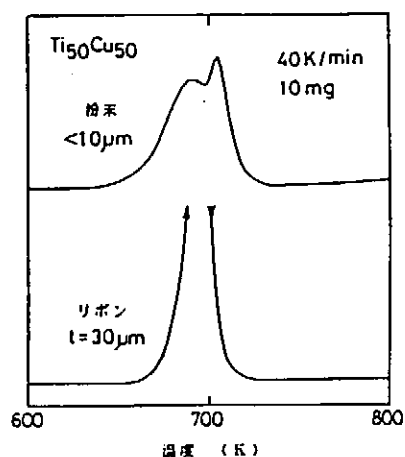


図7. 粉末とリボンの示差走査熱量曲線

4. 粉末の形態と組織

本実験で得られたTi₅₀Cu₅₀合金の粉末の形状は、図4のようにほぼ球形であることが分かった。粉末の粒度は、平均粒径が17.3 μmであった。粉末の構造は、図5のX線回折図形に示すように、粒径が10 μm以下ではアモルファス相に特有なハローピークのみとなっており、アモルファス単相であることが分かる。これ以上の粒径では結晶相の回折ピークが見られ、アモルファスと結晶の混相になっていることが分かる。図6は粒径25 μm以下の粉末の断面を5%フッ酸で腐食した顕微鏡写真を示している。粒径が約15 μm以上の粉末では結晶粒界のコントラストが観察されるが、粒径10 μm以下の粉末では結晶粒界に対応するコントラストは認められず、粉末がアモルファス組織を有していることを示しており、図5に示したX線回折図形から得られた構造の結果と一致している。図7は粒径10 μm以下の粉末の示差走査熱量曲線を示している。粉末の結晶化に伴う発熱量(ΔH)は164.9 mJ/mgであり、結晶化温度は662 Kであった。これらの値を単ロール法で作製したアモルファスリボン材と比較した場合、ΔHは約11%小さく、結晶化温度は約15 K

低い。この差異の原因は、粉末作製時に、黒鉛ルツボからの炭素と、雰囲気ガスからの酸素がTi₅₀Cu₅₀合金中へ固溶したからと考えられる。

5. 結言

高圧ガス噴霧装置を用いることにより、Ti₅₀Cu₅₀の高活性合金においてアモルファス粉末を作製出来ることが判明した。その粉末作製条件および得られた粉末の特徴を要約すると、以下のようになる。

- ①ガス噴霧法におけるアモルファス粉末は、Heガスの使用、噴霧ガス圧100kg/cm²、ガス噴霧ノズル内径1mmφ、溶湯噴出温度1473Kの条件で得られた。
- ②ガス噴霧法により、平均粒径17.3μmの粉末を作製することが出来た。
- ③粉末の粒径が10μm以下ではアモルファス構造を有し、その収率は約25%であった。

文献

- 1) P.R.Robert and P.Loewenstein : Powder Metallurgy of Titanium Alloys, Ed.by F.H.Froes and J.E.Smugeresky, AIME, New York(1980)21
- 2) A.Inoue, T.Masumoto, T.Ekimoto, S.Furukawa, Y.Kuroda, and H.S.Chen : Metallurgical Transactions 19A(1988)235-242
- 3) H.Lubanska : Journal of Metals, February(1970)45-49

表面うねり成分を制御した試料面の製作

長岡技術科学大学 工作センター
○ 星野 英夫

1. はじめに

現在、本学柳研究室において表面マイクロ形状と幾何偏差の定量化に関する研究が行われている。この研究は、幾何偏差と表面うねり、表面粗さの3要素から成り立っている工業製品表面の、特に表面波形（幾何学的不規則性）が広い周波数帯域にわたって有意な振幅スペクトルを示す表面において、これまで曖昧に扱われてきたマイクロ形状と幾何偏差との関連性を明確かつ定量的に説明する手段を開発することを目的としている。

本学工作センターは、上記研究室より上記研究の基礎データ収集のための試料面製作の依頼を受けた。今回、依頼された試料面の表面性状等は、

- ・表面粗さ R max 約 5 μm 以内
- ・表面うねり
 - うねりピッチ 約 1 mm ~ 10 mm
 - 最大振幅 約 5 μm ~ 15 μm
- ・材質 SKD-11
- ・必要面積 25 mm \times 25 mm 以上
- ・研削加工面
 - 研削方向と直角
 - 方向に表面うねり
 - 成分をもつこと

である。

工作機械として黒田精工（株）製の精密平面研削盤 GC-CHF（主軸回転数 900 ~ 2500 r.p.m 可変式）を用い、特殊なツルーイング装置を考案することで依頼に対応した。

2. ツルーイング装置

図1に、考案したツルーイング装置の分解図を示す。本体の大きさは、D 85 mm \times W 50 mm \times H 30 mm であり、組み立て時の底面からダイヤモンドドレッサ先端までの高さは、50 mm である。

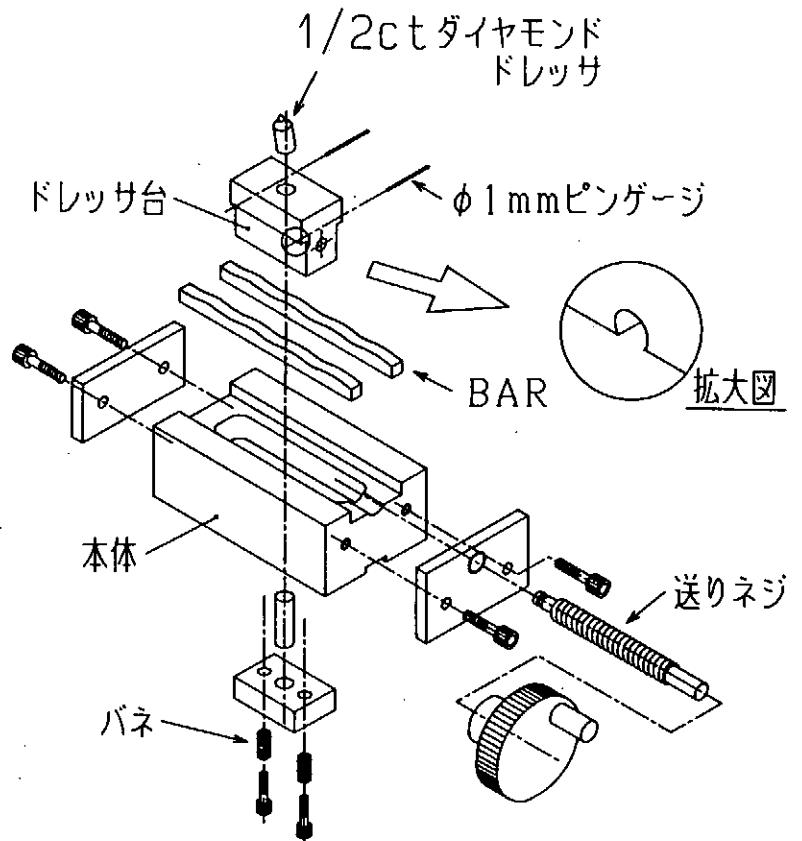


図1. ツルーイング装置分解図

ドレッサ台には、30 mm間隔をおいて ϕ 1 mmのピンゲージが設け
てあり、うねりピッチ 1, 2, 3, 5, 6, 10 mmが可能である。

本装置は、本体に1面にうねり成分をもつBAR 2本を乗せ、更
に ϕ 1 mmのピンゲージを取り付けたドレッサ台を乗せる。本体下方
よりバネを用いドレッサ台を引っ張り組み立て、送りネジ(M10
×P1.5)にてドレッサ台を移動させる。

上記のようにすると1/2 ctのダイヤモンドドレッサを取り付けた
ドレッサ台は、BARのうねり成分に沿って上下しながら、移動す
ることになる。

3. BARの製作

まず、CAD/CAM(倉敷機械(株)製 MYPUC-III)を
用い、うねりピッチ成分の各頂点、底点を円弧近似によりラインで
つなぎ、そのデータをもとにNCデータを作成する。次に、あらか
じめ厚さ5 mmに研削加工しておいた大きめの鋼板(材質SS41)
の側面をエンドミルにてNC加工する。ここで気をつけなければい
けないことは、Y軸の移動量が15 μ m以下の微小移動の繰り返しと
なるため、テーブルが追従しにくい。その対策として、送り速度を
遅くする、ドワエルを入れる、の2種類あるが、今回は前者の方法
を選んだ。

最後に鋼板を切断し、その切断面を研削加工にて仕上げる。

4. ツルーイング

平面研削盤のマグネットチャックに考案したツルーイング装置を
取り付け、ツルーイングを行う。上下しながら移動するダイヤモンド
ドレッサは砥石側面を成型して行く。つまり、BARに施したう
ねり成分を砥石側面に転写しようとするものである。

ツルーイング条件は次のとおりである。

- ・砥石回転数 900 r.p.m
- ・最大切り込み量 0.01 mm
- ・スパークアウト 1回
- ・湿式

また、今回使用した砥石は次のとおりである。

- ・クレノートン製
- ・形状 1A
- ・寸法 255 × 25 × 50.8 mm
- ・砥粒 5SG
- ・結合度 H
- ・結合剤 VSG-1P
- ・粒度 80
- ・組織 12

5. 装置の改良

製作したツルーイング装置を用い、うねりピッチ10 mm振幅10
 μ mの試料面の製作を行った。その表面性状の様子を図2に示す。1
0 mmピッチの大きなうねりに1.5 mmピッチのうねりが重なってい
るのが分かる。これは、安易に考えていた送りネジの影響があられ

たものであった。そこで、送りネジを再製作し、影響を受けにくくするために送りネジ先端部とドレッサ台押し穴とのクリアランスを0.5 mmと大きくした。また、ドレッサ台を下方へ引っ張っているバネをコイルバネ（許容荷重3 kgf）から皿バネ（許容荷重80 kgfを直列に6個）に変更することにした。

6. 試料面の製作

まず、うねりピッチ10 mm 振幅10 μm、うねりピッチ5 mm 振幅10 μm、うねりピッチ2 mm 振幅5 μmの3種類の試料面を製作した。試料面の幅は25 mmである。その表面性状の様子を図3に示す。おのおのきれいなうねりピッチをもつ試料面を製作することができ、ユーザより一応満足をしていただいた。

次にユーザより試料面の幅50 mmの製作の依頼があり、製作を行っ

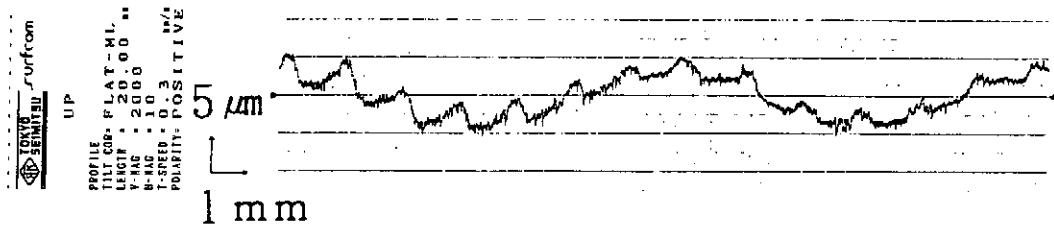


図2. 送りネジの影響

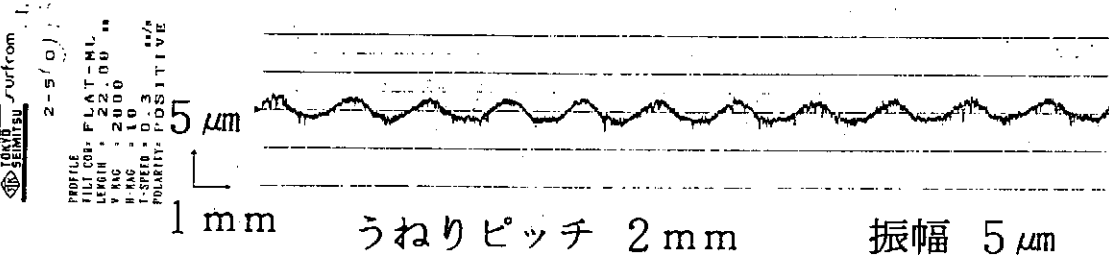
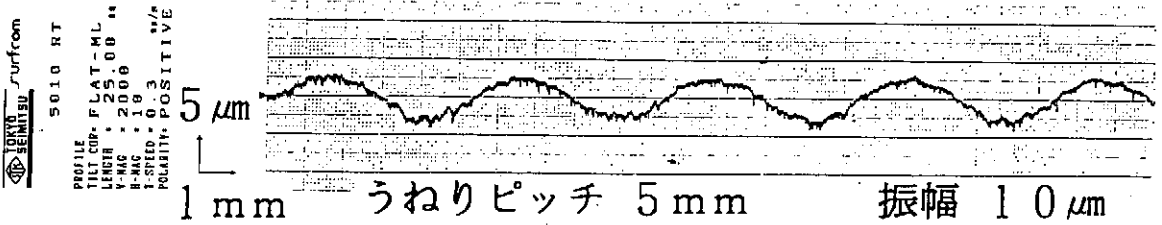
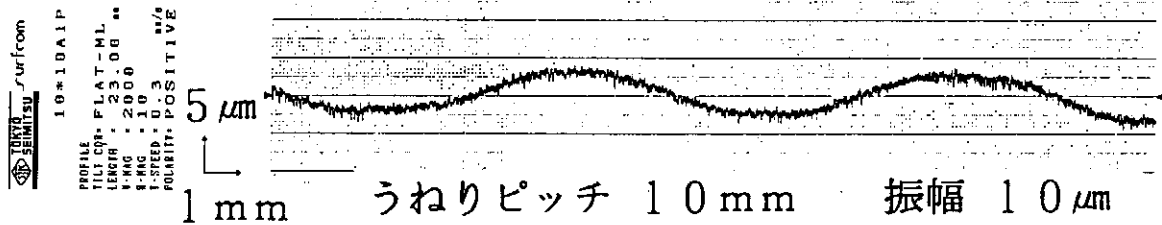


図3. 製作した試料面（幅25 mm）

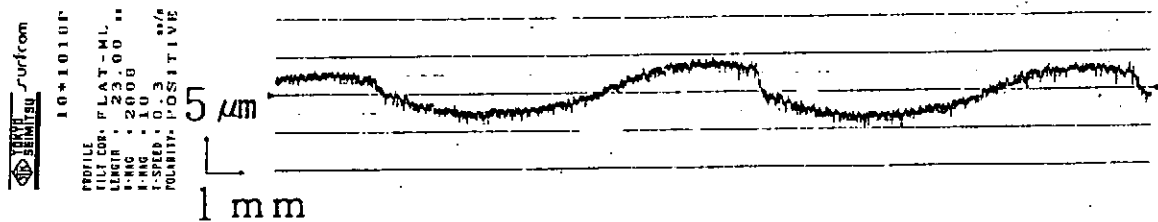


図4. 前後移動による段差 (幅50mm)

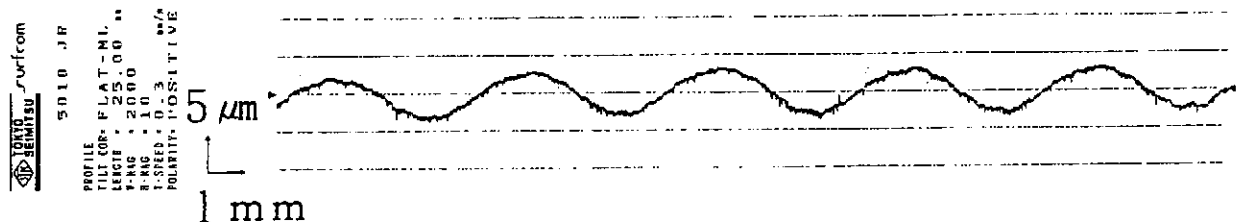


図5. 製作した試料面 (幅50mm)

た。単純に平面研削盤のテーブルを前後に移動させれば良いと考え、うねりピッチ10mm振幅10μmの製作を行った。しかし、前後移動時の段差があらわれてしまった。その試料面の表面性状の様子を図4に示す。そこで、砥石頭の前後運動とマグネットベース上面との平行度を調べたところ、手前に+約10μm/200mmの傾斜が認められた。その対策として約2時間の暖気運転の後、マグネットベース上面の再研削を行い、再度、試料面の製作を行った。その試料面の表面性状の様子を図5に示す。試料面の幅は、50mmである。うねりピッチ5mm振幅10μmの試料面であるが、以前の段差はなくなりユーザより満足をしていただいた。

6. まとめ

- ・特殊なツールイング装置を考案することで加工依頼に対応し、一応満足のいく試料面が得られた。
- ・今回のツールイング装置は簡単なものであったが、送りネジとドレッサ台とのクリアランス、バネ等の改良を行い、設計の大切さを感じるとともに、ミクロンオーダーの機械加工には、暖気運転等が大切であることをあらためて認識させられた。
- ・ユーザの次の依頼であるうねりピッチ0.5mm位の試料面の製作に現在取り組んでいるが、BARのうねり成分がつぶれてしまう等のトラブルが発生しており、今後の課題となっている。

1. 緒言

金型の最終磨き工程は、高度のメカトロニクス技術を駆使した機械化、自動化が進んだ今日でも依然として手作業に頼っている場合が多い。このような人的な磨き作業は作業者の熟練度に依存し、しかも人件費の高騰に加えて作業者不足などの点から非常にコスト高を招いている。これらの問題を解決すべく、これまでに自動磨き装置の開発研究が数多く報告されている。しかし現状は手作業に優る装置の開発例はなく、これらの磨き作業の自動化が望まれている。

本研究は自由曲面を持つ金型部品の最終磨き工程を想定し、一部品生産に対応できるフレキシビリティの高い自動研磨装置の開発を目標としている。上記の目的を達成させるためにはまず、加工の前段階での加工物形状の認識が必要であり、次の段階では、認識した形状データをいかに加工機にTeachingするかが問題となる。さらに加工工具の姿勢についても、どのように制御を行えばより高い加工精度が得られるか重要な問題となるであろう。

本研究ではこれらの問題を満足するような加工機本体の設計・製作およびその周辺システムの構築を行い、そのシステムのならい精度の測定と姿勢制御の有効性について実験的検討を行った。

2. 加工機および工具姿勢制御装置の試作

図1に試作した加工機の概要を、図2にはその外観を示した。図に示すように門型コラムにX Y軸テーブルを固定し、そのテーブルには加工ヘッドおよびセンサが取り付けられている。加工ヘッドには小型モータを用いた精密研削用リユータを使用した。工作物はZ軸上にバイスで固定されている。また加工物が平面のみならず、ある角度をもつもの、あるいは曲面を持つものに精度よくなり加工を可能にするために、加工物表面の法線と工具軸が一致するような加工ヘッド（以後、姿勢制御装置という）を試作した。その概要を図3に示した。

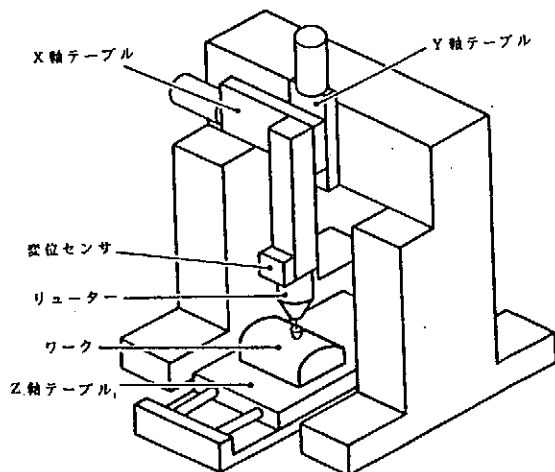


図1 試作した加工機の概要

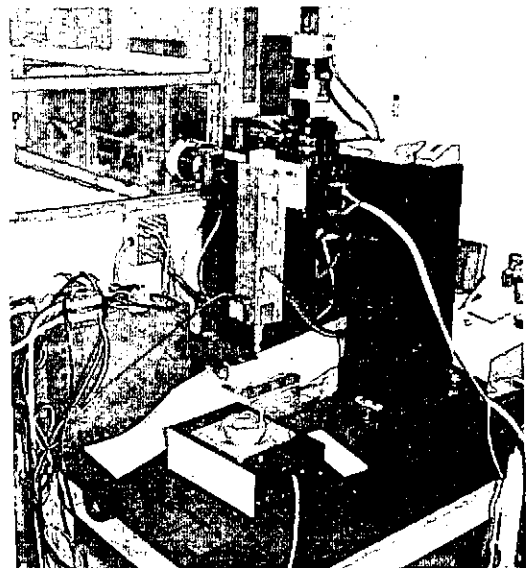


図2 加工機の外観

θ 回転, ϕ 回転はそれぞれの DC モータによってギヤを介して駆動され, 先端に取り付けられたリユーターにより加工を行うものである. その動作原理は, 任意の 3 点のデータから面の角度を求め, その面の法線ベクトルと工具軸を一致させるように θ 回転, ϕ 回転を制御するものである.

3. 試作した加工機の精度

試作した加工機の試料テーブルとなる Z 軸の運動精度を測定した. 測定は超精密レーザー測定システム (YHP) を使用し, 位置決め精度, 真直度, ピッチング, ヨーイングについて行った. その結果を表 1 に示した (X Y 軸はメカ値). 値は非常によいものであり研磨を行うには十分な精度であると考えられる. また姿勢制御装置の精度については, 繰り返し位置決め精度およびロストモーションを測定した. その結果前者は θ , ϕ とも ± 0.1 度, 後者は θ が 0.8 度 ϕ が 0.77 度の値を得た.

4. システム構成

本研究のシステム構成は次のようである.

- (1) センサによる加工物の形状認識
- (2) 認識した形状データに補正や切込みデータを与え NC データに変換する.
- (3) 変換した NC データを加工機コントローラへ転送.
- (4) NC データをもとにした X, Y, Z テーブルによる研磨加工.
- (5) NC データをもとに加工物表面と工具軸が一致するような工具の姿勢制御をした場合の研磨加工.

図 4 にシステム構成のブロック図を示す.

5. センサの特性

本装置で使用したセンサは非接触式測長レーザーセンサ (キーエンス社製 LB60) である. レーザ光による測長原理から, 次にあげるような測定誤差が生ずる.

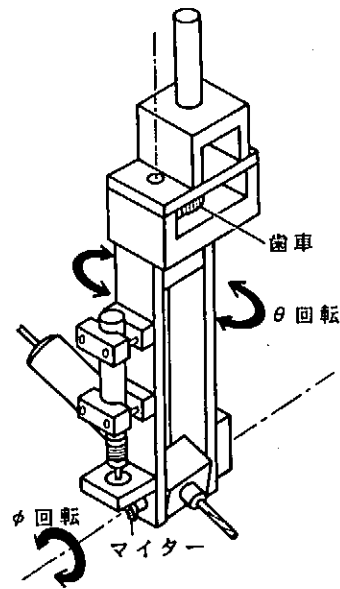


図 3 加工ヘッド

表 1 加工機の精度

	X軸	Y軸	Z軸
位置決め精度 (μm)	2.1	1.8	4.0
垂直真直度 (μm)	2.0	2.3	0.2
水平真直度 (μm)	—	—	7.1
ピッチング (sec)	3.9	2.2	7.0
ヨーイング (sec)	2.4	3.3	21.5

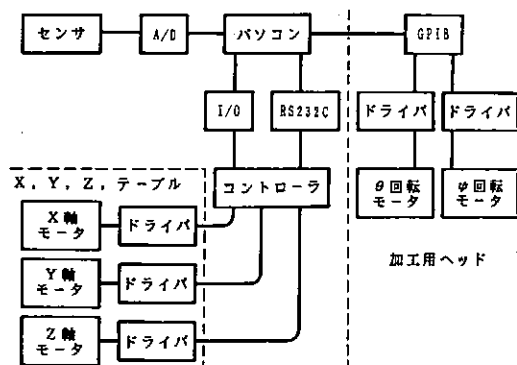


図 4 システム構成

- (1) 測定面の状態（粗さ，反射むら等）。
- (2) レーザ光軸と測定面のなす角度およびその深度。

(1) については試料表面に特殊塗料を均一に塗布することにより測定誤差を減少させた。(2) については試料表面の傾斜角度及び深度を種々変化させ測定実験を行い，センサ特性を明らかにした。その結果を図5に示す。図より試料面の角度および深度が大きくなるにしたがい誤差も大きくなるのがわかる。この時の角度に対する誤差の変化率の関係を一次関数で近似すると図6のようになる。以上のことから，ある任意の角度 ϕ におけるセンサの測定値を L' ，真の値を L とすれば図中の補正式となりこの式をプログラムに書き加えることにより，角度に対するセンサの誤差が補正できる。

6. ならい実験

6-1 試料 試料はマシナブルワックスを用い，形状は平板と 10° ， 20° ， 30° の角度をもつものおよび曲率 $R=88$ のものである。これらに塗料を均一に塗布して試料とした。

6-2 センサ誤差，ならい誤差の定義

平面については，①基準面の設定としてあらかじめ試料面をマグネスケールで測定する。②同じ場所をセンサにてセンシングする。③コントローラからのデータ（②からの転送値）を用い，ならいを行った時の値をマグネスケールで測定する。以上の実験において，②-①をセンサ誤差，③-①をならい誤差とした。また曲面については②におけるセンサの値より，そのポイントポイントにおける角度を算出し，それより補正を求め，それを加えたデータを用いならいを行った時のマグネスケールの読み取り値から①を引いた値を補正後ならい誤差とした。

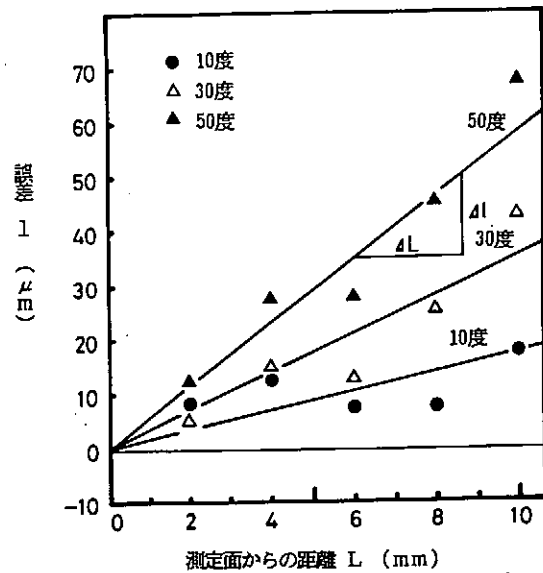


図5 センサ特性

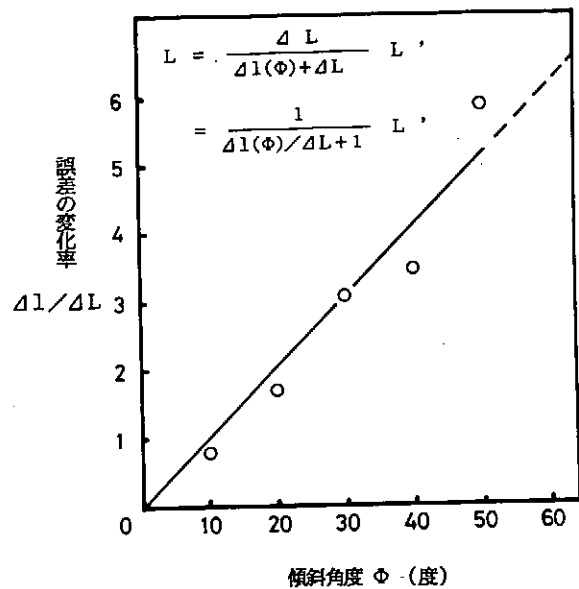


図6 センサの較正

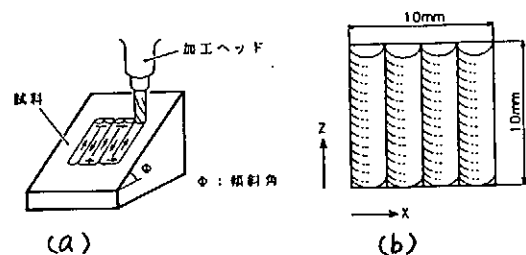


図7 工具トレースによる形状誤差

6-3 形状誤差 図7(a)に示すように 10° , 20° , 30° の角度をもつものについて、実切削を行い、その表面に生じるX方向のあらさを形状誤差とした。

7. 実験結果

平面のセンサ誤差とならひ誤差の結果を図8に示した。図より言えることは、ならひ誤差はセンサ誤差に非常によく近接しているおり、ならひ制御は非常によいことがわかる。

曲面について、センサ誤差、ならひ誤差および補正後ならひ誤差を示したのが図9である。図において注目すべき点は、ならひ誤差(補正あり)がならひ誤差(補正なし)に比べて誤差の分布範囲が減少して、より0に近づいている点である。このことより、レーザの光軸と試料面角度によって起こる測定誤差を補正することにより、曲面ならひ時のならひ誤差を減少させることができた。

図10は形状誤差と送り量との関係を示したものである。試料の角度は 30° のものであるがこれより工具姿勢制御の有効性がわかる。工具姿勢制御を行わない場合は、図7(b)におけるX方向のstepが広くなるにつれ誤差が増加していくが、工具姿勢制御を行った場合は、X方向のstepに関係なくほぼ一定の誤差を保ち続けていることがわかる。

8. 結言

以上の結果より次のことが明らかになった。

- (1) センサの値に基づくならひ制御は非常によいことがわかった。これにより、ならひ誤差は加工機の動特性よりむしろセンサ誤差に影響される。
- (2) レーザの光軸と試料面角度によって起こる測定誤差を補正することにより、曲面ならひ時のならひ誤差を減少させることができた。
- (3) 表面形状は試料面に対する工具角度によって左右されるが、工具姿勢制御を行うことによりその影響をなくすことができた。

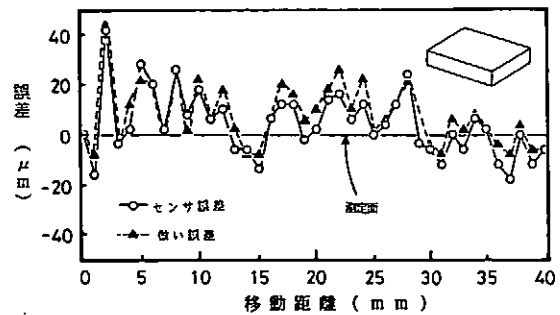


図8 平面試料のならひ誤差

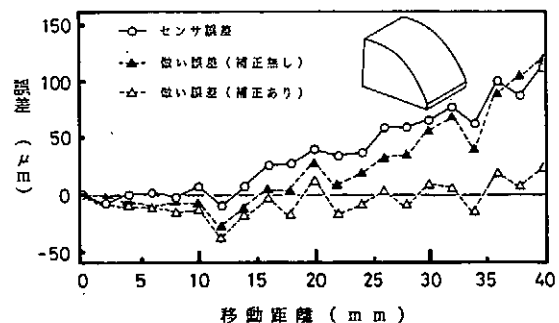


図9 曲面試料のならひ誤差

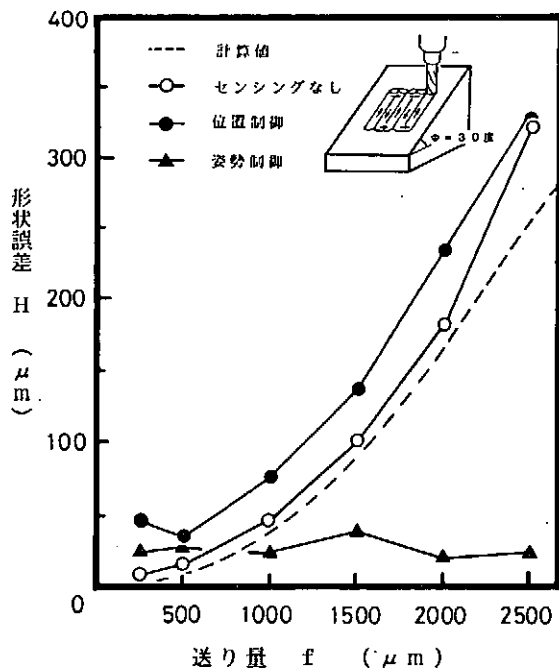


図10 形状誤差と送り量との関係

大型希釈冷凍機用試料回転機構の試作

東北大学 科学計測研究所・機械工場

布田 幸雄, 岩淵 健二, 庄子 征一, 高橋 勝男, 佐々木 正治
斎藤 俊郎, 伊藤 栄一, 相沢 勝雄, 相沢 武雄, 嶺岸 宏治

1. はじめに

当機械工場は、先に科研・電子物性研および東北大・理学部の依頼により、磁性や超伝導を示す金属のフェルミ面の研究において、ド・ハース=ファン・アルフェン(dHvA)効果の観測を行なうための $^3\text{He}-^4\text{He}$ 希釈冷凍機を試作し、共に8mKの極低温を達成している。希釈冷凍機には、本体の混合器テール部パイプ内において、15Tの磁場中心に置かれた試料の方位を磁場方向に対して正確に制御する試料回転機構が必要である。これらの回転機構には一般的にウォーム歯車が用いられている。

今回は混合器テール部パイプの内径が20mmである希釈冷凍機での音響的dHvA効果の観測において、試料空間を従来のウォーム歯車による回転機構より2倍程度大きくすることが要求されたため、スパイラル歯車による回転機構を試作した。

以下に、極低温、磁場中でのスパイラル歯車による回転機構を設計・製作するにあたり、留意、検討した点とその結果について報告する。

2. 希釈冷凍機用回転機構の材料

希釈冷凍機におけるdHvA効果の実験は、 ^3He クライオスタットのそれと異なり、8mK程度の極低温、15Tの強磁場中で行なわれるため、磁場を変化させることによって生ずる渦電流のジュール熱が混合器内の温度上昇の原因となる。このような渦電流の発生を少なくするため、測定試料が置かれる回転機構の材料には、絶縁抵抗が大きい非金属材料のプラスチックを用いる必要がある。プラスチックは金属材料に比べ、機械的強度が小さく、熱変形が大きいので、精密な形状を要する歯車、ねじおよび軸・軸受等に用いる材料としては、特に材質を検討する必要がある。図1に、回転機構に用いる材料として検討したプラスチックの主な性質を示す。

低温での非金属材料には、ポリエステル樹脂系のFRPのG-10が一般的に用いられている。我々は以前にウォーム歯車の材料にFRPを用いた経験がある。その結果、ウォームとウォームホイールの双方に歯こぼれが生じてきた。このように、FRPは積層されたガラス繊維が衝撃荷重でへき開されるため、歯車やねじ部の材料に適切でないことが分かった。

	ポリエステル樹脂	エポキシ樹脂	ポリイミド樹脂
	FRP G-10 ニコライト社	HYSOL CR4 Dxter社	ポリマーII-5013 東洋レーヨン社
引張強さ kg/mm ²	25	8	19
曲げ強さ kg/mm ²	40	12	24
圧縮強さ kg/mm ²	35	10	22
硬度 ロックウェル	R-120	M-75	M-119
線膨張係数 $\times 10^{-5}$	2.3	11.8	3.1
体積抵抗率 $\Omega\text{-cm}$	1×10^{-13}	4×10^{-14}	2×10^{-15}

図1 回転機構用プラスチック材料の主な性質

次に、回転機構の材料には、低温に強いといわれるエポキシ樹脂系のHYSOL（米国 Dexter社）を使用した。HYSOLはFRPに比べ、被削性が比較的良く、韌性がある。しかし、機械的強度が小さく、熱膨張係数が 11.8×10^{-5} と大きいので、重荷重のかかる歯車やねじ部の材料としては問題があると思われる。

現在、この部の材料に、機械的強度が比較的大きく、耐衝撃性もあるポリイミド樹脂系のポリマー（東洋レーヨン社）を試用している。しかし、この材料は被削性が悪く、熱変形が生じ易い欠点があり、加工に際しては細心の注意が必要である。

磁場からの影響が少ない試料ホルダーの支持棒およびモータからの回転駆動軸の材料には、外部からの熱伝導を極力少なくするため、外径2~3mm、肉厚0.1~0.2mmのキュプロニッケル（Cu70%、Ni30%）パイプを用いている。

3. スパイラル歯車を用いた回転機構

3.1 装置の機構設計

図2に、希釈冷凍機の混合器に組み込むために製作したスパイラル歯車による回転機構の全体図を示す。スパイラル歯車は、うずまき曲線の歯車を駆動歯車とし、一定の曲率をもつスパイラルホイール（以下は、ホイールと略す。）を被動歯車とする歯車対である。

図3に、スパイラル歯車の計算式を示す。

以下に、スパイラル歯車の機構設計で留意・検討した主な点を列記する。

- (1) ホイールの歯数は、スパイラル歯の1回転が試料を整数角度だけ回転させることを考慮して36枚とした。
- (2) スパイラル歯車は、JIS規格に含まれていない特殊な歯車であり、スパイラル歯車の回転駆動および歯切り法を考慮して、スパイラル歯の歯先角度を 60° 、ホイール歯のそれを 50° と設定した。
- (3) スパイラル歯は、ホイールを円滑に回転駆動させるため、有効かみ合い歯すなわち完全歯たけ部を図3の a_1 から a_2 までの $3/2$ 回転とし、完全歯たけ部の内側の s から a_1 までの歯たけを次第に高くし、その外側の a_2 から e までを次第に低くする。
- (4) ホイール歯の曲率半径は、スパイラル歯の完全歯たけ部（ $a_1 \sim a_2$ ）の中間点Pの曲率半径 d と等しくする。このことから、ホイール歯の歯切りの際には、歯切りバイトの回転軸をO点とし、その回転半径を d とする。また、組み立てに際してスパイラルの軸は、ホイール歯の軸から並行に d の距離をオフセットする。さらに、スパイラル歯の f_1 点と f_2 点での曲率半径の差が歯のピッチ b の $1/2$ となる。したがって、スパイラルの軸はホイール歯の曲率半径の中心Oから、歯のピッチ b の $1/4$ の距離 c をオフセットする。
- (5) スパイラル歯の曲率半径は、 a_1 から a_2 までで変化する。一方、ホイール歯の曲率

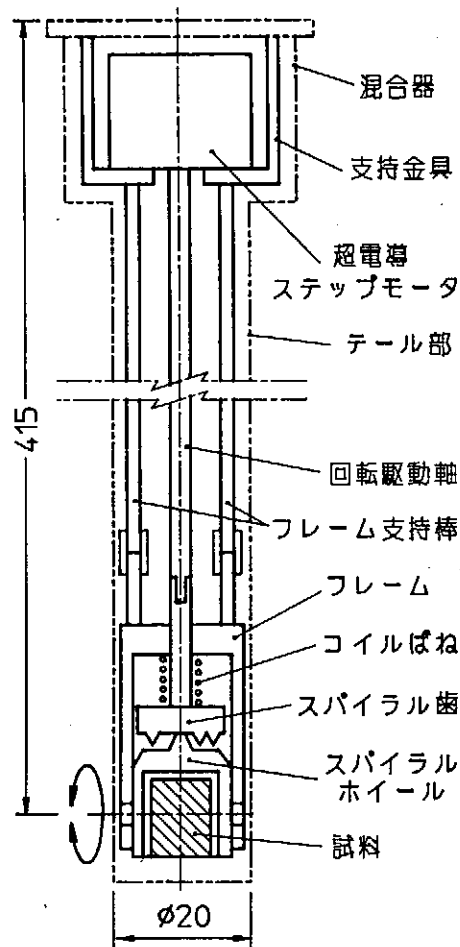
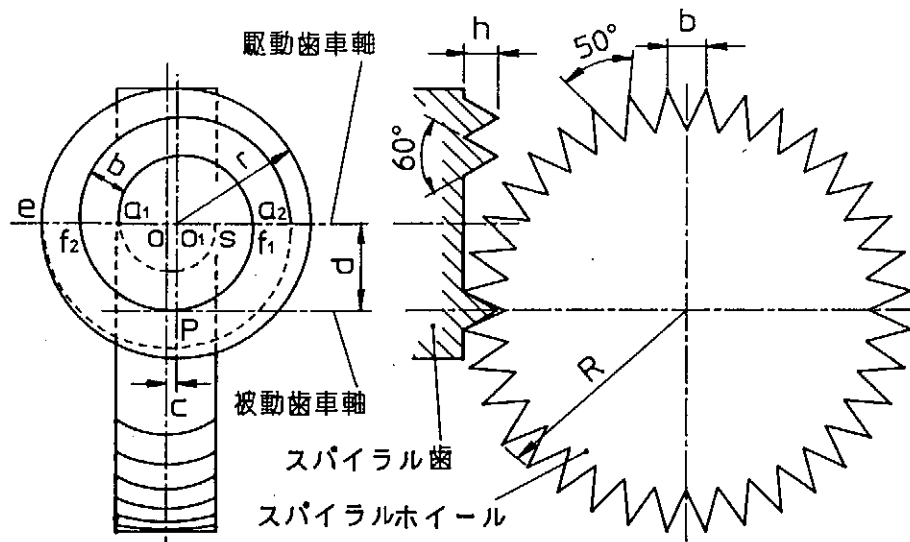


図2 スパイラル歯車を用いた回転機構



R :ホイールの半径, N :ホイールの歯数
 スパイラル歯の半径: $r = \frac{R}{2} + \frac{5}{8}b = 0.6091R$
 歯のピッチ: $b = \frac{2\pi R}{N} = 0.1745R$
 スパイラルの完全歯たけ部の最小半径: $a_1 = \frac{R}{2} - \frac{11}{8}b = 0.2600R$
 スパイラルの完全歯たけ部の最大半径: $a_2 = \frac{R}{2} + \frac{1}{8}b = 0.5210R$
 P :スパイラルの完全歯たけ部の中間点
 スパイラルの軸とホイール歯曲率中心の距離: $c = \frac{b}{4} = 0.0436R$
 スパイラルとホイールの軸周距離: $d = \frac{R}{2} - \frac{5}{8}b = 0.3909R$

図3 スパイラル歯車の計算式

半径 d は一定である。このため、かみ合い歯に干渉が生じるとともに被動歯車のホイールが不等速回転運動を行なう。このかみ合い干渉を解消するため、図2に示すように、スパイラルの軸にコイルばねを組み込む方式を採った。これにより、かみ合い歯に一定の圧力がかかり、ホイールが円滑に回転駆動することが出来た。スパイラル歯の曲率半径の変化によるホイールの不等速回転運動は、この歯車対の機構の本質であることから、根本的に改善することが困難であると思われる。しかし、この歯車対の減速比が $1/36$ と大きくしてあるため、これを用いて行なわれる実験においては、この程度の回転ムラが使用上問題とはならなかった。

3. 2 スパイラル歯車の歯切り

3. 2. 1 スパイラル歯の歯切り

図4に、製作したスパイラル歯とホイールの主な形状・寸法の例を示す。スパイラル歯は前節で述べたように、うずまき線(図4の $s \sim e$)と完全歯たけ部の内 ($s \sim a_1$)・外側 ($a_2 \sim e$)の逃げ部の2種類の加工を行なう必要がある。このため、スパイラル歯の歯切りは、うずまき線のX軸とY軸の座標値、および完全歯たけ部の内・外側の逃げ部のZ軸の座標値をマイコンで計算してNCフライス盤にテープ入力し、まず始めに、うずまき線を刃先角 60° のフライス盤彫刻機用彫刻工具を用い、X軸、Y軸の同時2軸制御により切削した。次に、逃げ部を切削

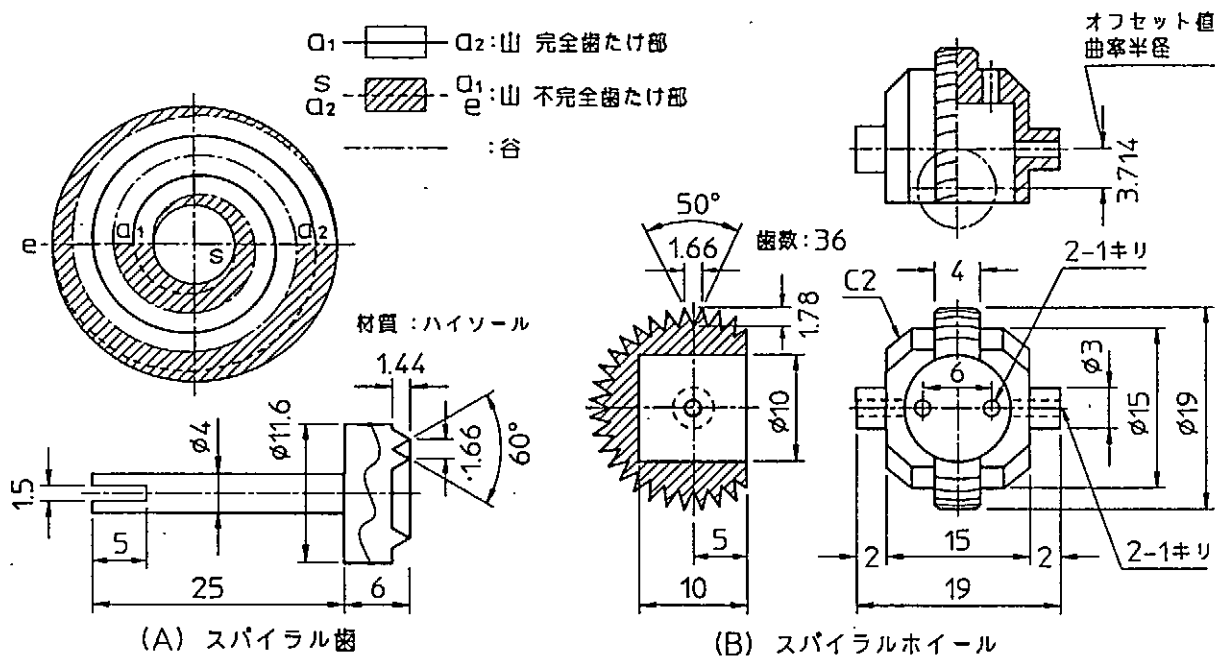
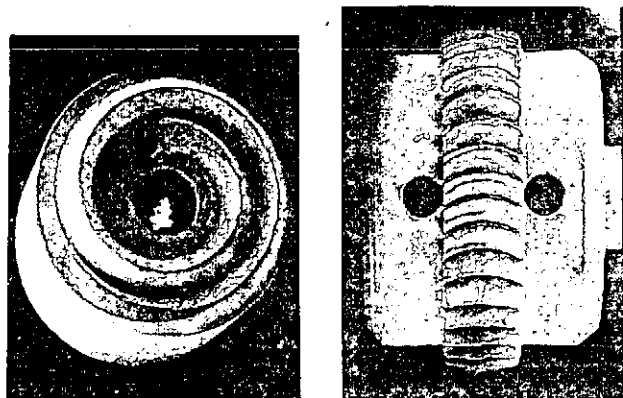


図4 スパイラル歯車の形状・寸法例

工具にスクエアエンドミルを用い、うずまき線のX軸、Y軸および逃げ歯の高さZ軸の同時3軸制御により加工した。

3. 2. 2 ホイール歯の歯切り

ホイール歯の歯切りは、フライス盤のベット上に固定した割り出し盤でワークの全円周を36等分に割り出しながら、フライス盤の主軸にワークの軸からdだけオフセットして取り付けた切削工具を半径dで回転させて、歯を1枚ずつ切削した。歯切り工具には、材質が高速度鋼SKH4の完成バイトを50°に研削成形したバイトを使用した。スパイラル歯車、およびその軸受となる試料ホルダー等の材料には、エポキシ樹脂系のHYSOLを用いた。



(A) スパイラル歯 (B) スパイラルホイール

図5 製作したスパイラル歯車

製作したスパイラル歯を図5の(A)に、ホイールを(B)に示す。

4. おわりに

以上に、極低温・強磁場での試料回転機構の材料の選定およびスパイラル歯車の機構設計・製作について報告した。回転機構に用いる3種のプラスチックの機械的・物理的性質と加工性を検討した結果、それぞれに一長一短があることが分かり、検討した3種の材料から十分に適切な材料を選定するまでに至らなかった。そこで、材質による使い分けおよび熱変形によるかみ合い、はめあいの調整を適切に行なうことにより、円滑な駆動を得ることが出来た。また、回転機構にスパイラル歯車を用いた結果、測定用リード線を巻いての試料の大きさは、ウォーム歯車を用いた回転機構より2倍程度大きい8mmとなり、所期の目的を達することが出来た。

高温超伝導体の作成と学生実験用装置の製作

静岡大学教養部 増田健二, 長島弘幸

§1 はじめに

静岡大学教養部では、3年半前より工学コース（501人、通年）、理学コース（205人、前学期）、農学コース（175人、後学期）の2年次学生を対象として、週36人年間880人の多人数にのぼる学生に超伝導実験を行っている。実験は、1回（1日）限りで、時間も3~4時間であるので試料作成から始めず、我々の作成した試料の抵抗率の温度変化の測定、磁気浮上（マイスナー効果）及び永久電流の観測の実験を行っている。今回は、この超伝導実験を学生実験に導入するにあたり担当した技術的なこと、特に学生実験用装置の製作及び、超伝導体の作成について報告した。さらに、現在試みている高温超伝導の線材化についてもあわせて報告した。

§2 実験装置の製作

学生実験は、12人で1班を作り、同じ題目を2人1組で行う。そのため実験装置は、6セット必要となり、装置を製作する場合には、学生にも簡単に操作できることはもとより、できるだけ安価で製作することが必要となる。

抵抗率の温度変化の測定装置で工夫したことは、学生にも簡単に操作できる試料ホルダーを製作したことである（図-1）。この試料ホルダーは、試料の温度分布の均一性を増すため、試料を5mm程度の銅で囲み、ホルダー下部の銅ブロックが窒素液面にある時に転移温度近く（~100K）になるように設定してある。そして、転移温度付近の抵抗率の急激な変化を上下用ネジを回すことで簡単に測定できる。抵抗率は4端子法を用い、図-1、右に示すように直方体試料の両端A、Bから電流I（10mA）を流し、C、D端子で電圧Vを測定し、抵抗R（ $R = V / I$ ）を求める。そして、試料の断面積Sと電圧端子間の距離 l より、抵抗率 ρ （ $\rho = SR / l$ ）を求めた。温度の測定は、クロメル-アルメル熱電対を用い、絶縁のためテフロンチューブに入れ、試料下の（1mm程削った）ベーク板にエポキシで接着した。較正は、金-鉄-クロメル熱電対（大阪酸素工業KK製）で行っている。

図-2に測定系を示す。熱電対の出力電圧、試料の電圧端子からの電圧は、チョッパー型増幅器（MAX432CPA）で各々200倍、100倍に増幅した後、デジタル型のテスターで測定する。なお液体窒素デュア-瓶は、安全性のためにステンレス製（1L）を用いた。

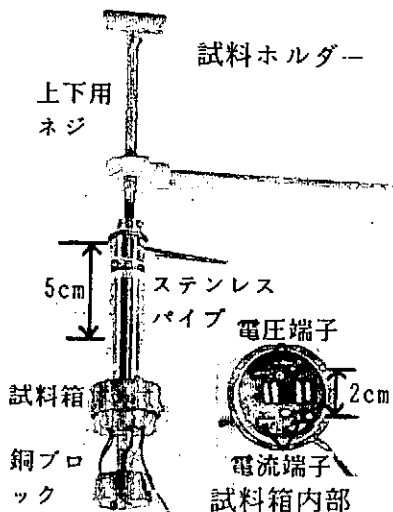


図-1 試料ホルダー

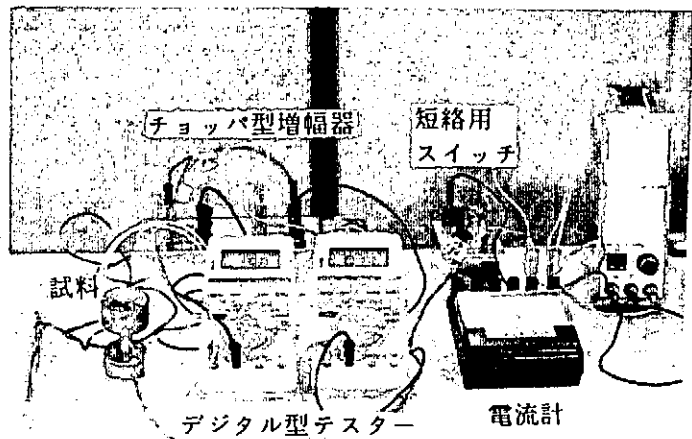


図-2 測定系

§ 3 高温超伝導体の作成

試料の作成としては、学生実験で使用しているイットリウム系 ($Y_1Ba_2Cu_3O_7$) と、ビスマス系 ($Bi_{1.7}Pb_{0.3}Sr_2Ca_2Cu_3O_7$) の高温超伝導体を作成した。(以降、イットリウム系を Y 系、ビスマス系を Bi 系と称す。) 図-3 に作成した試料を示す。試料は、抵抗率測定用の直方体のもの ($18 \times 8 \times 2$ mm, 左) と磁気浮上用及び永久電流観測用の大型のもの (直径 50×10 mm, 右) である。図-4 に試料作成工程を示す。

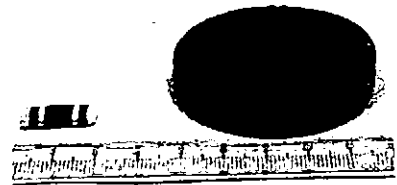


図-3 試料の写真

図-5 に焼結温度と試料の抵抗が消失する温度の関係のグラフを示す。Y 系は、焼結温度が $870 \sim 990^\circ\text{C}$ という広い領域で超伝導体となり、抵抗が消失する温度が高いのは、 950°C 前後である。Bi 系は、焼結温度が $840^\circ\text{C} \sim 870^\circ\text{C}$ と超伝導体となる温度領域が狭く、 860°C 前後が焼く温度として適していることが分る。今まで作成した Y 系、Bi 系試料の中で、最も抵抗が消失する温度が高い測定結果を図-6 に示す。Y 系は $T_0 = 93.8\text{K}$ 。Bi 系は、 $T_0 = 108.0\text{K}$ で抵抗が消失した。図-7 に Y 系超伝導体の経時変化を示す。この結果は、学生実験で '87年10月から '89年7月までの21ヶ月間使用した試料の室温における抵抗率の変化を記録し、2週間ごとに整理したものである。同じ試料を長期間使うためには、Y 系は、水分による表面劣化を生じるため、実験終了後、すぐにデシケータに保存する。

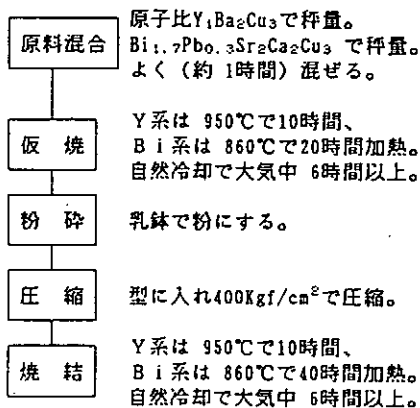


図-4 試料作成工程

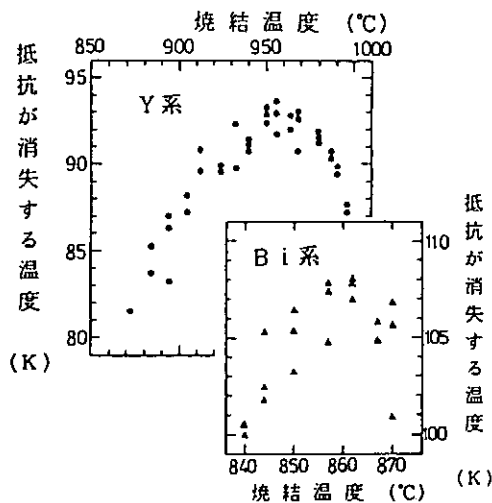


図-5 焼結温度と試料の抵抗が消失する温度との関係

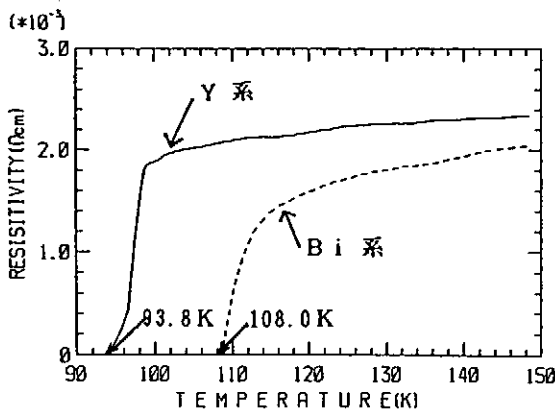


図-6 抵抗率の温度変化

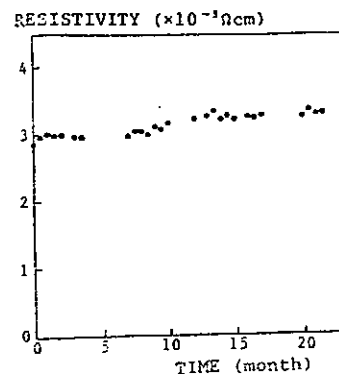


図-7 Y系超伝導体の経時変化

図-8に磁気浮上の様子を示す。直径50mm厚さ20mmの大型の超伝導体の上に強力なネオジウム磁石を置くと重心部分で15mm浮き上がる。学生には、浮く原理を超伝導体の内部に浮いている磁石と同じ磁石（鏡像磁石）ができ、互いに反発し合って浮くと説明している（図-9）。そして実際に、同じネオジウム磁石（直径14.6mm厚さ6mm、表面磁場 3.2KG）を鉛直方向に反発させると、重心部分で42mm浮き上がる（図-10）。超伝導体の表面からは、その半分の21mm浮上することになる。実験では15mm浮上し、反発力は、距離の2乗に比例することから、超伝導体内部に、浮いている磁石の1/3程度(1KG)の磁石ができていると推測できる。

図-11に永久電流の観測を示す。ネオジウム磁石を超伝導体に押し付け、急に離すと誘導電流が流れる。この永久電流からの磁力線の方向を配列した磁針により観測する。なお地磁気は、テスラコイルで打ち消してある。そして、アンペアの右ネジの法則により、磁力線の方向から永久電流の向きが推測できる（図-12）。

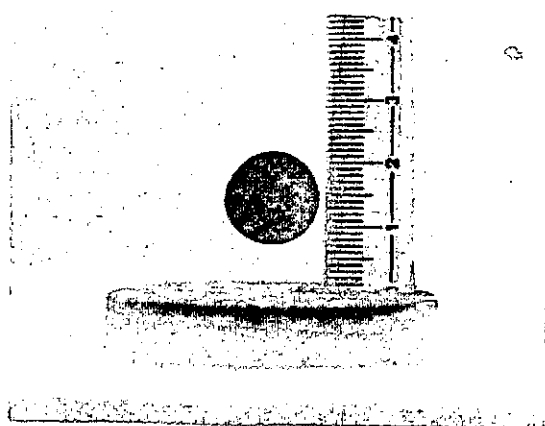


図-8 磁気浮上の様子

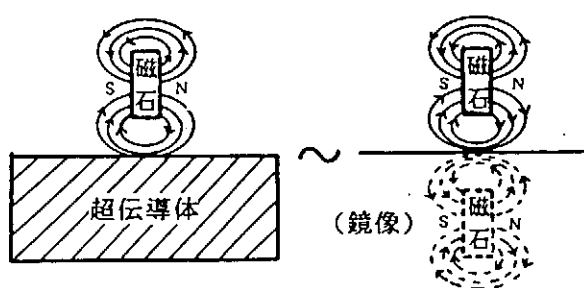


図-9 磁気浮上の原理

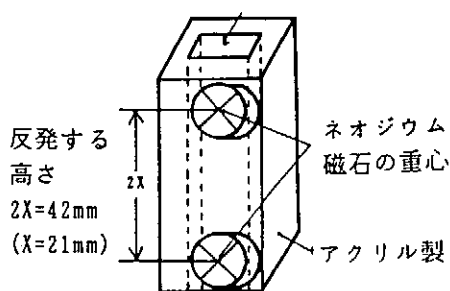


図-10

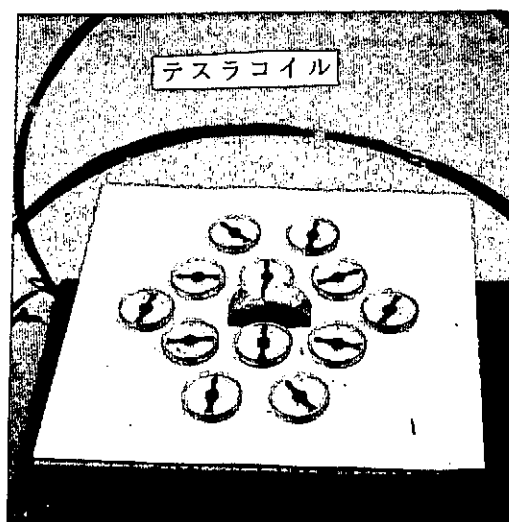


図-11 永久電流の観測

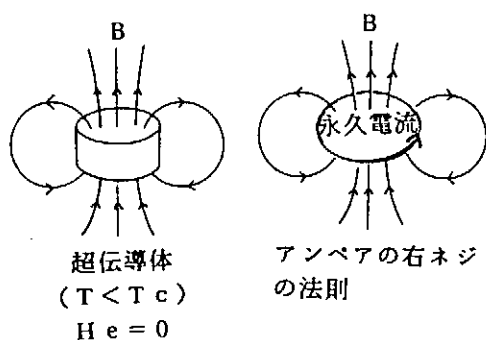


図-12

§ 4 高温超伝導の線材化

図-13にBi系超伝導の線材化工程を示す。860℃で20時間仮焼したBi系超伝導の粉を銀シース被覆パイプに入れ、圧延機を用いて細線に加工する。この圧延機は、ローラーダイスという6つのローラーに少しずつ小さくした溝が切っており、今回は、外径6mm長さ20cmのパイプに粉を一杯に詰め、外径1mm長さ2.5mの細線に圧延加工した。

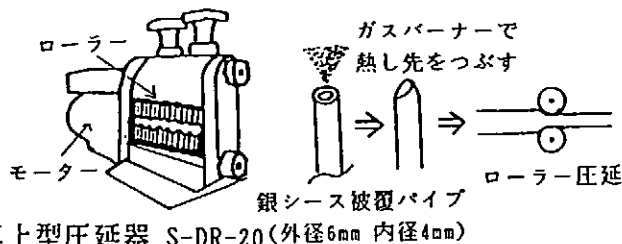


図-13 Bi系超伝導の線材化工程

図-14に、製作した線材の断面(左側)と、抵抗の測定用のつまきバネ状に加工したもの(右側)を示す。抵抗の測定は、A, Bから電流を流し、C, Dで電圧を測る、4端子法により抵抗を求める。今回製作した線材の抵抗は、室温(銀パイプ部分)で、0.08Ωあったものが、液体窒素に浸した状態で0.005Ωと1/15以下に減少したが抵抗が消失する超伝導にはならなかった。(銀の抵抗率、1.47(0℃)→0.3Ω・m(195℃)。)この原因は、ひび割れしていたり、酸欠のため超伝導になっていない部分があり、その部分は被覆してある銀パイプに電流が流れて抵抗が生じたと考えられる。

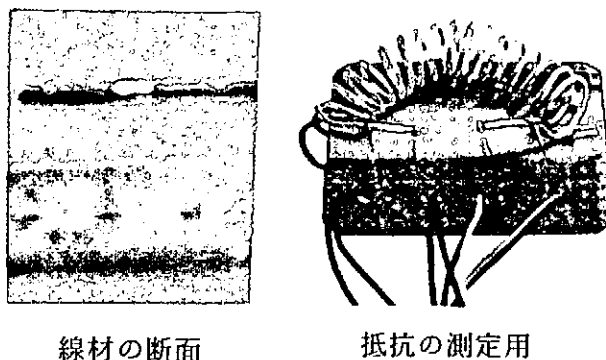


図-14

§ 5 おわりに

静岡大学教養部では、多人数(1回175~265人、年間約880人)の学生を少ないスタッフ(教官3~4人、技官1人)で指導することから、実験装置としては、手間がかからない安全で丈夫なものが要求される。その点今回導入した超伝導実験は、試料もほとんど壊れず、実験装置もよく働き、ほとんど教官、技官の手を煩わせずに学生だけで実験が行われている。さらに、超伝導が話題のテーマでもあるので、図-15のアンケート結果からも分かるように、大変学生の評判もよく、実験室に活気が感じられる。

最後に、本実験の実施に際して助言をいただいた教養部物理教室の皆様へ感謝いたします。

理・工・農学コース 880人分

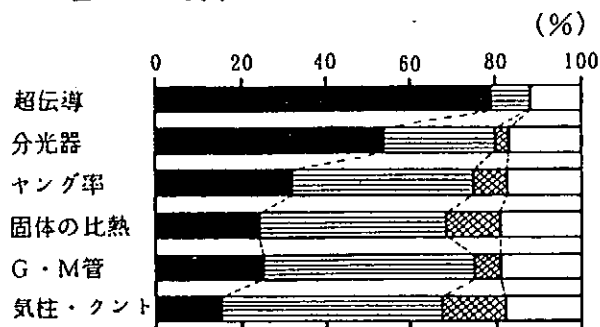


図-15 1989年度学生実験アンケート

複合微細加工機の開発

東京大学生産技術研究所 岡本 伸英 藤野 正俊

1. はじめに

当試作工場において、研究部より依頼され設計・製作する実験装置の高精度化、小型化に伴い機械・電気部品等微細加工の必要性が高まっている。これらは形状が複雑になるほど複数の工作機械を使用し、そのつど高精度な位置決めが必要となる。また、微小寸法部品では絶対寸法が小さくなるため位置決め精度はさらに厳しくなり熟練を要している。近年、特に位置度の精度が高い穴、溝加工の要求は多く早急な自動化が望まれていた。このようなことから試作工場では、エンドミル加工、ドリル加工、放電加工、の機能を兼ね備えた、(加工範囲は数十ミクロンmから3mmまで)複合微細加工機の開発を行ったので報告する。

この加工機は、X-Yテーブル上の加工物に対して前述の3種類の加工を複合的に行うものである。また、微細寸法の電極を用いて行う放電加工の場合は、電極を取り付ける際に生じる誤差を無くすためチャックに電極素材をセットした後に、ワイヤー放電研削加工(WEDG)によりオンラインで所定の寸法に成形する方法を用いている。

2. 装置の仕様

X軸, Y軸ストローク	: 80 mm
Z軸ストローク	: 20 mm
位置決め精度	: 0.005 mm
工具取り付け直径	: 0.1 mm ~ 3 mm
放電加工の電極直径	: 0.03 ~ 3 mm

3. 装置の概要 [図1]*

X軸およびY軸はパルスモータとボールネジを用いている。Z軸はギヤヘッド付きDCモータにウオームとウオームホイール、ラックとピニオンを組み合わせることにより駆動し、リニアゲージで位置を検出している。C軸はDCサーボモータとエンコーダで回転および回転角度の制御を行い、作業者は加工位置や深さ等を入力するだけで各駆動部分は自動化されている。

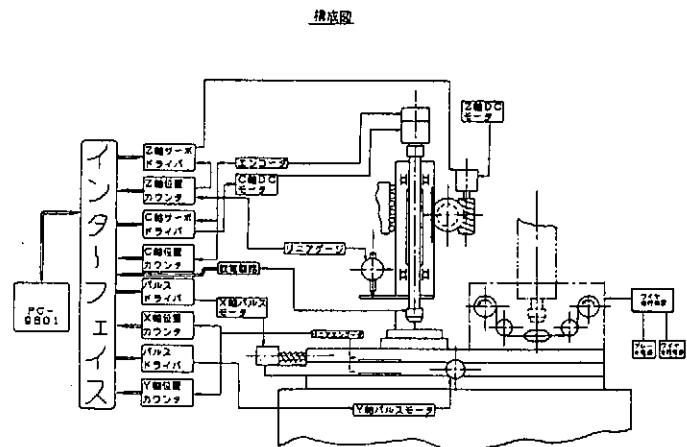


図1 (*今回リニアエンコーダは使用していない)

作業者は加工位置や深さ等を入力するだけで各駆動部分は自動化されている。

<モータとボールネジの仕様>

X軸, Y軸モータ : CSD535M-A (オリエンタルモータ製)

ボールネジ : D=12mm, P=2mm, 精度級C3, すきま記号
SP05. (KSS製)

4. 主要部分

a) 主軸部

モータの回転は(3)の伝達軸を介してチャックを取り付けてある(10)に伝えている。モータ軸, 伝達軸, チャック取り付け軸はそれぞれベローズカップリングで連結されており, 伝達軸は上下2個の深みぞ形ベアリングで支えられている。チャック取り付け軸はアンギュラ形ベアリングで回転精度を保持し(6)の間座により軸方向スキマを調整している。

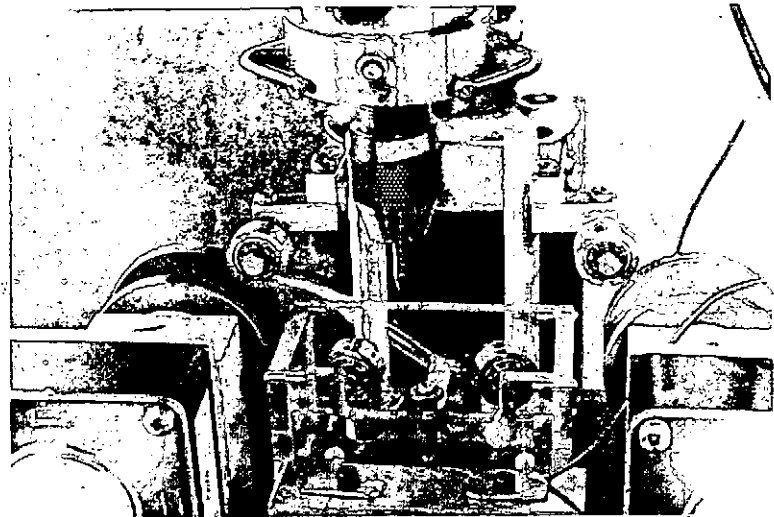
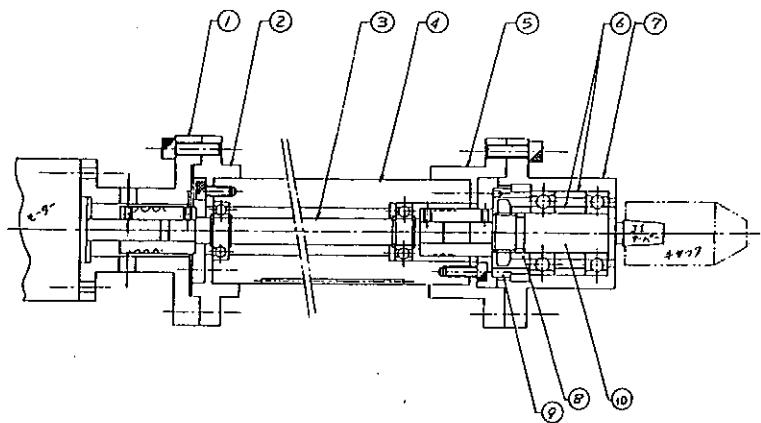


図2

主軸部組立図



[図2] に加工部分を示す。

[図3] に主軸部組立図を示す。

b) ワイヤ放電研削加工部 (WEDG)

工部 (WEDG)

2台のギヤヘッド

付きDCモータを使用し, 送り出し用モータと巻取り用モータとしている。ワイヤは直径0.2の黄銅線を用い, 送り出し用モータを逆転させることで数100gの張力を与え4個のローラーとワイヤガイドで走行の安定を計っている。

なお, この加工方法はワイヤガイドに沿って走行するワイヤを電極として素材を削るもので, 加工現象は放電加工であり加工形態は研削に似ていることからこのような名前と呼ばれている。[図4] にワイヤ走行部組立図を示す。[図5] に加工例を示す。

図3

5. 加工について

図 [6] は<試>の文字を厚さ0.2の黄銅板に2000RPMでD=0.3のドリル加工 [上図], 1000RPMでD=0.3の超硬電極を用い放電加工 [下図]を行った。ドリル加工ではバリ (図 [7]) や加工歪みにより変形しているが放電加工では (図 [8] は電極) 認められず良好であった。なお, 図 [9] はD=0.3, 1000RPMでエンドミル加工を行ったものである。微細加工におけるバリの発生は大きな問題であるが放電加工を併用すれば解決できる。材質, 精度, 等を考慮して加工方法を選択できることもこの装置の特徴である。

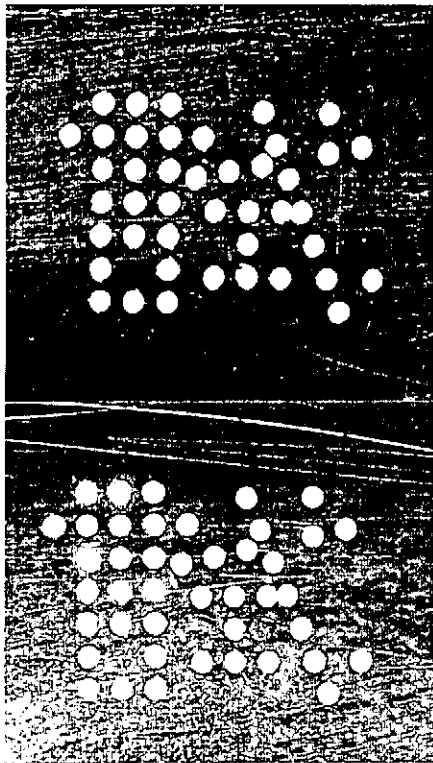


図 6

ワイヤEDG装置

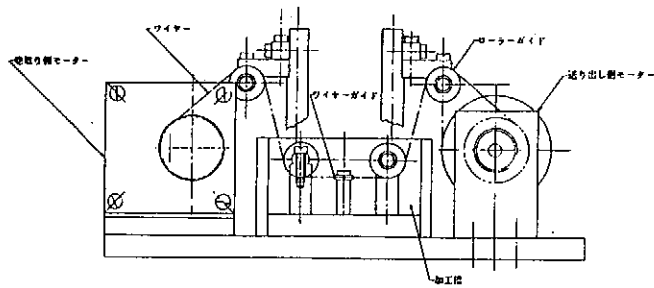


図 4

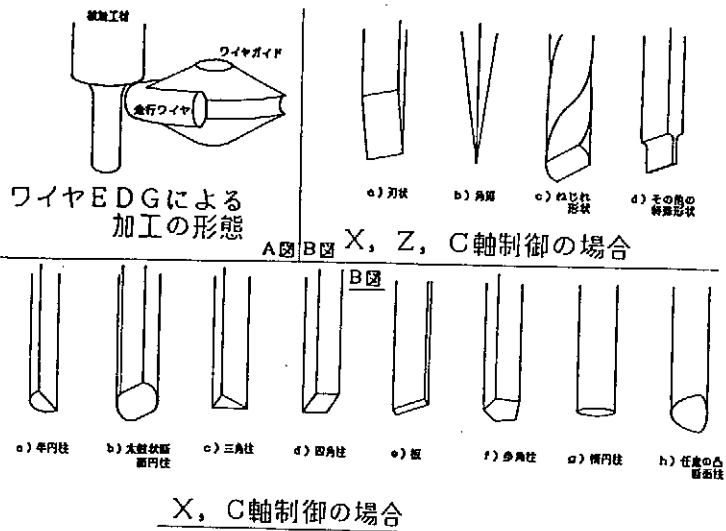


図 5

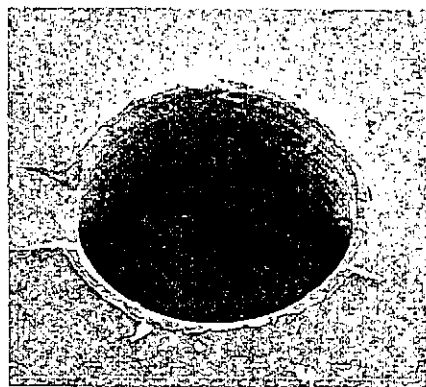


図 7

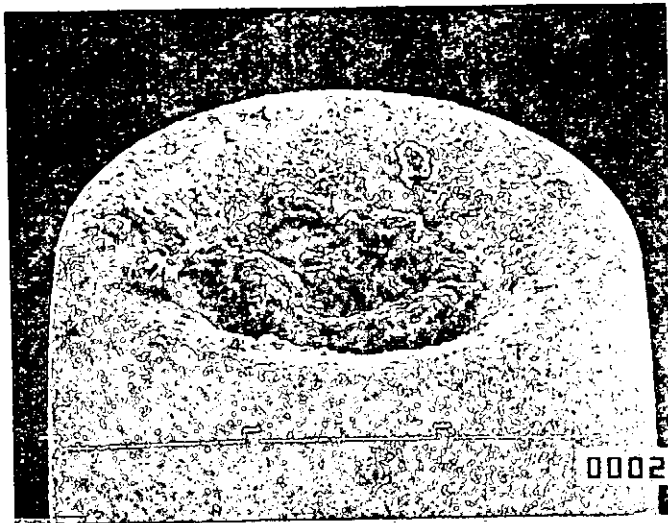


図 8

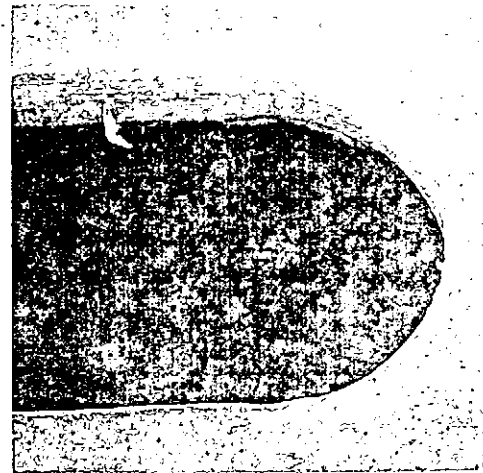


図 9

6. おわりに

従来の単機種による加工に比べ同一テーブル上で、エンドミル、ドリル、放電加工が可能なことにより加工物の位置度、同心度等の精度が向上した。また、ドリル加工を一次加工とし二次加工を放電加工とする微小穴内面の面粗さ仕上げ加工など、広い応用が期待できる。

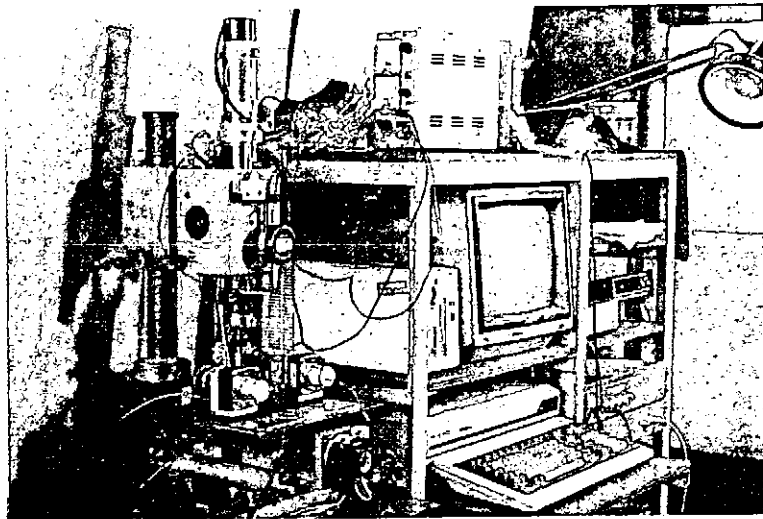


図 10 (装置の全体を示す)

今後は、

- 1) 工具の消耗、破損等トラブル時の対応
- 2) エンドミル、ドリルのWEDGによる再研磨
- 3) WEDGによる工具の製作

等の課題を検討したい。

この装置の開発に当り機会を与えて下さった木内工場長、また製作に協力して下さった古屋七郎講師、江頭修技術官、小野寺章技術官に感謝いたします。

参考文献

応用機械工学, 先端機械加工, 1989, 12

三次元CADシステムによる 希釈冷凍機的设计

名古屋大学 理学部 物理学科 河合利秀 佐藤利和

はじめに

高性能小型コンピュータ、EWS（エンジニアリング・ワークステーション）を用いた三次元CAD（コンピュータ支援設計）システムでは、従来の「製図」で表現の困難だった複雑な形状も三次元イメージを直接見ながら設計できる。これは、①重心・総重量・表面積などの必要な情報が設計段階で得られる、②設計変更機敏に対応できる、③わかりやすい三次元の形状表現を利用した技術的な検討がこれまでより深くできるなどの利点を持っており、設計作業の効率と信頼性の向上がはかれる。

最近多くなった高次元関数曲面を含んだ部品を含む装置や、多数の部品が組合わされた複雑な構造の装置は、設計作業中の混乱や誤謬がおきやすいので設計開発効率は良くなかった。こうした問題を改善するため、我々は三次元CADシステムを導入した。

我々は、三次元CADシステムを用いた設計の手始めとして、³He循環系内蔵型小型希釈冷凍機的设计を試みた。今回は、三次元CADシステムを利用した設計と従来の設計を、大学で必要とされる開発・設計の視点から比較・検討したので報告する。

1、CADシステムとは

CADシステムは、構想から製図までの一連の「設計技術」に関わる作業を、コンピュータの援助によって能率的に行うことを目的とし、パソコン上で働く小さなシステムと、EWS以上の能力を持ったコンピュータ上で働く大型のシステムとがある。

パソコン利用のCADシステムはほとんど二次元で、大学内の多くの研究室に普及し我々もすでに使用している。これは機械・建築などの製図を主目的としたもので導入経費が安いと言う利点がある。しかし、①パソコンの処理能力不足のため、たくさんの要素からなる複雑な図形に対応できない、②高次元曲面などの複雑な形状を描くことが困難、③立体図が描きにくい、④組立図を描くことが難しい、⑤実行速度が遅い、などの欠点がある。

EWSなどの高性能コンピュータを用いた三次元CADシステムは、すでに米国・日本で多くの研究機関や大企業に導入され実績をあげている最先端技術の一つである。このシステムは、コンピュータ・グラフィックスを駆使した三次元モデルによる形状認識、有限要素法による応力・歪み・熱など解析機能の付加、二次元での強力な製図能力など、総合的な設計支援環境を提供する。

2、CADシステムの概略

名古屋大学理学部では、装置開発室に、二次元から汎用解析までの一貫した設計支援システムとして、Advance-CAD（二次元CAD）、米国・PTC社のPro/ENGINEER（三次元CAD）、PATRAN（有限要素解析）と、物理金工室にPro/ENGINEERを採用し、両室とのデータ互換を保たせた。システムの概略を図（1）に示す。

我々が採用した三次元CADシステムは、他の三次元CADシステムと比較して数々の優れた特徴がある。三次元CADシステムの多くは、立方体、円錐、円柱、円筒、球などの基本的な三次元形状を組み合わせて論理演算することにより、三次元モデルを定義する。この方法はモデル作成に熟練が必要なうえ、設計作業において頻繁に行われる形状や寸法の変更に対応が困難である。これに対し、Pro/ENGINEERは、簡単なスケッチと立体の定義付け（突き出し、回転、穴など）を組み合わせて複雑なモデルを定義する、単一データベースとリレーション機能によってどの時点からでも形状の変更ができる、など従来の三次元CADシステムの欠点が大幅に改善されている。

3、 ^3He 内部循環式希釈冷凍機について

我々は、三次元CADシステム導入の初仕事として、「 ^3He 内部循環式小型希釈冷凍機」の設計を手掛けた。

希釈冷凍機は複雑な実験装置の一つで、操作方法や保守が難しいため、これらに対応する技術力量のあるところ以外で使用できなかった。しかし、最近になって、液体He移送用コンテナに直接挿入して低温実験ができる「小型希釈冷凍機」がオックスフォード大学によって製品化された。この「小型希釈冷凍機」はコンパクトにまとめたガスハンドリングシステムを備えており、実験室のわずかなスペースに設置して実験できる装置である。我々が設計を手掛けている「 ^3He 内部循環式小型希釈冷凍機」は、名古屋大学理学部金属・磁性研究室考案のものである。これはオックスフォードのものを改良し、液体Heさえあればどこでも手軽に使用できるよう、マイコン制御によるガスハンドリングシステムの自動化と ^3He 循環系を液体Heデューワーに内蔵したものである。

希釈冷凍機は多くの部品を組み立てて製作する。このような装置は、実際の組立段階で何回も繰り返して行う調整作業によって決定されることから、開発効率がたいへん悪い。我々は三次元CADシステムを利用すれば技術的検討をこれまで以上に深められ、より開発効率を向上させることができると考えた。

今回はCADシステムについて詳しく報告するので、 ^3He 内部循環式小型希釈冷凍機の概略を図(2)に示すにとどめ、詳細は別稿に譲る。

4、装置開発における「設計」の概念について

装置開発の初期「設計」は、開発しようとする装置の三次元イメージを頭の中に構築する。そして、このイメージを組み合わせたリ変化させて新しい機構のアイデアや装置の基礎的な型を創る。このとき、簡単な見取図や原理図を書いて推考の補助とする。

開発する装置のイメージが成熟したところで、「製図」の技術を駆使して綿密に設計図を仕上げる。このとき頭の中にあるアイデアや機構は、三次元のまま記録できないので、二次元に変換した「製図」として記録する。この「製図」は装置が大がかりで複雑なほど難解なものになる。

大学における装置開発の設計では、研究者と技術職員がよく討議し、完成度の高い装置に仕上げていく過程が最も重要である。この段階では、研究者と技術職員の様々なアイデアの有効性、仕様、要求、性能の比較、確認及び予測などの検討を行う。このとき研究者と技術職員相互の形状認識が正確に一致しなければならない。しかし、これまでの複雑な装置では、製図に頼った議論の中で形状認識に費やす時間増、認識の不一致による誤謬及び問題の見落とし、設計不良、製作効率の悪さ、部品製作時の間違いなどが発生する。

こうした問題は、研究者や技術職員が二次元「製図」と三次元イメージを変換する際の単純な間違いによって引き起こされる。

以上のべてきた「設計」手法の問題点を改善する手段として三次元CADシステムを考えたとき、これは三次元イメージのまま設計作業の全てを直接実行できるので、二次元と三次元の変換に伴う問題の解決となる。特に、複雑・難解な形状の実験装置を設計する場合、技術的な検討や評価を充分行うことができ、効率と信頼性を格段に向上する設計開発環境を作り出すことができる。

5、三次元CADシステムの利点と問題点 —— 従来の方法との比較 ——

従来の設計方法と比較して、利点と問題点を以下にまとめる。

利点としては、二次元と三次元の総合的な設計支援システムであるPro/ENGINEERシステムが、十分な実用性を備えており、設計開発の信頼性と効率が向上できた。導入前、三次元CADシステムは、アイデア段階で細部が不明確なものは表現できないのではないかと考えていた。しかし、Pro/ENGINEERは曖昧なものでも形状定義をしていく過程で徐々に

細部を詰めていく（一度作った形状データの寸法、形状を後に変更していく）方法が可能な柔軟なものであり、全体の検討段階からおおよその形を研究者に提示しその後細部の寸法を決定していく従来の設計手法の良い点が活かされ、設計作業がより洗練された。

また、Pro/ENGINEERは、少し慣れれば手書き「製図」より早く部品図を作成でき、かつ短期間（マニュアルにある練習問題を約五日取り組む）で操作方法を習得できるので、多くの技術職員に普及できる。研究会で紹介した希釈冷凍機の図形データは約5日間で作成したものの1/4ほどである。しかも、従来では不十分な組立手順の検討が三次元モデルを対象にして精密にできた。

問題点として次に上げるものは見方を変えれば欠点とはいえないものである。

- ①、コンピュータのソフトウェアを利用した場合に、本来の目的である「設計」と別のコンピュータの管理技術を習得しなければならない。しかし、これは新しい技術の獲得という積極的な面も持っている。
- ②、ソフトウェアの使用説明書（マニュアル）に不備や間違いがある。
- ③、パソコンで二次元CADやワープロを使いこなしている人にとっては簡単に乗り越えられるが、コンピュータ画面に表示される英文コマンドや解説に圧倒されてコンピュータやワープロは嫌いだという人にとって手を出しにくい。
- ④、大量データの複雑な形状を処理する時、データがEWSの内部記憶容量を超えると外部記憶装置（ハードディスク）の一時記憶領域を頻繁にアクセスするためEWSの演算速度でも遅いと感じる。

6. まとめ

我々はこれまで述べてきたように、三次元CADシステムのトレーニングとして希釈冷凍機的设计を試みている。そして、今回導入した三次元CADシステムが実用性の高いものであることを確認した。

我々は、希釈冷凍機的设计作業をさらに精密に進めている。同時に、このCADシステムが有効に稼働するために重要な作業として、プリンター出力の整備、マニュアルの改訂、バグ出し、CADシステム利用希望者の教育などに取り組んでいる。この作業のため、平成3年度奨励研究（B）にも応募した。

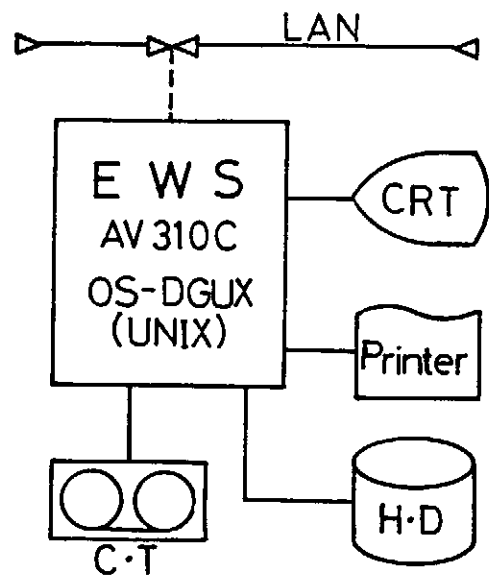


図1、三次元CADシステムの概略

参考文献

- 1、Pro/ENGINEER User Guides Release 5.0, 6.0
Parametric Technology Corporation
- 2、Pro/ENGINEER 基本操作説明書
株式会社テクノダイヤ営業本部システム営業二部
- 3、Pro/ENGINEER NEWS 第2号
伊藤忠テクノサイエンスK.K.DMAシステム部MDA第2グループ
- 4、 $^3\text{He} - ^4\text{He}$ 希釈冷凍機の原理と設計上の要点 I 小田祺景
日本物理学会誌 第37巻 第5号 P409-418 1982年
- 5、 $^3\text{He} - ^4\text{He}$ 希釈冷凍機の原理と設計上の要点 II 小田祺景
日本物理学会誌 第37巻 第7号 P595-600 1982年
- 6、Experimental Principles and Methods Below 1K O.V.LOUNASMA

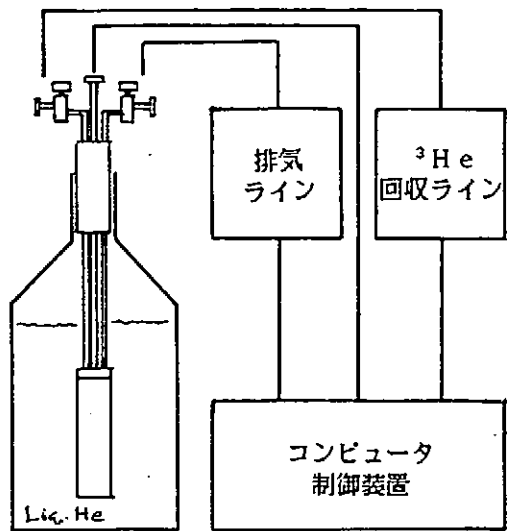


図2、 ^3He 内部循環式小型希釈冷凍機の概略

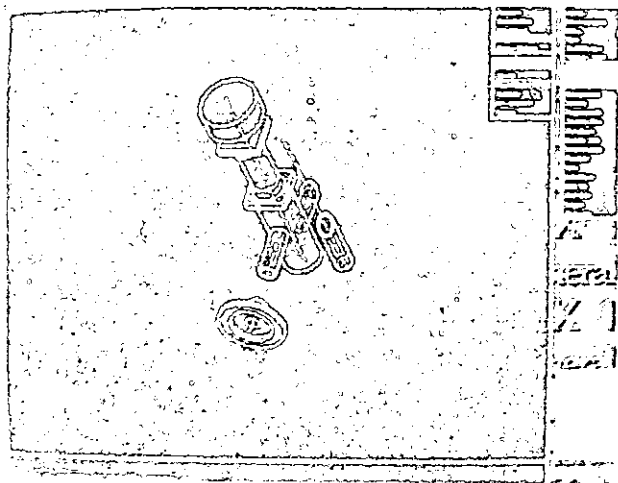


写真1、構成部品の作図
(ワイヤーフレームモデル)

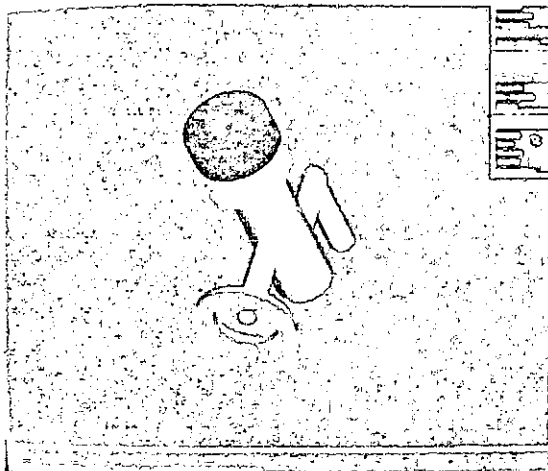


写真2、完成された部品
(ソリッドモデル)

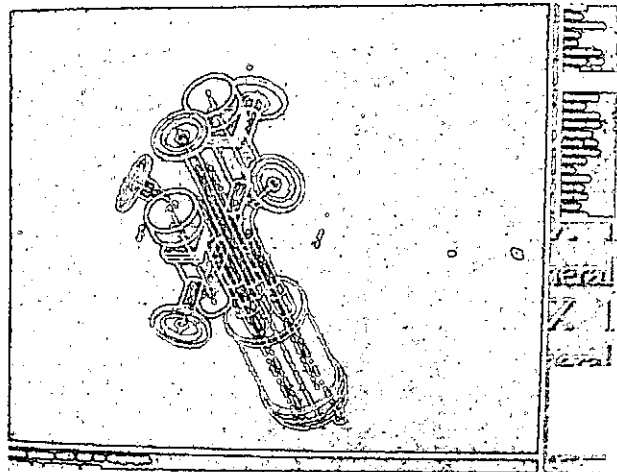


写真3、希釈冷凍機上部の組立
(ワイヤーフレームモデル)

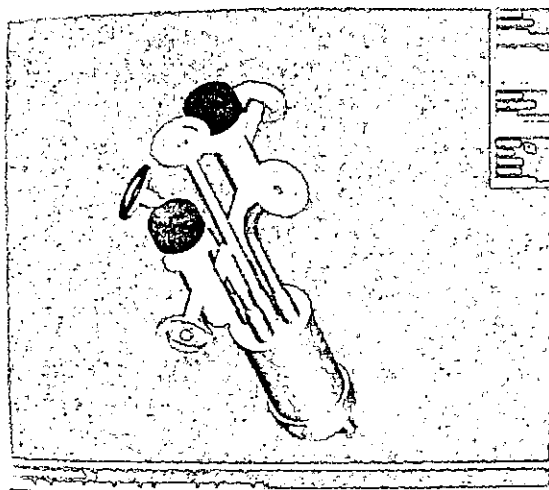


写真4、希釈冷凍機上部の組立
(ソリッドモデル)

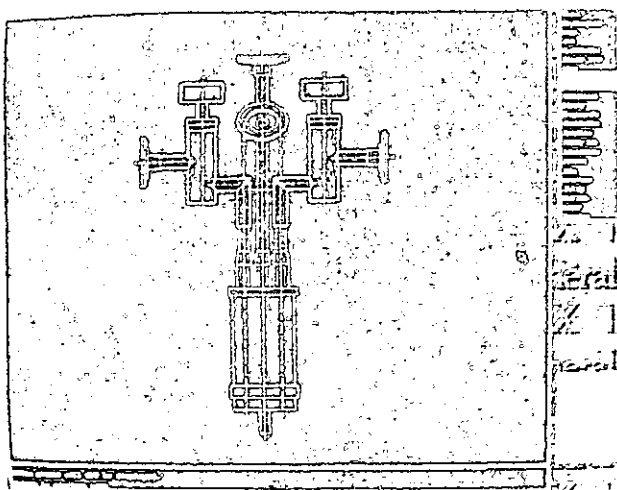


写真5、希釈冷凍機上部の正面図
(ワイヤーフレームモデル)

エレクトロニクス装置の製作Ⅱ

—磁化測定—

名古屋大学理学部物理 水野晴夫

1. はじめに

名大理学部物理学科の3年学生実験では装置が老朽化して更新しなければならない実験テーマが幾つかある。それらの実験をリフレッシュし魅力あるものにするために、私は微力ではあるが可能な範囲でその装置の設計・製作を教官スタッフとともにこなしている。

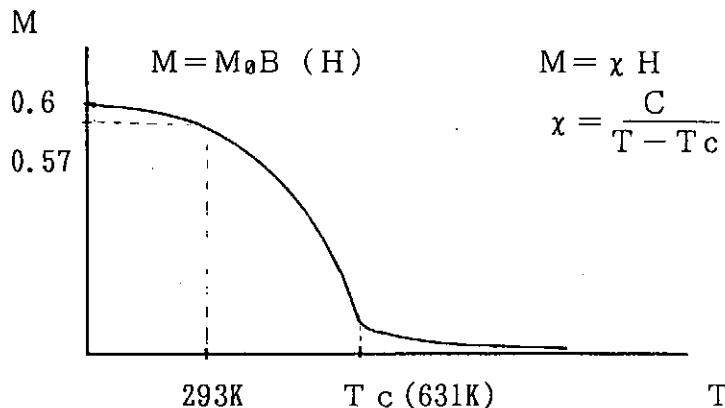
更新予定のひとつに磁化測定の実験があり、そのために今回ロックインアンプを製作した。そして組み上げた実験システムでこのアンプを用いて予備実験をし得られたデータが有意であるか吟味をおこなった。すなわち磁化の測定が本当にできているのかを確かめた訳である。これができていれば実験として一応メドがたつことになる。更新予定の実験テーマにとってこれは重要なことである。だから予備実験には念をいれ、多くの時間を割いた。こうした理由で、製作よりも実験の方に重点をおく報告になった。

2. <磁化測定実験>の説明

・実験目的

磁性体の相転移及び強磁性体、常磁性体を磁化率の測定を通して理解する。

今、試料にNiを用いH（磁界）＝一定のもとで温度変化させると磁気モーメントMと温度Tの関係は次のようになる。



つまり上の図は以下のことを表している。

- (1) キュリー温度と呼ばれる臨界温度 T_c 以上では、キュリー・ワイスの法則に従って磁化率は温度変化する。
$$\chi = \frac{C}{T - T_c}$$

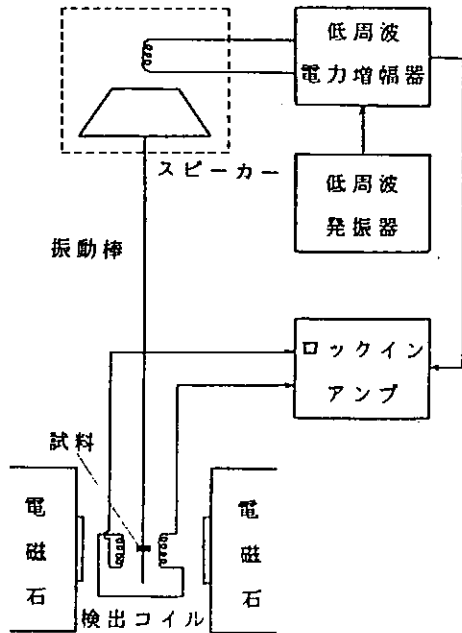
- (2) T_c 以下では磁気モーメントの温度変化はブリュアン関数で表現される。

- (3) T_c で相転移（強磁性 \longleftrightarrow 常磁性）が起きる。

T_c 以上で試料（Ni）は常磁性（ $M = \chi H$ の関係が成立（ χ :磁化率,常磁性ではおよそ 10^{-5} emu/g ）となる。その磁気モーメントは $H = 1000 \text{ gauss}$ とおくと M は 10^{-2} emu/g である。一方 T_c 以下では強磁性となり磁気モーメント M は数 10 emu/g となる。つまり試料を上図のように温度変化させて M を計ろうとすれば測定器に感度の高さとダイナミックレンジが要求される。（emu:電磁cgs単位系）

3. 測定原理

試料を変位させそれによって検出コイルに誘起した起電力を測定して磁気モーメントを推定する。特にVSM法 (Vibrating-Sample Magnetometer) では、一定周波数で試料を振動させ検出コイルの誘導起電力を検出するので、ロックインアンプを用いることにより非常に弱い磁化の測定も可能になる。



VSM法の構成

・振動部

加振器 スピーカーおよび振動棒

制御部 低周波発振器および低周波電力増幅器

・検出部

検出コイル
ロックインアンプ

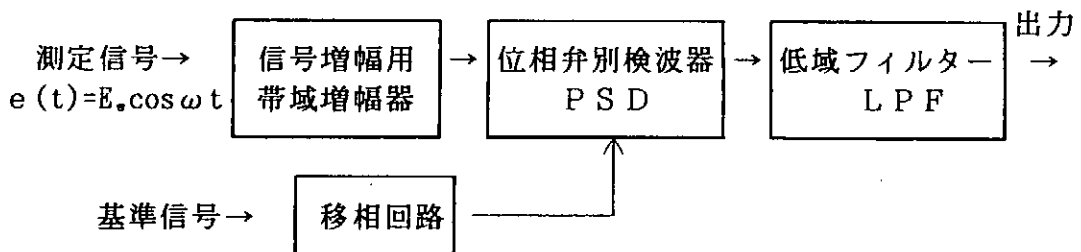
電磁石

今、試料の振動数・振幅・磁気モーメントをそれぞれ f, a, M とすれば誘導起電力 V は $V = kafM$ (k : 比例定数) で表される。ここで k はコイルの位置及び性質で定まる定数であり、 f は 100Hz に設定されている。

低周波電力増幅器の出力をリファレンス信号にして誘導起電力 V をロックインアンプで計測する。得られた起電力から磁気モーメントを推定するには磁気モーメントの既知の試料 (たとえば Ni) であらかじめ起電力を校正しておく。

4. ロックインアンプの製作

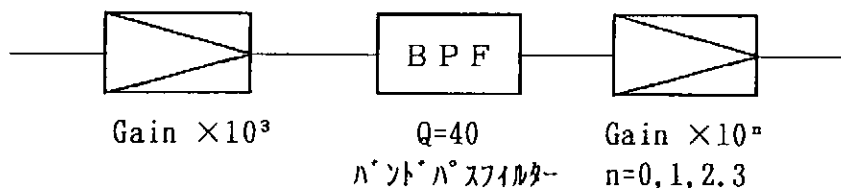
ブロック図を次にしめす。



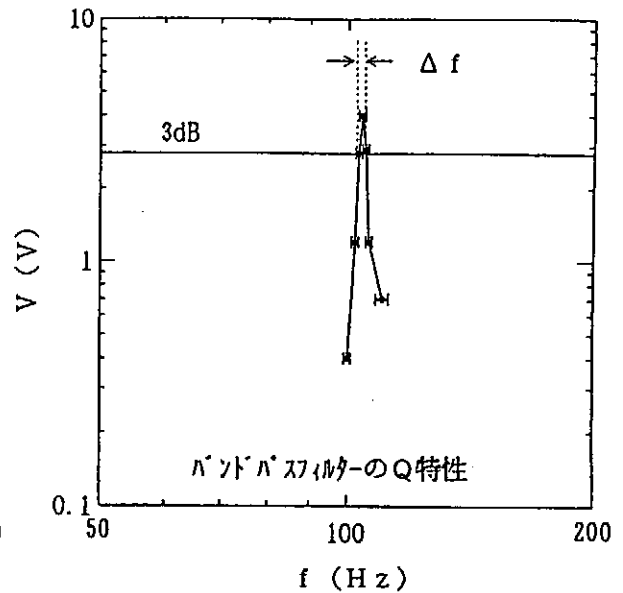
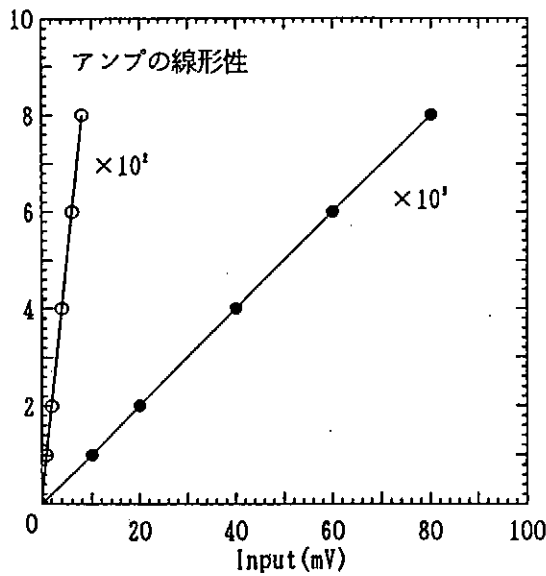
動作原理は位相弁別検波器 (phase sensitive detector: PSD) の雑音除去能力を積極的に活用した狭帯域交流増幅器である。基本的構成は上図のように測定信号と同一周波数の信号を作り、これを PSD にそれぞれ加え、得られた低周波成分を低域フィルターを通して出力とするものである。

・信号増幅用帯域増幅器—プリアンプ—

常磁性を計測するには $1\ \mu\text{V}$ の感度がアンプに必要である。プリアンプの回路構成をつぎに示す。



プリアンプの特性を次に示す。



・プリアンプのノイズ

1×10^7 のGainで0.3Vの出力だから入力換算雑音電圧は30 nVとなる。

ここでノイズ計算をしてみると

初段のOPアンプ (OP-27) の特性 $\left[\begin{array}{l} \text{電圧性ノイズ } V_n: 3.5 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}} \\ \text{電流性ノイズ } i_n: 1 \text{ pA}/\sqrt{\text{Hz}} \end{array} \right]$ から

今バンド幅を1 Hzとすると

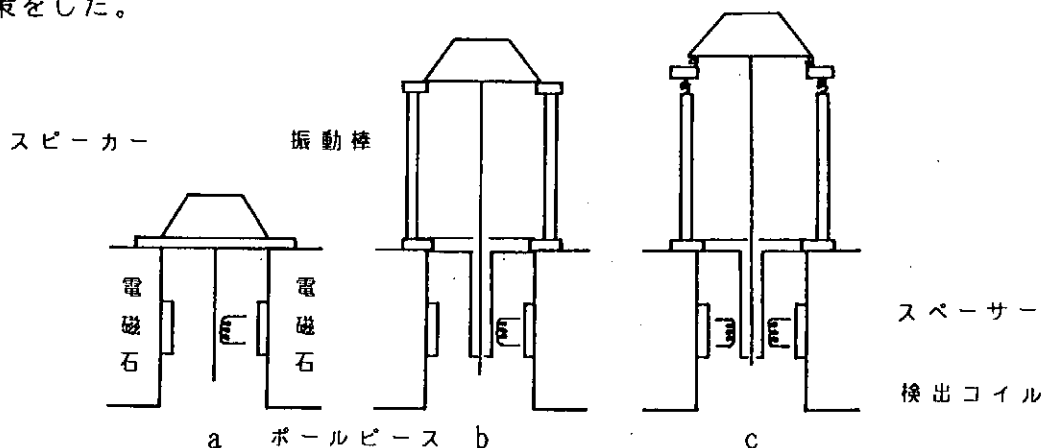
$$V_n = \sqrt{4 K T R + V_n^2 + i_n^2} \quad (K: \text{ボルツマン定数}, T: 290\text{K}, R: 1\text{k}\Omega)$$

$$= 4 \text{ nV}$$

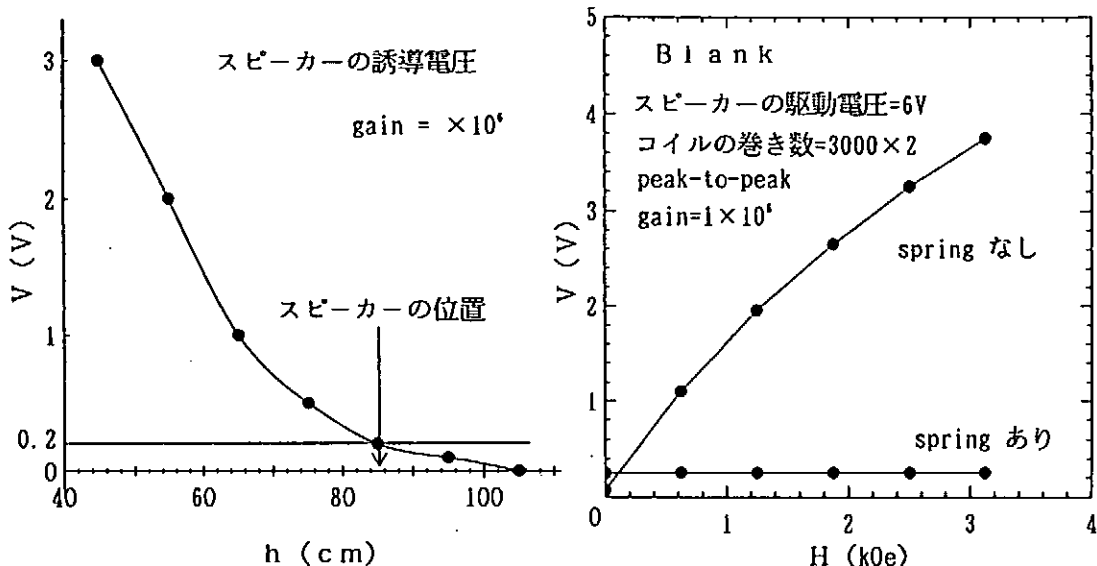
となる。

5. 磁化測定

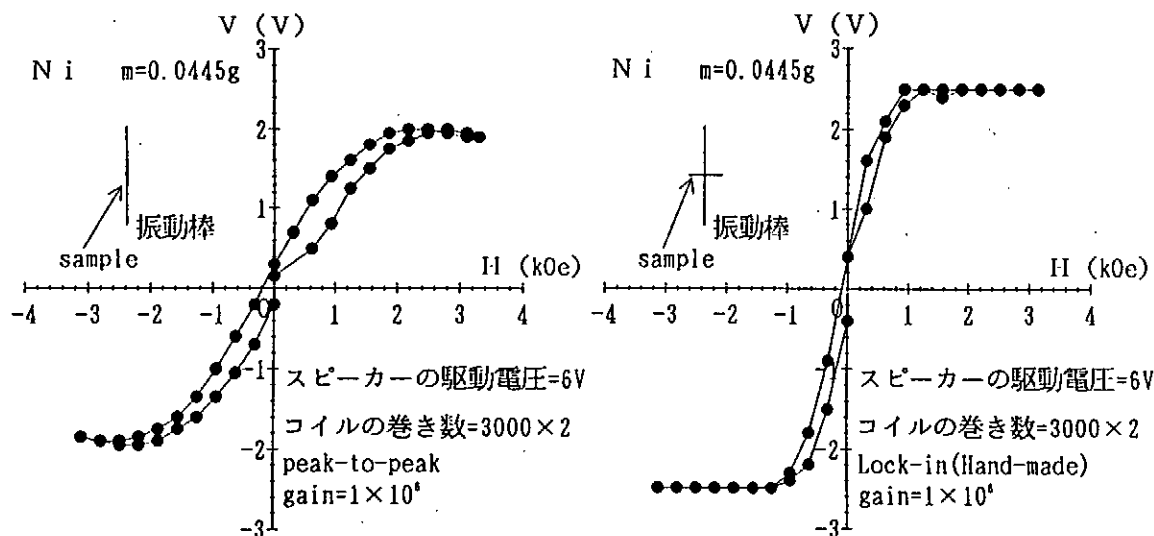
自作したロックインアンプを用いてNi (0.0445g) の磁化測定をおこなった。この予備実験では数々のトラブルが生じたが、それらを解決するために次のような対策をした。



図中のaでは電磁石の木枠に直接スピーカーを取り付け、bではスピーカーを電磁石から離し (aの位置より上方60cm)、cではスピーカーの支持台、支持棒にスプリングをつけた。つまりaからbではスピーカーからの検出コイルが受ける誘導電圧を、bからcではスピーカーから検出コイルが受けるメカニカルな振動をそれぞれ減らすように対策を講じた。それとともにb,cでは振動棒の横振れを少なくするようにスペーサーに改良を加えた。その結果をグラフによって以下に示す。



上の左図がスピーカーと検出コイル間の距離と誘導電圧ノイズの関係を示し、右図が検出コイルの振動ノイズのスプリングによる除振効果を磁場中で示したものである。今回の予備実験で最終的に得られたNiのH-M曲線を次に示す。



細長の試料が上の左図では振動棒方向に、右図ではそれと垂直方向に取り付けられている。それぞれの磁化曲線を比べてみると磁性試料の形状による反磁界の影響があらわれているのがよくわかる。もちろん形状によって求められる反磁界係数で左図をずれ補正してやれば右図のような磁化曲線になる。

6. 評価とまとめ

2の実験目的のところで述べたように磁性体の磁化率の温度変化を測定するには測定器に1000倍のダイナミックレンジと $1 \mu\text{V}$ の感度が必要である。製作したロックインアンプはこれらを十分に満足している。

システムとしてみると、2emuのNi試料(0.0445g)の誘導起電力は $2 \mu\text{V}$ であり、それから試料の振幅を算出すると $1.7 \mu\text{m}$ になる。この値は余りにも小さすぎるので加振部の改良が必要だろう。そして起電力は試料の振動数、振幅、磁気モーメントに比例し、試料とコイル間の距離を r とすると r^5 に逆比例するから、これらを改善することによってシステムの感度はより増大するはずである。最後に実験として再現性に欠けている点に触れておかなければならない。これは除振の方法や試料の横振れを防ぐスペーサーが手作りのバラックであること等が原因であろう。それにしてもまだ解決しなければならない課題が多いのが現状である。

資材係中央部品室の電算化

核融合研 水澤清二、鈴木早由美、藤若節也

はじめに

在庫種類約2500点を数える本研究所技術部製作技術課資材系の中央部品室では、省力化・入出庫手続きの簡素化および書類処理の正確さを目的として、部品管理の電算化を試みました。

在庫品の出し入れには金銭計算が伴うので、大型計算機の利用の前にまずはパソコンでシステムを構築し、ハード・ソフトの両面の評価を行いました。

パソコンは富士通の16β、これは特に選んだ訳ではなく、使っていないのがあったのでそれを用い、言語はMS-DOS上のFBASICでバグ取りを考慮してコンパイルはせずに、走らせています。

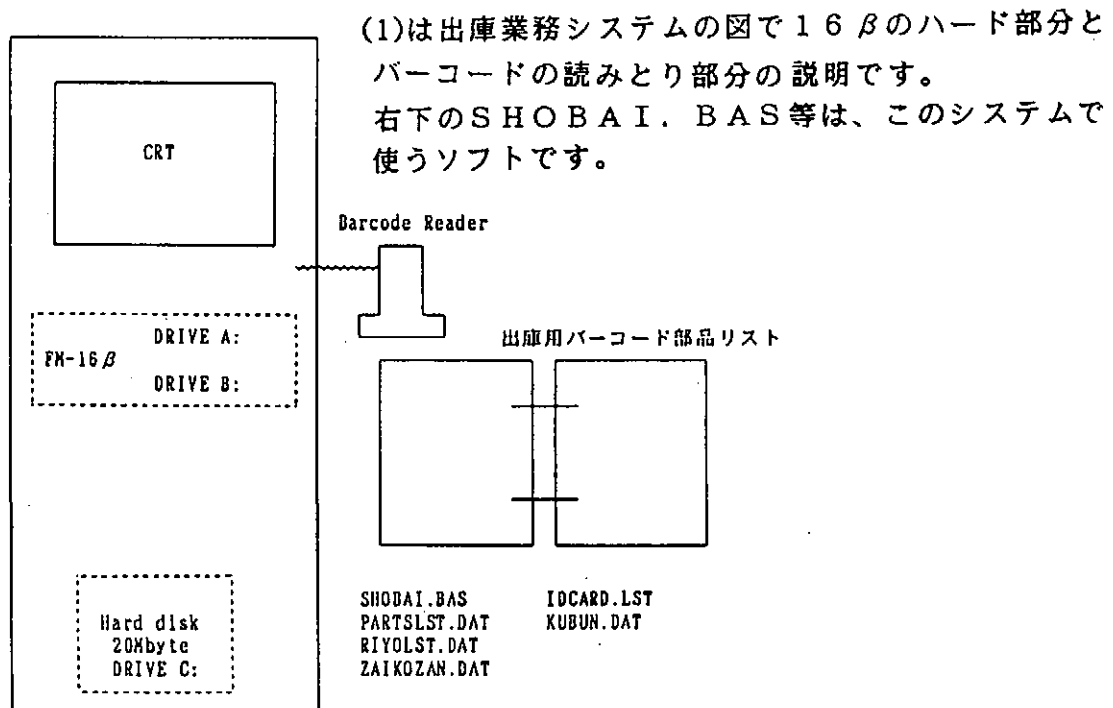
システムを具体化する際、最初に考えさせられるのはコンピューターとのデータのやりとりにどう云う方法を取るかであります。いろいろ検討した結果、利用者名・データ等の入力にはバーコードを利用することにした。最大の理由は強力な磁場を至るところで発生させている当研究所では磁気カードの使用は不利であり、かといってICカードは高価である、ということによります。

利用者に各自の研究コードをバーコード化したIDカードを配布し、部品室にはバーコードによる出庫リストを備え、出庫者・部品・出庫数をバーコードリーダーで計算機に書き込ませる方法を取りました。

ここでシステムの概略を説明します。システムは大きく分けて4つの小さいシステムで出来ています。

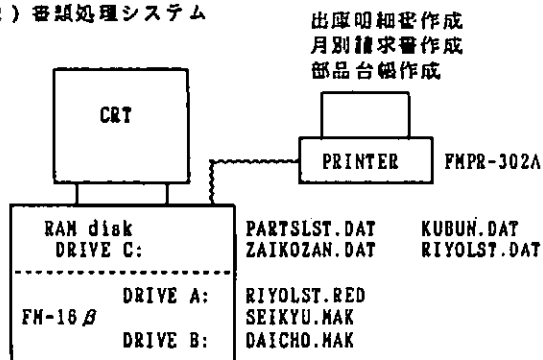
システムの図解

(1) 出庫業務システム



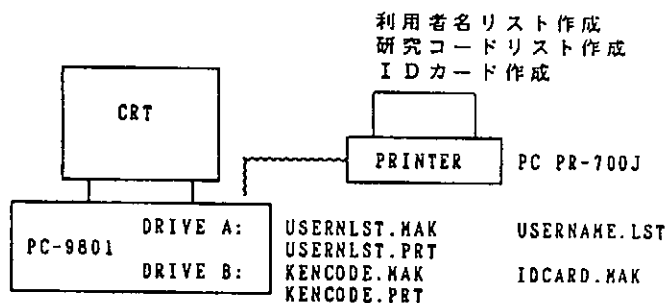
(2)は書類処理システムで、別の16βで在庫明細書・月別請求書・部品台帳作成を行うシステムです。右下はやはりこのシステムで使うソフトです。

(2) 書類処理システム



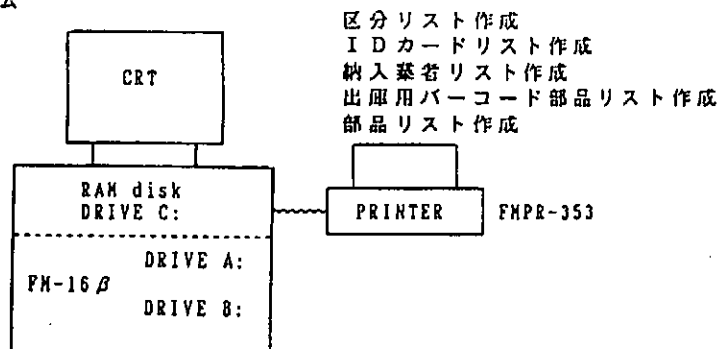
(3)はIDカードを作るためのシステムで名刺用紙に氏名やバーコードを印刷するのに適したプリンターPC-PR700Jを使うため 計算機はNECのPC-9801を使っています。右側は使用するソフトです。

(3) IDカード作成システム



(4)は本システムを構築するのに必要な各種のデータを計算機に与えてやるための準備処理を行うシステムで区分リスト・IDカードリスト・納入業者リスト・在庫用バーコード部品リスト・部品リストを作成します。下の4段のうち、上3段はこれらを作るためのソフトで、下の1段がそれらのデータファイルです。

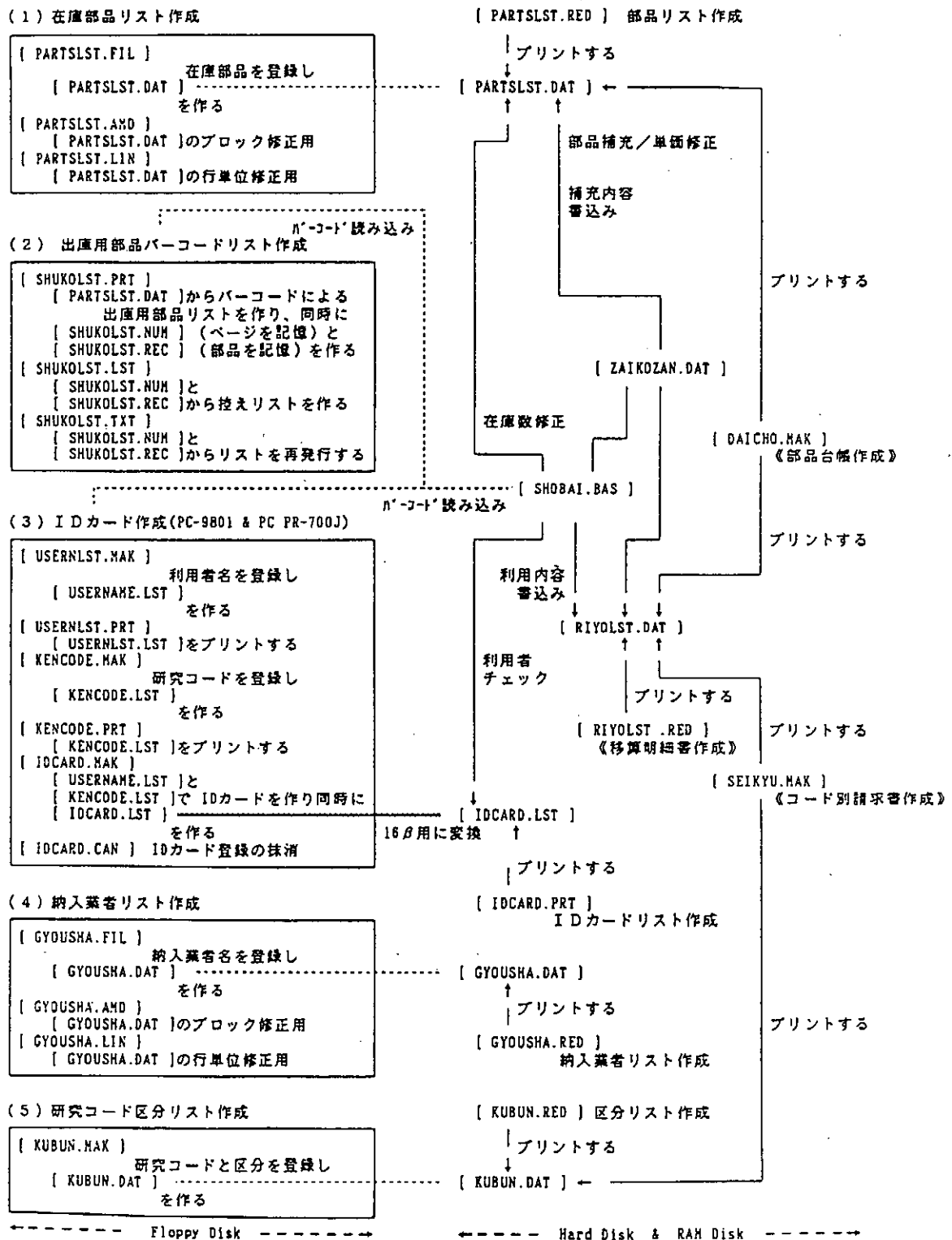
(4) 準備処理システム



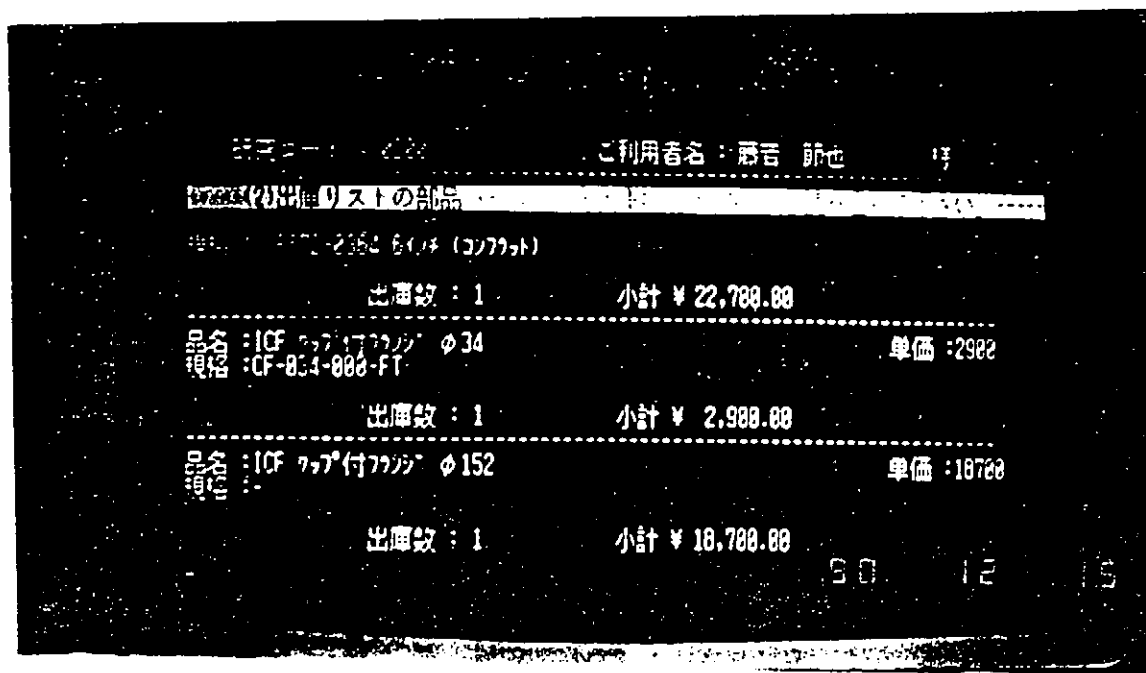
PARTSLST.FIL	PARTSLST.AMD	PARTSLST.LIN	PARTSLST.RED	GYOUSHA.LIN	GYOUSHA.RED
SHUKOLST.PRT	SHUKOLST.LST	SHUKOLST.TXT	GYOUSHA.FIL	GYOUSHA.AMD	KUBUN.MAK
KUBUN.RED	IDCARD.CAN	IDCARD.PRT			
PARTSLST.DAT	SHUKOLST.NUM	SHUKOLST.REC	GYOUSHA.DAT	KUBUN.DAT	IDCARD.DAT

(5)は本システムの運用ファイルとそれぞれのデータファイルの関係を示した流れ図です。

(5) 中央部品室電算化用各種ファイルと流れ図



これは出庫リストのバーコードをバーコードリーダーで読み込んだものを、16βのCRTに表示させたところです。



以上が本システム概要の説明です。このシステムは昨年の11月から技術部内で試行運転をしていますが、この間一般の利用者にもテストをお願いし色々な角度から問題点を掘り出す努力をしています。

その内の重要と思われる点をいくつかあげて見ます。

- ★IDカードに複数の研究コード番号を
- ★バーコードよりキーボードから直接入力を
- ★CRT表示に出庫数も
- ★出庫用リスト(バーコード表)が重い、CRTに表示したら
- ★キャンセルの方法にもう1工夫を

等が出されている。もっともと思われる物や、キーボードの場合のイタズラ防止法はこちらから聞きたい物等色々あります。中央部品室内でまだ、停電対策、出庫用リスト等についていろいろ検討を重ねる必要があって、実用化にはもう1歩という感じであります。

回転型磁気プローブの試作2号機

文部省 核融合科学研究所

技術部製作技術課

藤若 節也

プラズマの位置制御には、高精度で微小磁気変化にレスポンスする磁気プローブが必要である。高速（約15000～20000RPM）で回転するワンターンコイルを磁力線に直角に置き、コイルの回転角度によって磁力線を切ったり、切らなかつたりすることでワンターンコイルに接続された一次コイルに起電力が発生する。これをターン数の多い二次コイルで取り出し、比較的簡単な交流増幅器で増幅する。

このように製作が比較的用意であることのほか、ロータやハウジングをセラミックス等で製作することによって、中性子照射に強く、核融合炉にも使用できる、また圧縮空気に利用で磁気誘導等の問題も避けられる利点も持っている。

このように利用法は色々あるが、ここではその構造について報告する。

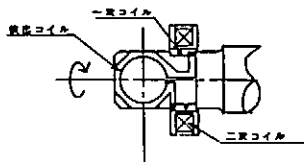
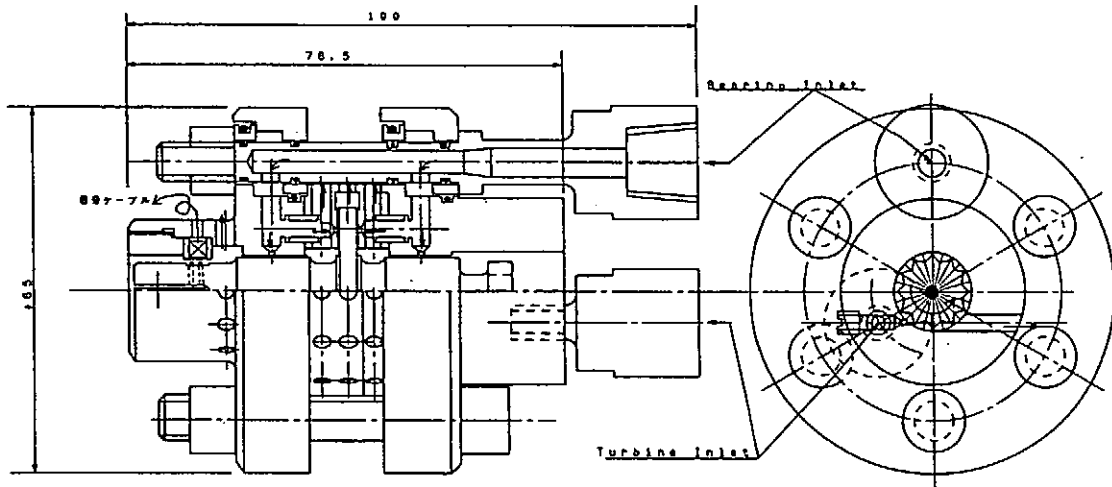
ワンターンコイルと一次コイルおよびスラスト軸受け面・ラジアル軸受け面・回転翼が一体になった回転軸（ジルコニア製）を円筒型容器に入れる。円筒型容器の外周には、回転軸の一次コイルに近い所に二次コイルが巻いてある。

回転軸の回転翼には、円筒型容器の外から接線方向に圧縮空気を圧入し、軸に回転を与える。この時回転軸は円筒型容器の別のポートから圧入された圧縮空気によって、円筒型容器との間で静圧軸受けを形成し、非接触の軸受けとなる。

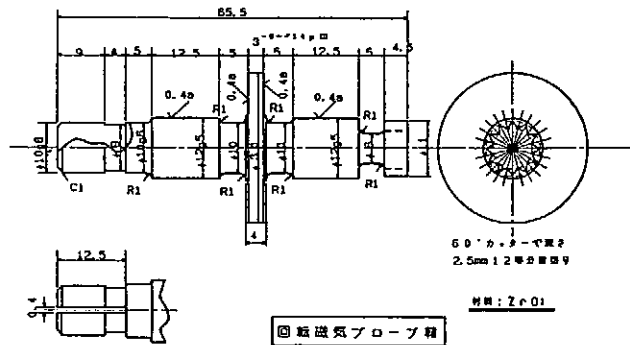
約2000倍の交流増幅器を接続して運転したところ、地磁気が検出され感度の良いことが確認されたが、いろいろな漏洩磁場に満ちている研究所内では、実験は無理であることが解り、現在ヘルムホルツコイルの製作等を検討中である。

ワンターンコイルに対する二次コイルは50 μ mの銅線を2000ターン巻いてある。圧縮空気源のうち、静圧軸受け側は電子制御レギュレタで流量を安定化したうえで約120リットル毎分、ロータ側は同じく電子制御レギュレタで安定化して約25リットル毎分の流量である。さらに交流出力段と最終出力の直流回路の間にフィルタ回路を接続し、一層の安定化を行っている。

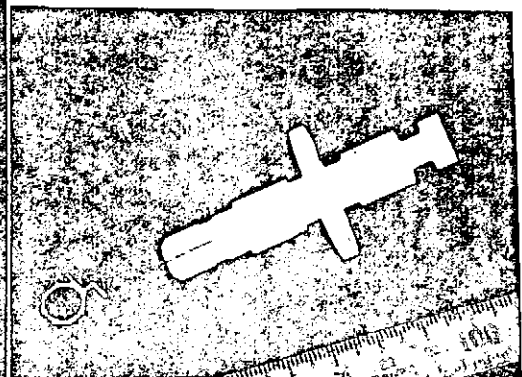
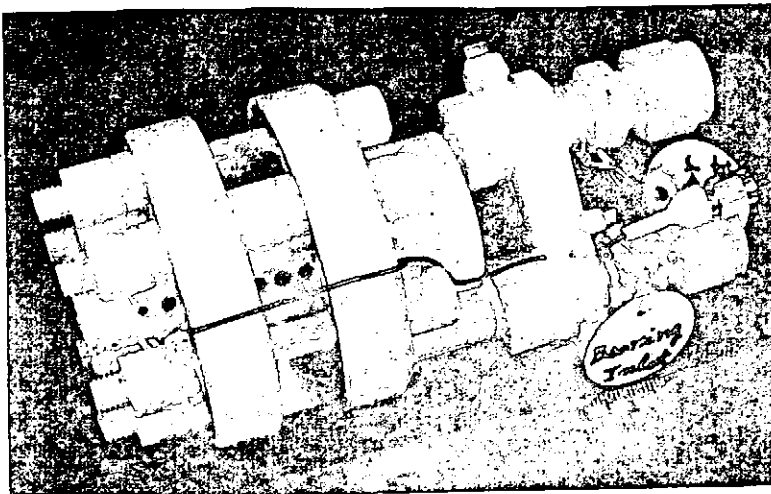
図および写真は全体と回転軸を示す。



回 転 型 磁 気 プ ロ ー プ



回 転 磁 気 プ ロ ー プ 種



ファインセラミックスの切削加工

核融合科学研究所 山本 富雄・杉戸 正治
 榊原 二三・藤若 節也

今回製作した『回転型磁気プローブの試作二号機』は磁場を測定するために開発した物である。使用する構造材料は非磁性材であると同時に、高速回転（毎分二万回転）に耐える強度を持つ物であることが要求される。これらの条件を満たす物として考えられるのは、ファインセラミックス材料であるが、その加工性の悪いことや、小数生産、早期入手という研究所特有の問題から、ほしい形状と寸法を得るのはなかなか困難である。ましてや形状が複雑になると、ますます入手が困難になる。加えて型代等が少数の製品に上乘せられるので、価格も割高になる。こうした加工性の悪さからくる入手困難を何とか克服できないかと、国の内外を問わず研究、開発が休みなく続けられているがそれらの報告書、メーカーのデーター等だけでは加工現場にいる我々にはなかなかピンとこない。この度セラミックメーカーで製作を断られた『回転型、磁気プローブ試作二号機』の回転軸の製作依頼があった。この回転軸はスラスト、ラジアルの両方向共圧縮空気による静圧軸受でハウジングから浮かせてあり、さらに軸端には歯切りを施し、エアーモーターのローターの役目を持たせている。回転数は毎分15000~20000回転で使用される。

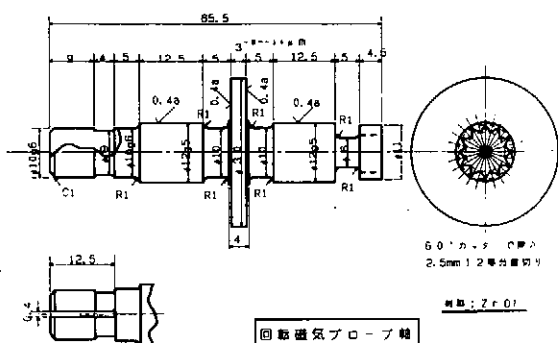


図1 回転軸の形状と寸法

1) 試験切削

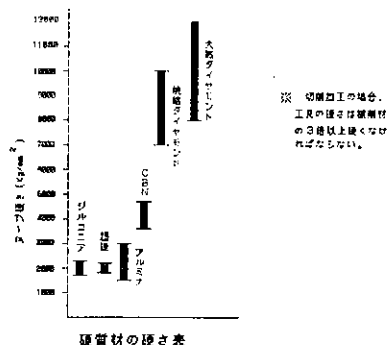


表1 各種硬質材のヌーブ硬さ

※資料提供 柳T Y K研究所

資料名	硬度 (Hv) 1400 kg/cm ²										硬度 (Hv) 1600 kg/cm ²													
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MnO	Cr ₂ O ₃	ZrO ₂	CaO	MgO	MgO	K ₂ O	Y ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MnO	Cr ₂ O ₃	ZrO ₂	CaO	H ₂ O	Na ₂ O	K ₂ O	Y ₂ O ₃
9637A	0.1	0.84	0	0.08	0	0	83.82	0	0	0	0	5.38	2.74	85.72	0.02	0	0	0	0.57	0.08	0.38	0.41	0.08	0

表2 ジルコニア、アルミナの成分表

従って寸法精度、面粗度共に厳しい要求であり、ファインセラミックスの切削加工のノウハウを得るには良い機会と考え、ダイヤモンドバイトの勉強から始めた。要求される精度、及び面粗度を得るための切削加工のデーターと、バイトの消耗等によるコスト等について実測したので報告する。

試験切削の被削材は、ジルコニアと参考程度にアルミナの切削を試して見た。表1から見てジルコニアとアルミナの硬さは超硬と肩を並べこれを削る工具としては焼結ダイヤモンドに限られてくる。天然ダイヤモンドは銅やアルミ等の鏡面仕上の超精密切削のように切削抵抗が小さな加工には適するが切削抵抗が大きくなるような加工では壁開による刃先の破損が大きい。

表 1 T-DIA の特性

材 質	DX180	DX160	DX140	DX120
材 質 特 性	特殊用途用 高耐摩耗性材料	高硬度材用 高耐摩耗性材料	汎用材料	仕上げ面質用 微粒材料
ダイヤモンド硬度	97%	95%	92%	90%
粒 径 μm (主 粒 径)	~14 (35)	~25 (20)	~8 (7)	~3 (2)
ネーブルかさ kg/mm^2	9000	8000	7000	6000
耐 摩 耗 性	優			
耐 研 削 性	良			
刀 立 性	良			

注) 主粒度: 実際の平均粒径の重球ではなく、大粒径としめる粒子の割合とその粒径を意味する仮定的尺度

表 3 T-DIA の特性

使用機械は少し古い大隈 6 尺旋盤を使い切削剤は乳白色のエマルジョンタイプを用いた(写真 1)。最初に切削速度の違いを見た。回転数は使用機械が 12 段切り換タイプから切削速度 $20 \text{ m}/\text{min}$ の近似値である。写真の上はスクイ面、下は逃面、右は切削条件である。欠量は 0.1 mm であった(写真 2)。切削速度を $40 \text{ m}/\text{min}$ に変えて見た。欠量は前と殆ど変らなかったが切削中火花が出た(写真 3)。切削速度を $20 \text{ m}/\text{min}$ として送りの違いを見た。この場合の欠量は 0.15 mm であった(写真 4)。逃面の欠量は 0.21 mm で送りを小さくするとかえって欠量は大きくなった(写真 5)。

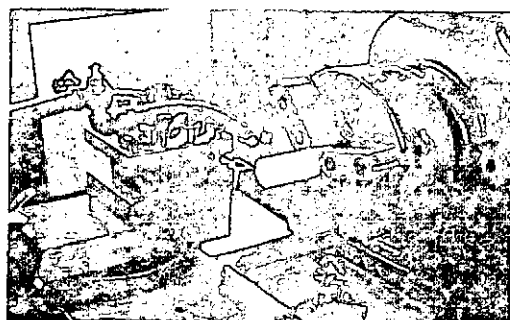


写真 1



写真 2

☆ 切削条件
被削材=ジルコニア
チップ材種=DX140
切削速度= $20 \text{ m}/\text{min}$
直径= 3.6 mm
回転数= 210 rpm
切り込み深さ= 0.1 mm
送り量= $0.05 \text{ mm}/\text{rev}$
軸方向長さ= 3.5 mm
切削回数=1回
直式切削

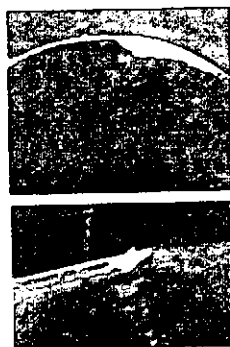


写真 3

☆ 切削条件
被削材=ジルコニア
チップ材種=DX140
切削速度= $40 \text{ m}/\text{min}$
直径= 3.6 mm
回転数= 330 rpm
切り込み深さ= 0.1 mm
送り量= $0.05 \text{ mm}/\text{rev}$
軸方向長さ= 3.5 mm
切削回数=1回
直式切削

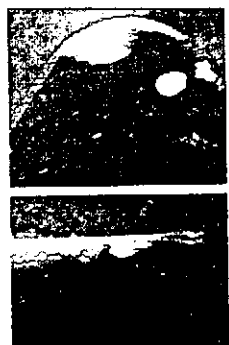


写真 4

☆ 切削条件
被削材=ジルコニア
チップ材種=DX160
切削速度= $20 \text{ m}/\text{min}$
直径= 3.6 mm
回転数= 210 rpm
切り込み深さ= 0.1 mm
送り量= $0.025 \text{ mm}/\text{rev}$
軸方向長さ= 3.5 mm
切削回数=1回
直式切削



写真 5

☆ 切削条件
被削材=ジルコニア
チップ材種=DX160
切削速度= $20 \text{ m}/\text{min}$
直径= 2.6 mm
回転数= 210 rpm
切り込み深さ= 0.1 mm
送り量= $0.025 \text{ mm}/\text{rev}$
軸方向長さ= 3.5 mm
切削回数=1回
直式切削

焼結ダイヤモンドバイトは東芝タンガロイ社の製品を使用した。チップの選定は微粒子の平均径から粒子が大きければ、耐摩耗性は強いが靱性は弱くなる。被削材の硬度から切削抵抗が大きくなる事を想定し、比較的手に入り易い等からDX-140、DX-160を選んだ。刃先形状はネガタイプでノーズR、 0.8 mm でDX-160はノーズR、 0.8 mm でDX-160は手に入らなかった。

この4つの試験切削の結果、切削速度は $20 \text{ m}/\text{min}$ 、送り速度は $0.05 \text{ mm}/\text{rev}$ 、チップはノーズRの違いはあるがDX-140、以上の条件で、ジルコニア制回転軸の製作に取りかかった。

2) 本加工

以下に加工形状と加工条件(図2)及び旋削加工順序ごとの刃先逃面の欠け量を表わした写真を示す。欠量0.21mm切削長さ約2500m(写真6)。欠量0.3mm切削長さ約2100m(写真7)。欠量0.15mm切削長さ約1400m(写真8)。欠量0.24mm切削長さ約500m(写真9)。欠量0.24mm切削長さ約2600m(写真10)。欠量0.18mm切削長さ約1000m(写真11)。仕上加工で欠量0.15mm切削長さ約134m(写真12)。歯切り加工段取り写真(写真13)、歯切り、逃面加工、スリット加工を施し出来上がったジルコニア製回転軸(写真14)。製品の軸部、側面の面粗度の測定をした結果を示す(写真15)。

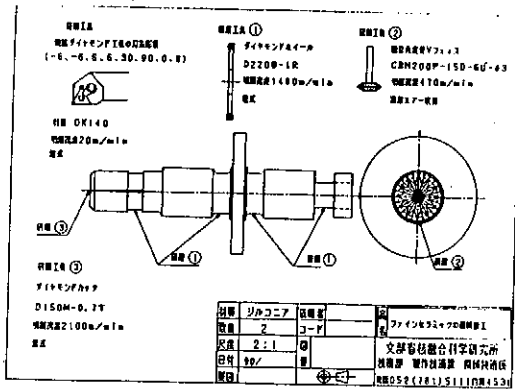


図2・加工形状と加工条件

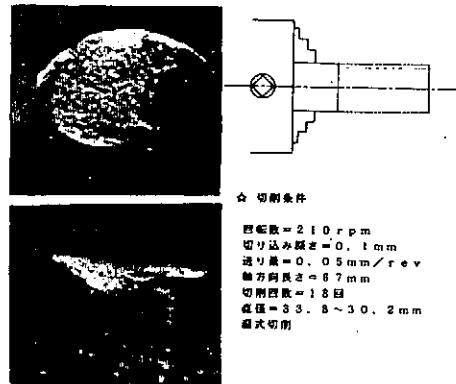


写真6

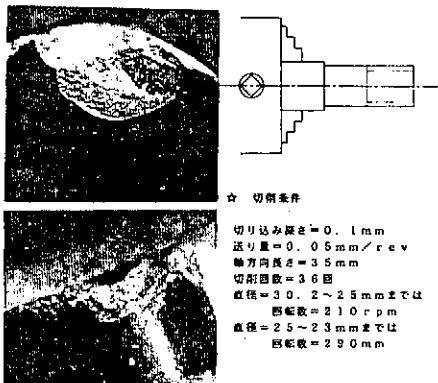


写真7

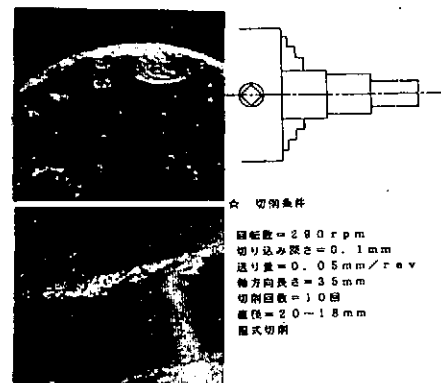


写真8

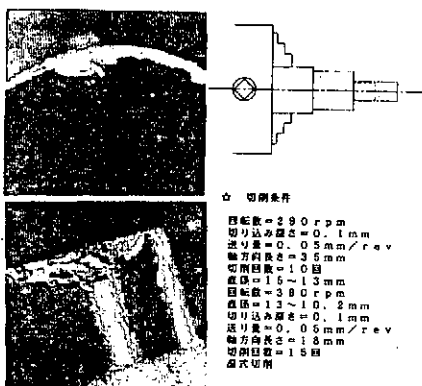


写真9

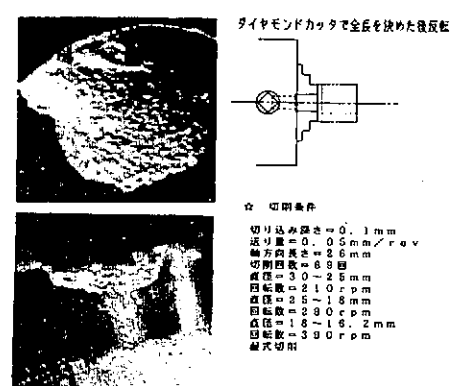
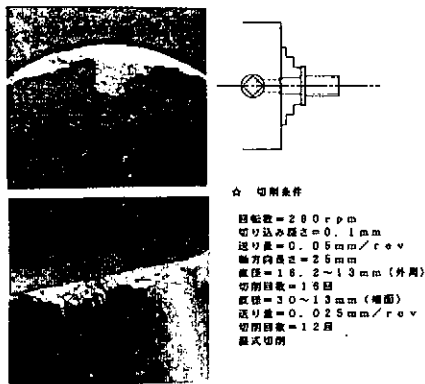


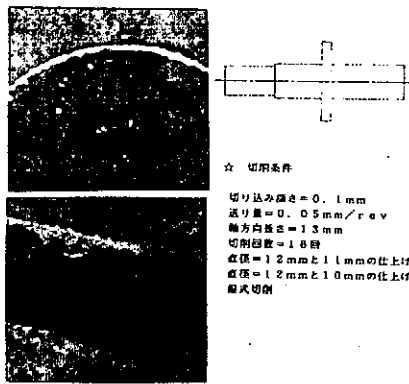
写真10



☆ 切削条件

回転数=280 rpm
 切り込み深さ=0.1 mm
 送り量=0.05 mm/rev
 軸方向深さ=2.5 mm
 直径=18.2~13 mm (外径)
 切削回数=16回
 直径=30~13 mm (端面)
 送り量=0.025 mm/rev
 切削回数=12回
 積式切削

写真11



☆ 切削条件

切り込み深さ=0.1 mm
 送り量=0.05 mm/rev
 軸方向深さ=1.3 mm
 切削回数=18回
 直径=12 mmと11 mmの仕上げ
 積式切削

写真12

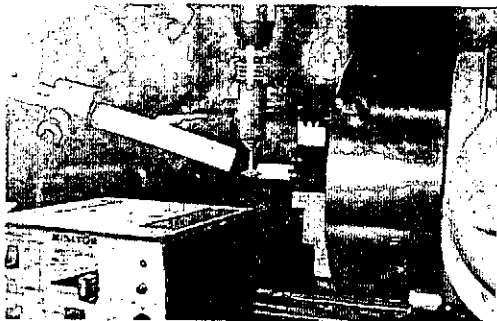


写真13

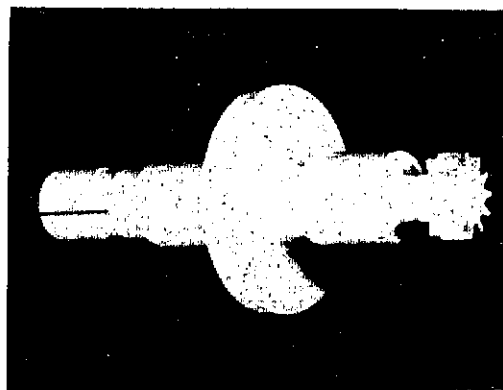


写真14

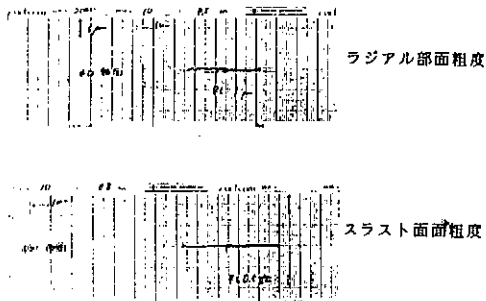


写真15

3) まとめ

グラフやテーブルにするにはデータが少なすぎるので、今回はそれぞれの結果だけを示した。最後にセラミック加工の仮焼材切削の場合には顕著に刃先逃面摩耗が現れるが、本焼結された加工では欠けがひどくなる。特に上スクイ面ではフレーキングと思われる欠損が生じた。一度も一般的な逃面摩耗を見ることが出来なかった為に、チップの交換は逃面欠け量を基準として、約0.3 mm位になるとビビリ面が現われたり、傾斜面になることから、この0.3 mmをチップ交換の目安値とした。セラミック製高速回転軸を1本作るのに使用したチップは10個であり、価格的にも、納期的にも、充分要求に答えられる加工法であると判断した。

超高真空用『多段同軸回転導入機構』の開発

名古屋大学工学部
応用物理学科工作室

○熊沢克芳 平野誠一
行平憲一 涌井義一
鷲見高雄 小塚基樹

1. 目的

超高真空で使用可能な回転導入端子は各種市販されているが、これらの多くはフランジ一個当たり一つの回転を導入するものである。これらを用いてゴニオメーターなど複数の回転軸をもつ機構を真空中で駆動しようとするとう回転軸の数だけポートが必要となり、真空容器の形状が複雑になるとともに設計上の制約が多くなる。

この問題を解決するため、我々は一つのICF70フランジから同軸で3つの回転運動を超高真空装置内に導入する機構の開発を行った。

2. 仕様

開発にあたり目標とする仕様は以下のとおりである。

使用真空度	10^{-9} Torr以下
伝達トルク	10 kg-cm (手動)
使用フランジ	ICF70
全重量	1 kg程度

3. 構造

3-1. 機構の概要

大気側から超高真空側への回転伝達機構としてペローズ式や磁気カップリング式がよく用いられる。ペローズ式は構造が複雑で角度送り精度が悪いため、本研究では磁気カップリング式(昭和62年 分子研技術研究会報告集)を採用した。図1に機構の縦断面図を示す。斜線部が磁気カップリングである。ベアリングは全てSUS製である。

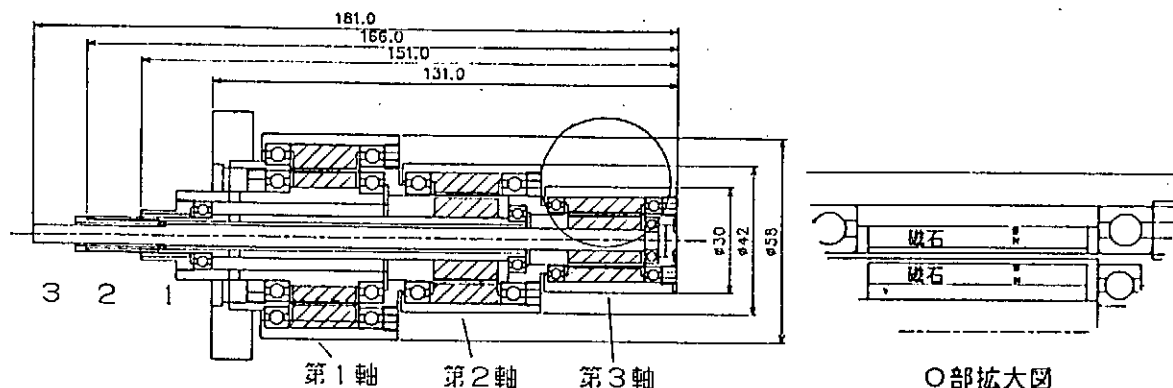


図1 機構の断面図

3-2. 磁気カップリングの形状と伝達トルク

磁石の個数、寸法、磁気回路の形状を変えた4つの磁気カップリングを試作した。表1に磁気カップリングの形状と伝達トルクをまとめた。使用した磁石は信越化学工業の

Sm-Co系焼結磁石である。まず、磁石の個数と寸法について検討した。焼結磁石は放出ガスが多いため磁石の数を10個と少なくしたtype1を作製したが十分な伝達トルクを得ることは出来なかった。そこで寸法に余裕のある第1、第2軸については磁石の数を増やし、更に

	磁石のサイズ	形状	伝達トルク
type 1	大気側、真空側 2×2×20 (3個のみ) 2×2×18 (1,2軸)	十個の磁石を等分に置く	1軸 0.4 kg-cm 2軸 0.6 kg-cm 3軸 0.5 kg-cm
type 2	大気側 5×2×20 真空側 2×2×20	1軸 (30個)、2軸 (24個)、3軸 (10個)に変更した。	1軸 1.0 kg-cm 2軸 4 kg-cm 3軸 0.6 kg-cm
type 3	同上	継鉄の内側を削った。	1軸 2.0 kg-cm 2軸 8 kg-cm 3軸 2.5 kg-cm
type 4	同上	真空側 (内側回転子) と内壁との隙間を0.1mmにした。	1軸 2.7 kg-cm 2軸 1.2 kg-cm 3軸 3 kg-cm

表1

第1、第2、第3軸とも磁石を大きくして伝達トルクの向上を計った (type2)。次に磁気回路について検討した。type1、2の継鉄の形状は図2 (a) のようであり、磁束が大気側、真空側でそれぞれクローズしてしまっているためトルクを有効に伝達できないことが判明した。そこで磁束を大気側の磁石から真空中の磁石に有効に流せるよう図2 (b) の様に継鉄を加工することによって伝達トルクが倍増する事が出来た (type3)。

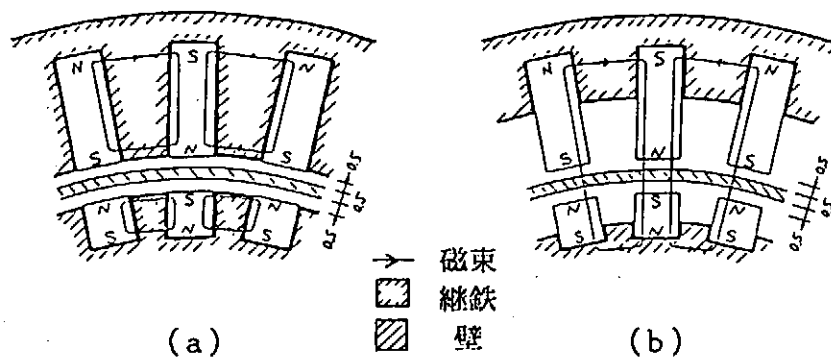


図2 磁気カップリング部詳細

しかしながら、この改良を行っても目標値を満足できないため真空側磁石 (内側回転子) と内壁との隙間を0.5mmから0.1mmに少なくし (type4)、大気側と真空側の磁石の距離を0.7mmに近づけた。超高真空での使用を考慮するならば真空側よりも大気側の隙間を小さくするべきであるが、第1軸の構造上不可能であることと加工が困難なため内側回転子を加工した。type4の内側回転子の立体図と磁気カップリング部のサイズを図3に示す。その伝達トルクは第1軸2.7kg-cm、第2軸1.2kg-cm、第3軸3kg-cmである。第3軸は寸法的に磁石の数を増やすことができないため目標トルクを下回っているが、大気側の壁と磁石の隙間を小さくすることにより伝達トルクを更に大きくし

目標値に近付けることが可能である。

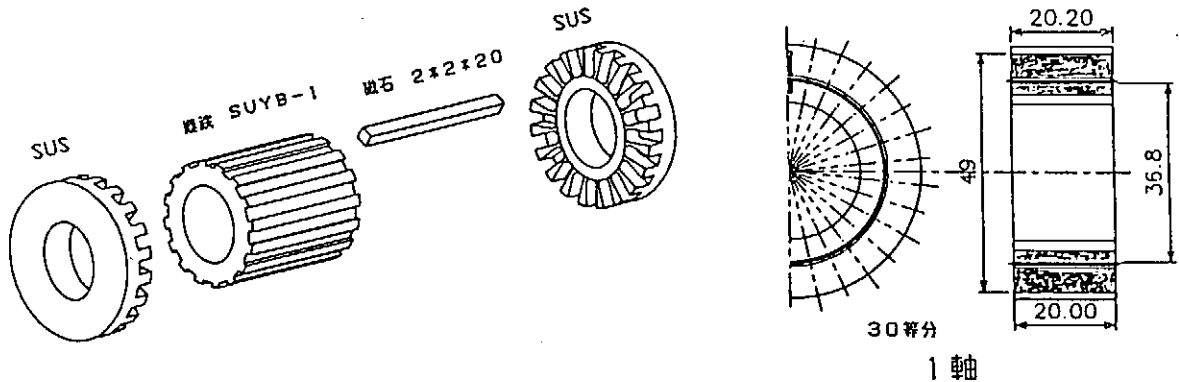


図3 内側回転子の立体図と磁気カップリング部のサイズ

4. 超高真空実験

実際に超高真空中で使用できるかどうか図6のような超高真空容器を製作し、真空排気実験を行った。ポンプはターボモレキュラーポンプ（排気速度160ℓ/s）とチタンゲッターポンプを併用した。ゲッター面は液体窒素で冷却した。真空計は日本真空製のG I-N5型、測定子はヌード型WIN-N3を使用した。図7に真空度と排気時間の関係を示す。排気開始から72時間後に 6.7×10^{-10} Torrの真空を得ることができ、 10^{-9} Torr台で使用可能であることを証明する事が出来た。

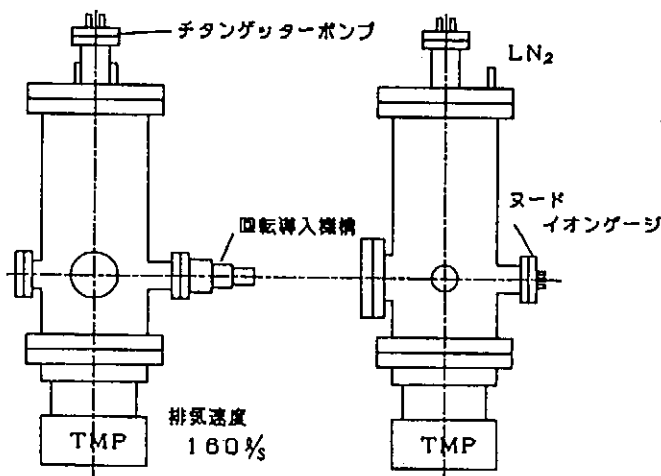


図6 超高真空装置

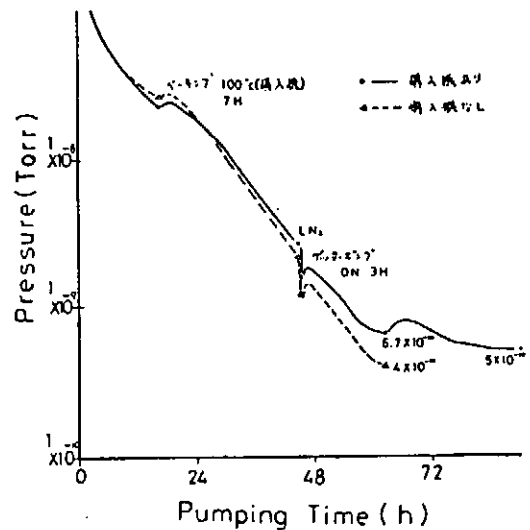


図7 実験結果

5. 角度送り精度

磁気カップリング方式の場合回転のおくれが出やすいのでどの程度のおくれが生じるのかオートコリメータを2台用いて角度送り精度を測定した(図4)。大気側の軸を角度 θ_1 回転させたときの真空側の軸の回転角 θ_2 を測定し、角度誤差($\theta_2 - \theta_1$)を求めた。3つの回転軸に対して θ_1 を0から10分まで増加させる方向と、10分から0まで

減少させる方向について測定を行った（図5）。

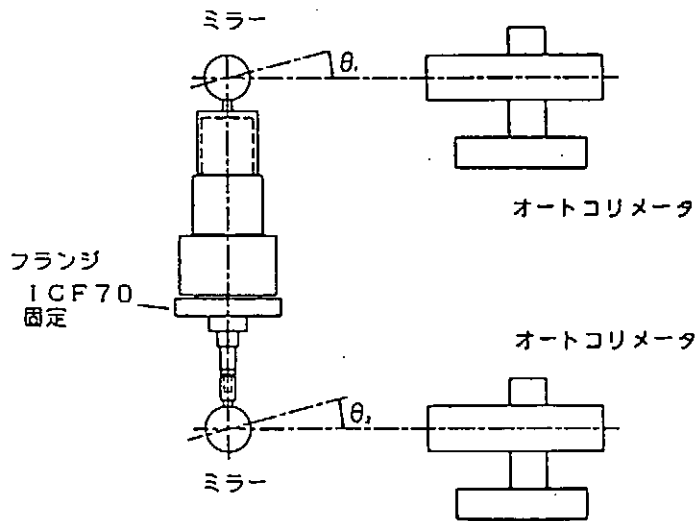


図4 測定方法

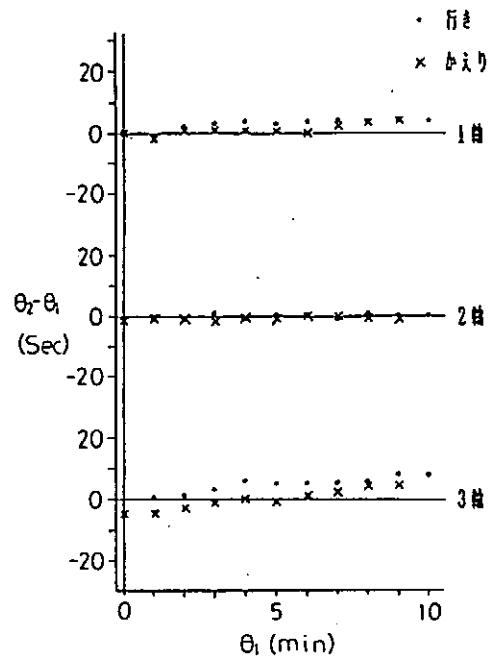


図5 測定結果

これらの測定から第1軸は約6秒、第2軸は約4秒、第3軸は約8秒程度の誤差に納まっていることがわかった。

6. 材料費

材料費12万円程度で本回転導入機構を製作することが出来た。

7. まとめ

第3軸の伝達トルクだけが目標に達しなかった他は目標を達成することができた。本研究により磁気カップリング方式で高精度の超高真空用『多段同軸回転導入機構』を作ることができることが明らかになった。

8. 謝辞

この機構を開発するにあたり、始終御助言をいただいた本学結晶材料専攻第7講座古谷野有助手、測定器等を使用させていただいた応用物理学科第3講座、第2講座、理学部装置開発室、工学研究科結晶成長工学講座の方々に、深く感謝いたします。

9. 参考文献

- ・希土類高性能磁石 信越レア・アースマグネットテクニカルデータ
- ・磁気 (近角聡信著、共立出版)
- ・真空の物理と応用 (熊谷寛夫、富永五郎編著、裳華房)
- ・昭和62年度 技術研究会報告集 (文部省分子科学研究所技術課刊)

惑星探査機搭載用 ガス・シンチレーション比例計数管の開発 (プロトモデル)

名古屋大学理学部装置開発室

鳥居 龍晴	増田 忠志
小泉 和司	石川 秀蔵
高松 軍三	三輪治代美

1. はじめに

蛍光X線スペクトロメータは大気の無い惑星や衛星の表層近傍の化学組成をリモートセンシング手法で測定するのに最も有用な装置の一つである。その測定原理は、月面観測を例に上げると太陽X線によって励起された月面物質からの蛍光X線(二次X線)がキセノン(Xe)とヘリウム(He)の混合ガスの封入された検出器に入射し、その入射X線によりXeが蛍光を発生する。Xeの蛍光を光電子増倍管(フォトマル)によって電気信号に変換し、エネルギー分析する事により月面物質の元素分析をする。当開発室では、数年前から月周回軌道上の探査機に搭載し、月表層物質の化学組成を調査するための蛍光X線スペクトロメータの心臓部であるガス・シンチレーション比例計数管(GSPC)プロト(実験室)モデル(図1、写真1)試作1号機の製作を行っており、この技術開発は、月のみならず、他の惑星探査はもちろんのこと、X線測定器、光学機器等に幅広い応用が可能である。

この装置は、従来、使用されてきた衛星搭載用GSPC検出器¹⁾(1983年2月に打ち上げのX線天文衛星「天馬」に搭載)よりさらに軽元素物質からの蛍光X線(2KeV以下)の観測を行うために、従来のGSPC検出器と比べ、次のような技術開発が要求される。

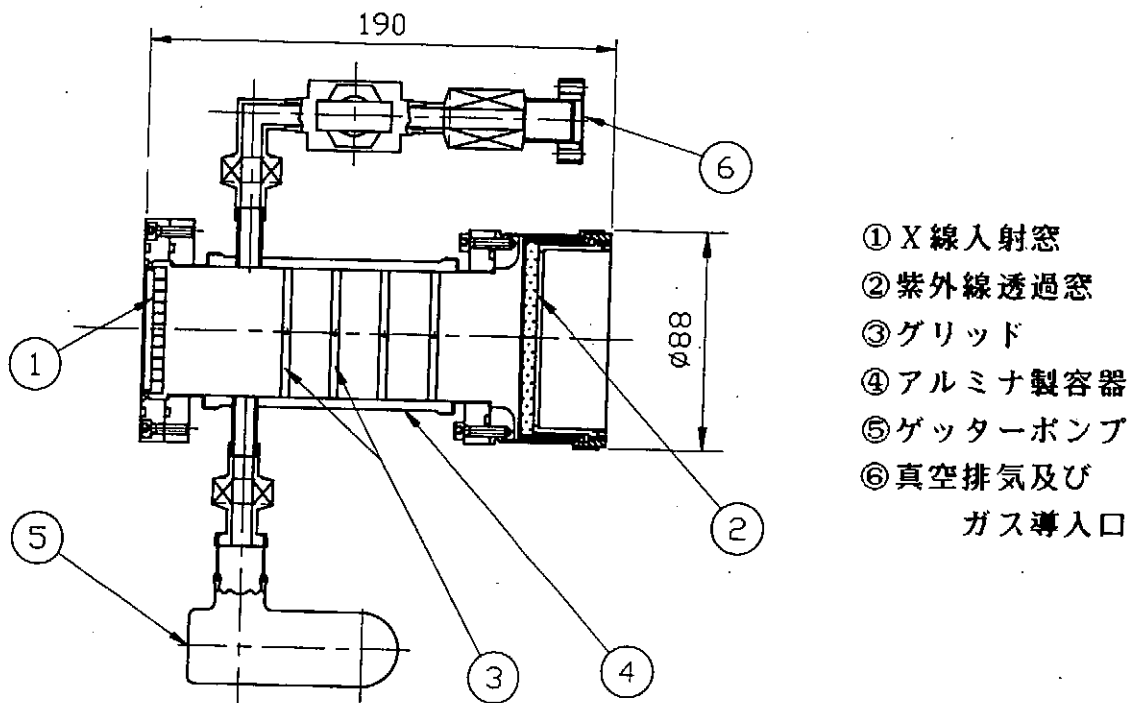


図1 GSPCプロトモデル試作1号機の概要図

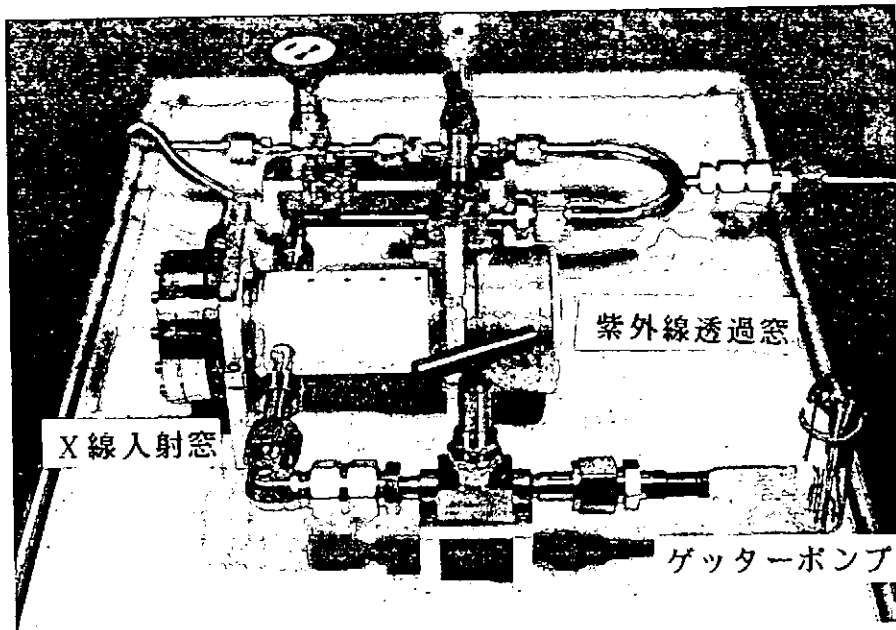


写真1 GSPC試作モデル

写真左側がX線入射窓で窓の両側を真空にするためフランジが取り付けられている。

写真右側が紫外線透過窓である。

(1) ベーク温度の向上

従来のGSPC検出器は、Xeガス封入前に行われるベーク・アウトが構造上100℃程度までしかできないため、検出器内面からの放出ガスが次第に封入後のXeの純度を下げ、フォトマルに入るXeの発光光量が減少しエネルギー分解能が低下するため、軽元素物質の解明が出来なかった。このように、Xeガスの純度が装置全体の寿命を決定するため、検出器内面からの放出ガスを減少させる事が極めて重要となる。装置には、Xeガス純度を向上させるためのゲッターポンプも取り付けられているが、ベーク・アウトは、できるだけ高温でできることが望ましいと考え、300℃までベーク・アウトできる構造とした。

(2) 大口径X線入射窓(Be窓)の開発

従来のGSPC検出器のX線入射窓に用いたベリリウム(Be)の厚さは100μmであり、軽元素物質からの蛍光X線(2KeV以下)透過率が悪い。今回は、低エネルギーX線に高い透過率を持つ必要があるため厚さ25μm以下にする必要がある。このように非常に薄く、且つ高温(~300℃以上)で使用可能な大口径(有効径 φ50以上)のBe窓は、接合技術が非常に難しく市販品にもない。先に報告したX線入射窓の製作²⁾においては、単に、接合技術の開発だけでなく、使用するBe薄板の表面粗さが非常に大きく影響すると考えている。特に、Beは、非常に脆い材料であり、このように薄い素材の表面あらさがRmax 10μm程度(両面)もあり、これが、素材の材料特性を低下させている。今後は、Be素材の品質の向上が望まれる。また、現在は接合を良好にするフラックスを使用しているため、接合部の腐食等により、窓の寿命を短くしている。従って、今後は真空接合炉の真空度をさらに向上させ、溶接法の改良を行う予定である。

(3) 大口径紫外線透過窓 (CaF₂窓) の開発

従来のGSPC検出器では、紫外線透過窓に石英ガラスを使用し、透過したXeの蛍光を波長変換剤によって可視光に変換した後、可視光用フォトマルに導いて測定した。しかし、石英ガラスは、Xeの蛍光(波長0.17 μ mの紫外線)の透過率が低く、フォトマルに入射するXeの蛍光光量が減少しGSPCのエネルギー分解能を低下させるため好ましくない。そこで、さらに高い紫外線透過率を持つ窓材として、人手性や材料強度を検討した結果、フッ化カルシウム(CaF₂)を選定した。この透過窓の製作ではメタルガasketを用いたシール法³⁾と塩化銀による接合法の2つの方法を開発している。このような大口径(有効径 ϕ 70以上)で高温ベーク可能な紫外線透過窓は、市販品や他で製作された例も無く、金属と非金属材料との新たなシール技術や接合技術の開発が必要とされる。

また、上記以外にも、グリッドにおいては、8000V程度の高電圧(第二グリッド)がかかるが、紫外線発光の開口率を上げる必要上、直径0.1mm以下のワイヤーを使用するためワイヤーが断線し易く、また、高圧放電の問題も発生する。しかも、これら装置全体は衛星搭載用であり、軽量で耐振動性(100G)を有することが要求される。

X線入射窓(Be窓)の製作法や紫外線透過窓のメタルガasketを用いたシール法についてはすでに報告^{2) 3)}してあり、グリッドの製作法等については後日報告する。今回は紫外線透過窓の塩化銀による接合法について述べる。

2. 紫外線透過窓の開発

この窓の製作法としては、メタルガasketを用いたシール法³⁾と塩化銀による接着法の2つの方法を進めてきた。前者の方法は、フランジとメタルガasketで窓材を力学的にシールするため、窓材に圧縮荷重が加わる。今回開発する窓材であるCaF₂が、従来の窓材である石英ガラスに比べて脆い材料であり、シール時の荷重で割れ易く、且つ、その荷重に耐えるフランジを用いるため重量が大きくなる欠点がある。従って、現在は割れにくく、且つ軽量にできる後者の方法による窓の開発に取り組んでいる。

CaF₂を銀(Ag)の枠に塩化銀で接合させる窓の製作法はすでにいくつか報告^{4) 5)}されているが、それらは、比較的小型(直径30mm程度)であり、また室内実験用である。今回試作する直径80mm、厚さ5mmという大口径の窓や衛星搭載用としての耐振動(100G)性能を有するCaF₂窓の報告例はない。以下に塩化銀による接合法による紫外線透過窓の開発について述べる。

2-1 予備実験

今回要求される耐振動性能を有する窓部(図3)の設計については、実際に使用したCaF₂と直径5mmのAg丸棒を接合させ、接合部の剝離強度を実測する予備実験のデータを基に行った。以下にこの予備実験の方法を述べる。

(1) サンプルの製作

- (i) 小片のCaF₂に市販の水金液(NEケムキヤット #9055)を塗布し、電気炉にて500 $^{\circ}$ Cまで約20 $^{\circ}$ C/分で昇温して金膜を焼き付ける。昇温速度を大きくすると金膜の

付着強度の低下につながる。

- (ii) この金膜とAg丸棒を塩化銀（熔融温度 455℃）によって460～500℃の高温下で接合する。この際においても、金膜を焼き付ける場合と同様の速度で昇温させる。

(2) 剝離強度測定

上記方法で製作したサンプルを図2のようにフライス盤の工具取付チャックに取り付けたロードセル①（東京測機製 TCLP-200KA）にAg丸棒を固定し、固定治具②（正確な接合部の剝離強度を得るため）によりCaF₂を固定したテーブルを下降させることで強度の測定を行った。その結果、実測した接着強度は150kg/cm²程度であった。

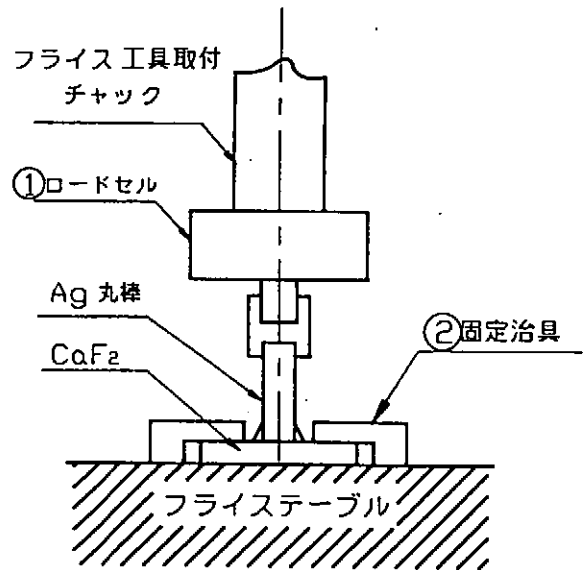


図2 剝離強度測定方法

2-2 紫外線透過窓の試作

上記の結果より紫外線透過窓（図3）の接着幅（H）を決定した。以下に、この紫外線透過窓の製作方法を示す。

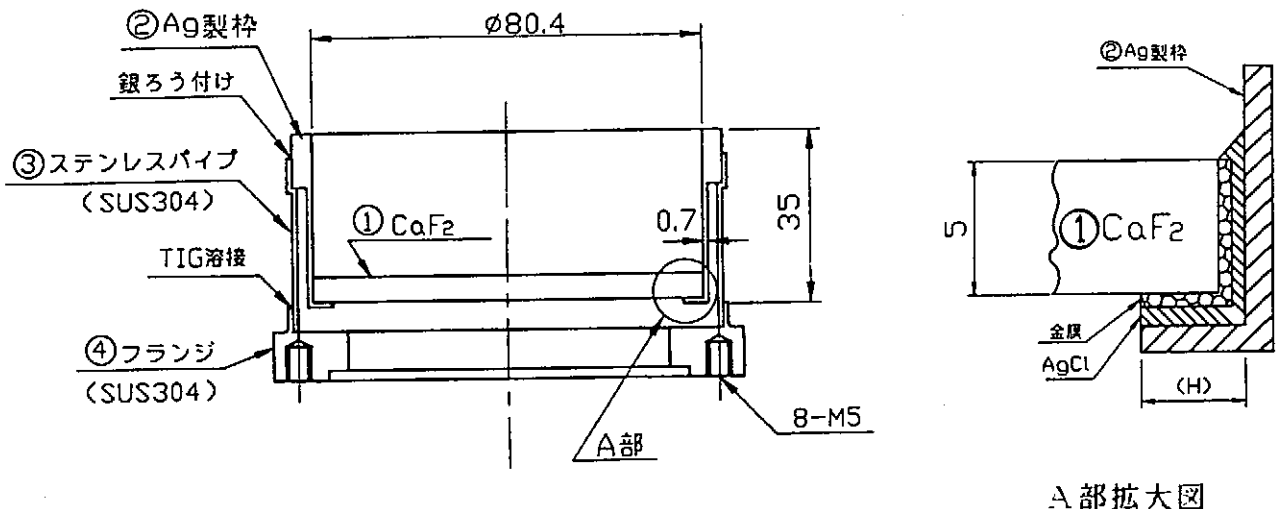


図3 塩化銀による接合法のCaF₂窓の概要図

- (1) CaF₂①の周近傍にサンプル製作と同様に金膜を焼付け、この金膜と窓枠（あらかじめ、Ag製枠②とステンレスパイプ③とを銀ろう付けしておく）を塩化銀によって460～500℃の高温下で接合する。ステンレスパイプ③は、塩化銀による腐食を防止するため銀メッキを施してある。
- (2) ステンレスパイプ③とフランジ④をTIG溶接する。

2-3 真空リーク試験

上記方法で試作した窓を図4に示すように常温及び300℃までの高温において真空リーク試験を行った。昇温速度は約50℃/hであり、降温速度は約90℃/hであった。温度が5℃変化する毎にHeガスを吹き付け、Heリークディテクターでリークの有無を確認した。その結果、リークは発生せず、300℃においても真空リーク (1×10^{-6} Pa・l/s以下) は無いことを確認できた。

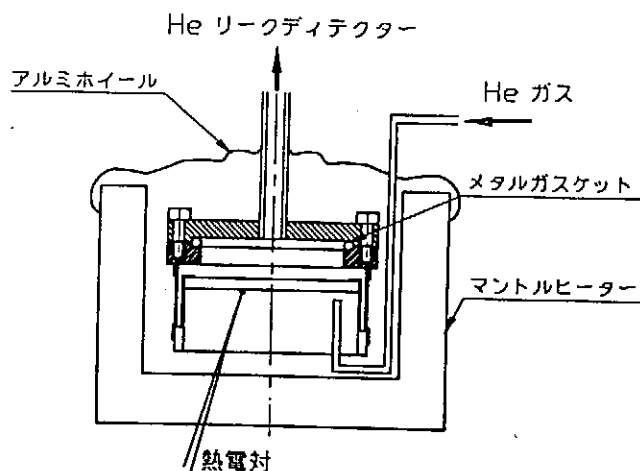


図4 真空リーク試験方法

3. おわりに

我々が今までに行ってきた開発実験により、衛星搭載用GSPCにおける基本的な製作技術はほぼ確立できたと考えている。写真2、3に今回製作したCaF₂窓を示す。紫外線透過窓の製作においては、塩化銀による接合法は、非常に腐食性が高く、窓材や窓枠等を汚す可能性があり、塩化銀を多く盛りすぎるとCaF₂窓の中央部に流れてしまうので注意を要する。また、塩化銀の蒸気の付着によるCaF₂の紫外線透過率の低下と窓枠内部のアウト・ガスの増加の問題が考えられるため、塩化銀の使用量を最小限にし、かつ、余分な部分に付着させないことが非常に重要である。現段階では塩化銀による接合法は、メタルガスケットを用いたシール法³⁾に比べ窓部の重量は約1/2にでき、軽量化においては優れているが、腐食性の塩化銀を使用するため、これを使用しないメタルガスケットを用いたシール法での軽量化を進めることも重要であると考えている。また、試作したGSPCは、衛星搭載用のための耐振動性実験を今後行う予定である。

参考文献

- 1)井上、他：宇宙X線観測用蛍光比例計数管の開発、宇宙航空研究所報告、14-4(B)、1289-1313、(1978)
- 2)鳥居、増田：衛星搭載用ガス・シンチレーション比例計数管のベリリウム窓の開発(中間報告)、理研シンポジウム第6回「研究を支える技術」、15-22 (1989)
- 3)鳥居：衛星搭載用GSPCのフッ化カルシウム窓の製作、京都大学原子炉実験所「研究技術」短期研究会報告、24-29 (1987)
- 4)宗像、他：真空紫外用窓板の製作、くりえいと-技術部ニュース-、8、3-6、(1986)
- 5)岡田：光学用超高真空窓の製作、分子科学研究所技術研究会報告 No.12、1-4 (1987)

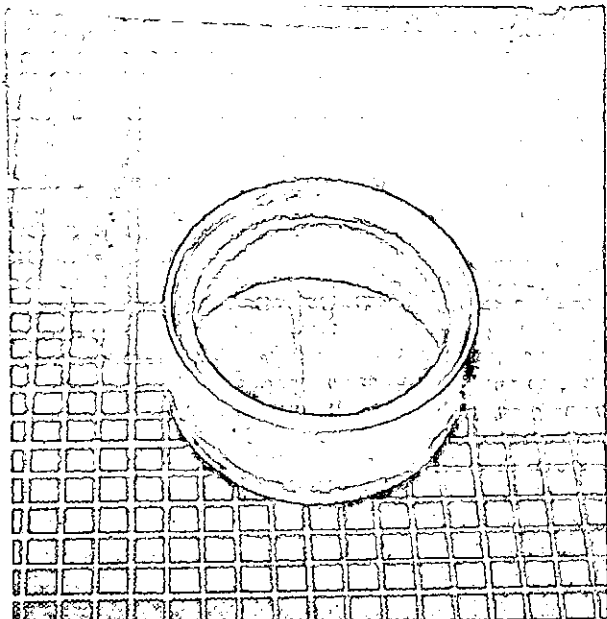


写真2 CaF₂窓
図3のフランジ④を取り
付ける前の状態

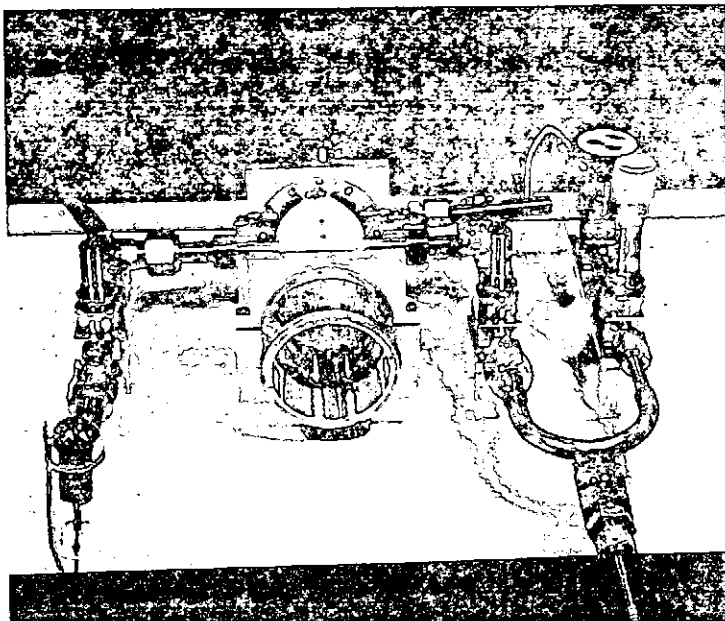


写真3 GSPC試作モデルに
取り付けられたCaF₂窓

低温技術分科会

NMR用 ^3He クライオスタットの製作

名古屋大学 理学部 物理学科：西澤和宏

1、クライオスタットの概要

今日まで、物理学科M研（金属磁性研究室）では重い電子系の金属化合物についてのNMR測定を、 ^4He クライオスタットにより ^4He 温度まで実験を行なってきました。そこで次の実験過程として、 ^3He 温度・強磁場でのNMR測定を行なうために今回 ^3He クライオスタットを製作しました。

東理社の201デューワーに超電導マグネット（8 T）用に液体 ^4He 槽を設け、その中に断熱真空槽、更に ^3He ガスを液化させるために液体 ^4He 槽を設け、断熱真空槽を介して ^3He 槽を設けました。（図1）

NMR測定用ということで試料の入る液体 ^3He 槽は、エディカレント損失の低減、及び熱伝導流入阻止の為、ガラスで製作しました。

また、今まで ^3He の減圧排気はロータリーポンプ（150 l/min）において行なっていましたが、昨春秋に研究室で2 inchのエゼクターポンプ（4800 l/min）を購入・設置したので、今回は、クライオスタットのバルブも2 inchのものを使用し、配管も全体のコンダクタンスにおいて、最も大きく効いてくる常温部の配管を $\phi 39.4\text{ mm} \times 400\text{ mm}$ と大きくしました。これにより、 ^3He クライオスタットの限界点と思われる0.3 K附近まで温度を下げる事が期待されました。

試料は、バリコンと一括して ^3He ライン最上部フランジより引き抜き交換します。

2、クライオスタットの冷却テストと考察

今回装置の立上げにあたり、超電導マグネットを取り付けずに液体 N_2 により内挿デューワーの予冷を行ない ^4He 槽に取り付けた銅-コンスタンタン熱電対により内挿デューワーの断熱真空が充分に行われているか確認した後、 ^4He をトランスファーしました。 ^4He をキニーポンプ（1500 l/min）で減圧排気する時には、 ^4He の液面計として内挿デューワーに入れておいたAB（Allen Bradley 56）カーボン抵抗素子により、 ^4He 槽の温度を観ることができました。 ^4He 槽が1.5 K近くになったことを確認した後、3 lの ^3He ガス（液化させて4.93 cc）をコンデンスしました。 ^4He の液面は ^3He ガラス断熱管のインジウムフランジ面上5 cmのところ安定しました。

^3He 槽を初めはロータリーポンプで、抵抗値の伸びがなくなってきたところでエゼクターポンプで減圧排気すると、試料最下部に取り付けた松下のカーボン抵抗素子（100 Ω ）

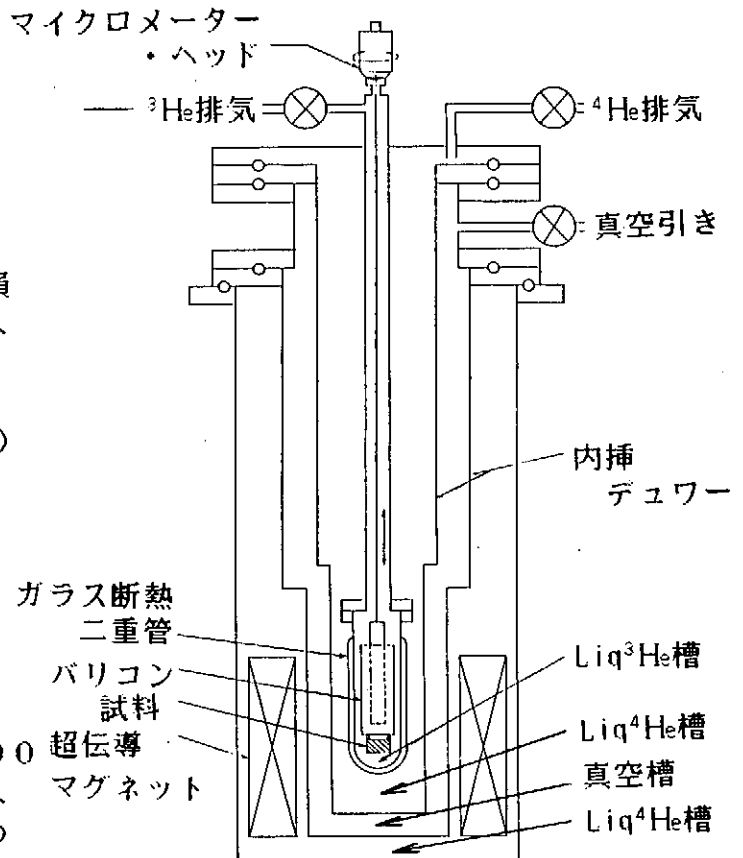


図 1

で902Ωの値が読み取れました。

今回使用の松下は未較正のものだが、今までに較正済みの松下との比較(4.2 Kの点と1.5 Kの点より)により考察すると、悪く見積もっても0.35 K以下には下がっていると思われる。(図2)

これは予想にしかすぎないが、これがあっているとすると、³Heクライオスタットとしては、かなりの好成績である。

- : 1991・1・16 : 松下100Ω (A) Ge 温度計での較正值
- △ : 1991・3・6 : 松下100Ω (B) Ge 温度計での較正值
- : 1991・3・9 : 松下100Ω (C) 4.2 K, 1.5 Kの値

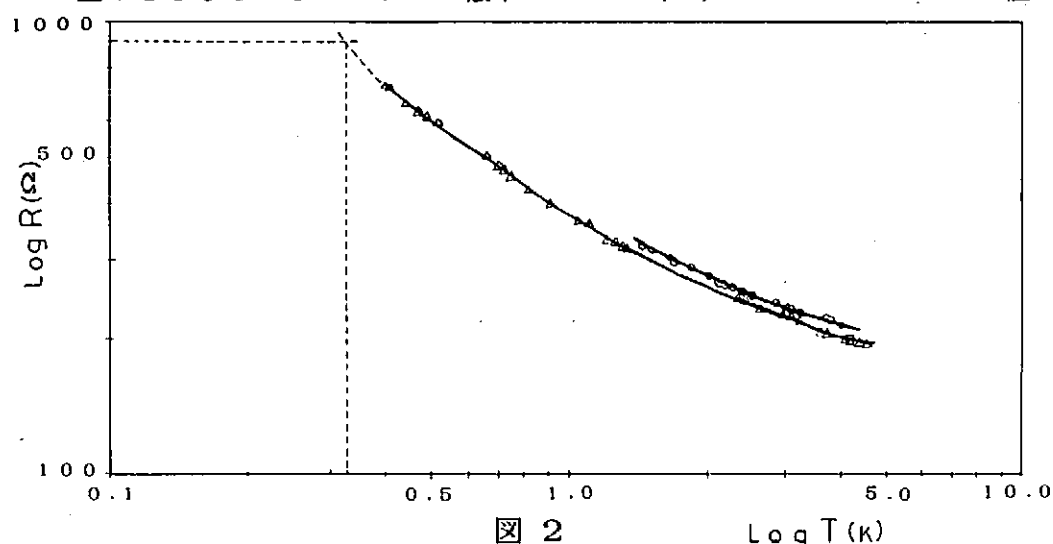


図 2

しかし、温度がよく下がった反面で、³Heがすぐに蒸発し回収されてきてしまいました。考えられる原因として、次の4点が考えられます。

① 輻射によるヒートリーク

② ³He温度部の配管のインピーダンスが小さい

③ バリコンの熱容量が大きく、十分に冷却されていない

④ バリコン駆動のロッド (SUS φ2) ・同軸ケーブルの芯線 (Cu-Ni φ1) が十分に冷却されていないことによる熱伝導

①は、クライオスタットの配管を大きくしたため、配管の内径 (φ39.4) よりも試料の引き抜きのフランジの口径 (φ30.0) の方が小さく、熱反射板と配管の間に隙間があり、熱反射板が有効に収まっていない。これについては、熱反射板をバネの様なものに変えることを考えている。

②については、試料を上から引き抜けるようにしてあるために、ガラス管の内径 (φ18) をこれ以上は絞ることができない。

③については、事前にバリコンを充分冷却しておいてやれば、この問題は解消されると思われる。

④のロッドについては途中で熱アンカをとって冷却するか、中間に熱絶縁物をはさんで熱流入を防ぐことを考えています。しかし、同軸ケーブル芯線の冷却については熱アンカをとるわけにはいかないので、現在低温用の同軸ケーブルの購入など思案中です。

次に、今回のテストでの予想到達温度 (0.35 K以下) について考察します。

まず、冷却能力を見積ると、

使用したポンプの排気速度: $S_p = 80$ (l/sec)

常温部分配管のコンダクタンス： $C_h = 3.816$ (l/sec)
 クライオスタット内配管のコンダクタンス： $C_c = 2.349$ (l/sec)
 となり、実効排気速度： $S = S_p^{-1} + C_h^{-1} + C_c^{-1} = 1.428$ (l/sec)
 程度と見積ることができます。

また、ヒートリークについては、熱伝導： $Q_1 = 36.346$ (mW)

熱輻射： $Q_2 = 17.414$ (mW)

よって、全体のヒートリーク： $Q = Q_1 + Q_2 = 53.760$ (mw)

となり、予想到達温度 (0.35 K以下) は、このクライオスタットの性能として、妥当であると考えられます。

報告後の冷却テストでは、輻射対策を充分に行なった上で、バリコンを取り外して行ないました。 ^3He はロータリーで排気し始めた直後に ^3He 全体の1/2以上が回収されてきましたが、松下の抵抗値が安定 (920 Ω) した後5時間もちました。1回目よりもかなりもち時間が長かったが、まだNMR用としては実用段階ではなく、再度問題点を整理・検討中です。

3、バリコンの製作・改良

更に、NMR用ということもありバリコン (可変コンデンサ) の製作も同時に行ないました。

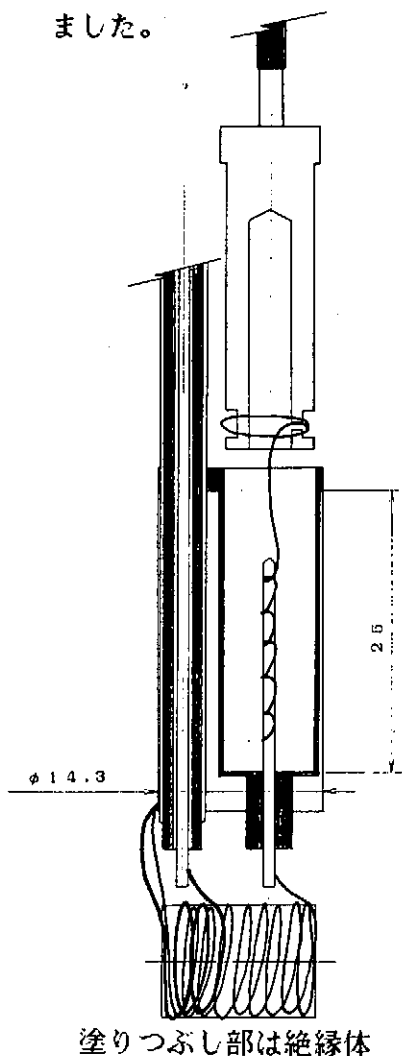


図 3

バリコンの製作において、

- ①バリコンの小型化
 - ②バリコンに用いる絶縁物の耐電圧
 - ③静電容量変化は現在の ^4He クライオスタットと同じにする
 - ④アース対策
 - ⑤駆動方法
- の5点を念頭におき製作しました。(図3)

試料コイルには大きな入力 (200 W、1 μsec のパルスを1 msec 間隔) があるので、アースをしっかりと取りました。更に、バリコンを ^3He 液中に浸たらせて温度の安定を保ちたいということより小型化を目標としたが、容量変化は現在のものと同じにしたいということで矛盾が生じました。しかし、同軸ケーブルのパイプをバリコン固定用の支柱とすることによりコンデンサとしての面積を稼ぎ、下記のように現在のものとほぼ同じにすることができました。

^4He クライオスタット：15.8~35.0 pF (2.2倍)

^3He クライオスタット：20.2~41.2 pF (2.0倍)

今回は、絶縁物として耐電圧、比誘電率及び切削性を考慮し、テフロンを使用しました。バリコンにかかる電圧は最高2 kVであるが、テフロンの絶縁耐圧は20 kV/mmであり、今回厚みを0.25 mmとしたので5 kVまでは絶縁破壊しない計算となります。

また、 ^4He クライオスタットのバリコンはネジによる回転駆動であった。しかし、バリコンから手で駆動させる常温部分のトップフランジまで1 m以上あり、どうしても多少の芯振れが生じてきます。それが、回転駆動式では変位も上下に波うつものとなっていた。そこで、直進駆動とする

ことにより振れても、リニアに変位することを考えました。

上部駆動部にはコンデンサ容量変化の目安のため、及びスムーズな動きを得る為に直進式のマイクロメータヘッドを使用しました。実際に、Cu・Alの試料にコイルを巻き常温でディップ点を観たとき、大きな反応がありバリコンとして正常に機能することが確認されました。

また、磁場中(1.5 T)において200Wの入力をかけても放電はなく、常温においてはバリコンとして充分機能し、優秀であることが確認されました。

しかし、Heガス1 Torr中では最も放電が起こりやすく、しかも上下するのが高压側ということもあり、バリコンの容量が最小になった時(高压側が1番上に上がった時)に、放電が起こるのではないかという問題が提起されました。

また、バリコンにかける入力がかかなり大きいため、入力をかけたときに ^3He が多少蒸発することも考えられ、もっと小型化(長さを短く)することにしました。

2号機では、同軸ケーブルのパイプに絶縁物のスペーサを付けて、本体を高压側とした。スペーサと長さを短くした為に、コンデンサとしての面積が小さくなったが、中側の軸にもテフロンをかぶせて二重構造として容量を稼ぎ、1号機とほぼ同じ容量変化とすることができました。

2号機のテストはまだ行っていないが、よい結果が期待されます。

予稿に記した補強リングについては、名古屋大学理学部技術報告VOL.1
1990 P37で報告しているので本報告では省略します。

最後に、今回実験・データ処理において、多大な助力・助言をいただいた物理学科M研の紺谷雅昭氏、西岡孝氏、井上晶次氏に深く感謝いたします。

- ◎参考文献：田沼静一 他 実験物理学講座15「低温」 共立出版
：後藤昌彦 他 低温工学 vol. 8 No. 1 (1973) P18
：名古屋大学理学部技術報告 VOL.1 1990 P37

はじめに

磁場中比熱測定は、磁性体や超伝導体の相転移、金属内電子のフェルミ面における状態密度、格子振動のデバイ温度についての知見を得る重要な手法である。

断熱法で磁場中比熱を測定する場合重要なことは、断熱状態で磁場中にある試料の温度を正しく測定することである。

我々の磁場中比熱測定用³Heクライオスタットを図-1に示す。試料及び温度計は試料台に取り付けられ、試料台をクランプで締め付けることにより³Heボットと熱接触を保ち³He温度に冷却する。同時に超伝導マグネットを励磁する。冷却された後クランプを緩めることにより、試料は磁場中で断熱状態となる、この状態でヒートパルス ΔQ を加え温度上昇 ΔT から比熱 $C = \Delta Q / \Delta T$ を求め

る。この様な状態で試料の温度及び温度上昇を測定するには、温度計を磁場の影響のない位置に取り付けるか温度計を磁気からシールドする必要がある。しかし我々の装置では、図中○で示すような磁場分布をしており、超伝導マグネットを8 Tに励磁した場合試料から約10 cmの位置で2 T以上の磁場があり磁場の影響のない位置に温度計を取り付けること、又装置の形状の制約から磁気シールドは困難である。この様なことから温度計として、磁場依存性の小さい素子を選択し、素子の磁場依存性を明らかにすることが必要である。磁場依存性の小さい素子として、RuO₃の素子が温度計として使用できることが報告されている¹⁾²⁾。

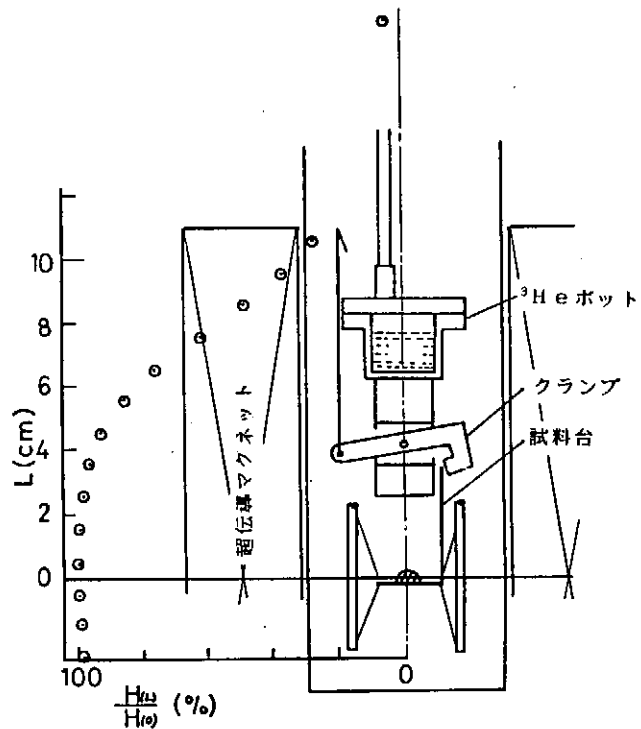


図-1 ³Heクライオスタット試料部分
磁場分布

我々はこの報告に注目し、家電用抵抗素子として市販されているアルプス社のRuO₃素子について磁場中での特性を調べたので報告する。

実験装置

実験装置は図-2に示す。超伝導マグネット、³Heクライオスタット、マノメータで構成されている。抵抗体素子、校正済みゲルマニウム温度計は、³He液中

にある銅ブロックに取り付けられている。抵抗体素子の抵抗測定は、素子から四端子のリード線を取り出し、直流電位差方式で行った。測定電流は、 $1\ \mu\text{A}$ であるこれによるジュール熱発生は 3×10^{-8} 程度である。ゲルマニウム温度計の抵抗測定は交流ブリッジ方式で行った。温度測定は、 $0.5\text{K} \sim 1.5\text{K}$ の範囲は、 ^3He 蒸気圧をオイルマンオメーターで測定した。

エゼクターポンプ（2インチ）で減圧排気して到達した最低温度（ 0.4K ）については、磁場0での温度をゲルマニウム温度計で測定し、磁場中での測定を終えた後再び磁場0としたときの温度をゲルマニウム温度計で測定しその差を温度の誤差とした。

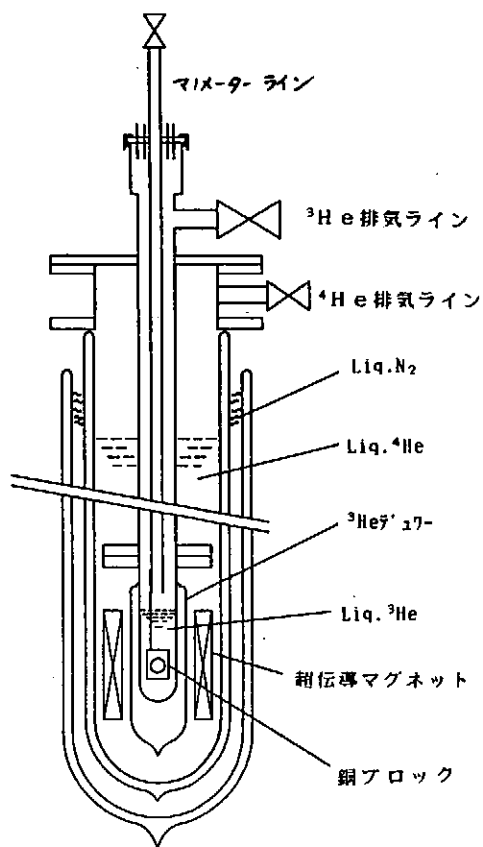


図-2 温度較正用 ^3He クライオスタット

結果と考察

測定した抵抗素子の抵抗値、抵抗比等を表-1に示す。比較のために松下電気カーボン抵抗、LAKE SAURE社製のGe温度計の値も示す。

表-1

メーカー	素子	抵抗値 (kΩ)				抵抗比			磁気抵抗率 ΔR/R0 (%) 2.5T, 1.3K
		R.T	4.2K	1.3K	0.4K	$\frac{R_{4.2}}{R_{R.T}}$	$\frac{R_{1.3}}{R_{4.2}}$	$\frac{R_{0.4}}{R_{4.2}}$	
アールプス	RuO ₂	100	200	520		2.0	2.6		H/1.9, H/13.6
	RuO ₂	51	100	240		2.0	2.4		
	RuO ₂	10	18	32		1.8	1.8		
	RuO ₂	5.1	8.6	15	37	1.7	1.7	4.3	
	RuO ₂	2.1	2.7			1.3			
松下 L.S	RuO ₂	1.0	2.4			1.4			
	カーボン	.1	0.2	0.32	0.72	2.0	1.6	3.6	1.7
	Ge	.001	0.05	0.3	6.5		6.0	130	50

図-3に4.2Kに於ける抵抗値との抵抗比 $R/R_{4.2}$ を示す、図中に示す数字はアルプス社の各素子の常温の抵抗値 (kΩ) を示す、この図から常温での抵抗値の大きい素子ほど抵抗比が大きく、常温での抵抗値の大きい素子ほど高温側での抵抗比が大きいことが分かる。0.3K~4.2Kで温度計として使用するには、100kΩ、51kΩの素子は低温での抵抗値が大きすぎるために抵抗測定が困難であり温度計として使用しにくい、10kΩ、5.1kΩの素子は松下カーボン抵抗より感度が良い。

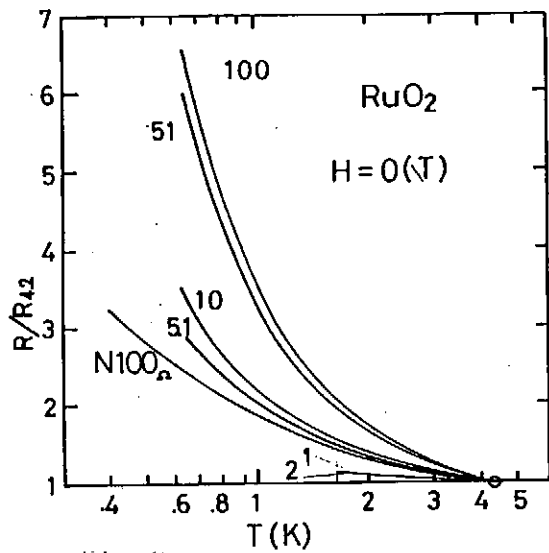


図-3

1kΩ、2kΩの素子については、1.7Kまでしか測定してないが、抵抗比が松下カーボン抵抗より抵抗比が小さく温度計としての感度が悪い。

図-4に素子の測定電流に対して磁場が平行な場合の1.3Kに於ける磁気抵抗による抵抗値誤差率 $(R_H - R_0) / R_0$ を示す。この図から、Ge温度計は磁気抵抗は正であり2.5Tで50%と大きな変化を示す。松下カーボン抵抗、RuO₂ 5.1kΩの磁気抵抗は負であり2.5Tで約1%である。

図-5にRuO₂ 5.1kΩの1.3K、0.66K、0.4Kでの磁気抵抗による抵抗値誤差率 $(R_H - R_0) / R_0$ を示す、低温ほど誤差率が大きくなることがわかる。2.5Tにおけるそれぞれの温度抵抗誤差率、温度誤差、温度誤差率は以下のようになる。

温度 (K)	抵抗値誤差率 (%)	温度誤差 (K)	温度誤差率 (%)
1.3	0.9	0.02	1.5
0.66	1.3	0.008	1.2
0.4	3.4	0.02	5.0

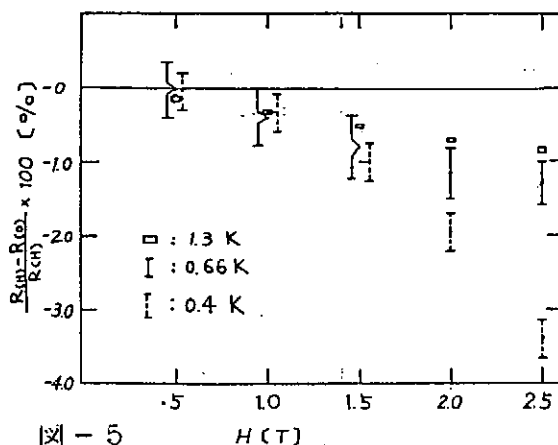


図-5

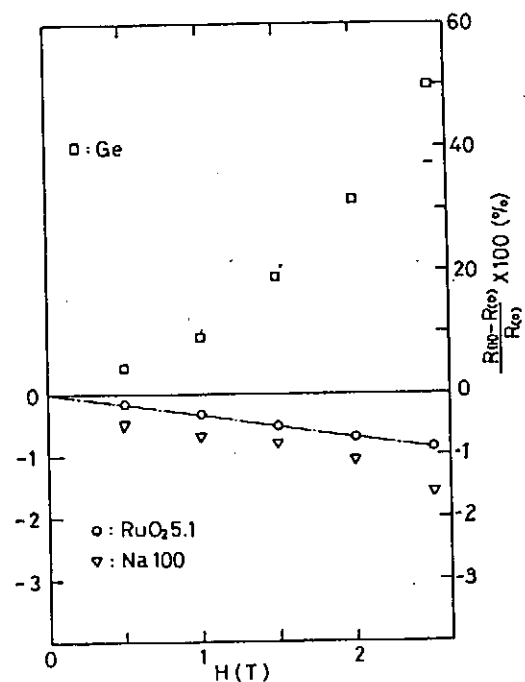


図-4

図-6に測定するための電流の方向を磁場の方向に対して平行の場合、垂直の場合の抵抗誤差率を示す。

垂直の場合と平行の場合を比較すると、2.5 Tにおいて4倍程度の差がある。

文献3)によると磁気抵抗は磁場の方向に依存しないが、磁気抵抗によるその温度誤差率は200 mKにおいて5 Tまで0.5%以下であることが報告されているのに対して我々の測定結果は、方向に大きな依存性を示し、その値も大きい。

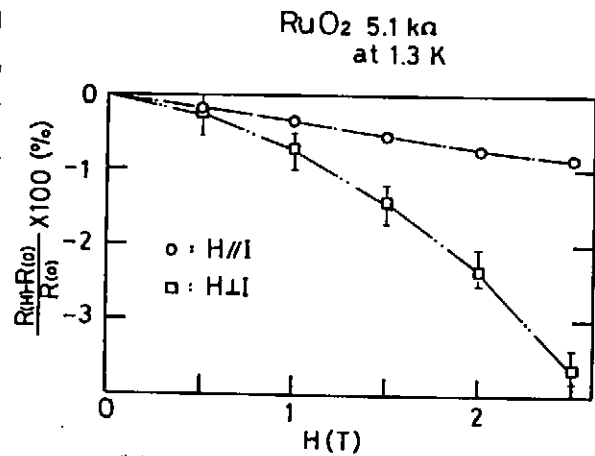
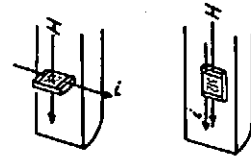


図-6

まとめ

素子の特性として、磁気抵抗は、磁場の方向に対して異なる。

磁気抵抗は、2.5 Tまで自であり、温度が低いほど大きい。

今回の測定だけでは、RuO₂の素子を磁場中比熱測定用の温度計として較正するまでにはいたらなかった。

磁場中比熱測定用の温度計として使用するには、素子によるばらつき、再現性を調べ、更に松下カーボン抵抗の磁場中の特性を調べ比較検討をする必要がある。必要がある。

今回の実験で、温度計の較正を行うには、温度を安定させることの難しさを体験することができた。

文献

- 1) Q.Li, C.H.Watson, R.G.Goodrich, D.g.Haase and H.Lukefahr
Cryogenics 1986 Vol26 August/Seotember 467
- 2) W.A.Bosch, F.Mathu, H.C.Meijer and R.W.Willekers
Cryogenics 1986 Vol26 January 3
- 3) R.W.Willekers, F.Mathu, H.C.Meijer and H.Postma
Cryogenics 1990 Vol 30 April 351

超電導トロイダル電磁石用He冷凍装置

日本酸素株式会社

金田 知士 伊藤 厚之

はじめに

超電導マグネットの冷却のためのヘリウム冷凍装置は、信頼性と操作性の高いことが要求される。このためには、長期連続運転が可能で、自動化されていることが重要であり、この一例として、当社が1990年に高エネルギー物理学研究所殿に納入した超電導トロイダル電磁石冷却用のヘリウム冷凍装置について、その内容を報告する。

1. 装置の概要

1.1 冷凍装置の概要

本装置の主要仕様を表1に、概略系統図を図1に示す。

本装置は、圧縮機ユニット、クロードサイクル二段膨張タービン式コールドボックス、バッファタンク(20m³)、負荷超電導磁石などより構成されている。マグネットの冷却は、コールドボックスより供給される液体ヘリウムにより行われ、マグネット放射シールドの冷却は膨張タービン手前から抜き出される約50Kの低温ヘリウムガスにより行われる。

マグネットは、気液二相流の液体ヘリウムで冷却されるため、圧力・流量脈動な等の不安定現象が発生する可能性がある。このため、ガス比率の低い気液二相流が要求されていた。

そこで、コールドボックス内に設けたLHe溜めで4.4Kの中間冷却を行うことにより、コールドボックス出口では液体ヘリウムを過冷却状態としている。

コールドボックスより供給された過冷却液体ヘリウムは、マグネットを冷却した後マグネットクライオスタット内のLHe容器に溜められる。そのうちの一部は電流リード冷却に用いられガス化して圧縮機吸入側に戻り、他はオーバーフローし、気液二相流状態でコールドボックスへ戻る。

また、マグネット放射シールドの冷却は、第1タービン直前より抜き出した高圧・低温ガスにより行う。放射シールドを冷却したガスは、高圧のままコールドボックスへ戻している。これにより、高圧・低温ガスを膨張させることによる不可逆ロス小さくでき、システム全体の効率低下を防いでいる。

マグネットのクエンチ時は、ヘリウムガスを大気へ放出せず、緊急放出弁(SV203, SV204)によりバッファタンクへ回収している。

このように、本装置は先に述べた電流リード冷却を含め、冷媒ヘリウムを外部へ放出しない完全閉サイクルとなっている。

1.2 マグネットの概要

本装置で冷却されるマグネットの主要仕様を表2に示す。マグネットは、放射状に配置された12個のコイルから構成されている。

1.3 不純物対策

本装置は年間約3000時間の連続運転が予想されている。冷凍装置の長期連続運転で問題となるのは、冷媒中に混入した水分及び空気成分などの不純物量である。

1.1節でも述べたように、本装置は完全閉サイクルであり、系内の不純物の量は外部からの

表1 ヘリウム冷凍装置の主要設備仕様

ヘリウムバッファタンク	
型式	縦型円筒式
内容積	20m ³
回収時圧力	0.35 MPa
運転時圧力	0.15 MPa
ヘリウム圧縮機	
型式	油噴射式スクリーウ圧縮機
吐出量	1080 Nm ³ /h
吸入圧力	0.10 MPa
吐出圧力	0.96 MPa
所要動力	210 kW
ヘリウム冷凍機	
型式	クロードサイクル2段タービン式 (SULZER社 TCF50)
冷凍能力	4.4K 90W以上 80K 400W以上

侵入がない限り一定である。従って、運転前にいかに不純物量を低減するかが重要である。これに対し、今回は次のような対策を行った。

- ・配管完成後にすべての継手部に対し、ヘリウムリークディテクタを使用し漏洩検査実施（基準値は、 1×10^{-5} Torr·l/s(1ヶ所あたり)
- ・モレキュラシーブスを充填した5次セパレータを増設
- ・圧縮機の常温循環運転後、吸着筒の再生、真空置換及びガスバージを実施

このような対策により、系内のヘリウムガスは露点 -86°C 、空気成分1.0vol. ppmの純度を達成することができた。

通常運転時のガス純度は、不純物モニター盤の酸素濃度計及び露点計により計測される。この計測は、圧縮機を起動した後に自動的に行われ、設定値を満足しない場合はマグネットの予冷が開始されないようプログラミングされている。

2. 制御システム

2.1 制御系の概要

運転はすべて、コールドボックスに装備されている制御用コンピュータにより管理され、圧縮機の立ち上げからマグネットの予冷、定常化まで一連の操作が完全自動化されている。この制御用コンピュータはスイーデンのSattcontrol社製のSattcon31-10で、メモリ容量は64キロバイト、信号の入出力点数は142点である。

コントロールプログラムの自動運転モードは、圧縮機ON、マグネットON、コールドボックスONの3つのブロックから構成されており、これらのモードを選択することにより、マグネットの初期温度に応じた予冷運転が行われる。

各運転モードで行われる主要な操作を以下に示す。

(1) 圧縮機ON

- ・ヘリウム圧縮機の起動
- ・吐出圧力制御及び吸入圧力制御（ヘリウムガス供給弁(PCV301)、回収弁(PCV300)、バイパス弁(PCV302)、スライド弁の制御)

(2) マグネットON

- ・コールドボックスとマグネットの接続（マグネットへの供給弁(CV172)と戻り弁(CV173, CV179)の制御)
- ・流量調節弁(CV171)の制御
- ・電流リードの流量調節弁(FCV200, FCV201)の制御

(3) コールドボックスON

- ・ガス純度モニターによるプロセスヘリウムガス中の不純物(酸素、水分)の自動チェック

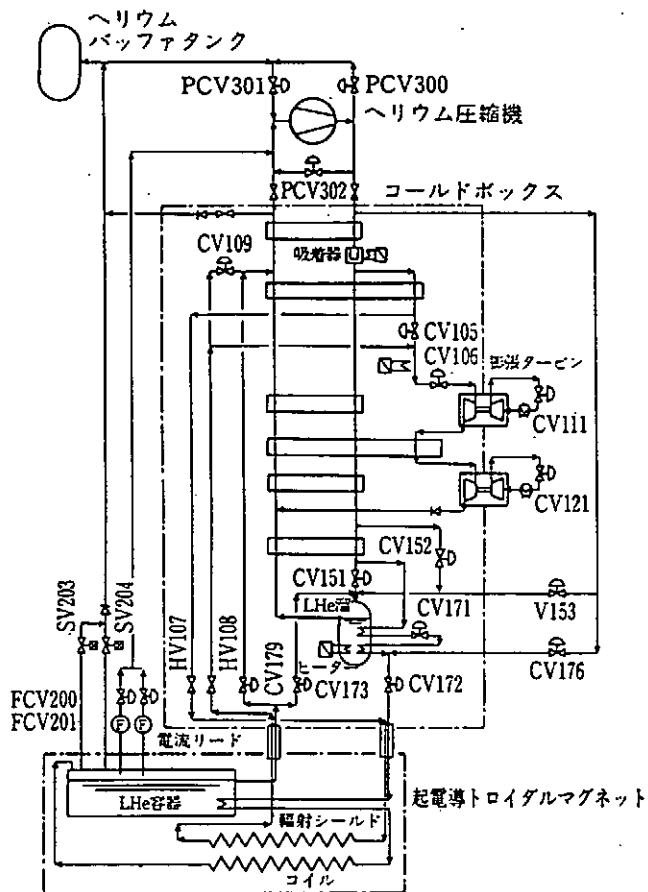


図1 概略系統図

表2 トロイダル電磁石の主な仕様

冷却重量	コイル 2.1 t 輻射シールド 0.6 t
熱負荷	コイル 60W 輻射シールド 400W 電流リード冷却用0.35g/s (飽和液)
冷媒条件	流体 二相流液体ヘリウム 温度 4.4 K 流量 7 g/s
冷却管	内径 $\phi 12$ mm 全長 60 m 材質 銅
コイル数	12個
外径寸法	$\phi 4.0$ m
総重量	43 t

- ・膨張タービン入口弁(CV106)の開度調整
(供給ガス温度とコイルとの温度差を30K以下、及び輻射シールドとの温度差を100K以下に制御)
- ・膨張タービン回転数の制御、JT弁(CV151)及びJTバイパス弁(CV152)の制御
- ・輻射シールドの差圧コントロール、コールドボックス内LHe溜めの液面制御

(4)クエンチ後の復旧

マグネットがクエンチを起こすと、マグネットへの供給弁(CV172)と戻り弁(CV173)がすぐ閉まり、マグネットはコールドボックスから切り離され、コールドボックスは単独の冷凍運転(Idle running)を始める。同時に緊急放出弁(SV203,SV204)が開き、放出ガスをバッファタンクに回収する。この状態でも、膨張タービンの運転は続行されているので、再びマグネットを冷却しようとする場合には、マグネットONとすれば、再び供給弁(CV172)と戻り弁(CV179)が開となりマグネットの再冷却が開始される。

(5)加温

- ・JTバイパス弁(CV152)の開度調整(供給ガス温度とコイルとの温度差を30K以下、及び輻射シールドとの温度差を100K以下に制御)
- ・加温弁(CV176及びCV153)の制御

2.2 寒冷発生の制御

前述の通り、マグネット予冷時における寒冷発生の制御はタービン入口弁の開度調整により行う。図2は、コールドボックス単体性能確認試験時に得られた膨張タービン入口弁開度と冷凍能力の関係であり、横軸にタービン入口弁開度、縦軸にそのときのタービン入口圧力とヒーター入力(冷凍能力)を示している。この図から分かるように、タービン入口弁の開度を60%から80%まで変化させると、タービン入口圧力は0.53 MPaから0.80MPaまで変化し、それに伴って4.4Kにおける冷凍能力は70Wから153Wまで、輻射シールド(50K)における冷凍能力は80Wから460Wまで変化する。

したがって、自動運転におけるタービン入口弁の開度は図3に示すようにマグネットと供給ガスの温度差がつきやすい予冷初期には、膨張タービンが許し得る最小開度を保持して発生寒冷量をおさえ、温度差が小さくなった後は1時間ごとに約2%ずつ開度を上げて、全開する。万一、この間に、マグネットと供給ガスの温度差が再び大きくなって来た場合には、その温度差に応じて、タービン入口弁を75%、70%、65%、60%と段階的に閉め、常に温度差が許容範囲内になるように制御している。

3. 試運転結果

3.1 マグネットの予冷及び加温

マグネットの予冷曲線を図4に示す。図から分かるように、予冷時にはタービン入口弁により寒冷発生の制御を行い、供給ガス温度とコイルとの温度差30K以下、及び輻射シールドとの

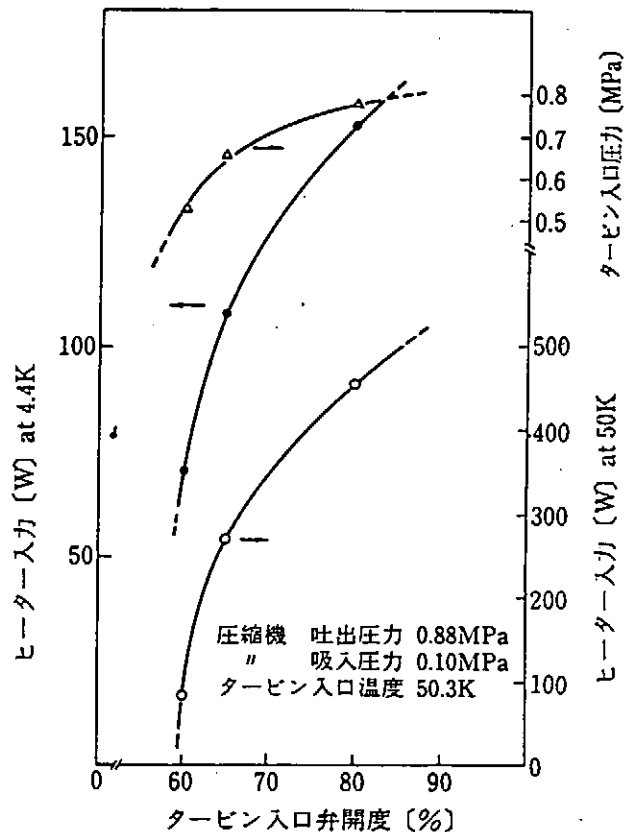


図2 タービン入口弁開度調整による寒冷発生制御

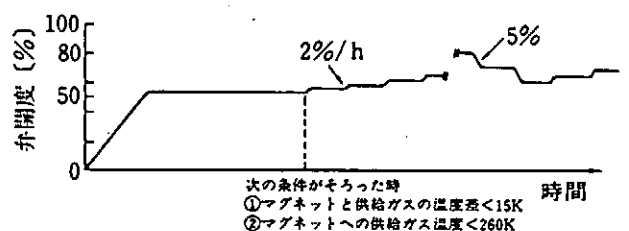


図3 タービン入口弁の制御

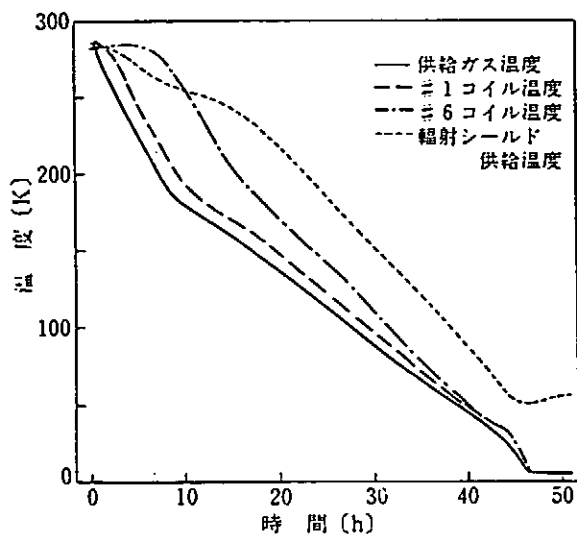


図4 磁石の予冷曲線

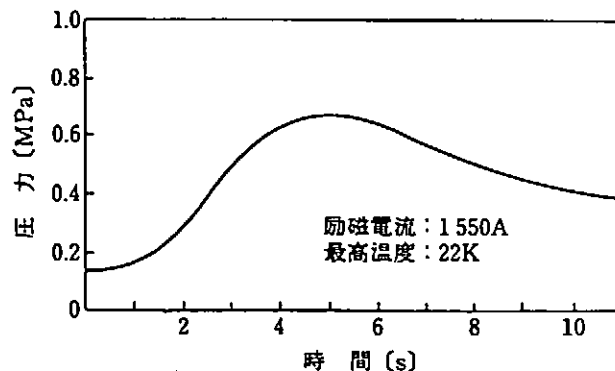


図5 クエンチ後のコイル管内圧力上昇

温度差100K以下という条件を維持しながら、マグネット常温より約48時間で所定の温度まで全自動で冷却することができた。また、加温時も同様の条件でマグネットを273Kまで約55時間で加温することができた。

3.2 マグネットの励磁、クエンチテスト

1550Aの定格励磁を行った後、電流遮断によるクエンチテストを行った。結果を図5に示す。これは電流遮断後のコイル冷却管内圧力の上昇を示すもので、約5秒後に最大約0.7MPaまで上昇したが、これは安全弁の吹出し圧力以下であった。また、クエンチ後、マグネットの温度は22Kまで上昇した。このとき、コールドボックスへの影響はほとんどなく、その後のマグネットの再冷却は約3時間で完了し、システムの復旧が非常に順調に行われることが確認された。

おわりに

今回報告した超電導トロイダル電磁石用ヘリウム冷凍装置は、不純物混入が極めて少ない完全閉サイクルであり、輻射シールドを含むマグネットの冷却がヘリウム膨張タービンのみにより行われ、さらにマグネットの予冷から定常冷却に至るまで全自動運転が可能となった。膨張タービンの寒冷発生を調節することによりマグネットの予冷段階における温度差も許容値内に保ったまま冷却できることが確認された。

参考文献

- 1) 今里純他、荷電粒子スペクトロメータ用超電導トロイダル磁石 (I)、昭和63年度春季低温工学会予稿集、東京、1988-5、低温工学会、1988、P. 6.
- 2) 今里純他、超電導トロイダルスペクトロメータ冷凍システム(1)システム概要、第43回1990年度春季低温工学・超電導学会予稿集、横浜、1990-5、低温工学会、1990、P. 59
- 3) 今里純他、超電導トロイダルスペクトロメータ冷凍システム(2)システムの設計と試運転、第43回1990年度春季低温工学・超電導学会予稿集、横浜、1990-5、低温工学会、1990、P. 60
- 4) 金田知士他、高エネルギー物理学研究所超電導トロイダル電磁石用He冷凍装置、日本酸素技報、1990、No. 9、P. 26-P. 33

高エネルギー加速器用高磁場超伝導電磁石の開発

高エネルギー物理学研究所 ○山岡 広、山本 明、榎田康博

総合研究大学院大学

川畑秋馬

1. はじめに

現在、欧州共同原子核研究所 (CERN) では、LHC (Large Hadron Collider) 計画が進行している。この計画では、直径9kmのリングの中に陽子同士を8 TeVで衝突させて素粒子実験を行うという計画である。ここで使用される加速器用マグネットは10 Teslaという世界最高の高磁場を目指すものであるが、これは次の理由からである。

加速器で達成される粒子のエネルギーは次の式で現わすことができる。

$$P = q \cdot B \cdot r \quad P: \text{粒子の運動量、} q: \text{粒子の電荷、} B: \text{磁場、} r: \text{加速器の軌道半径}$$

従って、粒子のエネルギーを上げようとした場合、加速する粒子の種類と研究所の敷地の制約から軌道半径が決まってしまったならば、必然的に磁場を上げなければならないという事がわかる。

そこで高エネルギー物理学研究所では、CERNとの国際協力の取り決めにより「高磁場超伝導電磁石の開発」の一貫としてLHC加速器用高磁場超伝導電磁石の開発を行うことになった。

2. 高磁場超伝導電磁石の概略

(1) 高磁場超伝導電磁石の難しさ

- ・磁場、電流密度、コイルの厚みの間には次のような関係がある

$$B \propto J \cdot s \quad B: \text{磁場、} J: \text{電流密度、} s: \text{コイルの厚み}$$

また、電流密度は磁場が上がるに従って下がってくる。このため、高磁場を得ようとする場合には必然的にコイルが厚くなり、巻き線が困難になってしまう。

- ・電磁力と磁場の間には次のような関係式がある

$$\text{電磁力} \propto B^2$$

計算によるとこの電磁力は最大で $F_{\max} = 218 \text{ ton/m (at } 10 \text{ Tesla)}$ となり、電磁支持構造を十分に考慮しなければならない。

- ・TWO-IN-ONE構造であるため、構造が複雑になる。しかし、トンネルの大きさからやもおえない事である。

(2) 構造及び特徴 (図1)

- ・TWO-IN-ONE構造

1つのクライオスタットに対して、コイルが2つあるということである

- ・ウェッジ (線間スペーサ) を持たない二重殻コイル

通常、線材コイル断面形状は四角形又は多少角度がついているだけである。従って、コイルを円弧状に重ねていくと必然的に隙間ができる。このため、この隙間にスペーサを挿入するが、この事により、電流を流せる面積が減ってしまい、高磁場を得られなくなってしまう。しかし、今回大角度成型

撚り線（4.6度）を開発することができたため、スペーサのいらぬ構造にすることができ、より多くの電流を流すことができた。

- NbTi超伝導線を2°Kの温度で最高10.2Teslaの磁場を発生させる。
- 左右完全対称の分割カラー設計による磁場高均一化

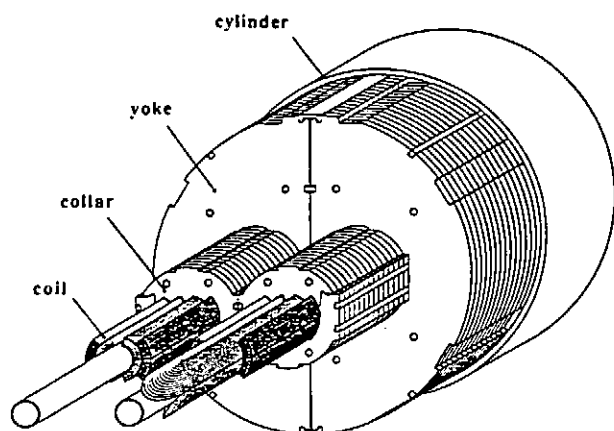


図1-a LHC双極電磁石の断面構造

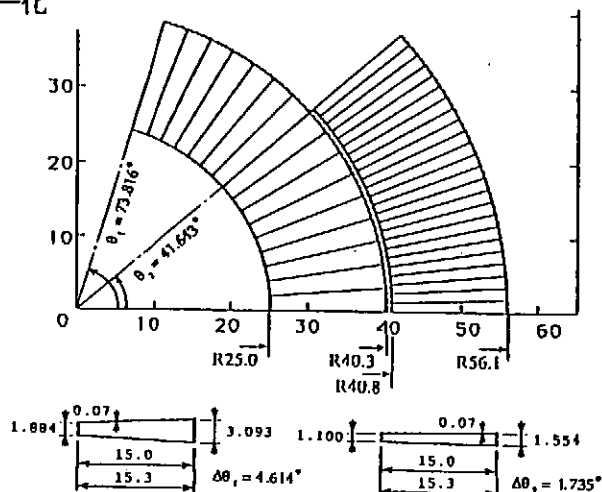


図1-b 1/4 コイル断面図

(3) 超伝導線材の設計値

	Inner coil	Outer coil
ストランド数	22本	37本
線材直径	1.39mm	0.79mm
運転電流	12720A	12720A
電流密度(全体)	322.6A/mm ²	578.0A/mm ²
電流密度(ケーブルのみ)	322.6A/mm ²	578.0A/mm ²
最高磁場	10.2Tesla	10.2Tesla

3. 超伝導コイルの特性把握試験

(1) 超伝導コイルのヤング率の測定

・(目的) 励磁した際にはコイルは電磁力により縮んでいく。このため、カラー材とコイルとの間に隙間が生じ、この隙間は、磁場を乱す要因となり又、コイルに曲げ応力を与えてしまう。従って、あらかじめカラー材にPRE-LOADをかけて常にコイルを圧縮状態にして、隙間ができないようにしておかなければならない。

しかし、コイルのヤング率がわからないとコイルがどのくらい縮んだら適正圧力になるかわからなくなる。通常の金属では、ヤング率はアルミなら $7.3 \times 10^3 \text{ kg/mm}^2$ とわかっているが、コイルの場合、コイルの周りに絶縁材や隙間等があるため、ヤング率がどのくらいなのか把握するのが非常に難しい。このため、実際にコイルに圧縮力を与えてヤング率の測定を行うことにした。

- ・(装置) 図2に装置の概略図を示す
- ・(測定手順) 測定手順を次に示す

- (イ) 超伝導線材を測定治具にスタックする
- (ロ) ジャッキで治具に荷重をかける
- (ハ) ヒーターを加熱し、超伝導線材を成型する
1時間で150℃まで昇温しその後2時間保持した
後、3時間かけて冷却する
- (ニ) 超伝導線材に荷重を加え、ロードセル、変位変換器で荷重及び変位を測定する
- (ホ) 次の式よりヤング率を求める

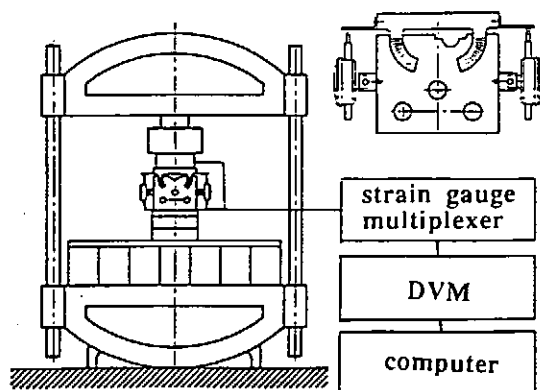


図2 ヤング率測定装置

$$E = pL / A\lambda$$

E: ヤング率 (kg/mm²)、p: 荷重 (kg)、L: 全長 (mm)

A: 断面積 (mm²)、λ: 変位 (mm)

- (ヘ) 治具 (Inner coil用、Outer coil用又、線材を互い違いにすれば直線になるのでstraight型治具) 及び、条件を変えて再び測定をおこなう

・(測定結果) 図3に測定結果を示す。

- (イ) Inner coilとOuter coilではヤング率が違うことがわかった

→Inner coil 1400~1500 kg/mm²

Outer coil 1000~1150 kg/mm²

理由はInner coilとOuter coilではターン数が異なり、絶縁材の量が違ってくるためと考えられる

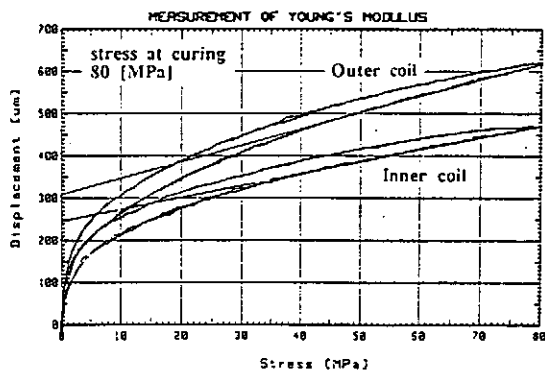


図3 コイル圧縮特性グラフ

- (ロ) Straight型治具とarch型治具でもヤング率が違うことがわかった

Straight型治具の場合、超伝導線材を圧縮した際に治具が横に広がり線材が横に滑ったため、arch型治具より変位が大きくなりヤング率が低くでたと考えられる

(2) 超伝導線材の絶縁耐力の測定

カラーリング時にはPRE-LOADを10 kg/mm²かけるわけであるが、この時に絶縁が破れてはいけない。このため、PRE-LOADと絶縁材の関係を調べる事によりカラーリング時に絶縁が破れない事を保証する。

・(装置) 図4に装置の概略図を示す

・(測定方法)

- (イ) 超伝導線材を測定治具にスタックする

- (ロ) 圧力約8 kg/mm²から順次、ジャッキで治具に荷重をかける

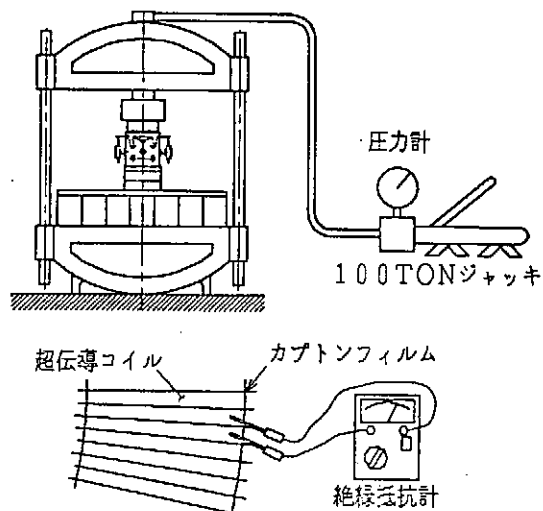


図4 絶縁耐力測定装置

- (ハ) この時に、絶縁抵抗計で絶縁が破れていないか測定する
- (ニ) ロードセルでは荷重が読めなくなるので、ジャッキについている圧力計で圧力を読む
- (ホ) カラーリング時にはPRE-LOADを約10 kg/mm²かけるので、安全をみて15 kg/mm²以上絶縁耐力がもてばよい

・(測定結果) 図5に測定結果を示す。この図から次のことがいえる
 No. 2の測定値はStraight型治具で測定した。この測定値は治具の剛性が弱かったため、線材が横に滑ると同時に絶縁を破ってしまったためと考えられる。

しかし、双方とも絶縁耐力15 kg/mm²以上という基準値を越えることができた。

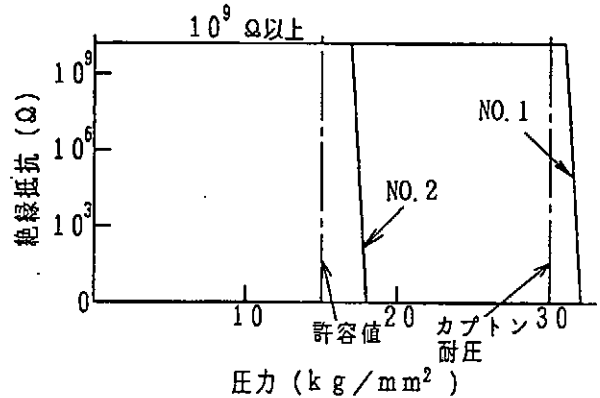


図5 絶縁抵抗-圧力関係図

(3) 占有率の測定

超伝導線材の周りの絶縁材や隙間は磁場を乱す原因となる。また、磁場解析にはこのFACTORは、はいていない。このため、画像解析により絶縁材と超伝導線材との面積比の適正化をはかる。

- ・(装置) 図6に装置の概略図を示す
- ・(測定手順) 測定手順を以下に示す

- (イ) コイルを適当な部分で切断し、断面を仕上げ
- (ロ) 断面を写真に撮り、この写真を画像解析装置に読み込む
- (ハ) 面積比を測定する

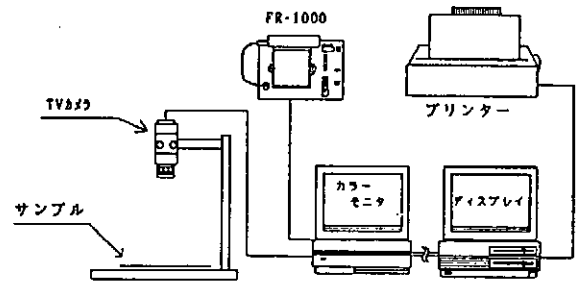


図6 画像解析装置

・(測定結果) 以下に測定結果を示す。

	表側	裏側	平均	設計値
Inner coil	5.6%	6.1%	5.9%	5.3%
Outer coil	10.3%	11.3%	10.9%	10.6%

Inner coil, Outer coil 共にはほぼ設計値と一致した。

4. まとめ

- (1) 超伝導コイルのヤング率を得ることができた
- (2) 絶縁耐力の値は基準値以上の結果を得ることができた
- (3) 占有率の測定値は設計値とほぼ一致した

以上のことから、今後はこの結果をもとにして超伝導電磁石の組立てや、さらに詳細な電磁石の解析を行っていく予定である。

4.2 K~1.8 Kにおける白金コバルト温度計の温度特性

高エネルギー物理学研究所・物理研究部

田中 賢一、木村 誠宏
楨田 康博、箕輪 宣弘

1. はじめに 白金コバルト測温抵抗素子（以下Pt-Co温度計と記す）は、測定範囲が広く、温度係数が負であるために低温下での自己発熱が小さい等の利点があり、極低温実験での温度測定に有用であるが、一方、メーカーの公称許容差が±0.5 Kと大きく、4 K以下のデータがない等の難点もある。今回、静的間接冷却超伝導電磁石の予冷中の温度分布モニターとしてPt-Co温度計を用いるためにその温度特性を精密測定したので、それを基にメーカー指定外使用である4 K以下での使用について検討し、抵抗-温度換算表の作成を試みたので報告する。

2. 測定 計測系の概略を図1と図2に示す。計測手順は以下の通りである。

- 1) FRPデュワー内に被校正素子を組み込んだ銅ブロック（図2）を吊す。
（素子は総数60で、35と25の2グループに分けて測定する。）
この際、銅ブロックの中心と最外周の計5点に校正済みCGR温度計を配し、参考用としてデュワーには絶対圧力計を接続する。
- 2) デュワー及び銅ブロックをLN₂で予冷後、LHeに置換・冷却する。
- 3) ロータリーポンプを使って7.0 [Torr] (=1.65 K)まで段階的に減圧し（図3参照）、そのつど圧力をホールドして記録を取る。

熱起電力による誤差については、マルチメーターの入力端で正負逆の測定をし、その絶対値の差をそのラインに沿った熱起電力の総和として検討する。図4、図5はその測定結果である。今回問題にしているのは0.1 K程度の精度なので、これらは十分無視できるとして今後は考慮しない。

3. 結果 解析手順は以下の通りである。

- 1) まず、35素子の抵抗値の平均をとる。
- 2) この平均抵抗-温度特性を2次式で近似する。

$$T = aR^2 + bR + c$$

- 3) これを抵抗-温度換算式として35素子それぞれについて用い、換算温度を計算する。
- 4) 測定温度と換算温度の差を換算誤差としてグラフ化する。（図6）
- 5) 残りの25素子についても先に求めた換算式をそのまま用いて、同様に換算温度を求める。
- 6) 更に換算誤差も求め（図7）、平均抵抗-温度換算式の汎用性について検討する。

これらより、換算式導出に直接用いた素子のみならず、その他の素子にも±0.1 Kの精度で同じ換算式を適用できることが解る。

4. まとめ 市販の未較正白金コバルト抵抗温度計でも、4.2 K~1.6 Kの温度領域で、平均抵抗-温度換算式を用いることにより、±0.1 K精度で温度測定できることが解った。また、同温度領域における抵抗値の再現性も十分実用に耐えるものであることが解った。これらのことから、今後、超流動ヘリウム冷却超伝導電磁石用温度モニター等への利用が期待できる。

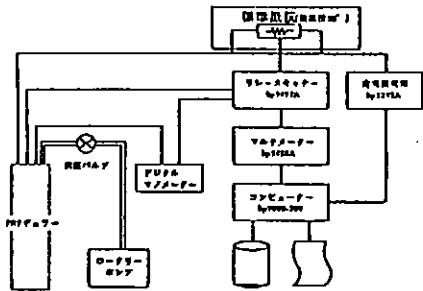


図1 計測系概略図

基準温度計

Pt-Co抵抗温度計 (1)
Pt抵抗温度計 (2)
Pt-Co抵抗温度計 (3)

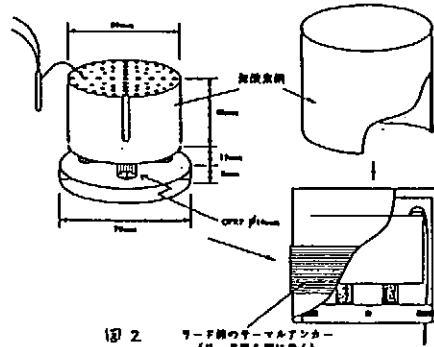


図2 超流動ヘリウム冷却超伝導電磁石用温度モニター

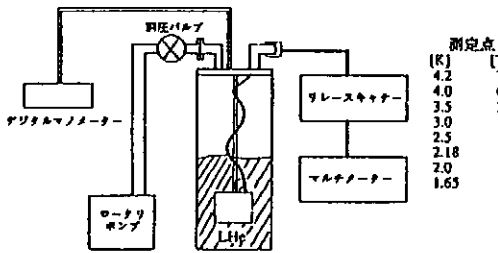


図3

測定点 [K]	[Torr]
4.2	760.0
4.0	616.8
3.5	355.9
3.0	182.1
2.5	77.5
2.18	38.6
2.0	23.8
1.65	7.0

図4 熱起電力による誤差 (CGR)

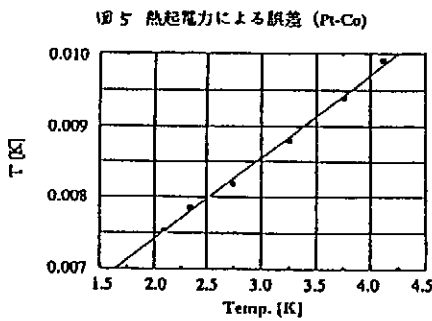
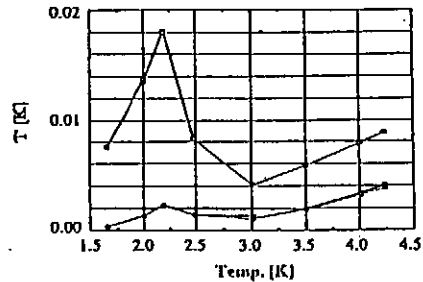


図5 熱起電力による誤差 (Pt-Co)

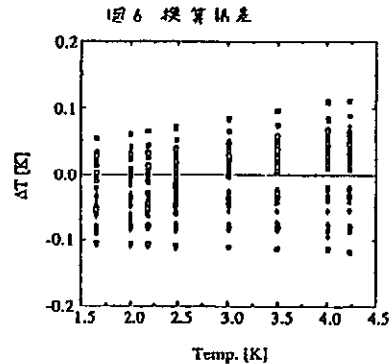


図6 換算誤差

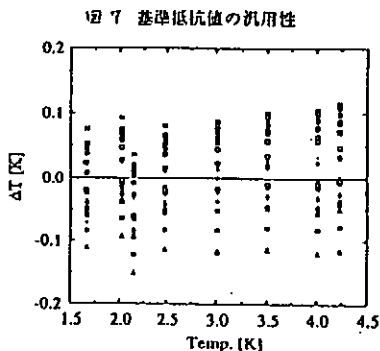


図7 基準抵抗値の汎用性

Temp. [K]	R [Ω]
1.8000	7.4222
2.0000	7.4624
2.2000	7.5017
2.4000	7.5401
2.6000	7.5777
2.8000	7.6143
3.0000	7.6501
3.2000	7.6850
3.4000	7.7190
3.6000	7.7521
3.8000	7.7843
4.0000	7.8156
4.2000	7.8460
4.4000	7.8756
4.6000	7.9042
4.8000	7.9320
5.0000	7.9589

液体窒素の学内供給システム

東京大学低温センター * 佐藤 幸一
内山 隆司

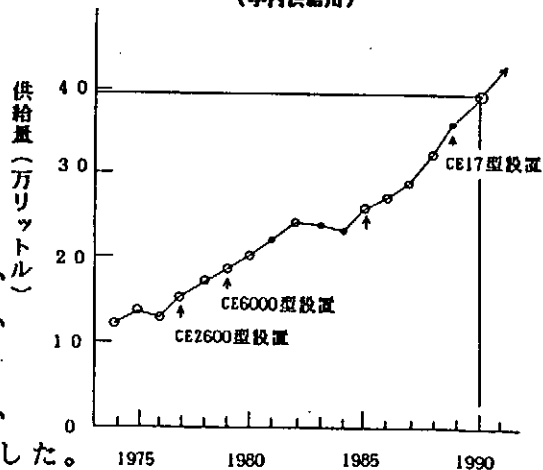
1. はじめに

本学低温センターの重要な業務の一つに液体窒素の供給サービスがあります。現在、学内の5学部、3研究所、3センター、附属病院などの約300研究室に年間およそ36万リットル（平成2年度）を供給しています。

近年、本学内の液体窒素の使用・消費量は（図-1）のように順調な増加を示しています。これらに対処するために、昭和63年度に学内供給用の液体窒素貯槽を6,000ℓ型から17,000ℓ型に設備更新しました。この様な状況の中、従来の専用電話受付による液体窒素供給方式では事務処理の多量化と煩雑化でいろいろと無駄と無理が目立ってきました。これらをふまえ、従来方式による液体窒素供給の問題点を列挙し検討した結果、供給事務の簡素化と集配作業の効率化を図ることが必要だとの結論に達し、新しくコンピュータ管理による『液体窒素業務省力化システム』を完成させました。

【液体窒素供給量の推移】

（学内供給用）



（図-1）

2. 旧システム

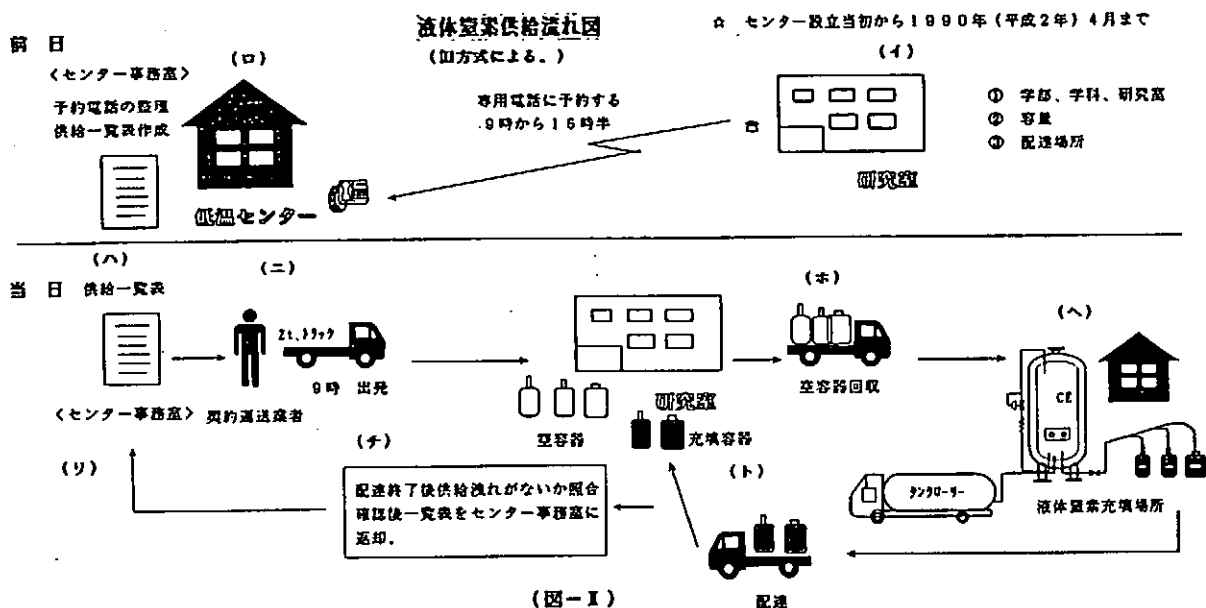
2.1 概要

平成2年四月まで行われていた液体窒素供給方式は、センター設立当初から行われてきたものです。（図-2）のように、供給を希望するユーザはその前日に専用電話に予約します。その予約に基づいて、契約運送業者が容器の回収、充填、配達を行います。予約電話の取りまとめ、集計、供給量確認、校費・委任経理金等移算請求事務処理は臨時職員が行って来ました。また、使用料金確認通知等を毎月末ごとに行って来ました。

2.2 旧システムの問題点

- ア 受付専用電話の故障などのトラブルにより予約できないことがある。
- イ 専用電話の申し込み量と実際との食い違いが大きい。
申し込みが目安に過ぎなくなっている。
- ウ 事務手続きの煩雑さ。
- エ 使用量の請求に関するトラブルが増えてきた。
- オ 入力、集計、請求等の書類作成が多量化してきた。
- カ 供給量の増加による集配作業に大きな遅れが生じてきた。

以上の6点に大きく要約されます。



3. 改善案

供給・集配関係、供給事務処理関係と作業区分ごとに問題点を整理し以下の3案を改善案とした。

a. オンライン予約方式。

◇ 装備に高額を必要とする。

b. 容器の登録方式。

◇ 登録番号を控え、そのリストで事務処理をする。

c. 注文書方式

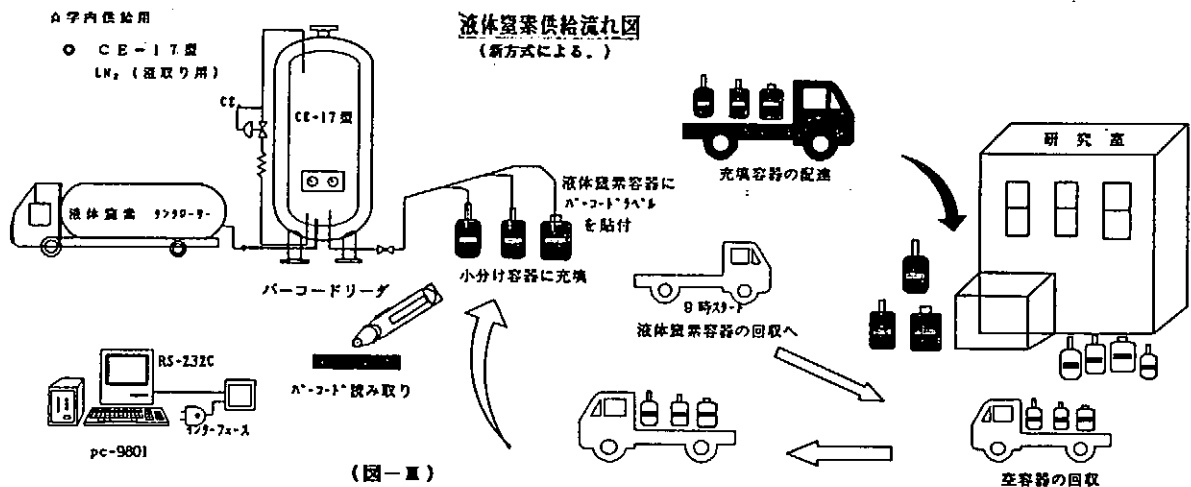
◇ 事務処理が多量化しやや不便。

以上の3案を比較検討の結果、b.の容器の登録方式で行うことにし、情報入力手段としてバーコードを利用し、コンピュータで管理することとした。

4. 新システム

4.1 全容器の登録方式

低温センターを利用する液体窒素容器全てを予め低温センターに「液体窒素容器登録申請書」で登録してもらいます。登録内容は、学部、学科、研究室名、内容積、登録年月日、校費・委任経理金の移算請求先などの項目です。これらの情報を登録番号にしバーコード化します。これにそって登録証(ラベル)を作成し各容器に貼付します。そして、回収した容器に液体窒素を充填する時に、バーコードリーダー(メモリ内蔵型)で情報を読み取ります。これにより配達の有無、供給量、移算請求先などの情報が一括把握出来ることとなります。(図-III、参照)



4.2 バーコード

バーコードは最も手軽で、かつ高い信頼性を持つデータ入力方法です。スーパーなどに見られるPOSシステムだけでなくFAやOAなど幅広い分野で利用されています。バーコードシステムはバーコードリーダ、プリンタ、ラベル、コンピュータで構成されています。センターでは、数あるバーコードの種類の中でインターリーブド2-of-5 (ITF)を使用しました。バーコードシンボルの作成には、Basicによりプログラムを組み簡単にパソコン用プリンタでラベル作成ができるようにしました。

4.3 バーコードリーダ

バーコード上を発光体(LED)でスキャンさせると黒いバーは光を吸収し、白いスペースは、光を反射する。この反射光を光電変換するとバーコードに対応した波形が得られ、これをデジタル化し、一本一本のバー幅をカウント(クロック)しマイコンで解読します。

バーコードリーダを選択するにあたっては、作業場所が屋外であること、移動しながらバーコードを読み取ることができること(ポータブル型)、耐衝撃性、堅牢であること、軽量、小型で低価格であることなどの条件からメカノシステム社のペン型ディスプレイワンドにしました。

4.4 容器番号の割り振り

学部、学科、研究室、登録個数の情報を[5桁の数字+英記号]に記号化した。例えば、「34504C」の5桁の数字の内、万の位に学部、千・百の位に学科、十・一の位に研究室の個数と割り振り表を作成し全容器に番号を割り振った。英記号は、バーコードリーダがバーコードをスキャンした時に5桁の情報を正確に読み取ったかどうかのチェック機能とした。

1991.4.4. 現在の容器の登録件数は704台です。

4.5 液体窒素供給管理プログラム

ポータブル型(メモリ内蔵型)のバーコードリーダによって液体窒素充填時に収集された情報は、インターフェースを介してコンピュータ(PC-9801RA)に取り込まれます。このことにより6種類のデータファイルが作成されます。

- I 各容器の供給の有無の記録表
- II 研究室別の供給量・使用金額の日計一覧表
- III 学科別の供給量・使用金額の月集計表
- IV 学部別の供給量・使用金額の月集計表
- V 年度全体の供給・使用金額、移算額等の会計表
- VI 年度毎の委任経理金による支払いの申し込み研究室の登録表。

コンピュータの操作は画面のガイダンスに従って操作していくメニュー選択方式で、誰でも簡単に取扱えます。これらのプログラムの作成には、アシュトン・テイト社のデータベースソフトのdBASEⅢを使用しました。

4.8 集配作業の周回順

指定場所、指定時間に出ている空容器は決められた周回順によって回収・充填・配達されます。但し、利用頻度の少ない指定場所については、前日に専用電話に連絡を必要とします。

5. 評価と問題点

新方式に移行するにあたり、大きな目標とした 1.供給事務を簡素化すること、2.集配作業の効率化をはかることは、コンピュータ管理により供給事務処理の無駄と無理は改善された。と同時に集配作業も一定の周回順によりスピードアップが図られた。

問題点としてペン型のバーコードリーダーの欠点になっている読み取り時における外光の影響、シワや湾曲のあるラベルの読み取り不能などで、日に平均すると1/80～2/110の読み取りエラーが発生しておりタッチ式のバーコードリーダーに変更することも含め検討中である。但し、複数回読み取り励行とチェック桁付き容器番号によって、実質的なエラー件数はずっと少ないと考えている。

6. おわりに

センター設立当初から20余年続いた液体窒素供給サービスの方法が新方式に移行してからちょうど1年、この間若干のプログラムの修正と周回順に一部変更を行ったほかは順調に行われています。

検討から実施まで、管理プログラムの開発や約600件の容器の登録等の準備期間は、3ヶ月にすぎなかった。この短期間で『液体窒素業務省力化システム』を定着させ、無事稼働しているのは、小林前センター長はじめ全センター職員が手分けして取り組んだ結果であると自負している。

極低温下での繰返し応力に伴う温度変化

東北大学 工学部

前川 一郎

○玉川 規一

柴田 博司

1. 緒言

超伝導マグネットを支える構造用鋼材は、極低温下で使用されることになるが極低温下においては金属材料の比熱と熱伝導率が低下するため、応力の繰返しの下で温度上昇を起こす可能性があり、き裂先端付近で温度が上昇するとき裂の進展挙動に影響を及ぼし、超伝導材料としてはクエンチ現象を引き起こす恐れもある。

著者らは、これまで主に低温用構造材料の高マンガン鋼の低温強度に及ぼす介在物の影響について研究を進めて来た。その中で、低温では介在物周辺に微小はくりが生じ、き裂進展速度を低下させることもあることなどを明らかにして来た。現在は、さらに圧延方向に対して採取方向の異なる試験片を用いて、極低温下における疲労き裂の挙動を研究中であるが、今回はき裂先端の温度上昇の観測結果について報告する。

2. 材料および実験方法

2.1 供試材および試験片：まず供試材には高マンガン鋼(25Mn-5Cr-1Niオーステナイト鋼)の圧延方向に対して、採取方向の異なるSL方向材およびLT方向材を1/2 CT試験片として用いた。また図1のように熱電対を人工予き裂先端から、それぞれ0, 3, 6mmの位置に挿入した。この材料の室温ならびに液体窒素の沸点77Kにおける機械的性質を表1に示したが、低温における強度が向上しているばかりでなく延性にも富んでいることがわかる。

2.2 実験装置および実験方法：実験には冷媒として、液体ヘリウムおよび液体窒素を使用した。まず試験片を取付けたのち極低温用クライオスタット内筒に予冷のため液体窒素を流入して試験片の温度が定常状態になったところで、内筒に残存する液体窒素を除去し内筒に液体ヘリウム、外筒に液体窒素を流入して試験片の温度を4.2Kに保ちながら、容量98KNの電動油圧サーボ疲労試験機を作動させて最大荷重 1.5ton, 応力比 0.1の三角波を周波数0.5Hzで負荷した。

2.3 き裂長さの測定：き裂長さの測定には背面ひずみ法により試験片のき裂と反対側の背面にストレインゲージを貼布して予め得た較正曲線を用いて行った。

2.4 応力拡大係数および疲労き裂進展速度の算出：疲労き裂の進展は、その先端の微小領域の応力と密接な関係があり、従って疲労き裂進展速度は応力拡大係数によって表示される。応力拡大係数幅 ΔK は測定したき裂長さから次式を用いて算出した。

$$\Delta K = \frac{\Delta P(2 + \alpha)}{B\sqrt{w}(1 - \alpha)^{3/2}} f(\alpha)$$

ここで、 $f(\alpha) = 0.866 + 4.64\alpha - 13.32\alpha^2 + 14.72\alpha^3 - 5.6\alpha^4$

ΔP : 負荷荷重幅

B : 試験片厚さ

w : 荷重中心線より測定した試験片幅

α : 荷重中心線より測定したき裂長さ a と w との比

であり、この式は $0.2 \leq \alpha \leq 0.8$ で有効である。また疲労き裂進展速度 da/dN は、き裂長さ a と繰返し数 N との関係から増分多項式法により算出した。

3. 実験結果と考察

3.1 応力の繰返しに伴うき裂先端付近の温度上昇

3.1.1 応力波形と温度上昇：実験結果を図2に示す。同図から荷重 P の周期的増減に伴って疲労き裂先端付近の温度の上昇が測定された。この温度上昇は最大負荷時 P_{max} ばかりでなく最小負荷時 P_{min} にも規則的にピークを示した。

これらは疲労き裂の進展に際して、き裂先端付近の微小領域に塑性変形が起きたためと考えられるが、室温付近では通常このような温度上昇は観測されないものである。しかし、極低温下においては金属材料の比熱と熱伝導率が低下するため局所的な温度上昇が測定されるようになったものと考えられるが、この現象は疲労き裂の進展に対する機構の解明上重要な意味をもつものであるが、実用上は極低温下で超伝導構造材として使用される際にクエンチ現象を引き起こす可能性もあり重要な問題である。

3.1.2 疲労き裂進展特性：疲労き裂の進展にはいろいろな因子が影響するが、著者らは、これまで主に介在物の影響について113K程度までの温度範囲について高マンガン鋼の疲労挙動の研究結果を報告しており、今回は4.2Kの場合について疲労き裂進展特性に対する温度上昇の影響を見ることにした。その結果図3によれば応力拡大係数幅 ΔK の増大に伴って、き裂進展速度 da/dN は広がりを見せているがLT方向材よりSL方向材の方が da/dN が大きいことが分かる。この結果は前報の297K、113Kにおける結果とほぼ同様であるがSLとの差がやや小さくなっている。また両方向材とも、むしろ da/dN は遅くなっている。

3.1.3 発熱源の位置測定：疲労き裂進展時におけるき裂先端の挙動を考察するために、応力の繰返しに伴う規則的な温度上昇を引き起こす発熱源の位置を測定した。図4は、熱電対T.C.2とT.C.3の位置と温度上昇幅 ΔT の関係を○印と△印で示したものである。まずAにおいては、疲労き裂先端が両熱電対の位置まで未到達の場合の○△印の温度上昇幅 ΔT は、ほぼ同程度である。次にBは、き裂先端が進展して熱電対T.C.2の位置に到達した状態であり、 ΔT は、○印に比べてやや△印の方が高めになっている。Cはき裂先端が熱電対T.C.2とT.C.3の位置の間付近まで進展した状態を表しており、○印に比べて△印の方が温度上昇幅 ΔT が高いことが、はっきりと分かる。またDは、疲労き裂先端が既に熱電対T.C.2の位置を通過して、熱電対T.C.3の位置に丁度到達した状態を表現しており温度上昇幅 ΔT は○印に比較して△印の方が増加の一途を辿っている。

すなわち発熱源の位置は複数の熱電対による同時測定の結果、疲労き裂の進展に伴う、き裂先端の温度上昇幅 ΔT の分布から、いずれの場合も疲労き裂進展方向のき裂先端前方に存在することが推定される。

3.1.4 温度上昇と応力波形の時間的变化：疲労き裂の進展には色々な因子が影響するが、発熱に関係がありそうな因子について先ず応力繰返し速度の影響を調べた。

1) 周波数の影響〔図5(a), (b)〕：これは周波数を変えた実験結果であるが周波数1Hzの方が0.5Hzの場合よりも温度上昇幅 ΔT は大きくなっている。つまり高速変形の場合には発熱が大きいことなる。

2) 応力比の影響〔図6(a), (b)〕：応力比を変えた場合、応力比0.1の方が0.3の場合よりも負荷速度とK値の変動が大きくなったことにより発熱量が増したと思われる。

3.1.5 突発的な温度上昇：疲労の後期には突発的な温度上昇が見られた。

3.2 疲労き裂進展挙動と温度上昇

3.2.1 応力拡大係数幅による〔図7〕：そこで疲労き裂の進展を ΔK で整理して、最大負荷時および最小負荷時における温度上昇幅 ΔT を見ると、LT方向材の方がSL方向材よりも ΔT が小さいことが、はっきりと分かる。このことは、裂進展の機構の相違によることを示唆しているが、その詳細については介在物の影響によるものか、あるいは母材の圧延時の方向性によるものかについて、さらに研究を進めているところである。

3.2.2 き裂進展速度による〔図8〕：また、き裂進展速度によって ΔT の変化を示すとここで ΔK が小さい場合には、応力比Rの値にかかわらず、実験結果が同一直線上に示されたことは、興味があることと考えている。

4. 結言：以上の結果をまとめると、つぎのようになる。

- (1) 4.2Kにおける疲労き裂の進展時に、き裂開口時ばかりでなく閉口時にも、き裂先端付近に温度上昇が測定された。この温度上昇は、疲労の後期には突発的な40Kを越える場合もあった。今後は、き裂進展初期の僅少温度上昇測定のためにさらに精度のよい温度測定が望まれる。
- (2) 応力の繰返しに伴う規則的な温度上昇を引き起こす発熱源の位置は複数の熱電対による同時測定の結果、疲労き裂先端の温度上昇幅 ΔT の分布から、き裂先端の前方にあることが推定された。

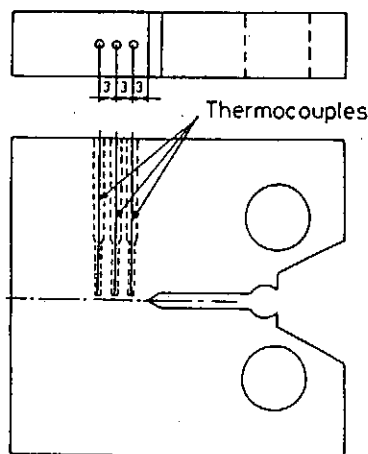


図.1 熱電対挿入位置

表.1 機械的性質

Temperature	$\sigma_{0.2}$ (MPa)	σ_b (MPa)	Elongation (G.L.=50mm) (%)	Reduction of area (%)
R.T.	379	734	56.0	61.9
77K	666	1200	30.0	28.7

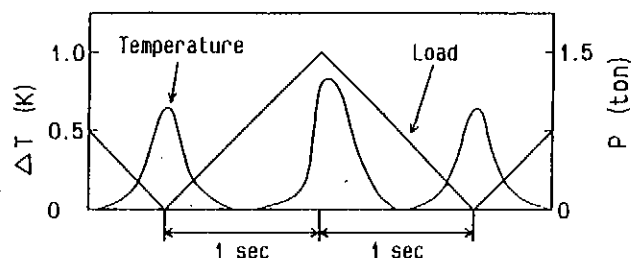


図.2 応力波形と温度上昇

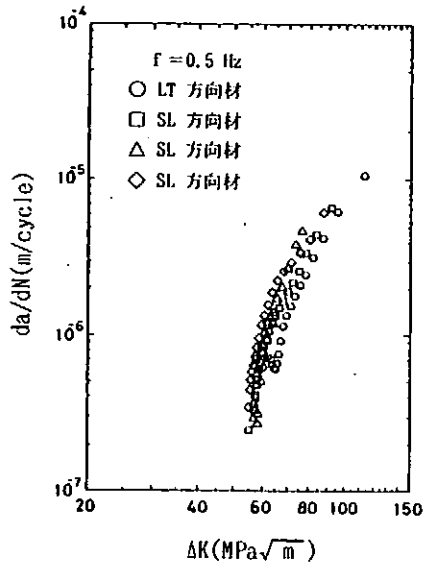
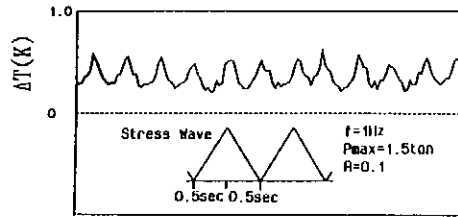
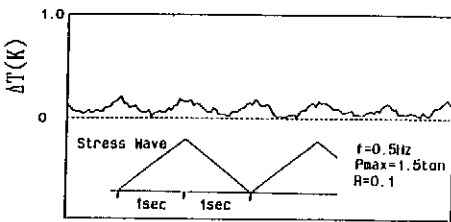


図.3 疲労き裂進展速度



(a)



(b)

図.5 温度上昇と荷重波形の時間変化(周波数の影響)

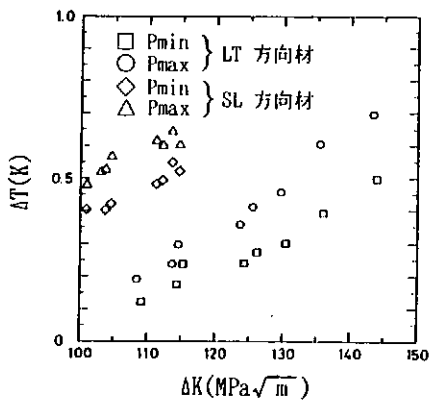


図.7 き裂進展挙動と温度上昇幅

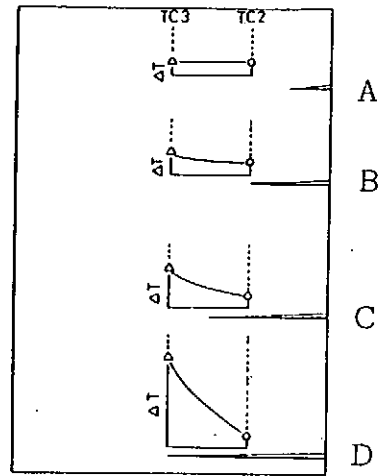
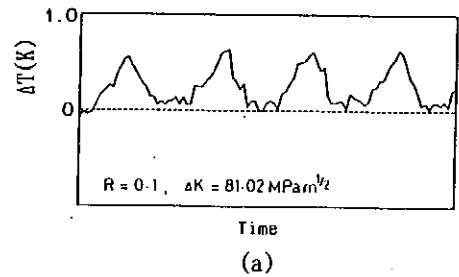
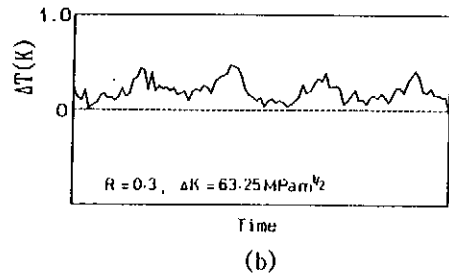


図.4 発熱源の位置



(a)



(b)

図.6 温度上昇と荷重波形の時間変化(応力比の影響)

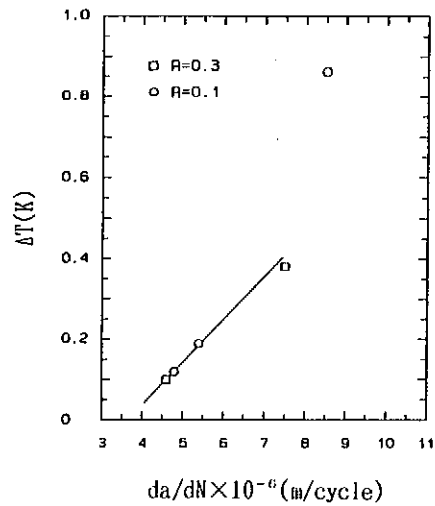


図.8 き裂進展速度と温度上昇幅

ヘリウムプラグ（ヘリブラ）の開発

分子研 早坂啓一・加藤清則・高山敬史・掘米利夫

1. はじめに

内部精製器付ヘリウム液化機の導入により、ヘリウム回収ガス純度の良否が直接液化能力に影響を及ぼすため、今まで以上に純度保持に力を入れる事が必要となってきた。そこで、90年3月～11月までの最近9か月間の回収ガス純度不良の記録を検討した結果、原因の一つに、ピンチコックの締め付け不良から起こることが分かった。そのためピンチコックにかわる完全で取り扱い易いプラグを開発したので報告する。

2. 漏れ量の測定

ビーコ株式会社製のヘリウムリークディテクターMS-18AB型を使用した。

(1) 性能

感度 $4.6 \times 10^{-6} \text{mmlgl/sec}$ 応答時間 2.0sec

動作圧力 通常動作圧力 $1 \times 10^{-6} \text{mmlg}$

最大動作圧力 $3 \times 10^{-4} \text{mmlg}$

リーク測定範囲 $4.6 \times 10^{-6} \text{mmlgl/sec} \sim 7.6 \times 10^{-2} \text{mmlgl/sec}$

(2) リーク検知法

圧力試験法でおこ

なった。被測定物 第1図 圧力試験法によるリーク検知図

内にヘリウムを大

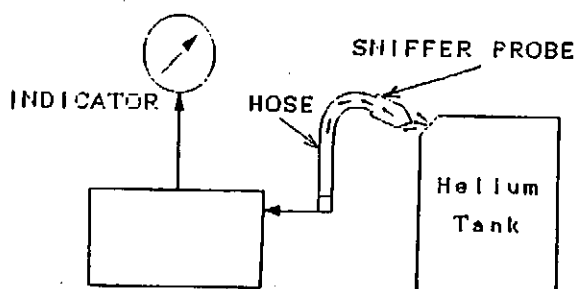
気圧以上 (1.1Atm)

導入しスニファブ

ローブをフレキシ

ブルホースでリー

クディテクターに



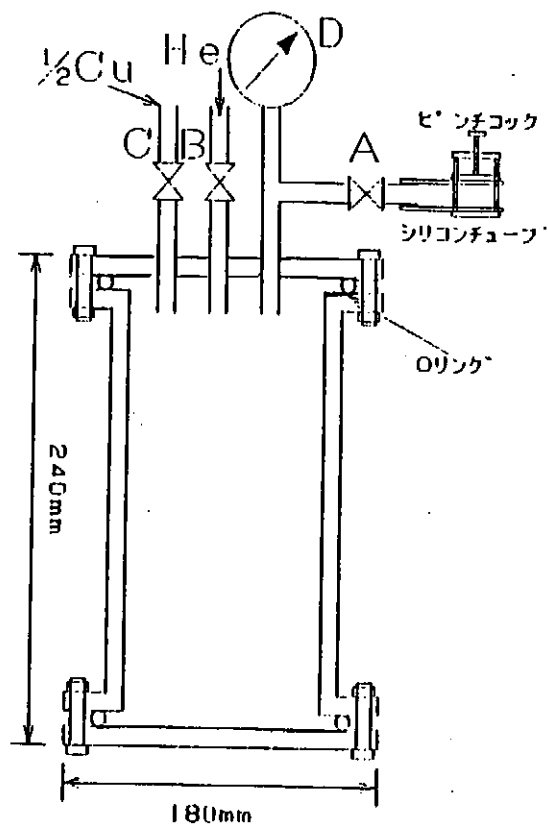
接続する。このスニファプローブがリーク箇所の上を通過すると、そこから漏れているヘリウムがプローブを通り、リークディテクターに入り“C”チューブで出される。

(3) リーク測定用ヘリウムタンクの製作とその使用法

第2図に示すような装置を製作した。

先ずBからタンク内に連成圧力計Dをみながら0.1Atmヘリウムを入れ、バルブAの先端に通常使用しているシリコンチューブ(16×14φ)を接続しピンチコック(ホフマン式)で締め付け、その後バルブAを開けてピンチコック締め付け後のシリコンチューブの終端にスニファプローブを接近させて漏れ量を測定した。

第2図 リーク測定用ヘリウムタンク図



(4) 栓として用意したもの

- a. ピンチコック大 (25mm)
- b. ピンチコック小 (18mm)
- c. ポリプロピレン製栓 (14/23)
- d. ゴム栓 (上径×下径×高さ、18×14×21mm)
- e. キャップ (14mmφ、ホワイトボードマーカ)

その他、一般に使用されている1型コネクター大(ポリプロピレン、内

径5～10φに接続可能)を用意した。

(5) 漏れ量の測定結果

ピンチコック(大)・(通常の締め付け)・・・ 1.3×10^{-3} mllg/sec

ピンチコック(大)・(強い締め付け)・・・ 8.3×10^{-4} mllg/sec

ピンチコック(小)・(通常の締め付け)・・・ 1.3×10^{-3} mllg/sec

ピンチコック(小)・(強い締め付け)・・・ 1.5×10^{-3} mllg/sec

ピンチコック(大)・(2つ折りにして強く締め付け)

1.1×10^{-3} mllg/sec

ピンチコック(小)・(2つ折りにして強く締め付け)

1.1×10^{-3} mllg/sec

ポリプロピレン製栓・・・・・・・・・・・・・・・・・・特に認められず

ゴム栓・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・特に認められず

キャップ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・特に認められず

なお、シリコンチューブとコネクターとの接続部の漏れの有無について、調べたが特に漏れの徴候を認められなかった。

3. ヘリウムプラグ(ヘリブラ)の製作

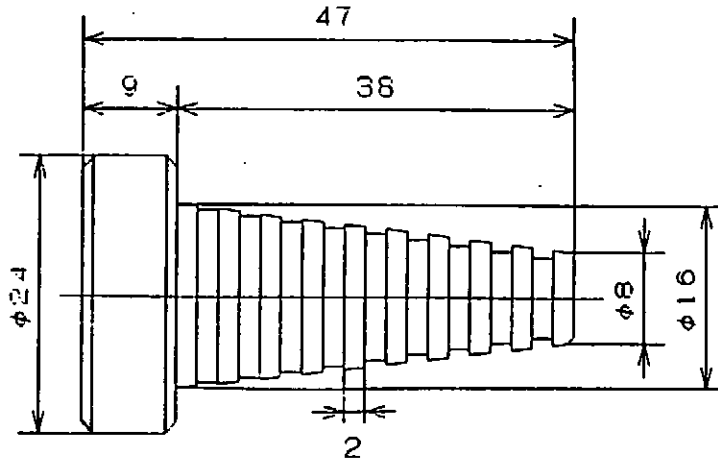
測定結果を検討し、試作品をアルミで製作した。

これは8～12mmまでの広い範囲のチューブ口径に栓として使用できる。

漏れに対しての測定結果、通常の押し込み(深く押し込まず)で漏れは認められず良好であった。この試作品は加工精度を重視した結果、高価で実用品にはなり得ない事がわかった。そこで材料をプラスチック製に切り替え、悪い精度でも漏れないように、溝を深くして、チューブを溝にくいこませ、しかも取り外しが容易な形状を工夫し、第3図のように改良した。

その結果、試作品の1/5の価格で入手可能となった。

第3図 ヘリウムプラグ (ヘリブラ) 図



4. おわりに

最近9か月間（90年3月～11月末）の回収ガス純度不良件数は27件あり、そのうち、ピンチコックの締め付け不良は4件あった。そして、原因不明は6件あった。この不明の6件のうちの1/2はピンチコックによる漏れがないと誤信していた結果だと推定される。それを含めると、ピンチコック使用不可を徹底すれば、今迄よりも事故件数を1/4減少できるものと思われる。

最後に、タンク製作に当たっては装置開発室 加藤真治氏にいろいろと協力いただいた。また、プラグ製作に当たり、極低温センター長 丸山有成教授、及 阿波賀邦夫氏より有益なご教示を得た。ここに厚く御礼申し上げる。

ヘリウム液化機モニターシステム

分子科学研究所 極低温センター、装置開発室
 ○加藤清則 吉田久史 高山敬史 早坂啓一

1.はじめに

1988年、分子科学研究所極低温センターに、神戸製鋼所製液体ヘリウム製造装置を設置した¹。このレポートは液化機に追加したモニター装置に関するものである。液化機の制御は液化機付属シーケンスコントローラが行っており、このモニターは、コントローラの制御状況を把握し定時データを出力するためのものである。以下、機器の構成、モニター画面及びモニター内容、データセクタ、モニタープログラムについて述べる。

2.機器の構成

図1 にモニターシステムの機器配置を示す。液化機の制御盤には、シーケンスコントローラが組み込まれており、64点の12V オープンコレクタ出力が取り出せる。これらの出力は、データセクタで、TTL レベル16ビット 4チャンネルのデータに変換され、I/O インターフェイスを通してマイクロコンピュータに取り込まれる。

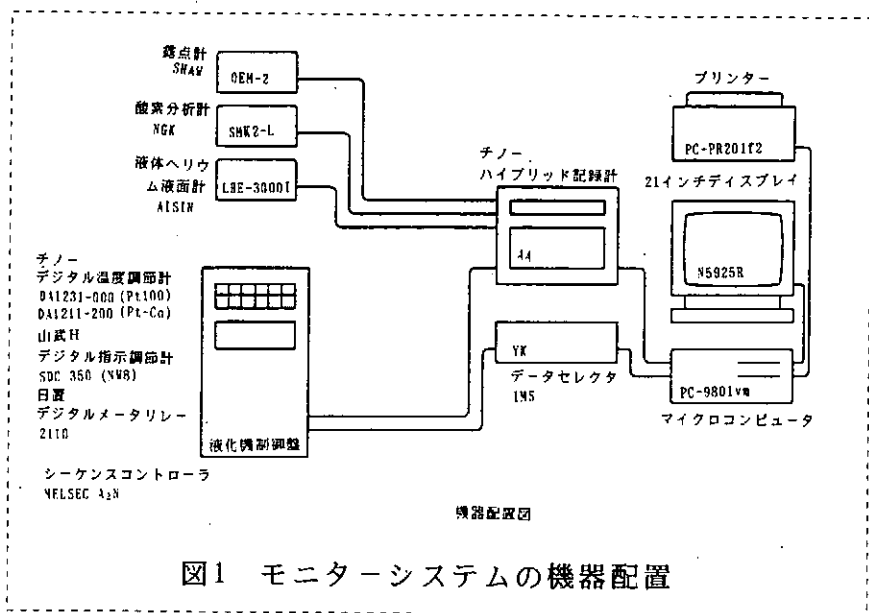


図1 モニターシステムの機器配置

これらのデータはメインモニター及びシーケンスタイムチャートI, IIとして21インチ画面に切り替え表示される。制御盤にはアナログ出力機器として温度調節計2台、圧力調節計3台、タービン回転数メータリレ 2台、JT弁開度メータリレ 1台が組み

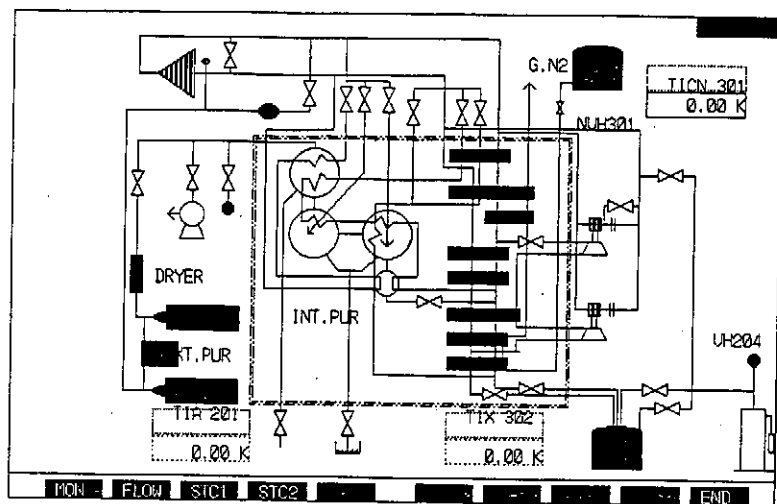


図2 メイン モニター

込まれており、それらの値はハイブリッド記録計に打点表示され、 GPIB を通してコンピュータに取り込まれる。露点計、酸素濃度計、液体ヘリウム液面計は制御盤外に設置されているが、同様に取り込まれる。画面にはデータモニターとして表示される。上記11点のアナログ値はプリンタに30分毎に打ち出される。

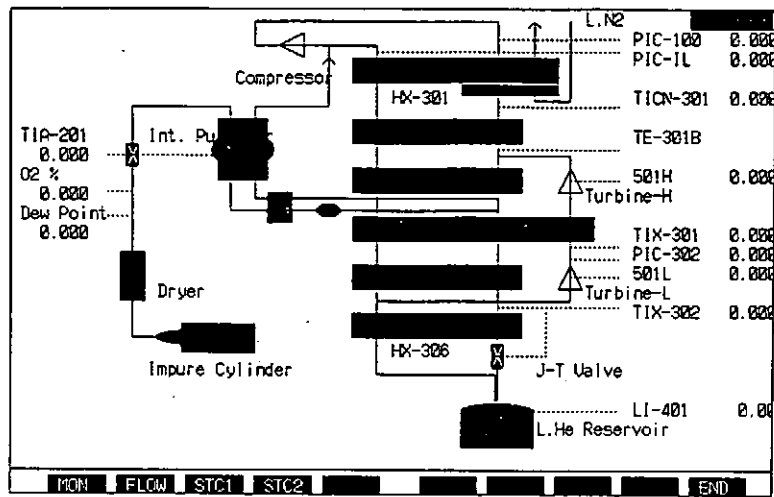


図3 アナログ値表示画面

3. モニター画面

図2 にメインモニターの画面を示す。画面には、液化システムのフロー略図が描かれており、個別機器の作動に対応して関係する部分の表示色が変わる。プログラム上では、その部分が描画上のサブルーチンで

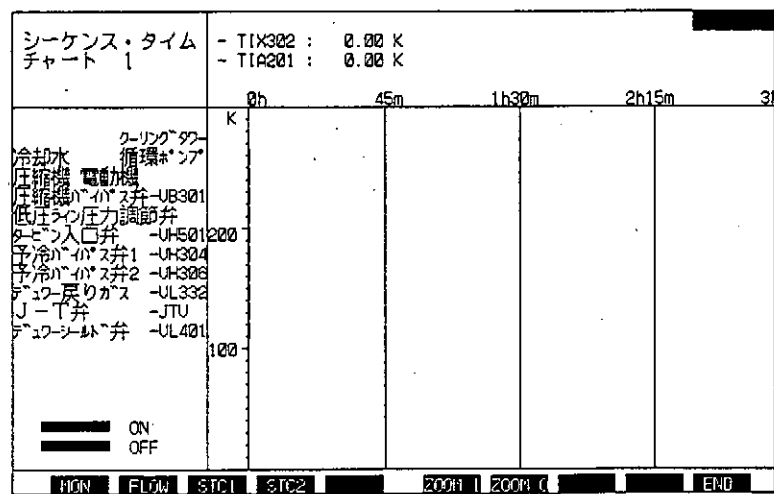


図4 タイムチャート I

ある。システム上のアナログ値の所在を図3 に示す。図4, 図5 は個別機器の動作の時間推移を表示する、タイムチャートである。時間軸は12時間まで、拡大できる。I は液化に関する部分、IIは内部精製に関する部分を表す。

4. データセレクト

モニターシステムを構成する機器には、市販品を用いたが、シーケンスコントローラとI/O ボードの接続には、自作のデータセレクトを用いた。その機能は、12V-5Vの電圧レベル変換及び、64点のデータの順次切り替え、である。信号切り替えには、4529B (Dual 4 Channel Analog Data Selector)を用いた。電圧レベル変換には、4050B(Hex Non Inverting Buffer) を使用した。図6 にブロック図を示す。4529Bは、A,B端子にコンピュータの I/Oポートを介して 0,1,2,3とバイナリコードを送ると、そのコードに対応して 4組の信号 (X0 Y0, X1 Y1, X2 Y2, X3 Y3) がZ,Wから順次送り出される、信号切り替え用のICである²。4050Bは、12

V→5V, 5V→12V 電圧レベル変換用のICであり、ICの供給電圧 V_{DD} と同じ電圧に変換される³。

5. モニタープログラム

前述した4画面は BASIC言語で書かれており、それぞれサブルーチンになっている。

画面間の切り替えはファンクションキーで行う。メインルーチンは、60秒おきにデータを取り込み、画面に表示し終わったら、データ入力フラグを確認する。通常フラグは立っていないので、再び画面ルーチンにまわる。60秒の割り込みタイマーにより割り込みがかかる

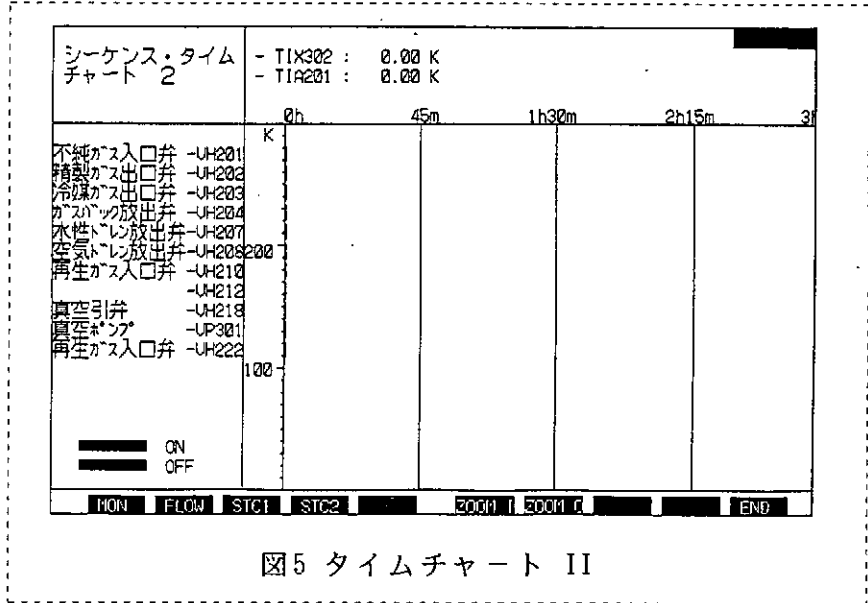


図5 タイムチャート II

と割り込み処理ルーチンに飛ぶ。

割り込み処理ルーチンはアセンブラ⁴でかかれており、I/Oポートを通して64ビットの1,0判定を行い、また、GPIBによりアナログ値の取り込みを行う。データ取り込みが終了すると、データ入力フラグをセットし、メインルーチンに戻る。メインルーチンでは、フラグをクリアしタイマーに60秒を加え、新しいデータを用いて

画面を表示する。図8にフローチャートを示す。

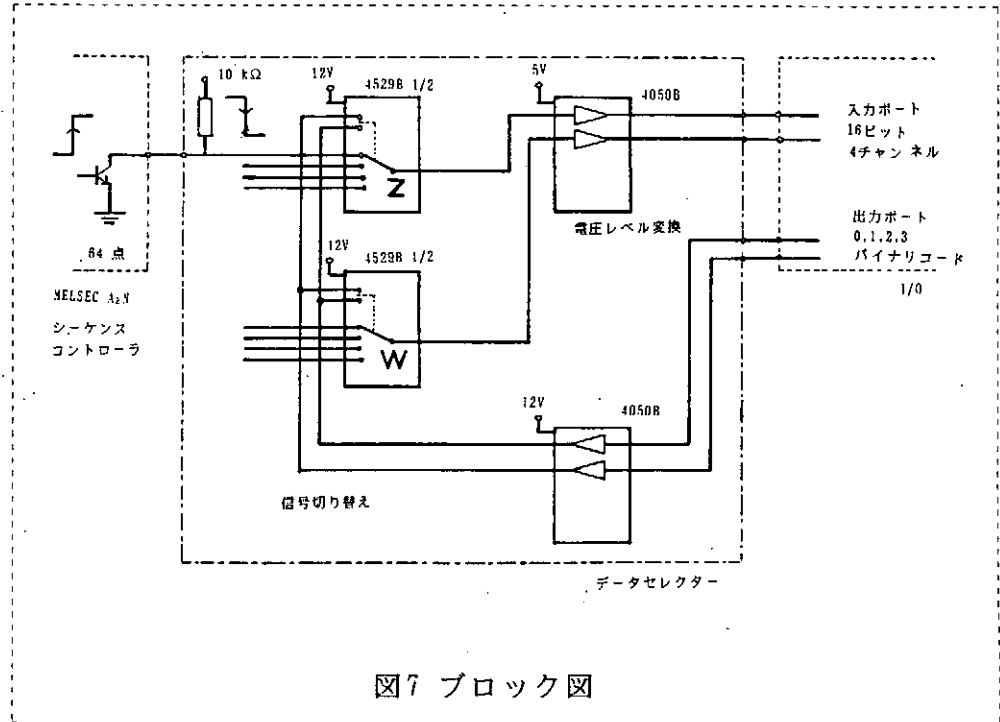


図7 ブロック図

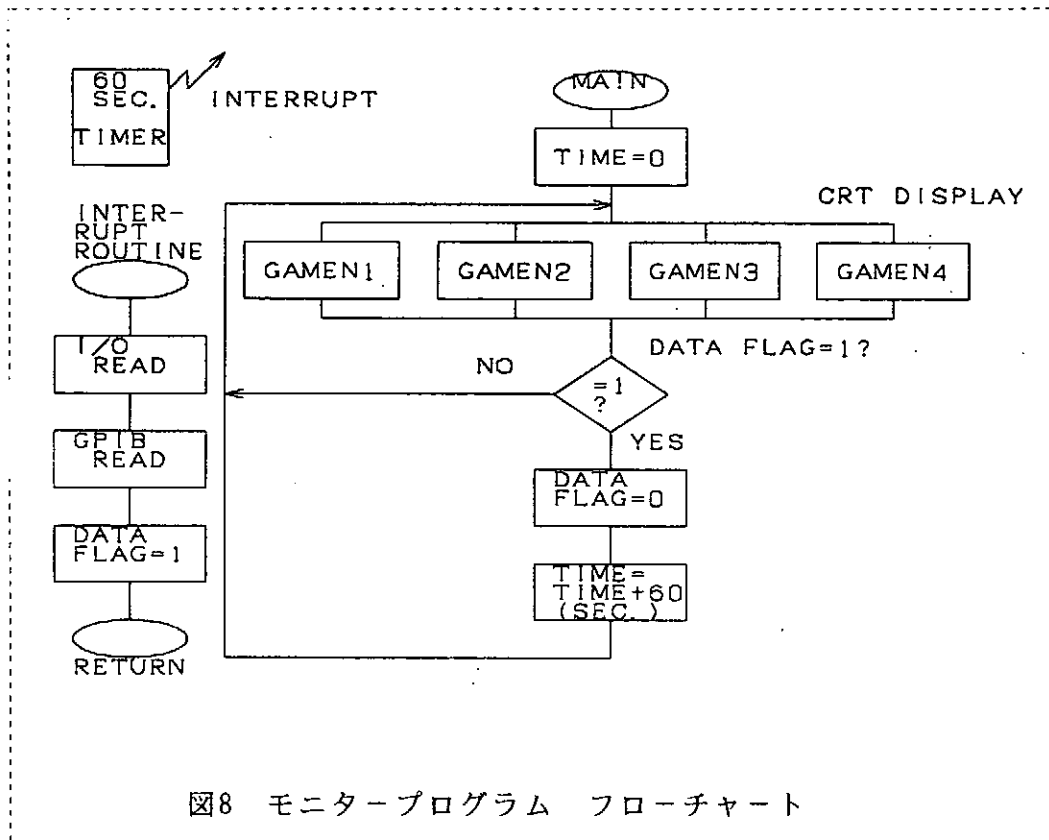


図8 モニタープログラム フローチャート

6. おわりに

液化システムのモニターとしては、いくぶん物足りない感じがする。原因は3つ考えられる。第一に、後期設置分の圧縮機及びその高圧電源並びに既設ヘリウムガス貯蔵設備のモニターがないことが挙げられる。第二に、モニターしなければならない画面を増やしていくと、BASICでは処理時間がかかりすぎる。画面は、より高速処理のできる言語で書き直す必要がある。最後に、蓄積したデータをもとに標準的な運転状態を定めて、アラーム機能を備える必要がある。そのことをもって[液化システムモニターの完成]と言えるであろう。

本システムを構築するにあたり、阿波賀邦夫助手及び丸山有成教授のお世話になりました。お礼を申し上げます。

<参考文献>

1. 早坂啓一他, 技術研究会報告No. 13(分子科学研究所, 岡崎, 1990), p177.
2. 相田泰志, '90最新CMOSデバイス規格表(CQ出版, 東京, 1990), p170.
3. 相田泰志, '90最新CMOSデバイス規格表(CQ出版, 東京, 1990), p73.
4. 河西朝雄, MS-DOS実用マクロアセンブラVer. 3.0/4.0(技術評論社, 東京, 1989)

臨界電流密度測定装置の製作

筑波大学低温センター 池田 博
物理学系 吉崎 亮造

1. はじめに

1986年、BednorzとMüllerによって発見された酸化物高温超伝導体は、実用化を目標に各方面でさまざまな研究がなされている。実用化する場合の重要な超伝導特性として、臨界温度 (T_c)、臨界磁場 (H_c)、臨界電流 (I_c) がある。その測定方法は超伝導体材料の種類によって異なり、評価基準も用途によって大きく異なってくる。

今回、我々は酸化物高温超伝導体の臨界電流密度 (J_c) の測定法として、試料に直接通電し電流の増加によって発生する電圧を四端子法によって測定する抵抗法を採用した。できるだけ熱発生を少なくするように試料ホルダーを工夫して臨界電流密度 (J_c) を測定したので以下に報告する。

2. 臨界電流密度 (J_c)

一般に臨界電流の測定法としては、大別して試料に電流を流して電圧を測定する抵抗法と試料に磁界を印加して磁化を測定する磁化法がある¹⁾。

抵抗法は、試料に直接通電し超伝導-常伝導転移に対応する電圧を四端子法によって測定して臨界電流を求める。臨界電流を試料の断面積で割ることにより臨界電流密度 (J_c) が求められる。通電電流としては、直流やパルス電流が用いられるが高 J_c 化に伴い測定電流として数 10 A 以上の大きな電流を流さなければならないので電流端子での発熱が重要な問題になってくる。もし発熱が大きいとジュール熱による電極の局所的な温度上昇により正確な臨界電流の測定が出来なくなる。

一方、磁化法は試料を下部臨界磁場 H_{c1} 以上の外部磁界中に置き超伝導体の磁化 M を測定する。磁化の測定は SQUID (量子磁束計) や VSM (振動型磁化測定装置) 等である。超伝導体内部の磁束分布が Bean モデルに従うと仮定すると超伝導体の臨界電流密度は $J_c = 2\Delta M/d$ で定義される。 ΔM は磁化の差、 d は超伝導体の幅である。

この方法は試料に通電しないので電流端子不要で簡便ではあるが、酸化物高温超伝導体のような多結晶体である場合の粒内と粒界による問題やウィークリンクが存在する場合などは抵抗法で求めた臨界電流密度に対して大きな違いを示すことがある。

抵抗法による臨界電流の判定基準には電界基準、比抵抗基準および電力基準によるものがあるが、一般的には電界基準の $1 \mu V/cm$ と温度と磁界が一定ならば試料の大きさに影響されない比抵抗基準の $10^{-13} \Omega cm$ がよく使用されている。

酸化物高温超伝導体のように超伝導転移温度が高くピン止め力が弱いと磁束クリープや磁束フローが生じ易い。このような物質の臨界電流密度は通電方法や臨界電流の判定基準によって大きく支配される。これらの問題点を解決する方法として最近オフセット J_c が提案されている²⁾。図 1 に示すようにある電界における $I-V$ 曲線の接線の外挿線を用いる方法で電界ゼロの電流を臨界電流と定義している。我々は、この方法を使用して臨界電流密度を算出した。

3. 装置の構成

臨界電流密度測定装置の構成図を図 2 に示す。装置は、クライオスタット、試料ホルダー、温度コントローラ、測定計器とコンピュータから構成されている。

クライオスタット (真空冶金製) は液体窒素槽と液体ヘリウム槽があり液体ヘリウム槽の中に超伝導電磁石が取り付けられてあり最大磁場 6 T まで発生する事が出来る。試料スペースのボア径は 35 mm ϕ で、その中に自作した試料ホルダーを入れる。その他クラ

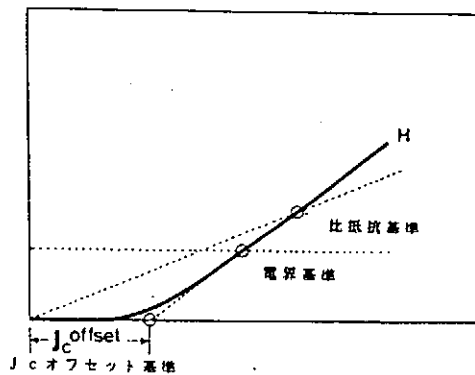


図1 臨界電流密度の定義

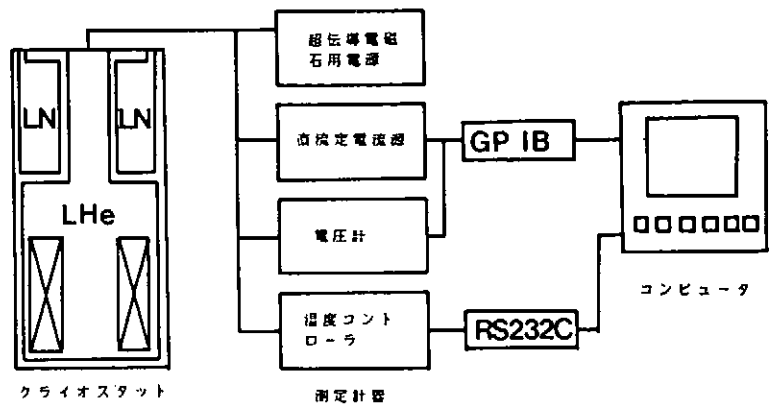


図2 装置構成図

イオスタットには自作の液体ヘリウム液面計が取り付けられており液面の監視が出来るようになっている。試料ホルダーは図3に示してある。臨界電流を測定するとき電流端子に数10Aもの大きな電流を流さなければならないので電極での発熱をできるだけ少なくするように以下の工夫がしてある。

- (1) 電流リード線を多芯線にして冷却表面積を大きく取れるようにしてある。
- (2) 試料の熱平衡を保つために試料ホルダー部に銅パイプで作ったカバーを取り付けている。
- (3) 電圧リード線や温度計リード線はサーマルアンカーを十分にとっている。

その他、試料ホルダーには温度コントロールのためにヒーターとして二重絹巻マンガン線が抵抗値で32.1Ω分巻かれている。温度計としては小型の白金コバルト抵抗を使用しており、試料と同一温度になるように試料ホルダーの中に埋め込んである。温度表示は温度調節計によって絶対温度として表示される。試料ホルダーの上部には3枚の輻射防止用のバブルを取り付け、上部フランジには信号線およびヒーター用に10ピンのハーメチックシールのコネクタを2個取り付け、大電流を流すための電流端子には信号線とは別に2ピンのコネクタを使用している。温度コントロールは前回技術報告したがプログラム調節計(チノ製作所KPシリーズ)を使用した³⁾。これにより測定温度は液体ヘリウム温度から室温まで可能である。測定計器としては、クライオスタットの中にある超伝導電磁石用の電源、臨界電流測定用のプログラムによって電流ステップや保持時間を自由に設定できるGP-IB制御付きの定電流電源(菊水電子可変定電流源 PAB 32-25L)、発生した電圧測定用の電圧計(KEITHLEY Model 181)からなっている。コンピュータ(NEC PC98VM)と測定計器はGP-IBによって接続されており、調節計とはRS232Cによって接続されている。

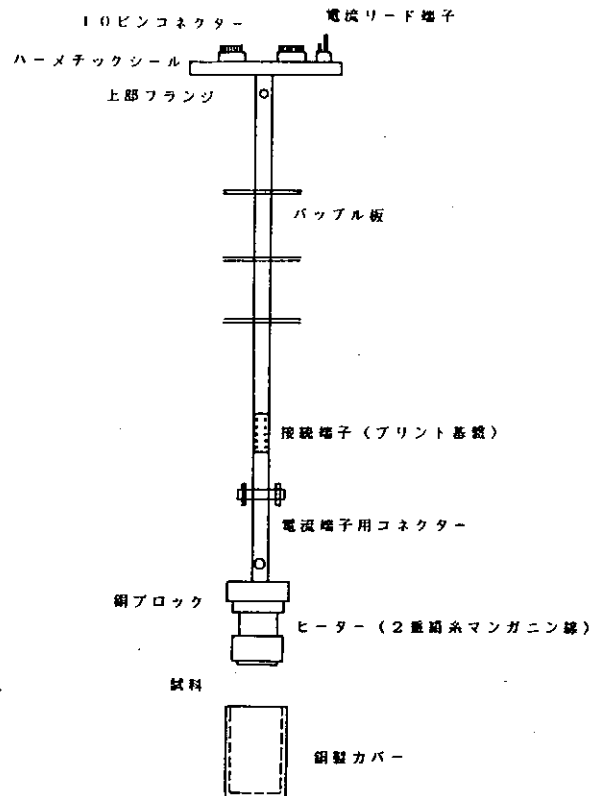


図3 試料ホルダー

測定は自作プログラムによって行った。

4. 測定方法

測定の前に試料に電極を取り付ける。電極としては大電流を流す電流端子には銅線0.1mmφを12本をより線にして縛り付け、電圧端子については銅線2本で同様の処理をした。そのとき各端子間の抵抗値が均一になるように注意しながら銀ペーストで接着することが重要である。固化のために室温でデシケータに入れて一日放置する。その後、試料を試料ホルダーに取り付け銅ブロックとの熱接触をよくするためにアピエゾングリースとカプトンテープによって試料を押さえつけて置く、銅ブロックとの間はカプトンテープによって電氣的に絶縁されている。この様にして試料を取り付けたら均熱のために銅パイプで作ったカバーをし、断線がないか導通テストを上部端子で行う。

次にクライオスタットに試料ホルダーを取り付け端子間のI-V特性をとる。異常がなければ液体窒素で予冷し液体ヘリウムを注入する。液体ヘリウムの使用量は液体窒素温度から液体ヘリウムを100%充填するまでに20リットルである。クライオスタットに液体ヘリウムが注入されシールド用の液体窒素が満たされたらコンピュータのキーボード上から測定のためのプログラムを走らせる。必要な設定温度、測定時間、PIDの設定値などを入力してやり測定条件が決定したら測定を開始する。なお、PIDの設定値は、あらかじめ白金コバルト抵抗温度計のPV(測定値)とSP(設定値)が、できるだけ一致するように試料ホルダーの熱容量や試料への熱流入に合わせて実験しておき比例帯(P)積分時間(I)微分時間(D)の値を決定する。測定は、温度が設定値に達し安定したら臨界電流の測定を行う。キーボードより電流ステップ幅や保持時間を設定し、プログラムに従い直流定電流源より電流端子を通して電流が試料に通電される。電流が増加し電圧端子での発生電圧が5μVになったところで直流定電流源を切り、測定値をフロッピーディスクに保存し測定を終了する。なお、測定時の電流値と電圧値は、コンピュータでグラフィック処理して画面上にディスプレイされる。

5. 測定結果

測定試料としてBi系2212相単相の酸化物高温超伝導体BiSrCaCuO_yを用いた。この試料は赤外線集光加熱式単結晶製造装置(FZ試料)によってファインセラミックセンターが作製したものである。上記の測定方法に従って測定した測定結果を図4に示す。データは脈動もなく連続的に測定でき温度の安定性の高いこと示している。測定温度77.3Kにおけるオフセット電圧から外挿して得られた臨界電流として7.2

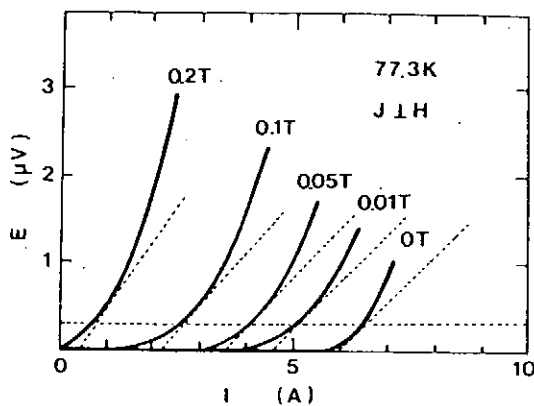


図4 臨界電流密度の測定

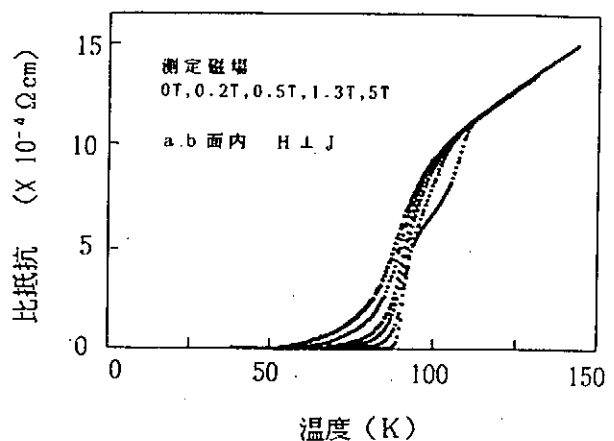


図5 磁気抵抗の測定

A が得られた。試料の断面積で割ることにより臨界電流密度として $1107 \text{ (A/cm}^2\text{)}$ が得られた。また、図5にクライオスタットの中にある超伝導電磁石を利用して電気抵抗の磁場依存性を測定した結果を示す。磁場によって電気抵抗の値が大きく変化している。

6. まとめ

酸化物高温超伝導体の臨界電流密度 (J_c) 測定用に試料ホルダーを製作し、測定時に電流端子に流れる数 10 A 以上の大電流に対する熱発生をリード線の冷却表面積の拡大や試料部に銅パイプによって製作したカバーを取り付けることにより出来るだけ少なくし測定した。また、臨界電流の判定基準に酸化物高温超伝導体のフラックスクリープ等による抵抗発生を考えてオフセット基準を適用することで臨界電流値を決定した。さらに、超伝導電磁石を利用することにより臨界電流の磁場依存性を測定することが出来た。

今後は、この測定法が酸化物高温超伝導体の臨界電流密度 (J_c) 測定として利用されることを期待する。また、このクライオスタットを利用してホール係数の測定も出来るようにしたい。

引用文献

- 1) 田中靖三 : 応用物理 第59巻 第5号 (1990) 647.
- 2) J.W.Ekin : Appl.Phys.Lett.55(1989) 905.
- 3) 池田 博 : 筑波大学技術報告11 (1990) 53.

高速・多発ペレット入射装置の開発

日本原子力研究所 三菱重工業(株)¹⁾

長谷川 浩一 河西 敏 三浦 幸俊 鈴木 貞明 装置・技術管理室

¹⁾小田 泰嗣 ¹⁾小野塚 正紀 ¹⁾下村知義 他

1 はじめに

原研では、プラズマへの粒子補給を高速で数多くの固体水素ペレットを入射する方法で行い、プラズマ密度の分布をより精密に制御し、プラズマの閉込め特性を向上させることを目的として、高速・多発ペレット入射装置の開発を進めている。この装置は昭和63年度に製作した多発化開発用試験装置と組み合わせて、ペレットを加速する加速ガスを高温・高圧(100℃、100kg/cm²)にし、加速ガスの音速を速くして加速性能を向上させることにより、ペレット速度の高速化をはかる装置で、平成2年9月より固体水素ペレットの生成・射出試験を開始した。

2 高速・多発ペレット入射装置の設計仕様

高速・多発ペレット入射装置の設計仕様を表1に示す。

表1 高速・多発ペレット入射装置の設計仕様

ペレットとなる棒状固体の種類は水素と重水素のどちらでも生成できるよう設計していて、形状は直径4mmの円柱形で、ペレットとしたときには3mm×4mmのカプセル状のペレットとなる。また、固体水素を押し出すピストンの速度は0~150mm/sの間で可変できるようになっている。

各冷却器の到達冷却温度は5Kで、固体水素生成時には、第1冷却器が、11~17K、第2、第3冷却器は8~11Kに冷却していて、ペレットの装填・射出の繰り返し周期は10Hzを目標としている。

射出バルブには、立ち上がり開時間が0.5msec以下の電磁弁を使用していて、加速ガスにはヘリウム及び水素のどちらでも使える設計になっている。また、加速ガスはリザーバに巻き付けたヒータにより100℃まで加熱できる。ペレットを加速するための銃身の長さは0.8mでペレットの射出速度は、2km/sを目標としている。

棒状固体水素 ・材質 ・断面形状 ・ペレット形状	水素・重水素 円柱形 ----- φ4.0mm カプセル形 --- 3.0mm×4.0mm
ピストン押し出し速度	0~150mm/sec (機械的速度)
冷却器温度 (固体水素生成時)	第1冷却器 --- 13~17 K 第2冷却器 --- 8~11 K 第3冷却器 --- 8~11 K
装填・射出繰り返し間隔	10Hz (目標値)
射出バルブ開時間	0.5msec以下
加速ガス ・種類 ・圧力 ・温度	ヘリウム、水素 0~100kg/cm ² 常温~100℃
銃身長	0.8m
ペレット射出速度	~2.0km/s (目標値)

3 高速・多発ペレット入射装置の原理

高速・多発ペレット入射装置の原理は、図1に示す3台の冷却器を液体ヘリウムで冷却して、原料となる水素または重水素ガスをピストンシャフトの外側から供給し、

第1冷却器の中で液化させ、ピストンヘッドの脇の溝から第2冷却器に流れ落とすようにして、第2冷却器で固体水素を生成する。

その後、第2冷却器に固体水素が溜ったところでピストンを動かして固体水素の押し出しを行う。押し出しノズルの部分でφ5mmからφ4mmに絞る。

この押し出された固体水素をパンチ式の装填装置で図1の詳細図のように切断した後、高速電磁弁を開き、加速ガスを噴出させることによって、銃身の中で加速して高速で射出する。

以上がこの装置の原理である。

4 ペレット生成・射出部の構造

ペレット生成・射出部の主要構造を図2の構造図に示す。

固体水素生成のための冷却器は上下方向に上から第1、第2、第3の順で取り付けられていて、第1冷却器はガスの液化、第2冷却器は固化に使われ、第3冷却器は押し出し及び装填射出の際の周辺部の温度上昇を防ぐために設けている。

加速ガスは生成・射出部の真空容器の外に設置した40ℓの主リザーバから供給されて図中の140ccのリザーバに充填される。どちらのリザーバにもシーブヒータが巻かれていて100℃まで加熱できるようになっていて、それぞれ2個ずつ設けている。

高速電磁バルブは、2個並列に取り付けている。また、バルブの先は変換継手で1つになっていて、ピエゾ式の圧力センサを取付けてある。

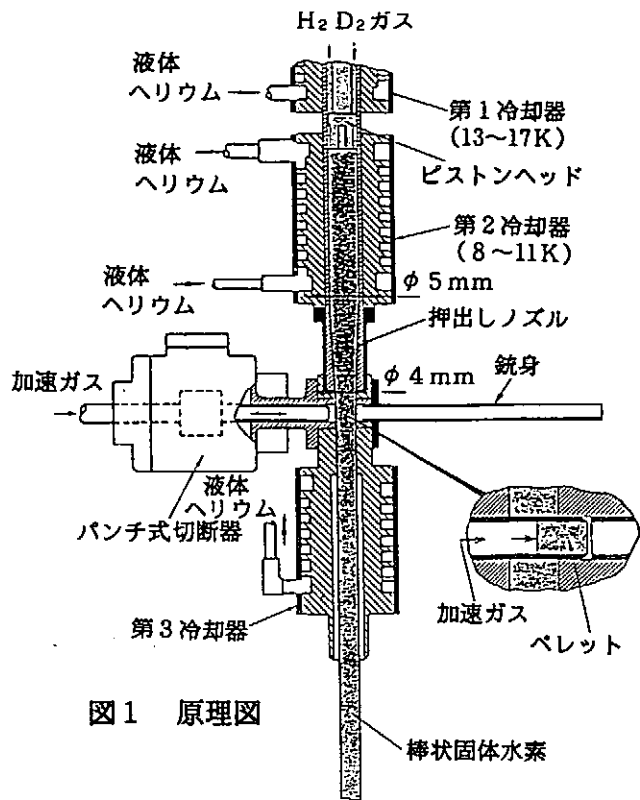


図1 原理図

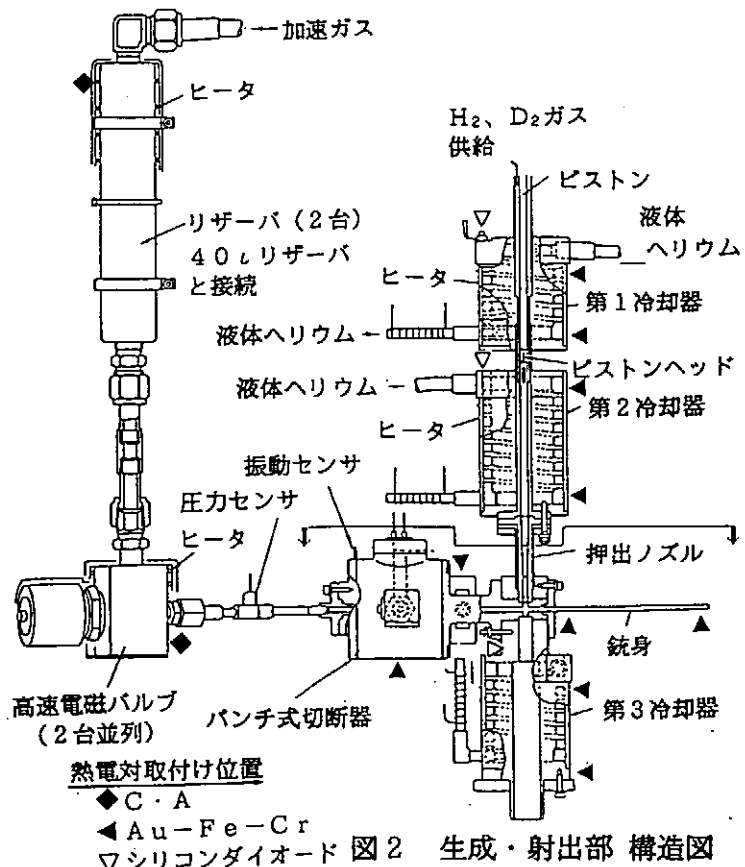


図2 生成・射出部 構造図

5 ペレット生成・射出試験

生成・射出試験では固体水素の押し出し状態、及び射出されたペレットの速度、ペレットの形状、ペレットの質量、などを測定することによって、高速・多発ペレット入射装置の性能を確認した。図3に高速・多発ペレット入射装置のフローシートを示す。

固体水素生成に必要な液体ヘリウムは、液体ヘリウム容器から、LHeリザーバに送られ各冷却器へ供給する。この時の液体ヘリウムの流量は、それぞれの流調弁でコントロールし、各冷却器に取付けたヒータとの組合せで温度調整をして、各冷却器を固体水素の生成に最適な温度になるように制御する。また、加速ガス系には、2個並列に高速電磁バルブを設けていて、それぞれが200msec間隔で繰り返し射出でき、これを交互に繰り返すことによって、100msec間隔の射出ができるような設計になっている。

固体水素の押し出される様子は、図中の生成槽の下の観測槽に観測窓を設けていて、容器内に取付けたミラーによって下方向及び斜下方向の2方向からビデオカメラによって、固体水素の押し出し状態を観測・撮影する。射出されたペレットの速度は、拡散槽の入口の観測窓に設置したフォトダイオードとレーザダイオードを組合わせた2組のフォトインタラプタ間（距離40mm）を通過する時間からその平均速度を計算して求める。ペレットの形状は、シャドウグラフを撮影することによって確認する。シャドウグラフは速度計測用のフォトインタラプタの間に取付けたフラッシュランプをフォトインタラプタの最初の信号をトリガに利用して、フラッシュさせて反対側に設置したビデオカメラで撮影する。また、ペレットの質量は、8.8GHz帯のマイクロ波を利用して、高真空拡散槽内に設置した、キャビティの中をペレットが通過するとき生じる反射波のずれからペレットの質量を測定する。この他に、ペレットにかかる加速ガス圧力や装填装置の振動なども測定して、高速・多発ペレット入射装置の性能試験を行った。

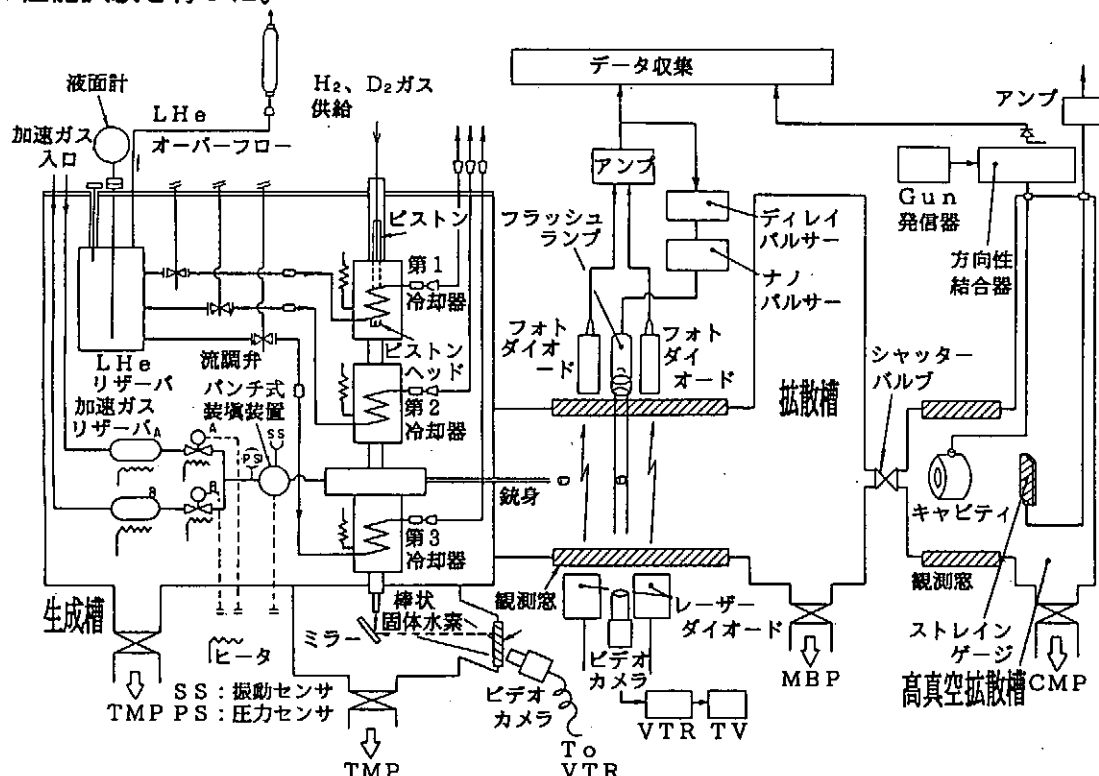


図3 高速・多発ペレット入射装置フローシート

6 試験結果及び考察

今までに行った生成・射出試験において、射出間隔300 msecで8回射出した時のペレット速度、シャドーグラフの撮影及び質量の測定結果が得られている。

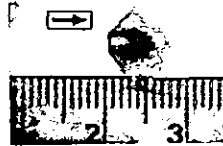
図4はその時のシャドーグラフの例である。加速ガス圧力は33 kg/cm²で、ヘリウムで加速している。

また、固体水素を押し出すためのピストン速度は10 mm/secで、ペレットの種類は水素である。

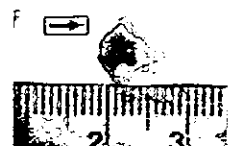
このシャドーグラフでペレットの軌道の下にスケールを取付けて

ペレットの大きさが分かり易くなるようにしてある。この時のペレット速度は、図中に示すように約1 km/sで、マイクロ波による質量計測の信号の大きさもほぼ揃っている。設計寸法の3 mm×4 mmに近い大きさのペレットが繰り返し安定して射出できることが確認できた。また、図4のシャドーグラフにおいて射出されたペレットに傘状の影が写っている、これはシャドーグラフを撮影している観測窓が銃身の出口の近くにあるため、加速ガスによる衝撃波、あるいはペレットの外側の氷や霜が加速ガスに飛ばされて写っているものと思われる。この影はこれまでのほとんどの射出試験で観測できる現象であり、今後も引続き原因の解明をして行く予定である。ペレットの装填・射出繰り返し頻度については、200 msec間隔で4回射出したペレットの確認もできつつあり、より短い時間間隔での装填・射出を目指した試験を進めて行く。ペレット速度については、100℃、100 kg/cm²のヘリウムガスで加速した時に、最高1.7 km/sの射出速度が得られているが、今後、高速での射出試験を行い、更にペレット速度の向上を図る予定である。

Pellet No1
Pellet Seed
0.98km/s



Pellet No2
Pellet Seed
1.10km/s



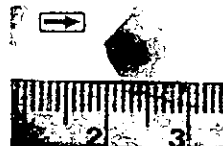
Pellet No3
Pellet Seed
0.93km/s



Pellet No4
Pellet Seed
1.00km/s



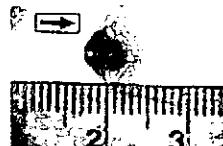
Pellet No5
Pellet Seed
0.98km/s



Pellet No6
Pellet Seed
0.95km/s



Pellet No7
Pellet Seed
0.91km/s



Pellet No8
Pellet Seed
0.87km/s



繰返し時間 : 300ms 射出回数 : 8shots
加速ガス圧力 : 33kg/cm² 加速ガス : He
銃身長 : 0.8m ピストン速度 : 10mm/s
ペレット種類 : Hydrogen

図4 ペレットのシャドーグラフ

7 まとめ

今までの生成・射出試験において以下の結果が得られた。

- 1) 棒状の固体水素(φ4 mm)の安定な製造と押し出しが確認できた。
- 2) 300 msec間隔で8回装填・射出したペレットの測定ができた。
- 3) 射出速度1.7 km/sのペレットの確認ができた。

また、今後の課題は、射出間隔をより短くして、10回の射出を実現することに加え、より高速化を目指すことである。

高速ペレット入射装置の開発

京都大学ヘリオトロン、神戸製鋼所¹⁾

馬場智澄、須藤 滋、白井俊男、菅野正大²⁾、坂 繁樹²⁾

I ヘリオトロンにおける高速ペレット入射装置開発の目的

水素（重水素）等のペレット（シリンダー状）をプラズマに入射することによりプラズマ制御の観点から①プラズマの密度分布制御の自由度を増大し②プラズマにおいてNBI・ECH等高速粒子存在下での侵入距離を長くする事及び③粒子補給を行う事でありまた、計測用にも用いる事ができこれは①バルク粒子の輸送②プラズマ、ペレットの相互作用③プラズマ中の不純物粒子の輸送などを研究する事を目的としている。これらを目的としヘリオトロンでは高速ペレット入射装置の設計・製作・実験を行った。ヘリオトロンとしては(1)動作の安定性が期待され(2)比較的容易に高ガス温度（ペレットの速度と密接な関係がある）を得られ、また本目的においては(3)高繰り返しは必要としない点から二段ガスガン法を採用している。これは、現在ヘリオトロンE装置で実績のある6連発式マルチペレット入射装置の様な一段式ガスガン法では、2 km/s程度が限界であるためこれを改良して初段にピストンを使用し、加速ガスの断熱圧縮を利用し加速ガスの音速を上昇させペレットの高速化を図るものである。

しかし、ペレットは非常に壊れやすく（ $1 \times 10^7 \text{ m/s}^2$ 程度の加速度が限界である。）適正な加速度で長距離加速する等の工夫を必要とする。この方式により、現在ベアペレットで3.2 km/s¹⁾、プラスチックペレットで4.5 km/s²⁾が達成されている。一段式ガスガン方式は、高圧

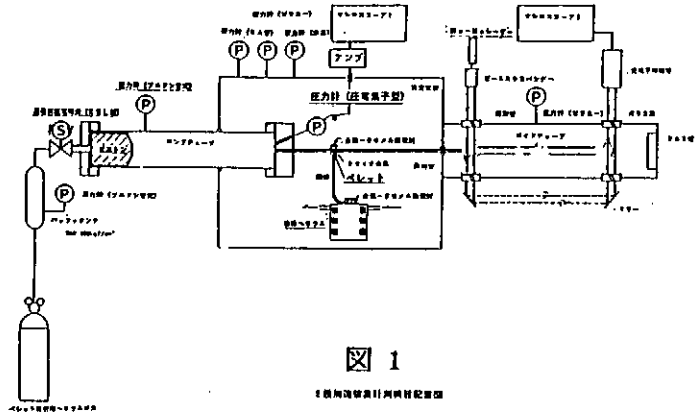


図 1

（略図）

のペレット発射用ガスで、ガスの膨張を利用してペレットを発射する。その時のペ

$$\text{レット発射速度は、} V(p) = \frac{2C_0}{\gamma-1} \left\{ 1 - \left[1 + \frac{(\gamma+1) A_p P_0 t}{2MC_0} \right]^{\frac{\gamma-1}{\gamma+1}} \right\} \dots \dots (1)$$

である。ここで C_0 は、ペレット発射用ガスの音速、 γ はガスの比熱比、 M はペレットの質量、 A_p はペレット断面積、 P_0 は発射用ガス圧力、 t は時間を示す。従ってペレット速度を上げるためには、発射用ガスの音速を上げれば良い。ガスの音速は $C_0 = \sqrt{\gamma RT}$ (R 気体定数、 T 絶対温度) で表され速度を速めるには ①気体分子量を小さく②気体温度を

	装置 1	装置 2
ポンプチューブ長 (mm)	1000	1500
ポンプチューブ内径 (mm)	22.1	22.1
ポンプチューブ容量 (cc)	400	600
ポンプチューブ初期充填ガス種	水素・ヘリウム	水素・ヘリウム
射出管長 (mm)	1000	1000
射出管内径 (mm)	2.0	2.2
Reservoir容量 (cc)	1.50 × 5個	3800
Valve種類	高速高圧電磁弁5個	大容量空気弁
Valve立ち上がり時間 (ms)	0.3	0.3
Valve有効径 (mm)	6.0	22.0

表 1

高くするの2通りが考えられる。このため発射ガスに水素・ヘリウムなどの軽分子ガスを用い、気体温度を高くする必要がある。そこで二段ガスガン法が考えられた。この装置の概要と測定機器を含めた詳細図を図1に示す。又装置仕様を表1に示す。この装置では、初期加速は高圧高速弁を用い、高圧のガスでピストンを加速し、二段目加速として加速されたピストンでポンプチューブ内の希薄ガスを圧縮する事によりペレット推進用高温高圧ガスを生成し、ペレットを加速射出する。

II ポンプチューブ内初期圧力とペレット速度の関係

この装置では前述したように発射ガス即ちポンプチューブ内ガスの音速が速い程ペレットの速度は速くなる。これはポンプチューブ内ガスの温度に関係し、到達温度

$$T_{\max} = T_0 \left(\frac{P_{\max}}{P_0} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \dots (2)$$

P_0, T_0 はポンプチューブ内初期ガスの圧力、温度を示し、 P_0 が低い方が到達温度が上昇する。その実験例を図2に示す。ペレットの材質としてテフロンとナイロンを使用している。この結果からテフロンペレットでは初期充填圧力が 0.8 kg/cm^2 (78 kPa) で速度が最高となり 2.2 km/s となる。(テフロンより質量の軽いナイロンペレットに於いては充填圧力 0.6 kg/cm^2 (59 kPa) で速度 2.8 km/s と速くなる。)

式(2)より P_0 が低いほど T_{\max} が高くなるが、テフロンペレットにおいて 0.8 kg/cm^2 (78 kPa) 以下になるとペレット速度が低下する理由として、ポンプチューブ内ガスがピストンにより急激に圧縮されるが、ペレットを加速するためのガス質量が少なく、ペレットを十分に加速するための運動量を得られずまた加速ガスがペレットの速度に追いつかなくなり、ペレットに対して有効な加速ができないためだと思われる。

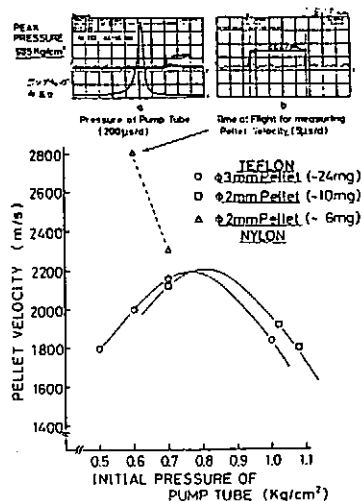


図 2

III ペレット生成用クライオ部

水素(重水素)ペレット生成の為射出管に無酸素銅製のクライオ部を取り付けてある。クライオは上下分割としペレット生成は中央部で LHe との熱交換により行い、両端のアームは温度勾配をつける為 SUS 製としている。また両端アームは交換ができるようになっている。このクライオ部の温度測定を行っており測定点と測定結果を図3に示す。測定点は3点である。ペレットを射出した場合、温度は約 75 K 上昇する。この例は生成用ガスを射出管前部より供給しているため測定点Aの温度が上昇する。昇温時 (LHe の流量を調整することにより行う) には測定点Cが顕著な変化を示すが他の測定点ではあまり変化を示さない。これは他の2点で

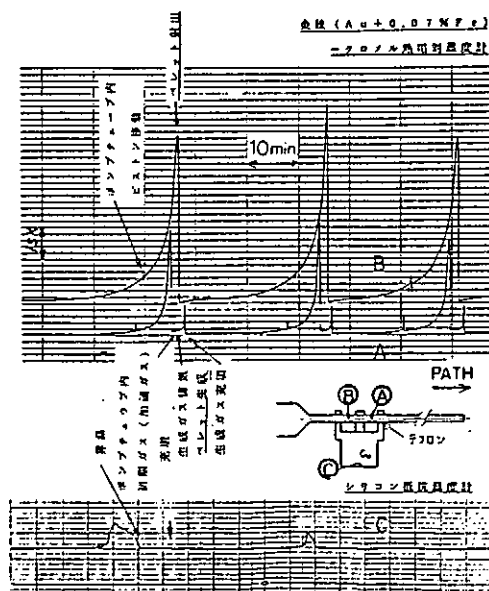


図 3

の温度上昇が大きいいため、変化がないように見えるからである。このクライオを用いて重水素ペレットを射出した実験結果の1例を図4に示す。この時のポンプチューブ内最高圧力は35 MPaでペレット速度は1.85 km/sである。

IV ピストン加速用高速高圧弁有効径とペレット速度、ポンプチューブ内圧力変化の関係

ピストン加速用高速高圧弁有効径（以下バルブ有効径と記す）を変化させポンプチューブ内到達圧力とペレット速度がどのようになるか数値計算を行った。計算結果と実験結果を図5に示す。この図よりバルブ有効径を大きくする程到達圧力は大きく上昇し、ペレット速度も上昇していることがわかる。また実験値は計算値にはほぼ一致している。そこでポンプチューブ内圧力の時間変化とバルブ有効径の関係をも比較してみる。（図6）実験値はバルブ有効径が0.6 cmであるので計算値とはほぼ良い一致を示す。これによりバルブ有効径が大きくなると圧力変化はシャープになりペレットの速度を増加させやすいと期待できる。そこでバルブ有効径を大きくした大流量高速弁を開発した。その構造図を図7に示す。この大流量弁の原理はまずピストン加速用ガス①とバルブピストンを押すためのガス②の圧力を上げておき、②のガスを高速高圧電磁弁で遮断し後方の高速高圧電磁弁を解放する。そのため圧力均衡が崩れバルブピストンが移動し①のガスがピストンを加速する。②及び後方高速高圧電磁弁の開閉時間は

3 ms 以下であり、normally openとしている。3 ms の印加後バルブピストンは②の圧力により元の位置に戻り①を遮断する。①と②の圧力差は約1.5 MPaである。この大流量高速弁を使用した実験結果の一例を図8に示す。ポンプチューブ内の到達圧力は2400 kg/cm² (235 MPa) となりペレット速度は3.2 km/sである。

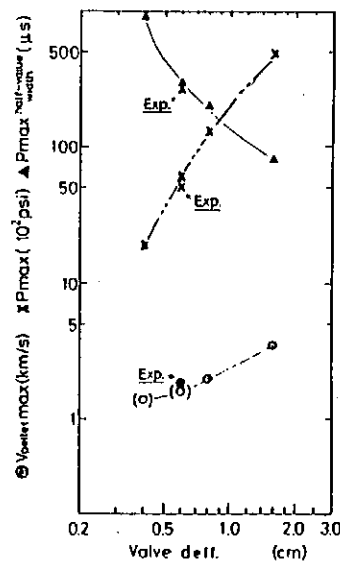
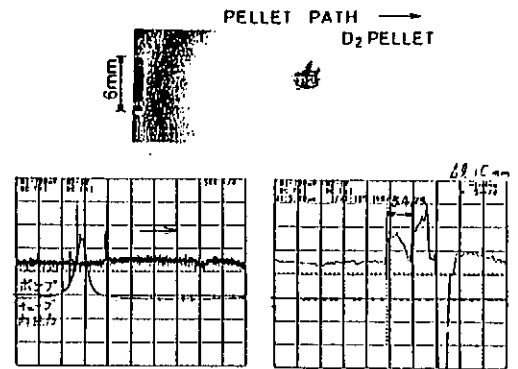


図 6

となりペレット速度は3.2 km/sである。



射撃条件 : 気圧 0.52 psi (0.0 kgf/cm²)
 ポンプチューブ内 : 初期充填圧力 : 13.7 psi (0.96 kgf/cm²)
 ピストン材質 : ボリカーボナイド
 ペレット速度 : 1.85 km/s
 最高圧力 : 35.0 psi (2.35 kgf/cm²)

図 4

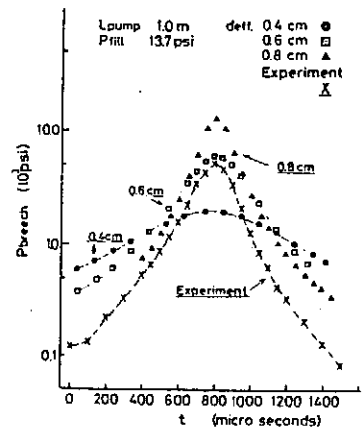


図 5

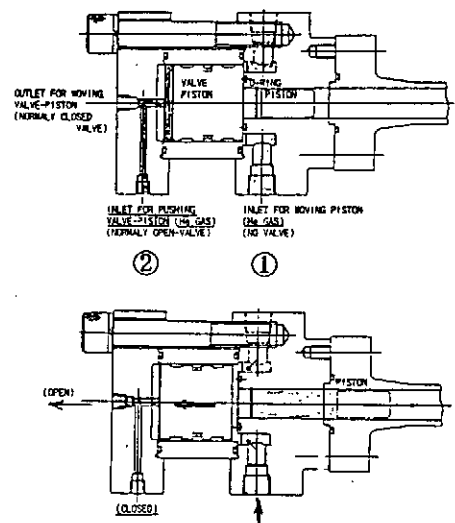


図 7

V ポンプチューブ内ガス種とピストン表面の関係

前述したようにポンプチューブ内は高温高圧になるためピストンの材質が重要である。今回はピストン材質としてポリカーボネイトを使用している。ピストン表面はポンプチューブ内壁との摩擦やブリーチ部付近での高温により摩耗する。ポンプチューブ内ガスを水素ガスとした場合の摩耗量の度合いを表2に示す。摩耗量はピストン使用回数よりもポンプチューブ内到達圧力即ち温度の影響が大きいことがわかる。又ピストン表面はポンプチューブ内のガス種類により炭化することも解った。ポンプチューブ内ガスについて水素ガスとヘリウムガスの混合比を変化させた実験を行った。ポンプチューブ内ガスの水素ガスとヘリウムガスの混合比を100:0, 75:25, 50:50, 25:75, 0:100と変化させた。実験結果はヘリウム比が大きくなる程ポリカーボネイト製ピストン表面の炭化が多くなっている。これはピストン材のポリカーボネイトが高温高圧ガスにさらされ、ポンプチューブ内ガスが、水素の場合は炭素と水素が化合し炭化水素ガスを形成し排出されるが、ヘリウムガスを使用した場合は炭素がピストン表面に析出するためであると思われる。

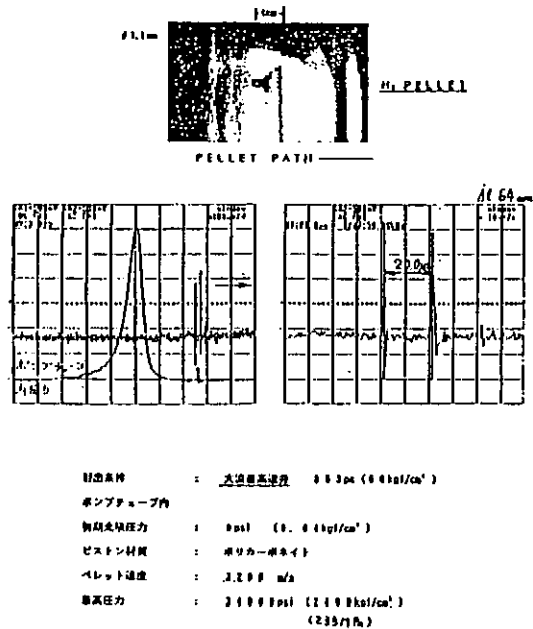


図 8

① 3 shot使用 平均 $P_{max} = 10MPa$ ピストン径の変化量

	実験前	実験後	減少量
ピストン前部の直径 (mm)	12.050	12.027	0.023
ピストン中央部の直径 (mm)	12.064	12.047	0.017
ピストン後部の直径 (mm)	12.070	12.058	0.012

② 6 shot使用 平均 $P_{max} = 13MPa$

	実験前	実験後	減少量
ピストン前部の直径 (mm)	12.053	12.035	0.018
ピストン中央部の直径 (mm)	12.068	12.057	0.011
ピストン後部の直径 (mm)	12.074	12.062	0.012

VI まとめ

高速ペレット入射装置の設計・製作を行いテフロン・ナイロン・水素・重水素ペレットの射出実験を行った。この実験結果と計算結果は良い一致を示している。又バルブ有効径を大きくする事等により水素ベアペレットとしてペレット速度3.2 km/sを得た。これはベアペレットとしては現在世界最高速度である。ポンプチューブ内ガス種によりポリカーボネイト製ピストン表面の炭化度を調べた。ガスとしては水素ガスよりヘリウムガスの方が表面炭化度は非常に大きいことが解った。

- 参考文献 1) S. Sudo et al. Bull. American Phys. Soc (1990)3T22.
2) M. J. Gouge et al. Rev. Sci. Instrum. 61(1990)2102.

ネザーランドにあるライデン大学付属研究施設のカメリング・オンネス研究所は、1901年にカメリング・オンネスが研究には欠かせない実験装置を製作する技術者と研究者を組織化し、その成果の第一歩として1908年自然界に存在する最後の気体、ヘリウムガスを液化することに成功した研究所です。この技術者と研究者の組織化は、世界の研究所のモデルとなり科学の飛躍に大きく貢献してきました。

ライデン市は昔から大学の町で今でも大勢の若者で活気に溢れています。私の滞在したホテルは15世紀の建造物でホテルの前には運河があり、当時のヨーロッパの面影を残しています。この運河に沿って歩いて行きますと右岸にライデン大学があり、そのすぐ先左岸にカメリング・オンネス研究所があります。同研究所で最初に案内されたのは、カメリング・オンネスが初めてヘリウムガスを液化することに成功した「ヘリウム液化装置のある部屋」でした。写真では何度となく目にしていましたが実際に実物を目のあたりに見ると、そこには90年間という年月を感じさせない装置を見ることができます。次に案内されたのは低温センターで、部屋にはカメリング・オンネスの写真が飾られています。この施設には「ヘリウム液化機」「ヘリウムガス回収装置」「コールド・エバポレーター」等があり、所内にある各研究室に液体ヘリウム、液体窒素を供給することが主な業務です。高圧ガス設備である「ヘリウム液化機」「ヘリウムガス回収装置」「コールド・エバポレーター」は日本では「高圧ガス取締法」によって規制されていますが、ネザーランドにはこのような法律がないということです。（コンビナートに関する法律はあるようです）したがってこの法律によって施設全体の管理、運営等も必然的に違いがあります。

はじめにヘリウムガスの流れと液体ヘリウムの流れについての説明をします。

Fig. -1が同研究所の液体ヘリウムとヘリウムガスの流れです。同研究所のヘリウムガスの流れには大きな特徴があります。それはピュアーガス配管とインピュアーガス配管との2系統に別れていることです。

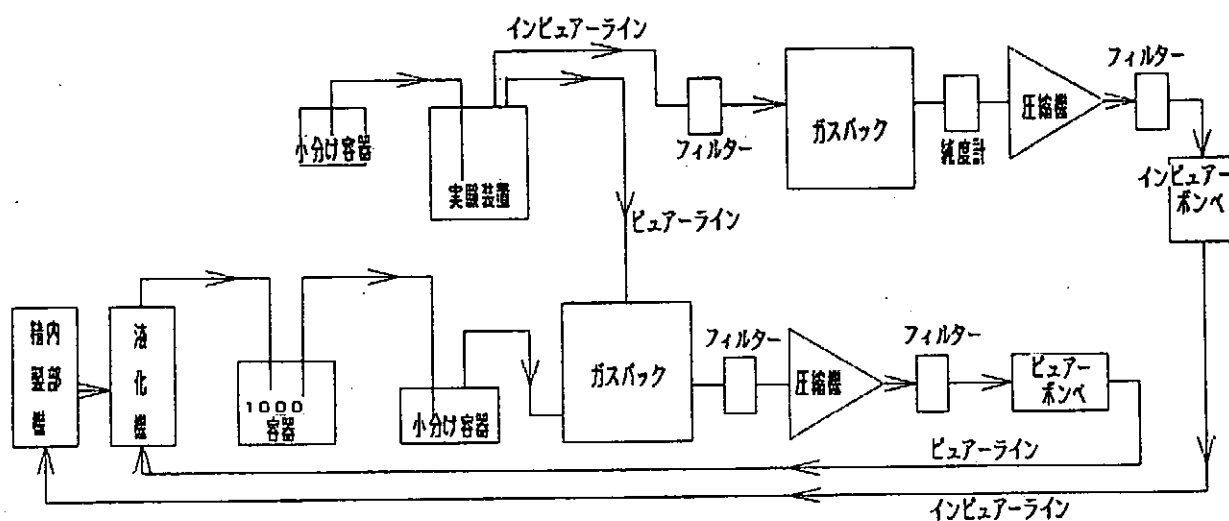
ピュアーガス配管は液体ヘリウムを小分け容器、実験装置などに供給した際の蒸発ガスを回収する配管です。ピュアーガスは回収配管を通過して、一旦ピュアーガス専用のガスバックに回収されます。（最初に蒸発したガスについてはインピュアーガス配管に流します）ガスバックにある程度回収されると自動的に圧縮機が起動し、オイルミスト・セパレーターを通過してピュアーポンペに回収されます。わが国では一般にこのヘリウムガスはインピュアーガスとして回収されます。この蒸発ガスをピュアーガスとして回収するか、インピュアーガスとして回収するかという問題は精製装置を設計する段階で大

大きく影響すると思われます。

インビューアガス配管は実験中に蒸発したガスを回収する配管です。ビューアガスとインビューアガスの切り替えはバルブ操作で行ないます。インビューアガスもビューアガス同様専用のガスバックに回収されますが、圧縮機の前段には水油分離器と純度計が据え付けてあります。インビューアガスの純度は常に99.8~99.9%を指示しています。この様にインビューアガスの純度が非常に高いのは、回収系が正圧によるものと考えます。またこのことがヘリウム液化機の内部精製機の負荷を少なくしています。

Fig. 1 カメリング・オンネス研究所のヘリウムガス回収系、

ビューアガス回収配管とインビューアガス回収配管の2系統あるのが特徴です。



液体ヘリウムの供給については、小分け容器のすべてが多層式断熱容器（液体窒素を用いない）ですので液量は重さで計量します。研究者は液体の入っている小分け容器をデジタル計量器で液量を確認し、使用後も残量を計量しコンピューター（供給用）に入力して全使用量を登録します。技術者は小分け容器に供給する前に残量と供給量をコンピューター（液化機用）に入力してから小分け容器に供給します。コンピューターは現在の液化量と液量から小分け容器の満量を計算し、満量時に電磁弁で液体を止めます。研究者は使用後速やかに容器を返却し、技術者は一兩日中に液を満量にして置きます。このように常に容器が冷えている状態で使用していますので効率の高い供給が行われています。特に多層式断熱容器は、一度暖めてしまうと冷えて安定するまでかなりの液体ヘリウムと時間がかかります。

ヘリウム液化機はK O C H社モデル1410内部製精機付きのものです。ヘリウム液化機の圧縮機は3台ありますが、常に2台を稼働させ1台は予備として停止させています。ヘリウム液化機の運転には液体窒素を使用せずに、液化量は12~15リットル/hで5~6週間連続運転（内部精製機の熱交換器に不純物が吸着し、800~1,000

時間で飽和状態になります)を行います。内部精製器が飽和状態になるとヘリウム液化機は自動的に停止します。有人運転中内部精製器が飽和状態になった場合ただちに再生運転が行なわれ、再生後はすぐに液化運転が行なわれます。ヘリウム液化機の完全停止は、夏にヘリウム液化機のオーバーホールがメーカーによって3～4日間行われる時だけです。このオーバーホールの期間中、液体ヘリウムの供給は備蓄した2,000リットル(1,000リットル*2)で行ないます。この様に1年を通してヘリウム液化機の連続運転が行われ、年間100,000リットルの液体ヘリウムを生産しています。技術者は業務に支障を起ささないようにモニターと肉視で、常に設備点検を行なって安全管理に気を配っています。

液体窒素の供給については、建物の外に8,000リットルのコールド・エバポレーターがあり、真空断熱配管によって室内で供給されます。供給口には電磁弁と手動弁があり、小分け容器に注入管と液面センサをセットし、手動弁を開き、電磁弁に通電し液体窒素を供給します。満量時は液面センサが作動し、電磁弁の電源を切り液体窒素の供給を止めます。この施設で使用している小分け液体窒素容器は、すべて200リットルの加圧式容器です。小分け容器の断熱真空が悪くなった場合、カット・オフ・バルブで再排気して使用しています。(購入時には、このバルブが付いていないので金属工作室で取り付けましたものです)また、コールド・エバポレーターの点検については、10年に一度メーカーによって行われています。

上記の事をまとめますと

ヘ リ ウ ム 関 係

液化機	KOCH社モデル1410内部精製器付、圧縮機3台、常に2台稼働		
液化機購入年	1983年		
年間運転時間	約8,600h		
液化運転	液体窒素使用せず、液化量12～15リットル/h 5～6週間連続運転(内部精製器が飽和するまで)、勤務外 無人運転		
年間液化量	100,000リットル	研究室	4G/L, 320円/L G=80円
液化機完全停止	3～4日	メーカーがこの間に液化機のオーバーホールを行なう。 供給業務はこの間も行なう。(備蓄 1,000L*2)	
回収純度	99.8～99.9%		
回収率	95%		
年間購入量	15,000リットル	U. N. T.	12G/L, 960円/L
小分け容器	多層式断熱容器 50L, 100L, 53個		

液 体 窒 素 関 係

液体窒素	コールド・エバポレーター	8,000リットル
------	--------------	-----------

年間購入量 80,000リットル U. N. T. 0、15G/L, 12円/L
ロス 15%~20%, 研究室 0、65G/L, 52円/L
定期点検 メーカーが10年に一度行なう
小分け容器 加圧容器 200L, 40個

以上が低温センターの概略です。同センターのシステムで共感したことが3点あります。

- 1、液体ヘリウムの供給時の蒸発ガスをピュアーガスとして回収すること。
- 2、インピュアーガスの純度が非常に高いこと。この事がヘリウム液化機の連続運転を可能にしていること。
- 3、法律の規制がないので高圧ガス設備の無人運転ができること。それによって液化量の少ないヘリウム液化機でも年間100,000リットルの生産をしていること。

(わが国に於ても、高圧ガス取締法除外の範囲(圧力)の液化機であるならば、この様な運転は十分可能ではないかと思われます)

同研究所には、低温センターの他に金属工作室、ガラス工作室、研磨加工室、ストックルームなどの施設があります。ストックルームには文具をはじめ金属材料、各種バルブ、電気回路部品など7,000種類にも及ぶ各種部品が取り揃えてあるので技術者、研究者が非常に便利に利用しています。また同大学には技術者養成施設があり、ここで数年間技術を習得した技術者は、卒業後大学やその他の施設に就職していきます。低温、金属工作、ガラス工作、研磨加工、ストックルームなどの各部門に就職した技術者はより一層高い技術を身に付けていきます。ベテランの技術者は若い技術者を指導しながら、自らも技術の向上を目指しています。そして、優れた製品が完成したときは所内にあるショールームに展示されます。

最後に各部門の技術者の代表と各部門の研究者の代表とが、研究所の運営について毎月会議が開かれています。ここにもカメリング・オンネスが技術者と研究者の組織化を行なった伝統がしっかりと受け継がれています。また、ティータイムには多くの技術者がティールームに集まって様々な会話がなされ、技術者同士の「技術の交流と調和」というものが、その中で生まれているように感じられます。技術革新の著しい今日、東京大学でも'90年度4月から技術官の組織化が行なわれ、技術官の研修というものが行なわれようとしている中、われわれ技術官も「より高い技術の修得と和」を目指していかなければならないと思います。

大阪市大におけるHeガス精製系 のトラブルとその対策

大阪市立大学 理学部

田中峰雄

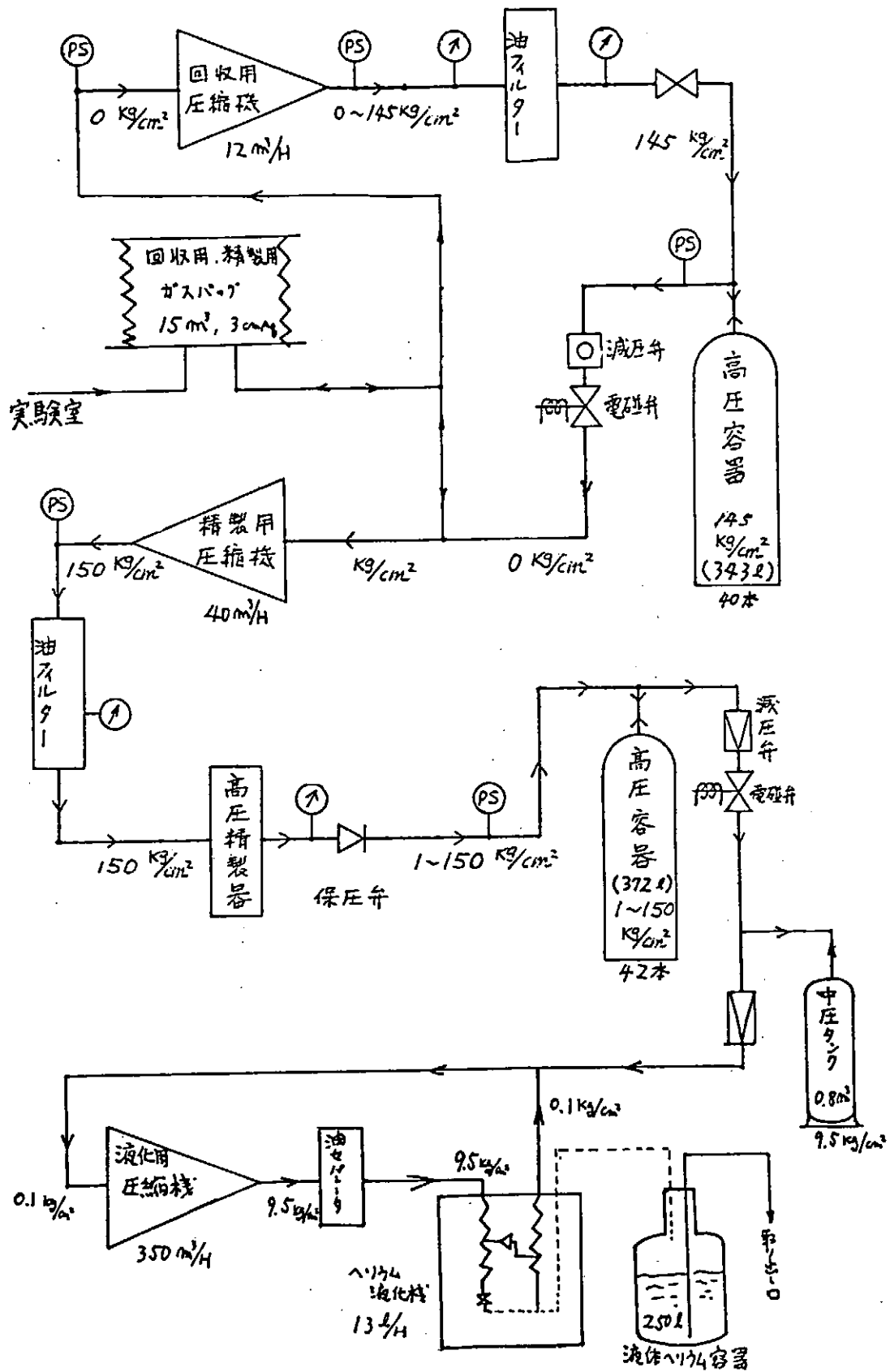
1. はじめに

本学のヘリウム液化施設は高圧ガス製造設備として許可を昭和53年に取って以来、6回におよぶ設備変更をへて現状に至っている。回収、精製系と液化系が、現状に近い状態になって4年経過する。いままでの間に発生した回収、精製系統のトラブルとその対応策について紹介する。

2. 設備の現状

図にガスのフローダイヤグラムを示す。また主要な機器の仕様を以下に示した。

機 器 名	製 造 会 社	能力及び容量
精製用圧縮機	ブルックハルト社製	40 m ³ /H, 150 Kg/cm ²
回収用圧縮機	東亜潜水社製	12 m ³ /H, 145 Kg/cm ²
液化用圧縮機	前川製作所	350 m ³ /H, 9.5 Kg/cm ²
He 液化機	小池酸素(BOC)	15 l/H, 9.5 Kg/cm ²
回収ガスバッグ	藤倉ゴム(株)	7.5 m ³ 2台 (ラミネート材)



Heガスのフローダイヤグラム

回収用、および精製用の高圧ガス容器の貯蔵能力は液体Heに換算して約350 ℓである。また精製器の最大吸着容量は約400 ℓ (air, NTP)である。

精製運転は通常1回に300 ℓ分を行うようにしているので、回収ガス純度は少なくとも99.8%以上でないとならば精製器で吸着できない空気分が純ガス容器に入ってしまうことになる。回収ガスは通常では99.95%程度の純度は保たれていると思われる。

2. トラブルとその対策

Heガス精製系で発生したトラブル、原因とその対策をまとめると以下のようなになる。

1, トラブル: ガス中に異常に水分が含まれていて、精製器熱交換器が詰まる。

原因: オイル式ガスホルダー(精製用圧縮機吸入側のダンパーに使用していた。容量, 3 m³)のオイルに水分が多量に含まれていると思われる。(オイル式ガスホルダーを使用しない場合には水分は激減することから、判断した)

対策: オイル式ガスホルダーの廃棄、圧縮機吸入側には回収用ガスバッグを兼用するようにした。

2, トラブル: 突然、大量の空気が回収ガス中に混入する現象が発生した。

原因: クライオスタットや液体⁴He容器の長期運転後の昇温時に蓄積した空気が混入する。

対策: クライオスタット等の昇温時に20 K以上になるとHeガスは回収しないで大気に放出する。

3, トラブル: 回収用ガスホルダーが加圧によって破損。

原因: 液体⁴He容器が振動を起こし、蒸発量が回収圧縮機の処理能力を越えた。

対策: ガスバッグの修理

4. まとめ

これらのトラブルは主として回収ガスの純度と露点の低下に起因する。解決策の方向としては、それらの原因を取り除くことが最良ではあるが、完全にはその原因を除去できない。精製器の能力を越える純度低下等によって、トラブルが発生していることから、それらの能力を大きくする事が、現実的な解決策になると考える。また、回収用圧縮機の能力を上げることが望まれる。

超伝導導体の材料技術（その1）

日立電線（株） 酒井修二 森合英純

1. 緒言

現在、最も一般的に使用されているNb-Ti合金系、Nb₃Sn化合物系超伝導導体は、銅またはアルミニウム等の純金属、合金を複合化している。これらの常伝導金属は、Nb-Ti、Nb₃Sn超伝導導体の優れた特性を種々な点において補完する機能を有している。本報告では、超伝導導体の材料技術として、複合常伝導金属の電磁気特性等を述べるとともに、超伝導導体への応用例を示す。

2. 種々の金属の諸特性

図1に、種々の金属の4.2 Kにおける磁気抵抗効果特性を示した。図1に示した金属は全て、導電材料として使用されているが、高純度アルミニウムとキュプロニッケルの電気抵抗は実に4桁以上の差がある。

図2に、超伝導導体における常伝導金属の機能と特性を示した。Nb-Ti、Nb₃Sn等の実用超伝導導体において、常伝導金属は安定化、低損失化、高抵抗化等の目的機能を有している。高純度アルミニウム、無酸素銅等の高純度金属は超伝導導体の常伝導遷移時の焼損防止等のいわゆる安定化材として使われており、特性としては極低温下、高磁界中での電気抵抗が低いことが要求される。

また、導体の交流損失の低減のためには、近接効果によるヒステリシス損失、および結合損失の低減のために、安定化材とは逆に電気抵抗の大きい金属を特にNb-Tiフィラメント間に複合化する必要がある。したがって、常伝導金属としては、Cu-Ni合金等の電気抵抗の大きいものが適している。

永久電流スイッチ用の導体においては、スイッチのON/OFFの応答性を高めるために、導体の常伝導遷移時の電気抵抗を大きくする必要がある。このため、Cu-Ni合金でも特に抵抗の大きいCu-30%Ni材が使用されている。

また、超伝導導体以外としては、超伝導マグネットのパワー・リード用材料として熱侵入の小さい即ち極低温度では熱伝導性が悪く、一方常温では電気抵抗の小さい金属が要求され、一般的には燐脱酸銅が使用されている。

表1に、常伝導金属の諸物性を示した。図2に示した要求特性と常伝導金属の諸物性を考え合わせて使用しなければならない。たとえば、高純度アルミニウムの機械的強度は小さいのでテンション・メンバーとはならない。また、無酸素銅のように、軟質材と硬質材では電気的特性が約1桁変化するものもあるので、使用条件に一致した適用が必要である。

3. 応用例

図3に、安定化材として無酸素銅を Nb-Ti超伝導導体と複合化した例を示した。これはMRI用の線材で、銅と Nb-Tiの体積比（銅比）が7と大きく、安定性を高めた構造となっている。¹⁾銅比を大きくすると安定性は向上するが、導体電流密度は低下するので、用途に応じて最適銅比は異なる。

図4に、アルミニウム安定化 Nb-Ti導体を示した。加速器の粒子検出用マグネット（CDF）用の導体である。²⁾高純度アルミニウムは、変形抵抗が小さく、変形抵抗の大きいNb-Tiとの複合加工が困難である。したがって、本導体は、まずCu/Nb-Ti線材を製作した後に、高純度Alを押出法にて被覆した構造となっている。

図5に、Cu/Cu-Ni/Nb-Ti三層構造導体を示した。超伝導マグネットをパルス的に運転する場合には、交流損失低減のために、Nb-Tiフィラメントを細くするばかりでなく、フィラメント間、安定化銅間を高抵抗なCu-Ni合金で分割した構造としている。

4. 結言

以上のように、種々の常伝導金属が様々な目的のために超伝導導体等に複合されて使用されている。電磁気特性の他に、機械的特性、耐熱性等についても十分留意してその適用をはからなければならない。

5. 参考文献

- 1) 酒井他； 日立電線 No 4 (1984)
- 2) Hirabayashi, et al. ; JJAP Vol.20 No.11 (1981) 2243

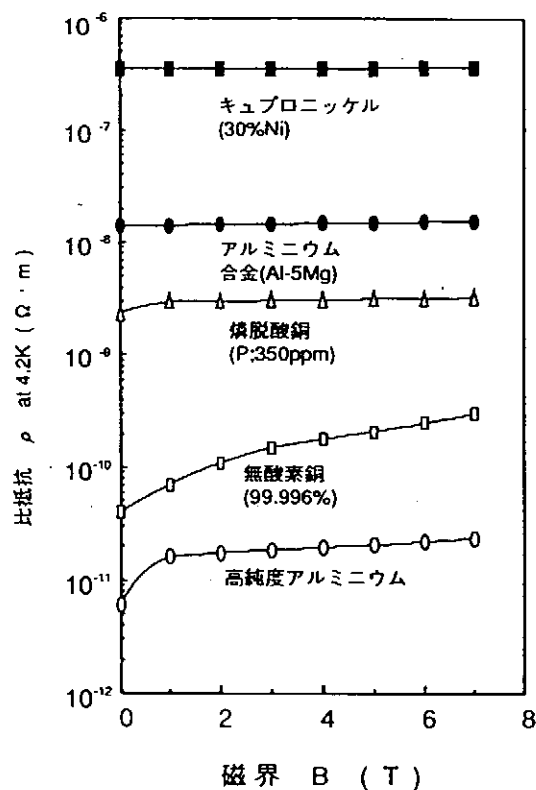


図1 種々の金属の磁気抵抗効果

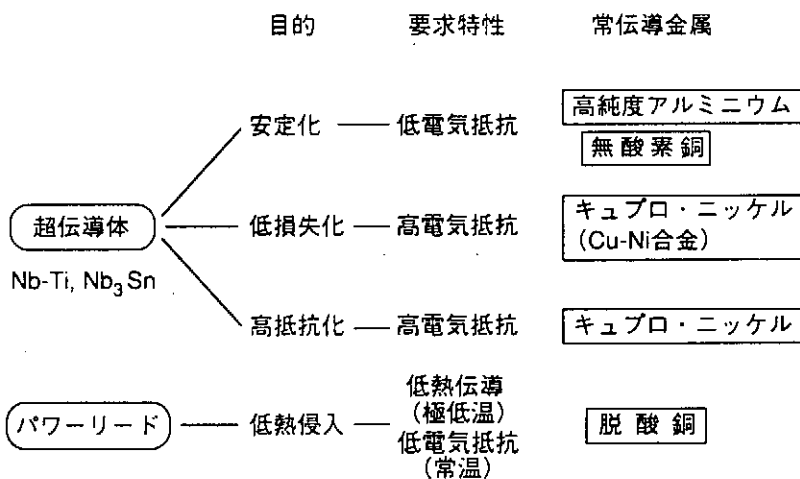
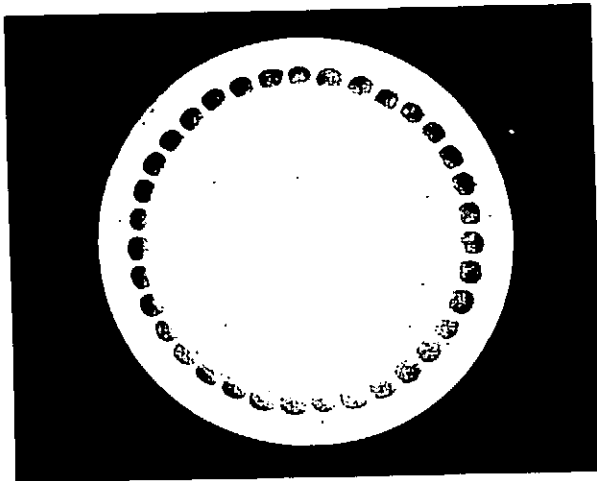


図2 超伝導体における常伝導金属の機能と特性

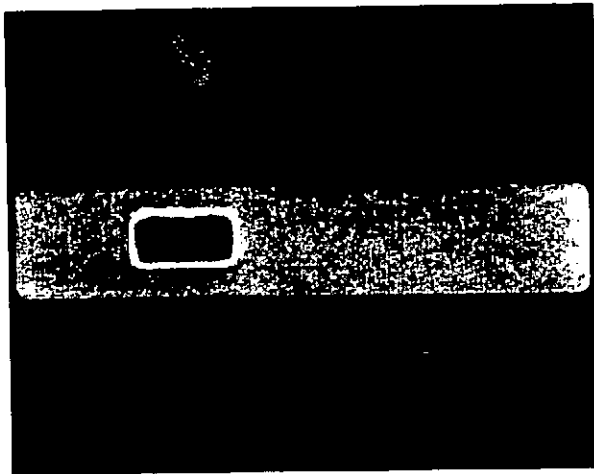
表1 常伝導金属の諸物性

常伝導金属	電気抵抗 (Ω·m)		機械的特性 σ_B (kg/mm ²)		耐熱性 (°C, × 1 hr)	
	ρ at 4.2K	ρ at 293K	軟質材	硬質材		
無酸素銅	4×10^{-11}	1.7×10^{-8}	25	40	250	
高純度 Al	6×10^{-12}	2.6×10^{-8}	42	85	100	
キュプロ・ニッケル	Cu-10Ni	1.9×10^{-7}	2.1×10^{-7}	36	68	500
	Cu-30Ni	3.7×10^{-7}	4.0×10^{-7}	44	82	550
脱酸銅	3.0×10^{-9}	2.2×10^{-8}	25	40	300	



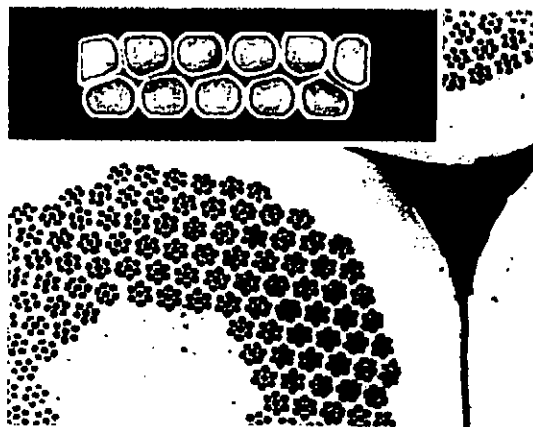
外 径：φ0.50mm
 超 電 導 材：NbTi
 フィラメント径：φ36μm
 フィラメント本数：24
 銅 比：7
 ツイストピッチ：13mm
 絶 縁：ホルマール
 臨 界 電 流：150A at 1T

図 3 銅安定化Nb-Ti線材



寸 法：3.89mm×20mm
 超 電 導 材：NbTi
 超 電 導 線 寸 法：1.90mm×3.65mm
 フィラメント径：φ50μm
 フィラメント本数：1,700
 Al/Cu/NbTi 比：21.5/1/1
 臨 界 電 流：12,000A at 2T

図 4 アルミニウム安定化Nb-Ti導体



寸 法：2.1mm×6.7mm
 超 電 導 材：NbTi
 然 線 本 数：11
 素 線 径：φ1.18mm
 フィラメント径：φ13μm
 素線中のフィラメント本数：1,500
 Cu/CuNi/NbTi 比：3.3/1.5/1
 ツイストピッチ：15mm
 然 線 ピ ッ チ：50mm
 臨 界 電 流：3,500A at 5T

図 5 Cu/Cu-Ni/Nb-Ti三層構造導体

核融合科学研究所超伝導コイル試験装置

核融合科学研究所 山田修一、山本純也、三戸利行、高畑一也
柳 長門、大竹 勲、西村 新

1. はじめに

核融合科学研究所では、大型ヘリカル装置（LHD）によるプラズマ閉じ込めの研究を推進するため、岐阜県土岐市に新研究所の建設を進めている。平成2年10月末には、土岐地区での最初の建物である低温実験棟が完成した。低温実験棟は、大型ヘリカル装置（LHD）に必要な各種超伝導技術、例えば超伝導導体の開発、コイルの巻線技術、冷却冷凍技術、等のR&D（開発研究）を行うための施設である。He 液化・冷凍機システム、応力下実導体試験機、直流電源装置、等が上述 R&D のために設置されている。核融合科学研究所に於けるこれら超伝導コイル試験装置について概説する。

2. 試験装置の全体構成

低温実験棟に於ける超伝導 R & D 試験設備の全体配置を図 - 1 示す。中央の T 型歩廊を中心にして左側は寒冷を発生 / 供給するための He 液化・冷凍機システム、右側は短尺超伝導導体試験用のクライオスタット（超伝導コイル試験装置）並びに R & D マグネット用のクライオスタット（全体モデル装置、モジュール装

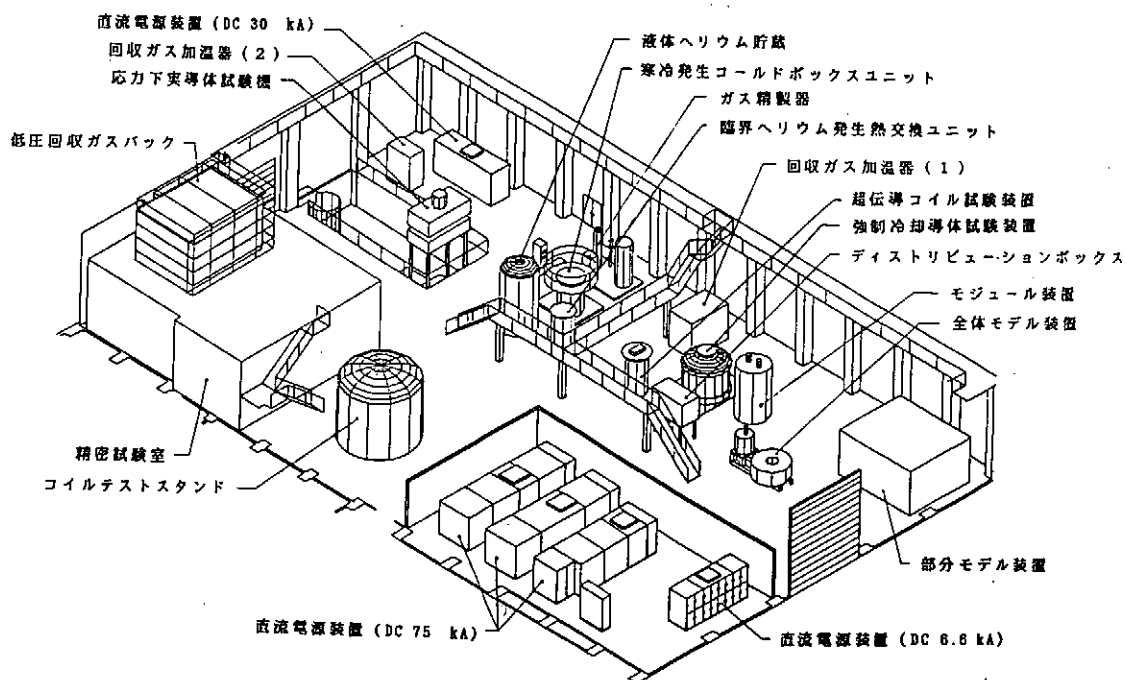


図 - 1 低温実験棟の機器配置図

表-1 被試験用マグネットの諸元

項 目	TOKI-MC	TOKI-HB	TOKI-TF	TOKI-PF
冷却方式	浸漬冷却	浸漬冷却	強制冷却	強制冷却
インダクタンス	54 mH	48 mH	41.1 mH	3.18 mH
定格電流	20 kA	8.9 kA	8.1 kA	25.6 kA
蓄積エネルギー	11 MJ	1.9 MJ	1.34 MJ	1.04 MJ

置、強制冷却導体試験装置)が設置されている。応力下実導体試験機は、常温で1000 Ton、4.2 Kで500 Tonまでの加重により、実規模レベルの超伝導導体の機械的特性を総合的に試験するための機械である。手前の直流電源装置は短尺超伝導導体の試験用並びにR&Dマグネットの励磁用の直流電源であり、最大75 kAの連続通電が可能である。LHDコイル用の浸漬冷却型の超伝導導体として、現在候補を2つに絞り、その機械的特性、超伝導特性確認のための実験の準備を進めている。また、これと平行してLHDのための総合的なコイル技術、冷却技術確立するために、浸漬冷却方式のマグネットが2台、強制冷却方式のマグネットが2台製作され、一部実験が行われている。これらのマグネットは表-1に示すような電気的特性をもつ。

3. ヘリウム液化・冷凍機システム

He 液化・冷凍機システムの全体フローを図-2に示す。寒冷発生用のコールドボックスは、200 μ /h (500 W)の液化(冷凍)能力を有し、その出口バルブ操作により、10000 μ の液体He貯槽、50 g/sの超臨界He (SHE)発生用熱交換器、応力下実導体試験機、等へ寒冷を供給する。また、これらの機器間を接続する低温配管の先には同時に2系統の負荷に寒冷を供給できるディストリビューションボックスがあり、表-1のR&Dマグネットはここからトランスファチューブを介して接続される。

He 液化・冷凍機システムの構成機器として、上述の機器の他に循環圧縮機、回収圧縮機、Heガス精製器、加温器、バッファタンク、回収タンク、ガスバッグ、液化窒素貯槽、機械冷却水装置等があるが、騒音大きい循環圧縮機、回収圧縮機等は別棟の圧縮器室に設置されている。また、容積が大きいバッファタンク(100 $m^3 \times 3$ 基)、回収タンク(100 $m^3 \times 1$ 基)、液化窒素貯槽(15000 μ)、機械冷却水装置等は屋外に設置されている。He 液化・冷凍機システム構成機器類の主要諸元を表-2に示す。

He 液化・冷凍機システムはファクトリーコンピューターにより中央で制御され(分散制御: μ XL)、運転に関係する各部の圧力、温度等のデータは自動的に収集・記録される。

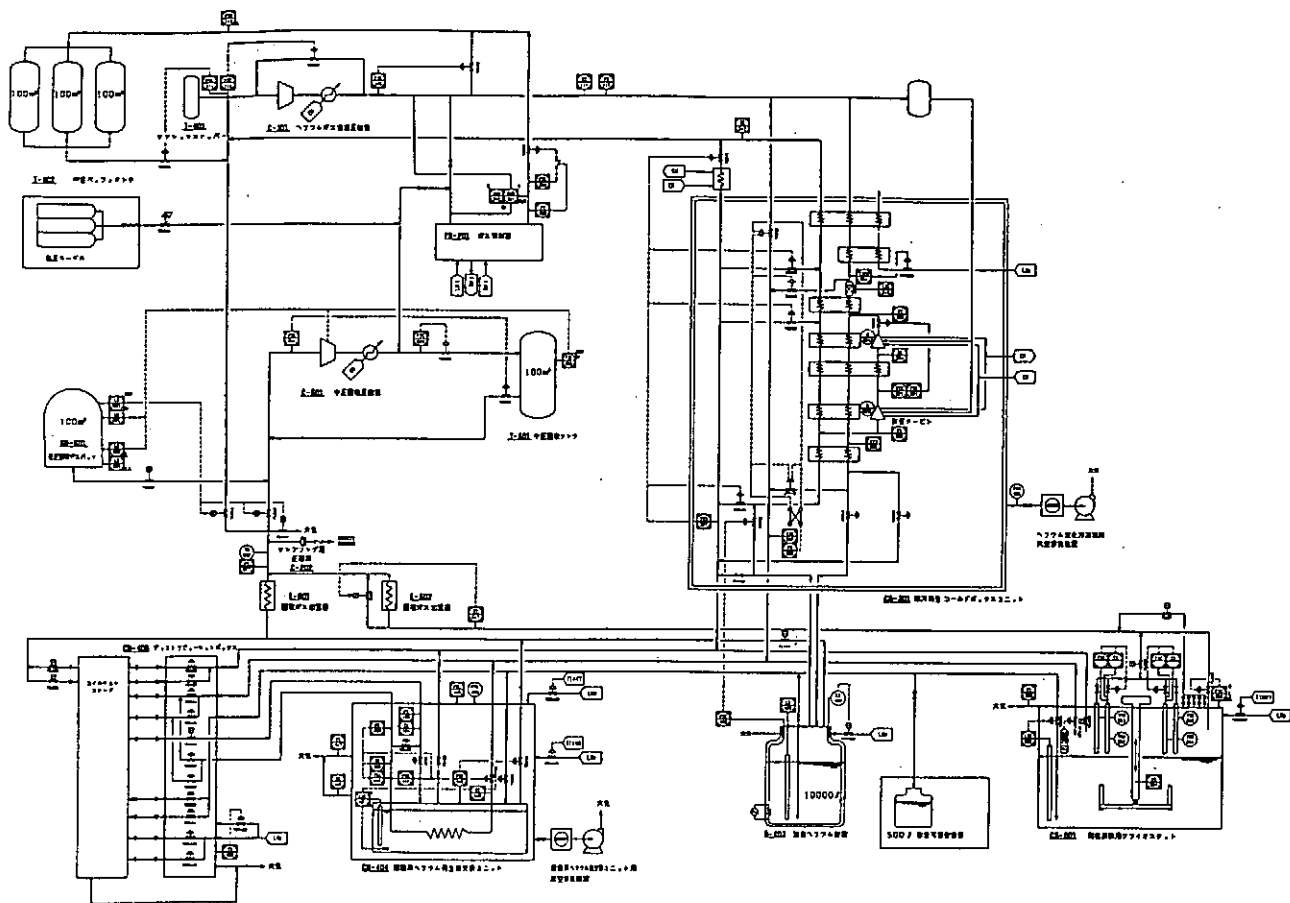


図 - 2 He 液化冷凍機システムのフロー

表 - 2 ヘリウム液化・冷凍機の主要諸元

コールドボックス	200 ℓ /h or 500 W
ガス精製機	150 Nm^3/hr (精製時)
循環圧縮機	2500 Nm^3/hr , 15.5 kg/cm^2
回収圧縮機	150 Nm^3/hr , 15.5 kg/cm^2
回収ガスバッグ	100 m^3
中圧バッファタンク	100 $\text{m}^3 \times 3$ 基, 15 atm
回収バッファタンク	100 $\text{m}^3 \times 1$ 基, 15 atm
液体He貯槽	10000 ℓ
SHE熱交換器	50 g/s, ≤ 15 atm, ≤ 4.5 K
液体窒素CE	15000 ℓ
機械冷却水装置	150 $\text{m}^3/\text{hr} + 105$ m^3/hr (30 m)
分散制御システム	μ XL

4. 75 kA 直流電源

75 kA 直流電源装置の回路を図 - 3 に示す。同電源は相間リアクトル付き千鳥結線によるサイリスター電源ユニット 3 台で構成され、将来電源ユニットを 1 台増設することにより 100 kA 電源となるように設計されている。3 台のユニットの内 2 台 (A-1 と A-2) は直流遮断器及びエネルギー回収抵抗を内蔵し、

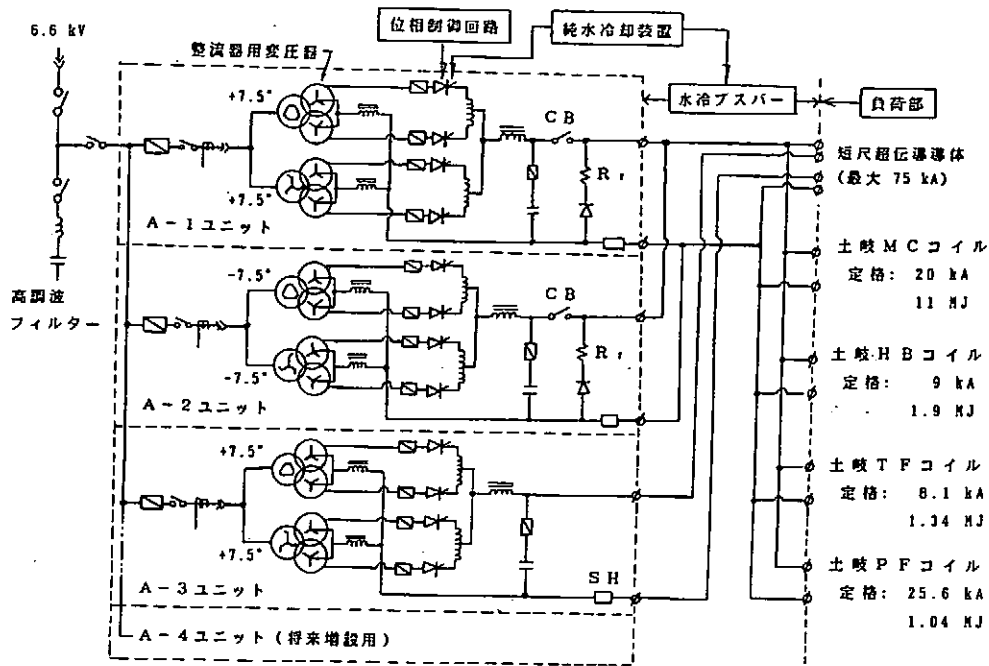


図-3 75 kA 直流電源回路

50 kA 迄の R & D マグネットの励磁試験時に用いる。また、短尺超伝導体の試験用として3ユニットの運転時には最大 75 kA が発生可能である。

5. おわりに

核融合科学研究所低温実験棟に於ける超伝導 R & D 試験設備の概要を述べた。これら試験設備の進捗状況を追記する。

- 1) ヘリウム液化・冷凍機システム: 液化運転では最大 251 l/h、冷凍運転では最大 540 W の性能を確認した。
- 2) 75 kA 直流電源装置: 出力ブス短絡の状態では電流 75 kA を 30 分間保持し、この時負荷電流の電流リップルは 0.37 %、電流安定度は 0.7 %であることを確認した。
- 3) 応力下実導体試験機: 冷凍運転モードにより試験用クライオスタットを冷却し、冷却・歪特性等を調べた。
- 4) 強制冷却導体試験装置: 超臨界 He (SHE) 発生用熱交換器を含む系で強制冷却導体試験装置 (TOKI-PFコイル) の冷却を行い、コイルの冷却・歪特性等を調べた。

計測・制御技術分科会

静電型ビーム偏向装置の開発

大阪大学理学部原子核実験施設 測定回路開発室

水田高志、岩田 博

坂本道夫、野尻洋一

1. 測定回路開発室の現状

測定回路開発室は、原子核実験に必要な電子回路（NIM、CAMAC等）、装置（サイクロトロン電磁石電流安定化装置、放射線監視装置等）の開発・製作を行なっている。現在までに当回路室で開発・製作されたNIM、CAMACモジュールは、46機種、640台に及ぶ。

2. 静電型ビーム偏向装置の概略

原子核実験施設バンデグラフ実験室では、短寿命ベータ放射性核を用いて、多分野にまたがる実験物理学研究を続けている。これらの研究は、まず短寿命ベータ放射性核を核反応で生成し、固体内に集積されたベータ放射性核から放射されるベータ線を観測することにより、種々の物理学的情報を収集する。

静電型ビーム偏向装置は、バンデグラフ加速器からの加速ビームを高速パルス化するための装置である。この装置は、ビームダクト内に設置された2枚の平行平板偏向電極間に、指定された高電圧を指定されたパルス幅間に印加する。その結果、平行平板偏向電極間を通過する荷電粒子のビームは、高電圧を印加したパルス幅間ローレンツ力を受けて、その進行方向は電荷数とエネルギーに依存して偏向される。この偏向したビームを、ビームバッファを用いて遮断することにより使用する核反応発生場所まで導かないようにする。以上の操作により、偏向電極に高電圧を印加しないパルス幅の間に短寿命ベータ放射性核を生成し、高電圧を印加したパルス幅の間にベータ線を観測する。

3. 偏向装置開発の基本仕様

(1) バンデグラフ型加速器 (MAX 4.75 MV) の加速ビームを偏向。

(2) 平行平板電極間に高電圧を印加し、電場によるビーム偏向。

(3) 偏向電圧 $0V \sim 3000V$

(4) 立上り、立下り時間	1 μ s 以下
(5) 入力信号	スタート、ストップ信号 TTL
(6) モニター出力	偏向電圧の1/3000
(7) 高圧電源	MAX -3 kV, 200 mA
(8) 偏向電極	長さ300, 幅30, 電極間10 (mm) 静電容量=10 pF
(9) 空冷5極管	5P70→製作途中で入手不可能(製造中止)となり、セラミック封じ電子管7F37Rを使用。

4. 偏向装置の回路説明

静電型ビーム偏向装置は、ブロック図に示すようにスタート、ストップ入力回路、高圧パルス制御電子管、G2電圧制御回路、ビーム偏向電極および高圧電源等によつて構成されている。

この装置は、スタート入力信号とストップ入力信号とによつて指定されたパルス幅で高圧パルス制御電子管の第1グリッド電圧の制御を行い、電子管の陽極に接続されているビーム偏向電極に印加される高電圧を制御する。その高電圧は、高圧電源から電子管のフィラメントに供給されており、高圧電源の出力は、ポテンシオメータの調整により0~-3 kVの電圧を供給することができる。また、高圧電源の電圧値は、G2電圧制御回路で読み取られており、約-1.5 kV以下になると高圧パルス制御電子管の第2グリッドに所定の電圧が印加される。この状態になってはじめて装置は、ビーム偏向を行うことができる。ビーム偏向電圧(高圧パルス)の状況は、モニター出力より、高圧パルスの1/1000の波形として観測することができる。

この装置の特徴は、コントロール回路部にIC及び半導体を使用して小型化をはかりさらに、ノイズによる誤動作の防止、保守点検の容易なモジュール化を行った。また、高圧パルス制御電子管には、メッシュ形トリウムタングステン・フィラメントのセラミック封じ4極電子管(7F37R 東芝送信管)を使用したことにより、装置の小型化並びに高性能化がはかられた。

5. 高圧パルス制御電子管

高圧パルス制御電子管(7F37R)は最大陽極損失1 kWで、陽極(P), 第1グ

リッド (G1), 第2グリッド (G2) およびフィラメント (F) で構成されている4極管である。G1には、スタート信号によって-80V、ストップ信号によって-5.4Vの電圧が与えられる。G2には、G2電圧制御回路が動作時G2にDC200Vが印加にされる。この時、G1に-80Vが与えられると電子管はオフとなり、陽極電流は0となる。したがって陽極P=0Vになる。また、G1が-5.4Vの時には、電子管はオンとなり陽極電流が流れ、陽極には表-1に示すビーム偏向電圧が生じる。

電子管の動作値は、高圧電源の定格 (最大-3kV, 200mA) および、高圧パルスの立上がり、立下り時間 (1 μ s以下) 等の装置仕様により、負荷抵抗値を30k Ω 、電子管オン時の陽極電流値を50mA~100mAと決め、これらを満たすために電子管の特性テストを行ない、動作特性曲線よりG1, G2のバイアス点を決定した。さらに、これらのバイアス点における動作特性試験を行っていった結果、陽極電流値の変化 (50mA~100mA) によるG2の損失をできるだけ少なくするために、G2電源に直列に電流制限抵抗を入れ、G2の電流値を制限した。

これらの動作値を表-1に示す。

高圧電源電圧 (V)	ビーム偏向電圧 (V)	EG1 (V)	EG2 (V)	IG2 (mA)	IP (mA)
-1,500	-1,403	-5.4	115	26	47
-2,000	-1,903	-5.4	125	23	63
-2,500	-2,366	-5.4	135	20	79
-3,000	-2,834	-5.4	145	18	95

表-1 ビーム偏向時における各部の動作値

この電子管は仕様上、フィラメント点火時には必ず冷却が必要なので本装置では、ファンを使用することによって強制冷却を行っている。装置の動作中における電子管の最大損失は、陽極損失 (ラジエータ部) 20Wおよびフィラメント部140Wである。この値を基にして冷却に必要な風量、風速等を計算によって求めると、直径120mm程度の円筒ダクトを電子管にかぶせて0.6m³/min以上の強制空冷を行えば十分に冷却することができる。

以下に風量2.7m³/min (109S405UL 三洋電器社製) ファンの強制冷却

時の電子管各部の測定温度を示す。(フィラメント点火時)

	定格最高温度	強制冷却時温度
セラミック部	200℃	57℃
電極封止ソケット部	180℃	91℃
第2グリッド部	180℃	86℃

6. 偏向装置の性能・仕様

(1) スタート、ストップ入力

電圧	+2.5V~+5V
パルス幅	0.5μs以上 (半値幅)
インピーダンス	10kΩ

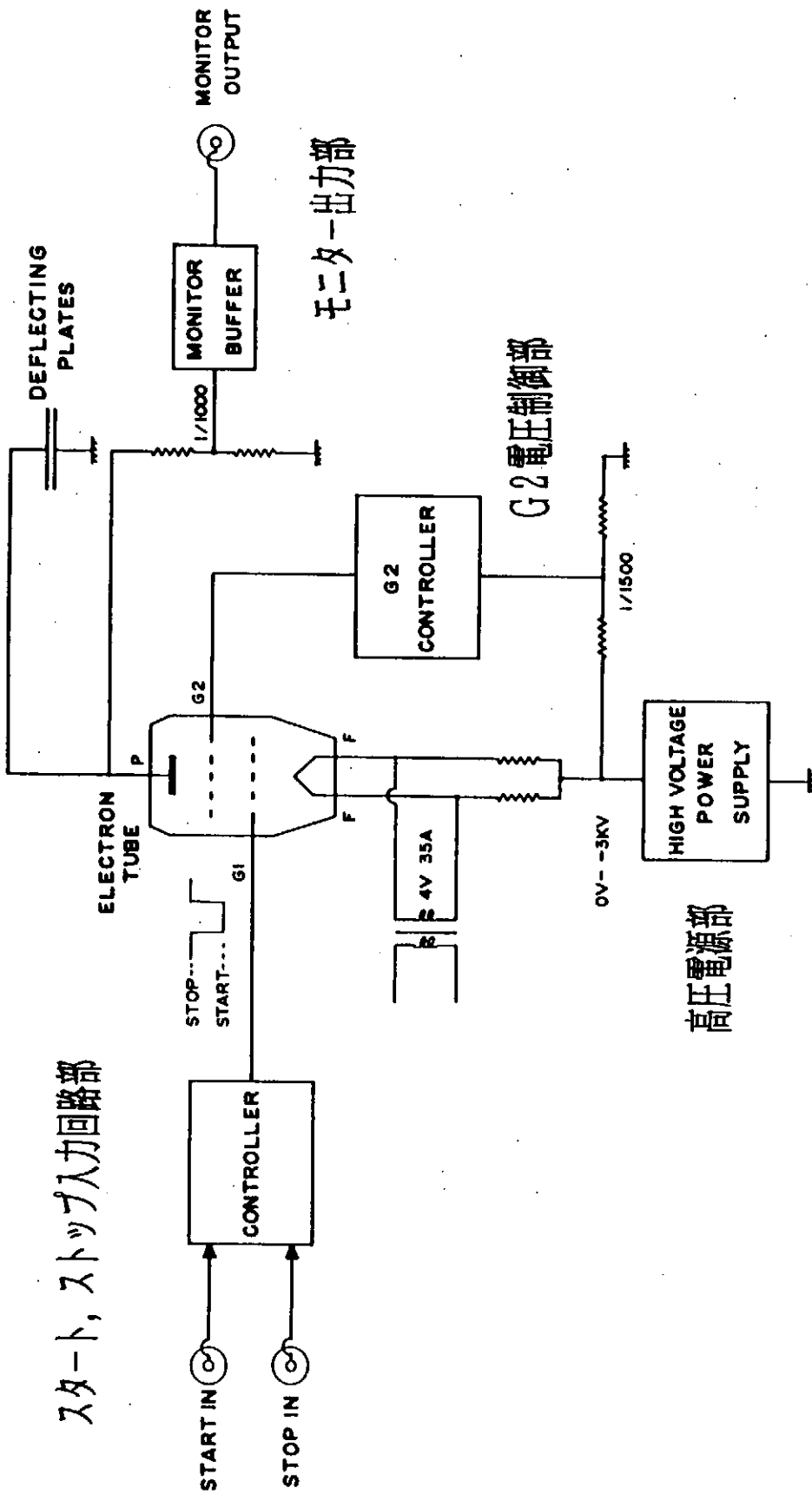
(2) モニター出力

電圧	偏向電圧 x 1/1000
インピーダンス	50Ω

性能測定結果

最大偏向電圧	-2,800V
最小偏向電圧	-1,500V
ビームオン・オフ時間幅	5μs以上
立ち上がり時間	2μs以下
立ち下がり時間	1μs以下
最大繰り返し周波数	100kHz
最大漏れ電流	0.4μA (高圧電源電圧-3kV)
供給電圧	AC100V
最大消費電流	6.5A
外径寸法	幅49cm x 奥行46cm x 高さ110cm
重量	103kg

高圧パルス制御電子管部 ビーム偏向電極部



スタート、ストップ入力回路部

モニター出力部

G2 電圧制御部

高圧電源部

静電型ビーム偏向装置のブロック図

低エネルギー (<1 keV) 中性粒子分析装置の開発

原研 核融合 岡野文範 三浦幸俊
装置・技術管理室
プラズマ実験研究室

【はじめに】

放電洗浄、トカマク放電の際に周辺で発生し、重要な役割を果たすと考えられる100 eV程度の中性粒子束のエネルギー分布を測定することは、プラズマ境界のことを知る上で重要である。しかし、従来から行なわれていたガストリップセルと電磁場を用いた測定法では、100 eV程度の低エネルギー中性粒子に対する散乱断面積が上昇してしまい、この低エネルギーの測定は困難である。このため、低エネルギー中性粒子をチョッピングし、その飛行時間に対する強度を測定することで中性粒子束とそのエネルギー分布を測定する飛行時間型中性粒子分析装置を開発した。図1に装置の概要を示す。

【装置の概要】

本装置の主要部であるチョッパーは、磁気軸受型のターボ分子ポンプを改造して製作した。高速回転体であるターボ分子ポンプシャフトの上部にステンレスとアルミ合金で出来た円筒型のチョッパースリットを取り付けることによりポンプ自体の排気能力も得られている。図2に示すような回転円筒（直径120 mm、高さ43 mm）がチョッパーであるため、中性粒子をチョップするための小スリット（幅0.21 mm、高さ18 mm）と、10 eV程度の重水素粒子も通過できる大スリット（幅5 mm、高さ18 mm）が対角線上にある。また、小スリットの幅は、エネルギー分解能が20%以下という条件で決定した。高さ18 mmは、中性粒子のフラックスを上げ、S/Nを良くするように大きくしている。

図2に示すように、中性粒子が通過するメインのラインに対して40度の角度でチョッパーの回転をモニターするためのビームラインがある。回転モニターは、He-Neレーザーの光をアバランシュ・フォト・ダイオード（APD）で受光して行っている。この受光出力は、スリットが開いた瞬間にプラズマから放射される強度の強いX線や光によって、検出器である電子増倍管（EM）が飽和してしまう事を防止するため、EM出力を一時OFF（~5 μsec間）するためにも用いる。APD出力とEM出力が同時ではX線や光が来る前にEM出力をOFF

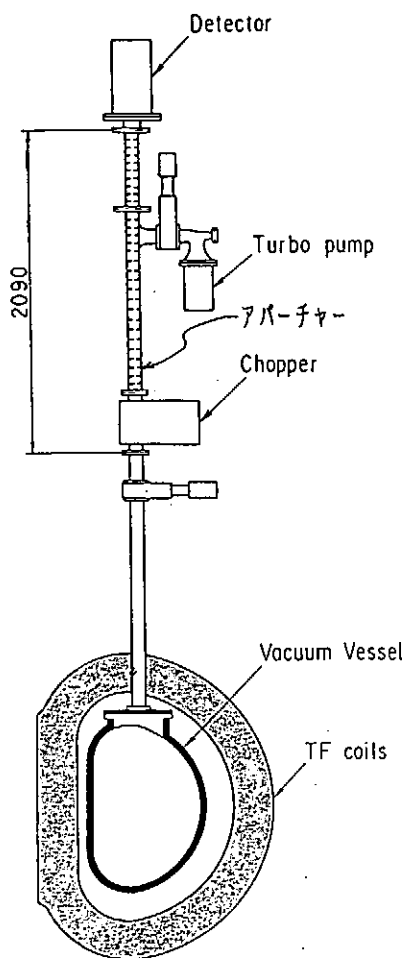


図1. 装置の概要図

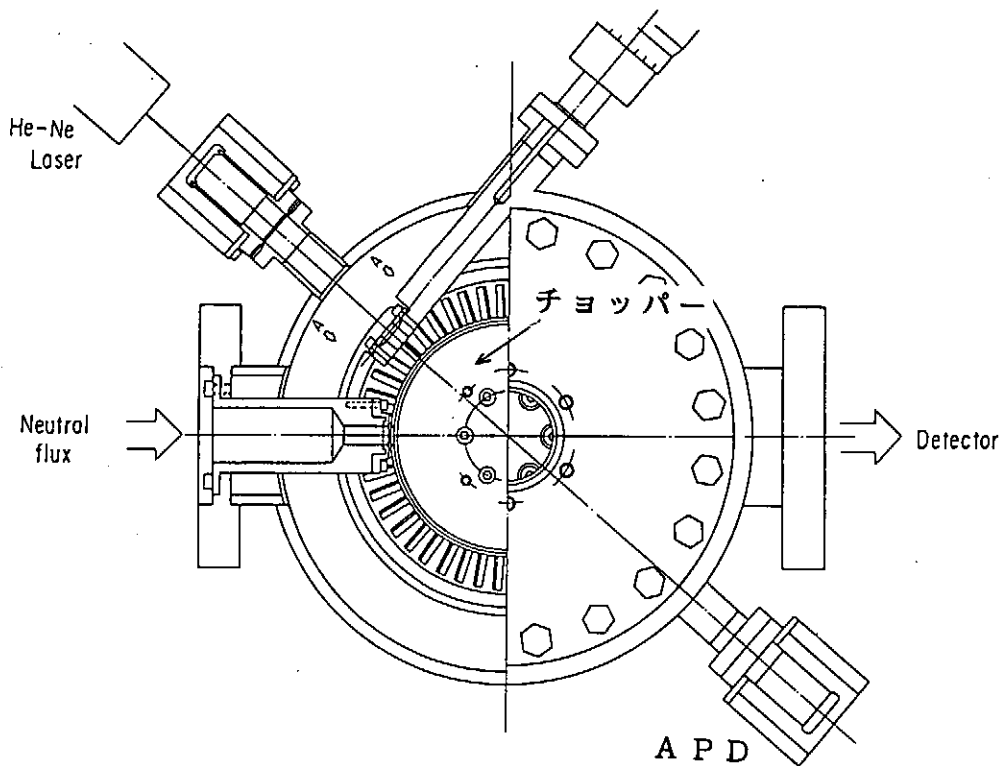


図 2. チョッパー上面図

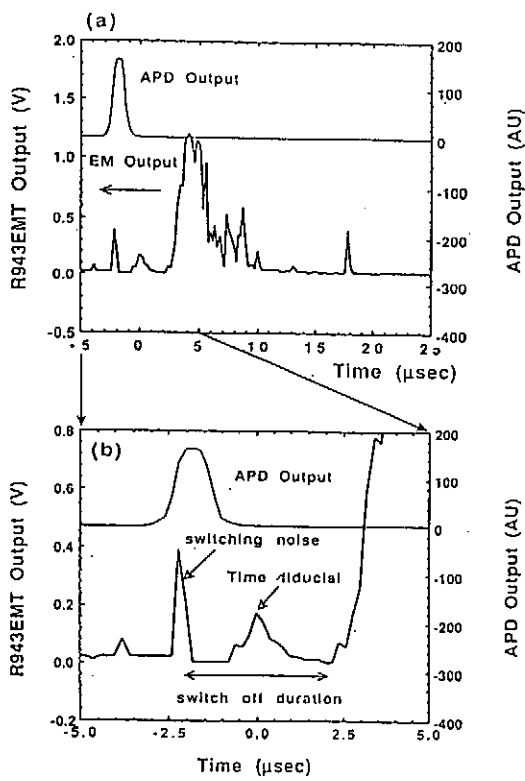


図 3. APD出力と EM出力のタイミング

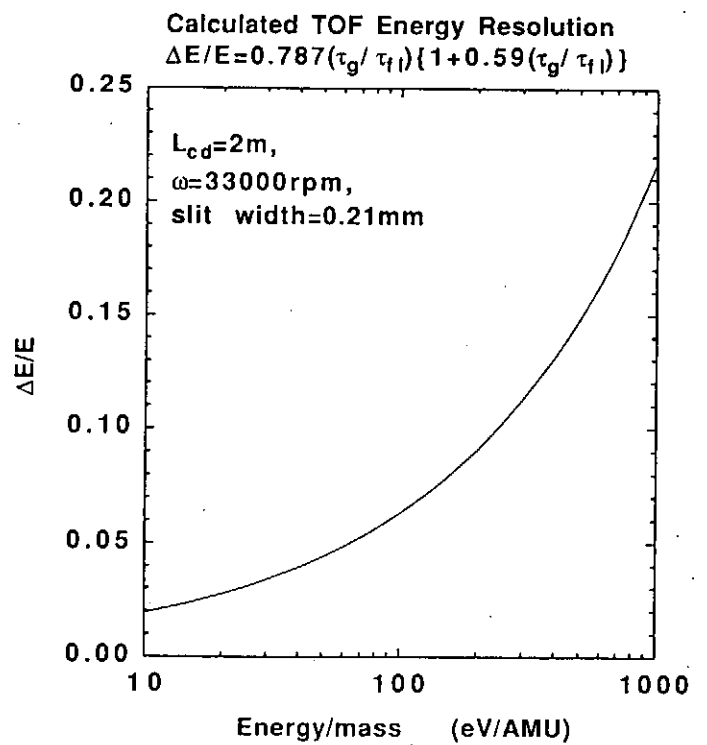


図 4. エネルギー分解能

出来ないので、移動スリットを使って実際のスリットオープンより $\sim 2\mu\text{sec}$ 程度早くなるように調節できるのが、このチャッパーの特徴である。

図3は、APD出力とEM出力の関係を示している。APD出力より約 $2\mu\text{sec}$ 遅れてメインゲートが開いたことを示している（time fiducial）。X線や光のEM出力を完全にオフするのではなく、約1/100に減衰するように電圧調整を行ないモニターし、その頂点を飛行時間のスタート時間として用いている。飛行時間のスタートとしてAPDの出力を用いるとチャッパーの製作精度で $2\sim 3\mu\text{sec}$ のパラツキがあり飛行時間に誤差を生じてしまうためである。また、図3よりスリットの開時間（ τ_0 ）が判るためエネルギー分解能が求められる。それは、次のような式で決定している。

$$\frac{\delta E}{E} = 0.789 \left(\frac{\tau_0}{\tau_{r1}} \right) \left[1 + 0.59 \left(\frac{\tau_0}{\tau_{r1}} \right) \right]$$

ゲート開時間が一定なので、飛行時間の短い（エネルギーの大きい）粒子に対する分解能は悪くなる。図4に計算したエネルギー分解能を示す。

図5に検出器の断面図を示す。チャッピングされてアパーチャの付いた配管を抜けてきた中性粒子はこの検出器に入る。EMは、市販の光電子増倍管のホトカソードをBe-Cuに替えて製作した。このBe-Cuプレートに中性粒子が当たり二次電子を発生し、二次電子が10段のダイノードで増倍され電流出力となる。また、ゲートアセンブリはEMのON/OFF制御を行う。検出器付近はトカマク放電時に 200G 程度の磁場が発生するため、EMを磁場より保護するため、軟鉄とパーマロイのシールドケースにてシールドしている。

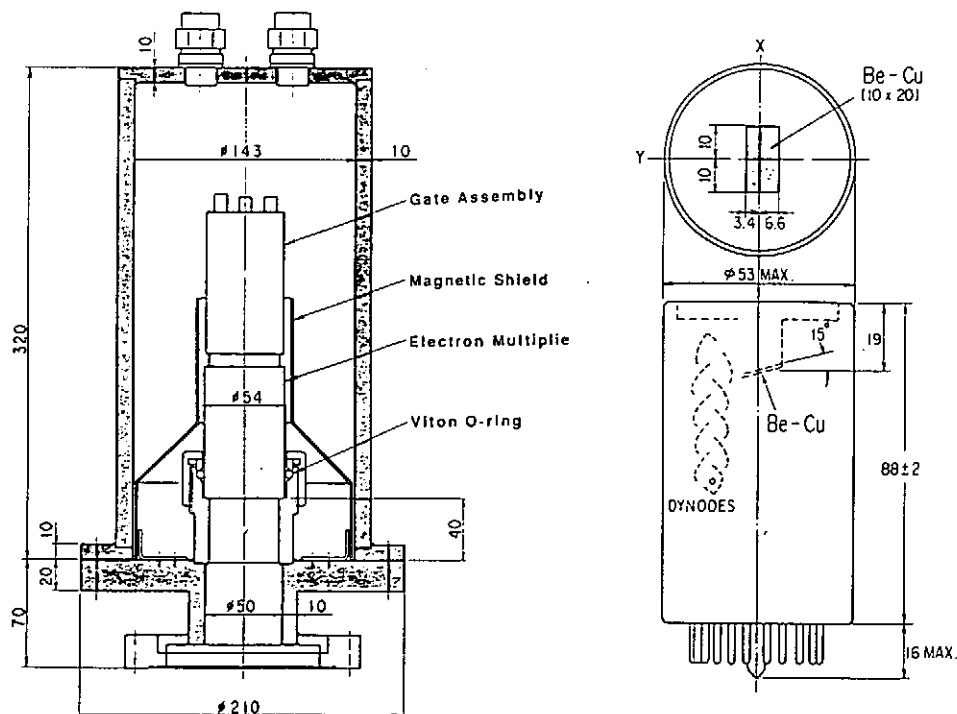


図5. 検出器の断面図

図6にデータ処理システムのブロック図を示す。EMの電流出力はプリアンプにて電圧に変換され、ゲイン制御可能なアンプを通してTransient Recorderでデジタル化される。APDの信号も同じサンプリングクロックでデジタル化される。また、この信号は、パルス幅の制御可能なGate Generatorに送られEMをOFFするためのTTLパルスを作り、ゲートアッセンブリに送られる。各Transient Recorderは256Kバイトのメモリーを持っているが、このメモリーサイズでは、JFT-2M1ショット当りの放電データをすべて取り込めない。そこで、Delay Generator と2台のClock Pulse Generator を使ってデジタルタイミグを制御している。1台のClock は、3スピードのクロック発生器として使いバーストクロックのタイミグを決め、もう1台のClock は、バーストモードのサンプリングクロックとして使っている。バーストクロックは、5MHz、8192個であり、この間のスリットのデータを平均しているので、本装置の時間分解能は約2msecである。1ショットあたり約520Kバイトのデータは、600Mバイトの光ディスク等からなるパソコンシステムに蓄えられる。

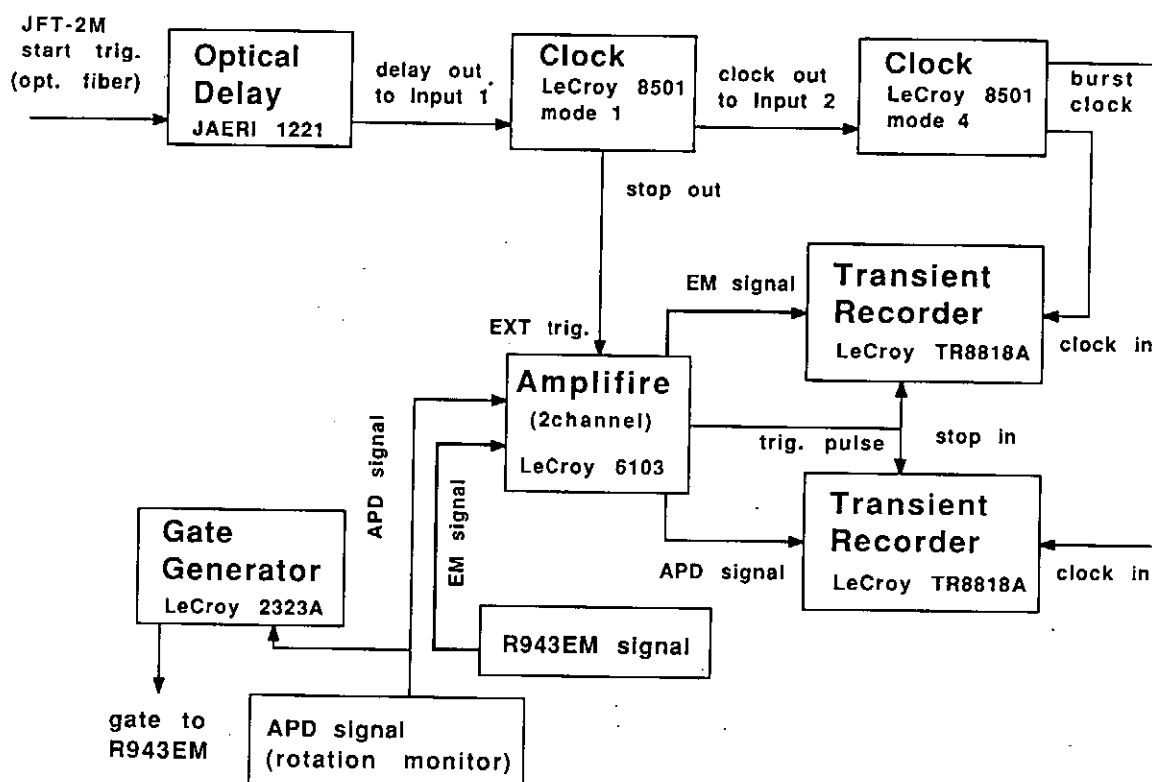


図6. 信号処理部ブロック図

DBS - LSV 光学系の試作

埼玉大学工学部 細井 健司

1. まえがき

流体の流速計測には、一般的に熱線流速計やレーザドップラー流速計などが用いられている。これらの方法は点計測、すなわち空間に固定された測定点での速度信号が時系列的に取り出され、その信号から流体の速度と方向とがもとめられる。それに対して、二次元あるいは三次元の同時刻流速分布の計測が可能であれば、その有用性は量り知れない。現在までに開発された実用的な二次元流速分布計測法の一つに、レーザスペckル写真法 (LSP: Laser Speckle Photography) がある。この方法は、レーザ光によって生じるスペckルパターンの移動を利用するものであり、当初固体の変位や表面変形の測定に用いられてきた。この方法が、1970年代後半にDudderarやSimpkinらによって流体の流速計測法として確率されて以来、レーザスペckル流速計 (LSV: Laser Speckle Velocimetry) と呼ばれて、種々の実用的手法が開発されてきた。^{(1), (2)}

このレーザスペckル流速計では、はじめに流れ場のある瞬間の流速分布情報を写真フィルム上に記録し、その写真から光学的方法を用いて各点における流速あるいは等成分速度線などの流速情報を回復する。具体的には、小さな光散乱粒子を混入した流れ場をシート状パルス光で繰り返し照明し、流れに追従する粒子からの散乱光によるスペckルパターンの移動を記録した二重露光または多重露光写真を得る。この写真は、スペckル写真 (Specklegram) と呼ばれる。さらにこのスペckル写真についてヤング縞法を適用すると、局所流速の情報が回復される。流れ場を照明するシート状パルス光を得るには、通常高出力のパルスレーザ光源からのビームをシリンドリカルレンズを用いてシート状に広げる方法が用いられている。一方、連続発振 (CW) レーザ、オプチカルチョッパーおよびシリンドリカルレンズを組み合わせた光学系を用いて、シート状パルス光を得ている報告もある。しかしこの方法では、パルスレーザ光源を用いる場合と比較して、得られる粒子からの散乱光の強度は極めて微弱であり、低速流れ (数十mm/s以下) にしか、適用されない。そこで、CWレーザからのビームをシート状に拡げずに、ビームスキャナを用いて流れ場をスイープ照明する方法が提案されている。⁽³⁾ この方法は、シート光照明に比べて効率が良いため、適用流速の上限も増加する。

本報告では、さらに適用流速の上限を高める方法として、CWレーザを用いて流れ場を連続する2本のレーザビームでスイープ照明するデュアルビームスイープ (Dual-Beam-Sweep) LSVを開発するための光学系を試作し、その有効性を確認するため、断面平均流速4m/sのT字型ダクト内合流部の気流計測に適用した。以下にその計測例を紹介する。

2. 流体中のスペckルパターン生成

上述のように、LSVでは流体中に光散乱粒子を混入させる。その光散乱粒子には、流れへの追従性を考慮して、粒径0.1~10 μ mの微小粒子が選択される。この粒子群がレーザ光で照明されて写真に記録される散乱光パターンは、粒子の数密度によって異なる。粒子数密度が高いときは、散乱光の不規則な干渉により形成されるレーザスペckルパターンが記録され、数密度が低いときは、個々の粒子の像からなる疑似スペckルパターンが記録

される。そこで、写真に記録される散乱光パターンによって、LSVはレーザスペckルモードと粒子像モードとに分類される。流体計測では、粒子数密度が高いと、散乱光の減衰の影響によりスペckル写真の撮影に不利になることから、粒子像モードが多く利用されている。この粒子像モードを利用したLSVは、粒子像流速計 (PIV; Particle Image Velicimetry)とも呼ばれている。またこのモードでは、干渉性の高い光源を用いる必要がないことから、白色光光源による照明も可能であり、同様に疑似スペckルパターンが記録される。

3. 光学系

粒子像モードのLSVでは、ダブルパルスレーザ (ルビーレーザ、Nd-Yagレーザ)、連続発振レーザ (Ar⁺レーザ、He-Neレーザ)、白色光光源 (パワーストロボ、一般写真用ストロボ) など、各種の光源を用いることができる。光源の選択は、流れの速度、撮影倍率などにより決められる。流れ場を照明する方法には、上述のようにシリンダカルレンズを用いて拡げられたシート光により照明する方法と、レーザビームを拡げずビーム光を単一方向にスイープして照明する方法がある。後者のスイープ照明は、ガルバノメータスキャナーやポリゴンミラーズスキャナーを用いたビーム光のスキャニングによってなされる。ガルバノメータスキャナーとHe-Neレーザの組み合わせでは、流速0付近から数十mm/sまでの流速計測に適用できる。一方、ポリゴンミラーズスキャナーとCWレーザの組み合わせでは、デュアルビームスイープ法を用いれば約15m/sまでの流速測定が可能である。

ここで、デュアルビームスイープ法の光学系を、実験流路の概略とともに図1に示し、その実際の光学系を図2に示す。レーザ光源から出たビームは、ビームスプリッターにより2光路に別れ、これらのビームが、図に示すように僅かな交差角でポリゴンミラーの同一点に入射する。このポリゴンミラーの面で反射した2本のビームは、観測面を短い時間間隔差でスイープし、流れ場中の光散乱粒子を照明する。この2本のビームによるスイープ照明が、ポリゴンミラーの面数と回転数におうじた周期で繰り返えされる。ビームスプリッターとポリゴンミラーとの間にある凸レンズは、観測面内でレーザビーム径を小さくし、光散乱粒子からの光散乱強度が強くなるために配置してある。また、この方法による照明のタイムチャートを図3に示す。図中の δt は照明時間 (パルス幅) であり、レーザのビーム径とスイープ速度 (ポリゴンミラーの回転角速度) から決定される。 $d t$ はパルス時間間隔であり、図1に示されている二本のビームの入射交差角とスイープ速度から決定される。さらに、 Δt は、2本のビームによる照明の繰り返し周期であり、ポリゴンミラーの面数と回転数によって決定される。ここで、 $d t \ll \Delta t$ の関係が満たされるよう調整される。

3. 実験装置および結果

本実験では、図1に示す様なT字型ダクト内の気流計測を行う。ダクト内断面平均流速は、約4 m/sほどであり比較的高速であることから、十分な散乱光強度を得るために光源には出力4WのArイオンレーザを用いている。

左右のプロアーから供給される空気は、それぞれ左右のチャンバー内で光散乱粒子と混合され、T字ダクトの中央部で合流する。チャンバーに接続したダクト形状は、断面形状が70×70mmの正方形断面であり、ダクト長さが1250mmである。合流後のダクト形状は、70×140mmの長方形断面であり、ダクト長さが1480mmである。

用いた光散乱粒子は、タルクパウダー（通称：ベビーパウダー）であるが、サイクロン機構を利用して平均粒径10 μm 以下の微小な粒子のみを分離して流れに混入する。用いたポリゴンミラースキャナは10面体であり、回転数は10 rpsである。したがって、2本のビームの繰り返し周期 Δt は、10msである。2本のビームの交差角は、2° 33'であるから、観測部における光散乱粒子の基準の照明パルス幅 δt とパルス間隔 $d t$ は、約20 μs および0.34msとなる。

一方、撮影されたスペックル写真にヤング縞法を適用して局所流速 v を求めるには、スペックル写真上の各点での局所速度 v は

$$v = \frac{\lambda f}{M X d t}$$

なる関係式を用いる。ここで λ は、速度再生用に用いるHe-Neレーザ光の波長、 X は得られたヤング縞の縞間隔、 M は撮影倍率、 f はレンズのfナンバー、 $d t$ は照明パルス間隔である。この方法では、照明するパルス間隔 $d t$ が観測面内で空間的に異なるため、光学系の幾何形状から各点でのパルス間隔 $d t$ を数値的に求めて速度 v が決定される。なお、流速情報回復過程で、明瞭なヤング縞を発生させるには幾つかの条件があるが、フィルム上に二重露光または多重露光記録される光散乱粒子像の間隔は約300 μm 以下でなければならない。

図4に得られたスペックル写真およびヤング縞法により得られた流速ベクトル線図を示す。このスペックル写真の撮影条件は、絞り開放F2.8、撮影倍率0.131、露光時間1/60秒である。使用したフィルムは、KODAK T-maxP3200 (ASA 3200)である。このスペックル写真は、ダクト中央断面の流れを示しており、流れの可視化写真でもある。図中の流速ベクトルの欠落部分では、流れの遅い循環流が生じているため、この部分では光散乱粒子の像が連続して記録され、光散乱粒子の像がそれぞれが分離していない。このように流速の速い部分と遅い部分が同時に存在する流れでは、流速情報が回復出来ない部分が生じる。しかし、この欠落部分の流れに注目するときは、照明パルス間隔を適当に選択することにより、この部分の流速も測定される。

4. あとがき

スペックル写真法の技術を利用したLSVは、照明法によって適用流速範囲に制約があるため、従来遅い流れの計測に多く適用されてきた。ところが、連続する2本のレーザビームを用いて流れ場をスイープ照明するDBS-LSVでは、比較的流速の速い流れ場の可視化と流速計測を行うことができる。本報告では、この照明法をダクト内気流計測に適用してその有用性を示した。さらに、この照明法による適用流速の上限は、およそ15 m/s程度であることが確認されている。

参考文献

- (1)流れの可視化学会編；流れの可視化ハンドブック、朝倉書店(1986)、334
- (2)Merzkirch(1987);Flow Visualization(1987),ACDEMIC PRESS
- (3)M.Kawahashi & K.Hosoi;Beam-Sweep Laser Speckle Velocimetry,Exp.Fluid,8(1989)

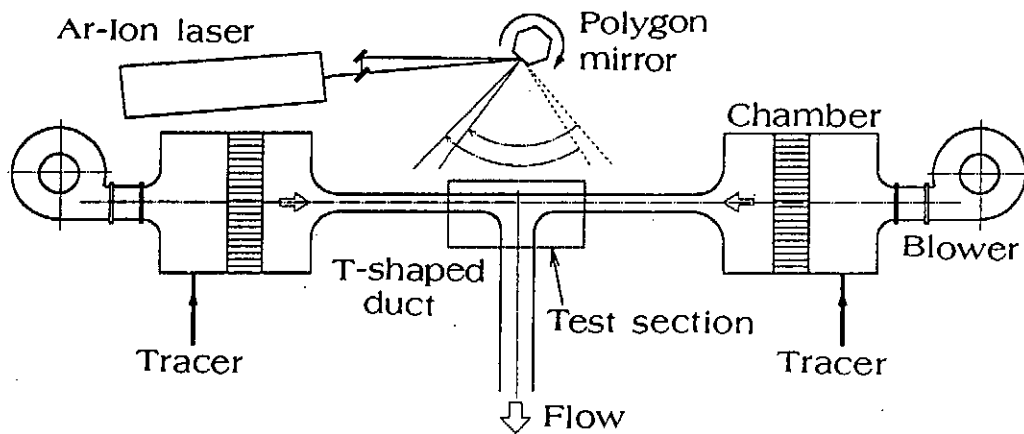


図1. デュアルビームスイープ流速計の実験装置及び光学系

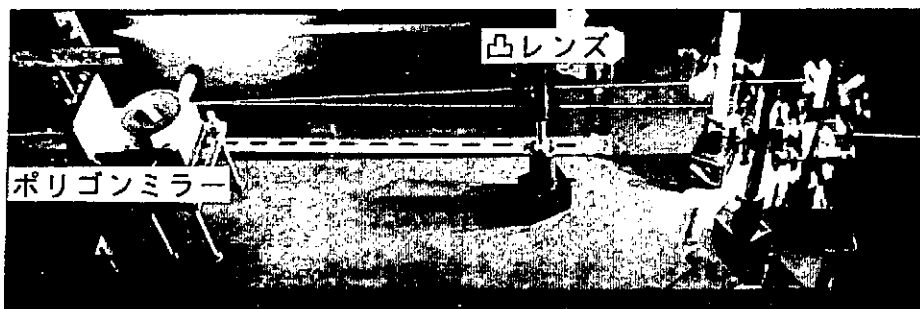


図2. デュアルビームスイープ照明の光学系

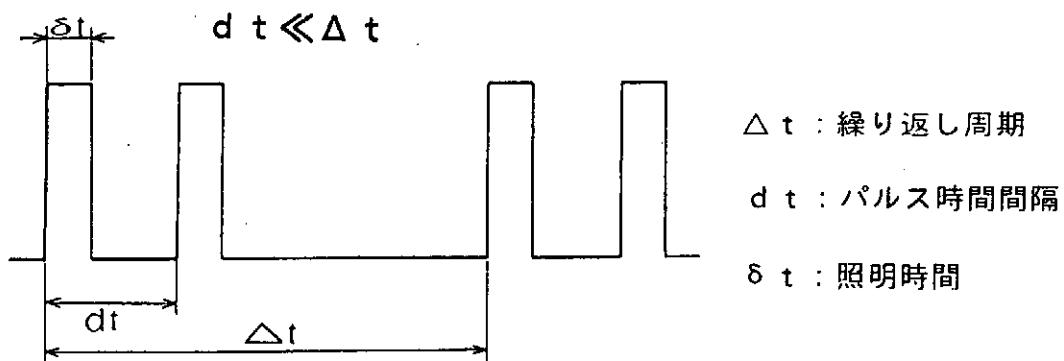


図3. デュアルビーム照明のタイムチャート

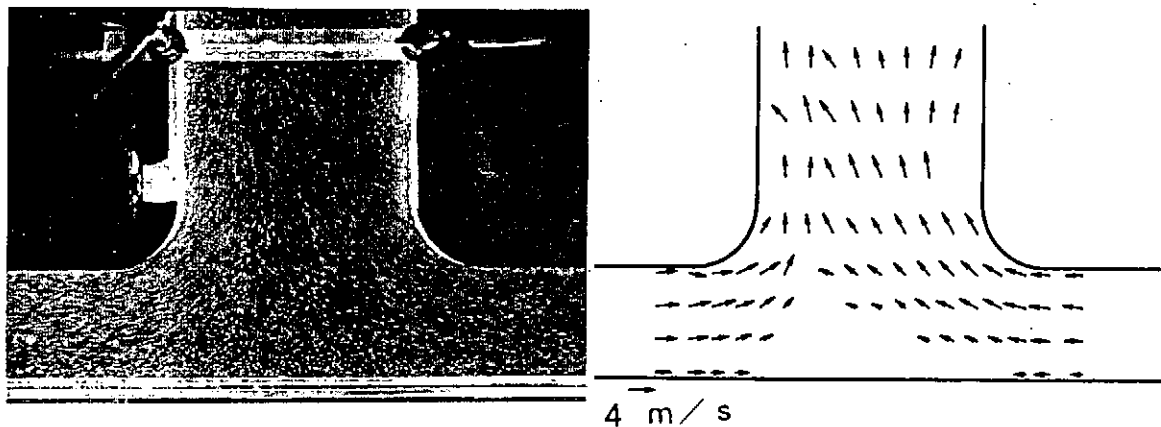


図4. スペックルグラム及びヤング縞法によるベクトル線図

カロリメータの温度測定と制御の高精度化

○岩本捷治, 西脇醇, 白江公輔 (阪大工作センター)
松尾隆祐, 崎山稔, 徂徠道夫, 菅 宏 (阪大理学部)

1. はじめに

電磁波回折 (X線、中性子線、電子線、分光分析 (赤外線、ラマン)) や磁場共鳴 (NMR、ESR) とならんで熱測定による構造変化や構成原子の運動状態の変化にともなう生ずる熱量変化の測定は物質の構造研究では欠かすことができない手法である。構造解析の精度を向上するためには、いずれの方法においても試料温度の高精度な制御が必要となるが、なかでも、熱測定においては非常に高精度の温度計測や制御が求められる。本報告では、阪大理学部熱学グループが開発試作した種々のタイプのカロリメータの計測制御回路の製作をつうじて得られた、回路の作動特性の測定結果と技術的な改良点について述べる。

2. カロリメータの温度測定および制御

カロリメータとしては、現在、断熱型、恒温壁型、伝導型等の種々のタイプのものが開発され市販されているが、研究の先端的な展開にともなう測定温度、圧力、雰囲気、試料量などの測定条件の制約が益々厳しくなり、さらに測定の高精度化が望まれるので、研究者自らによる装置の開発が不可欠となる。

カロリメータの計測制御回路の製作に当っては、測定原理で設定されている熱移送が理想的に行われるようにカロリメータの各構成要素の温度を制御することと、温度を的確に敏感に検出することに最大の注意が払われる。

図1に高温槽などで一定温度に保持する場合に用いられる温度制御方式のブロックダイアグラムを示す。ブリッジで温度を設定し、サーミスタの抵抗とブリッジ抵抗とのバランスがくずれると、ヒーター電流が変化して一定温度に制御される。

図2に断熱壁による温度制御方式のブロック図を示す。試料の周囲に所定温度の断熱壁を作り、試料と断熱壁の温度差を常にゼロにするように断熱壁のヒーターに電流を流す。温度差は通常熱電対によって検出される。

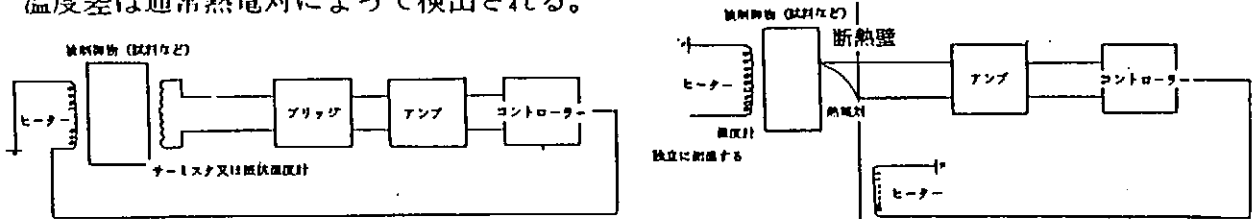


図1

図2

図3に断熱型熱量計の測定ブロック図を示す。熱電対 ($d_1 \sim d_5$) の信号に応じて断熱壁に巻かれたヒーター (c) に流す電流を制御する。図ではヒーターは1個しか示されていないが実際には内側断熱壁 (B) に3ヶ所外側断熱壁 (C) に2ヶ所の合計5ヶ所に設置され、独立に制御される。

一定温度 T_1 に保たれた試料にエネルギー ΔE を加えて、試料温度が T_2 に上昇した時、試料の熱容量 C は、 $C = \Delta E / (T_2 - T_1) = \Delta E / \Delta T$ で与えられる。

ジュール熱 (E) は、ヒーターの電流 (I)、電圧 (V) をデジボルで測定し、計算機の時計により時間 (t) を計測して、 $E = I V t$ により求める。温度測定は抵抗温度計を交流抵抗ブリッジにより $1/10^4 K$ の精度読みとることによって行う。例えば、 100Ω の抵抗温度計では $10^{-4} \Omega$ の値まで正確に測定することができる。図4に低温型熱量計の構造を示す。本熱量計で使用する試料容器を図5に示す。試料は本体内部に入れ、容器内には熱伝導を良くするためにヘリウムガスを入れてインジウムシールドされる。ヒーター熱のふく射を防ぐためにカバーが被せられる。容器の内容積は約10ccである。本装置による測定結

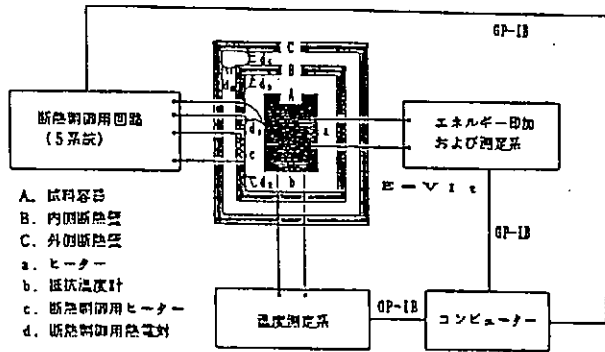


図3

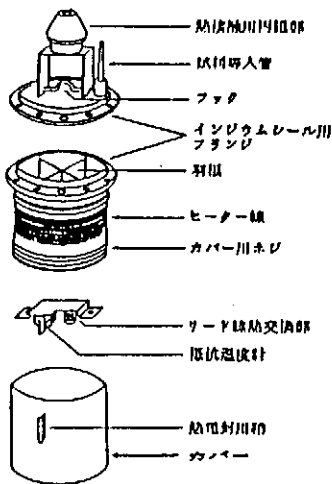


図5

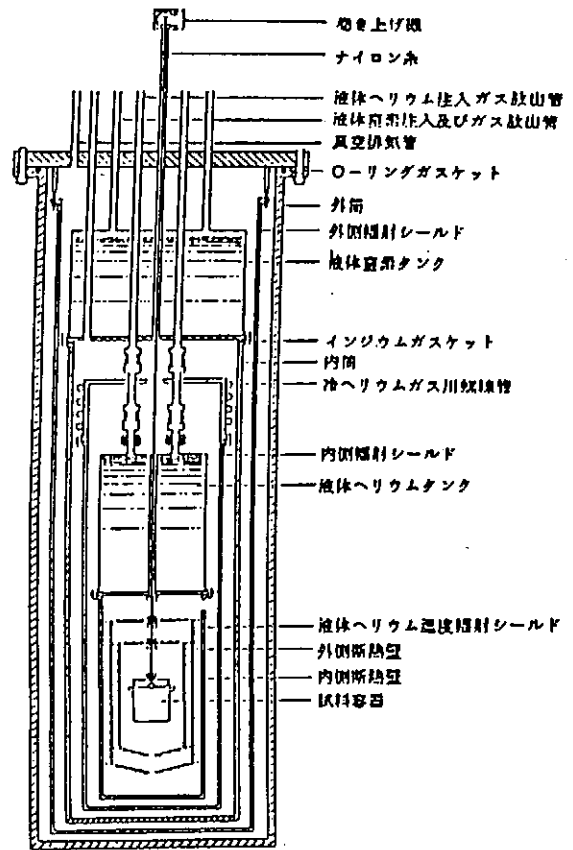


図4

果の一例として図6に酢酸メチルの熱容量の温度変化を示す。35K付近に固相間転移が、170K付近で融解現象認められた。

3. ゼロシフターの使用

図7のブロック図は図1のブロック図の熱電対とアンプとの間に直列にゼロシフターがとりつけられている。試料容器と断熱壁との温度差をゼロにすることで熱漏れを無くすることはほとんど不可能で、実際には断熱壁の温度分布は僅かであるが不均一であり熱伝導による漏れが生じる。図8には熱漏れがゼロになるようにゼロシフターで僅に断熱壁の温度を調節した結果を示す。図9に、ゼロシフトの大きさと温度ドリフト速度との関係の一例を示す。ゼロシフトすることによって任意の速度で温度調整ができる。

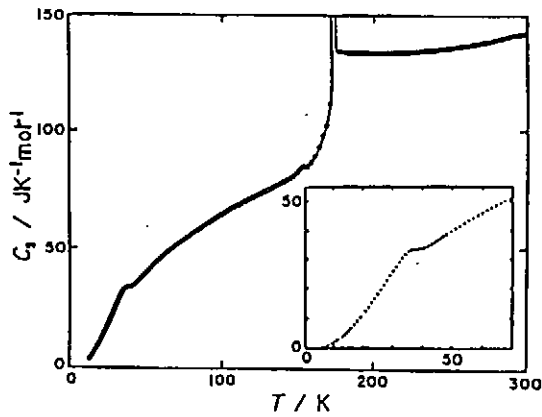


図 6

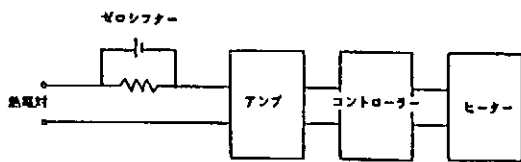


図 7

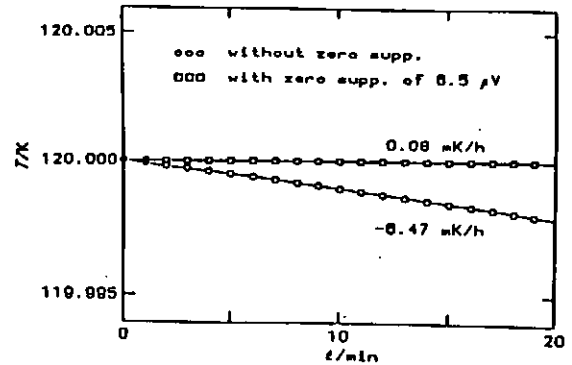


図 8

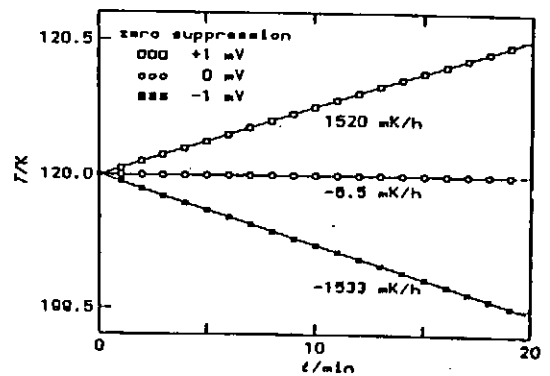


図 9

ゼロシフターには、1) トランス結合、2) 乾電池、3) 太陽電池の起電力を利用する方法が考えられる。

図10は、断熱制御中の試料容器と断熱壁間の温度差による起電力をDCアンプ (10^6)で増幅してレコーダーに描かせた、ゼロシフターを使用していない場合の一例を示す。試料容器にジュール熱を加えるためにヒーターをON、OFFした瞬間には0.002K程度の乱れが認められ、試料の温度変化は0.08mK/min.、熱電対のノイズ幅は±0.8mK程度である。

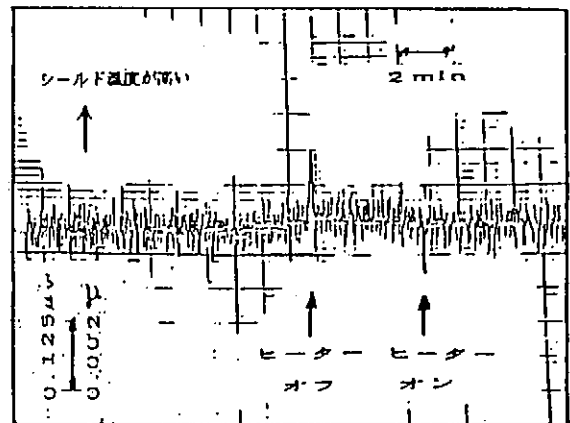


図 10

図11は、トランス結合によるゼロシフターで0.5および1.0μVシフトさせた場合の起電力変化を示す。図12は極端に大きくシフトした場合の起電力変化を示す。いずれの場合もシフト量の温度安定性やノイズレベルに対する影響はほとんど認められなかった。

図13は実際に試料容器にジュール熱を加えた場合の起電力変化を示す。ゼロシフター(トランス結合)をONにした場合若干ノイズが大きくなる傾向が認められるが、ON、OFFにかかわらず測定中のシールドの温度制御は良好であることを示している。

図14はトランス結合と太陽電池によるゼロシフターの比較を示す。太陽電池の場合はゼ

ロシフターのON、OFFにかかわらずノイズレベルは全く変化しないが、トランス結合の場合はONにすると増加する傾向が認められる。

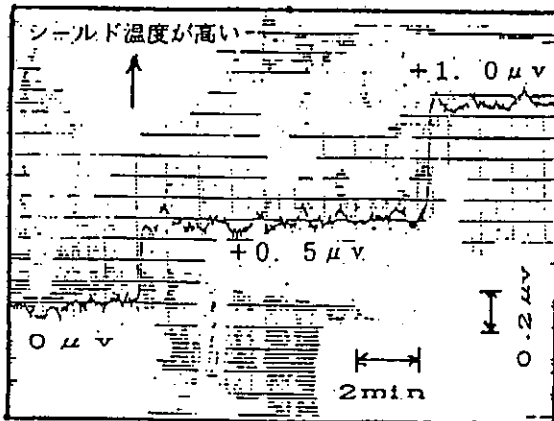


図11

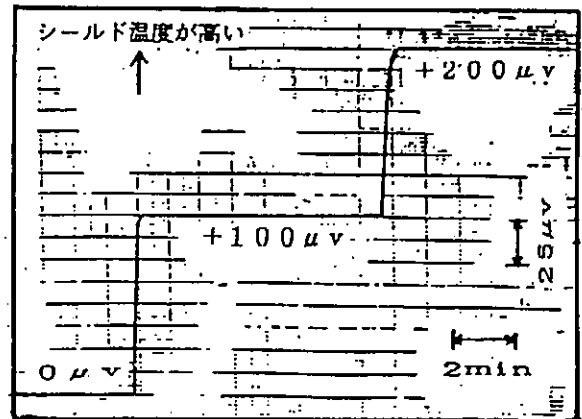


図12

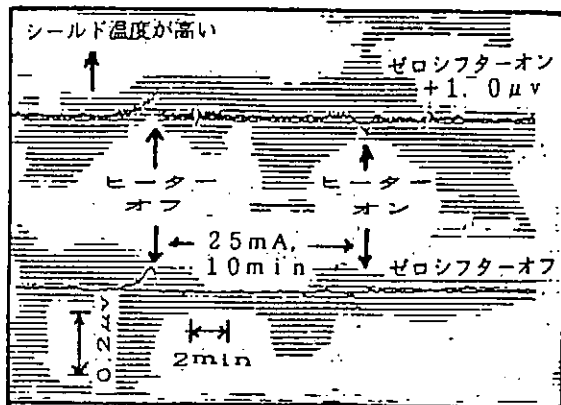


図13

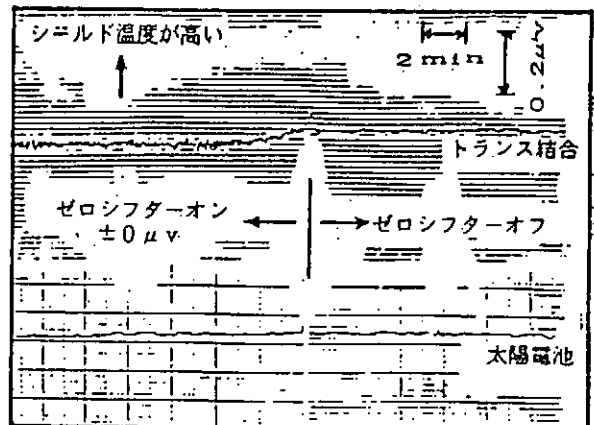


図14

4. 結言

カロリメータの計測制御回路を製作し、作動特性を検討した。理想的な温度移送が行われるように注意深く設計されたカロリメータにおいては、温度移送の精度は温度センサーのノイズ幅で支配される。センサーのノイズは $\pm 5 \text{ nV}$ 程度が認められたので、温度移送は300Kでは $\pm 0.03 \text{ mK}$ 、20Kでは $\pm 0.20 \text{ mK}$ 程度の誤差で行われていると考えられる。太陽電池を利用して、半永久的な寿命をもち、外部ノイズの影響を受けないゼロシフト回路を作成することができた。

本報告に対して、貴重なデータをご提供下さり、熱心にご指導を下さいました東京工業大学小國正晴助教授、大阪大学理学部山室修助手並びに大阪大学理学部熱学グループの皆様へ深く感謝します。また、カロリメータの作製にあたり機械加工を担当された大阪大学工作センター機械工作室の各位に御礼申し上げます。

学生実験用小型熱蛍光測定装置の製作

大阪大学理学部 市原敏雄、交久瀬五雄、池谷元伺

大阪大学理学部物理学科では、平成3年度より物理学科より分かれて宇宙・地球科学科が新設される。宇宙・地球科学科においてはミクロを対象とする先端科学や先端技術を用いて、宇宙や地球の自然や生命といったマクロな現象を理解しようとしている。宇宙・地球科学科の学生も現在の物理学生実験の学生とほとんど同じ教育を受ける事になっている。従って現在の物理学生実験に加えて地球や宇宙に関する新しい実験テーマを新設する必要がある、その一つとして「TL（熱蛍光）測定」を取りあげる事になった。

熱蛍光（Thermoluminescence, TL）を測定する事により放射線線量を計測する「熱蛍光線量計（TLD）」は、広く原子力施設や原子核研究施設で一般的に利用されている。また考古遺物や地質鉱物の年代を測定する「熱蛍光年代測定」は考古学や地質学の分野で広く利用されている。食品の殺菌、発芽防止の為にγ線照射が行われているが、付着土壌の熱蛍光を測定する事によってこれらの照射の有無も知る事が出来る。また科学反応によって生じる「科学発光（CL）」は食品等の有機物質の酸化による劣化、無機物質の酸化の検出手段として用いられており、TL測定装置とほとんど同じ測定器も市販されている。

従来の熱蛍光線量測定装置では、熱蛍光の検出器として「光電子増倍管」が用いられている、また試料の加熱には大電流を直接試料ホルダーに流す「抵抗加熱方式」、ハロゲンランプの様な強い光による「光加熱方式」、

熱風を流して加熱する方式等が用いられている。このためTL測定装置は高価で機械的ショックに弱く、光電子増倍管には二次電子放出のために高電圧が必要である。我々は、学生に放射線と物質との相互作用によって生じる固体の照射効果について理解し、熱蛍光という現象の物理的過程について理解を深め、放射線の線量測定やその応用としての年代測定の原理を知ってもらうために、熱蛍光の検出部に高感度・大面積のフォトダイオードを用い、加熱部には室内で使用する装置として一般的な抵抗加熱方式を、また応用例として屋外用としてガス燃焼方式を採用した安価でショックにも強い、小型の熱蛍光測定装置を2台製作したので紹介する。

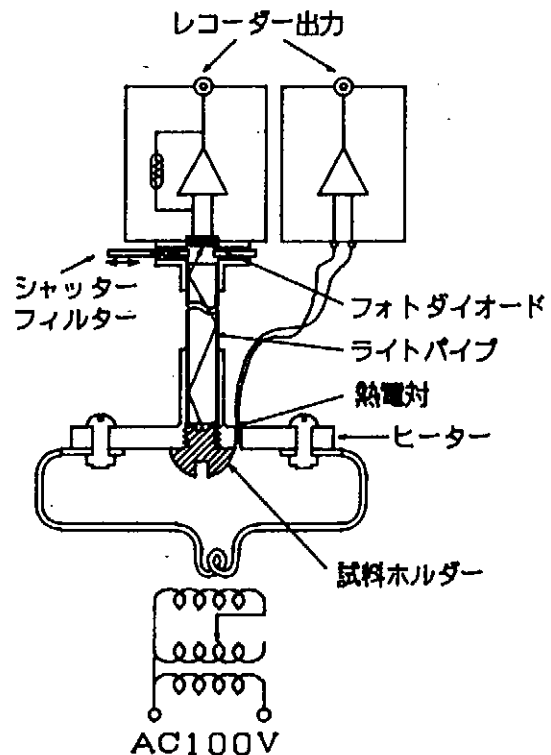


図1. 抵抗加熱方式TLDブロック図

装置

図1に抵抗加熱方式の熱蛍光測定装置のブロック図を示す。測定装置は試料加熱のためのヒーターと蛍光の検出部、並びに蛍光強度と温度のデーター処理部分からなる。加熱のための電流は手動でスライダックによってコントロールする。試料より発した熱蛍光試料温度がダイオードに伝わるのを避けるためにライトガイド（石英ガラス棒・直径8cm、長さ20cm）を用いている。熱蛍光はライトガイドによってフォトダイオード（ハママツフォトニクス社製G1117）に導かれ電気信号に変えられる。フォトダイオードはガリウム砒素リン（GaAsP）フォトダイオードで、感度波長範囲が300~680nmで、加熱による赤外線を十分に抑える事が出来る。また微弱光を測定するためフォトダイオードはゼロバイアス方式で使用している。ライトガイドとフォトダイオードの間にはシャッターとフィルターが入っていて試料交換時の光の遮断、フィルターリングが可能である。フォトダイオードからの電気信号はハイインピーダンスFET入力のおペアンプによりインピーダンス変換されDC信号として出力される。一方試料温度はアルメル・クロメル熱電対によって測定されおペアンプにより電圧増幅され出力されている。試料台の温度が設定温度より高くなるとTLR144の発光ダイオードが消灯して知らせる様になっている。現在学生実験室用としてはこの装置を使用しているが、熱蛍光と温度の出力は電圧値としてペンレコーダーに出力されると共にAD変換されパーソナルコンピューターに取り込まれデータ処理される。

図2はまったく同様のシステムであるが、屋外での使用を目的とするためAC100Vを使わず、おペアンプに必要な電圧は単一乾電池2個とDC/DCコンバーターによって得ている。また試料加熱にはガス燃焼方式を採用している。試料ホルダーと加熱部は、市販のガス熱触媒反応型ハンダゴテを改造したもので、ブタンガスの燃焼によって加熱される。燃焼ガスの外気によるゆらぎと断熱用として試料ホルダーはグラスウールによって覆われている。また通常の出力とは別に、市販のポータブルテープレコーダー録音用として1kHzでAM変調された信号も出力されている。またこの時両出力の信号強度は電圧計によって知る事が出来る様になっている。この装置は幅120mm、奥行き140mm、高さ140mmで重さは半田ごてを含めて約1kgである。

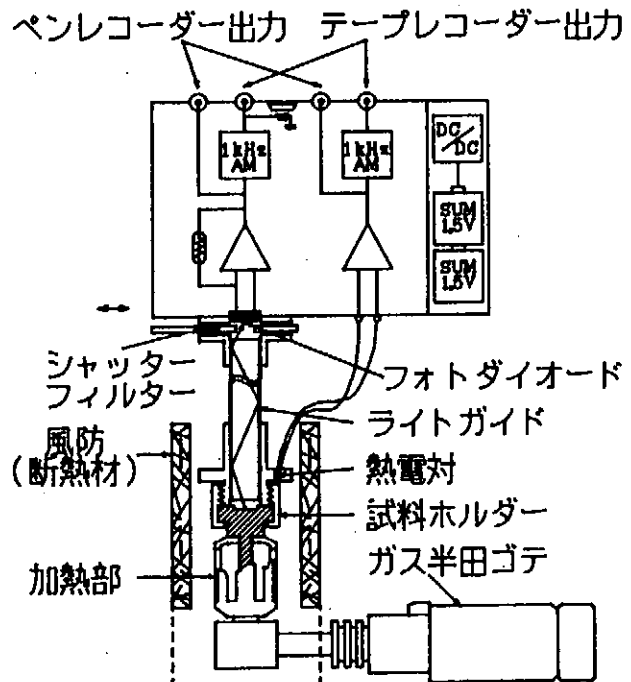


図2. ガス燃焼方式TLDブロック図

測定例

抵抗加熱法によるTL測定装置の測定例を示す。

図3はアニールした後、 γ 線照射した市販の試薬の硫酸カルシウム (CaSO_4) のTL曲線である。上の曲線は粉末にした硫酸カルシウムにガンマー線3kGを照射した試料5mgのTL曲線である。下の曲線は同様にガンマー線照射後粉末にした試料のTL曲線である。一般に結晶を粉末にする事によって欠陥が消失し発光量が減るといわれているが、この測定例は試薬の硫酸カルシウムが粉末にする事により発光信号が消えていることを示す。

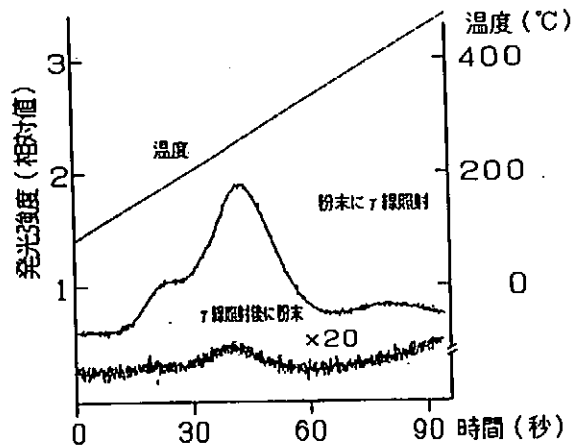


図3. 試薬の硫酸カルシウムのTL曲線

図4は現在学生実験室で使用している抵抗加熱方式のTL測定装置とパーソナルコンピュータを用いて得た天然ジルコン結晶の温度と発光強度のグラフである。

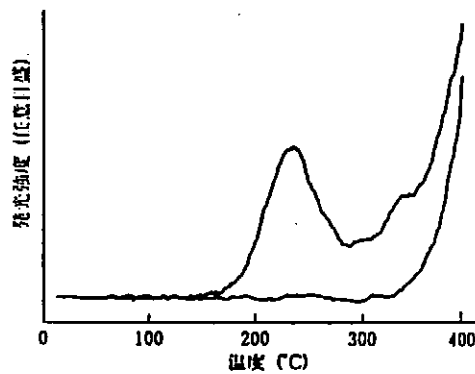


図4. 天然ジルコン結晶のTL曲線

次にガス燃焼方式によるTL測定装置の測定例を示す。

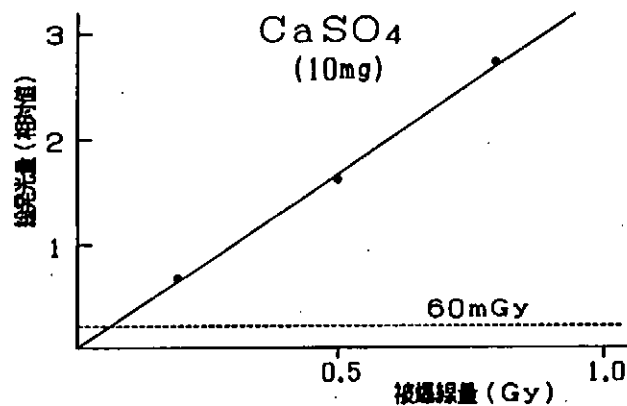


図5. 硫酸カルシウム (CaSO_4) の γ 線被曝線量と総発光量の対数グラフ

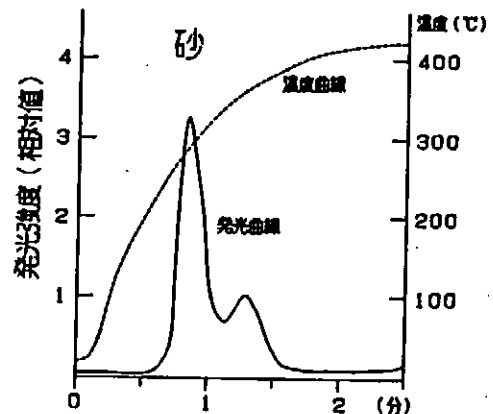


図6. 砂のTL曲線

図5は放射線被曝線量計に用いられている、増感剤を入れた硫酸カルシウム10mgを用いて得たガンマ線被曝線量(0.2Gy, 0.5Gy, 0.8Gy)と総発光量のグラフである。この直線から求めた装置の測定限界は60mGyであった。

図6は大学構内で採取した砂の熱蛍光曲線である、おそらく石英と長石の信号であろうと思われる。

おわりに

この装置は、光電子増倍管を使用した市販の装置に比べて感度的には現在のところ劣っているが、集光装置の改良、サンプルサイズの増加等によって同等の感度が見込まれる。ここに紹介した装置は、温度上昇率の蛍光線量に対する補正法を学生に考慮させるために温度上昇率を一定にする方式を採用しなかった。またガス燃焼方式のTL測定装置は小型ガスボンベからのガス供給によって短時間で試料を加熱する事ができ、光検出にフォトダイオードとハイインピーダンス直流増幅器を用いる事によって電池電源で操作可能であり、構造が簡単であるので生産現場やフィールド等離れた環境でも使用でき、価格的にも安価であるので、教育現場を含めた多くの分野での使用者の増加が期待される。もっと小型軽量にすることによって、将来、月面や惑星上の試料の測定においても無人遠隔熱蛍光測定器として宇宙探査にも利用できるであろう。

ポッケルセル・ドライバーの製作

分子科学研究所 装置開発室 吉田久史

1. 概要

モードロックNd:YAGレーザの出力光パルス列から、光強度の均一な光パルスを切り出すためのポッケルセル・ドライバーを製作した。このドライバーは、高速高圧パルスを発生するためのアパランシェ・トランジスタ(以下ATrと略す)による高圧スイッチング回路とレーザ発振器の出力と同期を取るためのトリガ発生回路で構成されている。ここでは、Nd:YAGレーザの光パルス抽出システムの概要、ATrの特性、それに高圧パルス発生回路の実験結果について報告する。

2. 光パルス抽出システム

分子科学研究所の基礎電子化学部門では、Nd:YAGレーザに強制および受動モード同期と半導体による強度負帰還を施すことにより強度の均一なピコ秒の光パルス列を得ている。この光パルス列は、パルス間隔約11nS、持続時間約700nSである。しかし、パルス列の立

ち上がりから約150nS間の光パルスは、強度が大きくかつ不安定な発振となる。Nd:YAGレーザの出力は、パラメトリック発振などの光源として利用されるが、このとき強度の強い光パルスは光学素子にダメージを与える心配がある。このために、強度の安定な部分のみを光シャッターにより取り出すことが行われる。

図1に光パルス抽出システムを示す。光パルスの抽出は、偏向板とそれに挟まれたポッケルセル(以下PCと略す)により行う。PCはKD*Pという結晶が使われ、レーザの発振波長(1.06μm)に対してλ/2電圧は約6KVである。このシステムではPCを2個使うことで、それぞれに必要な電圧を約3KVとしている。この高圧パルスは、高圧スイッチング回路によりPCの電極に供給される。

PCに印加する高圧パルスのタイミングを作るために、レーザの出力の一部をビームスプリッタにより取り出し、PINフォトダイオードで電気信号に変え

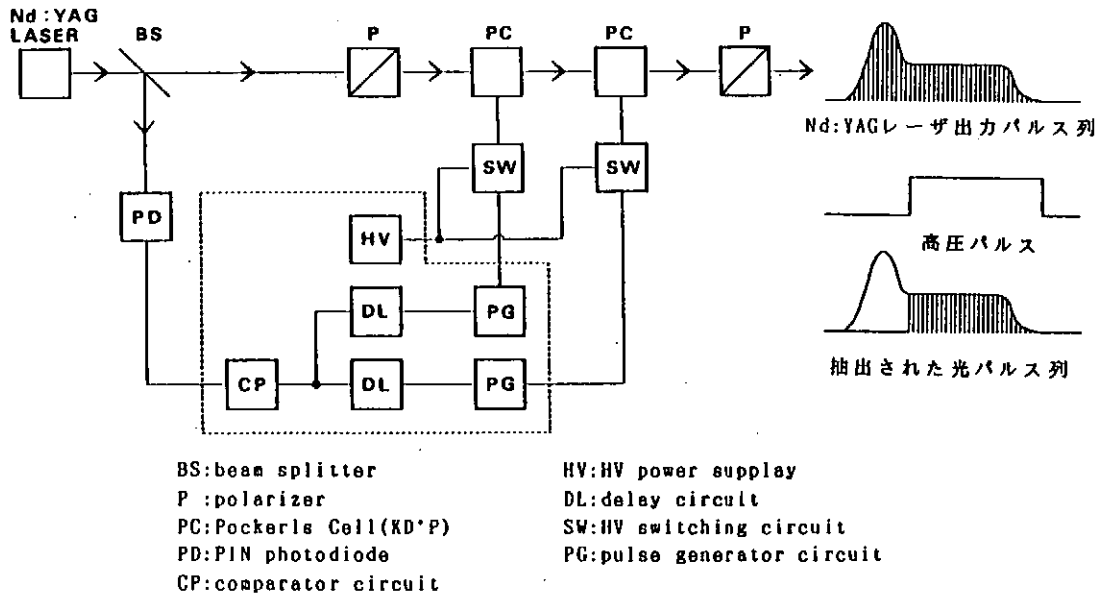


図1.モードロックNd:YAGレーザの光パルス抽出システム

ている。この信号は、コンパレータ(A D9685BD Analog Device)によりECLレベルに変換されタイミング調整のためのディレイ回路に送られる。ディレイ回路からの出力パルスは、MOSクロックドライバー(MMH0026 Motorola)により高圧スイッチング回路へのトリガパルスを生成する。

3. 高圧スイッチング回路

PCに印加する高圧パルスは、電圧振幅約3KV、立ち上がり時間10nS以下、パルス幅550nS以上、繰り返し10Hzが必要である。高圧スイッチング回路を図2に示す。高速スイッチング素子としては、クライトロン、サイリスタ、ATrなどがあるが、ディレイ、寿命、入手の容易さなどを考慮してATr(2N5551 Motorola)を使用した。アバランシェ動作をするトランジスタの中でも、2N5551は比

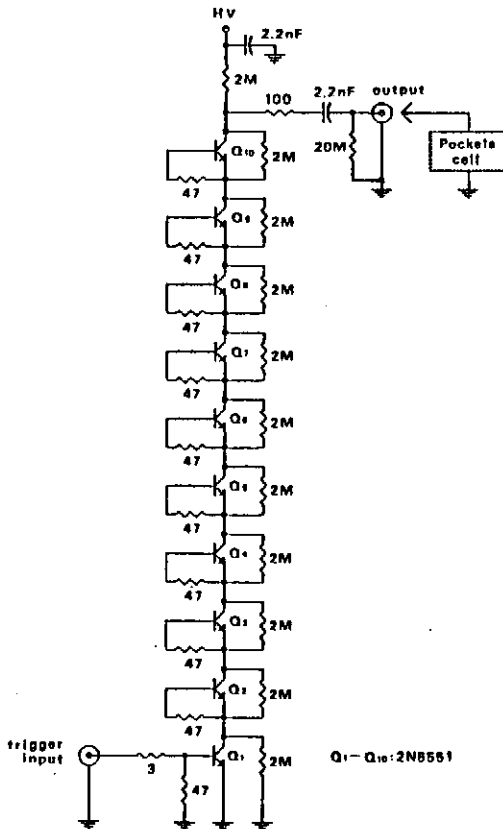


図2. 高圧スイッチング回路

較的高い電圧(300V程度)でアバランシェ動作を起こす。従って、3KVの電圧を

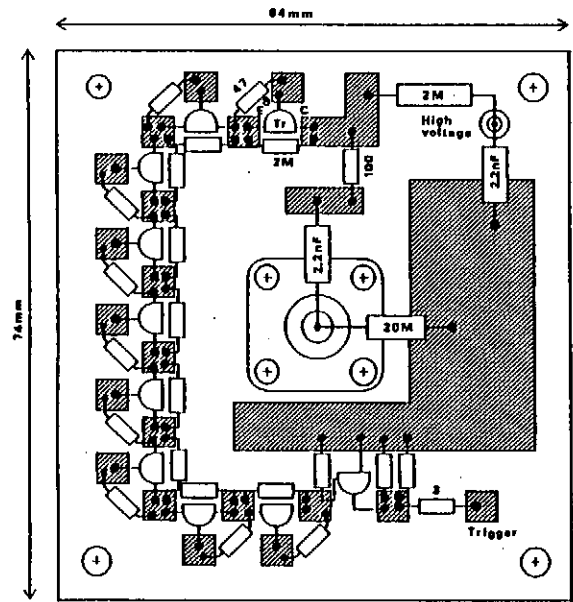


図3. 高圧スイッチング回路基板

スイッチングするために必要なトランジスタの数は10個となる。

ATrによるスイッチング回路とPCの間にあるコンデンサ(2.2nF)は、直流成分を遮断するためのもので、これによりPCは通常グランドレベルにある。そしてATrがトリガされたとき、PCには-3KVの電圧が印加される。トランジスタがオフになると、PCの電極の電圧は、コンデンサ(2.2nF)と負荷となるPCの容量(約30pF)の合成容量(2.2nF//30pF)と充電抵抗2MΩによる時定数を持つexp関数で上昇する。このコンデンサと直列に入っている抵抗(100Ω)は、トランジスタに流れる放電電流のピークを制限するための抵抗である。これによりATrの寿命を延ばすことができると考えられる。また、この抵抗と前述の合成容量との時定数で高圧パルスの立ち上がりが決まるために、この抵抗値は回路に許される立ち上がり時間の範囲で選択する必要がある。

製作した高圧スイッチング回路の基板を図3に示す。回路は64mm×74mmのガラスエポキシ基板に製作した。基板の片側は、部品をはんだ付けするための島状の部分を残して銅箔を削り取り、もう一方は全面アースにしてある。回

路の出力インピーダンスが高いので容量性の負荷を少なくしたいことと、インピーダンスの不整合による反射の影響を抑えるために、高圧スイッチング回路と負荷の距離はできる限り短く配線する必要がある。そこで高圧スイッチング回路とPCを、プリント基板の中央にあるMHV型コネクタからMHV-HNの変換アダプタを通して直接接続できるように設計した。この基板は75mm×95mmのアルミケースに納められ、トリガパルスと高圧電源は同軸ケーブルで外部から供給される。

4. アバランシェ・トランジスタの特性

アバランシェ動作の開始電圧は、同じ品種のトランジスタの中でも個々にばらつきがある。このためにテスト回路を製作してトランジスタの選別を行った。図4にATrのテスト回路を示す。また、測定したテスト結果を図5に示す。

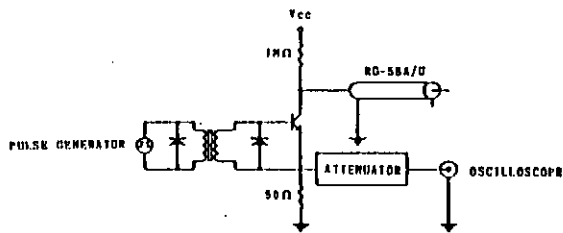


図4. ATrのテスト回路

図5(a)は任意に3個のトランジスタを抽出し、供給電圧と出力パルスのディレイの関係を測定したものである。また、図5(b)にはトリガ電圧とディレイの関係を示した。ATrのディレイは、供給電圧(電流)やトリガパルスの振幅によって大きく変化するために注意する必要がある。図5(c)は、トリガパルスの振幅を一定にして100個のトランジスタについてアバランシェ開始電圧を測定したものである。2N5551の場合には、アバランシェ開始電圧はおよそ220V~275Vの範囲でばらつきがある。このためにATrを直列接続して使用する場合、ATrの特性を揃えないと出力パルスの立ち上がりを悪くする。高圧スイッチン

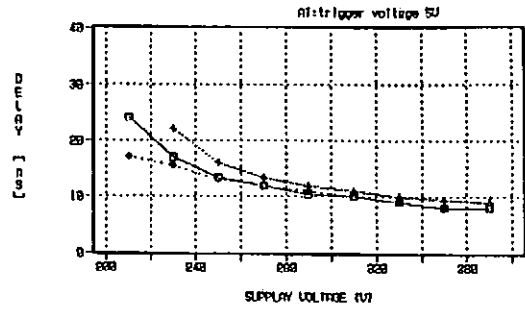


図5. (a) 供給電圧-ディレイの特性

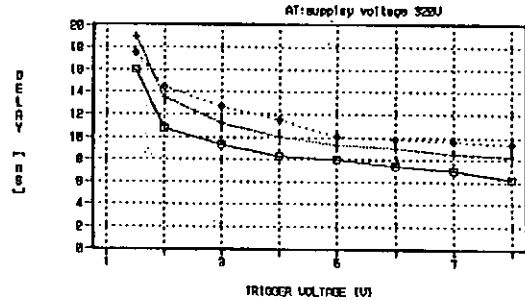


図5. (b) トリガ電圧-ディレイの特性

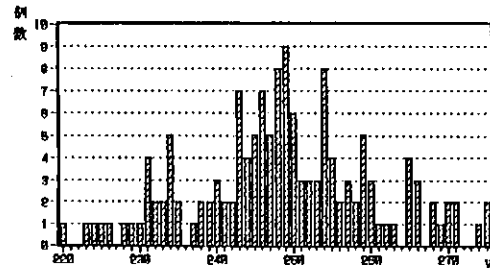


図5. (c) 2N5551のアバランシェ開始電圧測定回路は、この中からアバランシェ開始電圧のよく揃ったものを10個選択して製作した。

5. 結果

図6にPCに印加された高圧パルスの波形を示す。これは図1のシステムにおいて、Nd:YAGレーザに代えてCW He-Neレーザを使用して切り出された出力光をPINフォトダイオードで観測したものである。この場合、He-Neレーザの発振波長は $0.633\mu\text{m}$ なので使用したPCは1段である。PCは、モデル1074WA(Lasermetrics)を使用している。図6(a)は、高圧スイッチング回路への供給電圧を変えたときの出力波形である。また、図6(b)は、供給電圧2.7KVのときの出力パルスを時間軸を変えて観測したものである。供給電圧を上昇するに従い、デ

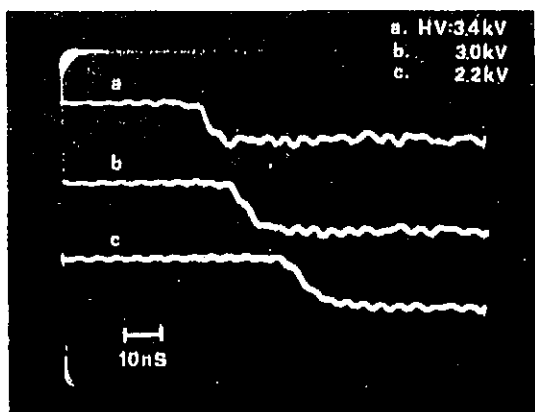


図6. (a)高圧パルスの観測波形
(供給電圧を変えて観測)

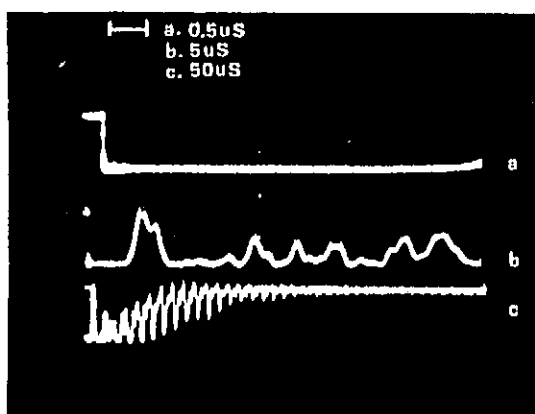


図6. (b)高圧パルスの観測波形
(時間軸を変えて観測)

イレイが短縮されている様子が分かる。パルスの立ち上がりは約10nSで、立ち下がりには約150 μ Sである。いずれも計算値とほぼ一致する。また、出力パルスを100回繰り返して観測した結果、高圧スイッチング回路のジッタは約 \pm 1nSであることが分かった。

図7は、モードロックNd:YAGレーザの発振波形と光パルス抽出システムにより切り出された光パルス列である。光パルス列の立ち上がりの光強度の不安定な部分(約150nSの間)が取り除かれて、強度の均一なパルス列を得ているのが観測できる。ATrの寿命に関しては現在テスト中であるが、ATrに関する報告¹⁾の中から 10^7 ショット程度が期待される。

6. まとめ

ATrを使ったPCのドライバーは、安定

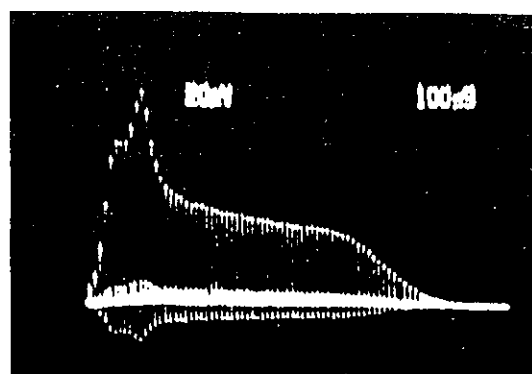


図7. (a)Nd:YAGレーザの出力光パルス列

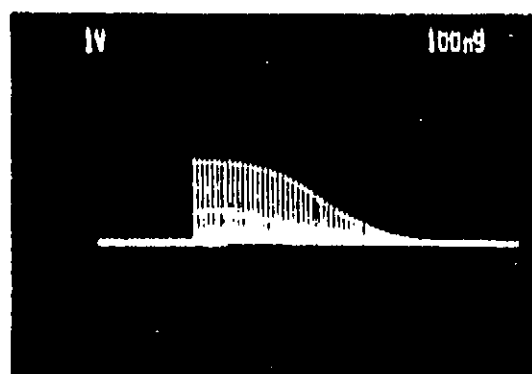


図7. (b)光パルス抽出後のパルス列性が高く長寿命であるために多くのレーザシステムで使用されている。その応用は、光パルスの抽出装置ばかりでなくQスイッチや再生増幅器としても利用可能である。しかし、ATrの選別には多くの時間を費やすために、より簡単なトランジスタの選別方法やアバランシェ開始電圧の高いATrを探し出すことが望まれる。

最後に、今回製作したポッケルセル・ドライバーのテストにあたり御協力頂いた分子エネルギー変換研究部門の客員助教授クベチェック氏と基礎電子化学部門の熊崎技官に感謝致します。

参考文献

- 1) S. J. Davis, J. E. Murray, D. C. Downs, and W. H. Lowdermilk Applied optics, Vol. 17, No. 19, 3186 (1978)

激光XII号ガラスレーザー装置の高調波高モニターの性能向上

大阪大学レーザー核融合研究センター

鈴木和浩、漆原新治、金辺 忠
 実野孝久、中塚正大、中井貞雄

<まえがき>

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（12 μ m / 30KJ / 55TW）を用いて、第2高調波光（0.53 μ m）によるターゲット爆縮実験が実施されている。近年、爆縮実験に於いてレーザー照射の均一性が重要視されるようになり、これにともない照射エネルギーバランスの計測精度の向上が望まれている。現在の高調波光モニター（SHM）にはいくつかの問題点があり、これ以上のエネルギーバランスの向上には改良が必要となった。

ここでは現在のSHMの問題点及びその対策として行った高速高耐圧ゲート回路の開発について報告する。

<高調波光モニターの問題点>

現在使用しているSHMは図-1に示すような構成になっている。KDP結晶によって発生した第2高調波光（ 2ω ）はKDPセルの出射窓によって部分反射され最終ミラー後方に設置されたセンサー部に入射される。この入射光はセンサー（パイプレナー光電管）によってO/E変換され、高周波ケーブル（10DH-FB）によりゲート付ADコンバーター（CAMAC）に導かれデジタル変換される。爆縮実験を行う場合KDP出射窓の反射光以外にターゲットからの反射光が10ns後に高調波光モニターに入射される。このターゲット反射光はKDP反射光の2~5倍の強度がある。

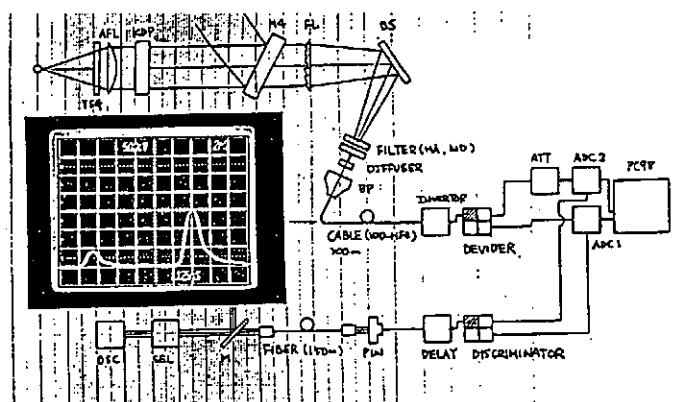


図-1

第1の問題はこのターゲット反射光によるADコンバーターの誤動作である。使用しているADコンバーターはレクロイ社のゲート付ADコンバーター（Type 2249w）で入力電圧は+2Vまでである。ターゲット反射信号はこの2Vを越える領域にあり、ADコンバーターへの入力過剰となりカウント値が異常を示す。図-2に示すようにターゲット反射が無い場合はADCはKDP反射光に比例したカウントを出力するが、ターゲット反射光が有る場合

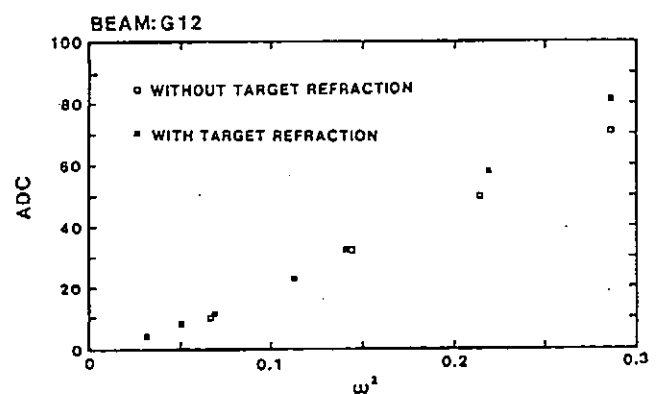


図-2

ターゲット反射信号電圧が2Vを越すとADCのカウン트는KDP反射光に比例しなくなる。現在は爆縮実験時にターゲット反射光信号が2Vを越さないようにセンサー入射光を減衰させて制限している。これによって誤動作は防がれているが本来測定すべきKDP反射信号も減衰するためADCによるKDP反射光の測定精度も低下している。

第2の問題はADCのカウン値が0点を通らない直線出力となる事である。KDP反射信号のみをADCでカウントさせるためADCに内蔵されたゲートによりターゲット反射を排除しているが、KDP反射光信号のADCに対する入力タイミングがゲートOFFぎりぎりになっている。この様な状態でADCを使用すると図-3に示すように入力に対する出力カウンは0点を通らない直線出力となる事が分かった。この0点ズレはゲート駆動信号のタイミング変化により変動するため頻りにタイミングチェックやエネルギー校正を行わなくてはならず安定性に不安があると共に校正作業による労力と時間が問題となっている。

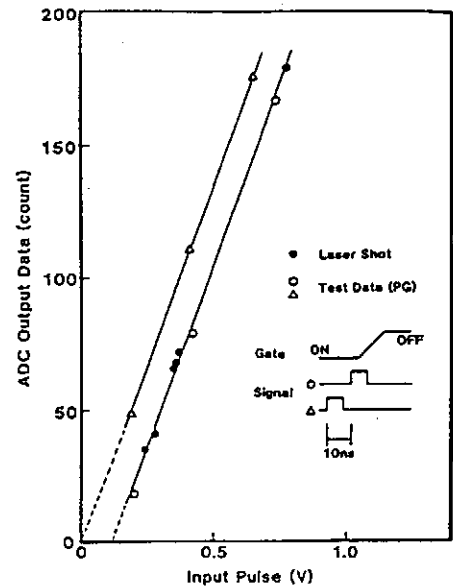


図-3

以上2つの問題点を解消する事によって精度の向上見込まれる。

<高速高耐圧ゲート回路の開発>

SHMの持っている2つの問題点の解決にはターゲット反射信号の除去が必要である。これを除去できればKDP反射光信号をADCゲートぎりぎりに入れずに済むと共にターゲット反射信号による誤動作も発生しなくなる。そこでKDP反射光のみをADCに入力させる高速高耐圧ゲート回路（以後ゲート回路）を開発した。回路仕様としてはSHMの測定精度向上のためADCの入力定格いっぱいの2Vと考えこの入力でのターゲット反射信号は4~10Vとなるのでゲート回路の入力耐圧は10Vとし、スイッチング時間は信号間隔が10nsであるので3ns以下とした。この仕様に合う素子がM/A-COM社から発売されていたのでこれを使用して回路を構成した。使用した素子はGaAsFET3つをハイブリット化したMA4GM201-2000である。図-4にこの素子を使用したゲート回路の回路図を示す。このゲート回路の駆動には0~-7Vの駆動信号が2つ必要である。この駆動信号により信号ラインに直列には入ったFETスイッチと並列には入ったFETスイッチを反転動作させてスイッチングを行うようになっている。実際の回路ではドライブ回路の簡素化のためFETスイッチにバイアスをかけて駆動信号を0~+7Vとして動作させる。駆動信号発生のためのドライバー回路を図-5に示す。入力ゲートパルスはNIM規格のディスクリミネータ821(Lecroy)の出力信号で50Ω/-16mAである。入力ゲートパルスはコンパレータ(PS9685)によってECLレベルのパルス信号に変換される。このコンパレータの出力を2つに分配してそれぞれを高速OPアンプ(CLC201AI)によって+10倍、-10倍に増幅すると共に入力でオフセッ

トをかけて出力では0～8Vを得ている。この信号では直接FETスイッチを駆動するだけのパワーがないので高速のV-MOS型FETによって電流増幅して駆動信号としている。

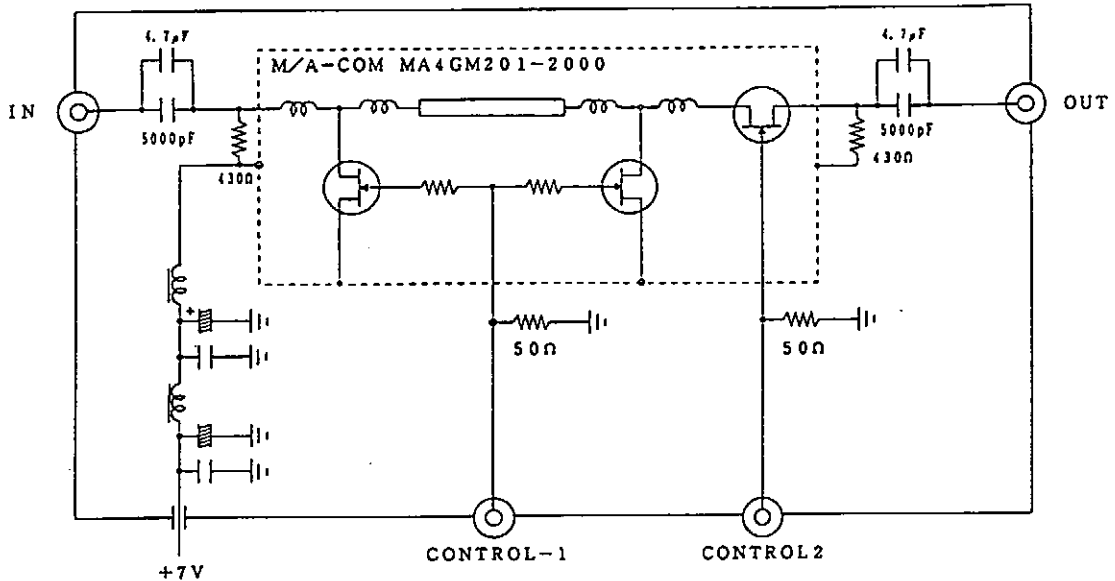


図 - 4

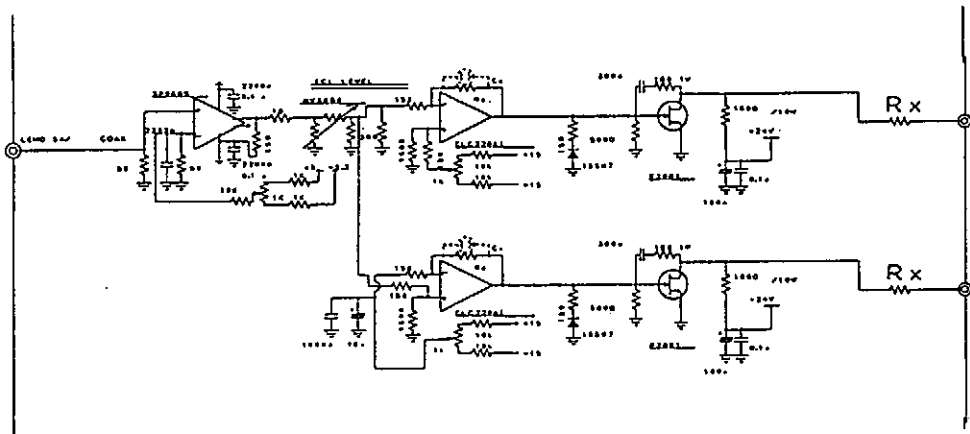


図 - 5

< ゲート回路の特性試験 >

FETスイッチ回路とドライブ回路を組み合わせて動作させ以下の特性を取得した。

① 応答特性

入力に長い方形波パルスを入力して短いゲートパルスによって切り出された波形を観測して応答特性を測定した。

図-6に示すように応答時間は立ち上がり時間1.97ns、立ち下がり時間1.92nsで仕様を満足した。

② 直線性

ゲート回路の入力と出力の関係を測定して直線性を測定した。図-7に示す様に入力に対して出力は直線になっていた。直線性は約2%であったが測定系の精度が2%であるため実際の直線性は2%以上有ると思われる。

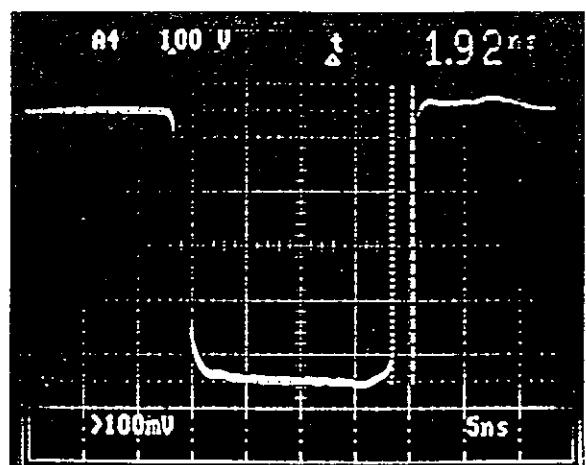
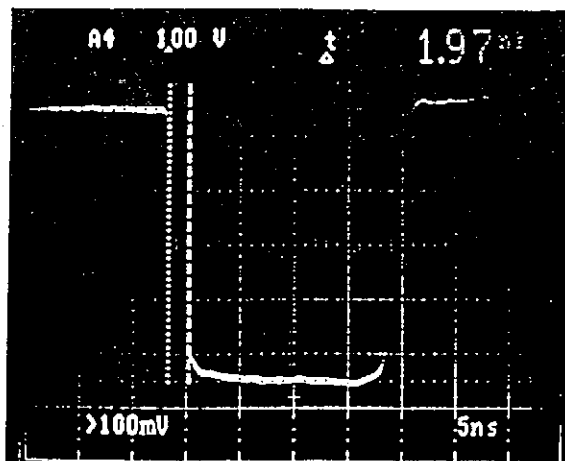


図 - 6

③ アイソレーション

入力信号を入れてゲート ON 時とゲート OFF 時の出力を測定してアイソレーションを測定した。アイソレーションは測定系の測定限界 (-47 dB) となり正確な値は出なかったが測定限界値は設計仕様以上であったので仕様を満足している事は間違いない。

④ 出力安定度

電源 ON から 1 時間の出力を測定して安定度を求めた。この結果電源 ON から 20 分間、出力にドリフトが観測された。これはドライブ信号の電圧変動により FET スイッチの ON 抵抗が変化しているためで原因は OP アンプの電源電圧変動によるオフセットドリフトのためであった。電源をデュアルトラッキング電源に代えると 5 分以内に安定した。

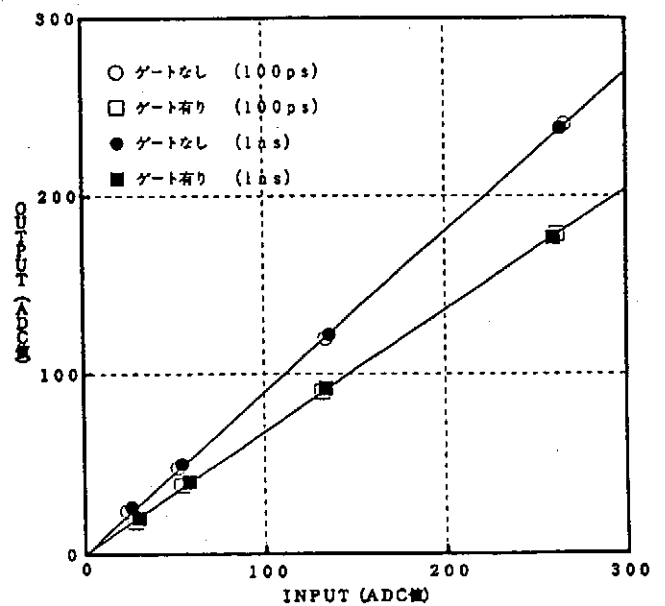


図 - 7

<まとめ>

特性試験においてはほぼ仕様に合った性能が得られ、応答時間 2 ns 以下、アイソレーション 47 dB 以上、直線性 2% 以下のゲート回路が実現できた。今後、電源の改修及び 12 回路の調整及び試験を行って爆縮実験への導入を実施する。

激光X II号ガラスレーザー装置のレーザー波形制御

大阪大学レーザー核融合研究センター

○森尾 登、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X II号ガラスレーザー装置¹⁾ (最終口径350mmφ、ビーム数12、波長 ω :1.053 μ m、最大出力30kJ)を用い、レーザー波長をKDP結晶により0.53 μ m (2ω)あるいは0.35 μ m (3ω)に変換して、レーザー核融合実験を行っている。現在まで、様々な爆縮実験が行われており、また同時にスーパーコンピュータを用いて、良い実験データを得るためのシミュレーション実験も進められている。そのシミュレーション結果から、レーザー波形が現在のガウス波形(パルス幅:100ps~1ns)より、ピーク部分が平たく長いフラットトップパルス(パルス幅:>1.5ns)や、強度がゆるやかに立ち上がるテーラードパルス等が要望されてきた。そこで激光X II号では、パルスを重ね合わせるパルススタッキング方式^{2) 3)}を用いてこれらのパルスを発生させた。

2. パルススタッキング

現在最も要望されているレーザーパルス波形は、 2ω 、850Jのフラットトップパルス波形である。この波形を得るために発振段出力の波形をスーパーコンピュータで計算した結果、図1のようにしなければならない事が分かった。この発振段出力の波形を発生させるため、激光X II号では発振器出力をミラーで分割し、各光路間で強度と光路差をつけた後、再度合成するパルススタッキング方式を採用している。図2にパルススタッカーの配置図を示す。

ここで、 $\lambda/2$ 板とポライザーは、強度比を任意に変更し、フェーズシフターは、 piezo素子を用い、ガラス板を傾けることにより光路長を微妙に変化させて各光路間の位相差を変えるものである。パルススタッカーでの合成波形は、単純なパルス強度のたしあわせにはならず、位相干渉効果により環境変化で様々に変化する波形が得られる。図3に位相干渉効果と周波数チャープ現象を含んだ波形合成

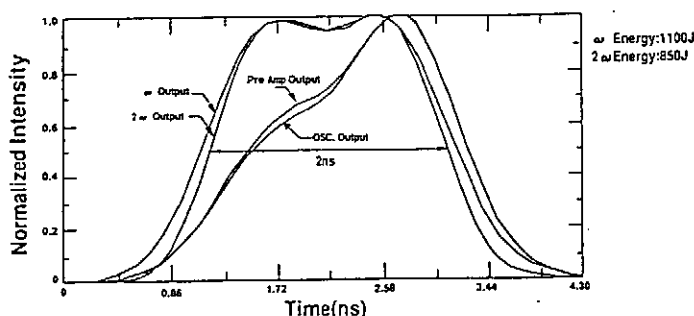


図1 フラットトップパルス発生計算

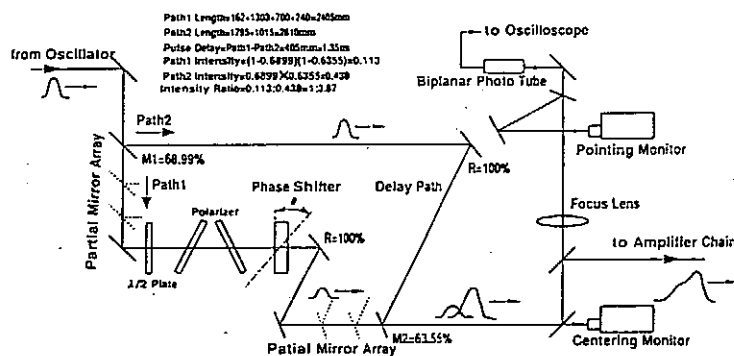


図2 パルススタッカー配置図

の計算結果を示す。この図で、各図の中の細い線は、先ほど得られた発生させたい発振段出力の波形を示し、太い線が各パルス間で位相差が有るときの周波数チャープ現象を含んだ波形を示す。各図の位相ズレは、横方向に $1/16\lambda$ ($0.65\mu\text{m}$) づつ変化させている。この計算をする事によって、発生させたい発振段出力波形に近い波形を見つけ、発振器のパルス幅、パルスデレイ、強度比を決定する。

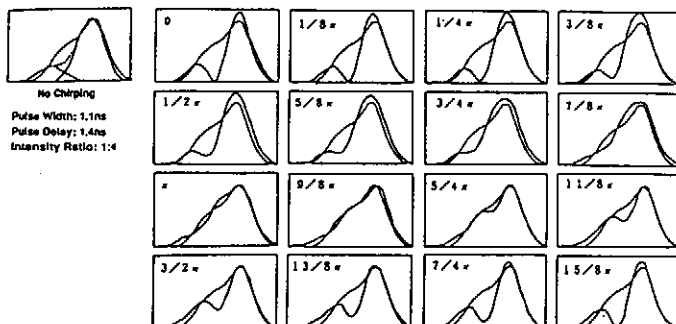


図3 周波数チャープを含んだパルス合成計算

図4は、実際にパルススタッカーを配置し、フェーズシフターによりパルス間の位相を変えた時の波形変化を示す。横軸は、フェーズシフターを動かしているピエゾ電圧を表し、縦軸はある波形時刻の強度変化を表している。図中の丸は、波形のピーク強度変化、四角は、波形の変化の激しいフェーズ調整位置の強度変化を示す。このように、図3の計算結果と非常に良くあった波形変化が得られている。この波形変化は、環境変化にともなって、時間と共にランダムに変化しているため、一定の波形を維持するためには、常にオシロスコープおよびストリークカメラで波形を観ながら、ピエゾ電圧を調整しなければならない。

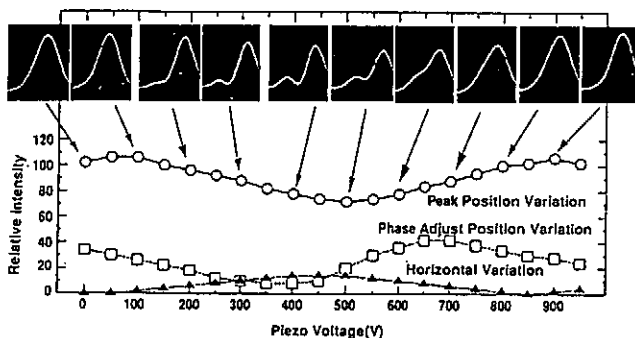


図4 ピエゾ電圧に対する波形変化

3. 波形調整の自動化

波形を安定に供給するため、画像処理を用いた波形調整の自動化の開発を行った。図5に自動波形調整システムを示す。自動波形調整方法は、オシロスコープの画面をCCDカメラでパソコンの画像処理器に取り込んでオシロの波形を解析し、その波形変化に応じてD/A出力を変えてピエゾ電圧を調整する。図6に詳細な自動波形調整のフローチャートを示す。

まず、波形を取り込んだ後、各時間軸ラインごとに最も輝度の強い位置をさがして、波形のプロファイル

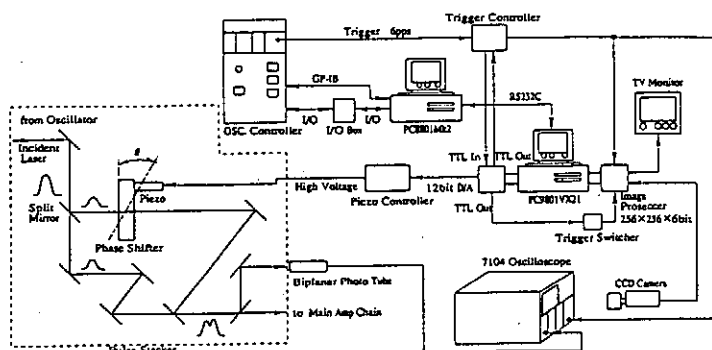


図5 自動波形調整システム

を作る。そのプロファイルから、グランド位置、ピーク位置、波形の変化の激しいフェーズ調整位置の強度を得て、ピーク位置とフェーズ調整位置の比を求め、あらかじめ設定してある発生させたい波形のその比と比較する事によって、ピエゾ電圧を調整する。同じ波形が20回連続で発生したなら調整を終了し、レーザーショットを行う。この波形確認処理は、約1秒間に1回の割合ですることができる。

4. 自動波形調整の安定性

図7に自動波形調整有無の場合の短期での波形変化を示す。上図は調整無し、下図は自動調整有りの波形変動を示す。横軸は時間で、5分間のデータを示し、縦軸は、強度である。丸がピークの強度変化を表し、三角がピークの時間軸の位置変化を示している。このように調整無しの場合では、徐々に波形が変化しているのに対し、調整有りの場合では、ほとんど波形が変化していない事が分かる。位相調整安定度としては、 $\lambda/34$ 以下が得られている。この安定度は、制御系のCCD読み取り画素数の荒さによって決定される。図8は、図7と同様に1時間の長期の波形変化を示す。上図の調整無しの場合では、縦軸のスケールが5倍になっており、波形変化が大きく、最終の波形は最初の波形と全く異なっている。下図は、自動調整を行っている場合であるが、1時間後も初期設定と同じ波形が得られている。この事から、自動調整が十分実用的である事が示された。

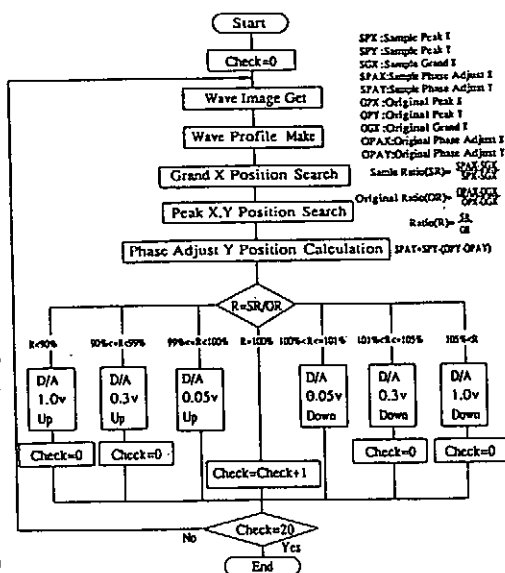


図6 自動波形調整フローチャート

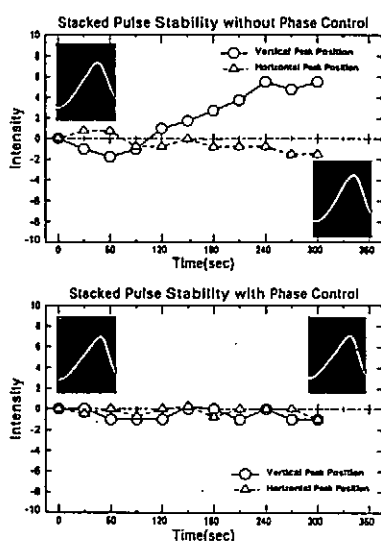


図7 スタックドパルス短期安定性

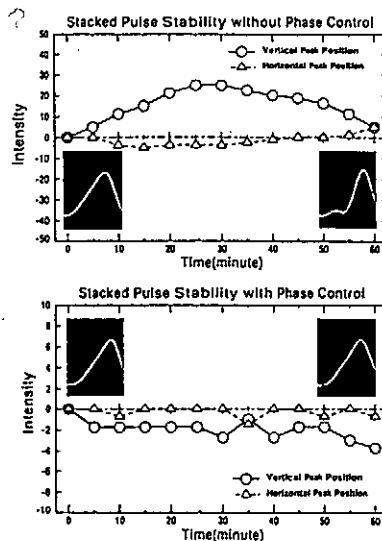


図8 スタックドパルス長期安定性

5. 自動波形調整の実用化

このシステムを用いて、自動波形調整を稼働させ、実際の高出力ショットを行った結果を図9に示す。左のオシロ写真がショット時の発振段出力の波形を示し、右の写真が2 ω 615.4Jの時のストリーク像を示す。そして、下の図が、ストリーク像を解析した結果を示している。2 ω のパルス幅は、2196nsと期待に有っているが、波形の後ろが飛び出しているため、まだ調整方法に問題がある事が分かった。この原因として、図6でピーク強度とフェーズ調整位置強度の比を算出しているが、その比の解が2つある事が分かった。各フェーズ位置でのこの比を取ったグラフを図10に示す。この事を解消するために、調整の最初に、図10のデータを取得した後、 piezo電圧の調整範囲をあらかじめ限定した後、自動調整を行うように、プログラムの変更を行っている。

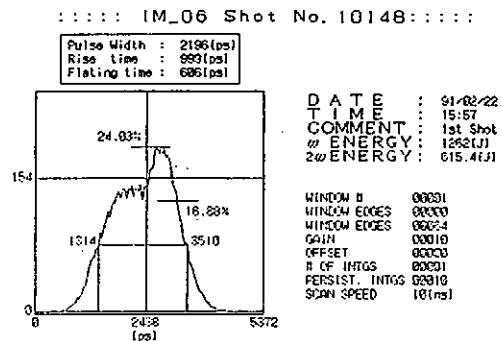
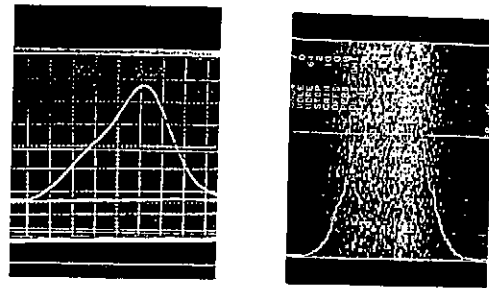


図9 スタックドパルスの高出力ショット波形

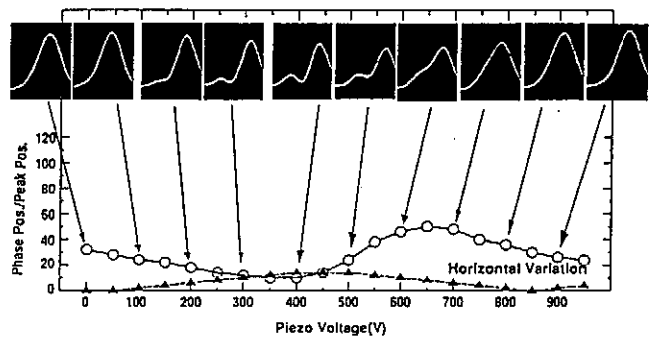


図10 自動波形調整時の計算特性

6. まとめ

激光X II号装置における画像処理装置を用いた、自動波形制御方法について述べた。これにより、安定に任意の波形を得られる事ができるようになった。しかし、高出力ショットにおいて、期待した波形とは少し異なっていたが、プログラムを改良する事によって、実用できると思われる。また、高速オシロの画像処理化によって、波形データの読み込みができ、波形のパルス幅、強度等の解析ができるようになり、安価で手軽なアナライザとしても使用する事ができるようになった。

<参考文献>

- 1)山中千代衛, レーザー研究 11,(1983) 586.
- 2)金辺忠, et.al.: 光・量子デバイス研究会資料 OOD-85-70
パルス合成方法によるレーザー波形制御 (1985) 41.
- 3)T.Kanabe et.al.: Coherent Stacking of Frequency-chirped Pulses for Stable Generation of Controlled Pulse Shapes, Opt.Commun.,58,(1986)206.

AIによるCAMACシステムの 故障診断の試み

核融合科学研究所 谷口能之、小嶋護、秀熊茂

1、目的

大型ヘリカル装置のデータ処理システムでは、大量の実験データの取り込みにCAMACシステムを使用する。このCAMACモジュールの数は実験装置の立ち上げ時には約500、最終的には約1000以上になるものと思われる。また、一回の実験におけるデータ量が100Mバイトにもおよぶものと思われ、限られた保守人員では一人あたりの担当するデータ量が多くなり、全データの確認を行なう事が困難となってくる。また既存の実験装置では計測担当の研究者しか判断できないような計測データで、ADCの小さなビットずれなども起こっており、CAMACシステムの異常を未然に発見し、正確なデータを収集するために、CAMACシステムの故障診断が容易にできるようなシステムを考える事が必要である。そのため今回AIを利用したCAMACシステムの故障診断を考えてみた。

2、故障診断の必要性

データ収集系において、計算機は自己診断機能を有しているが、CAMACにおいては、完全な診断機能を有していないというのが現状である。日常の点検において、大量のCAMACモジュールおよびデータをひとつひとつ調べていくのは、大変な労力と時間を要し現実的でない。CAMACの入力部から入った信号は、正確であるという保障を得ておくためにも何らかの診断機能を取り入れておく必要がある。

核融合の実験においては、収集データは非常にダイナミックレンジが広いために、データ収集時にデータからCAMACの診断を行なうことができない。データ収集は標準的には5分間隔であるので、データ収集時以外の時間で診断を行なえばよく、データ収集時に行なう必要はない。また、この診断にはそれぞれに固有で各々特殊な操作を必要としないで、データ処理担当者が誰でも判断可能とするものとしなくてはならない。

核融合実験ではCAMACモジュール中でアナログデータ用の外部メモリー付きのADCモジュールが最も多く全体の約80%になる。これまでの既存の実験装置のCAMACシステムのADCモジュールに関しては、サンプリング異常、ADC入力アンプ異常、ADCビット落ち、ADCビットずれ、メモリー異常、クレート電源異常、クレートコントローラー異常等の現象がある。これらの中にはCAMACシーケンスにより判断可能なものもあるが、標準信号を入力してそのデータにより判断しなければならないものも多い。

故障診断においては、そのデータのチェックの課程において異常箇所を推測し、担当者に指示を与えることになる。いくつもの症状をデータベースとして持ち、それらの症状に照らしあわせて異常箇所を探っていくように考えた。そのひとつの方法として、エキスパートシステムの導入を試みた。

3、プロトタイプの開発

大型ヘリカル装置のデータ処理システムは図1に示すような構成となる。その中でデータ処理計算機およびデータ収集計算機はDEC社のVAXを使用する。データ収集計算機のCAMACループは図2に示すように、CAMACクレートを光シリアルハイウエーによりシリアルに接続し、高速でのデータ収集を可能にするためこれを2ループ備える。ひとつの光シリアル

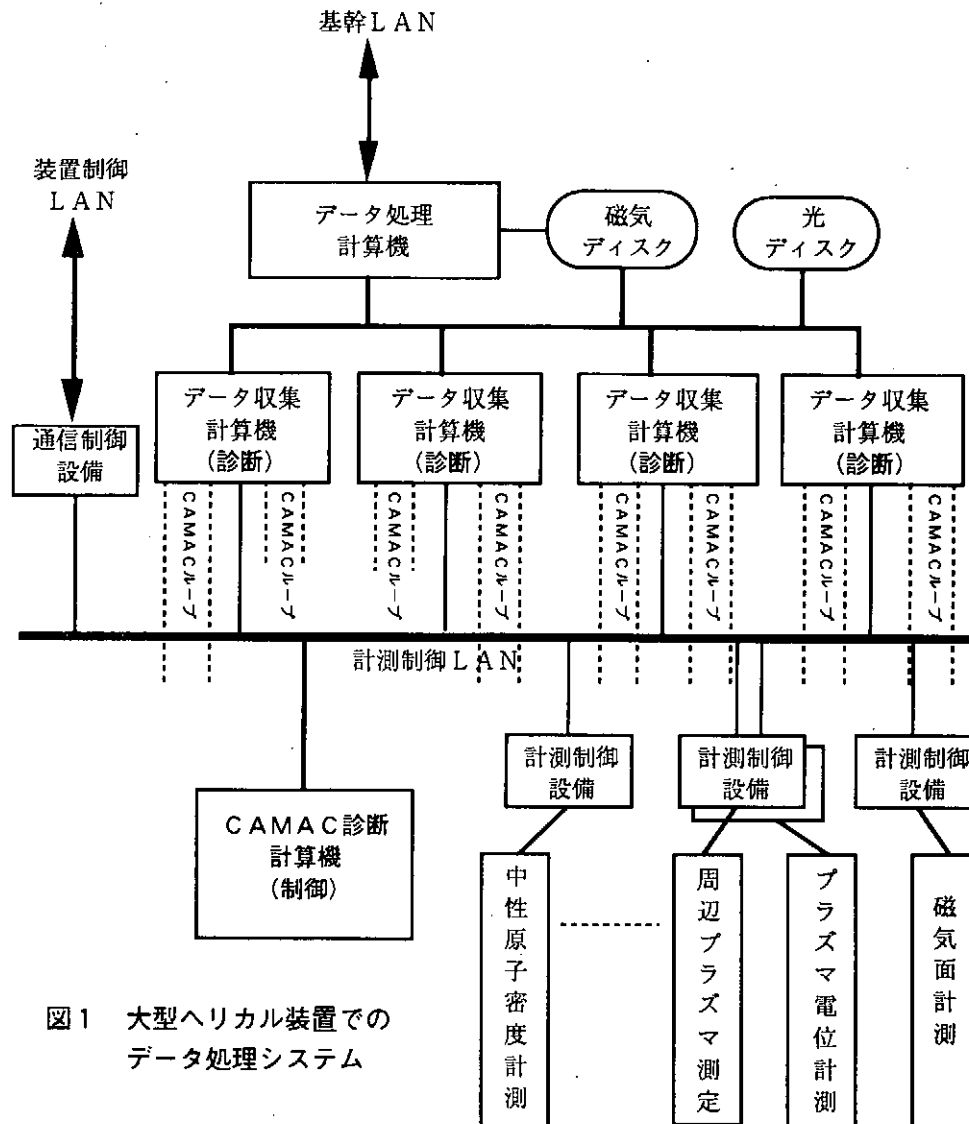


図1 大型ヘリカル装置でのデータ処理システム

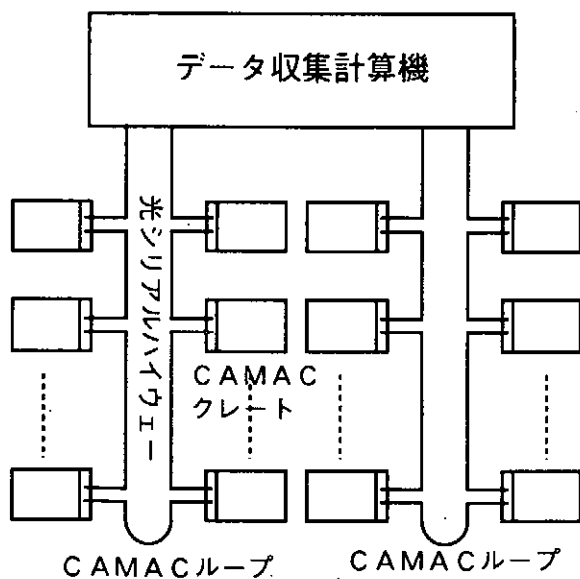


図2 データ収集計算機

ハイウェーに接続するCAMACクレート数は、立ち上げ時には数台でシステム全体では約50台、最終的には10数台ずつ全体で約100台を予定している。診断システムの制御は、計測制御LANに接続されたCAMAC診断計算機により行なうものとし、ワークステーションを想定している。診断はそれぞれのデータ収集計算機により行なうので、VAX上で動作するものを選択する必要がある。故障診断システムを実機において試験することは現時点では不可能なため、ひとつのモデルでプロトタイプを製作し試験することになる。このプロトタイプはできるだけ安価に作り上げたいため、計算

機にはパソコンを使用することにした。プロトタイプで作り上げたものは、そのまま実機でも使用できるようにしたいので、プロトタイプのソフトが実機に容易に移植できるものを選択する必要がある。

CAMACの制御は計算機の指令により行なうが、この指令は通常FORTRAN、C等の言語を使用する。そのため、この診断ソフトからこの言語を呼び出して使用したり、他の言語からこの診断ソフトを呼び出す機能が必要である。

以上の点から、Neuron Data社のNEXPERT OBJECTを導入することにした。

また、このNEXPERT OBJECTはAI言語を知らなくても開発が可能である。プロトタイプは、図3に示すような構成にすることにした。

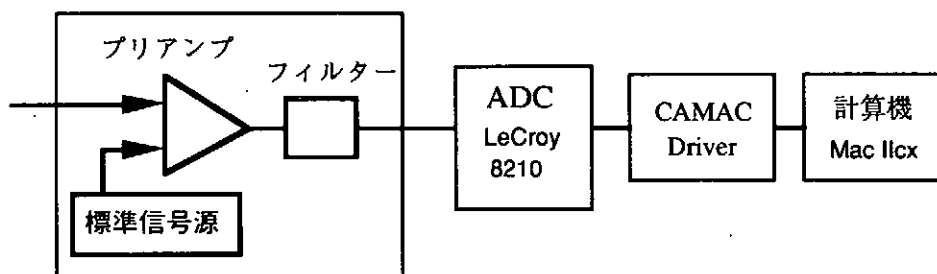


図3 プロトタイプ構成図

4、収集した標準信号の検討

故障診断はデータを収集し、その課程および結果により判断することになるが、データのチェックは標準信号を入力して判断することになる。ダイナミックレンジの広いデータとADCの直線性のチェックのため、図4に示すような標準信号は三角波を用いることにした。

最大電圧 (V_{peak}) の比較により入力アンプのゲイン、設定値のチェックが可能であり、最大電圧時の時間 (T_{peak}) の比較でス

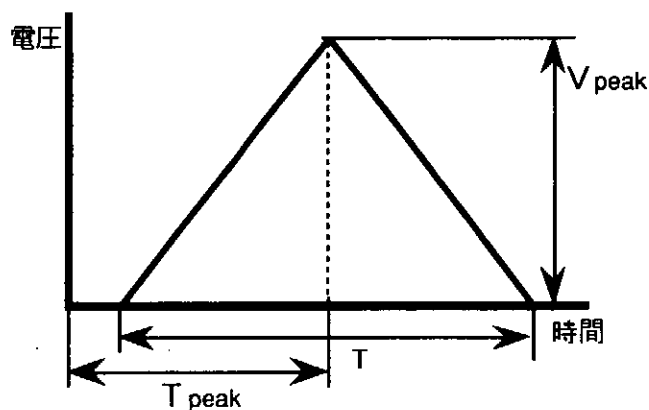


図4 標準信号

ップトリガーの設定が判断できる。時間 (T) の比較でサンプリング時間の判断が可能である。

また、データの直線性を調べることによりADCのチェックが可能であるが、この判断方法にいくつかの方法を検討してみた。その方法により出た結果を元にADCのビット落ち等の直線性の判断を行なう事にした。

直線性を乱す原因には、図5に示すようなビット落ちや増加分の均一性のなさがあると思われるが、それを調べる方法として収集データの平均値やデータの増加分、ビットデータを調べて、その値を何らかの統計値に置き換えて判断基準にする必要がある。

ビット落ちを調べるには、各時間の値をビットに置き換えて加算していけば図6に示すように落ちているビットは0になる。増加が均一でない場合は、 V_{peak} 時より左側半分と右側半

分を足しあわせることにより、図7に示すようにその足しあわせたデータの直線性がない事によっておこる、平均値や標準偏差のずれが判断基準になりえるのではないかとと思われる。

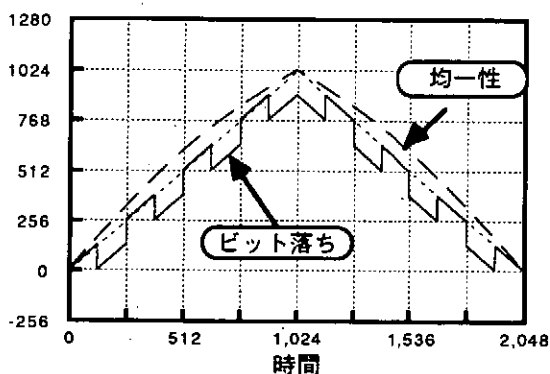


図5 ADCの直線性

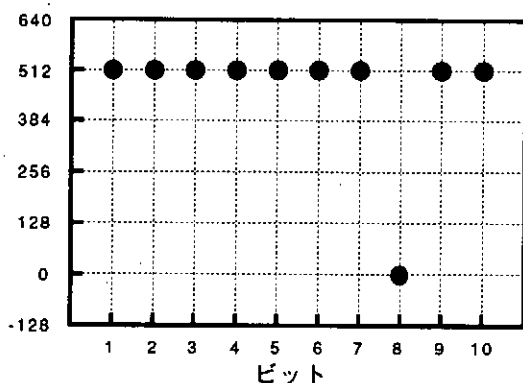


図6 各時間の値をビットに置き換え加算

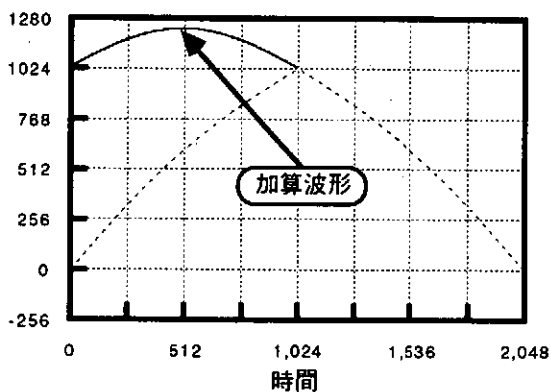


図7 足しあわ

5、まとめ

現時点では、プロトタイプも完成されておらず実際の試験まで至っていない。そのため、AIによる故障診断の実践の使用報告が出来ず、導入までの試みしか報告が出来なかった。今後、多種におよぶCAMACモジュールを診断するには、保守の省力化、確実な実験データの収集のためにも故障診断の自動化は必要不可欠なものである。モジュールの種類が増えると判断基準も多用化するため、いくつかの推測が必要となってくる。この故障診断にエキスパートシステムを利用することは、ひとつの方法として有意義なものではないかと思われる。

また、判断基準をどのように行なうかは問題が残る所であるが、プロトタイプを早期に完成させ、判断基準を確立して試験をしていく必要がある。

AN APPLICATION TO A HIGH ENERGY PHYSICS EXPERIMENT OF THE OPTICAL - TRANSMISSION READOUT SYSTEM

Norihiko Ujiie

National Laboratory for High Energy physics, KEK
1-1, Oho, Tsukuba-city, Ibaraki, 305 JAPAN

Abstract

SDC detector include Si-micro strip detector so called the Vertex detector, which are consists of an about ten million channels at the nearest located in collision point of beam. In this case, it is clear that the traditional electrical cables are can not to use as a signal transmission because of larger cable diameter, when thinking to do how to read against to much higher density readout channels.

Especially, this short memoir is described a possibility to application to readout an about ten million Si-microstrip detector with optical fiber transmission system .

We are proposed new signal transmission system for very high density readout channels with optical Wave Division Multiplexing (WDM) system to the field of high energy physics experiments.

SS1. Introduction

Tracking detectorとしての Si-micro strip detector は、通過粒子の位置測定に極めて高精度 (10 数 μm) の分解能を持ち、生成粒子の反応点 (Vertex) を検出する Vertex detectorとして知られている。Si-micro strip の Vertex detector は、検出器の最中心部に位置し、総数約1000万チャンネルのストリップ状 ($W=25\mu\text{m}$ 、 $L=?$ 、 $D=300\mu\text{m}$) の検出器群を構成する。Micro-strip detector の bird viewを Fig.1 に示す。

Detector は $50\mu\text{m}$ ピッチで (strip 幅 $W=25\mu\text{m}$ 、 $\text{spacing}=25\mu\text{m}$) 両面 (上下) 各 320 channel で平行に並び (total=640 ch / detector board)、両面は互いに 90 度回転させ直交した形で製作され、通過粒子の位置を高精度で測定する事が可能である。

1000万チャンネルの読みだしケーブルのサイズは、直径=1mm の electrical cable を仮定すると、直径で3.2 m にもなる。一見して、従来の electrical cable での transmission は不可能である事がわかる。Optical transmission での可能性を考えると、単一モードの optical fiber を用いると仮定し、現存するファイバー径 250 μ m、1000万チャンネルで、直径約 80 cm になる。このサイズの面積なら、十分に optical fiber での、並列信号伝送は可能である事がわかる。しかし、従来の並列信号伝送システムに加えて、伝送デバイスの特徴を、最も良く活かす多重伝送方式の可能性を積極的に探るべきである。

以下に、多重伝送方式の1つである波長多重伝送((Wave Division Multiplexing ; WDM)、周波数多重(FDM)は省略)についての現状を、また、発光素子として急速に開発競争が激化している面発光レーザーダイオード(Surface Emitting Laser Diode ; SELD)の diode array 素子としての detector への応用の可能性について述べる。

SS 2. 波長多重(WDM)による optical transmission について

波長多重伝送システムの optical transmission の原理図を Fig.2 に示す。

プリアンプ、波形整形回路を通して S/N 比を最良にして発光素子を駆動する。

この時、現状での発光素子としての Laser Diode (LD) は、注入電流のしきい値(I_{th})が数 10 mA と高いので、何らかの(駆動)回路が(例えば Comparator) 必要になると思われる。各々の LD は、個々に発光波長を変えて、array 状に配置されることが要求される。LD array からの n ケの異なる波長の光は(n ケの信号)、合波器を通して 1本の optical fiber で波長多重され($1/n$ の data compactification 化!!)、分波器へ伝送される。分波器では、何らかの方法で(例えば passive な optical glass filter etc)各々の検出器に対応した波長選択がなされ、光ダイオード等で電気信号に変換される。波長多重伝送の試みとして、分布帰還型(Distributed Feedback ; DFB) LD を用いて、20波の異なる波長の LD array を作製し(NTT)、発光に成功している。この論文では、異なる発光波長の LD を作るため、DFB LD の回折格子を1.5 A 毎に 20 波分の LD array を、SOR を用いて Lithography を作製し、格子波長 $\lambda = 2360 \text{ A}$ から 2390 A まで 1.5A 毎に回折格子を作製し1.5 μ m 帯で20波の発振に成功している。

各々の I_{th} は 20 から 30 mA と、注入電流は高いが、多重化は行なっていない。しかし、波長多重化への可能性を大きく示した点で注目される。

SS 3. 面発光レーザーダイオード (SELD) について

GaInAs 系及び GaAlAs 系垂直共振器型、短共振器面発光レーザーダイオード (Surface Emitting Laser Diode; SELD) の概要について述べる。

現在の面発光レーザーは、共振器の構造から、垂直共振器型、水平、及び、曲がり共振器型の 3 種類に大別される。SELD は開発段階であるが、主流である垂直共振器型は、基板と垂直方向にレーザー共振器を構成し、長さ $10 \mu\text{m}$ 以下の短共振器構造が特徴である。通常の半導体 LD (例えば DFB LD) の共振器長 ($300 \mu\text{m}$) の数分の 1 という短共振器サイズで、単一波長性に優れ、また、放射角 5 度程度の狭出射円形状ビームが得られ、集光性、optical fiber との結合効率の点で優れている。

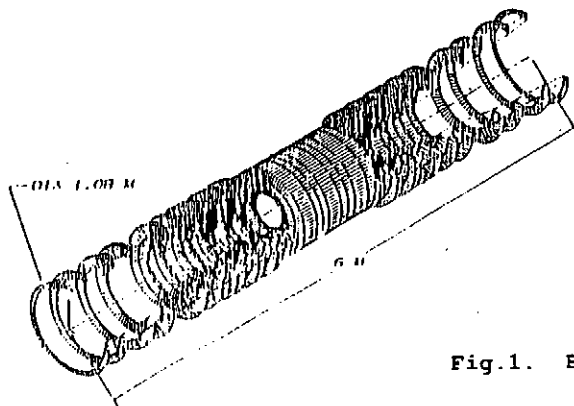


Fig.1. Bird view of Si micro-strip detector

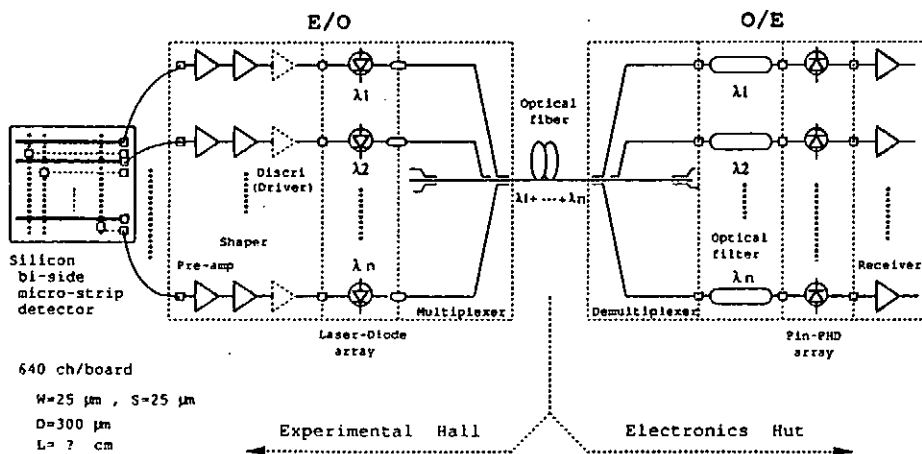


Fig.2. Principle of optical Wave Division Multiplexing (WDM) transmission system

LD は、長距離伝送の損失を考え、光強度を増す方向で開発されて来たため、駆動電流が大きいのが欠点だが、SELD は 1 mA 程度の低駆動電流素子が実現されている。 SELD は、光を増幅する活性領域と、面に平行する反射鏡からなる。注入電流の低電流化は、特に、活性領域の微細化と、反射鏡の高効率化の 2 点が重要であることが指摘されている。注入電流の低減方法として、共振器構造の微細化がなされている中で、直径 $\Phi = 2 \sim 3 \mu\text{m}$ 深さ $d = 80 \text{ \AA}$ で、 $I_{th} = 1.2 \text{ mA}$ が実現された。理論と平行して、 $\Phi = 1 \mu\text{m}$ でおおよそ $I_{th} \sim 1 \mu\text{A}$ の SELD が実現するかも知れない。 SELD の特徴としてのサイズの微小化と言う点で、容易に array 化が可能で、1 cm 角に 40×40 素子の 2 次元 array も報告されている(NEC)。

Summary

- A) Si-strip detector 1000万チャンネルの readout signal の伝送方式に光伝送を考える。この場合、電氣的ケーブルを使用する時には、何らかの pre-processor 的なデータ圧縮を行ない、ケーブルの本数を激減させることが重要である。伝送方式として 光伝送 system が唯一ハード的に採用可能な読み出し方式である。同時に、伝送デバイスとしての optical fiber の特性を効果的に活用するには、並列伝送より、多重伝送方式を考え、採用すべきである。
- B) Optical transmission の多重伝送方式として、20 波の LD array の発振に成功している (NTT)。
- C) WDM における低駆動電流の SELD についてのべた。最新情報として、NEC の (VSTEP) SELD では 40×40 の 1600 ケの、SONYでは120ケの (1次元) array ができている。
- D) 多重化が本当に並列伝送よりメリットがあるかどうかを計算する。
- E) Optical transmission system での各種デバイスの放射線照射テスト。
- F) 送受信側光源の Driver, Receiver 回路の OEIC 化 (デザイン, テスト) 。
- G) 通信用 LED の可能性はあるか ?? どうかを探る。

通信交換回路モジュールの設計

文部省高エネルギー物理学研究所 放射光実験施設
 ○片桐広明、中原和夫

1) はじめに

本研究所の放射光実験施設電子・陽電子リニアックは、2.5GeVまで加速した電子/陽電子ビームを放射光リングとトリスタン蓄積リングに供給することを目的としており、現在安定に運転している。しかし、これまでの運転のなかで、大電力クライストロン用パルス電源の制御に関して問題視される点の一つがあった。それは、位相調整に用いる移相器を遠隔操作した時に反応が遅く、最悪の場合遠隔操作自体が不能となってしまう事で、極くまれにであるが円滑なビーム入射を妨げるのである。

対策として、既に運用されているパルス電源制御用の制御システムと共存する、移相器制御専用の制御システムを用意することにし、移相器と2系統の制御システムの通信ループとの通信を行なうため、「通信交換回路モジュール」を設計した。

2) 電子・陽電子リニアック制御系

リニアック制御系の概要を、図1に示した。その中心となっているのが、ミニコンピューター (MELCOM70/30) の通信ネットワーク" LOOP-I" である。制御卓用に2台、入射部制御用に1台のミニコンピューターが割り当てられており、この3台は中央制御室に設置されている。また、2.5GeVリニアックの制御は、それを長さ方向に5分割した" セクター" と呼ばれる単位毎に行なわれている。1つのセクターには1台のミニコンピューターが設置され、副制御システムの中心となっている。LOOP-Iには、これら計8台のミニコンピューターが接続されている。なお、陽電子リニアックには、68000マイクロプロセッサを使用したシングルボードコンピューターによる制御システムが構築されている。

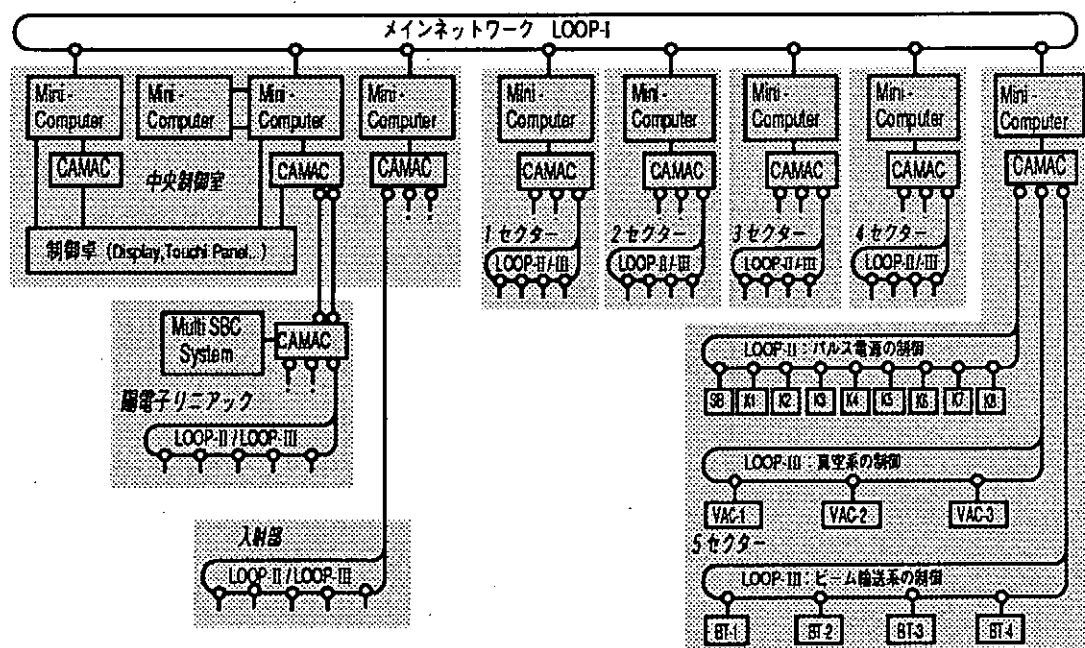


図1. リニアックの制御系

各セクター毎の副制御システムには、「 LOOP-II」と「 LOOP-III」の2種類がある。これらは、ミニコンピューターに接続されたCAMACモジュールと、パルス電源など、各装置の制御ユニットとを結ぶ通信ループである。1つのセクターには8台のパルス電源が設置されており、その制御にはLOOP-IIを用いている。LOOP-IIIは、真空系やビーム輸送系の制御用であ

る。各ループの通信形式と速度は以下の通りである。

- LOOP-I : HDLCフレームフォーマット、毎秒5Mビット
- LOOP-II : HDLCフレームフォーマット、毎秒500kビット
- LOOP-III : 調歩同期式、毎秒48kビット

リニアックはおもに25Hzのバルス運転を行っており、高電圧回路の充放電を繰り返すバルス電源は強力なノイズ源となってしまう。このノイズの対策として、通信ループの回線には光ケーブルを使用しているほか、制御回路にも厳重なノイズ対策が施されている。

3) クライストロン用バルス電源について

ビーム加速に必要なマイクロ波(2,856MHz)は、加速管4本で構成される1加速ユニットに対して1本の割合で、クライストロンによって供給されている。クライストロンとは、マイクロ波の増幅に用いられる一種の真空管で、ここでの使用では300W程度の入力に対して、およそ30MWの出力を得ることができる。クライストロン用バルス電源は、クライストロンに高電圧のバルスを提供するための装置である。このクライストロン・バルス電源ユニットは、電子用及び陽電子用として合計48セットが設置されている。

バルス電源を構成する装置の一つに、IΦA (Isolator, Phase Shifter, Attenuator) ユニットがある。これは、クライストロンに入力されるマイクロ波の位相と電力を調整する為の装置で、移相器は位相の調整に用いられる。ビーム加速にとってマイクロ波の位相は非常に重要で、ビームがマイクロ波から得るエネルギーが最大になるようマイクロ波の位相調整(Phasing)を行なう必要がある。この位相調整を、2.5GeVリニアックの40台のクライストロンについて、自動で行なうシステムが既に完成されており、運転の省力化に役立っている。自動の位相調整をリニアックの運転立ち上げ時に一度行なえば、その後は特別なことがない限り位相調整の必要はない。ただし、リニアックの一番下流側に設置された加速ユニットだけは、ビームの入射効率を上げるためにエネルギーを調整(必要に応じてビームを加速/減速させる)する目的で使用され、位相を調整する機会が多く、前述の移相器に関するトラブルもこのユニットで発生することが多い。

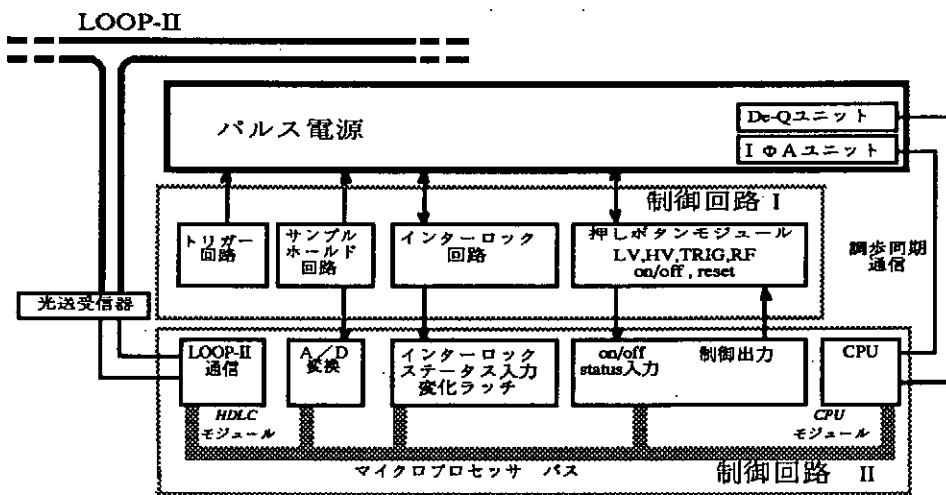


図2. バルス電源制御回路

4) バルス電源の制御系

バルス電源制御系の構成を図2に示した。リニアックの各装置は、遠隔操作が可能なほか単独でも運転できるように設計されている。バルス電源の場合、単独運転では「制御回路I」のみ使用し、遠隔制御では「制御回路II」を合わせて使用する。

バルス電源の制御には、先に述べたようにLOOP-IIを使用している。制御回路-IIのなかで、

LOOP-IIとの通信の機能を持つのが” HDLCモジュール” である。これは、HDLC (High-level DataLink Control) プロトコルの通信用のLSIであるSDLC : Synchronus Data Link Controllerや、その制御用のマイクロプロセッサなどで構成されている。IΦAユニットとの通信を含め、パルス電源の制御は” CPUモジュール” が行なっている。なお、CPUモジュールとIΦAユニットとの通信は、LOOP-IIIと同じ規格である。

ここで、IΦAユニットの移相器を遠隔制御する場合の命令の流れを考えてみる。制御卓上のロータリーエンコーダーを操作すると、移相器制御の命令が制御卓用のミニコンピュータからLOOP-Iを通り、対象となるセクターのミニコンで中継され、LOOP-IIを通してパルス電源制御回路へと送られる。さらに、制御回路IIのHDLCモジュールが受信した命令を、CPUモジュールがIΦAユニットへ送信する。その応答はこれと反対の経路をたどり、制御卓のディスプレイに表示される。この経路の複雑さと、CPUモジュールの持つマイクロプロセッサのタスクの重さが、先に述べた問題点の原因と考えられる。これらの点を考慮して、新しい制御系の設計に取り掛かった。

5) 新しい制御システムの設計

新制御システムの概略図と、通信交換回路モジュールのブロック図を図3、4に示す。不要なトラブルを避けるため、従来の制御系はハードウェア/ソフトウェアとも手を加えずに、移相器制御専用の通信ループを用意することにした。これにより、制御卓用のシステムから直接IΦAユニットに制御命令を送信する事が可能になり、従来のシステムと比べて制御命令の伝達経路が簡略化される。これに加え、ループの通信速度を毎秒2Mビットまで上げることでレスポンスの向上が期待できる。

通信交換回路モジュールは、2系統のループと、IΦAユニットとの通信を行なうためのものである。新しいシステムで制御の対象としているのはIΦAユニットの移相器だけであり、現在のシステムのCPUモジュールに比べて、マイクロプロセッサのタスクを軽くすることが可能である。このモジュールの設計にあたっては、現在のシステムを参考に、LSI等もこれまでに使用した実績のあるものを使うことにより、開発の手間を省く方向で進めた。回路の構成もHDLCモジュールを基にデザインし、IΦAユニットとのインターフェイスにはCPUモジュールと同様、ACIA (非同期通信インターフェイスアダプタ) を使用した。毎秒2Mビットの通信速度に対応することと、手持ちの開発機を使用する都合上、マイクロプロセッサは68B09を選んだ。ただ、HDLCプロトコル通信用のLSIは、現在の制御システムで使用しているSDLCが製造中止のため入手できず、代替品を検討した結果、NEC製のMPSC : Multi-Protocol Serial Controller を使用することになった。

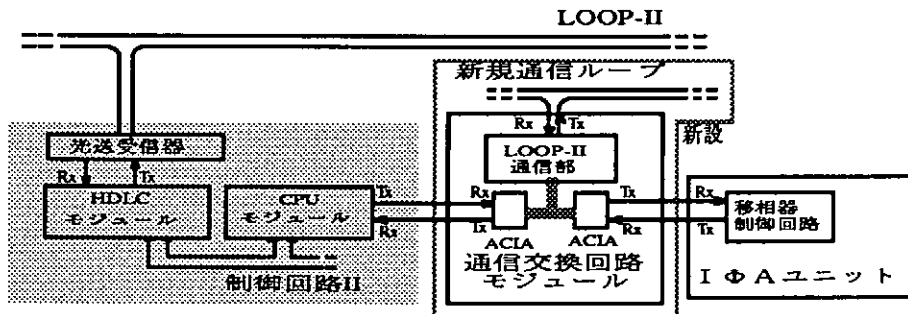
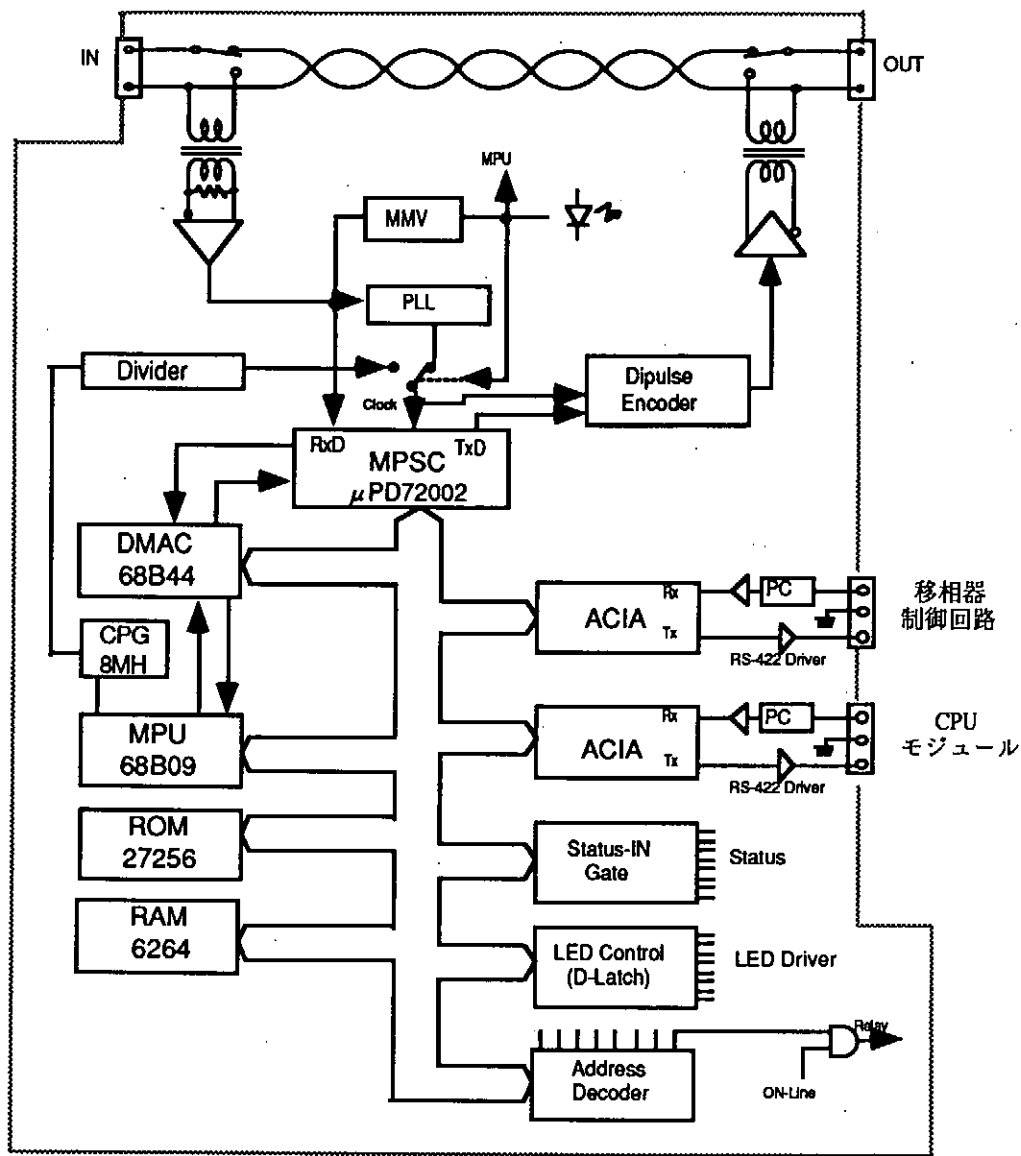


図3. 新システムの概要

新規通信ループの回線には当面はツイステッドペアを使用する予定であり、ノイズ対策として、入出力にトランスを挿入してある。そのほか、オフライン時や電源が入っていない場合などに入出力間をバイパスする点などはHDLCモジュールと同様である。



MPU:Micro Processing Unit DMAC:Direct Memory Access Controller CPG:Clock Pulse Generator

PLL:Phase Locked Loop MMV:Mono-stable Multi Vibrator その他、本文参照

図4. 通信交換回路モジュール ブロック図

6) 今後の予定

現在、HP64000-UX (インサーキットエミュレータ) を使用しソフトウェアの開発を進めている。完成後はまず、5セクターの8番目のユニットに組み込んでテストし、その後、他のユニットにも順次導入していく予定である。

参考文献

1. OHO'85高エネルギー加速器セミナー/加速器と計算機
中原和夫 "KEK2.5GeVライナックの制御システム"

ビームライン電磁石電源のインテリジェント化

高エネルギー物理学研究所

鈴木善尋
高崎 稔
皆川道文

[概要]

高エネルギー物理学研究所 (KEK) の 12 GeV 陽子加速器からの陽子ビームをターゲットまで導く 1 次ビームライン、ターゲットから発生する 2 次粒子ビーム (π 、 κ 中間子、反陽子 等) を実験装置まで導く 2 次ビームラインには、多数の電磁石、それらを励磁する直流電源が配置されています。これらの電磁石電源の出力は、16 KW ~ 500 KW の範囲で色々な型のものであり、総数は、約 150 台ほどです。物理実験の要請により、ビームラインは、たびたび、改造されたり、新たに建設されます。この建設作業は、主に夏の加速器の停止中、約 3 カ月の間に行われます。電磁石電源関係の作業は、1 本の 2 次ビームラインの場合で、10 台前後の電磁石電源の設置、配線、遠隔操作系の確立です。建設期間の大部分は、放射線防御用コンクリートブロック (総重量約千トン) の積み上げ、電磁石の設置、電力ケーブルの配線等に費やされます。この期間最後の 1 週間ほどの間に電磁石電源の点検、試運転、遠隔操作系のインターフェース、ソフトプログラムの調整、動作確認をしなければなりません。

この作業は、個々の電磁石電源にマイクロコンピュータを組み込むことにより大幅に合理化できます。このレポートは電磁石電源に組み込まれている電磁石電源コントローラーの処理内容、機能についての大まかな報告です。特徴は、以下のとおりです。

- 1) 自己診断機能を持つ。
- 2) 外部との通信インターフェースを持つ (GP-IB)。
- 3) 電磁石電源の固有の一連の操作及び運転中の動作の監視は、内部のマイクロコンピュータが処理する。
- 4) 遠隔操作系の上位コンピュータの負担が軽減される。
- 5) 遠隔操作系の上位コンピュータのソフト開発が容易になる。

[ビームライン制御の現状との比較]

電磁石電源は、内部に電磁石電源コントローラーが組み込まれたことにより、多くのことを内部で処理できるようになり、また多くの情報を上位コンピュータへ送れるようになりました。この特徴的な部分について旧システムと比較しますと以下ようになります。

一つのビームラインには、10 台前後の電磁石電源があります。これら電源の寸法は、幅約 1 m、奥行き約 1 m、高さ約 1.8 m で、重量は 2 トン前後のものが主

です。これらの配置は、電源架台に設置され、一つの床面に一列に配置される場合もあります、場合によると、二階、三階にまたがって配置される場合もあります。いずれにしても、これら電磁石電源を制御するための上位コンピューターとのインターフェースラックから離れます。その結果、動作試験やメンテナンスは容易ではありません。インタインターフェースラックへの電磁石電源の接続は、配線本数が多く、配線工事終了後の動作確認に多くの時間と人員を要する部分です。このインターフェースラックへの配線は、電磁石電源のフロントパネル上にあつて現場運転を行うための回路が外部へ、長い距離引き出されたものです。これは本質的に電磁石電源の内部の回路です。これがビームラインの建設、改造のたびに配線、点検が行われる部分です。開発した電磁石電源は、その配線、点検の作業が省略できるものです。

電磁石電源の制御についてみますと、電磁石電源は上記の様に電磁石電源固有の信号を上位コンピューターに送りますので、上位コンピューターは電磁石電源の固有の操作方法を知っている必要があります。現在の電磁石電源の操作は統一したものを使用していますので、電磁石電源の操作のソフトは単純なものとなっています。しかし、電磁石電源の操作シーケンスは、秒のオーダーで進行してゆき、10秒前後で終了しますので、個々の電磁石電源について同時操作のできるソフトを安価なコンピューター上に組むことは容易ではありません。電磁石電源の出力のモニターについては、電磁石電源の容量により出力電流のレンジは100A, 500A, 1000A, 1500A, 2000A, 2500A, 3500A, 5000Aとあり、実電流への換算には定数が必要となります。このように、電磁石電源を操作するために上位コンピューターは、電磁石電源固有の色々な情報を保持している必要があります。これらの点について、開発した電磁石電源は、それらの処理をその電磁石電源固有の事とし、個別に内蔵されたコンピューターにより処理します。その結果、上位コンピューターの電磁石電源の操作のソフトはより単純なものになります。また、上位コンピューターに電磁石電源固有情報を保持しないことにより、電磁石電源が別のタイプのものに交換された時に上位コンピューターはソフトの変更が不要となります。

メンテナンスについては今までの場合、上位コンピューターへの情報は異常の有無のみでしたので、詳細は現場まで行かないと判りませんでした。多くの電磁石電源を維持してゆく場合においては状況の把握に多くの時間を必要としました。しかし、電磁石電源コントローラーにより異常内容を短時間に収集できますので、合理的なメンテナンス計画がたちます。

[電磁石電源コントローラー]

開発した電磁石電源は、カウンターホールにおいて現在使用されている電磁石電源に、マイクロコンピューターを組み込んだものです。

構造は、以下の通りです。

使用しているCPU関連ボード

- 1、CPUボード ; Z80
- 2、GP-IBボード ; TMS9914

- 3, I/Oボード : 入力16点、出力16点
- 4, 12ビットADC ; 電磁石電源内部電源測定用
- 5, 16ビットDAC ; 出力電流設定用
- 6, 16ビットADC ; 出力電流モニター用

カードはスタンダードバス規格

[上位コンピューターからの電磁石電源の操作]

上位コンピューターからGP-IBバスを通して電磁石電源へコマンド(文字列)を送ることにより行う。

A, Vコマンドの動作 (電流、電圧の設定)

[A] + [電流値] + CR/LF (電流値は、小数点を含むことができる)

[V] + [電圧値] + CR/LF (電圧値は、小数点を含むことができる)

[D] + [数値] + CR/LF (数値は、-10000 +10000の範囲内)

A, Vに続く数値を電源の動作の目標値として以下の動作を開始します。

最初の時点で、電磁石電源が停止状態であれば、

- 1, 電磁石電源内部の補助電源電圧の測定を行い、異常の有無を検査します。
 - 2, インターロックの検査を行います。
 - 3, Aコマンドを受けたのであれば、電磁石電源を定電流モードにします。
Vコマンドであれば定電圧モードにします。
 - 4, 電流値、電圧値の極性に従い転極器を操作します。
 - 5, 転極動作が完了すれば、インターロックを検査します。
 - 6, 整流用主変圧器の電磁開閉器を投入し、確認します。
 - 7, 徐々に電流または、電圧を上昇させてゆき、目標値に達したとき上位コンピューターにSRQ割り込みをかけます。
 - 8, 運転状態の監視を行います。監視項目は、内部補助電源電圧、インターロック、出力電流電圧値。
- 1~8の動作中異常が発見されるとSRQ割り込みを上位コンピューターにかけます。

運転中にA, Vコマンドを受けると、

運転モードが一致し、さらに極性が一致しているときは、電圧または電流を目標値にセットします。運転モードまたは極性が一致しないときは、電磁石電源は徐々に出力を減少し停止します。その後、1~8の一連の動作を開始します。

FLコマンド

このコマンドは、電磁石電源から異常が報告されたとき、または、CKコマンドにより内部の検査を行った時に使用して、異常リストを読み出します。

異常リストは何行かのテキスト文で最後はEOIで終了します。

異常リストが作成される点検項目は、補助電源電圧値(+5V, +12V, +/ -15V, +24V)、電磁石電源の操作上での異常の有無(ON/OFF操作、転極器の操作、異常停止)、インターロックの異常項目、レファレンス電圧、出力電流です。

また、異常リストには電磁石電源内部の点検すべき箇所及び部品名が含まれていますのでメンテナンスが容易になります。

CKコマンド

自己診断を電磁石電源の停止中に行うコマンドです。電磁石電源は運転状態に入ると、常に異常の有無を検査しますが停止中はおこないません。

ST\$コマンド

電磁石電源の状態を読み出す時に使用します。

状態は以下の項目が文字列として送り出されます。

(REMOTE/LOCAL)、(READY/ NOT READY)、(ON/OFF)、(+/-)、(目標値)、(DACにセットされている値)、(電流モニター値)、(電圧モニター値)、(交流入力電流値)

OWコマンド

電磁石電源の出力電圧を25 msecの間に255回測定し、その値を送り返してきます。オシロスコープと同じ働きをします。12相サイリスタ整流回路の運転状態の電圧波形の観測に利用します。

X0, X1, ... X15

16チャンネルマルチプレクサー付きADCのチャンネル0から15に対応した電圧値を返します。

ID コマンド

電磁石電源の製造会社名、型番、定格等を返してきます。

その他数個のコマンドがありますが省略します。

[まとめ]

この装置は、今年の秋、北カウンターホールのK6ビームラインにおいて15台組み込まれます。これにより、ビームラインのコントロール系は単純化され、電磁石電源の状態は集中管理できるようになり、維持管理の省力化がはかれます。

特に、大型加速器のように広範囲に多数の装置が分散するとき、このような上位コンピューターに負担をかけない機能、維持管理がオンライン化され省力化が計れる機能を持つことは特に重要なことです。このレポートがそのような装置の今後に役立てば幸いです。

放射光ビームライン・インターロック集中管理システム

高エネルギー物理学研究所

小菅隆、斉藤裕樹、伊藤健二

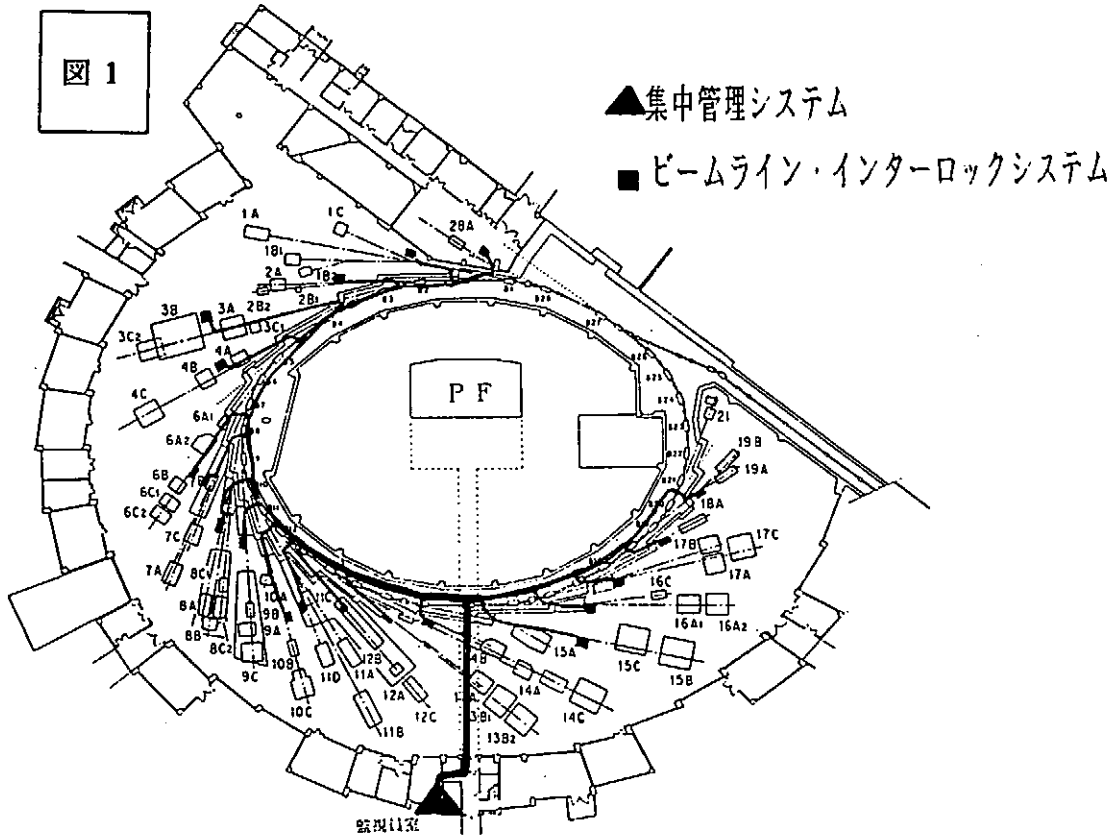
高エネルギー物理学研究所放射光実験施設では、現在19本のビームラインが2.5GeV陽電子蓄積リングから発生させられるシンクロトロン放射光を用いて、物理、化学、生物の基礎分野から工業的な応用分野に至る様々な分野の放射光利用研究が行われている。蓄積リングの稼動開始からすでに10年になるが、現在放射光取り出し用のビームラインは19本に達している。

各々のビームラインには、個別に動作するビームライン・インターロックシステムがそれぞれ設置されており、ビームライン・インターロック集中管理システム（以下集中管理システム）によって、統合的なモニタリングと管理が行われている。

ビームライン・インターロックシステム及び集中管理システムは、現在まで大きなトラブルもなく安全かつ円滑な実験遂行に大いに貢献してきた。しかし、当初の予定以上に増加したビームライン数は、集中管理システムの容量（ビームライン16本分）を既に越えており、大きな容量を持つ新しいシステム（新集中管理システム）が必要となった。

ビームライン・インターロックシステムと集中管理システム

全てのビームラインには、実験者の放射線被爆からの防護、ビームライン真空の保持、ビームライン構成要素の保護を目的とした、ビームライン・インターロックシステムが(1)(2)(3)(4)設置されている。それぞれのビームライン・インターロックシステムは個別のロジックのもとに、ビームの出射、停止を司るビームシャッター、真空保持の為にゲートバルブ、放射線防護の為に実験ハッチ等を制御している。



集中管理システムはこれらのビームライン・インターロックシステムと光ファイバーを介して接続されており、統合的なモニタリングと管理を行っている。⁽⁵⁾ 集中管理システムによってビームライン・インターロックシステムは随時監視され、運転状態の推移があればその都度プリントアウトされる。また、オペレーターは集中管理システムからビームラインの使用許可、禁止の操作を行う。

現在19台のビームライン・インターロックシステムが設置され、集中管理システムに接続されているが、内3台は新集中管理システムによって管理されている。

ビームライン・インターロックシステムと集中管理システムの設置位置を図1に示す。

新集中管理システムの接続

現在、新集中管理システムは、図1中のBL-3、BL-18、BL-28のビームライン・インターロックシステムを管理している。システムの接続を図2に示す。

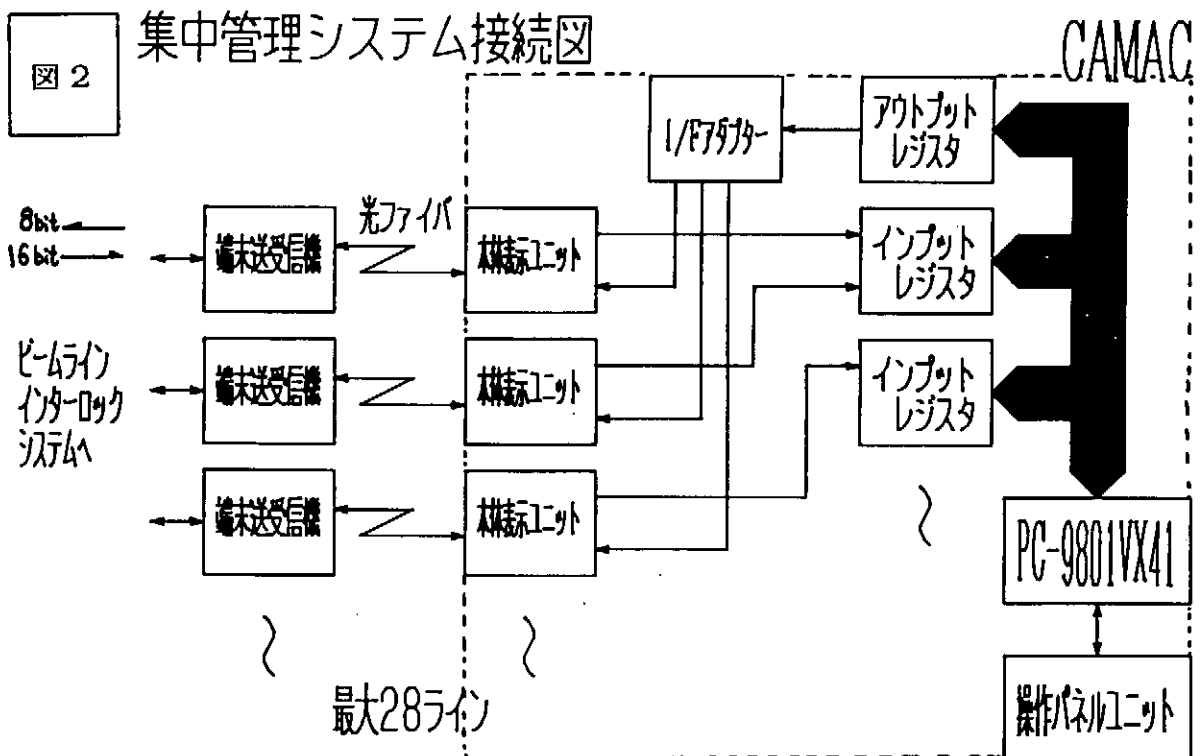


図2における端末送受信機はビームライン・インターロックシステムの主制御ラック内に設置され、双方向性の光ファイバーを介して新集中管理システム本体と信号の授受を行う。ビームライン・インターロックシステムからの16ビットの運転状態信号は、シリアルな光信号に変換され新集中管理システムへ送出される。一方、光ファイバーを介して送られてくる新集中管理システム本体からの8ビットの操作信号は、端末送受信機の受光素子により電気信号に変換され、更にシリアル→パラレル変換が行われた後、ビームライン・インターロックシステムの制御信号として用いられる。

点線内に新集中管理システム本体構成を示す。

① 本体表示ユニット

本体表示ユニットは光信号↔電気信号の変換及びビームライン・インターロックシステムからのビームライン運転状態信号のシリアル→パラレル変換を受け持つ。また、ビームライン・インターロックシステムからの運転状態信号のLED表示も行う。

② インターフェイスアダプタ

新集中管理システムから各ビームライン・インターロックシステムに送出する制御データをパラレル→シリアル変換したあと、目的のビームライン・インターロックシステムの接続されている本体表示ユニットに送出する。

③ I/O部

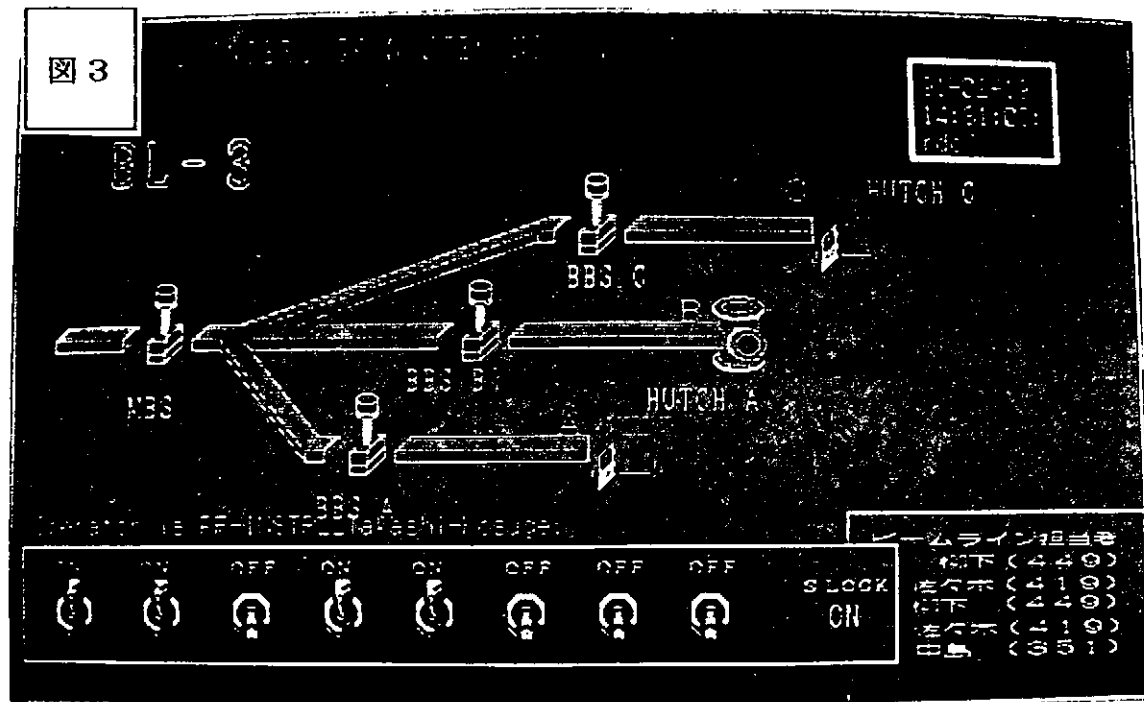
各ビームライン・インターロックシステムからのビームライン運転状態信号、各ビームラインへの制御信号とコンピュータ間のI/Oを受け持つ。I/O速度向上の為にCAMACを採用したが、同時にI/Oの容量（現在のところ28本のビームラインまで対応可能であるが、更に増やす事も可能である）も大幅に向上した。

④ 制御用コンピュータ

制御用のコンピュータとしてNEC製PC-9801VX41を採用した。プログラムはC言語を使用している。ハードディスク装置、増設メモリ等の導入で、記憶データ及び画像データの大容量化をはかった。

⑤ 操作パネルユニット

新集中管理システムの操作は、操作パネルユニットから行う。旧集中管理システムではコンピュータ（NEC PC-8801E）のキーボードから操作を行っていたが、今回専用の操作スイッチを設けることで操作性の向上を計った。また、オペレータIDのチェックはカードリーダーを使用している。



新集中管理システムの運転

集中管理システムは主に、次の4つの動作を行う。

① ビームラインの運転状態の表示

ビームライン・インターロックシステムの運転状態をCRT上に常時グラフィックスにより表示する。（図3上部）また、今回ソフトウェアを工夫し、市販のソフトウェアを利用した画面作成を可能とした為、開発時間を大幅に短縮することができた。

② ビームライン使用許可信号等の送出

運転時の全操作は操作パネルユニットから行う。ビームライン・インターロックシステムにビームライン使用許可信号等を送出する際、オペレータは、操作パネルユニットに設けられたカードリーダーに、IDカードを挿入する。ここでIDが登録されたも

のであれば、コンピュータCRT上にデータ送出用の表示(図3下部)が現れる。オペレータはこの表示を見ながら操作パネルを使用して、目的のビームライン・インターロックシステムに信号を送出する。

③ビームライン運転状態変化のプリントアウト

ビームライン・インターロックシステムの運転状態信号が変化した場合には、随時プリンターにその日時と変化した内容をプリントアウトする。実際のプリントアウトを図4に示す。()内は同一時間内に発生した状態変化の前後関係を示す為のもので、各ビームラインを1~28まで一通り取り込むのを1周期とした場合、同一時間の何周期めかを示す。図4の場合は3つのビームラインについてのみ、I/Oを行った例であるが、1周期は約20msec程度である。

今回、新集中管理システムは、I/O速度が向上した為(旧システムにおいては1周期約1sec)、状態変化の前後関係が明確になり、トラブルの原因究明が容易になった。図4の枠内は主ビームシャッター(MBS)閉の時の状態変化の様子であるが、状態変化の前後関係を明確に判断する事が可能である。

④状態の変化回数、時間の記録

新集中管理システムは全ての状態信号の変化回数、動作時間等の記録をハードディスクに記録する。ビームシャッターの変化回数(開閉回数)等の記録はビームライン保守の目安となる。

図4

91-02-25 17:07:48:(19)	BL 3	_BBSA_CLOSED ON
91-02-25 18:07:32:(35)	BL28	_BBS_CLOSED ON
91-02-25 18:54:42:(30)	BL28	_MBS_REQ OFF
91-02-25 18:54:43:(20)	BL28	_MBS_OPEN OFF
91-02-25 18:54:48:(21)	BL28	_MBS_CLOSED ON
91-02-25 20:24:08:(36)	BL 3	_HUTCH_A_CLOSED ON
91-02-25 20:24:12:(17)	BL 3	_BBSA_CLOSED OFF
91-02-25 20:27:27:(6)	BL 3	_HUTCH_A_CLOSED OFF
91-02-25 20:37:25:(31)	BL 3	_HA
91-02-25 20:56:29:(1)	BL 3	_BA
91-02-25 20:56:32:(50)	BL 3	_HUT
91-02-25 21:02:38:(16)	BL 3	_HUT
91-02-25 21:09:04:(7)	BL 3	_HUT
91-02-25 21:11:43:(43)	BL28	_MBS_
91-02-25 21:11:46:(1)	BL28	_MBS_
91-02-25 21:11:50:(49)	BL28	_MBS_OPEN
91-02-25 21:12:19:(38)	BL 3	_HUTCH_A_CLOSED OFF
91-02-25 21:15:24:(30)	BL 3	_BBSC_CLOSED ON

新集中管理システムの実績と今後

現在まで新集中管理システムは、試験的に運転されてきたが、大きなトラブルもなく当初の目的である「大容量化」を達成する事ができた。

またその他として、実際の運転に際し次の事項も改善された。

- ①CAMACの採用によりI/O速度が向上し、詳細な動作状態の把握が可能となった。
- ②市販ソフトウェアでの画面作成を可能とし、システム移行の際のソフトウェア開発時間が短縮された。
- ③カードリーダーを含む専用のコントロールパネルを作成したため、操作性が向上した。

今後、旧集中管理システムは順次新集中管理システムに移行していく予定である。これらも増加するビームラインに対して、新集中管理システムは大いに期待される。

参考文献等

- (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) 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).

イメージスキャナによる オシロ写真波形の自動処理化

有本英樹 (文部省 核融合科学研究所)

1. はじめに

最近、実験室、研究室を問わず、あらゆる所でAD変換器とパーソナルコンピュータ(パソコン)の組合せにより、自動データ計測や実時間データ処理が行なわれるようになったが、その反面、取扱が容易で簡便なオシロスコープやペンレコーダを用いた計測もまた、多く行われているのが実状である。それらのデータは、写真やチャート波形として収集されるため、コンピュータへの入力としてはデジタイザが使用される。¹⁾一般に、デジタイザは人の手で波形をなぞってデジタル化するため、読取精度や処理時間に問題がある。

著者は、これらの問題を解消する方法として、すでにイメージスキャナによる写真波形の数値化処理法(スキャナ法)を提案²⁾した。すなわち、イメージスキャナにより写真波形を画像データとしてパソコンに取り込み、そのデータを2値画像処理技法を用いて数値化するというものである。

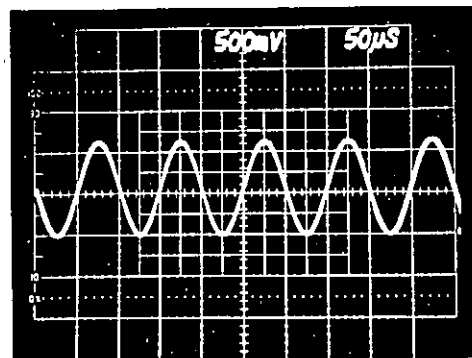
今回、その手法の有用性を明らかにするために、実際の実験波形を用いて処理を試みた。又、その際、写真波形を得る段階に簡単な工夫をすることにより、自動処理の高速化が可能であることも明らかになった。

本報告では、まず簡単に本手法の原理、特徴を述べ、次に実際の処理としてハード、ソフトの構成、並びに処理結果を紹介し、最後にまとめと今後の課題について述べる。

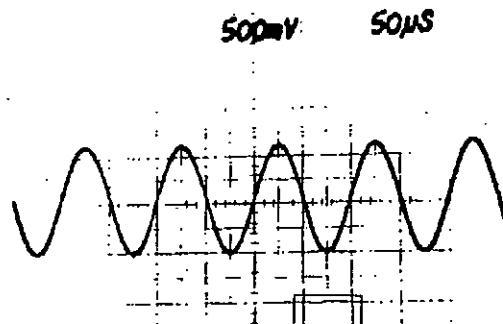
2. スキャナ法の原理と特徴

原理は至って簡単で下述の通りである。一般にオシロ写真は、図1(a)の様に観測波形と目盛で構成されている。これをイメージスキャナでコンピュータに取り込むと、(a)図は(b)図のような画像データとしてコンピュータのメモリ上に得られる。図1(b)において、目盛を除去すれば所望の波形データのみがメモリ上(座標)に得られ、そのメモリ座標をXY方向にスキャンすることによって目的の波形が数値として得られる。

本方式の特徴は、図1からも明かな様に目盛線の太さが波形線のそれよりも細いことに着目し、簡単な2値画像処理(縮退、膨張)技法によって波形データを抽出しているところにある。



(a) サンプル波形のオシロ写真



(b) スキャナ読取り波形

図1 サンプル波形のスキャナ読取例

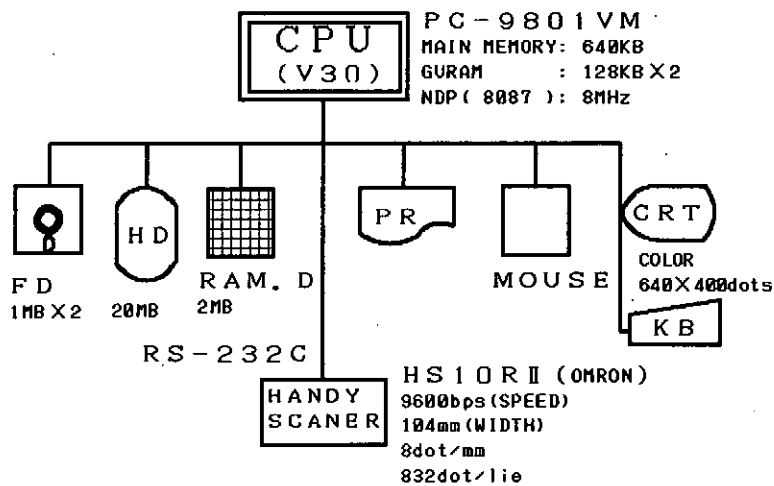


図2 処理システムのハードウェア構成

3. 処理システム

<3.1> ハードウェア

システムは、図2に示すようにパソコン基本システム（NEC製：PC-9801）とハンディイメージスキャナで構成されている。スキャナには、あらゆる機種で使用可能となるように標準インタフェース規格（RS-232C）で、且つオシロ写真（ポラロイド）サイズに適したハンディタイプのもを用いている。画像処理用メモリについては、特に専用のメモリ（フレームメモリ）は使用せず、既存のGVRAMを使用している。これにより画像データの入出力を高速に行っている。又、処理系座標のサイズには、高解像度CRTサイズの640×400ドットを使用し、CRT上での処理範囲の指定等には、操作性の高いマウスを使用している。更に、必須ではないが、一時データの保存等の作業用としてRAMディスクを用い、処理の高速化を行っている。

<3.2> ソフトウェア

図3に処理の代表的な流れを示す。以下、処理の流れを簡単に述べる。

スキャナからの画像データは、パソコンのメモリに取り込まれると同時にCRT画面に表示される〔図1(b)〕。その画面上において、まず最初に波形データを数値化するための写真座標と画面座標間の変換係数を抽出する。その係数は、オシロの1目盛のドット値と時間、電圧の感度値から求めることができる。ドット値は、マウスフレームで1目盛分を囲むことによりそのフレーム内に存在する目盛

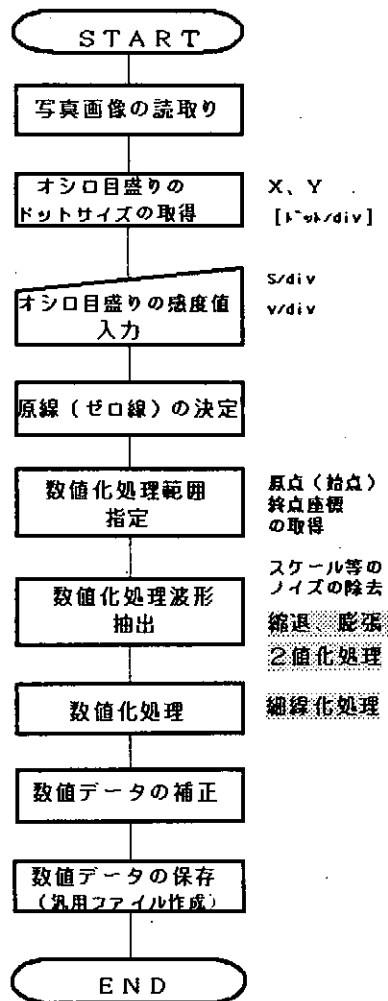


図3 代表的な処理の流れ

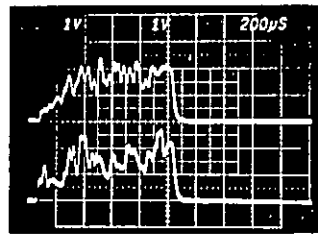
のサイズをメモリスキャンすることによって自動的に検出される。感度値は、キーボードから直接、数値（例えば、図1では写真に記録されている値）を入力している。次に、マウスにて波形の零線を指示し、次に指定される処理領域のマウスフレームとの交点（2点）により原点が決定される。又、この2点は、後にオシロ座標の傾きの補正にも使用される。次に、先のマウスフレームに縮退、膨張の2値化処理を施し、目盛等のノイズを除去することにより所望の波形が抽出され、最後に細線化処理を施し、メモリスキャンをすることによって、目的の波形のドット座標が得られる。プログラムは、MS-DOS (OS) の下で、メインとしてC言語を、GVRAM、マウス等の入出力部分には処理速度の関係上、アセンブラ言語を用いて作成し、プログラムの保守及び他機種への移植性を考慮してモジュール化している。

4. 処理結果

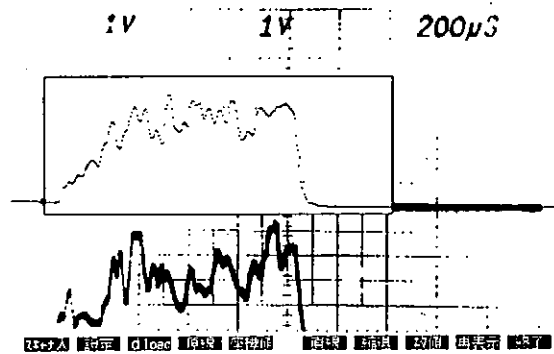
<4. 1> プラズマ実験への適用
 スキャナ法によるデータ処理の実際例として、RFPプラズマのポロイダル揺動周波数の時間変化を観測した場合のオシロ写真の処理例を図4に示す。ここでは、一例として、(a) 図の2波形のうち、上段波形を処理した。図から明かなように、オシロ写真の波形が精度よく数値化処理されていることが判る。ちなみにこの例では、1目盛のサイズが53ドットから、スキャナによるサンプリング時間は約 $3.8 \mu\text{sec}$ ($200 \mu\text{sec}/53\text{dot}$) 相当になる。処理の所要時間としては全体で3分程であった。

<4. 2> 自動処理の高速化

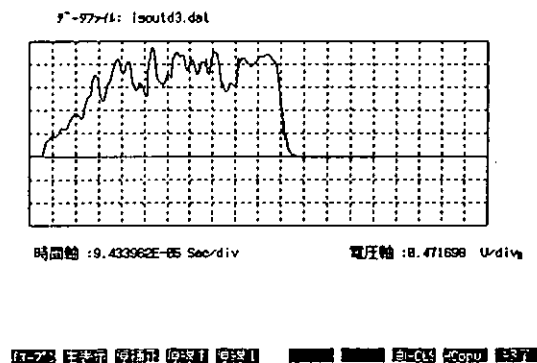
図3の処理の流れにおいて、かなりの処理時間を必要とする部分はオシロ目盛等のノイズの除去過程である。写真の質によっては、自動で処理できなかったノイズを手で除去する場合もある。そこで、この処理過程を省略し、自動処理の高速化を行った一例が、図5に示した方法である。すなわち、オシロ写真を撮る段階において、まずオシロ目盛のみの写真〔(a) 図〕を撮っておき、以後、カメラ等の条件によってこの目盛が変わらない限り、観測波形は目盛なしで撮影〔(b) 図〕してい



(a) プラズマ観測オシロ波形

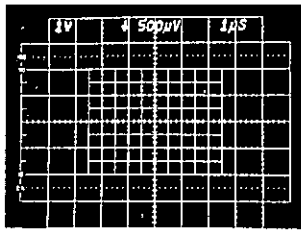


(b) 細線化処理結果

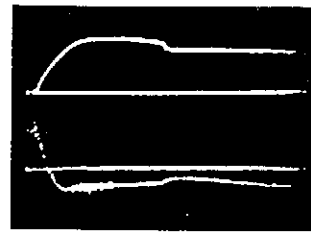


(c) 数値化演算結果のプロット

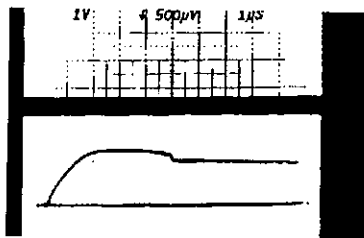
図4 実際のプラズマ観測波形の処理例



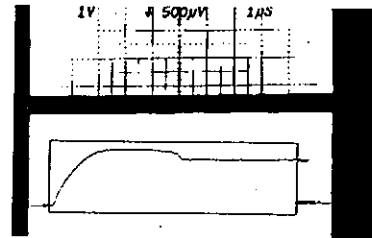
(a)



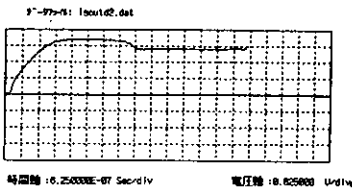
(b)



(c)



(d)



(e)

図5 自動処理の高速化の一例

く。この場合、オシロの目盛感度値は別に記録しておく必要がある。(c)図は、こうして得られた写真を同時にスキャナで読込んだものである。図から判るように、波形画像部にはノイズがないため(d)図のように即、細線化処理を行うことが可能である。

5. おわりに

標準規格のイメージスキャナと基本的なパソコンシステムで処理システムを構成し、それを実際の実験観測波形の処理に適用した。その結果、比較的鮮明な写真波形については、問題なく自動処理が可能であった。不鮮明なものについては、人手による修正過程が必要であったが、<4.2>節で述べたような本方式を意識した処理の工夫(前処理)により、以前にまして、より高速な自動処理が可能となった。

今後の課題としては、ノイズの多い写真の高速処理法の一つとして、エキスパートシステム(データベース)の導入を検討したい。又、写真のスキャナ読取りから波形の数値化までの処理過程を全自動化したいと考えている。

終わりに、本研究を遂行するに当たり、パソコン等のシステムを心良くお貸し下さった名古屋大学プラズマ科学センターの佐藤紘一助教授に心より感謝致します。

参考文献

- 1) 山口他: 「カーブ・リーダーを使ったデータ処理」、名大プラ研レポート IPPJ-DT-99、1982
- 2) 有本: 「イメージスキャナによるオシログラフのデータ処理」、電気関連学会東海連合大会講演論文集、523(1990)

アバランシェ・トランジスタの ブレーク・ダウン特性

京都大学原子炉実験所 技術室 高見 清

1. はじめに

トランジスタの二次降伏現象を利用したパルサをアバランシェ・パルサといい、パルサに有用なトランジスタをアバランシェ・トランジスタ（以下、アバランシェTr）と呼ぶ。アバランシェ・パルサは、容易に高速、高出力パルスが発生できることから、レーザーや加速器などに利用されている。

アバランシェ・パルサで、より高速（立上がり時間数100pS以下）パルスが発生させるには、アバランシェTrの特性を生かした回路も重要であるが、トランジスタの選択も大切である。性能のよいアバランシェTrを探そうと、トランジスタのデータ・ブックを見ても、二次降伏現象が特殊な動作のために V_{CBO} 定格以外、参考にならない。

パルサを作らずに、アバランシェ・パルサの性能を推測できれば、多段化などの選別にも有用である。ここでは、 $V_{CES} - I_C$ 直流（静）特性とアバランシェTr特性の関連を示し、アバランシェTr特性の新しい推測（選別）方法を提案する。

そして、選別した2SC3733K(NEC) 8段を使い、パルス半値巾が ~ 0.5 nS、ピーク電圧が ~ 200 voltsのパルスが発生したので、この回路方式についても報告する。

2. ブレーク・ダウン（雪崩増倍）特性

アバランシェTrの立上がり時間を制限する要因として、ストレー・インピーダンスが挙げられている。しかし、アバランシェTrを比較すると、パッケージが同じでも速度が違ったり、高圧パルスが発生できるものほど、遅い傾向等があり、ストレー・インピーダンス以外の要因も考えられる。

アバランシェ・パルサは、トランジスタを一次降伏状態にバイアス（コレクタ電流）し、ベースにパルスを加えたり、コレクタ電圧を上げて、二次降伏を起こしてパルスが発生する。これは、二次降伏前に一次降伏を進めていることを意味する。二次降伏と一次降伏が、別現象だとしても一次降伏（ブレーク・ダウン）特性からアバランシェ・パルス特性の何かを評価（推測）できる可能性がある。

一次降伏は、コレクタ・ベース(PN)接合に高電界が加わって起こる電子雪崩降伏現象である。二次降伏するまでの $V_{CES} - I_C$ 特性（ベース・エミッタ短絡コレクタ・エミッタ電圧-コレクタ電流）は、 $V_{CBO} - I_C$ 特性（エミッタ開放コレクタ・ベース電圧-コレクタ電流）に大略等しい。電子雪崩降伏のキャリア増倍率Mは、式(1)で表される。⁽¹⁾

$$M = \frac{1}{1 - (V/V_B)^n} \dots\dots\dots \text{式(1)}$$

雪崩増倍が進み、コレクタ電流が大きくなってから二次降伏現象が起こる。

ブレーク・ダウン特性の測定には、米国KEITHLEY社ソース/メジャー・ユニット 237型

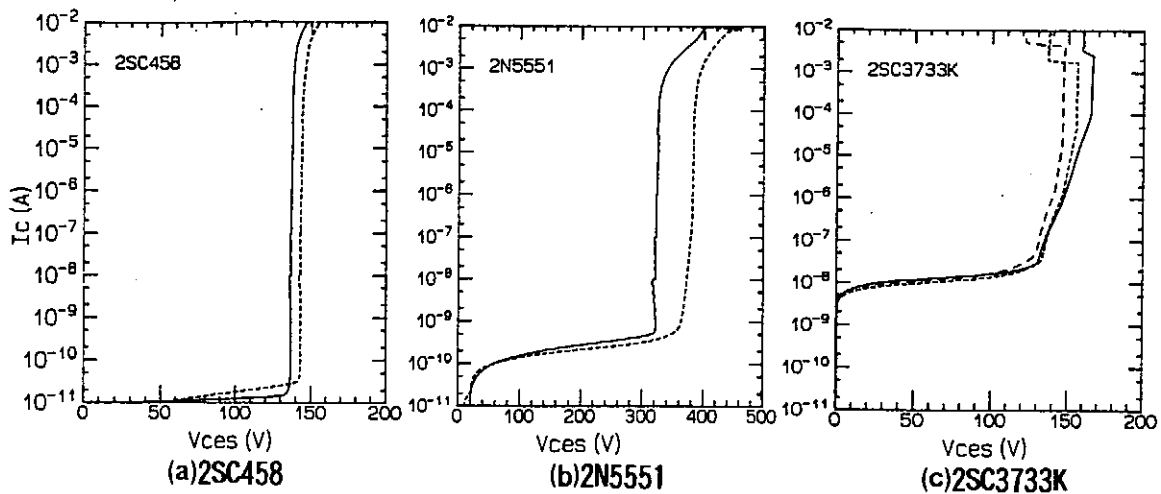


図1. ブレーク・ダウン特性の測定例

を使った。これは、電流(電圧)を掃引しながら、電圧(電流)を測定・記憶できる測定器である。パソコン(GPIB)で測定条件の設定、測定結果の読み込み、プロットを行った。

アバランシェTr 2SC458(日立), 2N5551(MOT), 2SC3733Kの測定例を図1に示す。

2SC458や2N5551は、一次降伏後、数ボルトの上昇で1nA以下から数mAになり、その後、数10~100ボルトの上昇で10~数10mAになって、二次降伏現象が発生する。(237型の最高電流は、1,100Vレンジでは10mA。)二次降伏直前の急な電圧上昇は、式(1)では生じないカーブであるが、トランジスタの一般的な特性である。

2SC3733は、急な電圧上昇前に二次降伏が起こり、一次降伏特性も式(1)と異なる。また、一部(~10%強)に、低い電流で二次降伏を起こすものや漏れ電流の大きいものがあった。このようなトランジスタは、今回の比較テストからは除外した。

今回は、ブレーク・ダウン特性のプロット(~2,000本)から比較したが、グラフは傾向を見るもので、正確な比較には、特性の数値化が必要である。

3. ブレーク・ダウン特性とアバランシェ・パルス特性の関連

アバランシェ・パルス特性の測定は時間が掛かり、測定した本数は50本に満たない。ブレーク・ダウン特性の測定と、この測定から、次のような知見と関連性を見出した。これは、従来、パルスが発生して分かったことであるが、ブレーク・ダウン特性からもかなりの確度で、アバランシェ・パルス特性を推測できると判断している。

3.1 二次降伏現象直前の電圧上昇

二次降伏するまでの $V_{CES} - I_C$ 曲線が $V_{CBO} - I_C$ 曲線と同じということは、二次降伏するまでの I_C は、主にベースを流れ、二次降伏を起こしてからエミッタを流れる。

PN接合逆バイアスの電子雪崩増倍を示す式(1)は、接合部の特性を示すもので、急な電圧上昇(増倍率低下)は、ベース抵抗(r_b に相当? 線形抵抗でないものもある。)によるものと予想できる。

二次降伏を起こしやすい(≒速い)トランジスタは、少ない電圧上昇で二次降伏を起こし、アバランシェTrになりにくい(≒遅い)トランジスタは、かなりの電圧上昇後に、二次降伏を起こす。

関連性(1)『二次降伏直前の電圧上昇が大きいトランジスタは、パルスの立上がり時間が大きいと予測できる。』

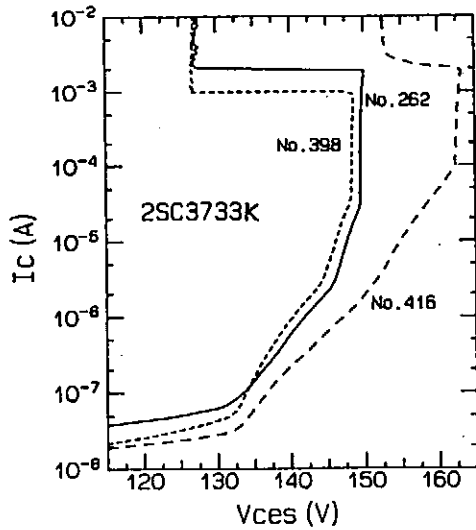


図2. 2SC3733Kのブレイク・ダウン特性

3.2 パルスの立上がり時間や遅れ時間

図2に、2SC3733K 3本のブレイク・ダウン特性を示す。図3に、同じトランジスタのコレクタ・バイアス電流を変えた時のパルス波形（アバランシェ・パルス特性）を示し、両者を比較する。

おおよそ、一次降伏が起こる電圧からアバランシェ・パルスが発生し、コレクタ電流の増加とともに、トリガ入力に対する遅れが少なく、立上がりが速く、振幅が増加する。

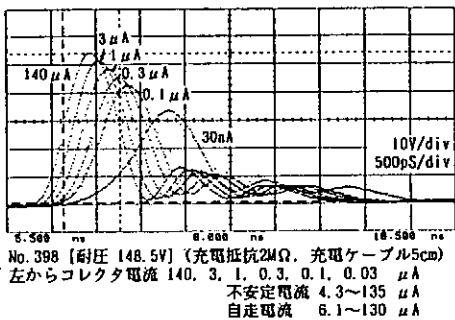
No. 398とNo. 262のブレイク・ダウン特性を比較すると、No. 398の方が、少ない電流から一次降伏が明確に起こっている以外は似ている。アバランシェ・パルスは、No. 398の方が、30nAでパルスが発生し、No. 262は、~40nAにして発生する。しかし、0.1 μ A以上の電流では、No. 398とNo. 262の遅れ・立上がり・振幅等のパルス特性は、かなり似ている。

No. 398とNo. 416のブレイク・ダウン特性を比較すると、一次降伏の起こり始めは似ているが、No. 416は、耐圧が大きく、雪崩増倍率が小さい。アバランシェ・パルス特性では、No. 416もNo. 398と同様に30nAからパルスが発生するが、振幅と遅れ時間が大きい。

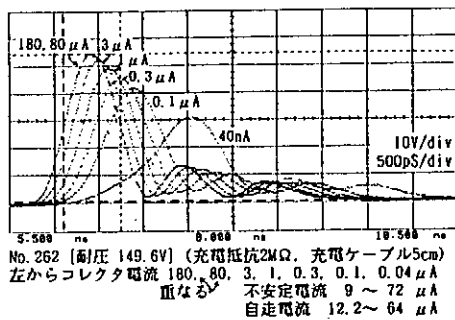
関連性(2)『コレクタ電圧(V_{CE}) [電源電圧ではない] と二次降伏直前の電圧との差が、遅れ時間や立上がり時間に関係する。(比例?)』

関連性(3)『低電流での雪崩増倍率が小さいもの程、遅れが大きく、立上がりも遅い。』

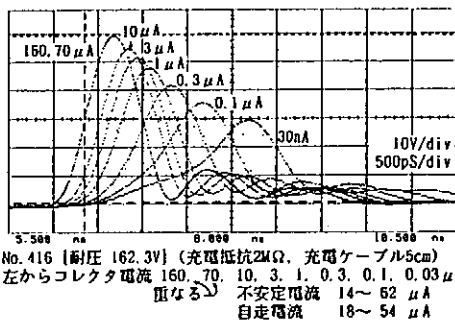
これらの関係は、他の2SC3733Kでも確認できる。



No. 398 [耐圧 148.5V] (充電抵抗2M Ω , 充電ケーブル5cm)
左からコレクタ電流 140, 3, 1, 0.3, 0.1, 0.03 μ A
不安定電流 4.3~135 μ A
自走電流 6.1~130 μ A



No. 262 [耐圧 149.6V] (充電抵抗2M Ω , 充電ケーブル5cm)
左からコレクタ電流 180, 80, 3, 1, 0.3, 0.1, 0.04 μ A
重なる不安定電流 9~72 μ A
自走電流 12.2~64 μ A



No. 416 [耐圧 162.3V] (充電抵抗2M Ω , 充電ケーブル5cm)
左からコレクタ電流 160, 70, 10, 3, 1, 0.3, 0.1, 0.03 μ A
重なる不安定電流 14~62 μ A
自走電流 18~54 μ A

図3. 2SC3733Kのアバランシェ・パルス特性

3.3 2SC3733 の安定動作バイアス電流

2SC3733 は、図3から分かるように、より大きいバイアス電流にする程、立上がりや遅れが改善される。しかし、直列接続（多段化）する場合、安定に動作するバイアス電流は、使うトランジスタの「不安定電流」（図3各波形の下に示す値）の最小値で制限される。このために、2SC3733 を多段化するには、バイアス電流による選別が、是非、必要で、ブレイク・ダウン特性の測定の目的もここにあった。

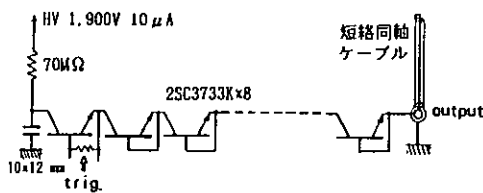


図4. 多段短パルス回路図

当初、「低電流領域での雪崩増倍率の小さいものが、安定動作バイアス電流が大きい」(関連性?)と予想した。これは、ある確率では正しかったが、100パーセントではなかった。ブレーク・ダウン特性で選別後、パルス・テスト(或いは、別の方法)での確認が必要である。

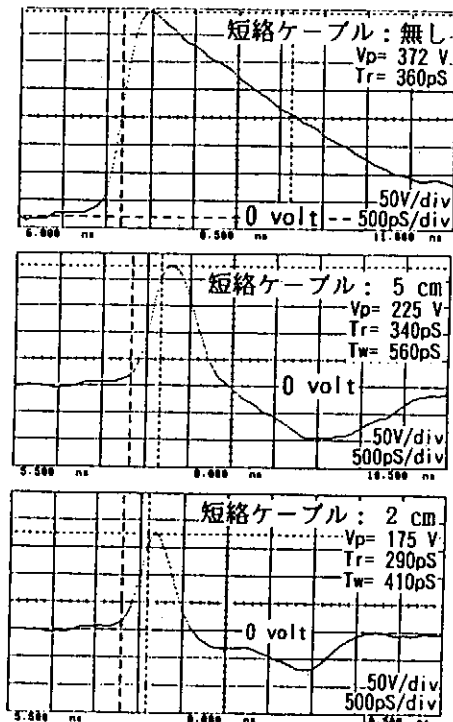


図5. パルサ出力波形

4. 多段短パルス発生回路

多段アバランシェ・パルサの充電側に最も近いトランジスタにトリガをかけると、立上がりは速いが、立下がりが遅くなる。逆に、出力側に最も近いトランジスタにトリガをかけると、立上がりは遅く、立下がりが速くなる。(2)

このようなことから、単純な回路では、短パルスを得られないと判断した。アバランシェ・パルサは、速い立上がりパルスを得ることに専念し、出力に片側短絡の同軸ケーブルを並列接続してクリップすることにした。図4に回路図を、図5に短絡ケーブル長を変えた波形を示す。

この回路方式によって、従来、難しかった短パルス(パルス半値巾で $<0.5\text{nS}$)の発生を容易にした。しかし、トランジスタ段数と比して出力振幅が小さい。回路パターンやトリガ回路に、改善の余地がある。

5. おわりに

ブレークダウン特性からアバランシェ T_r 特性の評価方法を提案した。しかし、測定したトランジスタの種類もサンプル数(2SC3733を除き)も少なく、関連性の明確化には、もっと比較測定をする必要がある。

2SC3733を多段化するには、歩留りの高さや大きさ(形状)が欠点である。今後もより良いアバランシェ T_r を探す努力を続けたい。

多段短パルス発生回路は、「二次降伏現象はエネルギーの関数」(1)との考えに基づいて、回路パターンやトリガ回路を検討し、より高速パルスを発生したい。

測定器やトランジスタの購入に際して、当実験所の研究助成費等々から援助を受けて行いました。ここに感謝致します。

《参考文献》

- (1)NECデータ・ブック「シリコン小信号トランジスタ・ダイオード 1989 P573
- (2)高見清: Proc. of the 15th Linear Accelerator meeting in Japan 1989 P156

アモルファスコアモニターの特性

高エネルギー物理学研究所
加速器 内藤 孝

1. はじめに

高エネルギー物理学研究所ではTRISTAN後の将来計画としてリニアコライダーJLC計画が検討され、そのR&DのためにTRISTAN日光実験室内に試験加速器(ATF)作り実験を行なっている。本報告は、JLC計画に必要なビームパラメーターとビームストラクチャー(図1)¹⁾を、通常使われている熱陰極電子銃とサブハーモニックパンチャー(SHB)で構成する場合(図2)に熱陰極電子銃から出てくる電子ビームをモニターするためのコアモニターの特性の測定とその改良について報告する。

2. コアモニターの特性

ATFで要求されるコアモニターの特性は、立ち上がりの速いビーム(サブナノセック)をモニターできる高速応答性と14 nsのパルスも忠実に再現する低周波特性である。図3にコアモニターの構成と等価回路を示す。

出力電流は、巻数をNとすると

$$I_o = I_b / N \quad (1)$$

広域、底域の各遮断周波数は、

$$\text{Low cutoff freq.} \quad \omega_{CL} = R / L \quad (2)$$

$$\text{High cutoff freq.} \quad \omega_{CH} = 1 / CR \quad (3)$$

Table I Beam parameters of JLC

Number of particles per bunch	1.0×10^{10}
Number of bunches per rf pulse	10
Repetition rate of rf pulse	200
Bunch spacing	1.4 ns
Flatness	< +/- 2%

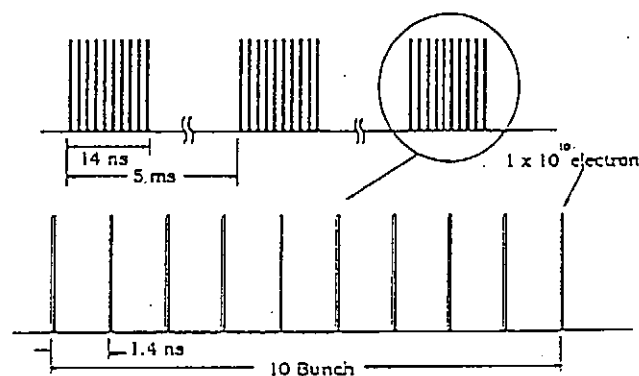


図 1

Figure 1. Beam structure of JLC

(2) のLは、

$$L = K \mu_0 \mu_s AN^2 / l \quad (4)$$

とあらわすことが出来る。

アモルファスコアコアモニターは、東大工学部附属原子力研究施設の小林氏らによって開発されたもので²⁾、コアモニターのコアに透磁率の高いアモルファスコアを用いることによって(4)のLを大きくすることが出来、底域遮断特性が良くなる。従ってコアの巻数を少なくすることが出来、出力電圧は大きく、droopの少ないモニターができる。と同時に巻数が少ないので浮遊容量Cも少なくすることが出来、結果的に高速のコアモニターを作ることが出来る。小林氏らの実験では2 ns電子ビームによって測定が行なわれており、さらに速いビームに対しては忠実な波形が観測されていない。

3. パルス応答の測定

アモルファスコアモニターの特性を測定するために、テーパ管と内導体を作り、入力にはATF電子銃グリッドパルサーの仕様で制作したKentech社製ショートパルサーを用いて電子ビームを模擬したテストベンチを制作した。(図4) このグリッドパルサーは、rise time 200psを持ち pulse width 200ps, 1ns, 14ns のモードを持つ。この速さのパルスをモニターすることは通常のコアモニターより1桁以上高速の応答が要求される。そのため、コアモニターはdroopより高速性を優先し、巻数Nは1ターンのワイヤーとした。

Grid pulser and SHB system for 10 bunched current

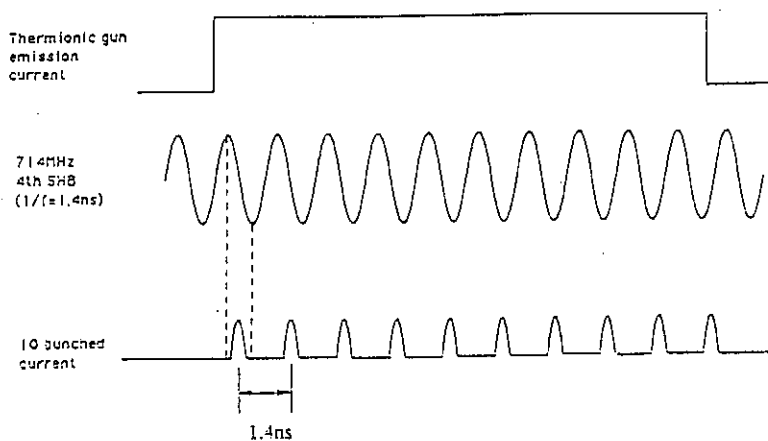


図 2

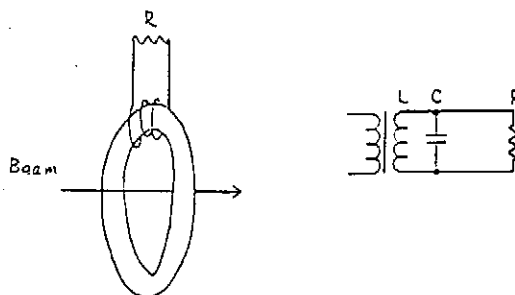


図 3

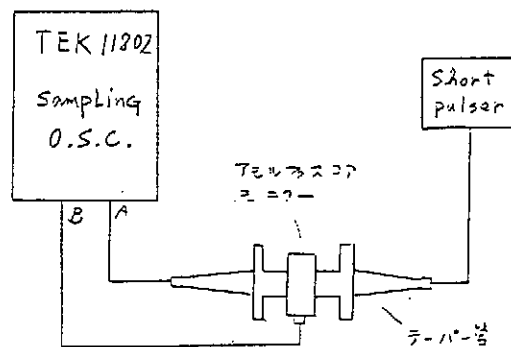


図 4

4.特性の改良

pulse width 200psと1nのパルスについて測定した波形を図5に示す。図5では浮遊容量Cとコイルのインダクタンスによるリングングが見える。これを改良するために1ターンのワイヤーを3本並列にした。その特性を図6に示す。だいぶ改良されたがまだ pulse width 14ns で異常な波形が観測される。さらに改善するために1ターンのワイヤーを約5mm幅の銅板で製作した。その特性を図7に示す。コイルのワインディングをこのように調整することによってほぼ満足の行く特性が得られた。

5.まとめ

アモルファスコアモニターの特性はコアのコイルを改良することによって、

- 1) Fast rise time のパルスに対して十分な応答 (~ 500 ps) が得られた。
- 2) Pulse width 14ns のパルスに対しても (実用可能な) droop ($\sim 20\%$) が得られた。

6.今後の課題

今回の実験に使用したアモルファスコアモニターは、製作寸法がコア径から真空ダクトの内径が16φと小さく、取付け場所が制限される。今後、コア径の大きなものを使用し、真空ダクトのアーチャーを大きくしたものを製作し特性を測定する予定である。

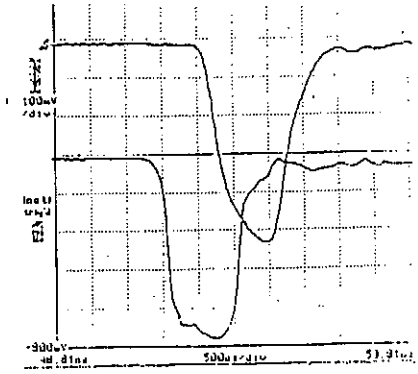
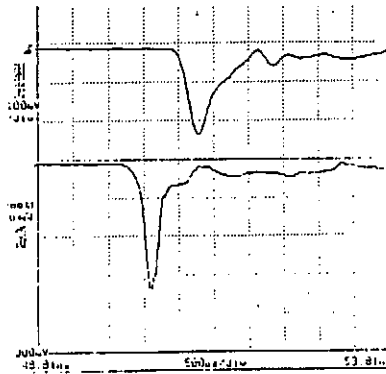
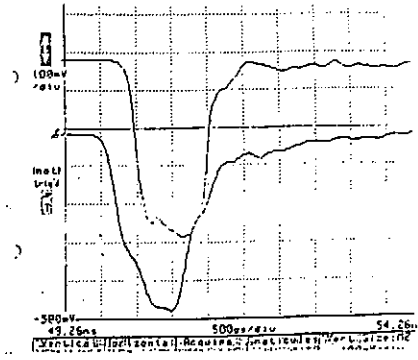
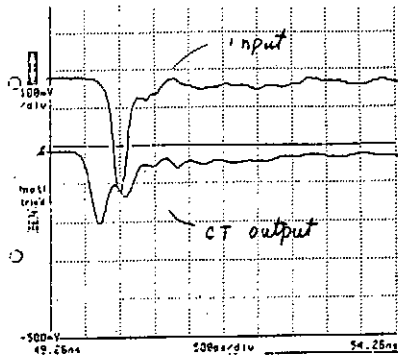
7.謝辞

本実験に使用したテーパー管と内導体の製作は、本所工作センターの榊原氏にご協力をいただきました。また、コアモニターの特性に関していろいろご助言をいただいた本所加速器の木代助教授、および多岐にわたりご協力をいただいたリニアコライダーR&Dグループの皆さんに感謝致します。

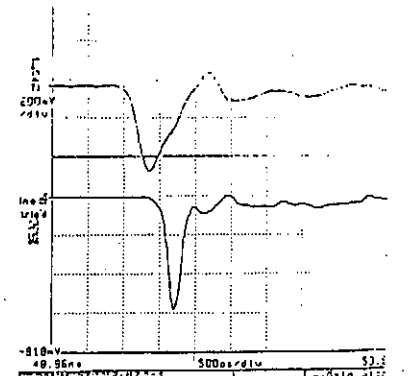
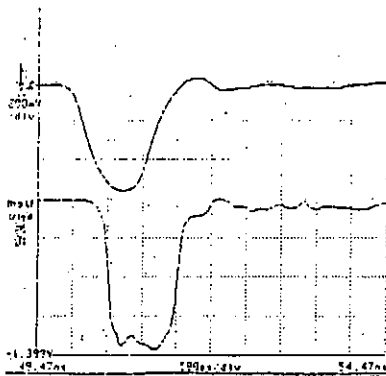
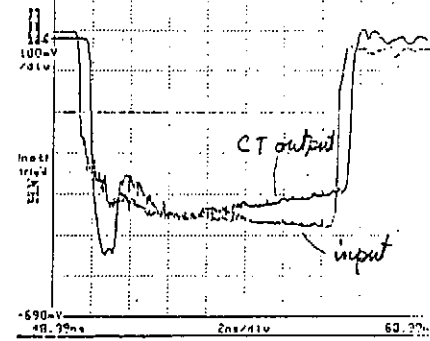
8.参考文献

- 1) Proceedings of the First Workshop on Japan Linear Collider(JLC), Tsukuba, Japan, 1989
- 2) 小林利明：応用物理 Vol.57, No.9, p1382(1988)

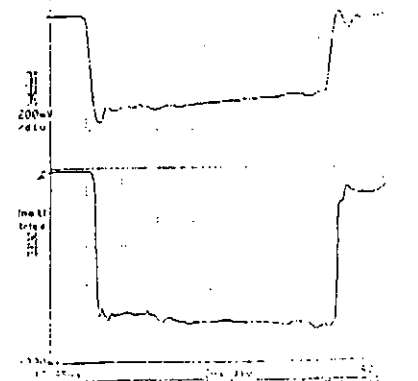
5



6



7



LOW-LEVEL RADIOACTIVE ISOTOPES CONTAINED IN MATERIALS
USED FOR BETA-RAY AND GAMMA-RAY DETECTORS

大阪大学理学部 ○松岡健次, 江尻宏泰
高エネルギー物理学研究所 上窪田紀彦

◇謎の粒子ニュートリノとは？

ニュートリノは、物質の究極である素粒子の一つであると考えられているが、その透過力は、地球を何個も突き抜けるほど絶大であるので検出することが非常に難しく、その正体はまったく謎に包まれているといってもよい。(Fig 1.)

最近まで、ニュートリノは光と同じように全く質量をもたず、光速で飛びかい、その進行方向に対し左巻きのラセン運動をしていると信じられていた。しかし、自然界を支配する4つの力つまり重力、電気や磁気の力、原子核をまとめる強い力とベータ崩壊に参与する弱い力 (Fig 2.) のうち、最近ミクロの世界で支配的である電磁力、強い力、弱い力の3つの力が同じ起源から生じているとする大統一理論が考えられ始めた。

その理論によるとニュートリノは質量が0ではなく、非常に微小な質量を持っており、右巻きのラセン運動もしていることになる。ビッグバンで誕生したこの宇宙全体はニュートリノで満ち満ちているので、もしニュートリノにわずかでも質量があれば、宇宙の質量は大幅に増え、いつまでも膨張し続ける事なくやがては収縮に向かうようになる。

まるで幽霊のようなニュートリノの質量をどのようにして測定すればよいのか？

それは二重ベータ崩壊という反応を通して測定する。

◇二重ベータ崩壊とは？

放射性元素の中には、自らベータ線(電子)を放出し、別の元素に変化するものがある。こうした放射性同位元素を一般に「ベータ崩壊核種」という。世の中にはベータ崩壊を2度連続して起こし別の元素に核変化する同位元素が存在する。

二重ベータ崩壊とは、ベータ崩壊が2回起こることで、4つの力のうち「弱い力」によって起こり、原子核中の中性子が電子とニュートリノ(正確には反ニュートリノ)を放出して、陽子に変換されることだと解釈されている。また、中性子がニュートリノと反応して陽子となり、電子を放出する場合もある。二重ベータ崩壊は合計2つの電子が放出されるわけですが、この時ニュートリノが出ない場合と出る場合がある。(Fig 3.) もしニュートリノが出ない反応が発見されると、そこからニュートリノの質量が存在するという結果が得られる。現在のところニュートリノの質量は1~2 eV以下であることが判っており、この値はどんどん小さくなっている。

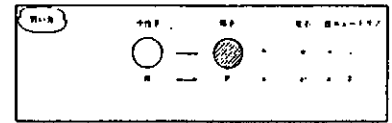
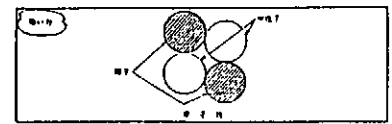
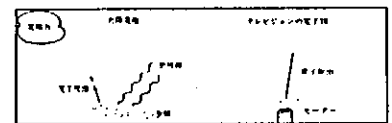
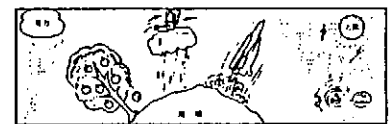
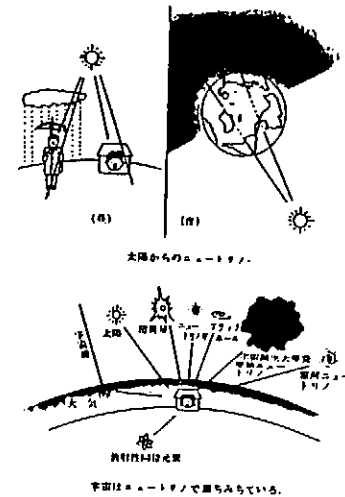


Fig 2. 自然界の4つの力

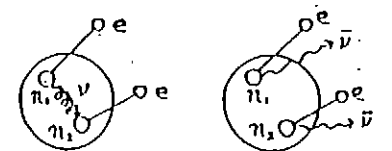
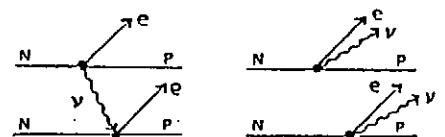


Fig 3. 二重ベータ崩壊様式

◇ELEGANTSについて

ELEGANTS (Electron Gamma-ray Neutrino Spectrometer) とは電子線・ガンマ線・ニュートリノ分光器の略で1号から始まり改良開発を重ねて現在V号まである。新しく開発したV号は現在岐阜県神岡町の茂住鉱山地下1000mの神岡地下実験室にあり検出感度は従来の世界最高水準より10倍高い装置である。(Fig 4.)

新装置は主に次の6点からできている (Fig 5)

1. 二重ベータ崩壊試料 ^{100}Mo 核 (^{160}Nd 核)

* ニュートリノの質量や右巻きラセン運動の有無に関し最高の感度を持つ二重ベータ崩壊同位元素

2. ドリフト型位置検出器

* 2個のベータ線の飛跡を立体的にとらえ雑音現象との区別を行う

3. ベータ線検出器群

* 2個のベータ線が放出されたことを確認し、それらのエネルギーを個々に測定する

4. ガンマ線検出器群

* 自然放射能による雑音の区別

5. 外部放射線シールド

* 自然放射能のない特殊な銅・鉛を使用したシールド材

6. データ処理回路計算機系

* 80個のベータ・ガンマ検出器群と500個の飛跡情報を能率よく、もろさず収集する大容量、高速処理系

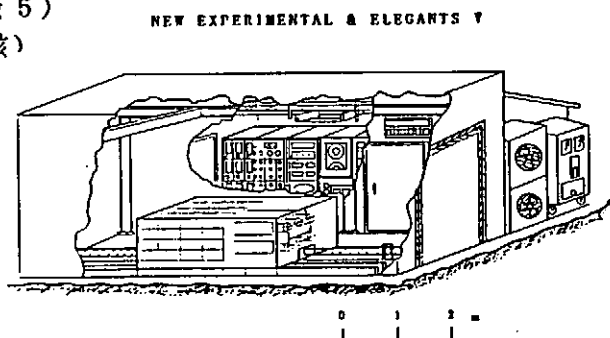


Fig 4. 神岡地下実験室

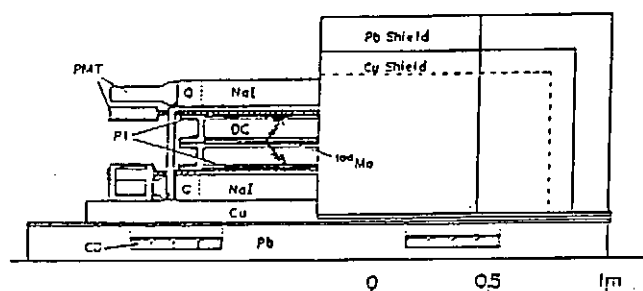


Fig 5. ELEGANTS V号

◇極微量自然放射能測定 (ELEGANTS III号)

1. 目的

ELEGANTS V号に使用する検出器材料に含まれる極微量自然放射能測定

目標 1ppb

* Uに対し 0.33 p c i / k g

* Thに対し 0.11 p c i / k g

2. Ge検出器による放射能測定の利点

* 高分解能での γ 線測定のため、核種同定に有利
* 大量試料を非破壊で測定できる

3. 実験装置

* 低バックグラウンド用Ge検出器を利用 (^{76}Ge 二重ベータ崩壊用)

1. Ge結晶が大型 (171cc) のため検出効率が高い
2. Ge検出器周辺材料に低バックグラウンド用材料のみを使用
3. Ge結晶冷却ロッドが長く、外部からの放射線を遮蔽しやすい

* 10cm無酸素銅・10cm鉛で囲って外部からの γ 線バックグラウンドを遮蔽

* 上部半分をプラスチックシンチレータで囲い、宇宙線による信号を識別・除去

* 最内部は窒素ガスを満たし、空気中の放射性ラドンの影響をのぞく

1週間の測定で1 p c i / k g程度まで測定できる

◇試料測定結果 (160 サンプルより抜粋)

- * 光電子増倍管部品 (浜松 photonics 社)
- * シンチレーション検出器部品 (BICRON 社, Harshow 社)
- * 低バックグラウンド測定用重シールド材料
- * 低バックグラウンド検出器用ケース材料
- * ドリフトチェンバー部品
- * その他

SAMPLE (mm)	WEIGHT (gr)	CONTAMINATION (pCi/kg)				
		U-chain	Th-chain	40K	137Cs	60Co
Normal glass						
(80x60x30)	60	690±14	50±9	17100±300	16±5	<7
K-free glass						
(70x60x30)	80	960±14	30±6	350±50	12±4	<4
Kovar						
(65x70x25)	50	630±14	300±11	9300±240	<9	7±3
Quartz						
(70x70x20)	44	20±4	<7	<40	<5	<4
μ-metal						
(80x93x14)	310	3.4±0.7	7±1	100±0	<0.8	0.8±0.3
Cathode electrode						
(60x60x40)	60	90±0	40±7	300±60	9±5	5±3
Breeder (base)						
(56φx3)	0	510±20	550±20	790±100	<17	<7
Breeder (C, P)						
(90x30x15)	32	670±10	630±10	1420±80	12±5	<5
Red rubber						
(45x25x4)	7.0	<20	<17	90±60	<12	<6
Epoxy/silicon rubber						
(90φx60)	400	20±1	<1	13±4	<0.7	<0.5
Photo diode						
(25x25x3)	74	920±20	210±10	60±25	14±3	<3
LowBackground PMT						
(89φx170)	460	32±1	16±1	500±22	1.0±0.6	<1.4

SAMPLE (mm)	WEIGHT (gr)	CONTAMINATION (pCi/kg)				
		U-chain	Th-chain	40K	137Cs	60Co
OFHC						
(95X63X10)	435	<0.6	<0.5	<6	0.4±0.2	<0.3
SUS (A)						
(95X95X4)	303	<0.8	<0.7	<9	<0.7	1.4±0.2
SUS (D)						
(90X86X7)	735	<0.4	<0.6	<5	<0.3	0.5±0.1
SUS (C)						
(85X80X7)	255	<1.6	1.4±0.5	<9	<0.6	<0.4
Titanium						
(90X90X21)	832	<0.6	0.7±0.2	<4	0.3±0.1	<0.1
Al normal (A)						
(90x90x14)	278	430±20	38±1	<9	<0.7	<0.7
Al (99.99%) (D)						
(90x75x87)	1500	3000±80	30±1	<9	<1.6	<0.4
Al (99.99%) (C)						
(92x92x16)	322	30±8	4.6±0.5	<8	<0.6	<0.3
Al (99.999%) (B)						
(90x90x40)	880	<11	<0.7	<3	<0.3	<0.2
NaI scintillator						
(60x55x50)	383	<4	<2	<12	<3	0.8±0.4
Plastic scinti.						
(75x74x76)	427	<1.4	<1.1	<9	3.0±0.6	<0.6
Quartz						
(68φx7.8)	110	<3	<3	<16	<1.9	<1.8
Sand paper						
(50x50x10)	19	1430±30	2450±30	1600±130	13±9	<11
Printed board						
(60φx62)	500	520±5	620±5	560±20	7±2	<1.4
Glass epoxy						
(77x77x10)	59	1460±40	1490±40	1800±200	<28	20±8
Heat contraction tube						
	102	290±11	<10	<89	569±15	46±4.2
Solder						
	98	0.69±0.63	<1	<10.7	0.60±0.43	<0.56

計算機・データ処理技術分科会

名大大型計算機センターUNIXシステム

名古屋大学大型計算機センター 第一業務掛 瀬川午直

1. はじめに

名大大型計算機センター（名大センターと略す。）では、1986年10月より富士通製スーパーミニコンピュータS-3300を導入し、UNIX（正式にはUTS：Universal Timesharing System）のサービスを行っている。翌年6月には、東大大型計算機センターとの接続を行い、JUNETに接続することにより、国内や海外へのメール・サービスが可能となった。

その間、ユーザ数の増加にともなって、1987年11月より第二世代のA-600へ更新した。1989年8月には、学術情報センターによる学術情報網でのX.25を用いてLAN間接続テストを行い、JAINによるIP接続が可能になった。現在は、7大大型計算機センターの全てが接続を完了している。

従来は、ポートセレクタ（PACX）による利用しかできなかったが、1989年度よりキャンパスLAN（NICE：Nagoya University Integrated Communication Environment）の構築が始まり、一部の部局でNICE（Ethernet）を介しての利用が可能になった。

UNIXの利用目的は、ネットワーク時代を象徴するかのようにメールやニュースのサービスが主体となっている。

以下にUNIXシステムの概要と、ネットワーク事情について述べる。

2. システム構成

名大センターのUNIXシステムは、CPUがA-600で、主記憶15MBからなる。ここ1～2年メールやニュースの量が増加しており、1990年末にファイル、通信制御装置（CCP）等の増強を行った。1991年1月現在の構成を、図1に示す。LANAを介してセンター内LANさらにNICEと接続され、工学部情報工学科などTCP/IPを用いたメール、ニュースの配送を行っている。センター内においては、FETEXとSS-NETによるデジタルPBX LANが敷設されており、各部屋に設置された電話からの利用が可能となっている。PACXを介しての公衆回線からの利用は、9.6kまでである。さらに高速で接続できるように、ISDNを用いての接続実験ができるようにした。

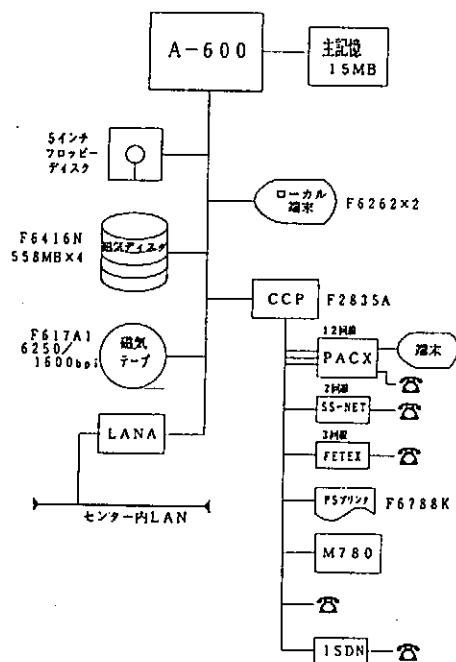
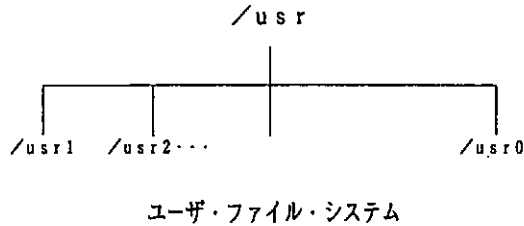


図1 A-600システム構成図

3. ファイル・システム

年末にファイルを増強したのに伴って、ファイル・システムの構成を変更した。今後、増える可能性のあるメール、ニュース、フリーソフトウェア格納領域をできるだけ大きく確保するようにした。ユーザ用ファイル・システムについては、増強する前は /usr1 を一般ユーザ用ディレクトリとしていたが、登録番号の6桁目の数字でさらに10個のディレクトリに分割し、その下を一般ユーザのホームディレクトリとした。例えば、a41234aのユーザのホームディレクトリは、/usr/usr4/a41234aとなる。



F 6 4 1 6 N X 4 (5 5 8 M B X 4)

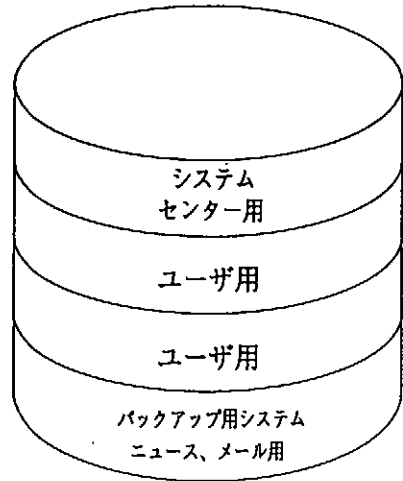


図2 ファイル・システム

4. ソフトウェア

ソフトウェアは、メーカーからサポートされているソフトウェアと、UNIXユーザが開発したフリーソフトウェア類に分けられる。言語は、C, FORTRAN, PASCALが、エディタとしては、vi, jviがメーカーからサポートされている。フリーソフトウェア類では、エディタとしてNemac sが利用できる。gnu, rn等のメール、ニュース用フリーソフトウェアも利用可能となっている。

5. 学内ネットワーク事情

名大センターのUNIXシステムは、A-600 (nuc c)を中心としたスター型のシステムである。A-600への更新と同時に、富士通製ワークステーションA-50を3台設置し、センター内LANを構築した。このうち、2台をJAIN (nug w)とSLIP (nug w2)用ゲートウェイとして使用し、残り1台をユーザ用に開放している。センター内ネットワーク構成を図3に示す。

最初は、A-600で専用線または電話

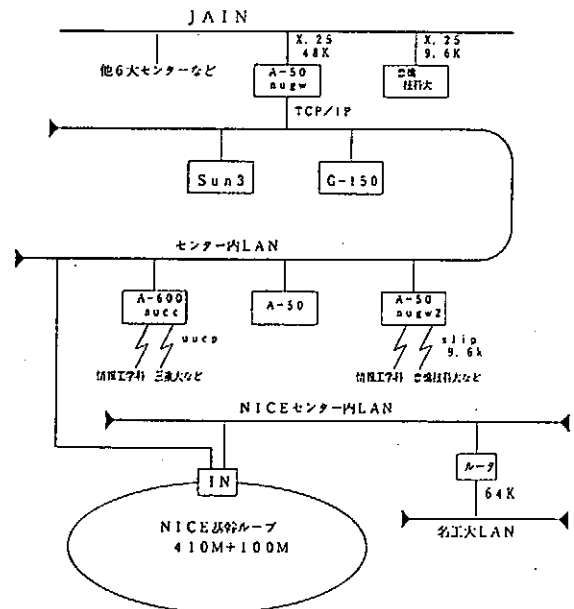


図3 センター内ネットワーク構成図

回線を使ってuucpによる接続をしていたが、専用線を使ったSLIPに移行し、さらにNICEの構築が始まってからは、Ethernetを介してのIP接続へと移行しつつある。現在、nucにはuucpで6サイトが、nugw2にはSLIPで工学部5号館LANなど2サイト、さらに2サイトが接続テスト中である。nugwは、JAINに接続され7大大型計算機センターをはじめ多数のサイトとIP接続を行っている。今年に入って、1日のニュース流通量が15～20MBになってきており、公衆回線を使ってのuucp接続では限界にきている。

現在、NICEには、約430台のワークステーション、パソコンが接続されている。今後、NICEの敷設が進むにつれ、さらに研究室に設置されているワークステーションや新たに導入されるワークステーションが接続されるであろう。これらのワークステーションを使って直接メールやニュースを読むことができるようになり、分散型システムへと移行していくと思われる。

6. 学外ネットワーク事情

これまで名大センターのUNIXシステムでは、JUNETに接続してメールのサービスを行ってきた。JUNETは、公衆回線を使ってuucpによるバケツリレー式のネットワークを形成していることが多い。このため、海外メール等のレスポンスが非常に遅くなることもある。そこで、メール等が即座に転送できるIPによるネットワークに参加する組織が増えてきている。日本での代表的なIPネットワークには、WIDE（広域分散環境の構築を目的とした産学共同研究プロジェクト）、TISN（東京大学理学部が中心となって国公立の理学関係の研究機関を結ぶネットワーク）、JAIN（全国主要大学の計算機センターが中心となって学術情報網でX.25を用いたネットワーク）の3つがあり、相互に接続されている。このうち、WIDE、TISNは、米国インターネットと接続され国際IPネットワークとして利用されている。従って、これらのネットワークとLAN間接続をすることにより、国際IPネットワークを利用することができる。名大センターは、JAINに接続している。将来、企業等も含めて利用できるネットワークが東海地区でも必要になるであろう。その場合、東海地区のどのサイトからでも利用できるように、東海INETが形成されつつある。参加サイトは、接続テスト中も含み大学などのacが14、その他、企業等のco, orが19である。

メール、ニュースだけでなく、ftp, telnet等のコマンドで自由にアクセスするには、IP接続が必要である。WIDE、TISNでは、64kで接続されているサイトが多く、JAINは、9.6kが主流であるため、IP接続には、少し無理がある。名大センターでは、1990年10月より48kに切り換えている。今後は、JAINでも48kでのLAN間接続が増えていくであろう。

7. おわりに

NICEの敷設が進むにつれ研究室のワークステーションが接続されるようになってくると、ネーム・サーバの導入が必要になるであろう。来年度は、ネーム・サーバの導入、メール・サーバの導入、学外ユーザのためのSLIP用マシンのグレードアップが予定されている。さらに、NICEの構築が完了するため、NICEとJAINのゲートウェイのグレードアップも検討する必要がある。

汎用大型計算機システムへの "UNIX" OSの導入と試験運用

核融合科学研究所計算機センター 加藤 丈雄

〔I〕はじめに

近年、計算機システム用のOS（オペレーティング・システム）として国際的に共通性のある“UNIX”システムがクローズアップされてきた。ミニコンやワークステーションの多くがこのOSを採用しており、更に最近では超大型計算機システム（いわゆるスーパーコンピュータ）もこのOSを採用し始めてきている。

当センターでは、汎用大型計算機システム（FACOM M-380）に時代の趨勢である“UNIX”システムであるUTS（Universal Timesharing System）を導入し、試験的に運用サービスを行うことによって各種の経験を積むことを目的として、各種の作業を行った。

本報告では、センターにおけるUTS導入の経過、試験運用の状況及び課題等について報告する。

〔II〕UTSの導入

センターではUTS導入に向けて、その直前に、汎用大型計算機システム上に複数の仮想計算機を同時に稼働させることのできるシステムであるAVM（Advanced Virtual Machine）の運用を開始した。その後、AVMシステムの中の1つのVMにUTSシステムを構築した。

UTSシステムの主なシステム資源を表1に、システム構成図を図1に示す。

表1. UTSのシステム資源

CPU	M-380 のCPU 使用率10%
主記憶装置	6 MB
コンソール装置	1台
ディスク装置	3 DE（約1.2 GB）

尚、磁気テープやプリンタ装置などは使用の都度、他のVMから割り当てることとした。

また、FORTRANコンパイラ等のソフトウェアのインストールも行った。

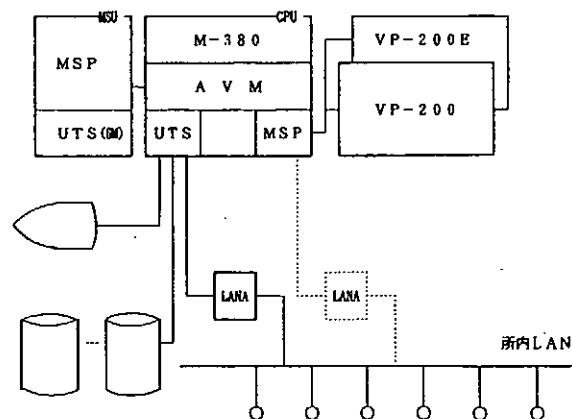


図1. UTSのシステム構成

構築されたUTSシステムは、極めて限られたシステム資源のため、非常に窮屈なものであった。しかし、大規模なFORTRAN ジョブの実行や大容量のファイルが作成出来ないという制約があるものの、UTSシステムを試行するうえで必要な最小限度のものは備えることができた。

(Ⅲ) UTSの利用者及びファイル管理

一般的に“UNIX”システムを搭載したミニコンやワークステーションでは、それを使う利用者は限られている。このため、そのシステムの利用者管理及びファイル管理は大きな問題にはならない。ところが、数百人規模の利用者が登録され、様々な利用がなされる場合には、これらの管理システムが重要な問題になる。

センターではUTSシステムの利用者及びファイル管理体系について検討を行った。検討の結果、管理システムの基本部はメーカ提供のUCMS (UTS Center Management System)を導入することとし、不足している機能をセンターで開発して利用者管理システムを構築することとした。

(1)UTSの利用者管理

センターでは、既存のシステム (MSPシステム)に加えて、新たにUTSシステムを稼働することに伴うセンター作業の増大を抑えて、以下の方針を作成した。

1. MSPシステムの利用を承認された利用者のみが、UTSシステムを利用できる。
2. UTSシステムで利用できるCPU時間は、当面MSPシステムでの承認時間の10% (一律)とする。
3. UTSシステムで利用できるディスク容量は、当面利用者あたり10MBとする。
4. UTSシステムの利用登録は、MSPシステム上で用意された登録申請コマンド (UTSGROUP, UTSUSEコマンド)を利用者自身が使用して行う。

これらの作業は、仕様検討に約2ヶ月、プログラム作成に4ヶ月かけて完成した。

(2)UTSシステムでのファイル管理

利用者のファイル管理基本として、次の方針を作成した。

1. 利用者は、利用者毎のホームディレクトリ配下にファイルを作成することとする。
2. ホームディレクトリ配下の特定のディレクトリ (例, TEMP) 配下のファイルを短期保存ファイル、その他を長期保存ファイルとする。
3. 短期保存ファイルは、予め設定された期間を満了した時点で自動的に削除される。
4. 長期保存ファイルは、許可された容量の範囲内で作成できる。

これらの作業は、利用者管理ルーチンと並行して作業され、約2ヶ月で完成した。

(IV) UTSの試験運用

センターでは約半年間をかけて、利用者及びファイル管理システムの作成、その他システム環境整備作業を行った。そして、昨年8月末に研究所内の利用者限定してUTSの試験運用を開始した。

研究所内には、“UNIX”を搭載した実験データ処理用計算機や各種のワークステーションが既に使われていた。又、4年程前に構築された所内LAN(図2参照)も目立ったトラブルもなく活用されていた。更に、UTSの試験運用開始直前には、MSPシステムにもTCP/IP機能がサポートされ、LANに接続されるようになった。このため、UTSシステムはこれら“UNIX”使用経験者の中で“抵抗なく”利用され始めた。

これらの結果、大規模計算処理はセンターの主システム(MSPシステム)で行い、その結果をワークステーションで処理したり、図形化処理(動画処理など)を行うなどの分散処理環境が実現できた。また、計算機システムの大小や国産か外国製かにも関係なく、シンプルでかつ同一のコマンド体系でこれらが利用できるというメリットにあやかることができた。

このように、センターの大型計算機システムに、時代の趨性となりつつある“UNIX”システムを導入したことは大いに意義があった。

(V) 今後の課題

センターがUTSシステムの試験運用にとどまらず、正式な運用を行っていくにはいくつかの課題を克服しなければならないと考えられる。UTSを導入し、試験運用を行ってきた中で気がついたことを以下に列挙する。

(1) UTS運用環境の整備

- ①安定したシステム作り
- ②センター作業の洗い出しと作業手順の確立
- ③ファイルのバックアップ対策
- ④利用者管理の見直し

(2) UTS利用環境の整備

- ①ハードウェアの整備
- ②ソフトウェアの整備
- ③ユーティリティ・コマンドの整備

(3) 利用者の啓蒙活動

- ①UTS及びUNIX講習会の開催等

(4) ネットワーク環境の整備

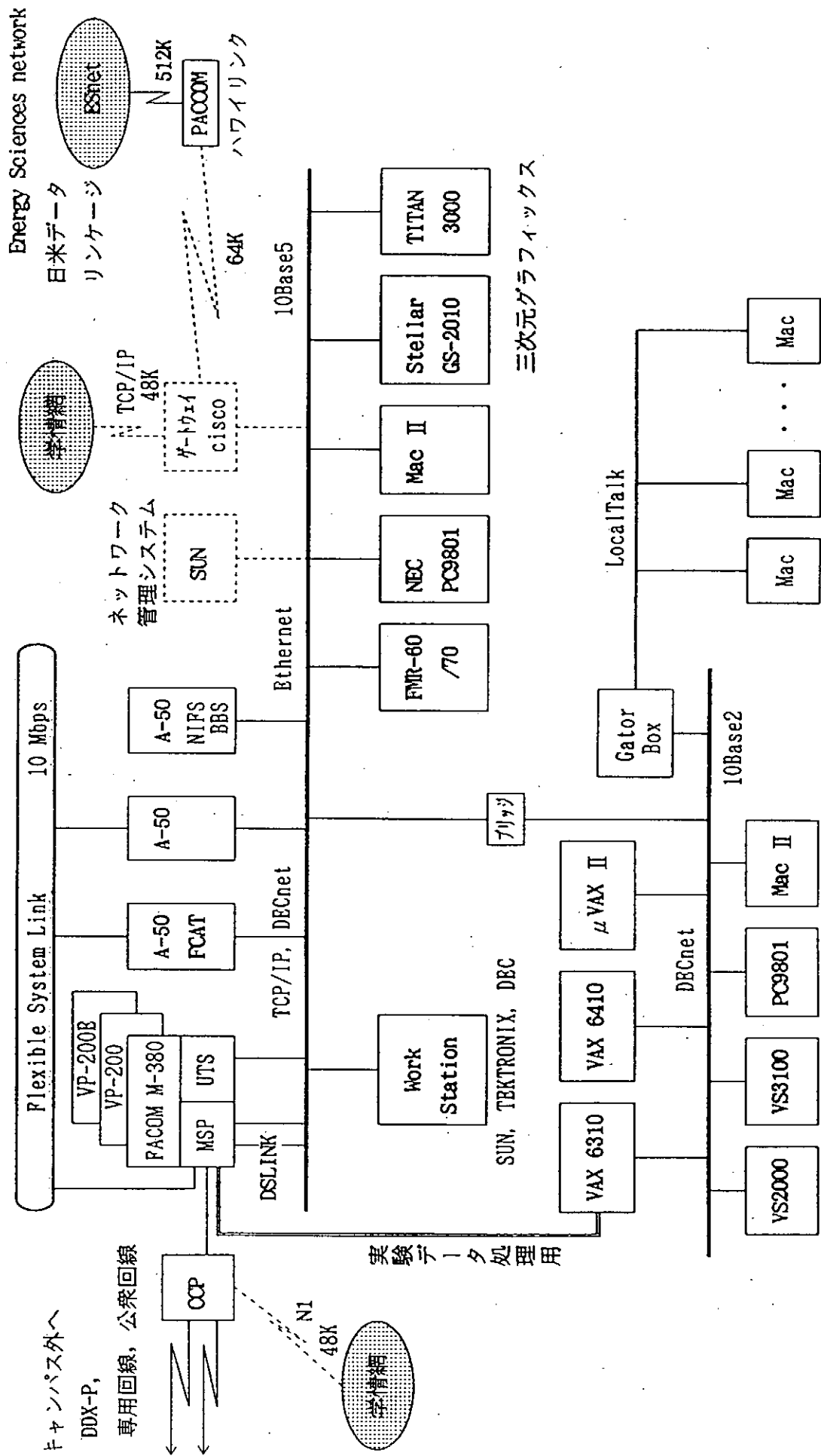


図2. 核融合科学研究所計算機ネットワーク (NIFSnet) 概略図

ジョブエントリ・サブシステムの切換えに伴うセンタールーチンの改訂

核融合科学研究所計算機センター

津川和子、伊藤恵美、加藤丈雄

1. はじめに

核融合科学研究所計算機センターでは、この一年間をかけて、汎用大型計算機システム（FACOM-M380）のオペレーティング・システムのジョブエントリ・サブシステムである“JES/E”を“JES”に切換える作業を行ってきた。JESは、イメージデータをNLPへ出力する機能や遠隔地の研究機関との接続においてRJEとTSSが回線を共用できる機能等JES/Eでは実現できなかったいくつかの新しい機能を有している。

従来、当センターでは独自に開発したJES/E用の管理プログラム（“センタールーチン”）でシステムを運用してきたが、システムプログラムのバージョンアップ時やシステムの運用ルールを変更する必要がある時等にはその変更作業に多大の時間を費やす必要があった。従って、今回のJESへの切換えに際しては、出来るだけメーカー提供の標準センタールーチン・パッケージ（SSPP/SMF）を利用してセンタールーチンの改訂を行うこととした。ここでは主としてセンタールーチンの機能の見直し、SSPP/SMFへの移行等の改訂作業経過について報告する。

2. センタールーチンの機能の見直し

センタールーチンの改訂にあたって、JES/E用センタールーチンの機能の必要性を考慮してJESへ移行することにした。そこで、(1)JES/E用センタールーチンの機能の調査、(2)機能の見直し、等を行った。

2.1 JES/E用センタールーチンの機能の調査

JES/E用センタールーチンは、センター出口ルーチンとセンタールーチン管理ファイルユーティリティから構成されている。センタールーチン管理ファイルは、利用者管理ファイルと通信料金管理ファイルからなる。各ルーチンの機能は次のとおりである。

2.1.1 センター出口ルーチンの主な機能

(1) 利用者の資格チェック

利用者の資格をチェックして、無資格者の使用を禁止する。

(2) ジョブ名の発行

バッチジョブ投入時にシステムで一意的な名前を発行する。

(3) ジョブ・クラスの自動発行

TIME値×REGION値でジョブ・クラスを選択する。

(4) 課金処理

ジョブ終了時にCPU時間、REGION値等資源使用量に応じて持ち点から減算する。

(5) 持ち点のチェック

ジョブ実行前に使用点数を予想し持ち点が不足する時はジョブ実行を中止する。

(6) グループ管理

複数の利用者をグループ管理する。

(7) データセットの制御

データセット作成時、命名規約チェックとスペース量チェックを行う。

(8) センタ固有パラメータのチェックと処理

センタ固有パラメータの構文チェックとシステム用パラメータへの変換を行う。

(9) 日米データリンケージの管理

日米データリンケージ使用時に利用資格チェック，課金処理を行う。

(10) ジョブ進行状態の表示

ジョブの進行状態をコンソールに表示する。

2.1.2 利用者管理ファイル・ユーティリティの機能

利用者管理ファイルには、利用者管理情報（使用許可点数，残り点数等），ジョブ制御情報（ジョブクラス毎のパラメタ，課金係数等）が格納される。利用者管理ファイル・ユーティリティは、これらの情報の設定，変更，表示を行う。

2.1.3 通信料金管理ファイル・ユーティリティの機能

通信料金管理ファイルには、総括通信料金情報，利用者管理情報（使用許可通信料金，残り通信料金等）が格納される。通信料金管理ファイル・ユーティリティは、これらの情報の設定，変更，表示を行う。

2.2 機能の見直し

JES/E用センタルーチンの全機能について、システム利用上、システム運用上からの見直しを行った。システムの更新等により不要になった機能以外はいずれも必要であるという結論になり、ほぼ総ての機能をSSPP/SMFへ移行することを目標とした。

3. SSPP/SMFへの移行

見直しの結果必要とされた機能をSSPP/SMFへ移行するために、

(1) SSPP/SMFの調査

(2) DASDスペース管理ルーチンの調査

(3) JES/E用センタルーチンとSSPP/SMFの機能比較

(4) センター出口ルーチンの作成

(5) センター固有管理票ユーティリティの作成

等の作業を行った。

3.1 SSPP/SMFの調査

移行の可能性をみるためにSSPP/SMFの機能を調査した。SSPP/SMFには、

(1) 利用者管理機能

利用者を識別して利用資格の範囲内で利用を許可する。

(2) 予算管理機能

利用者またはグループ毎に予算を設定して予算内で利用させる。

(3) ジョブ監視機能

ジョブの入力から出力までを監視する。

(4) 資源監視機能

データセットの利用状況を監視する。

(5) サービス機能

ジョブ処理状況の通知等を行う。

の機能がある。また、センター独自のセンター出口ルーチンの組込みも可能になっている。SSPP/SMFの管理簿には、利用者管理簿、ジョブ管理簿がある。

全体的に機能、管理簿共JES/E用センタールーチンと似た部分があるので、SSPP/SMFへ移行できると考えた。

3.2 DASDスペース管理ルーチン(DSCF)の調査

SSPP/SMFにはJES/E用センタールーチンのデータセット制御の機能がない。そこで、メーカー提供のソフトであるDSCFを利用できないか調査することにした。DSCFには命名規約検査機能、スペース量検査機能等があるので、データセット制御機能はDSCFに移行できると考えた。

3.3 JES/E用センタールーチンとSSPP/SMFの機能比較

JES/E用センタールーチンの全機能をSSPP/SMFの機能と比較した。SSPP/SMFで実現できない機能は、別の機能で実現できるかも調べた。その結果、現在未使用の機能の中に実現不可能なものがあるが、当面の運用には支障がないので、SSPP/SMFへ移行することが決定した。

主な機能の比較を次に示す。○はSSPP/SMFで実現可能、△は別機能で実現可能(一部機能低下を含む)を表わす。

JES/Eセンタールーチンの機能	SSPP/SMF	JES/Eセンタールーチンの機能	SSPP/SMF
利用者の資格チェック	○	グループ管理	○
ジョブ名の発行	○	データセットの制御	△
ジョブクラスの自動発行	△	センタ固有パラメタチェック	△
課金処理	○	日米データ・リンク管理	△
持ち点のチェック	△	ジョブ進行状態表示	○

3.4 センター出口ルーチンの作成

SSPP/SMFは、センター出口ルーチンの組込みを可能にしている。当センターでは、センター独自の機能を実現するためにセンター出口ルーチンを作成した。その機能は、

- (1) ジョブ・クラスの自動発行
- (2) 日米データリンクの管理
- (3) センタ固有パラメタのチェックと処理

等である。

3.5 センター固有管理票ユーティリティの作成

センター出口ルーチンは、使用許可通信料金、残り通信料金等が格納されるセンター固有管理票を参照して、センター独自の機能を実現する。この管理票の情報を設定、変更、表示するユーティリティを作成した。

3.6 その他

管理ファイルの変更に伴うセンター開発ユーティリティの改訂と利用者登録ユーティリティの作成、オペレーション・コマンドの変更に伴うオペレーション・プロシジャの改訂、等の作業を行った。今後の作業として、稼動情報収集ユーティリティの変更作業がある。

4. おわりに

センタールーチンの改訂にあたって次の点に留意して作業を進めた。

(1) システム利用上の変更を極力少なくする。

(2) ドキュメントを整備する。

(1)は、利用者に混乱を起こさせないためである。しかし、できるだけメーカー提供ソフトの利用を図ったので、データセット制御がJES/E用センタールーチンより厳しくなり、少し混乱することが予想される。

(2)は、今回の改訂作業時にドキュメントの不備により作業時間がかかった部分があったので、今後の保守作業の効率を上げるために、ドキュメントを整備することにした。そして、プログラムの作成はドキュメント作成後に行うことにした。JESの運用開始（平成3年4月）に間に合わせるために、一部でドキュメント作成よりプログラム作成が先行しているが、ドキュメント整備は必ず行うことにしている。

光ディスクの活用及び情報管理について

東京大学大型計算機センター
共同利用掛 石塚 泰史

1. はじめに

(1) 導入目的

光ディスクは大容量記憶媒体としてかなり依然から注目されていたものであり、各メーカーから大量情報記録という特性を活かしたファイリングシステムが開発され、競って売り出すようになった。東京大学大型計算機センター（以下「本センター」と呼ぶ）ではこの光ディスクファイリングシステムを用いて下記の書類について文書整理・保管の合理化を図ることとなった。

- ①センターニュース…年6回（隔月）発行する本センターの広報誌。
- ②プログラム相談票…本センターでプログラムエラーや利用方法等について相談を受ける際に、作成される相談カルテ。プログラム指導員が質問に対する回答を記入。
- ③計算機利用申請書…本センターの計算機システムを利用するために研究課題等を記入して提出する申請書。

(2) 必要とする機能

光ディスクファイリングシステムの導入を検討するにあたり以下のことを考慮した。

- ・データ構造設計が容易
- ・検索の自由度があり、操作性が容易で検索スピードが速い
- ・プリンターへの出力の自在性
- ・複数ステーションからの同時検索が可能
- ・ホスト計算機とのリンクがとれる

これらの条件を満たす光ファイリング装置として日立のHITFILE650Eシステムを導入した。

2. システムの特徴

本センターで導入した光ディスクファイリングシステムの特徴は以下のとおりである。

- ①Ethernetに複数のステーションを接続し、バス型ネットワークの構築が可能である。
- ②ネットワーク上のファイルステーションに24枚の光ディスクを装備し、オンライン検索が可能である。
- ③ワークステーションに個人用光ディスクを1枚装着し、ローカルで検索が可能である。
- ④ホスト計算機の端末から検索でき、その結果をプリンタやFAXへの出力が可能である。
- ⑤ホスト計算機の端末としての利用も可能である。

3. システム構成

図-1 システム構成

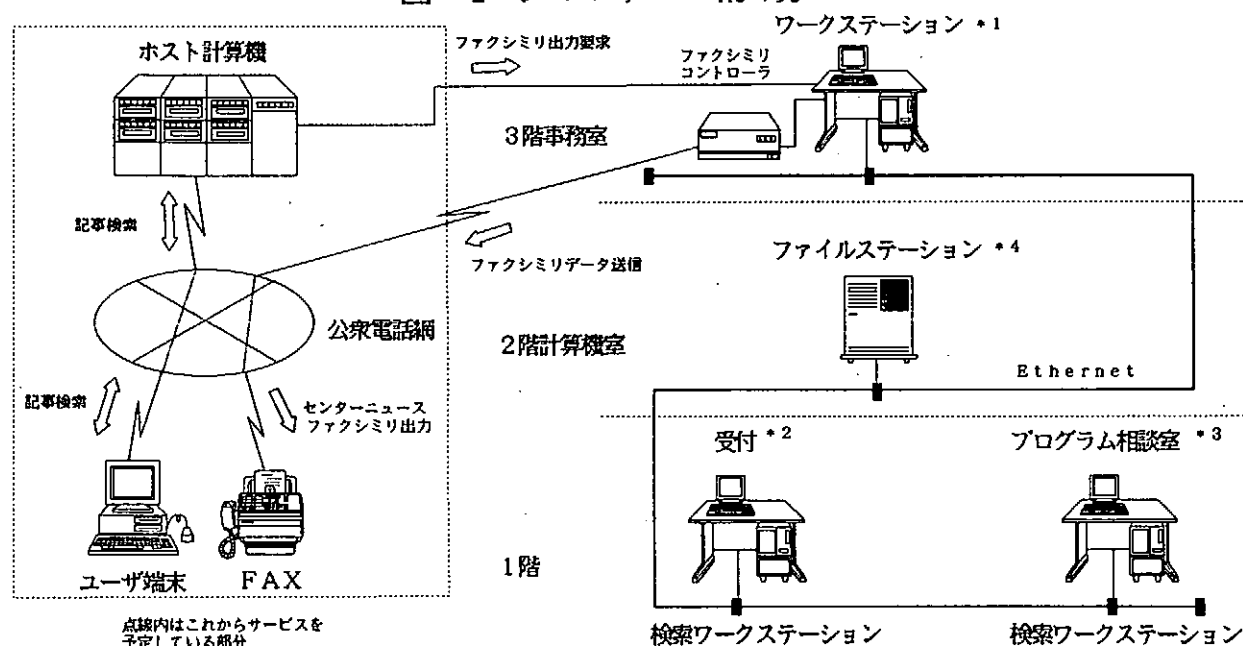


図-1に示す各ステーションのシステム構成は以下のとおりである。

- *1ワークステーション…光ディスク装置（ディスプレイ・キーボード）、スキャナ（A3まで画像入力可能）、プリンタ（A3まで出力可能）、光ディスク駆動装置、フロッピーディスク駆動装置
- *2検索ワークステーション…光ディスク装置（ディスプレイ・キーボード）、スキャナ（A4まで画像入力（受付）可能）、プリンタ（A4まで出力可能）
- *3検索ワークステーション…光ディスク装置（ディスプレイ・キーボード）、プリンタ（A4まで出力可能）（プログラム相談室）
- *4ファイルステーション…ライブラリ装置（光ディスクを24枚まで格納可能）

各ステーションからは、Ethernetにより接続されたファイルステーションに格納されている光ディスクの内容を検索することができ、検索された書類については各ステーションを経由して付属のプリンターへ出力することができる。

4. 文書ファイルの検索項目

光ディスクファイリングシステム化を図った文書ファイルの検索項目は以下のとおり（*ファイル構成についてはセンターニュースのみ示す）

(1) センターニュース

昭和63年発行からの現在までのセンターニュースの内容を記事ごとに登録。記事キーワード、記事題名、執筆者名、記事分類などで検索が可能。

*光ディスク内のファイル構成及び登録内容は以下に設定

項目	項目 標 題	桁数	個数	文字種	補足表個数	階層レベル
1	記事キーワード	40	10	K	1	
2	記事分野別	8	3	N		
3	記事題名	56	5	K		
4	巻 (VOL.)	4	1	A		
5	号 (NO.)	6	2	A		
6	掲載ページ	8	1	A		
7	著者名	56	10	K		
8	備考	56	10	K		

*文字種
 (入力可能な文字)
 A: 英数字・カナ
 K: 漢字・英数字・カナ・かな
 N: 数字

項目2の「記事分野別」については補足表を設定し、その補足表のキーワードは以下に設定。

補足表名 : 記事分野別

階層レベル :

番号	キ ー ワ ー ド	下位
00	プログラム言語	
01	ライブラリパッケージ	
02	スーパーコンピュータとIAP	
03	TSSと磁気テープ	
04	文書処理 (エディタ含む)	
05	図形処理	
06	データベースと情報検索	
07	パソコンとワークステーション	
08	ネットワークと通信機器	
09	VAX/UNIX	
10	研究会と講習会	
11	各種マニュアル	
12	センター・システムとVOS3	
13	指導員関係	
14		
15	サービス休止・システム変更	
16	ジョブ件数・ジョブ統計	
17	ユーザ著者	
49	その他	

*補足表とは?
 あらかじめキーワードを決めておく場合に設定する。
 1補足表につき数字2桁00~99の100個まで設定可能

*メリット
 00: プログラム言語
 01: ライブラリパッケージ
 のように登録しておくで数字2桁を入力すると該当するキーワードがポップアップ表示されるため、登録及び検索の際に入力する手間が省ける。

(2) プログラム相談票

平成元年度から記入されたプログラム相談票を登録。キーワード、相談項目、コマンド名、相談分野別、プログラム指導員氏名等で検索が可能。

(3) 計算機利用申請書

共通利用番号制の改正された昭和61年度分から平成2年度分まで登録済み。利用者番号、支払費目、利用者名、所属大学・学部・学科、支払責任者名、経理責任者名等で検索が可能。

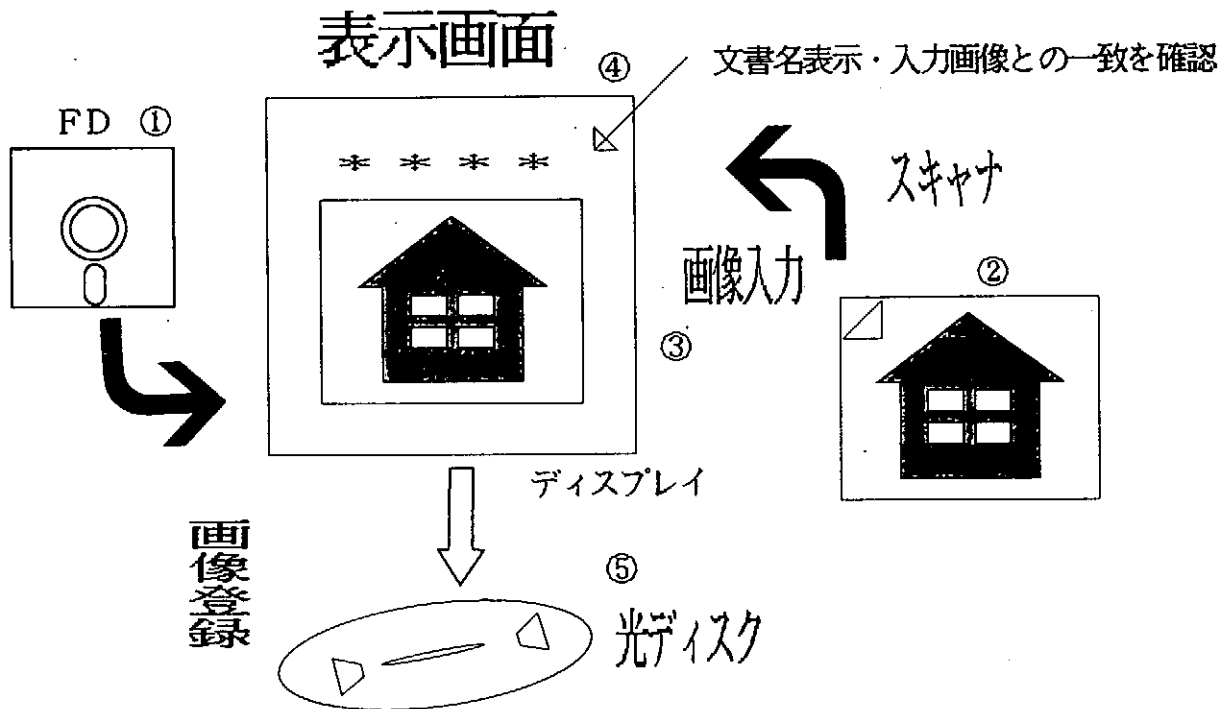
5. 登録の手順

光ディスクの文書登録は以下の手順で行う。

<<実例を以下に図示する。>>

「登録する前に」

- ①登録する前に光ディスクにキャビネット及びファイルを作成する。
- ②ファイル内の文書ファイル構成（検索項目）を設定する。
- ③ファイル構成に合わせてFD（フロッピーディスク）に文書毎に登録内容をあらかじめ入力する。



「登録手順」

- ①FD（フロッピーディスク）から登録する文書1つに対する登録項目データを入力する。
- ②スキャナからそれに対応する文書を読み取る。
- ③ディスプレイ上に表示された文書（画像）と登録項目データが一致しているかどうか確認する。
- ④一致していることが確認されたら光ディスクへ文書（画像）及び登録項目データを書き込む。

6. 光ディスクの検索方法

センターニュースを例にとり、記事題名の中でネットワーク関係についての検索手順を説明する。

①

文書検索条件入力 [検索対象=全選択ファイル]		
項番	項目 標題	(文字) 1個 8文字 (桁)
1	記事キーワード	ネットワーク
2	記事分野別	
3	記事題名	
4	巻 (VOL.)	
5	号 (NO.)	
6	掲載ページ	
		7~8

②

文書一覧表 [表示中ファイル=1/1] [文書数=35]	
番号	記事キーワード
1	ネットワーク
2	ネットワーク
3	ネットワーク, センター案内
4	ネットワーク
5	ネットワーク, N-1
6	ネットワーク, パソコン
7	ネットワーク, N-1
8	ネットワーク
9	ネットワーク
10	N-1, ネットワーク
11	N-1, ネットワーク, ASPEN

文書を番号で選択して下さい。

番号 10

[番号, 番号-番号] [未入力=全選択]

③

N-1ネットワークにおける透過クラスサポートについて

N-1ネットワークのバージョンアップ(平成2年11月実施)により、NVT*に透過クラスがサポートされました。このことにより、これまで本センター内の日立標準(OH-441), O-7012-7013-7014(2020, 2050)からしか利用できなかった、ASPEN, DEDIT等のフルスクリーン型アプリケーションがN-1ネットワークを経由してもできるようにになりましたので紹介します。

1. 前提条件
 (1) 本センターに接続するホスト計算機及び端末装置が日立製であること
 (2) N-1ネットワーク支援プログラムN1NESのバージョンが06-00以降であること

2. 使用例

東京大学大型計算機センターニュース - 16 - Vol. 23, No. 1 1991

①記事キーワードの項目に「ネットワーク」と入力

②番号の欄に「10」と入力し、10番目の文書を選択

③選択されたセンターニュースの記事の先頭頁が表示される

*なお、この文書はキーワードとしてN-1、ネットワークを登録しているためどちらの文字でも検索することができる。

7. おわりに

(1) 光ディスクを導入しての効果

①省スペース化

例) …計算機利用申請書は毎年約6,000枚提出されるがA4キングファイルに綴じるとなると35冊必要になりロッカーの半分のスペースを占有することになる。これを光ディスクに入力すると3枚のディスクに収めることが可能である。

②効率的な検索及び時間の短縮

③必要書類のプリンタ出力

例) …光ディスク1枚(約1,000文書を登録)から検索を行い画像をディスプレイに表示しプリンターに出力するまでの作業時間は約1分間で済む。

(2) 今後の課題

・ホスト計算機の端末からFAXへの出力サービス(センターニュースの記事検索システム)

「サービス方法」(図1…システム構成左側参照) *平成3年9月サービス開始予定

(1) まず、手元のパソコン等から電話回線等を使って主システム(VOS3)にアクセスする。

(2) >>CNEWS(新バージョン)コマンドを入力する。

(3) キーワードでセンターニュースの記事題名を検索する。

(4) 目的とする記事が見つかったら、コマンドにより出力したいFAX番号を指定し、FAX出力を行う。

・事務文書の効果的な活用

(1) 人事・給与関係の書類を氏名等で分類し管理する。

(2) 諸会議の資料及び議事録を会議名毎にファイルを作成し管理する。

電子銃運転支援／診断型知識ベースシステムの設計

(知識獲得表現 [1])

文部省 高エネルギー物理学研究所 ・阿部 勇、中原和夫
東北大学 工学部 北村正晴

1. はじめに

放射光実験施設の電子線型加速器（リニアック）では、エキスパートシステム開発のPHASE-Iとして診断型エキスパートシステムKMT S（Klystron Modulator Trouble Shooting system）の開発を行い、問題点を明確にすると共に適時報告してきた。^{1,4)} 又、PHASE-IIとして、診断型につづいて運転支援型エキスパートシステムを取り上げ、電子銃運転支援／診断のため知識ベースシステムを構築し実用化を進めてきた。電子銃とは、リニアックで加速すべき電子を発生させるもので、安定に動作させるための支援や故障時の早期診断支援は、加速器全体の稼働率を低下させないために極めて重要である。

放射光の加速器では、24時間体制で長期間連続運転を行っており、夜間やその他の担当者が居ない時に起こる異常事態には、運転当番者がその原因解明や対応にあたっている。熟練した担当者や専門家は速やかに対応して、その処置にあたる事ができる。

従ってその知識を計算機に移植できれば、その知識を用いて推論することで、非専門家や専門家の支援も行う事ができることになり、エキスパートシステムに対する期待は大きい。この観点から、これまでエキスパートシステムの開発研究を行ってきた。

本来、エキスパートシステムの起源から見れば、特定分野の限定領域において有効で、成功例の多くがそれを証明してきた。つまり、エキスパートシステムが可能な範囲ははまだまだ小さい。しかし、一般にユーザーは診断領域拡大と深層知識（または常識）による問題解決への過大な期待を持っている。エキスパートシステムへの認識は人間代行システムに即移行できるものではなく、支援システムを目指す段階であるといえる。本研究会では、エキスパートシステムの成功の一つの鍵を握る知識獲得時の問題点について、これまで得られた知見と対応策、及び知識表現について報告する。

2. 設計指針

2-a) ツール環境の整備

エキスパートシステムは専門家の知識を計算機に移植して、人間を支援するためのシステムと定義できるが、知識工学や人工知能分野の技術を使用しないでも、従来型の手続き型言語でも原理的には達成でき、ある意味でエキスパートシステムと呼ぶことができる。しかし、本件の知識操作、推論システムにおいては、従来型言語の苦手とする複数解決アルゴリズムが同時に存在する問題解決を、かつ非手続き的処理等によって最適解を推論するシステムにする事が目的であり、その指針に沿って知識獲得表現を進める。この方法のメリットとしては、知識ベースの操作性、知識処理ソフトの開発費低減、保守性の改善にある。

2-b) 最大診断分解能

診断型において対象機器の最小構成パーツに至るまで診断を進める事は、装置の複雑さ、大きさから言って、必ずしも適当ではなく、必要もない。現実には故障診断、修理作業時に運転停止時間を最小限にするため、ブロックやモジュール交換作業で対応していることから、交換可能最小単位を最大診断分解能とすれば充分である。

2-c) カスタマイズシステムの構築

最大診断分解能が設定されると、次に交換可能最小単位のブロックについての知識獲得作業と知識表現を必要とするが、本件では、器としてのエキスパートシステムをより便利なものにし、汎用シェルだけに頼らず、カスタマイズの一つとしてシステムを最適なものになる様ハイブリッドなエキスパートシステムを構築した。これらはドメイン分析の結果に基づいて行なった。多くはC言語によってライブラリーの構築を行なった。

2-d) ドメイン分析

知識獲得と問題解決を進めるうえで、対象分野の十分なドメイン分析及びタスク分析を行ない診断の領域設定、知識活動の明確化と推論戦略を確定すること、これはエキスパートシステムの構築に必要不可欠な問題である。

2-e) オンライン化

診断途中での問答が多いと運用者に疲労を与えることから、できるだけシステムのオンライン化を図った。計測情報で可能なものはコンピュータネットワークに載るためかなりの時間と労力を費やした。オンラインにはエキスパートシステムに対する前後処理コンピュータステーションをネットワーク上に置いた。逐次診断支援以外にも過去の事例についても自由に推論を行なわせる事も可能とした。オンライン化については本研究会で別に発表している。⁵⁾

3. ドメイン分析

エキスパートシステムの適用範囲を決めることは、信頼性の高い知識ベースを設計する事、システムの大きさを決定する上で始めに行なう必要がある重要な項目であり、問題解決への推論収束、診断正解率、ユーザーの満足度を左右するものである。

ドメイン分析では、まず現場の専門家が行なっている問題解決への知識活動の種類分析を行なう。経験的知識、深層知識、判断、感覚診断（視、臭、触診）、計測、演算、計算モデル、書類／図面参照などの知的活動の種類と、その内容を分類する。ここで取り込める知識活動はエキスパートシステム技術水準によって制約され有限である。

次に、推論知識の深さ、広さのエスティメーションを行ない知識ベースの容量概略を設定する。

エキスパートシステムがすべての知識活動を支援できるわけではない為、ここでは問題解決の知識活動と現エキスパートシステムが表現、推論できる機能とのマッチングを取ることがドメイン分析の主眼となる。この段階でエキスパートシステムの有効性が判明すると言える。診断型エキスパートシステムにおいて、この段階で対象物の改善が可能で、かつそれによって診断が軽減する場合エキスパートシステムを運用するよりも対象システムを改善した方が良い事もある。

4. 知識の流動性

ドメイン分析から明確になった事は、対象分野は実験装置的性格から、運用、保守の点で極めて流動的な事である。所定の仕様において寿命まで運転することより、実験仕様要求で運用や構成の変更さえも行なわれる事が多い。従って、知識の更新、変更が大きな問題となる。同時に、変更に当たっては、知識の透過性が重要になる。これらを解決するために、便利な画面を作成し知識ベースを条件検索できるライブラリーを作成した。情報の不完備性については、オンライン化の限界を補う為、又は情報の不完全性を補う為には知識ベースの強化を図る方針を取ることになる。コンテキストリンクなどで推論戦略を制御している。

5. 知識表現構造

ドメイン分析、タスク分析によって、幾つかの知識表現に分けた。ヒューリスティックな知識や表層知識はスプレッドシート上でプロダクションルールで直接入力した。これによってデシジョンツリーが自動的に表示される。また、対象記述はフレーム、オブジェクトによって表現している。初期値はプロパティにヴァリューを与えることで初期化が行なわれる。交換可能モジュールについては入力、出力の関係に着目して一般化を行なう手法を試みた^{6,7)}。チャート表現の適した知識、データはデータベースに書き込む様にした。深層知識はハイパーカードを活用して分析を行ない、後でシステムに移植した。又、オンライン情報はファイル化され推論エンジンから見えるようにブリッジを行なった。推論戦略も診断知識として構造化する方向をとっている。

知識の保守性を向上させるため知識の分割獲得と構造化を強くしている。

知識検証においては、今のところ、人間が関与しない限り矛盾解消は不可能である。しかしながら、診断結果を蓄積していくことで運用ルールの妥当性を絶えず確認して行くことが可能な様に対応画面とライブラリーを作成した。事例ベースの蓄積と運用が可能である。

知識の透過性をあげる手段として、構造化等を計ってもある程度以上の知識サイズが構築されると急激に透過性が悪くなることを経験している。従って問答によって知識ベースが保持している知識のアクセスができるライブラリーを作成した。

6. 推論戦略

複数専門家の問題解決のための知識を、個人毎に分けて、打ち込む事は今回は行わなかった。ドメイン分析においてシステムを明確にすることが第一の問題点であったからである。いずれは各人の知識ベースを運用することが可能となってくる。一般的知識と推論戦略知識の分離方向を目指した。

7. ハードウェア及びシステム構成

既存の電子銃関連装置はエキスパートシステム等を接続するようになっていなかった為、制御系の改良を図った。計測情報の多くはオンライン化した。しかし、診断

に十分なデータが上がって来るわけではない。エキスパートシステムはオンライン情報と問答を重ねながら診断を進めていく構成になっている。電子銃関係はCAMACインターフェースを介してミニコンで制御され、ネットワークを通して別セグメントの表示操作系のネットワークから、前後処理ステーションで処理された後、エキスパートシステムにデータが渡される。ハードウェア構成は PHASE-I プロジェクトとほぼ同じである⁴⁾

現在、波形情報がきわめて重要な事から波形の診断を行なうステーションを開発しており⁸⁾、既に試運転を開始して問題点の対応を進めているが、完成後にはこのニューラルネットの診断結果をエキスパートシステムに入力する予定である。

8. まとめ

電子銃の運転支援、故障診断をエキスパートシステムで行なうために PHASE-I の経験と知識工学的観点から知識ベースの設計を行ない、専門家の知識を計算機に移植してきた。有効な運用を行なう事を目的として、これまでシステムの問題点の洗いだしと知識ベースの相互にフィードバックをかけ、システム、知識ベース構築を行ってきた。

第二版 (PHASE-II) では、知識の操作性が向上し、同時に透過性も上がった。知識獲得の段階での生産性と信頼性が向上した。

エキスパートシステム構築時に、電子銃系装置の設計や運用の不都合も明確になってきて、エキスパートシステムで診断、運転支援するよりも電子銃系装置そのものを改良することの方が良い対応策である事も指摘してきた。エキスパートシステムの構築と実験装置改善の両方向から全体を見直して行くことが、結果的にエキスパートシステムの負荷を軽くし全体の運用を改善する事につながると言える。

<参考文献>

- 1) 阿部勇、「加速器制御における AI ツールの評価」、プラズマ研 技術研究会 1988/3
- 2) 阿部、「加速器制御エキスパートシステムの検討 Expert System for PF 2.5GeV linac」
13 回リニアック研究会 1988/9
- 3) I.Abe [Expert system for diagnosis of klystron modulator] LINAC conference 1990 in Los Alamos USA
- 4) 阿部、他「大型加速器運転支援用知識ベースシステムの開発 (1)」
原子力学会 1990/10
- 5) 横田光弘、大沢哲、阿部勇 「電子銃の運転支援、故障診断システムのオンライン化」
核融合研究所 技術研究会 1991/3
- 6) 古川、北村、阿部、他 「知識テンプレートを用いたエキスパートシステム開発方の検討」
計測自動制御学会 1990/12
- 7) 古川、北村、阿部、他 「大型加速器運転支援用知識ベースシステムの開発 (2) 知識洗練」
原子力学会 1991/3
- 8) 武藤正勝 「加速器制御におけるニューラルネットワークの応用」 本研究会

電子銃制御系と運転支援・診断型エキスパートシステムのオンライン化 (システム構成)

文部省 高エネルギー物理学研究所
横田光弘、大沢 哲、阿部 勇

1、はじめに

当研究所放射光実験施設の入射器（以下リニアックと略す）では、電子ビームの安定供給の支援と故障時の早期診断を支援することによって、運転当番と担当者の負担を減らすと共に、マシンの稼働率を上げるために、電子銃の運転支援・診断型エキスパートシステムの開発を行なってきた。このシステムは、電子銃の制御系から受け取ったデータに基づいて、故障診断を行なうものである。ここでは、電子銃とその制御系¹⁾及びエキスパートシステムとの接続等について述べ、運転支援・診断型エキスパートシステムを含む全体構成についてハードウェアを中心に説明する。

故障時の早期診断は重要で、これによって迅速な対応が可能になり、更に故障原因の誤診等が減るものと期待される。

2、電子銃の概要

P Fリニアックでは、放射光実験とトリスタン実験のために電子銃用リニアックとポジトロン発生装置用に、合計二つの熱陰極型電子銃を持っている。電子銃のカソードは、電子銃用リニアック側ではバリウム酸化物塗布型を、ポジトロン発生装置では含浸型を使用している。

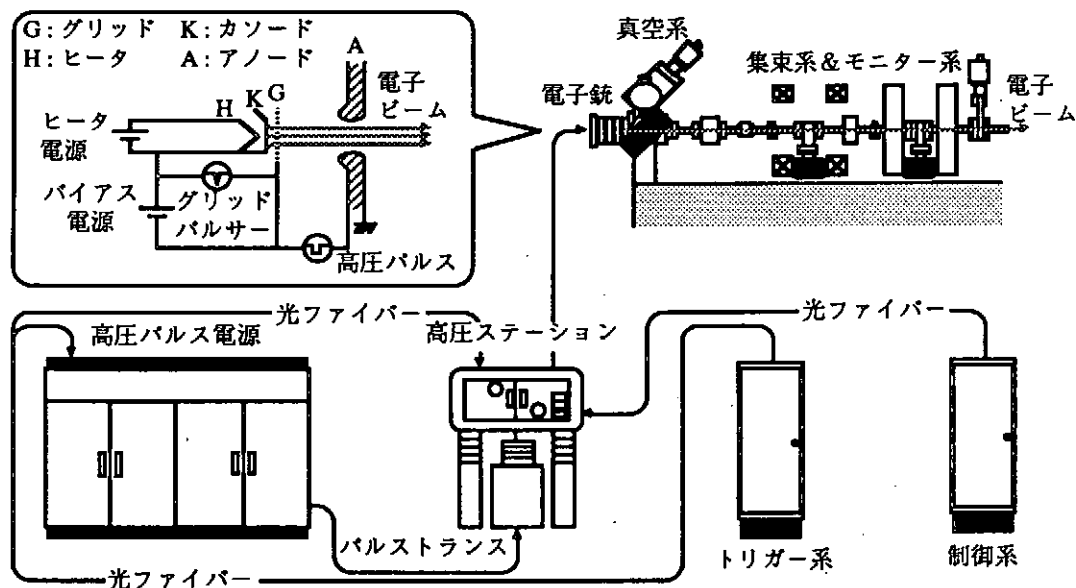


図1 電子銃とその周辺機器の構成

この電子銃は基本的には三極管であり、ヒータでカソードを加熱し、アノード—カソード間に高電圧パルスを加えておいて、グリッドに加えるパルス信号によって、出力されるビーム電流と幅を制御している。電子銃には、カソードから電子を引き出すために、アノード側がグラウンドで、カソード側にはマイナスの高電圧パルス(-100 kV, 3 μsec)が印加される。このため、カソードのヒータ電源やグリッドパルサー及び暗電流を防止するためのバイアス電源等を高電

圧部に設置しなければならない。これらの各種電源は、絶縁のため四隅を高圧碍子で支えられた、高圧ステーション筐体に収められている。従って、高圧ステーション内の電源を制御する場合は、高電圧に対する絶縁と高圧パルス電源の発生するノイズに十分な配慮をすることが必要になる。

その他電子銃に関する装置には、アノード-カソード間に高圧パルスを加えるための高圧パルス電源と高圧パルストランス、グリッドバルサ-にトリガー信号を送るトリガー系、電子銃部を真空にするための真空系、出てきたビームを集束・確認するための集束系・モニター系と、これらを制御する制御系がある。(図1)

3、電子銃制御系

制御すべき対象は上述のようにたくさんあるが、電子銃の制御系では、高圧ステーション、高圧パルス電源及び真空系を扱っている。他はリニアック制御システム(それぞれの制御系)によって制御されている。尚、高圧パルス電源は、ビーム加速用のマイクロ波源であるクライストロンモジュレータと同様の方法で制御されているため、ここでは省略する。

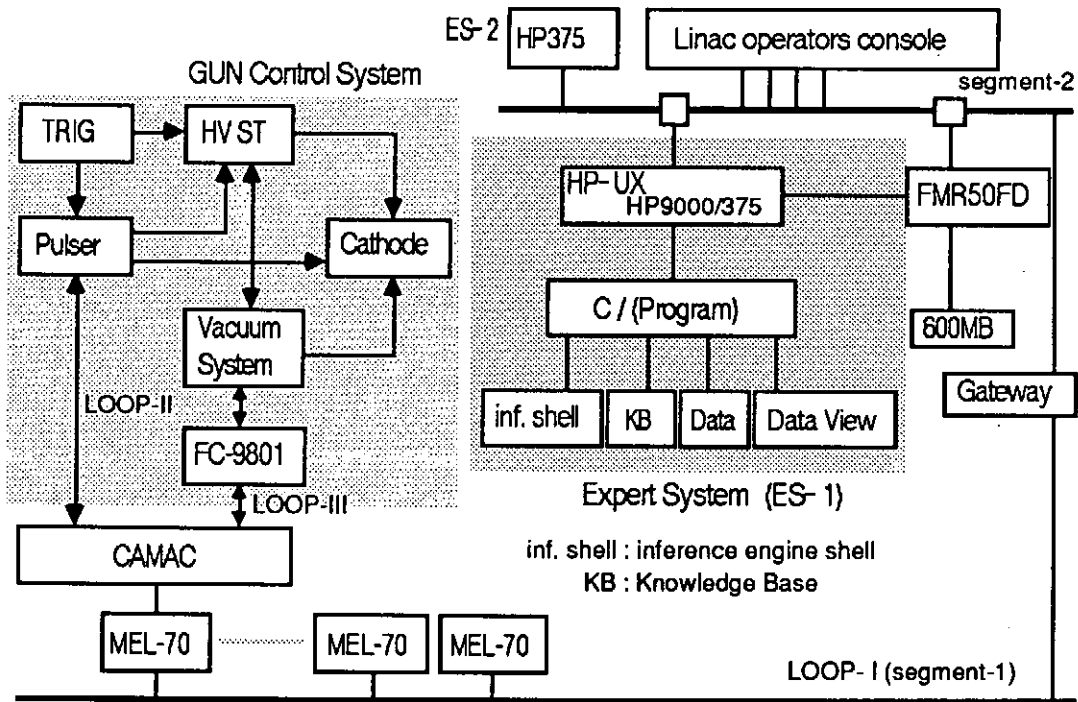


図2 電子銃の制御系

電子銃は真空系と密接に関係しているため、切り離して制御することができない。それは、電子銃のカソード性能が、その接している真空に大きく左右されるためであり、真空劣化時には、カソード保護のためにヒータ電源を切るなどの適切な処置を行なうことが必要になるからである。そのため、高圧ステーションと真空系の二つの制御系を、RS-422の光リンクによって結び、相互に通信して制御を行なうと共に、三者間(高圧ステーション、真空系、高圧パルス電源)に関するインターロックを結び付けている。各々の制御系にはシーケンサをコントローラとして使用している。これらは現場の各装置や電源等につながっており、それらを制御すると共に動作状態や異常状況等の監視をしている。(図2)

真空系のインターロック用シーケンサは、パソコン(FC9801)を通じてリニアック制御システムと通信を行なっている。

シーケンサ同士の通信電文は、シーケンサのそれぞれに対応した一定領域の数バイトのデータをつなげたもので、それぞれの領域は個々のシーケンサの内部メモリー形式を反映している。この領域を通して、外部のシーケンサが直接、他のシーケンサのI/Oポートを、あたかも自らのI/Oポートを見ているかのように扱え、これを見ることによってシーケンサ同士のインターロックが可能になる。このようにして得られた情報は、その真空インターロックにつながったパソコン(FC9801)の拡張スロットにいれられた通信ボードによってプロトコル変換された後、リニアック制御システムに送られている。この通信基板は、デュアルポートメモリーによりパソコンのCPUと通信基板上のCPUとの間で通信データの受け渡しをしている。このようにして送られる情報を基に電子銃エキスパートシステムは運転支援・診断を行なうわけである。

4、リニアック制御システム（エキスパートシステム）との接続

リニアック制御のための通信システムは、二階層のループ構造を持っており²⁾ (図3)、上位階層の主ループはLOOP-Iと呼ばれ、8台のミニコン(MELCOM 70/30)を相互に接続するネットワークで、5 Mbpsの通信速度である。ここで使用しているミニコンの外部との主要なインターフェースはブランチハイウェイに接続されたCAMACである。このCAMACにつながった下位階層ループは通信速度と同期方式の違いにより2種類に分けられる。一つは通信速度500 kbpsの独立同期式通信ループで、LOOP-IIと名付けられている。もう一つは通信速度48 kbps調歩同期式のLOOP-IIIで、電子銃制御系はこのLOOP-IIIに接続されている。

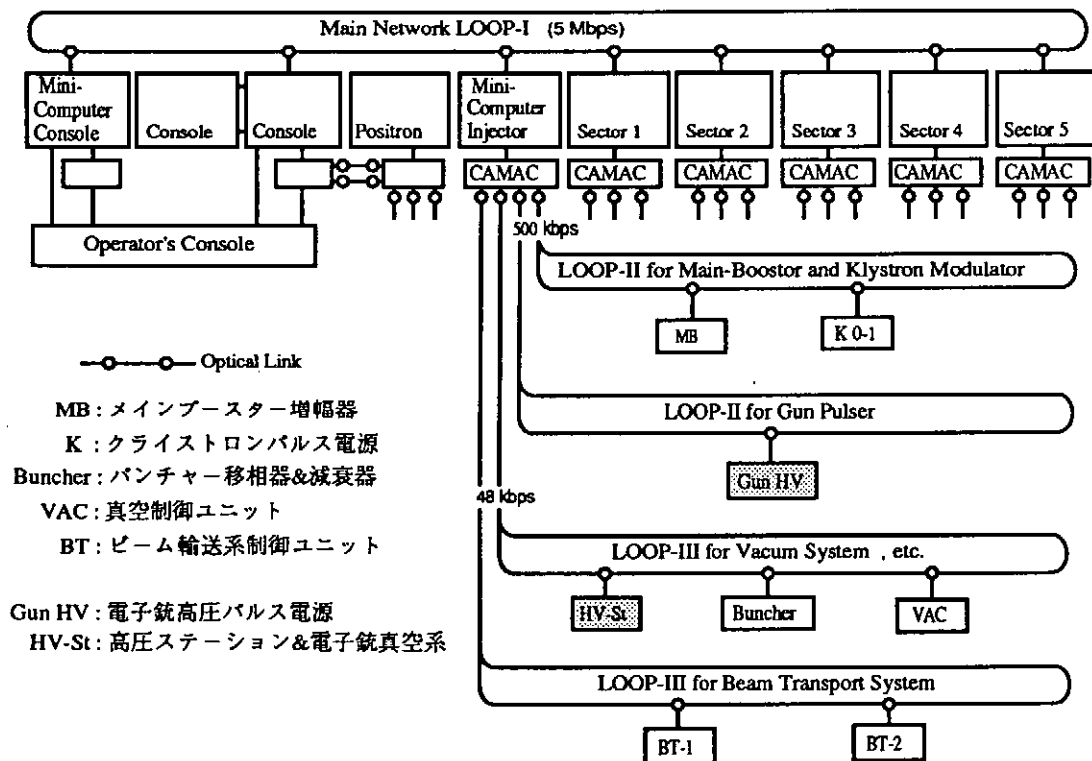


図3 リニアックの通信システム

電子銃制御系からの情報は一旦ネットワーク(LOOP-I)上のミニコンに集められ、その後必要な情報はゲートウェイを通して、主制御卓表示用のパソコン等につながっているDSLINKに送られている。(図4) DSLINKとは富士通のイーサネットであり、通常の運転時には、この制御卓から電子銃のモニター及び制御を行なうことが可能になっている。

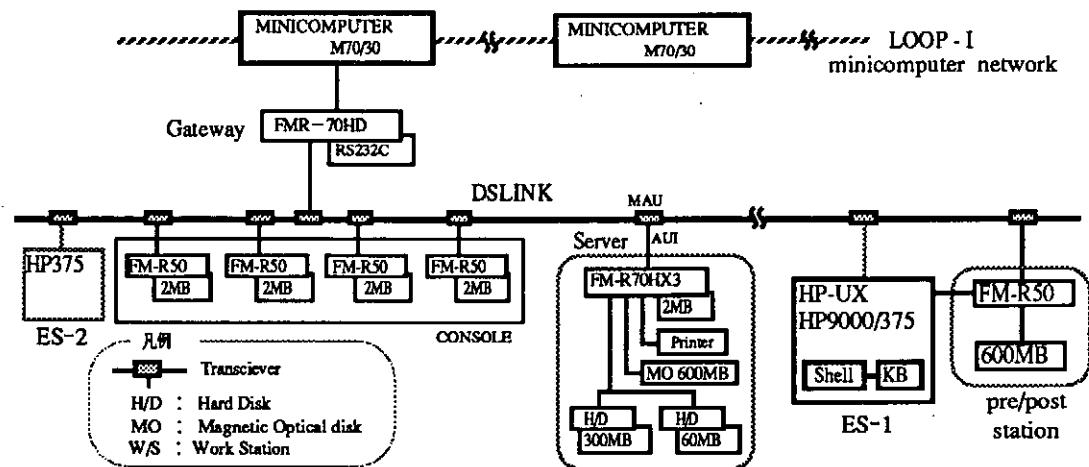


図4 DSLINK 関連構成図

この電子銃の情報は162バイトで、DSLINK上のサーバーを通してエキスパートシステムの載っているHP9000/375に渡されるようになっており、その前段にある前処理用のパソコンで必要な処理を行なっている。また、故障の履歴などをこのステーションを通して光磁気ディスク(600MB)に保存している。

5、異常時の診断

エキスパートシステムに必要な診断ルール(知識ベース)は、担当者のノウハウを集積し、過去の故障事例を調べ上げて構築した。この知識ベースの設計については本研究会で別に発表している³⁾。このルールを作るに当たっては、まず電子銃からビームが出ない時を想定してルールを決定した。この状況を想定したのは、これが色々あるトラブルのうちで最も重いもので、症状もはっきりと現われるため、診断が容易であろうと思われたからである。

電子銃の故障診断を行なうのに必要な情報の中には、計算機に取り込まれていないものもある。例えば、PFNコンデンサーの温度上昇、油漏れ等である。これらは、運転当番あるいは担当者が現場に行き確認することが必要である。そのような場合のために、電子銃に特有なものやエレクトロン/ポジトロンシステムで異なるものに関しては、配置図・写真等を画面に表示し、確認の手助けを行なうようにしている。

ここで診断された結果を保存し、以前の故障歴と照らし合わせた原因追求と故障頻度等の追跡調査が可能となっている。

6、おわりに

このシステムは現在、電子銃制御系との接続と知識獲得を終え、診断ルールもほぼ完成した。今後はテストを行ない、特に知識ベースの適性化を図った後に、実用運転に入る予定である。診断により保存された故障履歴を基に、故障頻度の高い部位があればその改善等を行ない、さらに随時診断用知識ベースの更新を行なって、システムの充実をはかっていくつもりである。

参考文献

- 1) 横田光弘「電子銃の真空系と高圧ステーションの制御」分子研 技術研究会 1990年
- 2) 中原和夫「KEK電子ライナックの制御システム」
高エネ研 高エネルギー加速器セミナー OHO'85
- 3) 阿部 勇「電子銃運転支援/診断型知識ベースシステムの設計(知識獲得表現[1])」
核融合研 技術研究会 1991年

加速器制御へのニューラル・ネットワークの応用について

東北大・核理研 武藤正勝、大沼忠弘、柴崎義信
高エネルギー研 阿部勇

1.はじめに

最近、情報処理の手段として、人間の脳をモデルとしたニューロ・コンピュータが注目され、パターン認識機能、知識処理機能に優れていることからさまざまな分野で応用が試みられるようになってきた。加速器制御に於いても、従来型のコンピュータ制御ではプログラムが複雑になるため、判断する部分をもっぱら人間（加速器の専門家）に頼っているようなところへの応用が考えられる。例えば、機器の動作波形の診断、ビームモニタからの波形処理やビームプロフィールの解析への応用などである。その中で我々は、加速器への応用として、クライストロン・モジュレータの故障診断とビーム加速用マイクロ波の波形診断を提案し、実用化に向けてさまざまなテストをおこなっている。

今回はこれらの診断システムを紹介する。

2.クライストロン・モジュレータの故障診断

電子リニアックで電子を加速するためには大電力のマイクロ波が必要である。クライストロンはマイクロ波を増幅するための真空管で、アノード・カソード間に印加する200KV以上のパルス電圧を発生させるのがクライストロン・モジュレータである。クライストロン・モジュレータは高電圧、大電流の回路で構成されていることから、故障頻度は他の機器に比べて高い。故障が発生した場合には、その直前に主要な回路の電圧、電流が異常に変化し、変化の様子は故障箇所（故障原因）によって特有のパターンになるものと思われる。そこで各部の動作状態を常時測定し、故障発生直前の変動パターンから故障箇所を特定しようというもので、パターンの認識にニューラル・ネットワークを応用した。センサの数を多くすればより正確な情報が多く得られ、確実な診断が可能となるが、それらを適切に処理するソフトウェアは複雑になる。ここでは少ない既存のセンサを利用して診断することが狙いである。今のところ、まだ実用状態になってはいないが、ニューラル・ネットワークに異常パターンを学習させ、認識テストをしたところ良好な結果が得られた。

図1はクライストロン・モジュレータのメイン回路である。測定は図1に示す回路の中でIVR直後の交流電圧・電流、直流平滑回路直後の電圧・電流を対象にした。信号はモジュレータのパネル面に取付けられている各電圧・電流計の端子よりピックアップし、図2の測定回路へ導く。信号は先ず、アイソレーション・アンプを通り、交流電圧・電流の信号は更に、実効値を直流に変換する素子を通る。信号処理にはVMEバスを利用したボード・コンピュータを用いた。信号はマルチプレクサ、サンプルホールド、ADC（12ビット）で収集される。測定は常時3 mSec間隔で行ない、1信号当たり100点（300mSec分）のデータがマイクロプロセッサのメモリに蓄積される。マイクロ・プロセッサは同時にシャットダウン・ステータスもモニタしていて、シャットダウンの発生で、メモリにある直前までの測定データ400点（100点×4）をRS-232C回線を使ってパソコンへ送る。

図3はシャットダウンしたときの図2の測定回路で得たデータの例である。図3-(a)は放電などによる一時的な過電流、図3-(b)はサイラトロンの連続導通による過電流が原因と思われる電圧・電流パターンである。このようにシャットダウンの原因によって異なった波形が観測される。

ニューラル・ネットワークを応用する場合には、まずいろいろな事例の学習データが必要であるので、ここで用いられているパソコンでは、ボード・コンピュータから送られてきたデータを

フロッピーディスクへ記録してもっぱら学習データの収集をおこない、ニューラル・ネットワークのシミュレータは別のパソコンで動作させてテストをしている。しかし、実用時にはボード・コンピュータからのデータは直接ニューロ・コンピュータ（ニューラル・ネットワークをシミュレーションするパソコン）に送られる。

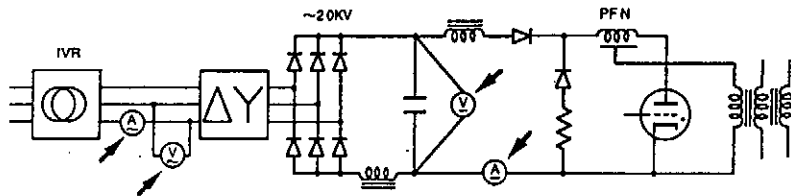


図1 クライストン・モジュールのブロック図
矢印の計器から診断のための信号を得た

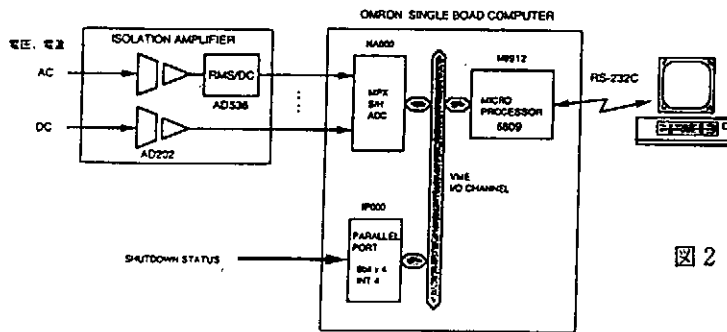


図2 データ収集回路のブロック図

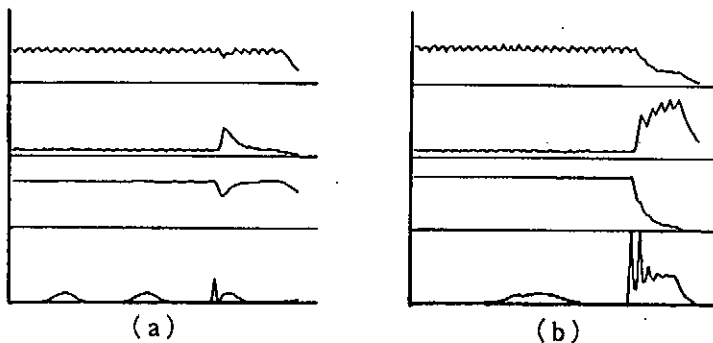


図3 シャットダウン直前の電圧、電流の変化 波形は上から交流電圧、交流電流、直流電圧、直流電流 測定時間（横軸）は300 mSec

ニューロ・コンピュータには、パソコンFMR-70（富士通）にデジタル信号プロセッサ(DSP)と4メガバイトのメモリを搭載した専用のボードと、シミュレーション・ソフトNEUROSIM/Lを組み合わせたものを使用した。学習用のデータとしては、これまでに得られたパターンの中から5つのパターンを選んだ。これらのパターンから特徴的な部分だけを抽出し、更にスムージング処理を行なってつなぎ合わせたものをネットワークの入力データとした。図4はテストに使用した学習データである。5つのパターンを学習させるためのネットワーク（3階層型）の構成は、入力層のニューロン数を140、中間層のニューロン数を40、出力層のニューロン数を5とした。パターンAは出力1がアクテブになるように、・・・、パターンEは出力5がアクテブになるように学習させた。学習方法はネットワークの出力値と期待する出力値（教師信号）との誤差が小さくなるようにニューロン間の重みを自動調整するバックプロパゲーション学習方式である。この例での学習回数は4506回（時間は約4分）であった。

次に、学習済みのネットワークを使って、他のパターンの認識を行なわせた。認識には図5の

パターンを用い、各パターンに対するネットワークの出力値を表1に示す。出力の値はどの学習パターンに似ているかによって0~1の値を示す。パターンFは出力1の値が他の出力より大きな値でパターンAに似ているという認識結果を示し、他にも同様に類似のパターンに確実に識別されていることを示している。

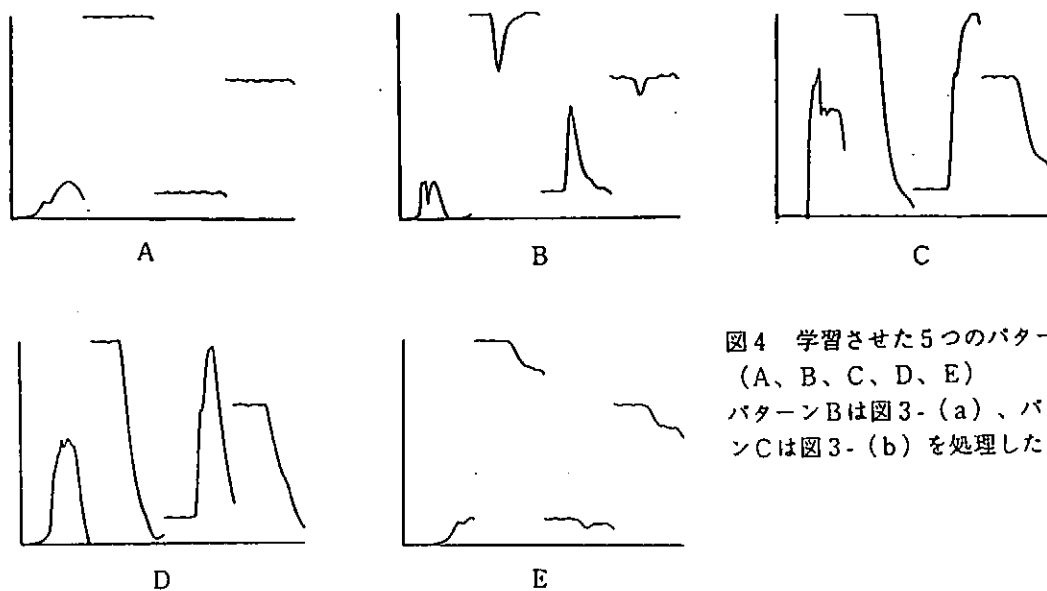


図4 学習させた5つのパターン (A、B、C、D、E)
パターンBは図3-(a)、パターンCは図3-(b)を処理したもの

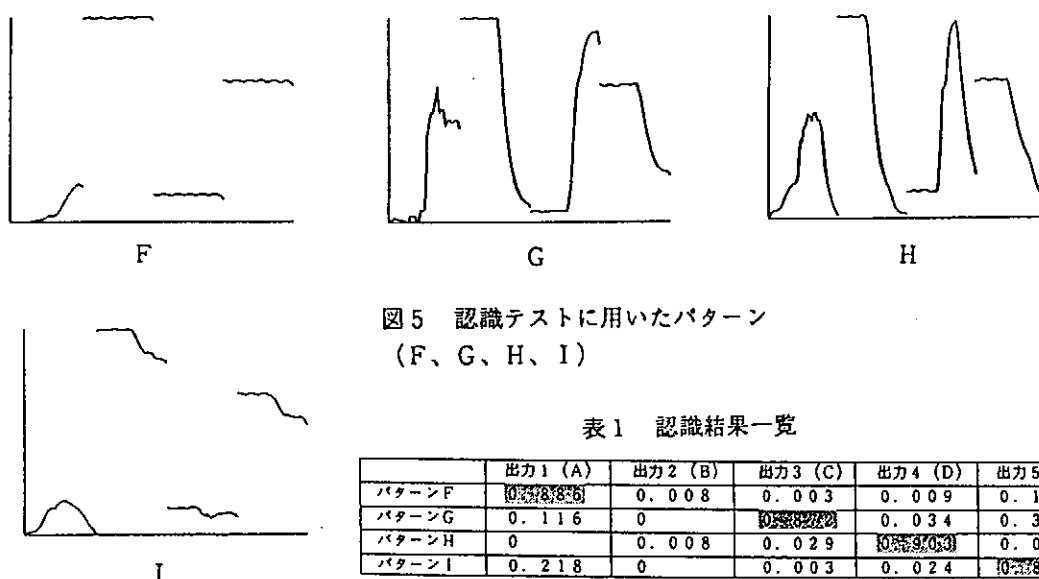


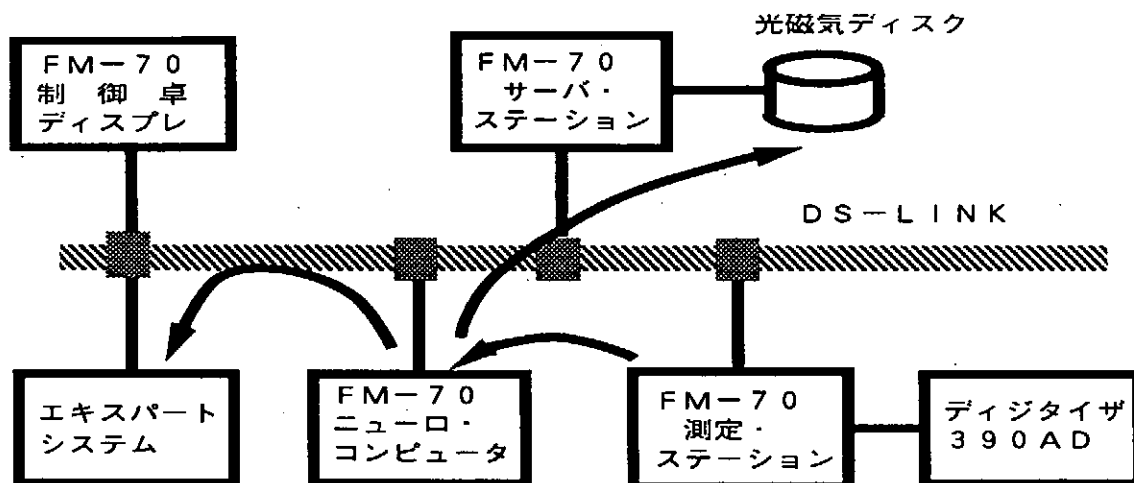
図5 認識テストに用いたパターン (F、G、H、I)

表1 認識結果一覧

	出力1 (A)	出力2 (B)	出力3 (C)	出力4 (D)	出力5 (E)
パターンF	0.328	0.008	0.003	0.009	0.176
パターンG	0.116	0	0.222	0.034	0.3
パターンH	0	0.008	0.029	0.303	0.01
パターンI	0.218	0	0.003	0.024	0.218

3. ビーム加速用マイクロ波の波形診断

電子を加速した後のマイクロ波の波形から加速器の運転状態を示すいくつかの有益な情報が得られる。この波形監視にニューラル・ネットワークを応用した。学習及び認識に関しては先のクライストロンの診断と同じであるが、この応用では診断に使用するニューロ・コンピュータは加速器制御の一部に組み入れられてリアルタイムでデータ処理する必要がある。



第6図マイクロ波の波形診断システム

図6が波形診断の構成である。制御用コンピュータ・ネットワーク（富士通製DS-LINK、CSMA/CDのEthernet）には多数の加速器制御のためのパソコン、ワークステーションが接続されている。ニューロ・コンピュータもこのネットワークに接続されていて、ここには測定ステーションでディジタイザを使って収集した波形データが連続して送られてくる。ニューロ・コンピュータでは既に正常状態、異常状態の波形は学習させてあり、それをもとに連続して送られてくるデータで認識作業をおこない、診断結果をコンピュータ・ネットワーク上の他のステーションに送り、例えば、異常時のデータを記憶容量の大きな光磁気ディスクへ記録したり、他のステーションでは加速器の故障診断、運転支援用のエキスパート・システムのための診断情報として利用される。これまでニューロ・コンピュータを制御用コンピュータ・ネットワーク上で動作させるための基本的なプログラムはほぼ完成し、現在、実用化に向けたテストを高工研の放射光施設のリニアック制御システムに組み入れておこなっている。

4.これまでのまとめと今後の展開

故障診断、波形診断へのニューラル・ネットワークの応用についてさまざまなテストをおこない、この種の応用にニューラル・ネットワークを使うことは、従来型のプログラミング手法でシステムを構築するのに比べ、開発時間の短縮と確実な診断が可能であることを確認した。しかし、実用化に向けた作業を進めるための課題は、いかに多くの故障発生時の学習データをどれだけ集めるかである。それには故障発生を待つだけでなく、回路のシミュレーションなどから異常パターンを求めて学習データに加えるといったことも必要である。更に学習パターンが増えた場合の効率的な学習方法などについての詳細な検討や、観測した生の波形データをそのままニューラル・ネットワークに入力したのでは入力層のユニット数が多くなるなどから、波形の特徴をうまく抽出して学習時間の短縮、認識能力の向上などを図る工夫が必要である。

今後、我々は加速器制御の分野でニューラル・ネットワークの応用範囲の拡大を試みるつもりである。例えば、真空系、冷却系の動作監視や運転支援、ビームモニタの信号処理にニューラル・ネットワークを使いその出力でビームを制御するなどといったことを次の計画として考えている。

会話型データ解析ソフトウェア PV-WAVEの 核融合実験データ処理への応用について

核融合科学研究所 技術部 小嶋 護、秀熊 茂

はじめに

PV-WAVEとはPrecision Visual社-Workstation Analysis and Visualization Environmentの略で、一言で言えば会話的にデータの解析・表示が可能なインタプリタで、データ処理専用の簡易言語である。PV-WAVEはもともとはRSI社のIDL (Interactive Data Language) と呼ばれる会話型データ解析ソフトウェアとして販売されており、数年前に日米科学技術協力で来所していたGA社の研究員からこのIDLを紹介されたのがきっかけで導入し、日本での第一ユーザーとなった。以来、核融合の実験データ処理を中心にさまざまな形で使用されており、非常に有用であるのでここに紹介する。なお、PV-WAVEはDEC社のVAX、あるいはSUN、HPなどのワークステーション上で動作する。図1にPV-WAVEのソフトウェア構成要素の概略を示す。配列処理、外部ファイル制御、数学関数、文字列処理、グラフ作成・表示、画像処理・表示、及び、ウインドウ処理などを行う各種のルーチン群と、グラフ関係の各種設定などを含むシステム変数から構成されている。データ解析処理に必要なこれらのルーチンは、コマンドとしてキーボードから入力することによって直ちに実行され、結果が返される。次々にコマンドを与えることによって必要な処理を実行してその結果を見ながら解析を進めていくことができる。PV-WAVEの特徴をまとめると次のようになる。

- (1) 会話的に処理が可能である。
- (2) 大量・多次元の配列データを扱うことができる。
- (3) データの加工・表示が簡単に行える。
- (4) あらゆる種類のデータが読み込める。
- (5) 外部プログラムとリンクが可能である。

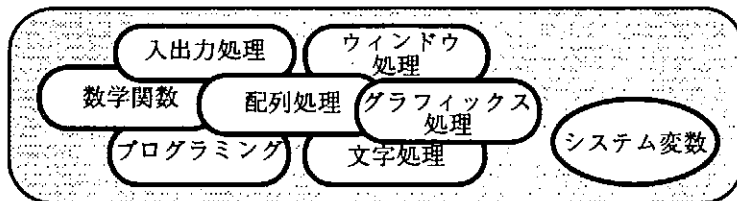


図1. PV-WAVE構成要素

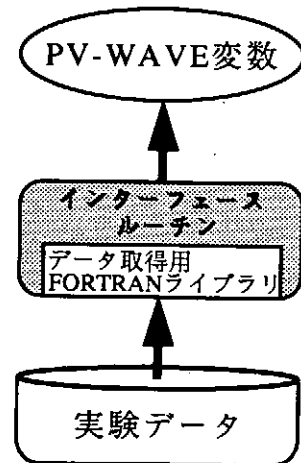


図2. データの流れ

PV-WAVEでなんらかのデータを処理するためには、まずその対象となるデータをPV-WAVEの配列の中に入れる必要がある。処理の対象となる実験データはファイルとして光ディスクに格納されており、PV-WAVEのファイル入出力ルーチンを使用してデータを取り出すことも可能であるが、この場合にはデータファイルの構造をPV-WAVE上で解析する必要がある。そこで、実験データファイルからデータを取り出すためのFORTRANライブラリがすでに用意されているので、これを利用してデータ取得プログラムを作成し、このプログラムをPV-WAVEから呼び出してデータをPV-WAVEの配列に格納することとした。図2にそのデータの流れを示す。中間部分が今回作成したPV-WAVEから呼び出し可能なプログラムモジュールで、インターフェースルーチン内で引数に関する必要な処理を行いライブラリルーチンを呼び出している。

この引数受渡しに必要な処理を行うためにFORTRAN用ユーティリティがPV-WAVE側で用意されており、簡単にインターフェースルーチンが作成できるようになっている。PV-WAVEにはこのような外部プログラムモジュールとインターフェースする方法がいくつか用意されているが、その前に基本となる変数のデータ構造について述べる。

PV-WAVE変数の内部データ構造

図3はPV-WAVEで扱うスカラ変数の一般的な内部データ構造を示したものである。PV-WAVE変数はこのようなデータ構造を持つディスクリプタとして記述される。Typeは変数のデータ型を示すものでPV-WAVEで扱える7つのデータ：Byte, Integer, Longword, Floating-Point, Double-Precision, Complex, Stringに加えてUndefinedという型も定義されている。Flagsは変数が一時式か定数か配列かなどといったどのような属性を持っているかを示したものである。Linkは変数を管理するためにPV-WAVE内部で使用される。次のValue Word 1,2は変数がスカラの場合はこのストラクチャの中にその値が格納され、変数が配列の場合はVAX標準配列ディスクリプタを指すロングワードポインタがValue Word 1に格納される。Ncharには変数名の文字数が、続く各バイトにはその名前前のアスキー文字が格納される。例えば、A=1という変数を定義したとすると図4のようなデータ構造になる。PV-WAVEではスカラと配列を混合した式や精度の異なった変数間の演算などが正しく処理されるが、それは変数のデータ構造がこのようなことになっていることから可能となっている。PV-WAVE変数は常に動的に領域が確保され、いつでもこのデータ構造を示すディスクリプタによって引き渡される。外部プログラムにPV-WAVEの変数を引き渡したり、結果を変数に受け取ったりする場合にもこのディスクリプタが内部で使用される。

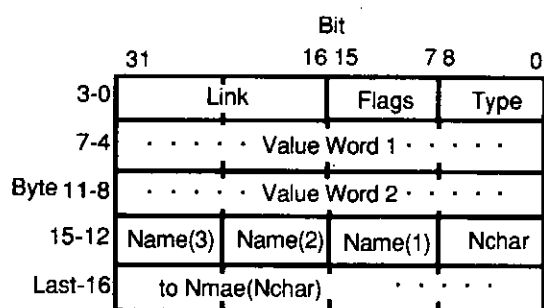


図3. PV-WAVEスカラ変数の内部データ構造

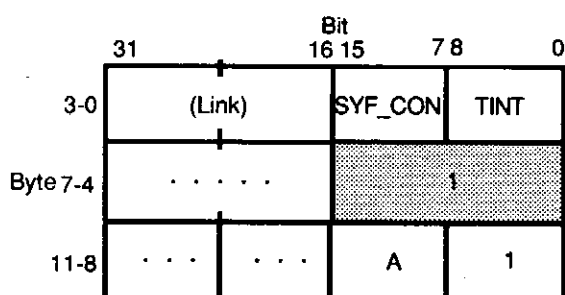


図4. 整数型変数の例 (A=1)

PV-WAVEと外部プログラムとのインターフェース

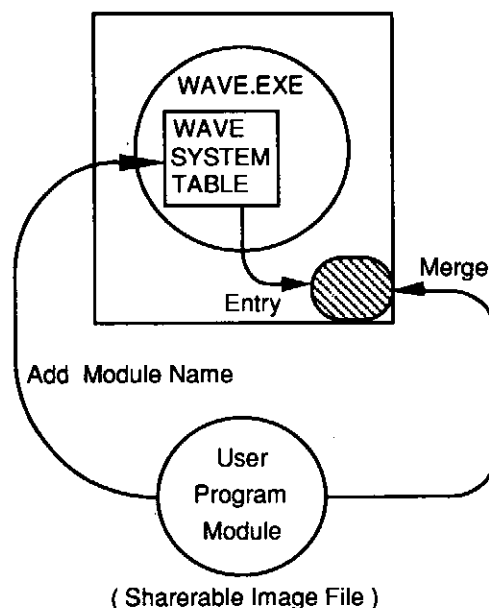
PV-WAVEとユーザの作成したプログラムとの間でデータのやり取りを行うために次の3つの方法が用意されている。

- (1) メールボックス
- (2) Direct Linking (直接リンク)
- (3) Dynamic Linking (動的リンク)

(1) のメールボックスを用いる方法は、PV-WAVEから独立にリンクされたユーザ作成のプログラムイメージがPV-WAVEからサブプロセスとして呼ばれるもので、手続きとしては簡単

であるがユーザプログラムをサブプロセスとして呼び出すことと、そのパラメータをメールボックスを通してやり取りするためオーバーヘッドが大きいため大量のデータをやりとりするには適さない。(2)の直接リンクする方法は、ユーザプログラムとPV-WAVEはVMS上で直接リンクされ、新しいPV-WAVEの実行イメージが作成される。これはPV-WAVEそのものを拡張することになり、複数のユーザで使用している環境ではバージョン管理の問題等もあり好ましくない。(3)の動的リンクによる方法ではユーザ作成のプログラムはPV-WAVE共有イメージとリンクされ、実行時にPV-WAVEによって動的にリンクされる。このためにLINKIMAGEというPV-WAVEシステムプロシージャが用意されている。図4に動的リンクの概要を示す。

LINKIMAGEはまず、ユーザ作成モジュールの名前をPV-WAVEシステムプロシージャテーブルに追加登録して、そのあとVMSシステムルーチンLIB\$FIND_IMAGE_SYMBOLをコールする。このルーチンは順番にユーザ共有イメージをアクティブにし、それをPV-WAVEアドレス空間の中にマージすることと、呼ばれたエントリポイントのアドレスをPV-WAVEに与えることを行う。このLINKIMAGEコマンドによってユーザ作成共有イメージファイルがオープンされるが、ユーザプロセス内で一度にオープンできるファイルの数は制限されているのでLINKIMAGEコマンドを並べるようなときは注意する必要がある。また、PV-WAVEは共有イメージとして配置されるので、ユーザ作成モジュールの中に書き込み可能な共通ブロックが存在するときは、リンク時にその共通ブロックを非共有として宣言しなければならないことに注意が必要である。この方法は大量の実験データを扱うのに適しているので、ここではこの動的リンクによる方法を用いて実験データ取得用ルーチンを作成した。こうして作成されたユーザ作成モジュールは他のプロシージャと同じようにPV-WAVEのコマンドラインから使用可能となる。



4. Dynamic Linking の概要

実験データ処理への応用

実験データをPV-WAVEに取り込むために次の3つのプロシージャを作成した。

- (1) WAVE_RAW - 生データの取得
- (2) WAVE_ANA - 解析データの取得
- (3) WAVE_EDB - データベース・データの取得

利用者はこれらのプロシージャを用いることによって、解析処理したいデータをPV-WAVEの配列変数に取り込むことができる。図6にWAVE_RAWプロシージャを用いて実験データファイルから生データを取得し、そのデータを表示させる例を示す。これにはPV-WAVEに対して次のコマンドを与える。

```
WAVE> WAVE_RAW,54400,'MON',1,SIZE,DATA,TIME
WAVE> PLOT,TIME,DATA
```

WAVE_RAWの引数としてショット番号、データ名、チャンネル番号を与えると、その結果とし

てSIZEにデータのサイズ、DATAという配列変数に生データ、TIMEという配列変数に時間軸の情報が格納される。図6ではあらかじめシステム変数を使用してX、Y軸にタイトルを入れてあるが、PV-WAVEのPLOTプロシージャを使用すると即座に画面に結果を表示することができる。図7は実験データベースファイルからWAVE_EDBプロシージャを用いて100ショット分のプラズマ電流データを取り込み、PV-WAVEのSURFACEプロシージャを使用して表示したものである。これにはPV-WAVEに対して次のコマンドを与える。

```
WAVE> WAVE_EDB,'54810-54909','IP',SIZE,IPDATA,X,XU,YU
WAVE> SURFACE,IPDATA
```

WAVE_EDBの引数としてショット番号、データ名を与えると、その結果としてSIZEにデータのサイズ、IPDATAという配列変数にIPに関するデータベースの内容、Xという配列変数にX軸の情報、XUにX軸の単位、YUにY軸の単位が格納される。これらのプロシージャでは引数のデータタイプ及び配列の次元等は自動的に決定されるようになっている。実際にはこれらのデータに対してPV-WAVEに用意されている演算機能、プロシージャ、ファンクション等を利用してデータの加工・変換・表示を行いながら解析を進めて行くことになる。また、データ解析以外に計測器の調整や補正係数のシュミレーションなどにも使用されている。

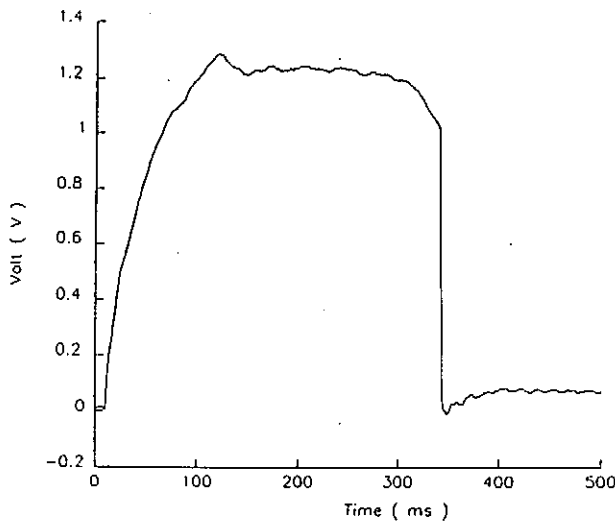


図6. 生データ表示例

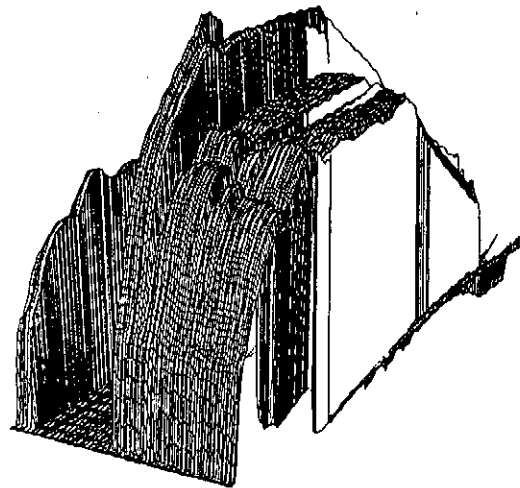


図7. 実験データベース表示例

おわりに

ここで使用したPV-WAVEはVAX/VMS版のバージョン1.21（現在はバージョン3.03）であり、ワークステーション用のものではない。UNIX版ではVMS版のような動的リンクはサポートされておらず、別の方法で外部プログラムとのインターフェースが行えるようになっている。以上、PV-WAVEとユーザの作成したプログラムとのインターフェースを中心に述べてきたが、PV-WAVEは他にも強力なイメージ処理等の機能も持っており、核融合の分野に限らず処理の対象となるデータさえあれば、会話的にそのデータの解析・表示等を行うことができる。また、特別なプログラムを作成することなく対象のデータをさまざまな見方で見ることができ、その特徴や傾向をすばやく把握することができるので、効率良く作業が進められる。これは従来のFORTRAN等のプログラミング言語によるデータ解析方法とは一線を画すもので、これからの一般的なデータ解析のスタイルはこのPV-WAVEのような会話型の専用システムに移行して行くものと思われる。

プロフィールモニタの画像処理

高エネルギー物理学研究所
加速器 荒木 栄

1. はじめに

高エネルギー物理学研究所のトリスタン加速器のBTラインにおいて、入射ビームをコントロールするために、ビーム観測をしている。現在のシステムは必要に応じてビームラインに蛍光板を入れ、そこにビームが当たった際生じる蛍光をTVカメラで撮影する Screen Monitor System を使用しているが、この場合 Screen でビームに多大な影響を与えてしまうので、リングに入射するためのビームを無駄にしている。

そこでビームを何かに当てて出た光ではなく、ビームが空気中を通るときに生じるチェレンコフ光¹⁾を使用することで、ビームを無駄にせずに観測できるプロフィールモニタ(図1)を設置した。そしてプロフィールモニタの画像を、ピアス社製画像処理装置に入力し、ビームの中心座標、面積、形状データを計算しそれらデータを制御用計算機にを送るプログラムを制作した。本報告は、その画像処理のシステムと結果について報告する。

2. チェレンコフ光について

チェレンコフ光¹⁾とは、荷電粒子が物質を通過する際に、荷電粒子の速度がその物質中の光の速度より大きい場合に発生する光である。

荷電粒子の速度を v 、通過する物質の屈折率を n 、真空中での光の速度を c とすると

$$v > c/n$$

の時にチェレンコフ光が発生する。

この光は、粒子の進行方向に対して

$$\cos \theta = 1/n\beta \quad (\beta=v/c)$$

で表される角度 θ の方向に放出される。

(図2)

1気圧の空気は

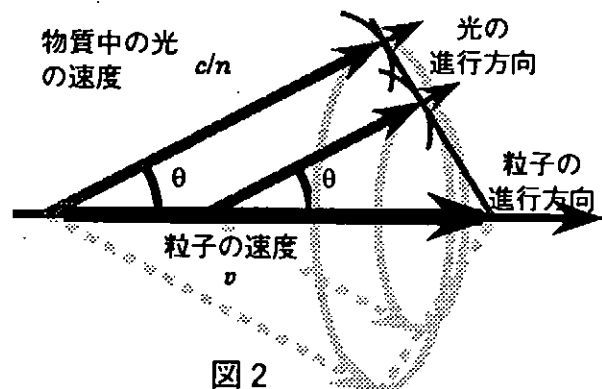
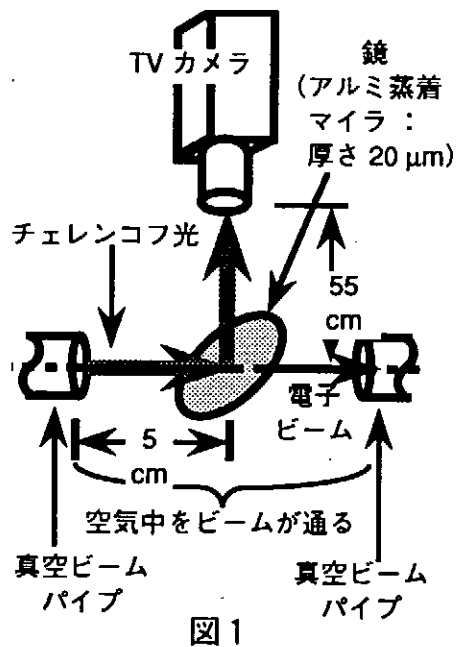
$$n = 1.00028$$

荷電粒子が 8 GeV の電子の場合

$$\beta = 0.999999998$$

$$\therefore v = \beta c > c/n$$

$$\therefore \theta = \cos^{-1} 1/n\beta \approx 20 \text{ mrad}$$



となり、チェレンコフ光が発生し光の進行角は 20 mrad である。

8 GeV の電子ビームの直径は約 3mm で、ビームパイプ出口からカメラまでの距離は 60cm なので光の直径は

$$20 \times 10^{-3} \times 600 \times 2 + 3 \approx 27 \text{ mm}$$

3. システム構成と画像処理

構成 (図 3) はトリガー回路と PC9801 と PIAS 社製画像処理装置からなる。この装置は多くの計算パッケージを持っている為、自分で多くの処理ソフトを作ること無しに簡単に画像処理²⁾が行える。

PIAS を起動させユーザーアプリケーションを実行させると BASIC コンパイルされた RUNUSER 1.EXE (図 4) が実行される。

ループ時間は処理行程²⁾により左右される、今回プログラムは最少行程にまとめてみた。

次に示す。

- (1) グローバルデータの引き渡し
- (2) ループ回数の設定
- (3) 画像処理を懸ける範囲の設定
FullWindow (0.0) - (512-480)
- (4) 画像を取り込み状態にする
- (5) Trigger 待ち、BIT が立てば次へ
- (6) 画像をメモリーにフリーズする
(図 5)
- (7) 動画補正を懸ける
(図 6)
- (8) 白色以外に対して画像計算する為、輝度反転させる (図 7、図 8)
- (9) ノイズを除去させる為高輝度強調を懸ける (図 9、図 10)
- (10) 画像計算し、長径・短径・面積・重心値を出す (図 11)
- (11) 計算結果を制御用計算機に送る

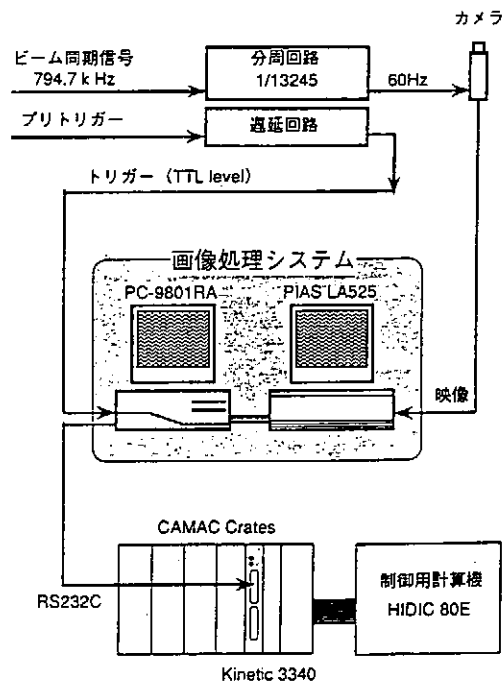


図 3

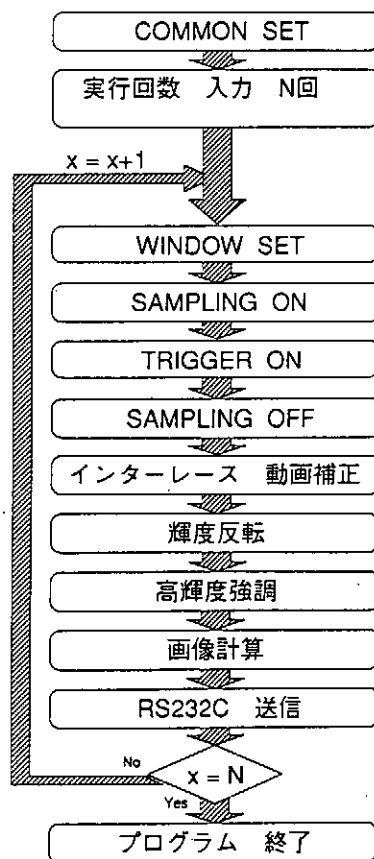


図 4 RUNUSER1 フローチャート

- (12) N 回ループ実行、(3)に戻る
- (13) プログラム終了

次に計算結果（長径 LONG、短径 SHORT、面積 AREA、重心値 CENTx,y）を示す。

```

*** N=1 WINDOW(200,200)-(450,450) ***
No 1 LONG= 38.784
    SHORT= 25.652
    AREA =655.000
    CENTx=306.115
    CENTy=276.432

```

ループ時間=16 秒

4. まとめ

チェレンコフ プロファイルモニタを使用し、プロファイルのTV信号に対して画像処理を行うことにより、

- 1) 通過するビームに影響を与えず、プロファイルを観測することが出来た。
- 2) 強度分布を数値化して、強度、重心位置、大きさを求めることが出来た。
- 3) ループ時間を実用可能な時間（～20秒）に出来た。

5. 今後の課題

今回の実験ではデータが少なく再現性が無い。今後、ビームとチェレンコフの相関を出し、それに見合ったプログラムに作り直したい。

6. 参考文献

- 1) 物理学選書7：放射線計測学 §5.3, p111
- 2) 神保 徹：パソコン画像処理入門
PIAS LA-525 マニュアル

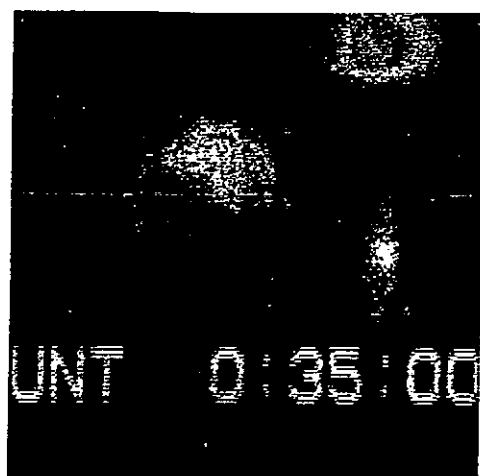


図5

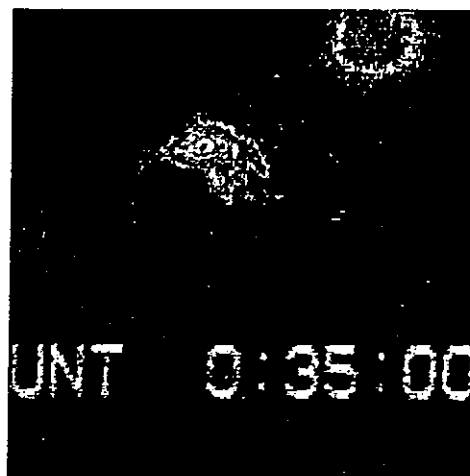


図6

UNT 0:35:00



図7

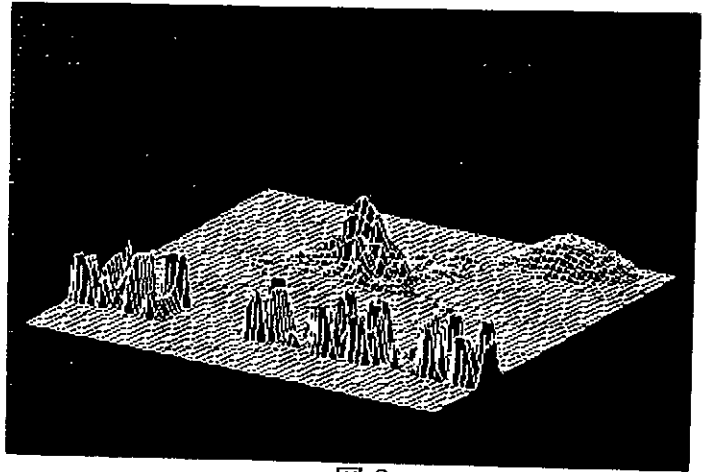


図8

UNT 0:35:00

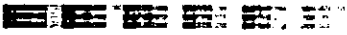


図9

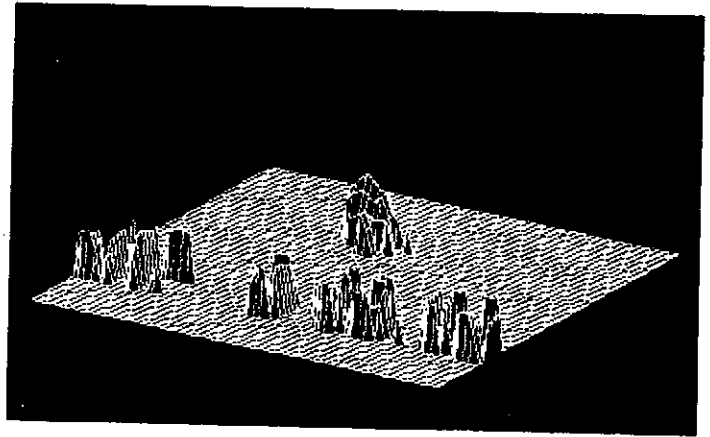
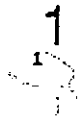


図10



処理、計算物体、及び No

2	4	5	7	8
² UNT	³ 0	⁴ 35	⁵ 0	
3	6			



図11

強制対流膜沸騰実験装置オンライン情報処理システム
 (試験発熱体温度、発熱率、実験データのオンライン処理と画像化)

京都大学原子エネルギー研究所 濱 勝彦

1. 緒言

膜沸騰熱伝達における流れの影響の解明は、軽水炉冷却水喪失事故時における再冠水過程事故解析の基礎データとして重要である。本研究部門では、膜沸騰熱伝達における流れの影響を、再冠水時の系圧力に相当する種々の系圧力において、実験的に研究解明し、飽和並びにサブクール強制対流膜沸騰熱伝達表示式の導出を行なっている。強制対流膜沸騰実験装置は、水平円柱白金発熱体を直流電流で加熱し、下方より上方に向かう発熱体と直交する流れの中で、膜沸騰状態に到達させ、強制対流膜沸騰熱伝達の測定を行う。この過程で加熱し過ぎによる発熱体溶融等を防ぎ、安定な膜沸騰状態を実現させるためには、発熱体温度や発熱率を集中管理する必要がある。本システムは、これらの情報をグラフィックディスプレイ上で集中管理し、実際の膜沸騰現象と対比しながら沸騰状態を数値でとらえ、計測・記録を行ない、過去に収録された実験結果と比較・検討を行いながら実験を進め、多パラメータの実験における実験計画を支援することを目的として開発された。

2. 実験装置及び計測・データ処理システム

強制対流膜沸騰実験装置を図1に示す。膜沸騰試験部は、整流装置により流れの分布を均一化された120mm x 40mmの長方形流路で、最大平均流速は1m/sである。下方より上方へ向かう流れに直交し、水平に(120mm方向)に取り付けられた白金発熱体は、外部加熱によって両端温度を高め、発熱体軸方向の温度分布を均一化している。発熱体は図2に示される様に、関数発生器からの信号をパワーアンプ(D. C. Source, 15V, 300A)で増幅し、蒸気中で電流加熱され一定温度に保持された状態で、徐々に液中に浸され膜沸騰が実現される。さらに、目標とする発熱体表面温度を保つ様に加熱電流を制御しながら、系圧力、流速等を設定し、安定な膜沸騰状態を保持する。一方、発熱体の平均温度の測定は、発熱体を一辺としたダブルブリッジ計測回路(図2右下)を用い電気抵抗法で行ない、発熱率は発熱体の端子電圧及び加熱電流を測定し、それより算出した。発熱体の表面温度は、発熱体の平均温度と発熱率を用い発熱体中の熱伝導方程式より算出した。これらの値は、実験装置よりオンラインで取り込まれる電圧情報と、発熱体及び計測回路の特性を記録したデータファイルから呼び出される情報より計算される。

ダブルブリッジ計測回路からの電圧信号(VT:ダブルブリッジのアンバランス電圧, VI:標準抵抗RS両端の電圧, VR:発熱体電位タップ間の電圧)及び試験部の液温計測用の熱電対からの電圧信号VLは、図2左下のデータ処理ブロックに示される様に、多チャンネル絶縁増幅器等を通し計測精度を損なわれない値の電圧に変換した後、パソコンに装備された12ビット8chのA/D変換器に取り込まれる。

A/D変換及びパラレル入力部は、C言語によって書かれたプログラムによりサンプリングの間隔やタイミング等を指示され、電圧値を引き数としてフォートラン77のメインプログラムにリンクされ、数値演算処理ルーチンへ受け渡される。

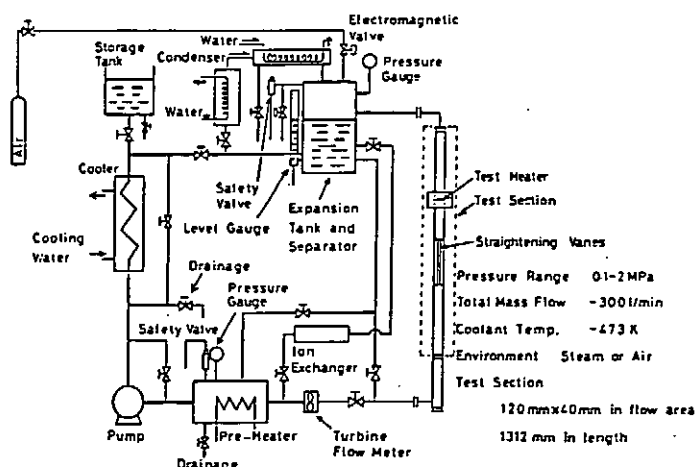


図1

メインプログラムでは、これらの電圧値及び試験発熱体の温度抵抗特性、ダブルブリッジ計測回路の各抵抗値、絶縁増幅器の各々の入力に対応する増幅率等の記されたファイルを読み込み、発熱率、表面温度が算出される。これらの情報はアセンブラで書かれたサブプログラムを呼び出すことでカラーグラフィックディスプレイ上に8色で、リアルタイムにデジタル表示及びグラフ表示される。ここで表示された発熱体の表面温度は±1K、熱流速は±2%程度の誤差で、時間の遅れは0.2秒以内であると推定される。これらは定常及び準定常の実験を行なう場合には、あまり影響を及ぼさない値と見ている。

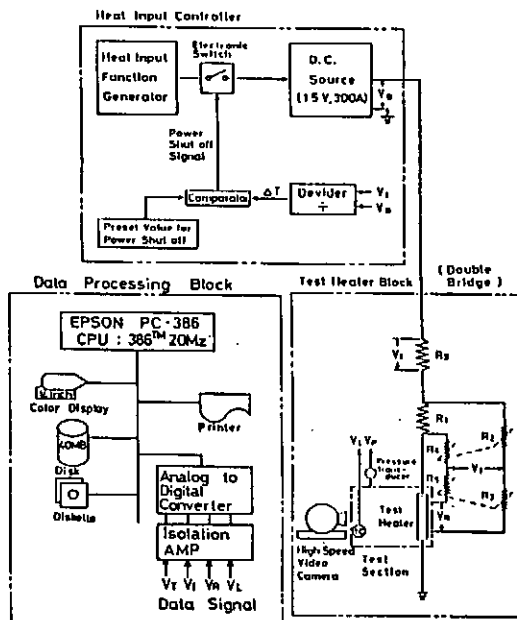


図2

3. グラフィックディスプレイへの表示

図3は、RUNナンバーFB1013の実験開始から4分17秒後の画像表示である。データ処理ルーチンは0.2秒間隔で実行され、この間に電圧値VT、VI、VR、VLの同時サンプリングを行い、発熱率、表面温度を算出し、左上に経過時間Time、表面加熱度DTsat、熱流束q、右下に各入力電圧(V)及び液温LT(°C)を0.2秒毎にデジタル表示する。一方、グラフ表示では過去に収録された同一パラメータの実験結果(FB999, FB997)をディスクから呼び出し、同一面上で現在進行中の実験データ(FB1013)と比較検討ができる様に、沸騰曲線を描いているところである。さらに、実験終了後は図4の様に、RUNナンバー、液温、ブリッジバランス抵抗値(1行目)、各電圧に対応する絶縁増幅器のゲイン(2行目)、試験発熱体の特性(3~5行目)、液温計測用の熱伝対の係数(6行目)及び0.2秒間隔で計測された各電圧値VT、VI、VR、VL(7行目以降)が、アスキーコードのファイルとしてディスクに納められる。一方、このファイルから各表面加熱度(DTsat)における熱伝達係数(h)を求め、同一パラメータの実験結果と共にグラフ表示したものが図5である。この図の各プロットは、強制対流膜沸騰の不安性によって生ずる実験データのばらつきを抑えるため、データの5点を平均化し1点を表示した例である。また、縦軸、横軸目盛りは図6に示される様に任意に選択出来、同一グラフ面上で他のどの様な実験結果とも比較可能で、理論値との細部に渡る検討も容易に行なうことが出来る。

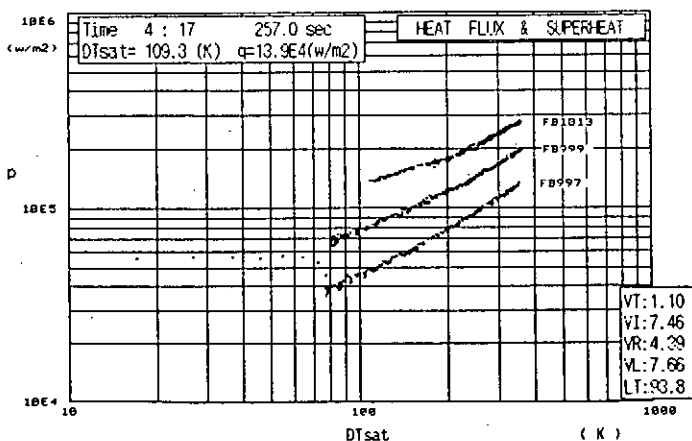


図3

1013	104.20	7801	
20	20	10	20000
.650249E-02		.650249E-02	.700000E+04
.606970E-01		.490000E+01	.000000E+00
.426778E-02		.388078E-02	-.588000E-08
-.945307E-04		-.452964E+00	.930788E-04
3.936	8.789	7.888	7.676
3.975	8.794	7.725	7.686
3.970	8.789	7.715	7.678
3.965	8.779	7.715	7.686
3.921	8.789	7.671	7.681
3.918	8.770	7.666	7.661
3.945	8.770	7.688	7.678
3.940	8.770	7.681	7.676
3.045	8.774	7.688	7.851
1.143	7.478	4.434	7.646
1.157	7.478	4.453	7.837
1.152	7.461	4.443	7.642
1.147	7.476	4.443	7.676
1.128	7.476	4.424	7.661
1.118	7.466	4.404	7.646
1.123	7.466	4.409	7.681
1.123	7.461	4.414	7.671
1.108	7.456	4.399	7.646
1.118	7.461	4.404	7.642
1.099	7.471	4.399	7.651
1.104	7.461	4.390	7.606

図4

今まで収集した実験データのパラメータは次の通りである。

- 水 発熱体直径 : 0.7, 1.2, 3, 5 mm
- 系圧力 : 106~490 kPa
- サブクール度 : 0~30 K
- 流速 : 0~0.47 m/s
- 発熱体表面過熱度 : 200~800 K
- R 1 1 3 . . . 発熱体直径 : 1.2, 3, 5 mm
- 系圧力 : 106~490 kPa
- サブクール度 : 0~50 K
- 流速 : 0~1 m/s
- 発熱体表面過熱度 : 100~400 K

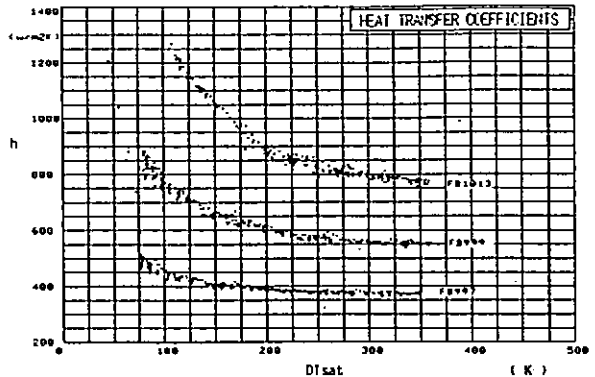


図 5

水での実験結果の代表表示例として、図7~図11を示す。これらは全て表示画面のモノクロのハードコピーであり、実際のグラフは8色でカラー表示され、プロットが重なり合っている部分もはっきり識別出来る。

図7は、流速をパラメータとした場合のサブクール強制対流膜沸騰熱伝達係数hの表示例である。
発熱体直径：3mm、系圧力：106kPa、サブクール度：10K

```

<< The GRAPH of HEAT TRANSFER COEFFICIENTS >>
Maxh(1200)
h
(w/m2K)
Minh (0)
MinT(0) DTsat (K) MaxT(500)
Default : DTsat 0 - 500 , h 0 - 1200
1 : DTsat 0 - 500 , h 0 - 600
2 : DTsat 0 - 500 , h 200 - 800
3 : DTsat 0 - 500 , h 200 - 1400
4 : Set MinT - MaxT , h Minh - Maxh
Key In 1 or 2 or 3 or 4 3
DTsat : 0 - 500 , h : 200 - 1400
Key In DATA No. ( F### ) = F#013
    
```

図 6

図8は前図の沸騰曲線の表示

図9は系圧力をパラメータとした場合のh表示
発熱体直径：3mm、サブクール度：10K、流速：0.16m/s

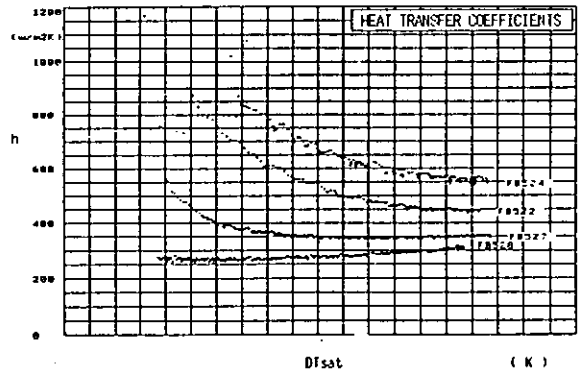


図 7

図10はサブクール度をパラメータとした場合のh表示
発熱体直径：3mm、系圧力：490kPa、流速：0.16m/s

図11は発熱体直径をパラメータとした場合のh表示
系圧力：106kPa、流速：0.16m/s、サブクール度：10K

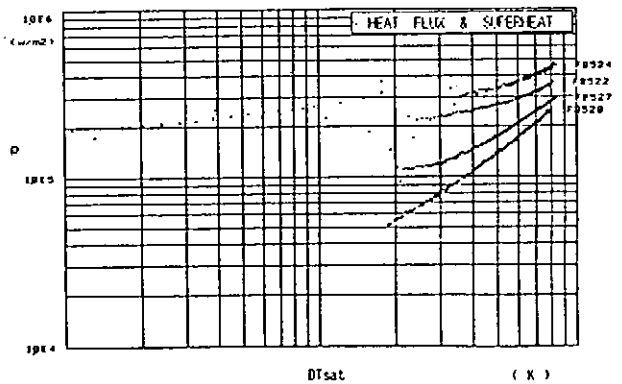


図 8

以上代表例で示した様に、同一面上でグラフ表示を行なうと、各パラメータと発熱体表面過熱度が熱伝達にどのような影響を及ぼすか直感的に理解しやすくなりパラメータを変えた場合の実験結果の予測も容易となった。なお、これらの実験結果から、二相層流境界層膜沸騰理論モデルに基礎を置き導き出されたプール膜沸騰熱伝達の一般的な表示式をもとにして、整理・検討された結果、強制対流膜沸騰熱伝達を記述する表示式が提示された。

4. 結言

この実験装置のオンライン情報処理システムの完成により、白金発熱体を溶融させることなく、幅広い範囲で、しかも、かなり厳しい条件下においても、安定した膜沸騰を実現させ、強制対流膜沸騰熱伝達の測定を行なうことが可能となった。

また、膜沸騰現象の推移を直接具体的な数値でとらえることで、蒸気膜の形状や離脱する気泡の大きさと、発熱率や発熱体表面温度等との複雑な関係が直感的に理解しやすくなり、実験中に蒸気膜が崩壊する条件の予測も可能となった。

さらに、実験終了直後に、収集した実験データを過去の実験結果や理論モデルと比較検討したり収録済みのVTRの映像と実験中の画像表示を、VTRモニターとグラフィックディスプレイで連動させながら、前回の実験経過をそのまま再現することが出来るようになった。

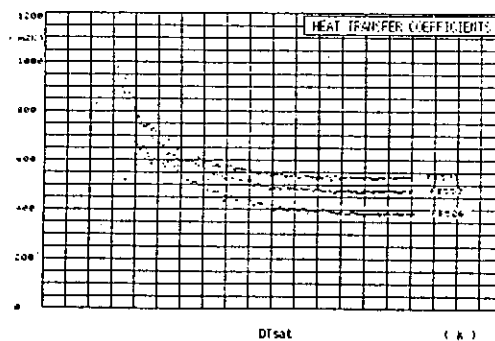
これらのことにより、実験を総合的に管理し、個々の実験においては、それぞれ適切な判断の下で次の実験条件が決定でき、より精度の高い実験を短時間に続けて行えるようになった。

【使用ソフトウェア】

- (1) MS-DOS Ver. 3.30B
- (2) Microsoft FORTRAN Optimizing Compiler Ver. 4.1
- (3) Microsoft Macro Assembler Ver. 5.1
- (4) Microsoft C Professional Development System Ver. 5.1

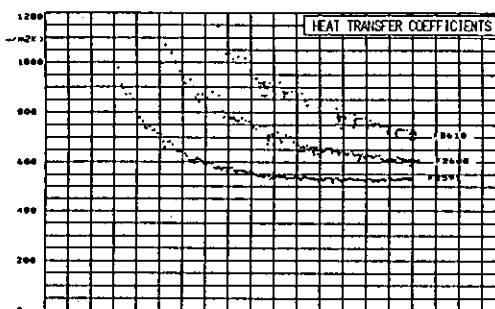
【参考文献】

- (1) A. Sakurai, Film Boiling Heat Transfer, Heat Transfer 1990 (Proc. of 9th International Heat Transfer Conf.), Vol. 1, 157-186, Hemisphere(1990).
- (2) 劉秋生、塩津、櫻井、飽和膜沸騰熱伝達における流速の影響、第27回日本伝熱シンポジウム講演論文集、第1文冊、292-294(1990).
- (3) 茂地、外部強制対流膜沸騰熱伝達に関する研究、九州大学博士論文(1983).
- (4) FORTRAN77 数値計算プログラミング 森 正武著、岩波書店
- (5) FORTRAN GRAPHICS トレーシングマニュアル 深野共栄著、JICC出版局
- (6) MS-Cの使い方 吉川敏則著、工学社
- (7) MS-DOSマクロコマンド活用術 藤本文彦著、ナツメ社
- (8) Microsoft FORTRAN user's guide、米国Microsoft社



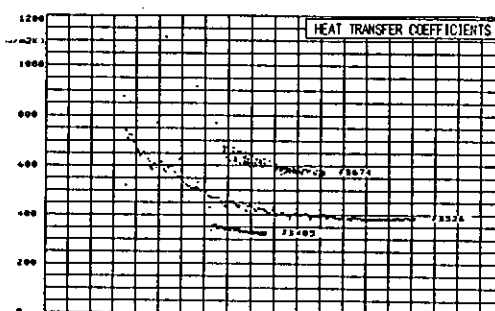
Delta T_{sat} (K)

図 9



Delta T_{sat} (K)

図 10



Delta T_{sat} (K)

図 11

CAD・FEMのコースウェアの開発

電気通信大学 機械制御工学科 小野寺 和宏

1. はじめに

CAD(Computer Aided Drafting : コンピュータ援用製図)・FEM(Finite Element Method: 有限要素法)が誕生し、用いられるようになって約40年を経過しようとしている。この間一時の停滞時期はあったものの1980年代に入り、コンピュータのハードウェアの低価格化に伴って利用者の裾野が広がると同時に多くの技術者がツールとして利用する機会が増えてきている。このような情勢のもと、CAD・FEMの活用に当たって大切なことは利用者の教育であるといわれている。

本研究はパーソナルコンピュータを用い、CAD教育システムおよび有限要素解析教育システムの構築を行い、CADシステムおよび有限要素解析プログラムをまさにツールとして使わせ、道具のようなものだということを体験するシステムを目指し開発を行った。

2. CAD教育システム

2.1 本研究の目的

最近の教育機関へのCAD/CAMの普及は著しいものがあるが、CADシステムと共に供給されるアプリケーションソフトやマニュアルをそのまま用いた教育では、教育内容が限定されることや効率の面から考えても好ましくないと考えられる。そこで、本研究では著者の所属する電気通信大学機械制御工学科に設置されているオートディスク社のAutoCADシステムを実際に使いながら製図教育を進めていくコースウェアプログラムを開発し、システム構築を行ない、2年間、専門課程における機械制御工学専門実験の1テーマとして用いて授業を行ってきた。ここではCADソフトを初めて使う人のガイドとしての基礎をCADシステムを実際に使いながら学習させるコースウェアを検討・試作した結果について述べる。

2.2 コンピュータシステム

本研究に用いたコンピュータシステムはパソコン(NEC PC-9801シリーズおよびその互換機)、OSはMS-DOSである。またプログラム言語はAutoCAD付属のAutoLISPおよびスクリプトファイルを用いて開発を行った。

2.3 システム構成

本コースウェアシステムは、以下の3つのステップから成る。

○メニューの操作方法

○図面の作成 (直線と円)

○図面の保管

どのステップも初めそのステップにおける作業内容の解説を行い、続いて解説に従いながら実際にCADシステムを動かし作業を行い、そのステップのまとめを行うという構成になっている。また、解説部では文字・線に多くのカラーを使用し画面に変化性を持たせた。

本システムの特徴は実際にCADシステムを動かしながらCADの基本操作を学習する点にあり、作業内容に応じて作業画面、プロンプト領域およびスクリーン・メニュー領域に各種解説を加えた。また、誤動作やそのステップにおける指示内容以外のところへは進めないようにCADシステムの表示内容やプログラムに工夫を行った。

2.4 レポートにみられたコースウェアに対する意見・感想

専門課程における機械制御工学専門実験の1テーマとして2年間コースウェアを用いて授業をおこなってきた結果以下のような意見・感想が上がってきた。ただしソフトウェア利用時間は15分から20分程度である。

- (1) コースウェアによって設計作業の流れを理解でき、CADを初めて利用したが、なんとか図面を完成させることができた。
- (2) ZOOM(図面の拡大・縮小用コマンド)や描いた線を消す作業などの編集機能に関してもコースウェアの中に含めてほしかった。
- (3) ディスプレイ上に多くの文字がでて読みづらい。
- (4) 一人一台のコンピュータが欲しいと思った。
- (5) くどい説明している部分がある。
- (6) コースウェアの内容を充実してほしい。
- (7) 目が疲れる。

3. 有限要素解析教育システム

3.1 本研究の目的

有限要素解析実験は理工学分野のほとんどすべてにおいて利用されている。しかし、妥当な解を得るには専門知識が必要で素人には難しくかつ使用できる環境が限られており、利用したい人がだれでも手軽に利用できというわけではない。また、有限要素解析によるシミュレーションでは、解析者の能力、経験が非常に重要で、その活用に当たって大切なことは利用者の教育であるといわれている。ここではパーソナルコンピュータ（以下パソコンと略す）を用い、有限要素解析教育システムを構築し教育ツールとして有限要素法の基礎を学習せざるコースウェアを検討・試作した結果について述べる。

3.2 コンピュータシステム

本研究に用いたコンピュータシステムはパソコン(NEC PC-9801シリーズおよびその互換機)、OSはMS-DOSである。さらに複数のパソコンをLAN (Local Area Network) で接続し、そのうち1台をサーバとして用いることによって学習者を一括管理することもできる。また、プログラム言語にはC言語 (Turbo C 2.0) を用いた。

3.3 システム構成

本システムを構成するプログラムは大きく次のパートから成る。

チュートリアル部

解析部

チュートリアル部は説明と質問を交互に繰り返しながら学習を進めていく部分で、ここで有限要素法の基礎をマスターする。

解析部はチュートリアル部で学んだ事を踏まえた上で、プリポストプロセッサと解析プログラムを実際に動かして演習し、有限要素法の基礎の確認と解析ツールの使い方を学習する。

3.4 チュートリアル部

チュートリアル部の開発は次のような方針で開発を進めた。

- (1) 本実験は有限要素法の知識を全く持っていない者を対象者としているので、その概念から教えるようにし、チュートリアル部をさらに5部に分け、段階的に繰り返し学習できるようにした。
- (2) 全体の流れを把握するために、学習者はいつでも目次を参照できる。また目次を介して現在学習しているパートの前や後ろに大幅にジャンプできる。
- (3) 途中で質問を設ける。質問に入ったら正解を答えるかまたは前に戻るまで他のキーは受け付けない

チュートリアル部で教える有限要素法の概要と基礎は以下の点である。まず次の点を説明した。

- ◎ 定義
- ◎ 記号、語句
- ◎ トラスとラーメン
- ◎ 多元連立1次方程式のマトリックス表示法

続いて、下記の基本的な講義を展開する。

- ◎ 1次元棒要素における荷重と変位の関係式
- ◎ 棒要素の要素座標系における剛性マトリックス
- ◎ 棒要素の全体座標系における剛性マトリックス

3.5 解析部

解析部は、2次元トラス要素および平面応力状態での2次元三角形要素解析のための入力データ作成のプリプロセッサ、解析プログラムおよび出力データ処理のためのポストプロセッサから成り立っており、実際に入力データを作成し有限要素解析プログラムを起動し、解析結果の分析を行うシステムとなっている。

解析部のうち解析プログラムは、本学の横内助教授が1982年にFORTRANでつくられ、1988年に卒研究生がC言語に書き替えたものをベースに、本研究に沿うように改良した。またプリプロセッサとポストプロセッサは新たに作成した。解析部はコントロールファイルから起動され、孫プロセスとして実行される。

解析部の開発は次のような方針で進めた。

- (1) 解析プログラムのコントロールはコントロールファイルで行う。また計算部は変更しない。
- (2) プリプロセッサは入力ミスを極力防ぐようにし、マウスを活用する。
- (3) ポストプロセッサは、変形前後の様子をわかりやすく表示し、変形後の応力分布を表示する。

3.6 FEM教育システムにみられたアンケート結果

今回作成したソフトウェアの評価を、本学機械制御工学科の3年生十数名に聞いてみた結果を以下に示す。ただし利用時間は30分から1時間程度である。

- (1) 説明と演習を組み合わせたのはよい
- (2) 教科書より面白い
- (3) 何回もやると飽きる
- (4) ヘルプ機能をもっと充実してほしい。
- (5) もっと説明を詳しく。
- (6) 目が疲れる。

4. おわりに

試作した2種類のコースウェアに対する種々の批判はあるもののコースウェアに対する期待・要望は非常に大きいといえる。今後、よりネットワーク化をはかることにより、学習者と教育者のより高い人間間相互作用を実現するシステムの構築を試みたい。

参考文献

- 1) 金田 徹他、機械製図に関するCAIコースウェア、設計・製図、25,11 (1990.11)、38.

SAPシステムにおけるビジュアライゼーションシステム

大阪大学レーザー核融合研究センター 計算機室

福田優子、澤井和美、藤井丈暢、石野扶未、西原功修

1. はじめに

コンピュータの計算速度の向上、メモリの拡大などを背景に、従来では考えられなかったような大規模な科学技術計算がおこなわれるようになってきている。特にスーパーコンピュータの登場により、これらの傾向はますます顕著になってきている。

これらの膨大な計算結果を単に数値として出力するだけでは、その現象を捉えることは非常に難しい。3次元の計算結果を図として表現する場合でも、2次元表示より3次元表示の方が現象を理解しやすい場合が多い。

今後、これらの可視化、ビジュアライゼーションに関して、その重要性がますます高まっていくことは確実である。

大阪大学レーザー核融合研究センターにおけるビジュアライゼーションの環境を紹介する。

2. 当研究センターにおけるビジュアライゼーションの環境

2.1 ビデオシステム

図1に示すように、LYON LAMB製 HRC,MINIVAS,SONY製 U-maticを用い、

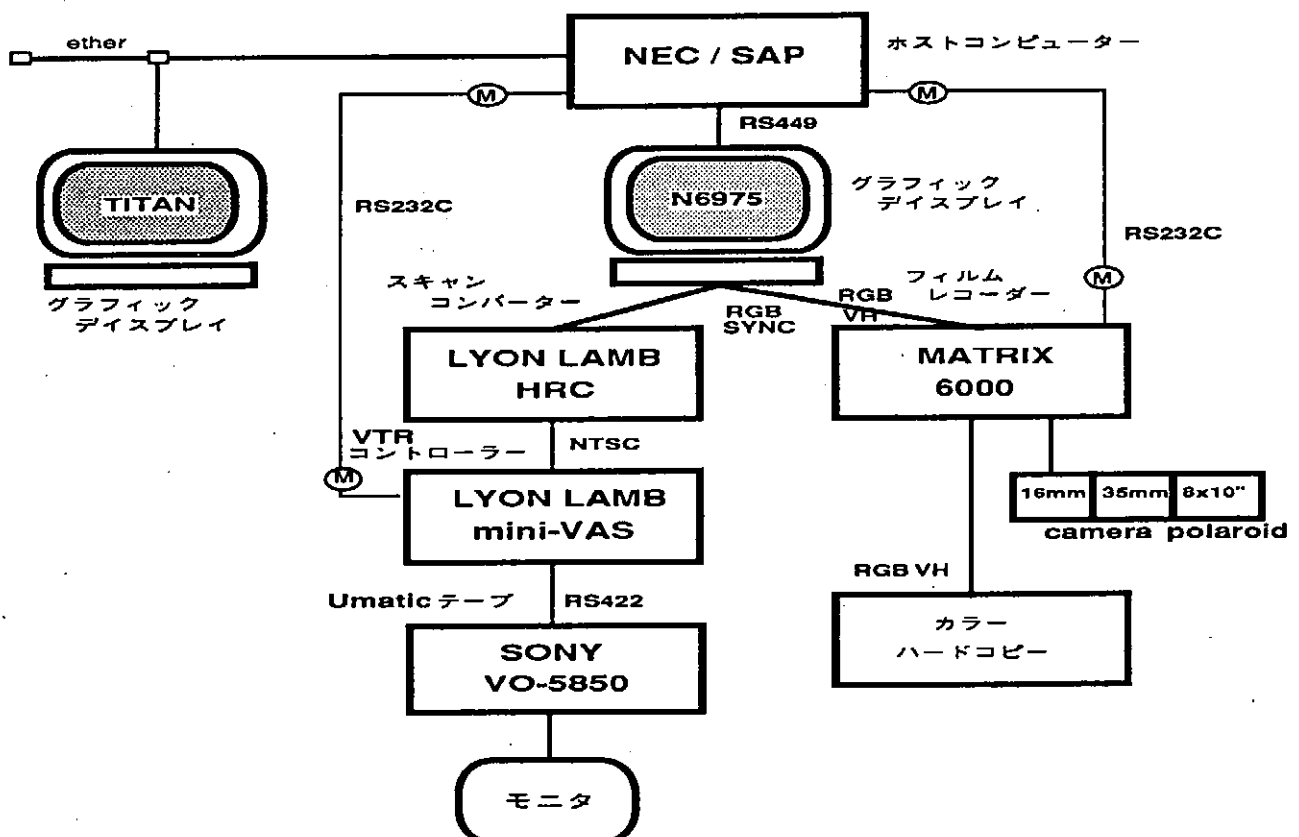


図1 ビデオシステム

コマ撮りすることが可能である。ビデオは1秒間に30コマ（フレーム）の割合で再生されるため、動きの滑らかなアニメーションを作成するには、許されるなら画面の変化を少しずつ、フレーム数を1コマずつ撮影するのがよいが、一般には1画面につき4フレームを撮影している。

2.2 スーパーコンピューターとの連動

アニメーションを作成する際、計算ステップごとの結果を撮影しようとする、多くのデータが必要であり、それらをディスクに溜めておくには限界がある。スーパーコンピューターで実行しデータを出力するプログラムと、データを読み込み描画後ビデオにコマ撮りするプログラムを連動させることにより、データファイルの容量を最少1画面分で済ませることができる。

連動させるには待ち合わせ処理を行なう必要があるが、その際CPUを利用せずに1秒（cputime）待つようなルーチンをメーカーに提供してもらった。

データの書き込み・読み込みのタイミングのコントロールを、直接データファイルアクセスした結果の状況判断で行なうにはデッドロックの危険性があるため、別のファイルで行なうことにした。（図2参照）

計算プログラムとコマ撮りプログラムを連動させることにより、アニメーションができるまでの時間は短縮できる。

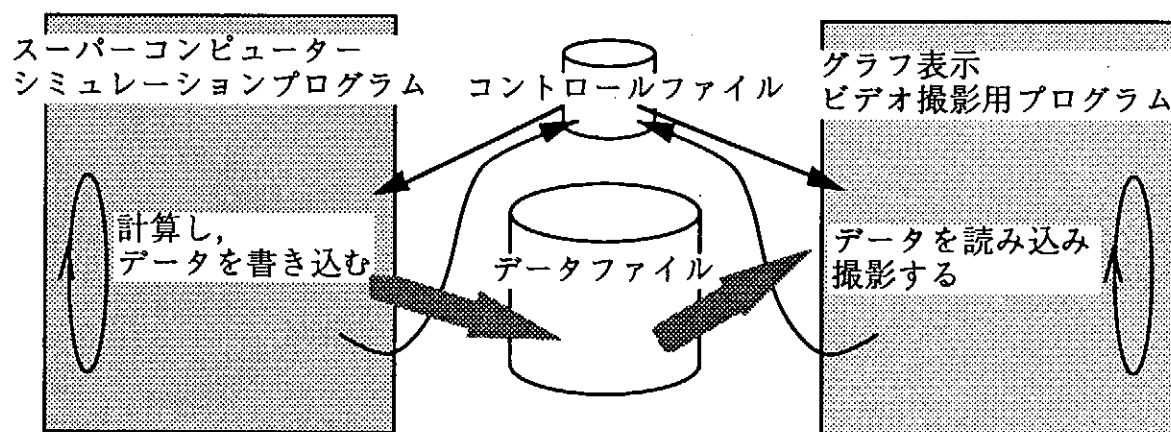


図2 スーパーコンピューターとの連動

2.3 画面表示用ツール

利用者がデータを用意するだけで描画できるツールを作成した。

- 2次元（平面）図……………X-Y平面上の物理量によって色テーブルから色を設定し、その色で塗りつぶしを行なう。
- 3次元図……………2次元のものに加え、物理量に相当した高さをもたせた3次元空間中の面を、シェーディング機能を用いて塗りつぶしを行なう。
- 等値面図……………3次元空間中任意の座標点定義によって与えられ

た物理量をもとに、指定された物理量の値を持つ面を生成する。シェーディング機能を用いて塗りつぶしを行なう。

2.4 色設定用ツール

データを画面に表示させる際、色の設定は重要な鍵を持つ。会話的にやりとりしながら、色テーブルを画面上に表示し、設定が行なえるツールを作成した。

(図3参照)

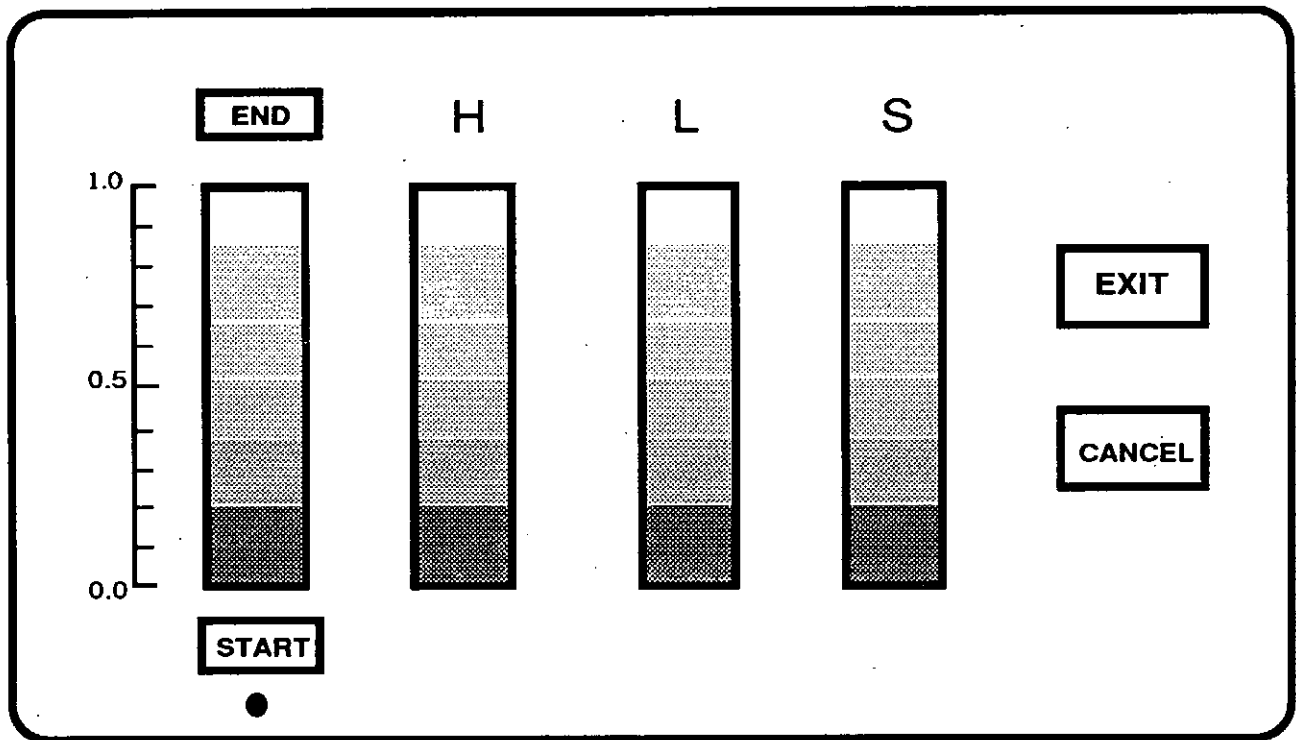


図3 色設定用ツールの画面イメージ

HLS方式を用いたので色テーブルの色変化が自然に感じられる。

このツールによりこれまで描画の際に色を設定するのにかかっていた時間の殆どが短縮できるようになった。

2.3の画面表示用ルーチンと合わせて使用することができるので、利用者はデータを用意するだけで色を自由に設定し、2次元や3次元の絵を表示することができる。

3. まとめ

研究者にとってビジュアライゼーションは膨大な計算結果を解析するのに非常に重要であるが、それに多くの時間を費やしたくない。当研究センターでは、データを用意さえすれば画面表示やアニメーションが作成できる環境になってきたと言える。しかしながら、いくつかの問題は残っている。

○安価なビジュアライゼーションシステムが必要

当研究センターにはGWS（グラフィックワークステーション）は2台あるが、ビデオシステムにはひとつのGWSしか接続されていない。ひとりがビデオ撮影している間、他の人はそのGWSを利用できない状態である。



複数のGWSをビデオシステムに接続し、ビデオシステムからのラインを必要なときに切り換えができるようにしたい。

○いろいろなGWSが発達してきているが、それぞれ独自のライブラリを持っている。

ハードに沿ったライブラリが提供される場合、ハードのバージョンアップごとに非常に大きな労力がかかってしまう。



国際標準のものを利用したい。

○大量のデータのコンパクトな保存手段が望まれる。



ある程度の要望が満たされてもまた要望がでてくる。
永遠の課題になるのではないだろうか??!!

HINES掲示板:HINES BOOKの紹介

- P202 HINES掲示板プロジェクト -

システム管理掛 辻 良副 満
 ネットワーク運用部 田井 幸子
 研究開発部 廣 優英

1. はじめに
 北海道大学に学内LAN「HINES」が構築され、平成2年4月より動き始めた。ここで、気軽にHINESの利用ができるような環境を整え、HINESに利用する色んなアプリケーションを簡単に知るこができるように、さらには、HINESの掲示板（テスト版）を作成することになった。ここでは、その概要を述べる。
2. HINES掲示板の名称とコマンド名
 掲示板の名称をHINES BOOK (HINES Bulletin Board Operation of Keynote.) とし、コマンド名は、その頭文字を取り「HB」とした。
3. HINESにおけるHINES BOOKの占める位置
 HBを構築したホストコンピュータは、大型計算機センターにある東芝AS4060 (SS2) を使用した。図-1にHINESとHBとの位置関係を示す。

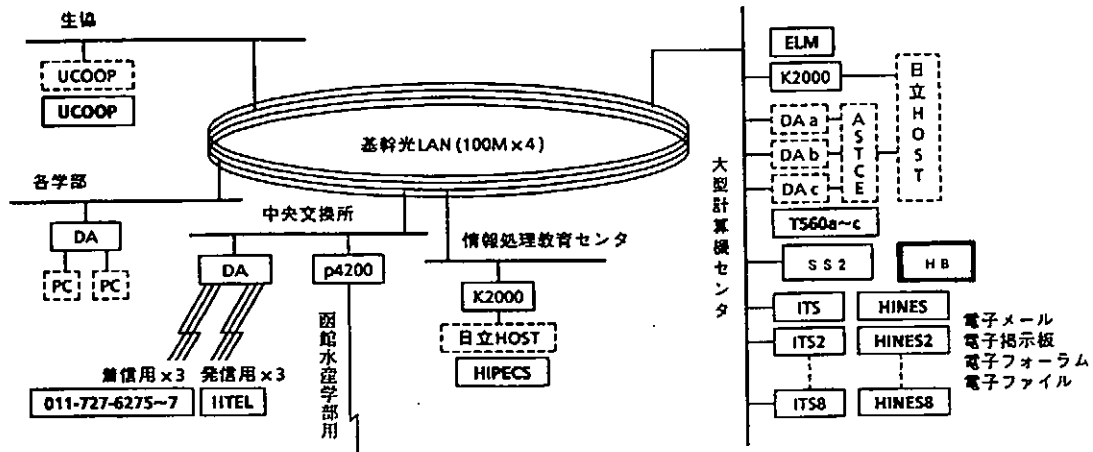


図-1

4. HINES BOOKが提供する情報

	タイトル	表示される情報
1	HINES (HINESに関する情報)	1. HINES利用法の概要 2. 公開IPアドレス 3. HINES申請方法 4. HINES利用必需品リスト 5. HELP (Q & A)
2	大型計算機センター群 (全国共同利用施設に関する情報)	1. 8センターの運用年間スケジュール 2. センター申請方法 3. センター接続方法 4. N1ネットワークの手順 5. 電子メールの手順
3	北海道大学全体 (学内の行事予定)	1. 庶務部 庶務課 2. 庶務部 人事課 3. 庶務部 入試課
4	各学部 (各学部の行事予定)	1. 大型計算機センター 2. 工学部 3. 薬学部 4. 経済学部 5. 農学部 6. スラブ研究センター 7. 医療短期大学部 8. 文学部 9. 歯学部 10. 触媒化学研究センター 11. 大学院 環境科学研究科
5	お知らせ	1. HINES関係 2. センター関係

(3, 4については各部局等より提供いただきました。)

5. ファイル構成とメニュー画面
 HINES BOOKが起動されると、ホストコンピュータに用意したメニュー画面と情報ファイルが下図の経路で参照される。初期メニュー画面と情報選択のメニュー画面、それに関連づけられているファイルを階層構造にして、画面遷移のイメージをわかりやすくした。

— メニューファイル
 -- 情報ファイル

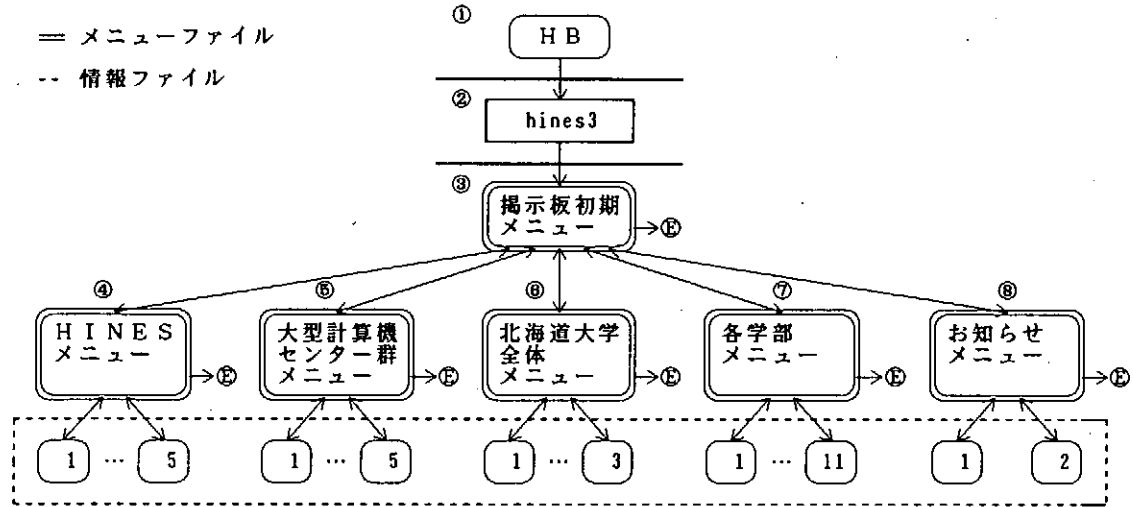


図-2

- ① コマンド投入
- ② シェルプログラム起動
- ③ 表示情報のタイトルを表示
 ・表示画面80桁×23行
 ・漢字コードはEUCまたはDEC
- ④ HINESに関する情報
- ⑤ 全国共同利用施設に関する情報
- ⑥ 学内の行事予定
- ⑦ 各学部の行事予定
- ⑧ 障害発生時、定期以外の保守予定
- ⑨ 掲示板終了

6. HINES BOOKの東芝AS4060 (ss2) における環境
 HB (hb) が起動されると、まず、ss2で管理しているファイルの破損に備えて、ディレクトリyoshiiにあるシェルプログラムhines3に起動命令が出される。ついで、hines3からメニューに沿って要求された項目のメニューや情報ファイルをディレクトリhbから参照する。
 このようにして、利用者はss2にloginしてもメニュー以外の命令や操作を実行できないようにしている。
 さらに、HINES BOOKが終了した時点で自動的に端末をss2から切り放し、制御が利用者側に戻るよう環境設定している。

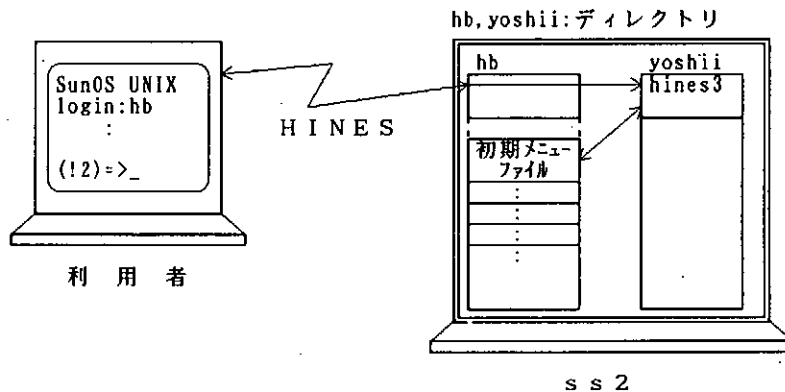


図-3

7. 起動方法および操作方法
 データ接続によって接続された、PC9801パソコン端末からのHBの操作手順を以下に示す。通信ソフトは北海道大学大型計算機センターで作ったHCOM/ASTCEを使用している。

① HCOMを起動

```
*Welcome to HINES-WORLD !
*Enter C & host name as "C ELM"
(!2)=>C HB
Connecting... session 1 -- connected to HB

SunOS UNIX(ss2)

login:HB
```

「HINES BOOK」

② HINES BOOK開始画面

```
Mon Oct 8 10:30:25 JST 1990
*****
*          --- これはテスト版です ---          *
*   ようこそ H I N E S 掲 示 板 へ !!   *
*                                     *
*                   Welcome to HINES BOOK !!                   *
*                                     *
* ***** *
October 1990
S M T U W T H F S
  1  2  3  4  5  6
  7  8  9 10 11 12 13
14 15 16 17 18 19 20
21 22 23 24 25 26 27
28 29 30 31
          --- 少々お待ち下さい ---
          Wait a moment.
```

③ 掲示板初期メニュー画面

```
Mon Oct 8 10:30:25 JST 1990

          H I N E S 掲 示 板 初 期 メ ニ ュ ー
          ( Select Menu )

1. H I N E S          ( H I N E S に関する情報 )
2. 大型計算機センター群 ( 全国共同利用施設に関する情報 )
3. 北海道大学全体     ( 学内の行事予定 )
4. 各学部             ( 各学部の行事予定 )
5. お知らせ           ( 障害発生時, 定期以外の保守予定 )

E. 掲示板終了

This HINES BOOK is used for only Kanji terminal with VT100.
For exit, enter "E".

番号を入力して下さい(1-4, E):1
```

④ HINESメニュー画面

```
          H I N E S メ ニ ュ ー ('90.10.1)

1. H I N E S 利用法の概要
2. 公開IPアドレス
3. H I N E S 申請方法
4. H I N E S 利用必需品リスト
5. H E L P ( Q & A )

S. 掲示板初期メニューへ戻る
E. 掲示板を終了する

番号を入力して下さい(1-5, S, E):1
```

⑤ 情報画面

```

                H I N E S 利用法の概要
1. H I N E S の接続先
   ( K 2 0 0 0 / K N E T 経由と A S T C E 経由の.....
   :
   :
   :
-- Q (quit), <GR> (next) ---: ④

```

Q: 表示を終了して H I N E S メニュー画面へ戻る
 ④: 次画面表示

⑥ 情報最終画面

```

   :
   :
   :
--- End of Message<CR> ---: ④

```

④: H I N E S メニュー画面へ戻る

- ⑦ H I N E S メニュー画面を表示
 S: 掲示板初期メニューへ戻る
 E: 掲示板を終了する

⑧ H I N E S B O O K 終了画面

```

*****
*
*   ご苦勞さまでした!
*
*   また H I N E S 掲示板へおこし下さい!!
*
*           Join us agein on H I N E S B O O K !!
*
*****
session 1 -- disconnected from HB( 133.050.033.016 )...
Connection closed by foreign host.
(!2)=>_

```

8. 考察

H I N E S 掲示板のテスト版を構築した結果、次の点を考える必要があることが分かった。

- (1) 表示情報の収集について
 表示するデータを入力する者が複数となった場合、情報の入力時期や内容が人まかせとなる。情報の品質を均一にするための入力の約束を取り決めることが必要となる。
- (2) 情報の入力時期
 利用者が最新の情報を得るためには(1)の入力の監視体制を整えることが重要である。
- (3) 情報の正確さ
 データの入力時点でのミスは修正できるが、情報そのものの内容に誤りがあった場合には、掲示板に掲載されてからでないと修正できない。そのための入力データのチェック体制が必要である。

9. おわりに

H I N E S B O O K の構築のために、本センター内で P 2 0 2 と命名されたプロジェクトが作られ、6月26日より10月9日までの活動で所期の目的を達成できた。H I N E S を利用したサービス構築は成功裡に終了した。今後の諸種の展開への経験を得た。これをもってプロジェクトは成功裡に終了した。なお、H I N E S の第三年次の完成後に定常的な守体制へ移行させようとしていた。三好教授をはじめとして山本助教授、永山掛長、杉浦技官ならびにセンター諸氏に深く感謝いたします。

【参考文献】

1. U N I X step++ - シェル・プログラミングのコツ - 西村行博著 マグロウヒル出版株式会社
2. 東芝 A S S E R I E S O S / A S ハンドブック (コマンド編) V 3 . 0 版
3. H I T A C - U N I X ソフトウェアを使うための - H I - U X 使用法

研究棟の端末配線システムの構築

高エネルギー物理学研究所
データ処理センター
渋谷 義和

1. 概要

高エネルギー物理学研究所（以下、KEK）の7階建ての研究棟（3号館）の建設に際し、大型コンピュータの端末配線システムを設計・構築した。本システムは、大型コンピュータ（KEK共通計算機システム）が運用中に、短時間で端末の移設とオンライン化を可能にするための配線システムである。従来、大型コンピュータの端末の移設には、手配から実施までに1~2ヶ月間の時間と経費を要していたが、この配線システムの導入により、同軸ケーブル敷設および電源工事、中央側のI/Oジェネレーション等が不要となり、1台当り1時間以内に移設とオンライン化が出来るようになった。今回の建屋および配線システムの設計概念と、施工の実際について報告する。

2. 端末変更

1) 端末変更の経過

現在の共通計算機システムが導入されてから今日に至るまでに、端末の入替えのために端末の変更（撤去、新設、移設）が行われた経過は以下のとおりである。

(変更経過)	(変更実施年月)	: 経過年月)	(発生件数)	(積算件数)
計算機導入	(1985年 9月)			
第1次変更	(1986年 11月)	: 1年 2ヶ月目)	36件	36件
第2次変更	(1987年 3月)	: 1年 6ヶ月目)	123件	159件
第3次変更	(1988年 3月)	: 2年 6ヶ月目)	87件	246件
第4次変更	(1989年 3月)	: 3年 5ヶ月目)	51件	297件
第5次変更	(1989年 9月)	: 4年 目)	58件	355件
第6次変更	(1990年 3月)	: 4年 6ヶ月目)	15件	370件
第7次変更	(1990年 12月)	: 5年 3ヶ月目)	34件	404件
第8次変更	(1991年 3月)	: 5年 6ヶ月目)	120件	524件
合 計			524件	
年間平均変更件数			96件/年	
月間平均変更件数			8件/月	
週間平均変更件数			2件/週	

2) 主な変更理由

(1) 端末の多機能化の要求

パソコン市場の技術革新の影響を受けて、計算機ユーザの利用形態の多様化が急速に進み、端末に対し下記の機能が要求されるようになった。

- ① カラー・オンライングラフィック機能およびハードコピー機能
- ② ネットワーク接続機能
- ③ パソコン機能、ファイル転送機能、文書処理および表計算処理機能

(2) 活発な研究活動と、端末要求

新しい研究計画の推進、研究プロジェクトの編成が活発に行われ、それに伴う端末の移設、増設要求が絶えず発生する。

3. 3号館の建設計画

1) 建屋の基本仕様

それまで従来の研究棟から溢れ、コンテナ生活をしていた職員を吸収するために1987年から新研究棟の基本設計を開始、総面積7,500m²で7階建てのインテリジェンスビルを目指すことになった。

(1) 1階	: セミナーホール、大会議室、ユーティリティー			
(2) 2階~7階	(部屋名)	(面積)	(各階部屋数)	(全階部屋数)
	研究室	(20 m ²)	20部屋	120部屋
	特別研究室	(30 m ²)	4部屋	24部屋
	輪講室	(80 m ²)	1部屋	6部屋
			25部屋	150部屋

2) 3号館の情報配線の種類

計算機利用環境の充実と、研究情報を容易に取得出来る情報環境を目指すために、研究系独自に下記の配線を実施することにした。従って企画と予算執行は、我々研究系の関係スタッフが中心になって対応することになり、この中でもデータ処理センター関係の配線が多いことから、工法および工程の取りまとめは、データ処理センターが担当することになった。

- (1) 共通計算機システム系の配線・・・データ処理センターの端末、LBP、CAD用
- (2) トリスタン計算機システム系の配線・・・データ処理センターの端末、NLP、OPR用
- (3) 事務処理計算機システムの配線・・・データ処理センターの端末（オフコン）用
- (4) イサーネットケーブル配線・・・データ処理センターのネットワークケーブル用
- (5) 多目的通信ケーブルの配線・・・データ処理センター企画の配線（施設部施工）
- (6) 放射光計算機システム系の配線・・・放射光実験施設のOPR用
- (7) 加速器CATV系統の配線・・・加速器の運転情報
 - ① 陽子加速器系統・・・加速器研究部のCATV
 - ② トリスタン加速器系統・・・加速器研究部のCATV
 - ③ 放射光実験施設・入射器系統・・・放射光実験施設のCATV

3) 検討事項

(1) 建屋の構造条件

- ① 外からのケーブルの管路（通り道）を確保するために、既設の共同溝に連結した新共同溝と建屋に地下ピットを造る。
- ② 各階渡りのケーブリングを容易にするために、情報関係専用のパイプシャフト室を造る。
- ③ 各部屋へのケーブリングを容易にするために、各部屋の窓の下の壁の中にケーブル配線ダクトを設け、そこに全部屋を通したケーブルラックを設置する。

(2) 設備の条件

- ① 各部屋には、OA機器用に独立した20A電源を用意する。
- ② 各部屋には、OA機器の発熱量を見越した空調設備を用意する。

(3) ケーブルの布設条件

下記のとおり仕様が異なるために共用化は出来ない。しかし各階毎に各ホスト計算機単位にユーザが集合しているため、それぞれのケーブリングを各階に対して独立に行う。

① 各ホストによるケーブル仕様の相違

- ・ HITAC系（共通計算機システム）のケーブル仕様
 - 高周波同軸ケーブル：5C-2V 特性インピーダンス 75Ω±3Ω
- ・ FACOM系（トリスタン計算機システム）のケーブル仕様
 - 高周波同軸ケーブル：RG62AU 特性インピーダンス 93Ω±5Ω
- ・ HITAC系（事務処理計算機システム）のケーブル仕様
 - モデム用の2Pカットケーブル

② 各ホストのケーブリング方式の違い

- ・ HITACの場合、放射状にも出来るが更に各ラインに最大4台いもずる式に接続する方式を採っている。
- ・ FACOMの場合、端末と1対1の関係で放射状接続方式を採っている。

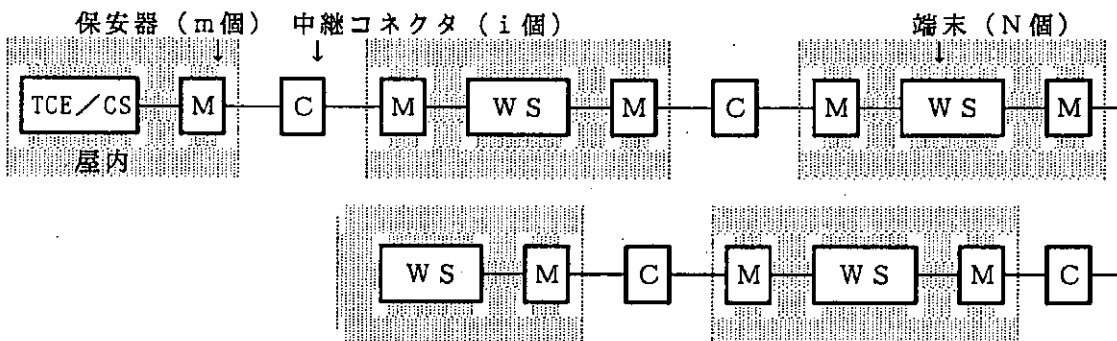
(4) 端末室の確保

計算機利用環境確保の一環として、部屋の割り当ての前に、各階毎に、高速プリンタ、CAD端末等、利用者の共用機器を設置できる端末室を確保した。

4. 共通計算機システムの配線システム

1) 同軸ケーブルの中継回数に関する条件

- (1) ケーブル許容減衰量 $B = 20 \log_{10} \frac{\text{信号送出レベル}}{\text{受信側検出可能レベル}} = 11 \text{ (dB)}$
- (2) 中継コネクタの減衰量 約0.1 dB
- (3) 中継ワークステーションの減衰量 約0.2 dB : 但し、IN/OUTの場合
- (4) 保安器の減衰量 約0.1 dB
- (5) 同軸ケーブル5C-2Vの減衰量 約5.6 dB/km
ケーブルの減衰特性曲線から使用信号周波数（1MHz～2MHz）の近辺で、約5.6 dB/kmである。
- (6) 中継数：下図の接続構成を基本とする。



2) 許容中継回数とその軽減

$$\begin{aligned} \text{同軸ケーブル許容長 } L &\leq \frac{B - (0.2N + 0.1m + 0.1i)}{D} \\ &= \frac{B - (0.2 \times 3 + 0.1 \times 8 + 0.1 \times 4)}{5.6} \\ &= \frac{B - 0.1 \times 18}{5.6} \end{aligned}$$

$$\text{同軸ケーブル許容長 } L \leq \frac{B - 0.1 \times n}{D} \dots \dots \text{(一般式)}$$

ここでnは、中継回数である。計算機棟と3号館との同軸ケーブルの最長距離は、1.5kmとして見積もり、その場合の許容中継回数nを算出する。

$$n \leq \frac{B - L \times D}{0.1} = \frac{11 - 1.5 \times 5.6}{0.1} = 26 \text{ (回)}$$

この結果、同軸ケーブルの中継回数は、最高26回までとして設計する必要があることが判る。実際の施工では、全ての中継箇所をコネクタ接続した場合には、n=33となるので、計算機棟の集中端子盤と3号館の各中継端子盤でケーブルの直付けをして接続回数を減らし、n=25となる方法を講じた。なお、中継には次の部材を用いた。

- ・ BNCコネクタ BNC-P-5DV
- ・ 端子盤中継コネクタ BNC-A-JJ
- ・ 中継固定型コネクタ BCJ-JRC (CANARE)
- ・ 熱収縮チューブ 照射ポリエチレンチューブ (径20)

3) 施工の実際

- (1) 情報関連工事全体は、1989年7月初旬から9月初旬までの2ヶ月間を要し、この中で共通計算機配線システム工事は、7月初旬から7月下旬の3週間で完了した。
- (2) ケーブルの管路(通り道)を予め確保した構造と工法の採用により、総延長15Kmに及ぶケーブル布設工事を、小人数且つ短期間で完了させることを可能とした。
- (3) 工事全体の工程上、困難を極めた問題は、3号館完成に伴う全所的な大量の人の移転と端末機器の移設があり、その期間以外は計算機は停止せずに、運用を続行(端末使用可能状態に)することであった。これは工程の緻密な調整と計算機関係者の協力により対処できた。

5. 総括と謝辞

1) 施設担当部署との共同協力関係の重要性

- (1) 情報環境の構築には、建屋の設計方針が重要である。
- (2) 情報システム提供部署が、当初から企画に参加することは極めて重要且つ必須である。
- (3) 建屋は情報環境を備えた構造、特にケーブルの管路の確保が基本的要件である。
- (4) 各部屋には電源容量と空調設備の確保を忘れないこと。

2) 部屋の使用者の協力と環境条件の事前整備の重要性

- (1) 情報環境工事は、主に、壁や天井等に対して行うために、人が住む前に実施することにより、工期の短縮化が計られ経済的である。
- (2) OA時代を迎えながら施設の提供側も利用者側も、端末等の機器設置環境(スペース、設置レイアウト、照明等)への配慮が不十分でない場合が多いので、情報環境提供部署は、各端末利用者へ予め具体的な要請を行い、環境を確保に協力してもらうことが重要である。

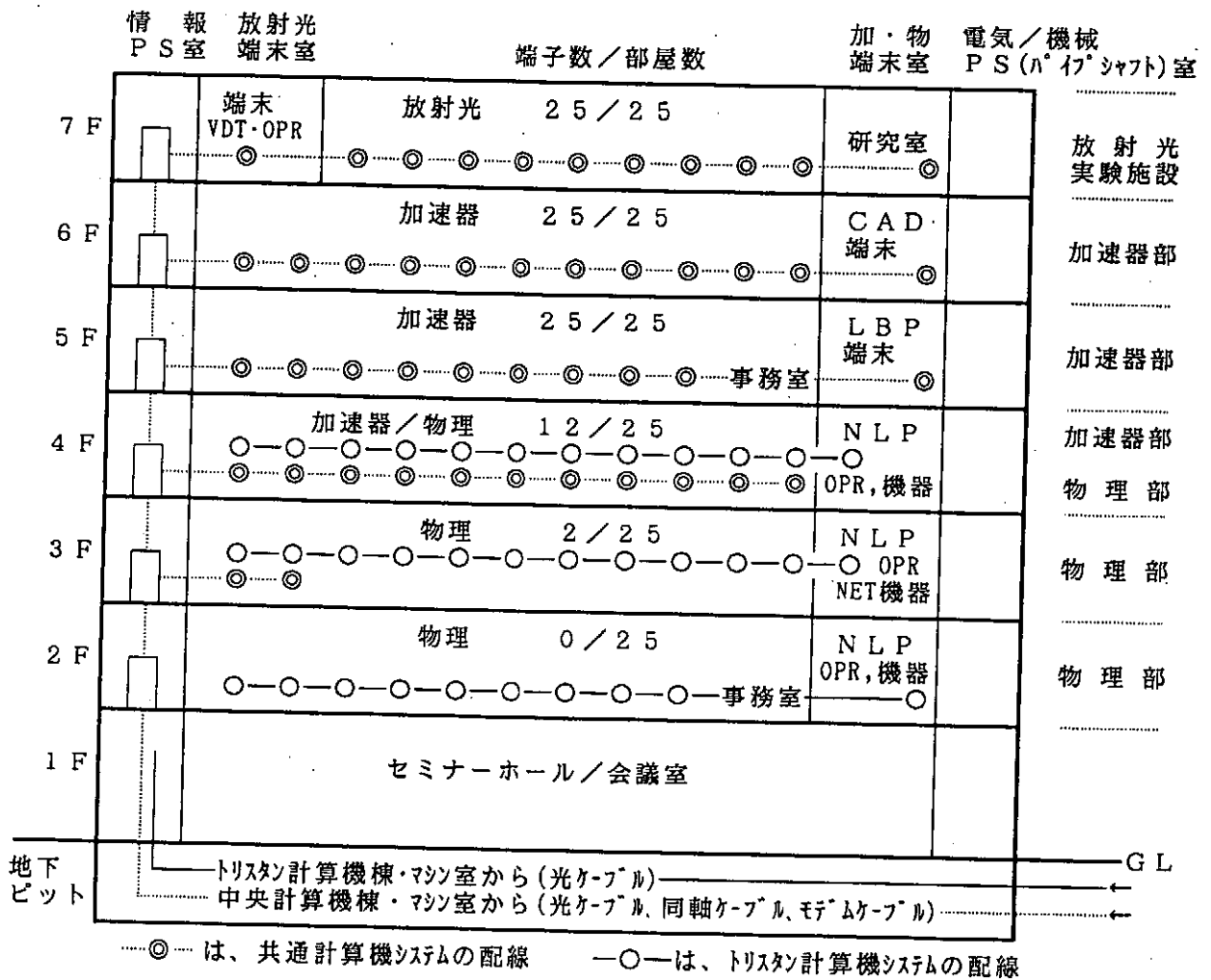
3) 謝辞

- (1) データ処理センター長・柴田進吉教授は、早い時期からデータ処理センターがインテリジェンスビルの構築に挑戦する重要性を示唆し、我々が着手できる機会を与えるために各方面でご奮闘された。先師の先見性に敬意を表すると共に、感謝申し上げます。
- (2) 施設部の山岸課長補佐、その外担当各位には、我々、研究系のわがままを聞き入れ、親身になって御指導頂き、後世の残る良い仕事をさせて頂いたことに厚く感謝申し上げます。
- (3) FHL筑波営業所・HITAC部および電子サービス(株)筑波営業所の関係各位には、史上稀にみる困難な作業工程に耐え、ご尽力頂いたことに厚く感謝申し上げます。
- (4) 最後に、データ処理センター各位には、準備から完成までの期間に、ご理解と後方支援をして頂いたことに感謝したい。

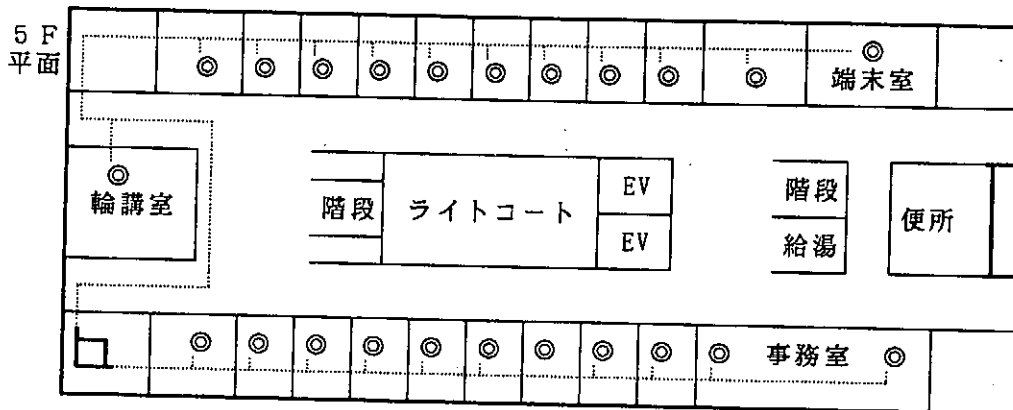
KEK・3号館の計算機情報環境概念図

3号館の情報環境に入っている計算機

- ①共通計算機 ②トリスタン計算機 ③ネットワーク ④放射光計算機 ⑤事務処理計算機



(平面の概念図)



- 各部屋：
 ①直結端末の端子 ②イーサネットケーブル ③多目的通信用端子
 端末室：
 ①高速プリンタ ②直結端末、CAD端末 ③端末制御装置、他各種機器
 事務室：
 ①事務処理システム端末

加速器操作・表示系ネットワークの開発と運転

文部省高エネルギー物理学研究所
阿部 勇、○白川明広、中原和夫

〈 1. 概要 〉

放射光入射器 2.5 GeV 電子線形加速器の制御系における操作・表示用ネットワークは、安定期に入り運転期間も 3 年半を経過した。¹⁾ 操作・表示系に於けるネットワークは、イーサネットとパーソナルコンピュータで構成したが、運用 3 年で種々の限界に達したため、従来の MS-DOS に加えて OS/2 の運転を開始し、システム増強、機能強化を図っている。これらについて報告する。

〈 2. 制御系と操作・表示系の構成 〉

LINAC の構成は、電磁石系、高周波源系、入射系、制御系、真空系、冷却系、モニター系、安全管理等があり、それらを制御及び監視する操作・表示系として、独立セグメントのネットワークがある。²⁾ 制御系はミニコンピューター (MELCOM70、9 台) のネットワーク (LOOP-I) とその下位の CAMAC インターフェイスで構成され、更に、LOOP-II、LOOP-III のループネットワークを核にして数百台のデバイス・コントロール用マイクロプロセッサを接続し、分散処理形態をとっている。そこでは HDLC に準じた、ホームメイドで開発したプロトコルが使用されている。これらのシステムは十年を経過した。オペレーターは、LOOP-I とゲートウェイを介したイーサネット (DSLINK) 上のパソコンから、加速器各部の操作や状態表示を行う事が出来る。(図 1)

操作・表示系の DSLINK におけるパソコンの配置状況は、加速器オペレーター用制御卓に FMR50 が 4 台、陽電子加速器副制御室に 3 台、開発用や監視用、CATV 用等合計約 30 台がネットワークされている。又、本ネットワークは三つのセグメントに別れている。セグメント間は光ケーブルでリピータを通して接続しており、これによって、制御室のみならず数百メートル離れた居室に於ても、制御室と全く同等に加速器のモニターができ、ソフトウェア開発等も可能となっている。

現在サーバーには FMR70HX3 (富士通) を使用し、合計 360M バイトのハードディスク、光磁気ディスク (600M バイト × 2)、RAM ディスクを接続している。プログラムやデータファイル及びデータベースは全てサーバーに格納している。サーバーはプリンタ・サーバーにもなっている。各パソコンは、ネットワーク上で立ち上げられた際に加速器制御用プログラムや初期値をサーバーからロードし、RAM に常駐させる。従ってパソコン立ち上げの際に一時的にネットワークのトラフィックが混雑するが、それ以後はプログラム転送に起因する混雑は起こらない。パソコンの立ち上げは、パワーオンするか、又はリセットするだけで全ての処理が済む様にコンフィグレーションされているため、ユーザーは何もする必要がない。これまですべて MS-DOS で作動してきた上述のパソコンに加えて、昨年より OS/2 によるパソコンの混在運用を開始し、加速器のモニターステーションとして常時監視運転を行ない、DOS ステーションにアラームを出している。

〈 3. 開発環境 〉

DSLINK 上で用いている言語には、構造化可能な HG BASIC や、Quick-BASIC、MS-C、Quick-C、MS Assembler、Mind 等があるが、加速器の

制御・表示プログラムの多くはBASICで記している。これは、インタープリタを用いていること、多くの人が慣れていることで生産性の向上が図れる上、データの保存性が良好であるという理由による。多くのソフトウェアは絵作りや操作入力が主で6、7割を占める。演算や処理速度を必要とするものは前段ネットワーク上のミニコンピュータで行なわれている。BASICの難点は、プログラマーに対するの自由度が大きいため結果的に信頼性の低いソフトが出来上がる場合があることである。これを低減するために、多くのモジュール化サブプログラムを用意し、ユーザーが使用可能になっている。

開発作業の大部分はエディット作業であるので、使い易さと高い開發生産性を実現するため、エディタとしてMifes、Red++、Final、Brief等を各自自由に選択でき、その他Excel、dBASE III等アプリケーション各種も運転に利用し、ネットワーク環境を良くしている。加速器運転用のプログラムはサイズを各々10kバイト程度以下に抑える方針にしている。(A4サイズのプリントで4枚程度以下である。)これによって保守性が良好になり、プログラムチェインによって画面やプログラムを切り替える際に高速になっている。通常、運転用画面(プログラム)の切り替えに要する時間は1~3秒程度である。メンテナンス用プログラムは呼び出すのに更に時間のかかるプログラムが多いが、運転用画面は切り替え時間が高速になるよう工夫している。

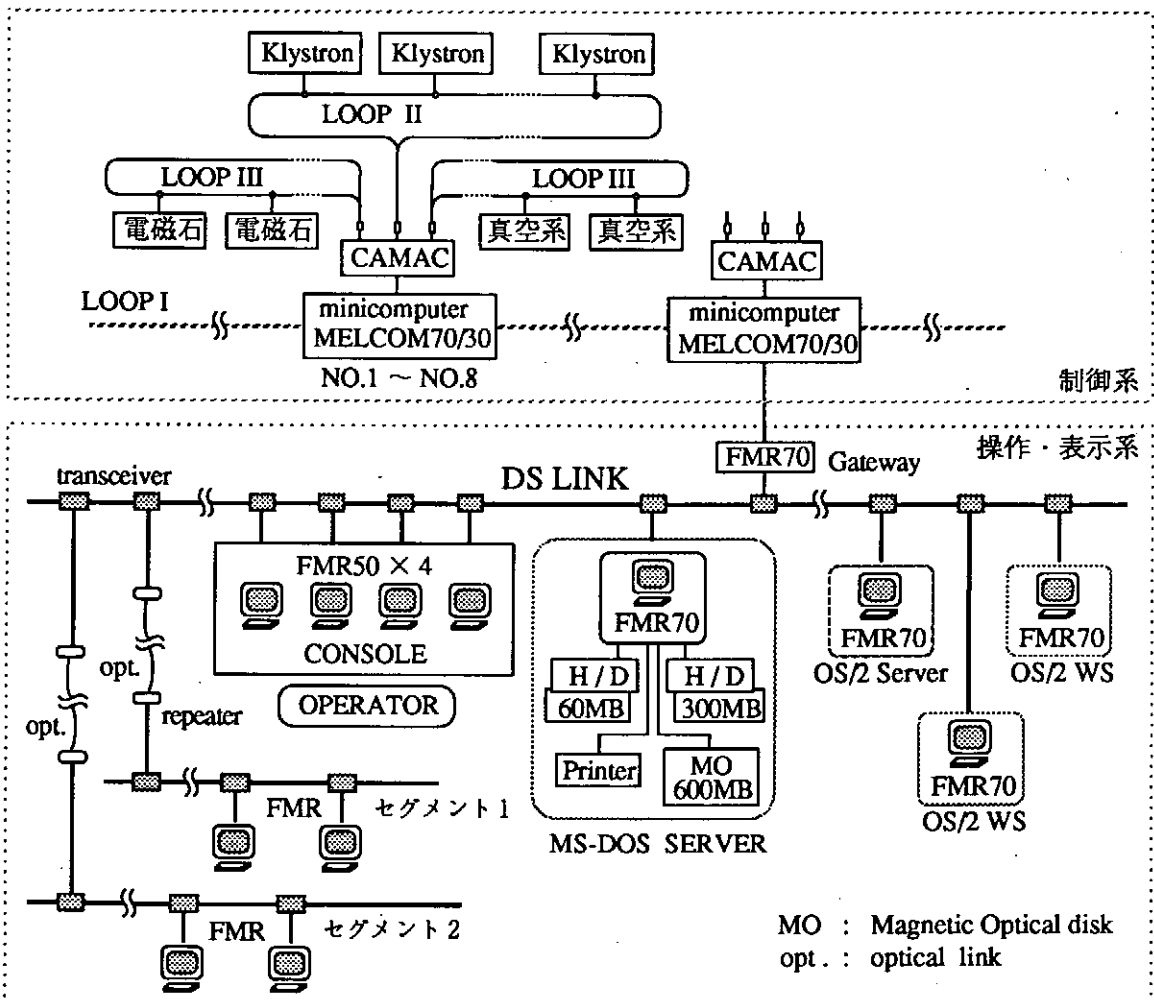


図1 制御系と操作・表示系

〈 4. OS/2について 〉

OS/2の採用を行なった具体的事由を以下に列記する。

- ・MS-DOSでの取り扱いメモリ空間の限界 (780kB) に達した。多くのアプリケーションをサーバーにインストールし共用する際、メモリ不足で実行できないものが増えてきた。アプリケーションは、時代を反映して肥大化傾向が大きい。複数言語を混在運転するにはメモリが足りないことが多い。Communication Process Manager (CPMGR) とDSLINK Driver、MS-Networksで20kB、常駐タスクが33kB、BASICが150kBを占有しており、残り570kBをユーザーが使用している。
- ・MS-DOSでのファイル数の制限に達した。
(最上位で256個まで、現在まで開発されたファイル数350本)
- ・マルチタスクの必要性が高まってきた。

以上の様に、パーソナルコンピュータはシングルユーザー、シングルタスクで小規模システムを対象としたものであったが、高速化、大容量化、低価格化と共にユーザーは使用範囲を拡大する傾向にある。これらの点を最小限の変更で解決するためにOS/2を採用したが、これによって以下の様な利点がある。

- ・既存のMS-DOS上のプログラムが継続して使用可能 (上位互換性)
- ・複数言語による運転が容易になる。
- ・OS/2が持っている開発環境 (API) を利用できる。
- ・メモリ空間の拡大。又、ダイナミックリンク機能によるメモリの有効利用。
- ・コストパフォーマンスの向上。(パソコンの低価格化)
- ・タスク間通信機能を数種類持っている。
- ・マルチウィンドウ (Presentation Manager) による操作。

等である。現在、80386、25MHzのCPUを使用しているが、これまでのミニコンの性能を速度、容量、コストパフォーマンス、使い易さの点で上回っている。スケールダウンのメリットは大きい。しかし、プロテクションやネットワーク環境についてはまだ問題がある。ワークステーション等と比較すると画面の解像度も低い。

〈 5. 今後の開発予定 〉

現在OS/2ステーションにて電磁石系の監視プログラムを動作させているが、他系統についても開発を進めていく。又、汎用監視プログラムツールの構築を開始した。これによって変更柔軟性が上がり、どこでも使用できるようにする予定である。OS/2はマルチタスク故に、同じハードウェア上で比較すると、処理速度はMS-DOSの方が速い。従って、制御卓では操作上のレスポンスを失わないようにするため、従来通りMS-DOSを使用していく。双方のメリットを活かし両者を共存させ、分散処理を従来通り進めて行く。

〈 6. ネットワーク性能 〉

図2に立ち上げ時の幹線トラフィックを示す。ピークで11%、定常運転時で約1%であり、制御卓での通常運転時のプログラムチェイン、データ転送に於て十分な速度が得られている。トラフィックが20%を越えると操作時のレスポンスが目に見えて悪くなるので、越えないような運用を配慮している。図3は複数のステーションからのファイル転送時のトラフィックを示している。

表1にはファイル転送時のスループットに関する測定結果を示す。DOSレベルでのファイル転送に比べ、BASIC言語レベルではスループットが下がっている。通常、プログラム内でのデータの送受は1kバイト未満であることが大半であるので、十分な速度感覚が得られている。これらの高速化はハードウェア

を速いパソコンにすることでも達成できる。運転用プログラムは概ね10kバイト未満で開発されているため、下記の性能からすると、1/2秒程度でプログラムチェーンによって希望のプログラムが立ち上がることになるが、さらに絵を描いたり各種の初期化のために、プログラムによってはユーザーが使用出来るまでに数秒かかることがある。表の下段に、TCP/IPで現在使用中のワークステーションのデータ例を付加した。(機種によって異なることは言うまでもない。)パソコンは高価、高機能、汎用のワークステーションに比べてかなりのハイコストパフォーマンスであることが注目できる。

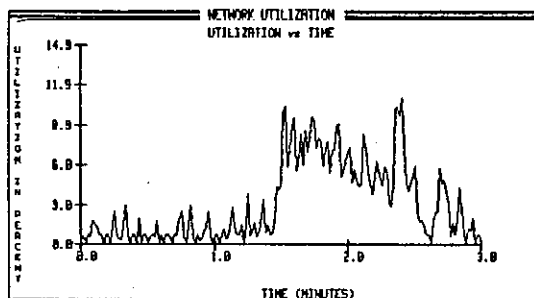


図2 立ち上げ時トラフィック

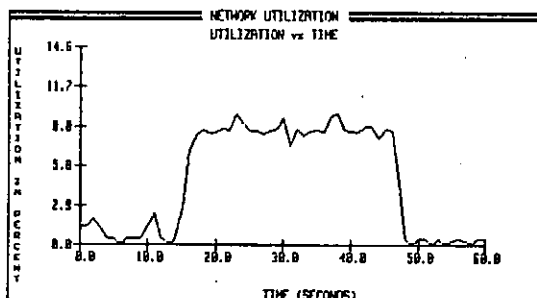


図3 3台のパソコンから同時にサーバーにファイル転送

	スループット	転送元	転送先
DOS レベル	150 kB/s	(サーバー) RAMディスク	→ パソコン (FMR)
	70 kB/s	(サーバー) ハードディスク	→ パソコン (FMR)
言語レベル (BASIC)	17 kB/s	(サーバー) RAMディスク	→ パソコン (FMR)
他のワーク ステーション	35 kB/s	VAX	→ NeXT

表1 ファイル転送時のスループット実測

〈 7. まとめ 〉

制御操作・表示系の現状と機能増強としてのOS/2の導入について報告した。パソコンの進歩につれて、ますます性能が向上し、使い易さが改善されてきている。³⁾ 今回のシステム強化のためのOS/2導入プロジェクトは、今後1年くらいに各種必要なソフト開発を完了し、安定な実用期に達する計画である。

〈 参考文献 〉

- 1) I. ABE, M. FUJIEDA, "DISPLAY SYSTEM FOR CONTROL CONSOLE OF KEK PF LINAC", Proceeding of the 6th symposium on Accelerator Science and Technology (1987)
- 2) K. NAKAHARA, I. ABE, R. P. BISSONNETTE, A. ENOMOTO, Y. OTAKE, T. URANO and J. TANAKA, "CONTROL SYSTEM FOR THE PHOTON FACTORY 2.5GeV ELECTRON LINAC", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A251 (1986) 327-336.
- 3) 阿部 勇, "加速器制御におけるパーソナルコンピュータ利用の評価", プラズマ研 技術研究会 (1984)

東北大学総合情報ネットワークシステム (TAINS) を利用した 中性子散乱データ集積システムについて

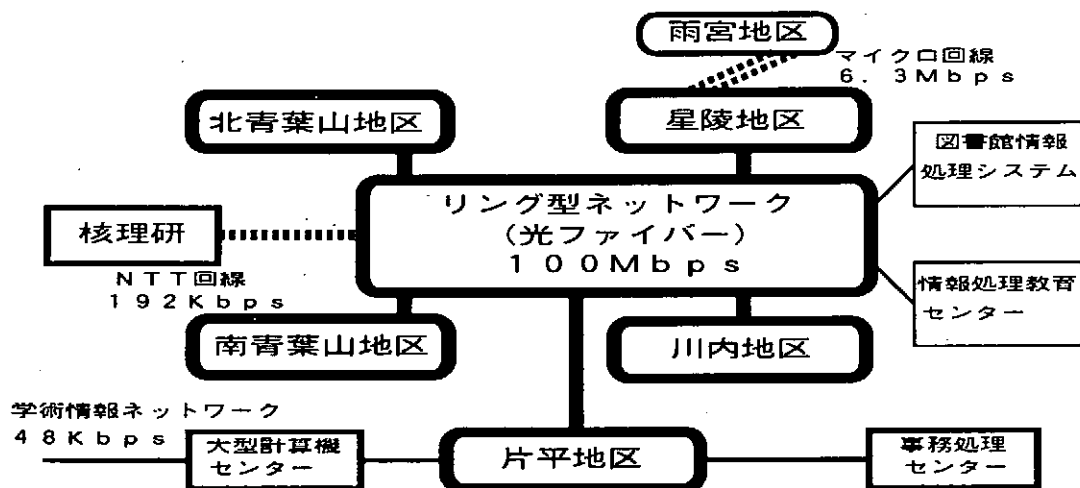
東北大学原子核理学研究施設 大沼忠弘

§ 1 目的

東北大学原子核理学研究施設（以下核理研とする）では、加速器を使った様々な実験を行っており中性子散乱実験もその1つである。従来、中性子散乱実験では μ -VAXを使って、マスターコンソールのみでオンラインデータの読み込み操作、中性子散乱スペクトルの表示等を行ってきた。中性子散乱グループは施設外に利用者が多いこともあり、マスターコンソールのみでの操作では、必ず実験者は核理研に出向いて操作しなければならず、大変不便を感じていた。しかし、今回新たに中性子散乱データ集積システムを構築したことにより、どの端末からもマスターコンソールと同様の操作ができるため、TAINSを利用して、任意の時間に学内ならどこでも端末を接続することができ、実験者の居室からマスターコンソールと同様の操作が行なえるようになった。また、従来のシステムでは1本化していたタイムアナライザー（以下TAとする）用プログラムと位置敏感型中性子検出器（以下PSDとする）用プログラムを、各々独立したプログラム（独立したプロセス）にすることによってメンテナンスしやすくなり、実験中でもプログラムの手直しができるようになった。

§ 2 TAINSとは

TAINSとはTohoku university Academic/All-round/Advanced Information Network Systemの略で、光ファイバーを用いた基幹ネットワークと、同軸ケーブルを用いたインハウスネットワークの2階層で構成されている。インハウスネットワーク内の同軸ケーブルにLAN整合装置を接続し、パソコン等の端末装置を接続している。

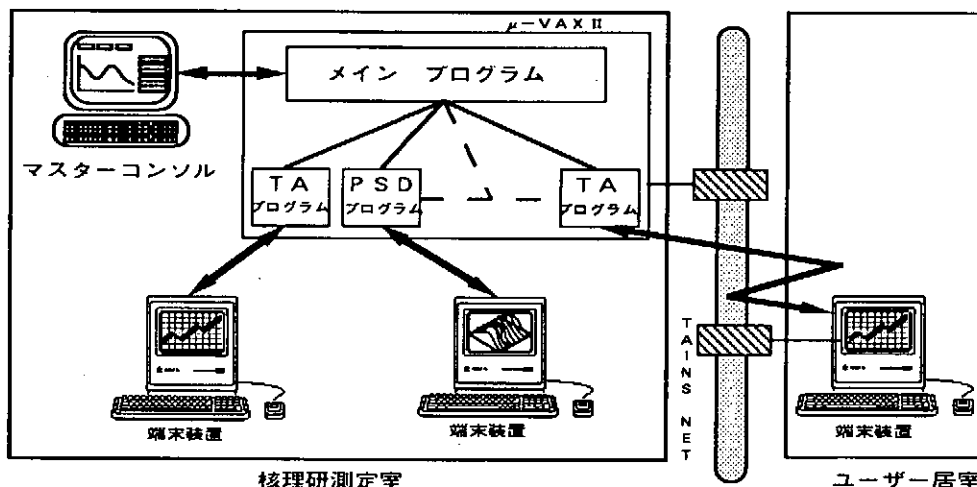


第1図 TAINS構成概略図

§ 3 中性子散乱データ集積システム

今回構築した中性子散乱データ集積システムは、1つのメインプログラムに対して複数の端末用プログラムの接続が可能なシステムである。メインプログラムが起動していれば端末用プログラムは任意の時間に接続または、切り離すことができる。メインプログラムと端末用プログラムは、メールの受け渡しによってタスク間のコミュニケーションを行なっている。メインプログラムは、常に端末用プログラムからメールを受信できるよう割り込み待ちの状態になっている。端末用プログラムからメールを受信した場合割り込み処理を行なう。その後、端末用のメールボックスを作成し、端末用プログラムとのメールの受

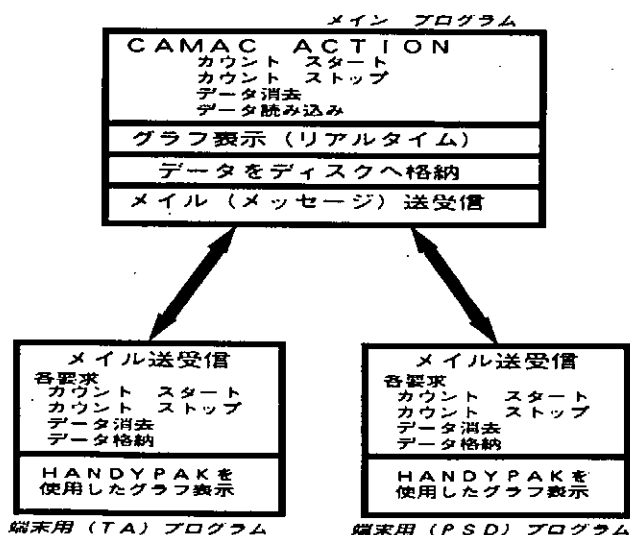
け渡しを開始する。例えば、端末用プログラムからメインプログラムへ”測定開始”とメールが送られてきた場合、メインプログラムではそのメールを受け取り、メールの内容を判断し、測定開始の処理を行なう。処理を終了した時点で、その旨をメールを使って端末用プログラムへ知らせる。端末用プログラムではそのメールを受け取り、メールの内容を判断し、測定を開始したことを知る。いわゆる、メールを使ってのメインプログラムと端末用プログラムのキャッチボールである。したがって、上記のようなメールの受け渡しを行なうことで、マスターコンソールによる従来の操作と全く変わらない操作が端末装置からも行なうことができる。また、TAIN Sを利用しPC-9801やMacintosh等のパソコンから端末用プログラムを起動することによって、施設外の実験者が核理研へ足を運ばなくとも自分の研究室から居ながらにスペクトルの表示を見ることや、測定開始、データ消去等のコマンド操作を行なうことができるようになった。



第2図 中性子散乱データ集積システム

§ 4 ソフトウェア構成

中性子散乱データ集積システムは、メインプログラム、TA用端末プログラム、PSD用端末プログラムの3つに分割しマルチタスクによる処理を行なっている。TA、PSD用の各端末用プログラムは、中性子散乱実験の実験方法の違い及び、それに伴うデータ形式の違いにより2種類のプログラムに分割した。端末用プログラムは、2つに分割しているが機能的には共通の仕様で作り、メインプログラムに対して測定開始、データ消去等の指示を出すプログラムである。また、これら端末用プログラムはHANDYPAKというグラフィックライブラリを使うことによって2次元、3次元処理が出来、そのグラフを端末装置上に表示することができる。一方メインプログラムでは、端末用プログラムから送られてきたメールを受

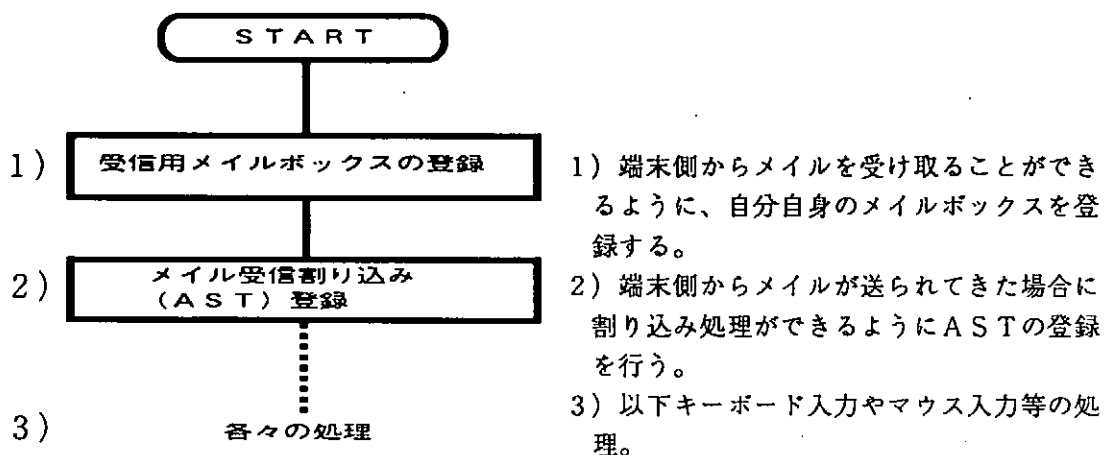


第3図 ソフトウェア構成図

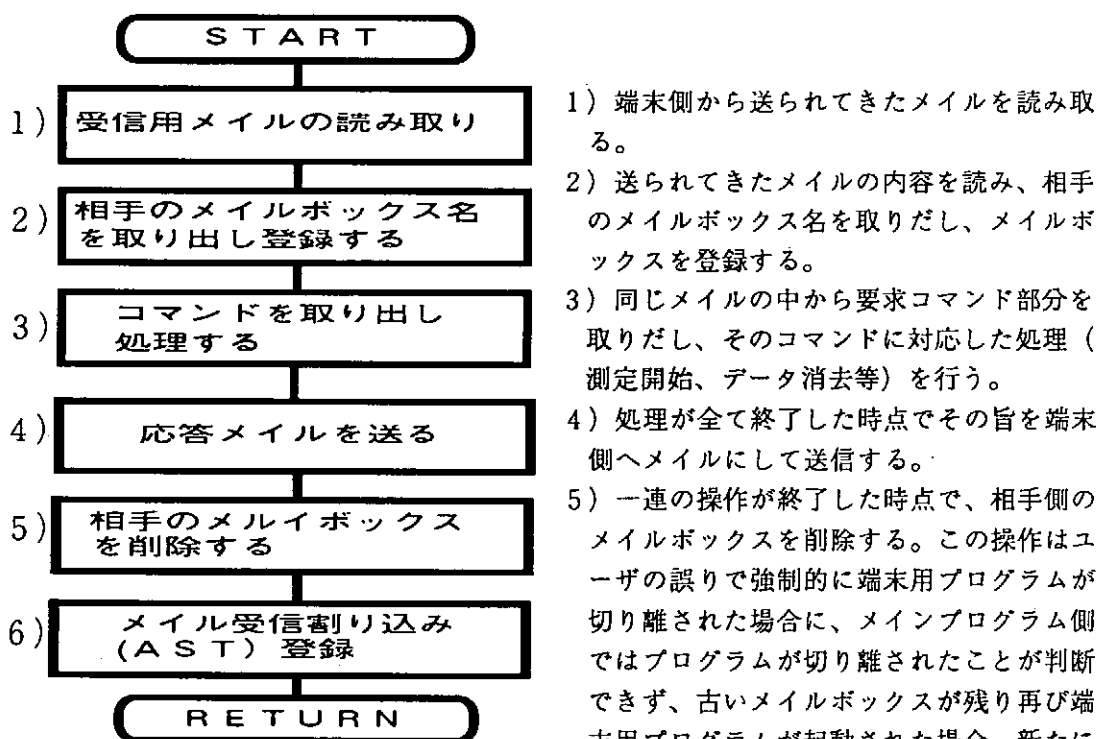
式の違いにより2種類のプログラムに分割した。端末用プログラムは、2つに分割しているが機能的には共通の仕様で作り、メインプログラムに対して測定開始、データ消去等の指示を出すプログラムである。また、これら端末用プログラムはHANDYPAKというグラフィックライブラリを使うことによって2次元、3次元処理が出来、そのグラフを端末装置上に表示することができる。一方メインプログラムでは、端末用プログラムから送られてきたメールを受

け取り、その指示に従って測定開始、データ消去等の実際の処理を行なう。メインプログラムの主な仕事としてCAMAC操作、DECのUICグラフィックライブラリを使ったリアルタイムなグラフ処理、実験データのディスク内格納、メールの監視等である。

§ 5 フローチャート



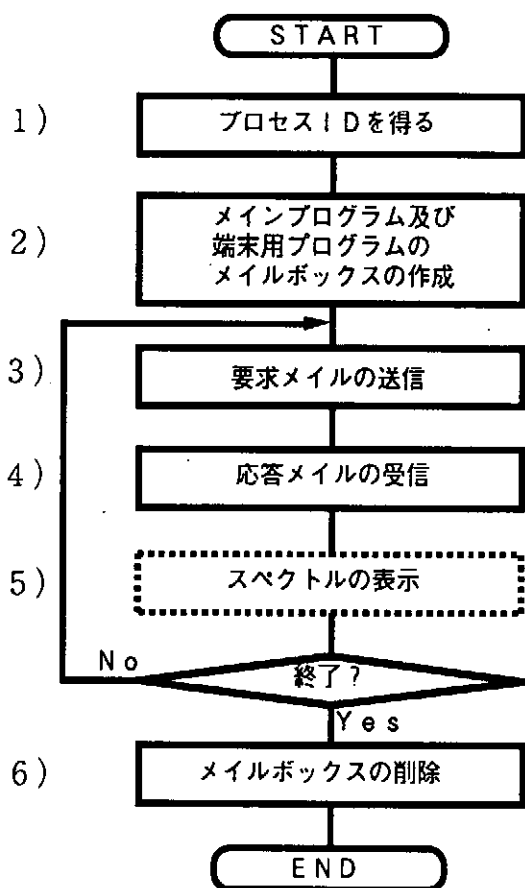
第4図 メインプログラム (前処理)



第5図 メインプログラム (割り込みAST)

メールボックスが増える危険性がある。そのような理由でコマンド処理が終了した時点で、端末用のメールボックスの登録の削除を行なっている。

- 6) 1登録1コマンド処理のシステムのため、新しいメールが送られてきた場合に備えて、メールの割り込みの再登録を行なう。



第6図 端末用プログラム処理

1) 端末用プログラムでは、最初に自分がどの端末上で走行しているかメインプログラムに知らせる必要がある。この操作を怠るとメインプログラム側ではメールをどの端末に送信すべきか判断できなくなり、処理がこの時点で停止してしまう。その解消策として、自分自身が走行しているプログラムに割り当てるプロセスの認識番号を得ることにした。以後メールを送信する際に必ずこのプロセス認識番号を付加してメールを送信することにより、メインプログラム側では、どの端末からメールが送られてきたか判断できる。また、このプロセス認識番号を用いてメインプログラム側では端末用のメールアドレスを登録している。

2) メインプログラム用のメールアドレス（メインプログラムへメールを送信するためのメールアドレス）及び端末用のメールアドレス（メインプログラム側から送られてきたメールを受信するためのメールアドレス）の登録をし、メールの送受信の準備をする。

3) 測定開始、データ消去等の要求コマンドをメインプログラムへ送信する。

4) メインプログラム側で要求コマンドに対応した一連の操作が終了した時点で応答メールが送られてくる。

5) グラフ処理を選択した場合、端末画面上にHANDYPAKで処理したグラフが出力される。

6) メールボックスの登録を削除する。

§6 終わりに

従来使用していた中性子散乱実験用プログラムは、マスターコンソールのみの操作のため実験者が必ず核理研に向いてオンラインデータの取り込み等の操作を行っていた。しかし今回のシステムの構築によって、核理研外の実験者が自分の居室から実験を行なえるようになったため、時間的にメリットが大きくなった。また、自分の机上で操作が可能になったため過去のデータ等豊富な資料のなかでの操作が可能になった。

TA用端末プログラム、PSD用端末プログラムを分割したことによって、実験中でもプログラムの手直しが可能になり、また将来書き換えを必要とする場合に容易に変更ができ、プログラムの拡充性を持つことができるようになった。

基礎生物学研究所におけるネットワーク構築

岡崎国立共同研究機構 基礎生物学研究所 技術課

大川 敏生° 三輪 朋樹

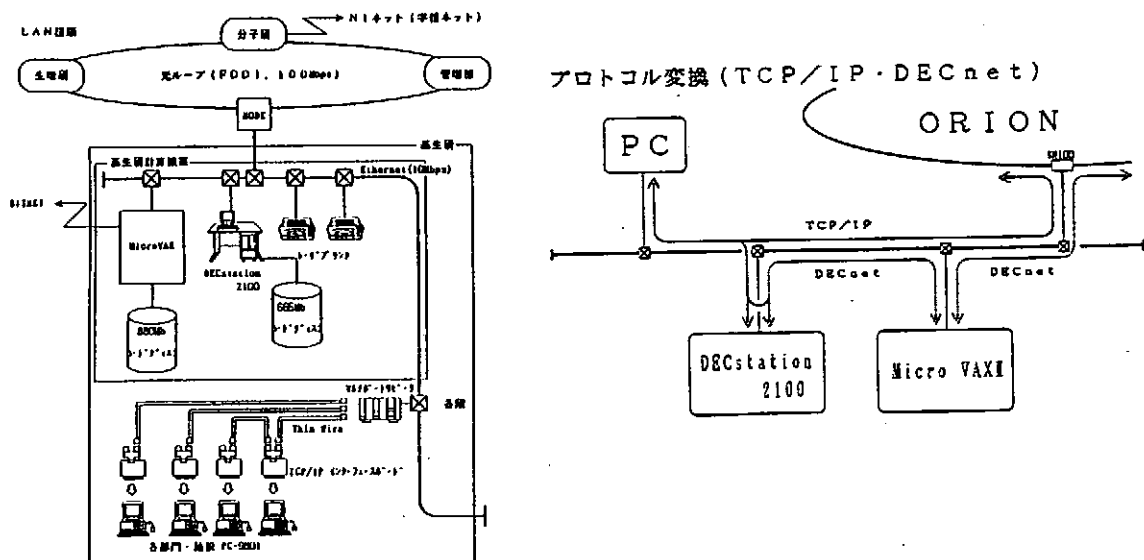
当研究所のネットワーク構築における、その背景は以下の通りである。

1. 生物学において、遺伝子レベルによる情報検索が必要不可欠となっている。
また、これら遺伝子情報等の検索には、莫大なデータを必要とされ、迅速な情報収集が要求される。
2. 平成2年に、機構内ネットワーク **ORION** (Okazaki national Research Institutes Organized Network)の敷設により、ネットワークによる情報検索が盛んとなった。

これにともない、当基生研においても、これらの有用な設備を利用し、研究者の支援体制を強化するために、以下の点を考慮した所内LANの構築を行った。

1. 現在設置されているMicro VAX IIで稼働しているBITNETを、基生研内の各研究室から利用できるようにする。
2. 各研究室から直接、所外のネットワークを利用できるようにする。
3. 各研究室間で、データ転送ができるようにする。
4. 構築経費を最小限におさえる。

これらの要望を満たすため、DEC社製・DEC Station 2100(OS:ULTRIX)をゲートウェイマシンとして購入し、ORION(TCP/IP)とMicro VAX II(DECnet)の相互乗り入れの可能なシステムを下図のように構築した。

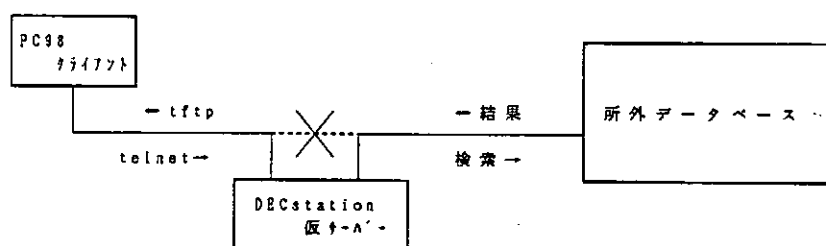


基生研 LAN 構築に当たり、機構内の分子研、生理研による実績ある LAN 構築方法、装置等を参考にした。

1. パーソナルコンピュータ PC 98 のイーサネット・ボードは、高速かつ常駐メモリの少ない NOVEL 社の EXOS を用いた (分子研より)
2. 研究室内の配線の容易さから、Thin ワイヤを用いた。
3. リピータは、拡張性を重視したアライドテレシス社の Centre COM 5000 を用いた (生理研より)

次に、クライアント (PC 98 等) を用いて、TELNET コマンドを用いて情報検索を行ったとき、それらの検索結果が記録媒体に残らないため、DEC station の script コマンドを用い、サーバーとクライアント間を下図のようにバッチ処理を行わせるコマンドプロシーチャを紹介した。

このプログラムは、クライアントのニックネームを検出し、TFTP コマンドを用いて、ファイル転送を行うものである。



バッチファイル

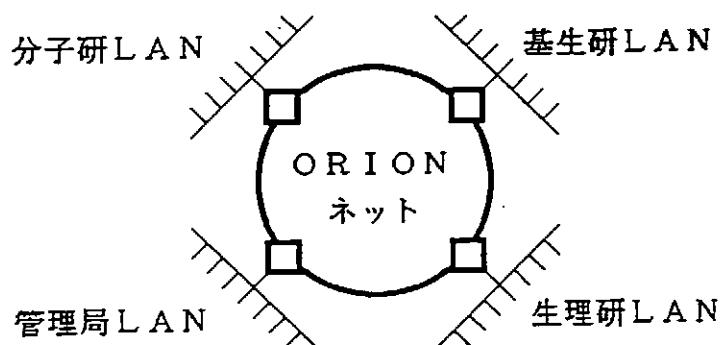
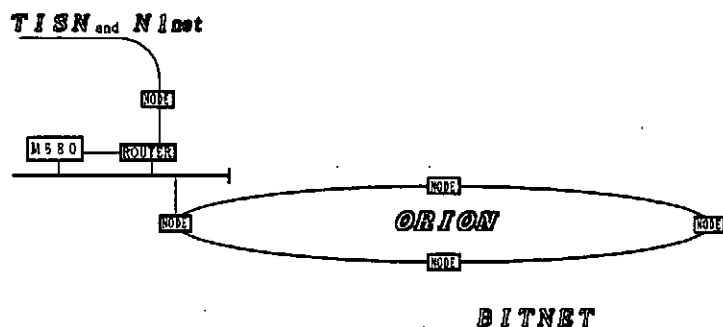
```

set trans = 'ttypawk -F/ '{print $3}'
set nick = 'wholgrep $translawk '{print $6}'|sed -e 's/(//' -e 's/)//'
set net = 'datelawk '{print $2 $3}'
set name = 'echo $net$nick'
set batch = 'echo '.'$nick'
unset trans
unset net
echo -n 'put ' > "'echo $batch'"
echo $name >> "'echo $batch'"
echo 'quit' >> "'echo $batch'"
echo TFTPサーバー機能をONにしてください。
script "'echo $name'"
echo TFTPサーバー機能をONにしてください。
echo ファイル転送に時間がかかることがあります。
tftp "'echo $nick'" < "'echo $batch'"
rm "'echo $batch'"
  
```

最後に、基生研LANの将来展望として、以下について紹介した。

今回紹介した基生研のLANは、現段階ではハードウェアだけで、一般ユーザには使いこなせない環境である。このため基生研計算機室では今後、一般ユーザに快適な環境を提供するため、ソフトウェア等の内部環境の充実をめざしてゆく。また、ORIONを利用した、機構内BBS、事務の電算化の運用に携わってゆく。

平成3年度から、京都大学・金久研究室による、ヒトゲノム・ネットワークが構築、運用される。当基生研は、東海地区のノードとして、このネットワークに参加してゆく予定である。



以上

装置技術分科会

走査型電子顕微鏡に取付けたEDX-WDXによる コンパインアナリシスシステムの開発

立川 統 (東京大学理学部技術部、鉱物学教室)

1. はじめに

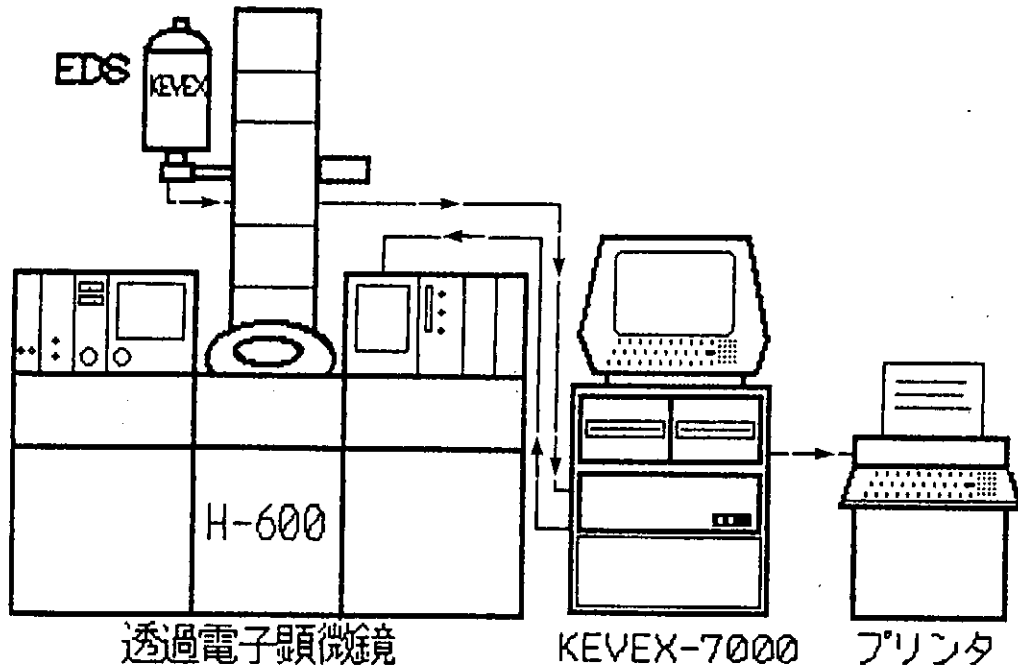
我々の教室では主に岩石や隕石を対象として、それらを構成する鉱物を研究している。それは、その鉱物が持つ過去の歴史を解明することによって、それらを構成していた岩石や隕石の歴史、ひいては地球や太陽系の生成の起源をも明らかにすることができるからである。そのためには、それを構成する鉱物中の様々な元素の組成、分布ならびに偏析に関する情報を効率良く収集する必要があり、元素分析と共に元素の二次元分布解析を行なうことは極めて有効なことである。

2. 鉱物学教室電子顕微鏡室の機器

鉱物学教室電子顕微鏡室には、1980年に購入した日立の透過型電子顕微鏡 (H-600, TEM) がある。この電子顕微鏡の購入に際して、当時の電子顕微鏡技術では、高分解能の格子像観察には、トップエントリー仕様の試料ホルダーが不可欠であったが、隕石や鉱物の微小部分の分析を目的としていたので、分解能を犠牲にしてサイドエントリー仕様の試料ホルダーを取付けた。また、薄膜試料の分析には高い透過能が必要とされるが電子の加速電圧は100KVであった。

[H-600+KEVEX-7000]

この電子顕微鏡にKEVEX社製のエネルギー分散型X線検出器 (SSD) と、同社の



(図-1) 当初の分析システム KEVEX-7000アナリシスシステムにはMAGIC-Vと言う分析ソフトが基本になっていた。

機器分析装置 (KEVEX-7000アナリシシステム) を組合せて、透過型電子顕微鏡を用いた、薄膜試料についてのエネルギー分散型元素分析システム (EDS) として利用してきた。この組合せは、当時にとっては、薄膜試料の分析に関して高い実績を持っていた。このシステムで鉱物の粉末試料や定方位薄片試料等の観察、分析を行なってきた。その際、鉱物の中でも輝石やオリビンのような比較的構成元素の少ない鉱物には極めて有効な分析結果が得られた。しかしCr、Mn、Feが同時に存在しているような鉱物の場合は、それらの元素から発生する特性X線のK β 線と、その一つ上の原子番号の元素から発生するK α 線とが完全に重なってしまうため、良好な結果がなかなか得られなかった。それはこのKEVEX-7000アナリシシステムでは、たがいに重なったピークを分離する能力 (デコンボリューション) が強力では無かったことにあった。この欠点のため、早晚このアナリシシステムをバージョンアップする必要があった。

[KEVEX-8000へのバージョンアップ]

バージョンアップは1987年になってやっと行なわれた。これまでのKEVEX-7000に換ってデコンボリューション能力が格段に向上したKEVEX-8000アナリシシステムが導入された。電子顕微鏡が日立製作所であり、KEVEX-8000が日立系列の日製産業から購入した装置であったので故障修理や分析ソフトのバージョンアップ等の対応は非常に良好であった。

[JXA-840Aの導入]

最近、これに加えて日本電子の走査型電子顕微鏡 (SEM) にSSDを搭載した装置 (JXA-840A) を導入した。走査型電子顕微鏡を導入した目的の一つに、試料作りが透過型電子顕微鏡に比べてより楽なことがあげられる。我々の教室では、鉱物のプレパラートを作ることは日常的に行なわれている。走査型電子顕微鏡を分析装置として利用する場合は、プレパラートの表面を鏡面に仕上げる作業が加わるだけですむという手軽さがある。それによって研究の効率が上がることが予測された。

このJXA-840AのSSDで得られた信号もKEVEX-8000アナリシシステムを利用することとした。そのためH-600とJXA-840Aの両方のSSDの信号をKEVEX-8000の入力側に取り付けたスイッチで切替え、使えるようにした。ここでの問題は、当然のことながら製造会社の違いにより、SSDの特性が異なっているということである。このことはディスプレイ上に現れるスペクトルのエネルギーがそれぞれに異なってくるというやっかいな現象が生ずる。この問題の解決には、ゲインとレベルの違いを調整する必要があった。そこでH-600に付いているSSDで取込んだのスペクトルを基準にしてJXA-840AのSSDのプリアンプでゲインを調整し、さらにKEVEX-8000の入口にセットした切替え器にレベル調整器を組込み、JXA-840AのSSDからの信号に下駄をはかせることで解決した。このシステムアップによってKEVEX社の解析装置を中心にして、こと電子顕微鏡に関してはライバル会社である日立と日本電子の電子顕微鏡が接続されてしまった。このことはそれぞれの会社のサービスマンに少なからぬ戸惑いを与えたようであった。我々もこの後、故障修理の依頼に関して、故障箇所の確認を慎重に行ない、どちらの会社に発注するかを注意深く決めなければならなくなった。この様な現象は次の段階ではもっと複雑になってしまうことになった。

[WDSの追加]

その後、走査型電子顕微鏡JXA-840Aを使用したシステムのグレードアップとし

て波長分散型X線検出器(WDS)を取付けることになった。WDSはEDSに比較して、エネルギー分解能が高くEDSでは重なってしまうようなスペクトルでも容易に分解するだけでなく、EDSではベリリウムのウインドーで邪魔されて検出できない軽元素側のピークも検出する。しかし、WDSは検出器の内部に分光結晶をもっているので試料から発生したX線がかなり弱くなってしまふ。これを補うため照射電子線の量を一桁上げてやらなければならない。このためEDSの側に新たな問題が生じてしまった。EDS検出器の飽和現象で、ある高いピークの低エネルギー側にこぶが出来てしまうことで、この問題にはSSDに飛込むX線の量を減らすためSSDの前面に絞りの取付けることで解決した。

これにより、O、C、F等の軽元素の挙動も検出可能となり、JXA-840AはEDS-WDSコンバインアナリシスシステムとなり、炭素を大量に含む始源的隕石の研究には欠かせない装置となった。

【SESAMEの購入】

EDS、及びWDSを有効に使用するには、SESAMEと名付けられたKEVE X社のアプリケーションソフトが必要でこのソフトは日本電子から購入した。この結果ハードの面ではもとより、ソフトの面でも3社が複雑に絡み合うことになってしまった。また、SESAMEというソフトはKEVEX-8000の上位に位置付けられたデルタシステムに対応していた。このことが判ったのはアメリカとの一年間の長きにわたってファクシミリの通信を行なった後のことであった。それまで、KEVE X本社の対応はSESAMEに付随してきたマニュアルの詳しい解説ばかりであった。それはまるで我々がマニュアルを理解できていないかと思える程でいねいな解説文であった。このソフトが動かないのは我々の使用法に問題があるのではなく、ハードに問題があるのだと言うことがKEVE Xのサービスマンに理解してもらえたのは、彼等の前でコンピュータの操作を実演して見せた後のことであった。その後一カ月もしない内に新しいディスクが送られてきた。

この一年間の苦労は一体なんだっただろうと考えさせられてしまった。

1990年になってやっとすべての機器とソフトが動くようになり、鉱物学教室の重要な分析機器となった。

【ハードコピー機の購入】

このKEVEX-8000アナリシスシステムには、通常の元素分析プログラムの他にも二次元の元素マッピングを最大15元素まで行なえるプログラムが内蔵されており、このプログラムを利用して岩石試料における特定の元素の分布をSEMによる二次電子像(SEI)および反射電子像(BEI)の観察と同時に多角的に研究すること可能となった。

このため膨大な画像データが収集でき、蓄積されていった。しかし、画像データを出力するものが無いためディスプレイに映った画像をポラロイドやカラーフィルムに撮影していた。これは余りにも繁雑で時間のかかる作業なのでカラーハードコピー機を購入することになった。KEVEX-8000のディスプレイは512ドット×256ドットであるので、一般に市販されているPC98用の640ドット×400ドットのハードコピー機では単純には対応がつかないため日製産業、神鋼電気との調整が行なわれた。その結果問題無く動くことが判ったので神鋼電気製CHC-400というカラーハードコピー機を購入し、KEVEX-8000アナリシスシステムの本体とディスプレイの間に接続した。

このハードコピー機は、OHPシートにも印刷ができるので学会発表等のプレゼンター

ションにも利用できる。今回の技術研究会の口頭発表に使用させていただいた。

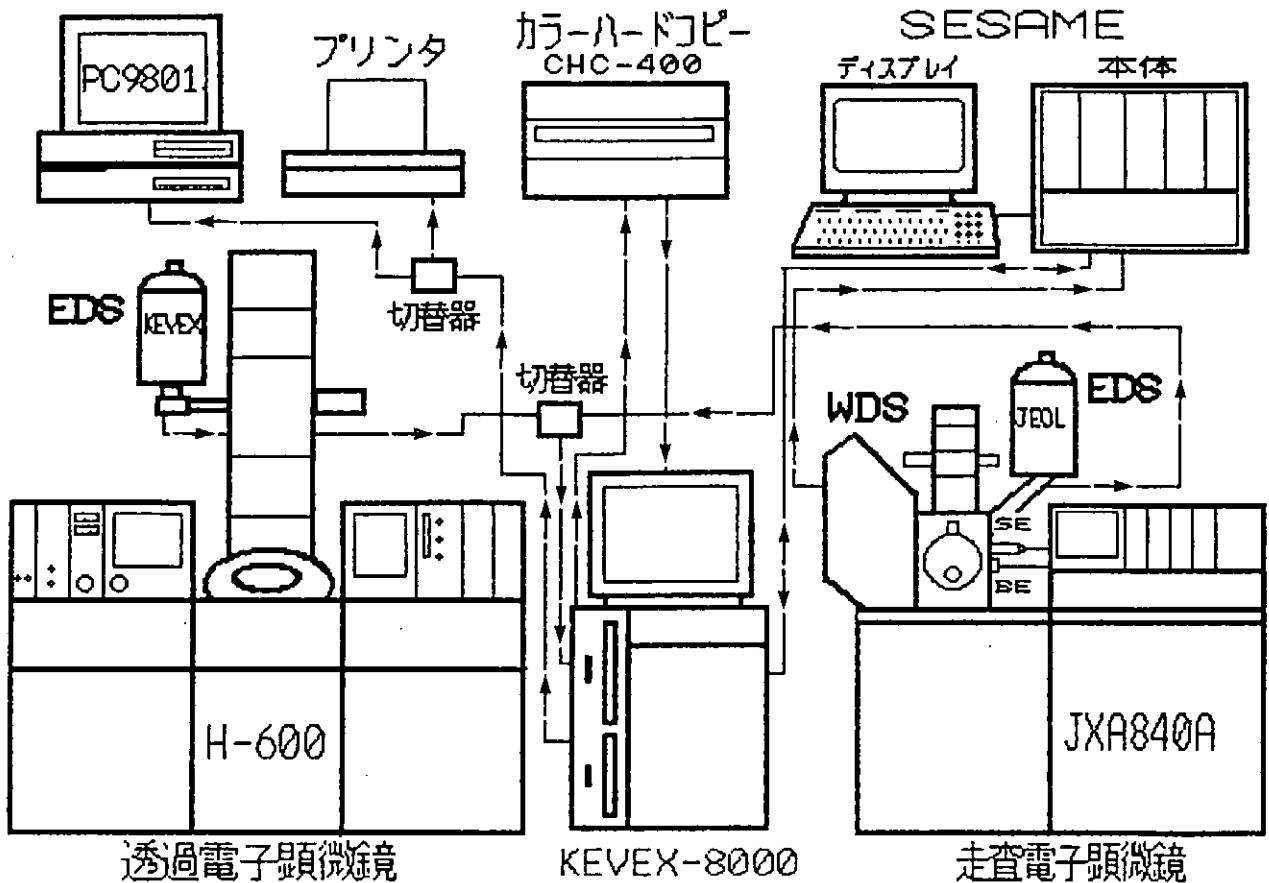
3. 元素マッピング・X線像の収集

本システムの特徴は、SEI像やBEI像とEDS・WDSによる元素マップを同時に収集する事が出来るということである。これにより、以前はEPMAのシステムを用いたCMAで主として行われてきた軽元素の元素マップがSEMとそれに付随したEDS、WDSの同時運用により比較的小規模のシステムで可能となった。さらに、WDSによるCMAでは同時収集できる元素数は原則として分光結晶数で制限を受けていたが、EDSを用いた元素マップでは最大15元素まで同時収集が可能となっている。軽元素、又はEDSで分離が困難な一元素をWDSで置き換え、その他の元素をEDSを用いて同時収集を行うことで、WDSとEDSの双方の特徴を生かした情報量の多い元素マップを容易に収集することが可能となった。

4. 終わりに

現在は、南極などで採取された隕石やブラジルで収集されたカーボナタイト試料の成因を研究するために利用している。

このシステムを開発するに当たって、時として深夜にもおよぶ作業につきあって頂いた齋藤 潤博士(当時大学院生)に感謝します。



(図-2) 現在の複雑化したシステムの全体図

Study on Water Cooling of an Annular-Coupled Cavity for the JHP 1 GeV Proton Linac

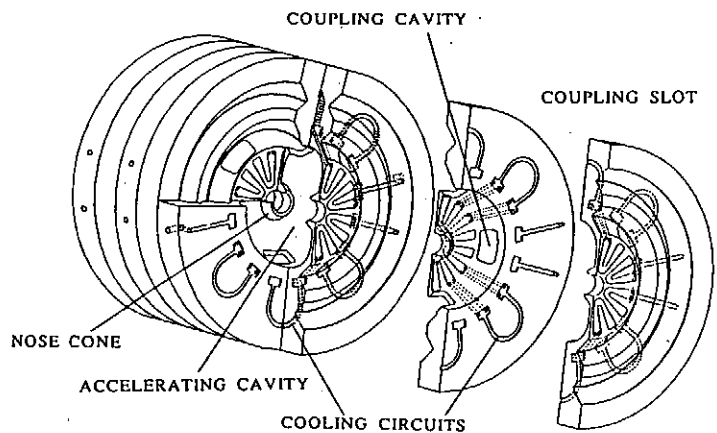
高エネルギー物理学研究所 〇吉野一男、影山達也、両角祐一、山崎良成

1. はじめに

高エネルギー物理学研究所では、大型ハドロン計画 (JHP) のR&Dを進めており、その入射器として1 GeV陽子リニアックを想定しているが、高 β リニアック部 (周波数1296 MHz) の有力な候補として、 $\pi/2$ モードCoupled-Cell型加速構造のACS (Annular Coupled Structure) 型加速空洞を開発中である。

本リニアックはデューティーが高いためrf壁面損失による熱応力が大きい上に、ACS (図1) は、加速空洞の周囲に環状の結合空洞が取り巻いた複雑な構造で、外径 (約40cm) も大きくなるので、発熱壁面と外周の温度差が多くなり温度分布も一様でなくなる等の難題が起こってくる。

従って、ACSハイパワーモデル ($\beta = 0.8$) に各種の水路を想定して、2次元軸対称5セルのモデル、及び3次元ハーフセルのモデルについて熱-構造解析した (詳細は以前発表した報告集 [1]、[2] を参照) が、その内のハイパワーモデルに最適と思われた冷却水路の解析結果と周波数変化、最後にハイパワーテストの結果と解析結果との比較について報告する。



COOLING CIRCUIT ARRANGEMENT FOR THE 1296 MHz ACS

図1 現在開発中のACS

2. 冷却水路の熱-構造解析例

2.1 解析条件

今回実験したハイパワーモデルは、ディスク部の大部分に水路を設けて (図2)、最大の冷却効果を狙ったモデルであり、モデルの解析は3次元構造解析プリプロセッサ・ポストプロセッサHICAD/FEM3・FEMP (Hitachi Computer Aided Design System for Finite Element Method for 3 dimensional geometry・Postprocessor) 及び総合構造解析コードISAS2 (Integrated Structure Analysis System 2) を使って行なった。

解析に際しては、流れは定常で線形・圧力降下は無視・物性値は一定、と仮定した。

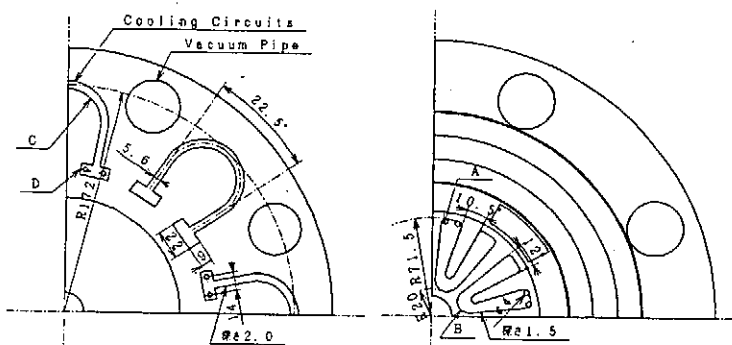


図2 解析に使用した寸法図

発熱量	1 KW/セル	冷却水量	5 liter/min/セル
冷却水入口温度	25.0 °C	冷却水出口温度	28.0 °C
平均水温	26.5 °C		

表1 冷却に関するパラメーター

2.2 熱伝達係数 α

流れの模様が強制流動で、流体中で熱移動がある場合にはレイノルズ数 Re 、ヌセルト数 Nu 、及びプラントル数 Pr 等の特性数が関係してくる。従って、発達した流れの管内乱流熱伝達過程（壁温一定）の場合、Dittus-Boelterの実験式 $Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4}$ を使う。

ここで $Nu = \alpha D / \lambda$ [D : 伝熱面の代表寸法、 λ : 熱伝導率] から熱伝達係数 α を求めた。流速は、 α を上げるには早いほうが良いが、侵食作用も考慮に入れ約 2 m/s になるように設定した。管内流の層流から乱流への遷移レイノルズ数 $Re \geq 2300$ についても注意した。

2.3 解析結果

2次元軸対称5セルの熱伝達解析

軸対称に近似するため、近似水路図（図3）を設定し、熱伝達係数も換算値を計算（表2）して解析した。

その等温度線図および変形図を図4に、その加速セルと結合セルの変形量を図5に示す。

	A	B	C	D	E	F
等価直径 [mm]	4.4	4.8	4.8	5.4	5.5	5.6
近似熱伝達係数 α [kcal/m ² h°C]	6000	16000	10000	2900	2500	1200

表2 2次元モデル換算熱伝達係数の計算値

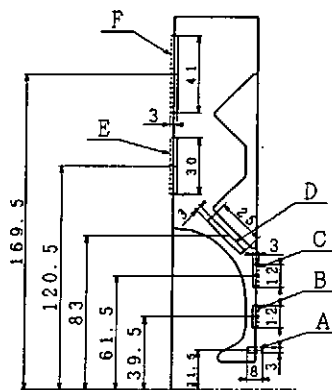


図3 2次元解析の近似水路図

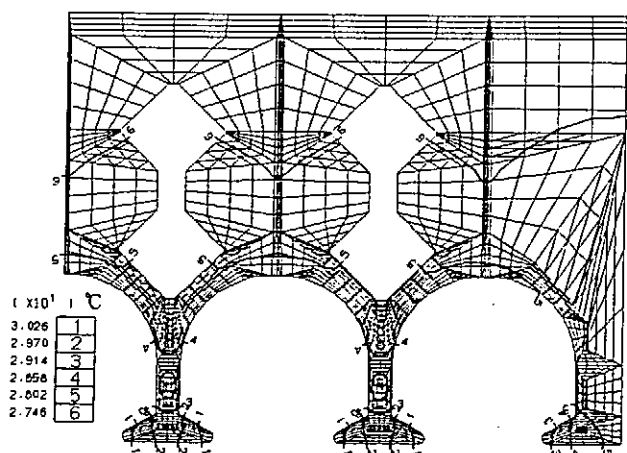


図4 2次元解析の等温度線図

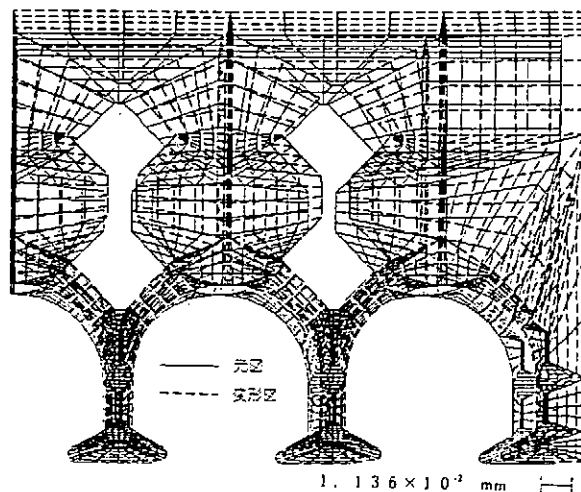


図5 2次元解析の変形図

図4より最高温度は、加速セル中央部のノーズコーン先端部で約30.5℃で、最低温度は27.3℃であり温度差約3.2℃、変形量は、円周方向が加速セル中央部で4.2μm膨張し、ビーム軸方向は端セルの加速セルディスク間で4.2μm開いた。

3次元単セルの熱伝達-構造解析

換算した α を利用した2次元解析の結果が正しいかどうか確認するために3次元解析を行なった。3次元解析は計算機のディスク容量の制限で、ハーフセルのみ行なった。寸法は図2を利用し、 α の計算値は表3に、3次元ソリッドモデルのメッシュ図を図6に、その加速セルと結合セルの変形量を図7に示した。

	A	B	C	D
等価直径 d_e [mm]	4.0	4.4	4.8	6.8
流速 ω [m/s]	1.7	2.8	2.3	1.2
レイノルズ数 Re	7400	13500	12000	8700
熱伝達係数 α [kcal/m ² h℃]	7600	11000	9600	5100

表3 3次元熱伝達係数の計算値

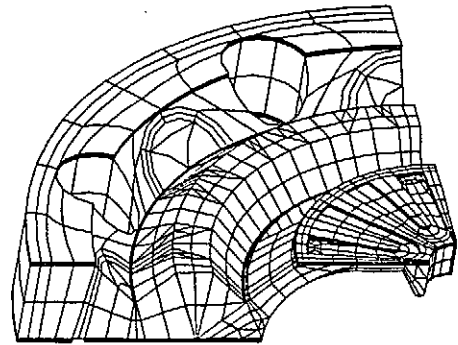


図6 3次元ソリッドモデル

その結果、最低温度は27.2℃で最高温度は30.3℃であり温度差3.1℃、変形量は円周方向が加速セル中央部で3.9μm膨張し、ビーム軸方向は加速セルのディスク間で6.4μm開いた。従って、2次元解析の温度結果とほぼ同様であり、換算した α の計算値が正しかったことが確認できたので、5セルのハイパワーモデルの歪については、2次元の結果に近いと思われる。

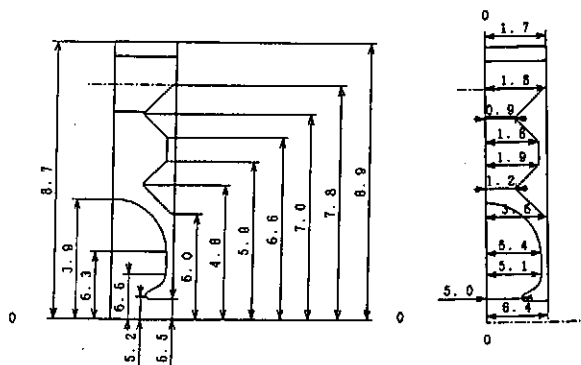


図7 加速セルと結合セルの変形量

3. 熱変形による周波数変化

ACSの寸法変化による周波数のずれ Δf を、2次元電磁界解析コードSUPERFISHで算出した。その結果を表4にまとめた。

2次元モデル	加速セル			結合セル	
	No.1	No.2	No.3	No.1	No.2
Δf [KHz]	-80	-80	-70	-50	-40
3次元モデル	加速セル			結合セル	
	-110			-40	

表4 熱変形による周波数のずれ

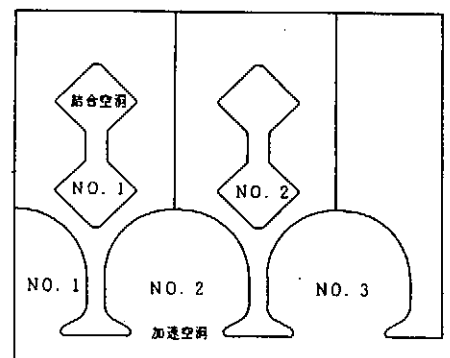


表4より3次元モデルの Δf に関しては、片面が拘束をうけないで熱膨張した変形なので、ろう付けした5セルのモデルより変形量が大きくなり、その Δf も、やや大きくなっていると考えられる。2次元モデルでは周波数のずれが±100KHz以内におさまっており、結合

セルに関しては±50 KHz以内におさまっているので、冷却に関しては、十分にACSの実用化のめどが確認できた。

4. ハイパワーテストの結果と解析結果との比較

ハイパワーテストの条件は、ACS 5セルを1タンクとして、2タンクの間ブリッジキャビティが入る(図8)構成で、発熱量がPEAK POWERで450 KW/11セル、パルス幅300 μs、繰り返し50 ppsとなり、AVERAGE POWERに直すと610 W/セルとなり、流量6.7 L/min/セルの水を流した。その結果を図9・図10に示す。

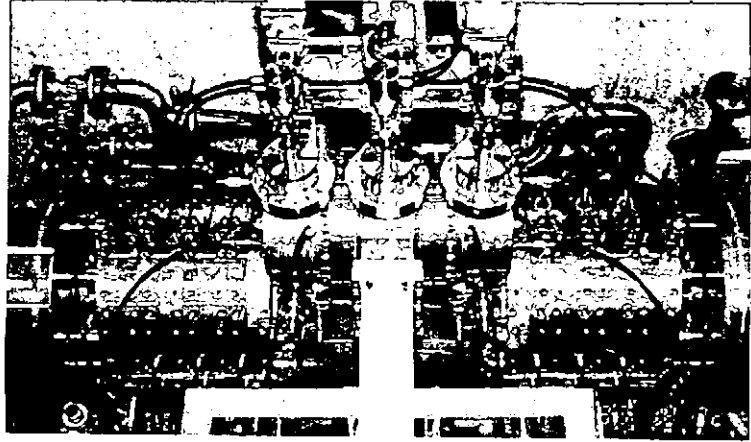


図8 ACSハイパワーテスト風景

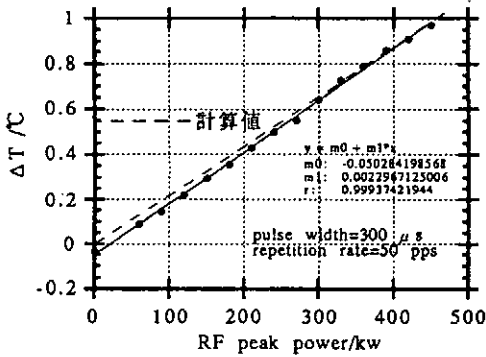


図9 RFピークパワーと冷却水出口温の関係

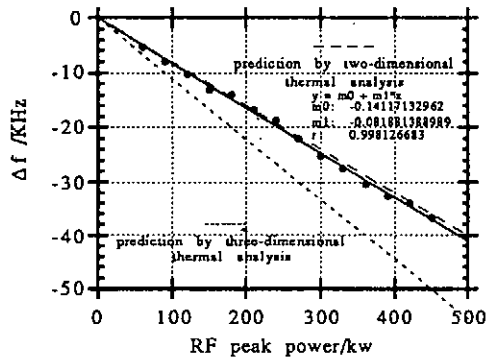


図10 RFピークパワーと周波数変化

図9から冷却水温度は計算値とほぼ同じ値を示しており、図10は、表4の加速セルのΔfをハイパワーテストの条件に換算(Δf×流量比×発熱比)したグラフであり

$$\Delta f_{(3次元)} = -110 \times (5/6.7) \times (0.61/1) = -50 \text{ KHz}$$

$$\Delta f_{(2次元)} = -80 \times (5/6.7) \times (0.61/1) = -36 \text{ KHz} \text{ となり}$$

予想したとおり、2次元の熱解析結果とほぼ等しかった。

参考文献

- [1] JHP-14, KEK Internal 90-16
- [2] K. Yoshino et al. ; " Study on Water Cooling of an Annular-Coupled Cavity for the JHP 1 GeV Proton Linac", Proc. 15th Liner Accelerator Meeting in Japan (1990)
- [3] T. Kageyama et al. ; " Design Study of Coupled Cell Linear Accelerator Structures for the JHF 1 GeV Proton Linac", Proc. 13th Liner Accelerator Meeting in Japan (1988)

2次元ビーム分布測定装置

日本原子力研究所 那珂研究所 小又将夫、薄井勝富

海老沢昇、藻垣和彦

1. 概要・目的

2次元ビーム分布測定装置は、JT-60粒子入射加熱装置(JT-60NBI)のイオン源から引き出されたビームの発散、軸ずれ量等を測定するための装置である。

今回、ビームエネルギー120keVまでのビームの高エネルギー化、更に7月より予定されている重水素ビーム入射のため新たにビームの特性を取得する必要が生じた。

従来は、JT-60NBI14ユニットの建設に先だって製作された「JT-60NBI原型ユニット」装置でビーム発散、軸ずれ量等を測定していたが、原型ユニットでは、加速電圧の上限が100kVであり、また放射線遮蔽の観点から重水素による運転は不可能ため、今回、JT-60NBI実機に2次元ビーム分布測定装置を取り付けてビーム発散、軸ずれ量等を測定することにした。

ビームの発散及び軸ずれ量のデータは、イオン源の運転範囲を明確にして長パルスの運転を行う際の発散の悪いビームによるビームライン内部機器の損傷を防止するために必要とする。更に、入射パワーを計算する際にもビーム発散のデータが必要となる。

2. 構成

2次元ビーム分布測定装置は、イオン源から引き出されたビームを受けるビーム分布測定部とこの測定部を駆動する駆動部、その他、計測器、計算機より構成される。

(図1参照)

ビーム分布測定部は、縦が600mm、横が400mm、厚さ15mmの水冷された銅板に、熱電対(K型、非接地型1mm ϕ)を銀ロウ付けしたモリブデンブロック(ϕ 20mm、厚さ15mm)が88個取り付けられている。モリブデンブロックの間隔は、50mmで、ビーム中心付近は25mm間隔である。(写真1参照)

駆動部の、外形寸法ストロークは600mmで、ハンドルにより手動にて操作する。真空と大気の隔離にはベローズ(外計109mm ϕ 、内径79mm ϕ)を用いている。

(写真2参照)

ビーム分布測定部と駆動部は、J T - 6 0 N B I # 6 ユニットビームドリフト部にイオン源より 4 4 5 7 mm の位置に設置されている。

計測器は、熱電対 8 8 点を約 2 秒でスキャンしデータを収集するもので Y H P 製データ収録コントロールユニット 3 4 9 7 A を、また計算機は、マッキントッシュ II c x を使用している。

計算機と計測器は、光ファイバケーブルと光ファイバリンクにより接続され、光ファイバリンクと計算機、計測器は G P - I B によって接続される。

3. データ収集・処理

ビーム発散、軸ずれ量を測定する際には、ビーム分布測定部をビーム通過域まで差込み、測定しないときは、入射ビームの通路を開けておくため引き抜いておく。

測定手順の概略の方法は、設定した X 軸、Y 軸の熱電対を、測定回数だけスキャンさせ、各部の出力を温度に変換しビームの分布を表示させその分布から発散と軸ずれ量を計算し表示する。

計測器の設定、および、データの処理（計算・分布表示）は、マッキントッシュ用の計測制御用ソフト（L a b V I E W 2）を使用した。

L a b V I E W 2 は、ブロックダイアグラムを描く要領で容易にプログラムが組めるもので計測器（Y H P 3 4 9 7 A）専用のデータ処理ができるソフトである。

図 2 のフロントパネルは、L a b V I E W 2 を使って作ったものである。

このフロントパネルは、中央上が、2 台のイオン源の測定切り替えスイッチで、その横が測定モードの切り替えスイッチである。左下が、ビーム分布測定部の熱電対の配列を図示してある。

更に、左上が、X 軸方向の各熱電対の温度上昇をプロットさせ分布表示させたもので、中央下が、Y 軸方向の分布表示をさせたものである。その分布から、発散と軸ずれ量を計算し中央に数値を表示させた。（現在は、まだプログラム製作中のためダミーのデータを入力してある。）右のグラフは、任意のチャンネルの温度時間変化で 3 チャンネル分波形表示できる。（図の波形は、実際に熱電対をつないで温度変化させたものである。）

4. まとめ・今後の予定

上記の2次元ビーム分布測定装置を用い、水素ビームでの測定を、平成3年4月末から、また重水素ビームでの測定を、平成3年7月から行う予定であり、本装置により取得したデータをもとにして高エネルギーの水素及び重水素ビームでのイオン源の運転パラメータ領域を決定する。

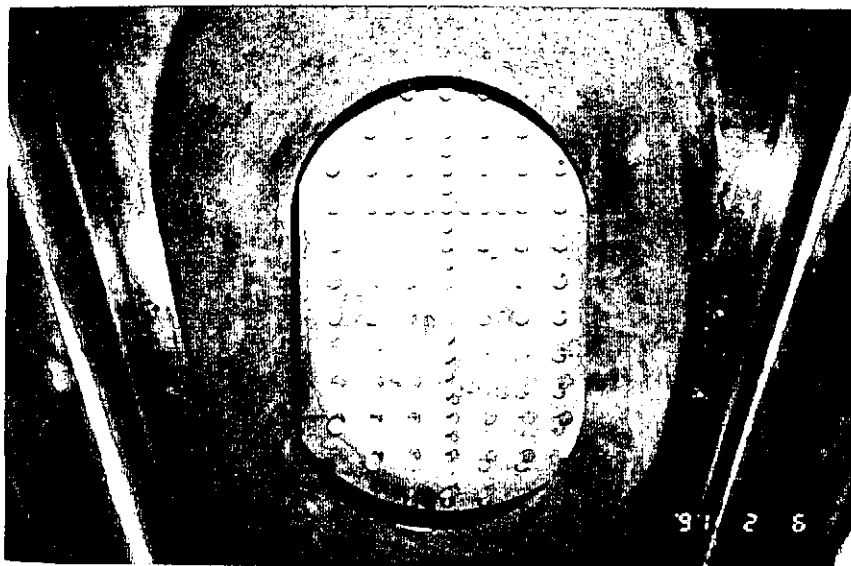


写真1
ビーム分布測定部

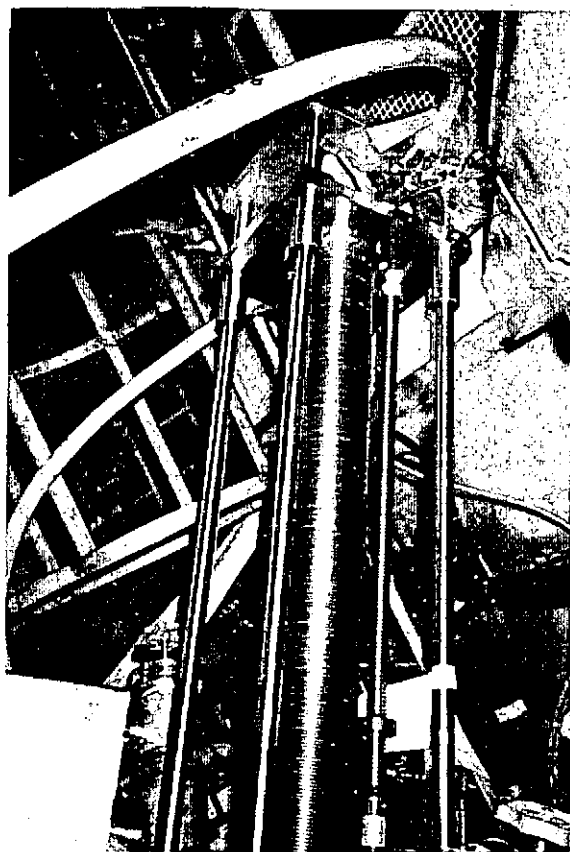


写真2
駆動部

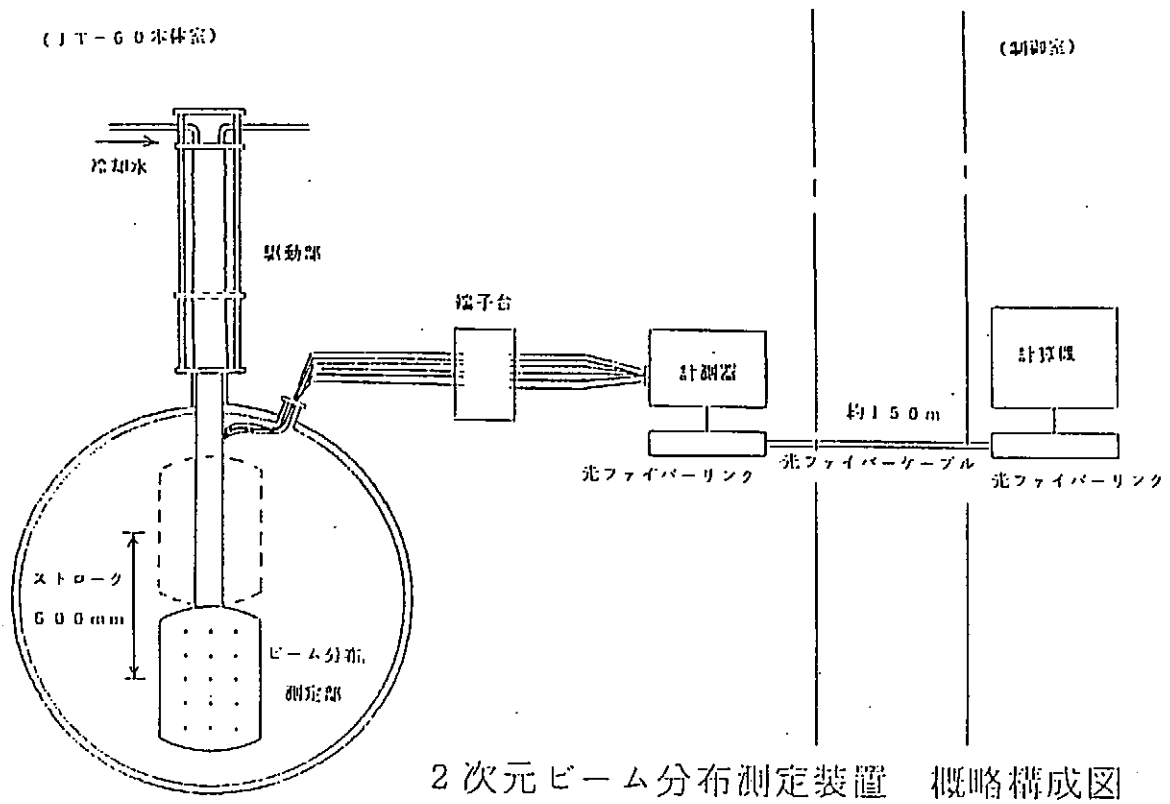


図 1

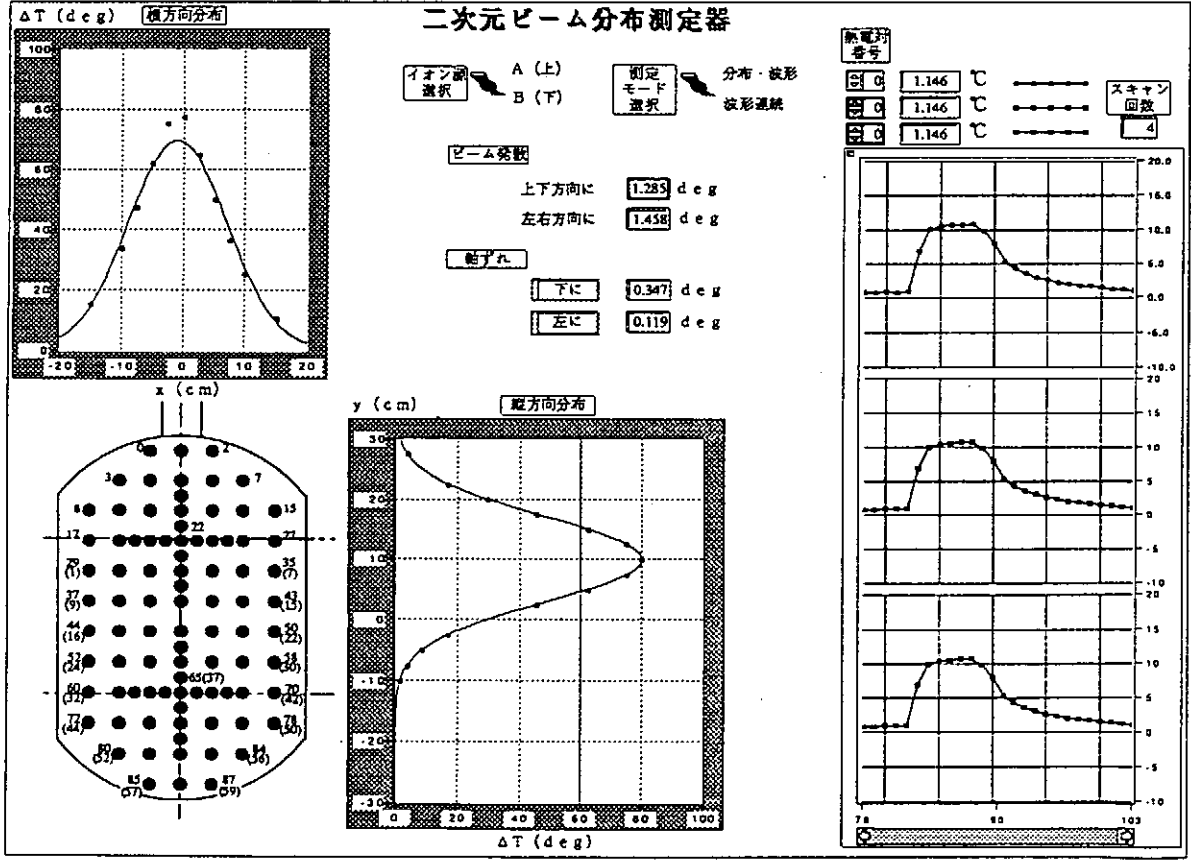


図 2

高熱負荷試験装置 (JEBIS)

日本原子力研究所 那珂研究所

核融合研究部 加熱工学第1研究室

° 大塚 正幸, 秋場 真人, 荒木 政則, 井上 多加志
; 水野 誠, 小原 祥裕, 奥村 義和, 関 昌弘
; 田中 茂, 渡辺 和弘, 横山 堅二

1. はじめに

原研では、次期核融合実験炉(ITERまたはFER)用プラズマ対向機器等の高熱流束受熱機器の研究開発を進めており、各種材料及び機器の加熱試験を促進するために、高熱負荷試験装置(JEBIS)を平成元年に設計・製作した。この装置には、臨界プラズマ試験装置(JT-60)用中性粒子入射加熱装置(NBI)の設計・製作で養われた技術と次期核融合実験炉NBI用電源の設計に関するR&D要素が盛り込まれているので、本件ではJEBISの主要性能などについて述べることにする。

2. 性能と特徴

JEBISでは、熱源として原研で開発した大出力のプラズマ電子銃(詳細は3項で述べる)を装備しており、最大100keV、4Aの電子ビームを1msecから連続まで引き出すことができる。また、引き出し電極を交換することにより、電子ビームの形状をスポット状からシート状まで実験目的に応じて変更することができる。さらに、真空容器内の電子ビーム偏向掃引コイルを用いて電子ビームを最高1kHzで掃引することにより、広範囲(最大1800cm²)に一樣な電子ビームの照射試験が行える。以下に主要諸元を示し、図1に真空容器の断面図を示す。

① 熱源(プラズマ電子銃)

ビームエネルギー : 20~100keV
ビーム電流 : 最大4A
ビーム引出面積 : 7mmφ × 1, × 2, × 10
ビーム引出時間 : 1msec~連続

② 加速電源

主回路方式 : 高周波インバータ方式
インバータ周波数 : 5kHz
出力電圧 : DC20~100kV
出力電流 : 最大5A(連続定格)

③ 電子ビーム偏向掃引コイル(偏向コイル)

ビーム偏向角度 : 最大45度
ビーム掃引角度 : 最大±16度
ビーム掃引周波数 : 最大1kHz
コイル起磁力 : 800AT/コイル×2個

④ テストサンプル部

最大熱流束 : 2000MW/m²
(ビーム照射条件 : 80kV, 3.65A時)
ビーム照射面積 : 最大300mm×600mm

試料寸法

・試料挿入装置I : 最大200mm×400mm
・試料挿入装置II : 最大200mm×200mm
・定常熱負荷試料台 : 400mmL×15ch
800mmL×3ch

3. プラズマ電子銃

今回採用した大出力プラズマ電子銃は、JT-60用NBIイオン源の設計・製作で養われた技術を応用して開発されたカマボコ形の多極磁場型イオン源である。この電子銃は、プラズマ生成部と二段加速式加速部とで構成されており、その短手方向の断面図を図2に示す。動作原理は、放電容器(14cm ϕ ×30cmL)にガス導入ポートより水素または不活性ガス(アルゴン等)を導入して、4本のタングステン製フィラメントと放電容器との間に低圧アーク放電を発生し、高密度プラズマを生成する。こうして生成されたプラズマ中より電子のみを3枚電極で構成された二段加速式加速部で引き出すものである。この放電容器には、良好なプラズマの閉じ込めを行うためにコバルト・サマリウム永久磁石が装着されており、ラインカスプ磁場配位を形成している。また、その最下部には純鉄を装着し、プラズマ閉じ込め磁場が加速中の電子軌道に及ぼす影響を軽減している。さらに、偏向掃引コイルの漏洩磁場及び地磁気等からの影響を考慮して、第1、第2負電極には μ メタルを埋め込んでいる。なお、電子銃より1700mmの位置における電子ビームの熱流束分布の一例を図3に示す。

4. 加速電源

現在の次期核融合実験炉用NBI装置の設計においては、ビームエネルギーが500keV以上と想定されている。この装置における加速電源は、DC500kV以上の直流高圧電源である上に、イオン源部での放電破壊時にイオン源及び電源機器類を保護するための出力の高速遮断性能(数百 μ sec以下)が必要とされる。従来の電源では、この機能を真空管またはGTOサイリスタ等の直流スイッチを使用して満足してきたが、DC500kV以上の出力を有する電源においては、直列数の増大等の問題により従来の方式を適用するのが困難であると考えられている。そこで、直流スイッチング方式に代わる方法として、低圧交流側での高速出力遮断を現在検討している。

今回設計・製作したJEBISの電子ビーム静電加速用電源(加速電源)では、主回路に高周波インバータ方式を採用しており、プラズマ電子銃での放電破壊時には、高圧整流変圧器の一次側で出力の高速遮断(100 μ sec以下)を行う設計になっている。この様にJEBISの加速電源には、前述した次期NBI装置用電源の設計に関するR&D要素が盛り込まれており、その健全性も今回確認された。なお、従来の直流スイッチング方式と今回採用した交流スイッチング方式(高周波インバータ方式)の概略回路図を図4に示す。

5. まとめ

- ① 熱源としてJT-60用NBIの技術を応用した大出力プラズマ電子銃の開発に成功した。
- ② 実験目的に応じた形状(スポット状からシート状)の電子ビームの引き出しに成功した。
- ③ 加速電源主回路に高周波インバータ方式を採用し、低圧交流側での高速出力制御に成功した。
- ④ 高熱流束(2000MW/m²)、短時間(1msec)での電子ビーム照射試験に成功した。
- ⑤ 本装置の開発により通常熱流束定常加熱から超高熱流束短時間加熱まで可能となった。

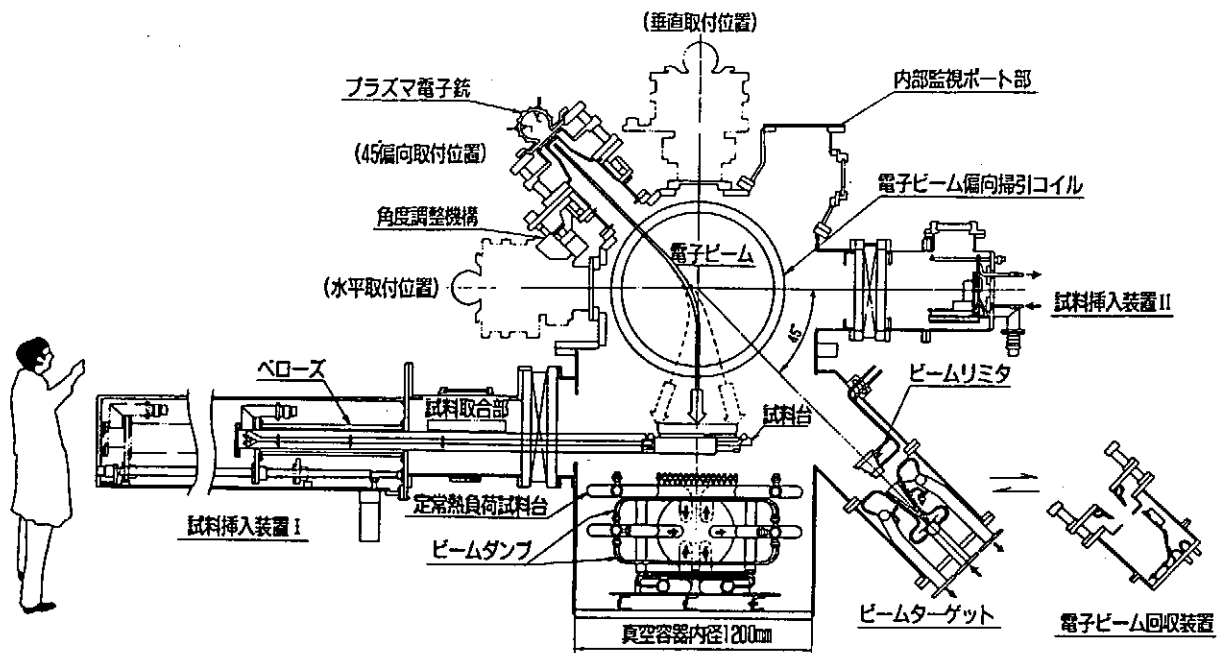


図1. JEBIS真空容器 (断面図)

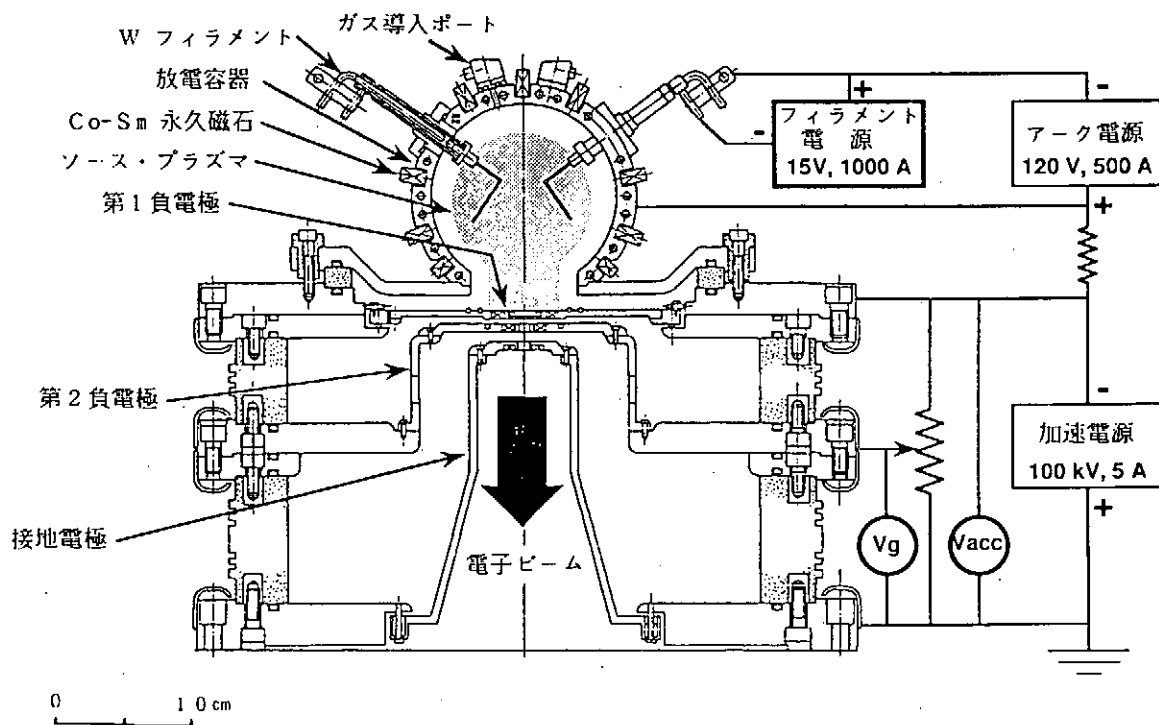


図2. 大出力プラズマ電子銃 (断面図)

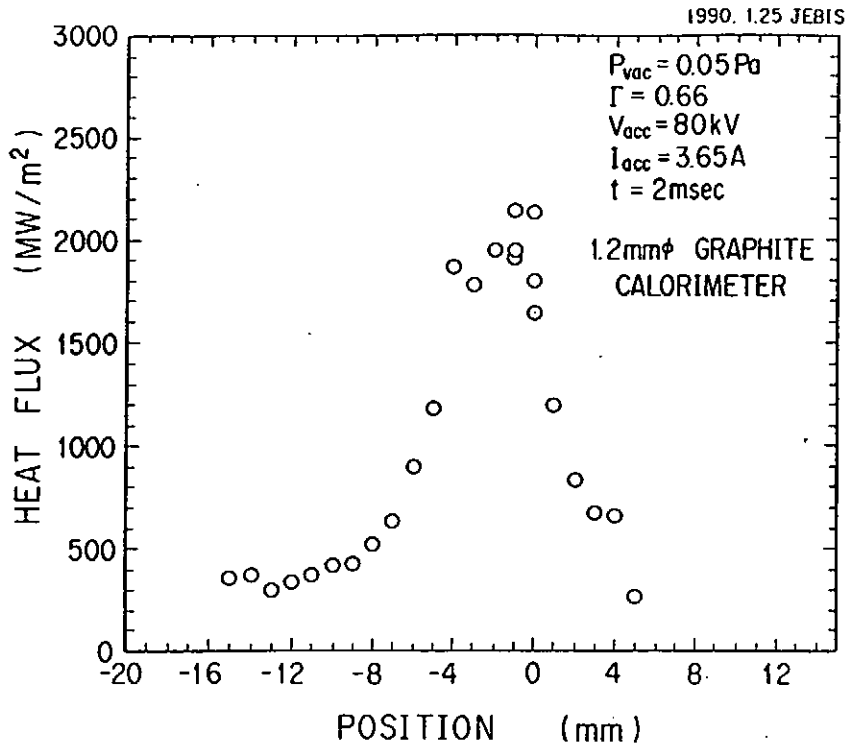
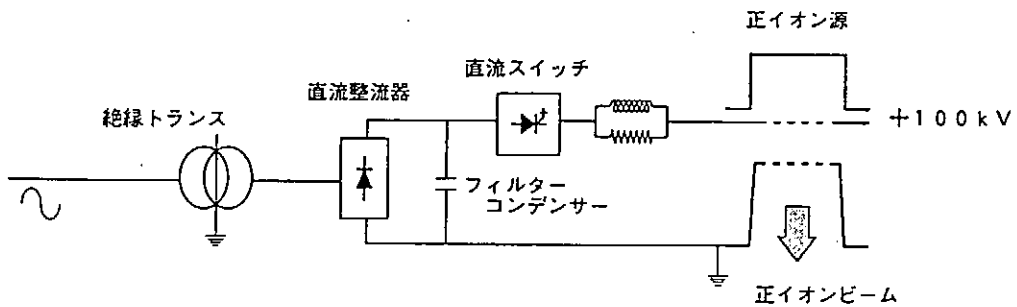


図3. 電子ビームのプロファイル例

(a) 直流スイッチング方式 (従来方式)



(b) 交流スイッチング方式 (次期装置用)

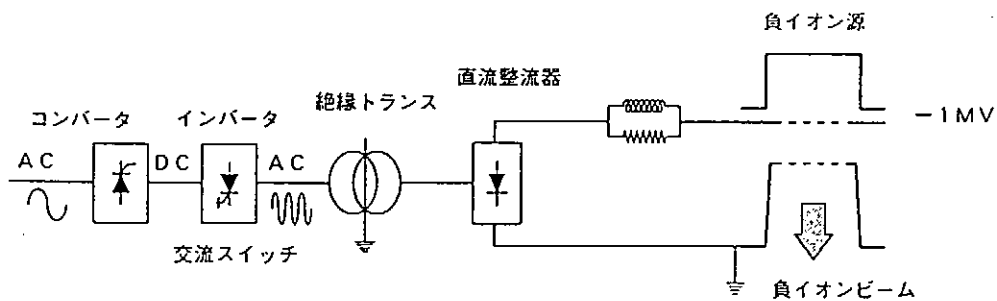


図4. 加速電源の主回路概略図

JT-60 ICRF整合回路の装置技術及び運転保守

原研 那珂研究所 ○寺門正之、安納勝人、篠崎信一、藤井常幸
森山伸一、木暮重幸、小川芳郎、三枝幹雄

1 はじめに

JT-60イオンサイクロトロン波帯 (ICRF) 加熱装置は、100 MHz帯の大電力高周波を用いてプラズマを加熱するものである。本加熱装置は、昭和62年度に完成し、JT-60のプラズマ加熱実験に供されている。本加熱装置の主要性能は、発振周波数110～130 MHz、発振器出力6 MW、パルス幅10秒、デューティ1/60である。

本加熱装置では、高周波電力は大電力増幅系にて増幅され、アンテナと伝送線路とのインピーダンスの整合を取る整合回路を経て、アンテナからプラズマに入射される。4 MW以上の大電力をプラズマ中に入射するためには、アンテナからの反射電力が入射電力の10%程度以下になるよう整合回路で調整する必要がある。従って、効率の良い入射を行うには、整合回路の性能に負うところが大きく、整合回路は、ICRF加熱装置の運転において極めて重要な装置である。

本講演では、整合回路の装置構成、運転保守、及び主なトラブルとその対策について述べる。

2 整合回路の概要

大電力増幅系にて増幅された高周波電力は、同軸給電線にて、JT-60トカマク装置の真空容器に取り付けられたアンテナまで伝送されている。同軸給電線の実効インピーダンスは50Ωであり、それに対してアンテナの結合抵抗は0.2～5Ω程度と小さい。このようにインピーダンスが異なると、アンテナへ伝送された高周波電力はほとんど反射される。そこで、整合回路にて同軸給電線とアンテナとのインピーダンスの整合調整を行っている。

本整合回路には2台のスタブ整合器が使用されている。スタブ整合器は、給電線に対して並列に取り付けられた同軸管の先端部にショート板を設け、そのショート板の位置を変えることによって給電線から見たアンテナのインピーダンスを変化させるものである。

また、6 MW入射時に整合回路内には60 kV (計算値) と非常に高い電圧が発生するため、SF₆ガスを充填し耐電圧を向上させている。さらに、整合回路内では発熱量350 kW (アンテナインピーダンスが2Ωで6 MW入射時の計算値) の高周波損失が発生するため、充填したSF₆ガスをSF₆循環装置にて循環させ冷却に用いている。

3 整合回路の構成

整合回路の構成を図1に示す。

(1) 同軸給電線

基本となる同軸給電線には、WX-152D同軸管を使用している。

(2) スタブ整合器

λ/4チョーク型スタブ整合器を2台使用している。本スタブ整合器の構造図を図2に示す。本スタブ整合器の特長は、実際には内外導体とショート板が接触しない非接触型のチョークプランジヤを採用している点である。非接触型チョークプランジヤを採用したことにより、高周波を入射中にも

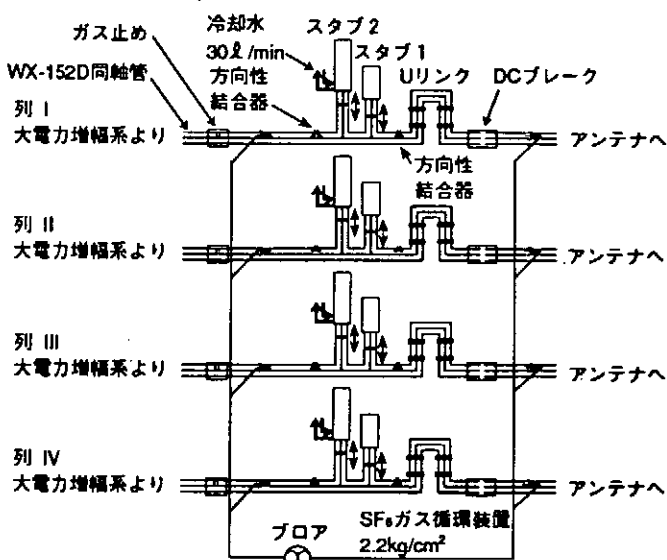


図1 整合回路系統図

スタブの高速駆動が可能となり、整合調整を極めて容易に行うことができる。しかし、チョークブランジヤと内外導体間のギャップが非常に狭く（チョークブランジヤ・内導体間1.5mm、チョークブランジヤ・外導体間1.7mm）、

製作には高い精度が要求された。

また、スタブ整合器を冷却するために外導体に冷却水パイプをらせん状に取り付け、内導体は2重管構造にし、往復水路を設けた。冷却水流量は1系統あたり1分間に30リットルである。

スタブ整合器のブランジヤ位置は、ICRF加熱装置を制御する計算機によりプレプログラム制御される。その駆動速度は、50mm/secである。

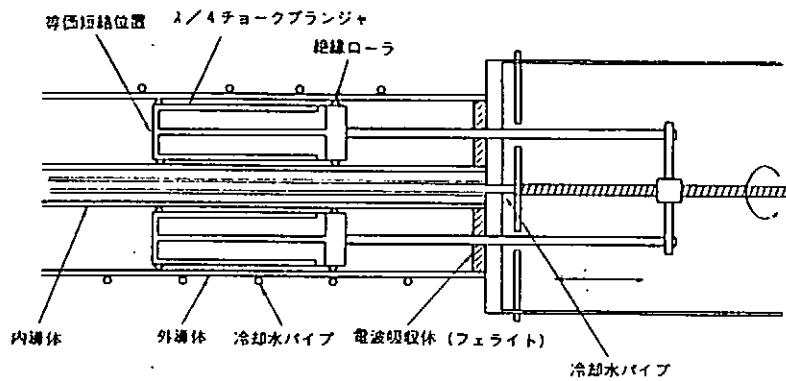


図2 非接触型 $\lambda/4$ チョークスタブ整合器構造図

以下に、スタブ整合器の主な高周波特性を示す。

周波数	108~132 MHz
挿入損失	0.03 dB以下
RF漏洩量	-90 dB以下
RFパルス幅	10秒
デューティ	1/60

負荷のVSWRが2.5のとき1系統あたり1.5MWの入射が可能。

(3) SF₆循環装置

SF₆循環装置の系統図を図3に示す。

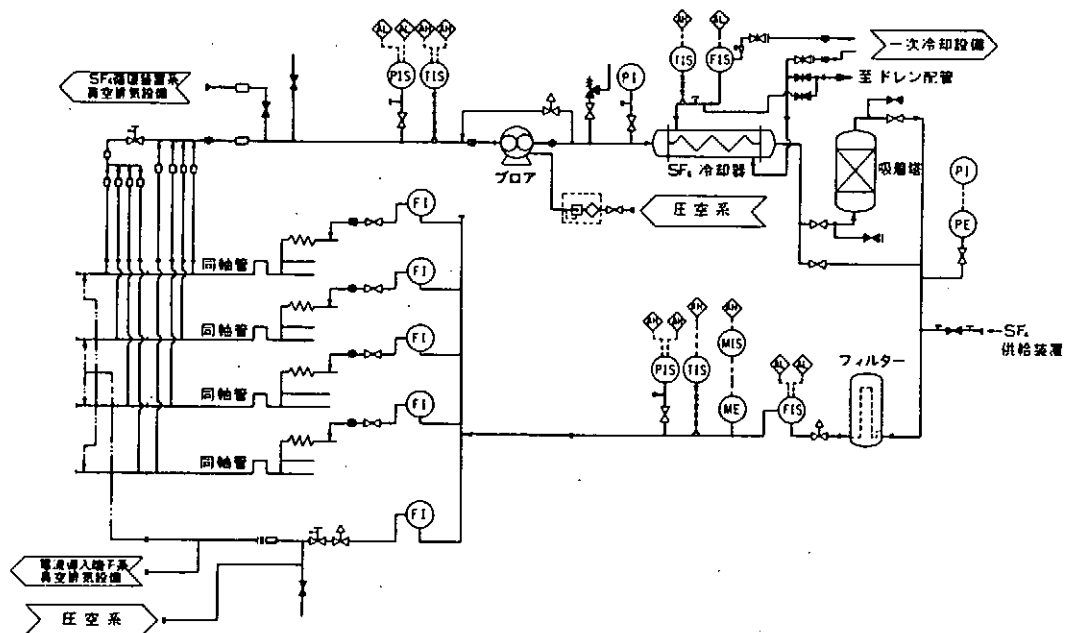


図3 SF₆循環装置系統図

整合回路内のSF₆ガスを循環させるためにSF₆循環装置を使用している。以下に、SF₆循環装置の基本仕様を示す。

整合回路内ガス圧力 最大2.2 kg/cm²

ガス流速	1 m/sec
ガス流量	500 Nm ³ /H
SF ₆ ガス冷却器の冷却水流量	130 ℓ/min

(4) 方向性結合器

整合回路内の電力及び位相を測定するために方向性結合器を使用している。方向性結合器は、スタブ整合器の発振器側に1台、アンテナ側に1台と1系統に2台使用している。結合度は発振器側の方向性結合器が50 dB、アンテナ側が60 dBである。

方向性結合器によって測定された信号は制御系、励振系に送られ、保護回路の比較信号、入射電力及び位相データとして使用している。

(5) DCブレーク

整合回路とアンテナとを直流的に絶縁するためにDCブレークを使用している。

(6) Uリンク

スタブ整合器からアンテナまでの距離を調整するためにUリンクを使用している。逆U字型部の直同軸管を変更することで、距離を調整する。

4 整合回路の運転

整合回路の運転は、整合回路部の入射電力・位相などのデータ収集と、収集したデータをもとに行うスタブ整合器によるインピーダンスの整合調整とからなる。

データ収集は、スタブ整合器の両端にある方向性結合器により入射電力及び位相の計測を行い、計算機に取り込んでいる。また、スタブ駆動装置制御盤より高周波入射中のスタブの位置計測を行っている。

インピーダンスの整合調整は、高周波入射中にスタブを駆動（プレプログラム制御）しながら反射電力を測定し、その最小点のスタブ位置を求める方法（図4に例を示す）と、入射電力・位相の測定値から計算によって最適なスタブ位置を求める方法とがある。いずれの場合にも次回の入射では最適な位置にスタブを固定して入射を行う。また、プレプログラム制御中に反射の少ない位置にてスタブを自動的に止めるスタブストップ機能も設けられている。

5 整合回路の保守

ICRF加熱装置の保守作業として、装置起動前・停止後及び運転中に点検する（整合回路の設置されているJT-60本体室は実験中立ち入り禁止なので運転中の点検はできない）日常点検と、実験サイクル（1サイクルは2週間から3週間）終了後に1日点検日を設けて点検するサイクル点検を行っている。

整合回路の点検内容はそれぞれ、スタブ整合器の冷却水流量・圧力、SF₆循環装置のガス圧力、ガス湿度、フロアの油面及び整合回路構成品の目視点検等である。

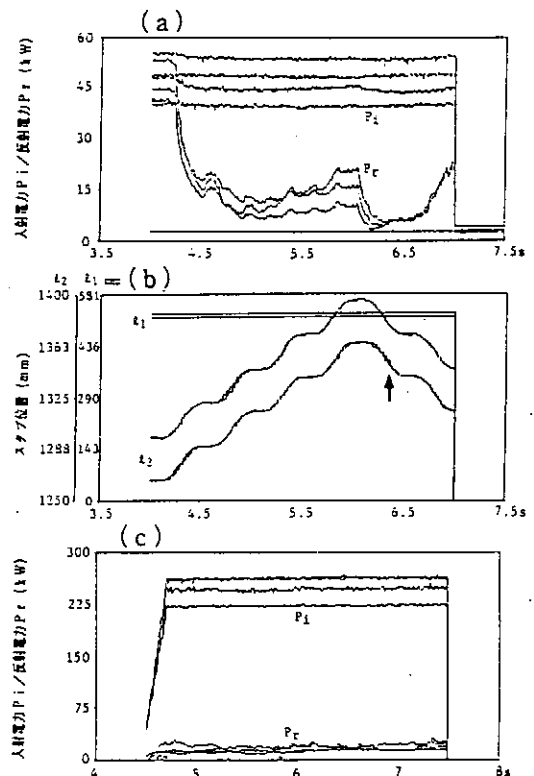


図4 スタブ駆動によるインピーダンス整合

高周波を入射中にスタブを駆動し、インピーダンスの整合調整を行った例である。(a)はスタブ整合器の発振器側に取り付けられた方向性結合器にて計測された入射電力 P_i と反射電力 P_r を示し、(b)はその時のスタブ位置の変化を示す。反射電力最小のところ(矢印)が整合の位置である。この例ではスタブ1は固定で、スタブ2のみプレプログラム制御で駆動した。つぎの入射にて整合位置にスタブを固定し、非常に反射の少ない入射を実現したのが(c)である。

6 主なトラブル例

いままで運転してきていくつかのトラブルが発生したが、中でも特に重要と思われる2例について報告する。

(1) スタブ整合器の放電破壊

(A) 状況

チョークブランジヤと内外導体間にて放電が発生した。

(B) 原因

チョークブランジヤの放電状況を図5に示す。通常運転時はA点が電流最大点でB点が電圧最大点である。冷却水配管を外導体に半田付けしたことによる歪み、及びチョークブランジヤ（重量約30kg）が駆動することによる外導体の歪みにより外導体とチョークブランジヤ間のギャップが狭くなり、B点にて最初に放電が発生したと思われる。B点にて放電が発生するとB点がショート点となり、電圧最大点がA点に移動し、A点にて放電が発生したと考えられる。

A点にて放電が発生・持続すると、もともとA点は電流最大点であり、見かけ上整合が取れている状態なので発見が非常に困難である。

(C) 対策

- イ 外導体の歪みをなくすため以下の3つの改造を行った。
 - ◎ 外導体を1.85mmから4.05mmの厚肉銅管に変更した。
 - ◎ 外導体に取り付けてある冷却水配管の取り付け方法を半田付けから伝熱性の接着材に変更した。
 - ◎ チョークブランジヤのガイドローラの曲率を内外導体表面の曲率に合わせた形状とした。
- ロ 電界集中を抑えるためチョークブランジヤ絶縁部の詳細形状を変更した。
- ハ 放電を監視するために音センサを取付けた。

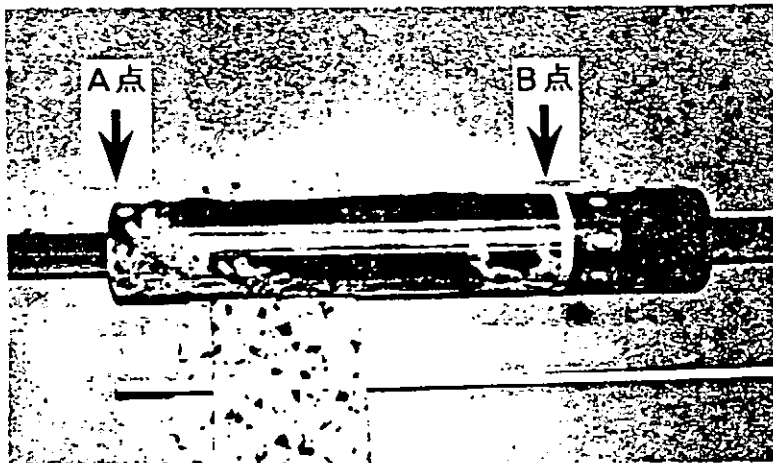


図5 チョークブランジヤ放電状況図

(2) SF₆ガス循環経路内への潤滑油の混入

(A) 状況

SF₆循環装置プロアの軸受け部に使用している潤滑油がSF₆ガス循環経路内に混入した。

(B) 原因

運転中は、プロアのオイルタンク、オイルだめ及びロータ室内の圧力は2.8 kg/cm²でプロアの吐出圧と同圧である。しかし、運転を停止してもオイルタンク、オイルだめは吐出圧のままであるのに対し、ロータ室は常圧に戻るため、オイルタンク、オイルだめの方が高圧となる。従って、オイルタンク内の潤滑油がロータ室に漏れ、ロータ室からSF₆ガス循環経路内に混入したと推測される。

(C) 対策

プロアのオイルタンク、オイルだめ及びロータ室を均圧管にて接続し、常に同圧となるようにした。

7 まとめ

以上ICRF加熱装置整合回路の装置構成・運転保守及び主なトラブル例について簡単に述べた。整合回路は、効率良く大電力をプラズマに入射するために極めて重要な装置である。上記トラブルの対策後は整合装置は順調に稼働し、JT-60のプラズマ加熱実験に貢献してきた。今後は、JT-60 Upgradeに対応できるように整合回路を改造し、より信頼性の高い装置にしていく予定である。

低域混成波（LHRF）加熱装置セラミックウインドウの放電破壊

日本原子力研究所那珂研究所

○高橋春次、沢畠正之、日下 誠、佐藤 稔、関 正美、池田佳隆、菅沼和明

1、概要

JT-60のLHRF加熱装置では、クライスロンの高周波電力をプラズマに伝送する伝送系に、プラズマ側の真空導波管とSF₆ガスを充填した導波管側を仕切るためアルミナセラミックウインドウ（真空窓）を使用している。1基のクライスロンの出力は1MW、これを4分配するので一つの窓を通過する高周波電力は250kWである。周波数は2GHz帯（1.74GHz～2.23GHz）、デューティは1/60である。真空窓はランチャー先端から約7mの位置にあり、tanδによる発熱を防ぐために水冷却を行っている。窓での放電が起こった時にはアーク検出器で放電光を検出して高周波を遮断し、窓の破損を防ぐ処置をしている。

今回、ランチャーのプリージングを行っているとき、32個の窓のうちの1個が破損し、真空リークを起こした。これを機に、破損した窓（以下「リークあり窓」と言う。）とそうでないもの（以下「リークなし窓」と言う。）それぞれ1個を抽出し、破損原因を究明するため各種の試験及び解析を行った。セラミックスの性質はその微構造密接に関係しているので亀裂の原因調査に当たっては何種類かの違った試験を行い総合的に考える必要がある。

セラミックスは一般にその材料に含まれている欠陥に応力が集中して亀裂が発生し、これが急激に成長する脆性な破壊として破壊する。今回調査した窓のうち「リークあり窓」は局所的な熱応力により脆性破壊したものと推定される。熱応力の原因はマルチパクタ放電及びSF₆ガス放電によるものと考えられる。

一方、健全と思われた「リークなし窓」にも、厚さ4.5mmのセラミックに対して、表面から深さ1.7mm、長さ16～36mmに達する亀裂が発見された。亀裂はSF₆側表面にあった。これは真空リークに至らないまでも、ある条件のもとに微視亀裂が徐々に進展していたものと理解される。この亀裂の窓の表面に対する角度（42deg）に注目すると深さ50μm程度の表面亀裂（欠陥）がもととなって、面内剪断変形により亀裂が進展したものと説明される。今回調査を行ったセラミックウインドウの外形図を図-1に示す。セラミックは厚さ4.5mm、直径145mmである。

2、調査

（1）外観の観察

リークあり窓は、セラミックの亀裂がはっきりと目視で確認できる。クラック周辺部は変色があり、また、スパッタリングと思われる鮮やかな銅色の痕跡が2カ所みられる。

リークなし窓のセラミックの表面には茶色っぽい斑点がみられる。光に透かしてみると2カ所に浅い亀裂の初期状態が確認された。

液体浸透探傷検査（PT検査）による観察では、リークあり窓のセラミックの亀

裂は真空側からSF₆側に貫通しており、それぞれの亀裂は連なって、亀裂密度の高い点から周辺に発展していったように見える。

(2) 超音波による探傷

リークなし窓はSF₆側に円周方向に添った形で2カ所浅い亀裂がみられるが真空側までは貫通していない。亀裂部分の断面を超音波探傷器により調べた結果から推定した亀裂の形状を図-2および図-3に示す。亀裂の深さは1.2~1.3mm、方向は表面から斜めに約30~35°の方向に入っていると推察される。

超音波顕微鏡による亀裂の画像処理した結果から、表面でのクラックの幅は約0.2mmで、クラックの表面から斜めに入っている。

(3) 残留応力の測定

X線応力測定法には材料の残留応力が非破壊的に、しかも微小領域のそれが非接触で測定できるという特色がある。X線応力測定法は特性X線の回折を利用するものである。リークなし窓のSF₆側表面、半径方向の残留応力を測定した。本試料のアルミナの結晶粒径は高々20μmであるから、今回測定した32mm²というX線照射領域には応力測定に十分な結晶数が存在指定るものとみられる。測定結果にはかなりのバラツキがみられたが最高156MPa(標準偏差、320MPa)という値が得られた。

(4) 工学顕微鏡観察

アルミナ高周波窓では電子衝撃による熔融、貫通穴などの放電痕跡が報告されているが、今回、工学顕微鏡を用いて調べた結果ではそれらしいものは発見できなかった。

3. 解析

セラミックウィンドウには大気圧(SF₆)及び冷却水圧力による機械的応力と、誘電体損失やマルチパクタ放電、ガス放電(プラズマ放電)等による熱応力及び製作時の残留応力等が存在する。本解析では

- ① 定常運転時の誘電体損失による熱、熱応力解析
- ② 非定常時としてマルチパクタ放電やガス放電による熱、熱応力解析
- ③ 製作時の残留応力解析

を行った。

(1) 定常運転時

定常運転時(通過電力:250kW)に於ける熱解析、熱応力解析及び機械応力解析を行った。

解析による最高温度上昇は6~7℃程度であり、セラミックスの耐熱衝撃温度200℃に対して十分余裕があり全く問題はないと言える。

熱応力は、一番高温となった高電界部分及びそこから冷却面エッジ部付近に大きな値を示しているが、その値は最大でも0.4kgf/mm²台であり、セラミックスの引張強度18kgf/mm²に比較して十分余裕のある値であった。

真空の反対側には側にはSF₆ガスが封入されているが、その圧力は大気圧とほぼ同一である。即ち、1.33kg/cm²(絶対値)の圧力がセラミックスに負荷される。これによる最大応力はセラミックス中心部に発生し、その値は~3.7

kg/cm^2 、最大変位はセラミックス中心部で $7.6 \times 10^{-2} \text{mm}$ である。またその分布は単純な同心円状の分布を示す。これらはクラックに影響を与えていないものと考えられる。

(2) 非定常時

非定常時の熱、熱応力解析は次の2種類の熱負荷とした。

①板の片側の直径20mm程度の領域に局所的な熱負荷がある場合。熱流速を 1kW/cm^2 とし、パルス幅を30ms~500msとした。

計算モデルはセラミックスの板厚方向と半径方向を軸とする2次元モデルである。

②板の片側に電場の強さの2乗に比例する分布の入熱がある場合。最大熱流速を 200W/cm^2 、パルス幅を0.5秒とした。

計算モデルはセラミックス板の1/4を対象とする3次元モデルである。

板の片側の局所入熱の計算結果、熱流速 1kW/cm^2 、パルス幅30msの場合のセラミックス表面温度は最大 172°C 、応力はセラミック表面で 30kg/mm^2 程度である。

板の片側に電場の2乗に比例する分布の入熱場合、最大熱流速点では板厚方向全域で圧縮力が生じており、最大値は $38 \sim 43 \text{kg/mm}^2$ である。板表面の入熱による熱応力は、入熱面側に高い応力を発生する。又、板の端部より20mmの点では板の半径に圧縮力、周方向に引張力が生ずる。最大変位は0.19mmである。発生応力は定常時に比べて圧倒的に大きい。

本ビルボックス型窓はアルミナ板を銅リングに冶金的に接合した構成されている。銅とアルミナの線膨張係数の相違から接合工程で構成部材に残留応力が発生する。これについて線形解析を行った結果、アルミナセラミックス内の応力は -0.6kg/mm^2 程度で非常に小さい。このとき銅リングの円周方向の応力は 44kg/mm^2 となり、これは無酸素銅の引張強度を越えている。故に、銅は接合時に塑性変形により応力は緩和されているものと推定される。

4、考察

(1) アルミナの熱衝撃強度

アルミナセラミックスの限界クエンチ温度 T_c は 200°C である。

アルミナ板が熱衝撃破壊する限界熱流速は $1.6 \text{kW/cm}^2 - 30 \text{ms}$ 程度と推察される。

(2) アルミナの亀裂進展

前の解析の結果からセラミック表面近傍は圧縮応力が支配的である。このような場合亀裂はモードII(剪断モード)で進展することが考えられる。一般にはモードII進展は亀裂のキンキングによりモードI(引張モード)に代わり易いが、応力場によってはモードIIのまま進展する場合がある。

微小亀裂のモデルにおいて応力拡大係数が最大となる角度 θ を考察する。その結果、摩擦係数 μ を0.105と仮定すると $\theta = 48^\circ$ となり観測結果とよい一致をみる。最終的に応力拡大係数 $K_{II \max}$ は

$$K_{II \max} = 1.26 \cdot p \cdot a^{1/2}$$

ただし p : 圧縮応力 (Pa)

a : 亀裂の直径 (m)

となる。これに限界応力拡大係数 $K_{IIc} = 3.3 \text{ MPa m}^{1/2}$ 、 $a = 55 \mu\text{m}$ を代入すると限界応力 p_{CR} は

$$p_{CR} = 353 \text{ MPa}$$

となる。

これはさきに解析で示したパルス幅 0.5 s、 $y/R = 0.5$ での熱流速が最大となる表面熱負荷分布に対する熱応力に等しい。

5、まとめ

今回の調査で、破壊を誘起した熱負荷とその熱源や履歴を正確に特定することはできなかったものの、アルミナの破壊に要する熱負荷はいわゆる誘電体損失による程度のものでなく、ガス放電やマルチパクタ放電を想定して得られる程度の熱負荷であることがわかった。

又、亀裂の発生状況や解析結果から判断してリークあり窓では真空側表面に短時間のエネルギー放出があり、リークなし窓では SF_6 側表面に比較的長時間のさほど大きくないエネルギーが繰り返し放出されたものと推定される。即ち、リークなし窓でも SF_6 側に小さい放電が生じていた可能性がある。

ウィンドウに使用したアルミナには $7 \mu\text{m}$ 程度の空洞が多数ある。即ちガスの物理吸着に寄与する実表面積はかなり大きい。この対策としてはベーキンなどを行うのが望ましいと言える。

SF_6 側で放電が生じると熱的な問題の他にも SF_6 が解離し、 F_2 ガスができる、これが MgO 等の焼結助剤が浸蝕される問題がある。この対策としては SF_6 ガスの置換度を高めることである。

放電が避けられない場合には、放電開始を速く検出してトリップさせる保護回路を整備することが重要である。

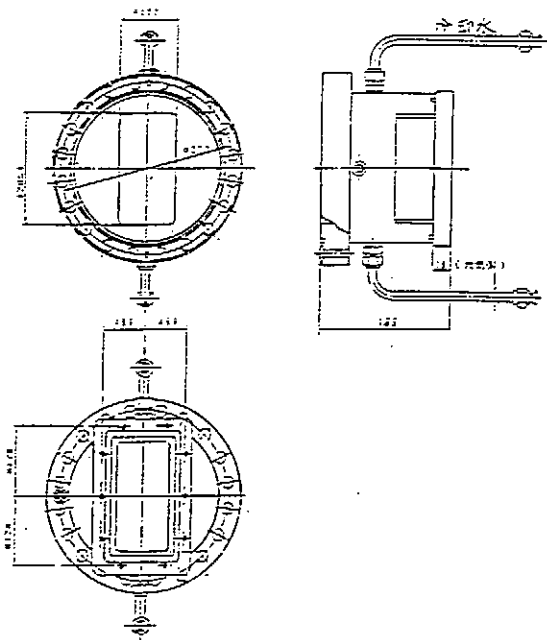


図-1 ウィンドウの構造図

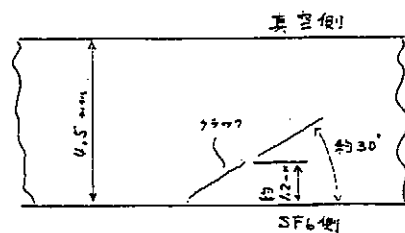


図-2 クラック-1の推定断面

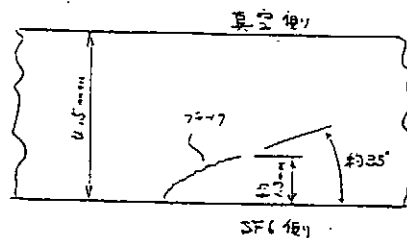


図-3 クラック-2の推定断面

J T - 6 0 2 次 冷 却 設 備 の 冷 却 水 管 理

日本原子力研究所 那珂研究所 JT-60 第1試験室

○井坂 正義 関口 修一

1. J T - 6 0 2 次 冷 却 設 備 の 概 要

JT-60 2次冷却設備は、JT-60 本体、トロイダル磁場コイル電源、ボロイダル磁場コイル電源、加熱用発電設備、NBI加熱装置及びRF加熱装置に2次冷却水を供給し被冷却設備の発生熱を2次冷却水と熱交換し、冷却塔を介して大気に放熱させるものである。2次冷却水系のフローチャートを図-1に示す。

1) 冷却塔

冷却塔形式は、強制通風湿式直交流形冷却塔であり、塔本体、冷水槽、送風機、附属機器等から構成され、塔本体は6つのセルに分かれており循環水量に応じて1セルから6セルまで運転セル数を選択できる。又、送風機は熱負荷に応じて低速または高速回転を選択できる構造になっている。冷却水管理上重要な冷却塔の主要諸元を「表-1」に示す。

2) 冷却水ポンプ及び配管

冷却水ポンプは、本体2次冷却系、加熱2次冷却系、電源2次冷却系、及び機器冷却系の各系統毎に各3台（1台は予備機）設置され、冷水槽の2次冷却水を配管設備を介して、所定の流量及び圧力にて被冷却機器と冷却塔間を循環させる装置である。又、本体及び電源系の1台は非常用電源と接続し、停電時にも給水が可能である。

3) 水処理装置

水処理装置は、2次冷却水の水質維持管理を目的として設けられたもので、冷却水中の浮遊物質を除去するための濾過装置、本設備中の機器並びに被冷却機器を腐食から守り、スケール形成を抑制するためのスケール防止剤注入装置、スライムの発生を抑制するスライム防止剤注入装置、冷却水の濃縮度調整のためのブロー装置、冷却水の水質を計測するサンプリング装置及び腐食状態をチェックするモニター装置より構成する。

表-1 冷却塔諸元

*循環水量	: 10070 m ³ /H
*冷却塔温度差	: 6 °C (37→31)
保有水量	: 2880 m ³ /H
*蒸発水量	: 100 m ³ /H
循環水濾過機	: 加圧式 (250m ³ /H)

*については全負荷時を示す。

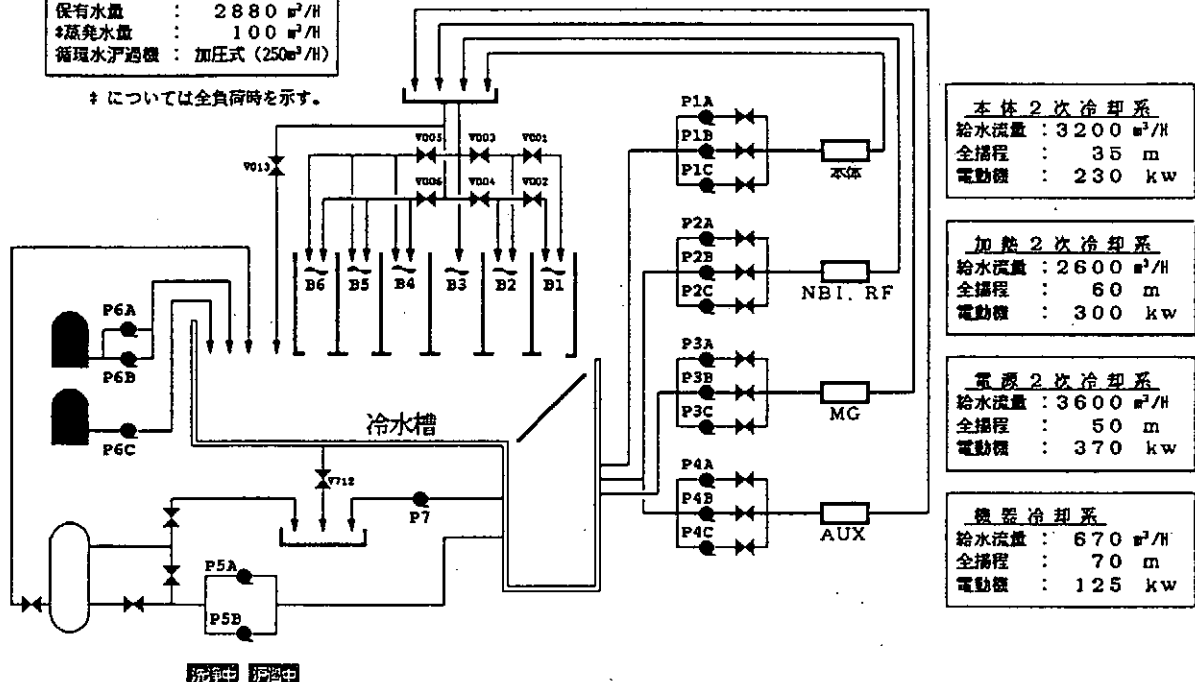


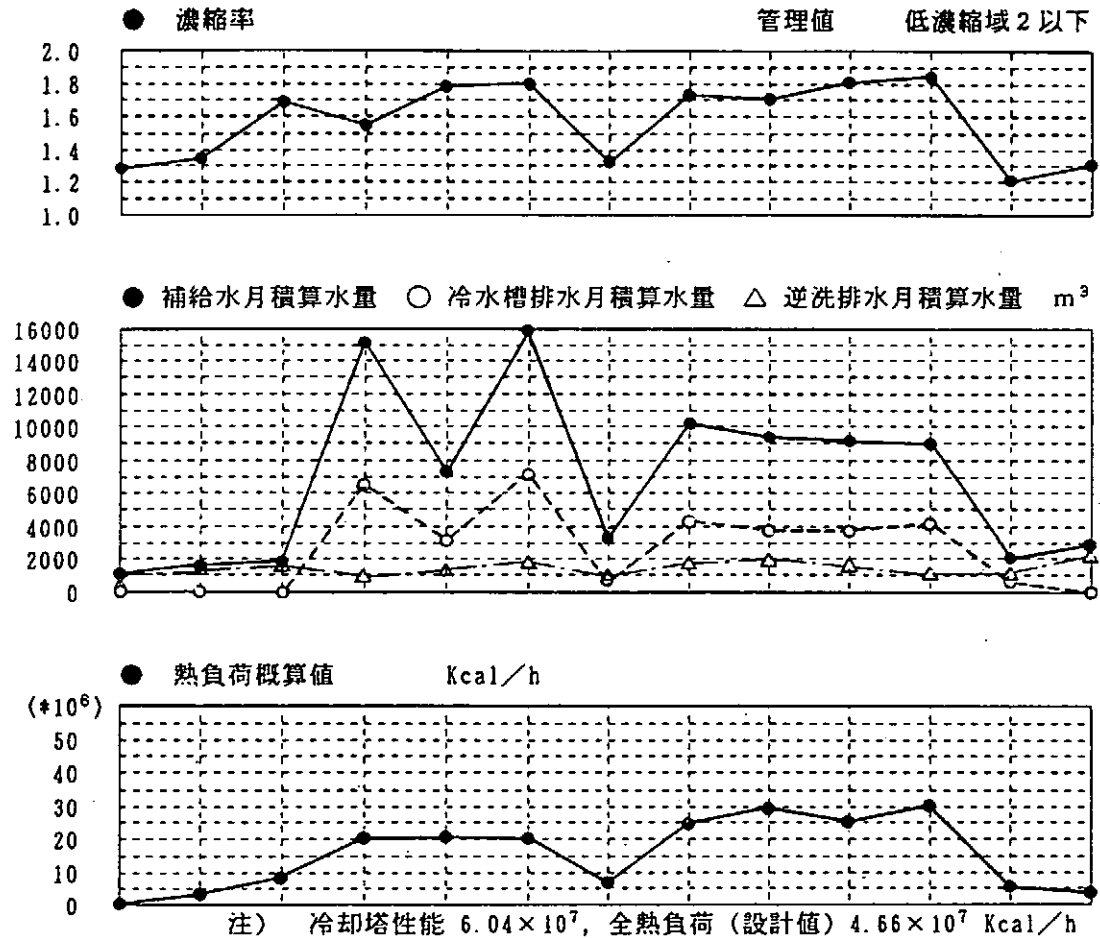
図-1 J T - 6 0 2 次 冷 却 設 備 フ ロ ー チ ャ ー ト

2. 2次冷却水の水処理

1) 概要

JT-60 2次冷却設備で採用している開放型循環方式の冷却水系では、冷却水中の溶存酸素による腐食障害、濃縮により難溶性塩類が析出するスケール障害、微生物が水温の上昇により増殖して機器の表面に生じるスライム障害、及び大気から粉塵や昆虫等が混入する汚染障害が代表的な冷却水障害となる。これらを防止するために各種の方法が開発されているが、本設備では冷却水中の含有物質を適切な濃度に維持しながら薬品を添加する方法を採用している。又、水処理方式については、被冷却系の熱負荷や運転時間の増大に伴って、低濃縮運転と高濃縮運転に分けて、それぞれに対応する水処理薬品及び水質管理基準を検討しているが、現在までは濃縮率2倍以下の低濃縮運転による水処理を行っている。その理由は、現在までの熱負荷は最大で設計値の3/5程度（冷却塔除熱能力の1/2程度）であり、運転継続時間は1運転サイクルが2週間（夜間の熱負荷は1/10程度）で年間10~15サイクルであった為、比較的少量のブロー量で濃縮率を2倍以下に維持できたことによる。尚、当設備の水処理装置は、主に高濃縮運転に対応する機能を有している。

・濃縮率、補給水量、排水量及び熱負荷の推移



58.1.11	59.7	60.4	61.7	62.3	62.7	63.2	63.8	H1.3	H1.7	H1.10	H2.3	H2.7
↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
2	総合	フ	O	結	加	ダ	高	高	高	高	大	大
次	合	ァ	H	合	熱	イ	性	性	性	性	電	電
冷	機	ブ	H	試	実	バ	能	能	能	能	流	流
完	能	ラ	II	験	験	ー	化	化	化	化	化	化
成	試	ス	実	II		改	実	実	実	実	改	改
	験	ト	験			造	験	験	験	験	造	造
	マ	マ										

2) 水質分析及び薬品注入の頻度

JT-60 2次冷却水系の水処理は、昭和58年7月以来、週1回の頻度で水質分析を行い、冷却水中の含有物質濃度が適切な範囲で推移していることを確認するとともに、的確な薬品濃度になるよう添加量を計算し注入するという方法を選択し実施している。実験設備であるJT-60においては、連続的な運転だけではなく大幅な熱負荷の変動や断続運転といった変則的な運転に即対応する必要があるため、週1回の頻度は、運転状況に応じた水処理及び水質管理が可能である。

3) 使用薬品の目的と仕様

薬品名	使用目的	性状	組成	注入頻度	維持濃度 ppm	
					運転期	保管時
モグール W-138	腐食防止 低濃縮用	粉体	ホリン酸 塩+亜鉛	連続又は 間欠	100	150
モグール DS-102	スケール防止 W-138と併用	液体	ホリン酸 塩+ホリマー	連続又は 間欠	50	75
モグール AG-482	スライム防止	液体	有機窒素 硫黄系	間欠 夏2 冬-1回/M	100	100
モグール WS-199	銅防食	粉体	アゾール系	連続又は 間欠	30	40

4) 今後の水処理

平成3年3月よりJT-60Uの実験が開始されるが熱負荷、運転時間共に、特に増大はしないので、引続き低濃縮用薬品を使用する初期方法を継続する予定である。又将来、熱負荷がより増大すれば、高濃縮運転に切り換える予定である。

3. 水質管理基準と分析結果

1) 水質分析項目と管理基準

水質分析項目	基準他	低負荷運転時 W-138使用	全負荷運転時 WS-199N	水質分析結果 (SS8.7~H2.9)		
		(濃縮度2倍以下)	使用(濃縮度4~5倍)	最小値	最大値	平均値
pH	-	7.0~8.3	7.8~8.6	7.15	8.19	7.58
濁度	度	20以下	20以下	<1	24.3	3.4
導電率	μS/cm	2000以下	2000以下	168	590	334
Mアルカリ度	ppm asCaCO3	30~100	50~300	29.3	73.0	52.0
カルシウム硬度	ppm asCaCO3	30~100	50~300	22.0	85.5	55.4
イオン状シリカ	ppm	150以下	150以下	13.5	44.6	29.3
塩素イオン	ppm	200以下	200以下	11.2	35.0	20.4
SS (0.45μ)	ppm	20以下 (1.0μ7/89)	20以下 (1.0μ7/89)	0.1	34.3	5.6
全鉄	ppm	10以下	3以下	0.09	11.5	1.2
全リン酸	ppm asPO4	50~150	2.5~5.0	9.5	147.8	90.4
オルソリン酸	ppm	30以下	-	0.5	28.8	7.6
一般細菌	個/ml	10 ⁵ 以下	10 ⁵ 以下	0	21,000	3790
薬剤濃度	ppm	W-138 100ppm DS-102 50ppm	目標値 100ppm (75~100ppm)	40.6	212	132.8

2) 水質分析結果

- ① 全平均値、最小値、最大値について管理基準と比較するため「前表」に示す。
- ② 代表月平均値の推移

昭和58年7月から平成2年9月までの間の内、代表月(JT-60 試験状況等を考慮する)の平均値の推移について、水質分析項目毎に結果及び考察を示す。

項目	結果及び考察 (代表月平均値の推移)
濁度	水処理開始後半年間は、10~23と高く好ましくない状況であったが、その後は管理値の1/10~1/5と小さな値で推移している。補給水は1程度であり全く問題がない。
導電率 ($\mu S/cm$)	補給水の導電率が160程度であり循環水が350程度である。その差は薬品の濃度及び濃縮率の変化に伴う塩類濃度によるものである。薬品濃度が100~150のとき導電率が120~160増加する。又、塩類濃度による変化は残り30~100程度である。
pH	補給水で7.4~7.8、循環水で7.5~8.1程度で推移している。pH値の薬品による変化はほとんどない。補給水、循環水のpH及びMアルカリ度をそれぞれ pH_n 、 pH_r 、 M_n 、 M_r 、濃縮率をCとすれば、 $pH_r = pH_n + \log M_r / M_n = pH_n + \log C$ から、循環水のpHが推測計算される。実際には $pH_r = pH_n + \log C^{3/2}$ が実際値により近似する。グラフ上も濃縮率の増加に伴ってpH値が増加している。
Mアルカリ度 (ppm as $CaCO_3$) 加シム硬度 (°) イオン状シリカ (ppm) 塩素イオン (ppm)	補給水で30~37程度、循環水で50~65程度で推移している濃縮率の上昇にともなって、Mアルカリ度も上昇する。 補給水で32~38程度、循環水で40~70程度で推移している。 補給水で15~20程度、循環水で25~37程度で推移している。当設備では、シリカ比で濃縮率を求めている。 補給水で10~15程度、循環水で15~25程度で推移している。
全鉄 (ppm) SS (0.45 μ) (ppm) 亜鉛 (ppm)	濁度、SSと共に水処理開始後半年間は、8程度と高い値であったが、その後は1以下と低い値で推移している。 濁度と同様に水処理開始後半年間ほどは高く、管理値をオーバーしたこともあったが、その後は2~5程度と低い値で推移している。 2~4程度で推移し、非運転期に高い値となる。原研の排水基準は5以下である。
全リン酸 (ppm) オルソリン酸 (ppm) 薬品濃度 (W-138 ppm)	W138の濃度の変化に伴い45~110程度で推移している。管理値が50~150であるのに45と低いのは、W-138投入後から次回投入までにブローダウン量が多く薬品が希釈された状態であるが全リン酸濃度は低い方が好ましく短期間であれば問題はない。昭和59年の6~9月に20~24と高く、その後は4~10程度で推移している。管理値は30以下であるが、15程度を越えたら逆洗排水のブローダウンにより希釈し低くしている。運転期で100程度から50~45に希釈され、非運転期で150程度から130程度に希釈される。
COD _{mn} (ppm) 菌数 (個)	4~8程度と低い値で推移している。菌数の発生が多くなる夏期においても低く、殺菌剤 (AG-482) の効果が大きい。 補給水で1000~6000程度、循環水で3000~12000程度で推移し、特に夏期に多くなるがそれでも管理値の1/10程度で殺菌剤 (AG-482) の効果が大きい。
濃縮率	当設備ではシリカ比で濃縮率を求めている。運転期で1.6~1.9、非運転期で1.2~1.3程度である。運転期の濃縮率調整の為にブロー量は、逆洗排水分も含めて1日平均100~150 m^3 程度である。

4. 腐食モニターによる腐食率 (MDD) の推移

腐食モニターは、各冷却水システムの戻り管内に当該冷却系に使用されている金属のテストピースを挿入し、定期的に腐食の状態をチェックすることにより冷却系全体の腐食の状態を推測するものである。

1) 腐食速度の評価

当設備の防食効果の判定基準としては、炭素鋼で5MDD以下としている。

2) 結果及び考察

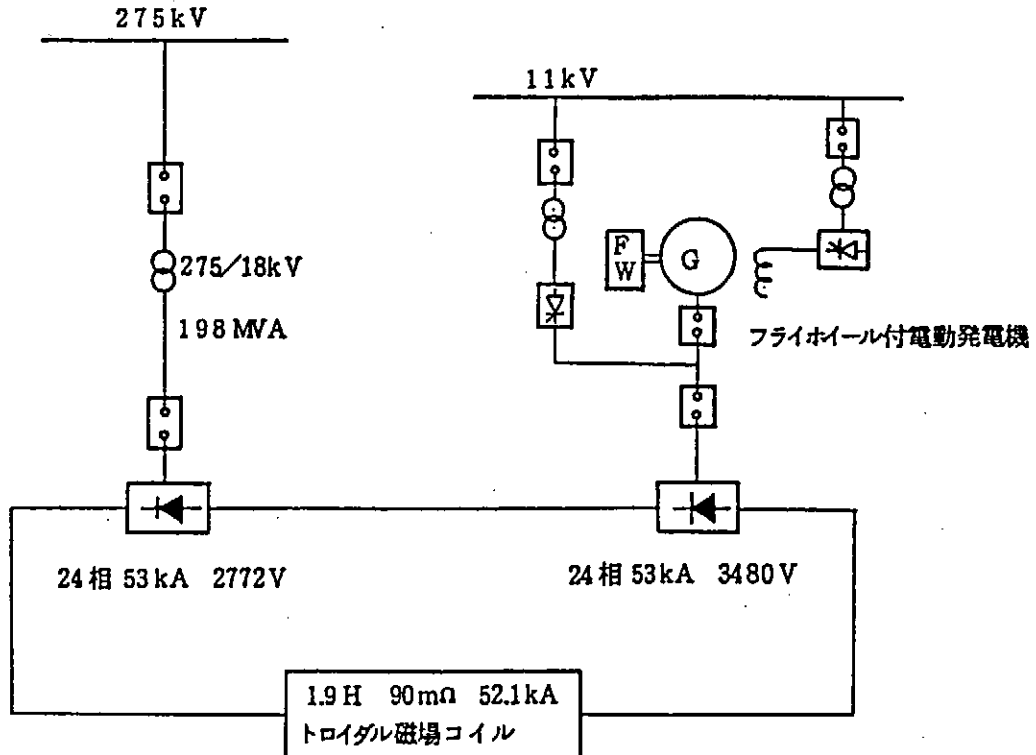
冷却系統	材質	結果及び考察
本体2次冷却系	NBSPI-F CNTF1-0	ネーバル黄銅(NBSPI-F)及び白銅(CNTF1-0)は耐食性、耐海水性、熱伝導性が良く熱交換器用管板や溶接管として使用されている。月平均腐食率は0~0.16 MDDで、全平均値が0.09程度であり腐食の発生は殆ど見られず非常に良好に推移している。
	SS-41	本設備の配管材質はSTPG38,SGP,STPY41であるが一般構造用炭素鋼であるSS-41を腐食モニターとしている。水処理開始後8カ月間の腐食率は平均値で4.2MDDであったが、その後は月平均腐食率で0.2~1.7MDDと非常に良好に推移している。
電源2次冷却系	SUS-304 SUS-316	ステンレス鋼の月平均腐食率は0~0.08MDDで腐食の発生は殆ど見られず非常に良好に推移している。
	C-1220P	純銅の月平均腐食率は0~0.11 MDDで、全平均値でも0.05と銅合金よりも腐食率は低く非常に良好に推移している。
	SS-41	電源系は本体系と比較し、水処理開始後8カ月間の平均値で2.47 MDDと50%弱である。その後も月平均腐食率で0.12~1.19と非常に良好に推移している。
加熱2次冷却系	SS-41	4系統中、最も小さい腐食率で推移している。不安定期の平均値で2.15 MDD、その後は月平均腐食率で0.11~0.76と非常に良好であった。
機器冷却系	SS-41	不安定期に、4系統中最も大きい腐食率であったのは腐食モニターの取付状態が悪く流速が遅かったためである。その後は0.10~0.51と非常に良好に推移している。

4 G J フライホイール付電動発電機 のオーバーホール

日本原子力研究所那珂研究所

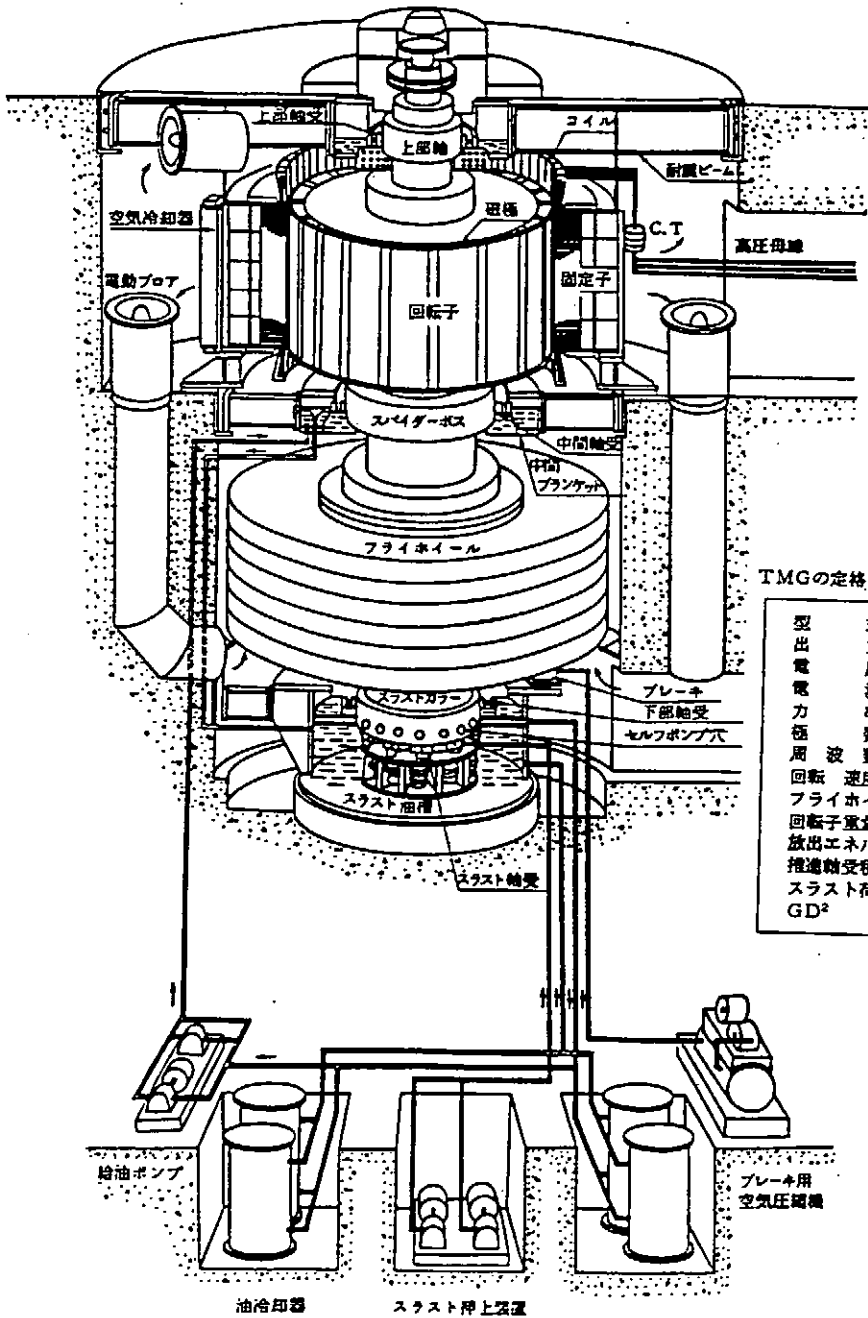
○池田 幸治 市毛 尚志
竹下 明 大森 憲一郎

日本原子力研究所の核融合試験装置 JT-60（臨界プラズマ試験装置）の構成設備であるトロイダル磁場コイル電源は、JT-60本体のトロイダル磁場を発生させ、かつ所要時間これを一定に維持するための直流電源設備である。トロイダル磁場コイル電源は、275 kV 商用電力系から受電する系統系とフライホイール付電動発電機電力系（以下MG系電源）の複合構成である。このうちMG系電源に電力を供給するフライホイール付電動発電機（以下TMG）は、巨大なパルス電力を発生するため、642 tonのフライホイールを直結し、毎分600回転の高速回転体に蓄えられた機械的エネルギーを電気的エネルギーとして放出するものである。容量215 MVA、毎分420～600回転の変動速度で運転され約40秒間で、4 GJのエネルギーを放出する世界的にも記録的な高速度大容量機である。系統電力系とMG電力系は、整流器を介して直列に接続され、52.1 kA、6.3 kVの直流を発生する。



トロイダル磁場コイル電源構成図

TMGは、昭和60年4月運転開始以来、平成元年10月までの運転時間が、6700時間を越えた。この間1年毎に定期点検を実施し、機器の性能維持に努めていたが更に安全度及び機能の向上を計るため、完全に分解し、点検するオーバーホールを作業期間約120日で行った。



TMGの定格

型式	立軸
出力	215MVA
電圧	18kV
電流	6,896A
効率	0.85
極数	16
周波数	80~56Hz
回転速度	420~600rpm
フライホイール重量	642ton
回転子重量	370ton
放出エネルギー	4,020MJ
推進軸受種類	ミツチエル型
スラスト荷重	1,100ton
GD ²	16,000ton-m ²

TMGオーバーホールのおもな点検・試験結果は以下の通りである。

点検・試験項目	点検・試験結果
1. 固定子コア及び巻線点検	Sウエッジ359本打ち替えを行い、良好。
2. 固定子・回転子巻線絶縁 診断試験 絶縁抵抗測定 直流吸収試験 tan δ 試験 交流電流試験 部分放電試験 回転子巻線分担電圧測定	すべて判定基準内であり、良好。
3. 非破壊検査 PT (浸透探傷検査) UT (超音波探傷検査) MT (磁粉探傷検査)	中間及び下部軸受けメタル各4枚不良により交換。 フライホイール用下部カバー溶接部1ヶ所割れのため再溶接にて補修。
4. フライホイール・接統面 分解点検	フライホイール#1上面、ディスタンスピース下面 フライホイール#6下面、スラストカラー上面にフ レッティングコロージョンが見られたため、油砥石 にて手仕上げ修正を行った。
5. MGセンタリング	センタリングのセンター値は、0.01mm以内で (許容値0.05mm)良好である。
6. スラスト荷重分担	筒軸吊込み後、実荷重分担平均99.96ton (許容値94.75~104.95ton)

TMGオーバーホールにおける懸案事項は以下の通りである。

懸案事項	処置・対策
<p>1. フライホイールとスラストカラーの移動止めキー（くさび）を液体窒素による冷却（冷やしばめ）で挿入したがキーの1つが、MG動特性試験時に約9mm飛び出していた。</p> <p>2. MGオーバーホール前運転時にオイルベーパー（油霧）が多量に出て、空気冷却器などに付着し汚損していたため、今回オイルベーパー対策として中間・下部軸受けシール部の改造及び空気配管を増設し、オイルベーパー回収装置にて回収してある程度の結果はえられたが、中間・下部軸受けのオリフィスのサイズによる油回収量・機内の油の状態を見る必要がある。また、下部軸受け側は排気を抑制しており、機内にオイルベーパーが出ることが予想される。</p> <p>3. MG動特性試験では、回転子上部・下部及びフライホイールにバランスウエイトを取り付け、バランス調整を行ったが振動値が安定していない。これは、フライホイールの振れ変化がまだあると考えられる。</p>	<p>抜け止め加工を行い、キー抜けがないことを確認した。</p> <p>中間軸受け側は、給気オリフィス18mmφで差圧が15mmAqで油回収量は、0.1ℓ/4hrと改善されたが、機内の油状態・油回収の様子を見ながらオリフィスサイズを検討していく。 下部軸受け側は、排気側を開放し給排気の差圧を適正にするためにオイルベーパー回収装置を追設することを検討する。</p> <p>現状の状態の様子を見ながら、再度バランス調整を行う。 目標振動値 15/100mm p-p</p>

まとめ

今回のオーバーホールにより、4GJフライホイール付電動発電機は、加速及びエネルギー放出を短時間に繰り返すという特殊な運転パターンを5年間も行ってきたにもかかわらず、特に異常は認められなかった。これにより、TMGは非常に信頼性の高い発電機といえる。

J T - 6 0 U プ ラ ン ト 監 視 用 系 統 図 表 示 と そ の 編 集 機 能 の 開 発

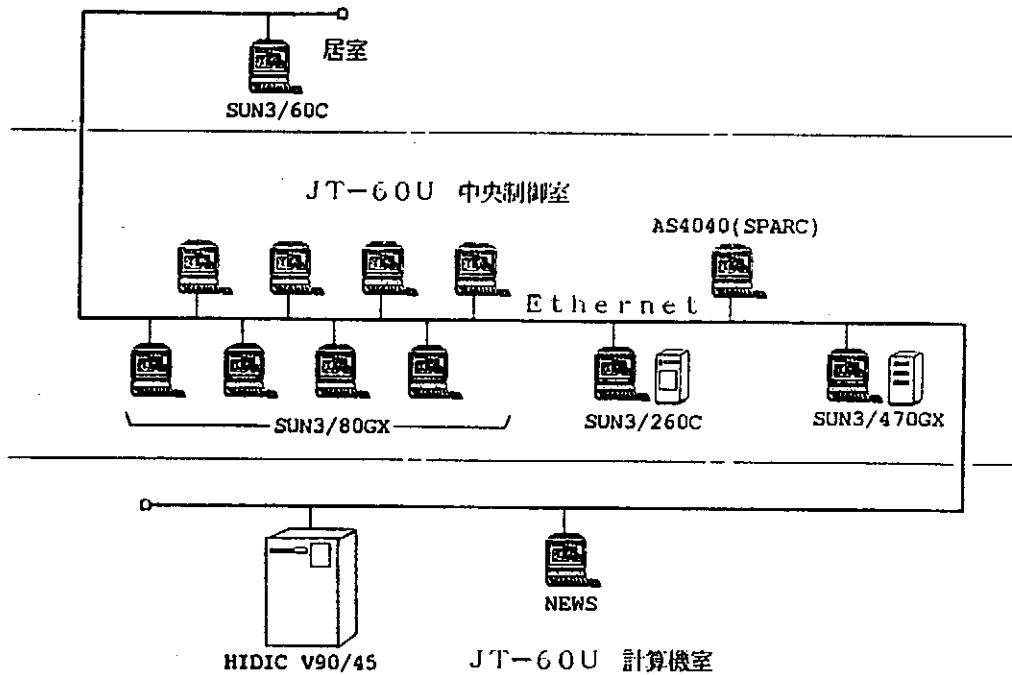
日本原子力研究所 那珂研究所

戸塚 俊之、赤坂 博美

1 はじめに

J T - 6 0 の 運 転 監 視 ・ 操 作 は、従 来 制 御 用 ミ ニ コ ン プ ュ ー タ に 直 結 し た C R T 端 末 を 用 い て 行 っ て い た。今 回、J T - 6 0 の 大 電 流 化 改 造 に 合 わ せ て、複 数 の ワ ー ク ス テ ー シ ョ ン (W S) を E t h e r n e t に よ る ロー カ ル ・ エ リ ア ・ ネ ッ ト ワ ー ク (L A N) で 結 合 し た 分 散 シ ス テ ム を 導 入 す る こ と に よ り、J T - 6 0 運 転 ・ 監 視 用 マ ン ・ マ シ ン ・ イ ン タ ー フ ェ イ ス の 機 能 向 上 を 図 っ た。

第 1 図 に J T - 6 0 U に 於 け る 運 転 監 視 用 ワ ー ク ス テ ー シ ョ ン の ネ ッ ト ワ ー ク 構 成 を 示 す。



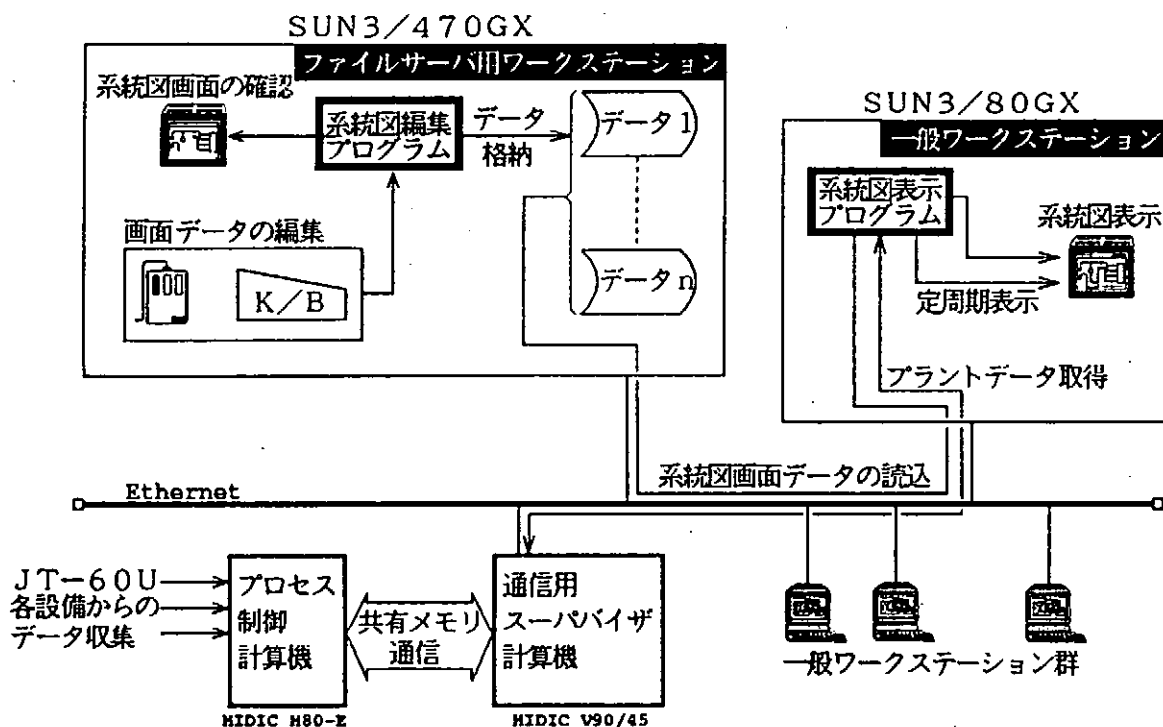
第 1 図 運 転 監 視 用 ワ ー ク ス テ ー シ ョ ン の ネ ッ ト ワ ー ク 構 成

- ・ H I D I C V 9 0 / 4 5 プラズマ制御用ミニコンとの通信及び、放電結果データファイルサーバ
- ・ S U N 3 / 4 7 0 G X 放電条件ファイルサーバ、マン・マシン用プログラムソース管理
- ・ S U N 3 / 8 0 G X 運転監視、放電条件作成
- ・ S U N 3 / 2 6 0 C 運転監視、プログラム開発
- ・ S U N 3 / 6 0 C 運転監視、プログラム開発
- ・ A S 4 0 4 0 運転監視、ハードコピー用プリンタサーバ
- ・ S O N Y N E W S プラズマ制御用ミニコンのソース管理

2 系統図表示・編集機能の構成

JT-60及びその周辺装置・機器のプラント状態データは、プロセス制御計算機（ミニコンピュータ）によりCAMA Cシリアル・ハイウェイを通じて周期的に取り込まれる。系統図表示機能は、これらのデータに基づき、プラント監視状態をWSのCRT上に表示するものである。JT-60は実験装置という性格上、システム改造が頻繁に行われ、それに伴い、プラント監視項目や系統図そのものの変更が必要となる。従って、この監視画面の修正・追加が容易に行えることが必須である。このため、系統図表示機能のソフトウェアは、表示プログラムと画面データを完全に分離した構成を採り、画面データを修正・追加することで表示内容の変更に対応できるものとした。さらに、本編集機能は系統図画面をWSのウィンドウ・システム上でマウス、キーボードを用いて直接作成できるという特徴を有する。系統図画面の内、シンボル等の固定画面は、アイコン形式で編集・登録が可能であり、プラント監視データ等の可変データについては、データ各々に割り付けられた番号と表示フォーマットを指定し、任意の場所にアナログ値を表示させることが可能である。また、シンボルに対して、デジタル値を持つデータを割り付けることにより、表示機能に於いてプラント監視データの状態変化時にシンボルの形状、色が変化する機能を有している。これらの編集機能で作成された系統図画面データは、WS上のUNIXファイルに任意のファイル名称で格納され、表示機能は、このデータを読み込み系統図を表示するとともにプラント監視データの表示更新をおこなう。

第2図に系統図表示、編集機能のソフトウェア構成を示す。



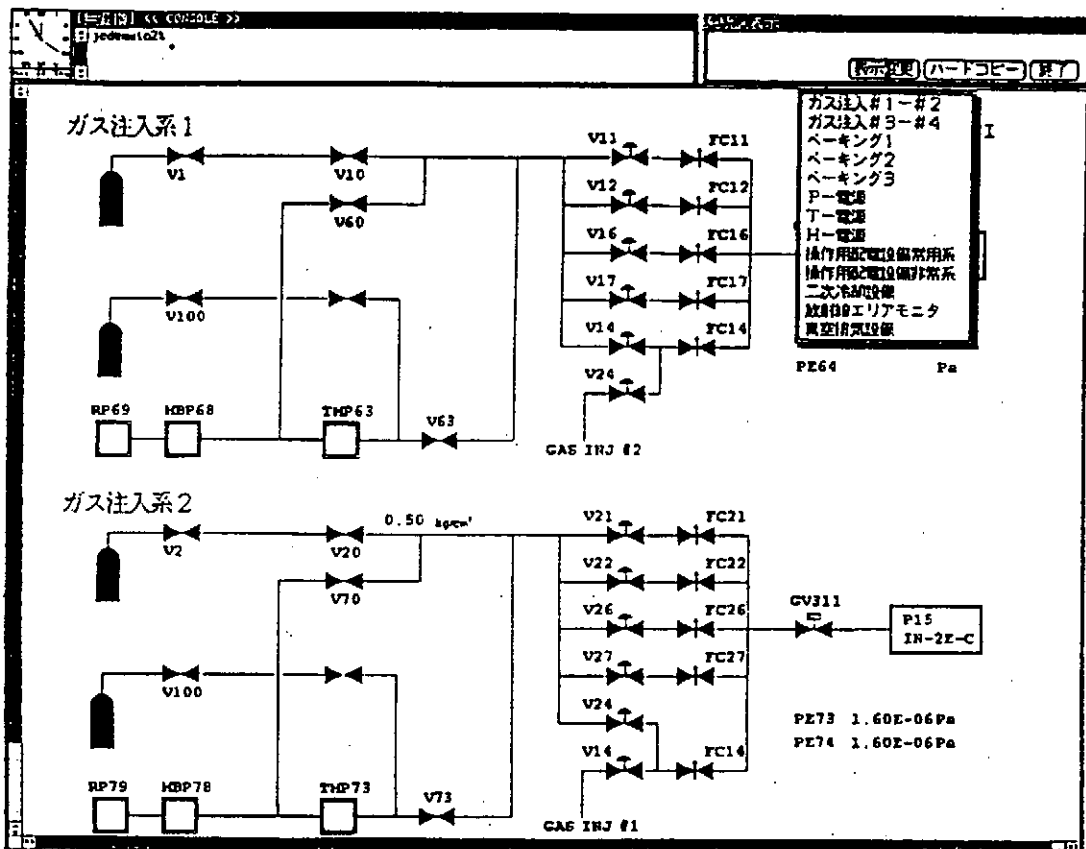
第2図 系統図表示・編集機能のソフトウェア構成

3 系統図表示機能

系統図表示機能は、予め作成されている系統図表示用データを基に系統図を表示し、J T-60U各設備から収集されたプラント監視データを定周期でワークステーション上に取り込みデータの状態変化に応じてシンボルの形状、色または、アナログ値を変化させる機能を有する。

また、系統図表示に係わる操作（起動、表示画面の切り替え、ハードコピー等）は、マウスによるメニュー選択で全ての操作が行えるものとし、従来のファンクションキー、テンキーによる操作に比べマン・マシン性の向上が図れた。

第3図に系統図表示画面の例を示す。

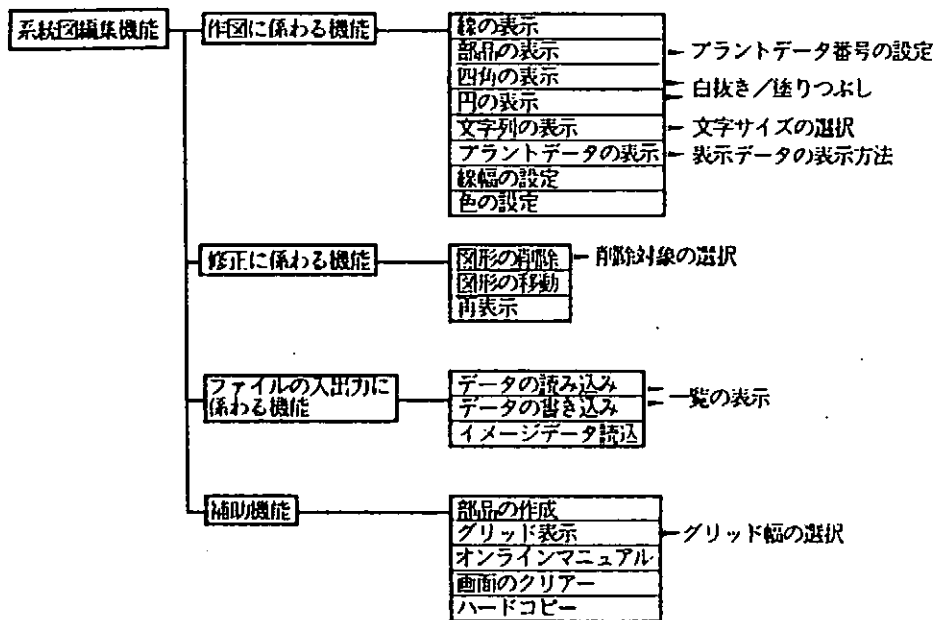


第3図 系統図表示画面の例

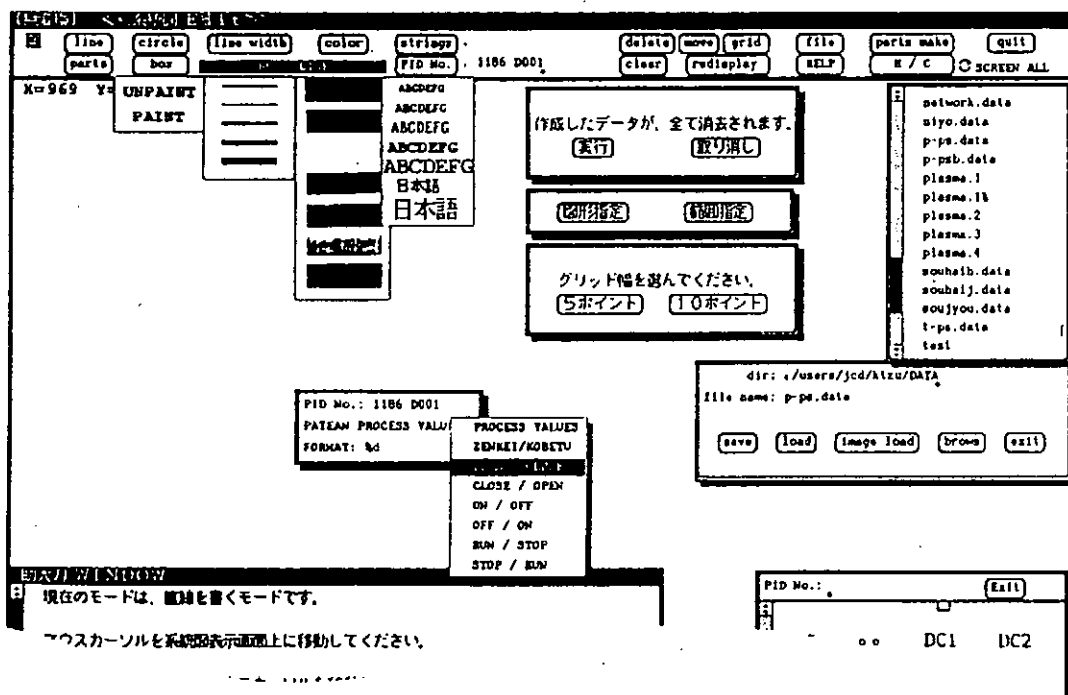
4 系統図編集機能

系統図編集機能は、第4図に示す機能から構成され、系統図表示のためのバックグラウンド画面、フォアグラウンド画面の作成及び修正を行う機能を有する。

CRT上の各機能ボタンをマウスで選択することにより、各機能の切り替えを行い機能によっては、それぞれのウィンドウがオープンし、機能毎のサービスを行う。機能の選択後、マウス操作により、直接系統図の表示位置、表示色等を確認しながら作成、修正を行える。系統図編集画面の各機能ウィンドウがオープンしている状態を第5図に示す。



第4図 系統図編集機能



第5図 系統図編集画面

5 まとめ

JT-60Uの新しいマン・マシン・システムとしてワークステーションを導入し、新たな系統図表示機能及びに系統図作成機能を開発したことにより、JT-60Uの各設備の改造、追加に柔軟に対応出来ると共に画面の切り替え操作の煩わしさの解消、画面情報の集約化が可能となり、従来の制御用ミニコンを使用した系統図に比べマン・マシン機能の向上、強化が図れた。

核融合トリチウム燃料サイクル研究施設

(原研トリチウムプロセス研究棟)

その I 設計及び建設

原研 ○松田祐二, 本間隆, 田中吉左右, 成瀬雄二

【はじめに】

原研トリチウムプロセス研究棟 (T P L) は, 核融合トリチウム燃料サイクルの基本となるプロセス技術及びトリチウム安全取扱技術を確立することを目的として建設された研究施設である。施設の設計及び建設に当り, 大量トリチウム取扱いに係わる安全性を確保するために留意した安全対策, 事故対策等の概要について紹介する。

【施設の概要】

T P L は, 大量トリチウム取扱いに係わる従事者の被ばく防止と周辺環境へのトリチウム放出低減化をはかるために, 多重隔壁格納の考え方を採用して建設された我が国初の研究施設である。表 1 は, T P L の概要を示したものである。施設は, 地上 2 階, 地下 1 階で全床面積は約 2,500m², その内, 管理区域は約 1,300m² である。尚, T P L は, 放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律及び核燃料物質の規制に関する法律に定める技術基準に適合し, かつ 1 日最大予定使用数量が 1,000 C i 以上の施設を対象にして作られた「トリチウム大量取扱施設安全審査専門家検討会報告書」に示されている指針を満たす施設である。

表 1 トリチウムプロセス研究棟 (T P L) の概要

目 的	核融合トリチウム燃料サイクルに関する工学研究 ○トリチウムプロセス技術の開発 (精製, 回収, 同位体分離, 捕集, 透過等) ○トリチウム安全取扱い技術の開発 (格納, 除去, 廃棄物処理, 計量管理, 放射線管理等)
トリチウム許可量	○貯蔵量: $6 \times 10^5 \text{ C i}$ ○使用量: 年間使用数量 $2 \times 10^7 \text{ C i}$ 1 日最大使用数量 $2.5 \times 10^5 \text{ C i}$
トリチウム取扱量 (1991 年現在)	○貯蔵量: $1.6 \times 10^5 \text{ C i}$ ○使用量: 実験装置 1 基当り $2 \times 10^4 \sim 10^5 \text{ C i} / \text{回}$
施設 の 特徴	○小型装置によるプロセス, コンポーネントの技術開発 ○実験に融通性がある 装置の設計法, 最適操作条件
経 緯	○1984 年 5 月 建家及び同付帯設備完成 ○1985 年 6 月 安全設備完成 コールドでの性能試験開始 ○1986 年 9 月 ウラン使用許可 ○1987 年 1 月 トリチウム使用許可 ○1988 年 1 月 実験装置完成 ○1988 年 3 月 トリチウムガス $2.5 \times 10^4 \text{ C i}$ 米国より搬入 (第 1 回目) 本施設のホット試験開始 ○1989 年 3 月 トリチウム貯蔵量 $6 \times 10^5 \text{ C i}$ 米国より搬入 (第 6 回目)

【安全設備の構成】

図1は、TPLにおけるトリチウム格納・除去の概念を示したものである。

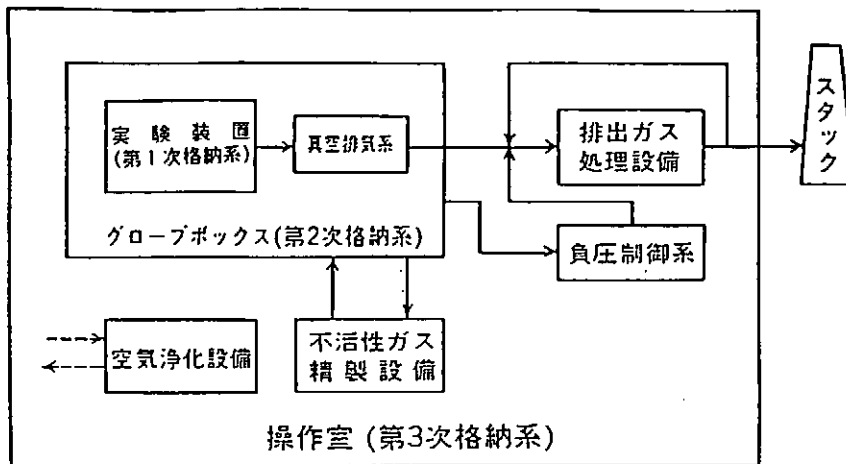


図1 トリチウムプロセス研究棟におけるトリチウム格納・除去の概念

トリチウムの第1次格納系となる実験装置は、個々の実験条件（圧力、温度、トリチウム濃度、トリチウムの化学形）に対処できるトリチウム透過・漏洩防止及び実験後のトリチウム回収方法に十分配慮して設計、製作した。第2次格納系は、グローブボックス、並びにグローブボックス雰囲気ガス中へ実験装置から透過・漏洩したトリチウムの除去設備である不活性ガス精製設備（GPS）から構成される。実験装置及びグローブボックス負圧制御系からの排出ガス、並びにTPL内で発生する諸々の排ガス中に含まれるトリチウムを除去する高性能の排出ガス処理設備（ERS）が、第2次格納系に付加されている。第3次格納系は、異常時に作業環境へ漏洩したトリチウムの格納容器として機能する気密構造の操作室、並びにトリチウムの除去設備である空気浄化設備（ACS）から構成される。図2は、TPLの安全設備の全体構成を示したものである。

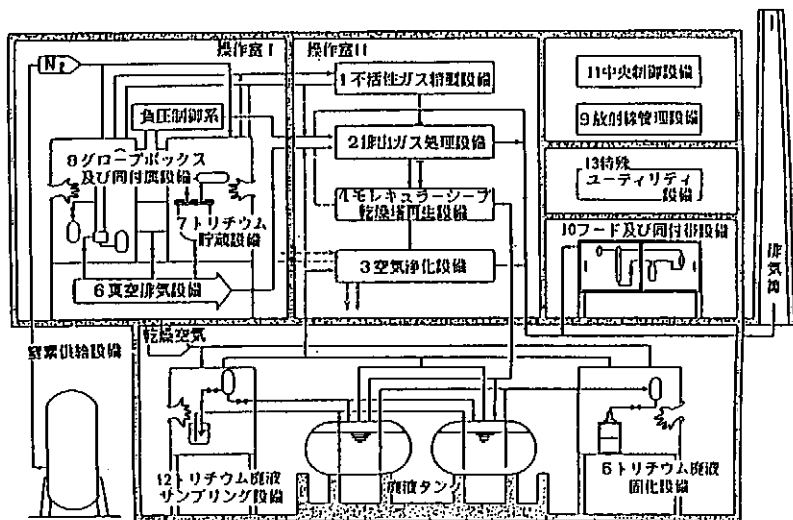


図2 トリチウムプロセス研究棟の安全設備の構成

ホット試験に先立ち、グローブボックスの気密、各トリチウム除去設備の性能、操作室の気密等についてコールド試験を実施し、所期の設計基準を満たしているを確認した。窒素ガス雰囲気中のグローブボックスの気密度を酸素ガス濃度法で測定したところ 10^{-3} vol\%/hr レベルであり、設計基準値の $1/100$ という良好な結果が得られた。トリチウム除去設備の性能試験の一例として、異常時にグローブボックス内に放出されたトリチウム除去の過程を模擬した試験結果を図3に示す。この図から、換気流量が多い $100 \text{ m}^3/\text{hr}$ 合は計算どおりグローブボックス中の水素ガスは除去されるが、 $50 \text{ m}^3/\text{hr}$ の場合は除去に遅れがあることが分かる。この試験結果に基づき、グローブボックスへの給気ラインを均等に行きわたるように改造したところ、このような現象は観測されなくなった。

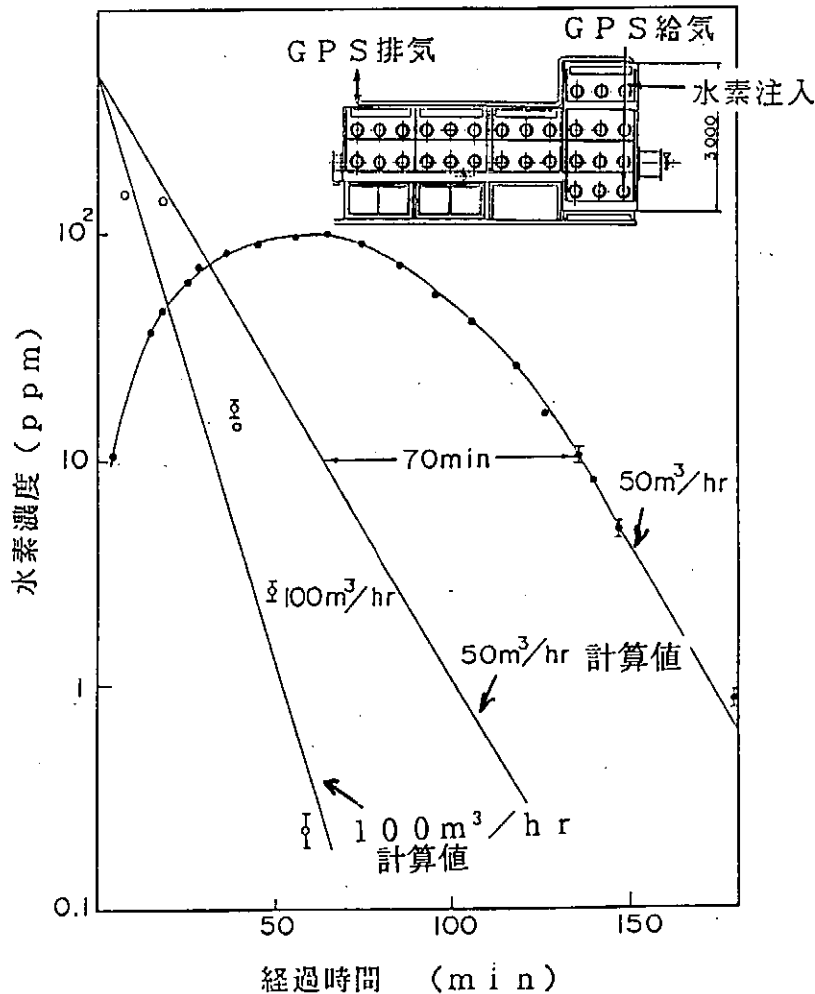


図3 GPSによる水素ガスの除去特性
(グローブボックス上部に水素ガスを注入)

操作室の気密は、気密構造の扉及び貫通部の採用、排水系に水封タンクの設置、換気系に気密構造型緊急遮断弁の設置等の対策を施した結果、設計基準値の 0.1 vol\%/hr を満たすことができた。

【区域分けと風向の管理】

トリチウムの取扱量に応じてホットおよびセミホット区域の管理区域と非管理区域に区分した。この区域分けに従って独立した空調換気設備を設置し、大気との差圧を制御する方法で風向を管理した。図4は、管理区域空調換気系の概念を示したものである。操作室の空調換気系には、トリチウムモニタにより駆動する緊急遮断弁を設け、異常時に空調換気系と隔離できるようにした。

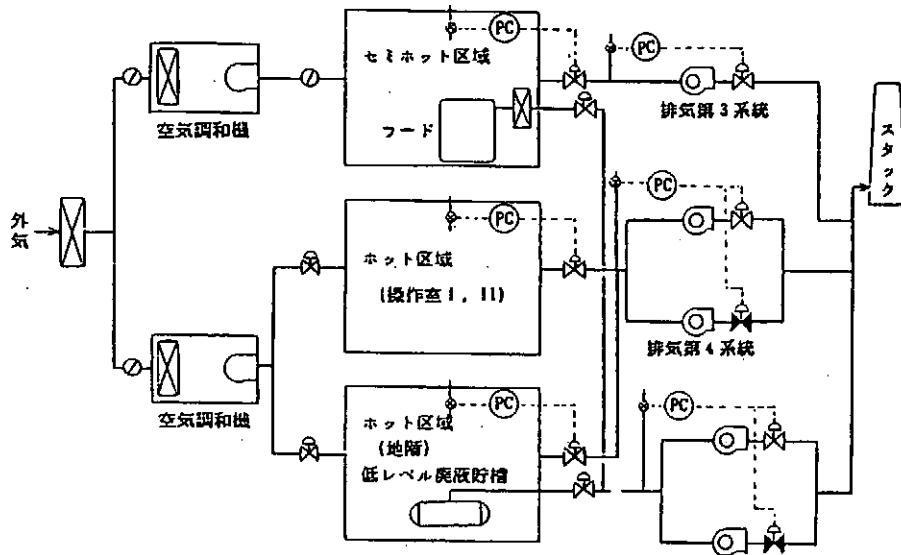


図4 TPL管理区域空調換気系統の概念

【火災、爆発等に対する安全対策】

TPLでは、火災、爆発等の予想される事態に備えて表2に示すような安全対策を講じている。

表2 主な安全対策

事象	対策
火災・爆発	不燃材料・難燃材料の使用 トリチウム実験装置は、不活性ガス雰囲気 グローボックス内に設置
建漏停	建家及びトリチウム取扱い機器は耐震Bクラスに相当 床排水は、貯留水槽へ流入 安全上重要な設備の作動・動作は、非常用及び無停電電源による
家水電	

【まとめ】

コールド試験及びホット試験を通じて、TPLの施設及び設備が所期の設計基準値を満たしていることを確認することができた。

核融合トリチウム燃料サイクル研究施設 (原研トリチウムプロセス研究棟)

そのII 運転及び安全管理

原研 ○本間 隆、松田祐二、成瀬雄二、T P L 運転管理グループ

【はじめに】

原研トリチウムプロセス研究棟 (T P L) では、1988年3月よりグラムレベルのトリチウムを使用したホット試験を開始した。現在までに、 5.92PBq ($1.6 \times 10^5\text{Ci}$) のトリチウムガスが受入れられ、プラズマ排ガスの精製・捕集・回収 (F C U)、水素同位体分離、分析測定等の各種プロセス及び安全取扱いに係るホット試験を実施している。以下に、T P L 施設のホット運転とその際の安全管理の概要について紹介する。

【ホット運転時の各設備の運転状況】

① トリチウムガスの貯蔵操作

T P L 施設でのホット試験に供するトリチウムガスは、1988年3月から1989年3月までに米国 O R N L に於いて輸送容器に充填され、6回 [925TBq ($2.5 \times 10^4\text{Ci}$) を4回、 1.11PBq ($3 \times 10^4\text{Ci}$) を2回] に分けて搬入された。輸送容器・ガスシリンダーから T P L 内のトリチウム貯蔵設備 (T S S) へのトリチウム移送操作は、容器の搬入の都度グローブボックス (G B) 内で実施された。

トリチウム貯蔵操作時は、図1に示すように不活性ガス精製設備 (G P S) を循環運転、すなわち T S S を格納する G B 雰囲気循環及び負圧制御を行ないつつ、トリチウムの除去を行なった。トリチウム貯蔵操作に伴い、ガスシリンダー盲キャップ取外し時に G B 10 のトリチウム濃度の上昇 (Max 値 $2 \times 10^{-4} \mu\text{Ci}/\text{cm}^3$) がみられたが、G P S により $370\text{mBq}/\text{cm}^3$ ($1 \times 10^{-5} \mu\text{Ci}/\text{cm}^3$) 以下のトリチウム濃度まで短時間で低減できた。この貯蔵操作に於いては、作業環

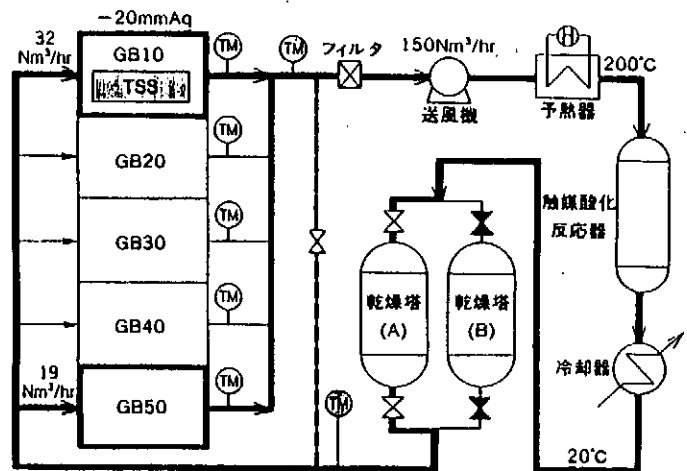


図1 トリチウム貯蔵操作時の不活性ガス精製設備 (GPS) 運転状態

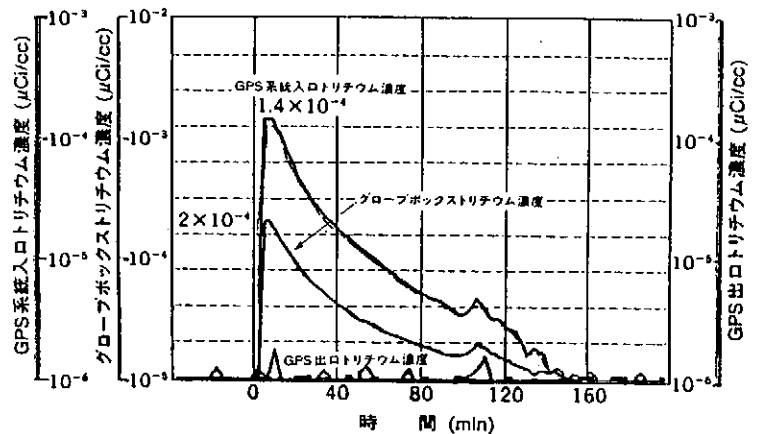


図2 シリンダ盲キャップ取外し時のトリチウム濃度の時間変化

境のトリチウム濃度の上昇は観測されなかった。図2にこの操作に於けるGPS各部のトリチウム濃度の時間変化を示す。

② トリチウムを用いたホット試験

TPL施設のホット運転開始後、今まで、トリチウム供給操作を8回、トリチウムを使用した各種プロセス及び安全取扱いに係るホット試験を11回、実施している。これらのホット試験でのトリチウム使用量は、1実験当たり平均370TBq (10⁴Ci) である。FCUを始めとするホット試験を開始するに当たっては、370TBq (10⁴Ci) オーダーのトリチウムガスを吸蔵した供給ベッドを実験装置と接続し、少量のトリチウムによるリークチェックを行って装置の気密性を確認した。

ホット試験開始後、今までに実験装置から漏洩したトリチウムは、185GBq (5Ci) 以下でありGPSにより安全に回収した。

試験終了後、供給ベッドに大部分のトリチウムガスを回収した。系内をクリーンアップした時に、100Ciオーダーのトリチウムガスが真空排気設備を経て排出ガス処理設備(ERS)で処理されたが、スタックでのトリチウム濃度の上昇は観測されなかった。

③ ホット機器の保守作業

トリチウムに汚染された系統を開放しての作業として、ERS圧縮機のダイヤフラムの交換、GPS送風機の分解点検、FCUコンポーネントの交換等の作業を行った。機器開放時の汚染空気は空気浄化設備(ACS)で処理した後、スタックから排気した。保守作業時の作業環境の濃度管理は、簡易テント等による隔離、フレキシブルダクトによる排気と風向管理により行なった。ホット機器の保守作業に於いては、実験室の空気中のトリチウム濃度の上昇及び問題となる内部被曝はなかった。

【安全管理】

① TPL安全設備の処理実績

ホット運転開始から現在までのTPL安全設備の運転実績及びスタックからの排出量を表1に示す。ホット運転開始以来、トリチウムを取扱う一次系の排出ガスはERSで処理[モレキュラー・アブソルション乾燥塔で捕集された3年間のトリチウム総量：約137TBq (3700Ci)]した。この3年間にスタックから排出されたトリチウムの総量は、17.8GBq (481mCi)に過ぎなかった。

表1. TPL安全設備の運転実績とスタックからの排出量

設備名	不活性ガス精製設備 (GPS)		排出ガス処理設備 (ERS)	空気浄化設備 (ACS)		スタック
	グローブボックス 雰囲気ガス(N ₂)の 循環処理	グローブボックス 負圧制御		グローブボックス 雰囲気ガス(空気) 及び機器の保守点 検・分解時の汚染 空気の処理	異常時の室内 空気の処理	
1988年 3～12月	1.263 × 10 ⁵ m ³ 2.033 hr	6.711 hr	2.723 m ³	28.590 m ³	0	2.8GBq (69.9mCi)
1989年 1～12月	6.898 × 10 ⁵ m ³ 7.666 hr	8.624 hr	2.370 m ³	10.579 m ³	0	9.1GBq (244.7mCi)
1990年 1～12月	1 × 10 ⁶ m ³ 7.499 hr	7.947 hr	1.454 m ³	5.843 m ³	0	6.2GBq ²⁾ (168.6mCi)

* シリカゲルトラップ及び触媒酸化反応器からなる分離捕集器及び液体シンチレーションカウンタを用いて測定
 ** 1990年1～9月までの総合計

② トリチウム廃棄物処理

TPL安全設備ERS、GPS及びACSのモレキュラーシーブ乾燥塔を現時点で16回再生した。回収されたトリチウム水は、約230ℓ、74TBq (2000Ci) であり、これは中・高レベル廃液貯槽及び密閉容器に安全に保管されている。廃液貯槽はERSで常に負圧に保持している。

【まとめ】

TPLでは大量のトリチウムを取扱ってきたが、作業員のトリチウム被曝を防止し、作業環境及びスタックのトリチウム濃度を管理基準値以下に維持することができた。

放射光 X 線用 ビームライン BL-3A の光学系について

高エネルギー物理学研究所 森 丈晴, 佐々木 聡, 三国 晃

高エネルギー物理学研究所・放射光実験施設のビームライン BL-3A は、X 線領域での回折・散乱・吸収実験を主目的とする実験ステーションである。BL-3A は、放射光実験施設の 2.5 GeV リング内の偏向電磁石から出射される放射光を光源としており、光学系として 2 結晶モノクロメーターと 2 組の X 線ミラーを備えている。この光学系を用いると、入射 X 線をモノクロメーターの第 2 結晶によって水平方向に、2 組 (M1, M2) のミラーによって垂直方向に集光することができる。また、M1 ミラーによって、垂直方向に平行性の良いビームを作り出すこともできる。

1989 年 12 月に放射光をビームラインに初めて導入して以来、各種立ち上げ実験を行なってきた。その結果、検出器位置 (光源点から 27.5 m) で、垂直方向を 1/40 に、水平方向で 1/60 に絞ること (集光) ができた。

1. 光学系の概要

放射光は、指向性の良い強力な白色光である。しかし、光源点ではスポットとみなせる程小さな放射光も、実験を行なう試料位置では水平方向 100 mm・垂直方向 8 mm という大きさになる。一方、BL-3A では、数十 μm という小さな試料に強力な単色 X 線を照射する実験や、微弱な信号を検出するため強い X 線が必要な実験が行なわれてきている。

この様な実験にも対処できるように、BL-3A には、放射光連続 X 線から必要な波長の X 線だけを分光抽出し、集光する機能をもたせている (図 1)。二結晶モノクロメーター (Mo) には 2 枚のシリコン結晶があり、この結晶面でのブラッグ反射を利用して分光される。水平面内集光は、第二結晶の Si (111) を円筒面に曲げることによって行なわれる (サジタル集光, 図 2 参照)。BL-3A では、第二結晶に三角形櫛形に加工した結晶を用いている。この結晶の底辺部をクランプして留め頂点を押して円筒面に曲げている。第二結晶のホルダー

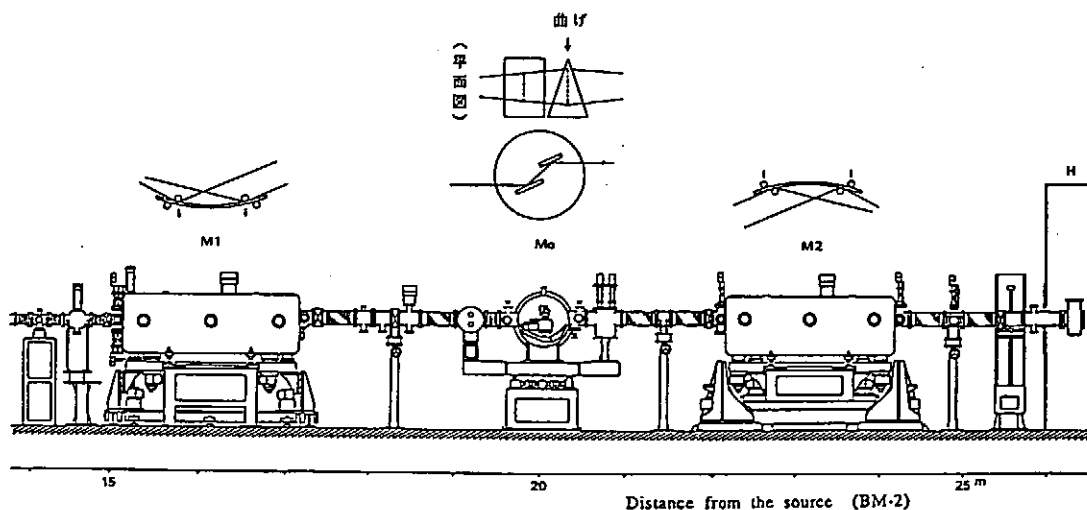


図 1 BL-3A の側面図。放射光は、図の左側からパイプを通りハッチの中まで導入される。Mo: 二結晶モノクロメーター (光源から 20m 地点), M1: X 線ミラー (光源から 16m 地点), M2: X 線ミラー (光源から 23m 地点)。

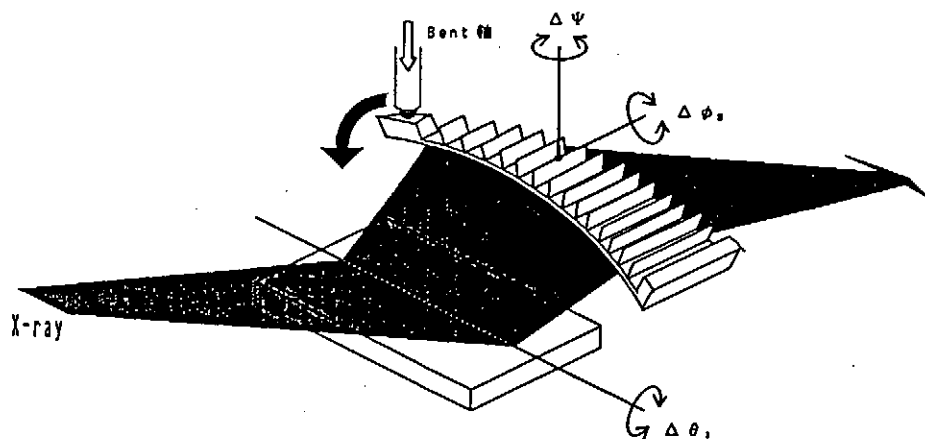


図2 モノクロメーターによるサジタル集光。第2結晶に三角形層形S1(111)結晶を用いている。その底辺部をクランプし頂点を押して、円筒面に曲げている。

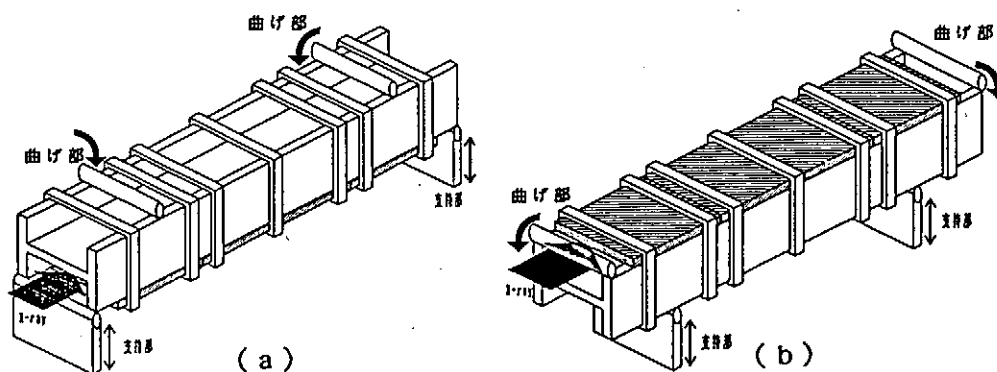


図3 X線ミラーの概念図。(a)M1ミラー、(b)M2ミラー。ミラー本体(図の斜線部)とH鋼はクランプで留めてあり、X線は、その間を左から右へ通過していく。

には、ベンダーのほか、あおりと結晶面内回転の調節機能が付いている。

一方、X線ミラーによる垂直面内集光は、M1・M2それぞれで、平板ミラーを放物面に曲げることによって行なわれる。まず、M1ミラーで光源を焦点とする放物面に曲げ、より平行な放射光がモノクロメーターに入るようにする。次に、試料位置を焦点とする放物面にM2ミラーを曲げる。M1・M2ミラーは、放物面に曲げるため、それぞれ2(+2)点支持・2点押しの方式をとっている(図3)。平板ミラーであるため曲げ量を変えることで、楕円をはじめ種々の曲面に曲げることもできる。平板ミラーは熔融石英に白金を蒸着したもので、中央に0.7mを配した3枚1組で全長1.5mのミラーとなっている。このミラーは、H鋼と反射面を向い合わせにクランプで留めてあり、H鋼を曲げることによりミラーが追従して曲がる。H鋼は、M1では外側2点支持・内側2点押しの形で、M2では内側2点支持・外側2点押しの形で曲げられる。X線は、ミラーとH鋼の間を通過して反射して行く。

2. レイトレース(光線追跡法)

BL-3A光学系での集光の様子をコンピューターを用いて計算した。ここで用いたレイトレース法(光線追跡法)のプログラムは、SRXRAY¹⁾である。このプログラムでは、放射光の光線を擬似的に2601本発生させて、これらの光

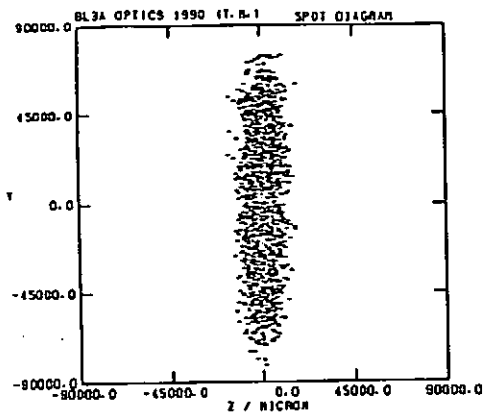


図4 レイトレースで計算した光線が結ぶ像（無集光）。縦軸(Y):ビームの水平方向座標、横軸(Z):ビームの垂直方向座標。

表1 レイトレースで計算した焦点（光源点から27.5m）でのビームサイズ。垂直集光で水平ビームサイズが縮小しているのはミラー面から外れた光線があるためである。

計算条件	垂直方向 ビームサイズ [mm]	水平方向 ビームサイズ [mm]
無集光	33	160
垂直面内集光	0.14	120
水平面内集光	1.2	0.94
垂直・水平両面内集光	0.69	1.5

線が、結晶面やミラー面で反射された後どの様な像を結ぶかを計算する。この様にして計算した入射X線の断面での形状を、ビームの進行方向に垂直面内で例として示す(図4)。

レイトレースの計算結果を表1に示す。垂直面内集光では、垂直方向160mmのビームが約1/200の0.14mmまで絞れることが期待できる。また、垂直・水平両面内集光の場合、垂直方向33mmのビームが約1/50の0.69mmに、水平方向160mmのビームが約1/100の1.5mmに絞れることが期待できる。

3. 光学系性能評価実験

3-1. M1・M2ミラーによるX線の垂直面内集光

M1ミラーで入射X線を最も平行化した後、M2ミラーを曲げて集光を試みた。このときX線ミラー(M1, M2)の臨界角は、3.4 mradに固定され、モノクロメーターで便宜的に0.8 Åの波長を選んだ。M2ミラーを理想放物面に対応する曲げの量に曲げた後、両側同量曲げを行なった。集光度を、垂直ビームサイズと、上下0.3mmに絞ったスリットを通過してきたX線の強度で評価し

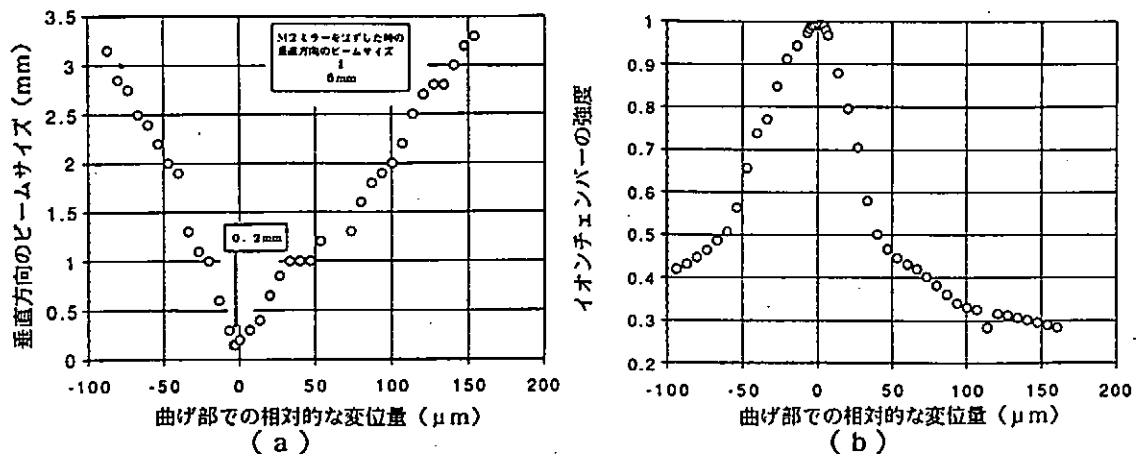


図5 垂直面内集光の結果。(a)M2ミラーの曲げ量と垂直ビームサイズの関係、(b)M2ミラーの曲げ量とX線強度の関係。

た。X線の強度は、イオンチェンバーで測定した。

図4にその結果を示す。曲げ量に対し垂直ビームサイズで一つの極小が現れ、その値は0.2 mmであった。レイトレースからの計算値0.14 mmに非常に近い。曲げ量とX線の強度との関係もビームサイズの変化とよく対応しており、X線の強度で一つの極大が見られる。強度の極大とサイズの極小は一致している。

3-2. モノクロメーターによるサジタル集光

水平方向の集光はモノクロメーター第二結晶で行なった。集光度についての評価実験は、ビームサイズ(横)と、左右1.5 mmに絞ったスリットを通過したX線の強度を調べることで行なった。X線強度は、イオンチェンバーで検出した。結果を表2に示す。0.7 ~ 2.1 Åのどの分光波長でも水平方向約100 mmのビームを1.5 ~ 2 mm程度にまで絞ることができた。1.6 Åと2.1 ÅのX線について強度変化を測定したが、集光前の20倍程度の利得であった。

表2 サジタル集光実験の結果。I_B:集光後のX線強度, I_F:集光前のX線強度。

分光波長 [Å]	水平ビームサイズ [mm]	I _B /I _F
2.1	1.5	1.6倍
1.6	1.4	1.8倍
1.1	1.2	—
1.0	1.5	—
0.9	1.5	—
0.8	2.0	—
0.7	2.5	—

4. 現状と今後の展望

以上の評価実験で、高度の集光が出来ることが確認され、現在、集光光学系を用いたX線実験が精力的に行なわれている。

この様に非常にうまく集光できたと思われるが、特にミラーについては、厳密に放物面に曲げられているかどうか分かっていない。M1ミラーを入れることで平行性が増したことはX線光学的に観測できたが、どの程度放物面に近いか定量的なところは不明である。この方法もモノクロメーターの分解能をあげるには有力である。実験内容が広がるにつれ、今後益々ビームラインでの光学系の組合せが複雑になっていくであろう。新たな集光光学系を設計していく上での基礎データとして、ミラー面がどの様に曲がっているかを直接測定することが必要となってくる。現在、歪ゲージ、レーザー干渉などを用いミラーがどれだけきれいに放物面に曲がっているか測定している。

参考文献

- 1) Y. Muramatsu, Y. Ohishi and H. Maezawa, Development of a Ray Tracing Program for Synchrotron Radiation, "SRXRAY v.1", KEK Internal, 87-10 (1988).

高速遮断バルブの負荷動作試験

高エネルギー物理学研究所 菊地貴司 三国晃

1. はじめに

高エネルギー物理学研究所・放射光実験施設の2.5 GeV陽電子蓄積リングの偏向電磁石から出射される放射光を利用して、ビームライン27では、放射性同位元素を含む物質の軟X線から硬X線領域での実験が計画されている。この中で軟X線領域のビームラインは、リングとの真空の遮断を厚さ7.9 μm のポリイミドフィルム（カプトン）を用いて行う。このために万一のカプトンフィルムの破断による放射性同位元素の飛散を最小限に防止する必要がある。高速遮断バルブ（FCV）の主な目的は、万一のビームラインからの真空リーク事故に対してRINGの真空を保護することに用いているが、今回のテストしたFCVは、放射性同位元素の飛散を防止する目的に用いるものである。今までは主に東芝製のFCVが使用されていたがビームラインのスペース等を考慮してVAT製のFCVについて負荷動作試験をおこなった。その結果アブソーバーを2枚使用することによって所期の目的を達成することが出来ました。

2. 高速遮断バルブの概要

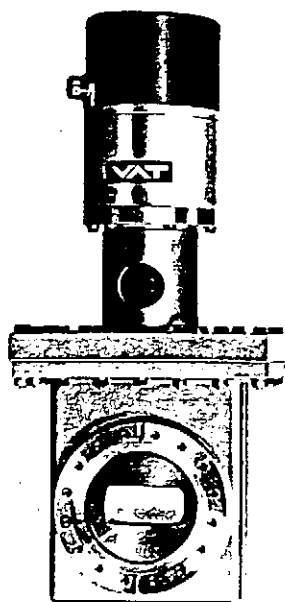
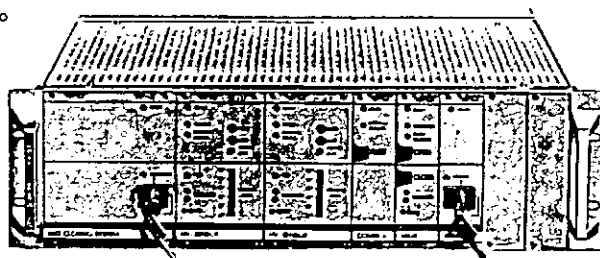


図 1

本体とコントローラーを図1に示す。バルブ本体のサイズは、高さ530 mm、横幅170 mm、面間80 mm。口径は縦35 mm、横70 mmになっている。フランジはコンフラットフランジ152が使用されていて重さ22 Kgある。コントローラーはコールドカソードゲージのセンサーが2台接続出来るようになっており、センサーの設定値は $10^{-3} \sim 10^{-8} \text{ mbar}$ の間で設定出来るようになっている。今回のテストは $1 \times 10^{-5} \text{ mbar}$ の設定で行いました。



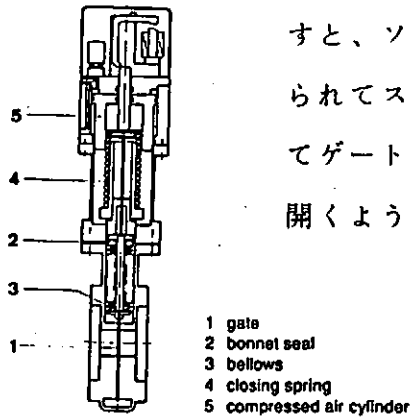


図 2

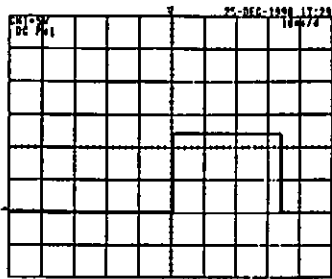


図 3

図 2、が F C V の断面図です。動作原理を簡単に紹介しますと、ソレノイド電磁石に通電されるとアームが引き付けられてストッパーが外れ、 $5 \text{ Kg} / \text{cm}^2$ の圧力空気によってゲートと一体になっている軸が持ち上げられてゲートが開くようになっています。このとき外側のバネも引っ張られて伸びた状態になります。この状態で真空の悪化が感知されるとバネの戻る力でバルブが閉じます。バルブの閉まる時間はカタログ

には 10 msec 以下と記載されていますが、これはゲートの先端が開口部の下側の面をよぎる時の時間をいっています。実際に閉信号が感知されるまでの時間をデジタルオシロスコープで測ったのが図 3 に示したものです。この図を見ますと閉信号が感知されるまでに 3.4 msec かかっています。これについての V A T 社の説明は、いきなりリミットスイッチを叩いて壊さないようにショックアブソーバーが入っているのでこの様になっているとの事でした。

3. テストラインの概要

負荷動作試験を行うに当たって図 4 に示す様なテストラインを組みました。これは、実際に B L - 2 7 のビームラインに設置するものとバルブ、排気ポンプの位置、配管の長さなどを疑似的に合わせて配置したもので全長約 7 m あります。

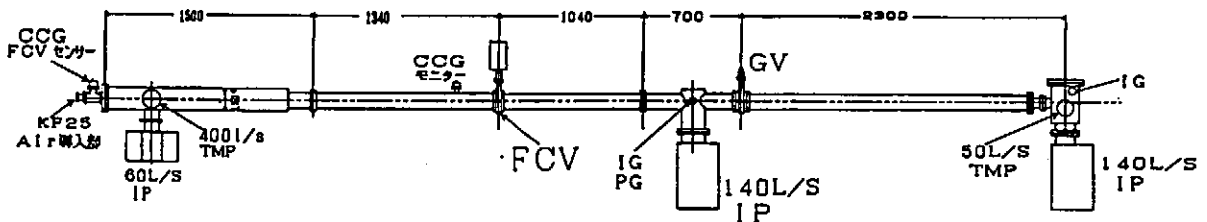


図 4 テストラインの概略図

3.1 試験方法

試験は、テストラインの真空を実際に使用する圧力 (10^{-2} Torr) 程度まで下げて行いました。先ず空気導入部のKF25のフタをハンマーでたたき落とすと約20φの穴を通して大気が入り、 1×10^{-5} mbarに設定されたセンサーが真空の悪化を感知してセンサーから約2.8m離れたところにあるFCVを閉めに行きます、同時にFCVのCLOSE信号を感知してゲートバルブが閉まるようにしてあります。ゲートバルブが閉まるのには約1秒かかります。また、FCV、及びゲートバルブ閉後の真空をFCV直後はピラニーゲージ、ゲートバルブの後方をシュルツゲージ及びヌードイオンゲージを用いて測定しました。配管内に何も入れない時、アブソーバーを1枚入れた時と2枚入れた時の三通りの方法について試験をおこないました。アブソーバーとして使用したダイヤフラムの口径サイズは、実験に使用されるビームサイズから決められたものである(図5)。アブソーバーの配置は1枚の時はセンサーから1390mmの位置に入れ、2枚の時はもう1枚をセンサーから590mmの位置に入れました。

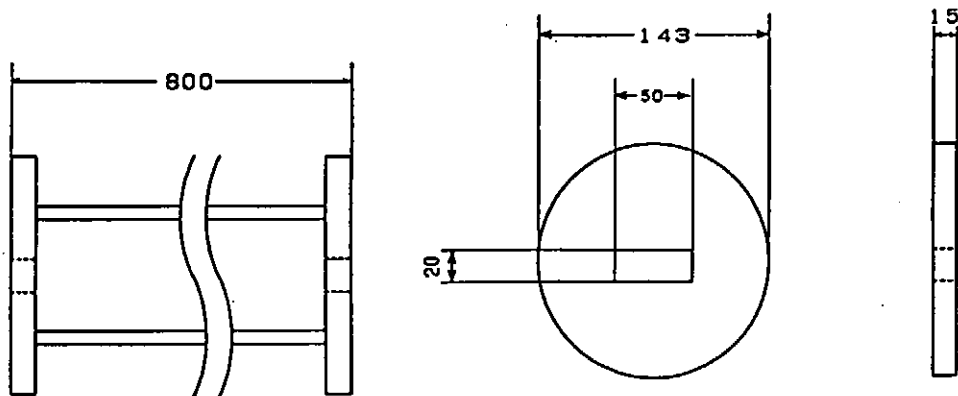


図5

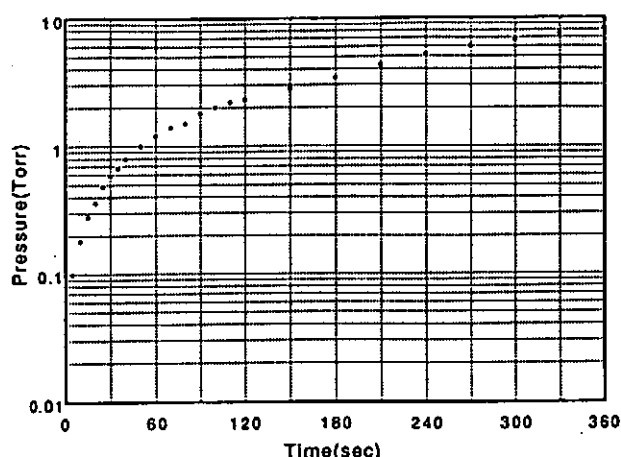
ダイヤフラム

3.2 試験結果

試験結果を図6と表1に示す。図6はFCV直後の圧力をピラニーゲージで測定した結果をグラフにしました。縦軸が圧力で 10^{-1} ~ 10 Torrまで、横軸は時間で360秒までを表示しました。アブソーバー無し、アブソーバー1枚、2枚について数回測定しましたが、立ち上がりの部分については読みとり誤差によるばらつきがあるもののほぼ同じ結果になりました。又このグラフからチャンバーの容積を34リットルとして、FCVのリーク量を計算すると $0.5 \sim 0.8$ Torr L/secでした。ゲートバルブ後方の圧力結果は表1の様になりました。

アブソーバー無しとアブソーバー1枚、2枚についてそれぞれ2回ずつ測定してみました。アブソーバー無しの時にはシュルツゲージの値は $2 \sim 5 \times 10^{-2}$ Torrでイオンポンプはトリップしてしまいました。アブソーバーを1枚入れた時は瞬間的に $5 \sim 8 \times 10^{-3}$ Torrまで悪化しましたが、イオンポンプが働いていたために6分後には 10^{-6} Torr台まで復帰しました。2枚入れた時には瞬間的に 10^{-5} Torrに悪化しましたが、1回目は6.6秒後、2回目は3.4秒後に 10^{-8} Torr台に入り、6分後に、ほぼベース圧力に回復しました。

図 6
FCV CLOSE後の圧力変化



アブソーバー	無し1	無し2	1枚(1)	1枚(2)	2枚(1)	2枚(2)
ベース(圧力)	$3.6E-08$	$9.0E-09$	$3.1E-08$	$8.6E-08$	$1.0E-08$	$2.8E-09$
瞬時値(シュルツゲージ)	$2.0E-02$	$5.2E-02$	$5.1E-03$	$8.0E-03$	$7.5E-05$	$8.8E-05$
6分後(IP)	トリップ	トリップ	$3.5E-06$	$3.0E-06$	*I $2.3E-08$	*II $1.0E-08$

表 1

*Iは、6.6SEC後
*IIは、3.4SEC後

4. まとめ

今回の試験結果からVAT社製の高速遮断バルブはアブソーバーを2枚導入することとゲートバルブの組合わせにより、数回の大気突入に対してもゲートの弁座の損傷、駆動系の異常等が見られずに所期の目的を達成することができました。

本、負荷動作試験に対して快くテスト用の製品を提供して下さいましたSKK(株)の川田鶴勇氏に深謝します。

ギャップスイッチ始動監視装置の開発とその効果

竹田 昭平 佐藤 康宏
(電子技術総合研究所)

まえがき : 大容量キャパシタバンクの制御には、多数のスイッチの並列運転、あるいは複数のバンクを予め設定する時間々隔で次々に始動させる、いわば直列運転とも言える動作を伴う。出力パルスの特性は、各スイッチが正常(許容ジッタ時間内)に動作したか否かに影響される。その判定は、出力波形を分析調査して行う。しかしこの方法が適用可能なのは波形に顕著な特徴が現れている場合で、さらに経験的に蓄積されたノウハウが必要である。また、最終的に不正動作するスイッチを特定することは不可能に近い。そこで、不正動作するスイッチを直接的かつ容易に検出できるシステムの開発を試みた。その結果について報告する。

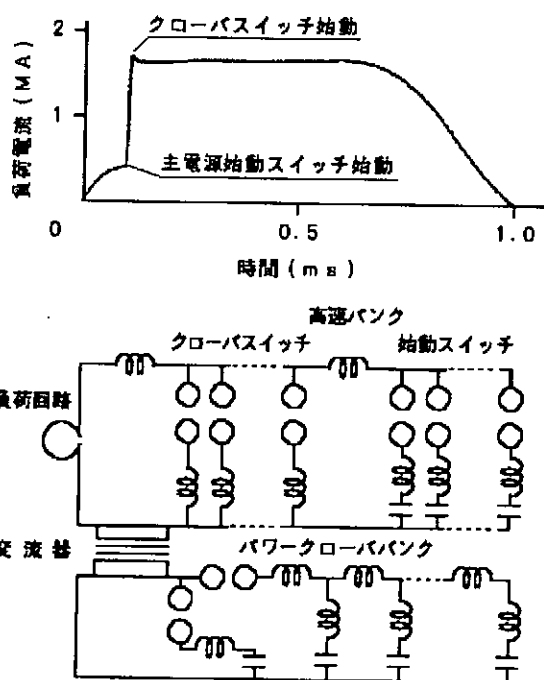
監視装置の機能と構成 : 始動監視装置の理想的機能は、監視するスイッチの動作時刻を検出するばかりではなく、各スイッチに流れる電流の波形とその値を計測できることである。さらに付随的には計測波形から通過電荷量を積算し、スイッチのエロージョンとの相関導出をも試みることができることである。

計測のセンサには、監視対象スイッチが加圧型火花ギャップであるため、動作時の発弧を検出する光センサ、始動音を検出する音響センサ、スイッチ内圧力変化を感知する圧力センサ等も検討した。しかしこれらの各センサは放電生成物による鏡面の汚損、応答特性、トリガ放電と主放電の分離、そして最も困難であると思われる入力信号を電流波形に変換してその値を求める較正手法等の観点から断念した。結局、電磁的に扱い易いロゴスキーコイルを採用する。

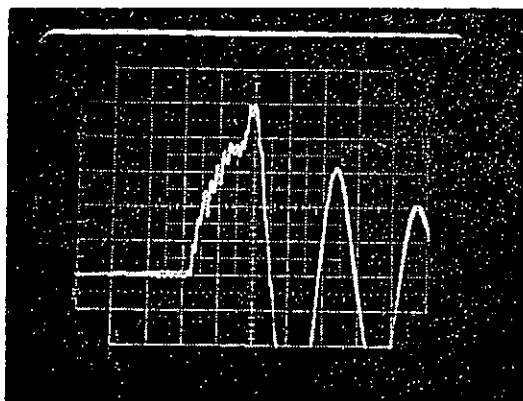
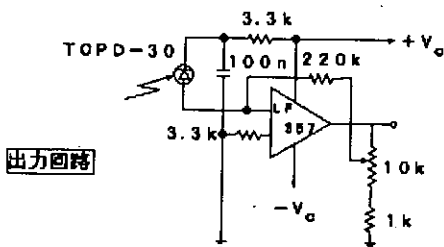
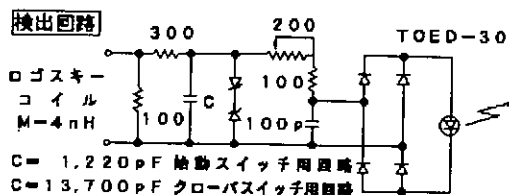
信号伝送は光ファイバーにて行う。光ファイバーおよび変換器の性能向上と低価格化により、信号伝送を光で行うことができたことが、このシステムを実用化させたといっても過言ではない。以前にも同様なシステムの適用を試みたが、伝送系が遮蔽同軸ケーブルなどの電氣的に接続するシステムであったため、監視スイッチ数が増すに従い電磁誘導除去が困難になり成功しなかった。

監視対象は、ETL-TPE2(1,2) 実験装置の電源を構成する各種キャパシタバンクの内のいわゆる高速バンクに設備されたスイッチである。バンクの基本的動作は、始動スイッチでキャパシタを負荷コイルに接続して急峻な立ち上がりの振動電流を発生し、この電流の最初の波高値近傍でクローバスイッチでキャパシタを短絡する。その結果、高速バンクのキャパシタへのエネルギー還流が阻止されると共に、これらのスイッチに先立ち始動するパワークローババンクから効率良く電流が供給され、負荷回路に急峻な立ち上がりで長波尾の単極性波形が発生する(第1図)(3)。

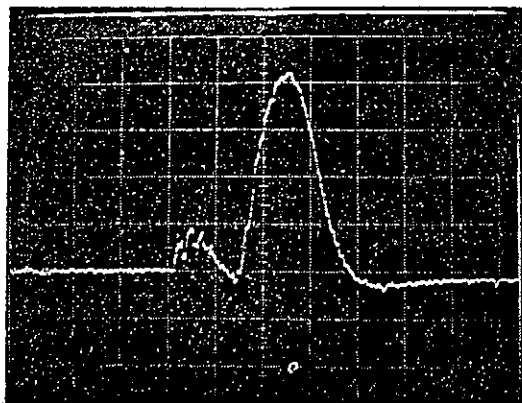
第2図は、予備実験した際の信号の検出・出力回路と出力波形である。検出回路ではロゴスキーコイルの起電力でLEDを発光させるので、外部からの給電は不要である。電気から光に変換(EO変



第1図 電流発生回路と負荷電流波形



始動スイッチ



クローバスイッチ

第2図 検出・出力回路と出力波形

予め規定する時間(許容ジッタ時間)内に始動する 正常動作 NORMAL
 IV) 許容ジッタ時間よりも遅れて始動する 遅延動作 DELAY (この状況には始動しない場合も含まれる)

これらの状況の内、III) 以外が不正動作である。各バンクの充電開始から放電終了までを常時監視し、動作状況を上記4ケースに判別表示する。I) が発生した場合、直ちに運転を停止し始動条件(充電圧、加圧ガス圧、プリセット始動時間遅れ、清浄空気によるスイッチ内洗浄など)の調整再設定が可能である。ただしそれ以外の不正動作が発生した場合、次の運転にその結果を反映させるにとどまる。また結果を記録することにより各スイッチの動作状況の履歴を知ることができ、発生ケースの頻度によって分

換)された信号を光ファイバーで転送、出力回路で受信して逆変換(OE変換)増幅出力する。以後信号は電氣的に処理可能である。検出回路は電池などの電源を必要としないため、小型軽量化が可能で日常的保守を省略できる。またロゴスキーコイルを除いて外部から電線等の引込みがないため、検出回路全体をシールドボックスに収納し電磁障害を容易に回避できる。検出回路と出力回路は光ファイバーで電氣的に絶縁されているため、この間の電磁誘導結合を考慮する必要がない。

出力波形を同軸ケーブルで電氣的に接続したシステムでの計測波形と比較したが、極めて良好な一致を見た。出力信号はスイッチの種類で極めて特徴的であるが、詳細は文献にゆずる(4)。

以上のように、所期の機能を達成する計測が可能である。

TPE2の高速バンクに関するスイッチは、始動スイッチ159台、クローバスイッチ255台、他にこれらのトリガ系に属するもの64台、計478台である(4)。これら全スイッチの出力信号を収録する装置を製作することは、原理的には可能であるが費用的には不可能であった。従ってシステムの機能を縮小せざるを得なかった。

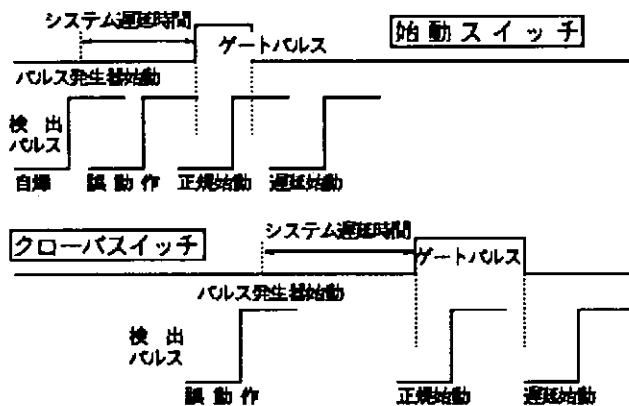
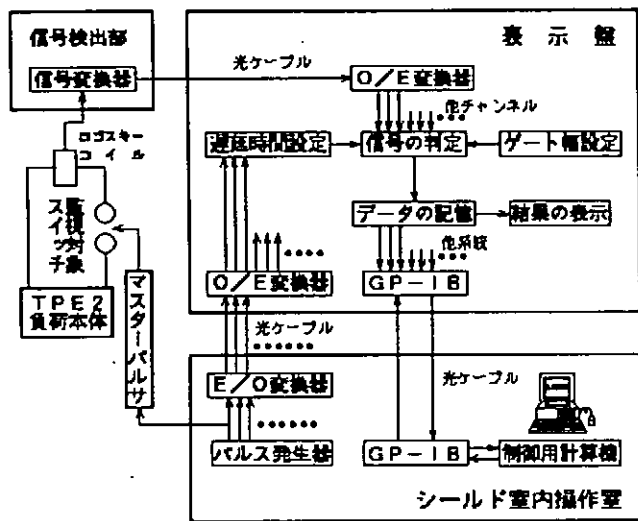
開発システムの機能: 収録装置の規模を縮小するために、スイッチの動作状況検出機能のみのシステム開発を目標にした。

スイッチ動作状況を発生可能な順に次の4ケースに大別、表記する。

I) キャパシタバンク充電中にトリガ無しで始動するいわゆる 自爆動作 BREAKDOWN (他のスイッチの自爆による誘導で始動するスイッチも含まれる)

II) 直列運転中、最初のバンクの始動後プリセット時間以前に誘導等により始動か、トリガ系の異常動作で始動する 誤動作 PREMATURE

III) プリセット時間でトリガされる時刻から



第3図 監視装置ブロック図と動作状況判別

で100 ns以下であることが確認されている。始動ジッタの出力波形への影響を調べるために、等価回路シミュレーションを行った⁽⁴⁾。一部のスイッチが正規の始動時刻より遅れて(あるいは進んで)動作した場合、電流波形は正規の値よりも減少する。全てのスイッチがジッタ無しで始動した場合を基準にして、この波形からの減少が1%以内である条件を求めた。例えば、始動スイッチでは半数が遅れて始動する場合が最悪のケースであるが、最も苛酷な結果はトロイダル磁界発生回路で、その限界は110 nsである。クローバスイッチでは、ポロイダル磁界発生回路で10%が始動しなかった場合でも1%以下であるが、先行始動する場合は400 nsが限界である。これらの結果から、装置の応答特性は100 nsのジッタを監視可能であるように構成した。

監視結果の表示と効果：判別分類された信号群を状態表示盤内メモリに一旦保存するとともに、スイッチ記号に対応して緑色LED (PREMATURE) か赤色LED (DELAY) で盤面に表示し、不正動作スイッチが直ちに特定される。

一時保存された信号群は、放電終了後計算機に転送され、フロッピーディスクに保存される。またディスプレイには不正動作スイッチの一覧および監視スイッチの全状態がバンク内の位置と共に示され、より直接的な情報を与える。不正動作スイッチの一覧はプリンタにも出力される。

第1表は出力データの一例で、上部が各バンクの遅延時間とパルス幅の設定値、次いで不正動作スイッチの一覧である。表では誤動作4台、遅延動作13台であった。非監視時には保存データを用いて種々の検索ができ、各スイッチの履歴を調査して適切な

解清掃や簡単な部品の交換のような日常的保守やオーバーホールの時期を判断する。

システムのブロック図および動作状況判別の模式図とともに、始動スイッチとクローバスイッチの動作状況の時間的關係を第3図に示す。

システム遅延時間は、パルス発生器始動後正常動作信号が出力されるまでのシステム構成上の遅れ時間であり、予め測定した値を設定する。

ゲートパルス幅が許容ジッタ時間に相当する。ゲートパルスと検出信号パルスとの相対的な時間關係により、動作状況が判別される。これらは、各バンクとその負荷の特性に固有の値である。

システムの制御と記録はパーソナルコンピュータにより自動化し、また費用の面から実質監視スイッチは始動用120台、クローバ用216台の制限を受けたため、監視バンクや台数の変更が容易に可能であるような運用上の自由度をもたせる。

許容ジッタ時間の検討：ジッタ時間は、パルス発生器と監視対象との間に介在する各スイッチの始動ジッタの累積値である。TPE2各バンクでは、この値が最良の始動条件下

処置を施すことが可能である。各検出回路の感度調整後、システムの運転を開始し、直接間接にその効果が示されている。

その幾つかを列記する。

I) 出力波形再現性向上；
システム設置の前後における各50回の記録から、減少率の平均値を求めた。結果はトロイダル磁界発生回路で設置前の13.8%から6.3%に低下しており、後述のオーバーホール後にはこの値が2.2%迄さらに改善された。

II) バンク保守性の向上；
蓄積データを整理して動作状況の履歴を知ることができるので、各スイッチの特性変化の状況を把握でき劣化スイッチを容易に特定できる。従ってスイッチの個別的保守とオーバーホール

時期を適切に処置できるようになった。例えば、トロイダルおよびポロイダル磁界発生回路用バンクの不正動作頻度の高い始動スイッチから順に6台選出し分解調査した結果、分圧抵抗の焼損、トリガ電極の位置変動等が発見された。オーバーホール前後において、これらのバンクで不正動作する始動スイッチの割合は、9.5%から1.8%へと1/5に低下した。

III) 自爆時運転停止効果；充電中の自爆検出は発生音や電圧計指示変化の目視に頼っていたため、検出ミスによって不平衡負荷電流や異常電流波形を発生する場合があった。

自爆発生時には、システムがブザー音でオペレータに注意を喚起させると共に、当該スイッチを特定する。オペレータは、バンクを接地し始動条件の確認と再調整を行う。その結果、上記事態の発生を防止し、自爆率そのものも大幅に改善された。

その他、間接的にはトリガシステムの動作状況確認等も可能である。

まとめ：本システムを導入することにより、不正動作スイッチを速やかに検出特定することが可能になり、スイッチ始動条件をショット毎に調整・設定し、またスイッチの動作状況の履歴を記録し、日常的保守やオーバーホールなどを適切に処置できるようになった。

このため出力パルスの再現性が向上し、システムを適用したキャパシタバンクを用いる実験の効率化を図ることができた。

(1) 木山他：“TPE-2計画の目標と設計概要”，電総研彙報 Vol. 50, No. 5, 6 (1986)

(2) 竹田他：“ETL-TPE2の電源-システム設計-”，同上

(3) 竹田他：“TPE2計画におけるパワークローバシステム”，電気学会プラズマ研究会資料，EP-82-23 (1982)

(4) 佐藤他：“ギャップスイッチ始動監視装置の開発とその効果”，電総研彙報 Vol. 54, No. 1 (1990)

第1表 プリンタ出力データ

Shot No. 10286
Date July 20, 1985 13:59
(MEMO)

.....preset data of gate pulse..... (RUCK A/RUCK B)

names	Delay (μs)	Window (μs)
BP-FA-ST	1.20/1.20	0.20/0.20
BP-FA-CR	3.50/3.50	0.50/0.50
BP-FA-ST	1.20/1.20	0.50/0.50
BT-FA-CR	2.50/2.50	0.70/0.70
BC-FA-ST	1.30/1.30	0.20/0.20
BC-FA-CR	2.50/2.50	1.50/1.50

{abnormal switches} error count: 17

names	No. of base	Name of base	No. of switch	condition
BP-FA-ST	3	PS-3	66	DELAY
BP-FA-ST	3	PS-3	93	DELAY
BP-FA-ST	3	PS-3	69	DELAY
BP-FA-ST	3	PS-3	91	DELAY
BP-FA-CR	7	PC-1	18	PREMATURE
BP-FA-CR	7	PC-1	80	PREMATURE
BP-FA-CR	7	PC-1	103	PREMATURE
BP-FA-CR	9	PC-3	75	PREMATURE
BT-FA-ST	14	TS-2-2	7	DELAY
BT-FA-CR	41	TC-3-1	145	DELAY
BT-FA-CR	41	TC-3-1	146	DELAY
BC-FA-CR	53	CC-2	11	DELAY
BP-FA-CR	12	PC-6	122	DELAY
BP-FA-CR	12	PC-6	121	DELAY
BT-FA-CR	47	TC-6-1	176	DELAY
BT-FA-CR	47	TC-6-1	179	DELAY
BC-FA-CR	54	CC-3	1	DELAY

大型ヘリカル装置本体設計における CAD/CAE

核融合科学研究所
米津宏昭* LHD設計室 技術部装置技術課

1. はじめに

核融合科学研究所大型ヘリカル装置 (Large Helical Device: LHD) は文部省に属する大等核融合研究機関の主たる核融合研究計画として、岐阜県土岐市に1997年の実験開始をめざして現在設計、建設を進めているヘリカルプラズマ実験施設である。図1にLHDの完成予想図を示す。LHDの装置特徴は、ヘリカルコイル及びポロイダルコイルに超伝導コイルを使用し、その生成される(定常)プラズマがねじりはちまきの様なヘリカル形状であることにある。

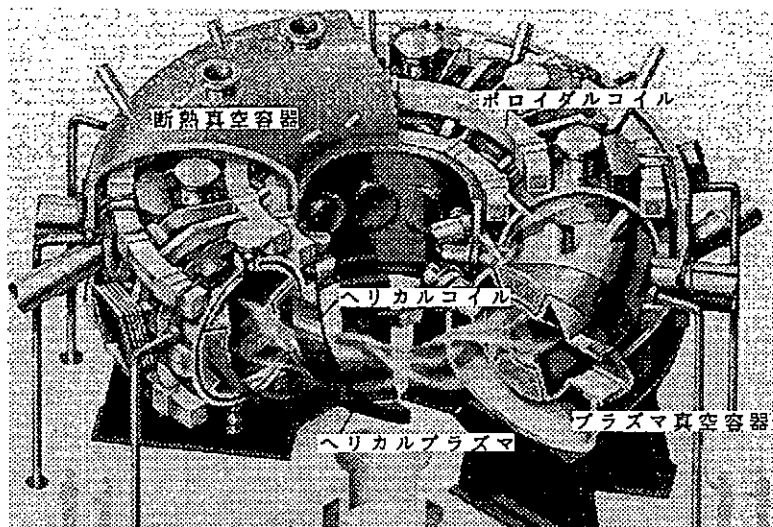


図1 大型ヘリカル装置完成予想図

本研究所でのLHD本体の設計、建設を進める大型ヘリカル装置設計室では、エンジニアリングワークステーション (EWS) を中心としたCAD/CAEシステムを導入、設計検討作業を昨年秋より順次開始した。今回はこのシステムの紹介及びCAD/CAE作業の流れを具体例を添えて紹介する。

2. LHD設計室CAD/CAEシステムの概略

図2にCAD/CAEシステムの概略を示す。システムの中心は2台のEWSで、一方にCAD (3次元サーフェスマデラー)、他に解析 (プリポスト、ソルヴァー) を導入してあり、またこの2台のEWSと本研究所の大型計算機、大型EWS間、またそれらの端末用のパソコン (CAD、解析のオペレーションは不可) と各々ネットワークしておりデータのやりとりが可能である。他に作図用にペンプロッター、カラーハードコピープリンターを備えている。

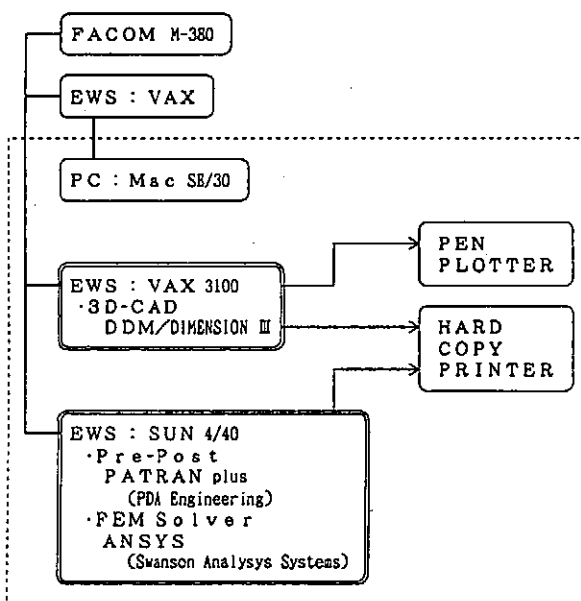


図2 LHD CAD/CAEシステム概略図

3. LHDでのCAD/CAEシステムの役割(用途)

CAD/CAEシステムの役割(用途)は『LHDの基本仕様に基づく具体的な基本設計の支援』でありその大筋は

モデル作成 → 検討、解析 → 基本設計値の提案

である。以下に具体例を示す。

3次元CADによる検討としては

- ・ヘリカルな様な複雑な形状を理解するためのプレゼンテーションで、例として図3にプラズマ真空容器平面図、図4に各部のポロイダル断面図を示す。
- ・干渉(空間の取り合い)問題で、具体的にはプラズマ真空容器ポートの形状及び寸法と各ポート間の互いの取り合い、NBI入射ポートの設置角度、断熱真空容器の形状等の検討をしてきた。

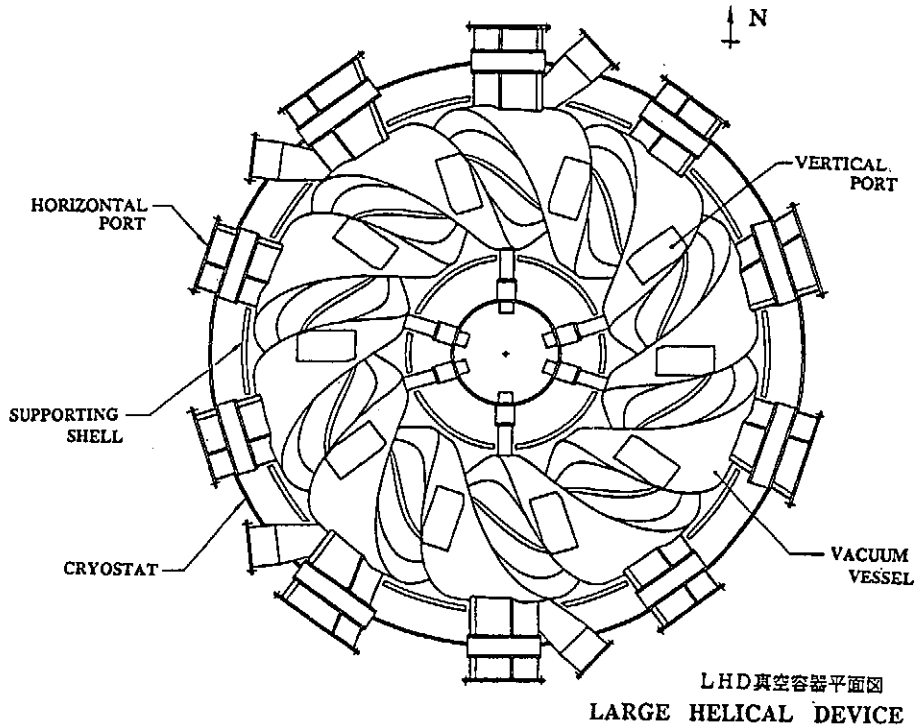


図3 LHDプラズマ真空容器平面図

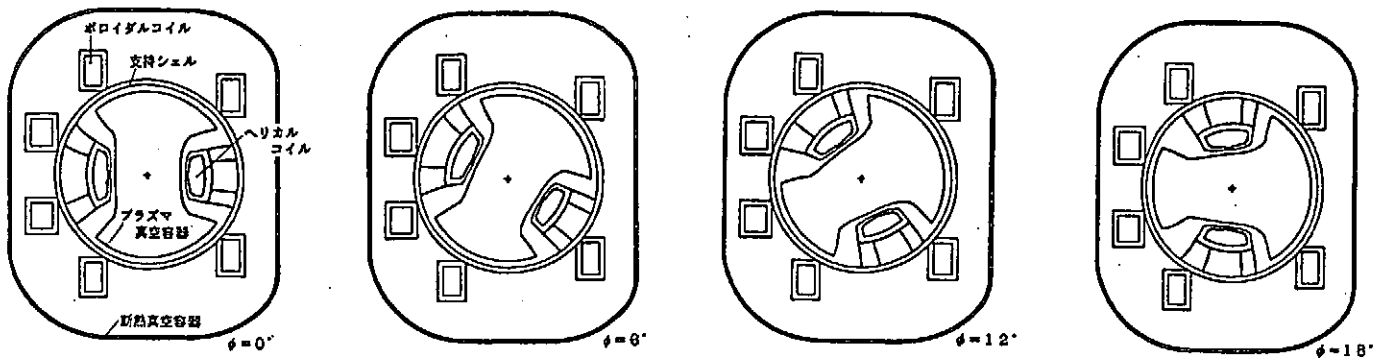


図4 LHD各部ポロイダル断面図

図5は、ヘリカルコイル溝を持つ真空容器のポートの断面の形状及び寸法をダイバーターレグのトレスを考慮して検討した資料である。ポート断面はその開口有効面積を大きく取るためにヘリカルコイル溝以外の丘面に溝と平行な平行四辺形であり、図の①部分は冷却板が取り付くダイバーターレグのトレスを避けて、②部分はプラズマに干渉せず冷却用配管をすめるためのアクセス領域を確保してある。

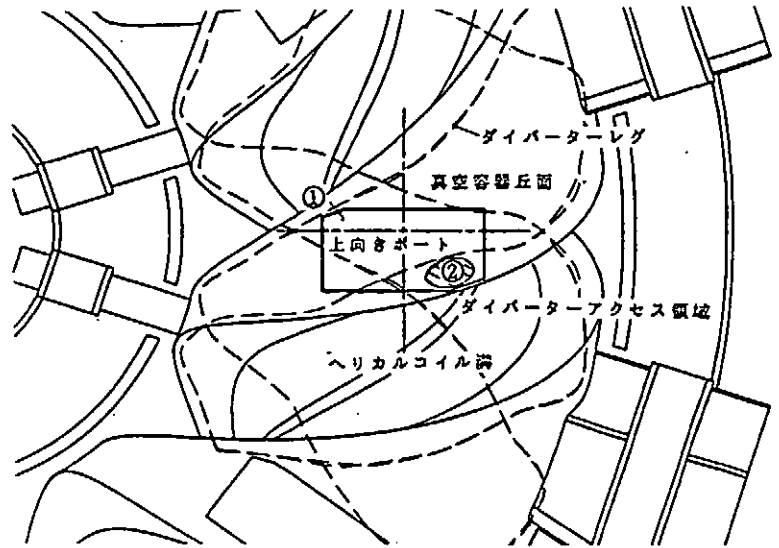


図5 真空容器のポートの断面の形状及び寸法検討資料

解析システムによる検討としては

- ・ 今後の中心課題で、電磁力、熱歪、自重等による応力問題、及び座屈問題で現在検討を開始しているものは支持シェル、断熱真空容器の構造的な強度検討である。

4. CAD/CAEシステムの作業フローの概略及び作業の実例紹介

作業フローはヘリカルコイル1ピッチ72°モデル作成の場合を例にとると以下の様である。

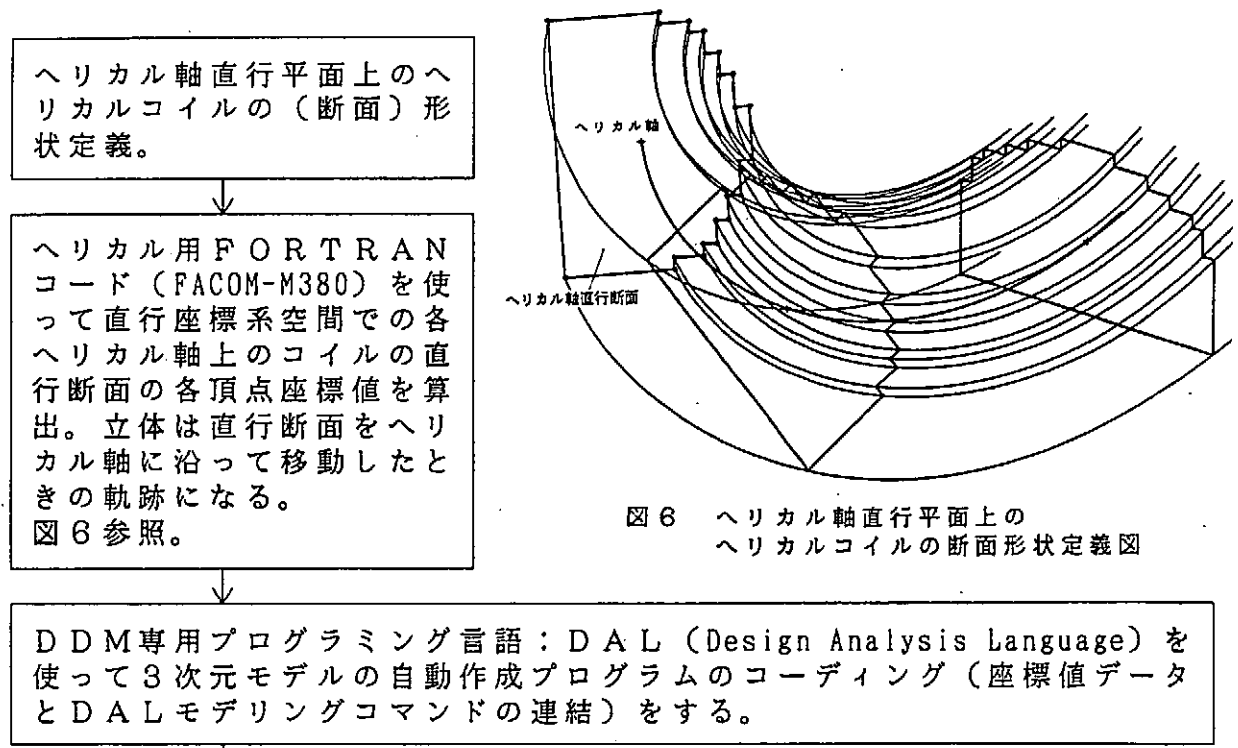


図6 ヘリカル軸直行平面上のヘリカルコイルの断面形状定義図

DDM上で自動作成プログラムの実行：3次元モデルの生成。
(各頂点を生成して点間にスプライン曲線をはる。)

必要に応じてDDMオペレーションによりモデルの追加、削除、変更

DDMモデルデータをDDM
→PATRANインターフェ
ースを使ってPATRAN入
力用中間ファイルに変換(点
を含むワイヤフレームデー
タのみ)する。

プロッター
プリンターに出力

PATRAN上で中間ファイ
ルを基にパッチワークによる
ソリッドモデルの作成。
図7参照

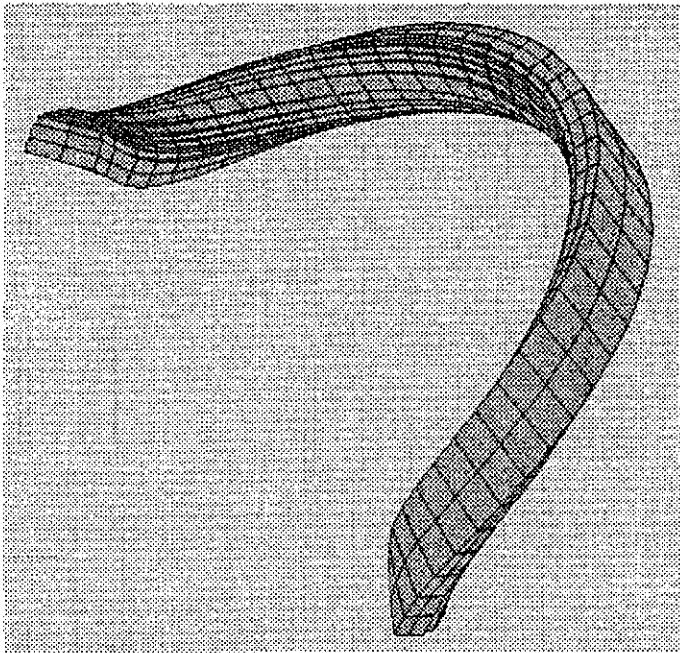


図7. ヘリカルコイルソリッドモデル図

解析モデルの作成。
PATRAN上でソリッドモ
デルの解析用メッシュ生成、
及びモデルに解析条件の付加
つまり、②部分を拘束、①の
部分に矢印の方向に荷重を
かける。図8参照
(図6のモデルでは解析しに
くいので直行断面が長方形な
簡略のもので解析を行う。)

解析モデルデータをPATR
AN→ANSYSインター
フェースを使ってANSYS
入力用中間ファイルに変換。

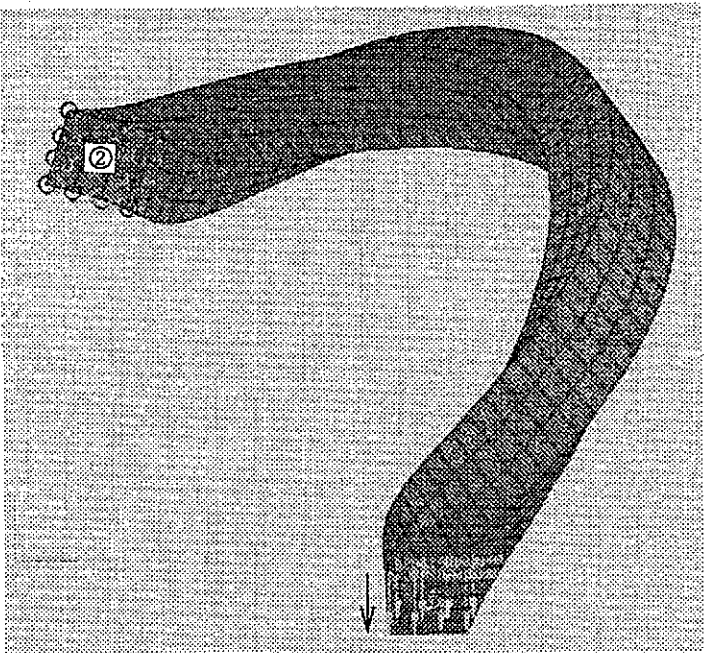


図8. ヘリカルコイル解析モデル図

ANSYSで解析モデルデー
タの解析、解析結果の出力。
図9は解析条件による相対的
な変形量を示している。
図10は同条件での応力分布
を示している。

形状定義にフィードバック

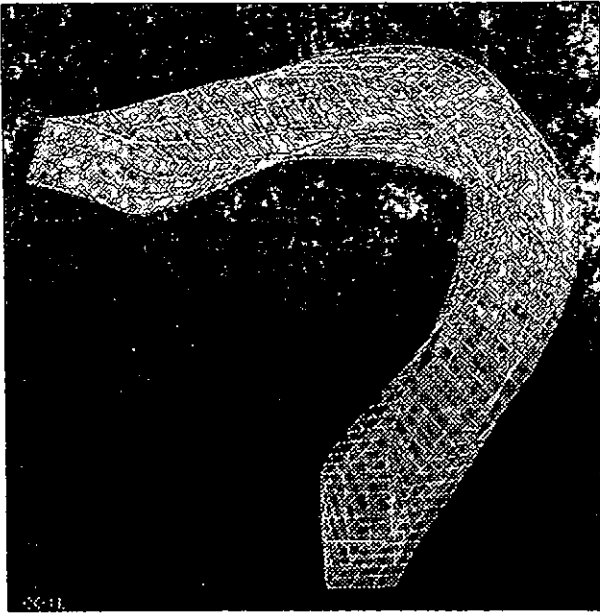


図9 相対変形量解析結果図

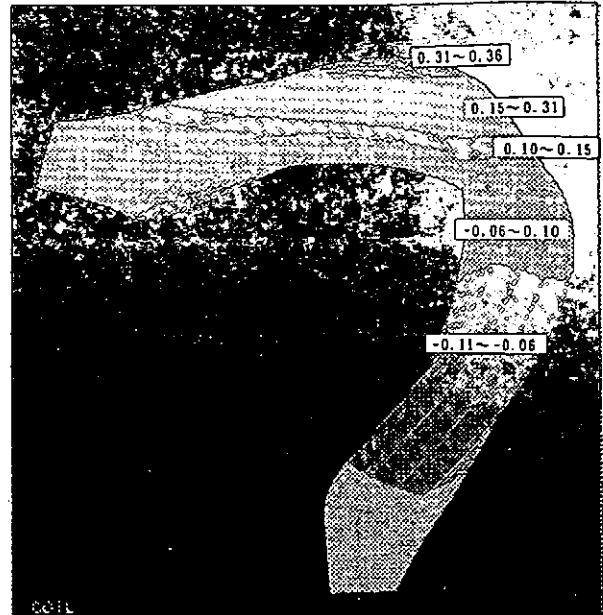


図10 応力分布解析結果図

5. おわりに

CAD/CAE作業は、複雑な大型ヘリカル装置本体設計にとって必要不可欠なものであり、特にCAD作業においては、与えられた道具でヘリカル形状の3次元モデルを生成することが一番の課題であった。今回この点については、本研究所技術部の多大なバックアップによりある程度克服できたものと考え、これまでの装置本体設計、特に真空容器のポートの設計関係には重要なデータを提供できたものと考え。

今後は、さらにLHDの各装置の3次元のモデル化を進め、またCAE作業はこの春よりスタッフも充実し益々設計支援に寄与できるものと考え。

平成 2 年度核融合科学研究所

技術研究会参加者数

分科会	発表者数	聴講者数	合計
工作技術	15	68	83
低温技術	16	26	42
計測・制御技術	17	49	66
計算機・ データ処理技術	17	27	44
装置技術	15	32	47
合計	80	202	282

ただし、複数聴講希望者は、先出分科会のみ算入。

アンケートのまとめ

今回の研究会で、特に気をついた点について

(工) - 工作、(低) - 低温、(制) - 計測・制御、(計) - 計算機・データ処理、(装) - 装置

- ☆分科会の中でも規模の大きなものが多かった。こうしたものは分科会のわくを越えて、まとめた方が聞きやすいと思う。(工)
- ☆会場が文化会館ということで落ちついた環境の中で研究会を開くことができ良かった。(工)
- ☆発表者のおかれている立場、どういう仕事をしながら、どれくらいの時間をかけ、発表迄にいたったか(発表にいたる迄の問題点等)を前置してはいかが?(工)
- ☆当初この研究会が発足した時、技官の能力向上のために、同僚の協力や、研究者との相談など十分に発表にたえるものを準備してきたと思います。最近ではノルマで発表している人もいないのですか?(工)
- ☆学会とちがい、同じ職種ということもあり、和気合々に参加でき楽しかった。(工)
- ☆OHPの調整が不十分、会場が狭くて入りきれなかった。(工)
- ☆ハイレベルな発表が多く、私達のレベルでは、難解なものが多かった。(低)
- ☆発表内容が研究として完結してないものが多いようだが、研究会なので当然なのかも――。(低)
- ☆狭い部屋があった。予稿の内容により出席する分科会が申し込みと変わった人が多いのではないだろうか。(低)
- ☆宿、懇親会の会場がもう少し近くにあればうれしい。トキ市での開催はとてもよかったです。(制)
- ☆計測・制御分科会の会場が少し狭い。駅からの道順でわかりずらかった。OHPの図が小さかったり、うすかったりで見えづらいので見る側にとって見やすく事務局の方で指導してもらいたい。(制)
- ☆レベルが高い。これくらい高いと、とても一つの大学研究所じゃできないと思った。(制)
- ☆様々な機関が一同に会し発表を行うのだが、各発表がそれぞれの機関の研究内容において専門的すぎるので、他の研究機関の人間には理解しにくい。あらかじめ研究内容の予稿などを欲しい(発表内容の予稿とは別に)。(制)
- ☆環境が良く、沢山の参加者があり貴研の努力の表れだと思います。非常に成果がありました。(制)
- ☆今回初めて参加しましたが、出席者の割に会場が狭い様な気がしました。特に、計算機・データ処理分科会の部屋は狭く、話を聞いていても息苦しくて長時間集中出来ず、発表していても入口の所で顔だけ出して聞いている人が居て気の毒でした。(計)
- ☆予稿集・発表日程を早目に知らせて欲しかった。特に発表日程を知らせてもらわないと旅行日程にも影響するので早目をお願いしたい。(計)
- ☆時間を知らせる方法でマックを使うことはよいと思いますが、“音を出す”“時間を講演者だけでなく他の人に見せる”のはよくない、やめるべきだ。“音を出さない”“時間は講演者のみ”にすること。(計)
- ☆発表時間20分(質疑応答10分)では短いような気がします。(計)
- ☆発表内容が多方面にわたり、内容程度もピンキリを感じた。(計)
- ☆計算機・データ処理の会場が少し狭く入りきれない方もおられたようです。(計)
- ☆今回が初めての参加なのでよくわかりませんが、現場サイドの話が聞けて興味深かった。(装)
- ☆本稿代はともかく、お茶代(300円)は主催研究所で確保すべきだ。(装)
- ☆S O F T等を目指すならば、もっと広く参加者を求めた方がよいと思う。(装)
- ☆1人当りの持ち時間が30分あり適当であった(従来20分程度の場合があった)。(装)

将来の旅費のあり方について

所属機関で支給する	—	23名
研究会の主催機関で支給する	—	15名
所属機関+主催機関で支給する	—	20名
所属機関+科研費で支給する	—	3名
不明	—	3名

今後の会場のあり方について

各大学を回る	—	20名
主催研究所にまかせる	—	41名
主催研究所を増やす	—	3名
一箇所に固定する	—	1名
その他	—	11名

会期及び日数等

現状のまま	—	35名
年度末より早い時期	—	7名
秋期	—	2名
夏期	—	4名
日数を1日多く	—	14名
終る時間を早く	—	3名

その他について

良かった	—	12名
実施方法を要検討	—	13名
宿泊に不満	—	3名
食事&TeaTimeに不満	—	2名
会場が狭い	—	1名
報告書を参加者全員に	—	2名
分科会単位の参加リストを	—	1名
発表をもっと積極的に	—	1名
時間の厳守	—	1名

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-IIU 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)