

NATIONAL INSTITUTE FOR FUSION SCIENCE

平成 9 年度 核融合科学研究所 技術研究会

日時：1997 年 9 月 11 日・12 日

場所：セラトピア土岐

核融合科学研究所技術部

(1998 年 2 月 13 日受理)

NIFS-MEMO-26

1998 年 3 月

RESEARCH REPORT NIFS-MEMO Series

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

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

平成9年度
核融合科学研究所技術研究会

日時：平成9年9月11日・12日
場所：セラトピア土岐

核融合科学研究所技術部

Proceedings of Symposium on Technology in Laboratories

by

Department of Engineering and Technical Services

Abstract

The Symposium on Technology in Laboratories was held on September 11 and 12 at Ceratopia Toki 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. Seventy-eight papers were presented in the symposium. Technical experience and new techniques were reported and discussed being divided into five sessions; technologies of fabrication, cryogenics, diagnostic and control system, computer and experimental apparatus.

keywords: symposium, technology, cryogenics, diagnostic, control system, computer experimental apparatus

はじめに

| | | |
|----------|----------------|------|
| 核融合科学研究所 | 技術部長 | 村井勝治 |
| 技術研究会 | 実行委員長 | 小平純一 |
| 実行委員 | | 加藤明己 |
| 実行委員 | 工作技術分科会 | 杉戸正治 |
| 実行委員 | 低温技術分科会 | 加藤眞治 |
| 実行委員 | 計測・制御技術分科会 | 山内健治 |
| 実行委員 | 計算機・データ処理技術分科会 | 小川英樹 |
| 実行委員 | 装置技術分科会 | 河本俊和 |

今日の科学技術は、新しいニーズとシーズがからみあって、より新しいものを求めて急速に発展進歩しています。物づくりシステムづくりを基本にする我々技術者にとって、手を動かすとともに考え学ぶことと、影響し合うことが重要になっていると思います。本年度の技術研究会は、4年ぶりに当核融合科学研究所で開催され、昨年4会場を分科会形式で多数の方々に参加頂いた後にもかかわらず284名の方々に参加頂き、78件の技術開発成果を発表され盛況でした。

従来、分子科学研究所、高エネルギー加速器研究機構、核融合科学研究所で開催されてきた技術研究会を活性化するため、(1) 交流の範囲を拡大するための技術研究会開催機関の拡大と各機関の特長を生かした多様な分科会構成、(2) 基盤技術・先端技術レベルを向上させるための年間を通しての技術交流と技術研修会の開催、(3) 技術交流の成果をより具体化するための人の交流を各機関の代表の方々と相談して提言してまいりました。

その結果として、昨年度は、北海道大学理学部で低温技術、国立天文台と東京電気通信大学の共催で計測・制御・データ処理技術、名古屋大学理学部で装置技術、大阪大学産業科学研究所で化学分析技術を中心に分科会形式で特色ある技術研究会が開催されました。

また、現在、分子科学研究所および高エネルギー加速器研究機構で特色ある技術をテーマにした技術研修会を独自開催されており、平成10年度から核融合科学研究所でも推進したいと考えております。さらに、人の交流については、平成6～9年度核融合科学研究所と富山大学、京都大学、名古屋大学、筑波大学、高エネルギー研、分子研の間で進めております。

技術研究会の新しい方向については、多方面から知恵を出し合って検討する必要があると思われます。これまでは、技術研究会の会場で各大学・研究機関の代表の方々が集まって懇談会の形で進めてきましたが、今後は、「技術研究会運営委員会」の設置を提案したいと考えており、今回の懇談会の席で相談の結果、実行する方向で検討することになりました。

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

つぎの研究会にまたお会いしましょう。

目次

第1分科会（工作技術）

| | | |
|------|--|----|
| (1) | 三次元CADによる原子核乾板駆動装置の改造と架台の設計 | 1 |
| | 名大理 河合利秀 | |
| (2) | 照射試料可動式キャプセルの開発 | 5 |
| | 原研東海研 千葉雅昭、菊地泰二、雨澤博男、斎藤隆 | |
| (3) | Bファクトリー-Belle検出器の開発 | 9 |
| | 高エネルギー研 岩井正明、大久保隆治 | |
| (4) | 高温超伝導によるリニアモーターと誘導モーターの演示実験 | 13 |
| | 静大工 増田健二 | |
| (5) | 電子顕微鏡内蒸着試料ホルダーの開発 | 17 |
| | 名大工 熊澤克芳、木塚徳志、小塚基樹、涌井義一、 鴛見高雄 | |
| (6) | 大型ヘリカル装置 (LHD) 真空部品のマイクロ波吸収による破損対策 | 21 |
| | 核融合研 駒田誠司、伊藤哲、野田信明、佐藤元泰、 下妻隆、川端一男、武藤敬、中村幸男、 坂本隆一 | |
| (7) | マイクロエレクトロニクス実装技術とセラミックヒーター | 25 |
| | 静大工 高瀬博 | |
| (8) | 超精密CNC旋盤 一位置決め精度測定一 | 29 |
| | 名大理 鈴木光一、小林和宏 | |
| (9) | 超精密鏡面加工 一高精度な鏡面を得るために一 | 33 |
| | 名大理 小林和宏、鈴木光一 | |
| (10) | クラブ空洞におけるバレル研磨の最適化条件 | 37 |
| | 高エネルギー研 可部農志、細山謙二、原和文 三菱重工業 井上宗彦 | |
| (11) | 核融合科学研究所中央部品室入出庫業務の高機能化 | 41 |
| | 核融合研 幅驥一郎、鈴木早由美 | |
| (12) | 電気泳動法を用いた半球状面上の蛍光体付着技術について | 45 |
| | 阪大工 大倉重治 | |
| (13) | ワイヤ放電加工技術 一加工用ジグの設計・製作のポイント一 | 48 |
| | 東大生産研 谷田貝悦男 | |
| (14) | コルゲート導波管の開発 | 52 |
| | 核融合研 杉戸正治 新潟大工 南一男、小椋一夫 | |

第2分科会（低温技術）

| | | |
|------|---|----|
| (1) | 東京大学物性研究所低温液化室ヘリウム液化システム概要Ⅱ | 57 |
| | 東大物性研 鷲山玲子、吉田辰彦、金子和行、佐藤和久 | |
| (2) | ヘリウム液化機 ―その後の運転状況― | 61 |
| | 分子研 高山敬史、加藤清則、柴山日出男 | |
| (3) | 大型ヘリカル装置 (LHD) 用ヘリウム液化冷凍装置のガス回収系増設による | 64 |
| | 運転信頼性向上 核融合研 森内貞智、馬場智澄、関口温朗、大場恒揮、 前川龍司、山田修一、三戸利行、佐藤定男 | |
| (4) | JT-60ペレット入射装置ペレットキャリア動作異常 | 68 |
| | 原研那珂研 市毛尚志、平塚一、佐々木昇、本田正男 | |
| (5) | 低温カプラの開発 Part 3 | 72 |
| | 東大教養 小田嶋豊、石田晶紀、芦沢佳子 | |
| (6) | 強制冷凍コイル閉塞原因と不純物対策 | 74 |
| | 原研那珂研 河野勝己、種田雅信、濱田一弥、加藤崇、 檜山忠雄、辻博史 原子力エンジニアリング(株) 関口修一、今橋浩一、大内猛、川崎勉 | |
| (7) | 46kA級強制冷凍超伝導体試験装置の製作と問題点 | 78 |
| | 原研那珂研 押切雅幸、高橋良和、河野勝己、埜博美、 関秀一、若林宏、高野克敏、宇野康弘、 辻博史 | |
| (8) | 大型ヘリカル装置 (LHD) 用超伝導コイルのための電源システムの開発 | 82 |
| | 核融合研 井上知幸、鷹見重幸、高橋千尋、村井勝治、 力石浩孝、山田修一、棚橋秀伍 | |
| (9) | CS計測システムの構築 | 86 |
| | 原研那珂研 堤史明、小泉徳潔、布谷嘉彦、若林宏、 辻博史 | |
| (10) | 大型ヘリカル装置 (LHD) 用冷却装置の開発 | 90 |
| | 核融合研 馬場智澄、大竹勲、西村新 | |

第3分科会（計測・制御技術）

| | | |
|------|---|-----|
| (1) | ワンチップRISC型MCUを使ったレーザー位相安定化回路の製作 | 95 |
| | 分子研 吉田久史 | |
| (2) | FPGAを使用したプリセットカウンタおよびタイミングボードの製作 | 99 |
| | 原研東海研 海老根守澄 | |
| (3) | FM-CWマイクロ波変位計を用いた心拍・呼吸計測装置の開発 | 103 |
| | 電通大電子工 本村和磨、荒井郁男 | |
| (4) | 大気観測用レーザ・レーダの三次元データ収集システムの構築 | 107 |
| | 信州大工 小林史利、久保田康裕 | |
| (5) | キャピティ一部を有する管路内水流の可視化 | 111 |
| | 埼玉大工 細井健司、川橋正昭 | |
| (6) | LabVIEWを用いた電子サイクロトロン加熱(ECH)計測システムの開発 | 115 |
| | 核融合研 伊藤哲、多喜田泰幸、小林策治、佐藤元泰、 下妻隆、出射浩、久保伸、吉村泰夫、 大久保邦三 | |
| (7) | 中性子位置敏感検出器(Position Sensitive Detector: PSD)システムの開発 | 119 |
| | 高エネルギー研 佐藤節夫、古坂道弘 | |
| (8) | 高速時間計測器用トリガertタイミング測定表示装置の開発 | 123 |
| | 阪大レーザ研 前川修、中井光男、山中龍彦、三間罔興 | |
| (9) | 新激光XIIガラスレーザー装置の充電電圧制御とパワーバランス制御 | 127 |
| | 阪大レーザ研 漆原新治、鈴木和浩、森尾登、川崎鉄次、 金辺忠、藤田尚徳、中塚正大、三間罔興 | |
| (10) | 表面プラズモンセンサとその計測システムの構成 | 131 |
| | 静大工 松井義和 | |
| (11) | KEKBファクトリー用クラブ空洞のRF特性測定システム | 135 |
| | 高エネルギー研 可部農志、細山謙二、仲井浩孝、小島裕二、 原和文、森田欣之 | |
| (12) | 大型ヘリカル装置(LHD)トムソン散乱計測レーザ・ビーム制御用分散処理 | 139 |
| | システムの開発 核融合研 山内健治、林浩、成原一途、山田一博、 中西秀哉、村井勝治、小嶋護、秀熊茂、 南貴司 | |
| (13) | KEKB用マイクロ波モニタシステム | 143 |
| | 高エネルギー研 片桐広明 | |
| (14) | 大型陽子加速器のためのタイミングシステム | 147 |
| | 高エネルギー研 門倉英一 | |

第4分科会（計算機・データ処理技術）

| | | | |
|------|---|---|-----|
| (1) | 大型ヘリカル装置 (LHD) トムソン散乱計測のためのデータ収集システムの 開発 | 核融合研 林浩、成原一途、山内健治、山田一博、 南貴司 | 151 |
| (2) | JT-60データ処理設備実時間処理計算機 | 原研那珂研 坂田信也、松田俊明 (財)高度情報科学技術研究機構 青柳哲雄 | 154 |
| (3) | JT-60データ処理設備における CAMAC システムの改良 | 原研那珂研 佐藤稔、坂田信也、松田俊明 (株)原子力資料サービス 渡辺和彦 (財)高度情報科学技術研究機構 青柳哲雄 | 158 |
| (4) | imr21ネットワークの構築 | 東北大金材研 一関京子、和田繁男、佐藤和弘、伊藤敏行、 秋山庸子、中名生充、川添良幸 (株)理経 池田誠 | 162 |
| (5) | 大型ヘリカル装置 (LHD) 実験のためのネットワーク構築計画 | 核融合研 加藤丈雄、渡辺清政、中西秀哉、力石浩孝、 小嶋護、山本典子、長壁正樹、伊藤哲、 山崎耕造 | 166 |
| (6) | ATM Network の SVC 運用への移行 | 分子研 内藤茂樹 | 170 |
| (7) | IMAP メールシステムのサービス実験 | (株)日立情報システムズ 小原洋 高エネルギー研 渋谷義和 | 174 |
| (8) | KEK 技術部ホームページの現状 | 高エネルギー研 濁川和幸、阿部勇、川又弘史、小菅隆、 平雅文、橋本清治、渡辺環 | 178 |
| (9) | WWWを使った行事予定管理およびアドレス帳検索の作成 | 分子研 水谷文保 | 182 |
| (10) | ワンボードマイコン及びFreeBSDマシンを使用した遠隔電圧測定システム | 高エネルギー研 小菅隆 三菱電機システムサービス 久積啓一 | 186 |
| (11) | 組織移行に伴う計算機環境の変更作業について | 高エネルギー研 押久保智子、佐島浩之 | 190 |
| (12) | ダイヤルアップ接続環境の構築について | 高エネルギー研 橋本清治 | 194 |
| (13) | WindowsNTでのユーザ登録とUNIX-WSとのファイル共有 | 名大工 鬼頭良彦、藤原文治、小林勝司 | 197 |

第5分科会（装置技術）

| | | |
|------|---|-----|
| (1) | 負イオンNBI装置用ITV及び赤外カメラ | 201 |
| | 原研那珂研 梶澤稔 | |
| (2) | JT-60用負イオンNBIイオン用源角度調整機構 | 205 |
| | 原研那珂研 本田敦、伊藤孝雄 | |
| (3) | 大型ヘリカル装置用中性粒子入射加熱装置の開発 | 209 |
| | 核融合研 河本俊和、浅野英児、秋山龍一、金子修、竹入康彦 | |
| (4) | RFダミーロードのハイパワー試験 | 213 |
| | 高エネルギー研 大越隆夫 | |
| (5) | JT-60 ICRFアンテナの表面温度計測の開発 | 216 |
| | 原研那珂研 平内慎一、横倉賢治、森山伸一、佐藤臣夫、石井和宏、藤井常幸、山本巧 | |
| (6) | JFT-2MにおけるX線モニターシステム | 220 |
| | 原研那珂研 岡野文範、海野一美、柴田孝俊、長谷川浩一、柏好敏、鈴木貞明 | |
| (7) | 電動発電機中性点接地抵抗器の過熱対策 | 224 |
| | 原研那珂研 大森俊造、福田弘幸、薄井勝富 | |
| (8) | 電子サイクロトロン電流駆動システムの構築 | 228 |
| | 京大エネ研 坂本欣三、長崎百伸、小林策治、森岡寛、真鍋義人、大引得弘 | |
| (9) | 次期太陽観測衛星用光学ガラスの放射線耐性試験 | 230 |
| | 国立天文台 西野洋平、岡田則夫、木挽俊彦 | |
| (10) | Ti:サファイヤレーザーとNd:ガラスレーザー増幅器による短パルス高強度レーザーの開発 | 235 |
| | 阪大レーザー研 鈴木健治、澤井清信、羽原英明、森道明、濱田和之、川崎鉄次、児玉了佑、藤田尚徳、北川米喜、加藤義章 | |
| (11) | JT-60トロイダル磁場コイル監視用ロゴスキーコイルの開発 | 239 |
| | 原研那珂研 三代康彦、萩原徳男、宮田寛、三戸政英、佐野順也 | |
| (12) | JT-60トロイダル磁場コイル温度監視システムの開発 | 243 |
| | 原研那珂研 柳生純一、新井貴、萩原徳男、宮田寛、岡部友和、佐野順也、本田正男 | |
| (13) | JT-60用リークテストスタンド | 247 |
| | 原研那珂研 神永敦嗣、新井貴、佐々木昇、市毛尚志、本田正男 | |
| (14) | 大型ヘリカル装置 (LHD) 用真空排気装置の建設 | 251 |
| | 核融合研 近藤友紀、鈴木直之、吉藤均、林浩己、米津宏昭、加藤真治、飯間理史、鈴木肇、赤石憲也、小森彰夫、LHD建設グループ | |

ポスターセッション

| | |
|--|---|
| (1) 内圧式中空糸膜濾過のシミュレーション | 255 |
| 埼玉大工 | 小林秀明 |
| (2) パソコンの割り込み学習用回転体表示器の試作 | 259 |
| 名大工 | 伊藤満男、佐々木敏幸、高田昇治、福森勉、 若松進 |
| (3) 超高速光回線を利用したスペースVLBI観測実験 | 263 |
| 国立天文台 | 宮地竹史、川口則幸 |
| 宇宙科学研究所 | 小林秀行 |
| 電通大 | 井口聖 |
| 通信放送機構 | 藤沢健太 |
| NTT | 星野隆資 |
| (4) バンチャー系制御システムの更新 | 267 |
| 高エネルギー研 | 白川明広、大澤哲、池田光男 |
| (5) 大型ヘリカル装置 (LHD) 用ミリ波ヘテロダイン干渉計装置 | 271 |
| 核融合研 | 伊藤康彦、江尻晶、川端一男 |
| (6) 大型ヘリカル装置 (LHD) イオンサイクロトロン共鳴加熱装置 (ICRF) 用 | 275 |
| 大電力発振器制御回路の開発 | |
| 核融合研 | 横田光弘、幅驥一郎、榊原二三、山本富雄、 水澤清二、新保富士夫、野村吾郎 |
| (7) 簡易循環式冷却装置の製作 | 279 |
| 静大電工研 | 勝野廣宣 |
| (8) 電波ヘリオグラフ、フロントエンドの温度コントロール | 283 |
| 国立天文台 | 齋藤泰文、関口英昭、川島進、武士保健 |
| (9) JT-60 LHRF加熱装置における保護回路の誤動作とその対策 | 287 |
| 原研那珂研 | 寺門正之、関正美、清野公広、安納勝人、 井坂正義、山本巧 |
| (10) トロイダル磁場コイル冷却管の健全性確認試験 | 291 |
| 原研那珂研 | 岡部友和、新井貴、柳生純一、佐々木昇、 本田正男 |
| (11) VHF帯1.6MW液体還流型ダミーロードエレメントの開発 | 295 |
| 核融合研 | 新保富士夫、野村吾郎、熊沢隆平、関哲夫、 武藤敬、安井哲彦、渡利徹夫 |
| (12) 大型ヘリカル装置 (LHD) 制御システムの開発 (5) | 299 |
| 核融合研 | 山本典子、小川英樹、谷口能之、高橋千尋、 村井勝治、山田弘司、渡邊清政、山崎耕造、 LHD建設グループ |
| (13) 大型ヘリカル装置 (LHD) 実験基盤の整備 | 303 |
| 核融合研 | 米津宏昭、飯間理史、林浩己、近藤友紀、 小森彰夫 |

| | |
|------------------------------------|-----|
| ＜機関別参加者数＞ | 307 |
| ＜平成 9 年度核融合科学研究所技術研究会参加者名簿＞ | 308 |
| ＜平成 9 年度核融合科学研究所技術研究会を振り返って＞ | 322 |

三次元CADによる原子核乾板駆動装置の改造と架台の設計

名古屋大学理学部 物理金工室 ○河合利秀

はじめに

E373/KEK (ダブルハイパー粒子検出実験) はシンチレーションファイバーと原子核乾板によってダブルハイパー粒子を検出するための加速器実験である。

この E 3 7 3 実験の原子核乾板駆動装置（エマルジョンムーバ）は以前 W A 7 5 / C E R N 用に開発したものを改造して用いることになった。エマルジョンムーバと周辺装置の架台は、現地での組み立て作業の手順の都合やエマルジョンムーバの原子核乾板交換作業などの関係から、分割された架台がビーム方向にスムーズに移動できることと、固定時の座標の再現性が要求された。

これらの設計はPro/ENGINEER（三次元CAD）を用いることによって複雑な構造の観測装置の相互関係を正確に把握でき、技術的な問題点についての検討が深まるなどの成果をあげたので、ここに報告する。

1、E 3 7 3 (ダブルハイパー) 実験について

E 3 7 3 は K^-K^+ 反応により生成する Ξ^- 粒子を原子核乾板中に停止させ、ストレンジネスが -2 の原子核が生成されるのを検出する実験である。図 1 は E 3 7 3 の検出器周辺の配置である。

前段のファイバーディテクタと原子核乾板との間隔は

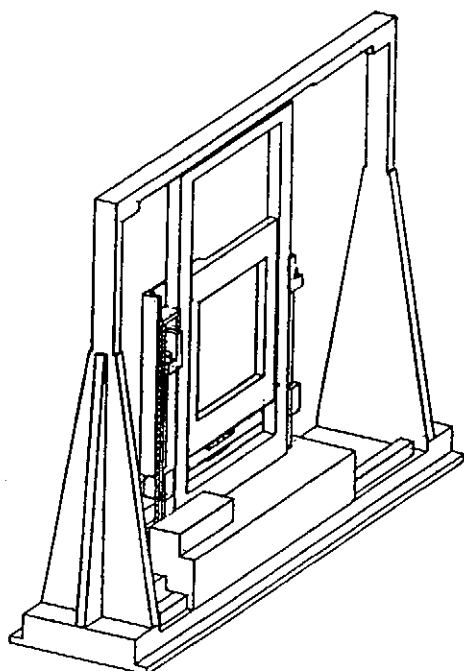


図 2、エマルションムーバ

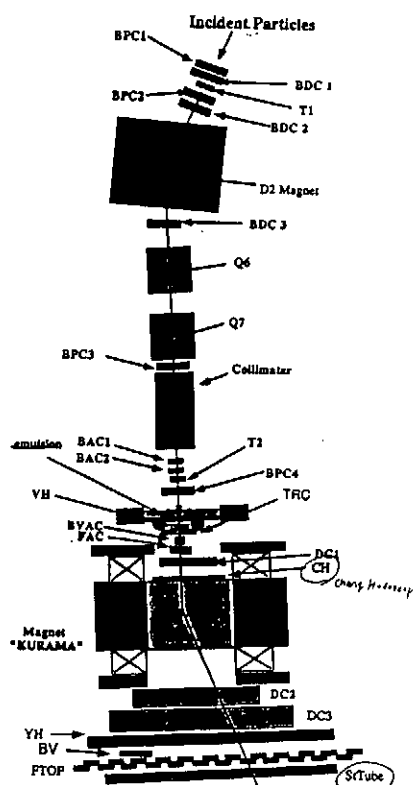


図 1、E 3 7 3 ビームライン

0.5mm、原子核乾板

自体の厚みが10mm±2mm、前段と後段のファイバードィテクタの間隔は22mmで、エマルションムーブが使える間隔は約20mmである。後段のマグネットによりエマルションムーブのあたりは最大800G程度の漏洩磁場となっているので非磁性体構造物によって構成する必要がある。ことような制約の中でシンチレーション・ファイバーの情報と原子核乾板の情報を連携させるため、両者の設置精度と原子核乾板の位置情報を正確に読み出すことが重要である。

2、エマルションムーバ

について

WA75/CERNでB粒子検出実験用に製作したエマルジョンムーバは、幅50mmの隙間において、上下240mm前後400mmの可動範囲をもち、20Kg程度の負荷のとき座標読み取り精度5 μ m以内を実現している。図2はそのエマルジョンムーバである。

今回は座標読み取り精度を損なわずに、幅20mmの隙間で10Kg程度の負荷を駆動できるように改造することが求められた。幅20mmを実現するためには、縦送り機構を作りなおす必要があった。

3、エマルジョンムーバの改造—その1

まず始めに、エマルジョンムーバの縦送り機構改造に着手した。縦の直線案内レールの幅を20mmとし、送りねじの軸受け部分や上下動の力を伝える部分を大幅に作り直した。縦軸の読み取りは建て送りレールの横にリニアスケールの本体を取付け、上下動する中央の枠から1mmの板を介してスケールヘッドを取り付ける。リニアスケールはハイデンハインのLS803シリーズである。この時点では、比較的大きな残留磁場があることから、非磁性の光学式ガラススケールを選んだ。ハイデンハインとほぼ同じ形状の三豊製AT112も同様である。改造設計を開始した頃、これらは分解能1 μ m程度の性能を有するリニアスケールの中では最も小型のものであった。

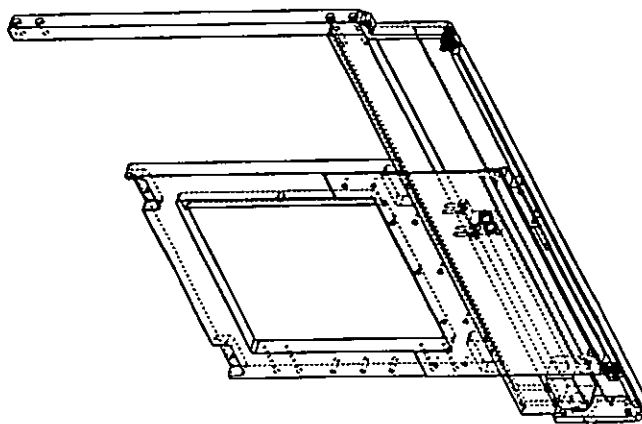


図3、LS803を用いた上下動機構

中央の枠、直線案内レール、送りねじ、軸受けなどの上下動機構とリニアスケールの関係を図3に示す。このほかに、モーターには磁気シールドを施し、リミットスイッチの機構も一新した。

ビームセンター付近だけ20mmが確保できれば良いと考え、リニアスケールの板を後方に出したことから、原子核乾板の脇から20mmという厚みより2mmオーバーしている。最終的には、後方のシンチレーションファイバに干渉することがわかり、本案ではだめなことが判明した。

4、エマルジョンムーバの改造—その2

改造の設計は中断し、しばらく解決の糸口を見つけれなかったが、ソニーから超小型の磁気スケールSR118が出るということを聞き、さっそく完成したばかりのサンプルを取り寄せて検討した。図4にSR118の外形を示す。

しかし、この磁気スケールを用いるには幾つかの問題がある。

まず第一は、強磁場中で安定して動作するかという問題である。SR118の磁気スケール本体カバーに強力な永久磁石を付けて動作を確認したところ、約3000G（ガウスメータで測定）の強い磁場でも問題なく動作した。次に、強磁場中に長時間あると磁気スケールや磁気ヘッドにどのような影響があるかを調べた。これは強力な永久磁石を本体カバーに張

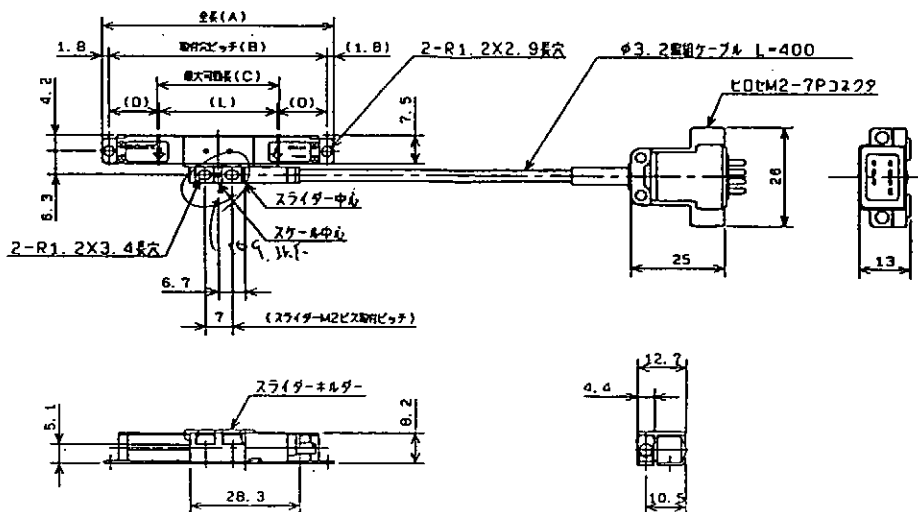


図4、SR118の外形

り付け、磁気ヘッドの出力をオシロスコープで確認、そのまま約一ヶ月放置後、再び出力を確認して、以前の波高値と比較したところ、変化は認められなかった。このことから、我々の実験での漏れ磁場程度では問題なく使用できると判断し、縦軸リニアスケールを直線案内機構のリニアベアリング軌道中に内蔵するようにした。

次の問題は磁気スケールの読み取りである。スケールの読み取りはハイパーテックのモーターコントロールボード（DOS/VパソコンのISAバス仕様）で行う。一般のスケールはAB相の90°位相のずれた信号を出力するようになっており、この信号を基に分周・カウントして制御に用いる。SR118が発表された当初、AB相出力タイプのインターフェイスが完成しておらず、実験に間に合うかどうか危ぶまれた。

ヘッド出力をAB相にするインターフェイスの自作も考えた。結果的には、実験に間に合うようインターフェイスを出荷してもらった。

第三の問題はZ相と呼ばれるスケール原点がSR118には無いことである。Z相はモーターコントロールボードが使用するので何等かの方法で作らねばならない。適当な位置に繰り返し精度の高いクロスバ接点の小型リミットスイッチを配し、Z相とした。

以上3点の問題が解決できたので、SR118を採用することに決定、磁気シールドを兼ねて直線案内レール（SU S440C焼き入れ研磨）と上下動枠の隙間にSR118を作りこむよう設計した。この結果、ビーム後方の2mmの出っ張りは無くなり、縦軸が完全に20の幅に収まった。図5はSR118を用いた場合の設計図である。この磁気スケールは現在まで問題なく動作している。

写真1は原点のZ相用リミットスイッチを中心とした縦軸のリミットスイッチ群である。写真2は実際に直線案内レールに埋めこまれたSR118である。この写真からは磁気スケールはほとん

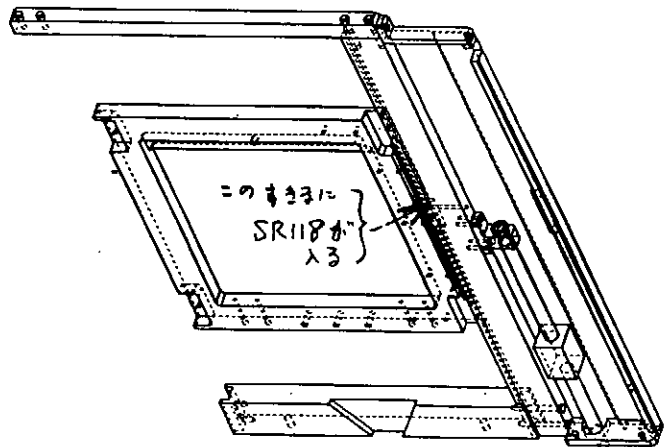


図5、SR118を用いた上下動機構

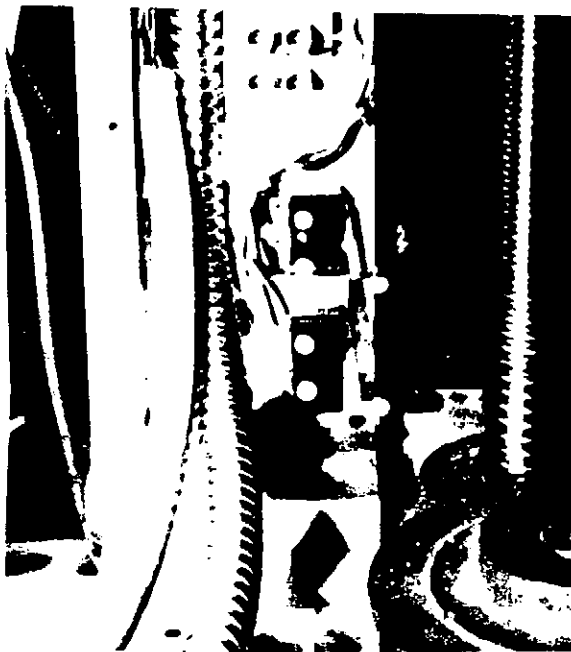


写真1、縦軸のリミットスイッチ



写真2、レールに組み込まれたSR118

ど見えない。SR118は非常に小型であり、しかも $1\mu\text{m}$ 程度の分解能を持っている。こうした装置の組み込み用として優れている。

5、架台の設計

エマルションムーバは 400×1200 の石定盤（小定盤）の上に設置する。さらに、前方のシンチレーションファイバーなどの観測装置の架台も含めて $2\text{m} \times 1.5\text{m}$ の石定盤（大定盤）に乗せ、夫々が別個に前後に移動できるような構造の架台を設計した。

大定盤の台はアルミH型チャンネルの溶接構造で構成した。水平出しにはレベルブロックを用い、上部の構造物を固定するために、大定盤の上に厚さ 20mm のアルミ板をしき、リニアガイド、送りねじの軸受けやストッパーなどを固定する。リニアガイドの移動台に前段のシンチレーションファイバーなどの観測装置の架台と小定盤を乗せる。これらの様子を図6に示す。

この部分の組み立てはKEKのカウンターホールにて自ら行った。カウンターホールの様子を写真3に示す。

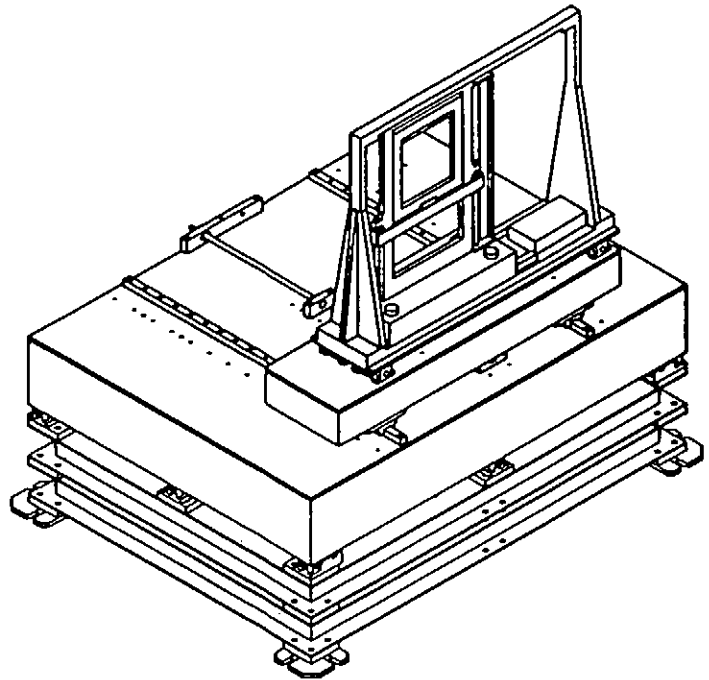


図6、エマルションムーバ架台

6、まとめ

以上の設計は全て三次元CADを用いて行なった。三次元CADは使いなれば非常に有用な道具である。三次元の立体イメージで設計を進められるので、アイデアや設計意図を正確に共同研究者に伝えることができ、技術的な問題の検討が深くなされる。説明に最に関係者に自分の考えを正しく伝えることは技術者にとって重要である。今回の作業では三次元CADのメリットの大きさを実感した。細かい仕様の変更にはすばやく応えられるのも三次元CADの利点である。E373は本番の実験を控えて、今原子核乾板とシンチレーションファイバーの位置再現性を高めるための最後の設計変更をしている最中である。

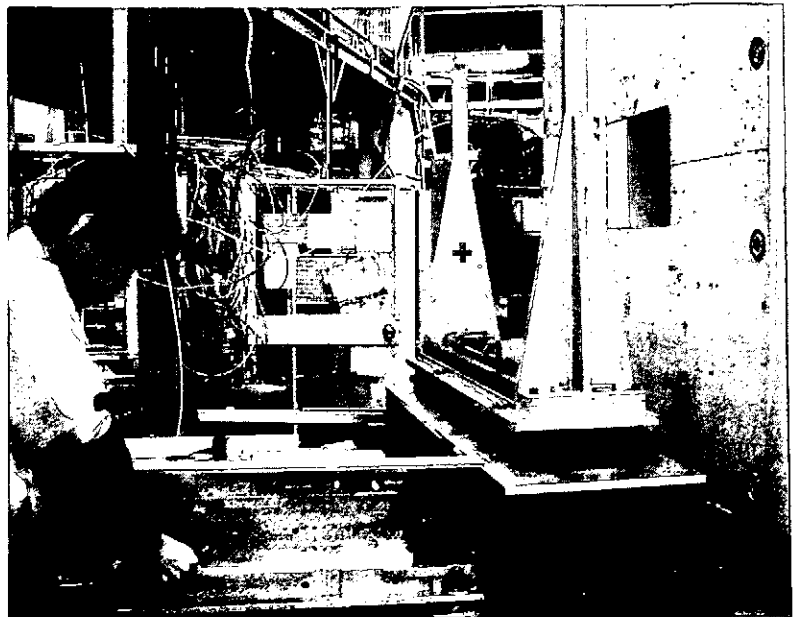


写真3、カウンターホールの様子

謝辞

磁気式リニアスケールSR118の試作品と技術情報を快く提供していただいたソニー・プレジジョン・テクノロジー株式会社名古屋営業所の戸高秀俊氏に感謝致します。

照射試料可動式キャプセルの開発

日本原子力研究所 技術部 工作課

千葉 雅昭 菊地 泰二 雨澤 博男 斎藤 隆

1. 概要

従来のキャプセルでは、照射する試料は設計条件等により、キャプセル内の定められた位置に配置され、目標照射量を得るため原子炉内で一定時間照射し、そのデータに基づいて照射試料の評価を行っている。

この場合中性子照射量は、試料配置部での原子炉中性子束の特性によって決定されるため、同一キャプセルでの照射試料の照射量パラメータを任意に変えることはできなかった。また、一定した中性子束での照射を行いたい場合でも、原子炉の出力上昇及び下降時の変動した中性子束の影響を受けてしまい良いデータが得られなかった。

今回開発している照射試料可動式キャプセルは、試料を組み込んだ数本の容器をキャプセル内で昇降させる構造のものであり、炉心照射領域から領域外へ照射試料部を昇降させることにより、同一キャプセルでの試料照射量を任意に変えることができるほか、原子炉出力が一定時のみ試料を炉心照射領域に下降させることにより、一定した中性子束による照射を可能としたキャプセルである。

照射試料の可動方法を考案するに際し、キャプセルという限られたスペースの中で駆動させるため、簡易な構造で確実に駆動することを考慮し、ガス圧力、形状記憶合金及び、スプリングの3種類の駆動機構を用いて製作を行っている。これらについての概要を報告する。

2. 開発の背景

このキャプセルは、従来のキャプセルでは不可能であった以下のような照射を実現するために開発を進めている。

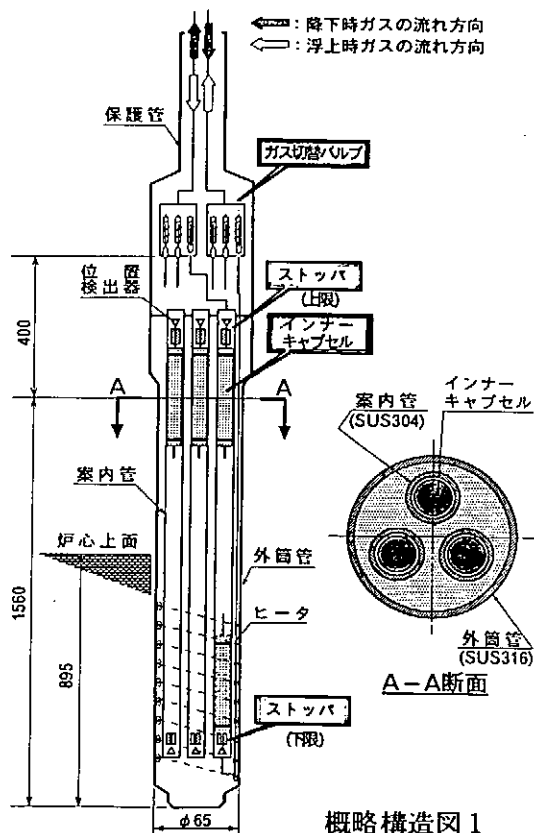
- 1) 原子炉起動時及び停止時における熱的及び核的な履歴を与えない。
- 2) 原子炉運転期間に影響を受けず、任意の照射量を与えることができる。
- 3) 1本のキャプセルで照射量をパラメータとして多数の試料の照射ができる

3. 照射試料可動式キャプセルの開発

- 1) ガス圧力を利用した照射試料可動式キャプセル

(1) 概略構造 (概略構造図1参照)

キャプセル内に、内径 $\phi 20$ mm、長さ1000 mmの3本の案内管を配置し、各案内管の中に照射試料の入ったインナーキャプセルを挿入し、上下



概略構造図1

よりヘリウムガスを流しガスの圧力でインナーキャプセルを炉心照射領域から領域外へ、また、領域外から照射領域へ自由に昇降できる構造であり、上部には、ガス流入方向を切り替えるガス切り替えバルブ、案内管上下には昇降したインナーキャプセルを固定するストッパ及び位置検出器が配置されている。

(2) 開発課題

このキャプセルでは、以下の項目が開発課題となった。

- ① 原子炉の反応度に与える影響を抑えるためのインナーキャプセル昇降速度の制御。
- ② インナーキャプセル昇降時における、ガス消費量の低減。

上記の課題を考慮し検討した結果、インナーキャプセル本体にフィンを取り付ける構造とし、材質の検討、モックアップキャプセルによる浮上試験及び実際の照射時温度を模擬しての昇降試験を行い構造及び詳細寸法を決定した。

(3) 開発部詳細

① フィンの構造

- ・ 材 質 : ニッケル（選定理由：高耐熱性、高弾性、安価、入手容易）
- ・ 厚さ及び枚数 : 30 μ m、3枚
- ・ 直 径 : 案内管内径プラス0.1mm (ϕ 20.1mm)

② 昇降速度 : 100mm/S ~ 50mm/S

③ ガス消費量 : 1400cc / 1回昇降

2) 形状記憶合金を用いた照射試料可動式キャプセル

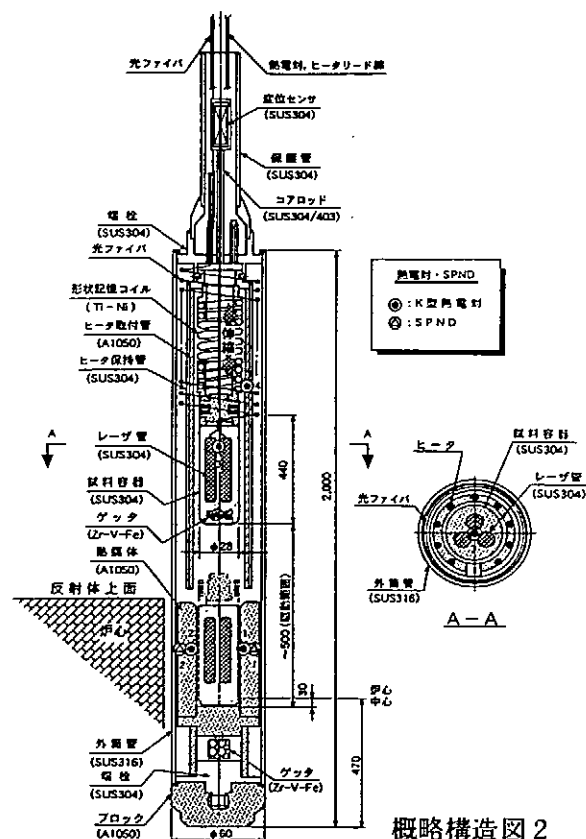
(1) 概略構造（概略構造図2参照）

形状記憶合金コイルばねを用い、下端に照射試料の入った試料容器を取り付け試料容器の自重により炉心照射領域へ下降させておき、形状記憶合金コイルばねの外側に配置したシースヒータにより形状記憶合金コイルを変態温度以上に加熱し、記憶した形状に戻る力を利用して試料容器を照射領域外へ上昇させる構造であり、上部には、試料容器の位置検出のための変位センサが取り付けられている。

(2) 開発課題

このキャプセルでは、以下の項目が開発課題となった。

- ① 形状記憶合金の種類の選定及び変態温度。
- ② 試料容器自重（1.2kg）を炉心照射領域外まで引張り上げることのできる形状記憶合金コイル



概略構造図2

ルの設計。

上記の課題を考慮し、材質の検討、形状記憶合金コイルの設計、ミニスケールモデルによる昇降試験、実機仕様同等コイルによる昇降試験、キャプセルに組み込んだの昇降試験を行った。

(3) 開発部詳細

① 形状記憶合金コイルの仕様

- ・ 材 質 : Ni-Ti 合金
強度（疲労強度などの繰り返し特性）、靱性、耐摩耗性、耐食性に優れている。
- ・ コイル : 材料の径 ϕ 2.0 mm、コイル平均径 ϕ 26.0 mm
総巻数77巻、密着高さ160 mm
- ・ 変態温度 : 80℃
- ・ 熱 処 理 : 中温処理（480℃ 60分）

② 昇降試験（目標ストローク500 mm）

- ・ コイル単体試験（実機に使用するものと同じ仕様のもの1体で行った）
初回（430 mm）、10回（416 mm）、100回（408 mm）
- ・ キャプセル組み込み後試験
1回（353 mm）、2回（351 mm）

3) 引張コイルスプリングを用いた照射試料可動式キャプセル

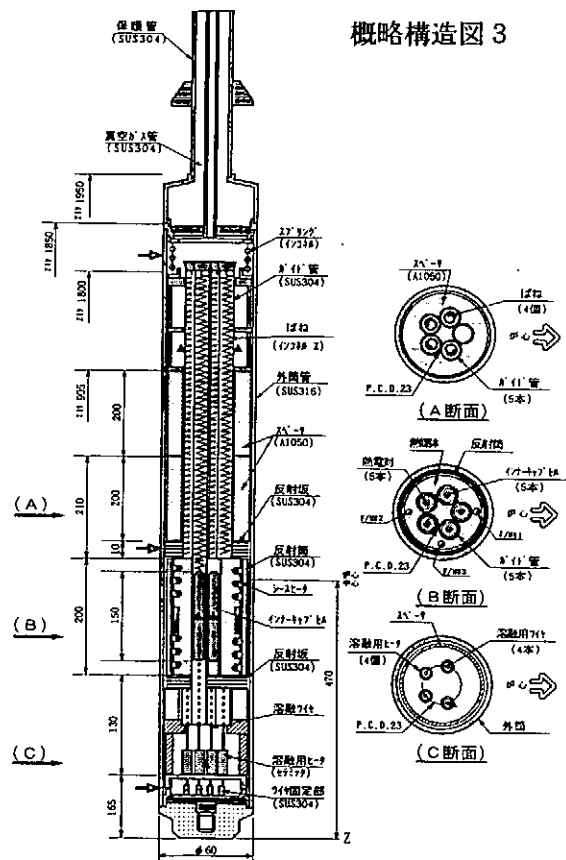
(1) 概略構造（概略構造図3参照）

キャプセル内に5本のガイド管を配置し、上端を固定した引張コイルスプリングの下端に照射試料の入ったインナーキャプセルを取り付けスプリングを引き延ばしインナーキャプセル下端をキャプセル下端に金属ワイヤで固定し、各インナーキャプセルが目標の照射量に達した時点で順次金属ワイヤをヒータで溶断してスプリングの戻る力でインナーキャプセルを照射領域外へ上昇させる構造である。

(2) 開発課題

このキャプセルでは、以下の項目が開発課題となった。

- ① 雰囲気温度250℃で100日
常温で300日トータル400日
間約40～50 kg/mm²の静荷重を受けてもへたりが少なく確実にインナーキャプセルを引き上げられるスプリングの設計。



概略構造図3

- ② キャプセル照射時の温度以上で、しかも出来るだけ低い温度で溶断する固定用金属ワイヤの材質の選定。
- ③ 狭いスペースで数本の金属ワイヤを個々に溶断できる金属ワイヤ溶断用ヒータの選定。

上記の課題を考慮し、現在スプリングについては検討中であり、固定用金属ワイヤの材質及び金属ワイヤ溶断用ヒータの選定は終了した。

(3) 開発部詳細

① 引張コイルスプリング仕様（現在検討中）

- ・ 材 質 : インコネルX-750
- ・ コ イ ル : 材料の径 $\phi 0.9\text{ mm}$ 、コイル平均径 $\phi 9.6\text{ mm}$
総巻数460巻

② 固定用金属ワイヤ

- ・ 材 質 : 亜鉛 ($\phi 3\text{ mm}$)、融点 (419.5°C)

③ 溶断用ヒータ

- ・ セラミックヒータ
寸法 $\phi 8 \times \phi 5 \times 70\text{ L}$ (リード線 Ni $\phi 0.6$)
電圧・温度 AC100V- $800^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$

6. まとめ

1) ガス圧力を利用した照射試料可動式キャプセル

キャプセルの原子炉へ装荷しての照射は完了し、3本のインナーキャプセルは予定通りの可動をさせることができ、それぞれ目標の照射量を得ることができた。これにより、ガス圧力を利用した可動方法が確立できた。

2) 形状記憶合金を用いた照射試料可動式キャプセル

キャプセルに組み込んだ後の可動試験では移動距離が設計値よりも短くなってしまったこれは、移動位置を測定する変位センサワイヤの摺動抵抗の影響と思われる。今後は、付帯機器の影響も考慮したモックアップを行うことにより設計値に近づけられるようにしたい。

3) 引張コイルスプリングを用いた照射試料可動式キャプセル

現在設計段階であり、インコネルX-750スプリングが炉内雰囲気温度で応力を加えておいた場合にへたりがどの程度になるかモックアップを行い、実際に使用可能かどうか検討を進めている。

Bファクトリー-Belle 検出器の開発

高エネルギー加速器研究機構
岩井正明 大久保隆治

第1章 はじめに

高エネルギー加速器研究機構では、1998年完成をめざしてKEKBと呼ばれるBファクトリープロジェクトが進行中である。KEKBでは、8 GeVに加速された電子と3.5 GeVに加速された陽電子を非対称に衝突させて大量のB中間子をつくり、物質・反物質の対称性の破れ（CP不変性の破れ）等の研究を行う。

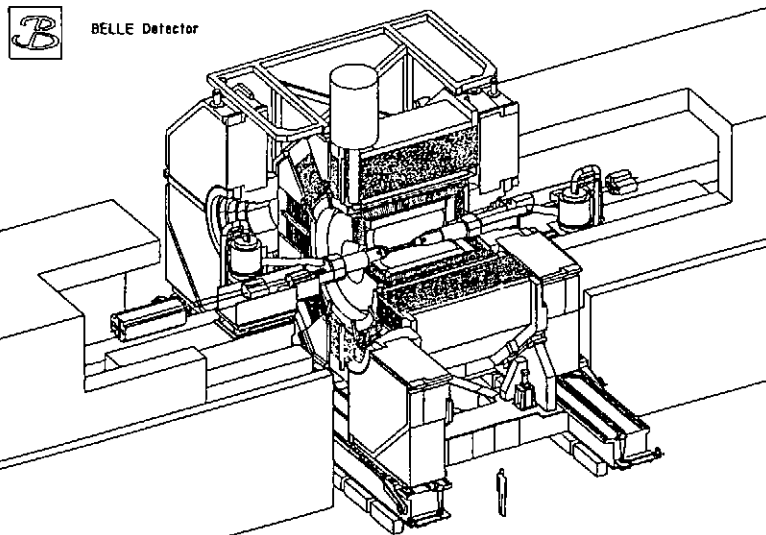
1964年に中性K中間子の崩壊で僅かに発生するCP不変性の破れが発見されたが、その後の30年間の研究においても原因が解明されなかった。現在の素粒子物理学では、CP不変性の破れはB中間子の崩壊において大きく現れる事が予想されている。

電子と陽電子の衝突エネルギーを10.58 GeVとするとbクォークと反bクォークの共鳴状態ができB中間子と反B中間子のペアに崩壊する。

$$2\sqrt{e^+ \times e^-} = 10.58(\text{GeV})$$

Belle検出器はそれぞれの目的に応じて内部に複数の検出器群をもつが、我々が最も多く開発に関わったエアロゲルチェレンコフカウンターと電磁カロリメータに焦点を当てて説明を行いたい。

第2章 Belle検出器の概要



(図1) Belle粒子検出器

KEKBのBelle粒子検出器は、高エネルギー加速器研究機構の筑波実験室で急速に建設が進んでいる。Belle粒子検出器は、外側がKLキャッチャー及びビミュオンカウンター（KLM）のための鉄構造体で構成されており内部には複数の測定器群が組み込まれる。Belle検出器の大きさと重量は、ビーム軸直角方向約8m、ビーム軸方向約8m、全高約10m、総重量は約20

00 tonである。シリコンバックス検出器（SVD）は、電子・陽電子の衝突点に最も近くB中間子の崩壊点を約 $80\mu\text{m}$ の精度で検出する。中央飛跡検出器（CDC）は、超伝導ソレノイドによる磁場中での荷電粒子の飛跡をヘリウム/エタン混合ガス中に張られた約3万本の細い電極線により検出する。チェレンコフカウンター（ACC）と飛行時間差検出器（TOF）は、 π 中間子とK中間子の識別を行う測定器であるがその構造はACCとTOFではかなり異なる。電磁カロリメータ（CsI）は、B中間子の崩壊によってできた中性 π 中間子がガンマ線に崩壊するのを観測するガンマ線の

検出器である。KLキャッチャーとミューオンチェンバー (KL/ μ) は、長寿命の中性K中間子と μ 粒子の検出を行う測定器である。

第3章 エアロゲルチェレンコフカウンター

3-1 エアロゲルチェレンコフカウンターの機能と構造

エアロゲルチェレンコフカウンターは円筒部 (バレル部) と端冠部 (エンドキャップ部) の2種類あるが、ここではバレル部のエアロゲルチェレンコフカウンター (以下、チェレンコフカウンター) について説明を行う。Belle検出器のチェレンコフカウンターは、シリカエアロゲルを輻射体とした閾値型のチェレンコフ光検出器である。チェレンコフカウンターで使用するシリカエアロゲルは、屈折率が1.01~1.02であり空気に近い多孔質物質である。屈折率が小さいという事は、Belle検出器が目的とする高速の荷電粒子を測定できる。

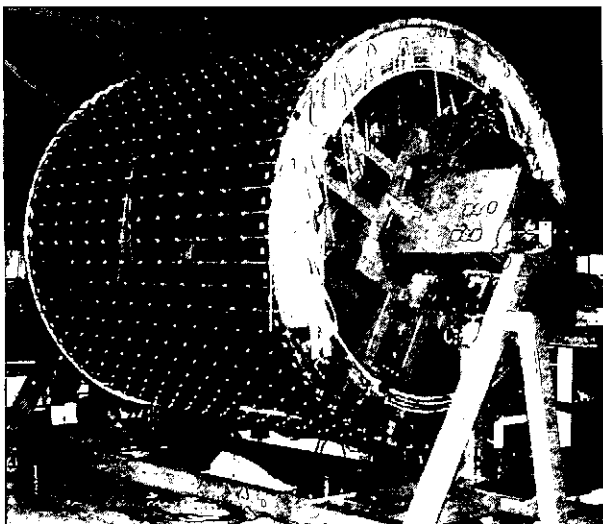
チェレンコフカウンター容器は、チェレンコフカウンターを所定の位置に精度良く組み込むための容器であり、その大きさは内筒の内半径885mm、外筒の外半径1165mm、全長2476mmである。チェレンコフカウンターボックスは、シリカエアロゲルを収納し、受光体として光電子増倍管を取付けるための箱であり、厚さ0.2mmのアルミニウム合金板によって精密に組立てられている。

チェレンコフカウンターは、同容器内部に円周方向に60個、軸方向に16個の合計960個が構造上必要な最小限の隙間を除いて配置される。

3-2 チェレンコフカウンター容器の設計と製作

チェレンコフカウンター容器 (図2) は、測定器としての性能を低下させないために前方部及び後方部の端板を除き物質量の小さい薄いアルミニウム合金板を使用している。容器の内部は、チェレンコフカウンターの精度良い位置決めと剛性向上を目的として、厚さ0.5mmの隔壁が円周方向に10枚、中央と両端部の部分隔壁が各50枚配列されている。一方、CDCやシリコンバーテックス検出器は前方部及び後方部端板から固定される構造となっており一定量以下の変形に押さえる必要がある。

測定器の性能を上げるためには物質量を小さくする必要があり、その一方で構造体としてみた場合は物質量を小さくするという事は機械的な剛性が低下する事を意味している。



(図2) チェレンコフカウンター容器

基本骨組み構造は、厚さ1.5mmの内筒と厚さ0.5mmの外筒、最大厚さ14mmの前方部及び後方部端板、内筒と外筒とを連結棒を介して接続する厚さ0.5mmの隔壁である。

有限要素解析は、チェレンコフカウンターを容器に組込む状態を仮想したモデル6種類 (自重負荷モデル2種類、地震モデル4種類) と完成後にBelle検出器に据え付けた状態のモデル3種類 (自重負荷モデル1種類、地震モデル2種類) 合計9種類を行った。

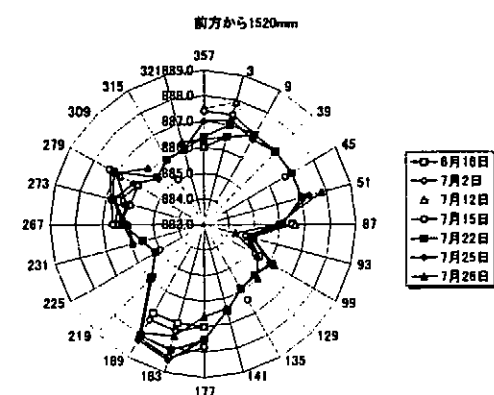
Belle検出器では、TRISTAN実験で使用したTOPAZ検出器の架台を改造して使用するので耐震限度は主としてこの架台で決定される。耐震解析で使用した地震波は19

78年6月12日に発生した宮城県沖地震山台観測波などの12種類であり、この中で最も大きな応答

加速度（入力加速度80Galに対し測定器の応答加速度280Gal）が発生したのが宮城県沖地震であった。

チェレンコフカウンター容器の最大応力は、チェレンコフカウンター組込み中の連結棒に発生している。連結棒は、チェレンコフカウンターの固定と内筒及び外筒の接続をおこなっている部品であり力が集中しやすい。この時の発生応力は0.55kg/mm²であり、許容応力値16.7kg/mm²以下である。容器の最大変位は隔壁に発生し、変位量は0.45mmである。

シリカエアロゲルは破損しやすく脆いものであるが、剛性が小さいために地震モデルで最大0.6mmの変位を示したが発生応力は小さい値を示した。



（図3）内筒の真円度

無い事を確認して変形部に切り込みを入れゆがみを開放する事で解決した。

内筒の寸法計測は、前方部端板と後方部端板の中心に糸を張り、この糸からの距離を円周方向60ポイント、軸方向12ポイントの合計720ポイントを計測する事により半径計測値のマップを作ることができる。内筒の円筒度は、半径計測のマップを解析する事により知る事ができる。内筒の組立て中にこの計測を数回実施し、各状態での円筒度の変化を修正し組立て終了時には許容円筒度以下にする事ができた。（図3）は、前方端板から1520mm位置の内筒（直径1770mm）の真円度を示す。

容器の製作では、単体の機械加工よりもアルミニウム合金の薄板を多く使用している事から内筒の円筒度や隔壁の平面度が出しにくい。内筒と隔壁を接合するYAGレーザー溶接や内筒と端板を接合するTIG溶接では、溶接部の熱収縮により剛性の低い側に変形がでる可能性がある。この変形は、TIG溶接については溶接試験を実施する事により傾向が予測でき実機の溶接治具構造にフィードバックする事ができた。

YAGレーザー溶接については、熱収縮が小さいと考えていたので有効な対策がとれず隔壁の数箇所にゆがみが発生している。この修正は、強度上の問題が

第4章 電磁カロリメータ

4-1 電磁カロリメータの機能と構造

電磁カロリメータもチェレンコフカウンターと同様に円筒（バレル）部と端冠（エンドキャップ）部の2種類があるが、ここではバレル部電磁カロリメータについて説明を行う。電磁カロリメータは、電荷を持たないガンマ線の検出が目的であり他の検出器とは測定原理が異なる。ガンマ線を高分解能で効率よく検出するためには、CsIカウンター（タリウム活性化化セシウム結晶シンチレータにPINフォトダイオードを取り付けてCsIカウンターを構成する。）を小さい隙間で全周に配置しCsI結晶内で発生する電磁シャワーを観測する。

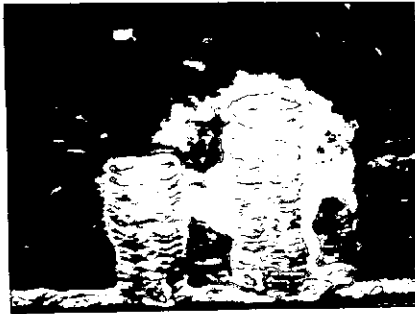
バレル部電磁カロリメータ容器の大きさは、内半径1250mm、外半径1660mm、全長2991mmである。容器内部には縦隔壁と横隔壁で仕切られたコンパートメントと呼ばれる部屋があり、ここにCsIカウンターが4本x2列又は5本x2列が収納される。コンパートメントは、容器内部に円周方向に72室、軸方向に11室あり合計6624本のCsIカウンターが組込まれる。

4-2 電磁カロリメータの設計と製作

バレル部電磁カロリメータ容器の基本構造は、厚さ1.5mmのアルミニウム合金製内筒と厚さ4mm

mの前方部及び後方部側壁、72枚の厚さ0.5mmの縦隔壁と横隔壁、縦隔壁と外筒を接続する144本のオーステナイト系ステンレス鋼の連結棒と厚さ8mmの外筒によって構成されている。

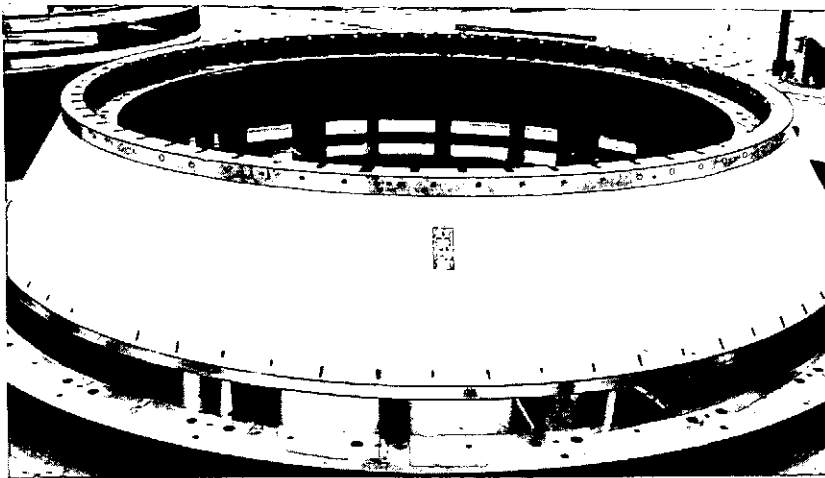
CsIカウンター1本当たりの重量は約5kgであり、バレル部電磁カロリメータ全体におけるCsIカウンターの総重量は約32tonである。



(図4) 側壁の角度修正

測定器の性能は、CsIカウンター間の隙間が小さく物質量が小さい材料を使用すればするほど良くなる傾向がある。しかし、一般的には物質量の小さい材料はセラミックスや複合材料を除き縦弾性係数や引張り強さ、曲げ強さ等が小さくなる傾向があり重量物の構成部品としては注意が必要である。

電磁カロリメータの構造解析は、CsIカウンター組込み中を仮想したモデル6種類（自重負荷モデル2種類、地震モデル4種類）と完成後にBeIle検出器に据え付けたモデル3種類（自重負荷モデル1種類、地震モデル2種類）合計9種類を行った。耐震解析において最大応力が発生するのはCsIカウンター組込中に地震が発生したケースであり、内壁及び隔壁に最大で 7.2 kg/mm^2 （許容応力度は 16.7 kg/mm^2 ）の応力が発生する。



(図5) 前方部側壁の機械加工終了状態

容器の製作では、端板と内筒を接続する前方部及び後方部側壁の製作が難航した(図4)。側壁の形状と大きさの概要は、直径が約3000mm、全長が約400mm、板の厚さが4mm、長さ方向の両端部に鏝のついた円錐形状をしている(図5)。円錐の角度は、中心軸に対して前方部側壁 32.982° 、後

方部側壁 52.897° である。難航したのは、加工治具取り付け時には設計仕様内にあったものが治具から取り外してみると僅かに仕様からはずれる。直径と角度、長さとはそれぞれ相関関係にあり、角度が変化した場合は鏝がついている直径寸法が変わらずに長さが変化する。

角度の変化は小径側の短い範囲で発生し、この歪みは真円度も悪くするが長さの変化に対して小さかった。修正は角度変形が発生した小径側に微量の熱を加え、溶接による熱歪みの逆効果を期待して実施したが最終的にはほぼ仕様に入る程度に回復した。

第5章 おわりに

BファクトリーのBeIle粒子検出器では、電磁カロリメータやエアロゲルチェレンコフカウンターなどの5種類の測定器の開発を行う事ができたが貴重な経験であった。

最後になるが、測定器の開発と一緒に格闘してくれた素粒子原子核研究所の研究者の方々、忍耐強く設計から加工及び組立て迄の長い期間付き合ってくれた石川島播磨重工業株式会社の技術者の方々に感謝いたします。

高温超伝導によるリニアモーターと誘導モーターの演示実験

静岡大学工学部共通講座 増田 健二

1. はじめに

静岡大学共通教育（前教養部）では、理・工・農学部2年次生（年間約900人）を対象として実施している基礎物理実験において、1987年以来、のべ8000人にのぼる学生に高温超伝導実験を行っており、毎年実施しているアンケートにおいても、80%に近い学生が「面白いテーマである」と述べている¹⁾。実験の内容は、前半が液体窒素を用いた徐冷の際の抵抗率の変化を4端子法によって測るものと、後半が固相法により作製した比較的大きな試料（直径50mm）の上に、ネオジウム磁石を浮かせる「マイスナー効果」の実験である。実験の主眼は、どちらかといえば前半にあるが、学生は磁気浮上の効果にも大きな興味を示す²⁾。

今回は、高温超伝導の磁気特性を利用した教具の開発として、磁気推進・浮上式リニアモーターと磁気誘導モーターのモデルを製作した。このモデルは本学の基礎物理実験はもとより、大学の公開講座「静岡大学テクノフェスタin浜松」や「青少年のための科学の祭典・静岡大会（科学技術庁主催）」などで演示実験し、今日的な物理学の研究の一端を示す教材として有効に活用している。

2. リニアモーター

リニアモーターのモデルを写真1に示す。浮上する力は、磁石と超伝導体との反発する力（マイスナー効果）を利用し、2cmの幅で角型ネオジウム磁石を鉄板上にN極を上向きにして張り付けた線路上に超伝導体（車体）を浮上させる。推進力としては、通常はN極どうしS極どうしの反発力によって車両を推進させるが、ここではステッピングモーター動作原理を用いて、超伝導体（発泡スチロールの車体）の上に励磁コイルをのせ、その側面のN極S極を交互に張り付けた磁石（1ステップ毎の磁場）に励磁コイルがN S N Sと周期的に変化することによる吸引力と反発力の相互作用によって推進させる。

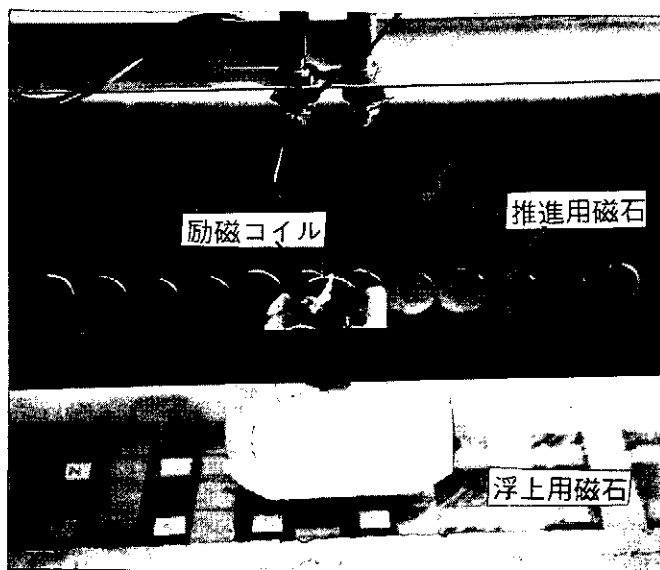
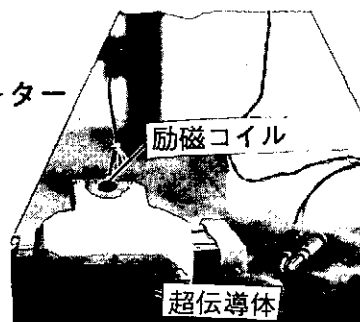


写真1 リニアモーター



3. 磁気誘導モーター

磁気誘導モーターのモデルを写真2に示す。直径25mmの円形ネオジウム磁石に垂直に鋼鉄棒（回転軸）を取り付ける。鋼鉄棒の中心に直径14mmの円形ネオジウム磁石を鋼鉄棒を挟んで張り付け、励磁コイルの中心部分にくるように設定する。超伝導体を液体窒素で冷却するとネオジウム磁石が浮上するため、鋼鉄棒（回転軸）は空中に浮いた状態となる。励磁コイルに発振器で低周波電流を流し、交流磁場をかけると鋼鉄線中心の磁石が回転する。その回転は鋼鉄棒に連動し、超伝導体と磁石の反発力が軸受の役割をする磁気誘導モーターとなる。

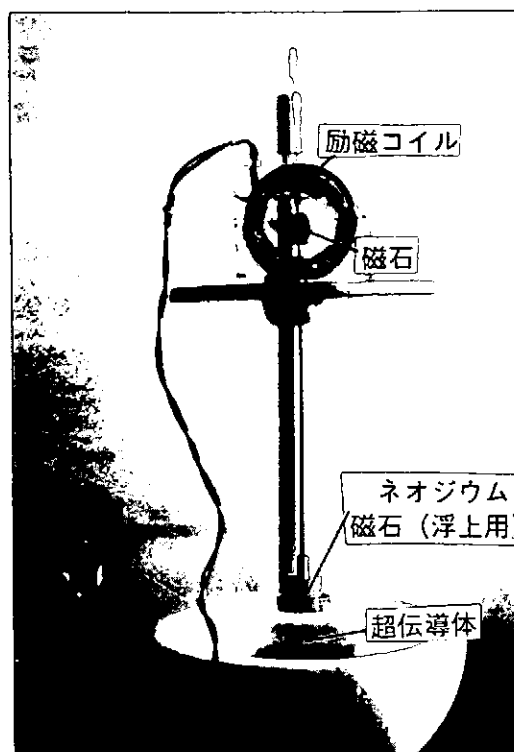


写真2 磁気誘導モーター

4. 磁気浮上と磁束のピン止め効果

超伝導とは？ある物質が一定温度以下になると、電気抵抗がゼロとなる現象をいう。たとえば、超伝導体の上に磁石をのせると磁石の磁力線に反発する電流（反磁性電流）が超伝導体表面に流れ、磁石は空中に浮き上がる（写真3）。

磁石が反発して浮上するのとは反対に超伝導体が磁石を釣り下げるといふ「磁束のピン止め効果」の様子を写真4に示す（発泡スチロール地球儀の先端の磁石を数秒押し付けると磁束が超伝導体内部にトラップされる）。

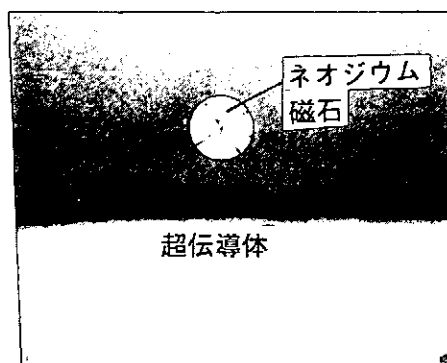


写真3 磁気浮上



写真4 磁束のピン止め効果

半溶融法超伝導体に磁石を押し付けるとどのような現象が起きるのか、磁気浮上（マイスナー効果）の比較から調べてみる。

図1のように、半溶融法超伝導体表面上で磁石の高さ h を固定して、ホール素子プローブの位置を鉛直面（ xz 面）内で2次的に動かして磁束密度の空間変化を調べた。

超伝導体表面の磁束密度 B_s が100G($h=5.5\text{mm}$)のときは、見かけ上弱い反磁性を示しているが、これに対応して図2(a)ではベクトルはすべて上向きの磁石に反発する（写真3のように磁石を浮上させる）力が働いている。

これに対して B_s が800G($h=1.5\text{mm}$)のときには $z=5-7\text{mm}$ の範囲でベクトルが下向きになっており、したがって中心軸付近での磁束の集中が確認された（図2(b)）。つまりこのことが、写真4のように半溶融法超伝導体が磁石（発泡スチロール地球儀）を釣り下げる現象となっている。

概念図を用いて説明すると、超伝導体の上に磁石をのせると磁石の磁力線に反発する電流（反磁性電流）が超伝導体表面に流れ、磁石はその反発力によって空中に浮き上がる（図3）。

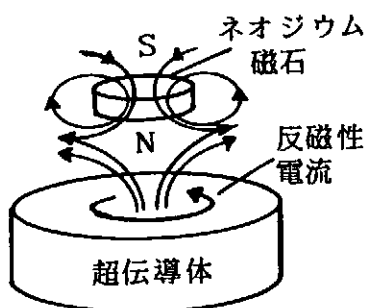


図3 磁気浮上の概念図

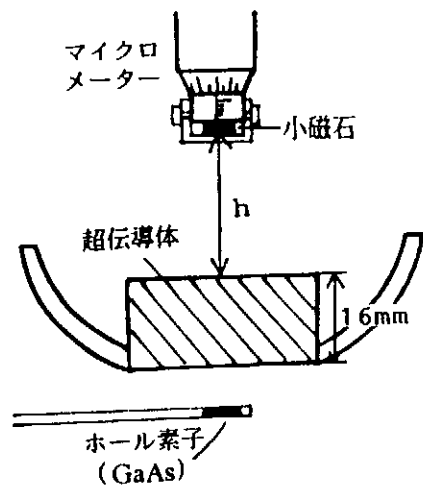


図1 磁場分布の測定装置の概略

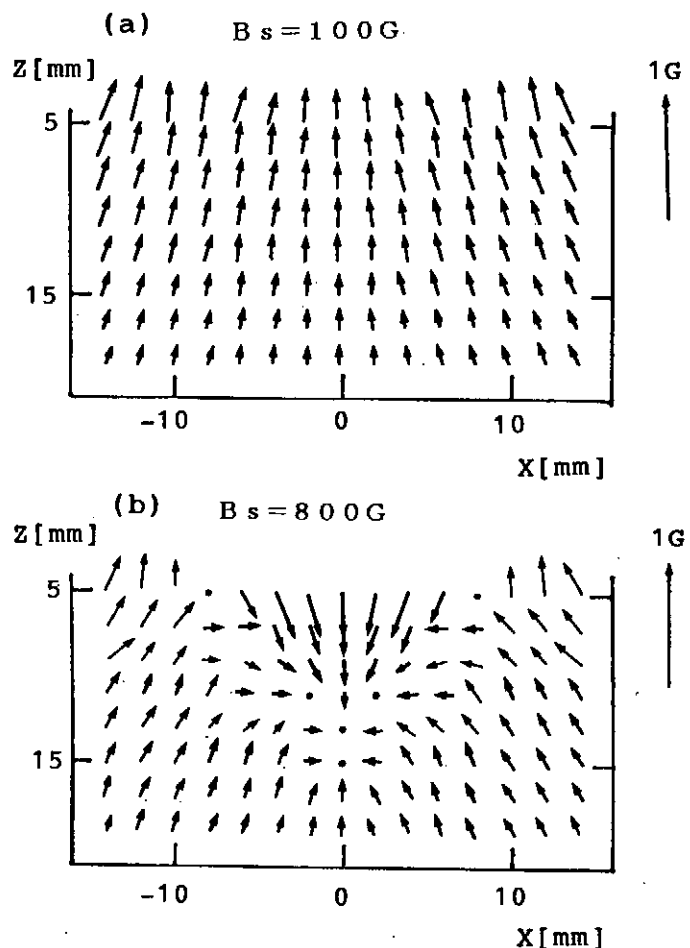


図2 半溶融法超伝導体裏側の磁場分布
(超伝導状態と常伝導状態との差)

次に、磁石を超伝導体に押し付けた場合（下部臨界磁場を越えるため）、磁束は超伝導体内部に侵入し、図4のように超伝導になっていない部分がピン止め点となって磁束の集中が起こると考えられる。これは、超伝導体が磁束を完全に排除するマイスナー効果（完全反磁性）とは異なり、超伝導状態と常伝導状態が混在する混合状態となっていることを示している。

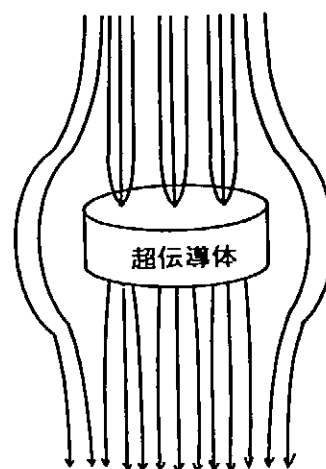


図4 磁束のピン止め効果
の概念図

5. おわりに

今回は、演示実験用の教具とその仕組みを発表するというので、映像の方が分かりやすいので無理を言
ってビデオでの発表を行った。なお、ビデオのセッ
ティングをしてくださった実行委員の方々に感謝する。

小中高校生向けの科学実験をテーマとした「静岡大学テクノフェスタin浜松（1996.11.9-10）・写真5」において、高温超伝導体の磁気特性をモチーフにした演示実験を行った。強力なネオジウム磁石が超伝導体の上に浮かぶ「磁気浮上」の実験に関しても、より高く浮上するということが面白さに直結しており、「磁束のピン止め効果」の実験においても、発泡スチロールの地球儀を吊り下げるなど演示実験をする上での工夫をした。今回のリニアモーターも、磁気誘導モーターも、どちらかと言えば機械的に精工にできたモデルというものではないが、科学のおもちゃ的な観点から見て面白く、だれもが楽しめるということに主眼をおいて製作した。



写真5 96静岡大学テクノフェスタin浜松の様子

- 文献 1) 長島弘幸、増田健二、中原幹夫、佐藤信一：物理教育 38、76（1990）
2) 増田健二、久世宏明：応用物理教育 19-2、43（1995）

電子顕微鏡内蒸着試料ホルダーの開発

名古屋大学大学院工学研究科

○熊澤克芳、木塚徳志、小塚基樹

涌井義一、鷺見高雄

1. はじめに

光学顕微鏡の解像力は使用する光の波長に比例するので、 $0.2\ \mu\text{m}$ 、せいぜい3000倍が限度である。電子顕微鏡は、光学顕微鏡よりもはるかに空間分解能が高い顕微鏡の一つである。この電子顕微鏡は、1930年代の初頭にドイツのE. ルスカによって、世界で初めて製作された装置である。以後、今日までの60年の間に装置開発が意欲的に行われ、現在空間分解能は、数Åにまで達し、原子が見えるまでになっている。この電子顕微鏡は材料研究にさかんに用いられている。その中でも真空蒸着膜の構造研究には極めて密接に関連している。

蒸着膜の成長過程には、

(a) まず核生成が起こり、次にこれら核粒子が成長した島状構造となり、さらに粒子同士の融合を繰返して連続膜になるもの。 (核生成-成長の様式)

(b) 下地表面上に一様に成長していくもの。 (層状成長様式)

があることがわかっている。

エピタキシャル成長とは、この蒸着膜の方位が、下地として用いられた結晶方位と一定の関係をもって成長する現象である。

これまでこの様な蒸着膜のエピタキシャル成長初期過程を解明するために、真空蒸着装置で膜厚をコントロールして蒸着した試料を取り出して、電子顕微鏡で観察するという方法が用いられてきた。電子顕微鏡試料室内に蒸着源を設け、蒸着時の基板に付着する瞬間から成長する過程の原子の状態を直接その場で観察することができれば、エピタキシャル成長初期過程を原子尺度で解明できるはずである。

ここでは我々が開発した200kVの透過型電子顕微鏡(TEM(日本電子製JEM-2010))に使用するサイドエントリー式蒸着試料ホルダーについて報告する。

2. 透過型電子顕微鏡(TEM)について

図1は、透過型電子顕微鏡(TEM)の構造模式図である。

TEMは、電子銃、収束レンズ、試料室、結像レンズ、観察記録装置とに分けられる。電子顕微鏡では試料は対物レンズのポールピースの中心部に入る。試料の挿入方法もトップエントリー式とサイドエントリー式の2つがあ

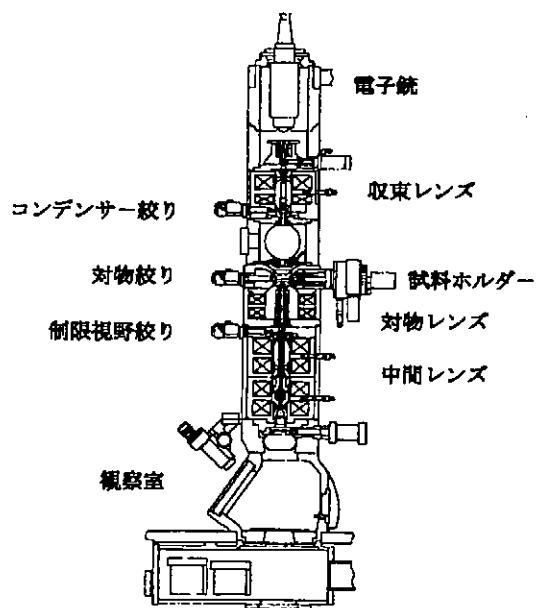


図1 透過型電子顕微鏡構造模式図

る。図2に、対物ボールピースに対する（a）トップエントリー式および（b）サイドエントリー式試料ホルダーの位置関係の模式図を示す。試料室内では、試料ホルダーを前後左右に移動させたり、傾斜させることができる。

市販されている試料ホルダーには、試料の回転、加熱、あるいは冷却などのホルダーがあるが、蒸着ホルダーは、製作されていない。

3. 蒸着試料ホルダーの概要

蒸着ホルダーには、以下の性能が要求される。

- 1) 真空を保つ。
- 2) 内部に蒸発源を組み込む。
- 3) 蒸着距離（試料中心から蒸発源までの距離）を変えられる。
- 4) メッシュを保持できる。
- 5) 試料を傾けられる。
- 6) 非磁性である。

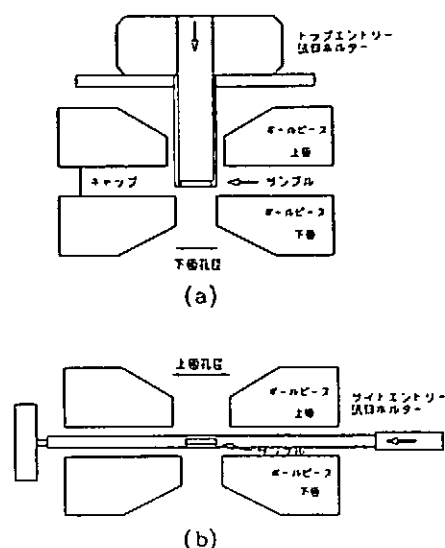


図2 対物ボールピースに対する
(a) トップエントリー式および
(b) サイドエントリー式試料ホルダーの位置関係の模式図

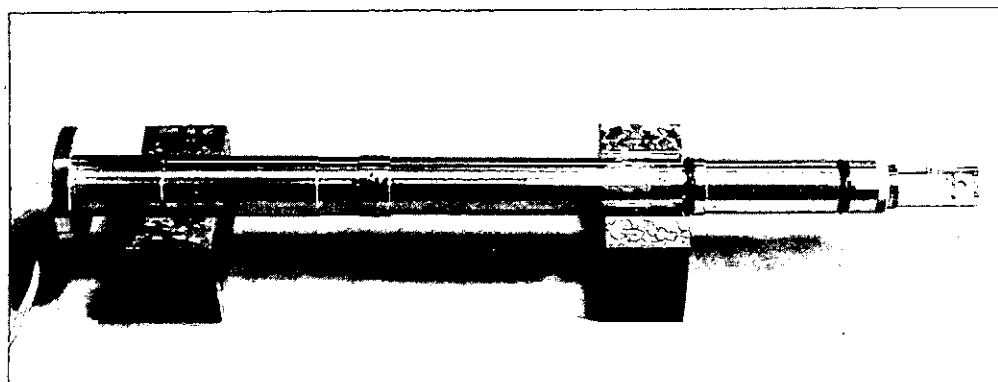


図3 試料ホルダーの外観

図3に、製作した試料ホルダーの写真を示す。試料は、電子顕微鏡の鏡胴の中心に位置するため全体が細長い形状をしている。試料ホルダーの胴体は、ネジにより分離できる構造となっている。加工は、旋盤とフライス盤と、一部ワイヤー放電加工機を用いて加工した。試料ホルダー胴体内部に電流を導入するための電流導入端子を取り付け、電極としている。試料装着部には、試料メッシュ（外径 ϕ 3mm 厚さ 50 μ m, 銅製 150-400 メッシュ）が付けられるようになっている。試料装着部は、約 20 度傾けられるようになっている。試料装着部の加工は、放電加工機で外形を加工後フライスおよび旋盤で行った。焦点範囲内（約 0.1mm）にメッシュの高さを調節するため、一旦組立て電子顕微鏡に装着し高さを測定後、再加工した。先端部の枠は、フライス盤と万能割り出し盤を併用して加工した。

ホルダーの材質は、ステンレス鋼を考えたが、一般にオーステナイト系ステンレス鋼は、非磁性であるといわれているが種類によっては、冷間加工によりオーステナイトの一部がマルテンサ

イト化して加工硬化し、磁性をもつ。今回も製作するとき、加工硬化を押さえるため鋭利なバイトを使用する。あるいは、0.07mm以下の送りは避けるなどいろいろ試みたが、磁性をもってしまった。磁性といってもわずかなもので、アルニコ磁石などの弱い磁石ではわからないが Sm-Co 磁石などの強い、数グラムの磁石がくっつく程度である。

表 1 に、代表的なオーステナイト系ステンレス鋼の特徴と用途を示す。この表によると SUS310S 以外は、加工することにより磁性をもつ。成形時の加工

硬化により、すでに磁性をもっているものもある。製作後熱処理をすれば磁性はなくなるが、変形の心配がある。そのため、胴体は SUS316L を使用した。

表 1 代表的なオーステナイト系ステンレス鋼の特徴と用途

| 鋼種 JIS | 特質および用途 |
|--------------------|--|
| SUS301 | 304タイプに比して耐食性やや劣り冷間加工硬化がいちじるしい。冷間加工により高い引張強さをもたすことができる。家庭器具、パネ、食品工業、車両など。 |
| SUS304 | 301、302タイプより炭素量少なく溶接性良好。一般に耐食性も良好。加工硬化性は301より小さい。化学工業で溶接を要するもの、建築材料、車両など |
| SUS304L | 極低炭素で粒間腐食防止。304では粒間腐食に耐えないものに用いる。溶接のままにて使用するとともに用いる。 |
| SUS305 | 302、304より加工硬化が少なく、Spinning、特殊引抜き、冷間すえ込作業用、絞り率の大きいものに使用。被削性は悪い。 |
| SUS309S | 304よりすぐれた耐熱、耐食性をもっている。加工硬化少なく、冷間加工によっても磁性をほとんどもたない。耐酸化性良好。熱交換器などに使用。被削性は302に類似。 |
| SUS310S | すぐれた耐熱性、耐食性をもつもので冷間加工によっても磁性をもたない。高温使用器具、化学用高温器具、ガスタービン部品に用いられる。 |
| SUS316 SUS316L | 冷間加工性は304タイプと似ているがMo添加により非酸化性の酸に対する耐食性を向上させたもの。Cuの入ったものはさらに耐食性良好である。C<0.03のものは粒間腐食を防止したもの。合成化学工業用装置などに用いられる。 |
| SUS303 SUS303Se | 18-8鋼の快削鋼。18-8(302、304)より腐食性がやや劣る。 |

4. 実験方法と成果

《実験方法》

真空蒸着法により成長基板となる酸化マグネシウム基板を作製した。この酸化マグネシウム基板を製作した試料ホルダーに取り付け、加速電圧 200kV の高分解能電子顕微鏡 (JEOL, JEM2010) の試料室に装着し、金を真空蒸着した。その成長過程を成長表面に平行な方向からその場観察した。真空蒸着および観察は室温で行った。観察像は、TV カメラ、デジタルテープレコーダーおよびイメージプロセッサを用いて記録した。このデジタルテープレコーダーにより観察像を 1/60 秒に時間分解することができる。

《成果》

図 4 は、観察した高分解能像である。はじめ、酸化マグネシウムの清浄表面上に、1 原子高さのステップがある。蒸着を開始すると、蒸着源から基板上に到達した原子は、表面を拡散した後、ステップの位置に凝集しエンブリオとなる金クラスターを形成する (302/30s)。この時点ではクラスターは構造変動をしており、クラスターの直径が約 2nm になると構造変動は止まる (484/30s)。クラスターの外形は四角錐に変化する (606/30s)。蒸着の進行とともに成長し、その後、クラスターは四角錐の頂点が面取りされた外形に変化する (1194/30s)。さらに蒸着が続くと再び成長方向上部の頂点が再構築される (1346/30s)。その後、再び四角錐のこの頂点は面取りされる。このようにクラスターは頂点の面取りと再構築を繰り返しながら成長する。この時、初めに形成されたクラスターの隣に新しいクラスターが二次核生成する (2244/30s ↓印)。新しいクラスターは、エピタキシャル方位を保ったまま始めに形成されたクラスターの方へと移動し、合体する (2849/30s)。その後、クラスターは原子拡散により再び {111} Au が現れた外形となる (2997/30s)。

このように、開発した試料ホルダーにより金のエピタキシャル成長初期過程を原子直視的にとらえることができた。

5. まとめ

エピタキシャル成長を初めとする薄膜成長機構を解明するために有効な、電子顕微鏡内試料蒸着ホルダーを開発することができた。

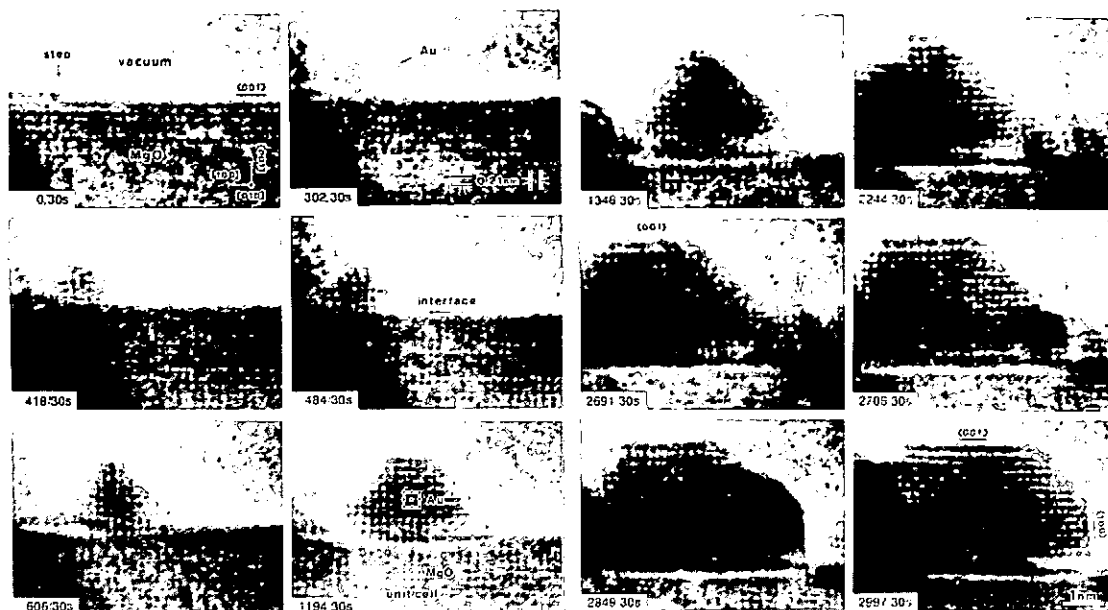


図4 酸化マグネシウム基板上の金の成長過程の高分解能像

謝辞

この電子顕微鏡内蒸着試料ホルダーの製作にあたり、快く工作機械をお貸しいただいた理学部装置開発室の方々に心より感謝いたします。

参考文献

- 1) 松井良夫 “始めて見る電子顕微鏡” 日本結晶学会誌 39, 157-167 (1997).
- 2) 上田良二編 「電子顕微鏡」, 共立出版 (1982).
- 3) T.Kizuka, Y.Tsuzuki, K.Kumazawa and N.Tanaka, Interface Science and Materials Interconnection, Proc. of JIMIS-8 (1996), Jap.Inst.Met. p415-418
- 4) 日本金属学会編：改訂5版「金属便覧」, 丸善, (1990).
- 5) 倉田忠雄著：ステンレス鋼の切削加工, 日刊工業新聞社 (1966).

大型ヘリカル装置（LHD）真空部品のマイクロ波吸収による破損対策

核融合科学研究所 ○駒田誠司、伊藤 哲、野田信明、佐藤元泰、下妻 隆
川端一男、武藤 敬、中村幸男、坂本隆一

1. はじめに

大型ヘリカル装置（LHD）での実験，とくに数MWのマイクロ波を長時間入射する定常実験ではOリングやガラス窓がマイクロ波を吸収して焼損、破損するのが問題になる。そのようなことを起こさないために必要な試験をして安全のための基準を作っている。対策として以下の点を検討した。

- Oリングの材質の選択
- ゲートバルブの種類の選択
- ガラス窓の材質の選択
- メッシュの使用
- パワーモニターの製作

夫々について順に述べる。

2. Oリングの材質の選択

Oリングの材質を選ぶために、いろいろな材質のOリングに放電洗浄で使う2.45GHzと電子サイクロトロン加熱（ECH）の84GHzのマイクロ波を当てて温度上昇を比べた。使用したOリングの材質は、バイトン、カルレッツ、シリコンゴム、クリスタルラバーである。バイトンは弗素ゴム的一种で色は黒、真空止めに普通に使われる。カルレッツも弗素ゴム的一种で色は黒、高温に耐える（300℃まで使用可）と言われる。シリコンゴムは茶色で気体の透過率がバイトンの10倍以上ある。クリスタルラバーは弗素ゴム的一种で色はわずかに桃色がかっていて透明である。

方法

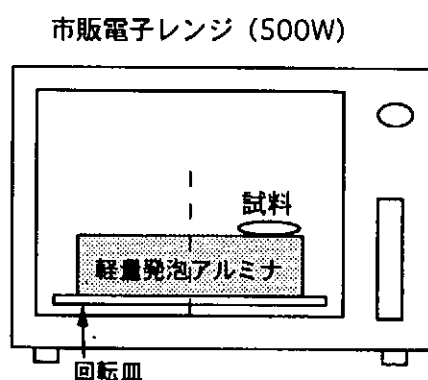


図1 2.45GHzの実験方法

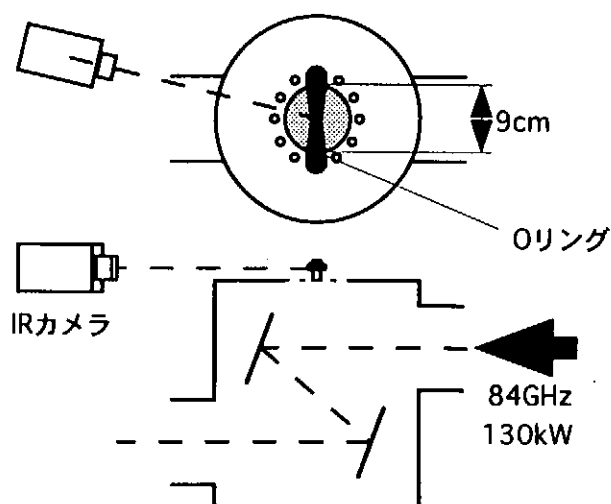


図2 84GHzの実験方法

1) 2.45GHz

図1のように市販の電子レンジ（500

W) の回転皿に軽量発泡アルミナの断熱材を置き、その上に試料をのせて加熱し、1分ごとに扉を開けて放射温度計で温度を測った。

2) 84GHz

図2のようにミラーボックスにマイクロ波を通し、上の穴から漏れるマイクロ波を穴の上に渡した試料に当てて赤外線カメラで測った。穴から漏れたマイクロ波は約100Wである。

結果

カルレッツの温度上昇はバイトンと同じくらいである。高温に耐えると言われるがバイトンよりもよく切れた。

シリコンゴムは2.45GHzではバイトンと比べて温度上昇は4分の1以下である。しかし84GHzではバイトンとほとんど変わらない。

クリスタルラバーは2.45GHzではバイトンと比べて温度上昇は4分の1以下、84GHzでは半分くらいであるが簡単に切れたり変形したりする。

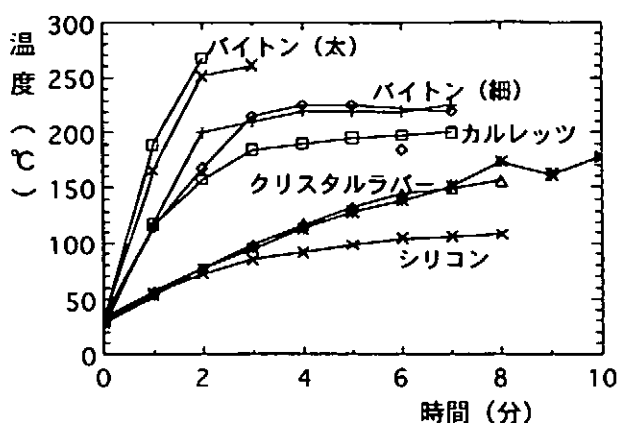


図3 2.45GHzの吸収試験

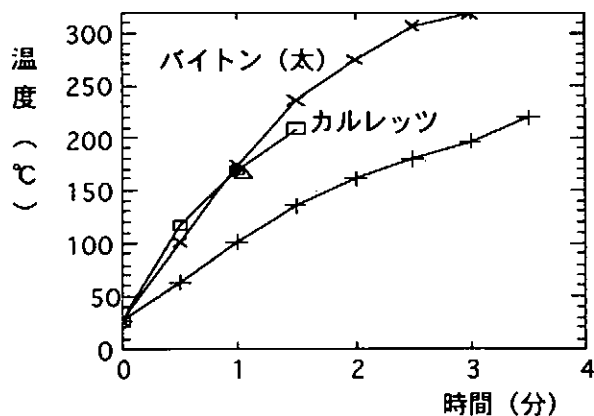
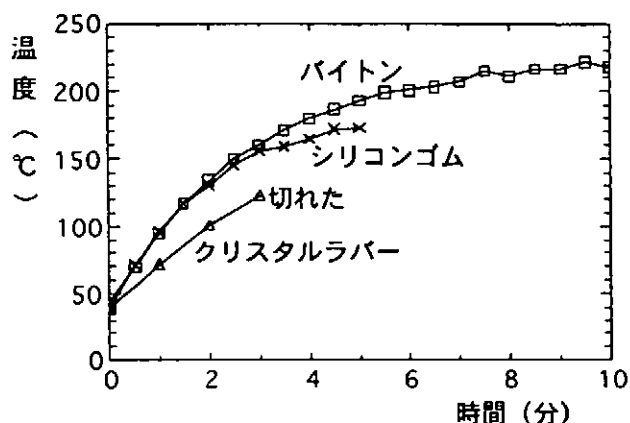
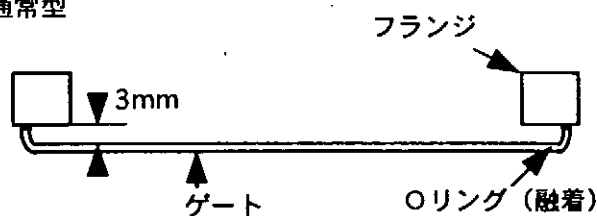


図4 84GHzの吸収試験

通常型



交換型

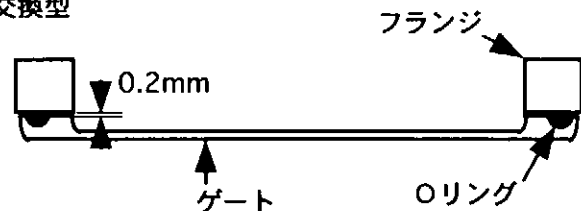


図5 ゲートバルブの種類

3. ゲートバルブの種類の選択

2種類のゲートバルブを用意して、そこで使うOリングの温度上昇を測った。ひとつは普通に使われるものでOリングがゲートに融着されていて簡単に交換できないものであり、フランジとゲートの隙間が約3mmある(通常型)。もうひとつはOリングをゲートの溝にはめてあって簡単に交換できるものであり、フランジとゲートの隙間が約0.2mmある(交換型)。

方法

テストチェンバーにゲートバルブを取り付けて84GHzのマイクロ波を入射し、赤外線カメラで測った。ゲートバルブを全開にしたとき、半開にしたとき、全閉にしたときの夫々について比較した。全開、全閉のときはOリングが見えないので、入射を止めたあとすぐに半開にして測った。

結果

全閉のときに顕著に差が出た。交換型は通常型と比べて温度上昇は20%以下だった。

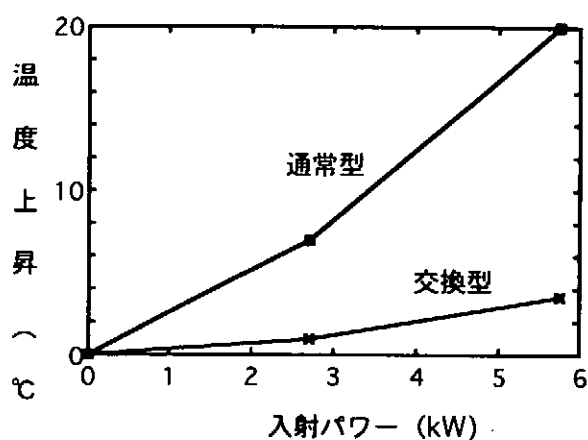


図6 ゲートバルブの種類と温度上昇

4. ガラス窓の材質の選択

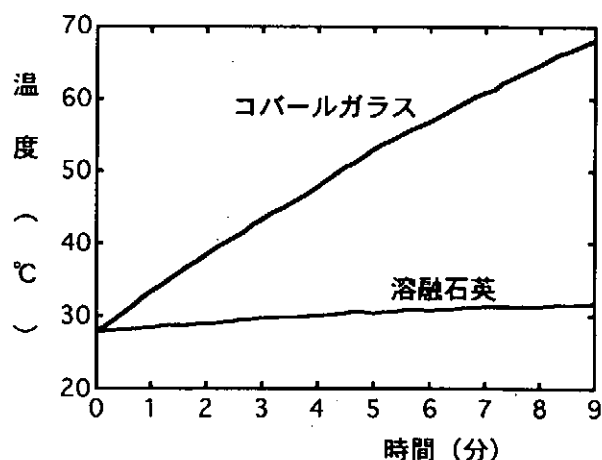
ガラス窓のガラスを選ぶため、2種類のガラスの窓を用意して84GHzのマイクロ波を当てて温度上昇を比べた。ひとつは通常窓材として使われるコパールガラスで、もうひとつは熔融石英ガラスである。

方法

テストチェンバーにフランジ付のガラス窓をつけて84GHzのマイクロ波を入射し、温度を赤外線カメラで測った。

結果

熔融石英ガラスの温度上昇はコパールガラスの10分の1程度だった。



入射パワー 800W (200kW 0.4% duty)

図7 ガラス窓の材質と温度上昇

5. メッシュの使用

メッシュがどのくらいマイクロ波の透過を防ぐかを調べてどんなメッシュを使うかを定めるため、2種類のメッシュでメッシュを張ったフランジにマイクロ波を通し、マイクロ波透過率を測った。

方法

2種類のメッシュを用意した。ひとつはニッケルメッシュ#100 (透過率60%)でもうひとつは銅メッシュ#70 (透過率90%)である。これらをフランジに張ったものをテストチェンバーに取り付けて84GHzのマイクロ波を通し、どれだけ透過したかをチュービングの水温で測った。あわせて、メッシュの温度上昇を赤外線カメラで測った。

結果

ニッケルメッシュ#100 (透過率60%)

| | |
|-------------------|------|
| 温度上昇 (30 秒間) | 0.5℃ |
| マイクロ波吸収率 | 0% |
| 銅メッシュ#70 (透過率90%) | |
| 温度上昇 (30 秒間) | 1.1℃ |
| マイクロ波吸収率 | 21% |

になった。

6. パワーモニターの製作

LHDのポートの内側に置いて、そこにあるどのくらいの強さのマイクロ波が来ているかを測って加熱をやめるかどうかなどを決める参考にするための簡単なパワーモニターを作ることができるかどうかを確認するため、試験用のパワーモニターを作って試験をした。

方法

試験用のパワーモニターを3つ用意した。ひとつはステンレスの鞘に収まった测温抵抗体の先端にアルミナをつけたもので、ひとつはカーボンをつけたもの、もうひとつは何もつけないものである。これらを図8のようにテストチェンバーに取り付け、84GHzのマイクロ波を入射して温度を測り、ゲート通過パワーをゲートバルブの上で水に受けて測った。

結果

図のとおりゲート通過パワーと温度上昇はどのパワーモニターでも比例した結果になった。

まとめ

これらの試験の結果から以下のとおり結論した。

- 1) Oリングの材質を選ぶことにより焼損を避けることはできない。
- 2) 交換型ゲートバルブの使用を推奨する。
不可能なときは、ゲートバルブの改造で0.2mm程度のスリットをつける。
- 3) メッシュの使用を推奨する。
- 4) メッシュを使用できない場合の熔融石英ガラスの使用を推奨する。
- 5) 簡単なパワーモニターを製作できる。

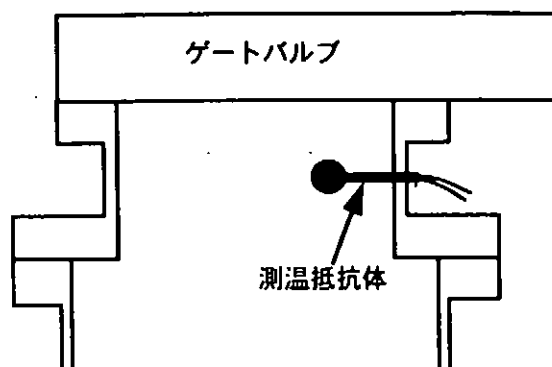


図8 パワーモニターの試験方法

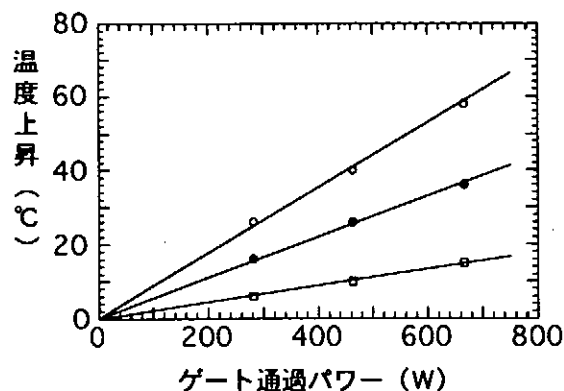


図9 パワーモニター

マイクロエレクトロニクス実装技術 とセラミックヒーター

静岡大学工学部
物質工学科
高瀬 博

1. 技術革新とマイクロエレクトロニクス

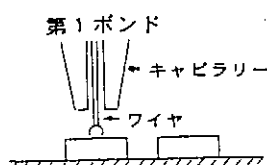
70年代はローマクラブの『成長の限界』という考え方が世界的に広まった。そのため技術革新という発想が出にくい環境にあった。80年代に入ると技術革新に対する見方が変わり、新しい技術を追及する気運が生まれた。情報革命、機電革命、光革命、生物革命、材料革命という五大革新が提唱された。これらの中でもエレクトロニクス、ニューセラミックスが大きな位置を占めている。

エレクトロニクスの幕開けは、20世紀初期に真空管の発明に始まる。その後ゲルマニウムを利用したトランジスタが発明されると、エレクトロニクスは質的に大きく飛躍した。トランジスタは小型で省電力、高信頼性という特徴があった。さらにIC、LSI、超LSIの発明により、エレクトロニクス産業は急速に展開した。IC発明以降の電子技術は、マイクロエレクトロニクス(ME)と呼ばれる。

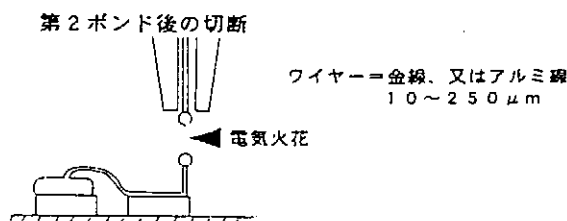
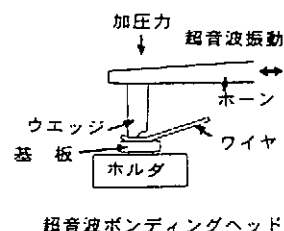
ICチップには素子や回路が多数組み込まれているが、チップと外部との信号をやりとりする配線にワイヤーボンディング法が用いられる。ワイヤーは直径30ミクロンほどの金線またはアルミ線で、熱圧着法と超音波振動法が多く採用されている。このうち熱圧着法のボールボンディング法の概念図を《図-1》に示す。

ICチップはリードフレームと呼ばれる合金の上に固定される。リードフレームの先端部の足は、放熱とソケットとの接続を兼ねている。ICは熱に弱いほか湿度にも弱く、セラミック又は樹脂でパッケージする。樹脂を熱溶着する操作ではマイクロヒーターが用いられる。

熱圧着法 ボールボンディング



超音波法



《図-1》ワイヤーボンディング法の概念図

2. マイクロセラミックヒーター

IC、LSI製造の最終工程であるパッケージには、セラミックパッケージとプラスチックパッケージの二種類がある。前者は内部を真空にした気密封止で、高性能だが価格が高い。需要の大部分を占めるプラスチックパッケージでは、一般にエポキシ樹脂が使われる。樹脂を熱溶着するヒーターとして、従来は主として金属線ヒーターが用いられていた。最近になって、熱伝導性が高い材料として知られる窒化アルミ(AlN)を基板とする厚膜型セラミックヒーターが株式会社ジコーによって開発され、1994年から販売されていた。このヒーターは初期には500Wタイプだったが、その後1000Wタイプへと改良された。窒化アルミは急加熱、急冷却ができる特徴があり、1000Wタイプの場合、1秒間で500°Cまで昇温することができる。大きさは500円硬貨とほぼ同じ

で、切手サイズである。

現在の製品は最高500°Cで、使用温度はこれ以下の温度であるが、断線による故障が発生するため、寿命は長いとは言えない。ユーザーからは寿命の長いヒーターが要望されている。株式会社ジコーの本業は別にあり、ベンチャービジネスとしてセラミックヒーターを手掛けており、そのため技術や経験の蓄積がない。たまたまジコーの代表者が本学部化学系のOBであり、共同研究とすることによって現製品の改良、高温タイプの開発などを目指すことになった。これに関して技術分野で私が協力し、官民共同研究として行っている。

3. セラミックヒーターの製造法

窒化アルミ基板の上に、第1層として白金パラジウムペーストをスクリーン印刷する。印刷後にレベリングと呼ばれる操作で気泡を浮上させ、150°Cで乾燥し、電気炉で1000°C、10分間焼成する。つぎに第2層としてガラスペーストを印刷、乾燥し、950°Cで10分間焼成する。このガラスは結晶を生成するガラスで、強固な被覆層を作って白金パラジウム層を保護する。最後に端子部に銀線を取り付け、銀パラジウムペーストを塗布し、900°Cで10分間焼成する。このヒーターにムライト質の台座を装着し製品として完成する。

4. 断線ヒーター解析の方法

断線原因の解明のため、どのような方法を採用すべきか、未経験のため、まだ確立していない。微小元素分析にはEPMA、微小観察にはSEMが適しているが、金属蒸着が必要なうえ、この方法のみで断線原因が解明できるわけではない。断線する場所は、白金パラジウム導体の部分や、端子部などがある。今回解析したヒーターは端子部が断線したサンプルであった。そこで次の顕微鏡観察と化学的処理を試みた。

(1) 顕微鏡観察

実体顕微鏡は40～80倍、鉱物顕微鏡は100倍で観察した。熔融したガラスや金属（球）は照明光を反射して、肉眼、VTR写真とも判別が難しかった。カラーVTRカメラは一般用を使用したため鮮明度が十分ではなかったが、白黒フィルム写真よりは表現力は大きかった。

(2) 化学的処理

顕微鏡観察によると銀、白金、パラジウム、ガラスとが熔融混合していた。そこでまず、露出している銀の分布を観察するため、硫化ナトリウム溶液を滴下し、硫化銀の黒褐色変色を観察した。しかしながら、白金パラジウムも黒色のため、明瞭な区別は困難である。次に、希硝酸溶液で硫化銀と銀を溶解した。洗浄後にフッ化水素酸溶液を滴下して結晶化ガラスの溶解を試みた。通常のガラス溶解では、フッ化水素酸と硫酸の混合液を加熱するため、果たして溶解するのか危惧された。フッ化水素酸処理後の顕微鏡観察では、結晶化ガラスが溶解したことが確認できた。こうして銀とガラスを溶解除去して、最終的に白金パラジウムのみが残留した。これらの各処理の段階でVTR写真を撮影した。

5. 断線ヒーター解析の結果

化学的処理によって最終的に残留した白金パラジウムを観察すると、白金パラジウム層は、窒化アルミ基板からほとんど剥離している部分と、剥離していない部分とが観察された。このことは窒化アルミ基板と白金パラジウムとの密着性が均一でなく、密着性の弱い部分があることを

示唆する。両者は本来密着性がなく、添加物である接着用ガラス成分も密着強度はそれほど大きくない。加えて窒化アルミと白金パラジウムの膨張率の違いから、厚膜層の浮き上がりが生じる要因になり、これより断線故障を発生することは十分考えられる。

白金の融点は1774°C、パラジウムの融点は1555°Cである。結晶化ガラスの融点は不明だが、ガラス製造の経験からは、1500°C以上と推定される。すなわち、1500~1700°C付近の高温度が瞬間的に発生したことが推測される。ヒーターは1kWで100V-10Aまたは200V-5Aが使用されている。5Aもしくは10Aの電流で1700°C前後の高温度を瞬間的に発生する熱源としては、アーク放電以外に考えにくい。端子部は銀線をリード線に使用しており、銀は熱膨張率が大きいため、加熱・冷却サイクルによって膨張・収縮を繰り返す。5Aもしくは10Aの電流が流れる白金パラジウム導体層は厚さは10ミクロンあり、銀線・銀ペーストの膨張・収縮に影響されて、厚膜層に微小な亀裂が生じ、亀裂の両端を電極としてアーク放電が発生したのではないかと推測した。ここで問題になるのは、5Aもしくは10Aの電流で1700°C前後の高温度が発生しうるのか、という点にある。これを確認するため、熱電対接点の溶接に使用しているカーボンアーク溶接機(1kW)が発生する温度を調べた。

6. カーボンアーク溶接機による発生温度の推定

解析の依頼から1ヶ月程度の期間で結論を出す必要があり、測定に必要な機材を調達する時間的余裕がなかった。そこで手持ちの機材、材料を使用したため、直接温度を測定したのではなく、あくまで推定した結果である。いくつかの高融点材料が熔融したかどうかを、発生温度の目安とした。《表-1》は高融点材料と比較材料を、《表-2》はヒーターに使用している白金パラジウムペースト、銀パラジウムペーストの組成と、状態図から求めた融点を示す。

| | 材 料 | | 融 点 | 結 果 |
|-----------------------|-----------------|--------|---------|--------|
| 高 融 点 材 料 | P t 9 0 R h 1 0 | 熱電対 | 1820 °C | 熔融する |
| | アルミナ磁器 SSA-II | 91% | — | 熔融ガラス化 |
| | アルミナ磁器 SSA-S | 99.5%+ | — | 熔融する |
| | アルミナ | コランダム | 2050 | — |
| | タングステン線 | 0.3mm径 | 3382 | 熔融しない |
| 比 較 材 料 | P t 9 0 P d 1 0 | | 1780 °C | — |
| | P t 8 0 P d 2 0 | | 1715 | — |
| | A g 7 0 P d 3 0 | | 1225 | — |
| | A g | | 960 | — |

《表-1》カーボンアーク放電の温度測定に用いた高融点材料の結果

A g - P d ペーストの成分は現時点で不明のため、次の2種類を例示した。

| 成 分 | P t - P d ペースト | A g - P d ペースト | |
|--------|----------------|----------------|-----------|
| P t | 6 0 w t % | — | — |
| P d | 4 0 | 1 0 w t % | 3 0 w t % |
| A g | — | 9 0 | 7 0 |
| ガラス | 1 0 | ? | ? |
| 有機物 | 3 0 | ? | ? |
| 融点(°C) | 1 7 4 0 | 1 0 5 5 | 1 2 2 0 |

《表-2》厚膜印刷ペーストの成分と融点

この結果によれば、1 k wのカーボンアーク放電により、1800°C程度の温度が容易に発生することから、ガラスやA gペースト、P tペーストのいずれも熔融したことが推定できる。このような高温度を瞬間的に発生させる理由が他に見当たらないため、間接的ながらアーク放電が断線の原因であると推断した。膨張・収縮によって亀裂が発生しても、現在のところ確認する方法がない。顕微鏡観察によると、結晶化ガラスの表面には部分的に微細な亀裂が存在しており、亀裂の発生とアーク放電との関連を推測させる。

7. 結 論

前記のように、端子部分が断線したセラミックヒーターを解析した結果、断線原因を次のように結論づけた。

基板A l N上に印刷した白金・パラジウム導体は、部分により密着性が必ずしも均一ではなく、密着強度の弱い部分がある。ヒーター加熱面は、硬質度の高い結晶性ガラスで被覆され、密着強度の弱さを補強している。唯一、端子部分には異種物質が混在しているだけでなく、結晶性ガラスの被覆がされていない。加熱による膨張、冷却による収縮が繰り返される結果、徐々に変形し亀裂が発生し、白金・パラジウム導体層に極くわずかな隙間が発生した瞬間、アーク放電が生じ、白金の融点(1774°C)以上の高温度が発生する。アーク放電の持続時間がわずかなため、白金パラジウムは一部が熔融し、銀は融点(960°C)が低いいため容易に融解する。

8. 謝 辞

ここで紹介したセラミックヒーターに関する研究開発は、総合的な技術力を駆使することを必要とする。これまでに蓄積してきた技術のみでは足りず、未経験の技術にも取り組まなければならない。特に、専門の技術者を持たない株式会社ジコーの場合には大学に期待がかけられる。私自身、これまでに蓄積した経験が生かされ、新たな技術を取得する機会でもある。技術提供を本務とする技官として、自らの技術力を試されていることを痛感する。世界に誇る日本のエレクトロニクス産業に、この小さな部品が寄与していることを思い、その研究開発という機会が私に提供されたことを関係者に感謝したい。また技術発表にあたり核融合研など技術研究会スタッフにも敬意を表したい。

《参考資料》

1. 小松政男、電子材料、1995年 2月号、P.112-119

“窒化アルミニウムを使用したセラミックヒーターの特徴と応用”

超精密CNC旋盤 —位置決め精度測定—

名古屋大学理学部装置開発室 鈴木光一
小林和宏

1 はじめに

装置開発室では平成7年度に超精密CNC旋盤（理研製鋼UPL-1）を設置した。その納入時の精度検査で、てこ式電気マイクロメーターでの繰り返し位置決め(repeatability)精度の測定値が許容値 $\pm 0.3 \mu\text{m}$ をはずれて約 $5 \mu\text{m}$ の変動を生じた。しかし、それ以外の検査及びテーパ切削試験等では概ね良好なデータが得られた。後に理研製鋼より、使用したてこ式電気マイクロメータの触針を当てる方向によって測定値が変動する事が原因で許容値が大きくはずれたとの調査報告があった。

このCNC旋盤はこれまでに、アクリル製のライトガイド^{注1}、衛星搭載用イオン検出器^{注2}等の超精密加工に利用してきた。今回、検査されずにいた繰り返し位置決め精度を再検査し、さらに位置決め精度(positioning accuracy)の測定をレーザー干渉測長機を用いて行った。これらの結果は今後より形状精度の高い超精密加工のための基礎データとするものである。

2 精度測定

2.1 測定項目

項目は未検査の繰り返し位置決め精度及び位置決め精度について行うこととした。位置決め精度についてはレーザー測長機などの設備が必要で納入時検査等では通常行われない項目である。その代わりにテーパ切削を行って形状精度を工場で検査し位置決め精度を含めた総合的な精度として報告される。

2.2 測定方法

測定方法は理研製鋼株式会社に製造される超精密CNC旋盤の精度検査規格に準じて行った。測定機については表1に示す仕様のHP社製レーザー干渉測長機を用いた。

表1 レーザー干渉測長機仕様

■レーザー光の特性

種類：完全自動調整方式による軸ゼーマン分割型二周波方式の波長安定化He-Neガスレーザー。
真空中の波長：632.991nm, 最大出力：1mW, ビーム直径：6mm

■長さ/速度測定

測定精度：測定精度は波長補正方法と動作温度によって異なる。次表の値は物体温度及び、線膨張係数が既知の場合に適用される。

| 動作温度範囲 (°C) | 光速度 (VOL) の補正方法 | |
|-------------|---------------------------|-------------------------------|
| | 手動補正 (VOLが光路内で正確に判っている場合) | 自動補正 (10751A/Bエアーセンサーを使用した場合) |
| 20 (±0.5) | ±0.1ppm | ±1.5ppm |
| 15~25 | ±0.1ppm | ±1.7ppm |
| 0~40 | ±0.1ppm | ±3.0ppm |

測定分解能：0.01 μm

測定範囲：最大40m, ビームの環境条件に依存する。（測定範囲とはレーザーヘッドと反射鏡間をいう。）

最大測定速度：±27,000mm/分

速度測定分解能：0.1mm/分

速度測定範囲：長さ測定に同じ

^{注1} 素粒子物理実験用の巨大検出器から発光する蛍光を直径8mmのフォトディテクタに導くための部品で、軸外し回転放物面形状（ウインストンコーン）と表面粗さ0.02 μm が必要であり、この旋盤を用いることにより加工が可能。

^{注2} 衛星搭載用イオン検出器は、MCPを用い空間の浮遊イオンを検出する装置で、ここでは可視から紫外光領域の光を遮断するためのバッフル板の表面を鏡面加工するために用いた。

2.2.1 直線運動の繰り返し位置決め精度

測定方法の略図を図1に示す。往復台、刃物台のそれぞれについて、任意一点に同一方向から原則として早送りして繰り返し10回の位置決めを行って停止位置を測定し、その読みの最大差の1/2に(±)を付けた値を測定値とする。測定回数はJISでは7回と定められているが、理研製鋼株式会社では条件を若干厳しくするため、10回の位置決めを行って測定しており、今回これと同じ方法で行った。規格における直線運動の繰り返し位置決め精度の許容値はX軸方向、Z軸方向とも $\pm 0.3 \mu\text{m}$ である。

2.2.2 位置決め精度

光学系などの配置は繰り返し位置決め精度測定の場合と同じで図1に示す。あらかじめ正(又は負)の向きに移動して停止させ、その位置を基準にして同じ向きに早送りで、4mmづつ40mmの間正(負)方向に移動させ、位置決めを行い、移動すべき距離と実際に移動した距離との最大差を測定値とする。これをX軸方向とZ軸方向についてそれぞれ行う。位置決め精度の許容値はX軸方向、Z軸方向とも $2 \mu\text{m}$ である。

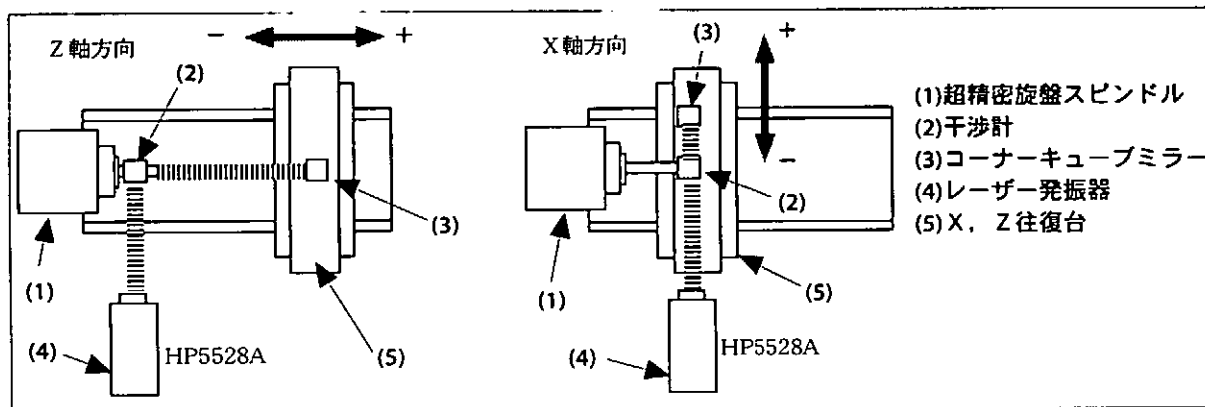


図1 測定方法の概略図

3 測定結果

3.1 直線運動の繰り返し精度

直線運動の繰り返し位置決め精度の測定結果を図2、図3及び表2に示す。

3.2 位置決め精度

位置決め精度の測定結果を図4、図5及び表3に示す。ここでのグラフは4mm送られることの指令値に対して、位置決めした位置のずれ量を示している。図5中のマイナス側、中間部、プラス側とは、それぞれ旋盤のスピンドルに近い部分、中間部分、遠い部分の任意位置40mm間としている。

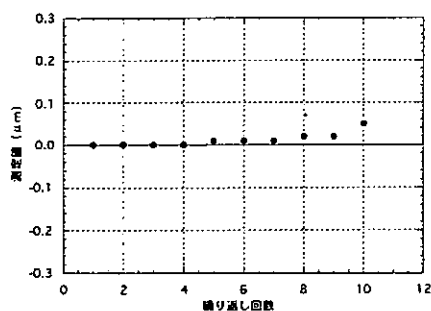


図2 繰り返し位置決め精度 (X軸)

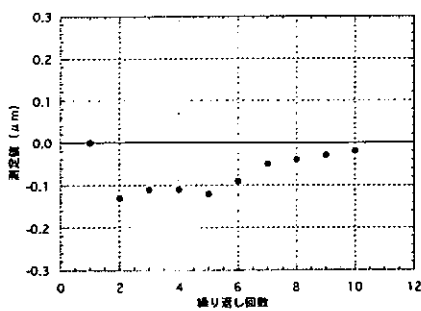


図3 繰り返し位置決め精度 (Z軸)

表2 精度測定結果
(繰り返し位置決め)

| 軸方向 | 測定値 (μm) | 許容値 (μm) |
|-----|--------------------------|--------------------------|
| X | ± 0.025 | ± 0.3 |
| Z | ± 0.060 | ± 0.3 |

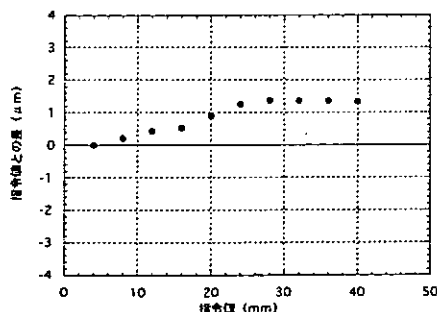


図4 位置決め精度 (X軸)

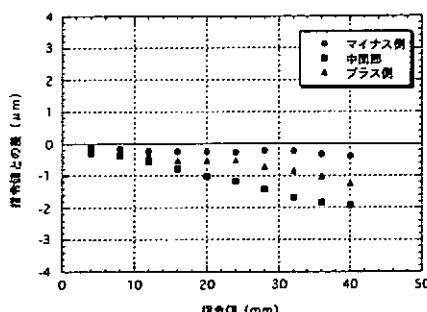


図5 位置決め精度 (Z軸)

表3 精度測定結果
(位置決め)

| 軸方向 | 測定値 (μm) | 許容値 (μm) |
|-----|--------------------------|--------------------------|
| X | 1.36 | 2 |
| Z | 1.90 | 2 |

3.3 工場出荷前検査との比較

測定した超精密CNC旋盤は、昭和61年6月製造で（株）ナルックスに納入され約9年間コンタクトレンズ等の金型加工用に使われていた。その後装置開発室に移設されたものである。

理研製鋼より工場出荷前検査を入手し、今回の測定値と比較したものを表4に示す。表中の出荷前検査の繰り返し位置決め精度測定値は電気式マイクロメータを用いて測定している。この測定器の最小読みは $0.1\mu\text{m}$ で、測定器そのものの精度や読みとり誤差等が含まれているので厳密な比較にはならないが、位置決め精度については、工場では今回と同じくレーザー測長機によって測定されている。

出荷時の測定値から見ると、精度は若干悪化していると思われる。今回の2項目の測定値はいずれも許容値内にあり、製造から約10年が経過しているが、精度は維持していると言う結果が得られた。

表4 工場出荷前検査との比較
(*1) て式電気マイクロメーター（分解能 $0.1\mu\text{m}$ ）で測定

| 検査項目 | | 測定値 (μm) | | 許容値 (μm) |
|------------|----|-----------------------|-------------|-----------------------|
| | | 工場出荷前検査 (1986) | 今回の精度検査 | |
| 繰り返し位置決め精度 | X軸 | ± 0.125 (*1) | ± 0.025 | ± 0.3 |
| | Z軸 | ± 0.175 (*1) | ± 0.060 | ± 0.3 |
| 位置決め精度 | X軸 | 0.9 | 1.36 | 2 |
| | Z軸 | 1.0 | 1.90 | 2 |

4 考察

4.1 レーザー測長機について

文献1)2)ではレーザー干渉計による計測では測定の誤差を生じさせる要因が多いとされている。通常、測定は大気中で行うが、光の波長 λ は $\lambda = \lambda_0 / n$ (λ_0 : 真空中の波長, n : 空気屈折率)で与えられ、 n が変動すれば波長 λ も変動し測定精度への影響は無視できない。たとえば、空気の状態が、気温 1.1°C 、気圧 2.8mmHg の変動で光の波長に 1ppm の変動を与えられている。レーザー光の波長変動以外にも測定対象物の熱膨張による影響も大きい。また、使用する光学素子も同様に考慮する必要がある。

レーザー測長機の取り扱いについても、光軸調整の精度からくる誤差などもあるため今回の測定値の確度について以下にまとめてみた。

4.1.1 コサインエラー³⁾

図6に示すように反射鏡の移動軸がレーザー光源、干渉計、反射鏡からなる光軸と合っていない場合に生ずる誤差をコサインエラーという。調整は反射鏡を移動させながら反射鏡からの戻り光のスポットがずれないようにレーザー光軸の調整を行う。目視による調整は 0.3mm 程度のズレまでならば判別できる（実際にはもう少し合わせ込んである）。移動範囲 150mm の調整距離でズレが最大 0.3mm とすると θ は約 0.057° 。測定距離 40mm で最大で約 $0.02\mu\text{m}$ (0.5ppm)の誤差が含まれると考えられる。

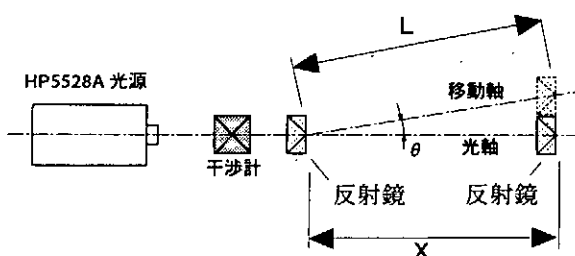


図6 コサインエラー

実際に移動した距離 L に対して測定値 X は
$$X = L \cdot (1 - \cos \theta)$$
となる

4.1.2 測定環境

測定する部屋などの環境がもっとも重要で、使用したHP5528Aは測定する場所の気温、気圧、湿度、物体温度のセンサーを配置し、その値から測定値を補正することができる。しかしセンサー自身の誤差があるため表1より $\pm 1.7\text{ppm}$ の測定確度が考慮される。

4.1.3 室温変動

測定を行った部屋はエアコンと除湿器によって設定温度 23°C で湿度 50% 以下に保たれているはずであるが、実際には温度差約 4°C の変動があり、光学素子及び保持具が温度差によって測定値に影響を与えていることが判明した。このためビニールシートによる簡易的な覆いを設け温度差を 1°C 以内にした。これにより図7に示すように温

度変動の1周期あたり測長機の表示値の変動を約 $0.3\mu\text{m}$ にする事ができた。この環境で1回の測定時間は約5分であり室温変動による測定誤差は約 $0.1\mu\text{m}$ と推定した。

4.2 位置決め精度について

この超精密CNC旋盤（UPL-1）のX軸及びZ軸の最小設定単位は $0.1\mu\text{m}$ である。それに比べて位置決め精度は 40mm で $1\sim 2\mu\text{m}$ と意外に大きな量である。これは図8に示すように刃物台の移動の真直度が影響していると思われる。

指令値は送りネジ軸の延長線上にあるロータリーエンコーダーの値で精度は旋盤の仕様である $0.1\mu\text{m}$ 相当の位置決め精度があると予想される。一方、レーザーによる測長値はおおよそ 100mm 上方にある光軸上で測られる。スライドテーブルの真直度が悪く反射鏡の移動に伴って傾きがある場合、反射鏡の位置は送りネジによる移動量より $\Delta L = h \cdot \tan \theta$ の差を生じて移動していることになる。

X軸についてオートコリメータにより傾きの有無を測定した結果を表5に示した。これより指令値と移動量との差 ΔL は、 $h=100\text{mm}$ 、 $\theta=2\text{sec}$ とすると $\Delta L \sim 1\mu\text{m}$ となる。これは、今回の測定値とほぼ一致する。さらにZ軸についても同様の現象があると思われる。

特にZ軸の中間部は他よりも精度が悪く現れている（図5参照）。この原因として我々は中間部はスライドテーブルの使用頻度が多く接触面の摩耗等の影響で真直度が悪くなっていると考えられる。

この旋盤の工具取り付け位置は今回の光軸とはほぼ同じ高さの位置に取り付けるので、今後加工における形状精度に関して、貴重なデータとなった。また、この真直度についてどの部分が起因しているかは今後調査していく課題とする。

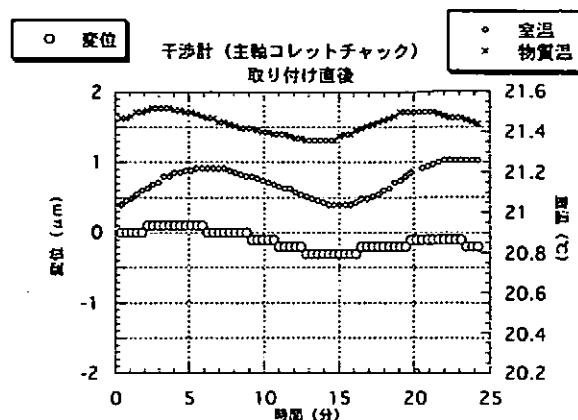


図7 室温変動と測長機位置表示の変位

表5 刃物台X軸の傾き角 θ の変化

| | |
|-----------------|--------|
| 全移動量 (150mm) | 7.4sec |
| マイナス側 (40mm) | 0.4sec |
| 中央部 (40mm) | 2.5sec |
| プラス側 (40mm) | 2.4sec |

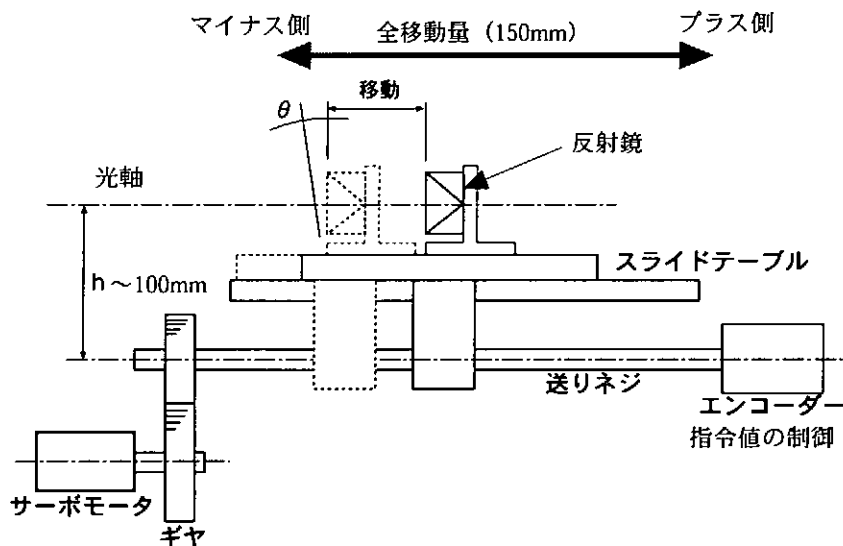


図8 刃物台送り機構概略図と移動の真直度

5 謝辞

今回使用したレーザー干渉測長機は無理をお願いして約2カ月間分子科学研究所よりお借りした。その機材を提供して下さいました鎌田助教授にお礼申し上げます。

<参考文献>

- 1) 日本機械学会編 超精密形状計測技術（コロナ社）1996, p147
- 2) 沢辺雅二：高精度測定，工作機械シリーズ（大河出版）1986, p29
- 3) 日本ヒューレット・パカード社，HP5528A，取り扱い説明書

超精密鏡面加工 —高精度な鏡面を得るために—

名古屋大学理学部装置開発室 小林 和宏
鈴井 光一

1 はじめに

名古屋大学理学部装置開発室では平成7年度に超精密CNC旋盤（理研製鋼株式会社製UPL-1）を設置した。これは大阪の光学レンズ専門メーカーのナルックス社の御好意により寄贈されたものである。

これまでに名古屋大学理学部装置開発室では超精密CNC旋盤を使用しアクリル製のライトガイド、衛星搭載用入射コリメータ等の超精密加工を行ってきた。

今回、超精密CNC旋盤を使用する上での汎用NC旋盤との扱いの相違点やアクリル製のライトガイド、衛星搭載用入射コリメータの加工及び加工の注意点について報告する。

2 超精密CNC旋盤について

超精密CNC旋盤と言っても基本的な構成及び外観等は汎用のCNC旋盤と大きな違いはない。また、超精密CNC旋盤でも一般的には汎用の旋盤で行うように刃物（バイト）をセットする。ただ、使用される刃物の種類及び、芯あわせの精度は汎用の旋盤と異なっている。

機械本体の主な仕様を表1に示す。

| 項目 | | 単位 | 仕様 |
|-----|----------------|--------|----------------|
| 主軸台 | 主軸軸受の形式 | | 静圧空気軸受 |
| | 主軸速度 | rpm | 40～2,800 |
| 刃物台 | 刃物台の形式 | | 並列形 |
| | 刃物台の横送り（X軸） | | 180mm |
| | 刃物台の縦送り（Z軸） | | 180mm |
| | 最小設定単位 | X軸直径指定 | 0.0001mm |
| | | Z軸 | 0.0001mm |
| | 切削送り速度（X,Z軸とも） | | 0.01～400mm/min |

表1 超精密CNC旋盤の主な仕様

特長としては以下のようなものがある。

- 1) 主軸に静圧空気軸受を使用している
- 2) 非鉄系の材料（アルミ、銅、真鍮）を単結晶ダイヤモンドバイトにより切削した時、鏡面が得られる（面粗度 $0.05\mu\text{mRt}$ 以内の加工が可能である）
- 3) 主軸温度上昇が 1°C 程度である（3,000rpm時）ため、経時熱変化が少なく、 $1\mu\text{m}$ 以内の寸法公差に対応出来る
- 4) 回転精度が優れており、加工物真円度 $0.1\mu\text{m}$ 以内を保証している

3 加工物について

3-1 アクリル製ライトガイド

このアクリル製ライトガイドはフェルミ研究所で行われるニュートリノ・タウ反応直接観測実験において使用されるもので名古屋大学理学研究科素粒子宇宙物理学専攻のF研究室（基本粒子実験室）からの依頼によって製作した。

このライトガイドはディテクターで検出された光を口径約22mmのファイバーから口径8mmのフォトマルに集光し供給するための光学部品である。

今回製作したライトガイドはウィンストンコーンと呼ばれる形状である。これは図1Aに示すように、あ

る面積（入力開口直径T）にきた光のうちある決められた入射角までの光を縮小した面積（出力開口直径t）に全て集光するためのものである。

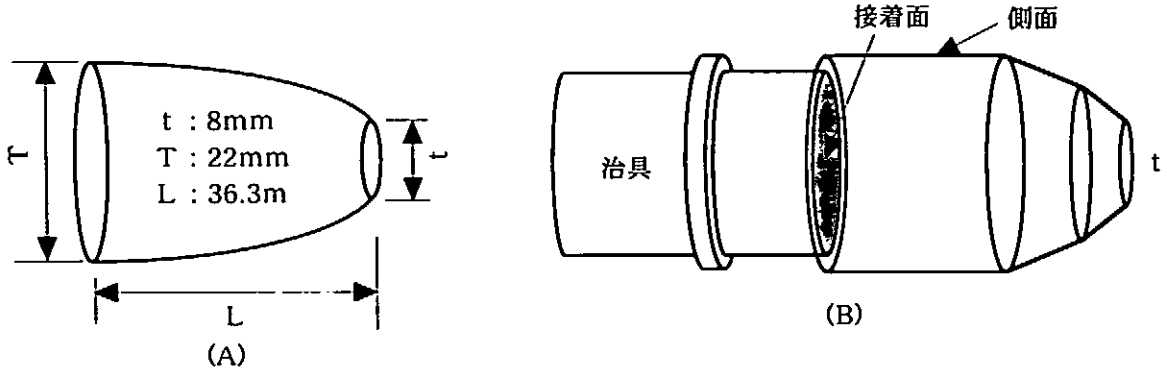


図1 アクリル製ライトガイド

3-2 衛星搭載用入射コリメータ

これは宇宙科学研究所が打ち上げる予定のPlanet-B（人工衛星）に搭載される予定もので、火星大気からその周辺へのイオンの流出状況及び太陽風のイオンの観測を行うものである。

この鏡の目的は不要な紫外線を除去することである。

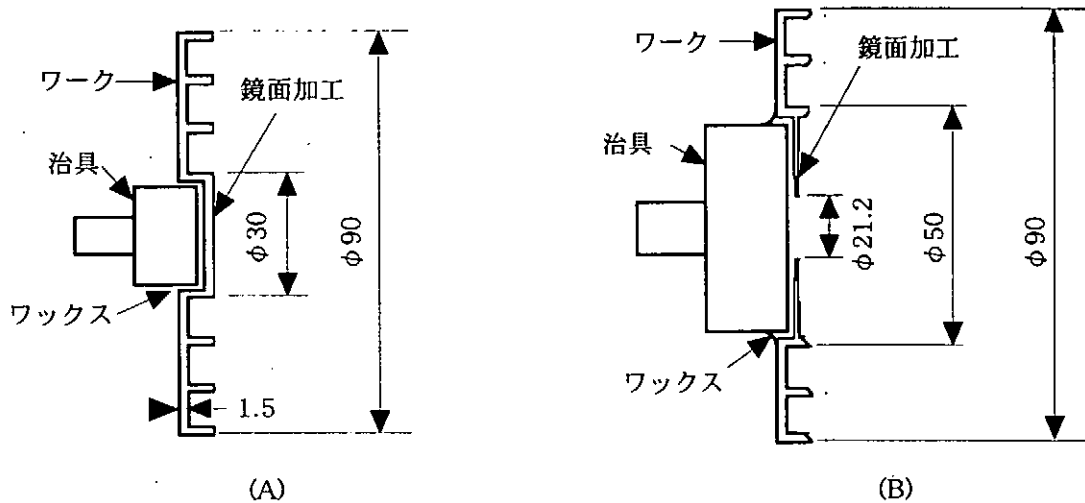


図2 衛星搭載用入射コリメータ

4 加工方法

今回使用した刃物は鏡面を得るために刃物は単結晶ダイヤモンドで出来ており刃先Rの輪郭度は $0.1\mu\text{m}$ 以内の形状精度を有しているものである。

刃物の芯あわせの精度はへそ（中心の削り残し）が残らないように刃物の高さは $1\mu\text{m}$ 以内の精度に追い込んでいる。

4-1 加工準備

我々が普段行っている刃物位置の調整方法を述べる。（図3参照）

この刃物の中心を出す作業が非常に重要で、この作業がこの後の製作に大きな影響を与える。

刃物台をテーブルに固定し、その刃物台に刃物を取り付ける。刃物台は上下にスライドする構造になっており刃物をネジで固定した台ごと上下に動かすことが出来る。最初目視

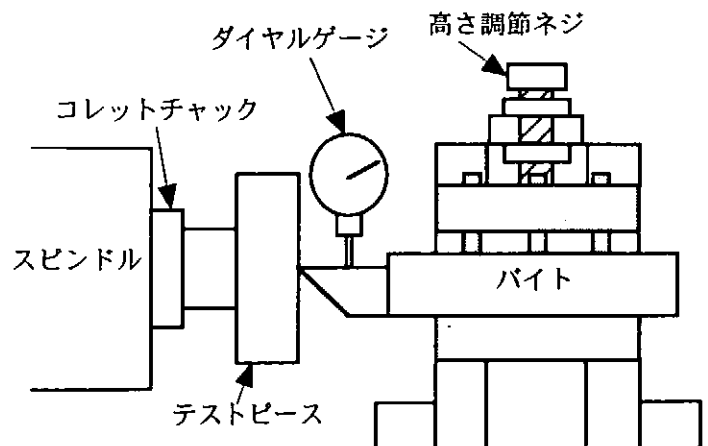


図3 刃物位置の調整方法

で刃物の高さをほんのわずかに低めにセットする。この時にダイヤモンドの刃先の近くに最小読み値が2～1 μm 以下のテストインジケータを当てておく。次に主軸に刃物の高さを調べるためのテストピースを取り付ける。

ここで端面を10 μm 程の切り込み量で中心まで削る。その後、そのテストピースのへその部分を顕微鏡で観察しへその半径を測定する。その半径分だけテストインジケータを使用して刃物台の高さを上げる。

さらにその後微調整をへそが無くなるまで繰り返す。

次に刃先がテストピースの中心に一致するように中心出しをする。方法はテストピースの端面に10 μm 程度の深さの溝を彫り、この溝の外周の直径と内周の直径の和を4で除した値が刃物の現在位置で、この数値から刃物の中心位置を求めそれに刃物の中心を合わせる。

4-2 アクリル製ライトガイド

今回アクリル製ライトガイドの仕上げ時に使用した加工条件を表2に示す。

| | ウィンストンコーン | 衛星搭載用入射コリメータ |
|----------------------------------|-----------|--------------|
| 被削材 | アクリル | A5056 |
| 切削油 | なし | ケロシン |
| 切込量(μm) | 5 | 5 |
| 送り速度($\mu\text{m}/\text{rev}$) | 4 | 4 |
| 回転数(rpm) | 1,000 | 1,000 |
| 刃先R(mm) | 0.42 | 0.39 |

表2 加工条件

アクリル製ライトガイドは既に述べたような形状であり、3つの面すべてに超精密旋盤による加工が施されている必要がある。またその表面に傷があってはならない。そのため、既に仕上がった面に傷を付けないチャッキングの方法が求められ、このチャッキングが重要なポイントとなる。一般的にこれまでの加工ではこういったつかみしろが無い加工の場合真空チャックによるチャッキングを使用するが多いが、今回ワックス（接着剤）を使用する方法の方がメリットが多いと判断しこれを採用した。このワックスを使用する方法の大きなメリットは治具の製作が容易でありながら、接着強度は真空チャックによる方法よりも大きい事である。さらに、チャックである、治具とワークの接着する面の間にワックスが入るため、治具とワークが直接接触せず仕上げた面に傷を付ける心配がない。またこのワックスは水溶性でかつ60℃で溶解する性質を持っているため、取り外しも極めて容易である。

今回採用した方法はまずワークをコレットチャックでつかみ図1Aに示されるT面を先に仕上げる。予め製作しておいた切削用治具の接着面にワックスを少量乗せ、治具ごとワックスが溶解するまで温める。ワックスが融けたらワークのT面を接着し、その治具をコレットチャックでつかみt面と側面を仕上げる。（図1B参照）

4-3 衛星搭載用入射コリメータ

今回衛星搭載用入射コリメータの仕上げ時に使用した加工条件を表2に示す。

この製品の場合についてもチャッキングが重要なポイントとなる。この製品（図2B）においてチャッキングに要求されるのは薄肉かつ、浮き上がった空間部分をどの様に保持するかという事である。薄肉の部分は厚さが0.5mmしかなく、これをを浮かしたまま切削すればその部分はびびりを発生してしまい、鏡面は得られない。さらに薄肉であるが故に空間部分へワークが逃げてしまい形状精度に大きく影響する。

真空チャックでは、その段付き部分に合わせた形状を正確に製作するのは大きな手間がかかる。なぜなら、段付き部分は一つ一つ高さが異なっており、それぞれに対して製作し直さなければならないからである。

今回この製品を製作するにあたって以上の問題をクリアする必要があった。そこでこの製作にワックスを使用する方法を検討し採用した。採用した方法は単純な形状の治具を使用し、ワックスによって空間部分を詰めてしまうものであり、びびりや逃げを抑える事ができる。

図2A、図2Bどちらの部品も鏡面を切削加工する面の裏側に、段付き加工が施されており、治具とワークを

アクリル製ライトガイドの製作と同様にワックスで接着しこの治具をコレットチャックでつかみ端面を鏡面に切削する。図2Bの部品の場合は接着後さらに空間を埋めるため、ワックスを溶かし込む。

5 被削材による加工上の注意点

汎用の旋盤では普通問題とされないような事が鏡面切削する場合には問題となる。以下に今回使用した材料であるアクリル樹脂とアルミニウム合金の2つについてダイヤモンドバイトで鏡面切削する場合の注意点について簡単に述べる。

5-1 アクリル樹脂

アクリルの切削で注意しなければならないのは一般的にドライの切削が多くアクリルが帯電しやすいため切粉がワークにからみつきその切粉がワークに傷を付けたり、ダイヤモンドバイトの刃先とワークの間で放電を起こしダイヤモンドバイトの刃先をを駄目にしてしまう事故が起きることである。これを防ぐためには、静電気除去装置を使用するとよい。この装置は帯電を防止する機能と圧搾エアによって切粉を吹き飛ばす機能の両方を持っている。

プラスチックのレンズ加工を専門に行っているメーカーではプラスチックレンズ加工専用の切削剤を使用する場合がある。

5-2 アルミニウム

純アルミニウム及びアルミニウム合金の加工で注意しなければならないのは切粉の処理と切削油剤の塗布方法である。ダイヤモンドバイトはハイスや超硬のバイトと比べて構成刃先が非常に出来にくい、アルミニウムを切削するときには切削油剤なしでは構成刃先が発生してしまう。今回切削に使用した切削油剤はケロシンである。これを加圧した空気を使いミスト状にして、切削を行っている刃先に吹き付ける。この時切粉をワークや刃物に引っかけることなく飛ばすことが重要である。もしワークや刃物に引っかけてしまうとその部分が曇ってしまい鏡面でなくなってしまう。

6 加工物の評価

加工物を評価する場合、様々な方法がある。例えば、3次元形状測定器等を使用しての形状測定、真円度測定器を使用しての真円度測定、表面粗さ計による表面粗さ等、他にも様々な測定器や測定方法或いは使用目的によって多種多様である。

今回我々が使用した評価方法は、テラーホブソン社製の触針式表面粗さ計フォームタリサーフによる表面粗さの評価と実装試験によって理論性能に対する実際の性能の比を調べることによって行った。

今回製作したどちらの製品も表面粗さを測定することによっておおよそ、その加工表面の特定の波長に対する反射率がわかり、これによってその製品が使用目的に合致したものであるか否か判断をする事が出来る。

6-1 アクリル製ライトガイド

表面粗さ計による測定の結果、表面粗さは $0.15\mu\text{mRt}$ が得られ、この表面粗さは要求された仕様を満たしている。また実装試験の結果においても集光効率85%以上を達成しており、要求された仕様を満たした。

6-2 衛星搭載用入射コリメータ

表面粗さ計による測定の結果、表面粗さは $0.15\mu\text{mRt}$ が得られ、この表面粗さは要求された仕様を満たしている。また実装試験の結果において、今回のこの製品の目的であった不要な紫外線の除去率は90%以上に達し、要求された仕様を満たした。

7 おわりに

今回製作した製品のうち、アクリル製ライトガイドは現在、フェルミ研究所において成果を挙げつつあり、衛星搭載用入射コリメータはPlanet-Bに搭載されることが決定している。今後、さらに高い要求があった場合にも応えられるよう加工方法の開発及び、加工機の改良を行っていく予定である。

参考文献

- 1) 理研製鋼株式会社 超精密CNC旋盤カタログ

クラブ空洞におけるバレル研磨の最適化条件

高エネルギー加速器研究機構

可部農志、細山謙二

原 和文

受託研究員

○井上宗彦（三菱重工業）

1. はじめに

クラブ空洞は、KEKB-Factoryで使用される空洞である。その空洞の内面に溶接痕や傷などの不連続面があると性能が出ないため、内面を滑らかに研磨してやる必要がある。

その研磨方法としてバレル研磨を行うことにする。その原理は至って簡単で空洞の中に研磨用チップ、水、脱脂剤を入れて空洞を回転させることによってその内面を研磨してやるというものである。

今回の目的は、空洞セルの溶接箇所当たる赤道部付近の研磨量及び研磨速度が最大になるような条件を見つけることである。

具体的には、1/3スケールのSUS製模擬空洞の7カ所にNbのサンプルを取付け、その研磨前後の重量差で研磨量を算出した。

2. 試験装置

試験装置は、図1に示すようにSUS製模擬空洞、軸受、可変モータ、制御盤から構成されており、空洞の回転数は0～56(rpm)まで自由に設定することができ、制御盤では回転方向の切り換えができるようになっている。

SUS製模擬空洞に設けたNb試料の取付位置は図2に示すように半割れの片方に5カ所もう片方に2カ所の合計7カ所である。

次に試料の取付部分の断面図を図3に示す。この断面図からわかるようにNb試料が空洞内面と水平位置になるような構造になっており、試料が浮き上がらないように外側からボルトで押さえられるような仕組みになっている。

空洞の中に入れる研磨用チップは、粗研磨用、仕上げ用、超仕上げ用の3種類でこれらのチップは、人工研磨材とポリエステル樹脂の混合物でセラミックチップを使用するよりも、空洞内面の平滑度がよいことから今回は、このプラスチックチップを使用することにした。

同時に添加する脱脂剤は、研磨の際に発生する金属粉等が内面に付着しないようにするために使用する。

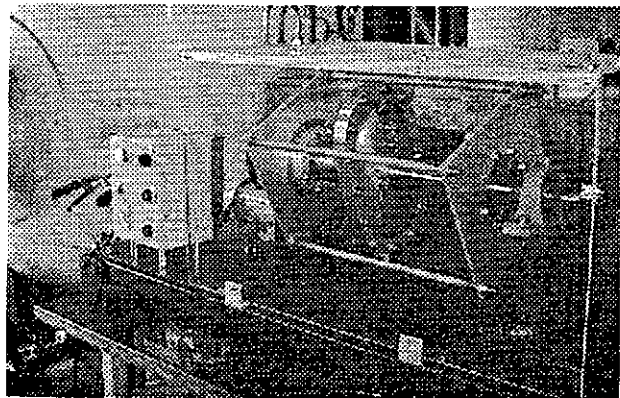


図1 バレル研磨試験装置

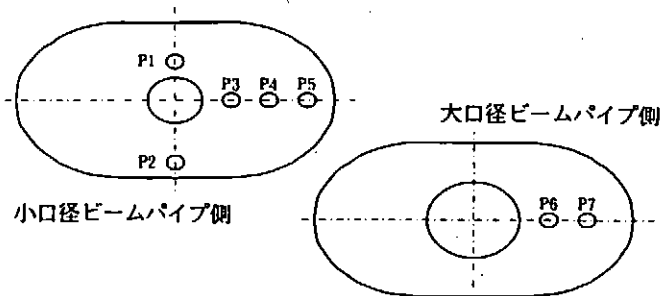


図2 Nb試料取付位置

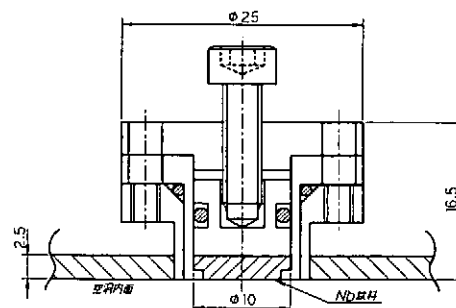


図3 試料ポート断面図

3. 測定条件

測定条件を決定する際のパラメータとして以下に示すものが考えられる。

- ① 研磨チップの種類
- ② 研磨チップの量
- ③ 水の量
- ④ 脱脂剤の量
- ⑤ 空洞の回転数

これらのパラメータの内、③水の量、④脱脂剤の量は文献によると研磨量及び研磨速度には、大きな影響を及ぼさないため、①研磨チップの種類、②研磨チップの量、⑤空洞の回転数の3つを測定のパラメータとして下記に示すような条件で測定を行った。

(1) 研磨チップの量をパラメータとした場合

| | ステップ2 | ステップ3 | ステップ4 | ステップ5 |
|----------|-------|-------|-------|-------|
| チップ種類 | 粗研磨用 | 粗研磨用 | 粗研磨用 | 粗研磨用 |
| チップ量(g) | 918 | 540 | 378 | 459 |
| 水量(g) | 850 | 500 | 350 | 425 |
| 脱脂剤量(g) | 10 | 5 | 3.5 | 4 |
| 研磨時間(hr) | 72 | 96 | 72 | 72 |
| 回転数(rpm) | 56 | 56 | 56 | 56 |

(2) 研磨チップの種類をパラメータとした場合

| | ステップ3 | ステップ6 | ステップ7 |
|----------|-------|-------|-------|
| チップ種類 | 粗研磨用 | 仕上げ用 | 超仕上げ用 |
| チップ量(g) | 540 | 540 | 540 |
| 水量(g) | 500 | 500 | 500 |
| 脱脂剤量(g) | 5 | 5 | 5 |
| 研磨時間(hr) | 96 | 72 | 72 |
| 回転数(rpm) | 56 | 56 | 56 |

(3) 空洞の回転数をパラメータとした場合

| | ステップ3 | ステップ8 |
|----------|-------|-------|
| チップ種類 | 粗研磨用 | 粗研磨用 |
| チップ量(g) | 540 | 540 |
| 水量(g) | 500 | 500 |
| 脱脂剤量(g) | 5 | 5 |
| 研磨時間(hr) | 96 | 72 |
| 回転数(rpm) | 56 | 28 |

尚、チップ量、水量、脱脂剤量の混合比は全て同じ条件とし、研磨時間を3～4日にて測定を行った。

4. 測定結果

図4からわかるように空洞の回転軸から近いP1、P2、P3は研磨速度が小さく0.5($\mu\text{m/d}$)前後でチップ量が多くなるほど研磨速度は大きくなっている。これはチップ量が少ないとNb試料とチップとの接触が少なくなるからである。

それから空洞の回転軸から比較的遠いP4、P5、P6、P7は、研磨速度が大きく2~10($\mu\text{m/d}$)となっている。このグラフの特徴は、回転軸から遠いP4、P5、P6では、チップ量が540(g)で研磨速度が最大になっているところである。これは、チップ量が少なすぎるとNb試料と接触するチップも少なくなり、またチップ量が多すぎると空洞内でのチップとNb試料との接触速度が小さくなるからである。

次に図5では、各試料位置において研磨速度が最大となる時のチップの種類がそれぞれ異なり、研磨速度にもあまり変化が見られないことを考えるとチップの種類と研磨速度は、ほぼ関係ないものと思われる。

次に図6では、各試料位置において56(rpm)のほうが28(rpm)に比べて研磨速度が約1.5~10倍大きくなっている。これは、回転数が大きいほど研磨チップとNb試料との接触速度が大きくなるため、より回転数を上げると研磨速度も大きくなるものと思われる。

以上より、今回の測定で全体的に言えることは、研磨量及び研磨速度はNb試料に接触する研磨チップの量とその速度で決定されるということである。

上記より各試料位置での研磨速度が異なることから空洞の内面を一度に均一に研磨することは、できないため研磨箇所によって研磨条件を変えてやる必要がある。

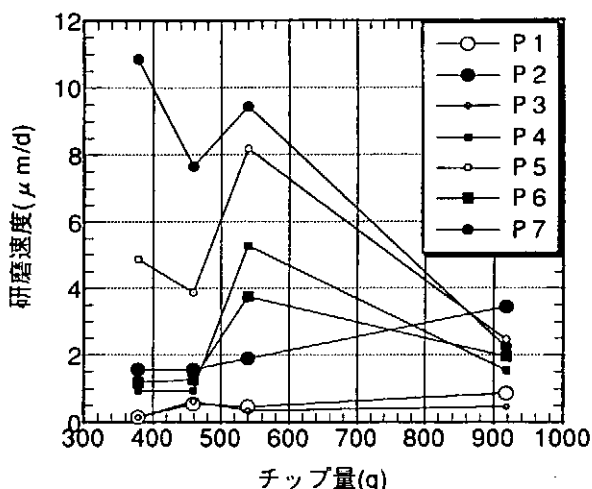


図4 チップ量と研磨速度の関係

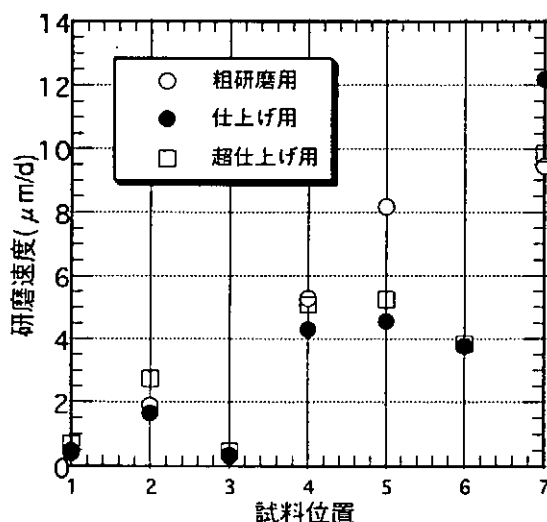


図5 チップの種類と研磨速度の関係

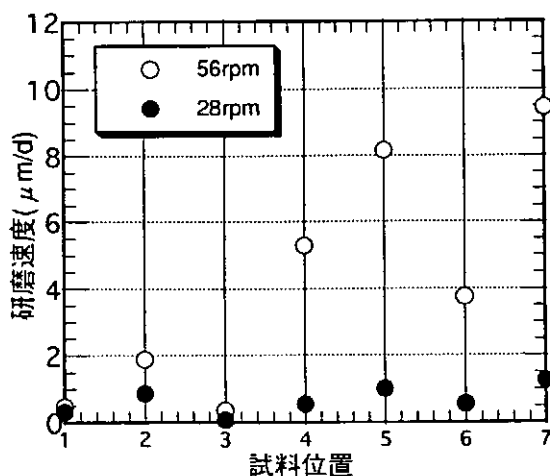


図6 空洞の回転数と研磨速度の関係

5. まとめ

以上の測定結果から下記の結論が得られた。

- (1) 測定の誤差はあるが研磨チップ量540(g)のとき、研磨速度が最大となり、その値は約 $10\mu\text{m/day}$ となった。
- (2) 多少のばらつきはあるが、3種類の研磨チップとも研磨速度に大きな変化は、見られなかった。
- (3) 研磨速度は、空洞の回転数56(rpm)の方が28(rpm)より最大で約10倍になった。
- (4) 空洞内でも位置によって研磨速度に約10倍以上の差が出てくる。

6. 今後の課題

- (1) 測定結果のグラフからもわかるように若干の測定誤差があるので、同条件で数回測定を行いその平均値を使い、測定値の信頼性を向上させる。
- (2) チップ量及び空洞の回転数をパラメータとしたデータを増やす。
- (3) Nb 試料の取り付け、取り外しにかなり時間がかかるため簡単に試料の装着ができる機能にする。
- (4) 各種研磨チップで研磨した後、Nb 試料の表面粗さの測定を行う。
- (5) 1/3スケールモデルのデータを基にフルスケールモデルにどのように反映させていくか。

核融合科学研究所中央部品室入出庫業務の高機能化

核融合科学研究所 技術部製作技術課

○幅 驥一郎 鈴木 早由美

I はじめに

核融合科学研究所技術部製作技術課中央部品室は、電子部品・真空部品・絶縁材料等を総計2500点あまり在庫して、研究系の実験・研究活動をささえている。こうした電子部品等の在庫品は、研究系のニーズに応じて、つねに内容を見直すとともに、在庫切れのないように在庫管理をする必要がある。

現在手作業にて行っている在庫管理であるが、バーコードを導入することにより省力化をはかり、コンピュータを使用して高機能化をはかることを考えた。導入作業を始めたばかりで、効果の出るところまでいたっていないが、現在の状況を報告する。

II 現在の在庫管理の概要

在庫品を出庫する場合、出庫伝票に数量、コード番号等を手書きで記入し部品室係員に渡す。在庫数が半数以下になると、補充のための発注を行う。しかし、在庫管理を手作業にて行っていると、この補充数以下になったことを的確に把握しにくい。

10年ほど前までは在庫数の把握を目的に、棚卸し作業を、製作技術課（当時工務班）員総出で3～4日ばかりで行っていたこともある。業務量の増加もあり、棚卸し作業はできなくなったので、コンピュータ化を指向して現在にいたっている。

| 区分 | 2 1 | トランジスタ | 年 月 日 | | | | 出庫 数量 | 計 (円) |
|--|--|--------|-----------|----------|-------------------------|----------|----------|----------|
| | | | コード 番号 | 品名 | 仕 入 単 価 (円) | 出庫 数量 | | |
| 品名 | 用 | 造 | メーカー | 在庫 数量 | 庫 価 (円) | | | |
| ※35A500-O | 高周波増幅、高周波ミッティング用 | NEC | — | 460 | | | | |
| ※35A144 | 中周波ミッティング用 | NEC | — | 700 | | | | |
| ※35A562-7M | 小電力増幅用 | NEC | — | 60 | | | | |
| ※35A603 | 高周波ミッティング用 | NEC | — | 120 | | | | |
| ※35A627(2E1) | 電力増幅 -100V -5A 60W | — | — | 390 | | | | |
| 25A173A(2E2) | 高周波増幅、低雑音 | 日立 | 50 | 26 | | | | |
| 25A180B(2E3) | 電力増幅 -200V -1.5A 25W | NEC | 50 | 72 | | | | |
| ※35A970CR | 低雑音低雑音増幅用 | — | — | 50 | | | | |
| ※35A1126(2E4) | 高周波 -450V -0.1A 750mW | 日立 | — | 405 | | | | |
| ※35B61B(2E5) | — -150V -7A 80W | NEC | — | 330 | | | | |
| ※25C380A-O | 中間周波増幅用 (10.7MHz) | NEC | — | 80 | | | | |
| 25C400-O | 高周波ミッティング用 | — | — | 200 | | | | |
| 25C456LG-C | 低周波低雑音増幅用 | 日立 | 30 | 31 | | | | |
| 25C1775A(2E6) | 高周波増幅、低雑音 | — | 30 | 21 | | | | |
| 25C2338B(2E7) | 電力増幅 200V 1.5A 25W | NEC | 100 | 62 | | | | |
| 25C2333 | V _{ceo} 400V Ic 2A P _c 15W | NEC | 10 | 103 | | | | |
| 25C2429A | 電力増幅 400V 1.5A 50W | 富士通 | 50 | 742 | | | | |
| 25C3176 | 850V 2A 60W | — | 10 | 288 | | | | |
| 25C3061 | 850V 1.0A 200W | — | 10 | 2080 | | | | |
| ※25D18 | 高周波用 V _{ceo} 1.5KV 2.5A 50W | NEC | — | 400 | | | | |
| TD62003P | ダイオードアレイ 50V 500mA | — | 50 | 62 | | | | |
| ※PT5758M | ダイオードアレイ 100V 5A | 富士通 | — | 490 | | | | |
| 25K12-G | Nチャンネル JFET低周波増幅用 | NEC | 20 | 237 | | | | |
| 25K192-AV | — 高周波増幅用 | — | — | 20 | | | | |
| ※5D304-EE | Nチャンネル MOS 500MHz | SIG | — | 330 | | | | |
| ※35K20-0 | 高周波用 PNP 400MHz | 日立 | — | 1,150 | | | | |
| TPS-601 | NPN IC80 10V 50mA フォトトランジスタ | — | 30 | 155 | | | | |
| ※TPS-604 | — 50V 50mA | — | — | 320 | | | | |
| 品名: 25D185とコンプリメント 品名: 25A968Bとコンプリメント 品名: 25C1775A 品名: 25C2338B 品名: 25C2635 品名: 25D580 品名: 25A872A メーカー: SIG-Sigapex 用途: 高周波増幅 | | | | | | | | |

図 1 現在の出庫伝票

III 移算処理

部品室から在庫品を出庫した場合、在庫品補充のためのお金を研究系から部品室に振替えている。これを移算処理といって年間で金額にして2500万円ほどにのぼり（図2参照）、部品室の主要な業務になっている。

出庫数量、コード番号等を記入された出庫伝票は、部品室係員がコード番号別に集計して移算処理を行っている。移算処理はだいたい3ヵ月くらいまとめて会計課に提出するが、出庫伝票は月平均1500枚ほどあり、分類集計作業は3ヵ月分で1週間ほどかかる。コンピュータにて集計作業を行えば、この作業時間を大幅に短縮できると思われる。

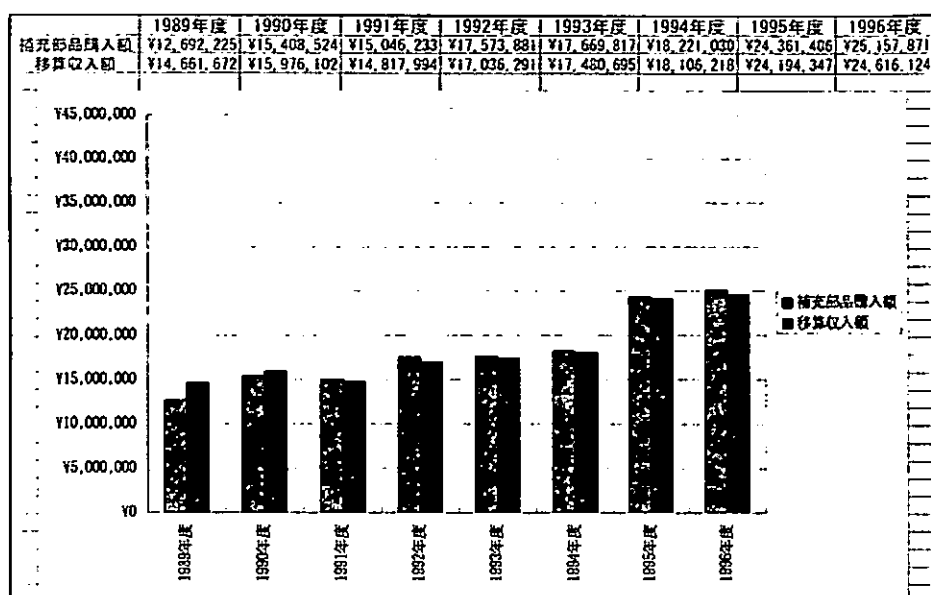


図2 移算額調査

コンピュータにて集計作業を行うためには、データをコンピュータに入力する必要がある、この入力作業も手作業では省力化にならないので、バーコードを利用することを考えた。

コンピュータへの入力手段として、磁気カード等も考えられるがここで入力する項目は、品名や数量等で、運用コスト・取扱の容易さ・読取りの信頼性等、コンビニエンスストアを始め、身の回りで多数使用されているバーコードが私たちの業務には最適であると判断した。

バーコードにも各種類あるが、世の中で広く使用されている、JANコードと呼ばれるものを採用した。これを使用すればすでにバーコードの印刷された製品もあり、あらためて印刷する手間も軽減される。

| 項目 入力方式 | 運用コスト | 視認性 | 表示の 拡大 縮小 | 情報量 | 情報内容 の変更 | 読取りの 信頼性 | 取扱の 容易さ | 汚れに 対する 強さ | 非接触 読取り | 移動物 の読取り |
|------------|-------|-----|-----------------|-----|-------------|-------------|------------|------------------|------------|-------------|
| バーコード | ○ | △ | ○ | △ | × | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| OCR | △ | ○ | × | △ | × | △ | △ | × | △ | × |
| 磁気 | × | × | × | ○ | ○ | ○ | △ | △ | × | △ |

JAN:Japan Article Number

図3 バーコード、OCR、磁気の比較

Ⅳ在庫管理用ソフトウェア

コンピュータを使用して在庫管理を行うには、ソフトウェアを用意する必要があるが、ソフトウェアの調達には、以下の方法が考えられる。

- ①自分で作る。
- ②ソフト会社に作ってもらう。
- ③市販の在庫管理ソフトを利用する。

3 種の方法を検討し、市販の販売管理・在庫管理ソフトを使用することで部品室の在庫管理・会計処理を行うことが可能（図 5 参照）と判断した。

このため経済性等より市販の販売管理・在庫管理ソフトを使用することにした。

コンピュータは部品室係員の使用経験からアップル社製のマッキントッシュを使用することに決定しているので、「MAC販売管理」というソフトを選定した。

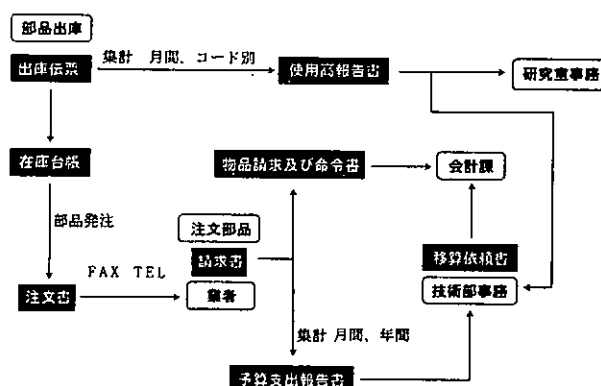


図 4 移算処理の流れ

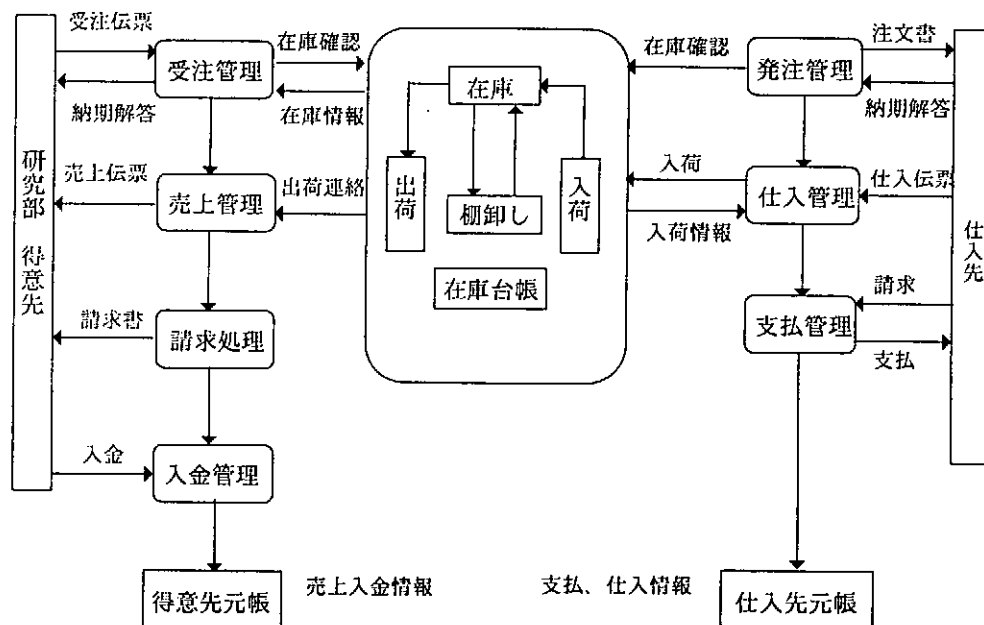


図 5 部品室の在庫管理、会計処理

V テスト

これまでにコンピュータ化を指向して、在庫品の名称・規格・在庫数量等のデータを電子化してあったので、これを活用して、販売管理・在庫管理ソフトのデータとして入力し、テストを行った。動作は確認したが、集計用のデータが入力してないので、本格的な集計作業は、今後の検証が必要である。

バーコードの読取り確認についても、バーコード入りの伝票見本を作り（図 6 参照）、確認した。

ここで採用したバーコードリーダーは、キーボードエミュレーションタイプと呼ばれるもので、特別なソフトの必要がないタイプで、キーボードからデータを入力するのと同じように使用が可能である。

| 品名 | 単位 | 在庫 | 仕入 | 販売 | 在庫 |
|---------------|----|----|----|----|----|
| トランジスタ | | | | | |
| 1577 1577-1 | | | | | |
| 1577 1577-2 | | | | | |
| 1577 1577-3 | | | | | |
| 1577 1577-4 | | | | | |
| 1577 1577-5 | | | | | |
| 1577 1577-6 | | | | | |
| 1577 1577-7 | | | | | |
| 1577 1577-8 | | | | | |
| 1577 1577-9 | | | | | |
| 1577 1577-10 | | | | | |
| 1577 1577-11 | | | | | |
| 1577 1577-12 | | | | | |
| 1577 1577-13 | | | | | |
| 1577 1577-14 | | | | | |
| 1577 1577-15 | | | | | |
| 1577 1577-16 | | | | | |
| 1577 1577-17 | | | | | |
| 1577 1577-18 | | | | | |
| 1577 1577-19 | | | | | |
| 1577 1577-20 | | | | | |
| 1577 1577-21 | | | | | |
| 1577 1577-22 | | | | | |
| 1577 1577-23 | | | | | |
| 1577 1577-24 | | | | | |
| 1577 1577-25 | | | | | |
| 1577 1577-26 | | | | | |
| 1577 1577-27 | | | | | |
| 1577 1577-28 | | | | | |
| 1577 1577-29 | | | | | |
| 1577 1577-30 | | | | | |
| 1577 1577-31 | | | | | |
| 1577 1577-32 | | | | | |
| 1577 1577-33 | | | | | |
| 1577 1577-34 | | | | | |
| 1577 1577-35 | | | | | |
| 1577 1577-36 | | | | | |
| 1577 1577-37 | | | | | |
| 1577 1577-38 | | | | | |
| 1577 1577-39 | | | | | |
| 1577 1577-40 | | | | | |
| 1577 1577-41 | | | | | |
| 1577 1577-42 | | | | | |
| 1577 1577-43 | | | | | |
| 1577 1577-44 | | | | | |
| 1577 1577-45 | | | | | |
| 1577 1577-46 | | | | | |
| 1577 1577-47 | | | | | |
| 1577 1577-48 | | | | | |
| 1577 1577-49 | | | | | |
| 1577 1577-50 | | | | | |
| 1577 1577-51 | | | | | |
| 1577 1577-52 | | | | | |
| 1577 1577-53 | | | | | |
| 1577 1577-54 | | | | | |
| 1577 1577-55 | | | | | |
| 1577 1577-56 | | | | | |
| 1577 1577-57 | | | | | |
| 1577 1577-58 | | | | | |
| 1577 1577-59 | | | | | |
| 1577 1577-60 | | | | | |
| 1577 1577-61 | | | | | |
| 1577 1577-62 | | | | | |
| 1577 1577-63 | | | | | |
| 1577 1577-64 | | | | | |
| 1577 1577-65 | | | | | |
| 1577 1577-66 | | | | | |
| 1577 1577-67 | | | | | |
| 1577 1577-68 | | | | | |
| 1577 1577-69 | | | | | |
| 1577 1577-70 | | | | | |
| 1577 1577-71 | | | | | |
| 1577 1577-72 | | | | | |
| 1577 1577-73 | | | | | |
| 1577 1577-74 | | | | | |
| 1577 1577-75 | | | | | |
| 1577 1577-76 | | | | | |
| 1577 1577-77 | | | | | |
| 1577 1577-78 | | | | | |
| 1577 1577-79 | | | | | |
| 1577 1577-80 | | | | | |
| 1577 1577-81 | | | | | |
| 1577 1577-82 | | | | | |
| 1577 1577-83 | | | | | |
| 1577 1577-84 | | | | | |
| 1577 1577-85 | | | | | |
| 1577 1577-86 | | | | | |
| 1577 1577-87 | | | | | |
| 1577 1577-88 | | | | | |
| 1577 1577-89 | | | | | |
| 1577 1577-90 | | | | | |
| 1577 1577-91 | | | | | |
| 1577 1577-92 | | | | | |
| 1577 1577-93 | | | | | |
| 1577 1577-94 | | | | | |
| 1577 1577-95 | | | | | |
| 1577 1577-96 | | | | | |
| 1577 1577-97 | | | | | |
| 1577 1577-98 | | | | | |
| 1577 1577-99 | | | | | |
| 1577 1577-100 | | | | | |

図6 バーコード入り伝票

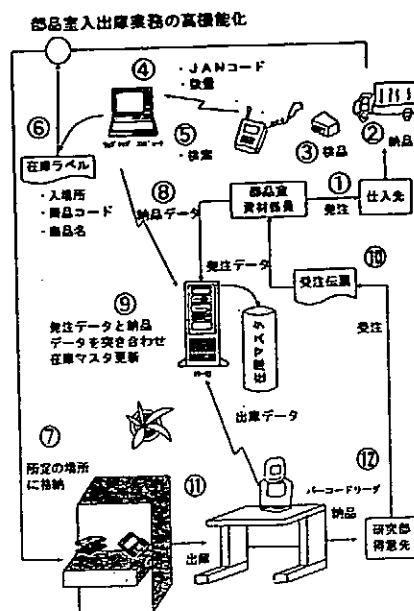


図7 POSシステムを使った
部品室業務の高機能化

VI まとめ

- ① バーコードの導入作業（伝票の印刷等）を開始した。
- ② 販売管理・在庫管理ソフトへのデータ入力テストは成功したが、本データの入力が必要である。
- ③ 電線・絶縁材料等は出庫の都度必要量だけ切出しているが、この方法はバーコード化がむずかしい。どうするか検討する必要がある。
- ④ 将来的には、POS(Point of Sales)システムを視野に置いて今後考えていきたい。

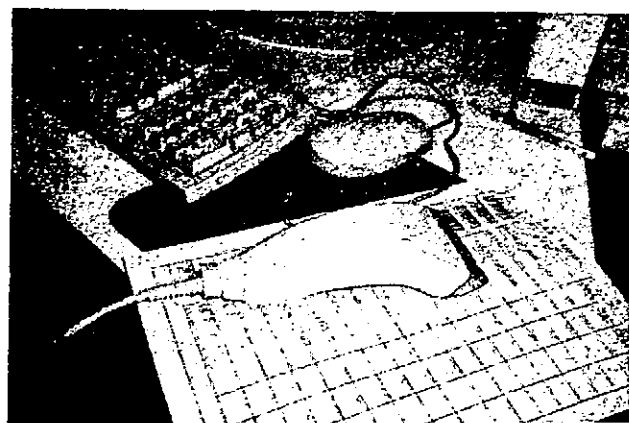


写真1 バーコード
リーダー

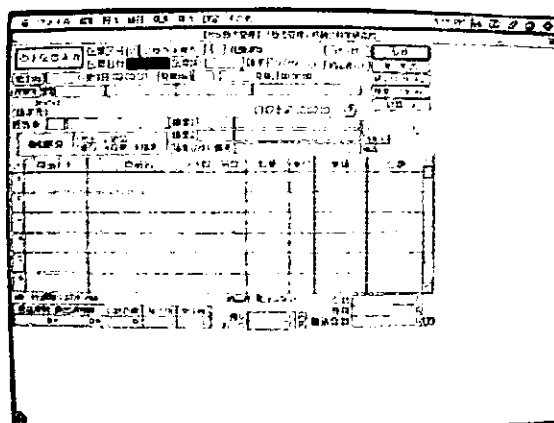


写真2 在庫管理ソフト

電気泳動法を用いた半球状面上の蛍光体付着技術について

大阪大学工学部 電子工学科 量子電子工学講座
量子界面工学領域 大倉 重治

1、始めに

現在表示素子は、OA機器を初めとする数多くの製品に液晶が使われてきている。しかしながらテレビのブラウン管に代表されるように蛍光体を使用されている製品も数多く蛍光体付着技術は欠かすことは出来ない。特に近年、壁掛け大型テレビが比較的容易にできるハイビジョン受像機にとPDP（プラズマディスプレイパネル）が注目されている中、蛍光体技術が再重要視されてきている。

そこで今回は、蛍光体（ZnO）を金属板（半球状面上）に電気的な手法により、イオン化させた蛍光体を付着させる技術について述べる。付着させる方法は数多くあるがここでは沈降法、吹き付け法について紹介し問題点を上げ電気泳動法と比較する。

◎ 沈降法

沈殿槽の下部に蛍光体を付けたい基板を設置していく、十分攪拌させた溶液（蛍光体＋アルコール等）を沈殿槽に注ぎ、時間と共に蛍光体は沈殿槽の下部に沈殿を開始する。沈殿完了後、溶液（アルコール等）を沈殿槽の底から静かに抜き、基板上に付いた蛍光体を取り出し乾燥させる。

沈降法の問題点

- 1) 凹凸がある面に均一に沈殿させることが困難である。
- 2) 沈殿が終了後、溶液を抜き取るがその時、蛍光体に斑ができる。
- 3) 沈殿に長時間を要し、コストアップにつながる。
- 4) 密着性が悪い。

◎ 吹き付け法

スプレーガン等を用いて圧搾した溶液（アルコール等に溶かした蛍光体）と圧搾空気を共に基板上に吹き付ける。

吹き付け法の問題点

- 1) 吹き付けを行なう時、蛍光体が周囲に飛散し作業者の衛生環境の悪化が考えられる。
- 2) スプレーガンの目づまりをおこし、作業効率を悪くする。
- 3) 斑が出来ないように吹き付けるには高度の技術が必要である。

2、電気泳動法

蛍光体の粒子などが攪拌子で分散された溶液（イソプロピルアルコール）中に陽極（アルミニウム板）と陰極（蛍光体を付着させたい基板）を浸し、両極間に電圧を印加することによって溶液中の蛍光体粒子を陰極に付着させるものである。

3、電気泳動装置図

図1に電気泳動装置概略図を示す。aは溶液を入れるビーカー（3L用）、bは蛍光体（ZnO）及び硝酸アルミニウムが入っているイソプロピルアルコール（溶液）、cは陽極板、dは陰極板（蛍光体を付着させたい基板）を平行に固定し、地面に対して垂直に溶液に浸す。eは攪拌子でビーカーの底に沈めておく、fはリード線、gは直流電源、hは攪拌子をビーカーの外から回転させるためマグネットモーターを配置してある。

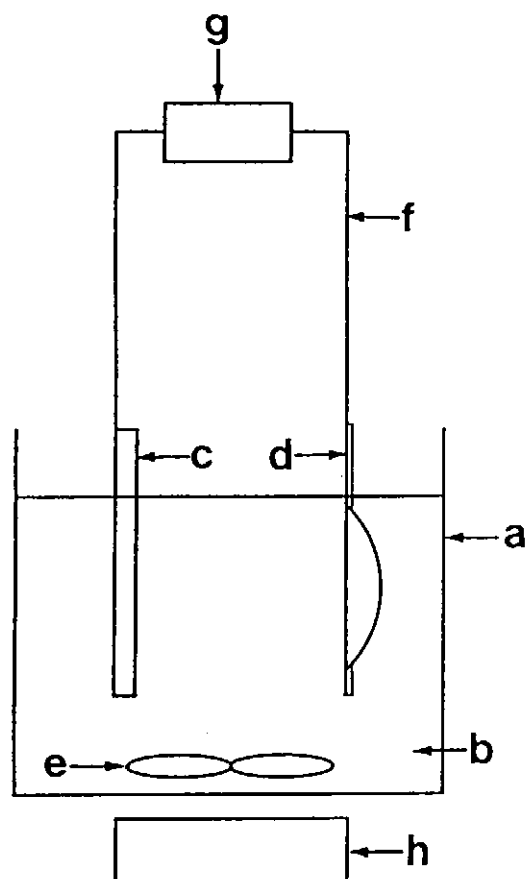


図1 電気泳動装置概略図

4、実験条件

| | |
|-------------|----------|
| イソプロピルアルコール | 約 2, 5 L |
| 硝酸アルミニウム | 約 4 mg |
| 蛍光体 (ZnO) | 約 7 g |
| DC電圧 | 200 V |
| DC電流 | 約 30 mA |
| 電極間距離 | 約 40 mm |

5、蛍光体の付着原理

ビーカー内の蛍光体 (ZnO) と硝酸アルミニウム ($\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$) はイソプロピルアルコールによって溶解分散される。硝酸アルミニウム ($\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$) はアルミニウム (Al^{3+}) イオンと硝酸イオン (NO_3^-) の解離し、アルミニウム (Al^{3+}) イオンが蛍光体粒子 (ZnO) の周囲を包み、蛍光体粒子は正に帯電される。ここで陽極Cと陰極dの間に直流電源g (数100 V) を印加することにより、正に帯電した蛍光体粒子は陰極dへ電氣的クーロン力により引かれ、陰極dを構成している基板 (半球状面上) に蛍光体を付着させる方法を電気泳動法と称している。

また、電気泳動法による泳動速度 (付着速度) は電場の強さに比例することが知られていることから、直流電源gの電圧を変化させることにより付着速度をコントロールさせることが出来る。

電着量 (蛍光面の厚み) は、陰極に流れる電流と時間に比例するので直流電源gの電圧値、電極間距離及び電着時間を変化させることにより蛍光体の電着量を任意に制御することが出来る。

なお、消費される蛍光体、硝酸アルミニウム及び揮発性の高いイソプロピルアルコールなどは、随時補給することにより長時間使用可能である。

6、まとめ

電気泳動法を用いることにより短時間で健康に優しく、あらゆる形状に (蛍光体の厚みを制御させながら) 蛍光体を付着させることが出来る。

※注意事項 (応用編)

この付着法は電氣的な手法を用いているため絶縁物 (セラミックス、硝子など) の上には付着できません。このような場合は、絶縁物上に薄く導電性の物をコーティング処理後、電気泳動法を用いれば可能と考える。

ワイヤ放電加工技術

－加工用ジグの設計・製作のポイント－

東京大学生産技術研究所 試作工場

谷田貝悦男

〒106 港区六本木7-22-1

TEL/FAX 03-3408-9227

INET#yatagai@cc.iis.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

複雑形状の工作や同一形状の製品を複数製作する場合には、工作目的に見合ったジグを製作し加工に用いる。

ジグは特殊でかつ限られた目的の工作に用いられるため、市販品に頼ることができず、自ずと技術者の創意工夫と工作力が糧となる。そのため例えば2人の技術者に同じ工作目的のジグを製作させた場合、作業性や構造などに違いが生じる。

ジグの多くは、要求された工作精度の維持や繰り返し位置決め精度の向上、または加工の効率化が目的であり、単機能なジグを設計することが無駄な労力が省ける。

同一形状の製品を複数製作する場合では、工作物の繰り返し位置決め精度が重要であるため、ジグの精度ばかりに依存せず、工作物の形状を均一に揃えておき、ジグに負担させる機能を低減させることもある。

2. ジグとは

辞書にはジグ(jig)とあり「治具」は当て字で、広辞苑によると「使用工作機械の刃物に加工物を正しく当てるために用いる道具」と定義している。

この定義どおり理解すると、旋盤用チャックや振れ止め、マシンバイスといったものもジグに含まれる。しかしこれらの道具はジグとは呼ばず、工作機工具として認識している。とりわけ刃物を用いない放電加工や研削加工などには当てはまらない。

ではジグと工作機工具の違いは何なのであろうか。

どちらも工作物を加工に耐えられるように固定する目的は共通しているが、工作機工具の使われ方の多くは、工作物を素材状態で工作機械に

取り付け、荒加工から工作し始める使われ方が一般的である。

一方ジグは、中仕上げ程度以上の工作物や、工作機工具では固定することができないような形状の工作物を、工作機械に固定する目的で使用される場合が多い。

従ってこれらの使用目的の違いから、ジグは工作機工具では固定できない形状の工作物を固定したり、または安定して良好な加工を行うために、工作物に取り付け支える道具とここでは定義づける。

3. ワイヤ放電加工機の

加工テーブル

工作物を取り付ける加工テーブルには、メーカーの違いにより固定定盤式や移動フレーム式の2種類がある。また工作物を固定するため、これらのテーブル形状に相応しいクランピングツール(工作物固定具)も付属している。

固定定盤式は、セラミックスやステンレス鋼などで作られた、上から見てL字状の定盤が加工槽内に固定されており、工作物は定盤面の雌ねじにクランピングツールをボルト止めする。(図1)

このほか固定定盤式は付属品以外に他社製のクランピングツールも使用できる利点があるが、加工のたびにクランピングツールや工作物の水平/平行を確認する必要がある。

移動フレーム式は、加工槽内に設置された2本の定盤の上に、ステンレス鋼フレームが渡してあり、フレームの溝に専用のクランピングツールを使い工作物を固定する。フレームは定盤の溝を利用して、任意の位置で固定できるようになっている。(図2)



図1 固定定盤式での
工作物の固定

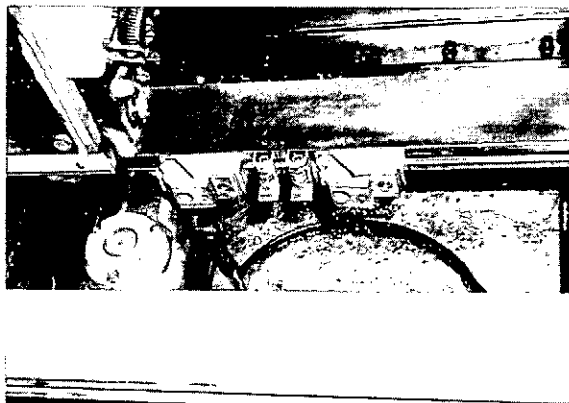


図2 移動フレームと
クランピングツール

移動フレーム式では、X方向の移動軸とフレームを平行に固定しておけば、工作物の水平／平行を確認することが不要になる利点があり、付属のクランピングツールで工作物を固定できない場合は、フレームやクランピングツールと同一思想でジグを設計し、用いなければならない。

4. ジグの設計と材質

(1) ジグの主要諸元

ジグを設計する上で必要な条件は、第1に工作物の高さ方向の位置決め精度、第2に基準面、第3に優れた導電性、第4に防錆性能、第5に強度である。

放電加工は、定盤面を基準に加工形状をプログラムする。またワイヤ電極の垂直を維持するワイヤガイドもこの定盤面を基準に垂直に設定する。従って工作物の底面は定盤面と

一致させる必要があり、特にテーパ加工を行う場合、定盤面と工作物底面が一致していなければ加工径が変わってしまう。(図3・図4)

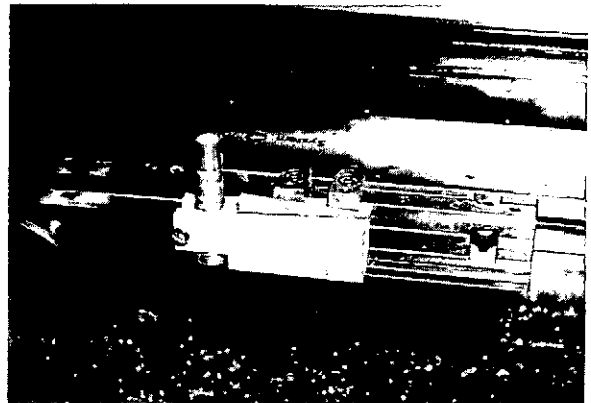


図3 テーパ加工用ジグ

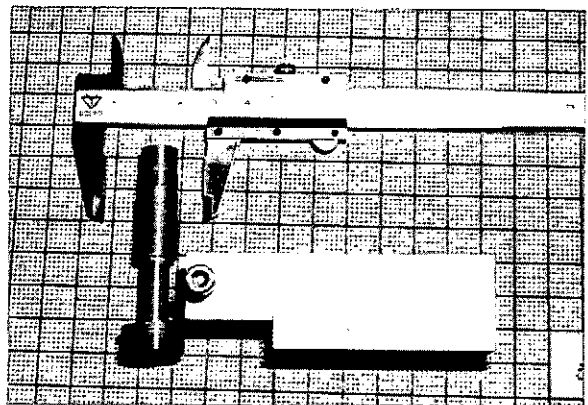


図4 工作物の形状に合わせた
ジグの欠き取り

そして基準となる平面や穴などが必要であり、その面や穴から工作物の位置を検出し、位置決めを行う。加工に必要な電力を確実に工作物へ供給させるため、工作物と同等あるいはそれ以上に電気抵抗の小さい材質を用いて製作することが望ましい。

ジグの再利用や、加工液に水を用いる機種では加工が長時間にわたることも想定し、防錆処理が必要な場合もある。

簡易な方法として、加工に不要な面にケガキ用の青ニスを塗布する方法が錆に対して有効であり、工作物への簡易防錆処理としても、青ニス塗布は有効である。

工作物の重量は、固定定盤式では定盤が受け、一方移動フレーム式で

は工作物の底面を支えるストッパーで支えるため、ジグで工作物の重量を支えるのは、円柱を立てて加工する場合などに限られるであろう。

このようにジグ本体で工作物の重量を受けるのか、あるいはジグの締め付け力で工作物の重量を支えるのかにより、ジグの剛性を判断せねばならない。(図5・図6)

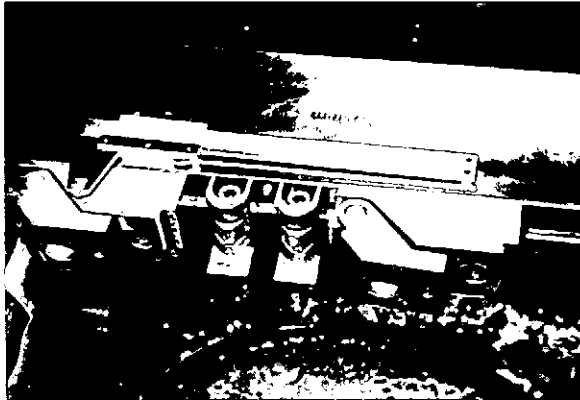


図5 移動フレームに取り付けた
底面ストッパー



図6 工作物の重量と底面を支える
クランピングツール

(2) ジグに適した材質

ジグに課せられる条件の1つである防錆効果のある鋼材として、一般的にステンレス鋼が最適といえるが、性質上研削による面性状を向上させることが難いため、放電加工など切削加工以外の加工法で面性状を向上せざるを得ない。

従って、高レベルな面性状を要求される面積を減らすなどの工夫を取り入れられるならば、ステンレス鋼はジグに相応しい優れた材質と言え

る。筆者がステンレス鋼以外に使用経験のある材質としては、ジュラルミン(JIS-A2017S)や黄銅、鋳造品、鉄鋼がある。

非鉄金属系工作材料は工作が極めて容易であるため、特に工作を急ぐ場合などには重宝であるが、強度を必要とする取り付け方法には不向きである。

また熱膨張率が高いので常温で保管したジグに工作物を取り付け、直ちに加工し始めると加工精度が低下する。

そのため非鉄金属製ジグは工作物と共に加工液中に3時間程度沈めておき、加工温度に慣れさせる必要がある。

鋳造品は熱膨張計数が低く硬度が高いため、例えば金工用定盤やVブロックなどのように、長期間精度を維持することができ、防錆対策を工夫すればジグに使用できると思い試行してみたが、内部に浸透した油が加工中しみ出てくるため、加工前の脱脂を十分行わないと加工液を汚染してしまふことや、予想以上に錆の進行が早い、加工面以外の錆び落としに手間がかかるなど、水を加工液に用いるワイヤ放電加工機には不向きと言えらる。

鉄鋼も鋳造品と同様な性質であるが、脱脂は容易である。

5. ジグの活用例

(1) 中子の落下防止

固定具が使えないような形状や、ダイ形状に加工する場合、中子の落下を防止するためジグが用いられる。

中子の落下防止では、加工前に工作物の中子部分にタップを立て、中子が切り落ちる直前に加工を中断し、適当な梁をネジ止めして落下を防止したり、または2本の帯材で工作物を挟み落下を防止するなどの方法がある。

余談ではあるが、中子の落下防止のため、雄型雌型にまたがるように磁石を用いる風景を見かけるが、磁力により加工屑がギャップに付着し、加工液の噴射力で排出することができず、ワイヤ電極と工作物が加工屑を介して短絡してしまい加工が進まなくなるため、絶対に行わない

方がよい。

(2) 薄板加工

薄板加工では厚さが1mm以上あれば薄板用の固定具を用いることができるが、1mm以下の板を加工する場合、工作物の自重でたわみが生じてしまうため、厚手の板で工作物挟み、厚手の板と共に加工してしまう方法や、額縁状のジグで薄板の周囲を固定する方法などがある。(図7)

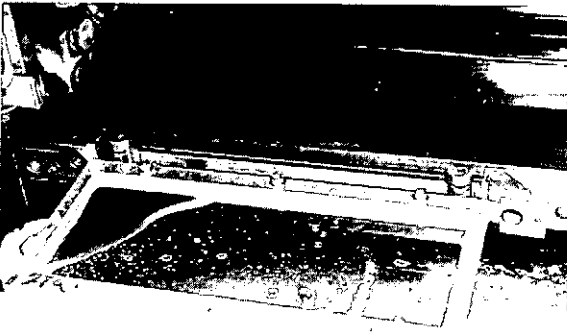


図7 $t = 0.4$ 黄銅板用ジグ

(3) 安定した加工のために

工作物を支える目的以外に、加工液を安定して加工部位に供給させる目的もある。

例えばパイプ状の工作物を立てた状態で加工する場合や、吹き掛け式で工作物の端面から切り進む場合など、パイプの上端下端双方にリングを取り付けたり、工作物の端面にカバーを取り付け、ノズルから噴出する加工液が放電部位に十分供給でき、加工液の飛散を防ぐことが重要である。

また段差のある工作物を加工する場合など、段差部に見合う形状のものを工作物本体に取り付け、加工中面積効果が変化することを防止することも重要である。

このように加工液を放電部に集中させることや、加工中に工作物の厚さが変化しないよう工夫を凝らし加工の安定化を図る。

6. まとめ

ワイヤ放電加工用ジグの設計要件としては、第1に工作物の底面と定盤面を一致させることが大事である。

額縁状ジグを使い薄板を垂直に切り抜く場合など例外はあるものの、1mm以上の板厚では1stcutを省くことができないので、工作物の底面を定盤面にあわせる工夫が必要である。

第2にワイヤ放電加工機の機能を有効活用して、ジグ製作にかかるコストを省力化することである。

ワイヤ放電加工機は様々な測定機能や加工パターンが備わっており、穴のセンタリングや穴間距離、2つの穴の中心のずれ、1端面の傾きなどが測定できる。また加工パターンには加工形状の反転や回転、拡大縮小などがあり、これらの機能が活かにせざる単純形状のジグを設計する事により、工作物の加工に不必要な製作行程が省かれ、ジグの製作時間が短縮し、総合的に工作の省力化に結びつく。

加工油と違い水を加工液に用いるワイヤ放電加工機は、無人運転を行っても幸い火災の心配がいらぬ。

ワイヤ放電加工機などのNC工作機械を使い、終業間近にジグ用の工作物を取り付けておけば、残業することなく翌朝出勤した時には、ジグを完成させられる。

コルゲート導波管の開発

核融合科学研究所 杉戸 正治

新潟大学工学部 南 一男、小椋 一夫

1. はじめに

管の内側に波形をつけた伝送管がコルゲート導波管 (corrugate=波形をつける) である。当研究所で使用予定の 84GHz 及び 168GHz プラズマ加熱源のジャイロトロン発振器から出るマイクロ波の伝送管に於いても管の内側には極細矩形状の波形加工が施してあるが、今回報告するコルゲート導波管は、共同研究を実施中の新潟大学工学部で開発している大出力高効率プラズマ後進波発振器に使用する伝送管である (図 1)。この実験装置全体図の中、遅波構造と称する部分が今回報告するコルゲート導波管である。後進波発振器 (BWO) はジャイロト

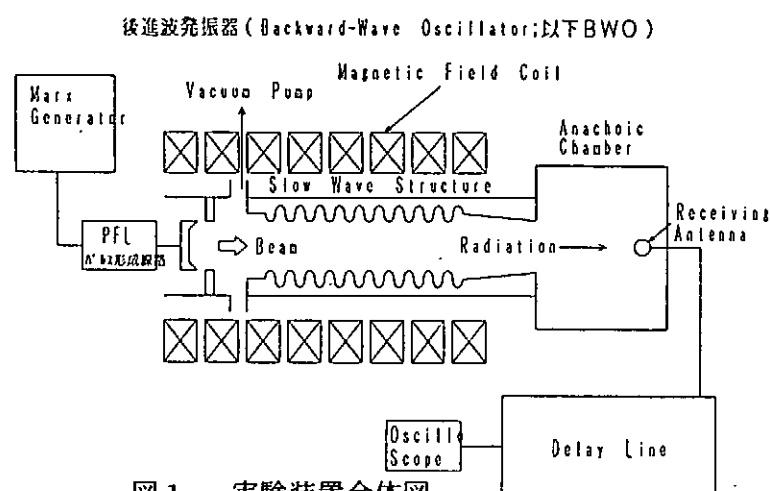


図 1 実験装置全体図

ンのように電子サイクロトロン共鳴を使用しないために強磁場を必要とせず、電子ビームを遅波構造部に通すことさえできれば発振が起こるというものである。これまでに波形の小さなもの、波形の深いもの等、アルミ製円筒型コルゲート導波管を製作してきた、その製作工程を報告する。

2. 大口径遅波導波管

BWOの発振周波数をあげるには通常、遅波構造の平均半径を小さくすればよいが、それではマイクロ波出力も下がる事から、平均半径は大きいままで、遅波構造部の波形ピッチを短くして高い発振周波数を得る、それが大口径遅波導波管である (図 2)。材質は耐食アルミ、平均半径 30mm、波長 3.4mm、振幅 1.7mm、1 セクションの波形の数は 10、全体を 7 分割として最大 70 周期、直管とも組み合わせ 10 周期づつ変化させて実験できるように製作した。

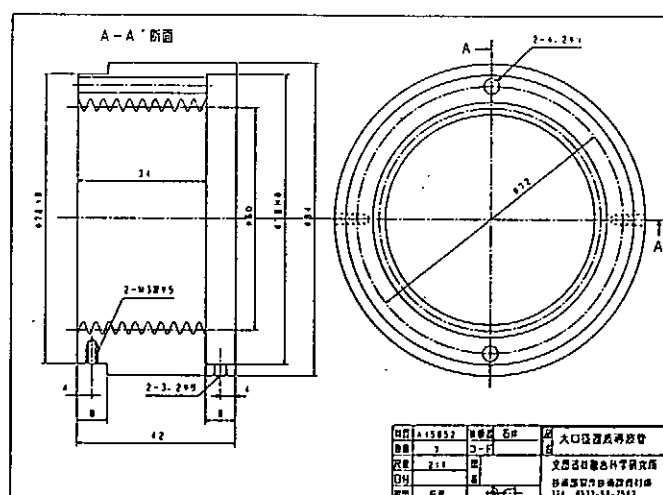


図 2 大口径遅波導波管 1 セクション

2-1 刃物の形状

コルゲート導波管を製作する場合、一番重要なのは、刃物の形状で、波形に沿って削れる刃先R、逃げ角度を刃物軌跡の作図によって決定する(図3)。図2に示す導波管を加工するには、刃先R 0.2mm、逃げ角度 10° が適当と見て刃物を作る。材質は、市販品のSKH1/2の完成バイトを使用する、形状はワイヤカットで切り、その時、NC旋盤に位置決めし易いように基準面と基準面から刃先R中心迄の距離を明確にする、刃物の前、横逃げ面はグラインダーにて、手研ぎとする。刃物を掴む工具ホルダーは、シャンク径 32mm、刃厚 8mm、基準面が少し出るようにする(図4)に示す。

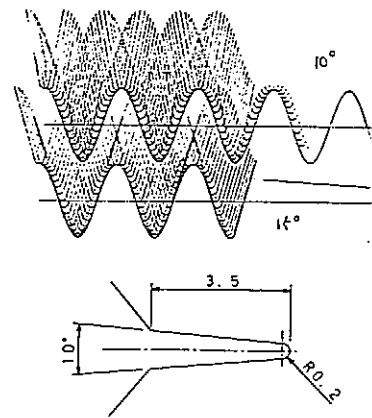


図3 刃物の形状

2-2 切削条件

切削条件は切り込み半径値 0.2mm、切削速度 100m/min、回転数 1500rpm、送り速度 0.15mm/rev として、加工方法は加工原点をずらして行く工法を取った。

2-3 加工精度と実験結果

形状測定は出来上がった導波管の一部を切り出し、10 倍の投影機で波形線図と見比べることで行った(図5)。この遅波構造BWOは高い周波数を予想し 24GHz 付近で発振する大出力のマイクロ波を得る事を目的としたもので、実験により以下の結果が得られた。

① 平均半径 30mm、波形のピッチ 3.4mm、波形の振幅 1.7mm の遅波構造に、電流 0.5KA、エネルギー 70KeV の電子ビームを入射させ、BWO

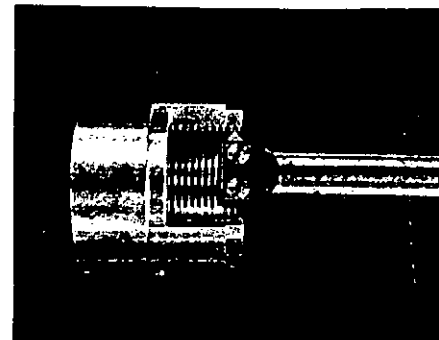


図4 刃物ホルダー

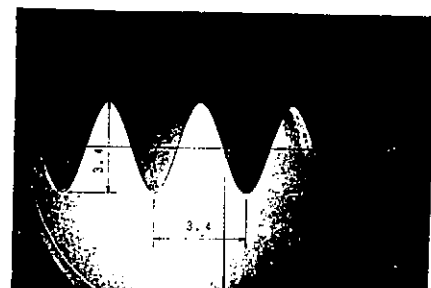


図5 投影機による波形の測定

の発振を確認したところ、直円筒の場合に比べて圧倒的に強いマイクロ波出力を得られた。

② 発振周波数のスペクトルを確認したところ、18-21GHz でありほぼ設計値と一致した。ピッチ数は 30 付近に最適値がある。

③ 真空BWOとプラズマBWOを比較したところ、後者では出力が 10 倍以上増大した。プラズマ密度には最適値が存在する。

④ 発振効率は今のところ、1%以下と低い、改良の途中であり、向上しつつある。

3. テーパー型BWO&スロットル型BWO

大口径遅波構造BWOではマイクロ波のパルス幅は短く、核融合プラズマ加熱源としてはロングパルスが望ましい。そこで遅波構造部の形状を工夫することで高品質、高電力マイクロ波を発生させる可能性をもつ平均半径を変化させたテーパー型導波管、及び中央部付近を最小径とした太鼓型スロットル導波管を製作することにした(図6)。

3-1 テーパー型&スロット型遅波導波管の設計

最小直径 21mm、両端最大波形深さ 13.6mm、5 分割構造とする。継ぎ目の位置は電磁界が一番弱くなる、波形の凹んだ箇所に設ける。1 セクション波形部の長さは 33.4mm、図 7 はテーパ型 BWO の設計図である。

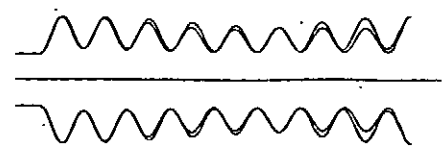


図 6 テーパー&スロット導波管

3-2 刃物の形状

波形が大きいために、刃物の形状は、刃先 R 0.4mm、逃げ角度は 35° と大きく取れる事から市販品のチップを探し、丁度良い超硬チップが入手出来、それを基にした工具ホルダーを作製した。シャンク径は 20mm、1 セクションの振幅の浅いところと、深いところから工具ホルダーの太さを決めた。工具ホルダー柄の断面は長径 16mm、短径 7.4mm の楕円形状とし、チップ中央部を少し出して刃先中心位置を拾った (図 8)。

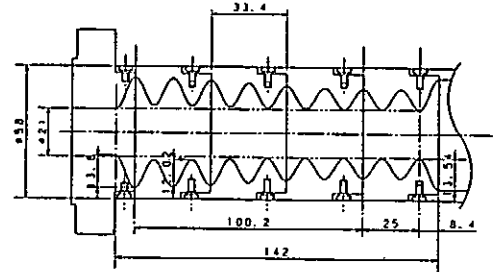


図 7 テーパー型導波管の構造

3-3 切削条件

切り込み半径値 1 mm、切削速度 30m/min、回転数 600rpm、送り速度 0.1mm/rev。下穴径 21mm に対し刃物との隙間が非常に狭いので、加工原点位置は固定して、加工スタート面は深い谷のある方から加工する。図 9 は加工軌跡を表す。仕上げは、切り込み半径値 0.1mm で波形に沿わせる。

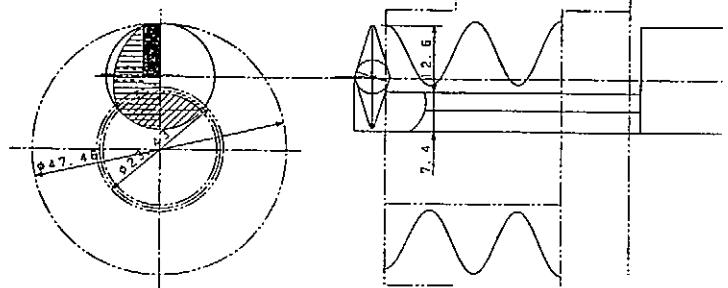


図 8 テーパー型導波管加工工具形状

3-4 加工精度と実験結果

図 10 にテーパ型導波管の仕上がり断面を示す。市販品チップという事もあって綺麗な仕上げ面が得られた。実験結果は良いデータが得られたと聞いている。



図 9 加工軌跡

4. 40GHz 帯共振モード発振器

大口径遅波導波管と同じ構造であるが、平均半径は小さく、波形も小さくした遅波導波管である。平均半径 15mm、波長 2mm、振幅 1mm、5 分割構造で、1 セクションの長さは 20mm (図 11)。

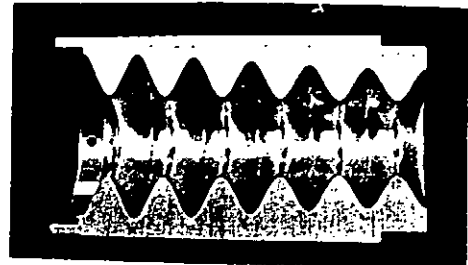


図 10 テーパー型導波管断面

4-1 刃物の形状

図12より刃物形状は刃先R0.1mm、逃げ角度は 20° とした。材質は厚み4mmの市販品SKH突切り刃を利用する。大口徑遅波導波管の製作と同じように成形し、工具ホルダーに取り付ける。

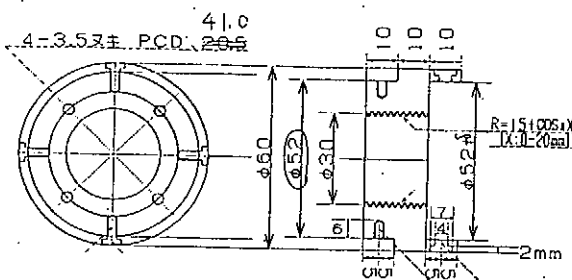


図11 40GHz帯共振モード発振器

4-2 切削条件

切り込み半径値0.1mm、切削速度50m/min、回転数800rpm、送り速度0.1mm/rev、テーパ型導波管と同じ加工方法である。

4-3 加工精度

出来上がった導波管は波形状が違っていた。図13加工面はむしろ粗くしたような出来である。この加工では、刃先R0.1が絶対条件である為に逃げ角度は大きく取った、それが加工面を悪くした原因なのかわからないが、今後検討して良い製品に作っていく次第である。

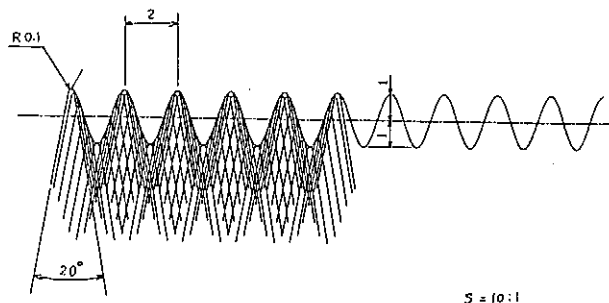


図12 40GHz帯共振モードの刃物軌跡

5. おわりに

今回、この一連のコルゲート導波管の製作にあたって、如何にしてモノを作るかよりも、専門外であってもなぜ正弦波が必要なのか、電磁波とはなにかといったことの勉強の上にモノを作る必要性を感じた。

新潟大工学部の小椋一夫先生に幾つかの疑問点を教えて頂きました。その一部を記載する。

(1) コルゲートが、なぜ正弦波か？

コルゲート導波管における境界条件を正確に扱う為である。角型であるとフーリエ展開すればわかるが、多くの高調波を含み、境界条件は複雑になり、近似が必要。正弦波であれば境界条件に高調波を含まないので、解析が簡単である。又、実用面では、角型に比べると電界が集中しにくい為、放電が起こりにくくなる。

(2) 発振されたマイクロ波は正弦波状に沿って進み減衰しないか？

発振されたマイクロ波の正弦波管壁に沿って進む成分は非常に少ない。殆どは管壁から離れた空間を伝搬するので、減衰は小さい。条件次第では、導波管の実効面積が直管に比べると大きくなる場合がある。

参考文献

南 一男：研究成果報告書 平成5年



図13 40GHz帯共振モード波形断面拡大図

東京大学物性研究所低温液化室ヘリウム液化システム概要Ⅱ

東京大学物性研究所低温液化室

○鷲山 玲子 吉田 辰彦 金子 和行 佐藤 和久

E-mail ekika@kodama.issp.u-tokyo.ac.jp

1 はじめに

低温液化室の主な業務としては、ヘリウムの液化、供給、液体窒素の供給システムの管理等があるが、今回は昨年液化機の更新を行ったのでヘリウム液化システムの概要について報告する。

物性研究所において、最近では年間 10 万 ℓ を超える液体ヘリウムの需要がある。(図.1 参照) そのため、従来の液化機では液化能力が低いと十分に供給を行う事ができなかった。また研究室用の小分け容器 (以下ストレージ) にトランスファーするのにも、差圧式トランスファーチューブでは 100ℓ で 50 分かかっていたので、供給量の多い時には作業が夜 9 時頃にまで及ぶ事もあった。

これらの事由により、1996 年に 17 年間使用していたヘリウム液化機 (BOC 社製ターボクール 100) を LINDE 社の TCF-50 に更新した。また、液化機の更新に伴い周辺設備等の増強もはかった。

また、供給時間の短縮を目的として、遠心式液体ヘリウム汲上ポンプ (以下ポンプ) を導入した。これは、国内では今のところ導入しているのは北大と物性研のみで、世界でも導入しているところは 10 か所程度のもので、ポンプについても報告する。

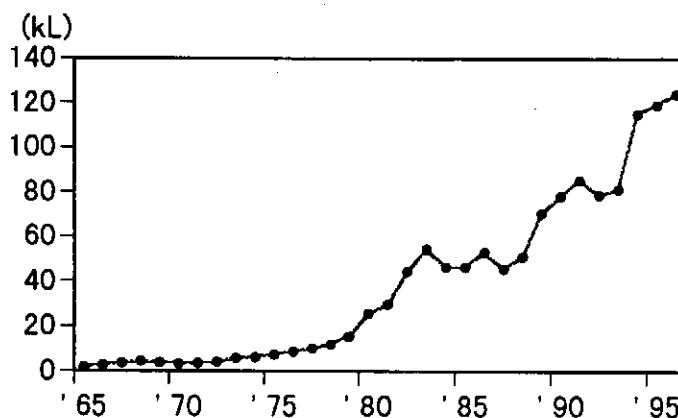


図 1: 年間の液体ヘリウムの供給量の推移

2 液化システムの概要

図 2 の斜線の部分が今回更新、新設した装置である。表 1 に設備の詳細を示す。

液化システムの特徴としては、供給時に発生する蒸発ヘリウムガスを回収ホルダーに戻すのではなく、トランスファーチューブ (三重管で外側から真空、戻りガス、液体ヘリウムの順) を通し 6000ℓ 液体ヘリウム貯槽 (以下貯槽) 内に戻す。貯槽内に戻したガスと貯槽自体の蒸発ガスは液化機と貯槽間の三重管 (外側から同じく、真空、戻りガス、液体ヘリウムの順) を通して液化機内へ戻し液化するようになっているのが特徴である。これは液化機にコールドエジェクターがついている為、蒸発ガスを回収ラインに送るのではなく液化ラインに直接送る事ができ、効率よく液化が行える。

またガスを液化機に戻すラインを作った結果、液化機の液溜めの圧力、貯槽の内圧、供給を行っている場合にはストレージの内圧、それぞれが全て同じ圧力になる。この圧力は貯槽内圧として液化機のコントローラーによって制御されている。

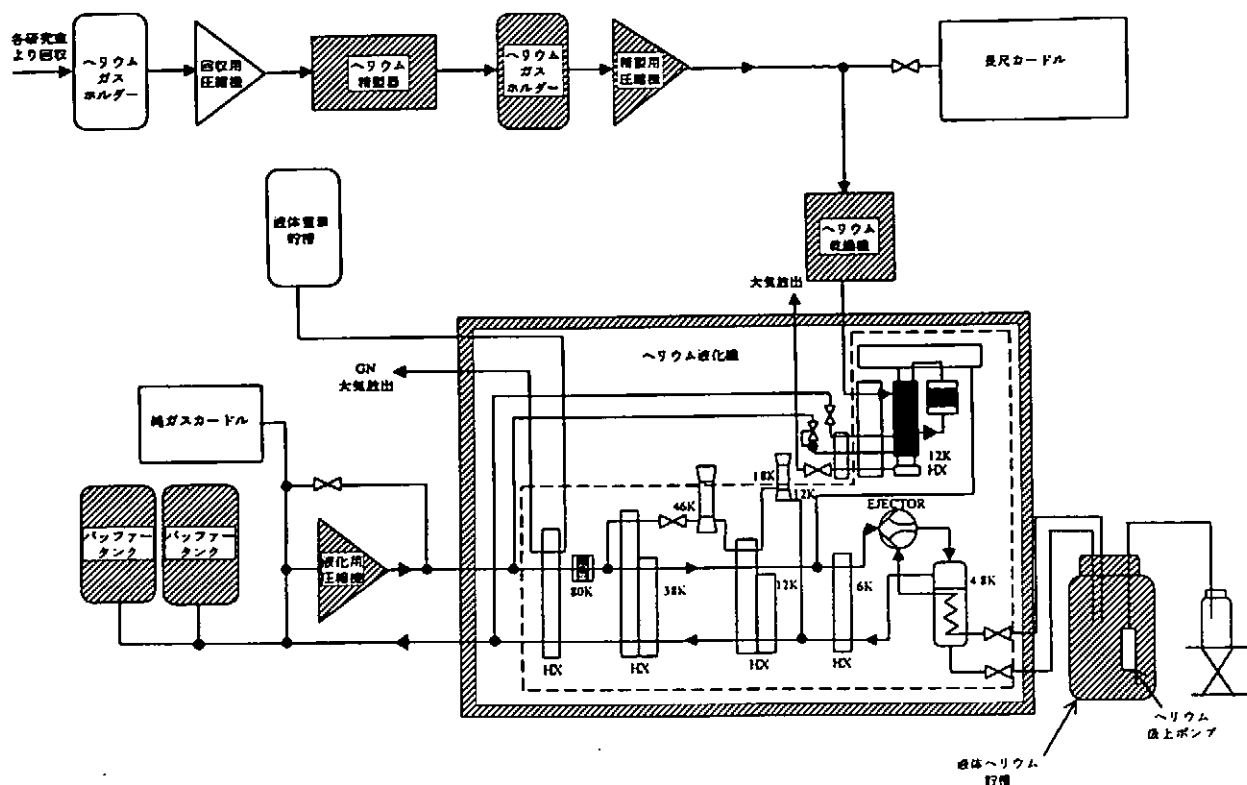


図 2: ヘリウム液化システム

今回更新した液化機 TCF-50 は、液化率が約 150ℓ/h(不純ガス使用時)、コンピューター制御による全自動運転のもので、国内でも多く導入されているものである。液化機の各部分の設定やデータ等は液化機のコントローラーを通してディスプレイに表示される。設定の変更等は端末を通して行う事ができる。

現在の運転条件は、液体ヘリウム汲上げポンプの供給効率とのバランスを取るためテストの結果(表 3 参照)、貯槽の内圧を 0.09(kgf/cm²G) にしてあり他の TCF-50 より液化率が落ちていると考えられる。なお、スペックでは 98%の純度のヘリウムガスで液化率が 150ℓ/h となっている。

TCF-50 は内部精製式の液化機であるが、各研究室からの回収ヘリウムガス純度がまれに 93~98%と悪くなる上、大量の回収ガスがある為ヘリウムガス乾燥機とガス分離膜式精製器を新設し、ガスを 2 段階の前処理をしたものを液化機に送り使用している。またこのガス分離膜式精製器は、窒素を使用しないタイプの精製器でメンテナンスフリーである。

貯槽は高さ 3.08m になるものであり、建物の構造上半地下埋め込み式となっている。地上部分の高さは 1.5m、またリフトがピットに収められている為、供給の時に目の高さで作業が行えるのが利点である。

3 遠心式液体ヘリウム汲上げポンプについて

3.1 導入の目的と考慮した点

低温液化室では、1 日に平均約 600~700ℓの液体ヘリウムの供給がある。供給の多い日には 1 日 2000ℓ前後の供給を行う事がある。これらの供給を以前は差圧式のトランスファーチューブで行って

| 装置 | 詳細 | | 装置 | 詳細 | |
|--------|-----------|-------------------------|--------|-----------------------|------------------------|
| 液化機 | LENDE | TCF-50 | 液化用圧縮機 | 前川製作所 | |
| | 液化率 | 150ℓ/h(図 2 参照) | | スクリー式 | |
| | 窒素使用量 | 108ℓ/h | | 処理能力 | 1430Nm ³ /h |
| 貯槽 | STATEBORN | | 精製器 | 川崎重工 | ガス分離膜式 |
| | 貯槽容量 | 6000ℓ | | 処理能力 | 144Nm ³ /h |
| | 蒸発率 | 1.0%/day | 回収用圧縮機 | BLUCKHALTS | C5U212 |
| ガス貯蔵容器 | 回収ガス用 | 定置式 | | 処理能力 | 90Nm ³ /h |
| | 貯蔵能力 | 1980Nm ³ × 2 | 精製用圧縮機 | BLUCKHALTS | |
| | 純ガスカードル | 移動式 | | 処理能力 | 180Nm ³ /h |
| | 貯蔵能力 | 140m ³ × 2 | ガスホルダー | 70Nm ³ × 2 | |

表 1: 設備の詳細

| 貯槽内圧 (kg/cm ²) | 液化率 (ℓ/h) | |
|----------------------------|------------------|----------------|
| | 純ガス使用時 99.99% | 不純ガス使用時 99% |
| 0.09 | 170.19 | 153.07 |
| 0.20 | 192.60 | 172.30 |

表 2: 貯槽内圧と液化率の関係

いたが、この方法だとはじめに述べたように 100ℓ供給するのに 50 分かかってしまい、供給の多い日には作業が夜の 9 時ごろまでに及ぶ事となり、我々への負担となっていた。そこでこの状況を何とか改善したいと考え、作業時間の短縮を目的としポンプを導入した。

また、ポンプの導入は液化機の更新に付随しておきたものなので、設置の為に高額な費用がかからない事、液化システム全体として有効なものになる事、ポンプは高額なので供給作業の合理化ははかれる事、ポンプを装填しても貯槽の蒸発率があまりあがらない事、全自動で供給が行える事、ポンプが故障した場合でも供給が行える事、ポンプ(トランスファーチューブ)を固定してしまうと大型容器の供給が行えなくなるので、左右にも動かせるようにする事等を考慮した。

3.2 設置後の状況

ポンプ設置後は、供給時間が 10 分の 1 になり供給時間も含めた全体の作業時間は、100ℓの容器で約 10 分ほどとなり大幅な作業時間の短縮となり、設置の効果が現れており導入の目的は十分果たせたといえる。また差圧式とは違い大気圧近い貯槽内圧でも供給が行える為、ストレージのフラッシュロスが押さえられる。また一方では、液体ヘリウムが LHe 温度付近のガスヘリウムの質量に対して 7~8 倍の重さでしかない事や、ストレージ内の温度分布が複雑な事などの理由により、液体ヘリウムの充填量の計測が難しい為、ロードセルを利用した自動供給システムが不完全なものである事、ストレージによっては内部の形状の違いにより供給しにくいものがある事、ポンプ(トランスファーチューブ)との接続には専用のクランプが必要で、供給時にストレージのヘッドを毎回交換しなければならない事、また供給時に何らかの理由で貯槽内圧が上がってしまうと液化機が停止してしまう為、内圧が上がった場合には供給を停止しなければならない事など問題がいくつか残っている。

| 貯槽内圧 (kg/cm^2) | ストレージの容量に対する供給率 (%) |
|-----------------------|------------------------|
| 0.20 | 93～94% |
| 0.09 | 96～97% |

表 3: 貯槽内圧と供給率の関係

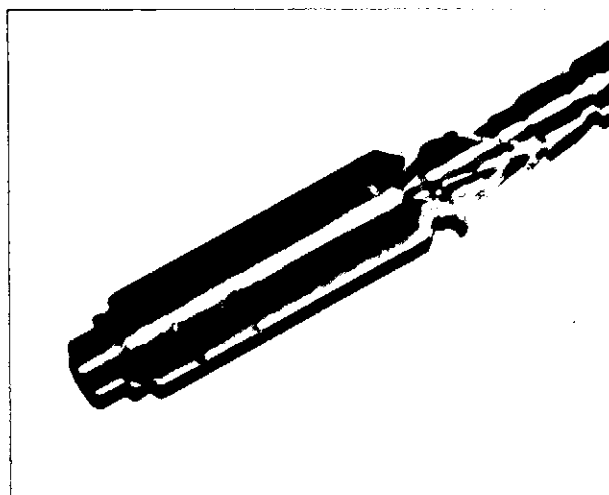


図 3: 遠心式液体ヘリウム汲上ポンプ

4 現在までの運用状況

現在までの運用状況は、先日設置後 1 年を経過した為、液化機用圧縮機のオーバーホールを行ったが特に異常もなく運転されている。また、供給量が多い為ほぼ連日液化運転を行っており余裕を持って対処できるよう、貯槽には常時 3000ℓ前後の液体ヘリウムが溜められている。これまでの主な故障は、液化機の内部精製器の入口のバルブの故障、液面計の故障、ディスプレイの故障でいずれも修理は部品の交換となっている。現在のところ液化、供給ともに停止になるような大きな故障はおきていない。

5 まとめ

以上が低温液化室のヘリウム液化システムとなるが、今回の更新での一番の利点はなんといっても、液化、供給共に以前に比べ作業時間が大幅に短縮した事により、我々への時間的負担も軽減された事である。システムもトータルで見ると非常にコンパクトなものとなっており、我々にとって使いやすく、各種インターロックがあり作業上の安全性も増した。また、液化機も内部精製器と外部精製器を併用する事により、安定した液化率を保っている。更に、6000ℓの大容量の貯槽を設置した事により、急なヘリウム申し込みにも余裕を持って対処できるようになり、ユーザーにとってヘリウムがより一層自由に使いやすくなったといえる。しかし、一方で液化機が一旦故障してしまうと我々だけではなかなか原因がつかめず、修理する事ができない事、ポンプ設置に伴って起こった問題等が今後の課題として残っている。また液化機の構造上、ディフージョンポンプの使用中に急な停電等が起こり電源が切断された場合は、液化機の断熱部にポンプのオイルが逆流する可能性があり、その点が危惧されている。3 年後には物性研の柏移転が控えているが、その際にはこれらの課題をクリアしたシステムにして移転を迎えたいと考えている。

ヘリウム液化機 — その後の運転状況 —

分子科学研究所 分子物質開発研究センター

○高山敬史、加藤清則、柴山日出男

1. はじめに

1995年11月21日以来、深い眠りについていた神戸製鋼所製ヘリウム液化機も1996年11月から約半月間の大手術を終え、1996年12月12日ようやく息を吹き返した。ヘリウム液化機損傷原因の詳細は、1996年3月に行われた第15回分子科学研究所技術研究会によって報告済みである。

その後、液化機運転中ちょっとしたトラブルに見舞われたが現在では壊れる以前よりも性能的にも優れた状態で、修理後約500時間（1997年10月現在）順調に稼働している。

損傷となった原因を振り返りながらヘリウム液化機その後の運転状況について報告する。

2. 事故原因を振り返って

事故原因は、内部精製器の第3段であるHX-311Bの内部で、その中の内筒に過大な力が加わりそれを支えているサポート（SUS304、幅5mm厚さ2mm）が延性破壊を起こし、その衝撃で精製ガスの通る銅パイプを切断したことにより不純ガスラインと純ガスラインが共通になり、汚れたガスがタービン軸受けに流れ込んだための事故であった。

破損原因の推定として、精製運転中、精製器HX-311B内で固化した空気はシャーベット状で伝熱管のフィン部に付着しているものと思われるが、再生時には加温再生ガスによって上部から順次融解していくと考えられる。事故直前の再生操作において、精製器内の固化空気の蓄積量が多かったために、再生操作時に精製器の温度があまり上昇せず、いったん融解した空気が精製器内の下方で再凝固してアイス状になり、フィン部のガス流路を完全に閉塞させたのではないかと推定される。このため、再生加温ガス（1.52MPa、加重換算2650kgf）がとともに内筒上部の平板にかかり、サポート金具に過大な応力が発生してこれを破断したのではと考えられる。

3. 修理状況

破損した内部精製器の第3段であるHX-311Bが若干の設計変更を受けて組み込まれた。その設計変更の内容は、サポートの形状を上部4個（詳細は上記）のみであったものを、上部（SUS304、幅60mm厚さ4mm）10個と下部（SUS304、幅40mm厚さ4mm）10個の計20個に変更した点である。その他、破損した内部精製器の前段であるHX-311Aに熱電対を設置して温度モニタができるように改良した点と、液化運転終了後、内部精製器に蓄積された不純物がガスホルダーに戻されていたため、せっきく取り除いた不純物を再び回収系に戻さないように配管を新設する改良を施した。以上、新設された内部精製器が同様な事故を起こさないための処置が施されたが、次に制御系（シーケンス）の変更点について述べる。

今まで内部精製器の再生手順がタイマー式制御によって行われてきた。具体的には、ある一定時間（8分間）だけ昇温ガスを流し内部精製器に蓄積された不純物（液空）をドレンする。しかし、この制御の問題点は内部精製器が実際、昇温されたのかどうか判らない。これは、事故原因からも推測できる。そこで、再生手順をタイマー式制御から温度コントロール式制御に変更して内部精製器の温度が50K（精製運転時は35K）になるまで昇温ガスを流し不純物をド

レンする方式に切り変えた。

4. 運転状況

1996年12月2日の県庁による完成検査の後、計4回にわたって神戸製鋼所による液化機の試運転が行われて、1996年12月12日無事に引き渡しが行われた。その後、試運転中には現れなかったちょっとしたトラブルに見舞われたので以下に述べる。

引き渡しを受けた最初の運転で修理された内部精製器がうまく作動しない事態に陥った。原因は精製運転中に内部精製器が不純物によって詰まった事を検知する圧力計の誤動作であった。内部精製器に不純ガスが導入される際にその脈動で設定圧力まで上昇してしまうため、圧力計の元弁を絞る事により解決した。よく、圧縮機の圧力計が振動するため、それを抑える時に使う手段である。その他、内部精製器が過冷却状態（35K以下）になると蓄積された不純物が固化する恐れがあるため、内部精製器に導入される冷媒ガスおよび不純ガス供給元弁の開度を、今回新設した熱電対で温度を監視しながら、微妙に再調整を行った。それと同時に、強制的に再生運転を行う事なるべく内部精製器が過冷却状態にならないような対策を取り入れた。

また、タービンに致命的な損傷が起きる前に、それを察知するため精製ガスラインに低濃度酸素濃度計を設置して運転中は常時監視をしている。現在、精製ガスの酸素濃度は0.4ppm以下の水準を保持しておりまったく問題ない。（安全な酸素濃度は5ppmを超えない範囲）

内部精製器に導入する不純ガスの水分量も重要なファクターである。液化運転前には必ず水分乾燥器の再生作業を行っている。再生時、毎回約350cc（処理量1,000m³につき）の水が取り除かれており露点計の指示も-80℃付近で安定している。さらに、1998年2月には水油分離器も設置される。

5. ヘリウム液化機保守点検

今回修理された液化機を機能的かつ安定的に運用するために、壊れる以前はほとんど行われていなかった保守点検にも重点を置いた。

この液化機にはメインのラインと内部精製器の精製ガス出口ラインに活性炭吸着器が設置されている。長期間、液化機を運転するとこの吸着器には不純物が蓄積されてくる。これを定期的に取り除かないとガス流量のバランスが崩れ、それが原因で内部精製器も不調に陥る。そこで、2ヵ月毎（ヘリウムガス回収純度が著しく低下した時はこの限りではない。）にコールドボックス全体を昇温（273K以上）して活性炭吸着器を真空引きする。昇温する手順として、運転後コールドボックスの真空を数Torrまで破る事で簡単に昇温できる。これに伴いシーケンスを一部変更して、内部精製器の初期再生時間が5分間から20分間に延長された。

予冷用の液体窒素のラインがコールドボックス内最終段熱交換器のシールドとしても利用されている。そのため、液体窒素の真空断熱配管の真空が悪くなると液化機の効率が落ちると同時に全体のバランスが崩れてしまう。そこで、数ヵ月に一度は配管の真空引きを行う必要がある。

同様に、液化機から液体ヘリウム貯槽に入るデリバリーチューブ（3重管）の真空度が落ちても結果的には全体のバランスが崩れてしまうため、数ヵ月に一度は配管の真空引きを行う必要がある。

最後に忘れてはいけない事に、回収ヘリウムガスの純度監視がある。分子研の場合は回収配管がすべて減圧されているので特に注意が必要だ。これはひとえに液体ヘリウムユーザに負う

所は大きいですが、通常の場合、回収ヘリウムガス純度は99%以上を維持している。

以上、液化機を能力的にも最高の性能で維持していくためにはこのような努力が必要である。

6.まとめ

液化機が壊れてから貴重な体験をすることができた。分子研技術課によるプロジェクトチーム結成に始まり、事故原因追究のためのヒアリング等、メーカーに頼らず我々で直すんだという意気込みを持って鋭意努力をした。その介あってか、現在では壊れる以前よりも性能的にも優れた状態で運転している。液化率・クールダウタイムにはさほど大きな違いはないが、何よりも内部精製器が安定して動作していること事態大きな成果だと思う。ちなみに今年度の液体ヘリウム供給量は50,000ℓになると予想され、年間液化量も70,000ℓに昇る。

参考文献

「分子研ヘリウム液化機事故報告」高山敬史 他 第15回分子科学研究所技術研究会(1996)

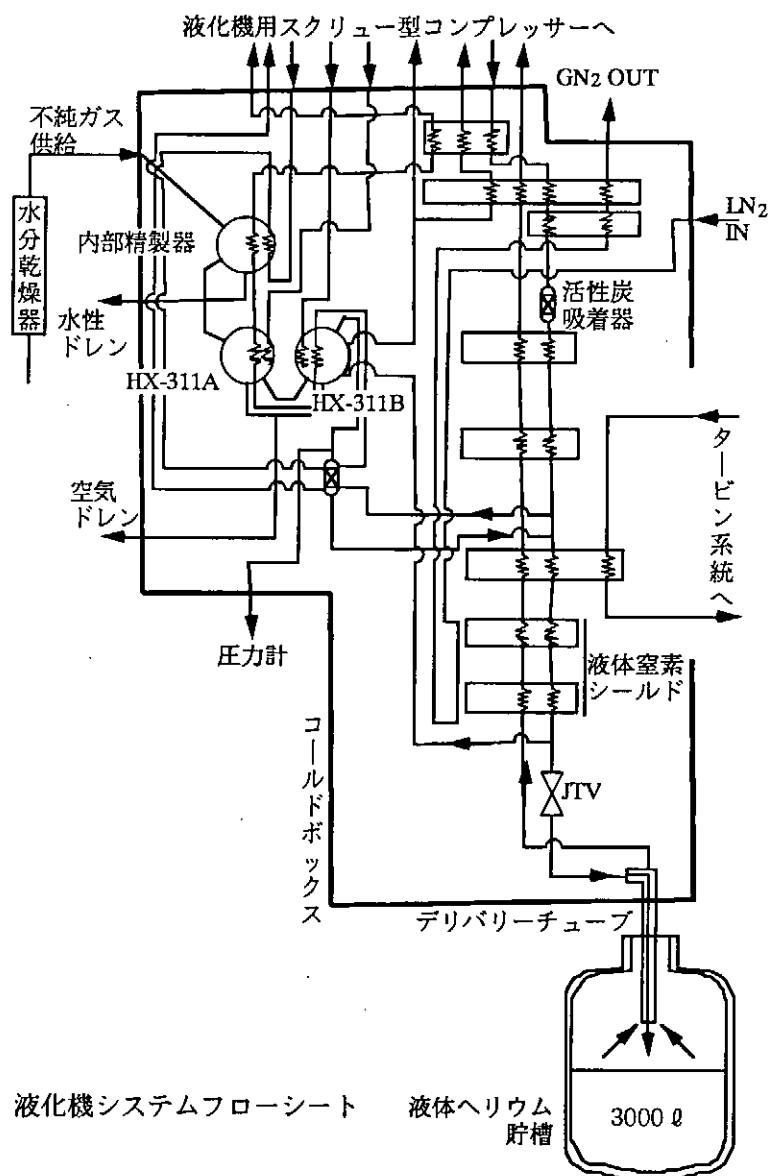


図 液化機システムフローシート

液体ヘリウム貯槽
3000ℓ

大型ヘリカル装置(LHD)用ヘリウム液化冷凍装置の ガス回収系増設による運転信頼性向上

核融合科学研究所 ○森内貞智、馬場智澄、関口温朗、大場恒揮、
前川龍司、山田修一、三戸利行、佐藤定男

1. はじめに

LHDは、蓄積エネルギーが 1.6 GJ に達する大型超伝導システムであることから、安定かつ安全に超伝導コイルの冷却が維持できることが要求される。また、超伝導コイルを含む装置全体の加温は年に 1 ～ 2 回程度しか行われないため、LHDの冷却を行うヘリウム液化冷凍装置は、長期連続運転に対する高い信頼性が必要である。

ヘリウム液化冷凍装置の運転信頼性の向上のために、ヘリウムガス回収系の増設を行った。700m³ 球形タンク（回収タンク）と、他研究所より移設したスクリー圧縮機を改造して回収圧縮機（1,000Nm³/h）として設置し、これらを組み合わせてヘリウムガス回収装置を構成した。

更に、かねてから問題であった主圧縮機の吸入・吐出圧力の不安定性を解消するため、主圧縮機の吸入・吐出圧力制御方式も同時に見直しを行った。見直した制御方式での液化冷凍運転を今年 5 月に行い、従来の制御方式に比べて吸入・吐出圧力が安定する結果を得た。

2. ヘリウムガス回収装置

2.1. ヘリウム回収タンク及び回収圧縮機の諸元

| ヘリウム回収タンク | | 回収圧縮機 | |
|-----------|-------------------------------------|-------|--|
| 型 式 | ： 球形式 | 型 式 | ： 油噴射式スクリー 2 段圧縮式 |
| 幾何容積 | ： 700m ³ | 吸入圧力 | ： 0.103 MPa (1.05 kg/cm ²) |
| 設計圧力 | ： 1.96 MPa (20 kg/cm ²) | 吐出圧力 | ： 1.76 MPa (18 kg/cm ²) |
| 本体材質 | ： SPV490Q (高張力鋼) | 軸動力 | ： 200 kW |



写真 1. 屋外タンクヤード

2.2. ヘリウムガス回収装置の役割

1) 主圧縮機停止時のヘリウムガスの回収

回収タンクを低圧に保つことにより、停電・故障等により主圧縮機が停止した場合、電流リードからの常温ガス回収を行うと共に、ヘリカルコイル、ポロイダルコイル、超伝導バスラインなどからの自然蒸発ガスを回収タンクに回収する。

2) 主圧縮機運転前のヘリウムガス精製

ヘリウムガスの精製装置の処理能力は $1,000\text{Nm}^3/\text{h}$ であり、精製運転に主圧縮機($16,600\text{Nm}^3/\text{h}$)を使用するのは不経済であることから、処理能力の一致した回収圧縮機($1,000\text{Nm}^3/\text{h}$)を使用し、液化機と独立した精製運転を行い、各タンク内ヘリウムガスを精製する。

3) 主圧縮機運転中の不純ガスの補給

主圧縮機を使用した冷凍運転の途中で、 100m^3 の不純ガスタンクに充填した不純ヘリウムガスを回収圧縮機及び精製器を使用して精製後、 700m^3 のバッファタンクへ移送する。不純ガスの補給は、従来の主圧縮機のみでは、主圧縮機の系統を不純物で汚染してしまうため、運転開始前に行うことしかできず、運転を制約する大きな要因になっていた。本回収装置の設置により、運転の自由度が増し、様々な状況に対応することが可能となった。

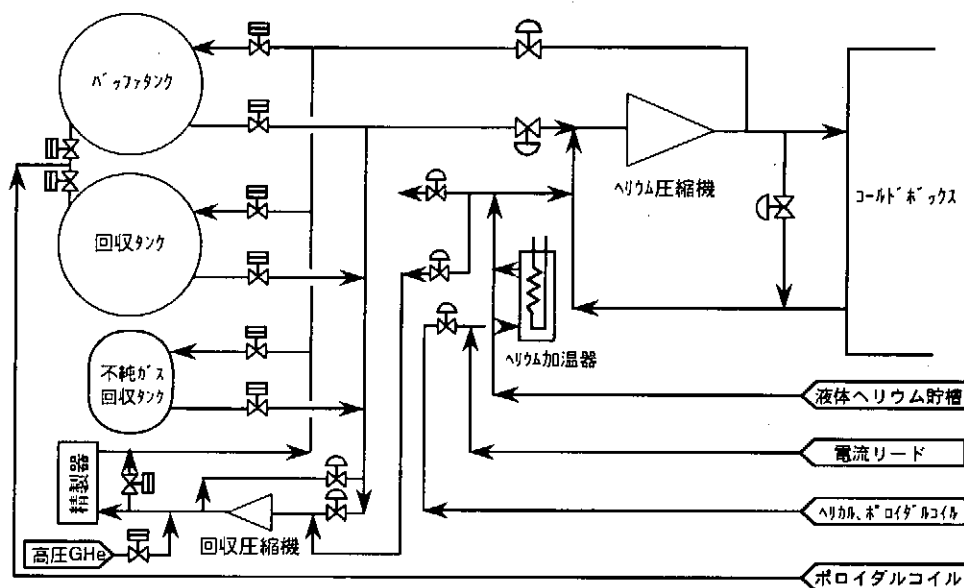


図1. ヘリウムガス回収装置フロー図

3. 主圧縮機の吸入・吐出圧力制御方式

3.1. 従来の主圧縮機の吸入・吐出圧力制御方式の問題点

図2に従来の主圧縮機の吸入・吐出圧力制御方式を示す。コイル出口などの低圧系が接続されるA系吸入圧力は、A系バイパス弁の開度で制御される。一方、吐出圧力は、吐出圧力上昇時には圧縮機吐出ラインからアンロード弁を介してバッファタンクにガスを回収し、吐出圧力低下時には、バッファタンクからロード弁を介して圧縮機吸入ラインにガスを補給する。

上記制御の場合、コールドボックスに供給する以外のガスのバイパスはA系バイパス弁で行われ、アンロード及びロード弁には、吐出圧力変動時にしかガスが流れない。このため、吸入圧力の急激な変動に対して圧力制御が応答できず、吐出圧力の変動が大きかった。

3.2. 主圧縮機の吸入・吐出圧力制御方式の変更

図3に変更後の主圧縮機の吸入・吐出圧力制御方式を示す。バッファタンクへのラインを吐出側及び吸入側の2系統に分離し、吐出側にアンロード弁、吸入側にロード弁を配置した。アンロード弁で吐出圧力制御、ロード弁で吸入圧力制御を行うことにより、主バイパスラインを従来のA系バイパス弁からバッファタンクを経由したラインに変更した。A系バイパス弁は、ロード弁の制御が追いつかない場合またはタンクの圧力が低くバッファタンク経由のバイパス流量が確保できない場合に補助的に使用する。

本制御方式の変更により、吸入圧力・吐出圧力制御の制御応答特性が良くなると共に、バッファタンクを圧力変動抑制のバッファとして利用できるため、圧力変動幅を小さくすることができる。

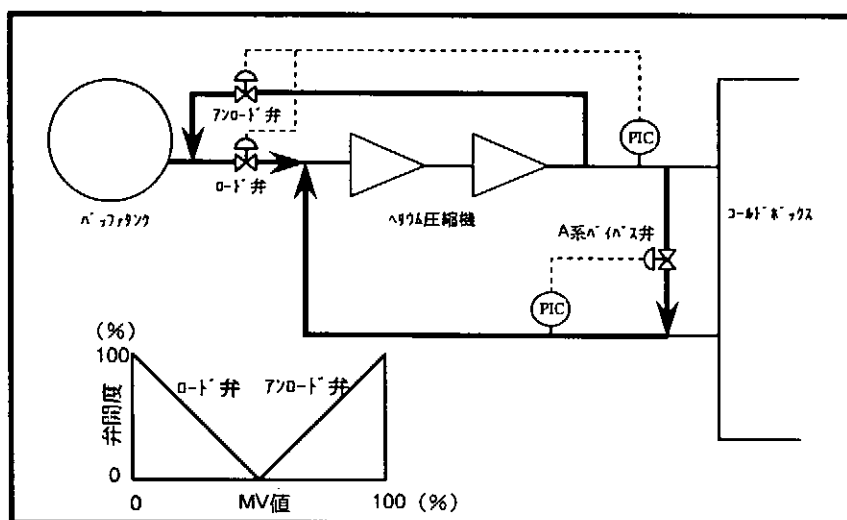


図2. 従来の主圧縮機吸入・吐出圧力制御方式

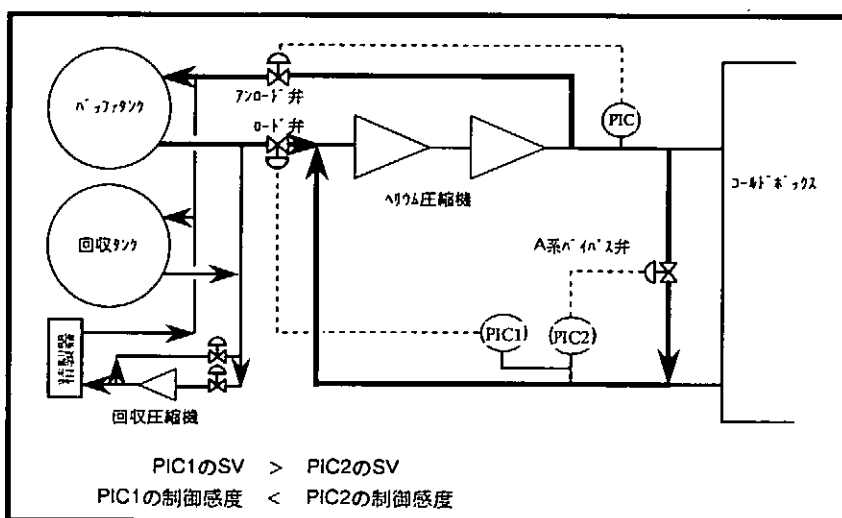
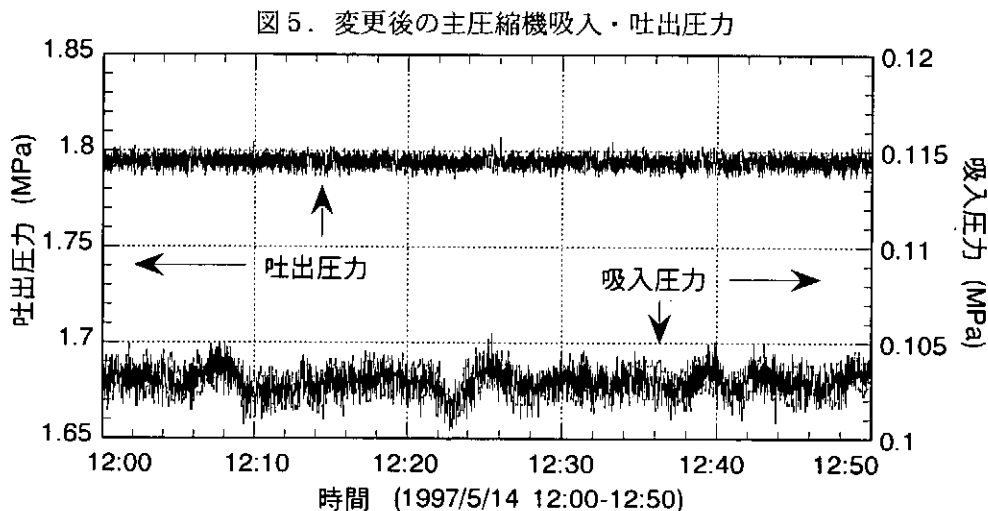
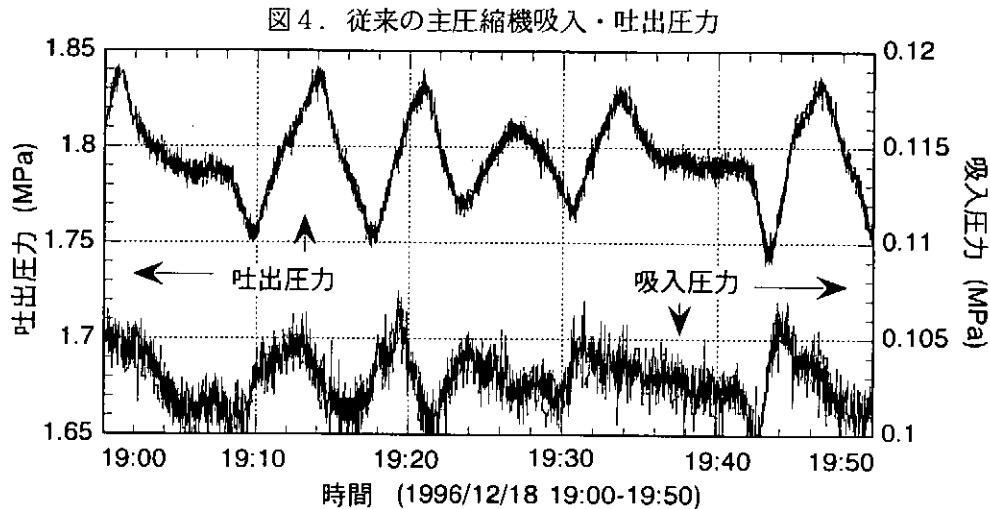


図3. 変更後の主圧縮機吸入・吐出圧力制御方式

4. 運転結果の一例

図4に従来の主圧縮機制御方式による吸入・吐出圧力を、図5に変更後の吸入・吐出圧力を示す。これらはともに同様の運転状態時のデータである。圧力の変動幅が、従来の制御方式では吐出圧力で約0.1MPa、吸入圧力で約0.007MPaであるのに対し、変更後の制御方式では吐出圧力で約0.01MPa、吸入圧力で約0.003MPaとなり、小さくなった。



5. まとめと今後の課題

ヘリウム回収タンクと回収圧縮機を組み合わせることでヘリウムガス回収装置を設置した。これにより、主圧縮機の停電・故障時の超伝導コイルからの蒸発ガスを回収することができるので、超伝導コイルの冷却維持が可能となった。また、冷凍運転中に主圧縮機と独立した精製・移送運転ができるので、長期連続運転の信頼性が向上した。更に、主圧縮機の吸入・吐出圧力制御方式の改善により、冷凍運転が安定化した。

今後の課題としては、非常時（クエンチ、停電・故障等）を含めた運転シナリオの確立と自動化プログラムの構築、及び系内の不純物管理対策などがあげられる。

J T-60ペレット入射装置ペレットキャリア動作異常

日本原子力研究所 那珂研究所

〇市毛 尚志、平塚 一、佐々木 昇、本田 正男

1. はじめに

臨界プラズマ試験装置(JT-60)ペレット入射装置は、JT-60真空容器内に燃料補給等の目的で設置されている。本装置は、空気銃方式から遠心加速方式に変更するため平成8年11月にJT-60よりペレット入射装置の本体部分を撤去した。その間、改造等による停止期間(約2年半)を除いて昭和63年に設置されて以来約6年間運転し、約2400ショットのペレット射出試験を実施した。ペレットキャリア駆動装置の動作異常(動作時の異音、軸の傾き)は、平成4年に4系統の内の1系統で確認され、平成8年になってから、残りの3系統にも同様の異常が確認された。そこで、JT-60ペレット入射装置本体装置の撤去を機会にこれらの調査を実施したので、その結果について報告する。

2. 装置の概要

● JT-60ペレット入射装置

燃料ガス(H_2 , D_2 等)を液体ヘリウムで冷却・固化し、固体ペレットを作る。固体ペレットのプラズマ中への射出は、高圧ガス(9.81MPa)で行う。本装置には、独立したペレット生成射出系が4系統装備されている。ペレット形状は円柱形で、生成数は直径3mm, 長さ3mm及び直径4mm, 長さ4mmが各々2個となっている。

● ペレットキャリア駆動装置

固体ペレットを生成し、射出する為の真空槽(生成槽)に設置されている。固体ペレットを約10mm上下に移動する装置で、生成槽外からモーターにより4個のペレットキャリアを独立して駆動できる。

● ペレットキャリア

厚さ3mmと4mmのSUS製の板で、それぞれの板の中央にペレットを生成する為の孔(直径3mm及び4mm)が空いている。また、上下に移動することができる。

図1にペレットキャリア駆動装置の構成図を示す。

3. 分解点検結果

主な異常箇所は、中空パイプの座屈と駆動軸のかじりであった。座屈、かじりの程度としては、4系統に大きな違いはなかった。写真1及び写真2に異常箇所の写真を示す。

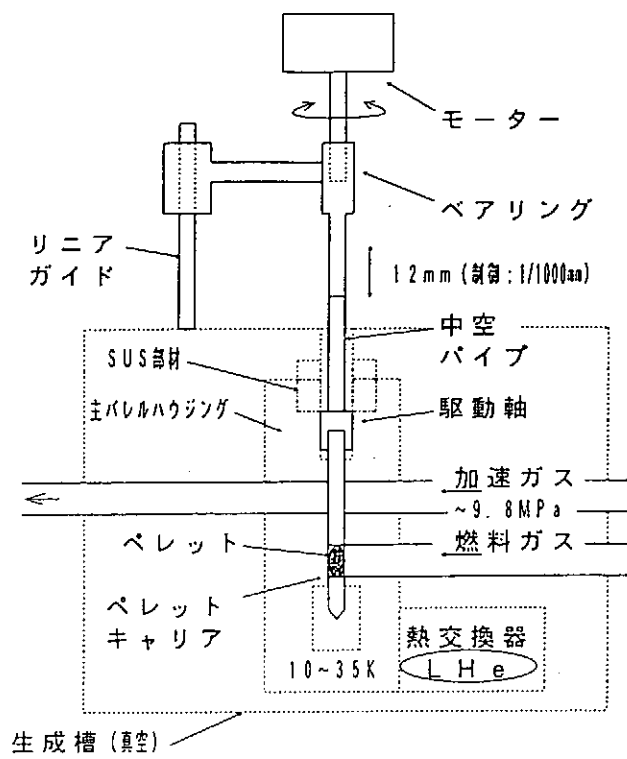


図1 ペレットキャリア駆動装置構成図

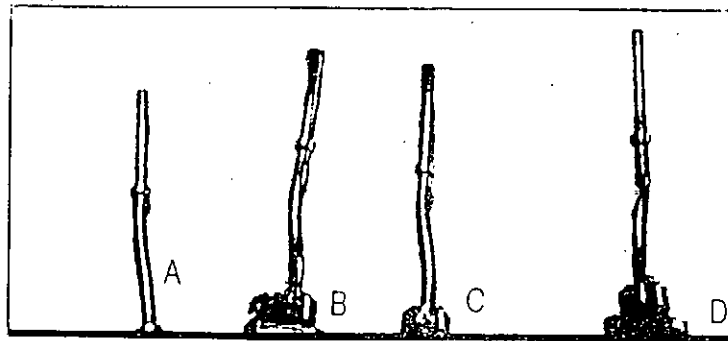


写真1 中空パイプ

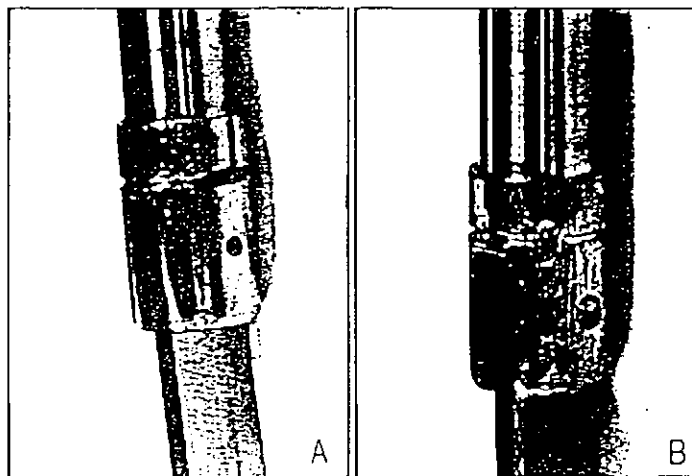


写真2 駆動軸

4. 異常原因及びプロセス

①異常の原因

異常の原因としては、駆動軸の芯ずれと他設備のノイズによりペレットキャリア駆動装置が誤動作したため動作回数が設計を大幅に上回ってしまったためと考えられる。

②プロセス

動作異常のプロセスとしては、製作・組立時の公差内での芯ずれと温度差（常温部と冷却部の縮み量の差）による芯ずれ及び他設備のノイズによる誤動作で、設計時に想定していた以上の動作回数となった為に駆動軸と主バレルハウジングの可動部に傷が発生し、これが次第に大きくなり駆動軸にかじりが生じステックしたところに、モーターによって中空パイプに座屈荷重を越える力が掛けられ中空パイプが座屈するに至ったと考えている。これらの詳細を以下に示す。

● 製作・組立時の芯ずれ

駆動軸（外径）の設計値は12.983～12.994mm。また、主バレルハウジングの穴径（内径）の設計値は13.000～13.018mmとなっている。従って、これらのギャップは最小で0.006mm、最大で0.035mmあり、この分が芯ずれとなる可能性がある。

● 冷却による芯ずれ

主バレルハウジングを－250℃まで冷却した場合、射出弁からペレットキャリアまでの射出管（160mm）は約0.48mm収縮し、主バレルハウジングを射出弁側に移動させる力が働く。また、主バレルハウジングを吊しているボルトは0.8mmのガタがあり、最大1.28mm主バレルハウジングに芯ずれが生じる可能性がある。この量は、駆動軸がギャップの範囲で傾いた場合の駆動軸と中空パイプ上部の芯ずれ量を上回り、駆動軸のかじりにつながる可能性がある。

● ノイズによる誤動作について

平成7年夏頃からペレット入射装置を運転していないにもかかわらず、ペレットキャリア駆動装置が動作する現象（ペレットキャリアが上下に移動）が発生した。原因は、他設備の影響（数100kVがブレイクダウン）で制御回路にノイズ信号（約50V^{P-P}, 5MHz, 5μs）が発生しているためであることが判明した。動作頻度は多いときで2回／分となっていた。

ペレット入射装置の設計動作回数が5000回となっていることから、これまでのペレット射出回数（約2400回）を考えても、ペレットキャリア駆動装置はノイズによる誤動作によって設計以上の動作回数に達していたものと思われる。電源回路、制御回路にノ

イズ対策（ノイズカットトランス、コンデンサ、フェライトコア等の取付け）を実施したが、スペース等の関係で全ての回路に対策をとることができず誤動作は解決しなかった。

5. かじりについて

駆動軸、主バレルハウジング共にSUS304Lの生材（表面処理なし）を使用していたが、これらはかじりやすい組み合わせであり、更に常温時は低温時よりもかじりやすいといわれている。ペレットキャリアは、殆どの場合低温時に動作するが、他設備のノイズにより常温時に相当数動作していたことが、かじりを早めたと考えている。かじり易い組み合わせに対する対策としては、表面に硬化処理（例えば硬質クロムメッキ等）を施すなどが考えられる。また、ノイズ対策としては、フェライトコア、コンデンサ、ノイズカットトランス等の取付け等が考えられる。

6. 中空パイプの座屈について

中空パイプの仕様は、長さ；270mm、外径；8mm、厚さ；1mm、材質；SUS304Lとなっている。ここで、オイラーの座屈方程式（座屈荷重； $P = 2\pi^2 EI / l^2$ ）で中空パイプの座屈荷重を求めると632.8kgfとなる。また、駆動モーター等による最大押込み力は704.3kgfとなる。問題点としては、駆動部の最大押込み荷重が座屈荷重を越えている為、駆動軸がスティックすると座屈する条件が整ってしまうことが上げられる。対策としては、トルクリミッタを取付ける等が考えられる。

P；オイラーの座屈荷重

E；ヤング率（21000kgf/mm²）

I；断面2次モーメント（137.4mm⁴）

l；長さ（270mm）

7. まとめ

駆動軸のかじり及び軸の座屈は、芯ずれやノイズによる誤動作等が原因で発生したと思われる。ただし、これらの対策は製作後に実施することは困難であり、設計製作時に実施しなければならない。本装置は既に撤去されているが、今回の調査結果は今後同様の装置を製作するときに役立てていきたい。

低温カプラの開発 part 3

東京大学教養学部低温サブセンター

*小田嶋 豊、石田 晶紀、芦沢 佳子

はじめに

東京大学教養学部では、液体窒素の供給及び液体ヘリウムの供給・回収システムの効率化を行ってきた。例えば、液体窒素自動供給装置とその周辺機器の開発・整備、液体ヘリウム自動供給停止装置の開発、及びその周辺機器の開発・整備、寒剤供給の事務処理簡素化（1年365日供給と無人化）等である。図1、2は教養学部の寒剤供給の推移である。

図1 教養学部液体窒素供給量推移

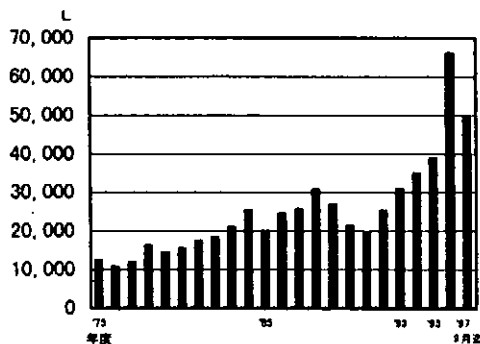
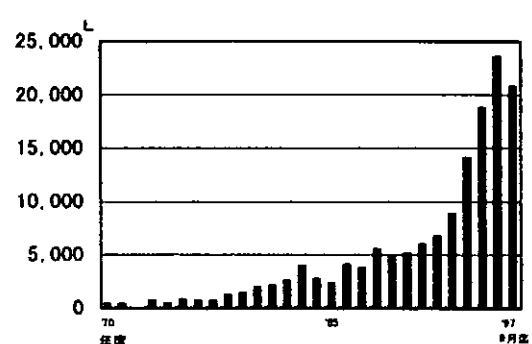


図2 教養学部液体ヘリウム供給量推移



図に示すように寒剤供給量は毎年増加している。この増加に対応するために寒剤供給作業をスムーズに行えるよう開発してきた。今回の低温下カプラは、液体ヘリウム供給作業、及び液体窒素供給作業終了後すぐ配管を切り離すことができ、また、すぐ配管を接続し供給作業を行うことが出来る物である。このような作業が何回繰り返されても寒剤の液漏れ、ガス漏れが無いのがこのカプラの特徴である。この低温カプラの開発によって東京大学教養学部の液体ヘリウム供給は年間10万リットル以上の供給量が可能となった。また、低温カプラは金属製のため供給中に破損することがないので液体の損出、ガスの損失が全くなかった。

低温カプラ制作の経過

低温カプラの発表は今回で3回目（1回目、2回目の名称は低温コネクター）である。最初はウィルソンシールタイプで20k～30k（以後：低温下と略す）の温度領域でも使用できる可動Oリングを開発し制作^{*1}した。

^{*1} 1992年高エネルギー物理学研究所技術研究会報告

このカプラの問題点は、低温下でのヘリウムガスの漏れはほとんど生じなかったが、低温下での着脱時にOリングを傷つけて使用できないときが度々起きた。

2回目は耐久性と普及を目的として、市販されている空気圧縮用のカプラを改良し制作^{*2}した。低温下での漏れ、耐久性など使用上問題はなかったが普及という点ではシート面の加工に問題があった。

^{*2} 1996年分子科学研究所技術研究会報告

今回の低温カプラ part 3は低温下での漏れがないこと。また、低温下での脱着に於いても、

パッキンの制作に於いても簡単であることなど当初の目的を達成した。

測定結果

以下はカプラの取り付けと測定方法である。

- 1.カプラのソケット側をヘリウム容器に取り付け、プラグ側を回収配管に取り付けた。
- 2.温度測定は金 鉄・クロメルを使用し、液体ヘリウム供給中のカプラの温度を測定した。
その結果液体ヘリウム供給中カプラの温度は20 k～30 kまで下がった。
- 3.液体ヘリウム供給中回収配管内の圧力測定はマノメータで測定し、液体ヘリウム充填中の圧力は300 mmH₂O前後、液体が満了になり、液体が回収配管で急激な蒸発をした時、最大圧力800 mmH₂O（液体ヘリウム満了時バルブ操作で）まで加圧を行った。
- 4.液体ヘリウム供給時の漏れの測定はエドワーズ社製のハンドディテクタ、CHECK B4を使用した。

漏れの測定結果は表1に示す。また、表2はカプラの各サイズの最小断面積（メーカーカタログより）を示したものである。この表からカプラ1/4サイズ*3の最小径は約4.6^φ。よって液体ヘリウム供給時のヘリウムガス回収の抵抗は強いと考慮することはない。

表1
低温カプラの
リーク試験

| カプラの温度 | part 1 | part 2 | part 3 |
|---------|-----------------------|--------|--------|
| 130 k | リークなし | リークなし | リークなし |
| 120 k | リークなし | リークなし | リークなし |
| 100 k | リークなし | リークなし | リークなし |
| 70 k | 3×10^{-2} Pa | リークなし | リークなし |
| 20～30 k | 3×10^{-3} Pa | リークなし | リークなし |

表2
カプラの最小断面積（mm²）

| 製品記号 | 2SP-V | 3SP-V | 4SP-V | 6SP-V |
|-------|-------|-------|-------|-------|
| 最小断面積 | 17 *3 | 44 | 62 | 143 |

結論

以上の結果からこの低温カプラ part 3 は、低温化での漏れが無いこと。低温下の脱着が出来ること。このことによって寒剤供給作業が連続的に行えることで作業の効率化が図られた。また、このカプラはソケット・プラグに自動開閉バルブ内蔵のため、各研究室のヘリウムガス回収配管にプラグを取り付け、回収配管からのヘリウムガスの損出を無くした。

万が一パッキンが損傷した場合でもパッキンの交換は容易に出来るので問題はない。

最後に、低温カプラ part 3 のパッキンの開発でに当たって大変お世話になった石村鎖製作所 石村 誠、石村 隆志両氏に感謝する。

*現在この低温カプラは、東京大学の発明委員会に実案登録・特許の申請中のため制作図面が公表出来無い事をお詫びします。

強制冷凍コイル閉塞原因と不純物対策

日本原子力研究所 那珂研究所 超電導磁石研究室
○関口修一(1) 河野勝己 種田雅信 濱田一弥 加藤 崇
今橋浩一(1) 大内 猛(1) 川崎 勉(1) 檜山忠雄 辻 博史
原子力エンジニアリング (株)(1)

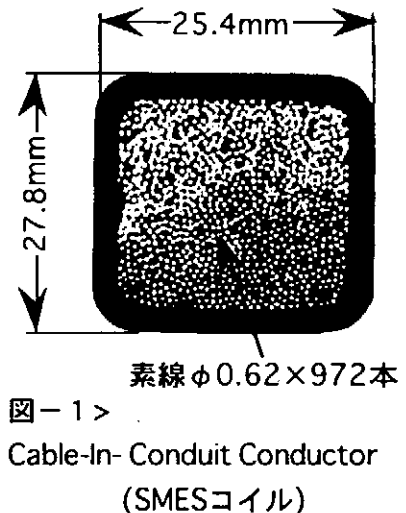
1.はじめに

原研では1996年6月から7月に(財)国際超電導産業技術開発センター(ISTEC)と共同で超電導電力貯蔵システム(SMES)試作要素コイルの冷却通電試験を行った。本試験は、95年7月に設置した国際熱核融合実験炉(ITER)共通試験用ヘリウム冷凍機(HELICCS)を使用した初めての大型超伝導コイルの冷却通電試験である。

本強制冷凍コイルをクールダウン中に、温度190K付近でコイル冷却流量が低下する現象が発生した。クールダウン開始前の精製純度は、当研究室管理基準値以内であったが流路閉塞の原因を絞り込んでいくと不純ガス固化であることが分かった。以下に、原因探索の経緯と閉塞ガスの考察及び不純物対策について報告する。

2.強制冷凍コイルの精製

今回冷却通電試験を行ったケーブル・イン・コンジット型強制冷却導体(CICC)の断面を図1に、主要諸元を表-1に示す。冷却ヘリウムガスは、SUSコンジット内の素線間を流れコイルを4Kレベルまで冷却する。図中から分かるようにCICCは水力直径が小さく冷却周長が大きい。従って、冷却ヘリウム中の不純ガスは4Kまでの冷却過程で全て固化し、クライオ効果で素線表面に付着しやすい構造になっている。このため、冷却開始前に精製を十分行なう必要があり、当研究室では実験毎に精製方法等を検討し精製運転を行い、不純物濃度管理については現在までの経験より管理値を設定している。



< 表-1 > SMESコイル主要諸元

| | | | | |
|--------|-----------------------------|-------------|----------------------|-------------|
| 被冷却重量 | コイル巻線部 (SUS,NbTi,Cu) 2300kg | | コイルサポート (SUS) 6850kg | |
| コイル型式 | 超臨界圧 He 強制冷却型パンケーキ巻 | | ターン数 11ターン×8 パンケーキ | 冷却流路数 8 |
| 導 体 | ボイド率 38% | 冷却周長 1.58m | 水力直径 0.431mm | 冷却流路長 約110m |
| 定格冷却条件 | 入口温度 4.5K | 入口圧力 0.9MPa | 流量 4 g/s (1流路) | |

2.1 ヘリウム冷却システムの概要

本システムは、図-2に示す主圧縮機、コールドボックス、バッファタンク、精製器、低温ヘリウム循環ユニット、コイル真空容器の他、液体ヘリウム貯槽及び不純ガス回収系から構成されており、室温から20Kまではヘリウム冷凍機から寒冷を供給し、コイル運転時は超臨界圧ヘリウム(SHe)ポンプにて4.5K、0.9MPaのSHeをコイルに循環供給する。

2.2 精製運転手順と不純物濃度

1)真空引きガスヘリウム(GHe)置換

SHe循環系、コイル系、電流リード等一括で真空引き後 GHe 置換を 3 回行った。

2)バージ精製

系内(圧縮機、コールドボックス、バッファタンク)精製終了後、精製ヘリウムを SHe 循環系及びコイル系に試験圧力まで供給しガスバック回収系へ大気圧までバージするモードを 8 回行った。また、伝送器類の導圧管より約 15 分間のバージ(大気放出)を 2 回行った。

3)コイル精製運転

バージ精製終了後、SHe 循環系及びコイル系からのヘリウムガス戻りを系内戻しとし、外部精製器にて合計 34 時間の精製運転を行った。途中でコイル圧振り(コイル圧力を 0.9MPa から 0.15MPa 程度まで変化させる精製モード)を 3 回実施した。

4)クールダウン開始前の不純物最終濃度

クールダウン開始前の不純物最終濃度を表-2 に示す。分析装置内 H₂O 計指示値は研究室管理値以上であったが、別途用意した簡易露点計指示値が管理値を満足していたので精製終了とした。

< 表-2 > クールダウン開始前の不純物最終濃度

| 計測点 | H ₂ O 計 | O ₂ 計 | テスラコイル(N ₂) | ガスクロ(炭素系ガス) |
|--------|--------------------|------------------|-------------------------|-----------------|
| 精製器入口 | -55 ℃ | 0.1 ppm | ピンク | 検出感度 0.02ppm 以下 |
| コイル出口 | -53 ℃ * -66 ℃ | 0.1 ppm | ピンク | 〃 |
| 研究室管理値 | -60 ℃ | 1 ppm 以下 | ピンク | 1 ppm 以下 |

* 簡易露点計の指示値。-55℃、-53℃は分析装置内 H₂O 計指示値。

3.コイル閉塞時の対応と原因

3.1 クールダウン

圧縮機出口の室温ガスとコールドボックス内の内部吸着器を通した 80K ガスを混合し、コイル入口・出口温度差が 50K 以下を保つようにコイル入口温度を制御してクールダウンを開始した。クールダウン特性を図-3 に示す。

コイル入口温度が 190K 付近に到達した時点でコイル冷却流量の低下現象が発生した。

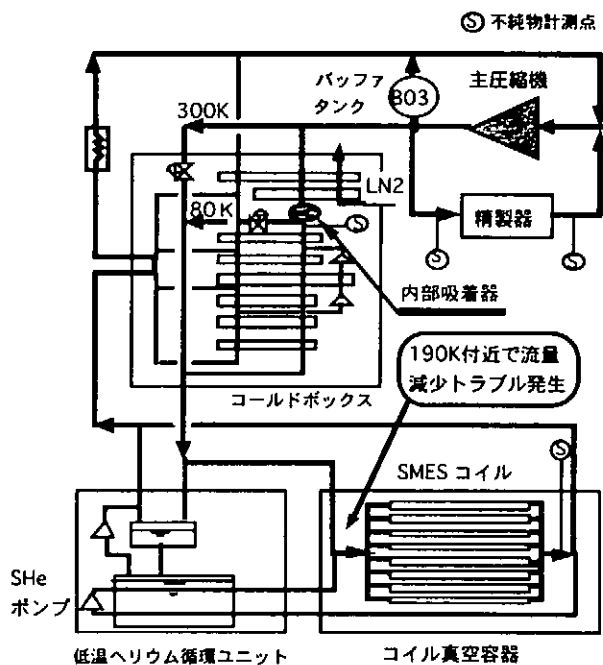
3.2 コイル流量減少時の処置

1) 190K～240K 昇温時に不純ガス分析

不純物の固化を原因と考え、190K 付近に固化点をもつガスを調査すると共に、昇温時に脱着するコイル出口ガスの分析を行った。昇温を開始すると徐々に流量が上昇し 240K で元の流量に回復した。昇温時の不純ガスの分析結果を表-3 に示す。

2) 流量計測の健全性確認

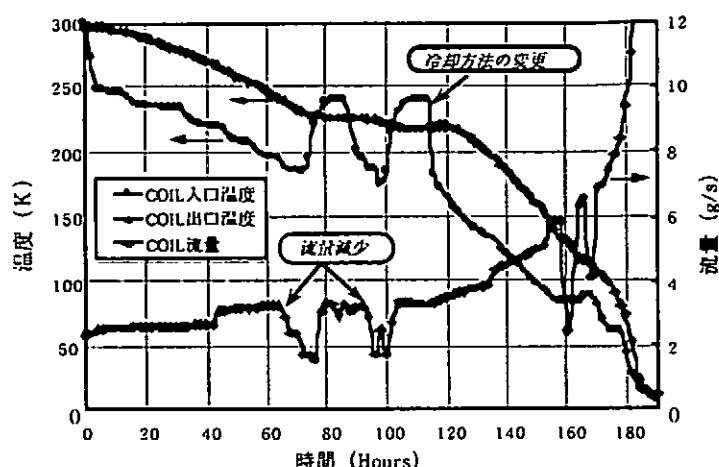
240K 昇温後、流量計用差圧伝送器及び計算機に問題がないかを調査したが異常はなかった。



< 図-2 > クールダウン時のフロー図

3) 流量低下の再現性確認

初期冷凍時と同条件で再現性を確認するため、240K から 190K 迄冷却を行ったところ、再度 190K 付近で流量減少が観測された。さらに、流量が低下現象であり続けるかを確認するため 160K まで冷却したところ減少傾向が見られた。そこで、完全閉塞してしまうと昇温できなくなるので直ちに昇温を再開した。



〈図-3〉 クールダウン特性

4) その他の確認事項

コイル流量を変化させたり、コイル出口制御弁を全閉後、急激に全開とし、急激な圧力変化を加えたが流量は減少傾向であった。また、炭素系不純物についてはガスクロマトグラフの最小検知感度を拡大して分析を行った。

3.3 トラブルの解除

全コイル冷却流量をコールドボックス内の内部吸着器を介しコイルに供給することで図-3に示すようにコイル流量減少トラブルを解除することができた。コイル温度制御は、供給温度より 50K 高いコイル戻りガスをコールドボックス最終段熱交換器と常温戻りに手動で分配制御する方法でコントロールした。このとき最終段熱交換器の入出口温度差は許容値に近い値であった。

3.4 原因探索

《不純物の固化》

190K 付近に三重点をもつガスは、CO₂、C₂H₂、NH₃であるが、表-3 の分析結果より昇温時の脱着ガスとしては検出されなかった。H₂O については凝固点は大気圧において 0℃であるがヘリウム中に希薄に存在する場合は、その濃度によって結露する温度が露点として評価される。そこで、190K 付近で結露(凝固)する H₂O 濃度を以下に考察した。

H₂O(水)の三重点は 0℃であるが、H₂O 濃度が希薄である場合は水分子として存在しており結露はしない。露点計はヘリウム中に共存する水の飽和蒸気圧(ヘリウム中の水の分圧)

を結露点(露点)として測定している。また、分析点の分圧と計測点の分圧の比は、それぞれの圧力の比に等しい。表-3 の分析装置内露点計指示値 -57℃(0.15MPa)よりコイル入口の露点(0.905MPa)を求める。

・分析計指示値 -57℃の分圧(氷の飽和蒸気圧) ; 1.6 Pa (露点と水分量 JIS B 7920-1994 より)

〈表-3〉 190K⇔240K昇温時コイル出口分析結果

| 分析ガス | 三重点 | 分析結果 (分析計) | 記 事 |
|-------------------------------|--------|--|---|
| CO | 68.15K | 全て検出 感度以下 ↓ 0.02ppm (ガスクロ) | 分析周期30分、 分析時間16分で実施 7ツガーラインは190K付近 に固化点を持つガス |
| CO ₂ | 216.6K | | |
| CH ₄ | 90.6K | | |
| C ₂ H ₂ | 192.6K | | |
| C ₂ H ₄ | 104.2K | | |
| CnHm | — | | 分析時間最長60分実施 |
| N ₂ | 63.15K | ビツク(テスコン) | 放電色による判定 |
| O ₂ | 54.36K | 0.1ppm | |
| H ₂ O | 273K | -57℃ | 分析装置内H ₂ O計指示値 |
| NH ₃ | 195.4K | 検出されず (試験紙) | 素線燃線時酸化処理使用 |

・コイル入口の分圧(水の飽和蒸気圧)； $1.6\text{Pa} \times 0.905/0.15 = 9.638\text{ Pa}$

・コイル入口の露点； 9.638 Pa 同表より -42.5°C (230.5K)

◎露点計指示値 -57°C のとき、コイル入口部での実際の露点は -43°C (230K)である。即ち 230K より付着を開始し 190K 付近で流量減少になったものと考えられる。また、 240K で元の流量に復帰した。(同様に簡易露点計指示値 -67°C は、コイル出口部(約 0.4MPa)でおおよそ -60°C である。)

4. コイル昇温時の分析結果、まとめ

4.1 強制昇温時の閉塞現象確認

全ての通電実験を終了しクールダウン時と同様にコイル入出口温度差 50K で昇温を開始した。コイル温度 80K 付近より圧縮機出口ガスを内部吸着器出口ガスと混合して供給したが閉塞現象は起こらなかった。そのときの分析装置内露点計指示値は -64°C であった。

4.2 内部吸着器からの脱着ガス

強制昇温時に内部吸着器出口にて脱着ガスの分析を行った。図-4 に示すように内部吸着器出口温度 250K で CO_2 が最大 56ppm 検出された。 H_2O は、 290K 付近から上昇し 299K で最大 -36°C (198ppm)であった。 $\text{O}_2, \text{CO}, \text{CH}_4, \text{C}_2\text{H}_2$ 等については全て 1ppm 以下の分析結果であった。 NH_3 については別途分析を行ったが検出されなかった。

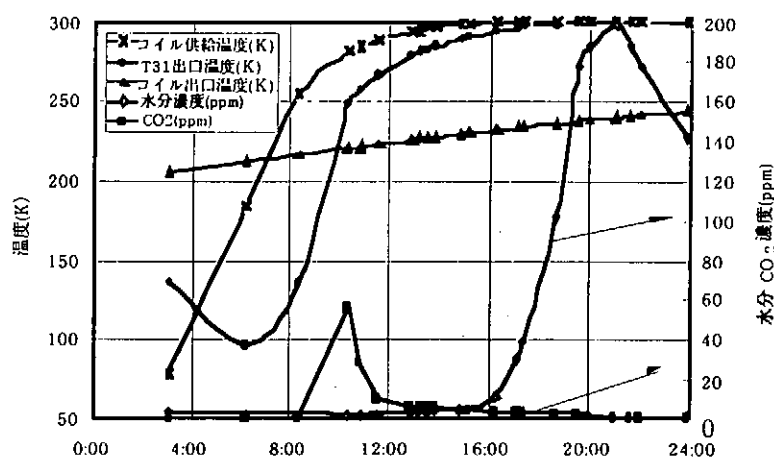


図-4 T31(内部吸着器)出口の昇温時不純物推移

4.3 閉塞原因のまとめ

◎閉塞現象(流量減少)の原因となった不純物は、水分である。

○昇温時に CO_2 が内部吸着器出口で 56ppm 検出されたが、圧縮機吐出ガスを 80K のコイルに供給しても閉塞しなかったことから、本圧縮機から発生したと考えられる CO_2 は今回の閉塞原因ではない。

◆コイル精製が不十分であった。また、計器(簡易露点計)健全性の確認が不十分であった。

5. 強制冷凍コイルの不純物対策

◎コイルへの水分混入防止に留意すると共に精製運転方法等について十分検討を行い実施する。

コイル組立時等の環境を整備する。コイルのコンダクタンスが小さいので真空引き時間を長くすると共に系統を区分して行う。 700m^3 のバッファタンクを有する系内を一度汚すと長時間の精製運転が必要となるのでコイルのバージ精製を十分に行ってから冷凍機に接続する。

○実験毎に露点計等分析計器の健全性確認試験を行う。また、ガスクロマトグラフ(N_2 定量分析を含む)、 O_2 計、露点計を新設し、旧分析装置との並列監視を行う。

◆不純物純度管理値の内、露点については計測点圧力等も考慮し決定する必要がある。

46kA級強制冷凍超伝導導体試験装置の製作と問題点

日本原子力研究所 那珂研究所 超電導磁石研究室

押切雅幸、高橋良和、河野勝己、塙博美、関秀一、若林宏、高野克敏、宇野康弘、辻博史

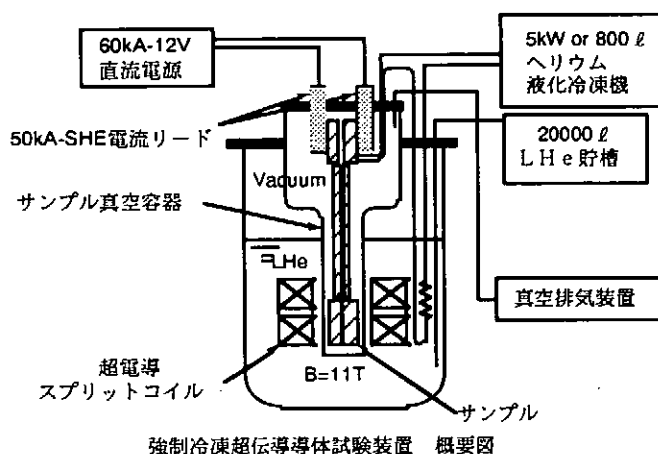
1. はじめに

核融合炉用大型超伝導磁石は機械的安定性と高耐電圧性から超臨界圧ヘリウムを使用した強制冷凍方式の超伝導導体が主流である。この様な大型超伝導磁石のR & Dに於いては、縮小サイズのサンプルを段階を追って試験し、データを取得すると共に実際に用いられる導体の実験データを取得して製作されるコイルの特性を予測することが最大の目的である。その実寸サイズの導体試験に於いては、製作されるコイルと同等かそれ以上の条件にて、試験されることが望ましい。現在、日本原子力研究所では定格電流値46kAにおいて最大磁場13Tを発生するITER中心ソレノイド・モデル・コイルの製作が進められている。本試験装置はそのコイルの導体評価に用いるために製作された。

2. 試験装置概要

試験サンプルは断熱のための真空層に配置される。サンプルの冷媒は大型冷凍機を直結し供給され、流量・圧力・温度を広い範囲で可変出来る。電流は60kA直流電源から強制冷凍型電流リードを通してサンプルに供給される。サンプルへ外部磁界を印可するコイルは2組のスプリット型超伝導コイルで、サンプルを挟み込むように設置され、液体ヘリウムで冷却されている。これらが直径2m、高さ5mの液体ヘリウムデューワー内に設置される。

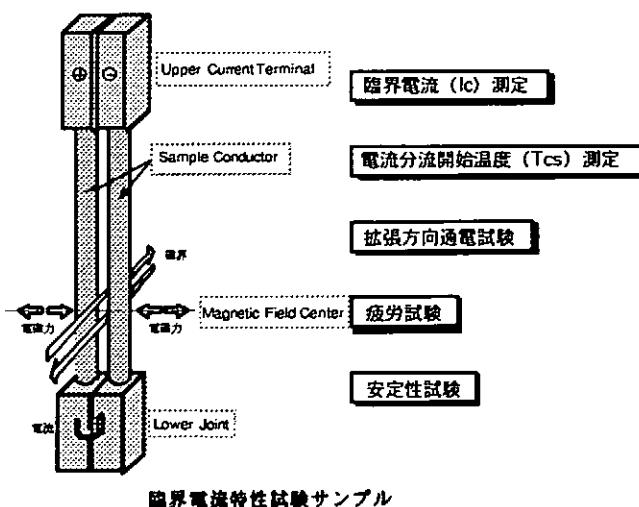
外部装置としては大型液化冷凍機、直流電源、真空排気装置、計測装置などから構成される。



強制冷凍超伝導導体試験装置 概要図

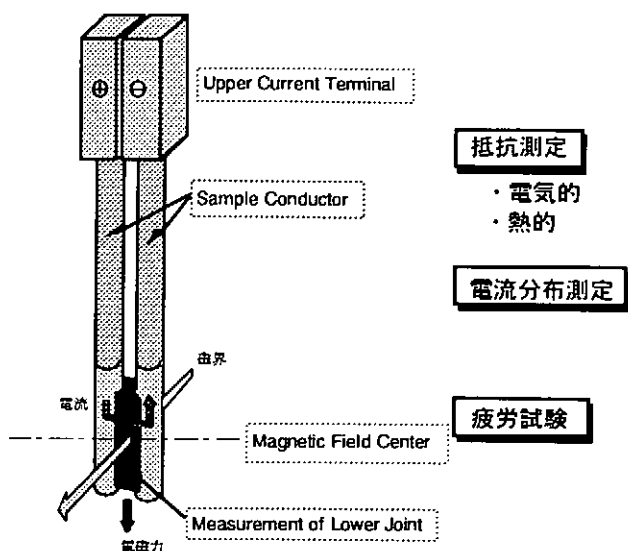
3. 試験サンプル

試験サンプルは2本の直状往復導体で構成され、電流リード下端から吊り下げられる。電流リードとの取り合いは上部ターミナルで行い、2本の導体は下部ジョイントで接続されている。また、冷媒はそれぞれ独立に供給できるため、冷却条件の差を付けることにより一度の試験で2本の導体評価試験が行えるようになっている。試験サンプルは導体特性試験サンプルとジョイント特性評価サンプルの2種類がある。導体特性試験サンプルは超伝導導体そのものに磁場を印可して臨界電流値(Ic)や電流分流開始温度(Tcs)、導体安定性などを測定するのが目的



のサンプルである。ジョイント特性評価サンプルは2本の導体を電氣的に接続した部分に磁場を印可して接触抵抗、電流分布や繰り返し通電による疲労試験などを測定することが目的のサンプルである。

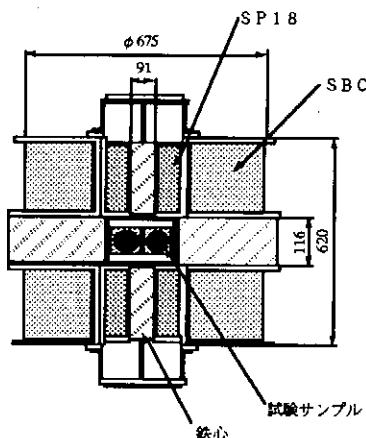
サンプル製作上にはいくつかの問題点があるが、まず大きな問題としては電磁力がある。これまで発生したトラブルを紹介すると、導体特性評価サンプルでは電磁力は2本の導体引きあう方向と広がる方向の2種類の力が加わるが、その電磁力により強制冷凍導体のコンジットが破壊され液体ヘリウムが真空層に放出されるトラブルがあった。また、ジョイント特性評価サンプルでは電磁力はサンプルに上下方向の2種類の力が加わるが、その電磁力によりコンジットを接続する異材継ぎ手スリーブにクラックが生じ、液体ヘリウムが真空層に放出される事故があった。このように電磁力は設計どおりに加わらずに磁界軸のズレやサンプルの組立精度によって発生することもある。そのため「試験サンプル、と言えども電磁力支持設計には、大きな安全率を持って設計する必要がある。



ジョイント特性試験サンプル

4. 超伝導コイル・システム

サンプルへ磁場を印可するためのバックアップコイルは2組のスプリット型コイルであり、サンプル真空層を挟むように取り付けられ、液体ヘリウムで冷却される。1組はNbTi導体を用いられシュミレーション・バックアップ・コイル(SBC)と呼ばれ、もう1組は(NbTi)3Sn導体を用いられスプリッター18(SP-18)と呼ばれている。これら2組のコイルによりサンプル上で最大約11T発生することが出来る。



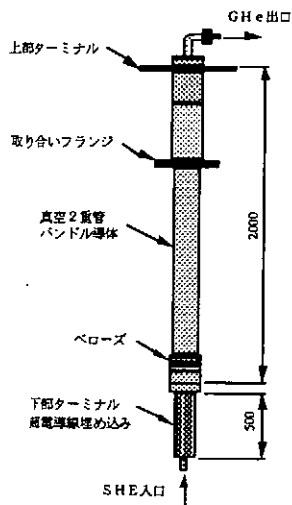
バックアップコイルの諸元

| | SBC | SP18 |
|--------------|------------|-----------|
| コイル構造 | 密着きコイル | 密着き合流コイル |
| 超伝導導体 | NbTi | (NbTi)3Sn |
| 導体サイズ (mm) | 4.14×10.31 | φ3.0 |
| ターン数 | 210 | 1562 |
| 通電電流値 (A) | 1800 | 845 |
| 電流密度 (A/mm²) | 95~134 | ~ |
| 中心磁界 (T) | 10.9 | ~ |
| 経線磁界 (T) | 0.6 | 16.7 |
| インダクタンス (mH) | 2.35 | 0.68 |
| 蓄積エネルギー (MJ) | 3.008 | 0.243 |
| 内径 (mm) | 313.4 | 91 |
| 外径 (mm) | 595.3 | 203 |
| 高さ (mm) | 197 | 200 |

*) 高磁界磁体
**) 鉄心を含む

5. 強制冷凍型電流リード

極低温下にある超伝導導体へ電流を供給するためには、これまで液体ヘリウムの蒸発ガスにより冷却されるガス冷却型電流リードを採用してきた。しかし、ガス冷却型電流リードには大きな容積をしめる液体ヘリウム貯槽が必要であるが、本試験装置にはサンプル真空槽の限られた空間に電流リードを取り付けなくてはならない。そこで、電流リードの冷却を強制循環ヘリウムを使用した液体ヘリウムを



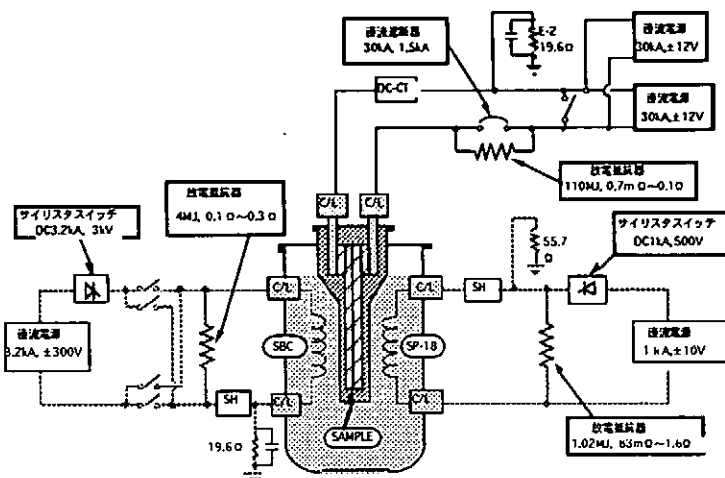
50 kA強制冷凍電流リードの諸元

| | | |
|---------|----------|------|
| 定格電流 | (kA) | 50 |
| 電流密度 | (A/mm²) | 11.3 |
| 冷媒圧力 | (bar) | 4 |
| 冷媒流量 | (g/s) | 2.6 |
| 熱侵入量 | (W/lead) | ≤55 |
| 素線径 | (mm) | 2 |
| 銅素線本数 | (本) | 1264 |
| SUS素線本数 | (本) | 150 |
| ボイド率 | (%) | 20 |
| 残留抵抗比 | | 100 |
| 長さ | (mm) | 2000 |

持たないコンパクトな電流リードを開発する必要があった。まず本電流リードを開発するに当たって15kA規模のR&D試作機を製作し、試験を行い開発を進めた。本電流リードを実際に組み込み試験した結果、長手方向の温度分布は測定結果と計算結果が良く一致していて、熱侵入量は冷媒流量3.7g/s、入口温度7.9Kにおいて13.2Wであり、DC60kAまで安定に通電することが出来た。本電流リードを開発したことによって、本試験装置だけでなく、コンパクトな空間設計を要求される装置や強制冷凍であることから横型に配置することも可能であるため、そのような装置への応用も可能となった。

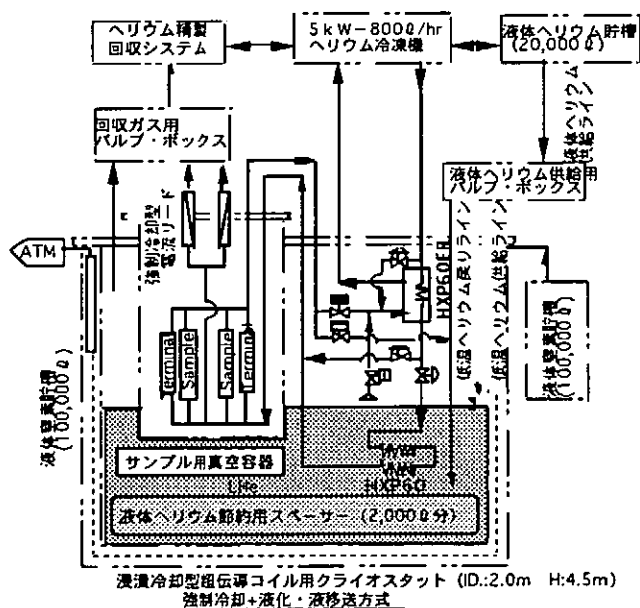
6. 電源システム

本電源システムはサンプルへ電流を供給するDC60kA電源ラインとバックアップコイルであるSBCへ電流を供給するDC3.2kA電源ライン、SP-18へ電流を供給するDC1.5kA電源ラインの3回路で構成されている。それぞれの電源ラインには直流遮断器、電流検出器、放電抵抗器など電源保護装置が設置されている。また、これらの電源はインダクタンス負荷だけでなく抵抗負荷にも対応した低リップル ($10^{-3} \sim 10^{-4}$ rms) の電源を採用している。



7. 冷凍システム

本試験装置の冷凍システムは大きく2系統に分かれる。ひとつはバックアップコイルを冷却するための液体ヘリウム系ともうひとつはサンプルを冷却するための強制冷凍ヘリウム系である。液体ヘリウム系は有効内径2m、有効深さ4.5mの貯槽へ液体ヘリウムを貯液する。本液体ヘリウムデュワーは液体窒素シールドを有するオープンデュワー構造であり、熱侵入量は3W以下として設計された。また、無駄な液体ヘリウム空間を埋めるために約2,000ℓのステンレス製スパーサを設置している。冷媒は約100m離れた20,000ℓ液体ヘリウム貯槽より液移送される。

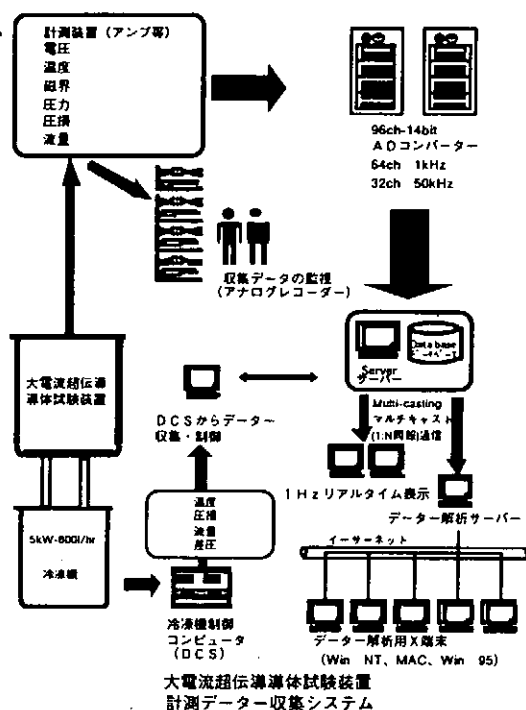


強制冷凍ヘリウム系はサンプルへの冷媒供給条件を圧力0.3~0.6MPa、温度5~16K、流量 ≤ 10 g/sとして設計された。そこで問題となるのは大型冷凍機である。大型液化冷凍機は5kW-800ℓ/hrの能力を有するが、本試験装置との配管距離が約100mと離れているためにその配管の熱侵入量により系全体を保持できるかが設計上最も困難であった。それを解決するために本試験装置の液体ヘリウム槽の気層部分に熱交換器を設ける事により解決した。冷凍機から試験装置に供給された冷媒(7bar、7.3K)の約

80%を断熱自由膨脹させて1.7bar、4.8Kとし、残りの20%をこれと熱交換させた結果、7bar、6Kの冷媒をサンプルに供給することが出来た。さらに低い温度をサンプルに供給する場合は、液体ヘリウム層に設置された熱交換器で熱交換することにより供給できる。

8. 計測システム

本計測システムは 電流、電圧、温度、圧力、差圧など約150点ものデーターを収集し、監視、制御、解析を行うためのシステムである。アナログ計測では120ch(約20台)の最高感度 $5\mu\text{V/cm}$ のチャートレコーダーを用いてリアルタイムで計測している。アナログ計測のメリットは多くのデーターを一度に監視できる点で非常に有効である。またデジタル計測では定常的かつ周期的に計測できるステディ・サンプリングと特定のイベントに対してデーターを収集できるトランジェント・サンプリングとがある。ステディ・サンプリングとトランジェント・サンプリングの双方が収集できる64chとトランジェント・サンプリングの収集ができる32chの2セットのA/Dコンバーターを用いている。A/Dコンバーターは分解能16ビット、精度は14ビットである。また、ステディ・サンプリングで収集したデーターは画面にリアルタイム表示することが可能であり、状況を把握できる。さらにこれらのデーターはイーサネット回線を用いて各所の端末からグラフィック処理などの解析作業を同時に進行できるようになっている。

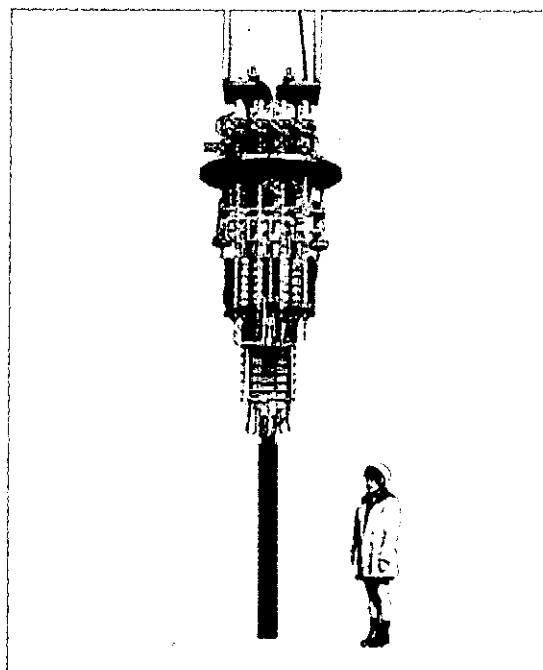


9. まとめ

サンプルに対しては下記の試験能力を有する大電流超伝導体試験装置が完成した。しかし、完成したばかりの試験装置であるため検討課題が数多く存在している。今後これらを解決しながら、計画されているサンプルを試験していく予定である。

装置のサンプル試験能力

| | |
|--------------|-----------|
| サンプル挿入断面 | 102×170mm |
| サンプル形状 | straight |
| サンプル長さ | 3.2m |
| サンプル電流値 | ≤60kA |
| サンプル印可磁界 | ≤11T |
| 高磁界エリア | 90mm |
| 冷媒温度 | 5-16K |
| 冷媒流量 | 1-5g/s |
| 冷媒圧力 | 4-6bar |
| 素子数(T,P,m,B) | 54 |



大型ヘリカル装置（LHD）用

超伝導コイルのための電源システムの開発

核融合科学研究所 ○井上知幸 鷹見重幸 高橋千尋 村井勝治
力石浩孝 山田修一 棚橋秀伍

1. はじめに

現在、核融合科学研究所で建設中の大型ヘリカル装置（LHD）は、プラズマを閉じこめるために超伝導磁場コイルを用いている。そのコイルは、OV、IS、IVと呼ばれる3対のポロイダルコイルと2つのヘリカルコイル（HI、HM、HOの3つの部分に分けられる）から構成される。

LHDでは、超伝導コイルを励磁するために6台の直流電源を用いる。このシステムの特徴として以下のことが挙げられる。

- 1) 低電圧大電流電源制御を目的とした直流電源
- 2) クエンチ発生時の超伝導コイル保護回路を有する
- 3) GUI（Graphical User Interface）を用いた遠隔操作端末による電源の運転及びコイル電流制御と電源シーケンス制御を行う計算機制御システムを有する

クエンチ保護回路は、高い信頼性を目標に開発を行い、また、計算機制御システムは、長時間運転の際の運転保守の労力を軽減するためと、コイル電流の制御を目的として開発した。

ここでは、上記の計算機制御システムを含めた超伝導コイル電源システムについて、また、先日行った通電試験について報告する。

2. 超伝導コイル用電源システム

LHD用超伝導コイル電源は、ポロイダルコイル用直流電源3台（OV、IS、IV）、ヘリカルコイル用直流電源3台（HI、HO、HM）と、これらを統括的に制御する計算機システムから構成される。図1にOVコイル電源の結線図を示す。他の5台の電源も同様の結線を持つ。直流電源はサイリスタ整流器、LC直流フィルタ、クエンチ保護回路からなる。図2に制御計算機システムの構成図を示す。

2. 1. サイリスタ整流回路

コイル電源は低電圧大電流電源であり、このため、整流素子には大電流制御に実績のあるサイリスタを使用した。電流制御性能を高めるためと、リップル電圧を低減するために、電流位相をずらした6相整流回路を、相間リアクトルを介して2つ並列接続した二重星形12相整流を行っている。

2. 2. クエンチ保護回路

超伝導コイルにクエンチが発生した際や、電源及び周辺機器の故障の際に、速やかにコイル電流を低下させることを目的とした減磁回路をクエンチ保護回路と呼ぶ。この回路は、電流減衰の時定数約20秒の緊急減磁回路と約5分の急速減磁回路から成り、その時のコイル電流値や故障の状況によって自動的に選択される。図3にその回路図を示す。この回路はLHDコイル電源のために開発されたもので、ヒューズの溶断アーク電圧を利用してコイル電流を抵抗へ転流させる。この減磁回路の特長は、大電流を抵抗に転流できるということ、高価な部品を使わず、市販の量産品のみで構成している

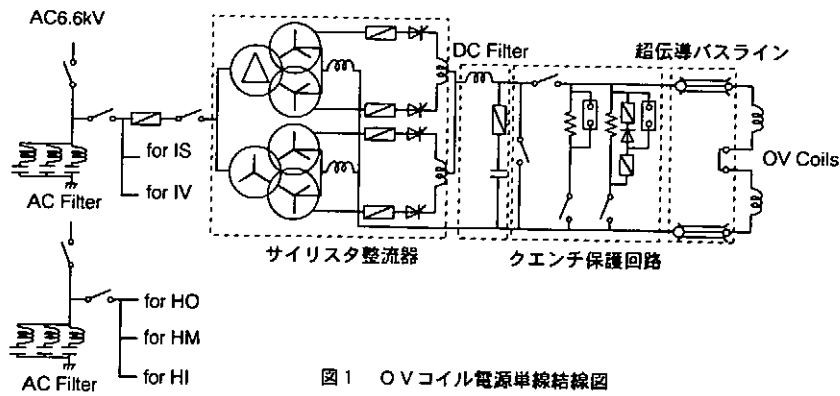


図1 OVコイル電源単線結線図

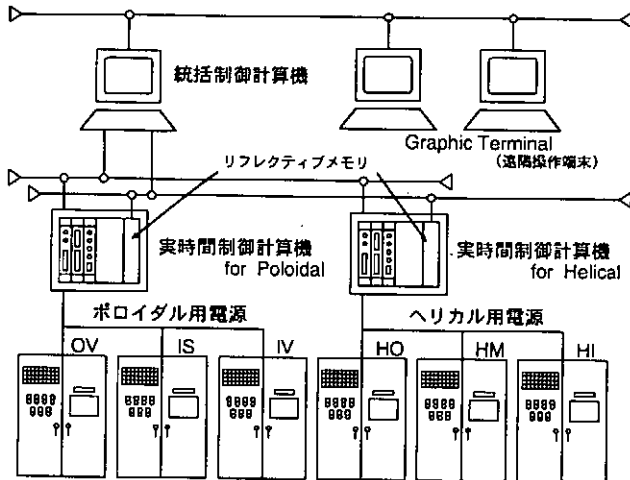


図2 電源制御計算機システム構成図

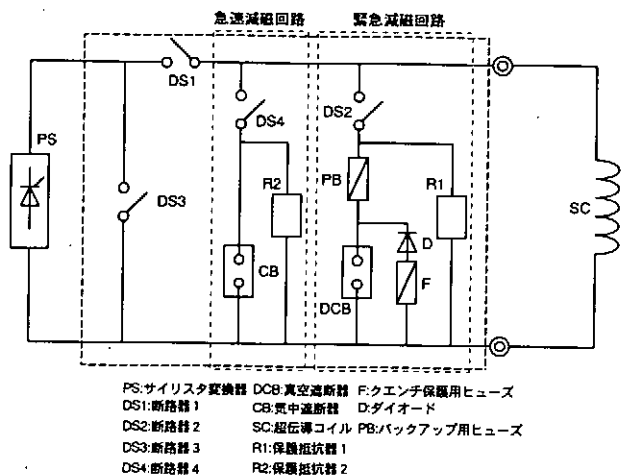


図3 クエンチ保護回路図

ので経済性に優れているということ、回路構成が簡単であることから信頼性向上につながるということなどをあげることが出来る。

このクエンチ保護回路の信頼性を実証するために、ポロイダルコイル用電源においては400回、ヘリカルコイル用電源においては200回のコイル電流遮断試験を行ってきた。負荷として液体窒素冷却の常伝導コイル(L4: 2mH, R1: 23mΩ)を用いた。これまでの試験で、1度も遮断失敗は起きていない。

2. 3. 計算機制御システム

LHDの運転に際して、6台の電源を協調して運転する必要がある。その制御の一端を担っているのがこの計算機システムである。電源制御には、大別してコイル電流の制御と直流電源の状態制御がある。電源制御機器は、電源装置内蔵のシーケンサ及び内部電圧フィードバック制御回路、ヘリカル・ポロイダル用実時間計算機、電源統括制御計算機から成る階層構造となっている。実時間計算機と電源制御盤とは、光ケーブルを介したシリアル通信線と接点通信線で結ばれ、実時間計算機と統括制御計算機は光ケーブルによるLANで結ばれている。統括制御計算機は、ネットワークを経由して、遠隔操作端末からの遠隔制御信号を受信して必要な制御信号を発する。

3. コイル電源通電試験

3. 1. 目的・試験方法

計算機によるデータ収集環境の構築及び収集データの解析法修得、コイル電源の動作・性能の確認、コイル電源運転方法の修得を目的として、コイル電源を用いて通電試験を行った。試験内容としては、電流掃引特性とリプル電圧測定を行った。図4に試験回路図を示す。

電流掃引特性においては、カレントスピード設定値どおりの立ち上がり立ち下がり特性となっていることを確認し、リプル電圧測定においては、定格電圧を印加したときのリプル電圧を測定し、定格出力電圧（45V）の1%（rms）以下になっていることを確認する。

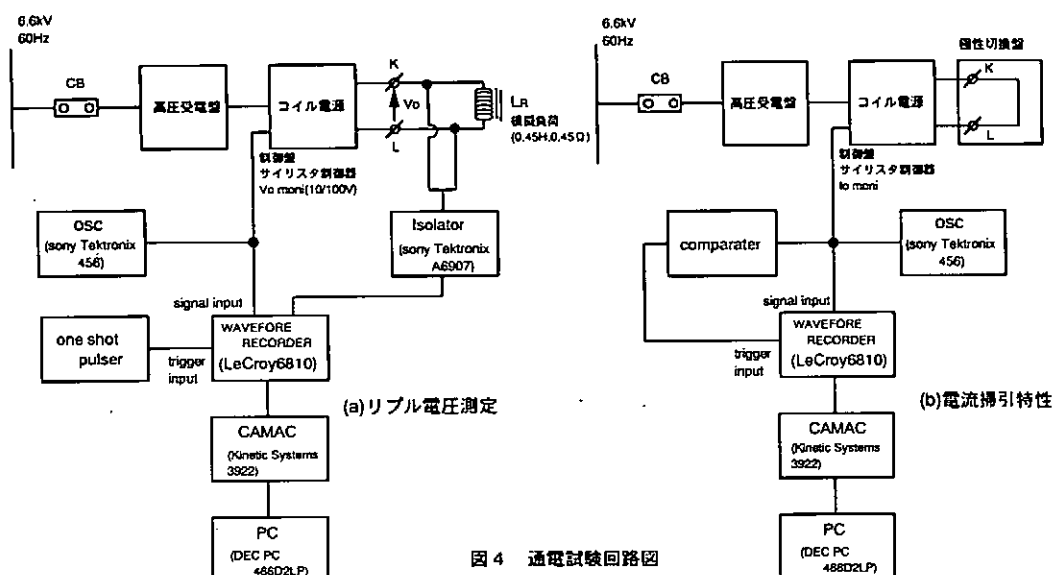


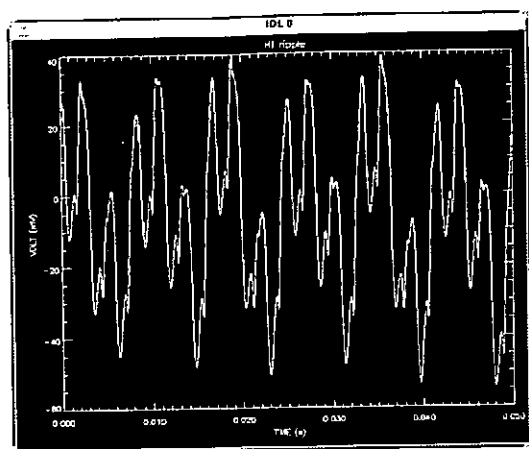
図4 通電試験回路図

3. 2. 試験結果

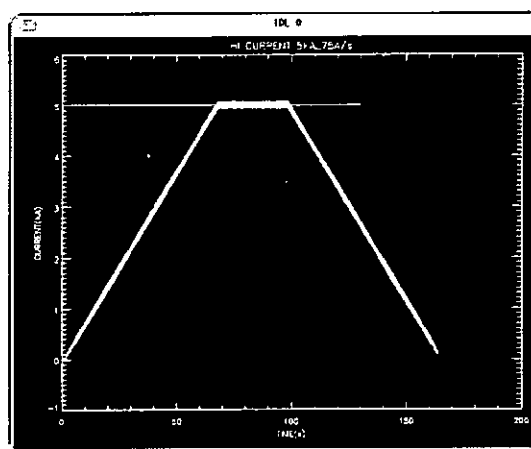
図5に測定結果の一部を示す。((a) リプル電圧測定、(b)電流掃引特性)

リプル電圧測定は、HI電源でのみ行った。図5(a)からリプル電圧を求めると24.2mV（rms）となった。これは定格出力電圧45Vの0.054%であるから、判定基準を十分満たしていることがわかる。また、この波形を高速フーリエ変換（FFT）すると電圧リプル（入力電源周波数60Hzで12相整流であるから720Hz）以外の周波数成分が含まれていることがわかる。これは、変圧器の位相のずれなどが原因と考えられる。

図5(b)から求めた電流掃引特性を表1に示す。これを見ると誤差は最大でも3%ほどであり、ほぼ正確に制御されていると言える。



(a)



(b)

図5 測定波形 (HI電源)

表1 電流掃引特性結果

| 電源 | 設定値 | | 測定値(()内は誤差) | |
|----|--------|----------|-------------------|-------------------|
| | 電流値 | カレントスピード | 立上がりスピード | 立下がりスピード |
| HI | 1KA | 10A/s | 10.03A/s (+0.30%) | 10.09A/s (+0.90%) |
| | 5KA | 75A/s | 74.64A/s (-0.48%) | 74.66A/s (-0.45%) |
| | 13KA | 99.9A/s | 99.50A/s (-0.40%) | 99.50A/s (-0.40%) |
| HM | 1KA | 10A/s | 10.03A/s (+0.30%) | 10.03A/s (+0.30%) |
| | 5KA | 75A/s | 74.85A/s (-0.20%) | 74.87A/s (-0.17%) |
| | 13KA | 99.9A/s | 98.48A/s (-1.42%) | 98.39A/s (-1.51%) |
| HO | 1KA | 10A/s | 10.04A/s (+0.40%) | 10.05A/s (+0.50%) |
| | 5KA | 75A/s | 74.65A/s (-0.46%) | 75.02A/s (+0.03%) |
| | 13KA | 99.9A/s | 98.29A/s (-1.61%) | 98.15A/s (-1.75%) |
| OV | 1KA | 10A/s | 10.12A/s (+1.20%) | 10.16A/s (+1.60%) |
| | 10KA | 99.9A/s | 99.34A/s (-0.56%) | 99.32A/s (-0.58%) |
| | 23.5KA | 99.9A/s | 97.41A/s (-2.49%) | 96.85A/s (-3.05%) |
| IS | 1KA | 10A/s | 9.98A/s (-0.20%) | 10.00A/s (0.00%) |
| | 10KA | 99.9A/s | 99.22A/s (-0.07%) | 98.59A/s (-1.31%) |
| | 16.3KA | 99.9A/s | 97.52A/s (-2.38%) | 97.42A/s (-2.48%) |
| IV | 1KA | 10A/s | 10.01A/s (+0.10%) | 10.01A/s (+0.10%) |
| | 10KA | 99.9A/s | 98.92A/s (-0.98%) | 98.81A/s (-1.09%) |
| | 15.7KA | 99.9A/s | 97.47A/s (-2.43%) | 97.18A/s (-2.72%) |

4. まとめ

現在、直流電源及び計算機システムの製作・設置は完了している。また、直流電源、計算機システム間の状態制御シーケンスの動作確認、単体での通電・動作試験も行ってきた。今後、コイル電源と超伝導コイルとの接続、電流制御におけるLHD超伝導コイル本体の電気パラメータの測定、そして、その後、電源システム全体の総合運転試験を行っていく予定である。

CS計測システムの構築

日本原子力研究所 那珂研究所 超電導磁石研究室

堤史明, 小泉徳潔, 布谷嘉彦, 若林宏, 辻博史

1. はじめに

国際熱核融合実験炉(ITER)計画の工学設計活動(EDA)の一環として、中心ソレノイド(CS)モデル・コイル実験が日本原子力研究所にて行われる。本実験では、500点以上の電流、電圧、温度、圧力、差圧、歪み、変位等のデータを収集する必要がある。

また、ITER 国際共通試験装置に付属する ITER 共通試験用冷凍機(以下、冷凍機)もその制御および健全性の確認のために、温度、圧力、差圧等の冷凍機のデータを計測する必要がある。CSモデル・コイル実験データの収集、及びそれらの処理、表示、出力、保存、解析処理等の他に、実験室レベルで行われる超電導コイル、冷凍機の実験データの収集、それらの処理、表示、出力、保存、解析処理等を目的として本計測システムを構築した。

2. システム概要

本計測システムは、高速多チャンネル(480チャンネル) A/Dコンバータと最新のUNIXマシンをプラットフォームに、その高速性、多機能性、ネットワーク機能等を駆使し、高精度でハイパフォーマンスなシステム性能をダウンサイジングの世界で実現するデータ収集解析処理システムである。

システムの基本形式は、クライアント・サーバーモデルを採用し、クライアントであるワークステーションに対しては、収集されたステディデータをマルチキャストを用いてキャラクタ表示させ、実験状況のモニタリングを実現している。また、異機種間のサポート性の高いパッケージソフトウェアを活用する事でデータ解析の主なルーチン処理を複数の端末でオペレーションできる、ユーザにオープンなシステムとなっている。このシステムの中心にデータベースの概念を導入し実験管理を一元化し、データの有効活用を可能とした。

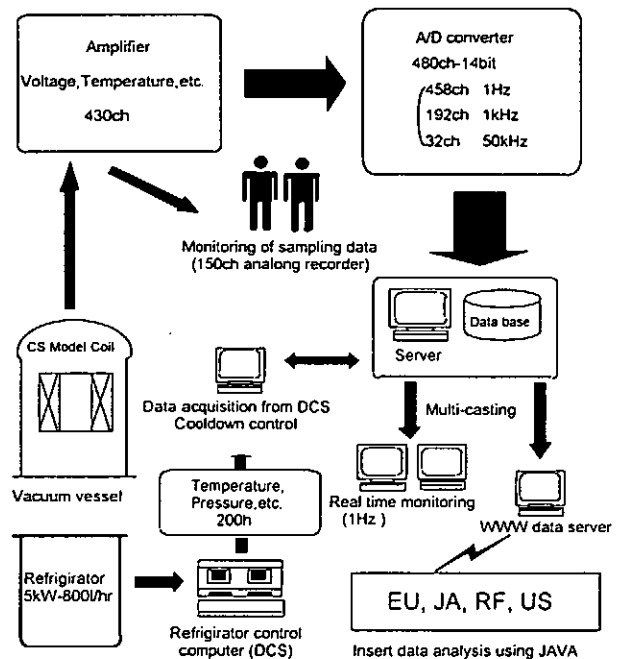


図1 ITER-CS計測システム

3. システム構成

図2にシステム構成を示す。

本システムは、各種の機能をネットワーク上の各機器に分散的に負担させる分散型システムであり、計測データの処理、解析等を行う2台のホストコンピュータ、試験コイルの測定データの取込みおよびホストコンピュータへの転送を行うフロントエンド、ITER 共通試験用冷凍機制御コンピュータ(DCS)、解析結果等の入出力を行う機器、これらの通信媒体となるイーサネットケーブル、ブリッジルータ、集線器から構成される。

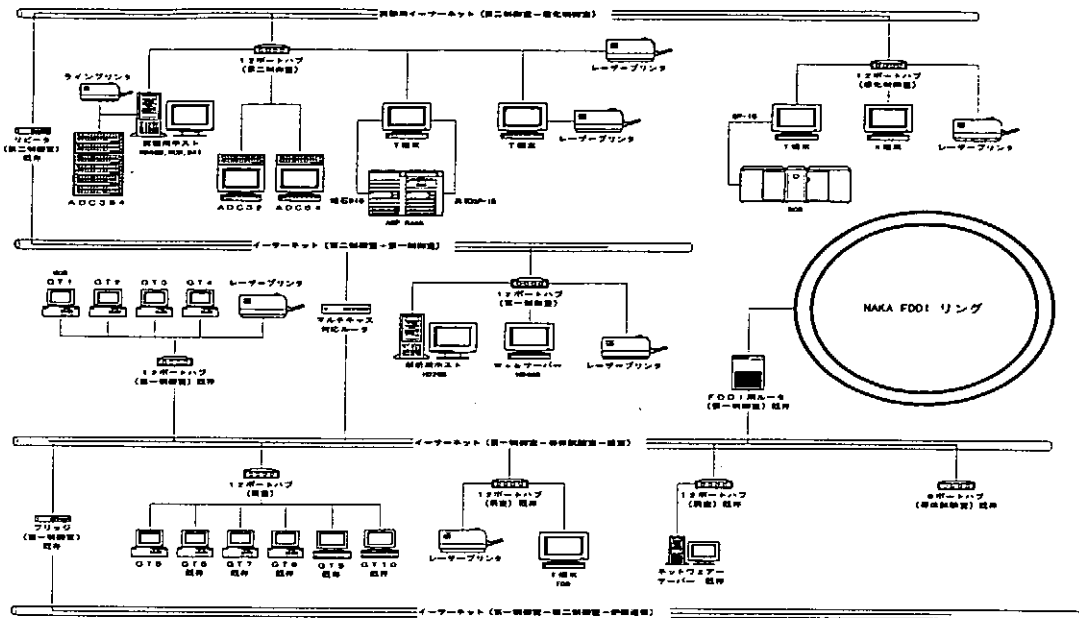


図2 システム構成

4. システム構築時の注意点 (主な設計コンセプト)

4-1. 今後の変化に対応できるシステム

1) 約10年間に渡り陳腐化しないコンピュータシステムアーキテクチャ

ネットワークコンピューティングシステムとする為、コンピュータを中心とするのではなくネットワークをベースインフラとした。

また、LAN、WANの差をできるだけ少なくし、ITER共通試験の性格も考慮し、インターネットをネットワークの中心的な位置づけとして意識した。この点においてJ A V Aを一部採用した。本システムは、クライアント/サーバモデルとし、将来的には、完全分散処理システムを目指します。

2) 基幹OSはUNIX

UNIXを基幹OSとし、特定の1社の計算機OSに依存しない設計とした。クライアント機には一部J A V Aを採用し、OS依存性もできるだけ排除したプログラム設計とした。

3) セカンドソースの存在する64ビットCPU

本システムの中核を担う実験用ホスト及び解析用ホストマシンに64ビットCPUを採用し将来巨大化するデータ処理を可能とした。

また、通常、計測システムを構築すると5年、10年と使用されるのに対して、計算機技術は2~3年で大きく変化する。このことから、浮き沈みの激しい半導体業界において、CPUチップも1社に依存しない事を考慮した。

4-2. 超電導特性を加味したデータ収集

1) 収集データの種類

収集するデータは、その収集方法、データの種類によりステディ・データとトランジェント・データに分類した。

ステディ・データには、試験コイルの電流、電圧、温度、圧力、差圧、歪み、変位等があり、定常かつ周期的（日単位）に収集されます。（クールダウン、付属機器のモニター等）

トランジェント・データには、試験コイル等の電流、電圧、温度、圧力、差圧、歪み、変位等があり、特定のランに対して時間的に連続して収集されます。

データ収集の周期違いにより、トランジェント・データには高速の過渡現象（クエンチ等）である高速トランジェント・データ（早い現象のデータ収集：数秒）と、交流損失等の測定に於いて、長時間に渡って連続的に収集される低速トランジェント・データがあります。（10分～1時間程度）

2) 高速、高精度、多チャンネルADコンバータの採用

従来のマルチプレクサタイプと異なり、1チャンネル/1ADチップ対応型を採用し、単体性能として最大100kHz/1chを実現し、コンピュータシステムの許容範囲をカバーするだけのサンプリング速度を確保しています。

1チャンネル/1ADチップ対応型の採用により、16ビット分解能：14ビット精度という高分解能、高精度のデジタルデータが得られます。

ワークステーションへの高速データ転送の為、bus直結型を採用した。

3) ADコンバータの特徴（データ取込み部分）

同一ADコンバータからステディ、高速、低速トランジェントの3種類のデータが、同時に収集できる。

また、超電導特性を計測する為、CSモデルコイルに取り付けられたセンサのうち、480チャンネル分のデータを1kHz～50kHzのサンプリング速度で収集する事ができるように設計した。

4-3. 実験中のモニタリング（リアルタイム）

1) リアルタイム処理

収集されたデータは、取込みが終わり次第、生データ（デジタル信号）から一次元物理量データ（700点）に変換され、一次元物理量データから高次元物理量データ（300点）に変換されます。

一次元物理量：1つのタグから四則演算で求める。

高次元物理量：複数のタグから四則演算で求める、又は用意した計算プログラムを使用。

2) マルチキャスト処理

LANで一斉同報通信を提供し、Ethernet上でマルチキャストを用いる事により、1対複数通信を行い、ネットワーク上のどのWSからでもリアルタイム（一秒）に実験状況をモニタリングできる。

4-4. 実験室レベルでのデータ収集

実験には、実験室レベルなどの中小実験もあり、その実験などにも対応可能にする為、WSとADコンバータを一体化（移動可能）にした。

また、移動可能型にした為により、どのWSでもEthernetに接続すればDBへのアクセス、モニタリング、収集データの解析が可能にもした。

4-5. Webサーバの構築

国際熱核融合実験炉（ITER）は、日本、米国、欧州連合（EU）およびロシアの世界四極が人材と資金を出しあって共同で進めている研究活動です。

この事を加味して、WWW（World Wide Web）を通じてインターネット上に取得したデータで公開可能な実験データを格納し、所内外からデータの参照や取得可能にしたFTPサイトを構築した。

5. 現状システムの問題点（ノイズの問題）

<状況>

ADコンバータの入力部にサンプル電圧タップの一部に波形のノイズが認められた。ノイズが乗っているタグと乗っていないタグの差は明らかであった。

<現象>

- ①サンプル通電を開始すると現れる。②アンプゲインに比例した大きさを持つノイズである
- ③アンプの出力をoff（ゼロ）にすると周波数が500kHz程の速いノイズのみになり、振動幅も15mVとなる。
- ④アンプに内蔵されている10Hzのフィルターを使用すると、ノイズが約1/5となる。

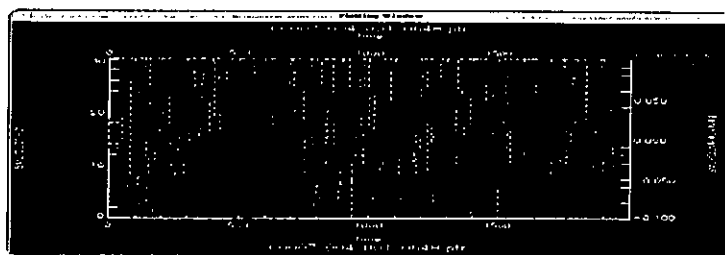
<先の現象からの推察>

- ①問題になっているノイズはアンプからAD入力部までのケーブルに乗っているのではない。
- ②現象①よりノイズはアンプの入力前に既に乗っている。
- ③現象④及び、アンプ単体での性能評価実験から、アンプに内蔵されている10Hzのフィルターは、ノイズに対しては振動幅比1/5程度にする能力しかない。

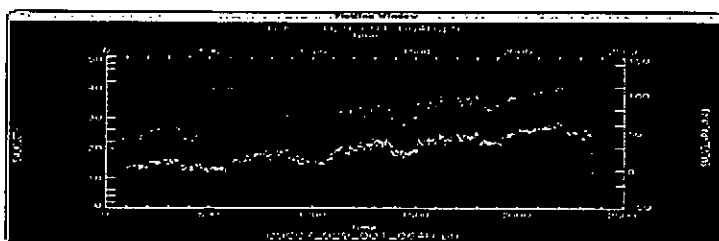
<対策>

ADの入力部にRCの積分回路を取り付けた。R=7.5k Ω 、C=44 μ Fである。1/ $\sqrt{2}$ のcut-off 周波数は約5Hzとなる。この回路のフィルター効果は明らかであった。

今後、ノイズ源を究明する事は重要であるが、一般的に困難な場合が多い。今後、中実験でのIc測定には、常に上記回路をADコンバータの入力部に入れる必要があると思われる。



ノイズが乗っている



ノイズを積分回路でカット

大型ヘリカル装置（LHD）用冷却装置の開発

核融合科学研究所 馬場智澄、大竹 勲、西村 新

核融合炉を目的研究とする高温プラズマ閉じ込め実験を行う大型ヘリカル装置には、超伝導コイルを冷却するためのヘリウム液化冷凍装置、コイル用電源、プラズマ真空容器、真空排気装置等の冷却水を必要とする機器があり、これらの機器の冷却のために大型ヘリカル装置用冷却水装置を開発した。現在この装置は稼働している。以下に設計方針、性能確認、運転状況等について述べる。

I. 設計方針・要領

この冷却装置は、1) 冷却水を必要とする装置の設置場所、冷却水の水質による冷却条件により、熱負荷を大きく3系統に分類構成した。2) 全自動運転を可能とし、想定される各種の冷却水装置のトラブルに対して可能な限り冷却水を送水し続けるようにした。3) 将来の熱負荷の増加に対応できるように、送水能力や除熱能力にある程度余裕を持たせた。4) I-b系統の純水は、電気伝導度 $0.5 \times 10^{-9} \Omega^{-1}/\text{m}$ （比抵抗 $2 \times 10^6 \Omega \cdot \text{cm}$ ）、溶存酸素量 0.5mg/l 以下となるように、イオン交換樹脂及び溶存酸素除去装置が自動運転される。

各系統の設計送水量を表1.に示す。

表1. 設計送水量

| 系統名称 | 熱負荷 (Mcal/h) | 送水量 (m ³ /h) | 水種別 | 主たる負荷 |
|-------|-----------------|----------------------------|-----|--------------------|
| I-a系統 | 2580 | 600 ～60 | 淡水 | ダイバータ板 プラズマ真空容器 |
| I-b系統 | 500 | 113 ～11 | 純水 | 真空排気装置 計測機器 |
| IV系統 | 7120 | 2047 ～293 | 淡水 | He液化冷凍機 コイル電源 |

II. 全体設計として各機器及び配管・運転監視等は以下のようにした。

1) 送水ポンプは各系とも小型1台、大型3台で構成され、送水能力の比を小型10%、大型45%とし、大型1台は予備機としている。最大熱負荷時は小型1台、大型2台で対応する。

2) 節電を旨とし、ポンプ及び冷却塔の運転は、戻り水温度により台数制御を行い適正運転を行っている。ポンプ台数変更時に起きる各機器への送水圧変動は、数力所のバルブの開度を自動調整することにより調整している。

- 3) 配管系は将来の熱負荷を想定し流速を 2m/s 以下とした。
 - 4) 冷却塔は、環境条件が悪いため、循環水と大気が直接接しない湿式密閉型を採用し、循環水を密閉型循環回路とした。また、冷却塔は補給水の供給停止を考慮し 2 基の水槽（総保有水量約 210m³）の上に分散して配置されている。これにより補給水の供給が万一停止しても、約 5 時間は水槽内の保有水により循環水の冷却を続けることが可能である。
 - 5) 冬期氷点下になることから、各冷却塔には凍結防止ヒータ・内部循環ポンプを設け、銅製の熱交換チューブ内の循環水が凍結しないようにしている。
 - 6) 瞬時停電（所内：200ms 未満）における対策として 500ms 程度の電圧低下では、ポンプに取り付けたフライホイールによりポンプの回転数を維持し冷却水を供給する。また、復電時におけるポンプ群の同時起動を避け VCB 遮断が起らないように、各ポンプの起動タイミングをずらすように設定した。
- 代表的なフロー図を図 1. に示す。

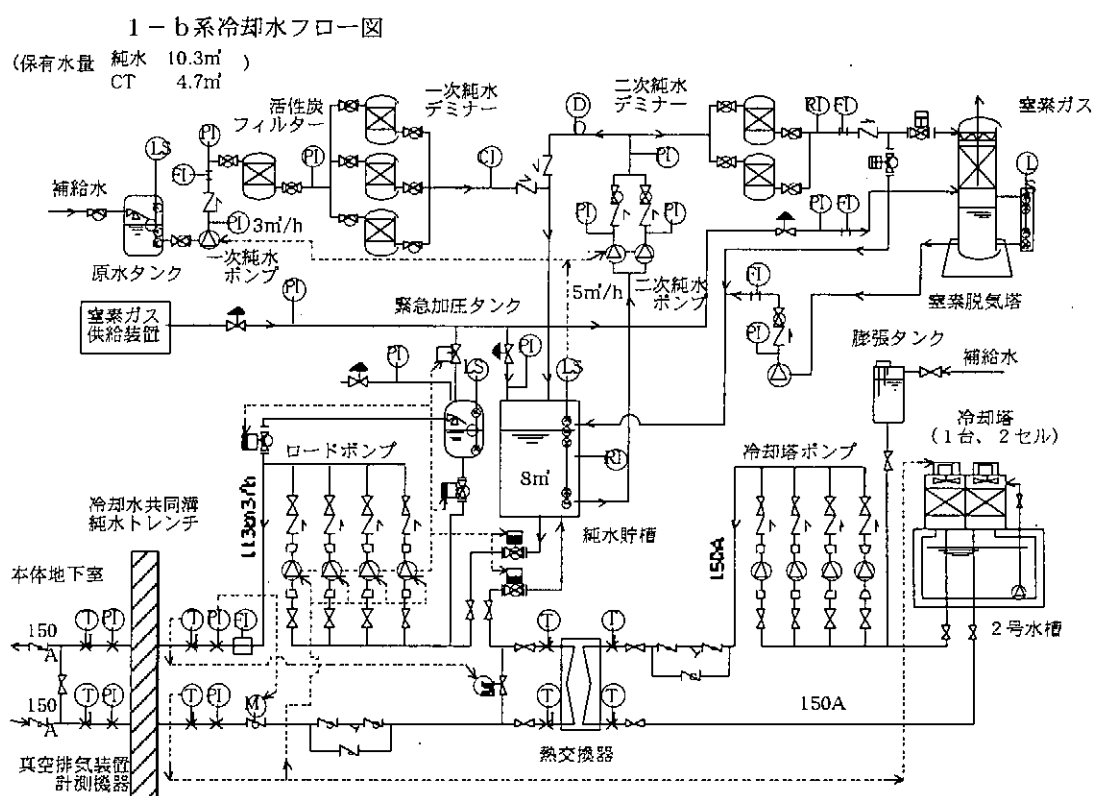


図 1. 1-b 系フロー図

Ⅲ. 制御関係としては 1) 冷却水全体の運転監視盤・現場盤及び制御装置を置き、この制御装置により遠隔操作・運転状況の把握ができる。この制御装置のグラフィック画面から全ての運転を行うことが可能であり、各系統は独立し

たシーケンサにより制御されている。また、運転状況は運転情報モニタリングシステムを情報ネットワーク（所内実験 LAN）に接続することにより各負荷へ各系の送水温度・送水流量・送水圧力外気温度等の現在値及び各測定値の 1 週間のヒストリカルトレンド等の情報を提供できる。2) 電圧変動に対しポンプを稼働し続ける様に制御系を設計した。更に、売電系統と常用発電機系統の 2 系統から受電できるように配慮し、もし売電系統が瞬時停電（送電が 200 ms 以上停止した状態）した場合、各系統とも大型ポンプ 1 台を常用発電機系統につなぐことにより各系の全冷却水送水量の約 45% の冷却水供給を継続可能とした。

IV. 性能確認・運転状況

各ポンプの吐出能力は十分にあることを確認した。また、冷却水使用側との取り合い点での給水能力・給水圧力は設計値通りであることも確認している。

冷却塔性能試験を平成 7 年 8 月に実施し、乾球温度 36.3℃、湿球温度 23.1℃にて設計値を若干上回る冷却能力を確認した。

凍結防止対策においては、平成 6 年 12 月から平成 9 年 2 月にかけて幾度か氷点下（最低気温 -9℃）になったが屋外機器（冷却塔、膨張タンク、配管）は全く損傷を受けなかった。

瞬時停電対策に対しては、平成 7 年 6 月から 8 月にかけて 100ms 以下の異常電圧降下が発生したが、システム全体は正常に動作することを確認した。また、停電試験を平成 9 年 7 月に実施し、設計通り常用発電機系統による運転継続を確認した。

稼働状況としては水質と設備を維持するため各系統の小型ポンプ 1 台を常時運転している。各系の密閉循環水回路内の水質検査を毎月 1 回行っており、現在のところ水質異常は認められない。

平成 9 年 5 月に He 液化冷凍機が約 10 日間 24 時間連続運転された。（今夏の運転は 4 系のみである：送水流量は 908 m³/h）図 2. にその結果を示す。

図中横軸は時間、縦軸に 1、2 号水槽導電率、また、棒グラフで 1、2 号水槽への補給水量の合計を示す。

He 液化冷凍機では熱負荷（主としてコンプレッサー 8 台及び回収圧縮機）として約 3.5MW/h ある。水温 30℃ の水の蒸発潜熱は 597.3kcal/m³ であるから He 液化冷凍機が 24 時間連続運転すると約 124.6 m³ の水が蒸発することになる。実際の平均補給水量は運転を 8 日間行ったとき 86.2 m³ であった。124.6 m³ との水量の差は、大気との熱交換によって放熱されたこと及び水槽内の供給水量はボールタップの位置により制御している為等と考えられる。この運転期間中、水槽の水を排出しない場合 1 号水槽の導電率は約 330 μ S/cm から約 630 μ S/cm に、2 号水槽は約 270 μ S/cm から約 350 μ S/cm にそれぞれ上昇した。

導電率の上昇量は1号、2号水槽それぞれ $300 \mu\text{S}/\text{cm}$ 、 $100 \mu\text{S}/\text{cm}$ であり、この数値の差は4系の冷却塔が1号水槽に3セット、2号水槽に1セット配置されているためである。

このような運転を長期間（約6ヶ月間）行くと水槽内の水質は日本冷凍工業会の制限値 $800 \mu\text{S}/\text{cm}$ を越えることは明らかである。対策として水槽内の水を排出し、水道水を供給することにより希釈し水質を維持する必要がある。

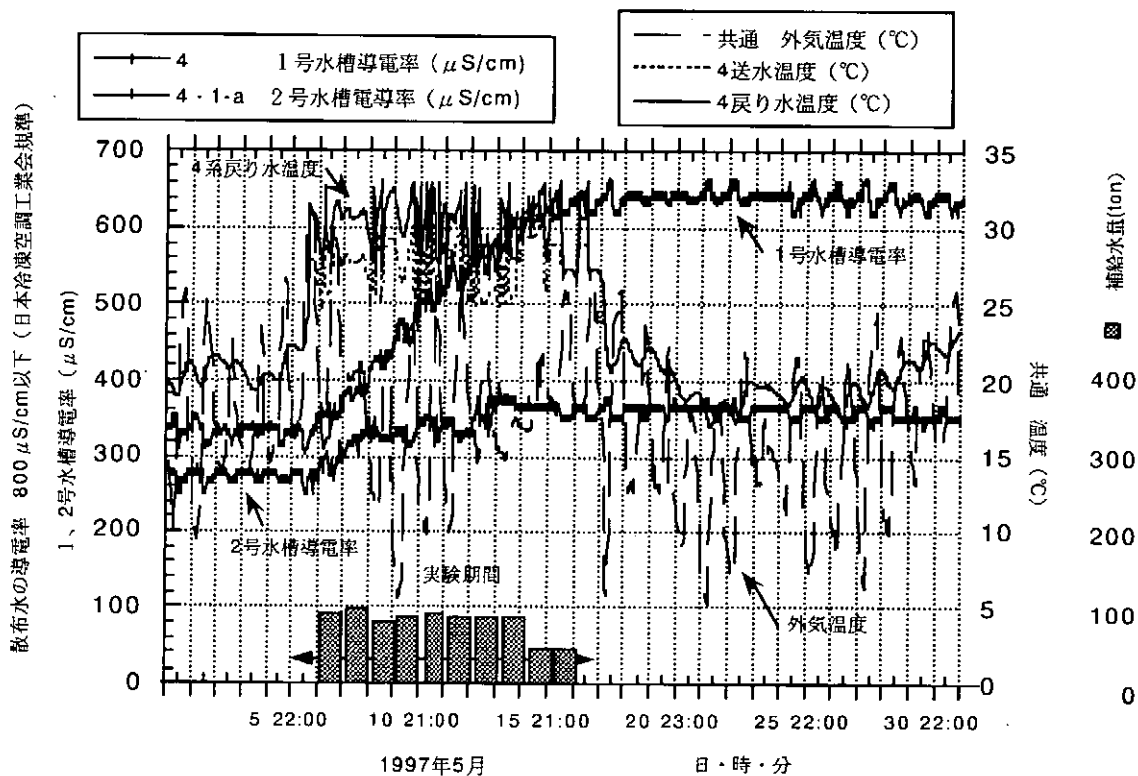


図2. 平成9年5月の運転実績

結言

完成した冷却水装置は、現在大きな問題もなく各設計値を若干上回る性能を確認し稼働している。今後は冷却塔用水槽内の水質維持・管理方法について検討・開発を行う予定である。

ワンチップ RISC 型 MCU を使ったレーザー位相安定化回路の製作

分子科学研究所 装置開発室 吉田久史

1. はじめに

分子科学研究所基礎光化学部門では、短パルスレーザーを用いたインパルスラマン散乱 (Impulsive Stimulated Raman Scattering、以下 ISRS) の測定が行われている。図 1 に、ISRS 測定の際の光学系を示す。ISRS 測定は、チタン・サファイア・レーザーを光源とする 3 つの光パルス(pump1、pump2、probe)を試料に照射して、試料から発生する散乱光(signal)を観測するものである。ここで、probe 光と試料からの signal 光は、測定中は常に一定の位相関係を保つことが要求される。しかし、この 2 つの光束はそれぞれ異なる光路を通るために、振動や熱による影響でその光路長を一定に保つことは困難である。そこでその対策として、光学ミラーの 1 つをピエゾ素子を用いた可動ミラーとし、参照光に CW の He-Ne レーザーを用いて、その干渉光強度を一定にするように可動ミラーにフィードバックを駆けることで、位相の安定化を行うことになった。

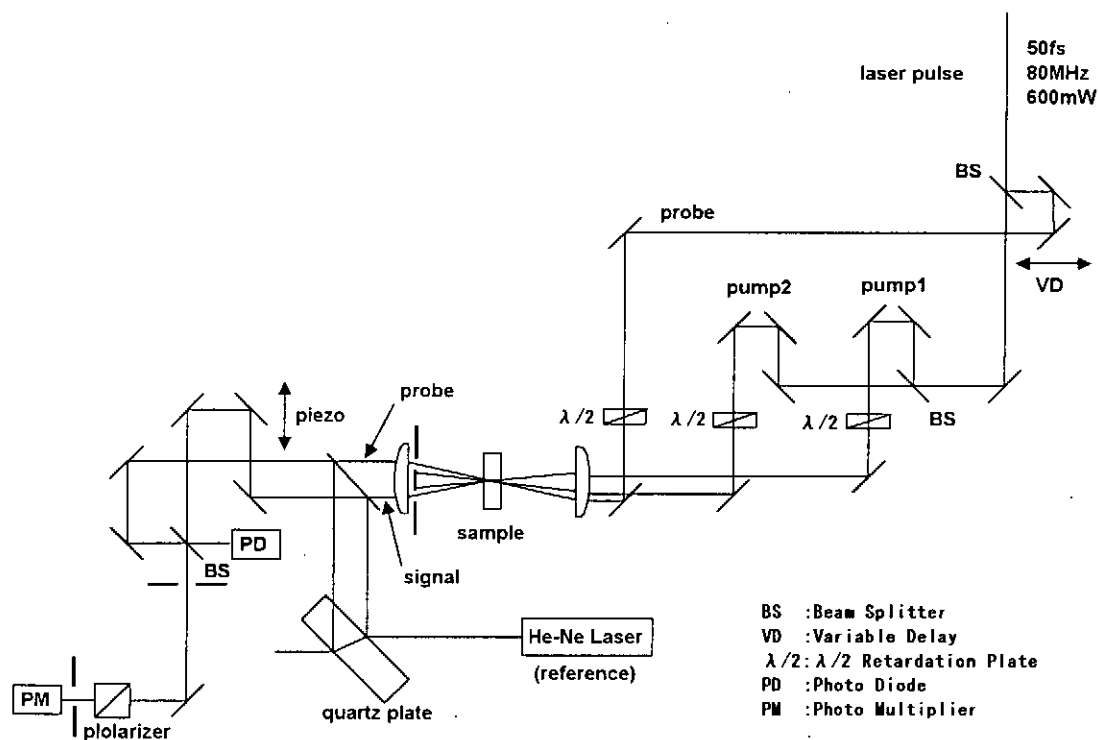


図 1. ISRS 測定のための光学系

図 1 のシステムで、2 つの光束の位相がずれる最大の要因は周囲環境の温度変化で、その変動は数十分といった周期の非常にゆっくりとしたものである。そこで、フィードバック制御は、マイクロプロセッサを使ったソフトウェア制御で行うことにした。そのシステムには、He-Ne レーザーの干渉光強度をモニタするための A/D コンバータ(以下 ADC)、ピエゾドライバを制御するための D/A コンバータ(以下 DAC)が必要となる。この様なシステムを構成する一番簡単な

方法は、パソコンと ADC および DAC インターフェース・ボードを用いることである。しかしこの方法では、パソコンが制御のためだけに占有されることになり、観測用の他にもう一台のパソコンを用意するのは、実験室のスペースも取ることになる。そこで今回は、その制御をワンチップの MCU(Micro Controller Unit)で行うことにした。また、MCU は ADC と DAC のインターフェース・ボード上に実装しており、パソコンとの通信も可能なように設計した。これにより、ホストとなるパソコンは、MCU に対してミラー位置の初期位置の調整データや位相制御の開始/停止の司令を与えるだけで良く、実験中は測定データの収集や解析に使用できることになる。

2. ワンチップ RISC 型 MCU について

使用した MCU は、マイクロチップ・テクノロジー社の PIC シリーズと呼ばれる 8 ビットの RISC 型ワンチップ・マイコンである。この PIC シリーズには、その命令語長が 12、14、16 ビットのシリーズがあり、さらにメモリの容量や内蔵している周辺機能により豊富な製品が用意されている。今回は、PIC シリーズの中から、8 ビットの ADC を内蔵していて、また、紫外線消去のできる UVEPROM タイプの PIC16C73/JW を選択した。PIC16C73

- ・ 8ビットRISC型MCU
- ・ 14ビット単一ワードのインストラクション
命令数=35
- ・ 4kワードのプログラムメモリ
- ・ 192バイトの汎用メモリ
- ・ 動作速度 20MHZ
単一インストラクション・サイクル=200ns
(但し、分岐命令は2サイクル)
- ・ 22のI/Oポート
- ・ 5チャンネルの8ビットA/Dコンバータ
- ・ 3つの8ビットタイマ・モジュール
- ・ シリアル・ポート・モジュール
- ・ 11の割り込みソース
- ・ 動作電圧3~6V

表 1. PIC16C73 の特徴

の特徴を表 1 に示す。このデバイスは、28 ピンのスリム DIP パッケージに納められ、その 28 ピンの内 6 ピンが電源供給端子(3)、クロック入力端子(2)、リセット入力端子(1)に使用されている。残りの 22 ピンは全て I/O ポートとして割り付けられているが、このピンは ADC の入力端子やシリアルポートの入出力端子などとも共用されるので、それらの機能を使用する場合にはその分使用できる I/O ポート数が減少することになる。インストラクションは、全ての命令が 14 ビットの単一ワードで構成されていて、その命令数は 35 である。Z80 などの CISC チップの豊富な命令に馴れている者にとっては、インストラクションの少なさに多少戸惑う場合もある。また、分岐命令以外は、全ての命令が単一インストラクション・サイクルで実行されるので、ソフトウェアの実行速度を計算する場合には、CISC に比べてずっと楽になる。PIC シリーズは、動作電圧範囲が広く設計されているので、電池駆動で動作することも可能である。

PIC シリーズの開発には、プログラムを書き込むためのライターと PIC 用のアセンブラが最低限必要となる。我々の場合には、PLD や CPLD の開発用に購入したユニバーサル・プログラマがこのデバイスにも対応していたのでこれを利用した。この他にも、専用のプログラマを利用したり、プログラマを自作することも可能である。また、アセンブラはマイクロチップ社から無料で配布されている。マイクロチップ社のホームページ(URL:<http://www.microchip.com>)からは、このような PIC シリーズに関するデバイス情報、アプリケーション情報、開発ツール

情報などを入手することができる。

3. レーザー一位相安定化回路

図2に製作した位相安定化回路のブロック図を示す。回路は、MCU、D/Aコンバータ、ホスト・コンピュータのI/Oポートおよびそのアドレス・デコーダから成っていて、それらをISAバスのユニバーサル・ボード上に製作した。

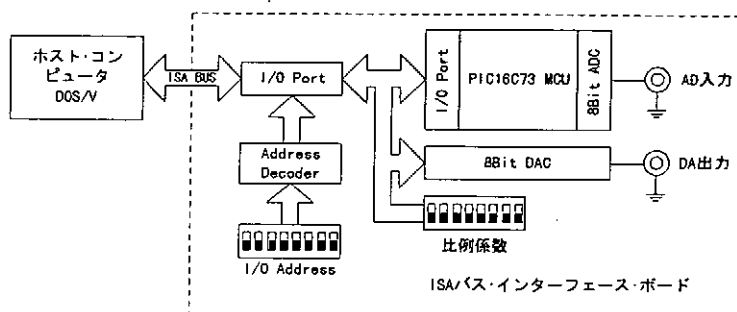


図2. 位相安定化回路のブロック図

MCUのI/Oポートの内、2つのポートがA/Dの入力と基準電圧の入力に使用されるので、使用できるI/Oポート数は20個となる。システム全体のI/Oポート数は、ホストとのデータ入出力用に16ビット、ステータスとコマンドの転送用に8ビット、D/Aコンバータのデータ設定用に8ビット、比例係数設定スイッチの入力ポートに8ビットが必要となり、その絶対数が足りなく成ってしまう。そこで、MCUのI/Oポートをソフト上でモード設定を切り替えて、入出力双方向で使えるようにハードウェアを設計した。ハードの設計に関して、一番苦労したのはこの点である。D/Aコンバータには、8ビットのAD558(アナログ・デバイス社)を使用した。

製作した位相安定化回路の仕様を表2に示す。

PIC16C73に内蔵のA/Dコンバータは、20MHzのシステムクロックを使用したとき、最小1.6μsの変換速度を持つ。今回の応用ではそれ程の変換速度は要求されないので、内蔵タイマーの割り込みを利用して、割り込み処理ルーチンで1mS毎にA/D変換を行い、さらに、その8回分の平均値を取って1つのデータを得ている。制御方法は、ピエゾの応答スピードが高速なので、比例制御のみで行なっている。即ち、制御開始時点のADC値を目標値として、以降のADC値の変化量(誤差)に、ある比例係数(ボード上のDIPスイッチで設定)を乗算したものをDACの出力値(操作量)としている。

- ・コントローラ
PIC16C73-20MHz (Microchip Technology社)
- ・A/Dコンバータ (PIC16C73内蔵)
分解能=8ビット、入力=0~5V
変換速度=1.6μs
- ・D/Aコンバータ
AD558 (アナログデバイス社)
分解能=8ビット、出力=0~2.55V
- ・制御方法
比例制御…操作量(D/A出力)=誤差量×比例係数
(比例係数はDIPスイッチで設定)
サンプリング速度=8mS
- ・インターフェース
ISAバス、I/Oアドレス=300H, 302H
- ・ホストコンピュータとの通信機能
比例制御の開始/停止
A/D、D/Aデータの送信
D/Aデータの受信
- ・電源
+5V、±12V

表2. 位相安定化回路の仕様

ピエゾ・ドライバは、市販のモジュールを利用している。このドライバは、外部入力電圧0~10Vに対して、0~100Vを出力するものである。しかし、干渉光の位相を安定化する制御では、光の波長程度(1μm以下)の位置制御をすれば良いので、その制御幅はピエゾ・ドライバの入力電圧に換算して数百mVになる。従って、AD558の出力電圧(0~2.55V)を1/20のアッテネータを通して、ピエゾドライバの外部入力に接続している。

4. 結果と考察

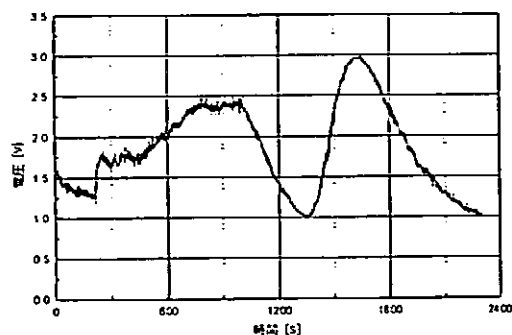


図3. フリーランでの He-Ne レーザの干渉光強度

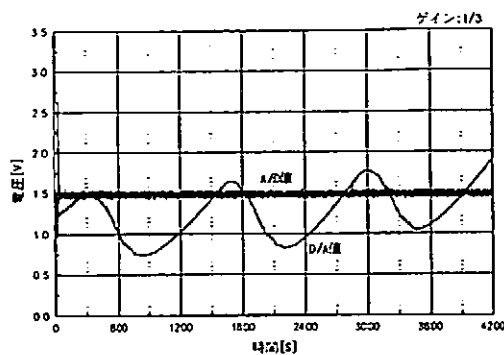


図4. フィードバック制御時の干渉光強度

図3は、フリーランでの He-Ne レーザーの干渉光強度(ADC の値)を表す。図のように干渉光強度は、数十分という周期で大きく変動する。光学系は空調の利いた部屋に設置してあるが、これは周囲温度の僅かな変動により、2 つの光路長が光りの波長($1\mu\text{m}$ 以下)のオーダーでずれを生じるものと考えられる。図4は、比例制御の係数を $1/3$ に設定してフィードバック制御を駆けたときの、干渉光強度と DAC の出力値をプロットしたものである。図のように、長時間に渡って干渉光強度が安定しているのが分かる。実験では、比例係数を $1/3$ に設定したときが最適であることが分かった。比例係数を $1/3$ より小さく設定すると制御の不感帯が広くなりすぎ、また逆に、大きくすると敏感になりすぎて、いずれの場合も干渉光強度のばらつきが大きくなってしまった。このばらつきは、ADC と DAC の分解能を上げることでさらに改善されると思うが、実用上は現状の精度で問題とはならなかった。最後に、製作した位相制御回路を写真1に示す。

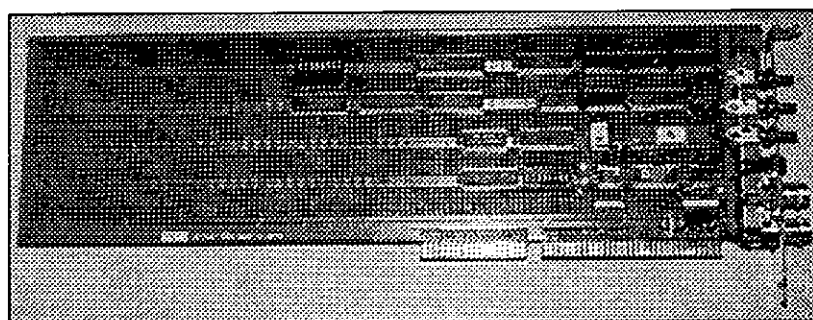


写真1. ISA バスユニバーサルボードに製作した位相安定化回路

[参考文献]

- ・ PIC16C7X データブック Microchip Technology Inc.

FPGA を使用したプリセットカウンタおよびタイミングボードの製作

日本原子力東海研究所 海老根 守澄

1. はじめに

近年の計測・制御機器の製作には、短時間での設計・製作や、頻繁な仕様変更に対応する柔軟性、更にコンパクトで低コストである事など極めて多様な要求がなされている。原子力の研究開発における標準的計測器である VME や CAMAC モジュール等のモジュラー計測器のコンパクト化では、表面実装部品や多層基板を採用しても、なお部品点数や基板面積の制約により、要求仕様を満足する設計が難しく、さらに製作コストが高いなどの問題を抱えていた。

近年、これらの問題を解決する一つの設計手法として論理回路をユーザが自ら LSI 化し、ユーザニーズに特化した ASIC(Application Specific Integrated Circuit)により集積度の向上を図る方法が注目され、これら ASIC の製品分野として FPGA(Field Programmable Gate Array)の普及が著しい。

FPGA は PLD(Programmable Logic Device)と GA(Gate Array)の両者の利点を備えたデバイスで、PLD は開発期間が短く、手軽にセミカスタム IC を開発できる反面、小規模でゲート利用率が低いという欠点があり、GA は高集積で設計の自由度は高いが、開発期間が長く初期コストが高い欠点を持っている。これに対して FPGA はごく小規模なロジックセルを組み合わせることで、ユーザの希望するファンクションを、自由を実現出来る事から、柔軟性が高く、高集積なセミカスタム IC をユーザの手元で手軽に開発することが出来る。

今回、この FPGA を適用した CAMAC のカウンタモジュールと臨界プラズマ実験装置(JT-60)の計測用タイミング信号として利用されているコード化シリアルバイフェーズ信号の復調用 VME ボードを製作したので、FPGA の開発手法や留意点、成果等について、以下に実例を交えて報告する。

2. FPGAの開発方法

今回使用した FPGA 開発ツールの構成を図1に、開発フローを図2に示す。

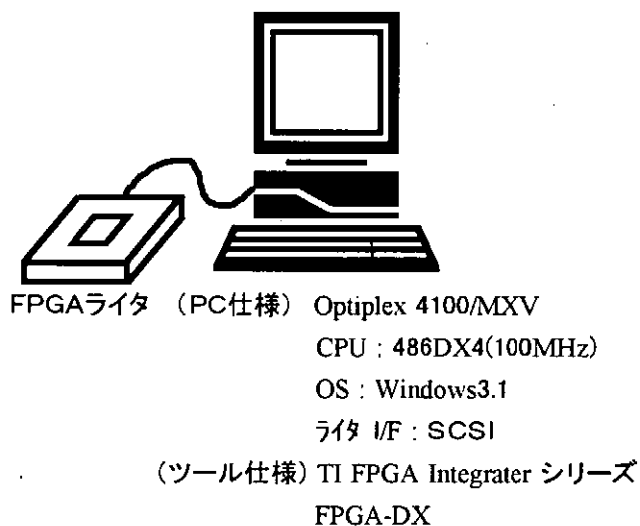


図1 FPGA 開発ツール構成

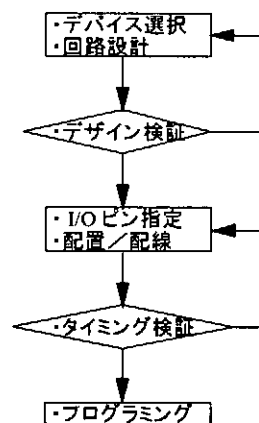


図2 FPGA 開発フロー

FPGA 化するターゲットデザインの入力方法には、回路図エディタによる一般的な回路図入力法と、テキストエディタを用いハードウェア記述言語(HDL: Hardware Description Language)により設計を行う方法がある。今回は、はじめての体験でもあり、従来の設計方法に近く CAD 感覚でデザインエントリが

行える回路図入力法により設計を行った。

開発ツールには PC(Personal Computer)ベースの Windows 3.1版を使用した。操作性、各ツール内のアプリケーションの動作速度などに特に問題はなかった。

設計手順は次の通りで、1) 適用チップの選択と選択チップへのターゲット回路の分割を検討後、回路図エディタをオープンし、プリミティブ又は TTL ライブラリによりそれぞれのチップに分割したターゲット回路の設計を行う。2) デザイン回路の動作確認のため入力波形データを作成し、シミュレータによる論理検証を行う。3) 論理合成及びマッピングツールにより実チップへの I/O ピン割付や内部セルの配置・配線を行う。4) 配置・配線されたデザイン情報をもとに、遅延時間を考慮したタイミング検証を行い、問題が無いことを確認する。5) プログラミングしてチップを完成する。

3. CAMACプリセットカウンタへのFPGAの適用

プリセットカウンタの概略仕様とブロック図を図3に示す。このプリセットカウンタは、32ビットのダウンカウンタで、計数動作はフロントパネルに設けた入力信号とゲート信号により制御され、あらかじめ NAF コマンドにより設定されたプリセット値のカウントを終えると LAM を発生する。

計数容量 : 32ビット
チャネル数 : 4
計数速度 : 8[MHz]
入力信号 : NIM ファーストリック2系統
ゲート入力 : NIM ファーストリック2系統
ビジー出力 : LED 表示
構 造 : CAMAC 1幅
消費電力 : +6V 130[mA]
 -6V 140[mA]

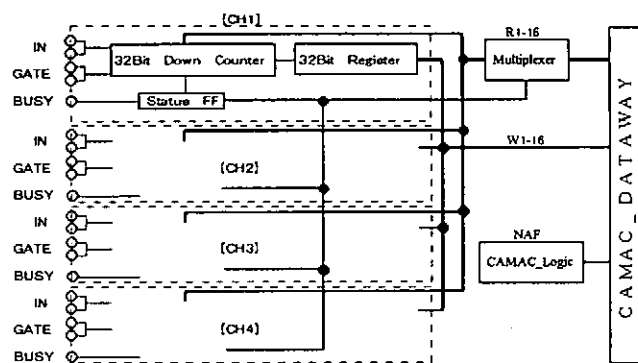


図3 プリセットカウンタの概略仕様およびブロック図

ロジックをFPGA化するにあたって問題になったのは、どの様に回路を複数のチップに分割するかである。1つのチップが十分なゲート数を備えていれば理想的なのだが、ゲート数が多くなると設計の自由度が増す反面、同一回路においてもロジックセルの配置や配線経路による遅延時間の変動が大きくなり、回路が正常に動作するかは定かでない。また、一部の安価な開発ツールには設計可能なゲート数を制限している製品もある。今回、このプリセットカウンタが要した全ロジックセル数は、約1,500個であり、チップのコストや配置・配線の容易さ、ユーザが使用可能な I/O ピン数を考慮して2タイプ、5個のチップに分割することにした。使用したチップはいずれも PLCC パッケージで次の通りである。

| 品 名(アクテル製) | ゲート数 | ピン数 | ロジックセル数 | F/F 数 | I/O 数 | 使用個数 |
|------------------|-------|-----|---------|-------|-------|-----------------|
| TPC1020BFN-068C2 | 2,000 | 68 | 547 | 273 | 69 | 4個 (CH1~4カウンタ部) |
| TPC1020BFN-084C2 | 1,200 | 84 | 295 | 130 | 57 | 1個 (CAMAC 制御部) |

32ビットのプリセットカウンタの場合、1チャンネル当たり32本のライトライン及びリードラインが必要となる。単純な設計ではこれだけで64本の I/O ピンを使用することになり、制御ラインを含めると I/O ピンに不足を生じ、回路分割には工夫を要した。図4が今回の分割の様子を示したもので、IC1とIC2をペアとして2チャンネル分のカウンタを構成し、それぞれを下位16ビット及び上位16ビットのカウントに位置づけ、2チャンネルのカウントの読み出しはマルチプレクサを介して行った。このような分割により、一つのチップに

占有するカウントデータのピン数は、Borrow 信号も含めて34ピンとなり、この他に必要な制御ラインを含めても十分余裕をもって設計することができた。しかしながら、この分割方法により、動作速度に致命的な犠牲を強いる結果となったことが調整時に判明した。これは上位16ビットと下位16ビットを分割したため、上位から下位への Borrow 信号の受け渡しを遅延要素の最も大きな I/O ピン経由で外部接続したことによる。さらに、I/O ピンの割付をマニュアルで行ったため、一部のロジックセル間やロジックセルと I/O ピンの接続に配線経路の長いものが生じ、遅延時間が増加したためである。この結果、安定に動作する計数速度は8MHz にとどまってしまった。

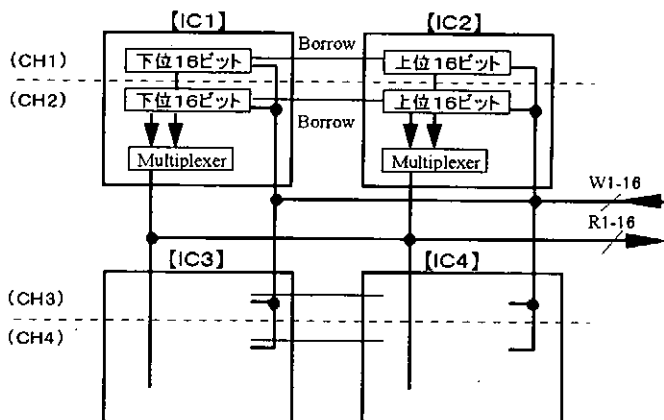


図4 プリセットカウンタの分割仕様

4. VMEタイミングボードへのFPGAの適用

タイミングボードの概略仕様とブロック図を図5に示す。このボードは、臨界プラズマ実験装置の計測用タイミング信号であるコード化シリアルバイフェーズ信号を復調するVMEボードである。ボードにはあらかじめ機能が定義された7ビットのコード信号を6パターン分それぞれのチャンネルにプリセットしておき、入力されたコード化シリアルバイフェーズ信号を逐次復調し、パターンの比較を行う。一致パターンが検出されると対応したチャンネルのパターン一致信号を外部に出力すると共に、VMEbus ラインへ割込を要求する。

コード化シリアル入力信号 : RS-422
 コード化シリアル出力信号 : RS-422
 転送速度 : 2.5[Mbit/sec]
 復調方式 : バイフェーズ
 パターン一致信号 : TTL(1μS ±100nS)
 チャンネル数 : 6
 構造 : VMEダブルハイト1幅
 消費電力 : +6V 370[mA]
 コード形式 : 0101... 111 XXXXXXXX P 0 0101...

アイドル SYNC 7ビットコード パリティ ストップ アイドル
 (奇数)

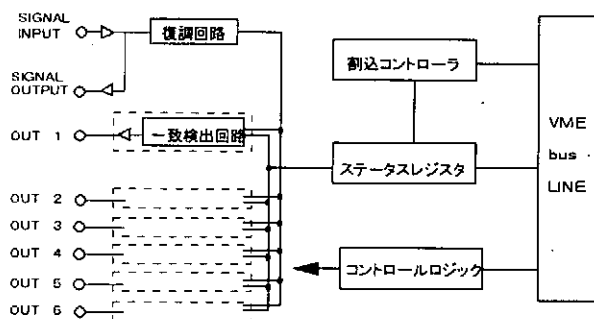


図5 タイミングボードの概略仕様およびブロック図

本ボードは、すでに CAMAC モジュールとして臨界プラズマ実験装置で多数使われており、制御と割込処理が VME であるほかは、復調及び一致検出回路については、CAMAC とほぼ同等の機能と性能を備えている。既存の CAMAC モジュールは、標準 TTL デバイスを用いて設計しており、使用デバイスの総数は約180個で、CAMAC2幅の2枚のプリント基板上に実装している。これに対して FPGA を使用した VME ボードは、ロジック回路の殆どを4個の FPGA チップに収めることができ、VME による基

板面積の制約を十分クリアし、FPGA 適用による高集積化を実証することができた。使用したチップは CAMAC プリセットカウンタと同様、下記の2タイプである。

| 品 名(アクテル製) | ゲート数 | ピン数 | 使用個数 |
|------------------|-------|-----|------------------|
| TPC1020BFN-068C2 | 2,000 | 68 | 1個 (VME 割込制御部) |
| TPC1020BFN-084C2 | 1,200 | 84 | 3個 (復調、一致検出、制御部) |

なお、設計時における使用チップのロジックセル使用率はいずれも60%程度であり、さらに高集積な設計は可能ではあったが、結果として、製作後の回路修正や仕様変更による回路の追加などロジックセルの再配置、配線経路の延長に伴う遅延時間の増大を考慮すると、この程度の余裕を持った設計が適当であった。

4. まとめ

今回、FPGA を適用した CAMAC モジュールと VME ボードを製作し、当初の導入目的である集積度の向上にかなりの成果が得られた。更に、製作後の回路修正や変更においても、従来になく柔軟的な対応が可能であることが確認できた。以下に今回の実体験をもとに得られたいくつかのメリットを紹介する。

① 設計資産の再利用

階層化設計により、再利用可能な下層の機能ブロックを登録、共有化し、過去の設計資産を有効利用できる。

② 回路の修正・変更に対する柔軟性

FPGA の内部を変更し、再プログラミングすることで容易に回路修正に対応でき、直接プリント基板に手を加える必要がなくなる。

③ 少量多品種製品への有用性

表面実装部品や多層プリント基板を使用せず、高集積・高密度な設計ができ、さらに1個単位でチップの開発が可能のため、コストを抑えた少量多品種製品の製作が可能である。

④ 集積度の向上

大規模FPGAチップの普及とツール性能の向上により、さらに高集積な設計が可能である。

しかし、これらの利点は、設計者のノウハウやツール性能に大きく依存する 경우가多く、初期のデザインで期待した結果を得る事は難しく、経験を重ね FPGA チップとツールに習熟することで本来の性能を引き出すことが要求される。今回使用した FPGA 開発ツールは3年程前に導入したアンチフューズ専用のツールで、チップの再書き込みができなかったり、安価な製品のため開発ゲート数に制限を持っていた。このため、今年度新たに電氣的な消去／再書き込みができ、オンボード上のチップにプログラミング可能な開発ツールを整備した。これにより、今後、さらに大規模な FPGA の設計を効率的に行う環境が整い、本 FPGA 技術を種々の理化学計測器に適用し、開発期間の短縮や信頼性の向上に役立てたい。

FM-CWマイクロ波変位計を用いた心拍・呼吸計測装置の開発

電気通信大学 電子工学科

本村 和磨、荒井 郁男

1. はじめに

生体の体表面の振動や変位から心拍、呼吸などの生体情報をマイクロ波変位計は非接触、無拘束で検出できる。しかし連続波のマイクロ波センサではセンサや被験者の周辺物体の動きなどが妨害となる。この妨害を軽減するためにFM-CWレーダの距離分解能の機能を利用した変位計を開発し、心拍及び呼吸計測に応用し、良好な結果を得たので報告する。

2. 心拍・呼吸計測装置の動作原理

装置は図1に示すようにFM-CWマイクロ波部、タイミング・コントロール信号発生回路、受信増幅回路、パソコン・表示部で構成され、FM-CWマイクロ波を用いて生体の体表面の振動や変位を検出し、簡単な処理によって心拍や呼吸を高感度、安定に計測するものである。装置の動作原理は、FM-CWマイクロ波変位計の振動変位検出の原理と距離ゲートによる妨害軽減の原理に分けて考えることができる。

2. 1 FM-CWマイクロ波変位計の振動変位検出原理

図2はFM-CWマイクロ波センサ部の構成を示す。マイクロ波電圧制御発振器(マイクロ波VCOという)は掃引周期 T_s 、繰返し周期 T_r ののこぎり波状の駆動信号(のこぎり波信号という)でマイクロ波周波数 f_1 GHzから f_2 まで直線的に掃引発振する。発振出力はサーキュレータ、アンテナを通して送波され、振動体や隣接物、周辺物体から反射される。図3にのこぎり波信号とマイクロ波VCOの掃引発振信号及び物標からの受信信号の時間関係を示す。受信信号 $e_r(t)$ は発振出力の一部である参照信号 $e_t(t)$ とともに直交検波器に入力する。検波出力は送信から受信までの遅延時間、つまりアンテナと反射体までの距離に比例した周波数のビート信号が得られる。図2よりアンテナ・振動体間の距離を R_m 、隣接物まで R_{s1} 、周辺物体まで R_{s2} とすると、受信信号は

$$\begin{aligned} e_r(t) &= e_m(t) + e_{s1}(t) + e_{s2}(t) \\ &= E_m \cdot \exp[j\{\omega(t - \tau_m) + \theta_0\}] + E_{s1} \cdot \exp[j\{\omega(t - \tau_{s1}) + \theta_0\}] \\ &\quad + E_{s2} \cdot \exp[j\{\omega(t - \tau_{s2}) + \theta_0\}] \end{aligned} \quad (1)$$

ただし、 E_m , E_{s1} , E_{s2} : 振動体、隣接物及び周辺物体からの反射信号の受信電圧振幅、 $\omega = 2\pi f_1 + \frac{2\pi(f_2 - f_1)}{T_s} \cdot t = \omega_1 + \frac{\Delta\omega}{T_s} \cdot t$, $\tau_m = \frac{2R_m}{c}$, $\tau_{s1} = \frac{2R_{s1}}{c}$, $\tau_{s2} = \frac{2R_{s2}}{c}$ である。参照

信号 $e_t(t) = E_t \cdot \exp[j\{\omega t + \theta_0\}]$ とする。直交検波出力のビート信号は帯域通過フィルタ(バンドパスフィルタ)で周波数選択して取り出す。バンドパスフィルタの中心周波数を f_c 、帯域幅を B とし、振動体のビート周波数を $f_m = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{d}{dt}(\omega \tau_m) = \frac{2\Delta f}{T_s c} R_m$ 、隣接

物を $f_{s1} = \frac{2\Delta f}{T_s c} R_{s1}$ 、周辺物体を $f_{s2} = \frac{2\Delta f}{T_s c} R_{s2}$ とすると、 f_m と f_{s1} のみが $f_m - f_c \leq \frac{B}{2}$ 、 $f_{s1} - f_c \leq \frac{B}{2}$ を満たす場合、バンドパスフィルタ出力を掃引区間 k の掃引開始から時刻

t_i でサンプリングした電圧 (u_0, u_1) は $E_m, E_{sl} \ll E_t, r(t) \ll \lambda_1$ とすると、次式のようになる

$$\begin{bmatrix} u_0 \\ u_1 \end{bmatrix}_k = \begin{bmatrix} E_m \cos \phi_{mk}(t_i) + E_{sl} \cos \phi_{slk}(t_i) \\ -E_m \sin \phi_{mk}(t_i) - E_{sl} \sin \phi_{slk}(t_i) \end{bmatrix}_k \quad (2)$$

ただし、 $\phi_{mk}(t_i) = \omega_{mk} t_i + \omega_1 \tau_{mk} \approx (2\beta_1 + \Delta\beta \frac{t_i}{T_s}) R_{m0} + 2\beta_1 r_k(t_i)$ 、 $\phi_{slk}(t_i) \approx (2\beta_1 + \Delta\beta \frac{t_i}{T_s}) R_{sl}$ 、

$\beta_1 = \frac{2\pi}{\lambda_1}$ である。掃引区間 $k-1$ から k までの間に変化する量は振動体の変位で表される位相項 $2\beta_1 r_k(t_i)$ のみであり、他の成分は直流成分とすると、

$$\begin{bmatrix} u_0 \\ u_1 \end{bmatrix}_k = \begin{bmatrix} V_0 + u_{m0} \\ V_1 + u_{m1} \end{bmatrix}_k = \begin{bmatrix} V_0 + E_m \cos \{2\beta_1 r_k(t_i) + \phi_0\} \\ V_1 + E_m \sin \{2\beta_1 r_k(t_i) + \phi_0\} \end{bmatrix}_k \quad (3)$$

と表され、ただし、 $V_0 = E_{sl} \cos \phi_{slk}(t_i)$ 、 $V_1 = -E_{sl} \sin \phi_{slk}(t_i)$ 、 $\phi_0 = (2\beta_1 + \Delta\beta \frac{t_i}{T_s}) R_{m0}$ である。

図4に式(3)をベクトル表示したもので、振動体が $\lambda_1/2$ 変位することによってベクトル $S = [u_{m0}, u_{m1}]$ はオフセット成分 $O = [V_0, V_1]$ を中心とする円弧の軌跡を描く。式

(3) から振動変位を算出する方法は連続波のマイクロ波変位計で開発された次の2通りが適用できる。

- 1) オフセット成分 O を推定し、 $S = U - O$ を求め、掃引区間 $k-1$ と k 間の位相差を算出する位相差検出法 (文献 1)。定量的な変位が検出でき、呼吸の計測に適用できる。
- 2) 式(3) から直流分を除去すると、

$$\begin{bmatrix} u_0 \\ u_1 \end{bmatrix}_k = \begin{bmatrix} 2\beta_1 r_k(t_i) E_m \sin \phi_0 \\ 2\beta_1 r_k(t_i) E_m \cos \phi_0 \end{bmatrix}_k \quad (4)$$

と表され、心拍などの微小な振動変位の場合、直交座標で原点を通る直線のリサージュを描く。この直線の傾き $\alpha = u_0/u_1 = \tan \phi_0$ の推定値 $\hat{\phi}_0 = \tan^{-1}(\hat{\alpha})$ を求めて $v_{out} = u_0 \sin \hat{\phi}_0 + u_1 \cos \hat{\phi}_0 = 2\beta_1 r_k(t_i) E_m$ を算出する傾き推定法による振動変位検出法 (文献 2) が適用できる。

2. 2 距離ゲートによる周辺物体の妨害軽減

本装置の特長は、連続波マイクロ波変位計がセンサや計測対象の生体の周辺で動く物体によって受ける妨害をFM-CWマイクロ波の持つ距離弁別機能を距離ゲートとして用いて軽減することである。直交検波出力のビート信号周波数は

$$f_m = \frac{2\Delta f}{T_s c} R_m \quad (5)$$

距離 R_m に比例し、掃引周期 T_s に逆比例する。このビート周波数を掃引周期 T_s を可変調整してバンドパスフィルタの中心周波数 f_c に同調とり、振動体成分のみを選択抽出する。このようにしてバンドパスフィルタを用いる方法を距離ゲートという。

3. 試作器の概要

試作器の外観を図5に示す。マイクロ波VCOはアバンテックのVTO-8850を用いて9.0 から 9.3 GHz まで帯域幅 300 MHz 掃引する。マイクロ波センサ部の直交検波出力は信号処理部の4次バターワースローパスフィルタと4次のバターワースハイパ

スフィルタで構成したバンドパスフィルタに入力され、周波数選択して増幅する。その出力は掃引繰返し周期に同期してサンプリングし、ローパスフィルタで平滑化してパソコンに取り込む。パソコンに取り込む方法に2通りの方法がある。位相差検出方式の場合、サンプリングの後のローパスフィルタ出力をそのまま取り込む。傾き推定法の場合、平滑のローパスフィルタ出力をコンデンサと抵抗回路で直流カットして取り込む。信号処理部にはこの他、タイミング信号発生回路、マイクロ波VCO駆動信号発生回路などが組み込まれている。図6にバンドパスフィルタの周波数特性の周波数軸を距離に換算して表示したものである。

4. 計測例

図7に位相差検出法による呼吸の計測例を示す。被験者をセンサから3mの位置に椅子に着席させて測定したものである。図8は同一被験者を呼吸を止めて傾き推定法によって心拍を検出したものである。図9は傾き推定法で距離1.85mの位置に置いたスピーカの振動を計測した例である。スピーカは周波数1.0 Hzで振れ幅 $20.6\ \mu\text{m}$ で振動している。

6. おわりに

FM-CWマイクロ波を用いた変位計の一方式を提案し、センサから3m離れた被験者の心拍と呼吸の計測例を示した。今後、周辺物体の妨害の軽減量、検出感度などについて理論検討および実験値と比較検討する。さらに、臨床応用し、本装置の有効性を確認する。

文献

- 1) 荒井郁男、鈴木 務：マイクロ波生体変位計の一方式、電子通信学会論文誌、J67-C-6、513/520 (1986)
- 2) 本村和磨、荒井郁男：2.4 GHzマイクロ波心拍モニタの開発、医用電子と生体工学、Vol. 35 No. 3 265/271 (1997)

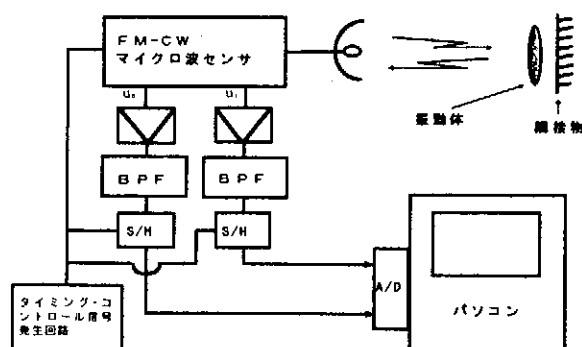


図1 FM-CWマイクロ波変位計を用いた心拍・呼吸計測装置の構成

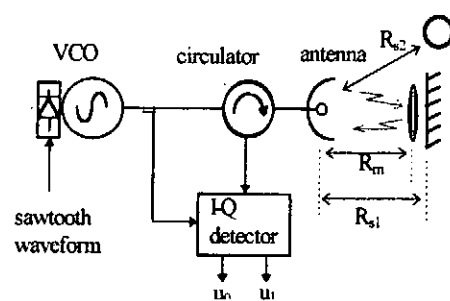


図2 FM-CWマイクロ波センサ部の構成

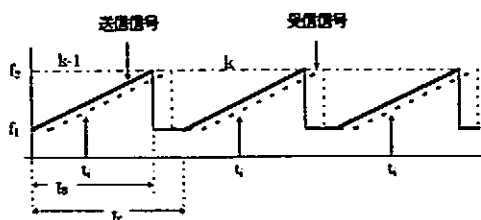


図3 掃引周期と掃引周波数の時間関係

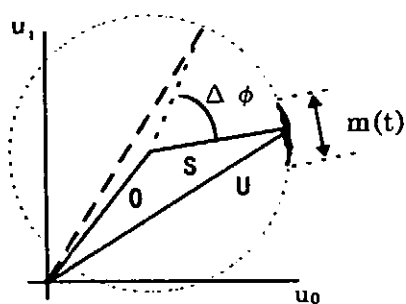


図4 直交検波出力のベクトル表示



図5 装置の外観

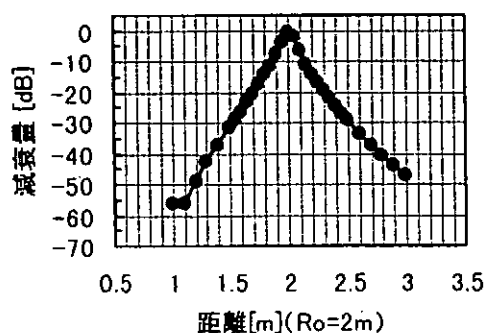


図6 バンドパスフィルタの特性

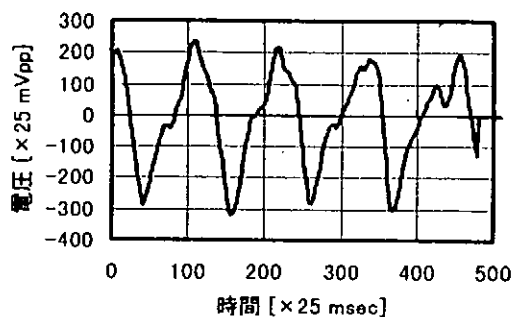


図7 呼吸計測例 センサと被験者間距離：3 m

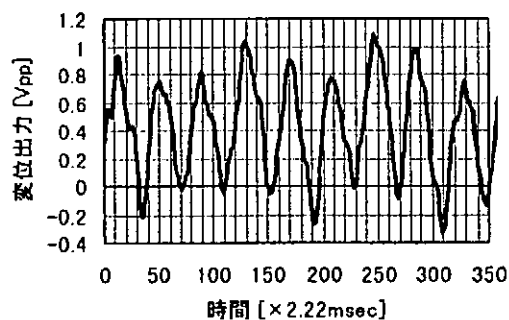


図9 スピーカ振動計測例
スピーカとセンサ間距離：1.85m
 $f=1.0\text{Hz}$, 振れ幅 $=20.6\text{ }\mu\text{m}$

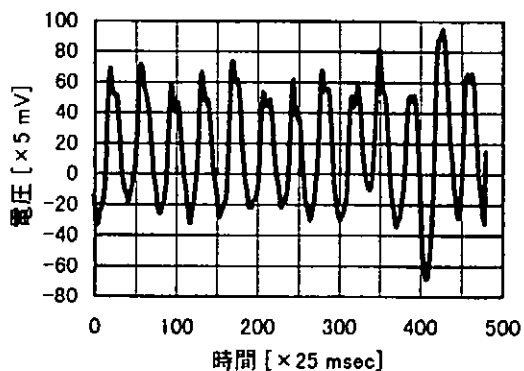


図8 心拍計測例
センサー被験者間距離：3 m

大気観測用レーザ・レーダの三次元データ収集システムの構築

信州大学工学部情報工学科 ○小林史利 久保田康裕

1. はじめに

レーザ・レーダによる大気環境計測では、レーザ光を大気中に送信し、その散乱光を望遠鏡で受信し、散乱光強度からエアロゾル分布を求め表示する方式で、広範囲の領域をリアルタイムで遠隔測定ができる特徴を備えている。既に観測された同レーダによる水平方向掃引データ（地上20m, 距離分解能6m, 掃引範囲半径3km）からは、市街地での風向きによるエアロゾルの流れ、および交通量の多い幹線道路近傍における高濃度エアロゾルの発生を捕らえるなど貴重な情報を得ている。しかしながら、同システムは水平方向の掃引装置を有しているのみである。このため、市街地上空のエアロゾルの分布を三次元で捕らえることが困難な状況にある。そこで、現在のシステムに鉛直方向の掃引を付加し、三次元データ収集システムの構築を試みた。

2. レーザ・レーダの構成

本研究で開発したシステムの構成を図1に示し、受信部のパラメータを表1に示した。送信レーザにはYAGレーザ光の第2高調波532nmを用い、受信望遠鏡上部に固定したレーザヘッドより2枚の全反射ミラーを用いて受信望遠鏡の開口部より射出されている。散乱光は望遠鏡で集光され、干渉フィルターで特定の波長を選択し、光電子増倍管で光電変換される。また、変換後の信号はA/D変換された後、時系列のデータとして保存される。同システムは、本学部情報工学科棟（6F）屋上ドーム内に設置され、望遠鏡架台下部に設置されているステッピングモータにより、水平方向の掃引を行い、架台側面に設置されているウォームギアによって鉛直方向に手動で掃引することができる。

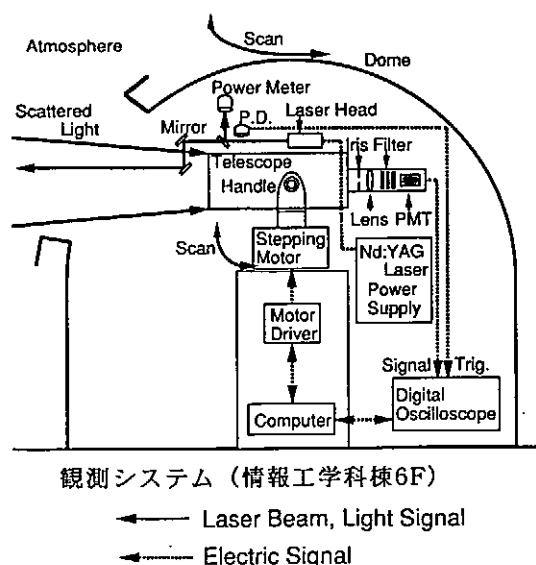


図1 システムの構成

表1 受信部のパラメータ

| 受信望遠鏡 | |
|-----------|----------------------|
| 形式 | ニュートン型反射望遠鏡 |
| 口径 | 45 cm |
| 有効面積 | 1342 cm ² |
| 焦点距離 | 1 m |
| 効率 | 47.4 % |
| フィルタ | |
| 狭帯域干渉フィルタ | 003FC10-25 (ANDOVER) |
| 中心波長 | 532.0 (+0.2/-0.0) nm |
| 半値全幅 | 0.30 (±0.10) nm |
| 透過率 | 30 % |
| 色ガラスフィルタ | 495FG03-25 (ANDOVER) |
| エッジフィルタ | 550FL07-25 (ANDOVER) |
| 光電子増倍管 | |
| 量子効率 | 0.09 |
| 最高感度波長 | 420 nm |

2-1. 受信系

当初は先に述べた受信望遠鏡架台側面のウォームギアの替わりにパルスモータを取り付け（写真1参照）、鉛直方向の掃印を行う予定であった。

しかし、2軸掃印可能なカセグレイン型の望遠鏡（写真2参照）が校費により購入される運びとなり、本研究は同望遠鏡の上部にレーザヘッドを固定することを始め、光電変換部の改良、さらにはパソコンによる望遠鏡の制御にまで及んだ。

（1）光電変換部の改良

受信望遠鏡がニュートン型から、カセグレイン型への変更にともない、光電変換部の改良を行った。これは、鏡筒において両者の接眼部位が異なるため、従来の光電変換部を採用した場合、鉛直方向回転において架台に接触してしまうためである。改良後の光電変換部の概略を図2に示し、表2に両者の光電子増倍管の特性をも示した。両者の構造はほとんど同じであるが、改良型（表右側）においては小口径のレンズならび光電子増倍管を採用し、小型化を図った。

（2）光電変換部の比較実験

製作した新たな光電変換部と従来の変換部の比較を行うため、ニュートン型の望遠鏡にそれぞれの光電変換部を交互につけ、同じデータ処理系を用いて約3 km前方の山からのエコー波形を測定した。

比較実験の方法を図3に示し、約1分毎に7分間にわたって得られた波形を図4(a),(b)に示した。(a)は従来の変換部で光電子増倍管にR268を使用し、1997年7月23日23時9分より測定したものである。(b)は新たな変換部で、メタルパッケージの光電子増倍管R5600U（いずれ

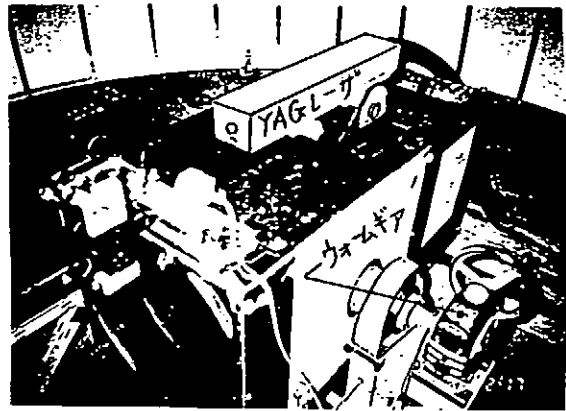


写真1 ニュートン型望遠鏡（手製）

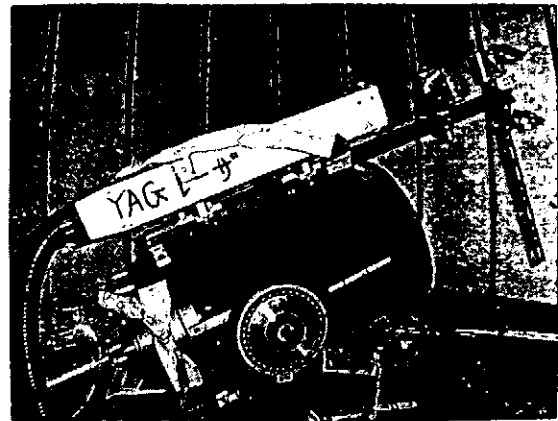


写真2 カセグレイン型望遠鏡

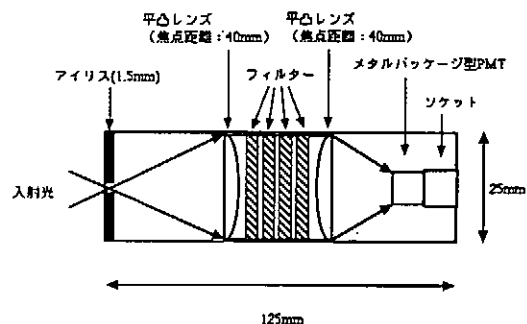


図2 光電変換部の概略

表2 光電子増倍管の特性

| | R268 | R5600U |
|---------------------------------|-------------------|-----------------|
| 印加電圧(V) | -1000 | -800 |
| 陰極感度($\mu\text{A}/\text{lm}$) | 95 | 100 |
| 陽極感度(A/lm) | 200 | 30 |
| 電流増倍率 | 2.1×10^4 | 3×10^5 |
| 暗電流(nA) | 10 | 1 |
| 応答速度(ns) | 12 | 0.65 |

もハマホト) を使用し、同日 22 時 31 分から測定したものである。その結果、両者とも 0 km 付近に大きな信号がみられ、さらに 3.2 km 付近にもエコー波形が明確にみられた。これらは、レーザ光と望遠鏡の視野の重なり、および山からの反射を示しており、いずれの場合も(b)の方が急峻な信号の立ち上がりを示している。これは表 2 に示した光電子増倍管の応答速度の違いが反映されたためと考えられる。これらの結果より、両者ともに山からのエコー波形を 3.2km 付近にほぼ同じ信号強度で捕えることができたことから、改良後の光電変換部は実用に十分耐えうるとした。

3. パソコンを用いた水平および垂直軸方向の回転制御

新たに購入された望遠鏡は、赤緯、経緯を入力することにより、その方向に鏡筒を回転制御できる。そのため、通常の水平および垂直方向の回転は、コントローラの地上モードを選択し、上下左右ボタンを押して可動することになる。

パソコンによる制御は、パソコンと望遠鏡の制御部を RS232C ケーブルで接続して、制御信号をパソコンより送信する。そのプログラムの原形を表 3 に示した。これは、パソコンからシリアル信号を送出し、鉛直方向より観察して単に時計方向に回転させるものである。そのため、今後、水平方向の回転については、表 3 のプログラムの 30～80 行を何回かループさせることにより希望の回転角を得ること。鉛直方向については、鏡筒部にデジタル角度計を設置し、希望の角度に到達した時点で、回転を停止するプログラムを追加する必要がある。

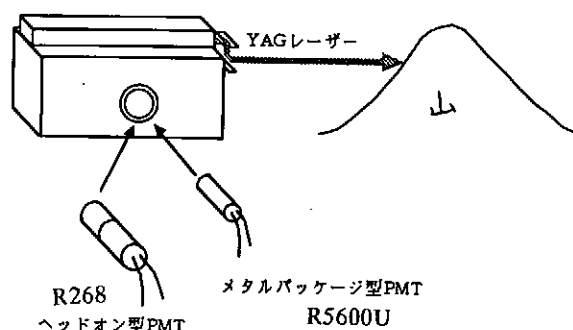
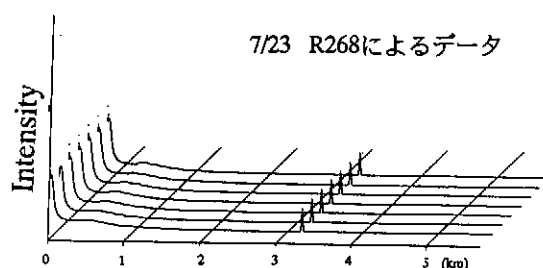
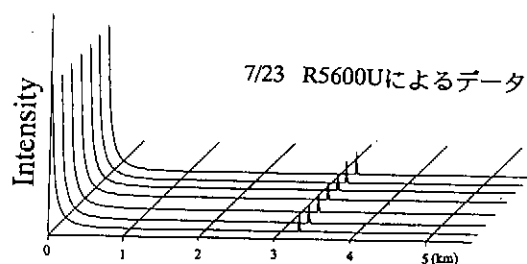


図3 比較実験の方法



(a) 従来の変換部使用した場合



(b) 新たな変換部使用した場合

図4 光電変換部の比較実験

表3 通信プログラム

```

10 CLS
20 DEFSTR A-X
30 OPEN "COM:N81" AS #1
40 A$ = "#:Mw#"
50 PRINT "A$=" A$
60 PRINT #1,A$
70 PRINT "end A$=" A$
80 CLOSE #1
90 END

```

4. 三次元表示

これまでの掃引観測は、図4に示す水平方向の観測をおもに行ってきたが、今回は鉛直掃引をも加え三次元掃引システムを構築し、図5に示すような掃引手順によりデータを収集し、表示しようとするものである。同図において、1から5は、1回あたり45度の鉛直掃引を示し、A,B,Cは、データ解析によって得られるエアロゾル濃度分布画像を示している。そのため、三次元観測解析を行うにあたり、観測パラメータとして、鉛直掃引ステップ数と水平方向分解角が測定空間のおよび時間的分解能に大きく影響することになる。鉛直掃引ステップ数10

(5° /ステップ)、水平方向 5° として予備的行った三次元表示の一例を図6に示す。この結果はニュートン型の従来の受光システムにより、三次元表示したものである。これは、1997年2月2日の午前0時から午前1時までのデータを元に、観測地点より1.0kmから1.2 km先のエアロゾル濃度分布を表示したものである。観測時の極座標を平面座標に変換して表示されている。

5. まとめ

三次元データ収集システムの構築を目指して、研究開発を行ってきた。その結果、レーザヘッドは出力ミラー位置に不安が残るものの確実に固定することができた。また光電変換部については、新たに製作し、フィールド実験を行い従来と同等の性能を持つことを確認した。パソコンによる制御については、多くの課題を残したが、データ処理については、予備実験よりその道筋を付けることができた。今後、さらに研究を進めたい。

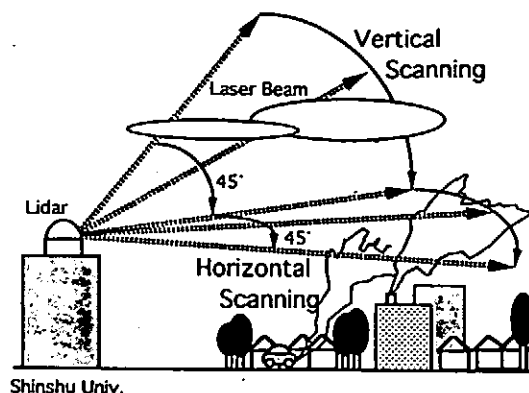


図4 掃引観測の概略

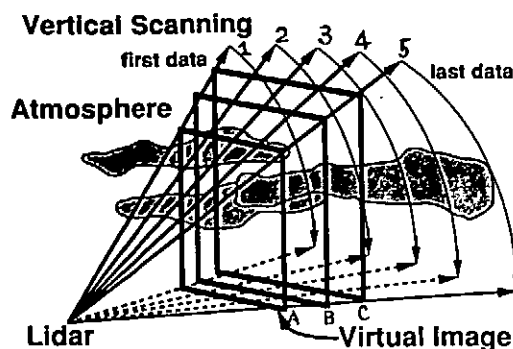


図5 三次元観測イメージ

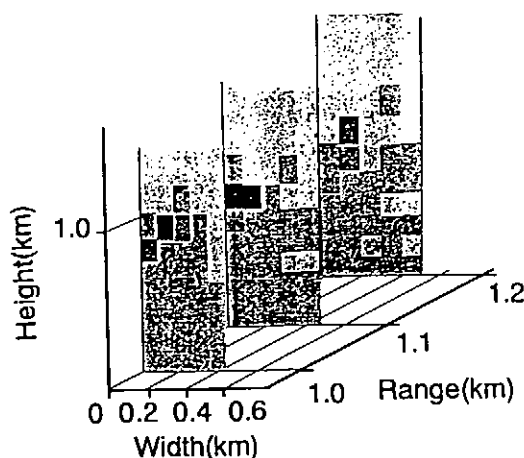


図6 三次元表示例

キャビティー部を有する管路内水流の可視化

埼玉大学工学部 細井健司、川橋正昭

〒338 埼玉県浦和市下大久保255

FAX 048-858-3711、TEL 048-858-3448

E-mail khosoi@mech.saitama-u.ac.jp

mkawa@mech.saitama-u.ac.jp

1、概要

比較的高レイノルズ領域において管路途中にキャビティーが存在すると、キャビティー部で剥離せん断層が形成され、その不安定性によりキャビティー内に複雑な流れが生じる。その結果、そのキャビティー内部で生じる圧力変動によって、管路振動や流体音が発生することが知られている。キャビティーから発生するその圧力変動は、キャビティーの形状によって周波数特性が変化するために、キャビティー内部に発生する音響場との関係も調べられている。さらに衝撃波風洞を用いて2次元キャビティー形状に対する圧力変動振幅の変化と内部流れとの関係をシュリーレン法や油膜法などの可視化手法で調べられているが、その流動状態はまだ十分に解明されていない。

ところで、瞬時の流れ場を可視化するためのパルス照明法には、連続発信レーザからのビーム光をスイープする照明法とパルスレーザからのビーム光をシート状に広げる照明法とがある。前者の照明法を利用して著者らは、スペックル写真法に基づく画像流速計であるビームスイープレーザスペックル流速計を利用してきた。そこで本報告では、後者の照明法を用いてキャビティー内流れにスペックル法を適用して流速分布計測を試み、さらに流れの状態をレーザライトシート法により可視化し、流動状態を明らかにすることを目的とする。計測対象の流れは、円筒状キャビティー部を有する円管内の水流である。

2、実験方法

図1は、本実験に用いた実験装置概略図を示す。管路系は、渦巻きポンプ ($0.8 \text{ m}^3/\text{min}$)、管路系、試験部、オーバーフロー部、流量計（オリフィス）から構成される。作動流体は、水である。ポンプからの流体は、整流格子によって流れが整えられてから絞り（絞り比9:1）を通過して、

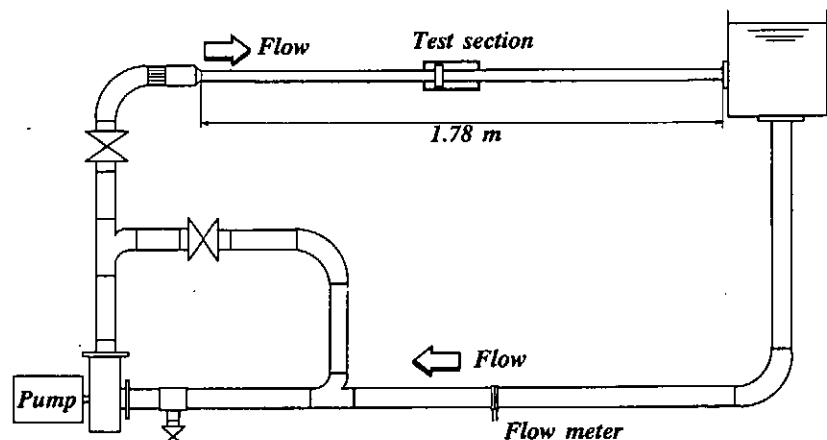


図1. 実験装置

透明アクリルパイプの直管部（長さ約1.2 m）に入る。流量は、インバータによるモータ回転

数制御により調整した。試験部は、透明なアクリル板製からなり、内径が25mmである。試験部下流にはオーバーフロー部があり、観測部にかかる水圧を一定にした。図2は、観測部の幾何形状を示す。図2に示すようにキャビティー内径は50mmであり、キャビティー長さLを8.3~26.9mmの範囲で変化させた。圧力測定は、KISTLER701Aを用いてキャビティー拡大部下流側の3.1mmの位置で行った。

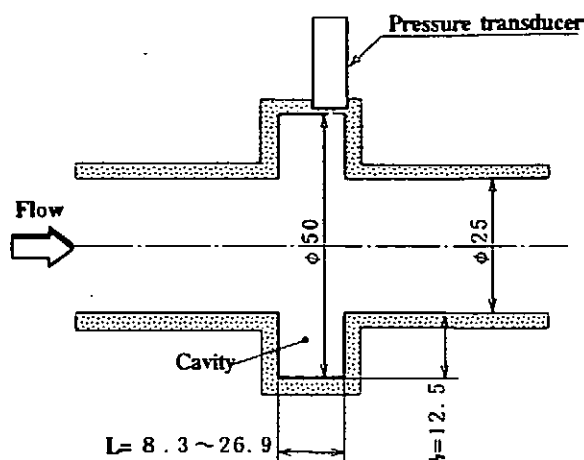


図2. キャビティー形状

可視化は、レーザライトシート法で行った。光学系は図3に

示すように、レーザ光源

(Ar-Ion Laser (4 W)

または Nd-YAG Laser

(100mJ/pulse、発光時間約10 ns、ダブルパルスの発光時間間隔 25 μs ~ 250 μs)、ミラー、

凹レンズ、シリンドリカルレンズからなる。レーザ光源からのビーム光は、

ミラーを介して凹レンズ

で流路方向に広げられ、シリン

ドリカルレンズによって管路系

の下方から管路中央断面で焦点

を結ぶように設定してある。試

験部のキャビティー部分は、屈

折率調整用の可視化水槽に浸し

て行った。水槽は、レーザ光が

入射する下面側と観測部側面が

透明なガラスのからなる箱型形

状であり、水を満たしてある。

可視化に用いたトレーサは、比重 1.1、平均粒径 10 μm の中空ガラスビーズ (東芝製 : HSC110)

である。このトレーサ約 1.5 g を超音波洗浄機に 5 分ほどかけてから、実験装置のオーバーフローから混入させた。

可視化の記録には、35mm スチールカメラ Nikon F4 (5.7 コマ毎秒)、マイクロニッコールレ

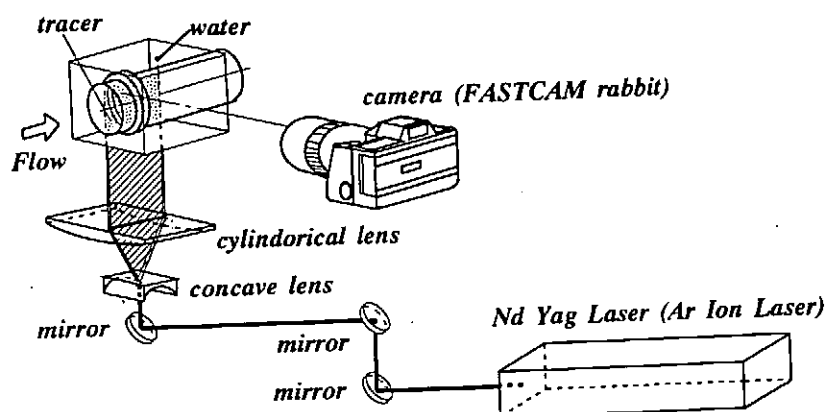


図3. 光学系

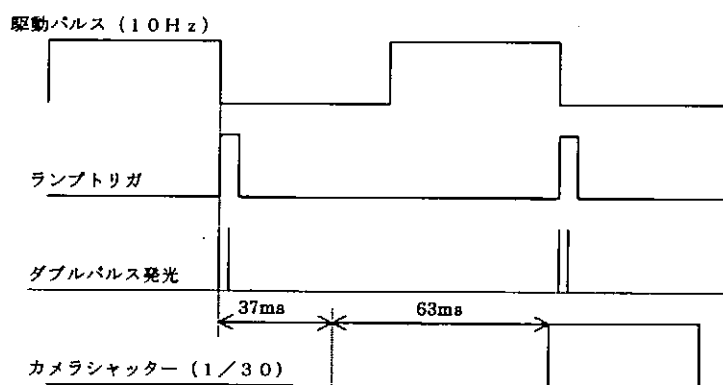


図4. タイムチャート

可視化に用いたトレーサは、比重 1.1、平均粒径 10 μm の中空ガラスビーズ (東芝製 : HSC110) である。このトレーサ約 1.5 g を超音波洗浄機に 5 分ほどかけてから、実験装置のオーバーフローから混入させた。

可視化の記録には、35mm スチールカメラ Nikon F4 (5.7 コマ毎秒)、マイクロニッコールレ

レンズ 105mm (F2.8) 及びテレコンバータ付き (TC-301) マイクロニッコール 200mm (F4) を用いた。次に YAG レーザを用いて、スペックル写真を撮影するためのタイムチャートを図 4 に示す。

二重露光スペックル写真は、10Hz 周期で発振しているレーザに同期させて撮影した。すなわち YAG レーザの発光が、駆動パルス (10Hz) の立ち下がり後、約 $100\mu s$ であるのでカメラの撮影タイミングは、この駆動パルス信号の立ち下がりを利用した。カメラの特性としてシャッターの撮影信号が入力されてから、約 6.3ms 後にシャッターの先幕が動作するので、カメラに入力する撮影信号は、約 37ms 遅延させた。

3、実験結果

最初にキャビティ長さ L とキャビティ高さ h との比 L/h が 1.15~2.15 の場合について、円筒状キャビティ壁面に取り付けた圧力変換器により圧力測定を行った。測定は、変動圧力波形を FFT 装置に入力し、50 回分の瞬時データを平均した。図 5(a)(b) は、それぞれキャビティ無し (直管) とキャビティのある場合 ($L/h=1.15$) の圧力波形の FFT 結果を示す。図 5(a) は、循環系管路のために生じているポンプの変動成分が示されている。同図(b)の波形には、 $L/h=1.15$ の場合だけキャビティから発生したと思われるピークが 675Hz で現れた。尚作動流体が圧縮性流体の場合に矩形キャビティから生じるキャビティ音の周波数 (キャビティ長さ / 平均流速値 = 700Hz) と比較すると、同じオーダーの周波数である。

次に $L/h=1.15$ のキャビティ内流れにスペックル法を適用し、得られたスペックル写真を図 6 に示す。撮影倍率と発光時間間隔は、それぞれ 0.85、 $150\mu s$ である。しかしこの可視化された写真中には二重露光粒子数が少なく、キャビティ内の流速ベクトル線図が得られなかった。

次に、レーザライトシート法によって可視化実験を行った。図 7 は、それぞれ $L/h=1.15$ 、1.65 の観測部全体の可視化写真である。撮影には、KODAK Tmax-3200P フィルムを使用し、シャッタースピード 1/2000 秒で行った。この可視化結果から、キャビティ内部に形成されるリング状渦の存在が観察される。 $L/h=1.15$ の場合には、キャビティ内部で回転する流れの角速度が大きく、安定したリング状渦が形成されている状態を示している。キャビティ内の回転する流れの中心は、キャビティの中央部付近に位置している。しかし $L/h=1.65$ のようにキャビティ長さが長くなると、回転流れの中心位置が下流に移動し、明確な渦を形成せずに極め

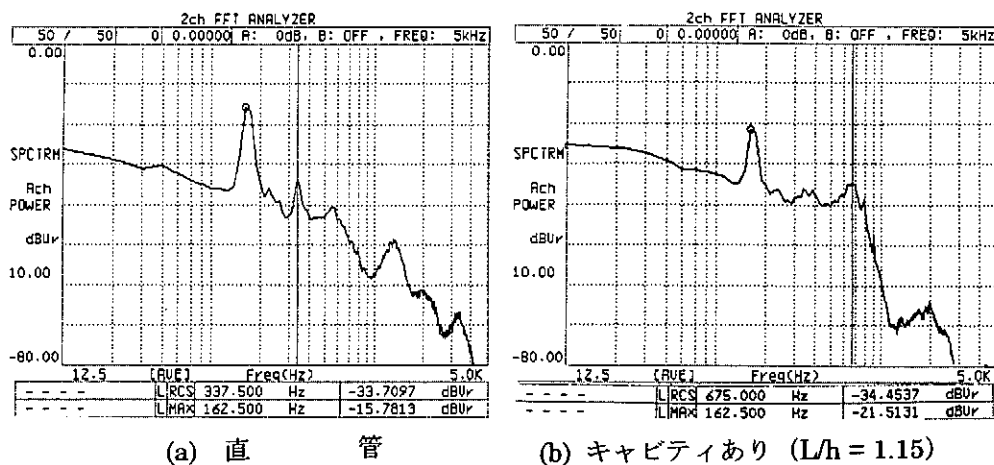
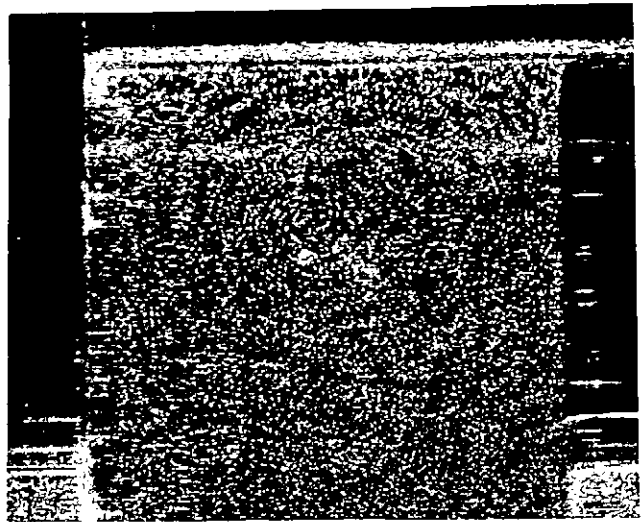


図 5. 圧力波形の FFT 結果

て複雑で非定常性の強い流れとなっていることが観察される。また、前縁部から発達する剥離せん断層は波打っており、ほぼ一定の波長を保って後縁部に衝突し、後縁部で周期的に主流部と干渉していることが分かる。せん断層が波打つ現象は、 $L/h=1.15$ 、 1.65 のどちらの状態でも観察された。このことから、キャビティーによる管内擾乱の発生の一因が明らかにされた。



$L/h = 1.15$

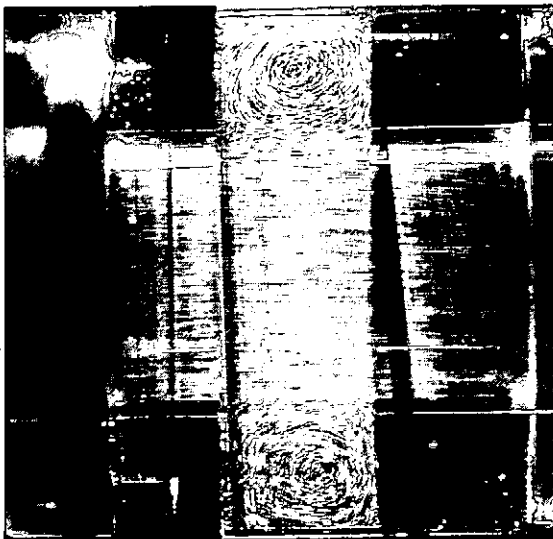
図 6. スペックル写真

4. まとめ

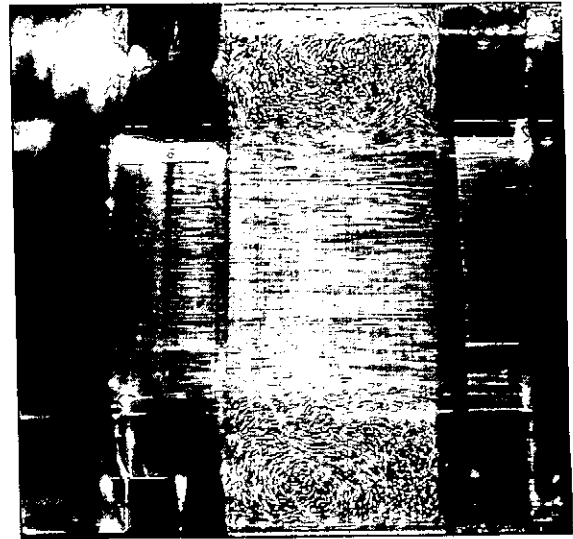
円筒状のキャビティーを有する円管内流れにレーザライトシート法を適用した結果、キャビティー内の定性的な流動状態が明らかになった。 $L/h=1.15$ のキャビティー内流れに YAG レーザ光源を使用したスペックル法を適用したが、記録されたトレーサ粒子数などに問題があり流速ベクトル分布を求めるまでに至らなかった。

参考文献

- 1) 望月修、丸田芳幸：流体音工学入門、朝倉書店、1996、p89-p91
- 2) 長船、他 2：超音速キャビティー内の圧力変動と流れ構造との関連性、可視化情報、vol17. Suppl.No1(1977)p297-300
- 3) 細井「DBS-LSV 光学系の試作」核融合科学研究所技術研究会、p132、1991
- 4) 細井、川橋「高速回転する多翼ファン翼間流れの可視化技術」岡崎国立共同研究機構分子科学研究所技術研究会、1996.7 No15,pp112-115



(a) $L/h = 1.15$



(b) $L/h = 1.65$

図 7. キャビティー内流れ

LabVIEW を用いた電子サイクロトロン加熱 (ECH) 計測システムの開発

核融合科学研究所 ○伊藤 哲、多喜田 泰幸、小林 策治
佐藤 元泰、下妻 隆、出射 浩
久保 伸、吉村 泰夫、大久保 邦三

1.はじめに

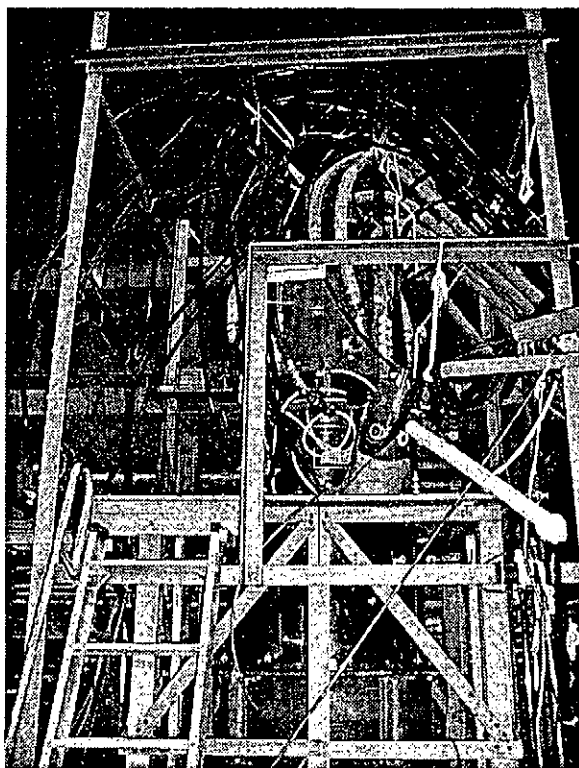
核融合科学研究所では、大型ヘリカル実験装置(LHD)における加熱装置の一つとしてECH(電子サイクロトロン加熱)を用い、その発振源に84GHzと168GHzのジャイロトロンを使用すべく準備を進めている。とりわけ、84GHz ジャイロトロンは初期プラズマを生成するために不可欠なパワーソースであり、単管あたりの出力500kW 程度でのCW (continuous wave) 運転をめざして出力試験を行っているところである。しかし、発振効率が30%程度のジャイロトロンを定常動作させるためには、ジャイロトロン各部の冷却水による十分な熱除去を行うことが必要である。また同時に、これらの冷却チャンネルの冷却水の温度上昇をモニタすることは、ジャイロトロンの安定動作にとって、重要なモニター項目であることから、異常発熱の監視や熱量を計測するシステムの開発を急いでいる。

そこで、今回我々は、LabVIEW を用いてジャイロトロン各部の冷却水の温度上昇を取り込み、各部の熱量およびパワーの計測システムを開発中することとなった。

2.ジャイロトロンの性能と計測システム

単管あたり 500kW を出力するジャイロトロンでは運転状態によって熱負荷が大きく異なる。発振時間が数ms~1s までのパルス運転では各部の負荷も大きくなく、また温度上昇も飽和点に達した後、一定値を保とうとすることが多い。このため温度モニタは異常値等の監視中心だが、数分~数時間運転し続けるCW 運転では温度上昇の飽和点をつかみにくい。また、異常な温度上昇による運転状況を判断するためには、各部の温度上昇割合をモニタし、冷却水流量とあわせて熱量を算出し、監視することも必須である。

よって、この計測システムの冷却水の計測内容としては以下のように設定した。



84GHz ジャイロトロン

- ・冷却水(純水) : 通常使用温度 20~40℃、流量 5~850(l/min)、水圧 1~13(kgf/cm²)
- ・測定条件 : 流出入温度差 5 桁(小数点以下3桁)、15~20 点/0.5sec
- ・測定器具 : 測温抵抗体 Pt 1k Ω
- ・計測機器 : KEITHLEY 2000 (デジタルメータ A/D C、最大値 6 $\frac{1}{2}$ 桁)
KEITHLEY 7001 (スキャナスイッチ 最大スキャンレート 2000 回/s、80ch)
- ・通信インターフェイス : GPIB (PC~KEITHLEY 2000,7001)
- ・計算機仕様 : CPU intel pentium200MHz、DRAM 64MB、OS WindowsNT 4.0

3. LabVIEW について

LabVIEW(Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench：日本ナショナルインスツルメンツ社製)は計測用グラフィカルソフトウェアである。一般的に計測データを計測器を通してパソコンに取り込む際、ソフトウェアはテキストベースのCやBASICを用いてシステムを構築することが多い。この場合、プログラミングは手間がかかり、全体の流れ図など把握しにくい。また、初心者にとってはデバッグも容易ではない。ところが、LabVIEWはグラフィックベースであるので全体図がわかりやすく、最近の計算機のOSの優れたユーザーインターフェイスのように初心者でも取り組みやすいと思われる。

この LabVIEW の特長は、まず表示機能の充実さがある。テキストベースのプログラミング言語では例えば、ボタンやメーター、グラフ等を表示させたいとき、それだけで計測プログラムと同じくらいの手間がかかる。ところが、LabVIEW ではモジュール化された既存の各プログラムをグラフィカルに結線するだけで済む。プログラム本体では、前述のような表示部(数値、グラフなど)と処理部(演算、計測など)は一画面上で共存しており、入力、処理、出力といった一連の動作は一目瞭然である。

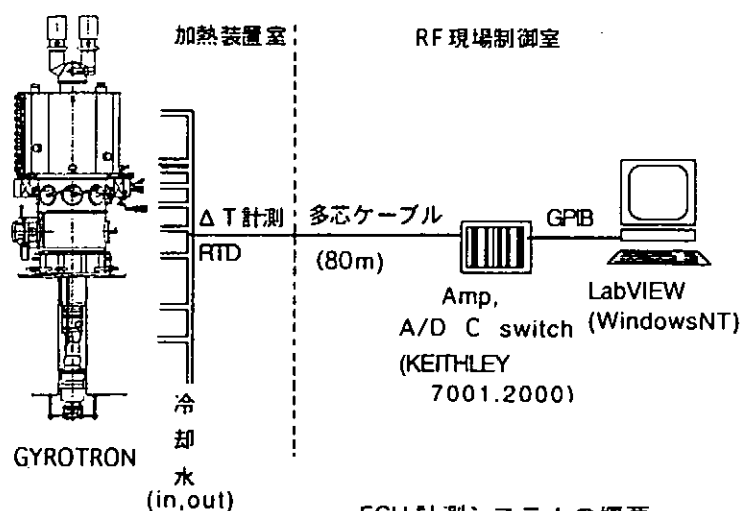
次にプログラミングの便利さでは、デバッグ時でのエラーメッセージが表示や、各処理が段階的、1step ずつ進行させることが可能であるので、問題点の特定や処理の検出も容易であるということである。また、階層構造になっているので一つ一つの処理が煩雑にならず、全体図を把握しやすいこともある。しかし、計測器を用いてデータを処理する時に最も効果的であるのは、計測器の操作プログラムがドライバとして LabVIEW に添付していることである。これはいちいち計測器の基本的動作(コマンド)をプログラミングする必要がなく、データの処理に主眼をおけるので作業量が減るということである。もちろん使用する計測器のドライバが LabVIEW に添付していなくても、自分で作ればいいので困ることはない。

LabVIEW においてグラフ等の表示画面はフロントパネルと呼ばれ、処理プログラミング部はブロックダイアグラムと呼び、各階層別のフロントパネル、ブロックダイアグラムは VI(Virtual Instrument)と呼んでいるので以下そのように統一する。

この LabVIEW のプログラムの流れは、まず数値や条件の入力項目とグラフや LED 等の出力項目をフロントパネルに置き、(置いた時点でブロックダイアグラムの方にこの変数が表示される)次にブロックダイアグラムに入力値やその条件に対する演算処理を行って出力する。このとき、LabVIEW はいろいろな関数を持っているので(もちろんグラフィカルなものである)自作する必要はめったにない。また、いわゆるループ処理をも持ちあわせている。これらをブロックダイアグラム上に配置した後すべてをワイヤと呼ばれる線で結べば完成である。

4. ECH 計測システム

我々 ECH グループでは右図のシステムで前述 2. での条件でジャイロトロン各部の熱負荷を計測している。ジャイロトロンおよびその電源、純水冷却水等は加熱装置室に置かれ、伝送系導波管は加熱装置室より本体室へと通じている。運転、計測等の操作は隣の RF 現場制御室で行われる。その間約 30m 程であるが、上下の伝送距離で計測線は約 80m となっている。制御室で A/D 変換されたデータは GPIB を介してパソコンに取



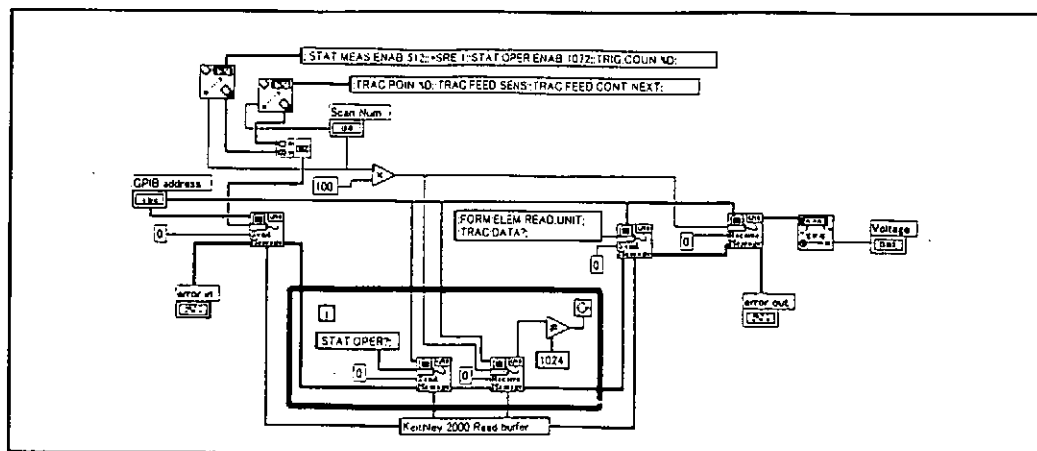
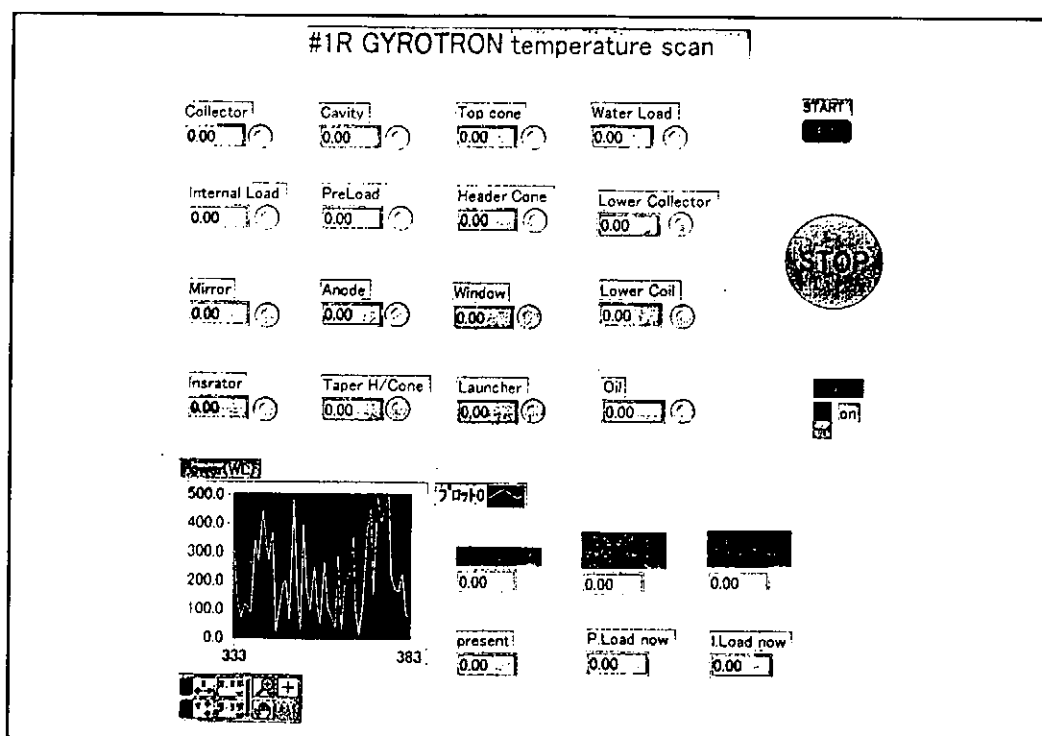
ECH 計測システムの概要

り込まれる。そのデータを LabVIEW で処理するのが ECH 計測システムの流れである。

各冷却水のチャンネルでは出入口の温度差を 4～5 桁の精度で検出している。パルス運転および CW 運転の状況によってはジャイロトロンは最大 500kW のパワーを出力する。このとき、ジャイロトロンのマイクロ波出力窓の温度は窓材の限界点に近づく。このような状況下では各部において上昇していく熱量の割合を監視し続けることは極めて重要である。これは異常時にジャイロトロンを保護するためにも必要不可欠である。

20 チャンネル近くもの温度を 0.5 秒間にスキャンし続けるのに特に問題はない。むしろ 0.5 秒ごとに送られてくるデータを処理し続ける LabVIEW に重点を置かなくてはならない。0.5 秒ごとに GPIB を介してデータを受信し、そのデータを演算し、グラフを更新し、ファイルに保存するためには無駄な時間を浪費してはならない。そのため最初はプログラムの構築のみに主眼をおいていたが、0.5 秒ごとの処理を考えるともっとスマートなプログラミングが必要となってくる。例えば、ブロックダイアグラムでは演算処理に多数のループや計測器の不必要な操作が行われていたのは明らかに処理能力の低下であった。

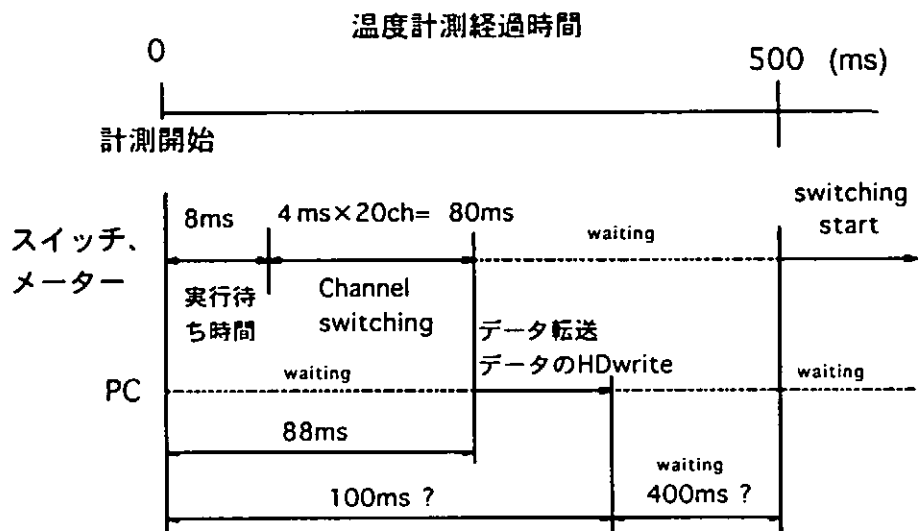
最終的に ECH 計測システムでは 15 点の温度を計測し、そのうちの 1 つについて冷却水流量より熱量を求めグラフ化した。また、重要な点については最大値、警告 LED をつけた。このシステムのフロントパネル、ブロックダイアグラムの一部を下に示す。



5.まとめ

①計測レート

現在未だ開発途中であるECH計測システムは冷却水の温度計測を0.5秒おきに行うものである。ところが、下のタイムチャートに示されているように500ms毎の計測のうち温度測定を行っているのは



※AMPの性能上最小計測レートが500ms/回

っているのは100msである。データの取り込みとしては200ms毎程度の計測シーケンスが可能ではあるが、測温抵抗体の温度換算部の出力が0.5sで律速となっているため、これ以上の計測レートの短縮は無意味であろう。また、冷却水の熱量に

対する反応がそれほど速くないことを考えても現状のままで十分と思われる。

②信号の伝送

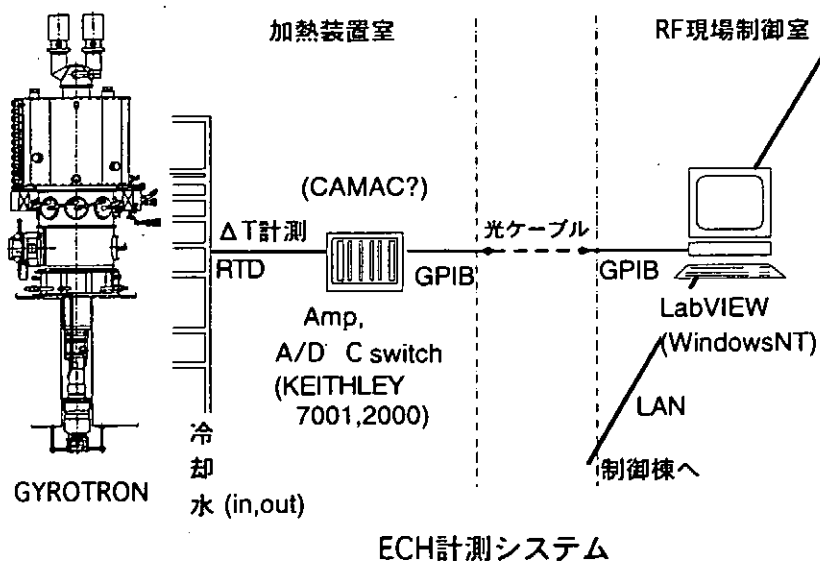
また、現時点のシステムでは温度（抵抗）の伝送に80mもかけている。これはノイズの収拾が見られる可能性もあるので、この間を短縮し、GPIBを光で延長すべきであると考えられる。また、データの共有を考えると、ネットワークにつなげるべきでもある。これら将来的なシステム図を下に示す。

③今後について

プログラミングの経験も少ない私にとって、これが初めてのLabVIEWの使用であったが、前述のような特徴を備えたソフトウェアのおかげで初心者の私でもなんとかプログラムを構築することができた。当初は多少手ごわかったが、参考資料として例題が掲

載されていたので大いに助かった。また、デバッグ作業も他の言語と比べて短い時間で済んだような気がした。

今後は、LabVIEWには他にもいろいろなデータ収集ツールをそろえているので、それらを用いて超伝導マグネットの制御や真空計等の計測、出力波形観測などを進めていきたい。



中性子位置敏感検出器 (Position Sensitive Detector : PSD) システムの開発

高エネルギー加速器研究機構 佐藤節夫、古坂道弘

中性子実験施設について

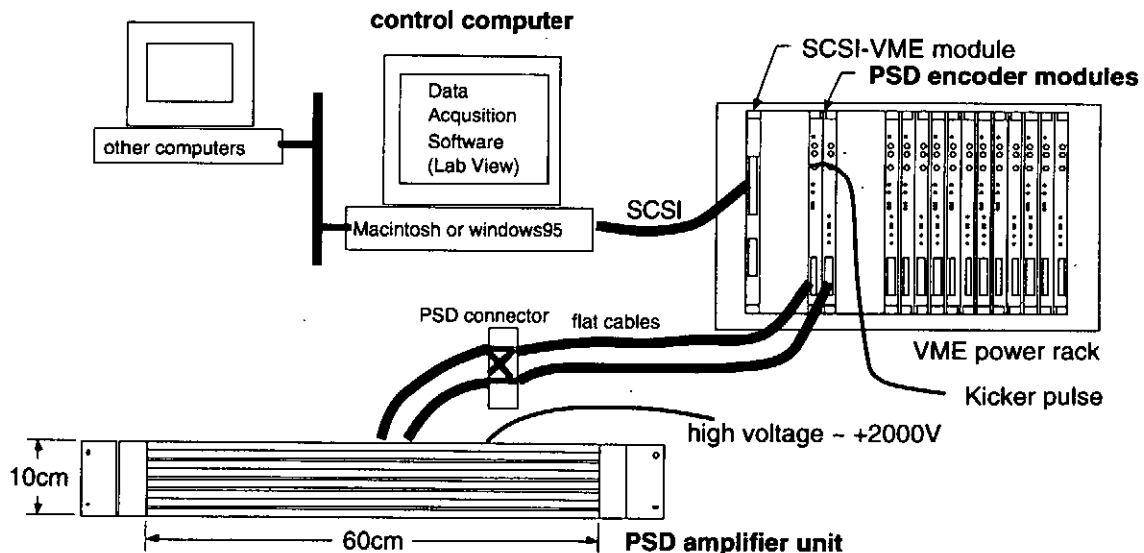
中性子実験施設は高エネルギー加速器科学研究機構のNMLに属し、12GeV陽子加速器のブースターシンクロトロンを共同利用している。12GeV陽子加速器は自分自身での加速のために、20%弱しか使用しないため、残りの80%以上をNMLで使用している。中性子実験施設では、このブースターシンクロトロンの20Hz、500MeV陽子ビームを重金属ターゲットに照射し、パルス中性子を発生させ、物質の構造解析を行っている。

このパルス中性子源を使用した実験は、飛行時間測定法で行う。これは、パルス中性子源から一定の距離だけ離れた地点に試料を置き、中性子を照射する。そして、中性子の飛行時間を測定すると、正確に中性子のエネルギーを知ることができる。そこで、私たちの開発したようなPSDシステムを使用して、中性子の散乱場所を観測することによって、試料の構造解析ができる。このPSDを実験グループのVEGAで250本、SIRIUSで500本、SWANで30本使用している。さらに、SWANで160本使用する。

PSDシステムの概要

私たちの使用するPSDは、ロイターストークス社製、直径1/2インチ、有効長約60cmの金属製のチューブである。内部に6気圧のHe3ガスが封入されていて、中性子が当たると、位置に逆比例した電荷が両端に配分されて出てくる。私たちのシステムでは、一般に、64本のPSDを1台のVME電源ラックで処理する。ソフトウェアはマッキントシュまたはWindows95で動くLabviewを使用する。第1図に、このシステムの構成例を示す。

第1図 PSDシステムの構成例



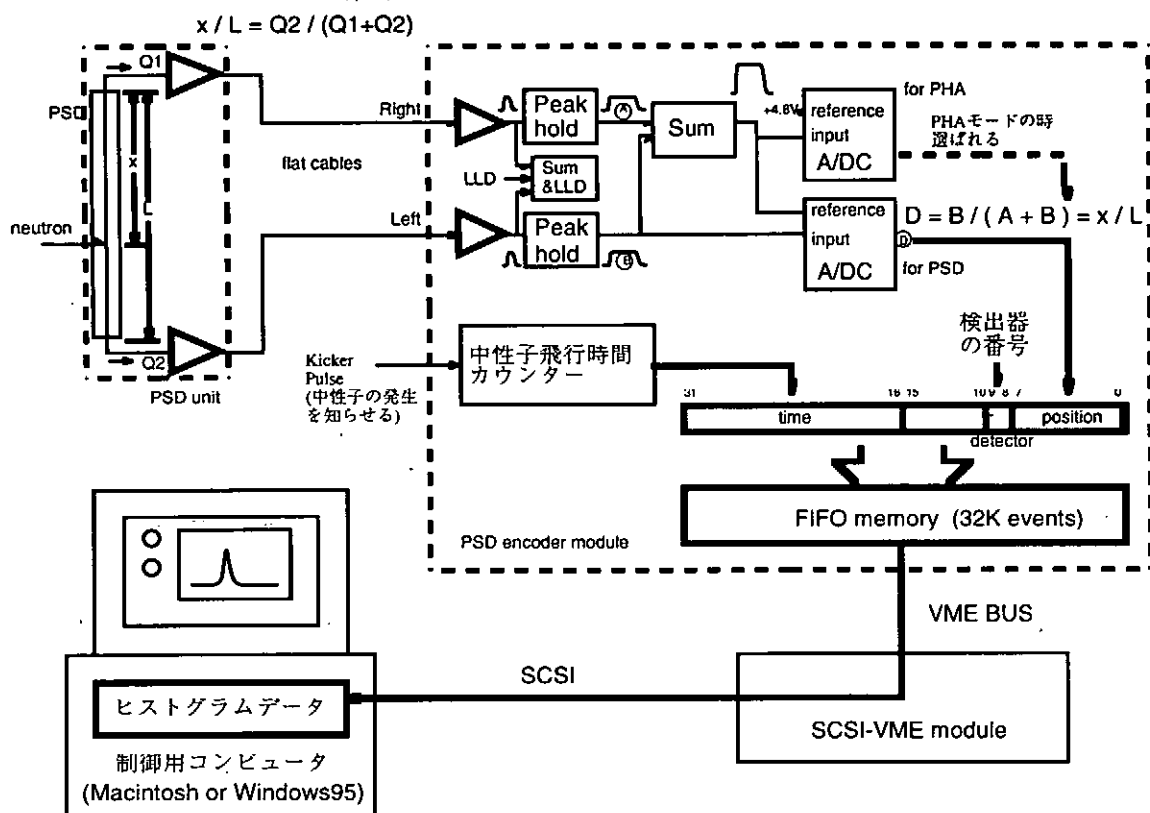
このシステムは、主にPSDアンプユニットと、エンコードモジュールと、コンピュータで構成される。PSDアンプユニットは8本のPSDを保持し、その内側にはアンプを内蔵している。10~20mのツイストペア・フラットケーブルでエンコードモジュールにつなぐ。エンコードモジュールは中性子の到達を判定して、位置と時間をイベントとして記録する。コンピュータはこれらのイベントを読み出し、ヒストグラムを作り出す。

次にPSDシステムのデータ処理方法を、第2図に沿って説明する。中性子がPSDに入射す

ると、電荷が発生し、PSDの両端で、 $x/L = Q2/(Q1+Q2)$ の電荷が得られる。これを電荷感応型のアンプで受け、電圧値に変換する。次にエンコードモジュールは、このQ1に比例したパルスとQ2に比例したパルスを受け取り、位置の解析をする。初めに、これらの加算出力をディスクリで検査し、設定値以上であったら、中性子であると判断し、解析を始める。2つのパルスをピークホールドし、その加算値をアナログ・デジタル変換器のレファレンスに加え、片方の値を入力に加える。出力にはx/Lのデジタル値が出力される。この位置情報と、中性子飛行時間と、ディテクタ番号をまとめて、イベントとして、FIFOメモリに保存する。

最後に、制御用のパーソナルコンピュータは、このエンコードモジュールから、FIFOメモリのイベントを読み出し、ヒストグラムを作り出していく。

第2図 PSDシステムのデータ処理方法



PSDアンプユニット

写真1 PSDアンプユニットの外観

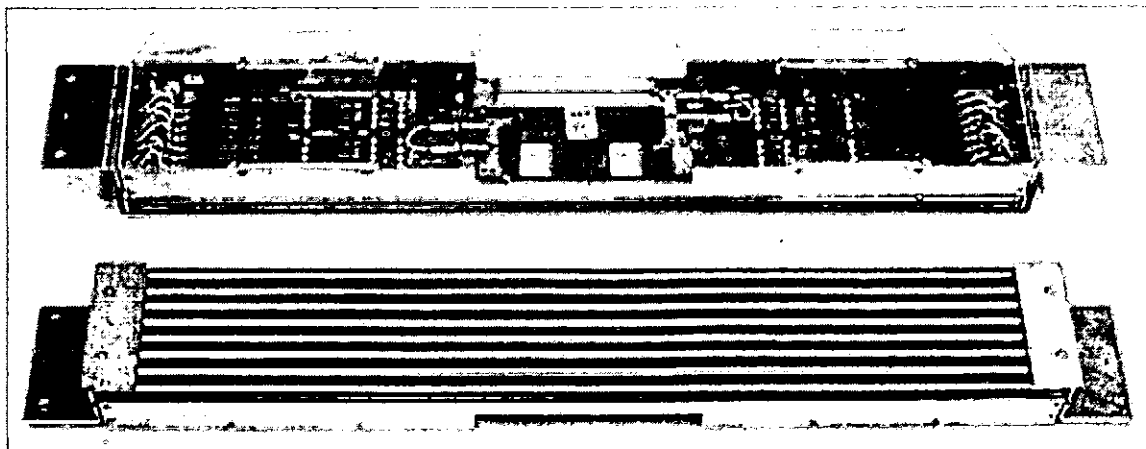


写真1にPSDアンプユニットの外観を示す。8本のPSDを隙間なく保持し、そしてさらに、このユニットは何台でも、隙間なく敷き詰めることができる。8本のPSDを付けた状態で、幅102mm 奥行き60mm長さ680mmである。このユニットは内部にアンプを持ち、この出力はツイストペアのフラットケーブルで送り出される。これらのフラットケーブルは10~20メートル引き延ばして使用し、アンプの電源も、このフラットケーブルを通して供給する。

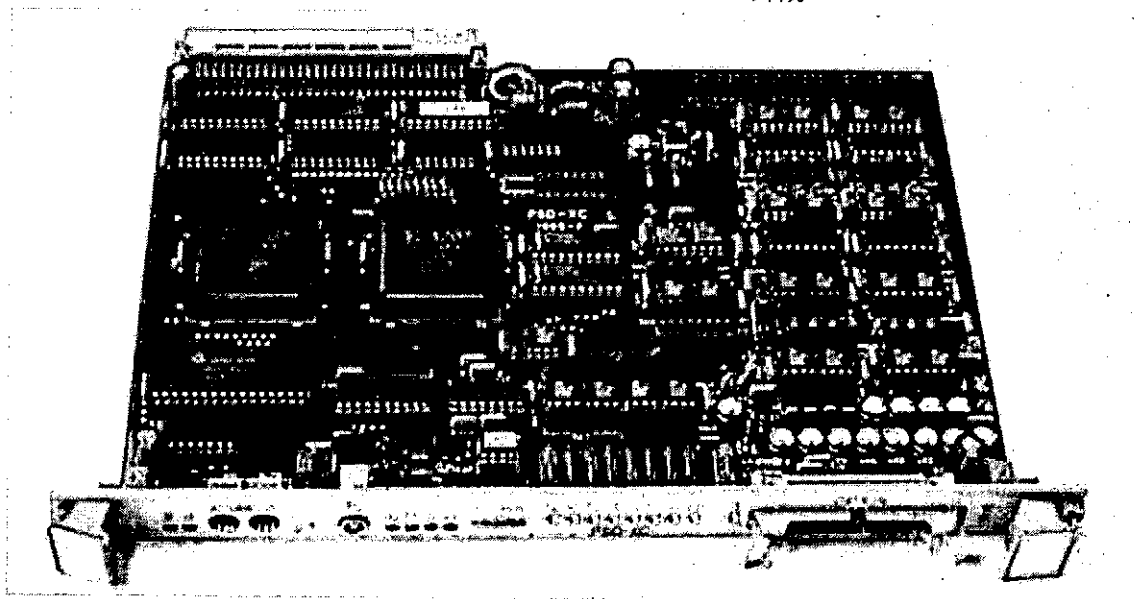
内蔵されるアンプは電荷感应型のアンプ、ポールゼロ調整、波形整形アンプ、リストアラと続く。電荷感应型のアンプはカード型にして密度を高めた。さらに、裏面を完全なグランド面とし、メイン基板に立てて取り付けただけで、それぞれのシールドができるようにした。プリアンプの時定数は50マイクロ秒で、シェーピングは0.5マイクロ秒である。

エンコードモジュール

写真2にエンコードモジュールの外観を示す。ダブルハイトのVMEモジュール（幅20mm高さ233mm奥行き160mm）で、ザイリンク社製のFPGAを2個使用した。このモジュール1台で4本のPSDの処理をすることができる。先ほどの測定原理で説明した回路を4セット持ち、マルチプレクサーで切り替えながら、アナログ・デジタル変換器で解析する。処理のタイミング等は2個のFPGAで行う。

観測された1個の中性子の情報は、32ビットのイベントとしてFIFOメモリに保存する。FIFOメモリは最大で、32キロワードのイベントを保存できる。時間分解能は1マイクロ秒で、65ミリ秒までカバーしている。位置分解能は1930Vの時、約7mmである。

写真2 エンコードモジュールの外観



コンピュータ

コンピュータとしては、汎用のパーソナルコンピュータ（MacintoshまたはWindows95）を使用している。パーソナルコンピュータのSCSIポートを通して、VMEモジュールをアクセスできるモジュール、SCSI-VMEモジュールも開発した。このモジュールはダブルハイトVMEボードであり、これにより、高価なVME用のCPUモジュールがいらない。

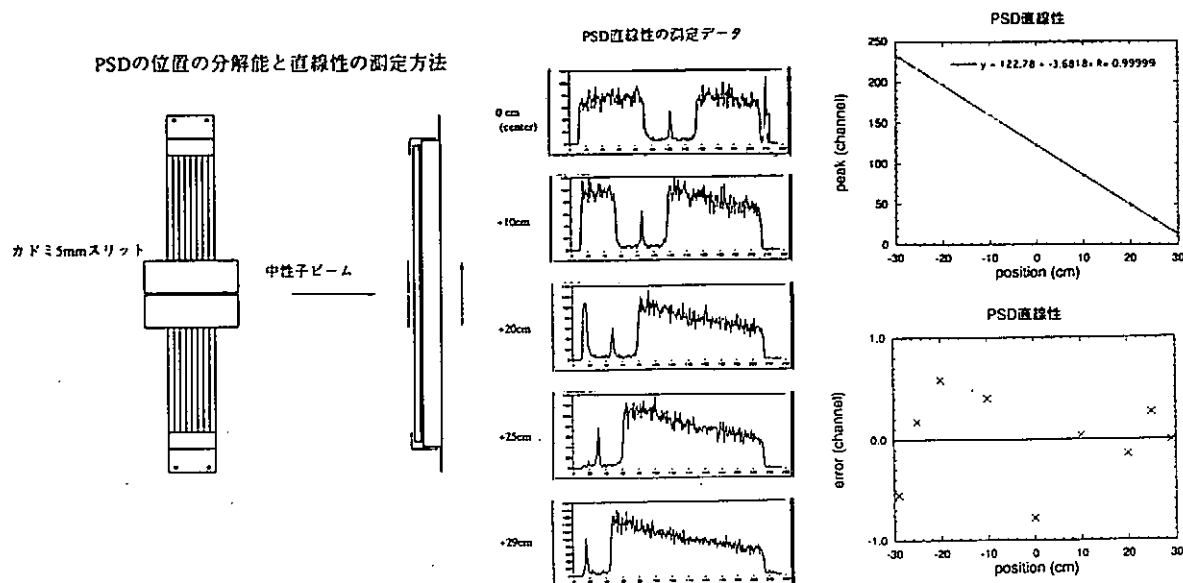
パーソナルコンピュータはリアルタイムにデータをエンコードモジュールから読み出し、ヒストグラミングする。プログラミング用のソフトにNATIONAL INSTRUMENTS社のLabVIEWを使用している。私たちは、SCSIポートを使用するためのドライバーであるCIN

(Code Interface Node)を開発した。

PSDシステムの測定結果

PSDシステムの位置の分解能と直線性を見るための実験をしたので、その方法と測定データを第3図に示す。実験の方法としては、カドミで5mmのすき間を作り、ここから中性子を照射した。そして、中性子ビームとこのカドミのスリットを固定しておき、PSDユニットを動かして、実際の照射位置と、解析結果を比較した。この時の中性子の検出効率は90%程度であった。PSDユニットの中心を正確に測定し、センターとして、そこから10cm、20cm、25cm、29cmと移動して測定した。反対側も同様に測定した。

第3図 PSDシステムの位置の分解能と直線性の測定



それぞれのピークの半値幅を求めた結果、一番悪いもので、6.4mmであったので、位置の分解能は設計値通りである。次に、実際の位置と、これらのピーク位置の相関関係をとった。そして、この最小自乗法で求めた直線との差をとった。ずれが±1チャンネル以内であるので、5mm以内に収まり、直線性も良いことがわかる。

将来計画

今現在、世界で主な中性子実験施設は5つ有り、私たちの施設が一番小さい部類である。しかし、JHF計画がうまく軌道に乗れば、現在の100倍程度の規模の実験施設が数年後に完成するはずである。この場合、中性子強度も100倍程度になると考えられるので、処理速度の高速化を図らなければならない。これに向けて、新しい設計も始めている。今までのソフトウェアでの処理と平行して、ハードウェアだけで処理が行なえるものを開発中である。これにより、今までのものより、50倍以上の処理速度が得られ、ヒストグラムの大きさも、容量の大きなD-RAMを使用することにより、確保できる。すでに、試作器では、これらの性能を確かめている。

1 はじめに

慣性核融合では、サブナノ秒の時間スケールで変化する爆縮過程を観察するために、時間分解能 100ピコ秒以下の高速の時間分解計測器が用いられている。そのような計測器は高速であるが、測定時間が狭いため、測定対象となる電磁波、或いは粒子線が計測器の受光部に到達する時刻と、計測器の動作時間の同期をとる必要がある。通常、これらの計測器は、爆縮を行なう実験用真空チャンバーの近くに設置されたトリガーボックスより同期信号を得て動作を開始するようになっている。このトリガーボックスは激光XII号の主発振器より分岐した光を高速の O/E変換器によって電気信号に変換し、各計測器に供給する。同期信号とレーザー光が真空チャンバーに到達するタイミングは、主光路長により変わり、個々の実験の条件によって変更される。また発振器、並びに同期光受光部の不安定性によるジッターが存在する。これに対処する一つの方法として、筆者は同期信号のタイミングをレーザーショットごとに測定表示する装置を開発した。

本システムは図1に示すように、激光XII号実験用真空チャンバーの集光レンズ近くのビームダクトに取り付けた高速の PINダイオード検出部と、二つの電気パルスの時間差を測定表示する装置からなる。この時間差測定表示装置に前述のトリガーボックスからの同期信号と、レーザー光の集光レンズからの反射光を PINダイオード検出部で電気パルスに変換したものを入力して、それらの時間差を測定するものである。

本報告書において、時間差測定表示装置の詳細、並びに動作結果について報告する。

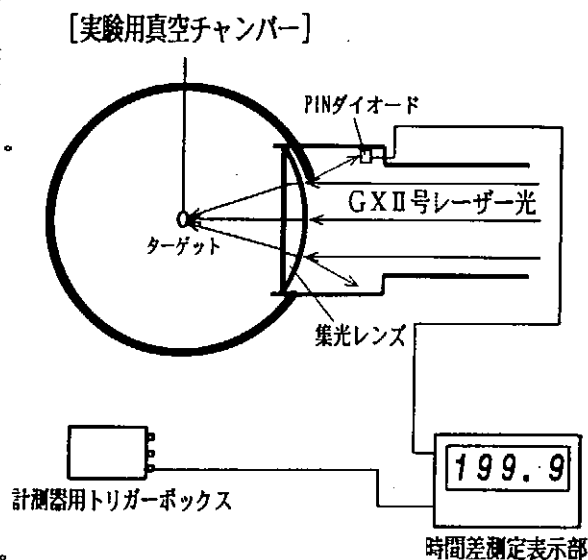


図1、トリガータイミング測定システムの概略図

2 本装置の概略

当装置は、図2に示すようにトリガーパルスを入力することにより、時間に比例して電位が直線的に上昇するようなのこぎり波を発生するブートストラップ回路、そののこぎり波を入力するサンプル・ホールド回路と、レーザー光よりの光をピンダイオードにより電氣的なパルスに変換し、それをトリガーとして一定の持続時間を持った矩形波を出力するパルス発生器により成り立っている。チャンバーまわり計測機用トリガーにより起動させられたブートストラップ回路よりののこぎり波はサンプル・ホールド回路に入り、そのサン・プルホールド回路はピンダイオードよりのパルスによりホールドモードに切り替えられ、瞬時電位をホールドする。よって、レーザー光の計測機用トリガーに対する相対的な時間差によりのこぎり波のホールドされる位置（時間

）が変わり、測定対象となる二つのパルスの時間差が0のときにのこぎり波の開始部をホールドするようにタイミングを合わせておけば、サンプルホールド回路からの出力電位の値も時間差に比例して変化し、この電位を読み取ることにより時間差を求めることができる。

これが当装置の動作原理である。

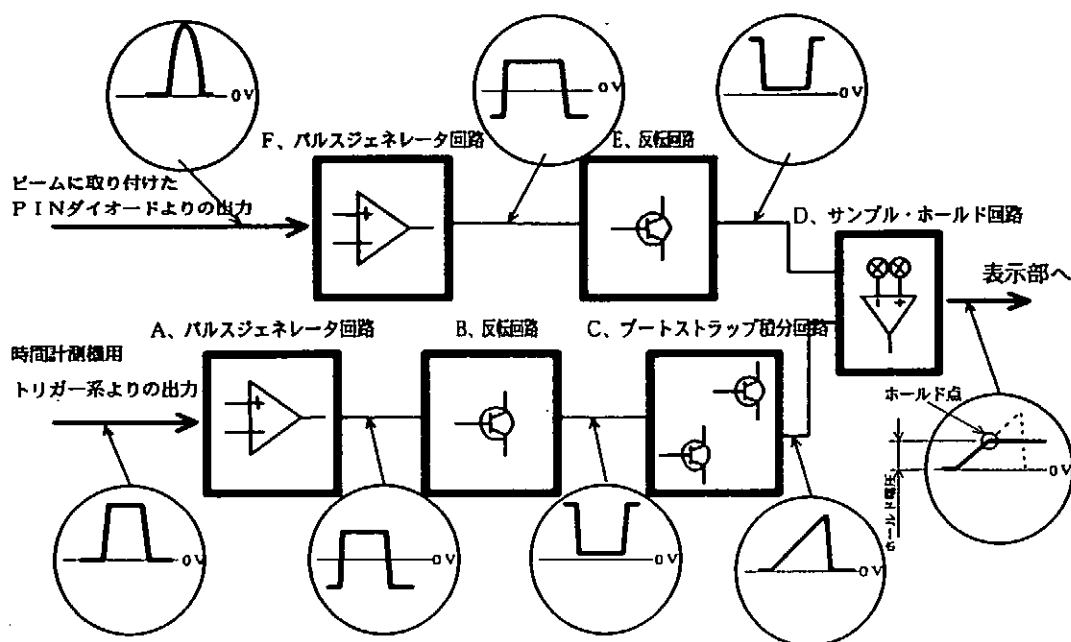


図2 装置の概略と動作説明図

3. 主だった回路の説明

(a) パルスジェネレータ回路

図1のAとFで示す回路は、高速OPアンプを使用した単安定マルチバイブレータ回路で、外部より入力されたトリガパルスにより任意のパルス幅を持った矩形パルスを発生させることができる(図3)。

この回路では、OPアンプの-入力端子に接続したコンデンサCと抵抗 R_1 により

$$T = CR_1 \ln \left\{ \left(1 + \frac{R_2}{R_3} \right) \left(1 + \frac{V_d}{V_{out}} \right) \right\}$$

で表わされるパルス幅 T の矩形波を得ることができる。

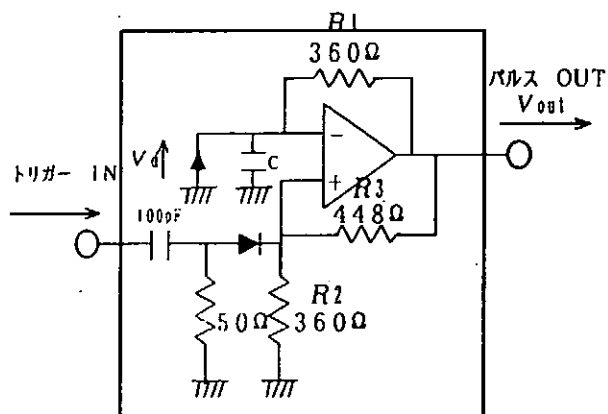


図3、OPアンプを使用したパルスジェネレータ回路

(b) ブートストラップ積分回路

この回路は時間に比例して電位の増加するパルスを発生させる最も重要な回路である。回路としては、図4に示すように、コンデンサCに電源電圧 $+V_{cc}$ により、ダイオードDと抵抗Rを通して充電するものであるが、単なる積分回路ではコンデンサCが充電されるにしたがってコンデンサCの両端の電位差が大きくなり、充電電流を減少させるため、出力電位が直線的には立ち上がらず、時間を経るにしたがい勾配が小さくなるのに対し、当回路ではそれを打ち消すために、コンデンサCの充電端をエミッタ・フォロワのベースに接続して、エミッタ・フォロワの出力をコンデンサCを介してRに戻し、増大したコンデンサCの電位分だけ補償している。

図4がそのブートストラップ積分回路であり、出力パルスの電位 V_o のパルス発生開始時からの時間 T における増加が次式

$$V_o = \frac{V_{cc}}{CR} \cdot T \quad (V) \quad (2)$$

で表わされるパルスを発生させることができる。

この回路を組み上げて、(写真1)のような、直線性のあるパルスを発生させることができた。

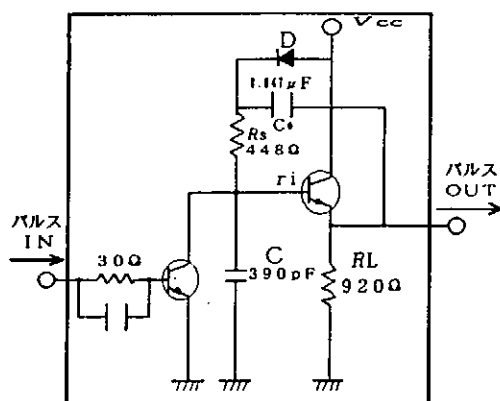


図4 ブートストラップ積分回路

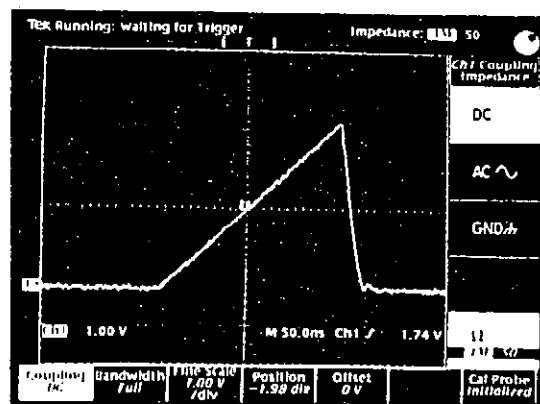


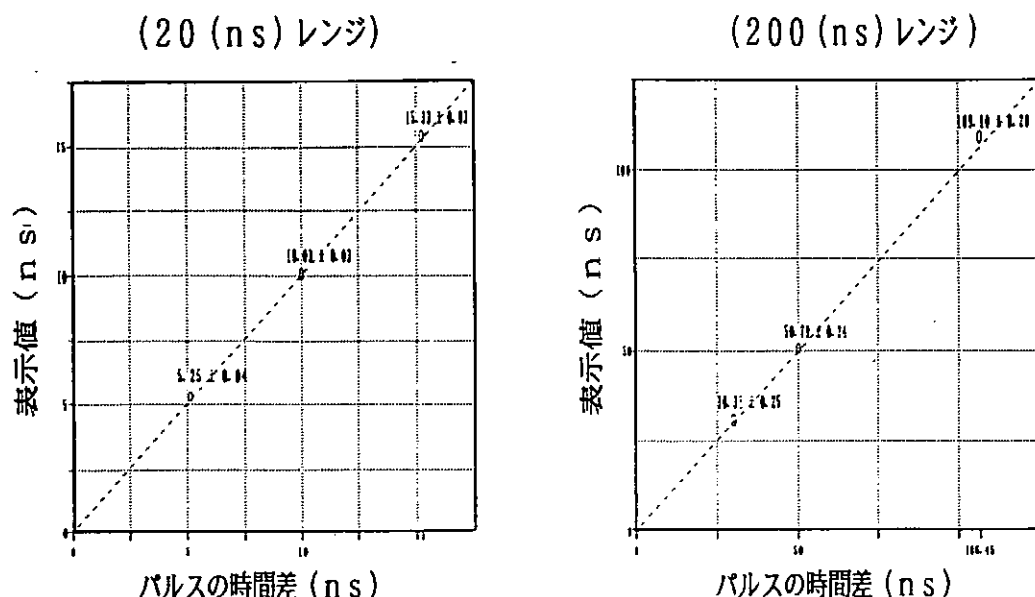
写真1 実際の出力波形

この回路よりの出力波形(のこぎり波)をサンプルホールド回路に入力し、最後にデジタルパネルメータに入力して、ホールドされた電圧を表示するのである。この電圧値は時間の値と一致するように抵抗分圧器を使って調整している。この際、抵抗分圧器を2系統組み込み20 (ns) レンジと200 (ns) レンジの切り替えができるようにした。

4 本装置の性能テスト

これまで述べてきた回路等を一つのケース内に組み上げて性能テストを行なった結果をここでは述べる。テストに使うパルスは立ち上がりとパルス幅が共に約 500 (ps) のパルスを使用し、デ

バイダーで2分割し一方のパルスにケーブル(3D2V)を介して2パルス間に時間差を付けたものを装置に入力した。また、図1で示されているF回路とA回路に同時にパルスを入力した場合それぞれの回路とその他の回路の遅延時間のためブートストラップ回路の出力であるのこぎり波の立ち上がりよりも約70(ns)も手前の部分をホールドするため、F回路の入力にその分だけケーブル(3D2V)で遅延をかけている。テストは20(ns)レンジで遅延時間5.15(ns), 10.00(ns), 15.24(ns)、200(ns)レンジで遅延時間30.35(ns), 50.10(ns), 106.45(ns)(それぞれオシロスコープで測定。)を掛けて、遅延時間と当装置の表示値を比較した(図7)。なお、それぞれの遅延時間に対し表示値を50回取り標準偏差を計算した。また表示値の校正は遅延時間30.35(ns)の点で行なった。



上記の結果に見られるとおり、表示値の誤差は約1.3(%)内(100(ns)以内)に、ジッターは標準偏差として最小20(ps)であった。

5 まとめと今後の課題

本装置は試作品であり、各回路の電磁シールド、コネクタ等のインピーダンスマッチングやケーブル類の特性にはあまり考慮していなかったが、予想したよりもジッターにおける性能で良い結果が得られた。現在、この装置を実際に激光XⅡ号レーザーに取り付けて性能チェックを行っているが、同条件のレーザーショットに対しては“性能テスト”で得られたデータと同程度の特性が得られている。今後は、この装置の上記のような項目に対する改良、構成部品の吟味や、さらにこの測定値をデジタルデータとして転送できるようにして、激光XⅡ号レーザーのタイミングモニター系としての構築を検討するつもりである。

新激光 XII ガラスレーザー装置の充電電圧制御とパワーバランス制御

大阪大学レーザー核融合研究センター

漆原新治、鈴木和浩、森尾登、川崎鉄次、金辺忠、藤田尚徳、中塚正大、三間圀興

1. はじめに

レーザー爆縮実験において高密度圧縮を達成するためには、ターゲットを均一に照射することが重要である。特に多ビームによる照射ではパワーバランス $\pm 3\%$ が要求されている。その達成にはエネルギー、レーザー波形及びタイミングの一致が必要である。

新激光 XII は、波長 $1.053\mu\text{m}$ 、12 ビームでピークパワー 55TW 及び出力エネルギー 30kJ の性能を有するガラスレーザー装置で、多くのコンポーネントから構成されている。主増幅器列には、レーザー光を増幅するロッド増幅器が 12 台とディスク増幅器が 60 台、増幅器間の寄生発振を防止する光シャッターが 12 台、ターゲットからの反射光を排除するファラデー回転子が 12 台及びビームパターンの高周波成分除去、ビーム径の拡大、寄生発振防止と像転送の機能を有するスペシャルフィルターが 36 台配置されている。図 1 に新激光 XII のシステム構成とパワーバランスの概念を示す。各コンポーネントの増幅特性や損失特性、光学素子の寸法、エネルギーバランスとその計測精度及び KDP 結晶による波長変換特性がパワーバランスを崩す要因となり、レーザー波形やタイミングのずれとなって現れる。これらの要因の中で出力エネルギーは、計測器としてカロリメータや PIN フォトダイオードを使い、 $\pm 1\%$ 以下の精度で測定できている。また、ターゲット照射へのレーザー光のタイミングはストリークカメラを使って、 $\pm 1\text{ps}$ の精度で調整できおり、必要な精度を満たしている。

ここではディスク増幅器の利得バランスとパワーバランス制御について報告する。

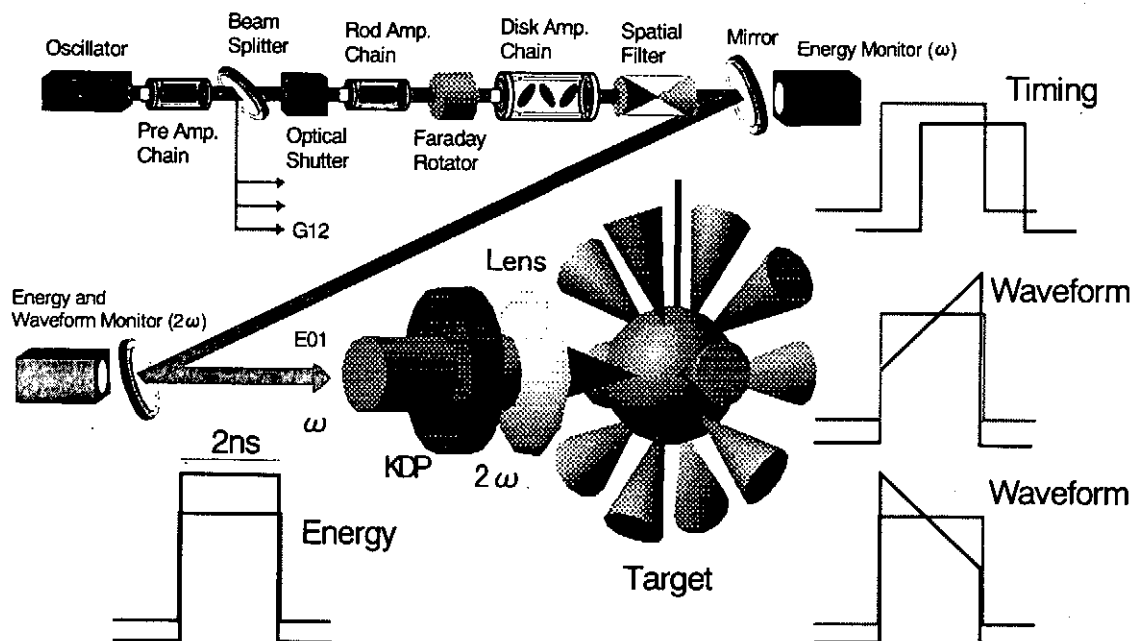


図 1 新激光 XII のシステム構成とパワーバランスの概念

2. 充電電圧制御

新激光 XII の主増幅器列は、1 ビーム当たり 2 台のロッド増幅器と 5 台のディスク増幅器から構成され、それぞれの増幅器の利得は充電電圧で制御している。従来の新激光 XII でのディスク増幅器は、1 台の充電器で各ビームの同じ位置の 12 台の増幅器を充電する方式を採用しており、各列間の利得の違いを修正できない欠点があった。出力エネルギーの調整は、ビーム毎に充電制御可能なロッド増幅器で行っている。

新激光 XII の高精度化に伴い、各ディスク増幅器の利得調整を行うために充電電圧調整器を導入した。既設の装置に放電抵抗、高電圧スイッチと制御器を備え、増幅器毎に必要な充電電圧に調整できる。調整の流れは、既設の回路で従来どおりに充電し、充電完了後充電器を切り放し、充電電圧調整器を駆動して目的の電圧に調整することになる。図 2 に充電電圧調整器を示す。

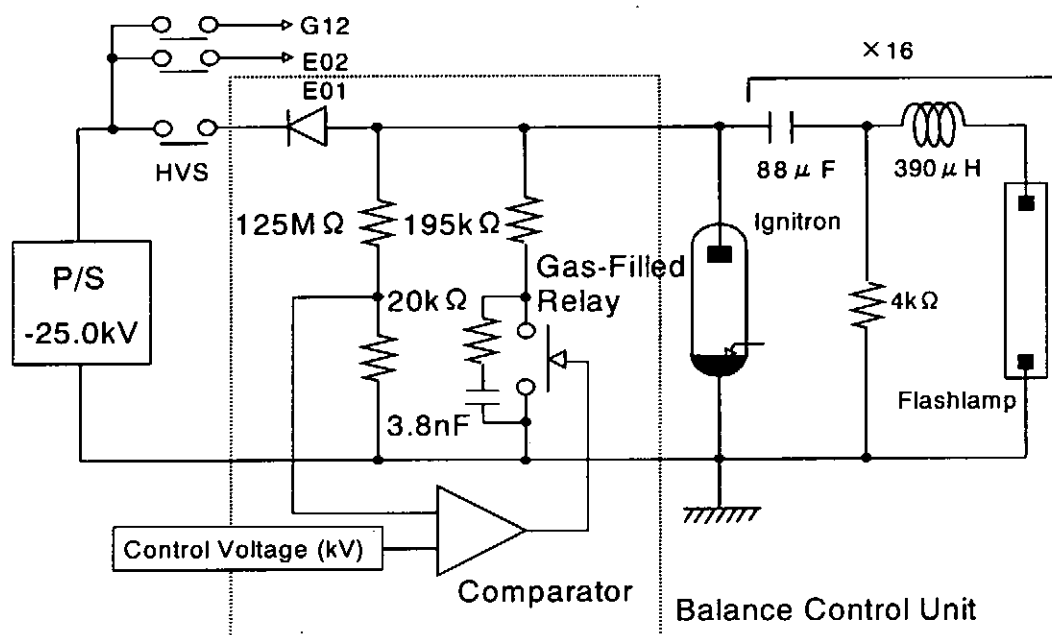


図 2 充電電圧調整器

放電回路は、調整精度を考慮し 5kV に対し制御時間約 70 秒、最小設定電圧を 100V として設計されている。この装置の重要な要素は高電圧スイッチであり、試験は 2 機種について行った。一つは既設の装置に使われている気中開閉タイプの充電用高電圧切替えスイッチ A で、もう一つはガス封入タイプの高電圧スイッチ B (EEV 社 JG6514) である。後者は径 52mmφ、高さ 78mm の寸法で比較的コンパクトに製作されている。放電抵抗は、制御時間を決定するもので、195kΩ を採用した。初期の試験結果は両者とも仕様を満足していたが、A のスイッチは開路時気中アークが開閉機構上部まで伸び、コンタクター及びその絶縁支持部を焼損するおそれがあり、採用を取り止めた。B のスイッチは繰り返し再現精度が ±30V から ±235V とスイッチによってバラツキがみられたため、試験を継続したところ、制御盤で故障を検出した。故障は、設定電圧以下に急速に減少した場合に検出される。放電回路を点検してみると高電圧スイッチが焼損し、異臭を発していた。この故障の原因を探るため、透明な樹脂で製作したスイッチで動作状

態を観測した。その結果、電圧調整完了後のスイッチ開路時に接点間のアーク放電のひどいことが判明した。接点間の異常なアーク放電を抑制するため、スイッチと並列にサージ吸収回路としてコンデンサと抵抗を接続した。CR 回路の定数は 4nF と $20\text{k}\Omega$ を採用することで、アーク放電の低減がみられた。図 3 に CR 回路を接続する前後での高電圧スイッチのアーク放電の比較を示す。この改善で、導入した 36 台の充電電圧調整器に対し、充電電圧に対する繰り返し再現精度は $\pm 10\text{V}$ が得られ、充電電圧の制御精度による誤差が利得に影響を与えないことが判った。

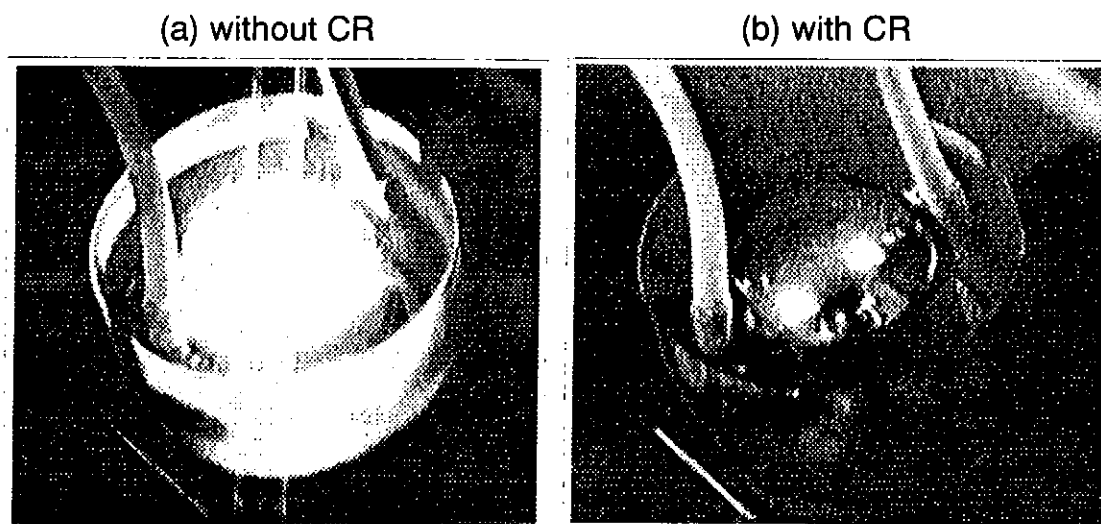


図 3 高電圧スイッチのアーク放電の比較

3. ディスク増幅器の利得バランス

ディスク増幅器は、1 ビーム当り口径 $100\text{mm}\phi$ が 2 台、口径 $200\text{mm}\phi$ が 3 台配置されており、その充電器は、口径 $100\text{mm}\phi$ 2 台に 1 台 (DA100XY)、口径 $200\text{mm}\phi$ に 3 台 (DA200X、Y、Z) 設置されている。利得制御は、同一の充電電圧で各増幅器の利得を取得し、最小利得に調整する手法である。充電電圧 20.0kV 、 22.5kV 及び 25.0kV について利得特性を取得した結果、 25kV の充電電圧で得られた利得は、口径 $100\text{mm}\phi$ のディスク増幅器では 2 台分で 50 倍から 70 倍の範囲にあり、充電電圧制御を行うことにより利得不均一性を $\pm 20\%$ から $\pm 2\%$ に調整できた。また、口径 $200\text{mm}\phi$ のディスク増幅器では、2 台分で 6.5 倍から 7.5 倍の利得の違いがあり、充電電圧制御を行なうことで利得不均一性 $\pm 2\%$ を達成している。図 4 にディスク増幅器の利得バランスを示す。(a) は DA100XY、(b) は DA200XY、(c) は DA200Z 及び (d) はディスク増幅器全段の利得バランス (計算) を示す。これらの利得バランスは $\pm 0.5\%$ のパワーインバランスに相当し、調整前の $\pm 5\%$ から大きく減少させることができています。

4. パワーバランス制御

パワーバランス制御は、各ビームのエネルギーとレーザー波形を一致させることである。従来の制御は、ディスク増幅器の利得バランスは調整していない。また出力エネルギー 1kJ を超える大信号領域において、ターゲット上のエネルギーを $\pm 3\%$ を目標に調整しているだけであった。この制御では、レーザー波形の面積を一致させるだけであり、各時刻での強度が狂ってい

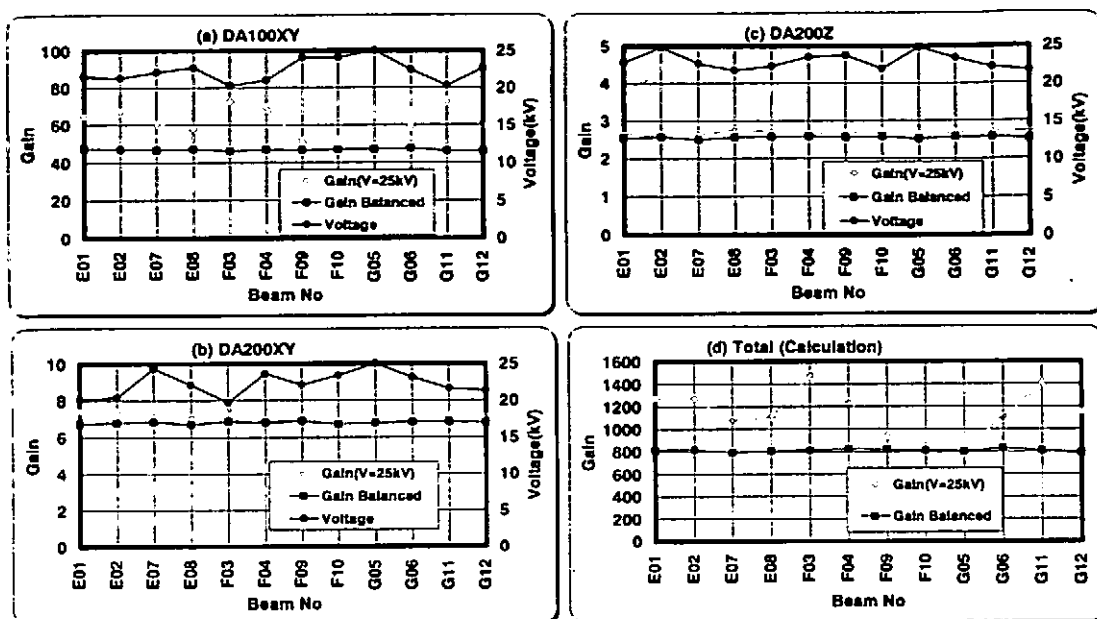


図4 ディスク増幅器の利得バランス

ることになり、パワーインバランスは標準偏差 σ で20%にも及ぶ。

この不均一性を改善する手法として、計測の信頼性が高いエネルギーデータから調整する方法を採用した。この方法は、最終出力10J以下の小信号領域と1kJ程度の大量領域について、各ビームの平均に対するエネルギーバランスを一致させる方法である。ディスク増幅器の利得バランスを完了した後、基本波光(ω , 1.053 μm)は、ロッド増幅器の利得で、高調波光(2ω , 0.53 μm)は、回転角度で透過率を変化させる減光板で、小信号時と大量時のエネルギーバランスの差を $\pm 3\%$ 以内まで調整している。小信号時と大量時では、増幅特性や変換特性に非線形性があり、バランス調整ができる。また、ターゲット上のエネルギーは、ビーム口径を制御して調整している。ターゲット照射時のビーム口径の違いによる照射強度は集光レンズで補正している。

レーザー波形は、立上り時間60psを有するパイプナ光電管(浜松ホトニクス:R1328U)と周波数帯域3GHzのオシロスコープ(ソニーテクトロニクス:SCD5000)を用い、12ビームについて観測できるシステムが整備された。波形計測の結果、これらの制御でパワーインバランスは標準偏差 σ で5%以下が得られ、従来に比べ大幅な向上がみられた。

5. まとめ

レーザー爆縮実験におけるターゲットの照射均一性に重要なパワーバランスについて考えた。充電電圧調整器を導入し、構成素子の高電圧スイッチの駆動性能の改善を行い、繰り返し再現精度 $\pm 10\text{V}$ が得られた。また、ディスク増幅器の利得不均一性 $\pm 2\%$ が得られた。パワーバランス制御の方法を考えた。小信号領域と大量領域について、各ビームの平均に対するエネルギーバランスを一致させる方法を採用し、パワーインバランスは標準偏差 σ で従来の20%に比べ、5%以下を達成し、ターゲット照射均一性に大幅な向上がみられた。

表面プラズモンセンサとその計測システムの構成

静岡大学工学部

松井 義和

1. はじめに

表面プラズモン(SP:surface plasmon)は金属と誘電体界面を伝搬する電子の疎密波であり、そのエネルギーはこの界面の局所に集中している。従って、このセンサは界面に直近の誘電率(屈折率)や幾何学的変化に対し高い感度を持っている。最近、このような表面プラズモンの特徴に着目した新しい化学センサやバイオセンサ等への応用研究が盛んに行なわれるようになった。ここでは、はじめに表面プラズモンセンサのクレッチマン配置(プリズム/金属膜/誘電体の3層構造)による原理を示し、つぎに計測システムの構成例として、最も一般的に用いられているプリズムカップラー法と光ファイバ法の構成を示す。最後にこの応用例として、溶液濃度、単分子膜厚、免疫反応のそれぞれの測定結果を示す。

2. センサ原理

表面プラズモンの励起方法にはグレーティング法、エッジ法などもあるが、最も一般的な方法はプリズムカップラー法である。ここではプリズムカップラー法のクレッチマン配置によるSPの励起方法について述べる。図1はこの原理図である。図に示すようなプリズム/金属膜/誘電体(試料)の3層構造において、プリズム側からP偏向した単色光を全反射角以上で入射させると、エバネッセント波が金属の表面に滲み出る。このときエバネッセント波のX方向の波数とSPの波数が一致すると、表面プラズモン共鳴(SPR)が発生し、光のエネルギーがSPの波動エネルギーに変化するため、反射光は図2に示すように急峻な減衰を示す。金属と誘電体界面を伝搬する表面プラズモンの波数 k_{sp} の分散関係は

$$k_{sp} = \frac{\omega}{c} \sqrt{\frac{\epsilon_m \epsilon_s}{\epsilon_m + \epsilon_s}} \quad (1)$$

ここで、 ω は光の角周波数、 c は光速、 ϵ_m は金属の誘電率、 ϵ_s は誘電体の誘電率である。また、エバネッセント波の界面に平行な波数成分 k_{xp} は

$$k_{xp} = \frac{\omega}{c} n_p \sin \theta \quad (2)$$

ここで、 θ は光の入射角、 n_p はプリズムの屈折率である。この k_{xp} と k_{sp} が等しくなり、SPRが起こる入射角をSP共振角という。試料を誘電率の異なる他の物質に変えると、境界条件が変わるため、SPの波数ベクトル、SP励起の入射角も変わる。図3は試料の屈折率(誘電率)とSP共振曲線の関係を実験によって求めたものである。試料の屈折率が大きくなるにした

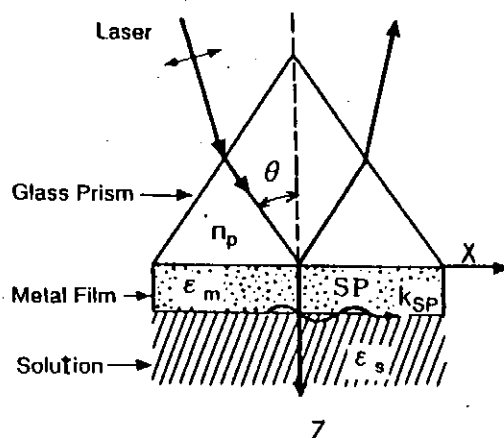


図1 センサ原理図

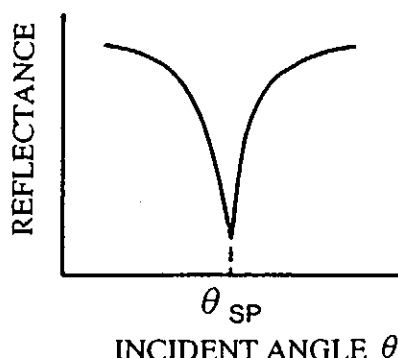


図2 入射角vs. 反射光強度(反射ベクトル)

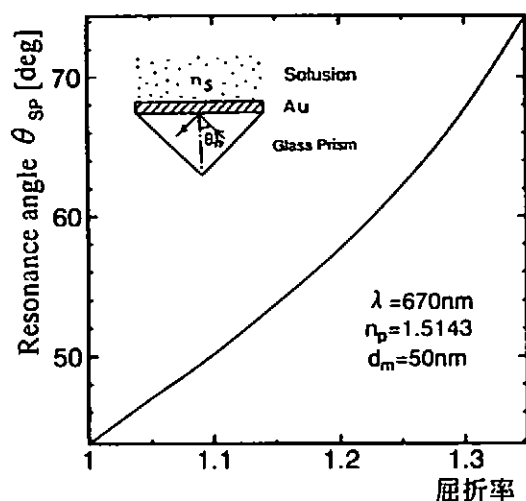


図3 試料の屈折率とSP共振角

がって、SPを励起するための入射角も大きくなる。なお、ここで膜厚50nmの金膜上に、厚さ ∞ 、屈折率 n_s の試料、プリズムの屈折率 $n_p = 1.514$ 、金の複素屈折率 $n_m = 0.19 - 3.5i$ 、入射光波長 $\lambda = 670\text{nm}$ とした。

3. センサシステムの構成

3.1 プリズムカップラー法 このセンサシステムの構成例を図4に示す。He-Neレーザの光を偏光板でP偏向、ビームスプリッタでセンシング光とリファレンス光の2つに分ける。センシング光はプリズム側より入射角 θ で入射、金属膜界面での反射光は光検出器で検出される。光検出器の出力信号はリファレンス側の光検出器の出力信号で除すことによりレーザ光の変動を除去している。入射角 θ の変化はレーザ発振器の回転によって与え、この回転角をポテンシオメータで読み取る。測定結果は直接ペンレコーダ、あるいはコンピュータを介してCRT上に描かれる。図5は図4の構成を発展させたものである。レーザ光をビームエキスパンダと対物レンズによって、広範な入射角を持つ光にすることにより、入射角 θ の変化を機械的に与える必要がない。受光器はCCDのようなアレイ状センサを用いることにより簡単にSP共振曲線を得ることができる。SP共振角は反射光の最少となるピクセルナンバーより求まる。また測定結果はコンピュータを介しCRT

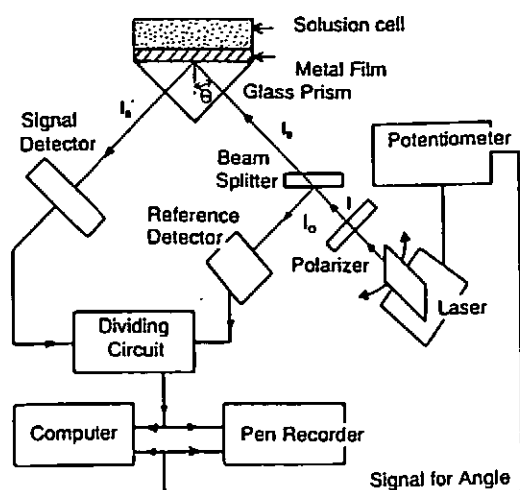


図4 センシングシステムの構成
(プリズムカップラー法のシステム構成I)

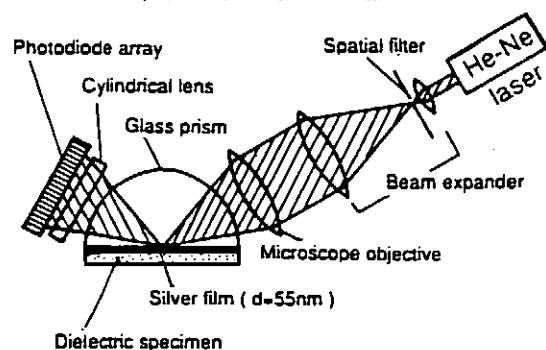


図5 センシングシステムの構成
(プリズムカップラー法のシステム構成II)

上に描かれる。

3.2 光ファイバ法 この計測システムの構成の一例を図6に示す。ハロゲンランプ等の白色光をレンズで絞り光ファイバに導く。ビームスプリッタによって、セ

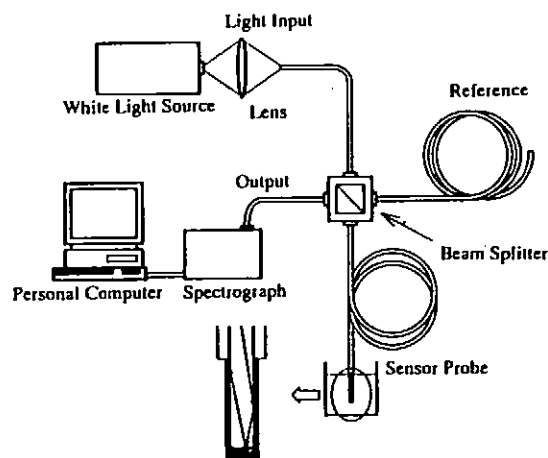


図6 光ファイバ法センシングシステム

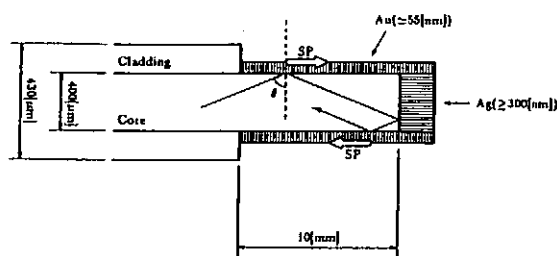


図7 光反射型センサプローブ

センシング光とリファレンス光に分ける。センシング光はセンサプローブに導かれる。このプローブ部は図7に示すように、光ファイバのクラッドの一部を削除し、端面はミラーとなる金属膜を、円周部はセンシング部となる金属薄膜（ここでは金を55nm）をコートする。プローブ部へ導かれたある波長の光は金属膜とこれに接する誘電体との界面にSPを励起し、減衰する。したがって、プローブ端面での反射光を分光器にかけ、この反射スペクトルの減衰が最大となる波長がわかれば、誘電率を介して金属膜に接する物質がわかる。この励起原理はプリズムカップラー法と基本的には同じである。用いた光ファイバはコア径400 μ mのマルチモード、ステップインデックス型のものである。図8の上図は空気および水を試料とした場合に分光器より得られた光強度のスペクトルである。この波長の領域では、試料が空気の場合、SPは励起されないが、水の場合にはSPが励起される。水のスペクトルを空気のスペクトルで除した結果が下図である。これはSP励起による減衰を表わす曲線で、以後SPRスペクトルと称す。なお、リファレンス光は光源の基準スペクトルの形成と、この変動を除去するために用いる。図9は透過型センサプローブの構造を示す。この場合、センシング部を透過してきた光を分光器にかけ、そのスペクトルを観測する。結果は前記と同様になる。

4. 応用

SPセンサの代表的な応用例を3つ示す。

4.1 溶液濃度センサ 図10はプリズムカップラー法溶液濃度センサによるエタノール水溶液濃度の測定結果である。横軸はエタノール濃度、縦軸はSP共振角シ

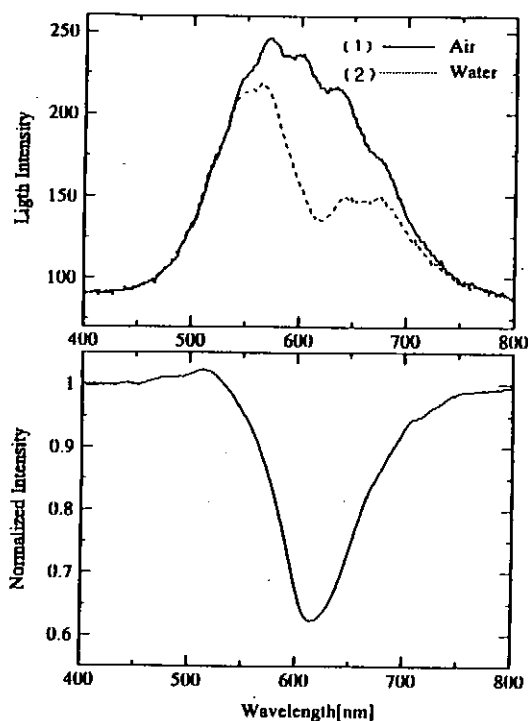


図8 光強度分布とSPRスペクトル

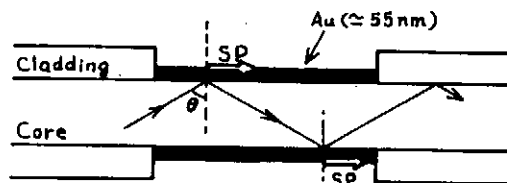


図9 光透過型センサプローブ

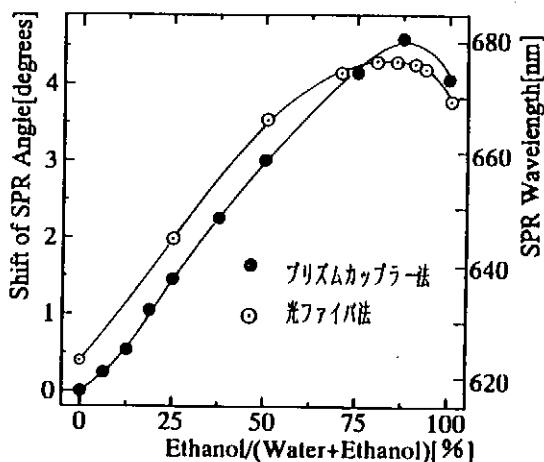


図10 エタノール濃度とSPRのシフト

フトである。エタノール濃度（vol%）の増加に伴い、SP共振角が高角度側にシフト濃度80%近傍に頂点を持っている。また、図中には光ファイバ法による測定結果も同

時に示した。光ファイバ法ではSPの共振は波長によって与えられるため、両者を単純に比較することはできないが、定性的に傾向の一致が認められる。また、クラジウス・モソッティの公式より求めた混合2分子の屈折率の理論値はこれとほぼ同様な傾向を示した。

4.2 免疫センサ 抗原-抗体反応は病状把握のための重要な臨床検査の1つである。図11はプリズムカップラー法による抗原-抗体反応の測定結果の一例である。図中には2つのSP共振曲線と1つの実時間測定結果を示す。SP共振曲線1は上図の1に示す金膜の上にプロテインA（抗体固定化層）/抗体（Ab）/PBS（生理食塩水）の状態で作られた結果、共振曲線2は1の状態より抗原-抗体反応により抗原が抗体に結合した状態（上図の2）で作られた結果である。1から2への状態変化が免疫反応である。この反応の実時間測定結果が1'~2'で示す曲線である。横軸は時間、縦軸は反射光量である。レーザ光入射角を約65.8度に固定し、SP共振曲線のA点より免疫反応によるB点への変化過程を観測したものである。この結果は抗原にウサギIgG 10mg/ml、抗体に抗ヒトIgG ウサギ10mg/mlを用いたものである。この測定法の検出感度はサンドイッチ法を用いたとき、約1 ng/mlである。

4.3 膜厚センサ 単分子膜（LB膜）は分子オーダの膜厚と分子の規則的な配列をもつ膜である。図12は光ファイバ法によって測定されたアラキシン酸メチルを膜物質とするLB膜の累積層数とSP共振波長の関係を求めたものである。測定は下層水中で行なった。○印は測定値、実線は任意に与えた直線である。測定結果はLB膜累積層数（膜厚）に対しSP共振波長がよく比例している。アラキシン酸メチル1分子の長さは約2.6nm、10層で約26nmの膜厚になる。分光器の分解能を1nmとすれば、アラキシン酸メチル1分長より薄い数Åの膜厚を測定できることが分かる。

5. おわりに

最近、生物、化学の分野で注目されてい

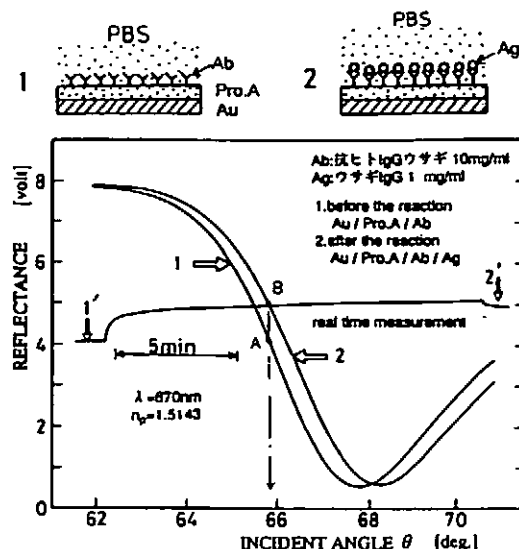


図11 免疫反応のSPR観測

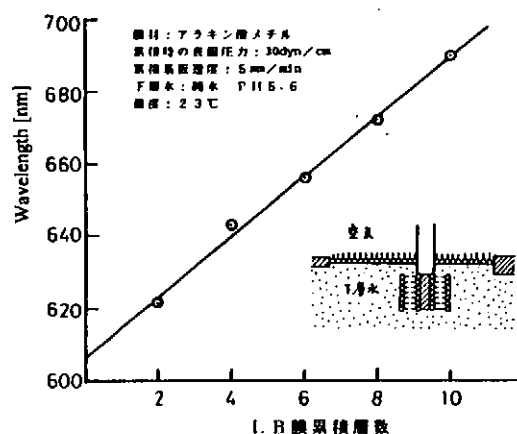


図12 LB膜累積層数によるSPRシフト

る表面プラズモンセンサの原理、構成、及び応用について概略的に紹介した。この技術が今後、読者諸氏のお役に立てば幸いである。ここに示した結果は著者の所属研究室の成果の一部であり、本研究の一部は文部省科学研究費補助金（奨励研究B）の助成により行なわれた。

参考文献

- 1) 川田 昭雄 光学, 16, 438-439, (1987)
- 2) X. Sun 著 ; J. J. A. P. 28, 1725-1727 (1989)
- 3) 松井 健 著 ; 信学技報, CPM94-34, OME94-29 (1994)
- 4) S. Satou 著 ; 15th SENSOR SYMPOSIUM, IEEJ, 251-256 (1997)

KEKBファクトリー用クラブ空洞のRF特性測定システム

高エネルギー加速器研究機構 〇部農志 細山謙二 仲井浩孝
小島裕二 原和文 森田欣之

1. はじめに

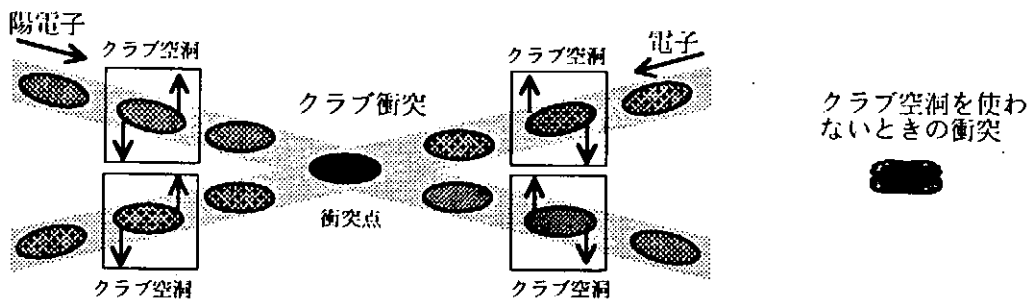
現在「高エネルギー加速器研究機構（KEK）」ではBファクトリー（KEKB）と呼ばれる電子・陽電子衝突型の加速器の建設中である。BファクトリーはB中間子と反B中間子の対を大量に造ることを目的とする加速器で、蓄積する電子及び陽電子のエネルギーがそれぞれ8 GeV、3.5 GeVという非対称エネルギーの加速器であるため、電子及び陽電子用に2つのリングが必要となる。また蓄積するビーム電流もそれぞれ1.1 A、2.6 Aと非常に大きい値となる。

我々のグループではこのKEKBファクトリーの衝突点付近で使用する超伝導クラブ空洞の開発を行っているが、この空洞の性能を評価するためにRF特性測定システムを製作し、特性測定をシミュレーションかつ自動的に行うための、計測用ソフトLabVIEWによるプログラムを開発したので、この測定システムについて報告する。

2. KECBにおけるクラブ空洞の役目

KEKBファクトリーのような2リングの衝突型加速器での衝突の方式としては、正面衝突あるいは有限角度衝突が考えられる。正面衝突の場合は衝突点付近では電子と陽電子を同一軌道上を走らせ、衝突点を過ぎたら元の異なる軌道に戻すために、衝突点の両側に偏向電磁石を置く必要がある。正面衝突ではこの偏向電磁石の設置間隔よりもビームのバンチ間隔を長くとりないと、衝突点付近でビームの無駄な衝突が発生することになる。

これに対してKEKBで採用した有限角度衝突（電子のバンチと陽電子のバンチは衝突点において $\pm 11 \text{ mrad}$ の角度をもって衝突する）では、1箇所でのみビームの衝突が起こるのでビームのバンチ間隔を短くできるのでKEKBのようなビーム電流の大きい加速器に適している。また偏向電磁石が不要のために衝突点付近の構造を大幅に簡略化できるという利点もある。



(第1図) クラブ衝突

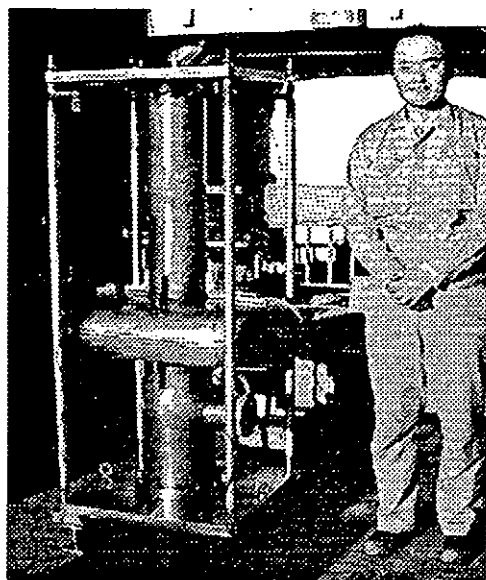
しかし有限角度衝突では衝突点での電子ビームのバンチと陽電子のバンチは角度を持っており完全な正面衝突にはならない。それを改善するために使用されるのが「クラブ空洞」と呼ばれる特殊な空洞である。第1図に示すように衝突点の前でそれぞれのビームのバンチの長手方向の軸をクラブ空洞によりキックして傾けることにより衝突点での電子のバンチと陽電子のバンチを完全に重ね合わせて正面衝突させる。このようにビームのバンチをカニの横這いのように傾ける働きをするので、この空洞は「クラブ(Crab)空洞」と呼ばれる。衝突後はもう一つのクラブ空洞によりバンチの軸は元の角度に戻され、それぞれの軌道上を安定に回る。

3. クラブ空洞

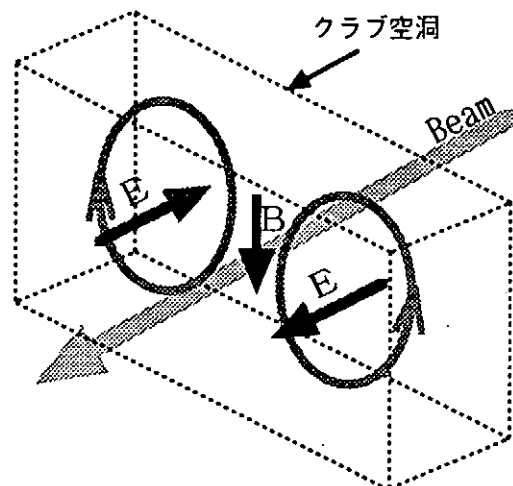
KEKにおいて開発中のクラブ空洞を縦置きにした様子を第2図に示す。空洞本体の両側にビー

ムパイプが取り付けられており、空洞本体は回転対称ではなく、長円形（Squashed CRAB Cavity）となっている。クラブ空洞は高い運動エネルギーの電子と陽電子ビームのパンチをキックするために強い電磁場を作り出す必要があるため、Nbを使用した超伝導空洞となっている。

クラブ空洞の電磁場分布を模式的に示すと第3図のようになり、ビームライン上で発生する縦方向の磁場の時間的变化により、ビームパンチの先端付近をキックする方向と、パンチの後ろをキックする方向とを逆向きにし、全体としてパンチを進行方向に対して横向きに傾ける作用を発生する。加速モードがTM010であるのに対し、CRAB空洞はTM110モードを使用している。



（第2図）クラブ空洞



（第3図）クラブ空洞の電磁場分布

4. 空洞の性能を示すパラメータ

空洞の性能を示すパラメータとしてQ値(Quality factor)がある。Q値は空洞内に蓄えられた電磁エネルギー(Stored Energy)Wと空洞で消費されるエネルギーPで定義されが、このPの取り方として、純粋に空洞本体での消費分(P_0)とRF入出力ポートでの消費も含めた消費分(P_{total})などがあり、前者は「無負荷のQ値(Q_0)」と呼ばれ、後者は「負荷時のQ値(Q_L)」と呼ばれ、空洞の共振角周波数を ω として、次のように定義される。

$$Q_0 = \omega W / P_0 \quad (1)$$

$$Q_L = \omega W / P_{total} \quad (2)$$

上の式より空洞の効率が良いほどQ値が大きくなることが分かる。また P_0 は空洞壁のみで消費されるエネルギーであるので、 Q_0 は空洞本体の性能を示すパラメータとなり、性能の比較をする場合に使用される。クラブ空洞の開発においても、この Q_0 の計測を行い性能の評価をするために特性測定システムを製作した。

5. 特性測定システム

特性測定システムの構成図を第4図に示す。このシステムは大きく分けると「RF発生源」、「周波数ロック部」及び「特性測定部」よりなる。

RF発生源はクラブ空洞に入力するRF(508MHz)を連続(CW)またはパルスで発生する部分で、最終段のパワーアンプ(トランジスタ電力増幅器)は150W(CW)出力である。

周波数ロック部はクラブ空洞に入力するRF信号を空洞の共振周波数にロックさせるためのフィードバック回路であり、空洞へ入力するRFと空洞からのRFの位相差を検出し、その位相差信号により信号発生器を周波数変調(FM)し、信号発生器の出力を空洞の共振周波数にロックさせる。

特性測定部は空洞に入力するRF信号(P_{in})、空洞から反射されるRF信号(P_{ref})及び空洞

のモニターポートから取り出したRF信号 (P_{tr}) のパワー測定あるいはRF検波波形観測を行う部分である。パワー測定ではパワーメーターの節約のために、同軸スイッチを使用して3つのRF信号を切り替えて測定するようになっている。

特性測定システムの内、測定器類はGPIBインターフェースを持ち、パソコンと接続されており、これにより特性測定がパソコンのLabVIEWプログラムにより可能となる。すなわち特性測定部の測定器の制御、測定データの取り込み、そのデータによる Q_0 の計算、特性の表示等がパソコン上で実施される。

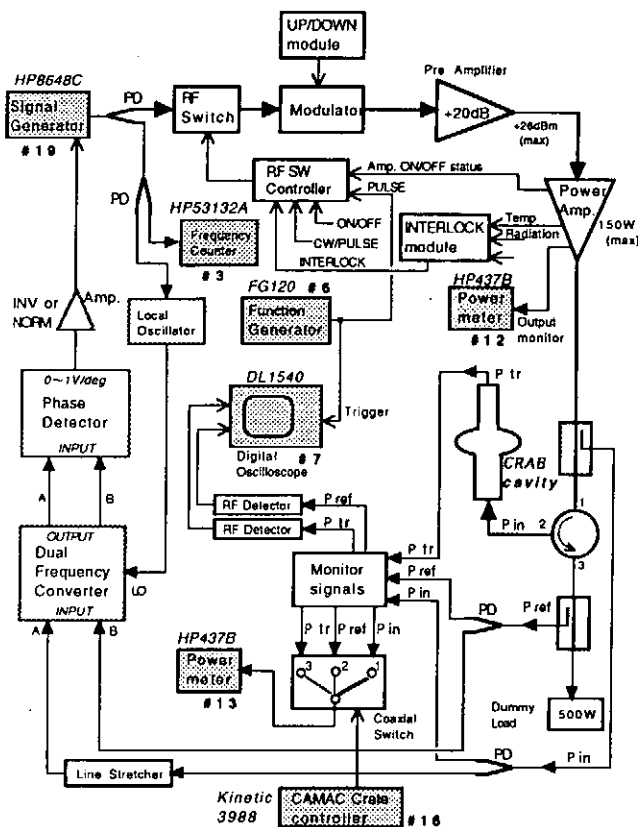
6. Q_0 測定の手順

クラブ空洞の無負荷時の Q 値 (Q_0) は空洞に入力するRFパワーを変えて測定され、通常は空洞の表面電場 (E_{sp}) と Q_0 の関係をグラフにプロットして特性データとして表示される。この E_{sp} と Q_0 の関係は3種類のRF信号 (P_{in} 、 P_{ref} 、 P_{tr}) のパワー測定で計算できるが、そのためには予備測定として何種類かのデータを測定しておく必要がある。この予備測定を含めた Q_0 測定の方法をLabVIEWプログラムの測定の流れに従って示す。

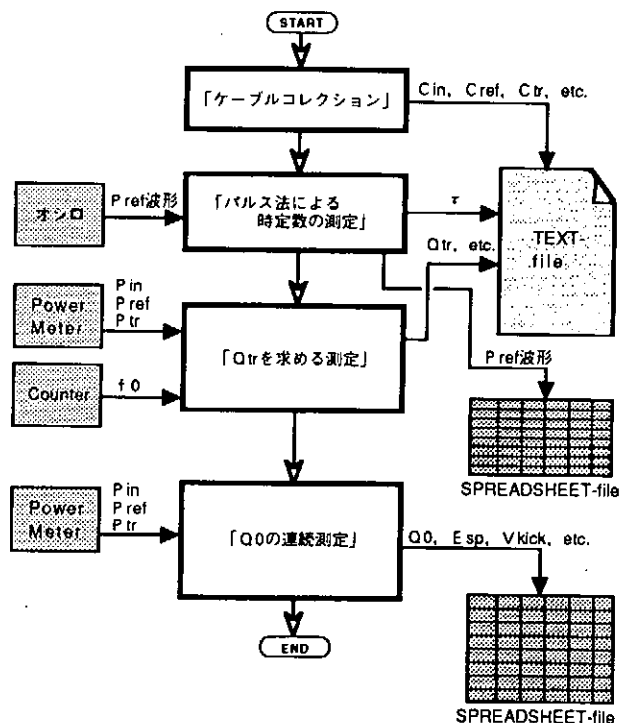
第5図にLabVIEWプログラムによる測定手順を示す。図の中央の列が測定の流れで、4つのプログラムを順次実行することで Q_0 測定を実現できるようになっている。図の左の列は測定器から読み取る測定データを示し、また右側には特性測定で使用するファイルを示してある。このファイルは各段階の測定結果を格納し、別の段階で使用するためのテキストファイルと測定データ及び Q_0 の測定結果を格納するための2種類のスプレッドシートファイルよりなる。

測定の第1段階は「ケーブルコレクション」であり、これはモニター点でのRFパワーと実際の空洞でのRFパワーの換算係数を求めるための測定である。

第2段階は空洞のStored Energyの減衰の時定数の測定であり、RFをパルスで入力し、空洞からの反射RFの検波信号をデジタルオシロにより取り込み、この波形より減衰の時定数 τ 及び、カップリング β_L が1より大か、小かを求める。このデジタルオシロで捕らえた波形は表計算アプリケーションソフトで使用するス



(第4図) 特性測定システム



(第5図) 特性測定の手順

ブレッドシート形式のファイルとして保存され後日波形を再現することができる。

第3段階は「伝送時のQ値 (Q_{tr}) を求める測定」である。この測定では、ある一定のパワーを連続で空洞に入れた時の P_{in} 、 P_{ref} 、 P_{tr} のパワー測定及び共振周波数 f_0 の測定を行う。この測定と第2ステップでの時定数 τ を用いて Q_L が次のように求まる。

$$Q_L = \omega\tau = 2\pi f_0\tau \quad (3)$$

また負荷時の結合係数 (Coupling factor) β_L 、伝送結合係数 β_{tr} 及び入射結合係数 β_{in} も RF パワー測定より求まり、結局伝送時のQ値 (Q_{tr}) が次のように得られる。

$$Q_{tr} = Q_0 / \beta_{tr} = Q_L(1 + \beta_{in} + \beta_{tr}) / \beta_{tr} \quad (4)$$

このようにして得られた Q_{tr} は RF 出力ポートのアンテナの形状や位置が固定であれば空洞への RF 入射電力が変わっても不変であるので、 Q_{tr} は1度測定するだけでよいことになる。

以上で予備測定が完了し、第4段階でクラブ空洞のRF特性を調べるための「 Q_0 の連続測定」が行われる。これは空洞に連続でRFを入力し、表面電場 E_{sp} と Q_0 との関係を求める測定を入射 RF パワーを変えながら行うものである。予備測定で求まった Q_{tr} を用いると Q_0 及び E_{sp} は、 $P_0 = P_{in} - P_{ref} - P_{tr}$ であるので、

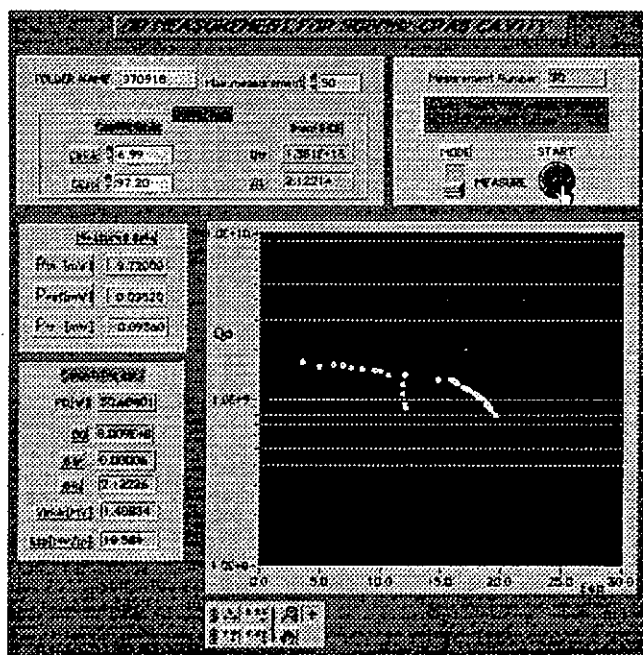
$$Q_0 = Q_{tr}P_{tr} / P_0 = Q_{tr}P_{tr} / (P_{in} - P_{ref} - P_{tr}) \quad (5)$$

$$E_{sp} = C_{sp}\sqrt{P_0Q_0} = C_{sp}\sqrt{(P_{in} - P_{ref} - P_{tr})Q_0} \quad (C_{sp} \text{ は空洞形状で決まる定数}) \quad (6)$$

となり、 Q_{tr} を用いると3つのRFパワー P_{in} 、 P_{ref} 、 P_{tr} の測定のみで空洞へのRF入力パワーを変えたときの E_{sp} と Q_0 が連続的に測定できる。LabVIEWプログラムは測定の度に E_{sp} と Q_0 の関係をグラフにプロットし、 Q_0 の変化を測定中に見られるようになっている。また測定データ及び計算結果はブレッドシート形式のファイルとして保存される。

7. 特性測定システムの動作確認

測定で使用するプログラムの内、各測定器を制御する部分の動作確認及び測定をシーケンシャルに実行する4段階のプログラムのシミュレーション試験を実施した後、1997年9月に行った第2回目のクラブ空洞の特性測定試験で本システムを使用した実験を行い、LabVIEWプログラムによる Q_0 測定が期待通りに実現できた。その時の試験中に LabVIEWによりパソコン画面上にプロットされた E_{sp} と Q_0 の関係のグラフの一例を第6図に示す。



(第6図) Q_0 測定の例

8. まとめ

KEKB用のクラブ空洞の特性測定システムとしてハード部分のRF発生源、周波数ロック部、測定部を構築し、それらを制御して測定を実施するLabVIEWプログラムを開発した。

従来の測定ではパワー測定及び測定データをパソコンに入力するまではマニュアルで実施し、それ以降の E_{sp} と Q_0 の計算及び両者の関係のプロットのみをパソコンで実施していたが、この新しい特性測定システムによる特性測定を実際に実施した結果、パワーメータの入力信号の切替えや測定も自動的に行え、従来の測定に比較し非常に早く測定が行えるようになり、有効であることが確認できた。

今後は実際の特性測定試験で使用した結果より得られた経験によりプログラムの改良や機能追加を実施し、より使いやすいシステムに仕上げる予定である。

大型ヘリカル装置 (LHD) トムソン散乱計測 レーザ・ビーム制御用分散処理システムの開発

核融合科学研究所 山内健治 林浩 成原一途 山田一博 中西秀哉
村井勝治 小嶋護 秀熊茂 南貴司

はじめに

今年度末のプラズマ点火を目指して建設されている大型ヘリカル装置 (LHD) の電子温度、密度計測用トムソン散乱計測装置は、以下の特徴をもつ。

1. 高時間分解能

最終的に 50 Hz のパルス YAG レーザ 10 台を順次、発射することにより 2 msec の時間分解能を得ようとするものである。

2. 高位置分解能

散乱光はビューポートを通して真空中に設置された大型凹面鏡により集光され、その焦点位置に 1 次元配列された 200 本の光ファイバーに投射される。光ファイバーの直径は 2 mm であり、測定されるプラズマ位置分解能に換算して約 1 cm に相当する。

3. 高速なデータ処理

光ファイバーから出た散乱光は、光学フィルターと APD (Avalanche Photo Diode) とから構成される分光器によって波長帯毎の電気信号になり、増幅された後 FASTBUS の ADC に取り込まれる。デジタル化された散乱光データは、VME のリフレクト・メモリへ転送される。レーザ 1 ショット毎に約 1 kword のデータが処理される。

これらの特徴を活かし、測定精度を上げるためにプラズマ中のレーザ・ビームの位置制御は、重要な課題である。我々はこれまで、パルス・ビーム位置検出のための PSD 測定回路、CCD カメラと画像処理によるビーム・プロファイル計測、ビーム偏向のための piezo・アクチュエータ駆動ミラー、超音波モータ駆動ミラー等を開発してきた。今回、これら機械的要素を制御するための分散処理システムについて報告する。

1. 分散処理システムの概略

レーザ・ビームは、計測機器室より LHD まで直径 120 mm のアルミニウム・パイプ中を途中ミラーにより偏向を受けながら約 40 m 伝送されるが、建物や他の装置、室内の温度変化によりビームに振動が生じる。レーザ・ビームの位置を一定に保つためには、位置計測と各機械的要素を高速に駆動する必要がある。このために各要素毎にコンピュータを割り当て、分散処理を行うことにした。約 100 m 離れた制御

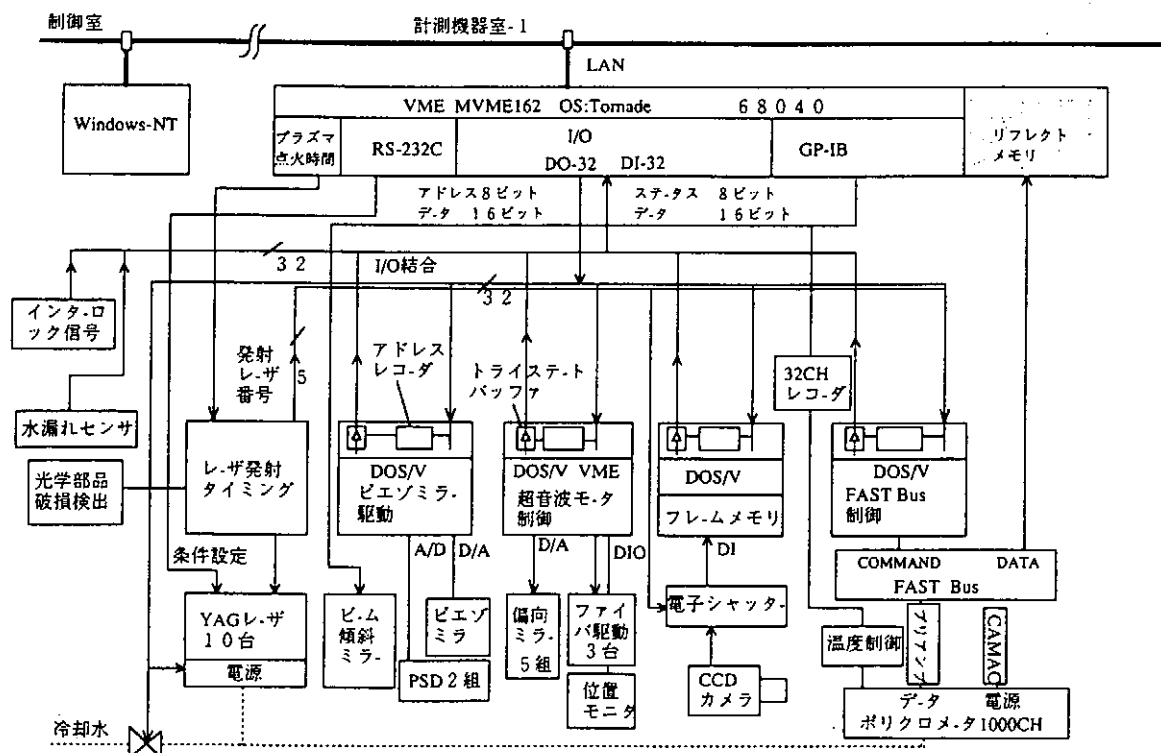


図1 レーザ・ビーム制御用分散処理システム

室から、本体室や計測機器室地階に設置された機器を制御し測定データを収集するためには、ネットワークに接続されたVMEコンピュータと、各機器を制御する4台の産業用コンピュータとをI/O結合し、階層構造にする必要があった。

2. トムソン計測機器制御用コンピュータ

2.1 VMEコンピュータ (MVME162 OS: VxWorks-Tornado)

LANに接続され、下位のコンピュータとの間で命令やデータの入出力を行う。

2.2 産業用コンピュータ

CONTEC社 IPC-BX/M400 組み込み型DOS/V機

- OS: MS-DOS 磁場中で使用するためにハードディスクを使わず、OSとソフトウェアをフラッシュメモリ上に納めた。そのため小規模のOSである必要があり、MS-DOSを使用した。プログラム開発時にはキーボード、モニター、フロッピー・ディスク、プリンターを接続し、完成後は単体で動作させる。
- 電源投入時にプログラムを自動的に立ち上げ、ノイズ等によるプログラムの暴走に対しては、ウォッチ・ドッグ・タイマーにより再立ち上げができる。
- RS232Cポートは、2CH標準装備。汎用I/Fは絶縁型入出力各3ビット。ISAバスボードもオプションで2枚まで装着できる。
- 各コンピュータは、レーザの発射タイミング信号と発射レーザ番号信号によって同期をとりながら動作する。

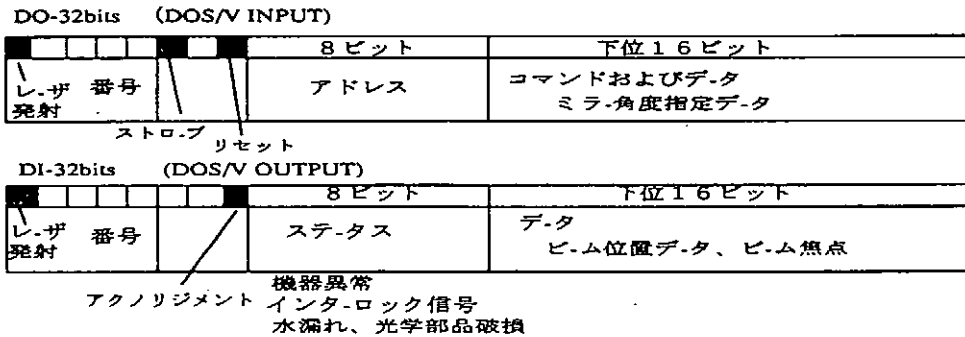


図2 I/O結合入出力信号

3. 分散処理コンピュータ間のI/O結合と同期動作

各コンピュータは、パルス・YAGレーザの発射に同期させて動作する必要がある。特に画像処理によるレーザ・ビームのパターンチェックや、FASTBUSによる散乱光データの取り込みは、正確に同期させる必要がある。各コンピュータのISAバスに出力32ビット、入力32ビットのDIOボードを取り付け、フラット・ケーブルで並列に接続した。入出力の信号は、入力の場合に最上位1ビットがレーザ発射タイミング信号、その下4ビットが発射レーザ番号信号、ハードウェア・リセット信号など3ビットがあり、次の1バイトは、各コンピュータのアドレス信号である。各コンピュータにアドレスを割り付けておき、VME側から下位のコンピュータのアドレスを指定して、データ等を送り出させることができるようにした。下位コンピュータにアドレス・デコードを付け、VMEコンピュータの送り出したアドレスが自分と一致した場合のみ、トライステート・バッファをI/Oに接続してデータを送り出す。このことにより下位コンピュータが無秩序にデータを送りだし、互いに出力同士が衝突するのを避けている。

出力32ビットの内、上位5ビットはレーザ発射信号、下位16ビットは、各コンピュータの受け持っている機械的要素からのデータである。トライステートの出力側には、1kΩのプルアップ抵抗を取り付け、ノイズに対して強くした。

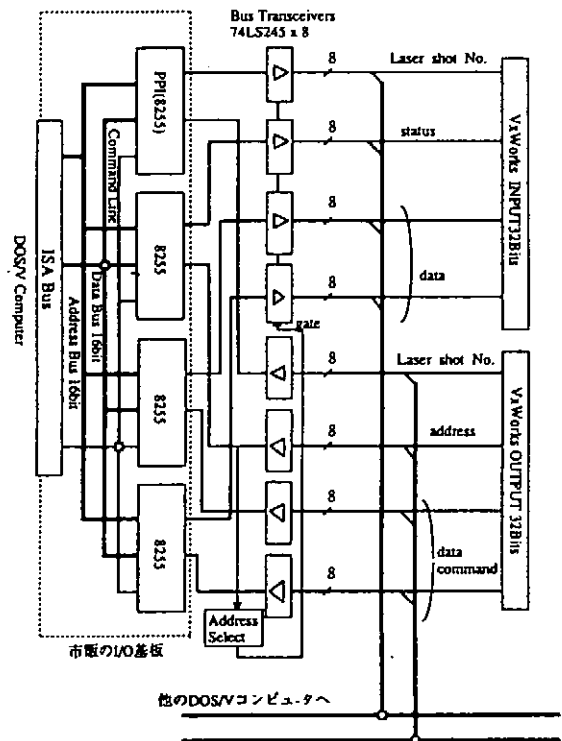


図3 I/O結合部回路概略

4. レーザ発射タイミング信号

10台のレーザを順次発射し、それら全てのビーム光路を一致させるために、図4に示すような回転ミラーにより、幾何学的に放射状に配置された10台のレーザ・ビーム光路を一本に合成する。中心部の45°にカットされた回転ミラーがYAGレーザの出射口に相対した時に、レーザ・ビームを発射する。このためにYAGレーザ・ビーム進行と逆方向より、He-Neレーザを入射し、YAGレーザ出射口近くに配置した光ディテクターがHe-Neレーザ光を検出した瞬間にYAGレーザに対して発射信号を出す。ただしYAGロッドを励起するために発射5 μ sec前にキセノン・ランプを発光させなければならない。タイミング発生回路は、発射されたレーザに対応したタイミング信号と発射番号の信号をつくり、I/Oバスへ出力する。

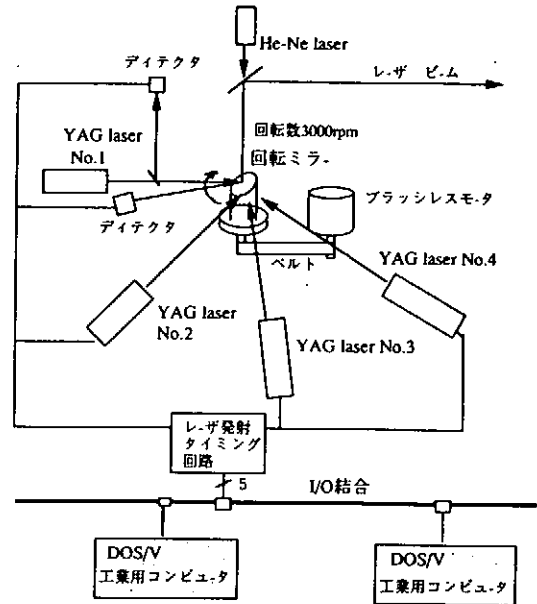


図4 レーザ発射同期信号

a. 超音波モータ及びピエゾ素子駆動ミラー制御コンピュータ

建設中の本体地下室にアルミ・パイプによる20mの仮設伝送ラインを設置し、音響機器により90dbの音圧を加えながら周波数を走引し、PSDによりビームの振動を測定した。その結果、問題となったのは、周期3Hzで振幅が3mm程度の振動で、これは測定精度に大きな影響を与える要因となる。超音波モータ及びピエゾ素子駆動ミラーによりビーム位置を一定になるように制御する。各ミラーの構造と制御について図5に示す。コンピュータはDACによって位置信号を制御回路に出力する。これを受けた制御回路は、前方のPSDからの信号との差をPI演算し、その制御結果をミラー駆動回路へ出力する。超音波モータ駆動ミラーは、1Hz以下の振動、特に温度変化や建物の経年変化など大きな変化分を補正するために使う。これに対してピエゾ素子駆動ミラーは、回転ミラーから発生する50Hzの振動も含めた速い振動で、振れ角が、5mrad以下の振動除去を受け持つ。

コンピュータは、PSDからのビーム位置情報をVMEに送る。またビーム位置情報が変更となった場合VMEから、それを受けて各制御回路にアナログ信号として送り出す。

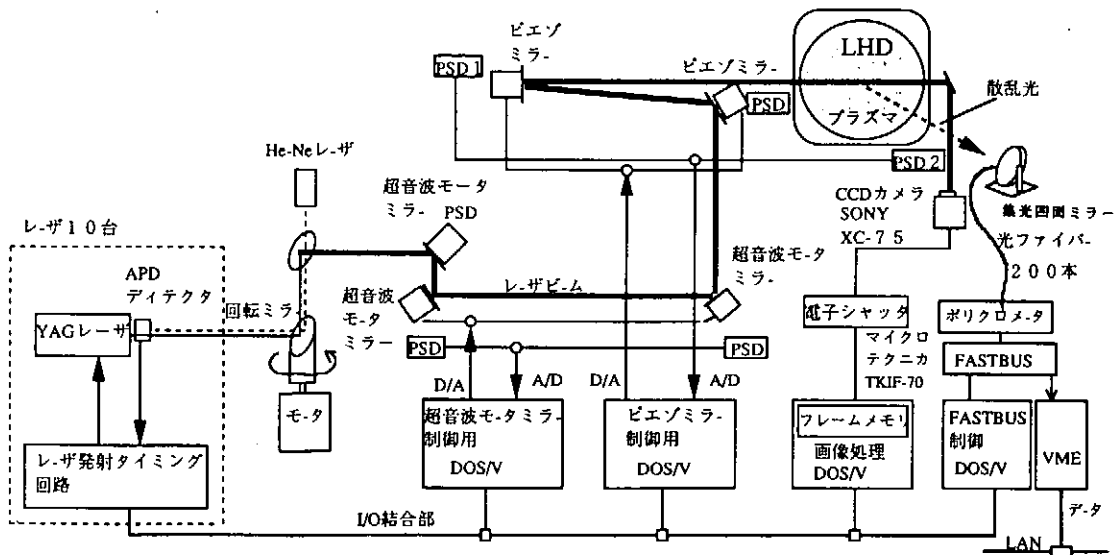


図5 レーザ・ビーム制御概略

b. 集光凹面ミラーと光ファイバ・ホルダ制御コンピュータ

散乱光を受ける集光凹面ミラーは、138枚の小型の六角凹面鏡を組み合わせた構造になっており、縦1.8m、横1.2mの大きさである。散乱光は、凹面鏡で反射し4.5m離れた一次元にバンドルされた光ファイバー上に焦点を結ぶ。光ファイバーは、ホルダーに固定されており凹面鏡に対して最適な位置になるように、超音波モータでホルダーを回転させながら2次元走査し、信号強度の最も強くなる位置を探しセットする。コンピュータは、各々の超音波モータに駆動信号を出すと同時に、モータに付けられているエンコーダからの信号が、FPGAを使った16ビット・カウンタ4組に入るのでI/Oを介して読み出す。

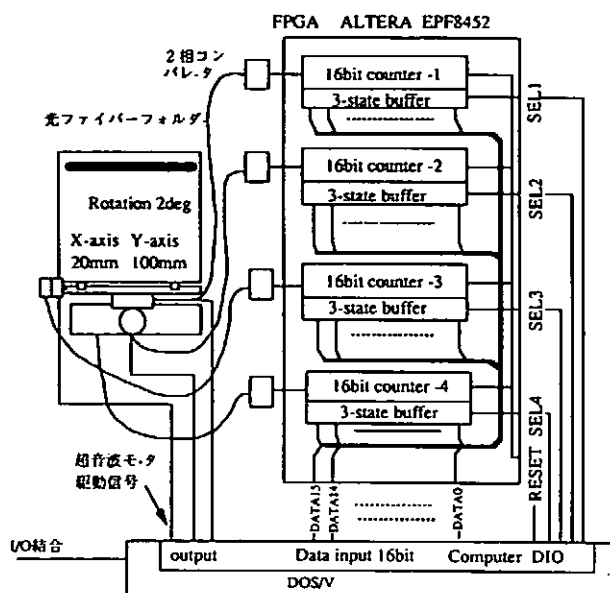


図6 光ファイバ調整用超音波モータ制御と位置検出

d、FASTBUS制御用コンピュータ

レーザ発射2msec間隔で1000ch(1kword)のデータを転送する必要があり、10Mbyte/sの転送速度を持つFASTBUSを使う。ADCモジュールは、13ビットのADCを64ch持つ1881M (LeCroy) 16台を並列にして使用することにより1000chのデータの同時入力を可能としている。FASTBUS制御プログラムは、主にDOS/V機上で動作するLIFT (LeCroy Interactive FASTBUS Software Toolkit) を用いて制御される。レーザ発射タイミングに合わせてFASTBUSを制御して、散乱光データをVMEのリフレクト・メモリ上に取り込む。

まとめ

複数のパルス・YAGレーザのビームの光路を合わせ、約40mの距離を伝送し、建物や他の装置の振動によるビームの変位を補正するためには、超音波モータ、ピエゾ素子駆動の偏向ミラーなどの機械的要素を高速に駆動する必要があった。そのために各機械的要素を個別のコンピュータで制御し、レーザビームの発射に同期して処理を行うために1/O結合とした。ネットワークに接続されたVMEコンピュータ(OS:Tornado)と産業用コンピュータとを階層構造にした。

現在、分散処理システムについては、ハードウェアの開発が終了したので今後各コンピュータのソフトウェアの制作を行う。

参考文献

1. 産業用コンピュータ・ユーザズマニュアル CONTEC社
2. VxWorks Technical Reference Manual KOBELCO社
3. MAX+PLUS II 説明書 アルテラ社
4. パルス・レーザ用ビーム位置検出 山内 他 1996.7
分子科学研究所技術研究会報告集No. 15
5. 大型ヘリカル装置における超音波モータの応用 山内 他 1997.3
国立天文台、電気通信大学技術研究会報告
6. トムソン散乱計測用レーザ・ビーム位置制御 山内 他 1996.3
プラズマ・核融合学会第13回年会予稿集
7. トムソン散乱計測用レーザ・ビーム位置制御 II 山内 他 1997.3
プラズマ・核融合学会第14回講演会予稿集
8. マルチ・パルス・レーザビームの位置検出と制御 山内 他 1996.12
東海テクニカルシステム研究会・会誌
9. LHDトムソン散乱計測用レーザ・ビーム制御用分散処理システム 山内 他 1997.11
プラズマ・核融合学会第14回年会予稿集

c、ビーム・パターン検査用コンピュータ

10台のレーザ・ビームパターンを画像処理により逐次チェックする。CCDカメラからのNTSC信号をコンピュータのフレームメモリに記憶して処理するが、ビーム発射間隔が2msecであるため全てのビームが1フレーム走査中に入射してしまう。これを防ぐためにCCDの電子シャッター機能を使い、指定したレーザの発射時にそのビーム・パターンのみを取り込むことができるように改造した。パターンの最大強度位置を求め、その点を中心に前後、左右、斜めの等濃度点までの距離を求め、ビームの真円度からのずれを計算しビームの質をチェックする。

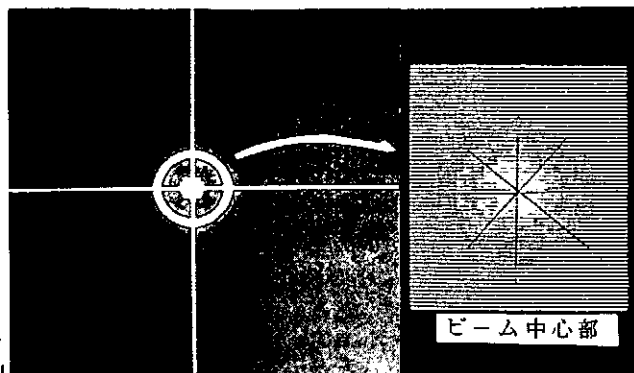


図7 画像処理によるビーム・チェック

KEKB用マイクロ波モニタシステム

高エネルギー加速器研究機構

片桐 広明

1. 概要

高エネルギー加速器研究機構の電子・陽電子入射器では、KEKB計画のためのエネルギー増強を進めている。これは、加速ユニットの増設とマイクロ波源の増強により達成される。また、ビームの安定度も従来以上に高くする必要があり、新しいマイクロ波源にもより高い安定性が要求される。

マイクロ波源の増強として、SLEDと呼ばれるパルス増倍装置や50MW級クライストロンの導入と、これに伴うパルス電源の改造を行った。この新しいマイクロ波源は、構造上SLED空洞の温度変化や調整ミスによる共振周波数のズレなどマイクロ波出力の変動をもたらす要因が増えるうえに、入力マイクロ波や高圧パルスのタイミングの変化及びジッターが出力に与える影響が大きい。安定した運転のためには、様々な要因で発生するパルス波形の乱れや位相の変動といった現象を迅速に検出し適切な対応が求められる。KEKB用マイクロ波モニタシステムは、SLED出力波形など各種モニタ信号の高速、高精度な観測を目的としている。今回は、特に重視される機能であり、優先して開発したパルス波形の計測に着目し報告する。

2. システム開発の方針

2-1. 既存のモニタシステムの問題点

既存のモニタシステムとしては、大電力クライストロン出力波形、加速管出力波形及び位相を監視する、3種類が存在し、それぞれ独立して運用してきた。複数の多入力同軸切替器を同軸ケーブルで階層的に接続した構造を持ち、上位に位置するデジタルオシロスコープとパーソナルコンピュータで、順次信号を選択し計測を行う。これらは定期的な監視を行い長期間での変動を検出するように開発されたため、以下の様な問題からKEKB用システムに求められる要求を満足できない。

- 1) 1つのシステムで波形はマイクロ波源全数分(50台弱)、位相については8台分の信号を順次切り換えながら測定するため、全てを同時に監視することが不可能。
 - 2) システム制御用パソコンの処理能力やデジタルオシロとのインターフェース(GP-IB)のデータ転送速度で制限され、計測の高速化が望めない。
 - 3) 機械式同軸スイッチなどの寿命の問題から測定の種類度を上げられない。
- これらを解決する、新しい形態のモニタシステムを検討した。

2-2. 新システムへの要求と開発の方針

1) 全てのマイクロ波源を常時監視

マイクロ波源毎に計測器とコントローラから構成される計測ステーションを設置し、常時監視する。実際には、コストの問題などから、マイクロ波源2台に対し1台の割合で、計30台を設置することにした。

2) 高速、高精度なパルス波形計測

速度に関しては、50Hzで運転されるマイクロ波源の、パルス波形のジッターやマイクロ波立体回路内での放電等による速いパルス波形の変化を検出することを目標とした。精度については、マイクロ波出力ピーク電力の変動を2%以内に抑える事を目標としているため、測定誤差をさらに低く抑える必要がある。これらの要求を満たすため、何種類かのシステムを検討した結果、VXIバス組込型のコントローラと計測器を採用した。

3) ディスクレス化

計測ステーション用VXIコントローラはローカルのハードディスクを持たないディスクレス構成とする。これは、台数が30と多くなること設置場所の環境を考え、ハードディスクに関するトラブルを避ける事を目的としている。ディスクレス構成を可能とするオペレーティングシステムとしてHP-UXを採用した。

4) マイクロ波系LAN構築

ディスクレス化の前提として、ネットワークの整備が上げられる。電子・陽電子入射器では制御系の方針に基づき、電磁石、マイクロ波源、真空など部門毎に分離されたLANを用意し、様々な機器のコントローラを接続している。その運用に於いては、制御系の中央に位置する運転用計算機から、末端のコントローラに直接アクセスするのではなく、各部門毎に用意された管理用計算機を介して行うという取り決めがある。マイクロ波系LANには、計測ステーション用VXIコントローラ他、パルス電源制御用シーケンサなどが接続される。管理用計算機としての役割は、ディスクレスコントローラ用のサーバー計算機が果たす。

2-3. VXIバスシステム概論

VXI (VMEbus Extension for Instrumentation) バスは、モジュラ型コンピュータ・システムのバックプレーンとして幅広く採用されているVMEバスを基本に、互換性を持たせながら計測器制御に必要な各種機能を拡張し規格化されたバスである。VME標準のバスに加え、トリガ信号やアナログ信号を取り扱うバス、ローカルバス、アナログ回路及びECL回路用電源バスが拡張される。これによりVMEバスシステムの持つデータバス、アドレス空間定義、割り込み制御機能などの利点を生かし、モジュール間の同期動作や高速コミュニケーションが可能となっている。機械的仕様では、ボードのサイズやスロットの間隔が拡大され、より大型の電子部品の実装が可能となり、シールド性や放熱性も向上している。また冷却やノイズに関する問題を解決する目的でこれらの規格化も行われている。

3. マイクロ波計測ステーション

3-1. 計測ステーションの構成

図1に計測ステーションのブロック図を示した。1台のステーションでマイクロ波源2台分、8種類程度のマイクロ波パルス信号の計測を行う。コントローラ、波形デジタイザ、A/Dコンバータ、デジタルI/OはVXI組込型のモジュールである。マイクロ波計測器として、ピークパワーメータとフェーズディテクタがある。マイクロ波パルスの検波波形と位相検波波形を波形デジタイザで計測する。また信号選択のための同軸スイッチは、寿命の問題を解消するため半導体式を採用した。

3-2. VXI計測系の試験と評価

VXIバスシステムの導入を決める際、パルス波形計測の速度及び精度を試験した。この際、プログラミングには、計測制御プログラム開発ツールである HP VEE を使用した。これはアイコン化されたデータ収集、解析、表示などの機能を組み合わせることによりプログラミングを行うツールである。プログラミング言語による方法と比較し処理速度の面では不利であるが、シーケンスの変更が容易で、デバッグのための機能も考慮されていることから、プログラム開発の効率を上げるのに有効であった。

1) 計測速度

VXIの標準的なI/Oプロトコルとしてメッセージベースと呼ばれる方法があるが、より高速な、共有メモリを介したデータ転送を試験した。これは波形デジタイザの持つ1MバイトのメモリをVXIバス上のアドレスに割り当て、コントローラと双方からアクセスする方法である。デジタイザによる書き込み動作と、コントローラによる読み出し動作が非同期ではあるが、毎秒約50回の取り込みが可能であった。実際にはデータ解析等の処理が加わるため速度は低下するが、デジタイザの持つ波形データの比較機能等を使用したり、プログラムのC言語への書き換えで高速化が望めることから、速度的な要求は満足すると判断した。

2) 計測精度

波形デジタイザの持つADCは8ビットの分解能で、量子化ノイズを考慮すると有効分解能は約1%と考えられる。パルス波形ピーク値をより高い精度で測定するには、DCオフセット付の計測が必要で、オフセット量の大小による測定の誤差が問題となる。試験として、電圧レンジを一定とし、入力DC電圧を変化させオフセット量を調整し電圧を読み取り、6.5桁のマルチメータによる測定値と比較した。この結果、オフセット量をフルスケールの10倍に設定した場合でも、誤差は0.1%以下であった。

4. ソフトウェア開発

4-1. ネットワークプログラミング

電子陽電子入射器の増設部の運転立ち上げに合わせ、マイクロ波モニタ系も増設部への導入を優先し、新設された12台のマイクロ波源用に6台の計測ステーションを設置した。増設部には既存のモニタ系が存在しないため、新しいシステムの整備は不可欠である。ソフトウェアの開発に関しては、増設部のマイクロ波モニタ波形を入射器中央制御室及び増設部副制御室の運転用端末にリアルタイム表示することを当面の目標とした。この場合、最も簡単なのは、X端末などから任意の計測ステーションにリモートログインし、プログラムを実行する方法である。しかしこれは、中央の制御系から、末端のデバイスコントローラであるVXIコントローラに直接アクセスすることになり、先の述べた制御系の方針から外れる。

そこで、マイクロ波系ネットワークの管理を行うファイルサーバー計算機にリモートログインし波形表示プログラムを実行することにした。VXIコントローラ上でデータ収集プログラムを実行させ、両者の間で、ネットワークを介した高速コミュニケーションを行うわけである。両方のプログラムとも、試験段階

から引き続きVEEで開発する事にした。当初、不足すると考えていた処理速度は、一部プログラムのC言語への書き換えや、VEE自体のバージョンアップにより向上している。ネットワークを介したコミュニケーションの手段として、VEE上で実行可能な次の2つの方法を検討した。

1) LANゲートウェイ機能

これは、VXI、GP-IB、シリアルの各インターフェースに対応したI/Oライブラリの持つ機能である。VXIコントローラは、LANゲートウェイサービスプロセスを起動させることで、ゲートウェイとして動作する。これによりサーバー計算機からVXIコントローラの持つインターフェースへのアクセスが可能となる。サーバー計算機から見ると、計測器が直接接続されたのと等価であり、特別な通信プログラムを書く必要はない。ただし、VXIデバイスへのアクセスはメッセージベースに限定される。このため、共有メモリは使用できず、求められている高速の波形データ表示は達成できなかった。

2) リモートファンクション機能

VEEでは、ユーザーが作成したプログラムをファンクションとして定義し、他のプログラムから呼び出すことができ、データの受け渡しも自在に行うことが可能である。ネットワークに接続された2台の計算機の間では、ローカル計算機上のプログラムから、リモート計算機上でファンクションを実行し、その結果を受け取ることができる。この機能を使用することにした。

サーバー計算機上のメインプログラムには、信号の選択や、デジタイザの電圧/時間軸レンジ設定等のユーザーインターフェースと、波形データ表示機能を持たせる。一方、VXIコントローラ側のプログラムは、VXIやGP-IBなどのインターフェースにアクセスする部分、例えば共有メモリから波形データを読み出すルーチンや、レンジの設定を行うルーチンなど、機能毎に分割しファンクション化する。サーバー上のメインプログラムから必要に応じファンクションを呼び出すことで、計測ステーションの制御が可能となる。また、VXIコントローラ上で作成したファンクションは、リモートファンクションとして呼び出すだけでなく、VXIコントローラ自身のVEEのプログラムからの呼び出しも可能である。実際に双方で多くのファンクションを共通化しており、プログラム開発や保守の効率の面でも利点があるといえる。図2にサーバー上のプログラムにより表示される画面を示した。波形データを連続して表示させる場合のリフレッシュレートは、ネットワークのトラフィックに依存するが、試験したところ毎秒30回程度であった。

4-2. SLED空洞チューニング用アプリケーション

SLEDとは2つのマイクロ波共振空洞をカプラで結合した構造を持ち、パルス内で位相を180度反転させたマイクロ波を入力すると、それぞれの空洞に蓄積された電力が合成され、パルス幅の圧縮された、ピークの高い出力を得ることができる。マイクロ波パルスの圧縮を効率良く行ない、反射が小さく、より高いピーク電力を得るためには、空洞のチューニング作業が欠かせない。

従来この作業は、SLED出力モニタ信号を作業現場に設置したオシロスコープで観測し、その画面をテレビカメラで撮影して小型液晶ディスプレイに表示された映像を見ながら行うという、手間のかかるものであった。これを新しいモニタ系の導入で簡略化した。まず、入射器増設部の副制御室に、VXIコントローラを波形表示プログラムを実行するための端末として設置する。コントローラのRGBディスプレイ信号をNTSC変換器に入力しビデオ信号に変換したのち、副制御室とパルス電源の間に敷設された同軸ケーブルにより伝送する。作業現場では、液晶ディスプレイだけを用意すればよい。

図3にSLEDチューニング用の画面を示した。このプログラムは、図2のサーバー用プログラムに手を加えた物である。変更点として、画面のデザインその他、パルス電源制御用シーケンサと通信し大電力クライストロンの出力ピーク電力、反射電力及び、反射係数を取り込み表示する機能の追加が上げられる。これらは、チューニングを行う上で非常に重要な情報である。シーケンサとの通信は、C言語で書かれたUDP送受信プログラムを使用している。VEEでは、ファンクション化されたプログラムの他、コンパイルされたC言語のファンクションを呼び出すことが可能であり、メインプログラムから、この2種類のファンクションを呼び出し、波形データと電力測定値等を得ている。

5. 問題点及び今後の課題

1) サーバーの能力

現在サーバー計算機として、汎用ワークステーションを使用している。この計算機の能力の不足から、起動可能なディスクレスクライアントの台数が制限されている。当面は、スワップ領域の増加などにより改善を試みるが、根本的な解決のため、サーバーの増設を検討している。

2) メモリ管理上のバグ

VEEリモートファンクション機能を使用した場合に、特定のプロセスに割り当てられたメモリの使用量が徐々に増加し、他を圧迫するという問題が表面化した。これは、オペレーティングシステムのメモリ管理上の問題と思われる。現在、メーカーにて調査中である。

3) サーバーとVXIコントローラのプロセス間通信

個々の計測ステーションでは、各モニタ信号の自動計測を行いながら、リモートアクセスの要求にも対応しなければならない。リモートファンクション機能を使用した場合、リモートVEEプロセスと自動計測を行うローカルVEEプロセスはそれぞれ独自に動作する。両立させるためには2つのプロセスが同時に別々の操作を行わないよう排他制御しなければならない。この2つのVEEプロセス間で何らかの取り決めが必要となる。解決のため、サーバー上のVEEメインプログラムと、VXIコントローラ上のローカルVEEプログラムの間で通信し、計測器等へのアクセスをシェアすることにした。現在、VEEのソケット通信機能やC言語のUDP通信により、この部分の開発を進めている。

参考文献

- [1]片桐広明、他：“KEKBマイクロ波モニタシステム”，Proceedings of 20th Linear Accelerator Meeting in Japan (1995)
- [2]“放射光入射器増強計画”，KEK Report 95-18

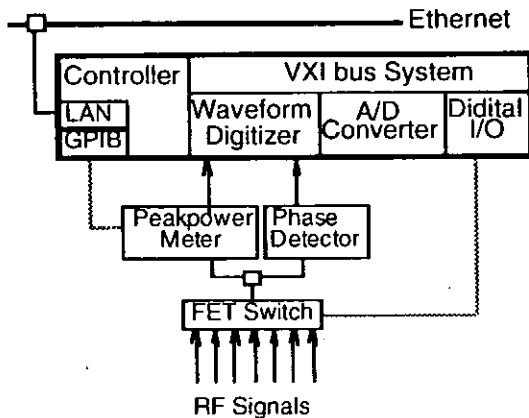


図1. 計測ステーション ブロック図

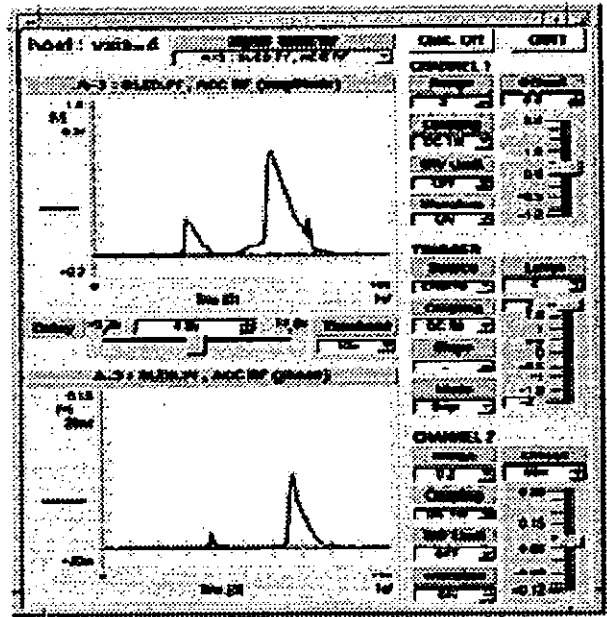


図2. 波形表示、操作画面

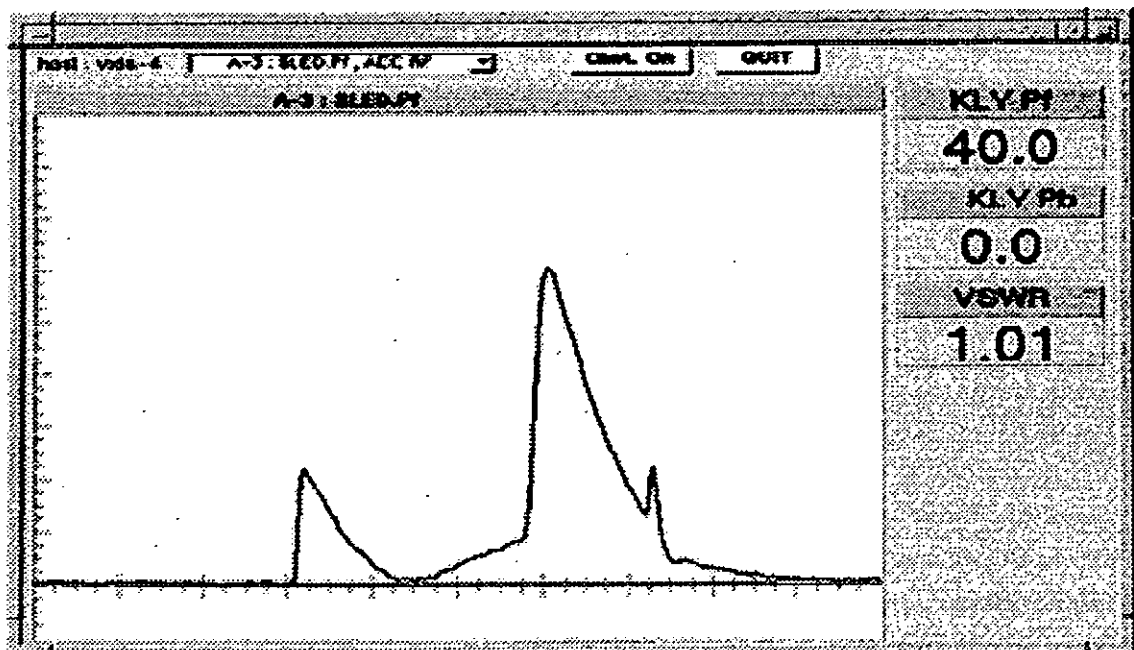


図3. SLEDチューニング用画面

大型陽子加速器のためのタイミングシステム

高エネルギー加速器研究機構 門倉 英一

1. はじめに

将来計画である大型加速器(JHF)は、多段の複合加速器で 200MeV 陽子線型加速器、3GeV 陽子リング加速器 及び、50GeV 陽子リング加速器からなり、互いに関連をもち、同期をとりながら運転されなければならない。即ち、これ等の各機器は、時間の制御のもとに運転される。

加速器の運転は、いろいろなモードがあり速やかに対応できるようなタイミング制御システムを設計する必要がある。装置としての操作性、信頼性、拡張性、維持管理の容易なシステムを作る必要がある。また、経済性も重視しなくてはならない。これらを考慮して (1) タイミング信号は基本的に多重転送方式を取り、極力信号線の数 及び、長さを減らす。(2) タイミング回路はモジュール形式とし、汎用性のあるシーケンサの I/O として製造する。これにより市販の制御用ソフトと簡単にリンクできる。(3) 全ての操作 及び、モニタリングを PC/AT でを行い WindowsNT ネットワークで管理する。以上のことを念頭において、システムの仕様を考えたので報告します。

2. 多重転送方式

伝送すべきタイミング信号を1本の光ケーブルにのせて送り、この信号を必要とするところで、必要な信号だけを取り出して使用する。ここで送る信号としては、イベントクロックと多数のタイミングイベント列である。また、この信号とは別にクロックパルスも1本の光ケーブルにのせて送る。この信号は、陽子リングの磁場に同期したクロックパルスである。

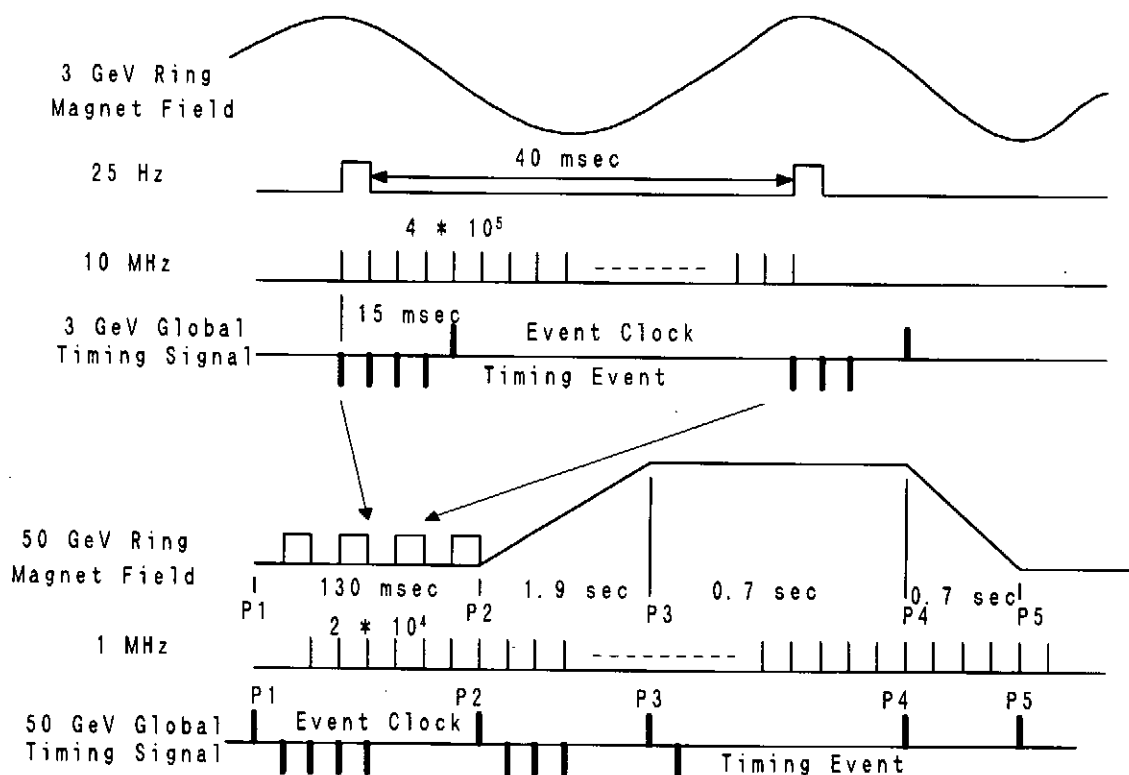


図1 JHFの3GeV、50GeVリングの磁場波形とタイミング信号

機器の必要とするタイミング信号は、イベント信号だけでなく、これを基準にして、或る必要な時間だけ遅れた信号が必要になる。このためには、受信側でクロックパルスを使って遅延させ、出力させた信号を使うことになる。

JHF ではタイミング信号を作るための基本信号は、3GeV リングはリング磁場の25Hz(40msec)、50GeV リングはリング磁場 0.33Hz(3 sec)の基本となる商用電源 50Hz(20msec)である。図1にタイミング信号とリング磁場波形を示す。この図に示すように 3GeV リングの場合、クロックパルスは、磁場の Btop パルスを元にして 4×10^5 倍して 10MHz を作る。イベントクロックは磁場の Btop から 15msec 遅らせて 3GeV Global Timing Signal にのせる。各種送りたいタイミング信号は、タイミングイベントとして Btop から 15msec 以内に 3GeV Global Timing Signal にのせる。50GeV リングも同じような考え方で商用電源周波数を 2×10^4 倍して 1MHz を作り、イベントクロックとして 50GeV リングの磁場の各信号 P1~P5 を 50GeV Global Timing Signal にのせる。

3. Global Timing Signal のテスト回路

Global Timing Signal を形成する上で重要な鍵になる送受信 IC のテストを行った。IC は Advanced Micro Devices TAXI chip Am7968(Transmitter), Am7969(Receiver)を使用し、信号のジッタ 及び、信号を1本の光ケーブルにのせられるかを調べた。この IC は送信側で 12bit データをパラシリ変換し、受信側でシリバラ変換して元に戻す。シリアル転送速度 100Mbps でのジッタは $\pm 40\text{nsec}$ になった。これにより仕様上クロックパルス 10MHz での使用は可能である。また、シリアル信号を回路的に1本の線で接続できたので1本の光ケーブルで転送するのは可能である。図2にテスト回路を示す。この IC を使うことにより少なくとも 15 個のイベントクロックと 255 個のタイミングイベントが可能になる。

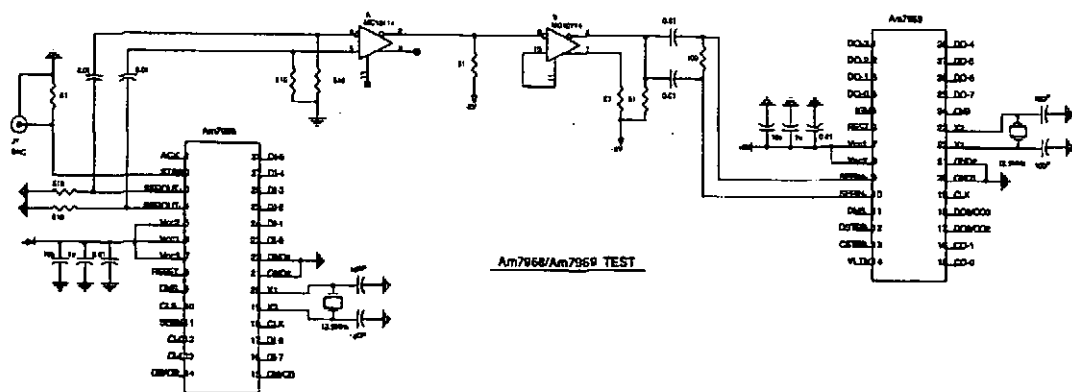


図2. Global Timing Signal 用送受信 IC テスト回路

4. タイミング制御用モジュール

すべてのタイミングモジュールは、PLC モジュールとして製造する。これにより他の加速器の制御装置と簡単にリンクができる。モジュールの管理は WindowsNT ネットワークシステムの PC/AT に PLC 制御用ソフト InTouch を使用して行う。従っていずれの PC/AT からでもタイミングの制御をすることができる。

モジュールは Global Timing Signal 用として Clock Generator, Timing Master, Repeater 及び、Delay1 を製造し、速いタイミング制御 即ち、シンクロナイズーション用として Delay

2を製造する。

3GeV Global Timing Signal システムの構成を図3に示す。Clock Generatorにより3GeVリングの25Hzから10MHz作り Timing Master によりて Global Timing Signalを作りて Global Timing Signalと10MHzを光ケーブルに出す。次に光ケーブルの信号を Repeater で受けてその信号を PLC ベース内の Delay1 に分配すると同時に次の Repeater に送る。Delay1は Global Timing Signalと10MHz からタイミング信号を作りて出力する。50GeV Global Signal システムも基本的に同じである。次に各モジュールについて説明する。

◇ Clock Generator (図4参照)

3 GeV リング磁場の Btop 信号(25Hz)の周波数を25分の1に落とし、約1secのゲート信号を作る。このゲート信号で24bitのカウンタゲートを開いて、VFCで発生するクロックを数え、この間に 10^7 個のクロックが発生するように VFC への入力電圧を制御すれば、Btopの周波数を丁度40万倍したことになる。内蔵のCPUがカウンタの数えたクロック数が 10^7 個より多いか少ないかを判定してDAコンバータの入力を制御している。また、この回路に入力されるBtop信号の周期が40msecから極端にずれた場合には、受け付けないようにしてあり、全く信号が来なくなった場合には、自動的に内部の25Hz信号に切り替える。

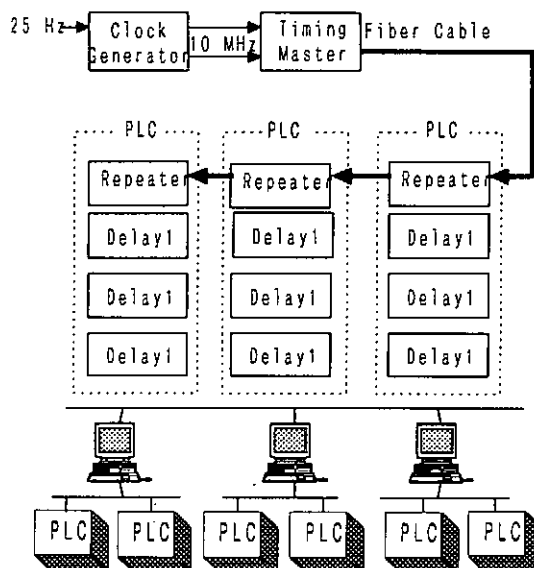


図3 3GeV Global Timing Signal システム

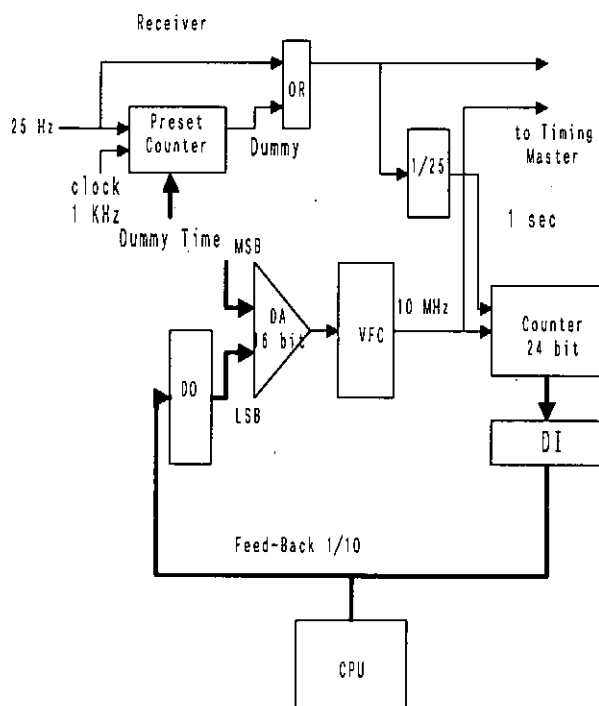


図4 Clock Generator

◇ Timing Master (図5, 図6参照)

Btopの25Hzでイベントクロックを作り、出したいタイミング信号のタイミングイベントを作り Global Timing Signal にのせる。タイミングイベント発生は内蔵CPUが受け持ち、PLCのCPUとインターフェイス用RAMを通してタイミングイベントのデータをもらう。

ソフトウェアシーケンスは25HzでTiming MasterがPLCのCPUに割り込み、それによりPLC Memory中にある出すべきタイミングイベントのデータをPLCのCPUがTiming MasterのRAMに書き込む。次にTiming Master内蔵CPUが書かれたタイミングイベントをすべてGlobal Timing Signalにのせる。次にハード的にBtopより10MHzをダウンカウントさせて15msec遅らしたイベントクロックをGlobal Timing Signalにのせる。

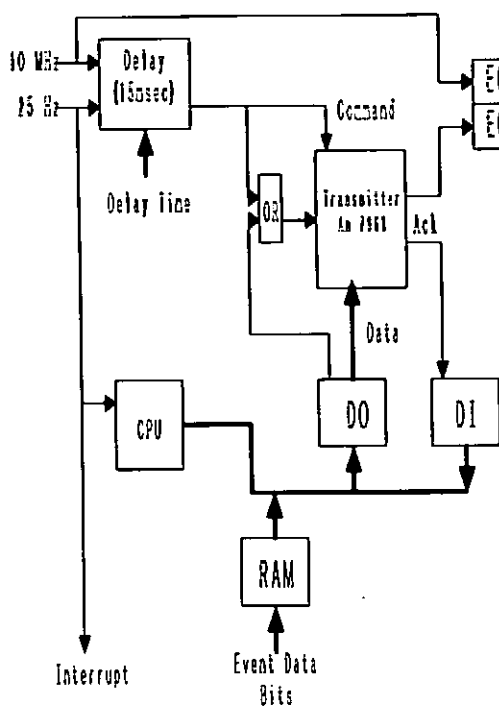


図5 Timing Master

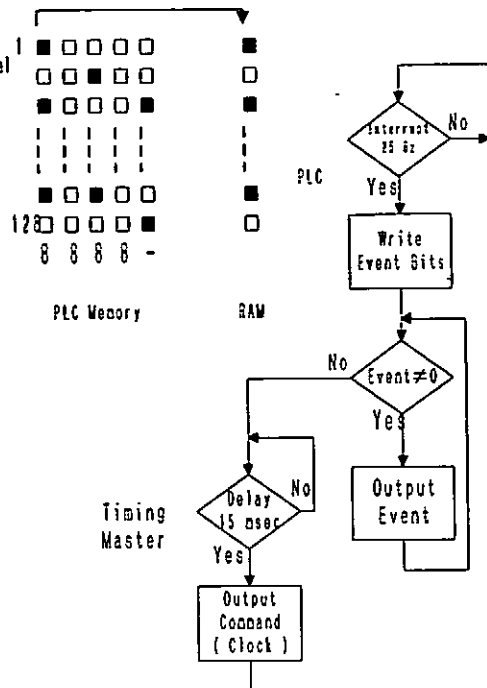


図6 ソフトウェアシーケンス

◇ Repeater

光ケーブルで Global Timing Signal を受信し、OE 変換してバッファアンプを通して波形整形して Delay1 に信号を送る他、次の Repeater に送るために EO 変換して光ケーブルに出力する。

◇ Delay1 (図7 参照)

受け取りたいタイミングイベントと遅らせたい時間のクロックパルス値をセットしておき Global Timing Signal にそのタイミングイベントが来たとき、次に来るイベントクロックでプリセット・カウンタを働かせ、クロックパルスを数え、タイミング信号を発生させる。

◇ Delay2

高精度の遅延時間を設定する場合に使用する。最高 500MHz のクロック信号を数える 20bit のプリセットカウンタと 1 nsec の Delay Line を組み合わせ、最小設定 1 n sec を可能にする。

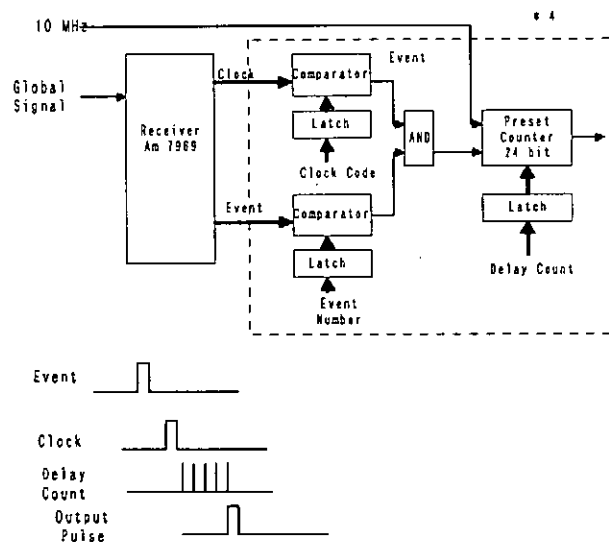


図7 Delay1

5.おわりに

タイミングシステムの時間精度を上げるために転送速度の速い IC を選択しなくてはならない。また、PLC モジュールを製造するには PLC メーカーと協力関係を強くして進めていくことが重要である。最後に回路のテストに関して三菱電気の石田さん協力していただき感謝します。

大型ヘリカル装置(LHD)トムソン散乱計測のための データ収集システムの開発

核融合科学研究所 林 浩, 成原一途, 山内健治, 山田一博, 南 貴司

(1) はじめに

大型ヘリカル装置 (LHD) 実験ではプラズマ中の電子温度と電子密度を計るために、トムソン散乱計測を行う。トムソン散乱計測では図1のように、10 台の 50Hz 繰り返し YAG レーザーからのビームを回転ミラーによって切り替えることにより、500Hz の繰り返しで電子温度・密度を計測する。一つにまとめられたレーザー光はミラーで反射され、地下の計測機器室からLHD本体まで約 40m 伝送されプラズマ中に打ち込まれる。プラズマ中で散乱された光を約 $1.8 \times 1.5\text{m}$ の大型集光ミラーで集め一次元に並べられた 200 本の光ファイバーで受けることにより、プラズマの空間 200 点の位置を同時に計測する。散乱光は光ファイバーによって計測機器室へと伝送され、ポリクロメータで5つに分光され、プリアンプを通してデータ収集システムへとデータが送られる。このとき、1000 ワードのデータが 2 ms で送られて来ることとなる。よって、1000 ワード以上のデータを少なくとも 2 ms で AD(Analog to Digital)変換し、転送できるような高速処理のできるシステムが必要となる。その要求を満たすために FASTBUS と VMEbus を用いたデータ収集システムを構築した。

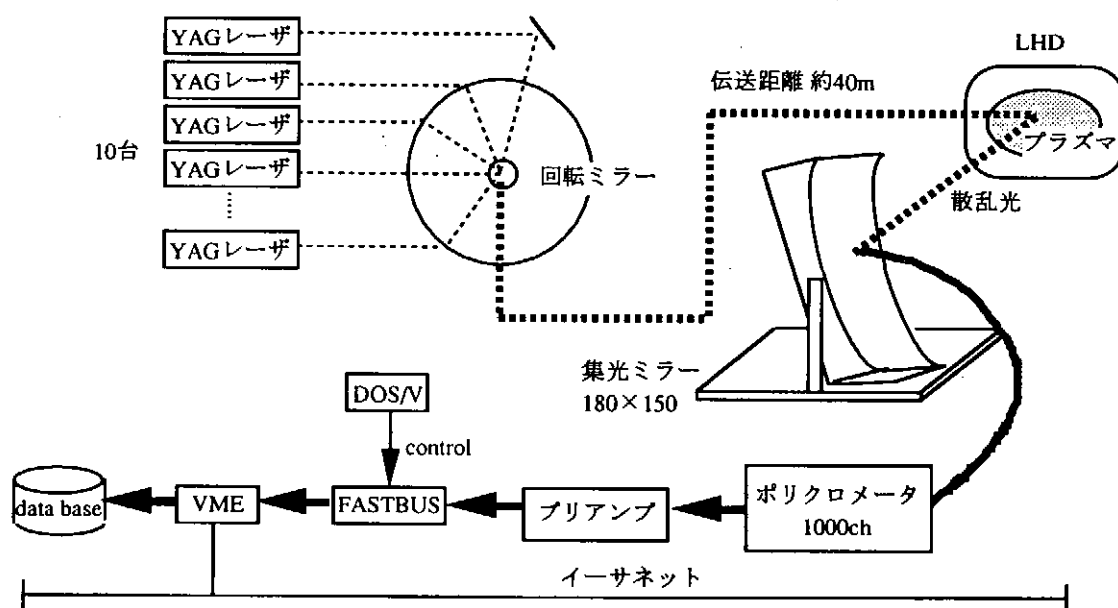


図1 トムソン散乱計測概略図

(2) FASTBUSを用いたデータ収集システム

LHDトムソン散乱計測では、高速のデータ転送が可能であること、チャンネル数が多いことなどを考慮して図2に示すように FASTBUS と VME を用いたデータ収集システムを用いる。

1000 チャンネルのデータが 16 台の FASTBUS モジュール 1881M ADC によって AD 変換される。1881M ADC には 64 チャンネルの入力が可能であるので、16 台で 1024 チャンネルの入力が可能となる。また AD 変換速度は $12\mu\text{s}$ である。AD 変換されたデータは FASTBUS のコントローラーである 1821 SM/I によって、1821ECL を通して VME のトリプルポートメモリーへと高速で送らる。このトリプルポートメモリー HSM8170 は、FASTBUS から VME からデータの書き込みと読み出しができるメモリーであるが、1メ

ガバイトの容量しかない。そのため、FASTBUSから送られてくるデータをため込むには、数十台用意しなければならなくなる。そのことを避けるため、2台のメモリーを使いダブルバッファリングを行うこととした。つまり片方のメモリーがフルになった時もう一方のメモリーに切り替わり、そのメモリーが書き込み中に前のメモリーのデータを別の大容量のメモリーへ転送させるというものである。それを交互に繰り返すことによって、FASTBUSから順次送られてくるデータを連続的に読み込み、全てのデータを共有メモリーへと送ることが可能となった。共有メモリーのデータは、随時リフレクトメモリーを通してデータベースへと送られる。一方で、共有メモリーのデータの一部はネットワーク上に送られるようにする。このようにしたのは、FASTBUSから送られてくる大量のデータを全て保存するということと、少量の情報はリアルタイムで実験中にも見たいという両方の要求を満たすためである。

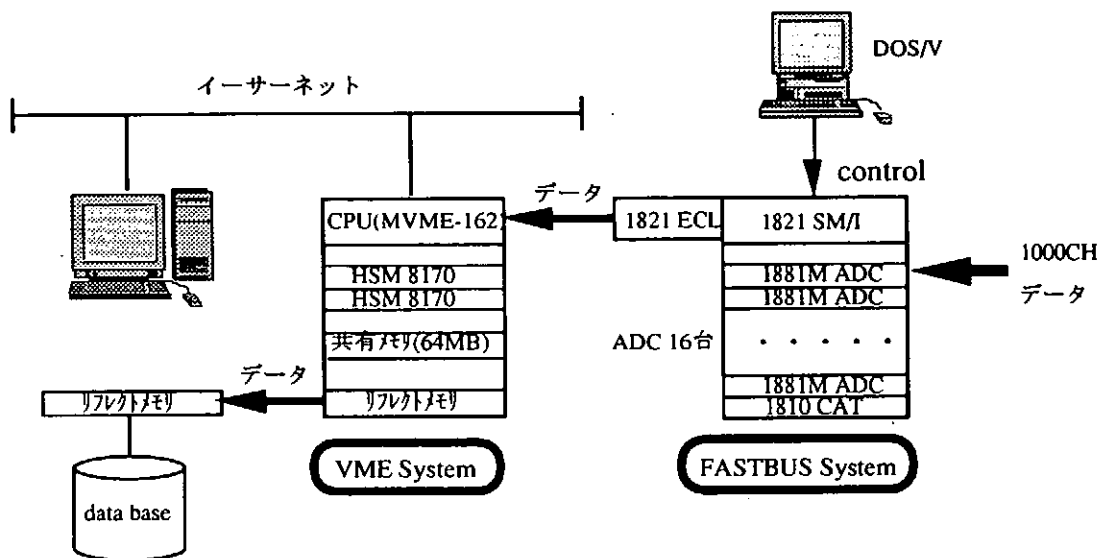


図2 データ収集システム

(3) FASTBUSの制御

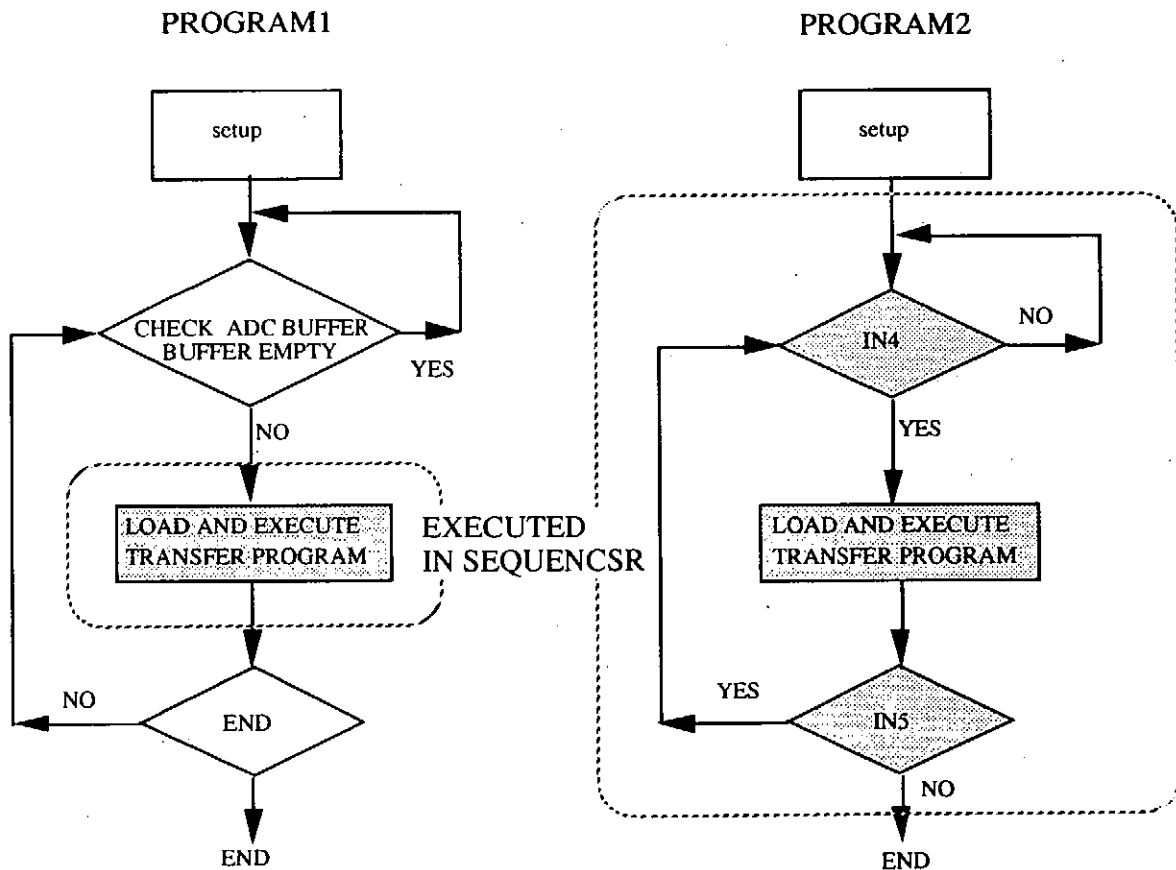
FASTBUSの制御はDOS/V機を使って行う。実験中は強い磁場が発生するため、ハードディスクの代わりにフラッシュメモリーを持った産業用コンピュータを使うこととした。

我々の用いたFASTBUSのコントローラである1821 SM/Iには、リクロイ社のLIFT(LeCroy Interactive FASTBUS Software Toolkit)というFASTBUS制御用ソフトがあるので、それを用いて制御プログラムを開発した。LIFTにはFASTBUSの制御関数がC言語のライブラリーとして与えられているので、その関数を使うことにより容易に制御プログラムが作成できる。しかし、LIFT関数を用いて作成したプログラムを実際に走らせてみると、1000ワードのデータをブロック転送するのに約40msかかり我々の要求を満たすものではなかった。LIFT関数のソースを調べてみると、LIFT関数の内部でSONICと呼ばれるよりプリミティブなプログラムをFASTBUS上のシーケンサーと呼ばれるメモリーにロードし、実行させるということを行っていることがわかった。ロードおよび実行という、コンピュータとFASTBUSとの通信の部分に時間がかかっていることが、転送を遅くしている原因であった。つまり、LIFT関数のみを使って作成したプログラムは図3のPROGRAM1の様に転送が繰り返されるたびに、SONICプログラムがロードされ実行されるということが行われているために、実行速度が遅くなる。

そこで、データ転送部のように速度が重要となる部分はSONICで直接プログラムを書くこととした。ここで、SONICとはFASTBUSのコントローラである1821 SM/Iを制御するための、16進数で記述されるマシン語のようなプログラムである。ただし、16進数のコードはFASTBUS独自のものであり、一般のマシ

ン語との対応はない。また、シーケンサーにロードできるのは 0xFF (そのうち 0x50 までは予約済み) 行までである。この SONIC プログラムを図 3 の PROGRAM2 の様に走らせることにより高速化をはかった。つまり、転送が繰り返し行われる部分を最初の段階で一度に全てシーケンサーにロードし、その後は全てシーケンサー上でループするようにした。FASTBUS の制御用のコンピュータはセットアップをし、転送のための SONIC プログラムをロードするためにだけ使われ、実際の転送は FASTBUS の内部のみで繰り返されることとなる。このようにすることにより、制御コンピュータと FASTBUS 間の通信による時間のロスはなくなり、1000 ワードのデータを 2ms 以下でブロック転送することが可能となった。

しかし、SONIC では転送のタイミングを取るような制御が行えない。そこで、1820 SM/I のフロントパネルにある ECL インプットの IN4、IN5 を用いるタイミング用ハードウェアをつけ加えることにした。転送が行われるあいだ中 IN5 をずっと ON の状態にしておき、転送を行うタイミングで IN4 にパルスを入れ、転送を開始させることにした。そして、転送の終了時に IN4 と IN5 をともに OFF にすることにより SONIC プログラムを終了させる。



(4) まとめ

LHD トムソン散乱計測で要求される高速のデータ処理を満たすシステムとして FASTBUS を用いたデータ収集システムを構築した。

FASTBUS の制御プログラムとしては、高速性の必要ない部分は LIFT を用いて記述し、高速性を必要とするデータ転送部分は SONIC で記述し、直接 FASTBUS モジュールを制御することとした。このようにすることにより、1000 ワードのデータを 5 kHz 以上の速度でブロック転送を行うことができるようになった。これは、LHD トムソン散乱計測で要求される速度の約 10 倍である。

J T - 6 0 データ処理設備実時間処理計算機

日本原子力研究所 那珂研究所

坂田 信也、青柳 哲雄*、松田 俊明

(* : (財)高度情報科学技術研究機構)

1. はじめに

J T-60 データ処理設備実時間処理計算機（以下 R T P と称す。）は、J T-60 実験放電で生成されるプラズマに対し、フィードバック制御を行うためのパラメータとなる複数の計測データを収集し、収集した各計測データに任意の演算処理を実施した後、全系制御設備に転送するという一連の処理を 1 m s 周期で実施している。この一連の処理を実時間処理と呼ぶ。

一方、実時間処理実行中においても、J T - 6 0 実験放電シーケンスと同期を図るため、R T P の上位計算機となるデータ処理設備ショット間処理計算機（以下、I S P と称す。）とのネットワークを介したメッセージの送受信処理を行わなければならない。ここで問題となるのがマルチプロセスにて生じる割り込み処理の発生である。R T P では、問題となる割り込み処理の発生をリアルタイム拡張並列 U N I X と 2 C P U を有する計算機を採用することで解決した。

また、今後のフィードバック制御の多様化に伴い、パラメータとなる計測データの増加、演算処理の複雑化が予想されるため、実時間処理のさらなる高速化が必要となる。

本報告では、現システムの紹介、および今後の開発予定について報告する。

2. RTPの構成

本システムは、処理装置、CAMAC入出力装置、およびマルチファンクションボードより構成される。

第 1 図に R T P 外觀図を記す。

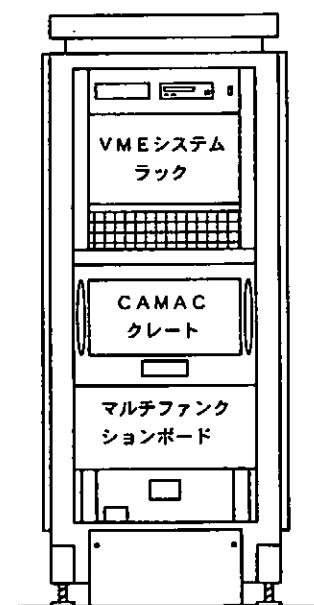
1) 处理装置

- ・ CPU コンカレント System 7 2 5 0
(MC 6 8 0 4 0) 2 台
- ・ 主記憶 3 2 MB
- ・ システムクロック 3 3 MHz
- ・ 磁気テープ装置
- ・ Ethernet インターフェイス
- ・ システムコンソール用キャラクタ端末

2) CAMAC 入出力装置

- ・ KINETIC Model 2140-Z1A
シリアルハイドライバ

デバイスドライバの開発により、ユーザレベルのアプリケーションプログラムからメモリマップ機能が使用可能



第1圖 RTP外觀圖

3) マルチファンクションボード

米国PENTLAND社製マルチファンクションボードMPV956

・アナログ入出力部

分解能 12 bit

入力方式 シングルエンド入力／ディファレンシャル入力
(ディップスイッチの切り替えにより選択)

入力レンジ $+/-10V$ 、 $+/-5V$
(ディップスイッチの切り替えにより選択)

A/D変換速度 $200\mu s/16CH$

・デジタル入出力部

チャンネル数 16CH (入出力の設定は、プログラマブル)

3. オペレーティングシステムの特徴

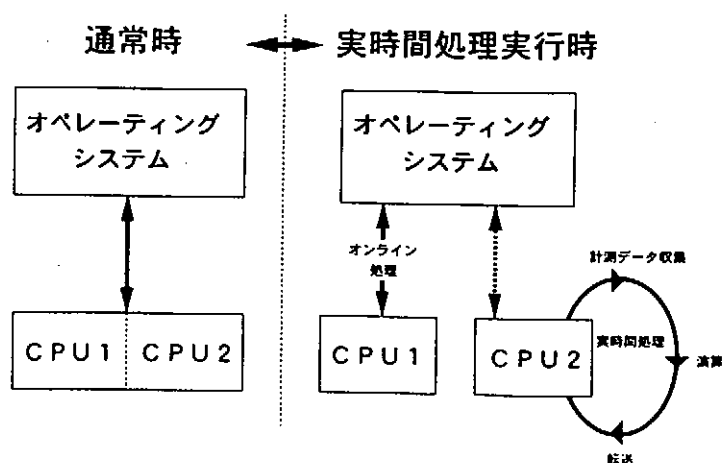
通常のUNIXマシンは、プロセスをCPUで実行させるために各プロセスに対し公平にスケジュールを行い、プロセスはCPUを時分割方式で共有する。つまり、CPUが任意のプロセスを実行する場合、プロセスの割り当て時間が経過するとそのプロセスの処理を中断し、別のプロセスを実行する様なスケジューリングを行う。また、処理を中断されたプロセスは、再度スケジューリングされ、その後、処理が再開される。しかし、実時間処理を行う上では、実時間処理プロセス実行中にシステムから割り込みが入ると、実時間処理周期のずれが生じる可能性がある。現システムでは、JT-60実験放電シーケンスと同期を図るため、実時間処理プロセス実行中、周期タイマー、および各種タイミング信号を外部より取り込んでいるが、プロセス実行中に何らかの理由で割り込みが発生した場合、各種のタイミング信号を取り込めず、JT-60実験放電シーケンスと同期できない可能性が生じる。

本システムで採用しているオペレーティングシステムは、リアルタイム拡張並列UNIXと呼ばれ、JT-60実験放電に於いて実時間処理を実行させる上での利点として、

- ・実時間処理プロセスを任意のCPUに割り当てが可能であること。
 - ・実時間処理を行うCPUに対し、システムからの割り込みを禁止することが可能であること。
- が、挙げられる。この二つの機能により、JT-60実験放電シーケンスと同期した実時間処理を実現させている。

第2図にCPU制御遷移図を記す。

また、リアルタイム拡張並列UNIXは、UNIXに準拠したオペレーティングシステムであるため、TCP/IPプロトコルを用いたネットワーク通信やCPU間、およびプロセス間で共有メモリが使用可能である。



第2図 CPU制御遷移図

4. RTPの実験放電シーケンスに同期した主な処理

RTPは、JT-60実験放電シーケンスに同期して、以下の二つの処理を実施する。

第3図にRTP処理データフローを記す。

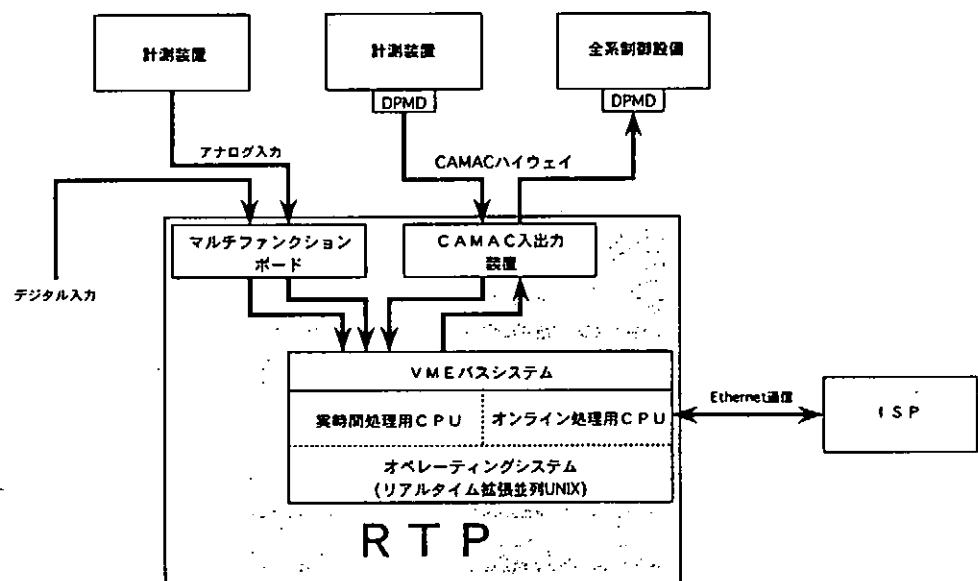
1) オンライン処理

放電シーケンス開始から終了の間、放電シーケンスに同期したメッセージをISPより受信し、そのメッセージに対してシステム内の準備状態のチェックを行い、結果をISPに送信する。また、プラズマ放電終了後、ISPに対し結果データを送信する。

2) 実時間処理

オンライン処理がISPより「放電1分前指令」を受信時に起動され、プラズマ放電中、外部からの1msクロック信号に同期し、フィードバック制御を行うためのパラメータとなる複数の計測データの収集を行う。収集した各計測データは、各々のデータに対し、任意の演算を実施した後、全系制御設備にCAMACハイウェイを介し転送する。

また、実時間処理実行中に収集した各計測データは、プラズマ放電終了後、放電結果データとしてISPへ転送するため、収集と同時に格納も行う。



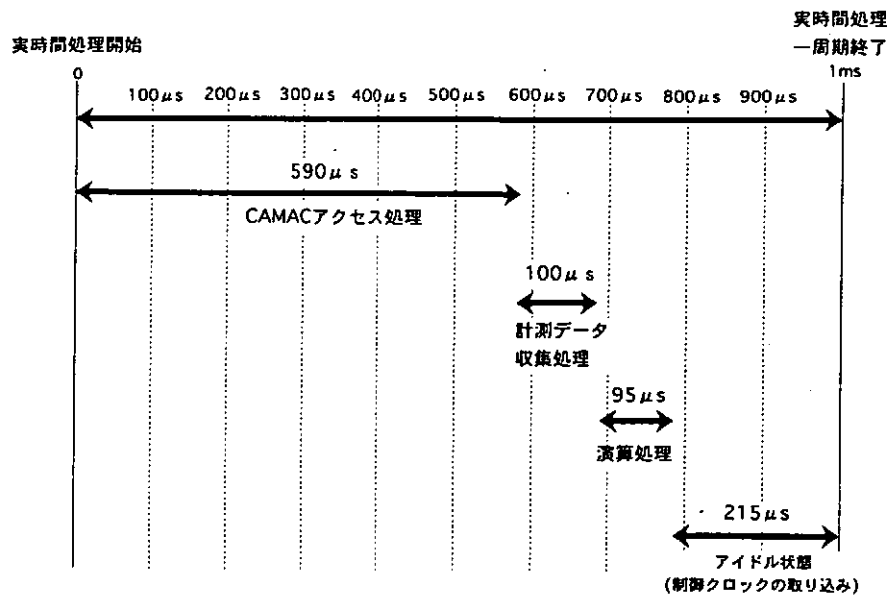
第3図 RTP処理データフロー

5. 現システムでの課題

現在RTPは、毎周期7chの計測データを収集しているが、今年度3ch、次年度9chの計測データ項目を追加する予定になっている。既設のアナログ入力部は16chであるため、アナログデータ入力部の機能追加が必要となる。

また、実時間処理実行時間を各処理別に実測した結果、CAMAC入出力処理に要する時間が一制御周期の約6割を占めていた。現在RTPは、実時間処理を1ms周期で行っているが、今後、計測データの入力点数の追加、および計測データの出力点数の追加に伴う演算処理の追加等を考慮した場合、データ転送の高速化を検討する必要がある。

第4図に現システムにて実測した実時間処理各処理別タイムチャートを記す。



第4図 実時間処理各処理別タイムチャート

6. 今後の改造計画

現システムでの課題を踏まえ、以下の3点について改造を予定している。

1) 高速なA/D変換器の導入

今後、計測データ収集項目の増加に伴い、アナログ入力部のチャンネル数の増設が必要となるが、制御周期の観点からより高速なA/D変換器の導入を計画している。

2) リフレクティブメモリの導入

本メモリは、VMEのアドレス空間を利用したメモリ装置であり、現在のCAMACハイウェイを介した通信と比較した場合、ハードウェアアクセスに要する時間が大幅に短縮されると思われるため、本メモリを導入しデータ転送に要する時間の短縮を図る。

3) CPUの増力

1) 高速なA/D変換器の導入、2) リフレクティブメモリの導入、および演算処理の複雑化に伴う負荷の増分を考慮し、現在の33MHzから150MHzに変更する。

7. まとめ

現在RTPは、3種類のフィードバック制御用パラメータデータを収集し、演算処理実施後、全系制御設備に対し転送するために約800 μsを要している。

今後、改造を実施することにより、大幅な制御周期の短縮が予想され、より多数のフィードバック制御用パラメータデータの収集、より複雑なフィードバック制御用演算ロジックの追加を可能にし、多様化するフィードバック制御に対応していく予定である。

JT-60 データ処理設備における CAMAC システムの改良

日本原子力研究所 那珂研究所

○佐藤 稔、坂田信也、渡辺和彦*¹、青柳哲雄*²、松田俊明

*¹ (株) 原子力資料サービス

*² (財) 高度情報科学技術研究機構

1. はじめに

JT-60データ処理設備は各計測装置の制御と計測データの収集、保存及び管理等を行っており、そのデータ収集にはCAMACが広く用いられている。図1に示すようにCAMACで収集されたデータはシリアルハイウェイ経由でCAMACインターフェース制御装置（以下CICUと称す。）を介して、メインフレームであるショット間処理計算機に格納される。今回このCICUで使用されていたミニコンピュータが旧式化したため、性能及び保守性に優るUNIXワークステーションに更新した。本稿では更新した新CICUのハードウェアの構成とそれに関わるソフトウェアについて概要を述べる。

2. CICU の基本機能

CICUはJT-60実験放電の中核である全系制御設備から各種実験情報をメインフレーム経由で受信し、CAMACシステムに通知するなど、CAMACシステムとメインフレーム間の通信を仲介する。

CICUは主に以下の機能からなる。

- (1) CAMACシステムとメインフレーム内の応用システム間の通信を仲介する。
- (2) メインフレームの指示により計測データをシリアルハイウェイ経由で高速に収集する。

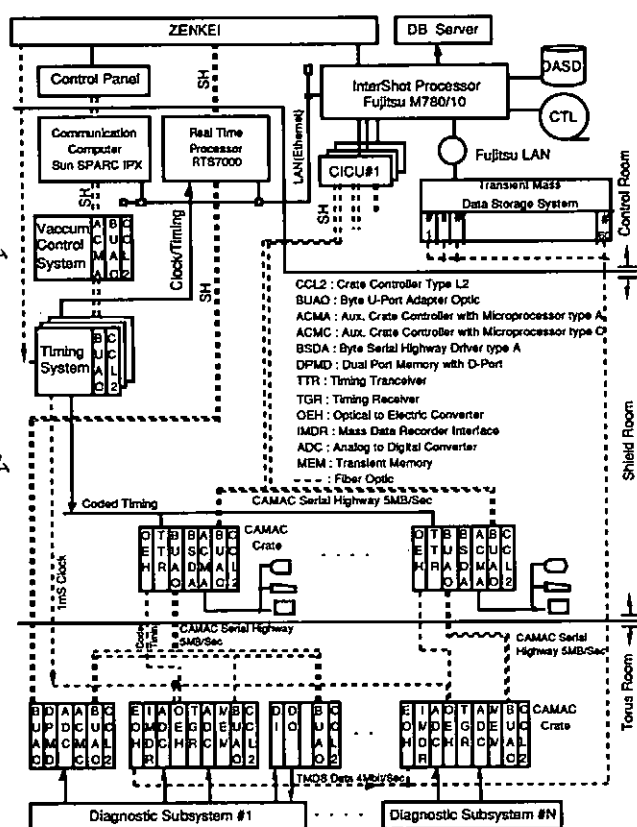
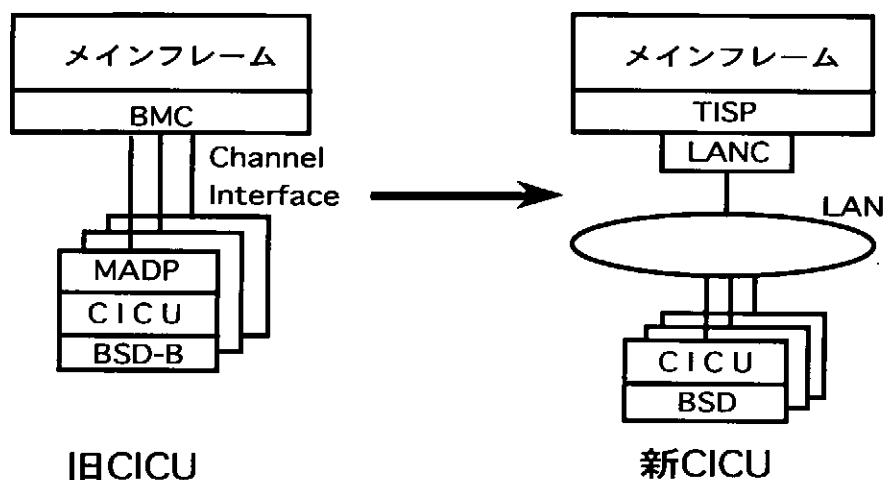


図1 JT-60データ処理設備の構成

3. 新CICU のハードウェア構成

図2にCICUハードウェアの構成を示す。

新CICUでは、計算機をPANAFACOM U-1200（富士通製）からFORCE社製のUNIXワークステーション（SUN互換機）に更新した。そしてメインフレームとのインターフェースはチャネルインターフェース装置（MADP）からLAMへ、CAMACとのインターフェースはバイトシリアルドライバ（BSD-B）からVMEbusのKinetic社製のバイトシリアルドライバK2140に置き換えた。また多量のデータ転送を考慮してFDDI接続とした。



BSD-B : Byte Serial Highway Driver Type B
 BSD (K2140): Byte Serial Highway Driver of VME interface
 BMC : Block Multiplexer Channel
 MADP : Channel Interface Adapter
 TISP : TCP/IP Support Package
 LANC : LAN Controller

図2 CICUハードウェアの構成

4. 新CICU のソフトウェア構成

新CICUのソフトウェアはメインフレームの応用ソフトウェアからの各要求を処理するACMA通信機能、高速データ収集機能、単一要求処理機能、ダミー処理機能、全常駐プロセスを管理し、共有メモリ等の退避と復元を行うシステム監視機能及びコンソールからの要求を処理するコンソール機能から構成されている。これらの各機能は一つ又は複数のプロセスで構成される。

各プロセスはシステムに常駐するものと、メインフレームの応用ソフトウェアからのコネクション開設ごとにインターネットサービスデーモン (inetd) より起動されるものがある。

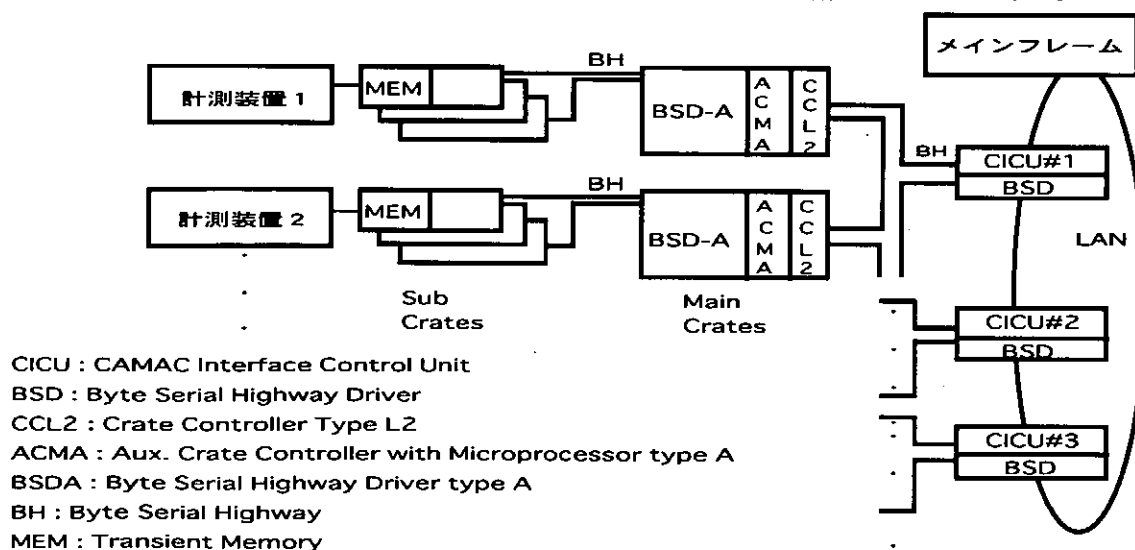


図3 CAMACシステムの構成

4.1 高速データ収集機能

図3にCAMACシステムの構成を、図4に高速データ収集機能を示す。

主な五つの機能の一つである高速データ収集機能は転送処理と読み込み処理より構成され、計測データをCAMACシステムのトラジェントメモリからダイレクトにメインフレームへ転送する機能である。

メインフレームと高速データ収集機能間の通信にはパケット通信を用いる。

4.1.1 転送処理

転送処理はメインフレームからの接続要求がある毎にinetdより起動され、BSD-Aの制御権を得た後、BSD-Aのマスクレジスタの退避等の前処理を行なう。次にデータ収集要求を私用共有メモリの大きさである256KBに分割して読み込み処理に通知する。

またBSD-Aの制御権を取得するのはACM-Aとの競合を避けるためである。

4.1.2 読み込み処理

読み込み処理は転送処理から起動され、BSD-Aのコマンドバッファの設定を行なった後、BSD-Aのデータバッファよりデータを私用共有メモリに転送し、実行結果をBSD-Aより読み込んで転送処理に返す。処理を二つに分けたのはBSD-Aからの読み込みと、メインフレームへのデータ転送を並行処理させデータ転送速度を上げるためである。

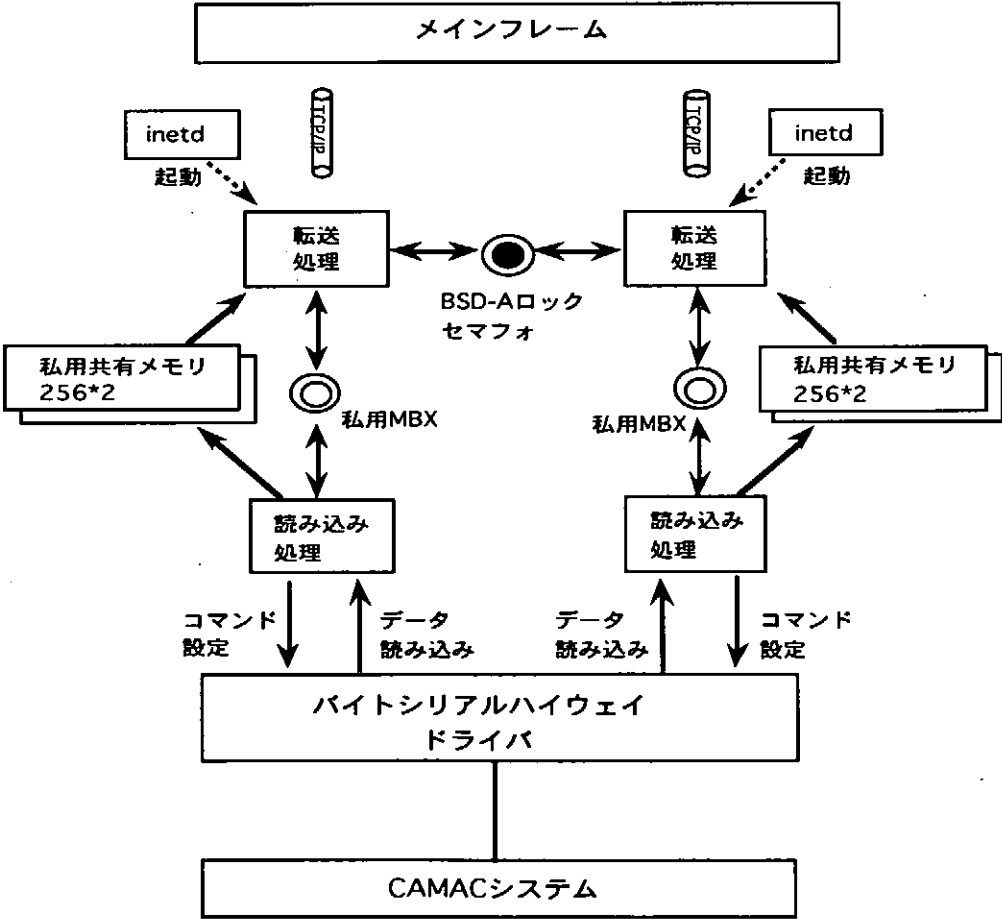


図4 高速データ収集機能

5. 置き換え時の問題点

シリアルハイウェイドライバK2140はBSD-Bを代替するもので、置き換え時には以下の問題が生じた。

(1) Qリビートオーバー

BSD-Bのブロック転送モードにはUCSモード、UCWモード及びUQCモードがある。UCSとUCWは $Q=0$ レスポンスの応答でデータ転送が終結するようになっており、UQCは $Q=0$ の時データを取り込まずコマンドを繰り返し転送し、 $Q=1$ の時データを取り込むようになっている。 $Q=0$ が連続する場合はハングアップしてしまうので、最大256回だけ $Q=0$ が連続して返ってくる場合はタイムアウトエラーとして転送が終結するようになっている。ただK2140でもUQCモードで7秒間又は15秒間コマンドが終結しないとタイムアウトを検出するが、この時間はあまりにも長すぎるのでデバイスドライバ側でデータ転送量に応じたソフトウェアタイムアウトを設けている。

(2) 上位のFF

24ビット転送時は上位8ビットがFFとなり、読み込んだ時点でBSD-Bに合わせ0にしている。

(3) コマンド送出タイミング

BSD-Bではコマンドのリプライがシリアルハイウェイから戻ってくる前に次のコマンドを送出するBモードという転送モードがある。これによりシリアルハイウェイの最高速度を維持しているが、K2140はリプライを待ってからコマンドを出力することしか出来ないため、従来より転送速度が遅くなってしまった。これを改善するためにエンハンスモードとよばれるKinetic社独自の転送方式を採用して、従来なみの転送速度にしている。

6. まとめ

今回の更新はメインフレーム側の応用ソフトウェアの大幅な修正もなく、従来の機能を継承出来たことが最大の成果であった。またコンソール機能の強化により、各機能の通信ログ等が見られることやテストプログラムの開発によりシリアルハイウェイ配下のCAMACにコマンドを発行できること、さらにハードウェア及びソフトウェアの移植が容易になり保守性も向上した。

imr21 ネットワークの構築

一関 京子, 和田 繁男, 佐藤 和弘, 伊藤 敏行, 秋山 庸子, 中名生 充, 池田 誠*, 川添 良幸
(東北大学 金属材料研究所 情報・広報室 * (株) 理経)

1. はじめに

金属材料研究所(以下金研という)は、26研究部門、4客員研究部門、1寄附研究部門、そして3研究施設を擁し、およそ教職員 160 人、一般職員 120 人、大学院学生 170 人、外来研究者 70 人の計約 520 人の組織である。最近、従来の実験主体の研究からシミュレーションによる設計を目指す研究者の計算機利用が増加するとともに、実験部門においても国際的なネットワーク利用が多くなってきた。これに対応するため、我々はかねてより快適なネットワーク環境を目指して整備を行ってきた。しかし、段階的に行ったため配線が複雑になり、また TAINS88¹⁾ ネットワークと金研独自に敷設したネットワークが混在し、複雑な構成になっていた。また、IP アドレスの枯渇が顕著になり、新たな接続が不可能な状況になっていた。金研では、本年 5 月に ATM ネットワークに接続すると同時に、金研全体をひとつのネットワークとしたサブネットを構成し、接続可能台数も大幅に増大することができたので、そのネットワーク(以下 imr21 ネットワークという)について報告する。

2. imr21 ネットワークの設計方針

設計方針をたてるにあたり、ネットワーク環境の現状を分析した。構築以前のネットワークは、TAINS88 と TAINS88 のサブネットを使用した金研独自のスーパーコンピューティングシステムネットワークが混在したネットワークであったが、TAINS88 ネットワークは254台分が1ラインしかないにもかかわらず、ここへの接続要求が多くなっていた。また、TAIN88 が大きな1つのネットワークであるために全体の通信量の増加や所外の障害の影響が顕著になってきており、それに加えて TAINS 88との接点である LIU (Loop Interface Unit) が老朽化しており、頻繁にダウンするようになってきた。スーパーコンピューティングシステムネットワークでは図1のように各建物ごとにルータを設置して通信量の局在化を図っていたが、逆に接続する場所によってネットワークの設定値を変更する必要があり、1つの研究室が階や建物に跨っている金研の組織にはそぐわない面もあった。

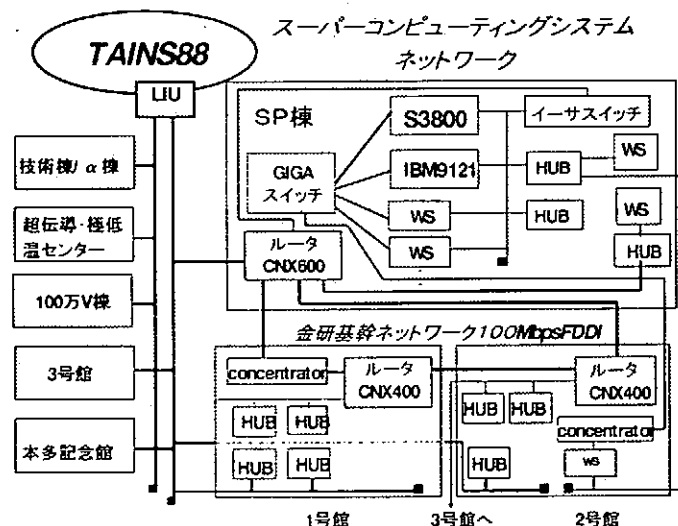


図1 imr 21ネットワーク構築以前のネットワークの構成図

以上のことを考慮し、imr 21ネットワークの設計方針をつぎのように設定した。

【 利用する側 】 — 意識せずに使えるネットワーク —

- ① 高速である
- ② 安定している
- ③ 接続が容易である

【 管理する側 】 — 管理しやすいネットワーク —

- ① IP アドレスの確保
- ② シンプルなネットワーク構成

3. imr21 ネットワーク概要

設計方針をつぎのように実現した。

(1)imr21 ネットワークの物理構成

imr21 ネットワークは、サブネット構成をとる SuperTAINS[®]に接続するため、接続点には専用のルータを採用した。図2に示すように、ルータに接続している GIGA スイッチから 1号館、2号館の FDDI/Ether スイッチ（以下 Ether スイッチと略す）に接続し、完全なスイッチングネットワークを構成した。サブネットを構築したため、障害が起きても所外に影響を与えることもなく、所外からの影響も受けない。Ethernet ではフレームが競合し始めると性能が急激に低下するという欠点があったが、Ether スイッチは通常スター型の結合形態をとり、各ポートに接続されたシステムは Ethernet の性能を最大限に引き出すことができ、ほとんどフレームの衝突は発生しない。TAINS88 に接続していたラインは 10 Mbps のイーサネットに 250 台近く接続されていたが、Ether スイッチの 1 ポートが各階に延びているので、現在は多くて 54 台の接続台数にとどまっている。

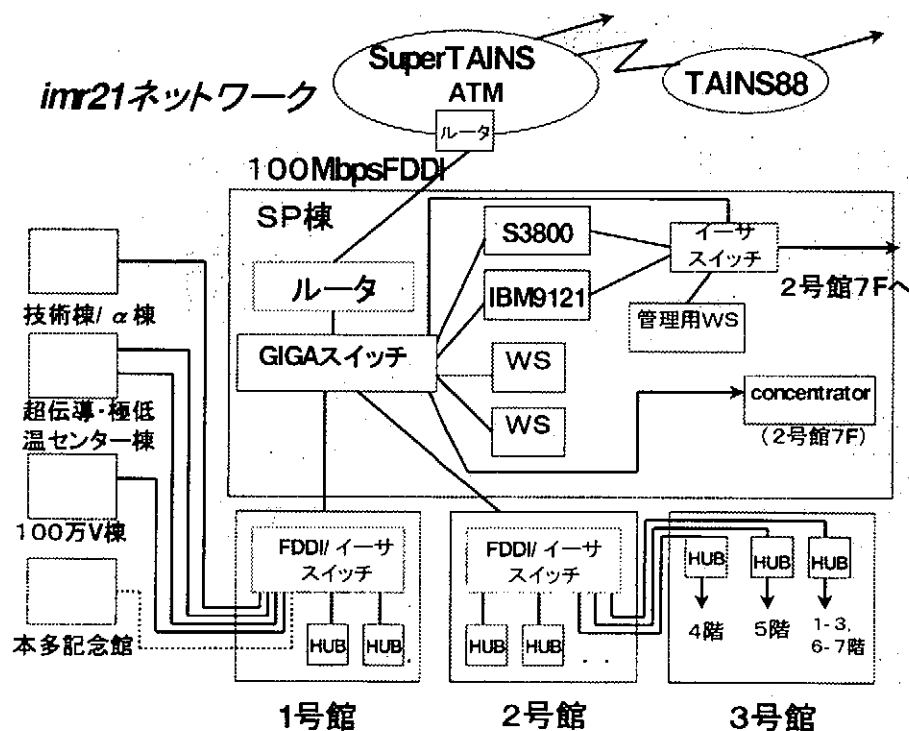


図2 imr 21ネットワーク構成図

1号館、2号館に新設したFDDI/イーサスイッチにはポートが12あり、各階に1ポートずつ割り当てている。技術棟/α棟などの関連施設および本多記念館には、1号館のスイッチからそれぞれ1ポートずつ、また3号館には2号館から3ポート割り当てている。FDDI/イーサスイッチおよび各ポートはリモートで集中管理しており、障害が発生した場合はそのポートを切り離すことによって、他のコンピュータへの影響を最小限に押さえることができる。金研全体のネットワーク管理はWS上のアプリケーションで行い、GIGAスイッチ、FDDI/イーサスイッチおよび各ポートの管理はPC上にアプリケーションを搭載して行なっている。また、図3に示すように各研究室までは情報コンセントを配備し、UTP/カテゴリ5のケーブルでHUBに接続している。

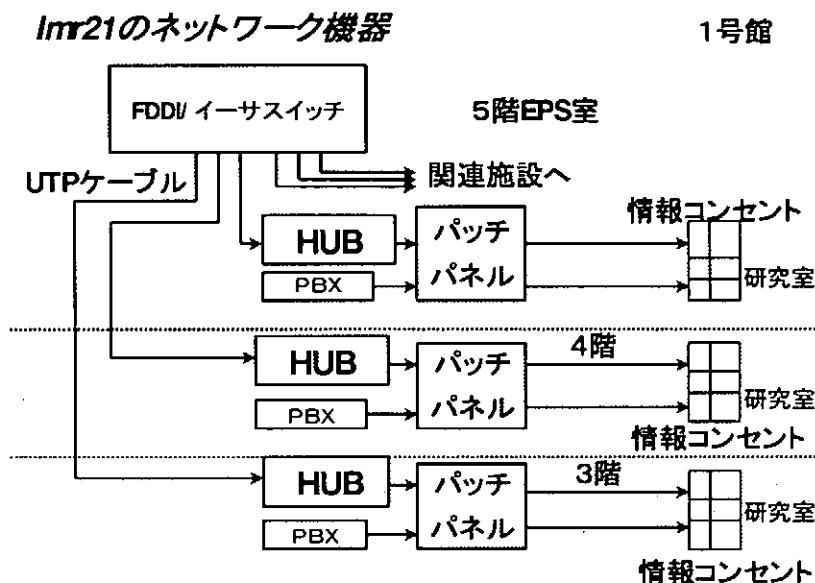


図3. Ether スイッチから情報コンセントまで

(2) imr21 ネットワークの論理構成

今回は、IP アドレスの枯渇を救済するとともに、物理的にも論理的にも簡単に接続できることを目指した。そのために、割り当てられた IP アドレス は 64台分のサブネット4つでサブネットマスクが26ビットの130. 34. 224-227. 0/26であったが、これを1つのネットワークとして構成することにし、130. 34. 224. 0/22のネットワークアドレスとすることにした。これにより、1, 000台分の IP アドレスを確保できた。ネットワーク構築以前は、TAINS88 と金研独自のネットワークの2系統のアドレス体系をもっていたため、各建物ごとにデフォルトルータの IP アドレスやサブネットマスクが異なっていたが、1つのネットワークにしたため、どこへ移動しても情報コンセントに差し込みさえすれば、同じ設定で接続できるようになった。アドレス体系を図4に示したが、IPアドレスは管理上4つのゾーンに分けて発行している。

imr21 ネットワークと SuperTAINS との接続には専用のルータを新設した。構築時点で Mac ユーザが約4割を占めていたが、SuperTAINS の通信プロトコルが TCP/IP であるため、ルータに IP Tunnel (Apple Talk のパケットを TCP/IP パケットで包む) の設定を行なった。

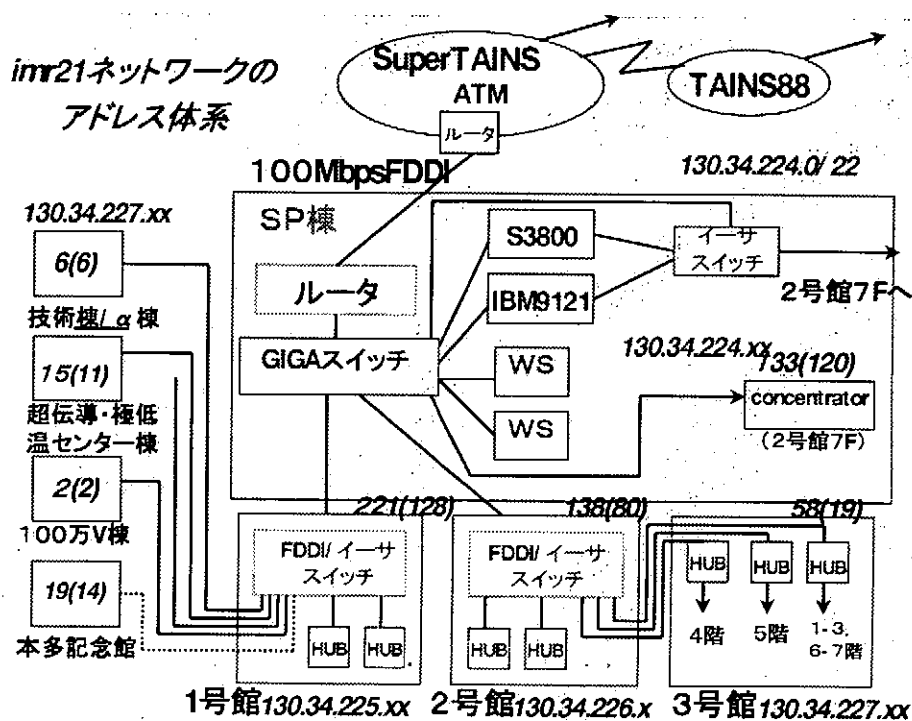


図4 imr21 ネットワークのアドレス体系

現在の IP 接続端末数は図4に記したとおりで、()内が構築以前の台数である。5月以降、11月末日現在までトータルで380台から592台に増加している。

3. まとめと今後の課題

imr21 ネットワーク構築後、IP 接続端末は急激な伸びをみせた。また、サブネットワークを構築することにより、所外の影響を受けることがなくなるとともに、完全なスイッチングネットワークを構築したので、高速かつ安定した環境を提供できるようになった。また、所内で1つのネットワークを構成しているためアドレス体系がシンプルになるとともに、各研究室まで配備した情報コンセントにより接続も簡単になった。また、情報機器およびネットワークが安定したことにより管理する側の手数はほとんどからなくなり、初期の設計方針は十分実現できたと思われる。

今後は、基幹ネットワークが ATM であるので、その有効な利用やネットワークの管理方式について検討する予定である。また、ftpを利用した転送速度の測定を行なったので、その結果の妥当性を解析するとともに、トラフィック量の多い経路について、現在の環境を崩すことなく高速化を図りたいと考えている。

【謝辞】

imr21 ネットワークを構築するにあたり、東北大学総合情報運用センター、「TAINS利用研究会」およびその関係の方々より多くの有益な助言を頂戴した。また、金属材料研究所の各研究室の方々の協力によりスムーズなネットワーク移行ができた。ここに記して感謝の意を表します。

*1 1988年に運用を開始した東北大学の初代ネットワークで、基幹が100MbpsのFDDIネットワーク

*2 1995年に運用を開始した東北大学の超高速ネットワークで、基幹が622MbpsのATMネットワーク

大型ヘリカル装置（LHD）実験のためのネットワーク構築計画

核融合科学研究所 加藤文雄、渡邊清政、中西秀哉、力石浩孝、小嶋 護、山本典子、
長壁正樹、伊藤 哲、山崎耕造

1. はじめに

核融合科学研究所（以下「研究所」と略す）では、平成9年度末からの大型ヘリカル装置（LHD）の実験開始に向け装置建設を始めとした各種の準備が進められている。LHD実験のためのネットワークは平成7年度に基本部の整備が行われた。その後、平成8年度の制御棟の完成を受けてネットワーク機器の移設と構成変更及び制御室でのネットワーク利用のための先行配線とパッチパネル設置工事等が行われた。本報告はこれらを紹介するとともに、今後の計画を報告する。

2. 新キャンパスネットワークとLHD実験ネットワーク

土岐地区の新キャンパスネットワークは数年前から検討され、平成7年度から本格的な整備が始まった。整備にあたって、キャンパスネットワークは（1）研究基盤情報クラスタ、（2）LHD実験クラスタ、（3）大型シミュレーション研究クラスタの3つのクラスタで構成されるネットワークとして構想された。この構想にもとづいて、平成7年度にLHD実験クラスタネットワーク、平成8年度に研究基盤クラスタネットワークが重点的に整備された。

構想の中でLHD実験クラスタは、「限られた実験周期内にデータ転送が確実にこなえるよう、他のネットワークとは独立し、かつ安定して運用できるネットワーククラスタ」として位置付けられた。実際の構築にあたっては、研究基盤情報クラスタとの接続を一台のルータのみを介して接続する構成とした。また接続にあたっては、不必要なパケットの流入を防ぐために一切のプロトコルのブリッジングは行っていない。さらに、研究基盤情報クラスタネットワークが最新のATM技術を採用したネットワークとして構築される計画であったのに対して、LHD実験ネットワークは「安定して運用できる」ことを重視してFDDIインターフェースを基本とした。

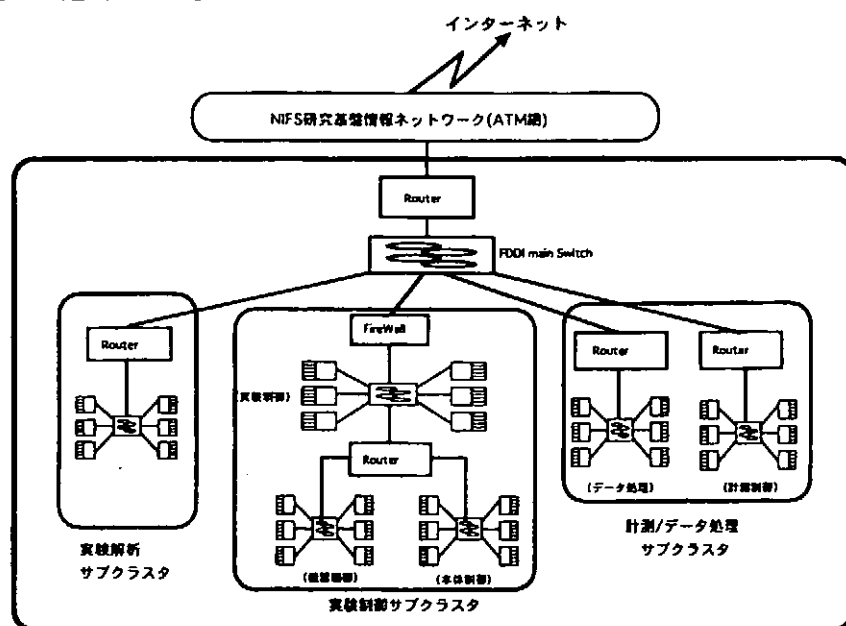


図1. LHD実験ネットワーククラスタ構成図

3. LHD実験ネットワークの構成

LHD実験ネットワーククラスタは、LHDの実験周期に合わせて実験機器データやプラズマデータなど多種のデータを、大量かつ高速に転送・処理するためのネットワークである。このネットワークは、データの種類や量的な違い及びセキュリティの観点から(1)制御情報サブクラスタ、(2)プラズマ計測/データ処理サブクラスタ、(3)実験解析サブクラスタの3つのサブクラスタから構成されている。各クラスタは研究基盤情報ネットワークとLHD実験ネットワークの間を接続するルータの下にFDDIスイッチで相互接続されている(図1)。

3-1. 制御情報サブクラスタ

制御情報サブクラスタは、「本体制御 LAN」、「機器制御 LAN」及び「実験制御 LAN」の3つの LAN から構成されている。本体制御 LAN は、その名の通り LHD 本体装置の冷却系やコイル電源の制御等の制御及び本体装置の温度、歪みなどの装置情報を伝達・監視するための LAN である。機器制御 LAN は加熱装置を始めとした周辺機器装置の機器制御及び運転監視情報のための LAN である。

実験制御 LAN は、本体及び周辺装置を『円滑で、協調して、効率よく』運転できるためのマンマシンインターフェースシステム (LMS) を始めとした実験制御のための LAN である。

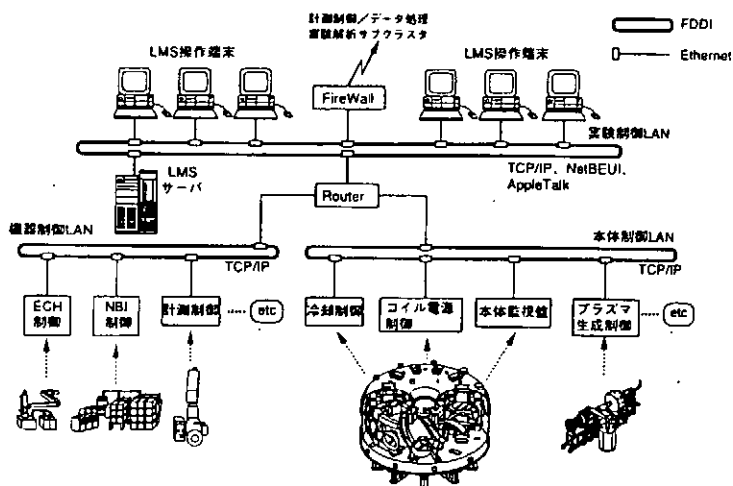


図2. 制御情報サブクラスタ構成図

3-2. プラズマ計測/データ処理サブクラスタ

このサブクラスタは、「プラズマ計測サブクラスタ」と「データ処理サブクラスタ」の2つのクラスタから構成される。プラズマ計測サブクラスタには計測機器を制御するための機器が接続される。データ処理サブクラスタは実験データの収集/処理を行うためのサーバ計算機群が接続される。

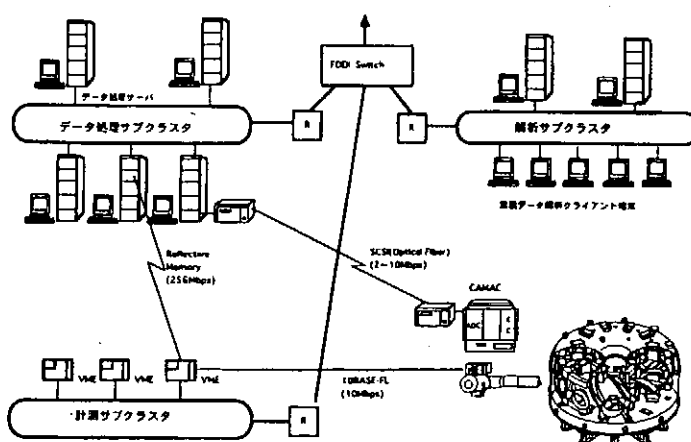


図3. プラズマ計測/データ処理サブクラスタ構成図

3-3. 実験解析サブクラスタ

実験解析サブクラスタには、収集された実験データを高速に表示したり、実験データを解析す

るための計算機が多数接続される。また、LHD実験に關した各種情報の伝達にも利用される。

3-4. FDDI スイッチ及びスイッチングハブ装置

LHD実験ネットワークの各サブクラスはFDDI スイッチを中心にしてスイッチングハブ装置がスター型に配置されている。スイッチングハブはLHD本体棟や制御棟及び周辺の実験棟に配置され、光ファイバケーブルを利用してFDDI インターフェースで接続(100Mbps)されている。FDDI スイッチ及びスイッチングハブはXylan 社製のOMNI スイッチを利用している。OMNI スイッチは、匡体に1台のCPUモジュールと8枚または4枚のスイッチングモジュールが装填できるOMN-9 とOMN-5 の2種類がある。スイッチングモジュールはいくつかの種類が用意されており、LHD実験ネットワークでは、FDDI (100Mbps)、CDDI (100Mbps)、100Base-TX(100Mbps)、10Base-TX(10Mbps)、10Base-FL(10 Mbps) を利用している。スイッチングモジュールは活性挿抜(ホットスワップ)が可能であり、匡体に装填すればインターフェースが自動認識される。また、スイッチングモジュールの入れ替え作業はメーカーの保守員でなくとも可能である。このため、ネットワークの構成変更や、実験計画の変更に伴った接続計算機のインターフェース変更があったような場合にもモジュールの変更作業が容易に行なえる。

4. 先行配線とパッチパネル設置

LHDの実験中は研究者や技術職員などの実験関係者の多くはLHD本体実験棟ではなく、制御棟の制御室で装置の状態監視、各種の制御及び実験データの解析等を行う。制御室には大型の机が120台程設置され、各々の机には2~3台の計算機が設置される予定である。制御室には北/中央/南の3コーナーにスイッチングハブがラックに収納されて設置されている。このスイッチングハブは制御情報、計測制御/データ処理、実験解析及び研究基盤情報の異なる4つのネットワーククラスタのものである。制御室の机の上に設置された(持ち込まれた)計算機は目的に応じてこれらのうちのどれかに接続される。接続は恒常的なものでなく、机を利用する人により、また処理する内容により目的に合ったスイッチングハブに接続が行われる。また、ひとつの机の上に設置される計算機の台数も日毎に変化する。

これらのことを考慮して、制御室では床下からスイッチングハブが収納されたラックまでの間に先行配線を施した。先行配線したケーブルは将来の高速化に備えてカテゴリ5のUTPケーブル(100Mbpsまで通信可能)を利用した。このケーブルは、一方はラック内のパッチパネルに集約され、他の一方には机の下の情報コンセント(RJ-45)に接続されている。

制御室に計算機を持ち込んだ場合には、先ず床下の情報コンセントに接続を行い、次にスイッチングハブが収納されたラック内のパッチパネルと該当するスイッチングハブとの間を短いパッチケーブルで接続する。これだけで接続作業は完了する。

パッチパネルを利用したネットワーク接続システムは初期コストがかかったり、配線系での電氣的なロスが生じるという欠点があると言われている。しかし、前述したような制御棟でのLHD実験のための弾力的なネットワーク運用の場合には大きな効果を発揮するものと確信している。

5. 本格運用に向けての進行中の課題

LHD実験ネットワークの基幹装置は平成7年度に整備されたが、本格運用を行うためのネットワークに仕上げていくにはいくつかの課題が残されている。以下に主なものを紹介する。

5-1. 実験解析サブクラスタの見直し

LHD実験ネットワークは3つのサブクラスタから構成されている。データ処理のサーバ群が配置されるサブクラスタは計測/データ処理サブクラスタであり、データの解析を行うクラスタが実験解析サブクラスタである。両者はデータ処理のサーバ/クライアントの関係で多量のデータの通信が必要になる。ところが、この通信を行うには2つのルータを経由しなくてはならない。スイッチングハブはFDDI インターフェースを利用して100Mbpsの性能で接続を行っているが、ルータはこれほどの性能が出ない。従って、ルータがボトルネックになることが想像される。このため、データ処理のサーバ/クライアント間の通信にあたって「経由するルータ数を減らす」すなど処理の高速化を実現するための見直しが求められている。

5-2. ネットワーク管理システムの構築

LHD実験ネットワークは実験制御のための各種情報の伝達、実験によって発生した多量のデータ、それをもとに解析した結果のデータの通信が行われるなどLHD実験を進める上で極めて重要な役割を果たしている。このため、ネットワーク管理は重要な課題である。次の3つの側面からネットワーク管理システムを構築していくことが計画されている。

(1) 構成管理

複数のサブネットワークから構成されるネットワーク全体の構成の把握と、ルータやFDDI スイッチ、スイッチングハブなどのネットワーク機器及びネットワークに接続されたノードの監視を行う。

(2) 障害管理

ネットワークに接続されたネットワーク機器のノードのダウン、インターフェースの状態遷移、通信の異常などを集中して監視できるようにする。

(3) 性能管理

ルータやスイッチングハブなどネットワーク機器のトラフィックを定期的に監視できるようにする。これをもとに、障害発生を未然に防いだり、ネットワークの性能の見積もりや構成の見直し検討の資料とすることができる。

5-3. ファイアウォールシステムの構築

LHD実験ネットワークはLHD本体装置や各種周辺装置の制御のための各種情報が伝達されるなどLHD実験を進める上で極めて重要な役割を果たしている。従って不正なアクセスからネットワークを守るセキュリティの確立は重要な課題である。セキュリティを確保する最も簡単な方法はLHD実験ネットワークをインターネット接続しないことである。実際、LHD実験装置でも装置や各種機器を直接制御するようなネットワークの場合、インターネット接続しない閉じたネットワークが用いられている。この場合、当然のこととしてネットワーク上の計算機にアクセスできるのは極めて限定されてしまう。世はまさにインターネットの時代である。インターネット接続のメリットを生かしながら、なおかつセキュリティを確保するという観点でファイアウォールシステムの構築を行うことが計画されている。

ATM Network の SVC 運用への移行

電子計算機センター 内藤茂樹

平成9年 11月 20日

1 新 Network の構築

岡崎国立共同研究機構では、平成7年度末に超高速 ATM Network の導入を行った。新 Network は当初 PVC で運用を開始したが、運用上の問題のため、1年の準備期間の後 SVC での運用に切り替えることにした。今回はその経緯と運用に関する問題点を報告する。

新 Network で使う機器は ATM 交換機が Fore Systems 社製 Fore ASX1000、スイッチングハブが日立製 HS200 となった。岡崎機構の基幹部に ForeASX1000 を4台使い、それぞれシングルモードファイバーを使用して、OC-12(622M) でフルメッシュに接続した。各部局とも ForeASX1000 と日立 HS200 の間は、マルチモードファイバーを使用して、OC-3(155M) でスター状に接続している。スイッチングハブから各部屋までは UTP ケーブルを使用して、同じくスター状に各情報コンセントへ接続している。新 Network では 10BASE-T、100BASE-TX、CDDI が利用可能であるが、標準は 10BASE-T である。

基幹部に ATM を使用した専有型の新 Network では、論理的な Network の構築が可能であり、物理的な接続よりも論理的な接続の方が重要である。論理的な接続をするための通信路を VC(Virtual Circuit) と言い、その接続形態には PVC と、SVC とがある。PVC とは各 ATM 機器間の VC を固定して運用する方法であり、SVC は通信要求が発生する都度 VC を張って運用する方法である。

機構では始め、LANE を用いた運用を想定していたが、導入時には LANE を構築するために必要なサーバー類が、まだベンダーより提供されていなかったため、スイッチングハブの機能を用いた VLAN での運用をすることになった。しかし、VLAN は SVC 上での運用は出来ないため、PVC による接続となった。

2 PVC での運用時の問題

PVC によって Network の構築をしてはみたものの、実際に運用しはじめるとさまざまな問題が出て来た。

当初予定していた分子研の VCI の接続トポロジーは、全体を3分割した3段の tree 構成をとり、最上段と最下段に位置するスイッチングハブは横方向にも通信路を設定して、迂回路を考慮したものだった。

最初、スパニングツリー機能を使用して、論理的なループの無い構造となる運用を試みた。スパニングツリーを実現するためには、Network に複数存在する通信路の中から最適な通信路を見つけ、2点間の通信をその通信路のみに制限しなくてはならない。そして障害時には、その通信路を破棄し、あらたな最適な通信路を見つけ、制限を加える必要がある。

ところが、実際に運用を始めたところ、この最適な通信路を見つけるための計算に時間がかかりすぎ、最適な通信路を見つけ出すことが出来ない状態に陥ってしまった。通信路を制限出来なければ、パケットが途中でループしてしまう可能性が高く、実際に通信は不可能であった。スパニングツリーが実現できない以上、バックアップ用の VC をあらかじめ用意しておくことが不可能となった。そのため、障害にとっても弱い Network となってしまった。

分子研ATMスイッチングハブVCI接続トポロジーマップ

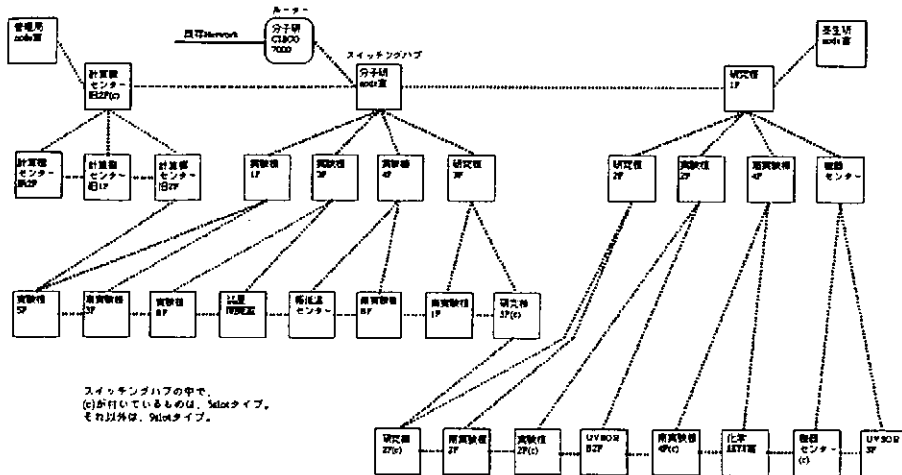


図 (2)

結局、分子研のVCIの接続トポロジーは、図(2)の最下段の接続を切り離した形態になった。この形態では、上流のスイッチングハブで障害が発生すると、下流のスイッチングハブはNetworkから孤立してしまう。しかも、上流のスイッチングハブは同じ棟内にあるとは限らないので、たとえユーザーのいる棟が問題無くても、上流のスイッチングハブのある棟が停電になると、Networkから孤立してしまうことになる。このままの形態で運用を続けることは、非常に不安であることから、VCの運用をPVCからSVCでの運用に変更することにした。SVCは普段はVCを張っておらず、接続要求がある度にVCを張る運用方法である。そのため通信を開始する時にVCが張られるまでに少し時間を必要とする。そのかわり迂回路の問題がなく、そのためPVC時に問題となったスパンニングツリーを運用する必要もない。

3 LAN Emulation への移行

そのためSVCへの移行と同時に、セグメントの運用をLANEを用いたものに変更することにした。しかしLANEへの変更作業中に問題が発生した。PVCで運用していたセグメントの区分をそのままLANEでのELANの区分とすることが、スイッチングハブの制限から出来なくなってしまった。

スイッチングハブで制御可能なATM論理バスは上限値があり、実際の運用でATM論理バスはその上限値を超えない事が望ましい。もし、超えてしまった場合は、超えた分のATM論理バスは張る事が出来ないため、通信の保証は出来ない。実際の運用で使用するATM論理バスは次の算術式で計算が出来る。

$$A \geq B + C \times \text{LEC数} + D \quad (1)$$

- A スイッチングハブから張れるATM論理バス
 - ATMボードのバッファサイズにより本数が変化する
- B スイッチングハブからATM交換機に張られる制御用論理バス
 - シグナリング用:1本
 - ILMI(Interim Local Management Interface) 用:1本
- C スイッチングハブ内LECからATM交換機内サーバーに張られる制御用論理バス
 - LES(LAN Emulation Server) 用:2本
 - BUS(Broadcast and Unknown Server) 用:2本
- D スイッチングハブ間データ通信バス
 - データ転送しない状態:0本

式 (1) の右辺が左辺を超えない用に ELAN を構築しなければならない。

ところで左辺 (A) は全てのスイッチングハブで同じではない。FDDI ボードを搭載している装置は、搭載していない装置に比べて 19 本ほど少ない。これは、ether のフレーム長が 1.5Kbyte であるのに対して、FDDI は 4.5Kbyte と大きいことが原因である。装置が ether のみをサポートすれば良い場合、バッファサイズは片面 1.5Kbyte の 2 倍で 3Kbyte を送受信分合わせて 6Kbyte あれば良いのだが、FDDI の場合は 4.5Kbyte の 2 倍で 9Kbyte を送受信分合わせて 18Kbyte 必要となる。ところが、スイッチングハブに設定できるバッファサイズは、8Kbyte、16Kbyte、32Kbyte と固定されているため、ether の場合は 8Kbyte、FDDI の場合は 32Kbyte に設定するしかない。必要な最小のバッファの大きさが 3 倍でも、実際に装置に設定出来る大きさでは 4 倍にも開いてしまう。この差が ATM 論理バスの上限値の差 (19 本) として現れる。バッファが 8Kbyte の時の A の値は 51 になり、32Kbyte の時は 32 となる。

一方右辺であるが、B で自動的に 2 本消費されてしまう。また C から LEC1 個あたり 4 本消費する。したがって、D の値はバッファが 8Kbyte で最高 45、32Kbyte で 26 となる。結構余裕があるように見えるが、実はそれほどでもない。例えば、ELAN1、ELAN2、ELAN3 に所属する、あるスイッチングハブがあるとすると、式 (1) から、バッファを 8Kbyte とすると、D は 37 と計算される。したがって、各 ELAN に平均 12 台のクライアント (スイッチングハブ) へバスを張ることが可能である。ところが、バッファが 32Kbyte だと、A が 19 少なくなるので、D は 18 になる。これだと各 ELAN は平均 6 台のクライアントへしかバスを張れない。

ここで、もっとも ELAN が込み合ってる実験棟 2F を考えてみる。実験棟 2F には分子構造研究系、極端紫外光科学研究系、錯体化学実験施設、電子計算機センターの所有する部屋があり、さらにノード室、そしてストックルームがある。これをもとにして系毎に ELAN を区切ると、実験棟 2F のスイッチングハブは 6 つの ELAN に参加することになる。すると D は、バッファが 8Kbyte で 25、32Kbyte では、6 しかない。ここにはバッファが 8Kbyte のタイプが 1 台、32Kbyte のタイプが 1 台設置されている。そして 8Kbyte のタイプには 10BASE-T のボードしかなく、100BASE-TX、CDDI のボードは 32Kbyte のタイプに搭載されている。ここに部屋をもつ系の ELAN は 10BASE-T のみでも、平均 5 台しかその ELAN 内にスイッチングハブを参加させることができず、100BASE-TX や CDDI を利用するのはほとんど不可能である。

この時点で、PVC 時代のセグメントの考え方で ELAN を構築するのは、かなり難しく、また最適解を見つけたとしても、変更の自由が効かない、将来性の無いものになってしまうだろうと予測された。

3.1 ELAN の決定

そこで発想を変え、それまでの ELAN 設計を捨てることにした。ATM LAN の論理 Network をセグメントに区分けする理由を考えると、今までの FDDI ループを元にした Network では ClassC を元にしてセグメントを分割して運用していたために、1 セグメントにはホストを 250 台程度しか接続できない。したがってより多くのホストを ATM LAN に接続するためには複数のセグメントを作るしか方法が無い (もちろん接続するホストの台数を増やすだけなら、IP アドレスのネットワーク部を短くしてやれば 1 セグメントあたりに接続することができるホスト数は増える。しかしその場合、今すでに運用されている既存の Network との共存ができない)。と言うことは、1 つの ELAN に複数の ClassC アドレスを割り当てれば、接続可能なホスト数の問題は解決できる。しかも、たとえ Network アドレスが違っていても同じ ELAN 内ならば、どのポートでも接続可能である。つまり分子研を 1 つの ELAN で全てカバーし、その ELAN に必要なホスト数分の ClassC の Network アドレスを割り振ればホスト数の問題は解決され、移動先で PC を使う時にアドレスを変更する必要もない。そしてその ELAN を図書館や職員会館まで伸ばせば、PC をそこで使う時に設定変更することなしに使用可能となる。

そしてもっとも重要な ELAN 内のクライアント数の問題であるが、基本的に各クライアントは 1 つの ELAN にしか参加しないので、バッファが 8Kbyte のタイプなら 45 本、32Kbyte のタイプなら 26 本のバ

スを張ることが可能である。分子研内のスイッチングハブの台数は26台で、図書館と職員会館、岡崎カンファレンスセンターを含めても、8Kbyteのタイプでは余裕がある。32Kbyteのタイプでは少しオーバーするが、同時に全てのスイッチングハブの下流に、同じSubNetworkのマシンが存在してNetworkにアクセスする可能性はかなり低く、問題視するほどではない。また、SubNetworkが違えば、各ホスト間の通信はルーター経由で行われるために、ルーターまでのパスを張ればすむ。そのため、全スイッチングハブ同士にパスが張られることはなく、したがって、パスの上限値の問題はクリアされる。

こうして1つのELANに複数のNetworkアドレスをつけるという、分子研の特徴的な新Networkが構築された。

4 まとめ

平成8年4月に導入されたATM Networkを、PVC接続からSVC接続へと変更するために、ほぼ1年を費した。その間Networkを利用しているユーザーには不自由を強いることになった。しかし、数々の問題があったPVC接続時代にくらべ、SVCで運用をしている今は、接続ホスト数が数倍に膨れ上がったにもかかわらず、大きな障害も起こらず安定した運用を続けることが出来ている。今回の作業を通じて感じた、ATMでNetworkを構築する上で考慮すべき点を二つ上げることが出来る。

一つめはPVCよりもSVCで運用をするべきだということである。PVCはSVCに比べて初期設定が簡単であるが、新たにATMクライアントを接続する度に設定を見直さなくてはならない。また、障害時に備えて迂回経路を設定する必要があるが、複数のパスを張った場合、スパニングツリーが必要となる。このスパニングツリーがNetworkの足枷になる場合がある。それに比べてSVCは初期設定に時間がかかるが、新たにATMクライアントを接続する時に、大がかりな作業を必要としない。また迂回経路の設定を必要としないために、足枷となる可能性があるスパニングツリーも必要としない。複数のATMクライアントが存在するNetworkを構築するなら、拡張性をも考慮してSVCを採用するべきである。

もう一つはELANを複雑にしないということである。ELANを一つのセグメントとして捉え、実体のないイエローケーブルの様な考え方でELANを構築すると、場合によっては一つのスイッチングハブが、いくつものELANに参加しなければならなくなってしまう。その結果スイッチングハブの能力を上回った要求をしてしまい、そのスイッチングハブが参加しているELANを、利用出来なくなってしまう可能性がある。安定したELANの運用をするならば、一つのスイッチングハブが参加するELANの数を出来るだけ少なくした方が良い。しかしある程度の利便性を考慮すると、どうしても複数のELANに参加させざるを得ないかも知れない。その解決策として、一つのELANに複数のNetworkアドレスを割り当てる方法がある。この方法ならばELAN数を減らすことができ、しかも各Networkアドレスはルーターにて分割して管理可能だから、IPレベルの独立性を保つことが出来る。

ATMを用いてNetworkを構築する時には、今までのイエローケーブルやFDDIを用いたNetworkの考え方に囚われすぎずに、ATMの機能を活かす考え方をした方が良い。常にパスが張られていないSVCや、複数のNetworkアドレスをもったELAN等、今回報告した分子研のATM Networkはその一つの例になるだろう。

参考文献

- [1] 内藤茂樹. 分子研新Network概説, 分子科学研究所 技術課活動報告「かなえ」8号.1997.

IMAP メールシステムのサービス実験

(株)日立情報システムズ 小原 洋

高エネルギー加速器研究機構 渋谷 義和

1 はじめに

昨年(1997)の10月より高エネルギー加速器研究機構(以下「本機構」と略す)、計算科学センターでは、POP3をベースとしたメールサーバーを構築し、運用を開始した。この新しく運用を開始したメールサーバーは当初から非常に安定して運用することができた。その大きな理由の一つとして、技術として枯れているPOP3¹を採用したことがあげられる。

本機構では、国内外への出張者が多く、どこへ行っても電子メールの読み書きができる環境が求められており、POP3のサービスだけでは満足できないことが指摘されてきた。これが、古くから運用されているVAXシステムによるメールサービスを手放せない主な理由になっており、新しい方式の導入が潜在的に要請されている。

著者らは最近国際的に検討しつつあるIMAP4²がこれらの要請に応え得るものかどうかを、実験システムの構築により確認するために調査を開始した。

1.1 現在のメールサーバー

現在のメールサーバーはPOP3をベースにしたメールサーバーである。ユーザーはUnix, PC, Mac等にお気に入りのPOP3クライアントプログラムをインストールし、メールサーバーに自由にアクセスしている。POP3をベースにしたシステムではメッセージはすべてクライアントホストに転送し、サーバーからは削除する。メッセージの受信、発信、管理等はすべてクライアントホストで行なわなければならない。したがって、サーバーにアクセスするクライアントホストは基本的に1台でなければならない。

例えば、普段勤務先にて自分のPCにインス

トールしたPOP3クライアントを使用してメールメッセージを管理しており、自宅や出張先から同様にしたいとしよう。

- (1) 勤務先のPCが持ち運び自由なPCの場合
ネットワークへの接続という問題さえクリアすれば、普段通りにメールメッセージを送受信できる。
- (2) 自宅や出張先のそれぞれにクライアントホストがある場合
新着メールメッセージに対する受信、返信等はできる。しかし、過去のメッセージへの参照が出来ない。自宅や出張先でクライアントホストに保存した新着メールメッセージの管理情報を勤務先のPCに反映させるのが難しいといった問題がある。

ノート型PCが高機能低価格化している現在、(1)の状況も不可能なことではない。しかしすべてのユーザーがノート型PCを携帯できる訳ではない。多くのユーザーが(2)の状況の中で、工夫を凝らしているというのが実情であろう。

1.2 IMAP4ならば

多くの文献³によれば、IMAP4をベースにしたメールサーバーでは以下のようなシステムが構築できるようである。

- POP3と同様にクライアントサーバー型システム
- オンライン処理、オフライン処理可能
- メッセージの管理はサーバーのみ、またはサーバー+クライアントも可能
- メッセージボード機能あり
- サーバー側でのメッセージ検索機能あり
- サーバー側でMIMEサポート

¹Post Office Protocol - Version 3

²Internet Message Access Protocol - Version 4

³<http://www.imap.org> から文献を検索できる

IMAP4 ベースのメールサーバーであれば、1.1 (2) の状況においても、過去のメッセージへの参照、メッセージ管理情報の反映といった問題はなくなるはずである。

2 サービス実験の目標

サービス実験は以下の項目を目標とした。

- 実際の IMAP4 の現状を知ること
- できるだけ多くのプラットフォームを利用すること
- できるだけ多くの IMAP4 サーバー、クライアントソフトウェアを使用すること
- 現在のメールサーバー (POP3) との共存利用を探ること

2.1 実験システムの構成

図 1 ハードウェアと表 1 のソフトウェアで実験システムを構築した。Windows95 については WindowsNT と同等と評価し、実験システムの構成には含めていない。

サービス実験システムはフリーソフトウェア、評価版、β版を利用して行なった。これらの多くは現在開発途中であるため実験中に何度もバージョンアップ版が発表され、その都度システムを更新しながら実験を続けた。

2.2 サービス実験システムの評価

2.2.1 IMAP4 プロトコルについて

IMAP4 プロトコルは telnet コマンド (コマンド "telnet test-host imap") にて IMAP4 サーバーに接続しプロトコルを確認した。telnet コマンドを使う理由は、著者ら自身がクライアントシステムとなって IMAP4 サーバーと IMAP4 コマンドを使って通信を行なうためである。

IMAP4 コマンドは RFC ドキュメントを基に確認を行った。

2.2.2 IMAP4 サーバープログラム

すべての IMAP4 サーバープログラムは IMAP4 rev1⁴ をサポートしている。また、IMAP4 と同時に POP3 もサポートしている。つまりメールサーバーを IMAP4 サーバーに移行しても POP3 クライアントを使用することは可能である。

UW imapd⁵ は既存のメールスプールを使用するので、既存のシステムからの移行が容易に行なうことができる。またメールサーバーに直接ログインして直接メールスプールにアクセスするメールクライアント (mail, mailx, MH コマンド等) も使用可能である。

cyrus imapd⁶ は独自構造のメールスプールを使用しているため直接メールスプールにアクセスするメールクライアントを使用することは出来なくなる。また sendmail.cf もこれに合わせる形で作成し直す必要がある。しかし、ACL extension⁷, QUOTA extension⁸ をサポートしているので細部にまでメールサーバーシステムの管理が可能である。

IMAP4 メールサーバーに移行後はメールメッセージをメールスプールに残して置くことが多くなるため QUOTA extension 機能は重要な機能だと言える。

2.2.3 IMAP4 クライアントプログラム

実験開始当時は日本語をサポートしている IMAP4 クライアントプログラムが少なかった。また評価版、β版にはバグも多く使用に耐えがたいものも少なくなかった。また IMAP4 rev1 レベルの IMAP4 コマンドでもサポートしていないものもあった。特に検索機能の Body, Header, All の使い分け、OR, NOT による組合せが使えないものが多いのは残念である。

日本語をサポートしているフリーの IMAP4 クライアントプログラムは pine だけである。pine は多くのプラットフォームで動作可能であり、他の商用 IMAP4 クライアントプログラムと比べて

⁴[RFC2060]Internet Message Access Protocol Version 4rev1 December 1996

⁵ワシントン大学で開発している IMAP4 サーバープログラム

⁶カーネギーメロン大学で開発している IMAP4 サーバープログラム

⁷[RFC2086]IMAP4 ACL extension January 1997

⁸[RFC2087]IMAP4 QUOTA extension January 1997

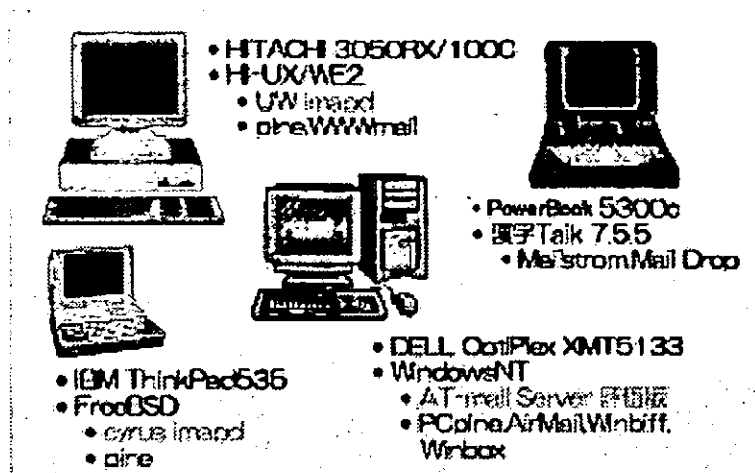


図 1: 実験システム構成

表 1: ソフトウェア一覧

| | ソフトウェア名 | プラットフォーム | 和/英 | 種類 |
|--------|----------------|--------------|-----|-----|
| サーバー | UW imapd | UNIX | 英 | フリー |
| | cyrus imapd | UNIX | 英 | フリー |
| | AT Mail server | Windows NT | 和 | 評価版 |
| クライアント | pine | UNIX | 和 | フリー |
| | PCpine | Winodws NT | 和 | フリー |
| | Air Mail | Windows NT | 和 | 評価版 |
| | Winbiff | Windows NT | 和 | β 版 |
| | Winbox | Windows NT | 英 | フリー |
| | Air Mail | Macintosh | 和 | β 版 |
| | Mailstrom | Macintosh | 英 | フリー |
| | Mail Drop | Macintosh | 英 | フリー |
| | WWWMail | WWW(cgi-bin) | 英 | フリー |

も遜色無い量の機能（逆に機能は多い）をサポートしている。ただしテキストモードのプログラムであるため多くの POP3 クライアントプログラムで採用されているような GUI は望めない。

現在まで著者らが使い続けているのは pine である。複数の IMAP4 メールサーバーに同時にアクセスできること、MH フォルダーをサポートしていること、検索機能が充実していることが、その主な理由である。

3 POP3 と IMAP4

3.1 POP3 に対する IMAP4 の短所

- フリーのクライアントプログラムの数が少なく容易には入手しにくい
- 仕様が未だ固定されていない

3.2 POP3 に対する IMAP4 の長所

- メールスプールをサーバーが管理するためクライアント環境を選ばない
- サーバー側でサポートしている機能が多いので、クライアントソフトがシンプルになる（はずである）
- 必要なメッセージだけをサーバーからクライアントに転送することが可能なので、ネットワークのトラフィックを押さえることができる
- 仕様内容が成長を続けているので、将来性に期待できる

4 まとめと今後の課題

4.1 まとめ

- サービス実験システムはフリーソフトを使って比較的容易に構築することができた
- 多くのソフトウェアは頻繁にバージョンアップされるため、最新版をチェックする必要がある
- 現在のシステムからの移行もスムーズにできるので、IMAP4 ベースのメールサーバーへの移行を勧めることができる
- POP3 ベースのメールサーバーで苦勞する 1.1 (2) のような問題も、IMAP4 を使用する

ことで苦勞することはなくなった

- 検索機能を使うことでメールの検索が迅速になり、必要な時に必要なメールをすぐに検索できるようになった

4.2 今後の課題

本機構の計算科学センターでは来年度から運用を開始する新しいメールサーバーにおいて IMAP4 を正式サポートすることが検討されている。今回の実験でえた経験を活かし新しいメールサーバーを支援していきたい。

謝辞

この度の実験の推進に当たり、高エネルギー加速器研究機構 計算科学センター長 渡瀬芳行教授をはじめ計算科学センター関係各位には予算措置および技術的助言を頂き心から感謝申し上げます。

KEK 技術部ホームページの現状

高エネルギー加速器研究機構 技術部

濁川和幸、阿部勇、川又弘史、小菅隆、平雅文、橋本清治、渡辺環

§ 1. ホームページの歴史・目的

KEK 技術部のホームページは、高エネルギー物理学研究所時代の 1996 年 7 月より正式にサービスを開始し、1997 年 4 月 1 日に高エネルギー加速器研究機構技術部ホームページとして再出発をした。(図 1)

当初は 141 名の技術者の日常的な交流やコミュニケーションの場としてホームページをスタートし、機構になってからは技術者の人数が 171 名に増加し、これら技術者間の意志疎通を計る手段として、またつくば地区と田無地区の情報交換を行うことを目的としてホームページの運営を行っている。

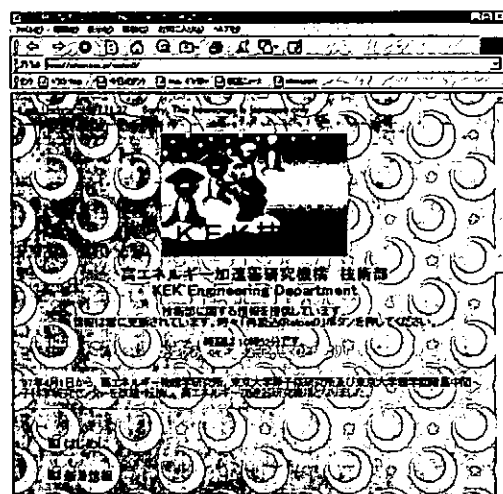


図 1. KEK 技術部ホームページ

§ 2. ホームページの運営

2-1. 運営体制

KEK ホームページの運営は技術部長より任命された委員で行っている。役割別に 3 種類の委員会を持っており、それぞれ表 1 の仕事分担を行っている。

各委員は機構内の各研究所・研究施設に散らばっていてそれぞれの役割を果たしている。

| 委員会名 | 構成人数 | 役割 |
|------------------------------|------|-------------------------|
| Server Management Grupu(SMG) | 7名 | サーバー管理・ホームページ作成・各種技術の評価 |
| モニター | 3名 | ホームページの検閲 |
| 情報 | 10数名 | 研究所・研究施設間の技術職員に関する情報の収集 |

表 1. 技術部 W3 委員会

この他にホームページに掲載する情報源として技術部各委員会にも情報の提供を行っていただいている。また、各委員会でホームページを作成している場合は、そのページに適切なリンクを設定して、情報の提供を行っている。

2-2. SMG

我々が所属している **SMG** のメンバーは、つくば地区 6 名・田無地区 1 名で構成され、ホームページの作成・保守、サーバー管理、新技術評価等を行っている。

2-3. ホームページの作成等

ホームページの作成は、**SMG** のメンバーで行っている。**SMG** のメンバーは全員 **Windows** 系のマシンを使用しており、各自のパソコン上でホームページの作成を行っている。

最初のうちはホームページ作成用ソフトウェアを使用したり、エディターを用いてタグやスクリプトを直接書いてページの作成をしていたが、最近ではタグやスクリプトを直接書く方式ではほとんど全てのページが書かれている。

ホームページで使用している絵やアイコン等は、著作権フリーの素材集を使用している。

また、新技術の評価として行っている **VRML** や **JAVA** 等は専用のツール等を使用し、ページの作成を行っている。

2-4. サーバー・クライアント

技術部のホームページは現在、物質構造科学研究所のサーバーを間借りしている状態で運営されている。近々に技術部専用サーバーを設置し、技術部に関するインターネットサービスを開始する予定である。

2-4-1. サーバー構成

現在使用されている **Web** サーバーのマシン構成は表 2 の通りになっている。

上記でも述べた通り、ホームページを作成している委員は全て **Windows** 系マシンを使用しているので、**Samba** を通して、各委員が作成したページ等を送り込んでいる。

☆PFU S-4/5 (機種)
☆SunOS 4.1.3 (OS)
☆NCSA Ver.1.3 (Webサーバー)
☆Samba

表 2. Web サーバー構成

近々に導入されるサーバーマシンは表 3 の構成となっている。

上記マシンへの変更は、ある程度の試験期間を置いてから移行する考えである。これは、**CGI** の動作テストやセキュリティーの確認を行ってから、一般への公開を行うためである。

☆DIGITAL Prioris MX (機種)
☆WindowsNT 4.0 (OS)
☆IIS 3.0 (Webサーバー)

表 3. 新 Web サーバー構成

2-4-2. クライアント

現在 KEK では、Netscape Navigator 3.0 のサイトライセンスを所有しており、KEK 内では使用者が多いと考えられる。また、Internet Explore は現在 Windows95・WindowsNT4.0・MAC OS8 に標準で搭載されており、使用者が多いと予想される。

上記の理由から、クライアントとして使用されるブラウザを Netscape Navigator 3.0 及び Internet Explore 3.0 と見なし、この2つのブラウザでページの確認を行って貰う。ページの作成は、これらのブラウザで見たときに何も問題が出ない様に心がけている。

2-5. 意見交換

2-5-1. 委員会内の意見交換

実際に各委員が活動を行う際に他の委員と情報や意見の交換を行う必要が出てくる。しかし、通常業務もあり、頻繁に会議を行うのも大変なので、各委員間の意見交換にはメーリングリストを作成し、それを利用して行っている。

但し、必要に応じて年間に数回の全体会議は行っている。また、SMG に関しては月に 2,3 回のミーティングを開いている。このミーティングは短時間（1 時間以内）で行っている。

2-5-2. 他大学との意見交換

外部との意見交換も積極的に行い、知識の向上やホームページ作りの参考としている。外部との意見交換には、電気通信大学の水谷氏が開設されたメーリングリストを利用しており、この場を借りてお礼を申し上げる。このメーリングリストには 18 機関（20 メンバー+2 ウェブマスター）が参加しており、下記のアドレスで登録業務が行われている。

登録依頼先 : mizu@cs.uec.ac.jp （電気通信大学 水谷氏宛）

§3. ホームページの構成

現在の技術部ホームページの構成は図 2 の通りになっている。見てわかるように、現時点では、技術部に関する情報を伝えることが多く、双方向に情報交換を行う場所が少ない。これを今後の課題として取り組んでいきたい。

なお、ホームページ内には JAVA Script、CGI、フレームも使われている。

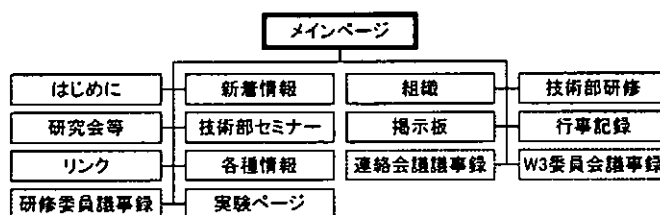


図 2. 技術部ホームページ構成図
（点線部は KEK 内のみ公開）

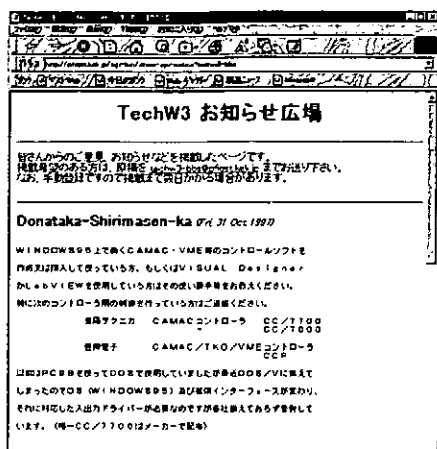


図 3. CGI を使用したページ



図 4. JAVA Script を使用したページ

§ 4. 今後の活動

近々に専用サーバーが導入されるので、メーリングリスト・ニュースサーバー等の双方向で意見交換できるインターネット技術の導入や Push 技術などのテストを積極的に進めていきたいと考えている。

また、技術部セミナーとして「Web ページの作り方（初級編）」を SMG のメンバーが講師となり行った。このセミナーは、年 1 回の割合で今後も続けていく予定である。また、このセミナーの教科書として「Web ページの作り方（初級編）」を KEK インターナルとして出版した。この教科書は、現時点での情報に基づいて書かれているので、年 1 回位の割合で出版を行っていき考えている。なお、この本は、技術部ホームページ上で PDF 形式ファイルとして公開している。

WWWを使った行事予定管理およびアドレス帳検索の作成

岡崎国立共同研究機構 分子科学研究所 電子計算機センター 水谷文保

はじめに

分子科学研究所では、全所隅々までコンピュータネットワークの整備が完了し、様々な目的で利用されている。その中で全所規模で利用されているものとしては、電子メールをあげることができる。それ以外には、ファイル共有による情報提供が利用されてきたが、機種依存やアプリケーション依存の問題があり、積極的な活用に至っていない。そこで機種依存の無い情報提供システムとして注目されている WWW (World Wide Web) を利用し、インタラクティブな操作による情報提供として、行事予定の重複回避を目指した行事予定管理と、電子メールの利用促進を目指したアドレス帳検索を作成することにした。

1. システムの構成

現在分子研の Web サーバは SONY の NEWS 上で運用しているため、今回このサーバ上で開発を行った。OS は NEWS-OS Ver.6.0.3 で、Web サーバは NCSA httpd Ver.1.4 である。主たる開発言語は Perl Ver.4.036 で、これに日本語化パッチをあてたものを使用している。その他に、検索部分は処理速度向上のために C 言語で開発している。

2. システムの概要

行事予定管理は、WWW 上で行事の参照だけでなく登録も可能にしてある。特徴は、簡単な会議室予約機能を実現していることである。また WWW が能動的なメディアであるのに対し、電子メールは受動的なメディアであることから、告知を目的とした場合は WWW に掲載するより電子メールを発信した方が効果が高いことを考慮して、WWW で登録をする場合に同時に電子メールでも内容が発信できる様にしてある。この行事予定管理は、すでに参考文献で報告してあるので、詳細はそちらを参照されたい。

アドレス帳検索は、WWW から検索できる以外に、アドレス帳検索プロトコルである whois, PH, LDAP にも対応させることにより、WWW ブラウザを起動することなく電子メール利用環境から容易に検索が行えるよう配慮した (図 1)。WWW 画面の例を図 4 に示す。検索結果は、参照するだけでなく電子メールアドレスによるリンク設定になっているので、該当者をクリックするだけでメールの送信手続きが可能である。また個人情報としてホームページアドレスを記載すればリンクされる。データ管理は、表計算ソフト等で行い、CSV 形式の出力データをそのまま利用する。さらに当機構が 3 研究所と管理局から構成され、4 部局が独立したネットワーク運用を行っていることから、個々で管理しているアドレス帳を 1 つのものとして検索できる機能も用意した (図 2)。現在分子研アドレス帳検索は所外からも利用できるようになっており、分子研ホームページよりたどることが可能である (<http://www.ims.ac.jp>)。このプログラムは現在公開しているので、興味がある方は参照されたい (<ftp://mickey.ims.ac.jp/pub/Originals/UNIX/phonebook>)。現在まで 1 年運用してきており、検索利用件数を図 3 に示した。所内・所外の利用率は同程度であり、

1日20件程度のリクエストがあった。

3. 工夫点

マルチプラットフォームに対応させる場合、一番問題になるのは日本語のコード問題である。今回 SJIS を基本として考えたが、その大きな理由はクライアントの大多数が PC であり、複数プロトコルに対応すること、またデータのメンテナンスも PC 上で行うことを念頭においたためである。当初 SJIS 運用している NEWS 上で JPerl を使っている分には問題はなかったが、日本語化されていない Perl を使用した場合、SJIS では2バイト目に存在するエスケープコードが誤動作の元になってしまう。そこで下例の左に示す記述が可能な場所でも、漢字を使用する部分は全て右に示す記述にして回避した。

```
$str = "機構";                                $str =<<'EOT';  
                                              機構  
                                              EOT  
                                              chop($str);
```

アドレス帳検索では、複数サーバへの検索を行う機能を用意したが、アクセス制限を行っている場合には、接続元のアドレス情報が消失してしまうため、セキュリティ上望ましくない。そこで複数サーバへの検索時には、接続元のアドレス情報も付加することによって、個々のサーバでのアクセス制限を有効化させる様にした。これによって、個々のサーバは自立した運用が可能となった。

検索アプリケーションでは、検索条件により全データを引き出す可能性が存在する。アドレス帳データの場合、全データを持ち出されると不正な利用に使用されることも予想されるので、表示上限件数を設定してヒット数が制限以上の場合は表示しない様にした。

4. 問題点

アドレス帳の様な個人情報検索サービスを行う場合、プライバシー問題が必ず発生する。これに対する具体策は持ち合わせていないが、サービスの趣旨から公開を前提にして、公開範囲、公開項目などの妥協点を探るしか方法はないと考える。また電子メールの利用促進を行えば、必然悪的な個人にとって不要なメールも増加する。これに関しては、電子メール（ひいては学術ネットワーク自身）を公的な通信手段としてとらえ、ある程度容認が必要であると考え。公的機関に所属する以上、プライバシーの範囲はある程度限定され则认为の方が自然ではないだろうか。

さいごに

アドレス帳運用にあたって、ご協力頂いた本機構ネットワーク管理室のメンバーにこの場を借りて感謝します。

参考文献

水谷文保、「World Wide Web を使ったスケジュールシステムの開発」、
分子科学研究所 技術課活動報告 かなえ No.7, p.22-29, 1997 年 3 月

連絡先 mizutani@ims.ac.jp

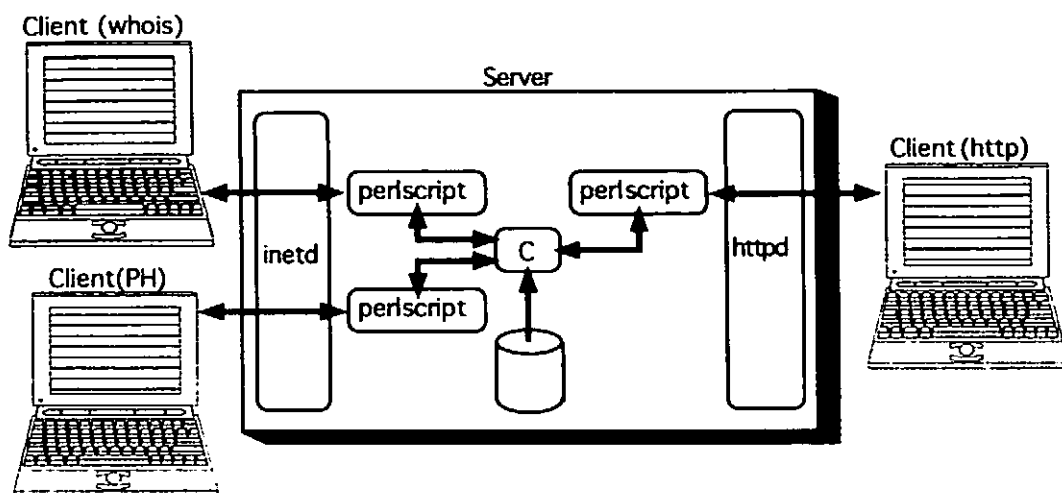


図 1

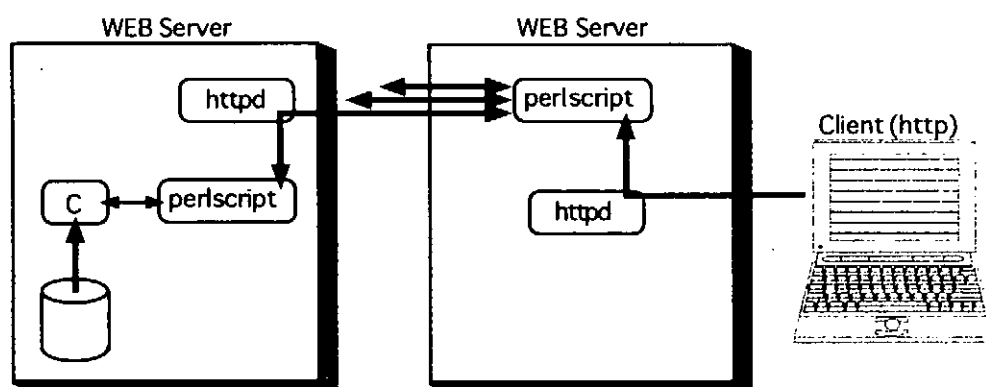


図 2

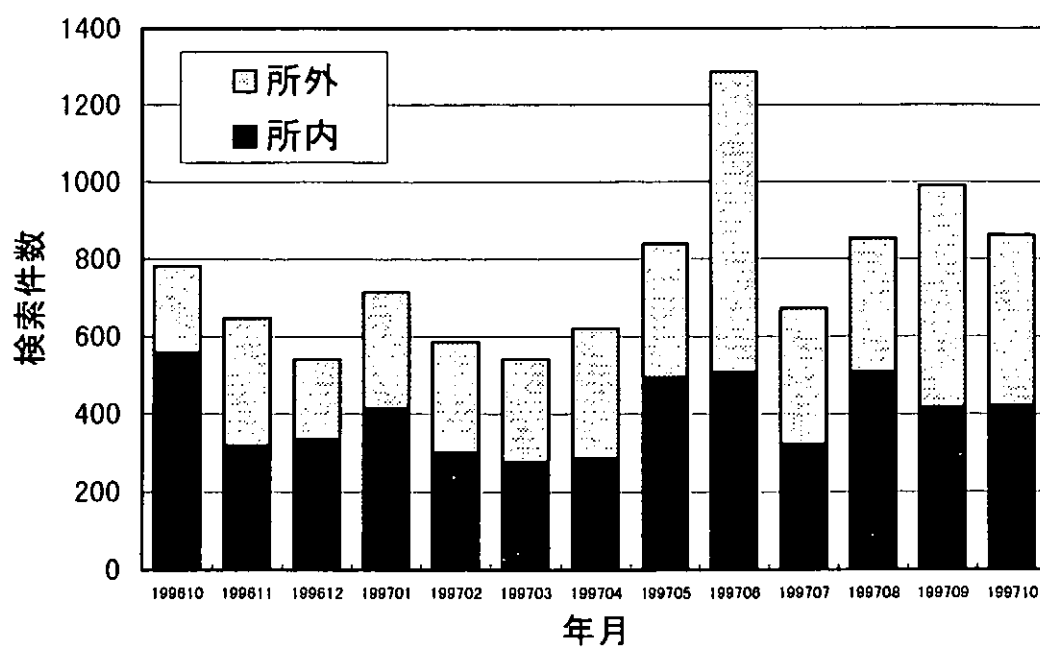


図 3

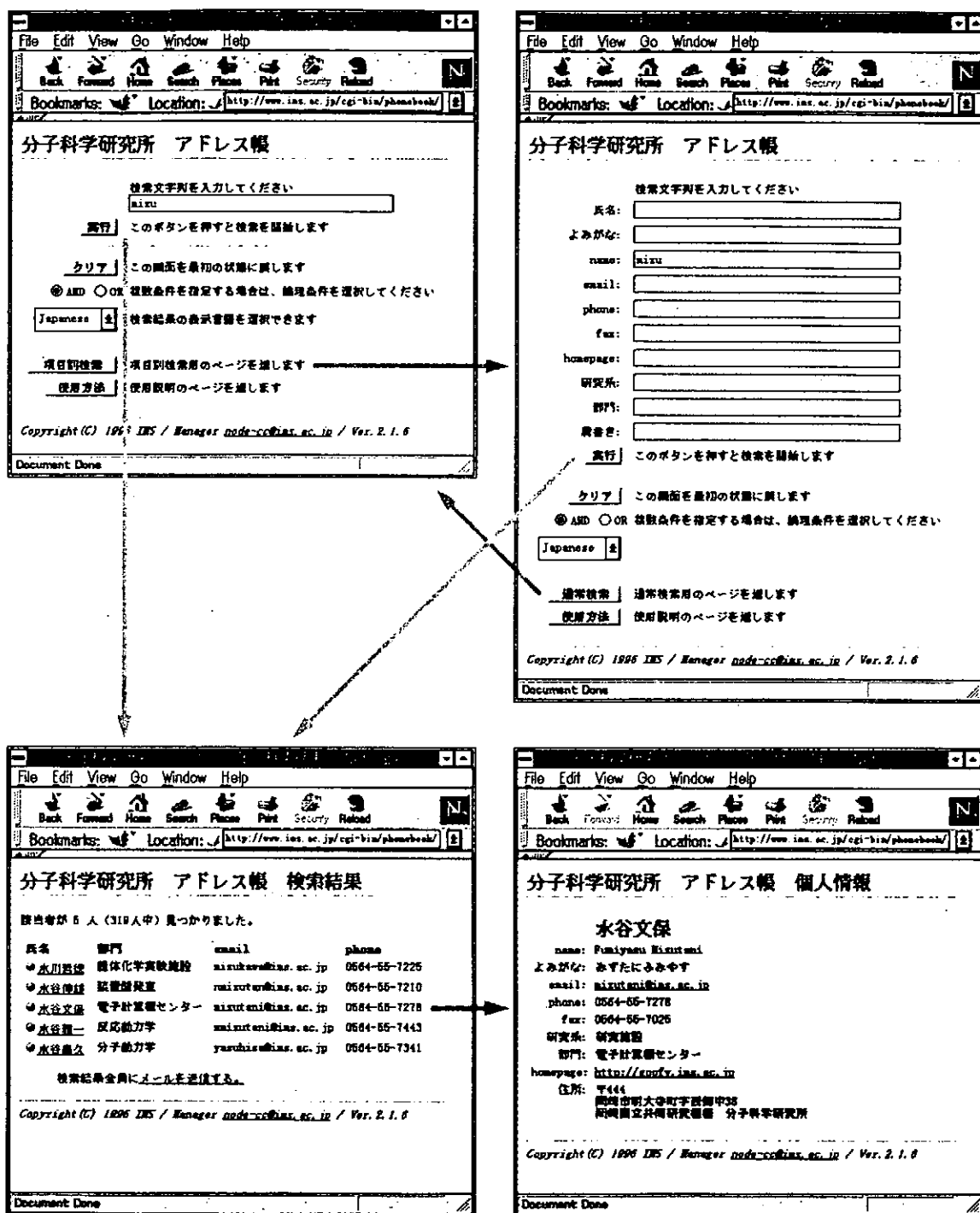


図 4

ワンボードマイコン及び FreeBSD マシンを使用した 遠隔電圧測定システム

高エネルギー加速器研究機構 小菅 隆、三菱電機システムサービス 久積啓一

1.はじめに

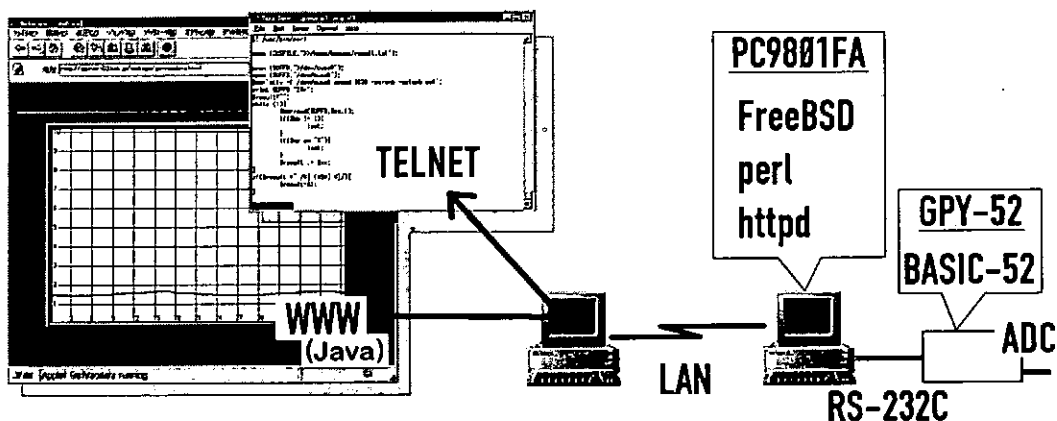
頻繁に立ち入る事が出来ない場所に設置された測定システムなどは、簡単なソフトウェア修正でも大きな労力が必要となる。また、遠隔地で監視を行うようなシステムも同様で、ソフトウェア修正が必要な場合、現場との往復はかなりの頻度となる。

今回、この問題を克服すべく BASIC インタープリタを内蔵した機器組み込み用のコンパクトなマイクロコンピュータと、FreeBSD をインストールしたパーソナルコンピュータ(以下 PC)を併用し、安価な遠隔測定システムを構築した。このシステムを利用すると、現場との往復が減り、効率のよいソフトウェアの修正が可能となる。更に、PC 上で httpd(WWW サーバプログラム)を動作させ、Java アプレットを用いて、他のコンピュータの WWW ブラウザ上で、この組み込み用マイクロコンピュータが測定したデータのグラフ表示が行えるようにした。

2.システムの概要

本システムは、RS-232C、パラレル I/O ポートを備え、インタープリタを内蔵したワンボードマイコン GPY-52(日本コムネット株式会社)と FreeBSD をインストールした PC9801FA(NEC)で構成されている。これら、GPY-52 と PC9801FA は RS-232C を介して接続される。また、PC9801FA は Ethernet Card を使用することで、所内のネットワークに接続される。ソフトウェアの開発や修正は現場の 9801FA 本体で行

図 1.システムの概要



う事も可能であるが、TELNET¹等でネットワークを介して行う事も出来る。

このシステムを、今回は放射光研究施設の実験ホールに置かれた真空チェンバーの真空計に接続し、居室から真空度を確認する試みを行った。

¹ TCP/IP 上で利用される仮想端末用のプロトコル

3. GPY-52

GPY-52 は Basic インタープリターを内蔵した機器組み込み用のマイクロコンピュータで、仕様は表1の通りである。また、GPY-52 をケースに入れた様子を写真1に示す。

表1.GPY-52 の仕様

| | |
|-------------|--|
| 販売元 | 日本コムネット株式会社(開発製造イビデン株式会社) |
| CPU | 80C52-BASIC |
| クロック | 11.0592MHz |
| S-RAM | 32k バイト |
| EEP-ROM | 32k バイト |
| RS-232C 入出力 | 通信用コントロール機能 |
| RS-232C 出力 | シリアルプリンタ機能 TTL ・ 2 出力 |
| アナログ入力 | 4 チャンネル 12 ビット 10 μ sec 標準 0~5V ・ 4 入力 |
| デジタル入出力 | 8 ビット ・ 3ポート |
| 電源 | DC5V \pm 10% |
| 消費電流 | 35mA(標準) |
| 外形寸法 | 100mm \times 70mm \times 19mm(Height) |

ソフトウェアの入力は GPY-52 の RS-232C ポートを通して行う。実際には PC とパソコン通信用のソフトウェア等を利用して RS-232C 経由で GPY-52 と通信するとよい。

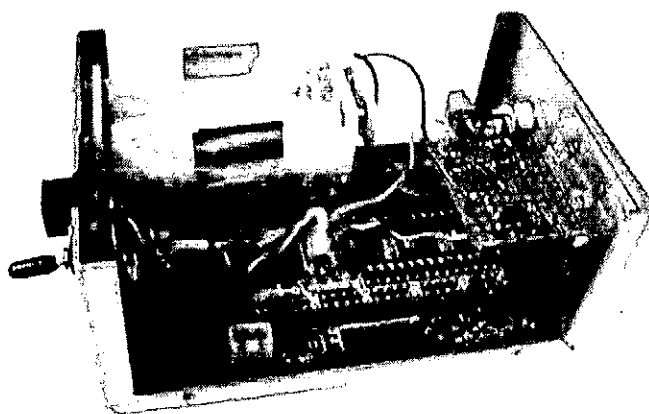
初期設定で GPY-52 は通信速度など自動検出のようにになっているが、ユーザが任意に通信速度等を設定することも出来る。GPY-52 と接続がうまくいって通信が始まると、パソコン通信ソフトの画面に昔懐かしい“READY”という表示が現れる。

あとは行番号を入力してコマンドを記述してゆけば GPY-52 にプログラムをインプットする事ができる。ここで“LIST”と入力すると、プログラムの内容が表示され、また、“RUN”と入力するとプログラムが実行される。インタープリタなので、容易に「トライアンドエラー」を繰り返しながらプログラムを構築する事が可能である。

プログラムは通信ソフトから決められたコマンドを入力する事で GPY-52 の EEP-ROM 上に保存されるが、通信ソフト側で通信内容のログをとるなどして手元の PC に保存しても良い。必要に応じて「アップロード」を行えば、再び GPY-52 にプログラムを入力できる。

また、GPY-52 は実行速度を速くする必要がある場合、機械語を使用した関数を作成することも出来る。しかし、ADC の読み込みなどの関数は予め用意されているので、そちらを利用すれば良い。

写真 1.GPY-52 をケースに組み込んだ様子



今回は、FreeBSD をインストールした PC-9801FA に GPY-52 を接続した為、FreeBSD マシン上の“cu”や“kermit”などのソフトウェアでプログラムを入力した。大部分の作業はネットワークを介して居室で(お茶を飲みながら)余裕をもって行った。(実際にはハードウェアの設定を行った後、PC9801FA の CRT とキーボードは外した状態で設置した。)なお、作成したプログラムの内容を図 2 に示す。

4.PC-UNIX

Windows95 を動作させるには非力なマシン²でも、FreeBSD や Linux といったオペレーティングシステムは十分動作する。また、ネットワーク関連の機能が充実している事は大きな魅力で、メンテナンスやプログラム作成等もネットワークを介して行う事が出来る。

今回は、たまたま利用できる PC が PC9801FA であったため、FreeBSD を使用することにした。

データの読み込み

GPY-52 からデータを取り込む部分は“perl”(プログラミング言語)を利用して RS-232C から入力されたデータをファイルに書き込むようにした。

また、“cron”というソフトウェアを使用して、このプログラムを 5 分ごとに呼び出すように設定、自動的にデータを追加記録するようにした。実際のプログラムを図 3 に示す。

Samba の利用

作成されたファイルは必要に応じて利用すれば良いが、ここで“Samba”というソフトウェアを利用して、Windows 上から簡単にこのファイルにア

図 2. GPA-52 のプログラム

```
spinet-Q3: [24] cu -l /dev/cuaa0 -s 9600
Connected.

>list
10  XBY(OFF27H)=02H
20  INPUT "%".C
25  IF C=2 THEN C=1 ELSE C=0
26  VT=0
27  FOR LP=1 TO 25
30  XBY(OFF24H)=C
40  LI=XBY(OFF24H)
50  HI=XBY(OFF25H)
90  VI=(HI+256+LI)
95  VT=VT+VI
100 NEXT LP
110 VO=VT/20480*1.02479
116 PRINT "[",VO,"]"
120 GOTO 20

READY
>run

%2
[ 1.2309489 E-2 ]
%
```

図 3. データを読み込む為のプログラム

```
#!/usr/bin/perl
open (OUTFILE,">>/home/kosuge/result.txt");
open (BUFF0,">/dev/cuaa0");
open (BUFF3,"/dev/cuaa0");
$xx=
`stty -f /dev/cuaa0 speed 9600 -parenb -cstopb cs8`;
print BUFF0 "2\r";
$result="";
while (1){
    $bb=read(BUFF3,$xx,1);
    if($bb != 1){
        last;
    }
    if($xx eq "%"){
        last;
    }
    $result .= $xx;
}
if($result =~ /\[ (\S*) \]/){
    $result=$1;
}
$dd=`date`;
chop($dd);
print OUTFILE "$dd\t$result\n";
close(BUFF3);
close(BUFF0);
close(OUTFILE);
```

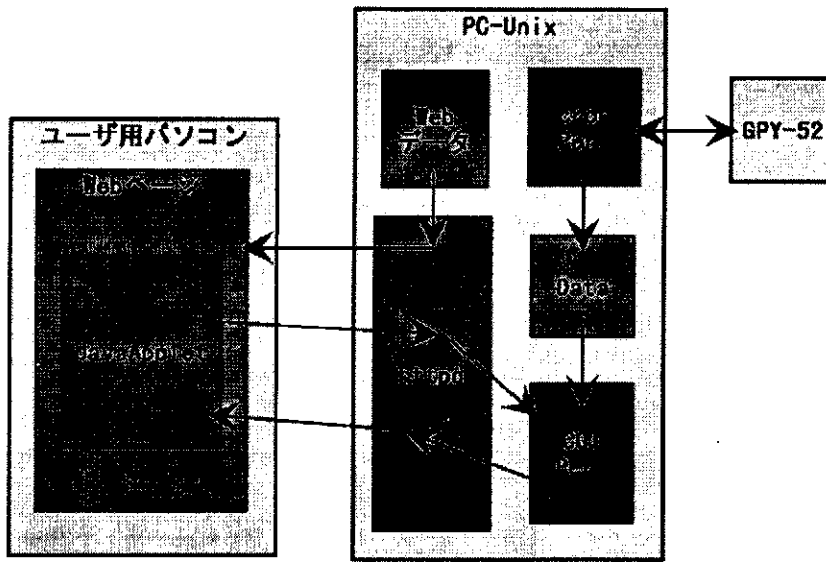
²FreeBSD の場合は文献によると CPU:386SX 以上、メモリ 5MB 以上、ディスク 60MB 以上とのこと。また、Linux については CPU:386SX、メモリ 4MB、ディスク 230MB(内約 130MB は使用していない)のマシンで動作を確認した。但し、メモリーが少ない場合についてのドキュメントを参照して、多少特殊な方法でインストールを行った。

クセスが出来るようにした。その結果手元のパソコンで、表計算ソフト等を利用し、簡単にデータの整理が行えるようになった。

httpd 及び Java の利用

本システムの PC-9801 上で httpd を実行することで、他のユーザに計測データを公開することが出来る(図4参照)。更に Java アプレットを作成すれば、Web ブラウザ上でグラフ表示を行う事が可能である。

図 4.計測データの公開



また、この時データの監視を希望するユーザには Java アプレットが置かれた URL を知らせるだけで良い。なお、Java アプレットのメンテナンスは必要に応じて居室のパソコンで行う。

5.実際に使用してみて

まず、GPY-52 についてであるが、組み込み用のマイクロコンピュータのソフトウェアがここまで簡単に作成できるとは思ってもいなかった。実際に書いたソースコードはまさに図2に示すものだけである。

また、ネットワークを介してソフトウェアに関する殆どの作業が可能な事は、予想以上に効力を発揮する。今回も何度かソフトウェアの手直しを行ったが、現場に直接出向く必要も無く簡単に手直しが行えた。修正後はまさに「放っておけば勝手にデータをとってくれる」という状態で、機能を追加する場合は気の向いた時に居室の端末から作業を行えば良かった。

今後の展開としては Java アプレットを使った便利なツールの作成や、無線 LAN を利用してシステムを容易に移動出来るようにする事等を考えている。

組織移行に伴う計算機環境の変更作業について

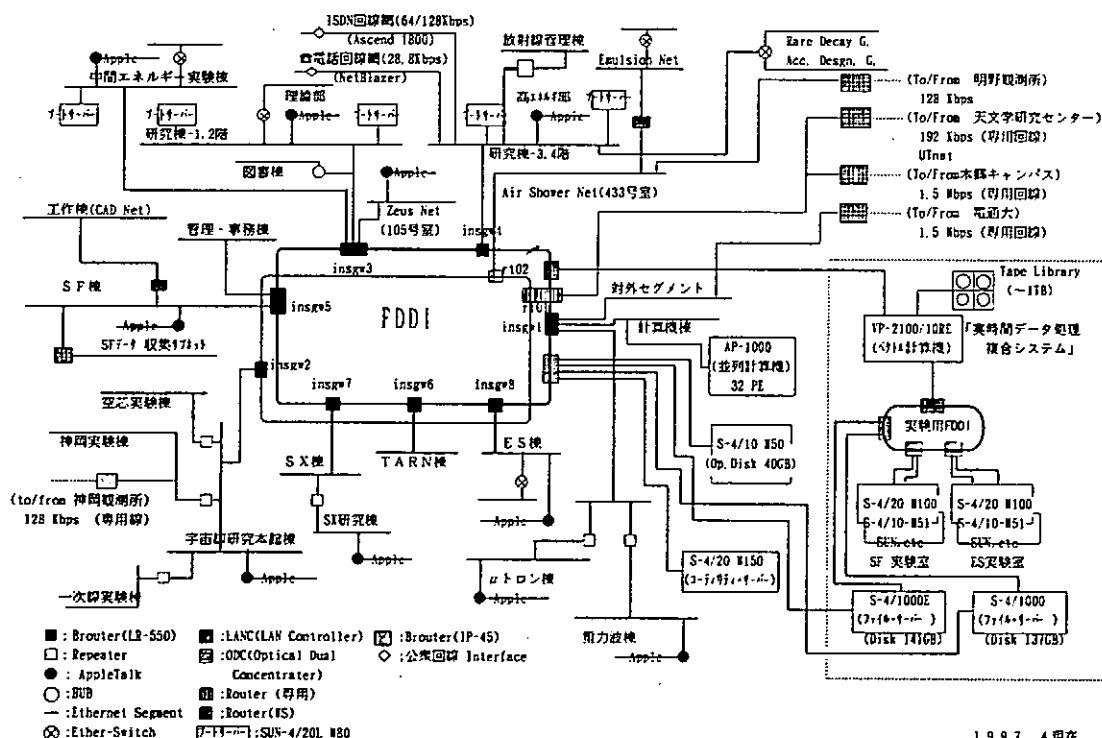
高エネルギー加速器研究機構田無分室・〇押久保智子
佐島浩之

1. はじめに

東京大学原子核研究所(INS)は、平成9年4月より高エネルギー物理学研究所、東京大学中間子科学センターと統合し高エネルギー加速器研究機構(KEK)に組織転換された。KEKの本拠地はつくば地区であるが、INSのあった田無地区は現在の研究のアクティビティー等の関係から3年間の移行期間が設定され、田無分室(KEKtanashi)が設置された。田無地区に存在する組織として移行前は、東大傘下の全国共同利用研であるINS、宇宙線研究所(ICRR)、物性研究所軌道放射物性研究施設(SOR)の3つがあったが、移行後の4月からは文部省直轄研のKEKtanashi、東大のICRR、SOR、及びINSから分離した大学院理学系研究科附属原子核科学研究センター(CNS)の4機関が存在することとなった。田無地区の計算機資源の提供は引き続いてKEKtanashi計算機室が行うことになった。

しかし、KEK と東大という異なる機関の組織が混在する事になったため、計算機環境も今まで通りという訳には行かず、変更する必要が生じた。この変更作業は現に運用されているシステムに対する作業であるため、長時間の停止は許されない。このため必要に応じてテスト環境を構築し、本番の移行・更新に備える等の対処をした。

今回の技術報告会では、開発等の技術情報ではないが、組織の移行に伴いどのような作業があり、その準備をいかに行之、どのように対処したかを報告する。



1997. 4 現在

高エネルギー加速器研究機構 計算科学センター-田代計算機室 ネットワーク環境研究会

2. 田無地区のネットワークの現状と規模について

前頁のネットワーク環境概念図にある、田無地区のネットワークの主な部分は、93年に東京大学情報ネットワークシステム(UTnet)の構築により、FDDIを基幹LAN、イーサネットを支線LANとして完成した。96年にはUTnet2と呼ばれた拡充によりINSとICRR用の2個の基幹LANを持つネットワークシステムとなった。二つのFDDIリングの接続と、田無地区と本郷地区の1.5Mbps専用線もこの接続用ブローター装置(IP-45)で行われている。

田無地区のIPアドレスの発行は、現在すべてが接続稼働中ではないが約1200個発行しており、計算機室にはその一割弱がある。利用者の数は4機関の職員が約200人弱、研究員・学生等が約100人、それ以外に全国に共同利用者がおり、ワークステーション等の計算機資源への登録者は700人以上に及んでいる。

3. 主な変更作業について

3-1. 機構内トラフィック処理用外部接続の新設と外部接続用ルーティングの変更

東大との話し合いで3年間の期間限定でUTnetの資源(IPアドレスも)が利用できることになった。しかし機構内のトラフィック処理のため、つくば地区と田無分室の通信は東大経由でなく高エネルギー物理関係のネットワークであるHEPnet-jで行うことにした。このため電気通信大学との間に1.5Mbpsの専用回線を新設し、機構内のトラフィック処理を行うことにした。また、202.13.203.XXというつくば地区の所有するCクラスアドレスのセグメントを作成し、田無分室職員に限ってつくば地区と同様に、つくば地区の海外線を利用できるようにした。

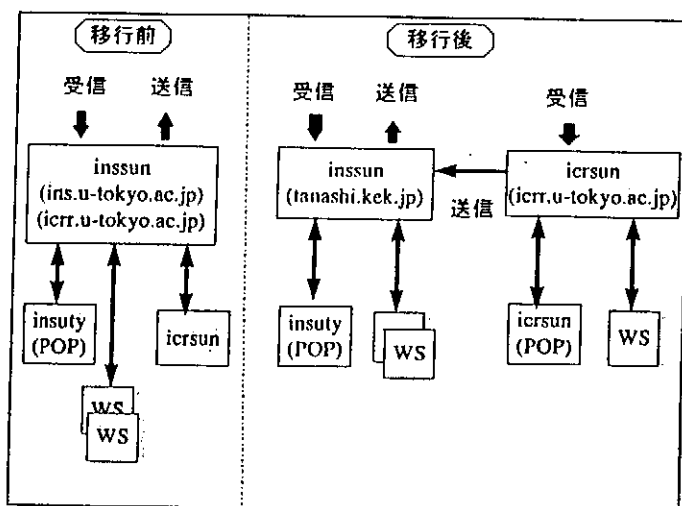
ルーティングは田無分室とつくば地区及び、田無分室からアメリカESネット行きはHEPnet-j経由、それ以外はUTnet経由である。

HEPnet-j関連の作業のうち、学術情報センターへの加入申請は96年内に完了させ、年明け早々に専用回線(TTnet)を引き込み、3月初旬開通にこぎつけた。

3-2. メール環境の変更

図に示すように、移行前の田無地区のメールアドレスは一般的に@ins.u-tokyo.ac.jpで、宇宙線研関係者のみ@icrr.u-tokyo.ac.jpで、計算機室が運用する組織外とのゲートウェイであるメールマシン(inssun)でメールの送受信を行っていた。

移行後は、KEKtanashi: tanashi.kek.jp、ICRR: icrr.u-tokyo.ac.jp、CNS: cns.s.u-tokyo.ac.jpの3通りとなった。SOR関係者は物性研究所のメール体系に入ることにした。送信は3機関とも、計算機室で運用するメールマシンから行っているが、受信は各機関で用意したワークステーショ



ンで行うことにした。

移行に当たっての問題のひとつに、旧メールアドレスの扱いがあった。一般郵便物のように一定期間、半年程度は旧アドレスでもメールが届く必要がある。東大と相談の結果旧メールアドレスが使用できる事になり、新旧どちらのアドレスでもメールが到達するようにした。

機構では、職員に対しては高エネ研で使っていた「firstname.familyname@kek.jp」という統一メールアドレスを採用することとなり、このメール環境を3月に計算機室員のメールでテストを行い、4月から運用を開始した。KEKtanashi計算機室は統一メール名とフォワード先等の必要事項をチェックし、統一メールの管理をしている計算科学センターにデータを送ることに対応した。分室職員外の人には、分室職員のフォワード先としても利用するtanashi.kek.jpというアドレスを提供した。

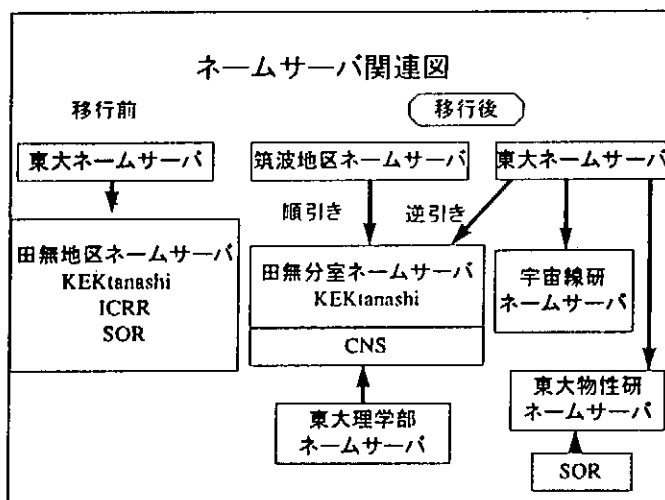
これらの作業は3月中旬から4月初旬にかけて行った。

3-3 . ネームサーバの変更と分離

田無地区はネットワークアドレスとして東大のドメイン下にある133.11.の24個のアドレスを使用していた。移行後も3年間はこれらのアドレスを使用できることになったが、この機会に各機関単位にアドレスを纏められないかと検討したが、設置場所（各研究所等が建物単位では分かれてはおらず、各部屋単位で混在している）等の関連から作業量が多大になることと3年間の暫定ということもあって、アドレスに関しては現状を維持することにした。

しかしネームサーバは独立させることにした。そのためICRRは2月下旬に、SORのネームサーバは4月に分離し立ち上げた。KEKtanashiとCNSのネームサーバは4月1日朝に立ち上げ、変更を一気に行った。

上位ドメインからのポインタは図に示すように、KEKtanashiの順引きは機構つくば地区ネームサーバから、逆引きは133.11.の一部であるので従来通り東大のネームサーバで行い、それぞれの機関に依頼した。ICRRの順引き・逆引き、SORの逆引きのポインタも東大のネームサーバに設定を依頼した。また、CNSは東大理学部ネームサーバからも引けるようにした。



3-4 . ワークステーション・パソコンのネットワーク環境の変更

ワークステーション・パソコンのネットワーク環境の変更は、ワークステーション管理者のユーザの方々にも手伝って頂き、4月1日に一斉に行った。

ドメイン名の変更としては各ホストマシンで/etc/resolv.conf、/etc/hosts /.rhosts /etc/hosts.lpdなどに定義してある相手ホストのドメイン名をそれぞれの所属機関のドメイン名に変更した。

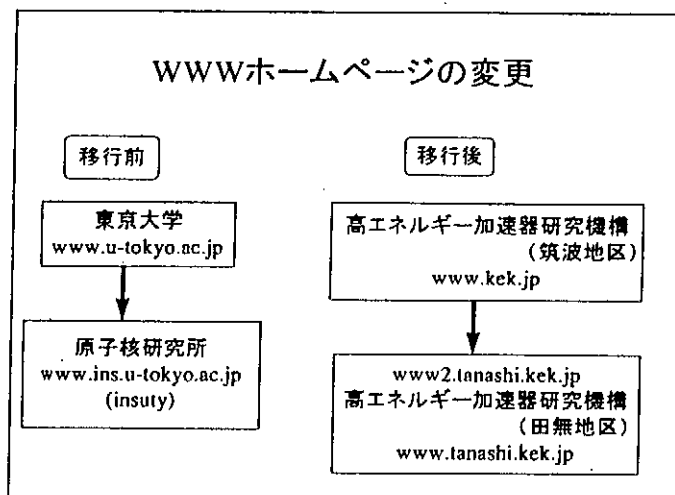
〔変更前〕 ins.u-tokyo.ac.jp 〔変更後〕 tanashi.kek.jp (KEKtanashi)
 icrr.u-tokyo.ac.jp (ICRR)
 issp.u-tokyo.ac.jp (SOR)
 cns.s.u-tokyo.ac.jp (CNS)

メールに関しては、KEKtanashiに属する計算機は/etc/sendmail.cfのDm、Cmに新旧ドメイン名を定義し、ICRR、SOR、CNSに属する計算機はそれぞれのドメイン名を定義した。

3-5. WWW home pageの変更

IIEPnet-Jの対外セグメント上に接続した外部アクセス用ワークステーションに新たにwww2.tanashi.kek.jpを立ち上げた。

また、www.ins.u-tokyo.ac.jpをwww.tanashi.kek.jpに変更し、東大からのリンクをはずすと同時に、つくば地区からリンクしてもらう手続きを行った。



4. おわりに

移行に関しての運用・作業の検討は96年7月から始め、各機関のドメイン名の決定やIPアドレスをどうするかなど東大との議論が必要な項目の処理は早めに行った。これらの実質的作業は2月下旬から4月初旬のひと月余りという限られた期間に、通常の大規模計算機共同利用サービス（年度更新登録替え等）と平行して行なわれた。かつ組織移行に伴う技官の転出が起こり（4名が2名に半減）、そんな中で移行作業の実務を行わなければならなかった。

また4月1日は上位ドメインの東大で計算機の更新がありネームサーバがトラブルしていたことに加え、ネットワーク担当者も転出していたため、スムーズに進まず無駄な時間をとってしまった。ネットワークに関しては、他機関との情報のやりとりが不可欠であることを思い知った。

一方ユーザには、Web等でドメイン名等の変更があり、どう対処しなければならないかなどと早くからアナウンスを出していたつもりだったが徹底せず、4月1日は端末が動かない等の問い合わせの対応にもおわれた。共同利用者（特に田無地区以外にいる人）にはしつこいようでも何度も、早い時期から変更の徹底をさせるべきだったと反省している。

今回の作業に当たり、上部ドメインにあたる機構のつくば地区の計算機科学センターの方々や東大ネットワーク運用掛の方々の助けによりシステムの停止時間も最小限で、運用にそれ程の迷惑もかけず作業を完了する事ができた。

ダイヤルアップ接続環境の構築について

高エネルギー加速器研究機構

計算科学センター

橋本清治

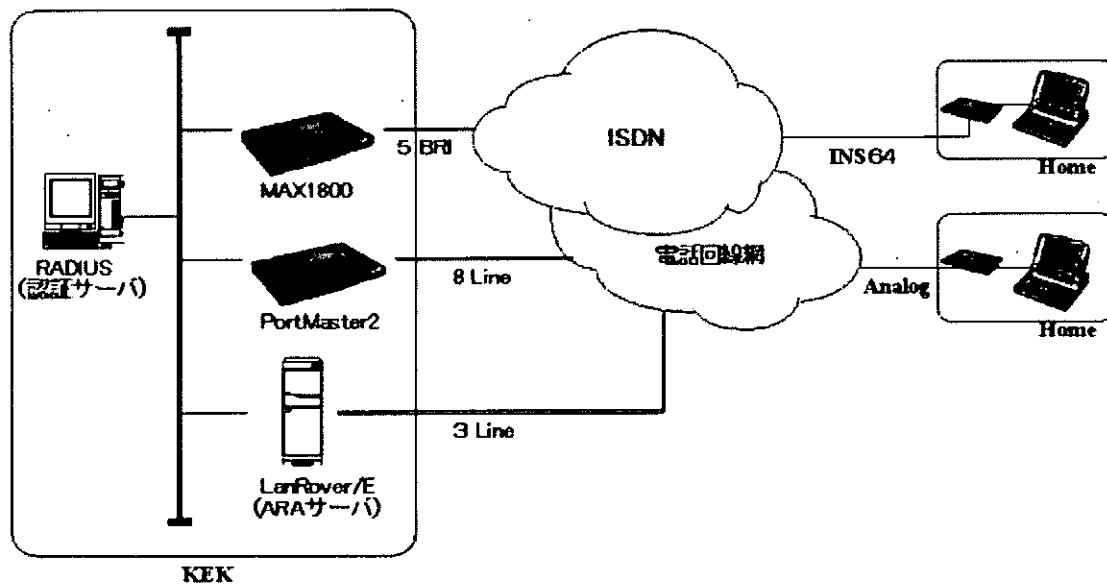
1. はじめに

高エネルギー加速器研究機構計算科学センターでは、職員や共同利用者が自宅の端末から電話回線やINS64(ISDNサービスの1つ)を利用して、機構のネットワークやホストへ接続するサービスを提供している。

このサービスは1991年2月に運用が開始され、開始当時は電話回線でのみ利用可能であり、回線速度は最高9600bpsであった。また、使用できるプロトコルもtelnetやLATといったものであった。その後、平成8年度に機器の更新を行い、回線の増強、PPPへの対応等を行い、平成9年度からはINS64を利用する接続に対応した。

2. 機器構成

機構側に接続の受け口となるアクセスサーバとして、電話回線用にLivingston社製PortMaster2、ISDN用にAscend社製MAX1800を設置し、それぞれのユーザ認証をするためのソフトウェアとして、ワークステーション上でRADIUSサーバを動作させている。また、機構内のAppleTalkゾーンへの接続のためにShiva社製LanRover/E上でARA(Apple Remote Access)サーバを動作させている。



システム構成図

3. 接続方式

ユーザが利用できる接続方式として大きく分けて以下の3通りがある。

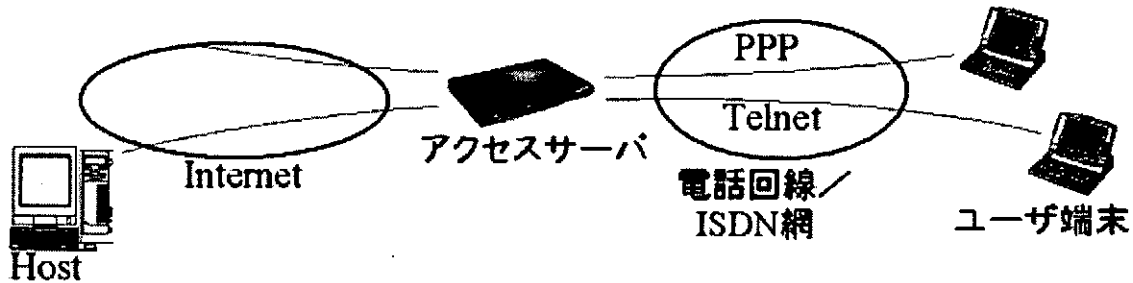
1) 機構のネットワークへのIP接続(PPP接続)

これはPPP(Point-to-Point Protocol)と呼ばれるプロトコルを利用して、ユーザの端末を、機構のネットワークへTCP/IPで接続する。これにより電話回線を利用時には最高

28.8kbps、ISDNを利用時には最高64kbpsでの接続が可能となり、telnet、ftp、Netscape などTCP/IPベースのアプリケーションが利用可能となる。また、予めアクセスサーバに回線数分のIPアドレスをプールしておき、それを接続の際ユーザの端末へ自動的に割り当てている。

2) 機構のホストマシンへのログイン（無手順接続）

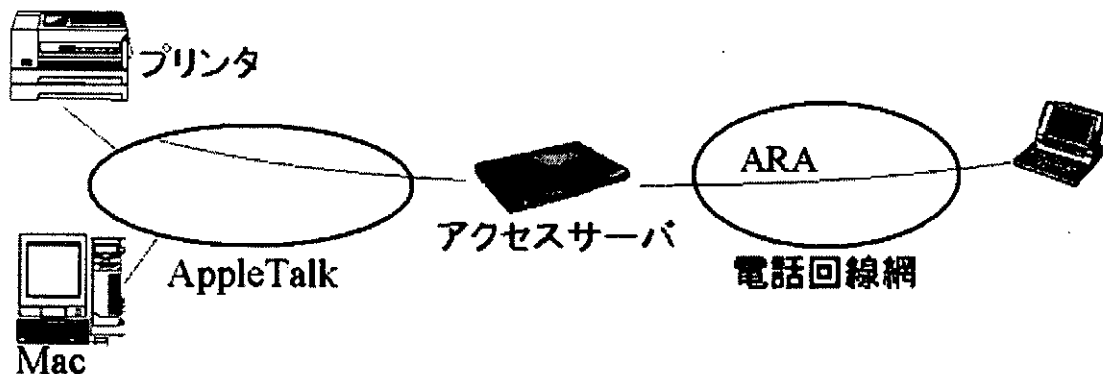
これはユーザの端末を、機構のネットワークへ接続されたホストマシンの端末として接続する。機構内にtelnetでログインできるマシンがあれば利用することが可能となる。この接続方式は、電話回線を介してのみ利用できる。



PPP/無手順接続

3) 機構のAppleTalkゾーンへの接続

これはユーザの端末を、機構のAppleTalkネットワークへ接続する。これによりユーザはAppleshareやAppletalkプリンタの共有を行うことが可能となる。この接続方式は、電話回線を介してのみ利用でき、最高9600bpsでの通信速度で接続できる。



ARA接続

4. ユーザの認証と管理

ユーザは、電話回線やINS64を利用して機構のネットワークやホストへ接続するため機構へ電話をかけた直後に、認証を受けなければならない。認証のためのユーザの情報は、通常アクセスサーバに登録しておく。しかし、当機構のように回線の種類別にアクセスサーバが存在する場合、個々のアクセスサーバ毎にユーザ情報の登録や修正を行わなければならない、漏れや間違いといったことが起こりやすくなり、管理に手間がかかるようになってしまう。このような問題を解決するために、RADIUSと呼ばれるソフトウェアを使用している。RADIUSとは、UNIX OSやWindowsNT上で動作するクライアントサーバ型のアプリケーションで、複数のアクセスサーバ

にわたってユーザ認証、ユーザ情報の管理や接続ログの管理をすることができる。これを使うことによって、複数のアクセスサーバを一元的に管理することが可能となった。

5. 使用回線種毎の特徴

1) 電話回線

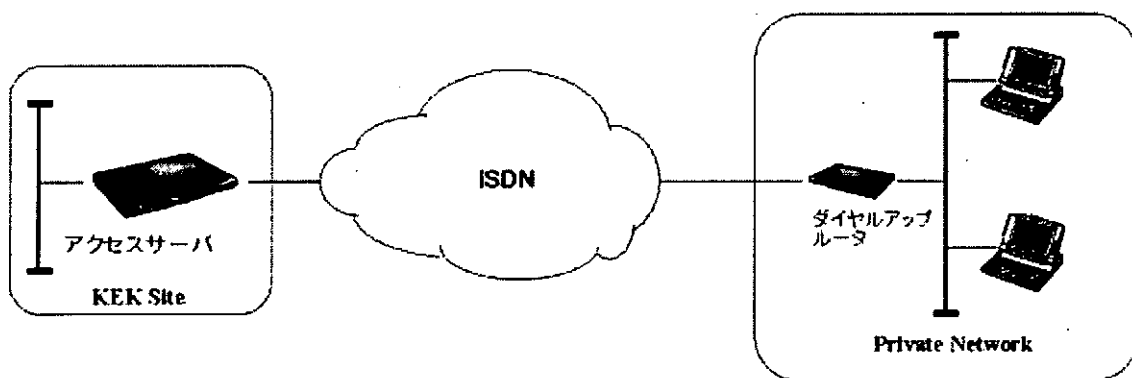
電話回線を利用した接続では、プロトコルはPPP、無手順端末接続、AppleTalkゾーンへの接続が利用できる。また、ユーザの認証が行われた後一旦接続を切断し、予めユーザの設定ファイルに登録されてある電話番号へ機構側からかけなおして接続する方式をとっている。これにより、セキュリティの向上がはかられている。

2) ISDN

ISDNを利用した接続では、プロトコルはPPPのみ利用できる。また、通常の認証のほかに発信者の電話番号を使用して認証を行うことにより、セキュリティの向上がはかられている。

6. 今後の計画

現在、機構のネットワークへPPP接続したとき割り当てられるIPアドレスは、一つだけである。この一つのIPアドレスで、プライベートアドレス空間を使用した複数のホストをインターネットに接続させる技術を導入すること考えている。最近ではこの技術を実装したダイヤルアップルータと呼ばれる製品が、安価で入手することができる。これを導入することにより、例えば遠隔地での研究会会場からISDNを利用して、機構のネットワークを使うといったことが可能となる。



ダイヤルアップルータを使用した接続

7. 最後に

現在のこのシステムの総回線数は21回線を数え、280名を超えるユーザが認証サーバに登録されている。今後、さらにユーザの数は増えると思われる。また、新しい技術がでてきたときにすばやく対応できるように、継続して調査等をしていく必要があると考える。

Windows NTでのユーザ登録とUNIX-WSとのファイル共有

鬼頭良彦、藤原文治、小林勝司（名古屋大学）

1. はじめに

名古屋大学大学院工学研究科電気系3専攻に置かれている計算機システムは、SPARCstation 5/85 が22台、SPARCstation 5/110 が24台、SPARCstation 20/M71 が2台、Alpha-station 5/333 が4台、Auspex 7000/250 が1台のUNIX-WSと、XMiNT端末が4台と、今回導入された Gateway 2000 P6-200 8台の計65台で構成されている。

Gateway 2000 P6-200 8台はWindows NTをOSとして採用し、1台のサーバーと7台のクライアントで構成され1つのドメイン構造を取っている。

Windows NTでのユーザ登録は、サーバーに付属している管理ツール（ドメインユーザマネージャ）で行える。しかし、これは一般事業所のように人の移動が少ない場合はその都度ユーザ登録や削除をすれば良いが、学生等を対象にした場合卒業や入学に伴って大量の人の移動があり、一括登録・削除が出来るようにしないと大変である。このため、学生等を学年別に所定のディレクトリへの一括登録・削除が出来るようにバッチプログラムの作成と管理方法を、また計算機システム(echo)の端末として使用する為に文字コードの変換も含めファイル共有設定等の方法等について報告する。

2. 計算機システムの概要

(1) 計算機システム構成

計算機システムは端末室も含め3室に配置されており、端末室のみ別の建物に置かれている。

5号館412号室には、ECHOマスタサーバWS(echo00)として SPRARCstation 5/85 と、ファイルサーバWS(echonfs)として Auspex 7000/250 および、高速計算用WS(aleph00~aleph03) Alphastation 5/333 が4台。クライアントWSとして SPRARCstation 5/85 11台、SPRARCstation 5/110 が11台の計22台が配置されている。

5号館416号室には、TelnetサーバWS(echo01)として SPRARCstation 5/85 が1台、クライアントWSとして SPRARCstation 5/85 10台、SPRARCstation 5/110 が13台、SPRARCstation 5/110 よりも高速な SPRARCstation 20/M71 が2台の計25台が配置されている。

2号館152号室には、SPRARCstation 5/110 が1台、X端末 XMiNT CSU が4台、PC/AT互換機Gateway 2000 P6-200 8台の13台が配置されている。なお、ファイルサーバWS(echonfs)には、ファイルバックアップ装置として8mm/DLTジュークボックス(EXB-210)70GBYTE が設置されている。また、echo01, echo22, echo27にはモデムが接続されており、公衆回線を介してECHOの計算機へログインすることが出来るようになっている。その他、電気系3専攻と関連学科（講座）所有のパソコン等からNICE（名古屋大学キャンパス情報ネットワーク）を経由してECHOの計算機へログインすることが出来るようになっている。

(2) 利用状況

現在ECHOには、教職員139名、大学院博士課程88名、大学院修士課程213名、学部学生370名の計810名が登録されている。ECHOは主に学生実験（LSI-CAD実習、論理回路、音声認識）や教育研究での計算機シミュレーションなどに利用されている。

その他これら登録ユーザーは、一般的にメールの送受・ニュースの閲覧・ホームページ等情報の取得などでもECHOを利用している。

3. ユーザー登録・管理の方法

近年Windowsマシンの普及により名古屋大学キャンパス情報ネットワーク(NICE: Nagoya university Integrated Communication Environment)が混雑しXMiNT端末のブート不良が起りやすくなった。また、事務高度情報化推進事業に関連してWindows及びMacintosh用のファイルが置けるサーバーが必要となった事などから使い勝手が良く安価であるという理由でPC/AT互換機が導入された。OSとしてはWindows NTを採用した。

Windows NTでは、ユーザー登録をする場合、付属の管理ツール(共通)のドメインユーザーマネージャーで行うことを推奨している。

新しいユーザーアカウントの作成では、[ユーザー]メニューの[新しいユーザー]をクリックしダイアログボックス内の所要事項を設定することでユーザー登録が完了する。

また、ネットワークで各ユーザーアカウントを個別に作成する代わりに、既存のユーザーアカウントをコピーすることもできる。しかし、これらを用いても一度に大量のアカウントの登録・削除を行うには大変な作業であることに変わりなくその他の方法を検討した。

Windows NTでは、MS-DOSコマンドプロンプトからネットワークの設定を制御することが出来ることに着目してバッチファイルを作成しユーザー登録を試みた。

バッチファイルは、

1) パラメーター設定バッチファイル(登録・削除)

2) 実行バッチファイル(登録・削除)

を作成し、パラメーター設定バッチファイルから実行バッチファイル呼ぶ形式とした。

パラメーターとして

| | |
|---|--------------------|
| %1: ログイン名(loginname) | %2: パスワード |
| %3: 氏名(fullname) | %4: ホームディレクトリ(dir) |
| %5: コメント(comment=教職員[職種]、学部学生、大学院生、研究生) | |
| %6: ディスクデバイス名(disk) | %7: グループ(group) |

を用いている。

なお、バッチファイル作成に関して使用したコマンドは、NETコマンドと呼ばれるものでそのうち以下のものを使用している。

1) NET USER: ユーザーアカウントを作成する

net user ユーザ名 password /add

net user ユーザ名 /option

2) NET LOCALGROUP: ローカルグループのメンバーシップを変更する。

net localgroup /option

3) NET SHARE: 共有リソースの作成と削除

net share sharename=directory

4) CACLS: ファイルとディレクトリのアクセス権の制御

CACLS ファイル名[/T] [/E] [/C] [/G ユーザ名:アクセス権] [/R ユーザ名[...]]

[/P ユーザ名:アクセス権[...]] [/D ユーザ名[...]]

例 1 : 登録

登録 (追加) パラメータバッチファイルの内容

```
*call バッチファイル名 パラメータ(loginname, password, fullname, dir, comment, disk, group)
call addacnt t_nagoya, 12345678, 名古屋 太郎, b94, 学部学生, g, 8000(kobalab)
call addacnt i_toyota, 23456789, 豊田 一朗, m97, 大学院生, f, 8100(kitolab)
```

登録 (追加) 実行バッチファイル(addnacnt)の内容

```
%6:
cd %users%4
mkdir %1
net user %1 %2 /add /active /comment:"%5" /fullname:"%3" /passwordchg:yes
    /passwordreq:yes /expires:never
net localgroup %7 %1 /add
net share %i=%6:%users%4%1
cacs %6:%users%4%1 /t /c /p everyone:r administrator:f /e /g %1:f
net user %1 /homedir:%Echo02w%1
net user %1 /profilepath:%Echo02w%1
cd %users
c:
```

例 2 : 削除

削除パラメータバッチファイルの内容

```
*call バッチファイル名 パラメータ(loginname, password, fullname, dir, comment, disk, group)
call delacnt t_nagoya, 12345678, 名古屋 太郎, b94, 学部学生, g, 8000(kobalab)
call delacnt i_toyota, 23456789, 豊田 一朗, m97, 大学院生, f, 8100(kitolab)
```

注 : 登録時のパラメータバッチファイルの内容のうち、実行バッチファイル名のみを変更して用いている。

削除実行ファイルの内容

```
%6:
cd %users%4
net user %1 /delete
deltree /y %1
cd %users
c:
```

4. UNIX-WSとのファイル共有方法

WS上のファイルをWindows NT側で、ネットワークを介して相互接続をし共有するためにはOSの違いから、WindowsがUNIXに合わせるか、UNIXがWindowsに合わせるかの2つの方法がある。今回は、この内フリーのソフトウェアである”SAMBAA”を

使ってUNIXがWindowsに合わせる方法でファイルの共有を行った。

SAMBAは、プロトコルとしてTCP/IPを利用するため特別にWindows上にプログラムをインストールする必要はない。

WS上にSAMBAをインストールしてデーモンを走らせておけば、Windows側からは、ネットワークコンピュータ上にWindowsマシンと同じようにSAMBAをインストールしたWSアイコン(echo01, echo42)が現れる。Windowsユーザは、他のWindowsマシンと同じ感覚で、WSアイコンをクリックすることでUNIXのファイルにアクセスすることが出来る。しかしここで気をつけなければいけないところは、

1) WindowsとUNIXでは漢字のコード体系が違うということである。漢字コードの変換は、UNIX上で、nkfコマンドを用いて行う。

2) Windows NT 4.0にサービスパック3を当てるとSAMBAが使用できなくなる。

(NTとSAMBA間で、接続時にパスワードが暗号化されてネットワーク上を流れるため)
解決方法1: NT側でパスワードを暗号化せずに送信するようにする。

解決方法2: SAMBA側で暗号化されたパスワードを扱えるようにする。

(Windows NTはDESという暗号アルゴリズムを使用している。)

Telnet、FTPのパスワードは暗号化されていないので、NTだけ強化するのも疑問である為、今回は解決方法1を採用した。

5. 今後の課題

昨年度末に導入が決定し、新年度出来るだけ早い時期に運用との方針であった。なにぶんにもWindows NTに関して知識等が無かったため急速参考図書などを購入し検討した。

しかし、本報告で述べているように大量にユーザーを登録・削除する有効な方法がなかった。現行UNIXユーザー管理と併せてやらなければならない為、今回はここまでしかできなかった。今後、SAMBA側で暗号化されたパスワードが扱えるよう検討する。Windows NTからプリンタ使用時の課金情報が得られるように検討する。サブネット化への対応があげられる。

謝辞

我々電気系技術室情報機器管理班の3名の技官だけではなにぶんにも知識や経験が不足している。今回の場合も電子情報工学専攻磯直行助手並びに片山清和大学院生に、Windows NTその他に関しての知識や的確なアドバイスを頂きました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) Windows NT Server 4.0[®] -ファクトガイド- : 株式会社翔泳社
- 2) Microsoft WINDOWS NT Workstation version 4.0 オフィシャルマニュアル: アスキー出版局
- 3) Windows NT 4.0 システム管理入門(基礎編): SOFTBANK BOOKS
- 4) SUN システム管理入門: アスキー出版局
- 5) The UNIX Super Text [上]: 技術評論社
- 6) The UNIX Super Text [下]: 技術評論社
- 7) UNIX-Windows ネットワーキング SAMBA/NFS 徹底活用法: 小田切耕司・伊藤俊之: テクノプレス

負イオンNBI装置用ITV及び赤外カメラ

原研 那珂研究所 NBI装置試験室 ○梶澤 稔

1. 概要

JT-60U用負イオンNBI装置(N-NBI装置)は、ビームエネルギー500keV、入射パワー10MWのビームを最長10秒間入射できる性能を有している。

N-NBI装置ビームラインは、2台のイオン源を支持するとともに4基のクライオポンプモジュール(計120万l/s)を内蔵するイオン源タンク、2式の中性化セル及び磁気シールドを内蔵する中性化セルタンク、カロリメータ、イオンダンプ、偏向コイル、クライオポンプ及びビームリミタを内蔵するイオンダンプタンク及びN-NBIポートなどから構成されている。図-1にN-NBI装置ビームラインを示す。N-NBI装置用ITV及び赤外カメラは、これらビームライン機器のビームによる損傷等の異常を監視するとともにビーム特性の測定を目的として設置したものである。ITVシステムはイオン源タンクに4台、イオンダンプタンクに2台のカメラを設置している。このITVで、主に、イオン源、イオンダンプ、カロリメータ等の熱負荷の厳しい機器を常時監視している。また、赤外カメラでN-NBI対向面及びイオンダンプ等の温度上昇を監視し、ビームの入射方向が正常であることを監視している。N-NBI対向面は、JT-60Uプラズマヘビームを入射する際、ターゲットプラズマが低密度の場合はビーム突き抜け量の増大、またプラズマが急激に消滅した時には入射ビームが対向面に直接当たることによりダメージを受ける恐れがある。また、イオンダンプは、中性粒子ビームに変換されなかった残留の正及び負イオンビームを処理するものであるが中性化セルの必要ガス線密度のバランスがくずれ、正または負イオンビームの一方に偏ることが予想される。この場合には一方のイオンダンプ熱負荷が2倍以上に増加する恐れがある。これらのトラブルを未然に防ぐために、N-NBI対向面及びイオンダンプ監視用赤外カメラにビーム入射を停止させるインターロックを設け常時監視している。

また、N-NBI装置用ITV及び赤外カメラを使用している場所は、JT-60Uから漏洩する100G程度の磁場、放電時に発生する中性子及び γ 線などの放射線、N-NBI装置運転時に発生する500kVの高電圧ノイズ、監視窓のビームによるスパッタ、ビームライン内部の暗さ、視野の確保が容易でない狭さなどの環境下で正常に動作することが要求される。

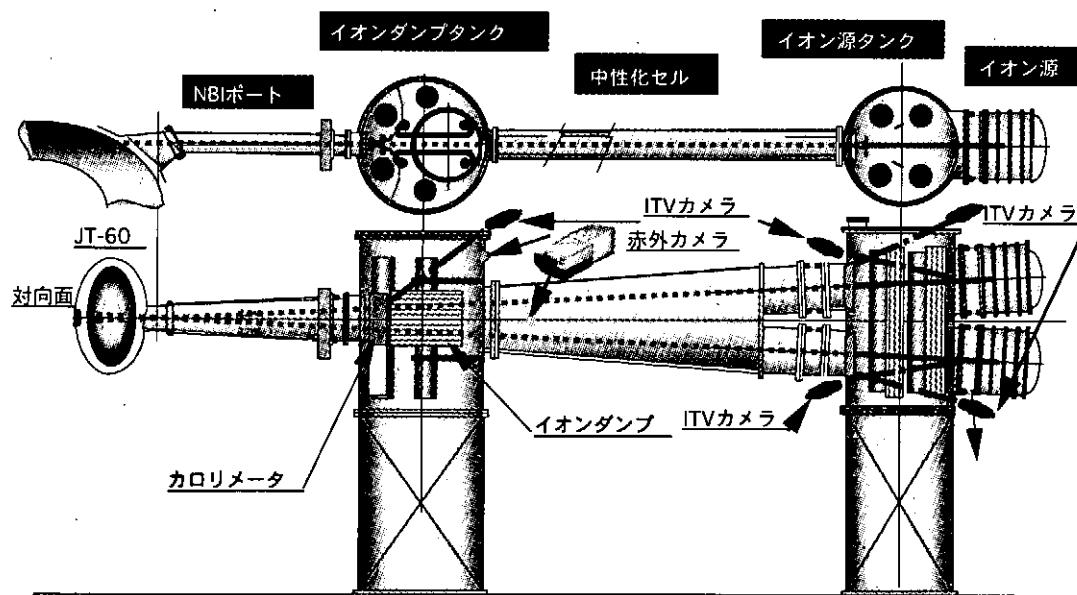


図-1
JT-60U用負イオンNBI装置ビームライン

2. ビームライン内部監視カメラ (ITV) システム

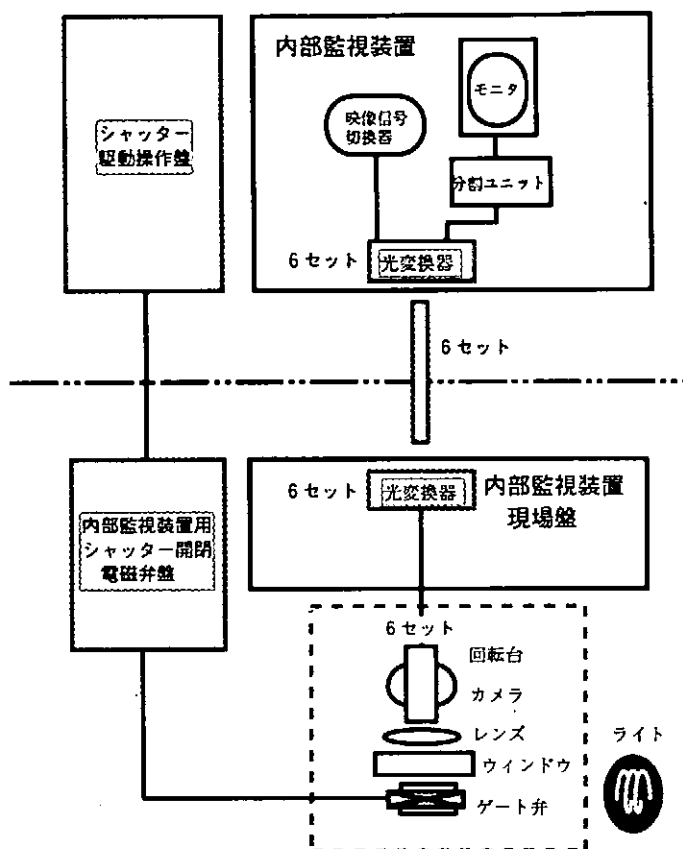
(1) システム構成

ITVシステムは前述のとおりイオン源タンクに4台、イオンダンプタンクに2台設置している。ITVシステムの構成を図-2に示す。ITVシステムは、ゲート弁、 $\phi 130$ ガラス窓、ズームレンズ、CCDカメラ、回転台、カメラの映像信号及び回転台を操作する操作信号を光で伝送する光変換器等を1セットとするものが6セット設置されている。モニターは1セットあり、6セットの映像は映像信号切替器で切換えモニターする。

ゲート弁は、ガラス窓の交換時における真空を仕切りするという本来の使用とガラス窓がビームによりスパッタされるのを防止するためのシャッターとしても使用している。

また、ビームライン内部の照明として真空中で使用できる500Wのライトを設置している。

図-2 負イオンNB IITVカメラ構成図



(2) システムによるモニタの実際

図-3は負イオン源のコンディショニング運転でカロリメータでビームを受ける状態をモニタしたものである。カロリメータは、ビームを受ける面の形状がV字型をしており、ビームを受ける面積を増やして単位面積当たりのビームによる入熱量を減らしている。

また、カロリメータは上下に動くことができ、ビーム入射時には引き抜かれてビームが通過する空間を確保する。



図-3 ITVから見たカロリメータ

3. 表面温度監視用赤外カメラシステム

(1) システム構成

赤外カメラは、対向面監視用、イオンダンプ監視用の2台設置している。赤外カメラシステムの構成を図-4に示す。対向面監視用赤外カメラの光学系の構成は、80mm×80mmの金蒸着ミラー、 $\phi 150$ サファイアウインドウ、ゲルマニウムレンズを使用した3倍望遠レンズ、磁器・放射線シールドケース等である。イオンダンプ監視用の光学系は、2倍視野拡大レンズを使用している。また、熱画像及びアラーム等の信号の伝送は光で行っている。

対向面監視用及びイオンダンプ監視用の赤外カメラはアラーム機能を有しており、設定値を越えアラームが発生した場合には光束遮断インターロックとして出力され光束入射を停止させる。

(2) 光軸調整と温度較正

光軸調整

光軸調整は、熱源を用いて実施した。調整方法は、ミラーの位置をレーザートランシットで調整し固定する。その後、熱源を対向面近傍にセットする。ミラー面の角度及びカメラの角度を上下左右に動かして微調し調整を行った。本測定により、横が800mm、縦が1000mmの視野が確保できることがわかった。

温度較正

温度較正は、黒体炉及び熱電対を用いて実施した。図-5に黒体炉による温度較正図を示す。黒体炉の温度較正は、光束ラインに赤外カメラを据付けてからでは不可能なので、実際に使用するミラー、ウインドウを使い黒体炉までの距離を実際と同じ光路系を作って実施した。その結果、実際の温度と赤外カメラの指示が対応していることが確認できた。

図-4 負イオンNBI赤外カメラシステム構成図

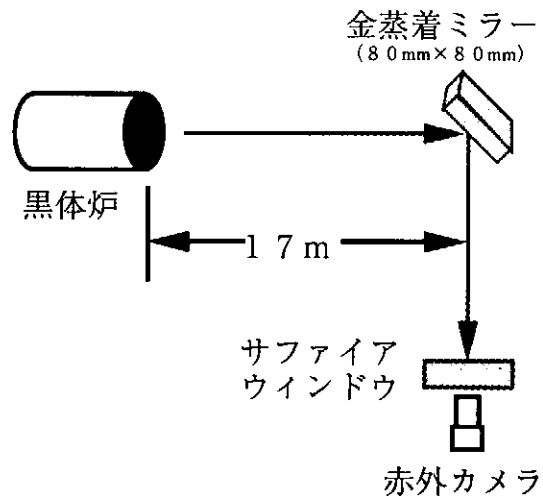
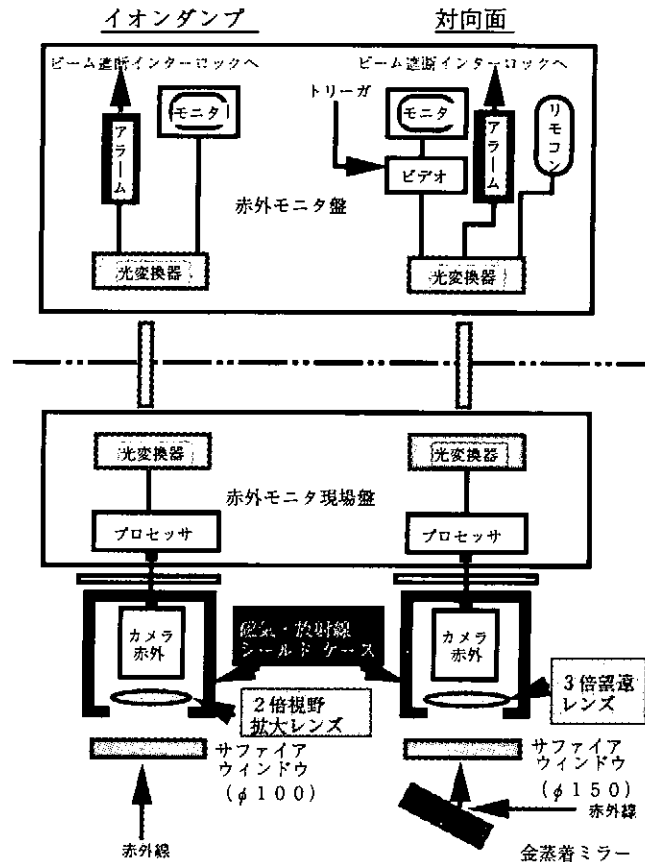
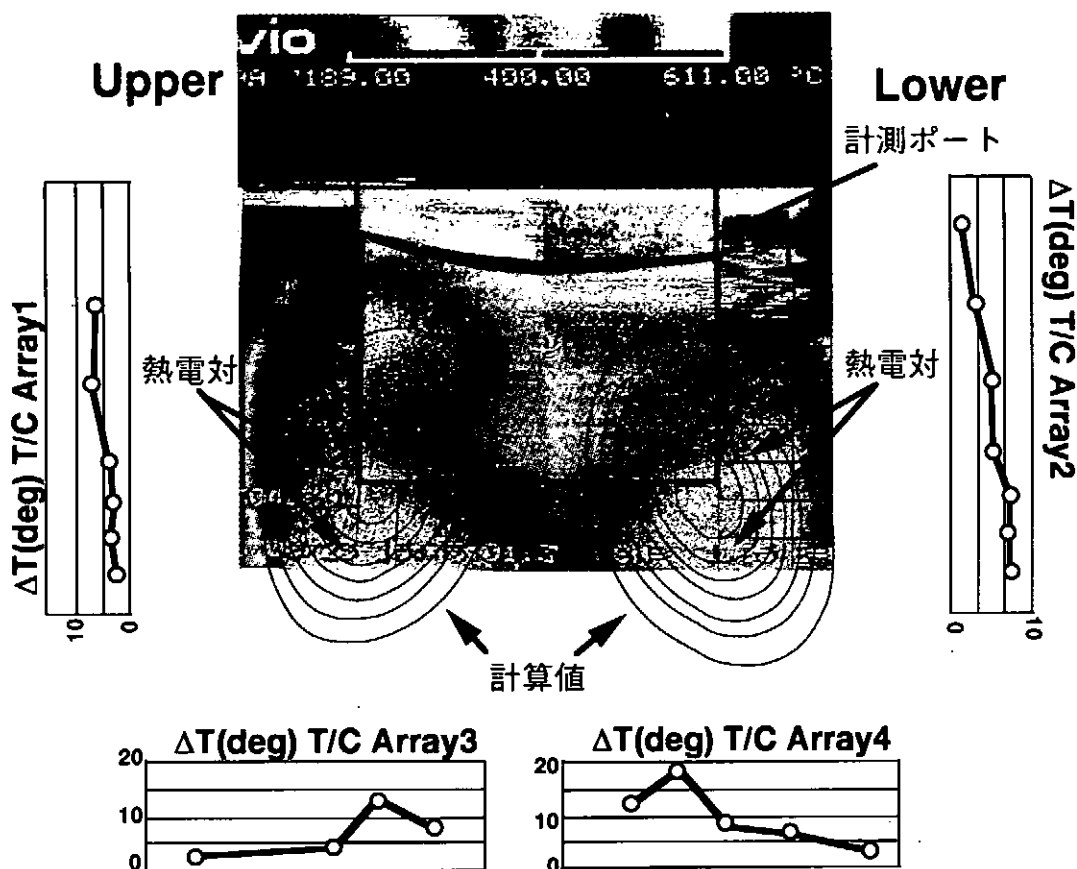


図-5 黒体炉による温度較正図

(3) システムによるモニタの実際

N-NBI装置のビーム軸調整時（ビームパワー：1 MW、入射時間：0.2秒、プラズマ無し）における対向面の温度上昇を測定した時の赤外カメラと熱電対の結果を図-6に示す。赤外カメラは約100℃、熱電対は約15℃の温度上昇が測定された。熱電対の温度上昇を対向面の表面温度に換算すると、赤外カメラと熱電対の温度は概略予測値と一致する。

図-6 N-NBI 対向面熱負荷測定



4. まとめ

磁場、高電圧、放射線、等の環境下において使用できるビームライン
 監用 I T V 及びビーム受熱面視用赤外カメラの開発を行った。
 これらの機器は、上記環境下で実際に運転することにより、正常に動作す
 ることを確認した。

JT-60用負イオンNBI イオン用源角度調整機構

日本原子力研究所 那珂研究所

○本田敦 伊藤孝雄

1. はじめに

原研では、エネルギー500keV、10MWのビームを最大10秒間入射できるJT-60U用負イオンNBI装置(N-NBI)を平成8年3月に完成させ、以後ビーム出力の最適化及びプラズマへの入射実験を進めている。

このN-NBIでは、イオン源で発生するビームの方向がイオンの源取付精度により軸がずれた時に、そのビームの方向を調整するための角度調整機構を使用している。本機構の難しさは、重量約7トンのイオン源を支えとともにイオン源角度を0.05mradの高精度で調整することが必要うえに、イオン源加速部の絶縁破壊によって生じる高電圧ノイズ下で正常に動作させなければならないことである。

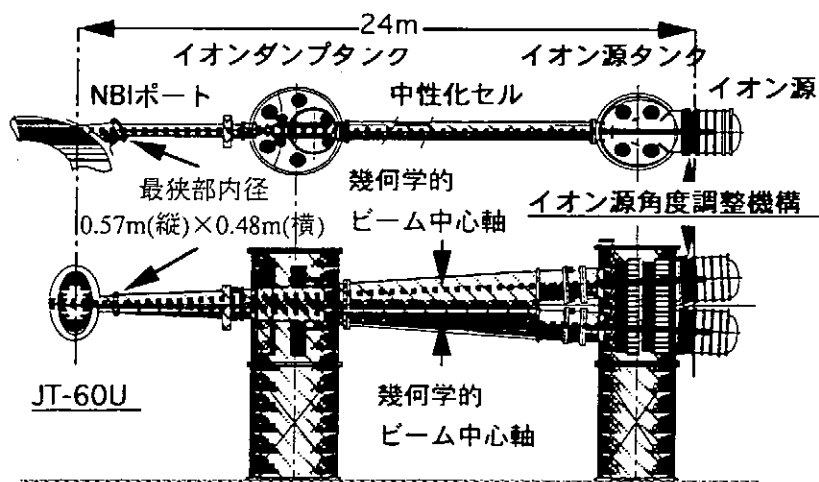
角度調整機構の駆動制御には、精密工作機械の制御に用いられているNC装置を使用している。このNC装置は、イオン源から発生するサージによるノイズで制御機能が動作不能となる問題が生じた。これを解決するために、制御ケーブルをリレー及びマグネットスイッチで一旦絶縁することにより駆動部からNC装置にノイズが侵入することを抑えるなどの対策を講じ、信頼性良くイオン源軸を調整することができた。

ここでは、角度調整機構の詳細、サージによるノイズ防止の対策及び対策後の運転状況について報告する。

2. N-NBI概要

第1図にN-NBI装置のビームラインを示す。N-NBI装置はイオン源で生成された負イオンを加速して引出、中性化セルで中性ビームに変換し、中性化されたビームは最狭部の内径が縦57cm×横48cmのNBIポートを通過して、JT-60U内に入射されプラズマを加熱するものである。

第1図 N-NBI装置のビームライン



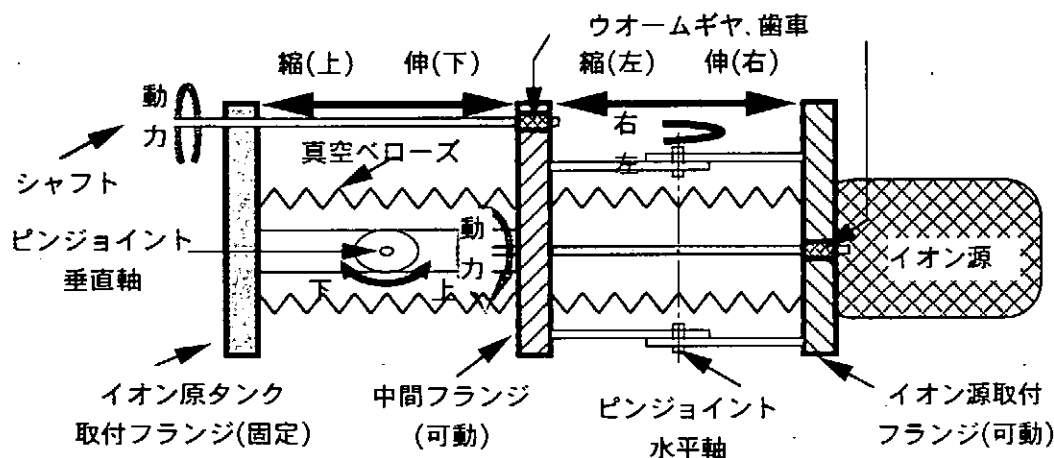
この角度調整機構は、イオン源支持フランジの角度を上下左右に動かすことで、先程のポート最狭部を通してビームを入射するために、幾何学的ビーム中心軸と実際のビーム中心軸をより近づけるための装置である。この装置に要求された性能を以下に示す。

- (1) 1台約7トンの負イオン源を連続的かつ円滑に駆動できること。
- (2) フランジ面間距離約50cmの間に角度調整機構を設置しなければならない。
- (3) イオン源から57cm×48cmの最狭部までが約2.4mもあり、角度調整量が $\pm 10 \text{ mrad}$ 以内で、調整精度としては $\pm 0.05 \text{ mrad}$ 以内の性能が必要になる。
- (4) 高電圧(500kV)の絶縁破壊によるノイズ環境に耐えて、本機構が精度良く動作できること。

3. 動作原理

第2図に示すように角度調整機構は、1枚の固定フランジと2枚の可動フランジを真空ベローズを挟んでピンジョイントで連結し、それぞれの可動フランジの片側にモータからの動力を伝えるシャフトがあり、先端はウオームギヤになっており、フランジに取付られている歯車と噛み合う構造になっている。イオン源の傾き角度はモータの動力でシャフトを回転しフランジ間隔を伸縮させ、ピンジョイントを支点を中心にフランジが傾くことで調整できる。

第2図 動作原理

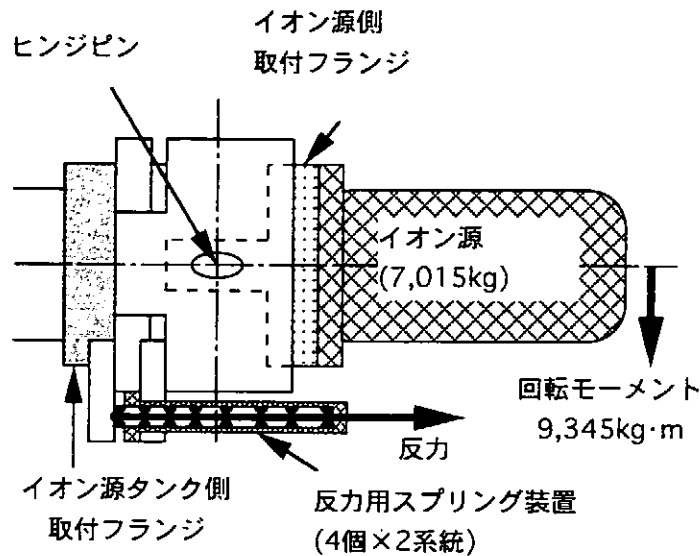


4. 性能と構成

約7トンもあるイオン源を小さな動力で駆動するため、イオン源自重に対向するためのスプリング装置を用いた。この駆動力軽減により角度調整機構の設置空間を50cmに制限できた。すなわち、第3図に示すようにイオン源とフランジ等の重量を合わせた、重力方向のモーメントが約9.4トン弱となり、この力に見合うモータを選定すると非常に大型なものとなる。そこで、このモーメントに対する反力をスプリング装置で発生させ、モータにかかる負荷を軽減させることにより、小型低トルクの精密制御モータを使用した市販のNC装置が使用できるようにした。このNC装置により、角度 $\pm 10 \text{ mrad}$ 以内、 $\pm 0.05 \text{ mrad}$ の精度でイオン源の傾きを調整できるようになった。

角度調整機構は制御系と駆動系から構成され、駆動系は各軸制御モータ、シャフト、ウオームギヤなどの動力伝達機構及びイオン源取付フランジ部から構成されている。また、制御系は遠隔操作制御計算機、現場盤内のシーケンサ及びNC装置などにより構成されている。

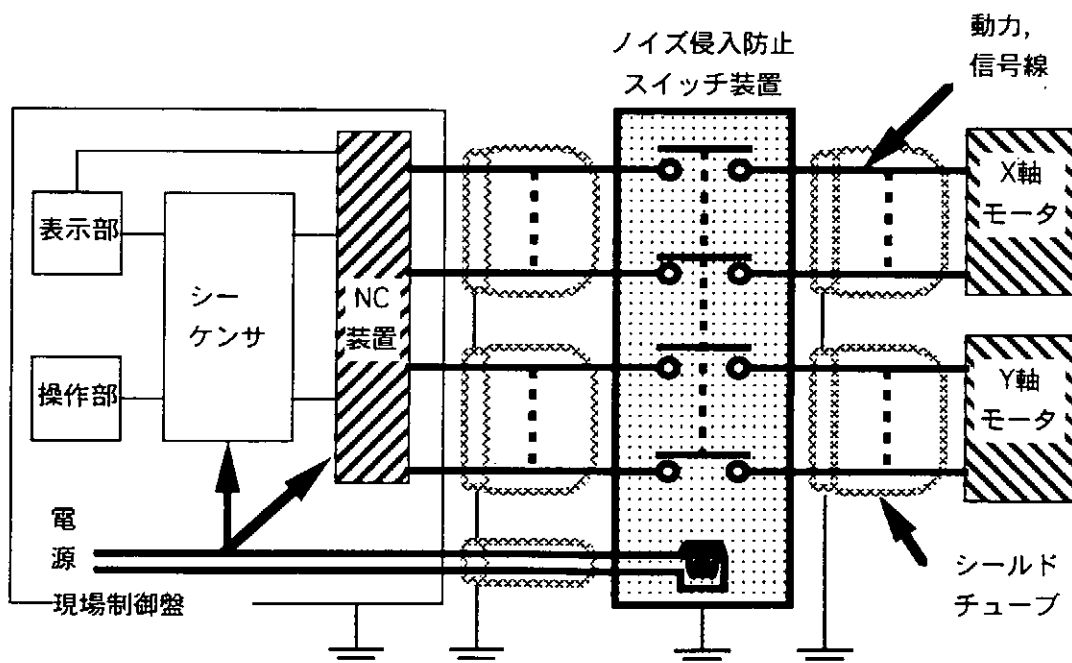
第3図 モータトルク軽減法



5. ノイズ対策

イオン源の角度調整は、N-NB I装置の運転停止した後、角度調整機構の電源を投入して行うが、N-NB I装置の運転時にはイオン源にかかる高電圧で絶縁破壊がよく起こり、イオン源に近接しているモータからノイズが伝わり、NC装置の記憶素子破壊や信号ケーブルの断線、融着などの不具合をひき起した。この対策として第4図に示すように、角度調整機構の主電源が投入状態のときだけ動力、信号線がつながるようにした。すなわち、NC装置とモータ間にノイズ侵入防止スイッチ装置を加え、NC装置の保護を行った。その結果これまでに400kVまでの高電圧ノイズに対して角度調整機構が正常に動作することが確かめられた。

第4図 ノイズ対策

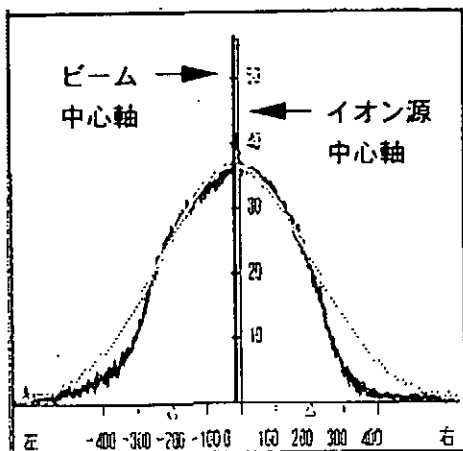


6. ビーム軸調整

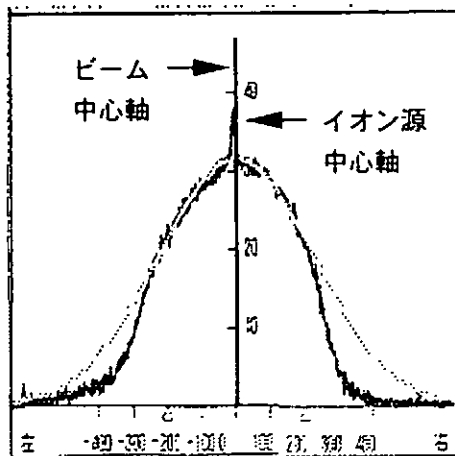
第5図はビーム分布を解析して、ビーム中心軸と軸ずれ角を算出する装置から得たデータをグラフ化したものである。角度調整前はイオン源中心軸とビーム中心軸にずれがあり、角度調整後はイオン源中心軸とビーム中心軸が一致させることができた。

第5図 ビーム分布解析装置による軸ずれ角度の算出

<調整前>



<調整後>



7. まとめ

- (1) イオン源の荷重をバランスさせるスプリング装置を使用することで、約7,000kgの負イオン源を低トルクのモータで連続的かつ円滑に駆動することができた。
- (2) 市販のNC装置を使用して、角度調整量 $\pm 10\text{ mrad}$ ($\pm 0.573\text{ deg}$) 以内、調整精度 $\pm 0.05\text{ mrad}$ ($\pm 0.003\text{ deg}$) 以内の性能を得ることができ、約24m離れたJT-60プラズマに効率よく、ビームを入射することができた。
- (3) ノイズ侵入防止装置を追加することで、これまでに最大400kVの高電圧ノイズ環境下でも正確に使用することができた。

大型ヘリカル装置用中性粒子入射加熱装置の開発

核融合科学研究所 ○河本 俊和、浅野 英児、秋山 龍一
金子 修、竹入 康彦、NBIグループ

1 はじめに

文部省・核融合科学研究所（NIFS）は、現在、土岐サイト（岐阜県土岐市）に大型ヘリカル装置（Large Helical Device：LHD）を建設中である。LHDはプラズマの閉じ込め磁場の発生に、一対のヘリカルコイルを用いた世界最大のヘリカル型の核融合実験装置である。この計画でLHD本体はもとより、プラズマを加熱するための各種加熱装置、プラズマの諸量、諸現象を測定するための各種計測機器、超伝導ヘリカルコイルを冷却するためのヘリウム液化冷凍装置等が着々と準備されてきている。また、平成10年3月には初期プラズマが点火され、プラズマ実験が開始される予定である。

ここでは、LHD本体プラズマを追加加熱する加熱機器の一つである中性粒子入射（Neutral Beam Injection：NBI）加熱装置の説明を行う。また、LHD用NBI加熱装置は世界に先駆けて負イオンを用いた高エネルギー中性粒子ビーム生成方式を採用した。そして、真空、電気、冷却水、低温、制御、負イオン源、中性粒子ビーム計測、Csコントロール等々、複合技術の集積で構成される負イオン源式NBI加熱装置の技術的側面の紹介と、現在製作中の「LHD-NBI」の状況と今後の課題などを報告する。

2 LHD用NBI加熱装置

LHD用NBI加熱装置は電氣的に中性な高速粒子（原子ビーム）をLHD本体プラズマに入射してプラズマを加熱する。装置としては、図.1のように1ビームライン当たり2台の負イオン源および一式の負イオン源電源、中性化セル、クライオソープションポンプ、偏向磁石、カロリメーター、ビームダンプ、ゲート弁等からなり、図.2のようにLHD本体プラズマに対しては接線方向からのビーム入射で、現在は2ビームラインで計画されている。

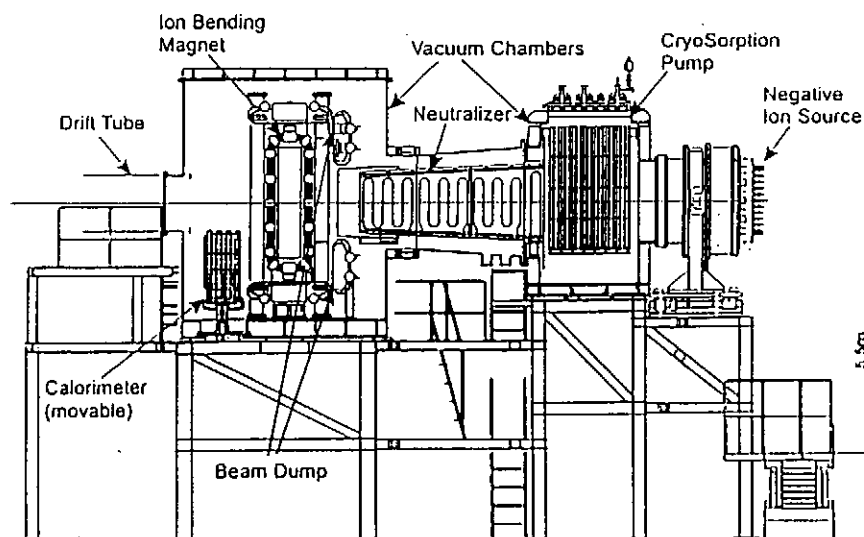


図.1 LHD用NBI加熱装置（#1ビームライン）

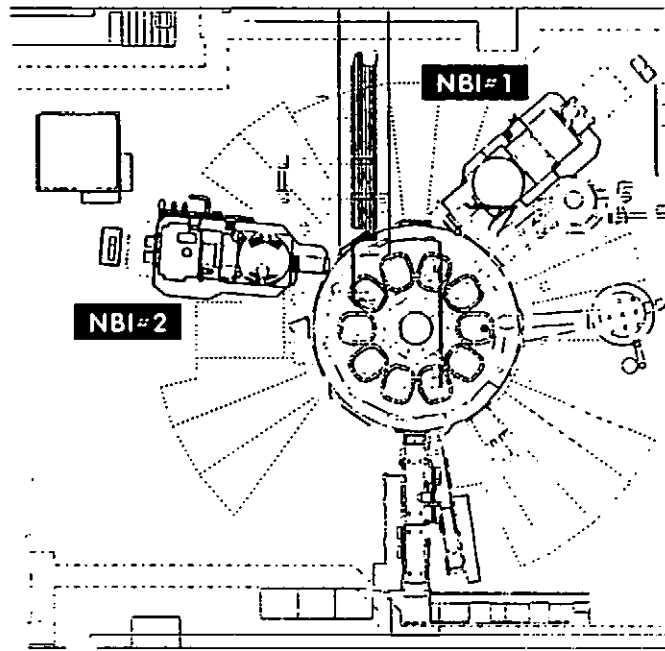


図2 LHD本体とNBI加熱装置の配置図

3 NBI加熱装置の技術面からの紹介

ここでは、複合技術の集積で構成されるNBI加熱装置の技術面から、キーワードとしてまとめてみた。

1.機械技術

- 1) 応力：真空力、電磁力に起因する応力等
- 2) 除熱：入熱による熱応力変形
イオン源用電極、ビームダンプ用冷却管（スワールチューブ）
- 3) 材料：クラッド鋼、磁気シールド材、モリブデン、インジウム等
- 4) 加工：拡散接合（電極）・・・冷却水路溝、マグネット埋め込み溝等の形成

2.電気技術

- 1) エレクトロニクス：機器制御信号、計測信号、信号処理等を含む
- 2) 弱電：商用の電力機器、計測機器など
- 3) 強電：高電圧直流電源・・・粒子加速電源（170KV, 90A）
低電圧大電流電源・・・フィラメント電源（14V, 6000A）
- 4) 短絡現象によるノイズ対策：それぞれの領域での傾向と対策の把握
- 5) 停電対策：瞬停を含む非常用電源への切り替え

3.真空技術

- 1) 動的排気装置：ターボ分子ポンプ、メカニカルブースターポンプ、回転ポンプ

- 2) 静的排気装置：クライオソーブションポンプ（水素ガスの大容量排気；30万、100万 L/sec）
 - 3) 残留ガス分析・・・セシウム蒸気など
- 4.低温技術
- 1) 液体窒素
 - 2) クライオソーブションポンプ
 - 3) トランスファーチューブ（液体窒素用）
 - 4) 閉ループ系の冷凍機、圧縮機
- 5.制御技術
- 1) 中央制御と加熱装置間の状態信号の交信
 - 2) 真空排気装置、冷却水供給装置、液体窒素供給装置の運転、管理
 - 3) 非常時のインターロック処理（ハードワイヤーを含む）
 - 4) ビームラインの自動運転
Automatic Conditioning , Pulse Modulation , Energy Sweeping
 - 5) 計測信号の取り込みと処理
- 6.運転保守技術
- 1) 装置資料、図面の管理
 - 2) 安全対策
 - 3) 故障対策
 - 4) メンテナンス
- 7.生成ビームの計測
- 1) ビームのエネルギー分布と発散・・・（熱計測、光計測）
 - 2) 再電離粒子の除熱処理など
- 8.負イオン源・・・・・・技術的に確立された項目は少なく、まだ研究、開発の途上にある
- 1) プラズマ生成の再現性
 - 2) 種ガスの圧力コントロール
 - 3) フィラメント形状と電流コントロール
 - 4) フィラメント導入端子の材料、形状の選択
 - 5) フィラメントからの熱輻射と除熱
 - 6) 電極の孔形状、電極間ギャップの最適化
 - 7) 電極の温度コントロールとブリアーク運転の最適化
 - 8) セシウム添加量のコントロール
 - 9) プラズマ生成部の磁場配位と強度（永久磁石の配置）
- 9.その他
- 1) 中性化セル・・・（最適なガス圧コントロール）
 - 2) 偏向磁石・・・（偏向角度の選択；荷電粒子の熱負荷分散）
 - 3) X線シールド・・・（アクセスビリティ）
 - 4) 磁気シールド・・・（アクセスビリティ）
 - 5) 絶縁ガス・・・（SF6ガスの取り扱い、管理）

4 現状と今後の課題

NBIグループは現在、テストスタンドで実機用プロトタイプの負イオン源からビームの引き出し実験を行っており、ビーム出力の増大、発散角の抑制、長パルス化等に向けて精力的にR&Dを進め、表1の仕様に近づける途上にある。

今後、負イオン源のコンディショニングの自動化手法の確立、ビーム入射の信頼性の向上、装置の遠隔操作、装置メンテナンスの事前予測を含む、NBI加熱装置の自動運転を目標に技術を固めていくことになる。

現在、大型ヘリカル装置(LHD)の建設は最終段階に入り、真空排気系運転、冷却系運転、超伝導コイルの通電等を経て、平成10年3月からプラズマ実験が開始される予定である。LHD-NBI加熱装置も大型ヘリカル装置への取り付けを終え、調整試験およびコンディショニングの後、9月に入射を開始する計画になっている。また、参考として表2には、世界の大型負イオン式NBI加熱装置の仕様の一部を記しておく。

表1 LHD-NBI加熱装置の仕様

| | | | |
|----------------------|---------|------|--------------|
| 1) イオン源、ビームライン | | | |
| ・全入射パワー (ポート通過) | | | 15 MW |
| ・ビームエネルギー (H) | | | 180 keV |
| ・ビーム電流 (H-) | | | 40 A / 1イオン源 |
| ・パルス幅 / 繰り返し | | | 10秒 / 5分 |
| ・ビームライン数 (接線、バランス入射) | | | 2台 |
| ・イオン源数 (2台で一对) | | | 4台 |
| 2) 電源 | | | |
| ・フィラメント | 14 V | 6 kA | 30秒 / 5分 |
| ・アーク | 100 V | 5 kA | 20秒 / 5分 |
| ・バイアス | 10 V | 1 kA | 20秒 / 5分 |
| ・引出し | -14 kV | 75 A | 10秒 / 5分 |
| ・加速 (イオン源2台共通) | -170 kV | 90 A | 10秒 / 5分 |

表2 世界の大型負イオン式NBI加熱装置の仕様

| 研究機関名 | 核融合科学研究所 | 日本原子力研究所 | 国際熱核融合実験炉 |
|----------|-------------|-------------|--------------|
| 核融合実験装置名 | LHD | JT-60U | ITER |
| 全入射パワー | 7.5 MW X 2 | 10 MW X 1 | 16.7 MW X 3 |
| ビームエネルギー | 180 keV (H) | 500 keV (D) | 1000 keV (D) |
| ビーム電流 | 40 A | 22 A | 40 A |
| パルス幅 | 10 秒 | 10 秒 | > 1000 秒 |
| 稼働時期 | 1998年入射予定 | 1996年入射開始 | 2009年入射計画 |

RF ダミーロードのハイパワー試験

高エネルギー加速器研究機構
技術部 大越 隆夫

1. はじめに

高エネルギー加速器研究機構では現在 KEKB 計画が進められている。KEKB 計画では、8GeV に加速された電子ビームと 3.5GeV に加速された陽電子ビームとを衝突させることによって生ずる B クォークの崩壊過程を測定することにより CP 不変性の破れを検証しようとしている。そのために、2.5GeV 電子ライナックの増強・改造を行い電子ビーム 8GeV、陽電子ビーム 3.5GeV の加速を可能にし、直接 KEKB の電子用リング (HER)、陽電子用のリング (LER) に入射を行なうこととした。増強の 1 つとして、大電力クライストロン (KLY) からの高周波出力を 2.1kW (21MW, 4 μ sec, 25pps) から 8.2kW (41MW, 4 μ sec, 50pps) にアップするために、加速管の出口に設置されている高周波を吸収するための RF ダミーロード (大電力無反射終端器) は現在の約 4 倍の平均パワーを吸収しなければならない。それはピークパワーにおいては、高周波電力増強と高周波パルス圧縮装置 (SLED) によって約 12 倍になる。新型の RF ダミーロードを制作中ではあるが、スケジュール、予算等から現在の RF ダミーロードを当分の間使用しなければならないため、現在の RF ダミーロードのハイパワー試験を行なったので報告する。

2. RF ダミーロード

本 RF ダミーロードは、約 160 本を 13 年以上使用しているが現在まで異常により交換したものはなく正常に動作している。

図.1 に示すように RF ダミーロードの構造は、矩形導波管 (無酸素銅、72.1 \times 34mm) の中に円錐型 (砲弾型) の RF ダミーロード本体が突き出たものである。材質は炭化ケイ素 (SiC: silicor carbide) セラミックで出来ており、高周波を吸収する電波吸収体ある。冷却は内部に円筒形の空間を設け、セラミックのパイプを中心に差し込み、パイプ内側に冷却水 (温度約 30 $^{\circ}$ C) を流し込み円筒形の先端にあて、SiC セラミック面 (円筒面) を直接冷却水で冷却している。この冷却水は SiC を通過し内部まで漏れてきた高周波を吸収する電波吸収体としての役割も持つ。RF ダミーロードと加速管はフランジにより繋がり内部は真空である。もしダミーロード本体が破損し、冷却水が漏れるようなことになった場合復旧までに最低でも数週間間は必要であると予想される。(2.5GeV 電子ライナックは現在本機構の放射光実験施設にビームを供給しているもので停止は他所に多大な影響を与えることになる) SiC は高温に耐えうるが、高温になるとガスを発生し真空悪化及び電波吸収が低下する等の影響が現われる。

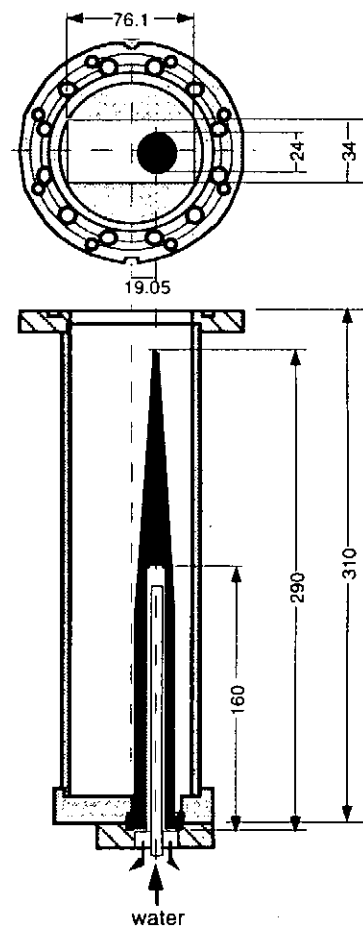


図.1 RF ダミーロード

3. 試験装置

試験用装置には、KEKB 入射用に増強・改造等の作業を終了した加速ユニットの高周波出力源を使用した。試験装置構成(図 2)は、50MW KLY からの高周波出力を SLED により圧縮し、試験用 RF ダミーロードに入力した。高周波の伝送は矩形導波管を使用しており、内部排気はイオンポンプ(IP)によって行なっている。SLED から RF ダミーロードまでの排気は 75 l/sec、20 l/sec のイオンポンプである。KLY および SLED 出口には、高周波モニタ用のベータホールカプラーが進行波(pf)と反射波(pb)が測定できるように取付けられている。このベータホールカプラーにピークパワーメーターを接続して RF ダミーロードへの入力パワーを測定し、高周波波形はオシロスコープにて観測した。各部の真空は、イオンポンプ近くに設けた冷陰極電離真空計(CCG)によって測定した。RF ダミーロード本体の発光と RF ダミーロード本体と導波管内面間の放電等の観測は、RF ダミーロードを取付ける導波管を 90° 曲げた H ベンド導波管にし、コーナー部に観測用の窓を設けた。窓の孔は高周波が漏れない大きさである。冷却水流量は 6 l/min である。

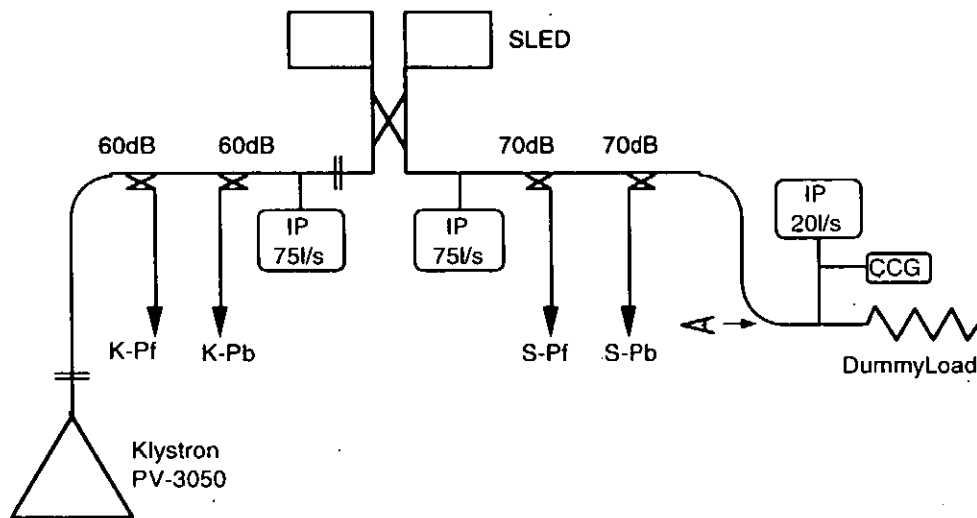


図. 2 試験装置構成

4. 試験経過と結果

表に増強前、増強後の加速管出口のダミーロードに加わるパワーの比較を記入している。平均電力はダミーロードに入力される高周波の電力(入力電力)、パルス幅、繰り返しから求めたものである。増強後のピーク電力は SLED により入力電力の約 6 倍の加わる。VSWR は、ローパワー試験により 1.1 以下であることを確認している。

試験は、増強後のパワーに耐えうるか、もしくは耐えうる最大パワーはどの程度なのかを見極めることを目標に行った。目標値は平均電力 1.25kW (6.25MW, 4 μ sec, 50pps) *1、ピーク電力 37MW (6.17MW, 4 μ sec, 50pps) *2とした。試験に使用した RF ダミーロードは既存ユニットで使用していたものである。

| | 増強後 | 増強前 |
|-------------------|-------|-------|
| 平均電力 (kW) | 1.025 | 0.131 |
| 入力電力 (MW) | 5.13 | 2.63 |
| パルス幅 (μ sec) | 4 | 2 |
| 繰り返し (pps) | 50 | 25 |
| ピーク電力 (MW) | 30.75 | 2.63 |

* 1、* 2 : [] 内は大電力クライストロンの出力電力、パルス幅、繰り返しである。

[平均電力試験]

SLED 離調状態 (SLED 空洞内に離調棒に挿入し空洞に高周波が入らないような仮想のショート面を作り出すことにより高周波パルス圧縮を行なわない) で行なった。KLY の高周波出力は、パルス幅 $4\mu\text{sec}$ 、繰り返し 50pps で徐々にパワーを上げていった。1 時間 50 分で増強後の平均電力である 1.03kW に達した。2 時間で目標値の 1.25kW に達した。4 時間 20 分後には 1.75kW に達したが、ダミーロード本体の先端部分と思われるところがわずかに発光し始めたため、ただちにパワーを徐々に下げ、発光が確認できなくなる 1.42kW まで 1 時間をかけて下げた。発光が確認できたとき真空 ($2\times 10^{-5}\text{Pa}$) の悪化は測定されなかった。この状態で 16 時間連続試験を行なったが異常は確認されなかった。

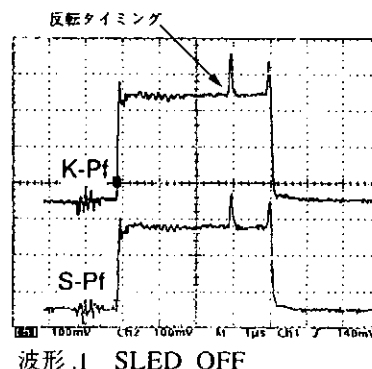
波形 .1 は平均電力試験を行なったときの KLY の高周波出力波形 K-Pf (SLED への高周波入力波形) と SLED 高周波出力波形 S-Pf (RF ダミーロードへの高周波入力波形) を示す。K-Pf と S-Pf はほぼ同じパワーである。波形の高さが異なるのはベータホールカプラーの結合係数、ケーブル等が異なっているためである。高周波の先頭から $3\mu\text{sec}$ のところのノイズは高周波を反転させた時に位相が変化するために起きる反射である。

[ピーク電力試験]

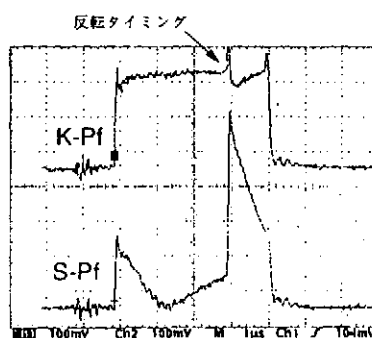
SLED を離調状態 [OFF] から動作状態 [ON] に変更後 12 時間 30 分にて 6.87MW が入力できるようになった。10 時間連続試験を行なったが異常は確認されなかった。波形 .2 の S-Pf が SLED 動作状態の出力波形である。波形はノコギリ刃のようでピーク電力は入力電力の約 6 倍になる。

[温度]

RF ダミーロードの導波管表面を接触型温度計で測定を行った。高周波を入力する前は 24°C であったものが電力 6.87MW では 30°C まで上昇した。この程度であればフランジ等での真空リークは起こらないと判断した。



波形 .1 SLED OFF



波形 .2 SLED ON

5. まとめ

試験の結果、平均電力目標値 1.25kW に対して 1.42kW 、ピーク電力目標値 37MW に対して 41MW が達成できた。この RF ダミーロードは、増強後の高周波電力に対する使用にも十分に耐えうることがわかった。

この試験では、時間の関係から 1 本の RF ダミーロードしか試験できなかった。しかし、現在は 2.5GeV 電子ライナックの増強・改造が完了し 160 本の RF ダミーロードには SLED 動作状態で入力電力 5MW 以上、パルス幅 $3.7\mu\text{sec}$ 、繰り返し 25pps が入力され異常なく使用している。繰り返しが今後 50pps に上がるため同タイプの RF ダミーロードを 3 本程度追加試験する予定で準備を進めている。

参考資料

- [1] 松本浩 “水路変更品直接冷却方式 SiC 電波吸収特性試験メモ” 83年
- [2] 大越隆夫 “化*デン製直接冷却方式 SiC Dummy Load Test 第1回報告メモ” 91年

JT-60 ICRFアンテナの表面温度計測の開発

日本原子力研究所 那珂研究所

平内慎一 横倉賢治 森山伸一 佐藤臣夫

石井和宏 藤井常幸 山本巧

〒311-01 茨城県那珂郡那珂町向山801-1

TEL029-270-7445, FAX029-270-7459

1. はじめに

核融合実験装置JT-60では、効率の良い核融合反応に必要な、高温高密度プラズマを生成するために、高周波加熱装置及び中性粒子入射装置を用いている。イオンサイクロトロン周波数帯(ICRF)を使用した高周波加熱装置は、効果的で効率の良いプラズマ加熱が可能な装置である。ICRF加熱装置では、アンテナを用いてプラズマに100MHz帯の高周波を結合させ、共鳴したイオンを加速することでプラズマ加熱を行う。

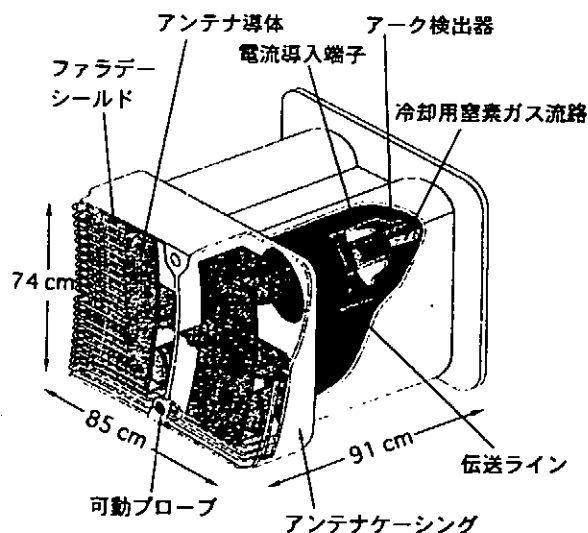
アンテナは、高温のプラズマから近い距離に設置されるため、プラズマからの粒子や熱にさらされる非常に過酷な条件下に置かれる。実際、JT-60ICRF加熱装置のアンテナは、粒子の衝突によると思われる表面の溶融などの損傷が重要な問題になっている。損傷の原因、機構を明らかにし、熱負荷の小さい運転条件を探る目的で、赤外線を用いたICRFアンテナ表面温度計測装置を開発した。

2. ICRF加熱装置の概要

ICRF加熱装置では、発振器出力の数Wの高周波電力を8系列に分配し、多段増幅で1MWまで増幅する。8系列で増幅された最大8MWの高周波電力は、約100mの同軸管で伝送され、4系列ずつ2基のICRFアンテナにそれぞれ供給される。アンテナは、7MWの高周波電力をプラズマに結合させ加熱を行う。

第1図にICRFアンテナの鳥瞰図を示す。

ICRFアンテナは、2段2列の位相制御型ループアンテナである。アンテナの役割は、アンテナ導体に高周波電流を流すことによって、プラズマに高周波電力を結合させ、加熱を行うことである。アンテナ導体前面に取り付けられた複数のパイプは、ファラデーシールドと呼ばれ、外径15mmのインコネルパイプに銅メッキを施した構造で、中空部には冷却のための窒素ガスを流している。このファラデーシールドは、プラズマ粒子からアンテナ導体を守ること、加熱に有害な電界を打ち消すことの2つの目的から取り付けられている。



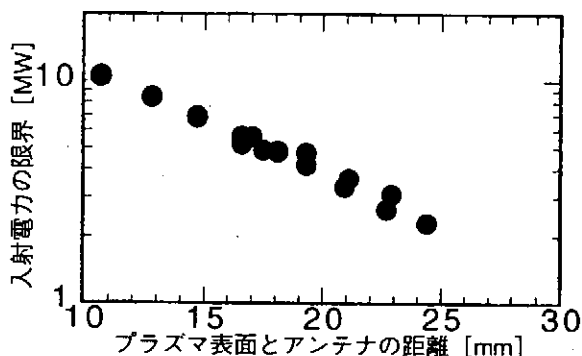
第1図 ICRFアンテナ鳥瞰図

3. ICRFアンテナ表面温度計測装置の開発

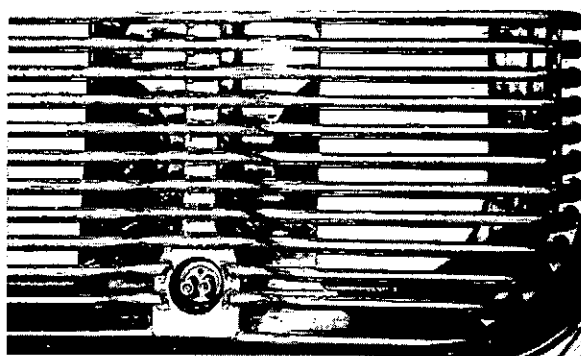
(1) ICRFアンテナ（ファラデーシールド）の損傷

アンテナ導体を守るために取付けられたファラデーシールドはプラズマから数cmの位置にあり、プラズマからの粒子によって損傷する問題が生じている。

損傷する原因として、ICRFで加速されたイオンのうち、閉じ込めの良くない一部のイオンがファラデーシールドに衝突することが考えられる。ICRFアンテナは、トロイダルコイルの間の磁場がやや弱くなっている場所に設置されているため、アンテナとプラズマ表面の距離が近すぎるとイオンが衝突しやすく、熱流束が増加する。しかし、距離を大きくすると、ICRFの高周波電力がプラズマに結合しにくくなるので、アンテナとプラズマの距離は、いくらでも大きく出来るわけではない。したがって大電力ICRF加熱を、アンテナとプラズマ表面の距離が近い条件で行うと、このイオンの衝突によってファラデーシールドの温度が上昇して溶融に至る。第2図にプラズマとICRFアンテナの結合特性、第3図にICRFアンテナの損傷の様子を示す。



第2図 プラズマとICRF入射電力の結合特性



第3図 アンテナの損傷

(2) ファラデーシールド損傷分析

ファラデーシールドの熱流束

溶融した大きさ： $1.6\text{cm} \times 2.0\text{cm} \times 0.1\text{cm} \times 4\text{本} = 1.3\text{cm}^3 = 1.3 \times 10^{-6}\text{m}^3$

1秒間、断熱加熱されたと仮定する。

$$\text{入熱} Q = \Delta T \times \frac{4.19 \times c \times \gamma \times V}{t}$$

ΔT : 温度上昇 [°C]、 t : 入熱時間 [sec]、 c : 比熱 [kcal/kg・°C]、 γ : 比重 [kg/m³]、 V : 体積 [m³]

ファラデーシールド（インコネル）の融点：約1400°C、アンテナ定常温度：約300°C

各値を公式に代入する。

$$Q = (1400 - 300) \times \frac{4.19 \times 0.098 \times 8440 \times 1.3 \times 10^{-6}}{1}$$

$$= 4.9 \text{ [kW]}$$

熱流束は、約5kW/アンテナと推測され、損傷に至ったと考えられる。

(3) ファラデーシールドの損傷対策

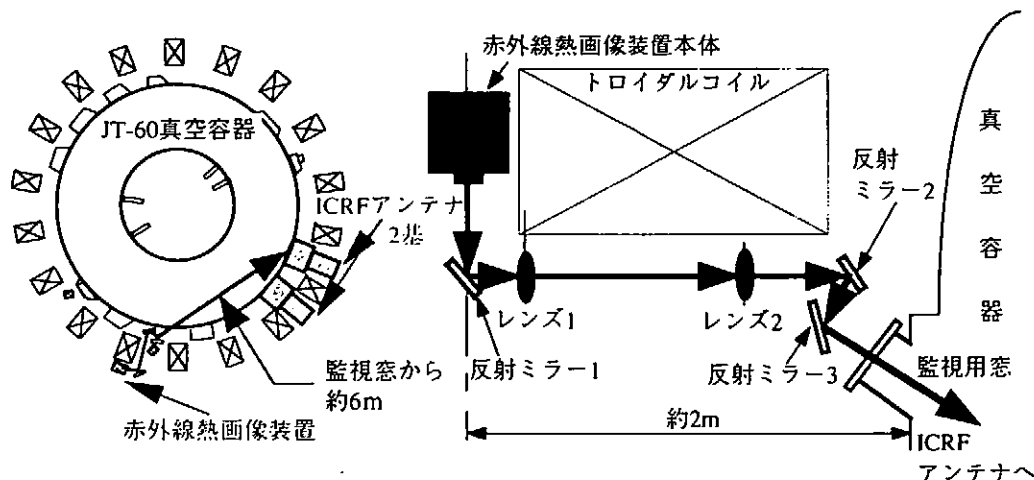
損傷部分の処置として、保護板、保護リングの取付を行った。それにより、ファラデーシールドの損傷は防ぐことが出来たが、保護板、保護リング自体が溶融してしまった。第4図に保護板、保護リングの溶融した様子を示す。溶融した部分は、マイクログラインダーを用いて突起等を取り除き補修しているが、年々劣化していく保護板、保護リングの溶融は処置できない。そのため、アンテナ表面温度計測装置を開発し、アンテナ表面の温度監視をしながら運転する対策をとることにした。



第4図 保護板、保護リングの損傷

4. ICRFアンテナ表面温度計測装置

第4、5図にICRFアンテナ表面温度計測装置の概要を示す。アンテナ表面温度計測装置は、光学系と赤外線熱画像装置本体から構成される。光学系は、2枚のレンズと3枚の反射ミラーで構成される。JT-60の監視窓からICRFアンテナまでは6m、赤外線熱画像装置から監視窓までの2mの距離がある。赤外線熱画像装置は、中央制御室から制御可能であり、CRTでの監視、ビデオシステムで画像を自動録画ができる。アンテナ表面温度計測装置の設備環境には、強磁場や、プラズマからのX線、中性子の影響があり、赤外線熱画像装置の電子回路等に異常が発生する恐れがあったため、これらの問題を解決するための開発が必要であった。赤外線熱画像装置を磁気シールドボックスに収納し、中性子が直接赤外線熱画像装置に入射しないような工夫を施した。シールドボックスは、耐磁力線、中性子、X線を減衰させるシールド材を重ね合わせる構造になっている。耐磁気用の電磁軟鉄、耐放射線用の鉛、耐中性子用のポリエチレン、その他に強度を高めるための、ステンレスも重ね合わせてある。総重量は、170kgである。運転中は強力な磁場で、シールドボックス全体に力を受けるので固定を強固にしてある。



第5図 赤外線熱画像装置光路

第6図 アンテナ表面温度計測装置配置図

5. ICRFアンテナ表面温度計測成果

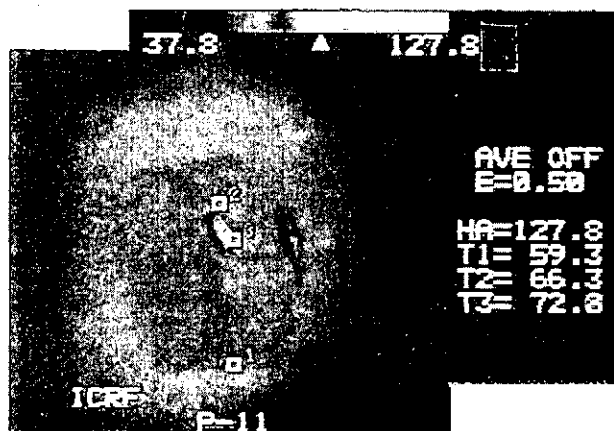
(1) 計測結果

プラズマ電流4MA、トロイダル磁場3.97Tのプラズマ条件において、プラズマ表面とアンテナの距離を10cm、15cmと変化させて比較した。第6-1、-2図にICRF入射中のアンテナの温度計測の結果を示す。第6-1図では、測定ポイント2、3部分で温度上昇が確認された。第6-2図では、プラズマ表面との距離を大きくしたことによって、温度上昇が小さくなることが判明した。

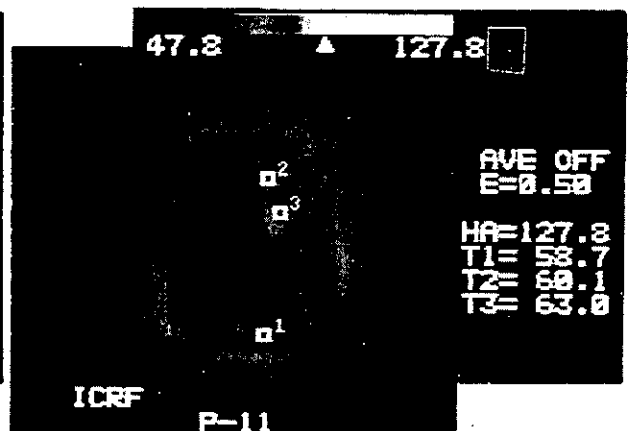
これらの結果により、プラズマ表面とアンテナの距離を制御することによって、損傷は防げる見通しが得られた。しかし、プラズマ表面とアンテナの距離を大きく離すことは、実際の運転ではICRFの高周波電力がプラズマに結合しにくくなるため、本装置を活用して、温度計測監視を行いながら運転することで対処している。

(2) 計測成果

ICRFアンテナ表面温度計測装置の開発により、プラズマ表面とアンテナ距離の最適化が進んだ。多くの温度データ収集により、高周波電力の結合が良く、アンテナに熱負荷のかからない運転条件が見いだされた。更に、距離の最適値の判明により、アンテナの損傷が最小限に抑えられるようになった。



第7-1図 赤外線熱画像装置映像



第7-2図 赤外線熱画像装置映像

6. まとめ

アンテナ表面温度計測装置の開発により、プラズマ表面とアンテナ距離の最適化、つまり高周波電力の結合良く且つアンテナに熱負荷のかからない運転条件が判明し、アンテナの損傷が最小限に抑える運転が可能になった。

今後の課題としては、アンテナ先端の温度上昇により熔融する前にアンテナを保護するインターロック設備の開発、アンテナ先端ファラデーシールドの保護板、保護リング部の改良等がある。更に継続してアンテナに損傷を与えない、より最適なプラズマ条件の追及、検討とデータ収集を行う。

JFT-2MにおけるX線モニターシステム

原研 那珂研 岡野 文範、海野 一美、柴田 孝俊、長谷川浩一
柏 好敏、鈴木 貞明

1. はじめに

JFT-2Mでは、プラズマ放電（6分周期、持続時間約1秒）時にX線が発生する。X線は、一周電圧が高く、電子密度の低い状態でできた逃走電子が加速されリミター等に衝突して発生する。この発生するX線量を管理区域境界において、許容線量（ $20\mu\text{Sv}/\text{週}$ ）以下にする必要がある。JFT-2M施設内の管理区域の遮蔽は、鉄筋コンクリート150mm、鉛遮蔽体15mmにて行っているが、制限なしに放電をしていたのでは許容線量を超えてしまう可能性がある。そのため、JFT-2Mでは以下のようなX線管理をしている。

- ① 建家内外の管理区域境界周辺全域に測定用の線量計（ガラス管線量計、熱ルミネセンス線量計）を取り付けて管理している。ガラス管線量計は3ヶ月毎、熱ルミネセンス線量計（TLD）は測定場所により1週間及び1ヶ月毎に発生線量を測定している。もし、許容線量を超えた場合には運転制限及び適切な遮蔽対策を行い運転を再開する。
- ② 運転員等が被爆しないように、運転管理としてJFT-2Mの運転シーケンスにドアインターロックを組み込み、X線が発生する運転中には管理区域に入出りができないようにしている。
- ③ 運転中のX線管理として、X線モニターシステムを用いて放電毎のX線発生量とその時間変化をモニターし記録している。発生量が多い場合には、運転制限等を含めた運転条件の変更を行っている。

JFT-2MのX線モニターシステムは、発生線量の測定と時間変化のモニター機能の他に、放電中にある一定の設定線量を超えた場合にインターロックによるプラズマ放電の停止を行い発生線量を制限するためのインターロック機能を有している。また、プラズマ電流方向反転実験等の各種実験に対応するために、複数の検出器からなる多チャンネルX線モニターシステムを今年度計画している。

2. 使用中のX線モニターシステム

2-1) システムの構成

システムは検出器、プリアンプ、線量計本体及びパソコンから構成されている。（図-1 参

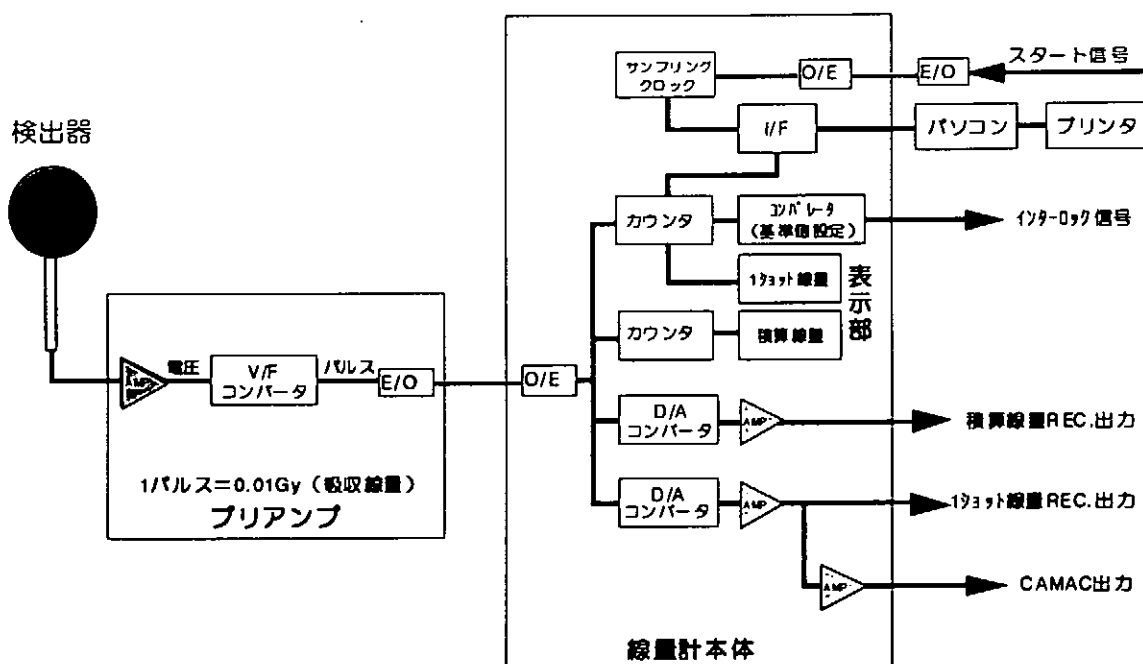


図-1. X線モニターシステムの構成図

照) 検出器、プリアンプを実験室のJFT-2M本体近傍で、JFT-2MからのX線量を実際に線量計にて測定した結果を基にして、X線の発生量が最も多い位置に設置した。線量計本体とパソコンは制御室内に設置してある。プリアンプと線量計本体間は光ファイバーケーブルにて光通信を行っている。

検出器は、動作原理が簡単で作動が安定しエネルギー特性が良かったため、応答性を多少犠牲にしても電離箱型を選択した。

表-1に電離箱型検出器の性能を示す。電離箱内でX線により生成された電荷は、電離電流としてプリアンプに送られる。この時の検出器への印加電圧はDC300V。プリアンプの入力電流は最大 $1000\mu\text{Sv/秒}$ 相当の電流(2.3E-8A)が入力できる。このプリアンプ内で電流信号はAV変換され増幅される。さらにV/F変換されてパルス信号として光通信で線量計本体に送られる。線量計本体では、カウンタに入力され積算線量及び1ショット線量の表示をする。また、1放電の線量が設定線量を超えたらコンパレータ回路にてインターロック信号を出す。パソコンのデータ収集は、JFT-2Mの放電スタート信号にて1.5秒間測定を行う。また、プラズマのデータ等をデータ収集計算機及びレコーダへもX線量の出力を送っている。

| | |
|-----------|----------------------|
| 容 積 | 800 cc |
| 最大測定線量 | $1000\mu\text{Sv/秒}$ |
| 応答速度 | 3 ms |
| 測定エネルギー範囲 | 0.1 ~ 3 MeV |

表-1

2-2) インターロック機能

X線モニターシステムの重要な機能としてインターロック機能がある。JFT-2Mにて発生するX線量を許容線量以下に抑えるためには、X線が多量に発生する放電を防止する必要がある。

特にこの放電は電子密度が低く、一周電圧が高いときに発生する逃走電子放電を言う。インターロック機能の目的は、このような放電が発生したとき一定線量を超えたらプラズマ放電を停止させること。

インターロック信号のメカニズムは、設定線量を超えたら線量計本体のコンパレータ回路が動作してインターロック信号が発生する。この信号がプラズマ制御用計算機に送られ、プラズマ電流を遮断することによりX線の多量発生を防止する。実際に、設定線量に達したときのインターロック制御を図-2に示す。設定線量に達した時、インターロック信号によりダイバータコイル電流(Qコイル)を維持しつつ、プラズマ電流を維持するための電流(Sコイル)をオフとする。これに

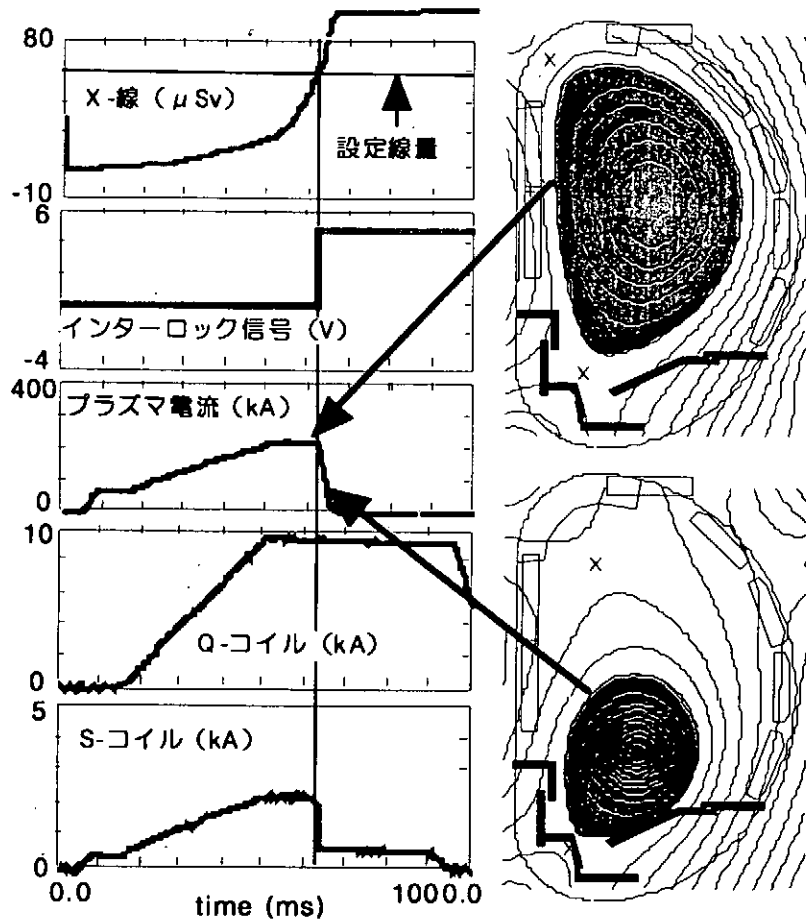


図-2. 設定線量に達したときのインターロック制御

より、プラズマはダイバータコイルに引き寄せられて急速に消滅し、X線発生が止まる。

3. 多チャンネルX線モニターシステム（計画）

3-1) 目的

実験条件（特にプラズマ電流方向反転）により発生するX線量のトロイダル方向分布は変化するため、同一性能の検出器をトロイダル方向に4ヶ所配置することにより、各種実験条件に対応できるように機能向上を計る。

3-2) 機器の構成

機器の構成は、基本的に使用中のX線モニターシステムと同じ構成で4チャンネル（増設にて最大8チャンネル）から成る（図-3参照）。検出器は、使用中のX線モニターシステムと同型の800cc電離箱型検出器を用いている。検出器の位置は、JFT-2Mの周囲に等間隔で設置する。プリアンプは、パルス信号を光通信で線量計本体に送る。線量計本体は、各チャンネル毎に独立したユニットタイプで、故障時でも故障系統以外は測定可能である。また、チャンネルが最大8チャンネルになるため、測定データが1チャンネル時に比べて大容量になる。よって、一度にパソコンに送信せず一時的に線量計本体のメモリーに保存してから送信する方式を採用し、パソコン側の負荷を少なくしている。インターロック用設定線量の設定は、各ユニット毎に設定できる仕様になっている。パソコンデータは、8チャンネル対応のプログラムソフトにより放電毎のデータがリアルタイムで表示でき、データの解析も使用中のX線モニターシステムより高度化された。また、各検出器の設置位置表示ができ、この位置データも測定データと同じファイルに保存され、検出器位置と線量が対応するようにデータ管理ができる。

測定開始のスタート信号は、放電10秒前信号と従来から使用しているJFT-2M放電スタート信号の2つの信号を用いることで、加熱装置等からのノイズによりX線モニターシステムの誤動作を防止する設計にした。さらに、追加機能としては、線量計本体と同じ表示をする補助線量計をプラズマ制御室に設置し、実験運転責任者及び実験オペレータがX線量の確認をできるようにした。

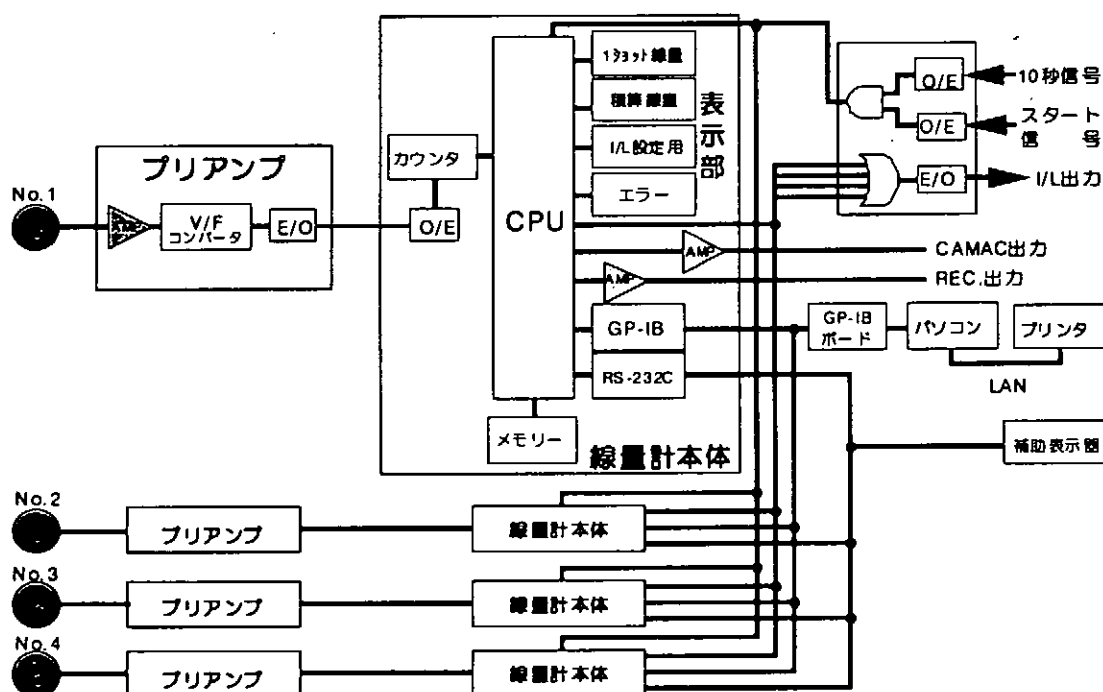


図-3. 多チャンネルX線モニターシステムの系統

3-3) 多チャンネルX線モニターシステムのインターロック機能

JFT-2Mの実験条件により発生するX線量のトロイダル方向分布は変化する。また、遮蔽体の遮蔽効果のバラツキがある。よって、許容線量を厳守するためには測定位置毎にインターロックの設定値を設定しなければならない。そのため、線量計本体のユニット毎に設定できる仕様とした。各線量計本体から出てくるインターロック信号をOR回路で処理し、プラズマ制御用計算機に送信する。このことにより、検出器毎に任意の設定線量が設定でき、実験条件に応じた制御が可能である。

4. まとめ

(1) JFT-2MトカマクのX線管理

プラズマ放電（6分周期、約1秒間持続）時に発生するX線被爆を最少限に抑えるため、管理区域を設定して、その境界では許容線量（ $20\mu\text{Sv/週}$ ）以下にする。

- ① 周辺モニター：管理区域境界における毎週のX線量をガラス管線量計、TLDを用いてモニターし監視している。
- ② 運転管理：X線が発生するJFT-2Mの運転中は、管理区域内への立入りができないようにドアインターロックを運転シーケンスに組み込むと同時に出入り管理を実施している。
- ③ X線発生量のモニターと記録：X線発生源に近い位置で各放電毎のX線発生量とその時間変化をモニター及び記録している。発生量が多い場合は運転条件の変更を行う。

(2) X線モニターシステムの有するインターロック機能

1放電中に多量のX線が発生する場合もあるため、この防護策として、放電中に設定線量を超えた場合には、インターロック信号によりプラズマ放電を強制的に停止する機能を付加している。

(3) 多チャンネルX線モニターシステムの制作（H10年1月JFT-2Mに据付予定）

トカマクから発生するX線量の空間分布は、放電条件に依存するため、1ヶ所でのモニターでは不十分である。特に、プラズマ電流の方向反転等の条件変更にも対応できるように、検出器を複数にした多チャンネルX線モニターシステムを準備中である。

電動発電機中性点接地抵抗器の過熱対策

日本原子力研究所 那珂研究所 大森俊造 福田弘幸 薄井勝富

1. 概要

JT-60加熱用発電設備は、フライホイール電動発電機によりプラズマの追加熱装置である中性粒子入射装置(NBI)、高周波加熱装置(RF)等へ特別高圧(交流18kV)電力を供給する設備である。負荷側では開閉サージ対策として対大地間に $5.6\mu\text{F}$ /相のサージ吸収用コンデンサを設置しており、浮遊容量を含めた対地静電容量は $6.21\mu\text{F}$ /相に達する。一方、発電機の相電圧には、無負荷時約950Vの第3高調波が含まれているため、中性点接地抵抗器(NGR)には定常的には7.8Aに第3高調波電流が流れる。このため、NGR(104Ω)の温度上昇は 120°C に達し、機器保全の観点から無視出来ない状態である。本報告はこれらの現象、問題点及び対策に関するものである。

2. JT-60加熱用発電設備の送電系統及び対地静電容量

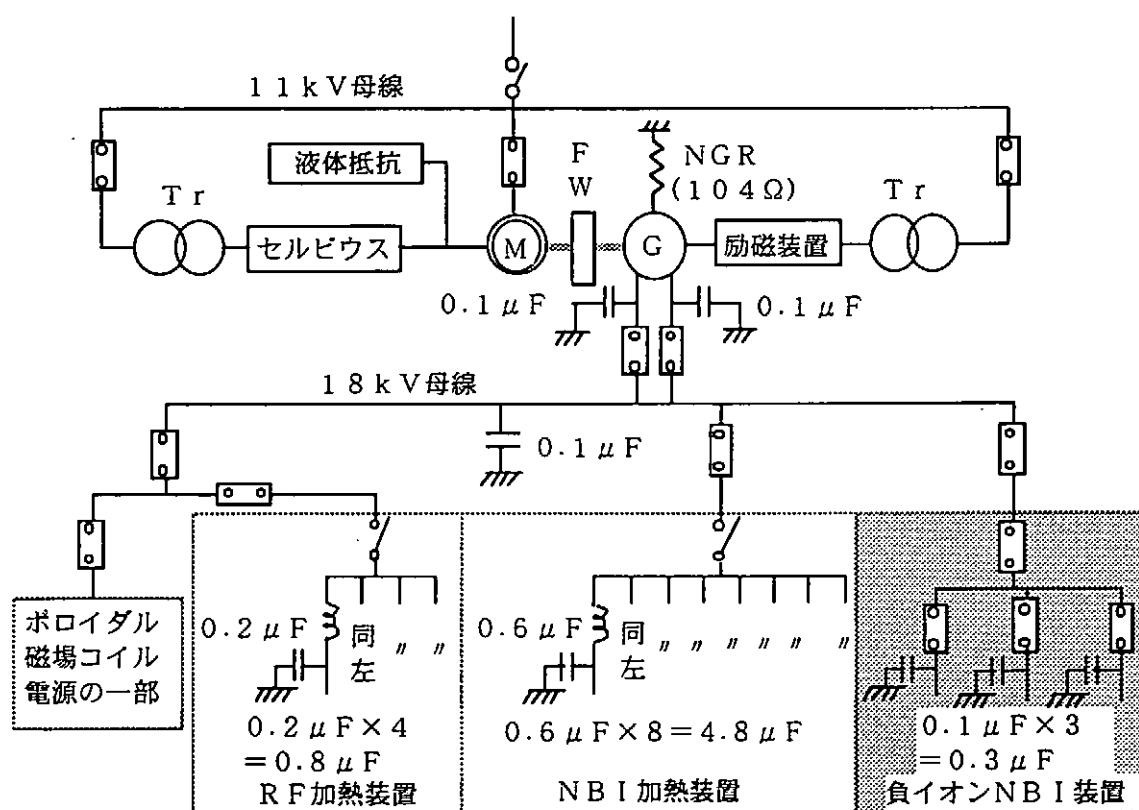


図1 加熱用発電設備及び送電系統

図1にJT-60加熱用発電設備の送電系統及び対大地間に接続されたサージ吸収用コンデンサを示す。電動発電機(MG)の定格(反復定格)は、出力400MVA、電圧18kV、利用回転数582~407rpm、周波数77.6~54.2Hz、最大利用エネルギー2650MJである。この系統のTOTAL対地静電容量は、サージ吸収用コンデンサの他にケーブル、発電機等の浮遊容量を含めると $6.21\mu\text{F}$ /相(負イオンNBI装置増設前)に達する。このように負荷側で多くのサージ吸収用コンデンサを設置している理由は、この発電機の短絡電流が大きいため限流リアクトルを設置しており、そのため開閉時の限流リアクトルによるサージが大きいためである。

3. 無負荷充電時の発電機中性点接地抵抗器（NGR）電流

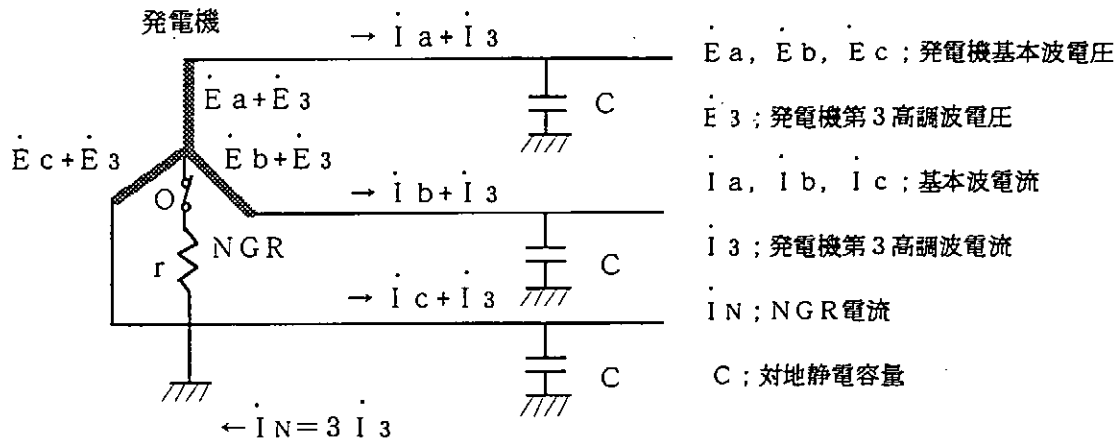


図2に示すモデルを考えて以下の仮定をする。発電機各相において発生電圧、電流の基本波は対称3相交流であり、第3高調波は同相、同値であるものとする。また第3高調波に対する発電機のインピーダンスは無視できるものとする。

以上により図2の回路は対称3相交流と第3高調波の重ね合わせと考えられる。発電機中性点に流れる電流は対称3相交流については0〔A〕であり、第3高調波のみ流れる。つまり、(1)式で表わせる。

$$|\dot{I}_N| = 3|\dot{I}_3| = |\dot{E}_3| / \sqrt{r^2 + (1/3\omega_3 C)^2} \dots\dots (1)$$

4. 第3高調波電流によるNGR温度上昇に伴う問題点

加熱用電動発電機のNGRの定格は100A15秒、連続使用許容温度は300℃である。発電機無負荷充電時のNGR電流は、定常的に7.8A流れており、NGR温度は146℃である。このため以下の問題が発生している。

- (1) 同じ盤内にある変流器、ケーブル類の温度が上昇する。
- (2) NGR温度上昇に伴い抵抗値が増大し地絡検出感度が低下する。
抵抗温度係数は0.0007（20℃）であるから
146℃の時の抵抗値は104Ω（20℃）→113Ω（146℃）と増大する。
- (3) 発電機地絡検出リレーが誤動作する。
発電機にパルス負荷がかかった時、NGR電流は最大で14Aとなり、地絡検出リレーが誤動作する。（このリレーはアンド回路で使用しているため発電機はトリップに至らない）

5. 抜本対策方法

NGR電流を低減させることである。

$$(1) \text{式から } |\dot{I}_N| = 3|\dot{I}_3| = |\dot{E}_3| / \sqrt{r^2 + (1/3\omega_3 C)^2}$$

であるから対地静電容量Cを小さくすればNGR電流が低減されることがわかる。このため負荷側のサージ吸収コンデンサを接地型から線間コンデンサあるいは非線型アレスタに改造または変更し、対地静電容量を小さくする。これによりNGR第3高調波電流が低減され、温度が下がる。

6. 負荷側サージアブソーバの改造

対策としてNBI加熱装置の接地型サージ吸収コンデンサ（ $0.6\mu\text{F}/\text{相} \times 8 = 4.8\mu\text{F}$ ／相 3相分で24箇所）の改造を実施した。図3に負荷側サージアブソーバ改造概略図を示す。改造は既設のサージ吸収コンデンサ（接地型）をそのまま使用した。なおサージ吸収コンデンサはケース接地型なので碍子により大地から絶縁した。

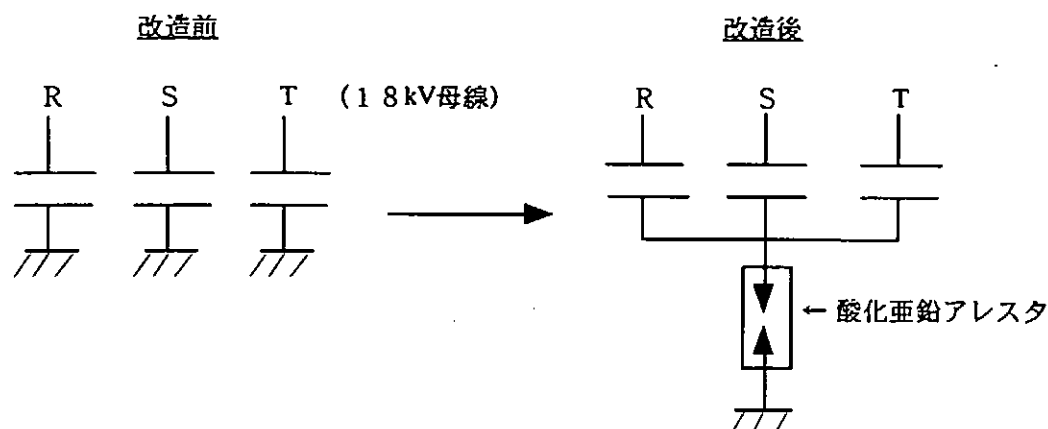


図3 負荷側サージアブソーバ改造概略

また幾何学的に周囲との絶縁距離が十分に確保できないため定格3.45 kVの小さな碍子を使用せざるを得なかった。この系統で1線完全地絡が発生した場合には、コンデンサの中性点電位が上昇して碍子の絶縁がもたない。したがって碍子との絶縁協調がとれるような酸化亜鉛アレスタを使用した。

7. サージアブソーバ改造前及び改造後の第3高調波電流、電圧測定結果

(1) 第3高調波の測定

第3高調波電流はNGRラインのCT 2次側に電流計及び 1Ω 標準抵抗を接続して、電流計の読み及び標準抵抗の電圧をスペクトロアナライザにより測定した。また第3高調波電圧については18 kV GPT（接地型電圧変成器）の2次側電圧（対地間電圧）をスペクトロアナライザにより含有率を測定して求めた。（測定回路図については省略）

(2) 測定結果

①サージアブソーバ改造前

改造前の電流、電圧測定例を示す。図4にRF加熱装置へ無負荷充電したときのNGR電流（実効値3.8 A）の波形を示す。NGR電流の周波数は175 Hz（59 Hzの3倍）であり第9高調波も8%程度含まれているため波形が歪んでいる。図5に全ての負荷へ（ただし負イオンNBIは除く）無負荷充電した時の18 kV母線対地間電圧（周波数59 Hz）の波形を示す。第3高調波含有率は3.35%（ $18000/\sqrt{3} \times 0.0335 = 350\text{V}$ ）である。この電圧は対地静電容量に含まれる第3高調波電圧に等しい。表1にサージアブソーバ改造前の無負荷充電時の第3高調波電流、電圧測定結果を示す。この時点では負イオンNBI装置は据え付け工事中であり、表1には含まれていない。また対地間第3高調波電圧 V_3 の測定値はスペクトロアナライザにより含有率を測定し電圧実効値に換算したものである。計算値はNGR電流測定値と対地静電容量から求めた。なお、無負時充電時の発電機の第3高調波発生電圧 E_3 は次式により求めた。

$$|E_3| = \sqrt{(I_N \cdot r)^2 + V_3^2} \quad \text{平均で} 955\text{V (含有率} 9.19\%) \text{である。}$$

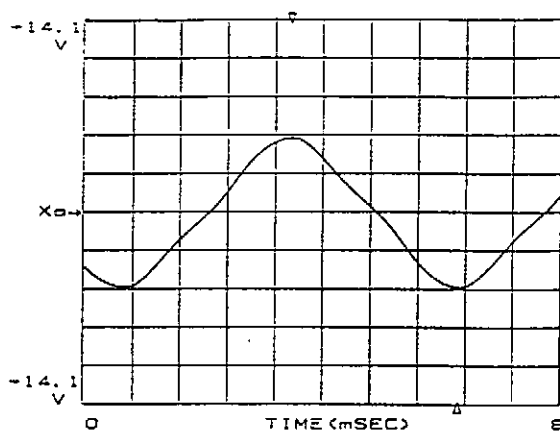


図4 NGR電流波形

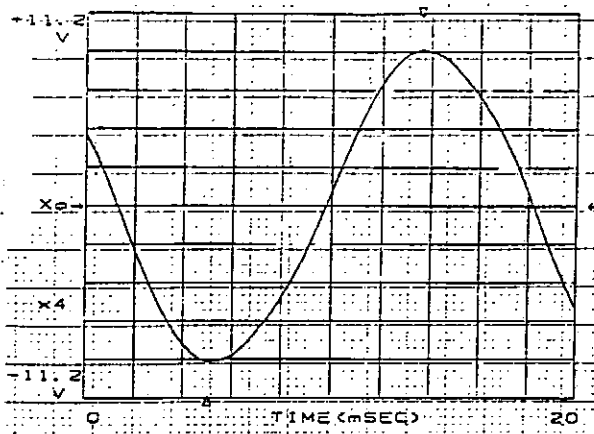


図5 18 kV母線対地間電圧波形

表1 無負荷充電時 第3高調波電流
電圧測定結果

発電機運転条件 18 kV 周波数 59 Hz

| 送電 負荷 | 対地静電 容量 C μF/相 | NGR 電流 I _N [A] 測定値 | 対地間第3 高調波電圧 V ₃ [V] | | 発電機第3 高調波電圧 E ₃ [V] (%) |
|----------|-------------------------|--|--------------------------------------|-----|---|
| | | | 計算値 | 測定値 | |
| NBI | 6.21 | 7.8 | 377 | 367 | 940 (9.04) |
| RF | 1.34 | 3.8 | 850 | 874 | 959 (9.22) |
| 無 | 0.47 | 1.45 | 925 | 956 | 968 (9.31) |

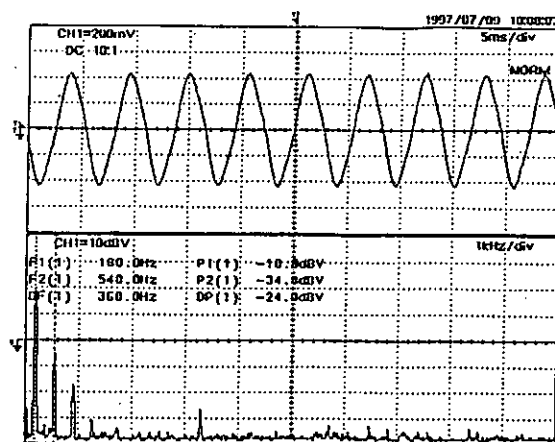


図6 サージアブソーバ改造後のNGR電流波形

② サージアブソーバ改造後

改造後にNGR電流測定及びNGR温度測定をした。図6にRF、NBI加熱装置、ポロイダル磁場コイル電源の一部及び負イオンNBI装置へ無負荷充電した時のNGR電流波形及びスペクトロアナライザのデータを示す。NGR電流は6 A（実効値）まで減少している。またNGR温度も146℃から75℃まで減少している。

まとめ

加熱用電動発電機の中性点接地抵抗器（NGR）には発電機の第3高調波電圧（955 V）により、サージ吸収コンデンサを通して定常的に7.8 Aの第3高調波電流が流れる。そのためNGR温度は146℃（温度上昇にして120℃）に達する。そのためNGRの抵抗値の増加による地絡検出感度の低下、周囲の変流器の温度上昇及び地絡継電器の一部動作等の問題が発生した。対地静電容量を減らすために負荷側のサージアブソーバ（ケース接地タイプ）を母子により対大地間から絶縁し酸化亜鉛アレスタをコンデンサ中性点に接続して接地した。サージアブソーバの改造により4.8 μF/相の対地静電容量を減少させた。その結果定常的にNGRに流れる電流は7.8 Aから6 Aまで減少した。また、NGR温度は146℃から75℃まで下がった。温度上昇にすると120℃から48℃まで減少した。また改造前は発電機パルス負荷時のNGR電流はピーク時で14 A流れていたのが、改造後10.8 Aまで減少し地絡検出継電器の誤動作もなくなった。

電子サイクロトロン電流駆動システムの構築

京大エネルギー理工学研究所附属エネルギー複合機構研究センター

○坂本欣三 長崎百伸 小林策治

森岡 寛 真鍋義人 大引得弘

1. はじめに

当研究センターではヘリオトロンE装置によるプラズマ実験を行なっている。プラズマの生成、加熱にはジャイロトロンというマイクロ波発振管を使用している。ジャイロトロンの発振周波数は106GHzで最大500kw、200msの出力がある。発振したマイクロ波は、マッチング光学ユニット、直線コルゲート導波管（内径63.5mm）、マイターバンド（4個）、フォーカスシステムで構成された伝送系をへてトーラス外側より磁力線に垂直な方向より入射している。今回、ヘリオトロンE装置における電子サイクロトロン波を用いた電流駆動実験を行なうために伝送系の改良を行なったので報告する。

2. 電子サイクロトロン電流駆動の目的

ヘリオトロンE装置ではプラズマを閉じ込める磁気面を外部コイルにより形成している。トカマク型装置のようにポロイダル磁場を生成するためのプラズマ電流は本来必要ではない。

しかし、ヘリカル系においても以下の観点から外部から電流を駆動する必要性が生じてくる。プラズマ圧力によって駆動されるブートストラップ電流などによって回転変換分布を変えられ、プラズマの閉じ込めに影響を与える恐れがある。このプラズマが自発的に流す電流をキャンセルする必要がある。

駆動電流をある局所的な場所に流すことによって回転変換分布を制御し閉じ込めへの影響を調べることが出来る。

トカマク型装置では電子サイクロトロン電流駆動実験が行われてきたが、オーミック電流が流れているため、どの程度電流が駆動できたか分かりづかった。

ヘリオトロンE装置ではプラズマ電流が無いいため駆動電流を正確に測れる可能性がある。

3. 電流駆動システム

電流駆動を行うためには楕円偏波したマイクロ波を斜め方向から入射しなければならない。そのために以下のシステムを製作した。

駆動ミラーシステム…フォーカスシステムで集光したビームをミラーを用いて斜め入射させる。入射角依存性を調べ、駆動効率最適化のために入射角を変えられる駆動ミラーシステムとした。ミラーの入射角は再現性を確保するために直線導入機で設定する構造とした。

偏波器…プラズマへのマイクロ波の吸収を最大とするために偏波面を制御する。電流駆動に最適な偏波面が得られるように格子の形を決めた。

真空容器…アーク防止のために真空引き可能な伝送系への改良を同時に行った。直線コルゲート導波管及びマイターバンドは真空引き可能な構造となっている。よって、マッチング光学ユニット、フォーカスシステム用の真空容器を製作した。

4. 動作試験

ジャイロトロン出力の伝送、ミラー動作テストを行った。感熱紙を貼ったベーク板をプラズマを想定した距離に置き、マイクロ波を当てることにより感熱紙を焼きつけ、駆動ミラーによりマイクロ波の入射角が変えられることを焼けパターンにより確認した。(下図参照)

5. まとめ

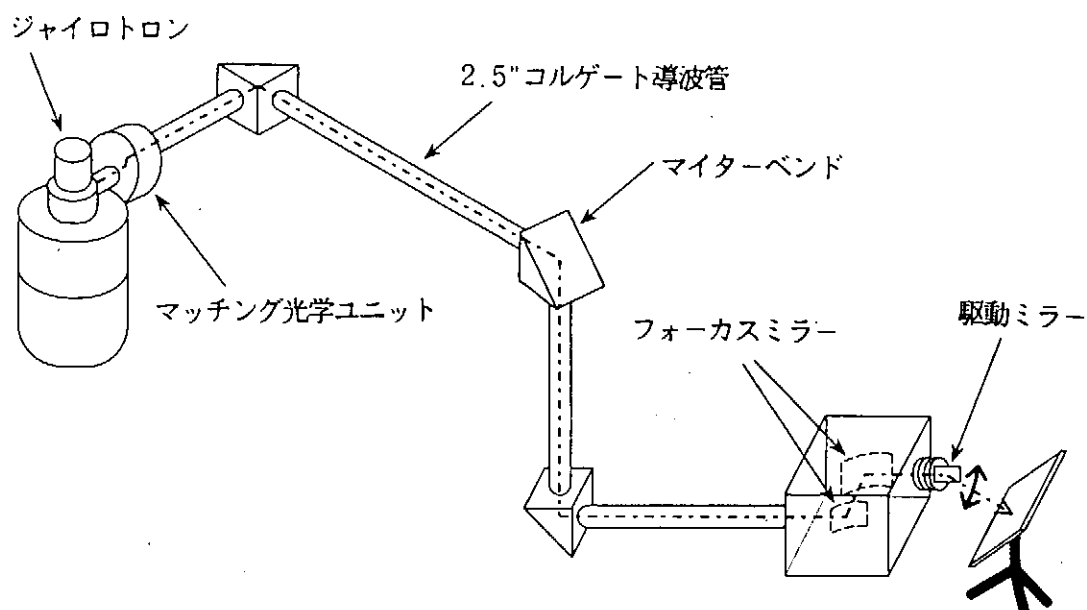
ヘリオトロンE装置における電子サイクロトロン電流駆動システムを構築した。

伝送系は真空引き可能な構造とし0.04Paの真空を得た。

ホットテストにて焼けパターン測定を行い伝送系とミラーシステムの動作確認を行った。

6. 今後の予定

10月よりプラズマ入射実験を行う予定である。



ビームパターン測定図

次期太陽観測衛星用光学ガラスの 放射線耐性試験

西野洋平、岡田則夫、木挽俊彦（国立天文台）

はじめに

ガラスに紫外線、放射線を当てると黒化する（可視域での透過率が減少する）ことが知られている。これは、ガラスの分子配列の欠陥部に、放射線照射で生じた電離電子、正孔が捕獲され、光を吸収するためである。このため、放射線の豊富な宇宙環境に置かれるレンズ、フィルターなどの透過光学系は、放射線に耐性のある材質を用いる、或いは十分なシールドを施す必要がある。

太陽観測衛星「ひのとり」、「ようこう」に次ぐ日本の太陽観測衛星「Solar-B」は光学望遠鏡を搭載予定で、しかも放射線環境の悪い極軌道（太陽同期）への打ち上げが計画されている。Solar-B光学望遠鏡の焦点面観測装置にはレンズ、フィルターなど透過ガラス材を用いる必要があるため、候補となるガラス材の放射線耐性を十分調べておく必要がある。また、Solar-Bでは390-660nmの範囲での観測を目指しているため、今回候補となるガラス材に対し実際に γ 線を照射し、その前後で透過率を測定し γ 線照射量依存性の測定を行なった。同時に、焦点面観測装置で使用が予定されているリオ・フィルターの重要な要素である方解石に対しても同様の試験を行ったので、結果を報告する。

ガラス材の選定と試験内容

Solar-B光学望遠鏡では、太陽光球、彩層の物理診断を行なうため、波長390-660nmの範囲に含まれるスペクトル線、連続光での観測を目指している。このため、ガラス材の選定にあたっては、

①紫外域での透過率が良いもの。特に、放射線耐性に条件の良いと考えられる鉛不純物の少ないもの。②色消しの条件を満足しやすいもの。という条件を課した。

なお、色消しの条件を満足させるために、ガラス材としては最低2種類（できるだけ、屈折率、分散の離れたもの）必要である。このため、まず異常分散ガラスであるオハラ S-FPL53（ホタル石に近い）を選び、他のガラスはこれと組み合わせて色消し条件を満足しやすいという観点から選んだ。1つの候補としては、以前より放射線耐性が知られている、合成石英がある。

上記の条件をもとに選定した被照射ガラス材を表1に、またガラス材の部分分散比を図1に示す。ガラス材の厚さは全て厚さ5mmの平行平面基板である。ガラス透過率の測定は、 γ 線照射前と後（2日以内）に天文台・開発実験センターの分光光度計(UV-3100PC)にて300nm-1100nmの範囲を測定した。波長分解能は1nmとした。

γ 線照射は、東大原子力センター大学開放研究室のコバルト60 γ 線照射施設にて、現在の

Solar-B のトータルドーズの予測値、約1.13 krad/年（富士通提供、3mm アルミシールドを想定、アルミシールドがない場合は2桁以上増加する）を元に、表2に示すトータルドーズを当てた。実験に当たり、あらかじめアルミでガラス材載物治具を作製し、70個の資料を能率良く照射できるように工夫した。

放射線照射前後の各ガラスにおける透過率をグラフ0から13に示す。また照射後のガラス材の黒化の様子を写真1に示す。

表1： 放射線テスト用ガラス材。いずれも厚さ5mmの平行平面版である。
(識別番号0より12はφ20mm、13は約20mm角)

| 識別No | 光学ガラス名 |
|------|---|
| 0 | 合成石英 SiO ₂ (VS grade, 低 OH radical: "ED-C" 日本石英) |
| 1 | 合成石英 SiO ₂ (UV grade, 高 OH radical; "ESL2" 日本石英) |
| 2 | S-BSL7 (オハラ製、以下同じ) |
| 3 | S-BAL12 |
| 4 | S-BAL41 |
| 5 | S-BSM14 |
| 6 | S-PHM53 |
| 7 | S-FPL53 |
| 8 | S-PHM52 |
| 9 | S-LAL14 |
| 10 | S-LAL7 |
| 11 | S-LAL18 |
| 12 | ホタル石CaF ₂ (UV grade) |
| 13 | 方解石Calcite (中国原産) |

表2：照射条件

Co 60 γ 線 (エネルギー1.2、1.3MeV) による照射。

| トータルドーズ (Krad) | 照射時間 (分) | 備考 |
|-------------------|-------------|-----------------|
| 0 | — | (照射なし) |
| 2 | 30 | |
| 4 | 60 | |
| 20 | 60 | |
| 40 | 60 | |
| 1000 | 160 | (極軌道／5年間／遮へい無し) |

まとめ

光学ガラス材へのコバルト60 γ 線照射（トータルドーズ：2、4、20、40、1000Krad）の結

果、特に可視域での透過率の変化に対し、以下の結果を得た。

○ 合成石英の放射線耐性が確認された。1000Kradの照射に対しても全く黒化が起きなかった。また、今回二つのグレード（UV、VS仕様）について試験したが大差はなかった。

○ 今回試験した合成石英以外のガラス材は、いずれも放射線耐性がないことが判明した。中でも、異常分散ガラスであるS-FPL53及びホタル石は紫外域での放射線起源の吸収係数が他より大きい。

○ 方解石は、今回の試験対象では合成石英について、放射線に強いことがわかった。特に450nmより長波長では1000Kradまでの照射に対しては殆ど黒化が起きないことがわかった。

○ 照射前後の屈折率を、黒化の小さいものに対して測定したが、測定精度 $\pm 5 \times 10^{-5}$ を越える変化は認められなかった。

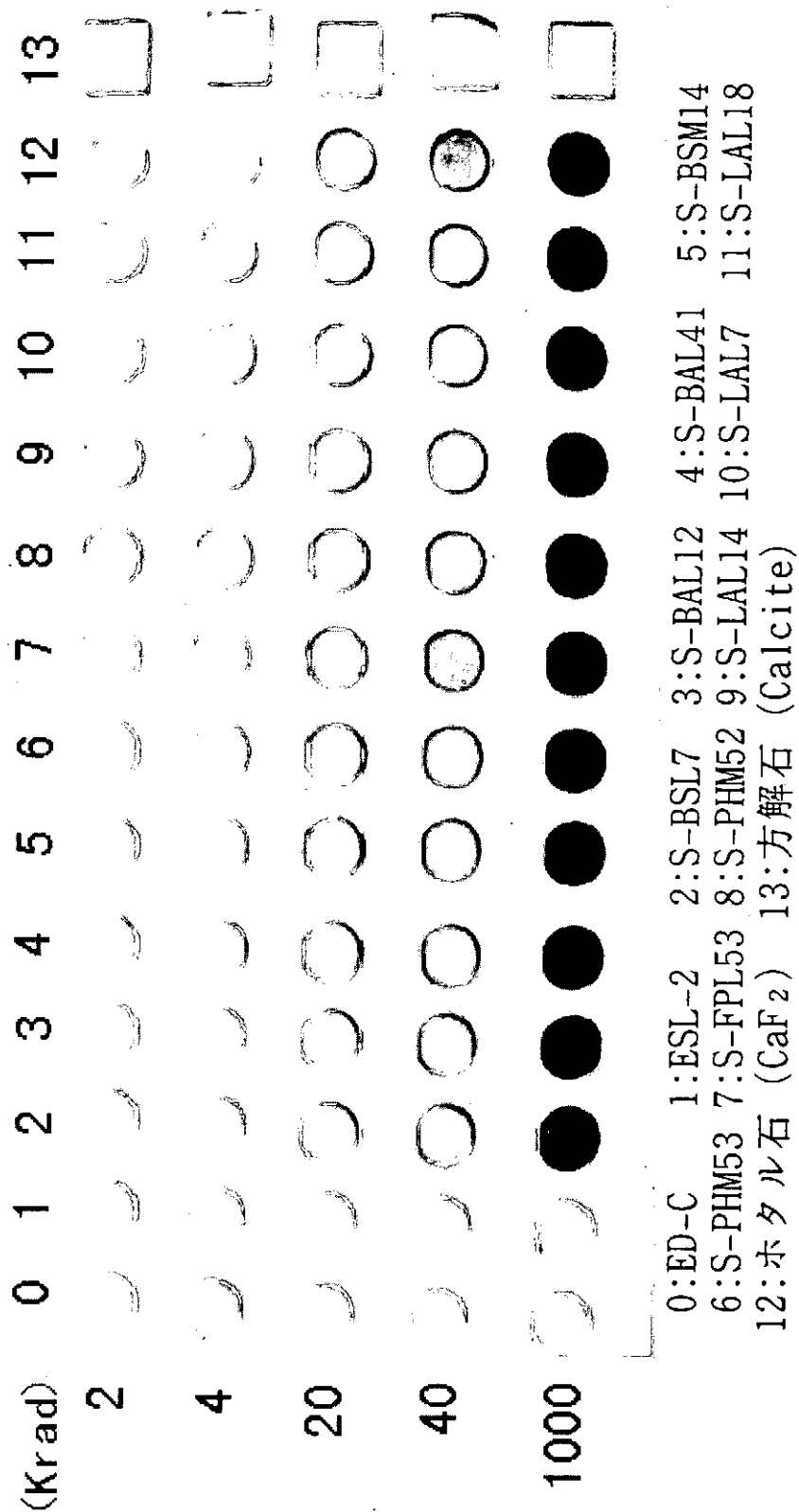
今回の試験結果では、色消しレンズの宇宙空間での長期使用には注意が必要なことが示された。但し、実際の宇宙環境と今回の実験の違いは、照射率が全く異なることで（1年分を数十分で照射）、ガラスの回復力を考慮していないことである。実際、黒化の程度は照射直後よりゆっくりではあるが徐々に薄まっていくことが認められた。放射線耐性のないULEを宇宙空間に5年間晒して、黒化が起きなかったという報告もある。また、宇宙空間では陽子、電子が支配的な放射線源であり、 γ 線照射との違いも今後調べていく必要がある。また、今回の実験でも1Krad程度までの照射に対してはいずれのガラス材でも黒化が非常に小さく、適当なシールドを施すことにより（例えば合成石英を外側に置く）、観測期間のトータルドーズがこの程度に押さえられれば色消しレンズとして使用可能かもしれない。

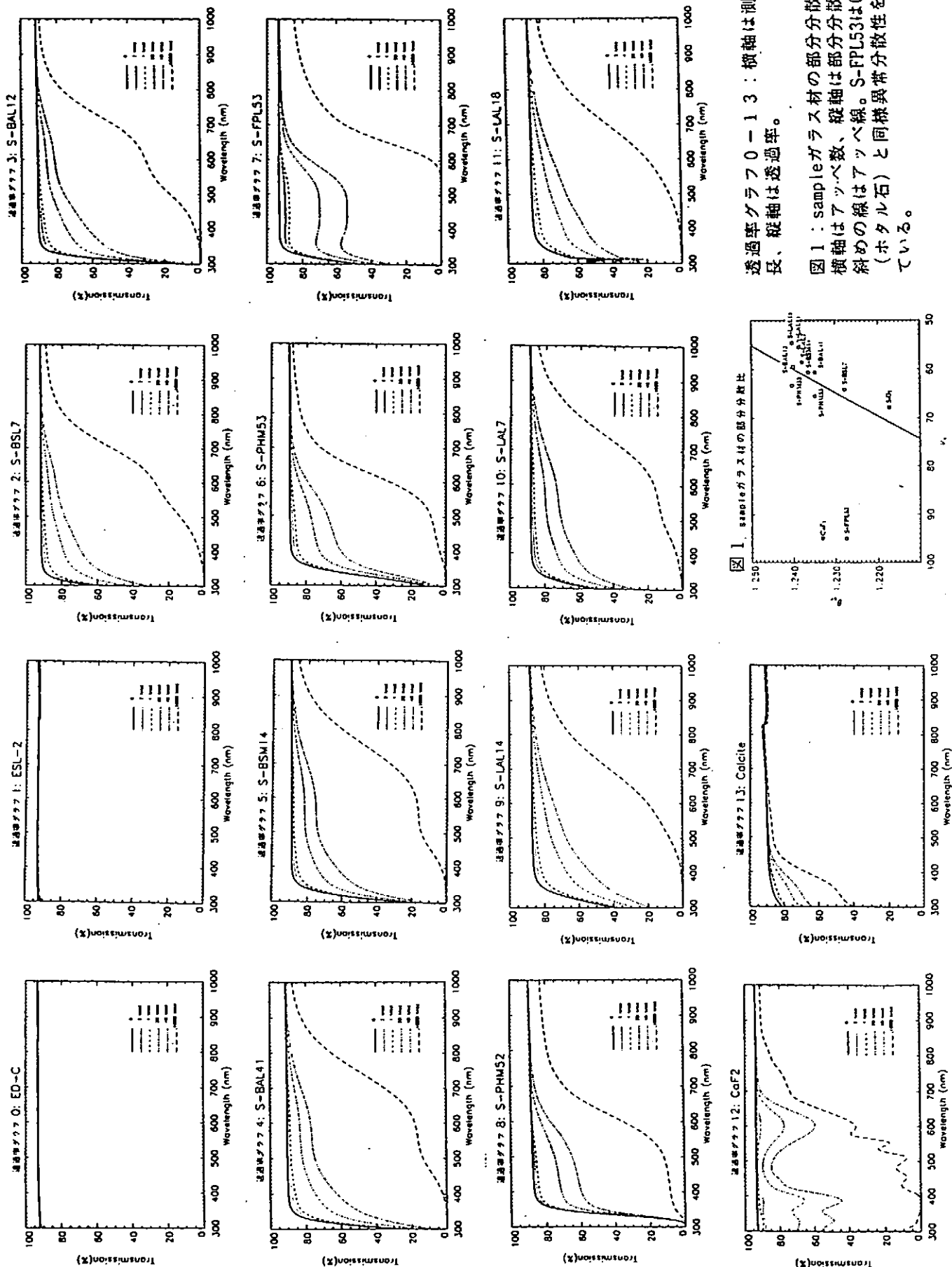
今後も、照射率、照射源の違い、シールドの効果などを中心に、光学ガラス材への照射実験を継続していく予定である。

謝辞

本実験を行うに当たり、東京大学原子力研究総合センター・大学開放研究室、伊藤泰男教授を始め研究室の方々から放射線照射に関する助言を、また実験協力頂いたことに感謝する。天文機器開発実験センターの高見英樹助手には測定機器の取り扱いを指導して頂いた。ガラス材載物治具作製に当たり、学習院大学理学部工作工場の宮城 博、下川 祐司両氏には大変お世話になったことを感謝する。（株）ジェネシア・武山芸英氏にはガラス材の選定、屈折率の測定でご協力頂いた。特に太陽物理学研究系の末松芳法助教授には本実験全般にわたりご指導、ご支援を頂いた。ここに深謝する。

コバルト60 γ 線による
光学ガラス材の耐放射線特性





透過率グラフ 0-13: 縦軸は測定波長、横軸は透過率。

図 1: sample ガラス材の部分分散比、横軸はアッベ数、縦軸は部分分散比、斜めの線はアッベ線。S-PPL53はCaF₂(ホタル石)と同様異常分散性を示している。

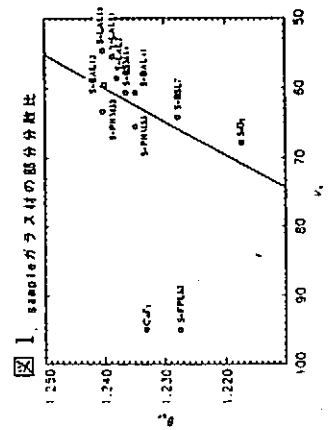


図 2

sample ガラス材の部分分散比

Ti:サファイヤレーザーと Nd: ガラスレーザー増幅器による

短パルス高強度レーザーの開発

阪大レーザー研 ○鈴木健治、澤井清信、羽原英明、森 道明、濱田和之、川崎鉄次、
児玉了佑、藤田尚徳、北川米喜、加藤義章

1. はじめに

大阪大学レーザー核融合研究センターでは、高強度レーザーとプラズマの相互作用における新しい現象の研究を行う事を目的とし、レーザー核融合の高速点火方式に関する研究やX線発生実験を行なうため既設のガラスレーザーシステム激光 MII 号(GMII)¹⁾を用い高強度レーザー装置の開発を行っている。

ガラスレーザーの特徴は、1パルス当りの出力の大きさ、高ピークパワーにある。モード同期ガラスレーザーでは、飽和フルーエンスが大きく（数 J/cm²）、高エネルギー増幅に適したレーザーである。しかし、レーザー媒質を伝搬する光パルスの強度が GW/cm²を超えるあたりから、非線形光学効果によってレーザー光の自己集束を生じ、光学素子の損傷やレーザー光の集光性能の低下を引き起こす。これは、媒質の屈折率は $n=n_0+n_2I$ とレーザー光の強度 I に依存するためである。伝搬に伴い自己集束は、

$$B = \frac{2\pi}{\lambda} n_2 \int_0^L I(z) dz$$

の波面の遅れを生じる。ここで、 $I(z)$ は伝搬方向 z 点でのレーザー光強度、 L は媒質長である。これによりレーザー光の強度の強い部分が、光電場によるレンズ効果により自己集束し、局所的に非常に強い強度となる。自己集束による強度の変調は $\exp(B)$ と指数関数的に成長するので、上記の B 係数を $B \sim 5$ 程度以下にする必要がある。

例えば、パルス幅が 1 ps の光パルスを飽和レベルで増幅すると、パワー密度は 1 TW/cm² となり、上記の限界値をゆうに超えてしまう。このような理由からガラスレーザーは長パルスレーザー光の増幅には非常に適したシステムであるが、短パルス光の増幅には余り適していない。

この問題に対し、パルス幅の長いレーザー光を増幅した後にパルス圧縮を行うチャープパルス増幅法²⁾ (CPA=Chirped Pulse Amplifier) が考案された。この CPA 法を用い GMII 発振器部を高帯域なスペクトル幅を持つ Ti:サファイヤレーザーに置き換えエネルギー 30 J ピークパワー 30 ~ 60 TW 照射強度 10^{18} W/cm² を目標として開発を行った。

本報告書では、Ti:サファイヤレーザーとガラス増幅器による短パルスレーザーシステムでの増幅特性について報告する。

2. ガラスレーザー激光 MII 号

レーザーシステムについて簡単に説明する。(図 1) 激光 XII 号のプロトタイプとして開発され、1980 年から稼働を開始している。

発振器は強制モード同期 Q スイッチ Nd:YAG レーザー発振器で発振波長は 1.052 μ m、パルス幅は 100 ps ~ 1 ns である。

増幅部は、前置増幅器列（X 列）及び主増幅器列（Y、Z 列）より成る。発振器から発せられるパルス列をパルス抽出器（SEL）により単一パルスを切り出した後、25mm φのロッド増幅器(RA25)で増幅する。3 台の(RA)は光シャッター（OSA）により光学的に隔離されているので寄生発振は生じない。スペシャルフィルター（SFA）でレーザービーム径を拡大し、また、開口ハードアパチャー(AA)まで像転送を行なっている。その後 AA によりガウスビームの中心部分のみを取り出す。AA を通過したレーザー光は SFB によりビーム径を拡大し、50mm φのロッド増幅器(RB) で3 段増幅を行なう。次いで SFC でビーム径を拡大され、100mm φのディスク増幅器(DA1,DA2)で増幅する。さらにレーザー光は、SFD、DB(150mm φ)、SFE、DC (200mm φ) と順次拡大、増幅され最終スペシャルフィルターSFF を出射して出力光として取り出され集光レンズによってチェンバー内に集光される。また、必要に応じて KDP 結晶によって2 倍あるいは3 倍高調波に変換される。ターゲットからの反射光あるいはビームの透過光による光学素子の破損を防ぐためにファラデー回転子 FRA (100mm φ)、FRB (150mm φ) を使用している。増幅後の最終的なビーム径は直径 180mm である。

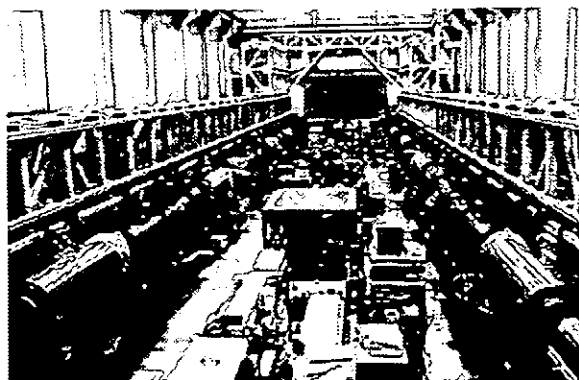


図 1：ガラスレーザー激光 MII 号

3. 短パルスレーザーシステム（図 3）

短パルス発生に関してはチャープパルスを発生する発振器部（フロントエンド）、そのパルスを増幅する増幅部（GMII）、増幅されたパルスを再び圧縮し短パルスを得る圧縮・照射部からなる。フロントエンド（図 2）ではアルゴンレーザー励起モードロック Ti:sapphire レーザー発振器（Tsunami）で 1053 nm、130 fs / 16 nm、300mw を発生し。そのパ

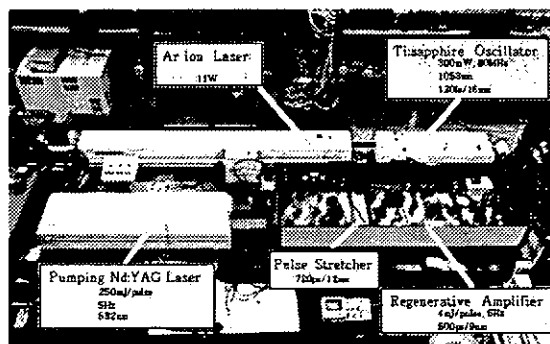


図 2：フロントエンド部

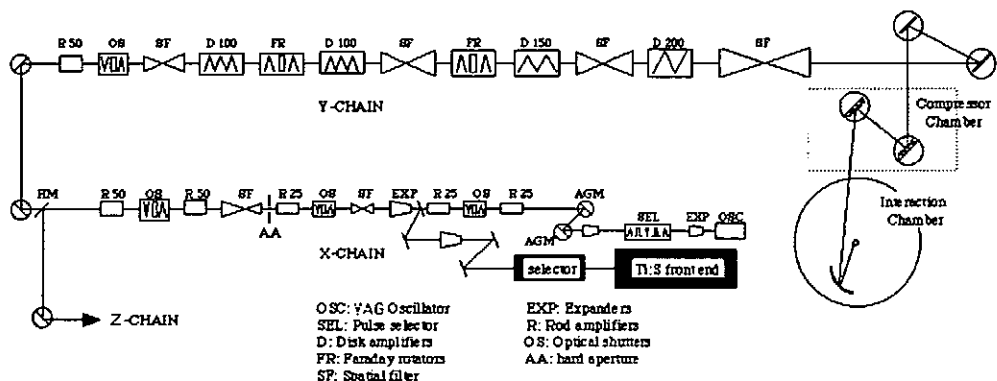


図 3：レーザーコンポーネント配置図

ルス列をグレーティングパルス伸長器（1200 本 / mm、4 パス・パルスストレッチャー）で 720 ps / 12 nm までストレッチし、Ti:sapphire 再生増幅器（Regen: 5 Hz 2 ω YAG 励起）で増幅し 4 mJ / 5 Hz、500 ps / 9 nm を得る。フロントエンドの出力は、激光 MII 号の X 列のスペシャルフィルター（SFA）より導入し、X 列、Y 列と増幅され、出口で口径 150 mm、30 J / 240 ps / 3.5 nm となる。増幅されたレーザー光は、2 枚のグレーティングで構成される圧縮器（コンプレッサー）（図 4）で圧縮され、20 J / 500 fs / 40 TW となる。集光部（図 5）で軸外し放物面鏡で集光し $10^{18} \sim 10^{19} \text{ W/cm}^2$ の強度を得る。

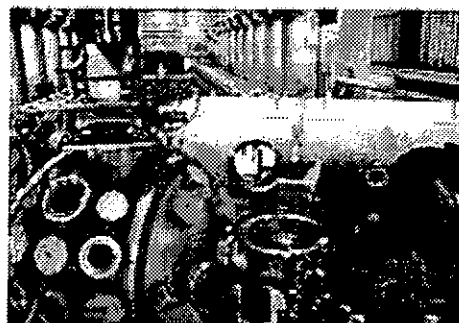


図 4：グレーティングチェンバー内部 図 5：集光チェンバーとグレーティングチェンバー

4. 増幅特性

4.1 パルス圧縮と集光に対する B 積分値の影響

レーザー光を増幅すると媒質の屈折率は非線形効果によりレーザー光の強度に依存する。激光 MII 号レーザーシステムで増幅を行った場合、パルス圧縮、集光に非線形屈折率による位相変化がどのように影響を与えるか評価した。

まず、パルス圧縮を行った場合 B 積分値をどの程度までに抑えなければならないか計算を行った。その計算結果を図 6 に示す。この計算ではグレーティングのアライメントは理想的なものとし、 $B = 0$ においてフーリエ限界まで圧縮できたと仮定して計算した。この結果から B 積分値を 2 以内に抑さえなければならない事が分かった。

次に、激光 MII 号レーザーシステムで増幅した場合の B 積分値と出力エネルギーの計算結果を図 7 に示す。レーザー出力 30 J においては B 積分値の値を 2 程度までに抑えることができる事が分かった。

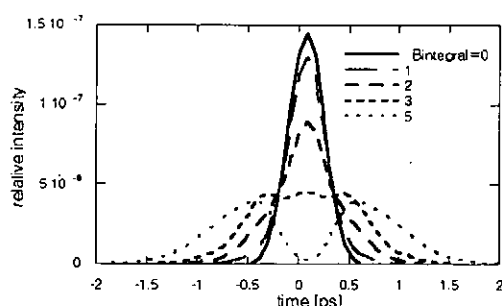


図 6：圧縮パルス波形に対する B 積分値の影響

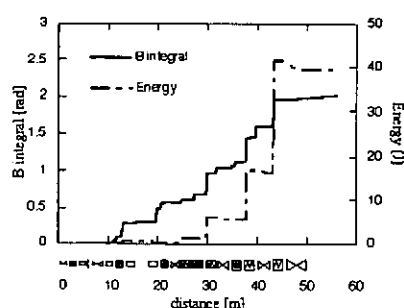


図 7：GMII での B 積分値と出力エネルギーの関係

4.2 増幅器中での利得狭帯化

有限のバンド幅を持ったレーザー増幅器はバンドパスフィルターとして働き、利得の狭帯化によってパルス幅及びバンド幅が短くなる現象が生じる。増幅過程で化と、圧縮後のパルス幅を計算値と実験値を図8に示す。図中の実線はスペクトルの利得狭帯化の計算値、破線はバンド幅極限で圧縮された光のパルス幅の計算値、プロットはそれぞれの計測値を表している。

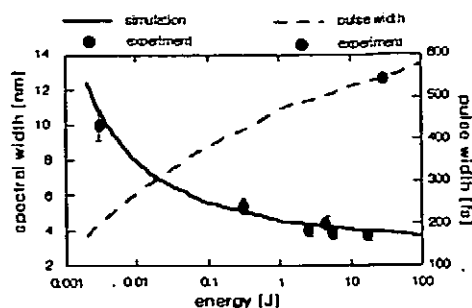


図8：増幅によるスペクトル波形とパルス幅

この結果から、スペクトル幅 3.7 nm パルス幅 550 fs 33 TW が得られた。また、計算値と実測値がよく一致していた。

4.3 スペクトル制御によるパルス整形

パルス幅をさらに短くするには増幅後のスペクトル幅を広く保ってやればよい。しかし、レーザー光の増幅率を上げていくと、スペクトルの狭帯化により逆効果となる。そこで我々は、中心波長部分の強度を減少させたスペクトルで利得狭帯化を抑える実験を行った。スペクトル制御はパルスストレッチャー内の空間分散を利用して、光路にフィルターを用いて行った。

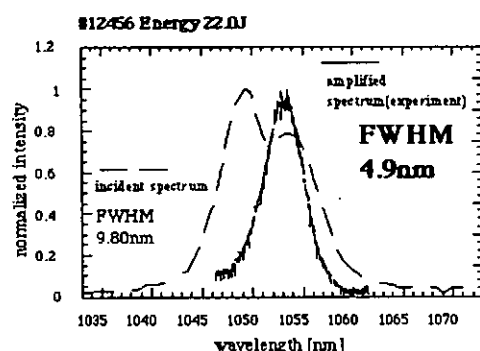


図9：スペクトル制御実験結果

その結果を図9に示す。図中の破線は入射スペクトル波形で幅は9.8 nm。実線は増幅後のスペクトル波形で幅は4.9 nmであった。この時のパルス幅は333 fs が得られた。このようにスペクトル制御を行いレーザー強度を上昇させることができ、レーザー出力 66 TW を原理的に実証した。

5. まとめ

Ti:サファイヤレーザーとガラスレーザーを組み合わせ高強度レーザーの開発を行った。B積分値の影響を評価し 30 J 程度のレーザー出力でパルス圧縮に影響を与えないことがわかった。また、スペクトルの利得狭帯化の影響を評価し、チャープパルスの増幅特性を測定した。これらによりパルス幅 550 fs 33 TW が得られた。さらにスペクトル制御を行なうことにより、圧縮されたパルスの時間波形を制御し、パルス幅 333 fs を得た。これによりレーザー出力 66 TW を原理的に実証した。

参考文献

- 1) Y.Kato, K.Yoshida, J.Kuroda and C.Yamanaka, Appl. Phys. Lett., 38, p.72(1981)
- 2) D.Strickland and G.Mourou, Opt.Comm., 56, p.219(1985)

1. はじめに

トロイダル磁場コイル（以下、TFC）は、超高温プラズマを真空容器内に閉じ込める磁場の形成を担う、JT-60 の主要機器である。

この TFC は通電時にジュール発熱するため、導体内部に埋め込んだ冷却管への通水により除熱する構造となっているが、最近この冷却管の一部にクラックが発生し、水の浸み出しが起きている。また JT-60 は実験開始から 13 年目に入り、その間の放電実験に伴う繰り返し電磁力により、TFC 自体は極めて厳しい負荷を受けている。さらにコイルの層間に使用されている絶縁材料の性能劣化の進行も考えられる。このような状況において、絶縁劣化による TFC の層間短絡が懸念されている。

TFC の短絡事象に対して JT-60 の安全を確保するためには、逸早くその現象を把握し、TFC への通電を速やかに停止しなければならない。このためには、異常事象に起因する TFC の電流変化を検出することが必要となる。TFC には 50kA を超えるインパルス電流が投入されるので、ログスキーコイル（RKC）を用いた電流モニタシステムの設置を計画している。

これまで 3 種類のログスキーコイルを試作し、その特性試験および実装試験を実施してきた。これらの試験結果により、ログスキーコイルが JT-60 の TFC 電流モニタとして実機環境の下で適用し得ることを確認した。本報告では、試作したログスキーコイルの特性結果と今後の実機システムへの適用について述べる。

2. トロイダル磁場コイル(TFC)の概要と検出器の選定

2. 1 トロイダル磁場コイル(TFC)の概要

TFC は、トカマク型核融合装置において、トロイダル方向の強磁場を発生させ、プラズマを真空容器内に安定に保持するものである。TFC は図 1 に示す単位コイル 18 機から構成される。単位コイル当たりのターン数は 72 ターンである。単位コイル内の構造は、A パンケーキと B パンケーキの 2 ブロックに分かれており、各パンケーキのターン数は 36 ターンである。

2. 2 トロイダル磁場コイルの層間短絡検出器

単位コイル毎の電流変化から層間短絡を検出する手法を用いることから、検出器として TFC 用ログスキーコイルを採用した。ログスキーコイルの利点は、
①検出される物理量は、TFC の電流値であり、基本的に他の磁束を拾わない。
②取付位置・方向に依存せず安定した起電力を得ることが出来ることである。欠

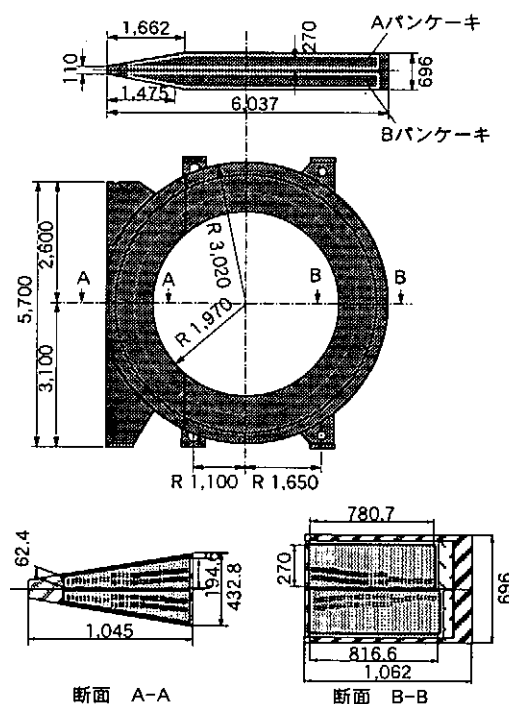


図1 トロイダル磁場コイル構造図

点は、層間短絡時の起電力の変化量は 72 分の 1(1.4%)と小さいため、高い計測精度が必要なことである。

3. ロゴスキーコイルの試作・性能試験

3. 1 出力の検討

試作試験に先だって、TFC の電流変化速度に対するロゴスキーコイルの出力がどの程度になるか評価した。ロゴスキーコイルの出力は、次式より求めた。

$$\text{起電力 } V = N \{ \mu_0 a^2 / (2r) \} di/dt$$

ロゴスキーコイルの形状については、TFC への取付け時の制約を考慮し、長さ約 3900mm、外形を 20mm 以下とする。この条件を基に試作に使用するコイル線の直径を 1.3 mm とするとロゴスキーコイルのターン数は 3000 となる。

これに加えて、下記の条件で評価を行った。

| | |
|-----------------|------------------------------------|
| ロゴスキーコイルの小半径 | $a = 4.5 \times 10^{-3} \text{ m}$ |
| TFC の電流変化速度 | $di / dt = 120 \text{ kA/s}$ |
| 電流－ロゴスキーコイル間の距離 | $r = 0.50 \text{ m}$ |
| ロゴスキーコイルのターン数 | $N = 3000$ |

結果として、総起電力は、

$$\text{起電力 } V = 9.2 \times 10^{-3} \text{ V}$$

となる。

3. 2 試作品の製作

3 種類のロゴスキーコイル（以下、RKC1、RKC2、RKC3 という）を製作した。各々の製作目的は以下の通りである。

RKC1： 出力の予備的検討で得た結果と実際の出力との比較を行う。

RKC2： 電流変化速度に対する出力を増加させ、S/N の向上をめざす。

RKC3： 実際に TFC への設置を想定し、機械強度等を向上させる。

各 RKC の構造を図 2 へ示す。

3. 3 出力特性試験

TFC を模擬したコイルを用いて電流変化速度に対応する出力の評価を行った。

3. 3. 1 試験方法

出力特性試験装置および RKC の取付状態を図 3 に示す。模擬コイルを TFC と同等な大きさとするため 3m×3m の正方形とする。計算の便を

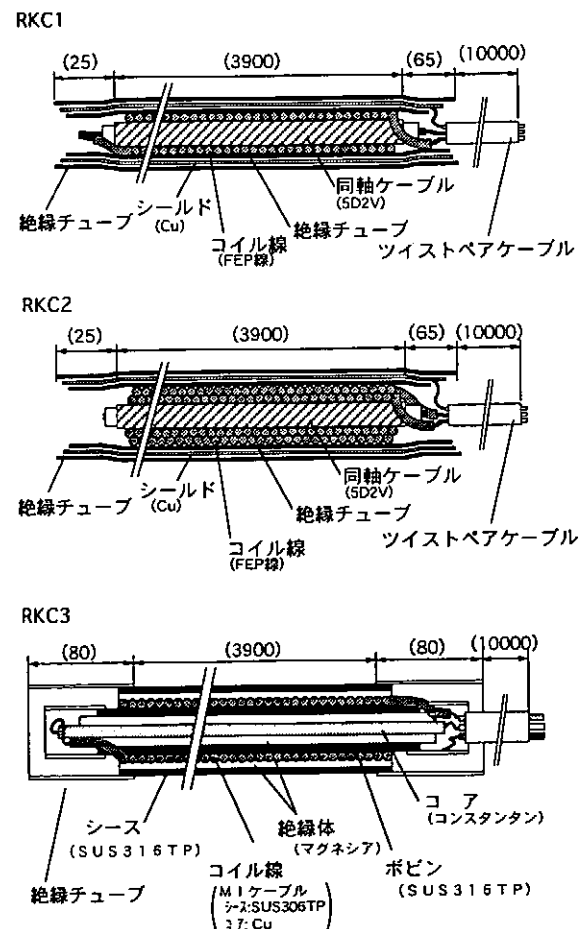


図 2 RKCの構造

考えて、コイルの巻き数を 50 ターンとする。TFC の電流変化速度は 52 kA の通電で 125kA T/s であることから、測定範囲を 150kA T/s までの電流変化速度とする。電流速度を精度良く求めるため、コイルの電流波形を正弦波とする。周波数発生器の出力を直流電流増幅器により増幅して模擬コイルに通電する。

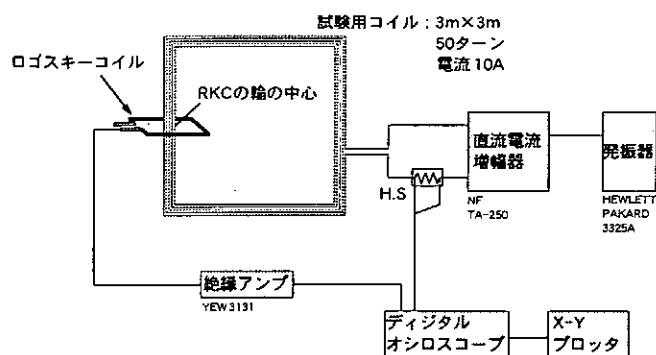


図3 特性試験 機器構成図

電流変化速度の調整は、主に正弦波の周波数を変更することにより行われる。

模擬コイルの電流は、分流器により電圧に変換され、デジタルオシロスコープにて測定される。RKC の出力は、アンプによる増幅を経てデジタルオシロスコープにて測定される。

3. 3. 2 試験結果

3種類のログスキーコイルに対し、試験結果より求めた電流変化速度に対する RKC の出力の関係を図4に示す。

まず、各 RKC の電流変化速度と出力は比例していることがわかる。RKC1 では 120 kAT/s の変化速度で 3.4mV の出力を、RKC2 では 8.7mV の出力、そして、RKC3 では 120kAT/s の変化速度で 2.8mV の出力を得ている。

RKC1 の出力を予備的検討の結果と比較してみると、9.2 mV に対して 3.4 mV の出力となっている。この出力差は以下の4要因により説明される。

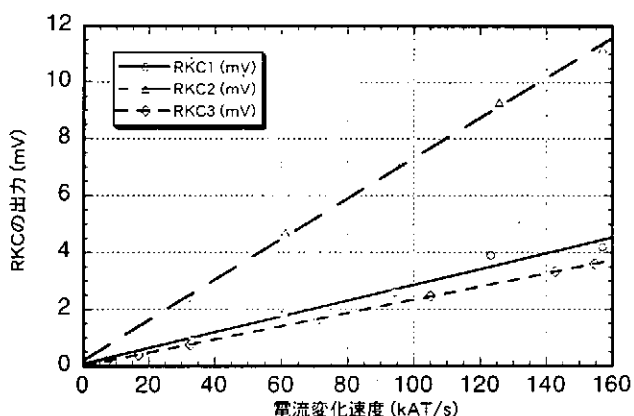


図4 電流変化速度に対するRKCの出力

- コイリング内径の違いによる差
- コイリングターン数の違いによる差
- 試験用電流が有限長さであることによる差
- 試験用電流とRKC間距離の違いによる差

これらの各項目による出力への寄与は、予備的検討の結果の 0.41 倍となる。これは、あくまでも図面通りに RKC が製作されたものとしての出力評価であり、実験結果との一致はよいと結論できる。

RKC2 の出力を RKC1 と比較すると出力比は約 2.5 倍である。これは、コイル断面積の総和の違いによるものである。次に S/N 比をみると、RKC1 のノイズと RKC2 のノイズに違いはみられないため、2 層巻にする利点は明らかである。

RKC3 に関しては、RKC1 と比較して遜色のない出力特性を有し、かつ、JT-60 共通基準を満たすものとすることができた。本構造を基本的に採用することにより、実機のモニタを製作する見通しを得た。

4. 実装試験

ログスキーコイルを TFC へ取り付け、出力測定を行った。

測定結果を図 5 へ示す。プラズマの立ち上げ・立ち下げ、電源側の電圧タップの投入および力率改善コンデンサの投入等によりパルス的なノイズがのっている。次に測定結果を積分したものを図 6 へ示す。TFC の電流波形も併せて図示する。ノイズによる影響は積分後にはみられない。また、ログスキーコイルの出力と TFC 電流の相関は良いことが分かる。TFC の電流値に対する RKC 積分値を図 7 へ示す。図中のエラーバーは±0.5%の範囲を表している。この図より TFC の電流値に対して精度よく電流変化を測定していることが解る。

5. まとめ

ログスキーコイルを用いて、トロイダル磁場コイルの電流変化を相関よく測定でき、その測定精度は±0.5%以下である。

±0.5%以下の測定精度を得られたことより、層間短絡時の電流変化 1.4%をログスキーコイルを用いて検出することが可能である。

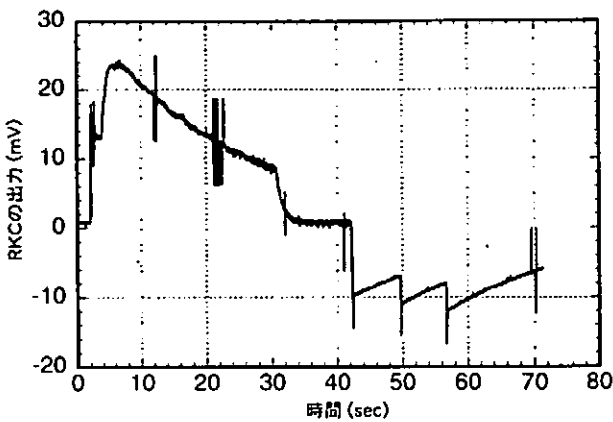


図 5 RKCの出力波形

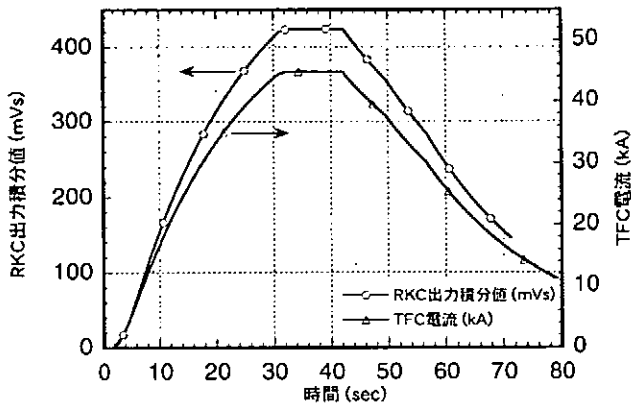


図 6 RKC出力の積分波形とTFC電流波形

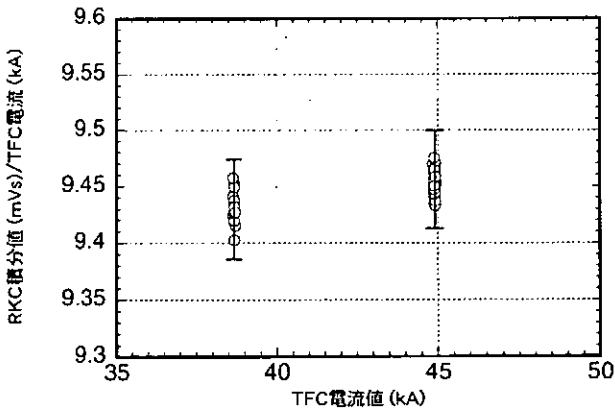


図 7 TFC電流に対するRKC出力の積分値の評価

JT-60トロイダル磁場コイル温度監視システムの開発

日本原子力研究所・那珂研究所 〇柳生 純一、新井 貴、萩原 徳男、宮田 寛
岡部 友和、佐野 順也、本田 正男

1. 概要

臨界プラズマ試験装置 (JT-60) のトロイダル磁場コイル (TFC) は、コイル通電に伴うジュール発熱を積極的に除熱するためにコイル導体内に矩型冷却管を埋め込み、純水にて強制冷却している。これにより15～20分間隔の繰り返し通電に伴う温度上昇を抑制し、電気絶縁層を含む材料の耐熱温度以下での効率的な実験運転を実施することができる。しかしながら、JT-60の運転開始から約10年が経過し、実験運転を重ねる中で一部の冷却管にクラックによる水の浸み出しが確認されて以来、当該冷却管の無通水での運転を余儀なくされている。我々は、無通水冷却管を有するコイル導体の内部温度を予め確認した後にJT-60のプラズマ放電実験を行うため、無通水冷却管を用いた温度監視システムの開発を行った。

2. TFCの構成

TFCは、プラズマを安定に保持するためにトロイダル方向の強磁場を発生させるコイルである。外径6m、重量約90tonの単位コイル18個をトラス状に等間隔に配置し、プラズマ中心において最大4Tの磁場を発生させる。構成は、コイル導体及び絶縁材 (単位コイル)、スペーサ、渡り線、巻き戻し線、冷却系統、補強部等から成る。図1にTFC外形図及び断面図を示す。

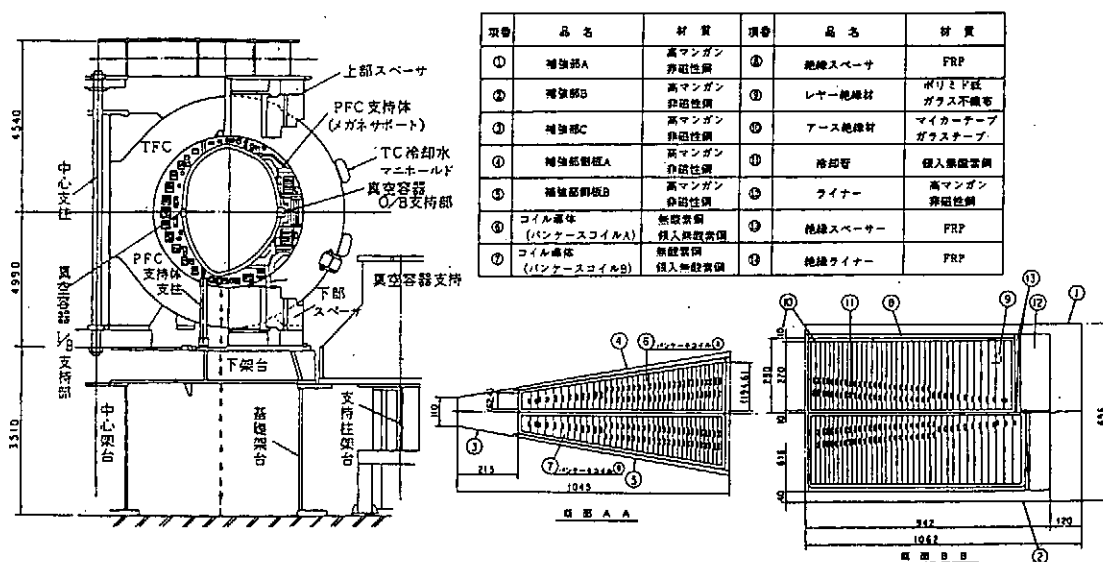


図1 TFC外形図及び断面図

単位コイルは、2個の円形パンケーキを組合せ補強枠に納めた構造である。円形のパンケーキは、銅のコイル導体に層間絶縁 (レーヤ絶縁材; ポリイミド紙、ガラス不織布) を巻き込みながら36層に巻回した構造を有する。また、単位コイルは、トラス状に配置されているため、JT-60装置中心側では細く楔型の形状となっている。この楔型形状の中心部は、コイル導体の断面積が最も小さくなる部分であり、最狭部と称している。1～36層 (ターン) の導体厚さは、構造強

度及び熱特性上、外側のターンほど厚く構成されている。絶縁層は、層間絶縁の他にバンケーキ単位で対地絶縁を設けている。渡り線は、TFCの各単位コイルを電氣的に直列接続しており、巻き戻し線は、TFCのワンターンを巻き戻す意味と渡り線から生じる不整磁場を打ち消すために渡り線のすぐ近傍に平行配置されている。TFCの冷却系統は、単位コイルごとにマニホールドを設け、38系統の冷却チャンネル各々を絶縁ゴムホースにより接続する構造となっている。冷却管は、コイル導体への出入口部（口金部）から1ないし2流路の矩型冷却管に分岐されコイル導体の内部に入っている。1流路は、概略2ターン分の冷却を分担している。

3. TFCの健全性確認

TFCの水浸み出しは、昭和63年3月にトロイダル磁場コイルNo.5（TFC-5）、平成4年10月にトロイダル磁場コイルNo.9（TFC-9）、平成7年7月にトロイダル磁場コイルNo.14（TFC-14）に於て発生した。TFC-5については、冷却管口金部分からの水浸み出しであり、口金部の修復により完全に復旧し、現在まで正常な運転を行っている。他の2コイルについては、コイル導体内部の冷却管に発生したクラックからの水浸み出しであることが判明している。我々はその都度、局所的に無通水とするなどの処置を行い実験運転を継続している。TFCは、JT-60装置本体に組み込まれている状況から、不具合コイルを交換することは非現実的である。このため、TFCの健全性を予め確認し、運転条件の制限や慎重な監視のもとで、実験運転を行うことが不可欠となっている。TFCの健全性を確認する方法は大きく分けると2通りある。1つは、年に1～2回実施する単位コイル毎の絶縁耐圧試験や冷却管気密試験と水浸み出しを起こしているコイルに対して、無通水冷却管内部をファイバースコープにて観察し、不具合箇所の状態を把握する内部観察、ソープションスニッファー法による水浸み出し位置の同定作業である。2つには、無通水冷却管と隣接する層間絶縁の健全性を確保するため、JT-60のプラズマ放電実験開始毎に無通水冷却管最狭部付近の温度を運転員が常時目視によって監視する方法である。現在、コイル導体の温度監視に関しては、TFC-9の15,16ターンに於て実施している。これは、TFC-14の無通水冷却管が24ターンの1箇所であるのに対して、TFC-9では連続する2箇所に無通水冷却管が存在するため、隣接ターンからの冷却効果が一段と劣り、最狭部に於ける断熱温度上昇はTFC-9の方が高くなることが想定されるからである。安全側の評価としては、厳しい条件下での温度監視を行う必要があるため、我々は、TFC-9の無通水冷却管による温度計測・監視を選択している。

4. TFC温度監視システムの構築

TFCは、複雑な構造を持つうえ狭い場所に置かれており、その内部温度を直接計測することは、従来試みられていなかった。しかし、TFCの水浸み出しが発生し、一部、無通水冷却管が存在することにより、プラズマ放電実験開始に当たってTFCの内部温度を事前に確認することが必要となった。我々は以下に示す整備を時系列に実施し、TFC温度監視システムを構築した。

1) 光ファイバ温度測定器の整備

無通水冷却管に挿入し、TFC-9のコイル導体温度を測定する温度測定器として、センサ用光ファイバ（光ファイバ）を温度センサとする温度測定器を採用し、JT-60に応用できる工夫を施した。温度計測の原理は、誘電媒質である光ファイバが入射した光を波長シフトさせて後方散乱させる現象（ラマン散乱）を利用するものであり、この波長シフトした光の散乱強度が温度に依存することを用いる。また、温度計測位置の検出には、レーダの原理を応用して、パルス光入射後に入射端へ戻ってくる後方散乱光の遅延時間が、後方散乱光発生点までの距離を光パルスが往復する時間に相当することを利用して行う。具体的には、温度センサであ

る光ファイバを長尺（30m）で且つ細い（断面：4mm×20mm）冷却管内に10m以上の長さに渡って挿入し、上述した光散乱の1m間隔における集積値によりTFC-9のコイル導体温度を評価する。従って、この方法では、光ファイバを挿入した冷却管全般に渡ってその温度分布を時々刻々把握できるという特徴を有している。尚、温度の監視は、JT-60の実験運転中連続して行う。

2) 温度監視機能の強化

温度測定器を設置した当初、放電シーケンスの開始は、TFC-9最狭部温度がプラズマ放電実験を開始して良い温度（例えば4T放電に於ては、40℃）以下であることを温度測定器の指示値を目視で確認した後実行していた。これを改善するため、TFC温度監視用ワークステーションを設置し、JT-60全体の運転を司る全系制御設備（全系）のネットワークと接続することにより、放電を開始して良い温度以下であることを自動的に確認出来るよう温度監視機能の強化を図った。約140ショットに及ぶTFC通電時の温度測定結果から、無通水冷却管を有するTFC-9の冷却特性の線図を作成し、これに基づいてTFC-9最狭部の冷却所要時間を予測することとした。強化した機能としては、放電シーケンス開始からTFC通電までの間（約6分間）の最狭部温度の低下を前述した予測の経験式を用いて計算する機能及び放電開始1分前には最狭部温度が放電を開始して良い温度以下であることを自動的に再確認する機能の2つである。この機能強化は温度条件確認機能が自動的に働くことによりTFC運転の信頼性を高めるとともに、JT-60の運転員の負担を軽減した。図2にTFC温度監視システムの模式図を示す。

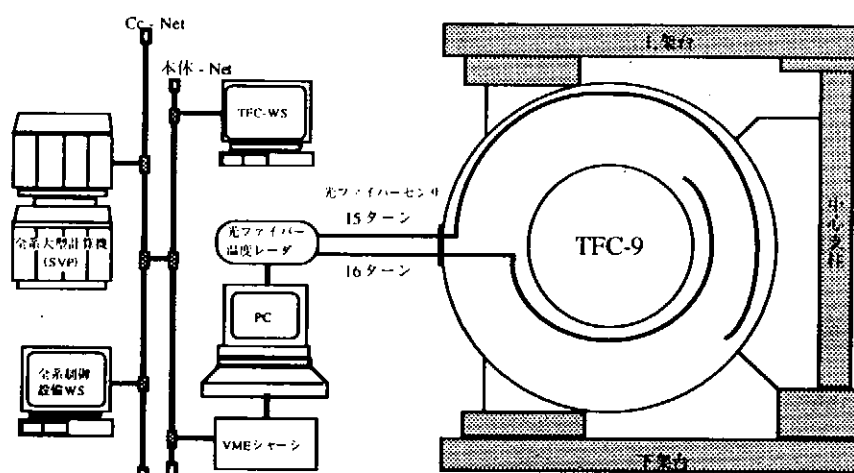


図2 TFC温度監視システム模式図

5. 問題点と今後の課題

TFC温度監視システムの問題点と対策及び今後の課題について述べる。

[問題点]

- 光ファイバの測定精度
- 光ファイバの不感帯領域
- 光ファイバの時定数
- TFC通電の開始点（収集データ）

[対策及び今後の課題]

a) 光ファイバの測定精度について

現在のTFC温度監視システムに於いては、光ファイバのサンプリング間隔が1mであり、光ファイバを挿入した冷却管全般に渡って得られる温度分布は、1点の値ではなく、1m幅の分布を足し合わせて平均化（加算平均）したものである。従って、ピーク温度は若干低めの出力となっている。この対策として、TFC-9の無通水冷却管（15ターン）最狭部位置に既設の光ファイバとは種類の異なる光ファイバ（スポット型ファイバ）を挿入し、測定に用いることでTFC最狭部位置のピーク温度を確認している。スポット型ファイバは、先端部分が温度センサ（センサクリスタル：GaAs）になっており、スポット型ファイバ温度計からの光をGaAsが吸収・励起し、最狭部周辺の温度に依存した光を再度温度計に返信することによって温度を測定する。今後は、光ファイバによるTFCの温度実測値がスポット型ファイバの実測値を用いて補間することが可能か否かを評価し、測定精度の向上を目指す。

b) 光ファイバの不感帯領域について

光ファイバには散乱領域があるため、先端から約5mの範囲は測定に用いることができない。このため、光ファイバの挿入に関しては、必要以上の挿入長が求められていた。この対策として、先端部分を約8度斜研磨することによって散乱領域を3mまで低減することが可能となり、TFC口金部から最狭部位置までの温度測定に必要な実挿入長を削減することが出来た。

c) 光ファイバの時定数について

模擬実験に於て光ファイバ及びスポット型ファイバの時定数を測定し、各々のレスポンスが90～120秒程度であること。更には、細管に接触・非接触によってもレスポンスに30秒程度の違いが出ることを確認した。今後は、これをもとに光ファイバ及びスポット型ファイバの改良を行い、測定条件の一律化を行う。

d) TFC通電の開始点について

最狭部の冷却所要時間を精度良く予測するには、TFC通電の開始点を明確にすることが重要である。TFC温度監視システムの通信機能を一部改造することにより、全系からのタイミング信号で収集データ上に通電開始点が明示されるよう工夫した。

6. まとめ

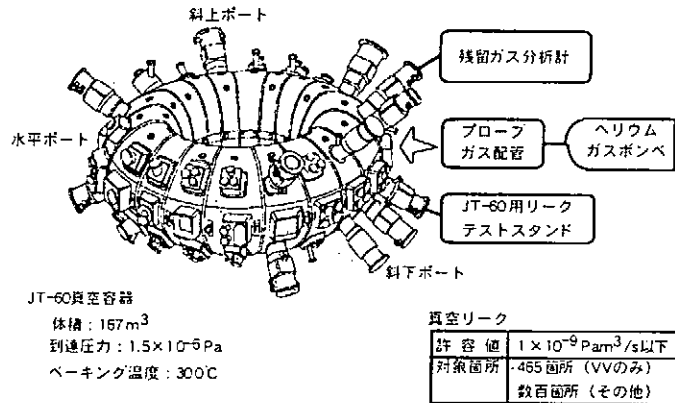
- 1) TFCの温度を確認しながらプラズマ放電実験を行うため、我々は、矩形細管（4mm×20mm）であるTFC冷却管に約10m挿入でき、且つ高電圧下で使用できる温度測定器として、光ファイバを温度センサとする温度測定器を採用するとともに、TFC-9最狭部温度が放電を開始して良い温度以下であることを自動的に確認出来るよう温度監視機能の強化を図った。その結果、TFC運転の信頼性を高めるとともに、運転員の負担軽減に寄与することが出来た。
- 2) TFC温度監視システムの今後の課題としては、測定データの補間やファイバの改良等を行い、無通水冷却管の温度計測の高精度化を図ることが不可欠である。
- 3) JT-60では、TFCの水浸み出しが発生した後TFCの各種解析及び検討結果等を反映させ、運転条件の制限と慎重な監視のもとで、実験運転を実施してきた。また、定期点検期にはTFC冷却配管の気密試験や内部観察等の健全性確認試験を行う等、機器の保守管理に努めてきた。このような慎重な運転と保守管理によりTFCは小康状態にあるものの既に設計寿命の10年を2年あまり経過していることを認識し、なお一層の慎重な運転・保守を継続する必要がある。

J T-60用リークテストスタンド

日本原子力研究所 那珂研究所 ○神永 敦嗣 新井 貴 佐々木 昇
市毛 尚志 本田 正男

1. はじめに

臨界プラズマ試験装置（J T-60）の真空容器は、体積 167m^3 、常温時の到達圧力 $1.5 \times 10^{-6}\text{Pa}$ 、ベーキング温度 300°C で運転されている。真空容器には、斜上ポート、水平ポート、斜下ポート及び垂直ポートが取付けられており、真空容器本体の真空リーク試験対象箇所は、真空容器の溶接部及び各ポートのフランジ部等を併せると465箇所程ある。各ポートには、各種計測器、中性粒子加熱装置及び高周波加熱装置が設置されており、これらの装置にも真空リーク試験対象箇所が数百箇所ある。J T-60では、真空リーク試験の検査ガスとしてヘリウムガスを使用すると共に真空リーク試験対象1ヵ所辺りの真空リークの許容量を $1.0 \times 10^{-9}\text{Pam}^3/\text{s}$ 以下で管理している。これらの真空リーク試験対象箇所には、遠隔から電磁弁を操作することによりヘリウムを吹き付けたり、或いは近傍に人が近づいて吹き付けたりする等、状況に応じた対応を行っている。吹き付けたヘリウムガスの検出には、J T-60真空排気設備のマニホールドに設置している残留ガス分析計或いは、J T-60真空排気設備の第2段フォアポンプに設置したJ T-60用リークテストスタンドを動作させ、テストスタンドに設置されているヘリウムリークディテクタで行っている。J T-60における真空リーク試験の概要を第1図に示す。第2章以下でJ T-60用リークテストスタンドの概要、重水素排気試験、使用結果について述べる。



第1図 真空リーク試験の概要

2. J T-60用リークテストスタンド

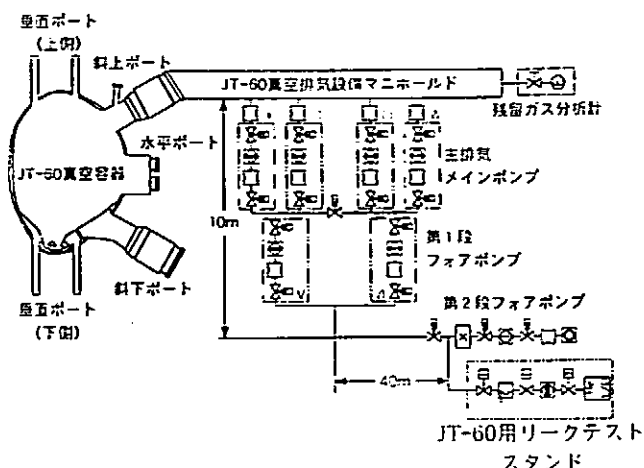
2. 1 概要

J T-60の実験運転では、重水素ガスを燃料としている。真空リーク試験のプローブガスとしてヘリウムを使用すると検出感度が悪くなる。J T-60用リークテストスタンドは、この対策のために設置したものであり、重水素ガスとヘリウムガスを分離する機能を有し、検出感を良くしたものである。本テストスタンドは、入室制限のある放射線管理区域内に設置されており、機器の操作の際には制限を受ける。このため、放射線管理区域へ入室することなく操作が出来るように遠隔操作が可能な機能を有している。

2. 2 機器の構成

J T-60用リークテストスタンドは、J T-60真空排気設備マニホールド、主排気系、第1段フォアポンプ、第2段フォアポンプを介して真空容器と接続されており、真空容器とは50m程離れて設置されている。本テストスタンドは、真空チェンバー、クライオポンプ、ターボ分子ポンプ、ロータリーポンプ、ヘリウムリークディテクタ、真空計等から構成されている。クライオポンプは、ヘリウムリークディテクタの前に設置し、ヘリウムガス（沸点： 4K ）は吸着捕足しないが重水素（沸点： 23.5K ）は吸着捕足するというポンプの特徴を利用し、

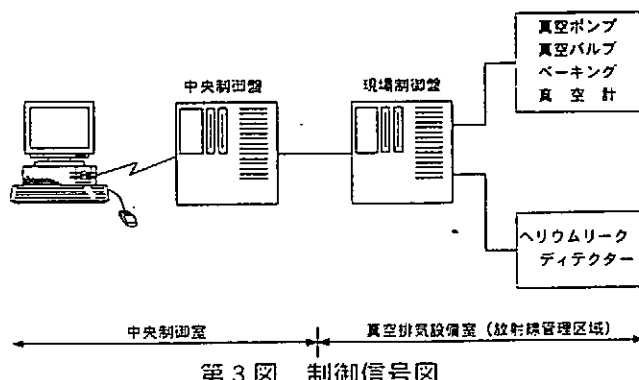
ヘリウムガスに対する検出感度を高
ために使用している。JT-60では、
核融合反応により放射性同位元素で
あるトリチウムが発生する。発生し
たトリチウムは、ポンプのオイルに
混入するので、オイル交換時のトリ
チウムによる汚染の防止及び発生す
る廃棄物量の低減を図る目的で本テ
ストスタンドには、ドライポンプを
使用している。即ち、ターボ分子ポ
ンプには、磁気浮上型ターボ分子ポ
ンプを、またヘリウムリークディテ
クタについてもドライポンプ仕様の
ポンプを使用している。第2図にJ
T-60用リークテストスタンドの配
置図を示す。



第2図 リークテストスタンドの配置図

2. 3 機器の操作

JT-60用リークテストスタンド
を構成する機器は、現場制御盤及び
装置本体が放射線管理区域である真
空排気設備室に設置され、パソコン
及び中央制御盤は非放射線管理区域
である中央制御室に設置されている。放射線管理区域である真空排気設備室は、JT-60の実験運転中及び各種装置の試験時に入室禁止の制限を受ける。従って、この制限に対応できるように遠隔から操作ができ、真空排気設備室への入室制限に関係無く各機器の起動停止操作が可能となっている。



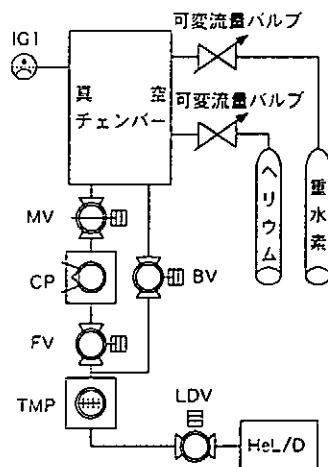
第3図 制御信号図

この遠隔操作化により全ての作業が一人で装置の起動停止、ヘリウムリークディテクタのデータ監視を含む実行可能となり、真空リーク試験時の人員の合理化につながった。また、中央制御室にて真空リーク試験のデータを評価することが可能となるため、真空リークの補修への対応等をスムーズに進めることが出来る。第3図にリークテストスタンド制御信号図を示す。

3. 動作特性

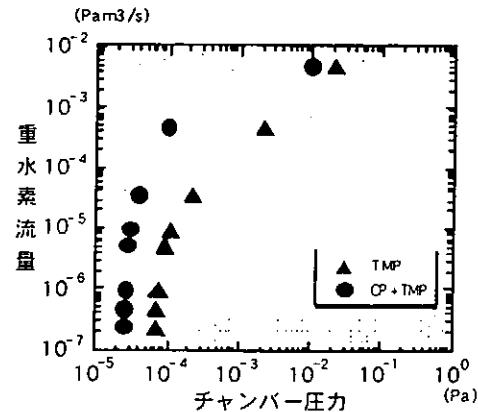
3. 1 重水素排気試験

JT-60用リークテストスタンドが、重水素ガスに対してどの程度の排気速度を有しているを調べるために試験した時の機器の系統図を第4図に示す。重水素ガス及びヘリウムガスポンプを可変流量バルブを介して真空チェンバーに接続し、クライオポンプ（CP）とターボ分子ポンプ（TMP）を直列につないだ状態で真空チェンバーを真空排気をした時とクラターボ分子ポンプのみで真空排気した時について各々測定した。この時の試験結果を第5図に示



第4図 排気速度試験系統図

し、第1表に実際に装置を真空容器と接続して測定した時の結果を示す。第5図は、横軸に真空チェンバーの圧力を縦軸に重水素ガス流量をプロットしたものである。この図より、ターボ分子ポンプ単独排気よりクライオポンプとターボ分子ポンプを直列に接続し真空排気を行った時の方が同流量に対して圧力が良いと共にクライオポンプにより、重水素を同一流したときでも重水素を捕足吸着するためヘリウムリークディテクタに流入する量が少なくなる。実際に本テストスタンドを真空リーク試験時と同様に実際に接続しクライオポンプとターボ分子ポンプを組み合わせ真空排気した時とターボ分子ポンプのみを使用して真空排気した。測定日は、JT-60の実験運転により大量な重水素ガス及びヘリウムガスを使用した後の点検日に測定を行った。



第5図 重水素中のヘリウム感度

第1表 実際の感度測定

| 排気系統 | 真空チェンバー圧力 | 最小検出感度 |
|----------|-------------------------|-----------------------------|
| CP + TMP | 4.0×10^{-5} Pa | 1.0×10^{-7} Pam³/s |
| TMP | 1.3×10^{-4} Pa | 1.0×10^{-5} Pam³/s |

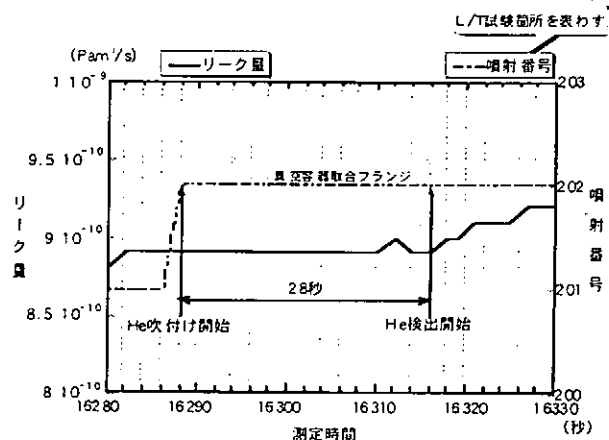
CP：クライオポンプ TMP：ターボ分子ポンプ

測定条件は、JT-60真空排気設備の系統を切り換え、真空容器内の残留ガスが本装置に全部集まる様な形で行った。また、その時の真空容器圧力 2.5×10^{-5} Pa、真空容器温度292℃であった。測定結果は、クライオポンプとターボ分子ポンプを組み合わせ真空排気を行った時は、最小検出感度は、 1.0×10^{-7} Pam³/sであったが、ターボ分子ポンプのみで真空排気した時は、 1.0×10^{-5} Pam³/sであった。この測定からクライオポンプを設置し、重水素ガスを捕足吸着することにより真空リーク試験時のすることにより真空リーク試験時の最小検出感度が2桁良くなっていることが解る。

3. 2 応用例

(1) 応答時間

JT-60で真空容器周辺で真空リーク試験を行った際にプローブガスであるヘリウムガスが真空容器の真空リーク箇所からヘリウムリークディテクタで検出されるまでの応答時間は、ガスの吹き付け方によるが通常30秒程度である。JT-60での最短の応答時間は、25秒である。第6図に実際に真空リーク試験を行った時の応答時間例を示す。この時の真空リーク試験の条件は、改造工事終了後で且つ真空容器及びポートベーキング終了後のため、検出感度が通常より良くなっている。



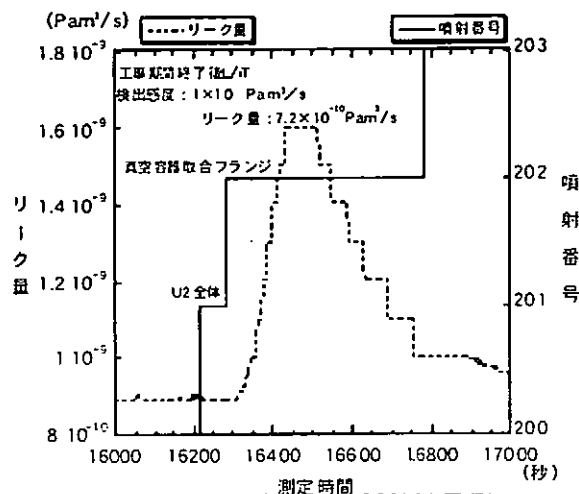
第6図 応答時間例

(2) データ管理及び加工例

第2表に真空リーク試験時に収集したデータ例を示す。真空リーク試験中に収集するデータは、収集時刻、測定時刻、測定時間、噴射番号（真空リーク試験箇所を番号で表わしたもの）及びリーク量の各データを真空リーク試験開始から終了まで収集する。収集したデータは、パソコンでフロッピーディスクにコピーすることが可能であり市販されている表計算ソフトでデータを加工することが出来る。第7図に実際にJ T-60で本装置を使用して行った真空リーク試験のデータをグラフに表わしたものを示す。この時は、約4ヵ月の改造工事終了後に常温で行った真空リーク試験のため、最小検出感度が $1.0 \times 10^{-11} \text{ Pam}^3/\text{s}$ となっており、真空リーク箇所が真空容器の取合フランジで、真空リーク量が $7.2 \times 10^{-10} \text{ Pam}^3/\text{s}$ の漏れが発見されたときのものである。

第2表 データの表示例

| 時刻 | 測定時間 | 噴射番号 | リーク量 |
|----------|-------|------|------------------|
| 13:22:05 | 16130 | 200 | $8.9\text{e-}10$ |
| 13:22:07 | 16132 | 200 | $8.9\text{e-}10$ |
| 13:22:09 | 16134 | 201 | $9.0\text{e-}10$ |
| 13:22:11 | 16136 | 201 | $9.0\text{e-}10$ |
| 13:22:13 | 16138 | 201 | $9.0\text{e-}10$ |
| 13:22:15 | 16140 | 202 | $9.0\text{e-}10$ |
| 13:22:17 | 16142 | 202 | $8.9\text{e-}10$ |
| 13:22:19 | 16144 | 202 | $8.9\text{e-}10$ |



第7図 真空リーク試験結果例

4. まとめ

- (1) クライオポンプを設置することにより、重水素等のガスを捕集することが可能となり、真空リークテスト時の測定レンジを上げることが出来た。
- (2) 遠隔操作化したことにより、放射線管理区域内への入室が不要となると共に真空リークテスト時の労力の軽減及び情報の共有化が可能となった。

大型ヘリカル装置（LHD）用真空排気装置の建設

核融合科学研究所 ○近藤友紀、鈴木直之、吉藤 均、林 浩己、米津宏昭、加藤真治
飯間理史、鈴木 肇、赤石憲也、小森彰夫、LHD建設グループ

1. はじめに

建設中の大型ヘリカル装置（LHD）は断熱真空容器の組み付け作業(11/28)をへてその全容を次第に現しつつある（図1）。真空排気装置の建設も着実に進み11月から真空排気装置単体による排気試験を行っている。LHDはその世界最大級を誇る規模だけでなく、ヘリオトロン磁場配位を用いる点、磁場コイルすべてが超伝導化されている点など、特徴の多い最新鋭のプラズマ実験装置である。その真空容器は超伝導コイル保冷のための断熱真空容器がプラズマ真空容器を覆った二重の真空容器構成をとる。このためLHDには2系統の真空排気系が用意されている。

LHD真空排気装置に課せられた要求事項を簡潔にまとめると次の2点である。すなわち、1）よいプラズマをつくる（不純物の低減）、2）超伝導コイルをまもる（真空断熱の維持）である。とりわけ、2）の要求は重要である。断熱真空の破壊は超伝導コイルだけでなく、LHD本体にも重大なダメージを与えるからである。常伝導磁場コイルを用いたプラズマ実験装置には見られない真空保全技術が要求される。

本稿では、技術研究会（9/11、12 於 土岐市）の報告を兼ね、LHDの真空系について紹介する。

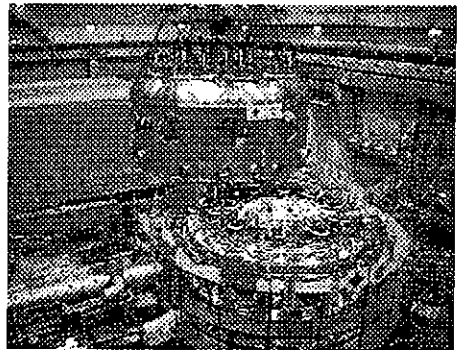


図1 断熱真空容器の組み付け

2. LHD真空容器

2. 1 プラズマ真空容器

この真空容器の特徴は超伝導磁場コイルと真空容器が一体構造を採る点である。すなわち、LHDの心臓部である、らせん形の超伝導磁場コイル（とそのサポート）を作り、その隙間を埋めるように真空容器の分割部片を組み込み溶接接合して制作されている（図2）。容積は約200m³、内表面積は約2000m²にもなる大型の真空容器である。

超伝導コイル通電時に生じる強大な電磁力は、専用のサポート構造体（電磁力支持構造物と呼ばれる）で支えるようになっている。超伝導コイル冷却の際は、この構造体とも液体Heで4Kに冷却する。機械的、熱的絶縁のためプラズマ真空容器と電磁力支持構造物の間は少なくとも5cmの隙間が空いており、そこに温度80Kに保たれた熱シールド板と多層放射シールド材（SI）が入る。断熱と熱ひずみの観点からプラズマ真空容器をベーキングする場合、100℃以上の昇温ができない。このため、“ガス出し”は主にグロー、ECR放電洗浄によって行う。到達圧力は 1.3×10^{-6} Pa以下を目標としている。

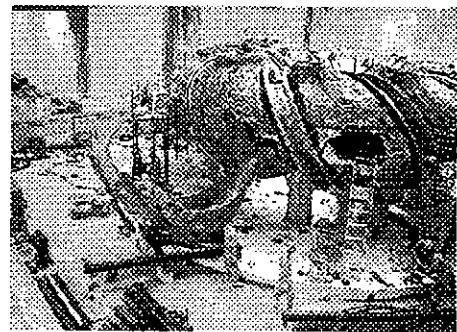


図2 組立中のプラズマ真空容器

2. 2断熱真空容器

冷却された超伝導伝導コイルと電磁力支持構造物を真空断熱するための容器が断熱真空容器である(図3)。電磁力支持構造物を上から覆いかぶせる構造をとり、プラズマ真空容器のポートとは短管、ベローズを介してつながる。図の丸い大きなポートの直径は2mである。

単体での容積が約700m³、プラズマ真空容器などの内蔵物分を差し引いた容積が約500m³、表面積は70000m²にもなる巨大な真空容器である。断熱真空容器の内壁面には80K熱シールド板とS Iが張り付けられており、このS Iが断熱真空容器の表面積をさらに大きくしている。

超伝導伝導コイルと電磁力支持構造物を効率よく、すなわちHe液化冷凍設備に負担をかけずに、冷却するには断熱真空容器内をあらかじめ 1.3×10^{-2} Pa以下の圧力にしておく必要がある。乾燥窒素による置換を繰り返したのち、真空排気を行う。

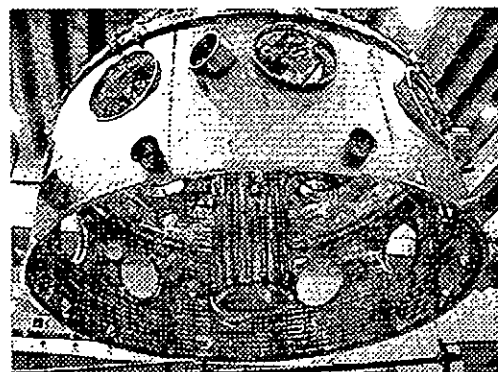


図3 断熱真空容器

3. 真空排気装置

3. 1 概要

図4に真空排気装置の鳥瞰図、図5に排気系統図をしめす。両排気系とも超伝導コイルからの磁場の影響を避けつつも十分な排気速度を確保するため大口径のマニホールド、ゲートバルブ、ベローズ、等を介して主排気ポンプ(ターボ分子ポンプとクライオポンプ)が接続される。ターボ分子ポンプのところでの水平磁場強度が数十 Gauss 程度を見込んでいる。

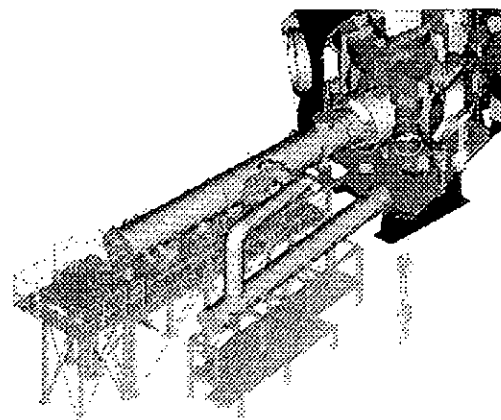


図4 真空排気装置鳥瞰図

LHD真空排気装置は性格の異なる2つの真空排気系統の配管ラインを有機的に結びつけ非常時には互いを補完しあう構成を採る点に特徴がある。

3. 2 排気系統

1) プラズマ真空容器排気系

プラズマ真空排気系マニホールドの内径は1200mm、長さは9.6mである。この排気系の実効排気速度は約16000[l/s]を見込んでいる。真空ポンプ構成は次の通り。

- クライオポンプ(N₂排気速度: 28000[l/s]×2台)、吸気口径: 750mm
- ターボ分子ポンプ(N₂排気速度: 5000[l/s]×2台)、吸気口径: 450mm
- 複合分子ポンプ(N₂排気速度: 1800[l/s]×2台)、吸気口径: 250mm

主排気として、ターボ分子ポンプを使用し、初期排気の際など、必要に応じてクライオポンプを使用する。ガス負荷が大きい放電洗浄時には複合分子ポンプを使用する。この複合分子ポンプは、保守排気用ポンプとしても使用する。マニホールド全体を電気ヒータにより100℃までベーキングできるようにしている。

2) 断熱真空容器排気系

断熱真空排気系マニホールドの内径は800mm、長さは8.7mである。この排気系の実効排気速度は約5000[l/s]を見込んでいる。真空ポンプ構成は次の通り。

●クライオポンプ (N_2 排気速度: 8000[l/s]×2台)、吸気口径: 450mm

●複合分子ポンプ (N_2 排気速度: 5500[l/s]×2台)、吸気口径: 500mm

初期排気の段階では、S1等への油分の付着に注意する必要がある。ロータリポンプ等によるあらし引き排気を適当に止めるため、稼働域の大きい複合分子ポンプを主排気ポンプとし、コイル冷却の段階からクライオポンプによる排気を行う。断熱真空容器はベーキングを行わないため、この排気系マニホールドにはベーキング機能はない。

二つのマニホールドの間にはバイパス配管(口径: 600mm)があり、通常このバイパス配管はゲートバルブで仕切られている。一方の真空容器で大きなリークが発生した場合、主排気ポンプが故障した場合、真空容器の初期排気時など、プラズマ真空容器排気系で断熱真空容器を排気する。またはこの逆を行うためのものである。

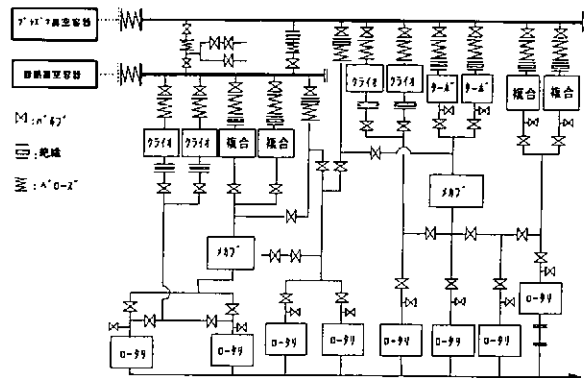


図5 真空排気装置系統図

3) あらし・補助排気系統

大気圧から数100[Pa]まで排気するためのあらし引き排気ポンプとしてロータリポンプ(排気速度900[m³/h])2台を使用する。ターボ・複合分子ポンプの補助排気としてはメカニカルブースタポンプ(排気速度1600[m³/h])とロータリポンプ(排気速度85[m³/h])2台からなるポンプセットを使用する。このほか、クライオポンプの再生排気、放電洗浄・保守排気用複合分子ポンプの補助排気としてロータリポンプ(排気速度85[m³/h])がある。

補助排気ポンプが故障した場合、バルブ操作により配管系統を切り替え、別の補助排気系統でターボ・複合分子ポンプの背圧が維持できるようになっている。

3. 2 圧力計測系

両排気マニホールド後部には2対づつの熱陰極イオンゲージ、ペニングゲージ、ピラニゲージと質量分析計が設けられている。磁場の影響等を考慮しバルブ開閉やポンプ運転動作を伴うインターロック用の圧力情報元としてはペニングゲージ、ピラニゲージを使用する。熱陰極イオンゲージは主に真空容器内の圧力モニターとして使う。これら情報は常時記録され、真空リークの発生等を監視する。

3. 3 運転操作系

1) 運転操作

真空排気装置の運転操作はLHD実験棟とは別棟にある制御室から遠隔操作で行う。また、LHD実験棟地下室に現場制御盤が置かれており、ここからの運転操作も可能である。本装置の操作は、PCの画面上で全て行える(図6)。このPC画面上には圧力情報、バルブの開閉状態、真空ポンプの運転状態、が表示され、この情報を見ながら運転操作を行う。現場制御盤での操作は制御室からの現場手動運転許可信号を得て行う。現場制御盤では圧力、ポンプ運転、バルブ開閉等の情報がタッチパネル上に表示され、これに表示された系統図上の任意ポンプ、バルブ等を指で指示するだけで所定の動作が行えるようになっている。

2) 排気手順

両真空容器のあら引きはロータリポンプ2台で行う。ポンプのオイル上がりを防ぐため、圧力は数100Pa程度に止め、早目に、メカニカルブースタポンプでの排気に移す。ロータリポンプの段階ではプラズマ真空容器と断熱真空容器を1つのあら引き系統で排気し、メカニカルブースタポンプの段階から、各真空容器個別に排気する。これはプラズマ真空容器と断熱真空容器の間での圧力差によって生じる、プラズマ真空容器の応力変形や両真空容器を結ぶペローズへの影響を避けるためである。この際、バイパス配管を開いて、真空容器間に圧力差が生じないような排気手法も検討している。

数10[Pa]になったところで複合分子ポンプによる排気を行い、ついでターボ分子ポンプ、クライオポンプによる本排気を行う。断熱真空容器については乾燥 N_2 置換を数回行った上で排気を行う。真空ポンプだけによる“素”排気で断熱真空容器は 1.3×10^{-2} [Pa]以下、プラズマ真空容器は 1.3×10^{-4} [Pa]以下程度の排気を目指す。

断熱真空容器では80K熱シールド板、電磁力支持構造物、超伝導コイルの冷却によって、プラズマ真空容器では放電洗浄によって、真空容器内壁からのガス放出量の減少を待って、両真空容器とも 1.3×10^{-6} [Pa]以下の到達圧力を見込んでいる。

乾燥 N_2 置換の回数、真空ポンプ切り替えのタイミング、クライオポンプの再生等、排気手順の最適化については実運転をもとに決めなくてはならない部分も多い。

4. おわりに

8月に基礎工事を開始し、約3ヶ月間の組み立て作業をへて単体排気試験を開始した。12月中には排気試験を継続し、1月にLHD本体への接続を行う。LHDの本体リーク試験等を行った後は大気開放はせず、そのままコイル冷却を開始し、ファーストプラズマを迎える予定である。

先述の通り、LHDの真空保全上もっとも警戒すべきは、断熱真空の破壊である。断熱真空が破壊される状況としては大きく次の2つを考える。1)断熱真空容器の破損等による外気的大量流入、2)超伝導コイル冷却用液体Heの漏洩に伴う蒸発気化、である。真空断熱が維持できないと判断された場合、LHDを速やかにかつ安全に停止しなくてはならない。それには、1)超伝導コイルと電磁力支持構造物の急激かつ局所的な温度上昇による熱ひずみの防止、2)真空容器間の差圧によるプラズマ真空容器の応力変形の防止、を図りつつ、超伝導コイル中の電流を放出し、真空容器を大気開放する過程を要する。この間、真空排気装置は動作を続けなくてはならず、本装置はこのような状況にも対応可能な設計になっている。

ITERそしてその先の核融合炉には超伝導コイルが不可欠とされており、このための断熱真空に対する保全技術はその安全技術上、重要な要素となる。これから始まるLHDでの経験は必ずこれらに活かされるはずである。

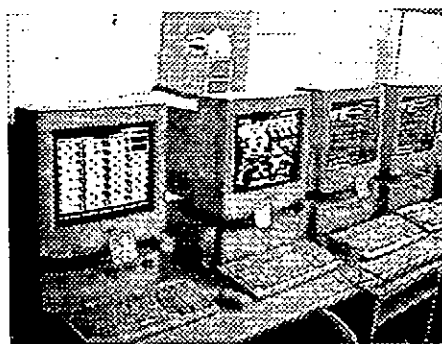


図6 真空排気装置運転操作用PC

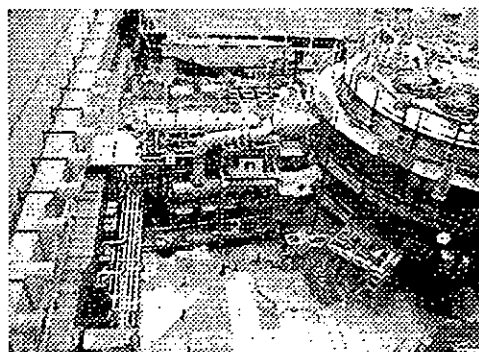


図7 完成した真空排気装置

内圧式中空系膜濾過のシミュレーション

埼玉大学工学部技術部 小林秀明

1 はじめに

水道界においても、膜分離による水処理に関心が集まっている。すでに、水道以外の分野での水処理には膜が広く使われ、膜の信頼性も高まってきたことから、水道にも膜分離技術を適用すべく、各所で研究が進められている。

凝集・沈殿・濾過・殺菌あるいはこれに前塩素処理を加えたプロセスはわが国のみならず世界の上水道に定着したものになっている。凝集は1881年、急速濾過は1884年に実用化されているから、このプロセスはもう1世紀以上も使われていることになる。このように長期・広範囲に使われてきた理由は、このプロセスが大量処理に適していること、多種類の不純物質の除去に有効であること、衛生的に安全であること、そして建設費・運転費がともに安価であるといった多くの利点をもっているからである。このように、このプロセスがあまりに優れていたために、対抗できる処理方法が現れなかった。新技術といわれるものも、凝集・沈殿・濾過の埒外に出たものはなかった。しかし、ここに至って膜処理技術がにわかに浮上してきた。膜処理が凝集・沈殿・濾過の主目的である除濁に関しては同等あるいは同等以上の性能を有しており、経済性に関しても十分対抗できる可能性を秘めていることが分かってきたからである。これまで膜処理に比較的冷淡であった水道界も、次世代の浄水処理方法として、遅ればせながら膜処理研究の必要を認め始めた。

2 膜分離の利点と寿命問題

2-1 利点

膜分離技術を浄水処理に使った場合、次のような利点が期待されている

(1)凝集剤が要らない

水道原水では、凝集剤無添加の精密濾過膜単独処理で在来の凝集・沈殿・濾過処理と同等あるいはそれ以上の水質が得られている。

(2)自動化、無人化が容易になる

膜分離で必要な操作は所要の圧力で原水を供給し、定期的に膜を洗浄することだけである。現在の凝集・沈殿・濾過という浄水処理において、ただ一つ自動化ができないのが凝集剤注入率の設定である。凝集剤が不要になれば、浄水操作が全て自動化できることになる。自動化ができれば、浄水場の無人化も容易になる。

(3)浄水場面積が小さくなる

膜分離によれば、浄水場の設置面積を大幅に縮小できる。浄水場面積を現在の1/2以下にすることは容易である。あいたスペースは活性炭処理などに提供することができる。また、無人化できることから人の居住に関する建物や設備を削減することができる。

(4)維持管理費が小さくなる

現在のところ、膜の寿命と膜の価格が未知数であるため、これらを含めた費用はまだ計算することが出来ない。しかし電気料と薬品費用に限っていえば、在来の処理より維持管理費が小さくなる。

(5)排水処理が容易となる可能性がある

凝集剤を添加しないから、それだけ汚泥量が減少する。また、汚泥の脱水を難しくしていた水酸化アルミニウムがなくなるから、汚泥の処理が容易となる可能性がある。

2-2 寿命

膜の機械的な強度は相当に大きく、機械的な寿命はかなりあるといってよい。ここでいう「寿命」とは、膜が汚染をうけて次第た差圧が上昇し、あるいは流束が低下して、これが通常の洗浄では回復の出来なくなったときをいう。この段階になっても、適切な薬品洗浄すれば、膜の目詰まりを回復させることができるから、完全に膜の寿命が尽きたわけではない。しかし、これまでの浄水処理の操作概念にてらして、ここではこれを「寿命」と考える。

3 本研究の目的

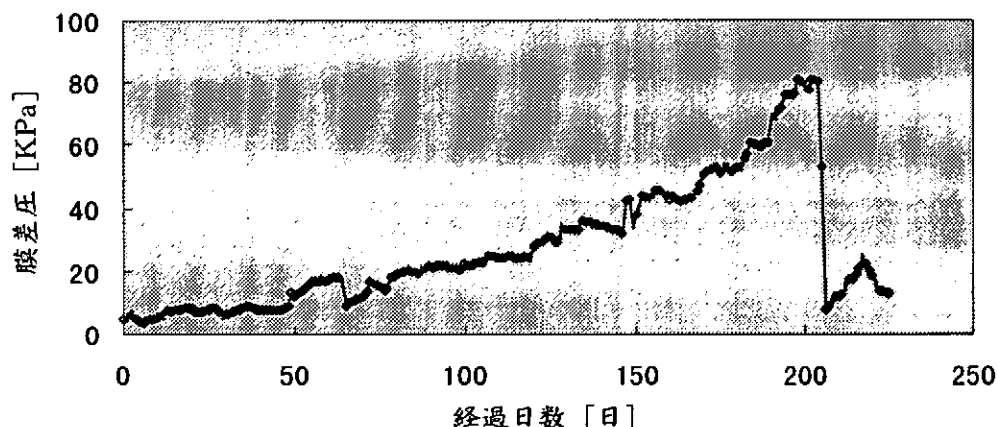
膜分離技術は水道にとって大変魅力的なものであることは間違いない。除濁を目的とした膜分離の水質的性能については既に評価が定まりつつある。そこで、まだ未解決な膜の寿命問題、つまり目詰まりの特性を知り、改善することにある。

本研究においては、仮定した理論に基づいて式を立て、内圧式中空糸膜を用いたクロスフロー濾過過程における不可逆的目詰まり進行をモデル化する。

4 実験の概要&結果

4-1 実験装置の概要は以下の通りである

- ◇装置構造：膜モジュール式 加圧式
 - ◇中空糸膜外径/内径/長さ：1.9mm/1.2mm/1997mm
 - ◇有効膜面積：23m²
 - ◇加圧方法：内圧式
 - ◇ろ過方式：クロスフローろ過
 - ◇洗浄条件：薬剤を使う逆洗処理を行い、膜汚染を抑制
- #### 4-2 実験結果



図—1 実験結果

5 内圧式中空系膜おける目詰まり過程

5-1 理論計算

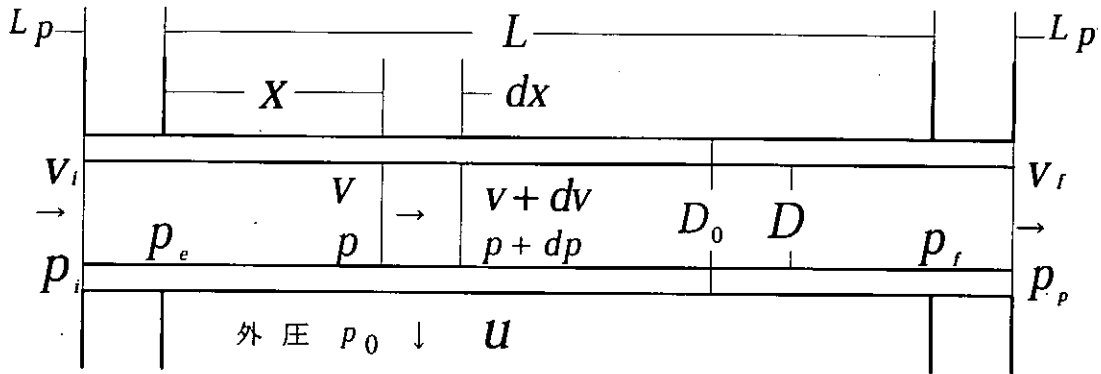


図-2 中空系膜内外の流れと圧力

ここに、

- p : x 点の膜系内圧(m)
- v : x 点の膜系内流速(m/s)
- v_i : x 点の膜系入口流速(m/s)
- v_f : x 点の膜系出口流速(m/s)
- u : x 点の膜透過フラックス(m/s)
- p_i : 膜系始端の膜系内圧力(m)
- p_f : 膜系終端の膜系内圧力(m)
- p_p : 膜系出口圧力(m)
- ρ : 水の密度(kg/m³)
- μ : 水の粘性係数(kg/m·m)

これからシミュレーションをするにあたり、必要な数値及びその計算をしていく

(1) 膜仕様から決まる数値

膜の仕様によって、膜固有の数値 D 、 D_0 、 L 、 L_p が与えられる。実験装置概要より下記の膜仕様が表示される。

(2) 水の性質からの数値 (水温 25℃として計算する。)

- 水の密度: $\rho = 1.000 \text{ kg/m}^3$
- 水の粘性係数: $\mu = 0.9 \text{ cP} = 9 \times 10^{-3} \text{ kg/(m} \cdot \text{s)}$

(3) 実験の操作条件からの数値

定圧濾過ならば 差圧 $\Delta p_s (= p_0 - p)$

(4) 初期値計算より自動的に決まる値

初期透過係数 k_0 は純水フラックスより自動的に定まる。

(5) 仮定により決める値

仮定により決める数値は、膜を粒状層と考えた時の初期空隙率 ϵ_0 と膜閉塞係数 γ の値である。両者を変化させて実験値と合わせても良いが、煩雑になってしまうので、粒状層とほぼ同じに考えて、一律 $\epsilon_0 = 0.5$ として計算する。故に、実験のフィッティングカーブにより定まるのは γ である。

5-2 計算方法

定速濾過では平均流速 u_{ave} が一定である。膜終端での v_f が設定膜終端流速になるまで p_0 を変えて繰り返し計をする。必要とされるのは、口金入口圧力と膜外圧との差圧 $p_i - p_0$ である。定速では差圧の上がり具合によって膜の閉塞の進行過程を知ることができる。

また時間 $t=0$ においては $k=k_0=\text{const}$ なので、次に示すような解析解が得られる。この p_0 を仮定初期値としてプログラムを作ると初期計算が速やかになる。

6 結論と結果

膜素材の単位体積あたりに不可逆的に蓄積する粒子の総体積は、その点の差圧、流速及び膜の空隙に比例し、膜内に均等に蓄積して膜孔空隙を狭める。その結果、膜閉塞係数 γ のみをデータに合わせて調節することで、それまでに得られた実験結果をモデル化で表すことができる。

今回のシミュレーション結果を見ると、理論計算により作られたプログラムから、膜閉塞係数 γ を変えてあげることにより、実験値を再現することができた。シミュレーションより、膜閉塞係数 $\gamma=100$ を得た。これは過去に行われた外圧式（全量濾過）の実験データよりも低い値を示し、内圧式（クロスフロー濾過）は前者より優れた値が得られた。つまり、より長期間使用可能なのである。

γ の値は30日以下の膜濾過実験により求めることができるので、本モデルを使えば短期間の実験結果から長期にわたる膜汚染過程を予測することができることになる。

膜分離では、凝集のような化学操作や蒸発のような相変化を伴うことなく、圧力をかけるだけで固液分離ができる。これが膜分離の大きな特長になり、水道にとって大変魅力的な技術であるといえるだろう。

今回用いた実験データは一件だけであった。というのも使用可能データが一件しかなかったのである。今後の課題として、より多くの実験データを用いることにより、シミュレーションの汎用性を高めることにある。

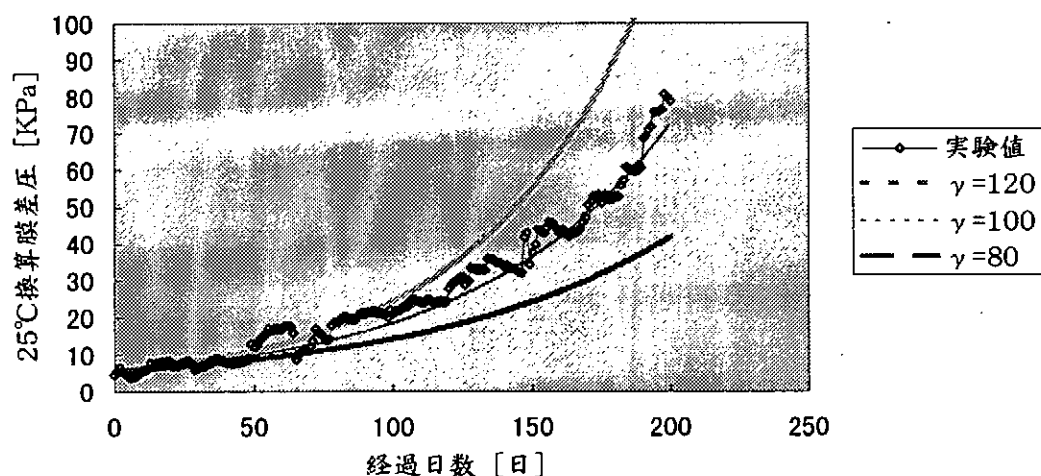


図-3 シミュレーション結果

参考文献

- 1) 藤田賢二 (1991):「膜濾過技術と上水処理」:工業用水 第389号
- 2) 藤田賢二 (1992):「膜の常識」:水道協会雑誌 第698号
- 3) 藤田賢二 (1992):「上水道と膜」:水道協会雑誌 第698号
- 4) 藤田賢二、山本和夫、滝沢 智 (1994):急速濾過・生物濾過・膜濾過:技報堂出版
- 5) 藤田賢二、滝沢 智 (1995):「外圧式中空糸膜における目詰まり過程のシミュレーションと操作方法の評価」:水道協会雑誌 第726号

パソコンの割り込み学習用回転体表示器の試作

名古屋大学工学研究科技術部

伊藤満男（航空宇宙工学専攻）、佐々木敏幸（航空宇宙工学専攻）、高田昇治（電子工学専攻）
福森 勉（電気工学専攻）、○若松 進（原子核工学専攻）

はじめに

コンピュータによる計測及び制御が通常のものとなった今日、理論数値計算用とは区別した実験用コンピュータを習熟することは電子・電気系はもとより機械系の技術職員にとって業務上大事なことである。中でも、オペレータの意のままにコンピュータを操る、**割り込み制御**は非常に重要な事柄であり、且つ、最も理解し難いポイントである。この割り込み制御を習熟するための制御ターゲットとして、高輝度LEDの残像現象を利用した手軽な表示器を試作した。また、この表示器を使って、エンコーダ信号による外部からのハードウェア割り込みやパソコンの内部タイマによるソフトウェア割り込みなど、種々の割り込み方法により文字や図形の表示を試みたので報告する。全体構成を図1に示す。

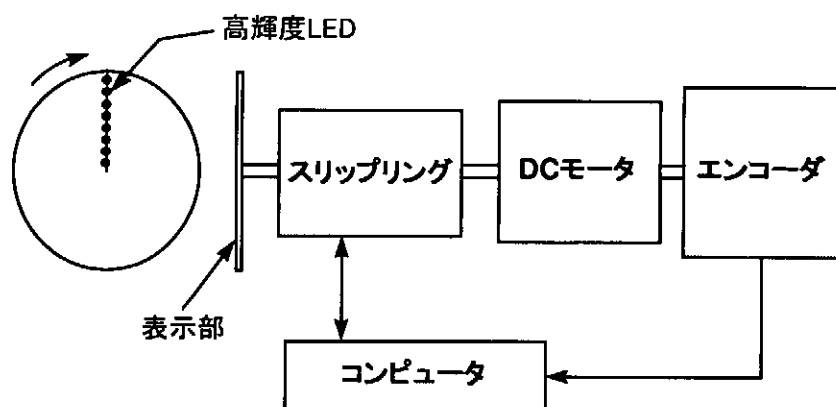


図1 全体構成図

割り込みとは

字句の如く、割って入り込むことである。パソコンを、「多数の電話を有する事務所」とおくと、「この事務所で仕事をしていた時に、電話が鳴り、その仕事を中断してその電話に出る。電話終了後は中断していたところから仕事を再開する。」という場合の、電話が割り込みに相当する。複数の電話が同時に鳴った場合、複数ある電話のどの電話に出るか、どの電話を優先とするか、またはどの電話のスイッチを切っておくか、入れておくかは所員（パソコンの場合はCPU（中央演算装置））の意のままである。言い換えると、割り込みとはCPUの動作に対して、非同期に発生する外部の入出力要求に応えるために、プログラム実行中に割り込んで実行される作業である。

PC98シリーズでは、255種類の割り込み（割り込みタイプ）を登録出来る。各々の割り込みタイプを指定することによって実行される割り込み処理ルーチン（プログラム）は、割り込みベクタテーブルと呼ばれる、メモリー番地の0000H～03FFHまでのメモリーに各々割り込みタイプ順に、4バイト（Offset Address 2byte、Segment Address 2byte）ずつを使って、そのルーチンが書いてあるプログラムの先頭（開始）のメモリーアドレスが登録されている。従って、CPUは、或る割り込みを受けると、その割り込みのベクタテーブルから割り込み処理ルーチンの先頭アドレスを取り出し、そのアドレスから始まるルーチンを実行する。プログラマーは、事前に、希望する割り込みに対して、その作業が記載されているプログラム（割り込み処理ルーチン）の先頭アドレスを割り込みベクタに登録しておく必要がある。

回転体表示器

この表示器は円盤上の半径部に一列に並べた 8 個（データ出力に利用したプリンタ出力端子が 8 bit のため）の高輝度 LED をエンコーダ付きのモータで回転させ、一定回転角度毎または一定時間毎の割込処理により LED をパルス的に点灯させ、その残像現象により任意の文字や図形を認識させようとするものである。従って、例えば、一定回転角度毎の場合、その角度において点灯させるべき LED のデータをタイムリーにその都度送出しなければ正しい図形または文字を表示出来ない。この表示器では、この信号送出のトリガを割り込み操作により行うもので、割り込み結果を視認出来る点で、割込学習のターゲットとしては良い選択だと思われる。

残像現象はご存知の通り、視覚的な刺激が除去された後も、興奮が残って前の刺激が短時間持続する現象である。日常の生活においてよく感ずることであり、これを応用した機器は多い。

高輝度 LED 表示部（回転体）への電源供給及びデータ信号の送出は、新たに設計製作した小型のスリッピングを通して行った。また、回転角度の検出には 1000 分割のエンコーダを用い、駆動は定格 24 V の DC モータを使用した。

ハードウェア割り込み用のエンコーダ出力パルスは、74HC40102 により 1/1 ~ 1/99 まで任意に分周可能で、パソコン側とはフォトカプラ（P521）により絶縁してある。また手動単発割り込み用に 74HC00 でパルス発生回路を構成し、スイッチで切り替えられる。（図 2 ~ 図 4）

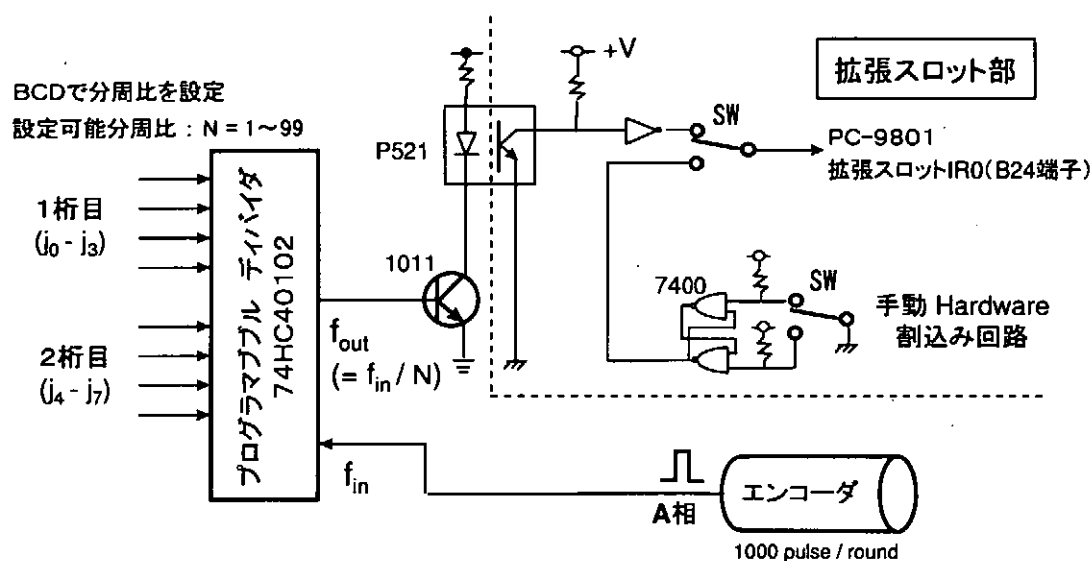


図 2 ハードウェア外部割り込み回路

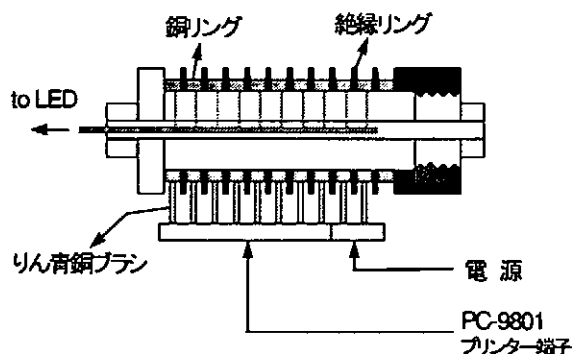


図 3 スリッピング概観

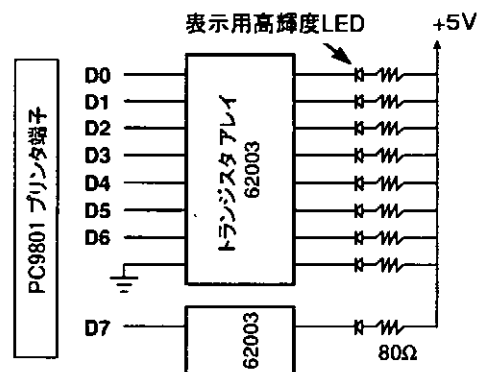


図 4 LED 駆動用プリンタ出力

実施した割り込み学習

ハードウェア割り込みによるLED表示制御

1. 拡張スロットバスからの外部割り込み（2種類、C言語と機械語を併用）

○手動スイッチによるTTL信号によるテスト割り込み

拡張スロットのバス（INT0、ベクタ番号は11）から入力された、手動スイッチによるTTLパルスにより、割り込みが発生すると、或る変数をインクリメントする割り込み処理ルーチン（機械語で作成）に飛び、或る変数が+1され、その結果が表示される。（C言語ではレジスタ操作が出来ないので、割込処理ルーチンには機械語を使用。）

○表示器と同軸上で回転するロータリーエンコーダ信号による割り込み

ロータリーエンコーダのA相信号を分周した信号を、拡張スロットのバス（INT0 など）から入力し、外部からハードウェア割り込みをかけた。割り込み処理ルーチンは手動スイッチの場合と同じものを使用し、変数が+1されるとLED点灯データを送出する。

本表示器の場合、この割り込みは回転角度量の制御となるため、モータの回転変動に関係なく安定に表示出来た。今回は、エンコーダ出力パルスを1/20に分周し、1回転当りの走査数を50本として、文字を表示した（エンコーダの分解能は、1000 Pulse / Round）。回転数が低いとちらつきが目立ち視認性が低下し、また回転数を上げると視認性は向上するが、割り込み処理ルーチンの処理時間が問題となる。

ソフトウェア割り込みによるLED表示制御

1. BIOSのインターバルタイマを利用したタイマ割り込み

BIOSは後述、BIOSで利用できる割り込みの時間間隔の最小は10 msecだが、関数を利用できるので利用が簡単

BIOSの起動法 ○C言語（Turbo C）のBIOSを利用した内部関数を使用。
 ○アセンブラ言語（MASM）を使用。
 ○MS-DOSのシステムコールの使用。

2. PC98内蔵タイマICのTimer0のMode 0 or 2を使ったタイマ割り込み

タイマICに或るカウント数をロードし、パソコンの機種毎のクロック周期でカウンタダウンを行う。カウンタ数値が零になった時点で割り込みがかかる。従って、割り込み時間間隔は、カウント数×クロック周期となる。（詳細は後述）

本表示器の場合、この割り込みは時間の制御となるため、モータ回転変動が直接影響し、安定な表示が望めないが、割込の学習教材としては有効である。

割込の手順（事前に割り込み処理ルーチンを機械語で作成する。）

255種類の割り込みタイプの中から使いたい割込ベクタについて下記のことを行う。

1. 割込ベクタの取得 既に設定されている割込処理ルーチンのアドレスを保存する。
2. 割込ベクタの設定 新しい割込処理ルーチンのアドレスを登録する。
3. 割込の許可（割込を可能にする）
4. 所定のプログラムの実行
5. 割込の禁止（割込を不可能にする）
6. 割込ベクタの復帰 1. で保存した元の割込処理ルーチンのアドレスを書き戻す。

OB I O S とは

BIOS とは Basic Input Output System で、PC 98 シリーズの基本入出力を制御するプログラム (システム) である。PC 98 の設計に基づいて ROM (Read Only Memory) に記録されており、パソコン立ち上げ時に自動的に読み込まれる。

入出力装置には、時計、カレンダー、ブザー、キーボード、画面表示、グラフ描画、ディスクの読み書き、マウス、プリンタ入出力、サウンド、GPIB、RS-232C などがある。これらの使用法は CPU にソフトウェア割り込み (255 種類) をかけて実行する。

OPC 98 シリーズのタイマー装置について

プログラマブル インターバル タイマ IC (8253) を内蔵している。この IC は 3 個のカウンタを有し、3 個中の一つ (タイマー 0) がタイマ割込として割り込み IC (8259) を通して使用可能

| システム クロック | PC_98 の種類 | 入力クロック (MHz) | クロック周期 (nsec) |
|--------------|----------------|--------------|---------------|
| | 8/16 MHz 系 | 1.9968 | 500.8 |
| | 10/12/20 MHz 系 | 2.4576 | 406.9 |

使用モード: 6 種類のモードがある。共に、カウント数をロードした後、ダウンカウンタがアップした時点で割り込み発生。

- ・モード 0: ロードされたカウント後に、1 回のみ割込発生。
- ・モード 2: 1 度カウント数をロードすると、周期的に割込発生。

最大時間設定は、カウント数 (最大 65,536) × クロック周期、
(例えば 10MHz 系では $65,536 \times 406.9 \text{ nsec} = 26.7 \text{ msec}$)

OCPU によるアドレスの指定方法

08086 系 (旧 NEC タイプ) の場合

20 bit のアドレス空間 (即ち、1 Mbyte、FFFFFFH) を持っており、Offset Address と Segment Address との組み合わせで指定する。つまり、1 Mbyte というメモリ空間をセグメントという単位に区切り、その Segment Address を起点とした Offset Address で管理する。従って、同じセグメント内にプログラムやデータなどが入っていれば、Offset Address のみを指定すれば良く、プログラムの進行が早くなる。)

(8086 系の CPU では、電源スイッチを入れると FFFF0H のメモリ番地からプログラムが実行開始されるので、メモリー空間の上位を ROM 領域、下位を RAM 領域としている。従って、書き換えが必要な割り込みベクタは 00000H から設定されている。)

068000 系 (旧富士通タイプ) の場合

物理アドレス (00000H ~ FFFFFFFH) で指定する。

(考え方が簡単だが、アドレス計算の桁が大きく、しかも複雑となり、実行速度が遅くなる。)

あ と が き

試作表示器は半径方向に一行に並べたわずか 8 個の LED にもかかわらず、割り込み制御法によっては明瞭、明確な文字や図形を表示することが出来た。

パソコンの主流は、PC98 から Windows 機へ移行しつつあるが、Windows 機になっても、割り込みの方法、概念は変わらない。今後は、この表示器を使用した一層複雑な割り込みの実習を行うとともに、より高度なものに発展させるべく検討中である。

超高速光回線を利用したスペースVLBI観測実験

○宮地竹史、川口則幸（国立天文台・野辺山）、小林秀行（宇宙科学研究所）、井口聖（電気通信大学）、藤沢健太（通信放送機構）、星野隆資（NTT）

1. はじめに

国立天文台のVLBI（超長基線干渉法）観測グループは、宇宙科学研究所（以下、宇宙研）、NTTと共同して、今年2月に打上げられた電波天文衛星「はるか」と地上の電波望遠鏡を組合わせて観測するスペースVLBI実験を進めている。

この実験では、衛星と地上の望遠鏡の間で行われている観測の状況をリアルタイムで把握することが重要である。このため新しい試みとしてこれまでのVLBI観測のように、観測で得られた天体からの情報を磁気テープにいったん記録する方式ではなく、データ解析を行う相関処理局にNTTの超高速光回線を利用して直接望遠鏡の観測データを送り出す方式を考案した。

現在、長野県の宇宙研・臼田局（以下、臼田）64mアンテナと10mアンテナ、および国立天文台野辺山宇宙電波観測所（以下、野辺山）45m電波望遠鏡からのデータを128Mbpsで東京三鷹市・国立天文台VSOP相関局と神奈川県相模原市・宇宙研に送り、解析する実験をおこなっている。

2. 実験システムの構成

実験システムに使われた総延長は800 kmを超える光伝送網を図-1に、実験システムの機器構成を図-2に示す。

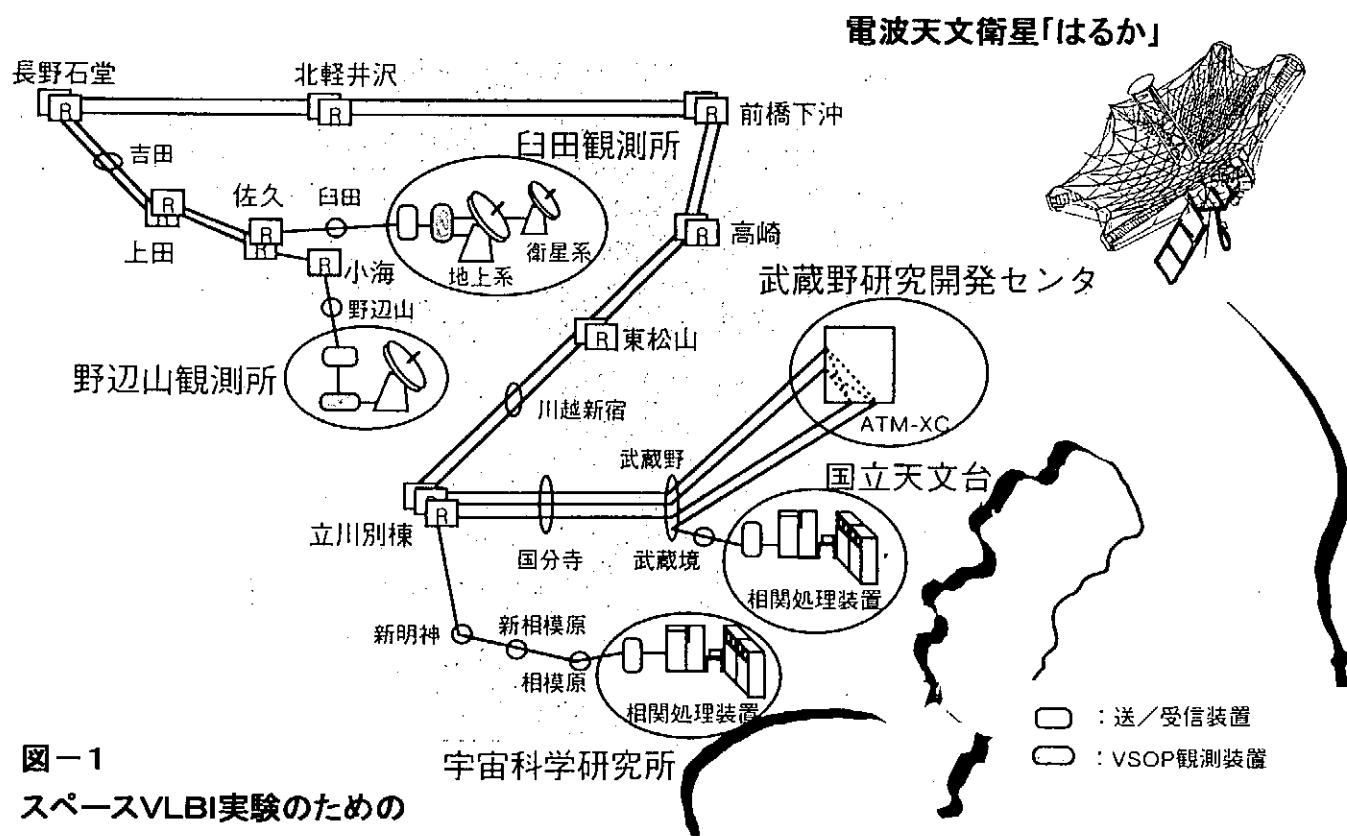


図-1
スペースVLBI実験のための
超高速光伝送回線網

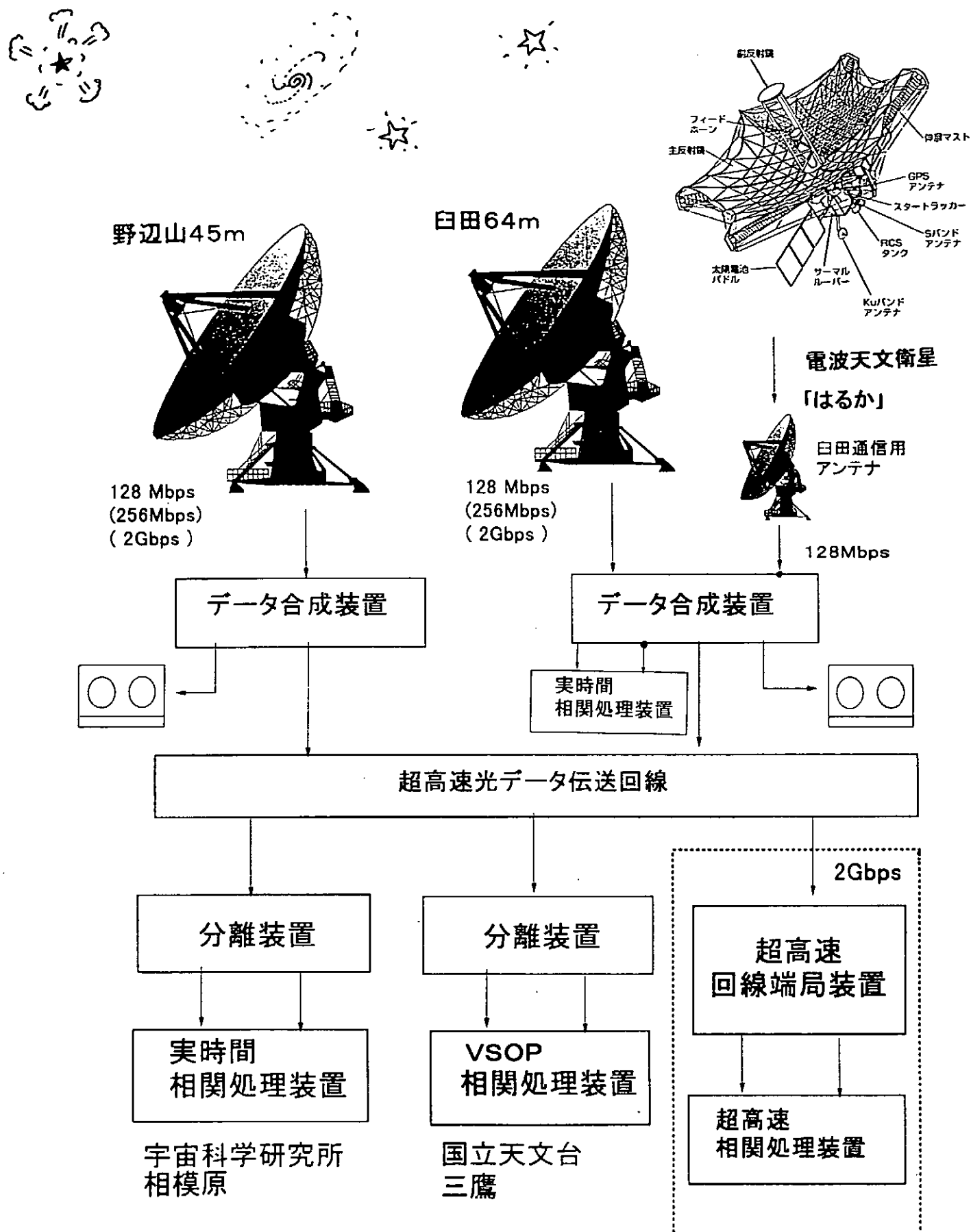


図-2 伝送実験システム構成

3. 実時間フリンジモニタ実験

V L B I 観測では、それぞれの望遠鏡が遠く離れており、基準周波数や観測システムも異なっており、観測の正否は観測データが記録された磁気テープを持ちより、相関処理するまでわからなかった。私たちは、お互いの望遠鏡を光ファイバーで結合し、リアルタイムで相互のデータの相互相関を行い、事前のフリンジチェック（相互相関の確認）や観測中の状態を把握できるようにしたかった。

最初の実験は、1996年12月に実時間相関器（NRFD）を三鷹VSOP相関局に置き、NTT光伝送回線からの信号を分離装置に通して相関処理をおこなう方法でおこなった。これは、光回線を使って本当に観測データがそのままの形で送れるのか、送受信の端末装置の性能を知る目的もあった。

12月2日に臼田64m望遠鏡から、20日に野辺山45m望遠鏡からの観測中のデータがリアルタイムで送られ、自己相関処理で観測天体からの電波のスペクトルを同時に確認することができた。伝送距離はそれぞれ約450km、400kmであった。結果は、みごとに天体W49NなどからのH₂Oメーザ電波を相関器側で捉えることができ、電波望遠鏡で受信した天体からの大量の信号を光通信網によって伝送する事が、技術的に可能である事が証明された。現在は、NRFDを宇宙研（相模原）の衛星「はるか」の管制運用室に移し、臼田、野辺山からの信号を受信し観測の進捗をリアルタイムでモニターしている。図-3は、相関器側で得られた天体電波のスペクトル図である。

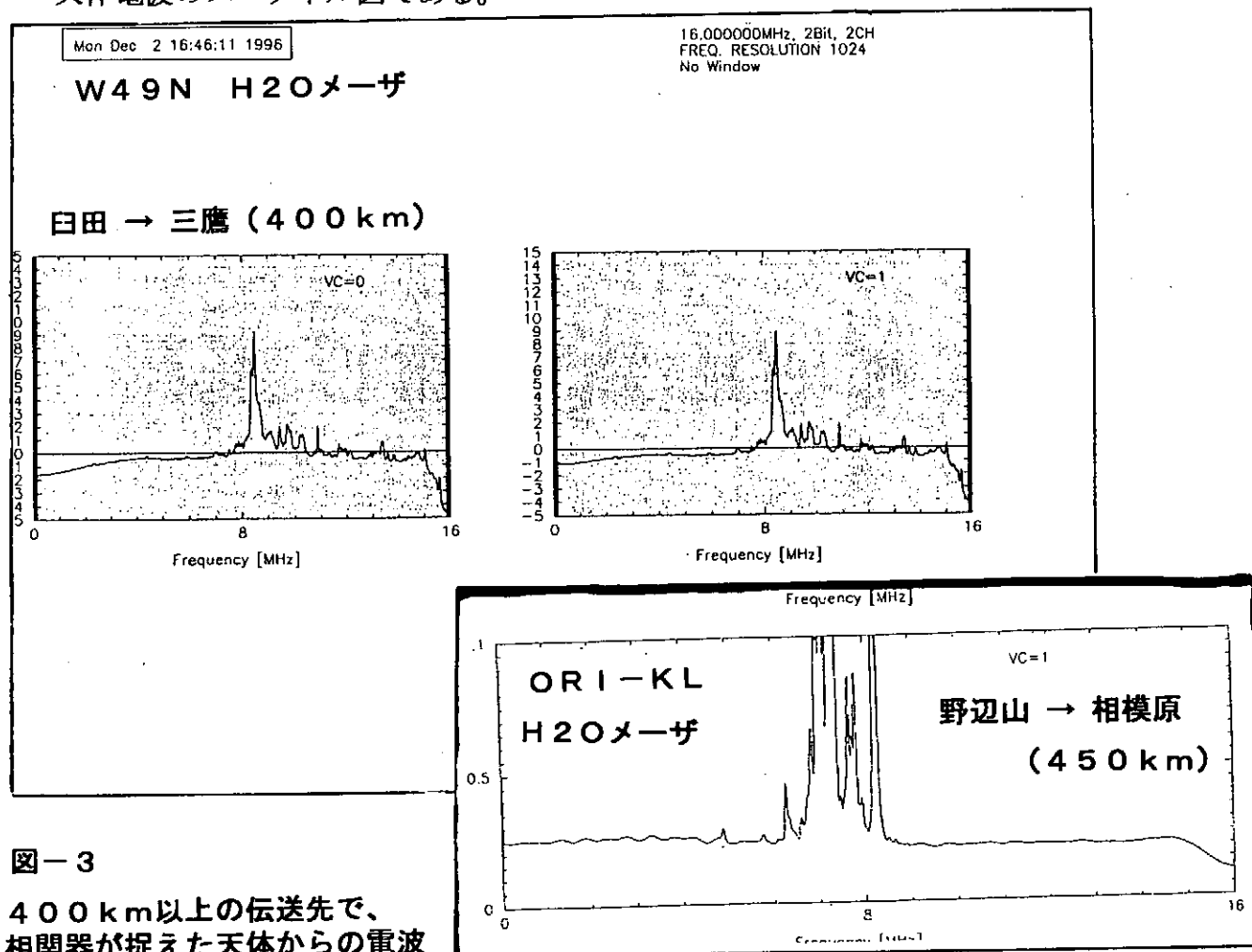


図-3

400km以上の伝送先で、
相関器が捉えた天体からの電波

4. リアルタイム相互相関にむけて

私たちはこのような実験を進めながら、VLBIとしての相互相関実現にむけてシステムと解析ソフトの両面から改良を進めている。相互相関では、臼田、野辺山で受信する電波の到達時間のずれ、両観測局からの伝送遅延量などを数マイクロ秒の精度で知り双方のデータの時刻同期を行なう必要がある。リアルタイム相互相関では、時々刻々変化する天体の動き、地球の回転も考慮した位相あわせの処理も必要になる。伝送回線上のデータ揺らぎも地上望遠鏡間では、27日程度の安定度が保たれることがわかっている。スペースVLBIでのドプラー変動に対しては、8 Mbit程度のFIFOバッファで制御し補正することを考えている。

時刻同期については、相関器側にもGPS時刻装置を置き、GPS時刻を双方で参照しながら遅延量を求める方式を考え実験にはいつている。伝送経路では、数ミリ秒の遅延が予想されるが、これを数マイクロ秒の精度で測定する。NRFDのソフト改修はほぼ終え、磁気テープを再生して行なったテストでは、図-4のような相関フリンジが得られ、リアルタイム相互相関に向けた道具立てが整った。

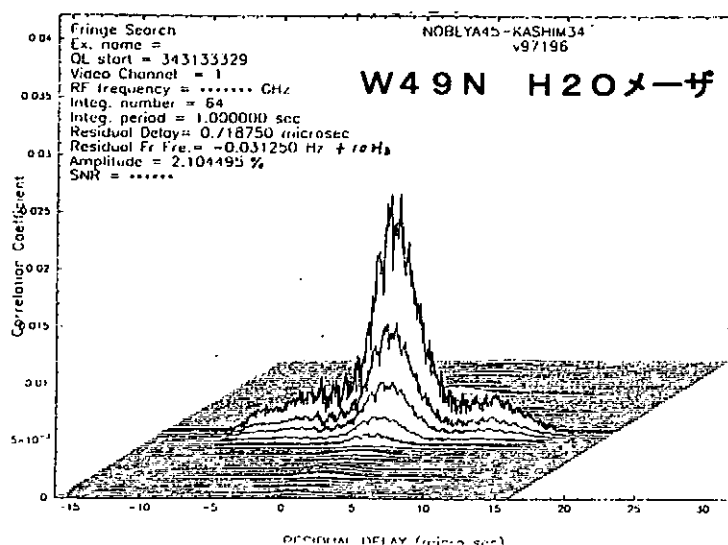


図-4 実時間相関器による相互相関処理

光伝送回線を使うとこのような天体電波のフリンジが、リアルタイムで見られるようになる。

5. 最後に

わたしたちは、NTT光伝送網を使う事で、VLBI観測の弱点であったリアルタイムでのフリンジ（相関）チェックが可能となり、相互相関処理の実現も目前になった。次はもう一つの夢である、高感度観測の実現である。現在の光伝送網は、2.4 Gbpsの伝送能力をもっている。10 Gbps伝送実験も成功している。観測帯域を広げることで、微弱な天体の電波が検出できるようになると、ブラックホールの解明は大きく前進し、生まれつつある惑星の検出も可能になる。とくに今まで見えなかった遠くの銀河を観測する事が可能になると、宇宙の進化の様子＝宇宙は膨張し続けるのか、収縮に向かうのかといった問題についても、観測データをもとに論じる事が可能になる。

将来へさらに発展する要素をもった光伝送網を使った電波天文観測の第一歩となるよう引き続き実験を進めたい。

バンチャー系制御システムの更新

高エネルギー加速器研究機構

白川明広、大澤 哲、池田光男

1. はじめに

電子線形加速器に於ては、KEKB 計画に伴う増強改造が進行中である。改造により、電子銃をはじめとする電子入射部の機構が、新しく入射部となる場所に移設された。この新入射部が本格稼働となるまでの期間、従来からの入射部の位置に、以前使用していた陽電子発生用の入射部の機構を移設して使用することとなった^[1]（これを「仮入射部」と呼ぶ）。仮入射部を構成する機構の内のビームバンチャー系の制御システムは、製作後十年余を経過しており、性能面の劣化が目立っていた。そこでこれに対して全面的な更新を施し、現在の加速器制御系に適合するものとした。本稿では、新システムの内容について、機器インターフェイスである「機器コントローラ」と、その機器コントローラを管理するコンピュータとに重点を置いて記述する。

2. 制御システム全体像

バンチャー系の役割は、電子銃から射出された電子ビーム粒子に速度変調をかけ、加速マイクロ波の特定の位相幅の範囲内に集結させるものである。構造的には、ビーム進行方向に円柱形の単空洞を持つブリバンチャーと、加速管と同様に幾つかの空洞が連続したバンチャーとがある。これらの空洞に供給するマイクロ波の位相及びパワーが、制御対象である。このための移相器・減衰器では、マイクロ波の導波管の経路長を調節することで、位相及び減衰量の調整を行なっている（図1）。経路長の調節は、導波管動端のショートプランジャをステッピングモーターで変位させることで行なう。従って、制御系側から見た直接の制御対象は、ステッピングモーターのドライバーや、プランジャの位置検出器等である。これらの内訳を表1にまとめる。

制御システムの全体像は図2のようになっている。シーケンサ（プログラマブルコントローラ）を内包した「機器コントローラ」が最下層に位置し、制御対象機器へのインターフェイスである。機器コントローラはイーサネットでは制御系上位と接続されている。このネットワークは、バンチャー系専用回線では

表1 バンチャー系 制御対象機器の種類と台数

| 機器名 | 用途 | ブリバンチャー用 | バンチャー用 |
|--------------|-----------|----------|--------|
| ステッピングモーター | プランジャ移動用 | 2台 | 2台 |
| 位置検出エンコーダ | プランジャ位置検出 | 2台 | 2台 |
| マイクロ波パワーメーター | パワー測定 | 1台 | 1台 |

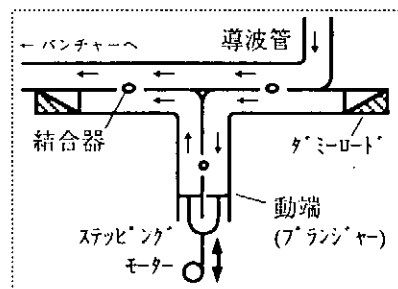


図1 マイクロ波減衰器の原理図

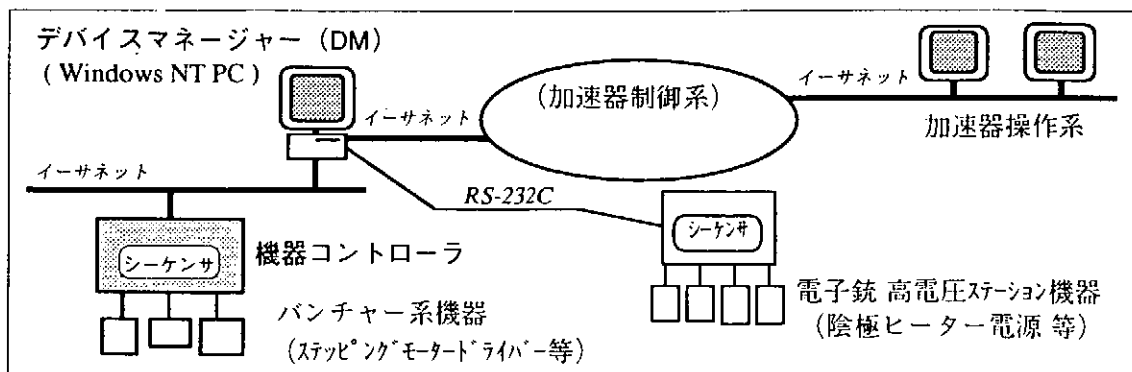


図2 バンチャー系制御システム全体図

なく、電磁石系など、他系統の機器も混在している。ネットワーク上には、機器コントローラを管理するための専用コンピュータとして Windows NT パソコンを置き、機器コントローラに対する全ての制御情報を統括させる。このパソコンを「デバイスマネージャー」と呼び、DM と略す。但し、現在のところDMの管理機能は未完成であり、暫定機能で運用中である（→第4章）。この事情により、図2中でDMの上位に位置している「加速器制御系」は暫定的に短絡されており、DMと加速器操作系が直接通信を行っている。DMは、電子銃高電圧ステーション上の機器の管理も同時に担っている。

3. 機器コントローラ仕様

機器コントローラは、高さ177mmの箱の中にシーケンサ等の必要機器を格納したもので（図3）、EIA 規格19インチラックに取り付けて使用する。被制御機器との接続用コネクタは、コントローラ背面にまとめており、前面はすっきりした外観となっている。内部には、シーケンサの他に、入出力信号の変換回路（基板）を設けている。回路上では、TTL 信号とDC24V 接点信号との変換などを行い、シーケンサと被制御機器との間の信号規格の整合を図っている。

シーケンサの機種選択に当たっては、電子線形加速器の他の制御システム（真空系、電磁石系等）で使用しているものと同じとし、横河電機製のFAM3シリーズを採用した。モジュール構成内容は表2に示す通りである。「パルス送出モジュール」は、ステッピングモータードライバに対してパルスを送り、モーターを駆動させる。プログラム管理等のシーケンサの保守作業は、イーサネット経由で遠隔操作可能である。尚、シーケンサの性能に関しては、我々の加速器での使用上支障ないことが、既に検証されている。^[2]

表2 シーケンサモジュール構成

| モジュール名 | 個数 |
|-------------|-----|
| パルス送出モジュール | 2 個 |
| 接点入力モジュール | 2 個 |
| 接点出力モジュール | 1 個 |
| TTL 出力モジュール | 1 個 |
| イーサネットモジュール | 1 個 |
| CPU モジュール | 1 個 |
| 電源モジュール | 1 個 |

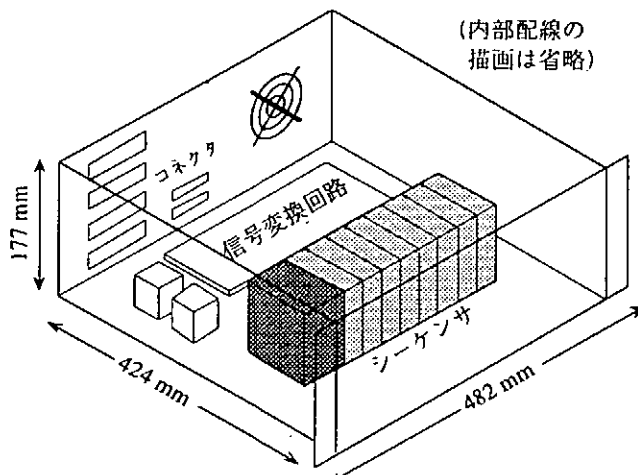


図3 機器コントローラ概略図（透視図）

4. 各機器の制御プログラム

本制御システムの各構成機器の上で実行される制御プログラムについて、個別に述べていく。

4.1 シーケンサのプログラム

シーケンサCPU モジュール上のプログラム（いわゆるラダープログラム）に於ては、注目すべき演算処理は特になく、プログラムの主な内容は、パルス送出モジュールの初期設定、制御系上位（すなわち DM）からの命令文の解釈、位置検出エンコーダから読み出したバイナリデータの十進数への変換、といったものである。このラダープログラムは、MS-DOS パソコン上の専用ソフトウェアを用いて作成し、イーサネット経由でシーケンサへ書き込む。

4.2 デバイスマネージャー (DM) のプログラム (1) — 現状 —

DMの役割は、その名の通り、機器制御を全て管理し、他の制御系統に対するバンチャ系の独立性を保つことである。しかしながら諸般の事情により、未だ最終的なプログラム形態になっ

ておらず、暫定的な形で運用している。現状で DM が持っている機能は次の通りである。

- (i) 機器コントローラからの定期的なデータ読み出し（ポーリング）機能
- (ii) 制御系上位側からのデータ読み出し要求に対する返信機能
- (iii) 制御系上位側からの機器コントローラに対する動作命令文の転送（プロトコル変換）機能

DM のプログラムは、各機能毎に構造化されている。

(i) における読み出し頻度は、毎秒 1 回である。読み出したデータは、内部キャッシュに格納する。データの蓄積はしておらず、キャッシュは毎回更新される。(ii) では、要求を受け付けると (i) で格納したデータ内容を返信する。その都度シーケンサまでデータアクセスに行くことはしない。ここで言う「制御系上位」とは、現状では加速器操作系の Windows PC を指す。(iii) に関しては、DM はただのゲートウェイであるが、(i) の定時ポーリングとぶつからないように交通整理を行なっている。以上の通信の流れを図 4 に示す。

第 2 章で触れたように、DM は電子銃高電圧ステーション機器に対するマネージャーを兼ねているが、そちらはバンチャー系のものとは全く独立に構築されている。その機能は単なるゲートウェイであり、制御系上位に対するイーサネットの電文と、シーケンサ（バンチャー系のものとは異なる）に対する RS232C の電文の変換を行なっている。

DM 上のこれら一連のプログラムは、Microsoft Visual Basic で作成している。又、パソコンの OS は Windows NT 4.0 (Workstation) であり、完全なマルチタスク環境である。すなわち、この DM のように異なる系統の制御を混載しているマシンでは、ある系統で異常が発生しても、他へ波及することがない。

4.3 デバイスマネージャー (DM) のプログラム (2) — 最終形態 —

目下不十分である DM の管理機能を完成すべく、プログラム改訂作業を進行中である。変更点は、次のようなものである（図 5 参照）。

- ・ 制御系上位側の通信相手を、加速器操作系から、加速器制御系の UNIX マシンへ変更する
 - ・ 上位側との通信文形式を、オブジェクト指向的な文法とする。このために DM 上に命令文の翻訳機能を追加する。同時に通信プロトコルを UDP/IP に変更する
 - ・ シーケンサから定期的に読み出しているデータを DM 内部で常時監視し、変動が認められた時に、DM 側から上位に対して通知を行う
 - ・ DM の内部にデータベースを設け、データ履歴を記録する。更に、一定期間内に於ける、データの平均値や標準偏差等といった統計の数値も扱う
- この改訂作業はかなりの作業量を要するものに見受けられる。しかし、加速器の他の機器制御系に於て類似のシステムが既に確立されており、例えば電磁

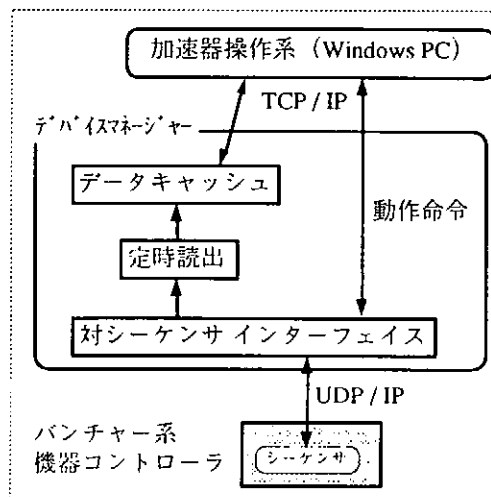


図 4 バンチャー系制御システムに於ける通信の流れ (現状)

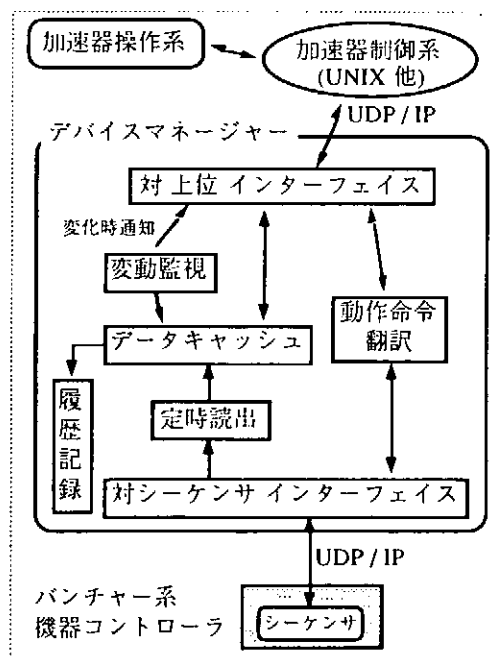


図 5 バンチャー系制御システムに於ける通信の流れ (最終形態)

石電源制御系のシステム^[3]を応用する形で、比較的容易に構築可能な見込みである。

4.4 加速器操作系のプログラム

加速器操作系では、他の機器系統と同様に、操作プログラムは Visual Basic を用いて作成したもので、Windows PC 上で実行させている。そのプログラム画面はグラフィカルであり、マウス操作で全ての機能を実行できる。用意されている機能としては、

(i) プリバンチャー空洞、バンチャー空洞に供給するマイクロ波の位相調整

(ii) 同じくマイクロ波のパワー調整（減衰度の調整）

(iii) 上記 (i)、(ii) 全データの、データファイルへの一括保存及び全データの一括設定

がある。DM の機器管理機能が不十分な現在では、この操作系のプログラム中に、シーケンサとの通信文形式に関する記述が含まれている。これは本来 DM 側で持つべきものであり、DM のプログラム改訂後はそちらに移植される。その際の作業はプログラム内部に対してのみ行なわれ、オペレーターから見た操作画面の外観及び機能には、何ら変化はない。

5. 考 察

更新前のシステムでは、機器コントローラはボードコンピュータを使用したもので、これと通信していたコンピュータ（現在のマネージャーとは異なる）は、富士通 FM11 であった（図6）。

今回の更新での大きなポイントは、機器コントローラを新規設計の上置き換えたことと、DM を設けたことである。これでイーサネット経由の通信が可能となり、加速器制御系とのつながりも良くなった。DM のプログラム整備が完了すれば、制御系のどこからでも、DM を介しての機器へのアクセスが容易に可能となり、更には加速器全体の統合的な制御へとつながる。又、WWW 等への展開も十分考えられる。その場合はネットワークセキュリティ管理が重要となってくる。

バンチャー系の DM が電子銃系の DM を兼ねている点については、同一のコンピュータ上にある必然性はない。将来、双方を連動して操作する可能性はあるが、その場合でも、DM が同一マシン上にある必要性は高くない。しかし、いずれの管理プログラムも CPU 負荷は軽く、資産の有効利用の立場から、1 台に同居させている。

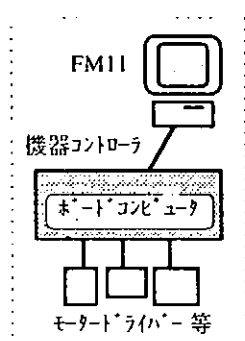


図6 更新前のシステム

6. まとめ

電子線形加速器の増強改造に伴って、電子入射部のバンチャー制御系システムを更新した。機器コントローラにはシーケンサを使用し、加速器制御系とはイーサネットで結び、中間に機器管理用コンピュータ（『デバイスマネージャー』）を置いている。デバイスマネージャーの管理機能の一部は現在整備中であるが、これに機器制御情報を集約し、制御システムの階層区分の明確化を図っている。シーケンサの機種や、制御システムの構造を、他の機器制御系統と共通にしたことなどから、効率良くシステム構築を行えた。この新システムは平成9年春より使用開始し、順調に稼働している。

参考文献

- [1] S. Ohsawa et al., Proc. of the 22nd Linear Accelerator Meeting in Japan (1997) p.261.
- [2] 白川 他, 分子科学研究所技術研究会報告 (1996) p.85.
- [3] A. Shirakawa et al., Proc. of the 22nd Linear Accelerator Meeting in Japan (1997) p.213.

大型ヘリカル装置(LHD)用ミリ波ヘテロダイン干渉計装置

核融合科学研究所 ○伊藤康彦, 江尻晶, 川端一男

1. はじめに

核融合科学研究所では大型ヘリカル装置(LHD)が平成9年度末の完成に向けて建設中である。LHDの実験用に高温プラズマの電子密度測定を行うため、周波数140GHzのミリ波ヘテロダイン干渉計装置を開発中である。

LHDのミリ波干渉計では、ミリ波発振器からプラズマ照射部までの光路長が往復で約100mにも及ぶ。発振器の周波数変動は、光路長に比例して測定された密度に誤差を与える。

本報告ではLHD用ミリ波干渉計装置の紹介及び、ミリ波発振器の周波数安定化を行った結果について報告する。

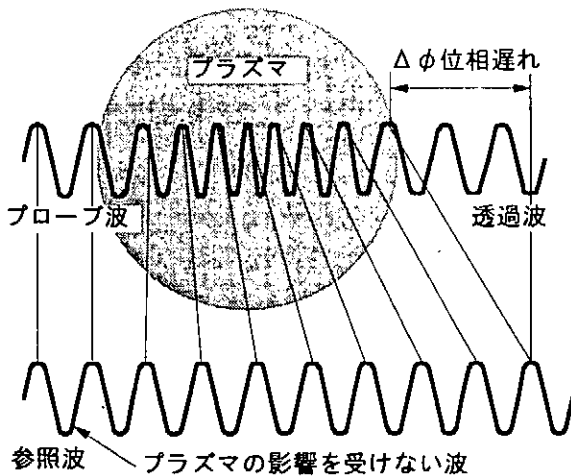


図1 電磁波によるプラズマ密度計測

2. 干渉計の原理

高温プラズマの電子密度計測においては、マイクロ波等の電磁波を利用した透過干渉計測法が広く用いられている。

この原理を図1に示す。プラズマを透過した電磁波は、その電子線密度に比例した位相変化 $\Delta\phi$ を受ける。透過波とプラズマを透過させない参照波は、干渉計及び位相検出器で位相比較されることにより、密度情報を含む $\Delta\phi$ を得ることができる。

3. ヘテロダイン干渉計の構成

プラズマ計測用ヘテロダイン干渉計の基本的な構成を図2に示す。プローブ波用発振器出力は、プラズマを透過するプローブ波用と、プラズマを透過しない参照波用に分割される。局部発振器は、ミリ波帯であるプローブ波及び参照波を、UHF帯以下に周波数変換(ビートダウン)するためのものである。

プローブ波はプラズマを透過し、プラズマから $\Delta\phi$ を受けた透過波となる。透過波及び参照波はそれぞれ、ミキサ1及びミキサ2で局部発振器出力と周波数混合され、ビートダウンされた E_p 及び E_r となる。 E_p, E_r は位相検出回路によって位相比較され、 $\Delta\phi$ が得られる。

LHD用ヘテロダイン干渉計の構成を図3に、機器配置を図4に示す。プローブ用発振器及び局部発振器には、それぞれ140,

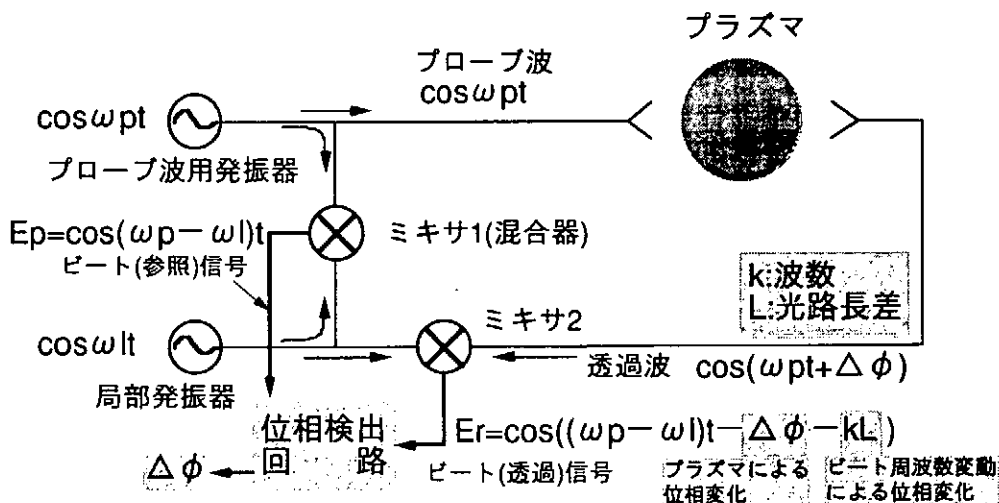


図2 ヘテロダイン干渉計の基本構成

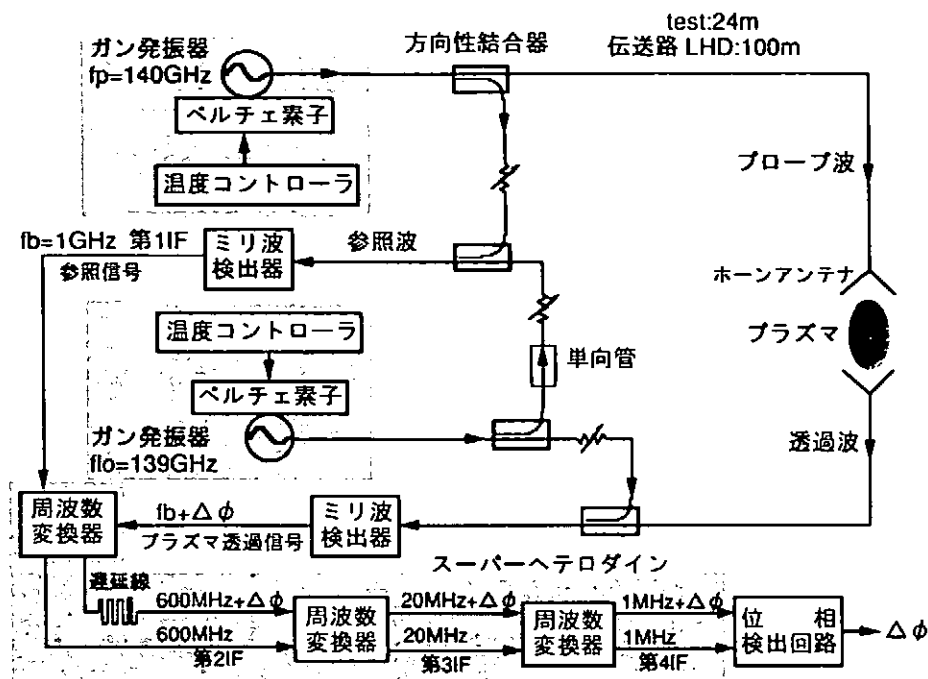


図3 LHD用ミリ波干渉計の構成

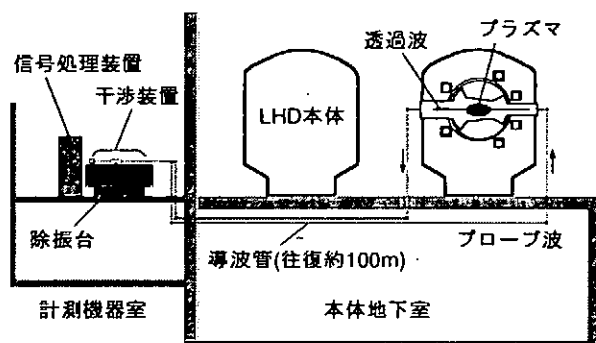


図4 LHD用ミリ波干渉計の機器配置

139GHz, 出力20mWのガン発振器を用いる。したがってビート周波数(第1IF)は約1GHzとなる。第1IFはスーパーヘテロダイン受信回路により、位相検出回路が動作可能な周波数帯である1MHzまでビートダウンされる。位相検出回路は、測定範囲255フリンジ(1フリンジは位相変化の 2π に対応), 位相検出分解能1/10フリンジであり, E_p と E_r の位相を比較し, $\Delta\phi$ を出力する。

本干渉計装置の測定可能な密度は, $1 \times 10^{10} \text{cm}^{-3} \sim 1 \times 10^{14} \text{cm}^{-3}$, 精度は $1 \times 10^9 \text{cm}^{-3}$ を目標としている。

4.問題

図2に示した干渉計を, プローブ波の導

波路長が数m, 放電時間が1秒以下で済むプラズマ実験装置に適用した場合には, あまり問題にならなかった現象が, 導波路長が100mに及び, 定常放電実験を行うLHDに適用する場合には, 以下に示すような現象が問題となってくる。

- (1)2台のガン発振器は, 周辺温度, 電源電圧等の変動の影響を受け, 常にそれぞれの発振周波数が独自に変動している。ここでプローブ波と参照波の光路長に差があると, 周波数変動の影響が光路長差に比例して, 位相変動となって現れる。
- (2)ミキサによる周波数混合により, プローブ波用のガン発振器と局部発振器の発振周波数の差がビート周波数(本装置では800MHz~1GHzに設定)となって出力される。ここで, (1)で述べたガン発振器の周波数変動があると, ビート周波数も変動し, 後段の受信回路の同調周波数範囲を超えてしまうことがある。
- (3)プローブ波用導波管の周辺温度が変化すると導波管は伸縮する。したがって光路長が変動することになり, 位相も変動する。LHD用ミリ波干渉計では, 2°C の変動で約3フリンジの位相変動になると推定される。

また, 光路が振動を受けた場合にも, 位相変動を発生させる可能性がある。以上に示した現象は, 位相検出回路へ入

力される信号に、周波数及び振幅の変動、余分な位相変化を与える。これらの現象は、位相検出回路の動作を著しく不安定にさせ、また、無視できない大きな位相検出誤差を発生させる。

5. 対策

前項の(1)～(3)に述べた問題点を解決するため、以下の対策が考えられる。

(1) 2台のガン発振器の温度を、恒温層等で一定に保つ。本装置では、冷却作用を有するペルチェ素子と専用の温度制御装置を用いた。ガン発振器周辺の様子を図5に示す。

光路長差については、参照波とプローブ波の光路長が揃うように、導波管の配置を行えばよい。実際には参照波の光路長をプローブ波の光路長に合わせればよい。

例えば、小型のプラズマ実験装置では、数10cm程度の参照波の光路を、10m程度のプローブ波の光路に合わせればよい。

しかし、本装置のようにプローブ波の光路長が100mにも及ぶ場合、導波管の敷設には多額の費用がかかるため、光路長を合わせるのは困難である。

本装置では、高価な導波管の敷設を避け、代わりに参照信号の第2IFと第3IF間に、セミリジッド同軸ケーブルを遅延線として挿入する。このケーブル長を調整すれば、光路長差による位相変動を打ち消すことができる。

(2) ビート周波数 f_b が一定となるように、局部発振器の発振周波数 f_{l_0} を制御する。これを行う場合、プローブ波用発振器の発振周波数 f_p を基準として、 $f_b = f_p - f_{l_0}$ とな

るように f_{l_0} を制御する。ここで、 f_b は位相検出分解能(1/10フリンジ)で決まる許容偏差内(300kHz)で安定していることが要求される。

(3) 前述の遅延線は、導波管の伸縮による位相変動の補正には、効果がない。

本装置の導波管が設置される部屋は、空調設備により約 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 以内で安定している。これから1/3フリンジの位相変動があると推定される。

数10秒程度の短時間放電を行う場合は、温度変動の時定数はプラズマ放電時間に比べて大きいため、その影響は小さいことが期待できる。しかし、長時間放電を行う場合は、この影響は無視できなくなる。

長時間放電実験に対応するため、140GHzの干渉計が稼動した後は、285GHzの干渉計を設置し、2波長干渉計とする予定である。

2波長干渉計は、各々の波長の干渉計によって測定された位相情報を信号処理することにより、導波管の伸縮及び振動によって発生する位相変動を補正しようとするものである。

6. 結果

LHDで用いる干渉計の導波路は製作中であるため、本報告では24mの仮の導波路を用いた干渉装置で実験を行った。光路長差の補正には、前述の遅延線に8m長のセミリジッドケーブルを用いた。

2台のガン発振器各々に、ペルチェ素子を設置して温度制御を行った結果を図6に示す。制御により、発振器温度を $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 以内で安定化することができた。このような簡易的設備による制御としては、この辺りが限界であり、本装置のガン発振器の温度制御としては十分である。

温度制御効果を評価するには、 f_p 、 f_{l_0} を直接測定することが最良であるが、ミリ波帯であるために困難である。ここでは、ビート周波数 f_b (第1IF)及び位相検出回路の出力 ϕ を測定することによって評価を行った。

発振器の制御を2台とも停止した場合、 f_b の変動は6MHz、 ϕ の変動は1/5フリンジであった。このデータチャートの掲載は割愛した。2台の制御を行った場合は、 f_b は1MHz、 ϕ は1/25フリンジに減少した。これをLHDに適用した場合は、光路長が約5倍となり、 ϕ の変動も増大するが、遅延線による補正が可能である。

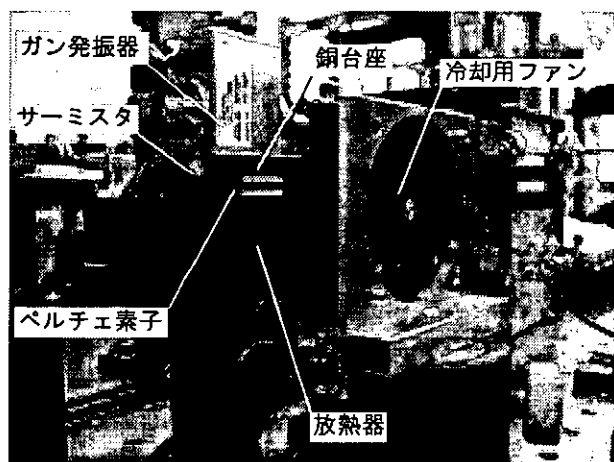


図5 ガン発振器周辺部の外観

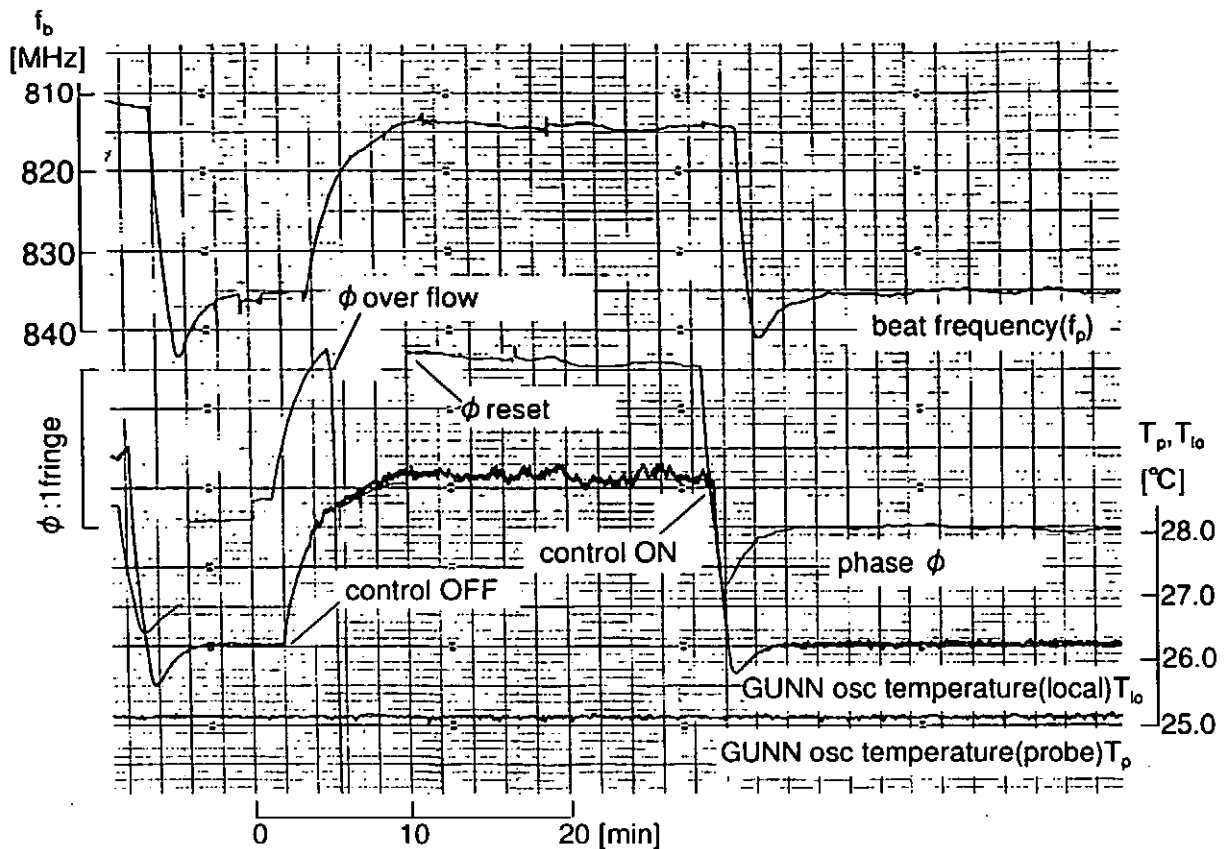


図6 ガン発振器温度制御時のビート周波数及び位相特性

LHD用干渉計の仕様では、 f_b の変動は300kHz以下、 ϕ の変動は1/10フリンジ以下でなければならないため、 f_b の変動が1MHzでは仕様を満たさない。したがって仕様を満たすためには、更に別の方法で制御を行う必要がある。

例えば、以下に示す様な制御方式が考えられる。

(1) f_p 及び f_{lo} を測定して、それぞれ140, 139GHz \pm 150kHzとなるように、PLL回路等を用いてガン発振器を制御する。

この場合、ミリ波帯のハーモニックミキサ及び、数GHz以上の高安定なPLL回路等が、それぞれ2組必要なため、設備が高価な物となる。

(2)前述の方法で f_p を安定化させ、 f_b が1GHz \pm 150kHz以下となるように f_{lo} をPLL回路等で制御する。この場合、 f_{lo} の制御はUHF帯である f_b を測定して行うため、制御回路に民生品を利用できる。し

たがって、(1)と比較して設備が安価である。

7. まとめ

LHD用ミリ波ヘテロダイン干渉計のガン発振器の発振周波数を安定化させるため、ペルチェ素子を用いてガン発振器の温度制御を行った。これにより、発振器を $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 以内で安定化でき、温度制御としては良好な結果を得た。

しかし、ビート周波数 f_b を更に安定化させるため、ガン発振器の発振周波数の制御を行わなければならない。

このため、局部発振器の制御を行い、 f_b を安定化させるためのPLL回路を製作中である。また、プローブ波用発振器の周波数安定化のために、ハーモニックミキサとPLL回路を用いた、140GHzの直接周波数安定化も検討している。

大型ヘリカル装置（LHD）イオンサイクロトロン共鳴加熱装置（ICRF）用大電力発振器制御回路の開発

核融合科学研究所 技術部

製作技術課 横田光弘 幅驥一郎

榊原二三 山本富雄 水澤清二

加熱技術課 新保富士夫 野村吾郎

I. はじめに

核融合科学研究所では、現在大型ヘリカル装置の建設が大詰めを迎えている。プラズマ加熱の一方式であるイオンサイクロトロン共鳴加熱（ICRF）装置は、昨年度東山サイトから土岐サイトへの移設を行い、LHD運転開始に向けて準備を進めている。

LHD計画では、発振器出力3MW/30分、12MW/10秒を目標としており、現在それを実現するためにICRF装置の運転に必要な電源等の制御を開発している。

東山サイトで稼動していたICRF装置の#3号機、#4号機と呼ばれている2台の大電力発振器は、リレーとスイッチ・ランプ類を使った制御盤で運転を行っていた。しかし、土岐サイトで使用する場合は制御信号の取り合いも違い、そのままではLHDの運転に使用できないため、今後の発展性もあり高機能なPLC（Programmable Logic Controller）及びタッチパネル付き表示器を使用して制御を行うことにした。

II. 全体の構成

ICRF装置の運転は、発振器の設置場所である本体棟の加熱装置室と詳細制御を行うRF現場制御室、LHDの運転と高周波の制御をする制御棟の3ヵ所から行う。従って電源の状態表示や、非常停止は常時どこからの操作でも可能である。この他に中央制御ネットワーク経由で操作したいという要望があるので、それにも対処する必要がある。ただし、安全上の配慮から発振器のある本体棟から離れている制御棟とネットワーク経由では、電源操作は行えないようになっている。これ以外の波形成形回路関係の操作は、キースイッチによる操作場所の優先権切り換えに従ってそれぞれの場所で操作を行うことができるようになっている。

上述のように、操作場所によって操作制限があるため、電源操作と波形成形回路操作のPLCを2台に分けて制御を行っている。これによってプロ



写真1 旧型制御盤

グラムの開発が容易になると同時に誤動作の心配もなくなるものと考えられる。2台のPLCは専用のネットワークを用いて情報をやり取りしている。

Ⅲ. 大電力発振器の制御

ICRF用の大電力発振器（#3,4）は最大で1 MW出力する能力があり、LHD本体と終段真空管の保護のため反射等のインターロックが重要である。そこで、真空管の破壊につながるような緊急事態にはクローバ回路で保護し、その後、PLCへの信号により電源断とするシーケンスが組んである。

制御対象の発振器は、高圧切換盤、低圧分電盤、3号機、4号機それぞれに、ワイドバンドアンプ（WBA）、初段増幅器（3A）・中間段増幅器（IPA）用G1・G2電源、終段増幅器（PA）用G1・G2電源、プレート用クローバ、3Aキャビティー、IPAキャビティー、PAキャビティー、メーターパネル・・・という様に十数カ所に筐体が別れており、筐体毎にノイズ対策のためのシールドが厳重に行われている。このため制御に用いるPLCは、ノイズ対策のために各筐体間の接続を光ファイバーで行うことにした。また、PLCのCPUを筐体毎に設置することはコスト面からも、ソフトの開発面からも難しいため、一つのCPU部で各筐体間を光ファイバーで繋ぎ制御できるPLCを選定した。このPLCは主に加熱装置室からの信号を取り込み、電源を制御することに専念している。このPLCは、マスタユニットとスレーブユニットで構成され、光ファイバーを使用してネットワーク（500kbps）を構成する。一つのネットワークループで512点の入出

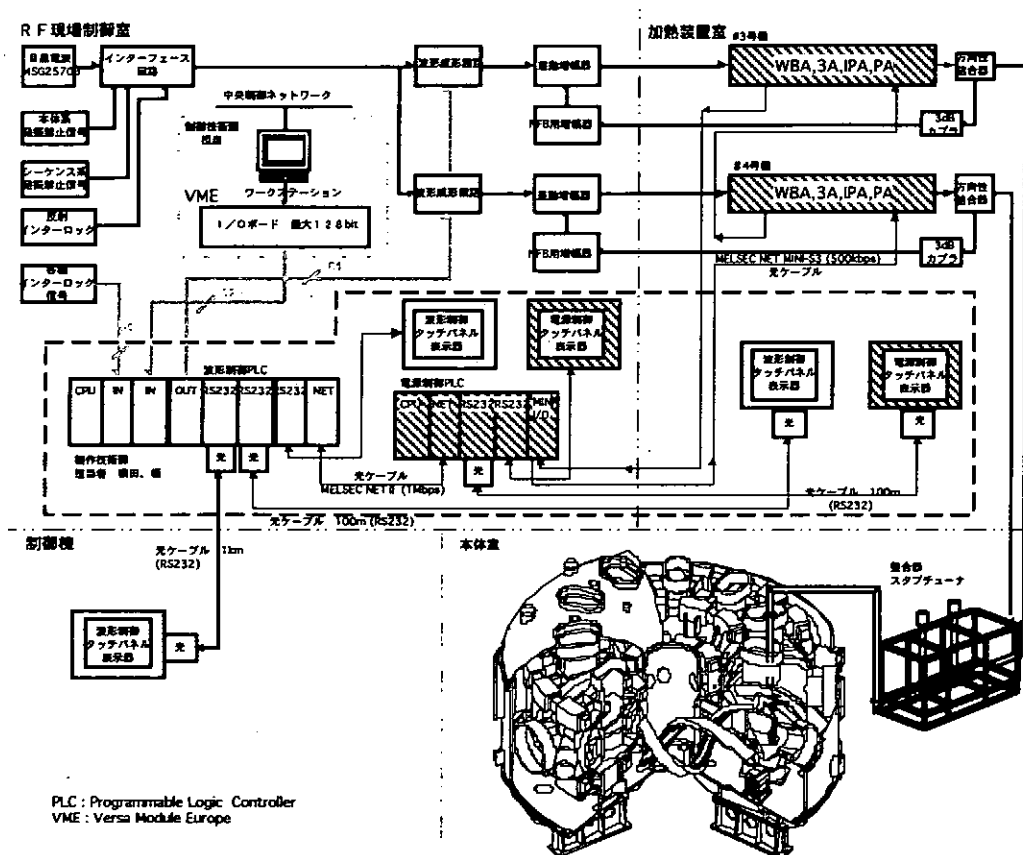


図1 大型ヘリカル装置ICRF制御装置構成図

力を制御することができ、32点ごとに16箇所まで光で切ることができる。このネットワークには、ループバック機能が備わっていないため、正常に動作させるには各スレーブユニットが問題なく動作している必要がある。このため、#3号機、#4号機各々別のネットワークループを構成するようにしている。

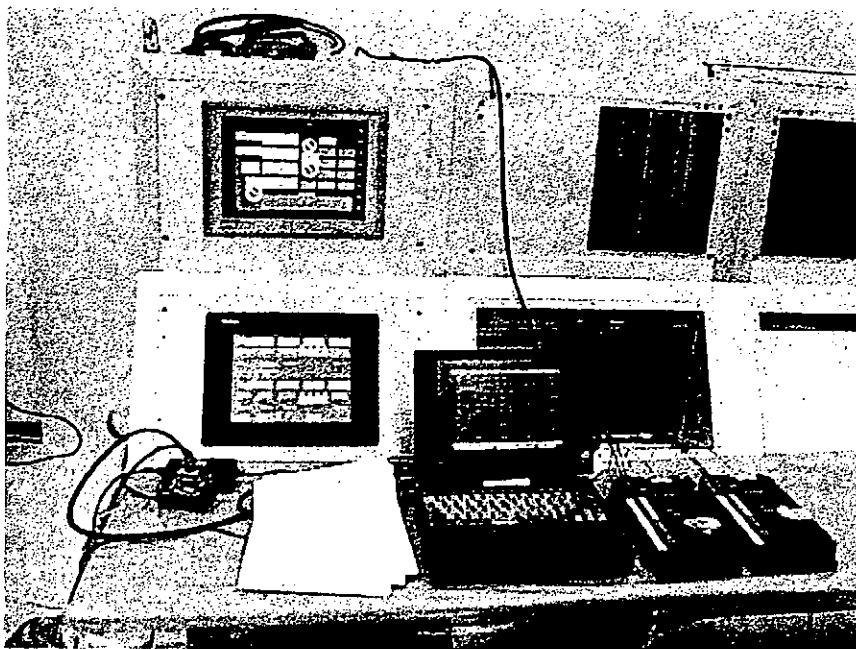


写真2 表示器、開発用パソコンとスレーブユニット

1 ループ当たりのスレーブユニット台

数に制限があるため、PLCの設置場所であるRF現場制御室での信号の入出力は、専用ネットワーク経由（1Mbps）で波形成形回路制御用PLC側で行うようにしている。加熱装置室又はRF現場制御室からのキースイッチによる操作場所の優先権切り換えや非常停止信号もこのネットワーク経由で入力される。

電源の操作盤は、スイッチ・ランプ類を使ったものと、RS-232cを使用した表示器の二種類が考えられる。従来の集合表示灯を使ったものでは、50個程度のランプと操作スイッチが必要になる。表示器を使用した場合は、RS-232cリンクユニット一台で32点程度占有するのみで、入出力点数の節約になるほか、配線作業設置が容易、操作盤の変更にも柔軟に対応できる等のメリットがあるためこれを採用した。リンクユニット経由の入出力信号も、他の直接入出力された信号と同じようにCPU内で扱えるためプログラム開発は容易である。

このほか、波形成形回路制御用PLCとの間のネットワークユニットが必要であり、これで32点占有される。これらすべてのユニットの占有点数、入出力点数合計は予備を含めて800点程度であり、CPUの入出力点数1000点程度のものを選定している。CPUを含めたPLC本体は、ノイズ環境の厳しい加熱装置室を避け、RF現場制御室に設置する。

IV. 波形成形回路の制御

波形成形回路の制御については、#3、#4号機各々にパルス波形の立上がり、幅、立下がり時間と入射電力を数値データで、励振モードを切り換えスイッチで回路側に与えなければならない。数値データはBCD 3桁と桁情報を、他に手動トリガ信号、非常停止、発振器Readyと回路単独運転切り換え信号を出力しなければならない。入力信号は、上記の信号と中央制御ネットワークからVMEを介して設定される各データ、インターロック系の信号とキースイッチによる操作場所の優先権切り換え信号等である。

中央制御ネットワークから操作する場合は、PLCを直接Ethernet等に繋いで行う方式を採用するところも珍しくはないが、安全上の理由から必要な信号を入力ユニットを通して制御を行う様

にしている。電源制御用PLCと直接繋がっていないため、間違えても電源の操作を行うことはできない。

こちらの制御盤も、従来のサムホイールスイッチを使用した場合と表示器を使用する場合があるが、今回の場合は各操作場所で、現在の設定値を把握する必要があるため表示器を使用している。RF現場制御室以外はPLCから表示器がかなり（数百m～1km程度）離れているため、その接続（RS-232c）は光ファイバーを用いて行っている。

電源制御用のPLCとの信号のやり取りは、専用光ネットワークを（1Mbps）を用いて行っている。このPLCは、波形成回路と同じRF現場制御室に設置されるため、入出力を光で切る必要はない。このため、入出力点数はPLC専用ネットワークユニット32点、表示器用RS-232cリンクユニット32点×3台と必要入出力点数の合計になり、RF現場制御室側での電源制御PLCの入出力予備分ということを考慮し、CPUの入出力点数1000点程度のものを選定している。

V. 制御卓について

今回、この発振器制御を行うにあたり、各操作場所に設置する制御卓（ラック）を製作している。この制御卓は、現在、作業を行っている3,4号機だけでなく、他のICRF用発振器を操作するための卓も兼ねている。前述のように卓にはタッチパネル付き表示器が電源制御、波形成回路制御用の2台収まる。

RF現場制御室用は19インチパネルが4面収まるようになっており、1面で2台の発振器を制御することになる。卓の内部及び正面にはPLC、表示器等を取り付けるためにマウント部が設けられている。特に本体棟のRF現場制御室と加熱装置室のものは、ノイズ源にもなる発振器が近いのでシールドが施されている。

VI. 現状と今後の課題

現在、制御卓が各操作場所に入り、今後各制御機器を取り付けて行かなければならない。

PLCと表示器のプログラム開発も順調に進んでおり、波形成回路制御はVMEとの通信テストも近々行う予定である。電源制御関係は、発振器側の作業進行状況に応じて、順次作業を進めている。その他、制御に使用するネットワークリンクが停止したときの対策を十分考えておく必要がある。スレーブユニットごとの切り換えスイッチにより、通信停止時出力を保持するかまたはOFFするかを選択しておかなければならないため、筐体内の信号種類（通信停止時の状態保持／非保持）別にユニットをまとめて配線を行う等の工夫が必要になる。

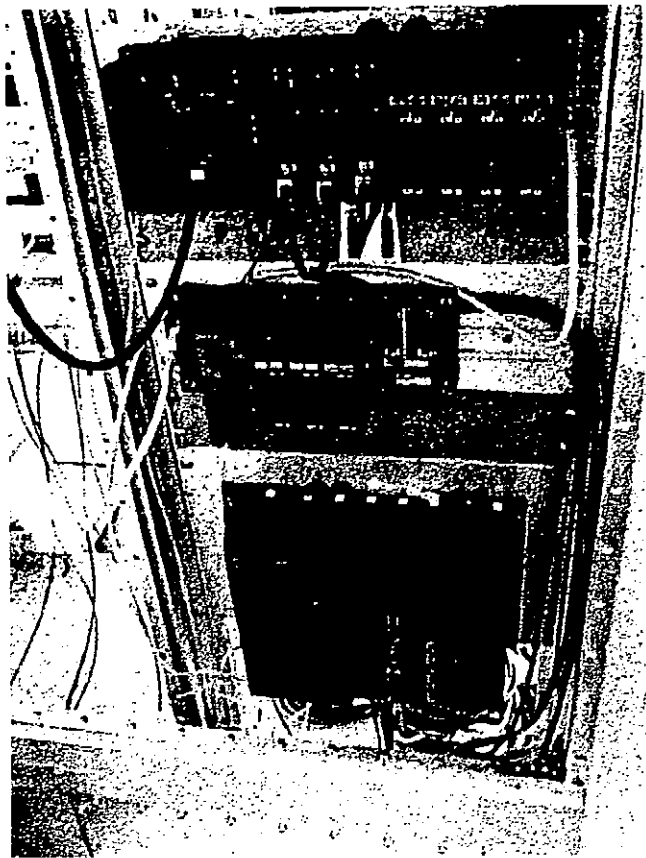


写真3 制御卓背面のPLC二組

簡易循環式冷却装置の製作

静岡大学電子工学研究所
技術部 勝 野 廣 宣

1.はじめに

私の担当する研究室には、高周波加熱装置、結晶成長装置、電子ビーム蒸着装置など装置の運転時に冷却水を使用する装置が多くある。

これらの装置の冷却は、従来直接水道水を供給し、使用後の水はそのまま排水口に流していた。しかし、資源の有効活用と経費節減のため循環式冷却装置を製作したので報告する。

2.冷却装置の基本設計

冷却装置の設計に当たって、次のことを基本とした。

- (1) タンクを用いた循環式とする。
- (2) クーラーは使用しない方式とする。
- (3) 装置への水道配管は、これまでの既設の配管を利用する。
- (4) 製作費用は、可能なかぎり安くする。

3.製作

基本設計に基づき設計した冷却装置の配管系統図を図1に示す。

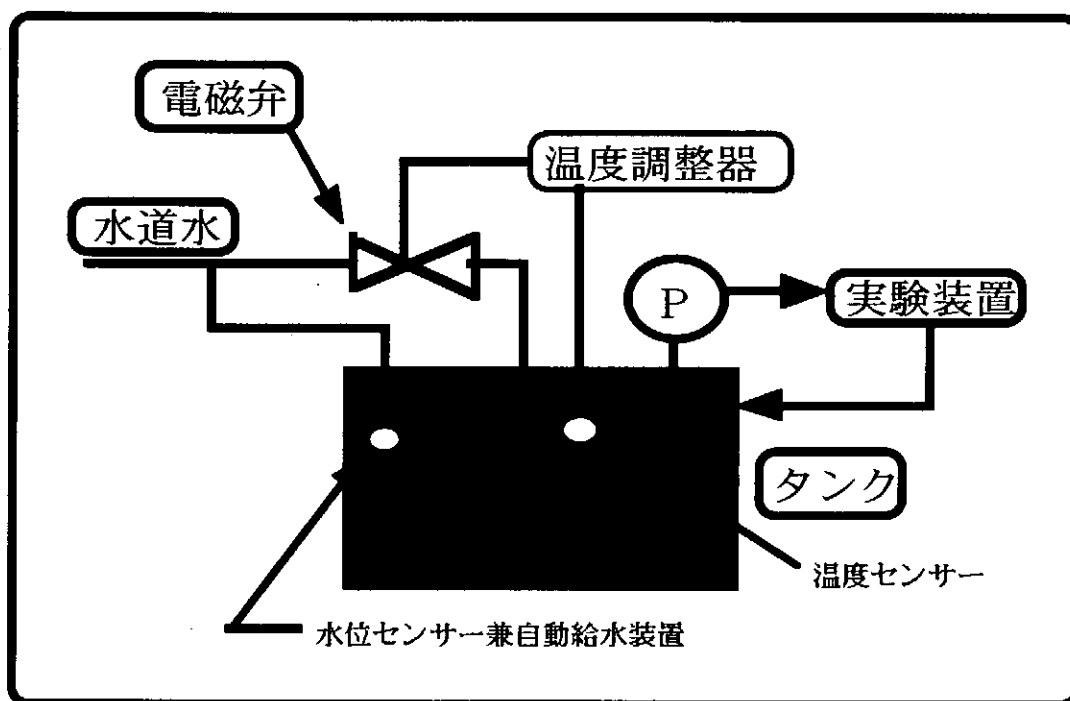


図1 配管系統図

動作原理は、次のようにした。

タンク内の冷却水の温度を温度センサーでモニターし、水温が温度調節器の設定温度より上昇した場合は、温度調節器のリレー出力により電磁バルブが開放となりタンク内の水温が温度調節器の設定温度以下になるまで水道水がタンクへ供給される。

実験室にある冷却水を必要とする装置の台数と必要水量を調査した結果が表1のようであったので、製作に必要な個々の部品を検討し表2のとおりとした。

| 実験装置名 | 冷却水使用量 (L/Min.) | 台数 |
|-----------|-----------------|----|
| 真空排気装置 | 3 | 4 |
| 電子ビーム蒸着装置 | 3 | 2 |
| 結晶成長装置 | 1.5 | 2 |

冷却水使用量 合計 21L/Min.

表1 実験装置の台数および必要水量

1.タンク

寸法 1500x700x1000mm 容量約1000L
静岡大学工学部工作技術センターで製作した

2.ポンプ

性能 電動機 200V,400W
揚水量 37L/Min. (全揚程12mの時)

3.温度調節器

温度調整範囲 -20~99.9℃
出力 リレー出力 (ON,OFF)

4.水位の調整

フロート式のものを使用した

表2 装置の製作に用いた個々の部品

製作にかかった経費を表3に示す。

| | | |
|--------|-------------------|---------|
| 温度調整器 | (株) チノー GD201-00 | 13940円 |
| 温度センサー | R-900-31 | 9860円 |
| 電磁バルブ | (株) ケーヒン YSP-15S | 21420円 |
| ストレーナー | | 6750円 |
| ポンプ | 三相電機 (株) PAL2523B | 59500円 |
| タンク | | 50000円 |
| 水位制御部品 | | 3000円 |
| 合 計 | | 164470円 |

製作した冷却装置の全景を写真1に示す。

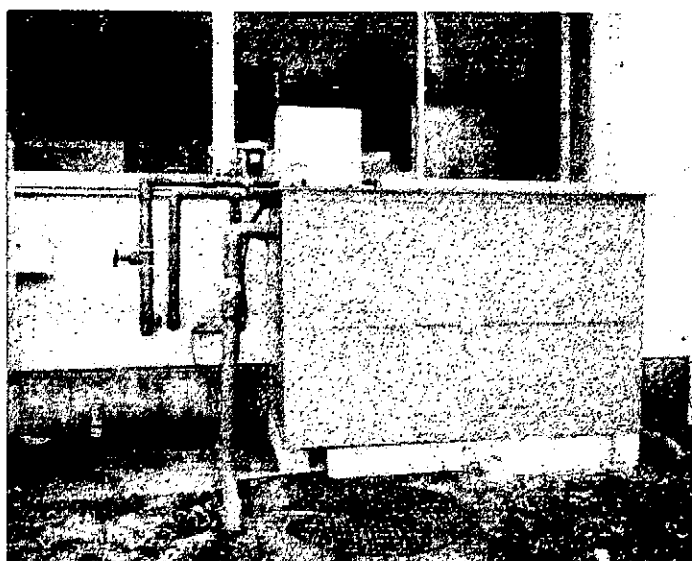


写真1 製作した冷却装置の全景

4.失敗談

配管を終了し、装置の使用を開始した直後に電磁バルブが閉まらなくなるトラブルが生じた。電磁バルブを代理店から購入したところ、取扱説明書が入っていなかったのもそのまま配管に取り付けたが、このようなトラブルが発生したので実際製作している会社へ連絡をとり取扱説明書を取りよせた。また、電磁バルブを配管からとりはずし原因を調査した。その結果、水道管内のゴミがバルブの弁座部分につまって閉まらなくなったことがわかった。また、とりよせた取扱説明書に「電磁バルブの前には、必ずストレーナー（砂とり器）を取り付けること」とあったので、早速ストレーナーを購入し、配管に取り付けるとともに配管を図2のように変更した。

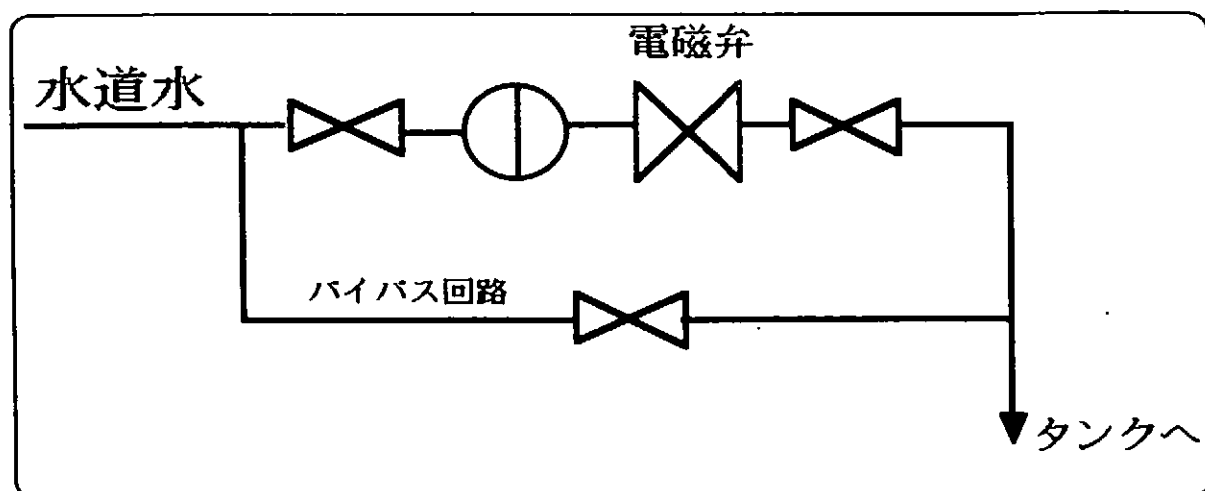


図2 配管の変更

5.まとめ

- (1) 簡易循環式冷却装置を、安く製作することができた。
- (2) 電磁弁の使用に関して、使用方法を誤ってしまったが正しい使用方法に変更することにより問題を解決した。
- (3) 製作した冷却装置を、設定温度として冬は25℃、夏は35℃で約6カ月使用しているが問題なく稼働している。

電波ヘリオグラフ、フロントエンドの温度コントロール

国立天文台野辺山太陽電波観測所
齋藤泰文、関口英昭、川島 進
国立天文台三鷹
武士俣 健

はじめに

野辺山電波ヘリオグラフは、太陽電波観測専用の電波望遠鏡で、直径0.8mのアンテナ84台を東西490m、南北220mのT字形に並べてあり、各アンテナで受信された信号間の相関値を合成する電波干渉計である。

電波ヘリオグラフの84台のアンテナにはそれぞれ17GHzと34GHzの受信機を搭載したフロントエンドがあり、そのフロントエンド内の温度を一定に保つことにより受信機の安定したアンプリチュードを保持している。野辺山は外気温が厳冬期には-28℃、夏期には+30℃になるため、フロントエンド内の温度は年間を通して+37℃～+38℃に保たれるよう内部にヒーターを設置してコントロールしている。外気温との差を考慮して冬期間はフロントエンド内の空気を外気とシャットアウトし、夏期にはフロントエンド内の空気と外気とを交流している。

ところが、このフロントエンド内の温度の変化状況をモニターしてみると、外気温の変化、風の影響により少なからず変化していることがわかった。いろいろな実験の結果、フロントエンド内の温度の変化をより少なくするためには現在取り付けてある庫内空気攪拌用ファンのほかに新たなファンを設置すればかなり改善されるという見通しがたった。我々は96年度に84台のアンテナすべてのフロントエンドに新しいファンを設置した。ここでは、この新たなファンを取り付ける前と取り付けた後でどれだけフロントエンド内の温度コントロールが改善されたか、そしてその結果どれだけ受信機の利得と位相の安定が改善されたかを報告する。

1. 新強力ファンの取付

96年12月に84台のアンテナ・フロントエンド内壁に下図に示すように新ファンを設置した。各ファンの風量は次のとおりである。

・従来から設置しているもの

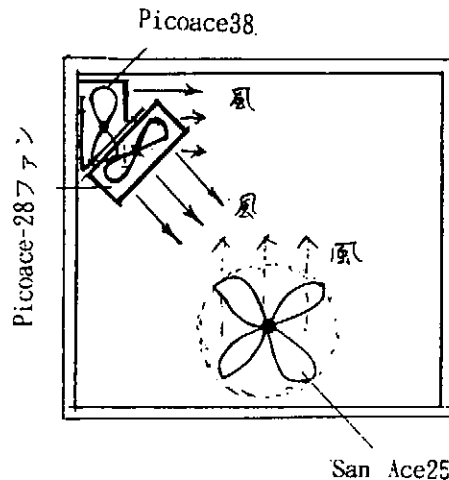
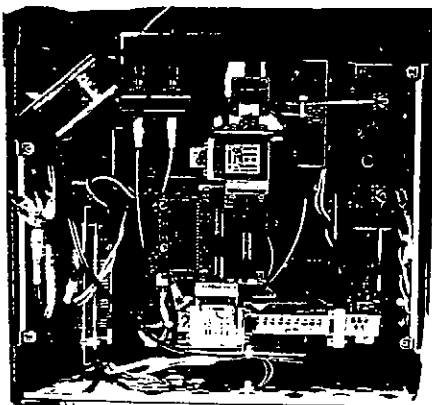
Pico Ace28(60Hz:最大風量0.33立方メートル/min)

Pico Ace38(60Hz:最大風量0.4立方メートル/min)

・従来のものに加えて新たに設置したもの

San Ace25(60Hz:最大風量2.3立方メートル/min)

図1 (フロントエンド内のファンの配置)



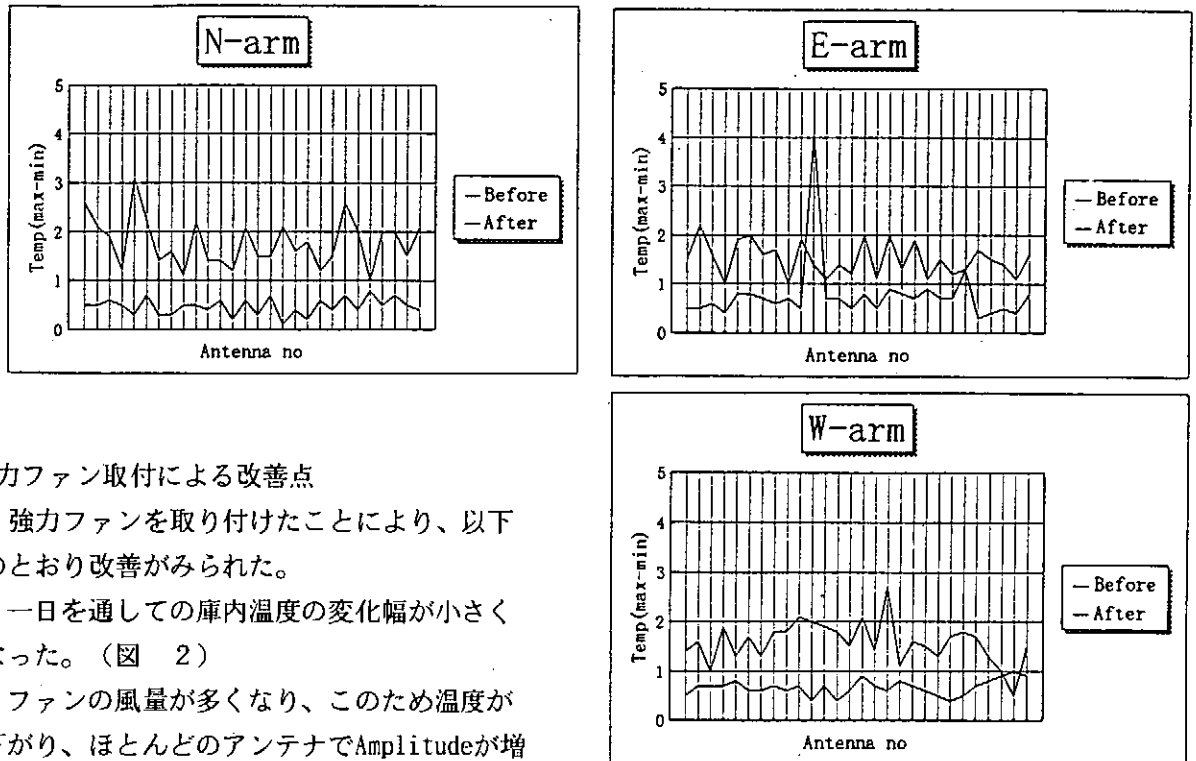
(表) フロントエンドファン取り付け前後の比較

| N | N系 BEFORE 96.12.7 | | | | | AFTER 96.12.27 | | | | | Amplitudeの増加 | | | |
|----|-------------------|------|---------|----------------|-------|----------------|------|---------|----------------|-------|--------------|-------|-------|-------|
| | 温度範囲 | | | Amplitude(max) | | 温度範囲 | | | Amplitude(max) | | | | | |
| | min | max | max-min | 17GHz | 34GHz | min | max | max-min | 17GHz | 34GHz | 17GHz | 34GHz | 17GHz | 34GHz |
| 1 | 39.0 | 41.6 | 2.6 | 3500 | 1500 | 35.0 | 35.5 | 0.5 | 3600 | 1650 | 100 | 150 | | |
| 2 | 40.5 | 42.6 | 2.1 | 3500 | 1500 | 36.0 | 36.5 | 0.5 | 3750 | 1700 | 250 | 200 | | |
| 3 | 42.0 | 43.9 | 1.9 | 3450 | 1200 | 37.0 | 37.6 | 0.6 | 3500 | 2100 | 50 | 900 | | |
| 4 | 38.0 | 39.2 | 1.2 | 3600 | 1400 | 35.2 | 35.7 | 0.5 | 3700 | 1600 | 100 | 200 | | |
| 5 | 42.0 | 45.1 | 3.1 | 3000 | 1200 | 36.5 | 36.8 | 0.3 | 3500 | 1550 | 500 | -350 | | |
| 6 | 43.5 | 45.7 | 2.2 | 3000 | 1200 | 37.5 | 38.2 | 0.7 | 3250 | 1400 | 250 | 200 | | |
| 7 | 41.5 | 42.9 | 1.4 | 3500 | 1600 | 38.2 | 38.5 | 0.3 | 3500 | 1800 | 100 | 200 | | |
| 8 | 34.5 | 36.1 | 1.6 | 3600 | 1800 | 37.0 | 37.3 | 0.3 | 3300 | 1700 | -300 | -100 | | |
| 9 | 39.0 | 40.1 | 1.1 | 3500 | 1200 | 35.0 | 35.5 | 0.5 | 3300 | 1300 | -200 | 100 | | |
| 10 | 41.0 | 43.2 | 2.2 | 4000 | 1800 | 37.1 | 37.6 | 0.5 | 4100 | 2000 | 100 | 200 | | |
| 11 | 35.8 | 37.2 | 1.4 | 3700 | 1600 | 36.9 | 37.3 | 0.4 | 3700 | 1650 | 0 | 50 | | |
| 12 | 39.5 | 40.9 | 1.4 | 4000 | 1550 | 35.9 | 36.5 | 0.6 | 4000 | 1750 | 0 | 200 | | |
| 13 | 42.0 | 43.2 | 1.2 | 3700 | 1300 | 37.8 | 38.0 | 0.2 | 3600 | 1500 | -100 | 200 | | |
| 14 | 41.2 | 43.3 | 2.1 | 5000 | 1500 | 37.5 | 38.1 | 0.6 | 4700 | 1600 | -300 | 100 | | |
| 15 | 39.6 | 41.1 | 1.5 | 4500 | 1400 | 38.2 | 38.5 | 0.3 | 3500 | 1500 | -900 | 100 | | |
| 16 | 42.0 | 43.5 | 1.5 | -1900 | 1250 | 34.8 | 35.5 | 0.7 | 2600 | 1550 | 700 | 300 | | |
| 17 | 41.0 | 43.1 | 2.1 | 4500 | 1500 | 36.9 | 37.0 | 0.1 | 5000 | 2100 | 500 | 600 | | |
| 18 | 42.0 | 43.6 | 1.6 | 3300 | 1300 | 38.1 | 38.5 | 0.4 | 3600 | 1600 | 300 | 300 | | |
| 19 | 41.0 | 42.8 | 1.8 | 4000 | 1300 | 38.0 | 38.2 | 0.2 | 4500 | 1550 | 500 | 250 | | |
| 20 | 42.0 | 43.2 | 1.2 | 3750 | 1400 | 35.8 | 36.4 | 0.6 | 3900 | 2600 | 150 | 1200 | | |
| 21 | 42.0 | 43.5 | 1.5 | 3500 | 1100 | 36.9 | 37.3 | 0.4 | 4100 | 1400 | 500 | 300 | | |
| 22 | 39.9 | 42.5 | 2.6 | 3600 | 1000 | 35.9 | 36.6 | 0.7 | 4000 | 1500 | 400 | 500 | | |
| 23 | 41.5 | 43.5 | 2.0 | 3700 | 1500 | 38.3 | 38.7 | 0.4 | 4000 | 1750 | 300 | 250 | | |
| 24 | 39.7 | 40.7 | 1.0 | 3100 | 1250 | 36.2 | 37.0 | 0.8 | 3250 | 1300 | 150 | 50 | | |
| 25 | 40.0 | 42.0 | 2.0 | 3900 | 1400 | 37.0 | 37.5 | 0.5 | 5000 | 2500 | 1100 | 900 | | |
| 26 | 37.5 | 39.5 | 2.0 | 3450 | 1250 | 34.5 | 35.2 | 0.7 | 3700 | 1500 | 250 | 250 | | |
| 27 | 39.0 | 40.5 | 1.5 | 3000 | 1500 | 37.8 | 38.3 | 0.5 | 3000 | 1600 | 0 | 100 | | |
| 28 | 38.0 | 40.1 | 2.1 | 3200 | 1250 | 36.0 | 36.4 | 0.4 | 3300 | 1400 | 100 | 150 | | |

| E | E系 BEFORE 96.12.7 | | | | | AFTER 96.12.27 | | | | | Amplitudeの増加 | | | |
|----|-------------------|------|---------|----------------|-------|----------------|------|---------|----------------|-------|--------------|-------|-------|-------|
| | 温度範囲 | | | Amplitude(max) | | 温度範囲 | | | Amplitude(max) | | | | | |
| | min | max | max-min | 17GHz | 34GHz | min | max | max-min | 17GHz | 34GHz | 17GHz | 34GHz | 17GHz | 34GHz |
| 1 | 39.2 | 40.7 | 1.5 | 3300 | 1450 | 36.2 | 36.7 | 0.5 | 3750 | 1650 | 450 | 200 | | |
| 2 | 40.0 | 42.2 | 2.2 | 2750 | 1500 | 35.8 | 36.3 | 0.5 | 3100 | 1650 | 350 | 150 | | |
| 3 | 40.5 | 42.1 | 1.6 | 3500 | 1500 | 37.4 | 38.0 | 0.6 | 3500 | 1700 | 0 | 200 | | |
| 4 | 39.5 | 40.5 | 1.0 | 4000 | 1300 | 36.5 | 36.9 | 0.4 | 4400 | 1600 | 400 | 300 | | |
| 5 | 40.2 | 42.1 | 1.9 | 2700 | 1700 | 35.5 | 36.3 | 0.8 | 2750 | 2000 | 50 | 300 | | |
| 6 | 38.0 | 40.0 | 2.0 | 4750 | 1800 | 36.1 | 36.9 | 0.8 | 4500 | 2050 | -250 | 250 | | |
| 7 | 37.9 | 39.5 | 1.6 | 3800 | 1300 | 35.8 | 36.5 | 0.7 | 4000 | 1450 | 200 | 150 | | |
| 8 | 38.5 | 40.2 | 1.7 | 4000 | 1750 | 36.2 | 36.8 | 0.6 | 4000 | 1900 | 0 | 150 | | |
| 9 | 41.2 | 42.2 | 1.0 | 3300 | 1300 | 36.8 | 37.5 | 0.7 | 3600 | 1600 | 300 | 300 | | |
| 10 | 39.2 | 41.1 | 1.9 | 4000 | 1550 | 35.9 | 36.4 | 0.5 | 4000 | 1700 | 0 | 150 | | |
| 11 | 37.3 | 38.7 | 1.4 | 3800 | 1800 | 34.5 | 38.6 | 4.1 | 3600 | 1600 | -200 | -200 | | |
| 12 | 38.2 | 39.3 | 1.1 | 3900 | 1550 | 34.5 | 35.2 | 0.7 | 4000 | 1750 | 100 | 200 | | |
| 13 | 40.6 | 42.0 | 1.4 | 3700 | 1500 | 36.3 | 37.0 | 0.7 | 3800 | 1600 | 100 | 100 | | |
| 14 | 37.1 | 38.3 | 1.2 | 3600 | 1400 | 36.5 | 37.0 | 0.5 | 3750 | 1650 | 150 | 250 | | |
| 15 | 43.0 | 45.0 | 2.0 | 3700 | 1300 | 36.1 | 36.9 | 0.8 | 4000 | 1650 | 300 | 350 | | |
| 16 | 41.0 | 42.1 | 1.1 | 3500 | 1450 | 37.5 | 38.0 | 0.5 | 3200 | 1600 | -300 | 150 | | |
| 17 | 42.0 | 44.0 | 2.0 | 3700 | 1350 | 36.5 | 37.4 | 0.9 | 4200 | 1600 | 500 | 250 | | |
| 18 | 39.5 | 40.8 | 1.3 | 3300 | 1350 | 36.2 | 37.0 | 0.8 | 3750 | 1500 | 450 | 150 | | |
| 19 | 40.2 | 42.1 | 1.9 | 3200 | 1250 | 35.8 | 36.5 | 0.7 | 3400 | 1500 | 200 | 250 | | |
| 20 | 37.0 | 38.1 | 1.1 | 4200 | 1200 | 34.5 | 35.4 | 0.9 | 4000 | 1250 | -200 | 50 | | |
| 21 | 38.0 | 39.5 | 1.5 | 3000 | 1200 | 35.3 | 36.0 | 0.7 | 3100 | 1300 | 100 | 100 | | |
| 22 | 40.0 | 41.2 | 1.2 | 3400 | 1500 | 34.8 | 35.5 | 0.7 | 3400 | 1750 | 0 | 250 | | |
| 23 | 37.5 | 38.8 | 1.3 | 3500 | 1200 | 34.2 | 35.5 | 1.3 | 3600 | 1350 | 100 | 150 | | |
| 24 | 39.5 | 41.2 | 1.7 | 3500 | 1250 | 37.0 | 37.3 | 0.3 | 3700 | 1500 | 200 | 250 | | |
| 25 | 39.5 | 41.0 | 1.5 | 3250 | 1550 | 37.9 | 38.3 | 0.4 | 3300 | 1600 | 50 | 50 | | |
| 26 | 40.8 | 42.2 | 1.4 | 4500 | 1300 | 36.7 | 37.2 | 0.5 | 4250 | 1500 | -250 | 200 | | |
| 27 | 42.0 | 43.1 | 1.1 | 2750 | 1000 | 40.1 | 40.5 | 0.4 | 1900 | 800 | -850 | -200 | | |
| 28 | 38.0 | 39.6 | 1.6 | 3400 | 1250 | 34.9 | 35.7 | 0.8 | 3400 | 1400 | 0 | 150 | | |

| W | W系 BEFORE 96.12.7 | | | | | AFTER 96.12.27 | | | | | Amplitudeの増加 | | | |
|----|-------------------|------|---------|----------------|-------|----------------|------|---------|----------------|-------|--------------|-------|-------|-------|
| | 温度範囲 | | | Amplitude(max) | | 温度範囲 | | | Amplitude(max) | | | | | |
| | min | max | max-min | 17GHz | 34GHz | min | max | max-min | 17GHz | 34GHz | 17GHz | 34GHz | 17GHz | 34GHz |
| 1 | 39.5 | 40.9 | 1.4 | 2250 | 800 | 36.7 | 37.2 | 0.5 | 2250 | 1100 | 0 | 300 | | |
| 2 | 42.9 | 44.5 | 1.6 | 3900 | 1600 | 36.8 | 37.5 | 0.7 | 4250 | 1800 | 350 | 200 | | |
| 3 | 41.2 | 42.2 | 1.0 | 3300 | 1200 | 38.0 | 38.7 | 0.7 | 3600 | 1250 | 300 | 50 | | |
| 4 | 40.2 | 42.1 | 1.9 | 4100 | 1750 | 34.8 | 35.5 | 0.7 | 4200 | 1800 | 100 | 50 | | |
| 5 | 39.9 | 41.2 | 1.3 | 3500 | 1100 | 35.8 | 36.6 | 0.8 | 3000 | 1300 | -500 | 200 | | |
| 6 | 40.8 | 42.5 | 1.7 | 3750 | 1550 | 36.4 | 37.0 | 0.6 | 3750 | 1700 | 0 | 150 | | |
| 7 | 42.3 | 43.6 | 1.3 | 3000 | 1300 | 37.8 | 38.4 | 0.6 | 3300 | 1700 | 300 | 400 | | |
| 8 | 40.0 | 41.8 | 1.8 | 3750 | 1450 | 36.2 | 36.9 | 0.7 | 3700 | 1500 | -60 | 50 | | |
| 9 | 40.5 | 42.3 | 1.8 | 3900 | 1300 | 36.8 | 37.4 | 0.6 | 4200 | 1500 | 300 | 200 | | |
| 10 | 42.0 | 44.1 | 2.1 | 3750 | 1300 | 36.5 | 37.2 | 0.7 | 4250 | 1600 | 500 | 300 | | |
| 11 | 40.1 | 42.1 | 2.0 | 3500 | 1350 | 37.8 | 38.2 | 0.4 | 3400 | 1500 | -100 | 150 | | |
| 12 | 39.0 | 40.9 | 1.9 | 3250 | 1200 | 35.8 | 36.5 | 0.7 | 3300 | 1200 | 50 | 0 | | |
| 13 | 40.5 | 42.3 | 1.8 | 3300 | 1200 | 36.1 | 36.5 | 0.4 | 3600 | 1350 | 300 | 150 | | |
| 14 | 42.5 | 44.0 | 1.5 | 3600 | 1500 | 37.5 | 38.1 | 0.6 | 4000 | 1800 | 400 | 300 | | |
| 15 | 40.0 | 42.1 | 2.1 | 3500 | 1550 | 35.6 | 36.5 | 0.9 | 3900 | 2000 | 400 | 450 | | |
| 16 | 41.1 | 42.5 | 1.4 | 3750 | 1450 | 36.0 | 36.7 | 0.7 | 4050 | 1750 | 300 | 300 | | |
| 17 | 40.5 | 43.2 | 2.7 | 3900 | 1500 | 36.2 | 36.8 | 0.6 | 4400 | 2000 | 500 | 500 | | |
| 18 | 42.0 | 43.1 | 1.1 | 3500 | 1350 | 37.5 | 38.3 | 0.8 | 3800 | 1500 | 300 | 150 | | |
| 19 | 39.3 | 40.9 | 1.6 | 4200 | 1550 | 37.5 | 38.2 | 0.7 | 6000 | 2500 | 1800 | 950 | | |
| 20 | 39.5 | 41.0 | 1.5 | 3500 | 1600 | 37.5 | 38.1 | 0.6 | 3500 | 1750 | 0 | 150 | | |
| 21 | 41.0 | 42.3 | 1.3 | 4500 | 1600 | 36.6 | 37.1 | 0.5 | 4500 | 1750 | 0 | 150 | | |
| 22 | 41.5 | 43.2 | 1.7 | 3750 | 800 | 37.5 | 37.9 | 0.4 | 3900 | 200 | 150 | -600 | | |
| 23 | 41.0 | 42.8 | 1.8 | 4000 | 1500 | 36.1 | 36.6 | 0.5 | 4250 | 1800 | 250 | 300 | | |
| 24 | 41.0 | 42.7 | 1.7 | 3800 | 1350 | 36.1 | 36.8 | 0.7 | 4700 | 2500 | 900 | 1150 | | |
| 25 | 41.5 | 42.8 | 1.3 | 3400 | 1450 | 36.2 | 37.0 | 0.8 | 3400 | 1500 | 0 | 50 | | |
| 26 | 40.3 | 41.3 | 1.0 | 3300 | 1450 | 35.3 | 36.2 | 0.9 | 3300 | 1600 | 0 | 150 | | |
| 27 | 38.8 | 39.3 | 0.5 | 3200 | 1500 | 36.5 | 37.5 | 1.0 | 3200 | 1650 | 0 | 150 | | |
| 28 | 39.0 | 40.5 | 1.5 | 3500 | 1500 | 35.5 | 36.4 | 0.9 | 3600 | 1650 | 100 | 150 | | |

図 2 一日のフロントエンド庫内温度の変化幅



2. 強力ファン取付による改善点

強力ファンを取り付けたことにより、以下のとおり改善がみられた。

- (1) 一日を通しての庫内温度の変化幅が小さくなった。(図 2)
- (2) ファンの風量が多くなり、このため温度が下がり、ほとんどのアンテナでAmplitudeが増加した。(表)
- (3) 風量が一定で大であるため、一日を通してのAmplitudeの変化幅が小さくなった。

3. ヘリオグラフフロントエンドファン効果調査

97年3月11日～3月14日にかけて、従来から庫内に取り付けてあるファンと新規に取り付けたファンの効果について調査を行った。これは、従前のファンが既に耐用年数に達しており、少しずつ不具合が発生しているため、新しいファンの効果を見て、従前のファンを交換すべきか撤去すべきか判断する材料を得るためである。

○方法

通常の観測に支障が出ないように、N系、E系及びW系の外側の各5のフロントエンド庫内にある3つのファンPicoace-28, Picoace38及びSan Ace25のうち、San Ace25は連続して運転し、従来の2つのファンの組み合わせを替えて停止させ、それぞれの場合における庫内温度の変化、Amplitudeの変化を調査した。

○結果

・庫内温度のコントロール

- (1) Picoace-28 (フロントエンド庫内西面に斜めに取り付けてあるファン) は、止めても影響は少ない($\pm 2^{\circ}\text{C}$ 以内)。
- (2) Picoace-38 (フロントエンド庫内西面中央部に取り付けてあるファン) は、止めると朝の観測スタート時の変化が大きく、一日の温度コントロールが滑らかに行われない($\pm 4.5^{\circ}\text{C}$)。

(3)Picoace-28とPicoace-38の両方を止めると、朝夕の温度変化が大になり、朝夕のフロントエンド庫内温度が30℃未満になることがある。

- ・ Amplitude

フロントエンド庫内の温度が低下すれば、ほとんどの受信機のAmplitudeが高くなったが、すべてのAmplitudeが高くなるとは限らないことがわかった。これはそれぞれのフロントエンド内の受信機の個々の特性が異なるためであると考えられる。

○追加調査

上記結果をうけて、Picoace-28ファンの効果をさらに確認するため、84個のフロントエンドのうち3個のフロントエンドのファンを庫内から撤去した状態でフロントエンド庫内の温度変化及びAmplitudeの変化をみた。調査は97年3月17日～3月21日にかけて行った。

○追加調査の結果

- ・ 温度コントロール

庫内の温度は、1.1℃～1.55℃上昇したが、一日を通しての温度変化は1℃以内におさまっている。

- ・ Amplitude

一割程度の増減が見られたが、影響は少ない。

○結論

Picoace-28ファン（フロントエンド庫内西面に斜めに取り付けてあるもの）は、強力ファンが働いている時は、停止してもフロントエンド庫内の温度変化は少なく、ほぼ1℃以内におさまっている。また、同ファンを撤去するとフロントエンド庫内の空気の対流がより促進されるため庫全体の温度は上昇するが、温度変化の幅はほぼ1℃以内におさまっている。

4. 評価とまとめ

新規取付の強力ファンの効果は大きい。このファンが働いていれば従来から取り付けてあるPicoace-28が働いていなくとも庫内温度のコントロールは良好であることがわかった。また、Picoace-28ファンを庫内から撤去すると庫内全体の温度は上昇するが、庫内空気の対流がより促進されるため温度変化の幅は少なく、ほぼ1℃以内である。よって、Picoace-28ファンは故障等不具合が発生した場合は撤去し、更新する必要はないと判断した。

JT-60 LHRF加熱装置における保護回路の誤動作とその対策

日本原子力研究所 那珂研究所 核融合装置試験部 RF装置試験室

寺門正之 関 正美 清野公広 安納勝人

井坂正義 山本 巧

〒311-01 茨城県那珂郡那珂町向山801-1

TEL:029-270-7444, FAX:029-270-7459

1. はじめに

臨界プラズマ試験装置(JT-60)設備の一つであるJT-60低域混成波帯(LHRF)加熱装置は、大電力の高周波をJT-60に入射し、プラズマの加熱あるいは電流駆動を行う実験装置である。本加熱装置は3ユニットから成り、大電力の高周波増幅器として1MW級のクライストロンが1ユニットあたり8本据え付けられている。

本加熱装置には、クライストロンを保護するためにいくつかの機器が設けられており、その一つとして電源設備にクローバスイッチ回路がある。クローバスイッチ回路はクライストロンのカソードとコレクタ間に印加された高電圧のコレクタ電源を短絡しクライストロンを保護するものであるが、しかし、直流発生装置に大きな負担がかかる。また、一度動作するとカソードとコレクタ間に再度高圧電源を印加出来る状態になるまで10分以上かかるため、運転の効率の点からも不必要なクローバ動作は出来るだけ避けなければならない。しかし、近年の運転において、クローバスイッチ回路あるいはその周辺回路におけるノイズにより発生する誤動作が頻発し、実験遂行上支障をきたしている。

本稿において、クローバスイッチ回路の概要、クローバスイッチ回路の誤動作の原因調査とその対策について述べる。

2. クローバスイッチ回路の概要

クローバスイッチ回路とは、クライストロン内にて管内放電等の絶縁不良が発生し、クライストロンに規定値以上のボディ電流やコレクタ電流が流れた場合に、カソードとコレクタ間に印加されたコレクタ電源電圧を高速に減衰させる装置であり、クライストロンに流入する電力を抑えてクライストロンの保護を行うものである。ボディ電流の検出方法はクライストロン部近くの高電位盤内の2台のCurrent Transformer(CT)により行い、コレクタ電流の検出方法はシャント抵抗により行っている。ボディ電流を検出する2台のCTの内、マイクロ秒オーダーの急激な変化はパルスCTにより検出し、ミリ秒オーダーの連続的な過電流はDCCTにより検出している。検出された過電流の信号は光信号に変換され、高電位盤内からクローバスイッチ回路が設置されている別な建て屋に送られ、中継盤内を中継しクローバスイッチ盤内に送信される。また、過電流の検出からコレクタ電源が遮断されるまでの動作時間は、12マイクロ秒以下であり、その間にクライストロンに流入するエネルギーを、30ジュール以下に抑えている。

3. 誤動作の原因と対策

クローバスイッチ回路の誤動作には、CTが収納されている高電盤内にて発生しているものと、高電圧部を短絡するイグナイトロンが収納されているクローバスイッチ盤内にて発生するものと2つのケースがあった。図1にクローバスイッチ回路系統図と誤動作発生場所を示す。

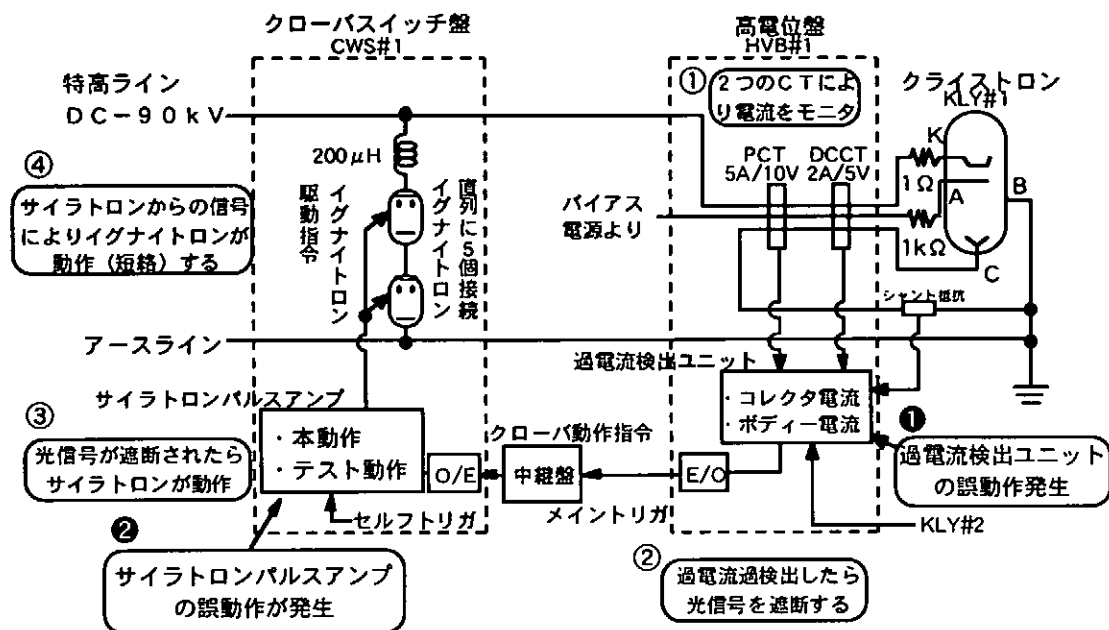


図1 クローバスイッチ回路系統図と誤動作発生力所

3.1 高電位盤内のケース

高電位盤内のケースは、ボディ過電流やコレクタ過電流のインターロック信号が検出されずにクローバ動作が発生するというものであった。このような現象の場合は、過電流検出ユニットにおける動作信号の不具合、あるいはクローバスイッチ動作信号の光中継器の不具合ではないかと機器の点検を行ったが異常は発見出来なかった。そこで、何らかのノイズによる誤動作ではないかと判断し調査したところ、高電位盤内にて次のようなノイズ波形が確認された。

図2は、他設備である負イオン源中性粒子入射装置(N-NBI)の運転中にボディ過電流やコレクタ過電流のインターロック信号が検出されずにクローバ動作が発生したときに撮影した波形である。N-NBIにおいて高電圧電源のブレークダウンが発生し加速電圧が切れたときに同期して、過電流検出ユニット内のクローバ動作指令信号、過電流検出器の信号、制御電源にノイズが発生するのが確認された。

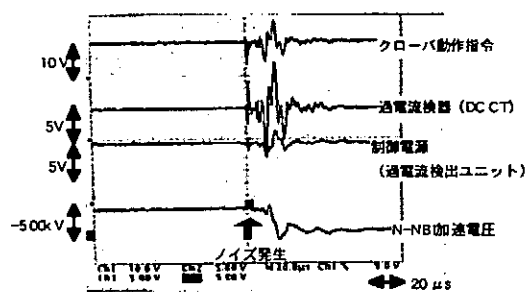


図2 N-NBIと同期して発生したノイズ波形

この場合の対策としては、制御電源系及びアースラインを重点的にノイズ除去処置を行った。それは、過電流検出信号系にはノイズ防止用のフィルターが入っているが、過電流の検出にはマイクロ秒オーダーの速度が要求されており、これ以上フィルターなどを入れ検出速度を遅くすることは出来ないためである。

制御電源系の対策は、絶縁トランスの1次側にフェライトコアを挿入、絶縁トランス1次側／2次側のシールド線の分離、ノイズカットトランスの増設、電源モジュールの出力端子部にフィルムコンデンサの追加を行った。アースラインの対策としては、過電流検出ユニットとシャント間のシールドケーブルの接地場所の変更を行った。また、盤内のアース線、電源線のルートを確認し、必要に応じて変更した。

以上のような対策を行った結果、まだ多少ノイズは有るものの誤動作は無くなった。図3は、ノイズ対策後にN-NBIの運転中に撮影した波形である。N-NBIの加速電圧が切れるのに同期して過電流検出ユニット内の各信号に発生するノイズが大幅に減少したのが確認された。

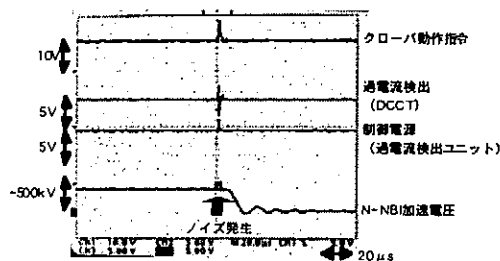


図3 ノイズはあるが誤動作には至っていない波形

3.2 クローバスイッチ盤内のケース

クローバスイッチ盤内のケースは、「コレクタ電源入り」スイッチを押すと、サイラトロンパルスアンプが誤動作してしまうため、コレクタ電圧を印加できないというものである。サイラトロンパルスアンプとは、クローバスイッチ回路が動作するときにコレクタ電源出力を短絡するイグナイトロンに動作信号を送る機器であり、通常はクローバスイッチ回路の動作信号が入力されたときのみに動作するものである。この場合も、サイロトロンパルスアンプの点検では、異常箇所が発見できなかったため、何らかのノイズによる誤動作ではないかと判断し調査したところ、クローバスイッチ盤内にてノイズが確認された。

図4の波形は、「コレクタ電源入り」スイッチを押したのと同時にサイラトロンパルスアンプが動作した時に撮影した波形である。盤内の接地開放アンサ信号に同期して、サイロトロンパルスアンプの動作を確認するセルフトリガ信号系にノイズ波形が確認された。「コレクタ電源入り」スイッチを押したため接地装置が開いたが、サイラトロンが動作したためすぐに接地されてしまい、コレクタ電源が入らなかった。

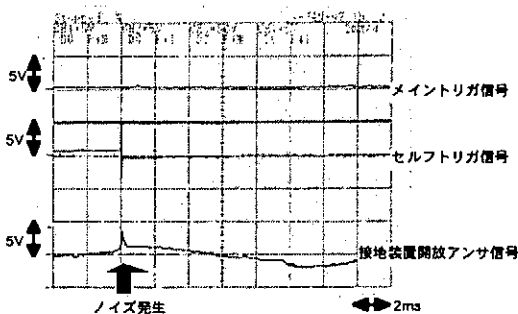


図4 接地開放アンサ信号に同期して発生したノイズ波形

よって、セルフトリガ信号系、制御電源、接地装置を重点的にノイズ対策を行った。セルフトリガ信号系の対策は、信号ラインに設けてある幾つかのフィルター回路（コンデンサ）の定数の見直しを行い、より適切と思われる値に変更した。また、セルフトリガ系の配線をシールド線に変更した。制御電源の対策としては、交流電源の後にノイズフィルタを挿入した。接地装置の対策としては、接地装置の動作用リレーのコイル及び出力接点に雑音防止コンデンサを取付けた。

以上のような対策を行った結果、誤動作を半分以下にすることが出来た。図5は、「コレクタ電源入り」スイッチを押し正常動作した時の、クローバスイッチ盤内の各信号の波形である。各信号波形にノイズは見られない。しかし、サイラトロンパルスアンプの誤動作は完全には無くなっていないため、更に対策を進めていく必要がある。

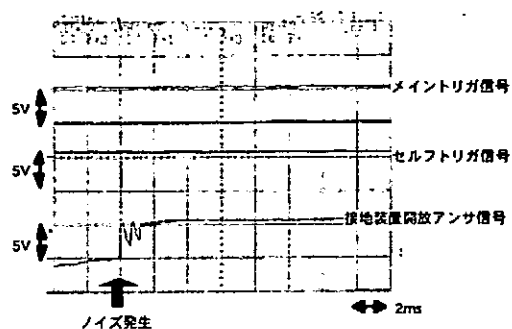


図5 正常動作時の波形

4. まとめ

今回報告したクローバスイッチ回路の誤動作は、何らかの原因で発生するノイズで引き起こされた。ノイズの進入経路がアースラインと思われる場合は、電源ケーブルを介してノイズの測定器自体にノイズが乗る可能性があるため、測定器類にはノイズカットトランスを挿入してノイズの防止を行った。また、ノイズの測定は測定条件により大きく変わり、必ずしも再現性があるわけでは無いため原因の確認が難しかったが、各クローバスイッチ回路でノイズの乗りやすいものと乗りにくいものが無いかなど、装置の違いを確認し、出来るだけ同じ条件でより多くのデータを収集し解析を行った。

クローバスイッチ回路の誤動作の内、他設備からのノイズにより高電位盤内で御動作信号が発生したケースに関しては、ノイズ源である N-NBI 側の対策も有り、誤動作は解消された。しかし、今後 N-NBI 側の運転状況によっては、誤動作が再発する可能性があるため、注意が必要である。また、クローバスイッチ盤内で発生した自設備のノイズによるパルスアンプの誤動作に関しては、現象が必ずしも再現しやすいわけではないので対策が難しいが、さらに検討対策を進めていきたい。

トロイダル磁場コイル冷却管の健全性確認試験

日本原子力研究所 那珂研究所 岡部友和、新井 貴、柳生純一
佐々木昇、本田正男

1. 概要

臨界プラズマ試験装置（J T-60）では、トーラス状に配置した18個のトロイダル磁場コイル（TFC）の磁場によりプラズマを閉じこめている。このTFCは実験運転開始から12年が経過し、過酷な運転条件のため、TFC-5、TFC-9、TFC-14等一部のコイルから冷却水の浸み出しが生じている。TFC-5については、口金部の交換により修復されたが、他の2コイルについてはコイル導体冷却管（以下「冷却管」とする）に発生したクラックによる冷却水の浸み出しと判明した。気密試験により冷却水浸み出しの原因となった不具合冷却管がTFC-9のB-8-1チャンネル、B-8-2チャンネル、TFC-14のA-12-1チャンネルであると同定し、これらのチャンネルに対しては無通水等の処置を施して運転を行っている。J T-60のTFCについては、その構造上不具合コイルを交換することが困難であるため、不具合冷却管を始めとする他の冷却管の状況を把握し、健全性を確認しながら運転を行うこととしている。

2. トロイダル磁場コイルの構成

TFCは、単位コイル、フィード線、渡り線、巻き戻し線、スペーサ、冷却配管から成る。単位コイル（図-1）は、機能上大別して、中空円形の垂直断面を有するコイル部とコイル部を強度的に保護する補強部に分けられる。コイル部は、絶縁層を介して、導体板を円形に巻いた多層コイル（36層）で、二つのパンケーキより構成され、トーラス中心側でテーパ状に切削されたくさび形をなしている。導体は、機械的強度、温度上昇を考慮して、コイルの外周側の層ほど厚みが大きくなっている。絶縁層は、導体間、パンケーキ間及び対地間に対して設けられている。補強部は、TFCの最外周に巻かれた外枠、各TFCを上下架台に支持固定する補強枠及びTFCの側面に取り付けられる側板から構成される。渡り線は、パンケーキ及び単位コイル間を電氣的に接続するもので、パンケーキ間渡り線、単位コイル間渡り線がある。巻き戻し線は、渡り線によって発生する不整磁場を補償するために設置している。フィード線は、TFC電源からTFCに電力を供給するための同軸導線である。スペーサは、TFC間に設けられ、TFCの相対的位置変形を防止するためのものであり、また中性子遮蔽体を設置している。冷却配管はTFCの冷却管の出入口配管と本体1次冷却設備コイル冷却系の主配管を連結するものである。

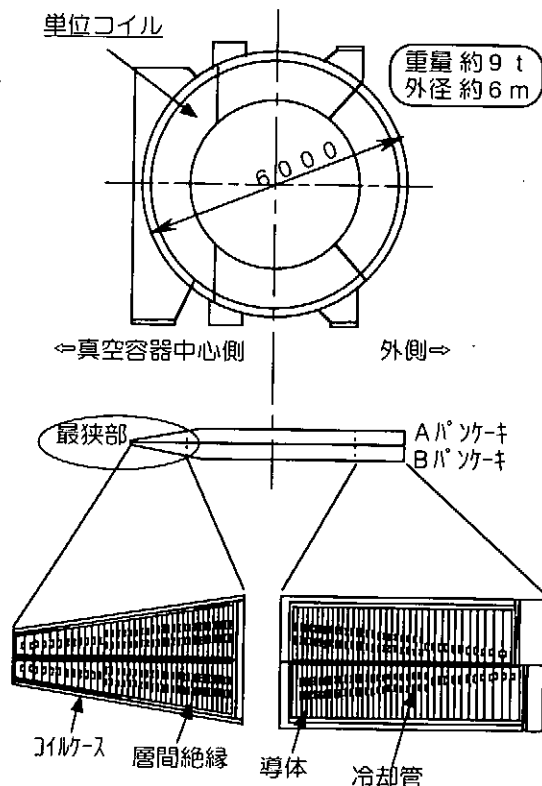


図-1 単位コイル構成図

3. トロイダル磁場コイルの冷却系

TFCでは導体中に発生するジュール熱を冷却水により除去するために冷却系を設置している。冷却水は本体1次冷却設備で製造された純水を使用している。冷却水の流れは、本体1次冷却設備から冷却配管、単位コイル毎に設けられたマニホールドを介し冷却管に通水するサイクルとなっている。マニホールドからは、38系統の冷却チャンネルを各々絶縁ゴムホースにより冷却管に接続する構造となっている。冷却管の外観図を図-2に示す。冷却管の断面は、矩形で代表的な寸法は4mm×20mmである。また導体に埋設されているため1周で約30m程の湾曲の形状をしており、1チャンネルで2周(層)分の冷却を行っている。但し、35層目は18チャンネルで、36層目はパンケーキ間渡り線と同時に19チャンネルにて冷却されている。

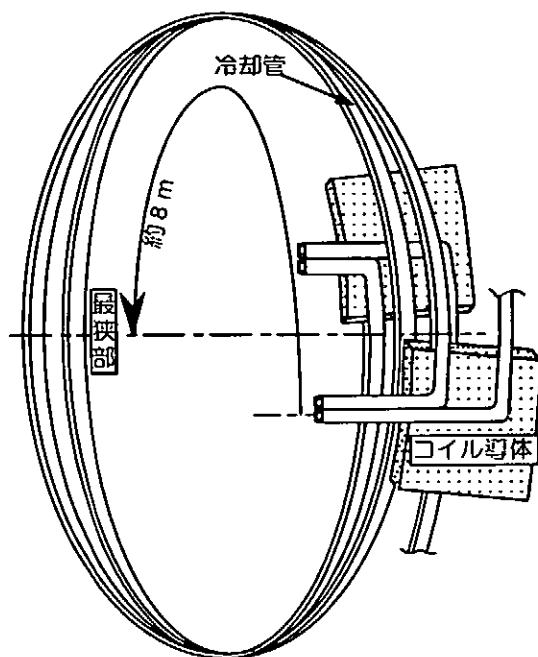


図-2 コイル導体冷却管外観図

4. 冷却管の気密試験

冷却管の気密試験は、冷却水浸出し時の不具合チャンネルの同定、及びクラック貫通の存在を早期に発見する目的で実施している。試験系統を図-3に示す。試験ガスは、窒素ガスを使用しポンペ25本分のカードルから供給する。ガス供給配管には、高圧用のシンプレックスチューブを使用している。この高圧用のシンプレックスチューブの使用により、加圧初期時の圧力減衰が小さく、測定精度を向上させている。測定器は最小検出感度0.001kg/cm²Gのデジタルマノメータを使用している。ガス供給系統は4系統とし1度に2コイルの試験が可能になっている。試験は、運転圧力である8kg/cm²Gを加圧し、その後の圧力減衰により健全性(気密性)を判断している。合格基準は加圧後2～15分の13分間の圧力減衰が0.005kg/cm²G以下としている。この基準は、図-4からも分かるようにクラック存在の判断が可能であり且つ試験時間の短縮、加圧初期の圧力減衰を考慮して採用した値である。試験にかかる日数は全コイル(684チャンネル)で約2カ月であり、定期点検時期内に実施が可能であるため、クラック貫通の存在を早期に発見するという目的に適した試験となっている。

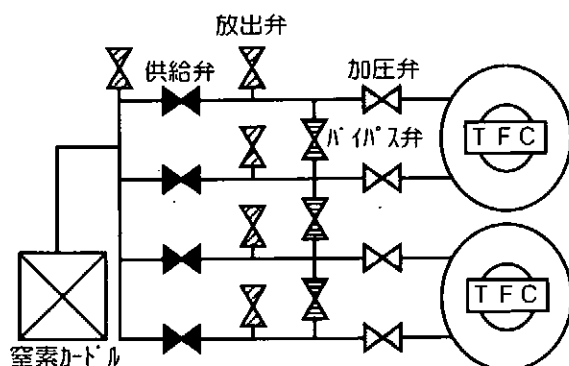


図-3 気密試験系統図

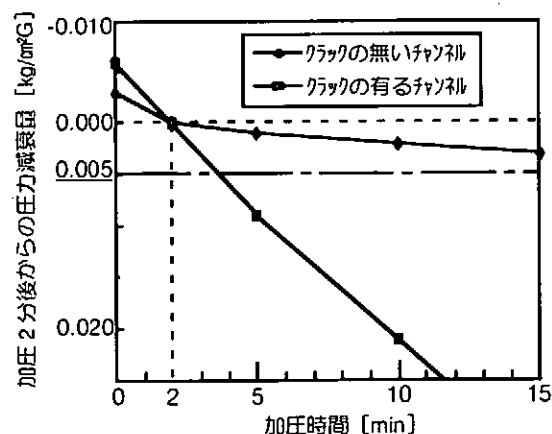


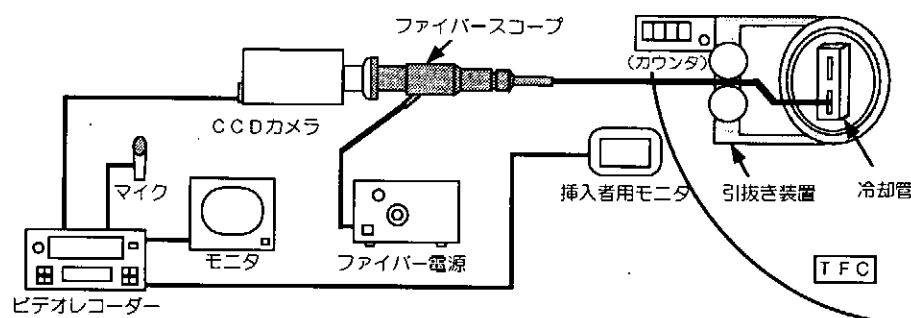
図-4 気密試験の結果比較

5. ファイバースコープによる内部観察

不具合の生じた冷却管の発生原因を究明する上で、冷却管内部の状況を知ることは極めて重要であるので、健全性試験の1つとして、ファイバースコープによる冷却管の内部観察を実施している。

内部観察に使用する装置の構成は、ファイバースコープ、録画用ビデオ、引き抜き装置等から成る。図-5に内部観察構成図を示す。ファイバースコープは、3項でも述べたように特殊な形状である冷却管の専用に開発したものである。このファイバースコープは外径3mmφ、有効長1.4mであり、構造はイメージガイド(1本)、ライトガイド(30本)、FRP線(6本)及び外皮のテフロンチューブから成る(図-6)。ライトガイドとFRP線の本数は、複雑な冷却管に合った剛性を得るために何度か試験して決めた数である。ファイバースコープの先端には、観察位置の視野を固定するため先端アダプタを取り付けている。視野角度の調整は、図7に示す様にファイバースコープと先端アダプタを接続するビス止めの位置によって行っている。引き抜き装置は、ファイバースコープの挿入、引き抜き操作の一定化を図るものである。観察中の映像は、VHSビデオにて録画している。録画するビデオには観察日時の表示や音声による観察箇所の説明を入力し、どの位置を観察しているかが分かるようにしている。図-8に内部観察時のモニタ画面を示す。ファイバースコープを挿入するにあたって2流路の既設の冷却管は口金内部より分岐するため口金を切断する必要がある。復旧(通水)する時は、図-9に示す機械的継手を製作しゴムホースと冷却管との接続を行っている。

内部観察を実施する範囲は、今までのクラック発生状況から最狭部±1 mの冷却管コーナ部としている。すなわち、2 流路を持つチャンネルの観察では、1 チャンネルにつき 8 箇所の実施となる。1 箇所（2 m）の観察において約 20 分程の時間を要するため、約 2 カ月の定期点検時期では 20 チャンネル程しか実施することが出来ない。よって、クラックが発生する要因からチャンネルを絞って継続的に観察を行うこととしている。



圖一 5 内部觀察構成図

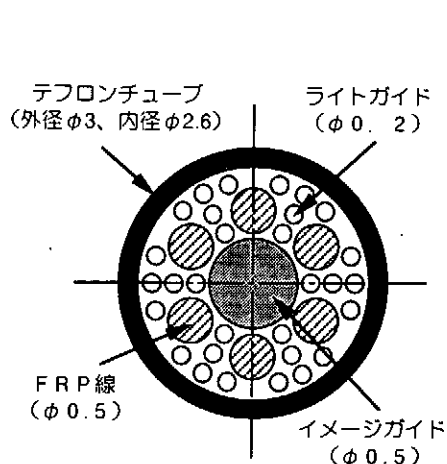


図-6 ファイバースコープ構造図

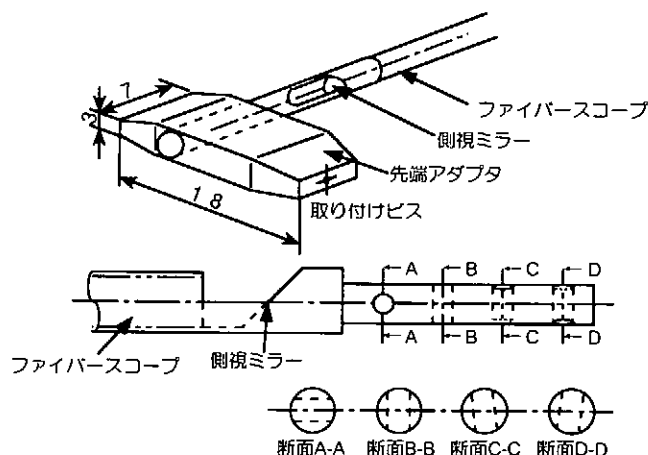


図-7 先端アダプタ取り付け図

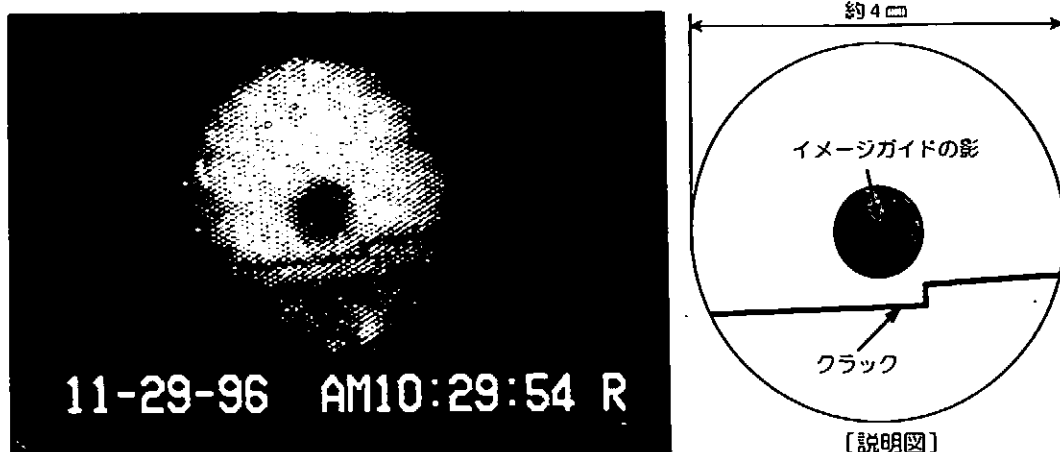


図-8 内部観察時のモニタ画面

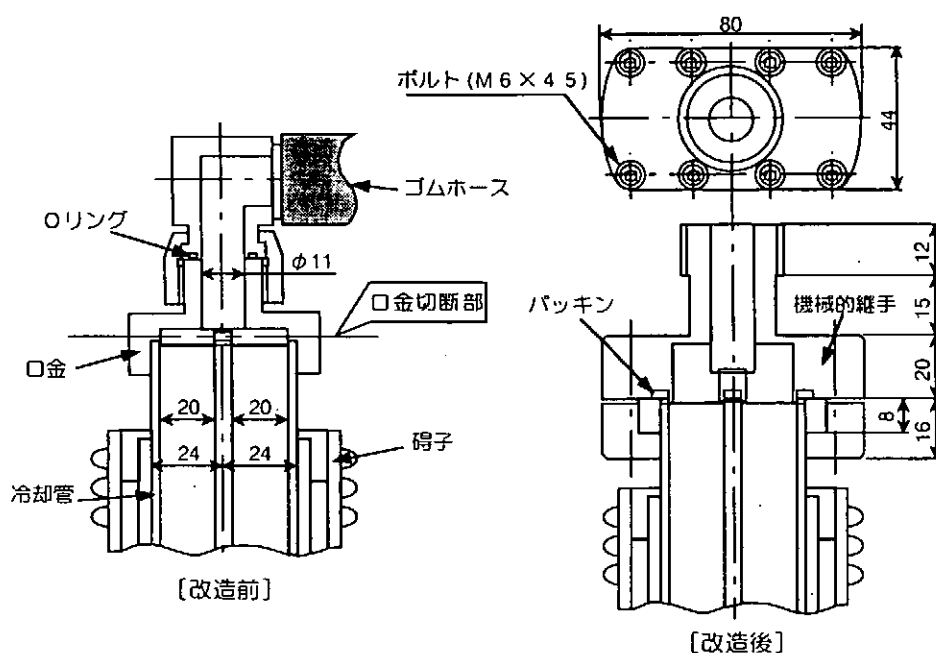


図-9 冷却管口金部の改造

6. まとめ

(1)気密試験

冷却管の気密性を確認することにより、クラック貫通を早期に発見することが可能であり、冷却水浸み出しによる導体周辺の絶縁劣化の防止に有効である。

(2)ファイバースコープによる内部観察

冷却管内部の状況（クラックの有無、クラックの位置・形状・進展）を知ることで、クラック発生の原因究明、及び実験運転によるクラック進捗状況の確認に有効である。

これからもJT-60の運転を行うにあたり、TFCの健全性確保に万全を期すため、定期的に気密試験及び、ファイバースコープによる内部観察を実施する。

VHF帯1.6MW 液体還流型ダミーロード エLEMENTの開発

核融合科学研究所 ○新保富士夫、野村吾郎

熊沢隆平、関哲夫、武藤敬

安井哲彦、渡利徹夫

1、はじめに

核融合科学研究所では大型ヘリカル装置（LHD）に於けるイオンサイクロトロン（ICRF）加熱実験R&D用VHF発振器は50MHzにおいて大電力（発振器1台当り1.6 MW）定常（1時間23分）の発振を達成した。現在は本体棟加熱装置室に移設し実機加熱用に供するため、平成10年の第二サイクル（1.5T）での加熱実験に於て実際に使用する周波数である20～30MHzにチューニングして実験中である。また大型ヘリカル装置を模擬した真空チャンバーを設置しその中にアンテナやスタブチューナー、同軸切り換え器並びに同軸線路の耐電圧、冷却試験も進行中である。パルス励振型発振器も順次東山サイトより本体棟加熱装置室に移転設置して総合12MWのICRF加熱実験を目標にLHD装置の追加熱としての準備を進めている。これらのパルス発振器群もパルス励振時間を0.1秒から数秒に延長するための改造も行っている。しかし今後これらの装置を加熱実験に使用してゆく際の維持作業として発振器の日常点検や、模擬負荷を設置しての高周波大電力発振試験は不可欠である。しかし核融合科学研究所には定常2 MWで使用できるダミーロードが1台しかないのが現実である。普通一般の低電力高周波回路ならば負荷抵抗器が1台でも順次同軸コネクタを接続し直して通電テストをすれば良いが、同軸線路もメガワット級の大電力に対応するためWX240Dなどという大口徑（外導体径240mm フランジ外径310mm）に加え、その内導体内部に冷却水を循環させる水冷同軸管を使用しているため、その接続替えの作業には注意を要する。まず水冷内導体の冷却水を完全に抜いて外導体より絶縁ガスを排出した後フランジのボルトを外し、内導体内部の残留水滴等や異物を外導体内部に落とさない様に細心の注意を払いながらクレーンで吊り上げ、外すというような一連の困難な重作業を伴う。この様な重作業を回避するために同軸切り換え器の試験を行ってきたがこれら省力化の一環として、大電力で使用でき更に広帯域（HF～VHF帯）に渡って定在波比（VSWR）のよいダミーロードが発振器毎に必要な。海外ではドイツのスピナー社に見られるように一般的に小型で大電力に耐えうる抵抗器は液体還流型のものが多い。しかし、現在国産で入手可能な液体還流型ダミーロードは愛知電機製作所等で生産販売されているが、高周波用ではなく一般商用電力周波数に於けるモーター起動用としてのダミーロードでありVHF帯では使用出来ない。

今回は液体還流冷却装置が愛知電機製作所等で供給可能のため、これを使用することを前提にして、当研究所で高周波用液体ダミーロード ELEMENTの開発を行った。

2、ELEMENT基本形状の決定

当初計画では図-1に示すように外導体を電解液の容器として使用し、その外導体内

部壁面と内導体外部壁面を電極として使用し抵抗体を形成、インピーダンスの調整には電解液濃度と内導体の挿入量とで合わせる計画であったが、インピーダンスを50Ωに合わせる事が不可能であった。その原因として考えられるのは電解液の比誘電率である電解液は炭酸ナトリウム数%水溶液である。その比誘電率 (ϵ_r) は水のそれと大差無く、約80強であろうと推定される。これを同軸管のインピーダンス計算式に代入して計算すると外導体

$$Z_0 = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_r}} \ln \frac{D}{K_1 d} \quad (\Omega)$$

K_1 = 内導体実効係数 D = 外導体内径
 ϵ_r = 比誘電率 d = 内導体内径

内径77mmの時インピーダンス50Ωになる内導体外径は0.04mmであり双方導体に底面が存在するのでさらに内導体外径は細くなる、と考えられる。そこで図-1に示す様に電解液に浸る部分の内導体を細くしてインピーダンスの整合を取る事ができた。しかしこの細い内導体電極が高周波大電力に耐えられないので、この方式は採用できない。そこで固体抵抗器によるダミーロードと同じ構造にす事にした。電解液柱を形成してそれ自身を内導体の一部とする方法である。実際の構造はシンプルで図-2に示す様に内導体の一部を絶縁物のパイプで構成し、その中に電解液を充填する構造である。上部内導体を長さ可変構造としてインピーダンスの整合を取る構造とした。実機では液体の還流を行うが、底面から流入、排出が十分可能である。しかしここで注意しなければならない事は、液体内導体の高周波電流の表皮効果である。

$$\delta = \frac{1}{10} \sqrt{\frac{\rho}{\pi f \mu_0 \mu_r}} \quad (\text{mm})$$

f = 周波数 μ_0 = 真空の透磁率
 μ_r = 比透磁率 ρ = 導体の固有抵抗

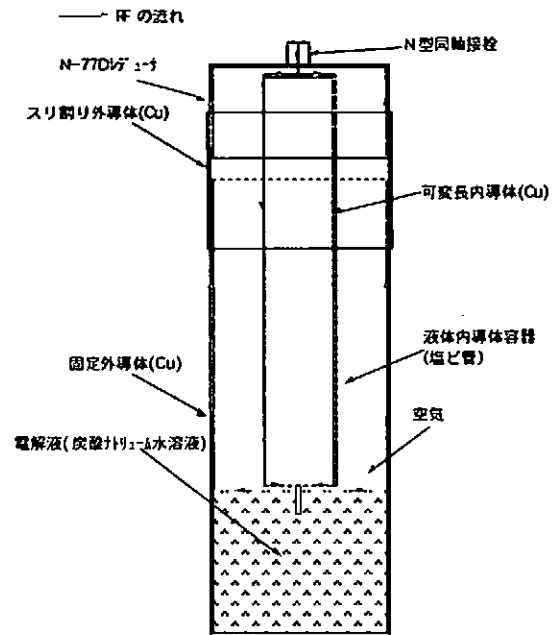


図-1

ディスク型液体抵抗体&円筒型外導体方式
 ダミーロードエレメント構造図

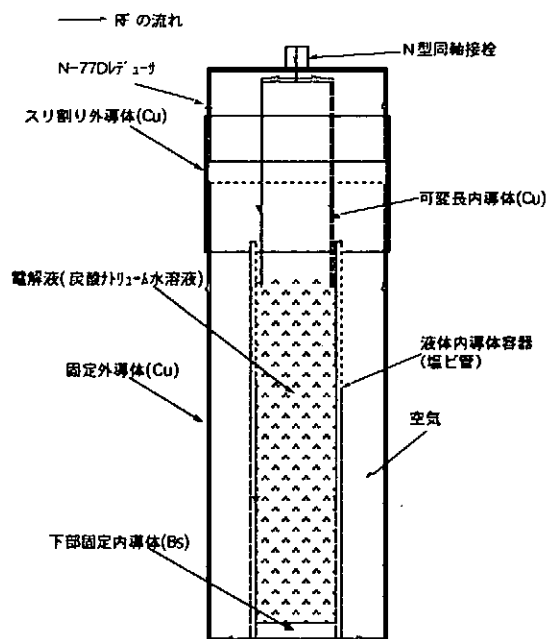


図-2

円筒型液体内導体 & 円筒型外導体方式
 ダミーロードエレメント構造図

電気伝導度が金属に比べて極端に低いので、電流の染み込みが深く 50MHz において 50mm 強である。外導体径が 240mm における空気中の内導体径 100mm の時でも抵抗柱として機能し得る。

最終の課題としては外導体を図-3 に示す様なテーパ構造にするか、それとも図-2 の様な直管で構成するかについての選択である。一般に用いられる高周波ダミーロードをテーパ構造とするのは、終端に行くほど同軸インピーダンスを無段階に順次下げ最終端で 0Ω に導くためである。テーパ構造にすれば加工工程が複雑になり高価なものになる。我々は両者の構造の違いによって周波数帯域に於ける周波数特性に違いがあるのか実験した。写真-1 がその実験結果である。中段、下段両者の比較に於て違いがない。制作コストを考慮すれば上段の直管外導体によるダミーロードで十分であると判断した。

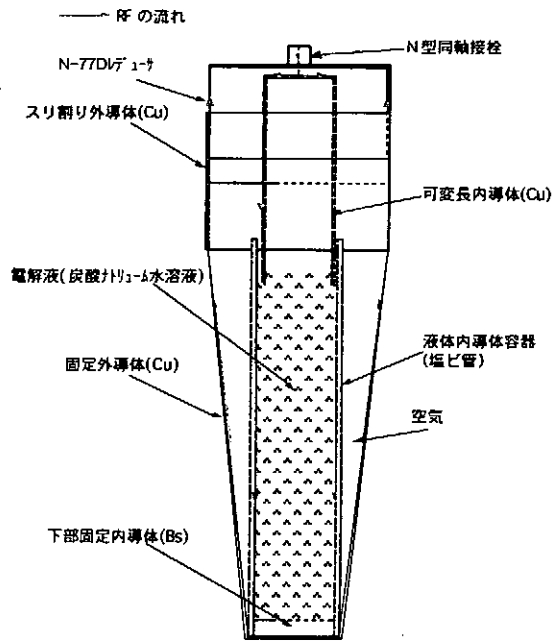


図-3
円筒型液体内導体&テーパ型外導体方式
ダミーロードエレメント構造図

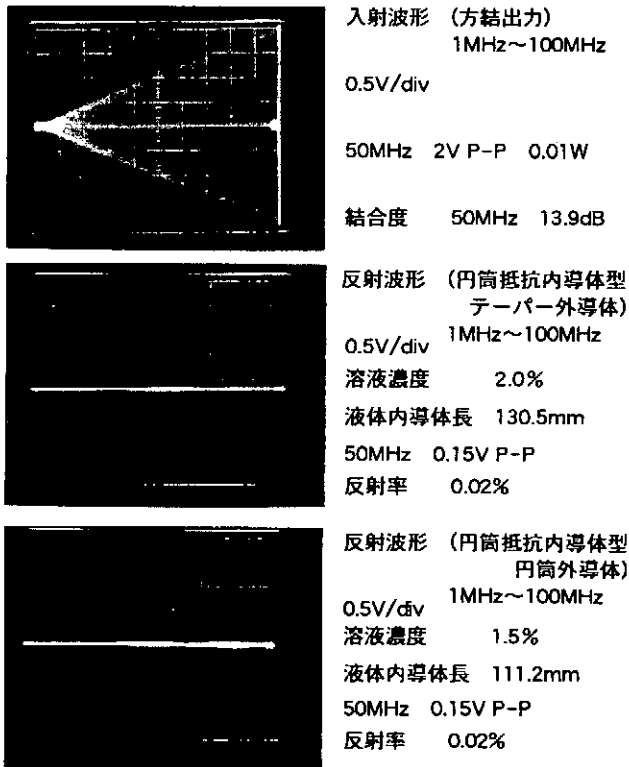
3、対周波数反射率試験

液体内導体の濃度を变化させ、対／反射電力率の周波数依存性を調べた。（写真-1 参照）その結果当初計画の周波数範囲内（10～100MHz）で溶液濃度 1.5% 付近において反射率 0.02% 以内の結果を得た。これは従来の固体抵抗型ダミーロードのそれを凌駕する値であり、今回の実験としては十分満足できる結果であった。

4、今後の方針

大電力実機ダミーロードの製作のための R & D として、WX77D 同軸管を用たミニチュアモデル実験を行ったが今後は MW 以上の定常動作を目標に WX152D または WX240D で実機を製作する。

また液体還流型のダミーロードとして



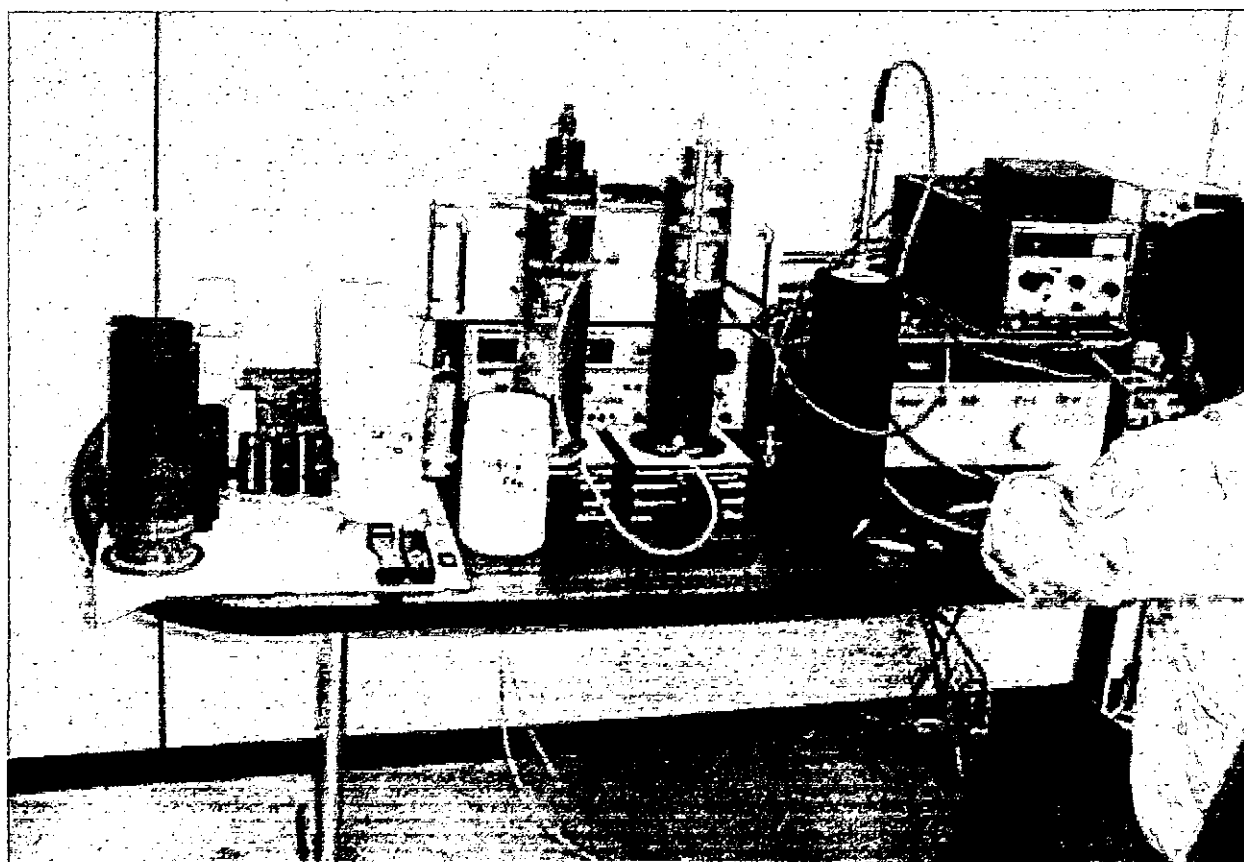
周波数スキャン反射波形
写真-1

の電解液循環冷却機構も実用化する。

今年度に残された課題はリモートコントロール自動チューニング機構、その他温度管理、濃度管理機構が必要かどうか検討する。そして電解液に直接触れる部分の非鉄金属材料の耐食試験を数カ月掛けて実施する。11月末現在までにアルミニウム、電気銅が使用不可能で有ることが判明している。引き続き真鍮、ステンレス等について試験を続行している。

5.使用測定器

| | | |
|---------------|---------|-------------|
| オシロスコープ | 岩崎通信機 | SS-6200 |
| 発振器 | YHP | 8601A (スイパ) |
| ワイドバンドアンプ | R&K | A-1 |
| インピーダンスメータ | HP | 4193A |
| パワーメータ&SWRメータ | ダイワ | DP-830 |
| マルチメータ | サンワ | 8000 Z M |
| 塩分&温度計 | 積水 | SS-31A |
| PH計 | ホリバ | PHep |
| 導電率計 | ホリバ | B-173 |
| 方向性結合器 | 日本高周波 | S-6103 |
| 天秤 | METTLER | BD-601 |



大型ヘリカル装置(LHD)制御システムの開発(5)

核融合科学研究所

○山本典子 小川英樹 谷口能之 高橋千尋 村井勝治
山田弘司 渡邊清政 山崎耕造 LHD 建設グループ

はじめに

大型ヘリカル装置 (LHD) で実験を行うためには本体とその周辺に多くの機器が必要である。この多数の周辺機器 (サブシステム) は個々に制御装置を持つが、これらのサブシステムを統括して円滑に実験を行う事を目的とした中央制御システムを開発してきた。

今回は完成を目前にした中央制御システムの中でも、最も人間が身近に触れる LHD マンマシンインターフェイスシステム(LMS)とそれらを結ぶ制御ネットワークについて記述する。

中央制御システムとは

中央制御システムとは、機器制御中枢となる制御装置と LMS の 2 つの部分からなる。(図 1)

制御装置はサブシステムとハードワイヤーで結ばれており、実験シーケンス制御を行ったり、保護インターロック作動や運転モード管理のための監視を行う PLC(Program LogicController)とタイミング制御を行う VMEにより構成されている。
中央制御システムの運転操作は中央コンソールから行うが LMS からの遠隔操作も可能としている。

PLC の制御については以前の制御システムの開発の発表で

報告しているので詳細は省き、今回は LMS に重点を置いてその関連を含めながら構成と機能、物理的接続についてを報告する。

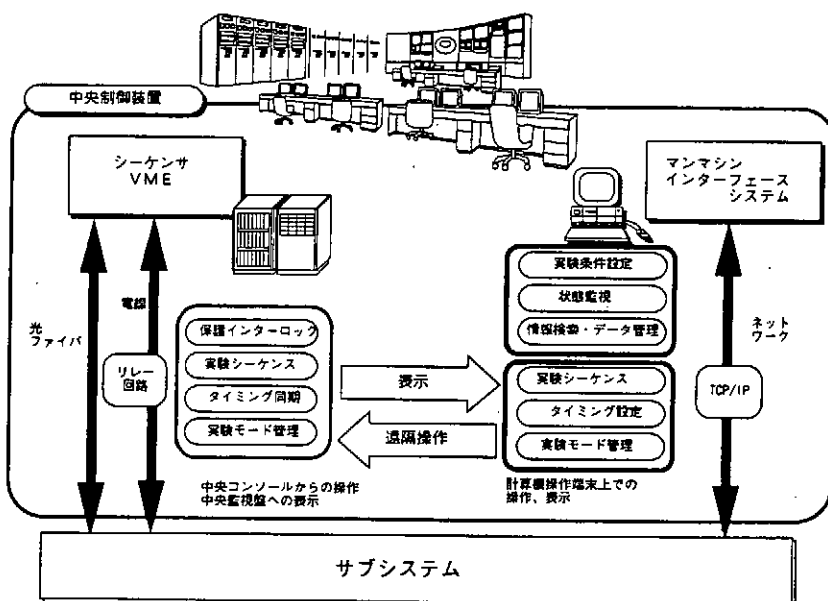


図1 中央制御装置の構成

マンマシンインターフェイスシステムについて

LMS は実験を行う際に、数多くのサブシステムを“円滑で、協調して、効率よく”運転でき、人が操作にするにあたって“分かり易く、容易な操作で、誤動作を防止し、効率化を図る”事を基本構想としている。LMS の運転操作はネットワーク上に複数台配置した任意の操作端末から行い、情報交換はネットワークを介して行う。以上の事を基に LMS には次の 4 つの機能を持たせる。

- ・実験シーケンス管理機能

制御装置における実験シーケンス操作を LMS の操作端末上で行い、実験シーケンスの状態及びイベント等の表示を行う。

- ・実験条件管理機能

各サブシステムの設定値を作成してデータベースに収め、その収められているデータから実際に実験に使うデータを選択し、サブシステムに送信する。

- ・運転操作管理機能

制御装置による運転モードの移行操作や、サブシステムの状態表示（警報を含む）を行う。

- ・プラント監視機能

サブシステムに一定間隔でプラント状態を問い合わせ、返信された状態値をデータベースに格納し、この状態値を画面上に表示する。

上記の機能には過去のデータを参照できる機能も有する。

これらの機能を満たすために LMS は図 2 のような 3 層構造とした。

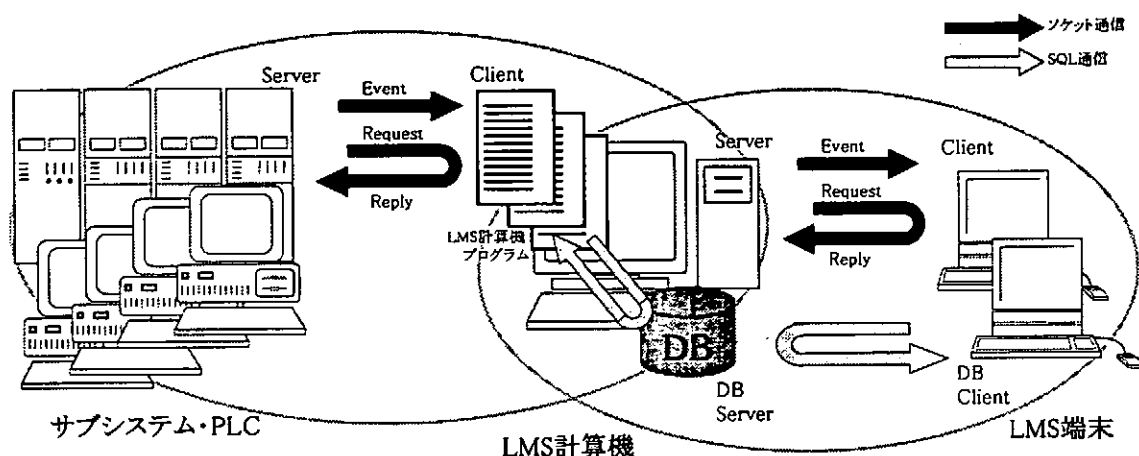


図2 LMS信号・データ通信図

人が実際に操作を行う端末と機器制御を行うサブシステム・PLC との間に LMS 計算機を設け、この LMS 計算機プログラムを介して TCP/IP のソケット通信で制御情報の送受信を行う。また、LMS 計算機上にデータベースを置き端末・サブシステムからの制御情報の書き込みと参照を行う事を示している。

マンマシンインターフェイスシステムにおける信号・データ通信について

図 2 に示す 3 層上の各制御計算機のソケット通信での位置づけは、

| | サーバ | クライアント |
|-----------------|---------|---------|
| サブシステム↔LMS 計算機間 | サブシステム | LMS 計算機 |
| LMS 計算機↔LMS 端末間 | LMS 計算機 | LMS 端末 |

としている。

この各間の信号は、事象が起こった時に出す信号(event)と、問合せ(request)/応答(reply)を行う信号の 2 種類に分け、event 信号はサーバ側からクライアントに出され、request/reply 信号についてはクライアント側から問合せた事に対してサーバが応答をするような形をとっている。

データベース(DB)の通信では、LMS 計算機を DB サーバ、LMS 端末を DB クライアントとして SQL 通信で直接 DB へアクセスを行っている。

サブシステムから DB へのアクセスについては、多数のサブシステムすべてを SQL 通信での DB クライアントにはできないので上記ソケット通信を用いてデータをやり取りし、LMS 計算機内で処理を行って DB に書き込み・参照を行っている。

マンマシンインターフェイスシステムのデータベース構成について

LMS 計算機で使用しているデータベースは汎用のリレーショナルデータベース(RDB)を採用している。データベースはいくつかの表から成り立っているが RDB では機能の目的別に個々に表が有るわけではない。表は LMS に必要な情報の項目すべてにおいてそのデータ項目の性質別に表を作り、これら表を組み合わせる事によって各機能の目的に添うデータを取り出せるようにしている。このため多数のデータも重複するという無駄が無く、性質によって分けられるのでデータのバックアップを容易にし、セキュリティ的にも表毎に権限を付ける事ができるので安全性がたかい。

マンマシンインターフェイスシステムの画面について

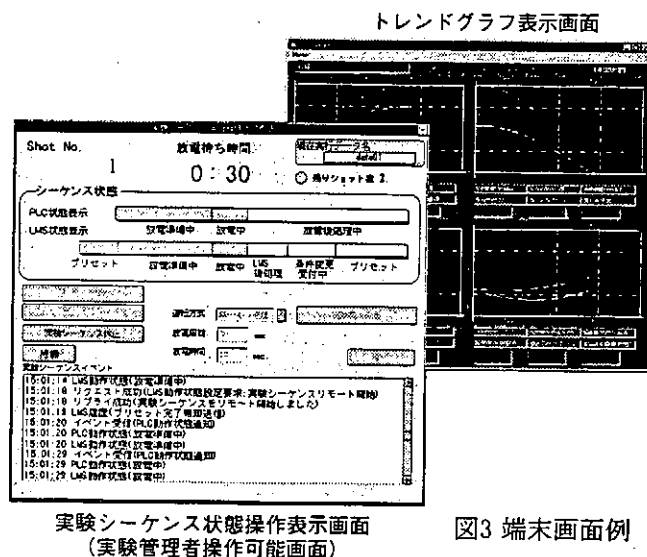


図3 端末画面例

LMS はグラフィカルユーザインターフェイス(GUI)を用いて作成した2種類の画面を持つ。

一つは実験管理者が実際に実験を行うデータを選択して実験スケジュールを組んだり制御操作を行うための管理者権限を持った画面で、もう一つは実験条件データを作成したり実験の進行状況・サブシステムの運転状態を見るための一般用の画面である。(図3)

これらは画面上の機能だけでなくどちらで操作するかによって DB 上にある表の権限も異なってくる。

マンマシンインターフェイスシステムの置かれるネットワーク構成について

現在核融合科学研究所には一般の LAN の他に LHD にて実験を行うための LHD 実験ネットワークというものがある。この実験用 LAN は大きく分けて次の3つのクラスタに分けられる。

・制御情報クラスタ

実験を制御するための計算機等が繋がる。中央制御システムの LMS やサブシステム・PLC などの制御計算機もここに置かれるが詳細は後述する。

・計測制御クラスタ

このクラスタは更に計測サブクラスタとデータ処理サブクラスタに分けられる。前者は計測機器を制御するための機器が繋がり、後者は収集したデータの処理を行うための機器が接続される。データ処理サブクラスタは次の実験解析サブクラスタとも関わりが深い。

・実験解析クラスタ

データ処理サブクラスタで処理された実験データをこのサブクラスタ上で実験者がデータ解析を行う。そのためデータ処理サブクラスタのクライアントと位置づけられている。しかし、公共性が高いのでデータ処理のクライアントとしてだけでなく、一部をもっと一般的なクラスタとして分離する事が現在検討されている。

LMS を含むネットワーク構成図(主に制御情報クラスタ)を図4に示す。

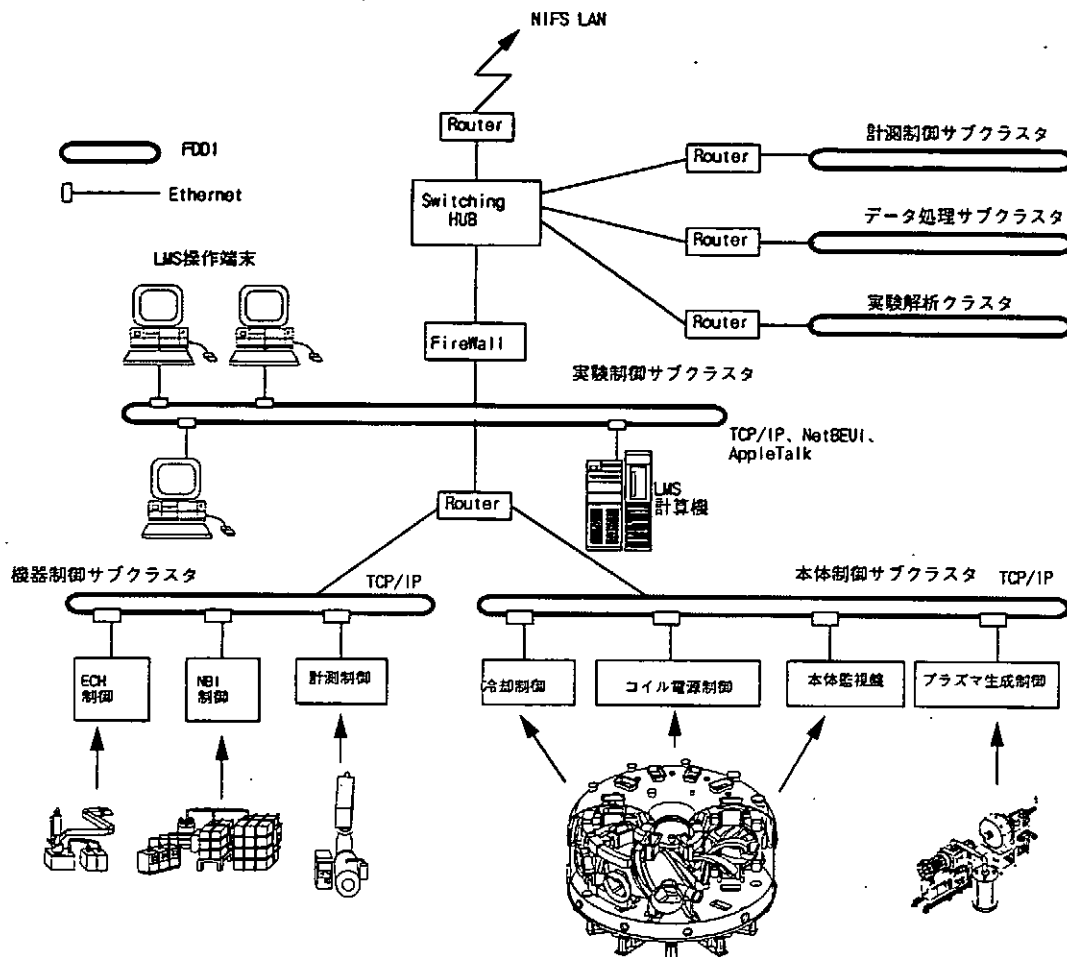


図4 LHD実験ネットワーク

この図は制御情報クラスタが更に実験制御サブクラスタ・本体制御サブクラスタ・機器制御サブクラスタの3つに分かれている事を示す。LMS 端末と LMS 計算機は実験制御サブクラスタにつながり、サブシステムの制御計算機は各々の目的によって本体制御もしくは機器制御サブクラスタに接続される。この制御情報クラスタは実験を外部から妨げられることを防ぐために実験ネットワークの中でも FireWall で閉じられている。

まとめ

LMS のプログラムは現在ほぼ完成しており、本年度末のプラズマ実験時の運用を目指し、実機を想定してのテストを繰り返しながら、不具合点の洗い出しを行い改善作業を行っている。また、使い勝手をよりよくするための改良も同時に進めている。

大型ヘリカル装置（LHD）実験基盤の整備

核融合科学研究所 ○米津宏昭、飯間理史、林浩己、近藤友紀、小森彰夫

概説

大型ヘリカル装置（以下、LHD）は、超伝導コイルで発生した強力なヘリカル磁場により高温高密度のプラズマを閉じ込める実験装置である。図1に示すように装置の大きさは世界的にも最大級である。現実験計画では、250個以上の観測窓（ポート）に、プラズマの制御装置、加熱装置、計測装置など（以下、各種実験装置）が多数配置される。

我々は、LHDの基礎設計段階からその設計作業に参画し、次項で述べるようなLHDの装置技術的基盤を構築してきた。我々はこの技術的基盤に基づき各種実験装置の設置や運転における諸問題を検討し、装置設置基準の制定提案をおこなってきた。そしてこれらの諸問題対策ハードウェアとして、LHD本体や各種実験装置の運転に不可欠な基本ユーティリティとなる共通複合システムを開発し、建設を開始した。

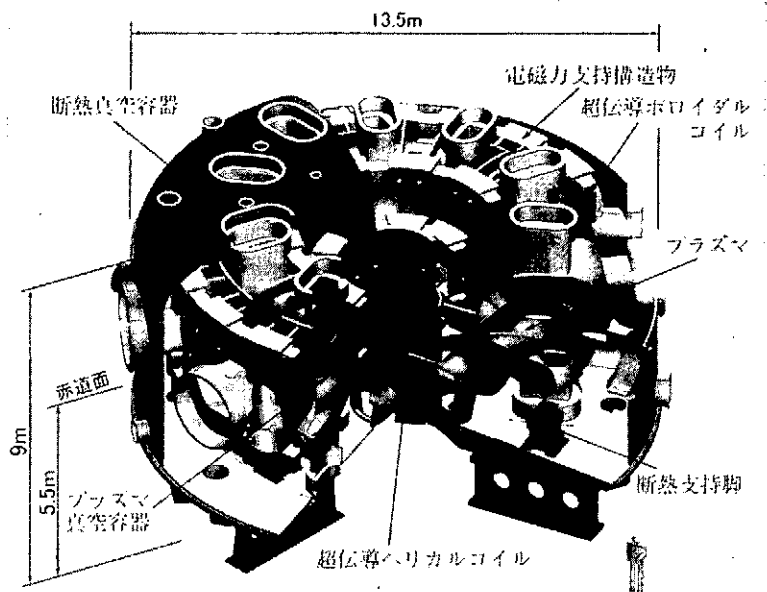


図1 LHD本体構成概略図

LHD装置技術基盤の構築

我々はまず、LHD設計作業の効率化を計るため、コンピューターによる形状開発及び構造解析（CAD、CAE）システムを導入した。そして、このCAD、CAEシステムを駆使し下記のように、LHDの本体設計や各種実験装置の配置調整の作業をおこない、適正な設計情報を提供してきた。

LHD本体の構造開発作業 （主な作業）

- ・LHD本体は超高温のプラズマや極低温の超伝導を取り扱う特殊な装置であるため、図1のよ

うに各コンポーネント（大型断熱真空容器、真空容器、超伝導コイル、電磁力支持構造物等）は構造的、熱伝的に必要なクリアランスを確保しつつ、限られた空間に組み立てられる必要がある。そのためCADシステムを使って、全ての主要なコンポーネントを3次元モデル化し、各コンポーネ

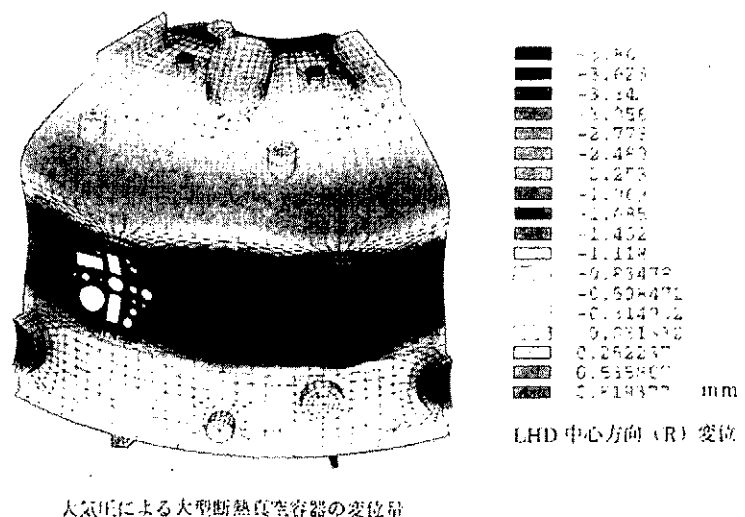


図2 大型断熱真空容器の構造解

ント形状の決定（支援）や配置の確認作業をおこなってきた。

- ・上記形状確認と連動して、CAEシステムを使って、真空力、電磁力、地震力による各コンポーネントでの応力や変形のレビューをおこない構造開発の支援をおこなった。図2は大型断熱真空容器の形状や容器板厚を決定するためのその一例で、真空排気に伴う大気圧による変形を解析した結果である。これにより赤道面Oポートの付け根が最大約3mm本体中心に変形し、フ

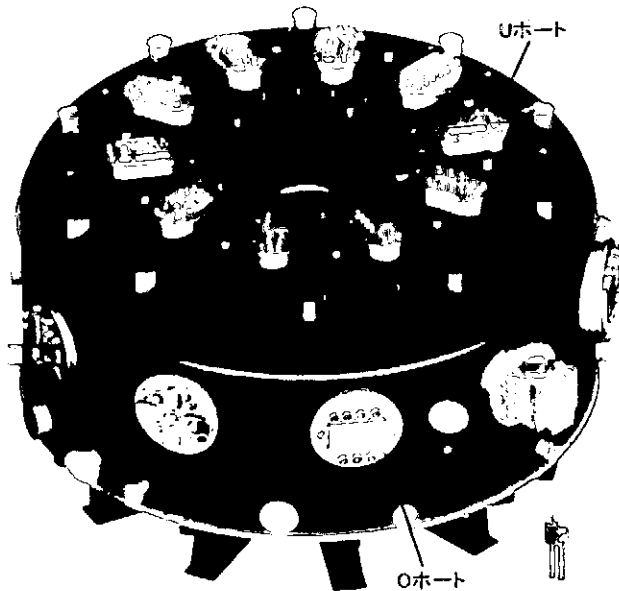


図3 LHD本体のプラズマ観測ポート

ランジ面内で約2mm程度変形することを予測し各種実験装置の取り合い構造設計に反映してきた。

- ・全プラズマ観測ポートの利用計画を調査し各種実験装置の配置干渉の調整、ポート仕様策定や構造設計をした。図3は設計を完了した全ポートのイメージである。
- ・真空容器加熱冷却や超伝導コイル冷却のための本体内部、周囲配管類も限られた空間に配置する必要があり、CADを使って適正な配置案を作成してきた。

LHDの各種実験装置の配置調整

- ・LHD実験棟本体室、本体地下室における各種実験装置及び同付帯配管類をCADにより詳細に配置状況を管理し、LHD建設工程や現場の建設状況に整合を取りながら、設置場所を調整し提案してきた。

LHD実験室内での装置設置や運転における問題の検討

前述のように、LHD本体は高温プラズマを閉じこめるため最大4万ガウスの強力な磁場を発生する。装置周囲に強磁性材料物を設置するとその閉じこめ磁場を乱す原因となる。また、ヘリカル装置はトカマク装置と較べて外部への漏れ磁場が大きい。したがて、電磁弁や電磁リレー、電動機、トランス、真空ポンプなど強磁性材料の部品を使用する装置は基本的に設置できない。また、本体ポートは最大では直径1m程度あり、計測装置等をLHD本体真空域と接続するとその接続断面積に応じた真空圧（10tonf/m²）力で真空容器に引っ張られる。各種実験装

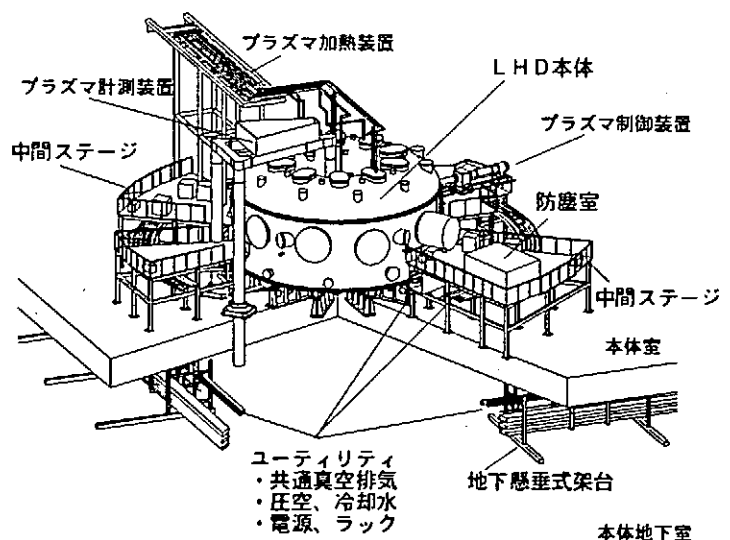


図4 共通複合システムのイメージ

置はこの引き込み力に耐えるように固定しなければならない。かつ、真空維持の観点から安全に各種実験装置をLHD本体真空域に接続するには、LHD本体の真空圧による挙動（構造解析）を考慮する必要がある。また、多数の装置の磁性体配置や構造等の技術的検討や、運転に必要なユーティリティ関係を個別に管理することはかなり難しい。そこで、磁場の影響や構造的問題を解決し、ユーティリティを開発した。

基本ユーティリティ：共通複合システムの開発

我々が開発してきた共通複合システムは図4のイメージのように、中間ステージ、地下懸垂式架台、共通圧空及び窒素ガスシステム、共通真空排気システム、共通冷却水システム、真空容器出入り用防塵室、本体周回び地下室の配線配管用ダクト及びトレイ等で構成される。また、共通システムの取り合いヘッダーを中間ステージ床上に設置する。なお、中間ステージの構造設計や配管等のレイアウトはCAD、CAEシステムを使って設計を進めきた。下記に中間ステージと主な共通システムを説明する。

中間ステージ

主にプラズマ赤道面観測ポート接続の各種実験装置を強固に固定するための架台である。我々は、開発条件を下記に示すように定めて設計をおこなった。

- ・各実験装置の配置計画に従いLHD本体及び他の各種実験装置との構造物の干渉を回避するよう、ステージの床面形状及び脚位置を決定した。かつ将来のステージ上の装置配置変更に対応できるように、床面での装置設置条件に汎用性を持たせた。
- ・架台の強度は、真空力による水平荷重（最大 10tonf/Oポート）、積載荷重（最大 500kgf/m²）等に耐えうる強固な構造（変位を 1.5mm 以下）で各種実験装置等を支持できるものとした。ただし、水平荷重の一部はLHD本体構造物で支持できる構造とした。

共通圧空及び窒素ガスシステム

制御室より遠隔監視かつ運転が可能な圧空（圧縮空気）及び窒素ガス供給システムで、主に本体近傍でも磁場に影響されない圧空作動弁の駆動に用いる。次のように用途に応じて系統を分類した。

- ・A系：一般ユーザー用で接続機器の規定無し。
- ・B系：LHD基幹設備用で真空容器ゲートバルブ、共通真空排気システムで使用。
- ・C系：LHD本体必須設備用で超伝導コイル関連機器、真空排気装置で使用。

LHDの運転制御上重要なシステムである。

- ・GN2系：窒素ガス供給用、C系のバックアップに使用。

例としてB系、C系の模式系統図を図5に示す。各系ともガス流量により停止インターロックを持つが、C系の圧力はガスが無くなるまで確保し、超伝導コイルの運転制御及び大型断熱真空容器の真空維持を最優先するように供給制御をおこなうようシーケンスを組んだ。

- ・20m³のタンクは、そのリザーブ圧が規定圧以下になったら、A系への供給を停止し、B系のみに圧空を供給する。
- ・40 m³のタンクは、そのリザーブ圧が規定圧以下になったら、A系、B系とも供給を停止し、全ての圧空をC系に供給する。
- ・圧縮機の停止かつ 20m³、40 m³の両タンクのリザーブ圧が規定圧以下になったら、GN2系より窒素ガスをC系に供給する。A、B系は供給を停止しする。

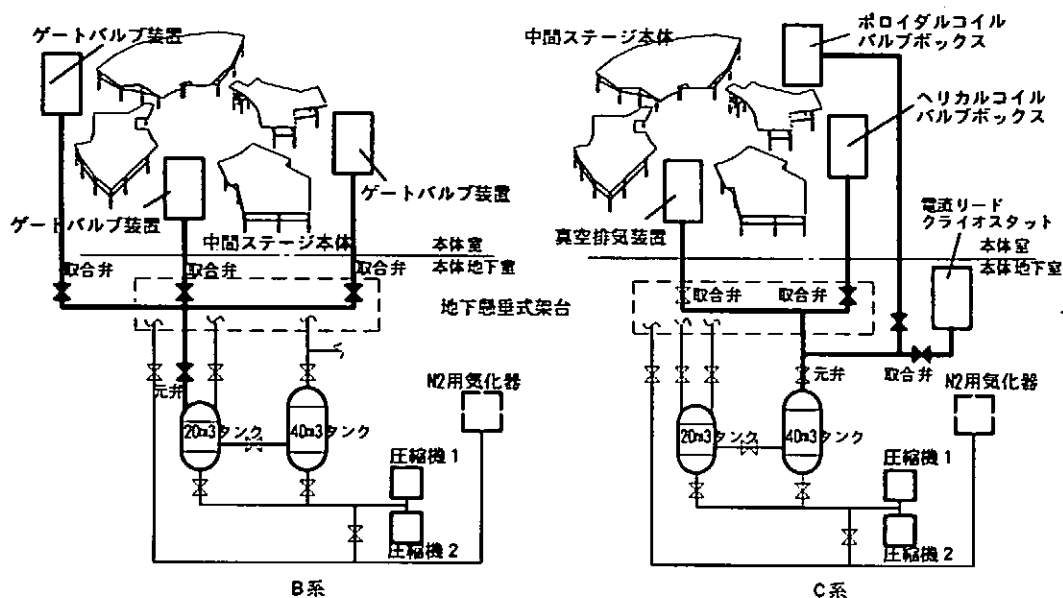


図5 共通真空システムB系C系の系統図

共通真空排気システム

前述したように、磁場の問題により本体の周囲にはロータリーポンプやメカニカルブースターポンプを設置できない。そこで、我々は各種実験装置の真空排気を補助する共通真空排気システムを開発した。

図6の模式系統図に示すように、真空排気システムは、ターボ分子ポンプ用補助排気系と大気圧からの粗引き排気系の2系統設け、本体より遠方となる本体地下室にロータリーポンプとメカニカルブースターポンプから成るユニッ

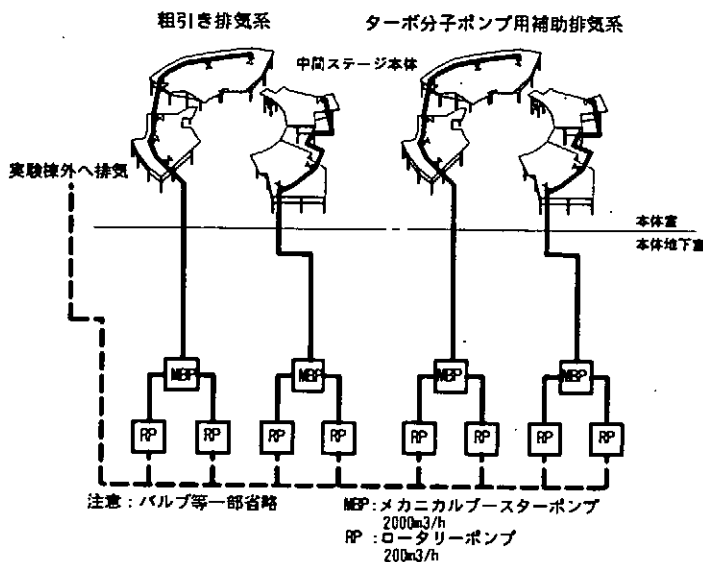


図6 共通真空排気システムの系統図

トを設置し、中間ステージ上で取り合えるようにした。取り合いヘッダー口圧力(両系統とも)を10Pa以下になるよう設計を進めてきた。また、このシステムは制御室より遠隔監視かつ運転が可能である。なお、真空維持のインターロックとしてターボ分子ポンプ用補助排気系には、ユーザー側でピラニ真空計に連動した自動弁を用意してもらい、自己防衛とシステムの健全性を維持するようシステム運用規程を設けた。

おわりに

来年春の実験スタートを目標にLHD建設は最終段階にある。今秋から中間ステージの現地建設も開始した。他の共通システムも来年1月完成を予定している。我々もLHD装置技術基盤の更なる構築を推進し、この共通複合システムの運用、管理体系の確立も含めて、実験基盤整備作業に現在全力をあげている。

機関別参加者数 (合計284名)

・ 国立大学共同利用機関 (4 機関---111名)

| | |
|-------------------|-----|
| 岡崎国立共同研究機構分子科学研究所 | 21名 |
| 高エネルギー加速器研究機構 | 23名 |
| 国立天文台 | 16名 |
| 核融合科学研究所 | 51名 |

・ 国立大学 (20大学---126名)

| | |
|----------|-----|
| 大阪大学 | 11名 |
| 岡山大学 | 1名 |
| 九州大学 | 1名 |
| 京都大学 | 12名 |
| 熊本大学 | 2名 |
| 神戸大学 | 1名 |
| 埼玉大学 | 2名 |
| 静岡大学 | 8名 |
| 信州大学 | 1名 |
| 筑波大学 | 6名 |
| 電気通信大学 | 4名 |
| 東京工業大学 | 4名 |
| 東京大学 | 12名 |
| 東北大学 | 12名 |
| 豊橋技術科学大学 | 1名 |
| 名古屋工業大学 | 11名 |
| 名古屋大学 | 32名 |
| 広島大学 | 1名 |
| 北海道大学 | 3名 |
| 琉球大学 | 1名 |

・ 公立大学 (2 大学---8名)

| | |
|--------|----|
| 大阪市立大学 | 6名 |
| 大阪府立大学 | 2名 |

・ 私立大学 (2 大学---4名)

| | |
|---------|----|
| 学習院大学 | 2名 |
| 静岡理工科大学 | 2名 |

・ その他 (1所6社---35名)

| | |
|-----------|-----|
| 日本原子力研究所 | 21名 |
| 民間会社 (6社) | 14名 |

平成9年度核融合科学研究所技術研究会参加者名簿

| 氏名 | 所属 | 電子メール | 郵便番号 | 電話番号 FAX番号 |
|---------|-------------------------|-------------------------------|------|------------------------------|
| 1 須賀辰美 | 大阪市立大学工学部工作技術センター | | 558 | 06-605-2751 06-605-3098 |
| 2 永田隆廣 | 大阪市立大学工学部工作技術センター | | 558 | 06-605-2751 |
| 3 林野正善 | 大阪市立大学工学部工作技術センター | | 558 | 06-605-2751 06-605-3098 |
| 4 堀井一孝 | 大阪市立大学工作技術センターガラス工作部門 | horii@eng.osaka-cu.ac.jp | 558 | 06-605-3099 |
| 5 宇田英雄 | 大阪市立大学理学部 | uda@sci.osaka-cu.ac.jp | 558 | 06-605-3175 06-605-2522 |
| 6 松山利夫 | 大阪市立大学理学部 | matuyama@sci.osaka-cu.ac.jp | 558 | 06-605-2644 06-605-2522 |
| 7 藤井和幸 | (株)大阪真空機器製作所 堺工場 技術第5Gr | | 593 | 0722-71-9633 0722-74-1300 |
| 8 大倉重治 | 大阪大学工学部 | ookura@ele.eng.osaka-u.ac.jp | 565 | 06-879-7779 06-879-7780 |
| 9 矢野美一 | 大阪大学工学部 | yano@ppl.eng.osaka-u.ac.jp | 565 | 06-879-7915 06-879-7916 |
| 10 大西政義 | 大阪大学産業科学研究所技術室 | | 567 | 06-879-8399 |
| 11 小川紀之 | 大阪大学産業科学研究所技術室 | | 567 | 06-879-8398 |
| 12 角一道明 | 大阪大学産業科学研究所技術室 | | 567 | 06-879-8399 |
| 13 田中高紀 | 大阪大学産業科学研究所技術室 | | 567 | 06-879-8528 |
| 14 山口春夫 | 大阪大学産業科学研究所技術室 | | 567 | 06-879-8398 |
| 15 山田等 | 大阪大学産業科学研究所技術室 | h-yamada@sanken.osaka-u.ac.jp | 567 | 06-879-8526 |
| 16 漆原新治 | 大阪大学レーザー核融合研究センター | urushi@ile.osaka-u.ac.jp | 565 | 06-879-8765 06-877-0900 |
| 17 鈴木健治 | 大阪大学レーザー核融合研究センター | suzuken@ile.osaka-u.ac.jp | 565 | 06-879-8752 06-879-8754 |
| 18 前川修 | 大阪大学レーザー核融合研究センター | zen@ile.osaka-u.ac.jp | 565 | 06-879-8774 06-877-4799 |
| 19 川野忠士 | 大阪府立大学先端科学研究所 | | 593 | 0722-36-2221 |
| 20 渡辺一功 | 大阪府立大学先端科学研究所 | | 593 | 0722-36-2221 |
| 21 近藤聖彦 | 岡崎国立共同研究機構 | kondou@ims.ac.jp | 444 | 0564-55-7210 0564-53-5729 |

平成9年度核融合科学研究所技術研究会参加者名簿

| 氏名 | 所属 | 電子メール | 郵便番号 | 電話番号 FAX番号 |
|----------|-------------------------------|-----------------------|------|------------------------------|
| 22 加藤清則 | 岡崎国立共同研究機構分子科学研究所分子物質開発研究センター | kkato@ims.ac.jp | 444 | 0564-55-7470 0564-55-7448 |
| 23 近藤直範 | 岡崎国立共同研究機構分子科学研究所極端紫外光実験施設 | nkondo@ims.ac.jp | 444 | 0564-55-7401 0564-54-7079 |
| 24 酒井楠雄 | 岡崎国立共同研究機構分子科学研究所技術課 | ksakai@ims.ac.jp | 444 | 0564-55-7248 |
| 25 柴山日出男 | 岡崎国立共同研究機構分子科学研究所 | shiba@ims.ac.jp | 444 | 0564-55-7470 0564-55-7448 |
| 26 高山敬史 | 岡崎国立共同研究機構分子科学研究所分子物質開発研究センター | takayama@ims.ac.jp | 444 | 0564-55-7470 0564-55-7448 |
| 27 手島史綱 | 岡崎国立共同研究機構分子科学研究所技術課 | tetsu@draco.ims.ac.jp | 444 | 0564-55-7275 0564-55-7025 |
| 28 豊田朋範 | 岡崎国立共同研究機構分子科学研究所 | tomonori@ims.ac.jp | 444 | 0564-55-7212 0564-53-5729 |
| 29 鳥居龍晴 | 岡崎国立共同研究機構分子科学研究所 | torii@ims.ac.jp | 444 | 0564-55-7210 0564-53-5729 |
| 30 内藤茂樹 | 岡崎国立共同研究機構分子科学研究所電子計算機センター | | 444 | 0564-55-7279 0564-55-7025 |
| 31 永田正明 | 岡崎国立共同研究機構分子科学研究所技術課 | nagata@ims.ac.jp | 444 | 0564-55-7210 0564-53-5729 |
| 32 西本史雄 | 岡崎国立共同研究機構分子科学研究所技術部 | fumin@ims.ac.jp | 444 | 0564-55-7462 0564-55-7025 |
| 33 蓮本正美 | 岡崎国立共同研究機構分子科学研究所極端紫外光実験施設 | hasumoto@ims.ac.jp | 444 | 0564-55-7203 0564-54-7079 |
| 34 林憲志 | 岡崎国立共同研究機構分子科学研究所極端紫外光実験施設 | h-kenji@ims.ac.jp | 444 | 0564-55-7403 0564-54-7079 |
| 35 堀米利夫 | 岡崎国立共同研究機構分子科学研究所装置開発室 | horigome@ims.ac.jp | 444 | 0564-55-7210 0564-53-5729 |
| 36 水谷伸雄 | 岡崎国立共同研究機構分子科学研究所技術課装置開発室 | nmizutan@ims.ac.jp | 444 | 0564-55-7210 0564-53-5729 |
| 37 水谷文保 | 岡崎国立共同研究機構分子科学研究所技術課 | mizutani@ims.ac.jp | 444 | 0564-55-7278 0564-55-7025 |
| 38 矢野隆行 | 岡崎国立共同研究機構分子科学研究所 | yano@ims.ac.jp | 444 | 0564-55-7210 0564-53-5729 |
| 39 山崎潤一郎 | 岡崎国立共同研究機構分子科学研究所極端紫外光実験施設 | yamazaki@ims.ac.jp | 444 | 0564-55-7401 0564-54-7079 |
| 40 吉田久史 | 岡崎国立共同研究機構分子科学研究所装置開発室 | hyoshida@ims.ac.jp | 444 | 0564-55-7212 0564-53-5729 |
| 41 渡辺三千雄 | 岡崎国立共同研究機構分子科学研究所 | | 444 | 0564-55-7491 |
| 42 藤田慎二 | 岡山大学工学部工作センター | | 700 | 086-251-8239 086-253-5755 |

平成9年度核融合科学研究所技術研究会参加者名簿

| 氏名 | 所属 | 電子メール | 郵便番号 | 電話番号 FAX番号 |
|---------|------------------|--------------------------------|--------|------------------------------|
| 43 三輪博 | 開発電気（株）名古屋支店 | | 460 | 052-962-8837 052-962-8839 |
| 44 山田宏 | 開発電気（株）名古屋支店 | | 460 | 052-962-8837 052-962-8839 |
| 45 下川祐司 | 学習院大学理学部 | yuji.shimokawa@gakushuin.ac.jp | 171 | 03-3986-0221 03-5992-1029 |
| 46 宮城博 | 学習院大学理学部工作工場 | hiroshi.miyagi@gakushuin.ac.jp | 171 | 03-3986-0221 03-5992-1029 |
| 47 秋山龍一 | 核融合科学研究所技術部 | akiyama@pkhsnp.nifs.ac.jp | 509-52 | 0572-58-2484 0572-58-2653 |
| 48 浅野英児 | 核融合科学研究所技術部 | asano@nifs.ac.jp | 509-52 | 0572-58-2508 0572-58-2658 |
| 49 飯間理史 | 核融合科学研究所技術部 | iima@LHD.nifs.ac.jp | 509-52 | 0572-58-2103 |
| 50 伊藤哲 | 核融合科学研究所技術部 | ito@lhd.nifs.ac.jp | 509-52 | 0572-58-2506 0572-58-2658 |
| 51 伊藤康彦 | 核融合科学研究所技術部計測技術課 | itoy@LHD.nifs.ac.jp | 509-52 | 0572-58-2482 0572-58-2657 |
| 52 井上知幸 | 核融合科学研究所技術部 | tinoue@nifs.ac.jp | 509-52 | 0572-58-2094 0572-58-2612 |
| 53 江崎和弘 | 核融合科学研究所技術部 | | 464-01 | 052-789-4526 052-789-4216 |
| 54 大砂真樹 | 核融合科学研究所技術部 | | 509-52 | |
| 55 大竹勲 | 核融合科学研究所技術部 | ohtake@LHD.nifs.ac.jp | 509-52 | 0572-58-2100 0572-58-2614 |
| 56 大場恒揮 | 核融合科学研究所技術部 | ooba@LHD.nifs.ac.jp | 509-52 | 0572-58-2106 0572-58-2614 |
| 57 小川英樹 | 核融合科学研究所技術部 | | 509-52 | |
| 58 加藤明己 | 核融合科学研究所技術部 | kakemi@nifs.ac.jp | 509-52 | 0572-58-2482 0572-58-2656 |
| 59 加藤真治 | 核融合科学研究所技術部 | skato@LHD.nifs.ac.jp | 509-52 | 0572-58-2107 0572-58-2674 |
| 60 加藤丈雄 | 核融合科学研究所技術部 | kato@nifs.ac.jp | 509-52 | 0572-58-2552 0572-58-2666 |
| 61 川澄義明 | 核融合科学研究所技術部 | | 509-52 | |
| 62 河本俊和 | 核融合科学研究所技術部 | kawamoto@nifs.ac.jp | 509-52 | 0572-58-2487 0572-58-2658 |
| 63 小嶋護 | 核融合科学研究所技術部 | | 509-52 | |

平成9年度核融合科学研究所技術研究会参加者名簿

| 氏名 | 所属 | 電子メール | 郵便番号 | 電話番号 FAX番号 |
|----------|-------------|----------------------------|--------|---------------|
| 64 小平純一 | 核融合科学研究所技術部 | | 509-52 | 0572-58-2478 |
| | | kodaira@lhd.nifs.ac.jp | | 0572-58-2656 |
| 65 小林策治 | 核融合科学研究所技術部 | | 509-52 | 0572-58-2488 |
| | | kobayasi@lhd.nifs.ac.jp | | 0572-58-2653 |
| 66 駒田誠司 | 核融合科学研究所技術部 | | 509-52 | 0572-58-2503 |
| | | komada@nifs.ac.jp | | 0572-58-2657 |
| 67 近藤友紀 | 核融合科学研究所技術部 | | 509-52 | 0572-58-2111 |
| | | kondou@LHD.nifs.ac.jp | | 0572-58-2614 |
| 68 榊原二三 | 核融合科学研究所技術部 | | 464-01 | 052-789-4530 |
| 69 佐藤守 | 核融合科学研究所技術部 | | 509-52 | 0572-58-2587 |
| | | | | 0572-58-2673 |
| 70 新保富士夫 | 核融合科学研究所技術部 | | 509-52 | 0572-58-2476 |
| | | shimpo@phlkiku.nifs.ac.jp | | |
| 71 杉戸正治 | 核融合科学研究所技術部 | | 509-52 | 0572-58-2587 |
| | | sugito@nifs.ac.jp | | 0572-58-2673 |
| 72 鈴木直之 | 核融合科学研究所技術部 | | 509-52 | 0572-58-2108 |
| | | n-suzuki@LHD.nifs.ac.jp | | 0572-58-2614 |
| 73 関口温朗 | 核融合科学研究所技術部 | | 509-52 | 0572-58-2106 |
| | | sekiguti@LHD.nifs.ac.jp | | 0572-58-2674 |
| 74 高橋千尋 | 核融合科学研究所技術部 | | 509-52 | |
| 75 鷹見重幸 | 核融合科学研究所技術部 | | 509-52 | |
| 76 多喜田泰幸 | 核融合科学研究所技術部 | | 509-52 | 0572-58-2486 |
| | | takita@phlkiku.nifs.ac.jp | | 0572-58-2653 |
| 77 谷口能之 | 核融合科学研究所技術部 | | 509-52 | 0572-58-2092 |
| | | taniguch@nifs.ac.jp | | |
| 78 塚田究 | 核融合科学研究所技術部 | | 509-52 | |
| | | tsukada@LHD.nifs.ac.jp | | |
| 79 都築哲哉 | 核融合科学研究所技術部 | | 509-52 | 0572-58-2091 |
| | | | | 0572-58-2612 |
| 80 野村吾郎 | 核融合科学研究所技術部 | | 509-52 | 0572-58-2507 |
| | | gnomura@phlkiku.nifs.ac.jp | | 0572-58-2658 |
| 81 幅驥一郎 | 核融合科学研究所技術部 | | 509-52 | 0572-58-2587 |
| | | | | 0572-58-2673 |
| 82 馬場智澄 | 核融合科学研究所技術部 | | 509-52 | 0572-58-2105 |
| | | | | 0572-58-2674 |
| 83 林浩 | 核融合科学研究所技術部 | | 509-52 | 0572-58-2480 |
| | | hiroshi@nifs.ac.jp | | 0572-58-2656 |
| 84 林浩己 | 核融合科学研究所技術部 | | 509-52 | 0572-58-2102 |
| | | hayashi@LHD.nifs.ac.jp | | 0572-58-2614 |

平成9年度核融合科学研究所技術研究会参加者名簿

| 氏名 | 所属 | 電子メール | 郵便番号 | 電話番号 FAX番号 |
|----------|-------------------|---------------------------|--------|---------------|
| 85 松田久睦 | 核融合科学研究所技術部 | | 464-01 | 052-789-4526 |
| 86 水澤清二 | 核融合科学研究所技術部 | | 464-01 | 052-789-4525 |
| 87 三宅均 | 核融合科学研究所技術部 | | 509-52 | 0572-58-2479 |
| | | Miyake@nifs.ac.jp | | 0572-58-2656 |
| 88 村井勝治 | 核融合科学研究所技術部 | | 509-52 | 0572-58-2090 |
| | | murai@LHD.nifs.ac.jp | | 0572-58-2613 |
| 89 森内貞智 | 核融合科学研究所技術部 | | 509-52 | 0572-58-2106 |
| | | moriuchi@LHD.nifs.ac.jp | | 0572-58-2614 |
| 90 安井孝治 | 核融合科学研究所技術部 | | 509-52 | 0572-58-2104 |
| | | yasui@LHD.nifs.ac.jp | | 0572-58-2674 |
| 91 安井哲彦 | 核融合科学研究所技術部 | | 509-52 | 0572-58-2476 |
| | | TETUHIKO@nifs.ac.jp | | 0572-58-2654 |
| 92 山内健治 | 核融合科学研究所技術部 | | 509-52 | 0572-58-2480 |
| | | yamauchi@nifs.ac.jp | | 0572-58-2656 |
| 93 山本富雄 | 核融合科学研究所技術部 | | 464-01 | 052-789-4526 |
| 94 山本典子 | 核融合科学研究所技術部制御技術課 | | 509-52 | 0572-58-2455 |
| | | noriko@LHD.nifs.ac.jp | | 0572-58-2455 |
| 95 横田光弘 | 核融合科学研究所技術部 | | 464-01 | 052-789-4526 |
| | | | | 052-789-4216 |
| 96 米津宏昭 | 核融合科学研究所技術部 | | 509-52 | 0572-58-2101 |
| | | yonezu@LHD.nifs.ac.jp | | 0572-58-2614 |
| 97 津川和子 | 核融合科学研究所計算機センター | | 509-52 | 0572-58-2553 |
| | | tsugawa@nifs.ac.jp | | 0572-58-2567 |
| 98 上田秀雄 | (株)共和電業 | | 319-11 | 029-287-1011 |
| | | | | 029-287-1052 |
| 99 大倉憲治 | (株)共和電業 | | 105 | 03-3502-3551 |
| | | | | 03-3501-9968 |
| 100 河本嗣朗 | (株)共和電業 | | 105 | 03-3502-1230 |
| | | kyowaeig@ra2.so-net.or.jp | | 03-3502-1233 |
| 101 高橋正己 | (株)共和電業 | | 465 | 052-774-8111 |
| | | | | 052-774-8100 |
| 102 矢野武廣 | (株)共和電業 | | 105 | 03-3502-3551 |
| | | | | 03-3501-9968 |
| 103 児玉英明 | (株)クリハラント | | 451 | 052-571-6711 |
| 104 嶋田雅景 | (株)クリハラント | | 108 | 03-5442-4150 |
| | | | | 03-3456-0348 |
| 105 入子輝夫 | (株)クリハラントプラント事業本部 | | 531 | 06-377-5283 |
| | | | | 06-377-5307 |

平成9年度核融合科学研究所技術研究会参加者名簿

| 氏名 | 所属 | 電子メール | 郵便番号 | 電話番号 FAX番号 |
|-----------|----------------------------------|------------------------------------|--------|------------------------------|
| 106 伊藤智庸 | (株)東芝核融合開発部プロジェクト第二担当 | ito@jupiter.hby.toshiba.co.jp | 100 | 03-3597-2105 03-5512-8121 |
| 107 前田秀明 | (株)東芝重電技術研究所電磁装置・放電応用技術開発部 | 000091100027@tg-mail.toshiba.co.jp | 230 | 045-510-6693 045-500-1427 |
| 108 深町信尊 | 九州大学応用力学研究所 | | 816 | 0940-52-0052 |
| 109 井尻芳行 | 京都大学エネルギー理工学研究所 | ijiri@center.iae.kyoto-u.ac.jp | 611 | 0774-38-3541 0774-38-3535 |
| 110 橋富興宣 | 京都大学エネルギー理工学研究所 | okinobu@iae.kyoto-u.ac.jp | 611 | 0774-38-3480 |
| 111 千住徹 | 京都大学エネルギー理工学研究所エネルギー複合機構研究センター | senju@center.iae.kyoto-u.ac.jp | 611 | 0774-38-3541 0774-38-3535 |
| 112 東使潔 | 京都大学エネルギー理工学研究所エネルギー複合機構研究センター | toushi@center.iae.kyoto-u.ac.jp | 611 | 0774-38-3541 0774-38-3535 |
| 113 矢口啓二 | 京都大学エネルギー理工学研究所エネルギー複合機構研究センター | yaguchi@center.iae.kyoto-u.ac.jp | 611 | 0774-38-3541 0774-38-3535 |
| 114 坂本欣三 | 京都大学エネルギー理工学研究所附属エネルギー複合機構研究センター | sakamoto@center.iae.kyoto-u.ac.jp | 611 | 0774-38-3541 0774-38-3535 |
| 115 楠田敏之 | 京都大学化学研究所 | kusuda@scl.kyoto-u.ac.jp | 611 | 0774-38-4357 0774-38-4357 |
| 116 家原力太郎 | 京都大学工学研究科 | Iehara@magma.mtl.kyoto-u.ac.jp | 606-01 | 075-753-5477 075-751-7844 |
| 117 藤井佑生 | 京都大学総合人間学部 | | 606-01 | 075-753-6799 075-753-6805 |
| 118 多河英雄 | 京都大学防災研究所技術室 | tagawa@adm99.dpri.kyoto-u.ac.jp | 611 | 0774-38-4290 0774-38-4291 |
| 119 多中勝美 | 京都大学理学部物理学第一教室 | | 606-01 | 075-753-3824 075-753-3826 |
| 120 早田恵美 | 京都大学理学部物理学第一教室 | emi@scphys.kyoto-u.ac.jp | 606-01 | 075-753-3812 075-753-3826 |
| 121 田中一夫 | 熊本大学庶務部企画室 | | 860 | 096-342-2742 096-342-2741 |
| 122 河野賢悟 | 熊本大学理学部物理科学科 | kawano@gpo.kumamoto-u.ac.jp | 860 | 096-342-3358 096-342-3320 |
| 123 氏家宣彦 | 高エネルギー加速器研究機構 | Ujiie@mail.kek.jp | 305 | 0298-64-5564 0298-64-2580 |
| 124 片桐広明 | 高エネルギー加速器研究機構 | katagiri@kekvox.kek.jp | 305 | 0298-64-1171 0298-64-7438 |
| 125 門倉英一 | 高エネルギー加速器研究機構 | | 305 | 0298-64-5291 0298-64-5591 |
| 126 佐藤節夫 | 高エネルギー加速器研究機構 | setsuo@kekvox.kek.jp | 305 | 0298-64-1171 0298-64-3202 |

平成9年度核融合科学研究所技術研究会参加者名簿

| 氏名 | 所属 | 電子メール | 郵便番号 | 電話番号 FAX番号 |
|-----------|--|--------------------------------|------|------------------------------|
| 127 島崎昇一 | 高エネルギー加速器研究機構 | Shimazak@kekvox.kek.jp | 305 | 0298-64-5436 |
| 128 田原俊央 | 高エネルギー加速器研究機構 | ttahara@kekvox.kek.jp | 305 | 0298-64-5607 0298-64-3202 |
| 129 舟橋義聖 | 高エネルギー加速器研究機構共通施設工作センター | funahasi@kekvox.kek.jp | 305 | 0298-64-5468 0298-64-5590 |
| 130 竹中たてる | 高エネルギー加速器研究機構加速器研究機構加速器第4研究系 | tateru.takenaka@kek.jp | 305 | 0298-64-5206 0298-64-3182 |
| 131 白川明広 | 高エネルギー加速器研究機構加速器研究施設 | akihiro.shirakawa@kek.jp | 305 | 0298-64-5690 0298-64-7529 |
| 132 渡辺環 | 高エネルギー加速器研究機構加速器部 | Tamaki@tanashi.kek.jp | 188 | 0424-69-9502 0424-68-5543 |
| 133 荒木栄 | 高エネルギー加速器研究機構 (KEK) 技術部 | sakae.araki@kek.jp | 305 | 0298-64-5313 0298-64-5591 |
| 134 井上宗彦 | 高エネルギー加速器研究機構 (KEK) | | 305 | 0298-64-5733 0298-64-5735 |
| 135 可部農志 | 高エネルギー加速器研究機構 (KEK) 技術部 | | 305 | 0298-64-5737 0298-64-3182 |
| 136 小菅隆 | 高エネルギー加速器研究機構技術部 | takashi.kosuge@kek.jp | 305 | 0298-64-5661 0298-64-2801 |
| 137 濁川和幸 | 高エネルギー加速器研究機構技術部 | kazuyuki.nigorikawa@kek.jp | 305 | 0298-64-5291 0298-64-5591 |
| 138 橋本清治 | 高エネルギー加速器研究機構技術部 | kiyoharu@kekinw3.kek.jp | 305 | 0298-64-5480 0298-64-3136 |
| 139 三国晃 | 高エネルギー加速器研究機構技術部 | Akira.mikuni@kek.jp | 305 | 0298-64-5664 |
| 140 大越隆夫 | 高エネルギー加速器研究機構技術部加速器第四課 | Takao OOGOE@KEK.jp | 305 | 0298-64-5686 0298-64-7529 |
| 141 岩井正明 | 高エネルギー加速器研究機構技術部工作課 | masaaki@kekcad02.kek.jp | 305 | 0298-64-5471 0298-64-5590 |
| 142 渋谷義和 | 高エネルギー加速器研究機構共通研究施設計算科学センター | Yoshikazu.SHIBUYA@kek.jp | 305 | 0298-64-5476 0298-64-5485 |
| 143 小原洋 | 高エネルギー加速器研究機構計算科学センター駐在(株)日立情報システムズ茨城支店システムメンテナンス課 | obara@mail.kek.jp | 305 | 0298-64-5770 0298-64-2999 |
| 144 村上武 | 高エネルギー加速器研究機構素粒子原子核研究所物理第3系 | takeshi@kekvox.kek.jp | 305 | 0298-64-5436 0298-64-3284 |
| 145 押久保智子 | 高エネルギー加速器研究機構田無分室 | Tomoko.oshikubo@tanashi.kek.jp | 188 | 0424-69-2271 0424-69-2146 |
| 146 野村憲司 | 神戸大学工学部 | nomura@cx.kobe-u.ac.jp | 657 | 078-803-1161 078-803-1171 |
| 147 井美克己 | 国立天文台光学赤外線天文学観測システム研究系 | imi@design.mtk.nao.ac.jp | 181 | 0422-34-3873 0422-34-3864 |

平成9年度核融合科学研究所技術研究会参加者名簿

| 氏名 | 所属 | 電子メール | 郵便番号 | 電話番号 FAX番号 |
|-----------|------------------------|---------------------------------|--------|------------------------------|
| 148 鎌田有紀子 | 国立天文台光学赤外線天文学観測システム研究系 | kamata@merope.mtk.nao.ac.jp | 181 | 0422-34-3873 0422-34-3864 |
| 149 稲田素子 | 国立天文台天文機器開発実験センター | moto@asterope.mtk.nao.ac.jp | 181 | 0422-34-3865 0422-34-3860 |
| 150 大島紀夫 | 国立天文台天文機器開発実験センター | ohshima@design.mtk.nao.ac.jp | 181 | 0422-34-3860 0422-34-3864 |
| 151 岡田則夫 | 国立天文台天文機器開発実験センター | okada@design.mtk.nao.ac.jp | 181 | 0422-34-3860 0422-34-3864 |
| 152 福田武夫 | 国立天文台天文機器開発実験センター | ufukuda@design.mtk.nao.ac.jp | 181 | 0422-34-3860 0422-34-3864 |
| 153 齋藤泰文 | 国立天文台野辺山 | saitoh@nro.nao.ac.jp | 408 | 0267-98-4497 0267-98-4444 |
| 154 佐藤直久 | 国立天文台野辺山宇宙電波観測所 | nsatou@nro.nao.ac.jp | 384-13 | 0267-98-4386 0267-98-4339 |
| 155 宮地竹史 | 国立天文台野辺山宇宙電波観測所 | miyaji@nro.nao.ac.jp | 384-13 | 0267-98-4312 0267-98-2923 |
| 156 川島進 | 国立天文台野辺山太陽電波観測所 | kawax@nro.nao.ac.jp | 384-13 | 0267-98-4306 0267-98-4444 |
| 157 篠原徳之 | 国立天文台野辺山太陽電波観測所 | shinox@nro.nao.ac.jp | 384-13 | 0267-98-4492 0267-98-2506 |
| 158 関口英昭 | 国立天文台野辺山太陽電波観測所 | sekix@nro.nao.ac.jp | 384-13 | 0267-98-4477 0267-98-4444 |
| 159 加藤禎博 | 国立天文台乗鞍コロナ観測所 | kato@solar.mtk.nao.ac.jp | 181 | 0422-34-3723 |
| 160 西野洋平 | 国立天文台乗鞍コロナ観測所 | nishino@solar.mtk.nao.ac.jp | 181 | 0422-34-3718 |
| 161 浅利一善 | 国立天文台水沢観測センター | asa@gprx.miz.nao.ac.jp | 023 | 0197-22-7111 0197-22-7120 |
| 162 鶴田誠逸 | 国立天文台水沢観測センター | tsuruta@miz.nao.ac.jp | 023 | 0197-22-7155 0197-22-7120 |
| 163 小林秀明 | 埼玉大学工学部技術部 | hidekun@sacs.sv.saitama-u.ac.jp | 338 | 048-858-9549 048-855-9361 |
| 164 細井健司 | 埼玉大学工学部技術部 | khosoi@mech.saitama-u.ac.jp | 338 | 048-858-3448 048-858-3711 |
| 165 高瀬博 | 静岡大学工学部 | | 432 | 053-478-1178 053-473-4170 |
| 166 永尾佐恵子 | 静岡大学工学部 | | 422 | 054-238-4939 054-238-4939 |
| 167 増田健二 | 静岡大学工学部 | tskmasu@eng.shizuoka.ac.jp | 422 | 054-238-4931 054-237-9184 |
| 168 松井義和 | 静岡大学工学部 | taymats@eng.shizuoka.ac.jp | 432 | 053-478-1255 053-475-1764 |

平成9年度核融合科学研究所技術研究会参加者名簿

| 氏名 | 所属 | 電子メール | 郵便番号 | 電話番号 FAX番号 |
|----------|---------------------|------------------------------------|--------|------------------------------|
| 169 山田耕史 | 静岡大学情報学部情報科学科 | yamada@cs.inf.shizuoka.ac.jp | 432 | 053-478-1469 053-475-4595 |
| 170 勝野廣宣 | 静岡大学電子工学研究所 | h-katsuno@rie.shizuoka.ac.jp | 432 | 053-478-1323 053-478-1348 |
| 171 白鳥硬次 | 静岡大学電子工学研究所 | rtkshir@shizuoka.ac.jp | 432 | 053-478-1339 053-474-0630 |
| 172 中山政勝 | 静岡大学電子工学研究所 | rsmnaka@rie.shizuoka.ac.jp | 432 | 053-478-1341 053-478-1331 |
| 173 根木栄一 | 静岡理工科大学工作センター | | 437 | 0538-45-0135 |
| 174 行平憲一 | 静岡理工科大学工作センター | | 437 | 0538-45-0135 0538-45-0110 |
| 175 小林史利 | 信州大学工学部情報工学科 | fkobayas@cs.shinshu-u.ac.jp | 380 | 026-226-4101 026-223-4723 |
| 176 河合潤 | 新日本製鐵(株)技術開発企画部 | N9075724@hq.nsc.co.jp | 100-71 | 03-3275-7044 03-3275-5634 |
| 177 小林浩三 | 筑波大学医学系工作室 | kkouzou@md.tsukuba.ac.jp | 305 | 0298-53-3034 0298-53-3034 |
| 178 川上彰 | 筑波大学研究協力部研究協力課第三事務区 | kawakami@sk.tsukuba.ac.jp | 305 | 0298-53-5568 0298-53-5230 |
| 179 沢村博道 | 筑波大学研究協力部研究協力課 | sawamu@is.tsukuba.ac.jp | 305 | 0298-53-5383 0298-53-5383 |
| 180 平田久子 | 筑波大学研究協力部研究協力課物理 | | 305 | 0298-53-6230 0298-53-6202 |
| 181 内田豊春 | 筑波大学工作センター | uchida@kousaku.kou-c.tsukuba.ac.jp | 305 | 0298-53-2524 0298-53-2525 |
| 182 和所保規 | 筑波大学プラズマ研究センター | washo@prc.tsukuba.ac.jp | 305 | 0298-53-7464 0298-53-6202 |
| 183 本村和磨 | 電気通信大学電子工学科 | motomura@spica.ee.uec.ac.jp | 182 | 0424-83-2161 |
| 184 青木猛 | 電気通信大学電子情報学科 | aoki@cas.uec.ac.jp | 182 | 0424-83-2161 |
| 185 才木良治 | 電気通信大学電子情報学科 | saiki@ee.uec.ac.jp | 182 | 0424-83-2161 0424-99-6082 |
| 186 瀬尾洋一 | 電気通信大学電子情報学科 | seo@ee.uec.ac.jp | 182 | 0424-83-2161 0424-89-5861 |
| 187 石井元 | 東京工業大学応用セラミックス研究所 | ishii1@rlem.titech.ac.jp | 226 | 045-924-5320 045-924-5360 |
| 188 宮林久雄 | 東京工業大学原子部工学研究科 | | 152 | 03-5734-3081 |
| 189 源関聡 | 東京工業大学大学院総合理工学研究科 | agenseki@ae.fitech.ac.jp | 226 | 045-924-5461 045-921-1204 |

平成9年度核融合科学研究所技術研究会参加者名簿

| 氏名 | 所属 | 電子メール | 郵便番号 | 電話番号 FAX番号 |
|-----------|--------------------------|------------------------------|--------|------------------------------|
| 190 吉川英見 | 東京工業大学工学部無機材料工学科山根柴田研究室 | hyoshika@ceram.titech.ac.jp | 152 | 03-5734-2523 03-5734-2845 |
| 191 芦沢佳子 | 東京大学教養学部 | | 153 | 03-5454-6063 03-5454-6783 |
| 192 菅沼諭 | 東京大学教養学部 | | 153 | 03-5454-6128 03-3485-2904 |
| 193 石田晶紀 | 東京大学教養学部共通技術室 | ishida@crc.u-tokyo.ac.jp | 153 | 03-5454-6063 03-5454-6783 |
| 194 小田嶋豊 | 東京大学教養学部共通技術室 | odashima@crc.u-Tokyo.ac.jp | 153 | 03-5454-6063 03-5454-6783 |
| 195 加藤浩司 | 東京大学教養学部共通技術室 | | 153 | 03-5454-6063 03-5454-6063 |
| 196 野谷昭男 | 東京大学教養学部共通技術室 | notani@crc.u-Tokyo.ac.jp | 153 | 03-5454-6138 03-5454-6371 |
| 197 谷田貝悦男 | 東京大学生産技術研究所試作工場 | yatagai@cc.iis.u-tokyo.ac.jp | 106 | 03-3408-9227 03-3408-9227 |
| 198 葭岡成 | 東京大学生産技術研究所試作工場 | | 106 | 03-3402-6231 03-3408-9227 |
| 199 市原博 | 東京大学低温センター | | 113 | 03-3812-2111 |
| 200 金子和行 | 東京大学物性研究所低温液化室 | | 106 | 03-3478-6811 03-3401-3730 |
| 201 鷺山玲子 | 東京大学物性研究所低温液化室 | | 106 | 03-3478-6811 03-3401-3730 |
| 202 吉田辰彦 | 東京大学物性研究所低温液化室 | | 106 | 03-3478-6811 03-3401-3730 |
| 203 阿部紀一 | 東北大学科学計測研究所技術室 | abeki@rism.tohoku.ac.jp | 980-77 | 022-217-5396 022-217-5405 |
| 204 伊藤栄一 | 東北大学科学計測研究所技術室 | itoe@rism.tohoku.ac.jp | 980-77 | 022-217-5400 022-217-5404 |
| 205 鈴木仁志 | 東北大学科学計測研究所技術室 | suzukih@rism.tohoku.ac.jp | 980-77 | 022-217-5402 |
| 206 布田幸雄 | 東北大学科学計測研究所技術室 | fuda@rism.tohoku.ac.jp | 980-77 | 022-217-5400 022-217-5404 |
| 207 三浦重幸 | 東北大学金属材料研究所 | miura@imr.tohoku.ac.jp | 980-77 | 022-215-2161 022-215-2162 |
| 208 一関京子 | 東北大学金属材料研究所情報広報室 | kyoko@imr.tohoku.ac.jp | 980-77 | 022-215-2512 022-215-2166 |
| 209 中名生充 | 東北大学金属材料研究所情報広報室 | nakanomy@imr.tohoku.ac.jp | 980-77 | 022-215-2560 022-215-2166 |
| 210 金子俊郎 | 東北大学工学研究科電気工学専攻先端電力工学研究室 | kaneko@ecei.tohoku.ac.jp | 980-77 | 022-217-7129 022-263-9161 |

平成9年度核融合科学研究所技術研究会参加者名簿

| 氏名 | 所属 | 電子メール | 郵便番号 | 電話番号 FAX番号 |
|-----------|---------------------------------------|-----------------------------------|--------|------------------------------|
| 211 寒河江克巳 | 東北大学電気通信研究所 | | 980-77 | 022-217-5511 |
| 212 庄子康一 | 東北大学電気通信研究所 | nanuya@riec.tohoku.ac.jp | 980-77 | 022-217-5536 022-217-5536 |
| 213 菅原宗朋 | 東北大学電気通信研究所 | munetomo@riec.tohoku.ac.jp | 980-77 | 022-217-5536 022-217-5536 |
| 214 田久長一 | 東北大学電気通信研究所 | takyu@riec.tohoku.ac.jp | 980-77 | 022-217-5519 022-263-9848 |
| 215 日比美彦 | 豊橋技術科学大学教務部学務課 (電気電子工学系 電気システム大講座) | hibi@eee.tut.ac.jp | 441 | 0532-44-6728 0532-44-6757 |
| 216 小澤忠夫 | 名古屋工業大学応用化学科 | ozawa-t@ach.nitech.ac.jp | 466 | 052-735-5252 052-735-5247 |
| 217 祖父江人司 | 名古屋工業大学機械工学科 | sobue@ofd2.nitech.ac.jp | 466 | 052-735-5361 052-735-5342 |
| 218 坂井孝弘 | 名古屋工業大学技術部生産システム工学系機械工 学班 | sakai @ccr.nitech.ac.jp | 466 | 052-735-5547 052-735-5342 |
| 219 井村仁美 | 名古屋工業大学計測分析センター | imura@ccr.nitech.ac.jp | 466 | 052-735-5534 052-735-5536 |
| 220 藤井末男 | 名古屋工業大学工作試験センター | fujii@ccr.nitech.ac.jp | 466 | 052-735-5547 |
| 221 祖父江孝之 | 名古屋工業大学材料工学科 | sobue@mse.nitech.ac.jp | 466 | 052-735-5315 052-735-5316 |
| 222 高木弘 | 名古屋工業大学材料工学科 | htakaki@mse.nitech.ac.jp | 466 | 052-735-5314 052-735-5316 |
| 223 玉岡悟司 | 名古屋工業大学材料工学科 | tamaoka@mse.nitech.ac.jp | 466 | 052-735-5313 052-735-5316 |
| 224 尾澤敏行 | 名古屋工業大学社会開発工学科 | oz@suiko1.ace.nitech.ac.jp | 466 | 052-735-5501 052-735-5503 |
| 225 島田美月 | 名古屋工業大学電気情報工学科 | mitsuki@elcom.nitech.ac.jp | 466 | 052-722-2111 |
| 226 宮田正吾 | 名古屋工業大学電気情報工学科 | miyata@elcom.nitech.ac.jp | 466 | 052-735-5462 |
| 227 若松進 | 名古屋大学工学研究科原子核工学専攻 | s-wakama@mail.nucl.nagoya-u.ac.jp | 464-01 | 052-789-3606 052-789-3608 |
| 228 伊藤満男 | 名古屋大学工学研究科航空宇宙工学専攻 | itou@nuae.nagoya-u.ac.jp | 464-01 | 052-789-4499 052-789-3288 |
| 229 佐々木敏幸 | 名古屋大学工学研究科航空宇宙工学専攻 | sasaki@nuae.nagoya-u.ac.jp | 464-01 | 052-789-4410 052-789-4407 |
| 230 高田昇治 | 名古屋大学工学研究科電子工学専攻 | takada@nuce.nagoya-u.ac.jp | 464-01 | 052-789-3137 052-789-5273 |
| 231 福森勉 | 名古屋大学工学研究科電子工学専攻 | fukumori@nuce.nagoya-u.ac.jp | 464-01 | 052-789-3135 052-789-5273 |

平成9年度核融合科学研究所技術研究会参加者名簿

| 氏名 | 所属 | 電子メール | 郵便番号 | 電話番号 FAX番号 |
|----------|---------------------|----------------------------------|--------|------------------------------|
| 232 青山正樹 | 名古屋大学工学部 | aoyama@numse.nagoya-u.ac.jp | 464-01 | 052-789-3577 052-789-3236 |
| 233 鬼頭良彦 | 名古屋大学工学部 | ykitou@nuee.nagoya-u.ac.jp | 464-01 | 052-789-3136 052-789-5273 |
| 234 熊澤克芳 | 名古屋大学工学部 | kumazawa@hod.nuap.nagoya-u.ac.jp | 464-01 | 052-789-4468 052-789-3724 |
| 235 鷺見高雄 | 名古屋大学工学部 | sumi@hod.nuap.nagoya-u.ac.jp | 464-01 | 052-789-4468 052-789-3724 |
| 236 涌井義一 | 名古屋大学工学部 | wakui@hod.nuap.nagoya-u.ac.jp | 464-01 | 052-789-4468 052-789-3724 |
| 237 小林勝司 | 名古屋大学大学院工学研究科電気工学専攻 | kobayasi@nuee.nagoya-u.ac.jp | 464-01 | 052-789-5653 052-789-5273 |
| 238 藤原文治 | 名古屋大学大学院工学研究科電気工学専攻 | fujiiwara@nuee.nagoya-u.ac.jp | 464-01 | 052-789-3136 052-789-5272 |
| 239 井上晶次 | 名古屋大学理学部 | inoue@edu3.phys.nagoya-u.ac.jp | 464-01 | 052-789-2446 052-789-2937 |
| 240 香月真澄 | 名古屋大学理学部 | katsuki@ufp.phys.nagoya-u.ac.jp | 464-01 | 052-789-2458 052-789-2937 |
| 241 河合利秀 | 名古屋大学理学部 | kawai@ufp.phys.nagoya-u.ac.jp | 464-01 | 052-789-2446 052-789-2937 |
| 242 五藤俊明 | 名古屋大学理学部 | gotoh@ufp.phys.nagoya-u.ac.jp | 464-01 | 052-789-3535 |
| 243 夏目秀子 | 名古屋大学理学部 | deko@chem4.chem.nagoya-u.ac.jp | 464-01 | 052-789-2492 052-789-5497 |
| 244 野田敏昭 | 名古屋大学理学部 | noda@aqua.chem.nagoya-u.ac.jp | 464-01 | 052-789-2492 052-789-5497 |
| 245 松岡博 | 名古屋大学理学部 | matsuoka@ufp.phys.nagoya-u.ac.jp | 464-01 | 052-789-2446 052-789-2937 |
| 246 渡部豊喜 | 名古屋大学理学部 | | 464-01 | 052-789-5247 052-789-2919 |
| 247 黒川俊和 | 名古屋大学理学部技術部 | | 464 | 052-789-2457 |
| 248 佐藤利和 | 名古屋大学理学部技術部研究機器開発班 | sato@ufp.phys.nagoya-u.ac.jp | 464-01 | 052-789-2445 052-789-2937 |
| 249 中村洋子 | 名古屋大学理学部技術部研究機器開発班 | nakamura@ufp.phys.nagoya-u.ac.jp | 464-01 | 052-789-2445 052-789-2937 |
| 250 伊東寛 | 名古屋大学理学部極低温実験室 | j45632a@nucc.cc.nagoya-u.ac.jp | 464-01 | 052-789-2457 052-789-2868 |
| 251 石川秀蔵 | 名古屋大学理学部装置開発室 | isikawa@indec.nagoya-u.ac.jp | 464-01 | 052-789-2809 052-789-2810 |
| 252 小林和宏 | 名古屋大学理学部装置開発室 | koba@a.phys.nagoya-u.ac.jp | 464-01 | 052-789-2809 052-789-2810 |

平成9年度核融合科学研究所技術研究会参加者名簿

| 氏名 | 所属 | 電子メール | 郵便番号 | 電話番号 FAX番号 |
|-----------|-------------------------------------|----------------------------------|--------|------------------------------|
| 253 鈴木光一 | 名古屋大学理学部装置開発室 | suzui@indec.nagoya-u.ac.jp | 464-01 | 052-789-2809 052-789-2810 |
| 254 鈴木和司 | 名古屋大学理学部装置開発室 | suzuki@indec.nagoya-u.ac.jp | 464-01 | 052-789-2809 052-789-2810 |
| 255 増田忠志 | 名古屋大学理学部装置開発室 | masuda@indec.nagoya-u.ac.jp | 464-01 | 052-789-2809 052-789-2810 |
| 256 松下幸司 | 名古屋大学理学部装置開発室 | matusita@indec.nagoya-u.ac.jp | 464-01 | 052-789-2809 052-789-2810 |
| 257 伊藤有男 | 名古屋大学理学部物理金工室 | itoh@ufp.phys.nagoya-u.ac.jp | 464-01 | 052-789-2458 052-789-2937 |
| 258 小塚基樹 | 名古屋大学理工科学総合研究センター | kozuka@cirse.nagoya-u.ac.jp | 464-01 | 052-789-4468 |
| 259 前田彰雄 | 日本原子力研究所技術部 | a-maeda@popsvr.tokai.jaeri.go.jp | 319-11 | 029-282-6744 029-282-6061 |
| 260 石川和義 | 日本原子力研究所東海研究所 | i-kazu@popsvr.tokai.jaeri.go.jp | 319-11 | 029-282-5335 029-282-6061 |
| 261 原克己 | 日本原子力研究所東海研究所 | katsumi@popsvr.tokai.jaeri.go.jp | 319-11 | 029-282-5335 029-282-6061 |
| 262 海老根守澄 | 日本原子力研究所東海研究所技術部 | me@popsvr.tokai.jaeri.go.jp | 319-11 | 029-282-5157 029-282-6440 |
| 263 千葉雅昭 | 日本原子力研究所東海研究所技術部 | m-chiba@popsvr.tokai.jaeri.go.jp | 319-11 | 029-282-5151 029-282-6061 |
| 264 岡部友和 | 日本原子力研究所那珂研究所 | okabet@fusion.naka.jaeri.go.jp | 311-01 | 029-270-7436 029-270-7449 |
| 265 神永敦嗣 | 日本原子力研究所那珂研究所 | kaminaga@naka.jaeri.go.jp | 311-01 | 029-270-7437 029-270-7449 |
| 266 佐藤稔 | 日本原子力研究所那珂研究所 | satomi@naka.jaeri.go.jp | 311-01 | 029-270-7353 029-270-7419 |
| 267 三代康彦 | 日本原子力研究所那珂研究所 | miyo@naka.jaeri.go.jp | 311-01 | 029-270-7438 029-270-7449 |
| 268 市毛尚志 | 日本原子力研究所那珂研究所核融合装置試験部 JT-60第2試験室 | ichige@naka.jaeri.go.jp | 311-01 | 029-270-7436 029-270-7449 |
| 269 大森俊造 | 日本原子力研究所那珂研究所核融合装置試験部 JT-60第1試験室 | ohmorisy@naka.jaeri.go.jp | 311-01 | 029-270-7425 029-270-7459 |
| 270 岡野文範 | 日本原子力研究所那珂研究所核融合装置試験部 | okanof@fusion.naka.jaeri.go.jp | 319-11 | 029-282-5563 029-282-5614 |
| 271 押切雅幸 | 日本原子力研究所那珂研究所核融合工学部超電導 磁石研究室 | oshikirm@fusion.naka.jaeri.go.jp | 311-01 | 029-270-7575 029-270-7579 |
| 272 桃澤稔 | 日本原子力研究所那珂研究所核融合装置試験部 NBI装置試験室 | kazawa@naka.jaeri.go.jp | 311-01 | 029-270-7456 029-270-7459 |
| 273 関口修一 | 日本原子力研究所那珂研究所核融合工学部超電導 磁石研究室 | sekiguchi@scml.naka.jaeri.go.jp | 311-01 | 029-270-7577 029-270-7579 |

平成9年度核融合科学研究所技術研究会参加者名簿

| 氏名 | 所属 | 電子メール | 郵便番号 | 電話番号 FAX番号 |
|----------|-------------------------------------|---------------------------------|--------|------------------------------|
| 274 堤史明 | 日本原子力研究所那珂研究所核融合工学部超電導 磁石研究室 | tsutsumi@scml.naka.jaeri.go.jp | 311-01 | 029-270-7548 029-270-7579 |
| 275 寺門正之 | 日本原子力研究所那珂研究所核融合装置試験部RF 装置試験室 | terakado@naka.jaeri.go.jp | 311-01 | 029-270-7444 029-270-7459 |
| 276 本田敦 | 日本原子力研究所那珂研究所核融合装置試験部 NBI装置試験室 | hondaat@naka.jaeri.go.jp | 311-01 | 029-270-7454 029-270-7459 |
| 277 柳生純一 | 日本原子力研究所那珂研究所核融合装置試験部 JT-60第2試験室 | yagyu@naka.jaeri.go.jp | 311-01 | 029-270-7437 029-270-7449 |
| 278 横倉賢治 | 日本原子力研究所那珂研究所核融合装置試験部RF 装置試験室 | yokokura@naka.jaeri.go.jp | 311-01 | 029-270-7445 029-270-7459 |
| 279 坂田信也 | 日本原子力研究所那珂研究所炉心プラズマ研究部 炉心プラズマ解析室 | sakatas@fusion.naka.jaeri.go.jp | 311-01 | 029-270-7353 029-270-7419 |
| 280 菅慎治 | 広島大学原爆放射能医学研究所技術部 | suga@ipc.hiroshima-u.ac.jp | 734 | 082-257-5880 082-257-5880 |
| 281 松平和彦 | 北海道大学触媒化学研究センター | | 060 | 011-706-3676 011-709-4748 |
| 282 女池竜二 | 北海道大学電子科学研究所技術部 | meike@el.hokudai.ac.jp | 060 | 011-706-2876 011-706-2875 |
| 283 桜勝巳 | 北海道大学理学部極低温液化センター | sakura@phys.hokudai.ac.jp | 060 | 011-706-3830 011-706-4906 |
| 284 宗本久弥 | 琉球大学極低温センター | hisa@eve.u-ryukyu.ac.jp | 903-01 | 098-895-8954 098-895-6117 |

今回の技術研究会は、核融合科学研究所の中心実験装置である大型ヘリカル装置（LHD）が平成10年3月に完成を目指しているという時期と重なったため、平成9年9月開催となった。例年より半年早いことになり、全国の皆さんへの連絡の問題と、発表者の準備不足による減少が心配された。案内文書は9年5月29日に各研究機関の長と技術部長に配付したのみであるが、例年通りの参加者数と発表件数を得ることが出来た。これは、各大学の技術部の体制が整備されて来たことと、WWWのホームページに案内を表示したことにより、インターネットによる情報伝達が大きな力となったためと思われる。特に琉球大学から始めての参加者が、WWWにより情報を得て参加したということが象徴的であった。

LHD立ち上げのための多忙な時期ということで実行委員の人数を最小限にし、実行委員会の会議を合理化して、時間をかけない方向で準備してきた。当日所内技術部員の集中的な作業分担により会場設営、会場撤収が円滑に行われたことを感謝したい。研究会がとどこおり無く進行できたことは、土岐市、セラトピア職員、核融合研管理部の協力と、参加者の積極的な貢献があったことを明記し、深く感謝します。

機器分析分科会が昨年度に引き続き、本技術研究会の関連分科会として位置付けられ、11月27、28日に静岡大学浜松キャンパスで開催された。そこで、来年度以降は、本技術研究会から独立して運営していくことが提案された。技術研究会をめぐる出来事として記録しておきたい。

以下に各項目について反省点を上げ、次回以降の参考にしたい。

第1分科会：大会議室

- ・スクリーンが自立型だったが、画面が小さかった。国際会議の時の釣り下げ型を使用すべきだった。
- ・座長が質問なしで進行してしまったケースがあった。

第2分科会：美術ギャラリー

- ・入口のドアを開けていると廊下の音がうるさい。
- ・発表件数が少なく（前年度3月に分科会があったためか）、要望により1日目の後半に研究所見学を行った。

第3分科会：小会議室

- ・スクリーンは自立型であったが、見やすさについて検討の余地がある。
- ・マイク設備を利用した方が良かった。

第4分科会：小ホール

- ・会場が良かった。
- ・2日目に椅子を15脚追加した。

第5分科会：情報管理室

- ・OHP画面を拡大しすぎて、スクリーンに入りきらない状況があった。
- ・所員が居なくなるときがあり、また2日目には人数が少ない時もあり、工夫を要する。

その他

- ・ポスターセッション、懇親会、見学会、受付、お茶サービス等を担当する実行委員が必要。
- ・タイムキーパーを確保した方がよい。
- ・見学会でバスに乗り遅れた人が出てしまった。事後処置についても課題あり。

NIFS-MEMO シリーズ出版リスト
(Recent Issues of NIFS-MEMO Series)

- NIFS-MEMO-1 都築哲哉、東井和夫、松浦清剛、「パソコンによる JIPP T-IIU プラズマの平衡位置フィードバック制御」1991年4月
T.Tsuzuki, K.Toi and K.Matsuura,
"Feedback Control of Plasma Equilibrium with Control System Aided by Personal Computer on the JIPP T-II Tokamak"; Apr.1991
(In Japanese)
- NIFS-MEMO-2 久保田雄輔、大林治夫、宮原 昭、大野和子、中村光一、堀井憲爾、
「環境磁界の研究 (I) 三次元積分磁束計の開発」1991年7月
Y.Kubota, H.Obayashi, A.Miyahara, K.Ohno, K.Nakamura and K.Horii,
"Development of Three-Dimensional Compact Magnetic Dosimeter for Environmental Magnetic Field Monitoring", July,1991
(In Japanese)
- NIFS-MEMO-3 「核融合科学研究所技術研究会; 1991年3月19,20日 土岐文化プラザ」1991年8月
"Proceedings of Symposium on Technology in Laboratories; Mar. 19, 20, 1991" Aug. 1991 (In Japanese)
- NIFS-MEMO-4 「プラズマ中におけるカオス現象」1991年8月
"Chaotic Phenomena in Plasmas ", Aug. 1991 (In Japanese)
- NIFS-MEMO-5 山崎耕造、「ファジー論理のトロイダルプラズマ制御への応用」
1992年2月 "Fuzzy Logic Application to Troidal Plasma Control ", Feb. 1992 (In Japanese)
- NIFS-MEMO-6 平成3年度 核融合科学研究所 支援調査共同研究報告書 「大出力 マイクロ波源の開発に関する調査研究」1992年4月
"Development of High Power Microwave Source ", Apr. 1992 (In Japanese)
- NIFS-MEMO-7 平成3年度 核融合科学研究所 共同研究(調査支援研究)研究成果 報告書
「プラズマ中におけるカオス現象」1992年11月
"Chaotic Phenomena in Plasma, II", Nov. 1992 (In Japanese)
- NIFS-MEMO-8 NIFSシンポジウム 報告書「核融合炉材料照射用強力中性子源の設計と大学の役割」1993年1月
"Design of Intense Neutron Source for Fusion Material Study and the Role of Universities", Jan. 1993 (In Japanese)
- NIFS-MEMO-9 平成2、3、4年度 核融合科学研究所共同研究研究会研究成果報告書
「開放磁場における電位と輸送機構」1993年4月
(Ed.) K. Yatsu and T. Hatori "Potential Formation and Transport in Open Field Line Systems", Apr. 1993 (In Japanese)
- NIFS-MEMO-10 伊藤公孝、「人口太陽は燃えるか -核融合研究最前線-原子力オープン・スクール講演」1993年5月
K. Itoh,
Reports of NIFS Collaboration Workshop from 1990 to 1992 at National Institute for Fusion Science."At the Front of Fusion Research -
Introductory Lecture Open to Public-"; May 1993 (In Japanese)
- NIFS-MEMO-11 (Ed.) T. Kato
"Atomic Physics and Radiation in Divertor and/or Disruption Plasmas", Aug. 1993 (In English)
- NIFS-MEMO-12 平成4年度 核融合科学研究所 共同研究(調査支援研究)研究成果報告書
「プラズマのカオス現象(まとめ)」1993年10月
"Chaotic Phenomena in Plasma, III", Oct. 1993(In Japanese)
- NIFS-MEMO-13 久保田雄輔、野田信明、相良明男、井上徳之、赤石憲也、本島修、
「プラズマ対向材料の開発・研究用高熱負荷試験装置ACT」1994年3月
"Electron Beam Irradiation Test Facility for Research and Development of Plasma Facing Components", Mar. 1994 (In Japanese)
- NIFS-MEMO-14 「平成5年度核融合科学研究所技術研究会
日時:1994年3月23日-24日 場所:セツピア土岐、土岐商工会議所」1994年7月
"Proceedings of Symposium on Technology in Laboratories by Department of Engineering and Technical Services", July 1994
(In Japanese)
- NIFS-MEMO-15 S.-I. Itoh, K. Itoh, G. Soltwisch, K. H. Finken、
"Study on Sawtooth and Transport -- A Report of Japan-TEXTOR Collaboration --", Jan. 1995 (In English)
- NIFS-MEMO-16 久保田 雄輔、野田信明、相良明男、井上徳之、赤石憲也、山本純也、本島修
「LHD用ダイバタ板の開発・研究各種カーボン・銅接合材の熱負荷試験」
Y. Kubota, N. Noda, A. Sagara, N. Inoue, K. Akaishi, J. Yamamoto, O. Motojima,
"Research and Development of Divertor Plates for LHD (High Heat Flux Tests of Various Kinds of Materials)", Apr. 1995 (In Japanese)
- NIFS-MEMO-17 江尻 晶、
「LHDにおける窓の熱設計」
A. Ejiri,
"Calculation of the Heat Transfer in the Windows of the Large Helical Device" Nov. 1995 (In Japanese)
- NIFS-MEMO-18 田辺哲朗、森田健治 編集
核融合科学研究所共同研究
「プラズマと壁との相互作用に関する研究会」核融合科学研究所、平成7年9月12日-9月13日
(Eds.) T. Tanabe and K. Morita
"Proceedings of the Symposium on Plasma-Materials Interaction" NIFS, Sep. 12-13, 1995; Dec. 1995 (In Japanese)
- NIFS-MEMO-19 K. Itoh (ed.),
Study on Sawtooth and Transport in Part of Japan-TEXTOR Collaboration 1995; Feb. 1996
- NIFS-MEMO-20 編集責任、核融合科学研究所、太刀川恭治、山本純也、
「核融合科学研究所共同研究、核融合炉用先進超伝導導体、研究調査報告書 Nb₃Sn系超伝導導体」

Editors: K. Tachikawa and J. Yamamoto,

"Studies on Advanced Superconductors for Fusion Device" Part 1 - Present Status of Nb_3Sn Conductors -, Mar. 1996 (in Japanese)

NIFS-MEMO-21 飯吉厚夫、藤原正巳、岡本正雄、大森修義、金子修、笹尾眞實子、須藤滋、菅野隼太郎、武藤敬、村上定義、竹入康彦、富田幸博、山崎耕造

「LHDにおけるD- 3He 核融合の検討」

A. Iiyoshi, M. Fujiwara, M. Okamoto, N. Ohyabu, O. Kaneko, M. Sasao, S. Sudo, R. Kanno, T. Mutoh, S. Murakami, Y. Takeiri, Y. Tomita and K. Yamazaki,

"Studies on D - 3He Fusion in LHD", Mar. 1996 (in Japanese)

NIFS-MEMO-22 編集責任、核融合科学研究所、太刀川恭治、山本純也、三戸利行

「核融合科学研究所共同研究、核融合炉用先進超伝導体、研究調査報告書 2先進金属系超伝導体」

Editors: K. Tachikawa, J. Yamamoto and T. Mito,

"Studies on Advanced Superconductors for Fusion Device" Part 2 - Metallic Superconductors other than Nb_3Sn -, Mar. 1997 (in Japanese)

NIFS-MEMO-23 K. Itoh (ed.), S.-I. Itoh, U. Stroth, T. Iwasaki, M. Yagi and A. Fukuyama,

"Discussion Record of the Workshop on Nonlocal Transport" June 1997

NIFS-MEMO-24 Collapse, Terminating Eventsの物理

日本物理学会 シンポジウム 第52回年会 1997.3.29

"Physics of Collapse and Terminating Events" (in Japanese); July 1997

NIFS-MEMO-25 中村浩章、池田一昭、山口作太郎

「強磁場中でのネルンスト素子の輸送現象とエネルギー変換」

H. Nakamura, K. Ikeda, S. Yamaguchi,

"Transport Phenomena and Energy Conversion of the Nernst Element in a Strong Magnetic Field" (in Japanese); Nov. 1997

NIFS-MEMO-26 核融合科学研究所技術部

「平成9年度核融合科学研究所技術研究会

日時：1998年9月11日・12日 場所：セラトピア土岐」1998年3月

"Proceedings of Symposium on Technology in Laboratories by Department of Engineering and Technical Services" Mar. 1998 (In Japanese)