

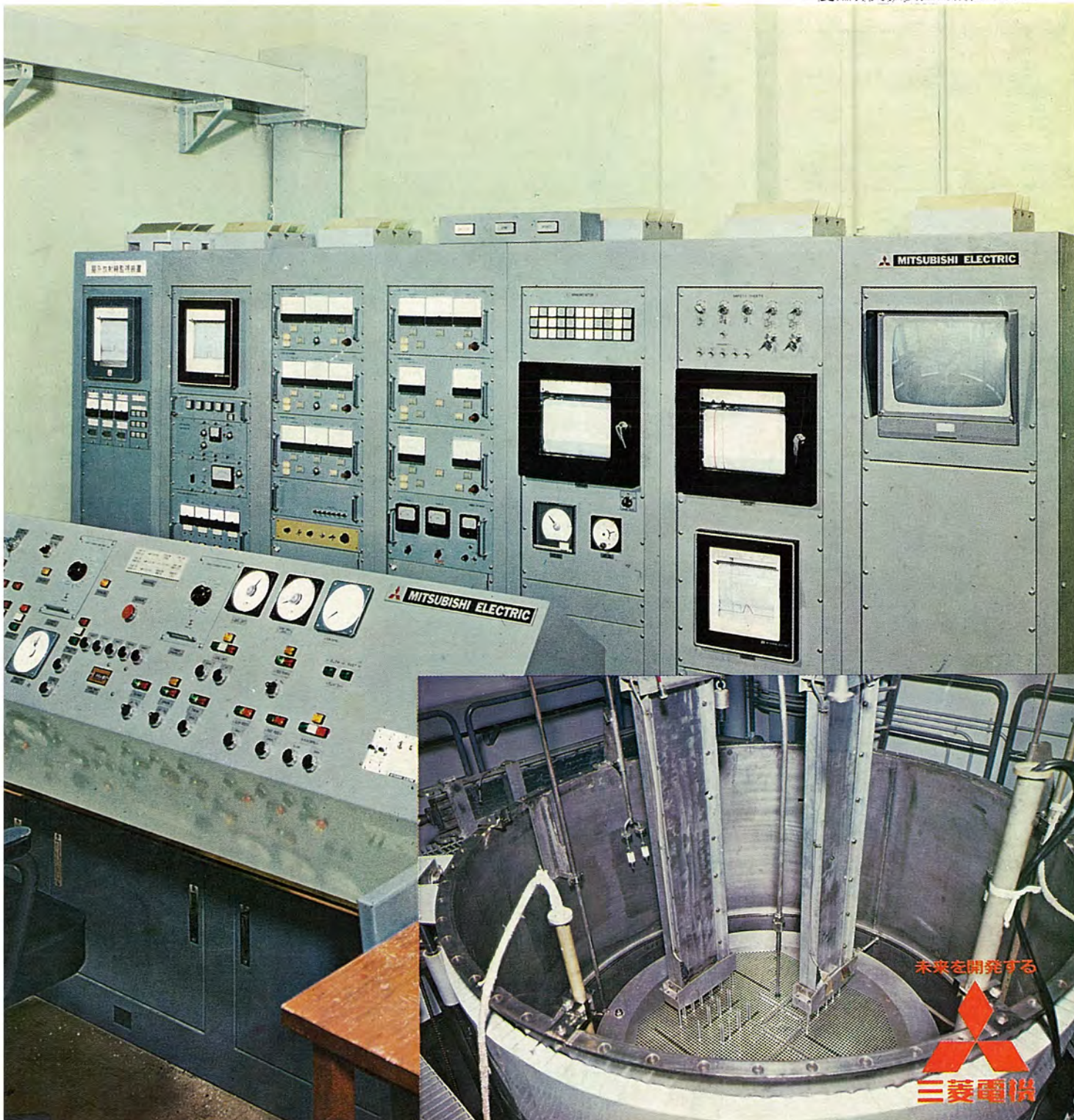
# MITSUBISHI DENKI GIHO 三菱電機技報

Vol.43 September 1969

原子力放射線機器特集

9

三菱臨界実験装置用計測制御盤





## 原子力放射線機器特集

### 目次

#### 《特集論文》

|                                     |                                                        |      |
|-------------------------------------|--------------------------------------------------------|------|
| 最近の原子力放射線応用機器                       | 桜井良文                                                   | 1461 |
| 三菱臨界実験装置 (MCF)                      | 小倉成美・隼田公彦・津田元裕                                         | 1159 |
| 放射線測定器                              | 岩井 優・吉島宇一・仲森諒貢                                         | 1167 |
| 放射線応用計測器                            | 岩井 優・吉島宇一                                              | 1174 |
| 放射線監視装置                             | 岩井 優・吉島宇一・仲森諒貢・吉田和夫                                    | 1178 |
| 三菱 RI カテーテルの開発とその悪性しゅよう (腫瘍) 診断への応用 | 東 与 光・久田太郎・池本真一<br>道家昭彦・宮下恭一・高田 守・岩岸 聡・小田 稔・藤川恭一郎・浜 正治 | 1184 |
| 最近の X 線テレビジョン                       | 田部貞夫・津田元久・道家昭彦・堀 高明                                    | 1193 |
| イラク国立原子力研究所納め中性子回折装置                | 今井 光・三富至道・松宮正幸・弘中一光                                    | 1202 |
| ガンマ線照射装置                            | 津田栄一・今井 光・三富至道                                         | 1209 |
| 微量放射能測定技術                           | 柳下和夫・岩岸 聡・小田 稔                                         | 1215 |

#### 《普通論文》

|                          |                          |      |
|--------------------------|--------------------------|------|
| 大形スラスト軸受の性能              | 田附和夫・石井 明・山本 明           | 1223 |
| 静止レオナード用サイリスタ装置          | 山村隆司・大道 隆・柏野栄三・有賀恵蔵・留井英明 | 1235 |
| 航空機用 UHF ブレードアンテナ        | 武市吉博・浜口道雄・小野 誠           | 1242 |
| 低圧絶縁導体バスダクト              | 堀田滋矩                     | 1246 |
| スペイン国鉄向け 3100 kW 直流電気機関車 | 浅越泰男・平尾新三                | 1256 |
| 列車自動制御用演算回路の IC 化        | 鳥居健太・金子弘美・石本正明           | 1267 |

#### 《新製品紹介》

|                                                                              |      |
|------------------------------------------------------------------------------|------|
| 三菱 LOE 形高圧地絡継電装置完成発売 JIS-C 4601 適合品 (昭和 43 年 8 月 1 日制定)・イナートガスアーク溶接機 MEL-ARC | 1278 |
|------------------------------------------------------------------------------|------|

#### 《ニュースフラッシュ》

|                                                                                                                                                                                                                                     |      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 全無接点式バーナ制御装置国産第 1 号完成・電気動力計試験用超高速直流電動機完成・東京電力安曇発電所納め 111 MVA 水車発電機低周波同期始動に成功・王子製紙春日井工場向け抄紙機用アナログおよびデジタルスピードロー 測定装置完成・IC 化サイクリック式遠方監視制御装置・自動記録装置付集中監視制御装置・国鉄 JRS 規格交流電車線保護継電器完成・数値制御装置付自動溶接装置・電話用対ケーブルによる ITV 長距離伝送装置完成 首都高速道路公団に納入。 | 1280 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|

#### 《表紙》

##### 三菱臨界実験装置用 計測制御盤

三菱原子力工業 (株) 研究所に設置された三菱臨界実験装置の制御室を示している。同装置は炉心タンク、ダンプタンク等からなる機械部分が炉室におかれ、その運転操作に必要な部分は厚いしゃへい壁を隔てた制御室におかれている。装置の運転時はすべて制御室より遠隔操作される。当社はその制御計測部分を製作し納入した。制御部はここに示すように操作卓および直立盤にわかれ運転時に必要な制御系統、インタロック系統、警報や安全系統等が含まれている。一方計測関係では核計装設備放射線監視設備、プロセス計装設備があり、ほかに監視用の工業用テレビもある。本年 7 月臨界に達し以後順調に炉心設計のための実験が進められている。





## SPECIAL EDITION FOR APPARATUS AS APPLICATION OF NUCLEAR POWER AND RADIATION

### CONTENTS

#### SPECIALLY COLLECTED PAPERS

|                                                                                                                                                                                                                      |                                                         |      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|------|
| Recent Apparatus as Application of Nuclear Power and Radiation.....                                                                                                                                                  | Y. Sakurai.....                                         | 1155 |
| Mitsubishi Critical Facilities.....                                                                                                                                                                                  | S. Ogura • K. Hayata • M. Tsuda.....                    | 1159 |
| Radiation Measuring Instruments.....                                                                                                                                                                                 | M. Iwai • U. Kichishima • S. Nakamori.....              | 1167 |
| Applied Radiation Instruments.....                                                                                                                                                                                   | M. Iwai • U. Kichishima.....                            | 1174 |
| Radiation Monitoring System.....                                                                                                                                                                                     | M. Iwai • U. Kichishima • S. Nakamori • K. Yoshida..... | 1178 |
| Mitsubishi RI Catheter and its Diagnostic Application to Malignant Tumors<br>.....T. Higashi • T. Hisada • S. Ikemoto • A. Doke • K. Miyashita • M. Takata • A. Iwakishi • M. Oda<br>.....K. Fujikawa • M. Hama..... |                                                         | 1184 |
| Recent X-Ray Television Equipment.....                                                                                                                                                                               | S. Tanabe • M. Tsuda • A. Dôke • T. Hori.....           | 1193 |
| Neutron Diffractometer for Atomic Energy Commission of Iraq<br>.....H. Imai • Y. Mitomi • M. Matsumiya • K. Hironaka.....                                                                                            |                                                         | 1202 |
| Gamma Irradiation Units.....                                                                                                                                                                                         | E. Tsuda • H. Imai • Y. Mitomi.....                     | 1209 |
| Measuring Technique of Low Level Radioactivity.....                                                                                                                                                                  | K. Yanagishita • A. Iwasaki • M. Oda.....               | 1215 |

#### TECHNICAL PAPERS

|                                                                                                                               |                                          |      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|------|
| Performance of Large-sized Thrust Bearing.....                                                                                | K. Tazuke • A. Ishii • A. Yamamoto.....  | 1223 |
| Thyristor Assembly for Static-Leonard DC Motor Drive<br>.....T. Yamamura • T. Ohmichi • E. Kashino • K. Aruga • H. Tomei..... |                                          | 1235 |
| A Blade Antenna for UHF Communication of Aircraft.....                                                                        | Y. Takeichi • M. Hamaguchi • M. Ono..... | 1242 |
| Low Voltage Insulated Conductors Bus Ducts.....                                                                               | S. Hotta.....                            | 1246 |
| 3100 kW DC Electric Locomotive for RENFE.....                                                                                 | Y. Asagoe • S. Hirao.....                | 1256 |
| Computing Circuits for Automatic Train Controls with Digital IC.....                                                          | K. Torii • H. Kaneko • M. Ishimoto.....  | 1267 |

|                   |      |
|-------------------|------|
| NEW PRODUCTS..... | 1278 |
|-------------------|------|

|                 |      |
|-----------------|------|
| NEWS FLASH..... | 1280 |
|-----------------|------|

#### COVER :

##### Instrumentation and Control Panel for Mitsubishi Critical Facilities

Illustrated is Mitsubishi experimental critical facilities installed at a laboratory of Mitsubishi Atomic Power Industry Inc. The facilities consists of a reactor core tank, a dump tank and other devices. Machine parts are set up in a reactor room and panels needed for the operation and manipulation are placed in a control room shielded by a thick wall. All the apparatus are manipulated by remote control during operation from the control room. Mitsubishi Electric Corporation took part in the construction by manufacturing and supplying control and instrumentation sections. The control section, as is shown in the picture, is divided into a console and vertical panels which control system, interlock system, alarms and safety system necessary for operation. As for instrumentation system, there are nuclear instrumentation system and radiation monitors, and process instrumentation system. The facilities reached critical state in July this year. Since then the experiments for the design of the reactor core have been proceeded successfully.

UDC 621.039.84

## 最近の原子力放射線応用機器

桜井良文

三菱電機技報 Vol.43・No.9・P1155~1158

わが国の原子力発電も本格化してきたが、これと表裏一体をなしている、放射線応用技術の進歩も著しい。ここでは、最近の放射線応用機器の現状を、医学用機器、放射線測定器、監視装置、工業応用機器、研究用機器の各方面にわたって概説してある。

わが国の原子力発電も本格化してきたが、これと表裏一体をなしている。放



UDC 621.039.55:621.3.038

## 放射線監視装置

岩井 優・吉島宇一・仲森浩貴・吉田和夫

三菱電機技報 Vol.43・No.9・P1178~1183

放射線監視装置は、原子力発電所、原子力実験装置、放射性物質取扱施設、放射線発生装置、放射線を取扱う大学および研究所などに広く設置されている。この目的は人体の安全を守る、すなわち放射線障害を防止することであり、原子炉などでは、プラントの異常を検出するためにも使われる。ここでは特に屋外放射線モニタを主とし、原子炉プラント用モニター、一般モニターについて説明する。



UDC 621.039.55

## 三菱臨界実験装置 (MCF)

小倉成美・車田公彦・津田元裕

三菱電機技報 Vol.43・No.9・P1159~1166

原子炉の設計には今までの産業に見られない放射線の影響、燃料の長期使用に伴う材料上の問題と燃料の燃焼に伴う燃料の物理的変化 ( $^{235}\text{U}$  の損耗、核分裂生成物の蓄積、Pu の生成) 等種々の問題があるが、これらは基礎的な研究とともに経験を経た技術レベルを向上する以外に解決の方法はない。原子炉の設計の中で核熱設計は、最終的には実験との比較により設計値を確認し設計方法を改良していくことが必要となる。このような目的でわれわれは軽水形の臨界実験装置の建設を計画し、建設が完成したのでその概要について記す。



UDC 616.7;621.039.68:621.382

## 三菱RIカテーテルの開発とその悪性しゅよう (腫瘍) 診断への応用

東 与光・久田太郎・池本真一・道家昭彦・宮下恭一・高田 守  
岩岸 聡・小田 稔・藤川恭一郎・浜正治

三菱電機技報 Vol.43・No.9・P1184~1192

カテーテル形半導体放射線検出器とその附属電子装置を開発した。装置はカテーテル形検出器、前置増幅器、および本体 (操作および指示部) より構成されている。検出器としては直径 4mmφ の p-i-n 形、直径 2.5mmφ の p-n 形の 2 種が開発された。前置増幅器はカテーテル形検出器の特質を生かすべく設計に留意し、雑音 4.2keV (100pf) をえた。本体については、特に臨床用放射線機器として使いやすさと安全に工夫した。

$^{32}\text{P}$  を用いて食道がん、大腸がんなどの患者 17 例につき臨床実験を行ない摘出組織と比較し、この方法の有用性を確かめた。



UDC 621.3.038

## 放射線測定器

岩井 優・吉島宇一・仲森浩貴

三菱電機技報 Vol.43・No.9・P1167~1173

放射線測定は放射線を取扱う上での基本的な測定器である。三菱放射線測定器は構成要素ごとにそれぞれ単体機器に分け、これらの組み合わせによって、各種の放射線測定器を構成することができる。

単体機器の電子回路部は、すべてシリコントランジスタと集積回路 (IC) を使用しているので信頼性が高い。また検出器以外の単体機器はユニット化されていて、専用ケースにプラグインできるので、組み合わせが容易である。

ここでは単体機器と組み合わせ機器について説明する。



UDC 621.397.6:621.386

## 最近の X 線テレビジョン

道家昭彦・堀 高明・田部貞夫・津田元久

三菱電機技報 Vol.43・No.9・P1193~1201

X 線テレビジョンは、開発以来めざましい発展を遂げ、もはや実用時代に入ったが、技術の進歩に伴って、方式も種々開発され、性能・機能の面でも、次々新しい改良、開発がなされている。本文では、これ等の各方式につき比較検討を加えるとともに、新しく開発された技術の内、TV 信号による Image Brightness Stabilizer S/N 比の向上、レンズ系の改善、X 線写真撮影の即時再生 (Spot Recording System)、イメージアンプリファイアの技術的な進歩等につき詳述し、さらに今後の X 線テレビジョンの動向につき紹介した。



UDC 621.039.84

## 放射線応用計測器

岩井 優・吉島宇一

三菱電機技報 Vol.43・No.9・P1174~1177

わが国において放射線応用計測器の利用が次第に増加してきた。昭和 43 年現在で、放射線使用事業所は 1,500 以上で毎年 100 以上の事業所が増加している。欧米においてはすでに経済的節約度の大きいことが認められて、よく普及している。

放射線を利用した場合の利点として (a) 非接触で測定できる、(b) 外部透過で測定可能、(c) 自動制御回路と組合せ可能、等があり、今後更に普及するであろう。

ここに例として、ガンマリレー、中性子水分計、重油カロリーメータについて説明する。



UDC 621.039.525:539.12(B)

## イラク国立原子力研究所納め中性子回折装置

今井 光・三富至道・松宮正幸・弘中一光

三菱電機技報 Vol.43・No.9・P1202~1208

現在神戸製作所において製作中の、イラク国立原子力研究所向け 2 軸形中性子回折装置について、その機械装置・測定装置および制御装置を説明した。

本装置はアイオワ大学向け、ミズーリ大学向けに続く輸出第 3 号機であり、技術的に各種の改良が加えられているほか、実験孔しゃへい体までを製作するのが特長である。2 サークルゴニオメータを備え、中性子ビームの測定誤差の補正や、構造解体の 3 次元的なデータをとるのに効果的である。測定装置は、長時間にわたる測定に対しても精度よく行なえるように、モニター一定数方式を採用している。



UDC 621.039.8

## ガンマ線照射装置

津田栄一・今井 光・三富至道

三菱電機技報 Vol.43・No.9・P1209~1214

ガンマ線照射装置は $Co-60$ や $Cs-137$ など、ガンマ線を放射する同位元素を装備したもので、医療用を始めとして農学・理学・工学など各分野の研究用として用いられるほかに、最近では医療器具の殺菌消毒、長期保存のための食品照射、あるいは高分子重合やウッドプラスチックの製造など、工業利用が世界的に行なわれている。当社は医療用を除いた研究用ならびに工業用照射装置を製造しているが、最近の装置の特長および概要を紹介する。各装置はいずれも研究用で、一般放射線化学用の標準的なもの、計器校正用の構造簡単なもの、および、10万キュリーの大線源によって水中照射を行なう特殊形式のもの、などを含んでいる。

UDC 539.166:539.12.18

## 微量放射能測定技術

柳下和夫・岩岸 聡・小田 稔

三菱電機技報 Vol.43・No.9・P1215~1220

微量放射能を測定するために内容積 $1m^3$ の立方体の鉄室を作った。鉄室の壁の厚みは20cmとし、その内側に鉛、カドミウム・銅およびアクリルを内張りした。このようにして通常の室内に比して、放射能が低であるような低バックグラウンド鉄室を実現した。また微量放射能スペクトルを波高分析器で測定する場合には統計誤差が問題となる。これを計算処理によって減少させる目的に最適化(適)波の方法を利用して、スペクトルの最適平滑化計算コードを開発した。これら二つの技術を作用することによって放射能の測定下限を $10^{-3}$ まで拡張することができた。人体内の放射能の測定例も報告する。

UDC 621.822.2.004.12

## 大形スラスト軸受の性能

田附和夫・石井 明・山本 明

三菱電機技報 Vol.43・No.9・P1223~1234

立軸水車発電機の単機容量は揚水発電用の発電機を含め、飛躍的に増大の傾向にあり、これに用いられるスラスト軸受も著しく大きなものが必要となる。キングスベリ形スラスト軸受バッドの大形化にしたがって、その支持装置とバッドの弾性変形、また、軸受摩擦損失とその処理の問題などを含めた軸受作動特性を、実物大の模型試験装置で実験的に解明することは、従来にも増して必須の条件となる。この文では、超大形スラスト軸受試験装置を製作、使用して、種々の特性試験を行なった結果を報告し、あわせて今後に残された課題について述べた。

UDC 621.314.63

## 静止レオナード用サイリスタ装置

山村隆司・大道 隆・柏野栄三・有賀恵蔵・留井英明

三菱電機技報 Vol.43・No.9・P1235~1241

直流電動機の制御駆動電源は最近ではほとんどサイリスタを用いた静止レオナード方式が採用され、その需要も急増、多くの面でのサイリスタ装置の優秀さを示す実績が蓄積されつつある。当社ではここに大容量サイリスタの実用化とともに今後の大きな需要に対処して、多くの分野に適用できる静止レオナード用サイリスタ装置の標準系列を完成した。本論文はこの間の経過、静止レオナードに適用するときサイリスタに要求される責務、標準化されたサイリスタ装置の各構成要素の概要を紹介したものである。また、最後にこの標準化されたサイリスタ装置の製作手配にEDPSが導入されていることを報告している。

UDC 621.396.676

## 航空機用UHFブレードアンテナ

武市吉博・浜口道雄・小野 誠

三菱電機技報 Vol.43・No.9・P1242~1245

本文は航空機のUHF(225~400MHz)通信用の小形広帯域ブレードアンテナの研究結果を述べてある。航空機用のアンテナは空気抵抗を減らすために小形であることを要求されるが、放射素子として印刷配線基板上に幅広い板状放射導体を構成することにより高さを下げ放射素子上にストリップ線路による整合回路を構成して外部に整合回路を用いることなく小形軽量の広帯域アンテナを得た。このアンテナの高さは200mm、重量は950gである。試作品について得られた性能は使用周波数225~400MHzにおいて50Ω同軸給電線に対する入力電圧定圧波比1.6以下、水平面内放射特性は400MHzにおいて利得変化 $\pm 0.9$ dBである。

UDC 621.316.35

## 低圧、絶縁導体バスダクト

堀田滋矩

三菱電機技報 Vol.43・No.9・P1246~1255

本文は、バスダクトの導体を被覆絶縁のうえ、ダクトおよび導体相互間を密着させ、接続部分は単にボルト1本を締付けけるのみで導体接続が完了する新形式のバスダクトについて述べたものである。

特長、構造、接続要領を紹介し、さらにバスダクト計画時に必要な技術的データとして、電気的特性、電圧降下、温度試験、電気的騒音、荷重試験、過電流、事故電流に対する耐量、導体絶縁材料の特性および推定寿命について説明を加えた。

今後、この種、絶縁導体バスダクトに移行するものと考えられる。

UDC 621.335.2.024

## スペイン国鉄向け3,100kW直流電気機関車

浅越泰男・平尾新三

三菱電機技報 Vol.43・No.9・P1256~1266

われわれは先に2,700kW 7,900形直流電気機関車16両をスペイン国鉄へ納入して高く評価されているが、1968年7月に3,100kW 8,900形40両をスペインメカーと共同受注した。

この機関車は直流3,000Vと1,500Vの両電化区間を全出力で客貨両用運転されるが、けん引条件の増大に伴い、既納16両機関車に比べ、機関車出力の増強、機関車重量および定格けん引力を増大したほか、各種の改良を加えた高出力、高速機関車である。

主電動機は単機容量1,550kW、電機子H種絶縁、2段変速歯車比などの特長を有するこの機関車はスペイン国鉄幹線の輸送力増強をになう主力機関車として躍進することが期待される。

UDC 621.337:621.374.3

## 列車自動制御用演算回路のIC化

鳥居健太・金子弘美・岩本正明

三菱電機技報 Vol.43・No.9・P1267~1277

列車運転の高密度化にともなって正確で信頼度の高い列車制御機器が要求され、保安を目的としたATC、ATSから高密度運転により運転者の業務が複雑化することを軽減するため、TASC、ATOが実用化される方向に変わりつつある。これらの要求を満たすため従来のアナログ式の演算に代わってデジタル回路を基本回路とする周波数演算方式とすることにより高精度化を図り、次にIC化によって大幅な小形化を図ると同時に高信頼度化を目的として列車自動制御用演算回路のデジタル化、IC化の開発を行ない各種の現車実験を通じて実用化の目途を得た。本紙はその基本原理、基本回路、ならびに応用例を紹介したものである。

## 最近の原子力・放射線応用機器

\*桜井良文

## Recent Apparatus as Application of Nuclear Power and Radiation

Osaka University Yoshifumi SAKURAI

Nuclear power generation in Japan is entering into regular enterprise. This accompanies the progress of technology in the application of radiation to the field of industry as well as in the sphere of medicine. X-ray apparatus have been the oldest and the most familiar, of which there is no need of mentioning. The most conspicuous of the latest application is radio isotopes adapted to various techniques. They are used as tracers in the diagnosis of human diseases. Likewise they find their way into agricultural science. Application to industries is versatile. This article describes many devices, their brief explanation and practical usages.

## 1. は し が き

放射線がわれわれ人間にとって大事なものであると思われはじめたのは、Roentgen によって発見された X 線を用いて医療装置が作られてからであるが、それが工業的に重視されるようになったのは第二次世界大戦後、原子炉が作られるようになってからである。この間においても研究面では幾多の発明・発見があり、核分裂によって放出される放射線のいろいろな性質がしらべられた。そして原子核分野——のちに原子力と名付けられた——と放射線の分野とは、一体不可分のものであることがはっきりするとともに、それぞれが工業用にも医療用にも同じように寄与するようになってきた。

原子力エネルギーが新聞紙上にぎわしたところにはよく“第3の火”という言葉が使われた。これは最も広く使われている電気エネルギーを“第2の火”と考えてこれに対応したものであるが、この電気や原子力がなにか“第1”でなかったのか？ これに対する返事は簡単である。それはどちらも直接人間の五官（特に視覚）にうったえる力が少なかったからである。電気も放射線も直接目で見ることではできなかった。それで原始時代には人間はこれの存在を認識または測定することができなかった。電気については摩擦電気がまず人間の興味を呼び起こし、雷がエネルギー感をわれわれに与えた。そしてクーロンの法則や電流の磁気作用が、これを力（または変位）としてわれわれの目に存在を示してくれた。放射線の場合は、Roentgen が写真乾板の上に焼付けてくれるまでその存在をしりえなかった。この事実からわかるように、自然科学としての放射線は計測技術とともに歩きはじめたといってもよいであろう。（このことは電気工学についてもいえることであるが）今後も原子力・放射線分野の研究、発達は計測技術に助けられながら行なわれるであろう。

以上のべたことから原子力、放射線機器は大別すると医療用、工業用および計測用機器に分けられることがわかったが、このほかに研究用の機器も重要である。原子力工学はまだ若い学問分野であるので、現在研究が主役をなしていると考えられる。したがって研究用機器の開発はこの分野の将来を支配するともいわれている。

上述のことを表にしてあらわしたものが表 1.1 であって、本特集号ではこれらのおのづからについて述べるが、ここではその分類別にしてその断面について考えてみることにする。

なお、表 1.1 は機能的に考えた分類法であるが、放射線あるいはエネルギー発生の方法に着目すると次の三つに分けることもできる。

- (a) 原子炉または未臨界実験装置
- (b) X線発生装置や粒子加速器のような放射線発生機器
- (c) アイソトープ

表 1.1 放射線応用機器の分類  
Classification of apparatus as application of radiation.

| 目的機能         | 医療用<br>機 器                                       | 計 測 用<br>機 器                          | 工 業 用<br>機 器                                                       | 研 究 用<br>機 器                                      |
|--------------|--------------------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| 機 器 名<br>(例) | X 線 装 置<br>X 線 テレビ<br>診断用トレーサー<br>粒子加速器<br>カテーテル | 放射線計測器<br>放射線監視装置<br>応用放射線<br>計 測 機 器 | 非破壊検査<br>工業用放射線応<br>用計測<br>トレーサー<br><sup>60</sup> Co 照射装置<br>原 子 炉 | LBG 測定器<br>中性子同折<br>機 器<br>未臨界実験装置<br>原子核融合機<br>器 |

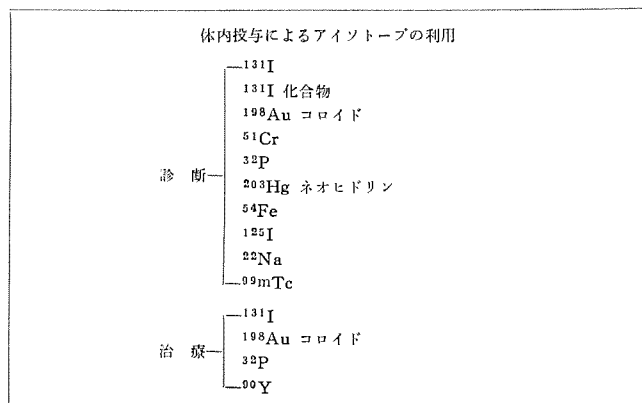
## 2. 医療用機器として放射線・原子力機器

医療用レントゲン装置は初期における X 線発生装置の発達において主役を演じたが、特に X 線発生用管球の歴史はこれによって作られたといえよう。ガス入り管球からクーリッジ管へ、さらに現在のロータリックスへの歩みは、X 線の医療技術における立場を診断用機器から治療用機器へと前進せしめ、さらに X 線発生装置として高いエネルギーの粒子加速器やアイソトープを登場せしめるきっかけを作った。しかし、放射線発生方法についてはまだこれからの発達が楽しみである。筆者の私見を入れることを許されるとすれば、電子管からトランジスタへ、気体電子工学から固体電子工学への流れは、この分野にもとり入れられるのではなかろうか。高電圧印加によって電子を真空中で走行せしめターゲットにあてるという方法は、気体電子工学に基づくものであって、これを固体電子工学的なものに置換すればもっと小形、低圧、かつ長寿命のものになるのではないだろうか。アイソトープによる方法との優劣は、任意にコントロールすることや減衰が問題にならない点で十分ではないだろうか。これらは今後の課題として夢ではないと思われる。

レントゲン装置（特に医療用 X 線発生装置をこう呼ぼう）についていうならば、その発生部である管球の発達よりもその周辺部の機器の進歩が目ざましい。高圧発生装置としては昔の機械的整流器から各種管球整流器を経てシリコン整流器に至る道程、コンデンサ放電式や静電変圧器によるもの、またイメージ増幅に関する機器や撮影の自動化に関する機器等、その数は多く枚挙にいとまがないであろう。その中でも最近特に注目をあびているものに X 線テレビがある。こ

表 2.1 おもな医学用アイソトープの核種  
Kinds of nucleus of medical use isotopes

|                  |                          |
|------------------|--------------------------|
| $^3\text{H}$     | $^{85}\text{Kr}$         |
| $^{14}\text{C}$  | $^{99\text{m}}\text{Tc}$ |
| $^{22}\text{Na}$ | $^{125}\text{I}$         |
| $^{32}\text{P}$  | $^{131}\text{I}$         |
| $^{51}\text{Cr}$ | $^{133}\text{Xe}$        |
| $^{59}\text{Fe}$ | $^{131}\text{Cs}$        |
| $^{57}\text{Co}$ | $^{198}\text{Au}$        |
| $^{60}\text{Co}$ | $^{197}\text{Hg}$        |
| $^{75}\text{Se}$ | $^{203}\text{Hg}$        |



れは診察している医師がX線によって傷害をおこすことが問題になっている点から大きな改良といえるが、同時に教育や多人数による診断が可能などでもたいへん便利である。これについては本特集号の中でくわしくのべられる予定である。

放射線応用の医用診断機器として最近開発されてきたものに RI カテテルがある。いままで各種のカテテルが診断用として作られているが、体内に入れる必要から極力小形にすることが必要とされてきた。内臓におけるがんなどの診断にはがんにはがんにトラップされたアイソトープ(トレーサー)からの放射線を検出すればよいが、この場合放射線の検出器を超小形にする必要がある。丁度半導体放射線検出器(Si や Ge)が開発され小形化されてきているので、この方法が試みられ、その結果の詳細が本号にのべられている。

放射線の医学的応用が診断から治療へと進むにつれ、X線発生装置も大形化しそのエネルギーも大きくなった。大形レントゲン装置にも限度があるので、ベータートロンやアイソトープからの放射線を用いることが行なわれたが、最近では原子炉を用いての治療も行なわれている。治療に際しては放射線を局所に集中させるのが望ましいので、粒子加速器はその意味で有用で、本号には治療用の13 MeV リニアアクセラレータが紹介されている。

このほか、治療および診断用にアイソトープ(トレーサー)が重視されている。表2.1はこれを示す。

### 3. 放射線計測

放射線の計測は上述したように原子力や放射線応用の分野で不可欠なものであるが、一般に放射線計測を分類して次の三つにする。

- (1) 放射線自身の測定を目的とするもの
- (2) 放射線の監視を目的とするもの
- (3) 放射線を用い他の量の測定をするもの(応用計測)

#### 3.1 放射線計測器

放射線としては普通 $\alpha$ 線・ $\beta$ 線・ $\gamma$ 線・中性子・陽子などが多いが、核分裂によって生ずる分裂生成物も被測定対象になる。放射線の測定には粒子と他の物質との相互作用を利用するが、いままで多

くの場合これら粒子による気体の電離現象を利用してきた。最近水中におけるチェレンコク現象や各種シンチレータ半導体検出器など気体以外との相互作用も用いられるようになり、測定技術も進歩してきた。

気体の電離を利用した放射線検出器は、電極間に印加する電圧の大きさにより(a)電離箱(Ionization chamber)、(b)比例計数管(Proportional counter)、(c)ガイガー管(Geiger-Müller counter)の三つになる。(a)は出力電圧は小さいがエネルギー依存性があるので粒子の種類やエネルギー弁別が可能である。(b)は(a)と同じようであるが(a)より出力大きく、印加電圧により影響を受ける。(c)は出力は大きい、どんな粒子によっても放電を起こすので、放電を消す方法が必要である。最近開発されている半導体検出器はSi や Ge などのPN接合をガス入り管の代わりに用いるもので、接合部に電圧を印加しておき、粒子によって電離を起こさせパルスを出力としてとり出すものである。小形であるうえにレプリュション(分解能)の良い点から今後ますます用途を広げられると思われる。特にLiをドープしたGeの検出器は、低温で用いると従来えられなかった $\gamma$ 線に関しての良いレプリュションがえられ、注目されている。

NaI(Tl) や ZnS(Ag) などはX線や $\gamma$ 線が当たるとけい光を発するので、光電子増倍管と組合わせてシンチレータとして用いられる。

中性子や核分裂生成物はそれ自身電荷をもたないので、その検出には核反応によって生ずる二次放射線(粒子)を利用する。

放射線計測においてはパルス電子技術が重要な役目をする。パルス増幅・波高選別・整形・計数などの機能は高級な測定になるほどはよい応答が望まれる。放射線計測器の半導体化はトランジスタの応答のため、最初は困難であったが、トランジスタの高速化とともに盛んになり現在では多くの機器がトランジスタ化している。特にこの分野で改良の著しいものにマルチチャネル波高分析器(PHA)がある。初期の電子管式のものにくらべると半導体化された現在のものはたいへん小形化され、チャネル数も多くなっているし、多次元のものも作られている。

#### 3.2 放射線監視

放射線は人体に損傷を与えるので、原子力または放射線機器を取扱う場合には、必ず発生している放射線量を監視する必要がある。監視は元来測定を行なったうえで判断を下すのであるから、その大部分は測定に依存するが、異なる点は検出器からえられたシグナルをいかに処理するかにある。一般に放射線検出器からの出力はパルスであるから、その処理はデジタル的である。高出力の原子炉のような場合、パルスのひん度が高いので直流にしてアナログ量として取出せるが、監視のような場合は、パルスひん度が低いのでその統計的誤差も問題となり、また遠方への伝達も必要となるので、データ処理に困難が生ずる。しかも原子力発電所などの場合、エリアモニタや水モニタなどでは広い地域にわたっての多数のデータの処理になり、計算機能も必要となる。

これらデータ処理の技術は電子計算機の発達とともに次第に高度になりつつあるが、一方その多様性のゆえにユニット化も必要である。本号には一般の放射線測定器のユニット化と放射線監視装置の実例についてもくわしくのべられている。

上述のトランジスタ化はモニタ機器においても次第に実用化され、モニタに用いられるポータブル機器などとしても活躍している。モニタ機器の種類は次のように分けられる。

- (1) 個人被曝モニタ(フィルムバッジ・ポケットチェンバ・ポケット線量計・アラームメータ)

- (2) 個人内部モニタ (呼吸モニタ・ヒューマンカウンタ・排出物モニタ)
- (3) エアモニタ (ダストモニタ・ガスモニタ・水モニタ・表面汚染モニタ)
- (4) ポータブルモニタ

#### 4. 工業用機器への応用

放射線が工業生産工程へ最初に応用されたのは非破壊検査である。その後、厚み計やレベル計など一連の応用計測が実用化し、原子炉が作られ放射性物質が生産されるようになると、トレーサーの利用が広くゆきわたってきた。また、高分子材料などは照射によって耐熱性が改良される。実験結果などが明かにされると、 $^{60}\text{Co}$  照射装置や加速器が工業的に有用であると認められ、さらに原子炉が動力用 (発電、船舶推進などの) にクローズアップして原子力時代が到来したのである。最近では放射線応用計測も水分計・酸素計など新しいものが続々とあらわれ、今後に期待がかけられている。

##### 4.1 非破壊検査

鋳造物における巣の発見やシャフトなどの構造物におけるきずの検出などは以前は電磁的な方法によっていたが、X線を用いると内部のものまで見付けられるのもつばらこの方法にたよるようになり、線源も次第に大きくなってベータ源のおもな用途になっている。最近では放射性気体を用いてトランジスタなどの気密性を検査するラジオフロウのようなものがあらわれ、ちがった意味の非破壊検査が行なわれているが、前者は医療用レントゲンと同じ方法を工業に応用したもの、後者はテイトートレーサーの一応用と見なすこともできる。

##### 4.2 応用放射線計測

放射線を応用した計測では、元来がデジタル計測であり電子回路に高級な技術を必要とする。しかしこの方面の技術を活用することによって、工業計測の分野は大きく飛躍が期待される。すでに工業化されている放射線応用計測としては次のようなものがある。

(1)  $\beta$  線厚み計：透過形と反射形とがあり、線源としては  $^{90}\text{Sr}$ 、 $^{204}\text{Tl}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{85}\text{Kr}$  などが用いられている。おもに紙、ゴム、繊維、ポリエチレンなどの柔らかい物質の厚み測定に用いられるが、薄鉄板など金属にも用いられている。反射形はめっき層や塗布層の測定に用いられる。

(2)  $\gamma$  線厚み計： $\gamma$  線は  $\beta$  線にくらべて透過力が強いので、金属板の厚いものに用いられている。線源には  $^{60}\text{Co}$  や  $^{137}\text{Cs}$  が用いられ、透過形と反射形とがあることは  $\beta$  線の場合と同じで、パイプの肉厚測定などにも応用されている。

(3)  $\gamma$  線液面計：液面計には浮子形、吸収形、部分直線形および追従形の4種がある。部分直線形が最も広く使われている。液面のみならず粉体や粒体の計測や積雪計にも用いられている。

(4) 密度計、濃度計：放射線と、被測定試料の各構成原子との相互作用の結果、透過や散乱される放射線を測定することによって、各構成原子の割合や、数などを測定することができる。被測定物が同一物質であるときは密度計、圧力計や温度計になり、組成がかわるときは、密度計、濃度計などになる。密度計には透過形と反射散乱形とがある。透過形は  $\gamma$  線厚み計と全く同じ原理で動作するが、反射散乱形にはそう入形と表面形とがある。

(5) 中性子水分計：中性子水分計は比較的新しい放射線測定器である。線源から放出された高速中性子は土壤中に放射されるが、土壤中の水素原子と弾性衝突をくりかえし、その進行方向をまげられかつ減速をうけて検出器近傍に熱中性子となって低迷する。その一部が検出器内の  $\text{BF}_3$  計数管にはいって、パルス信号を出す。この

熱中性子の量が、土壤中の単位体積あたりの水素原子数→水分子数にほぼ比例する。したがって中性子水分計の示す含水率あるいは含水量の単位は  $\text{KgH}_2\text{O/l}$  である。

高速中性子源としては、 $\text{Po}^{210}$ ・ $\text{RaD}$ ・ $\text{Ra}$  などの  $\alpha$  線放射性物質と  $\text{Be}$  を混合し、カプセル内に密封したものを用いる。高速中性子源と一緒にプローブ中におさめた熱中性子検出器は、 $\text{InAg}$  はく (箔) を  $\text{GM}$  管にまきつけて誘導放射能を測定するもの、 $\text{BF}_3$  計数管、シンチレーションデテクタなどがあるが、一般には  $\text{BF}_3$  管が多く用いられるようである。

(6) 中性子酸素計：中性子酸素計の原理は速中性子 (9.3 MeV 以上) を酸素原子  $^{16}\text{O}$  の原子核に衝突させると  $^{16}\text{O}$  の一部が中性子を吸収し陽子を放出して  $^{16}\text{N}$  に変換することを利用し、その  $^{16}\text{N}$  から出る  $\beta$  線、 $\gamma$  線 (6 MeV 以上) の放射線強度を測るものである。この場合、放射能強度  $A$  は次式で示される。

$$A = N \cdot \phi \cdot a (1 - e^{-\lambda t})$$

ここで  $N$  は  $^{16}\text{O}$  の原子数、 $\phi$  は中性子束、 $a$  は反応断面積で、 $\lambda$  は  $^{16}\text{N}$  の崩壊定数である。このメータでは中性子源 ( $^3\text{H}(\text{d}, \text{n})^4\text{He}$ )、中性子検出器 (シンチレータ) などが必要となるが、(i) 迅速測定が可能である、(ii) 非破壊法である、(iii) 試料の化学形に制限されない、(iv) 直接法である、(v)  $\text{Be}$ 、 $\text{Si}$ 、 $\text{W}$ 、 $\text{Al}$ 、 $\text{Mg}$  などの中の  $\text{O}$  を分析できるなどの利点を持ち、金属のみならず、石炭や酸化物中の微量酸素の検出に利用される。感度は約 0.2 mg (5 ppm) である。

このほか、重油熱料計などもあり将来新しい応用計測が数多くあらわれると思われる。

##### 4.3 照射装置

照射装置は従来から各種の研究に広く用いられていたが、高分子の分野でその性能向上に役立つことが明らかにされてからは、工業用にも直接役立ちはじめた。原子炉は各種の核分裂生成物を放出するので照射源としては、エネルギーが大きいけれどもその取扱いがめんどろであるから、一般には  $^{60}\text{Co}$  など適当な線源を内蔵した照射装置が用いられる。このような装置ではしゃへい問題とハンドリング (遠隔取扱操作) が重要で、一種のロボットとみなせるようなものがある。これの詳細については本号の中でのべられる。

照射装置にはこのほか粒子加速器の低エネルギーのものも用いられている。照射は工業的商品のみではなく、農産物や食料品などにおいて品種改良や保存の目的にも用いられる。

##### 4.4 原子炉

原子力・放射線の分野では最も有力な機器は原子炉で、工業的には電力発生、船舶機関などのエネルギー発生として用いられるほか、照射装置としても用いられる。また、核分裂の結果生ずる各種放射性物質はトレーサーとして工業の各分野に利用されるので、トレーサーの生産装置としても重要である。

原子炉の詳細についてはすでに多くの文献にのべられているので、本号では原子炉自身についてはのべないが、研究用に使われる未臨界実験装置についてふれる。

#### 5. 研究用原子核・放射線機器

原子力の分野はまだ研究段階のほう为主であり、研究用機器の開発のほうが重視されなければならない。研究用に用いられる機器としてはやはり粒子加速器と原子炉が大きい比重を占めるが、そのほか、原子炉のプロトタイプともいえる臨界実験装置、原子炉に付置する中性子回折装置、また微量の放射線の測定については低バックグラ

ラウンド測定装置などがあげられる。

#### 5.1 未臨界実験装置

原子炉はわが国でもいろいろの形式のものが各電力会社、原電をはじめ各大学にも作られてきたが、研究用に使用するのには数も十分ではなく、また学術的なデータを出したり、教育上に利用したりするには臨界未満で十分な場合も多いので、臨界実験装置または未臨界実験装置がたくさん作られている。軽水型のものは最もシンプルで教育的には便利であるが、新しいデータを出すという研究的の面白味は少ない。その他のタイプのものは原子炉設計上のデータを出すため、または新しい炉を開発する基礎データを出すために作られているが、いずれにせよ外まわりの機器（たとえば計測系とか制御装置）は、原子炉と同じような機能に作られるものが多い。本号にもそれらについてくわしく記されている。

#### 5.2 中性子回折装置

物質（結晶）の構造をしらべるには従来からX線回折の方法が用いられてきたが、原子炉が作られ強い中性子ビームがえられるようになると、中性子を用いて結晶のみならず磁性体などの構造の研究も行なわれるようになった。これはX線が電子により回折を起こすのに対し中性子は原子核やスピンによって回折を起こすからで、ふつうは $13\text{\AA}$ 程度の波長の熱中性子を用いることが多い。一般に原子炉からの中性子エネルギーは衝突・減速の結果、広いエネルギー帯域をもつので、これから特定のエネルギーの中性子のみを取り出すにはある種のフィルタ（エネルギーに対する窓をもつ）を通さねばならない。これには飛しょう（翔）時間差を利用するものと、銅や鉛の単結晶によって反射させるものがある。

#### 5.3 低バックグラウンド計数装置

放射線を用いていろいろな量を測定するような場合、きわめて微弱な放射性を測定しなければならないときがある。このような場合には計測器系において幾何学的効率を良くし、計数効率も上げる必

要があるが、最も重要なものはバックグラウンド計数の存在である。このための統計誤差はかなり大きいので、どうかすると測定値がこのかげにかくれてしまう。このような場合には低バックグラウンド装置が必要になる。これは鉛や鉄で外部のγ線や宇宙線をしゃへいし目的物からの計数のみを取り出すもので、測定器のまわりを多数の計数管でとりかこみ、検出器からのパルスのコインシデンスを利用して、不必要のパルスを除去する方法がとられている。低バックグラウンド測定技術についても本号で報告されている。

#### 5.4 トレーサー

医学的利用の節でものべたようにラジオアイソトープ(RI)を追跡子として用いる場合、これをトレーサーとよぶ。医学的利用のほか農作物における研究にもよく用いられているが、最近では工業的にも用途が広くなりつつある。たとえば気体や液体の流れを追跡するのにSb<sup>124</sup>やBa<sup>140</sup>を用いることが行なわれ、石油製品の輸送——異種の油の境界面の検知など——に役立っている。そのほか最近問題になっている地下水路の検出や港湾などにおける底の砂の移動の調査にも利用されている。

また、機械工学の分野においても摩耗や潤滑などの研究に役立っている。

### 6. む す び

以上のべたように原子核機器および放射線機器は工・農・医・薬・理の各分野に広く応用されており、その開発も今後にもたれるものが多い。特に、原子力発電、原子力推進に関してはこれからの問題であり、各分野の知識を結集して研究してゆかねばならないであろう。そのような時期にこの特集号が出されることになり、いままでの成果を世にとうことになった。これを一つの道標として、さらに新しいものが開発されることを望んでやまない。

## 三菱臨界実験装置 (MCF)

小倉 成美\*・隼田 公彦\*・津田 元裕\*\*

## Mitsubishi Critical Facilities

Mitsubishi Atomic Power Industries, Inc. Shigeyoshi OGURA・Kimihiro HAYATA  
Mitsubishi Electric Corp., Head Office Motohiro TSUDA

In the design of nuclear reactors there are a number of problems which are not to be encountered with in other industries such as presence of radiation. Materials to withstand the usage of a long period of time, physical change of the fuel with its burn up (consumption of  $^{235}\text{U}$ , accumulation of fission products and formation of Pu). Their solutions are only feasible through basic research and accumulation of experience to elevate technical level. Of the design of a nuclear reactor, it is found necessary to improve the course of nuclear thermal design by confirming the design value in comparison with the result of experiment in a final process. To aim at the attainment light water type critical facilities has been designed and completed of its construction by Mitsubishi, the outlines being described herein.

## 1. ま え が き

臨界実験装置は新しい原子炉の炉心設計を行なう場合に核設計値の確認を行なうことを目的とした装置であり、航空機の設計における風洞、船の設計における船槽にたとえることができる。臨界実験装置の構成は大きく三つに別けることができる。すなわち被試験体である炉心部、炉心部を収容し反応度制御を行なう機械装置および計測制御設備の三つである。臨界実験装置の特色の一つは炉心部の構成(材料、寸法など)が容易に変えられる構造となっていることであり、ここに原子炉と大きな相違があり、実験装置として使いやすくなっている。炉心構成が容易に変えられるために臨界実験装置はほとんど改造することなく多目的に使用できる。たとえば、

- (1) 炉心設計の基礎となる各種理論の検証
- (2) 計算方法の確認
- (3) 反応断面積の測定
- (4) 中性子源として用い検出器等の特性測定
- (5) 核燃料、中性子吸収体の製品検査などその他いろいろな使用法が可能である。

次に臨界実験装置の形式について簡単に述べる。臨界実験装置の形式は主として減速材の種類と燃料体の非均質性で分類するのが通例であるが、ほとんどのものが燃料体と減速材が分離した非均質形である。代表的なものを記すと次のようになる。

- (1) 軽水減速形(非均質)
- (2) 重水減速形(非均質)
- (3) 黒鉛減速形(非均質)
- (4) 黒鉛減速形(半均質)
- (5) 有機材減速形(非均質)

以上あげた例は熱中性子炉を対象とした臨界実験装置であり、その他最近の高速炉の開発に伴って高速炉用の臨界実験装置が建設されつつあるが、熱中性子用のものとはいろいろな点で異なるのでここでは除外する。三菱臨界実験装置(以下 MCF と略称する)は三菱原子力工業 大宮研究所に設置されるもので(1)の形に属し最高出力は 200 W である。

## 2. 設計の基本的構想

MCF 設計に際しての基本的な構想は次のように述べることができる。

- (1) PWR 炉心設計の確認、改良を第1目的とする。すなわち単なる炉物理研究を目的としたものではなく、炉工学的試験を目的とするため装置としてはそれに見合った規模のものとする。
- (2) 反応度の制御は減速材である軽水の水位を制御して行なう。
- (3) 設計に際して同形の装置を参考とし、できる限り実証済の設計を採用する。
- (4) できる限り国産品を使用する。
- (5) 装置の安全設計を最優先しその中で装置の運転のしやすさを考慮する。安全設計に関してはさらに次の各項を基本にしている。
  - (a) 安全設備は多重化する。
  - (b) 装置の停止は反応度付加機構を停止方向に働かせると同時にまったく異なる機構の停止装置により行なえるようにする。
  - (c) 反応度の付加の割合は臨界の近傍では十分小さくし、装置が異常な状態に至る前に安全設備が動作する時間的余裕をもたせるようにする。この装置では反応度付加率を 0.02 %  $\Delta k/k/s$  以下とする。かつ反応度の付加は断続的に行なう。
  - (d) (c) を満足しながら臨界接近に要する時間を短かくし、運転員の注意が散漫になるのを防ぐ。このため反応度の付加を2段階に分け初期の反応度付加率を増加する。
  - (e) 別々の操作により同時に反応度付加が行なえなくする。
  - (f) 機器の設計はフェイルセーフ設計とする。
  - (g) 計装は運転専用のものを設け実験用は別に設ける。
  - (h) インターロック回路を設け運転手順を設定する。
  - (i) すべての安全設備が働かない場合を仮想した場合でも、装置周辺の住民の受ける放射線被曝量を法定の許容線量以下とするようしゃへい壁の厚さを決める。
  - (j) 装置の運転中、人間がみだりに中に立ち入った場合には自動的に装置を停止する。
  - (k) 安全上重要なものの耐震設計は水平震度 0.6、垂直震度 0.3 とし、建屋の耐震設計は水平震度 0.3、垂直震度 0.15 とする。

### 3. 装置の構成

MCF は濃縮ウラン軽水減速非均質形の臨界実験装置であり、反応度制御方式として水位加減方式を主としたものである。したがって装置の構成は炉心部、給排水設備、計測制御設備、機械装置、建屋が主要なものとなる。なお本装置は前述したとおり炉心に関する工学的試験設備として用いるため、収容すべき炉心としては大きなものまで収容できるように設計しており、原子力船用の炉心を収容し陸上で炉心の諸特性を測定することができるようになっている。装置の要目を表 3.1 に示す。

#### 3.1 炉心部

炉心部は炉心タンクに収容され、燃料要素、炉心支持わく、格子板および起動用中性子源から成る。

##### 3.1.1 燃料要素

燃料要素はステンレス被覆管に被覆された<sup>235</sup>U濃縮燃料であり、燃料有効部の長さは通常 52 cm であるが、<sup>235</sup>U濃縮燃料ペレットをつめかえることにより 52 cm から 104 cm の間で有効長を変えることができる。燃料としては 3 種類の濃縮度のものがあり、2.7 W/O<sup>235</sup>U濃縮燃料、3.2 W/O<sup>235</sup>U濃縮燃料および 4.4 W/O<sup>235</sup>U濃縮燃料の燃料要素数はそれぞれ 1,465 本、1,835 本および 243 本である。<sup>235</sup>U濃縮燃料の燃料要素数はそれぞれ 1,465 本、1,835 本および 243 本である。<sup>235</sup>U濃縮燃料の燃料要素数はそれぞれ 1,465 本、1,835 本および 243 本である。<sup>235</sup>U濃縮燃料の燃料要素数はそれぞれ 1,465 本、1,835 本および 243 本である。

##### 3.1.2 炉心支持わくおよび格子板

燃料要素を炉心内で支持するために炉心支持わくを設ける。炉心支持わくは水平度および高さ調節用の脚を有し、上方からそう入された燃料を支持する炉心支持台、格子板を支持する格子板支持わくおよび支柱からなる。格子板支持わくは円環状のもので上中下の 3 枚が炉心支持台と平行になるように支柱に取付けられる。格子板は燃料要素をそう入するためのそう入孔を正格子状にせん(穿)孔した Al 板であり、その他検出器孔、安全板スリットおよび固定模擬制御棒そう入スリットを設ける。格子板は格子間隔の異なる 2 種類を設け、実験目的に応じて取りかえることができる。燃料要素の配列は実験目的に応じそのつど定める。

##### 3.1.3 起動用中性子源

装置を起動する際十分な中性子信号を与えるために起動用中性子源を設ける。中性子源は<sup>241</sup>Am-Be 1 Ci であり、通常は後述する機械ブリッジに据付けられた中性子源キャスクに格納されるが、装置の起動に際し制御室からレモコンワイヤーにより手動で直接駆動して炉心内にそう入する。炉心が臨界に達すると中性子源は炉心から引き抜かれる。

#### 3.2 給排水設備

給排水設備は炉心タンク、ダンプタンク、給水回路、排水回路等から成る。本装置の給排水設備は通常の給排水の目的他に水位を調節し

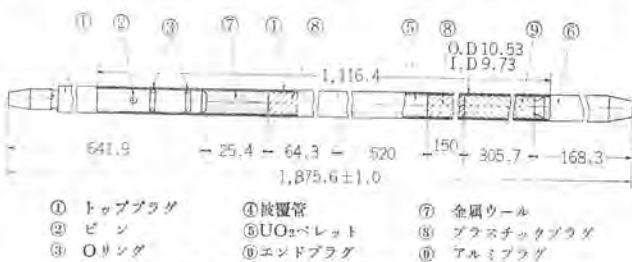


図 3.1 燃料要素断面  
Sectional view of the fuel element.

表 3.1 装置要目  
Specification of Mitsubishi critical facilities.

|                                 |                                                                                                                                                                                                   |
|---------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 型 式                          | 濃縮ウラン軽水減速型 臨界実験装置                                                                                                                                                                                 |
| 2. 熱 出 力                        | 最 大 200 W                                                                                                                                                                                         |
| 3. 年間積算出力                       | 1 kW 時以下                                                                                                                                                                                          |
| 4. 基 礎                          | 1 基                                                                                                                                                                                               |
| 5. 炉 心 タ ン ク                    | 縦置円筒無がいタンク<br>寸 法 2,200 φ×3,000<br>材 質 SUS 27<br>使用圧力 常圧<br>使用温度 常温 最高 80°C                                                                                                                       |
| 6. 燃 料 要 素                      | <sup>235</sup> U濃縮度 2.7 W/O、3.2 W/O および 4.4 W/O<br>化学的組成 UO <sub>2</sub> ペレット<br>ペレット直径 9.5 φ<br>ペレット密度 10.4 g/cc<br>被 覆 材 SUS 27<br>外 径 10.53 φ<br>肉 厚 0.4<br>燃 料 有 効 長 520~1,040<br>全 長 1,875.6 |
| 7. 格 子 板                        | 燃料そう入孔配列 正格子<br>格子間隔 (A) 15.0<br>(B) 13.74<br>木対 UO <sub>2</sub> 体積比 (A) 1.9<br>(B) 1.4<br>燃料そう入孔直径 10.8 φ<br>燃料そう入孔数 (A) 4,500<br>(B) 6,300<br>材 質 2SA1                                          |
| 8. 減速材および反射材                    | 軽 水                                                                                                                                                                                               |
| 9. 核 計 装                        | 起動系 B <sup>10</sup> カウンター 3 チヤネル<br>(対数計数率、炉周期)<br>出力系 C. I. C. 3 チヤネル<br>(対数出力、炉周期 1、線形出力 2)                                                                                                     |
| 10. タ ン プ タ ン ク                 | 縦置円筒タンク<br>寸 法 2,900 φ×2,100<br>材 質 SUS 27<br>電熱器 60 kW                                                                                                                                           |
| 11. 給 水 ポ ン プ                   | 渦巻ポンプ<br>容 量 1.4 m <sup>3</sup> /min<br>全揚程 15 mAq                                                                                                                                                |
| 12. 高 速 給 水 回 路                 | k <sub>eff</sub> =0.9 まで給水<br>給水速度 約 2.5 mm/s                                                                                                                                                     |
| 13. 低 速 給 水 回 路                 | k <sub>eff</sub> =0.9 以上で給水<br>給水速度 約 0.25 mm/s<br>反応度付加率 0.02 % ΔK/K <sub>0</sub> 以下                                                                                                             |
| 14. 通 常 排 水 回 路                 | 重力による自然排水<br>配管および弁径 80 A<br>弁形式 空気作動弁 (F. O.)                                                                                                                                                    |
| 15. 緊 急 排 水 回 路                 | 重力による自然排水<br>配管および弁径 250 A<br>弁形式 空気作動弁 (F. O.)                                                                                                                                                   |
| 16. 微 調 節 排 水 回 路               | 重力による自然排水<br>配管および弁径 15 A<br>弁形式 電磁弁                                                                                                                                                              |
| 17. 水 位 制 限 ス イ ッ チ             | 高速給水停止フロートスイッチ 2 個 半固定<br>低速給水停止フロートスイッチ 2 個 電動駆動<br>(給水停止 1、スクラム 1)<br>後備水位制限フロートスイッチ 2 個 半固定<br>(スクラム 2)                                                                                        |
| 18. い つ 流 器                     | 設定範囲 250~2,830                                                                                                                                                                                    |
| 19. 低 速 給 水 停 止 ス イ ッ チ 駆 動 装 置 | 駆動方式 フック・ピニオン<br>断続駆動 1 回につき 50 mm<br>全 行 程 1,500                                                                                                                                                 |
| 20. 実 験 制 御 棒 駆 動 装 置           | 駆動方式 フック・ピニオン<br>駆動速度 3 mm/s<br>全 行 程 1,500                                                                                                                                                       |
| 21. 安 全 板 装 置                   | 安全板 ボール板または Al 被覆 Cd 板<br>結合方式 電磁石結合<br>駆動方式 コード巻取式                                                                                                                                               |
| 22. ス ク ラ ム                     | 動 作 安全板全そう入 給水ポンプ停止<br>全排水弁開放<br>信 号 源 炉周期短、高中性子束、電源電圧異常<br>後備水位制限スイッチ、低速給水停止<br>スイッチ (2 個のうち上段)、炉室とび<br>ら開放、地震、手動<br>警 報 ランプおよびベル                                                                |

て反応度を制御する目的もあわせ持っており、そのため給水および排水系統が多重化されている。

### 3.2.1 炉心タンク

炉心タンクは燃料、軽水減速材、水位制限設備および中性子検出器などを収容するステンレス鋼製の無蓋の円筒タンクであり、炉室1階に据付けられる。炉心タンクの底部には給排水のためのノズルが設けられ、胴部には温度検出器用ノズルなどが取付けられる。また炉心タンク内の水位を最終的に制限するため設定高さ可変の溢流器が取付けられる。炉心を構成するときまたは、フォイルなど実験用器材を取付けるとき、炉心タンク内への出入りが便利となるように胴部にマンホールを設ける。減速材の圧力、温度は通常、大気圧および室温であるが、減速材温度係数の測定に備えてタンク表面の熱絶縁を行なっている。タンク内径は2,200 mmφ、深さ3,000 mmである。

### 3.2.2 ダンプタンク

炉心タンクに供給される軽水減速材は、純水装置により高純度化されたもので通常ダンプタンクに収容される。ダンプタンク内の純水は、給水回路および排水回路を経て炉心タンクとダンプタンクの間を循環している。ダンプタンクはステンレス鋼製のふた付き円筒タンクであり、タンク上端には炉心タンク排水用のノズル等が設けられ、胴部および底部には炉心タンクへの給水用のノズルおよびダンプタンク排水のためのノズルなどが設けられている。またダンプタンクにはタンク内の水の純度を測定する電導度計、温度計および減速材温度を上昇させるためのヒーターなどを設備し、断熱工事が施される。

### 3.2.3 給水回路

給水回路はダンプタンクに貯蔵される実験用水を炉心タンクに給水するための設備で、給水ポンプ、高速給水回路および低速給水回路で構成する。給水回路は給水ポンプ出口で高速給水回路と低速給水回路に分岐する。高速給水回路は配管、高速給水弁およびオリフィスで構成し、低速給水回路は配管、低速給水弁、給水微調節弁およびオリフィスで構成する。給水の制御はON-OFF制御で空気作動弁である高速給水弁および低速給水弁を制御して行なう。これらの空気作動弁は電源および空気源の喪失に対して安全側すなわち閉方向に動作する。

低速給水回路は2章(5)(c)に記述した機能を満すように設計されており、給水速度は現在所有している燃料および格子板を使用したとき実効増倍率 $k_{eff}$ が0.9を越えた領域で、反応度付加率が $0.02\% \Delta k/k/s$ を越えないようにオリフィスで制限し、炉心タンク内水位上昇速度にして0.25 mm/s以下である。臨界近傍での給水速度をさらに微調節する目的で給水微調節弁を設ける。高速給水回路は $k_{eff}$ が0.9までの領域の給水を行なうもので、給水速度はオリフィスにより制限し低速給水速度の10倍としている。高速給水と低速給水の切換は $k_{eff}=0.9$ の位置に設定された高速給水停止スイッチの信号で、高速給水弁が閉鎖され制御室で給水回路を低速給水に切りかえることにより行なう。

高速給水回路と低速給水回路の切りかえは安全上重要であるので、高速給水停止スイッチは2個の検出部をもち、どちらが動作しても高速給水が停止される。高速給水から低速給水へ切りかえたのち臨界に至るまでは低速給水停止スイッチにより水位を制限するがこのスイッチは1回について50 mm づつしか引き抜くことができずかつ約10秒待ったのちにつぎの引き抜きが可能となっている。

このようにして臨界近傍での反応度付加が断続的となるようにし、核計装を通して炉心の状態が把握できる時間的余裕を与えている。

低速給水停止スイッチは20 mm 設定高さをかえた2個の検出部をもち、低いほうの検出器は給水停止の信号を出す、高いほうの検出器はスクラム信号を発して給水を停止し排水を行なうと同時に炉心上部で待機している安全板を炉心内に落下して装置を停止する。

### 3.2.4 排水回路

炉心を臨界にし、所定の実験が終わったあと炉心タンク内の軽水減速材は排水回路を通してダンプタンクへ排水され装置は停止する。その他装置を緊急に停止する場合、および臨界近傍で反応度を微調節する場合にも排水系統は使用される。このような目的から排水回路は通常排水回路、緊急排水回路および微調節排水回路に分れている。通常排水回路は80 Aの配管および空気作動弁からなり通常停止の際の排水に用いる。緊急排水回路は250 Aの配管および空気作動弁からなり、スクラム信号が発せられ炉心タンク内の減速材を急速に排出する場合に用いられる。

微調節排水弁は給水微調節弁と併用して臨界水位の近傍の水位微調節を行なうために用いられる。排水回路の弁はすべて電源および空気源喪失に対し安全側すなわち開方向に動作し、スクラム信号が発せられる場合にも全開する。排水は重力による自然排水である。図3.2に給排水回路系統図を示す。

## 3.3 機械装置

MCFの機械装置は架台、安全板駆動装置、低速給水停止スイッチ駆動装置、制御棒駆動装置、空気源装置および純水装置からなる。

### 3.3.1 架台

架台は炉心タンクの回りに取りつけられ、燃料装荷、検出器の設定等炉心タンク回りの作業を行なう作業タラップ、中性子源キャスク、安全板駆動装置、低速給水停止スイッチ駆動装置および制御棒駆動装置を取付けるための機械ブリッジとそれらをささえる支柱からなる。架台は5,000×5,000×7,400 mm(高さ)の大きさをもち、作業タラップの下部には核計装の接続箱が取付けられ、核計装に必要な各種のコネクターが設けられている。

### 3.3.2 安全板駆動装置

装置運転中に何らかの原因でスクラム信号が発せられた場合、炉心内に安全板を落下させると同時に減速材の排水を行なって装置を停止する。安全板駆動装置は5式設ける。安全板の駆動はナイロンコード巻取により行ない引上げ速度は15 mm/sである。安全板とつり下げ部とは電磁石による吸着で結合している。スクラム信号が発せられると電磁石電源がシャ断され、安全板は安全板ガイドに沿って炉心内に落下する。安全板は中性子吸収材でできており、ボール板およびAl被覆のCd板がそれぞれ5枚ずつ用意されている。

### 3.3.3 低速給水停止スイッチ駆動装置

低速給水停止スイッチ駆動装置はラックピニオン駆動方式である。このスイッチは3.2.3項に述べたように、1回の駆動距離が最大50 mmとなっており断続駆動である。スイッチの駆動速度は5 mm/s 駆動距離は1,500 mmであり位置指示はポテンシオメータによっている。

### 3.3.4 制御棒駆動装置

MCFの反応度制御はすでに述べたように主として水位調節によっているが、実験の都合上制御棒により $0.5\% \Delta k/k$ の範囲内で反応度制御ができるようになっている。制御棒駆動装置はラックピニオン駆動方式であり、駆動速度は3 mm/s 駆動距離は1,500 mmであり位置指示はセルシで行なっている。

### 3.3.5 空気源装置および純水装置

空気源装置は空気作動弁および純水装置の空気源として用いる。

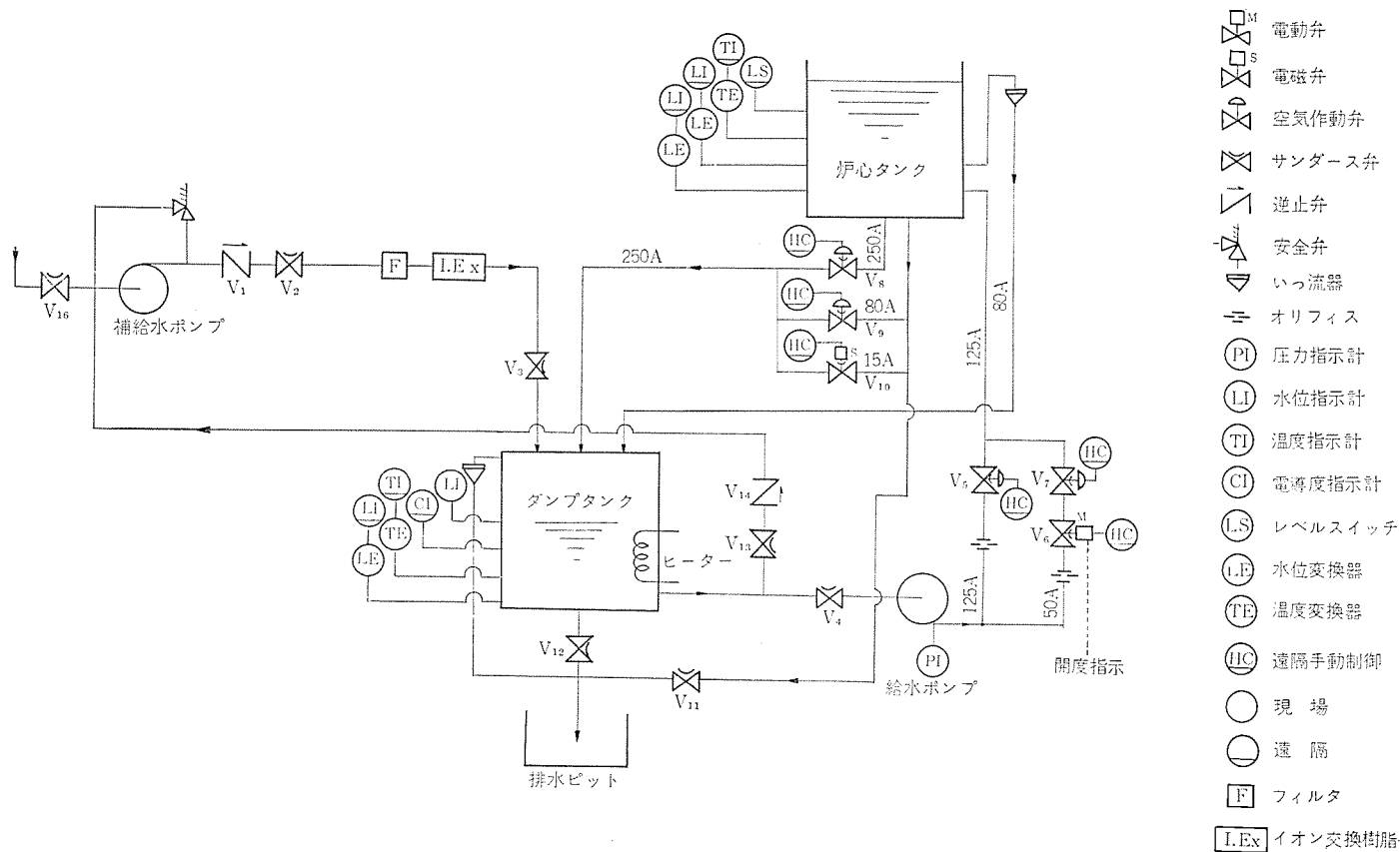


図 3.2 給排水回路系統

Block Diagram of water charging and dump system.

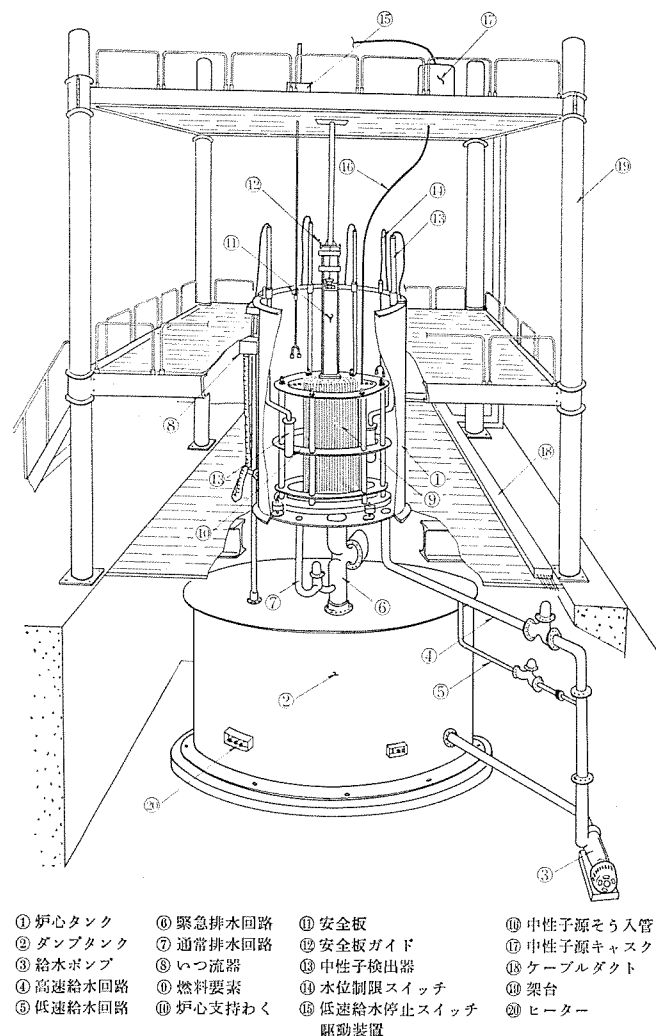


図 3.3 装置全体 MCF assembly drawing.

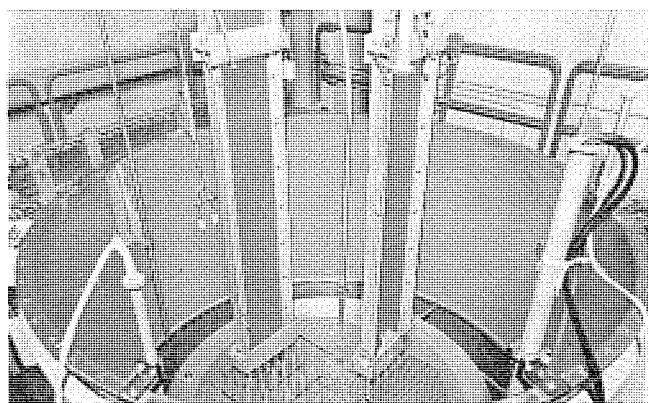


図 3.4 炉心タンク上部  
Core tank.

純水装置は上水道の水を実験用水に適するように純化するもので、イオン交換樹脂を用いている。得られる水の純度は電導度にして  $1 \mu \text{ S/cm}$  である。純水装置の処理能力は  $1.2 \text{ m}^3/\text{hr}$  および  $12 \text{ m}^3/\text{cycle}$  である。

装置全体図を図 3.3 に、炉心タンク上部、ダンプタンクをそれぞれ図 3.4、図 3.5 に示す。

### 3.4 計測制御装置

#### 3.4.1 概要

前項までに記した装置を操作する計測制御装置には次のようなものがある。計測としては炉心の中性子束を測定する核計装設備、屋内、屋外の放射能レベルを測定する放射線監視設備、プロセス計測設備がある。制御関係では機器の運転操作に必要な制御系統、安全な操作を行なうためのインターロック系統、異常状態の警報や装置の緊急

停止を行なう安全系統がある。これ以外に炉心の運転状態を監視する工業用テレビも備えつけられている。

これらの装置は、検出器および駆動部以外はすべて制御室内の操作卓および直立盤に収納されている。操作卓は幅2,000×高さ1,094×奥行800のもので起動、運転、停止チェックの操作がすべて可能になっている。計器は主要なものに限られている。スクラムダンブ関係のアナウシェータは操作卓上にあるが、アラーム関係のは直立盤上にある。操作卓上の配置は操作のしやすいこと、誤操作を起こさないことを主眼に設計されている。直立盤は幅600×高さ1,900×奥行

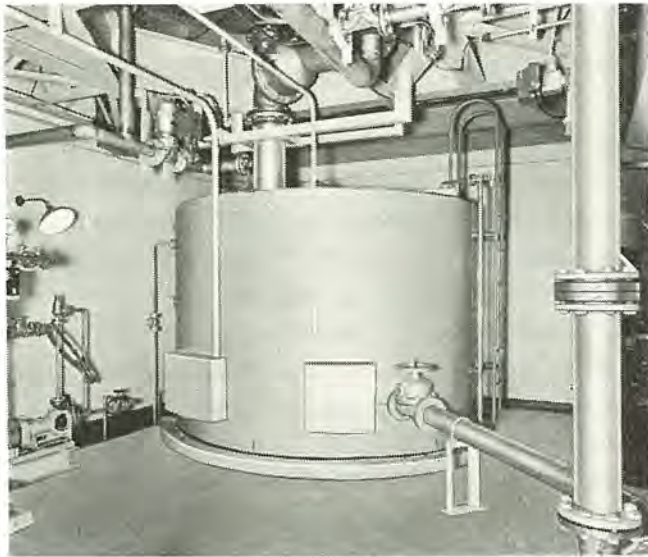


図 3.5 ダンプタンク  
Dump tank.

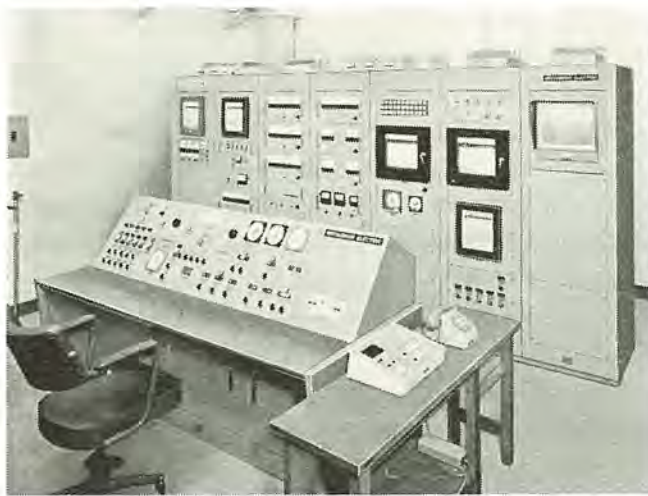


図 3.6 制御室  
Control room.

600 のもの7面からなり、操作卓の正面に1列に並べてある。操作卓、直立盤の様子を図3.6に示す。

向って左側から屋外放射線モニタ、屋内放射線モニタ各1面、核計装盤2面、制御盤2面、工業用テレビの受像器1面からなっている。盤の頂上には運転モードを示す表示灯がある。操作卓に一番近い所に操作に必要な計器類が取付けてある。操作者が操作卓にいて計器類がながめられるように、直立盤の上半分に計測関係の計器がくるように配列してあり、下半分は制御リレー類ははいっている。したがって盤1面は必ずしも独立はしていないが運送、搬入の便を考慮して分割してある。制御系統は、3.2、3.3節に述べた諸設備の起動、運転、停止を操作するものであり、安全板、制御棒などの駆動、炉心タンクへの給水、排水の制御を行なう。また停止時に各回路の点検が行なえるように点検モードもあり、この際はインタロックのバイパスが可能になっている。

インタロック系統は装置の安全確実な起動、運転を行なうため起動運転に際して各種の規制および起動を行なう場合の操作順位を設定するものである。

安全系統はスクラム、アラームチャネルからなり、核計装設備、プロセス計測設備、制御系統、その他からの信号により装置の緊急停止、警報、異常表示を行なうものである。

次項以下に計測設備を記す。

### 3.4.2 核計装設備

臨界実験装置の中性子出力を測定するもので、装置の起動、運転にもっとも重要な役割をはたすものの一つである。起動系統、運転系統の2系統より構成されていて、検出器より検出された中性子束レベルに相当する信号パルスの計数率および信号電流レベルにより、実験装置の起動から運転領域への中性子束レベルおよびその変化率（炉周期）を計測し監視するものである。中性子束が異常な上昇率を示したり異常に高くなって、あらかじめ決めた設定点を越えた場合は安全系統へ信号を送り装置の停止あるいは警報を行なう。

測定範囲を図3.7に、ブロック図を図3.8に示す。起動系統は3チャンネルで構成される中性子検出器は、 $B^{10}$  比例計数管が使用される。検出器からの出力パルスはパルス増幅の後対数計数率計によって中性子束の対数に比例したレベル信号に変換され指示する。対数レベル信号は炉周期回路にはいり、炉周期として秒単位で指示される。運転系統も3チャンネルで構成されている。検出器はガンマ線補償形電離箱(CIC)を使用する。3チャンネルのうち1チャンネルは対数指示、残り2チャンネルは線形指示である。対数チャンネルの検出器出力電流は対数増幅器で増幅後、対数レベルで表示されるとともに炉周期回路に加えられる炉周期信号となる。線形チャンネルのほうは対数変換を行わず直流増幅器で増幅し中性子束レベルに比例した出力信号となる。

ブロック図で示すように中性子束レベル信号は記録計に記録される。

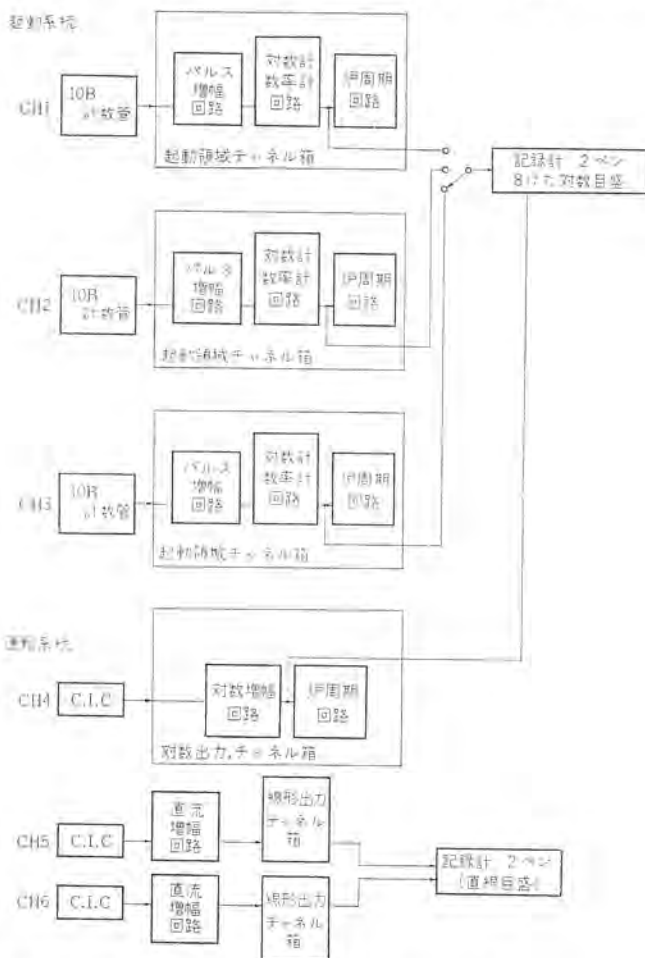
| 中性子束 nv                                                     | $10^{-1}$ | 1  | $10^1$ | $10^2$ | $10^3$     | $10^4$     | $10^5$     | $10^6$    | $10^7$    | $10^8$    | $10^9$    | $10^{10}$ | $10^{11}$   |
|-------------------------------------------------------------|-----------|----|--------|--------|------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------|
| 起動系統(3チャンネル)<br>検出器: $B^{10}$ 比例計数管<br>(感度 3cps/nv)         | 1         | 10 | $10^2$ | $10^3$ | $10^4$     | $10^5$     | $10^6$ cps |           |           |           |           |           |             |
| 対数出力系統(1チャンネル)<br>検出器: CIC<br>(感度 $4 \times 10^{-14}$ A/nv) |           |    |        |        | $10^{-11}$ | $10^{-10}$ | $10^{-9}$  | $10^{-8}$ | $10^{-7}$ | $10^{-6}$ | $10^{-5}$ | $10^{-4}$ | $10^{-3}$ A |
| 線形出力系統(2チャンネル)<br>検出器: CIC<br>(感度 $4 \times 10^{-14}$ A/nv) |           |    |        |        | $10^{-11}$ | $10^{-10}$ | $10^{-9}$  | $10^{-8}$ | $10^{-7}$ | $10^{-6}$ | $10^{-5}$ | $10^{-4}$ | A           |

図 3.7 核計装測定範囲  
Measuring range of nuclear instrumentation.

この記録計は 250 mm 幅のものを使用して直立盤内のほぼ中央に置かれ、操作の指示計も兼ねている。アラーム、スクラム、インタロック信号には、中性子束レベル、炉周期、電源異常などを使用する。

検出器は図 3.3 に見られるようにアルミ製の保護管に入れて炉心タンク中にそう入される。B<sup>10</sup> 比例計数管、CIC は国産品である。なお MCF の核計装の原型についても文献 (2) があるので参照していただきたい。

核計装設備での最大の問題は検出器から盤までの信号線にノイズ



注 1) 安全系統、アラーム、インタロック系統への出力は省略してある  
 2) 検出器以外は CH5, 6 の直流増幅回路のみ制御室に他はすべて制御室に配置する。

図 3.8 核計装ブロック線図  
 Block diagram of nuclear instrumentation.

表 3.2 エリア放射線モニター一覧  
 List of area radiation monitors for MCF.

|        | 測定対象   | 設置場所          | 数量<br>(チャンネル) | 測定範囲                                        | 検出器                                             |
|--------|--------|---------------|---------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| 屋<br>内 | 高速中性子線 | 制 御 室         | 1             | $1 \sim 10^4 \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$ | BF <sub>3</sub> 計数管 (パラフィン箱で減速)<br>ND-6534-60 形 |
|        | 高レベルγ線 | 炉 室           | 1             | $10^{-1} \sim 10^3 \text{ mr/h}$            | 電離箱<br>ND-8303 形                                |
|        | 低レベルγ線 | 炉 室           | 1             | $10^{-2} \sim 10^1 \text{ mr/h}$            | 電離箱<br>ND-8304 形                                |
|        | 低レベルγ線 | 作 業 室         | 1             | $10^{-2} \sim 10^1 \text{ mr/h}$            | 電離箱<br>ND-8304 形                                |
|        | 低レベルγ線 | 制 御 室         | 1             | $10^{-2} \sim 10^1 \text{ mr/h}$            | 電離箱<br>ND-8304 形                                |
| 屋<br>外 | 低レベルγ線 | MCF 建屋より 35 m | 1             | $10^{-2} \sim 10 \text{ mr/h}$              | GM 計数管                                          |
|        | 低レベルγ線 | MCF 建屋より 65 m | 1             | $10^{-2} \sim 10 \text{ mr/h}$              | GM 計数管                                          |
|        | 低レベルγ線 | MCF 建屋より 75 m | 1             | $10^{-2} \sim 10 \text{ mr/h}$              | GM 計数管                                          |

がはiriやすいことである。B<sup>10</sup> 比例計数管の系統では数 mV のパルス信号、CIC の系統では  $10^{-11} \text{ A}$  の微小電流を扱うのでむずかしい点が多いといえよう。とくに制御リレー、コンタクトの開閉等によるパルス性のノイズによる影響が大きい。したがって信号線のシールドに注意すると同時にノイズ発生源のほうへの対策も必要である。MCF の核計装では、このノイズに対して十分対策を施してあるので問題は生じなかった。

### 3.4.3 放射線監視設備

MCF には 2 種の放射線モニターがある。一つは実験装置の建屋内におかれたものである。建屋内の漏えい放射能レベルを測定、監視し建屋内の人の出入する各室が作業に適するレベルを監視する。したがってこのモニターは、この建屋内にはいる特定の人を対象としているということである。

もう一つの放射線モニターは建屋より離れた屋外に設置されていて、建屋のしゃへいが十分であってもなお一般の人に対して安全かどうかをチェックするためのものである。この二つのモニターの警報設定の放射能レベルは違い、屋外、すなわち一般の人を対象とするモニターのほうが低い放射能レベルで警報を発するようになっている。ともにエリアの放射能レベルを測定するのでエリア(放射線)モニターと呼ばれる。建屋内のモニターは 5 チャンネル、屋外モニターは 3 チャンネルからなり測定範囲、設置場所は表 3.2 に示すとおりである。

高速中性子線 エリアモニターは BF<sub>3</sub> 比例計数管を使用する。BF<sub>3</sub> 計数管は速中性子には感じないので、パラフィンで中性子を減速したうえで検出する。検出器からはパルス信号として検出されるので、パルス増幅後、対数計数率計で測定指示する。高レベル、低レベルガンマ線 エリアモニターはイオン電離箱を検出器として使用する。電流信号として得られ、対数増幅器で対数変換され指示される。これら 5 チャンネルの測定値は 6 打点記録計で記録される。あらかじめ設定した値を越えた場合は警報信号を安全系統に送る。

屋外のエリアモニターは文字どおり屋外におかれる。モニターリングポストと呼ばれる測定箱を屋外に設置し、ガンマ線レベルを監視する。モニターリングポストには、検出器、測定回路を含み全天候形のケースに収められている。測定値は各ポストでも読み取れるが、通常は制御室の指示計で読み取り記録される。制御室の盤から遠隔操作で検出器、測定回路の点検、校正ができる。屋内外のエリアモニターは完全に独立していて AC 電源以降別になっている。これは使用の目的が全然異なるためであり、ともに重要であるからである。

類似のモニターについて本号の他論文 (3) に詳しいからここでは概要を述べるにとどめる。図 3.9 にモニターリングポスト設置状況を示す。

### 3.4.4 プロセス計測設備

この設備は MCF 各部の温度、水位、電導度等、運転に必要なプロセス諸量を測定し操作卓、制御盤上に指示、記録をすると同時に必要な警報を発する。

測定量は炉心タンクの水の温度、水位、ダンプタンクの水の温度、電導度、水位等がある。この実験装置は反応制御は水位加減方式が主であるので炉心タンク水位は圧力型のほかに浮子型の精密型のものも備えてある。

### 3.4.5 工業用テレビ

実験装置を運転中に人は炉室内には入れない。したがって、工業用テレビを設置して炉室、特に炉心回りの状態を監視することは運転上重要である。テレビカメラ (IT-T2B 形) は炉心タンク上方の機械装置架台部分に取付けられた伏仰回転台にのっている。またカメラ

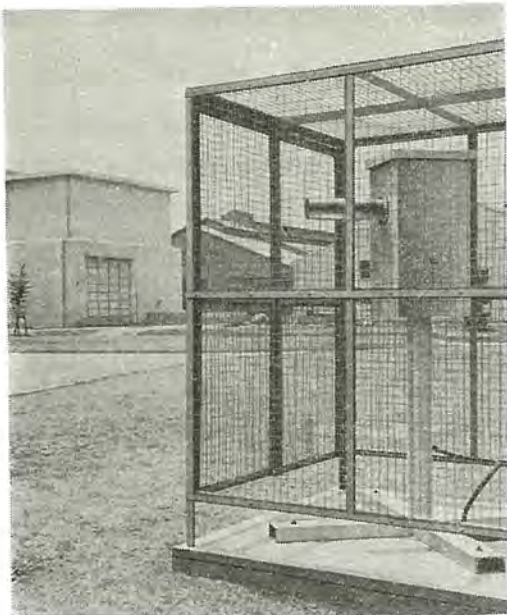


図 3.9 屋外モニタリングポスト  
Outdoor type radiation monitoring post

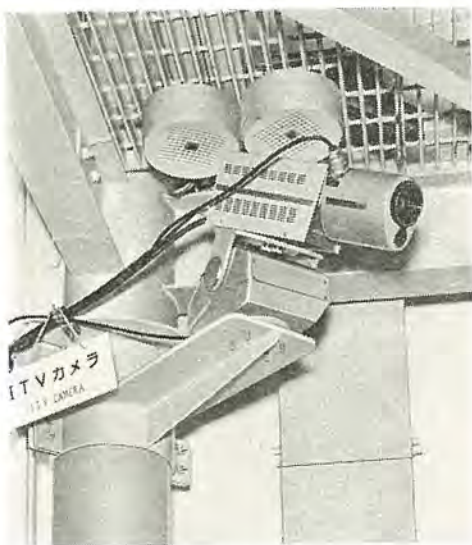


図 3.10 工業用 テレビカメラ  
ITV type IT-2B.

にはオートズームレンズを備えているので撮影範囲はかなり広い。テレビカメラの取付状態を図 3.10 に示す。一方、受像機は 16 インチで制御室直立盤の一番右の盤に、操作部は操作卓上の右端にありすべての操作が可能である。

#### 3.4.6 その他

##### (1) 地震計

地震発生時、設定レベル以上に大きなゆれがあったときにスクラム信号を発し実験装置の緊急停止を行なう。検出点は 2 箇所である。

##### (2) 動力盤

制御室内の直立盤とは別に動力盤が設けられていて、補機モータの開閉用の電磁接触器および制御用電源が収納されている。

#### 3.5 建屋

MCF の建屋は炉室および付属建屋からなる鉄筋コンクリート構造である。炉室は本体の格納施設でありまた壁自身が放射線の生体しゃへいもかねている。炉室は地上 1 階、地階 1 階からなっており炉室地階の床面積は炉室 1 階の床面積の約 1/2 である。炉室 1 階には

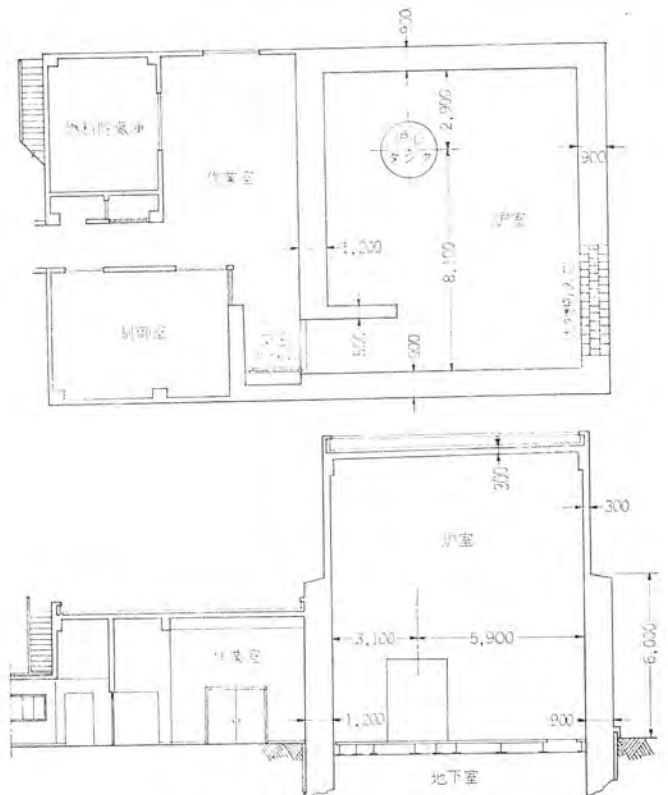


図 3.11 建屋平面および立面図  
Plan and elevation of MCF.



図 3.12 MCF 建屋全景  
Mitsubishi critical facilities.

炉心タンク、機械ブリッジなどが据付けられ、炉室地階にはダンプタンクなど給排水系の設備が設けられる。炉室の壁厚は地上 6 m までは 1 面が 120 cm、他の 3 面が 90 cm、6 m から上部の壁面および天井部は 30 cm の厚さになっており、建屋外部の空間線量を低減している。炉室には 5 t の天井走行クレーンが設けられて重量物の操作が可能となっている。炉室に機器を搬入するため 4 m × 4 m の開口部を設けているが通常はコンクリートブロックにより閉鎖している。

炉室と付属建屋との連絡通路は迷路構造となっており、放射線しゃへいが考慮されている。付属建屋は制御室、燃料貯蔵庫、作業室、汚染除去室よりなる。制御室には計測制御用の制御盤および操作卓が設けられ制御室から炉室に至る配線は信号系統と動力系統とに分けられ、ケーブルダクトおよびケーブルピットを通して室内に導かれている。燃料貯蔵庫には実験に使用されない核燃料が燃料保管容器に格納されて貯蔵される。燃料保管容器は燃料貯蔵庫内に浸水しても決して

臨界になることがないように設計されている。

作業室は実験準備のための部屋であり、また炉心内でどのように出力が分布して発生されているかを測定する場合には、照射した燃料をこの部屋に運んで測定する。汚染除去室は万一放射性物質が手足などに付着した場合に除染できるように設けたものである。

炉室、作業室、燃料貯蔵庫は管理区域とし、管理区域で生じた廃水はいったん屋外の貯溜池に貯溜し、放射性物質の濃度を測定したのうち許容量以下の場合に一般排水路に放出するが、核燃料物質は密封されており開放線源も使用しないので汚染されることはほとんど考えられない。炉室は強制換気を行ない内部を負圧に保っている。図 3. 11 に建屋平面図および立面図を、図 3. 12 に全景を示す。

### 3. 6 放射線管理設備

MCF は最大出力 200 W であるため、また建屋の壁厚が十分厚いので建屋の外部における放射線についてはほとんど問題はない。建屋内部、屋外の設備については 3. 4. 3 項にすでに述べたが、これ以外にも作業者を対象とした設備がある。運転停止後、炉室内で作業を行なうため個人管理用としてγサーベイメータ、中性子サーベイメータなどを用意し、また管理区域の出入口にはハンドフットクロスモニターを設

け汚染が生じた場合の汚染の拡大を防止している。

## 4. む す び

以上 MCF の概略について述べた。MCF 計画が始ったのは昭和 40 年であり、その後地元の反対等迂余曲折があり、昭和 43 年 7 月に至って設置許可が降りる運びとなった。その後順調に進捗して昭和 44 年 7 月に初回臨界に達し以後実験を開始している。この臨界実験装置の完成によって炉心設計の種々資料が得られ、設計がより確実なものになることは言うまでもない。特に現在建設中である原子力第一船に積載する加圧水型原子炉の炉心設計に必要な一連の実験を最初に行なっていることを付記しておく。

最後に MCF 建設にご協力いただいた関係各位に厚くお礼申し上げます。

## 参 考 文 献

- (1) 小林：「三菱電機技報」43, 323 (昭 44)
- (2) 川島、岩岸：「三菱電機技報」42, 725 (昭 43)
- (3) 石井ほか：「三菱電機技報」43, 1,178 (昭 44)

## 放射線測定器

岩井 優\*・吉島 宇一\*・仲森 詔貢\*

## Radiation Measuring Instruments

Kobe Works Masaru IWAI・Uichi KICHISHIMA・Satotsugu NAKAMORI

Radiation measuring instruments are basic devices needed in handling radiation. As for Mitsubishi radiation measuring instruments, it is feasible to compose a variety of sets for the measurement by combining single unit apparatus divided into each component element. Sections of electronic circuits of single unit apparatus are all provided with silicon transistors and integrated circuits so as to insure high reliability. Single unit apparatus other than detectors are each made into a unit, permitting plug in to a case of exclusive use and facilitating the combination a great deal.

The article elucidates the single unit apparatus and their combinations.

## 1. ま え が き

放射線の利用普及するにしたがって放射線測定器の需用が増大している。測定目的に応じていろいろな測定装置が使用されるが、それらの装置は基本的な機能ブロックに分けることができる。すなわち基本的な機能を有する機器を任意に組合わせれば各種の測定系をつくることができる。ここにその測定の基本となる各単体機器について説明し、各単体機器の組合わせによって構成される各種の測定装置について説明する。

この単体機器の特長は

- (1) 各機能ブロックごとにわかれ、検出器以外はユニット化されている。
- (2) 各ユニットはケースにスライド式にそうし取付け、取りはずしが簡単なので、各種の測定装置を構成することが容易である。

## 2. 放射線検出器

## 2.1 中性子検出器

一般測定用、工業用、原子炉用に各種中性子検出器が製作されている。中性子有感物質としては取り扱いの簡単な $^{10}\text{B}$ が使用されている。

(1)  $\text{BF}_3$  比例計数管

熱中性子検出用比例計数管で、検出効率が高くまた強い $\gamma$ 線下においても中性子だけを区別して検出できるすぐれた特長をもっている。動作電圧にはプラトー特性が存在するために精密で安定な測定に用いることができる。形状、ガス圧などにより各種がある。

(2)  $^{10}\text{B}$  比例計数管

$^{10}\text{B}$  比例計数管は、熱中性子用の検出器で構造は $\text{BF}_3$  計数管と同じであるが、 $\text{Ar-CO}_2$  の混合ガスを充てんし、中性子有感物質として粉末状の濃縮 $^{10}\text{B}$ を特殊な方法で陰極内面に塗布したものである。このため $\text{BF}_3$  比例計数管に比べ波高分布特性、プラトー特性は若干劣

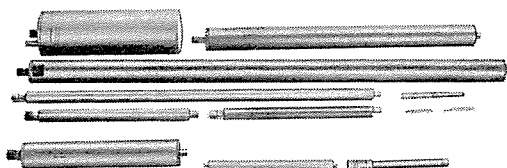


図 2.1 中性子検出器 Neutron detectors.

っているが動作寿命が長いので高計数率での長時間の使用が可能である。

(3)  $\gamma$  線補償形電離箱

補償形電離箱 ND-8620 は高い $\gamma$ 線下での熱中性子検出用の電離箱である。特に高温にも耐えうように設計されており、 $200^\circ\text{C}$ まで使用できる。主として原子炉制御用であり、 $\gamma$ 線の補償は電圧調整方式によっているため調整は簡単にでき、非補償時の $\gamma$ 線感度は $3 \times 10^{-11}$  A/R/h 以下で、補償すれば $3 \times 10^{-13}$  A/R/h 以下になる。

## (4) 非補償形電離箱

非補償形電離箱は、 $\gamma$ 線補償の必要ない場合の熱中性子束測定用である。

## 2.2 GM 検出器

三菱 GM カウンタヘッドはいずれもプローブ形である。ND-124 形は GM 計数管のみを内蔵し、スケーラ、レートメータなどの測定器との距離が1m以内の場合に使用する。このカウンタヘッドの出力を長距離伝送する場合は、付属のリアンプを接続することにより電流電送が行なえる。このとき高圧と信号を1本の高周波ケーブルで伝送する方式

表 2.1  $\text{BF}_3$  および  $^{10}\text{B}$  比例計数管仕様  
Specification of  $\text{BF}_3$  &  $^{10}\text{B}$  proportional counting tube.

| 形式記号                                  | 用 途                          | 外 径<br>mm | 全 長<br>mm         | ガ ス 圧<br>mmHg             | 動作電圧<br>kV | プラトー<br>幅<br>V | プラトー<br>傾<br>%/V |
|---------------------------------------|------------------------------|-----------|-------------------|---------------------------|------------|----------------|------------------|
| ND-8510<br>シリーズ                       | (超小形)<br>フラックス<br>スマッピン<br>グ | 6         | 57, 62            | 900                       | 2          | 200            | 0.04             |
| ND-8520<br>シリーズ                       | (小 形)<br>モニタ用                | 13        | 125, 172,<br>322  | 300, 600,<br>900          | 1.5~2.7    |                | 0.04~<br>0.02    |
| ND-8530<br>シリーズ                       | モニタ<br>原子炉工<br>学用            | 25        | 348, 648          |                           | 1.5~2.7    |                |                  |
| ND-8550<br>シリーズ                       | (大 形)<br>エリアモ<br>ニタ用         | 50        | 343, 645,<br>1045 |                           | 2.3~4.3    |                |                  |
| ND-8594<br>-30                        | (ジャンボ)                       | 100       | 330               | 300                       | 2.9        | 300            | 0.01             |
| ND-8537<br>W-55                       | 原 子 炉<br>制 御 用               | 25        | 772               | 550                       | 2          | 200            |                  |
| ND-8610<br><sup>10</sup> B 比 例<br>計数管 | 原子炉用<br>一 般 用                | 25        | 348               | Ar-CO <sub>2</sub><br>200 | 0.8        | 200            | 0.3              |

表 2.2 中性子用電離箱仕様  
Specifications of neutron ionization chamber.

| 形式記号               | 外径<br>mm | 全長<br>mm | 重量<br>kg | 中性子有線質<br>濃度<br>濃縮 <sup>10</sup> B | 中性子度<br>感度<br>A/nV  | 熱中性子束<br>感度<br>nV                         | ガンマ線度<br>感度<br>A/R/h                   |
|--------------------|----------|----------|----------|------------------------------------|---------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------|
| ND-8620<br>ガンマ線補償形 | 80       | 476      | 2.7      | 96%                                | $4 \times 10^{-14}$ | $2.5 \times 10^2 \sim 2.5 \times 10^{10}$ | 補償時 0<br>非補償時<br>$2.3 \times 10^{-11}$ |
| ND-8630<br>非補償形    | 80       | 476      | 2.0      |                                    |                     | $2.5 \times 10^2 \sim 2.5 \times 10^{10}$ | $2.3 \times 10^{-11}$                  |



図 2.2 ND-1125 形 GM 検出器  
GM counter head.

表 2.3 GM 検出器仕様  
Specifications of GM counter head.

| 項目                | カウンタヘッド                                                |                                                        | プリアンプ<br>ND-1124 用                                 |
|-------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
|                   | ND-1124                                                | ND-1125                                                |                                                    |
| 入力極性              | 負                                                      | 負                                                      | 負                                                  |
| 利得                | なし                                                     | 約 1                                                    | 約 1                                                |
| 出力極性              | 負                                                      | 負                                                      | 負                                                  |
| 出力インピーダンス         | GM 計数管の内部インピーダンス                                       | 50 Ω                                                   | 50 Ω                                               |
| 電源                | GM 管用高圧電源のみ                                            | GM 管用高圧電源および ±12 V                                     | GM 管用高圧電源のみ 1,000 V 以下で使用する                        |
| ケーブル              | 1 m 付                                                  | 指定による                                                  | 指定による                                              |
| コネクタ              | ・信号出力および高圧入力兼用<br>・ケーブル端子 BNC-P-HV または BNC-P-55 U 付    | ・信号出力および高圧電源 (+12 V) 兼用 BNC-R<br>・高圧入力 BNC-R-HV        | ・信号入力および高圧入力兼用 BNC-R-HV<br>・信号出力および高圧入力兼用 BNC-R-HV |
| 使用 GM 管           | GM-2504<br>GO-9321-H                                   | GM-2504<br>GM-9321-H                                   |                                                    |
| 外形寸法 mm<br>(本体のみ) | 50 φ × 140 (GM-2504 使用時)<br>50 φ × 151 (GM-9321-H 使用時) | 50 φ × 180 (GM-2504 使用時)<br>50 φ × 191 (GM-9321-H 使用時) | 80 (W) × 60 (H) × 100 (D)                          |



図 2.3 シンチレーション検出器  
Scintillation counter head.

表 2.4 シンチレーション検出器仕様  
Specifications of scintillation counter head.

| 形式記号   | ND-1156                                                                                      |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| 項目     |                                                                                              |
| 形 式    | プローブ形 (Probe)                                                                                |
| シンチレータ | γ線用 NaI(Tl) 当社標準寸法<br>ロッド形 38 φ × 25 (H) および 50 φ × 50 (H) 各種寸法のシンチレータおよびウエル形シンチレータもある (注参照) |
| 利 得    | 1 (エミッタホリ)                                                                                   |
| 外形寸法   | 90 φ × 340 (H) mm                                                                            |

- 注) 1. γ線用シンチレータのほか α線, β線, 中性子線用も取り付け可能。  
2. γ線用シンチレータの寸法は, 表のものが標準品であるが, シンチレータ最大寸法のときの標準品は  
ロッド形: 50.8 φ × 50.8 高さ  
ウエル形: 50.8 φ × 50.8 高さ 穴部分 28.6 φ × 38.1 深さ  
上記以外の寸法のものも製作可能。



図 2.4 γ線電離箱  
Gamma ray ionization chamber for gamma ray.

表 2.5 γ線用電離箱仕様  
Specifications of gamma ray ionization chamber.

| 形式記号                   | 外径<br>mm | 全長<br>mm | 容 積<br>l | 線量率範囲<br>mr/h         | エネルギー<br>範囲      |
|------------------------|----------|----------|----------|-----------------------|------------------|
| ND-8302                | 168      | 595      | 5        | 1 ~ 10 <sup>3</sup>   | 80 keV ~ 1.8 MeV |
| ND-8303 A<br>ND-8303 B | 168      | 595      | 5        | 0.1 ~ 10 <sup>2</sup> | 80 keV ~ 1.8 MeV |
| ND-8304 A<br>ND-8304 B | 168      | 595      | 5        | 0.02 ~ 10             | 80 keV ~ 1.8 MeV |

- 注) 1. A 形は遠隔操作修正用線源機構内蔵  
2. B 形は修正線源なし

を採用している。プリアンプはインピーダンス変換に変換トランスを使用している。

ND-1125 形は半導体プリアンプを内蔵し、ケーブルの長短に関係なく使用できる。ケーブルは高圧電源用と信号兼低圧電源用の 2 本を使用する。

### 2.3 シンチレーション検出器

シンチレーション検出器はγ線に対する感度が高く、微弱な放射線の測定も可能である。放射線のエネルギーに比例したパルス波高値が得られるので、エネルギー分析に使用することができる。不感時間が短かく、時間分解能がよいので高計数率の測定ができる。

この検出器は、プローブ形でシンチレータと光電子増倍管を一体とし、前置増幅器とともに筒形のケースに収納されている。

### 2.4 γ線用電離箱

微小線量用、たとえばγ線エアモニタ用の電離箱である。この電離箱は微小電流増幅用の前置増幅器に直結されている。

### 3. ユニット機器

先にも述べたように放射線測定に使用される機器を機能別に分類し、個々のプラグインユニット化したものが放射線ユニット機器である。したがって任意のユニット機器を組み合わせてることによって各種測定系を容易に構成することができる。基本外形寸法は、70×n(W)×150(H)mm、ただし、n：1, 2, 3, 4, 6 である。

#### 3.1 前置増幅器

比例計数管、パルス式電離箱、シンチレーションカウンタなど、放射線検出器からの出力パルスをそのまま比例増幅器に入れて増幅するには小さすぎる場合や、検出器と比例増幅器との距離が離れている場合に使用する。トランジスタ4本からなる負帰還増幅器である。出力信号線と電源線は共通しており、他に入力端子および高圧端子を備え、入力端子に接続された検出器に安定化直流電源 (ND-1535 など) から適当な電圧を加えることができる。

#### 3.2 比例増幅器

放射線検出器の出力パルスの形を変えることなく、正しく増幅するための広帯域増幅器である。パルス式電離箱、比例計数管、シンチレーション計数管などの出力パルスの増幅器として広く用いられる。NR-444 形はパルス波高弁別器を内蔵しており、任意に選ばれた波高値をこえるパルスのみを取り出すことができる。

#### 3.3 線形計数率計

放射線測定器からの信号はパルス信号であることが多い。線形計数率計は単位時間当たりのパルス数を直線目盛で指示し、時々刻々変化する放射線の強さを監視する場合や、計数率を自動的に記録する場合に使用する。

#### 3.4 対数計数率計

対数計数率は単位時間当たりのパルス数を対数目盛で指示するので、時々刻々広範囲に変化する放射線の強さを監視する場合や、計



図 3.1 ND-1251 形 前置増幅器  
Preamplifier.

表 3.1 前置増幅器仕様  
Specifications of preamplifier.

|           |                        |
|-----------|------------------------|
| 入 力 極 性   | 負                      |
| 入力インピーダンス | 約 500 kΩ               |
| 利 得       | 約 7 倍 (50 Ω 負荷)        |
| 周 波 数 特 性 | 20 kHz より 7 MHz まで平坦   |
| 雑 音 レ ベ ル | 約 10 mV (peak to peak) |
| 立 上 り     | 0.06 μs 以下             |
| 出力インピーダンス | 約 50 Ω                 |
| 電 源 電 圧   | +24 V DC               |
| 外 形 寸 法   | 160(W)×73(H)×96(D)mm   |



図 3.2 NR-444 形 比例増幅器  
Linear amplifier.

表 3.2 比例増幅器仕様  
Specifications of linear amplifier.

|             |             |                           |
|-------------|-------------|---------------------------|
| 増<br>幅<br>部 | 入 力 極 性     | 負                         |
|             | 入力インピーダンス   | 50 Ω                      |
| 利 得         | 利 得         | 60 dB                     |
|             | 利 得 の 直 線 性 | ±1 % 以内 (10 mV……5 V において) |
| 周 波 数 特 性   | 周 波 数 特 性   | 1 kHz より 2 MHz まで直線       |
|             | 立 上 り 時 間   | 0.08 μs 以下                |
| 雑 音         | 雑 音         | 40 mV (p-p) 以下            |
|             | 出 力 電 圧     | 最大 +10 V                  |
| 出 力         | 出力インピーダンス   | 50 Ω                      |
|             | 出力インピーダンス   | 50 Ω                      |
| 波 高 弁 別 部   | 入力波高値設定     | 0～+10 V 連続可変              |
|             | 入力インピーダンス   | 50 Ω                      |
| 出 力         | 出 力 電 圧     | +10 V                     |
|             | 出力インピーダンス   | 50 Ω                      |
| 立 上 り 時 間   | 立 上 り 時 間   | 0.05 μs 以下                |
|             | 立 上 り 時 間   | 0.05 μs 以下                |
| 電 源         | 電 源         | +24 V                     |
| 外 形 寸 法     | 外 形 寸 法     | 70(W)×150(H)×300(D)mm     |



図 3.3 NR-713 形 線形計数率計  
Linear counting rate meter.

表 3.3 線形計数率計仕様  
Specifications of linear counting rate meter.

|             |                                                             |
|-------------|-------------------------------------------------------------|
| 入 力 極 性     | 任意 (標準は正)                                                   |
| 入 力 感 度     | 3 V 以上                                                      |
| 入 力 パ ル ス 幅 | 0.2 μs 以上                                                   |
| 指 示 範 囲     | 0～10, 30, 100, 300, 1 k, 3 k, 10 k, 30 k, 100 k cps フルスケール値 |
| ダブルパルス分解能   | 1 μs                                                        |
| 精 度         | ±2.5 % F.S (指示計)<br>±1.0 % F.S (記録計端子)                      |
| 時 定 数       | 1, 5, 10 s                                                  |
| 出 力         | −3 V (レベルセレクトユニット用)<br>−10 mV (記録計用)                        |
| 安 定 度       | ±1 % F.S (ライン電圧 ±10 % 変化に対し)                                |
| 電 源 電 圧     | −24 V                                                       |
| 外 形 寸 法     | 70(W)×150(H)×300(D)mm                                       |

数率を自動的に記録する場合に便利である。

### 3.5 レベルセレクト

放射線測定において計数率がある値以上になった場合、警報を発

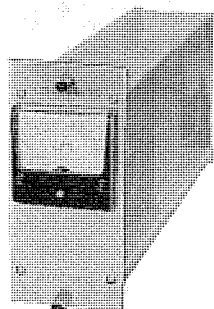


図 3.4 NR-721 形 対数計数率計  
Log counting rate meter.

表 3.4 対数計数率計仕様  
Specifications of log counting rate meter.

|             |                                                                      |
|-------------|----------------------------------------------------------------------|
| 入 力 極 性     | 任意 (標準は正)                                                            |
| 入 力 感 度     | 3 V 以上                                                               |
| 入 力 パ ル ス 幅 | 0.2 $\mu$ s 以上                                                       |
| 指 示 範 囲     | 1~10 <sup>5</sup> cps                                                |
| ダブルパルス分解能   | 1 $\mu$ s                                                            |
| 精 度         | 5けたの対数目盛で $\pm 0.3$ dec (指示計で)<br>5けたの対数目盛で $\pm 0.2$ dec (記録計出力端子で) |
| 確 率 誤 差     | 各デカードで統計変動による確率誤差 15%以下                                              |
| 出 力         | -3 V (レベルセレクトユニット用)<br>-10 mV (記録計数用)                                |
| 安 定 度       | $\pm 1\%$ (ライン電圧 $\pm 10\%$ 変化に対し)                                   |
| 電 源 電 圧     | $\pm 24$ V                                                           |
| 外 形 寸 法     | 70(W) $\times$ 150(H) $\times$ 300(D) mm                             |

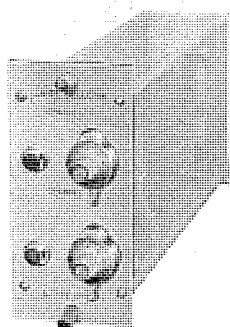


図 3.5 NR-735 形 レベルセクタ  
Level selector.

表 3.5 レベルセクタ仕様  
Specifications of level selector.

|         |                                                                            |
|---------|----------------------------------------------------------------------------|
| 入 力     | 0~3 V 10 T ポテンショメータで設定値可変                                                  |
| ヒステリシス  | $\pm 2\%$ F.S                                                              |
| 直 線 性   | $\pm 2\%$ F.S                                                              |
| 安 定 度   | $\pm 1\%$ F.S (ライン電圧 $\pm 10\%$ 変化に対して)                                    |
| 出 力     | 接点 3a, b (各 Channel ごとに)<br>接点容量 AC 115 V 3 A (抵抗負荷)<br>DC 30 V 3 A (抵抗負荷) |
| 入 力 数   | 1 Channel (NR-731)<br>2 Channel (NR-735)                                   |
| 電 源     | +24, -24, AC 18 V                                                          |
| 外 形 寸 法 | 70(W) $\times$ 150(H) $\times$ 300(D) mm                                   |

したり、また工業的制御系に応用した場合には制御の ON-OFF 信号を発する必要がある。レベルセクタはこのようなときに使用され、線形計数率計、対数計数率計などの出力を受けて警報信号を出す。警報設定値は 10 回転、ヘリカルポテンシオメータにより任意に変えることができる。NR-731 形は 1 チャンネル形 (1 入力信号) であるので、

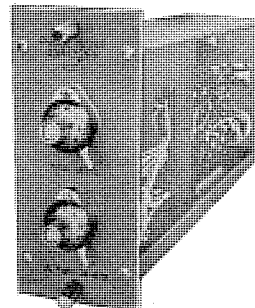


図 3.6 NR-623 形 シングルチャンネル 波高分析器  
Single channel pulse height analyzer.

表 3.6 シングルチャンネル 波高分析器仕様 (NR-623 形)  
Specifications of single channel pulse height analyzer  
(type NR-623).

|          |                                          |
|----------|------------------------------------------|
| 入 力 信 号  | 0~6                                      |
| 分 析 範 囲  | 0.1~6 V                                  |
| チャネル幅    | 0~6 V                                    |
| 分 析 精 度  | $\pm 2\%$ 以下                             |
| 分 解 能    | 5 $\mu$ s 以下                             |
| ベースレベル走査 | 手 動                                      |
| 出 力      | 5 V (正, 負)                               |
| パ ル ス 幅  | 0.5 $\mu$ s 以上                           |
| 電 源      | $\pm 18$ $\pm 12$ $\pm 6$ V              |
| 外 形 寸 法  | 70(W) $\times$ 150(H) $\times$ 300(D) mm |

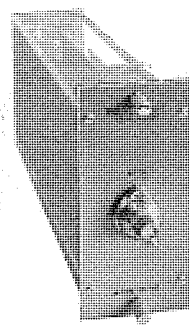


図 3.7 NR-622 形 シングルチャンネル 波高分析器  
Single channel pulse height analyzer.

表 3.7 シングルチャンネル 波高分析器仕様 (NR-622 形)  
Specification of single channel pulse height analyzer  
(type NR-622).

|          |                                          |
|----------|------------------------------------------|
| 入 力 信 号  | 0~6                                      |
| 分 析 範 囲  | 0.1~6 V                                  |
| チャネル幅    | 0~6 V                                    |
| 分 析 精 度  | $\pm 2\%$ 以下                             |
| 分 解 能    | 5 $\mu$ s 以下                             |
| ベースレベル走査 | ベースレベルスキャナ NR-610 使用                     |
| 出 力      | 5 V (正, 負)                               |
| パ ル ス 幅  | 0.5 $\mu$ s 以上                           |
| 電 源      | $\pm 18$ $\pm 12$ $\pm 6$ V              |
| 外 形 寸 法  | 70(W) $\times$ 150(H) $\times$ 300(D) mm |

上限または下限設定のみのときに使用し NR-735 形は2チャンネル形(2入力信号)であるので上・下限設定用として使用できる。本器は直流基準電源部、比較回路およびリレー回路より構成されており、リレー回路には多少のヒステリシス特性をもたせて ON-OFF 動作の安定性をもたせてある。

また、本器は放射線測定以外の DC 電圧出力の機器に付属させて使用することもできる。

### 3.6 シングルチャンネル波高分析器

比例計数管、シンチレーション検出管などを放射線検出器に使用すると、放射線のエネルギーに比例したパルス波高の信号が得られる。波高分析器はこのエネルギー分布を調べるために使用される。

### 3.7 ベースレベルスキャナ

ベースレベルスキャナはシングルチャンネル波高分析器 NR-623 形と組み合わせて使用するもので、ベースレベルを一定速度で自動走査する。



図 3.8 NR-610 形 ベースレベルスキャナ  
Base level scanner.

表 3.8 ベースレベルスキャナ仕様  
Specifications of base level scanner.

|        |                           |
|--------|---------------------------|
| スキャン速度 | 10, 20, 40 min<br>手動操作も可能 |
| 外形寸法   | 140(W)×150(H)×250(D)mm    |



図 3.9 計数器 Counter.

表 3.9 計数器仕様  
Specifications of counter.

|         |                        |
|---------|------------------------|
| 表 示     | 6 けたネオン管表示             |
| 計 数 速 度 | 0~3 MHz                |
| 入 力 感 度 | 100 mVp-p 以上           |
| 入 力 極 性 | 正                      |
| 外部出力電源  | ±12 V 可変幅 ±3 V         |
| 波 高 弁 別 | 0~5 V                  |
| 外 形     | 150(W)×300(D)×300(H)mm |

### 3.8 計数器

最近、デジタル表示計測器のめざましい進歩により、トランジスタ化、または IC (集積回路) 化されたカウンタの類が市場をにぎわしている。この放射線計測器はこれらカウンタと同様の回路構成であるが、放



図 3.10 NR-011 形 安定化直流低圧電源  
Stabilized low voltage power supply.

表 3.10 安定化直流低圧電源仕様  
Specifications of stabilized low voltage power supply.

NR-011 形

|         |                             |
|---------|-----------------------------|
| 出 力 電 圧 | ±24 V                       |
| 出 力 電 流 | 200 mA                      |
| 出力電圧安定度 | ±1 % (電源電圧 100±10 V 変化に対して) |
| リ ッ プ ル | 3 mVp-p 以下                  |
| 電 源     | AC 100 V 50/60 Hz           |
| 外 形 寸 法 | 140(W)×150(H)×300(D)mm      |



図 3.11 ND-1535 形 安定化直流高圧電源  
Stabilized high voltage power supply.

表 3.11 安定化直流高圧電源仕様  
Specifications of stabilized high voltage power supply.

(1) ND-1525 形

|         |                                |
|---------|--------------------------------|
| 出 力 電 圧 | +700~1,500 V                   |
| 出 力 電 流 | 1 mA                           |
| 出力電圧精度  | ±1 %                           |
| 出力電圧安定度 | ±0.02 % (電源電圧 100±10 V 変化に対して) |
| 長時間ドリフト | 1,000 V 1 mA にて ±0.1 %/8h      |
| リ ッ プ ル | 1,000 V 1 mA にて 50 mVp-p 以下    |
| 電 源     | AC 100 V 50/60 Hz              |
| 外 形 寸 法 | 210(W)×150(H)×300(D)mm         |

(2) ND-1535 形

|         |                            |
|---------|----------------------------|
| 出 力 電 圧 | +2,000~4,000 V             |
| 出 力 電 流 | 100 μA                     |
| 出力電圧精度  | ±2.5 %                     |
| 出力電圧安定度 | ライン電圧 ±10 % の変化に対し ±1 % 以下 |
| リ ッ プ ル | 0.2 V (p-p) 以下             |
| 電 源     | AC 100 V 50/60 Hz          |
| 外 形 寸 法 | 210(W)×150(H)×300(D)mm     |

射線計測の特長をよく吟味し、各部にその仕様を盛りこみ、またいっそうの信頼度と高い分解能、小形化を実現するため IC 化している。この放射線計数器と一般カウンタの相違点は下記ようになる。

- (a) 波高弁別器を内蔵している。
- (b) 表示はネオン管数字表示式で計数動作が明確にわかり不連続にはいる入力パルス信号の計数には特に威力を発揮する。
- (c) 放射線測定における、統計誤差の考察として本器の時間設定は1秒～5時間、5レンジ切換連続可変設定できる。
- (d) 前置増幅器用の電源を内蔵している。

### 3.9 安定化直流低圧電源

各ユニット機器を駆動するための電源で、必要に応じて各種の電圧が得られるように分圧回路を内蔵している。

### 3.10 安定化直流高圧電源

放射線検出器に供給するための高圧電源である。ND-1525 形はシンチレーション検出器等のように高安定度の要求される検出器に使用される。また ND-1535 形は BF<sub>3</sub> 計数管等比例計数管に使用される。

## 4. 組み合わせ機器

上記説明した種々の単体機器を組み合わせ、各種の放射線測定装置が構成される。その若干の構成例を次に示す。

### 4.1 GM カウンタ

GM 計数管は、 $\beta$  線および  $\gamma$  線の計数を行なうのに広く利用され

ている。GM 計数管のさしかえにより  $\beta$  線用、 $\gamma$  線用の計数を行なうことができる。このカウンタの構成を次に示す。

|           |           |     |
|-----------|-----------|-----|
| GM 検出器    | ND-1125 形 | 1 台 |
| 計数器       | ND-1355 形 | 1 台 |
| 安定化直流高圧電源 | ND-1525 形 | 1 台 |
| ユニットケース   | ND-2315 形 | 1 台 |
| 接続ケーブル    | 一式        | 1 式 |

### 4.2 シンチレーション カウンタ

シンチレーションカウンタはシンチレーション検出器のシンチレータを換えることにより、 $\alpha$  線、 $\beta$  線および  $\gamma$  線の測定ができる。 $\gamma$  線や  $\alpha$  線、 $\beta$  線などのエネルギーに比例した波高値が得られるので放射線のエネルギーを区別して検出することができ、特に  $\gamma$  線に対して感度がよくエネルギー分析が容易である。また熱中性子線、速中性子線に対しても専用のシンチレータを用いることにより、測定ができる。構成を次に示す。

|              |           |     |
|--------------|-----------|-----|
| シンチレーション 検出器 | ND-1156 形 | 1 台 |
| 比例増幅器        | NR-444 形  | 1 台 |
| 計数器          | ND-1355 形 | 1 台 |
| 安定化直流高圧電源    | ND-1525 形 | 1 台 |
| 安定化直流低圧電源    | NR-011 形  | 1 台 |
| ユニットケース      | ND-2330 形 | 1 台 |
| 接続ケーブル       |           | 1 式 |

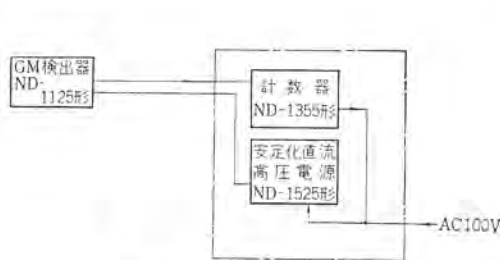


図 4.1 GM カウンタ 構成  
GM counter block diagram.

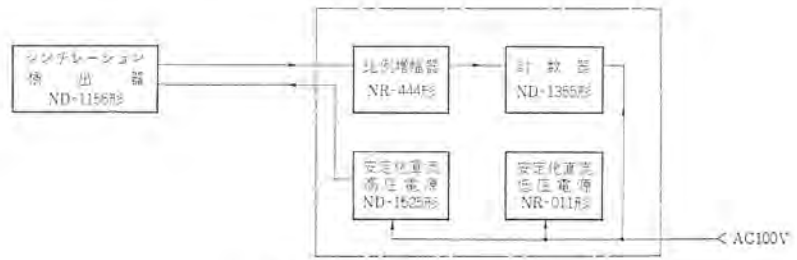


図 4.2 シンチレーションカウンタ 構成  
Scintillation counter block diagram.

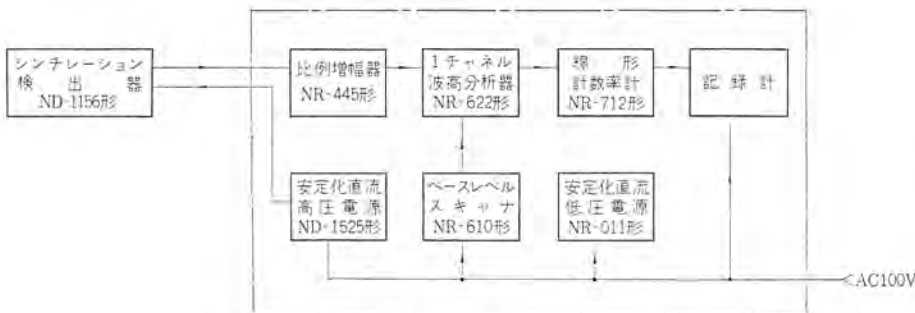


図 4.3 シングルチャネルスペクトロメータ 構成  
Single channel spectrometer block diagram.



図 4.4 はん用放射線測定装置  
Universal radiation measuring device.

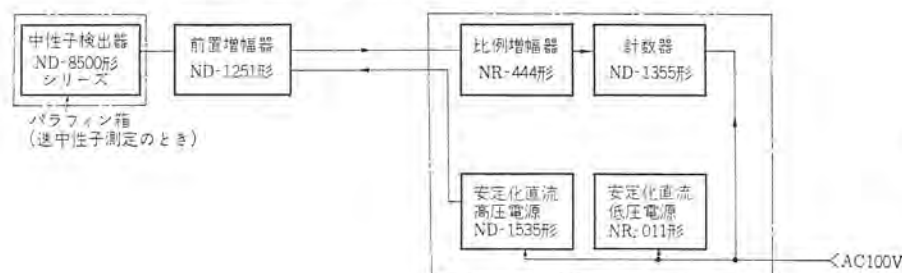


図 4.5 中性子 カウンタ 構成  
Neutron counter block diagram.

### 4.3 シングルチャンネル波高分析器

放射性同位元素から放射される放射線は、同位元素に特有なエネルギースペクトルをもっている。それゆえにこのエネルギースペクトルを知ることにより、放射性同位元素の種類や原子核崩壊の性質を知ることができる。この装置は放射線のエネルギースペクトルを自動的に記録計に記録するシングルチャンネルスペクトロメータである。構成を次に示す。

|                 |           |     |
|-----------------|-----------|-----|
| シンチレーション 検出器    | ND-1156 形 |     |
| 比例増幅路           | NR- 445 形 |     |
| シングルチャンネル 波高分析器 | NR- 622 形 |     |
| ベースレベルスキャナ      | NR- 610 形 | 1 台 |
| 線形計数率計          | NR- 712 形 | 1 台 |
| 安定化直流高圧電源       | ND-1525 形 | 1 台 |
| 安定化直流低圧電源       | NR- 011 形 | 1 台 |
| 記録計             |           | 1 台 |
| ラック             | ND-2410 形 | 1 台 |
| 接続ケーブル          |           | 1 式 |

この他に自動でベースレベルを調整する波高分析器もある。

### 4.4 中性子カウンタ

原子炉や粒子加速器などが多く使用されるようになり、中性子を効率よく測定することが必要になり、また原子炉材料やその他の材料の研究などにも中性子を検出測定する機会が非常に多い。この装

置は熱中性子に対してもっとも感度がよく広く応用されているBF<sub>3</sub>計数管を用いている。このBF<sub>3</sub>管は温度特性、劣化などの特性が特にすぐれているので正確な測定ができる。

速中性を計測する場合にはBF<sub>3</sub>計数管は直接イオン化作用をもっていないので、減速効果の大きいパラフィン箱をかぶせて一度熱中性子に変換して計測する。

構成を次に示す。

|                     |              |     |
|---------------------|--------------|-----|
| BF <sub>3</sub> 計数管 | ND-8500 シリーズ | 1 本 |
| パラフィン 箱             |              | 1 台 |
| 前置増幅器               | ND-1251 形    | 1 台 |
| 比例増幅器               | NR- 444 形    | 1 台 |
| 計数器                 | ND-1355 形    | 1 台 |
| 安定化直流高圧電源           | ND-1535 形    | 1 台 |
| 安定化直流低圧電源           | NR- 011 形    | 1 台 |
| ユニットケース             | ND-2330 形    | 1 台 |
| 接続 ケーブル             |              | 1 式 |

### 4.5 その他の組み合わせ

上記に説明した装置は一例であって、この他に種々の組み合わせを行なうことができる。測定対象、測定チャンネル数などにより、それぞれ最適の系を設計し製作している。

## 放射線応用計測器

岩井 優\*・吉島 宇一\*

## Applied Radiation Instruments

Kobe Works Masaru IWAI・Uichi KICHISHIMA

The number of applied radiation instruments put into practical use in this country is gradually increasing. As of the year 1968 organizations using radiation were more than 1,500 in number. Every year more than 100 is increasing in number. It is learnt that their economical values are justified in Europe and America, and the installations are becoming prevalent. Features in making the use of radiation are covered by the following. (a) Measurements are feasible without touching by the use of the radiation. (b) Measurements are also practicable by penetration, and (c) the devices can be combined with automatic control circuits. More diffusion of the instruments is well promised.

As examples herein are given description of Gamma relays, nuclear moisture gauges and heavy oil calorimeters.

## 1. ま え が き

従来、放射線を利用した計測器は、放射線というものが何か取り扱にくいものという先入観のためその経済的効果が大きいにもかかわらず、実際の利用価値を認められない面があった。最近わが国においてその利用価値が認められてきたが、まだやっと普及しはじめたという段階であって今後さらに広く利用されることによって、よりいっそう人類の発展に役立せることができる。

昭和43年現在、わが国の放射線使用事業所は1,500箇所以上の多くを数え、毎年100以上の事業所が増加し、原子力発電の実用化とともに、その利用価値がようやく認められてきた。欧米においてはわが国にくらべよく普及しており、その経済的節約額は非常に大きい。放射線を利用したばあひの特長として次の点があげられる。

- (1) 被測定物に非接触の測定ができる。
- (2) 温度、湿度に影響されにくい。
- (3) 透過力が強いので液面計のように外部より測定ができる。
- (4) 放射線源は小形であるので移動が容易であり、特殊な付随装置を必要としない。

- (5) 放射線検出部は容易に自動回路と組み合わせ使用できる。

以上のような利点を持っているので、自動制御系統の一部として計測部門に利用し、経済的効果を上げることができる。ここでは2～3の例について説明する。

## 2. ガンマリレー

ゲージングとして最も広く使用されているのがレベル計である。

ここに記すガンマリレーはON-OFF式のレベル検知器である。

## 2.1 動作原理

γ線が物質を透過すると物質中でγ線の吸収が起こり、物質の厚みが増すほど透過するγ線は弱くなる。その関係は近似的に次の式(2.1)で表わされる。

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (2.1)$$

ここで  $I$  : 透過γ線強度

$I_0$  : 吸収物質がないときのγ線強度

$\mu$  : 線吸収係数

$x$  : 物質の厚み

したがって透過物質がないときと、あるときのγ線強度の差を $\Delta I$ とすると式(2.2)で示される。

$$\Delta I = I_0 (1 - e^{-\mu x}) \quad (2.2)$$

ここで  $I_0$ ,  $\mu$  は一定であるから物質の厚み  $x$  がある程度以上大きければ物質の有無を判別できることがわかる。

一方、γ線源強度は統計的に変動しており、計数率計回路により測定した場合、その出力の標準偏差は式(2.3)で与えられる。

$$\frac{\sigma}{V} = \frac{1}{\sqrt{2nr}} \quad (2.3)$$

ここに  $\sigma$  : 計数率計回路出力標準偏差

$V$  : 計数率回路出力

$n$  : 単位時間当たりのパルス数

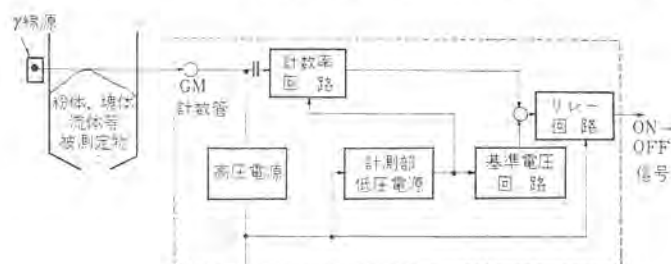
$r$  : 計数率回路時定数

したがって計数率回路出力は式(2.3)の標準偏差で変動しているため、式(2.2)で示される $\Delta I$ はある程度以上大きい必要がある。すなわち、判別可能な最小物質厚さがある。設計に際しては $\pm 3\sigma$ の変動を見込みさらに余裕をみて判別可能な最小厚さを決めている。

## 2.2 構成

ガンマリレーの構成ブロックは図2.1に示す。

γ線源から放射されるγ線は、検出器に達するまでに物質中を通過する。このγ線をガイガー・ミュラー検出器(GM検出器)で放射線強度に比例した電気的なパルス信号数として検出する。このパルス信号を計数率回路によりγ線強度に比例した直流電圧に変換し、この電



AC100/200V 50/60Hz

図 2.1 ガンマリレーブロック図  
Gamma relay block diagram.



図 2.2 ガンマリレー ND-5411 形  
Gamma relay type ND-5411.



図 2.3 ガンマリレー ND-5415 形  
Gamma relay type ND-5415.



図 2.4 検出器 (ガンマリレー ND-5410/15 用)  
Detetcor assembly.

圧と基準電圧と比較してリレー回路を ON-OFF する。基準電圧を変えることにより任意にリレーの ON-OFF 点を選ぶことができるようになっている。

### 2.3 特長

- (1)  $\gamma$  線を用いているため、高温・高湿・水蒸気・ほこりなどの多い条件の悪いところでも使用できる。
- (2) 非接触で測定することができ、動く部分がないので高い信頼性をもっている。
- (3) 粉体・塊体・液体などいかなる物質にも使用できる。
- (4) 外部から測定することができるので、測定物による腐食、損傷の心配がない。
- (5) 応答速度が速いので、レベル変化の速いタンクやベルトコンベア上の物品の検出に使用できる。
- (6) 測定対象の条件（たとえば、壁厚が薄いとき、あるいは線源と検出器間の距離が短いとき）によって 100 マイクロキュリー以下の  $\gamma$  線源が使用できるので、法律上の届出、許可申請などの手続きがまったく不要となる。
- (7) 雑音などによって誤動作しないよう安全に考慮を払い、常に安全側に動作するようになっている。

表 2.1 ガンマリレー仕様表  
Specification of gamma relay.

|         | ND 5410                                                                 | ND 5415                    | ND 5411                |
|---------|-------------------------------------------------------------------------|----------------------------|------------------------|
| 方 式     | ON OFF 接点出力式                                                            |                            |                        |
| 時 定 数   | 2 秒以上                                                                   |                            |                        |
| 接 点 容 量 | 1 チャンネルにつき 1 a, b 220 V AC 1 A (抵抗負荷)                                   |                            |                        |
| 周 囲 温 度 | -10°C ~ +50°C                                                           |                            |                        |
| 検 出 管   | ハロゲン GM 計数管                                                             |                            |                        |
| 放 射 線 源 | $^{60}\text{Co}$ , $^{137}\text{Cs}$ 等, 100 $\mu\text{Ci}$ 以上, 用途により異なる |                            |                        |
| 電 源     | AC 220 V 60 Hz                                                          |                            | AC100/200 V<br>50/60Hz |
| 備 考     | 一点検出用<br>検出器別付                                                          | 二点検出用<br>検出器別付<br>検出器 2 台付 | 一点検出用<br>検出器内付<br>現地据付 |

(8) 構造が簡単で、保守・点検が容易。

### 2.4 用途

$\gamma$  線は物質中を透過する能力があるため、ほとんどすべての物質の有無の検出に使用することができるが、特に粉体、粒体等の固体レベル、ガラス、鉄鋼工業等における溶融液面、腐食性液体面など従来測定困難であった分野においてのレベル検出器として利用されており、今後さらに広く使用されるであろう。

レベル検出器以外では、ベルトコンベアで運搬される物質の有無を検出する装置、コンベアで運搬された物質の個数計数や粉体、塊体等の輸送パルプ中での詰まり検出などいろいろ使い方が実施されている。すなわち、応用工業分野は鉄鋼業、窯業、鋳業、石油化学、パイプ、製糖、プラスチック、その他あらゆる工業にわたっている。原理的にはきわめて簡単なものであり、従来の各種の方法で困難であった分野において積極的に放射線の応用を検討してみることは無意味ではないであろう。

### 2.5 セメント工業への応用例

ここに粉体、塊体レベル測定の必要なセメント工場での実用例を述べる。仕上ミルによって粉碎されたセメントは空気輸送機に役入される。空気輸送機の圧力タンクに入れられ、セメントが一定量になると圧力を加えて空気輸送によりセメントサイロに送り貯蔵される。この圧力タンクのセメントレベル検出に利用されている。タンク径が大きいタンク全体を透過させることは不経済であり、放射線防壁上不利でもあるので線源をタンク内にそう入し、 $^{60}\text{Co}$ , 100  $\mu\text{Ci}$  の放射線源を使用できるようにした。タンクの容量とセメント生産量の関係より速応性が要求され、2 秒以下の性能が確保された。

ここに使用した密封 100  $\mu\text{Ci}$  の線源は、使用に際して法的な手続きおよび放射線取扱主任者の有資格者が不要であるため広く利用されている。なお、本方式は韓国双竜セメント(株)向けに 10 数チャンネル輸出されている。塊状物のレベル検出の例としてクリンカホッパーのレベル検出がある。ホッパーのオーバフローによるコンベア事故を防ぐためのもので容量が小さいため速応性が要求された。粉体の場合と異なり、ホッパー内へ放射線源をそう入することができないためサイドポケットを設け最小線量で検出できるようにした。

## 3. 中性子水分計

### 3.1 概要

中性子水分計は水素の中性子に対する減速作用が非常に大きいことを利用して、物質中の水分量を測定する装置である。この装置は水分を間接に、また迅速に測定できるので今後さらに普及するものと考えられる。

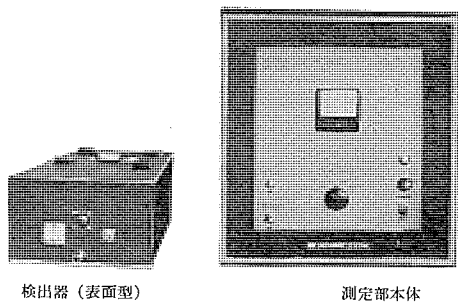


図 3.1 中性子水分計  
Neutron moisture gauge

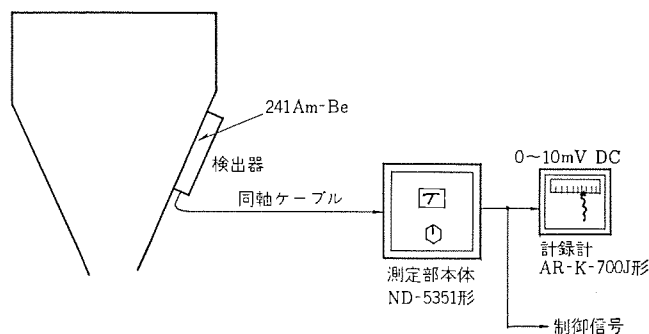


図 3.2 表面形水分計構成図  
Construction block diagram of neutron moisture gauge.

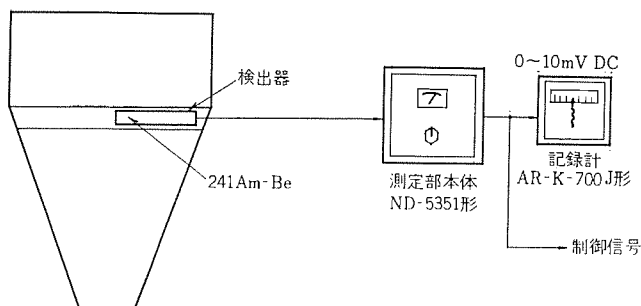


図 3.3 そう入形水分計構成図  
Construction block diagram of neutron moisture gauge.

### 3.2 原理

水分計の原理としては、すでによく知られているように Mev (ミリオン電子ボルト) 程度のエネルギーをもつ中性子を線源として使用する。この中性子は、水中の水素原子核との衝突過程によってエネルギーを失い、数 ev (電子ボルト) の熱中性子と呼ばれる状態になると、熱中性子用検出器  $\text{BF}_3$  計数管によって検出される。この衝突の過程では、水中の酸素原子はあまり衝突減速の効果をあらわさない。また、これを他の原子と比較するため「減速能」という量で示すと、減速量は

$$H=38 \quad C=0.77 \quad O=0.50 \quad Si=0.12 \quad Ca=0.44$$

というような値となっており、Hが他のものの100倍近くになっていることが知られる。このことから水素原子の量と  $\text{BF}_3$  検出管の出力はほぼ正比例の関係を保つことができる。

### 3.3 特長

(1) 三菱中性子水分計は高性能を誇る三菱  $\text{BF}_3$  計数管 (中性子検出器) と、輸出実績を持つ中性子回析装置のトランジスタ回路より構成されているので非常にすぐれた性能を有している。

(2) 中性子水分計の中性子線源には  $^{241}\text{Am-Be}$  を使用しているので、人体にとくに有害な  $\gamma$  線の漏えいがほとんどなく、安心して使用できる。

(3) さらに中性子線源の着脱がきわめて容易に行なえ、完全に

表 3.1 三菱中性子水分計標準仕様  
Specification of nuclear moisture gauge.

| 形 名         | 表面形中性子水分計 ND-5351                                 | そう入形中性子水分計 ND-5354                                |
|-------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| 測 定 対 象     | 鉱石、焼結原料、粉コークス、塊コークス、鋳物砂、土壌、コンクリート等に含まれる水分         | 鉱石、焼結原料、粉コークス、塊コークス、鋳物砂、土壌、コンクリート等に含まれる水分         |
| 最 大 測 定 範 囲 | 0%~25% $\text{H}_2\text{O}$<br>(水分値は DRY BASE 表示) | 0%~25% $\text{H}_2\text{O}$<br>(水分値は DRY BASE 表示) |
| 精 度         | $\pm 0.5\%$ $\text{H}_2\text{O}$ 以下               | $\pm 0.5\%$ $\text{H}_2\text{O}$ 以下               |
| 時 定 数       | 30/60 秒切換                                         | 30/60 秒切換                                         |
| 検 出 器       | ブローブ                                              | 表面取付形                                             |
|             | 検出管                                               | 三菱 $\text{BF}_3$ 計数管 ND-8534-90                   |
|             | 周囲温度                                              | 0°C~40°C 40°C 以上は水冷式                              |
|             | プリアンプ                                             | 全シリコントランジスタ式内蔵                                    |
| 中 性 子 線 源   | 塗 装 色                                             | N7 (灰色)                                           |
|             | 種 類                                               | $^{241}\text{Am-Be}$                              |
|             | 強 度                                               | 100, 300, 500 mC                                  |
|             | 半 減 期                                             | 460 年                                             |
| 測 定 部 本 体   | 出 力                                               | 0~10 mV DC フローティング                                |
|             | 周囲温度                                              | 0°C~+40°C                                         |
|             | 塗 装 色                                             | N 1.5 (黒色) つや消し                                   |
|             | 密度補正                                              | なし (付)                                            |
| 電 源         | 側壁板厚補正                                            | 付                                                 |
|             |                                                   | なし                                                |
| A V R       | 付                                                 | 付                                                 |
| 記 録 計       | ER 1-10 形 1 点ペン書 (YEW)                            | ER 1-10 形 1 点ペン書 (YEW)                            |
| 用 途         | 水分自動補正、しょう量自動補正用他                                 | 水分自動補正、しょう量自動補正用他                                 |

シールドできるので放射線に対してまったく完全である。

(4) 従来の水分測定方式に比べてサンプリングの必要がまったくなく ON-line にて使用でき、また自動制御用の検出器として使用できる。

(5) 測定対象の有効体積が大きいので、測定値の代表性が良好である。

### 3.4 装置の説明

三菱中性子水分計には次の2種類がある。

表面形 ND-5351 形

そう入形 ND-5354 形

表面形はホッパの側壁やベルトコンベア上に取り付けるばあいに使用し、そう入形は被測定物の中にそう入することができるばあいに使用する。それぞれの構成を図 3.2 および図 3.3 に示す。

標準仕様を表 3.1 に示す。また表面形検出器と測定部本体を図 3.1 に、検出部をホッパ壁に設置した所を図 3.4 に示す。

次に使用の一例をあげると  $\text{BF}_3$  計数管からのパルスを時間当たり

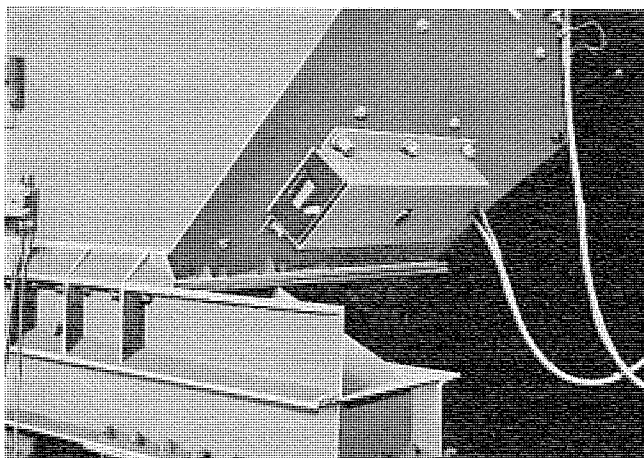


図 3.4 ホッパ側壁に取り付けた表面形中性子水分計検出部  
Detector of surface type neutron moisture gauge installed to a hopper.

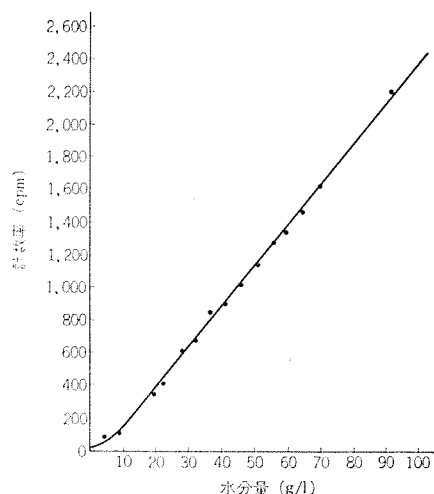


図 3.5 水分量とレートメータの出力との関係  
Relation of cpm with moisture.

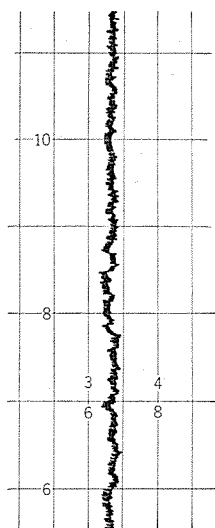


図 3.6 水分測定記録計  
Example of moisture measuring recorder chart.

の計数、すなわち計数率に変換するレートメータの出力と水分量との関係を図 3.5 に示す。図 3.6 に示す記録は塊コークスの水分をホッパで測定したばあい、ホッパ中にコークスがないときは水分 0 % を指示し、コークスがそう入されると測定されている状態がよく観察される。このように中性子水分計は応答が早く精度が高いので、工業用として各方面に利用されている。とくに製鉄工業においては、高炉コークス用、焼結配合原料用、ペレット用などの利用がさかんである。

#### 4. 重油カロリーメータ ND-5360, ND-5363 形

##### 4.1 概要

中性子の減速現象を利用して、重油中の水素分を定量することにより間接的に重油の発熱量を求める装置である。

放射性同位元素 Am-Be から発生する中性子は、重油中の水素原子核との衝突によって減速され熱中性子となる。この熱中性子数を BF<sub>3</sub> 計数管で測定することにより、単位体積当たりの水素量ひいては発熱量が推定できる。単位重量当たりの発熱量を求めるには密度の測定を行ない、計数値を補正する必要がある。

連続自動測定を行なう場合には送油管などの一部に計測孔をうがち、線源と検出器を設置する。装置本体は送油管などより遠く離れた検査室などにおかれ、遠隔操作される。測定者は本体の測定開始スイッチを押すだけで連続自動測定がなされ、中性子計数値は単位時間ごとに自動印字される。(連続自動式 ND-5363 形) また、試料容器を設ければ採取した試料重油を検査室などにおいて測定することができる。この場合も操作は連続式の場合とまったく同様である。(くみ込み式 ND-5360 形)

##### 4.2 特長

- (1) 測定操作がきわめて簡単で個人差がない。
- (2) JIS に規定されているポンプ法に匹敵する精度をもっている。
- (3) 計数管、測定回路は長時間にわたり、きわめて安定である。
- (4) Am-Be 中性子源を用いているので、放射線障害の面からみても安全である。

##### 4.3 構成

- |           |                         |     |
|-----------|-------------------------|-----|
| (1) 検出部   | 線源 Am-Be 10~100 mCi     | 1 個 |
|           | 検出器 BF <sub>3</sub> 計数管 |     |
|           | ND-8534-60 形            | 1 本 |
|           | 計測孔 (連続自動式) または         |     |
|           | 試料容器 (くみ込み式)            | 1 個 |
| (2) 前置増幅器 | ND-1251 形               | 1 台 |
| (3) 比例増幅器 | NR-444 形                | 1 台 |
| (4) 高圧電源  | ND-1535 形               | 1 台 |
| (5) 低圧電源  |                         | 1 台 |
| (6) 計数装置  | ND-1355 形               | 1 台 |
| (7) 印字装置  |                         | 1 台 |
| (8) ケース   |                         | 1 台 |
| (9) ケーブル  |                         | 1 式 |

## 放射線監視装置

岩井 優\*・吉島 宇一\*・仲森 詔貢\*・吉田 和夫\*

## Radiation Monitoring System

Kobe Works Masaru IWAI・Uichi KICHISHIMA

Satotsugu NAKAMORI・Kazuo YOSHIDA

The radiation monitoring system is installed widely in such premises as nuclear power stations, nuclear power research laboratories, radioactive materials handling arrangements, radiation generating facilities and colleges and laboratories where radiation is put into use. The objective of the system is to safeguard personnel against the hazard of radiation. In nuclear reactors it is employed to detect abnormality in the plant.

Herein is elucidated outdoor radiation monitors treated as a principal subject as well as monitors used for nuclear reactor plant and also those used for general purposes.

## 1. ま え が き

わが国において原子力発電の実用化がここ1～2年のうちに急激に進められ、また放射線の使用および利用の普及とともに、特に大形の施設が設置されるようになった。したがって人体の安全を守るため、放射線障害を防止することが特に重要視される。また原子炉などではプラントの異常を早期に発見することも必要である。この目的から放射線監視装置（放射線モニター）が各施設において使用されているが、監視の目的に応じて種々のモニターが必要とされる。ここではこれらモニターを屋外放射線監視装置、原子炉用放射線監視装置、

一般放射線監視装置に大別し説明する。

最近納入したモニターの実績例を表1.1に示す。

## 2. 屋外放射線監視装置

## 2.1 概 要

近年わが国の各電力会社において原子力発電所の建設がさかんになってきたが、まだ原子炉運転用測定器類は輸入されているのが実状である。ただ原子力プラント施設の敷地内および敷地外での放射線強度を測定監視するための「屋外放射線監視装置」(Radiation Field Monitoring System 一般に Off Site Monitor という)は外国において簡単なものしかなく、わが国の現状に適した連続測定のもは国産品を使用している。

わが国のように人口密度の高い所で原子力プラントを建設しようとすればどうしても近くに人家が存在することになり、一般住民への安全を確認していくためには是非必要な装置である。

したがって屋外放射線監視装置は原子力プラントのみならず大量の放射線を扱う施設においても使用される。測定対象はエリアの $\gamma$ 線、 $\beta$ 線、大気中の $\alpha$ 、 $\beta(\gamma)$ 線などがおもなものである。この中でもエリアの $\gamma$ 線を測定する $\gamma$ 線エリアモニターが一番多く用いられ、プラント1箇所につき4～8点の検出点が設置される。この検出部を一般にモニターリングポスト(Monitoring Post)と呼んでいる。本装置ではモニターリングポスト内で、GM計数管を用いて $\gamma$ 線を検出し線量率信号および線量信号に変換している。

モニターリングポストは中央監視室から遠く離れた点に設置されるため信号伝送方式として線量率は直流電流伝送方式を、線量信号は衡流信号伝送方式を採用して外来雑音の影響を少なくしている。

また、線量計は100カウントに1パルス衡流信号を発生し、その信号で中央監視室側のメカカルレジスタを駆動することにより積算線量が表示できる特色をもっている。回路動作のチェックは、現地で切換スイッチによって、また中央監視室からチェックボタンを押すことによってできるようになっている。

## 2.2 構 成

ブロック図を図2.1に示す。

モニターリングポストではGM計数管で $\gamma$ 線を検出し、電気パルスに変換する。このパルスはプリアンプを通してログカウントレイトメータにより対数直流電流に変換し伝送する。一方線量計は電気回路による10進

表 1.1 放射線モニター納入実績例  
List of radiation monitoring system delivered.

| 納入先および装置名                                             | モ ニ タ ー 機 種 名                        |    |
|-------------------------------------------------------|--------------------------------------|----|
| 東北大学(原子核研究所)<br>100 MeV リニアック用モニター                    | $\gamma$ 線エリアモニター(GM式)               | 4点 |
|                                                       | 高速および熱中性子線エリアモニター(BF <sub>3</sub> 式) | 3点 |
|                                                       | 高速中性子線エリアモニター(シンチレーション式)             | 1点 |
|                                                       | 水モニター(シンチレーション式)                     | 2点 |
|                                                       | $\gamma$ 線エリアモニター(電離箱式)              | 3点 |
| 原 研<br>低濃度放射線モニター                                     | $\gamma$ 線ガスモニター(シンチレーション式)          | 2点 |
|                                                       | 真空度モニター                              | 8点 |
| 三菱原子力工業<br>臨界実験装置用モニター                                | $\gamma$ 線エリアモニター(電離箱式)              | 4点 |
|                                                       | 高速中性子線エリアモニター(BF <sub>3</sub> 式)     | 1点 |
| 理化学研究所<br>パンデグラフ用モニター                                 | $\gamma$ 線エリアモニター(電離箱式)              | 1点 |
| 装 社<br>Co <sup>60</sup> 照射装置用モニター                     | $\gamma$ 線エリアモニター(電離箱式)              | 1点 |
|                                                       | 照射量計                                 | 1点 |
|                                                       | サーベイメータ                              | 1式 |
|                                                       | ポケットチェンバ                             | 1式 |
| 日本アイソトープ照射協同組合<br>22.4万キュリーCo <sup>60</sup> 照射装置用モニター | $\gamma$ 線エリアモニター(電離箱式)              | 2点 |
|                                                       | サーベイメータ                              | 1式 |
|                                                       | プラスチック線量計                            | 1式 |
| 大阪放射線中央研究所<br>Co <sup>60</sup> 照射装置および中性子発生装置用モニター    | $\gamma$ 線エリアモニター(電離箱式)              | 6点 |
|                                                       | 中性子線エリアモニター                          | 1点 |
| 三菱原子力工業<br>臨界実験装置用野外モニターリングシステム                       | $\gamma$ 線エリアモニター                    | 3点 |
|                                                       | GM管式<br>直流伝送方式                       |    |
| 東京電力福島原子力発電所用野外モニターリングシステム                            | $\gamma$ 線エリアモニター                    | 6管 |
|                                                       | GM管式<br>直流電流伝送方式                     |    |

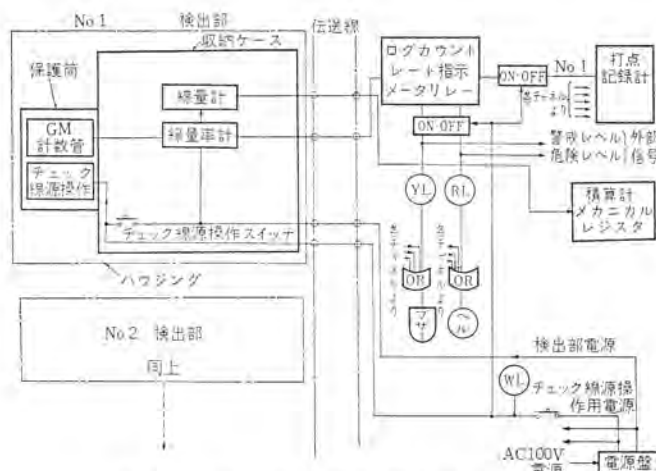


図 2.1 屋外放射線監視装置ブロック図  
Block diagram of radiation field monitoring system.

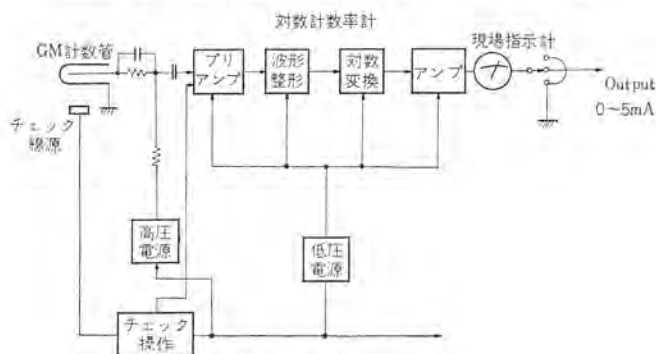


図 2.2 線量率計ブロック図  
Dose-rate meter block diagram.

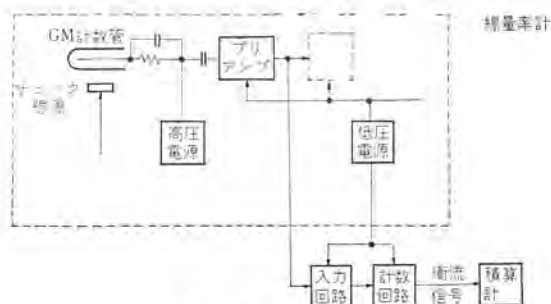


図 2.3 線量率計ブロック図  
Dosimeter block diagram.

計数回路2けたを使用し、100カウントで1パルスの衝流信号を発生し、この信号を送信する。電源は高圧部と低圧部が内蔵されている。回路チェックとして次のものを備えている。

(a)  $\text{Sr}^{90}$   $\beta$ 線源によるチェック

検出部のチェックスイッチおよび中央監視盤から遠隔操作する。

(b) 電源周波数によるチェック

検出部のチェックスイッチで行なう。

(c) 検出部主要点の電圧チェック

線量率計、線量計の前面にチェック端子があり、付属の専用テストプラグをさそう入することにより簡単にチェックできる。中央制御室における監視盤では次の機能を備えている。

(a) 線量率を指示すること。

(b) 異常線量率時の警報信号を発すること。

(c) 線量率を記録すること。(ペン書きまたは打点)

(d) 線量をメカニカルレジスタで積算すること。

(e) チェック線源のシャッターを開いてGM計数管および回路のチェックを行なうこと。

(f) 各モニターリングポストへ電源を供給すること。

## 2.3 特長

(1) 直流電流伝送方式および衝流信号伝送方式の採用により外来雑音に対し強く信頼性が高い。

(2) 伝送線による波形ひずみ(歪み)減衰などの影響が少ない。

(3) 伝送線路抵抗変化による影響がまったくない。

(4) 対数変換により測定線量率範囲が広い。

(5) チェック回路を有し、現場指示計を有しているため保守点検が容易である。

(6) チェック線源は遠隔操作が可能であるため、日常点検が容易である。

(7) 屋外ケースの使用により直射日光の影響が少ない。

(8) 集積回路使用により信頼性が高い。

## 2.4 線量率計

構成ブロック図は図2.2に示す。

大気中の放射線( $\gamma$ 線)は陰極と陽極間に高圧を供給したGM計数管を通過すると管壁等により電子をたたき出す。この電子は電離作用を有するので、管内ガスを電離し陰-陽極間に放電が生ずる。

これは電気的なパルス信号として取り出され、パルス数は放射線量に比例している。したがって単位時間あたりのパルス数を測定すれば線量率を測定することができる。GM計数管からのパルス信号はプリアンプにより増幅され、波形整形回路を駆動する。ここで一定波高値のく(矩)形波とし、対数変換回路に与えられる。本器の対数変換回路には積み重ね形対数変換回路を使用している。対数変換回路の出力を強い負帰還をかけた増幅回路で増幅し電流出力信号としている。先にも記したように、数kmの長距離伝送を行なう必要があるため増幅回路の出力インピーダンスをきわめて大きくし、すなわち、定電流出力特性をもたせ外来雑音による電流値が小さくなるようにしている。

## 仕様

|           |                                                                                                                                       |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 測定範囲      | 0.1~1,000 cps (または $1\sim10^4 \mu\text{R/h}$ )                                                                                        |
| 精度        | 4けたの対数目盛で $\pm 0.1 \text{ dec}$ 以下(伝送信号で)<br>( $\pm 2.5\%$ 直線目盛換算)<br>4けたの対数目盛で $\pm 0.2 \text{ dec}$ 以下(指示計で)<br>( $\pm 5\%$ 直線目盛換算) |
| 出力電流      | 0~5 mA DC                                                                                                                             |
| チェック機構    | 商用周波数による電子回路のチェックおよび校正 $\text{Sr}^{90}$ $\beta$ 線源をシャッター開閉により行なう                                                                      |
| 使用温度範囲    | $-15\sim+40^\circ\text{C}$                                                                                                            |
| 温度特性      | $-15\sim40^\circ\text{C}$ 間において常温時からの変化が4けたの対数目盛で $\pm 0.2 \text{ dec}$ 以下                                                            |
| 電源変動による影響 | ライン電圧 $\pm 10\%$ 変化に対し4けたの対数目盛で $\pm 0.1 \text{ dec}$ 以下                                                                              |
| 負荷抵抗      | 0~1 k $\Omega$                                                                                                                        |

## 2.5 線量計

構成ブロック図は図2.3に示す。

線量計は線量率計と併用されるため、ブロック図に示したように線量率計よりGM計数管のパルス信号および低圧電源を受ける。入力回路で計数回路に適したパルスに変える。計数回路は10進計数回路で100パルスごとに1パルスが生じ、このパルスでリードリレーを駆動し

て衡流信号を発生する。このとき線量計前面パネルのネオンランプが点灯し、信号を発したことを示す。この衡流信号によって中央監視室ではメカニカルレジスタ、またはエレクトリカルカウンタを駆動し、積算線量を表示する。

#### 仕様

|        |                                      |
|--------|--------------------------------------|
| 入力電圧   | 3 V 以上                               |
| 入力パルス幅 | 0.2 $\mu$ s 以上                       |
| 応答速度   | 15 pps (メカニカルレジスタ)<br>1 MC (電子式カウンタ) |
| 最高計数率  | 1,000 cps                            |
| 使用温度範囲 | -15°C ~ +40°C                        |

#### 2.6 設置例

##### (1) 東京電力(株)福島原子力発電所納め屋外放射線監視装置

この装置のモニターリングポストは発電所から半径約1 kmの半円上の位置の6地点に設置し、これはケーブル長にして1.5 km~3 km 離れている。ここで検出測定された線量、線量率は現場に指示するとともに発電所本館中央制御室内の中央監視盤へ伝送する。中央監視盤は検出信号を受信し、指示および記録を行ない、あらかじめ設定された低レベル、高レベルの警報値に達すると警報を発し、発電所内へ、ベル、ブザーおよび表示灯により知らせる。

モニターリングポストの高さは地上より1.4 mとし、そこに収納する

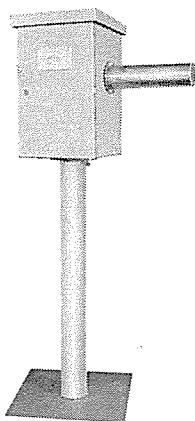


図 2.4 モニターリングポスト  
Monitoring post.

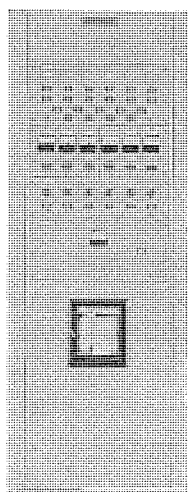


図 2.5 放射線監視盤  
(東京電力向け)  
Field radiation monitoring  
panel.

表 2.1 ケーブル新設総恒長 (ポスト~中央制御空間)  
Total cable length.

単位 m

| MP-1    | MP-2    | MP-3    | MP-4    | MP-5    | MP-6    |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 約 1,180 | 約 2,410 | 約 1,890 | 約 2,280 | 約 2,420 | 約 3 160 |

GM 計数管の取り付け向きは水平方向でしかも発電所に対し直角方向に向けられ、発電所から浮遊する放射線に対し最大感度が得られるように設置している。また、きょう(筐)体は屋外であるため防水、防湿、防じん構造とし、検出装置の機能をそこなわないように注意した。特に、きょう体内部の結露、温度上昇に注目し、多くの実験を繰り返し、夏、冬の温度、湿度差に対処する構造を考えた。また、設置場所が海岸に近いので塩害、防じんについても十分考慮した。

長距離伝送、空中ケーブルの使用により当然考えられる雷などの衝撃電圧に対処するため、本装置はアレスターを設置している。アレスター

表 2.2 東京電力向け屋外放射線監視装置仕様  
Specification of radiation field monitoring system for  
Fukushima nuclear plant.

| GM 計数管           | 検出放射線感度                     | $\gamma$ 線<br>1 $\mu$ R/h                                                                                                                     |
|------------------|-----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 対数計数率計           | 計数範囲<br>精 度                 | 0.1 cps~10 <sup>3</sup> cps<br>(1 $\mu$ R/h~10 mR/h)<br>対数目盛上で指示値に対し 0.1 dec 以下                                                               |
| 校正用線源装置          | 線 源<br>操作方法                 | Sr <sup>90</sup><br>ロータリーソレノイドによるシャッタの ON, OFF                                                                                                |
| 指 示 装 置<br>(線量率) | 形 式<br>指示範囲<br>警報設定針        | アナログ式無接点方式<br>1 $\mu$ R/h~10 <sup>4</sup> $\mu$ R/h<br>2 針 第1段 低レベル<br>第2段 高レベル                                                               |
| 指 示 装 置<br>(線量)  | 形 式<br>指示範囲                 | メカニカルレジスタ<br>6 けた                                                                                                                             |
| 警 報 装 置          | 低 レ ベ ル<br>高 レ ベ ル          | ブザー、黄色ランプ表示<br>ベル、赤色ランプ表示<br>各々設定レベルになったとき、ランプが点滅同時にブザーも鳴る、確認スイッチを操作すればランプは点滅から連続点灯になり、ブザー、ベルは停止する。<br>レベル指示が“0”指示以下の異常時はブザー警報および白色ランプ表示を行なう。 |
| 記 録 計            | 形 式<br>測定入力数<br>目 盛<br>打点間隔 | 6 打点色別式自動平衡形<br>6<br>1 $\mu$ R/h~10 mR/h (対数目盛)<br>5 秒                                                                                        |

ーはケーブルによって接続される各装置の両端に設けた。また雑音による誤動作も重要な問題である。この問題については幾多の実験により確かめられたが、万一のためのケーブル接地方法などを容易に変更できるよう設計した。本装置の設置場所、ケーブル敷設総恒長は表 2.1 に示す。以上、概要について述べた。後に参考のため仕様を抜粋し示す。

##### (2) 三菱原子力工業(株)納め臨界実験装置用屋外放射線監視装置

研究施設に設置された例として三菱原子力工業(株)大宮研究所に納入した装置がある。この研究所には原子炉特性の解析、研究に使用する臨界実験装置(MCF)と略称されているが設置されている。その危険性はきわめて小さなものであるが、市街地であり一般民

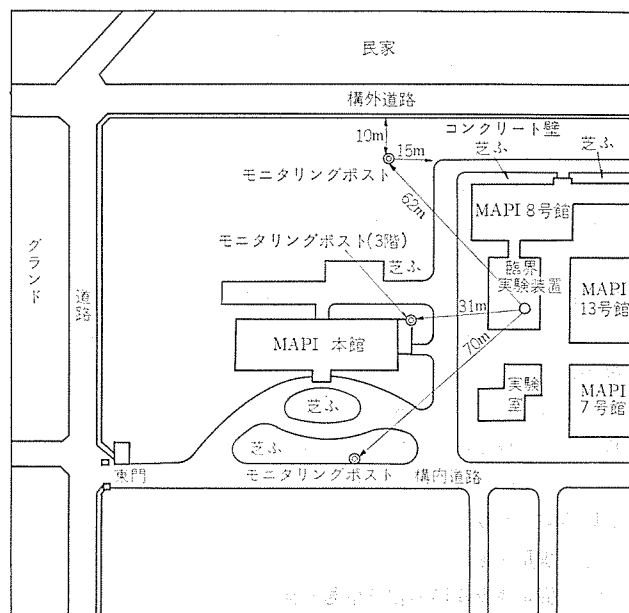


図 2.6 モニターリングポスト設置点 (三菱原子力工業)  
Locations of monitoring posts.



図 2.7 放射線監視盤 (三菱原子力工業向け)  
Field radiation monitoring panel.

家に近いため絶対に一般住民に放射線障害を及ぼすようなことがないように監視している。測定点は図 2.6 に示すように3点である。本装置はほとんど前記の東京電力(株)福島原子力発電所に納入されたものと同様である。

### 3. 原子炉用放射線監視装置

原子炉用放射線監視装置は次の三種に大別される。

- (1) 運転監視用放射線モニター
- (2) 地域監視用放射線エリアモニター
- (3) 屋外監視用放射線モニター

運転監視用放射線モニターは原子炉プラントのプラント内の各ループの放射線をモニターリングする装置であって、水モニター、ガスモニターおよびダストモニターで構成される。いずれもインラインで測定され結果は中央制御室の放射線監視盤で指示、記録および警報を行ない、警報信号などの外部信号が送出される。

各モニターの概略を表 3.1 に示す。

地域監視用放射線エリアモニターは原子炉プラント建屋内の必要な場所に設置し、この場所の空間線量率を測定しその結果を中央制御室の放射線監視盤に送り、運転監視用モニターと同様な測定を行なう。

屋外監視用放射線モニターは原子炉の敷地内外の放射線を測定するもので、これについては2章に記載されているので省略する。

## 4. 一般放射線監視装置

### 4.1 概要

原子力施設以外の放射線取扱施設についてはコバルト照射装置の普及と大形化、医療用電子加速器および一般加速器の普及、放射線取扱を行なう大学、研究所などの増加などにより、放射線モニターが盛んになってきた。

当社ではこれらの監視装置を製作し多くの実績を積んできた。表 4.1 にその監視装置の種類の一例を示す。

測定に対する必要条件是信頼性、安定性、標準化、寿命、取扱いやすさが重要であり、当社製品はこれらの点に配慮を加えている。半導体素子はすべてシリコン化したICも使用することにより信頼性の向上を計っている。図 4.1 はその一例で三菱原子力工業(株)

表 3.1 原子炉用放射線監視装置の分類および仕様  
Specification of radiation monitor for nuclear plants.

| モニターの種類                                        |                  | 測定目的                                                                                                                                | 測定方法                                                     | 測定対象    | 感度 (μc/cc)              |                        |
|------------------------------------------------|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|---------|-------------------------|------------------------|
|                                                |                  |                                                                                                                                     |                                                          |         | 最 小                     | 最 大                    |
| 1<br>運<br>転<br>監<br>視<br>用<br>モ<br>ニ<br>タ<br>ー | コンテナ内エア(ダスト)モニター | コンテナ内空気中のダストのγ線                                                                                                                     | エア(ダスト)サンプラー付シンチレーション検出器 (Pb シールド容器内)                    | 空気(ダスト) | 10 <sup>-9</sup>        | 10 <sup>-6</sup>       |
|                                                | コンテナ内ガスモニター      | コンテナ内空気中のγ線                                                                                                                         | 上記のダストサンプラーを使用し<br>て測定する。<br>シンチレーション検出器<br>(Pb シールド容器内) | 空 気     | 10 <sup>-5</sup>        | 10 <sup>-3</sup>       |
|                                                | エントツ用ガスモニター      | エントツから放出ガスとモニターする                                                                                                                   | 直接エントツで測定<br>GM 計数管 (4本)                                 | 空 気     | 10 <sup>-7</sup>        | 10 <sup>-4</sup>       |
|                                                | コンデシサガスモニター      | 一次系 (Reactor Cycle) から二次系 (タピンサイクル系) へのリークをモニターする                                                                                   | ガスサンプラー<br>(Pb シールド容器付)<br>シンチレーション検出器                   | 空 気     | 10 <sup>-6</sup>        | 10 <sup>-3</sup>       |
|                                                | 蒸気発生器用水モニター      | 一次系から二次系へのリークをモニターする                                                                                                                | 水サンプラー (Pb シールド容器)<br>シンチレーション検出器                        | 水       | 10 <sup>-5</sup>        | 10 <sup>-2</sup>       |
|                                                | 補機冷却系水モニター       | Reactor Coolant 系, Chemical Volume Control 系, Sampling 系, 補助冷却系の Residual Cooling System より Component Cooling System へリークする放射能を測定する | 水サンプラー (Pb シールド容器)<br>シンチレーション検出器                        | 水       | 10 <sup>-5</sup>        | 10 <sup>-2</sup>       |
|                                                | 廃棄物処理系水モニター      | プラントより放出されるすべての放射能を in line でモニターする                                                                                                 | 水サンプラー (Pb シールド容器)<br>シンチレーション検出器                        | 水       | 10 <sup>-5</sup>        | 10 <sup>-2</sup>       |
|                                                | 使用済燃料ピット冷却系モニター  | 使用済燃料ピットの熱交換器冷却系統をモニターする                                                                                                            | 水サンプラー (Pb シールド容器)<br>シンチレーション検出器                        | 水       | 10 <sup>-5</sup>        | 10 <sup>-2</sup>       |
| 2<br>地<br>域<br>監<br>視<br>用<br>モ<br>ニ<br>タ<br>ー | 中 央 制 御 室        | 室内の空間線量率をモニターする                                                                                                                     | GM 検出器                                                   | 空 気     | 10 <sup>-2</sup> (mY/h) | 10 <sup>2</sup> (mr/h) |
|                                                | 格 納 容 器          | 室内の空間線量率をモニターする                                                                                                                     | GM 検出器                                                   | 空 気     | 10 <sup>-2</sup> (mY/h) | 10 <sup>4</sup> (mr/h) |
|                                                | 放 射 化 学 実 験 室    | 室内の空間線量率をモニターする                                                                                                                     | GM 検出器                                                   | 空 気     | 10 <sup>-2</sup> (mY/h) | 10 <sup>4</sup> (mr/h) |
|                                                | 廃 物 処 理 場        | 室内の空間線量率をモニターする                                                                                                                     | GM 検出器                                                   | 空 気     | 10 <sup>-2</sup> (mY/h) | 10 <sup>4</sup> (mr/h) |
|                                                | 使用済燃料ピット         | 室内の空間線量率をモニターする                                                                                                                     | GM 検出器                                                   | 空 気     | 10 <sup>-2</sup> (mY/h) | 10 <sup>2</sup> (mr/h) |
|                                                | サ ン プ ル 室        | 室内の空間線量率をモニターする                                                                                                                     | GM 検出器                                                   | 空 気     | 10 <sup>-2</sup> (mY/h) | 10 <sup>2</sup> (mr/h) |
|                                                | マニピュレータクレーン      | 室内の空間線量率をモニターする                                                                                                                     | GM 検出器                                                   | 空 気     | 10 <sup>-2</sup> (mY/h) | 10 <sup>4</sup> (mr/h) |
|                                                | ド ラ ム 結 作 業 場    | 室内の空間線量率をモニターする                                                                                                                     | GM 検出器                                                   | 空 気     | 10 <sup>-2</sup> (mY/h) | 10 <sup>2</sup> (mr/h) |

に納めた三菱臨界実験装置の監視装置である。モニターは各種の検出器により計数率を測定し、メータリレーやレベルセクタにより警報値の設定を行ない、信号が警報設定値以上のとき、警報指示（ランプ、ブザー、ベル）がなされる。また、ブザー、ベルのストップ回路、自動復帰回路など各仕様によって回路を構成できる。次に個々について詳細に説明する。

表 4.1 監視装置一覧  
List of radiation area monitors.

| 線 源                  | 監 視 装 置                                    | 検 出 器                                                   |
|----------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| $\beta$ , $\gamma$ 線 | GM(ガイガーミュラー)式 $\beta$ , $\gamma$ 線エアロモニター  | GM 計数管                                                  |
| $\gamma$ 線<br>(高感度用) | シンチレーション式 $\gamma$ 線エアロモニター                | シンチレーション検出器                                             |
| $\gamma$ 線           | 電離箱式 $\gamma$ 線エアロモニター                     | 電離箱検出器                                                  |
| 中性子線                 | BF <sub>3</sub> 式中性子線エアロモニター               | BF <sub>3</sub> 計数管                                     |
| 速中性子線                | BF <sub>3</sub> 式速中性子線エアロモニター<br>(パラフィン箱付) | ・ BF <sub>3</sub> 計数管<br>(パラフィン箱付)<br>・ 中性子用シンチレーション検出器 |

#### 4.2 GM 式 $\beta$ , $\gamma$ 線エアロモニター

GM (ガイガーミュラー) 計数管を使用したモニターである。

GM 計数管は管の中に同心同筒電極を有し、内部には低圧ガス（アルゴン、またはハロゲン）が充てん（填）されており、電極に約 1,000 V を印加する。（ハロゲンガスの場合 700 V 程度）放射線（ $\beta$  線、 $\gamma$  線）がはいってくると、イオンができて正イオンは陰極へ、負イオンは陽極へ動き、次第にイオンが増加し放電がおこる。この放電によって得たパルスの量を測定することにより放射線の数を測定することがで



図 4.1 中性子および  $\gamma$  線エアロモニター  
Neutron and  $\gamma$ -ray area monitor.

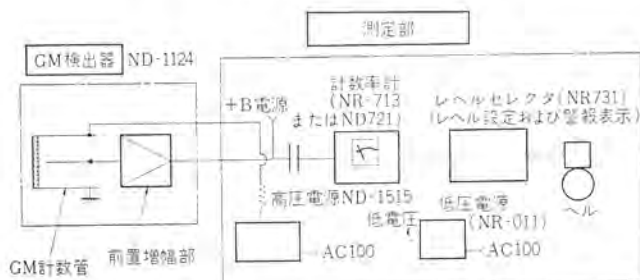


図 4.2 GM 式  $\gamma$  線エアロモニターブロック図  
Block diagram of GM-counter type  $\gamma$ -ray area monitor.

きる。この原理を応用し施設より漏えいした空気中の  $\beta$ ・ $\gamma$  線を測定し、レベルセクタにて設定値以上信号があるときに警報を出す。

三菱 GM 式エアロモニターのブロック図を図 2.7 に示す。

三菱 GM 式エアロモニターの特長は、検出器からの信号伝送ケーブルは +B 電源と信号を同時に伝送するので高周波同軸コード 2 本ですませることができ、工業施設費その他が節減することができる。検出器が数百メートルも離れた場合「単心伝送方式」を採用する。この方式は GM 計数管の出力パルスを直接伝送するものでケーブルは 1 本ですませることができ、設備費はさらに節減することができる。東北大学納めライナック装置の屋外モニターとしてこの方式を採用し、外来雑音に対して影響なく測定することができた。

GM 管方式は検出器のパルス信号が大きく増幅回路が容易なために、他の方式よりも安価に製作することができる。

#### 4.3 シンチレーション式 $\gamma$ 線エアロモニター

シンチレーション検出器 (ND-1155, 56) を用いた  $\gamma$  線エアロモニターである。測定原理はシンチレータ（蛍光物質）に放射線があたると発光するので、その光を光電子増倍管にて電気信号に変換し増倍作用し電気パルスを得る。ブロック図は図 4.3 に示す。検出器で得た電気信号が小さいため比例増幅器を用いる。高感度であるため施設の空気中の漏えい、放射線モニターのほか排水モニターなどに使用される。シンチレータの厚さ、直径を変えることにより必要な感度および測定範囲を選ぶことができる。 $\alpha$  線用、 $\beta$  線用、中性子線用などのシンチレータ

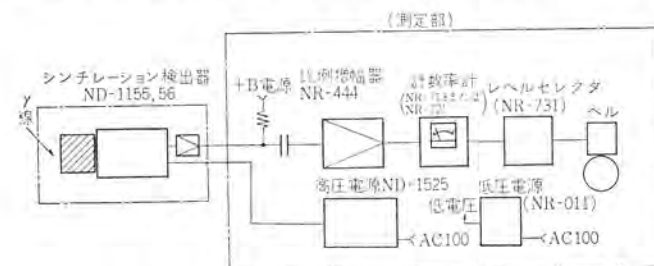


図 4.3 シンチレーション式  $\gamma$  線エアロモニターブロック図  
Block diagram of scintillation counter type  $\gamma$ -ray area monitor

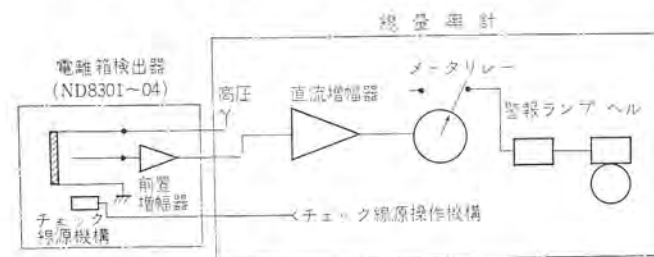


図 4.4 電離箱式  $\gamma$  線エアロモニターブロック図  
Block diagram of ionization chamber type  $\gamma$ -ray area monitor.

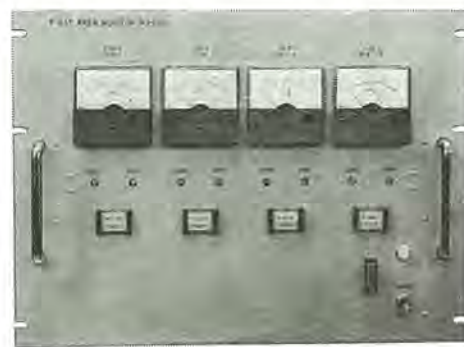


図 4.5 電離箱式  $\gamma$  線エアロモニター  
Ionization chamber type  $\gamma$ -ray area monitor.

を使用することによりγ線以外の放射線も簡単に測定することができる。

#### 4.4 電離箱式γ線エリアモニター

電離箱検出器 (ND-8301, 8304 形) を用いたγ線エリアモニターである。測定原理は放射線が電離箱検出器に入射すると、内部に封入されたガスが電離作用を起こして高圧電極と集電極棒との間に微小電流が流れる。これを対数変換し増幅する。測定部はその直流電気信号を増幅し指示計で指示させる。警報はメータリレーやレベルセクタで設定した値以上になると警報を発生する。ブロック図は図 4.4 に示す。

電離箱式エリアモニターは低線量から高線量 ( $0.02 \text{ mR/h} \sim 10^3 \text{ R/h}$ ) まで広い範囲で測定監視することができるので、最近各方面に広く利用されているコバルト照射装置のモニターや原子炉建屋内部のモニターに数多く使用されている。回路はオペレーショナルアンプを使い簡潔にまとめている。さらに検出器が遠く離れている場合、校正を行ないたいばあい測定部のチェック線源遠隔操作スイッチによって検出部内部に含めた校正線源容器のシャッターを操作することができ、校正を容易に行なうことができる。

図 4.5 は三菱臨界実験装置用γ線エリアモニター (4チャンネル) である。その他、日本アイトソー照射協同組合納入の電離箱式エリアモニターでは測定部、警報部、電源部をおのおのユニット化し、モニタリングシステムを容易に組み合わせ構成されるようにしている。

#### 4.5 $\text{BF}_3$ 式中中性子エリアモニター

検出器に  $\text{BF}_3$  計数管を用いた中性子線エリアモニターである。各種粒子加速器や原子炉などが多く使用されている現在、それらの中性子線モニターとして多く使用されているのが  $\text{BF}_3$  式エリアモニターである。 $\text{BF}_3$  計数管は管に  $\text{BF}_3$  ガスを充てんし、中性子が入射するとα粒子の誘導放射能が電離作用しパルス信号を出す。特に三菱  $\text{BF}_3$  計数管は温度特性、ドリフトなどがすぐれ数多く使用されている。ブロック図を図 4.6 に示す。

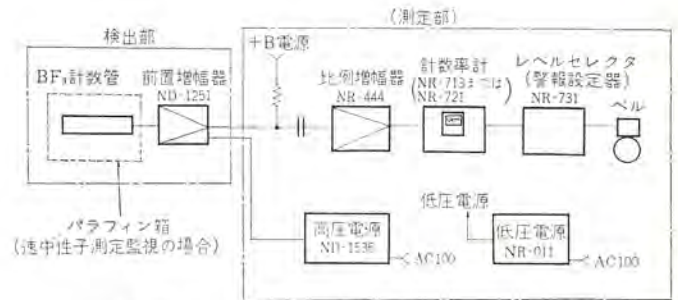


図 4.6  $\text{BF}_3$  式中中性子エリアモニターブロック図  
Block diagram of  $\text{BF}_3$  counter type neutron area monitor.



図 4.7 速中性子線エリアモニター  
Fast neutron area monitor.

中性子線のうち熱中性子線は  $\text{BF}_3$  計数管のみで測定できるが、 $\text{BF}_2$  計数管は速中性子線に対して感じないため計数管のまわりをパラフィン箱などの水素原子の多い物質でおおい、速中性子を減速させて熱中性子とし  $\text{BF}_3$  計数管にて測定する。パラフィンの大きさ、標準は  $100 \times 100 \times 375 (\text{mm})$  である。レベルセクタによって警報設定を行ない、設定値以上になれば警報を出す。

以上のようなシステムで三菱原子力工業(株)納入三菱臨界実験装置用モニター、大阪放射線中央研究所納め照射装置モニター、その他大学、研究所等に納入している。図 4.7 は三菱臨界実験装置用速中性子線エリアモニターである。

# 三菱 RI カテーテルの開発とその悪性しゅよう (腫瘍) 診断への応用

東 与 光\*・久田 太郎\*・池本 真一\*

道家 昭彦<sup>+</sup>宮下 恭一<sup>++</sup>・高田 守<sup>++</sup>岩 岸 聡<sup>++</sup>・小田 稔<sup>++</sup>藤川 恭一郎<sup>+++</sup>・浜 正 治<sup>+++</sup>

## Mitsubishi RI Catheter and Its Diagnostic Application to Malignant Tumors

Kanagawa Dental College Tomomitsu HIGASHI・Taro HISADA・Shinichi IKEMOTO

Mitsubishi Electric Corp., Communication Equipment Works Akihiko DOKE

Mitsubishi Electric Corp., Central Research Laboratory Kyoichi MIYASHITA・Mamoru TAKATA

Akira IWAKISHI・Minoru ODA

Mitsubishi Electric Corp., Kitaitami Works Kyoichiro FUJIKAWA・Masaharu HAMA

A catheter-type semiconductor radiation detector and associated electronic system have been developed for the diagnosis of malignant tumors and of the circulatory system. The catheter type detector measures 2.5mm in diameter and 150cm in length and can be inserted into human cavities and also into the lumen of gastrofiberscope. After intravenous injection of about 300  $\mu\text{Ci}$   $^{32}\text{P}$ , the amount of  $^{32}\text{P}$  uptake in the cancerous tissue was measured by a catheter-type detector and the counting rate was measured by a counting rate meter or recorded by a recorder. A considerable increase of  $^{32}\text{P}$  uptake was marked in the cancerous tissue. This method proved useful in the estimation of the region of the cancer.

### 1. ま え が き

カテーテル形半導体放射線検出器を用いて、悪性しゅようを診断する装置を開発し、これを三菱 RI カテーテルと名づけた。また、これを用いて臨床実験を行ない、満足すべき結果をえた。

この診断法の原理は次のようである。がんなど悪性しゅようの疑われる患者に、放射性同位元素  $^{32}\text{P}$  (燐) を静注すると、約 1 日後  $^{32}\text{P}$  は増殖の盛んな悪性しゅよう部に正常部よりもより多くあつまることが知られている。そこで、カテーテル形半導体検出器を口腔、食道、胃、子宮、直腸などにそう (挿) 入し、疑わしき部位とその周辺の正常部における  $^{32}\text{P}$  の集積の度合を、 $^{32}\text{P}$  の出す  $\beta$  線の計数率を測定することによりしらべる。 $^{32}\text{P}$  の集積の度合とその分布から、がん (癌) 侵潤とその範囲を診断することができる。

このような原理に立って、従来ニードル形の GM 管が用いられた例があるが、寿命が短いこと、500 V 程度の高電圧を要して人体に危険なことなどから実用上問題があった。

近年わが社も含め各社で開発されつつある SSD (半導体放射線検出器) はこのような目的には最適というべきものであり、われわれはこれを使って悪性しゅよう診断のための装置を開発した。この装置は次のような特長をもっている。

#### (1) カテーテル形半導体検出器

- 小形堅牢である。
- 最大外径 2.5 mm $\phi$  で胃ファイバースコープの生検用かん (鉗) 子孔にそう入できる。
- 低いバイアス電圧 (10~30 V) で動作する。長寿命 (4 カ月以上) である。

#### (2) 前置増幅器

低雑音に設計されている。

#### (3) 本体 (操作および指示部)

- 取扱いやすく、誤操作がない。(前面スイッチは押しボタン式である。常時使わないつまみ類は背面におさめた。)
- 安全装置付きである。(万一の事故にそなえ、接地検出器などの安全対策がとられている。)
- 度数計つきである。(低い計数率の場合の計数がはかれる。)
- 計数率を音で知らせるスピーカがついている。
- IC (集積回路) を使用しており、故障が少ない。

この装置を用いて各種のがん患者 17 例について臨床実験を行なった結果は、 $^{32}\text{P}$  の集積が有意と認められたもの 16 例、実験方法のよくなかったもの 1 例と、きわめて満足すべき結果がえられた。

この装置は悪性しゅようの診断の一方法として有用と考えられる。本装置とその臨床応用についてはすでに部分的に発表した<sup>(1)~(5)</sup>、ここに現在までの成果をまとめて述べる。

## 2. RI カテーテルの構造と性能

### 2.1 RI カテーテルの構造と仕様

#### 2.1.1 RI カテーテルの構成

RI カテーテルの構成は図 2.1 のようになっている。また、装置の全体を図 2.2 に示す。図 2.2 で上からカテーテル形半導体検出器および前置増幅器、本体、記録計となっており、全体を台車にのせて随所へ移動できるようになっている。

#### 2.1.2 RI カテーテル (MCT-101) の仕様

カテーテル形半導体検出器

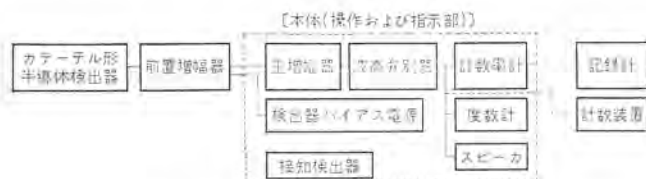


図 2.1 RI カテーテル の 構成  
Block diagram of RI catheter.



図 2.2 三菱 RI カテーテル  
Mitsubishi RI catheter.

|              |                                         |
|--------------|-----------------------------------------|
| 最大外径         | 2.5 mmφ                                 |
| ケーブル 長さ      | 100~150 cm                              |
| 前置増幅器        |                                         |
| 利 得          | 約 2.5 V/MeV                             |
| 整形時定数        | 0.5~2 μs                                |
| 検出器 バイアス 抵抗  | 10~100 MΩ                               |
| 雑 音          | 6 keV 以下 (Cin=100pF, Rin=10 MΩ, τ=2 μs) |
| 動的入力容量       | 5,000 pF 以上                             |
| 入力極性         | 負 (または正)                                |
| 出力極性         | 負                                       |
| 外形寸法 (W×H×D) | 84×41×250 mm                            |
| 重 量          | 450 g                                   |

[本体 (操作および指示部)]

|            |                                                                    |
|------------|--------------------------------------------------------------------|
| 主増幅器       |                                                                    |
| 入力極性       | 負                                                                  |
| 利得調整       | 1~10 倍                                                             |
| 出 力        | 0~15 V, 正                                                          |
| 出力 インピーダンス | 50 Ω                                                               |
| 波高弁別器      |                                                                    |
| 波高弁別値      | 1~10 V                                                             |
| 波高弁別器出力    | 波高 4 V (P-P), 正<br>パルス 幅 約 1 μs<br>立上り 約 0.1 μs<br>出力 インピーダンス 50 Ω |
| 計数率計       |                                                                    |
| 計数率範囲切換    | 10~3,000 cps                                                       |
| 時定数切換      | 1, 5, 10 s                                                         |
| 記録計用出力     | +10 mV フルスケール                                                      |

検出器 バイアス 電源

供給電圧 0~100 V

本体共通事項

度数計つき 0~9,999 カウント まで

計数 スピーカ つき

所要電源 15 VA

外形寸法 420×168×385 mm

(W×H×D)

重 量 10.5 kg

記録計

記録方式 1 点 ペン 書き

入力電圧 10 mV, 正

紙送り速度 2, 6, 20 cm/h, cm/min

所要電源 13 VA

外形寸法 420×150×270 mm

(W×H×D)

重 量 12 kg

2.1.3 RI カテーテルの動作の概略

装置各部の詳細な説明は次節以下にのべることにし、ここでは動作の概略を記す。

カテーテル 形半導体検出器を生体内にそう入すると、人体から放出される放射線 ( $^{32}\text{P}$  の場合は  $\beta$  線) が検出器に入射する。検出器は入射放射線 1 個に対し一つの出力 パルス 信号を発生し、この信号はケーブルを通して前置増幅器へ伝わる。前置増幅器は検出器からきた信号を増幅かつ整形し、信号対雑音比を増大して、出力信号を約 3 m のケーブルを通して本体の主増幅器へ送り出す。

主増幅器はさらに信号を増幅し、これを波高弁別器へ送る。波高弁別器は信号 パルス を雑音 パルス より弁別し、信号 パルス のみを計数率計へ送る。計数率計ではランダムにはいつてくる信号 パルスの単位時間当たりの平均計数率を本体前面の計数率指示メータに指示する。また、波高弁別器の出力を記録計に導き、計数率を記録させる。別に適当な計数装置を接続すれば、任意時間の計数を測定することもできる。

なお、カテーテル 形半導体検出器に印加する バイアス 電圧は、本体から前置増幅器を通して与えられる。

2.2 p-n 形 SSD を用いたカテーテル形半導体検出器  
(2.5 mmφ)

この形の カテーテル 形半導体検出器を図 2.3 (a), (b) に示す。これらは最大外径 2.5 mmφ の細いもので、胃ファイバースコープの生検



(a) 2.5mmφ p-n形SSD レジンモールド形  
(b) 2.5mmφ p-n形SSD 金属キャップ形  
(c) 4mmφ p-i-n形SSD レジンモールド形

図 2.3 カテーテル 形半導体検出器  
Catheter-type semiconductor detectors.

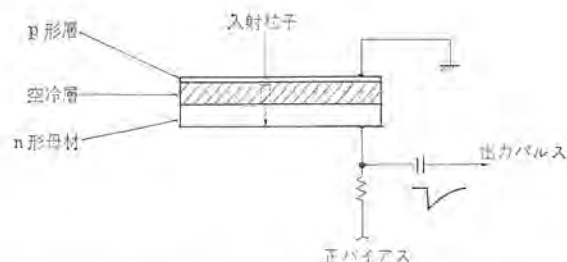


図 2.4 p-n 形 SSD の構造 p-n type SSD.

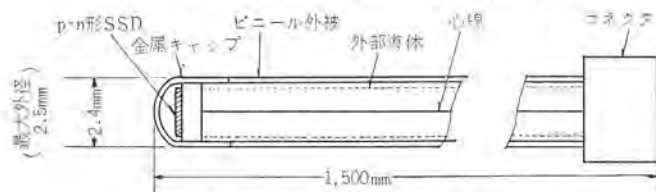


図 2.5 カテーテル形半導体検出器構造 I (2.5 mmφ 金属キャップ形)

Cross sectional view of a catheter-type semiconductor detector I.

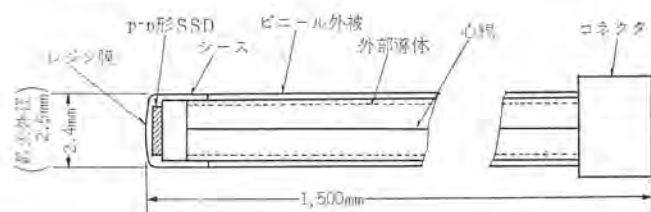


図 2.6 カテーテル形半導体検出器の構造 II (2.5 mmφ レジンモールド形)

Cross sectional view of a catheter-type semiconductor detector II.

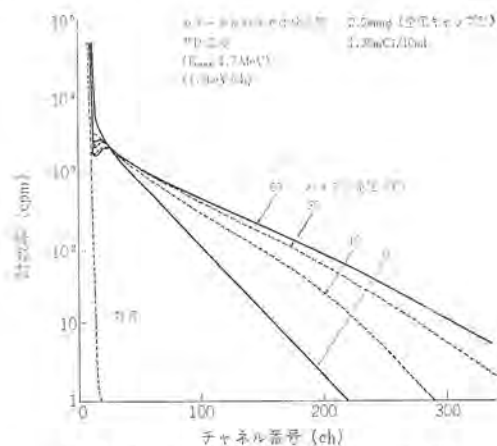


図 2.7  $^{32}\text{P}$  溶液における出力波高分布  
Pulse height distribution in  $^{32}\text{P}$  solution.

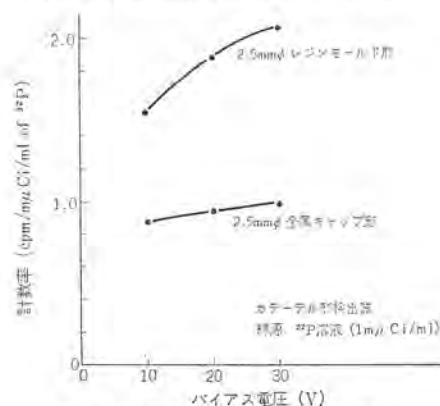


図 2.8 計数率とバイアス電圧  
Counting rate vs bias voltage.

用かん(針)子孔にそう入し、直視下で操作しうることを目的に開発したものである。

## 2.2.1 構造

この形の検出器が内蔵しているのは p-n 形のシリコン SSD である。(用語の混乱をさけるためカテーテル形になっていない一般の半導体放射線検出器を本文では SSD (Solid State Detector) と呼ぶことにする。) p-n 形 SSD の構造を図 2.4 に示す。これは n 形(または p 形)シリコンの表面に p 形(または n 形)の不純物層をつくり p-n 接合を形成させたもので、バイアス電圧をかけると p-n 接合の部分に電界の強い空乏層が生じ、ここが放射線検出に有効な領域となる。

放射線が SSD に入射すると電子と正孔の対を多数つくるが、空乏層中にできた電子と正孔が電界に引かれて動き、電極に出力パルスを生じる。空乏層の厚みはバイアス電圧によって変わるが、通常 10~100  $\mu$  がえられる。SSD からとり出される信号は放射線が空乏層中で消費したエネルギーの分だけであり、p-n 形の場合は一般に空乏層が薄く信号が小さい。

カテーテル形半導体検出器の構造としては、金属キャップ形(図 2.5)とレジンモールド形(図 2.6)の2種を開発した。金属キャップ形は厚み 0.1 mm 以下の金属キャップをかぶせたもので、端窓形である。金属キャップのためきわめて堅牢な構造になっているが、低エネルギー(約 200 keV 以下)の  $\beta$  線には感度をもたない。

レジンモールド形は検出器頭部をレジンで薄くモールドしたもので、低エネルギー  $\beta$  線にも感度をもつ。これも同じく端窓形である。

これらに接続したケーブルはノイズレス加工を施したケーブルで外径 2.4 mmφ、長さ 100~150 cm である。ノイズレス加工を施さないケーブルではケーブルに屈曲等が加わると信号と同程度の雑音が発生し誤まった計数を与える。今回使用したケーブルはそのような問題はまったくない。

## 2.2.2 特性

カテーテル形半導体検出器(金属キャップ形)を  $^{32}\text{P}$  の溶液中に投入して測定した出力波高分布曲線を図 2.7 に示す。バイアス電圧上げると空乏層が広がるので、波高分布が高い方へずれている。雑音レベルよりも高い位置に波高弁別値を設定してそれ以上の出力波高のパルスを計数する。

計数効率を上げるためには波高弁別値が低い方がよく、そのためには検出器および増幅器の雑音が小さいことが重要である。また、大きい信号をとるためには検出器の内蔵する SSD の空乏層が厚い方が有利で、このためには母材シリコンの比抵抗が大きいほどよい。今までに用いたものは n 形シリコン約 400  $\Omega\text{-cm}$ 、p 形シリコン約 4,000  $\Omega\text{-cm}$  のものであり、バイアス電圧 30 V で空乏層は 50~100  $\mu$  がえられている。

次に感度の目安として単位濃度の  $^{32}\text{P}$  溶液中に検出器を浸した場合の計数率を測定した。バイアス電圧をかえた場合の計数率の変化は図 2.8 のとおりである。感度は 1  $\mu\text{Ci/ml}$  の  $^{32}\text{P}$  溶液に対し、レジンモールド形で約 2 cpm、金属キャップ形で約 1 cpm である。

次に空気中において  $^{32}\text{P}$  の線源(面積約 1 mmφ)に対してとった等感度曲線を図 2.9 に示す。線源と検出器とが密着した場合を 100% とすれば、1 cm 離れて 1% にも落ちる。このように感度の局所性は非常に強い。これは主として検出器が線源に対してのもつ立体角が減ることによる。

低エネルギーの  $\beta$  線検出の例として、 $^{147}\text{Pm}$  ( $\beta$  線最大エネルギー 223 keV) の溶液にカテーテル形半導体検出器(レジンモールド形)を浸した

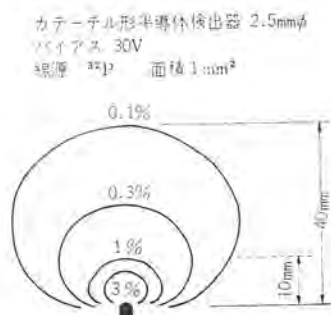


図 2.9  $^{32}\text{P}$  等感度曲線  
 $^{32}\text{P}$  isoresponse curve.

図 2.10  $^{147}\text{Pm}$  溶液における  
出力波高分布  
Pulse height distribution in  $^{147}\text{Pm}$   
solution.

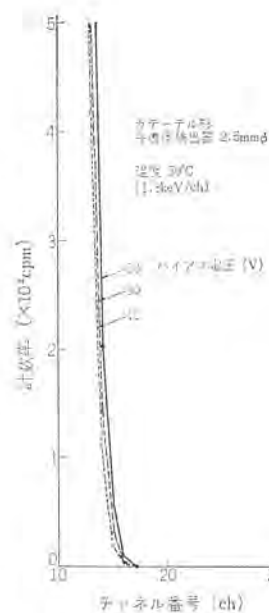
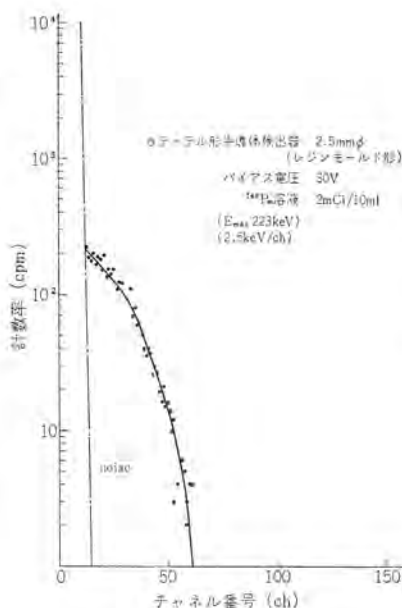


図 2.11 検出器の雑音と  
バイアス 電圧  
Detector noise vs. bias voltage.

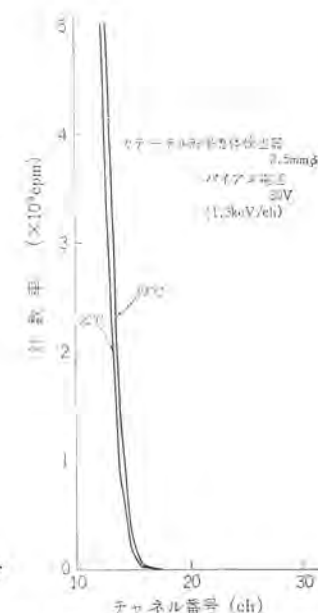


図 2.12 検出器の雑音と温度  
Detector noise vs. temperature.

場合の出力波高分布曲線を図 2.10 に示す。これにより最大エネルギー 200 keV 程度の  $\beta$  線を出す同位元素についても十分測定できることがわかる。

次に、カテーテル形半導体検出器の雑音のバイアス電圧および温度への依存性についてしらべる。検出器のバイアス電圧を変えた場合の雑音変化を図 2.11 に、検出器の温度を変えた場合のそれを図 2.12 に示す。いずれも変化はきわめて小さく、バイアス電圧増加や温度上昇に対して波高弁別値を変える必要はないことがわかる。これは検出器と前置増幅器との組合わせを最適化し、特性が安定するように設計してあるためである。

### 2.3 p-i-n 形 SSD を用いたカテーテル半導体放射線検出器 (外径 4 mm $\phi$ )

この形のカテーテル形半導体放射線検出器を図 2.3 (c) に示す。これは外径約 4 mm $\phi$  で、有効面積と厚みの大きな SSD を内蔵し、高い感度をもつことを目的に開発したものである。

#### 2.3.1 構造

この形の検出器が内蔵しているのは p-i-n 形のシリコン SSD である。p-i-n 形 SSD の構造を図 2.13 に示す。これは表面の p 形層と裏面の n 形層の間に、厚く i-領域をもった構造になっている。この i-領域が入射放射線に対して感度を有する領域である。これにバイアス電圧をかけると、i-領域に一律な電界が生じる。放射線が入射すると電子と正孔の対を多数つくるが、i-領域の中で生じたこれらの電子と正孔が電界にひかれて動き、電極に出力パルスを生じる。p-i-n 形 SSD の特長は、有効厚み (i-領域) が厚いことであって、このため  $\beta$  線や低エネルギーの  $\gamma$  線の測定に適する。p-n 形 SSD では有効厚みはただか 0.1 mm であるが、p-i-n 形 SSD では 1 mm 以上がえられる。有効厚みが 1 mm あれば、エネルギーが 1 MeV 近くまでの  $\beta$  線に対し、入射エネルギーとほぼ同等の出力が得られる。今回用いた SSD は三菱電機製 SD-20 L 形のもので、有効面積  $2 \times 10 \text{ mm}^2$ 、厚み 1 mm である。

この SSD を用いた半導体検出器の構造を図 2.14 に示す。これは SSD をレジンでモールドし、Al はく (箔) をかぶせさらにその上にレジンの膜がつけてある。これを直径 3.2 mm $\phi$ 、長さ約 100~150 cm のケーブルに接続してある。検出器頭部の大きさは直径 4 mm $\phi$ 、長さ 4 cm である。検出窓は側面に位置している。

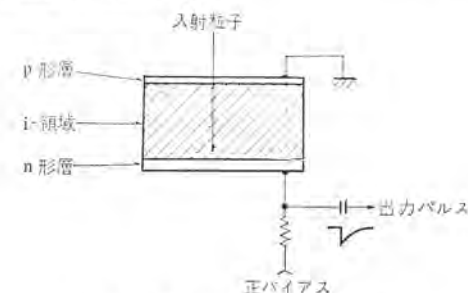


図 2.13 p-i-n 形 SSD の構造  
p-i-n type SSD.

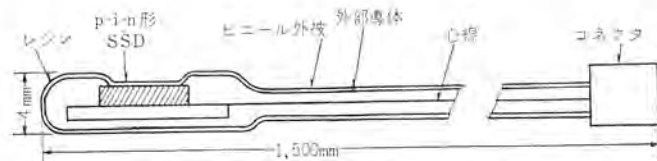


図 2.14 カテーテル形半導体検出器の構造 III  
(4 mm $\phi$  レジンモールド形)  
Cross sectional view of a catheter-type semiconductor  
detector III.

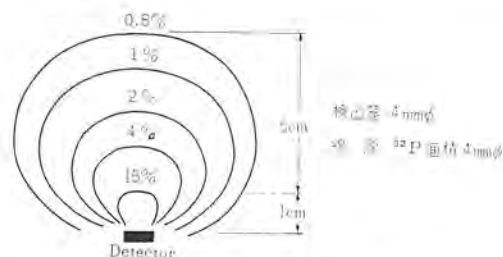


図 2.15  $^{32}\text{P}$  等感度曲線 II  
 $^{32}\text{P}$  isoresponse curve II.

#### 2.3.2 特性

この検出器の感度はバイアス電圧 20 V で  $^{32}\text{P}$  溶液の  $1 \mu\text{Ci/ml}$  の濃度に対し、20 cpm 以上であり、 $^{131}\text{I}$  溶液の  $1 \mu\text{Ci/ml}$  の濃度に対し 4 cpm 以上である。有効面積が大きいため感度が高い。

$^{32}\text{P}$  に対する空気中での等感度曲線は図 2.15 に示すとおりである。線源の大きさは約 4 mm $\phi$  で、これを検出器と密着させた時の

計数率を100%とすると、検出器から1cmはなれて15%になる。

## 2.4 前置増幅器

前置増幅器は、SSDからの電荷信号を増幅し、SN比を増大させるためのパルス整形を行なう。SSDの有効厚みは、pn形SSDで数10 $\mu$ m、p-i-n形SSDで約1mmであるが、有効厚みが薄い場合はSSDの出力信号が小さくなり、雑音パルスとの分離が困難となる。そこで前置増幅器の設計は、SSDの有効厚みが薄い場合の検出性能を改善することに重点をおいた。

測定対象となる $\beta$ 線は、通常エネルギーが0~1MeV程度に分布しているが、これを有効厚みが数10 $\mu$ mのSSDで検出すると、エネルギーが100keV程度以下の $\beta$ 線はSSDの有効領域内にとまるが、エネルギーがそれ以上になるとSSDの有効領域をつきぬけるものが多くなる。SSDの出力信号は、 $\beta$ 線がSSDの有効領域内で電離に費したエネルギーに比例するので、つきぬけをおこした $\beta$ 線は、そのエネルギーの一部だけが出力パルスに寄与する。

また1MeV程度までのエネルギー範囲では、 $\beta$ 線粒子の単位走行長当たりのエネルギー損失はエネルギーの高いほど小さいので、出力パルスも小さくなる。この値は無制限に小さくなるわけではなく1mm当たり400keV程度が極小値になるので、パルス波高も一定の値に集中する結果となる。有効厚みを50 $\mu$ mとすると、この値は20~30keV相当となり、出力波高分布はこの値を中心としてピークを形成する(図2.7)。したがって、20~30keVのパルスが雑音パルスと分離できるかどうか、総合検出性能を大きく左右することになる。また、検出信号の頻度が低い点を考えると雑音レベルは半値幅で10keV以下である必要がある。

雑音レベルを決定する要素は、増幅器入力端の総容量、増幅器の等価雑音抵抗、入力端の等価雑音電流、波形整形回路の整形方式等である。入力端の総容量はケーブルのケーブル容量が大部分を占めていて、今回のものでは約150pFである。等価雑音抵抗は、増幅器初段の散弾雑音を入力端直列抵抗の熱雑音に換算したもので、国産のFETにおいては約1k $\Omega$ である。

等価雑音電流というのは、SSDの逆方向電流の散弾成分、およびSSDバイアス抵抗の熱雑音を散弾電流に換算したものの和である。SSDの等価雑音電流は、SSDの種類や大きさによるが、今回のものでは10nAのオーダーであり、バイアス抵抗の等価雑音電流は抵抗値に反比例し、10M $\Omega$ のときに5nAとなる。バイアス抵抗値はSSDの動作点の安定性に対する要求から上限が定められる。雑音レベルは、整形回路の時定数を最適値に選べるものとすれば、入力端総容量の1/2乗、等価雑音抵抗および等価雑音電流のそれぞれの1/4乗に比例し、ここにあげた諸定数によれば半値幅において約15keVとなる。

これらの定数は、現段階では大幅な改善は困難であるが、増幅器初段のFETを並列接続することを考えれば雑音レベルの減少が可能である。入力端総容量はほとんどケーブルによって決定されているので、FETを並列接続してもあまり増加せず、一方並列接続による相互コンダクタンスの増加に反比例して等価雑音抵抗が減少し、雑音が減少することになる。これは、雑音に関して入力端の整合条件が存在し、通常の組み合わせはこの整合条件から大きくずれていることを意味する。

ところがこの整合条件は、ケーブル容量とFETのゲート容量の比を並列個数とすることであり、並列個数は約30個となる。整合条件付近では、並列個数を変化させても雑音レベルがあまり変化しない

ので1/2程度の個数でも実用上目的は達せられるが、それでも10個以上の並列が必要であって、この方法をそのまま実行することは困難である。そこで1個のFETで3~5個のFETと等価な動作を行なわせる方法(特許出願中)を開発し、整合条件を可能にした。今回の設計では4個の並列駆動によって相互コンダクタンス30m $\Omega$ 等価雑音抵抗約50 $\Omega$ を得ている。これは通常のFETの等価雑音抵抗の約1/20である。さらに整形方式にはセミガウシアンタイプを採用して、雑音レベルを15%低下させた。

三菱RIカテテルの前置増幅器において実現できた性能を表2.1に示す。これによって20~30keVの波高分布のピークが一応分離できる状態となった。今後は、さらにS/N比を増大するためにケーブルの低容量化、検出器逆電流の減少、有効厚みの増大を進めたい。

## 2.5 本体(操作および指示部)

本体の構成を図2.16に示す。ここに使われている主増幅器、波高弁別器、計数率計および各種電源の回路は三菱電機の放射線測定器のモジュールに使われているものと同一で、多数の使用実績があり、したがってこれらは十分な性能と信頼性をもっている。これらの実績にたつてRIカテテルの本体の設計には医用機器としての使いやすさ、コンパクトさ、安全性に重点をおいた。以下に本体の主要な点と特長をのべる。

(1) 取扱いが簡単で誤操作のおそれがない。

本体の前面および背面を図2.17、2.18に示す。

通常使用しないつまみ類が多数目につくのは混乱をおこしやすく、誤操作をまねくおそれがある。そこで、本体前面パネルには計数率

表 2.1 前置増幅器の雑音  
Noise of preamplifier.

| 入力容量  | バイアス抵抗         |               |
|-------|----------------|---------------|
|       | 500 M $\Omega$ | 10 M $\Omega$ |
| 0(pF) | 2.4(keV FWHM)  | 3.4(keV FWHM) |
| 50    | 3.2            | 4.1           |
| 100   | 4.2            | 5.0           |

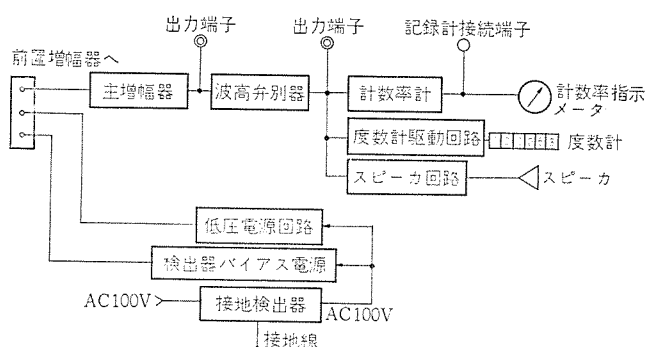


図 2.16 本体(操作および指示部)の構成  
Block diagram of main system.

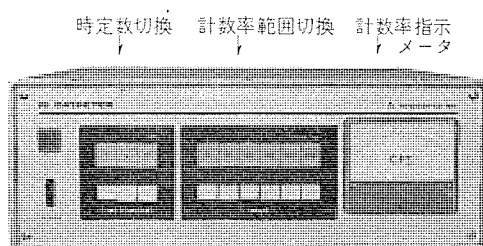


図 2.17 本体(操作および指示部)前面  
Main system, front view.



図 2.18 本体（操作および指示部）背面  
Main system, rear side view.

指示に関するもののみをおさめた。すなわち計数率指示メータ、計数率範囲切換スイッチ、計数率時定数切換スイッチのみである。また、これらスイッチ類は大形のプッシュボタン式とした。

これら以外のつまみ類は通常の場合、一度セットすればその後は何回使用しても操作する必要はない。そこでこれらは本体背面におさめた。図 2.18 のとおりこれらは主増幅器の利得調整、つまみ、波高弁別器の弁別値つまみ、検出器バイアス電源の調節つまみなどである。

## (2) 安全対策を施した。

ここで RI カテテルの安全対策についてのべる。

正常な使用状態で予想されにくいにしても医用機器としては万一の場合の事故の可能性を考え、それに対する安全対策を十分考えておかななくてはならない。万一の場合を考えて想定される事故としては次の二つが考えられる。すなわち人体にそう入されたカテテル形半導体検出器の信号電極が露出し、検出器に印加されたバイアス電圧が人体にかかる場合、並びにカテテル形半導体検出器の接地側電極あるいはきょう体から交流電源からの漏えい(洩)電流が人体を通して大地へ流れる場合である。これらに対して RI カテテルでは次のような安全対策を施した。

(a) 検出器のバイアス回路に直列に本体内で  $1\text{ M}\Omega$ 、前置増幅器内で  $10\text{ M}\Omega$  以上の安全抵抗を入れた。

この場合仮りにカテテル形半導体検出器の信号電極が露出してもバイアス電圧  $30\text{ V}$  のとき流れる電流は  $3\text{ }\mu\text{A}$  以下にしかすぎない。一方人体内に  $10\text{ }\mu\text{A}$  の電流が流れても危険がないことが報告されているので、この点では安全といえる。

(b) 本体の電源コードを 3 線式とし、うち 1 線を接地線とした。また、別に接地端子を設けた。

$100\text{ V}$  の交流電源からの漏えい電流による感電を防ぐためには、装置を接地しておくことが必要であり、かつ安全な方法である。このため必ず接地がとれる方法として、本体の電源コードを 3 線式とし、うち 1 線を接地線とした。この場合接地形コンセントとの取付けをユーザに行なってもらう。

また、これとは別個に、本体背面に接地端子を設け、室内の水道せん(栓)等に接地して使用する。こうして接地を二重に確保することにする。

(c) 接地検出器をとりつけた。(特許申請中)

上述のように接地線をとっても接地線の断線や接触不十分の場合、これに気がつかないおそれがある。このための安全装置として接地検出器をとりつけた。これは装置の接地が行なわれていなかったり、不完全である場合、電源供給スイッチを投入しても電源が供給されず、

また、使用中接地線がはずれたような場合には電源を自動的に停止するようにした装置である。以上により  $100\text{ V}$  交流電源からの漏えい電流が万一あった場合にも人体に対し安全といえる。

## (3) 度数計のとりつけ

通常の場合、計数率は本体前面の計数率指示メータに指示されると同時に、記録計にえがかせる。しかし、計数率がきわめて小さい(およそ  $1\text{ cps}$  以下)場合、計数率指示メータは間けつ的に針がふれるだけで、計数率がいくらかわからない。また、記録計はメータのふれと同時にやはり間けつ的にふれるだけである。計数率を知るにはこの記録のふれが単位時間にいくらかあるかを数えなければならぬ。

このような場合、度数計を用いて任意の時間の計数を測定することができる。

## (4) 計数スピーカのとりつけ

臨床応用においては、カテテル形半導体検出器を人体にそう入し、これを患部近傍で移動させる。この場合、計数率指示メータや記録計をみながら、検出器を操作するのは不便であるが、計数率の増減を音で聞きながら操作できればよい。このため計数率を音で知らせるスピーカをとりつけた。

もちろん不必要な場合には音を止めることができる。

## (5) 他の装置との接続ができる。

本体背面には次のような端子をそなえており、他の装置との接続ができる。

### (a) 主増幅器出力端子

波高分析器を接続すればカテテル形半導体検出器の出力波高分布が測定できる。(これは前置増幅器の出力端子から接続してもよい)

### (b) 波高弁別器出力端子

計数装置(スケウ)に接続し、正確な計数を測ることができる。

## (6) その他

(1) 回路はすべて半導体化し、一部に IC (集積回路) を用いており、長期間故障なく動作する。

(2) きょう(匡)体はアルミニウム製できわめて軽量である。

(3) 警報形ヒューズを用いており、万一断線の場合容易にたしかめられる。

## 3. 核医学への応用

### 3.1 悪性しゅよう診断への応用

p-i-n 形 SSD を用いたカテテル形半導体検出器によって、悪性しゅようの診断を試みた結果について報告する。

$^{32}\text{P}$  約  $250\sim 300\text{ }\mu\text{Ci}$  をがんの疑いある患者に静注して、 $20\sim 24$  時間後に検出器を直視下または X 線透視下で患部にそう入し計数率を測定し、記録計にかかせた。患部の付近で検出器を  $1\text{ cm}$  ごとに移動させて計数率の変化をみた。また、患部と正常部の計数率の差を調べた。

手術により摘出した組織の  $^{32}\text{P}$  摂取についても、患部と正常部の計数率の差を調べた。

検査した症例は表 3.1 のとおり、歯肉がん 2 例、上がく(頸)がん 3 例、舌がん 2 例、食道がん 3 例、直腸がん 3 例、子宮がん 2 例、その他 2 例計 17 例である。

その結果、患部と正常部の  $^{32}\text{P}$  摂取に明らかに差が認められたものの ( $1.5\sim 2$  倍程度の摂取率) は 11 例であり、やや差があったもの ( $1.5$  倍前後の摂取率) は 5 例(うち 1 例は放射線治療後)、実験の

表 3.1 症 例 Example.

| 名 前   | 年令 | 部 位       | 組 織 像              | $^{32}\text{P}$ 量    | 注射時間    | 成 績 |
|-------|----|-----------|--------------------|----------------------|---------|-----|
| 佐○木○メ | 70 | 下顎歯肉がん    | 扁平上皮がん             | 約 300 $\mu\text{Ci}$ | 20~24時間 | 良   |
| 中○地○ヨ | 73 | 下顎歯肉がん    | 扁平上皮がん             | 約 300 $\mu\text{Ci}$ | 20~24時間 | やや良 |
| 松○種○  | 46 | 上 顎 が ん   | 扁平上皮がん             | 約 300 $\mu\text{Ci}$ | 20~24時間 | 良   |
| 深○ツ○  | 67 | 上 顎 が ん   | 扁平上皮がん             | 約 300 $\mu\text{Ci}$ | 20~24時間 | 良   |
| 笹○亀○郎 | 56 | 舌 が ん     | 扁平上皮がん             | 約 300 $\mu\text{Ci}$ | 20~24時間 | やや良 |
| 稲○玉○郎 | 53 | 舌 根 が ん?  | 扁平上皮がん             | 約 300 $\mu\text{Ci}$ | 20~24時間 | やや良 |
| 鈴○為○  | 55 | 食 道 が ん   | 不 明                | 約 300 $\mu\text{Ci}$ | 20~24時間 | 良   |
| 新○元○  | 72 | 食 道 が ん   | 不 明                | 約 300 $\mu\text{Ci}$ | 20~24時間 | やや良 |
| 中○信○  | 62 | 食 道 が ん   | 不 明                | 約 300 $\mu\text{Ci}$ | 20~24時間 | 失 敗 |
| 加○真○  | 48 | 直 腸 が ん   | 腺 が ん              | 約 300 $\mu\text{Ci}$ | 20~24時間 | 良   |
| 柴○チ○  | 76 | 直 腸 が ん   | 腺 が ん              | 約 300 $\mu\text{Ci}$ | 20~24時間 | 良   |
| 吉○ヨ○  | 55 | 直 腸 が ん   | 腺 が ん              | 約 300 $\mu\text{Ci}$ | 20~24時間 | 良   |
| 筒○甲○  | 43 | 子 宮 が ん   | 腺 が ん              | 約 300 $\mu\text{Ci}$ | 20~24時間 | 良   |
| 木○ふ○  | 48 | 子 宮 が ん   | 扁平上皮がん             | 約 300 $\mu\text{Ci}$ | 48時間    | 良   |
| 荒○喜○代 | 66 | 左 耳 下 腺   | 悪 性 混 合<br>し ゅ よ う | 約 300 $\mu\text{Ci}$ | 20~24時間 | 良   |
| 河○幸○  | 76 | 右 鎖 骨 上 窩 | 不 明                | 約 300 $\mu\text{Ci}$ | 20~24時間 | やや良 |
| 姿 ○ 宝 | 67 | 右 上 顎 が ん | 扁平上皮がん             | 約 300 $\mu\text{Ci}$ | 20~24時間 | 良   |



図 3.1 上がく(顎)がん  
Upper jaw cancer.

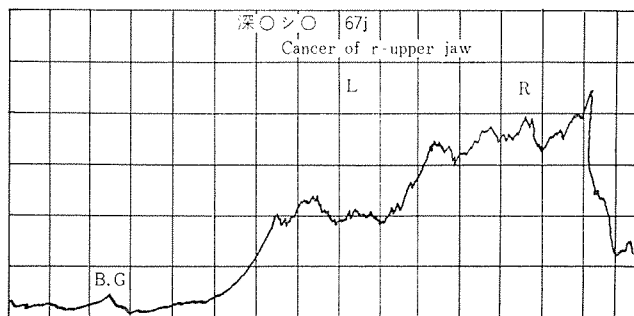


図 3.2 上がくがんの測定  
Measurement of upper jaw cancer.

仕方に失敗したもの1例であった。

また、食道、直腸内では検出器を1cmごとに移動して、 $^{32}\text{P}$  摂取をレコーダにとることにより、がんの浸潤範囲を推定することができた。

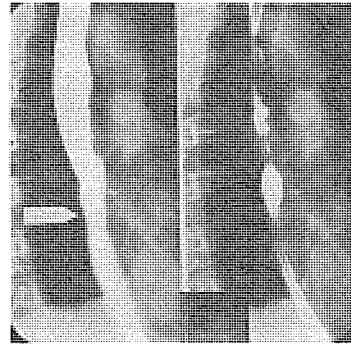


図 3.3 食道がん Oesophagus cancer.

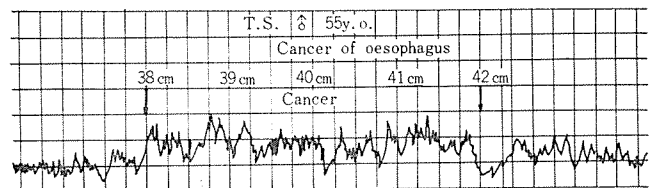


図 3.4 食道がんの測定  
Measurement of oesophagus cancer.



図 3.5 直腸がん Rectal cancer.

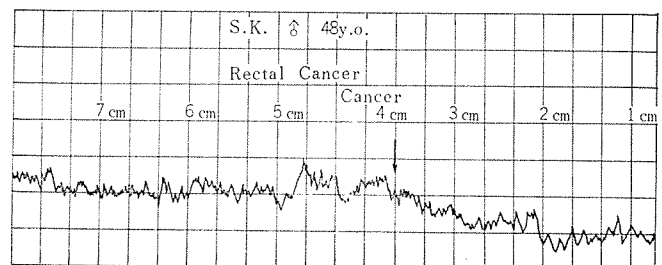


図 3.6 直腸がんの測定  
Measurement of rectal cancer.

次に各症例について述べる。

(1) 症例 1. 上がく(顎)がん(癌)(扁平上皮がん)(図 3.1)  
手術後の再発で、右頬部にしゅようらしいものが増殖してきた。 $^{32}\text{P}$  250  $\mu\text{Ci}$  静注し 24 時間後に左右の頬部を測定した。(図 3.2)  
患部が正常側より明らかに高い  $^{32}\text{P}$  摂取を示す。しゅようの増殖であった。

(2) 症例 2. 食道がん(図 3.3)  
 $^{60}\text{Co}$  治療(6,000 R)後のX線透視所見では食道下部の壁の硬化像がみられる。 $^{32}\text{P}$  を静注して透視下で検出器を1cmごとに食道にそう入し、計数率を測定した。(図 3.4)口唇から38~42cmの個所で  $^{32}\text{P}$  摂取の増加がみられる。まだしゅようの残存が疑われる。

(3) 症例 3. 直腸がん(腺がん)(図 3.5)  
X線透視で直腸部に欠損像がみられる。 $^{32}\text{P}$  を静注して24時間後



図 3.7 摘出した直腸部 Excised rectum.

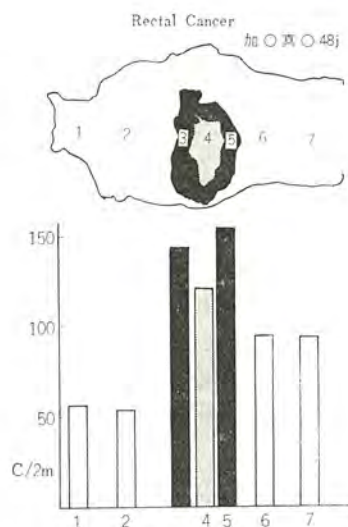


図 3.8 摘出した直腸部の測定  
Measurement of excised rectum.

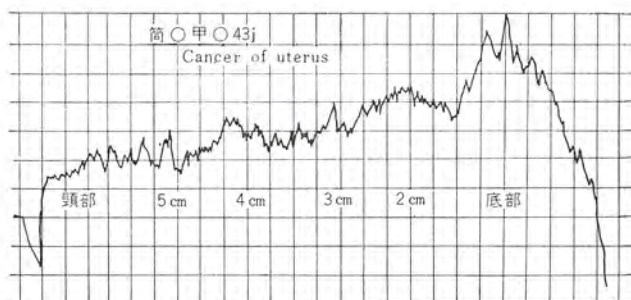


図 3.9 子宮がんの測定  
Measurement of uterus cancer.



図 3.10 摘出した子宮 Excised uterus.

にこう(肛)門から検出器を 1 cm ごとにそう入して計数率を測定した。(図 3.6) こう門より 4 cm から $^{32}\text{P}$  摂取の増加がみられ、7 cm 以後は不変であった。検出器の先端がしゅようにつかえてそう入できなかつた。ゆえに計数率は上昇したままである。

摘出した組織は図 3.7 であり、 $^{32}\text{P}$  摂取を測定するとしゅよう部分には明らかに多く摂取されていることがわかる。(図 3.8)

(4) 症例 4. 子宮がん(腺がん)

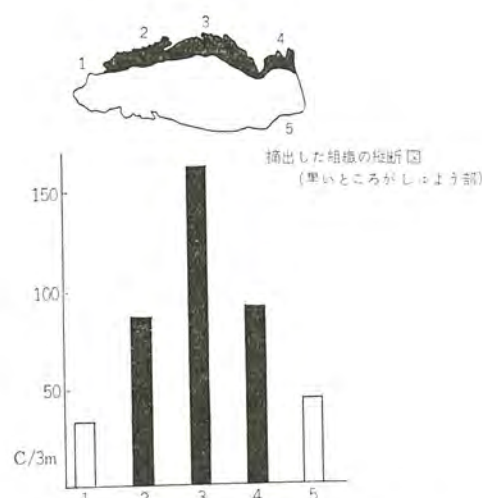


図 3.11 摘出した子宮の測定  
Measurement of excised uterus.

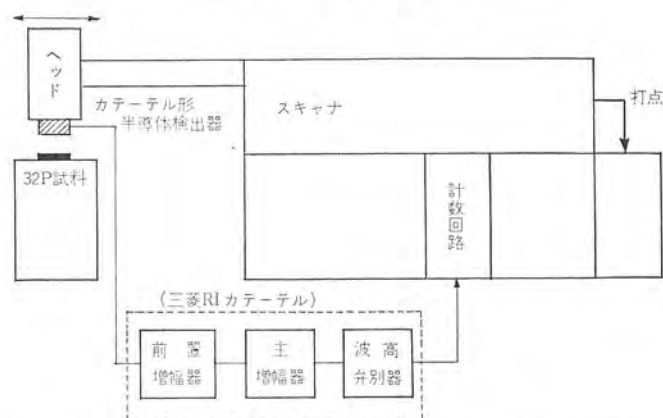


図 3.12 カテーテル形半導体検出器とスキャナの組み合わせ  
Combination of a catheter-type semiconductor detector and a scanner.

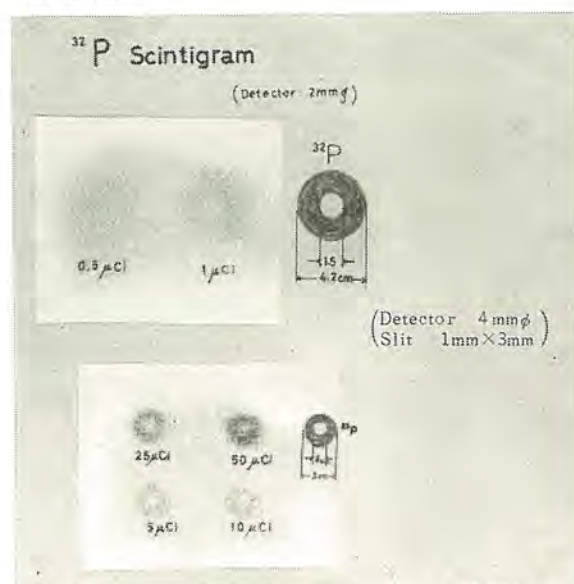


図 3.13 カテーテル形半導体検出器でとった  $^{32}\text{P}$  の分布像  
 $^{32}\text{P}$  scintigram by a catheter-type semiconductor detector.

子宮体部がんで術前に悪性しゅようの診断は困難であった。 $^{32}\text{P}$  静注して 24 時間後に検出器を子宮底部までそう入して、1 cm ごとに測定すると、明らかに底部の  $^{32}\text{P}$  摂取は増加していた。(図 3.9) これより悪性しゅようと診断した。手術により摘出した子宮は図 3.10 であり、この組織について測定すると、しゅよう組織は明ら

かに  $^{32}\text{P}$  摂取が高い。(図 3, 11)

### 3.2 スキャン装置への応用

従来から人体内の RI 分布像を記録するための装置として、シンチスキャナがある。これは NaI シンチレータを検出器として、 $\gamma$  線を測定するものである。われわれはこの NaI シンチレータの代りにカテーテル形半導体検出器におきかえて、組織表面から出る  $\beta$  線あるいは低エネルギー  $\gamma$  線の分布像をとることに応用する試みを行なった。

接続の方式は図 3. 12 に示す。シンチレータの代りにカテーテル形半導体検出器をとりつけるとともに、RI カテーテル本体の波高弁別器の出力をシンチスキャナの計数回路入力に接続した。(半導体検出器で RI 分布像をとることを専用にする装置ならば、検出器は用途により必ずしもカテーテル形にする必要はないし、回路部分もスキャナ装置に組み入れられる。)

これにより RI 分布像をとる基礎実験を行なった。この場合の線源の形状と、えられた分布像を図 3. 13 に示す。 $^{32}\text{P}$  を線源とした場合の RI 分布像がえられていることがわかる。今後はこの測定法の改良並びに臨床への応用を試みたい。

## 4. む す び

カテーテル形半導体放射線検出器、前置増幅器、本体(操作および指示部)からなる三菱 RI カテーテルを開発した。

本装置はカテーテル形半導体放射線検出器を口腔、食道、胃、子宮、大腸等へそう入して、悪性しゅよう部に摂取された  $^{32}\text{P}$  の度合を測定し、悪性しゅようの診断をするものである。

今回開発した最大外径 2.5 mm $\phi$  のカテーテル形検出器は胃ファイバ

スコープの生検用すい子孔にそう入して、直視下で胃の悪性しゅようの診断を行なうこともできるものである。

本装置によって、がん患者 17 例について臨床実験を行なったところ、 $^{32}\text{P}$  の集積が有意と認められるもの 16 例、実験方法のよくなかったもの 1 例ときわめて満足すべき結果がえられた。

カテーテル形半導体検出器は血管へそう入して循環器系統の研究や診断にも応用できるであろう。

最後に本装置の悪性しゅよう診断への臨床応用については、横浜警友病院放射線科 鈴木慎二、加藤秀夫、同外科 村田晃、杉山道雄、同婦人科 田中清隆、同内科 大下寿隆の諸先生に大変ご協力いただいた。ここに厚く感謝の意を表する。

## 参 考 文 献

- (1) 東、池本ほか：p-i-n 形半導体検出器による悪性腫瘍の診断のこころみ、RADIOISOTOPES 17, (7) 311 (昭 43)
- (2) 東、池本ほか：半導体検出器による悪性腫瘍の診断、第 8 回日本核医学会総会 抄録集 55 昭 43 (核医学 6(1)68 昭 44)
- (3) 東、久田ほか：半導体検出器による悪性腫瘍の診断、日本医事新報、2343 号 (昭 44-3)
- (4) 東、池本ほか：半導体検出器による悪性腫瘍の診断、第 28 回日本医学放射線学会総会 抄録集 351 (昭 44)
- (5) 東、池本ほか：カテーテル形半導体放射線検出器による悪性腫瘍診断装置、第 9 回日本アイソトープ会議論文抄録集 117 (昭 44)

## 最近のX線テレビジョン

田部 貞夫\*・津田 元久\*\*・道家 昭彦\*\*\*・堀 高明\*\*\*

## Recent X-Ray Television Equipment

Shimazu Seisakusho, Ltd. Sadao TANABE・Motohisa TSUDA  
Mitsubishi Electric Corp., Communication Equipment Works Akihiko DÔKE・Takaaki HORI

X-ray television equipment has made marked progress since its development, entering into practical use. With the progress of technique a variety of system have been introduced and improvement after improvement have come into being in the point of performance and function. This article describes comparative merits of these various systems investigated and also detailed explanation, among newly developed technique, an image brightness stabilizer by means of TV signals, improvement of S/N ratio, betterment of lense system, spot recording system of X-ray photographic images, and technical advancement of image amplifiers. Future aspects of X-ray television are also discussed herein.

## 1. ま え が き

X線テレビジョン装置は、三菱電機では、非破壊検査用として、1960年3月東京でのNDIのショーに展示出品し、医学用としては同年6月札幌で開催された医学放射線学会にて発表および展示出品を行ない、翌1961年に第1号機を東京大学医学部に試験的に納入以来、使用者はじめ、島津製作所など関係者の努力により、性能も向上し、もはや試用期間を過ぎて完全な実用時代に入っている。

X線テレビジョンは、歴史的には、GE社のXiconや、スキニングX線管を用いるもの、ミラーレンズと、ライトイメージングリファクタを用いるものなど、種々な方式も考案されたが<sup>(1)</sup>、現在実用になっているおもな方式は、

(1) X線イメージングリファクタとテレビジョンカメラを組み合わせる方式

(2) けい光板を直接テレビジョンカメラで写す方式

(3) X線に直接感度を有する影像管を用いる方式  
の3種に大別され、それぞれ得失がある。

以下X線テレビジョンならびに、X線テレビジョンの性能を左右するイメージングリファクタに対して、現在用いられている各種方式、最近の新しい技術、今後の動向などにつき述べる。

## 2. X線テレビジョンの各方式の比較

## 2.1 X線イメージングリファクタとテレビジョンカメラを組み合わせる方式

X線イメージングリファクタ(以下I.A.という)とテレビジョンカメラ(以下TVカメラという)を組み合わせる方式は、現在最も一般に普及している方式である。

この方式をさらに分類すると、次の3種類が考えられる。

(1) I.A.+ビジコンカメラ

(2) I.A.+ブラウンビコンカメラ

(3) I.A.+イメージオルシコンカメラ

これらの各方式についてもそれぞれ長短を有しており、この特長を比較してみると表2.1のようになる。

## 2.1.1 I.A.+ビジコンカメラ方式

ビジコンカメラ方式は、その取扱いが容易であり、価格的にも最も安

表 2.1 X線TV用撮像管比較表(代表例)  
Camera tube for X-Ray television use.

| 種 類<br>項 目    | ビジコン                           | ブラウンビコン     | イメー<br>ジ<br>オルシコン | 備 考                     |
|---------------|--------------------------------|-------------|-------------------|-------------------------|
| 全 長 mm        | 160                            | 220         | 386               |                         |
| 直 径 mm        | 28.5                           | 34.5        | 76.2              |                         |
| 光 電 面 φmm     | 13.5                           | 17.5        | 36.5              | I.A.および下記レ<br>ンズと組合せたとき |
| レンズ焦点距離<br>mm | 50                             | 65          | 135               | I.A.と組合せたとき             |
| レンズ明るさ        | 1:0.75                         | 1:1.0       | 1:2.5             |                         |
| γ             | 0.65                           | 0.9         | 1.0               |                         |
| 使用電圧 V        | 300                            | 300         | 1,250             | 最高部(一例)                 |
| 信号電流 μA       | 0.1~0.2                        | 0.1~0.3     | 20                | 大略値(一例)                 |
| 暗電流 μA        | 0.02~0.2                       | 0.003       | —                 |                         |
| S/N           | 300:1                          | 200:1       | 30~40:1           |                         |
| 残 像 %         | 15~25                          | 10          | 無                 | 光シャ断後 50 ms             |
| 中心解像度(本)      | 600                            | 600         | 600               |                         |
| レスポンス %       | 35                             | 30          | 45                | 400 TV本相当               |
| 寿 命 h         | 2,000~3,000                    | 1,500~2,000 | 500~1,000         |                         |
| 光電面材質         | Sb <sub>2</sub> S <sub>3</sub> | PbO         | AgSb-Cs           |                         |

価なため、現在使用されているX線テレビジョン(以下X線TVという)はほとんどがこのI.A.+ビジコンカメラ方式である。

この方式では、I.A.の出力けい光面を、2個のレンズからなるタンデムレンズ系<sup>(2)</sup>で受け、ビジコンの光電面に結像させている。

ビジコンカメラのばあいには問題になるのは、S/Nおよび残像である。一般にイメージオルシコンカメラ(以下I.O.カメラという)のばあいのS/Nが、イメージオルシコン管(以下I.O.という)そのもののS/Nで決まるのに対して、ビジコンカメラのS/Nは、カメラの前増幅器の初段回路で決まる。この問題については、3.3節に詳述するが、ビジコンカメラのS/Nは、現在入手可能な素子での限界近くにあり、今後さらに雑音特性の良い素子の開発が望まれる。

次に残像特性であるが、I.O.ブラウンビコンに比べて、ビジコンが劣る最大の欠点はこの残像である。

しかしながらI.A.が改良され、明るいI.A.が得られるようになった現在では、消化器系の透視診断にはほとんど支障なく使用されている。さらにビジコンの残像のために、X線の量子ノイズが平均化されて目立たなくなり、かえって見やすい像としている面もある。

以上のごとく、ビジコンカメラは残像を除く多くの点で他の方式に比べてすぐれているため、現在使用されている X 線テレビジョンのほとんどが、ビジコンカメラ方式である。

### 2. 1. 2 I. A.+プランビコン カメラ方式

プランビコンはビジコンとよく似た光導電効果を利用したものであり、ビジコンは光電面が  $\text{Sb}_2\text{S}_3$ ,  $\text{As}_2\text{S}_3$ ,  $\text{Se}$  などを用いているのに対し、プランビコンでは、N. I. P. の各層よりなる  $\text{PbO}$  を用いている。

電極構造はビジコンとほとんど同じであり、動作も大体同じであるが、外形寸法は表 2. 1 に見られるようにビジコンに比べ若干大きい。

その電気的特性は、ビジコンに比べ、暗電流が非常に少なく、高感度で、残像が少ないなどすぐれた特性を有しており、カラー TV や X 線 TV において大きな利点がある。

プランビコンカメラのおもな特長をまとめると下記 (1)~(4) のごとくである。

#### (1) 残像が少ない。

ビジコンに比べ残像が少なく、運動の速い被写体もほとんどぼけることがない。

ただし最近の発表によると<sup>(3)</sup>、プランビコンの残像は、ターゲット電圧 30 V 付近に最少値があり、入射光量が減少すると残像が増加し、また使用時間の経過により残像が増加することが認められているが、いずれにしても実際に像を観察すると、ビジコンよりかなり残像が少なく感じられ、X 線 TV としてはほとんどの用途に問題なく使用できる。

残像には白ピークの放電おくれによる、通常火の玉現象と称するものがある、これは輝度の高い被写体が動いたとき、火の玉が動くような現象を指すが、この現象はビジコンと同様にプランビコンのばあいにも生ずる。

#### (2) 暗電流が少ない。

暗電流が  $0.005 \mu\text{A}$  以下で、ビジコンの  $0.02 \mu\text{A}$  に比べて小さい。このためシェーディングが少なく暗電流の温度変化が、映像信号に及ぼす割合も少ないので設計的にも有利である。

#### (3) 感度が高い。

プランビコンはビジコンに比べて感度が若干高い。このことは被写体照度の暗い X 線 TV にとっては有利な特長であるが、X 線 TV の全システムから見ると、プランビコンの光電面が大きく、第二レンズにビジコンのばあいより焦点距離の長いものを必要とし、第一レンズと口径を合わせるため F 値はかえって暗くなり、全体では管球の感度の違いほどは得になっていない。

#### (4) $\gamma$ (光電変換特性) が 1 に近い。

ビジコンの  $\gamma$  が約 0.65 であるのに対して、プランビコンは約 0.9 と 1 に近いので、X 線の透視像のようなコントラストの低い像の観察には都合がよい。

以上のごとくプランビコンは、ビジコンに比べ利点も多いが、現在のところ、非常に高価であることが最大の欠点である。これも量産化が進むに従って安価になると考えられる。

プランビコンは、動作原理がビジコンに類似しており、使用電圧もほぼ同一の電圧で動作させることができるため、ビジコン方式の X 線 TV 装置は、カメラ部分と第 2 レンズをプランビコン用に交換し、他は若干調整し直す程度でプランビコン方式に変更できるが、寸法が異なるため、ビジコン管との互換性はない。

I. A.+プランビコン方式を使用した結果によると、I. A.+ビジコンのばあいよりも、X 線量は若干少なくて済むが、一方 X 線量を減らした

ことと、残像が少ないために、X 線の量子雑音が目につくようになる。この点ビジコンのばあいには量子雑音は、残像で平均化されてあまり目立たなくなっている。

ビジコン方式とプランビコン方式との選択に当たっては、残像特性と量子雑音の見え方のどちらを選ぶかで決められ、一般的には次のように選ばれている。

消化器系：I. A.+ビジコン方式、特に胃がおもなばあいには、残像は多いが雑音の少ないきれいな画面の観察ができる。ただし胃集団検診の位置決めなどに使うばあいには、多少量子雑音が目立っても残像の少ないコントラストの強い画面のほうが使いやすいともいえる。

循環器系：I. A.+プランビコン方式、残像の点で断然有利であり、心血管造影や、心臓カテーテルのばあいにはビジコン方式では無理なようである。

### 2. 1. 3 I. A.+I. O. カメラ方式

I. O. 管は、感度がビジコンやプランビコンに対し非常に高い、残像がほとんどない、光電変換特性  $\gamma \approx 1$  である。Knee 特性がある、などの特長があるが、反面寸法がビジコンやプランビコンに比べて相当大きく、(図 2. 1 および表 2. 1 参照) カメラとしては寸法だけでなく重量も重くなる。また動作原理もかなり複雑であり、I. O. 管だけでなく装置の価格も高価となる、などの欠点がある。

数年前、プランビコン管がまだあまり実用化されなかった時代に、循環器系、または非破壊検査の流れ作業など、特に残像が少ないことが要求される用途に、一部用いられたことがある。

ただし残像の点は、I. O. 管としてはほとんど残像零であるが、I. A. と組み合わせるばあいは、I. A. に若干残像があり、総合的には残像が皆無とはならない。

また、I. O. が高感度である点も、量子雑音のために残像が少ないことがかえって災いして、X 線量のある程度以下に減らされないなど、I. O. の利点をあまり生かせられず、プランビコンで十分であると考えられるにいたり、現在ではほとんど用いられなくなった。

### 2. 2 けい光板を直接 TV カメラで写す方式

この方式では、TV カメラが特に高感度であることが絶対条件であるが、現在のところ、前記 2. 1 節の I. A. を使う方式と等価な感度を有するほどのものはない。

現在この方式を実用ならしめるものとしては、超高感度のマルチアルカリ光電面、 $\text{MgO}$  ターゲットの I. O. がある。

この  $\text{MgO}$  ターゲットの I. O. は、一般の I. O. に比べて高価であり、非常に精度の高いものであるため、その取扱いに十分注意を要するものではあるが、感度の面では一応実用になるものと思われる。

このばあいレンズはやはり特殊なレンズを必要とし、現在焦点距離 95 mm F=1 : 0.7 という大口径レンズが開発されているが、量産がむずかしいなどこの方式を普及させるうえで種々の問題を含んでいる(図 2. 2 参照)。

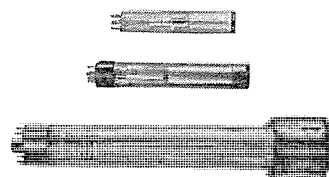


図 2. 1 各種撮像管 (上から イメージオルシコン、プランビコン、ビジコン)  
Camera tubes (image orthicon plumbicon, vidicon).



図 2.2 けい光板直接式 IO カメラおよびレンズ  
Image orthicon camera with lens for pickup of fluorescent plate.



図 2.3 X 線に感度を有する ビジコン による IC 透視の受像画面 (10 kV 1.5 mA)  
TV picture with X-ray sensitive vidicon camera (10 kV 1.5 mA).

I.O. 管の最大の欠点は S/N が悪いということであり、前述のとおり、ビジコンカメラが前置増幅器の S/N 改善により雑音特性の向上が期待できるのに対し、I.O. 方式では S/N が I.O. 管そのものの特性で決定され、さらに I.O. は動作原理からも明らかなように、被写体の暗い部分の S/N が悪いということが X 線 TV において非常に制約を支えている。

この方式の得失は、

#### (2) 利 点

(a) けい光板を直接写すため、大きなけい光板の視野をそのままいっばいに写すように設計可能である (現在は 320 mm×320 mm ぐらいまで実用になっている)

(b) 残像がほとんどない (けい光板の残像が若干ある)

#### (2) 欠 点

(a) けい光板を直接写すので、I.A. 使用の方式のごとく 16 mm 映画、70 mm 間接撮影などとの併用が不可能である。

(b) 現在のところまだ感度が不足で、S/N があまり良くない。

(c) 大きなフードが必要であり、レンズも大形で重く、カメラ自身も大形で重いため、小形軽量な装置を作りがたい。

などがあげられる。

以上のほかに、本方式に将来有望な撮像管として、3 章で後述する S.E.C. ビジコン や イメージアイソコン が開発されつつあり、次の撮像管として期待される。

当社における実験でも、MgO ターゲットの I.O. を使用して、かなり好結果を得ており、今後も研究を進めていくべきものと考ええる。

### 2.3 X 線に直接感度を有する撮像管を用いる方式

この方式は古くは 1956 年に GE 社より Xicon として発表されたが、種々の技術的問題で大きな光電面のものは製作困難であり、現在は直径 25.4 mm (光電面有効径 16 mm) および直径 38.4 mm (光電面有効直径 25 mm) の同形のビジコンと差替え使用可能なものが作られている。

これらは光電面も小さく、また感度も低いため、X 線量を多く必

要とし、医学用に使われることはほとんどないが、半導体や電線などの小さな物体の内部検査や、昆虫など小動物の研究などには、直接光電面上において検査できるため解像度の良さが買われてわずかに用いられている。

本装置で IC の内部を透視した例の受像画面を図 2.3 に示す。

### 3. 最近の技術的改良

X 線 TV には前述のように各種の方式があり、それぞれの特長を生かすべく改良研究が行なわれているが、そのおもな方向としては S/N 比の改善など画質の向上のほかには装置の自動化・無調整化に力が注がれている。

ここでは現在一番多く実用されている、I.A. と ビジコンカメラ あるいは、プランピコンカメラ を組み合わせる方式の X 線 TV に関して、技術的改良点および新しい装置について述べる。

#### 3.1 I.B.S 回路 (Image Brightness Stabilizer)

X 線 TV 装置を実際に使用する場合、一般に被写体が変わると、当然のことではあるが、I.A. の輝度が大幅に変化する。

医用 X 線 TV においては、一般に手動で X 線の線量を変えることによって画像を一定に保つようにしているが、操作が煩わしく自動化されることが要求される。

この輝度変化を補償するために、X 線 TV 内に利得調整 (AGC) 回路を持たせたり、あるいは撮像管の感度制御を行なわせることが考えられるが、前者の場合は I.A. の出力像が元来輝度、コントラストの点で十分なものでないため、利得を上げることによりコントラストの調整はある程度可能であるが、S/N 比が劣化するため画質の改善はあまり期待できない。また後者の撮像管の感度を自動調整する方式においても、プランピコンではターゲット電圧を一定で使用するのが望ましいため感度調整は不可能であり、ビジコンはターゲット電圧の制御によりある程度の感度調整を行なうことは可能であるが、実際の輝度変化を補うだけ感度に余裕がないため十分な結果は得られない。

上記のような理由から、X 線 TV 側で補償することは補助的な手段として用いられ、次に述べるような X 線装置の管電圧あるいは、管電流を制御することにより I.A. の出力輝度を一定に保つ方式が最も合理的である。

X 線 TV 装置において従来常用されている輝度自動調整方式は I.A. 出力面の明るさを光電管で電気信号に変換し、この値を一定にするように管電圧を調整する方式である。

この方式の欠点として、

(1) I.A. 出力の平均値測定であるため被写体がずれて直接線が入ると適正な出力信号が得られない。

(2) 照射野が変化した場合には感度補正が必要である。

(3) 検出ミラーによる光量損失がある。

などがあげられる。

この欠点を除くために X 線 TV の映像信号から輝度自動調整用の信号を得るようにし好結果を得ている。

テレビジョン信号は I.A. の出力像を点で走査しているので信号処理をすれば採光面積 (画面上制御したい部分の面積) を容易に制限することができ、処理過程で平均値でもピーク値でもとり得るので上記 (1) (2) の問題はほぼ解決することができる。またテレビ信号を利用する I.B.S. では、光学的には何ら手を加えていないので当然上記 (3) の点も解決される。

図 3.1 にこのテレビ信号を利用した I.B.S. の回路構成を示す。

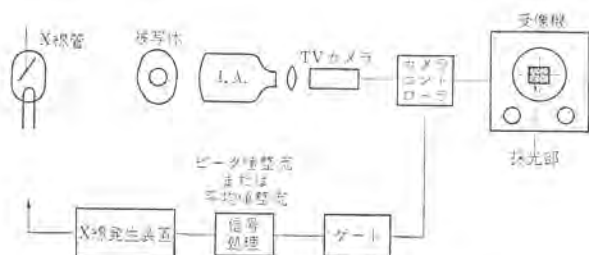


図 3.1 IBS 回路構成  
System diagram of IBS.

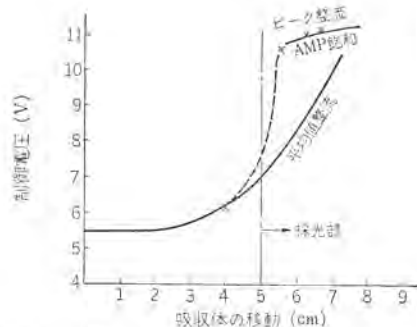


図 3.2 (a) 視野に直接X線が入った場合の出力制御電圧  
(採光部は端から5 cm に設定)  
Effect of direct X-ray for output voltage.

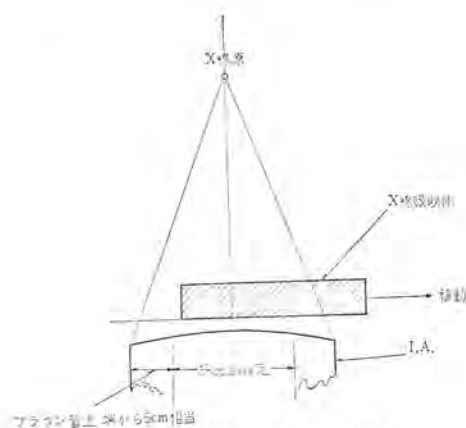


図 3.2 (b) 同上実験方法  
Method of measurement.

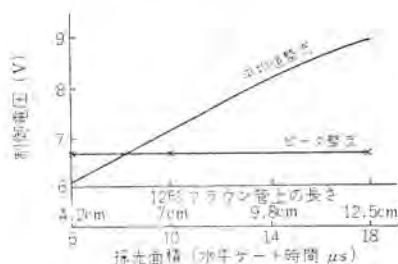


図 3.3 採光面積 (ゲート時間) を変化させた場合の出力制御電圧  
Effect of gate time for output voltage.

この装置の動作を説明すると、まず X 線 TV カメラにより取り出された映像信号は受像機の画面で斜線を施した中心部の映像信号のみがゲート回路で抜きとられ、信号処理回路で平均値整流またはピーク値整流されて制御電圧を得ている。この制御電圧により X 線発生装置の管電圧を制御し I. A. の輝度を一定に保つように動作させてい

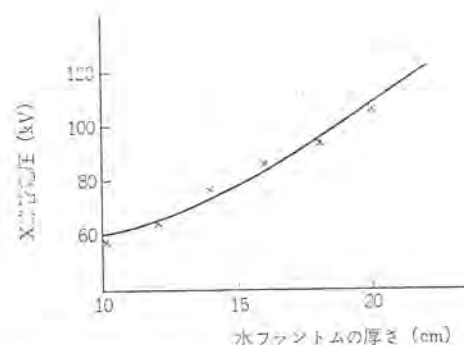


図 3.4 被写体の厚さの変化に対する所要X線管電圧  
Required X-ray tube voltage vs. thickness of water phantom.

る。

本装置による実験結果を図 3. 2～図 3. 4 に示す。

図 3. 2 は採光部を端から 5 cm の所に設定し、X 線吸収体で I. A. 全面をおおい、この吸収体を移動して直接 X 線を視野に入れた場合の出力制御電圧を示す。

図 3. 3 は採光面積 (ゲート時間) を変化させた場合の制御出力電圧を示す。横軸は水平走査時間のうちゲートされて抜きとられた時間を示す。

図 3. 4 は精度を示すもので、I. A. 出力面の明るさを一定に保つようにした場合の被写体厚さの変化に対して要求される X 線管電圧を示し、×印は本自動制御方式によって得られた値を示す。

図 3. 2、図 3. 3 から画面中心部のうちゲートして取り出すようにすれば直接線が採光面積中に入るまではほぼ一定の出力信号が得られる。またピーク整流方式の場合は採光面積を変えてもまだ採光面積中の造影剤占有割合が多くなっても不都合を生じないことを意味する。

このように画面の中心部のみをゲートして抜きとるようにしていても体位の転換時に画面の中央部まで直接線が入る場合があるので、この場合は自動調整機構が動作しないようリミッタを働かせている。

### 3. 2 プリアンプの S/N 比改善<sup>(4)(5)</sup>

X 線 TV に限らず、ビジコンまたはブラウンコンカメラにおいてはプリアンプの S/N 比が非常に重要な性能の一つであるが、X 線 TV では被写体が暗く、コントラストの低い像であるため特に重要な要素である。

プリアンプの S/N 比は初段の増幅素子により支配されるため初段の増幅素子の選択は慎重に行なわれ、一般にトランジスタ化された装置においても初段にはトランジスタはあまり使用されず、ニュービスタなどを用いることが多かった。

しかるに、最近では接合形の電界効果トランジスタ (F. E. T.) で非常に N-F の良い素子が入手可能となった。その結果 S/N 比を従来のプリアンプより約 4 dB 向上することができた。

この F. E. T. を用いた場合の利点は、S/N 比が向上するほか、ヒータがないため発熱がわずかである、電源電圧も他のトランジスタ回路並みに低くて済む、電極の振動によるマイクロホニック雑音の心配がない、また Gm の劣化がないので性能が安定しているなどである。

### 3. 3 レンズの改良

I. A. とビジコンカメラの組み合わせの場合にはマニプルレンズ系が用いられる。

この方式の X 線 TV においてレンズ系の良否は装置の S/N 比をはじめ解像力など性能を左右するため、できるだけ良いものを使用するべきである。



表 3.1 撮影像即時再生装置の各部の動作  
Sequence of spot recording system.

|               | VTR<br>NORMAL<br>SPOT<br>切り換え          | 約<br>3<br>秒 | 撮影用<br>スイッチ<br>を押す                                  | 約<br>1.3<br>秒 | 撮影用<br>X ray ON                                                                                                                                                                                  | 任意<br>時間   | 撮影用スイッチを<br>はなす |                     |
|---------------|----------------------------------------|-------------|-----------------------------------------------------|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-----------------|---------------------|
| 透視X-ray       | ON                                     |             | OFF                                                 | OFF           | OFF                                                                                                                                                                                              | OFF        | OFF             | ON                  |
| ターゲット<br>電 圧  | 高                                      |             | 低                                                   | 低             | 低                                                                                                                                                                                                | 低          | 低               | 高                   |
| XTVモニタ<br>画 像 | XTV<br>カメラ<br>(透視像)                    |             | VTR<br>OUT<br>に接続                                   |               | VTR/SPOT像                                                                                                                                                                                        | SPOT<br>T像 | VTR<br>SPOT像    | XTV<br>カメラ<br>(透視像) |
| VTR           | SPOTの状態<br>で待機<br>(再生状態<br>へヘッド回<br>転) |             | ①テープ<br>送り<br>(数トラ<br>ック送<br>り後停<br>止)<br>②録画状<br>態 |               | X-ray ONのRM接<br>点が開いてから3<br>〜4フィールド遅れた<br>1フィールド分の映像<br>情報を記録し、指<br>令パルス(2個)の後<br>のパルスでVTRを<br>再生に切り換える<br><br> | 再生         | 再生状態            | 再生状態<br>(最初の状態)     |



(a)



(b)

図 3.6 本装置による即時再生受像画面  
Reproduced picture by spot recording system.

どる。

(b) X線テレビの映像系統は元の状態、すなわち受像機が VTR の入力側に接続される。(したがって再生像は消える)

(c) (b)と同時に透視のX線がONになり、受像機に透視像が出る。

(d) このとき、VTR は再生の状態を保っている。

以上が撮影像の即時再生の1週期である。

これらの各部の動作をわかりやすくするため表にまとめると、表 3.1 のようになる。

### 3.5.3 使用結果

実際に本方式を使用した結果、撮影時のX線量は透視時よりも多いので、コントラストの良い静止画像が得られている。

ただし、X線TVは2:1のインタレース方式を採用しており、そのうち1フィールドを抜き取っているため走査線数が半分となり垂直解像力が若干低下する。また、これは本方式に限ったことではないが、静止画像のため、画面上のノイズが目に残像で平均化されることがないので、多少ノイズが目立つ画面となる。このような現象は原理的にやむを得ないものであるが、撮影像確認という観点からは十分実用になる像が得られている、その受像画面の写真を図 3.6 に示す。

## 4. 島津イメージングアンプの技術的進歩

三菱X線TVはおもに、島津製作所のイメージングアンプ(I.A.)と組み合わせているが、X線TVの性能は、このI.A.の性能に負うところが多い。本章では、これらI.A.の最近の技術的進歩について述べる。

### 4.1 性能の向上と新機種の開発

I.A.は1952年に開発されたのであるが、当時のものは光学系をとおして目で直接に観察するものであった<sup>(6)</sup>。その後、応用範囲が広がって、I.A.を用いたX線映画やI.A.の出力像を写真に撮る間接撮影が行なわれるようになった。最近では、I.A.の像を直接目で観察することは、ほとんど行なわれなくなり、閉回路テレビジョンを組み合わせたX線TVが広く普及するようになった。

島津製作所では1957年以来、今日までI.A.を生産してきたが、I.A.の性能は次第に向上してきた。最近における進歩のうち、おもなものはつぎにあげるようなものである。

- (1) 感度の向上(変換係数の向上)
- (2) 画質の向上(コントラスト、解像度、ひずみ)
- (3) 7インチ形イメージングアンプの開発
- (4) 可変視野形イメージングアンプの開発

これらについて、以下に項を追って述べてみたい。

参考までに、現在生産中の島津I.A.管の性能を表4.1に、また可変視野I.A.の外観を図4.1に示しておく。

### 4.2 感度の向上

I.A.は、本来暗いX線像を明るくして、見やすくすることがその使命であるから、感度が高いことが基本的に要求されるのは当然である<sup>(7)</sup>。

感度の尺度として、これまでは輝度倍率が用いられてきた。輝度倍率は、標準のX線用けい光板およびI.A.を一定のX線量率で照射したとき、両者の輝度比をとったものである。したがって、標準とするけい光板が異なると、同一のI.A.でも異なった輝度倍率が得られることになり具合が悪かった。1962年に International Commission on Radiological Units and Measurement (ICRU) からI.A.の感度表示には、変換係数を使うべきであるという勧告が出されている<sup>(8)</sup>。



図 4.1 島津可変視野 イメージアンプライファ (IA 11/7-3-1 形)  
Shimadzu dual field image amplifier (type IA 11/7-3-1).

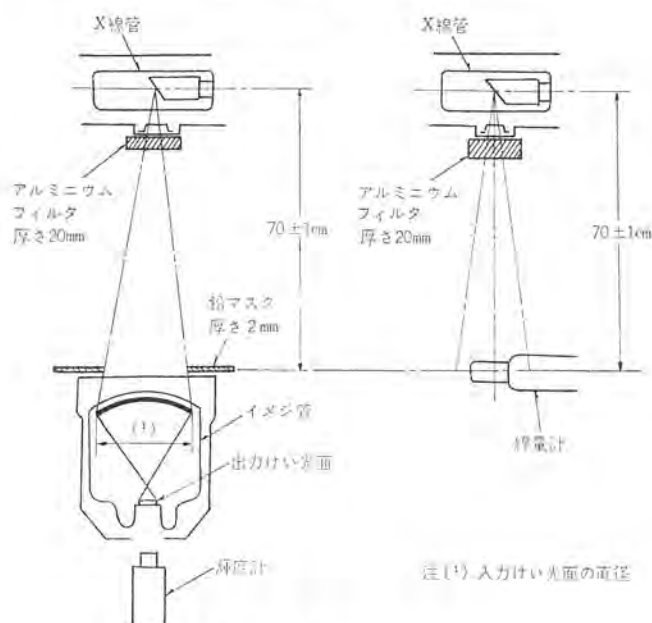


図 4.2 変換係数の測定  
Measurement of conversion factor.

表 4.1 イメージ管の仕様と性能  
Specification of image amplifier.

| 形名                  | 11インチ形<br>(IA-3B) | 9インチ形<br>(IA-2) | 7インチ形<br>(IA-7) | 11/7インチ形<br>(IA-8B) |
|---------------------|-------------------|-----------------|-----------------|---------------------|
| 視野直径<br>(入力けい光面) mm | 280               | 230             | 175             | 280/180             |
| 像の縮小率               | 11.5              | 9               | 11              | 12/7.5              |
| 加速電圧                | 25~30             | 25~30           | 25~30           | 25~30               |
| 変換係数                | 36以上              | 24以上            | 36以上            | 36/12以上             |
| 識別可能<br>最小コントラスト %  | 2                 | 2               | 2               | 2/2                 |
| 解像度 線対/cm           | 16                | 16              | 18              | 15/18               |

変換係数は、線質を規定したX線の単位線量率に対する I. A. の輝度で示され、その単位は  $(\text{Cd}/\text{m}^2)/(\text{mr}/\text{s})$  である。変換係数の測定は図 4.2 に示すような方法で行なわれるが、この際、

- (1) X線管の固有透過はアルミニウムの 2 mm 相当であること
- (2) 図 4.2 の右側のような状態で線量率を測定するのであるが、このときの半価層がアルミニウムの  $7 \pm 0.2 \text{ mm}$  であるようなX線管電圧を使用すること
- (3) X線装置は全波整流または平滑波形であること

以上3点が要求されている。この測定法により、正確な I. A. の感度比較ができるようになったわけである。

島津 I. A. の変換係数は表 4.1 に示されているが、数年前にくらべてかなり高い値になっている。I. A. の出力輝度は、陽極電圧に比例して高くなる。また、表 4.1 に示されている像の縮小率は入力像と出力像の寸法比であるが、これが大きくなれば、それだけ出力像面での電子密度が高くなるので、縮小率の2乗に比例して輝度が高くなる。輝度を高くするために、陽極電圧を高くすることは I. A. 管の耐圧に限度があってむずかしい。実際には像の縮小率を大きくして輝度をあげている。しかし、縮小率だけを大きくすると、出力像の解像度が低下する。したがって、このような解像度低下を他の方策を講じて補う必要がある。この点については次節で述べることにする。

また、I. A. 管の感度の向上は、入出力面のけい光体層の発光効率、光電面の効率の向上からも得られるが、このうち光電面効率の向上によって輝度が高くなっている。

### 4.3 画質の向上

入力スクリーン、出力けい光面および電子レンズ系に改良が加えられた結果、解像度やコントラストが向上した。

図 4.3 は、従来の入力スクリーンと最近の入力スクリーンの構造を比較したものである。従来のスクリーンではガラス薄板を使っているために、ガラス内での光散乱によるバックグラウンドがコントラストを低下せるとともに、けい光体層にできた光像が光電面に到達するまでに“ボケ”るために、解像度も低下していた。最近の入力スクリーンは、ガラスを使用せずに亜酸化けい素の蒸着薄膜を使用しているの、コントラストおよび解像度が向上している。

以上の画質改善は、とくにX線吸収体を入れて透視するとき著しく、たとえば人体胸部に平行銅線群を重ねて 11 インチ、I. A. で透視したとき、従来のものでは 0.65 mm の平行銅線群を解像する程度であったものが、最近のものでは 0.55 mm まで解像するようになった。

出力けい光面については、粒子のより小さいけい光体を使用し、しかも粒状性の少ないけい光面を作るように努力した結果、最近の出力けい光面では平均粒径  $3 \mu\text{m}$  のけい光体を用い、膜厚約  $1 \text{ mg}/\text{cm}^2$  で均一なスクリーンが得られるようになった。このようにして、出力けい光面自体の解像特性が向上したので、像の縮小率を大きくしてなお、解像度の向上が認められている。

前節で述べた縮小率の増大は、電子レンズ系の変更によって行なわれたのであるが、この変更に伴って、収差の改善も行っており、ひずみが少なくなって、像の中心から周辺まで一様な解像度が得られるようになった。

### 4.4 7インチ形イメージアンプライファの開発

外科手術用や、簡易形のX線 TV 装置として小形 I. A. のが要求されるようになってきた。かつて、I. A. の開発当初島津製作所では5インチ形を生産していたのであるが<sup>(9)</sup>、すでに陳腐化していたので、新しい構想のもとに開発したのが7インチ形である。

7インチ形の特長は小形軽量であることにあり、特に外科用装置に取付けて自由な位置で固定できる。また、一般透視台でもある種のものには、特別の支持機構を別に設けることなく取付けることが可能である。

7インチ形のいまひとつの特長は、テレビジョンと組み合わせたときの総合解像度が9、11インチ形のそれにくらべてすぐれていること

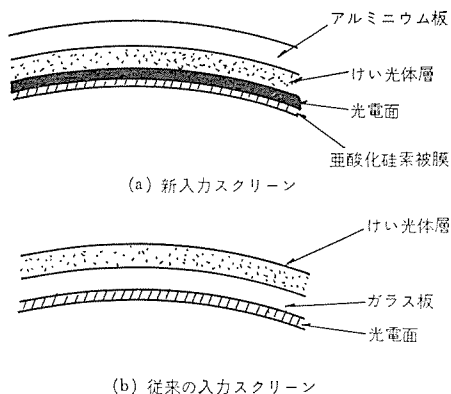


図 4.3 X線イメージ管の入力スクリーン  
Input screen of X-ray image tube.

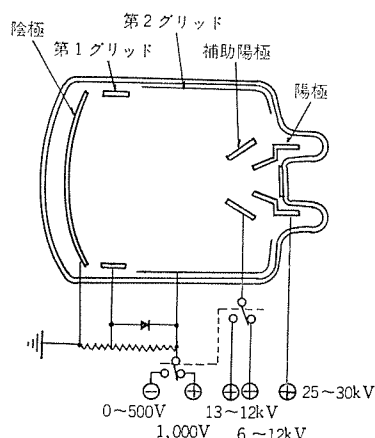


図 4.4 可変視野イメージ管の構造  
Construction of dual field image tube.

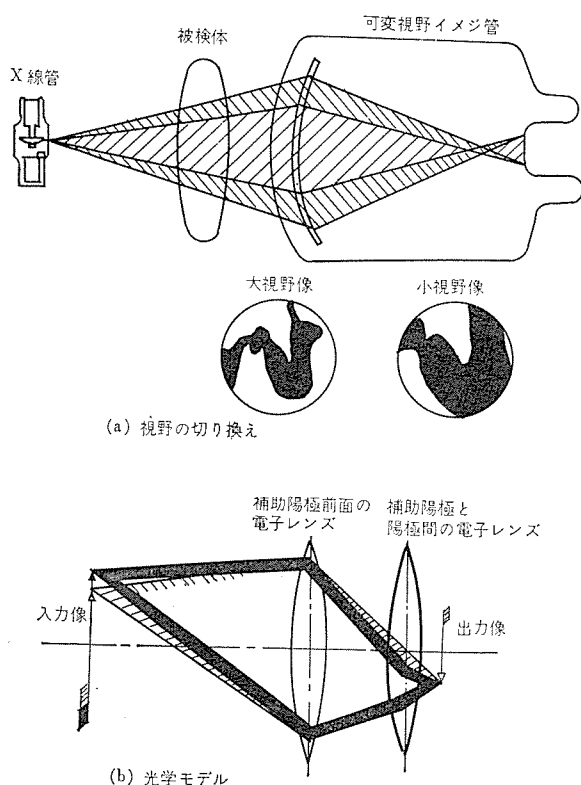


図 4.5 可変視野イメージ管の視野切換えと光学モデル  
Optical model of dual field X-ray image tube.

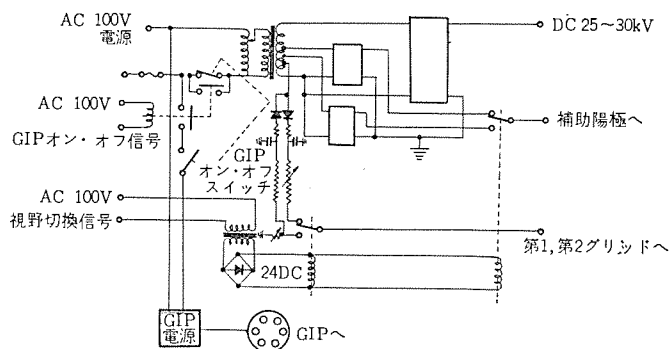


図 4.6 可変視野イメージアンプリファイア用電源部の回路  
Circuit of dual field X-ray image amplifier power supply.

である。7インチ形 I. A. 管の解像度自体が、大形の I. A. 管のそれよりも良いことのほかに、テレビジョンの周波数帯域幅との関係で、もし I. A. 管の解像度が十分あるならば、X線 TV としては 9, 11インチ形の場合のそれぞれ 9/7, 11/7 の解像度があるはずだということによるものである。したがって、7インチ形 I. A. はもっぱらテレビジョンと直結して用いられている。海外、とくに米国では X線 TV の全需要のうち 60 %がこのような小形 I. A. とテレビジョンの組み合わせであるといわれており、7インチ形 I. A. 管はわが国においても今後の需用増が期待される品種である。

#### 4.5 可変視野イメージアンプリファイアの開発<sup>(10)</sup>

I. A. は視野が大きいものほど解像度が低下する傾向がある。X線透視診断を行なうには、広い視野で概観的に透視し、問題になる部分を小さい視野の I. A. 管で精度よく観察することが望ましい。このような要求を満たすものとして、1本の I. A. 管の中で電子レンズの切換によって、大小2種類の視野を選択できる可変視野 I. A. 管が開発された。

可変視野 I. A. 管の構造は図 4.4 に示すようなものであって、その外形寸法は 11インチ形の I. A. 管とほとんど同じである。この I. A. 管の補助陽極、第1グリッドおよび第2グリッドに加える電圧を切換えることによって、図 4.5 (a) に示すような2種類の像が得られる。この電子レンズの切換えを光学系におきかえてみると、図 4.5 (b) に示すように、陽極と補助陽極の間とつレンズをそう入したり、取り去ったりする操作と等価である。

可変視野 I. A. 管に使用する電源部は、補助陽極用の電源が別に必要であるばかりでなく、その切換えおよび第1、第2グリッド電圧の切換機構を必要とするので、従来の I. A. 電源部より複雑になり、図 4.6 のような回路になっている。

4.2 節でも述べたように、出力輝度は像の縮小率の2乗に比例するから、表 4.1 にみられるように小視野側の輝度は大視野側のそれにくらべて約 1/3 になる。したがって、X線透視を行なうとき、大視野にくらべて小視野では約3倍の線量率を与えなくてはならない。

診断精度を向上させるうえに、可変視野 I. A. が有力な手法を提供することが期待される。

#### 5. X線テレビの今後の動向

前述のように、X線 TV 方式は各種のものが実用されており、それぞれ一長一短があるがいずれも使用者の満足を得ているとはいいがたい。

X線 TV としては、現在実用に供しているものでも I. A. 出力像の持っている情報をかなり忠実に再現しており、これをさらに向上することはかなりむずかしい問題であるが、少しでも感度、解像度、コントラストを向上し、無調整化を計り、所要X線量を軽減することが大きな課題である。

そのためには、I. A. 光学系を含めた総合的な研究が必要であるが、2章にも述べているようにX線 TV の特性が撮像管のそれに左右されるので今後とも撮像管の研究開発に負うところが大きい。

今のところ、価格その他の面からX線用として広く実用されるに至っていないが、性能的には SEC ビジコン、イメージイコンなどかなりの種類のものが実用化されている。

SEC ビジコンはウエスティングハウス社で宇宙開発用に開発されアポロ計画において月からの白黒およびカラーのテレビ放送に使用されたもので、感度的にも、光量変化に対する追従性の上からも非常にすぐれており今後の普及が期待される。

また、イメージイコンはイメージオルシコンの改良品であり、イメージオルシコンとは反対に暗部での S/N 比が良いので、X線 TV に適したものである。

一方、X線 TV の応用面での新しい技術開発も今後の大きな課題である。

従来から実用されているX線 TV では立体的な情報が失われているが、透視診断上からは、立体的に観察したいという要求も強く各方面で研究されている。当社においても島津製作所と協同研究でイメージオルシコンカメラによる立体透視の実験を試み、この種の装置の実用化の可能性を確かめられている。

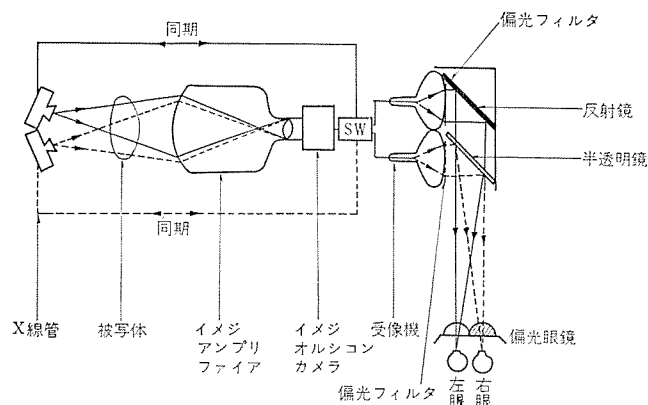


図 5.1 実験に使用した立体X線TV透視装置  
System diagram of stereoscopic X-TV test equipment.

実験方法は、図 5.1 に示すように、X線源として2個の3極管を用いて視差を与えるようにし、X線管をテレビの垂直同期信号により交互に切り換え、そのX線像をI. A. と組み合わせたイメージオルシコンカメラでとらえ、左眼像、右眼像を別々に2台の受像機に出し、偏光フィルタと偏光眼鏡によってそれぞれの像を左眼および右眼で

1対1に見るようにした。その結果I. A. の残像によるゴーストを生じる問題があったが解決の見通しは十分あるものと思われる。

この他識別度の向上のためにX線 TV をカラー化しようとする試みもあるが、これらが実用化されるには、価格的な面からまだ日数を要するであろうが、今後の方向として考えるべきものと思う。

## 6. む す び

X線透視診断はがんの早期発見をはじめとして、ますます有効に使われるようになってきたが、医師の被曝を最少限にとどめ、しかも有効に診断を行なうため、X線 TV 装置は不可欠のものとなってきた。

このX線 TV も実用時代とはいえ、まだ改良途上にあり、本文に詳述したように、技術の進歩による成果を逐次取り入れて、さらに性能・機能の向上を計りつつある。

今後、さらに新しい撮像管の開発、立体視やカラー化などの開発も大きな課題の一つであるが、さらに、X線関係者の被曝の減少というような、社会保健上の観点からも、単能機能的な、安価な機器の普及が望まれている。

おわりに、これら新技術の開発、実用化に当たり、ご協力をいただいた厚生中央病院、島津製作所をはじめ関係各位に対し厚く謝意を表すものである。  
(昭和44-7-14 受付)

## 参 考 文 献

- (1) 道家：X線、テレビジョン、三菱電機技報、38, No. 3, 104, 105 (昭39)
- (2) 乾、黒田ほか：ワンマンコントロール 遠隔操作式X線テレビジョン装置、島津評論、23, No. 4, 120 (昭41)
- (3) 宇野：スタジオ用カラーカメラ、放送技術、22, No. 3, 221~223 (昭44)
- (4) 道家、堀、宮原：XT-101形、X線テレビジョン、三菱電機技報、41, No. 4, 543 (昭42)
- (5) Koichi Sadashige : A Study of noise in Television Camera Preamplifiers, S. M. P. T. E., 73, 202 (1964)
- (6) M. C. Teves, T. Tol : Electronic Intensification of Fluoroscopic images Philips Technical Review, 14, No. 33(1952)
- (7) 田部、津田ほか：島津イメージアンプリファイア 島津評論、24, No. 2, 67~80 (昭42)
- (8) Recommendation of the International Commission on Radiological Units and Measurement (ICRU). Report 10 f (1962)
- (9) 田部、津田ほか：島津X線けい光増倍装置、島津評論、14, No. 4, 5~16 (昭32)
- (10) 津田ほか：島津可変視野イメージアンプリファイア、島津評論、25, No. 3, 5~11 (昭43)

## イラク国立原子力研究所納め中性子回折装置

今井 光\*・三富 至道\*・松宮 正幸\*\*・弘中 一光\*\*\*

## Neutron Diffractometer for Atomic Energy Commission of Iraq

Kobe Works Hikaru IMAI・Yoshimichi MITOMI

Head Office Masayuki MATSUMIYA

Central Research Laboratory Kazumitsu HIRONAKA

A two axis type neutron diffractometer is now under construction for Atomic Energy Commission of Iraq at Mitsubishi Kobe Works. Description is made herein to explain about its machine assembly, measuring devices and control equipment. This is the third unit for export following those built for Iowa and Missouri University, having features of not only much technological improvement over them but also constructing an experimental hole shield assembly together with. It is very effective in the point of providing a two circle goniometer and imparting the function of correcting measurement errors of a neutron beam and obtaining three dimensional data of construction analysis. The measuring devices employ monitor channel constant counter system so as to operate with high accuracy in the measurement of long duration.

## 1. ま え が き

中性子回折装置は、原子炉から得られる熱中性子ビームを利用して結晶構造や磁気構造を解析する大形の実験装置である<sup>(1)</sup>。当社は1958年日本原子力研究所にこの第1号を納入して以来、すでに電気通信研究所・東京大学物性研究所・京都大学原子炉実験所・東北大学金属研究所などに約10台の装置を納入し、国内での独占的な地位を確保してきた<sup>(2)~(5)</sup>。一方海外からの引合も多く、1965年にはアイオワ大学、1967年にはミズーリ大学からの受注に成功、それぞれ一式納入し、物性物理の研究に寄与している<sup>(6)~(7)</sup>。

この間、装置自身も技術的に改良を重ね、2軸形中性子回折装置、3軸形中性子回折装置を開発した。また実験孔を有効に使用するため、一つの実験孔に2組の回折装置を設置するタンデム形複式中性子回折装置<sup>(8)~(9)</sup>への拡張も行なわれた。制御系にはプログラムコントロールをいち早く採用し<sup>(3)~(9)</sup>、実験の能率化、信頼性の向上をはかった。最近、これら多くの実績に基づいて当社としての標準タイプを設定した<sup>(8)</sup>。その結果、ユーザ側でいちいち仕様書を作らないでも、カタログ番号を指定するだけで製品化することができるし、また装置全体ではなく、個々の部品のみを購入することもできるようになった。

このような動きの中で、今度輸出第3号機として、イラク国立原子力研究所から2軸形中性子回折装置NX-1320の受注に成功し、8月末船積の予定で、現在神戸製作所にて組立、調整中である。このタイプは一つの実験孔を用いて一つの実験を行なうものであるが、付属装置として2サークルゴニオメータも備えている。

イラク国立原子力研究所の原子炉は、ソ連製のIRT形と呼ばれるスイングボール形の実験用原子炉である。現在は最大出力2MWで運転中であるが、2年後には5MWに容量アップするらしい。したがって中性子回折装置据付時には原子炉が稼働しているし、また従来の輸出1号機・2号機と異なり、実験孔プラグ・実験孔シャベリ体までを一括受注している関係で、従来にない受注条件ではあるが、昨年2月原研JRR-3に納入した東京大学物性研究所向けの装置<sup>(10)</sup>で得たシャベリ体に関する経験を生かすことができ、その成果が大いに期待されている。

## 2. 装置の概要

中性子回折装置についてはすでに発表されたものも多いが<sup>(2)~(10)</sup>、機能的には機械装置・制御装置・測定装置から成る大形の精密測定機器である。イラク向けのNX-1320形は、機械装置には、原子炉の実験孔から強い熱中性子ビームを引出すコースコリメータ、ビームを平行に揃えるファインコリメータ、ビームの大きさを調節するビームスロウ、単結晶にあててÅオーダーの単一波長ビームを取出すモノクロメータ、試料をセットし、試料の回転位置を調節する試料テーブル、この試料に中性子ビームを照射し、その散乱による回折像を角度の関数として測定するゴニオメータ、中性子やガンマ線などの放射線の漏れを防ぐための実験孔シールドやモノクロメータシールドなどがあり、総重量30トンにも及ぶものである。

このほか、付属装置として2サークルゴニオメータがあり、これによって試料をさらにCHI軸、PHI軸の2軸方向に動かすことができ、中性子ビームの測定誤差の補正や、構造解析の3次元的なデータをとるのに効果的である。

放射線のしゃへいに関しては、JRR-3に設置した東京大学物性研究所向けの装置から得た経験を生かし、実験孔シールドと実験孔プラグの結合部の構造を改良した。またモノクロメータしゃへい体はモノクロメータの空間を完全に包囲するよう構成するなど、実験孔の炉壁周辺のしゃへいには特に注意を払い、しゃへい能力の大幅な改良を目指した。

測定装置は、長時間にわたる測定に対しても精度よく行なえるように、モニター一定計数方式を採用し、そのためモニタ系・メイン系の2チャンネルで構成されている。各チャンネルとも中性子の検出をBF<sub>3</sub>管で行なって電気信号にかえ、固体化、モジュール化された測定回路に



図 2.1 当社の放射線照射装置の種類  
Table of kind of our irradiation units.

導いて増幅、波形整形を行なう。測定回路からの出力は、打点式記録計で常時記録されるとともに、デュアルチャネルスケーラにも送られる。

スケーラはIC化した10進カウンタを主とするデュアルチャネル形のカウンタで、機能として5種類の計数方式を持つ。スケーラは測定装置の中で特に制御装置と密に結ばれており、制御シーケンスの一つを構成している。測定結果は制御装置を通してテレタイプに送られプリントされる。

制御装置にはテレタイプを改造した経済的なI/O装置、シーケンス制御や位置ぎめ制御を行なう論理回路、各種スイッチ、表示器、および機械装置を駆動するサーボ増幅器があり、一連の動作を自動または手動で能率よく行なうことができる。

駆動部の位置検出にはシャフトエンコーダを用いて絶対値による位置ぎめを行ない、高速度駆動・低速度駆動の切換えによるON-OFF制御で、設定精度 $\pm 0.01^\circ$ が十分確保されている。

論理回路は今回特にIC化を行ない、使用プリント基板の数を大幅に減少させることにより、信頼性の向上、保守の容易さをめざるとともに、制御方式にはミズーリ大学向けの場合と同様に、試料テーブルとゴニオメータームを独立に駆動し、すべての測定角や制御指令は一つずつテーブルから指令させることにし、将来、“CONSTANT Q”法や“CONSTANT  $\Delta E$ ”法への拡張ができるよう、また最近とみに話題をかもししている計算機を利用したON-LINE Controlへの切換えも容易にできるよう考慮している。

### 3. 機械装置

図3.1にイラク向け2軸形中性子回折装置を示す。機能上は従来の2軸形に比べほとんど変わらないが、シールド関係に改善を加え、実験者の安全をはかると同時に検出器のバックグラウンドを小さくした。

特にデテクタシールドについては、しゃへい材料にボロンカーバイトを使用することにより、シャッタ・ビームスロウ・ファインコリメータなどを内部に組み込み、シンプルな形状が得られた。この装置の仕様の概要を表3.1に示す。

#### 3.1 実験孔プラグ

原子炉より所定の形状の中性子ビームを取り出すため、円筒形のプラグを原子炉壁にそう入する。

このプラグは、比重約3.5の重コンクリートを充てん（填）したもので、その中心部に $35 \times 35$  mmの空間（コースコリメータまたは水シャッタと呼んでいる）を設け、通常は水を充てんしてある。実験に際しては水シャッタ制御タンクの操作によりコースコリメータ内の水を抜き去り、中性子ビームを取り出す。

重コンクリートには、中性子のしゃへい能力を増大させるため、ボロコンクリートを混入している。

#### 3.2 固定シールド

固定シールドは、実験孔プラグより取り出した中性子ビームを、炉室内に散乱することなくモノクロメータに導くための重コンクリートのブロックである。

このシールドは4ブロックを組み合わせ、炉壁と固定シールドの間から、および固定シールドとモノクロメータしゃへい円形シールドの間からの、中性子およびガンマ線の漏えい（洩）を防ぐ。このシールドの内部はファインコリメータ交換機構が組み込める構造にし、開角の異なる3種類のファインコリメータを外部から自由にセットすることができる。

#### 3.3 機械定盤

現地据付を容易に行なえるよう、機械装置は大形機械定盤の上に組み立てる方式を採用した。すなわち炉室の基礎ブロックに定盤を所定の精度で設置し、この上にモノクロメータおよびゴニオメータを組み上

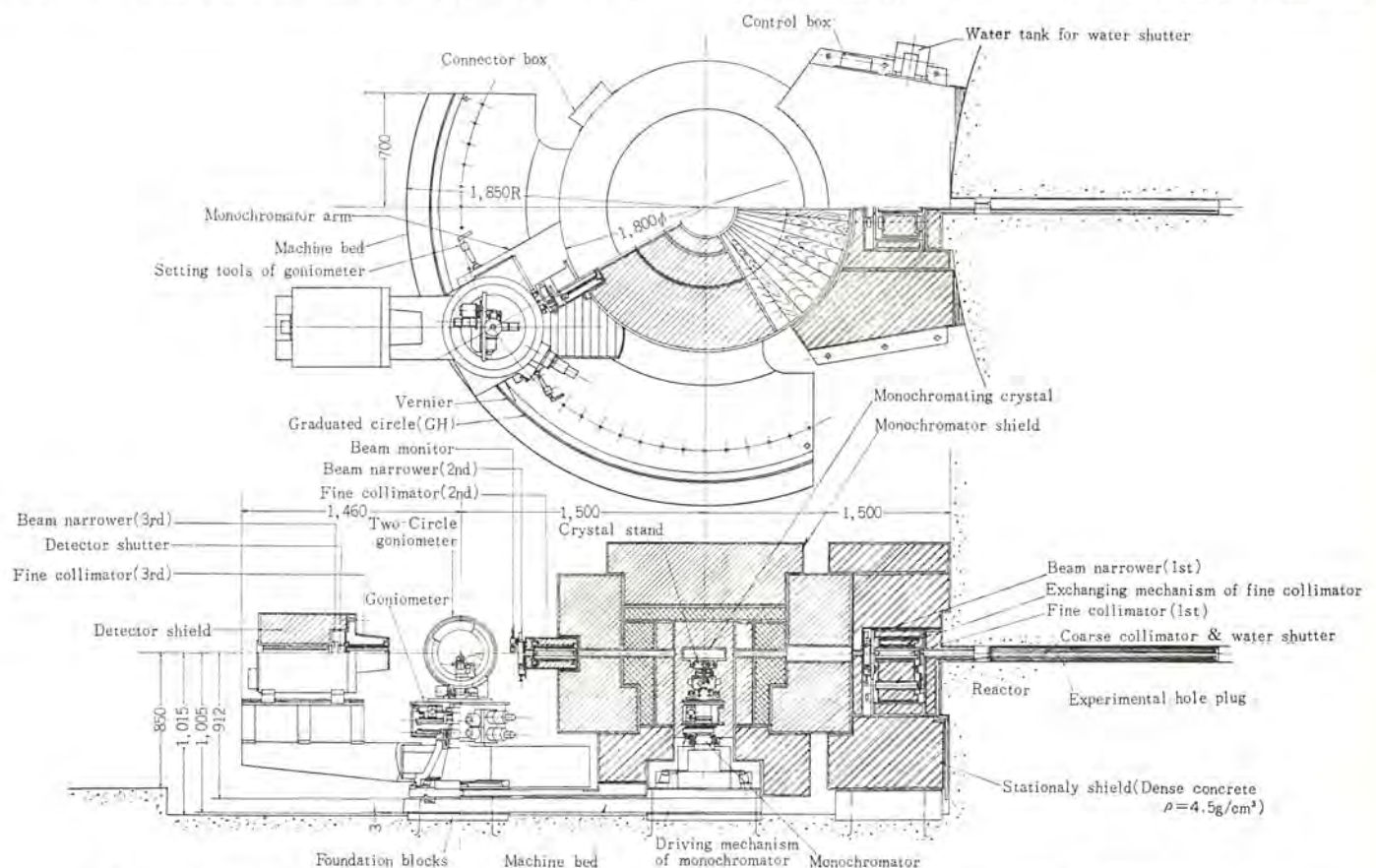


図 3.1 イラク向け2軸形中性子回折装置

Double axis neutron diffractometer for atomic energy commission of Iraq.

表 3.1 イラク向け 2 軸中性子回折装置仕様  
Specification of mechanical parts of double axis neutron diffractometer for atomic energy commission of Iraq.

|                 |                                             |
|-----------------|---------------------------------------------|
| 1. 実験孔プラグ       |                                             |
| 取出し可能ビーム(mm)    | 35×35 mm                                    |
| 外形寸法 (mm)       | 直径 96, 長さ 1,550                             |
| 重量              | 約 35 kg                                     |
| 給排水所要時間         | 約 1 分                                       |
| 2. 固定シールド       |                                             |
| 材質              | 重コンクリート, ボロンフリット                            |
| 寸法 (mm)         | 1,780(幅)×1,085(長)×1,550(高)                  |
| 重量              | 約 7 t                                       |
| 3. 機械定盤         |                                             |
| 許容荷重            | 20 t                                        |
| 自重              | 約 3 t                                       |
| 外形寸法 (mm)       | 2,500×2,500×100                             |
| 4. モノクロメータ      |                                             |
| (1) アーム         |                                             |
| 回転範囲            | -6 度～+90 度                                  |
| 目盛板             | 半径 1,700 mm, 0.2 度目盛, 0.01 度読み              |
| 角度精度            | 0.02 度                                      |
| 駆動方式            | 手動                                          |
| 角度検出            | —                                           |
| (2) 結晶テーブル      |                                             |
| 回転範囲            | 0～360 度                                     |
| 角度精度            | 0.02 度                                      |
| 角度検出            | シンクロ                                        |
| (3) 結晶台         |                                             |
| 駆動範囲            | X 方向 ±10 mm                                 |
| Y 方向            | ±10 mm                                      |
| RX 方向           | ±5 度                                        |
| RY 方向           | ±5 度                                        |
| (4) 単結晶         |                                             |
| 材質              | 鉛                                           |
| こう(格)子面         | (1. 1. 0)                                   |
| 外形寸法 (mm)       | 260×50×20                                   |
| 5. モノクロメータしゃへい体 |                                             |
| 材質              | ボロンパラヒン, 鉛, 鋼板                              |
| 寸法 (mm)         | 外径 1,800, 内径 580                            |
| 重量              | 9,200 kg                                    |
| 6. ゴニオメータ       |                                             |
| (1) アーム         |                                             |
| 回転範囲            | +90 度～-120 度                                |
| 目盛板             | 直径 632 mm, 0.05 度目盛, 0.01 度読み               |
| 角度精度            | 0.02 度                                      |
| 角度検出            | シャフトアングルエンコーダ                               |
| (2) 試料テーブル      |                                             |
| 回転範囲            | -180 度～+180 度 ( $\Delta\psi$ : -200～+200 度) |
| 目盛板             | 直径 620 mm, 0.05 度目盛, 0.01 度読み               |
| 角度精度            | 0.02 度                                      |
| 角度検出            | シャフトアングルエンコーダ ( $\Delta\psi$ : シンクロ)        |
| 直径 (mm)         | 518                                         |
| 許容荷重            | 1,500 kg                                    |
| 7. ビームナロー       |                                             |
| 最大開口寸法 (mm)     | 30×30 (機械的)                                 |
| しゃへい材           | ボロンアクリル, カドミウム板                             |
| 8. ファインコリメータ    |                                             |
| 開口角             | 10, 20, 30 分                                |
| 開口寸法 (mm)       | 30×30                                       |
| 9. 2サークルゴニオメータ  |                                             |
| (1) CHIサークル     |                                             |
| 回転範囲            | -100 度～+100 度                               |
| 目盛板             | 直径 410 mm, 最小目盛 0.05 度, 最小読み 0.01 度         |
| 角度精度            | 0.02 度                                      |
| 角度検出            | シャフトエンコーダ                                   |
| (2) PHIサークル     |                                             |
| 回転範囲            | -100 度～+100 度                               |
| 目盛板             | 直径 100 mm, 最小目盛 0.05 度, 最小読み 0.01 度         |
| 角度精度            | 0.02 度                                      |
| 角度検出            | シャフトエンコーダ                                   |

げるようにした。

この定盤は約 20 トンの荷重に耐え、さらにゴニオメータの角度精度に影響を与えないよう十分な剛性を必要とする。従来の定盤は鋼板の溶接構造であったが、加工ひずみなどの問題を除くため今回は厚板定盤とした。

定盤の形状は、モノクロメータアームの運動範囲に合わせ 1/4 円状としてある。モノクロメータアームの運動範囲には、アームの回転角読取り目盛板が取り付けられている。

### 3. 4 モノクロメータおよびモノクロメータシールド

モノクロメータは、単結晶を載せる結晶台と結晶テーブル、モノクロメータしゃへい体およびそれらをささえる中心ポストおよびゴニオメータを移動するためのモノクロメータアームより構成されている。

実験孔より取り出された入射中性子ビームは、モノクロメータしゃへい体の開口部を通して単結晶で単色化され、断面寸法 30×30 mm の単色中性子ビームがゴニオメータに導かれる。

単結晶は 50×260×20 mm の鉛の大形単結晶で、結晶面は (1, 1, 0) のものを製作した。θ-2θ の連動機構を持つ結晶テーブルとモノクロメータアームは、特殊工具による手動駆動であり、角度表示には、直尺を機械定盤の円弧に沿わせ半径方向に微調整できる構造とし、ゴニオメータに副尺を取り付けた。

結晶面の方位を微調整するための結晶台は、従来のものでは X 方向、Y 方向に ±10 mm, RX 方向、RY 方向に ±4 度の調整範囲であったが、今回のものは客先要求により、RX 方向、RY 方向に ±5 度調整できるようにした。

モノクロメータシールドについては、従来のシールドがモノクロメータの中心部に垂直な方向、すなわち天井方向および床下方向が、半径方向に比べしゃへい能力が十分とはいえないことがわかったので天井方向には鉛のシールド、床下方向には重コンクリートのシールドを追加し、しゃへい能力が増大するよう考慮した。したがって今回のモノクロメータシールドは、従来のものに比べて重量が大となったが、特殊工具を使用してのモノクロメータアームの操作には特に支障はなかった。

モノクロメータシールドの摩擦トルクを表 3. 2 に示す。

表 3. 2 モノクロメータシールド摩擦トルク比較  
Comparison of friction torque of monochromator shield.

| 測定方向<br>モノクロメータシールド | 時計方向       | 反時計方向      |
|---------------------|------------|------------|
| 従来のもの               | 最大 20 kg-m | 最大 18 kg-m |
| イラク向け               | 最大 35 kg-m | 最大 25 kg-m |

### 3. 5 ゴニオメータ

ゴニオメータは標準形のもので、中心ポスト、試料テーブル、ゴニオメータアームおよびアーム上に設置する検出器などにより構成されている。

今回のものの大きな改良点は、先に述べたように、ファインコリメータ、ビームナロー、シャッタ、検出器などをすべてデテクタシールド内部に組み込んだことで、これによりシンプルな形状が得られ、検出精度に大きな影響のあるバックグラウンドに対しても良好な結果が期待される。図 3. 2 はデテクタシールドを示す。

またゴニオメータの最も重要な部分である精密歯車が、従来はむきだしで使用されていたため、ほこりやごみのため歯面をいためたり、モータに過負荷を与えるなどの問題を生じる可能性があったので、今回のものは透明アクリルのカバーを付けた。

その他はすべて従来と変わらない。

### 3. 6 ファインコリメータおよびビームナロー

ファインコリメータおよびビームナローは、従来のものとまったく同じものを使用した。

ファインコリメータについては、すべてのものに簡単な微調整機構を追加することにより、取り付け部分の加工精度を落とすことができた。

なお、ファインコリメータは開角 10 分・20 分・30 分のものをそれぞれ 3 本ずつ、ビームノロは最大開口 30 mm×30 mm のものを 3 台製作した。

### 3.7 2 サークルゴニオメータ

図 3.3 に示す 2 サークルゴニオメータは、ゴニオメータ 試料テーブルの上部に配置して、試料をビーム方向のまわり CHI サークル および ビームに垂直な軸のまわり PHI サークル に回転させることにより、試料のあ

らゆる面に中性子ビームを入射させようとするものである。

この装置の駆動機構は、ゴニオメータのアームテーブル駆動装置と同形式である。すなわちサーボモータとシャフトアングルエンコーダを使用することにより、制御系は 1 台のみ製作し、必要に応じてアームテーブル駆動機構と 2 サークルゴニオメータを、コネクタを差し換えて使用するようになっている。

2 サークルゴニオメータの精度はゴニオメータと同一精度が要求されるの

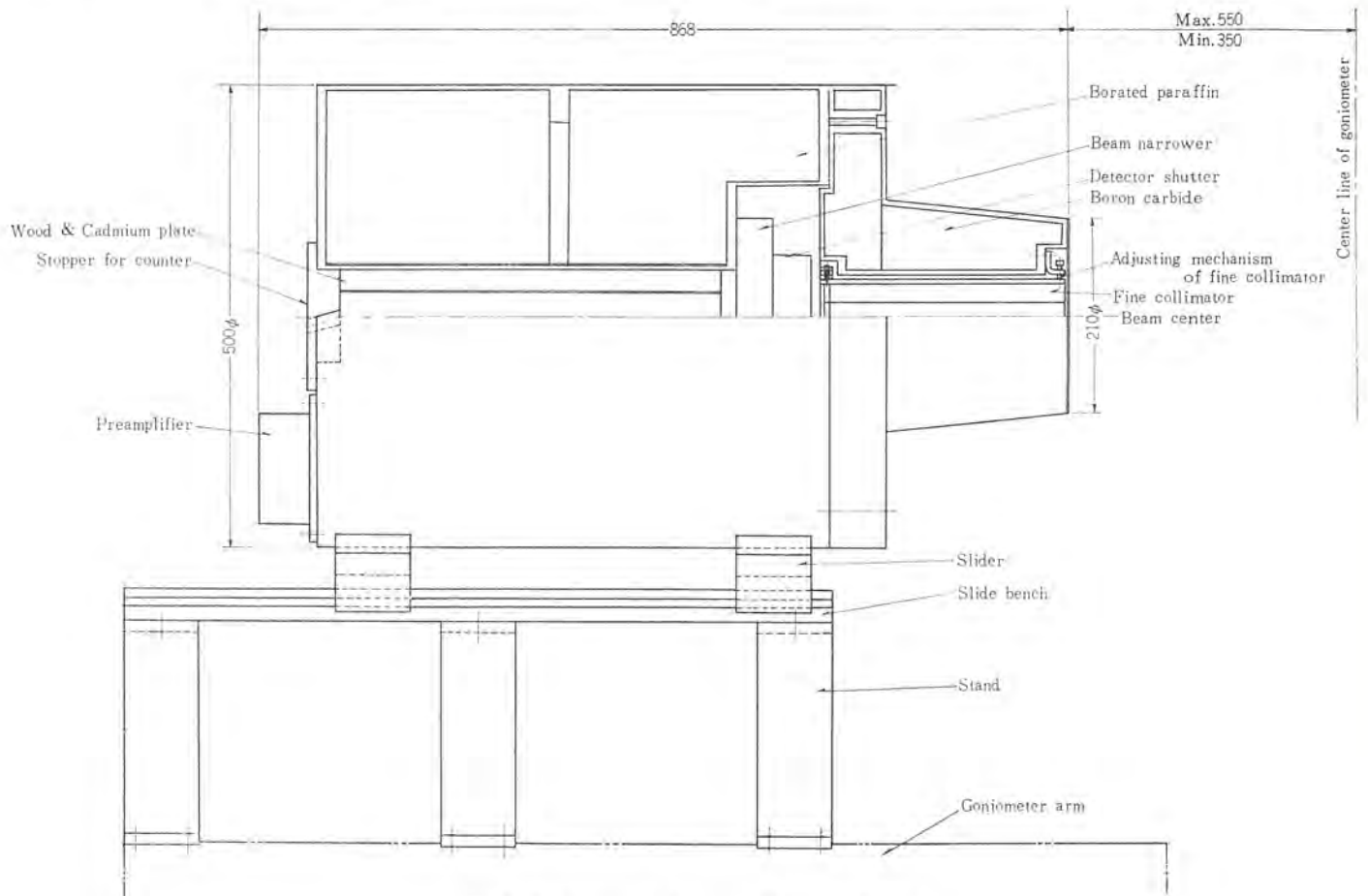


図 3.2 デテクタシールド

Detector shield.

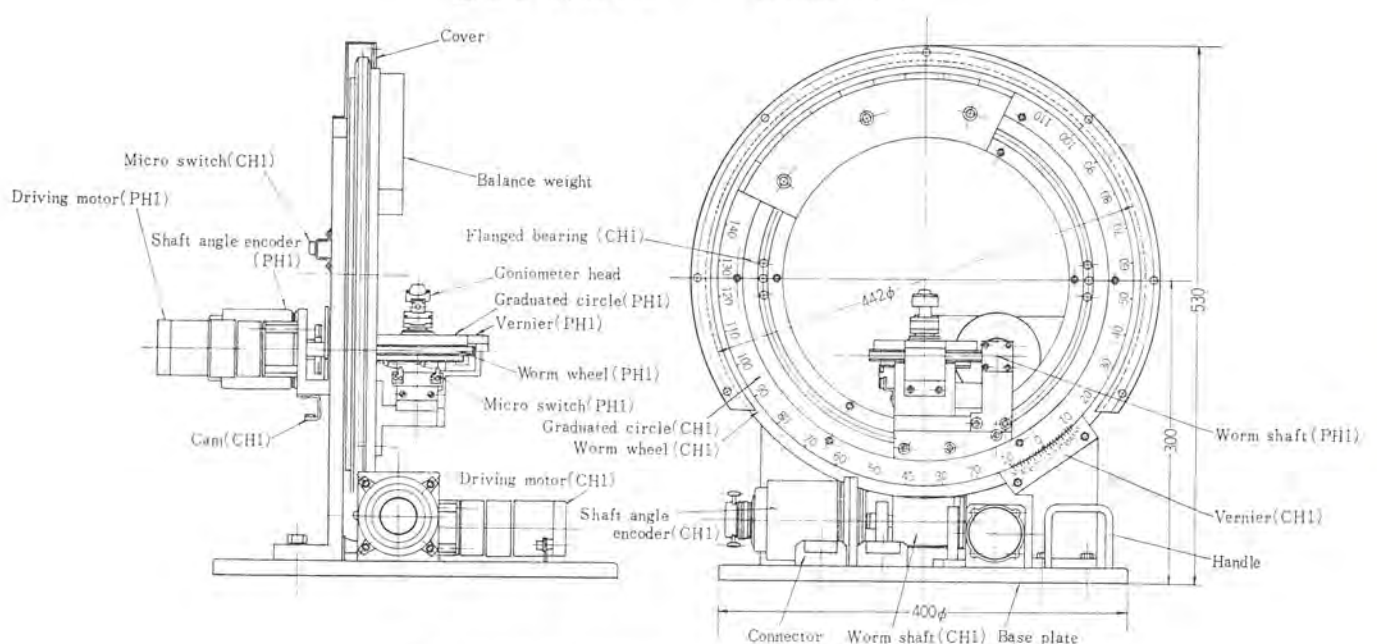


図 3.3 2 サークルゴニオメータ

Two-circle goniometer.

で、歯車・目盛板・玉軸受などはゴニオメータに準じて製作している。  
なお CHI サークルのウォームホイールの軸受には、特殊フランジ付き玉軸受を使用している。

#### 4. 測定装置

中性子回折実験では、単色中性子の強度がX線回折の場合に比べて非常に弱いので、統計的変動の少ない測定を行なうため長時間の測定実験が行なわれる。このため各測定器の長時間安定性が要求されると同時に、原子炉からの中性子線源そのものの時間的変動に対しても、校正機能を持つような計測系を組むことが要求される。

この装置では、各測定器の回路にドリフトの少ない回路を採用するとともに電源に自動安定化電源を使用している。また、線源強度の変動を補正する方式として、測定系は、図 4.1 に示すように、モニタチャンネルとメインチャンネルの2系統で構成されている。すなわち原子炉等からの中性子線源の強度を計数するモニタカウンタが、プリセット値に達するまでの時間だけ、回折中性子をメインカウンタで計数することにより、入射中性子数の増減によって測定時間が短縮あるいは延長され、長時間の実験に対しても安定した測定が可能である。

中性子測定系は、図 4.1 に示すように、BF<sub>3</sub> 計数管・プリアンプ・リニアアンプ・レートメータ・高圧電源・デュアルチャンネルスケーラ・記録計タイプライタで構成されている。

プリアンプ、リニアアンプ、レートメータ、高圧電源は、従来の 480 mm (幅) × 150 mm (高) の標準パネルに、必要な低圧直流電源とともに収納されるプラグインユニット化したユニット機器で、回路はトランジスタ化され小形で信頼度の高いものであるが、万一不良箇所が見つければ、ユニットで交換でき保守上たいへん便利なものである。

##### 4.1 プリアンプ

BF<sub>3</sub> 計数管からのパルス信号は、利得 18 dB、利得の温度特性、0.1 %/°C 以下のプリアンプにはいり、出力インピーダンス 50 オームで、約 40m のケーブルで、測定制御装置内のリニアアンプに結合される。

##### 4.2 リニアアンプ

このリニアアンプは、直線性 ± 1 % 以下、利得、60 dB、立上がり時間 0.08 μs 以下、帯域幅 2 MHz 以上で、回折中性子によるランダムな入力パルスに対し数え落しのない十分応答の速いアンプである。出力はデュアルチャンネルスケーラとレートメータに導かれ、レートメータの出力は、記録計で記録される。

##### 4.3 高圧電源

高圧電源は発振式のもので、電圧リップル 0.1 V 以下、ドリフトは ± 0.1 %/8 h 以下である。

##### 4.4 デュアルチャンネルスケーラ

このスケーラは、中性子回折装置の計数装置として要求される特殊

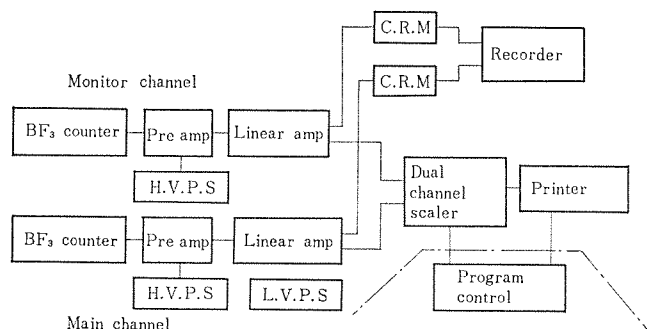


図 4.1 中性子計測装置のブロック図  
Block diagram of the neutron measuring system.

な仕様のほかに、一般のはん(汎)用デュアルスケーラとしても使用できるように設計された。操作は、回折装置の制御装置からの操作信号によって動作する自動(AUTO)モードと、単独で使用する場合の手動(MANUAL)モードがある。10<sup>6</sup> カウントの計数容量、0.2 μs 以下の分解時間をもつ、IC で構成したメインカウンタとプリセットカウンタから成り、ゲートの切換えによって、次のような種々の計数方式で利用できる。

##### (a) ノーマルモード

モニタチャンネルからの信号が、プリセットカウンタへ導かれ、プリセット値に達するまで、メインチャンネルの信号をメインカウンタで計数する。通常の実験はこのモードで行なう。

##### (b) リバースモード

ノーマルモードとは逆でメインチャンネルの信号をプリセットカウンタに導き、プリセット値になるまで、モニタチャンネルの信号を、メインカウンタで計数する。

##### (c) チェックモード

メインカウンタとプリセットカウンタに同じ信号を入れて、計数し、両者が同じ計数値になることを確認して、カウンタが、正常に動作していることをチェックする。

##### (d) ノーマルタイム

内蔵の水晶発振器からの、10 μs、100 μs、1 ms、10 ms、100 ms、の繰り返しパルスと、 $m \times 10^n$  ( $m=1, 2, 3, \dots, 9$ ,  $n=1, 2, \dots, 5$ ) で表わされるカウント数の組み合わせで決まるプリセット時間の間、メインチャンネルからの信号をメインカウンタで計数する。

##### (e) リバースタイム

メインチャンネルの信号をプリセットカウンタへ導きプリセット値に達するまで、水晶発振器の時間パルスをメインカウンタで計数する。

デュアルチャンネルスケーラのメインカウンタの計数値は、制御回路からの指令によって、プリンタで印字される。

#### 5. 制御装置

この制御装置はあらかじめ紙テープにせん(穿)孔した実験プログラムに従って、回折装置の位置決め、回折中性子の計数、データの印字作表、その他付属装置の操作を自動的に連続して行なう機能を持ち、NAND を主要素とする IC の論理カード、入出力装置、操作パネル、表示パネル、サーボ増幅器、モータ切換パネルなどから構成されている。入出力装置からの指令信号は、論理回路で翻訳し、操作すべき機器の選択を行ない、サーボ機構へ操作信号を送る。サーボモータで駆動される機械装置の現在位置はシャフトアングルエンコーダで検出され、制御回路のデジタルコンパレータで、位置指令信号と比較することにより閉ループ制御系を構成している。図 5.1 に制御装置のブロック図を示す。図 5.2 に外形を示す。

##### 5.1 入出力装置

実験プログラムをせん孔したテープの読み込み、あるいはキーボードからの命令インプットと、測定データの印字作表を行なうもので、市販のプリンタを一部改造して使用した。

入力可能な信号として定義されている情報を表 5.1 に示す。これらは、制御量を与える数値、制御対象を規定する英文字と、制御に関係なく入出力情報の処理に必要な記号に大別できる。

##### 5.2 論理回路

論理回路は、入力コードを翻訳するデコーダ回路、命令を記憶するフリップフロップ回路、タイミングクロック発生回路、位置指令の数値を一時

的に記憶する テンポラリレジスタ、シャフトアングルエンコーダからの現在角の数値を入れる アクチュアルレジスタ、これら二つの レジスタの数値の大小を比較し、高速駆動か、低速駆動か、+ (プラス) 方向か、- (マイナス) 方向か、駆動か停止かの判断をする コンパレータ 回路などから構成されており、これらの回路を、デュアルインラインパッケージの TTL 三菱 5300 シリーズの IC を使用した ロジックカード で組み立てた。

この IC ロジックカード は、NAND ゲートカード、フリップフロップカード、レベルコンバータカード、カウンタカード、デコーダカード、シフトレジスタカード、ドライバカード、フィルタカード など、中性子回折装置の制御に必要な機能をカードごとにとまとめた専用カードであり、IC 化することにより従来 トランジスタ NOR カード 約 190 枚使用していたものが、約 120 枚のカードに減少した。

機械装置の駆動方法は サーボモータ と サーボ 増幅器 を用いた ON-OFF 制御で、コンパレータ 回路で現在位置と設定位置との差が約  $0.1^\circ$  以下かどうかを判定して高速駆動から低速駆動に切換える。

こうして短時間で、オーバーラン せずに角度を設定でき、設定精度は  $\pm 0.01^\circ$  である。

### 5.3 プログラムインジケータおよびコントロールパネル

プログラムインジケータは、回折装置全体の運転状態を表示する パネルで、動作モード の表示のほかに実行中の プログラム 番号、測定回数、機械装置の現在角等を数字式の光点表示器で表示する。

コントロールパネル は、シャッター、サンプルテーブル、ゴニオアーム、テープリーダなどを手動で操作する パネルで、小リレー 形で構成されている。

### 5.4 サーボ増幅器

サンプルテーブル、ゴニオアーム、2 サークルゴニオ の位置決めを行なう サーボ

表 5.1 入出力情報として使われる信号  
List of defined characters.

| Information       | Character | Perforation       | Description       |
|-------------------|-----------|-------------------|-------------------|
| Tape Number       | N         | 1 2 3 . 4 5 6 7 8 | 測定番号              |
| Sample Table      | A         | ○ ○ . ○ ○         | サンプルテーブル<br>角度指示  |
| Gonio Arm         | B         | ○ ○ . ○ ○         | ゴニオアーム角度<br>指示    |
| Two Circle Gonio  | T         | ○ ○ . ○ ○ ○       | 2 サークルゴニオ<br>制御信号 |
| Detector Shutter  | G         | ○ ○ ○ . ○ ○       | シャッター開閉信<br>号     |
| Accessory I       | H         | ○ ○ . ○ ○         | アクセサリ I 開<br>閉信号  |
| Accessory II      | J         | ○ ○ . ○ ○ ○       | アクセサリ II 開<br>閉信号 |
| Scaler Start      | S         | ○ ○ . ○ ○ ○       | スケーラスタート<br>信号    |
| Data End          | /         | ○ ○ ○ . ○ ○ ○     | データ終了信号           |
| Data Input Signal | #         | ○ ○ . ○ ○ ○       | データインプット<br>指令    |
| 0                 | 0         | ○ ○ . ○ ○ ○       |                   |
| 1                 | 1         | ○ ○ . ○ ○ ○       |                   |
| 2                 | 2         | ○ ○ . ○ ○ ○       |                   |
| 3                 | 3         | ○ ○ . ○ ○ ○       |                   |
| 4                 | 4         | ○ ○ . ○ ○ ○       |                   |
| 5                 | 5         | ○ ○ . ○ ○ ○       |                   |
| 6                 | 6         | ○ ○ . ○ ○ ○       |                   |
| 7                 | 7         | ○ ○ . ○ ○ ○       |                   |
| 8                 | 8         | ○ ○ . ○ ○ ○       |                   |
| 9                 | 9         | ○ ○ . ○ ○ ○       |                   |
| Line Feed         | Line Feed | ○ ○ . ○ ○ ○       |                   |
| Return            | Return    | ○ ○ . ○ ○ ○       |                   |
| Period            | .         | ○ ○ . ○ ○ ○       | ピリオド              |
| Space             | SP        | ○ ○ . ○ ○ ○       | スペース              |
|                   | NULL      | ○ ○ . ○ ○ ○       |                   |
| Erase             | RUB OUT   | ○ ○ ○ . ○ ○ ○ ○   | まっ消               |

モータを駆動するもので、P・W・M 方式の トランジスタ 回路を使用している。理論回路からの、高速、低速あるいは、+ (プラス) 方向、- (マイナス) 方向の操作指示信号に応じ、高速、低速あるいは正転逆転の駆動信号を出す。

### 5.5 モータセレクトおよびリレーボックス

モータセレクトは、1 台の サーボ 増幅で 4 台の サーボモータ を駆動するため、紙テープ のプログラム 信号によって、サーボ 増幅器の出力を切換える装置で、サーボ 機構の ゲイン、ダンピング、零点の調節をおのおののモータについて行なうことができる。

リレーボックスは、駆動する アームが、2 サークルゴニオ か サンプルテーブル か ゴニオアーム かによってモータセレクトからの信号を切換えると同時に、論理回路に接続する シャフトアングルエンコーダ の信号を切換える。

### 5.6 インジケータ

インジケータは機械装置の付属装置を操作するために必要な 指示計 と操作 スイッチ で構成されている。

(1) モノクロメータ 結晶テーブル を  $0 \sim 360^\circ$  内で回転する。セルシン とデジタル 計数機構の組み合わせで角度を数字表示する。

(2) モノクロメータ 結晶台を X 軸と Y 軸の 2 軸方向に回転する。回転角は指示 メータ に表示する。

(3) ビームスロフの開閉操作を行う。開度の表示は メータ で行なう。

## 6. む す び

以上 伊国 国立原子力研究所向け中性子回折装置について その概要を述べた。この装置は当社の標準仕様のものであるが、とくにしゃへい体の構造については、東京大学物性研究所に納入した装置の経験から、実験孔出口周辺のしゃへい方法およびモノクロメータ 空間を完全に密閉する形式を採用して、ほぼ完全といえる構造を得ること

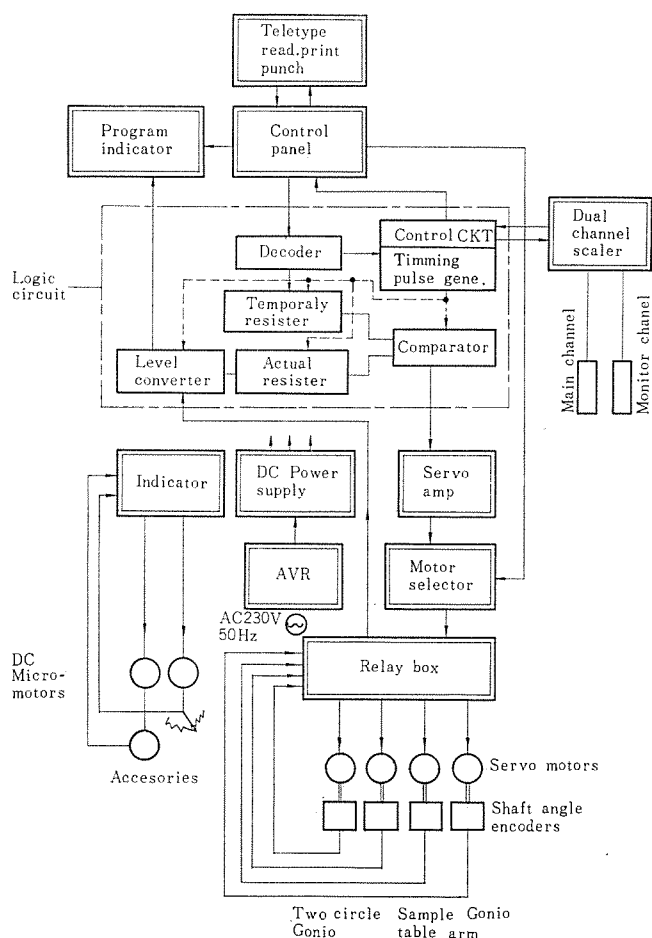


図 5.1 制御系ブロック図  
Block diagram of control instrument.

ができた。

また中性子測定系の固体化、モジュール化、ならびに制御系のIC化とともに、計算機によるON-LINE CONTROLへの移行を可能にしたことなど、最新の技術が盛込んである。

中性子回折装置の計算機制御は、欧米諸国ではすでに採用されているが、わが国でもその機運はあり、比較的近い将来にはこのような装置が据付けられることと思われる。現在、このイラク国立原子力研究所向けのものに引続いて、メキシコ原子力庁向けの装置を製作中であるが、これは頭初から計算機によるON-LINE CONTROLの装置で、今後この種のものが増加してくることであろう。

ここに述べた装置は工場調整後、本年8月末に出荷、本年末までには据付完了の予定で、現地での優秀な成果と、イラクにおける物性物理研究の進歩に対する多大の貢献が期待されている。

おわりに、この装置の受注を成功に導いた中央研究所 蘓原博士および三菱商事、ならびに本社の関係部門の方々に深甚の感謝をささげる。(昭和44-7-21受付)

## 参 考 文 献

- (1) 星埜：中性子回折(昭36) 槇書店
- (2) 国富ほか：三菱電機技報 35, 835 (昭36)
- (3) 三宅ほか：三菱電機技報 36, 545 (昭37)
- (4) S. Hagihara et al : Mitsubishi Denki Laboratory Report, 3.1 (1962)
- (5) S. Miyake et al : J. Phys. Soc. Japan, 17, Suppl. B-11, 358 (1962)
- (6) 蘓原ほか：三菱電機技報 39, 1076 (昭40)
- (7) 津田ほか：三菱電機技報 42, 732 (昭43)
- (8) Mitsubishi Neutron Diffractometer (1967)
- (9) 浜口ほか：3軸形中性子分光器の自動制御装置  
日本原子力研究所(昭43-7)
- (10) 星埜ほか：三菱電機技報 43, 571 (昭44)

## ガンマ線照射装置

津田 栄一\*・今井 光\*\*・三富 至道\*\*

## Gamma Irradiation Units

Central Research Laboratory Eiichi TSUDA  
Kobe Works Hikaru IMAI・Yoshimichi MITOMI

Gamma irradiation units are devices equipped with radioisotopes radiating gamma rays such as Co-60 and Cs-137. They are used not only for research purposes in various fields such as agriculture, physical sciences and engineering but also for sterilization of medical instruments, food irradiation for long preservation or industrial application such as polymerization and wood plastic combination all over the world. Mitsubishi manufactures irradiation apparatus for research and industry other than medical treatments. This article introduces the latest devices of their features and outlines. The devices cover those for applied to research, standard units for general radiation chemistry, relatively simple calibration use units and special types making underwater radiation with 100,000 curie large scale sources.

## 1. ま え が き

Co-60 や Cs-137 などの放射性同位元素から得られるガンマ線を物質に照射し、その間に生じる交互作用を利用することは、まず医療用で試みられ、さらに農学・理学・工学などの広い分野でも研究が行なわれるようになってきた。すなわち、医療用では人体に悪影響を及ぼす細胞、たとえばがん細胞を死滅させるのに用いられる。農学では、たとえば遺伝子に影響を与えて突然変異を生じさせ、それによって品種改良を行ったり、腐敗菌やバクテリアに及ぼす影響、あるいは動植物の育成に及ぼす影響、さらには食物における発酵や熟成に及ぼす影響なども研究されている。理学の分野では、交互作用そのものの研究に用いられ、工学では化学への適用が主体であり、高分子の重合に及ぼす影響が研究されている。

このような研究成果は工業的に利用され、欧米諸国では1960年代の初期に実用化が開始された。すなわち、玉ねぎおよびジャガイモを長期間保存するための発芽抑止や、注射筒・注射針など使い捨て医療器具の殺菌消毒などの施設がまず実用化された。さらに食料品の長期保存を目的として、食肉および食肉加工品・鮮魚・果実・穀類などの殺菌殺虫処理がガンマ線照射装置で行なわれている。

一方、放射線化学では、エチルブロマイドの合成が初めて工業用に成功した例である。また木材にモノマーを含浸させたあとガンマ線を照射して重合させ、寸法安定性・耐吸湿性・耐熱性・硬さなどのすぐれたウッドプラスチックという新しい材料を作り出すプラントがすでにか(稼)動している。このような工業用照射装置で現在か動しているものは世界中で約30を数え、年々増加している。

一方、わが国では、医療用以外のものについては、昭和30年ごろに研究用照射装置が設置されて以来、大学・官公庁・企業などの研究機関に多くの照射装置が設置されてきた。なかでも昭和39年に完成した日本原子力研究所 高崎研究所の照射装置は、30万～50万キュリーのCo-60線源を扱うわが国最大の規模のもので、放射線化学の工業化への足がかりとなる中間規模試験照射施設である<sup>(1)</sup>。一般にわが国の研究用照射装置は放射線化学用のものが多く、その工業利用は欧米諸国よりかなり遅れているが、本文が発表されるころには初の工業用照射装置がか動に入ることになるであろう。この

装置は注射針や注射筒など医療品殺菌用照射施設で、これを契機として今後わが国の工業用照射装置は発展していくものと思われる。一方、食品照射についても実用化試験が行なわれており、近い将来食品照射装置が建設されることになると思われる。

## 照射装置の形式は

(1) 被照射物を照射線源を内蔵したしゃへい容器に入れ、照射後取出すもの

(2) 照射室内に被照射物を設置し、室内に設置した格納容器から線源を露出して照射するものに大別することができる。

第1の形式は装置の取扱いが比較的簡単で、照射室のような特別な施設を必要としないことに利点があるが、照射空間に限度があって大量の被照射物は取扱えない。また大容量の線源になると、放射線のしゃへいのため容器が非常に大きくなり取扱いが困難になる。一般に線源のしゃへい容器は、鉛を鋼板で被覆したものをを用いるが、線源が大容量になると、前記の理由から、水をしゃへい材とし井戸あるいはプールの水底に線源を格納し、被照射物を水中へ搬送する手段がとられることもある。

第2の形式は照射室と称する主としてコンクリートの厚い壁で囲まれた特別な施設を必要とするが、どのような規模の線源でも比較的容易に、安全に取扱うことができ、照射空間を十分広く取ることができる。この形式の中でも線源の露出を自動的に行なわせるものと、マニピュレータなどを用いた人力による遠隔操作で行なわせるものがある。線源の格納容器は第1形式と同じく、しゃへい材に鉛を用いた比較的小形なものと、水をしゃへい材として井戸やプールの底に格納するものがある。工業用照射装置では、取扱う線源の容量が大きいため水中格納を行ない、これを引上げて照射する例が多い。

当社は昭和35年に1号機を製作して以来、主としてこの第2形式のものを製作してきた<sup>(2)</sup>。すなわち照射室内に設置した数百～数千キュリーの線源を、鉛をしゃへい材とした格納容器から自動的に露出、格納するものである。線源の駆動方法は線源引上形・線源押上形・線源回転形の3形式に標準化されている。各装置は取扱いが簡単であること、十分な安全性をもっていること、および動作が確実なことという基本原則のもとに設計製作されている。以上はいずれ

表 1.1 ガンマ線照射装置の当社の実績  
Gamma irradiation units manufactured by Mitsubishi  
(including under construction).

| 注 文 元                   | 線 源    | 容 量     | 形 式                  | 用 途             | 納 入            |
|-------------------------|--------|---------|----------------------|-----------------|----------------|
| 某 社                     | Co-60  | 0.5 kCi | 線源つり上げ形              | 放射線化学研究         | 昭 34-12        |
| 放射線高分子<br>研 究 所         | Co-60  | 0.5 kCi | 線源押上げ形               | 放射線化学研究         | 昭 35-12        |
| 東京大学物性<br>研 究 所         | Co-60  | 1 kCi   | 線源押上げ形               | 物性研究            | 昭 39- 3        |
| 日本原子力研究所<br>(高崎研究所)     | Co-60  | 300 kCi | 水中格納, ホット<br>ケーブル照射形 | 放射線化学中間<br>規模試験 | 昭 39- 3        |
| 某 社                     | Co-60  | 3 kCi   | 線源押上げ形               | 放射線化学研究         | 昭 43-10        |
| 某 社                     | Cs-137 | 1 kCi   | 線 源 回 転 形            | 計器校正            | 昭 44- 2        |
| 大阪府立放射線<br>中 央 研 究 所    | Co-60  | 100 kCi | 水中コンベア形              | 工業化への予備<br>実験用  | 昭 44- 5        |
| 日本アイソトープ<br>照 射 協 同 組 合 | Co-60  | 224 kCi | 地上コンベア形              | 医療用具その他<br>の殺菌  | 昭 44- 8<br>予 定 |
| 某 社                     | Co-60  | 0.5 kCi | 線源押上げ形               | 放射線化学研究         | 昭 44- 8<br>予 定 |
| 成 蹊 大 学                 | Co-60  | 1 kCi   | 線源押上げ形               | 多目的実験用          | 昭 44- 8<br>予 定 |

も研究用で比較的小形であるが、高崎研究所、大阪府立放射線中央研究所に納入した照射装置、および現在製作中の工業用照射装置は、いずれも 10 万 キュリークラスの線源を取扱うものである。表 1.1 は当社の納入実績を示すもので、わが国の大規模照射装置のほとんどを手がけてきたといつてよいと思われる。以下最近の状況、各装置の概要などについて紹介する。

## 2. 当社の最近の状況

当社のこの 1 年間の実績は、表 1.1 からわかるように納入済みのもの 3 台、製作中のもの 3 台で、線源はほとんどが Co-60 であり、用途も日本アイソトープ照射協同組合向けのものを除き、まだほとんどのものが研究用である。

参考のため当社照射装置の種類を図 2.1 に示す。図において、乾式とは線源をしゃへい容器に格納する形式であり、湿式とは線源を水中に格納する形式である。

乾式は比較的小容量の線源の場合、湿式は大容量の線源を使用する場合に用いられる。

電子線照射装置は現在開発中であるが、二、三の引合もあり近く製作することになる。

照射装置を設置する際、ガンマ線 エリアモニタ、線量計などが必要となるが、当社は この方面においても 多種の 標準製品をそろえている。

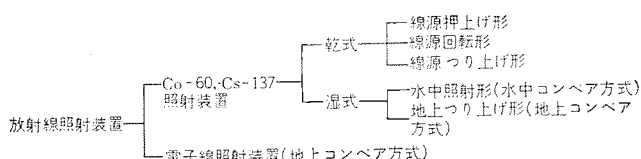


図 2.1 当社の放射線照射装置の種類  
List of kind of our irradiation units.

## 3. 製作した装置の特長と概要

### 3.1 某社向け Co-60 照射装置

この照射装置は、図 3.1 に示すように、もっとも普遍的な形式のもので、照射室に線源容器を設置し、照射室と厚いしゃへい壁で隔てられた操作室から、線源容器内の線源を押上げて露出するものである。図 3.2 のように線源容器には水平回転式のシャッタがあり、線源の駆動とシャッタの回転は特殊ジェネラ機構を用いて機械的にシームレスに作動させるものである。したがって線源容器下部の駆動箱と、操作室に設置された駆動装置とは 1 本の駆動軸で連結されているだけであり、電動駆動・手動駆動を問わず、上記 1 本の駆動軸を回転させるだけでシャッタが開いて線源が上昇し、また線源が下降

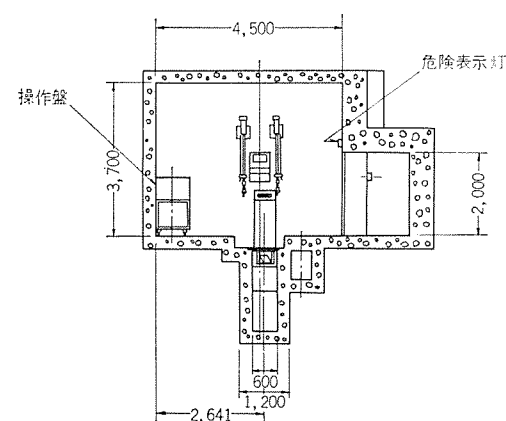
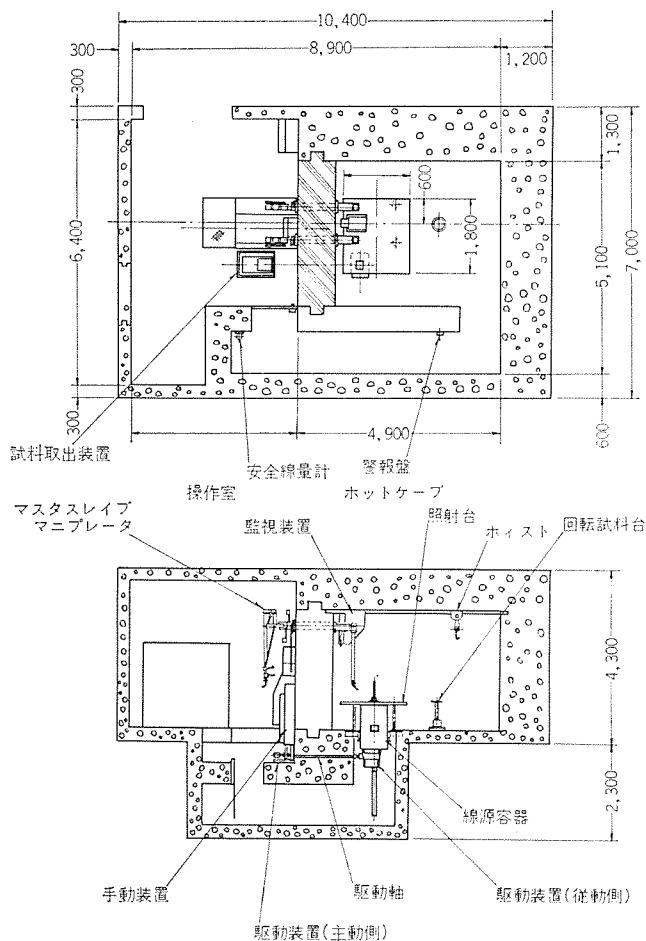


図 3.1 3,000 Ci Co-60 照射装置  
3,000 curie Co-60 irradiation facility.

してシャッタが閉じるという一連の動作を確実にこなわせることができる。

この照射装置は 3,000 Ci の Co-60 を有するもので、放射線化学研究用として設置されたものであるが、線源を押上げて露出して用いるものであるから、オートクレーブの使用、その他被照射体の周囲条件を変えるための装置を有効に用いることができるのが大きな特長である。

この Co-60 照射装置では、照射中試料の出し入れを行なうため、操作室と照射室を結ぶ試料出し入れ装置およびマニピュレータが設置されている。また、マニピュレータの操作のためおよび照射室内部の監視のために、工業用テレビジョンが用いられているのも特長といえよう。もちろん装置を安全確実に操作するため、照射室出入口とびらに電動錠、照射室内にガンマ線エリアモニタ、照射室内に警報盤が設置され、線源の露出、格納と連動、インタロックが施されている。これら照射装置を有効に作動させるための各機器について、以下に概略を述べる。

#### (1) 監視装置

工業用テレビジョン（メルビジョン IT-T3 形）を用いている。すなわちズームレンズをつけたカメラを照射室の壁面に取付け、受像器を操作室に取付けている。カメラを照射室内に取付けるためガンマ線からしゃへいしてやる必要がある。さらに、しゃへいを施しても直接線源近

傍を見ることは、レンズ前面に耐放射線ガラスを設ける必要があって、装置全体が大規模になるため、反射鏡を用いてカメラが直接線源を見込むことがないようにしてある。カメラのパンおよびティルトは、しゃへい箱の回転と反射鏡の回転を遠隔操作によって行なわせている。カメラの前面に反射鏡を設けたため、受像器では画像が左右逆になり、そのため受像器でのスクリーンは通常の逆方向に行なわせて正常な画像を得るようにしてある。このテレビジョンセットによって照射台上の全面をほとんどくまなく監視させることができた。

#### (2) マスタスレイブマニピュレータ

照射室内の試料を試料出入装置に移し換えあるいは照射に用いる種々の機器を操作するための遠隔操作装置であり、いわゆるアルゴン 8 形とはほぼ同形の MA-P 20 形マニピュレータである。このマニピュレータを操作するには、上記のように工業用テレビジョンを用いるが、カメラはマニピュレータの一对のスレイブアームの中間上方に設置され、受像器はマニピュレータ操作者の前方に、しゃへい壁になかばめ込んで設置してある。このため、マニピュレータの操作者は通常の場合——耐放射線窓ガラスを通して操作する場合——とは異なり上方からのぞき込むようになる。さらに、この工業用テレビジョンセットでは、ステレオ方式をとっていないので画像が平面的にしかとらえられないという操作上の困難さが頭初考えられたが、カメラのパンやティルトを操作することによって、さして困難さは感じられず、試料の取扱いや機器の操作はほとんど通常のマニピュレータの操作と変わらなかった。

#### (3) 試料出入装置

照射中に試料の出し入れを行なうためのもので、照射室のしゃへい壁の床面下を通過して、操作室と照射室内の照射台上とをつなぐ一種のコンパである。放射線のしゃへいのため、このコンパの経路は L 字形にとっている。

#### (4) 電動錠および危険表示灯

照射室出入口とびらの安全装置であり、照射装置およびガンマ線エリアモニタとインタロックされている。すなわち電動錠の作動は照射室への立入りが可能な場合にのみ解錠され、それ以外は常に施錠されるようになっている。もちろん誤って照射室に閉込められても内部からはとびらのノブをまわすだけで脱出可能なようにしてある。

#### (5) 警報盤

照射準備その他の作業のため、照射室内へ立ち入った作業者の安全をはかるためのもので、操作盤のメインキーをこの警報盤のスイッチにそう入することで、照射装置の駆動は電氣的にロックされ、不用意に装置が駆動されることを防いでいる。

#### (6) ガンマ線エリアモニタ（安全線量率計）

照射室迷路内に設置されており、照射室内のガンマ線を検出して、一定値以上の線量率であれば警報を発して電動錠をロックするようになっている。

#### (7) 回転台

試料を均一に照射するための回転テーブルであり、照射室内のどこにいても移動できる。

#### (8) 手動装置

電動駆動が行えない場合に用いるもので、操作室にある駆動装置の手動ハンドルによって線源の格納、シャッタの閉鎖が行なえる。手

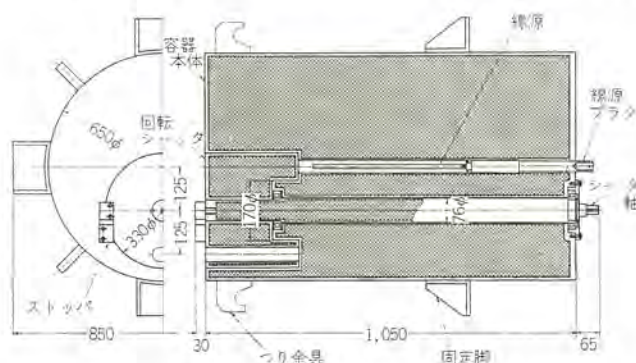


図 3.2 押し形線源容器  
Container of pushing up type irradiation unit.

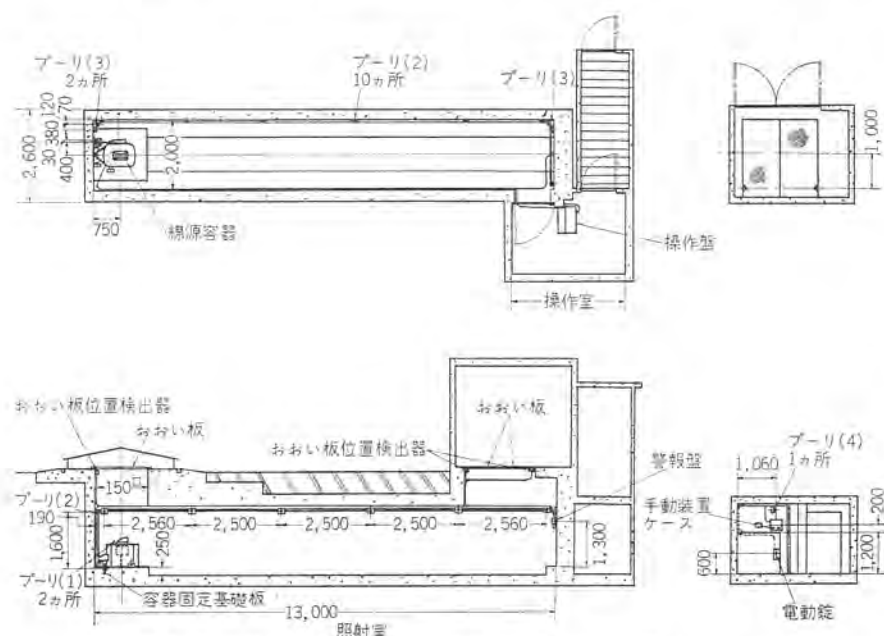


図 3.3 某社向け Cs-137 照射装置 Cs-137 irradiation unit.

動操作中、あやまって電動操作されないよう電氣的・機械的に電動駆動装置はロックされる。

### 3.2 某社向け Cs-137 照射装置

図 3.3 に示すように、地下に設けた幅 2 m、高さ 1.6 m、長さ 13 m のトンネル 状の照射室で、主として計器校正に用いられ、そのほかしゃへい構造の研究に用いられる。この照射装置は点状 1,000 キュリーの Cs-137 線源を装備したもので、線源容器の構造は図 3.4 に示すように、容器内部の垂直回転 シャッタ に線源を取付けてあり、シャッタ の一方向回転によって線源を露出・格納するようになっている。このシャッタ の駆動装置はすべて線源容器側面に取付けられており、このため機構が非常に簡単であることが特長である。

この装置では Cs-137 のガンマ線を、方向性をもったビームとして取出すことができるのが大きな特長である。すなわち容器上部にはしゃへい体を取付け、プラグのさしかえによって、水平方向と垂直方向とに、直径 10 mm のビームおよび 30 度の円すい(錐)ビームが得られるようになっている。

線源の露出・格納は、もちろん遠隔操作によって電動で行なわれる。電動駆動が行なえない場合に備えて手動駆動が併用されているが、駆動力の伝達にはワイローフを用いている。そのほか電動錠・警報盤などが設置され、装置を安全確実に操作できるようになっている。

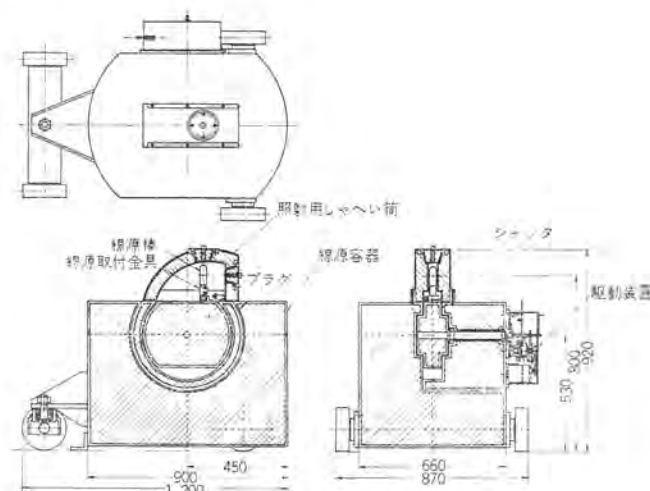


図 3.4 線源回転形線源容器  
Container of rotating type irradiation unit.

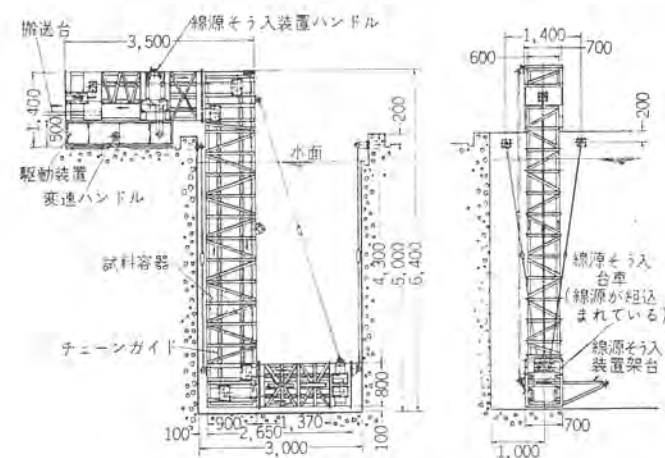


図 3.5 水中照射用コンベア装置  
Conveyor unit for irradiation in water.

### 3.3 大阪放射線中央研究所向け Co-60 照射装置用水中コンベア装置

密封容器に封入された試料を、図 3.5 に示すように水深約 5 m のプールの底で約 10 万 キュリーの コバルト を用いてガンマ線照射するための装置で、従来にない形式のものである。

試料容器は地上部に積み込み、プール底部に組み込んだ Co-60 線源で上面および下面が照射され、再び地上部に回収され自動的に搬送台に送り出される。線源の組み込みは線源そう入装置、水中トングを使用して行なう。線源はペンシル線源 5 本を 1 組として収納ケースに収め、この収納ケースを線源そう入装置の台わくに最大 18 ケース組み込むことができる。コンベア速度は 2 段切換で、0.1~0.6 m/min、1~6 m/min の範囲で無段変速が行なえる。また特定の試料を長時間照射する必要のある場合のため、それが線源の中心を通過するとき、表示灯が点灯する構造にしている。

おもな構成機器はつぎのとおりである。

#### (1) コンベア本体

コンベア本体はプール底部、プール内立ち上り部および地上部の 3 ブロックに分割し、互いにそれぞれボルト結合している。これらの 3 ブロックの取付けはすべて地上部で行ない、プール内のフレームはテンションバーによって懸架されている。このため、点検はプールの水の有無にかかわらずフレーム全体を地上に引き上げて行なうことができる。フレームの水中部はステンレス鋼のわく組で、底部で水平走行し折返して地上へ戻るような構造であり、地上部は普通鋼の溶接構造で、おのおのにステンレス鋼製のコンベアチェーン、チェーンガイド、鎖車が配置されている。コンベアチェーンは適当な張力を必要とするため、地上部フレームの末端にはテークアップを設け、容易に調節できる構造にしている。

#### (2) コンベア駆動装置

コンベアチェーンに動力を伝導するためのもので、コンベア本体地上部フレームの下部に設置し、モータ、変速機、高低速切換え歯車、変速機、トルクミッタなどにより構成されている。変速機は、手動操作により 1:6 の速度比の間を無段で得ることができる。切換歯車はほぼ 1:√10 の歯数比を持つ一対の歯車よりなり、これらを入れ換えることにより、速度をほぼ 1:10 の割合に変えることができる。この歯車はシュパンリングにより軸に固定されているため、歯車の交換は容易に行なえる。構造としてある。

#### (3) 試料容器

図 3.6 に示すように、この容器は水密構造の耐食アルミニウム合金製円筒で、円筒端面の片側は、フランジタイプのふたを Oリングを使用してねじ止めし、両端面中につり下げ用ピンが取付けてある。ふたには位置決め用のピンおよびカウンタウェイトを取付け、容器が常に一定の方向に向くようにしている。試料容器には重力および浮力が作

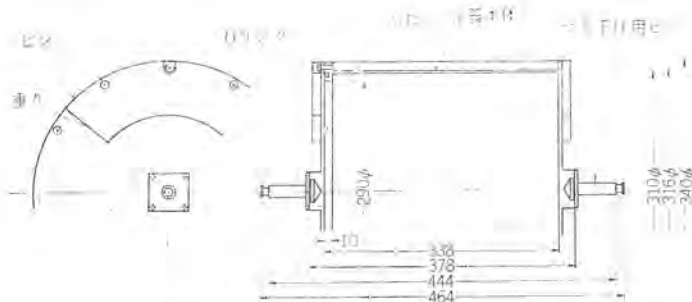


図 3.6 水中照射用試料容器  
Sample container for irradiation in water.

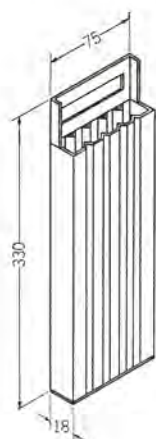


図 3.7 線源収納  
ケース  
Co-60 case.

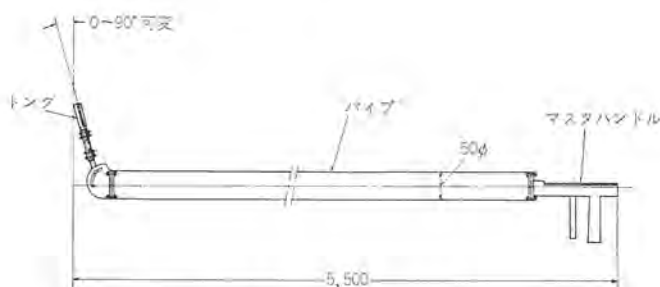


図 3.8 水中トング  
Under-water manipulator.

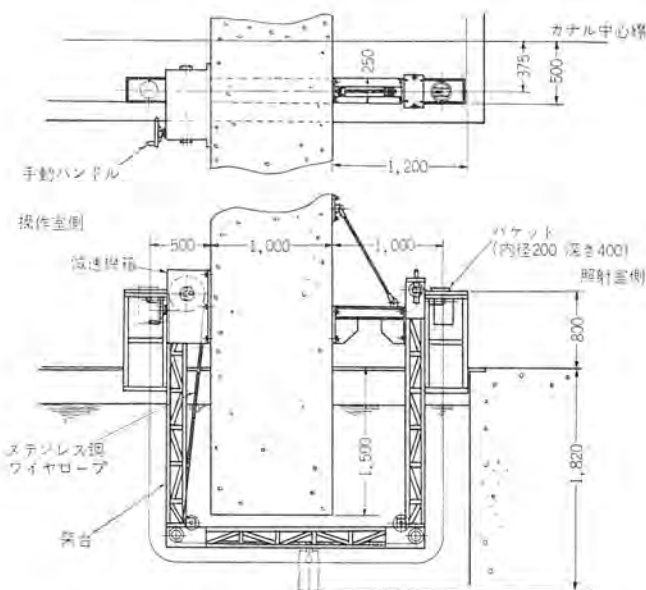


図 3.9 試料交換装置  
Sample exchanging device.

用するため、コンパチェンの取付け取りはずしが容易でしかも搬送中には、はずれない構造としてある。

#### (4) 線源収納ケース

図 3.7 に示すように、Co-60 線源キャプセルを 5 本収納することができる ステンレス 鋼薄板の ケースで、水中で操作しやすいように構成されている。

#### (5) 線源そう入装置

線源をプール底部フレームの中央部に設けたたなにそう入するためのものである。線源収納ケースは、水中トングを使用して線源そう入装置に組み込まれ、地上フレームに設置された手動ハンドルによって、

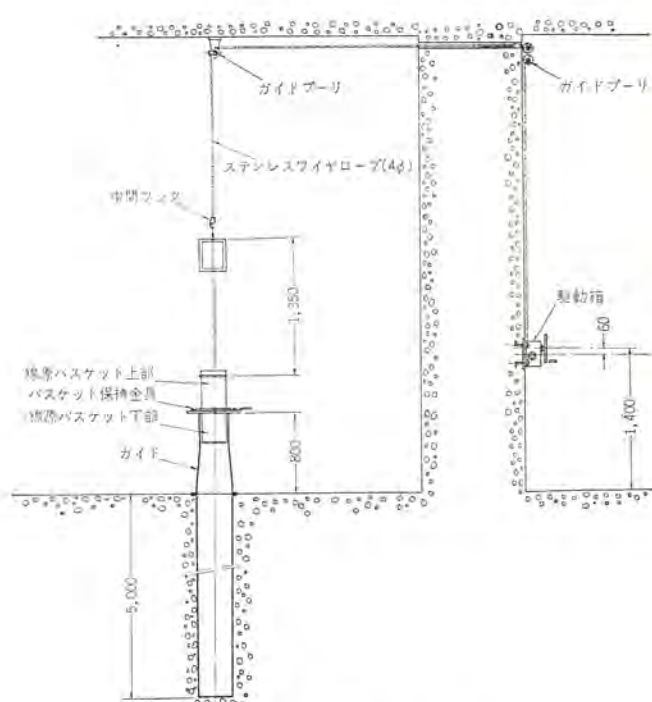


図 3.10 線源格納筒  
Cylindrical case for Co-60.

コンパチェン プール底部フレームにそう入される。動力の伝達はステンレス鋼製ワイヤロープとチェーンによって行ない、途中にステンレス鋼製玉軸受入りのガイドプーリが配置してある。

#### (6) 水中トング

プールの線源を取扱うもので、耐食アルミニウム合金の長尺パイプに、マスタハンドルとスレイブトングを取付けたものである。動作はつかみだけで、手首はセットねじの調整により 0-90 度可変である。

外形を図 3.8 に示す。

以上はプール内照射のために必要とする機器であるが、以下に地上照射室用として設置されたものについて説明する。

#### (7) 試料変換装置

プール内約 1.5 m の深さにおろされたしゃへい壁の下部を通して、操作室と照射室をつなぐ一種のコンパチェンであり、操作室より試料を送り込み、あるいは照射室より試料の取り出しを行なう装置である。

図 3.9 にその構造を示す。

試料を運ぶためのバケツは密封された容器で、特殊な三角リンクで固定され、ローチェンを経てワイヤロープに結合されている。バケツは、操作室側に設置された手動装置のハンドル操作により、操作室と照射室の間を往復運動し、照射室内では、マニプレータによって試料の取り出しが容易にできる構造になっている。

#### (8) 線源格納筒

プールの洗浄その他の目的で線源を他に移す必要のあるとき、線源を照射室内の水深 5 m 直径 300 mm の貯蔵ピットに格納するための装置である。

外形を図 3.10 に示す。

線源は 2 段積みの線源バケツに組み込まれ、線源バケツ——照射室天井ガイドプーリ——しゃへい壁貫通パイプ——操作室天井ガイドプーリ——巻上げドラム、の経路で張られたワイヤロープにつり下げられ、手動ハンドルの回転により上下運動させることによって目的を達する。線源バケツに線源を組み込みあるいは取り出すためにはマニプレータを使用する。

線源バスケットは2段積みであるが、下段のバスケットを固定し、上段のバスケットのみでもつり上げられる構造にしてある。もちろん1段のバスケットを使用することも可能である。

### 3.4 日本アイソトープ照射協同組合向け Co-60 照射装置

この装置はわが国で初めて実用大容量照射装置で、本年10月にか動の予定である。この装置の詳細についてあらためて報告することとし、ここではその概要について述べる。

この装置は総計224,000キュリーのCo-60を線源とするもので、医療器具やその他の品物を大量に連続してガンマ線照射を行ない、殺菌保存工程に用いることを目的としている。上にも述べたようにわが国では初の工業用ガンマ線照射装置であり、世界でも有数の装置である。

照射室は延長約50mのトンネル状をしており、線源は1列6本ずつ計4列千鳥に配列してある。照射用コンベアは線源列に沿って5列配列してある。このうち両端のコンベアは連結してあって、このコンベア上の被照射物の両面が照射されるようになっている。このため照射室出入口ではコンベアは4列となっている。

上述のような線源の配置と照射室内のしゃへい体の配置とによって、コンベアは上下方向の落差をつけるだけで直線状に配置され、非常に単純な構成をとっていることを特長としている。すなわち出入口方向に対する放射線のしゃへいは多重散乱・距離および被照射物の吸収による減衰効果を組合わせており、世界に例をみないしゃへい構造となっているのも特長の一つである。

コンベアは中央部はスラットコンベア、両端の出入口コンベアはグラビティローラコンベアを採用している。ローラコンベアは貯蔵コンベアの機能を持たせてあり、24時間無人操作が可能ないようにしてある。スラットコンベアは0.5~5m/minおよび12.5~125m/minの2段連続可変とし、10kRadから2MRadまでの広範囲の照射が行なえる。

線源は照射室の中央直下にある水プールに格納するもので、ワイヤロープでつり上げて照射するようになっている。このため線源の駆動

は単純なものとなり、取扱いと保守の容易さも大きな特長である。

操作の容易さ・確実性・安全性については研究用装置にまして十分確保できるようにしてあることはいうまでもない。

## 4. む す び

以上、放射線照射装置の一般的なすう勢と、当社で最近製作した装置の特長と概要について述べた。

先にも述べたように最近製作した装置のほとんどは実験用であるが、実際には実用化試験に近いものもかなりある。いずれにしても、わが国におけるガンマ線照射装置の利用はようやく大規模工業利用の緒についたところであるが、日本アイソトープ照射協同組合向けのものをきっかけに、まず医療器具殺菌処理用照射装置を中心として実用化が進み、次いで食品照射や放射線化学工業照射装置が使用されてくると期待される。

このような工業用照射装置では、線源の取扱いもさることながら被照射体の大量連続取扱いが重要な問題になってくる。一般の搬送装置にくらべ照射装置で用いられるこの種の搬送装置は、容易に人体が近づくものではないだけに信頼性・耐久性・取扱いの容易さが大きく要求される。当社は現在までに照射装置用の特殊搬送装置を各種手がけてきたが、今後ともよりすぐれたものを製作したいと考えている。

終わりに各装置の製作にあたって有益な指示と助言をいただいた大阪府立放射線中央研究所の古田博士、平岡博士、日本放射線照射振興協会の重松理事、そのほか装置の使用者のかたがた、さらにこれらの装置の製作にたずさわった多くのかたがたに対し厚く感謝の意を表する。

(昭和44-7-28受付)

## 参 考 文 献

- (1) 津田ほか：三菱電機技報 39, 1,382 (昭40)
- (2) 津田：三菱電機技報 37, 324 (昭38)

## 微量放射能測定技術

柳下 和夫\*・岩岸 聡\*・小田 稔\*

## Measuring Technique of Low Level Radioactivity

Central Research Laboratory Kazuo YANAGISHITA・Akira IWAKISHI・Minoru ODA

For the purpose of measuring low level radioactivity an iron room of 1 m<sup>3</sup> volume has been constructed with its 20 cm thick walls lined with lead, cadmium, copper and acrylic plastic. Thus it has been realized to provide a low background iron room such as its radioactivity being 1/50 compared with an ordinary room. On the other hand statistic errors are liable to pose problems when low level radioactive spectrum is measured by means of a pulse height analyzer. With an aim of reducing them, an optimum smoothing calculation code of spectrum has been developed by making use of an optimum filtering method. Through a joint application of these two kinds of technique, it has been successful in extending the lowest limit of radioactivity measurement to 10<sup>-3</sup>. Herein is reported an example of measuring human radioactivity.

## 1. ま え が き

われわれが微量放射能を測定する場合、測定を困難にしている原因として次の二つをあげることができる。

一つは試料以外のものから放出されるバックグラウンド放射線であり、他は計数値が少ないことから生じる統計誤差である。バックグラウンドは別個に測定しておいて差引くという方法がとられているが、統計誤差をもった数値同志の差から正味の計数値を求めることになるので精度の良い測定は困難である。

そこで測定精度を向上させる手段として、次の二つの技術が有効である。一つはしゃへい室や反同時計数法等によってバックグラウンド自体を減少させる技術であり、他は情報の利用度を高めて統計誤差を減少させる計算技術である。われわれは今回低バックグラウンド鉄室およびスペクトル平滑化の計算プログラムを開発したので、それぞれの技術的問題点と実測結果について報告する。

## 2. 低バックグラウンド鉄室

## 2.1 低バックグラウンド鉄室の必要性

バックグラウンド計数を減少させる方法の代表的なものにしゃへい室による方法と反同時計数を利用する方法とがあるが、はじめにこの二つの方法の特長を述べておく。

前者はしゃへい技術によって通常の自然空間よりもバックグラウンド放射線の少ない空間を作る方法である。後者は主検出器のまわりをとり囲んで多数の副検出器を置き、主副検出器からの信号の反同時計数(アンチコインシデンス)をとって主検出器のみが計数したパルスを計数するようにした方法である。この方法は宇宙線のように透過力の強いバックグラウンドの減少に有効であるが、測定しようとする放射線がγ線である場合はその計数をも一部除外してしまう不都合がある。前者のほうは透過力の強いバックグラウンドに対しては膨大なしゃへい材を必要とし、また材料に関して細心の注意が必要であるなどの困難はあるが、万能性の点ですぐれている。今回は測定対象が主としてγ線であることも考慮してしゃへい室の方法を採用した。後述の理由により材料に鉄を用いているので低バックグラウンド鉄室とよんでいる。

次にバックグラウンドを減少させることの必要性を少しくわしく説明

する。バックグラウンド放射線が試料の放射線と同等あるいはそれ以下である場合は、バックグラウンドを別個に測定しておいて差引くことにより除去できるが、バックグラウンドの強度のほうが大きくなると別の問題が発生する。放射線の放出は一定の時間々隔をおいて行なわれるものではなく確率事象であり、有限の測定時間中に得られる計数値 $N$ には $\pm\sqrt{N}$ の程度の統計的な不確定さがある。これを一般に統計誤差とよんでいる。このことを考えると微量放射能の測定下限は、一定の測定時間に得られた計数値に含まれる統計誤差の大小に依存することがわかる。また半減期の短い放射性核種に対しては測定時間を長くすることができないので、測定時間の制限は無条件に重要な意味をもつ。ここで前述の問題にかえて、定量的に検討してみる。今、単位測定時間に得られる試料放射線の計数値を $N_S$ 、バックグラウンドの計数値を $N_B$  ( $N_S \ll N_B$ ) とする。試料のある場合と無い場合につき、それぞれ単位時間だけ測定を行なって差引くものとする。とすると相対統計誤差は次式で与えられる。統計誤差には二乗相加性があるので

$$\text{相対統計誤差} = \frac{\sqrt{N_S + N_B + N_B}}{(N_S + N_B) - N_B} = \frac{\sqrt{N_S + 2N_B}}{N_S} \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

一方、しゃへい室によってバックグラウンドが完全に除去された場合は、単位時間の測定によって得られる計数値の統計誤差は

$$\frac{\sqrt{N_S}}{N_S} \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

となる。統計誤差は測定時間の平方根に反比例して減少するので、式(2.1)と(2.2)のちがいを測定時間のちがいに換算することができるが、その比は

$$\frac{N_S + 2N_B}{N_S} \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

となる。 $N_B$ が $N_S$ の10倍である場合は、このしゃへい室の効果は測定時間を約20倍に延長したことに相当する。また放射線の強度が20倍になったと考えてもよい。

このように天然のバックグラウンドより強度の弱い放射線の測定には良好なしゃへい室が有効である。

放射性元素の核種を判定する場合、エネルギー以外に半減期を測定する場合がある。半減期の測定には適当な時間間隔をおいて何回か測定をくり返し、1回ごとの計数値の減少比を測定する。したがっ

て測定末期では計数値が減少し、特に半減期が短い場合に測定が困難になる。前述の例でのしゃへい室の効果は、ここでは半減期が20倍の核種を測定することに相当し、測定が著しく容易になる。

以上、しゃへい効果を定量的に説明したが、このような微量放射能測定を必要とする例をあげてみると微量含有元素の放射化分析、 $^{14}\text{C}$ の含有率による考古学的年代測定、人体内放射能分析、法医学における遺留品分析等がある。放射化分析においては測定下限を拡張することは、加速器等の放射化装置を大型化することと同等の価値を有するわけで、その経済効果は大きい。

## 2.2 低バックグラウンド鉄室の用途

今回の設計で考慮した用途は次のようなものである。

### (1) 放射化分析における測定下限の拡張。

(当社では半導体の微量不純物分析等に使用される)。

### (2) モニタ、ヒューマンカウンタなどの微量放射能測定装置の構成材料の選択用。

### (3) モニタなどの校正用空間として使用する。

### (4) 人体内放射能の測定用。

(これは放射線作業従事者の安全対策としても不可欠である)。

## 2.3 しゃへい材料

しゃへい材料として何が適当であるかを選ぶ基準は

### (1) 外部放射線に対して十分なしゃへい能力があること。

### (2) 材料自体に含まれる放射能が少ないこと。

### (3) その材料に外部放射線が作用して発生する誘導放射能が少ないこと

などである。また実際の要求として加工が容易であること、強度が十分であること、耐久性が良いこと、價格的にも市場での流通上からも入手しやすいこと等も重要である。

以上のような条件を考慮すると次のような材料が考えられる。

鉛、鉄、ウランかす (depleted uranium)、水、石灰石、プラスチック、水銀

以上の材料の優劣を比較してみると、

### (1) しゃへい能力: $\gamma$ 線の光電効果は原子番号 $Z$ の5乗に比例し、Compton効果は $Z$ に比例し、電子対創生は $Z^2$ に比例するので、しゃへいの点からは、 $Z$ の大きな物質を用いたほうが有利である。ちなみに $Z$ は U: 92, Pb: 82, Hg: 80 である。

### (2) 誘導放射能: 上に述べたように $\gamma$ 線による電子対創生は、 $Z^2$ に比例するが、高エネルギーの $\gamma$ 線に対しては電子対創生で生じた電子による制動輻射X線が多いことになるから、 $Z$ が小さいほうが有利である。

しかし、 $Z$ の小さい物質は密度が小さい傾向があるため同一のしゃへい能をうるには表面積が大きくなる。その結果しゃへい材をよぎる宇宙線束が増し、 $\gamma$ 線発生を制御する効果がある程度相殺される。

### (3) 含有放射能の強さ: 鉛、ウランは自然の崩壊系列の中の元素であり、その親核や娘核が含まれ、それらの中には放射性のものがある。鉛は古くから人間に親しまれた金属なので、十分年代を経たものを採れば低放射能含有率のものが得られる。(オランダのフリッス社では16世紀の沈没船より引きあげた鉛を低バックグラウンド装置に使用している。またアメリカでは低バックグラウンド材料は一度ある目的に使用した後も、再度の使用に役立たせるため、「低バックグラウンド材銀行」設立の動きもある)。

以上の3条件を考慮し、入手と加工のしやすさも考え、結局鉄を

主材料とすることにした。そして鉛、銅、カドミウム、アクリル板で内張りし、鉄で落とせない放射線を減らすことを考えた。

鉄を選ぶのに、原爆以前の鉄が入手できれば、それには人工放射性同位元素が含まれていないので理想的である。たとえその表面に核実験による死の灰が付着していても、サンドブラスト等で取除くことができる。

そこで古い鉄道のレールや、汽車の車輪や、船のスクリューシャフトなど探したが、必要量の15トンだけまとまったものが入手できなかった。それで新しい鉄を買うことにした。

現在生産されている鋼には次のような課程で放射能が含まれる。鉄鉱石そのものに含まれている放射能は非常に少ない。それは鉄の天然同位元素には放射性のものがなく、鉄鉱石の不純物であるシリコンやアルミニウムなども同様である。しかしここにいう鉄鉱石とは鉱山で採鉱したばかりのものであって、溶鉱炉へはいる直前のものについては事情が異なる。なぜなら鉄鉱石は鉱山、港、製鉄所の貯鉱場では雨ざらしであって、雨の中に含まれている死の灰が混入する。これによって $^{137}\text{Cs}$ や $^{90}\text{Sr}$ が混入する。その量は核実験の時期と気象条件に依存している。

この鉄鉱石を高炉で屑鉄、コークス、石灰石と一緒に加熱して溶鉄を作るのであるが、その際に高炉の壁に埋められた $^{60}\text{Co}$ が混入するおそれがある。この $^{60}\text{Co}$ は高炉の壁のやせ具合を外部よりチェックできるよう壁のレンガ中に種々の深さに埋められている。その強度は約10 m Ciでその数は高炉1基あたり100個位埋められている。これが約10年の高炉の寿命の間に全部溶けたとすると、高炉の年間製鉄能力を50万トンとして

$$\frac{10 \times 10^{-3} \times 100}{500,000 \times 10} = 2 \times 10^{-7} \text{ Ci/トン}$$

の $^{60}\text{Co}$ が平均的に混入する。もっともこれは $^{60}\text{Co}$ の半減期(5~2年)を無視できるくらい、初期での混入率である。この $^{60}\text{Co}$ を含んだ鉄は市場に出てまた屑鉄として戻ってくるので半減期の効果はある程度相殺される。高炉の容量を仮に200トンとすると、その中に10 m Ciの $^{60}\text{Co}$ が1個溶けて均一にまざったとすると

$$\frac{10 \times 10^{-3}}{200} = 5 \times 10^{-5} \text{ Ci/トン}$$

と平均値に比べて2けた(桁)も高い。したがって低バックグラウンド室用鉄材は $^{60}\text{Co}$ が溶けた直後であるか否かの選別を要する。

われわれはこの選別には5 cmの厚さの鋼板試料でまずを作り、その中に3"φ×3"のNaI(Tl)検出器を入れて1時間測定した。試料以外からのバックグラウンド放射線をしゃへいするために、測定には三菱原子力工業(株)大宮研究所の低バックグラウンド鉄室を使用させていただいた。

採否の判定基準として3"φ×3"のNaI(Tl)で1時間測定し、その間の0.5~1.5 MeVの $\gamma$ 線の計数が100 cpm以下とした。そしてそれに合格した試料と同じロットの鉄板で鉄室を作った。

## 2.4 構造設計

鉄室の設計上の考慮した点は次のとおりである。

### (1) 壁の厚さは20 cmとし、とびら、ケーブル用穴等はどの角度からながめても、20 cm以上の厚さがあるような迷路とした。

### (2) 最小量の壁材で最大の空間を作るよう立方体とした。内容積は1 m<sup>3</sup>とした。これによって被測定物の大きさに自由度をもたせることができ、しかも壁からの反射を十分小さくできる。特定の姿勢では人間も測定可能である。

(3) 将来移転あるいは拡張のできるよう溶接等は行なわずすべてボルト締めとした。

(4) 全重量15トンの重量物なので危険がないよう、耐震性については十分考慮した。また床の強度も測定した。鉄室の外観を図2.1に示す。

## 2.5 工 作

工作は伊丹製作所でサンドブラストとガス切りを行ない中研で組み立てを行なった。その間、運搬の際の積みおろしには電磁クレーンをいっさい使用しなかった。これは原料メーカーにも守ってもらった。その理由は残留磁気光電子増倍管に影響を与えるおそれがあるからである。鉄室の組立後、その内側に10 mm の鉛、1 mm のカドミウム、0.26 mm の銅、5 mm のアクリル板を順次内張りした。また鉄室の外側には万一汚染した場合の除染の便を考慮してストリップペイントを塗布した。

## 2.6 性 能

以下に記す鉄室の放射線性能は、すべて次のような測定系で測定された。

|        |            |                    |
|--------|------------|--------------------|
| シンチレータ | Harshaw 社製 | 5"φ×4"             |
| 光電子増倍管 | RCA 8054   | 3"φ                |
| 前置増幅器  | 自製         |                    |
| 高圧電源   | 当社製        | ND-1521 型          |
| 波高分析器  | TMC 社製     | 400 ch PHA 404-6 型 |
| 低圧電源   | メトロニクス 社   | 7326 型             |

図2.2に鉄室を設置した室内の放射能 (Room Bkg) を示す。

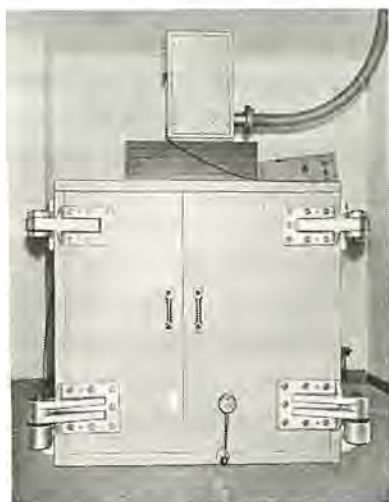


図2.1 低バックグラウンド鉄室外観  
Exterior view of low background iron room.

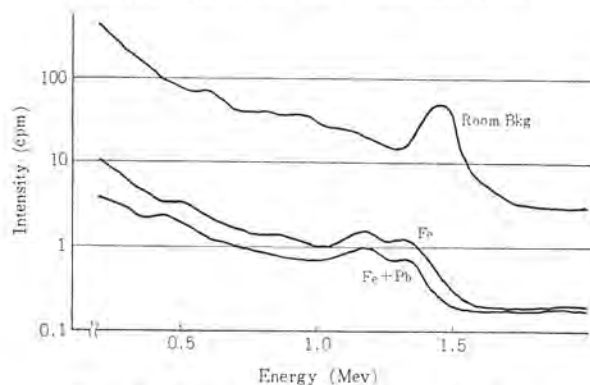


図2.2 低バックグラウンド鉄室内外のγ線スペクトル  
γ-ray spectra in and out of low background iron room.

(図2.2および図2.3のスペクトルにはいずれも後述の平滑化処理がほどこされている)。ピークは $^{40}\text{K}$ の1.46 MeVのγ線にもとづくもので、このへや(部屋)の窓ガラス中の $^{40}\text{K}$ のせいである。このスペクトルの0.2~2 MeVの範囲での和を求め、シンチレータの単位体積あたりの計数率を求めると15.8 cpm/cm<sup>3</sup> NaIであった。また図2.2のスペクトル(Fe)は鉄室に内張りをする前のものである。高エネルギー側の二つのピークは $^{60}\text{Co}$ からの1.17と1.33 MeVのγ線によるものである。これはシンチレータを鉄室内のどの位置に移動しても、また鉄室の組立に用いたボルトの上へシンチレータを移動してもスペクトルが変化しなかったことから鉄板中の $^{60}\text{Co}$ であると断定した。

この $^{60}\text{Co}$ は材料を選別したときには試料が少なかったこと、シンチレータが小さかったこと、および測定時間が短かったことなどにより検出できなかった。図2.2のスペクトル(Fe+Pb)は鉄室に10 mmの鉛を内張りした後のものである。0.45 MeVのピークは鉄の中にはなかったものであるが、鉛の内張りによって持ち込まれたものである。これは鉛の不純物である $^{213}\text{Bi}$ あるいは $^{209}\text{Tl}$ のそれぞれ0.44 MeVあるいは0.45 MeVのγ線によるものと思われる。しかし全体として鉛を内張りしたことによって、鉄室のみの場合の計数率が、0.2~2 MeVの範囲で0.53 cpm/cm<sup>3</sup> NaIであったものが、この内張りによって0.31 cpm/cm<sup>3</sup> NaIに減少したのでこのまま採用することとした。

さらに鉄室で減速された、宇宙線からの中性子をしゃへいするために1 mmのカドミウム、鉛からの低エネルギーβ線をしゃへいするために0.26 mmの銅、および試料からの放射線の壁による反射を少なくするために5 mmのアクリルを内張りした。しかし10 mmの鉛ほど顕著なしゃへい効果は得られなかった。内張りを行なった後のスペクトルを図2.3のスペクトルaに示す。これは図2.2のFe+Pbのスペクトルと計数率はほとんど同じである。

この低バックグラウンド鉄室の性能を示す一例として人体内の放射線の測定例を図2.3のスペクトルb、cに示す。図中曲線aはこの鉄室のバックグラウンドのスペクトルであり、bおよびcは2人の成年男子の体内放射線のスペクトルである。測定時間はいずれも40分間である。測定時のシンチレータに対する身体の位置を図2.4に示した。1.5 MeVと0.7 MeVの付近のピークはそれぞれ $^{40}\text{K}$ の1.46 MeVのγ線と $^{137}\text{Cs}$ の0.66 MeVのγ線によるものである。

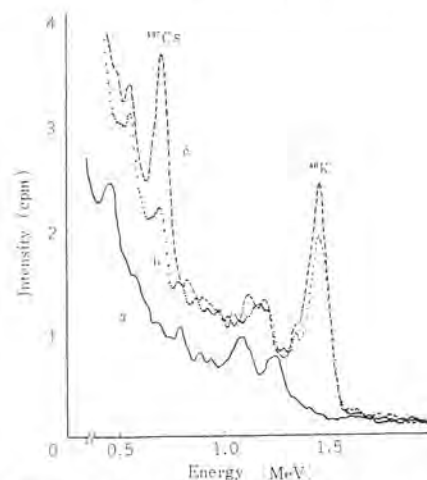


図2.3 低バックグラウンド鉄室内と人体内の放射能  
γ-ray spectra in low background iron room and in human bodies.

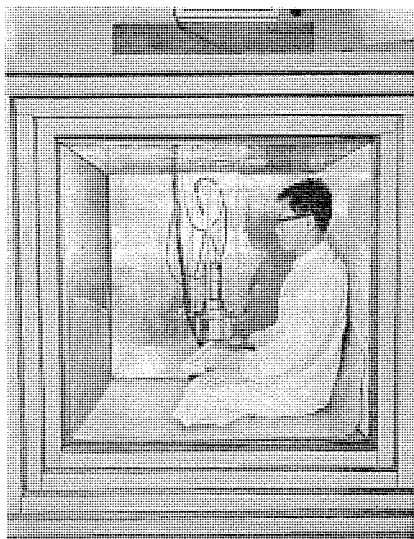


図 2.4 低バックグラウンド鉄室の内部と人体内放射能測定状態  
Interior view of low background iron room and measurement of human radioactivity

$^{40}\text{K}$  は半減期 ( $1.25 \times 10^9$  年) の天然放射性同位元素であって、人間の単位体積あたりの含有量はほとんど個人差がない。したがってスペクトル b と c の  $^{40}\text{K}$  のピークの高さの差は、両人の体重 (それぞれ 52 kg と 78 kg) の差およびシンチレータに対する立体角の差によるものである。しかしスペクトル b と c では  $^{40}\text{K}$  のピークには大差がないのに  $^{137}\text{Cs}$  のピークでは差が大きい。すなわち鉄室のバックグラウンドを差し引いたピークの高さで比較するとスペクトル b では  $^{40}\text{K}$  を 100 とすると  $^{137}\text{Cs}$  は 65 であるのに、スペクトル c では  $^{40}\text{K}$  を 100 とすると  $^{137}\text{Cs}$  は 119 である。この違いは両人の食生活の違いに由来するものと思われる。

以上の例でもわかるように、この低バックグラウンド鉄室では人体内の放射能が測定可能であるので、非密封放射線源の取扱中に事故が起こった場合の体内汚染の有無の判定等に役立つであろう。

### 3. 放射線スペクトルの平滑化

微量放射能の測定下限を拡張するためには、シャヘイ技術によってバックグラウンド放射線を減少させる方法のほかに、計算処理によって情報の利用度を高め統計誤差を減少させることが有効である。近年この目的でスペクトルを平滑化する研究がいくつか報告されているが、平滑効果 (統計誤差の減少効果) を定量的に検討し最大化を試みたものはまだ報告されていない。われわれは今回この問題に通信理論を適用し、スペクトル中のピークの高さと統計誤差幅の比を最大にする平滑法を導いた。またこの平滑化のための計算プログラムを開発したが、このプログラムは平滑効果、はん(汎)用性、計算量等の点で十分実用性がある。

#### 3.1 平滑化の必要性

パルス波高分析器を用いて放射線のエネルギースペクトルを測定する場合について考えてみる。パルス波高分析器のチャンネル数が小さい場合は、パルス波高の分類が細かく行なえないので、波高に関する情報を取り逃がすことになる。一方チャンネル数が大きすぎる場合は、情報の取り逃がしは少ないのであるが、各チャンネルに割当てられる計数値が小さいために統計誤差が大きくなり、このままではかえって役に立たない。この様なスペクトルは、採集された情報が知識として引出せない状態にあるわけであり、情報の再配分が必要になっている。し

たがって測定時には十分大きなチャンネル数で測定しておき、あと処理によって情報の最適配分を行なうことが望ましい。

微量放射能分析においては計数率が小さく、また核種によっては半減期の制約から長時間測定が不可能である。ここで統計誤差をたとえば  $1/2$  に減少させることができたとする、4 倍の体積の検出器で測定したことに相当し、あるいは 4 倍の時間測定したことに相当する。このように限られた情報を最大限に利用して測定の経済性を改善し、測定下限を拡張することが平滑化処理の目的である。

#### 3.2 最適平滑化

最近までに報告されている平滑化処理の方法には次のようなものがある。

- (1) スペクトルをフーリエ変換し、低域ろ(濾)波関数を適用する方法
- (2) 近接チャンネルの計数値間の平均値を採用する方法
- (3) 最小二乗法を利用した方法

このほかに報告はないが電氣的な波も同様の目的に使用できる。これらはいずれも有効であるが、平滑効果を最大にする方法についてはよく検討されていない。平滑化処理を行なうと、一般に統計誤差は減少するが、多少ともピークの幅が広がり、高さが減少するのでなんらかの最適化が必要である。

われわれは平滑効果の評価の基準として、ピークの高さと統計誤差幅の比の改善度を取り、この意味での最適化を検討した。これは通信理論での SN 比に相当するものを最大にすることになる。ここでわれわれが意図するところは、統計誤差を伴ったスペクトルを、雑音を伴った信号とみなし、平滑化の問題に通信理論の最適ろ波を適用することである。しかし対象となるスペクトルは通信理論からみるといくつかの特殊性をもっているため、スペクトルに条件を付けて、それに対する最適平滑法を決定する。条件をみたくない一般のスペクトルを処理する場合の問題はあとで検討する。この条件とは

- (1) バックグラウンドがピークに比べて大きく、かつなだらかに変化しているものとする

統計誤差は計数値の平方根に比例して変化するので定常過程の雑音として扱うことはできないが、この条件のもとでは近似的に定常過程とみなせる。またろ波処理の性質上、ろ波器のレスポンス時間より大きく隔たった位置(時刻)ではバックグラウンドが変化してもさしつかえない。したがってバックグラウンドの変化がなだらかなであればよい。

- (2) ピークの形は横軸上の位置によらず一定とする

形が変わらないというのは、関数形が定係数を除いて変わらないということである。一般に放射線検出器の性質上、エネルギー分解能がエネルギーによって変わるので、これは信号の形が時間によって変化することにあたる。時間領域でろ波を行なう場合はパラメータを時間に依存させるという解決手段があるが、フーリエ変換を利用するろ波では根本的な困難となる。ただしこの変化の幅は一般に小さく、かつ単調である。

- (3) ピークの幅に対してチャンネル数は十分大きいものとする

これは統計誤差を雑音とみなした場合の周波数スペクトルを単純化するためのものである。未処理のスペクトルでは各チャンネル間の統計誤差に相関がないので、チャンネル数が十分大きければ白色ガウス雑音とみなすことができる。

以上の条件を仮定すると、最適ろ波器の特性は次のように決定される。最適ろ波器の周波数応答  $F(\omega)$  は、信号のフーリエ変換を

$S(\omega)$ , 雑音のパワースペクトルを  $N(\omega)$  として

$$F(\omega) = S^*(\omega) / \sqrt{N(\omega)} \cdot \exp(-j\omega T) \quad (3.1)$$

であるが、ここではスペクトル中のピークの形のフーリエ変換を  $S(\omega)$ 、統計誤差雑音のスペクトルを  $N(\omega)$  と考えればよい。 $T$  は信号の到着時刻と測定時刻の差であるが、ここでの時間は実際の時間ではなく、処理の前後でスペクトルが左右方向にずれる距離を意味する。したがって、実際に電氣的な波を行なう場合は物理的に必要な時間であるが、フーリエ変換でろ波を行なう場合は零にする。(3)の仮定によって  $N(\omega)$  は定数であるから  $F(\omega)$  は  $S(\omega)$  の共役複素数であればよい。時間領域でろ波を行なう場合は、ろ波器のインパルス応答がピークの形を時間反転したものであればよい。ピークの形は特別な事情のないかぎりガウス形であるから、ガウス形の場合だけを考えると、インパルス応答はピークの形そのものでよく、 $F(\omega)$  は  $S(\omega)$  そのものでよいことになる。このように、この問題に対する最適ろ波器の特性は、データとなるスペクトルから簡単に決定できることになる。

次は計算プログラムの作成を考慮して、計算の実行方法を考えてみる。ここまでの考察ではフーリエ変換によるろ波、あるいは電氣的なろ波を前提としていたが、実際の計算は数学的に等価ないくつかの方法のうちから計算量、融通性等の点で都合のよい方法を選んで行なえばよい。図3.1は加重関数とろ波器のインパルス応答が同一であるとき、加重平均処理とろ波処理が同等であることを示している。われわれはこのことを利用して、最適ろ波を最適加重平均におきかえ、経済的なプログラムを開発した。

周波数領域でのろ波であるフーリエ変換の方法が、スペクトル全体にわたって一様な処理しかできないにくらべて、加重平均の方法では不均一な処理ができるなど、自由度が大きい。また計算量の点でも、加重平均の方法が有利である。このプログラムは、加重関数としてガウス関数の代わりに二項係数を用い、両端は中央の値の1%になるところで切捨ててある。加重関数の幅は現段階では事前に使用者が決める。またスペクトルの両端で計数値が急変する場合、そのまま平滑処理を行なうとひずみ(歪)を生じるが、このプログラムでは、両端に加重関数と同程度の幅のタミーを付加してひずみを防止してある。このプログラムによる計算例を図3.2、図3.3に示すが、図3.2は処理前、図3.3は処理後である。

ここに導いた平滑処理法が最適平滑法であることの部分的な説明をかねて、ピークの形がガウス形である場合の平滑効果を定量的に検討してみる。スペクトルのピークの半値幅(標準偏差  $\sigma$  の2.35倍)  $W_0$  に対して、加重関数の半値幅  $W$  を変数にとり、平滑効果の変化をみることにする。統計誤差の二乗の相加性から、統計誤差の減少率は次式で表わされる。分母は規格化因子である。

$$\frac{\int_{-\infty}^{\infty} (e^{-x^2/2\sigma^2})^2 dx}{\int_{-\infty}^{\infty} e^{-x^2/2\sigma^2} dx} \quad (\sigma = W/2.35)$$

この値を  $W$  で表わすと

$$\text{統計誤差減少率} = 0.82/\sqrt{W} \quad (3.2)$$

となる。一方ピークの高さの減少率は

$$\frac{W_0}{\sqrt{W_0^2 + W^2}} \quad (3.3)$$

となり両者の比がSN比の意味での平滑効果になる。この値は予想されるとおり  $W = W_0$  のときに最大になる。図3.4に、この関係を示す。図3.3の例では、 $W = 30$  であり、平滑効果は4.7倍である。この効果を測定時間の延長あるいは試料の増加に換算すると、

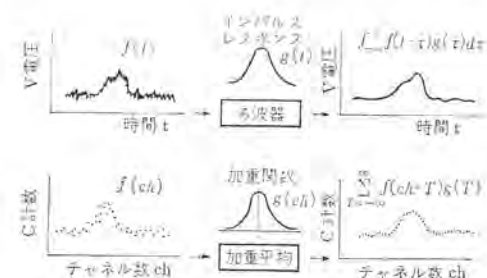


図3.1 ろ波と加重平均の対応  
Relation between filtering and weighted moving average.

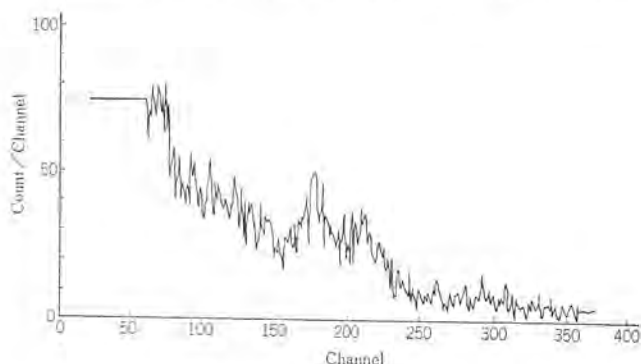


図3.2 平滑処理前の微量放射能スペクトル  
Low level radioactivity spectrum before smoothing.

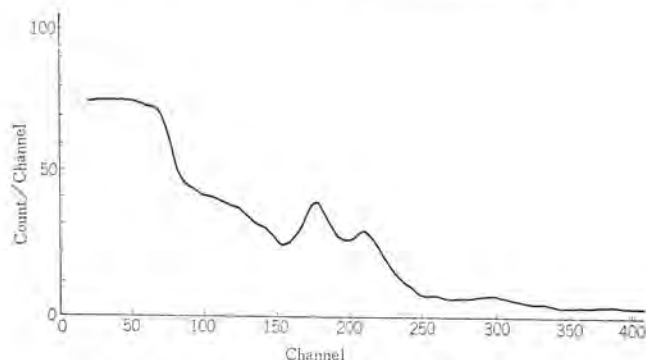


図3.3 平滑処理後の微量放射能スペクトル  
Low level radioactivity spectrum after smoothing.

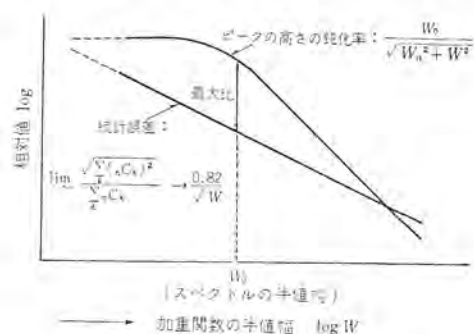


図3.4 平滑効果の説明  
Explanation of smoothing effect.

(4.7)<sup>2</sup> 倍となる。実際の計算はガウス関数の代わりに二項係数を用いるので、この場合、式(3.2)に当たるものは

$$\text{統計誤差減少率} = \frac{\sqrt{\sum_k n C_k^2}}{\sum_k n C_k} = \frac{1}{\sqrt{n\pi}} \quad (3.4)$$

となる。また二項係数において、ガウス関数の  $\sigma$  あるいは  $W$  にあたるものは

$$\sigma = \sqrt{n}/2 \quad (W=1.18 \sqrt{n}) \dots\dots\dots (3.5)$$

で与えられる。(Wallis の公式から誘導する)。

### 3.3 実用上の問題点

まず SN 比に相当するものの最大化を目的としたことの当否を検討してみる。

(1) バックグラウンドの中に小さなピークがうずもれている場合のピークの検出能を最大にすることになる。

(2) 検出能を最大にすることは、ピークの強度の評価精度を最大にすることと同義である。ただし、これは統計誤差によるばらつきの意味においてであり、校正精度の意味ではない。

(3) 最適ろ波の行なわれたのちでは、ピークの強度に関する情報は、振幅(高さ)の形に集約されており、あらためてピークの面積を求めたりする必要はない。したがって後続の計算量が減少する。

(4) (1)~(3) にあげた妥当性は、ピークのベースライン(バックグラウンド)が容易に決定できることを前提としている。これが困難な場合には、別個の技術が必要とするし、最適性の根拠もうすらぐ。

次に、最適ろ波の適用に際してスペクトルに課した条件がみたされない場合の不都合と対策を検討してみる。

(a) ピークの高さとバックグラウンドに関する仮定は、言いかえれば、統計誤差の幅がどこでも一定であるか、あるいは少なくとも急変がないことを保証するものである。これがみたされない場合の弊害の典型的なものは、大小のピークが隣接している場合に、大きいピークのもつ大きい統計誤差が平滑処理によって両側に広がり、小さいピークを乱すことである。

この現象に対する対策としては、データの計数値の平方根をとって処理する、あるいは加重関数の幅を最適幅の 1/2 程度にちぢめるなどが考えられる。前者は、統計誤差が計数値の平方根に比例しているため、平方根をとれば統計誤差幅が一定となることを利用するわけである。ところが、注意を要する点は、ピークとバックグラウンドの比によって、平方根をとったときのピークの形が異なることである。次式からわかるように、バックグラウンドのないピークは平方根をとることによって幅(たとえば  $\sigma$ ) が  $\sqrt{2}$  倍にひろがる。

$$(e^{-x^2/2\sigma^2})^{1/2} = e^{-x^2/4\sigma^2} = e^{-x^2/2(\sqrt{2}\sigma)^2} \dots\dots\dots (3.6)$$

したがって、この状態で平滑化処理を行ない、再び 2 乗して元にもどしたときには、各ピークごとに高さの校正定数を変える必要がある。後者は統計誤差のひろがる範囲を一様に制限する効果をもっているが、平滑効果の減少はやむを得ない。しかし、式(3.2)、(3.3)あるいは図 2.4 からわかるように、加重関数幅の変化による平滑効果の劣化は最適幅付近ではゆるやかであり、幅を 1/2 としても劣化は 10% 程度である。われわれは実用性の点から二つの方法を比較し、後者を採用した。この方法による図 3.2 のスペクトルの処理例を図 3.5 に示す。

(2) ピークの形がスペクトル全域にわたって一定であるとした仮定は、前項の検討からもわかるように平滑効果の点では問題がない。しかし最適ろ波の方法ではピークの強度の評価を、ピークの高さだけで行なうので、校正定数の補正が必要である。現在のプログラムには、この補正はとり入れられていない。

(3) ピークの幅に対してチャンネル数が十分大きいとした仮定は、最適ろ波の適用を容易にするためにやむを得ず導入したものであるが、式(3.4)、(3.5)によって  $n$  が小さい場合にも、式(3.2)、(3.3)

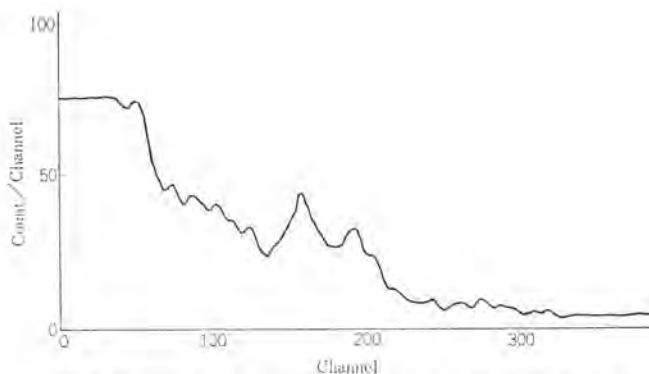


図 3.5 1/2 幅の加重関数による平滑処理例(図 3.2 のデータによる)

Smoothing effect with weighting function of a half width (Original data is shown in Fig. 3.2).

で与えられる平滑効果をもつことがわかる。残る問題は、ピークが少数の点でプロットされている場合、位相関係(ピークの中心が点上にあるか、点と点の間にあるかなど)からくるピークの高さの評価誤差である。これに対してはサンプリング関数による内そう(挿)補間などが有効であろう。この処理を前段階で行なうと、後続の計算量がすべて増加するが、平滑効果の考察から最終段階で行なえばよいことがわかる。

ここに述べた最適平滑法は孤立したピークのみを扱うことを前提としており、現段階では重複したピークや曲率の大きいバックグラウンドは処理できない。バックグラウンドが低周波雑音を考えうる場合は、ろ波関数を修正することによって、ピークの検出能をあまりそこなわない妥協が可能であるが、重複したピークや曲率の大きいバックグラウンドは、周波数領域での重複を意味し、別個の技術が必要とする。この点に関しては、次の段階で検討するつもりである。

## 4. む す び

微量放射能分析に関する二つの基本的な技術の開発によって、放射能の測定下限を約  $10^{-3}$  まで拡張することができた。今後は現段階までに意図した事項の実用化と、残された問題に対する技術の開発を進める。

なお、この鉄室の材料の選択にご協力いただいた三菱原子力工業(株)大宮研究所の鈴木氏、計算プログラムの作成にご協力願った三菱計算センターの吉川氏ならびに鉄室の設計、工作にたずさわった方々に厚くお礼申し上げます。

## 参 考 文 献

- (1) Tamon, Inoue : Nuclear Instr. and Methods, 67, p. 125 ~132 (1969)
- (2) P. E. Clark : Nuclear Instr. and Methods, 67, p. 164~168 (1969)
- (3) J. A. Blackburn : Nuclear Instr. and Methods, 63, p. 66~70 (1968)
- (4) H. P. Yule : Nuclear Instr. and Methods, 54, p. 61~65 (1967)
- (5) J. A. Blackburn : Anal. Chem., 37, 8, July (1965)
- (6) A. Savitzky, et al : Anal. Chem., 36, 8, July (1964)

# 三菱HCパネル

あなたの工場の設備合理化に小形の配電盤を!!

■小形軽量で2段積配電盤ですから据付面積が  
わずかで済みます

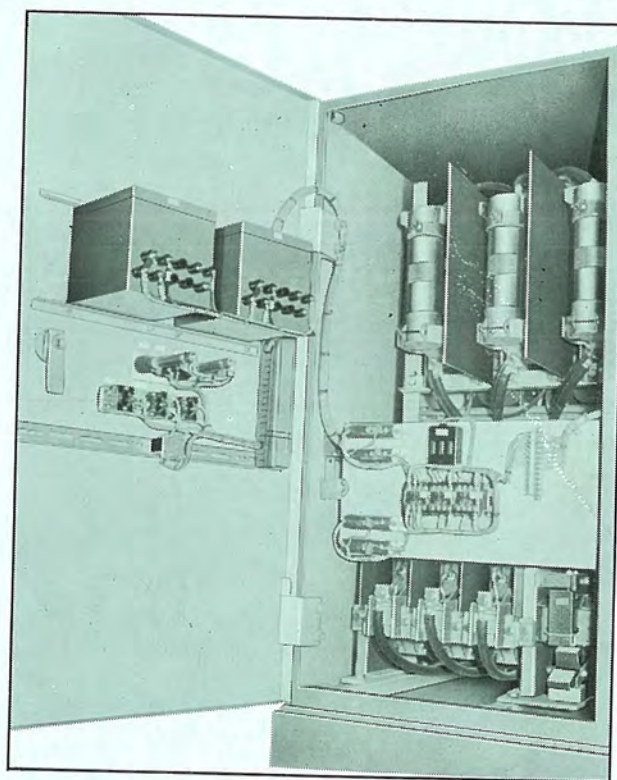
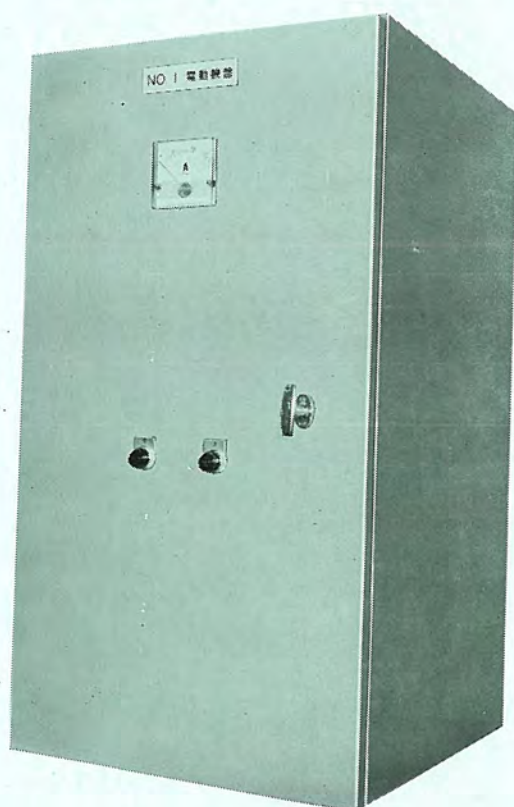
■標準化されていますので極めて短い納期にお  
答へできます

■限流形電力ヒューズの使用で短絡電流を限流  
しますので経済的なケーブル選定ができます

■保守点検が容易な設計にしています

■気中式・真空式コンタクトいずれも収納可能  
です

3kVコービネーションパネル(JEM-1114-Aクラス)



定 格 表

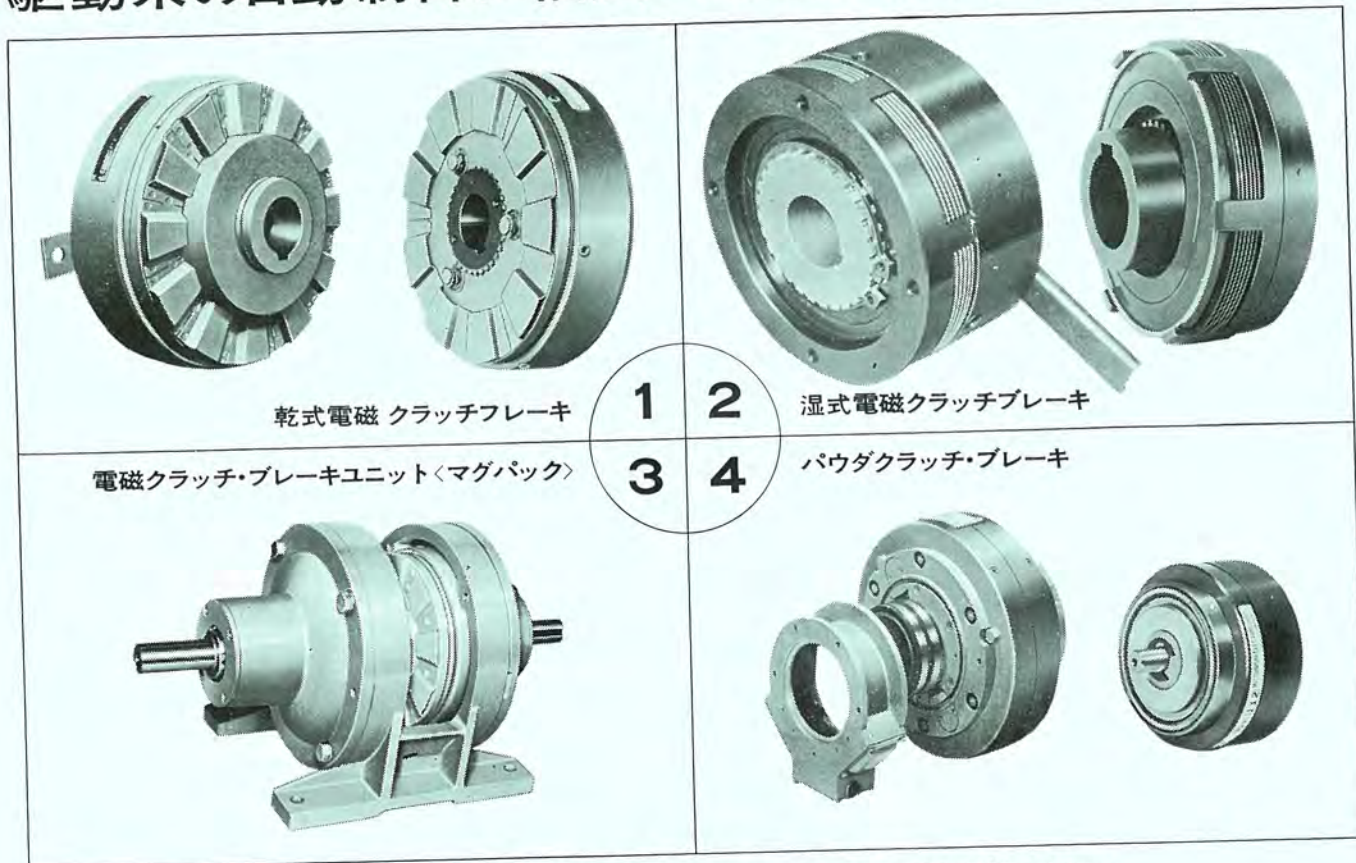
|                    |            |                                             |                      |         |
|--------------------|------------|---------------------------------------------|----------------------|---------|
| 定 格 電 圧            |            | 3kV                                         |                      |         |
| 定 格 電 流            |            | 50A                                         | 100A                 | 200A    |
| 適 用 容 量<br>(最 大)   | 電 動 機      | 180kW                                       | 375kW                | 750kW   |
|                    | 変圧器・コンデンサー | 250kVA                                      | 500kVA               | 1000kVA |
| 電磁接触器<br>(真空式・気中式) | しゃ断容量      | 33kV                                        | 25MVA                |         |
|                    | 規 格        | JEM-1167(開閉容量—定格電流×10 開閉ひん度—600回/時, 寿命25万回) |                      |         |
| 電力ヒューズ(限流形)        | しゃ断容量      | 36kV                                        | 250MVA (対称値)         |         |
| 盤 寸 法              | 幅          | 600mm                                       |                      |         |
|                    | 高 さ        | 1150mm                                      | 2300mm (2段積)         |         |
|                    | 奥 行        | 700mm                                       | 1000mm (ケーブルボックス付の時) |         |
| カ タ ロ グ 番 号        |            | L-32649                                     |                      |         |

# 起動・停止 送り速度 送り方向

未来を開発する



駆動系の自動制御に幅広い用途を開拓しました 三菱電機



豊富なシリーズから用途に合わせてお選びください。

## 1. 三菱〈乾式〉電磁クラッチ・ブレーキ

- 用途  
工作機械…旋盤 フライス盤 自動盤 専用機  
運搬機械…コンベヤ フィーダ 昇降装置 ホイスト クレーン  
設備機械…巻取機 伸線機 伸線機 回転炉 加熱炉 各種  
変速装置  
などの起動・停止用 送り速度 送り方向の変換用

- 機種  
VK形電磁クラッチ RKA形マイクロ電磁クラッチ  
JKA-K形電磁クラッチ EBA形電磁ブレーキ  
RKB形マイクロ電磁ブレーキ

## 3. 三菱電磁クラッチ・ブレーキユニット《マグパック》

- 用途  
三菱〈乾式〉クラッチ・ブレーキと同じです
- 機種  
NUK形マグパック NUR形マグパック
- 乾式単板形のVK・RKA形クラッチとEBA・RKB形  
ブレーキをそれぞれ一体に組み込んだものです

## 2. 三菱〈湿式〉電磁クラッチ・ブレーキ

- 用途  
工作機械…旋盤 フライス盤 専用機  
などのクラッチ・ブレーキ(起動・停止)用 多速度用  
各種送り切替用 正逆転用
- 機種  
HK形クラッチ HB形ブレーキ

## 4. 三菱パウダクラッチ・ブレーキ

- 用途  
設備機械…大形ファン プロウ 遠心分離機 製紙機 圧延  
機 巻取機 巻戻機 伸線機 撚線機  
運搬機械…大形コンベヤ 走行用クレーン  
などの緩衝起動用 巻取装置の定張力・定トルク制御用  
過負荷安全装置用
- 機種  
ZKA形〈通し軸形〉 ZKB形〈突合せ軸形〉
- トルクの伝達にパウダ(磁性鉄粉)を使うもので 英国スミ  
ス社 西独A・E・G社と技術提携

# 三菱電磁クラッチ・ブレーキ

●お問合せはもよりの三菱電機株式会社商品営業所へ…東京03<212>6111/大阪06<344>1231/名古屋052<561>5311/福岡092<75>6231  
札幌0122<26>9111/仙台0222<21>1211/富山0764<31>8211/広島0822<47>5111/高松0878<51>0001/新潟0252<45>2151

## 大形スラスト軸受の性能

田附 和夫\*・石井 明\*・山本 明\*

## Performance of Large-sized Thrust Bearings

Kobe Works Kazuo TAZUKE・Akira ISHII・Akira YAMAMOTO

The single unit capacity of vertical shaft water wheel generators, including generator-motors for pumping-up power stations, is on the trend of rapid increase. Thrust bearing used for them are also required to be very large sized. As the pad of the Kingsbury type thrust bearing becomes of large size, it proposes a condition of by-far greater importance than ever to clarify experimentally the elastic deformation of the support and the pad and also the bearing operation characteristics involving the bearing friction loss and its treatment through the use of model test equipment of life size. This article reports on the results of various characteristic tests with super large thrust bearing test equipment built for that purpose. It also discusses problems remaining unsettled for future study.

## 1. ま え が き

立軸水車発電機の単機容量は揚水発電々動機も含め、近時、ますます増大する傾向にあり、そのスラスト軸受の負うべき荷重も2,000トン、さらには3,000トンという値に達しようとする勢にある。

当社では種々の実機において実績の積み上げを行なういっぽう、大容量のデジタルコンピュータを駆使してスラスト軸受の作動特性の解析と研究を純理論的に推し進めているが<sup>(1)</sup>、上記のごとき大きなスラスト荷重に対処するスラスト軸受のパッドは外径3mないし4mにもおおよび、パッド1枚の面積も大きく、スラスト軸受の作動時におけるパッドの弾性変形も大きな値になることが予想される。しかるに、パッドの弾性変形は、油膜圧力分布とこれにつり合うパッド支持金の反力分布、パッド表裏の温度分布によって決まるもので、これの完全解を得ることは不可能に近く、さらにまた、軸受まわりの油そう(槽)内の油の流れと油冷却器の熱交換効率の関係などの十分に解明されたとはいえない問題もある。そこで、以下にその大要を述べるように、将来予想される実機大の模型試験装置で、種々の軸受作動特性試験を行ない、理論解との対比を行なうとともに、かかる大形スラスト軸受の設計に資するデータの集積、実験式の確立などで、かなりの成果を得た。

この文は、その試験装置、被試軸受および支持方式、計測装置について紹介し、試験結果と理論解との対比など例をあげて報告するものである。

## 2. 試 験 装 置

## 2.1 装置概要

図2.1に超大形スラスト軸受試験装置の構成を示す。試験装置の上半部は被試スラスト軸受部であり、スラスト軸受はキングスベリー形ティルティングパッド式である。ガイド軸受はセグメンタルジャーナル軸受であり、軸受摩擦損失による熱を処理する油冷却器は、油そうに内蔵したものと油そう外部に油ポンプで油そう内の油を循環して冷却するものがある。

パッドの支持装置については後述するが、各パッドの荷重分担は、台盤に設けられた荷重調整用ジャッキボルトと支持板のたわみ測定装置により、均等に調整できるようになっている。試験装置の下半部は、被試スラスト軸受にスラスト荷重を与える荷重装置であり、受圧ランナ、静圧軸受、受金、ピストン、油圧シリンダよりなり、大形の自己

平衡式セグメンタル静圧軸受の試験もあわせて行なうことができるものである。静止軸受への潤滑油の循環と摩擦損失の処理は、別に設けた油ポンプと油冷却器で行なっている。また、回転軸の最下部に駆動用直流電動機が接続される。

図2.2はこの試験装置の主要部の外観写真であり、駆動用直流電動機を含めると、全高約10m、全重量約250トンになり、スラスト荷重容量3,000トンという内外にその類をみない超大形のスラスト軸受試験装置である。

## 2.2 被試軸受

被試スラスト軸受は外径3m以上のもので、銅板の裏面にホワイトメ

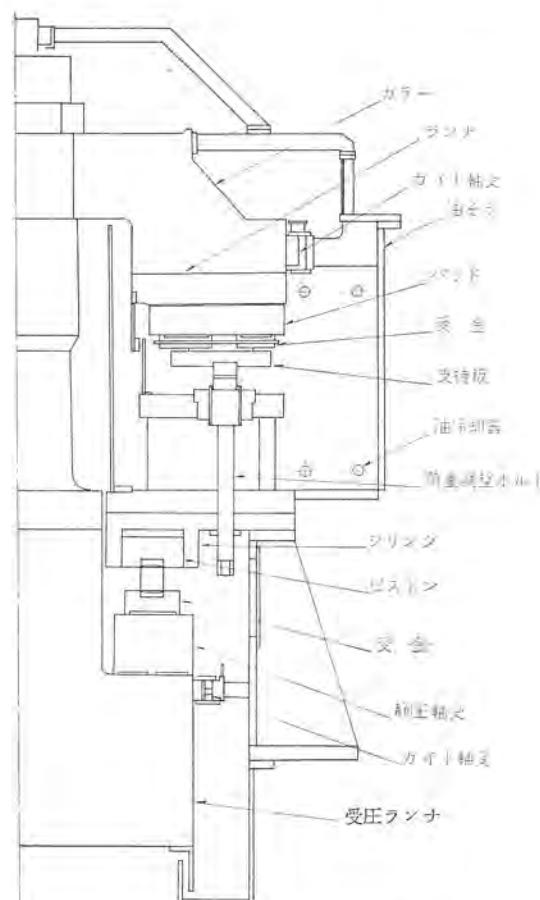


図 2.1 試験装置構成図  
Construction of test equipment.



図 2.2 試験装置外観  
Exterior view of test equipment.



図 2.3 パッド表面  
Surface of pad.

タルをライニングしたものであり、軸受面はオイルリフトのための加工が施してある。図 2.3 にパッド表面の外観写真を示す。

### 2.3 パットの支持装置

パットの支持装置の形状および寸法は、パットの弾性変形、軸受面形状、すなわち油膜形状を決めるものであり、軸受作動特性の良否を支配するといつてさしつかえない<sup>(1)(2)(3)</sup>。

この試験装置には、図 2.4 に示す 8 線支持装置、図 2.5 に示す 3 ディスク支持装置の 2 種を採用した。これらについての説明にさきだち、当社が今日までに採用してきた支持装置について少し述べると、まず最初に図 2.6(a) に示す単純ピボット支持装置があげられる。これはもっとも単純な方式であり、作動時のパットの弾性変形は図 2.6(b) に示すように油膜圧力によるもの、パッド表裏の温度差（以下温度こう配と呼ぶ）によるもの、上にとつ（凸）になる。したがってパッドが大きくなるほどパットの最大たわみ量  $\delta_{\max}$  が大きくなり、パットのわん曲度  $\delta_{\max}/h_{\min}$ （ただし  $h_{\min}$  は油膜最小厚さ）も増し、軸受作動特性は低下する<sup>(1)(2)</sup>。

このような理由で、この単純ピボット支持方式は、今日ではきわめて小さい軸受で、弾性変形が小さい場合にのみ採用されるといった程度であり、この方式の採用が不可能な大きさのパッドに対しては、つぎに図 2.7(a) に示すディスク支持装置を採用する。

この方式は、パッドを外周上部に環状のエッジの出たディスクでささえ、このディスクをピボットで支持するものであり、作動時のパットの弾性変形々状は、油膜圧力によるものはディスク径、すなわち環状エッジの径により図 2.7(b), (c), (d) のごとくつにもおう（凹）にもなり、温度こう配によるものはとつであるので、ディスク径とパッド厚さを変えることによりパットのわん曲度が過大になるのをある程度抑制することができる。

またディスクが大きい場合には、起動直後など温度こう配が定常運転時よりもかなり小さい場合のおう（凹）変形を避けるため、図 2.8 のように複数個の環状エッジを設けることもある。しかし、この場

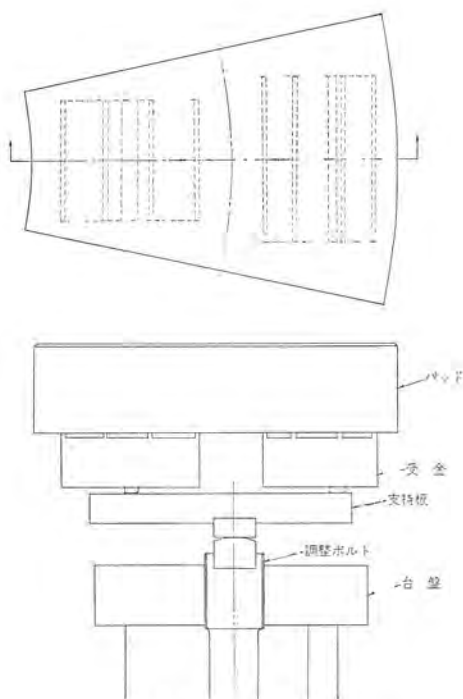


図 2.4 8 線支持装置  
Eight line support.

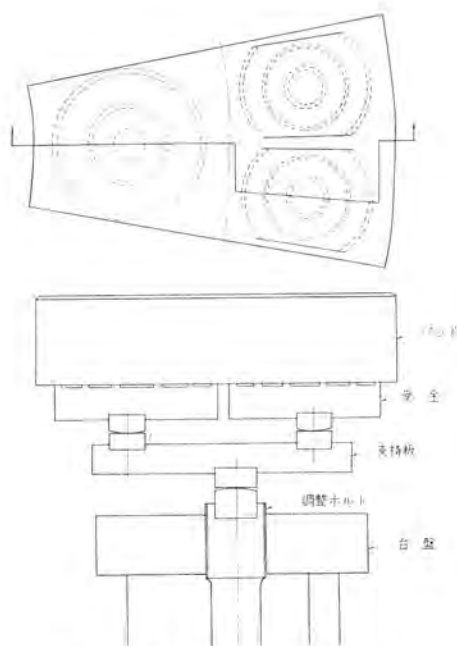
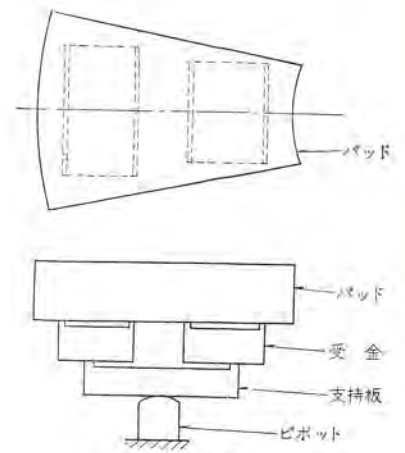
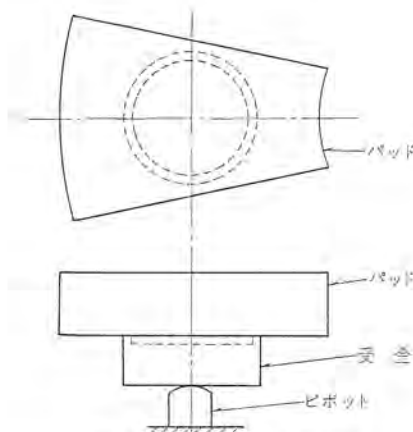
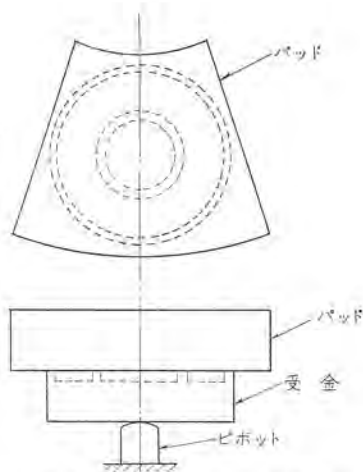
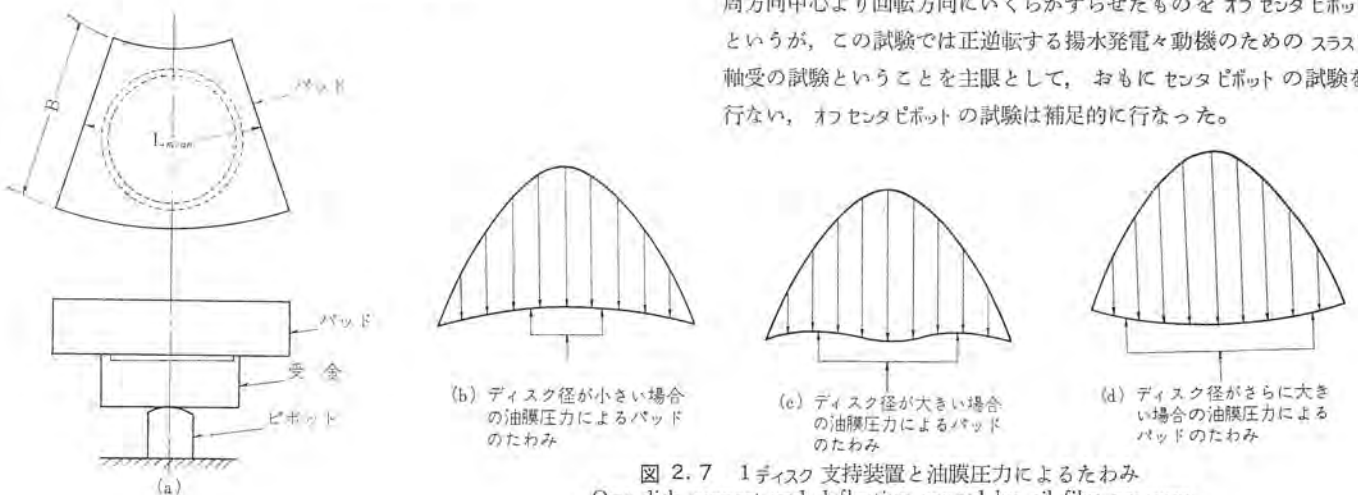
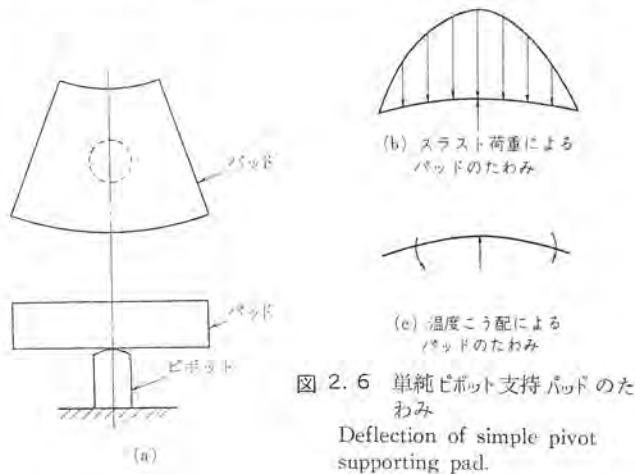


図 2.5 多縁 3 ディスク支持装置  
Multi edges three disk support.

合には、各エッジの反力分担とこれによるディスク自体の弾性変形を考慮しなければならない。このように、1ディスク支持装置は構造が簡単であり、図2.7に示したような軸受の平均長さ  $L_{mean}$  と軸受幅  $B$  の比が比較的1に近いパッドに対しては、過大なわん曲度を生じることなく良好な軸受作動特性が得られ、非常に有用であるが、軸受がさらに大きくなり図2.9のように  $L_{mean}$  に比べ  $B$  がかなり大きいパッドに対しては、ディスクよりオーバーハングする部分が多くなり、過大なとつ変形はまねがれ得ない。

このような場合、パッド枚数を減じて1枚のパッドの  $L_{mean}$  を増し、 $L_{mean}/B$  を1に近くすることも考えられるが、 $L_{mean}$  の値が



大きくなりすぎると、軸受作動特性上好ましくない場合もある。このような場合には、図2.10のように4線支持装置が採用される。この支持方式では、パッドは周方向にそれぞれ2本のエッジを持つ2個の受金でささえられ、これらの受金は、さらにピボットでささえられた支持板により、周方向の1本のエッジでささえられている。

したがって、先述のように比較的軸受幅の大きいパッドでも支持装置よりオーバーハングする部分を小さくして支持できるという利点があり、6個のエッジの反力は静定であるので、簡単な近似計算も行ないやすく、この位置によりパッドの径方向にみたたわみはある程度変え得るという特長がある。しかしながら、この4線支持方式も軸受幅がさらに大きくなるにつれ、各エッジ間のスパンが長くなり、そのため油膜圧力による局部的なおう(凹)のたわみが生じるので、これを防ぐためさらにエッジの数を増したものが図2.4で示した8線支持装置である。

つぎに、1ディスク支持装置から派生した他の支持装置に図2.11(a)に示した3ディスク支持装置があり、やはり軸受幅の大きいパッドの支持方式として採用される。この方式では3個のディスクの反力は静定として求まりさらに(b)、(c)に示すように鎖線で支持されているものと仮定すれば、径方向および周方向のパッドのたわみを近似計算することも可能である。この3ディスクのそれぞれに先述の1ディスクと同様の考えで、各ディスクのエッジを複数個にしたのが図2.5に示した3ディスク支持装置である。

なお、ピボットをパッドの周方向中心に設けたものをセンタピボット、周方向中心より回転方向にいくらかずらせたものをオフセンタピボットというが、この試験では正逆転する揚水発電々動機のためのスラスト軸受の試験ということを主眼として、おもにセンタピボットの試験を行ない、オフセンタピボットの試験は補足的に行なった。

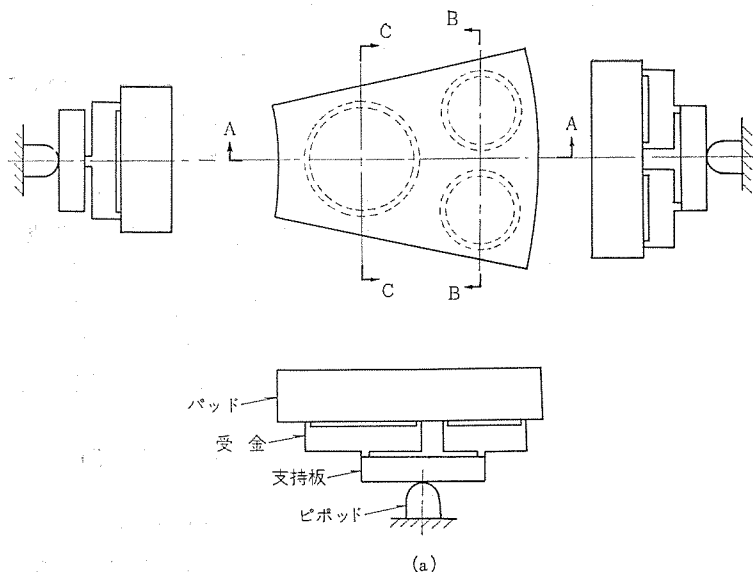


図 2.11 3ディスク支持装置  
Three disk support.

### 3. 軸受作動特性とその計測機器

軸受作動特性、すなわち油膜厚さ、油膜圧力、油膜温度、軸受摩擦損失などを計測するためつぎのような計測機器を採用した。

#### 3.1 油膜厚さ

軸受の成否を示す油膜厚さの計測には、図 3.1 に示す検出器（リアクタンスゲージと称す）を使用した。これは、ランナの面との間にあらかじめ一定の初期間隙を保ってパッド内に設置されたリアクタンスコイルであり、検出器のコアとランナで磁気回路を形成するようにしたものである。したがって、軸受作動時に形成されるくさび形油膜は、検出器とランナの間隙変化をもたらし、コイルのインピーダンスを変化させる。

検出器のコイルは交流ブリッジ回路の一素子をなしており、このインピーダンスの変化はブリッジ回路の不均衡電流となるのでこの値を計測し、あらかじめ検定した油膜厚さと電流値の関係に従って、油膜厚さを得ることができる。この試験では、図 3.2 のように9個所の油膜厚さを測定した。

#### 3.2 油膜圧力

軸受作動時の動流体的油膜圧力を測定するため、図 3.3 に示す

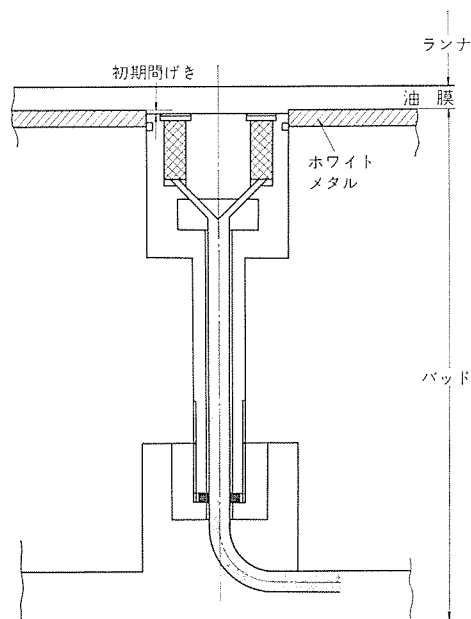


図 3.1 油膜厚さ検出器  
Detector of oil film thickness.

#### 2.4 荷重調整装置

軸受作動特性を計測するために各パッドにかかっている荷重の量を知る必要があり、また、各パッドになるべく均等に荷重を分担させる必要がある。このためにピボット直上の支持板に、後に油膜厚さ測定のための計測器の項で述べるものと同原理のリアクタンスゲージを用い、静止中に荷重を与えて支持板をたわませ、たわみによる支持板とパッド（この場合はランナに密着して平たん）の間の距離の変化を読み取り、この変化を均等にするようにピボットの下部の調整ねじを油そう外部よりまわして荷重調整が行なえるようにした。

#### 2.5 オイルリフト装置

大容量揚水発電々動機のスラスト軸受では、ひんばんな正・逆転のさいの起動トルクの軽減と境界潤滑の防止のため、高圧油ポンプにより軸受面に潤滑油を供給するオイルリフト装置が必要とされる。したがって、この試験装置においても実機と同様にオイルリフト装置を設け、起動摩擦、起動トルクを計測するものとした。

また、オイルリフトの配管系に設けた逆止弁の圧着閉そく部に異物がかみ込まれるなどで、逆止効果が十分でない場合は、くさび形油膜に発生する油膜圧力によりオイルリフト配管系への油膜漏えいが生じ、軸受作動特性を低下させるということも考えられるので、この点についても試験を行なうため、オイルリフト配管系に漏えい量を自由に調整できる回路を別に設けた。なお、後出の図 3.2、図 3.3、図 3.5 におけるS点はオイルリフトの吹き出し位置を示す。

#### 2.6 荷重装置と静圧軸受

荷重装置は被試スラスト軸受にスラスト荷重を与えるため、図 2.1 に示す油圧シリンダに高圧油ポンプで任意に設定した油圧をかけ、その下に設けた静圧軸受のポケットに別の高圧油ポンプで油を送り、油圧シリンダ内の圧力によるスラストとつり合う圧力をポケット内に発生させ、この圧力の合力、すなわち油圧シリンダ内のピストンにかかる全スラストが回転部の全自重とあわせて、被試軸受のスラスト荷重となるようにしたものである。静圧軸受は油圧シリンダの数に対応するセグメンタル形とし、各セグメントにはそれぞれ自己平衡力が得られるようなポケットと絞りを設けている。

#### 2.7 潤滑油

試験に使用した潤滑油は、被試軸受、荷重用静圧軸受いずれも、水車発電機に一般に用いられているタービン油 #140 (JIS K 2213) である。

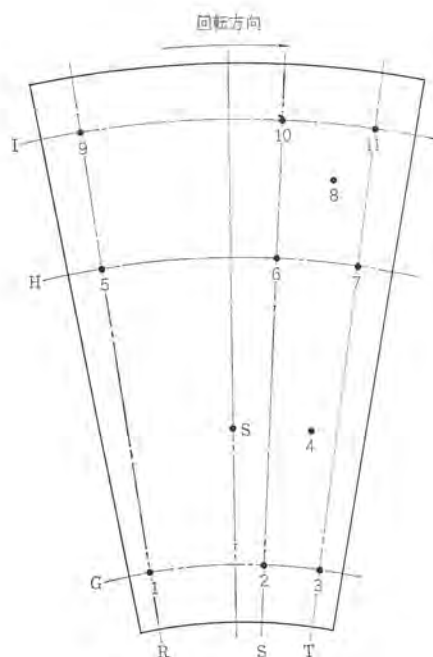


図 3.2 油膜厚さ計測位置  
Measuring points of oil film thickness.

26 個の小孔でパッドの表裏を通じ、フレキシブルチューブでブルドン管圧力計に油膜圧力を導くようにした。なおこれら 26 個の測定点は、あらかじめ二、三の負荷条件についての作動特性の理論解析で、ほぼ等圧線が得られるような位置を選んだものである。図 3.4 に機外に設けた圧力計取付パネルの写真を示す。

### 3.3 油膜温度

軸受作動時に形成される油膜はきわめて薄く、油膜最小厚さは 30 ~ 40 ミクロンがこの程度の大きさのスラスト軸受での許容限界であると考えられるので、このような薄い油膜そのものの温度を測定することはきわめて困難であるといえる。そこでこの試験では、ホワイトメタルの表面に素子を埋設し、ホワイトメタルの表面温度をもって油膜温度を代表させるものとした。温度計としては、クロメル-アルメルサー

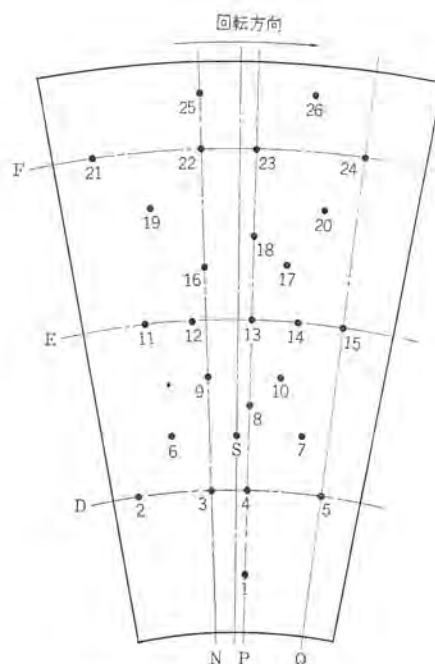


図 3.3 油膜圧力計測位置  
Measuring points of oil film pressure.



図 3.4 圧力計パネル  
Pressure gage panel.

モカブルを使用し、測定位置は図 3.5 に示す 11 点を選んだ。また温度こう配分布を計測するため、これら 11 点のパッド裏面にもサーモカブルを埋設した。

### 3.4 軸受摩擦損失

この試験装置における回転系の機械的損失は、被試軸受、荷重用静圧軸受、上・下ガイド軸受の軸受摩擦損失、その他油中および気中にある回転部の油および空気との摩擦損失などである。これらを個々に分離して測定することは駆動軸動力からは不可能であるので、被試軸受まわりと静圧軸受まわりとに大別し、油冷却器を流れる冷却水の温度上昇と水量よりカロリー法で求めるものとした。また、この方法により被試軸受油そう内の油冷却器の熱交換率と負荷条件の関係も知ることができる。

## 4. 試験結果と考察

### 4.1 油膜厚さ

図 4.1(a), (b) に 3 ディスク支持装置でセンタピボットとした場合、図 4.2(a), (b) に オフセンタピボットとした場合の、いずれも油膜平均圧力  $p_m = 29.1 \text{ kg/cm}^2$ 、軸受外周速  $v_0 = 27.6 \text{ m/s}$  の負荷条件で定常作動状態にある周方向および径方向の油膜形状を一例として示す。図中の実測点に傍記した数字は図 3.7 のそれらに対応するものであり、油膜形状を表す曲線は、それぞれの方向にある 3 個の位置の油膜厚さ実測値をなめらかに連ねたものである。

センタピボットとオフセンタピボットの油膜形状を比較すると油膜最小厚さはほぼ等しく、パットの周方向傾斜  $m_\theta$  はオフセンタピボットの場合のほうが大きい。いま、かりにインレットエッジの油膜厚さ  $h_1$  を図 3.2 に示す測定点 1, 4, 7 の平均油膜厚さとし、同様にトレーリングエッジの測定点 3, 6, 9 の平均油膜厚さを  $h_2$  とすると、それぞれの場合の  $m_\theta$  は、センタピボットの場合は  $2.22 \times 10^{-4} \text{ rad}$ 、オフセンタピボットの場合は  $4.56 \times 10^{-4} \text{ rad}$  となり、また、この  $m_\theta$  は理論解と同様に  $p_m$  や  $v_0$  の変化に従って増減しているが、 $h_1/h_2$  はセンタピボットでは 1.7、オフセンタピボットでは 2.5 程度で、この値は  $p_m, v_0$  の変化にほとんど影響を受けないという結果が得られた。

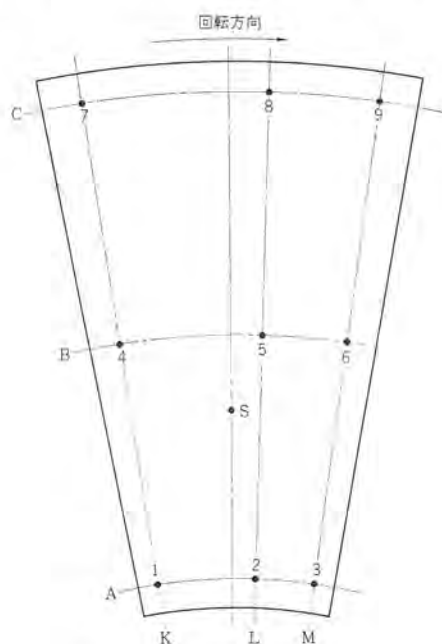


図 3.5 油膜温度計測位置  
Measuring points of oil film temperature.

つぎに、図4.1および図4.2でパットの弾性変形々状、すなわちとつ変形度を比較すると、センタピボットの場合のほうがオフセンタピボットの場合よりもかなり大きいという結果が表われている。理論解析の一例<sup>(1)</sup>では、センタピボットの場合はわん曲度が $\delta \max / h_{\min}$ （ただし $\delta \max$ はのパット最大たわみ量、 $h_{\min}$ は油膜最小厚さ）で0.1～1.0 とつの場合に最適な軸受作動特性が得られ、最大の軸受負荷容量を有するという結果が得られているが、図4.1(a)では平均わん曲度は0.46程度、(b)では0.82程度で、ほぼ上記の範囲には入っている。

また、同様にオフセンタピボットの場合、最適わん曲度は0.2～1.0程度であるという結果が一例<sup>(1)</sup>として得られているが、図4.2(a)からは0.14程度、(b)からは0.75程度が得られ、これも良好な範囲には入っていることがわかる。しかしながら、センタピボット、オフセンタピボットのいずれの場合も径方向のわん曲度のほうが回転方向のそれよりかなり大きいということは、油膜の側面漏えいを増加し、油膜圧力分布をせん(尖)鋭化し、油膜最小厚さを減ずる、すなわち軸受作動特性を低下し負荷容量を減少させるという方向に働くので、回転方向に最適わん曲度を生じ、径方向はなるべく平たんに保てるような、Lmean, B<sub>1</sub> 支持方法を選択すべきであるということを示唆するものであり、これらは弾性変形解析とともに今後の課題であるともいえる。

つぎに図4.3に油膜平均圧力と油膜最少厚さとの関係を示す。この図によれば、一般に知られているように油膜平均圧力すなわち荷重が増加すると油膜最小厚さが減少している。これに反して、回転数の変化に対する油膜厚さの変化は顕著に表われなかった。一般には回転数に従って軸受面を流れる潤滑油の量、したがって油膜厚さも変化するものであるが、この試験装置では油冷却器の冷却面積が一定であるため、回転速度による軸受摩擦損失の変化が軸受入口油温を変えることになり、たとえば、回転速度が増せば油膜粘度が低下して油膜厚さを減少する傾向を作り、たがいに相殺するものと考えられる。

## 4.2 油膜圧力分布

図4.4に8線支持装置でセンタピボットとした場合、図4.5に3ディスク支持装置でセンタピボットの場合、図4.6に3ディスク支持装置でオフセンタピボットの場合の油膜圧力分布をそれぞれ等圧線で示す。これらの軸受負荷条件はいずれも4.1節と同じ $p_m = 29.1 \text{ kg/cm}^2$ 、 $v_0 = 27.6 \text{ m/s}$ を例としたものである。まず、センタピボットである図4.4と図4.5を比較すると油膜圧力の分布形状はよく似ているが、油膜最高圧力については8線支持装置の場合は約81 kg/cm<sup>2</sup>、3ディスク支持装置では約75 kg/cm<sup>2</sup>であり、前者のほうが少し高い値を示している。

油膜最高圧力のこの程度の差のみで両者の軸受性能を論じることにはやや難があるが、後述する油膜温度についてもやはり8線支持装置のほうが、3ディスク支持装置よりも高い値が得られており、8線支持の場合には油膜圧力分布形状をせん鋭化し、軸受性能を少し低下させるような局部的な弾性変形が3ディスク支持装置より大きいのではないかと推察できる。

つぎに、3ディスク支持装置のセンタピボット、オフセンタピボットの相違を図4.5と図4.6で比較すると、理論解析で知られるように、オフセンタピボットの場合は油膜最高圧力の値はセンタピボットより高く、その位置はトレーリングエッジ側に寄っている。これは、油膜圧力の合成重心をトレーリングエッジ側にオフセンタしていることから当然であり、

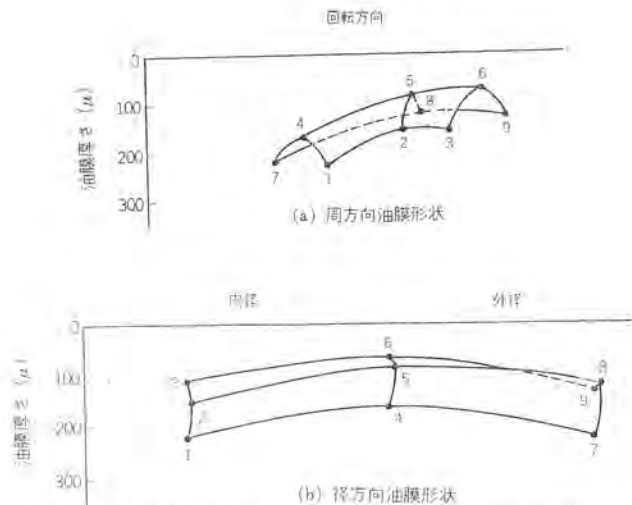


図 4.1 3ディスク支持装置センタピボットの場合の油膜形状  
Shape of oil film in case of three disk support center pivot.

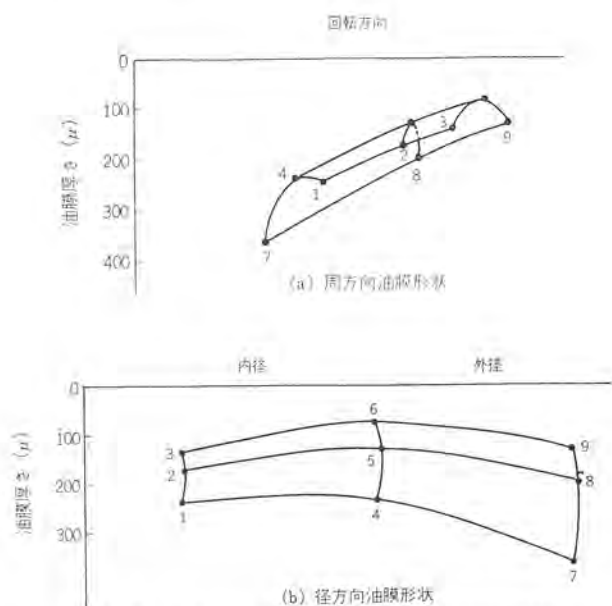


図 4.2 3ディスク支持装置オフセンタピボットの場合の油膜形状  
Shape of oil film of three disk support off-denter pivot.

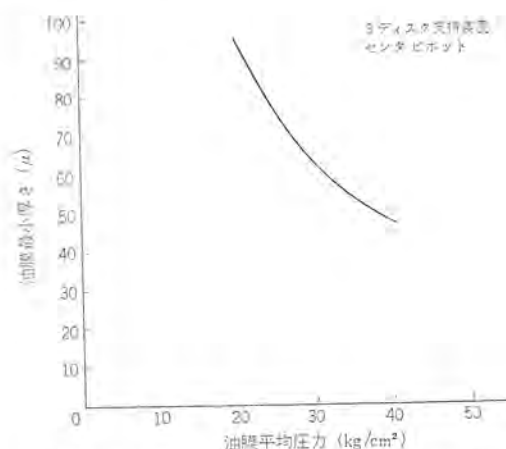


図 4.3 油膜最小厚さと油膜平均圧力の関係  
Relation between the minimum thickness of oil film and average pressure of oil film.

回転方向油膜厚さを示す図 4. 1(a), 図 4. 2(a) から当然考えられる。

#### 4. 3 油膜温度

3. 3 節で述べたように、油膜温度とは軸受表面温度をいうものである。軸受出口の油膜温度は、パッドの径方向の傾斜による内・外径側の油膜厚さ、周速度、および油膜圧力の差の影響で、トレーリングエッジに沿って一様ではなくかなりの差があり、またトレーリングエッジにおける流量分布も考慮しなければならないが、ここでは便宜的に図 3. 5 におけるトレーリングエッジ側の油膜温度 3 点の平均値を油膜出口温度とする。また、図 3. 5 で示した 11 点のうちで最高値を示すものを油膜最高温度として代表させるものとする。また、油膜出口温度と同様に、図 3. 5 のインレットエッジ側の油膜温度 3 点の平均値を油膜入口温度とする。この 3 点の油膜温度にはほとんど差がなく、このまま油膜入口温度と考えて差しつかえない。

図 4. 7, 図 4. 8, および図 4. 9 は、それぞれ 8 線支持装置でのセンタピボット、3 ディスク支持装置でのセンタピボットおよびオフセンタピボットの場合の油膜出口温度、および油膜最高温度の油膜入口温度からの上昇値と油膜平均圧力の関係を、軸受外周速をパラメータとして

示したものである。

これらの図からも明かなように、油膜最高温度、油膜出口温度はともに油膜平均出力の増加にしたがって高くなっており、また、軸受外周速が増せばやや高くなるということがわかる。また、同じ負荷条件での支持方式による油膜最高温度、油膜出口温度を比較すると、高いものから順に 8 線支持装置センタピボット、3 ディスク支持装置センタピボット、同装置でのオフセンタピボットであることがわかる。

#### 4. 4 動圧油膜に対する静圧油膜の影響

2. 5 節で述べたように、オイルリフト配管系に設けた逆止弁の逆止効果が失われた場合、軸の回転により発生している動圧油膜に漏えいが生じ、軸受作動特性が低下することが考えられる。すなわち、軸受面の中央部より裏面への油膜の漏えいが無い場合は、図 4. 10(a) の実線で示す油膜圧力分布であり、この場合のパッドの位置も実線で示したものととして、軸受荷重、回転数などの負荷条件とつり合って定常状態にあるとし、つぎに油膜を漏えいさせるため軸受面より裏面に通じる細孔をあけたとすると、この部分に吸い込み効果、いい換えれば、破線で示すような負の静止分布が生じ、軸受面の油膜圧力は鎖線の分布となる。

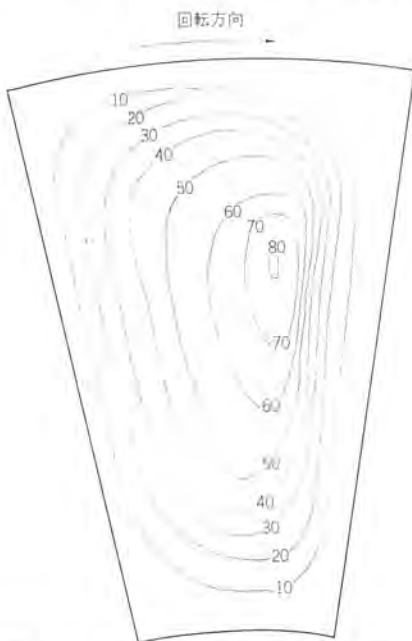


図 4. 4 8 線支持装置でセンタピボットの場合の油膜圧力分布

Distribution of oil film pressure in case of center pivot with eight line support.

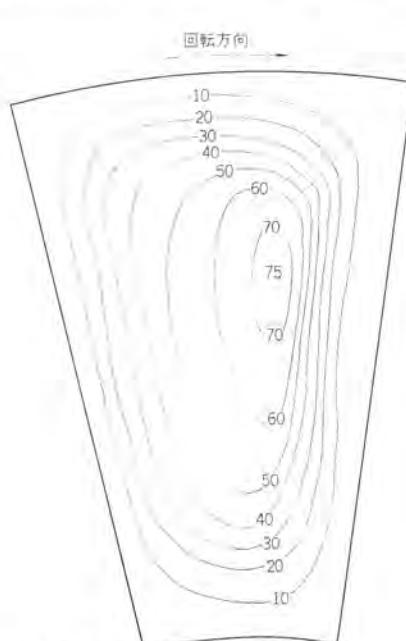


図 4. 5 3 ディスク支持装置でセンタピボットの場合の油膜圧力分布

Distribution of oil film pressure in case of center pivot with three disk support.

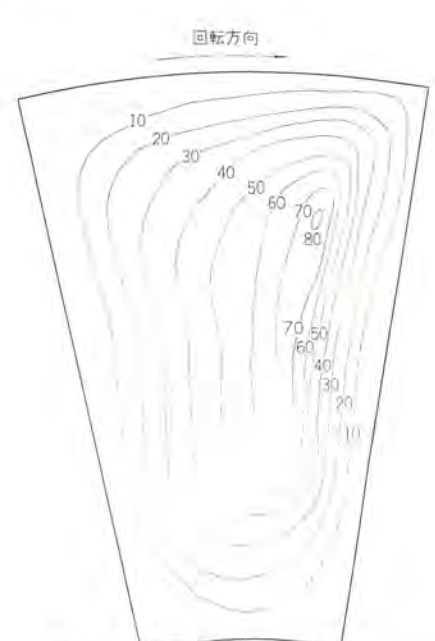


図 4. 6 3 ディスク支持装置でオフセンタピボットの場合の油膜圧力分布

Distribution of oil film pressure in case of off-center pivot with three disk support.

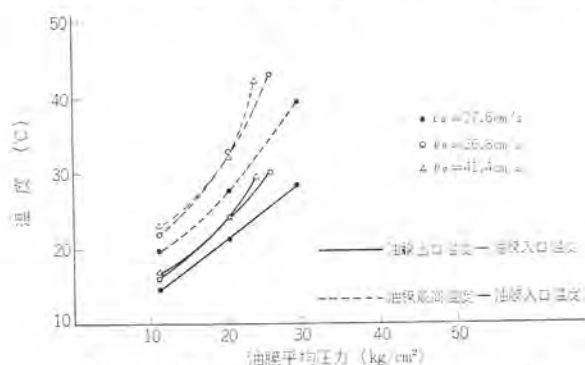


図 4. 7 8 線支持装置センタピボットの場合の油膜温度上昇値

Oil film temperature rise in case of center pivot of eight line support.

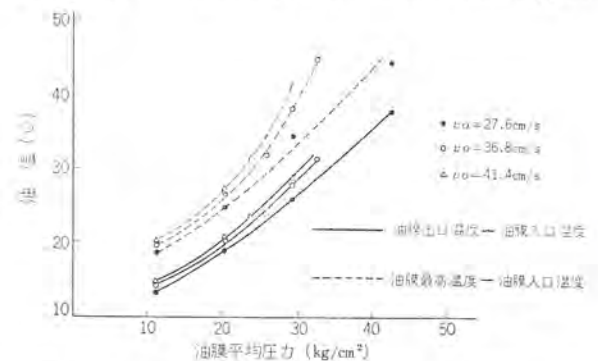


図 4. 8 3 ディスク支持装置センタピボットの場合の油膜温度上昇値

Oil film temperature rise value in case of center pivot of three disk support.

この図において、鎖線で示した油膜圧力分布の合力は明らかに実線のそれより小さいが、軸受荷重は等しいので当然この合力も等しくなるべきであり、そのため図 4. 10(b) に鎖線で示すように、自ら油膜厚さを減じて荷重につり合う油膜圧力を発生しなければならないことになる。ただし実線で示すものは(a)と同様、油膜漏えいのない場合である。なお、図 4. 10(a) に示す負の静圧分布は、負荷条件を同じとすれば、油膜の漏えい量、すなわち細孔の流路抵抗によって定まるものである。

このように油膜の漏えいが起これば、同じ軸受荷重、回転数に対して油膜厚さが小さくなり、したがって油膜温度も高くなり、軸受の作動特性としては危険な方向に向うことになるので油膜漏えい量と軸受作動特性の変化の関係を求めておくことが必要である。

試験結果の一例として、負荷条件  $p_m = 28 \text{ kg/cm}^2$ ,  $v_0 = 34.8 \text{ m/s}$  で定常状態で作動中の軸受より、すべてのパッドからそれぞれ  $10 \text{ l/min.}$  の油膜を漏えいさせた場合の軸受作動特性の変化について述べる。図 4. 11 の (a) に図 3. 2 の A 周における油膜形状の油膜漏えいによる変化を示し、同様に、(b), (c) にそれぞれ B 周および C 周についての变化を示す。また、図 4. 12 の (a), (b), (c) に図 3. 3 の D, E, F の周上の油膜漏えいによる油膜圧力の変化を示す。また油膜温度については、油膜出口温度、油膜最高温度ともに油膜漏えいによる変化はほとんどないが、図 3. 5 における 4 の位置のみ  $4.6^\circ\text{C}$  の上昇を示した。

これらの結果を検討すると、油膜厚さの変化は外径側の C 周上では小さく、中央の B 周上から内径側の A 周上に寄るほど大きく変化していることがわかる。また、油膜圧力の変化についてもやはり外径側の変化は小さく、中央部から内径側に寄るほど大きな変化を示している。また、これらの傾向は 4 の位置の油膜温度のみ大きく変化することを含め、油膜漏えい量を増すほど顕著に表われることがわかった。このような現象が生じたのは、負の静圧効果を生ぜしめる油膜吸い込み穴 S が図 3. 2, 3. 3, 3. 4 に示すように、ピボット

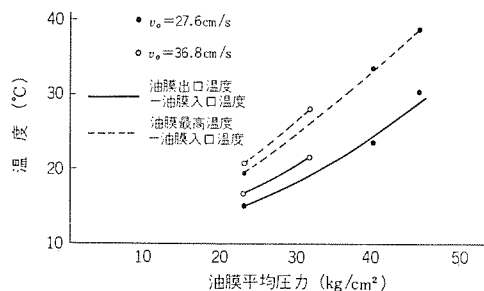


図 4. 9 3 ディスク支持装置 オフセンタピボットの場合の油膜温度上昇値  
Oil film temperature rise value of off-center pivot of three disk support.

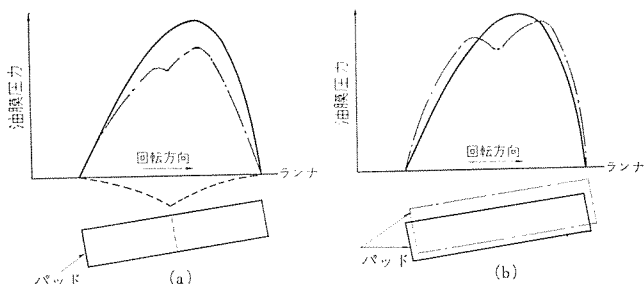


図 4. 10 油膜漏えいによる油膜圧力分布の変化  
Change of oil film pressure distribution due to oil film leakage.

位置 (図 3. 2 における B 周上にある) よりかなり内径側にあるということに起因するものである。すなわち、油膜の漏えいにより、S の位置およびその周辺の油膜圧力は図 4. 10 のように低下する。したがって、図 4. 12 の S の位置にもっとも近い D 周上の油膜圧力の低下の度合いは、E, F 周上に比べて大きくなる。

ここで図 2. 3 図から、S の位置とオイルリフトのための導油部内の圧力は等しくはないかという疑問が起るであろうが、これらの部分の油膜圧力 (4 と 16 および 18) には S からの距離によりかなりの差が生じていることが計測されている。

このような負の静圧効果により、内径側の負荷容量、いい換えれば油膜圧力の合力は、油膜厚さが漏えい前のままでであると減少することになる。しかるに、軸受荷重は漏えい前と変わらず、またピボットの位置にかんする内外径側の油膜圧力によるモーメントのつり合いは保たねばならないので、当然、図 4. 11 に見られるように、内径側 A 周上の油膜厚さの減少の度合いは他の周上よりも大きくなる。したがって、この試験では計測していないきわめて内径に近い位置では、油膜圧力はかなりの増加を示しているはずである。

つぎに、図 3. 5 の 4 の位置の油膜温度のみ顕著に変化する原因について考えると、もし、内径側の油膜厚さの減少がその因であれば G 周上でも大きく変化するはずであるが、1, 2, 3 の位置ではほとんど変化していないという結果から、S の位置から 4 およびその近傍までは、油膜漏えいによる局所的な  $\partial p / \partial \theta$  が大きく (ただし、 $p$  は油膜圧力、 $\theta$  は周方向極座標)、これにより S に向う油量と、回転によりトレーリングエッジに向う油量との間に大きな差がなくなり、同じ油分子が他の位置にくらべて長時間のせん断を受けるのではないかと推察できる。

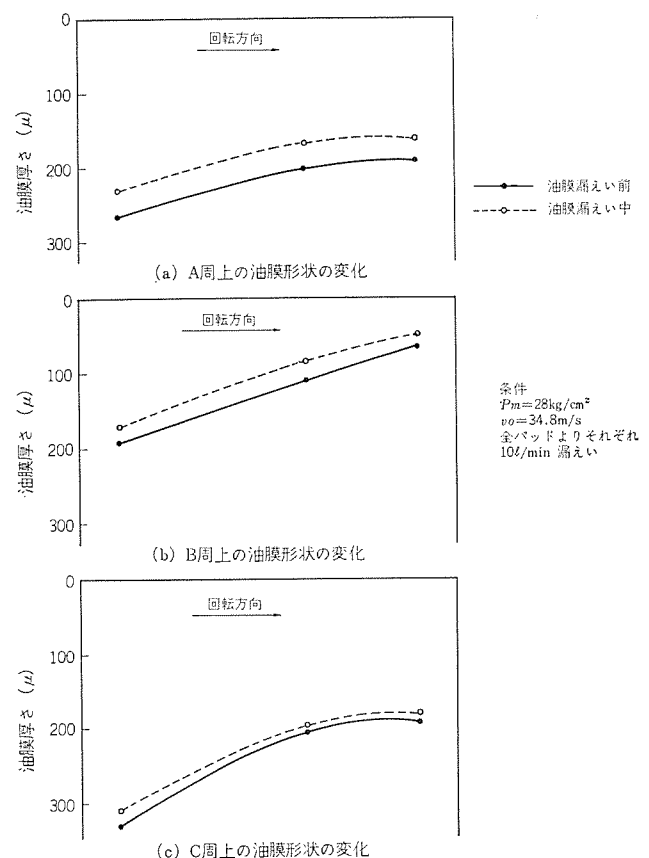


図 4. 11 油膜漏えいによる油膜形状の変化  
Change of oil film shape due to oil film leakage.

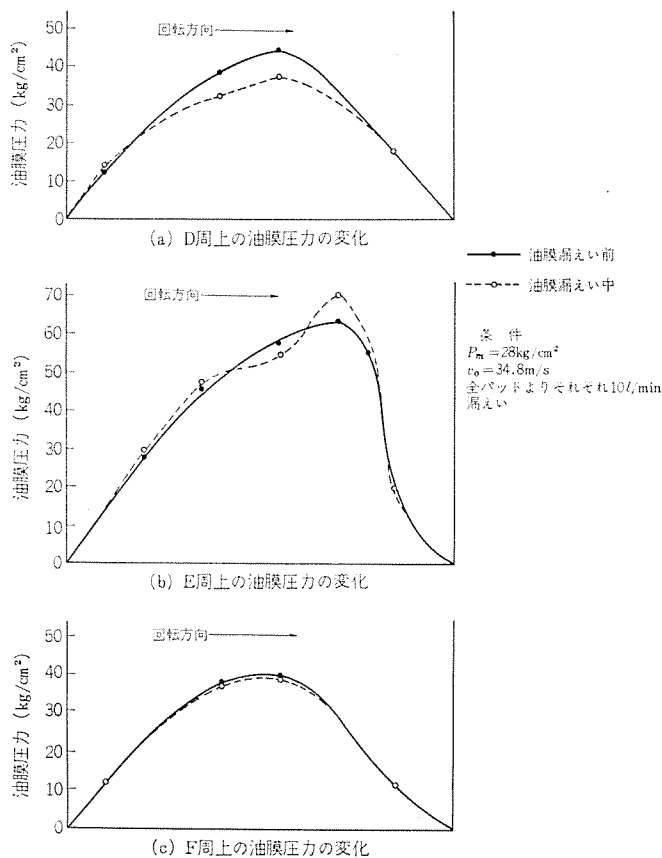


図 4.12 油膜漏えいによる油膜圧力分布の変化  
Change of distribution of film pressure due to oil film leakage.

つぎに、これらの油膜漏えいの軸受作動特性におよぼす影響について総合的に論じ、また正の静圧効果、すなわち定常状態で作動中の軸受に対するオイルリフトの影響について簡単に述べる。さきに述べたような負荷条件と油膜漏えい量は軸受面を流れる油量（理論解析ではパッド 1 個あたり 120 l/min）にくらべてかなり小さいので、軸受作動特性には部分的に変化があるというものの油膜厚さは流体潤滑を保つに十分な値であり、油膜温度の変化も小さいので軸受事故を招く危険性はないと結論できる。

それでは油膜漏えい量がさらに増えるかどうかということになるが、当然漏えい量が増加すれば金属接触、焼損ということが考えられる。しかるに、この試験では油膜漏えい量を増すために流体抵抗のきわめて小さい回路から別に漏えいさせたにもかかわらず、先述の負荷条件では、パッド 1 個あたり 20 l/min. 以上漏えいさせることは不可能であり、この場合でも十分な流体潤滑は保たれている。

したがって、実機ではオイルリフト回路には必ずオリフィス、逆止弁など抵抗体ははいっているので、逆止弁の圧着閉そく部に異物が侵入したことによる油膜漏えい量は、この試験における漏えい量の 1/10 程度の小さい値であり、軸受作動特性におよぼす影響はほとんどないといっても過言でない。また、小さい漏えい量でも問題になると考えられる境界潤滑の状態にある場合、すなわち、起動直後、停止直前などの回転数の低い場合には、オイルリフト装置そのものが運転されているので、やはり、問題を生じることはないといえる。

このように軸受が流体潤滑の状態で作動しているさいに、少量の油膜が軸受面の中央部より漏えいしても軸受作動特性におよぼす影響が小さいということは、逆に安定した流体潤滑で作動中の軸受に対しオイルリフト装置を運転しても、吹き出し油量が少なければ、軸

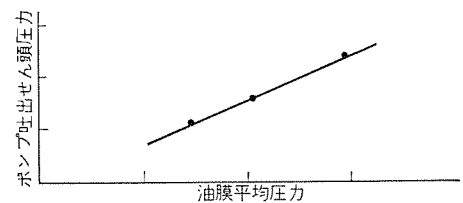


図 4.13 オイルリフトポンプ吐出せん(尖)頭圧力と油膜平均圧力の関係  
Relation between delivery peak pressure of oil lift pump and average pressure of oil film.

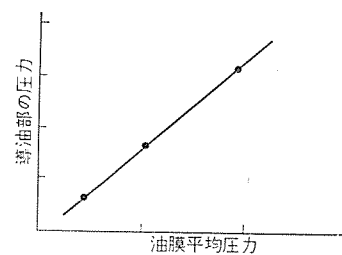


図 4.14 オイルリフト導油部の圧力と油膜平均圧力との関係  
Relation between pressure of oil lift oil leading section and oil film average pressure.

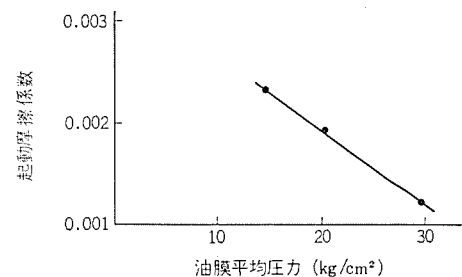


図 4.15 オイルリフトによる起動摩擦係数と油膜平均圧力の関係  
Relation between start friction coefficient due to oil lift and average pressure of oil film.

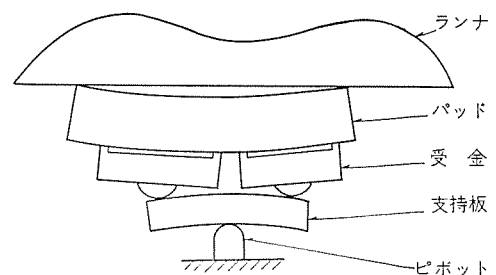


図 4.16 オイルリフトによるパッドの弾性変形  
Elastic deformation of pad due to oil lift.

受作動特性がさらに顕著に良好になることはないといえるはずである。

事実このような正の静圧効果についても二、三の条件で確認のための試験を行なったが、オイルリフト装置の給油量がパッド 1 個あたり約 2.1 l/min. であるので、計測器に現われるほどの軸受作動特性の変化は得られなかった。

#### 4.5 起動試験

つぎに 3 ディスク支持装置センタピボットでオイルリフトによる起動試験を行なった。図 4.13 はオイルリフト用のポンプ油吐出せん頭圧力と油膜平均圧力の関係を示すもので、数回繰返した平均値を採用した。これは以下のデータについても同様である。

図 4.14 に浮揚時のオイルリフトの導油部の圧力と油膜平均圧力の関係を示す。この導油部の圧力というのは、図 3.3 に示す圧力計

位置4および18であり、この試験においてはこれらの油圧はほとんど一致した。これは、4.4節の油膜漏えい試験で述べた油膜漏えい中の導油部の圧力分布と異なる結果であるが、オイルリフトポンプの吐出油量が少なく、また動流体的油膜がないということによるものであろう。これらの図から、ポンプ吐出圧力および導油部の圧力は軸受荷重に比例していることがわかる。

さいごに、起動トルクより算出した起動摩擦係数と油膜平均圧力の関係を図4.15に示す。起動トルクは駆動電動機軸にストレインゲージをはり付け、起動時のねじりひずみをFMテレメータにより計測した。なお、この中には静圧軸受、ガイド軸受の摩擦が含まれることになるが、静圧軸受は完全に浮揚したものであり、ガイド軸受には起動時は荷重がなくいずれも回転速度はきわめて小さいので、無視し得るものと考えられる。

図4.15によれば、起動摩擦係数はオイルリフトの効果により十分小さく、かつ軸受荷重の増加にしたがって減少している。これは軸受荷重を増しても、所要の起動トルクはほとんど変化しなかったことによるものであり、このような結果が得られた理由についてはつぎのようなことが考えられる。もし軸受面の大部分が境界摩擦または乾燥摩擦の状態にあり、軸受荷重がこの部分にかかっておれば、当然、所要起動トルクはクーロンの摩擦則にしたがって、軸受荷重に比例して増加するはずであり、摩擦係数はこのような小さい値を示さなはずである。

またラッパがオイルリフトにより完全に軸受面より浮揚しないいわゆる静圧軸受のような状態であれば、起動トルクが軸受荷重により変化しないということにはさしたる疑義はないが、起動時の回転速度は非常に小さいので、 $10^{-3}$ の摩擦係数は過大であるといわざるを得ない。

したがって、結論としては図4.16に示すように、オイルリフトによる静圧によりパッドは径方向および周方向いずれにも上におう(Ⅲ)にたわみ、軸受荷重はこの部分にある静流体的油膜圧力によってきえられるが、パッドの周縁部ではラッパとパッドは完全に油膜で分離されておらず、起動摩擦の大部分がここで発生し、その摩擦抵抗は軸受荷重と無関係でほぼ一定のものであるため、このような結果が表われたものと考えてさしつかえないであろう。

## 5. 軸受作動特性理論解と実測値との対比

### 5.1 理論解析の今昔

すべり軸受の流体潤滑における油膜の圧力分布を表わすレイノルズの微分方程式が生れたのは遠く前世紀末のことであるが、これについての最近までの研究は、油膜温度は一定、側面への流れのない無限幅軸受とする、などの単純化した仮定で油膜厚さの変化のみを考え、この油膜厚さも簡単な関数に仮定して行なわれていた。すなわちレイノルズの微分方程式は、このような単純な仮定を設けなければ解析することが不可能であった。

しかるに、今日では大容量のデジタルコンピュータを利用して、上述のレイノルズの微分方程式に油膜圧力、回転速度による軸受面の摩擦仕事、すなわち油膜の温度分布を得るためのエネルギー方程式を導入し、さらにテイルティングパッド軸受のようなパッドの弾性変形が油膜形状に大きな影響を与えるような場合には、弾性変形の微分方程式も含めて、きわめて現実に近い境界条件と仮定のもとに解析することが可能である<sup>(1)(3)</sup>。

したがって、1章に述べた理論解と実測値の対比を行なうことは、

実機の軸受および軸受まわりの構造の改良による軸受作動特性の向上、また理論解析における弾性変形解析の近似度の向上、境界条件および仮定の修正など、実機的设计および基礎研究の将来に資する

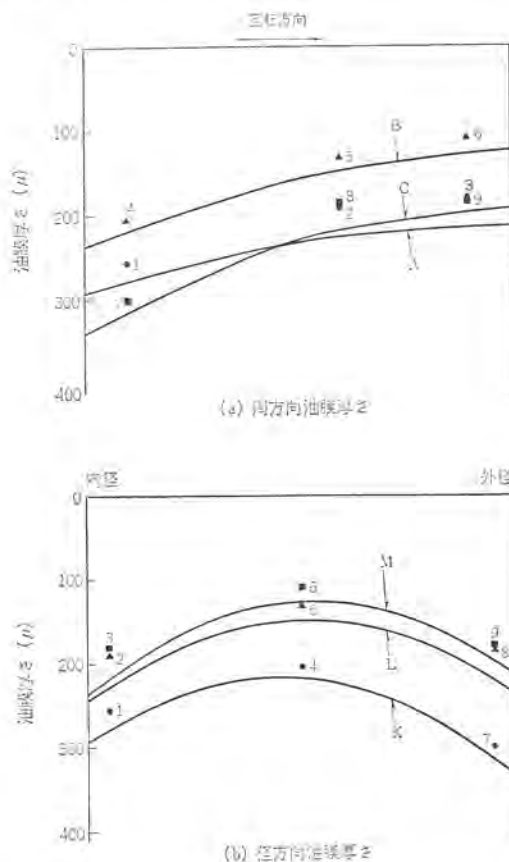


図 5.1 油膜厚さの理論解析値と実測値  
Theoretically analyzed value of oil film thickness and measured value.

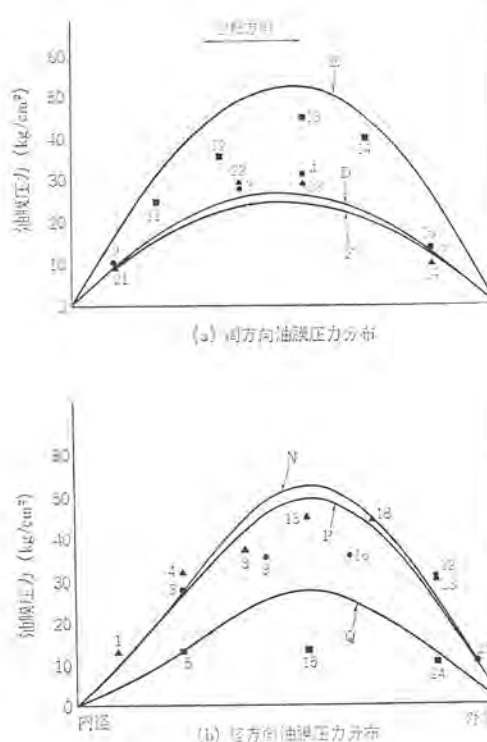


図 5.2 油膜圧力分布の理論解析と実測値  
Theoretically analyzed value of distribution of oil film pressure and measured value.

ところ大である。以下、その一例を紹介し今後の課題を検討することとする。

## 5.2 両作動特性の比較検討

理論解析による作動特性とは、軸受荷重、回転数などの負荷条件、軸受および受金などの寸法諸元、潤滑油の種類、温度こう配その他をインプットとして、さきに述べた微分方程式の連立解を数値解析して得られるものであり<sup>(1)</sup>、実測値は、3章で述べた計測機器により得られた値である。以下の例は、 $p_m=20.5 \text{ kg/cm}^2$ 、 $v_0=36.8 \text{ m/s}$ 、3ディスク支持装置でセンタビロットの場合の結果である。

図 5.1(a) に周方向油膜厚さ、(b) に径方向油膜厚さを、理論解析によるものは実線で、実測値は点で示す。図中に傍記した記号および数字は、図 3.2 の位置に対応するものである。これらの理論解析値と実測値を比較すると、すべて実測値のほうがやや小さいが、定性的には相似性は保たれており、かかる超大形試験装置による結果としては近似度は良好である。なお両者の差の原因については、あとでまとめて検討、考察を行なう。

図 5.2(a), (b) に周方向および径方向の油膜圧力分布を示す。図中の記号および数字は図 3.3 の計測位置に対応するもので、理論解析によるものは実線で、実測値は点で示した。この図から、周方向の油膜圧力分布は内径側の D 周上および外径側の F 周上では実測値のほうが理論値よりも高く、径方向に見てほぼ中央部にあたる E 周上では逆に実測値のほうが低くなっている。この傾向は径方向油膜圧力分布からも知ることができる。

また図 5.3 に周方向油膜温度分布の理論値を示す。この図からは、油膜の温度上昇は、6 の位置以外は実測値の方が理論値よりも大きく、とくに 7, 2, 10 の位置ではその差がかなり大きいことがわかる。このように、理論結果と実測結果に差異が生じたのは、油膜厚さについては検出器である リラクタンスゲージが、軸受作動中、高温、高圧にさらされるため、それぞれの影響については厳密に校正を行なっているものの、定量的にはある程度の誤差は避け得ないということ、およびパッド支持装置の受金の形状、配置に起因する 9 個の検出器では計測し得ない局部的な弾性変形があり、この部分での負荷容量が小さい、いい換えれば、この部分における油膜圧力の発生が理論解析における油膜形状に対応するものに比べて十分でなく、このため、全体の油膜厚さを減じて軸受荷重につり合っているのではないかということ、の二つの原因が考えられる。

二つのうち、前者は計測技術の進歩改良にまつべきもので、いまここでは触れず後者についてのみ検討する。すなわち図 2.4、図 2.5 に示すように、パッドの径方向の中央部には受金のない部分がある

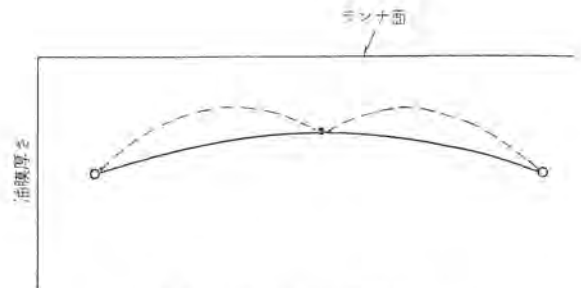


図 5.4 径方向油膜形状  
Shape of oil film in radial direction.

あり、かつこの部分は油膜圧力がかつても高い箇所であるので周方向にみぞ(溝)状の局部的弾性変形があり、径方向油膜形状も図 5.4 の破線状になっているということが考えられる。なおこの図における実線は、3 点の計測値を 2 次曲線でなめらかに連ねたものである。

また、このような局部的弾性変形は、上述の径方向パッド中央部のみでなく、それぞれの受金の各エッジ間のスパンでも生じるもので、図 5.4 の破線で示す油膜形状にさらに局部的なおうとつがある。これらの局部的弾性変形の量はあらかじめ近似計算を行なって、できるだけ小さくなるように受金の寸法、形状および配置とパッドの厚さを決めているが、計測装置のためにこのような空間を設けたり、パッドの有効厚さを減らす必要が生じたことによるものである。

つぎに油膜圧力分布をパッドの径方向中央部では理論値よりも低く、内・外径側ではこの逆であり、上述の局部的弾性変形説を裏付けている。また油膜温度については、内径側の G 周上および外径側の I 周上は理論値よりも油膜厚さが小さく、大きい荷重を負っているため、当然、高い値が得られているが、パッド径方向の中央部に近い H 周上では 6 の位置では理論値よりも低く、6 から 7 にかけて  $\partial T / \partial \theta$  (ただし  $T$  は油膜温度) が急に大きくなり、7 の位置では理論値よりもかなり高くなっている。

この原因については 6 の位置が周方向にみてオイルリフトのための導油部の直後にあり、導油部の負荷容量が小さく、これを過ぎた位置から、油膜圧力が急に大きくなるためこのような結果が生じたのではないかと考えられる。また、このオイルリフトのための導油部が、局部的弾性変形とは別に軸受の負荷容量を理論値よりも減じているということも十分考えられる。なお油膜温度については、理論解析では油膜厚さ  $h$  の方向には一定とした油膜温度そのものであり、試験結果は軸受表面温度であるということはさきに述べたとおりであるが、油膜温度の  $h$  方向の変化や軸受表面温度との差は確認不可能であるので、この点については理論と実測の対比としてはとり上げないこととする。

以上の結果を総合して、複雑な支持反力を受ける大形スラスト軸受パッドの弾性変形解析の近似度の向上、これと並行して、理想的な油膜形状を得るための支持装置の研究、その他軸受面の特殊な加工の軸受作動特性におよぼす影響の試験と研究などが理論と実際とを接近させ、かつ軸受の負荷容量増大に寄与するものであり、また、いっばうでは油そう内の油流の試験、研究による改善が熱交換率の向上とスラスト軸受部の縮小化につながるものであって、これらの解決には大がかりな試験設備や基礎理論の研究、開発、超大形電子計算機などを要するが、軸受負荷条件の過酷化の傾向著しい今日、すべて解決していかなばならぬ課題と考えている。

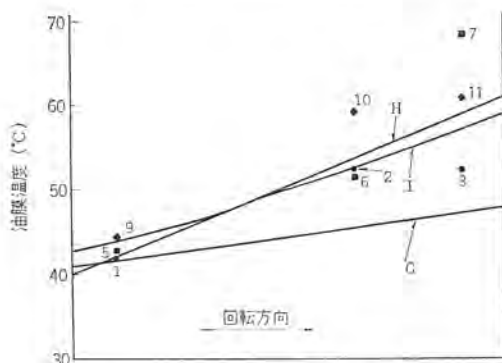


図 5.3 油膜温度分布の理論解析値と実測値  
Theoretically analyzed value of distribution of oil film temperature and measured value.

## 6. む す び

以上に述べたように、超大形キングスベリ形スラスト軸受の種々の作動特性試験を行ない、実機的设计および今後の研究計画にとって貴重な資料を得た。軸受パッドの弾性変形解析などの基礎理論や計測技術など、また、アイデアなどの面でも残された問題は多大なものであるが逐次解決していきたいと考える。最後に、この試験について種々のご意見をいただいた京都大学工学部森美郎教授に謝意

を表わしてこの稿を終える。

## 参 考 文 献

- (1) 山本明：三菱電機技報, 41, No. 2, (昭42)
- (2) A. R. Raimondi, J. Boyd : Trans. ASME 22, (1955)
- (3) B. Sternlicht, J. C. Reid Jr., E. B. Arwas : Trans. ASME 83

~~~~~

# 静止レオナード用サイリスタ装置

山村 隆司\*・大道 隆\*・柏野 栄三\*・有賀 恵蔵\*・留井 英明\*

## Thyristor Assembly for Static-Leonard DC Motor Drive

Itami Works Takashi YAMAMURA・Takashi OHMACHI・Eizo KASHINO  
Keizo ARUGA・Hideaki TOMEI

A Static-Leonard system using a thyristor assembly is mostly used for a controlled driving power supply of DC motors. Demand for this device is rapidly increasing and a number of proofs to demonstrate the excellence of the thyristor assembly have been accumulated. With an aim of putting high power thyristors into practical use and also coping with large demand in future, Mitsubishi has completed a standard series of thyristor assemblies for Static-Leonard system applicable to a variety of fields. This paper introduces the process of the development, duty demanded for the thyristor applied to the Static-Leonard system and outlines of each component element of standardized thyristor assembly. A report is made lastly that E. D. P. S. is introduced in the manufacturing arrangement of this standardized products.

### 1. ま え が き

サイリスタが開発されて約10年、最近におけるサイリスタの静止レオナード装置への応用はめざましいものがある。すなわちサイリスタは、開発当初は20～50 A、300～600 Vの素子が小容量の装置に使用され始め、引続き素子の電流量は70 A、100 A、150 Aと拡大され、1961年には、1,200 V 250 Aが完成された。その時期においてサイリスタの本格的な工業界への実用性が一般にも認識されるようになり、漸次静止レオナード装置としての需要が増加し始めた。そして1966年に、八幡製鉄堺製鉄所で計画された分塊圧延機電源にサイリスタを採用する当社の方針が、八幡製鉄関係者のご理解で承認され、1967年秋より750 V 4,500 kW主機用可逆直流電源をはじめ、総計2万kW余の当社製サイリスタ装置が八幡製鉄堺製鉄所で運転に入り、以後順調に実動しており、大容量サイリスタ装置の実用性が立証された。以降工業界全般にわたり広くサイリスタレオナード装置の需要が急増したことは衆知のところである。図1.1はわが国で初めて大容量器としての実用性を立証した当社製CF-L形750 V 4,500 kW可逆駆動直流電源用サイリスタ装置である。この需要の増加は一方でサイリスタ素子の開発を刺激し、1968年には2,500 V 400 Aの大容量平形サイリスタが実用期に入り、新しい静止レオナード用サイリスタ装置の標準系列が完成した。この分野は今後もなお種々の革新が行なわ

れるものと考えられるが、以下現状における当社の静止レオナード用サイリスタ装置の概要を紹介する。

### 2. サ イ リ ス タ

#### 2.1 サイリスタ開発の経過

前述のように400 V 20 Aより出発したサイリスタは1964年には1,200 V 250 Aが完成、1966年には素子と冷却体が一体に構成され電流量の増大したIntegrated Heatsink Type Thyristor CR 300 A (1,500 V 300 A)が実用化された。しかし、なおその時点では高電圧に対してはサイリスタが2個直列に使用される必要があり、サイリスタの阻止電圧の向上が要望された。さらに、サイリスタ装置の大容量化が必然の傾向と考えられ、それに対応してサイリスタの電流量増大の開発も続けられた。この場合、阻止電圧の向上、電流量の増大に伴うサイリスタ内熱損失の増加の処理が最大の開発項目であり、ここに両面冷却の平形構造が出現、1968年に平形サイリスタFT 500 (3,000 V 400 A)が実用期にはいった。

従来のスタッド形の素子では冷却体を含め風冷式の場合接合部より冷却風までの熱抵抗は0.25～0.30°C/W、上記冷却体一体構造で0.20～0.22°C/Wであったが、平形構造で両面冷却とすることによりこの熱抵抗は0.10～0.12°C/Wと大幅に減少した。現在製作されているサイリスタ装置の大部分はこの平形サイリスタが使用されている。

#### 2.2 静止レオナード用サイリスタの条件

サイリスタが静止レオナード用に使用され始めてかなりの年月を経、大容量装置の実用化も完成され、サイリスタを静止レオナード装置に適用する場合の種々の問題も解明されてきた。この間、これらの経験に基づく実用面からの素子に対する種々の要求が、素子製作面に導入されてきたことはいふをまたない。すなわち、サイリスタ装置が合理的に設計され、安定に運転されるためには、装置設計面より素子特性に対し種々の条件が提出される。

##### (1) 電圧耐量

フィールドで予想される各種サージ電圧とサイリスタ装置主回路構成の両面より検討し、直流220 V～800 Vに対して1個のサイリスタで処理するためには、サイリスタの順方向および逆方向の阻止電圧として600～3,000 Vが要求される。

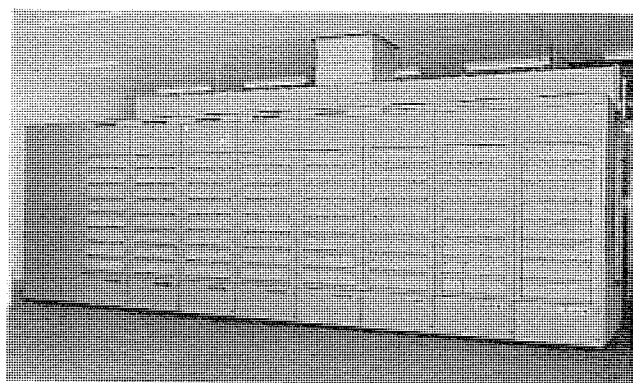


図 1.1 わが国最初の大容量サイリスタ装置  
(750 V 4,500 kW 逆並列接続)

The first large capacity thyristor assembly

## (2) 電流量

大容量装置では複数のサイリスタが並列接続されるが、装置を構成するサイリスタの数の少ないほうがあらゆる面で有利であり、サイリスタの電流量の増大は当然の要求である。電流量の増大はサイリスタ内の熱発生を増大を伴い、したがって冷却の問題が関係してくる。両面冷却により400 Aが達成されたが、これは風冷式のサイリスタとしては限界と考えられる。より以上の電流量に対しては液冷方式が必要と考えられる。このことはすでに開発が報告されたFT 600 (4,000 V 600 A)の平形サイリスタで立証されている。平形素子はセッ構成上解決すべき機構上の問題点を提供するが、セッ構成の容易な従来のスタッド形では一面冷却であり、その理論的な熱抵抗の解明よりしてかかる大きい電流量を達成することは生産能力、使用上の信頼性において疑問がもたれる。われわれはあえて平形構造を採用し、素子を有効に利用するための装置構成上の諸問題の解決に努力したわけである。今後もこの方向に進むものと考えられる。

## (3) 順方向特性

熱損失に関係して低いほうが望ましく、また並列接続されときの電流平衡の面よりその均一性が要求される。

## (4) 電圧上昇率

サイリスタを変換装置に適用する場合、解決すべき回路上の問題点として各種サージ電圧や転流振動に伴う高い電圧上昇率 $dv/dt$ がある。コンデンサを用いた各種ダンピング回路でサイリスタに加わる責務が軽減されるように設計されるが、サイリスタ自身のこの耐量が高くなれば当然装置設計上の負担が軽くなり、回路構成上の自由度が大きくなる。

## (5) 順電流上昇率

サージ電圧、振動電圧、前述の $dv/dt$ などの抑制のためのフィルタ回路は、一方ではサイリスタが点弧したときの高い順電流上昇率をもたらし、各種フィルタ回路の設計上の制限条件となる。とくに、0～100 %の電圧制御が要求される静止レオナード用として重要な問題点である。

## (6) 点弧特性

サイリスタの電流量の有効利用、並列使用時の電流分担の問題点よりして、ターンオン時間、ターンオン損失を含めた点弧特性やその均一性に要求が与えられる。

## (7) 非点弧特性

すぐれた点弧特性を確実にするためのゲート特性と同時に、ノイズによる誤点弧を防ぐ耐ノイズ性として非点弧特性が考慮されねばならない。耐ノイズの手薄を適用した構成と十分協調したセッ非点弧特性が要求される。この特性は運転信頼度の向上を与えるものである。

## (8) その他

サイリスタ変換装置のゲートシャ断を有効にする過電流耐量、ホールストレージを含めたターンオフ特性などが要求仕様を受けるものとしてあげられる。

## 2.3 平形サイリスタ FT 500 の特性

現在静止レオナード用として標準的に使用されている平形サイリスタ FT 500 は上述の諸要求を基として開発され、十分その期待に応じたものである。その特性を表 2.1 に示す。図 2.1 はその外観である。両面冷却により電流量は大きく、素子設計、製造面での改良で $dv/dt$ 耐量は大きく、センターゲート構造で $di/dt$ 耐量も大きい。圧接構造によってヒートサイクルに強く、設計、製造面での開発の成果

表 2.1 平形サイリスタ FT 500 の特性  
List of performance of flat-package type thyristor FT 500.

| 項 目        | 特 性 値                     |
|------------|---------------------------|
| 定格せん頭阻止電圧  | 600～3,000 V               |
| 定格せん頭逆対電圧  | 600～3,000 V               |
| 定格平均順電流    | 400 A (単相半波 180 度通電)      |
| 定格瞬時過電流    | 7,000 A (商用周波正弦半波 1 サイクル) |
| 定格せん頭ゲート入力 | 16 W                      |
| 定格平均ゲート入力  | 3 W                       |
| 定格せん頭ゲート電流 | 4 A                       |
| 臨界順電流上昇率   | 200 A/ $\mu$ s (1/2 電圧)   |
| 順電圧降下      | 2.2 V (1,250 A にて)        |
| 点弧ゲート電流    | 350 mA                    |
| 点弧ゲート電圧    | 4 V                       |
| 非点弧ゲート電圧   | 0.2 V                     |
| 臨界順電圧上昇率   | 500 V/ $\mu$ s (1/2 電圧)   |
| 熱 抵 抗      | 0.06°C/W                  |

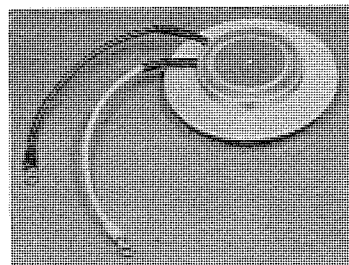


図 2.1 平形サイリスタ FT 500  
Flat thyristor FT 500.

として各特性のすぐれた均一性が得られている。

## 3. サイリスタキュービクル

### 3.1 サイリスタスタック

平形サイリスタではサイリスタは冷却体にサンドイッチされ、圧接されてスタックが構成される。素子の圧接構造はすでにサイリスタ CR 250 A, CR 300 A, ダイオード SR 300 などにおいて Free-fatigue による Thermal-stress に対する耐量向上法として採用し実証済みの方式である。ただ、平形素子ではスタック構成において圧接が行なわれるため、素子の特性を有効に利用し、かつ長期にわたりその信頼性を保つために、スタックとしての圧接構造に十分な検討を加え、必要にして十分な圧接力が長期にわたり安定に維持され、また容易な反復性が与えられていなければならない。このため、種々のスタックが試作され、Life-test を含めていろいろの試験が行なわれ、最終的に現在の方式が採用された。図 3.1 はその外観を示す。

標準スタックは3個のサイリスタと6個の冷却片を含み、1個のサイリスタの両側に冷却片をおき、3組を並べ括して圧接されている。1.0～1.5 トンの圧接力はさらばねで与えられる。このさらばねは十分吟味された長寿命高信頼度のものである。冷却片は高性能のサイリスタに十分協調のとれた設計であり、熱抵抗は0.5°C/Wでサイリスタの0.06°C/Wの熱抵抗と結合されてサイリスタの有効利用が可能となっている。さらばねをセッしているボルトをゆるめることによりサイリスタの取りはずしは容易であり、圧接力の再現もまた容易であ

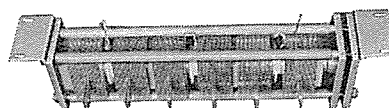


図 3.1 平形サイリスタスタック  
Flat thyristor stack.

る。

可逆静止レオナードではサイリスタが逆並列持続で使用されるが、この場合逆並列に接続された各サイリスタはその通電する時期が異なり、したがって熱発生期間も異なる。このことはサイリスタ装置の負荷責務によっては、逆並列接続で使用されるサイリスタ間での冷却片の共用を可能にする。この場合サイリスタスタックは、サイリスタと冷却片の交互配置で構成される。先のスタックで逆並列接続が構成されるとき、サイリスタ構成1S1P6A2Gでは12組の冷却片が必要となるが、冷却片共有構造では6組の冷却片で済み、したがって、所要冷却風量は半減する。この冷却風量の減少は騒音など据付上の問題の解決に有効である。この負荷責務に対する熱的問題は、負荷のスケジュールと素子を含めたスタック冷却系の過渡熱インピーダンスなどよりコンピュータで解明されたものである。

実際面での適用に当たっては、負荷条件・回路構成などよりいずれのスタックを採用するかを検討が行なわれる。

### 3.2 サイリスタトレイ

静止レオナード用サイリスタ装置としては、上記サイリスタスタックが直接キュービクルに組み込まれる方式と、いったんサイリスタトレイに組み込まれてから、このトレイがキュービクルにそう入される方式とがある。サイリスタトレイでは2個のサイリスタスタックが、速動フューズ、アノードリアクトル、C-Rフィルタ回路などの付属品とともに三相ブリッジ回路を構成している。図3.2はサイリスタトレイを示すが、トレイ主要部には前面よりサイリスタスタック、速動フューズ、アノードリアクトルの順に配列され、周囲にC-Rネットワークが配置されている。正面パネル内側にゲートパルスストロンスが設けられており、正面パネルを開けてゲートパルス波形をチェックすることができる。冷却風はサイリスタスタック前面よりはいり、スタック、フューズ、アノードリアクトルを経て後方に排出される。トレイの構成回路を図3.3に示す。

各回路定数、それに対応する部品の選定などはその部品の必要性を要求する要因に適應して設計・選択されている。また、それらの部品のトレイへの組込みにおいては、その作業性、各部品間の電氣的絶縁、およびその保守性が十分検討されねばならないが、開発に先立って検討された基準に基づき、試作検討の開発プロセスを経、十分評価に値する設計のトレイと考えている。

### 3.3 サイリスタキュービクル

トレイキュービクルは上記のトレイ6個を収納することができる。容量に応じて並列接続されるべき複数個のトレイがそう入され、残りはブラントレイで補われる。他の場合には容量の異なる装置が同居することもできる。また、逆並列接続可逆駆動用として1S3P6A2Gを1キュービクルに組むことも行なわれる。

キュービクル下部前面とびらにはゲートパルス増幅器が設けられており、その動作はとびら表面ランプの表示で表示される。キュービクル下部後方には、キュービクル背面のダクトと結合されてブローが設けられている。冷却風の方角としてはdown-draftとup-draftの両方とも可能である。ダクト構造はトレイ構造とあいまって6トレイ間の冷却風の均一化を可能にしている。

容量に応じて複数台のキュービクルが列盤を構成する。大容量の場合袖盤において外部主回路と接続される。同形のトレイ方式の制御盤と組み合わせられてサイリスタ装置が構成される。図3.4にその外観を示す。

列盤の制御盤よりの制御線はキュービクル下方で配線ダクトを経て、サイリスタキュービクルの下方のゲートパルス増幅回路に導かれ、さらに同キ



図 3.2 サイリスタトレイ  
Thyristor tray

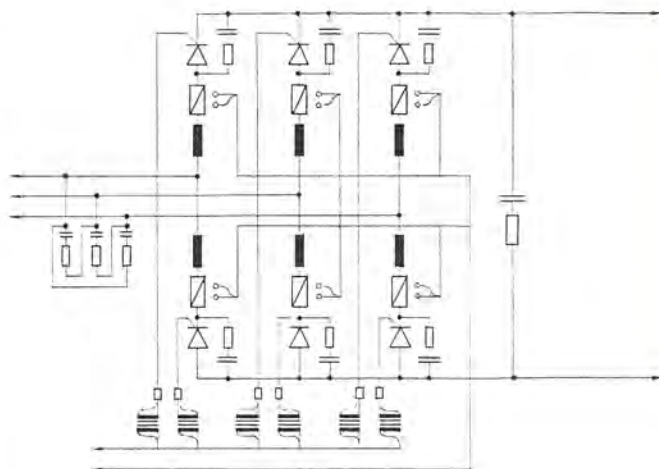


図 3.3 トレイ回路  
Tray circuit



図 3.4 トレイ式サイリスタ装置  
Tray type thyristor assembly

ュービクルのサイドダクトを経て各トレイに導かれる。この間の制御線の配線は耐ノイズ3原則 (Separation, Twisting, および Shielding) が守られており、主回路あるいはキュービクル外部よりの各種ノイズによる誤動作がなく、安定な運転が保証されている。この耐ノイズ配線は、主回路あるいはキュービクルへの高しゅん(峻)度放電々流、また外部磁束などによる実験により実証されている。

サイリスタキュービクルの形式には、上記のトレイタイプのほかにサイリスタスタックを直接キュービクルに組み込む方式がある。おもに中小容量の装置として用いられるが、この場合にも前述のサイリスタスタックの諸特長は失われない。

図3.5に示されるようにキュービクルの正面とびらを開いた表面側に上記サイリスタスタック、速動フューズ、ゲートパルスストロンスなどが配列され、

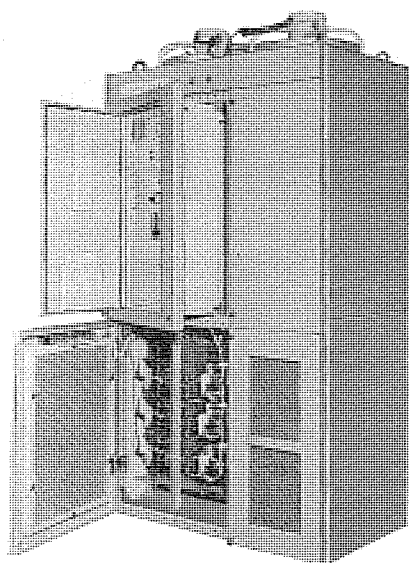


図 3.5 スタック式サイリスタ装置  
Stack type thyristor assembly.

他の主回路部品、付属品は背面側に設けられている。とびらは上下に2分されているが、上部のとびらの一面には制御回路が組み込まれている。この制御回路は表裏面とも容易に点検できる構造である。冷却風はサイリスタスタック 前面より背面に流れるが、冷却は全サイリスタに並列に行なわれる。

この2形式のキュービクルはシステム設計、レイアウト、あるいは使用条件などにより選択され適用される。トレイ方式・スタック方式ともそれぞれ特長をもち、その適用に当たっても決定的なポイントはなく、総合的な判断に基づくものであるが、現在までのサイリスタ装置の経過、実績、使用経験、また10年以上の半導体整流器の経過よりみて、過去2年余サイリスタ装置の大容量化の実現の経過において圧倒的に採用されたトレイ方式が、今後もその地位を維持するとは考えられない。すなわち従来のサイリスタの保守が主体に考えられていたキュービクル方式は再検討されるべきであり、サイリスタ装置はそれがおかれるシステムの一部であり、そのシステムが安定に、もっとも高度にその機能を果たすことを前提とした考察に基づいて、キュービクルも設計されるべきであると考えられる。

#### 4. 静止レオナード変換装置回路

##### 4.1 一方向駆動方式

標準として、均一三相ブリッジ回路が使用されている。基本構成を図4.1に示す。次の可逆駆動方式も含め、保護シーケンスも総合した数種類の標準構成が確立されている。容量に応じて複数のサイリスタが並列接続されるが、トレイ方式では三相ブリッジの基本回路をもつサイリスタトレイが並列接続される。スタック方式では必要数のスタックがキュービクルに組み込まれて並列接続される。装置の容量により主回路定数も変わるが、トレイ方式の場合はもちろん、スタック方式においてもユニット化の手法が採用されている。整流器用変圧器・リアクトルなどは変換装置仕様、直流電流リップル、過電流に対するゲートシャ断効果などより設計される。

##### 4.2 可逆駆動式

標準として、逆並列接続が使用されている。その基本構成を図4.2に示す。同図(a)はトレイ方式の場合を示し、同図(b)はスタック方式で既述の冷却片共用方式を用いた場合を示している。基本的

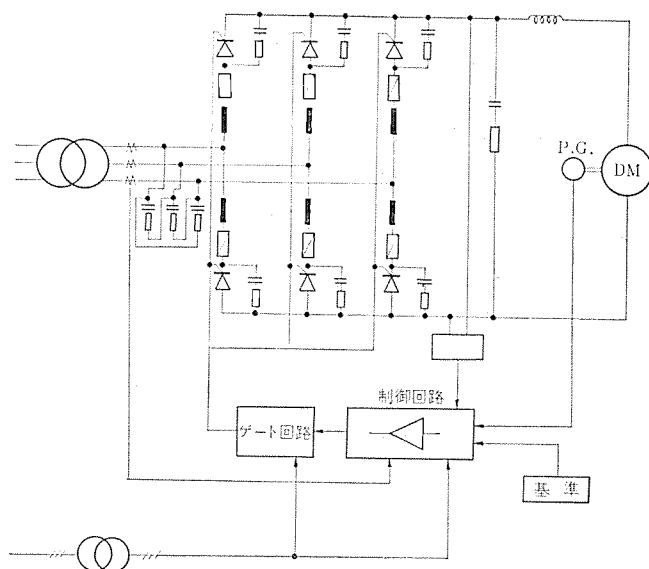
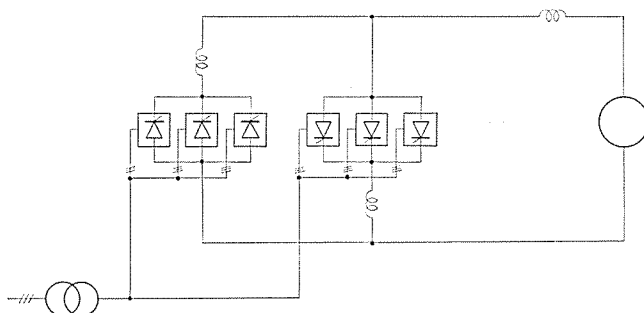
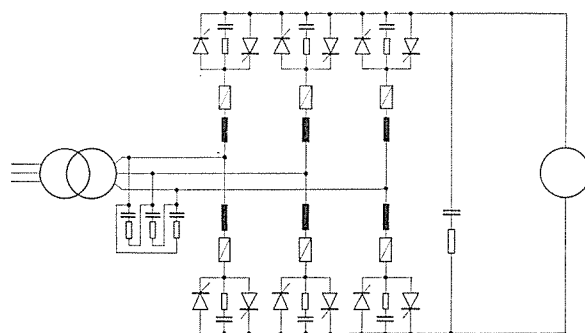


図 4.1 主回路基本構成  
Basic composition of main circuit



(a) トレイ方式



(b) スタック方式

図 4.2 可逆駆動主回路  
Reversible drive main circuit

考え方は上述の一方向駆動の場合と同じである。ただ、逆並列接続された変換装置間の短絡電流に対するゲートシャ断の効果確保のために、限流リアクトルが設けられている。後述のゲート回路方式により復変換接続方式においては標準として循環電流抑止方式を採用しているが、直流電流の逆転は円滑である。

#### 5. 制御装置

##### 5.1 制御特性

サイリスタレオナード装置の制御装置としては安定性、応答、精度、信

頼度、寿命および保守性においてすぐれた特性をもたねばならない。そのため、制御装置としても制御特性の解明（制御理論の確立）、部品の選定、十分な機構設計などが必要である。

サイリスタ変換装置の場合、サイリスタに与えるゲートパルスの位相制御により直流電圧が制御される。この場合、六相整流回路ではゲートパルスは  $\frac{2\pi}{6}$  すなわち 1/6 サイクルの間隔で与えられ、その時点で出力電圧が制御される。したがって、六相整流回路では 1/6 サイクルごとに入力信号がサンプリングされ、1/6 サイクルの期間は出力電圧がホールドされるサンプリングホールド系と考えられる。したがって、整流回路の等価伝達関数として入力正弦波電圧に対する出力電圧の基本波の振幅、位相の関係を考える場合、整流回路の出力電圧をフーリエ級数に展開し、サンプリング期間  $t_s$  の条件をいれて解析すると、等価伝達関数  $G(s)'$  として次式が得られる。

$$G(s)' = (1 - e^{-t_s s}) / t_s \cdot s = e^{-\frac{t_s}{2}s}$$

サイリスタ装置は上式で表わされる整流回路と制御装置とが組み合わされたクロズドループの制御系を構成するが、一般に自動制御系の特性は位相余裕、最大振幅比、ダンピング定数や整定時間などにより解析されてその良さの判定が行なわれる。すなわち、設計された制御系はそのブロックダイアグラムよりボード線図やアナログコンピュータによる過渡特性などによりその設計の良さが検討される。しかし、実際問題としてサイリスタ変換装置の各適用ごとに、その制御系の伝達関数には多くの形が考えられ、制御系の最適設計は容易でない。またサイリスタ装置が適用される多くの用途に対してその制御系を想定し、いちいち過渡特性まで検討して制御系の細部設計を行なう必要のあるときは、一貫した制御基本ユニットの設計は困難である。

このため、当社では制御系の解析に非整数階積分の理論を適用している。すなわち、サンプリングホールド系の整流回路を含むサイリスタ変換装置の制御系のオープンループとしての伝達関数を次式で表わす。

$$G(s) = \left( \frac{\omega_c}{s} \right)^K \cdot e^{-\tau s}$$

$\omega_c$ : クロスオーバー周波数

$\tau$ : 等価無駄時間

$K$ : 1~2 の数値（整数に限らない）

この理論の応用により設計された制御系のボード線図より等価なゲイン直線を描くと、上式における定数  $K$ 、クロスオーバー周波数  $\omega_c$  および時間おくれ  $\tau$  が求められる。一方、上式で与えられる伝達関数  $G(s)$  に対して  $K$ 、 $\omega_c$  および  $\tau$  の種々の値におけるその過渡特性が計算機で求められている。したがって、ボード線図より求められた上記定数の値、すなわち周波数特性より直ちにその制御系の過渡特性を知ることができる。逆に、要求される過渡特性より  $K$ 、 $\omega_c$  を選定すればそのゲイン直線に適合するように補償要素を選ぶことにより、最適の制御系を設計することができる。

非整数階積分の理論によれば、どのような形の制御系の伝達関数も上式の等価ゲイン直線で表わすことができ、逆にこのような等価ゲイン直線で表わせない制御系は、自動制御系としてふさわしくないことが確かめられている。

たとえば、図 5.1 のボード線図(A)に示すような制御系に対しては同図(B)に示すような等価ゲイン直線が得られる。

また、たとえば  $K=1.4$  に対する過渡特性は図 5.2 のようになる。

サイリスタ装置を静止レオナード系に適用する場合、その系は零位置誤差系と零速度誤差系に分類することができるが、一般に零位置誤

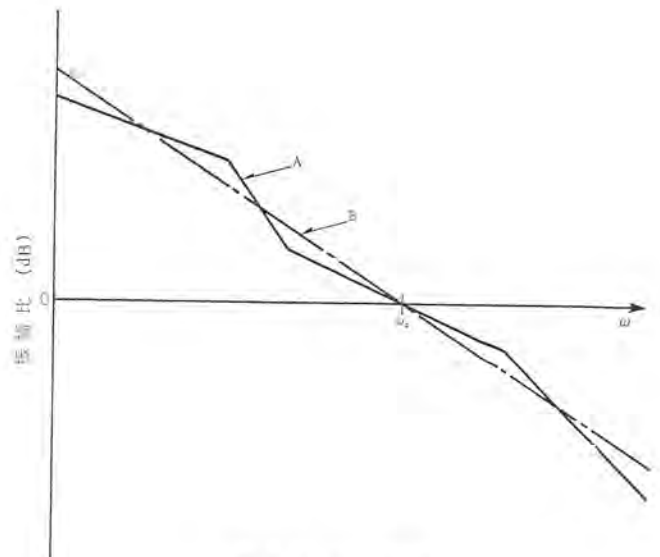


図 5.1 ボード線図  
Bode diagram.

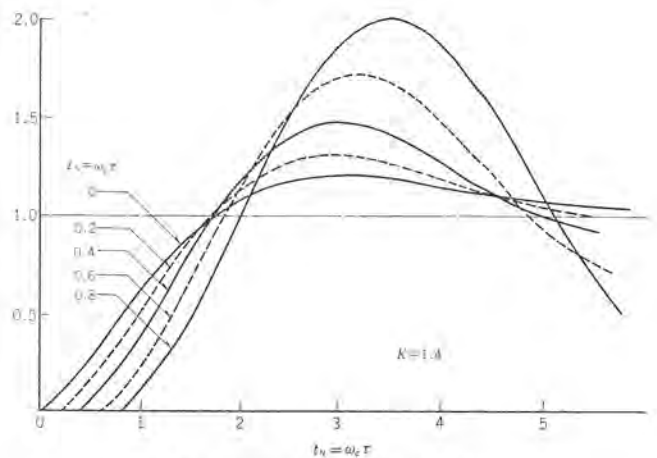


図 5.2 非整数階積分制御系過渡応答  
Transient response of non-integer integral control system.

差系では  $K$ 、 $\omega_c$ 、 $\tau$  を小さく選んで過渡特性におけるゆきすぎ量 (Over Shoot) を小さくし、一方、零速度誤差系では  $K$ 、 $\omega_c$ 、 $\tau$  は前者よりむしろ大きく選び、整定時間を短くするように設計するのが望ましい。

このような非整数階積分の理論による制御系の解析により、一貫性のある最適の制御系の設計がなされ、静止レオナード用サイリスタ装置の制御系の標準化が可能となつたものである。

## 5.2 制御ユニット

水銀整流器による静止レオナード装置の時代にすでに演算増幅器を採用し、すぐれた制御性能を実現した当社では、高性能のトランジスタの実用化とともに、高性能のトランジスタ式演算増幅器の標準形式が完成され、サイリスタ装置の実用期にはいって制御ユニットの標準系列も完成された。演算増幅器・補償要素はプリント基板に組まれ、これらの基板に対にユニットに構成され、調整要素はユニット前面パネルに取付けられている。図 5.3 は制御ユニットの一例を示す。

補償要素はすべての制御要求に応じうる回路構成が選択できるように設計されている。このユニットを構成する部品は、もちろん十分な検定試験を行なった安定性・信頼性においてすぐれたものである。また機構上も耐ノイズ性・保守性に対する考慮が払われている。標

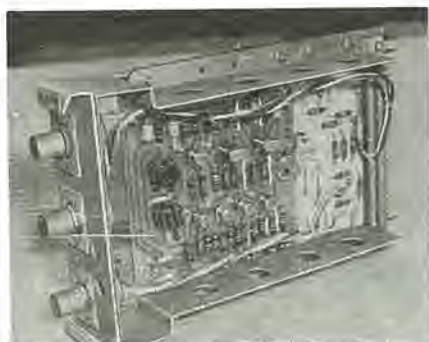


図 5.3 制御ユニット  
Control unit.

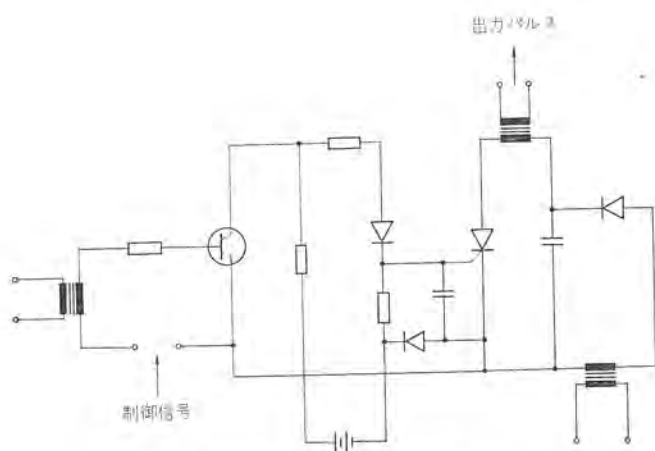


図 5.4 ゲートパルス発生回路  
Gate pulse generating circuit.



図 5.5 制御トレイ  
Control tray.

準化された制御ユニットの系列に対し、要求された制御性能に応じた最適の制御ユニットが選択され、組み合わされて制御回路が構成されるが、この選択は電子計算機で行なわれている。

### 5.3 ゲートパルス発生回路

サイリスタへのゲート信号を制御するゲートパルス発生回路は電圧コンパレータ形であり、基本回路を図 5.4 に示す。図に示すように交流電源電圧と直流信号電圧を比較して位相を決定しているため、電源電圧変動は自動的に補償され、移相特性の直線性が得られ、ノイズにも強い設計となっている。

大容量装置で並列接続された多数のサイリスタを、同時点弧するときにはゲートパルス増幅器で増幅される。

いずれの場合も最終段はサイリスタによるコンデンサの放電が応用されており、サイリスタに与えられるゲートパルスは  $1\mu\text{s}$  の立上がりを示す Higher Gate Drive 方式である。またこの出力回路にはサイリスタによるゲートシャ断回路が設けられている。

ユニットとしては直流信号電圧に対して移相方向の異なる正特性と逆特性があり、逆並列結線の場合に組み合わせられ、制御系よりの共通の信号で円滑な電流反転が行なわれる。

### 5.4 制御盤

サイリスタキュービクルがスタックタイプの場合は図 3.5 に示されるように制御ユニットはキュービクルとびらに設けられたカードフレームにそう入される。運転中の調整はもちろん、裏面チェックも容易である。

図 3.4 に示されるトレイ式キュービクルの場合には、サイリスタスタックと同様に制御ユニットはいったん制御トレイに組み込まれ、この制御トレイが制御キュービクルにそう入される。この制御トレイは各制御ブロックごとに制御ユニットをまとめたものである。制御トレイ表面の計器、表示ランプで制御装置の動作が確認される。制御キュービクル、制御トレイおよび制御ユニットに耐ノイズ配線 3 原則が適用されていることは言うまでもない。図 5.5 に制御トレイの一例を示す。

## 6. 静止レオナード用サイリスタ装置標準系列

以上の各構成要素を用いて鉄鋼圧延ライン、プロセスライン、金属工業、抄紙ライン、化学工業その他の分野における直流電動機駆動の静止レオナード用サイリスタ装置が構成される。すでに、 $220\sim 800\text{ V}$ 、 $30\sim 10,000\text{ kW}$  の範囲の容量に適合する標準系列が完成している。直流出力電圧  $220\sim 800\text{ V}$  の範囲ではサイリスタは直列接続はなく、各出力電圧に見合った定格電圧のサイリスタが自由に選択される。直流出力電流に対しては複数のサイリスタが並列に接続されるが、所要数のサイリスタトレイまたはサイリスタスタックの組み合わせ、またはサイリスタキュービクルの組み合わせで処理される。制御上の各仕様に対しても上述の標準制御ユニットの適当な組み合わせで応じられる。このような使用者側よりの要求に対する各構成ユニットの選択は、現在電子計算機が行なっている。

## 7. 標準サイリスタ装置の電子計算機による手配

電子計算機の導入は、すでに時代の流れであり、また設計業務への導入も必然の傾向といえる。静止レオナード用サイリスタ装置の製作手配においても、その標準系列の完成とともに電子計算機による手配のシステム (E. D. P. S.) が確立された。製品製作手配業務への E. D. P. S. の適用はその完全な標準化が前提となる。上述のように当社のサイリスタ装置では、各容量・各用途に対応して適用される装置は標準系列化された部品・ユニット群より適当な部品類・ユニット類が選択、組み合わせられて構成される。したがって、その選択ロジックを計算機に記憶させておけば、装置の定格、用途より要求される制御仕様をインプットすることにより、計算機で必要な部品類・ユニット類を選択し、その組み合わせを指示することができるのである。

静止レオナード用サイリスタ装置の製作手配に当社で実施されている手配システムの概略のフローは、図 7.1 に示されるようである。

インプット仕様により適当な部品、ユニットを選択するロジック、および標準部品群、標準ユニット類は Master File として Store されており、定格、仕様をインプットすることにより、選択ロジックにしたがって必要な部品、ユニットがピックアップされ、このユニットはさらに部品マスタで部品に展開される。資材部門に対するアウトプットとしてはストアされている部品、ユニットについてはその払出しが指示され、購入すべき部品に対しては購入カードがパンチされ、このカードにより資材マスタに基づいて注文書が作成される。製作部門に対するアウトプットとしては定格・仕様のほかに手配された部品・ユニットの組み

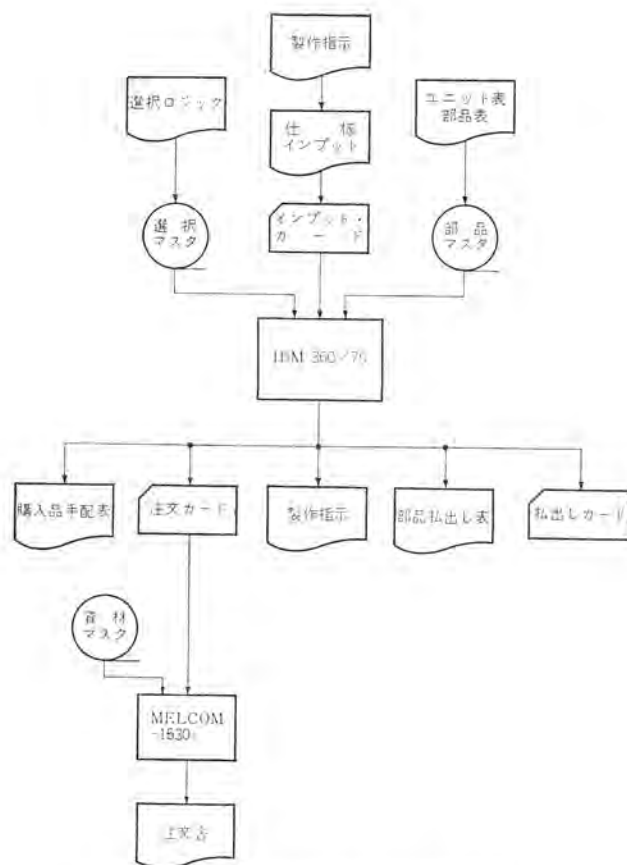


図 7.1 標準サイリスタ装置手配の E. D. P. S  
E. D. P. S arranged with standard thyristor installation.

合わせ、必要量などが指示される。

サイリスタ装置は電子装置であり、半導体部品を含めて1台の装置を構成する部品の数はきわめて多く、したがってその手配業務も複雑となる。また、その部品も多種少量で構成されており、手配も好ましくない多種少量発注の形となる。これを避けるためには合併注文が考えられるが、このときも部品ごとの集計が複雑となる。これらの点で手配業務への E. D. P. S. 導入の効果は大きいものがある。

## 8. む す び

以上、当社の標準化された静止レオナード用サイリスタ装置の概要について紹介した。整流器の分野では、半導体技術、制御技術あるいは生産技術など技術面での進歩が激しい。したがって、今日現在の標準もその寿命は短く、いつまでもそのままの形態で標準としてまかり通るものではない。標準系列の実現にさいしては将来のあるべき姿を予測して検討を進める必要がある。しかし、一方では標準系列の完成と同時に次の時代の標準系列に向ってスタートされることも事実である。

革新の激しい機種においても標準化の手法自体は製作者側においても設計、製作、資材などの面において、また使用側においても保守、信頼性などの面において、それぞれすぐれた効果をもたらすものである。

ここに紹介した当社の静止レオナード用サイリスタ装置の標準系列は、われわれがその標準化を実施するにあたって第一に前提としたとおり、使用者の要求に十分応じうるものと信じている。今後もお努力し、この標準系列に対する使用者各位の腹藏ないご意見を次の新標準に活かしたいと念じている。

最後に、積極的にサイリスタ装置の採用を実現されその発展にご指導、ご協力をいただいた各位に厚くお礼申上げる。

## 航空機用UHFブレードアンテナ

武市 吉博\*・浜口 道雄\*\*・小野 誠\*\*\*

## A Blade Antenna for UHF Communication of Aircraft

Kamakura Works Yoshihiro TAKEICHI・Michio HAMAGUCHI

Communication Equipment Works Makoto ONO

This article gives an account of the result of study made on a small-sized broadband blade antenna for UHF (225~400MHz) communication of aircraft. An antenna used for aircraft is required to be of small size to reduce the drag. By constituting a broad planar radiator on a metal-clad dielectric plate as radiator, it has been successful to obtain a small sized lightweight broadband antenna with reduced height and formation of a matching circuit by means of a strip line on the radiator without having an external matching circuit. This antenna is 200mm high and 950g in weight. The performance made available with the trial set is; an input voltage standing wave ratio is below 1.6 for a 50 ohm coaxial feeder at working frequencies 225~400MHz and in the horizontal radiation characteristic gain variation is  $\pm 0.9$  dB at 400 MHz

## 1. ま え が き

国産航空機用アンテナについてはすでに数多くの研究を行ない<sup>(1)</sup>~<sup>(4)</sup>, 実用化してきたが, それらのうちブレードアンテナとしてはさきにVHF通信(118~114 MHz)用ブレードアンテナを研究して好結果を得<sup>(3), (4)</sup>, 引続いてUHF通信(225~400 MHz)用ブレードアンテナを表1.1を目標性能として研究し, 良好な結果を得て<sup>(5)</sup>製品化した。このアンテナはVHFブレードアンテナと取付の互換性をもつように取付部の寸法は等しくしてある。

UHF通信用ブレードアンテナはVHF通信用のものと同様に小形広帯域であることを必要とするが, 使用周波数の比帯域がVHF帯は20%であるのに対し, UHF帯は56%もあるため小形広帯域化にはVHF通信用のものに対するのと違った工夫を要する。

本文では航空機用アンテナに要求される性能を述べ, 問題点を検討するとともに本アンテナにおける解決方法の概念を示し, それに基づいて試作したアンテナの構造, 試験結果を示し, 製品の主要性能もあわせて紹介する。

表 1.1 UHF ブレードアンテナの目標性能  
Target performance of UHF blade antenna

|             |                                       |
|-------------|---------------------------------------|
| 周 波 数       | 225~400 MHz                           |
| 放 射 指 向 特 性 | 垂直偏波水平面内無指向性                          |
| 入力電圧定在波比    | 50 $\Omega$ 同軸給電線に対して2以下              |
| 外 形 寸 法     | 高さは200 mm (最低周波数において約7分の1波長)          |
| 取 付 条 件     | VHF条件ブレードアンテナ <sup>(3), (4)</sup> と同じ |

## 2. アンテナに要求される性能および問題点

航空機用のアンテナは給電線からの無線周波電力を低損失で, かつ有用な指向性で放射することが必要である。アンテナの電氣的良さを表わす尺度として, つぎのような定義のアンテナ能率 $\eta_a$ を考えると便利である。<sup>(6)</sup>すなわち

$$\eta_a = \eta_i \cdot \eta_t \cdot \eta_r \dots (2.1)$$

ここで

$$\eta_i = \frac{p_i}{p_d}, \eta_t = \frac{p_r}{p_i}, \eta_r = \frac{p_u}{p_r} \dots (2.2)$$

ただし $p_d$ は給電線から整合回路をも含めて考えたアンテナの入力端に到来する電力,  $p_i$ はアンテナにはいる電力,  $p_r$ は空間に放射される電力, そして $p_u$ は通信に有用な立体角内に放射される電力である。

$\eta_i$ は給電線に対するアンテナの入力電圧定在波比で定まり, それを $\sigma$ とすれば

$$\eta_i = \frac{4\sigma}{(\sigma+1)^2} \dots (2.3)$$

である。 $\sigma$ はUHFブレードアンテナでは2以下を目標としており $\eta_i \geq 0.89$ となる。

$\eta_t$ はアンテナのインピーダンスと放射体および整合回路の損失とで定まる値である。放射体の損失を無視できる場合は整合回路の電力伝達能率に等しい。一例として図2.1に示すような整合回路で整合をとった場合は $\eta_t$ 次式で表わされる。

$$\eta_t = \text{Real} \left\{ \left( 1 - \frac{z_s^*}{z_0} \cdot \frac{(z_p + z_s - z_0)}{z_p} \right) \right\} \dots (2.4)$$

$z_p, z_s$ が純リアクタンスの場合は $\eta_t = 1$ となるが $z_p, z_s$ が純リアクタンスでない場合は $\eta_t < 1$ となり,  $\eta_t$ を大きくするためには常識的に考えられるように $z_p, z_s$ になるべく $Q$ の高いものを用いなければならないことがわかる。なお放射体の損失は, 導体の固有抵抗および電流の流れる導体の断面積で定まるが, 放射体が銅の場合, UHF通信の帯域では電流の流れるいわゆる浸透の厚みは数ミクロンであるため, 導体の損失を左右するのは放射導体の断面の周囲長であって, 幅広い板状導体を用いればその導体損失はアンテナ放射抵抗に比べて無視し得る値である。

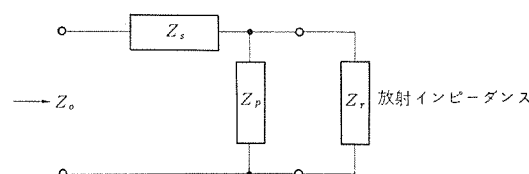


図 2.1 整合回路の例  
Example of matching circuits

$\eta_r$  はアンテナの偏波方向および指向および指向特性で定まる値であるが、指向特性はアンテナ自体を流れる電流のみで決まらず、アンテナを取付ける機体部分上を流れる電流、機体のしゃへいおよび反射による影響を受ける。UHF 帯では機体の寸法が数波長以上になるため機体の一部の共振、あるいはしゃへい、反射により放射特性に大きい障害を受けやすく、したがって  $\eta_r$  もこの影響を受ける。

アンテナには応用性をもたせるためにはアンテナ自体の特性は  $\eta_r$  を最大にするように設計し、機体による特性の変化はアンテナ取付位置の変更により修正することが必要である。なお  $\eta_r$  の定義に含まれている通信に有用な立体角は水平面内は  $360^\circ$ 、垂直面内は水平方向の上下ある一定角度  $\psi_0$  の範囲で通常  $\psi_0=30^\circ$  である。電気的には以上の諸条件を広帯域にわたって満すことが要求され、機械的には小形軽量であること、空気抵抗が小さいことが要求される。

### 3. 小形広帯域化の原理

ここに述べるアンテナは広い帯域にわたって良好なインピーダンス特性および放射指向性を得るためにつぎのような方法をとっている。

- (1) ユニポールアンテナを幅広い板状放射導体で構成すると、その高さが4分の1波長となる周波数よりもかなり低い周波数で共振し、かつインピーダンスの広帯域性が得られる。
- (2) 板状導体において給電点の位置を変化させることにより放射指向特性を良好にする。
- (3) その板状放射導体を折返し形にすると共振周波数のある程度調整し得、かつ共振時の抵抗値を任意に大きくして給電線の特性に適合させることができる。
- (4) 板状放射導体をもつリアクタンスの周波数特性を打ち消すような周波数特性をもつ共振回路を付加する。

図 3.1 はインピーダンスの小形広帯域化の方法を具体的に示したものである。図 3.1 (a) は所要周波数帯域の中心周波数付近で共振するように寸法を選定した板状ユニポールアンテナ、およびその給電点インピーダンス  $z_a$  の周波数特性ならびの共振点付近における近似的な等価回路を示す。 $f_l, f_m, f_h$  はそれぞれ最低周波数、中心周波数、最高周波数を示す。幅と高さがほぼ等しい板でユニポールアンテナを構成し、入力インピーダンスを測定した結果は図 3.2 のように約5.3分の1波長で共振し、そのときの周波数を UHF 通信の所要周波数帯域の中心周波数とすると、最低周波数では高さ約7分の1波長になる。

図 3.1 (b) は板状導体を折返し形にしたもので、このときの給電点インピーダンス  $z_r$  は通常の細い折返しアンテナの理論化と同様に考えて、

$$z_r = \frac{1}{\frac{\nu^2}{z_a} + \frac{1}{z_l}} \quad (3.1)$$

となる。ここで  $z_a$  は零相インピーダンス<sup>(7)</sup>、 $z_l$  は正相インピーダンス<sup>(7)</sup>  $\nu$  は給電側導体に対する電流配分率である。式 (3.1) から  $z_a$  および  $z_l$  がほぼ同一周波数で共振する場合には、その周波数の付近において図 3.1 (b) の板状折返しユニポールアンテナは近似的に同図の等価回路で表わすことができる。 $z_l$  および  $\nu$  の値は板状導体に対する切込みの付け方で変えることができ、 $z_a$  の共振時における抵抗値を  $\nu$  の選定によって給電線の特性インピーダンスに適合させ、リアクタンスの周波数特性を  $z_l$  により調整して  $z_r$  を最終整合に便利な特性にすることができる。

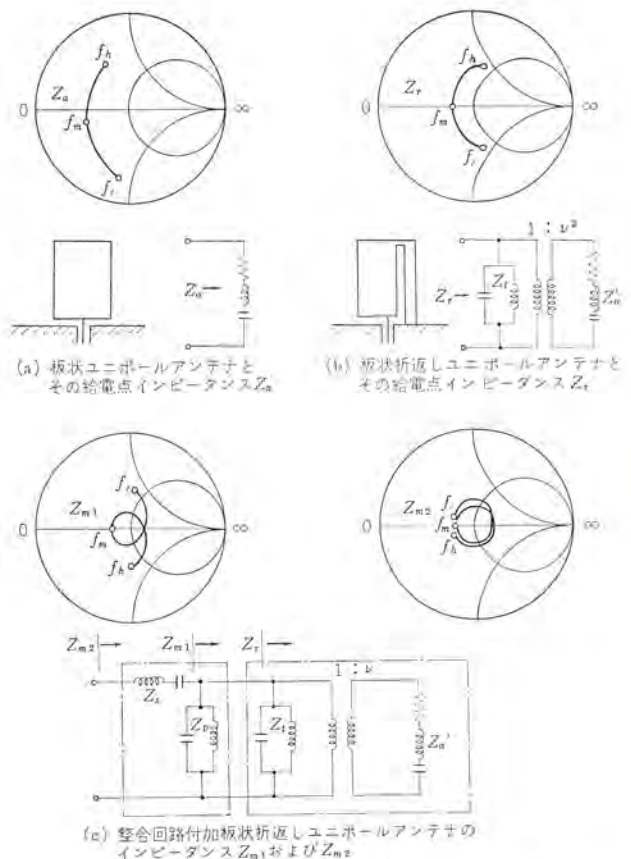


図 3.1 小形広帯域化の方法  
Method of broadband impedance matching of the small-sized planar unipole.

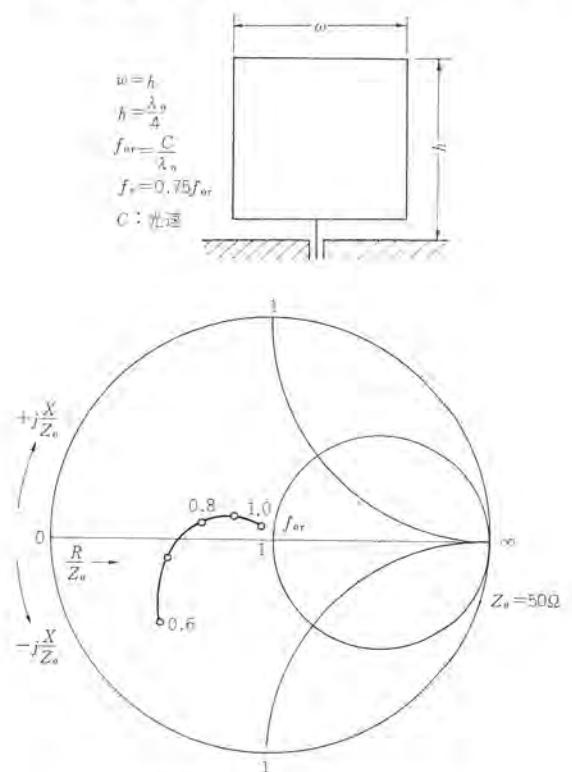


図 3.2 板状ユニポールアンテナの入力インピーダンス  
Input impedance of a planar unipole antenna

図 3.1 (c) は上記  $z_r$  に対して並列共振インピーダンス  $z_p$  および直列共振インピーダンス  $z_s$  からなる整合回路を付加した場合であって、入力インピーダンス  $z_{m2}$  は、

$$z_{m2} = z_{m1} + z_g = \frac{1}{\frac{1}{z_r} + \frac{1}{z_p}} + z_g \quad (3.2)$$

となり、 $z_p$  および  $z_g$  に適当な共振周波数および周波数特性をもたせれば、図 3.1 (c) のスミスチャートのように広帯域整合をとることができる。

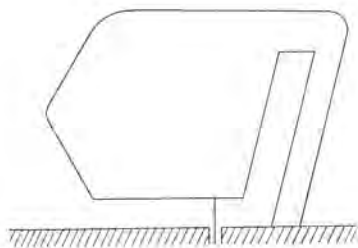


図 4.1 実験的に定めた放射素子の形状  
Radiator shape contoured experimentally

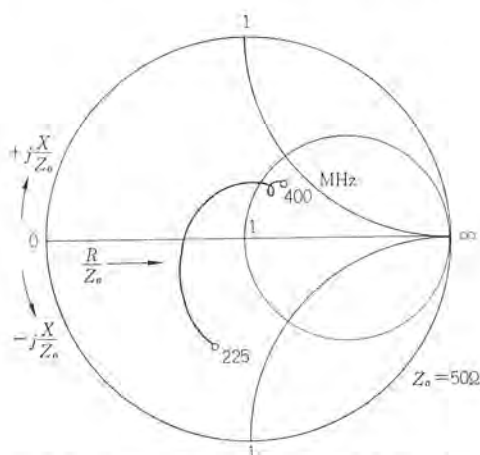


図 4.2 図 4.1 に示したアンテナの入力インピーダンス  
Input impedance of the planar antenna shown in Fig 4.1

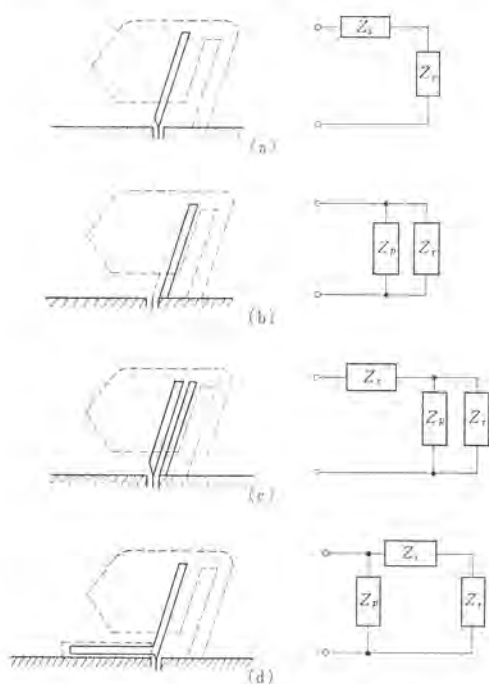


図 4.3 整合回路の構成方法とその等価回路  
Impedance matching by use of strip line circuits and their equivalent circuits

#### 4. 放射素子の形状および整合素子

前章で述べた方法により、目標性能を満足するアンテナを得るためには、それに適した  $z'_a$  をもち放射パターンが良好な板状導体を得ることが必要であって、そのためには理論的に形状の概要を決めた後実験的に詳細寸法を決定する必要がある。インピーダンスの点から言えば、前章で述べたように幅の広い板状導体を用いることは小形広帯域化に有用であるが、放射素子の幅が半波長程度にまで広くなると水平面内無指向性の放射パターンを得るのに工夫を要する。

幅広い放射素子で水平面内無指向性放射パターンを得るには、給電の最適点を選定する方法と複数個の給電点を設ける方法とが考えられる。ここに述べるアンテナは前者の方法によるもので、まずインピーダンス特性を良好にする板状導体の形状を定め、つぎに給電点の移動により水平面内無指向性の放射特性を得た。実験によって定めた放射素子の形状を図 4.1 に示し、その入力インピーダンスを図 4.2 に示す。

以上のようにして決定した板状放射導体を印刷配線基板上で形成すると、整合回路をも放射導体と一体に構成しうる利点がある。すなわち整合回路は放射導体を地導体とするストリップ線路で構成され、他の付加整合素子なしに整合を行なうことができる。

具体的には、放射素子のインピーダンス  $z_r$  を給電線特性インピーダンス  $z_0$  に整合する回路として、 $z_r$  の値により図 4.3 に示すようなものが考えられる。これらのうち図 4.3 (c) のものは、2 個の整合素子の間に結合があると等価回路で示すような動作をしないので、それを考慮してストリップ線路の間隔を決定しなければならない。前掲の図 3.1 (c) から、UHF ブレードアンテナの整合回路は図 4.3 (c) の形式が適当であることがわかる。

#### 5. 試作品の構造および試験結果

図 5.1 に試作品の構造を示す。放射導体は 1 枚の両面銅はく張りガラス繊維強化エポキシ樹脂板にエッチングを施して構成し、これだけで小形で広帯域整合のとれた放射素子として働くようにした。ストリップ線路の特性インピーダンスや短絡点 P, S の位置は、図 4.2 のインピーダンスを給電線インピーダンスに広帯域整合するように設計し、実験的に最終値を決定した。

放射素子には、流線形断面をもつガラス繊維強化ポリエステル樹脂カバーをかぶせ内部を発泡樹脂で充てんし、空気抵抗を減少するとともに必要な機械強度を得た。

図 5.2 は入力インピーダンスおよび入力電圧定在波比の周波数特性を示す。50 Ω 同軸給電線に対する入力電圧定在波比は、使用周波数帯 225~400 MHz にわたって 1.6 以下となっている。図 5.3 お

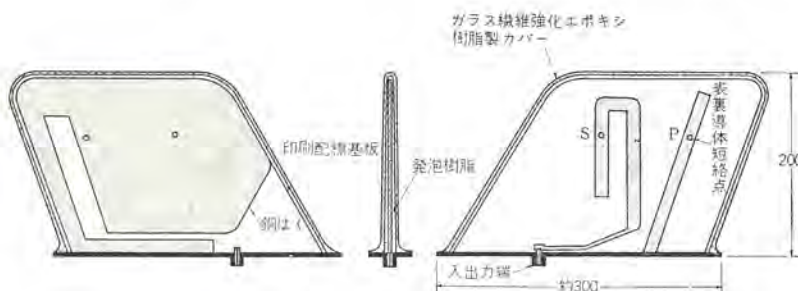


図 5.1 アンテナの構造  
Structure of the blade antenna

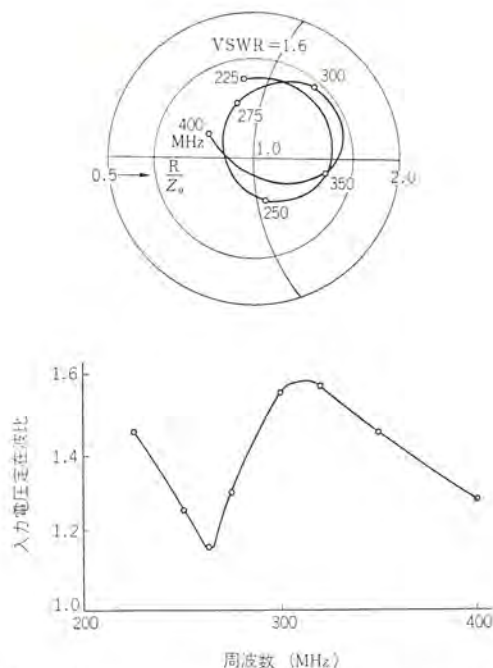


図 5.2 入力インピーダンスおよび入力電圧定在波比の周波数特性  
Frequency characteristics of the input impedance and input VSWR.

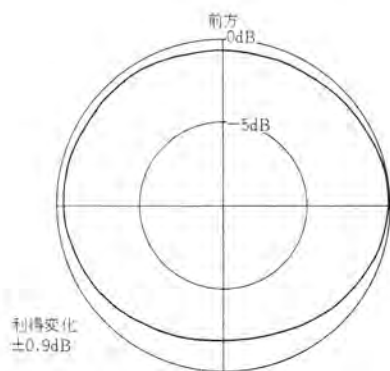


図 5.3 400MHz 放射パターン (垂直偏波, 水平面内)  
Radiation pattern at 400MHz (vertical polarization, horizontal plane)

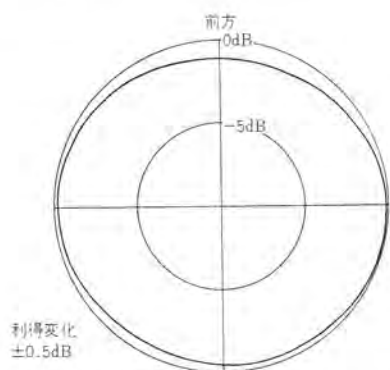


図 5.4 225MHz 放射パターン (垂直偏波, 水平面内)  
Radiation pattern at 225MHz (vertical polarization, horizontal plane)

および図 5.4 は垂直偏波水平面内放射パターンを示す。波長に対する前後方向の寸法が最も長くなるために最高周波数 400 MHz における指向性が最も悪くなるが、水平面内利得変化は  $\pm 0.9$  dB となり良好な特性を示している。225 MHz における水平面内利得変化は  $\pm 0.5$  dB である。



図 6.1 製品の外観  
Exterior view of the antenna

## 6. 製品の主要性能

以上の研究に基づいて製品化したアンテナ MAT-5/MAR の外観を図 6.1 に示す。製品の主要性能はつぎのとおりである。

- (a) 周波数範囲 : 225~400 MHz
- (b) 給電用ケーブル : 50  $\Omega$  不平衡
- (c) 入力電圧定在波比 : 2 以下
- (d) 指向特性 : 垂直偏波 水平面内無指向性  
水平偏波 きわめて小
- (e) 最大許容入力 : 平均 30 W  
せん頭 125 W

- (f) 重量 :  $0.95^{+0.05}_{-0.10}$  kg
- (g) 空気抵抗 : 1 気圧 400 km/hr において約 0.3 kg
- (h) 耐風圧 : 短軸方向に 40 kg の風圧に耐える。

なおこのアンテナは VHF 通信 (118~144 MHz) 用ブレードアンテナ MAT-3/MAR と取付の互換性を有している。

## 7. む す び

高さが 4 分の 1 波長よりかなり低くても共振し、かつインピーダンス特性が広帯域性をもつという板状放射導体の性質を利用することにより、最低周波数において高さ約 7 分の 1 波長で、入力電圧定在波比は使用周波数 225~400 MHz において 1.6 以下の広帯域な特性をもち、広い板状導体を用いたことによる放射パターンの不均一を給電点の位置変化により均一化することにより、最高周波数においても垂直偏波水平面内利得変化  $\pm 0.9$  dB の小形広帯域アンテナの試作試験結果を得た。

ここに述べたブレードアンテナは放射素子を薄い板状導体で構成し、流線形の断面をもつ誘電体カバーをかぶせることにより、小さい空気抵抗で必要な機械強度を得ているが、航空機のいっそうの高速化に伴って、さらに背が低く薄いアンテナ、あるいは完全埋込み形の小形アンテナにおいて広帯域特性を得ることが今後の研究課題である。

(昭和 44—4—30 受付)

## 参 考 献 文

- (1) 喜連川, 平岡, 松村, 武市: 三菱電機技報, 34, 11, 1,385 (昭 35)
- (2) 喜連川, 平岡, 浜口, 武市, 太田, 水沢: 三菱電機技報, 35, 12, 1,679 (昭 36)
- (3) 喜連川, 平岡, 浜口, 武市, 大林, 水沢: 三菱電機技報, 36, 3, 436 (昭 37)
- (4) 喜連川, 武市, 水沢: 昭 38 信学全大, No. 167
- (5) 喜連川, 武市, 小野: 昭 39 信学全大, No. 231
- (6) 喜連川, 武市: 信学誌, 48, 4, 852 (昭 40)
- (7) 内田, 虫明: 超短波空中線 (1955) コロナ社

# 低圧 絶縁導体バスダクト

堀 田 滋 矩\*

## Low Voltage Insulated Conductors Bus Ducts

Nagoya Works Shigenori HOTTA

New type bus ducts are now coming in use for connecting conductors by such technics that the conductors are coated with insulation, the ducts and conductors are closely contacted each other, and the junction is made by fastening of a single bolt.

This article describes in connection with the above contrivance the features, construction and connecting method, and also explains its electrical characteristics and capacity against voltage drop, temperature test, electric noise, load test, overcurrent and fault current, characteristics of conductor insulating materials and estimated life as necessary technical information in planning bus duct. It is anticipated that these insulated ducts will replace the old arrangements in no distant date.

### 1. ま え が き

低圧 バスダクトは、新しい配線材として登場し、工場・ビルなどにおける配電設備の近代化、受配容量の増大、ネットワーク方式の検討に不可欠なものになってきた。これにともない、バスダクト自体に、より高度な信頼性と、布設方法に対する省力化がメーカーに要望されるようになってきた。

本文では、この要望に答えるものとして、新しいアイデアにより絶縁導体バスダクトを開発し、納入実績も積重ねてきた。この新形品について、従来形との比較を実施し、布設時の接続方法、計画時に必要な技術的事項をのべ、バスダクト需要家各位のご参考に供したい。

### 2. 特長と構造

当社の絶縁導体バスダクトは、導体を被覆絶縁し、異相導体間およびダクトを図2.1に示すように密着させたものである。従来形バスダクトは図2.2のように、裸異相導体間およびダクト間は、空気絶縁構造になっている。

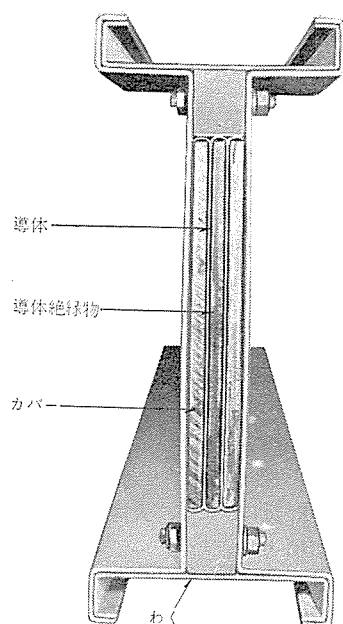


図 2.1 絶縁バスダクトの断面  
Cross section of insulated bus duct.

このためダクト内、導体に発生した熱の放散は従来のように対流方式でなく、伝導により速やかに放散されるので、導体の温度上昇値は低くなる。この結果、導体サイズは従来形バスダクトより縮小が可能となり、導体を被覆絶縁するコストの上昇を吸収でき、製品コストは従来形と同等である。将来需要の増加によりさらに経済的価格になる見通しである。

絶縁導体に関するこの思想は、絶縁材料の技術的進歩と価格が調整され、市場に供することが可能になった。当社では絶縁材料の研究とともに、布設が容易に実施できるバスダクト接続部分、プラグイン接続部分に改良を加え、つぎの特長を生みだした。

#### 2.1 特長

(1) 占有面積が小さく、コンパクトである。従来形バスダクトに比べ、1/2 以下になる。(40~50% に縮小)

(2) 据付時間が大幅に節約。施工は簡単。導体接続ボルトは3母線および4母線とも、ただの1本で接続が完了する。

(3) 導体接続ボルトの点検は、通電中でも外部からチェックが可能。ナットには、回り止め金を設け緩み防止機構付。レンチは、規定締付トルクに調整したものを使用する。

(4) 低インピーダンスで電圧降下が小さい。

従来形バスダクトに比べ、インピーダンスは40~70%に減少する。リアクタンスは20%以下に減少。このため電圧降下特性は著しく改善され、とくに低力率回路における電圧降下が非常に小さくなり、電動機などを多数使用する長距離ルートに偉力を発揮する。

電圧降下値を従来形と比較すると、力率100%のときは、ほぼ同一、力率が70~80%のときは、約1/2に低減、力率30~40%のとき

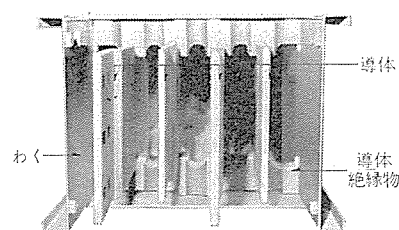


図 2.2 バスダクトの断面  
Cross section of bus duct.

きは約 1/3 になる。

(5) 電氣的騒音がほとんどない

現行バスダクトの騒音、約 55～70 ホンが 20～40 ホンと低減、ビル・ホテル・研究所など静かさを必要とする個所に安心して使用できる。

(6) 超高層ビルにも最適

絶縁導体バスダクトは、導体とダクトがサンドイッチ方式で、一体構造となっており、柔構造建築物に生じる層間変位によく追従し問題を生じない。

(7) 高価なエキスパンションバスダクトは省略可能

各導体の接続部端末は、長溝構造になっており伸縮に対応でき、ダクト自体も±5 mm まで伸縮に追従できる。

(8) 導体の温度上昇は低く、導体絶縁物は長寿命

導体絶縁物には、三菱ダイアホイル（マイラ と同等）を採用しており、実動状態における推定寿命は 50 年以上。

## 2.2 構造

三菱絶縁導体バスダクトは、ダクト・導体・導体絶縁材料および接続部分から構成されている。

(a) ダクト

ダクトは、外力や自重により容易に変形しないよう機械的強度をもたせるため、わく(枠)およびカバーともチャンネル構造にしてある。鋼板が標準である。カバーは必要に応じ耐食アルミ板を採用し、循環磁気回路を断ち、電氣的騒音をとくに押えるときに使用する。

(b) 導体

銅導体、アルミ導体の 2 種類を製作している。銅導体は JISH 3361 に規定された導電率 97% 以上の銅帯を採用し、すずめっきまたは銀めっきを実施する。

アルミ導体は、JISH 4101 に規定された導電率 60% 以上の純アルミを使用し、電食対策をとくに考慮した特殊めっき(Cd 系)を実施している。

(c) 導体絶縁材料

絶縁導体バスダクトは、使用する絶縁材料の優劣で、寿命が左右される。絶縁材料の対照として、耐熱ビニルチューブ、照射ポリエチレンチューブ、各種耐熱性絶縁材料を慎重に選別、テストの結果、ポリエステルフィルム系（通称マイラ）の三菱ダイアホイルを採用した。選定の根拠については後述する。

(d) 導体接続部分用絶縁スペーサ

絶縁台は、三菱商品名“ダイアミックス”を使用している。これは、ポリエステル樹脂にある長さのガラス繊維、炭酸カルシウムなどを配合し

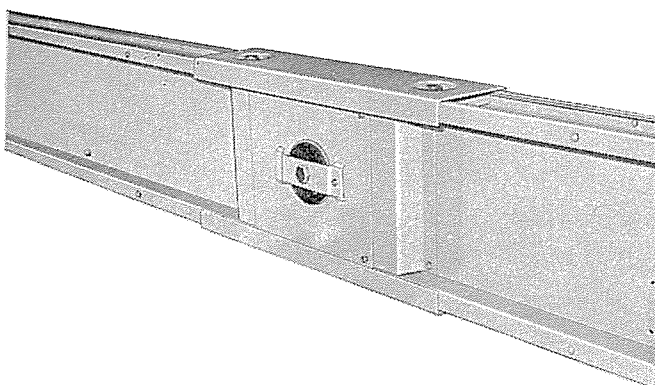


図 2.3 絶縁導体バスダクト接続部分外観  
Appearance of junction of insulated conductors bus duct.

たもので、電氣的、機械的特性、耐熱性にすぐれたものである。

(e) 導体およびダクト接続部分

図 2.4 に示すように母線の両端には、ダイアミックス製モールド絶縁スペーサを組み込み、電源側には絶縁管および大形特殊バルビル坐金付接続ボルト M 12 を設けている。

接続のさいは、バスダクト電源側端部を平行にスライドさせそう入し、規定間隔保持ゲージをあて、接続位置を決める。つぎに接続ボルト頭部側にトルクレンチをあて、規定締付トルク (550 kg-cm) に達し、レンチの首が「カチツ」と曲るまで締付ける。その後、連結カバを上部お

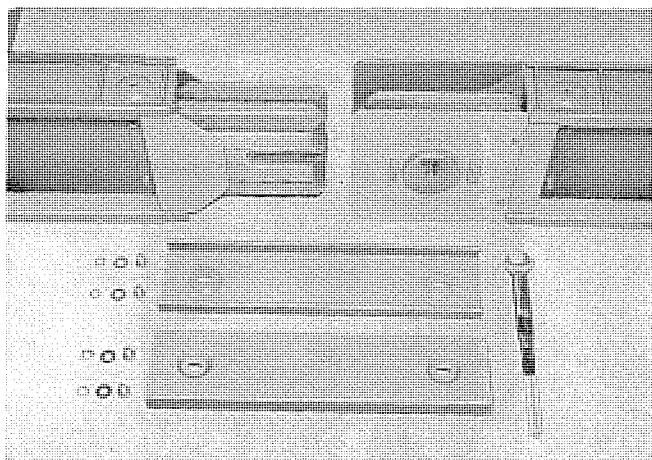


図 2.4 絶縁導体バスダクト接続部分 (接続前)  
Junction of insulated conductors bus duct (before jointing).

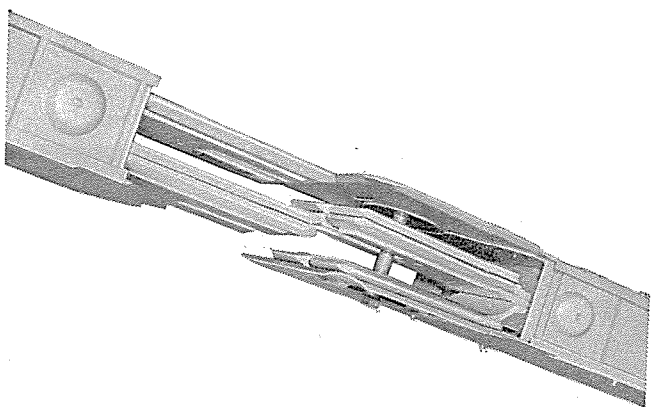


図 2.5 絶縁導体バスダクト接続部分 (そう入直前)  
Junction of insulated conductors bus duct (about to be inserted).

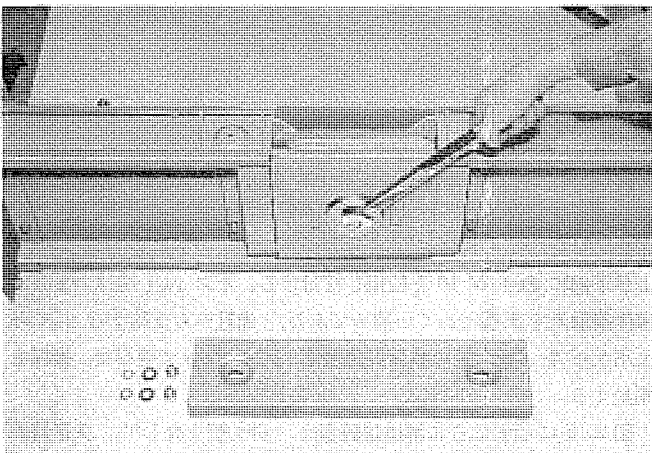


図 2.6 絶縁導体バスダクトの導体接続  
Connection of insulated conductors bus duct

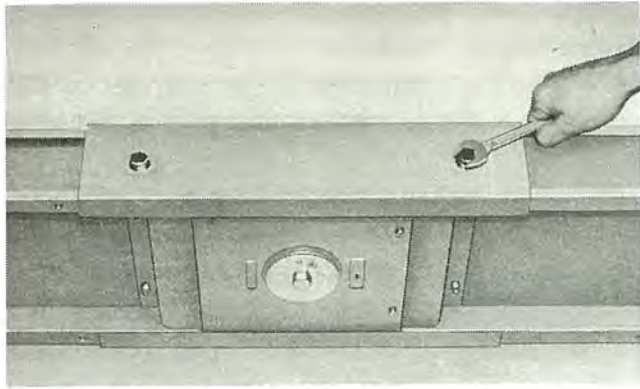


図 2.7 絶縁導体 バスダクト 接続部分 (上部連結 カバ 締付)  
Junction of insulated conductors bus duct (fastening of the upper connecting cover).

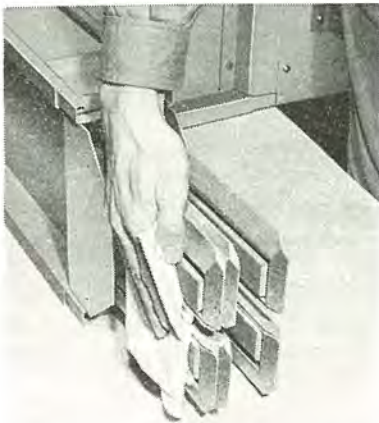


図 2.8 バスダクト接続部分 (接続前のぬぐい清め)  
Junction of bus duct (cleaning before jointing).

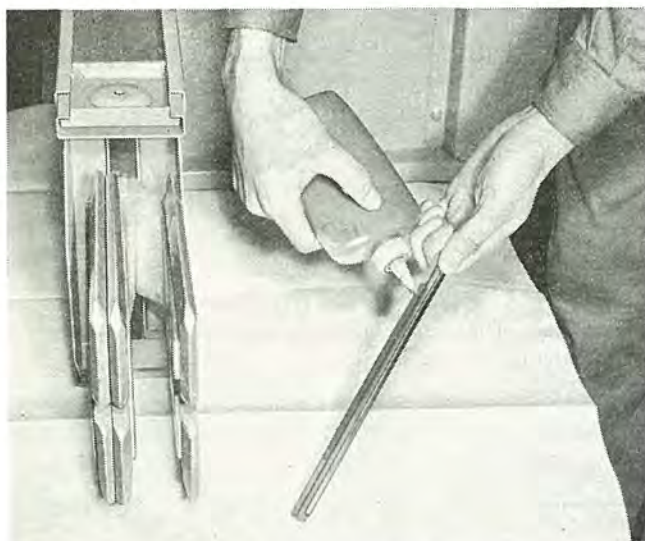


図 2.9 アルミ 導体接触面に対する ジョイント コンパウンド 塗布準備  
Preparation for joint compound application to contact surface of aluminium conductors

よび下部に ボルト M 10 を使用し締付ける。なお アルミ 導体のときは、導体接触面をぼろでぬぐい清めてから、当社から支給する ジョイント コンパウンド をバスダクトの負荷側接触面に薄く ブラシ で塗布後、接続を開始する。

図 2.6 に示すように導体接続部は、押え板を介して、大形特殊 ベルビル 坐金で ボルト 締めを実施するので、接触圧力は均等に、幅広く加圧され、わずか 1 本の締付 ボルト で十分である。

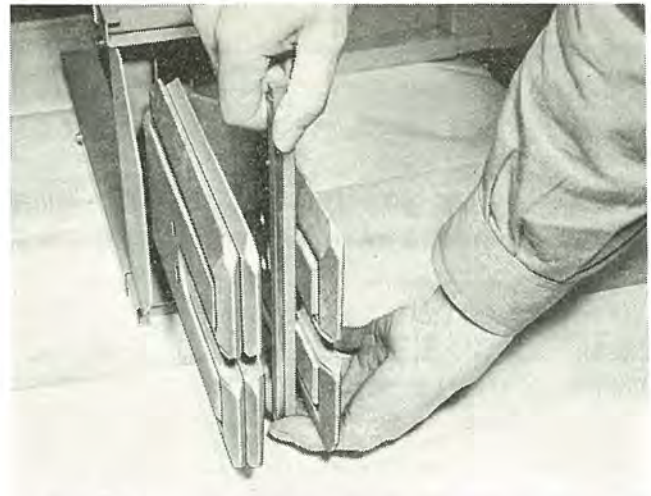


図 2.10 アルミ 導体接触面に対する ジョイント コンパウンド 塗布  
Application of joint compound to contact surface of aluminium conductor.

### 3. 種類および定格

#### 3.1 種類

従来形 バスダクト と同様、屋内形・屋外形があり、建屋内を自由に布設できるよう、各種付属 バスダクト を用意している。

#### 3.2 定格

定格電流 600~2,000 A までの ダクト は、同一寸法とし標準化を実施している。現在、2,500, 3,000, 3,500, 4,000 および 5,000 A を標準扱いしている。

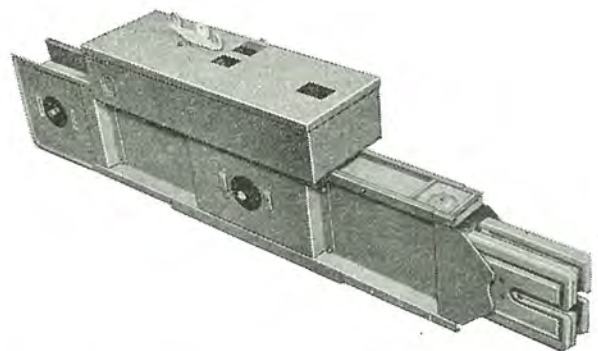


図 3.1 プラグイン 絶縁導体 バスダクト と プラグイン 器具  
Plug-in insulated conductors bus duct and plug-in device.

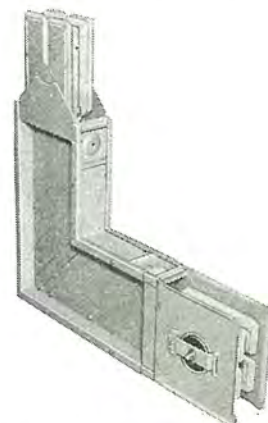


図 3.2 エルボ形 絶縁導体 バスダクト  
Elbow type insulated conductors bus duct.



図 3.3 ティ形絶縁導体バスダクト  
T type insulated conductors bus duct.

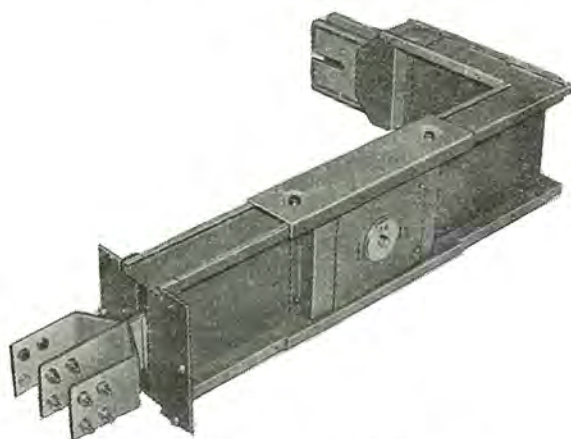
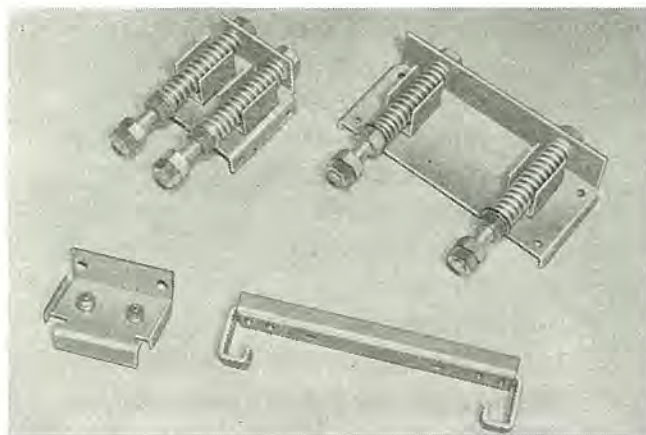


図 3.4 フランジとエルボ形絶縁導体バスダクト  
Flange elbow type insulated conductors bus duct.



上段 垂直形ハンガ 下段 左 懸垂形ハンガ 右 C形ハンガ

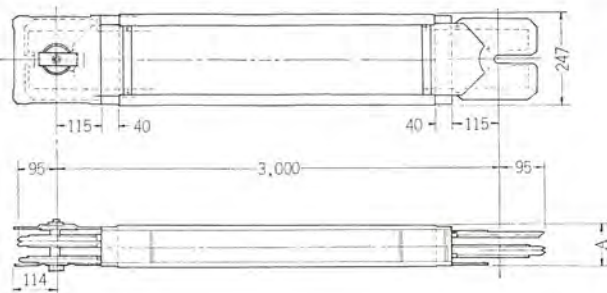
図 3.5 絶縁導体バスダクト用ハンガ  
Hangers for insulated conductors bus duct.

表 3.1 (A) 絶縁導体バスダクト定格一覧  
List of insulated conductors but duct ratings.

| 種 類         | 形 式                | 定格電圧 V | 周波数 Hz | 定 格 電 流 A    | ※定格短絡電流 A |
|-------------|--------------------|--------|--------|--------------|-----------|
| 絶縁バス<br>ダクト | 屋内用<br>屋外用<br>非換気形 | AC 600 | 50/60  | 600 (Alのみ)   | 25,000    |
|             |                    |        |        | 800          | 25,000    |
|             |                    |        |        | 1,000        | 25,000    |
|             |                    |        |        | 1,200        | 50,000    |
|             |                    |        |        | 1,500        | 50,000    |
|             |                    |        |        | 2,000        | 75,000    |
|             |                    |        |        | 2,500        | 75,000    |
|             |                    |        |        | 3,000        | 75,000    |
|             |                    |        |        | 3,500        | 75,000    |
|             |                    |        |        | 4,000        | 100,000   |
|             |                    |        |        | 5,000 (Cuのみ) | 100,000   |

表 3.1 (B) 絶縁導体バスダクト外形寸法  
Outline dimensions of insulated conductors bus duct.

| 定格電流<br>A | 導 体 寸 法 mm |         | ダクト寸法 mm<br>A |       | 概略重量 kg/3m<br>(3導体のとき) |       |
|-----------|------------|---------|---------------|-------|------------------------|-------|
|           | 銅 導 体      | アルミ導体   | 銅 導 体         | アルミ導体 | 銅 導 体                  | アルミ導体 |
| 600       | —          | 6.5×50  | —             | 100   | —                      | 38    |
| 800       | 6.5×50     | 6.5×75  | 100           | 100   | 60                     | 41    |
| 1,000     | 6.5×75     | 6.5×100 | 100           | 100   | 72                     | 45    |
| 1,200     | 6.5×100    | 6.5×125 | 100           | 100   | 90                     | 50    |
| 1,500     | 6.5×125    | 6.5×165 | 100           | 100   | 104                    | 60    |
| 2,000     | 6.5×165    | 10×165  | 100           | 110   | 135                    | —     |



#### 4. 特 性

絶縁導体バスダクトを適用するさい、必要と考えられる特性についてのべる。

##### 4.1 電気的特性

短絡事故のとき、バスダクトに流れる事故電流の検討、電圧降下の

表 4.1 絶縁導体バスダクトの電気的特性  
Electrical characteristics of insulated conductors bus duct.

アルミ導体のとき

| 定格電流<br>A | 導 体<br>寸法 mm | 数/相 | 直流抵抗<br>RDC<br>$\times 10^{-3} \Omega/3m$ | 交流抵抗<br>RAC<br>$\times 10^{-3} \Omega/3m$ | $X \times 10^{-3} \Omega/3m$ |        | $Z \times 10^{-3} \Omega/3m$ |        |
|-----------|--------------|-----|-------------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------|--------|------------------------------|--------|
|           |              |     |                                           |                                           | 60 Hz                        | 50 Hz  | 60 Hz                        | 50 Hz  |
| 600       | 6.5×50       | 1   | 0.263                                     | 0.383                                     | 0.0987                       | 0.0823 | 0.396                        | 0.392  |
| 800       | 6.5×75       | 1   | 0.176                                     | 0.256                                     | 0.0658                       | 0.0550 | 0.264                        | 0.262  |
| 1,000     | 6.5×100      | 1   | 0.131                                     | 0.193                                     | 0.0560                       | 0.0467 | 0.201                        | 0.198  |
| 1,200     | 6.5×125      | 1   | 0.105                                     | 0.155                                     | 0.0459                       | 0.0383 | 0.161                        | 0.1595 |
| 1,500     | 6.5×165      | 1   | 0.082                                     | 0.1225                                    | 0.0362                       | 0.0302 | 0.128                        | 0.126  |
| 2,000     | 6.5×115      | 2   | 0.057                                     | 0.0858                                    | 0.0297                       | 0.0248 | 0.0908                       | 0.088  |
| 2,500     | 6.5×150      | 2   | 0.0438                                    | 0.0658                                    | 0.0240                       | 0.0200 | 0.0702                       | 0.069  |
| 3,000     | 6.5×115      | 3   | 0.0379                                    | 0.0595                                    | 0.0192                       | 0.0160 | 0.0625                       | 0.0616 |
| 3,500     | 6.5×150      | 3   | 0.0292                                    | 0.0457                                    | 0.0145                       | 0.0121 | 0.0479                       | 0.0472 |
| 4,000     | 6.5×165      | 3   | 0.0265                                    | 0.0413                                    | 0.0130                       | 0.0108 | 0.0433                       | 0.0428 |

銅導体のとき

| 定格電流<br>A | 導 体<br>寸法 mm | 数/相 | 直流抵抗<br>RDC<br>$\times 10^{-3} \Omega/3m$ | 交流抵抗<br>RAC<br>$\times 10^{-3} \Omega/3m$ | $X \times 10^{-3} \Omega/3m$ |        | $Z \times 10^{-3} \Omega/3m$ |        |
|-----------|--------------|-----|-------------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------|--------|------------------------------|--------|
|           |              |     |                                           |                                           | 60 Hz                        | 50 Hz  | 60 Hz                        | 50 Hz  |
| 800       | 6.5×50       | 1   | 0.169                                     | 0.221                                     | 0.100                        | 0.833  | 0.242                        | 0.235  |
| 1,000     | 6.5×75       | 1   | 0.1115                                    | 0.1455                                    | 0.0658                       | 0.055  | 0.160                        | 0.156  |
| 1,200     | 6.5×100      | 1   | 0.0843                                    | 0.112                                     | 0.0537                       | 0.0444 | 0.125                        | 0.121  |
| 1,500     | 6.5×125      | 1   | 0.0667                                    | 0.0958                                    | 0.0480                       | 0.040  | 0.107                        | 0.967  |
| 2,000     | 6.5×165      | 1   | 0.0522                                    | 0.0753                                    | 0.0381                       | 0.0318 | 0.0845                       | 0.0817 |
| 2,500     | 6.5×115      | 2   | 0.0363                                    | 0.0552                                    | 0.0299                       | 0.0249 | 0.0627                       | 0.0605 |
| 3,000     | 6.5×125      | 2   | 0.0333                                    | 0.0479                                    | 0.0260                       | 0.0217 | 0.0545                       | 0.0525 |
| 3,500     | 6.5×150      | 2   | 0.0278                                    | 0.0401                                    | 0.0217                       | 0.0181 | 0.0455                       | 0.044  |
| 4,000     | 6.5×115      | 3   | 0.0242                                    | 0.0351                                    | 0.0193                       | 0.0161 | 0.040                        | 0.0386 |
| 5,000     | 6.5×150      | 3   | 0.0185                                    | 0.0271                                    | 0.0139                       | 0.0116 | 0.0305                       | 0.0295 |

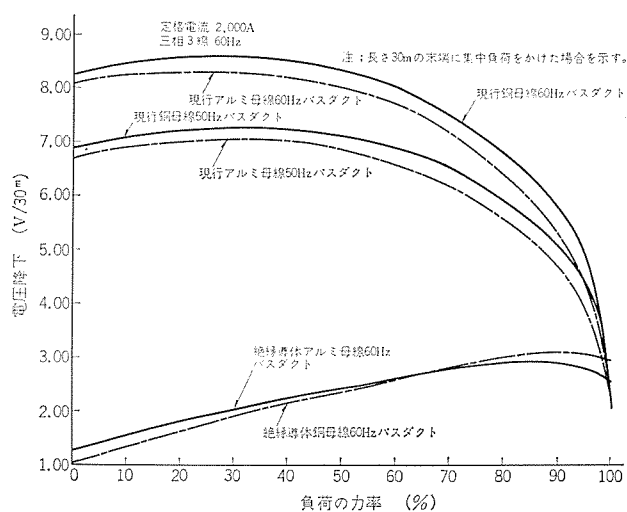
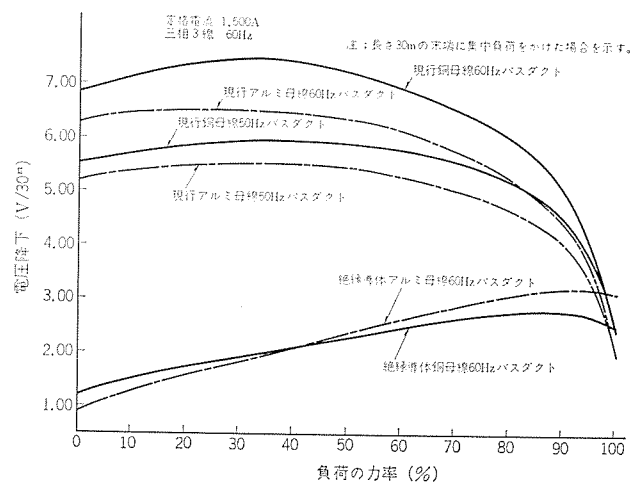
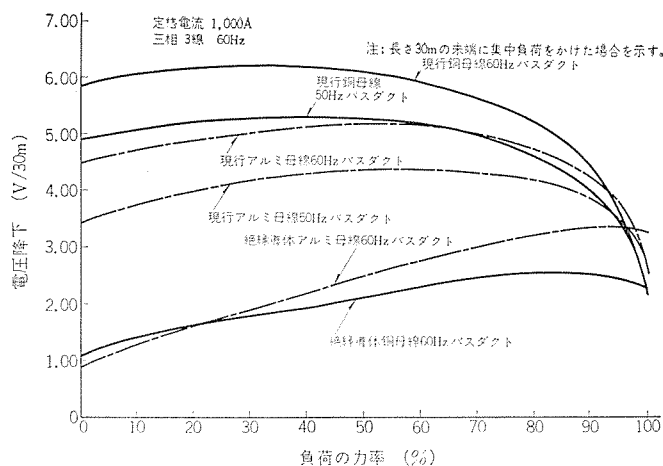


図 4.1 絶縁バスダクト電圧降下特性曲線  
Voltage drop characteristic curves of insulated conductors bus duct.

検討，ワットロスなどを決定する諸データを表 4.1 にまとめた。従来形バスダクトの特性は，三菱電機技報 42 巻 6 号，861 頁に記載しているので参照ねがいたい。

#### 4.2 電圧降下特性

内線規程 (JEAC 8001) で，電圧降下は幹線および分岐回路において，それぞれ標準電圧の 2% 以下とするのを原則としている。配線のこう長が 60 m をこえるばあいは，こう長により 4～6% まで認めている。

バスダクト回路において，バスダクト定格電流に等しい負荷電流を流し

表 4.2 アルミ 導体絶縁 バスダクト 導体温度上昇値  
Temperature rise of conductor in aluminium conductors insulated bus duct.

| 定格電流<br>A | 導体サイズ<br>mm | 導体温度<br>°C | 温度上昇値<br>deg | JIS 8364 規定値<br>deg |
|-----------|-------------|------------|--------------|---------------------|
| 600       | 6×50        | 65         | 25           | 55                  |
| 800       | 6×75        | 68         | 28           | 55                  |
| 1,000     | 6×100       | 70         | 30           | 55                  |
| 1,200     | 6×125       | 72         | 32           | 55                  |
| 1,500     | 6×150       | 82         | 42           | 55                  |
| 2,000     | 10×165      | 85         | 45           | 55                  |
| 3,000     | 2(8×165)    | 90         | 50           | 55                  |

表 4.3 アルミ 導体絶縁 バスダクト 連続許容通電電流  
Continuous allowable current of aluminium conductors insulated bus duct.

| 定格電流 A | 導体温度 95°C (周囲温度 40°C) になる連続通電電流 A |
|--------|-----------------------------------|
| 600    | 850                               |
| 800    | 1,120                             |
| 1,000  | 1,350                             |
| 1,200  | 1,570                             |
| 1,500  | 1,720                             |
| 2,000  | 2,200                             |
| 3,000  | 3,140                             |

表 4.4 アルミ 導体絶縁 バスダクト 電流てい減率  
Current reduction rate of aluminium conductors insulated bus duct.

| 周囲温度 °C | 0   | 10  | 20  | 30  | 40  | 50 | 60 | 70 | $K = \sqrt{\frac{95-\theta}{55}}$<br>K: てい減係数<br>θ: 周囲温度 °C |
|---------|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|-------------------------------------------------------------|
| てい減率 %  | 131 | 124 | 117 | 109 | 100 | 90 | 80 | 68 |                                                             |

たばあい，各負荷の力率に対する電圧降下は図 4.1 のとおりである。

バスダクト回路の電圧降下は，下式で計算する。

$$\text{電圧降下} = I(R \cos \theta + X \sin \theta) \dots \dots \dots (4.1)$$

式中 I: バスダクトに流れる負荷電流 (A)

R: 回路の交流抵抗 (Ω)

X: 回路のリアクタンス (Ω)

$\cos \theta$ : 負荷力率

$\sin \theta$ : 負荷の無効力率

式 (4.1) の電圧降下は相電圧であるので，線間電圧降下を求めるには，三相回路は  $\sqrt{3}$  倍，単相回路では 2 倍する必要がある。

#### 4.3 温度試験

JISC 8364 に準拠し，試験した結果を下記に示す。

上表のように，導体の温度上昇値は，JIS 規定値に対し裕度を相当とっている。これは，絶縁導体バスダクトの長寿命化をねらったものである。

#### 4.4 騒音試験

絶縁導体バスダクトを防音室内に搬入し，騒音測定を実施した。現行バスダクトの騒音，約 55～70 ホンが 20～40 ホンに減少する。絶縁導体バスダクトの騒音は，非常に小さくなり，定格電流 600 A 程度までは防音室内でも，ほとんど聞きとることができない。

#### 4.5 水平，垂直荷重試験

JIS 規格に規定された，水平荷重試験・垂直荷重試験を実施し異常のないことを確認した。つぎに絶縁導体バスダクトを垂直に布設し，

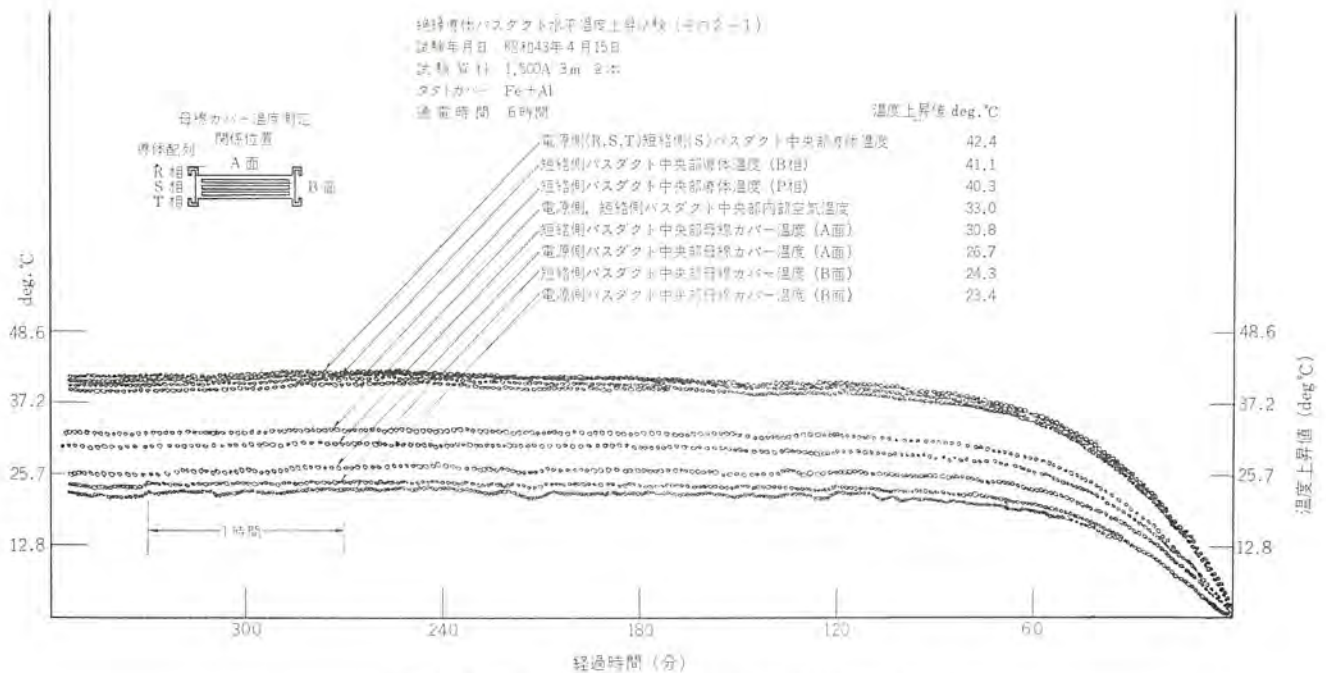


図 4.2 アルミ 導体絶縁 バスダクト 温度上昇試験の一例  
Example of temperature rise test of aluminium conductors insulated bus duct.

表 4.5 絶縁導体バスダクトの電氣的騒音  
Electrical noise of insulated conductors bus duct.

| 測定位置                                          | FL   |      |      |      |      |      | FL     |      |      |      |      |      |
|-----------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|--------|------|------|------|------|------|
|                                               | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 1      | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    |
| 通電電流                                          | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 1      | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    |
| 600A バランス                                     | 31ホン | 30ホン | 31ホン | 31ホン | 31ホン | 31ホン | 30ホン   | 33ホン | 33ホン | 31ホン | 31ホン | 31ホン |
| 1,000A バランス                                   | 37 * | 37 * | 31 * | 31 * | 31 * | 31 * | 30 *   | 35 * | 35 * | 31 * | 31 * | 31 * |
| 1,200A バランス                                   | 44 * | 40 * | 31 * | 31 * | 31 * | 31 * | 47.5 * | 46 * | 46 * | 31 * | 31 * | 31 * |
| 600A バランス<br>R : 450A<br>S : 700A<br>T : 405A | 32 * | 33 * | 31 * | 31 * | 31 * | 31 * | 33 *   | 35 * | 35 * | 31 * | 31 * | 31 * |

- (注) 1. 600 A 程度では、騒音は非常に微小でほとんどない。  
2. 1,000 A をこえるとやや騒音が発生するが、この測定値には供試バスダクト (アルミ導体、三相3線式、定格電流 1,200 A) への引込ケーブルおよび金属管内の騒音がはいっているので少し小さい値になると考える。  
3. 電源周波数が 60 Hz であるから、可聴騒音の振動数は 120 または 240 Hz がほとんどである。  
4. ダクトの機械的振動数は 800 A まで検出不能、1,000 A で 120 Hz、振幅 0.3 μ となる。  
5. 導体材料が銅でもアルミでも騒音の差はほとんどない。  
6. 騒音は電流値によって決定され、負荷率はほとんど影響しない。  
7. 騒音はダクトの構成材料によって変化する。  
カバーが銅板のときは、この測定値よりやや大きくなる。

柔構造方式の超高層ビルの立上り幹線に使用すればいい、地震、風などによる建築物の層間変位に対し問題ないか、強制変形試験を実施した。

層間変位量は、建設省建築研究所 データによると、大地震時で最大 1/200 程度といわれている。本試験では、この値よりも過酷な層間変位 1/150 も確認した。

層間変位 1/300、1/150 をあたえたときも、バスダクト各部に破壊および永久変形を生ぜず、導体接続部の電気抵抗の変化もほとんどなかった。超高層ビルの垂直幹線用として、本バスダクトは非常に適していることがわかる。

#### 4.6 過電流および事故電流に対する耐量

定格電流を通電中のバスダクト導体温度は、JISC 8364 で 95℃ に押えている。この状態は平常時の運転であり、事故電流が流れたと

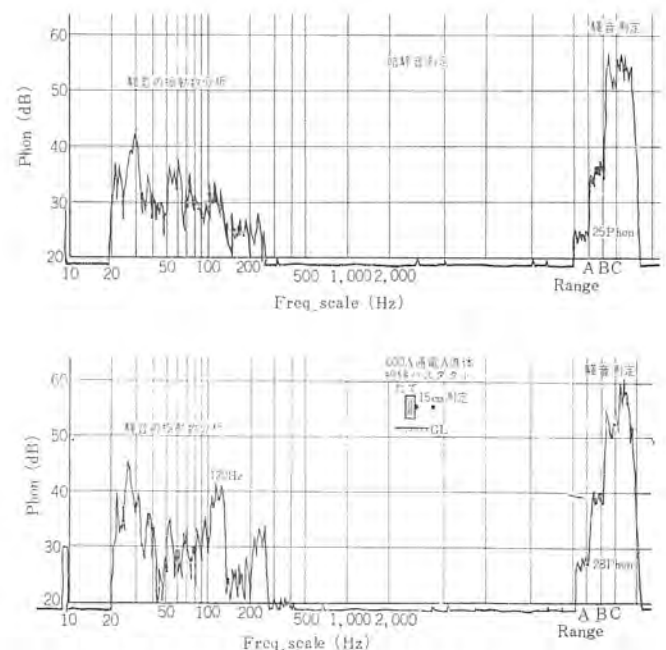


図 4.3 絶縁導体バスダクト電氣的騒音測定 オシロ の一例  
Example of electrical noise measurement oscillogram of insulated conductor bus duct.

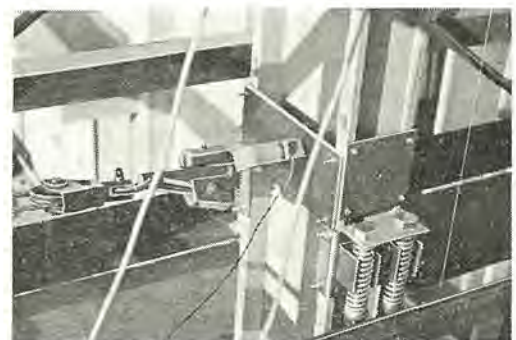
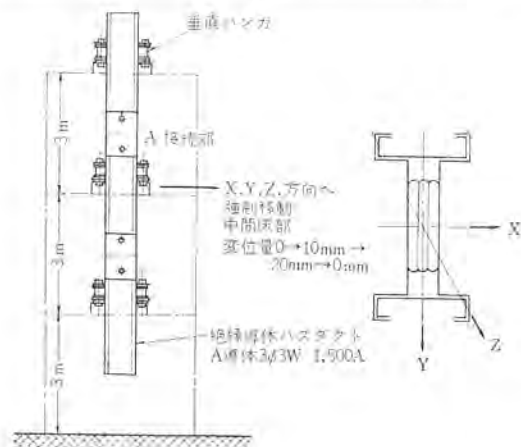


図 4.4 垂直取付状態におけるバスダクト強制変形試験  
Forced deformation test of bus duct in vertical mounting.

表 4.6 垂直取付状態における バスダクト 強制変形試験結果  
Result of forced deformation test of bus duct in vertical mounting.

| 変位方向 | 変位量<br>mm | 変位荷重<br>kg | 変位部分の抵抗値<br>$\times 10^{-6}\Omega$ |
|------|-----------|------------|------------------------------------|
| X    | 0         | 0          | 4.55                               |
| X    | 10        | 24         | 4.65                               |
| X    | 20        | 60         | 4.85                               |
| X'   | 0         | 0          | 4.85                               |
| Y    | 0         | 0          | 4.45                               |
| Y    | 10        | 110        | 4.50                               |
| Y    | 20        | 130        | 4.90                               |
| Y'   | 0         | 0          | 4.70                               |
| Z    | 0         | 0          | 4.50                               |
| Z    | 10        | 45         | 4.60                               |
| Z    | 20        | 95         | 4.60                               |
| Z'   | 10        | 0          | 4.50                               |



き導体温度は急上昇する。

事故電流は、各系統に設備された保護装置（しゃ断器、ヒューズ、リレー等）で速やかにカットされるが、ある時間、事故電流の継続は避けられないので、これに耐えるだけの熱的裕度が必要となる。

#### 検討 1

電源変圧器は、JISC 4301～4305 で、25 倍電流を 2 秒間耐えることが規定されている。これをバスダクトに準用したときの導体温度は表 4.7 からつぎのことが結論づけられる。

① バスダクト 定格電流の 25 倍電流が 2 秒間流れてもなんら支障を生じない。

② スポットネットワーク 方式のように、電源変圧器を複数個パラランしたときは、導体絶縁物および導体に問題を生じるばあいがある。50 倍は OK、75 倍および 100 倍は問題がある。

#### 検討 2

バスダクト 幹線保護に NF を使用し（バスダクト 定格電流 $\times 150\%$  選定）、NF 定格電流の 125% 電流が 2 時間継続したとき（NF の最小引きはずし特性）の導体温度は表 4.7 からつぎのことが結論づけられる。

① 幹線として用いるバスダクトの過電流保護器の定格は、バスダクト 定格電流の 150% を越えない範囲のものを使用することがのぞましい。

（注 1） 内線工事基準：バスダクト 配線 2510 項では、最大 150% になっている。

表 4.7 各種事故電流が 2 秒間流れたばあいの導体温度  
（ホットスタート）

Temperature of conductors when various fault currents flowing in them for 2 seconds (Hot start).

| 定格電流<br>A | 導体サイズ<br>mm       | ホット時の<br>導体温度<br>℃ | 事故電流が 2 秒間流れたばあいの導体温度 ℃ |                    |                    |                    |
|-----------|-------------------|--------------------|-------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|           |                   |                    | 定格電流 $\times 25$        | 定格電流 $\times 50$   | 定格電流 $\times 75$   | 定格電流 $\times 100$  |
| 600       | 6 $\times$ 50     | 65                 | (15,000 A)<br>106       | (30,000 A)<br>228  | (45,000 A)<br>430  | (60,000 A)<br>719  |
| 800       | 6 $\times$ 75     | 68                 | (20,000 A)<br>100       | (40,000 A)<br>197  | (60,000 A)<br>358  | (80,000 A)<br>582  |
| 1,000     | 6 $\times$ 100    | 70                 | (25,000 A)<br>100       | (50,000 A)<br>183  | (75,000 A)<br>324  | (100,000 A)<br>522 |
| 1,200     | 6 $\times$ 125    | 72                 | (30,000 A)<br>98        | (60,000 A)<br>176  | (90,000 A)<br>307  | (120,000 A)<br>489 |
| 1,500     | 6 $\times$ 150    | 82                 | (37,500 A)<br>110       | (75,000 A)<br>194  | (112,500 A)<br>335 | (150,000 A)<br>532 |
| 2,000     | 10 $\times$ 165   | 85                 | (50,000 A)<br>100       | (100,000 A)<br>145 | (150,000 A)<br>219 | (200,000 A)<br>325 |
| 3,000     | 2(8 $\times$ 165) | 90                 | (75,000 A)<br>103       | (150,000 A)<br>141 | (225,000 A)<br>205 | (300,000 A)<br>294 |

表 4.8 NF の最小動作電流値の過負荷が持続したときの導体温度  
（ホットスタート）

Temperature of conductor when over load of minimum working value of NF continued. (Hot start)

| 定格電流<br>A | 導体サイズ<br>mm       | ホット時の<br>導体温度<br>℃ | NF 定格電流<br>A/フレーム | NF 定格 $\times 1.25$<br>A | NF 最小動作電流が<br>2 時間流れたときの<br>導体温度 ℃ |
|-----------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------------|------------------------------------|
| 600       | 6 $\times$ 50     | 65                 | 900/1,000         | 1,122                    | 127                                |
| 800       | 6 $\times$ 75     | 68                 | 1,200/1,200       | 1,500                    | 139                                |
| 1,000     | 6 $\times$ 100    | 70                 | 1,500/1,600       | 1,875                    | 146                                |
| 1,200     | 6 $\times$ 125    | 72                 | 1,800/2,000       | 2,250                    | 153                                |
| 1,500     | 6 $\times$ 150    | 82                 | 2,250/2,500       | 2,820                    | 185                                |
| 2,000     | 10 $\times$ 165   | 85                 | 3,000/3,000       | 3,750                    | 199                                |
| 3,000     | 2(8 $\times$ 165) | 90                 | 4,500/5,000       | 5,630                    | 216                                |

（注 2） 内線規程 JEAC 8001：過電流保護器 150-14 では最大 180% になっている。

#### 検討 3

規格許容温度上昇値（95℃）からみた定格電流の裕度は、表 4.3 に示す。

#### 検討 4

短時間導体許容温度（200℃）からみた許容電流 I-T 曲線（図 4.5）を求める。

### 4.7 導体絶縁材料の特性

絶縁導体 バスダクトは、導体を被覆絶縁し、導体間およびダクトを密着させているので、絶縁被覆が生命となる。バスダクトは使用場所とその目的から恒久的の寿命をもつ電気設備でなければならない。従来この種配線材として使用されている金属管配線、金属ダクト配線の寿命は、いちがいに断定することはできないが、約 20 年前後とみられている。三菱絶縁導体 バスダクトの寿命は、これらの 2 倍以上を基準とした。

この寿命を保持するには、電気的特性・熱的特性・物理的および化学的特性の検討が必要である。これらの特性は、すべて温度が高いと熱劣化を生じ、熱的要因が一般に電気的寿命を決定する。

導体に直接触れる絶縁材料の耐熱性は、表 4.7、4.8 および図

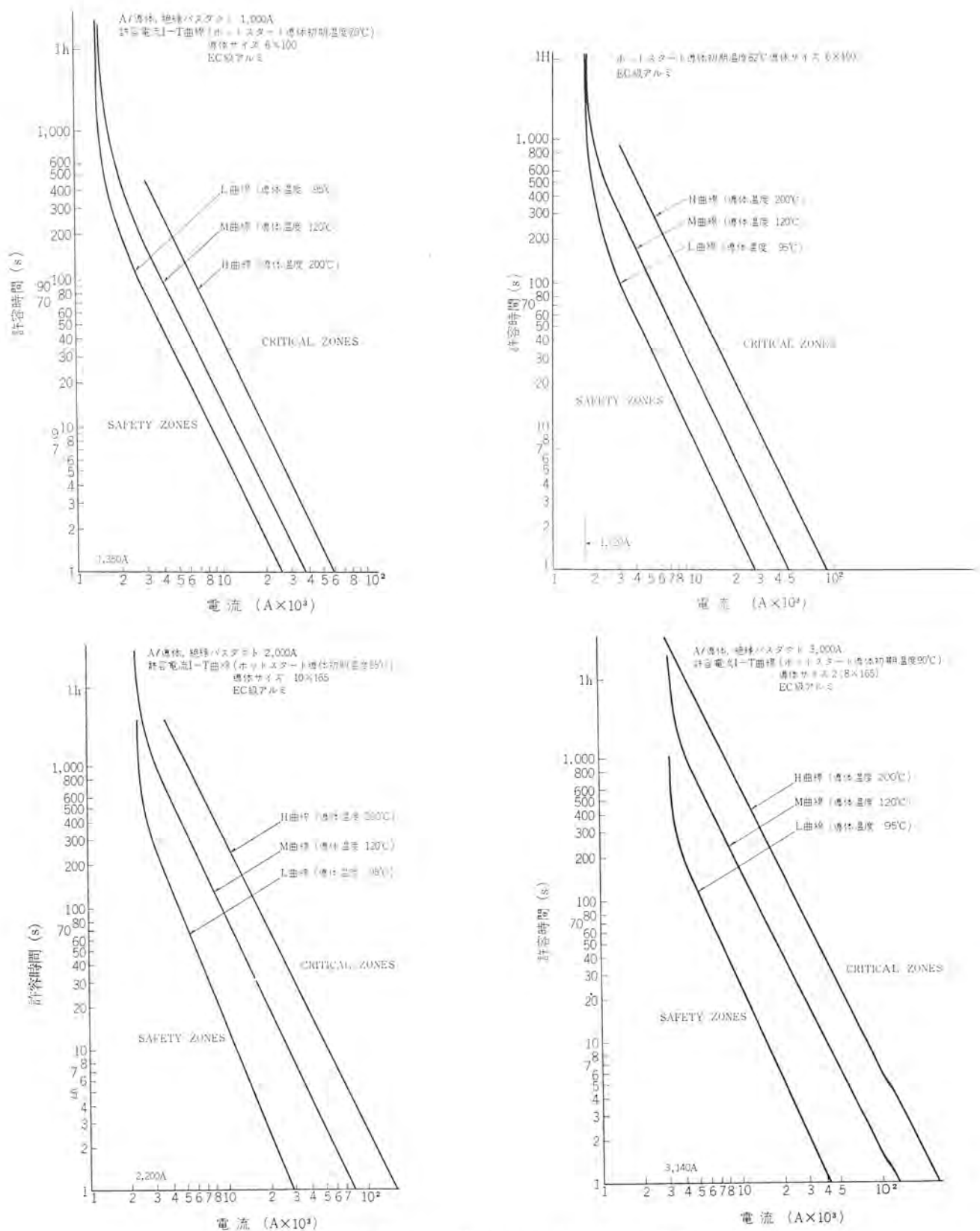


図 4.5 アルミ導体絶縁バスタクト許容電流 I-T 曲線  
Allowable current I-T curves of aluminium conductors insulated bus duct.

4.5 で示したように

● 定格電流の 25 倍および 50 倍程度の事故電流のときは、E 種 (120°C) で十分である。

● 定格電流の 50 倍以上の事故電流が流れるときは、F 種、H 種の採用を考慮する必要がある。

E 種絶縁材料には、架橋 ポリエステル、ポリエチレン、セルローストリアセートなどがあるが、電気機器の絶縁材料としては、マイラと呼ばれてい

る ポリエチレンテレフタレートフィルム (三菱 ダイアホイル もこれに相当) が一番多く使われ、使用実績が長く、データも豊富で信頼性も高い。

当社では、昭和 32 年 6 月以降、誘導電動機の固定子、回転子のスロット 絶縁に使用を開始し、電動工具用モータ、発電機、電磁制御器用コイルなどに使用され、標準モータが E 種に切換って、その使用量は飛躍的に増大している。

導体絶縁材料にはん用ビニル、三菱 ダイアホイル (マイラ) ガラスクロスマイラ

表 4.9 三菱ダイヤホイルの特性  
Characteristics of Mitsubishi Diafoil.

| 項         | 目                       | 単 位                                                | 三菱ダイヤホイル           |
|-----------|-------------------------|----------------------------------------------------|--------------------|
| 電 氣 的 性 質 | 絶 縁 破 壊 電 圧             | V/mil                                              | 4,000              |
|           | 誘 電 率                   | 1 kHz 20°C                                         | 3.1                |
|           | 誘 電 正 接                 | 1 kHz 20°C                                         | 0.005              |
|           | 体 積 抵 抗 率               | Ωcm                                                | 10 <sup>17</sup>   |
| 熱 的 性 質   | 使 用 可 能 温 度 (常 用)       | °C                                                 | -70~+150           |
|           | 融 点                     | °C                                                 | 260                |
|           | 加 熱 収 縮 率               | %, 150°C, 2 時間                                     | 2.0                |
|           | 燃 焼 性                   |                                                    | 難 燃 性              |
| 物 理 的 性 質 | 線 膨 張 係 数               | cm/cm/°C                                           | 3×10 <sup>-5</sup> |
|           | 比 重                     | AT(25°C)                                           | 1.4                |
|           | 引 張 強 さ                 | kg/mm <sup>2</sup>                                 | 20~22              |
|           | 伸 び                     | %                                                  | 70~130             |
| 化 学 的 性 質 | 降 伏 点 応 力               | kg/mm <sup>2</sup>                                 | 11                 |
|           | 降 伏 点 伸 び               | %                                                  | 4~5                |
|           | 吸 水 率                   | %                                                  | 0.22               |
|           | 吸 水 に よ る 膨 潤 率         | %                                                  | 0.06               |
| 物 理 的 性 質 | 水 蒸 気 透 過 率             | g/m <sup>2</sup> /24 H/0.012 mm 厚<br>40°C 50% R. H | 55                 |
|           | 酸 素 透 過 率               | cc/m <sup>2</sup> /hr/atm/0.012 mm 厚               | 6.0                |
|           | 弱 酸, 弱 塩 基              |                                                    | 良 好                |
|           | 濃 塩 基                   |                                                    | 弱 い                |
| 化 学 的 性 質 | 濃 塩 酸                   |                                                    | 良 好                |
|           | 濃 硝 酸, 濃 硫 酸            |                                                    | 弱 い                |
|           | 油, 脂 肪 類                |                                                    | 良 好                |
|           | 有機溶剤, アルコール, 炭化水素       |                                                    | 良 好                |
| 物 理 的 性 質 | ケトン, エステル, 塩素化合物類       |                                                    | おおむね良好             |
|           | フェノール, クレゾール, 塩素化フェノール類 |                                                    | おかされる              |
|           | 防 ばい(微) 性               |                                                    | 良 好                |

表 4.10 各種薄葉絶縁の熱軟化温度  
Heat softening temperature of various thin sheet of insulation.

|                 |       | 熱 軟 化 温 度 °C |       |       |      | 備 考           |
|-----------------|-------|--------------|-------|-------|------|---------------|
|                 |       | 第 1 回        | 第 2 回 | 第 3 回 | 平 均  |               |
| マ イ ラ ー         | A-300 | 255          | 253   | 256   | 254  | V印は平均の計算より省く。 |
|                 | A-500 | 250          | 256   |       |      |               |
| フ ジ タ ッ ク ス     | 0.08  | 224          | 230   | 264 V | 227  |               |
|                 | 0.135 | 218 V        | 247   | 254   | 250  |               |
| ト リ ヤ ホ ー ル     | 0.075 | 175          | 227   |       | 201  |               |
| ポ リ カ ー ボ ネ ー ト | 0.07  | 229          | 234   |       | 232  |               |
| ワ ニ ス ク ロ ス     | 0.25  | 350>         |       |       | 350> |               |

(注) JISC-3203 ホルマール銅線を参照し、せん端を 1/16" φの半球にした棒に 1 kg の荷重を加え、約 1.6°C/分の温度上昇速度で短絡するまでの温度を測定した。

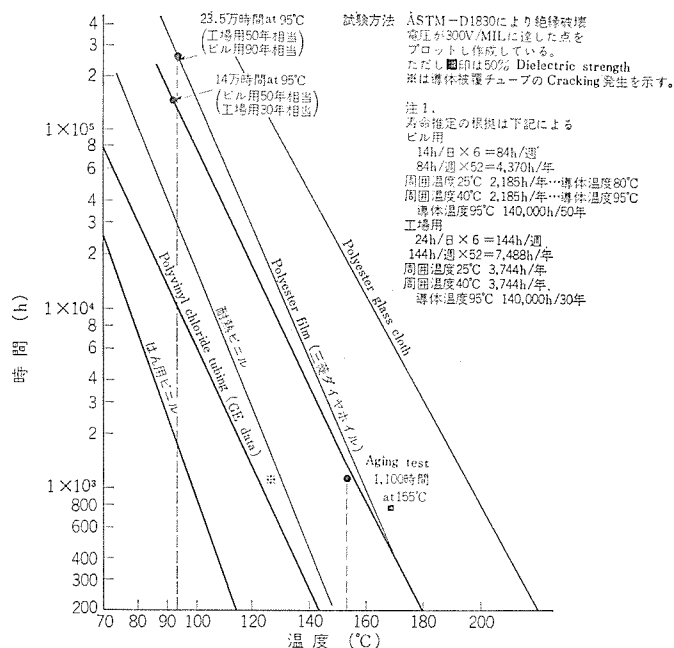


図 4.6 各種導体絶縁材料のサマルエージング特性  
Thermal aging characteristics of various conductor insulating material.

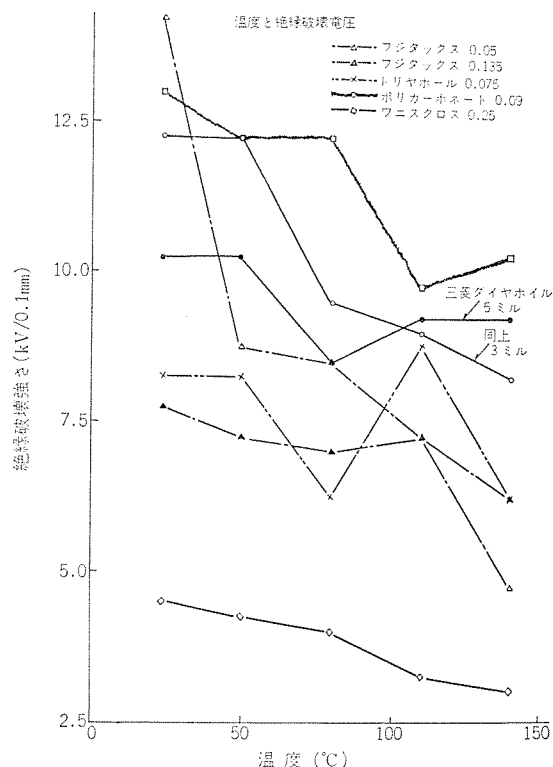


図 4.7 各種薄葉絶縁物の温度と絶縁破壊電圧の関係  
Relation between the temperature of various thin sheet insulation and break down voltage.

を使用したときの、バスダクトの推定寿命を図 4.6 に示す。

## 5. む す び

三菱絶縁導体 バスダクト に関し、布設計画時に必要なデータとして、特長・構造・定格および特性について紹介した。この新形バスダクトの納入実績は、ビル関係を主体に 10 件を越え、布設の容易さ、小形、電氣的騒音のない点で好評をえている。

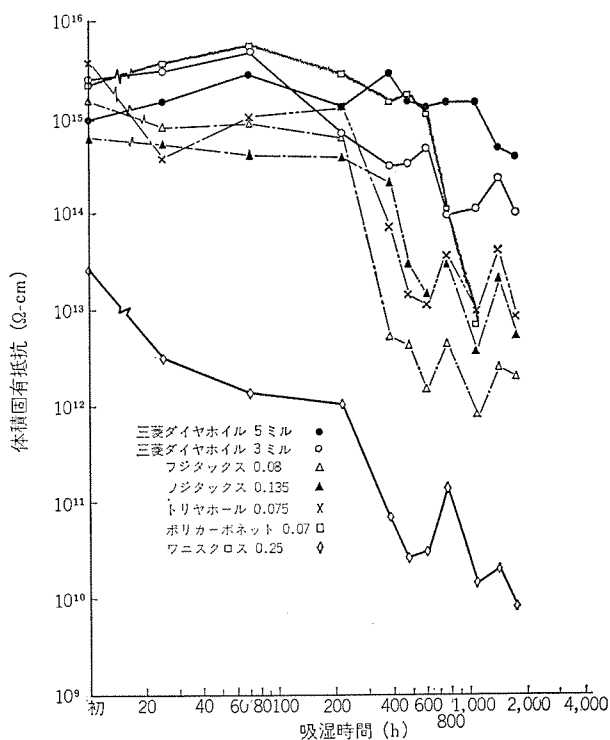


図 4.8 各種薄葉絶縁物の 90 % における体積固有抵抗の変化  
Change of volume resistivity of various thin sheet of insulation at 90 %

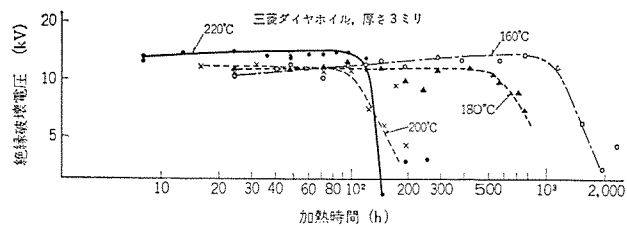


図 4.9 各種温度に対する加熱時間と絶縁破壊電圧の変化  
Change of heating time and insulation breakdown voltage against various temperatures.

価格は、従来 バスダクト と同等、もしくは多少安くなり幾多のすぐれた特長が付加されている。この特長は需要家の要望にマッチしており、今後はこの形式のものに移行する傾向が明確である。

当社では、目下、絶縁導体 バスダクト について強制寿命試験を実施しておりその間、接触抵抗、導体接続ボルトの緩みの有無、両端を固定したときの熱応力の影響などについて、データを取り続けており需要家各位の参考に供したいと考えている。

# スペイン国鉄向け 3,100 kW 直流電気機関車

浅越 泰男\*・平尾 新三\*

## 3,100 kW DC Electric Locomotives for RENFE

Itami Works Yasuo ASAGOE・Shinzo HIRAO

Previously sixteen sets of 2,700 kW type 7900 DC series electric locomotives were delivered by Mitsubishi to the Spanish National Railways(RENFE). They are now operating with high appreciation by the authorities. Following this success, an order was placed for forty sets of 3,100 kW type 8900 series locomotives by the same customer in July 1968 with Mitsubishi and Spanish manufacturers to work in a joint effort. These locomotives are going to run on electrified lines of dual voltages of DC 3,000 V and DC 1,500V, hauling passenger and freight trains with full power. In comparison with the former locomotives, much improvement is introduced on them such as power-up of the locomotive output, increase of the weight as well as the increase in tractive effort, thus resulting in powerful and high speed performance. The traction motor has features of single unit capacity of 1,550 kW, class H insulated armature and two speed reduction gear ratio. The locomotives are expected to play a vital part of increasing the transport capacity of the Spanish National Railways' trunk line.

### 1. ま え が き

スペイン国鉄は動力近代化計画として、直流 3,000 V および直流 1,500 V で電化を推進している。電化区間としてはスペイン北部が 3,000 V で、マドリッド周辺および南部が 1,500 V で電化されているため、幹線の通し運転用としては、複電圧式直流電気機関車が必要で



図 1.1 スペイン国鉄向け 3,100 kW 直流電気機関車  
3,100 kW DC electric locomotive for RENFE.

ある。軌間は 1,668 mm の広軌である。

1968 年 7 月複電圧式直流電気機関車 40 両の正式契約が、スペイン国鉄と当社およびスペイン現地メーカー 2 社との間に行なわれ、1969 年 4 月当社製 2 両の完成車の船積を完了した。

この機関車はわれわれが 1967 年に納入した 7900 形式 16 両と比較して、けん引条件の増大に伴い、出力を 15% 増強し、機関車重量およびけん引力を増強しているほか各種の改良を加えている。

連続定格 3,100 kW (4,220 PS)、4 軸、1 台車 1 電動機式、複電圧式の 8900 形式 40 両直流電気機関車はスペイン国鉄幹線の主力機関車として、輸送力増強の一翼をになって活躍するわけである。

この機関車の完成を機会に、電気品を主体としてその概要を紹介する。図 1.1 は機関車の外観写真である。図 1.2 は機関車の外形図を示す。

### 2. 機関車の性能と特長

#### 2.1 機関車の性能

この機関車の設計・製作・試験は UIC コード (国際鉄道連合規約) が適用されている。スペイン国鉄の仕様書およびその後の打合せによって要求された機関車性能は要約すると次のとおりである。

##### (1) 力 行

(a) 16% 上がりこう配上で、客車 700 t を 60 km/h 以上の速度

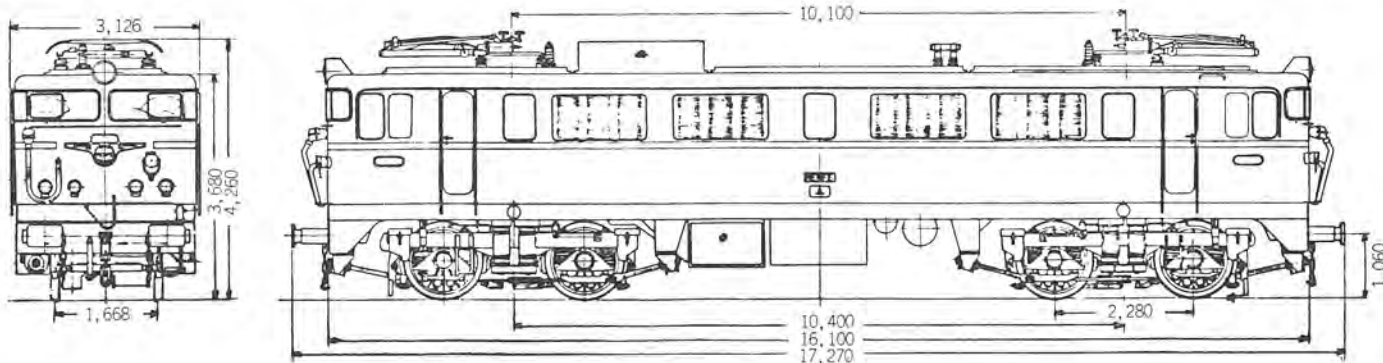


図 1.2 機関車外形図

Outline of locomotive.

でけん引し、全界磁で連続運転できること。

(b) 20% 上がりこう配上で、貨車 800t を 40 km/h 以上の速度でけん引し、全界磁で連続運転できること。

(c) 起動時、最大粘着係数 35% に相当する電流に耐えること。

(2) 電気 ブレーキ

(a) 16% 下りこう配上で、客車 700t をけん引し、約 75 km/h の速度からブレーキをかけ始めて、約 60 km/h の速度に保つこと。

(b) 20% 下りこう配上で、貨車 800t をけん引し、約 50 km/h の速度からブレーキをかけ始めて、約 35/40 km/h の速度に保つこと。

(c) 高速域で弱め界磁を使用すること。

(3) 最高運転速度

客車けん引時 130 km/h、貨車けん引時 80 km/h、機関車単機運転時 140 km/h で運転できること。

この機関車の性能曲線を図 2.1 に、運転性能一覧を表 2.1 に示す。図 2.2 は力行および電気ブレーキ時の ノッチ 曲線である。いずれも客車運転 貨車運転の場合について示してある。これらの図表からもわかるとおり、客先仕様を十分満足しているうえ、余裕ある定格を有し、さらに弱め界磁を使用すれば、力行、ブレーキとも高速運転を行なうことができる。

この機関車の主要要目を表 2.2 に示すが、7900 形式機関車との仕様上の主要変更点は次のとおりである。

| 仕 様            | 8900 形機関車                                      | 7900 形機関車                                      |
|----------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| 機 関 車 重 量 (t)  | 84                                             | 80                                             |
| 軸 重 (t)        | 21                                             | 20                                             |
| 機 関 車 定 格      |                                                |                                                |
| 連 続 定 格 (kW)   | 3,100                                          | 2,700                                          |
| 客車用定格速度 (km/h) | 65.7                                           | 69.1                                           |
| 貨車用定格速度 (km/h) | 40.8                                           | 43                                             |
| 客車用定格引張力 (kg)  | 17,000                                         | 14,000                                         |
| 貨車用定格引張力 (kg)  | 27,200                                         | 22,500                                         |
| 主 電 動 機 定 格    |                                                |                                                |
| 連 続 定 格 (kW)   | 1,550                                          | 1,350                                          |
| 定 格 電 流 (A)    | 1,100/550                                      | 970/485                                        |
| 定 格 電 圧 (V)    | 1,500/3,000                                    | 1,500/3,000                                    |
| 定 格 速 度 (rpm)  | 950                                            | 1,000                                          |
| 主 抵 抗 器        | パーニア 抵抗器含む、ブレーキ用追加抵抗なし                         | パーニア 抵抗器別置、ブレーキ用追加抵抗あり                         |
| 冷 却 風 量, 風 圧   | 200 m <sup>3</sup> /min<br>40 mmAq<br>(2.5 kW) | 165 m <sup>3</sup> /min<br>40 mmAq<br>(1.8 kW) |
| 電 動 発 電 機 定 格  |                                                |                                                |
| 連 続 定 格        | 80 kW, DC 110 V                                | 75 kW, DC 120 V                                |
| 運 転 室 暖 房 器    | 1,200 W×4                                      | 600 W×4                                        |
| 電 気 ブ レ ー キ    | 高速域で弱め界磁使用                                     | 全界磁のみ使用                                        |
| 列 車 暖 房 容 量    | 最大 800 A                                       | 400 A                                          |

## 2.2 特 長

この機関車の代表的特長を列举すると次のとおりである。

(1) 直流 3,000 V/1,500 V 両電圧区間で全出力運転が可能であり、架線電圧に応じて主回路、高圧補助回路は容易に切換えられる。

(2) 連続定格出力 3,100 kW (4,220 PS)、4 動軸の大出力機関車で、1 軸当たり 775 kW、単位重量当たり 37 kW/t である。主電動

機は単機容量 1,550 kW で記録品である。

(3) 力行および抑速電気ブレーキとも最弱界磁 50% として、高速性能を発揮し、台車構造、駆動方式とあいまって安定した走行性能を持っている。

(4) 1 台車 1 電動機式 2 軸駆動方式、軸重移動のない引張棒式台車、パーニア・ステップによる超多段制御などの採用により、粘着性能の向上を計っている。

(5) 客車運転、貨車運転に適した歯車比を選定するため、歯車比切換え機構を内蔵した伝導ギヤユニットの採用により、主電動機の経済設計が達成できた。

(6) 各種の保護検出回路、パイロットモータの制御回路を半導体などの電子装置で無接点化し、さらに安定化制御電源装置としてサイリスタ・インバータを設けている。

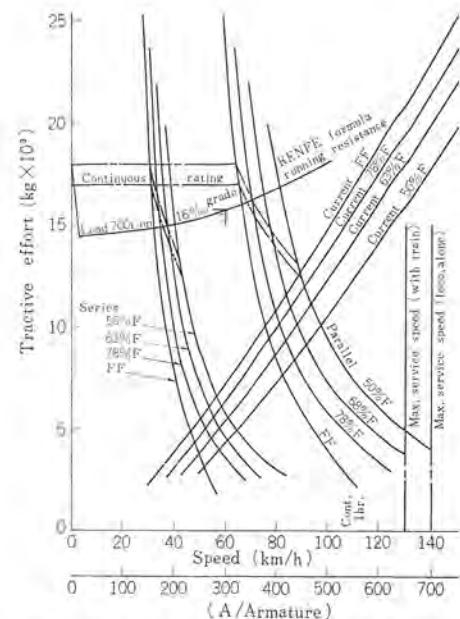


図 2.1 (a) 機関車性能曲線 (客車運転)  
(a) Performance curves of the locomotive.

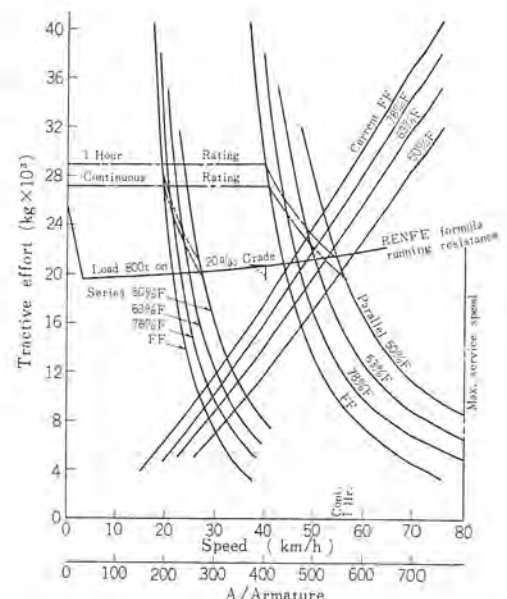


図 2.1 (b) 機関車性能曲線 (貨車運転)  
(b) Performance curves of the locomotive.

表 2.1 機関車運転性能一覧  
List of locomotive performance.

| 運 転  | けん引荷重     | こ う 配 (%) | 客先仕様の<br>のつりあい<br>速度<br>(km/h) | つりあい<br>速<br>(km/h) | 主電動機<br>界 路 | つりあい<br>電<br>(対定格比) |
|------|-----------|-----------|--------------------------------|---------------------|-------------|---------------------|
| 力 行  | 客 車 700 t | 16        | 60                             | 66                  | 全界磁         | 96%                 |
|      | 貨 車 800 t | 20        | 40                             | 43.6                | 全界磁         | 82%                 |
| ブレーキ | 客 車 700 t | 16        | 約 60                           | 約 65                | 全界磁         | 58%                 |
|      | 貨 車 800 t | 20        | 約 40/35                        | 約 40                | 全界磁         | 58%                 |

表 2.2 機関車の主要要目  
Principal data of locomotives.

|             |                                                                                                                                                                                                |           |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 電 気 方 式     | DC 1,500 V および 3,000 V                                                                                                                                                                         |           |
| 軌 間         | 1,668 mm                                                                                                                                                                                       |           |
| 用 途         | 客貨両用                                                                                                                                                                                           |           |
| 運 転 整 備 重 量 | 84 t                                                                                                                                                                                           |           |
| 軸 配 置       | B-B                                                                                                                                                                                            |           |
| 軸 重         | 21 t                                                                                                                                                                                           |           |
| 主 要 寸 法     |                                                                                                                                                                                                |           |
| 長さ×幅×高さ     | 16,100×3,126×4,260 mm                                                                                                                                                                          |           |
| 連結面間長さ      | 17,270 mm                                                                                                                                                                                      |           |
| 台車中心間距離     | 10,400 mm                                                                                                                                                                                      |           |
| 固定軸距離       | 2,280 mm                                                                                                                                                                                       |           |
| 車 輪 径       | 1,250 mm (計算用 1,210 mm)                                                                                                                                                                        |           |
| 機 関 車 性 能   |                                                                                                                                                                                                |           |
| 連 続 定 格     | 旅客列車                                                                                                                                                                                           | 貨物列車      |
| 出 力         | 3,100 kW                                                                                                                                                                                       | 3,100 kW  |
| 速 度         | 65.7 km/h                                                                                                                                                                                      | 40.8 km/h |
| 引 張 力       | 17,000 kg                                                                                                                                                                                      | 27,200 kg |
| 最高運転速度      | 130 km/h                                                                                                                                                                                       | 80 km/h   |
|             | 機関車単機運転時 140 km/h                                                                                                                                                                              |           |
| 歯 車 比       | 3.30                                                                                                                                                                                           | 5.31      |
| 車 台         | 箱形両運転台付                                                                                                                                                                                        |           |
| 車 体         | ゆれまくら、引張棒式                                                                                                                                                                                     |           |
| 駆 動 方 式     | 1 台車 1 電動機 2 軸駆動式 歯車比 2 段切換付                                                                                                                                                                   |           |
| 主 電 動 機     | 直流直巻タンデム形、4 極、丸形、強制通風式、電機子 H 種、界磁 F 種飽和                                                                                                                                                        |           |
| 連 続 定 格     | 1,550 kW, 1,500/3,000 V, 1,100/550 A, 950 rpm                                                                                                                                                  |           |
| 制 御 方 式     | 複電圧、ブリッジ渡り、直並列制御、超多段抵抗制御、弱界磁制御、発電ブレーキ制御、自動進段方式、重連総括制御                                                                                                                                          |           |
| 補 機 方 式     | 低圧直流補機方式                                                                                                                                                                                       |           |
| 補 助 回 転 機   | 1-電動発電機 (80 kW, 1,500/3,000 V, 110 V)<br>2-主電動機用送風機 (20 kW, 110 V)<br>4-主抵抗器用電動送風機 (2.5 kW, 110 V)<br>2-電動真空ポンプ (11/8 kW, 105/107 V)<br>1-電動空気圧縮機 (8 kW, 107 V)<br>1-補助電動空気圧縮機 (0.75 kW, 72 V) |           |
| ブ レ ー キ 方 式 | 列車用真空ブレーキ、機関車用空気ブレーキ、手ブレーキ、抑速用発電ブレーキ                                                                                                                                                           |           |
| 列 車 暖 房     | 電気式 DC 1,500/3,000 V                                                                                                                                                                           |           |

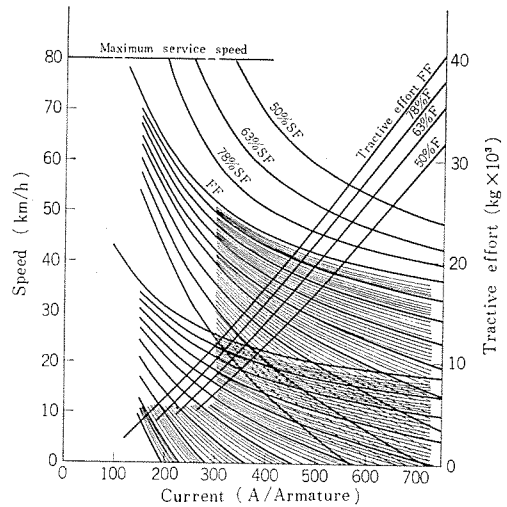


図 2.2 (b) 力行ノッチ曲線 (貨車運転)  
(b) Powering notching curve (Freight service).

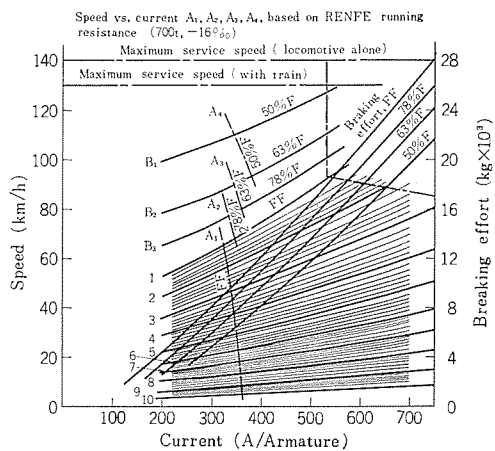


図 2.3 (a) ブレーキノッチ曲線 (客車運転)  
Braking notching curve (Passenger service).

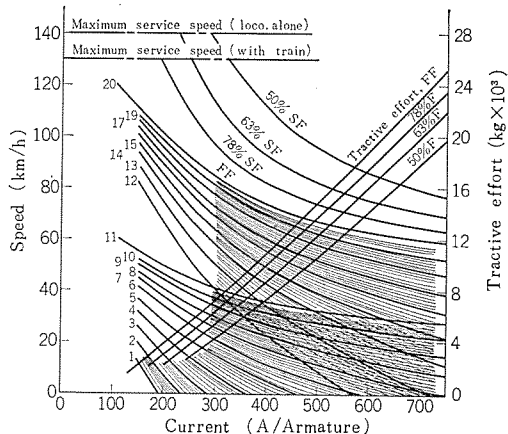


図 2.2 (a) 力行ノッチ曲線 (客車運転)  
(a) Powering notching curve (Passenger service)

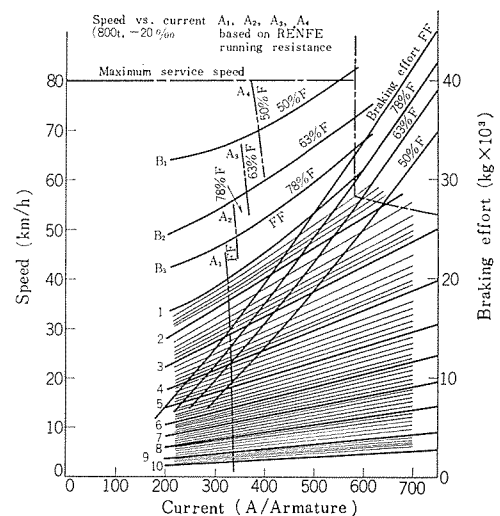


図 2.3 (b) ブレーキノッチ曲線 (貨車運転)  
Braking notching curve (Freight service).

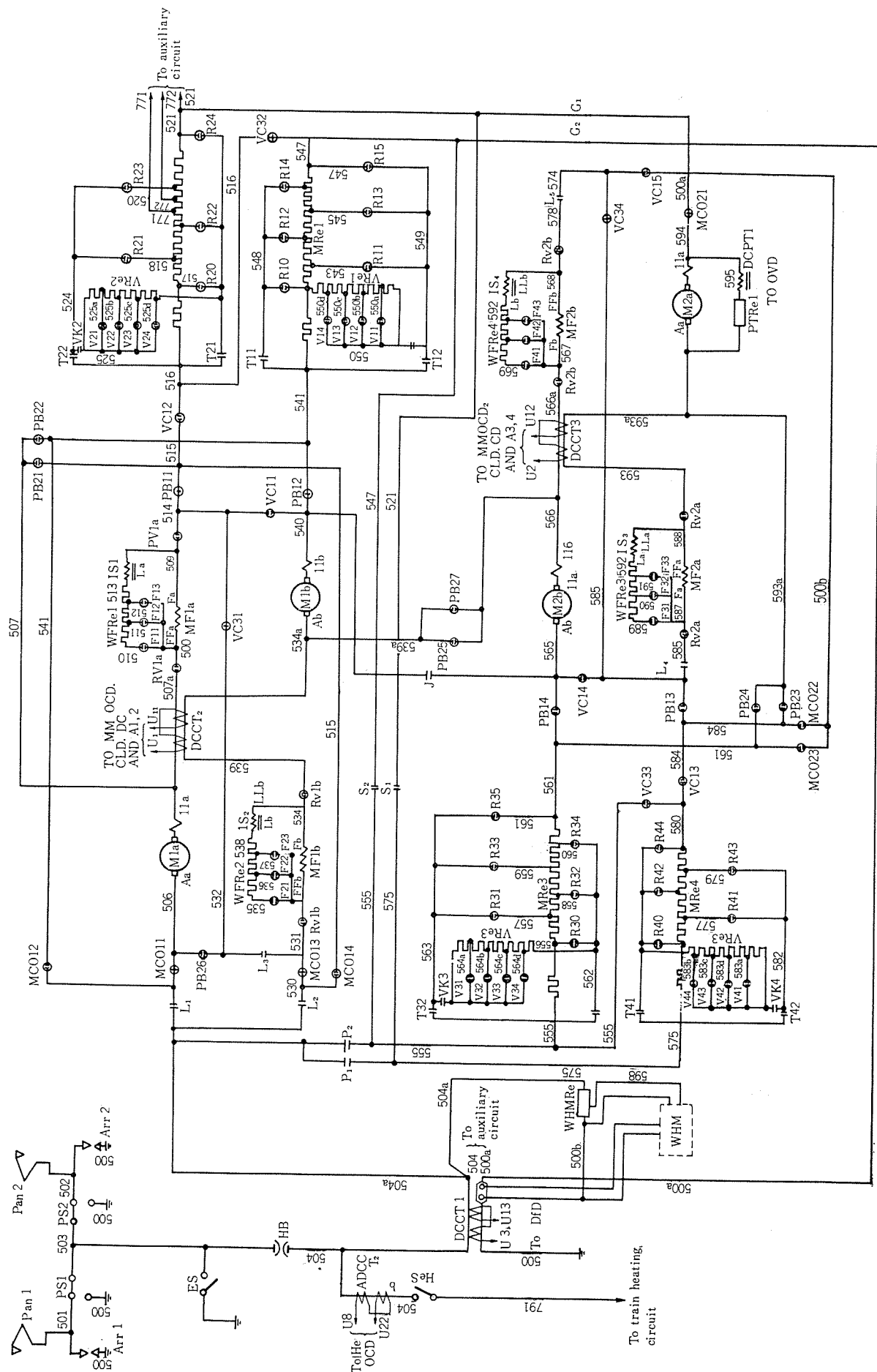


図 3.1 主回路ツナギ  
Power circuit diagram.

- (7) 直流 1,500 V/3,000 V の列車暖房装置を有している。
- (8) 機器は 7900 形式機関車のものとできるだけ互換性を持たせてある。
- (9) 運転室暖房器の容量増大、運転室ファンの設置、側窓にカーテンの追加、コートハンガ追加など運転室の居住性をよくしている。
- (10) 2 重連以上の重連総括制御が可能である。

### 3. 主回路構成

主回路方式は図 3.1 に示すように、架線電圧 1,500 V および 3,000 V 両区間において同一性能で走行できるようにするため、および両電圧区間で直並列制御を行なうために、主電動機は 2 組の電機子および 2 組の界磁を 1 個の軸およびわくに取付けたタンデム形として、1 台の主電動機が機械的には 1 台、電気的には 2 台の電動機として働くようにしてある。

主抵抗器も 4 群に分割して各電動機の電機子回路にそう入してあるので、主電動機群とともに直並列に切換えて制御できる。

各主抵抗器ステップごとにパーニア抵抗器が並列に接続されて制御され、これをくりかえし使用することにより、比較的少ないスイッチ数により力行直列 61 ステップ、並列 49 ステップの超多段制御を行ない、円滑な加速制御ができるとともに、粘着特性の改善を計っている。

直列および並列の最終ステップで 3 段の弱め界磁制御を行ない、高速性能を得る。直並列の渡りはブリッジ渡しとして引張力の変動を少なくしている。表 3.1 は組合せスイッチの動作表である。

図 3.2(a) は直流 1,500 V 区間、(b) は直流 3,000 V 区間の力行用主回路構成を示し、(c) は電気ブレーキ時の主回路構成を示す。

力行/電気ブレーキの切換は空気式制動転換器により行なわれるが、電気ブレーキのときは同一主電動機内の交差(又)界磁方式となる。電気ブレーキの高速域では 3 段の弱め界磁が使用できる。

1,500 V/3,000 V 回路の切換は空気式電圧切換器および単位スイッチにより、無電圧区間の前で切換える。

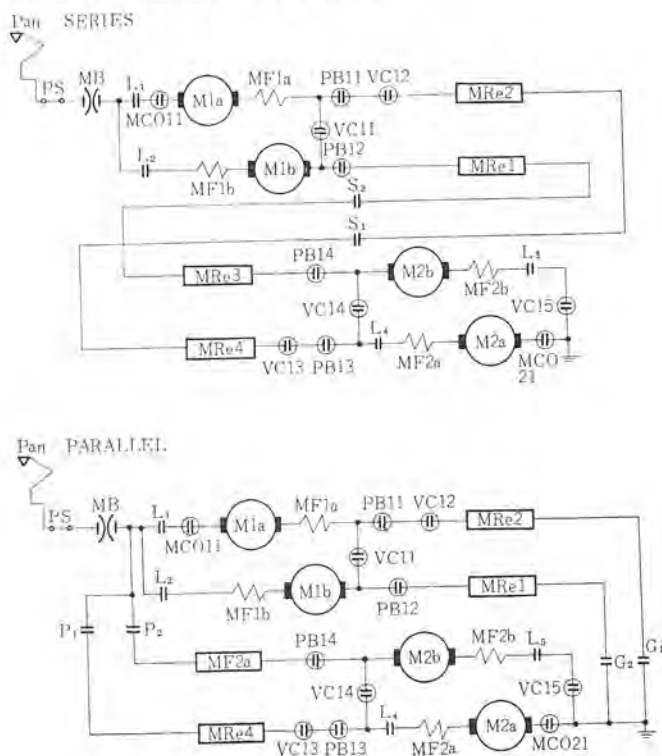


図 3.2 (a) 力行 1,500 V 主回路構成  
(a) Powering connection in 1,500 V line.

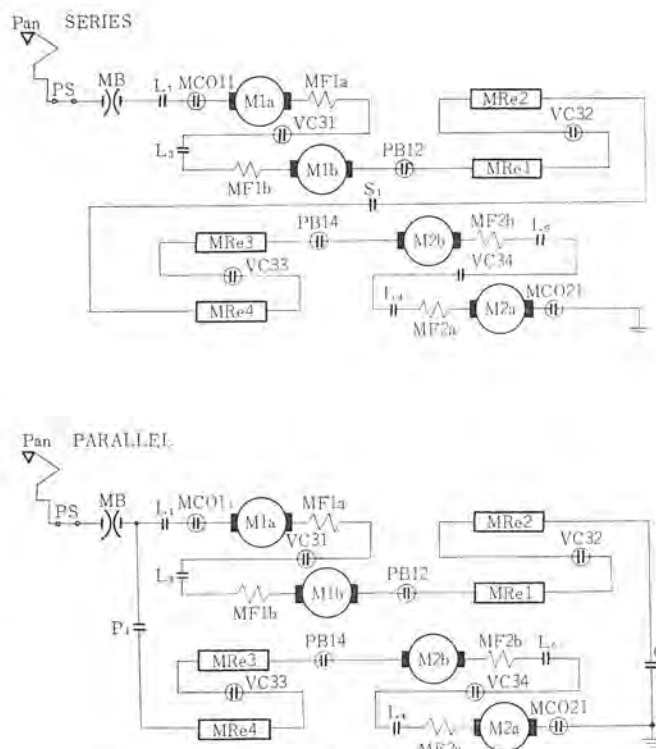


図 3.2 (b) 力行 3,000 V 主回路構成  
(b) Powering connection in 3,000 V line.

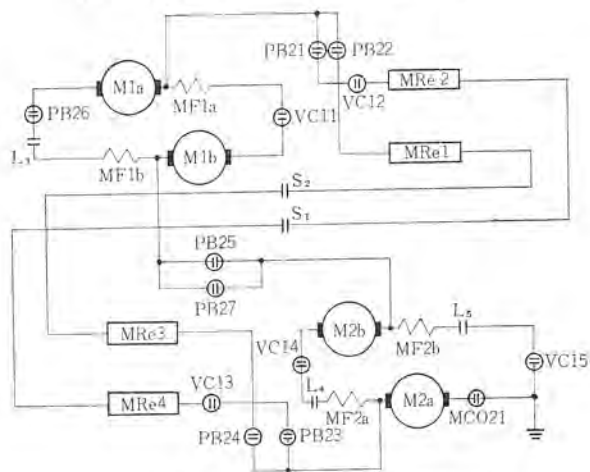


図 3.2 (c) 電気ブレーキ主回路構成  
(c) Dynamic braking connection.

表 3.1 組合せスイッチ動作表  
Combination chart.

| LINE VOLTAGE                   | 3,000V          |                  | 1,500V          |                  | 3,000V AND 1,500V |
|--------------------------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|-------------------|
| CONNECTION                     | SERIES          | PARALLEL         | SERIES          | PARALLEL         | BRAKE             |
| STEP NO.                       | 1-11<br>WF1,2,3 | 12-20<br>WF1,2,3 | 1-11<br>WF1,2,3 | 12-20<br>WF1,2,3 |                   |
| LINE SWITCH                    | L1              |                  |                 |                  |                   |
|                                | L2              |                  |                 |                  |                   |
|                                | L3              |                  |                 |                  |                   |
|                                | L4              |                  |                 |                  |                   |
|                                | L5              |                  |                 |                  |                   |
| COMBINATION SWITCH             | S1              |                  |                 |                  |                   |
|                                | S2              |                  |                 |                  |                   |
| POWER-BRAKE CHANGE-OVER SWITCH | P1              |                  |                 |                  |                   |
|                                | P2              |                  |                 |                  |                   |
| VOLTAGE CHANGE-OVER SWITCH     | V1              |                  |                 |                  |                   |
|                                | V2              |                  |                 |                  |                   |

消費電力を測定するため、積算電力計が取付けられる構造になっている。

#### 4. 主要回転機

##### 4.1 1,550 kW 主電動機

機関車には2台の主電動機が台車装荷され、各主電動機は駆動装置を介して1台車内の2動軸を駆動する。この主電動機は同一電機子軸に二つの電機子を持つタンデム形であり、電機子が3,000 VのH種絶縁であること、過熱保護用温度検出素子が補極に埋め込まれていることなどの特長を持つ大出力の直流直巻電動機である。

主電動機の要目を表4.1に示す。図4.1は実測の特性曲線、図4.2は外観写真である。

主電動機はUICコード610に準拠して設計製作ならびに試験を実施した。試験結果は設計値とよく一致し、満足すべき結果であった。この主電動機の特長とするところは次の諸点である。

(1) 主電動機は3,000 V絶縁が施されている。電機子絶縁はデュボン社の開発した耐熱絶縁材料であるノメックス (NOMEX) およびカプトン (KAPTON) で構成され、さらに外装テープにはガラステープを用い、ワニス処理を施したH種絶縁方式としたため、スロット占積率の改善が達成されたほか、温度上昇限度は160°Cまで許容される。

固定子コイルは無溶剤形エポキシ樹脂を真空圧入含浸したF種絶縁であり、155°Cまで許容され、耐電圧性、耐湿性、耐汚損性などにすぐれている。固定子コイルはさらに鉄心とともにエポキシ樹脂によって一体固化されているので、エポキシ樹脂の電気的、熱的良特性とあいまって、機械的にも強固なものとなっている。

(2) 連続定格出力1,550 kW (片側775 kW) は1極当たりの出力としてもまた4極機としての重量当たりの出力としても、いずれも記録品である。既納MB-3200-A形主電動機は1,350 kWであるが、出力増大のため、電機子コイル、主極コイルおよび補極コイル寸法を大きくしたほか、主極および補極の鉄心断面寸法を変更したが、新絶縁方式の採用などにより、主電動機全体の外形寸法は同一とすることができた。

(3) 補極内に温度検出素子を埋め込んで、補極コイルおよび電機子コイルの異常温度上昇を監視しているが、これが動作すると主回路を開放して主電動機の過熱防止保護を行なう。

(4) ブラシ保持器は固定とし、ロッキングは取付けない方式として機構を簡易化するとともに、運転中の振動および、保守点検時のブラシの位置のずれによるトラブルを防止した。ブラシ点検のため点検窓は大きくしてある。

(5) 伝導ギヤユニットと主電動機ピニオン側の結合部からの油もれ防止対策にはOリングの形状およびシール材の選定などに意を用いた。

##### 4.2 80 kW 電動発電機

電動発電機は架線電圧3,000 V/1,500 V複電圧で運転可能で、直流110 Vに変換して、補助回転機類、制御装置、灯装置および蓄電池充電の電源として使用され、その出力電圧は自動電圧調整器により、架線電圧および負荷の変動に対して±10%の範囲に調整されている。

電動発電機の要目を表4.2に、外形図を図4.3に示す。この電動発電機はUICコード640に準拠して設計製作されたが、複電圧区間で運転されるので、電動機は複整流子構造とし、直並列切換えを行なう。電圧急変時の整流対策、遠心力スイッチによる過速度保護、接地事故などに対しては過電流検出器による保護などを行なっている。

表 4.1 MB-3200-B 形主電動機主要要目  
Main data of type MB-3200-B traction motor.

|                 |                                   |
|-----------------|-----------------------------------|
| 形 名             | MB-3200-B                         |
| 方 式             | 直流直巻補極付<br>丸形、タンデム電機子式            |
| 主 極 数           | 4                                 |
| 通 風 方 式         | 開放保護他方通風式                         |
| 動 力 伝 達 方 式     | 伝導ギヤユニット、WNドライブ                   |
| 装 荷 方 式         | 1台車1電動機式、台車装荷式                    |
| 絶 縁 の 種 類       | 電機子-H種、巻線-F種                      |
| 定 格             | 連 続                               |
| 出 力             | 1,550 kW                          |
| 電 圧             | 3,000/1,500 V                     |
| 電 流             | 550/1,100 A                       |
| 回 転 数           | 950 rpm                           |
| 効 率             | 94%                               |
| 風 量 + 風 圧       | 275 m <sup>3</sup> /min, 150 mmAq |
| 高 速 試 験 回 転 数   | 2,350 rpm                         |
| 最 高 許 容 端 子 電 圧 | 3,600/1,800 V                     |
| 耐 電 圧           | 8,750 V                           |
| 実 測 重 量         | 7,450 kg                          |

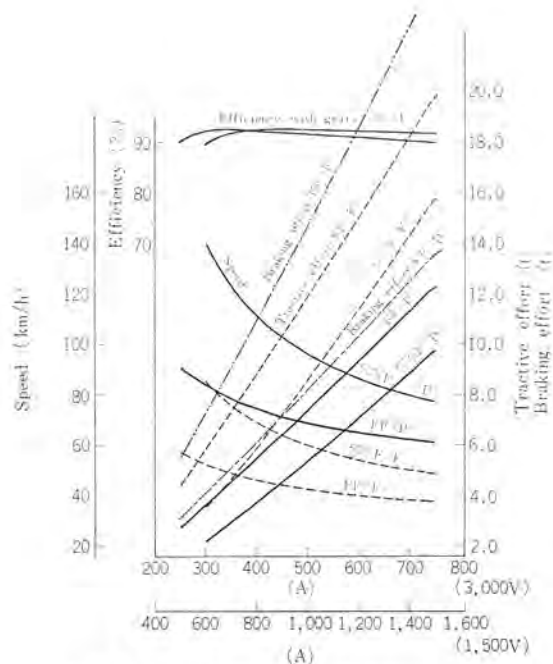


図 4.1 MB-3200-B 形主電動機特性曲線  
Characteristic curves of type MB-3200-B traction motor.



図 4.2 MB-3200-B 形主電動機  
Type MB-3200-B traction motor

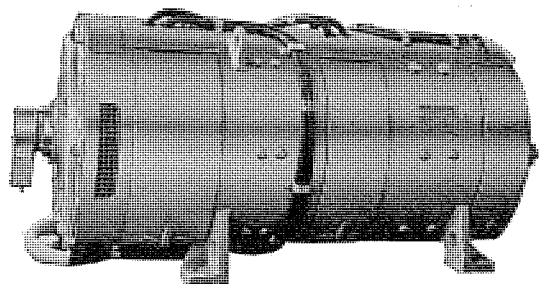


図 4.3 電動発電機外形  
Outer view of motor-generator.

表 4.2 電動発電機要目  
Main data of motor-generator.

|         |  | 電 動 機                  | 発 電 機           |
|---------|--|------------------------|-----------------|
| 形 名     |  | MG-151-AF              |                 |
| 方 式     |  | 補極巻線付複巻<br>複整流子付, 自己冷却 | 補極巻線付分巻<br>自己冷却 |
| 容 量     |  | 入力 105 kW              | 出力 80 kW        |
| 電 圧     |  | DC 3,000/1,500 V       | DC 110 V        |
| 電 流     |  | 35/70 A                | 730 A           |
| 極 数     |  | 4                      | 4               |
| 回 転 数   |  | 1,500 rpm              |                 |
| 絶 縁     |  | B 種                    |                 |
| 定 格     |  | 連 続                    |                 |
| 形 式     |  | 開放保護自己通風形              |                 |
| 実 測 重 量 |  | 2,325 kg               |                 |

表 4.3 電動送風機要目  
Main data of motor driven blowers.

|              |     | 主電動機用電動送風機     | 主抵抗器用電動送風機    |
|--------------|-----|----------------|---------------|
| 形 名          |     | A-330-A=KS-620 | A-331-B=FP-65 |
| 電 出 力 kW     | 形 式 | 直流直巻           | 直流直巻          |
| 電 圧 V        |     | 20             | 2.5           |
| 電 流 A        |     | DC 110         | DC 110        |
| 回 転 数 rpm    |     | 230            | 35            |
| 絶 縁 種        |     | 1,700          | 1,950         |
|              |     | F 種            | F 種           |
| 送 風 量 m³/min | 形 式 | シロッコ           | プロペラ          |
| 静 圧 mmAq     |     | 180            | 40            |
|              |     | 260            | 200           |

表 4.4 電動真空ポンプ要目  
Main data of motor driven exhausters.

|             |     | 連続運転電動真空ポンプ | 間欠運転電動真空ポンプ |
|-------------|-----|-------------|-------------|
| 形 名         |     | SK-H-200 M  | SK-H-180 L  |
| 電 出 力 kW    | 形 式 | 直流直巻        | 直流直巻        |
| 電 圧 V       |     | 8/11        | 11          |
| 電 流 A       |     | DC 107/105  | DC 105      |
| 回 転 数 rpm   |     | 90/125      | 125         |
| 極 数         |     | 1,000/1,350 | 1,350       |
| メ ー カ ー     |     | 4           | 4           |
|             |     | CENEMESA    | CENEMESA    |
| 形 名         |     | VC 3        | VC 3        |
| 吐 出 量 l/min |     | 5,800/9,830 | 9,830       |
| 真 空 度 mmHg  |     | 550         | 550         |
| 回 転 数 rpm   |     | 1,000/1,350 | 1,350       |
| メ ー カ ー     |     | DIMETAL     | DIMETAL     |

表 4.5 電動空気圧縮機要目  
Main data of motor driven air compressors.

|              |     | 電 動 空 気 圧 縮 機 | 補 助 空 気 圧 縮 機 |
|--------------|-----|---------------|---------------|
| 形 名          |     | SK-H-180 L    | MCR-711-B     |
| 電 出 力 kW     | 形 式 | 直流直巻          | 直流直巻          |
| 電 圧 V        |     | 8             | 0.75          |
| 電 流 A        |     | DC 107        | DC 72         |
| 回 転 数 rpm    |     | 90            | 14            |
| 極 数          |     | 1,250         | 2,500         |
| メ ー カ ー      |     | 4             | 2             |
|              |     | CENEMESA      | CENEMESA      |
| 形 名          |     | 241 VB        |               |
| 吐 出 量 l/min  |     | 870           | 90            |
| 空 気 圧 kg/cm² |     | 7             | 7             |
| 回 転 数 rpm    |     | 1,250         | 2,500         |
| メ ー カ ー      |     | DIMETAL       | DIMETAL       |

る。電動発電機の起動方式は時限式3段抵抗制御である。

#### 4.3 電動送風機

電動送風機には電動発電機から電源をとる主電動機用電動送風機2台および主抵抗器の電圧降下を利用して駆動する主抵抗器用電動送風機4台がある。主抵抗器の容量増大のため、主抵抗器用送風機の出力を大きくして冷却風量を増加した。

表4.3はその仕様である。

試験結果は風量-静圧特性は設計値とよく一致した。温度上昇は十分余裕がある。

#### 4.4 電動真空ポンプ

電動真空ポンプは連続運転用および間欠運転用の2台ある。いずれも電動発電機を電源としているが、電動発電機が故障した場合には、連続運転用真空ポンプおよび次に述べる電動空気圧縮機は蓄電池より運転することができる。表4.4は電動真空ポンプの仕様である。列車用真空ブレーキ源として使用される。

#### 4.5 電動空気圧縮機

電動空気圧縮機は機関車用ブレーキおよび制御用圧縮空気源として使用される。補助空気圧縮機は機関車起動時の制御空気圧源として設けられている。表4.5はその仕様を示す。

### 5. 制 御 装 置

#### 5.1 制御方式

(1) 主幹制御器は力行用として構内運転に使用される1~4ノッチと直列、並列ノッチの7位置および電気ブレーキ用として進め、保ちおよび戻しの3位置がある。さらに、3段の弱界磁位置がある。

(2) 限流値制御による自動進段方式を採用しており、限流値はけん引条件に応じて力行用および抑速電気ブレーキ用とも、限流値調整器により任意に選択できる。

(3) 複架線電圧に応じて主回路および高圧補助回路を直並列に切替えるが、これは主幹制御器をノッチオフ後電圧切換操作スイッチを操作し、各回路ごとに電磁空気式電圧切換器を転換する。

(4) 歯車比切換えは機関車停止後、操作スイッチにより電磁空気式に切換える。表示ランプにより切換え状態が判別できる。

(5) 主電動機開放はパイロットモータ駆動の組合せ軸により行ない、運転室より操作可能である。

(6) 高速度しゃ断器、補助回転機、運転室暖房器、灯装置などは運転台のスイッチ箱により行なわれる。

(7) 各回路の過電流は各種過電流検出装置で検出して高速度しゃ断器をトリップし、運転台にランプ表示する。低圧補助電動機はNFブレーカにより保護される。電気ブレーキ時の主電動機の過電圧は直流変圧器を介して検出してブザーで警報する。

(8) 機関車の過速保護は伝導ギヤユニット組みの速度発電機で検出して、主回路の断流器を開放する。車輪の空転滑走は速度発電機で検出して、自動ノッチ戻しおよび自動砂まきをする。電動発電機の過速保護は軸端の遠心力スイッチにより検出し、断流器を開放する。

(9) 主電動機および主抵抗器には温度検出器を設けて過熱保護を行ない、検出器が動作すると主回路の断流器を開放する。

(10) その他、異電圧区間冒進保護、歯車切換装置の確認保護、デッドマン装置などの安全装置が設けられている。

(11) 高速度しゃ断器、パンタグラフ、避雷器、計器類と蓄電池はスペイン製品を使用し、その他主要機器は当社製で構成してある。

## 5.2 制御装置

### 5.2.1 主制御器箱

主制御器は主抵抗器カム軸、パーニアカム軸および組合せカム軸より構成され、前2者は第1主制御器箱の下段と上段に収納され、後者は第2主制御器の下段に収納されている。各カム軸はそれぞれ別個のパイロットモータで駆動され、サイリスタを用いた無接点装置で制御される。第2主制御器箱の上段には弱め界磁抵抗器、各種電磁接触器、自動電圧調整器などが取付けられている。カムスイッチの容量はDC 3,000 V, 550 A に増大した。

図 5.1 は第1主制御器箱、図 5.2 は第2主制御器箱の外形を示す。

### 5.2.2 機器わく

第1機器わくには断流器、パーニアおよび組合せ単位スイッチが取付けられている。第2機器わくには転換器類および高圧補助回路用単位スイッチを取付けている。図 5.3 は第1機器わくである。

### 5.2.3 主抵抗器箱

主抵抗器箱には主抵抗器およびパーニア抵抗器をおさめ、4台の電動送風機により、おのおの 200 m<sup>3</sup>/min の強制通風冷却を行なう。抵抗エレメントは熱放散のよい特殊形状にして表面積を広くし、冷却効果をよくしている。力行用、電気ブレーキ用とも抵抗値はまったく同一であり、高速域ではいずれも弱め界磁制御を行なっている。したがって、ブレーキ用追加抵抗は省略できるため、主抵抗器容量は増大したが、かえって軽量化に成功した。

主抵抗器の排風温度を白金温度検出器で検出し、抵抗器の過熱保護を行なっている。

### 5.2.4 制御箱

第1制御箱内には主としてNFブレーカおよび継電器を収納し、第2制御箱内には主として無接点検出装置のトレイを収納してある。図 5.4 は第2制御箱の外形を示す。

### 5.2.5 サイリスタインバータ

SSI 80-5 形新形サイリスタインバータは小形軽量、信頼性の向上および効率の改善などを行なうためにとくに設計されたもので、同一容量の既納品と比較してやく半分の外形寸法になり、重量も 2/3 となった。入力電圧 DC 60~110 V のとき出力電圧は 100 V ± 10% の範囲に安定化される。出力は AC 100 V が 1 kVA で、DC 100 V が

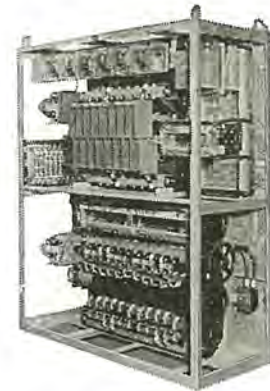


図 5.1 第一主制御器箱  
Main controller box No. 1

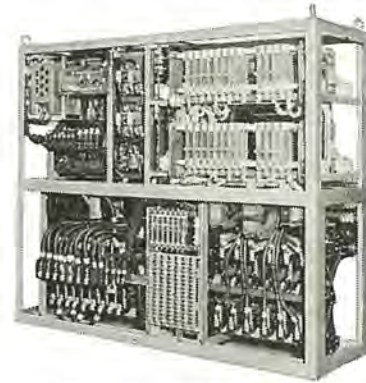


図 5.2 第二主制御器箱  
Main controller box No. 2



図 5.3 第一機器わく  
Control block No. 1.



図 5.4 第二制御箱  
Control cabinet No. 2.

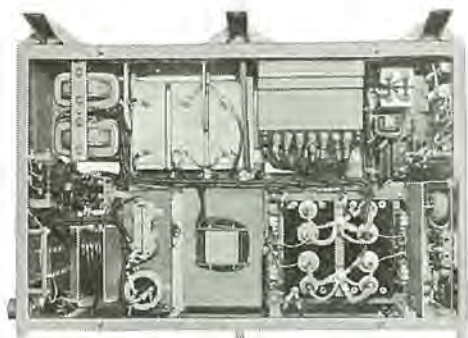


図 5.5 サイリスタインバータ  
Interior view of thyristor inverter.

350 W である。

図 5.5 はサイリスタインバータの正面カバーをはずした写真である。

## 6. 台車および駆動装置

### 6.1 台車

台車は炭素鋼板の溶接構造で、おのおの二つの側はり、横はり、端はりおよび数個のブラケットより構成されているが、1台車1電動機式として設計された。主電動機を装荷した台車の外形を図 6.1 に示す。この台車の特長は次のとおりである。

- (1) 1台車1電動機式で1台車内の2動軸は歯車装置で連結されているので、粘着特性がよい。
- (2) 低引張棒方式を採用して粘着特性を改善した。
- (3) だ行防止装置を設置したので高速運転で安定性が大きく、さらに軽量設計となっている。
- (4) 砂箱容量の増大により、こう配区間における砂まき起動に便利になった。
- (5) 車軸端の接地装置は容量を増大した。

### 6.2 駆動装置

主電動機の発生する引張力は2段変速の伝導ギヤユニット、2個のWNギヤカップリングおよび2台の一段減速ギヤユニットによって1台車内の2動軸を駆動する1台車1電動機2軸駆動式である。

この駆動装置は次のような特長を持っている。

- (1) 客車用歯車比3.3、貨車用歯車比5.31と運転用途によって最適値を選定できるので、主電動機を小形軽量化できるほか、速度制御範囲を広くすることができる。
- (2) 客車、貨車運転に必要な要求引張力を主電動機は無理なく発揮できる。
- (3) 1台車内の軸重移動を理論上零とすることができるので粘



図 6.2 WN-90-AF 形 減速歯車装置  
Type WN-90-AF reduction gear unit.



図 6.1 台車および駆動装置  
Bogie with driving gears.

着特性が改善される。

(4) 伝導ギヤユニットは強制潤滑されるが、給油管を可とう(撓)性にして給油管の耐振性を増した。この油圧は運転台の油圧計で監視できる。主電動機との結合部を油密にするため、伝導ギヤユニットの剛性を大きくした。

(5) WNカップリングは容量および伝達トルクとも記録品である。減速ギヤユニットは歯車比20:66でモジュールは13である。

図 6.2 は減速ギヤユニットの外形である。

## 7. ブレーキ装置

### 7.1 一般

ブレーキ装置は列車用の真空ブレーキと機関車用の空気ブレーキの併用方式であって、抑速用電気ブレーキおよび空気式デッドマン装置と連動されている。通常のブレーキ操作は真空ブレーキ弁の操作で列車用真空ブレーキと機関車用空気ブレーキを制御できる。

真空ポンプおよび空気圧縮機はいずれも電動発電機を電源とする電動である。ブレーキ装置はいずれもスペインのDIMETAL社製である。

### 7.2 真空ブレーキ

真空ブレーキ弁には五つの位置、“開放”、“ゆるめ”、“運転”、“中立”および“非常”位置がある。真空ブレーキ弁で砂まき操作を行なうことができる。“ゆるめ”位置では2台の真空ポンプが高速回転する。

### 7.3 空気ブレーキ

空気ブレーキは機関車だけに作用する。空気ブレーキ弁には“ゆるめ”、“重り”および“ブレーキ”の3位置がある。開放スイッチにより空気ブレーキを開放することができる。

### 7.4 電気ブレーキとの連動

抑速電気ブレーキをかけるときは、機関車の動輪のスキッドをさけるため、空気ブレーキは自動的に開放される。ただし、非常ブレーキの場合は電気ブレーキは開放され、最大真空・空気ブレーキがかかる。

### 7.5 デッドマン装置

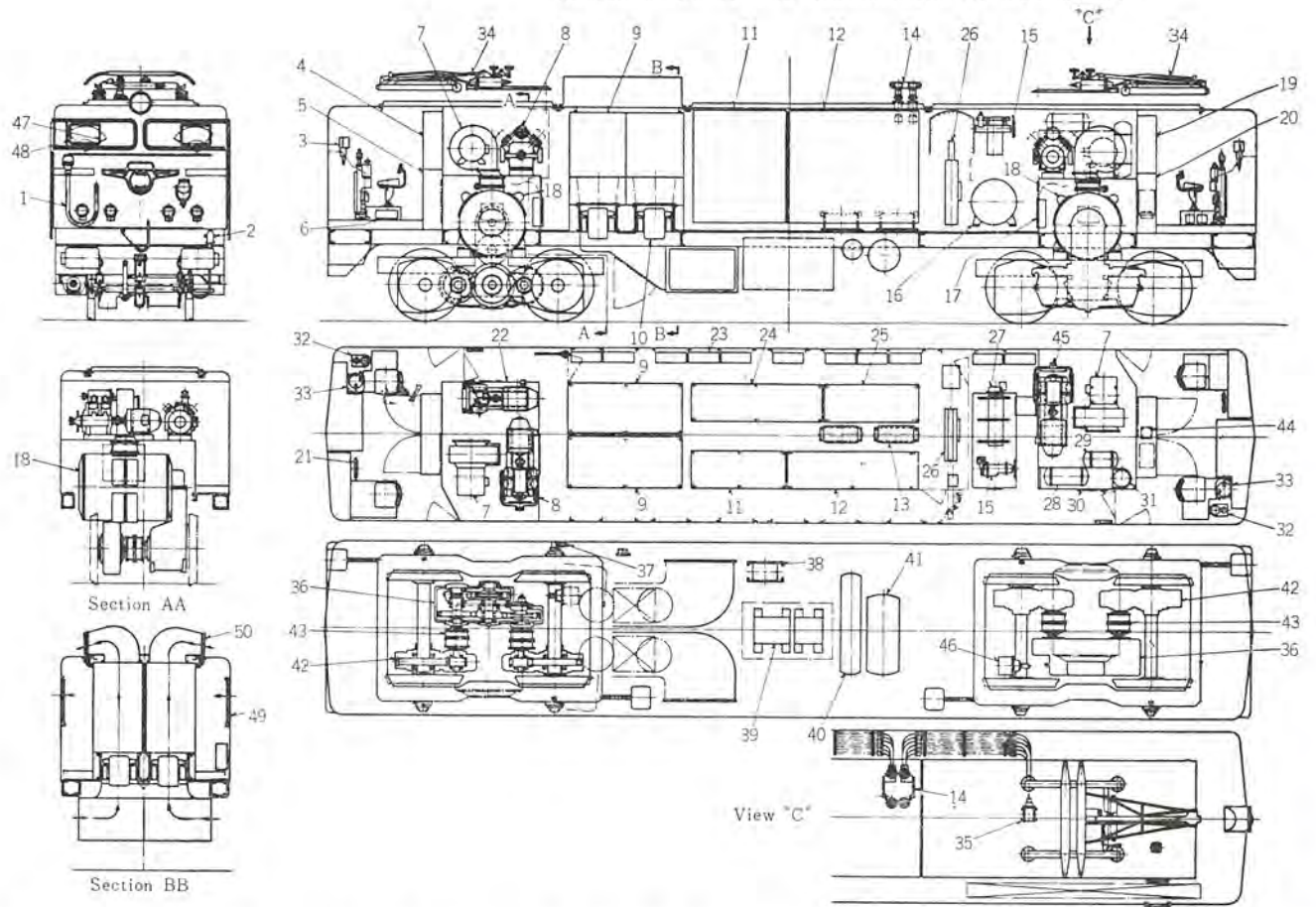
運転台のすべての押ボタンスイッチおよび足踏みスイッチが開放状態になると、まず空気警報が鳴り、一定の制限後主回路、電気ブレーキ回路が開放され、非常ブレーキが作用する。

## 8. 機関車の機器配置

### 8.1 一般

機関車の機器配置図を図 8.1 に示す。機関車形式は箱形、両運転台付である。機関車は両運転台、補機室および中央部の高圧機器室より構成される。両運転台間はZ形の主通路で連絡され、副通路

ARRANGEMENT OF THE APPARATUSES OF LOCOMOTIVE



| 番号 | 機 器 名 称           | 数 量 | 番号 | 機 器 名 称    | 数 量  | 番号 | 機 器 名 称      | 数 量    |
|----|-------------------|-----|----|------------|------|----|--------------|--------|
| ①  | 制御ジャンパー           | 2 組 | ⑩  | 主電動機       | 2    | ②⑤ | 避雷器          | 2      |
| ②  | 列車暖房連結器           | 2 組 | ⑪  | 第2制御箱      | 1    | ②⑥ | 2段変速伝導ギヤユニット | 2      |
| ③  | 速度計               | 1   | ⑫  | ロッカ        | 1    | ②⑦ | 速度計用発電器      | 1      |
| ④  | 第1制御箱             | 1   | ⑬  | 手ブレーキ      | 2    | ②⑧ | 補助抵抗器        | 1      |
| ⑤  | ロッカ               | 1   | ⑭  | 電動空気圧縮機    | 1    | ②⑨ | MG用抵抗器       | 1      |
| ⑥  | 運転室暖房器            | 8   | ⑮  | 蓄電池        | 11 箱 | ③① | 補助空気だめ       | 1      |
| ⑦  | 主電動機送風機           | 2   | ⑯  | 第2主制御箱     | 1    | ③② | 主空気だめ        | 1      |
| ⑧  | 真空ポンプ (連続運転)      | 1   | ⑰  | 第2機器わく     | 1    | ③③ | 減速ギヤユニット     | 4      |
| ⑨  | 主抵抗器箱 (バーニア抵抗器含む) | 1   | ⑱  | 高速しゃ断器     | 1    | ③④ | WNギヤカップリング   | 4      |
| ⑩  | 主抵抗器用送風機          | 4   | ⑲  | 静止形インバータ   | 1    | ③⑤ | ヒータプレート      | 1      |
| ⑪  | 第1主制御箱            | 1   | ⑳  | 非常空気だめ     | 1    | ③⑥ | 真空ポンプ (間欠運転) | 1      |
| ⑫  | 第1機器わく            | 1   | ㉑  | 真空空気だめ     | 1    | ③⑦ | ブレーキシリンダ     | 2      |
| ⑬  | 誘導分流器             | 2   | ㉒  | ブレーキブロック   | 1    | ③⑧ | 窓ワイパ         | 2      |
| ⑭  | パンタグラフ断路器         | 1   | ㉓  | 制御空気だめ     | 1    | ③⑨ | デフロスタ        | 4      |
| ⑮  | かき箱               | 1   | ㉔  | 真空、空気ブレーキ弁 | 2    | ③⑩ | 空気フィルタ       | 8 ブロック |
| ⑯  | 電動発電機             | 1   | ㉕  | 主幹制御器      | 2    | ③⑪ | ルーバ (冬期用)    | 2      |
| ⑰  | 主電動機用つなぎ箱         | 4   | ㉖  | パンタグラフ     | 2    |    |              |        |

図 8.1 機関車の機器配置

Arrangement of equipment.

はキロックされた安全とびらにより仕切り、保守点検の際だけ中に入る。機関車前面には上部に前灯、下部左右に白色標識灯、その内側に赤/黄可変の2個の標識灯があり、最下部には雪かき器が設けられている。

## 8.2 運転室

図 8.2 は運転台の配置を示す写真である。丸形ハンドルの主幹制御器には力行用限流値調整器が付属している。スイッチ箱、パンタグラフ操作スイッチなどは運転台に埋め込まれ、計器パネルには各種計器および表示灯がまとめて配置されている。ブレーキ弁が右端に取付けられ、デッドマンスイッチが足踏みペダルのほか窓ぎわにも設けられている。電圧切換操作スイッチおよびブレーキ用限流調整器がスイッチ箱のすぐ右側に配列されるなど運転操作を容易にするように配置された。前

面および側面の窓は運転上十分な視野がある。各運転室に2個のファン、側窓カーテン、コートフックを設け、暖房容量も増して居住性を良好にしてある。

## 8.3 機器配置

スペイン北部は冬期かなりの降雪がみられるので、床下取付機器としては空気だめ(溜)、真空ポンプの消音器および全面カバー付きの補助抵抗器だけとした。

機械室は1台車1電動機式であるため、主電動機室が車体内部に突き出た構造となるが、その上部に補助回転機およびブレーキブロックを配置した。主電動機室の補強および真空ポンプ、空気圧縮機の共通盤を強化して振動を防止した。また、真空ポンプに消音器を設けて騒音を軽減した。主電動機および主抵抗器は個別送風機による冷却

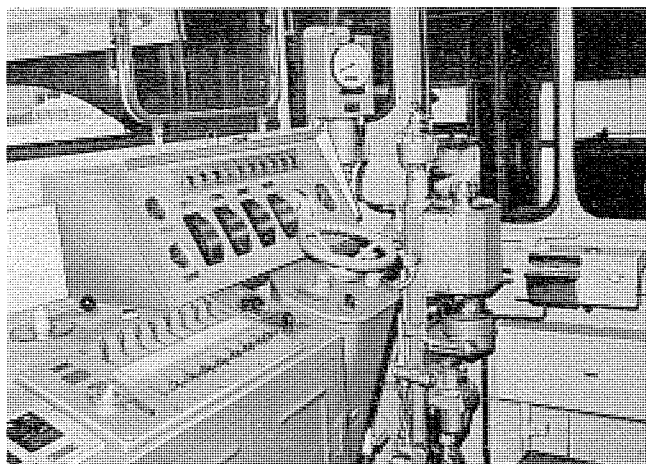


図 8.2 運 転 室  
Driver's cab.

方式とした。

屋根上のパンタグラフ周辺には絶縁塗料を塗布してパンタグラフおよび

架線の故障時に対処してある。

パンタグラフ 操作 スイッチ, 主回路接地 スイッチ および安全とびらなどをかぎ箱で連動して 3,000 V 回路の危険防止を行なっている。

## 9. む す び

スペイン国鉄は TALGO で代表されるディーゼル機関車を持っているが、電化区間においては、われわれが先に納入した 7900 形式 16 両、およびそのすぐれたシステムと性能はそのまま踏しゅうし、さらに各種の改良を施した 8900 形式 40 両の誕生により、スペイン 国鉄幹線の主力機関車として躍進する日も近い。

日本製機関車の完成を機会にその概要を紹介したが、本機関車の製作にあたっては、三菱重工業の技術陣、日本国有鉄道の検査関係者およびスペインメーカー CENEMESA および CAF 社のご協力に負うところが大きい。ここに厚く謝意を表する次第である。

## 参 考 文 献

- (1) 河野, 小川ほか: 三菱電機技報 41, No. 2 (昭 42)

## 列車自動制御用演算回路のIC化

鳥居 健太\*・金子 弘美\*・石本 正明\*

## Computing Circuits for Automatic Train Controls with Digital IC

Kamakura Works Kenta TORII・Hiromi KANEKO・Masaaki ISHIMOTO

Traffic congestion of trains has come to need accurate and reliable automatic controls for the security of transportation. Automatic train control (A. T. C.) and automatic train stop (A. T. S) are now adapted to the operation for these purposes. It has become recent trend to realize automatic train operation (A. T. O.) including exact station stop to minimize increasing complexity of the motor man's work by replacing A. T. C. and A. T. S.. To satisfy these need ordinary analog calculating devices are displaced with digital frequency calculating system for higher accuracy and incorporated with integrated circuits to turn the unit compact and reliable. This development has proved successful through actual test operation in the field. This article describes the basic concept, circuits and several applications.

## 1. ま え が き

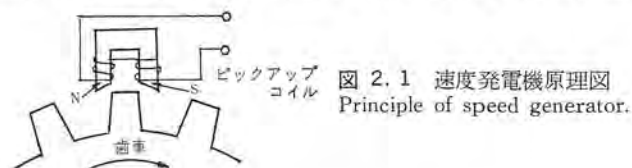
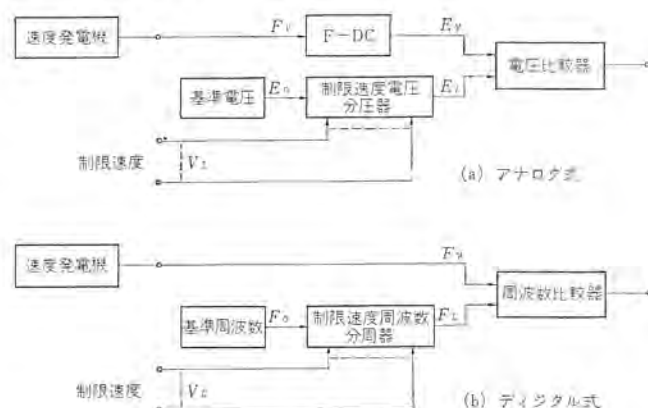
従来自動列車制御装置 (ATC, Automatic Train Control), 自動列車停止装置 (ATS, Automatic Train Stop), 定位置停止装置 (TASC, Train Automatic Stop Control), 自動運転装置 (ATO, Automatic Train Operation) 等の列車自動制御装置の速度制限または速度制御に関する演算は, アナログ式の演算回路 (通常アナログ電圧の演算) によって行なわれてきた。しかるに近年運転の高密度化にともなって正確で信頼度の高いものが要求されるようになり, 保安を目的とした ATC, ATS から高密度運転により運転者の業務が複雑化することを軽減するため, TASC, ATO が実用化される方向へと変わりつつある。これらの要求を満たすために, 従来のアナログ (通常アナログ電圧) 式の演算に代わって, デジタル回路を基本回路とする周波数比較式の演算方式とすることにより, 高精度化を図り, ひきつづいて IC 化によって, 小形化と同時に高信頼度化を図ることを目的として, 列車自動制御用演算回路のデジタル化・IC 化の開発を行ない, 実用化の目的を得たので, その基本原理, 基本回路ならびに応用例を紹介する。

## 2. アナログからデジタルへ

列車自動制御は走行速度を自動制御することによって行なわれ, 速度制御のためには, 走行速度を測定し, 基準速度 (制限速度または目標速度) と比較演算を行なった結果で, 力行, だ行, ブレーキのオンオフ またはその量の調節を行なう必要がある。走行速度の検出は, 通常車軸の回転を検出する速度発電機によって行なわれる。初期においては, 速度発電機の出力電圧がほぼ回転数 (走行速度) に比例することを利用して測定していたこともあったが, 取付ギャップの変動や製品のばらつきによって誤差を生じるため, 交流形速度発電機を使用し, その出力周波数が正確に回転数 (走行速度) に比例することを利用するようになった。従来のアナログ式の演算においては, この周波数を F-DC 変換器によって直流電圧に変換して速度に比例した直流電圧として測定していた。したがって基準速度の設定, 比較演算もアナログ電圧により行なっていた。アナログ式の場合高精度を得るためには, アナログ計算機で使われるような性能の良い演算増幅

器を使用し, 調整箇所を多く設け, 比較的安定した環境条件で使用し, 保守調整を十分に行なえばある程度は可能であるが, 車載装置として量産するには実用的でない。この高精度にして環境条件の影響を受けず, 安定でしかも保守容易なものを実現する方法として開発したのが以下に紹介する デジタル・IC 化演算方式であり, その要点は速度発電機の出力である周波数を, そのまま利用して速度の測定を行ない, 基準速度の設定および比較演算を デジタル 回路によって周波数比較方式で行なうということにある。

速度制限を目的とした ATC の速度照査部を例にとってアナログ式と デジタル 式を対比してみると, 図 2. 2 に示すようになる。電圧を  $E$ , 周波数を  $F$  で示してあるが, 電圧が周波数に変わり F-DC 変換器がなくなった以外まったく同一のブロック構成として表現され, デジタル 式という名称から連想されるような数値演算回路や 複雑な演算のタイミング 制御回路があるわけではなく, 厳密に言えば, 周波数という一種のアナログ量を デジタル 回路を使って演算している一種のアナログ演算であり, 純粋の デジタル 演算と異なり直観的にわかり

図 2. 1 速度発電機原理図  
Principle of speed generator.図 2. 2 ATC 速度照査部ブロック構成図  
Block diagram of speed checker for ATC.

やすいという特長をもっている。速度の周波数をデジタルカウンタで所定時間計数して、その計数値によって判定を行なうという方法も考えられるが、この場合計数時間を設定したサンプリング式となって連続的な演算出力が得られず計測・判定の切換回路や結果の記憶回路が必要であり、周波数比較式に比べ複雑になる。図 2.2 においてアナログ式の場合は各ブロックの環境条件による変化や経時変化が照査速度の変動となってあらわれるが、デジタル式では基準発振器以外はデジタル回路であり、誤差の原因となるのは基準発振器のみであり、これは水晶制御等により非常に高精度で安定なものが容易に得られるから、全体としても高精度で安定な速度照査が得られる。

### 3. トランジスタから IC へ

デジタル化によって高精度化が得られたが、これを従来のトランジスタで作ると素子数の増大によって従来のアナログ式より小形化することは困難で、ATC から ATO へと機能が向上した場合、実用上大きすぎるという問題点が残る。これを解決するために IC 化を行なうことにした。現在 IC の主流はデジタルの半導体 IC であり、大量かつ容易に得られ、また将来においてもデジタルの半導体 IC が主流をしめると思われる。したがって高精度化をねらってデジタル化したことにより、IC 化への移行が容易に行なえることになり、実用的にはトランジスタによるデジタル式の時代を経ることなく一挙に IC 化へと進むことになった。

現状では従来のトランジスタ 3～6 個程度の回路が、1 個の IC (6.5 × 17.7 mm 角, 14 ピン Dual IN Line パッケージ) に集積されており、さらに集積度は向上する傾向にある。このため IC 化によって素子数は大幅に減少し、装置の大きさが従来のアナログ式の装置に比べ大幅に小形化され、IC の信頼度はトランジスタ単体の信頼度に接近していくということから装置の信頼度も向上する。

この小形化によってさらに次のような大きな利点を生じることになった。すなわち従来 ATC や ATS に代表されるごとく、運転士のバックアップ的に使われていたものが、今後 Cab Signal (車内信号) 方式が採用されるにつれ、東海道新幹線の ATC のように常用減速制御に使用されたり、一步進めて定位置停止や走行制御を行なう自動運転装置が実用化される場合を考えると、高精度とともに絶対的な高信頼度を要求され、その実現のために多重化 (通常三重系構成) する必要がある、従来のトランジスタ式の装置によってこれを行なえば、車上とう載が不可能な大きさになることがある。しかるに、IC 化装置によって大きさの問題が解決できる見通しが得られたことは、列車制御自動化において大きな進展といえるであろう。

本論に入る前にこれまでに述べた検討の経緯を要約すると次のようになる。

自動制御・自動運転 → 高信頼度 → 多重化 → 小形化 → IC 化  
高密度運転 → 高精度 → デジタル化 → IC 化  
保守容易 → デジタル化 → IC 化

### 4. 特 長

デジタル式演算回路を応用し IC 化した列車自動制御装置を、従来のアナログ式と比較すると次のような特長をもっている。

- (1) 高精度
- (2) 無調整
- (3) 経時変化がない

アナログ回路のごとく素子の特性の変化の影響が装置の特性の変化

としてあらわれない。

#### (4) 電源変動・温度変化に強い

アナログ回路のように特性の変化としてあらわれない。これは個々の回路単位が十分動作マージンをもって設計されていることによる。

#### (5) 信頼度の向上

デジタル化により素子の劣化や特性の変化に対しマージンが高くとも、特性不良発生件数が減少し実用上信頼度が向上する。

#### (6) 互換性が完全

無調整でユニットまたは素子の交換ができる。

#### (7) 保守容易

互換性完全、故障もデジタル的にはっきりする等により点検・保守が容易になる。

#### (8) 小形軽量化

#### (9) 多重化容易

小形化のほか高精度であることにより、各系のばらつきが少ないことも多重化のために重要である。

性能面のみならず、保守の面で利点を生じること車両用機器に應用する上で特に重要である。

## 5. 基本原理および基本回路

演算に用いる量として DC 電圧を用いていた。すなわち電圧の基準レベルを定めて、基準レベルからの電圧をもって量を示す。この方式に対し周波数を演算量とすることによりデジタル化の一方が実現できる。すなわち量の大小を周波数の高低で表わす。本方式における主要な基本回路部分について、一般によく知られているアナログ方式の場合の基本回路に対応させて説明する。

### 5.1 演算量

アナログ電圧を演算量とした場合は、基準レベルからの電圧で表わされるのに対し、周波数を演算量とする方法は、デジタル 2 位値信号の繰り返し周波数で大きさを示す。デジタル 2 位値としては、一般に使われている「1」、「0」表示を用い、回路動作と対応させた場合、論理素子の電源電圧に相当する側の出力を「1」、0 V 側の出力を「0」とする。この関係を図に示す場合は図 5.1 のように、「1」および「0」を表示する。

また周波数を演算量とする基準パルス波形はクロックパルスを設けて、このパルス幅に統一する。周波数が高い場合、および低い場合について図示したものが図 5.2 である。(a)のほうが(b)より周波数が高い。以下タイムチャートにおける表示方法は、特に断わらない限り横軸に時間をとる。

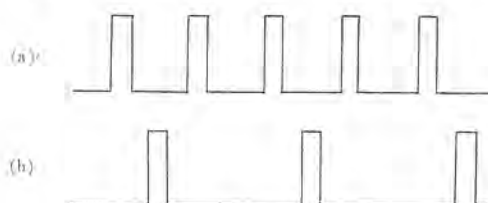


図 5.2 周波数演算パルス  
Pulses for computing.



図 5.3 NAND ゲート  
NAND gate.

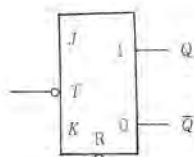


図 5.4 フリップフロップ  
Flip flop.



図 5.5 フリップフロップタイムチャート  
Timing chart of flip flop.

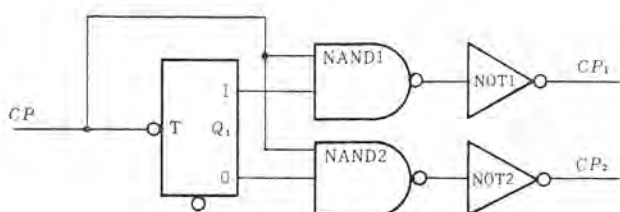


図 5.6 クロックパルス 発生器  
Clock pulse generating circuit.

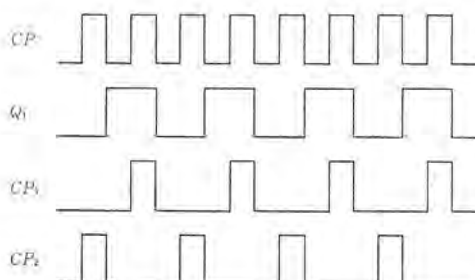


図 5.7 クロックパルス 発生器 タイムチャート  
The timing chart of clock pulse generator.

## 5.2 記号表示および基本論理素子

基本論理素子の表記方法は各種方式があり、一般には論理積 (AND) および論理和 (OR) 表示が最も多く使われているが、他方実際に用いる論理素子構造を明確に表わす特長をもつ論理記号をそのまま用いた例として、NAND, NOR 表示等も普及している。本説明では現在最も広く使用されているデジタル IC の回路構成にならい、NAND ゲート論理図で説明する。NAND ゲートおよび記憶素子としてのフリップフロップをそれぞれ図 5.3 および図 5.4 に示す。図 5.3 は 3 入力 NAND GATE を示し、入力  $A, B, C$  がすべて「1」のときのみ出力  $X$  が「0」となる。論理式で書くと式 (5.1) となる。

$$X = \overline{ABC} \quad (5.1)$$

式 (5.1) で示される  $X$  の反転したもの  $\overline{X}$  を求めると、 $A, B, C$  の論理積が得られる。また、式 (5.1) を変化して次の式 (5.2) を得る。

$$X = \overline{A + B + C} \quad (5.2)$$

$X$  は  $\overline{A}, \overline{B}, \overline{C}$  の論理和が NAND ゲートで求められることを示す。すなわち  $A, B, C$  の論理和を求めるときは  $\overline{A}, \overline{B}, \overline{C}$  の NAND を求めれば、 $A, B, C$  の論理和が得られる。NAND ゲートのみで論理

積、論理和は以上により得られることがわかる。

図 5.4 のフリップフロップは記憶素子で  $Q, \overline{Q}$  が出力端子を示し、お互いに相補の関係にある。すなわち  $Q$  が「1」ならば  $\overline{Q}$  が「0」であり、 $Q$  が「0」ならば  $\overline{Q}$  は「1」である。R はリセット端子で「0」が与えられると  $Q$  を「0」とする。J, K, T は入力端子で、J が「1」で入力パルスが T に加わると、 $Q$  は「1」となり、K が「1」で入力パルスが T に加わると、 $Q$  は「0」となる。記憶の変化は T 入力信号が「1」→「0」と変化したとき起こる。

## 5.3 クロックパルス発生器

基準発振器信号を用いて各種演算を行なう場合、二つの位相の異なる信号を用いる。このために基準発振器出力を CP とした場合、二つの位相の異なる  $CP_1, CP_2$  を図 5.6 に示したような回路で CP を分配して作る。図 5.7 は CP から  $CP_1, CP_2$  を作成するタイムチャートを示している。 $Q_1$  はフリップフロップで CP が加わるとに出力を「1」→「0」または「0」→「1」の変化をする。 $Q_1$  の 1 側出力が「1」のときの CP パルスを NAND1 (AND 作用) で論理積の逆をとり次の NOT1 で反転させて、取り出し  $CP_1$  とした。また  $Q_1$  の 0 側出力が「1」のときの  $CP_1$  のパルスを取り出したものが  $CP_2$  である。 $CP_1, CP_2$  は位相が相異なり同時に出るようなパルス列になることはない。

## 5.4 パルス計数器 (カウンタ)

パルス計数器はフリップフロップを用いて構成する。フリップフロップは「1」、「0」の二つの状態を記憶する機能を有し、入力端子に加わる信号により状態を変化し、次のパルスが加わるまでその状態を保持する。入力 1 パルスごとにフリップフロップを変化するようにしたものをパルス計数器 (カウンタ) とよぶ。パルス計数器は一つのフリップフロップの出力を次のフリップフロップの入力端子へ結ぶことにより計数容量が増大する。図 5.8 は  $n$  個のフリップフロップを接続したカウンタを示し、図 5.9 にそのタイムチャートを示す。 $C_1$  フリップフロップに入力  $F_i$  が加わると  $C_1$  は  $F_i$  の「1」パルスごとに「1」、「0」の変化をし、 $C_2$  は  $C_1$  の出力が「0」、「1」、「0」と変化することにより「1」、「0」の変化を繰り返す。一般に  $C_k (k=1, 2, \dots, n)$  は入力  $2^{k-1}$  ごとに「1」、「0」の状態を変化する。初期値としてすべてのフリップフロップをリセット (1 側出力を「0」とする) しておくと  $C_k$  が「1」となったときは、 $2^{k-1}$  個の入力パルスがパルス計数器に加えられたことを示している。

すなわちカウンタの状態をながめることで入力パルス数が判明する。入力全パルス数を  $F_N$  とすると  $F_N$  は式 (5.3) で示される。

$$F_N = \sum_{k=1}^n 2^{k-1} C_k \quad (5.3)$$

また見方を変えると  $k$  段目のフリップフロップの出力周波数  $F_k$  は  $C_k$  が入力パルス  $2^{k-1}$  個ごとに反転するから式 (5.4) で示される値となる。

$$F_k = \frac{1}{2^k} F_i \quad (5.4)$$

## 5.5 パルス分配器

アナログ回路方式では、一つの基準速度に比例した電圧を取り出す方法としては、一般に抵抗分圧器を用いて行なう方法がとられてきた。すなわち入力  $V_i$  と出力  $V_o$  の間に次の関係を有する。

$$V_o = \alpha V_i \quad (\alpha=0 \sim 1) \quad (5.5)$$

式 (5.5) に示されるような関係を周波数演算方式では、ブロック図で描くと図 5.10 のようにアナログ回路の分圧器に対応させてパルス分配器により行なう。ここで  $F_i$  と  $F_o$  の関係を式 (5.6) に示す。

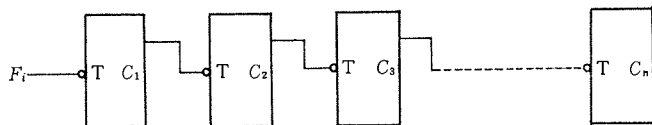


図 5.8 2 進計数器  
Binary counter.

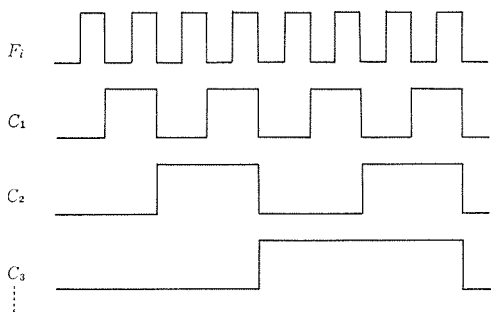


図 5.9 2 進カウンタのタイムチャート  
The timing chart of binary counter.

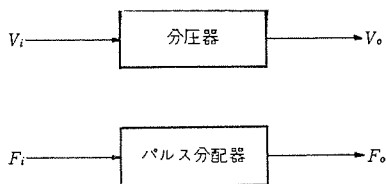


図 5.10 分配器ブロック図  
Block diagram of potentiometer and pulse distributor

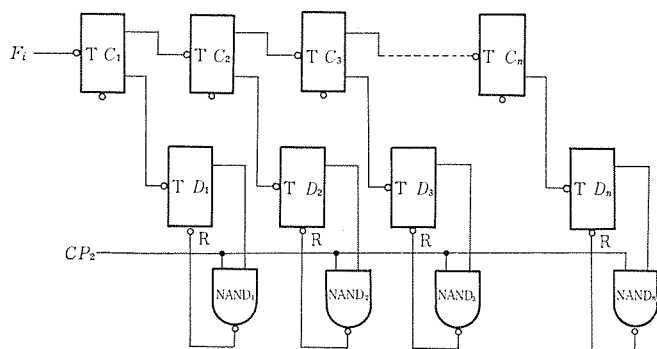


図 5.11 パルス分配器  
Pulse distributor.

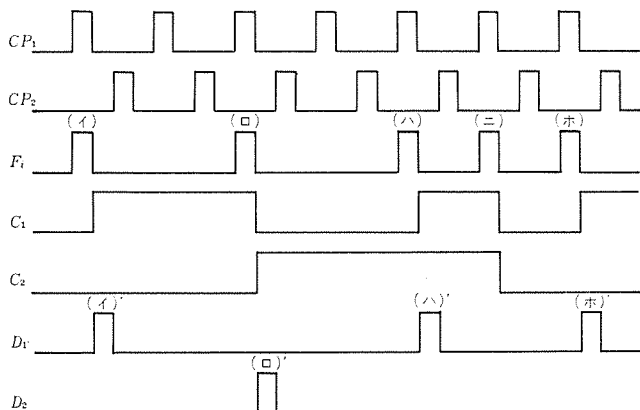


図 5.12 パルス分配器タイムチャート  
Timing chart of pulse distributor.

$$F_0 = \frac{m}{N} F_i \quad \begin{cases} m < N \\ m, N: \text{正の整数} \end{cases} \quad (5.6)$$

#### 5. 5. 1

- (i)  $N=2^n, n=1, 2, \dots$  の場合  
 $m=2^0, 2^1, 2^2, \dots, 2^{n-1}$

図 5.11 に示すようにフリップフロップを  $n$  個接続すると 5.3 節で述べたパルス計数器が構成されている。この場合、 $C_1 \sim C_n$  の出力は今  $k$  番目の  $C_k$  を考えると入力パルスが  $2^{k-1}$  個加わるとに「1」と「0」の状態を変化する。すなわち入力  $2^k$  個ごとに 1 周期をくり返す。 $F_i$  を  $CP_1$  同期パルスとし今  $k$  を 2 と考えて図 5.11、図 5.12 で説明する。 $C_2$  が「1」→「0」→「1」と変化すると  $\bar{C}_2$  は「0」→「1」→「0」と変化し、 $D_2$  が「1」となる。 $D_2$  が「1」となるのは  $CP_1$  のパルスに同期している。クロックパルスで半サイクル経ると  $CP_2$  が NAND 2 のゲートに与えられ、NAND 2 は 2 入力とも「1」となり  $D_1$  の R 端子を「0」として  $D_1$  をリセットする。すなわち  $C_2$  1 サイクルで  $D_2$  として (a) で示した 1 パルスを出す。 $D_2$  の出力パルス数は  $C_2$  と同数でパルス幅はクロックパルス幅となっている。他のカウンタ  $C_1 \sim C_n$  についても対応した  $D_1 \sim D_n$  で同じパルス数を得ることができる。一般に  $D_k$  の出力は式 (5.4) を考慮して、次式 (5.7) となる。

$$D_k = \frac{1}{2^k} F_i \quad (5.7)$$

式 (5.7) を変化すると次式 (5.8) となる。ここで  $k=1, 2, \dots, n$  としたときのそれぞれのパルスは互いに、異なったパルス位相であり、重ね合わせが自由に可能である。(5.7 節周波数加算器参照。) また式 (5.7) を変形して式 (5.8) を得る。

$$D_k = \frac{2^{n-k}}{2^n} F_i \quad (5.8)$$

- (ii)  $m=1, 2, \dots, N$  の場合 (i) の  $m$  を一般的に拡張し  $m$  を次式で表わす。

$$m = 2^0 \delta_n + 2^1 \delta_{n-1} + 2^2 \delta_{n-2} + \dots + 2^{n-1} \delta_1 \quad (5.9)$$

$\delta_1 \sim \delta_n$  は 1 または 0

式 (5.9) により定まる  $\delta_1 \sim \delta_n$  のうち 1 で示されるものを  $\delta_j$  で示したとき、 $D_j$  で示されるパルスすべてを加え合わせると、その値を  $FF_p$  とすると式 (5.8)、式 (5.9) より

$$FF_p = \sum D_j \delta_j = \frac{m}{N} F_i \quad (5.10)$$

となり所定の  $m/N$  分周を行なう。

#### 5. 5. 2

$2^{n-1} < N \leq 2^n$  のとき、 $N$  の表示を式 (5.11) で表わす。

$$2^n - N = 2^0 \delta_n + 2^1 \delta_{n-1} + \dots + 2^{n-1} \delta_2 \quad (5.11)$$

$N$  個のパルスでカウンタ  $n$  段が一巡するような計数器を作るためには、式 (5.11) の値の回数だけ入力パルスが加わることなく、カウンタを等価的に進めるようにすることで実現する。図 5.13 において、一点鎖線で示した内部は図 5.11 に相当する部分で、式 (5.11) の  $\delta_k (k=2 \sim n)$  のうち 1 となるものに対応して  $S_k$  を 1 とし他を 0 とすると、 $C_1 \sim C_n$  のカウンタが 1 巡する間に、式 (5.11) の右辺で示される回数だけ  $C_1$  のフリップフロップは NOT 1 を通して R 端子に図 5.14 の  $FP$  パルスが加わり  $C_1$  が「1」となったとたんに「0」にリセットされる。すなわち  $F_i$  のパルスによらず  $C_1$  のカウンタは等価的に 1 パルス加わったような動作を行なう。以上のような動作が  $2^n - N$  回生じ、

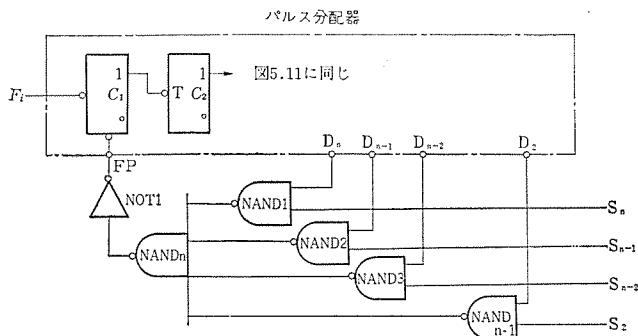


図 5.13 パルス分配器  
Pulse distributor.

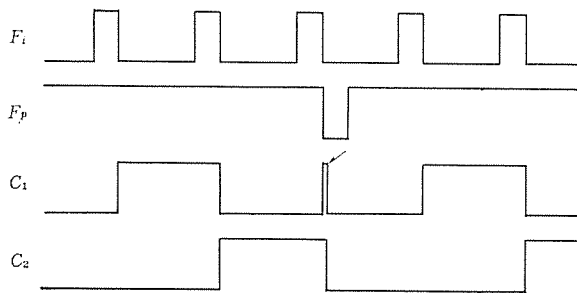


図 5.14  $C_1$  タイムチャート  
Timing chart  $C_1$  flip flop.

結果的には  $F_i$  のパルス  $N$  個で  $n$  個のカウンタは 1 巡して元の状態に戻ることを示す。

以上により任意の  $m/N$  分周回路が作成できる。

#### 5.6 パルス分周器

入力  $F_i$  のパルス  $N$  個に対し 1 個のパルスを取り出すような回路を  $1/N$  分周回路と称するが、 $1/N$  分周の方式はすでに説明した 5.5 節におけるパルス分配器で述べた機能の 1 部であり詳細は省く。

#### 5.7 周波数加算器

アナログ回路における加算は一般には比較的増幅率の高い演算増幅器を用いて構成する。図 5.15 において入力を  $V_1, V_2, \dots, V_n$  とし、出力を  $E_0$  とすると  $E_0$  はほぼ近似的に式 (5.12) となる。

$$E_0 = -\frac{R_1 V_1 + R_2 V_2 + \dots + R_n V_n}{R_f} \quad (5.12)$$

$R_1, R_2, \dots, R_n$  : 入力抵抗器

$R_f$  : フィードバック抵抗器

周波数演算方式においては、パルス加算を行なうには、同時に起こることのない位相のパルスにあらかじめ同期をとっておくことにより、たとえば  $F_1$  と  $F_2$  の加算ならば図 5.16 のような NAND 1 (OR 動作回路) で  $F_1$  と  $F_2$  の加算をおこなう。図 5.17 にタイムチャートを示している。 $F_1$  と  $F_2$  は同時に起こることのないパルスであるから、加え合わすとそのパルス数が加算される。

#### 5.8 周波数減算器

アナログ回路における減算は、演算増幅器により減算する信号をあらかじめ極性反転しておいて、5.7 節で述べたアナログ加算を行なうことで代数的減算が行なえる。周波数減算方式における減算を行なうには、5.7 節の加算同様に 2 信号を異なる位相のパルスとしておき、図 5.18 の回路により減算を行なう。フリップフロップ  $Q$  の入力端子  $T$  に  $F_1$  を与え  $R$  端子に  $\bar{F}_2$  を与えると  $F_1 > F_2$  の場合は図 5.19 に示したタイムチャートとなる。いま  $Q$  の初期値が「1」とすると、 $F_1$  の (イ) のパルスは NAND 1 および NOT 2 により AND 動作をし

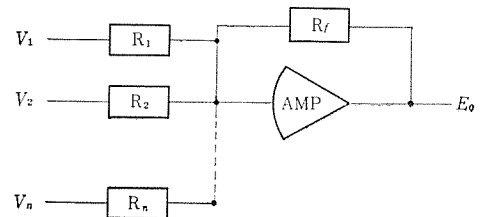


図 5.15 アナログ加算器  
Adder using an operational amplifier.

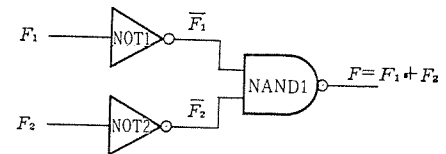


図 5.16 加算器  
Frequency adder.

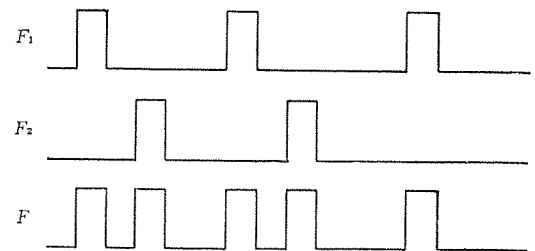


図 5.17 加算器タイムチャート  
Timing chart of adder.

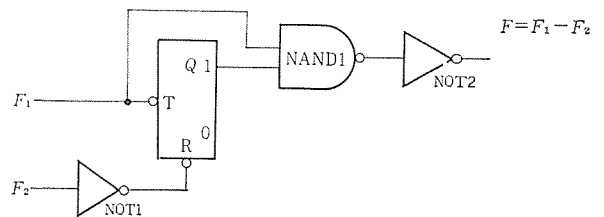


図 5.18 周波数減算器  
Frequency subtractor.

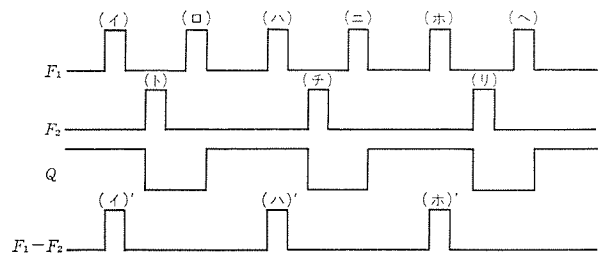


図 5.19 減算器タイムチャート  
Timing chart of frequency subtractor.

て (イ)' として与えられる。 $F_2$  の (ト) のパルスにより  $Q$  は「0」となり次の (ロ) のパルスが加わっても  $F$  としては出ない。次に (ハ) のパルスが加わると  $F$  として (ハ)' が与えられる。すなわち (ト) のパルスにより (ロ) のパルスが引き去られる。

一般に  $F_2 > F_1$  のような場合も  $F_2 - F_1$  の値のパルスを得るには、図 5.20 のようにして  $F_1 - F_2$  および  $F_2 - F_1$  をそれぞれ NOT 1, NOT 2 を通して、 $F_1 > F_2, F_2 > F_1$  の各場合にに応じてそれぞれ得る。

図 5.20 における  $Q$  の動作は、クロックパルス  $CP$  を  $T$  端子に与えているが  $F_1, F_2$  をクロックパルス  $CP$  に常に同期したものとしてあるから成立するのである。 $CP$  の代わりに  $F_1 + F_2$  を  $T$  端子に与えても

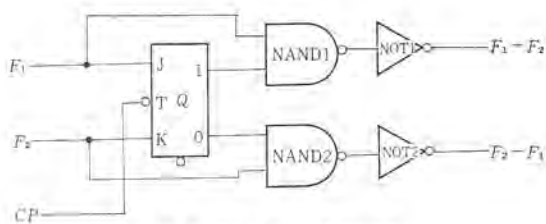


図 5.20 パルス減算回路  
Frequency subtractor

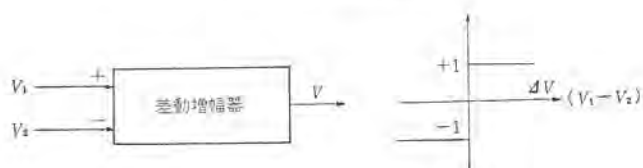


図 5.21 電圧比較器ブロック図  
Block diagram of analog comparator

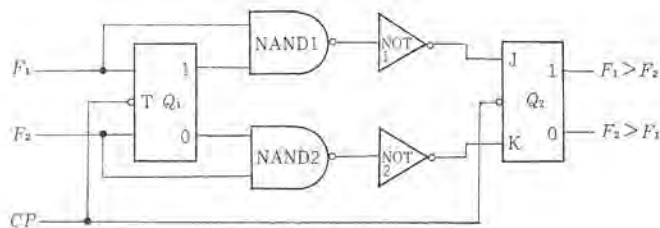


図 5.22 周波数比較器  
Frequency comparator.

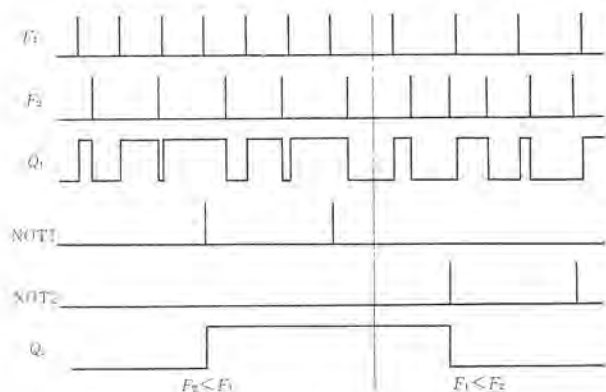


図 5.23 周波数比較器 タイムチャート  
Timing chart of frequency comparator.

同様な動作を行なう。

### 5.9 周波数比較器

アナログ演算回路における電圧比較器に対応するものが周波数比較器である。電圧比較器の基本原理解は二つの比較する量の差電圧を増幅することにより二量の大小を区別するものである。この関係を図 5.21 に示す。\$V\_1\$ と \$V\_2\$ の 2 入力 の 差 \$\Delta V\_1\$ (\$V\_1 - V\_2\$) を増幅率の大きな増幅器で増幅すると、図 5.21 のように二つの領域に \$\Delta V\$ を区別することができる。

$$\Delta V > 0 \quad V = \text{「1」} \quad (5.13)$$

$$\Delta V < 0 \quad V = \text{「-1」} \quad (5.14)$$

周波数比較器も同様に差動動作を応用し 5.8 節で述べた減算回路を用いて偏差パルスによりフリップフロップを駆動するようにした図 5.22 に示した回路にて行なう。便利のためにパルスを 1 本の線で示してタイムチャートに示したものが図 5.23 である。\$F\_2 < F\_1\$ の場合は図 5.22 において NOT 1 を通して \$Q\_2\$ の J 端子にパルスが与えら

れ、\$Q\_2\$ の 1 側出力が「1」となり \$F\_1 > F\_2\$ を判定する。

\$F\_1 < F\_2\$ のときは同じような動作で \$Q\_2\$ の 0 側出力が「1」となり、\$F\_2 > F\_1\$ を判定する。なお図 5.22 で示した回路図においては \$F\_1\$ と \$F\_2\$ のそれぞれのパルス列の並びぐあいはほぼ等しい場合について述べたが、\$F\_1\$、\$F\_2\$ のパルスばらつきがあるようなときは、動作が若干複雑となり、一時的にパルス間隔が短い信号がはいってくると比較器出力がただちに追従する。次に平均的なパルス間隔となるとまた正常な判定に変化するような動作をする。車両制御用の装置としては、若干の時間内の判定だけで出力指令が変化しないようにしておくほうが、制御器動作のうえからも好ましいと考えられる。このために図 5.22 の \$Q\_1\$ による減算回路を \$Q\_2\$ でも構成して 2 段として用いると動作が安定となる。この場合照査精度の高さはなんら影響されることなく維持される。

### 5.10 比例制御器

目標値を指令して制御量をその値に追従させるようなフィードバック制御系においては、目標値との偏差に比例した制御指令を出すような制御が広く行なわれている。アナログ演算方式の場合は、演算増幅器を用いて偏差を減算回路を用いて検出して制御指令とする。周波数演算方式においても、偏差周波数を求めて偏差周波数により十分機能が果たせる場合もあるが、一般に制御指令としては、最終的にアナログ量（たとえば DC 電圧や DC 電流等）で指令する 경우가多く、現用の制御装置の構成を考えた場合、制御量の検知における信号の最大周波数と所要検出差の大きさによっては、最終指令となるアナログ量に変換する周波数が、低すぎると不都合が生じる場合がある。偏差周波数をデジタル表示するバランス形の比例制御器の構成を図 5.24 に示す。図 5.24 においては、偏差表示を比例帯幅の 1/8 ステップで表わす場合を示し、ステップ幅を小さくして線形に近似する場合は、カウンタの段数を所要数まで増せば任意のステップ量の比例制御器ができる。

目標値 \$F\_2\$ を定め、比例制御帯を \$\Delta\_1\$ と定めると、制御量 \$F\_1\$ との偏差に応じ制御指令 \$P\$ の関係が図 5.25 のように定まる。まず図 5.24 で示した比例制御器の動作を説明する。\$RC\_1\$、\$RC\_2\$、\$RC\_3\$ は可逆計数器を示し 5.4 節で述べたパルス計数器の動作が、加算あるいは減算計数において 1 方向的だったのに対し、入力パルスを加算パルス・減算パルスの 2 種に区別して与え、加算および減算をそれぞれのパルスに応じて行なわせる。\$RC\_1 \sim RC\_3\$ は 2 進数表示をしたときの 2 進数を示しており、10 進表示で表わすと次のようになる。

$$RC_1 = 2^0 = 1$$

$$RC_2 = 2^1 = 2$$

$$RC_3 = 2^2 = 4$$

初期値として \$RC\$ カウンタがすべて「0」とし \$F\_2\$ が \$F\_1\$ よりも大きな場合とする。周波数減算器への負の入力 \$\alpha D\$ は、NAND 12、13、14 とともにしまっているため 0 であるから \$F\$ としては \$F\_2\$ が与えられる。

$$F_2 > F_1 \quad (5.14)$$

であるから、周波数比較回路からは \$P\_\alpha\$ 側パルスが可逆計数器に加えられ \$RC\_1\$ が「1」となる。\$RC\_1\$ が「1」となると、NAND ゲート 12 を通して \$\Delta/8\$ なる信号 (\$\Delta\$ は一定値) が、NAND ゲート 12 に論理和で与えられ、\$m/N\$ 分周回路 (\$m/N\$ の値が \$\alpha\$) を通すことにより、周波数減算回路に \$\alpha \cdot D\$ として \$\alpha \Delta/8\$ がフィードバックされるために、\$F\$ としては

$$F = F_2 - \frac{\alpha \Delta}{8} \quad (5.15)$$

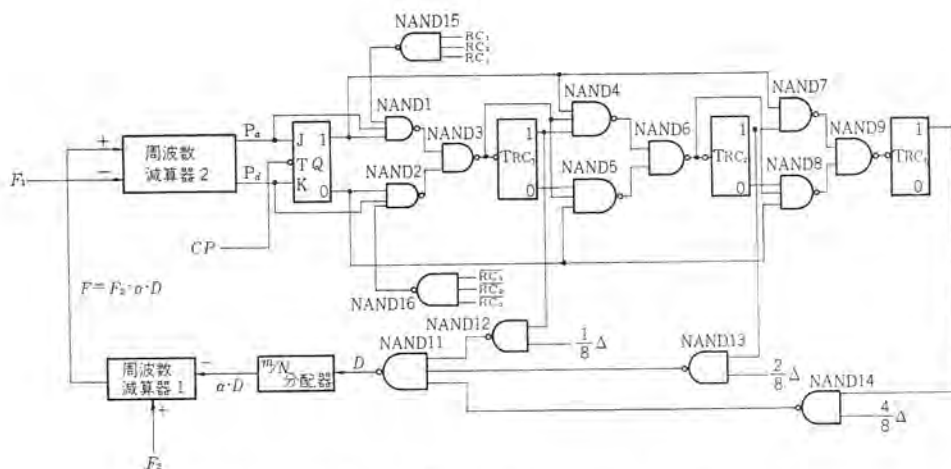


図 5.24 比例制御器 Proportional controller.

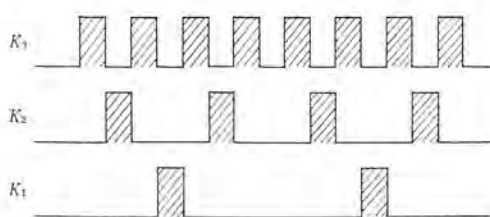


図 5.26 トルク指令パルス  
Torque command pulses.

が与えられ  $F_1$  と比較される。さらに  $F$  が大きいときは  $P_a$  パルスが加えられ、フィードバックパルスは  $2\alpha D/8$  となり  $F$  を減少させる。このような負帰還動作により、 $F_1$  が比例帯内部にあるときは  $F=F_1$  となり、 $P_a$ 、 $P_d$  いずれのパルスも出なくなり安定した状態となる。すなわちこのときは

$$F_2 - \alpha D = F_1 \quad (5.16)$$

すなわち

$$F_2 - F_1 = \alpha D \quad (5.17)$$

となり、 $\alpha D$  は偏差周波数を示している。またこのときの  $RC_1$  から  $RC_3$  のカウンタは全体を  $7/8$  としたときの比例帯に対する偏差量をデジタル表示している。偏差に比例したトルクを指令するとき、デジタル的に指令を出すならば  $RC_1 \sim RC_3$  がその値を示しており、他方アナログ量として指令するならば、これを D-A 変換して指令する。D-A 変換方式は各種方式があるが、たとえば  $RC_3$ 、 $RC_2$ 、 $RC_1$  に対応して図 5.26 に示したような  $K_3$ 、 $K_2$ 、 $K_1$  なる「1」表示部分の比が  $4:2:1$  なるものをそれぞれ  $RC_3$ 、 $RC_2$ 、 $RC_1$  に対応させて RC カウンタが「1」のとき指令するようにし、くり返し周波数を十分高くしておいて、低域ろ波器等により平均電圧を取り出すようにすれば、簡単に偏差量を D-A 変換できる。図 5.25 の  $P_{max}/J$  の値を比例ゲインとよぶが、制御特性に応じて比例ゲインを変更する場合は、 $m/N$  分配器の値  $\alpha$  を変化することで行なう。比例帯の外に  $F_1$  がある場合、すなわち

$$F_2 - F_1 < J_1 \text{ または } F_2 - F_1 > 0$$

のような場合には、それぞれ図 5.24 における NAND1 および NAND2 で、加算あるいは減算パルスがカウンタに加わらないようにしている。

### 5.11 パルス同期回路

外部から装置に入ってくる交番信号の周波数を変化することなく、特に定めた位相のパルスに合わずすることをパルス同期と称す。

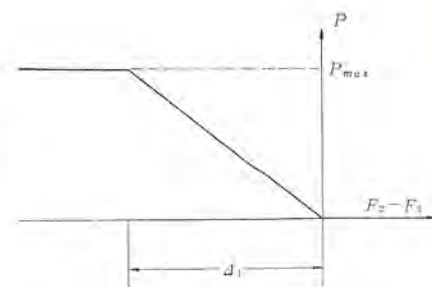


図 5.25 比例制御器特性  
Characteristics of proportional controller.

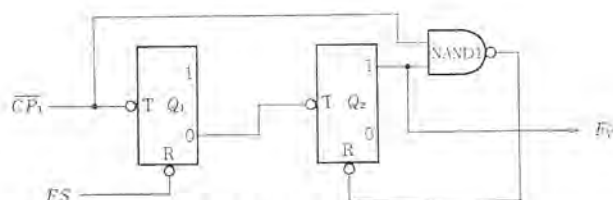


図 5.27 パルス同期回路  
Pulse synchronizing circuit.

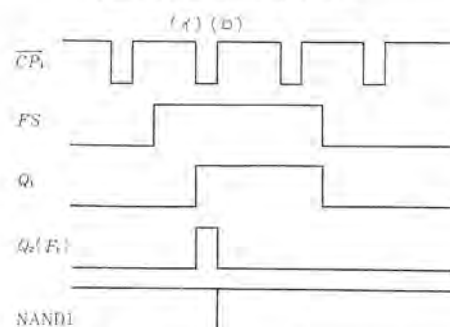


図 5.28 パルス同期回路タイムチャート  
Timing chart of pulse synchronizing.

フリップフロップおよびゲートを用いて図 5.27 にその一例を示す。クロックパルス  $CP_1$  の反転信号  $\overline{CP}_1$  を用いて  $FS$  信号を  $CP_1$  に同期させる回路である。 $FS$  が「1」となると  $Q_1$  はクロック入力で可動状態になり、図 5.28 の (a) の時点で「1」に変化する。 $Q_1$  の 0 側出力は「1」→「0」に変化するため  $Q_2$  も「1」となり、次に (b) となって NAND1 の 2 入力がともに「1」となり、出力が「0」となって  $Q_2$  をリセットするまで「1」を続ける。 $FS$  が「0」となれば  $Q_1$  はリセットされ初期の状態に戻る。以上により  $FS$  1 パルスが  $Q_2$  出力のような  $CP_1$  のパルスに同期される。

## 6. 応用例

以上述べた基本回路を各種列車自動制御へ応用する例を示す。

### 6.1 ATC (自動列車制御装置)

#### 6.1.1 ATC 信号

図 6.1 に ATC 制限速度信号の一例を示す。地上から列車に制限速度信号を伝達するのに、現在最も広く用いられているのは、レールを信号伝送路として用いる「軌道回路方式」であり、これはレールを一定距離ごとに、電氣的に絶縁された「閉塞区間」と呼ばれるセクションに区切って、各区間でそれぞれの制限速度に対応した信号を

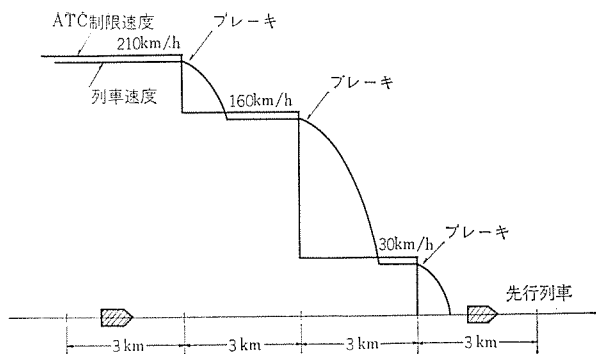


図 6.1 ATC 信号  
Signal of ATC

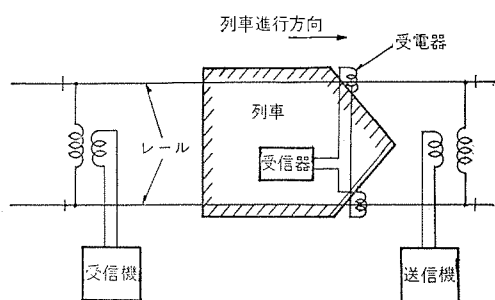


図 6.2 ATC 信号の伝送  
Transmission of ATC signals

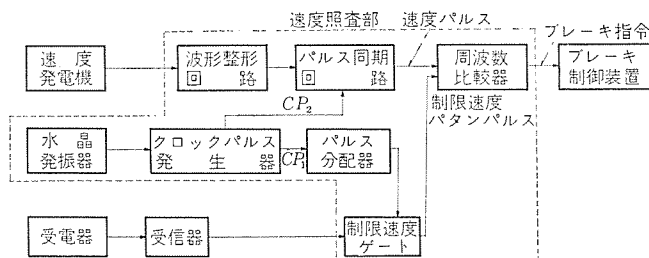


図 6.3 ATC 速度照査部ブロック図  
Block diagram of ATC speed checker

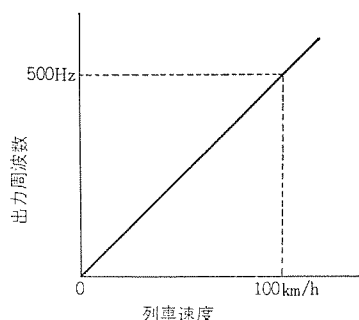


図 6.4 速度発電機の特  
性  
Characteristic of tachogenerator.

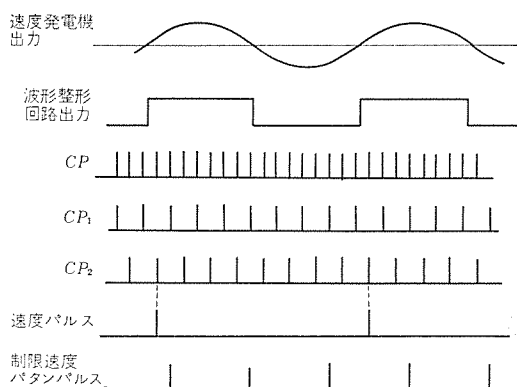


図 6.5 各信号の波形  
Waveform of each signal.

与えるやり方である。(図 6. 2) 図 6. 1 の例では、先行列車のいる区  
間では「停止信号」、その後の区間は順次「30 km/h」、「160 km/h、」  
「210 km/h」制限信号となる。

受電機で受信された信号は、受信機で復調され、ATC 制限速度  
信号となる。

このようにして装置に、ATC 制限速度が与えられる<sup>(1)</sup>。

## 6. 1. 2 列車速度の検知

一方、列車は、車軸にとり付けられた速度発電機で走行速度を知  
る。速度発電機は、車輪の回転数(列車速度)に比例した周波数の  
正弦波を発生する。

この周波数と列車速度の関係は、

$$f = \frac{NV}{3.6\pi D} \dots\dots\dots (6. 1)$$

で与えられる。(図 6. 4 参照)

ここに  $N$  : 車軸一回転あたりの出力パルス数

$V$  : 列車速度 (km/h)

$D$  : 車輪径 (m)

## 6. 1. 3 ATC 装置の動作

以下、図 6. 3 に示したブロック図により、ATC 装置速度照査部の  
動作を説明する。

速度発電機の出力信号は波形整形回路に与えられく(矩)形波に整  
形される。

他方、装置の内部では、水晶発振器で一定周波数の信号を発生し  
ており、これをクロックパルスとして用いる。速度周波数をその一方  
(CP 2) に同期させ、他方の CP 1 はパタンパルスを作るのに用いられ  
る。

したがって、速度パルスとパタンパルスとが異なる位相であるため、  
周波数比較器での演算が可能となる。

パルス分配器ではパタンパルスを作るが、このパタンパルスは速度パルス  
と対応しており、たとえば、160, 80, ……、10 km/h 相当の周波数  
のパルス列である。これら ATC を制限速度信号に応じて、適当に  
加え合わせれば 210, 160, 30 km/h 相当の制限速度パタンパルスが得ら  
れる。

図 6. 5 に各信号の様子を示す。

このようにして得られた制限速度パタンパルスは周波数比較器に  
加えられるが、一方比較器には速度パルスが加えられており、比較器  
はこの二つの信号の周波数を比較し、もし速度パルスのほうの周波  
数が大であればブレーキ指令を出す。

ブレーキ指令は、ブレーキ制御装置に送られ、列車にブレーキがかかっ  
て減速し制限速度以下となったときに、ブレーキ指令はなくなる<sup>(2)</sup>。

## 6. 2 TASC (自動列車定位置停止装置)

### 6. 2. 1 概要

駅プラットフォームの定められた点に正確に停止するための主としてブ  
レーキ力の制御装置で、減速制御は乗心地良く感じるように行なう。

停止目標点の手前側所定の位置に地点信号を列車に与える地上子  
を設置し図 6. 6 で示すように一定減速度の距離～速度の関数を発  
生し、この関数(パタン速度と称す)に車速を追従させるようにブ  
レーキ制御を行なう。停止パタンに車速を追従させるためのブレーキ  
力指令としては、停止パタンからの車速のずれに比例してブレーキ力  
を調節する方法<sup>(3)</sup>と、車速に応じて指令するブレーキ力は階段状に指令  
して最終的に目標地点に列車を停止させるように誘導する方法があ  
る。

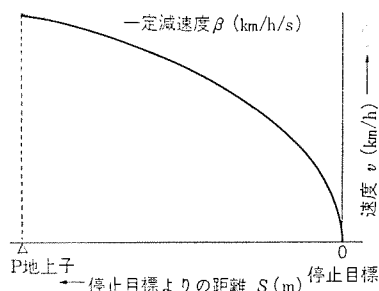


図 6.6 列車減速曲線  
Deaccelerating curve.

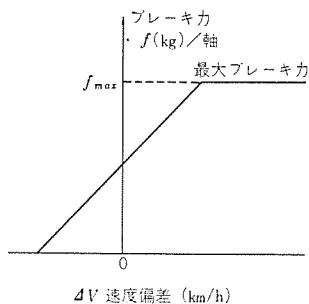


図 6.7 比例制御方式の  
ブレーキ 指令  
Braking command of proportional  
control system.

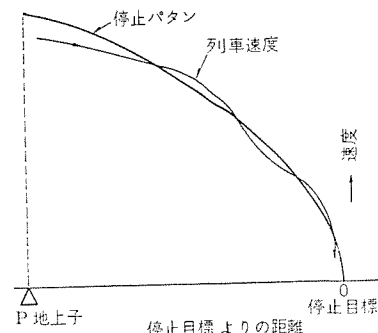


図 6.8 比例制御方式による停止制御  
Stopping control by proportional  
control system.

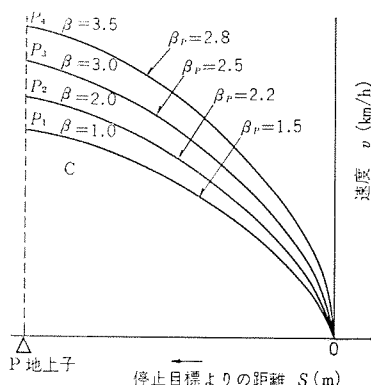


図 6.9 ゾーン制御停止パターン  
Stopping patterns of zone control system.

前者の場合を図 6.6 および図 6.7 で説明する。図 6.7 における横軸は速度 パターンと車速の偏差を示し、偏差 0 であらかじめ定めた標準減速度のブレーキ力を与えるようにし、偏差が生ずるとパターン上に車速を追従させるようにブレーキ力指令を出す。

別の方法は図 6.9 のように  $P_1 \sim P_4$  なる減速度の異なる停止パターンを設け車速がいずれのゾーンにあるかを検知して、各ゾーンに応じて異なる大きさのブレーキ力を指令する。

上記 2 例を周波数演算方式で行なう回路方式を以下に示す。

## 6.2.2 TASC 装置の動作

### (a) 比例制御方式

図 6.10 において、列車速度 パルス をクロックパルスに同期し  $F_r$  とする。分周器、カウンタ、ゲートにより停止パターンを地点信号を受けたとき発生し、停止パターン  $F_p$  と車速パルス  $F_r$  を比例制御器でブレーキ力を計算する。停止パタンの発生方式は次による。

停止目標点からの距離を  $S$  m とし標準減速度を  $\beta$  km/h/s とすると

$$V_P^2 = 7.2\beta S \quad V_P: \text{パターン速度 km/h}$$

$$\frac{dV_P}{dS} = k \cdot \frac{1}{V_P}, \quad (k=3.6\beta) \quad \dots\dots\dots (6.2)$$

式 (6.2) は停止パタンの距離変化に対するパターン速度の変化がパターン速度に逆比例することを示す。デジタル式停止パターン発生器<sup>(4)</sup>はパルス分周器をカウンタの前に置き、カウンタの値はパターン速度を示すものとする、カウンタの値により前に置いたパルス分周器の分周比を変化する。たとえば図 6.11 においてカウンタの値を速度にとってあるが、 $A_1$  を最大値として  $A_2, A_3, A_4$  の各近似折点にくと距離パルスに対するパターン速度の変化量が順に 2 倍ずつになってきて式 (6.2) を行なっている。さらに近似度を上げたものが図 6.12 である。

カウンタの値はパターン速度が 2 進表示されており、パルス分配器で 2

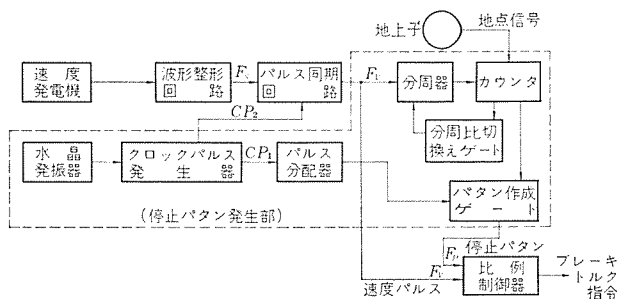


図 6.10 TASC 装置 (比例制御方式) 速度照査部ブロック図  
Block diagram of TASC apparatus (proportional  
control system).

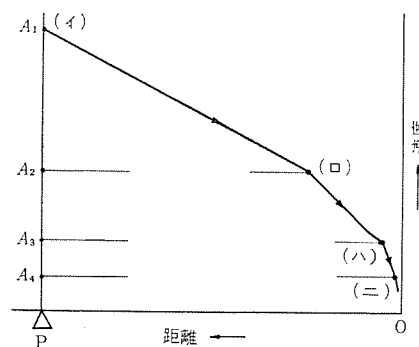


図 6.11 停止パターン  
Stopping pattern.

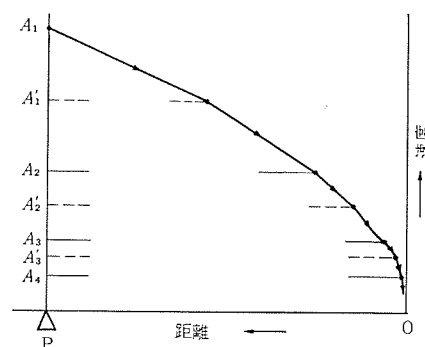


図 6.12 実際の停止パターン  
Actual stopping pattern.

進数列のパルス列を作り、カウンタの条件で合成して停止パターン周波数を作成する。比例制御器においてパターン周波数と速度パルスの偏差を検出しブレーキ力を設定する。

### (b) ゾーン方式

ゾーン方式によるブロック図を図 6.13 に示す。パタンの作成は、比

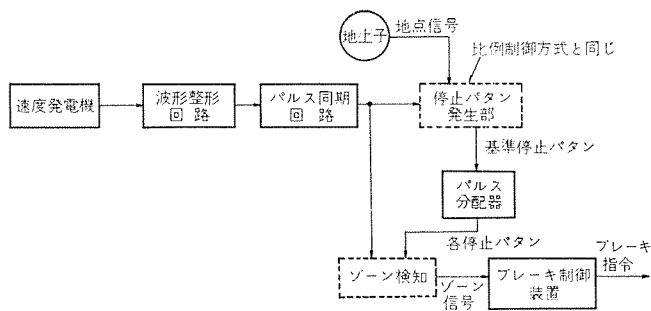


図 6.13 TASC 装置 (ゾーン制御方式) 速度照査部ブロック図  
Block diagram of TASC apparatus (zone control system).

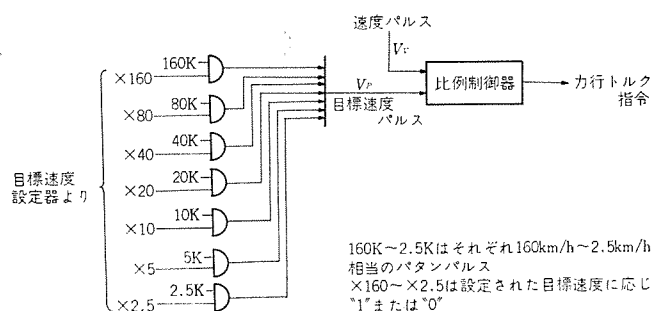


図 6.15 力行トルク指令回路  
Propulsion torque command circuit.

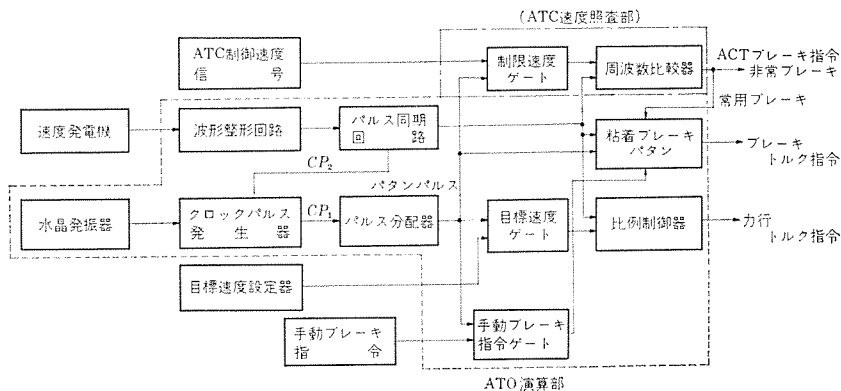


図 6.14 ATO 装置演算部のブロック図  
Block diagram of ATO apparatus.

例制御式とまったく同じ構成である。ゾーン検知は停止ボタン周波数を周波数分配器で分けて他の分周パターンを作り、列車速度を各ゾーンの境界値と比較して、2個の比較器の出力状態でそのときの車速のあるゾーンを検知し、検知されたゾーンに定まったブレーキ力を指令する。なおこの方式において、停止ボタンの代わりに目標速度(周波数)を与え、ゾーンに応じて力行・力行・ブレーキの選択を行なうことにより、駅間の走行制御も行なうようにすれば自動運転装置(ATO)用速度演算部が得られる。

### 6.3 ATO (自動列車運転装置)

#### 6.3.1 概要

6.1節で述べたATC装置は、先行列車との間隔確保、カーブでの徐行など、保安のために速度を制限するもので、その機能は、列車速度が制限速度を越えればブレーキを指令し、制限速度以下になればブレーキを解除するものである。

駅間の走行速度を、所定の走行目標速度に制御しようとする場合、実際には架線電圧の変動、乗客数の変化、線路こう配、列車の受ける走行抵抗など、種々の要素が存在し、これらが大きな外乱として作用する。

ATO (自動列車運転装置) はこれらに対しても、定速運転が確保できるよう速度制御を行なうものである<sup>(2)</sup>。

走行目標速度(以下、目標速度という)は、運転士または他の速度設定装置等から与えられるが、列車速度が、ATC制限速度を越えればATCによるブレーキが作用し、あくまでATC優先となっている。

#### 6.3.2 ATOの構成

図6.14にATO装置のブロック図を示す。

上部の一点鎖線で囲んだ部分は、6.1節で述べたATC装置で、列車速度が制限速度を越えれば、ATOの指令とは独立にブレーキ指令を出す保安装置である。

目標速度設定器は、列車の目標速度を与えるもので、所定のステップで速度を設定するようなものである。

手動ブレーキ指令は、手動でブレーキトルクを指令するもので、運転士が任意に適当なブレーキ力を与えることができる。

#### 6.3.3 速度制御

図6.15に力行トルク指令の回路を示す。

目標速度設定器により与えられた目標速度は、パルス分配器で作られたパルス列(この例では160km/h~2.5km/h相当)とゲートにより、目標速度パルス( $V_p$ )として比例制御器に与えられる。

一方、比例制御器には速度パルス( $V_r$ )が加わり、 $V_p$ との偏差に比例した力行トルクが指令される。

すなわち、この力行トルクは次の式(6.3)で与えられる。

$$PT = K_P \cdot \Delta V \quad \dots \dots \dots (6.3)$$

ここに  $\Delta V$ : 速度偏差 ( $= V_p - V_r$ )

$K_P$ : 比例ゲイン

## 7. 開発経過および応用事例

高精度の要求を満たすものとしてデジタル化の開発を昭和40年に開始し、開発試作の段階を経て、42年にはATC速度照査部をデジタル化(トランジスタ式)したものを日本国有鉄道に納入し、東海道新幹線において現車試験を実施していただき十分実用可能であることを確認した。そのころから各方面でICが使用されるようになったので、小形・高信頼度の要求を満たすべくIC化の開発に着手し、42年にIC実用の基礎データを得るための開発試作を行ない、帝都高速度交通営団地下鉄東西線で現車試験を行なってIC実用化の明るい見通しを得、43年には、速度照査部に応用して実用化試作を行ない、同じく東西線で現車試験を行なって十分実用化できることを確認した。その後43年には日本国有鉄道に納入した駅間の走行速度制御、ATC速度制限機能をもった運転指令装置に応用し、現在

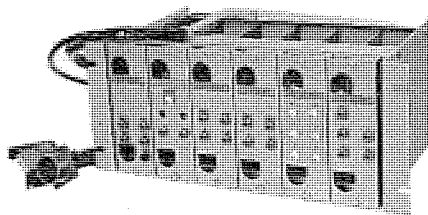


図 7.1 (a) ATC 速度  
照査器  
(a) ATC speed checker.

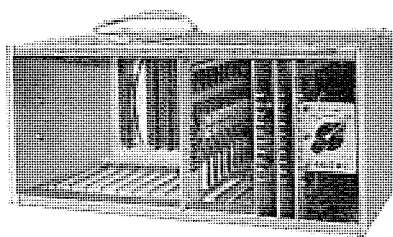


図 7.1 (b) ATC 速度  
照査部 (IC)  
(b) ATC speed checker  
(IC).

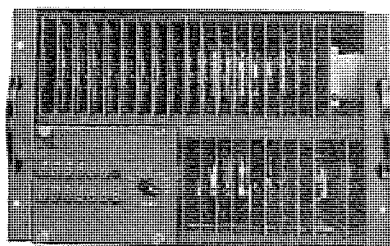


図 7.2 (a) TASC 停止 パターン 発生部  
(アナログ)  
(a) Stopping pattern generator for  
TASC.

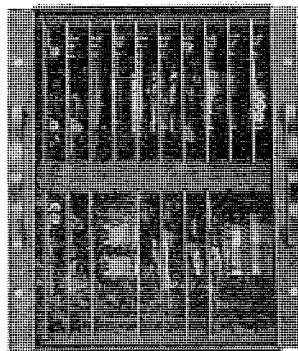


図 7.2 (b) TASC 演算部  
(アナログ)  
(b) Analog proportional  
controller for TASC.

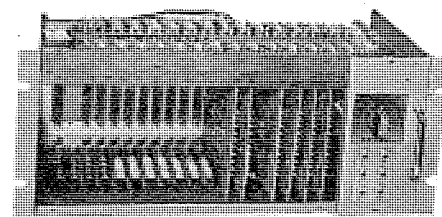


図 7.2 (c) TASC 速度照査部  
(デジタル)  
(c) Speed checker for TASC  
(digital).

新幹線試験電車で現車試験中であり、つづいて納入した定位置停止装置にも応用し、運転指令装置と組み合わせて現車試験を行なうことになっている。また、44 年前半には帝都高速度交通営団に納入した 9 号線試験電車で ATC 装置にも応用し、最終的な動作・性能の確認を行ない、現在量産車用を製作中である。

上記実績の内、二つの実例を外観写真により従来のアナログ式のものと対比して示したのが、図 7.1 および図 7.2 である。

図 7.1 は ATC 速度照査部の例であり、(a) が従来のアナログ式、(b) が IC 化したものであり、約 1/3 に小形化されており、従来、別カードフレームにあった制御論理部を IC 化して (b) の中に収容することができる。

図 7.2 は定位置停止装置の速度照査部の例であり、(a)、(b) が従来のアナログ式の関数発生部および演算部、(c) が IC 化したものであり、約 1/3 に小形化されており従来別箱に収容していた制御論理部を、IC 化して (c) の中に収容することができる。もちろん、これらは小形化と同時にすでに説明した原理によって高精度のものとなっている。

## 8. む す び

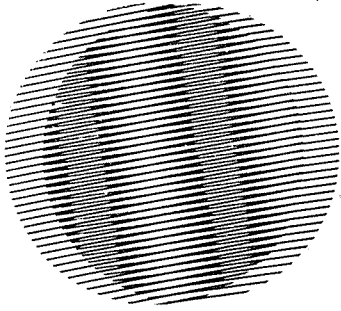
前章にあげた実例および今後の実例については、演算回路を含む装置全体として個々の装置としての紹介、報告の機会をもつこととして、今回は列車自動制御装置の中心部をなす速度制御演算回路の

デジタル化、IC 化の基本回路、応用回路の原理的な説明を行なった。若干の周波数演算のための基本回路を組み合わせることにより、種々の機能が得られるので、今後の列車制御の自動化に大いに役立つものと思う。もちろん現在は実用化の初期段階であり、実用データをもとに基本回路および組み合わせ応用回路において改良を加え完成されたものにしていく所存である。

最後に種々ご指導・ご協力いただいた関係各位に深く謝意を表し、あわせて今後のご指導・ご協力をお願いする次第である。

## 参 考 文 献

- (1) 北岡：最近の電車で ATC 装置，三菱電機技報，39，895 (昭 40)
- (2) 横田，森田，五十嵐，北岡ほか：大阪市営地下鉄の自動運転について，第 5 回 サイバネックス 利用 国内 シンポジウム 予稿集 (P. 39～47)
- (3) 伊藤，稲田，市木：定位置停止装置の試作試験について，第 4 回 サイバネックス 利用国内 シンポジウム 予稿集
- (4) 大鳥羽，石田，鳥居：2 進カウンタによる二次関数発生器，昭 37 電気関係学会関西支部連合大会 4-1
- (5) 壺井，白庄司，鳥居，梅田：IC 化 ATC 装置，三菱電機技報，42，11 (昭 43)



## 新製品紹介

### 三菱 LOE 形高圧地絡継電装置完成発売

JIS-C 4601 適合品 (昭和 43 年 8 月 1 日制定)

LOE 形地絡継電装置は、ビルディング、会社工場などの高圧受電設備を有する非接地式高圧回路の配電線や、高圧機器の地絡事項を検出し、すみやかにしゃ断器を引きはずし、事故の拡大を未然に防ぐ保護装置で昭和 43 年 8 月 1 日に制定された JIS-C 4601 に適合するものである。

#### 特 長

- (1) JIS-C 4601 を満足しかつそれ以上の性能を持っている。
- (2) 電力用 シリコントランジスタ を使用しているから特性が安定し信頼性が高い。
- (3) 周波数 50 Hz, 60 Hz の切換タップをもっているため周波数共用ができる。
- (4) 動作時間の切換タップをもっているため動作時間を長くしたいときに便利である。
- (5) CT トリップ用リアクタは内蔵しているのて取付結線の手間がはぶける。
- (6) 端子番号は JIS 規格に準拠しているのて外部結線が非常に楽である。

#### 仕 様

| 形 名       | トリップ方式              | 定 格 事 項        |           |             | 消 費 電 力 |       | 温度範囲         | 動作時間         |
|-----------|---------------------|----------------|-----------|-------------|---------|-------|--------------|--------------|
|           |                     | 周 波 数          | 制 御 電 源   | 感度調整タップ     | 動作時     | 常 時   |              |              |
| LOE-4 C-R | CT トリップ<br>(リアクタ内蔵) | 50/60 Hz<br>共用 | AC        | 0.1—0.2     |         |       | 広温形          | 切換式<br>“標準時” |
| LOE-4 V-R | 電圧トリップ              |                |           | —0.4—0.6    | 15(VA)  | 3(VA) | —20～<br>60°C | “限 時”        |
| LOE-5 V   | 電圧トリップ              | (切換スイ<br>ッチ付)  | 100/110 V | —0.8—1.0(A) |         |       |              | スイッチ付        |

[神戸製作所]

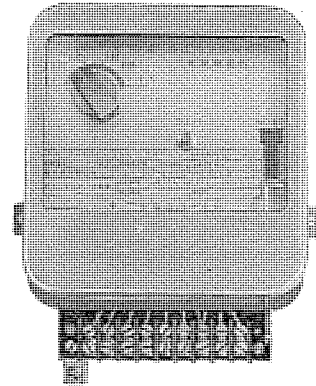


図 1 LOE-5 V 形継電器

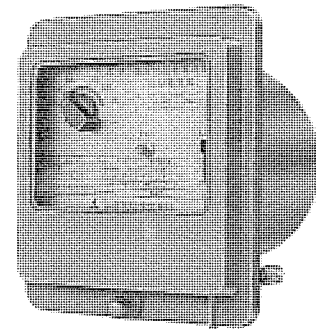


図 2 LOE-4 C, LOE-4 V 形継電器

### イナートガスアーク溶接機 MEL-ARC

イナートガスアーク溶接はアルゴン、ヘリウムなどの不活性ガスのふんい気中で、タングステン電極と母材間でアークを発生させて溶接する方法で、ステンレス鋼、合金鋼、アルミニウム、マグネシウムおよびそれらの合金の溶接に美しいビードと均質な溶接結果が得られる。

今回当社では三菱 イナートガス溶接機 (MEL-ARC) のシリーズ化を完成し、原子炉・压力容器・車両など、特に溶接欠陥が問題になる溶接分野への適用を計ってゆきたい。

#### 特 長

- (1) MEL-ARC, 直流シリーズ

原子炉・压力容器・化学機器などのステンレス鋼、余盛の少ないことが要求される薄鋼板の溶接に適用。

- (a) 制御装置内蔵式のため、設置場所を少なくでき、移動も簡単。
- (b) 強力な高周波発生装置はトーチケーブル長さを 20 m にしてもアークスタートが可能で、作業範囲が著しく拡大できる。
- (c) クレータ制御によって溶接終了時、溶接電流が所要の時間減少でき、欠陥のない美しい溶接が行なえる。

- (d) ガスセバ、水圧 リレー、高周波障害防止など、完ぺきな保護回路を備えている。
- (e) 制御装置はすべて電源の前面に配置されているので、とびらを開けるのみで部品の点検・修理が行なえる。
- (f) 電磁開閉器を内蔵しているので、電撃の危険がない。
- (g) 空冷 150 A、水冷 300 A の トーチ は、用途によって選択でき、操作性は抜群。
- (2) MEL-ARC 交流 シリーズ
- アルミ 車両・容器などで、溶接欠陥がきびしく要求されるところや、薄板 (0.8~2 mm) の溶接に適用。
- (a) 手持の交流 アーク 溶接機と接続して使用できる。
- (b) 電撃防止用としては、準標準品に TC 形電磁接触器をそろえている。
- (c) 強力な高周波発生装置は トーチケーブル 長さを、20 m にしても アークスタート が可能で、作業範囲が著しく拡大できる。
- (d) 制御装置は徹底した小形軽量化を計っており、ケース をはずすのみで部品の点検・修理が行なえる。
- (e) ガスセバ、水圧 リレー、高周波障害防止など、完ぺきな保護回路を備えている。
- (f) 空冷 150 A、水冷 300 A の トーチ は、用途によって選択でき、操作性は抜群。

## 仕 様

|                  | MEL-ARC<br>DC 200  | MEL-ARC<br>DC 300            | MEL-ARC<br>AC 200 または 300      |
|------------------|--------------------|------------------------------|--------------------------------|
| (1) 溶接電源         | TB-200 AC          | TB-300 AC                    | MA-200 または 300<br>(標準交流アーク溶接機) |
| 入力電圧 V           | 3 φ 200            | 3 φ 200                      |                                |
| 周波数 Hz           | 50 または 60 専用       | 50 または 60 専用                 |                                |
| 入 力 kVA          | 14                 | 23                           |                                |
| 定格電流 A           | 200                | 300                          |                                |
| 無負荷電圧 V          | 69                 | 72                           |                                |
| 出力電圧範囲 V         | 10~30              | 10~35                        |                                |
| 出力電流範囲 A         | 10~200             | 15~300                       |                                |
| 定格使用率 %          | 40                 | 40                           |                                |
| 温度上昇 deg         | 115                | 115                          |                                |
| 整流方式             | シリコン三相全波           | シリコン三相全波                     |                                |
| 重 量 kg           | 175                | 205                          |                                |
| (2) イナートガス制御装置   |                    |                              | HA-1 B                         |
| 構造               | 電源内蔵式              | 電源内蔵式                        | 分離式                            |
| 高周波発振周波数 MHz     | 約 2                | 約 2                          | 約 2                            |
| 発振方式             | 火花放電               | 火花放電                         | 火花放電                           |
| 放電間けき mm         | アルゴンふんい気中最大10      | アルゴンふんい気中最大10                | アルゴンふんい気中最大10                  |
| ガス後流時間 s         | 5~30               | 5~30                         | 5~30                           |
| クレータ制御           | 付                  | 付                            | な し                            |
| (3) 溶接トーチ        | HT-151             | HT-302                       | HT-302                         |
| 定格電流 A           | 150                | 300                          | 300                            |
| 冷却方式             | 空 冷                | 水 冷                          | 水 冷                            |
| 使用電極径 mm         | 0.5, 1.0, 1.6, 2.4 | 1.0, 1.6, 2.4, 3.2           | 1.0, 1.6, 2.4, 3.2             |
| 最小使用電極長 mm       | 25                 | 25                           | 25                             |
| 重 量 g            | 150                | 250                          | 250                            |
| ケーブル長 m          | 4                  | 4                            | 4                              |
| 冷却水量 l/min       | —                  | 10(at 1 kg/cm <sup>2</sup> ) | 10(at 1 kg/cm <sup>2</sup> )   |
| (4) 足踏スイッチ       | PS                 | PS                           | PS                             |
| 制御ケーブル長 m        | 5                  | 5                            | 5                              |
| (5) アルゴンガスレギュレータ | FR-II              | FR-II                        | FR-II                          |

[名古屋製作所]



図 1 MEL-ARC 直流 シリーズ

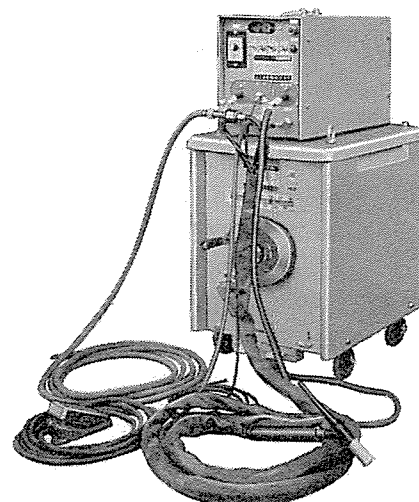
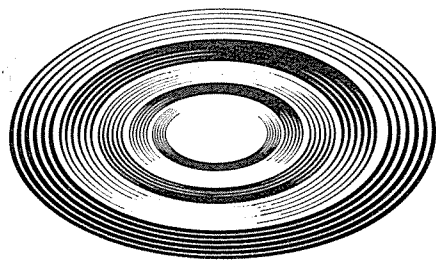


図 2 MEL-ARC 交流 シリーズ



# NEWS FLASH

## 全無接点式バーナ制御装置国産第1号完成

当社は、かねて全無接点制御方式による火力発電所バーナ制御装置を三菱重工業(株)と協同開発中であったが、今回その国産第1号機を完成し九州電力(株)大分火力発電所に納入した。最近すべての試運転を完了して良好な本格的運転を開始し、ボイラの安全運転および省力化に大きな威力を発揮している。バーナ自動制御装置は周知のとおり火力発電所自動化の多数の項目の中で最も重要なサブローの一つであるが、今回三菱重工業(株)との密接な協力のもとに、火力発電所のオンライン装置としてのハードウェアの信頼性、また火炎の検出方法等自動化のための問題点をすべて解決し国産第1号機を完成したものであり、火力プラント自動化・省力化に大きな躍進を遂げるものと期待されている。装置は操作パネル、ロジックキャビネット、入・出力端より構成される。

操作パネルは中央制御室のボイラ・タービン制御盤に組み込まれたサブパネルで、これには操作スイッチ、運転状態の表示灯、警報表示灯が設けられる。この操作パネルにより、ボイラ運転員は中央制御室からワンタッチでバーナの運転、ボイラ負荷の変化等の操作が行なえるようになっている。

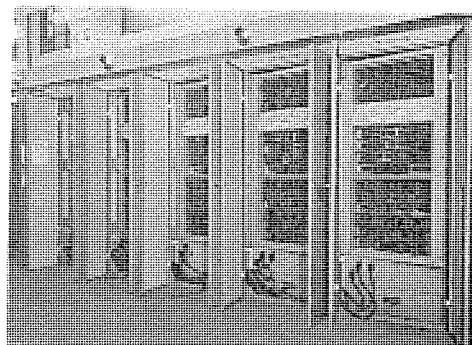
ロジックキャビネットにはバーナのシーケンス制御を行なうための論理カードが収納されている。入力・出力端は主としてボイラ燃焼装置周辺に配置されており、入力端はリミットスイッチ・圧力スイッチ等であり、出力端は主として電磁弁・操作モータなどである。

この制御装置は無接点要素によるシーケンス制御方式で、特に電力機器制御用として開発されたカードシステムを使用している。この装置およびカードシステムの特長は

- (1) 電力機器制御用として特に高信頼度になるように設計が行なわれていること。
- (2) 信号入力の受信端から操作端の駆動まですべて無接点方式であること。
- (3) 全無接点方式の制御装置であるが入力・出力信号線にシールド線が不要であり、従来の制御ケーブルが使用できること。
- (4) プラント側電源と入力・出力端を含めたバーナ制御装置とは電氣的に絶縁されていること。

などである。なお九州電力(株)にひきつづき同種の装置を多数受注し製作中である。

〔神戸製作所〕



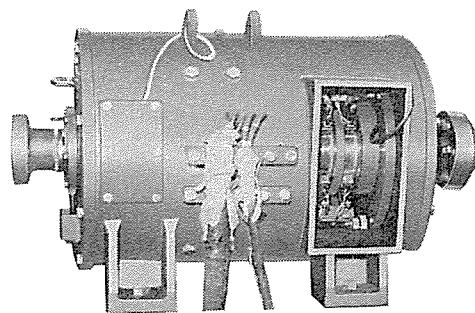
九州電力(株)大分火力発電所納め  
1号ボイラ用バーナコントロール装置

## 電気動力計試験用超高速直流電動機完成

近年、超高速電気動力計の需要が増加したため、これらの特性試験および振動測定用として2台製作したもので、このクラスの容量のもので増速機を介せず、基底速度2,500 rpm、界磁制御で10,000 rpmの速度はきわめて広範囲・超高速のものと言える。

回転子は10,000 rpmにおいて100,000 Gの遠心力を受けるため、その電機子鉄心、バインド、くさび、軸および整流子などすべて特殊材質を採用し、特に整流子はまだ国内で採用された報告のない合金銅およびステンレスを採用し、良好な結果を得ている。軸受はオイルミスト給油方式としている。

写真はまだ総仕上げの完了していない状態(塗装などが未完)であるため、若干外観が見劣りするが、所定の試験をすべて完了し、現在きわめて好調にか(稼)動されている。



110 kW 直流電動機

定格は下記のとおりである。

|         |                        |
|---------|------------------------|
| 容 量：    | 110 kW                 |
| 電 圧：    | 330 V                  |
| 電 流：    | 370 A                  |
| 回転数：    | 2,500/10,000 rpm（界磁制御） |
| 時間定格：   | 連 続                    |
| 形 式：    | 他力通風型                  |
| 回転子遠心力： | 100,000 G              |

[神戸製作所]

## 東京電力安曇発電所納め 111 MVA 水車発電機低周波同期始動に成功

当社では、東京電力(株)によりすすめられている大規模な梓川水力開発計画の主要発電所となる安曇発電所第1・第2号機向けとして、111 MVA 水車発電機2台を鋭意据付中であつたが、5月29日官庁試験を無事好成績裏に終了した。この発電所はわが国第2位の高さを持つアーチ式ダム直下に、ダムに沿って扇形状に配置された典型的な大容量貯水式水力発電所である。

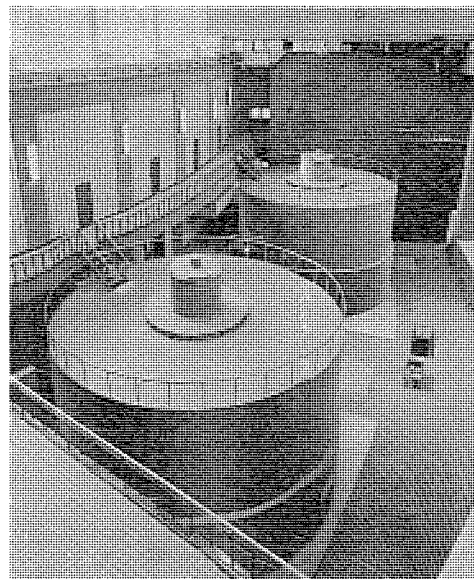
本発電機は発電専用機であるが、今秋運転開始予定の109 MVA/106 MWの揚水発電用発電電動機4台の起動用発電機としても使用される重要な発電機である。すなわち揚水用発電電動機を、起動頭初より起動用発電機に接続し、発電機と電動機とを同期させた状態で電動機を起動する、いわゆる低周波同期起動用発電機として使用されるものである。わが国において、このように大規模な揚水発電所で、この起動方式が採用されるのは本発電所が初めてであり、この方面の注目をあびているものである。このため、当社では官庁試験に先だち、東京電力と共同で発電機2台のうち1台を起動用発電機に、他の1台を被起動の電動機として低周波同期起動実験を行なった。

本起動法の成否は、水車の発生トルクとその制御の良否いかんによるところが大きく、このためいろいろな状態を想定した起動実験を実施したが、いずれの起動条件においてもきわめて順調に電動機を低周波同期始動させ得ることが確認され、好成績裏に実験を終了した。

この発電機の定格は以下のとおりである。

|       |                  |
|-------|------------------|
| 種 類：  | 三相交流同期発電機        |
| 形 式：  | 立て軸半かさ形回転界磁全閉内冷形 |
| 容 量：  | 111,000 kVA      |
| 電 圧：  | 15,400 V         |
| 電 流：  | 4,161 A          |
| 周波数：  | 50 Hz            |
| 回転速度： | 200 rpm          |
| 力 率：  | 95 %             |
| 励磁機：  | 330 kW           |

[神戸製作所]



東京電力(株)安曇発電所納め水車発電機

## 王子製紙春日井工場向け抄紙機用アナログおよびデジタル スピード ドロー 測定装置完成

抄紙機的高速化とともに高精度・高安定度の速度制御が要求されるようになってきたが、このほど、これらの制御状態を常時監視するための MS-330 形 アナログドロー 測定装置、および MS-350 形 デジタルスピードドロー 測定装置を完成した。

本装置は押し ボタンスイッチ によって、任意 セクション のスピード および任意 セクション 間のドロー 測定ができるとともに、各 セクション に設置された表示器からの操作によって遠隔測定ができる。MS-330 形・MS-350 形共に、周囲条件に影響されない高精度のスピードドロー 測定を行なうために、演算回路はすべて デジタル 化し、 $\pm 0.01\%$  の測定精度を保証している。また、ロール 径の変化による測定誤差を防ぐため、各 セクション に BCD 5 けたのピンボード 設定による ロール 径補償器を設けている。

本装置のおもな特長および仕様は次のとおりである。

### 特 長

- (1) 測定回路の主要部分は、デジタル 演算回路を用いているため測定精度が非常に高く、 $\pm 0.01\%$  である。また、周囲条件の影響は受けない。
- (2) 測定値の デジタル 表示は、記憶表示式であるため、見やすい (MS-350 形)。
- (3) 押し ボタンスイッチ により、任意の セクション および セクション 間のスピードドロー 測定ができる。
- (4) ロール 径の変化は、各 セクション に設けた BCD 5 けたのピンボード により、補償ができる (MS-350 形)。
- (5) 任意 セクション 間のドロー の連続監視・記録ができる。
- (6) 各部を ユニット 化しているため、保守・点検が容易である。

### 仕 様

#### (1) MS-330 形 アナログドロー 測定装置

ドロー 測定範囲： 電動機定格回転数の  $\pm 2\%$  以下

ドロー 測定可能な抄速範囲： 電動機回転数において 300~1,400 rpm

ドロー 測定精度：  $\pm 0.01\%$

各 セクション の任意呼出し可能

ゼロシフト： ドロー 測定範囲の  $\pm 2.75$  倍

記録計： 平衡時間 5 秒、記録紙 180 mm

記録紙送り速度： 25/50/100/150/300/600 mm/h および mm/min

校 正： 内蔵水晶発振器により 1 校正

周囲温度：  $-10\sim 45^{\circ}\text{C}$

測定装置電源： AC 100/110 V 50/60 Hz

#### (2) MS-350 形 デジタルスピードドロー 測定装置

スピード 測定範囲： 電動機定格回転数の  $15.0\%$  以下

ドロー 測定範囲： 電動機定格回転数の  $\pm 8\%$  以下

ドロー 測定可能な抄速範囲： 電動機回転数において 300~1,400 rpm

スピード および ドロー 測定精度： 最小けたの  $\pm 1$  目盛

各 セクション 任意呼出し可能

スピード および ドロー 表示： 記憶表示式

スピード および ドロー 測定の サンプリング 時間： 1.1~3.0 秒

ロール 径補償： 全 セクションピンボード による BCD 5 けた設定

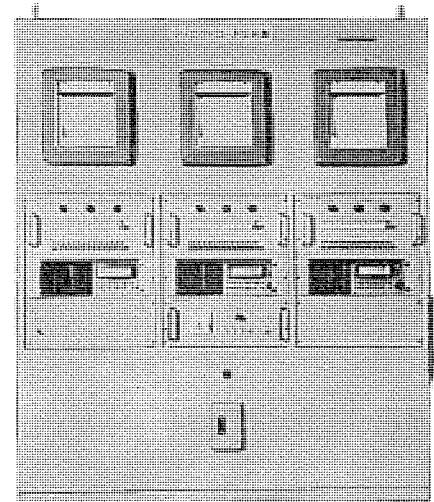


図 1 MS-330 形 アナログドロー 測定装置

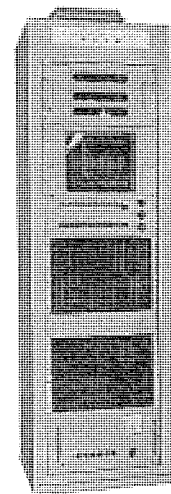


図 2 MS-350 形 デジタルスピードドロー 測定装置

校 正： 内蔵水晶発振器により校正

周囲温度：  $-10\sim 45^{\circ}\text{C}$

測定装置電源： AC 100/110 V 50/60 Hz

[神戸製作所]

## IC 化サイクリック式遠方監視制御装置

近年の半導体技術の進歩はめざましく、回路の超小形化、信頼度の向上を目標とした集積回路、いわゆる IC がトランジスタに代わるものとして脚光をあびている。すでに当社では業界に先がけて IC の生産に着手し、多数の製品を世に送り出しているが、現在では IC 自体の信頼性・経済性などが確認され、完全に実用段階にはいっている。当社ではこのような現状から、非常に高い信頼性を必要とする電力機器制御装置に IC を採用しても支障なく、反面 IC の特長を活用できるとして、サイクリック式遠方監視制御装置の IC 化を完成し、電力会社向け遠方監視制御装置として納入した。

この装置は、サイクリック式遠方監視制御装置の心臓となる符号送受信論理回路は、すべて当社製 IC 三菱 モレクトロン DTL-M 5930 P シリーズ品にて構成し、強電機器との接続回路と、表示灯回路はワイヤスプリングリレー、上記 IC とワイヤスプリングリレー間の接続は同じく当社製シリコントランジスタにて構成したもので、つぎにその特長を述べる。

### (1) 装置の高信頼度化

部品の減少、部品の高信頼性、部品の均一化、接続個所の減少、組立作業の簡易化などによる装置信頼性の向上。

### (2) 小形化

最近大都市などにおける設備の小形化が緊急の命題となっているが、送受信論理回路で従来のトランジスタ式に比べ約 1/2 に縮小された。

### (3) 保守の容易

部品の減少、信頼性の向上による保守の容易。

### (4) 温度範囲の拡大

三菱 モレクトロン は単体で  $0^{\circ}\text{C}\sim +70^{\circ}\text{C}$  まで動作保証。

### (5) 動作速度の向上

三菱 モレクトロン の動作速度は n sec 単位であるからこの装置として従来より動作速度を上げることができる。

なお当社では IC 化の技術を活用し電力量日報作成装置、さん孔テープ式記録装置もすべて IC 化を完了し、すでに各方面にて実動中である。

[神戸製作所]



図 1 IC 化サイクリック式遠方監視制御装置

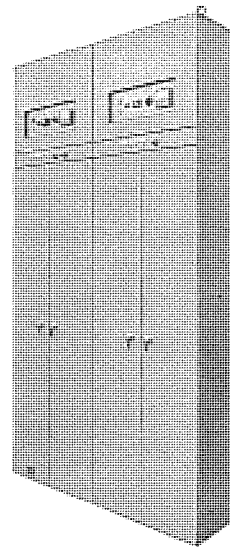


図 2 IC 化サイクリック式遠方監視制御装置

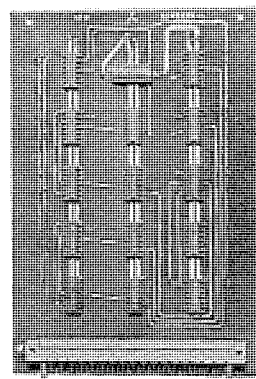


図 3 IC 化サイクリック式遠方監視制御装置

## 自動記録装置付集中監視制御装置

現在、各種の電機設備・機械設備の運転は、遠方に離れた制御所より遠方監視制御装置を介して行なう方式によることが多いが、特に最近では、効果的投資をはかるため遠方にある多数の被制御所の制御・監視を中央制御所から行なう集中監視制御が多くなった。このように集中監視制御が大規模になるにつれ、中央制御所における計測の記録、故障記録などのいわゆる情報処理が複雑になってくる。当社では、制御・状態監視・計測などの各種情報を自動的に記録し、情報処理の能率向上を計った自動記録装置付集中監視制御装置(MELDAC-200)を開発した。

この装置は制御、監視、デジタル計測およびデータ記録機能をコンパクトにまとめたもので、遠方からの制御・監視・計測を任意に行なうことができるとともに、被監視機器の状態、警報、計測値などをすべて自動記録するので、設備の運転・保守が非常に容易になるものである。その特長は

(1) 制御・監視・計測などの各種情報を2進化符号に変換して伝送する符号方式であり、符号検定は二連送照合、パルス総数検定および定マーク検定を組み合わせているので、動作が確実であり、計測精度が高い。

(2) 自動的に日報が作成されるため、運転記録の作成に要する手間が省かれるとともに、従来よりも正確かつ確実なデータが得られる。

(3) 制御、監視、計測、データ記録など記録機能をきわめてコンパクトに集積している。

(4) 論理回路はシリコン素子、ICにより無接点化しているので高信頼度、高速度および長寿命である。

(5) 下記の機能を有する。

(a) 2位置制御、3位置制御

(b) 2位置表示、3位置表示

(c) 調整制御

(d) デジタル設定制御

(e) 選択および常時デジタルテレメータ(デジタルサイクリックテレメータ方式)

(f) 被監視項目状態および警報印字

(g) データロギング

(h) さん孔テープ式記録も可能

(6) 構造

(a) 監視制御盤は小形集中制御盤

(b) 継電盤は点検の容易な防じん構造の架構造(幅600mm×高2,300mm)で、配電盤と同等の耐圧を有する。

[神戸製作所]

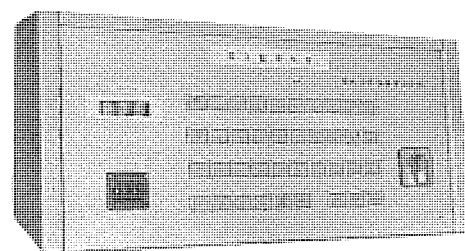


図1 集中制御盤

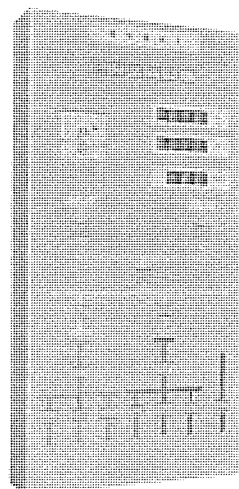


図2 集中監視盤

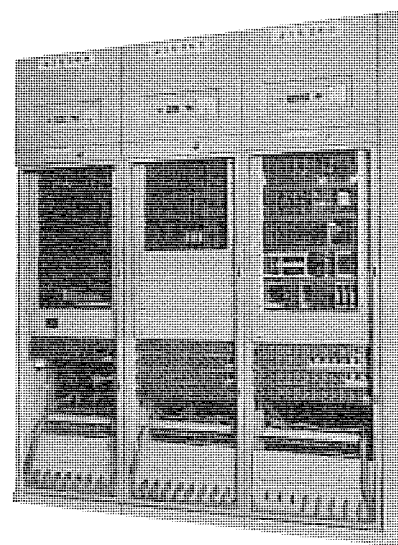


図3 遠方制御継電器盤

## 国鉄 JRS 規格交流電車線保護継電器完成

国鉄 JRS 規格を満足し、ひずみ波入力対策、および励磁突入電流対策を施した、三菱 KKS-23-D 形四辺形特性距離継電器を完成した。KKS-23-D 形継電器の外観を図 1 に、特性図を図 2 に、原理回路を図 3 に示す。この継電器の特長は次の点である。

- (1) タップ範囲：X 分=6~16  $\Omega$ ，R 分=3.2~10  $\Omega$
- (2) E-I 特性：3 A 以上にて  $\pm 5\%$  以内
- (3) 動作速度：5 A，80 %故障にて 60 ns 以内
- (4) ひずみ電流入力特性：3 f 50 %にて 10 % アンダーリーチ  
5 f 30 %にて 3 % アンダーリーチ
- (5) ひずみ電圧入力特性：3 f 10 %にて  $\pm 5\%$  以内
- (6) 励磁突入電流：ピーク 100 A にて異常なし
- (7) 消費電力：PT VA $\approx$ 1 VA at 110 V  
CT VA $\approx$ 2 VA at 5 A  
DCW $\approx$ 6 W at DC 100 V
- (8) 温度特性：20 $\pm$ 20 $^{\circ}$ C にて  $\pm 5\%$  以内

[神戸製作所]

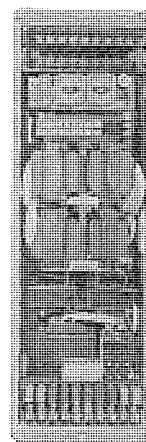


図 1 KKS-23-D 形外観図

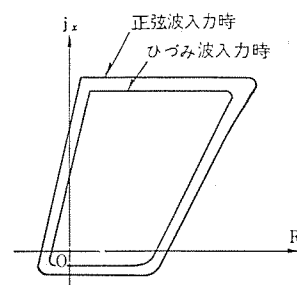


図 2 KKS-23-D 形の位相特性

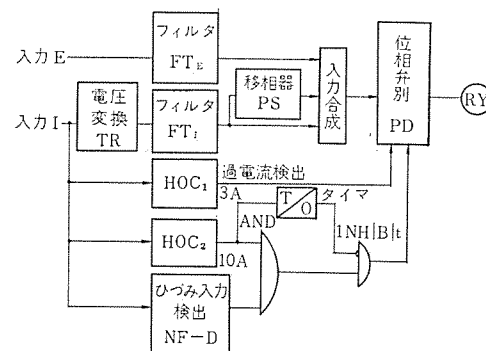


図 3 原理回路方式

## 数値制御装置付自動溶接装置

当社名古屋製作所では数値制御装置付き自動溶接機を開発研究中であったが、このほど、1 号機に続いて 2 号機を完成した。

熟練労働力の不足から、ノーマンシステムに移行しつつある加工機界において、十数年前に開発された数値制御装置が脚光をあび、N/C 付き自動設計機・工作機・ガス溶断機等に、急速に実用化されるに至った。

しかし、数値制御装置を自動溶接機に採用したのは、世界的に見て米国に 1 件例を見るばかりであり、わが国では最初のものである。

写真に示す N/C 自動溶接機は 5 軸同時 2 軸制御の溶接機で、直線および円弧溶接が可能で、溶接物取付け治具との組合せにより、はん(汎)用性に富んだ N/C 自動溶接機である。

操作は、手動運転—ダイヤル運転—テープ運転と、使いやすさを考慮して設計され、溶接の作業順序、溶接条件、溶接トーチの運動、溶接物取付け治具の回転等をさん孔テープにパンチングし、これを N/C 盤にかけることにより、溶接物の取付け取りはずし作業を除いて、ノーマン化を進めている。

本製品は機械本体・溶接機・N/C 盤・制御盤・操作盤・溶接物取付け治具等から構成される。

機械本体は走行式ラジアルボール盤方式で、走行方向を Y 軸、アーム上下方向を Z 軸、アーム左右方向を X 軸、円周半径方向を U 軸、回転角を C 軸とし、5 軸制御している。

また溶接物取付け治具は溶接物の形状により異なってくるが、ポジショナー方式の治具を組合せることによって、多量少量生産品の溶接作業にメリットある機械となる。

多量少量生産部品、特に多工程大形複雑形状部品の溶接作業品に対して、生産性の向上

と、不良品の減少のため、多用途性のあるはん用溶接機（生産性の低迷と熟練工の不足）に比較して、高価な N/C 溶接機の経済的価値）省力化と製品々質の向上と均一化）がクローズアップされてきている。

機械への指令がさん孔テープで行なえるため、テンプレート、モデル、カム等の製作を必要とせず、工作部品、機種の変更に対し、これらの取りはずしを必要とせず、特にモデルチェンジに対しても、融通性・柔軟性を発揮する。

仕様は下記のとおり。

仕様

(a) CM-750 形直流アーク溶接機

交流入力電圧： 3φ 220 V 60 Hz

定格入力： 55 kVA

出力電流： 150～750 A

出力電圧： 25～50 V

定格使用率： 70 %

整流方式： シリコン 三相全波

(b) 数値制御盤

制御軸数： X, Y, Z, U, C の 5 軸

同時制御軸数： X, Y の 2 軸

設定単位： 0.1 mm/パルス, 0.1°/パルス

最大指令値： ±99999.9 mm (X, Y, Z, U 軸)

最大指令値： 99999.9° (C 軸)

指令テープ： 8 単位さん孔テープ

駆動方式： 直流電動機 サイリスタ方式

(c) 機械本体

最大移動量： X 軸 1,000 mm

最大移動量： Y 軸 8,500 mm

最大移動量： Z 軸 800 mm

最大移動量： U 軸 350 mm

最大移動量： C 軸 連続回転可能

位置決め速度： 1,500 mm/min (X, Y, Z 軸)

位置決め速度： 1,200 mm/min (U 軸)

位置決め速度： 1,500°/min (C 軸)

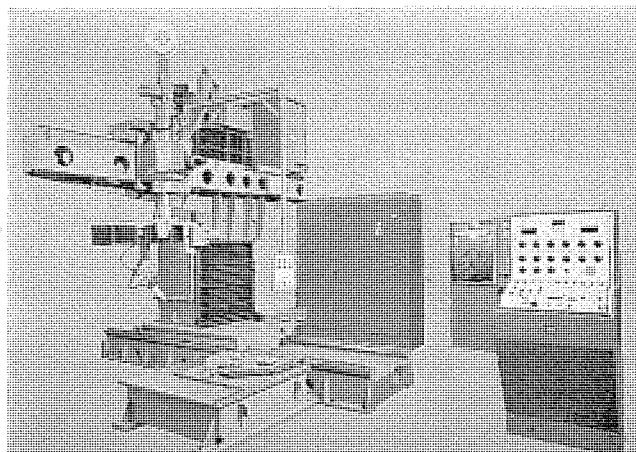
溶接速度： 100～999 mm/min (X, Y 軸)

溶接速度： 100～999°/min (C 軸)

(d) 操作盤

溶接条件設定数： 4

運転方式： 自動—ダイヤル—手動運転



数値制御装置付き自動溶接装置

[名古屋製作所]

## 電話用対ケーブルによる ITV 長距離伝送装置完成 首都高速道路公団に納入

当社では、このほど首都高速道路公団へ、交通流監視用の ITV 装置を納入し、据付を完了した。

本装置は、カメラを公団浜崎橋 インタチェンジ (合流点) に、受像機を京橋にある公団中央監視局の中央管制室において、この間約 3.4 km をケーブルにより信号伝送するものである。

従来 TV 信号の伝送には、同軸ケーブルを使用していたが、このような長距離の伝送を行なう場合は、同軸ケーブル自身の費用および新たにケーブルを布設するための工事費が必要で、全体として伝送路に多額の費用がかかった。

このため本装置では、この 3.4 km の間を既設の電話用の対ケーブル (CPL 0.9 mmφ) を用いて、TV 信号およびカメラのリモートコントロール用の制御信号を伝送したもので、

|                 |     |
|-----------------|-----|
| 映像信号伝送に         | 1 対 |
| 制御信号および連絡用電話回線に | 1 対 |

計 2 対のみを用いて全機能を果しているものである。

映像信号は、途中に中継増幅器を置いて線路の減衰を補償している。また制御信号は、電源 ON・OFF、カメラ 伏仰回転台の上下・左右の回転、レンズのズームングおよび焦点調節、カメラケース 前面 ガラスの ウィンドワイパー ON・OFF、各項をそれぞれ符号化し、さらに連絡用電話を 1 回線これ等と多重化して 1 対の線で伝送している。

この制御回路の符号化には三菱モロトロン (IC) を使用し、信頼性の向上を計っている。

ITV カメラは耐候性の良い完全密閉形の IT-T5 形を使用し、上記以外のカメラのコントロールは、すべて自動化されており、さらにレンズの自動絞り機構、太陽光直射に対する自動シャッター、導電ガラスと自動制御回路によるガラス面露結防止などにより、無調整で安定に動作する。

伝送装置は、

- ITV 送信装置
- ITV 中継増幅器
- ITV 受信装置

からなり、遠隔操作器と組み合わせて、制御信号も、ITV 送信装置および ITV 受信装置において信号処理・符号化・変調・復調が行われる。

伝送装置のおもな仕様は、

### (1) MV-T1 形 ITV 送信装置

#### (a) 映像系

- 入力インピーダンス: 75 Ω 不平衡
- 入力レベル: VS-1.5 V P-P
- 出力インピーダンス: 110 Ω 平衡
- 周波数帯域幅: 4 MHz (平たん)
- ケーブル温度補償用パイロット信号: 4.5 MHz

#### (b) 制御系

- 変調方式: FM
- 搬送周波数: 150 kHz
- 制御信号方式: 長短パルス方式
- 制御項目数: 14 項目
- 制御出力: DC-24 V のリレーの ON・OFF



図 1 IT-T5 形 全天候形カメラ、全天候形 伏仰回転台および ITV 送信装置

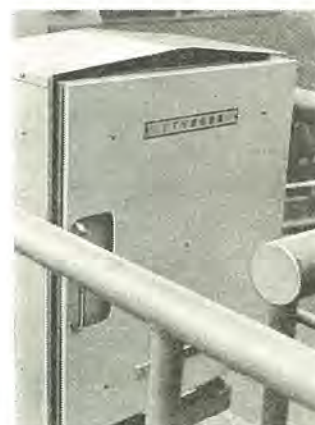


図 2 MV-TI 形 ITV 送信装置



図 3 MV-RI 形 ITV 受信装置 (ITV 受像機 ならびに遠隔操作器)

(2) MV-B1 形 ITV 中継増幅器

入出力 インピーダンス:  $110\ \Omega$  平衡  
 出力 レベル:  $2\text{ V P-P}$  以上  
 利得 (最高周波数において):  $40\text{ dB}$  以上  
 電 源:  $100\text{ V } 50/60\text{ Hz } 15\text{ VA}$  以下

(3) MV-R1 形 ITV 受信装置

(a) 映像系

入力 インピーダンス:  $110\ \Omega$  平衡  
 出力 インピーダンス:  $75\ \Omega$  不平衡  
 出力 レベル: vs.  $1.5\text{ V P-P}$   
 利得 (最高周波数にて):  $40\text{ dB}$  以上

(b) 制御系

変調方式: FM  
 搬送周波数:  $150\text{ kHz}$   
 制御信号方式: 長短パルス方式  
 制御項目  
     ズームレンズ: FAR—NEAR  
                     LONG—SHORT  
     回転台: 自動—手動  
             回転速度 FAST—SLOW  
             UP—DOWN  
             RIGHT—LEFT  
     ワイパー: ON—OFF  
     電 源: ON—OFF  
 出力 インピーダンス:  $110\ \Omega$  平衡  
 出力 レベル:  $2\text{ V P-P}$  以上

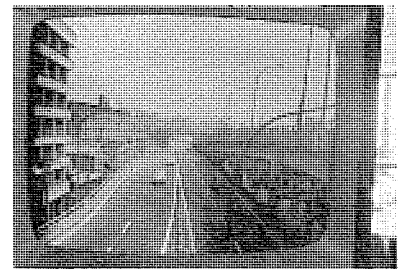


図 4 ITV 受像画面

[通信機製作所]

# 本社・営業所・研究所・製作所・工場所在地

| 本 社      | 東京都千代田区丸の内2丁目12番地(三菱電機ビル)    | (電) 100    | (電) 東京 (03) 212局 6111番   |
|----------|------------------------------|------------|--------------------------|
| 大阪営業所    | 大阪市北区梅田町8番地(西阪神ビル)           | (電) 530    | (電) 大阪 (06) 312局1231番    |
| 名古屋営業所   | 名古屋市中村区広井町3丁目88番地(大名古屋ビル)    | (電) 450    | (電) 名古屋 (052) 561局5311番  |
| 福岡営業所    | 福岡市天神2丁目12番1号(天神ビル)          | (電) 810    | (電) 福岡 (092) 75局6231番    |
| 長崎出張所    | 長崎市丸尾町6番14号                  | (電) 852    | (電) 長崎 (0958) 23局6101番   |
| 札幌営業所    | 札幌市北2条西4丁目1番地(北海道ビル)         | (電) 060-91 | (電) 札幌 (0122) 26局9111番   |
| 札幌工場     | 札幌市北2条東12丁目98番地              | (電) 060    | (電) 札幌 (0122) 23局5544番   |
| 仙台営業所    | 仙台市大町4丁目175番地(新仙台ビル)         | (電) 980    | (電) 仙台 (0222) 21局1211番   |
| 富山営業所    | 富山市桜木町1番29号                  | (電) 930    | (電) 富山 (0764) 31局8211番   |
| 広島営業所    | 広島市中町7番32号(日本生命ビル)           | (電) 730    | (電) 広島 (0822) 47局5111番   |
| 岡山出張所    | 岡山市西長瀬字村北122番地の1(三菱電機岡山ビル)   | (電) 700    | (電) 岡山 (0862) 24局0331番   |
| 高松営業所    | 高松市鶴屋町5番地の1                  | (電) 760    | (電) 高松 (0878) 51局0001番   |
| 東京機器営業所  | 東京都千代田区丸の内2丁目12番地(三菱電機ビル)    | (電) 100    | (電) 東京 (03) 212局6111番    |
| 大阪機器営業所  | 大阪市北区堂島北町8番地の1               | (電) 530    | (電) 大阪 (06) 344局1231番    |
| 東京商品営業所  | 東京都千代田区丸の内2丁目12番地(三菱電機ビル)    | (電) 100    | (電) 東京 (03) 212局6111番    |
| 城南家電営業所  | 東京都世田谷区池尻3丁目10番3号(三菱電機世田谷ビル) | (電) 154    | (電) 東京 (03) 411局8181番    |
| 城西家電営業所  | 国分寺市南町2丁目16番14号(秀美ビル)        | (電) 185    | (電) 国分寺 (0423) 22局1881番  |
| 城北家電営業所  | 東京都文京区大塚3丁目3番1号(新茗溪ビル)       | (電) 112    | (電) 東京 (03) 944局6311番    |
| 千葉家電営業所  | 千葉市新宿町2丁目49番地(三菱電機千葉ビル)      | (電) 280    | (電) 千葉 (0472) 42局5486番   |
| 横浜家電営業所  | 横浜市中区富士見町3番地4                | (電) 232    | (電) 横浜 (045) 251局2226番   |
| 大阪商品営業所  | 大阪市北区堂島北町8番地の1               | (電) 530    | (電) 大阪 (06) 344局1231番    |
| 洲本出張所    | 洲本市上物部2丁目6番33号               | (電) 656    | (電) 洲本 (07992) 2局0631番   |
| 名古屋商品営業所 | 名古屋市中村区広井町3丁目88番地(大名古屋ビル)    | (電) 450    | (電) 名古屋 (052) 561局5311番  |
| 静岡出張所    | 静岡市七間町9番地の10(池田ビル)           | (電) 420    | (電) 静岡 (0542) 53局9186番   |
| 福岡商品営業所  | 福岡市天神2丁目12番1号(天神ビル)          | (電) 810    | (電) 福岡 (092) 75局6231番    |
| 札幌商品営業所  | 札幌市北2条西4丁目1番地(北海道ビル)         | (電) 060-91 | (電) 札幌 (0122) 26局9111番   |
| 仙台商品営業所  | 仙台市大町4丁目175番地(新仙台ビル)         | (電) 980    | (電) 仙台 (0222) 21局1211番   |
| 富山商品営業所  | 富山市桜木町1番29号                  | (電) 930    | (電) 富山 (0764) 31局8211番   |
| 広島商品営業所  | 広島市中町7番32号(日本生命ビル)           | (電) 730    | (電) 広島 (0822) 47局5111番   |
| 岡山出張所    | 岡山市西長瀬字村北122番地の1(三菱電機岡山ビル)   | (電) 700    | (電) 岡山 (0862) 24局0331番   |
| 高松商品営業所  | 高松市鶴屋町5番地の1                  | (電) 760    | (電) 高松 (0878) 51局0001番   |
| 新潟営業所    | 新潟市東大通1丁目12番地(北陸ビル)          | (電) 950    | (電) 新潟 (0252) 45局2151番   |
| 関東商品営業所  | 与野市上落合後原842                  | (電) 338    | (電) 与野 (0488) 33局3181番   |
| 中央研究所    | 尼崎市南清水字中野80番地                | (電) 661    | (電) 大阪 (06) 491局8021番    |
| 商品研究所    | 鎌倉市大船2丁目14番40号               | (電) 247    | (電) 鎌倉 (0467) 46局6111番   |
| 神戸製作所    | 神戸市兵庫区和田崎町3丁目10番地の1          | (電) 652    | (電) 神戸 (078) 67局5041番    |
| 伊丹製作所    | 尼崎市南清水字中野80番地                | (電) 661    | (電) 大阪 (06) 491局8021番    |
| 三田工場     | 三田市三輪町父々部85番地                | (電) 669-13 | (電) 三田 (07956) 局4371~5番  |
| 長崎製作所    | 長崎市丸尾町6番14号                  | (電) 850-91 | (電) 長崎 (0958) 23局6211番   |
| 稲沢製作所    | 稲沢市井之口町1100番地                | (電) 492    | (電) 稲沢 (0587) 32局8111番   |
| 和歌山製作所   | 和歌山市岡町91番地                   | (電) 640-91 | (電) 和歌山 (0734) 23局7231番  |
| 鎌倉製作所    | 鎌倉市上町屋325番地                  | (電) 247    | (電) 鎌倉 (0467) 46局1111番   |
| 通信機製作所   | 尼崎市南清水字中野80番地                | (電) 661    | (電) 大阪 (06) 491局8021番    |
| 北伊丹製作所   | 伊丹市大鹿字主ヶ池1番地                 | (電) 664    | (電) 伊丹 (0727) 82局5131番   |
| 熊本工場     | 熊本市竜田町弓削720番地                | (電) 862    | (電) 熊本 (0963) 62局7211番   |
| 名古屋製作所   | 名古屋市中区矢田町18丁目1番地             | (電) 461    | (電) 名古屋 (052) 721局2111番  |
| 福岡製作所    | 福岡市今宿青木690番地                 | (電) 819-01 | (電) 福岡今宿 (09295) 6局0431番 |
| 福山製作所    | 福山市緑町1番8号                    | (電) 720    | (電) 福山 (0849) 21局3211番   |
| 姫路製作所    | 姫路市千代田町840番地                 | (電) 670    | (電) 姫路 (0792) 23局1251番   |
| 相模製作所    | 相模原市宮下1丁目1番57号               | (電) 229    | (電) 相模原 (0427) 72局5131番  |
| 世田谷工場    | 東京都世田谷区池尻3丁目1番15号            | (電) 154    | (電) 東京 (03) 414局8111番    |
| 静岡製作所    | 静岡市小島110番地                   | (電) 420    | (電) 静岡 (0542) 85局1111番   |
| 中津川製作所   | 中津川市駒場町1番3号                  | (電) 508    | (電) 中津川 (05736) 5局7151番  |
| 大船製作所    | 鎌倉市大船5丁目1番1号                 | (電) 247    | (電) 鎌倉 (0467) 46局6111番   |
| 郡山製作所    | 郡山市栄町2番25号                   | (電) 963    | (電) 郡山 (02492) 2局1220番   |
| 群馬製作所    | 群馬県新田郡尾島町大字岩松800番地           | (電) 370-04 | (電) 尾島 (02765) 2局1111番   |
| 藤岡工場     | 藤岡市本郷字別所1173番地               | (電) 375    | (電) 藤岡 (02742) 2局1185番   |
| 京都製作所    | 京都府乙訓郡長岡町大字馬場小字図所1番地         | (電) 617    | (電) 京都西山 (075) 921局4111番 |
| ラジオ工場    | 尼崎市南清水字中野80番地                | (電) 661    | (電) 大阪 (06) 491局8021番    |

## 次 号 予 定

三菱電機技報 Vol. 43. No. 10

### 水プラント用電機特集

#### 《特集論文》

- 水プラント用電動機と制御装置
- 水中モートル
- 最近の水道プラント受電設備の傾向
- 水道プラント制御装置
- 水道用遠方監視制御装置
- 大阪府村野浄水場計算機システム
- トランジスタ化ろ過池制御装置
- 水系ゲート制御装置
- AF-210 形超音波流量計
- 水位リレー
- 三菱 MVA 形バルブアクチュエータ

#### 《普通論文》

- 高圧水中モートルの絶縁方式
- 新形中容量 SF<sub>6</sub> ガス遮断器 SFL シリーズ
- 小田急電鉄納め変電所集中監視制御装置
- 真空スイッチ管の実用性能
- プリント配線板の自動設計システム

#### 《技術講座》

- システム理論(3)——統計的決定理論とその応用

### 三 菱 電 機 技 報 編 集 委 員 会

|      |           |      |           |
|------|-----------|------|-----------|
| 委員長  | 小 倉 弘 毅   | 常任委員 | 鈴 本 正 材   |
| 副委員長 | 片 岡 高 示   | "    | 祖 父 江 晴 秋 |
| 常任委員 | 明 石 精     | "    | 湊 武 雄     |
| "    | 石 川 理 一   | "    | 山 田 栄 一   |
| "    | 上 田 重 夫   | 委 員  | 尾 畑 喜 行   |
| "    | 宇 佐 見 重 夫 | "    | 北 垣 成 一   |
| "    | 大 野 寛 孝   | "    | 南 日 達 郎   |
| "    | 神 崎 遼     | "    | 林 昇 寿     |
| "    | 北 川 和 人   | "    | 松 元 雄 蔵   |
| "    | 小 堀 富 次 雄 | "    | 和 田 義 勝   |

(以上 50 音順)

昭和 44 年 9 月 22 日印刷 昭和 44 年 9 月 25 日発行「禁無断転載」定価 1 部金 100 円(送料別)

#### 編集兼発行人

東京都千代田区丸の内 2 丁目 12 番地

小 倉 弘 毅

#### 印刷所

東京都新宿区市谷加賀町 1 丁目 12 番地  
(郵便番号 162)

大日本印刷株式会社

#### 印刷者

東京都新宿区市谷加賀町 1 丁目 12 番地

高 橋 武 夫

#### 発行所

東京都千代田区丸の内 2 丁目 12 番地 (郵便番号 100)

三菱電機株式会社内 「三菱電機技報社」

(電) (03) 212 局 6111 番(内線 2498)

#### 発売元

東京都千代田区神田錦町 3 の 1 (郵便番号 151) 株式会社 オーム社書店

(電) (03) 291 局 0912 番 振替東京 10018