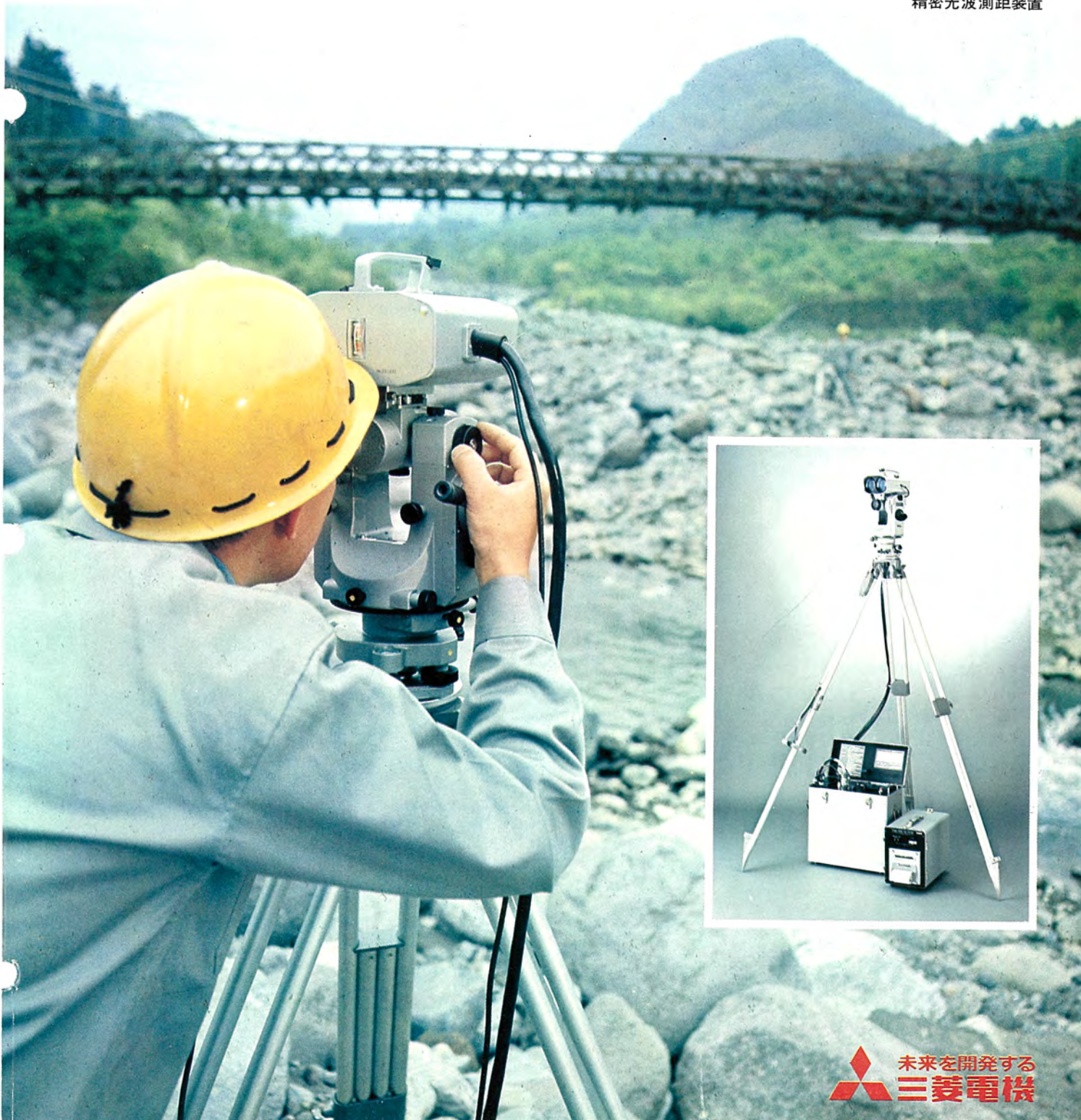


MITSUBISHI DENKI GIHO 三菱電機技報

Vol.47 December 1973

12

精密光波測距装置





目次

《論文》

500 kV ガス絶縁開閉装置の開発とその適用

.....森井清二・山下義雄・春本容正・潮 恒 郎・森岡昭二・稲村 彰一...1219

新幹線試作電車 961 形用電機品

.....永 岡 栄・児玉俊英・鹿野義郎・古田俊久・忍 正寿・小山 滋・亀田康幸...1226

大容量全閉外扇形誘導電動機

.....伊瀬知 孝・菅間一公・一ノ瀬博之...1238

LSH-E 形および S 形高圧配電箱とその特長

.....木村隆信・佐藤洋一...1243

20 GHz 帯扇形ビーム複反射鏡 アンテナ

.....井上武夫・片木孝至・高松泰男...1254

微少電力 TV サテライト 装置

.....保 科 盛・梶 原 佑・君 川 治・児山淳弥・楠 好次...1260

短波無線機用の混信に強いデータ伝送装置

.....松村謙造・太田堯久・杉村滋夫...1265

M-345 高性能カラーキャラクタディスプレイ 装置

.....山崎英蔵・赤桐行昌・渡 辺 治・中須弘平...1272

等時間原則による 2 車種経路配分

.....半 田 哲・中堀 一郎...1279

行列処理言語システム MAXFORT

.....今 藤 一行・長 町 香 恵・片 貝 広 明・山 口 啓 子・桂 啓 子...1283

拡張型言語の実験的システム

.....伊 藤 貴 康・房 岡 章・伊 東 加 枝...1291

シリコン アバランシェ ホトダイオードとその応用装置

.....高 宮 三 郎・近 藤 明 博・中 村 泰 而...1299

ガラス半導体のスイッチング現象

.....布 下 正 宏・鈴 木 武・平 野 昌 彦・新 居 宏 壬...1303

カセットデータレコーダ用フェライトヘッド

.....鳥 生 次 郎・佐々木 肇・穂 坂 修 六・熊 沢 裕...1313

ハロリン酸カルシウムけい光体の均質性

.....小 峰 義 治・粟 津 健 三...1320

《技術講座》

超音波探傷試験法(6)——超音波探傷の実際——その 2

.....松 山 宏...1327

《新製品紹介》

車両用 AU94M 形ユニットクーラ

.....1336

《ニュースフラッシュ》

東京電力(株)川崎発電所向け 154 kV 高抵抗接地系用 母線保護装置・新形リミットスイッチの完成

.....1337

《特許と新案》

エレベータ出発管理方式・トーンコントロール回路・コードつり下げ形灯具・殺菌灯付き衣類乾燥器

.....1325

《表 紙》

表紙 1 精密光波測距装置

精密光波測距装置は、日本光学工業(株)と三菱電機(株)との共同開発により製品化されたもので、わが国で初めての光波による測距、測角両機能をそなえた新形測量機である。その測定方法は光源から送った光と、目標点に設置したプリズム反射鏡から反射してきた光との位相差をもとに、電子回路によって光源と目標点との間の距離を算出し、その結果を 3 秒以内にデジタル表示を行うようにしたので、10 m から 1,000 m の範囲内を精度±1 cm の精度で測距することができる。

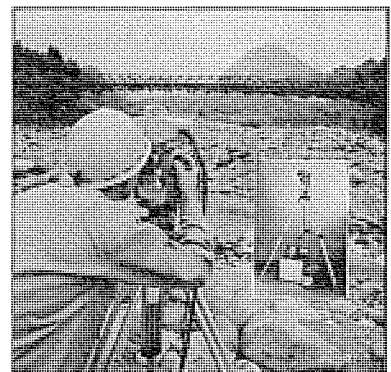
この測距装置の使用分野はきわめて広く、光が通過し得るところであればビルの谷間や地下、その他どんな場所でも、また夜間でも使用することができる。

なお光源、検出器にはそれぞれ当社製の発光ダイオードと、アバランシェホトダイオードを使用している。

表紙 2 三菱電子計算機 MELCOM 7700

表紙 3 三菱小形電子計算機 MELCOM 86

表紙 4 三菱エレベータ





CONTENTS

TECHNICAL PAPERS

Development of 500 kV Gas Insulated Switchgear and Its Application	
.....K. Morii • Y. Yamashita • Y. Harumoto • T. Ushio • S. Morioka • S. Inamura	1219
Electric Equipment of 961 Prototype Electric Car for New Trunk Line	
.....S. Nagaoka • T. Kodama • Y. Shikano • Y. Furuta • S. Shinobu • S. Koyama • Y. Kameda	1226
Mitsubishi Totally Enclosed Fan-Cooled Type Large Capacity Induction Motors	
.....T. Isechi • K. Sugama • H. Ichinose	1238
Type LSH-E and S 3 kV Starter Panels and their Merits	
.....T. Kimura • Y. Sato	1243
A 20 GHz Band Fan Beam Dual Reflector Antenna	
.....T. Inoue • T. Katagi • Y. Takamatsu	1254
Small Output Power Television Repeater Equipment	
.....S. Hoshina • T. Kajiware • O. Kimikawa • A. Kayama • Y. Kusunoki	1260
Anti-interference Data Set for HF Radio Equipment	
.....K. Matsumura • T. Ôta • S. Sugimura	1265
M-345 High Performance Color Character Display	
.....E. Yamazaki • Y. Akagiri • O. Watanabe • K. Nakasu	1272
Traffic Assignment of Two-type Cars by Equal Travel Time Law	
.....S. Handa • I. Nakahori	1279
Matrix Extended FORTRAN (MAXFORT)	
.....K. Imafuji • K. Nagamachi • H. Katakai • K. Yamaguchi • K. Katsura	1283
An Experimental System of Extensible Language	
.....T. Ito • A. Fusaoka • K. Itô	1291
Si-APD and Opto-electronic Communication Systems	
.....S. Takamiya • A. Kondo • T. Nakamura	1299
Switching Phenomena of Amorphous Semiconductors	
.....M. Nunoshita • T. Suzuki • M. Hirano • H. Arai	1303
Read After Write Type Ferrite Heads for Cassette Data Recorders	
.....J. Toriu • H. Sasaki • S. Hosaka • Y. Kumazawa	1313
Homogeneity of Calcium-Halophosphate Phosphor	
.....Y. Komine • K. Awazu	1320

TECHNICAL LECTURE

Ultrasonic Testing (6)	H. Matsuyama	1327
------------------------	--------------	------

NEW PRODUCTS		1336
--------------	--	------

NEWS FLASH		1337
------------	--	------

PATENT AND UTILITY MODEL		1325
--------------------------	--	------

COVER :

Electro-Optical Distance Measuring Instrument

A electro-optical distance measuring instrument is a new type surveying instrument produced for the first time on sale as an apparatus provided with two functions of distance measurement and angle measurement as a result of joint efforts made by NIPPON KOGAKU K. K. and Mitsubishi Electric Corp. Distance measurement ; The transmitted light beam is directed onto a retro-reflector positioned at a point to which the measurement is to be made. The reflected light beam from the retro-reflector returns to the instrument and phase relationship between the transmitted and reflected light beam are compared by electrical circuits and converted into a direct readout of distance. Only a few seconds are required to measure any distance from 10 m to 1,000 m with an accuracy of ± 1 cm.

The device has a wide field of application. If the place permits the passing of light, it is able to operate between the building rows in the city or in underground pathes and any other topography. It can work even at night.

For the light source and the light detector, Mitsubishi light emitting diodes and avaranche photo diodes are used respectively.

「三菱電機技報」アブストラクト

UDC 621.316.349.027.811.88.048.83

500kV ガス絶縁開閉装置の開発とその適用

森井清二・山下義雄・春本容正・潮 恒郎・森岡昭二・稲村彰一

三菱電機技報 Vol.47・No.12・P1219～1225

275kVに至るGIS (Gas Insulated Switchgear) の開発はすでに完了しているが、500kV変電所にこのGISを適用する目的で、関西電力㈱と三菱電機㈱とは共同研究を行なった。すなわち、500kVに特有な基礎研究の追加、全構成要素からなるプロトタイプGISの過酷寿命試験および適用に対する検討を行なった結果、最初の500kV変電所として運転開始される猪名川変電所に、H-GIS (Hybrid GIS) を採用することになった。

ここでは、その研究のうちの主要な部分について解説したい。



UDC 621.396.677.833

20GHz帯扇形ビーム複反射鏡アンテナ

井上武夫・片木孝至・高松泰男

三菱電機技報 Vol.47・No.12・P1254～1259

20GHz帯中継回線に用いられるアンテナの研究の一環として、垂直面内のビーム幅が広い、いわゆる扇形ビームをもつ複反射鏡アンテナの設計方法および試作結果を述べる。

アンテナの特徴は、主反射鏡が通常のパラボラで、副反射鏡のみを特殊な形状にして扇形ビームを得る点にある。測定結果は理論値と良く一致し、設計方法の妥当なことを示している。

このようなアンテナを中継回線に用いれば、風圧によって中継柱がたわんでもアンテナのビーム方向の 変化による利得低下が少なく、回線性能が劣化しない。したがって中 継柱の構造を簡単にすることができ、回線全体の建設費を低減できると考えられる。



UDC 621.335(621.314.212+621.314.63+621.333)

新幹線試作電車961形用電機品

永岡 栄・児玉俊英・鹿野義郎・古田俊久

忍 正寿・小山 滋・亀田康幸

三菱電機技報 Vol.47・No.12・P1226～1237

新しいタイプの新幹線用電車の第1ステップとして、昭和42年～43年に951形試験電車が製作された。その後、新幹線網の計画の明確化とともに、電機品の容量をさらに大きくする必要があること、および不燃性油に代わる新しい絶縁冷却油を用いた主変圧器や主整流装置の必要性が生じ、これらの条件を加味して961形試作電車が製作された。

ここでは、961形試作電車用のシリコン油を用いた主変圧器、1600Aのゲイオードと1000Aのサイリス タを使用したフロン沸騰冷却式の主整流装置、ポリイミドフィルム絶縁によって容量増を可能にした主電動機等を中心にその内容を紹介する。



UDC 621.397.7

微少電力TVサテライト装置

保科 盛・梶原 佳・君川 治・児山淳弥・楠 好次

三菱電機技報 Vol.47・No.12・P1260～1264

テレビジョン放送は、全国津々浦々までいきなりつつあるが、いまだに数パーセントの難視聴地域がある。NHKでは、放送網の拡充のため、合理化サテライト装置およびIC化サテライト装置を開発し、置局を進めてきたが、残る難視聴地域の解消のために、より投資効率のよいサテライト装置の開発を行なった。この装置は、装置の簡易化により、NHK総合、教育および民放2社の4波共建が可能であり、さらに空中線、局舎および鉄柱の簡易化も同時に行ない、総合システムとしてコストの低減を図っている。



UDC 621.313.333

大容量全閉外扇形誘導電動機

伊瀬知 孝・菅間一公・一ノ瀬博之

三菱電機技報 Vol.47・No.12・P1238～1242

全閉外扇形電動機は異物や雨水の侵入の危険性が少なく、保守・点検が容易なため、年々需要増加の傾向にある。

また、騒音公害に対する社会的すう勢から、低騒音電動機の要求が多くなっているのも最近の特長である。

今回、これらの要望にこたえるべく大容量全閉外扇形の新シリーズを完成したので、その特長および設計、工作、品質管理面の一部について紹介する。



UDC 621.394.6:621.396.6:621.3.029.55

短波無線機用の混信に強いデータ伝送装置

松村謙造・太田堯久・杉村滋夫

三菱電機技報 Vol.47・No.12・P1265～1271

短波無線機により印刷電信またはデータ伝送を安定に行なうため、混信に強いFPK-MODEMと、バースト誤りを自己訂正するインターリーブBCH-CODECを用いた新しいデータ伝送装置を試作し、実空界試験を含む実験を行なった。その結果実験室でのデータとしては、最悪でもS/I比-5.5dBにて誤り率 10^{-4} が得られ、実空界実験でも通常の空界状況下では 10^{-4} 以下の誤り率、また音声での通話がかなり困難な程の悪い空界状況下でも 10^{-3} 程度の誤り率が得られた。従来のFSK-MODEMでは、音声を通じる時でも印刷電信は通じないという場合がしばしばあったのに比べ、本装置の性能は非常にすぐれたものと言える。



UDC 621.316.34

LSH-E形およびS形 高圧配電箱とその特長

木村隆信・佐藤洋一

三菱電機技報 Vol.47・No.12・P1243～1253

LSH-EおよびS形 高圧配電箱は、おもに3kV回路のはん(汎)用スタークとして市販されているもので、本文はそれらについて、種類、構造、特長を写真を添付して紹介するとともに、定格区分とその適用および過負荷、短絡、瞬時停電、地絡保護などを含む保護と協調、さらにファミリーツリー技法を適用した標準化アプローチおよび標準仕様についてのべる。これらの機種は使い易さと経済性ばかりでなく、安全性と信頼性も十分考慮して開発されたものであり、今後いっそう成長するものと確信している。



UDC 681.142.07:53.087

M-345高性能カラーキャラクタディスプレイ装置

山崎英蔵・赤桐行昌・渡辺 治・中須弘平

三菱電機技報 Vol.47・No.12・P1272～1278

計算機によるデータ処理業務において、取扱う情報量の増大に伴い、人と計算機との仲介となるマン・マシン・コミュニケーション装置の最適な選択は、システム導入の際ユーザにとって重要な問題となっている。CRTディスプレイ装置はこれら各種入出力装置の中でも様々な顕著な長所を持っており、需要は増加の一途をたどっている。又同時に表示容量の増大、各種画面のフォーマティング及び編集機能の充実等の面からのユーザの従来形のものへの要求は強まってきている。以上の背景に基き、我々はM-340を基本として画質の向上、機能の強化拡張を計った高性能キャラクタディスプレイ装置を開発した。



UDC 711.7:656.13:519.2:681.31
等時間原則による2車種経路配分
 半田 哲・中堀一郎
 三菱電機技報 Vol.47・No.12・P1279～1282

近年の道路交通は自動車の急激な増加により、各地で混雑や渋滞が生じている。このため自動車交通の管制手法として、自動車の出発地と目的地の情報により経路を指定する経路配分問題が議論されている。従来の配分手法は、すべての自動車の道路特性を同一に扱っているのに対し、最近の都市交通では各種の自動車が混在し、個別輸送手段の影響を受け公共輸送手段の機能低下が問題になっている。本文では2車種経路配分を扱い、道路特性の近似法およびバースフローを用いた等時間原則による配分の定式化について述べている。



UDC 549.31:666.266:621.382
ガラス半導体のスイッチング現象
 布下正宏・鈴木 武・平野昌彦・新居宏三
 三菱電機技報 Vol.47・No.12・P1303～1312

非晶質材料が機能材料の一つとしてクローズアップされてきている。特にカルコゲナイドガラス半導体は、スイッチ・メモリなどの電気的光学的特異性及び薄膜化・多層化の容易性から注目されている。そこで我々は、ガラス半導体スイッチ素子の実用化を目指し、As-Te-Si, As-Te-Si-Ge系をとりあげ、その電導機構及びスイッチ現象を検討した。その結果、ガラス半導体においても結晶性半導体と同様に、エネルギーバンド理論に従った電子性電導が支配的であることが証明され、試作したスイッチ素子は、 $10^7 \sim 10^8$ 回のスイッチオンオフサイクルに耐え、実用化の可能性が裏付けられた。



UDC 681.3.01
行列処理言語システムMAXFORT
 今藤一行・長町香恵・片貝広明・山口啓子・桂 啓子
 三菱電機技報 Vol.47・No.12・P1283～1290

MAXFORT (Matrix Extended FORTRAN) 言語は、FORTRAN 言語を拡張した形で、行列およびリストが新しいデータの型として加えられ、行列を対象とした問題を計算機で取扱う者が、簡単なステートメントで処理ができるように設計されている。行列およびリストの要素の数が大きくなれば、自動的に外部記憶装置上に移されて処理されるので、利用者は、行列およびリストの大きさに関心を払わなくてもよい。本文では、MAXFORTについて概説し、その特長を述べている。



UDC 621.377:681.327.6:538.21
カセットデータレコーダ用フェライトヘッド
 鳥生次郎・佐々木 肇・穂坂修六・熊沢 裕
 三菱電機技報 Vol.47・No.12・P1313～1319

従来の紙テープ装置に代って、カセットデータレコーダが電算機の入出力装置のほか、データ通信端末、POS端末、キータップ装置など多方面で利用されるようになった。当社ではカセットデータレコーダDR-10RAW形、DR-20RAW形を製品化しているが、これに関連して、リードアフターライト方式のフェライトヘッドを開発、製品化した。三菱MH-003形カセットデータレコーダヘッドは、高密度フェライトを使用しており長寿命、高信頼度ヘッドが実現できた。本文ではこのヘッドの構造、材料、特性面について概説すると同時に、このヘッドを使用する場合の回路条件についても言及し、利用者へのご参考供した。



UDC 681.3.06:800.93
拡張型言語の実験的システム
 伊藤貴康・房岡 璋・伊東加枝
 三菱電機技報 Vol.47・No.12・P1291～1298

さまざまな方面に計算機が使われ、各問題領域に適した計算機用言語が開発されるにともなう、プログラミング言語の数が非常に増え、コンパイラ作成の仕事がメーカ及びユーザにとって大きな負担となっている。拡張型言語ULG (Universal Language Generator) は、このような問題の解決のために中央研究所で開発された拡張型言語であり、現在または将来あらわれる種々のプログラミング言語の諸機能を、強力でかつ能率の良い拡張機能によって構成し、自由に使うことができるプログラム言語システムである。



UDC 535.35.37
ハロリン酸カルシウムけい光体の均質性
 小峰義治・栗津健三
 三菱電機技報 Vol.47・No.12・P1320～1324

ハロリン酸カルシウムけい光体粒子には、けい光体相以外にわずかではあるが他の相あるいは欠陥が存在する。これらがどのような状態で存在するのかが明らかになれば、今後の特性改善に有力な示唆が与えられると考える。このような観点から、粒子間あるいは粒子内の均質性について検討した。実験はおもに、酸によるけい光体の溶解により行ない、解析には主に粉末X線回折を用いた。その結果、このけい光体粒子は粒子の中心付近に β -Ca₂P₂O₇が偏在し、その周辺にけい光体相があり、そして表面近傍および粒界にCaSb₂O₆が存在していることがわかった。



UDC 621.382:535.21
シリコンアバランシェホトダイオードとその応用装置
 高宮三郎・近藤明博・中村泰而
 三菱電機技報 Vol.47・No.12・P1299～1302

Si-APDは光速高感受光素子であり、光通信およびその応用装置に使われ、装置の高速化、高S/N化、高信頼性化、低消費電力化、小形コンパクト化などのメリットを出している。

当社は2種類のSi-APDを開発しているが、そのうち1種類は当社においてレーザ測速器、光通信装置等の光波機器に試用され、さらに当社と日本光学の共同開発による光波精密測距装置に使われ、高い信頼性を示している。他の1種類は半導体レーザを対象光源として開発された高速Si-APDで、半導体レーザの実用化が待たれている。



UDC 534.8-8:681.89
超音波探傷試験法(6) —超音波探傷の実際(その2)—
 松山 宏
 三菱電機技報 Vol.47・No.12・P1327～1335

実際の超音波探傷例8件、すなわち、炭素鋼丸棒の摩擦圧接部の探傷例、透明板ガラスの探傷例、板厚12mmの鋼板突合せ溶接部の探傷例、裏当金付き突合せ溶接部の探傷例、火力プラントのボイラ用チューブの超音波探傷例、鋭いR部からの超音波探傷例、異種金属密着状況を調べる探傷例および鑄鉄製パイプの探傷例を掲げた。また、探傷上の諸問題として、作業者の教育、探傷装置の定期的保守管理、探傷データ比較についておよび規格の作成および運用についての心がまえを述べた。



500 kV ガス絶縁開閉装置の開発とその適用

森井 清二*・山下 義雄*・春本 容正*
潮 恒 郎**・森岡 昭二***・稲村 彰一***

Development of 500 kV Gas Insulated Switchgear and Its Application

Kansai Electric Power Co., Inc. Kiyoji Morii・Yoshio Yamashita・Yoshinobu Harumoto
Mitsubishi Electric Corp., Itami Works Tsunero Ushio・Shoji Morioka・Shoichi Inamura

GIS (gas insulated switchgear) to operate at voltages up to 275 K is on the stage of complete development, while joint studies have been made by Kansai Electric Power and Mitsubishi to open up a new field of GIS application to 500 kV substations. As a result of newly conducted basic research-unique to 500 kV apparatus, and of overstressed service tests of prototype GIS consisting of full component elements, and also a result of investigation on its application, it has been decided to employ hybrid GIS (H-GIS) to Inagawa Substation which will start to operate as the first 500 kV installation. Herein is explained the principal parts of these studies.

1. ま え が き

関西電力(株)と三菱電機(株)とはガス絶縁開閉装置(GIS)の重要性を考え、数年前より共同研究を行なってきたが、その開発と適用における思想は、次の6点に集約される。

- (1) GISに適用されるSF₆ガス、注型絶縁物材料等の基礎的な研究を徹底して行なう。
- (2) すでに運転されているSF₆ガスしゃ断器から得られた情報を十分に利用する。
- (3) GISに組み込まれる各構成機器を単体で徹底的に試験する。
- (4) GISの試作装置を適当なフィールドで1～2年間試運転して総合装置としての適用性を試験する。
- (5) 厳密な品質管理がなされるように生産ラインおよび試験設備を整備する。
- (6) 66/77 kV定格のGISの開発から始めて順次を高電圧に移行する。

図1.1に共同研究の一つの成果である77 kV GISを示す。66/77 kV～275 kV GISの開発と適用によって蓄積された技術的成果と

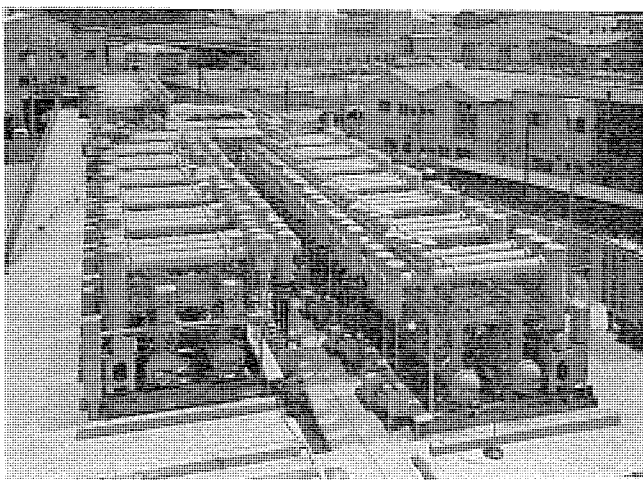


図 1.1 77 kV 3,000 A 3,500 MVA 定格の GIS
77 kV outdoor GIS 3,000 A 3,500 MVA ratings.

経験とは、非常に大きなものではあるが、500 kV の GIS を完成するには、なお多くの問題を解決しなければならない。

近い将来、わが国の電力送電の基幹系統を構成する 500 kV に使用される機器に求められる信頼性は、低電圧に要求されるものの比ではないし、機器の大形化は、低電圧で実証された技術の単なる延長では不十分である。

そこで、500 kV GIS の共同研究では、面積効果、浮遊金属粉の影響、大形絶縁物の信頼性等に焦点を絞り、500 kV GIS に使用される構成機器のすべてを含んだ試作装置を1相分製作し、特別の電流・電圧源を用意して計画された条件のもとで、重責務の適用試験が行なわれた。また、この結果がきわめて満足すべきものであったので、500 kV GIS を適用する場合の経済性、および運用上の問題点が検討されたので、ここに発表したい。

2. 500 kV GIS に特有な問題の研究

2.1 最大電位傾度に対する面積効果

放電現象が確率的なものである限り、SF₆ガス中の放電にも面積効果があることは、当然予想されることであり、これに関する研究もすでに発表されている。

同軸円筒電極容器に清浄なSF₆ガスを封入し、電極の面あらし・対向面積間げき(隙)・ガス圧を変化させて実験を行なった。図2.1に500 kV GIS で採用されている定格ガス圧と同じ3 kg/cm²・gにおける電極面積と、0.5%のせん(閃)絡電位傾度との関係を示しているが、面積効果が現われている。

この場合、電極面積としては、せん絡のばらつきを考えて最大電位傾度の85%以上の電位傾度に相当する部分の電極の面積を計算して横軸にとってある。

このように、高電界の電極面積を66/77 kV GIS と 500 kV GIS とで比較すると、約1対50になるので、この面積効果を考えると、500 kV GIS で設計上に採用される最大電位傾度は、66/77 kV GIS のそれよりも低くすべきであり、われわれは実験結果から前者の最大電位傾度を後者の80%に選定した。

2.2 せん絡に及ぼす浮遊金属粉の影響

浮遊金属粉がせん絡に及ぼす悪影響は、500 kV GIS が大形にな

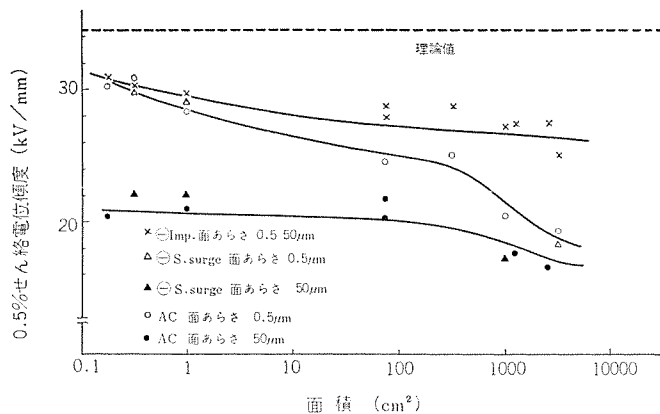


図 2.1 せん(閃)絡電位傾度の面積効果 (3 kg/cm²・g)
Breakdown characteristics as a function of area of electrode.

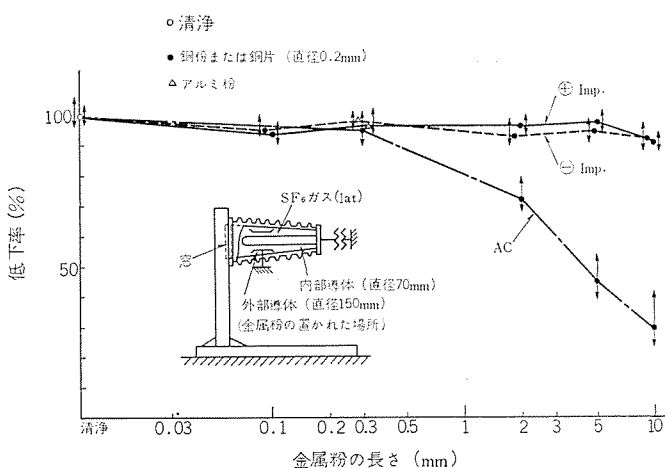


図 2.2 浮遊金属粉の大きさによるせん絡電圧の低下率 (1 at)
Degradation of flashover levels as a function of size of conducting particle.

るために、本質的に内部の清浄化を徹底して行ないにくいという点で重要な問題になってくる。

図 2.2 に示されるモデルを用いて金属粉の大きさと、せん絡電圧の低下との関係を商用周波・雷インパルス電圧に対して実験した。各試験とも 250 mg の金属粉か、あるいは 0.2 φ の直径を持った金属線片を 10 片外側電極上に置いた。

同様に、実物大の試験として 66/77 kV、500 kV GIS にそれぞれ採用されている円すいスペーサを用い、やすりで削られた金属粉 250 mg と、10 個の金属片を混入して図 2.3 に示される装置で実験した。商用周波・雷インパルス電圧に加えて 500 kV のスペーサには商用周波・雷インパルス重畳の試験も実施したが、この場合、商用周波電圧は相電圧 ($550 \text{ kV}/\sqrt{3}$) に一定に保持し、雷インパルス電圧のみを変化した。

以上の試験結果を要約すると、次のようになる。

- (1) SF₆ ガス中の浮遊金属粉がせん絡電圧に及ぼす悪影響は、雷インパルスよりも商用周波電圧の場合により重大である。
- (2) 無造作に組み立てた場合に予想される、最悪の金属片が存在した場合には、商用周波電圧では約 30%，雷インパルスでは約 15%，清浄なふんい気におけるよりもせん絡電圧が低下する。
- (3) 商用周波・雷インパルス重畳試験の結果は、商用周波の印加電圧が低い(相電圧)ので、雷インパルス単独の結果とほぼ同じである。

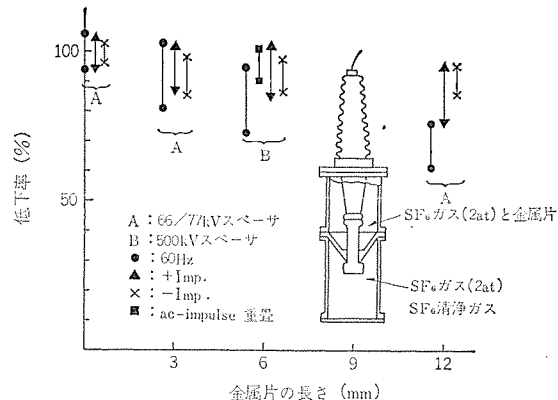


図 2.3 浮遊金属粉のせん絡電圧に及ぼす影響 (1 kg/cm²・g)
Degradation of flashover levels as a function of size of conducting particle.

他の一連の実験から得られた特筆すべき結果の一つとして、繊維と金属粉との混在は、あたかも金属片と同様な様相を呈することである。

これらの結果から、絶縁設計には適切な余裕が不可欠であるとともに、GIS の内部組立には徹底した清浄化が必要であるといえよう。

2.3 大形注形絶縁物の開発

500 kV GIS には数多くの大形注型絶縁物が使用される。スペーサを例にとってみても 500 kV 用のものは、66/77 kV 用の約 20 倍の重さであるから、充てん材の不均一な沈降や注型時の加熱・収縮による内部残留応力等の幾つかの問題を解決する注型技術が必要である。広範な実験によってレジン のポットライフ、注型温度、充てん材の粒度分布等を厳重に制御して注型する技術を確立した。

最終的なデザインテストとして、プロトタイプ の注型絶縁物に電氣的・機械的・熱的試験が実施された。円すいスペーサに対する部分放電試験・せん絡試験の結果を表 2.1、図 2.4 に示す。定格ガス圧における 50%せん絡電圧は、プッシングの外部せん絡のために実測できなかったため、低ガス圧の結果を外そう(挿)して求めている。

長期間過酷な状態で使用に耐えることを保証するため、各絶縁物は、図 2.5 に示されるように、各材質のサンプルテストで得られた電

表 2.1 スペーサの部分放電、せん(閃)絡試験結果
Result of partial discharge and flashover test of spacers.

ガス圧 kg/cm ² ・g	スぺーサ		※1 ※1	※2	
	試 験		耐 圧 kV	50 % せん 絡 kV	標 準 偏 差 kV (%)
0	Imp.	+	—	1,028	16.6 (1.62)
		—	—	912	27.2 (2.97)
	AC		413	563	30 (5.30)
1	Imp.	+	—	1,720	71.3 (4.20)
		—	—	1,670	79.3 (4.75)
	SS	+	—	1,520 *2	—
		—	—	1,310	44.4 (3.40)
	AC		—	925	30 (3.25)
	2.3	Imp.	+	1,800	2,160 *2
—			1,800	—	—
SS		+	1,200	—	—
		—	1,200	—	—
AC		840	—	—	
部分放電		at 413<1 kV pC	at 100 kV<0.2 pC 200 kV<0.2 pC 300 kV<0.2 pC	at 413 kV<0.5 pC 500 kV<0.5 pC 600 kV<2 pC	

* 1: 寿命試験に用いられたもの
* 2: プッシングで外せん(閃)

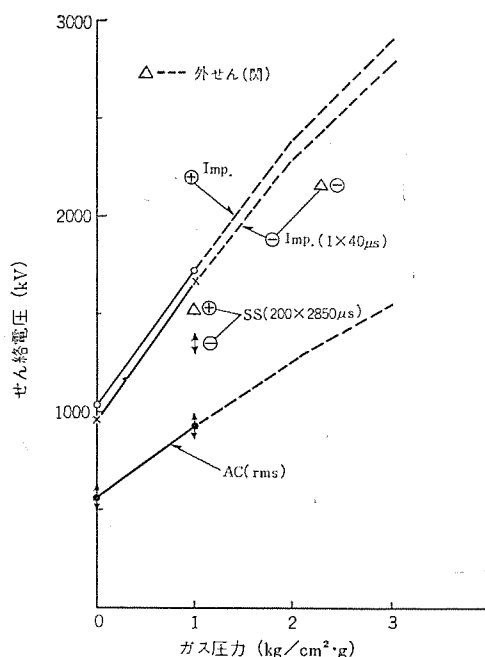


図 2.4 500 kV スペースのせん絡試験結果
Flashover test results for 500 kV spacer.

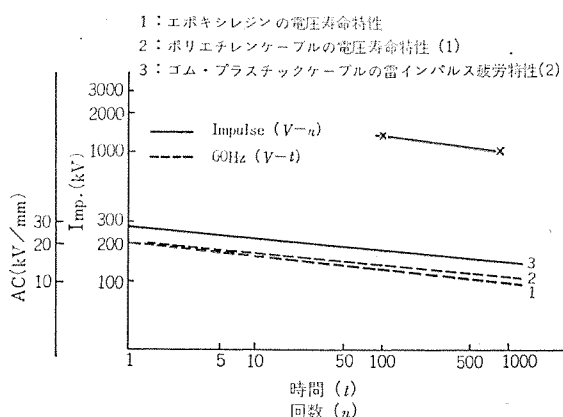


図 2.5 絶縁物の電圧寿命特性
Endurance and fatigue characteristics of insulators.

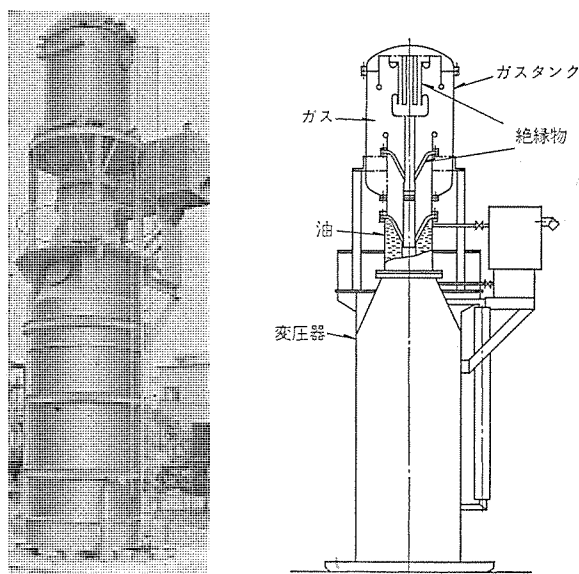


図 2.6 500 kV GIS 用絶縁物の寿命試験装置
Service test of insulators for 500 kV GIS.

圧寿命特性を考慮して設計された。さらに、プロトタイプの絶縁物の信頼性と寿命を確認するために、実物大の絶縁物の長期過電圧印加試験を実施した。実用の GIS の絶縁物にかかる電界と等価になるように、図 2.6 に示されるような特別に製作された装置を用いて試験は実施された。すなわち、特製の試験用変圧器の頭部に、 SF_6 ガスを充てんしたタンクを置き、その内部の絶縁物には油-ガス隔壁スペースを介して電圧を印加している。413 kV ($550 \times 1.3/\sqrt{3}$ kV) の商用周波電圧が、昭和 44 年 6 月から 46 年 3 月まで連続して印加された。部分放電試験・商用周波耐電圧試験・雷インパルス耐電圧試験が、試験の前後に行なわれたが、異常が認められなかったため、昭和 46 年 7 月から再び連続過電圧印加試験を開始し、今日に及んでいる。

通常の運転電圧に対する過電圧が絶縁物の寿命に及ぼす効果が、次式のように示されるとすれば、昭和 48 年の 8 月までに過電圧が 43 か月間印加されているので、 m を 8.5 と仮定すると、通常の運転電圧では 30 余年の寿命に相当する。

$$V_1/V_2 = (T_1/T_2)^{-\frac{1}{m}}$$

ここで、 V_1 : 試験電圧

V_2 : 運転電圧

T_1 : 試験時間

T_2 : 等価寿命

m : 8.5 (図 2.5 より)

スペースの機械的・熱的ストレスに対する強さを調べるため、500 kV 用スペースを 0°C と 50°C の水中に交互に 1 時間ずつ 3 回ひたした後、水圧破壊試験を実施した。破壊は、外側のフランジのやや内側であり、 23.5 kg/cm^2 の圧力で発生した。破壊を生じたすぐ近傍に取りつけられていた抵抗線ひずみ(歪)計に記録された最大のひずみは、 $5,250 \times 10^{-6}$ であった。一方 30 個のサンプルテストによる曲げ破壊力の平均値と標準偏差とはそれぞれ 12.3 kg/mm^2 と 0.62 kg/mm^2 とであった。

これらの試験結果から、大形注型絶縁物を、管理された品質で生産する自信を得ることができた。

3. 500 kV GIS の信頼性に対する試験

3.1 500 kV GIS のプロトタイプと過酷寿命試験

新しい機器の信頼性を確認するためには、いろいろな条件が複合された実際のフィールドに入れて運転されることが望ましいが、よく計画された工場試験も、極端な運転条件を作り出すことによって、比較的短時間で実際にフィールドで長期間運転されるのと等価な試験ができるという長所を持っている。500 kV GIS を採用できるか否かを早急に決定する必要があったため、われわれは長期間の運転で遭遇するであろう、すべての過酷条件に等価であるように一連の工場試験を計画した。

この目的のために、すべての構成要素を含んだ 500 kV GIS 1 相分が特別に組み立てられた。試験中の本装置を図 3.1 に、配置を図 3.2 に示す。

しゃ断器は、従来、がいし形しゃ断器に使用されている二重圧力式消弧室 4 個を直列にタンクに入れ、各消弧室には並列に投入抵抗が設置されており、油圧で操作される⁽³⁾。断路器は、直線一点切りで、圧縮空気で操作され、接地装置と一体になっている。避雷器は、タンクの内部に SF_6 ガスギャップと非直線抵抗体が組み込まれ、 SF_6 ガスは消弧ばかりでなく、絶縁にも使用されている⁽⁴⁾。母線は、相分離

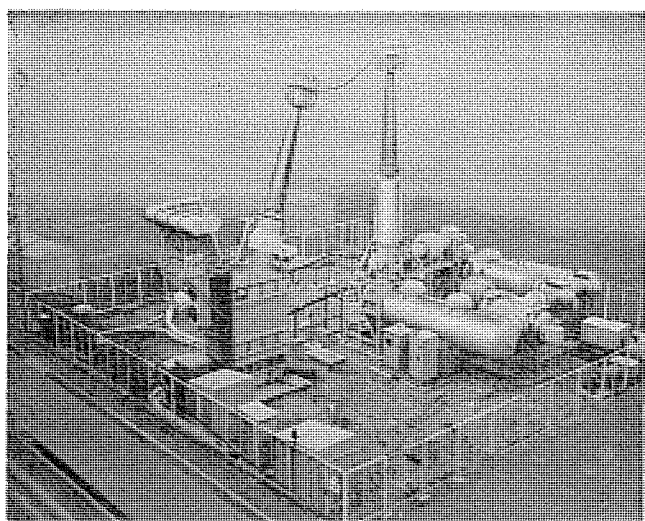


図 3.1 過酷寿命試験中の 500 kV GIS プロトタイプ
500 kV prototype GIS under overstressed service tests.

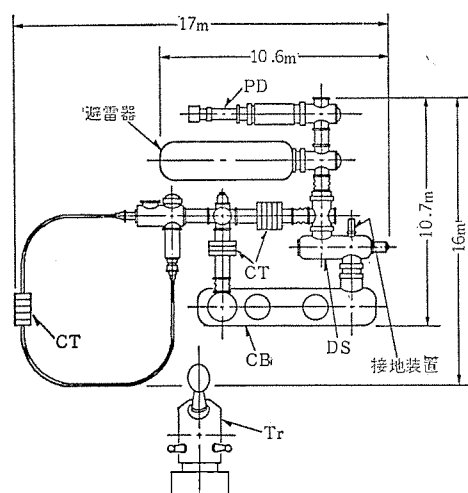


圖 3.2 500 kV GIS 過酷壽命試驗裝置
500 kV prototype GIS arrangement for overstressed service tests.

形で、タンクは、鉄板にステンレス鋼を一部そう入して鉄損の増大を防いだ構造であり、各母線はチュアリップコンタクトによって接続され、温度変化と、据付時の寸法変化を逃げるためにステンレスベローズが適当な位置に接続されている。コンデンサ形計器用変圧器は、油入同軸コンデンサ形で、ガスと油の隔壁にはエポキシ注型樹脂が使用されている。電圧印加部分には、ガスが油に混入しないように特別に設計されたコンデンサブッシングが設置されている。ケーブルとの接続部分の信頼性を検証するために、800 A 定格の OF ケーブルが接続された。これら構成要素の一般定格を表 3.1 に示す。

電圧源としては、600 kV まで印加できる試験用変圧器を、電流源および測定用にはリングタイプの CT が、母線の外部に設置された。

プロトタイプ GIS の過酷寿命試験は、500 kV GIS の実用性能を最も効果的に確認できるように計画された。

試験期間に十分な余裕がとれなかったので、通電電流としては、4.4 kA、4.8 kA（定格電流の 110 %、120 %）の過負荷が、印加電圧としては 413 kV（相電圧の 1.3 倍）の過電圧が印加された。

熱的なストレスを故意にきびしくするために GIS 側は昼間通電し、夜間には電流をしゃ断した。

この過酷寿命試験は、まず電圧のみを印加し、続いて電流も通電

表 3.1 定 格
Ratings.

定格電圧	(kV)	550	
定格電流	(kA)	4	
定格短時間電流	(kA)	50 (2 秒)	
商用周波耐電圧	(kV)	840 (1 分)	
開閉サージ耐電圧	(kV)	1,200	
雷インパルス耐電圧	(kV)	1,800 (対地)	
		$1,800 + 550 \times \sqrt{2} / \sqrt{3}$ (極間)	
定格しゃ断時間	(Hz)	2	
定格投入電流	(kA)	125	
負 担	(VA)	40	CT
		500	PD
商用周波放電開始電圧	(kV)	630 以上	
雷インパルス放電開始電圧	(kV)	1,220 以上	
開閉サージ放電開始電圧	(kV)	1,090 ~ 850	
制限電圧 (10 kA における)	(kV)	1,220 以下	
定格ガス圧力	(kg/cm ² ・g)	3 (20°C)	

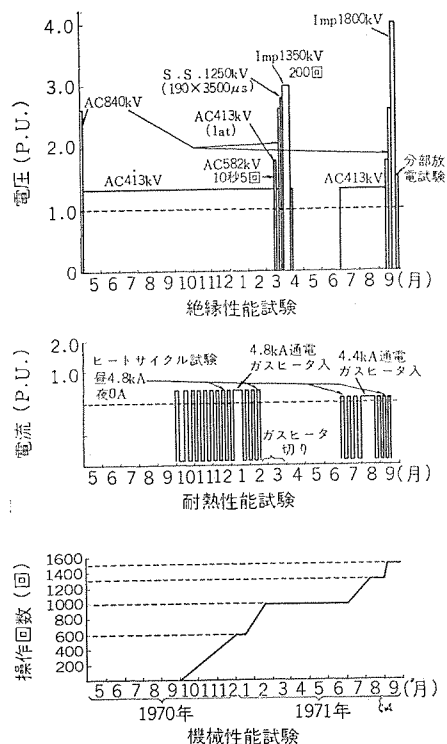


図 3.3 過酷寿命試験のスケジュール
Schedule of the service tests for prototype GIS.

し、しゃ断器の冬期高圧ガス液化防止用ヒータなしで電圧のみを印加し、いったん高電圧試験場に持ち込んで各性能試験を行ない、再び電圧・電流を印加し、最後に高電圧試験場で性能の確認を行った。(図 3. 3)

3.2 絶縁性能の確認

各過酷寿命試験の終りには、プロトタイプ GIS を設置した場所で短時間の商用周波過電圧試験を行ない、その後高電圧試験場に移して耐電圧試験・部分放電試験を実施した。設置場所での商用周波過電圧試験値の 582 kV という値は、2 回線中で 1 回線地絡が発生した時に、2 回線の里側しゃ断器が同時しゃ断した際に予想される最も過酷な値であり、10 秒間印加して 1 時間間隔をおいて再び 10 秒間印加するというサイクルを 5 回くり返した。

高電圧試験場での耐電圧試験と部分放電試験とは、ケーブル・避雷器コンデンサ形計器用変圧器を除外して行なったが、これは、試験場の広さや、放電開始電圧が耐電圧値よりも低いといった制限があったためである。

部分放電試験は、ERA MK 3 形の装置を用いて 1.5 倍の相電圧で

測定したが、初期状態と変わらず、各構成要素の漏れ電流も測定したが、絶縁劣化を認めることはできなかった。

雷インパルス試験では、運転中に遭遇を予想される繰り返しサージを考慮した。すなわち、統計上から最悪の条件として GIS は 30 年の間に雷インパルスを 90 回 (1,300 kV)、開閉サージを 900 回 (1,030 kV)、受けると考えた。本来、各サージに対して上記の回数の繰り返し印加試験を行なうべきところであるが、時間と労力との関係から次のような仮定を行なった。まず、GIS に使用されている絶縁物の寿命特性は、図 2.5 から雷インパルスも開閉サージも変わりはないと考えた。したがって、 m を 8.5 として 1,030 kV を 900 回の開閉サージは、1,350 kV を 100 回の雷インパルスと等価であると仮定した。そこで、1,300 kV を 90 回の雷インパルスとあわせて 1,350 kV の正・負インパルスを各 100 回ずつ印加することにした。

上記の一連の試験結果は、すべて満足すべきもので、絶縁設計の信頼性を確認できたものと考えられる。

3.3 負荷電流、高・低温に対する性能

過酷寿命試験においては 4, 4.4, 4.8 kA の電流を流して導体・シールド・絶縁物・タンク・コンタクト等の温度を測定した。最大の温度上昇値を示したのは、上記の電流値に対して主接触子であり、それぞれ 52°C, 60°C, 70°C であった。この試験中に過負荷電流を流しながらしゃ断器の高圧ガスヒータを入れて絶縁物に対する過酷な条件での効果も試験した。電圧を印加した状態では、もちろんタンク外壁の温度しか測定できなかったが、これは、試験中に連続的に記録した。この試験中、各部分に異常は認められていない。

冬季にガスヒータシステムに万一の故障があると、ガスの部分的液化という問題が起こるので、この影響が絶縁特性・機械的性能に悪作用を及ぼさないか否かを調べるため、冬季に負荷電流とヒータ電流とを流さないままで電圧を印加する試験も行なった。当然、部分液化が認められたが、1.3 E の過電圧に耐えることが判明した。

3.4 操作および機械的試験

過酷寿命試験中にしゃ断器と断路器とを 1,500 回開閉した。しゃ断器で主電流を開閉し、引き続いて断路器を開閉した。操作特性はときどき調査したこと、操作による各部分のひずみも測定した。また、組立およびガス封入によるひずみも測定したが、問題にならぬほど小さい値であった。

3.5 ガス漏れ、水分含有量および異物

ガス漏れは慎重に調査された。過酷寿命試験後の各シール部分の漏れは、1 時間当たり 0.2 cc 以下で、これは、許容範囲よりかなり低い値である。

水分量も試験後に測定されたが、容積比で 110 ppm が最高であった。水分吸着剤を適当なところに入れておけば、ガスを強制循環させる必要がないというデータが得られたと考えられる。

試験の後に 1 mm 以下の小さな金属粉とごみがわずかに内部に認められた。

ガスクロマトグラフを使用して試験後の分解ガスを分析したが、量的にも質的にもガスの劣化は認められなかった。

3.6 耐震性能

GIS は、主として鋼管と鋼材とで構成されているので、経験的に地震には強いと考えられるが、500 kV GIS は、構成要素が大きくて各共振周波数が地震の卓越周波数に近づく。そこで、500 kV GIS のような巨大な構造物に対する理論的・実験的な研究を行ない、大形 GIS の信頼性ある耐震設計を行なえるような方式を確立した。

重要なことは、基礎を一体にして不等沈下を防ぐことである⁽⁶⁾。

4. 500 kV GIS の適用に対する検討

4.1 経済性の検討

500 kV 系統に要求される信頼性と、運用の融通性を考えて関西電力(株)は、1 1/2 CB 母線方式を採用することに決定した。この方式に対して最適な GIS の配置が検討された。図 4.1 に異相混合母線方式と同相集合母線方式の配置図を示している。後者のほうが母線が短く、特にケーブル引出しにその特長が大きいといえる。しかし、計画中の 500 kV 変電所は、6 ないし 8 回線架空線引出しであるので、同相集合母線方式を用いても分岐接続部が長くなり、この配置が複雑になって利点が薄れてしまう。他方、異相混合母線方式の価格を分析したところ、母線の価格が全体の 1/3 近くを占めることが判明した。そこで、われわれは最終的に部分的 GIS (Hybrid GIS—H-GIS—) の適用を考えた。図 4.2 に 1 1/2 CB 母線方式の各側面図を示してある。

500 kV 変電所の大部分は、臨海工業地帯および都市に電力を供給するために比較的海岸に近く建設されるので、耐塩設計が必要である。従来形の機器を耐塩設計すると、支持がいしが 7 m、ブッシン

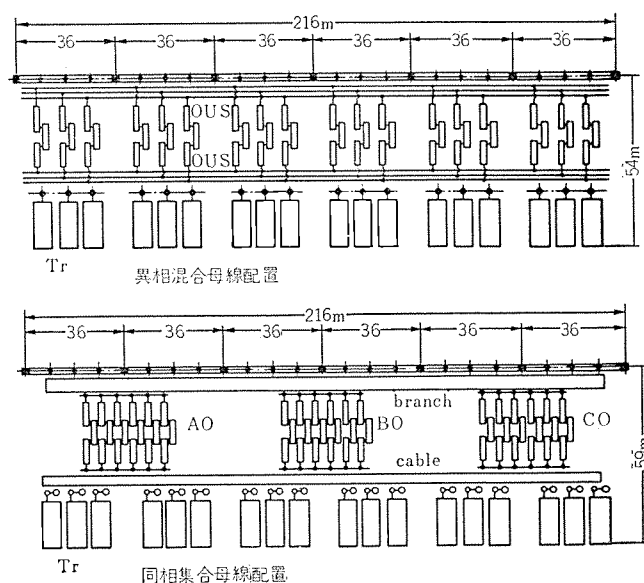


図 4.1 1 1/2 CB 母線方式の GIS 配置例
Schematic diagrams of arrangements for a one and a half circuit breaker bus system.

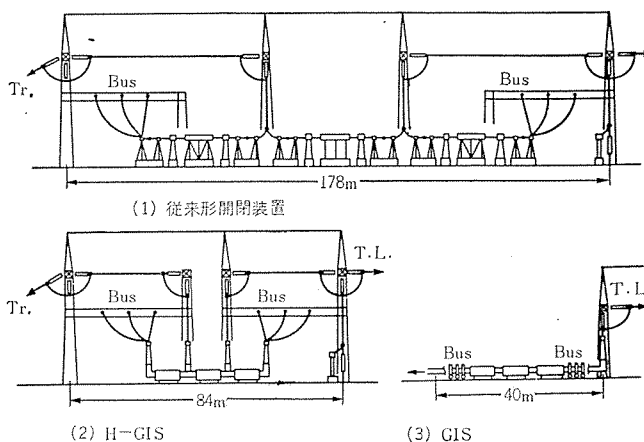


図 4.2 1 1/2 CB 母線方式各種配置例
Arrangements of different type of switchgear for a one and a half circuit breaker bus system.

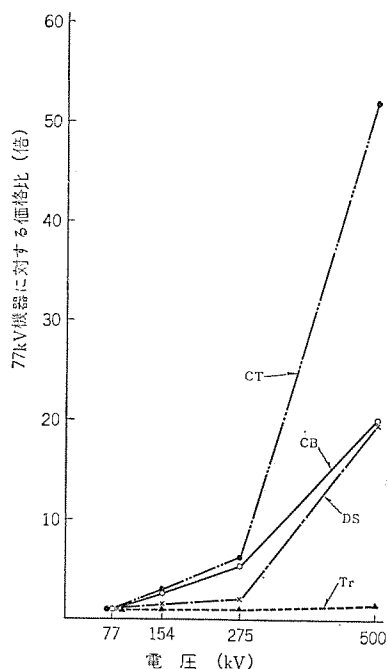


図 4.3 軽汚損地域で使用する各機器の電圧階級による価格比
Cost increasing characteristic for each equipment in proportion to voltage (for mild polluted area).

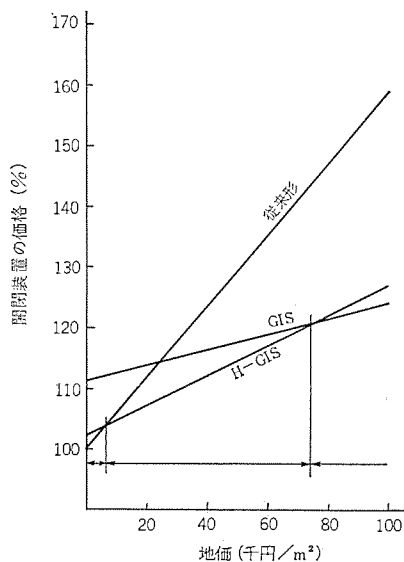
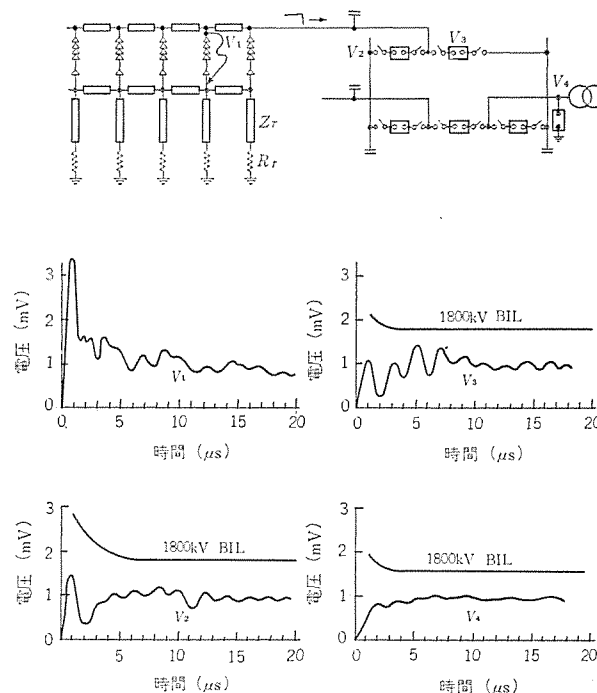


図 4.4 地価に対する全開閉装置の価格
Total cost of each type of switchgear in relation to land cost.

は8mも必要であり、これは、耐震設計と裏腹になってさらに価格を高くする要因になる。図4.3に見られるように、従来形は、電圧階級が上がると、指数関数的に価格が上がる事がわかる。

一方、現在のように、都市近郊の地価と土木工事費とが高い率で年々上昇していくことを考えると、変電所面積を縮小することが経済性の検討上に最も重要になってくる。図4.4に従来形、H-GISとGISの地価に対する価格の関係を500kV開閉装置に対して示す。関西電力(株)が予定している変電所の地価からみれば、現時点では、H-GISを適用するのが最も経済的であることがわかる。H-GISを採用することによって中汚損地区に建設するとしても、従来形より約5%建設費が安くできる。重汚損地区では、H-GISの利点は、開閉機器の長大がしおよび活線洗浄装置の節減でさらに大きくなる。



送電線のサージインピーダンス 400Ω
架空接地線のサージインピーダンス 400Ω
鉄塔のサージインピーダンス 900Ω
鉄塔の接地抵抗 100Ω
雷撃電流 150kA

図 4.5 第一鉄塔で逆せん絡が生じた時の各点における過渡電圧
Transient voltage at each point at the occurrence of flashover on the nearest tower.

近い将来には、地価の上昇と、GIS原価の低減努力とを考えると、母線も含めたGIS適用の経済性利点は、さらに大きくなるものと考え得る。

また、信頼性あるGISの保守点検の低減も、経済性の利点につながるが、従来形シャ断器消弧室点検用の大形の点検架台も不用になる利点もある。

4.2 変電所の絶縁協調の検討

GISはサージインピーダンスが低く、伝搬速度が遅く、 $v-t$ 特性が平らであるといった特性をもっているため、絶縁協調について慎重に検討された。進入雷サージに対するGIS各部の過渡電圧を雷サージ計算盤によって求めた。図4.5は、H-GISに対して行なわれた一例であり、第1鉄塔電撃時の逆せん絡による相導体侵入電圧が、3,400kV(雷撃電流150kA)と仮定して計算されている。結果は、最大の電圧は入口にある電圧変成器で1μsで1,500kVであり、シャ断器は5μsで、1,450kVの電圧が求められた。一連の計算結果から、GISでは、避雷器と他の構成機器との距離が短いので、従来形機器と比べて異常電圧は低いことが判明した。

最終的には、500kV GISに要求される高度の信頼性と、平らな $v-t$ 特性とを考慮してBILとして1,800kVが採用された。

4.3 障害率と保守

表4.1、4.2は、従来形開閉機器の事故率・障害率についての実績を示している。これによれば、全事故・障害の数十パーセントは、たとえば塩害とか鳥獣の接触とかいった外部条件によって発生していることがわかる。一方、GISは完全に機器が密閉されているので、上記の点から考えて事故率・障害率は大幅に低減されることが予想される。

従来機器では、2~3年に1回の定期点検を行なっているが、GIS

表 4.1 気中絶縁機器の事故率とその原因
Accident rates of air insulated apparatus
and their causes.

機 器 種 別	CB	LS	CT	PD	主 回 路 (母線, 他)
事故率 (件/台・年)	0.0032	0.0003	0.0002	0.0003	0.0098
原 因 比 率 (%)	設計, 保守不備 雷	38	37	60	14
		7		40	7
	汚損, 風雨, 氷雪 その他自然現象	28	13		50
		10	25		50
	過失 鳥獣, 他の接触 不明, その他	17	25	50	7
	(100)	(100)	(100)	(100)	(100)
(注)設備数 (台・年)	8,971	24,966	13,181	7,846	1,436

(注) 1. 昭和 40～45 年の 5 年間の事故統計
2. 系統電圧 275 kV～77 kV 機器を対象

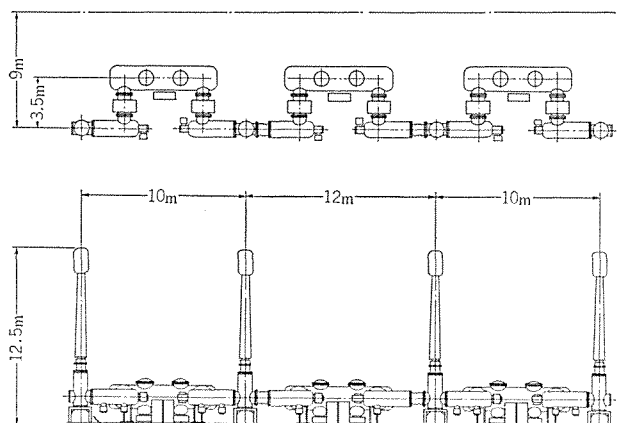


図 4.6 1 1/2 CB 母線方式に対する H-GIS の外形図
Outline of "hybrid" GIS for a one and a half
circuit breaker bus system.

では密閉構造をとっているということで、この点検間隔を大幅に延ばすことができる。したがって、GIS は、点検のために停電をとる必要が少なくなり、これは、とりもなおさず安定した電力を供給できることにつながる。

4.4 500 kV 変電所への適用

上記のように、経済性・信頼性の検討から 500 kV 実用変電所には、H-GIS を適用することにした。この H-GIS では、しゃ断器・変流器・接地装置・接続部がガスで絶縁されている。1 1/2 CB 母線方式の H-GIS の 1 相分が、図 4.6 に示されている。このうちの 1 ユニットが、関西電力(株)の最初の 500 kV 変電所である猪名川変電所に据え付けられた。図 4.7 はその外観である。その他に昭和 50 年度までに 4 変電所の 500 kV 側に建設される予定である。

5. む す び

基礎的な研究の追加と、プロトタイプの過酷試験および適用を検討し

表 4.2 気中絶縁機器の障害率とその原因
Failure rates of air insulated apparatus and
their causes.

原 因	障 害 率 (件/台・年)	原 因 比 率 (%)
開 閉 動 作 不 良	0.00116	7
接 触 部 過 熱	0.00431	26
発 錆, 摩 耗	0.00166	10
リ ン ク 機 構 の 機 能 不 良	0.00381	23
操 作 器 の 機 構 不 良	0.00431	26
そ の 他	0.00131	10
計	0.0166	100

(注) 1. 昭和 40～45 年の 5 年間の障害統計
2. 系統電圧 275 kV～77 kV 機器を対象

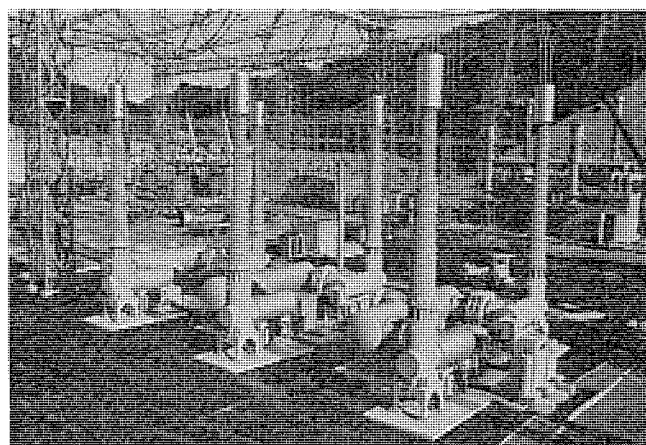


図 4.7 関西電力(株)猪名川変電所に設置された 500 kV H-GIS
500 kV H-GIS installed in INAGAWA substation.

た結果、500 kV 変電所に H-GIS が採用されるようになった。ここでは述べられてないが、生産上の品質管理や現地据付の問題も広範にわたって考察されている。

次の段階として、われわれは定格電流 8 kA の H-GIS を適用すべく、共同研究を行なっている。

最後に、本共同研究に協力いただいた関係各位に誌上を借りて深く謝意を表して結びとしたい。

参 考 文 献

- (1) 安井ほか：電気学会 44-10-1, 2 第 2 回 電気絶縁材料, シンポジウム 予稿集 D-4
- (2) 井上ほか：大日本電線時報, No. 43, (昭 44-11)
- (3) 稲村ほか：三菱電機技報, 44, 1,156 (昭 45)
- (4) 鎌田ほか：三菱電機技報, 44, 1,127 (昭 45)

新幹線試作電車 961 形用電機品

永岡 栄*・児玉 俊英*・鹿野 義郎*
古田 俊久*・忍 正寿*・小山 滋*・亀田 康幸*Electric Equipment of 961 Prototype
Electric Car for New Trunk LineItami Works Sakae Nagaoka・Toshihide Kodama・Yoshiro Shikano
Yasuhisa Furuta・Seiju Shinobu・Shigeru Koyama・Yasuyuki Kameda

During the years of 1967~1968 a 951 prototype electric car for test was built as a first step of the project for the new trunk line. After that the network of the new trunk line was definitely set up and it has become necessary to enlarge the capacities of electric equipment for larger and to build main transformers and main rectifying apparatus using new insulation cooling oil in the place of noninflammable oil. To meet this requirements a 961 prototype car has been manufactured. In this article are introduced electric equipment to be used for the 961 car such as main transformers filled with silicone oil, a Flon evaporation cooling type main rectifying apparatus using 1,600 A diodes and 1,000 A thyristors, and traction motors made capable to increase the capacity with polyimido film insulation.

1. ま え が き

新しいタイプの新幹線用電車の研究は、日本国有鉄道を中心に長い間続けられてきた。その第1ステップとして、昭和42年に当時における最先端の技術を折り込んだ951形試験電車が計画された。昭和43年に製作された951用の電機品のうちで主なものには、サイリスタ整流装置、ブレーキチョップ装置、渦電流を利用したレールブレーキ、定速度運転指令装置等がある。

これらの電機品は、その後、長い間951形電車で各種試験に使われ、十分な基礎資料が得られた。その結果、レールブレーキを除く他の電機品は、今回の961形電車に基本的に採用された。しかしその間、新幹線網計画の明確化によって50 Hz/60 Hz 共用形の電機品が必要になり、さらに電機品容量の再検討の結果、容量の増大が必要になってきた。しかし、車両重量の制限から、電機品の重量・寸法の増加を押えなければならない要求（軽量化・小形化）と、他方、不燃性油に代わる新しい電機品絶縁冷却油方式が要請され、シリコン油式主変圧器・フロン沸騰冷却式整流器の製作等の新しい技術の開発が必要になってきた。

幸いにして、日本国有鉄道車両設計事務所のご指導のもとに、これらの要求を満足する961形用電機品を製作することができたので、ここにその内容を紹介する。

2. 961 形 電 車 の 概 要

2.1 新たな計画条件

新幹線網の計画の明確化とともに、951形試験電車の製作時の条件よりもさらに次の主な条件が、961形電車の計画に加えられた。

(1) 50 Hz/60 Hz の共用形電気方式が可能なこと。

(2) 上越新幹線の長いこう配区間を運行するために、電機品の容量増大が予想されるが、電機品の重量増加を押えて軽量化を十分に図ること。

(3) 耐雪構造にすること。

これらの条件を満足することは、いずれも車両重量を重くする方

向にある。そこで、961形電車では、電機品容量検討のための車両計画重量を一応68 tと仮定した。

2.2 車両性能

電車の最高特性は、12両編成、トンネル外の平たん線、電車線電圧が25 kV の状態で、260 km/h 以上の速度が得られるように計画された。この特性を基にして、上越新幹線における各駅停車の条件で机上走行の結果から、主電動機の容量が275 kW 程度必要になった。

また、主変圧器の容量もこの条件で決められた。

2.3 回路方式

(1) 力行回路

高調波電流軽減対策を中心にして、いろいろな回路方式が検討されたが、サイリスタ制御方式に決まった。この場合、951形電車で行なった車上共振フィルタ装置方式は、次の理由で取りやめられた。すなわち、等価妨害電流(JP)の低減効果はあるが、第三次高調波電流の増加の問題と、50 Hz/60 Hz 共用の共振フィルタの製作が困難なため、これに代わって、主変圧器の多分割の方法がとられた。すなわち、5不等分割(電圧比=2:2:2:1:1)、さらに、位相止め制御も併用することになった。最終段が4等分割の場合よりもさらに多分割化されているので、高調波電流の最大値を低減するように図っている。

サイリスタの電圧を2,500 V (951形電車の場合と同じ)にし、主電動機の特性を考慮し、その定格電圧電流を700 V 435 A に選び、2S-4P 接続にした。これによって主変圧器電圧も2,072 V (518 V × 3 + 259 V × 2) に選ばれた。

主電動機の脈流率が47 % (60 Hz)、56 % (50 Hz) になるように、主平滑リアクトルの値を選んでいる。

(2) 電気ブレーキ回路

パーナチョップ制御式になっているが、装置の小形化を図るため、電気ブレーキ回路は2回路にしている。(4S × 2回路、951形電車の場合には2S × 4回路)

(3) 補機・サービス機器用電源回路

50 Hz/60 Hz の共用方式であるため、350 kVA のMG方式をとっ

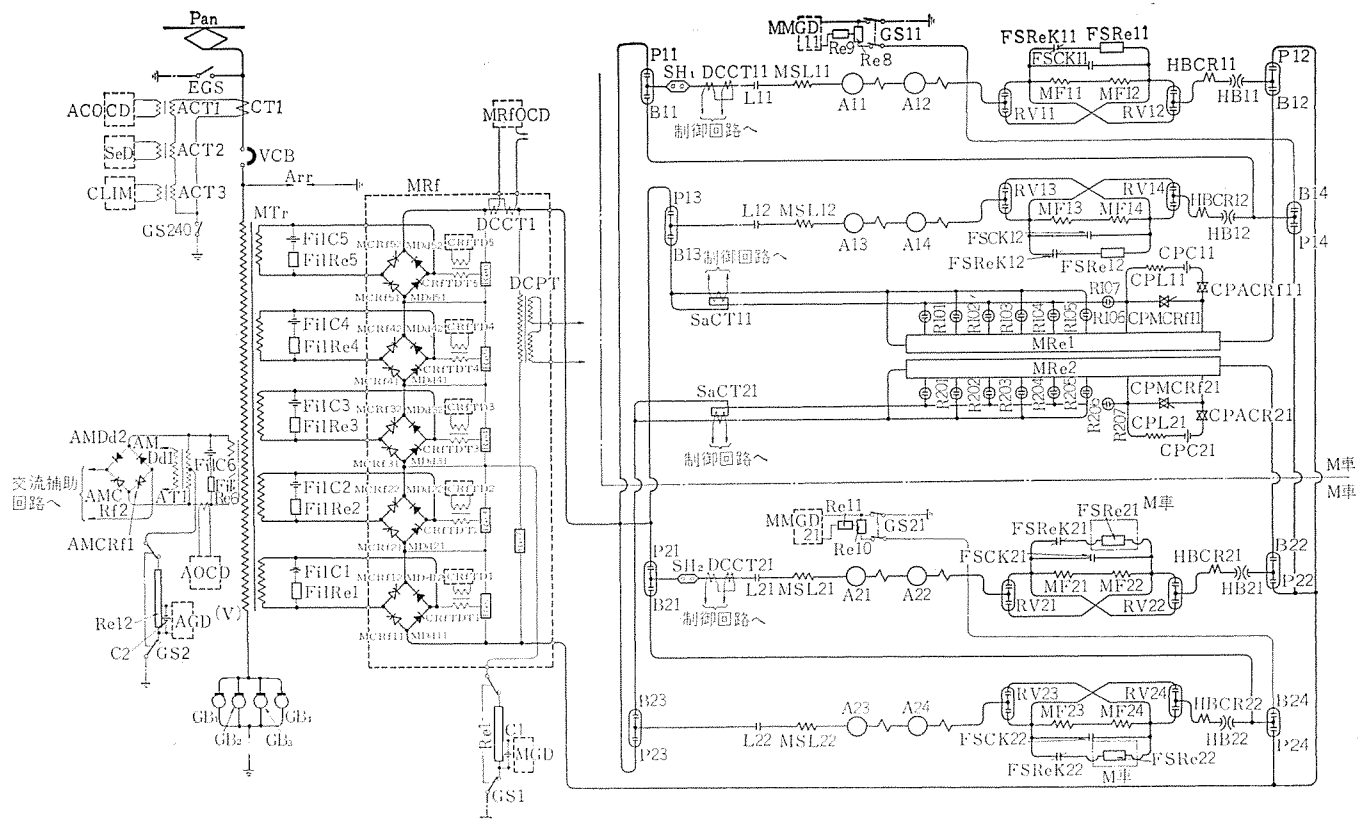


図 2.1 主回路つなぎ Power circuit diagram.

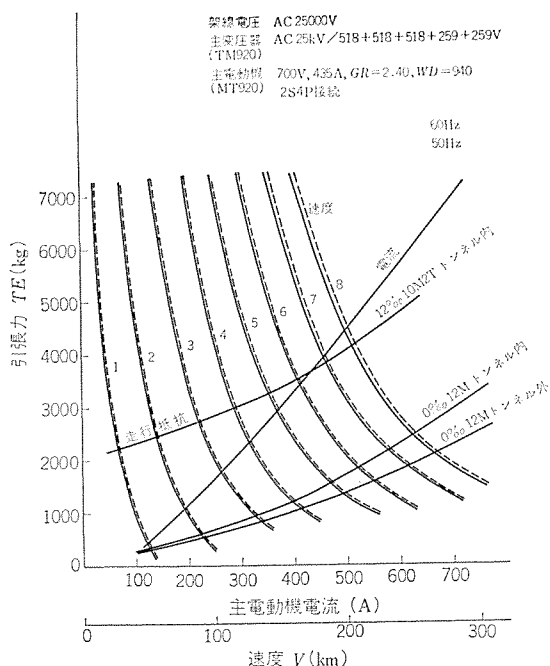


図 2.2 力行特性曲線 Powering characteristic curves.

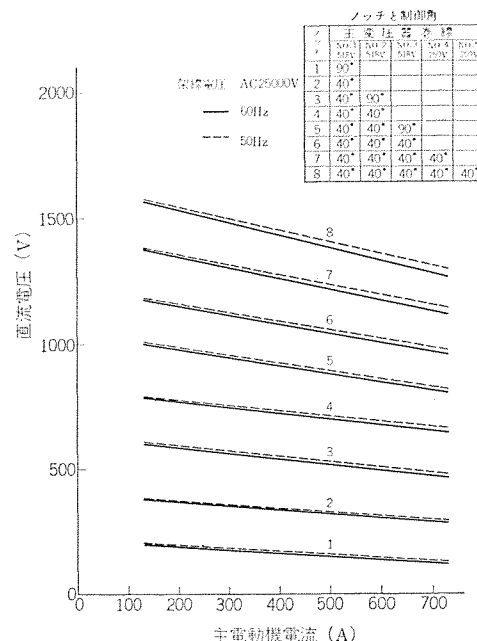


図 2.3 直流電圧特性曲線 Direct current voltage curves.

ている。補機・サービス機器は、発電機の出力 (440 V-60 Hz-3 φ) から供給される。

電動機側の方式には、サイリスタ装置の電圧制御を併用した直流電動機式と、サイリスタモータ式とがある。

2.4 その他

(1) ミニコンピュータを利用した ATOMIC がある。この装置は別系の ATC 制御のもとで、力行・ブレーキをノッチ指令の形で各ユニッ

トに指令を与える。また一部、モニタ用にミニコンピュータを利用している。

(2) 発電ブレーキと機械ブレーキ (空気ブレーキ系) の2種類のブレーキを持ち、発電ブレーキ優先になっている。

(3) 961 形電車の主要諸元は、表 2.1 に示すとおりである。

表 2.1 新幹線用電車主要諸元表
Specifications of electric car for new trunk line.

	961 形 試 作 電 車	951 形 試 験 電 車	現 行 新 幹 線 電 車
電 気 方 式	AC 25 kV 50 Hz/60 Hz	AC 25 kV 60 Hz	AC 25 kV 60 Hz
連 続 定 格 出 力	2,200 kW (275 kW×8)	2,000 kW (250 kW×8)	1,480 kW (185 kW×8)
連 続 定 格 速 度	205 km/h	220 km/h	167 km/h
最 高 速 度	260 km/h	260 km/h	210 km/h
車 体 構 造	軽合金溶接構造 ボディマウント形	軽合金溶接構造 ボディマウント形	鋼製溶接構造
台 車 構 造	空気ばね式 2 軸ボギー 中空カルダン軸平行駆動	空気ばね式 2 軸ボギー レールブレーキ装置付	空気ばね式 2 軸ボギー 歯車接手駆動
車 輪 径	980 mm	1,000 mm	910 mm
歯 車 比	25/60=1/2.4	25/56=1/2.074	29/63=1/2.17
主 電 動 機 形 式	MT 920	MT 916	MT 200
定 格	275 kW 700 V 435 A	250 kW 650 V 420 A	185 kW 415 V 490 A
脈 流 率	2,850 rpm	2,500 rpm	2,200 rpm
接 続	47 % (60 Hz) / 56 % (50 Hz)	50 %	50 %
	力 行 2 S-4 P ブレーキ 4 S-2 G	力 行 2 S-4 P ブレーキ 2 S-4 G	力 行 4 S-2 P ブレーキ 4 S-2 G
主 変 圧 器 形 式	TM 920	TM 917	TM 200
容 量	3,300 kVA/2,950 kVA/350 kVA	2,410 kVA/2,260 kVA/150 kVA	1,650 kVA/1,500 kVA/150 kVA
電 圧	25 kV/2,072 V/920 V (518 V)	25 kV/1,856 V/430 V	25 kV/2,261 V/232 V
主 整 流 装 置 形 式	RS 920	RS 906	RS 200
定 格	2,400 kW 1,400 V 1,740 A	2,200 kW 1,300 V 1,680 A	1,627 kW 1,660 V 980 A
ダイオード	2,500 V 1,600 A	2,500 V 800 A	1,200 V 280 A
サイリスタ	1 S-2 P-2 A-5 U 2,500 V 1,000 A 1 S-2 P-2 A-5 U	1 S-4 P-2 A-4 U 2,500 V 400 A 1 S-4 P-2 A-4 U	10 S-4 P-4 A
チョップバ制御装置 (ブレーキ用) サイリスタ	RS 921	1,300 V 400 A (逆阻止形)	
ダイオード	2,500 V 400 A (逆導通形) 1 S-2 P-2 U 1 S-1 P-2 U	1 S-3 P-4 U 1 S-1 P-4 U 1,300 V 800 A 1 S-1 P-4 U	
制 御	力 行	サイリスタによる連続位相制御	主変圧器タップ切換による制御
	ブレーキ	サイリスタチョップバによる制御	カムスイッチによる切換制御
運 転 方 式	ATC および ATO	ATC および速度指令方式	ATC および手動
ブ レ ー キ 装 置	発電ブレーキ 電気指令空気ブレーキ	発電ブレーキ 電磁ブレーキ うず電流式レールブレーキ	発電ブレーキ 電磁直通空気ブレーキ
サ ー ビ ス 電 源	電動発電機方式 350 kVA AC 440 V 三相 60 Gz	主変圧器三次巻線 AC 440 V 単相 60 Hz	主変圧器三次巻線 AC 220 V 単相 60 Hz

3. TM 920 形主変圧器

TM 920 形主変圧器は、電気特性などの主変圧器に要求される各種条件を満足させるなかで、重量軽減を最重点にして設計が進められた。表 3.1 に主変圧器の仕様・諸元を、図 3.1 に主変圧器外観を示す。以下、本変圧器の設計・製作上の特長、とくに考慮を要した点について順次に説明する。

3.1 主変圧器定格容量

二次定格電圧は、275 kW 主電動機 2 S-4 P 接続に対応する電圧値に加え、サイリスタ制御時に発生する高調波電流を軽減するために採用された位相止め方式の効果からさらに高い電圧が要求され、かつ、主回路電圧変動率、サイリスタの耐圧特性を考慮して最終的に 2,072 V にされた。

二次定格電流については、この電車が東海道・山陽・東北・上越各新幹線を共通に走行できる必要があることから、電子計算機を使

表 3.1 TM 920 形主変圧器の仕様・諸元
Specifications and various items of type TM 920 main transformer.

形 式	TM 920 形、連続定格、外鉄形、送油風冷式、シリコン絶縁油入、無圧密封式
相 数、周 波 数	単相 50/60 Hz 共用 (ただし、箱機電源は三相 60 Hz 専用)
容 量、電 圧、電 流	一次 3,300 kVA 25,000 V 132 A 二次 1~3 2,250 kVA 518×3 V 1,450 A 4.5 700 kVA 259×2 V 1,350 A 三次 350 kVA 925 V 378 A
絶縁階級、試験電圧	一次線路側 車両用 30 号 AC 42 kV 10 分、インパルス 175 kV 一次接地側 車両用 1 号 AC 4 kV 1 分、 二 次 側 車両用 3 号 AC 10 kV 1 分、 三 次 側 車両用 1 号 AC 4 kV 1 分、
絶 縁 種 別	特別 A 種 ポリアミド絶縁物使用
温 度 上 昇 限 度	巻 線 125 deg(C)……抵抗法 油 85 deg(C)……温度計法 基準周囲温度 25°C
循環油流量、風量	700 l/min, 90 m³/min
総 重 量 (油 量)	3,290 kg (350 l)

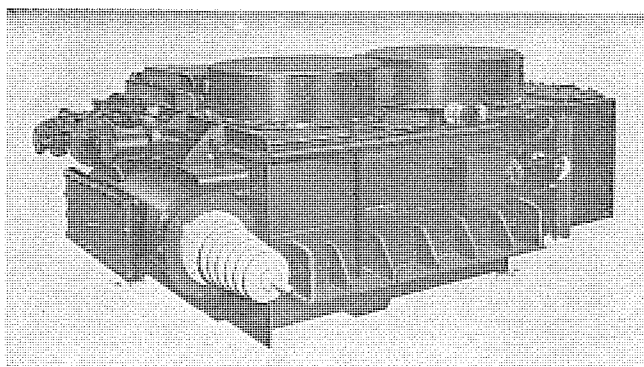


図 3.1 TM 920 形主変圧器外観
Exterior view of type_TM_920 main transformer.

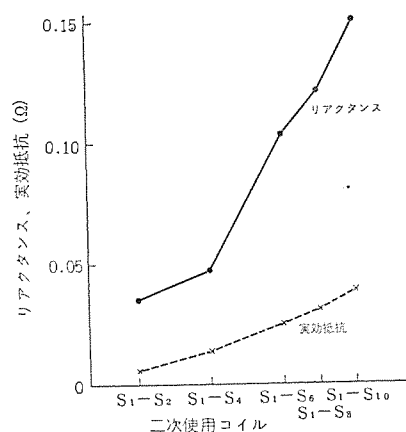


図 3.2 TM 920 形主変圧器のリアクタンス・実効抵抗
(二次側換算値)
Reactance and effective resistance of type
TM 920 main transformer.

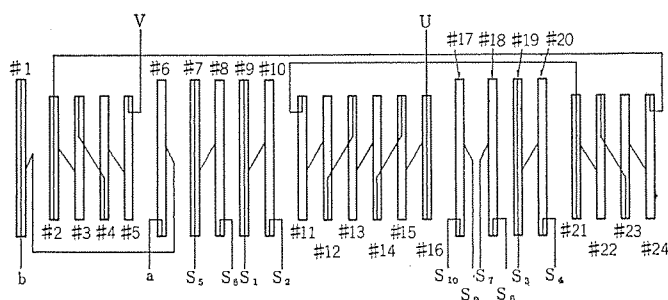


図 3.3 TM 920 形主変圧器のコイル配置
Winding arrangement of type TM 920 main transformer.

表 3.2 シリコン油と不燃性油の物性値
Characteristics of silicone oil.

項 目	シリコン油 (KF 96-50 cS)	不燃性油 (KC 1000)
比 重	960	1,510
動 粘 度	50×10^{-6}	15×10^{-6}
流 動 点	-50 以下	-30 以下
比 熱	0.35	0.28
熱 伝 導 率	0.15	0.089
引 火 点	300 以上	120
破 壊 電 圧	45 以上	45 以上
N ₂ ガス飽和溶解量	約 17	約 5
熱膨張係数	0.00106	0.0007
飽和含有水分	約 250	約 90

各特性値は 25°C における値を示す。

って各線区ごとにシミュレーションを行ない、主変圧器のコイル・油の各瞬時温度計算結果を基にして決定された。

コイルの最高点温度の限界を、主として絶縁油の熱的劣化条件より 195°C に仮定して計算した結果、上越新幹線より「こだま」走行が変圧器として最もきびしいことが判明、これより定格電流 1,450 A が決定された。また、二次コイルは、3.2 節に示すように、5 分割されているが、第 4 コイルの走行 RMS 電流が通電ひん度の関係から第 1 コイルの約 93% になり（「ひかり」走行の場合）、この分だけ第 4・第 5 コイルの定格電流を低減し、1,350 A にして軽量化が追求されている。

以上の二次容量に三次の 350 kVA を加え、総合一次容量は、表 3.1 に示すように 3,300 kVA に決定された。

また、周波数は 50/60 Hz 共用方式になっているが、補機電源は集中発電方式で三相 60 Hz 専用になっている。

3.2 主回路制御方式と主変圧器のコイル配置

二次コイルは、誘導障害対策より、各コイル電圧比を 2:2:2:1:1 にした不等 5 分割、等価 8 分割方式にされた。各コイルごとにサイリスタ混合ブリッジが接続され、第 1 分割より順次に連続的に制御されるが、小容量コイルを専用に位相制御する、いわゆるパーニア制御方式の採用も可能になるように考慮されており、この場合には第 5 分割コイルを制御用にする。

一次二次コイル間インピーダンスは、電力行特性、サイリスタ短絡耐量および前記条件を加味して図 3.2 に示すとおりになっている。図 3.3 は、主変圧器のコイル配置を示すが、上記条件を満たすうちで最軽量になるように考慮されている。

三次は補機電源装置に供給されるが、三次コイルはこの許容電圧変動を満足させるように配置を決め、集中負荷であることから軽量化の目的で、従来設置されていた一次コイルとの間のしゃへい板は省略している。

3.3 シリコン油入ポリアミド絶縁無圧密封式構造

絶縁油には、従来の不燃性油に代わってシリコン油を採用している。主として電気特性・燃焼性の面よりジメチルシリキサン構造の粘度 50 cS (25°C) の電気用シリコン油が選定され、その主要物性値を不燃性油と比較して示したのが、表 3.2 である。

表 3.2 からわかるように、シリコン油は不燃性油と比較して熱伝導率・比熱は大であるが、比重が小さく粘度が高いため、総合的には油ポンプなどの冷却装置の強化が必要になる。

さらに、シリコン油のガス溶解性の面から、従来採用されていた N₂ 封入密封構造による油劣化防止方式に代わり、本体は後述の金属パローを使用した無圧密封構造にしてある。

また、シリコン油は吸水性が高く、変圧器の工作方法についても、注油後の開封時間が極力少なくなるように考慮している。

さらにハード面の軽量化策として、主要絶縁物にポリアミド絶縁紙を採用し、巻線温度上昇限度を従来の 85 deg から 125 deg と約 1.5 倍に引き上げ、大幅な軽量化を図っている。これに油の比重差が加わり、TM 920 形主変圧器の総重量は 3,290 kg と、現新幹線用 1,650 kVA の TM 200 形主変圧器の重量の 3,410 kg より軽くなっている。

3.4 本体構造

基本的には、車両用変圧器の標準構造になっている外鉄形フォームフィット構造を踏襲しているが、特に使用絶縁物が異なるので、絶縁加工方法を大幅に変更しており、この面から構造も一部変更してい

る。

冷却ダクトは、モデル実験による内部温度分布データを参考に、従来の約1/2の寸法に処理して軽量化を達成している。

これら新しい製作技術は、さきに951形試験電車軽量化技術課題でやはり当社が原設計・製作を担当したTM 918形主変圧器の経験を生かし、スムーズに処理することができた。

3.5 部品

本変圧器は、前述のとおり高温度上昇およびシリコン油を採用しているため、部品関係についても、特に新しい考慮が必要になった。

3.5.1 金属ベロー形コンサベータ

油を完全にガスとしゃ断し、かつ、油の膨張・収縮量を吸収する必要から、従来のN₂ガス入りコンサベータに代わってステンレス製ベローを採用した。シリコン油は、表3.2からわかるように、熱膨張係数が大きく、今回はさらに使用温度範囲も拡大されているので、必要応動量は非常に大きく、ぎ装寸法、ベロー製作上の制約から2個に分割している。下記にその主要諸元を示す。

応動量	30 l×2 (−20〜125°C)
ベロー高さ	max 156 mm, min 20 mm
ベロー径	外径 600 mmφ, 内径 500 mmφ
ベロー材質	0.3 mm 厚, SUS 304 P, 溶接ベロー

3.5.2 電動油ポンプ

粘度の高いシリコン油を使用しているが、コイルおよび冷却フィン表面上では十分な油流速を確保する必要があるため、従来と比較して高揚程・高出力のものになっている。これによるポンプ重量の増加を防ぐため、軸方向空けき形の油ポンプが新しく設計された。

また、シリコン油の対ベアリング潤滑性に対して、次の対策を施している。すなわち、ベアリング荷重の余裕を特に大きくとった精密級ベアリングを採用し、かつ、万一ベアリングを交換するためにポンプの取りはずしが必要になった場合にも、変圧器本体の油に触れないで作業ができるようにポンプの前後に仕切弁を設けている。下記に電動油ポンプの主要諸元を示す。

形名	MH 3925-OP 925 形
使用油	ジメチルシロキサンシリコン油 50 cS
定格	2.6 kW 三相 60 Hz 440 V
揚程	9 m 油柱
循環油流量	700 l/min
重量	55 kg

3.5.3 電動送風機

軽量化の面から変圧器本体コイルの電流密度を上げているので、損失が大きく、かつ変圧器冷却風は交流フィルタ用抵抗器を共通に冷却するため送風機定格は、下記のように相当大容量であり、特にこれによる騒音の増大を抑えるために斜流形電動送風機が新たに設計された。

形名	MH 3921 B-FK 921 B 形
定格	2.2 kW 三相 60 Hz 440 V
風圧	80 mmAq
風量	90 m ³ /min
重量	90 kg

3.5.4 油冷却器

冷却効率の高いコルゲートフィン形の総アルミ製油冷却器を採用し、かつ風側フィンは目詰り対策として従来のものより目を荒くした改良形構造にしている。油冷却器の諸元を表3.3に示す。

表 3.3 油冷却器仕様
Specifications of oil cooler.

項目	高温側	低温側
熱交換量	95 kW	
流体	シリコン油	空気
循環流量	700 l/min	90 m ³ /min
入口温度	110°C	25°C
圧力損失	3.5 mAq	40 mmAq
油無重量(油量)	110 kg (39 l)	
形式	アルミコルゲートフィン形	

3.5.5 ブッシング

ブッシングはいずれもエポキシ注型品であるが、使用温度が高くなったので、従来の樹脂のものは使用できず、新たに熱変形温度が、約160°Cの耐熱エポキシ注型ブッシングを開発・採用している。

3.5.6 放圧装置

これは、万一、変圧器に内部事故が発生した場合に異常圧力を外部へ開放するための装置で、今回は動作後にすみやかに放出油をしゃ断して燃焼を防止する自動復帰形放圧装置を新たに採用している。動作圧力は0.8 kg/cm²・Gに設定している。なお、正常時の誤動作による弊害を極力防ぐため、従来の放圧膜も併設した二重構造になっている。

3.6 その他

中身の材料関係については、温度仕様が高くなったこと、シリコン油を採用したことから、従来のものと大幅に異なっている。たとえば、従来支持構造物・くさびなどに使用されていた木材は、温度面から耐熱樹脂積層板やポリアミド積層品に換え、また、ガスケットは従来のシリコンゴムでは膨潤がひどくて使用できないので、これに代わるふっ素ゴムを使用している。

その他、各材料については、別途に耐熱性・耐シリコン油性の材料実験を長時間にわたって実施し、それらの結果から選定した。シリコン油中のベアリング寿命特性はその性質上、非常に長期間の実験が必要で、現在も継続中である。

なお、今回採用したシリコン油は、電気用途としての実績は皆無に近く、今後とも各方向からの検討を続けていく必要があると思われる。

4. RS 920 形主シリコン制御整流器

4.1 特長

RS 920 形主整流器の特長としては、次のものがあげられる。

(1) 主サイリスタによる全電圧制御

サイリスタを混合ブリッジ結線で主回路制御用として使用し、ゲート位相制御による電圧制御を行なう。

(2) 不等分割制御と位相止め制御の採用

主変圧器の二次電圧が巻線比で、2:2:2:1:1に5不等分割され、順序制御あるいはパーセンタ制御により、また各ユニットの位相制御角を40°に保持する位相止め回路を設けて高調波電流を低減している。

(3) 平形大容量素子の採用

ダイオードサイリスタは、大容量の平形素子を使用し、素子数を大幅に低減させている。

(4) フロン沸騰冷却の採用

冷却には、フロンによる沸騰冷却方式を採用し、そのすぐれた冷却

特性によって本体が小形・軽量化された。素子は、整流タンク内に密封され、フロン中に他の電気部品とともに浸漬されている。

4.2 RS 920 形主シリコン制御整流器仕様

本装置の仕様は次のとおりである。

形 式	RS 920
方 式	単相混合ブリッジ5段直列方式
定格容量	2,440 kW
定格直流電圧	1,400 V
定格直流電流	1,740 A 連続, 2,160 A 8分
定格周波数	50/60 Hz
主サイリスタ	CSI 1000-25 (三菱電機形名 FT 1000 A-50)
主ダイオード	SI 1600-25 (三菱電機形名 FD 1600 A-50)
主サイリスタ素子構成	1S×2P×2A×5ユニット
主ダイオード素子構成	1S×2P×2A×5ユニット
周囲温度	-20°C~40°C
冷却媒体	フロン 113
気相圧力	1.4 kg/cm ²
冷却風量	80 m ³ /min

なお、主回路接続は図4.1に示すようなものである。

4.3 主ダイオードおよび主サイリスタ

RS 920 形主整流器には、定格電流 1,000 A のサイリスタ、および定格電流 1,600 A のダイオードが使用されている。これら大容量素子の仕様は、表 4.1 および表 4.2 に示すとおりである。

4.4 主整流器の構造

図 4.2 に示すように、つり下げ式のベースの上に整流ユニット・送風機・制御装置・故障検出装置・AC フィルタコンデンサ・主平滑リアクトルが積載されている。電車の車体に設けられた空気取入口から取り入れられた冷却風は、電車進行方向と直角方向に整流ユニット・送風機・主平滑リアクトルを経、反対側の車体に設けられた排風口から排風される。制御装置・故障検出装置・AC フィルタコンデンサなどは、送風機・主平滑リアクトルの両側に配置されており、整流ユニットの両側のヒューズ箱を経て、交流ならびに直流端子が外部ケーブルと接続される。

4.5 フロン沸騰冷却方式

フロンの沸騰を冷却に利用すると、熱伝達率が数万 kcal/m²・h・°C におよび、油・空気などの従来の強制冷却とはけた違いに大きな冷却効果が得られる。本装置では 4.3 節で述べたように、大容量半形整流素子を使用しているが、素子 1 個当りの発生損失は千数百 W にも達する。限られたスペース内で有効な熱放散を行なうためには、高い熱伝達率を持つ冷却方式の適用が必ず(須)条件であるので、RS 920 形主整流器ではフロン 113 を冷却媒体とする沸騰冷却方式を取り入れている。

4.5.1 フロン沸騰による素子の冷却

図 4.3 は、フロン 113 液中における沸騰による熱伝達特性を示したものであるが、数千 kcal/m²・h 以上では急激な熱流束の増加にもかかわらず、温度差が増加しないという特異な冷却特性が得られている。

図 4.3 で得られたようなすぐれた冷却特性を応用して、大容量半形整流素子をフロン 113 液中で冷却するため、大容量スタックは主サイリスタおよび主ダイオード各 10 個に対して各 11 枚の冷却フィンで構

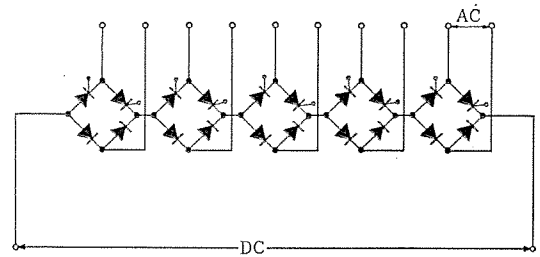


図 4.1 主回路接続
Main circuit connection diagram.

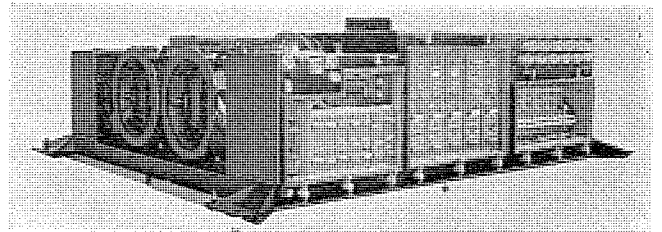


図 4.2 RS 920 形主整流器外観
Exterior view of type RS 920 main silicon controlled rectifier.

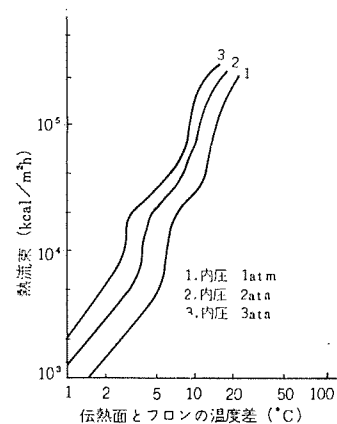


図 4.3 温度差と熱流束曲線 (実測)
Characteristic curves of thermal flux vs. temperature difference.

表 4.1 主ダイオード仕様
Specifications of main silicon diode.

定 格	形 式	SI 1600-25 (三菱電機形名 FD 1600-50)
	平均電流 A	1,600
	線返しピーク逆電圧 V	2,500
	非線返し逆電圧 V	2,800
	最高許容接合温度 °C	150

表 4.2 主サイリスタ仕様
Specifications of main thyristor.

定 格	形 式	CSI 1000-25 (三菱電機形名 FT 1000-50)
	平均順電流 A	1,000
	動作逆電圧 V	2,500
	非線返し逆電圧 V	2,750
	動作順阻止電圧 V	2,500
	臨界順阻止電圧上昇率 V/μs	200
	臨界順電流上昇率 A/μs	200
	ゲート電圧 V	順方向 20
		逆方向 5
	ゲート電流 A	6
	ゲート電力 W	瞬 時 30
		平 均 4
	最高許容接合温度 °C	125

表 4.3 フロン 113 の特性
Characteristics of flon 113.

略 号	単 位		略 号	単 位	
化 学 式		$\text{CCl}_2\text{F}-\text{CClF}_2$	熱 伝 導 度	(30°C) kcal/m·h·°C	0.0775
分 子 量		187.39	蒸 気 :	(1 atm) kcal/m·h·°C	0.00670
沸 点	(1 atm) °C	47.57	粘 度	液 : (30°C) C · P	0.619
凝 固 点	°C	-35	蒸 気 :	(30°C, 1 atm) C · P	0.01040 (0.1 atm)
臨 界 温 度	°C	214.1	表 面 張 力	(25°C) dyne/cm	19
臨 界 圧 力	kg/cm ² ·abs	34.8	屈 折 率	液 : n_D^{20}	1.355
臨 界 容 積	cc/mol	325	相 対 絶 縁 耐 力	($N_2=1$) (23°C, 1 atm)	2.6 (0.4 atm)
臨 界 密 度	g/cc	0.576	誘 電 率	液 : 蒸気 : (0.5 atm)	2.44 (30°C) 1.010 (26°C)
密 度	液 : (30°C) g/cc 飽和蒸気 : (沸点) g/l	1.553 7.38	水に対する溶解度	(25°C, 1 atm) Wt %	0.017
比 熱	液 : (30°C) cal/g·°C 蒸気 :	0.218	アサヒフロンに対 する水の溶解度	(30°C) Wt % (0°C) Wt %	0.013 0.0036
比 熱 比	(Cp)(30°C), 1 atm (Cp/Cv) 30°C, 1 atm	0.161 (60°C) 1.080 (60°C)	可 燃 性		な し
蒸 発 潜 熱	液 : (沸点) cal/g	35.07			

成している。この場合、冷却フィン、整流素子とほぼ同じ大きさで従来のものと比べて大幅に小形化されているが、冷却フィンの熱抵抗は 0.02°C/W 以下ときわめて小さい値が得られた。

従来、素子の大容量化に対して、表面積の増大で対処してきた冷却フィンは、フロン沸騰冷却の出現によってその寸法・重量を逆にくさくすることで、今まで以上に良い冷却特性が得られている。

4.5.2 自然循環方式

主ダイオードや主サイリスタ、抵抗などの伝熱面において沸騰によって発生したフロン蒸気は、凝縮部の冷却管内部に導かれる。フロン蒸気は、外部冷却風によって蒸発潜熱を奪われ、再び液相に変化し、このフロン凝縮液は整流タンク内に戻る。

このような沸騰と凝縮の相互作用により、フロン冷媒はポンプ送風機などの駆動装置を全然使用しないで冷却系内を循環する。

4.5.3 整流ユニットの構造

整流ユニットは、整流タンク部と凝縮部からできており、凝縮部は整流タンク部の上方に位置している。整流タンク内には大容量整流スタック・AK 間抵抗・放電抵抗・高圧ゲート部品・温度継電器が収められており、これらの部品はフロン 113 内に完全に浸されている。凝縮部と整流タンクは配管によって結ばれている。大容量整流器スタックには主ダイオードスタックと主サイリスタスタックがあり、各 2 台ずつ整流タンク内に収められており、10 個の大容量整流素子が直列に圧接されて一つのスタックを構成している。温度継電器は、主サイリスタおよび主ダイオードの冷却フィンに取り付けられているものと、フロン液温を監視するためのものとの 3 種類がある。

整流タンク壁面には、主回路用気密絶縁端子ならびに補助回路用気密絶縁端子が取り付けられており、外部との電気的接続が行われる。また、整流タンク上面には放圧装置が設けられている。整流タンク部ならびに凝縮部は、すべて溶接接続で気密が保たれている。

4.5.4 整流タンク

整流タンク内圧力は、運転状態に応じて負から正に変化し、最高で 1.4 kg/cm² である。整流タンクは、その内容積も比較的小さく、内部エネルギーも小さいので、压力容器の種類として、法規的には小形压力容器に属するので、関連法規を基準にして最高使用圧力 2 kg/cm² の小形压力容器として設計・製作された。容器は、ステンレス製で、溶接によって気密が保たれている。パッキン類は全然使用され

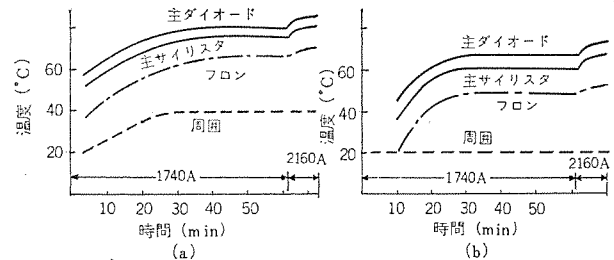


図 4.4 温度上昇試験結果
Temperature rise test results.

ていないが、オーバーホールや、その他に中身を修理しなければならないときには、簡単に分解できるような構造が開発・適用された。

4.5.5 整流タンク内部品の選定

フロン 113 は、4.5.2 項にも述べたように、安定性の高い物質であるが、整流タンク内使用部品を選択するに当たり、以下の試験で異常の認められないもののみを選択して使用した。

(i) 短期腐食試験

フロン温度を 100°C 以上に保ち、比較的短時間の間、部品をフロン液中に保つ加速試験

(ii) 長期腐食試験

フロン温度を 100°C 以上に保ち、1 年間部品をフロン液中に保存する加速試験

4.5.6 温度試験結果

整流ユニットに実電流を流した場合の結果を図 4.4 に示す。

1,740 A の連続運転時には、フロン温度上昇は約 25°C、2,160 A 8 分間通電後には約 30°C の温度上昇である。

図 4.4 の (b) は、周囲温度 20°C のときの測定結果であり、(a) は周囲温度を 40°C に制御したときの測定結果である。

4.6 ゲート制御回路

ゲート制御装置の構成を図 4.5 に示すが、主な特長は次のとおりである。

(1) 移相回路

レミ形磁気増幅器を使用しており、移相範囲はほぼ 180° 期間が可能であるが、高調波電流抑制対策として、 $\alpha=40^\circ$ に制限し、 $40^\circ \sim 180^\circ$ の期間で位相制御を行なっている。

(2) バイアス回路

力行受量装置の出力信号電圧に対し、各移相回路に異なった直流バイアス電圧を与え、各ユニットの主サイリスタ点弧の順序づけを行なう回路である。上記位相角制限回路とバイアス回路とを2個のリニアICで構成している。各ユニットの位相特性を図4.6に示す。

(3) 同期電源回路

主変圧器の二次側第4巻線電圧(259V)を同期信号としているが、転流時の電圧波形ひずみと電源周波数50/60Hz共用とを考慮して、L-C-Lフィルタを使用し、基本波を取り出している。

(4) ゲートパルス発生回路

ゲートパルス波形は、広幅パルスに狭幅パルスを重ねたもので、いわゆるハイゲートドライブ波形である。パルス発生回路では、従来使用されていたゲートターンオフサイリスタの代りにトランジスタを使用し、ターンオフ電源およびその監視回路を省略した。

(5) 順序制御とバーニヤ制御

このゲート制御装置では、順序制御とバーニヤ制御を行なうことができるようになっている。順序制御では、力行受量装置の出力信号

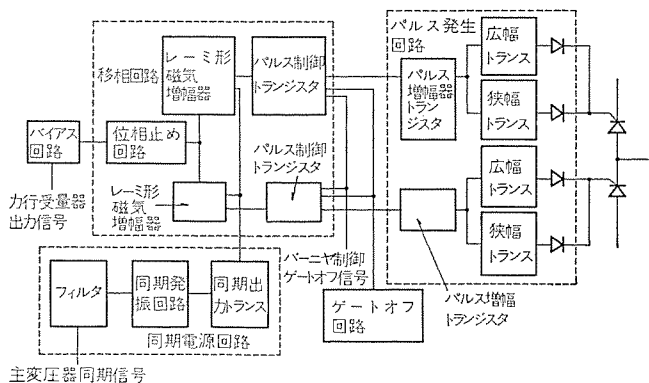


図4.5 ゲート制御装置構成図
Block diagram of gate circuit.

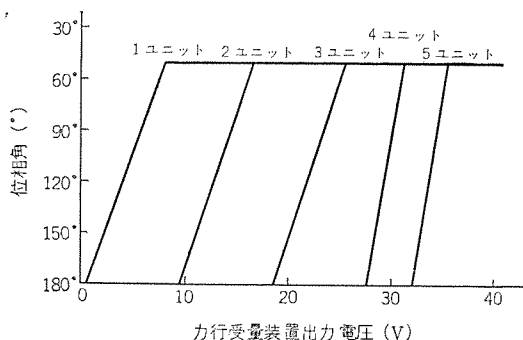


図4.6 各ユニット位相特性
Phase characteristics of each unit.

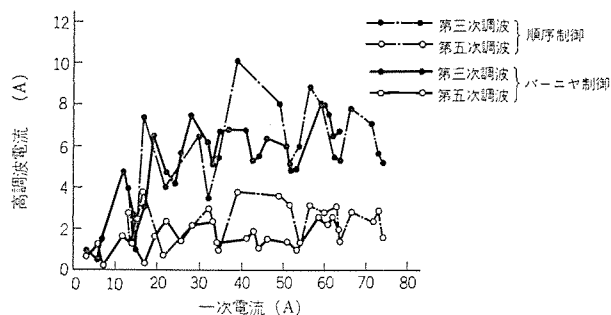


図4.7 高調波電流特性
Characteristics of high harmonic wave current.

電圧がノッチに対応して増加するので、主サイリスタは図4.6に示すユニットの順序で位相制御される。バーニヤ制御では、第5巻線の第5ユニットの主サイリスタのみが位相制御され、他のユニットの位相制御角は40°あるいは180°に固定され、主サイリスタの導通ユニットの切換えは、ゲートオフおよび力行受量装置出力オフによって行なう。

なお、バイアス回路のバイアス値は、順序制御時と同一値に固定されているため、バーニヤ制御時の切換時以外では力行受量装置の出力信号電圧は、常に一定の最高電圧に保たれる。このようなバーニヤ制御では、等価的に第5巻線電圧(259V)の8等分割順序制御になり、高調波電流低減の効果が大きくなる。その一例として工場試験における高調波電流測定結果を図4.7に示すが、これは直流出力電流を900Aに一定にした場合の主変圧器一次電流に対するその第3および第5次高調波電流特性で、バーニヤ制御による高調波低減効果が認められる。

5. MT 920 形主電動機

5.1 概要

主電動機の基本的な考え方は、東海道新幹線電車用MT 200形主電動機および951形試験電車用MT 916形主電動機を踏襲したものであるが、車両の高速化、こう配が多いこと等の条件に対処するため、容量が増大されている。

5.2 要目

形式	MT 920, MT 920 A
方式	脈流直巻補極付, 界磁10%永久分路
極数	4
通風	自己通風
装架方式	台車装架式
車輪径	980(新製)
歯車比	2.4
連続定格	275 kW, 700 V, 435 A, 2,850 rpm
脈流率	47% (60×2 Hz) 56% (50×2 Hz)
高速試験速度	4,300 rpm
最高許容端子電圧	875 V
絶縁耐力試験電圧	4,300 V
重量	870 kg
外観, 特性	図5.1, 図5.2

5.3 特長

(1) ポリイミドフィルム絶縁による容量増大, 信頼性向上
各コイルの絶縁にはポリイミドフィルムを主要材料として採用した。

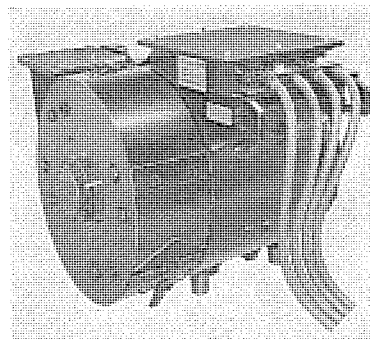


図5.1 MT 920 形主電動機
Type MT 920 traction motor.

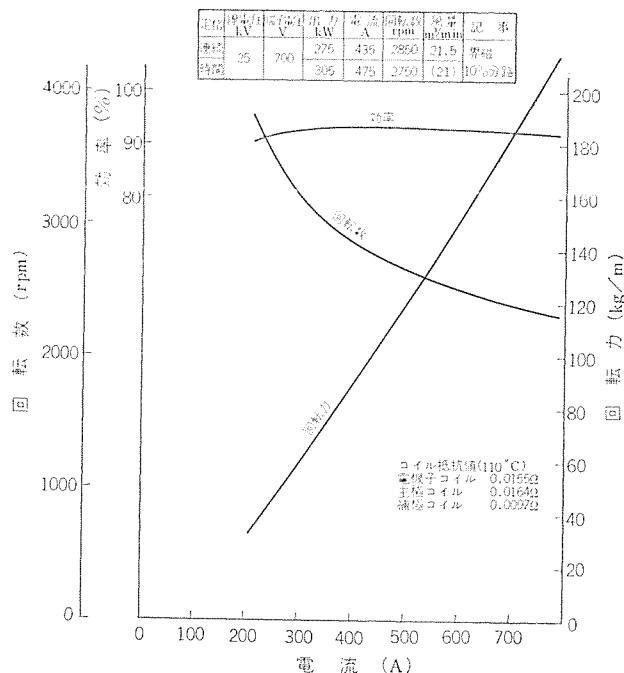


図 5.2 MT 920 形主電動機特性曲線
Characteristics of type MT 920 traction motor.

表 5.1 電機子コイルの比較
Specifications of armature coils of type MT 200 A, MT 916 and MT 920 traction motors.

主電動機	MT 200 A	MT 916	MT 920
電機子寸法	縦	35.5	36.2
	横	9.6	7.6
コイル導体寸法	縦	3.0	3.4
	横	7.1	5.7
主絶縁材料	マイカ	ポリアミド紙	ポリイミドフィルム
占積率 (ウェッジ部分を除く)	56 %	63 %	70 %
連続定格	185 kW	250 kW	275 kW
定格トルク (測定値)	85 kg·m	93 kg·m	100 kg·m
主電動機重量	880 kg	880 kg	870 kg

ポリイミドフィルムは、耐電圧性・耐熱性に格段にすぐれた性能を持ち、絶縁物を薄くできること、その結果として熱伝導性が良いこと、および耐熱性がすぐれて信頼性が高いことなどの利点をもっており、これを主電動機の容量増大に効果的に利用することができた。一例として電機子コイルの絶縁を表 5.1 に示す。MT 920 形主電動機では電機子スロット内で導体が占める体積の割合 (占積率) が 70 % に達している。

(2) 鉄損対策

高速回転形主電動機では電機子鉄損の値が大きく、温度上昇に与える影響もまた大である。今回の MT 920 形主電動機では、電機子鉄心の材料を従来の S 18 の 0.5 t から S 18 の 0.35 t に変更して渦電流による損失を小さくした。また、電機子端板をバインド掛けのために段落しすると、この部分において大きな渦電流損を生ずるので、端板径を電機子鉄心径と同一にし、段落しない形状にした。

(3) その他

磁気わく (枠) は、MT 200 形主電動機と同様、部分積層して約 50 % の脈流率で使用できるものになっている。また、軸受は密封軸受にし、保守回帰の延長を図っている。外形寸法・重量は、今回容量が増大されたにもかかわらず、MT 200・MT 916 形主電動機の場合

表 5.2 温度上昇試験結果
Temperature raise test results.

単位 deg C

条件	コイル名	電機子	主極	補極	整流子	周囲温度
1 時間 700 V 475 A	直 流	123	101.5	97	75	14.5
連 続 700 V 435 A	直 流	116	105	96	71	18
	脈 流	118	115	114	76	19

より若干小さい値にすることができた。

5.4 試験結果

各コイルの温度上昇値は、表 5.2 に示すように、限度に対して十分に余裕のある値である。鉄損は定格において 4.7 kW で、従来のレベルと比較して 15 % 程度小さくすることができた。

6. IC 920 形主平滑リアクトル

961 形電車用主平滑リアクトルとして IC 920 形リアクトルを製作した。このリアクトルは、軽量化を大幅に行なうように考慮して使用導体にはアルミニウムを使用し、前回試作した 951 形電車用主平滑リアクトルと比較して約 20 % の重量軽減が可能になった。

このほかには特に変わった設計は行なっていないが、1 ユニット 8 台の電動機に対して 4 台のリアクトルを風冷する必要上、ぎ装配置に次のように工夫してある。

(1) M' 車に取り付けた 2 台を並列に配置し、主シリコン整流器の冷却風を利用した。

(2) M 車用 2 台を直列に冷却し、さらに界磁抵抗器を冷却するようにし、1 台の電動送風機を設けることにした。

しかし、リアクトル本体はすべて同一の仕様にして標準化を図っている。

IC 920 形主平滑リアクトルの主要要目は、次のとおりである。

方式	: オープンコア形
定格	: 連続
インダクタンス	: 8.3 mH (540 A で)
電流	: 435 A
脈流率	: 56/47 %
周波数	: 50×2/60×2 Hz
冷却方式	: 乾式風冷式
通風量	: 40 m³/min
絶縁種別	: F 種
重量	: 225 kg

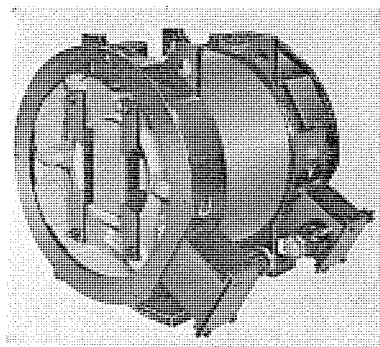


図 6.1 IC 920 形主平滑リアクトル外観
Exterior view of type IC 920 main smoothing reactor.

IC 920 形主平滑リアクトルの外形は、図 6. 1 に示すとおりである。

7. RS 921 形チョップ制御装置

7. 1 概要

このチョップ制御装置は、発電制動時に主抵抗器の一部に並列にサイリスタチョップ回路を接続し、チョップによるバーニア制御を行なって、抵抗進段時の電流ピークをなくし、なめらかで、かつ粘着パターンに沿って安定したブレーキ力を得ることを可能にし、260 km/h の高速域より動作させる電気ブレーキとして、十分に満足できる性能を発揮させるものである。今回のチョップ装置は、新開発の 2,500 V 400 A 定格の逆導通サイリスタの採用、密閉タンク内におけるフロン R-113 を使用したサイリスタスタックの液冷など、最新の技術を大幅に取り入れ、装置の小形・軽量化および保守の容易化を図ったのが特長である。

7. 2 チョップ装置諸元

定 格 : 864 V, 785 A×2 回路一括制御

制御周波数 : 120 Hz

サイリスタ素子形名 : RCSI 400-25 (三菱電機形名 FR 600 AW-50)

素子構成 : MDTh 1S2P, ADTh 1S1P (1 回路当り)

冷却方式 : サイリスタスタック……フロン (R 113) 液漬自然対流冷却

フロンタンク……自然空冷

タンク内容積 : 88 l (フロン液量 60 l)

7. 3 制御方式の特長

(1) 発電制動時の主回路構成は、図 7. 1 に示すように、主電動機 4 台を直列接続し、これに主抵抗器 (MRe および Cp Re) を負荷抵抗として接続する方式をとっている。1 ユニット当り図示の回路が 2 回路あり、これらを 1 セットのチョップ装置、および抵抗制御器で制御する。

(2) 抵抗制御段数は 9 ステップであり、各ステップ間で抵抗連続可

変制御をサイリスタチョップを用いて行なっている。

(3) SaCT (可飽和 CT) によってカム軸進段をすばやく検出し、チョップ通流率の絞り込みを瞬時に行ない、カム軸進段時の主回路電流ピークをほとんどなくしている。

(4) 発電ブレーキ中に滑走を検出した場合には、すばやくチョップ通流率を絞り込むと同時に、界磁短絡を行ない、再粘着特性の向上を図っている。

(5) 主回路過電流検出時には、即時にチョップを強制点弧して過電圧がチョップ装置に印加されるのを防ぐと同時に、HB を開極させて主回路の確実な保護を期している。

7. 4 装置構成上の特長

(1) 高耐圧サイリスタの導入により、抵抗制御用カムスイッチの数は従来方式と比べて約半数の 7 個×2 回路分になっている。

(2) 無接点式カムモータ制御装置の採用、低圧補助接点部の完全防塵化、前面点検形カムスイッチの採用などによって保守の容易化を図っている。

(3) チョップ用フロンタンクは、ステンレス製にして十分な強度をもたせ、側面および底面にはアルミフィンを取り付けてタンクの冷却効果を向上させている。

(4) 転流リアクトルは、銅線エポキシ真空含浸絶縁とし、小形・軽量化を図っている。

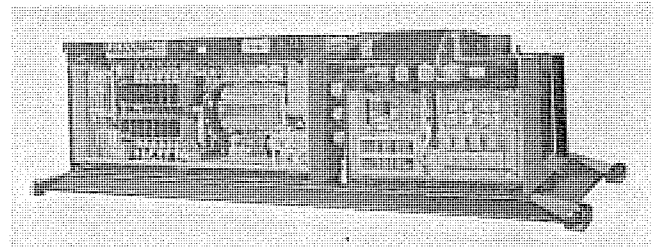


図 7. 2 RS 921 形チョップ電流制御器箱 (右側)
Type RS 921 gate control box for chopper
(right side).

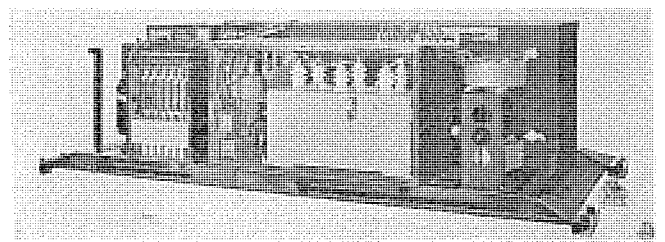


図 7. 3 RS 921 形チョップ用転流装置 (中央右) と
チョップ本体 (左)
Commutating equipment for type RS 921 chopper
and chopper tank.

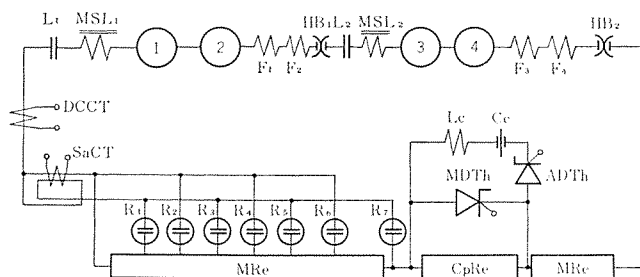


図 7. 1 バーニャチョップ主回路説明図
Simplified circuit of dynamic brake with
vernier chopper.

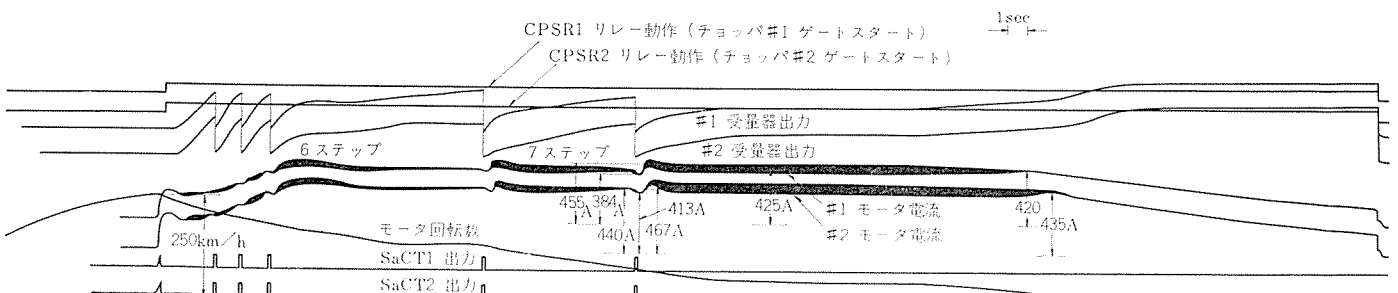


図 7. 4 2 回路チョップ同時動作試験結果
Typical oscillogram of dynamic braking with vernier chopper.

(5) 抵抗制御器箱・チョップパタン・電流制御装置・転流リアクトル・電流コンデンサを一つの台わくの上にまとめて配置している。

7.5 工場組合せ試験結果

主電動機8台および主抵抗器箱、転換器箱、断流器箱の各2箱と組み合わせ、現車と等価な回路条件で工場試験を行なった結果、カム軸進段時の主回路電流のピークもほとんどなく、また、滑走検出および再粘着時の過渡応答も安定しており、良好な制御特性を有していることが確認された。

8. TS 921 形ブレーキ受量器

8.1 ブレーキ系

961形電車では、東海道新幹線電車の電磁直通ブレーキ、951形試験電車の電気指令油圧ブレーキと異なり、デジタル電気指令を空気圧に変換し、最終的に油圧を使用するブレーキシステムが採用された。

8.2 TS 921 形ブレーキ受量器

TS 921 形ブレーキ受量器は、先頭車から指令を受けて各車にブレーキ力を指令する装置である。特に、

(1) 粘着特性を近似した連続的な粘着パタン制御

(2) 荷重に応じて(1)の粘着パタンの大きさを連続的に変化させる応荷重制御等の機能を有している。

受量器を主体にしたブレーキ系のブロックを図8.1に、受量器の概要を表8.1に、受量器の外観を図8.2に、現車と等価な試験結果を図8.3に示す。

先頭車には、自動運転装置やブレーキ設定器等の指令系がある。その指令系から各車の受量器に、ブレーキノッチ指令の形でデジタル信号が与えられる。受量器は図8.1のように、機械ブレーキ系の電空増幅器にブレーキ指令値相当のアナログ電圧を与える機能、電気ブレーキ系に対して、ブレーキ力指令値と発電ブレーキ力検出値との差を電圧の形でバーニアチョップに通流率指令として与える(いわゆる定電流制御)機能を有している。ブレーキ力指令電圧は、ブレーキノッチに対応するとともに、粘着パタンに荷重変化を加味した値になるように制御

表 8.1 TS 921 形ブレーキ受量器仕様
Specifications of type TS 921 brake control device.

電	源	<ul style="list-style-type: none"> ・AC 100 V\pm10%, 60 Hz \pm0.2 Hz, ひずみ率 10% 以下 ・DC 100 V \pm30%
入	ディジタル	<ul style="list-style-type: none"> ・ブレーキノッチ指令 (常用7段, 非常, 緊急) ・チョップ通流開始指令 ・速度信号 (30 km/h 以下, 160 km/h 以上)
力	アナログ	<ul style="list-style-type: none"> ・車速等価電圧 (最大 300 km/h 相当) ・ACT 電流 (最大主電動機電流 785 A 相当)
出	アナログ	<ul style="list-style-type: none"> ・対機械ブレーキ ブレーキ力指令電圧 (0~24 V) ・対電気ブレーキ 定電流制御主電動機電流偏差電圧 (15 V/20 A 偏差) ・対モニタリング装置 荷重相当電圧 最大 10 V

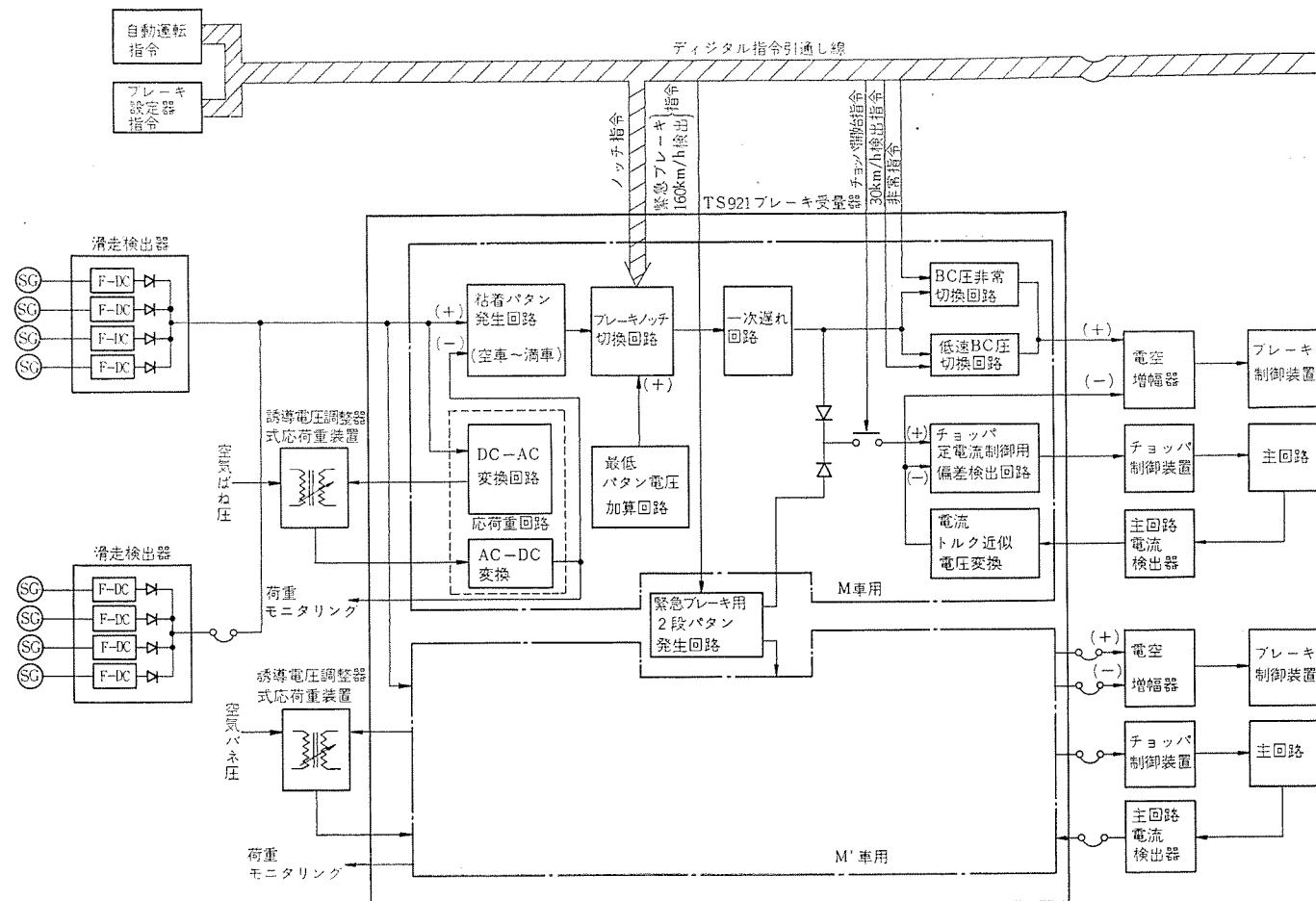


図 8.1 ブレーキ系ブロック図
Block diagram of brake system.

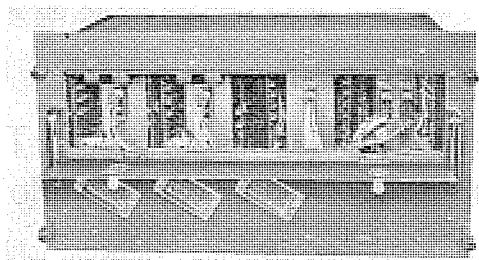


図 8.2 TS 921 形ブレーキ受量外観
Exterior view of type 921 brake control device.

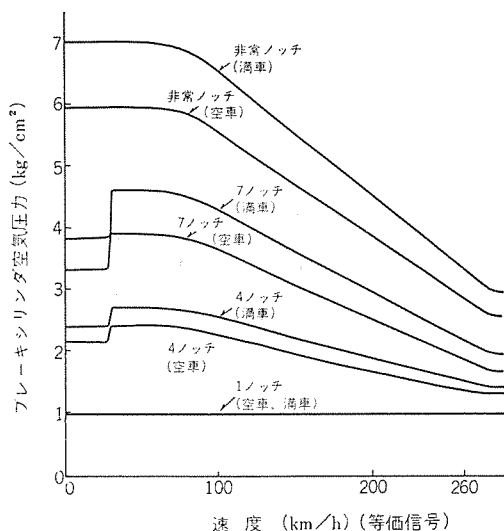


図 8.3 速度とブレーキシリンダ空気圧力
(C 41 ブレーキ制御装置)
Characteristic curves of brake cylinder air pressure vs. speed signal.

される。

粘着パターンは、260～80 km/h の速度では、粘着特性に対応してブレーキ力指令を変化させ、80 km/h 以下では一定のブレーキ力になるように設定されている。

また、応荷重装置には、従来の有接点式の変抵抗に代えて空気ばね圧で回転する誘導電圧調整器を用いた。上記粘着パターンに対して荷重変化に応じた補償を行なうためには、掛け算機能を持たせることが必要であるが、誘導電圧調整器と交流電源を用いて掛け算を行なった。

荷重補償は、全ノッチに対して行なう計画もあったが、チョップとの関連があり、高ノッチでは補償し、低ノッチでは一定パターンにする

ことになり、図 8.3 の結果を得た。

その他受量器では、BC 圧を低速で若干ゆるめる BC 圧切換回路や、緊急ブレーキ時には、上記の粘着パターンとは別にバックアップとしてチョップ制御装置用として 2 段形状の緊急ブレーキパターンを持っている。また、ブレーキ力制御は各車ごとに行なうが、受量器のハードウェアは 2 両分をまとめており、回路は信頼度・実績を考慮して主として磁気増幅器・水銀接点リレーで構成されている。

8.3 その他

電気空気圧力変換は、電空増幅器とブレーキ制御装置との組合せで行なわれ、直動弁式と称されるソレノイドを利用した方式と、ON-OFF 式と称される電磁弁を利用した方式とがあり、基礎ブレーキ装置で空気圧—油圧に増圧変換されてディスクブレーキを動作させる。

また、電空増幅器では、電気ブレーキ力の変化に連続的に追従し、その不足分を機械ブレーキが補足する演算（機械ブレーキ＝指令値－電気ブレーキ）を行なっている。

9. む す び

新幹線試作電車 961 形用電機品には、数多くの新しい考え方・方法・材料が用いられている。すなわち、

(1) 今までの不燃性油に代わるシリコン油を用いた主変圧器、しかも、現行新幹線用主変圧器よりも非常に大きな容量になっているが、重量はほぼ同程度に押えられたこと。

(2) フロンを利用した沸騰冷却方式の主整流装置、しかも 1,600 A の大容量ダイオード、1,000 A のサイリスタ素子を使用し、そのメリットを最大限に利用し得たこと。

(3) ポリイミドフィルム絶縁を行ない、定格回転数も 2,850 rpm と高速化したことから、現行新幹線の主電動機とほぼ同じ寸法・重量で、275 kW の主電動機を製作できたこと。

(4) 逆阻止形に代わって逆導通形サイリスタを用いたチョップ制御装置。

これらの電機品は、単体試験においても、総合的な工場組合せ試験においても計画どおりの特性・性能を確認することができた。

今後、961 形電車に実装された状態で、十分に満足できる結果を得ることを期待している。

最後に、961 形電車用電機品の設計・製作に参画し得、その間に日本国有鉄道車両設計事務所の関係各位より多大なご指導を賜わったことに対して深く感謝するとともに、この 961 形電車が今後、十分な成果を発揮することを切望してこの報告を終わる。

大容量全閉外扇形誘導電動機

伊瀬知 孝*・菅間 一公*・一ノ瀬 博之*

Mitsubishi Totally Enclosed Fan-Cooled Type Large Capacity Induction Motors

Nagasaki Works

Takashi Isechi・Kazuhiro Sugama・Hiroyuki Ichinose

Because of less danger of foreign matters and rain drops entering and of easy maintenance and inspection, totally enclosed fan cooled type motors are increasing of their demands year after year. From the viewpoint of social trend to abhor noise hazard, low noise motors are increasingly welcomed recently as their distinctive features.

To meet public desire a series of totally enclosed fan cooled large capacity motors have been completed now. This article introduces their advantages, parts of their design, workmanship and information on the quality control of them.

1. ま え が き

近年、誘導電動機の需要の傾向として、メンテナンスフリーであり分解点検にも容易な全閉外扇形が増大し、かつ大容量化している。また産業公害の問題から低騒音電動機の需要が急増しているのも、最近の著しい特長である。

これらの要求に応じるべく、かつ IEC 寸法に準拠した三菱大容量全閉外扇形電動機の新シリーズを開発したのでここに紹介する。

2. 特 長

本シリーズの特長は次のとおりである。

2.1 低騒音化

全閉外扇形電動機の発生騒音は、外部ファンの影響で他の外被形式よりも大きい傾向にある。この騒音低減のために、電動機の回転半径を小さくして軸方向寸法を長くし、しかもフレーム、軸の剛性を強めたロングフレーム構造とした。

また本シリーズは、MラインとFラインの2系列のフレームを有し低騒音に対処している。

2.2 IEC 寸法の採用

IEC 寸法に準拠し、わく番号はセンチメートル（軸心高さ）を表示している。開放形、全閉内冷形電動機と同一わく番号表示の場合には、据付寸法は同一になっている。

2.3 保安点検

電動機の信頼性は近年非常に高まったが、軸受などの各部品は分解点検が容易な分割構造とし、必要に応じて点検窓を設けている。また、部品の重量軽減をはかり分解組立が容易にできるようにした。

2.4 短納期

最近の短納期化の傾向に対処するため、設計・工作・情報伝達等の業務に電算機を活用し、かつ部品の標準化を推進して仕込範囲を拡大した。

2.5 その他

顧客からの仕様が多様化してきたのも最近の特徴の一つである。本シリーズでも、これに対応してF種絶縁はもちろん巻線形・防爆・防食・耐候形等のシリーズを有している。

3. 製 作 範 囲

全閉外扇形電動機の製作範囲は次のとおりである。

(1) 屋内・屋外を問わず腐食性ガスのある場所で使用する防食形、また、爆発危険場所に設置する耐圧防爆形をはじめ、安全増・内圧など回転機器で認められている防爆構造はすべて製作できる。

(2) 電動機容量に対して技術的製作限界はないが、全閉外扇形で高速、大形化すると騒音対策の費用が高くなるので数千kWが経済的範囲となる。電圧は200Vより11kV級まで、絶縁はB種およびF種を標準としている。

(3) 標準構造では騒音は95ないし90ホンとなるが、低騒音シリーズとして75ホン以下のものも製作できる。

4. 形 記 号

三菱大容量 全閉外扇形電動機の種類と形記号は表4.1のとおり

表 4.1 形記号表
Table of symbol mark.

M		M ラ イ ン	シ リ ーズ 名
F		F ラ イ ン	
	K	か ど 形	回 転 子 構 造
	S	巻 線 形	
	T	冷 却 管 付	防 食 形 ・ 屋 内 形 に つ い て は 無 記 号
	-H	サイレンサ付	
	-W	屋 外 形	
	-X	防 爆 形	

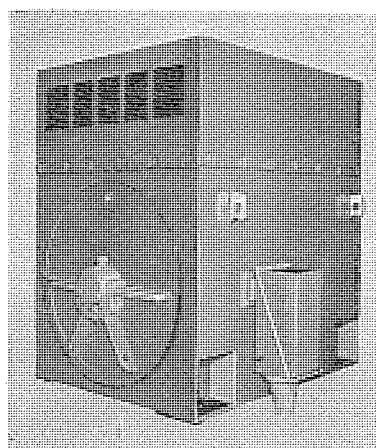


図 4.1 MKT-H
外観写真
Appearance of type
MKT-H induction
motor.

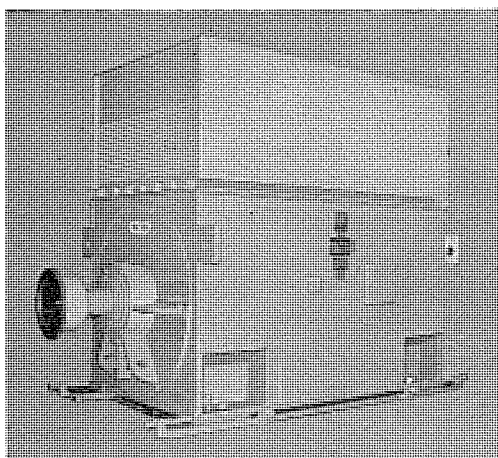


図 4.2 FKT 形外観写真
Exterior view of type FKT induction motor

であり、その外観を図 4.1, 4.2 に示す。

5. 構造

5.1 構造一般

M ライン 系列と F ライン 系列電動機の大きな相違点は、冷却管の配置方法である。M ライン 系列は、固定子鉄心の外周に一様に配列しフレーム上部にサイレンサを付属している（図 4.1 および図 5.1 参照）。一方 F ライン 系列では、冷却管をまとめた冷却器としてフレーム上部に設置している（図 4.2 および図 5.2 参照）。

これらの図で外部空気は実線矢印のように、外部ファンで誘引、強圧され冷却管内を高速度で通過し大気へ放出される。内部空気は、点線矢印のように回転子ダクトおよび内部ファンによって回転子内径から固定子外径にいたり、冷却管の層間を通り回転子内径にいたる閉回路を形成して循環しており、固定子・回転子の発生損失は冷却管をととして外部空気と熱交換し冷却される。

このような冷却方法によれば、任意の冷却面積が容易に選定できて冷却効率がよくなる。

冷却管の材料としては銅・銅合金・アルミニウム・鉄およびステンレスなどがあり、電動機の設置環境に応じて選択使用される。一般屋内、屋外形には亜鉛メッキした鉄管、防食形には銅合金またはステンレス管を使用する。外部および内部ファンは銅板溶接構造とし、通風効率の向上をはかっている。

5.2 固定子

フレームは銅板溶接製で重量が軽く、しかも剛性を強め通風損失を少なくしている。冷却管はフレームまたは冷却管の側壁に堅く圧着しており、確実な防じん（塵）、防水性を保っている。（図 5.3）

5.3 回転子

回転子がかご形・巻線形とも対称性を考慮した設計をし、静的バランス・動的バランスをとって振動を小さくするようにしている。かご形回転子のエンドリング接合部は、起動時における熱的、機械的応力が大きい部分であり、多くの研究を重ねて信頼性の高い構造としている。特に高速度機、重慣性負荷機には細心の注意をはらっている。（図 5.4）

5.4 軸受

軸受はすべり軸受を標準とし、潤滑はオイルリングによる自己給油式と強制給油式とがある。ハウジングおよび軸受は上下 2 分割としており、上部ハウジングをはずすと軸受の取換えが可能である。またハ

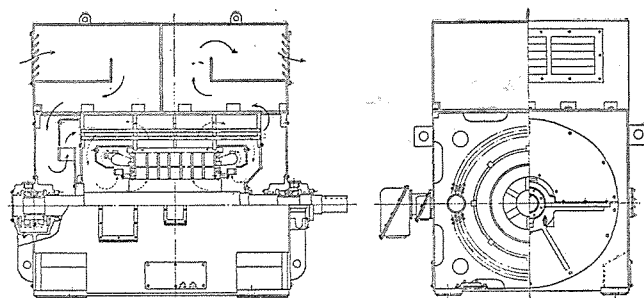


図 5.1 MKT-H 形構造断面図
Vertical cross section of type MKT-H induction motor

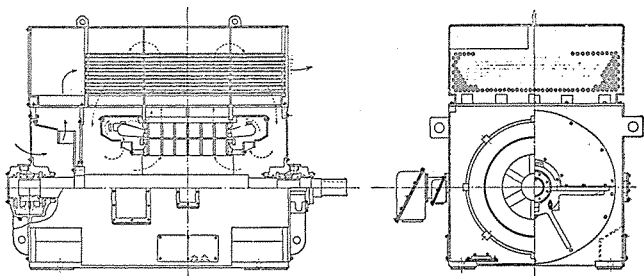


図 5.2 FKT 形構造断面図
Vertical Cross section of type FKT induction motor

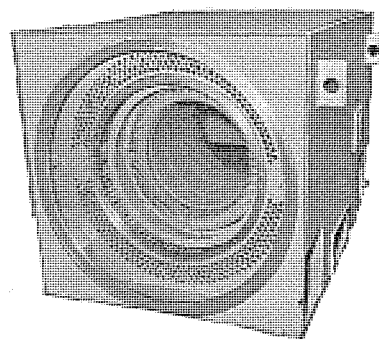


図 5.3 固定子
Stator.

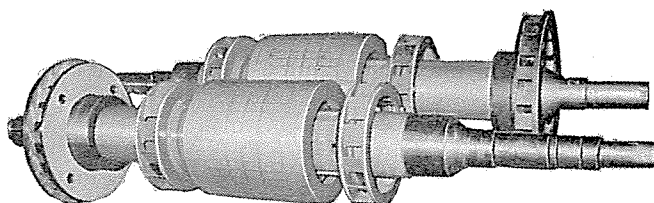


図 5.4 回転子
Rotor.

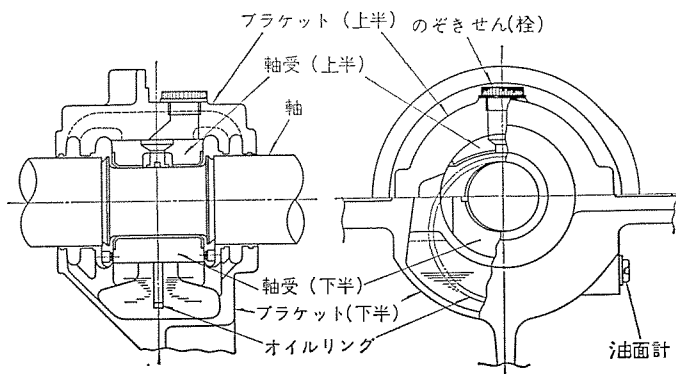


図 5.5 軸受構造図
Construction of bearing.

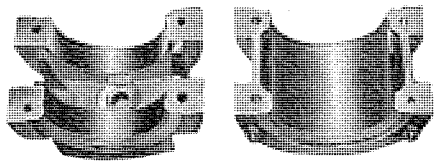


図 5.6 割軸受
Split bearing.

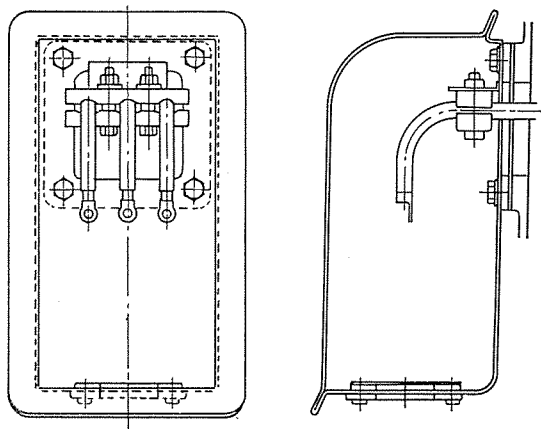


図 5.7 端子箱構造図
Construction of terminal box.

ウジツにはのぞきせん(栓)と油面計を付属しており、オイルリングの回転および油面変動の監視ができる。(図 5.5 および図 5.6)

ベルト駆動や機械側からのスラスト荷重が電動機に影響する場合は、ころがり軸受で製作される。

5.5 端子箱

端子箱は鋼板溶接構造であり、電動機側の口出線はラグ式(図 5.7 参照)を標準とし、端子箱の大きさは外部ケーブルとの接続が容易にでき、かつ十分な絶縁処理ができるように配慮している。

なお口出線の引出しおよびケーブルの引込方法については、顧客の要望に対して満足できる各種の構造を準備している。

6. 設計・工作・品質管理

電動機製作にあたっては、設計・工作・試験検査の各部門で十分な事前検討と作業およびその管理がなされている。

以下にその一部を記述する。

6.1 設計

電動機にかぎらずすべての製品は設計の優劣によりその品質が決定される。

電気的特性の設計はもちろん温度上昇・騒音値の推定・機械的強度・剛性の計算・軸受設計等の検討を行なう。

ここでは騒音と温度上昇計算について紹介する。

6.1.1 騒音の推定

前記のとおり近年低騒音電動機の需要が多くなっているが、電動機の発生騒音は設計時点で確実に(把握)しておく必要がある。

電動機の発生騒音は大別すると電磁音・通風音・機械音からなり、その発生周波数は数十から数千 Hz と高範囲な音域にわたっているため、低騒音電動機を設計するにはこの発生周波数と音圧レベル(dB)を正確に予知しておくことが重要である。全閉外扇形電動機の騒音の周波数分析例を図 6.1 に示す。

当社では無響室で数多くの電動機の音圧レベル測定を行ない、低騒音化にともなうサイレンサの設計手法を確立している。

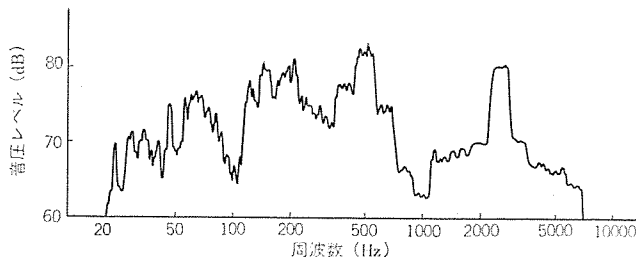


図 6.1 高速度電動機の騒音分析例
(970 kW 3550 rpm 全閉外扇形)

Example of noise analysis on high speed motor.

騒音低減の種類としては、直管と曲りを併用した吸音ダクト形および共鳴、膨張形等のいわゆるサイレンサと騒音の伝搬をしゃ(遮)断するしゃ音壁、二重壁による方法がある。

しかしながら吸音ダクト以外の方法は、特定周波数での消音効果はかなり期待できるが、前記のとおり広帯域な発生周波数を有する電動機に対しては実用的でなく、これらの方法は一般に採用されない。

吸音ダクト形サイレンサでは、吸音材として広周波域に比較的良好な吸音特性をもつガラスウールやロックウール等の多孔質材を使用している。これらの吸音材は不燃性であり、防爆地域でも使用できる利点ももち合わせている。

吸音ダクト形サイレンサ設計の基本式は次式で表わされ、減音量を算出する。

$$R = K \cdot \frac{J}{S} \cdot L \text{ (dB)} \dots\dots\dots (6.1)$$

R: 減音量 (dB)

J: ダクト断面の周長 (m)

S: ダクト断面積 (m²)

L: ダクト長 (m)

K: 吸音材の吸音率から決まる係数

またサイレンサ設計では、冷却風風速が重要なファクタとなり、高速になると気流音が発生し、吸音効果が著しく低下してくる。一般にサイレンサ内風速は 20 m/sec 以下としている。

サイレンサ設計には、これらを考慮して本シリーズではすでに 70 ホン台の低騒音電動機の製作が可能である。

6.1.2 温度上昇の計算

全閉外扇形(冷却管付き)電動機の各部の温度こう(勾)配は、概略図 6.2 で表わされる。

この図から各部の温度上昇は以下により計算する。

(1) 冷却空気の温度上昇 (T_1 , T_4)

$$T = \frac{K \cdot P}{\gamma \cdot C_p \cdot Q} \text{ (deg)} \dots\dots\dots (6.2)$$

T: 冷却空気の温度上昇 (deg)

K: 定数

P: 電動機の発生損失 (kW)

γ : 冷却空気の密度 (g/cm³)

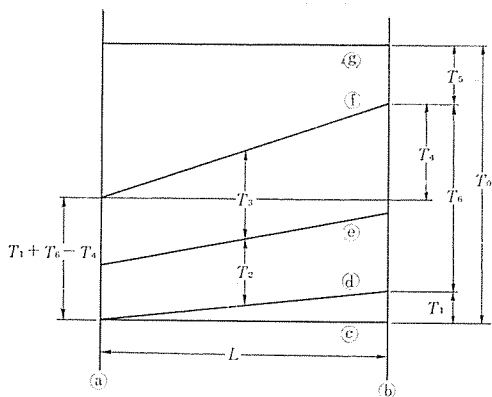
C_p : 冷却空気の比熱 (kcal/g · deg)

Q: 冷却空気の風量 (m³/min)

(2) 平均温度差 (T_2 , T_3)

$$T = \frac{P}{\alpha_m \cdot S} \text{ (deg)} \dots\dots\dots (6.3)$$

T: 外部および内部冷却空気と冷却管との平均温度差 (deg)



- ④: 外部冷却空気入口 ⑤: 外部冷却空気出口
 ③: 周囲温度 ⑥: 外部冷却空気温度こう配
 ②: 冷却管温度こう配 ⑦: 内部冷却空気温度こう配
 ①: 固定子コイル温度
 L: 冷却管長さ (m)
 T_1 : 外部冷却空気温度上昇 (deg)
 T_2 : 外部冷却空気と冷却管との平均温度差 (deg)
 T_3 : 内部冷却空気と冷却管との平均温度差 (deg)
 T_4 : 内部冷却空気温度上昇 (deg)
 T_5 : 内部冷却空気と固定子コイルとの温度差 (deg)
 T_6 : 固定子コイルの温度上昇 (deg)

図 6.2 全閉外扇形電動機の温度こう配図
 Temperature slope of totally enclosed fan cooled type motor.

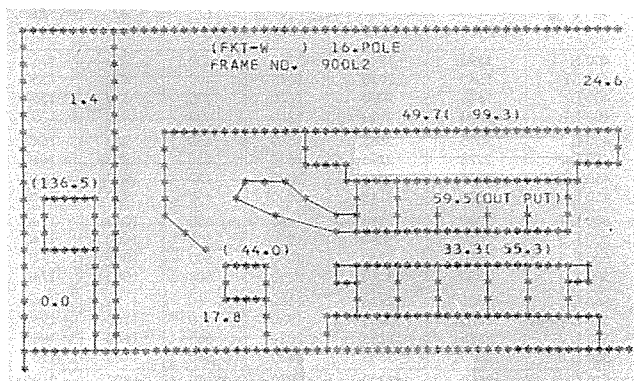


図 6.3 温度上昇計算のアウトプット一例
 Output of temperature rising calculation.

P : 熱交換される熱量 (損失) (kW)

α_m : 平均熱伝達率 (kcal/m² · h · deg)

S : 冷却管の表面積 (m²)

(3) T_6 の計算

平均温度差の算出には算術平均と対数平均法がある。図 6.2 では温度こう配を直線で表わしたが、実機でのこのこう配は放物線にちかい曲線であり、前者の平均法では実測値との誤差が大きくなり、対数平均法により算出するのが一般的である。

$$T_2 + T_3 = \frac{T_4 - T_1}{\log \frac{T_6}{T_6 + T_1 - T_4}} \text{ (deg)} \dots \dots \dots (6.4)$$

(ただし $T_4 > T_1$ のとき)

(4) T_0 の計算

$$T_0 = T_1 + T_6 + T_5 \text{ (deg)}$$

この T_5 は固定子コイル絶縁の厚みや層数、固定子鉄心とコイルの熱伝導長を熱的抵抗に変換し、これらの熱等価回路網を解析して算出する。

設計部門では以上の騒音や温度上昇の推定、その他電磁的特性の算出や機械強度設計等の各種計算はもちろん、ほとんどの設計業務を電算機にて処理し、これらの計算値は数多くの実測値からその誤差の修正を行ない信頼性の高いプログラムを完成している。

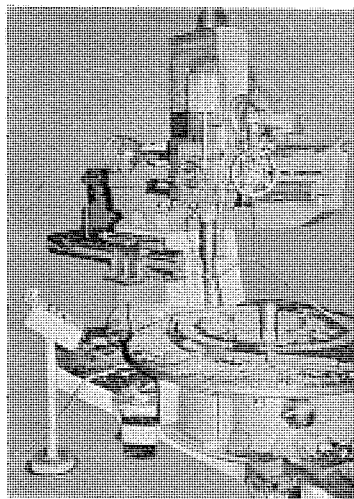


図 6.4 冷却管そう入孔の自動加工機械
 Automatic processing machine on insertion hole of cooling pipe.

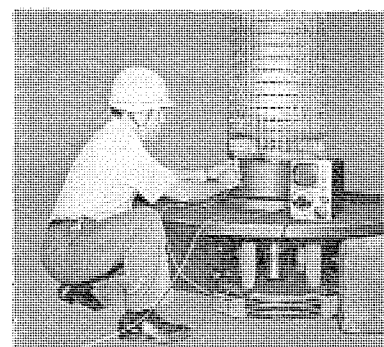


図 6.5 エンドリング接合部の
 超音波探傷検査
 Ultrasonic flaw detection of end ring junction.

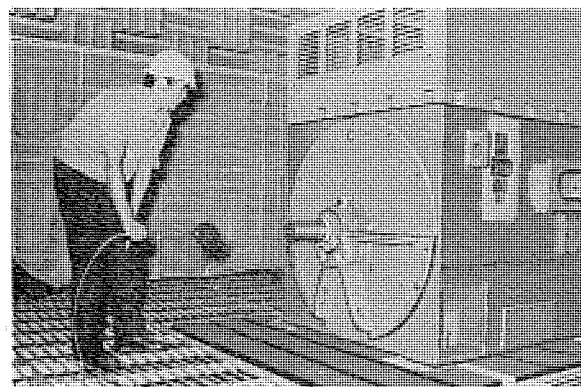


図 6.6 無響音での騒音測定
 Noise measurement in soundless room.

図 6.3 に温度上昇計算のアウトプットの一例を示す。

6.2 工作機械の自動化

短納期化に対処するために、設計と同時に工作機械の自動化を進めてそのスピード化をはかっている。

これには、いわゆる NC 機械 (Numeric Control Machine) が導入されており、フレームや軸等ほとんどの部品を自動加工している。また大容量全閉外扇形電動機の熱交換は前述のとおり冷却管で行なうので、空気冷却器には当然この数百個の冷却管そう入孔が必要であり、この加工作業も自動化 (図 6.4) し能率化をはかっている。

6.3 品質管理

設計時点での十分な検討とともに使用材料の事前検査をはじめ各工作部門での製品 (部品) 検査、および試験を行なっているが、ここでその一部を紹介する。

(1) 最近のかご形電動機の単機大容量化につれて、エンドリングと回転子棒との接合部も重要管理の一つであり、接合材の選定、接合部の構造とその作業技術等多くの試験研究を重ねて信頼性の向上をはかるとともに、その検査には細心の注意をはらいカラーチェックならびに超音波探傷検査 (図 6.5) を実施して品質管理を行なっている。

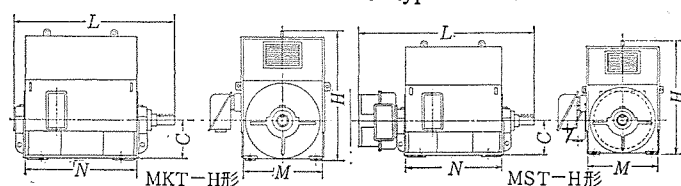
(2) 振動については、回転子の完全な静的、動的バランスをとり、さらに電動機完成時にバランス調整を実施している。

なお同時に軸受ハウジングで振動測定を行ない異常ないかを確認す

表 7.1 標準騒音の適用区分
Applicable ranges of standard noise
3000/3300V 50/60Hz

極数 kW	2	4	6	8	10	12	14
315							
400							
500							
1000							
1500							
2000							
3000							

表 7.3 Mライン 形外形寸法表
Outline dimensions of type M line.

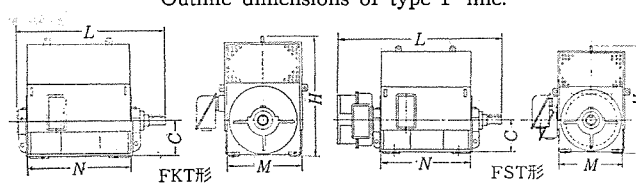


MKT-H			MST-H				
わく番	L		N	C	M	H	
	MKT-H	MST-H					
500 M 1	1520	1970	1190	500	1010	1580	
500 L	1640	2090	1310	500	1010	1580	
500 L 1	1770	2220	1440	500	1010	1580	
630 M	2225	2795	1650	630	1320	1970	
630 M 1	2355	2925	1780	630	1320	1970	
630 L	2505	3075	1930	630	1320	1970	
630 L 1	2705	3275	2130	630	1320	1970	
710 M 1	2465	3075	1840	710	1500	2210	
710 L	2615	3225	1990	710	1500	2210	
710 L 1	2815	3425	2190	710	1500	2210	
710 L 2	3015	3625	2390	710	1500	2210	
800 M 1	2495	3105	1840	800	1700	2480	
800 L	2645	3255	1990	800	1700	2480	
800 L 1	2845	3455	2190	800	1700	2480	
800 L 2	3245	3855	2590	800	1700	2480	
900 L	2685	3425	1990	900	1900	2790	
900 L 1	2885	3625	2190	900	1900	2790	
900 L 2	3085	3825	2390	900	1900	2790	
900 L 3	3525	4265	2830	900	1900	2790	
1000 L	2785	3525	2030	1000	2120	3090	
1000 L 1	2985	3725	2230	1000	2120	3090	
1000 L 2	3185	3925	2430	1000	2120	3090	
1000 L 3	3625	4365	2870	1000	2120	3090	
1120 L	2835	3635	2030	1120	2360	3245	
1120 L 1	3035	3835	2230	1120	2360	3245	
1120 L 2	3235	4035	2430	1120	2360	3245	
1120 L 3	3675	4475	2870	1120	2360	3245	
1250 L	2875	3675	2030	1250	2640	3605	
1250 L 1	3075	3875	2230	1250	2640	3605	
1250 L 2	3275	4075	2430	1250	2640	3605	
1250 L 3	3715	4515	2870	1250	2640	3605	
1400 L	2890	3690	2040	1400	2960	3905	
1400 L 1	3090	3890	2240	1400	2960	3905	
1400 L 2	3290	4090	2440	1400	2960	3905	
1400 L 3	3730	4530	2880	1400	2960	3905	

表 7.2 80ホン騒音の適用区分
Applicable range of 80 phone noise.
3000/3300V 50/60Hz

極数 kW	2	4	6	8	10	12	14
315							
400							
500							
1000							
1500							
2000							
3000							

表 7.4 Fライン 形外形寸法表
Outline dimensions of type F line.



わく番	FKT		FST			
	L		N	C	M	H
	FKT	FST				
400 S	1490	1940	970	400	830	1350
400 M	1560	2010	1040	400	830	1350
400 L	1640	2090	1120	400	830	1350
400 LL	1730	2180	1210	400	830	1350
450 L 1	2095	2665	1550	450	950	1640
450 L 2	2225	2795	1680	450	950	1640
450 L 3	2375	2845	1830	450	950	1640
450 L 4	2575	3145	2030	450	950	1640
500 L 1	2300	2910	1680	500	1060	1740
500 L 2	2450	3060	1830	500	1060	1740
500 L 3	2650	3260	2030	500	1060	1740
500 L 4	2850	3460	2230	500	1060	1740
560 L	2325	2935	1680	560	1180	1960
560 L 1	2475	3085	1830	560	1180	1960
560 L 2	2675	3285	2030	560	1180	1960
560 L 3	3075	3685	2430	560	1180	1960
630 L	2560	3300	1870	630	1320	2100
630 L 1	2760	3500	2070	630	1320	2100
630 L 2	2960	3700	2270	630	1320	2100
630 L 3	3400	4140	2710	630	1320	2100
710 L	2650	3390	1910	710	1500	2275
710 L 1	2850	3590	2110	710	1500	2275
710 L 2	3050	3790	2310	710	1500	2275
710 L 3	3490	4230	2750	710	1500	2275
800 L	2720	3520	1930	800	1700	2455
800 L 1	2920	3720	2130	800	1700	2455
800 L 2	3120	3920	2330	800	1700	2455
800 L 3	3560	4360	2770	800	1700	2455
900 L	2750	3550	1930	900	1900	2855
900 L 1	2950	3750	2130	900	1900	2855
900 L 2	3150	3950	2330	900	1900	2855
900 L 3	3590	4390	2770	900	1900	2855
1000 L	2780	3580	1930	1000	2120	3105
1000 L 1	2980	3780	2130	1000	2120	3105
1000 L 2	3180	3980	2330	1000	2120	3105
1000 L 3	3620	4420	2770	1000	2120	3105

る。

(3) 電動機の最近の低騒音化にともない、工場内での他の騒音源による影響をうけて測定がむずかしい場合がある。

このような時、周囲騒音(暗騒音)とともに室定数によって補正を行なうが、周囲騒音や建屋の構造に影響されないいわゆる自由空間(音場)で測定するのが理想的である。

前述したように当社には、早くから無響室設備(図 6. 6)があり、正確な騒音測定を実施している。

またこの設備で、サイレンサ設計データ用として各種の測定を行ない低騒音電動機の研究を重ねている。

7. 外形寸法と適用区分

本シリーズの適用は騒音によって、表 7. 1、表 7. 2 に区分する。

ただし耐圧防爆形の場合は、フレームの爆発強度上すべて M ライン系列となる。外形寸法は表 7. 3、表 7. 4 に示す。

8. む す び

三菱大容量全閉外扇形電動機の概要について以上述べたが、本シリーズの設計においては今まで比較的困難とされていた温度上昇、騒音値を計算で予知できるように、幾多の実績から精度の高い計算プログラムを完成し、また工作機械の自動化を推進して能率化をはかるとともに信頼性の向上をはかった。いうまでもなく製品管理についても各部門で細心の注意をはらい品質向上に努めている。

全閉外扇形電動機は、今後さらに需要の増加が期待される機種であり、新材料の開発、冷却の合理化、重量軽減、構造の簡素化等の研究を重ねて、すぐれた製品を生産していく所存である。

LSH-E 形および S 形 高圧配電箱とその特長

木村 隆信*・佐藤 洋一*

Type LSH-E and S 3 kV Starter Panels and their Merits

Nagoya Works Takanobu Kimura・Yôichi Satô

Type LSH-E and S high voltage switch boxes are put into market as starter panels of 3 kV circuits for general purposes. This article introduces their kinds, construction and merits with illustrations. Descriptions are also made on the classification of their ratings and application and protection coordination covering the protection against overcurrent, shortcircuit, instantaneous voltage drop and ground fault. Furthermore, approach toward the standization and standard specifications as the application of family tree technique. The apparatus of these kinds have been developed not only from the viewpoint of easy operation and economy but also that of thorough consideration on safety and reliability. It is firmly believed of their future growth in higher degree.

1. ま え が き

LSH-E 形, および LSH-S 形 高圧配電箱は SH 形 高圧気中電磁接触器を内蔵し, 3 kV 高圧各種電動機のスタータ用に, また変圧器, コンデンサの一次スイッチとして, 経済性のみならず安全性, 信頼性などを十分考慮して開発されたものである。

前者は主として高しゅ断容量のはん(汎)用 コンビネーションスタータとして, また後者は電磁接触器のみのいっそうシンプルで経済的なスタ

ータとして広く利用されている。(図 1. 1, 1. 2 参照)

以下本文はこれら高圧配電箱についてその特長, 保護機能ならびに標準仕様などについて紹介するものである。

2. 高 圧 配 電 箱

2. 1 LSH-E 形 高圧配電箱

LSH-E 形は 3 kV 高圧コンビネーションスタータを主要な用途として構成され, 主回路機器を引出形とし, 各種始動方式に応用できるものであって, その各種形式と構成, および外形寸法を表 2. 1 および図 2. 1 に示す。

表 2. 1 LSH-E 形 高圧配電箱の形名と内部構成
Type name and internal construction for type LSH-E.

形名構成

LSH E-LFS 1HM75

始動方式

D	じか入れ 固定形
L	じか入れ 回転
Y	Y-Δ 引出形
R	リアクトル

電磁接触器の構成

S	標準
L	ラッチ付き
V	Y-Δ
V	可逆

操作トランス

N	なし
H	あり

負 荷

M	モータ
T	トランス
C	コンデンサ

容 量

負荷容量を指定
M (kW)
T.C (kVA)




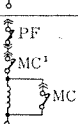

器 具

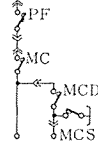

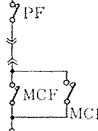
1	AA, PL
2	AA, PL, PB
3	AA, PL, AV
4	AA, PL, WH
5	AA, PL, PB, AV
6	AA, PL, PB, WH
7	AA, PL, AV, WH
8	AA, PL, PB, AV, WH
9	上記以外の部品を指定

形名と内容

LSH-E-■■■

LSH-E-■■■

用途	形名	単線図	外形寸法 (図 2. 1)	重量 (kg)
非可逆式 じか入れ	LSS		(A)	240
非可逆式 じか入れ コンビネーション	LFS		(A)	320
非可逆式 リアクトル 始動	RSS		(B)	620
非可逆式 コンビネーション リアクトル 始動	RFS		(B)	680
非可逆式 スタータ ルタ	YSY		(A)	460

用途	形名	単線図	外形寸法 (図 2. 1)	重量 (kg)
非可逆式 コンビネーション スタータ ルタ	YFY		(B)	520
可逆式 じか入れ	LSV		(A)	400
可逆式 じか入れ コンビネーション	LFV		(B)	460

注 MC…電磁接触器 RC…リアクトル
PF…限流ヒューズ …当社独特の自動引出機構

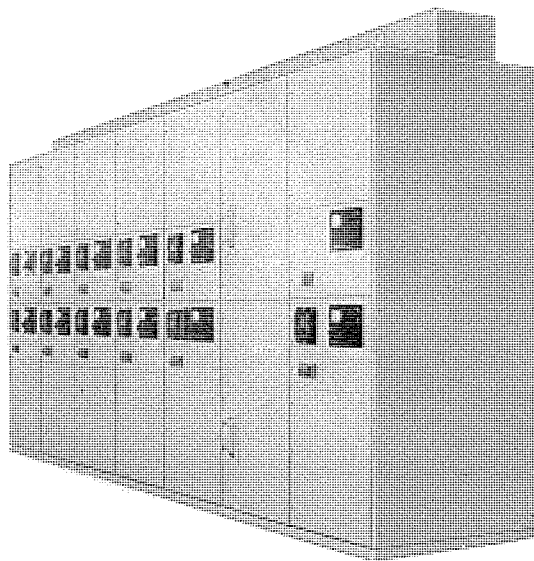


図 1. 1 LSH-E 形 高圧配電箱
Type LSH-E 3 kV combination starter panel.

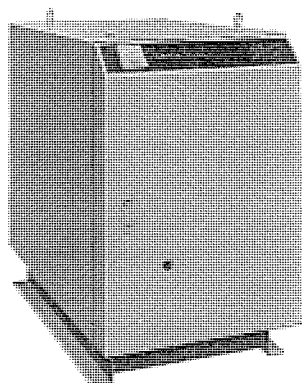


図 1. 2 LSH-S 形 高圧配電箱
Type LSH-S 3 kV starter box.

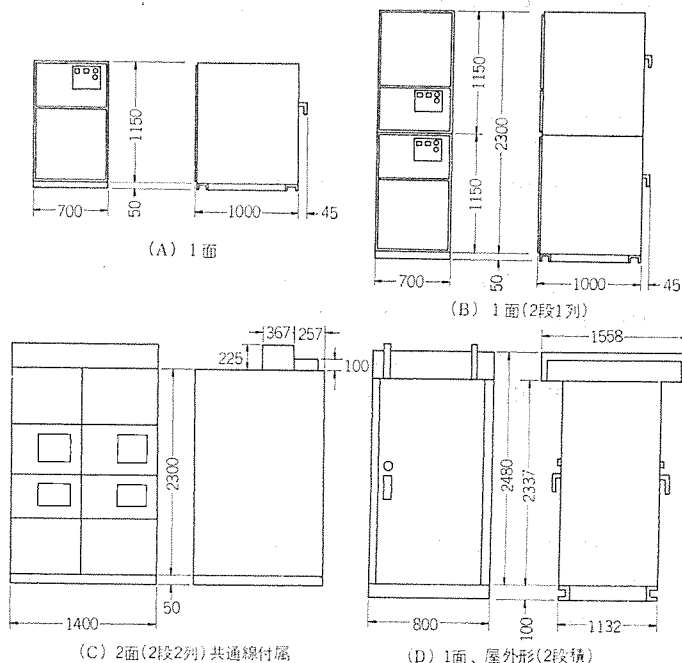


図 2.1 LSH-E 形 高压配电箱の外形寸法
Outline dimensions of type LSH-E H. T. panel.

適用規格としては JEM-1097 交流配电箱 (電動機等の開閉を目的としたもので、開閉器が外箱に収納され、少なくとも不足電圧、過電流保護装置および開閉表示装置を装備したもの) および JEM-1225 高压コンベクションスタータ (高压交流電磁接触器と限流形電力ヒューズを組合せ、接触器には負荷の開閉および過負荷保護を、ヒューズには短絡保護を行なわせるようにしたもの) に、監視制御器具などを装備したものの形式 M (2 段積可)、級別 4 (主回路は自動連結式、制御回路は手動そう(挿)入形 接続せん(栓)による引出形であり、断路部で負荷電流をしゃ断または投入することのないようなインタロックを設けたもの) に適合する。

なお JEM-1153 閉鎖配電盤は適用されないが、形式区分を引用すれば、E 形 2 Z に適合する。参考までに表 2.2 に閉鎖配電盤の形

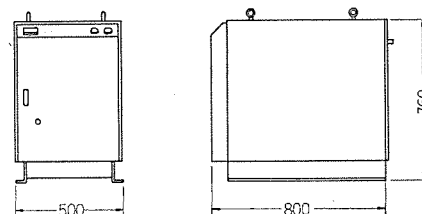


図 2.2 LSH-S 形 高压配电箱の外形寸法
Outline dimensions of type LSH-S.

表 2.2 閉鎖配電盤の形と具備すべき条件

Type and necessary conditions for metal-enclosed switchgear.

単位閉鎖配電盤の形			
単位閉鎖配電盤の形	具備すべき条件記号の組合	条件の概要	構造例
A	1X	単位回路区分ごとに装置が一括して接地金属箱内に収納されており、しゃ断器は固定取付式。	
B	2X	A 形に加えて監視制御盤を開いたとき、主回路充電部に誤って触れることがないように考慮されかつ保守を必要とする低圧制御回路は安全に点検できること。しゃ断器は固定取付式。	
C	2X (備考1)	B 形に加えてしゃ断器と直列に接続された断路器の開閉能力以上の電流を断路器で開閉しないようインタロックを備えていること。しゃ断器は固定取付式。	
D	2Y (備考1)	C 形に加えてしゃ断器は搬出できる構造であること。	
E	2Z (備考1)	C 形に加えてしゃ断器は主回路自動連結、制御回路手動連結の引出形であること。	
F ₁	3Y (備考1)	D 形に加えて主回路のおもな機器 (しゃ断器、主回路母線等) 間に接地金属隔壁または絶縁隔壁を設けていること。(おもに特別高压用である)	
F ₂	3Z (備考1)	E 形に加えて主回路おもな機器 (しゃ断器、主回路母線等) 間に接地金属隔壁または絶縁隔壁を設けていること。	
G	4Z (備考1)	F ₂ 形に加えて主回路の母線接続導体および接続部は絶縁すること、さらに制御回路にも自動連結式断路部を設けること。	

- (注) 1. C 形から G 形までの形の単位閉鎖配電盤にあっては、しゃ断器と直列に接続された断路器の開閉能力以上の電流を断路器で開閉しないようインタロックを備えていること。
2. 表 2.1 の形名で呼称できない単位閉鎖配電盤にあっては、表 2.2 の条件を組合せた記号で形名を呼称する。
3. 多段積の単位閉鎖配電盤は、一垂直単位面に含まれる回路とみなす。

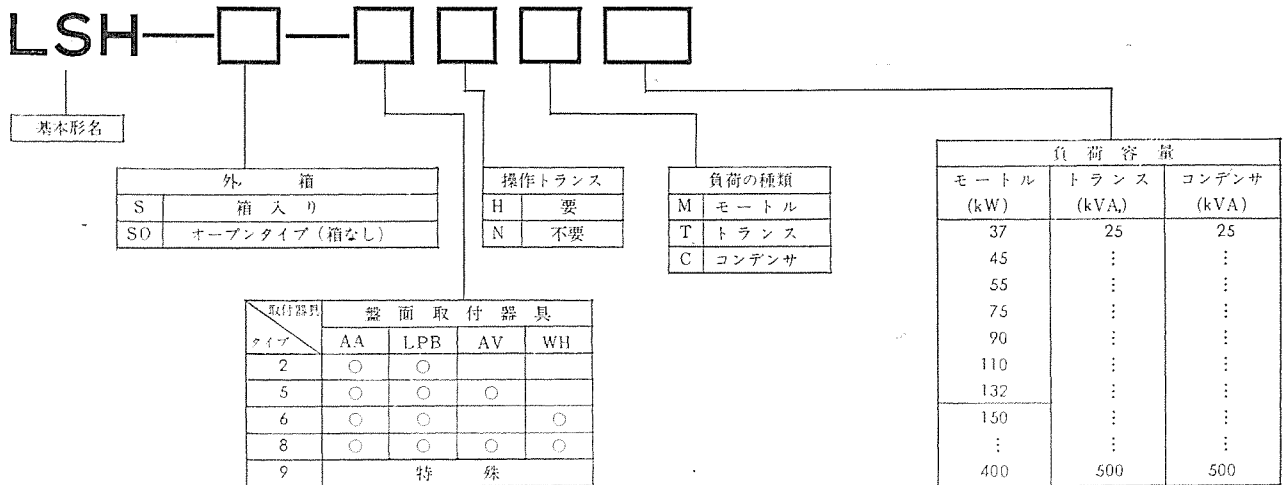
具備すべき条件
(a) 隔壁の程度

条件記号	具備すべき条件
1	単位回路区分ごとに、装置が一括して接地金属箱内に収納されていること。
2	さらに、監視制御盤を開いたとき、主回路充電部に誤って触れる危険のないよう考慮されかつ監視制御盤裏面および引込端子台など保守を必要とする低圧制御回路を安全に点検できること。
3	さらに、主回路のおもな機器は、相互に接地金属隔壁または絶縁隔壁により、主回路側と監視制御盤側とは接地金属隔壁により、それぞれ隔離すること。
4	さらに、主回路の母線接続線および接続部は絶縁すること。

(b) しゃ断器の取扱い

条件記号	具備すべき条件
X	固定取付式の構造であること。
Y	搬出できる構造であること。
Z	その主回路には自動連結式断路部を、制御回路には手動連結式断路部を有する引出し形であること。

表 2.3 LSH-S 形 高圧配電箱の形名
Type name construction for type LSH-S.



式条件を示す。

2.2 LSH-S 形 高圧配電箱

LSH-S 形は 3kV 交流電磁接触器を収納した非コンベクション直入形に限定し、コンパクトでエコミックな形式としたもので JEM-1097 に適合する。

表 2.3 に形名を、図 2.2 に外形寸法を示すが、一部のものは在庫して即納体制をひいている。

3. 構造の特長

3.1 LSH-E 形

図 3.1, 3.2 はコンベクション直入形 (LSH-LFS) のときの構成要素を示す。

LSH-E 形は下記のように随所にユニークな機構を採用し、高い信頼性と安全性をもち、かつ各種始動方形のすべてが単位箱 (図 2.1 (A)) の組合せにより構成されているので、多段積、列盤配置も容易で、共通母線を設け高圧コントロールセンタ化も可能である。

また保守点検が容易な構造であり、とくに 2 段積の上段ユニットでも、引出点検にリフタ等での搬出を必要としないのは大きなメリットといえる。

3.1.1 電力ヒューズ断路機構

(1) 電力ヒューズは一次、二次ともに他力接触のフローティンググリップで接続された着脱構造であるため、台ごと引出し、エレメントの交換増締め、およびグリップの点検等が容易にできる。

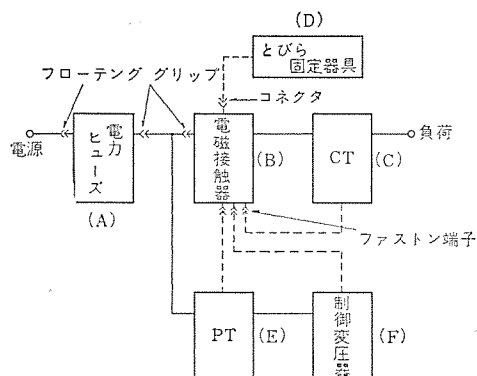


図 3.1 LSH-E-LFS 形 高圧配電箱の構成
Block diagram of construction for type LSH-E-LFS.

(2) 電力ヒューズの前面には透明絶縁カバーを設け、安全性を高めるとともに、ヒューズの動作表示装置 (突起表示棒) が容易にみえるよう考慮されている。

(3) 断路機構にはロック装置を設け、ロック機構に連動するリミットスイッチにより電磁接触器とのインタロックをとっている。

またテストポジションを設け、断路の状態でもとびらを閉じることができるので、その位置でロックしてとびらに施錠すれば負荷側の点検時に安全を確保できる。

3.1.2 電磁接触器 回転式引出機構

(1) 電磁接触器部は電源側のみフローティンググリップを設け、負荷側はケーブル接続であるが、余裕をもたせてあるので着脱可能である。点検のときには前面取っ手を手前に引き、取付台ごと断路し、手前に回転 (70°) させると外部にとりはずすことなく、接触器のアークボックスの点検、接点、コイルの取換等が容易に行なえる。(図 3.3 に引出点検状態を示す)

(2) 電力ヒューズ部と同様にロック装置、インタロックスイッチを設け、断路位置でとびらを閉じることができる。

(3) 電磁接触器の前面にパネルを設けて高圧回路をおお (覆) うとともに、制御回路の各種器具、引出端子等を集結させてあるので保守点検が容易、かつ安全である。

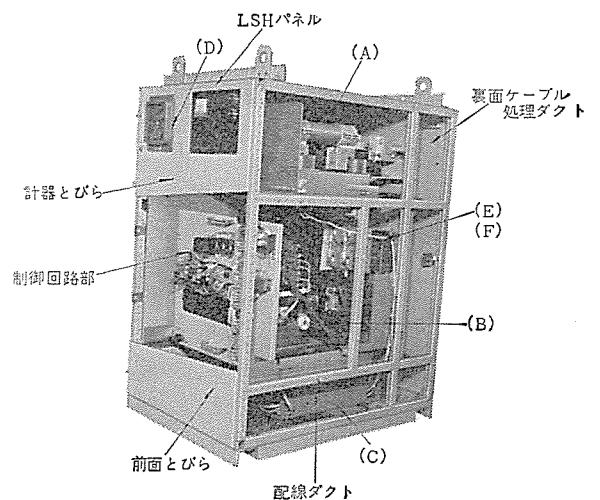


図 3.2 構成要素
Construction of LSH-E-LFS

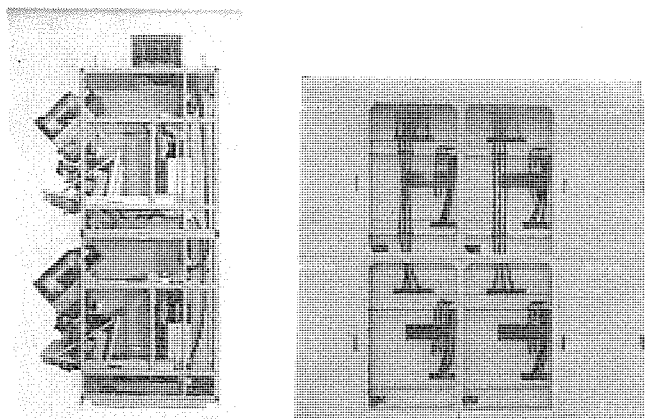


図 3.3 LSH-E形(2段積)
引出点検状態

Side view of type LSH-E (Double stack) drawn out position.

3.1.3 PT, 制御トランス部分

PT および制御 Tr は 1 ブロックに構成し、電磁接触器の後面に配置されており、点検取換等は後面より行なう。なお一次側のカットアウトヒューズは前面側より点検、取換えができる。

3.1.4 CT 部分

CT は電磁接触器の下部に配置される。主回路ケーブルは接触器の負荷側端子より CT をとおして後面配線スペースへ出す。(ZCT の取付も可能である)

3.1.5 計器とびら、前面とびら

(1) 計器とびら部分を分離し、操作器具、メータ類を集結した LSH パネルを設けた。このため特殊仕様、計画変更にも速応できる。(図 3.2 参照)

(2) LSH パネルの最大取付仕様

AA, AV, AS, VS, PL(PB 付きも可)×4(または CS)

計器とびら取付仕様

WH×1, 3E×1 計 2 個、他に必要なら時間計、電力計も可

(2) 前面とびら部分は標準単位箱の場合、または 2 段積の下段側のときは計器とびらの下側へ、2 段積の上段側のときは上側へ設けて操作、監視の便をはかっている。また計器とびらに収納できないリレー類(電圧、電流、地絡リレー等)を取付けられる。

なお計器とびらに錠を設けてあり、前面とびらを一緒に押えて一括施錠できる構造となっている。

3.1.6 ケーブル処理

(1) 盤への主回路ケーブルの引込は電源側、負荷側とも後面の配線スペース内に出してある高圧口出線に直接つなぎ込む。

接続は圧着端子で行ない、絶縁処理を施せば盤内器具との間にセパレータを設けてあるので、充電部の露出がなく裏面内部の点検時安全である。(図 3.2, 3.4 参照)

(2) 制御回路は引出端子台が前面側にあるので、ピットが前面まであれば直接下側へ、後面より引出しの場合は下部右側面の制御配線用ダクトを利用しケーブル引込を行なう。

3.2 LSH-S 形(非コンビネーション直入のみ)

LSH-S 形はいわゆる固定形であるが、図 3.5, 3.6 に示すように内部本体と外箱に分割できるようになっており、外箱は上部ボルト 4 本をはずすことにより、容易に取外すことができるので内部本体はすべて露出し点検は容易である。

LSH-S 形は以下に示すように非常にコンパクトで、高い安全性と操

図 3.4 LSH-E 形 裏面配線スペース
Cable connection space of type LSH-E.

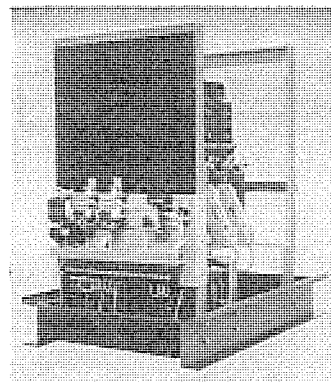


図 3.5 LSH-S 形 高圧配電箱内部本体
Interior view of type LSH-S H. T. panel.

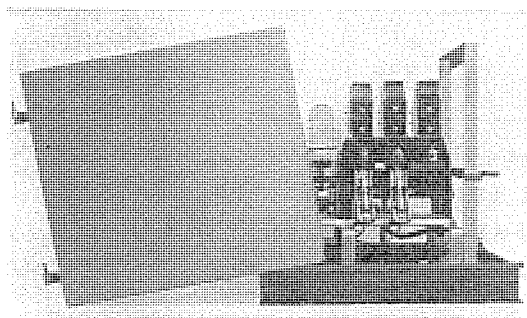


図 3.6 LSH-S 形 外箱を外した状態
Internal side view of LSH-S

作性をもったエコノミックなスタータといえる。

3.2.1 内部本体

(1) 高圧電磁接触器は取付けベースに横向きで配置され、電源ケーブルは直接一次側端子(右側)に接続する方式である。

負荷引出ケーブルは後部の CT 端子に接続する。

(2) PT, 制御トランスは電磁接触器の下部に配置され、前面より取換えできるようになっている。

(3) 制御回路部分は前面リレーパネルに集結し、下部に引出端子台を設けてあり、電磁接触器との間には絶縁セパレータを設けてあるのでテストや点検が安全で容易に行なえる。なお制御引出ケーブルは、下部右側面の配線用ダクトを通し後面より引込む方式としている。

3.2.2 外箱

外箱は本体ケース、前面とびら、裏面カバーの 3 点より構成され、それぞれ容易に分割できる。

(1) 本体ケースは内部本体側の固定金具にボルト締めされ、取付ベースとの間はガイドレール構造になっており、裏面カバーは本体ケースとはめ込み式なので、上部に抜きとれば、さきの締付けボルトを外すことにより前面へ容易に引出すことができ、内部本体は露出する。なお上部へ取外することもできる。

(2) 正面とびらは本体ケースと取外し可能なヒンジで組合わされ、上部の傾斜面に操作パネルを配置し、操作性をよくしている。

操作パネル取付仕様

AA, AV, PL(PB)×3

ほかに WH, W, 時間計等の必要があればパネルの下側につける。

とびらへの制御線はコネクタにより前記リレーパネルと接続されるので、とびらごと取外しも可能である。

とびらと本体ケース間にはすべてパッキンを設けてあるので、じんあい(塵埃)の多い工場、工場現場等でも使用できる。またとびら外部にリセットボタンを設けてあるので、サーマルのリセットはとびらを開

く必要がない。

4. 定格と適用

4.1 LSH-E 形

定格、性能は収納機器によって決定する。表 4.1 に電磁接触器の定格を示す。しゃ断容量 25 MVA をこえるときは限流ヒューズを設け コンビネーションとする。(表 4.2)

LSH-E 形は非可逆、可逆、非コンビネーション、コンビネーション、各種始動方式に応用でき、また受電用断路器盤、負荷断路器盤、小容量トランス、コンデンサ内蔵盤等も容易に製作できるので、標準 LSH と 2 段積列盤構造とし共通母線を設け、いわゆる高圧コントロールセンタとして使用できる。

したがってその用途は広く、各工業のポンプ、ブロー、コンプレッサ、工作機等のスタータとして機械サイドに、もしくは電気室等に一括列盤とし集中制御も行なえる。

ほかにトランス、コンデンサの一次スイッチとしても最適である。

現在ではとくに紙パルプ、繊維、一般工業などに最適なスタータとして多く用いられている。

4.2 LSH-S 形

定格を表 4.3 に示す。しゃ断容量は 25 MVA 以下となる。

LSH-S 形は非可逆、非コンビネーション直入形に限定しているので、中容量負荷用として、とくにポンプ、ブロー、コンプレッサ、プレス等の工作機、などのスタータとして機械サイドに設けて手元スイッチ的な使用に適應するといえる。

またコンパクトで軽量、防じん形の LSH-S 形は工事現場、砕石場

など移動性の用途にも適している。

5. 保護と協調

5.1 過負荷保護

過負荷保護として一般に用いる方法はつぎの器具を用いる方法がある。

- (1) 熱動形過電流継電器
- (2) 誘導形過電流継電器
- (3) 3 E リレー

5.1.1 熱動過電流継電器

過負荷に対しては標準仕様として熱動形過電流継電器 (サーマルリレー-TH-18) を用いる。

サーマルリレーは電動機負荷の熱特性に適合し、通常始動時(始動電流 600% 程度)には 6~8 秒で動作する。したがってブローなど始動時間の長い負荷の場合には、動作を遅らせる必要があり、サーマルリレーに飽和リアクトルを接続し、20 秒程度に遅らせる(図 5.1 参照)。

なおこの場合でも通常、過負荷、拘束保護を十分行なえる。

サーマルリレーのセッとは RC (定格電流目盛) で表示されているので電動機全負荷電流値を CT 二次側に換算した値にセッすればよい。CT 二次電流は 2.5 A~4 A になるように CT 比を選定し、ヒータ定格は 2.8 A または 3.5 A を使用してあるので、80~120% 調整つまみで定格値にセッする。

変圧器負荷の場合も標準はサーマルリレーであるが、過負荷保護を要しないときはサーマルリレーを使用しないこともある。これは過負荷保護を変圧器の二次側で行ない、かつ余裕をもって使われるケースが

表 4.1 電磁接触器の定格と性能
Rating of magnetic contactor type SH-S.

方 式		可 逆 式			中 可 逆 式			
		SH-100 S (SH-100 SD)	SH-200 S (SH-200 SD)	SH-400 S (SH-400 SD)	SH-2 X 100 S-V	SH-2 X 200 S-V	SH-2 X 400 S-V	SH-105 CY
形 式		3,300			3,300			
定 格 電 圧 V		100	200	400	100	200	400	100
定 格 電 流 A		25			25			10
定 格 し ゃ 断 容 量 MVA		4,500(0.5 s)			4,500(0.5 s)			
定 格 短 時 間 電 流 A		10(A級)			10(A級)			
開閉容量(定格電流の倍数)		1,200(1号)	600(2号)		600(2号)			300(3号)
開閉ひんばん度(回/時間)		500(1種) [100(3種)](2)			500(1種) [100(3種)]			250(2種)
機 械 的 寿 命 (万回)		50(1種)		25	50(1種)		25	25(2E種)
電 氣 的 寿 命 (万回)		3号B			3号B			
絶 縁 強 度		AC(200/220 V)			AC(200/220 V)			
操 作 方 法		AC(200/220 V)			AC(200/220 V)			
最負 大適 用荷	電 動 器 kW	400	750		400	750		370
	変 圧 器 kVA	500	1,000	2,000	500	1,000	2,000	500
	コンデンサ kVA	500	750		500	750		450

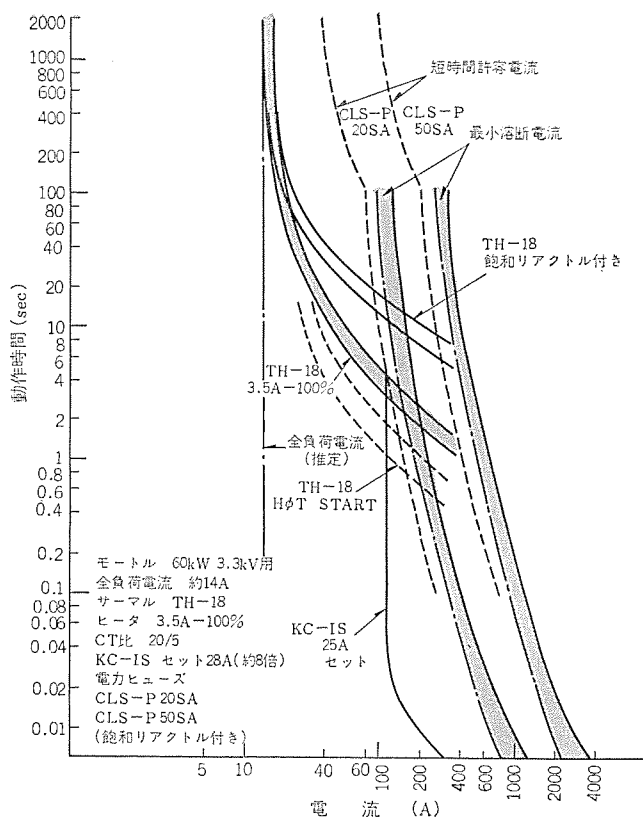
注) 1. 形式の欄の () は直流操作の形式を示す。2. 寿命の欄の [] 内は直流操作の寿命を示す。

表 4.2 限流ヒューズの定格と性能
Rating of current limiting fuse.

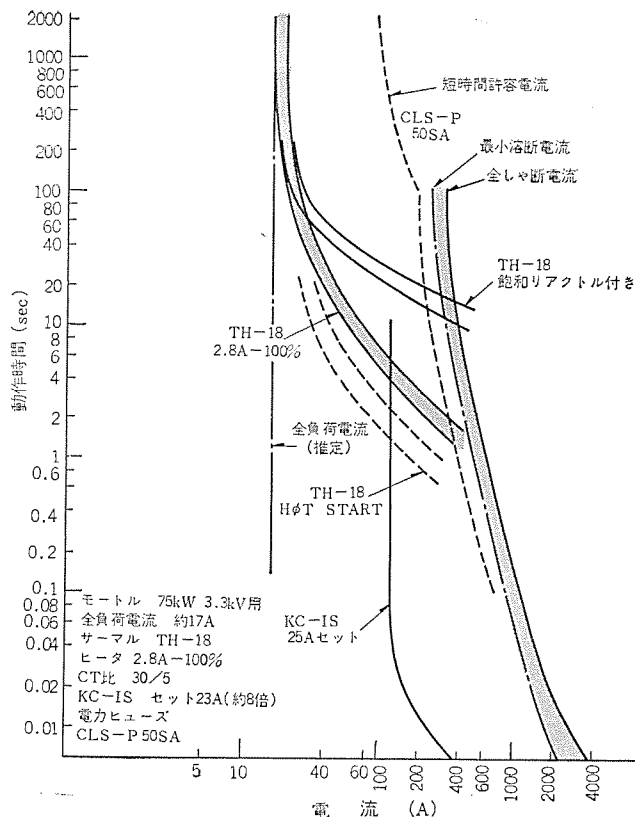
種 類		限流ヒューズ		
形 式		CL-A	CLS-P	CLS-M
定 格 電 圧 V		3,600		
定 格 電 流 A	支 持 台	400	400	400
	ヒューズ筒	5, 10, 20, 30, 50	20 S	200 S
			50 S 100 S	
定格しゃ断 容量 MVA	三 相 対 称	250		
	三 相 非 対 称	400		
接 続 方 式		F—F (表面—表面)		

表 4.3 LSH-S 形高圧配電箱の定格と性能
Rating of type LSH-S H. T. panel.

形 名		SH-100 S
方 式		非可逆式
定 格 電 圧 V		3,000/3,300
定 格 電 流 A		100
定 格 し ゃ 断 容 量 MVA		25
定 格 短 時 間 電 流 A		4,500(0.5 s)
開 閉 容 量 (定 格 電 流 の 倍 数)		10(A 級)
開 閉 ひ ん ば ん 度 (回/時間)		1,200(1 号)
機 械 的 寿 命 (万回)		500(1 種)
電 氣 的 寿 命 (万回)		50(1 種)
絶 縁 強 度		3 号 B
操 作 方 式		AC(200/220 V)
用 最 大 適 用 荷 載	電 動 機 kW	400
	変 圧 器 kVA	500
	コンデンサ kVA	500



LSH-E-LFS保護協調曲線 (60kW)



LSH-E-LFS保護協調曲線 (75kW)

図 5.1 コンビネーションスタータの保護協調曲線
Protective Co-ordinating curve of combination starter.

多いからである。

5.1.2 誘導形過電流継電器

サーマルリレーよりもいっそう微調整のきく保護を行ないたい場合には、自由に動作時限を調整できる誘導形過電流継電器 (CO 形等) を使用する場合もあり、特殊仕様として要求に応じられるようになっている。

5.1.3 3Eリレー

用途によって欠相、逆相要素をもった 3Eリレーを顧客から要求される場合もある。LSH-E 形高圧配电箱では一般に誘導形のものを用い盤面に取付けられる構造となっている。

3Eリレーには動作時限 (25, 40 秒可調整) と動作電流 (2.5~4.5 A 可調整) の各調整要素を備え使用上の便をはかっている。

しかし誘導形のは熱動形と違い短時間のピーク過負荷がくり返されるような用途の場合は電動機の焼損対策の必要がある。

5.2 短絡保護

事故電流のしゃ断は LSH の場合、瞬時動作形電磁過電流継電器 (KC-1S) を動作させ、ただちに電磁接触器をトリップさせる方式をとっている。ただし接触器はしゃ断容量が 3kV で 25MVA であり、それをこえる電路に使用される場合にはコンビネーションとし限流ヒューズを設け (この場合 LSH-E となる)、事故電流がほぼ 25MVA をこえれば、これがただちにしゃ断するように選定がされる。限流ヒューズのしゃ断容量は 3kV で 250MVA (対称値) である。

一例として協調曲線を図 5.1 に示す。

KC-1S は瞬時要素であるから始動電流では動作しないように設定する必要があるが、最近の電動機は始動電流が大きく、また始動時突入電流はピーク値で全負荷値の 15 倍に達するものがあるので注意を要する。

表 5.1 電磁接触器・限流ヒューズの選定
Selection-table for magnetic contactor and C. L. fuse.

最大負荷容量		電磁接触器	限 流 ヒ ュ ー ズ		
		SH	CL-A	CLS-P	CLS-M
電動機 kW	55	100		20 S	
	150			50 S	
	400			100 S	
	500	200 S			
	750				
変 圧 器 (三 相) kVA	5	60	5		
	15		10		
	30		20		
	75		30		
	150		50		
	300	100		50 S	
	500			100 S	
	750			200 S	
	1,000				
コンデンサ (三 相) kVA	20	60	20		
	30		30		
	75		50		
	100		100 S		
	150				
	250				
	450	100			
	500	200			
	750				

しかし一般には標準セット値は CT 二次換算全負荷電流 (サーマルセット値) の約 10~13 倍の 40 A にセットしている。なおスターデルタ始動のものはデルタ切替時の突入電流がとくに大きいので、約 15 倍の 50 A セットを標準としている。調整範囲は標準のものの 10~40 A、スターデルタ始動用は 20~80 A である。

限流ヒューズの選定は一般に表 5.1 によるが、とくに始動電流の大きいものや、始動時間の長い負荷の場合には特性曲線により、保護協調関係を検討し、誤溶断を防止する必要がある。

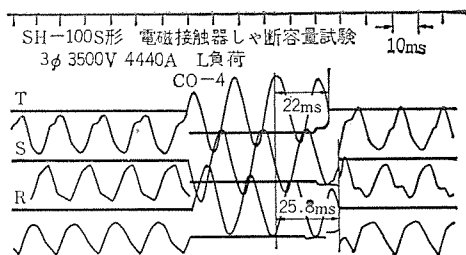


図 5.2 SH-S 形 電磁接触器しゃ断試験
Interrupting test of type SH-S contactor.

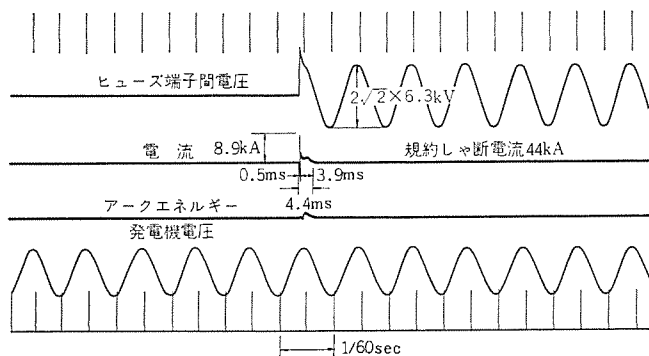


図 5.3 CL-A 形 50 A 限流ヒューズしゃ断試験
Interrupting test of type CL-A 50 A C. L. Fuse.

このようにコンビネーションスタータでは各保護器の動作協調を適正にすることが重要である。

SH-S 形電磁接触器および CL 形限流ヒューズの定格しゃ断容量におけるしゃ断時のオシログラフの一例を図 5.2, および図 5.3 に示す。

5.3 不足電圧保護

不足電圧保護は電源電圧の低下により電動機電流が増加し、過熱されることを防止する目的もあるが、一般には駆動機械操作上の安全を確保するのを目的とするほうが多い。

たとえば巻上機やクレーンのように電圧低下によりトルクが減少すると危険がある場合とか、停電により電動機停止後電源復帰して電動機が自動再始動すると危険がある場合等である。

不足電圧保護に用いられる継電器には、反限時特性をもつ誘導形不足電圧継電器 (CV 形) を使用する。しかし LSH の場合、一般には電磁接触器が常時励磁式で制御電源を自己の回路から得て自己保持されていることが多いので、電磁接触器または投入用補助継電器の落下電圧以下に電圧が低下すれば瞬時に落下し、電圧が復帰しても再始動の心配はなく、不足電圧継電器の必要性はない。

図 5.4 は LSH-E および LSH-S 形の標準回路図である。

5.4 瞬時停電保護

プラント運転の連続性という観点から、運転中に発生する 1～2 秒

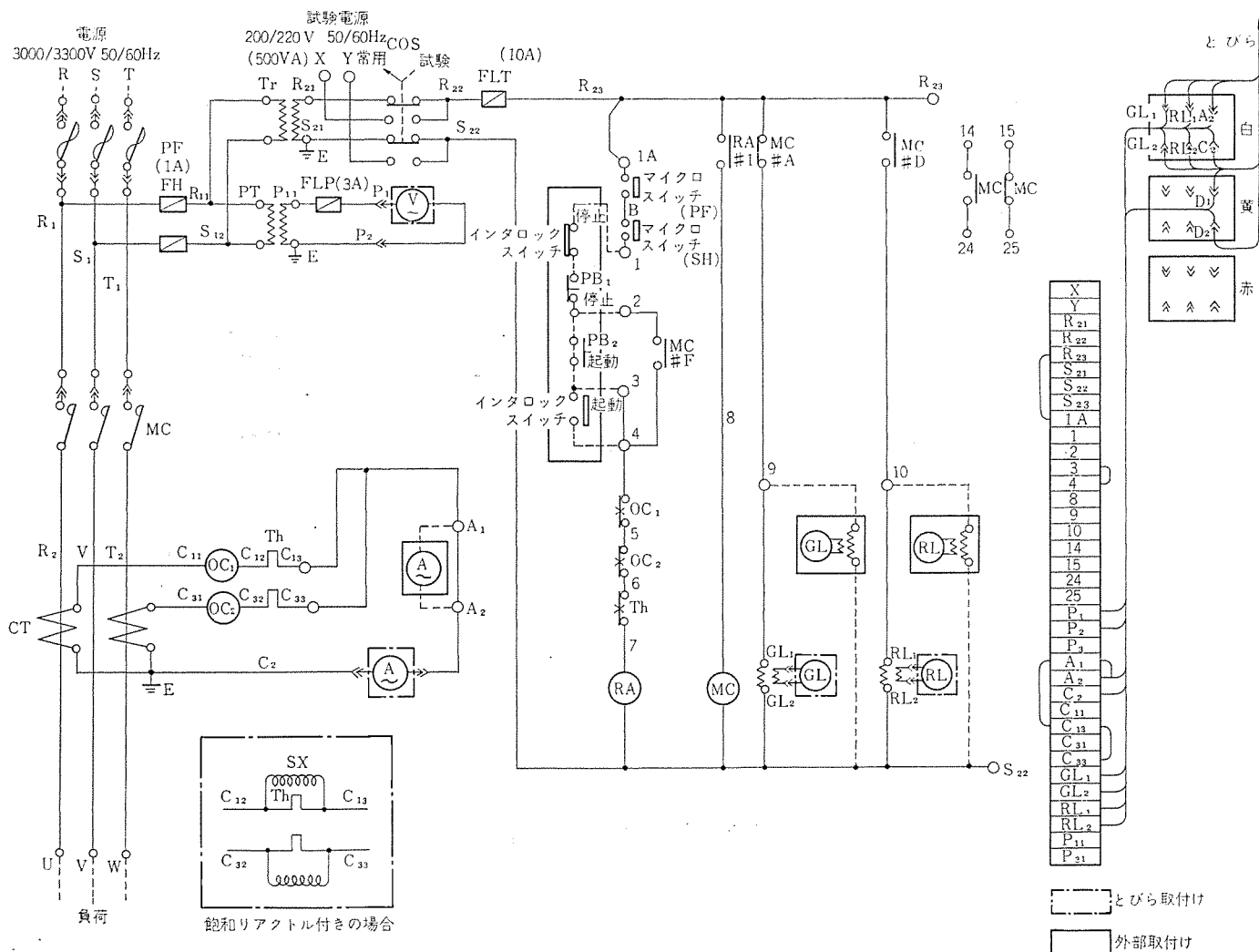


図 5.4(a) LSH-E-LFS 3 H 形の展開接続図
Elementary diagram for type LSH-E-LFS 3 H.

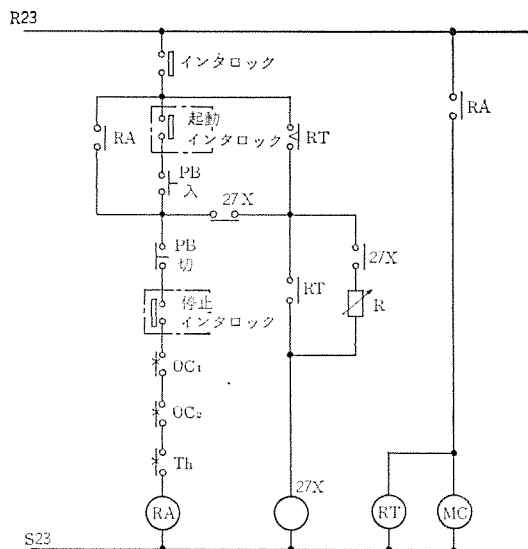


図 5.7 瞬停再投入装置 (タイミレー方式) 基本回路
Instantaneous under-voltage hold circuit (time-relay type),
basic-circuit.

表 5.2 ラッチ付コンタクタ方式とコンデンサ方式の比較
Comparison table for latched Ctt type and capacitor type.

No.	瞬停保護形式	ラッチ付きコンタクタ方式	コンデンサ方式
1	再投入時と突入電流	問題なし	突入電流があるが、多数の電動機の合成ではほとんど現れない
2	再始動電流	再始動時の電動機の速度の低下が大きければ大きいほど、再始動電流は大きくなる	同左
3	電源電圧がコンタクタの落下電圧より若干低い程度 (50%前後) に低下し、すぐ復帰したとき (電圧低下のとき)	コンタクタは落下しないので、低い電圧ながら電動機に電力が供給され、電動機の速度低下がある程度抑制できる	コンタクタは落下し、電動機への給電が断たれる。したがって再投入時の問題が生じる
4	瞬停保護としての信頼性	機械式で単純であるため信頼性は高い	ほとんど悪くはないが、瞬停再投入リレーに左右される
5	操作回路	トリップ回路が入り、やや複雑となる	複雑な部分が再投入リレーの中に収められているので、器具間の接続は非常に簡単である
6	操作回路電源	DC 電源がトリップ用として必要となり、これを別の装置から給電させねばならない	LSH の個々のユニットの主回路電源から給電できるのでメンテナンスが簡単である
7	メンテナンス	DC 電源のためやや面倒である	簡単
8	電力損失	ほとんどなくなる	Ctt および再投入リレー等の損失がそのまま生ずる
9	価 格	やや高価	ラッチ付き Ctt 式より若干安価
10	部品の供給性	ラッチ付き Ctt の供給に若干時間を要する	すべて当社標準品であり即納品である
11	部品の取換え	ラッチ付き Ctt を取換えるならば、その取付ねじをはずして行う	瞬停再投入リレーはプラグイン形式であるため、この取換えは容易であるが、Ctt の取換えは左記と同一の手間がかかる
12	瞬停時限	タイマによって時限が決まるので自由に調整できる	固定時限のため、変えるときはリレーを取換えねばならない。標準は 3 秒以下である
13	瞬停時限精度	精度を上げることができる	精度はよくない

5. 4. 3 保持形と再投入形の比較

表 5.2 はこれらの代表である ラッチ 付き コンタクタ 方式と コンデンサ 方式を比較したものであって、それぞれ一長一短がある。

5. 5 地絡保護

従来 3 kV 系では、地絡保護装置を受電盤またはメインブレーカ 盤等に設置し、LSH 内に設けることはまれであった。しかし最近の安全性重視の風潮とあいまって、昭和 47 年 1 月改正の電技 41 条が 48 年 2 月から施行され、地絡保護の設置義務が増大したため、これを取付けるケースが今後、増加していくものと予想される。

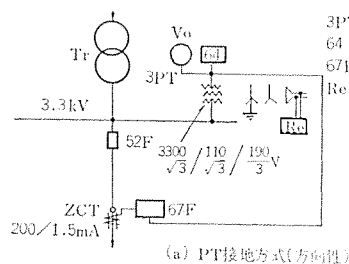
LSH-E において取付けられる地絡継電器は無方向性として LOE 形、方向性として CWG 形があるが前者の方が一般的である。

それは上位に PT 接地を施した工場配電に LSH が使用されるケースが多いためで、もしこの場合方向性が要求されるときは、コンデンサ接地を施し LDG 形地絡継電器を用いることが多い。

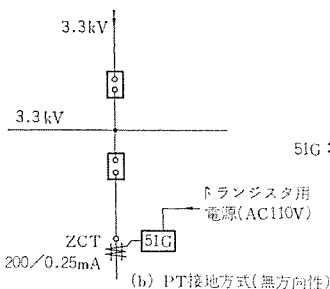
表 5.3 は各接地保護方式とその選定指針をまとめたもので、こ

表 5.3 高圧電路の各種地絡保護方式と選定指針
H. T. ground-fault protection method and selecting guide.

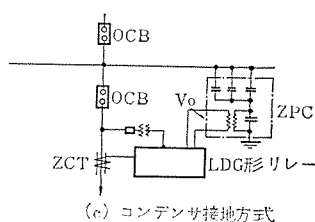
No.	方 式	方向性	接地装置	零 相 電流検出	零 相 電圧検出	使用リレー 形 名 メイン スツッパ	適 用 例
1	PT 接地	あり	GPT	ZCT (200/ 1.5 mA) (一次/ 二次)	GPT (190 また は 110 V)	CWG SE SEV	・一般工場配電
		なし	GPT	ZCT (200/ 0.25 mA)	なし	LOE なし	・小容量の電力会社 直接受電、工場配電 GPT は自分の 場所につけ ないで電力会社 のものを利用 ・充電電流 100 mA 以下が適当
2	コンデン サ接地	あり	コンデ ンサ	ZCT (専用)	コンデ ンサ付 属 PT	LDG なし	・電力会社直接受 電 (充電電流 100 mA をこえるもの)



(a) PT 接地方式 (方向性)



(b) PT 接地方式 (無方向性)



(c) コンデンサ接地方式

図 5.8 各種接地方式の単線図
Single-line diagram of typical ground-fault protection.

の表から上記のリレーの位置づけがわかる。

また図 5. 8 に各種接地方式の概略単線図を示す。

6. 標準仕様と QDS

6. 1 標準化とファミリツリー

製品開発と標準化は表裏一体の関係にあり、標準化が良好でない製品は生産性が悪く、したがって価格が高くなり、市場での優位を確保することはできない。しかし、その標準化が生産指向に偏重し、顧客の要求がかえりみられないならば、その製品がいかに生産性が高く、安価にできて市場から受入れられなくなり、標準外仕様をどんどん受けざるを得ず標準化が宙に浮く結果となる。

そのため、顧客仕様を十分検討し、それに対応できる標準化を達成する必要がある。

LSH 形高圧配電箱は開発段階から標準化技法として、ファミリツリーを取り入れて完成させたものであり、その概念がゆきわたっている製品のひとつであると信ずる。

ファミリツリーとは部品の親子関係を示す樹状のダイアグラムであって、標準化にとっても、また製品情報の基準としても重要な役割を演ずるものである。図 6. 1 は LSH-E の各種始動方式のスタータに対するサブ組立以上のファミリツリーを示しており、部品の共通性が計られていることがわかる。この図をさらに細部にわたってブレイクダウンしてゆけば各レベルの状態がよくはあく(把握)でき、基準品の範囲を明確にするのに役立つ。

6. 2 標準仕様

LSH-E および LSH-S の基本形式の種類については 2 章に述べたが、標準仕様の内容に多少のランク付けがあり、始動方式、操作方式、制御器具の種類によって決められるわけであるが、おおむね

つぎのように区分される。

- (a) 倉庫品となっているもの。
- (b) 使用部品、部材がすべて仕込品として準備されているもの。
- (c) 構造部材は仕込品であるが、長納期の購入部品を含むもの。
- (d) 構造部材のうち、仕込品に加工を要するもの、または新規に製作を要するものを含む場合。
- (e) (d)に加え、長納期の購入部品が含まれる場合。

すなわち、(a)、(b)が全くの標準であり、(c)が準標準、(d)、(e)は許容される特殊をもつ標準といえることができ、具体的には(a)、(b)ランクに入る仕様としては、前記表 2. 1 の制御器具 9 以外のすべての種類が含まれる。

以上は制御機器を主体とした標準仕様について述べたが、一般仕様における標準仕様も当然規定されており、それを表 6. 1 に示す。このうち、外面色に対する顧客要求は十分受入れられるようになっているが、反面特殊電線についての許容範囲はきわめて狭くなっている。

6. 3 QDS 仕様

QDS とは Quick Delivery Service のイニシャルをとった短納期システムのことであり、前節の(b)ランク以上のものが、ほぼこの範囲に入り、標準納期を約 1 か月以下とするものである。このような短納期を実現する背景はつぎの点である。

- (1) 標準先行部品の管理はコンピュータをフルに活用した。トータルシステムにより行ない、組立工程に欠品の発生しないようにシステム化されている。
- (2) 整備された生産ラインにより、流れを速くした。
- (3) 標準完成品 (LSH-S)、半完成品 (LSH-E) の在庫化を行なった。

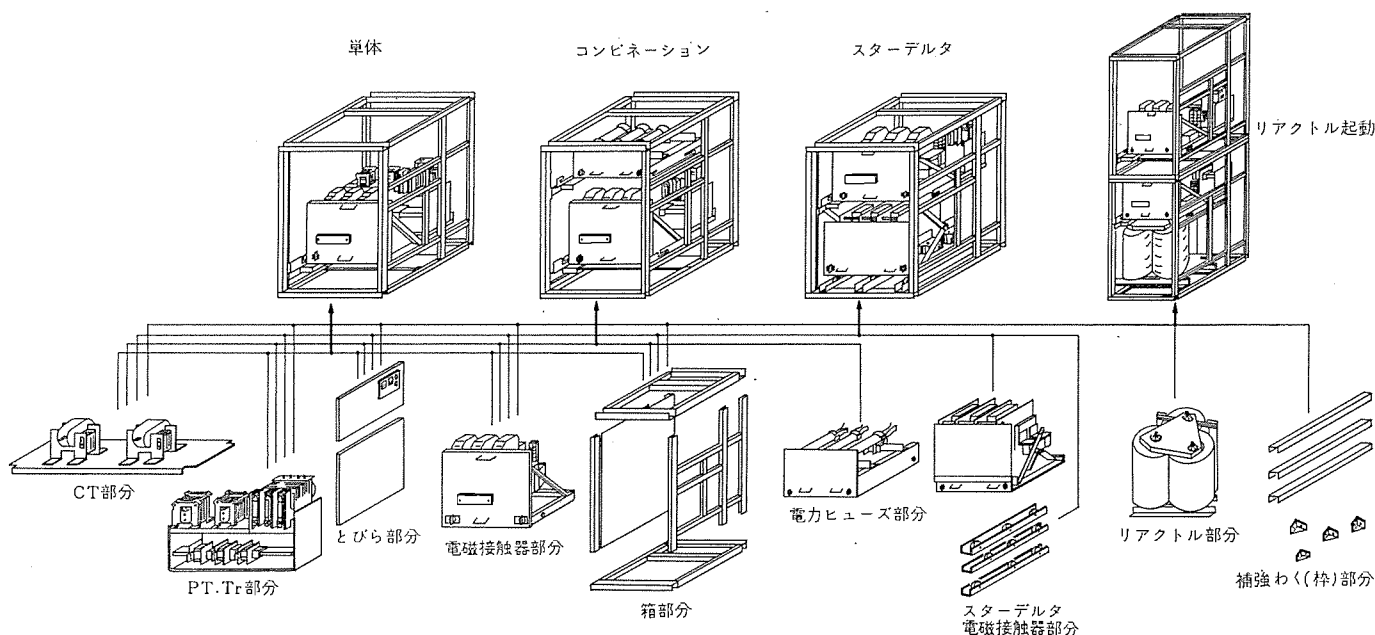


図 6. 1 LSH-E 形 各始動方式に対するファミリツリー
Family tree diagram for several type of LSH-E H. T. starter panel.

表 6.1 LSH 形高圧配電箱共通仕様書
Standard specification of type LSH H. T. panel.

項目	種 別		三 菱 標 準 仕 様		客 先 仕 様		項目	種 別		三 菱 標 準 仕 様		客 先 仕 様			
構 造	保 護 構 造	屋 内：常規使用状態において建屋内に設置し実用上さしつかえない						名 板	盤 名 称 名 板		アクリル板 白地黒文字裏面彫刻				
		屋 外：常規使用状態において建屋外に設置し実用上さしつかえない							定 格 名 板		アルミ板				
		防じん：過度のじんあいのある場所に設置し実用上さしつかえない							L S H パ ネ ル (PB-PL)		黒地白文字				
塗 装	仕 様	屋 外 用		メラミン樹脂焼付け (全つや)				外 部 配 線	動力回路		口出線にじか接続 (丸圧着端子は支給しない)				
		屋 内 用		ラッカエナメル吹付け (7分つや)					制御回路		TE-5.5 形端子台に接続 (丸圧着端子は 2, 3.5, 5.5 mm ²)				
	色	屋外用覆い内外面		N-7/0				特 記 事 項							
				屋 内 外 面					N-7/0						
									計 器 扉		N-7/0				
				計 器 わ く (注)							黒 N-1.5/0				
内 部 配 線	使用電線	高 圧 回 路		3,000 V GR-S 口出線 (3 kV LSN)				(注) 電流計、電圧計は透明プラスチック製品を使用し、塗色しない。							
		低 圧 回 路		600 V 耐熱ビニル 電線 (HIV)											
	電 線 の 色別太さ	高 圧	動 力 回 路		黒色 14 mm ² 以上										
			TrPT 一次回路		黒色 5.5 mm ²										
		低 圧	制 御 回 路		黄色 1.25 mm ²										
			接 地		黒色 5.5 mm ²										
	端末色別	動 力 回 路		R相：赤 S相：白 T相：青											
		接 地		緑											
	電 線 両 端 の マ ー ク バ ン ド				な し										
	電 線 両 端 の 圧 着 端 子				丸圧着端子使用										

(注) 記入外は三菱電機標準による。

7. む す び

LSH-E, および LSH-S 形高圧配電箱は 3 kV 回路のはん用スタータ盤, および変圧器一次盤として広く顧客に愛用されている機種であるが, 本文はこれらの種類, 構造特長をはじめ, 回路保護に対する協調について紹介するとともに, 標準化アプローチの一環としてのファミリツリー技法についても簡単にふれた。

これらの機種は, いずれも安全性と信頼性を根底に, 使いやすさと経済性をモットーとして開発されたものであり, 市場において今後いっそう成長するものと期待している。

参 考 文 献

- (1) 宇野木, 町野, 鈴木: コントロールセンタの生産管理システム “OF-IS”, 三菱電機技報 47, No. 2 (昭48)

20 GHz 帯扇形ビーム複反射鏡アンテナ

井上 武夫*

片木 孝至**・高松 泰男***

A 20 GHz Band Fan Beam Dual Reflector Antenna

Nippon Telegraph and Telephon Public Corporation Takeo Inoue

Mitsubishi Electric Corp., Kamakura Works Takashi Katagi・Yasuo Takamatsu

As a part of studies on antennas used for a 20 GHz band radio relay system, a dual reflector antenna having a so called fan beam which is broad in the vertical plane has been designed, built for trial and tested. Descriptions are made herein about the design method and the test result. The feature of the antenna is that its main reflector is of an ordinary parabolic shape, and its sub-reflector only is of a special shape to give off a fan beam. The test results well coincide with the theoretical values to demonstrate the design method to be appropriate. If such an antenna is used for a relay route, deflection of the relay pole by a wind load causes not so much reduction of the gain due to the change of the beam direction, that the system performance is not spoiled. Consequently the structure of relay poles can be made simple to reduce the cost for construction of overall system.

1. ま え が き

マイクロ波帯を用いた無線中継方式は、我が国において広く用いられている。しかし最近では情報化時代と呼ばれるように、画像、データ通信が重要な役目をおびてきた。このために必要な伝送器の容量はマイクロ波帯だけではまかないきれず、周波数帯域が広くとれる準ミリ波帯をも使用する必要が生じてきた。日本電信電話公社においても、広帯域新サービス通信網の一環として20 GHz帯PCM方式による大容量無線回線の研究がなされている。準ミリ波帯においてはマイクロ波帯に比べて降雨による電波の減衰が大きいため、準ミリ波帯を使用する中継回線においては中継間隔をマイクロ波帯の場合に比べて短くとらねばならない。したがって中継回線に用いられるアンテナ、中継器、中継柱の数が多くなり、これらの全体的な費用の経済化が必要となる。この対策の一つとして、中継柱の構造を簡易化し、風圧で中継柱がたわみアンテナのビーム方向がずれることによる利得の低下は、アンテナの垂直面内のビーム幅を広げることによって避けようとする提案⁽¹⁾がある。20 GHz帯(17.7 GHz~21.0 GHz)中継回線用アンテナの研究の一つとして、このような垂直面内でビーム幅が広い、いわゆる扇形ビームアンテナの試作を行なったので、その結果を報告する。

準ミリ波帯で用いるアンテナの形式としては、広帯域性、雨滴や雪などが付着しても性能が低下しないことなどの点から、カセグレンアンテナ方式が優れている。本論文で述べる扇形ビーム複反射鏡アンテナは、通常のカセグレンアンテナと同じく主反射鏡と副反射鏡より構成され、主反射鏡は通常の回転放物面鏡であるが、副反射鏡のみを特殊な形状にして扇形ビームを得るものである。

設計の要点は、アンテナの開口における波面の形に注目し、波面と主反射鏡の形状から波面光学的な方法で副反射鏡の鏡面の形を決定した点にある。通常のカセグレンアンテナの場合、開口の波面は平面であるが、本論文で述べる扇形ビーム複反射鏡アンテナでは、波面の中央部が円筒の一部であり、両端が中央部と滑らかにつながる平面となっている。

このような通常のペンシルビームと異なる形の成形ビームをもつアンテナとしては、レーダ用のコセカントビームアンテナなどが古くから研究さ

れている⁽²⁾。また主反射鏡を特殊な形状にして広角扇形ビームを得るアンテナも発表されている⁽³⁾。しかしこれらのアンテナでは面積の大きな主反射鏡を希望の形にしなければならないが、本論文で述べるアンテナでは面積の小さな副反射鏡のみを特殊な形状にすればよいので、工作が簡単で経済的である。また普通のパラボラアンテナの外形をだ(楕)円状にしても扇形ビームが得られるが⁽⁴⁾、この場合スピルオーバーを少なくするために、一次放射器として縦横比の異なる開口をもつものを用いなければならず、偏波共用がむづかしい。本論文で述べるアンテナでは、一次放射器は通常のカセグレンアンテナのものと同じでよく、偏波共用が可能であり、ビームの形状も肩の張ったすぐれたものが得られる。

2. 設計の方法

2.1 波面および鏡面

成形ビームを得る方法として、アンテナから放射される波面の形に注目し、波面光学的な考えによって波面と球面波の中心の位置から鏡面を決定する方法⁽⁵⁾が有効である。これまでに発表されているのは1枚の鏡面からなるアンテナのみであるが、同じような方法によって、カセグレンアンテナのように2枚の鏡面から成る複反射鏡アンテナにおいても、成形ビームアンテナが得られる。

図2.1に示すように、一次放射器から放射される球面波の中心をF、副反射鏡面上の点をS、主反射鏡面上の点をM、波面上の点をWとし、これらが1本の光線で結ばれている状態を考える。各鏡面上ではスネルの法則が成立し、またFよりWに至る光路長 $\overline{FS} + \overline{SM} + \overline{MW}$ は一定である。そしてベクトル \overrightarrow{MW} は波面に垂直である。これらはすべてが独立な条件ではなく、光路長一定の原理と、一方の鏡面上でスネルの法則がなりたつことを仮定すれば、他方の鏡面上でもスネルの法則がなりたつことを証明できる。したがって、複反射鏡アンテナで成形ビームを得る場合、主反射鏡または副反射鏡のいずれかの形状を与えれば、もう一方の鏡面を光路長一定の原理によって決定することができる。実用的には主反射鏡の形を与え、面積の小さな副反射鏡を特殊な形状にするほうが、工作が容易で経済的である。

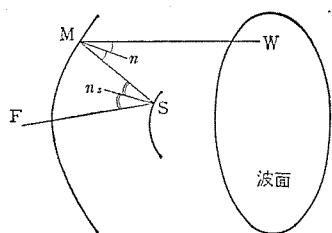


図 2.1 波面と鏡面の関係
Relation between the wavefront and reflectors.

2.2 回転放物面鏡を主反射鏡とする扇形ビーム

複反射鏡アンテナ

主反射鏡として通常のカセグレンアンテナと同じ回転放物面鏡を用いた扇形ビーム複反射鏡アンテナの設計法を示す。扇形ビームを得る場合の波面としては、中央部が円筒の一部で、その両端に平面が滑らかに接続した形状が適している。このような波面の場合、円筒面の母線を含む面内においては位相がそろうので、通常のカセグレンアンテナと変わらぬ鋭い指向性が得られ、母線に垂直な面内においては、中央部の電力は円筒部がその中心に対して張る角度幅をもつビームとして放射され、周辺部の電力はビームの両端に集中されるので、肩の張った鋭い形のビームが得られる。

波面および鏡面と、解析に用いる座標系および記号を図 2.2 に示す。波面の円筒部の母線は X 軸に平行であり、Z 軸は回転放射面鏡の軸と一致する。アンテナの形状を表わすパラメータとして図 2.3 に示すものを考える。これらの値を与えることによって、鏡面の位置、形状および一次放射器から放射される球面波の中心がきまる。

 D_m : 主反射鏡の直径 K : ZX 面内の副反射鏡口径と主反射鏡直径の比 θ_m : 主反射鏡の開口角の半分

δ : ZX 面内で副反射鏡が球面波の中心に対して張る角の
半分

β_m : 波面の円筒部がその中心軸に対して張る角の半分

θ_c : YZ 面内で主反射鏡の中央部が主反射鏡の焦点に対して張る角の半分

これらのパラメータの値より、ZX 面内の副反射鏡口径 D_s 、断面の双曲線の離心率 e および原点 O から副反射鏡の頂点 A、主反射鏡の頂点 L、球面波の中心 F、円筒波の中心軸と YZ 面の交点 C に至る距離 a, l, f, c は次式で求められる。

$$\left. \begin{aligned} D_S &= K D_m \\ e &= \frac{\sin\left(\frac{\theta_m + \delta}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\theta_m - \delta}{2}\right)} \\ a &= \frac{e \cos \delta - 1}{2(e+1) \sin \delta} D_S \\ l &= \frac{D_m}{4} \frac{1 + \cos \theta_m}{\sin \theta_m} \\ f &= \frac{2ae}{e-1} \\ c &= \frac{2l}{1 + \cos \theta_c} \frac{\sin(\theta_c + \beta_m)}{\sin \beta_m} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.1)$$

$$\left. \begin{aligned} x &= r \sin \theta \cos \varphi \\ \beta &= \beta_0 (|\beta_0| \leq \beta_m) \\ r_2 &= \rho_0 - \rho \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.8)$$

また、周辺部の変数 x, ξ と θ, φ の関係は

$$\left. \begin{aligned} x &= r \sin \theta \cos \varphi \\ \xi &= \rho \sin (\beta_0 - \beta) \\ \beta &= \begin{cases} \beta_m (\beta_0 > \beta_m \text{ のとき}) \\ -\beta_m (\beta_0 < -\beta_m \text{ のとき}) \end{cases} \\ r_2 &= \rho_0 - \rho \cos (\beta_0 - \beta) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.9)$$

である。なお ρ は x 軸より M に至る距離である。

以上の式によって $r_2 e_2$ がきまったので、式 (2.4) より e_1 が求められる。

$$e_1 = \cos \beta e_r + \sin \beta (\sin \varphi e_\theta + \cos \varphi e_\varphi) \dots\dots\dots (2.10)$$

ここで e_r, e_θ, e_φ は図 2.2 の極座標系 r, θ, φ の各座標軸に接する単位ベクトルである。そして式 (2.3), (2.5) より r_0, r_1, e_0 が求められる。その結果は

$$\left. \begin{aligned} w &= r_m + f k + \{s - \rho \cos (\beta_0 - \beta)\} e_1 \\ s &= c + 2a - 2l - f \text{ (定数)} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.11)$$

を用いて

$$\left. \begin{aligned} r_0 &= -\frac{w^2}{2(e_1 \cdot w)} \\ r_1 &= \rho \cos (\beta_0 - \beta) - s - r_0 \\ e_0 &= e_1 + \frac{1}{r_0} w \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.12)$$

と表わされる。これより副反射鏡面上の点 S を表わすベクトル r_s は次式である。

$$r_s = r_0 e_0 - f k \dots\dots\dots (2.13)$$

2.3 利得関数

利得関数は主反射鏡面への入射磁界より鏡面上の電流を求め、それを波源とする放射電磁界を計算することによって求められる。したがって、一次放射器の放射電磁界より主反射鏡面への入射磁界を求める必要がある。幾何光学的に考えるものとし、各光線をパラメータ θ, φ で表わすと、式 (2.6) で表わされる波面の、面素 dS_0 はつぎのようになる。

$$\left. \begin{aligned} dS_0(\rho_0) &= g(\rho_0) d\theta d\varphi \\ g(\rho_0) &= \left| \frac{\partial r_0}{\partial \theta} \times \frac{\partial r_0}{\partial \varphi} \right| \\ &= \begin{cases} \frac{\partial(x, \beta)}{\partial(\theta, \varphi)} & \text{(中央部)} \\ \frac{\partial(x, \xi)}{\partial(\theta, \varphi)} & \text{(周辺部)} \end{cases} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.14)$$

上式の ρ_0 を ρ におきかえれば、 M を含む位置に考えた波面の面素となる。またこれに対応する F を中心とする単位球面波面の面素 dS は次式で表わされる。

$$\left. \begin{aligned} dS &= h d\theta d\varphi \\ h &= \left| \frac{\partial e_0}{\partial \theta} \times \frac{\partial e_0}{\partial \varphi} \right| \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.15)$$

一次放射器から放射される電磁界ベクトル E, H を、 F からの距離、 \bar{r} 、電界、磁界の向きを示す単位ベクトル e_e, e_h 、振幅 E, H 、波長 λ を用いてつぎのように表わす。

$$\left. \begin{aligned} E &= \frac{1}{\bar{r}} E e_e e^{-j\frac{2\pi}{\lambda} \bar{r}} \\ H &= \frac{1}{\bar{r}} H e_h e^{-j\frac{2\pi}{\lambda} \bar{r}} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.16)$$

光線に対応づけられる面素内のエネルギーは不変であるから、鏡面への入射磁界 H_i を $H_i e_{hi} e^{j\psi_i}$ と書けば、振幅 H_i と式 (2.16) の H の間にはつぎの関係がなりたつ。

$$H_i^2 dS_0(\rho) = H^2 dS \dots\dots\dots (2.17)$$

すなわち

$$H_i = \sqrt{\frac{h}{g(\rho)}} H \dots\dots\dots (2.18)$$

によって H_i が求められる。磁界の向きは電波が自由空間を伝搬中に変化しない⁽⁶⁾から、単位ベクトル e_{hi} と e_h の間には、副反射鏡による反射の関係がある。

$$e_{hi} = e_h - 2(e_h \cdot n_s) n_s \dots\dots\dots (2.19)$$

ここで n_s は副反射鏡の単位法線ベクトルである。また位相は伝搬距離に応じて遅れるので、

$$\begin{aligned} \psi_i &= -\frac{2\pi}{\lambda} (r_0 + r_1) \\ &= \frac{2\pi}{\lambda} \{S - \rho \cos (\beta_0 - \beta)\} \end{aligned} \dots\dots\dots (2.20)$$

となる。以上のようにして主反射鏡面への入射磁界が求められるので、これから観測点 P における放射電界 $E_S(P)$ は、 O から P に向かう単位ベクトル R_1 、距離 R を用いてつぎの式で計算される。

$$\left. \begin{aligned} E_S(P) &= -\frac{j e^{-j\frac{2\pi}{\lambda} R}}{\lambda R} \{N - (N \cdot R_1) R_1\} \\ N &= \int_{S_m} (n \times \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} H_i) e^{j\psi_i} dS_m \\ \psi_0 &= \frac{2\pi}{\lambda} \left[(r_m \cdot R_1) - \frac{1}{2R} \{r_m^2 - (r_m \cdot R_1)^2\} \right] \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.21)$$

ここで S_m は主反射鏡面の面積を示す。放射される全電力を P_t とし、放射電界 $E_S(P)$ の各偏波成分を E_s で代表すれば、その成分による利得関数 G は次式である。

$$G = \frac{4\pi R^2 \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\epsilon}{\mu}} |E_s|^2}{P_t} \dots\dots\dots (2.22)$$

これらの結果から最初に与えられたパラメータの値をもつアンテナの放射特性が計算できるので、その結果を目的とする特性と比較し、各パラメータの値を補正し、最終的な設計値を決定する。

3. 20 GHz 帯扇形ビーム複反射鏡アンテナ

3.1 アンテナ諸元の決定

20 GHz 帯中継回線用として試作を行なった扇形ビーム複反射鏡アンテナの主反射鏡は、直径 D_m が 1,800 mm、開口角の半分 θ_m が 67.38° の回転放物面鏡である。目的とするビームは垂直面内で広い扇形ビームであるので、図 2.2 の座標系で ZX 面が水平面となる。 ZX 面内の副反射鏡口径と主反射鏡直径の比 K は、通常のカセグレンアンテナの場合の最適値 0.11 を用いた。球面波の中心から副反射鏡を見込む角 δ は 11.4° で、一次放射器には口径 80 mm の円すいホーンを用いている。このホーンの位相中心は開口面から 104.7 mm の位置にあり、位相中心を球面波の中心 F に一致させた場合、周波数 19.1 GHz における副反射鏡周辺への放射レベルは、中心方向のレベルに対して -10 dB になる。波面の形状をきめるパラメータ θ_m, θ_c は、目的とするビーム幅を得るために放射特性の計算結果から適当な値を選ばねばならない。 θ_c は主としてビームの形に影響し、 θ_m に近い値の場合ビームの肩がなだらかなる。ここでは 20° に選んである。

β_m に種々の値を与え、他のパラメータを上記の値にして、周波数 19.1 GHz における放射特性を計算した結果が図 3. 1, 3. 2, 3. 3 である。図 3. 1 は利得と β_m の関係で、図 3. 2 は 3 dB 降下点、図 3. 3 は放射パターンである。これらの結果より β_m を増加するとビーム幅は幾何光学的に予想されるよりも著しく増加することがわかる。ビーム幅、利得低下、放射パターンなどを考慮して、試作アンテナにおいては β_m を 0.7° にした。

3. 2 試作アンテナ

試作アンテナの外形図および写真を図 3. 4 に示す。

副反射鏡は長径 198 mm, 短径 159.22 mm のレモン形をしている。この切削は数値制御工作機械で行なった。図 3. 5 にその外形図および写真を示す。

3. 3 入力インピーダンス

一次放射器単体の入力 VSWR は 20 GHz 帯 (17.7~21.0 GHz) に

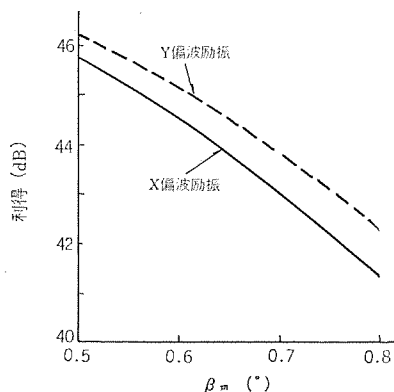


図 3. 1 利得と β_m の関係
Gains vs. β_m .

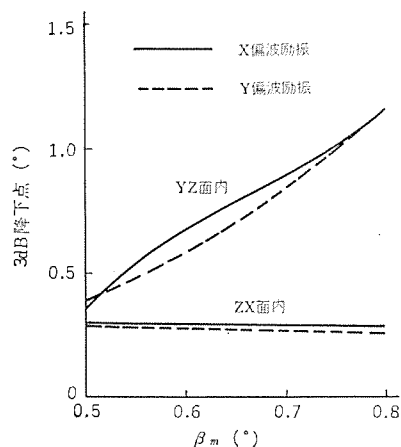


図 3. 2 3 dB 降下点と β_m の関係
3 dB down points vs. β_m .

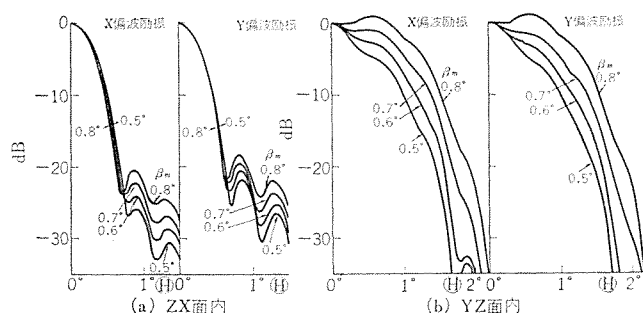


図 3. 3 放射パターンと β_m の関係
Radiation patterns vs. β_m .

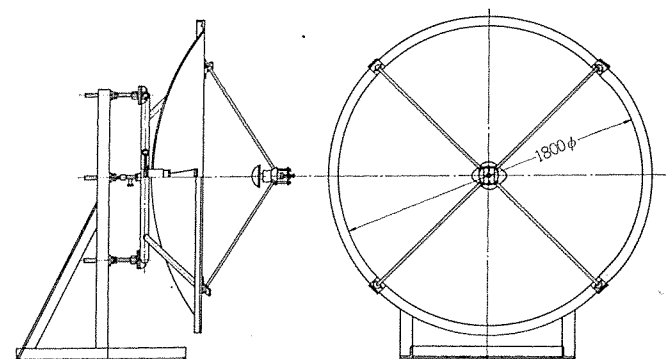
おいて 1.07 以下である。これを鏡面と組合せたときの総合 VSWR は、垂直偏波、水平偏波のいずれに対しても 1.25 以下である。また図 3. 6 に示すような頂点整合板を用いて 1.11 以下の性能が得られた。頂点整合板の寸法および形状は実験的に求めたものである。図 3. 7 に頂点整合板をつけない場合とつけた場合の VSWR の測定結果を示してある。

3. 4 利得

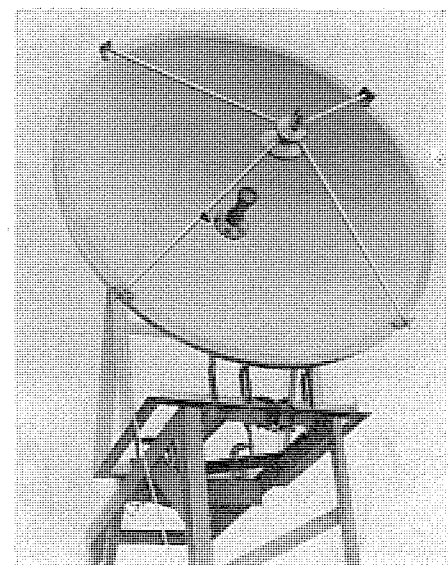
利得、放射パターンの測定は、扇形ビーム複反射鏡アンテナを受信アンテナとして行なった。送受信間の距離は 360 m であった。この距離は測定周波数 19.1 GHz で $2D_m^2/\lambda$ (λ は波長) で計算される値よりも少ないため、測定結果には距離が近いことの影響があらわれる。なお成形ビームアンテナの場合、距離の影響はペンシルビームアンテナの場合よりも大きい。

利得は基準ホーンによる受信レベルと供試アンテナによる受信レベルを比較して求めた。基準ホーンは利得 23.8 dB の角すいホーンである。表 3. 1 に測定結果を理論値とともに示してある。利得の計算値は距離の影響、副反射鏡からのスピロオーバーによる利得低下分を含んでおり、鏡面のおうとつ (凹凸) (0.237 mm rms) による利得低下分 0.13 dB, 副反射鏡のブロッキングによる利得低下分 0.22 dB および支柱のブロッキングによる利得低下分 0.25 dB を考慮した結果が理論値として示してある。

頂点整合板をつけた場合に利得が 1 dB 程度下がるが、これは頂点

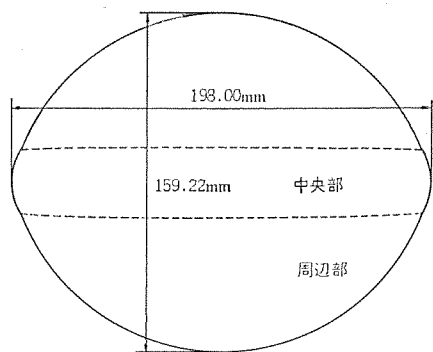


(a) 外形図

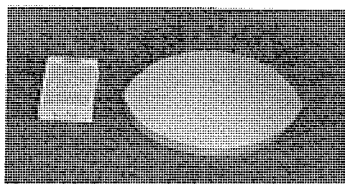


(b) 写真

図 3. 4 20 GHz 帯扇形ビーム複反射鏡アンテナ
A 20 GHz band fan-beam dual reflector antenna.



(a) 外形図



(b) 写真

図 3.5 扇形ビームを得る副反射鏡
Subreflector of the fan-beam dual reflector antenna.

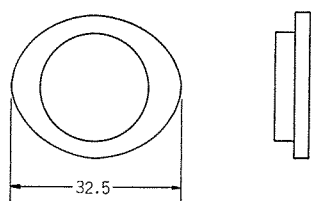


図 3.6 頂点整合板
Vertex-plate.

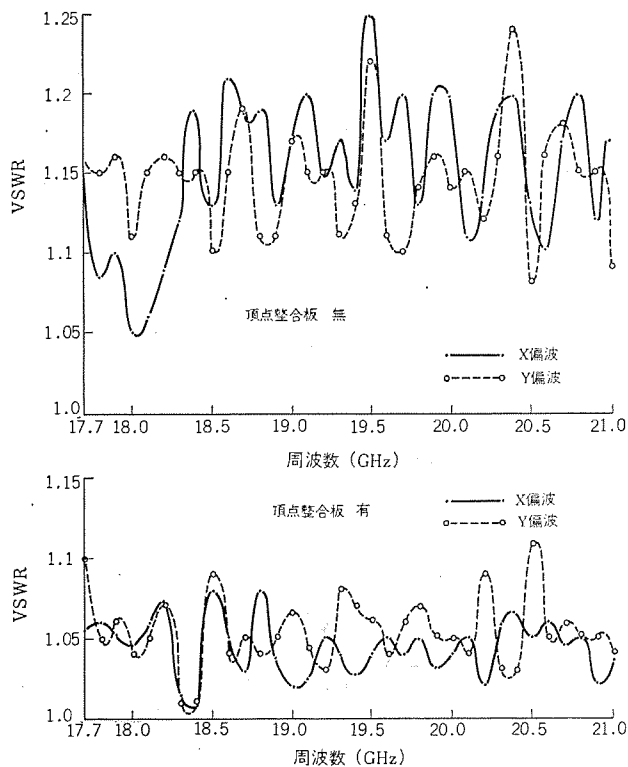


図 3.7 入力 VSWR
Input VSWR

表 3.1 利得の測定結果と理論値
Measured values and theoretical values
of the antenna gains.

偏 波	測 定 値		計 算 値	利得低下分	理 論 値
	頂点整合板無	頂点整合板有			
X (水平)	40.6 dB	39.3 dB	42.12 dB	-0.60 dB	41.52 dB
Y (垂直)	42.5 dB	41.6 dB	43.09 dB		42.49 dB

表 3.2 3 dB 幅の比較
3 dB beamwidths.

偏 波	測 定 面	測 定 値		計 算 値
		頂点整合板 無	頂点整合板 有	
X (水平)	ZX(水平)面	0.56°	0.51°	0.56°
	YZ(垂直)面	2.35°	2.75°	2.04°
Y (垂直)	ZX(水平)面	0.53°	0.50°	0.52°
	YZ(垂直)面	1.68°	1.99°	1.83°

整合板によって散乱される電力が、主として正面方向の放射レベルに寄与する部分であるためと思われる。頂点整合板の無い場合には、理論値と測定値はほぼ一致している。

3.5 放射パターン

放射パターンの測定結果を計算値とともに図 3.8 に示す。頂点整合板の無い場合には測定値と計算値はよく一致している。頂点整合板をとりつけた場合、サイドローレベルが上昇し、全体に放射パターンの形が悪くなる。計算値には測定距離の影響を考慮してある。放射パターンから 3 dB 幅を求めたのが表 3.2 である。広角度方向の放射パターンの形状および交差偏波の放射パターンは通常のカセグレンアンテナの場合と比べ、特に差異はない。

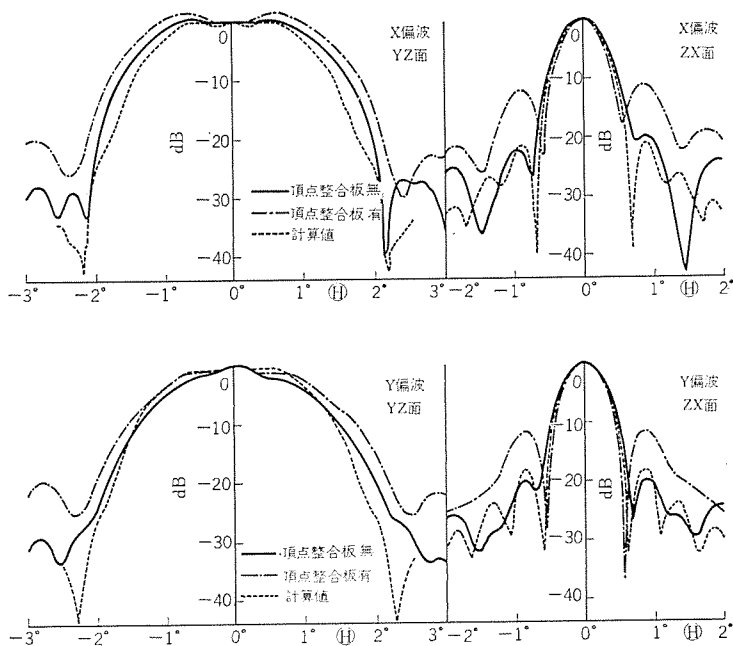


図 3.8 放射パターンの測定結果と計算値
Measured and calculated radiation patterns.

4. む す び

扇形ビームをもつアンテナの一形式として、主反射鏡が通常のパラボラアンテナと同じ回転放物面鏡で、副反射鏡のみが特殊な形状をしている複反射鏡アンテナの、波面光学的な考えに基づく設計法を述べ、20 GHz 帯用に試作したアンテナによる測定結果を示した。試作アンテナは主反射鏡が直径1.8 mの回転放物面鏡で、副反射鏡は198 mm × 159 mmのレモン形になっており、19.1 GHzにおいて $0.5^\circ \times 2^\circ$ の扇形ビームが得られている。試作アンテナによる測定結果は理論値とよく一致しており、設計法が妥当なことを示している。なおここでは主反射鏡として回転放物面鏡を用いた場合について示したが、任意の曲面、たとえば球面鏡を用いても同じようにして扇形ビームアンテナが得られる。

インピーダンス特性をよくするために頂点整合板を用いる場合、それが本論文で述べたアンテナの場合のような扇形ビームに及ぼす影響は、通常のペンシルビームの場合と比べ相当大きい。したがってその構造にはさらに工夫が必要である。

終りにアンテナの試作に際し、ご指導いただいた日本電信電話公社武蔵野電気通信研究所および横須賀電気通信研究所の関係各位に感謝する。

参 考 文 献

- (1) 井上, 奈良, 小川: 準ミリ波広帯域アンテナ系の諸問題, 昭46信学全大, S. 3-6
- (2) S. Silver: Microwave Antenna Theory and Design, MIT Rad. Lab. Ser. 12, p. 465, McGraw Hill Book Company Inc. (1949)
- (3) 片木, 高松, 角田: 18 GHz 扇形ビームアンテナ, 昭43連大, 1213
- (4) 文献(2), p. 450
- (5) 武市, 片木: 成形ビームホーンリフレクタアンテナ, 信学会アンテナ・伝ば(播)研資料, A・P 70~74 (昭46-02)
- (6) M. Born and E. Wolf: Principles of Optics, 2nd Edition, p. 117, Pergamon Press (1964)

微少電力 TV サテライト装置

保 科 盛*・梶 原 侑*
君 川 治**・見 山 淳 弥**
楠 好 次**

Small Output Power Television Repeater Equipment

NHK Sakari Hoshina・Tadashi Kajiwara
Mitsubishi Electric Corp., Communication Equipment Works Osamu Kimikawa・Atsumi Koyama
Yoshitsugu・Kusunoki

TV broadcast is prevailed throughout the country, but there are areas of a few percent where the TV waves hardly reach. With the object of extending the broadcast networks, NHK has been developing TV repeater equipment using transistor or integrated circuits, thus installing many relay stations. To eliminate the localities still remained hard of viewing, TV repeater equipment of better efficiency of investment has been developed. This equipment is capable of handling in common the NHK programs of general broadcast, of education and the programs of two commercial TVs by the simplification of the system and circuits. Moreover, simplification of antennas, station buildings and steel towers is made simultaneously for the trial of reducing the cost of the overall systems.

1. ま え が き

TV の難視聴地域解消のため、NHK をはじめとして民間放送各局で TV 中継放送局（略称 サテライト 局）建設が行なわれ、難視聴地域は減少し、次第に少世帯地域となりつつある。このような少世帯地域に、従来同様な サテライト 局を、各放送局が別々に建設しては投資効果が非常に悪い。ここに紹介する サテライト 装置は上記の点にかんがみ、NHK 総合、教育および民放 2 社の計 4 波共建を原則とし装置の簡易化、コスト低減並びに鉄柱、送信空中線、局舎、電源等の簡易化、共通使用を行ない総合システムとしての投資効率の向上を図ったもので、装置の正式名称は 27 (U) U-80 形 TV 中継放送装置である。

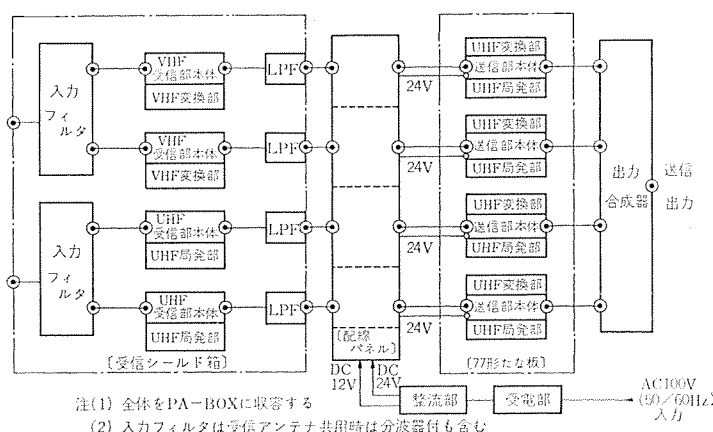
2. 設 計 方 針

- (1) 送信出力は 0.5 W とする。
- (2) NHK (総合、教育) および民放 2 社の計 4 波共同建設を原則とする。これにより、局舎、送信空中線、電源、等の共用ができ 1 波あたりのコスト低減が図れる。
- (3) 基本装置ユニットは、現在広く使用されている IC 化 サテライト 装置 (77 形装置) ユニットと、電気的、構造的に互換性を持たせ、故障時は、77 形予備ユニットで代用することができる。
- (4) サテライト 局の設置場所は、親局からの電波伝搬条件が安定しているところを選び、映像、音声レベル比の等化ユニットは使用しない。
- (5) 送信所と受信所を分離する方式は考慮しない。分離構成が必要な場合は 77 形受信部ユニットを使用する。

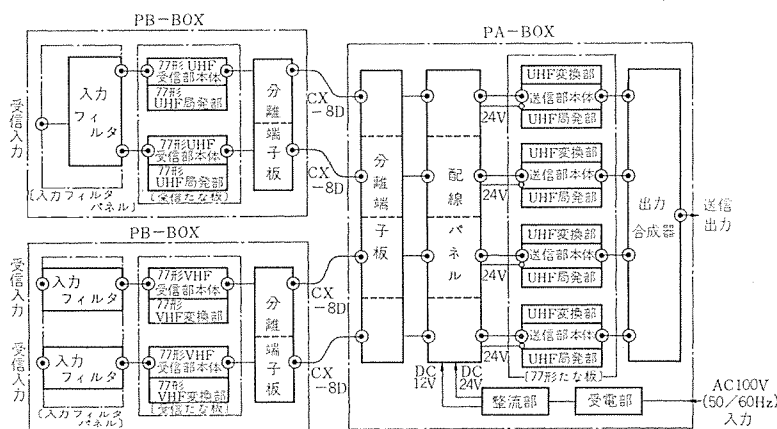
3. 装置の系統と構成

この装置の 4 波実装時の構成図を図 3. 1 に示す。図 (a) は送受局非分離構成であり、図 (b) は分離構成である。

装置を構成する基本ユニットは、VHF または UHF 受信部本体、VHF 周波数変換部、UHF 局発部、UHF 送信部本体、UHF 周波数変換部の 6 ユニットであり、これらは IC 化 サテライト 装置として広く使用されている 77 形ユニットと構造は全く同じである。この装置は



(a) 非分離局構成



(b) 分離局構成

図 3. 1 80 形 TV 中継装置構成図
Schematic diagram of type 80-TV transmitter.

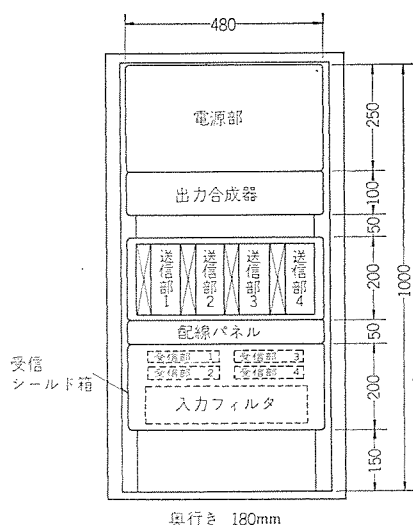


図 3.2 実装図（4波非分離の場合）
Outline.

送信鉄柱に取り付けられた PA 式屋外収容箱に、図 3.2 に示すように実装する。

受信シールド箱は、多くのチャネルが混在するために生ずる、相互干渉をなくすためのものであり、入力フィルタと受信部および LPF を収容している。この LPF は、IF 信号に RF 信号が乗り不要ビート成分を生じさせないためのものである。送信部は 77 形のフレーム（たな板）に実装され、ユニット間にすきスペースをとり、風の流れをよくして、ユニットの温度上昇を防いでいる。また、この送信部および電源より生ずる熱を外へ放散するために、PA ボックスの上部に小形のファンを設けている。

一方受信所を送信所と離す必要がある場合は図 3.1 (b) に示すように、受信所には、PB 式屋外収容箱を受信鉄柱に取り付け内部に入力フィルタ、77 形受信部、分離端子板を収容している。分離端子板は、送受分離ケーブルに雷等のサージ電圧が生じた場合に、これを吸収し、他の装置の被害を防ぐものであり、送信所側にも同じものが設置されている。送信所側の分離端子板にはこの他、分離ケーブル長に応じた振幅周波数補正回路、レベル調整パッドが含まれている。送受分離局は全体の 15% 以下であるため 80 形受信部は非分離使用を原則とし出力 80 dBμ とした。このため分離構成の場合は出力 104 dBμ の 77 形受信部を使用する。

4. 定格、性能

この装置は、設置場所が少世帯地域であり、末端局であって子局は連ならないことを考慮し、電波法の範囲内で、規格は緩和されている。

装置の定格を表 4.1、性能を表 4.2 に示す。

表 4.1 定格
Rating.

項	目	摘	要
送 信	周 波 数	UHF テレビチャネルのうちの指定チャネル	
	出 力	0.5 W (映像同期せん頭値)	
	インピーダンス	50 Ω	
受 信	周 波 数	VHF 又は UHF テレビチャネルのうちの指定チャネル	
	入 力	61 dBμV (映像同期せん頭値)	
	インピーダンス	50 Ω	
中 継 方 式		ヘテロダイン周波数変換増幅方式	
中 間 周 波 数		16.5~22.5 MHz	
電 源		単相交流 100 V 50 Hz 又は 60 Hz	
使 用		連 続	

表 4.2 性能
Performance.

温度 -10°C~+40°C、湿度 45~90%、電源電圧 ±10% の変化範囲において次の性能を満足すること。又 -20°C~-10°C、+40°C~+60°C の温度範囲において動作に支障なくかつ復元性を有すること。

項	目	性	能
周 波 数 偏 差		± 2 kHz 以内	
周 波 数 特 性	指定中心周波数を基準として ± 3 MHz 以内で { +1.0 dB 以下 - 2.0 dB 以上 ± 9 MHz で -30 dB 以下 ただし隣接妨害除去フィルタを使用する場合は + 3 MHz } 以内で { +1.0 dB 以下 - 2 MHz } - 2.0 dB 以上		
入力インピーダンス		指定中心周波数を基準として ±3MHz 以内で VSWR 2.0 以下	
負 荷 特 性		VSWR 1.8 の負荷に対し不安定現象を起さず指定チャネル内の利得偏差は 5 dB 以下	
A	G	C	映像、音声合成信号のせん頭値電圧により制御する。 AGC 特性は VA 比定格値の定格入力 ±10 dB の範囲で出力変化は ± 1 dB 以内
雑 音 指 数		12 dB 以下	
S/N		ハム成分に対し 50 dB 以上	
混 変 調		定格出力の状態でカラーバー信号の赤に相当するレベル関係で生ずる 920 kHz 成分はビデオ方式で -25 dB 以下	
ス プ リ ア ス		定格出力の状態でのスプリアス強度はその平均電力が 指定チャネル内は - 60 dB 以下 指定チャネル外は - 30 dB 以下	

5. 各ユニットの構成及び説明

5.1 (V_U)T-80 形受信部

5.1.1 定格、性能

受信部の定格、性能を表 5.1 に示す。

表 5.1 受信部の定格、性能
Rating and performance of receiver.

定 格

項	目	摘	要
入 力	周 波 数	VHF 又は UHF テレビチャネルのうちの指定チャネル	
	レ ベ ル	58 dBμV (映像同期せん頭値)	
	インピーダンス	50 Ω	
出 力	周 波 数	16.5~22.5 MHz	
	レ ベ ル	80 dBμV (映像同期せん頭値)	
	インピーダンス	50 Ω	
電 源 電 圧		DC +12 V	

性 能

項	目	性	能
周 波 数 偏 差		局発の偏差は ±1×10 ⁻⁶ 以内	
周 波 数 特 性		指定中心周波数を基準として ±3 MHz 以内で ±1.0 dB 以内 ±9 MHz で -30 dB 以下	
直 線 性		出力 105 dBμV まで 0.5 dB 以内	
入 力 イ ン ピ ー ダ ン ス		VHF, UHF 受信とも全チャネルに対し VSWR 2.0 以内	
雑 音 指 数		VHF, UHF 受信とも全チャネルに対し 9 dB 以下	
広 帯 域 利 得 偏 差		VHF 又は UHF 全チャネルに対し定格入力を与えた場合の出力レベル偏差は、定格出力を基準として ±3 dB 以内	
ス プ リ ア ス		定格出力の状態でのスプリアス強度は、その平均電力が指定チャネル内は -60 dB 以下、指定チャネル外は -30 dB 以下	
局 発 漏 え い (洩)		受信入力端子で VHF の場合は 50 dB 以下、UHF の場合は 100 dB 以下	
全 所 要 電 力		VHF 受信は 1.5 W 以下 (+12 V) UHF 受信は 2.0 W 以下 (+12 V)	
電 源 供 給		電源は出力端子に重量して供給する	
環 境 条 件		温 度 -10°C~+40°C 湿 度 45~90%	

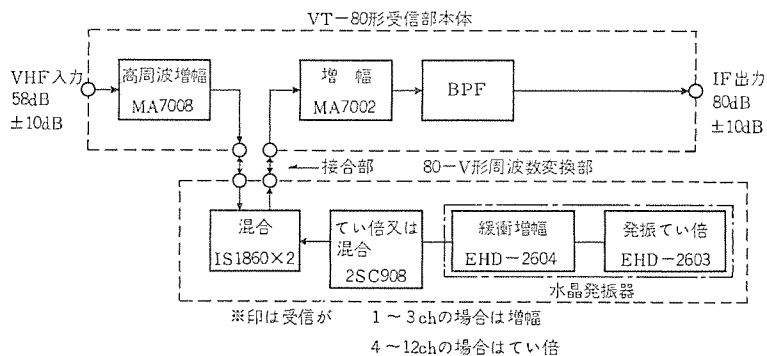


図 5.1 VHF 受信部系統図
Block diagram of VHF receiver.

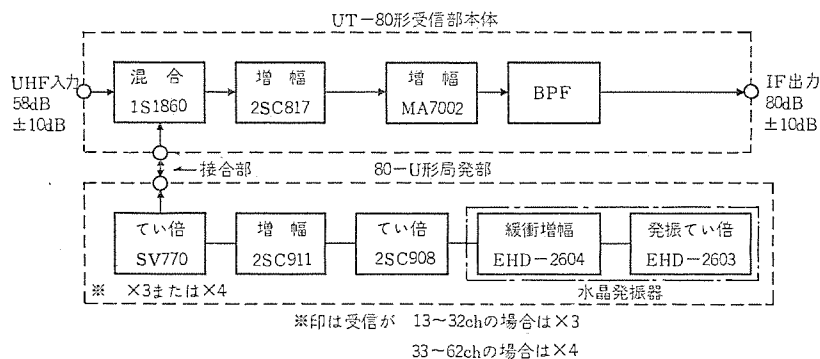


図 5.2 UHF 受信部系統図
Block diagram of UHF receiver.

5.1.2 系統とレベルダイヤ

VHF 受信部の系統とレベルダイヤを図 5.1 に、また UHF 受信部の系統とレベルダイヤを図 5.2 に示す。

5.1.3 VHF 受信部動作説明

VHF 受信部は、1~12 CH の全チャンネルをカバーする本体と、これにカセット式に着脱できるチャンネル専用の変換部より構成している。

(受信部本体)

VHF 受信入力には広帯域高周波増幅器 (MA 7008) で増幅され、VHF 変換部で IF 信号に変換されたのち再び受信部に戻り、IC (MA 7002) で増幅されたのち、IF-BPF で不要周波数成分を除去し外部出力となる。基準入出力レベルは、入力が 58 dB μ 、出力が 80 dB μ であるが電界強度変動を見込んで基準 ± 10 dB のレベル変動に対しても各性能を満足する。

またこの装置では、入力側の妨害波除去ノッチフィルタによる波形劣化を防ぐため、VHF/UHF ノッチフィルタは極力使用しないこととし、性能の良い IF ノッチフィルタを使用することとしているため、受信部は妨害波によるビート妨害を少なくするよう直線性に特に留意しており、 $D/U=20$ dB、入力レベル 68 dB μ で三次ひずみによる、帯域内ビートは -60 dB 以下としている。これは 5.1.4 項の UHF 受信部も同様である。

(VHF 変換部)

水晶発振器は、三次のオーバートーンを利用した、TCXO (Temperature Controlled X'tal. OSC) で、環境変化に対して $\pm 1 \times 10^{-6}$ 、経時変化に対して $\pm 0.4 \times 10^{-6} \log_{10}(1+t)$; t は日数、の高安定度を得ている。発振器出力信号は 2 SC 908 で増幅 (1~3 CH のとき) または 2 てい (通) 倍 (4~12 CH のとき) されてミキサに注入される。ミキサは、ダイオードバランス形ミキサであり、RF 信号を IF 信号に変換する。ミキサの RF 信号入力側には、指定チャンネルの BPF があり、

イメージ信号を抑圧し、雑音指数の劣化を防いでいる。

5.1.4 UHF 受信部

UHF 受信部は 13~62 CH の全チャンネルをカバーする本体と、これにカセット式に着脱できるチャンネル専用の局発部より構成している。

(受信部本体)

UHF 受信入力は、方向性結合器を用いたシングルミキサにより、IF 信号に変換され、低雑音増幅 (2 SC 817) および増幅 (MA 7002) を経て、IF-BPF により不要周波数成分を除去し、外部出力となる。

基準入出力レベルは、入力が 58 dB μ 、出力が 80 dB μ であるが、電界強度変動を見込んで基準 ± 10 dB のレベル変動に対しても各性能を満足する。

(UHF 局発部)

水晶発振器は、VHF 変換部に使用しているものと同じで発振器出力周波数は、70~100 MHz である。発振器出力信号は、増幅、2 てい倍された後バラクタダイオード SV 77 D で所要の UHF 周波数にてい倍される。このてい倍次数は 13~32 CH の場合 $2 \times 3 = 6$ てい倍、33~62 CH の場合は $2 \times 4 = 8$ てい倍であり、出力は 125 dB μ である。

5.2 30 UT-80 形送信部

5.2.1 定格、性能

送信部の定格、性能を表 5.2 に示す。

表 5.2 送信部の定格、性能
Rating and performance of transmitter.

定 格

項	目	摘	要
入 力	周 波 数	16.5~22.5 MHz	
	レ ベ ル	80 dB/ μ V (映像同期せん(尖)頭値)	
	インピーダンス	50 Ω	
出 力	周 波 数	UHF チャンネルのうちの指定チャンネル	
	レ ベ ル	137 dB/ μ V (映像同期せん頭値)	
	インピーダンス	50 Ω	
電 源 電 圧		DC +12 V および +24 V	

性 能

項	目	性	能
周 波 数 偏 差		局発の偏差は $\pm 1 \times 10^{-6}$ 以内	
周 波 数 特 性		指定中心周波数を基準として ± 3 MHz 以内で ± 1 dB 以内	
入力インピーダンス		19.5 MHz ± 3 MHz 以内で VSWR 1.5 以下	
雑 音 指 数		標準利得時 15 dB 以下	
A G C		映像、音声の合成信号のせん頭直電圧により制御する。AGC 特性は VA 比定格値の定格入力 ± 10 dB の範囲で出力変化は ± 1 dB 以内	
M G C		定格入力で定格出力 ± 3 dB に設定できること	
混 変 調		定格出力の状態ではカラーバー信号の赤に相当するレベル関係で生ずる 920 kHz 成分はビデオ方式で -25 dB 以下	
ス プ リ ア ス		定格出力の状態ではスプリアス強度は、その平均電力が指定チャンネル内は -60 dB 以下、指定チャンネル外は -25 dB 以下	
負 荷 特 性		VSWR 1.4 の負荷に対し不安定現象を起さず、指定チャンネル内の利得偏差は 3 dB 以内	
全 消 費 電 力		定格出力状態で +12 V 回路は 2.5 W 以下、+24 V 回路は 17 W 以下	
電 源 供 給		+12 V 電源は入力端子より同軸端子に重畳して供給する	
環 境 条 件		温 度 $-10^{\circ}\text{C} \sim +40^{\circ}\text{C}$ 湿 度 45~90 %	

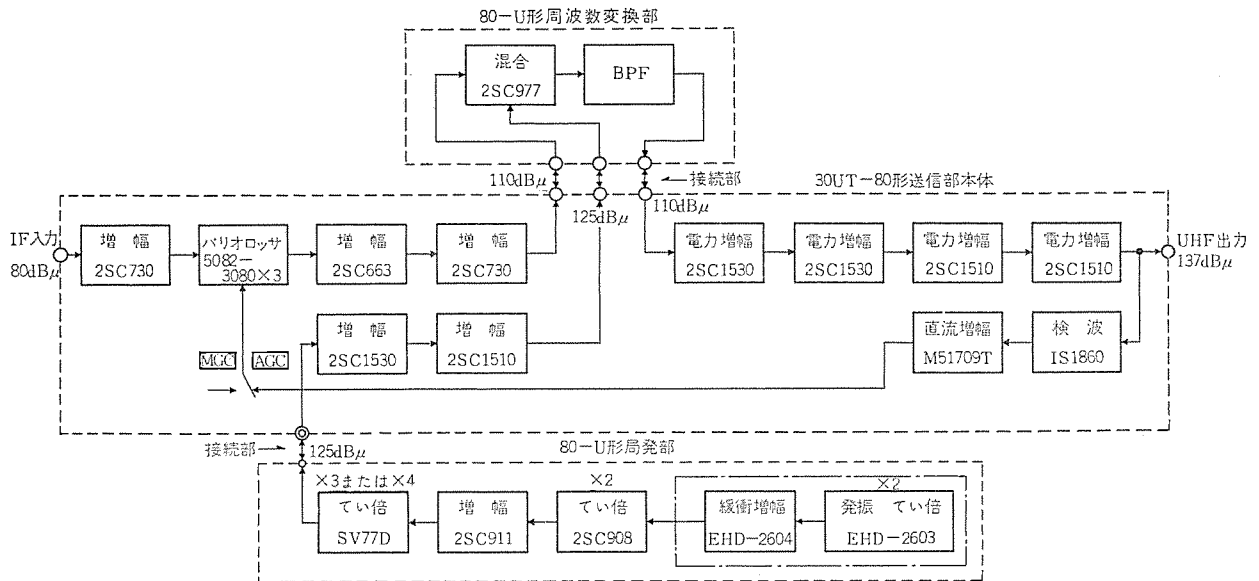


図 5.3 送信部系統図
Block diagram of transmitter.

5.2.2 系統とレベルダイヤ

送信部の系統とレベルダイヤを図 5.3 に示す。

5.2.3 UHF 送信部動作説明

UHF 送信部は、送信部本体と、これにカセット式に着脱できる局発部と周波数変換部より構成している。このうち局発部は、UHF 受信部に使用したものと同一である。

(送信部本体)

入力 IF 信号は、トランジスタ (2 SC 730) で増幅後、パリオロッサで損失制御されて一定レベルとし、更にトランジスタ (2 SC 663, 2 SC 730) で増幅後周波数変換部へ入る。パリオロッサは、PIN ダイオード (5082-3080) を使用した定抵抗回路であり、AGC 帰還信号により $-3 \sim -30$ dB の広い範囲にわたって損失制御している。

変換部により所要の UHF 周波数に変換された信号は、電力増幅トランジスタ 4 段 (2 SC 1530-2 SC 1510 シリーズまたは相当品) により出力 1 W まで増幅される。送信部出力の一部は抵抗カップリングによりとり出してピーク検波し直流増幅器 (M 51709 T) を通ってパリオロッサを制御する AGC 帰還信号となっている。装置の簡易化という点より、このように映音混合のピーク値により AGC をかけているが、V/A 比が安定した場所に設置されるため、映像信号ピーク値の変動は少ない。AGC のほかに、MGC 機能を持たせ、測定を容易にしている。

またこの送信部本体には、局発信号の増幅部があり、局発信号を 60 mW から 0.5 W まで増幅 (2 SC 1530, 2 SC 1510 シリーズまたは相当品) し、周波数変換部入力としている。

(UHF 変換部)

IF 信号から UHF 信号への変換は、電力トランジスタ (2 SC 977) のコレクタ、ベース間の非直線容量を利用したシングルミキサで行なっている。局発信号等のミキサ出力側への不要スプリアスは、BPF により除去している。IF 信号の基準入力値は $110 \text{ dB}\mu$ 、局発信号入力値は 0.5 W ($134 \text{ dB}\mu$) RF 信号の出力値は $110 \text{ dB}\mu$ であり、この時カラーバー信号の赤レベルの関係で生ずる混変調は、 -45 dB 以下となっている。

5.3 配線パネル

配線パネルは、受信部と送信部の中間に位置し、次の機能を有している。

(1) 電源部より $+12 \text{ V}$ 、 $+24 \text{ V}$ の直流電源を受け、これを各波の送受信部に分配する。

(2) $+12 \text{ V}$ は警報ヒューズを通した後、IF 同軸ケーブルに重畳して、受信部・送信部へ給電する。

(3) $+24 \text{ V}$ は警報ヒューズを通した後、電源コネクタにより送信部へ給電する。ヒューズは過電流が流れたとき溶断し、他のチャネルの障害となるのを防ぐものである。

(4) 隣接妨害波がある場合には、IF ノッチフィルタを実装する。このノッチフィルタには上下隣接ノッチフィルタが入っており、その減衰量は 25 dB 以上でありそう(挿)入損失は 5 dB 以下である。下隣接ノッチフィルタの 17 MHz における群遅延時間は約 120 ns であり、同じ減衰量を VHF/UHF ノッチフィルタで得ると群遅延時間は 400 ns 程度となるため、IF ノッチフィルタは波形伝送上も有効である。なお不要の場合はスルーとする。

(5) チェックメータがあり、必要時送信部出力のチェックを行なうことができる。

5.4 入力フィルタ

VHF 受信用、UHF 受信用共、 $480 \times 180 \times 100 \text{ mm}$ のパネルに 4 波実装している。受信アンテナの共用時は分波器も含んで一体化している。主な性能は次のとおりである。() 内は VHF 入力フィルタの値である。

(1) VSWR: 指定帯域内にて 2.0 以下 (1.7 以下)

(2) そう入損失: 指定映像周波数にて 3.0 dB 以下、帯域内偏差は 0.7 dB 以下

(3) 減衰特性: $f_c \pm 6 \text{ MHz}$ にて 10 dB 以下、 $f_c \pm 9 \text{ MHz}$ にて 30 dB 以下 (20 dB 以下); $f_c \pm 12 \text{ MHz}$ にて 40 dB 以下 (30 dB 以下)

なおこのフィルタには隣接妨害波除去ノッチフィルタが 8 本まで追加実装可能である。

5.5 出力合成器

出力フィルタと共用器を一体化したもので $480 \times 180 \times 100 \text{ mm}$ のパネルに、必要に応じて $2 \sim 4$ 波実装している。各波の入力側にはアイソレータがあり、チャネル間の干渉を防いでいる。主な性能は次のとおりである。

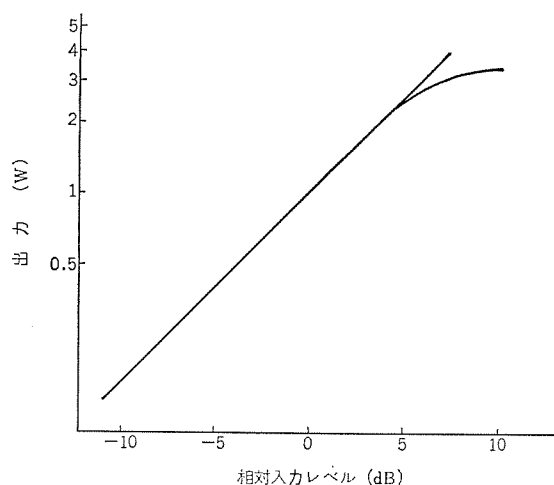


図 6.1 送信部の直線性 (実測例)
Linearity of transmitter.

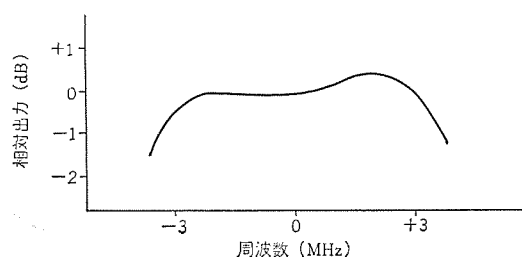


図 6.2 周波数特性 (実測例)
Amplitude vs. frequency characteristic.

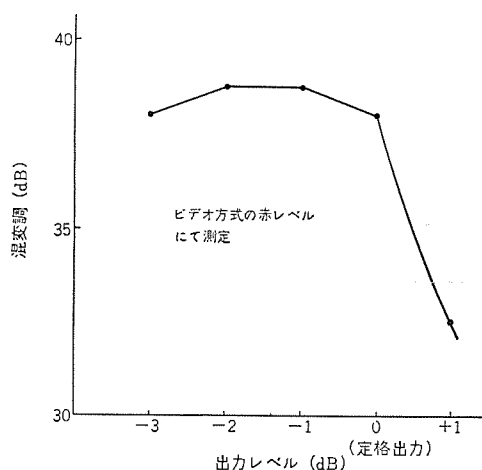


図 6.3 混変調特性 (実測例)
Intermodulation characteristic.

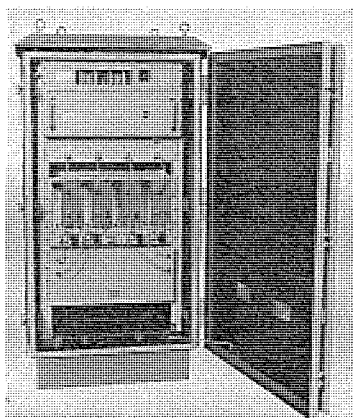


図 6.4 装置外観
Appearance of equipment.

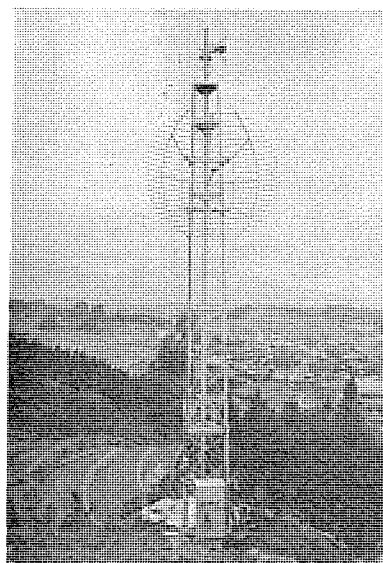


図 6.5 TV 中継放送所全景
Full view of TV-repeater.

- (1) VSWR: 指定帯域内で入力 VSWR は 1.3 以下, 出力 VSWR は 2.0 以下
- (2) そう入損失: 指定映像周波数にて 3.0 dB 以下, 帯域内偏差は 0.7 dB 以下
- (3) 減衰特性: $f_0 \pm 6$ MHz にて 10 dB 以上, $f_0 \pm 9$ MHz にて 30 dB 以上, $f_0 \pm 12$ MHz にて 40 dB 以上
- (4) チャンネル間漏れ量: 各入力端子間の漏れ量は 45 dB 以上

5.6 電源部

電源部は, 受電パネルと整流器パネルとからなっている。受電部は, 雷サージ等の吸収回路があり, 給電線からのサージによる機器の障害を妨いでいる。また整流器部は, 簡単な整流, 安定化電源方式で DC+12 V (max 1.5 A) DC+24 V (max 3.2 A) を得ている。

6. 特性例

本装置の直線性, 周波数特性, 混変調特性の例を図 6.1, 6.2, 6.3 に示す。これらの諸特性で明らかなように, TV サテライト装置として十分な性能を有している。図 6.4 は, 本装置の実装状態を示すものであり, 図 6.5 は, 本装置による TV 中継放送所の全景である。

7. む す び

TV の難視聴地域は, 次第にサービス世帯の少ない地域のみを残すようになり, 従来のサテライト装置の建設方法では, 投資効果が劣る。本装置は少世帯を対象として開発したものであり, 説明では 4 波共建の装置として記述したが, 5 波以上の共建に対しても設計上の考慮がなされており, また 3 波以下であってももちろん, 低価格である。

短波無線機用の混信に強いデータ伝送装置

松村 謙造*・太田 堯久*・杉村 滋夫*

Anti-interference Data Set for HF Radio Equipment

Communication Equipment Works Kenzô Matsumura・Takahisa Ôta・Shigeo Sugimura

Mitsubishi has developed a new data set, which makes the teletyping or data transmission with HF radio sets more reliable. It employs the FPK-MODEM overcoming interferences and the interleaved BCH-CODE correcting burst errors without feedback. The set has been tested in the laboratory and also in the real field. The laboratory test reveals that the bit error rate of 10^{-4} when the signal to interference ratio is less than -5.5 dB. The field test shows the bit error of below 10^{-4} in usual field conditions and of about 10^{-3} in poor conditions of the field where voice communications are pretty difficult. From this result, it can fairly be claimed that this new set is much more excellent than the ordinary FSK data sets, which are sometimes found inoperative even in the case of feasible voice communications.

1. ま え が き

短波無線機による印刷電信は、古く1940年代より主として軍用として使用されている。しかし従来は最適周波数の使用と送信電力の大出力化のみにて、短波帯で宿命的な伝送状態の不安定さをカバーしようとしており、その利用状況もまた限定されたものであった。1960年代に至り、世界各国で短波によるデジタル伝送の研究実験が進められ、特に米国で各種方式の提案がなされたが、その大部分は基礎研究段階または一部試用にとどまっているようである。これらのうちオランダの提唱した、船舶を対象とするシンプレックスARQ方式のみが、現在も継続して試験が進められているにすぎない。

この短波帯を使用するデータ伝送または印刷電信は、電離層伝ば(播)に基づく伝送状態の不安定さを解消する対策さえあれば、有線(UHF, SHF 多重回線を含む)による伝送に比べて、簡易な装置での長距離伝送能力という点でそのメリットは無視することができず、有線回線のバックアップ用を始めとして、外洋航行の船舶、海洋気象関係のデータ伝送等その要求はいよいよ増大している。

当社では昭和44年度より、短波無線機を利用したデータ伝送方式に関して、変調方式および誤り制御方式の両面から研究開発を進めており、昭和46年には当社独自のFPK変調方式を開発し、昭和47年には誤り訂正装置も含めたFPK伝送装置を完成し、実験局の免許も受けて野外試験を含め種々の実験を行なった。その結果ほぼ所期の性能が確認できたので、以下にその概要を報告する。

2. FPK伝送装置の概要

2.1 開発の由来

短波によるテレタイプ通信(データ伝送)を考える場合、主たる問題は変復調方式と誤り制御方式の二つである。通信速度については、従来低速から高速まで各種のものが試みられているが、今回の我々の開発方針としては、低速のデータ(50~100 b/s)を確実に伝送することを目標とした。

この低速のデータ伝送には従来FSK(Frequency Shift Keying)方式が一般に用いられているが、必ずしも満足すべき性能は得られておらず、 10^{-3} のビット誤り率を得るには回線の平均 $S/(N+I)$ として30 dB近くが必要であり、また誤り制御としてARQ方式を用

いた場合でも平均 $S/(N+I)$ は20 dB以上を必要としている⁽¹⁾。その原因の一つとして短波帯では電離層伝ばにより電波が遠隔地まで届く逆効果として、混信による妨害が非常に多いことがあげられる。この問題を解決するために、耐混信性の大きい変復調方式としてFPK(Frequency-Pattern Keying)方式を開発した。

次に誤り制御方式については、従来ARQ方式が一般に用いられている。これはデータを一定ブロックごとに区切って伝送し、誤りを検出した場合再送を要求する方式であり、通信系が1:1の場合はこれでもよいが短波帯の利用では1:nの伝送(いわゆる放送形式の通信)が比較的多く、この場合にはARQ方式の運用はきわめて困難となる。それ故自己訂正方式の導入により受信側で誤り訂正を行なうこととして、後述するBCH符号を採用し、またフェーディング、空電等による長いバースト誤りに対処するためビットインターリーブを併用した。

2.2 構成、外観および主要諸元

FPK伝送装置は一般の音声通信用短波SSB無線機と接続して使用するよう設計されており、図2.1に示すように、FPK-MODEM誤り訂正装置、およびスクランブラから構成される。

またFPK伝送装置の外観を図2.2に写真で示す。なお、写真の中央および右にあるのは、実験に用いた簡単な入出力装置(キーボードおよびプリンタ)である。入出力装置としては、適当なインターフェース回路を付加すれば通常の紙テープ式I/O等を用いることもできる。

本装置の主要諸元は、表2.1に示すとおりである。

2.3 特 長

(1) 耐妨害性

混信ならびに各種の妨害信号に対して耐性がきわめて大であり、従来A1による手動電信以外には連絡通信できなかったような不良空界状況下においても、安定なテレタイプ通信(データ伝送)が可能で

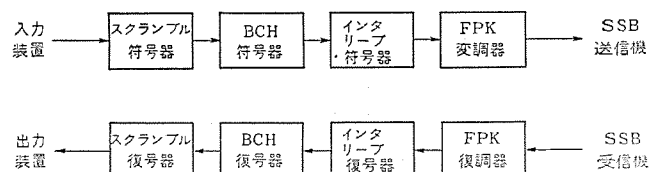


図2.1 FPK伝送装置ブロック図
Block diagram of FPK data set.

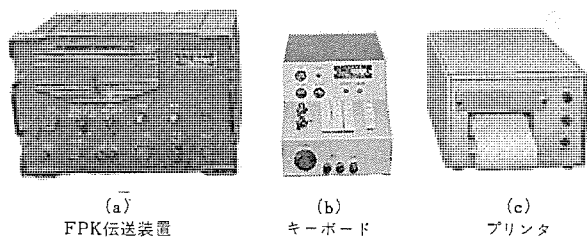


図 2.2 FPK 伝送装置および入出力装置の外観
Exterior view of FPK data set and I/O.

表 2.1 FPK 伝送装置の主要諸元
Performances of FPK data set.

伝送速度	100 bit/sec
使用周波数帯域幅	2400 Hz (300~2700 Hz)
入出力インピーダンス	無線機側 600 Ω \pm 20 % 入力側 160 Ω
無線機側入出力レベル	0 dBm (4 線)
使用電源	25.4 V DC (22~28 V) 負接地
変調方式	FPK (Frequency Pattern Keying)
復調方式	ヘテロダイン検波方式
周波数ステップ数	32
検波用 BPF 帯域幅	3 dB 低下幅 85 Hz
同期方式	従属同期方式
同期符号	M, S, くり返し
誤訂正符号	BCH 符号 (15, 7, 2)
インタリーブ数	100
同期引込時間	5.4 sec
使用温度範囲	-20°C ~ +50°C
寸法, 重量 (本体のみ)	340×233×250 mm 12 kg

ある。

(2) 送信電力の経済性

同一空界状況の下では、従来の FSK 無線テレタイプ装置に比べて -30 dB ~ -40 dB (1/1,000 ~ 1/10,000) の送信電力で、同質の通信が可能である。

(3) 周波数の有効利用性

FPK 方式は従来の狭帯域 FSK に比べ約 6 倍の帯域幅を使用するが、各 FPK 変復調器の周波数パターンを変えておけば、同一周波数で数回線の同時運用が可能であり、周波数有効利用の見地からも狭帯域 FSK にあまり劣らない。

(4) 誤りの自己訂正

従来の ARQ 方式と異なり、いわゆる Forward Acting の誤り訂正を行なうので再送要求の必要がなく受信側のみで自己訂正ができる。このため放送形式 (BC モード) でも安定なテレタイプ通信 (データ伝送) が可能である。

(5) 通信内容の秘とく

FPK-MODEM により送・受信局間の同期は自動的に取られるので、完全な同期を必要とする擬似ランダム系列を用いたスクランブラを使用するのに適し、本装置に内蔵されたスクランブラのような比較的簡単なハードウェアのものでも通信内容を十分に秘とくし得る。

(6) 各種無線機との接続

本装置は音声帯域の信号を送受信するので、無線機とは音声入出力端子を通して接続され、任意の短波 SSB 無線機との接続が可能である。

2.4 性能の概要

詳細データは 5 章で述べるが、概要を以下に記す。

(1) 室内実験データ

(a) 白色雑音の場合、ビット誤り率 1×10^{-3} を得るための S/N

誤り訂正をしない場合 約 -2 dB

誤り訂正をした場合 約 -5.5 dB

(b) 単一連続波妨害の場合、ビット誤り率 1×10^{-3} を得るための S/I

誤り訂正をしない場合 最悪 約 -4.5 dB

平均 約 -6.5 dB

誤り訂正をした場合 最悪 約 -5.5 dB

平均 約 -7.5 dB

(c) パターンの異なる FPK 妨害波の場合、ビット誤り率 1×10^{-3} を得るための S/I

誤り訂正をしない場合 最悪 約 -5 dB

平均 約 -6.5 dB

(2) 実空界実験データ

(a) 通常の空界状況下 (A3J で感明 2 ~ 4, 混信 1 ~ 3, 軽度のフェージング) での平均ビット誤り率

誤り訂正をしない場合 約 10^{-2}

誤り訂正をした場合 約 10^{-4}

(b) 特に混信の強い場合 (混信 4 ~ S/I 0 dB 以下) の平均ビット誤り率

誤り訂正をした場合 $10^{-2} \sim 10^{-3}$

以上のように、本 FPK 伝送装置を用いれば通常の空界状況下では十分安定なテレタイプ通信が可能であり、また非常に混信の強い場合もある程度使用に耐えることが確認された。

3. FPK 方式 MODEM

3.1 FPK 方式の原理

FPK (Frequency-Pattern Keying) 方式は従来の FSK (Frequency Shift Keying) 方式に広帯域通信の原理を加味して耐混信性を増大させた、当社独特の方式である。図 3.1(a) に示すように、FSK では符号 1 (マーク)、0 (スペース) に対応してそれぞれ単一の周波数 F_1 , F_0 を送信するだけなのに対し、FPK では同図 (b) に示すようにそれぞれ一定の帯域内を一定のパターンで変化する周波数を送信する。

受信側では送信側と同期しかつ同一の周波数変化パターンを持つ

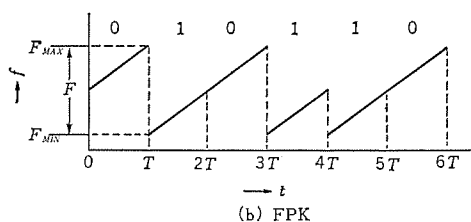
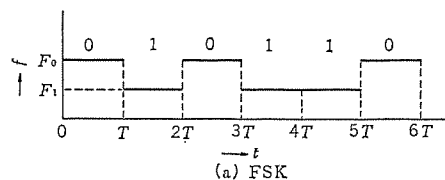


図 3.1 FSK および FPK の周波数対時間関係図
Frequency vs. time relations of FSK and FPK.

局部発振器によりヘテロダイン検波することにより、マーク信号もスペース信号もそれぞれ一定周波数のIF信号に変換し、それぞれ狭帯域のフィルタ(BPF)を通すことにより雑音や混信による妨害を軽減させるものである。

FPK方式の原理の詳細については、別に発表した論文⁽²⁾⁽³⁾を参照したい。

3.2 FPK方式の特長

(1) 広帯域通信の原理により混信妨害に強い。図3.1に示したようなFSKとFPKとでは、ほぼ $10 \log_{10}(FT/2)$ dBだけFPKのほうが強い混信に耐え得る。(付録参照) $F=2,400$ Hz, $T=10$ ms (100 b/s) とすると、これは10.8 dBとなる。

(2) FSKと同じく周波数に情報を持つので、AK(Amplitude Keying)またはPSK(Phase Shift Keying)に比べてフェーディングや位相変動に強い。

(3) 一瞬時には一周波数しか出さないのので、平均送信電力を送信機のせん(尖)頭電力一杯まで高めることができる。これは多周波を並列に送信してダイバシティ受信により耐混信性を高める方式に比べ有利である。

(4) 装置は単純なFSKよりは複雑となるが、上記の多周波並列ダイバシティ方式等に比較すればきわめて簡単である。

3.3 MODEMの構成概要

FPK方式MODEMのブロック図を図3.2に示す。周波数変化パターンは、図に示すように基準水晶発振器とプログラム分周器を用いてデジタル的に作っており、これによりきわめて正確なパターンが安定に得られる。パターンはマークもスペースも同じ形とし、ただ帯域のみをシフトさせる方式としたので、プログラム分周器は1個ですむ。また半二重通信用として設計したので、基準発振器とプログラム分周器は変調器と復調器で共用させている。なお変調器出力と復調器入力はいずれも300~2,700 Hzの帯域内に入るように設計してあるので、このMODEMは入出力レベルだけ調整すれば任意の短波SSB無線機と接続して使うことができる。

3.4 同期方式

FPKでは復調用局部発振器の周波数パターンを、受信信号のマークまたはスペースの周波数パターンと時間的に一致すなわち同期させることが絶対に必要である。このMODEMでは次のような手順で同期の引込および保持を行なっている。

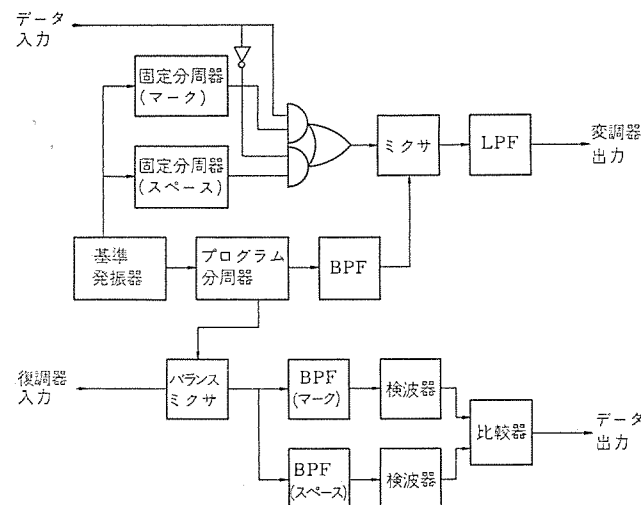


図 3.2 FPK-MODEM ブロック図
Block diagram of FPK-MODEM.

(1) 待受状態においては、復調器では周波数パターンの位相を少しずつ一定方向(遅相)にずらせる、いわゆるハンチングを行なっている。

(2) 送信側ではデータを送るのに先立って、同期符号として1と0の交互繰返し(1010...)を一定時間(約5秒)送信する。

(3) 復調器ではハンチング中に1010または0101を受信したらハンチングを停止し、同期引込状態に移る。

(4) 同期引込状態では、符号「1」が受信されている時のマーク側BPF出力の周波数をカウントし、その値がBPFの中心周波数に近付くように局部発振器の周波数パターンの位相を制御する。

(5) 同期引込状態において、1010および0101と2ビット異なる符号を受信したら、ふたたび待受状態に帰りハンチングを再開する。

(6) 一定時間以上同期引込状態が継続したら、同期保持状態に移り、もはや1010および0101と2ビット異なる符号を受信しても待受状態には戻らないようにする。

(7) 同期保持状態においても、引込状態の時と同様な手段により局部発振器の周波数パターンの位相を制御するが、制御速度は十分遅くして独立同期に近くする。

(8) データの最後の終了符号(End of Trans.)を受信したら、待受状態に戻りハンチングを再開する。終了符号を受信し損じて、タイマを内蔵して一定時間以上同期保持状態が継続したら待受状態に戻るようにしている。またそのタイマの時間より長いデータを送信したい時は、データの途中で継続符号(例えばCarriage ReturnおよびLine Feed)をそう(挿)入し、復調器では継続符号を受信したらタイマをリセットさせるようにしている。

以上のように同期の引込および保持はデジタル的処理により完全に自動的に行なわれ、無人受信が可能である。

4. 誤り訂正装置

短波帯の電離層伝ば路には、フェーディング、空電による妨害、同一周波数帯域内の他の使用者による混信妨害等が存在し、最大2~3秒の広帯域(3 kHz)の妨害が起ることが報告されている⁽⁴⁾。また当社のFPK-MODEMによる野外実験でも、0.5~1秒程度のバースト誤りが多く、最大は2秒程度であった。このようなバースト誤りと、時折発生するランダムな誤りの両方を訂正するために、ビットインターリーブしたBCH符号を用いた誤り訂正装置を採用した。

4.1 BCH(Bose-Chaudhri-Hocquenghem)符号

BCH符号は巡回符号の一種で、ランダムな誤りに強く、一般に $2^m - 1 > mt$ なる任意の m と t に対し、符号長 $2^m - 1$ 、検査ビット数 mt またはそれ以下で、 t ビット以下の任意の誤りを訂正できる符号である⁽⁵⁾。このBCH符号は情報伝送効率を一定にすると、符号長(情報ビット数+検査ビット数)を長くするにつれて誤り訂正能力 $t/(2^m - 1)$ が低下する⁽⁶⁾。それ故 10^{-1} 以上の誤り訂正能力を持ち、伝送効率ほぼ1/2までのBCH符号という選択基準により、符号長最短のBCH(15, 7, 2)符号を採用した。この符号は上記の $m=4$, $t=2$ の場合に相当し、符号長 $2^4 - 1 = 15$ ビット、検査ビット数、 $4 \times 2 = 8$ ビット、情報ビット数 $15 - 8 = 7$ ビットで、 $t=2$ ビット以下の任意の誤りを訂正できる。

(1) 本装置のBCH符号器

BCH(15, 7, 2)符号の生成多項式は

$$\begin{aligned} p(x) &= p_1(x)p_2(x) = (x^4 + x + 1)(x^4 + x^3 + x^2 + x + 1) \\ &= x^8 + x^7 + x^6 + x^4 + 1 \end{aligned}$$

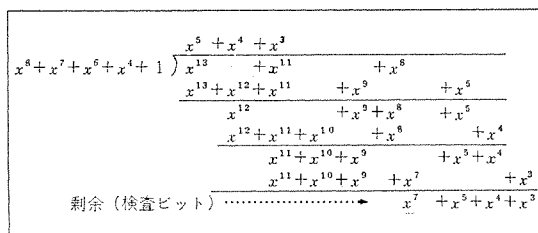


図 4.1 検査ビットの計算例
Example of calculation of check bits.

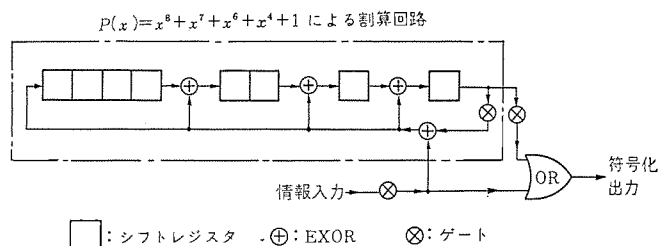


図 4.2 BCH 符号器ブロック図
Block diagram of BCH coder.

である。これによる符号化の演算を、一例として (0101001) という情報データの場合につき説明する。情報データを多項式として

$$f(x) = 0x^{14} + 1x^{13} + 0x^{12} + 1x^{11} + 0x^{10} + 0x^9 + 1x^8 \\ = x^{13} + x^{11} + x^8$$

と表わし、 $f(x)$ を $p(x)$ で割算すると剰余は

$$g(x) = x^7 + x^5 + x^4 + x^3$$

となる。(図 4.1) そして、符号化された結果は、

$$s(x) = f(x) + g(x) \\ = x^{13} + x^{11} + x^8 + x^7 + x^5 + x^4 + x^3$$

となり、符号で表わすと (010100110111000) という 15 ビットの符号に符号化される。

このような動作をする符号器は、BCH 符号の巡回性を利用してシフトレジスタと排他的論理和 (EXOR) を用いて簡単に構成できる⁽⁶⁾。BCH 符号器のブロック図を図 4.2 に示す。入力端子から入ってきた 7 ビットの情報データは、1 ビットずつ割算回路に入ると同時にそのまま出力端子からも出ていく。7 ビット入り終ると割算回路には剰余が残るので、ゲート信号を切換えて 8 ビット目から 15 ビット目まではその剰余を順次検査ビットとして出力端子から送り出せば、出力端子からは全体として情報 7 ビット + 検査 8 ビットの、BCH 符号化された 15 ビットの符号が出ていくことになる。

(2) 本装置の BCH 復号器

BCH 符号の復号理論については文献⁽⁵⁾⁽⁷⁾にゆずり、本装置に使用した Chien の方法⁽⁷⁾による復号器について概要を述べる。

BCH (15, 7, 2) の生成多項式 $p(x)$ の二つの因数

$$p_1(x) = x^4 + x + 1$$

$$p_2(x) = x^4 + x^3 + x^2 + x + 1$$

のそれぞれによる割算回路を設け、受信符号 $r(x)$ のそれぞれによる剰余を S_1, S_3 とする時誤り数を次のように判定する。

- (a) $S_1=0, S_3=0$ の時は誤りなし。
- (b) $S_1=0, S_3 \neq 0$ の時は 3 ビット以上の誤りがある。
- (c) $S_1 \neq 0$ の時は 1 または 2 ビットの誤りがある。

上記 (a) の場合は $r(x)$ の最初の 7 ビットをそのまま情報データとして取り出し、(b) の場合は訂正できない誤りであるので情報データはそのまま取り出すが、別にアラーム信号を出すようにする。(c) の場合は次のような手順により誤り訂正を行なう。

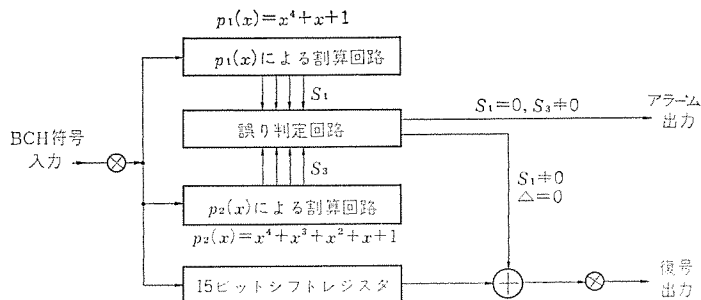


図 4.3 BCH 復号器ブロック図
Block diagram of BCH decoder.

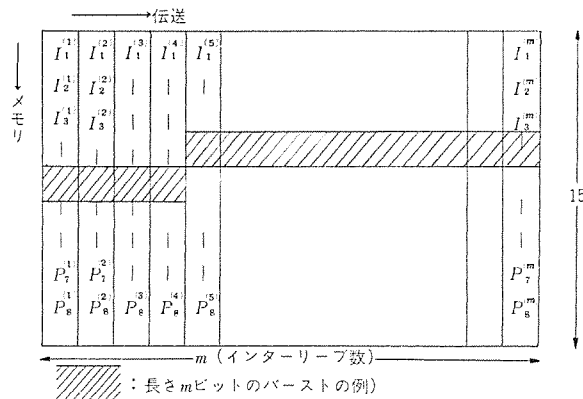


図 4.4 ビットインターリーブ説明図
Illustration of bit interleaving.

$p_1(x), p_2(x)$ による割算回路にさらに j 回シフトパルスを加えた時 (入力は 0 にして) の割算回路の内容、すなわち $x^j r(x)$ の $p_1(x), p_2(x)$ による割算の剰余を $S_{1(j)}, S_{3(j)}$ とする時、

$$A_{(j)} = S_{1(j)} + S_{1(j)}^2 + S_{1(j)}^3 + S_{3(j)}$$

を計算してこれが 0 となれば $r(x)$ 中の x^{15-j} の項が誤っていると判定し、そのビットを訂正するのである。この方法により $j=1, 2, 3, \dots$ と順次シフトパルスを加えるにつれ、 $x^{14}, x^{13}, x^{12}, \dots$ と情報ビットの受信された順に誤っているかどうか判定され訂正される。上記の手順を実行するため、復号器は図 4.3 に示すように、二つの割算回路と誤り判定回路および EXOR とから構成される。

4.2 ビットインターリーブ

ビットインターリーブとは、もともと隣接していたビットを一定間隔だけ引離してとびとびにすることで、それは次のような方法で行なわれる。すなわち、今 BCH (15, 7, 2) 符号器により符号化された符号列の場合を例として説明すると、図 4.4 に示すように情報 7 ビット ($I_1 I_2 \dots I_7$) 検査 8 ビット ($p_1 p_2 \dots p_8$) から成る BCH 符号器出力を、 m ブロックまとめてマトリクス状にメモリした後、 $I_1^{(1)} I_1^{(2)} \dots I_1^{(m)}$ $I_2^{(1)} I_2^{(2)} \dots I_2^{(m)}$ \dots $p_8^{(1)} p_8^{(2)} \dots p_8^{(m)}$ のように行と列を入れ換えて読出す。これによりもともと隣接していた $I_1^{(1)}$ と $I_2^{(1)}$ 、 $I_1^{(2)}$ と $I_2^{(2)}$ 、 \dots 等がすべて m ビットの間隔だけ引離されることがわかる。 m をインターリーブ数と呼ぶ。

受信側では送られてきた符号列をふたたび図 4.4 のようにマトリクス状にメモリした後 $I_1^{(1)} I_2^{(1)} \dots p_8^{(1)}$ $I_1^{(2)} I_2^{(2)} \dots p_8^{(2)}$ \dots $I_1^{(m)} I_2^{(m)} \dots p_8^{(m)}$ のようにふたたび行と列を入れ換えて読出せば、BCH (15, 7, 2) 符号が 1 ブロックずつ順に読出され復号が行なわれる。

このようにすると、伝送中に長さ $2m$ ビットまでの長いバースト誤りが 1 回、または長さ m ビット以下のバースト誤りが 2 回発生しても、1 ブロックの BCH (15, 7, 2) 符号中に生ずる誤りは 2 ビット以下になるから、BCH 復号器により完全に訂正できる。

本装置では、最大2秒の単一バースト誤りおよび最大1秒ずつの二重バースト誤りを訂正できるよう、

$$m=100 \text{ b/s} \times 1 \text{ sec}=100$$

に選んだ。また連続的にデータ伝送が行なえるようメモリは2台備え、1台のメモリから出力を読み出し中にもう1台のメモリに入力を書込むようにしている。半二重通信用として設計したので、符号器と復号器ではメモリを共用させている。したがって総メモリ容量は

$$C=15 \times 100 \times 2=3000 \text{ bit}$$

であり、また符号器と復号器でいったんメモリすることによる総遅延時間は、

$$T_D=3000 \text{ bit}/100 \text{ b/s}=30 \text{ sec}$$

である。

5. 実験データ

5.1 室内実験データ

(1) 白色雑音に対する、 S/N 対ビット誤り率

0.3~2.7 kHz の BPF を通した白色雑音を加えた時の、 S/N 対誤り率の実験データを図 5.1 に示す。誤り訂正装置を用いない場合のデータを実線、用いた場合のデータを一点鎖線で示す。また誤り訂正装置を用いない場合の理論値を点線で示す。図からわかるように、理論値より 0.6~1 dB 悪いが、誤り訂正装置を用いない場合 $S/N=-2 \text{ dB}$ にて誤り率 10^{-3} 、 $S/N=-0.7 \text{ dB}$ にて誤り率 10^{-4} が得られ、誤り訂正装置を用いた場合には、 $S/N=-5.6 \text{ dB}$ にて誤り率 10^{-3} 、 $S/N=-4.6 \text{ dB}$ にて誤り率 10^{-4} が得られた。

(2) 連続波妨害に対する、 S/I 対ビット誤り率

この場合は妨害波の周波数により誤り率は異なるが、誤り率が最悪の周波数 f_{BAD} 、誤り率がほぼ平均的な周波数 f_{AV} 、誤り率が比較的良い周波数 f_{GOOD} の3周波数での実験データを図 5.2 に示す。FPK 単独のデータを実線、誤り訂正装置を使用した場合のデータを破線で示す。また比較のために FSK のデータ (FPK-MODEM のプ

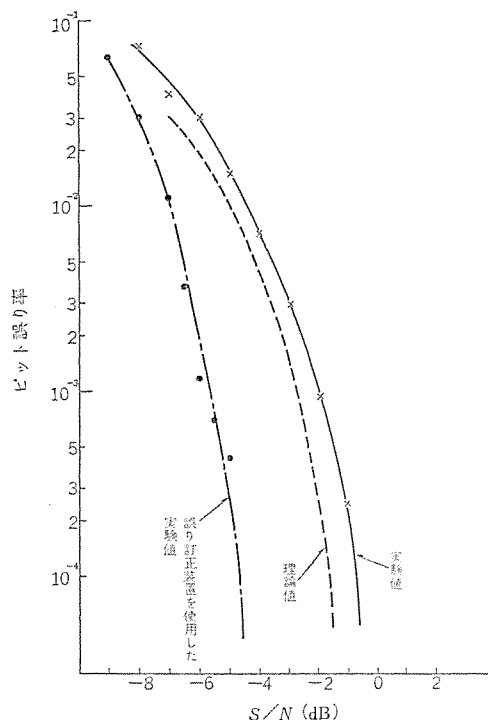


図 5.1 白色雑音 (S/N) 対ビット誤り率
White noise (S/N) vs. bit error rate.

ログラム分周器の分周数を固定させて実験したもの)を一点鎖線で示す。図からわかるとおり、FPK 単独では最悪でも $S/I=-4.7 \text{ dB}$ で誤り率 10^{-3} 、 $S/I=-4.3 \text{ dB}$ で誤り率 10^{-4} が得られ、FSK に比べ最悪でも約 6.5 dB 良い。また誤り訂正装置を使用した時は最悪でも $S/I=-5.7 \text{ dB}$ で 10^{-3} 、 $S/I=-5.5 \text{ dB}$ で 10^{-4} が得られた。

(3) 他の FPK 信号による妨害に対する、 S/I 対ビット誤り率

周波数パターン異なる他の FPK 信号による妨害の一例として、50 Bd の FPK 信号を妨害として加え、実験を行なった。希望波と妨害波のクロックの位相関係により誤り率は異なるが、誤り率の最悪な位相差 T_{BAD} 、ほぼ平均的な位相差 T_{AV} 、比較的良い位相差 T_{GOOD} の三つのデータを図 5.3 に示す。誤り訂正装置は用いていない。最悪の場合でも $S/I=-5 \text{ dB}$ で誤り率 10^{-3} 、 $S/I=-4.5 \text{ dB}$ で 10^{-4} 以下が得られた。

(4) 同期特性

白色雑音および最悪連続波妨害に対する同期引込成功率を図 5.4 に示す。実線は白色雑音、破線は連続波妨害の場合である。図 5.1 および図 5.2 と見比べることにより、いずれもビット誤り率 $3 \sim 5 \times 10^{-2}$ 以下では 100 % の成功率を示し、実用上十分な性能を持つことがわかる。

(5) まとめ

白色雑音に対する誤り率特性はほぼ理論特性どおりであり、連続波妨害に対しては FSK に比べて最悪でも約 6.5 dB、平均的には約 8.5 dB の改善が得られた。

他の FPK 信号による妨害に対しても、ほぼ連続波妨害に対するのと同じ耐混信性を示し、周波数パターンを変えれば同一バンドにて 3~4 局の同時送信を許せることがわかる。

5.2 実空界実験データ

昭和 48 年 1 月から 4 月にかけて、延約 10 日間にわたり実空界において実験を行なった。実験に使用した周波数は実験局として免許

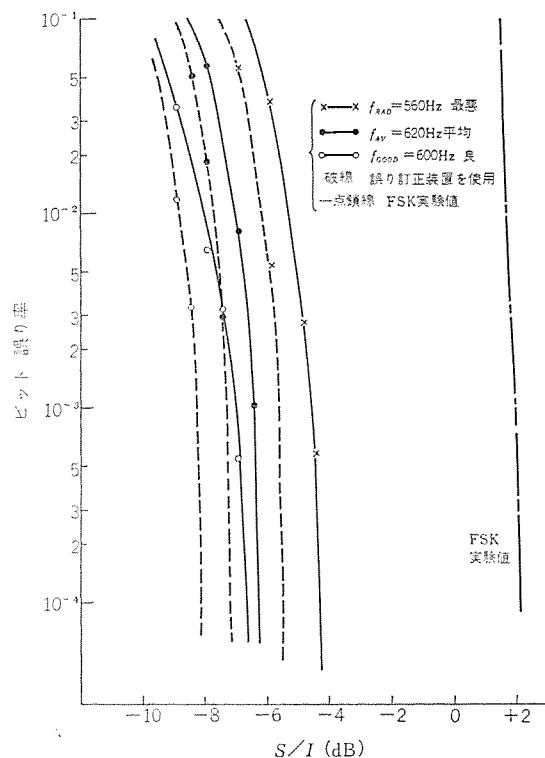


図 5.2 連続波妨害 (S/I) 対ビット誤り率
Continuous wave interference (S/I) vs. bit error rate.

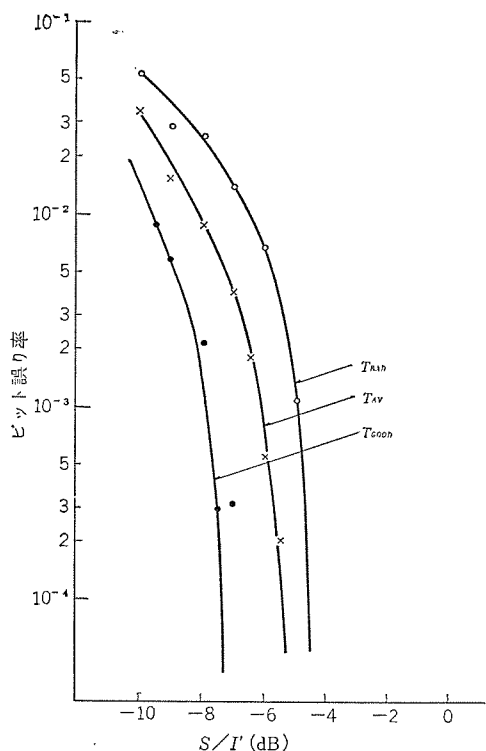


図 5.3 他の FPK 信号による妨害 (S/I) 対ビット誤り率
Another FPK signal interference (S/I) vs. bit error rate.

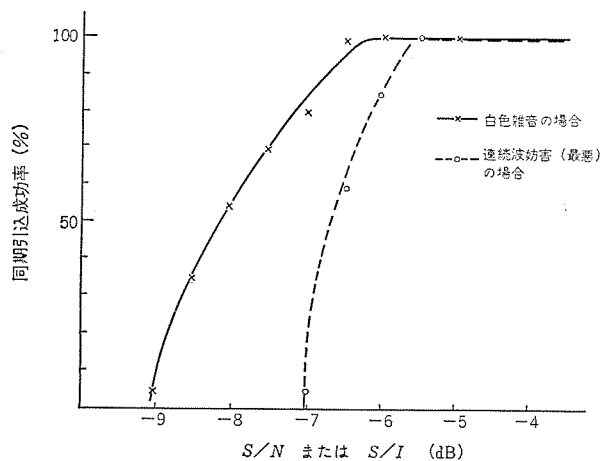


図 5.4 S/N または S/I 対同期引込成功率
 S/N or S/I vs. probability of synchronization completion.

された 3,770 kHz 1 波に限定された。このため屋間の時間帯にはきわめて通信の困難な状況が発生した。通常の短波通信においては一般に時刻に対応して最適の周波数を選択するのが原則であり、また強力な妨害波が存在する場合は周波数を変更するのが常識である。しかし本実験では上述のように 3,770 kHz 1 波に限定されたため、各種の不良空界状況が現れ FPK 伝送装置の性能検討のためにきわめて有効な実験となった。

実験の結果、通常の空界状況下（音声の感明 3～4、混信 1～3、軽度のフェージング）では、誤り訂正を行なうことによりほぼ 10^{-4} 以下のビット誤り率を得ることができ、感明（感度・明りょう（瞭）度）が 2 まで下ってもビット誤り率はほぼ 5×10^{-4} 以下で、印刷電信回線としては十分実用になるという見通しを得た。データの一例を表 5.1 に示す。

耐混信能力については、一般に信号波と妨害波のフェージングの位

表 5.1 通常の空界状況下のデータ例
Example of data under an usual condition.

月/日	時刻	通信系の構成	感明	誤り訂正なし		誤り訂正あり		ビット誤り率
				伝送ビット数	誤りビット数	伝送ビット数	誤りビット数	
4/11	1605	1	2	9520	121	8848	3	3.4×10^{-4}
	1700	2	3	10192	83	8904	1	1.1×10^{-4}
		3	3	9800	64	8680	0	
	1804	1	2～3	12320	136	8736	2	2.3×10^{-4}
	1834	2	3～4	9800	74	9576	0	
		3	3～4	12488	51	9408	0	
	1900	1	2～3	9632	43	7112	1	1.4×10^{-4}
	1922	1	2～3	11144	88	8904	1	1.1×10^{-4}
		3	3～4	14112	22	9128	0	
	2004	1	3	11928	95	9408	2	2.1×10^{-4}
		1	3	14224	113	8792	2	2.3×10^{-4}
	2040	3	4	14504	84	9240	0	
4/12	0845	1	2～3	10080	140	8120	3	3.7×10^{-4}
		1	2	12544	163	9912	3	3.0×10^{-4}
		2	3	14504	81	9576	1	1.0×10^{-4}
		3	3～4	8568	21	10192	0	
	0927	3	3～4	9800	47	8680	0	
	1000	1	3	9520	98	8848	1	1.1×10^{-4}
		3	4	14784	56	10976	0	
	1028	3	3～4	10192	39	9968	0	
	1501	1	4	9408	16	11088	0	
	1536	3	4	8624	6	10304	0	
	合計			256592	1689	214816	20	9.3×10^{-5}

* 通信系の構成はつきによる。（距離 約 90 km）

1. 送信出力 25 W リール空中線を使用
 2. 送信出力 5 W ダブレット空中線を使用
 3. 送信出力 25 W ダブレット空中線を使用
- いずれも、多少のフェージングおよび混信あり

相が異なるので室内実験程良いデータは得られないが、一般に S/I が 0 dB よりやや小さい状況下（混信 5）でも $10^{-3} \sim 10^{-2}$ のビット誤り率が得られた。それ故数字は反復伝送する等うまく運用すれば、かなり混信のある状況下でも FPK 伝送装置により印刷電信の通信は可能であると考えられる。

6. む す び

混信に強い FPK-MODEM と、パースト誤りを自己訂正するインターリーブ BCH-CODEC を用いた、短波帯用の新しいデータ伝送装置を試作し実空界での実験を行なった。その結果音声での通話がかなり困難な程の悪い空界状況下でも、 10^{-3} 程度のビット誤り率が得られることが確認され、本装置を無線印刷電信またはデータ伝送に使用すれば、従来の装置 (FSK-ARQ) を用いるよりも格段に通信の信頼度および通信可能時間を向上し得る見通しが得られた。今後自動化省力化の要求は各方面でますます強まると思われるので、従来音声およびモールス電信のみで運用していた短波回線に本装置を用いて印刷電信またはデータ伝送が大いに進出することが期待される。

終りに実験局の免許申請および実空界実験に協力された、本社お

よび製作所の関係各位に深謝する。

参 考 文 献

- (1) 入間田, 生島: 短波によるデータ伝送実験, 電波研季報, 18, No. 95, 262~271 (昭47-3)
- (2) 太田, 杉村: 耐混信性 MODEM の一方式, 電子通信学会, 通信方式研究会資料, CS 71~32 (昭46-6)
- (3) 太田, 杉村: 耐混信性 MODEM の一方式(第2報), 昭和47年度電子通信学会全国大会, No. 1660
- (4) A. W. Pierce, et al.: Effective Application of Forward-

Acting Error-Control Coding to Multichannel HF Data Modems, IEEE Trans., COM-18, No. 4, 281~294 (1970-8)

- (5) W. W. Peterson, D. T. Brown: Cyclic Codes for Error Detection, Proc. IRE, 49, No. 1, 228~235 (1961)
- (6) W. W. Peterson: Encoding and Error-Correction Procedures for the Bose-Chaudhuri Codes, IRE Trans., IT-6, No. 4, 459~470 (1960)
- (7) R. T. Chien: Cyclic Decoding Procedures for BCH Codes, IEEE Trans., IT-10, No. 4, 357~363 (1964)

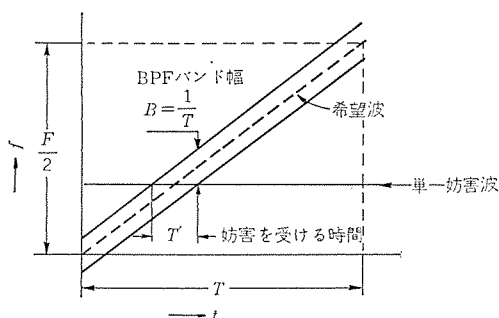
付 録

FPK 方式の耐連続波妨害能力

図3.1(b)に示したように全帯域 F を2等分し, 下半分でマーク信号, 上半分でスペース信号を送る FPK 方式を考える。すると単一連続波妨害はどちらか一方の帯域だけに入り, FPK 復調器の BPF の帯域幅を $1/T$ Hz (符号間干渉を生じない限界) にしておくと, BPF 通過後の妨害波の電力は付図1に示すように通過前の

$$T'/T = 2/(FT) = -10 \log_{10}(FT/2) \text{ dB}$$

に減少する。図3.1(a)のような FSK の場合は, 単一連続波妨害がマークかスペースのどちらかの BPF の帯域内にもしも入った時は, そのまま BPF を通過する。それ故 FPK は FSK に比べ, $10 \log_{10}(FT/2)$ dB だけ大きい単一連続波妨害を許容し得る。



付図1 FPK 復調器への単一妨害波による妨害
CW Interference with FPK demodulator.

M-345 高性能カラーキャラクタディスプレイ装置

山崎 英蔵*・赤桐 行昌**・渡辺 治**・中須 弘平**

M-345 High Performance Color Character Display

Kamakura Works

Eizō Yamazaki・Yukimasa Akagiri・Osamu Watanabe・Kouhei Nakasu

In the data processing with a computer, optimum selection of a man-machine communication terminals to act as an intermediary between a human and a computer, comes to important problems to the user with the increase of the volume of information to handle when introducing the system. The CRT display device has a number of marked merits among various input/output devices so that the demand is on the increase for it. At the same time, from the aspect of the increase of display capacity, formatting of various pictures and substantiality of editing capability, demands are increasing for the conventional devices. Under the circumstances, Mitsubishi has developed a high performance character display aiming at the improvement of picture quality and strengthening and extension of function by taking M-340 as a basis.

1. ま え が き

計算機によるデータ処理業務において、取扱う情報量の増大に伴い、人と計算機との仲介となる man-machine 機器の最適な選定はシステム導入の際、使用効率等の点からユーザにとって重要な問題となっている。

各種入出力装置の中でもキャラクタディスプレイ装置は

- (a) 応答速度が早いこと。
 - (b) カラー、プリンク等の表示フォームの指定により、情報の識別が直感的でわかり易い。
 - (c) オペレータの操作が容易であり、データ修正等が簡単に行なえる。
 - (d) 膨大な情報のうち保管必要な情報のみの選択的なハードコピーが可能である。
 - (e) 計算機との接続を回線経由で行なうことができる。
 - (f) 騒音がきわめて低く、その他人間工学的配慮が十分である。
- 等の長所を備えており、今後も引き続き需要の増加が予想されている。

当社ではこれら長所に着眼し、既に C-232, M-340 およびプロセス制御用カラーグラフィカルディスプレイ等を開発し、好評を得てきているが、今回これら実績に基づいて、機能の充実および高級化をはかったカ

ラ CRT ディスプレイの開発を行なったので以下にその概要を紹介する。

本装置の外観は図 1. 1 に仕様を表 1. 1 および表 1. 2 に示した。また計算機との接続形態を図 1. 2 に示した。

表 1. 1 M-345 表示部およびコントロール部仕様
Specifications of M-345 display section and control section.

使 用 C R T	14 インチ高分解能カラーブラウン管
表示文字数および 表示画面サイズ	2,000 字 (80 字×25 行), ヨコ 250 mm×タテ 150 mm 又は 1,024 字 (64 字×16 行), ヨコ 220 mm×タテ 125 mm
表 示 フォーム 指 定	カラー (赤, 緑, 白) プリンク 無表示
文 字 表 示 方 式	ヨコ 9×タテ 7 ドットマトリクス方式 (ラスタスキャン方式)
文 字 の 大 き さ	ヨコ 2.6×タテ 3.8 (mm) ヨコ 3.0×タテ 4.0 (mm)
表 示 字 種	英数字 (36), カナ (46), 記号 (32) 計 114 字種 (コードは JIS 6220 7 単位)
け い (罫) 線 表 示 フォーマティング機能	指定フィールドをけい(罫)線で囲むことができる スプリットスクリーン キャラクタプロテクト 数字入力フィールド指定 ライトペンディテクタブルフィールド指定 ライトペントランスミットフィールド指定 タブセット
カーソル制御機能	タブスキップ バックタブ スキャン (ライト, レフト, アップ, ダウン) ホーム ニューライン
編 集 機 能	DISPLAY CLEAR (NORMAL/PROTECT) DISPLAY ERASE (NORMAL/PROTECT) FIELD ERASE (NORMAL/PROTECT) DELETE IN LINE INSERT IN DISPLAY LINE DELETE LINE INSERT

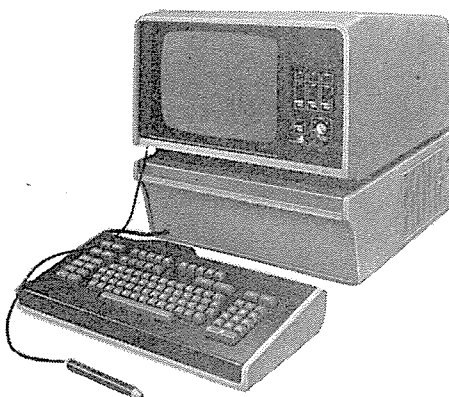
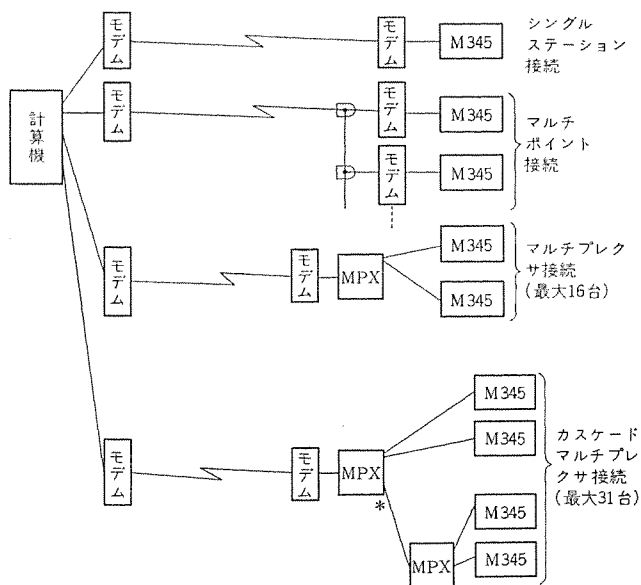


図 1. 1 M-345 外 観
Exterior view of M-345.

表 1.2 M-345 回線コントロール部仕様
Specification of M-345 circuit control section.

通 信 方 式	半二重、ポーリング方式
同 期 方 式	調歩同期式 (200 BPS 又は 1,200 BPS) 又は 独立同期式 (2,400~9,600 BPS)
インタフェース電気特性	CCITT 規格に準ずる
誤り検出方式	水平、垂直パリティチェック
誤り訂正方式	自動再送方式
アドレス方式	3キャラクタ
メッセージの種類	① CPU から M-345 に送られるメッセージ (7種) TRAFFIC POLL (WITH ACK) STATUS POLL (WITH ACK) SELECTING 電文 RETRANSMIT REQUEST 同報電文 ② M-345 から CPU に送られるメッセージ (16種) NO TRAFFIC 応答 ACK 応答 BUSY 応答 TEXT 電文 (WITH ACK, WITH BUSY) NOT BUSY 応答 (WITH ACK, WITH BUSY) INTERRUPT (WITH ACK, WITH BUSY) STAUS (WITH ACK, WITH BUSY) REPLY REQUEST



*: マルチプレクサ接続で1回線に16台以上接続したい時MPXを1台だけ図のように増設することができる。

図 1.2 計算機との接続形態
Connection with a computer.

2. 機能上の特徴

本装置は計算機でのデータ処理の容易さや効率を向上させるため、またオペレータが使用する際の操作性を人間工学的立場から改善するために、表示部やコントローラ部に機能上様々な特徴を持たせている。

2.1 表示部分

(1) 表示容量と画質

2,000文字をカラーで表示するためには従来のブラウン管では解像度、コンバージェンス等に問題があったが、高解像度ブラウン管の採用により解決することができた。このブラウン管は当社、京都製作所にお

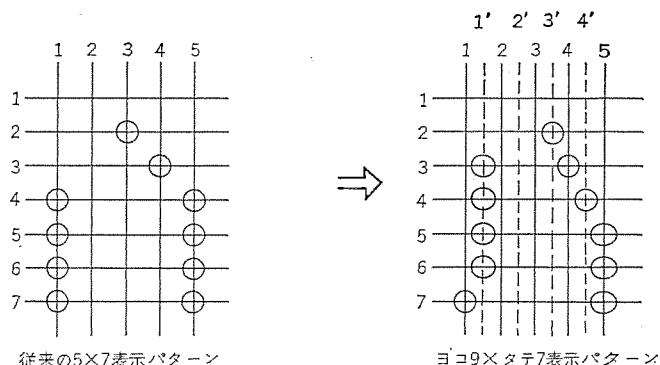
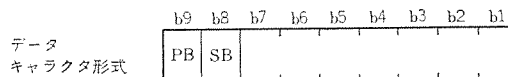


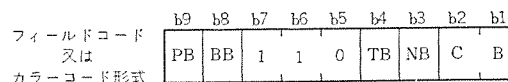
図 2.1 キャラクタパターン の従来形との比較
(カタカナのハの表示)
Comparison with the old type character pattern.



データビット…b1~b7

SB……………SB=1でコードのシフトアウトを示す。

PB……………PB=1でメモリ内でプロテクトされることを示す。



CB…………00(無表示) 01(赤) 10(緑) 11(白)

NB…………NB=1で続くフィールドが数字打込フィールドであることを示す。

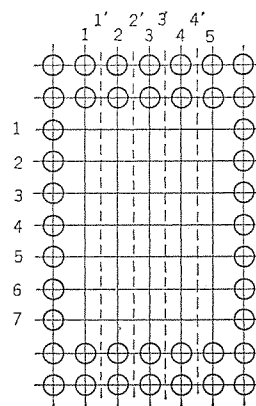
TB…………TB=1でタブセット位置であることを示す。

BB…………BB=1で続くキャラクタのプリック指定

PB…………PB=1でプロテクトキャラクタであることを示す。

注: PB+TB≠0でフィールドコードを示す。

図 2.2 メモリ書込コードのビット構成
Bit composition of memory storing code.



○印が光る。

図 2.3 無表示指定の場合の外わく(枠)表示
Outer frame display in case of no designation of display.

いて開発されたもので、シャドウマスクの単位ドットの直径およびドット間のピッチを小さくし、全体の画素数を多くすることや周辺回路の改良およびけい(蛍)光体の選定により本性能を得ている。また文字の識別を容易にするため表示されるキャラクタの構成ドット数をヨコ9×タテ7とした。図2.1にカタカナのハの従来の表示パターンとの比較を例示したが字体の不自然さが改善されている。

(2) 表示フォームの指定

画面上キャラクタを重要度や種別により修飾して表示することはオペレータに対する情報量が増し操作上の効率を上げることができる。表示フォームにはカラー3色(赤、緑、白)のほかプリック表示や無表示の指定が可能である。これらの表示フォームは図2.2に示したフ

フィールドコード (FC) や カラーコード (CC) を被修飾表示データに前置させることにより指定される。無表示指定されたエリアにキャラクタをキーインした場合、このキャラクタは表示されずに図 2.3 に示したように外ツクのみが表示されていく。アプリケーション上無表示指定は秘密データのキーイン等に用いられ、計算機にコードは送出されるがハードコピーの際プリントアウトされない。

2.2 画面のフォーマティング機能

(1) 画面分割

画面上任意の位置に計算機から EMK キャラクタを書き込むことにより編集の単位を分割することができる。これは応用上計算機からの見出し表示専用エリア、オペレータ入力専用エリアや計算機からの回答電文表示専用エリア等を目的別に同一画面上で使い分けることができる等のメリットを持っている。EMK の表示は▲である。

(2) キャラクタのプロテクト

計算機から送られてきた表示キャラクタはプロテクト指定することにより、オペレータの誤操作で消去されたりすることを防止することができる。リフレッシュメモリに書込まれる各キャラクタの9ビット目はプロテクト指定用に割り付けられている。

(3) 数字入力フィールド指定

フィールドコードのビット3 (NB) を high level とすることにより同行内の続くフィールドを数字打込みフィールドに指定できる。同フィールド内では数字以外のキーインの禁止およびオーバーフローチェックを行っており、誤ってキーインした場合キーボードがロックされエラー表示される。また電卓と同様にキーインされた数字は右からけた(桁)上げしながら入力されるので、数字のけたそろえを容易に行なうことができる。

(4) ライトペンフィールド (図 2.4 参照)

ライトペンフィールドにはライトペンディテクトابلフィールドとライトペントランスミットフィールドがある。ライトペンディテクトابلフィールド (行単位) の先頭には GS コードが最初計算機から書込まれ■マークで表示される。オペレータは同フィールド内でライトペン操作をすると GS は FS に自動的に

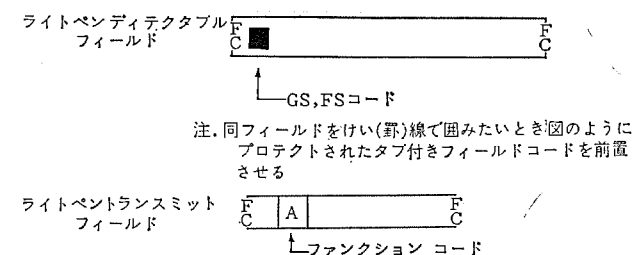


図 2.4 ライトペンフィールド
Write pen field.

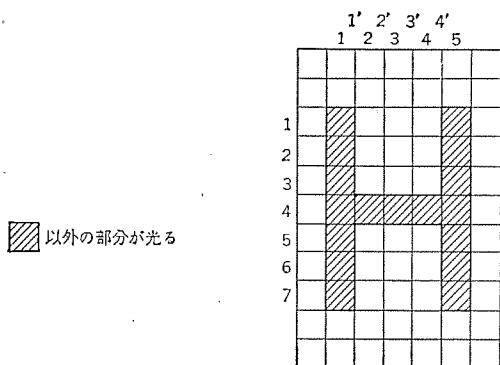


図 2.5 ファンクションコードの表示例
Example of function code display.

書き換えられ、先頭の■マークはブリンクを開始し項目が選択されたことを知らせる。

ライトペントランスミットフィールドはライトペン操作で送信起動を行いたいとき、あらかじめ計算機より指定されるフィールドであり、図 2.4 に示したようにフィールドコードの次にファンクションキャラクタを書き込むことにより作成することができる。なおファンクションコードの表示は図 2.5 に例示したように、通常の表示の場合のビデオ信号の極性を逆にした中抜き文字表示で行なっている。

ライトペンディテクトابلフィールドで項目選択する場合、同時に送信起動を行なうことも機器内のワイリング選択により可能である。計算機は FS に前置されるアドレス (GS には付加されない) を受信することにより、どの項目がオペレータにより選択されたかを認識することができる。計算機はこの後コントロール状態を元に戻したいとき、ESC GS を送信するが、これを受信すると画面上の FS はすべて元の GS に書き換えられオペレータは選択項目が計算機に正しく届いたと確認することができる。

2.3 カーソルコントロール機能

カーソルコントロール機能の一つとしてタブ機能を追加した。画面上計算機またはオペレータのキーイン操作により、あらかじめ任意の位置にタブセットを行なうことができタブまたはバックタブ操作により次にデータを入力したいフィールドの先頭にカーソルを迅速に移動させることが可能になった。

2.4 エディット機能

オペレータの編集を便利にするためにキャラクタ単位の Delete In line, Insert In Display 等の機能を追加した。また計算機から Display Clear, Display Erase および Field Erase 等の画面消去動作を行なう際プロテクト指定が可能であり、オペレータの入力を許さないエリアをあらかじめ計算機が確保することができるようになった。

2.5 送信モード

送信モードには Read Memory と Read Input の2種類ある。Read Input は計算機またはオペレータの操作により送信起動が行なわれるが、このモードの場合オペレータの入力したデータのみが送られ計算機からプロテクトされた一連のキャラクタは一つの SUB コードに置換えられ、また NUL が書き込まれた、画面上表示されていない部分は全く送られない等送信メッセージの圧縮化が行なわれ、回線の使用効率を向上させている。

Read Memory は計算機からのみ行なわれ、リフレッシュメモリに書込まれた内容がそのまま計算機に送信されるので、保守時のメモリストとして有効である。

両モード共送信範囲は SOE マークからカーソルまたは EMK までであり、改行ごとに LF コードがそう(挿)入される。

2.6 プリントコントロール方式

プリンタコントロールには A, B 二つのチャネルがあり、それぞれ次のようにプリンタフォーマットおよびプリンタ範囲を独立にワイリングにより初期設定することができる。

プリンタフォーマット

プリプリント: 伝票等のあらかじめ印刷された用紙を用いる場合で、表示キャラクタのうちプロテクトされた部分はプリントアウトされない。

プロテクトプリント: プロテクトキャラクタもプリントアウトする。

プリンタ範囲

全面プリント: 画面の最初から終りまで。

部分プリント: SOE マークからカーソル位置または EMK までの

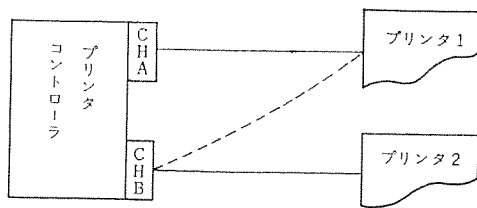


図 2.6 プリンタの接続方法
Connection of printer.

表 2.1 ステータス の内容
Contents of status.

ステータス	説明
① C R T ビジ	リフレッシュメモリあてに計算機から1時的に電文を送信できないことを示す
② プリンタ1ビジ	プリンタ1あてに計算機から1時的に電文を送信できないことを示す
③ プリンタ2ビジ	プリンタ2あてに計算機から1時的に電文を送信できないことを示す
④ プリンタ1ノットレディー	プリンタ1がダウンしておりオペレータの介入無しでは回復しないことを示す
⑤ プリンタ2ノットレディー	プリンタ2がダウンしておりオペレータの介入無しでは回復しないことを示す
⑥ 送 信 要 求	M-345 が送信電文を持っていることを示す

範囲。

それぞれのチャンネルに各1台のプリンタを接続することができるが、システムに1台しかプリンタを接続しない場合には図 2.6 の破線で示したように A, B 両チャンネルを1台のプリンタに接続することができる。この場合オペレータは二つおりに設定されたいずれかの形式を任意に選択して（キーボード上の PR 1, PR 2）プリントアウトを行なわせることができる。

2.7 回線コントロール方式

従来どおりのポーリング方式を基本としているが、伝送効率や計算機のデータ処理上の機能を高めるためグレードアップを計っている。以下に追加された機能を簡単に解説する。

(1) アドレス指定キャラクタ

従来アドレスは2レベル（RID, SID）で与えられていたが、アドレスの3キャラクタ目に DID を追加して3レベルとした。DID は M-345 を構成するモジュール単位に割当てられており、計算機からの電文の宛

先を細分化すること等が可能になった。

(2) Status Poll 機能

計算機から M-345 の状態を知りたい場合、Status Poll を行なうと M-345 は各部の状態を示す Status Indicator メッセージ応答を行なう。このメッセージに含まれる情報は表 2.1 に示したとおりである。

(3) 計算機からのアラーム機能

オペレータに注意を喚起したい場合、計算機からアラームを示すキャラクタを所定のメッセージに含ませて送信する。これを受信すると M-345 はオーディブルアラームを鳴動させ計算機からのアラームを知らせる。オペレータはこれを認識すると、あらかじめ約束されていた手順に従った操作を行なう。

(4) M-345 からのインタラプト機能

オペレータが計算機に対して割り込みを行ないたいとき、キーボード上の INT キーを押下すると Interrupt メッセージが発生して計算機に送られる。計算機はこのメッセージを受信するとあらかじめ決められた処理を行なう。

(5) 同報電文 (Broad Casting)

計算機はシステムダウン等の緊急情報を M-345 に送る場合、電文メッセージの第1レベルのアドレス RID を general なアドレスとすることにより同報電文とすることができる。同報電文を受信すると M-345 はメッセージのアドレスチェックやエラーチェックを行なわずに無条件に取込み、画面上に表示する。

3. 構 成

本装置は図 3.1 に示したような構成要素からなる。すなわち

- (1) 回線コントローラ (Line Controller)
- (2) 主コントローラ (Main Controller)
- (3) リフレッシュメモリ (Refresh Memory)
- (4) ビデオ回路 (Video Circuits)
- (5) タイミング回路 (Timing Circuits)
- (6) プリンタコントローラ (Printer Controller)
- (7) プリンタバッファメモリ (Printer Buffer Memory)
- (8) CRT モニタ (Cathode Ray Tube Monitor)
- (9) 標準キーボード (Standard Keyboard)

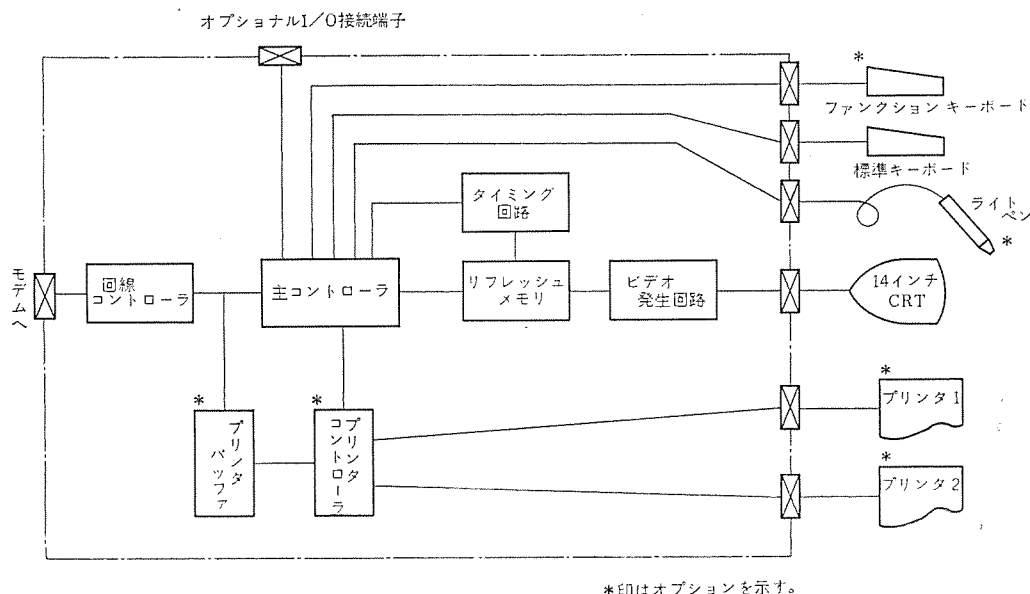


図 3.1 M-345 の構成ブロック図
Block diagram of M-345 composition.

- (10) ライトペン (Light Pen)
- (11) ファンクション キーボード (Function Keyboard)
- (12) プリンタ (Printer)

以下順を追って各部の概略を説明する。

3.1 回線コントローラ

モデムインタフェース制御部と回線制御上の各種のメッセージを処理するメッセージコントローラ部からなっている。前者では計算機から送られてくる直列データをM-345内で取扱う7ビットの並列データに変換する動作および逆にM-345からの送信データを並列から直列に変換する動作を行なっている。後者では計算機から送られてきたメッセージの解読を行ない、受信電文を主コントローラに取込むタイミングを発生させたり、必要に応じて応答のメッセージを発生させたり、主コントローラで送信要求がある場合にはこの電文の送出動作を行なったりしている。

3.2 主コントローラ

装置の中心となる部分でリフレッシュメモリのRead動作Write動作のコントロールやキーボード、回線から送られてくる各種のコントロールコードを解読して、カーソル制御およびエディット制御等を行なう編集動作また計算機やプリンタにデータを出力する送信動作やその他装置の各種ステータスをコントロールする機能を持っている部分である。

3.3 リフレッシュメモリ

リフレッシュメモリは1チップ1,024ビットのICメモリを計18個用いているが、リフレッシュの際の読み出しの各サイクルで2キャラクタずつ一度にReadすることにより等価的にメモリのアクセス速度を2倍に向上させている。

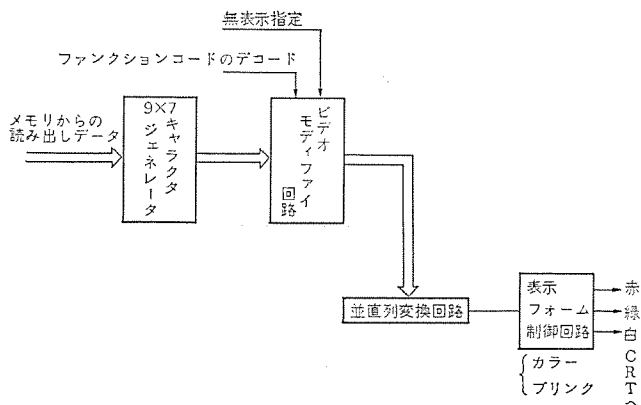


図 3.2 ビデオ回路
Video circuit.

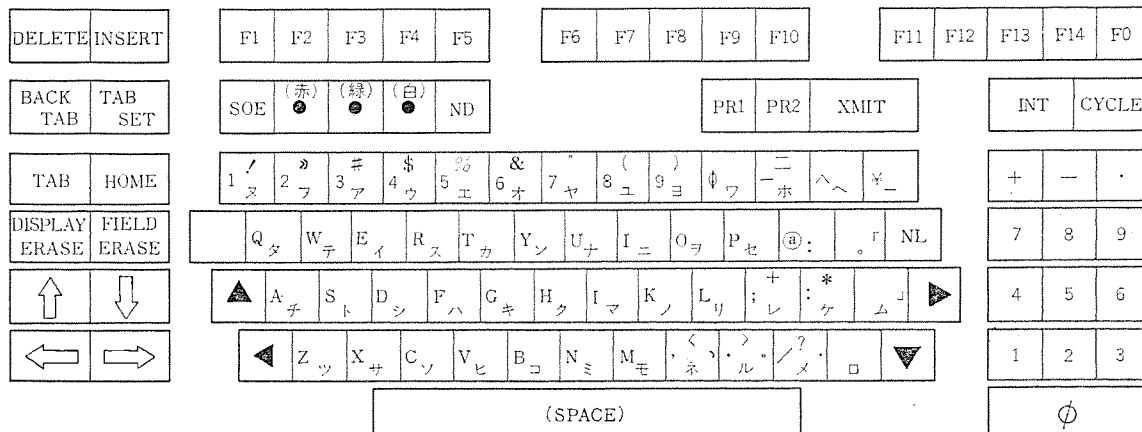


図 3.3 標準キーボード配列
Standard keyboard layout.

上させている。

3.4 ビデオ回路

バイポーラ LSI キャラクタジェネレータ、ビデオモディファイ回路および並直列変換レジスタを通してメモリからの読み出しキャラクタはビデオ信号に変換され、この後カラーやブリンク等の表示フォーム制御回路を経てCRTに送られる。ビデオモディファイ回路では無表示指定されたキャラクタの外わく表示を発生したりファンクションコード表示の場合のビデオ極性逆転の制御を行なったりしている。図 3.2 にビデオ回路の概略を示した。

3.5 タイミング回路

メモリをリフレッシュする際のアドレス指定カウンタであり、その他システムの各部に必要なクロックやタイミングを発生させている。

3.6 プリンタコントローラ (オプション)

2台までの同種のプリンタの制御が可能であり、主コントローラまたは計算機から直接プリンタの起動がかかるとプリント動作を開始する。

また必要に応じてCRT表示用コードをプリンタ専用コードに変換してプリンタに送出している。

3.7 プリンタバッファメモリ (オプション)

計算機から直接プリントアウトする場合に用いられ、この場合画面には表示が行なわれない。また画面上のデータをプリントアウトしたい場合、プリント時間として主コントローラを専有する時間をメモリ間の転送時間のみに置き換えることができるので、システムの使用効率を向上させる場合にも用いることができる。

3.8 CRT モニタ

従来同様ラスタスキャン方式を採用しており、同期信号および赤、緑、白のカラー信号が本体から送られてくる。ラスタ本数は、308本であり80字×25行表示の場合各行に11ラスタを割り当て、7ラスタをキャラクタ表示用、残り4ラスタを行間としている。CRTは14インチの高解像用でシャドウマスクのドット直径およびドット間ピッチをそれぞれ家庭用のものと比べ約1/2と小さくし、全体の画素数を増やしている。けい(蛍)光体は赤、緑、白の三色を採用している。

3.9 標準キーボード

配列は図 3.3 に示したとおりであり、構成は次に示すとおりである。

- (1) 文字入力キー: JISC 6233 の標準配列に沿った英数字、英記号、カナ、カナ記号の4段シフトタイプである。
- (2) 編集キー: キーボードの左に配列されカーソルコントロール関係8種、エディット関係4種からなる。

(3) 表示フォームキー： 赤，緑，白，無表示 (ND) の 4 種類あり，押下すると カラーコード がメモリ に書き込まれる。

(4) SOE キー： 送信または プリント する場合の転送データの先頭を設定するためのキーで，押下すると画面上▶印の表示がなされる。

(5) プリントキー： PR 1, PR 2 の 2 種類ある。

(6) 送信 キー： XMIT キーであり，押下すると▶からカーソルまでのデータが計算機に対して送出される。

(7) INT キー： 計算機の回線制御レベルのプログラムに対して割込みを行なうとき使用され，押下すると回線コントローラ内でインタラプトメッセージを発生し送信する。

(8) CYCLE キー： メンテナンスに有効なキーで，このキーを押下後文字を打ち込むと以後連続してその文字をメモリに書き続ける。セルフロックタイプのキーを採用している。

(9) TEN キー： 数字打込専用キーでキーボード上の右側に配置されている。

(10) ファンクションキー： F0～F14 までのキーでコードは JIS 6220 コード表の DEL を除く最右列 (7 列目) を割当てている。これらのキーを押下すると表示上は 4 列目に変換され，かつビデオの極性が反転された中抜き文字で画面上に表示される。またキーボード内のワイヤリング設定により SI (シフトイン)，SO (シフトアウト) のいずれかの選択を行なうことができる。

3. 10 ライトペン (オプション)

ライトペンは光検出装置であり，画面上の偏向ビームの位置検知を行なう。検出された光はペン先に内蔵されたフォトトランジスタセンサで電気信号に変換され，増幅された後電導ケーブルを通して本体のコネクタに接続される。

3. 11 ファンクション キーボード (オプション)

ファンクションキーボードは標準キーボードとは別のコネクタに増設することができ，最大 64 種の文字を発生することができる。本キーボード上のキーを押下すると送信状態に直ちになり ESC，q の 2 文字が前置されて計算機に送出される。このとき画面上への表示は行なわれない。

3. 12 プリント (オプション)

プリンタは表 3. 1 に示した 2 種類のものが用意されている。1 台の M-345 に同一種類の 2 台までのプリンタが接続可能である。

表 3. 1 プリンタ性能表
Table of printer performance

項目	タイプ	C 3481	C 3483
印 字 方 式		インパクト (タイプホイール式)	インパクト (9×7 ツイヤドット式)
印 字 速 度		20 字/秒	165 字/秒
行 印 字 数		最大 132 文字	最大 132 文字
文 字 種 類		128 字	128 字
複 写 枚 数		最大 5 枚	最大 5 枚

4. 動作概要

主コントローラを中心とした M-345 の動作は図 4. 1 に示したとおりであり，次の五つに大別される。各種制御用のコードは

- (1) ディスプレイ (Display)
- (2) データイン (Data In)
- (3) エンド (End)

(4) データアウト (Data Out)

(5) ライトペン 動作

次に，各々の動作の概要を説明する。

4. 1 ディスプレイ動作

ディスプレイ動作は常時行なわれており，メモリから読み出したキャラクタを画面上の所定の位置に表示する。表示が行なわれている間，主コントローラのメモリアクセスは禁止され，画面がちらつくの防いでいる。また M-345 では各行の行間もけい (罫) 線や無表示指定による外わく表示が行なわれているが，計算機から送られてくるキャラクタコードを処理する場合には行間もエディット時間に割当てている。このため，計算機からデータ受信時，けい線等の表示が行なわれないが視覚上問題ないうに，エディット等のデータ処理時間を補償するため，回線上そう入される time fill 用の dummy 文字の数をてい (通) 減させることができるので回線の使用効率を向上させることができた。キーボードからキーイン動作を行なった場合には，エディット動作を行間で行なうのを禁止しており flickerless な画面を実現している。

4. 2 データイン動作

計算機やキーイン動作によりコントローラに送られてくるコードにはデバイス制御用コード，編集用コードおよびメモリ書込コード等がある。これらコードの基本的な機能割付一覧は表 4. 1 に示したとおりである。コントローラはこれらを受信すると解釈を行ない，それぞれのコードに定義づけられたコントロール動作を行なう。メモリ書込コードのうちプリンタ制御用のコードはメモリに書き込まれるのみで，画面上スペースになり表示は行なわれない。これらのコードはハードコピーを行なう際のプリンタの書式制御に用いられる。

4. 3 エンド動作

計算機からの一連のデータの受信完了のとき，すなわち，ETX 受

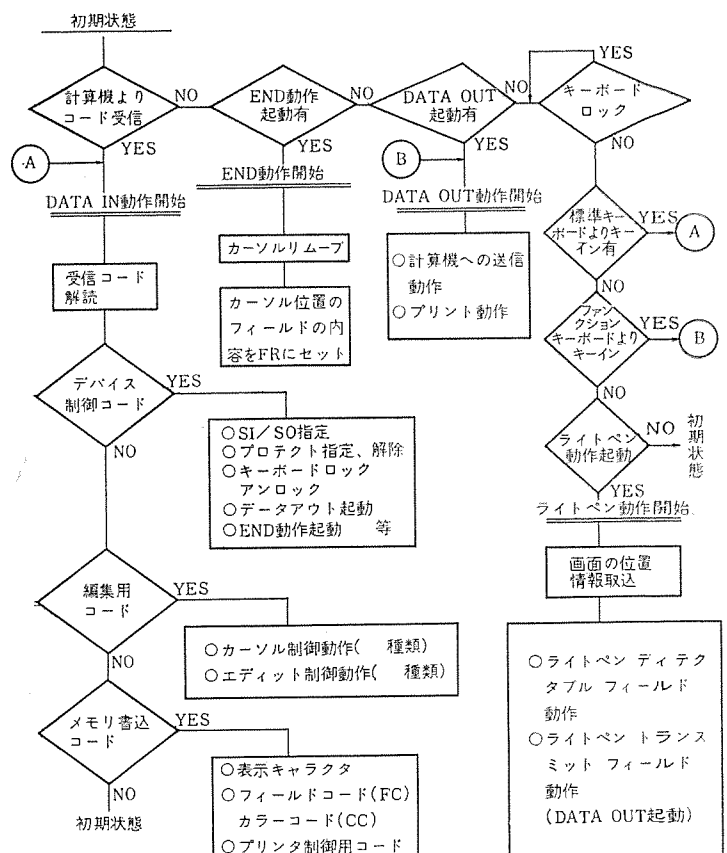


図 4. 1 M-345 動作フローチャート
M-345 operation flow chart.

表 4.1 制御用コード割付一覧表
List of control code allotment.

	割付コード	動 作
デバイス制御キャラクタ	SI	続いて受信するキャラクタがシフトイン
	SO	続いて受信するキャラクタがシフトアウト
	ESC・m	続く受信キャラクタ及びエディットコマンドがプロテクト
	ESC・n	続く受信キャラクタ及びエディットコマンドがアンプロテクト
	DC 3	キーボードロック リセット
	DC 4	キーボードロック セット
	DC 1	送信起動 (Read Input)
	ESC・DC 1	送信起動 (Read Memory)
	DC 2	プリント起動 (A Channel)
	ESC・DC 2	プリント起動 (B Channel)
フィールド制御キャラクタ	FC	フィールドコード
	CC	カラーコード
	FS	Light Pen Detected
	GS	Light Pen Detectable
編集用キャラクタ	ESC・e	Hoine
	ESC・f	Scan Up
	ESC・g	Scan Left
	ESC・h	Scan Right
	ESC・i	Scan Down
	LF	New Line
	HT	Tab Skip
	ESC・BS	Back Tab
	ESC・VT	Cursor Position 指定
	ESC・o	Display Clear
	ESC・a	Display Erasc
	ESC・b	Field Erase
	ESC・c	Delete In Line
	ESC・D	Insert In Display
エディット制御キャラクタ	ESC・j	Line Insert
	ESC・k	Line Delete
	EMK	画面分割指定
	ESC・GS	全画面の FS を GS に書き換える
	ESC・HT	Tab Set

信後またはキーボードのキーイン動作終了後、カーソルの止点がプロテクトキャラクタにあるとき、カーソルを次のオペレータの入力可能なエリアの先頭まで移動 (Remove) させる必要がある。この Remove 動作を第一段階のエンド動作 (End Operation 1) と呼んでいる。第二段階のエンド動作 (End Operation 2) では上記動作により、最終的に落ち着いたカーソル位置がいかなるフィールドに属しているかを判読し、その内容をフィールドレジスタ (FR) にセットしている。この動作は次にキーインを行なうときの数字打ち込みフィールドか否かの判定のための情報やタブセットを行なう際、色指定を自動的に元のままとするための色指定情報を記憶する必要性等の理由により行なわれている。

4.4 データアウト動作

データアウト動作は次の3種類に大別される。

- (1) 画面データの計算機への送信動作
- (2) プリント動作
- (3) ファンクションキーボードからの計算機への送信動作

画面データの送信動作は通常キーボード上の Xmit キー押下により、

開始するが、M-345 ではすでに述べたようにライトペン、またはファンクションキーを押下することにより起動をかけることもできる。またテスト時、計算機から DC 1, ESC・DC 1 等のデバイスコントロールコードを送ることにより送信起動をかけることもできる。

プリント動作はキーボード上のプリントキー、PR 1 (DC 2 発生) および、PR 2 (ESC・DC 2 発生)、または計算機からのデバイスコントロールコード DC 2, ESC・DC 2 により起動をかけることができる。DC 2 はチャンネル A, ESC・DC 2 はチャンネル B に対応している。

ファンクションキーボードからの送信動作は、3. 1. 1 項に述べたので、ここでは省略する。

4.5 ライトペン動作

ライトペンはキーボード等と同様にキーボード unlock 状態のときに動作可能である。

詳細は 2. 2 節の (4) に記述した。

5. む す び

以上、今回開発を行なった M-345 カラーキャラクタディスプレイ装置の概要の紹介を行なったが、当社では次に記述したような点から今後も引き続き、より使い易い、より高性能な装置を低コストで実現させるべく努力を重ねていく予定である。

(a) 表示技術面からのアプローチ

CRT を使用した技術は限界に近づいており、今後は原理的にコンパージュンスや画面ひずみ等の心配のないデジタルパネル表示装置の開発がさらに推進されると思われる。

(b) コントロール方式

最近 1 チップマイクロプロセッサの開発があいついでおり、これはシステムのインテリジェント化、パッケージ化、構成の柔軟性やコンパクト化等たくさんの方のメリットを持っており、有望なコントロール方式の一つである。

(c) モジュール化

目的別にシステムを最適に組み上げるためには、機能単位のモジュールの細分化およびこれらのきめ細かなワイドセレクションに対する要望がさらに強まることが予想される。

最後に本装置の開発に当り、多大なご意見並びにご協力頂いた京都製作所の関係各位に感謝の意を表したい。

参 考 文 献

- (1) 大川ほか：三菱電機技報，45，No. 12 (昭 46)
- (2) 大川ほか：三菱電機技報，46，No. 2，190 (昭 47)
- (3) 大川ほか：三菱電機技報，投稿予定
- (4) 山崎：ソフトウエア科学，2，No. 11 (昭 45)
- (5) 大川：ソフトウエア科学，3，No. 2 (昭 46)

等時間原則による2車種経路配分

半田 哲*・中堀 一郎*

Traffic Assignment of Two-type Cars
by Equal Travel Time Law

Central Research Laboratory Satoshi Handa・Ichiro Nakahori

Recently rapid increase of cars brings the road traffic to the state of congestion and stagnation everywhere. The problem of traffic assignment that directs their routes by the information concerning with the origin and destination of every car is discussed as a control method of car traffic. In the techniques of the assignment, the road characteristics of every car is treated equally. In the urban traffic, however, all sorts of cars are running in a haphazard manner; this poses a problem of lowering the function of public traffic because of adverse effect of private vehicles on it.

In this paper, we divide all cars into two-type cars according to their characteristics and show an approximation method of road characteristics and a formulation using the path flow.

1. ま え が き

自動車交通管制手法の一つとして、同一の出発地 (Origin) と目的地 (Destination) をもつ交通流群をいくつかの走行経路に配分する経路配分問題があり、配分方法は等時間原則による配分⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾と最適配分⁽⁴⁾⁽⁵⁾に大別されている。等時間原則による配分とは、各OD交通ごとにその間の利用する経路については走行所要時間は等しく、利用しない経路ではそれ以上の走行所要時間を要するという考え方である。これに対して、最適配分とは、各OD交通について総走行所要時間を最小にする配分である。

これらの配分手法ではすべての自動車の道路特性は同一に扱っている。しかし実際の道路交通では車の性能、信号の影響あるいは道路状態により車種ごとの道路特性はかなり異なり、車種間の影響力も複雑である。従って本論文では各道路枝の道路特性を2車種に大別して、トータル交通量に対する各車種の交通量の比に応じた道路特性を与える方法を提案し、簡略な定式化を行なうための近似方法を示している。また2車種マルチコモディティ問題について、パスフローを用いた等時間原則による経路配分の定式化を行ない、簡単な例題により計算機実験を行なった。

2. 2車種経路配分問題の基礎式

2.1 道路特性の近似式

道路特性として交通量—走行所要時間特性を考えれば、2車種の道路特性は図2.1のように表わされる。図2.1において交通量は2車種のトータル交通量で、特性 a は交通量がすべて車種 a の場合における車種 a の道路特性を示し、特性 b' は同じ状態における車種 b の道路特性を示す。現実には特性 b' は得られないが、車種 b の割合が非常に小さい状態を考え、これを仮想特性と呼ぶことにする。同様に特性 b は交通量がすべて車種 b の場合における車種 b の道路特性を示し、特性 a' は同じ状態における車種 a の仮想特性を示している。

本論文では図2.1で表わされた道路特性を次の2点が満足する方法により、図2.2に示すような区間線形で近似する。

(1) 車種ごとの2特性 (例えば特性 a および特性 a') の折点交

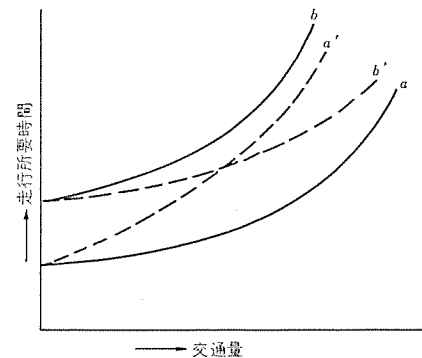


図 2.1 道路特性
Characteristics of road branch.

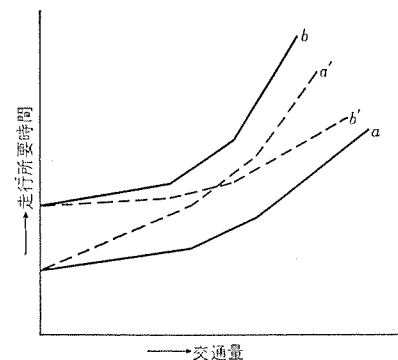


図 2.2 道路近似特性
Approximation characteristics of road branch.

通量を等しくする。

(2) 車種ごとの2特性における各区間のバイス走行所要時間を等しくする。

次に2車種が混在している場合の各車種の道路特性を考える。交通量を I 、走行所要時間を V 、道路特性を R 、走行所要時間のバイスを h で表わせば、各特性は次のように表現できる。

$$\left. \begin{aligned} \text{特性 } a : V_{a1} &= R_{a1} I_{a1} + h_a \\ \text{特性 } a' : V_{a2} &= R_{a2} I_{a2} + h_a \\ \text{特性 } b : V_{b1} &= R_{b1} I_{b1} + h_b \\ \text{特性 } b' : V_{b2} &= R_{b2} I_{b2} + h_b \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.1)$$

車種 a 交通量の トータル 交通量に対する 比率を r とした場合, 車種 a の走行所要時間 V_a を次式が成立するように与える。

$$V_a = V_{a1} + (1-r)(V_{a2} - V_{a1}) \quad (2.2)$$

同様に車種 b の走行所要時間 V_b は次のようになる。

$$V_b = V_{b1} - r(V_{b1} - V_{b2}) \quad (2.3)$$

車種 a の交通量を I_a , 車種 b の交通量を I_b とすれば, 各車種の走行所要時間は式 (2.1), (2.2) および (2.3) より次式で表わされる。

$$V_a = R_{a1}I_a + R_{a2}I_b + h_a \quad (2.4)$$

$$V_b = R_{b1}I_a + R_{b2}I_b + h_b \quad (2.5)$$

2.2 マルティコモディティ問題の定式化

道路網グラフのリンク数を l とする。車種 i についてコモディティ数を r , m 番目のコモディティのバス数を k_m とすれば, m 番目のコモディティのバスフロー $p_i^{(m)}$ は次のベクトルで表わし,

$$p_i^{(m)} = [p_{i1}^{(m)} p_{i2}^{(m)} \dots p_{ik_m}^{(m)}] \quad (2.6)$$

車種 i のバスフローベクトル P_i を次式のように定める。

$$P_i = [p_i^{(1)} p_i^{(2)} \dots p_i^{(r)}]^t \quad (2.7)$$

ただし, t は転置行列を示す。

また m 番目のコモディティの OD 走行所要時間を $t_i^{(m)}$ で表わし, 車種 i の OD 走行所要時間ベクトル T_i を次のように定める。

$$T_i = [t_i^{(1)} t_i^{(2)} \dots t_i^{(r)}]^t \quad (2.8)$$

m 番目のコモディティのバス行列 $b_i^{(m)} = \{b_{jk}\}$ を次のように定義すれば,

$$b_{jk} = \begin{cases} 1 : \text{バス } k \text{ がリンク } j \text{ を含むとき} \\ 0 : \text{バス } k \text{ がリンク } j \text{ を含まないとき} \end{cases} \quad (2.9)$$

車種 i のバス行列 B_i は次式で与えられる。

$$B_i = [b_i^{(1)} b_i^{(2)} \dots b_i^{(r)}] \quad (2.10)$$

コモディティとバスの関係を表わすために, バス東行列 $E_i = \{e_{jk}\}$ を次のように定義する。

$$e_{jk} = \begin{cases} 1 : \text{バス } j \text{ が } k \text{ 番目のコモディティに含まれるとき} \\ 0 : \text{バス } j \text{ が } k \text{ 番目のコモディティに含まれないとき} \end{cases} \quad (2.11)$$

また各道路枝の交通量 I_i および走行所要時間 V_i は l 次元ベクトルとして次式で表わされる。

$$I_i = [I_i^{(1)} I_i^{(2)} \dots I_i^{(l)}]^t \quad (2.12)$$

$$V_i = [V_i^{(1)} V_i^{(2)} \dots V_i^{(l)}]^t \quad (2.13)$$

さらに m 番目のコモディティの OD 交通量を $I_{ji}^{(m)}$ で表わし, 車種 i の OD 交通量ベクトルを次のように定める。

$$I_{ji} = [I_{ji}^{(1)} I_{ji}^{(2)} \dots I_{ji}^{(r)}]^t \quad (2.14)$$

以上の式を用いて 2 車種 a, b について定式化を行なう。バスフローとリンクフローの関係式として次式が成り立つ。

$$\begin{cases} [B_a][P_a] = [I_a] \\ [B_b][P_b] = [I_b] \end{cases} \quad (2.15)$$

2 車種の OD 走行所要時間は次式で表わされる。

$$\begin{cases} [B_a]^t [V_a] = [E_a] [T_a] \\ [B_b]^t [V_b] = [E_b] [T_b] \end{cases} \quad (2.16)$$

また各コモディティにおけるバスフローの和は OD 交通量に等しいので次式が成立する。

$$\begin{cases} [E_a]^t [P_a] = [I_{ja}] \\ [E_b]^t [P_b] = [I_{jb}] \end{cases} \quad (2.17)$$

さらに車種 a, b の各道路枝において交通量と走行所要時間を表わす関係式として, 式 (2.4) および (2.5) より次式が成立する。

$$\begin{cases} [V_a] = [R_{a1}][I_a] + [R_{a2}][I_b] + [h_a] \\ [V_b] = [R_{b1}][I_a] + [R_{b2}][I_b] + [h_b] \end{cases} \quad (2.18)$$

上式において R_{11}, R_{12} は対角行列である。

式 (2.15), (2.16), (2.17) および (2.18) をまとめれば車種ごとのバスフローおよび OD 走行所要時間は次式で表わされる。

$$\begin{bmatrix} P_a \\ T_a \\ P_b \\ T_b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [B_a]^t [R_{a1}][B_a] & -[E_a] \\ [E_a]^t & 0 \\ [B_b]^t [R_{b2}][B_a] & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} -[B_a]^t [h_a] \\ [I_{ja}] \\ -[B_b]^t [h_b] \\ [I_{jb}] \end{bmatrix} \quad (2.19)$$

3. 2 車種配分問題のアルゴリズム

式 (2.19) の解法には, 道路特性領域を逐次仮定し, くり返し計算による Katzenelson⁽⁶⁾ の手法を用いる。この場合道路特性領域が変更するたびに式 (2.19) における逆行列演算を行なう必要があるので, 計算を簡単にするために次に示す Frobenius-Schur の公式を用いる。

$$\begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{12} \\ Q_{21} & Q_{22} \end{bmatrix}^{-1} = \begin{bmatrix} Q_{11}^{-1} + Q_{11}^{-1} Q_{12} \mathcal{A}^{-1} Q_{21} Q_{11}^{-1} & -Q_{11}^{-1} Q_{12} \mathcal{A}^{-1} \\ -\mathcal{A}^{-1} Q_{21} Q_{11}^{-1} & \mathcal{A}^{-1} \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

上式で $\mathcal{A} = Q_{22} - Q_{21} Q_{11}^{-1} Q_{12}$ である。

式 (2.19) の逆行列演算部分に式 (3.1) を適用すれば次の関係式が得られる。

$$\begin{aligned} Q_{11} &= \begin{bmatrix} [B_a]^t [R_{a1}][B_a] & -[E_a] \\ [E_a]^t & 0 \end{bmatrix} \\ Q_{12} &= \begin{bmatrix} [B_a]^t [R_{a2}][B_b] & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \\ Q_{21} &= \begin{bmatrix} [B_b]^t [R_{b2}][B_a] & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \\ Q_{22} &= \begin{bmatrix} [B_b]^t [R_{b1}][B_b] & -[E_b] \\ [E_b]^t & 0 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (3.2)$$

式 (3.2) においても Q_{11}^{-1} および \mathcal{A}^{-1} の逆行列演算が必要になるが, Q_{11}^{-1} の逆行列演算は再び Frobenius-Schur の公式を適用すればよく, \mathcal{A}^{-1} の逆行列演算には次の方法を用いる。式 (2.19) における逆行列部分の部分行列を次式のようにおく。

$$\begin{cases} R_{12} = \begin{bmatrix} [B_a]^t [R_{a2}][B_b] \\ 0 \end{bmatrix} \\ R_{21} = \begin{bmatrix} [B_b]^t [R_{b2}][B_a] & 0 \end{bmatrix} \\ R_{22} = \begin{bmatrix} [B_b]^t [R_{b1}][B_b] \end{bmatrix} \end{cases} \quad (3.3)$$

式 (3.3) を用いれば \mathcal{A}^{-1} は次式のようにになる。

$$\mathcal{A}^{-1} = \begin{bmatrix} R_{22} - R_{21} Q_{11}^{-1} R_{12} & -[E_b] \\ [E_b]^t & 0 \end{bmatrix}^{-1} \quad (3.4)$$

式 (3.4) においても Frobenius-Schur の公式が適用できる。

次に道路特性領域が変更するのは 1 車種の 1 道路枝であるから, 今車種 i の道路枝 i に特性変更が生じたとすれば式 (2.19) における $[R_{i1}]$ が $[R_{i1} + \mathcal{A} R_{i1}]$ に変化し, $[R_{i2}]$ が $[R_{i2} + \mathcal{A} R_{i2}]$ に変化する。この場合は次式の逆行列演算法を用いれば簡単に計算できる。

$$\begin{aligned}
& [[B]^t [R + \Delta R] [B]]^{-1} \\
& = Q^{-1} - Q^{-1} [B]^t [B_j] Q^{-1} [B_j]^t \\
& \quad + [\Delta R]^{-1} [B] Q^{-1} \dots \dots \dots (3.5)
\end{aligned}$$

上式において $Q = [B]^t [R] [B]$ であり, $[B_j]$ は $[B]$ の j 列のみからなるベクトルを表わす。式 (3.6) において Q^{-1} の値は前ステップで求められている。

4. 計算例

図 4. 1 に示す道路網グラフにより 2 車種経路配分の計算機実験を行なった。

道路特性は次のように与えた。

道路枝 1, 3

$$\begin{aligned}
& \begin{cases} V_{a1} = 100000I + 400 \\ V_{a2} = 150000I + 400 \end{cases} & (I \leq 0) \\
& \begin{cases} V_{a1} = 0.5I + 400 \\ V_{a2} = 1.125I + 400 \end{cases} & (0 \leq I \leq 800) \\
& \begin{cases} V_{a1} = 3.5I - 2000 \\ V_{a2} = 4.125I - 2000 \end{cases} & (800 \leq I \leq 1000) \\
& \begin{cases} V_{a1} = 40I - 38500 \\ V_{a2} = 40.625I - 38500 \end{cases} & (1000 \leq I) \\
& \begin{cases} V_{b1} = 160000I + 700 \\ V_{b2} = 100000I + 700 \end{cases} & (I \leq 0) \\
& \begin{cases} V_{b1} = 0.857I + 700 \\ V_{b2} = 0.429I + 700 \end{cases} & (0 \leq I \leq 700) \\
& \begin{cases} V_{b1} = 3.667I - 1267 \\ V_{b2} = 3.238I - 1267 \end{cases} & (700 \leq I \leq 1000) \\
& \begin{cases} V_{b1} = 40I - 37600 \\ V_{b2} = 39.57I - 37600 \end{cases} & (1000 \leq I)
\end{aligned}$$

道路枝 2, 4, 5, 6

$$\begin{aligned}
& \begin{cases} V_{a1} = 100000I + h_{ak} \\ V_{a2} = 200000I + h_{ak} \end{cases} & (I \leq 0) \\
& \begin{cases} V_{a1} = 0.5I + h_{ak} \\ V_{a2} = 1.333I + h_{ak} \end{cases} & (0 \leq I \leq 600) \\
& \begin{cases} V_{a1} = 4I + (h_{ak} - 2100) \\ V_{a2} = 4.833I + (h_{ak} - 2100) \end{cases} & (600 \leq I \leq 900) \\
& \begin{cases} V_{a1} = 50I + (h_{ak} - 43500) \\ V_{a2} = 50.83I + (h_{ak} - 43500) \end{cases} & (900 \leq I) \\
& \begin{cases} V_{b1} = 180000I + h_{bk} \\ V_{b2} = 100000I + h_{bk} \end{cases} & (I \leq 0)
\end{aligned}$$

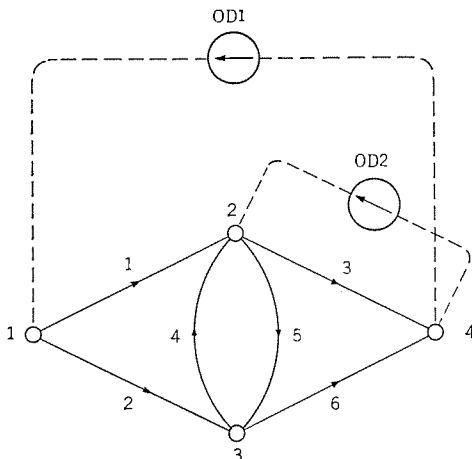


図 4. 1 例題のグラフ Graph of example.

$$\begin{aligned}
& \begin{cases} V_{b1} = I + h_{bk} \\ V_{b2} = 0.5I + h_{bk} \end{cases} & (0 \leq I \leq 600) \\
& \begin{cases} V_{b1} = 4.667I + (h_{bk} - 2200) \\ V_{b2} = 4.167I + (h_{bk} - 2200) \end{cases} & (600 \leq I \leq 900) \\
& \begin{cases} V_{b1} = 50I + (h_{bk} - 43000) \\ V_{b2} = 49.5I + (h_{bk} - 43000) \end{cases} & (900 \leq I)
\end{aligned}$$

上記で h_{ak} , h_{bk} は k 番目の道路枝の走行所要時間 バイアスを表わし次の値とした。

$$\begin{aligned}
h_{a2} &= h_{a6} = 500 \\
h_{a4} &= h_{a5} = 100 \\
h_{b2} &= h_{b6} = 800 \\
h_{b4} &= h_{b5} = 130
\end{aligned}$$

OD 交通量は ノード 1 から ノード 4 を OD 1, ノード 2 から ノード 4 を OD 2 として次の値を与えた。

$$\begin{aligned}
OD\ 1_a &= 500, OD\ 1_b = 300 \\
OD\ 2_a &= 300, OD\ 2_b = 200
\end{aligned}$$

図 4. 1 に示すグラフにおいて各 OD のパスを図 4. 2 のように与える。

図 4. 2 の各パスをリンクで表現すれば次のようになる。

$$\begin{aligned}
B_1^{(1)} &= (1, 3) \\
B_2^{(1)} &= (2, 4, 3) \\
B_3^{(1)} &= (2, 6) \\
B_1^{(2)} &= (3) \\
B_2^{(2)} &= (5, 6)
\end{aligned}$$

本例題では車種 a , b とも 5 種のパスを与え, 式 (2.19) により解を求めれば 4 回のくり返し演算で収束し, 車種 a , b の各パスフローおよび OD 走行所要時間は表 4. 1 のようになる。

表 4. 1 の結果より, パス $B_2^{(1)}$ には車種 a , b とも交通量はなく, また車種別, OD 別に等時間原則が成り立っている。さらに与えた

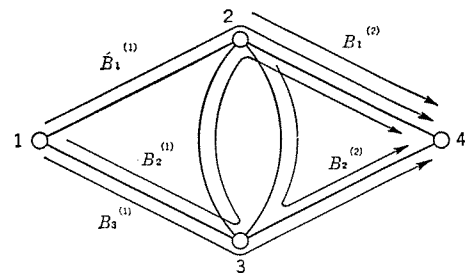


図 4. 2 OD のパス Path of OD

表 4. 1 パスフローおよび OD 走行所要時間の値 Value of path flow and OD travel time.

車 種	パ ス	パスフロー	OD 走行所要時間
a	$B_1^{(1)}$	120.25	1697.2
	$B_2^{(1)}$	-0.01	1697.2
	$B_3^{(1)}$	379.76	1697.2
	$B_1^{(2)}$	232.95	1014.8
	$B_2^{(2)}$	67.04	1014.8
b	$B_1^{(1)}$	197.52	2226.2
	$B_2^{(1)}$	0.00	2226.2
	$B_3^{(1)}$	102.47	2226.2
	$B_1^{(2)}$	192.02	1305.4
	$B_2^{(2)}$	7.98	1305.4

道路特性の車種 a を乗用車、車種 b を大形車とみなせば OD ごとに乗用車の走行所要時間が大形車の走行所要時間より短くなっている。

5. む す び

バスフローを用いた等時間原則による 2 車種 マルティコモディティ 問題の定式化を行なった。大きなネットワークを対象とした経路配分問題では簡略な定式化が重要であり、本手法の特長は道路特性の近似法にあると言える。今後多車種経路配分問題への発展とともに、都市交通では個別輸送と公共輸送を考慮した管制が必要になると思われるので、2 車種経路配分は大いに利用できるであろう。

なお 4 章の例題の計算時間は 0.6 秒 (IBM 370/165) であった。

本研究にあたり日ごろからご指導いただいている東京大学生産

技術研究所 浜田喬助教授、当社中央研究所 上村勝彦主任研究員 ならびにいろいろお世話になった当社鎌倉製作所 半場哲課長、三菱プレジジョン 榎谷辰巳主任に感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- (1) 佐々木, 井上: 交通工学, 6, No. 6 (昭 46)
- (2) 飯田: 土木学会論文報告集, 第 168 号 (昭 44)
- (3) 中堀, 半田, 斎藤: 信学会, 回路とシステム理論研究会資料, CT 72-79 (昭 48)
- (4) 浜田: 東大生研電気談話会報告, 20, No. 8 (昭 45)
- (5) 最首, 森脇: 電気学会論文誌, 92-C, No. 3
- (6) Katzenelson: The Bell System Technical Journal (1965)

行列処理言語システム MAXFORT

今 藤 一 行*・長 町 香 恵*
片 貝 広 明**・山 口 啓 子**・桂 啓 子**

Matrix Extended FORTRAN (MAXFORT)

Mitsubishi Electric Corp., Central Research Laboratory Kazuyuki Imafuji・Kae Nagamachi
Mitsubishi Research Institute, Inc., MRI Computing Center Hiroaki Katakai・Keiko Yamaguchi・Keiko Katsura

MAXFORT (matrix extended FORTRAN) has been designed as the programming language. This is an extended form of FORTRAN language, and with this the matrix and list are added as a type of new data. Problems having the matrix as their objectives are processed with a computer by a simple statement through this language. As the element of matrix and list become large in number, they come to be moved automatically on the external memory for processing. This obviates the trouble of paying attention on the size of the matrix and list for the programings.

This article outlines the MAXFORT and describes its advantages.

1. ま え が き

計算機利用の発展と共に、種々の分野で問題を行列に置き換えて、解を見い出そうという方法が取られる場合が多々ある。例えば、数値計画法、行列簿記、LSI パターンレイアウト、電力網解析等である。それらの問題に対し、専用のソフトウェアが種々開発されている。例えば、数値計画法に関しては、MARVEL、GAMMA 3 等が既に発表されている。しかし、これらの既存のソフトウェアは問題向けという色彩が強く、行列を対象とした問題に対するはん(汎)用性は少ない。MAXFORT(Matrix Extended FORTRAN) は行列を対象とした問題を計算機で取扱う場合に、はん用的に使用できるプログラミング言語として設計し、開発されたソフトウェアシステムである。MAXFORT 言語は FORTRAN 言語を拡張した形で、行列およびリストが新しいデータの型として加えられ、FORTRAN のステートメントと同じように、行列およびリストの処理が簡単なステートメントで実現できるようになっている。ここでは MAXFORT の特長および言語構成、コンパイラシステム、システムライブラリ等について述べる。

2. MAXFORT の概要

2.1 MAXFORT の構成

MAXFORT は FORTRAN 言語を拡張した形の MAXFORT 言語、その言語で記述されたプログラムを FORTRAN ステートメントに変換する MAXFORT コンパイラ、および実行時に組み込まれるシステムライブラリの 3 部分で構成されている。MAXFORT システムの処理の流れを示すと図 2.1 のようになる。

2.2 システム構成

MAXFORT システムは MELCOM-7700 電子計算機を用い、BPM (Batch Processing Monitor) のもとで開発された。MAXFORT システムを実行するには、主記憶装置にユーザ領域として最小 16k ワード必要であり、次の周辺機器を必要とする。

(1) カード読取装置

用途：ソースプログラムおよびデータを入力する。

(2) ディスク装置

用途：オブジェクトプログラム (FORTRAN プログラム)、およびエラーメッ

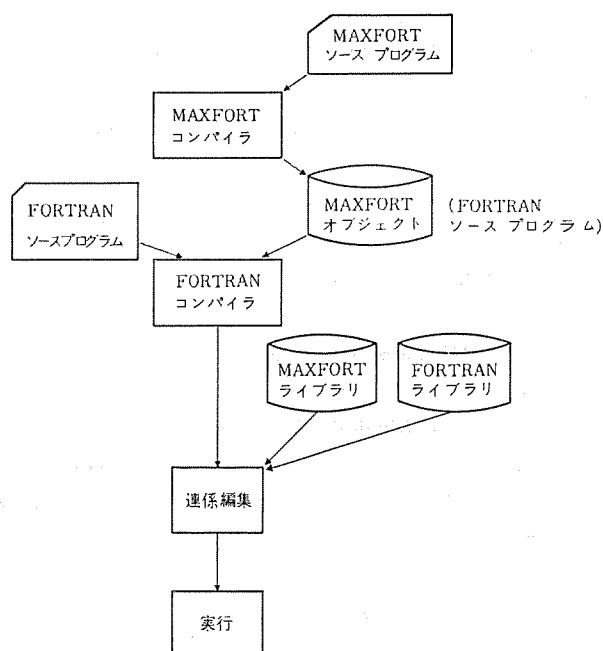


図 2.1 MAXFORT システムの流れ
Flowchart of MAXFORT system.

セージ情報を保存する。また、コア上にエリアがなくなったときの補助記憶場所としても使う。

(3) ラインプリンタ

用途：コンパイルリスト、エラーメッセージ、および実行結果を出力する。

(4) コンソールタイプライタ

用途：モニタとオペレータの命令の受け渡しをする。

MAXFORT システムが使用するハードウェア構成を示すと図 2.2 のようになる。

3. MAXFORT 言語

MAXFORT 言語は FORTRAN 言語に対して、新しいデータの型として行列、およびリストが加えられ、行列およびリストを対象とした演算が、通常の算術ステートメントのごとく扱えるように設計された言語である。ステートメントには大きく分けて 2 種類のステートメントが

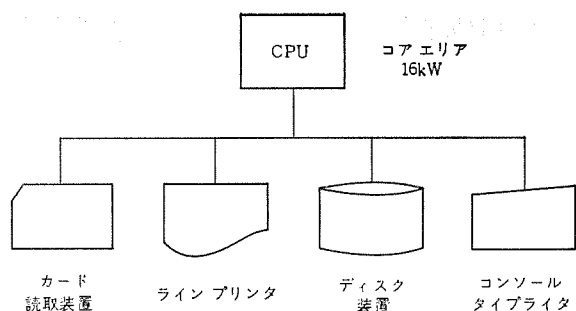


図 2.2 ハードウェア構成
Hardware organization.

ある。一つは通常の FORTRAN ステートメント（以下 F ステートメントと略す。）であり、もう一つは行列、およびリストを取扱うためのステートメント（以下 M ステートメントと略す。）である。F ステートメントの形式は通常の FORTRAN ステートメントの形式であり、一部分の制限（ステートメント番号は 4 けた（桁）まで）を除いて、文法は JIS-7000 FORTRAN に基づいている。M ステートメントの形式はブラックが意味をもつ点を除いて文法は JIS-7000 FORTRAN に準拠している。M ステートメントは第 1 カラムに記入された文字・M・によって識別される。この文字・M・は MAXFORT コンパイラの負担を軽減するためであって、文法的には何の意味ももたない。M ステートメントを機能によって分けると、次にあげるような 5 種類に分類することができる。

- (1) データ定義ステートメント
- (2) 演算・割付けステートメント
- (3) 制御ステートメント
- (4) 入出力ステートメント
- (5) その他のステートメント

3.1 データ定義ステートメント

行列名あるいはリスト名を宣言し、行列に対しては行列のデータの型を宣言する。MAXFORT で扱える行列のデータの型は整数、単精度実数、倍精度実数、文字 4 文字、文字 8 文字の 5 種類があり、それらは MATRIX ステートメントで明示的に宣言するか、省略時解釈（単精度実数が取られる）によって定まる。リストは 8 文字以下の文字データの要素によって構成され、行列の行名あるいは列名をまとめて演算する場合に使われる。

行列の宣言の一般形式を次に示す。

```
M MATRIX 行列名 [type [* byte]
    [/RNAME=行名 1 行名 2...../]
    [/CNAME=列名 1 列名 2...../]
    [, 行列名.....]
```

リストの宣言の一般形式を次に示す。

```
M LIST リスト名 [/データ 1 データ 2...../]
    [, リスト名 [/データ 1 データ 2...../]
```

例

```
M MATRIX MAX1, MAX2 INTEGER *4
M LIST LIST1 /A B C/, LIST2
```

このような MATRIX 宣言が行なわれると MAX1, MAX2 が各々行列名として登録される。行列 MAX1 は省略時解釈により、単精度実数データの型が与えられ、MAX2 に対しては明示的に宣言されているので整数データの型が与えられる。また、下の LIST 宣言では LIST1 がリスト名として登録される。

3.2 演算・割付けステートメント

3.2.1 行列およびリストの参照

MAXFORT では行列の要素と、その要素に含まれているデータを明確に区別している。行列の要素とは入れものであり、その中に入っているのがデータである。従って、要素を参照する場合と、データを参照する場合とは当然その形式が異なっている。

行列の要素を参照する場合には次の形を用い、これを M 表記という行列名（行名、列名）

行列のデータを参照する場合には次の形を用い、これを V 表記という。

（行列名、行名、列名）

行列の行名を参照する場合は次の形を用いる。

行列名（行名、*）

行列の列名を参照する場合は次の形を用いる。

行列名（*, 列名）

リストを参照する場合は次の形を用いる。

〔リスト名〕

リストのデータを参照する場合は次の形を用いる。

〔リスト名（データ）〕

次に例とその意味を示す。

MAX (ROW 1, COL 1)	行列 MAX の要素 (ROW 1, COL 1)
MAX (ROW 2, *)	行列 MAX の行名 ROW 2
MAX (*, COL 2)	行列 MAX の列名 COL 2
(MAX, ROW 3, COL 3)	行列 MAX の要素 (ROW 3, COL 3) にセットされているデータ
〔RLIST〕	リスト名 RLIST のリスト
〔CLIST (CO)〕	CLIST のデータ・CO

3.2.2 演算・割付けステートメント

(1) 行列に関する演算

行列を対象とする演算には行列自身の演算、行列の要素に対する演算、行列のデータに対する演算等がある。行列自身の演算には次に示す 3 種類の演算がある。

(a) 和集合算

演算子・OR・で示され、二つの行列の要素間の和集合を求める。行名あるいは列名の順序、およびデータは第 1 オペランドの行列のものが優先する。

(b) 差集合算

演算子・DIF・で示され、二つの行列の要素間の差集合を求める。行名あるいは列名の順序、およびデータは第 1 オペランドの行列のものが優先する。

(c) 積集合算

演算子・AND・で示され、二つの行列の要素間の積集合を求める。行名あるいは列名の順序、およびデータは第 1 オペランドの行列のものが優先する。

行列の要素に対する演算には次に示す 5 種類の演算がある。

(a) 行名、あるいは列名の追加

演算子・+・で示され、行名あるいは列名リストの最後に、行名あるいは列名を加える。また、・AFTER・、あるいは・BEFORE・の指定によって任意の位置に、行名あるいは列名を加えることができる。

(b) 行名あるいは列名の削除

演算子・-・で示され、行名あるいは列名リストから、行名あるいは列名を除く。

(c) 要素の追加

演算子・+・で示され、行列に要素を加える。要素を指定する行名、あるいは列名が行列に存在しない場合は、行名あるいは列名も加えられる。

(d) 要素の削除

演算子・-・で示され、行列から要素を除く。

(e) 行名あるいは列名の変更

・=・で示され、左辺の行名、あるいは列名を右辺のデータに置き換える。

また、これらの演算はリストを用いて、まとめて演算をすることができる。

(2) リストに関する演算

リストを対象とする演算にはリスト自身の演算、リストの要素に対する演算等がある。リスト自身の演算には次に示す3種類の演算がある。

(a) 和集合算

演算子・OR・で示され、二つのリストの要素間の和集合を求める。要素の順序は第1オペランドのリストのものが優先する。

(b) 差集合算

演算子・DIF・で示され、二つのリストの要素間の差集合を求める。

(c) 積集合算

演算子・AND・で示され、二つのリストの要素間の積集合を求める。要素の順序は第1オペランドのリストのものが優先する。

リストの要素に対する演算には次に示す3種類の演算がある。

(a) 要素の追加

演算子・+・で示され、リストの最後に要素を加える。また、・AFTER・、あるいは・BEFORE・の指定によって、任意の位置に要素を加えることができる。

(b) 要素の削除

演算子・-・で示され、リストから要素を除く。

(c) 要素の変更

・=・で示され、左辺の要素を右辺のデータに置き換える。

(3) 行列あるいはリストの割付け

・=・で示され、右辺の行列、あるいはリスト、または演算の結果の行列、あるいはリストを左辺の行列、あるいはリストに割付ける。演算・割付けステートメントの例を図3.1に示す。

3.3 制御ステートメント

3.3.1 IF ステートメント

IF ステートメントには次に示す3種類がある。

算術 IF ステートメント

論理 IF ステートメント

要素 IF ステートメント

これらの IF ステートメントはプログラムの実行の流れを変更したいときに用いる。

(1) 算術 IF ステートメント

一般形式を次に示す。

M IF (ex) n_1 , n_2 , n_3

ex は行列のデータを含む算術演算式で、 n_1 , n_2 , n_3 はそれぞれ実

MAT1

*	X	Y	Z
A	1.0	2.0	3.0
B	4.0	5.0	6.0

MAT2

*	X	Y	Z
A	7.0	8.0	9.0
C	10.0	11.0	12.0

M MAT2=MAT2+MAT2("D",Y)

M (MAT2,"D","Y")=0.0

M MATX=MAT1.OR.MAT2

MATX (実行結果)

*	X	Y	Z
A	1.0	2.0	3.0
B	4.0	5.0	6.0
C	10.0	11.0	12.0
D		0.0	

LIST1

A
B
D

LIST2

A
B
C

M |LIST1("A")|= "AAA"

M |LIST1|=|LIST1|+"C"AFTER"B"

M |LISTX|=|LIST1|.AND.|LIST2|

LISTX (実行結果)

B
C

図 3.1 演算・割付けステートメントの例
Examples of assignment statements.

行可能なステートメントにつけられているステートメント番号である。プログラムの実行は ex の値の負、零、正によって、それぞれ n_1 , n_2 , n_3 に移る。

例 M IF ((MAX, A, X) -1.0) 10, 20, 30

プログラムの実行は行列 MAX の要素 (A, X) にセットされているデータから 1.0 をひいた値の負、零、正によって、それぞれステートメント番号 10, 20, 30 に移る。

(2) 論理 IF ステートメント

一般形式を次に示す。

M IF (ex) S

ex は行列のデータを含む論理演算式で、S はステートメントである。ただし、F ステートメントの Specification ステートメント、DO ステートメント、IF ステートメントおよび M ステートメントは使えない。プログラムの実行は論理演算式が真であればステートメント S の実行後、次のステートメントに移る。

偽であれば次のステートメントに移る。論理演算式は比較2項演算式のみで、使用できる演算子は次の6種である。

.GT. より大 (>)

.GE. より大、あるいは等しい (\geq)

.LT. より小 (<)

.LE. より小、あるいは等しい (\leq)

.EQ. に等しい (=)

.NE. に等しくない (\neq)

例 M IF ((MAX, B, Y) .LT. 0.0) GO TO 40

プログラムの実行は行列 MAX の要素 (B, Y) にセットされているデータの値が 0.0 よりも小さければステートメント番号 40 に移り、そうでなければ次のステートメントに移る。

(3) 要素 IF ステートメント

一般形式を次に示す。


```

M READ(105,"TABL")MAX
      *MAX  X   Y   Z
      A      1.0 2.0
      B      3.0 4.0 5.0
      C      6.0 7.0
      ENDATA
MAX (実行結果)

```

*	X	Y	Z
A	1.0	2.0	
B	3.0	4.0	5.0
C	6.0	7.0	

図 3.3 行列形式の入力
Input format of table type.

```

MAX


|   |     |     |     |
|---|-----|-----|-----|
| * | X   | Y   | Z   |
| A | 1.0 | 2.0 |     |
| B | 3.0 | 4.0 | 5.0 |
| C | 6.0 | 7.0 |     |


M WRITE(108,"DATA")MAX
NAME MAX
ROWS
      X      Y      Z
COLUMNS
      A      X      1.0 Y      2.0
      B      X      3.0 Y      4.0
      B      Z      5.0
      C      Y      6.0 Z      7.0
      ENDATA

```

図 3.4 要素指定形式の出力
Output format of data type.

(c) COLUMNS カード

行列の場合に用いられ、このカードの次から列名、行名、データを一つのグループとして記入したデータが続き、行列に対し、列名およびデータを与えることを示す。

(d) ELEMENTS カード

リストの場合に用いられ、このカードの次からリストの要素を与えるデータが続くことを示す。

(e) データエンドカード

文字「ENDATA」と記入したカードで、データの終りを示す。

要素指定形式の出力の例を図 3.4 に示す。

(3) ユーザ指定形式

ユーザが指定した FORMAT に従って行列のデータを入出力する。

ユーザ指定形式の入力の例を図 3.5 に示す。

(4) Software Package 標準形式

Software Package の標準入出力形式で行列のデータを入出力する。この Version では FMPS(Functional Mathematical Programming System) の標準入出力形式が扱える。

Software Package 標準形式の出力の例を図 3.6 に示す。

3.5 その他のステートメント

その他のステートメントには SUBROUTINE, FUNCTION, BLOCK DATA, CALL, RETURN, END ステートメント等があり、機能的には FORTRAN の各ステートメントと同じである。ただし、FUNCTION ステートメントには仮引数として、行列名およびリスト名を用いることはできない。SUBROUTINE ステートメントの仮引数、および CALL ステートメントの引数として、行列名およびリスト名を用いる場合には、行列名およびリスト名の前に文字「\$」を付けなければならない。

例 M SUBROUTINE (\$MAX, \$|RLIST|, N)

```

M READ(105,5000)(MAX,"A","X"),(MAX,"A","Y")
      (MAX,"B","Z"),(MAX,"C","Y")
5000 FORMAT(4F5.0)

```

1.0	2.0	3.0	4.0
-----	-----	-----	-----

MAX (実行結果)

*	X	Y	Z
A	1.0	2.0	—
B	—	—	3.0
C	—	4.0	—

図 3.5 ユーザ指定形式の入力
Input format of user specified type.

```

M PROBLEM WRITE 108 FMPS NAME=MAT1,TYPE=CONST,
      @RHS=MRHS
MAT1


|   |      |      |      |
|---|------|------|------|
| * | X    | Y    | Z    |
| A | 1.0  | 2.0  | 3.0  |
| B | 4.5  | 5.0  | 6.0  |
| C | 7.0  | 8.0  | 9.0  |
| D | 10.0 | 11.0 | 12.0 |


CONST


|   |   |
|---|---|
| * | X |
| I | N |
| J | E |
| K | L |
| L | L |


MRHS


|     |       |       |       |       |
|-----|-------|-------|-------|-------|
| *   | A     | B     | C     | D     |
| AAA | 100.0 | 200.0 | 300.0 | 400.0 |


NAME MAT1
ROWS
N A
E B
L C
L D
COLUMNS
X A 1.0 B 4.0
X C 7.0 D 10.0
Y A 2.0 B 5.0
Y C 8.0 D 11.0
Z A 3.0 B 6.0
Z C 9.0 D 12.0
RHS
AAA A 100.0 B 200.0
AAA C 300.0 D 400.0
ENDATA

```

図 3.6 FMPS 標準形式の出力
Output format of FMPS normal type.

この例では識別名 MAX は行列名、RLIST はリスト名、N は単なる仮引数として、呼び出し側から引き渡されることを示している。

4. MAXFORT コンパイラ

MAXFORT コンパイラは MAXFORT 言語で書かれたソースプログラムに対して、F ステートメントおよびコメントは、そのままオブジェクトとして出力し、M ステートメントは F ステートメントの並び、またはサブルーチンコールの形のステートメントに変換してオブジェクトとして出力する。M ステートメントは次に示す手順で処理される。

- (1) ステートメントを項に分け、Hush Table を作る。
- (2) ステートメントを分類する。
- (3) ステートメントの処理をする。
- (4) エラーがあればエラーコードをセットし、エラーがなければオブジェクトを作る。

コンパイラの概略の流れを図 4.1 に示す。

コンパイラ自身は一部の文字取扱いに関してアセンブラ言語を用いているのを除いて、FORTRAN 言語を用いて記述されている。次にコンパイラの処理手順の例を示す。

例 M MAX1=MAX1+MAX1(*ROWX,*)

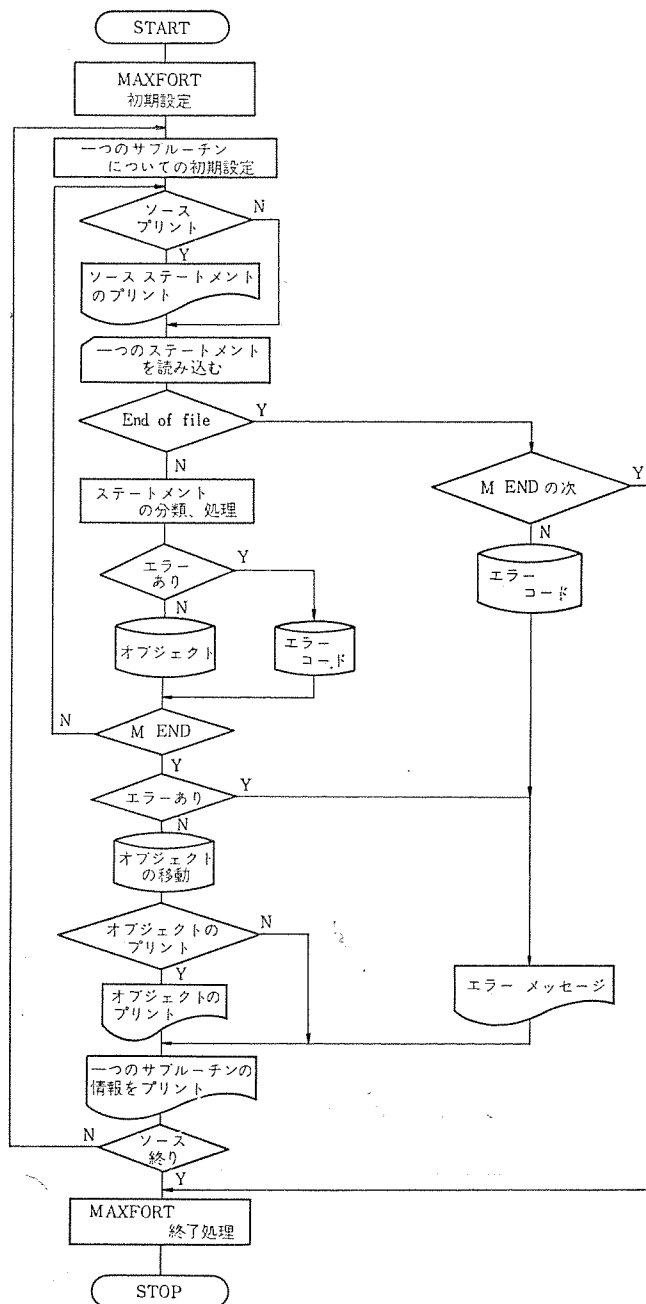


図 4.1 コンパイラの概略の流れ
General flowchart of MAXFORT compiler.

ただし、行列 MAX1 はデータ定義ステートメントで宣言され、行列ダイレクトリに登録されているものとする。

第1カラムの文字・M・によって M ステートメントであることがわかる。

- (1) Hush Table を作る。
- (2) 第1項の文字・MAX1・によって演算・割付けステートメントと識別する。
- (3) 演算割付けステートメント解析ルーチン呼び、エラーの有無を調べる。
- (4) エラーがなければ次のようなオブジェクトを作る。
CALL ERCAS\$(M\$, ROWX, 1, 0)
MAXFORT コンパイラに対して次の情報をオプションとして指定できる。下線およびかっこ内の数字は default である。

- (1) ソースプログラムリストの要否
- (2) オブジェクトプログラムリストの要否
- (3) オブジェクトプログラムデックの要否

- (4) ソースプログラム内で使用できる行列の最大数 (10)
- (5) ソースプログラム内で使用できるリストの最大数 (20)
- (6) コア上にセットできるリストの要素の最大数 (500)
- (7) コア上にセットできる行名と列名の最大数 (500)
- (8) コア上にセットできる行列のデータの最大数 (1,000)
- (9) 実行時のワーニングエラーメッセージのプリントの要否
- (10) オブジェクト作成のレベル (0)

0 : エラーがあれば MAXFORT オブジェクトモジュールは作らない。
1 : エラーがあっても MAXFORT オブジェクトモジュールを作る。
2 : エラーがあれば MAXFORT オブジェクトモジュールをラインプリンタに出力するが、FORTRAN コンパイラへの入力となるオブジェクトは作らない。

5. システムライブラリ

MAXFORT コンパイラがオブジェクトとして出力する FORTRAN ステートメントには、前処理および後処理のためのステートメントとサブルーチンコールの形のステートメントがある。

システムライブラリとはこのコールされるサブルーチン群をいい、実際に行列、およびリストの演算等が行なわれるのに必要なすべてのサブルーチンを含んでいる。システムライブラリはその対象により次の4種類に分けることができる。

- (1) リストを対象とするもの 12 個
- (2) 行列の要素を対象とするもの 13 個 (うち ENTRY 4 個)
- (3) 行列自身を対象とするもの 24 個 (うち ENTRY 6 個)
- (4) その他 7 個

以上の 56 個 (うち ENTRY 10 個) のサブルーチンがシステムライブラリを構成している。システムライブラリは一部の文字取扱いに関して、アセンブラ言語を用いているのを除いて、FORTRAN 言語を用いて記述されている。

6. 行列およびリストの構造

行列およびリストの構造は、コア上とファイル上の2種類に分けられる。行列およびリストの処理は、原則としてコア上で行なわれるが、一つの行列、あるいはリストが大きくてコア上に入らない場合はファイル上で処理される。

6.1 コア上の構造

6.1.1 行列

行列は行方向、および列方向からデータを参照できる構造になっており、図 6.1 に示すように4部分で構成される。

(1) 行列ダイレクトリ

12ワードの領域からなり、行列名、行名リストのポインタ、列名リストのポインタ、行名の数、列名の数、データの属性等宣言された個々の行列に関する現在の情報を持っている。

(2) 行および列リスト

4ワードの領域からなり、行名あるいは列名、行名のポインタあるいは列名のポインタの情報を持っている。

(3) データリスト

8ワードの領域からなり、行名、列名、データ、データのポインタの情報を持っている。

6.1.2 リスト

リストの構造は図 6.2 に示すように2部分で構成される。

(1) リストダイレクトリ

7ワードの領域からなり、リスト名、データの数、データリストのポインタ等宣言された個々のリストに関する現在の情報を持っている。

(2) データリスト

3ワードの領域からなり、データおよびデータのポインタの情報を持っている。

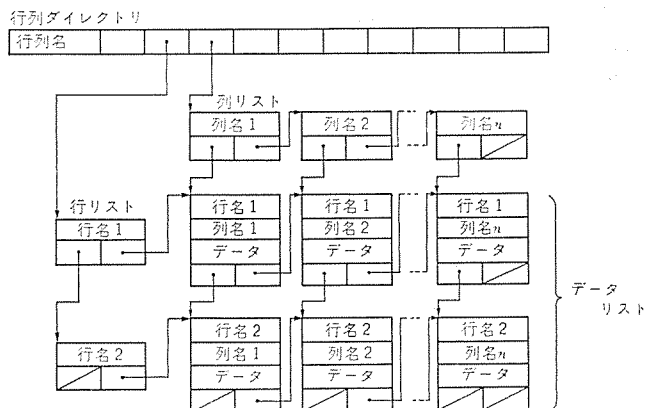


図 6.1 コア上の行列の構造
Structure of matrix on core.

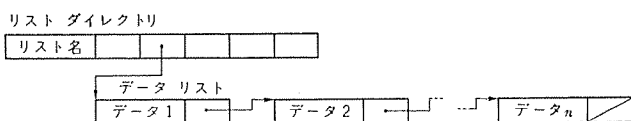


図 6.2 コア上のリストの構造
Structure of list on core.

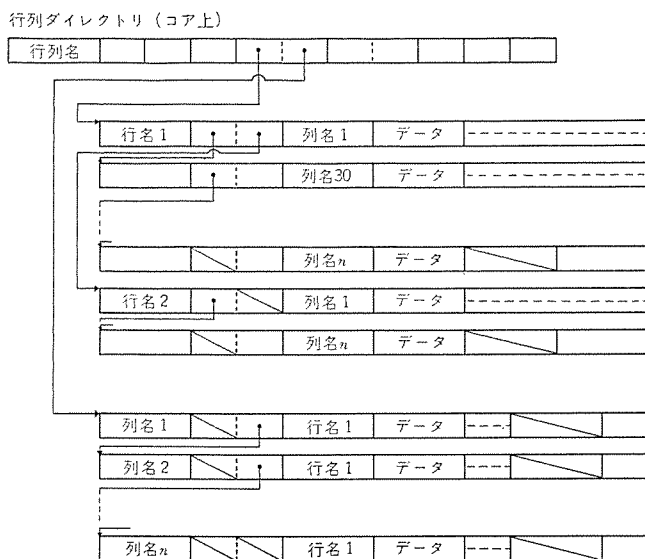


図 6.3 ファイル上の行列の構造
Structure of matrix on file.

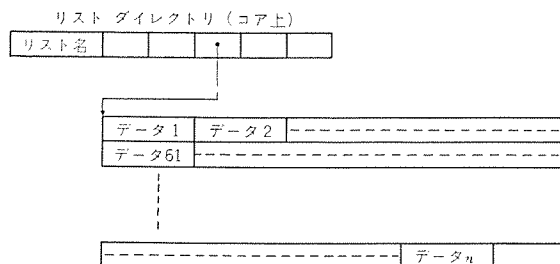


図 6.4 ファイル上のリストの構造
Structure of list on file.

6.2 ファイル上の構造

6.2.1 行列

行列は行列単位でファイル上に書き出される。データは通常1レコード120ワードとして書き出され、行方向および列方向どちらからでも検索できるように、行リスト中心データと列リスト中心データの2種類で構成される。ファイル上の行列に関する情報は行列ダイレクトリに保持されている。図 6.3 にファイル上の行列の構造を示す。

6.2.2 リスト

60個のデータを1レコードとして、ファイル上に書き出される。ファイル上のリストに関する情報はリストダイレクトリに保持されている。図 6.4 にファイル上のリストの構造を示す。

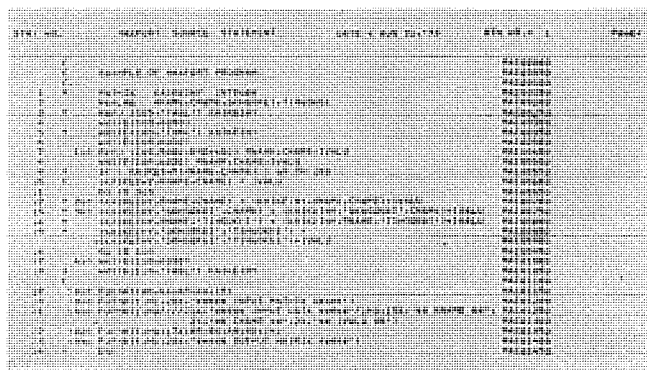


図 7.1 MAXFORT ソースプログラムの例
Example of MAXFORT source program.

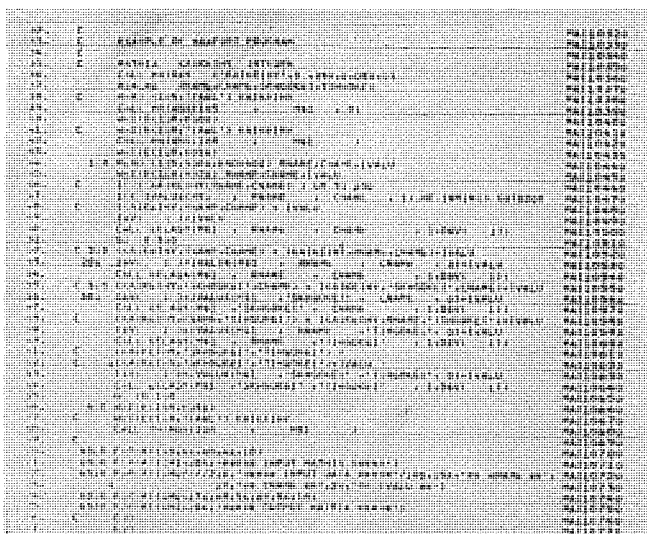


図 7.2 MAXFORT オブジェクトプログラムの一部
Part of MAXFORT object program.

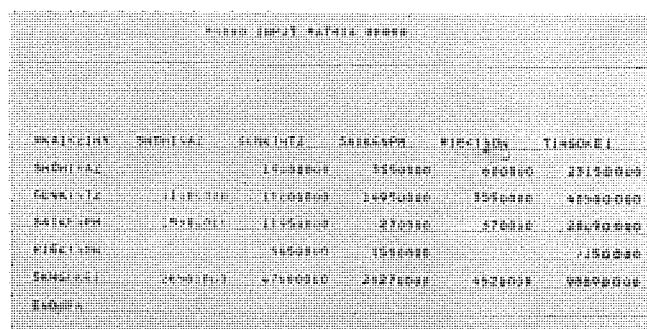


図 7.3 Input データの例
Example of input data.

***** INPUT DATA *****		
** RNAME **	** CNAME **	** IVALU **
SAIKENPM	GENKINTZ	1000000
GENKINTZ	RIEKISON	100000
RIEKISON	SAIKENPM	50000
SHUHI NAZ	GENKINTZ	2000000

図 7.4 取引データの例
Example of transaction data.

7. 使用例

MAXFORT の使用例を次に示す。これは行列簿記の簡単な例を示したもので、標準 MB チャート (Matrix Bookkeeping Chart) をデータとして、カード読取装置から入力している。次に取引のあったデータを与え、標準 MB チャートの更新を行なって、ラインプリンタに出力している。図 7.1 にソースプログラムリスト、図 7.2 にそのオブジェクトプログラムリスト (FORTRAN プログラム) の一部、図 7.3 に標準 MB チャートの入力データ、図 7.4 に取引データ、図 7.5 に更新された標準 MB チャートの出力データを示している。

8. むすび

行列およびリストを一つのデータの型として取扱えるように、拡張された FORTRAN (MAXFORT) について述べたが、その特長をまとめると次のようになる。

***** OUTPUT DATA *****					
** RNAME **	** CNAME **	** IVALU **	** RNAME **	** CNAME **	** IVALU **
SAIKENPM	GENKINTZ	1000000	SAIKENPM	GENKINTZ	1000000
GENKINTZ	RIEKISON	100000	GENKINTZ	RIEKISON	100000
RIEKISON	SAIKENPM	50000	RIEKISON	SAIKENPM	50000
SHUHI NAZ	GENKINTZ	2000000	SHUHI NAZ	GENKINTZ	2000000

図 7.5 Output データの例
Example of output data.

- (1) 行列およびリストを一つのデータの型として取扱える。
 - (2) 取扱う行列およびリストの大きさに制限がないこと。(コア上にエリアがないと自動的にディスクが用いられる。)
 - (3) コア内で処理できる行列およびリストの大きさを指定できる。
 - (4) 入出力が簡単である。
 - (5) MAXFORT 言語は FORTRAN 言語仕様に準拠しているので、FORTRAN の使用者は短期間で修得できる。
 - (6) MAXFORT 言語の一部として FORTRAN 言語を含んでいるので、プログラミングの自由度が高い。
 - (7) コンパイラとしてエラー検出が豊富で、そのメッセージはわかりやすい。
- 今後、行列を取扱うようなソフトウェアに対して、そのソフトウェアに合うような行列の入出力を行なうサブルーチンを追加することによって、MAXFORT の適用範囲がさらに広がることが期待される。
(昭和 48-8-30 受付)

拡張型言語の実験的システム

伊藤 貴康*・房岡 璋**・伊東 加枝**

An Experimental System of Extensible Language

Central Research Laboratory Takayasu Itô・Akira Fusaoka・Kae Itô

Computers are used in various fields and various programming languages have been developed for each of application areas.

Along with this line, a considerable number of programming languages have been developed.

Compiler writings have been becoming a great burden to the makers and users.

Extensible language ULG (Universal Language Generator) is the one developed in the Central Research Laboratory as an attempt for such problems. This is a programming system whose strong and efficient extensible functions allow us to construct and simulate the various functions of many existing programming languages.

1. ま え が き

以下は、三菱電機中央研究所で研究開発した、拡張型言語 システム ULG (Universal Language Generator) の簡単な紹介と ULG によるプログラムの書き方の説明である。

ULG の基本的特徴は、

(1) 拡張の基底となる核言語を最小にしぼった Minimal Extensible Language である。

(2) 拡張機能の中心は、意味的拡張であり、データ構造も、オペレータも帰納的定義まで可能であり、いわゆる plex programming が自由自在に行なえる。

(3) 効率の良い処理を許すように、文法構造が選択されており、また、ハードウェア化、マイクロプログラム化などファームウェアに対しても、十分な配慮のもとに設計されている。

端的にいえば、可能なかぎりコンパクトに設計することによってミニコンでも使用可能にし、更に、強力な拡張メカニズムによって、既存の、また将来出現する多様なプログラミング言語をシミュレートすることを意図したシステムである。

2. 拡張型言語

2.1 拡張型言語は何故必要か

現在、computer science が直面している多くの問題のうち、拡張型言語が、その有力な回答になるであろうと期待されているものは以下の三つであろう。

- (1) Language explosion
- (2) Hybrid type problem
- (3) プログラミング言語の理論的研究

(a) 1960 年代初頭に高次言語があらわれて以来、計算機の用いられる領域の増大につれて、おびただしい数の言語が使われるに至っている。現在、主なものだけでも 120 以上にものぼり、コンパイラ作成に対するメーカの負担を著しく増大させる傾向にある。このような問題に対して、数多くの言語の機能を全部集めた一つの言語をつくるという解決法 (shell approach) は、例えば、PL/1 のように、事実上 implement が困難なことで、system や教育といった面で overhead が大きすぎることによって、有効でない。コンパクトな核言語と強力な拡張機能によって、ユーザが、望むままに、自己の

問題領域に対して、必要な言語を作り出せる拡張型言語が、さまざまな点で有効であろう。

(b) 異なったデータ構造やデータ変換を必要とする幾つかの分野が重なった問題に対しては、個々の問題領域に適した既存の言語では役に立たない。典型的な例としては、人工知能の問題が挙げられる。

(c) 拡張型言語においては、syntax, semantics, control といったものをユーザが自由に定義できるようにする必要があり、プログラミング言語の syntax, semantics, control の表現や、種々の性質を的確には(把)握することが重要で、プログラミング言語や、コンパイラコンパイラとの関連から、拡張型言語の研究に深い関心がもたれている。

中研における ULG システムは、このような種々の拡張型言語の要求を踏まえて作られた、多目的実験システムである。

2.2 拡張型言語とはどのような言語か

普通のプログラミング言語では、プログラマがどのようにプログラムを書くか (Syntax)、計算の各ステップをつないで、どのように computation flow を作るか (control) 等は、言語によって完全に決まってい、ユーザが勝手に変えることはできない。また、データのタイプ (integer, real etc.) も、決まっているのが普通であり、勝手に変えることはできない。結局、既存の言語 (ALGOL や FORTRAN) などでは、ユーザが自由に定義し、使用できるのは function や procedure だけである。

拡張型言語は、これとは逆に、プログラミング言語の syntax, semantics (operator や data の type)、control のすべての側面で、プログラマが自由に定義できるように、拡張の機構を設けておき、核言語 (拡張しないときの基本的な形、拡張の基礎となる言語) をむしろ小さいものにしておこうとする。したがって、必要と思われる機能を、しかも必要と思われるものだけ拡張して用いることができるので、overhead を極力防ぐことができる。

2.3 拡張のメカニズム

一般に、拡張機構としては、文法的拡張、意味的拡張、制御的拡張の 3 種類が考えられる。

(a) 文法的拡張

ユーザが、自分の問題領域に適した表現法でプログラムを書きたい場合、利用したい文法規則とその解釈ルーチンを与えることによって、望ましい表現を行なうことができるためのメカニズムは、文法的拡張

と呼ばれる。文法的拡張は、最も基本的な拡張機能であり、しばしば研究されているが、ユーザにプログラミング言語の文法に対する知識を要求することが多く、十分な成功をおさめていない。その中で、比較的使いやすいと思われる Leavenorth の smacro を用いて、文法的拡張を説明する⁽¹⁾。

smacro の format は、
smacro U define V smarend
の形をしている。ここで U は、文法規則を、V はその解釈を与える。
例えば for statement は、

```
smacro for <variable>←<expression> to <expression>
do <statement>
define begin
    $1←$2;
L1: IF $1≤$3 then
    begin
        $4;
        $1=$1+1;
        GOTO L1
    end
    else GOTO L2;
L2: return
end
smacrend.
```

によって定義される。プログラムの後の部分で、例えば

```
for A←B×C to 100 do Z(A)←B+C
```

のように、smacro call を行なえる。以下で述べる ULG の文法的拡張は smacro よりも powerful であるが、現時点で、implement 中であり、完成していない。

データタイプの拡張

ほとんどの拡張型言語は、あらかじめ埋め込まれた data type や、既に定義された data type から、新しい data 構造を作り出す関数の形で、データタイプの拡張機能を導入している。これらの関数は、主として以下の3種類、STRUCT, ROW, ONEOF にわかれる。

STRUCT: STRUCT は、その構成要素を name で指定するようなデータ構造を構成する際用いられる。例えば、複素数のデータ型は、

```
complex←STRUCT [REAL PART: real; IMAGINAL
PART real]
```

によって定義される。プログラムの後の部分で、データタイプが、complex と宣言された identifier を A とすれば、

```
A [REAL PART]←100.0
```

のような表現ができる。

ROW: ROW は、数によって、すなわち、vector や matrix のように、何番目かを指定することによって、構成要素をとりだせるデータタイプである。

例えば、

```
vectorten←ROW [real; 10]
```

のように用いる。これは、データタイプ real をもつ item が10個並んだデータ構造を表わす。A を vectorten と宣言された identifier とすれば、

```
A [3], A [4]
```

のように、構成要素を指定できる。

ONEOF: ONEOF function は実行時に、動的に type の変わるような data type を表わす。例えば、

```
schalor←ONEOF [integer, real, complex]
```

と定義した場合、schalor と宣言された identifier は、integer, real, complex の3種類のデータタイプをもつ value を任意に assign できる。

オペレータの拡張

多くの場合、データタイプの拡張だけでは不十分であり、拡張された data 構造をもつ value を自由に演算できるように operator を拡張または定義する能力が必要である。

例えば、上の例における schalor のような複合されたデータタイプに対して、通常の real や integer に対して埋め込まれている加算オペレータ '+' は、

```
+←operator ($1: schalor; $2: schalor) schalor
begin (MODE ($1)=real) and (MODE ($2)=real)
⇒ real add ($1, $2)
(MODE ($1)=INT and (MODE ($2)=real)
⇒ real add (convert ($1), $2)
...
etc
end
```

のように拡張する必要がある。

一般にオペレータの拡張は、ALGOL 60 の procedure definition と類似の形で行なえる。

制御的拡張

制御的拡張は主として、非決定 programming, コルーチン、擬並列処理等をユーザが定義できるようにしたもので、現在ハーバード大学の PPL(5)を除いては、制御的拡張をこころみた例はない。

ULG では、現在の version では、制御的拡張機能は全くもっていない。将来の version up により、かなり複雑な制御機能が使用可能になる予定である。

3. Universal Language Generator の概要

3.1 ULG の特徴

拡張型言語 ULG (Universal Language Generator) は、プログラミング言語のさまざまな定義機能の実験のために、中央研究所で開発された言語であり、現在、パターン情報グループの PDP-15 計算機で implement されている。

ULG の基本的特徴は、

(1) 拡張の基底となる核言語を最小にしぼった Minimal Extensible language である。

(2) 拡張機能の中心は、意味的拡張であり、データ構造も、オペレータも帰納的定義まで可能であり、いわゆる plex programming が自由自在に行なえる。

(3) 効率の良い処理を許すように、文法構造が選択されており、また、ハードウェア化、マイクロプログラム化などファームウェアに対しても、十分な配慮のもとに、設計されている。

(1) の特徴の説明

一般に、核言語の規模と拡張機能の能力のあいだには、反比例の関係がある。したがって、拡張型言語には、ほとんど、すべての機能を核言語にもたして、簡単なデータタイプの拡張能力のみしかもたないものから、必要最小限と思われる機能のみを核言語に与え、拡張して用いることを前提とした、コンパイラ-コンパイラに近いものまで

さまざまなものがある。後者を minimal extensible language と呼ぶ。ULG は minimal extensible language としての philosophy のもとに設計されているが、これは実験的システムとしての ULG の性格からいって自然なことである。

(2) の特徴の説明

一般に、データタイプには、例えば complex のように、有限の、definite な構造をもつものと、list や tree のように、その size が indefinite であり、あらかじめ、大きさの決められないものがある。

ULG では、data type の recursive definition によって、後者のような indefinite な data 構造も利用できる。

definite な data 構造は、宣言が行なわれた段階で、あらかじめ memory に割付を行なうことができ、いわゆる stack allocation によって効果的に処理できるが、indefinite な data 構造に対しては、必要がある際に memory に割付する dynamic allocation を行なう必要がある。したがって、ULG では、dynamic allocation と stack allocation の両方が用いられている。また、memory も stack memory と、heap memory に区別して使われる。

(3) の特徴の説明

ULG は、simple deterministic language と呼ばれる、高速の言語処理を許す決定性文法を利用している。これは、長さ n の入力系列に対して、 n -time, $\frac{n}{2}$ stack length で文法解析を行なう real time の言語である。これによって、時間とメモリの両方に対して、きわめて効率の良い処理ができる。

また、simple deterministic language は、標準型をもっていて、hardware による実現が容易であり、direct execution にも適している。現在、compiler-compiler machine と呼ばれる多言語で、きわめて flexible に問題に適応できる計算機の新しい architecture を ULG を用いて実験中である⁽²⁾⁽³⁾。

3. 2 核言語の概要

核言語は、ほぼ、以下の三つの特徴によってとらえることができる。

(1) BLOCK 構造による identifier の creation, deletion 等の制御機構 (ALGOL 60 の BLOCK 構造と類似)

(2) operator 先出しのポーランド記法による expression

(3) きわめて、単純な statement (assignment, goto 文, 条件文, etc.)

(1) の特徴の説明

ULG は、ALGOL 60 に典型的に見られるように procedure oriented language である。すなわち、BEGIN と END でくくられたプログラムの一部分は、BLOCK と呼ばれ他と完全に独立したものと取り扱われる。BLOCK の中で定義された identifier は、その中でのみ意味をもち、一度その BLOCK を出ると消去される。identifier のみでなく、文法的拡張や、データタイプ、オペレータも BLOCK に local であり、BLOCK を出ると消去される。

(2) の特徴の説明

ALGOL 60 や FORTRAN では、数式は、

$$a+b \times (c+e)$$

のように、infix operator と、優先度をあらわすためのカッコを用いている。ULG は、上記のような expression は、オペレータ先出しのポーランド記法を用いて、

$$+a \times b + ce$$

のように表現する。一般の数式表現からポーランド記法への変換は次のようにして行なえる。

(a) 与えられた expression を計算の優先順位に従って、カッコでくくる。

$$\text{例 } (a+(b \times (c+e)))$$

(b) 最も優先度の高いものについて、オペレータ先出しにする。

$$\text{例 } (a+(b \times (+ce)))$$

(c) その次に優先度の高いものについて同様にし、これをくりかえす。

$$\text{例 } (a+(\times b(+ce)))$$

$$(+a(\times b(+ce)))$$

(d) カッコをとり去る。

$$\text{例 } +a \times b + ce$$

また別の例として、

$$a+((b+c) \times e+d)+f$$

は、

$$++a+\times+bcedf$$

となる。

これと逆に、オペレータを後出しにした逆ポーランド記法は、計算機においてしばしば用いられる。オペレータ先出しのポーランド記法を導入した理由は、

(i) オペレータ拡張の際、infix operator ならば、優先順位指定が必要であり、わずらわしい。また、infix operator の場合、binary 以上の変数をとるオペレータは使いにくい。したがって、普通の関数のように、prefix の形で、しかも expression に、定義されたオペレータが、埋め込みのオペレータと同じ形で使用できるようにする必要がある。

(ii) スタックを用いて、きわめて能率良く処理することができる。また、simple deterministic grammar と類似しており、文法の整合性も良い。

(3) の特徴の説明

ULG では、核言語を可能なかぎりコンパクトにおさえるために、いわゆる for statement といったような、基本的なステートメントが組合わさったステートメントは、埋め込まれていない。核言語のステートメントは、goto, assignment, condition, return 等にかぎられ、他は、syntax extension によって導入される。

3. 3 ULG の拡張機能の概要

3. 3. 1 ULG の文法的拡張

現在、implement 中である ULG の文法的拡張について、簡単に説明する。

ULG の文法的拡張は BNF(Bucus Normal Form) によっており、ユーザが、必要な terminal および nonterminal を勝手に導入して、新しい文法規則を、BNF の形で導入し、その解釈を手続きの形で与える。

例 1

BEGIN

DECL (A, B : REAL ; a, b : LABEL)

SYNTAX (block ← SDEF ifst ;

ifst ← ONEOF (DEFIN (if \$1 jump \$2 \$3)

SPEC (\$1 : term ; \$2 : jump ; \$3 : ifst)

BEGIN

DECL (l, m : LABEL ; n : label)

```

IF ($1) GOTO l ; GOTO m
l : $2 ; GOTO n
m : $3 ;
n : RETRN ;
END
DEND) ;
DEFIN (jump $1)
SPEC ($1 : jump)
BEGIN
    $1 ;
END
DEND)) ;
jump←DEFIN ((to $1)
SPEC ($1 : term)
BEGIN
    goto $1 ;
END
DEND))).
if=AB jump to a if>AB jump to b
jump to a ;
END

```

上の例では、条件文と jump 文とを組合わせたステートメントを定義している。もう少し興味ある例を次に与える。

例 2

```

SYNTAX (block←SDEF forst ;
forst←DEFIN ((for $1 eq $2 until $3 do $4)
SPEC ($1 : IDENTIFIER ; $2, $3 : term ; $4 : Form)
BEGIN
    DECL (a, b, c : LABEL)
    $1←$2 ;
a : IF $1>$3 GOTO b
    $4 ; $1←ADD 1 $1 ;
    GOTO a
b : RETRN
END
DEND))

```

この例は、ALGOL 60 の for statement に対応するくりかえし文を与える。このように、文法的拡張は、ユーザがプログラミング言語の文法に対する若干の知識をもっておれば、比較的単純に、新しい表現法が得られる点で、興味深いものである。

3. 3. 2 意味的拡張

意味的拡張には、データタイプの拡張と、そのうえのオペレータの拡張の2種類が考えられる。

データタイプの拡張

普通のプログラミング言語では、データタイプは、integer や real, array (DIMENSION) 等に限られているが、ほとんどすべての拡張型言語では、ユーザがデータタイプを自由に導入できる。ULG では、特に、データタイプの定義機能が、recursive definition を許すので、きわめて強力であり、種々の興味ある実験が可能である。ULG のデータタイプ定義機能は以下の3関数よりなる。

- (1) STRUCT (<identifier> : <mode> ; ……)
- (2) ONEOF (<mode>, <mode>, ……)

(3) ROW (<number>, <mode>)

STRUCT は、各構成要素が、identifier (name) によってとり出せるデータ構造を定義する。

例えば、

```

MODE (complex←STRUCT (REAL P : real ; IMAGINAL P : real))

```

上記の例は複素数のデータ構造を与える。

ONEOF は、いくつかのデータタイプが、実行時に、動的に変わる場合に利用される。例えば

```

MODE (schalor←STRUCT (real, INT, complex))

```

と、real, integer, complex を合わせもつデータモードが定義される。DECL (schalor : A) と定義すれば、A は、実行時に、real, integer, complex の任意の value をもつことができる。

ROW は、数によって、その構成要素を取り出せるオペレータである。例えば、

```

vector←ROW (real ; 100)

```

```

array←ROW (vector ; 100)

```

によって、100×100 の Matrix を構成できる。

recursive data type

list や tree, stack といった indefinite な data 構造をもつデータタイプは、recursive definition を用いて、定義することができる。

例

```

MODE (atom←ONEOF (INT, UND) ;

```

```

SLIST←STRUCT (CAR : list ; CDR : list) ;

```

```

list←ONEOF (atom ; slist))

```

この例は、データタイプの list を定義している。プログラムの後の部分で、例えば、

```

DECL (A : list)

```

と定義すれば、

```

A (CAR) (CDR)←B

```

といった使用ができる。

オペレータの定義

ULG オペレータは、ALGOL 60 における function の定義と同様であるが、当然、ユーザが導入したデータタイプを利用できる。

例

```

MODE (s stack←STRUCT (Head : INT ; Tail : stack) ;

```

```

stack←ONEOF (INT ; INT))

```

```

OPERATOR (push←DEFINE ($1, $2) stack

```

```

SPEC ($1 : stack, $2 : stack)

```

```

BEGIN

```

```

DECL (E : stack)

```

```

E (Head)←$1 ;

```

```

E (Tail)←$2 ;

```

```

RETRN WITH E ;

```

```

END

```

```

DEND ;

```

```

POP←DEFINE ($1) STACK

```

```

SPEC ($1 : stack)

```

```

BEGIN

```

```

DECL (E : stack)

```

```

E←$1 (Tail) ;

```

```

RETRN WITH E ;

```

END

DEND)

この例は、データタイプの stack を定義し、push down および pop up の演算を定義している。

4. ULG によるプログラムの書き方

今まで ULG のいろいろな特徴について述べてきたが、実際の ULG は、実験的システムであることや、PDP-15 のメモリ容量制限などから、使える identifier の数など限られている。以下では、ULG によるプログラムの書き方を、正確な文法を与えつつ説明する。

4.1 program と block

SYNTAX

$\langle \text{program} \rangle ::= \text{PROGM } \langle \text{block} \rangle \text{ PEND}$

$\langle \text{block} \rangle ::= \text{BEGIN } \{ \langle \text{declaration} \rangle \langle \text{definition} \rangle \}^{\alpha}$

$\{ \langle \text{compound form} \rangle \}^* \text{ END}$

SEMANTICS

ユーザが実行したいプログラムは、PROGM と PEND によって、かこまれた、一つの block である。compiler および executor は、PROGM に会おうと、必要な environment を create し、PEND に会おうと完全に delete する。

block は、ALGOL 60 とほぼ同様の意味をもつ。identifier も、syntax, data type, operator の extension も、一つの block の始めに create され、END に会おうと delete される。block は、BEGIN と END でかこまれ、宣言と定義部があり、つぎに、compound form と呼ばれる、LABEL のつけられる statement がならぶ。

{ }^α はメタ記号であり、ただか 1 回出現することを示す。したがって、宣言部と定義部は、あってもなくてもよい。

{ }^{*} は、0 回を含めて、何度も出現することを示すメタ記号である。

ALGOL 60 と同様に、ある block 中で利用できる identifier や、定義は、その block か、または、それを囲むより大きい block で、宣言、定義されたものに限る。当然、多重定義や、宣言は許されない。

4.2 declaration

SYNTAX

$\langle \text{declaration} \rangle ::= \text{DECL } (\{ \{ \langle \text{identifier list} \rangle : \langle \text{mode} \rangle ; \}$

$\{ \{ \langle \text{s-variable list} \rangle : \text{LABEL} ; \} \}^*$

$\{ \{ \langle \text{identifier list} \rangle : \langle \text{mode} \rangle \} \{ \{ \langle \text{s-variable list} \rangle : \text{LABEL} \} \}$

$\langle \text{mode} \rangle ::= \langle \text{mode constant} \rangle | \langle \text{s-variable} \rangle$

$\langle \text{s-variable} \rangle ::= \text{C} \langle \text{alphabet} \rangle$

$\langle \text{mode constant} \rangle ::= \text{INT} | \text{UND}$

$\langle \text{identifier} \rangle ::= \langle \text{alphabet} \rangle$

$\langle \text{identifier list} \rangle ::= \{ \langle \text{identifier} \rangle, \}^* \langle \text{identifier} \rangle$

$\langle \text{s-variable list} \rangle ::= \{ \langle \text{s-variable} \rangle, \}^* \langle \text{s-variable} \rangle$

$\langle \text{alphabet} \rangle ::= \text{A} | \text{B} | \text{C} | \dots | \text{Z}$

SEMANTICS

ULG では、2 種類の推定子が用いられる。identifier と s-variable である。identifier は、A, B, …, Z までの 26 文字が、また、s-variable には、CA, CB, …, CZ までの 26 文字が用いられる。identifier は、式中で、計算される value を提示するためのものであり、他の言語、FORTRAN や ALGOL で用いられる同定子とほぼ同じ機能をもつ。s-variable は、program をユーザが書いた時点

で、値の決まる value、例えば、LABEL や operator name、データタイプ等をあらわすために用いられる。

s-variable は、コンパイル時に、完全にその内容がメモリ内に記憶され、プログラム中の s-variable は、その address と交換される。

identifier は、STRUCT operator 中に出現するものを除いて、すべて、block の宣言部で、宣言される必要がある。

ULG では、LABEL は、block の宣言部で宣言しなければならない。この場合を除いて、s-variable が宣言されることはない。

例

DECL (A, B, C : INT ; D, E : CB ; CD : LABEL)

この例で、A, B, C は data type INT, D, E は data type CB, CD は LABEL であると宣言される。埋め込みデータタイプ INT は integer を UND は、character type を示す。上の例で、CB は、この block で定義されるか、この block を含むより大きい block で既に定義されている必要がある。

4.3 variable と term

SYNTAX

$\langle \text{variable} \rangle ::= \langle \text{identifier} \rangle \{ \langle \text{selector} \rangle \}^*$

$\langle \text{selector} \rangle ::= (\langle \text{number} \rangle) | (\langle \text{identifier} \rangle)$

$\langle \text{term} \rangle ::= \langle \text{variable} \rangle | \langle \text{dollar variable} \rangle |$

$\langle \text{operator} \rangle \{ \langle \text{term} \rangle \}^*$

$\langle \text{operator} \rangle ::= \langle \text{built in operator} \rangle | \langle \text{s-variable} \rangle$

$\langle \text{number} \rangle ::= \{ \langle \text{digit} \rangle \}^*$

$\langle \text{digit} \rangle ::= 0 | 1 | \dots | 9$

$\langle \text{built in operator} \rangle ::= \text{ADD} / \text{SUB} / = / | / \% | \vee | \text{GREAT}$

$\langle \text{dollar variable} \rangle ::= \$ \langle \text{number} \rangle$

SEMANTICS

variable は、identifier にいくつかの subscript をつけたものである。これは、identifier のデータタイプと一致する必要がある。

dollar variable は、\$1, \$2 etc. であらわされ、operator や、syntax extension の formal parameter をあらわすために用いられる。

オペレータに続く term の数は、そのオペレータの argument の数と一致する必要がある。

埋め込みオペレータは、加減算の算術演算、論理演算、retation 等からなる。/, %, ∨ は、それぞれ、論理演算の not, and, or に対応する。GRATE は、第1変数が、第2変数より大きいときのみ 1、他の場合は 0 である。

例 add sub A CB DE F G

上の term は、次の演算を示す。

(add(sub A (CB D E F)) G)

ここで、CB は、D, E, F の 3 変数を argument としてとるオペレータである。

4.4 form, compound form

SYNTAX

$\langle \text{form} \rangle ::= \langle \text{variable} \rangle \leftarrow \langle \text{term} \rangle | \text{GOTO } \langle \text{s-variable} \rangle | \text{IF } \langle \text{term} \rangle$

$\langle \text{form} \rangle | \langle \text{block} \rangle | \text{RETRN WITH } \langle \text{variable} \rangle$

$\langle \text{compound form} \rangle ::= \langle \text{form} \rangle ; | \langle \text{s-variable} \rangle : \langle \text{form} \rangle ;$

SEMANTICS

form は基本的なステートメントから、compound form は、それに LABEL や、終端記号のついたものである。form の nesting は、IF 文と、block を除いて許されない。

IF 文は、IF の後に続く $\langle \text{term} \rangle$ が、1 ならば、次の $\langle \text{form} \rangle$ を、それ以外ならば、この form をとばして、IF 文の終端記号；につづく form を実行する。

RETRN WITH $\langle \text{variable} \rangle$ は return 文と呼ばれ、operator の call の際、もって帰る variable を指定する。

4.5 definition

SYNTAX

$\langle \text{definition} \rangle ::= \{ \langle \text{type definition} \rangle \}^* \{ \langle \text{operator definition} \rangle \}^* \{ \langle \text{syntax definition} \rangle \}^*$

SEMANTICS

データタイプの定義、オペレータの定義、文法的定義は、block の head の定義部で、この順序にたかだか 1 度可能であり、その block に local である。

4.6 type definition

SYNTAX

$\langle \text{type definition} \rangle ::= \text{MODE} (\{ \langle \text{s-variable} \rangle \leftarrow \langle \text{type def part} \rangle \}^* \langle \text{s-variable} \rangle \leftarrow \langle \text{type def part} \rangle)$

$\langle \text{type def part} \rangle ::= \text{ONEOF} (\{ \langle \text{mode} \rangle, \}^* \{ \langle \text{mode} \rangle \}) \mid \text{STRCT} (\{ \langle \text{identifier} \rangle : \langle \text{mode} \rangle, \}^* \{ \langle \text{identifier} \rangle : \langle \text{mode} \rangle \} \mid \text{ROW} (\langle \text{mode} \rangle, \langle \text{number} \rangle)$

SEMANTICS

ONEOF, STRCT, ROW の 3 関数の意味は既に述べたとおりであるが、その argument として用いられる mode は、すべて、その block で定義されるか、その block を囲むより大きい block で定義されている必要がある。データタイプの定義は、すべてをカッコでくくり、その先に MODE と書く。

4.7 operator definition

SYNTAX

$\langle \text{operator definition} \rangle ::= \text{OPRTR} (\{ \langle \text{s-variable} \rangle \leftarrow \langle \text{op def} \rangle \}^* \langle \text{s-variable} \rangle \leftarrow \langle \text{op def} \rangle)$
 $\langle \text{op def} \rangle ::= \text{DEFIN} (\langle \text{dollar string} \rangle) \langle \text{mode} \rangle$
 $\langle \text{specification} \rangle \langle \text{block} \rangle \text{DEND}$
 $\langle \text{dollar string} \rangle ::= \{ \langle \text{dollar variable} \rangle, \}^* \langle \text{dollar variable} \rangle$
 $\langle \text{specification} \rangle ::= \text{SPEC} (\langle \text{dollar variable} \rangle : \langle \text{mode} \rangle, \}^* \{ \langle \text{dollar variable} \rangle : \langle \text{mode} \rangle \}$

SEMANTICS

operator を定義するためには、オペレータの名前となる s-variable を書き、それに、 op def と呼ばれる定義部分を assign する。この定義部分は、まず、パラメータのリストを dollar string の形で書き、その次に、出力のデータタイプを書く。これは、RETURN ステートメントで引用される variable のデータタイプと一致する。出力モードの後にパラメータの specification を与える。これは ALGOL 60 の場合と同じである。オペレータの定義の BODY は 1 block であるが、この中に、このオペレータの定義に対する RETURN ステートメントが唯一度出現する。

4.8 SYNTAX DEFINITION

SYNTAX

$\langle \text{syntax definition} \rangle ::= \text{SYNTAX} (\{ \langle \text{s-mode} \rangle \leftarrow \text{SDEF} \langle \text{s-variable} \rangle ; \mid \langle \text{s-variable} \rangle \leftarrow \langle \text{s-def part} \rangle \}^* \{ \langle \text{s-variable} \rangle \leftarrow \langle \text{s-def part} \rangle \})$
 $\langle \text{s-def part} \rangle ::= \text{ONEOF} (\{ \langle \text{SD form} \rangle \}^* \{ \langle \text{sd form} \rangle \}) \mid \langle \text{sd form} \rangle$

$\langle \text{sd-form} \rangle ::= \text{DEFIN} (\langle \text{s-indicator} \rangle \langle \text{s-term} \rangle)$

$\langle \text{s-indicator} \rangle ::= \langle \text{s-variable} \rangle \{ \$ \langle \text{number} \rangle \mid \langle \text{s-variable} \rangle \}^*$

$\langle \text{s-term} \rangle ::= \langle \text{s-specification} \rangle \langle \text{block} \rangle \text{DEND}$

$\langle \text{s-specification} \rangle ::= \text{SPEC} (\{ \$ \langle \text{number} \rangle : \langle \text{smode} \rangle, \}^* \$ \langle \text{number} \rangle : \langle \text{smode} \rangle)$

$\langle \text{smode} \rangle ::= \text{s-variable} \mid \text{block} \mid \text{FORM}$

SEMANTICS

SYNTAX DEFINITION には 2 種類ある。一つは、ユーザが導入した nonterminal を埋めこみの、またはすでに定義した nonterminal へ LINK するためのものであり、他の一つは、nonterminal を導入するためのものである。

前者は、まず、LINK 先の nonterminal を書く。これは、既定義の nonterminal および、block, form の埋め込みの (ULG の kernel の) nonterminal が使用可能である。次に、LINK したい nonterminal の前に SDEF をつけ、LINK 先の nonterminal に assign する。

SYNTAX DEFINITION もすべて BLOCK に LOCAL である。したがって、LINK 先の nonterminal は、埋め込みの block および form であるか、この block 内の定義部で定義されるか、既に定義されているものに限る。

nonterminal の導入は、3 章で与えられた例によって、容易に理解されうる。但し、この場合、同じ s-def part に出現する ONEOF でくくられた SD form の DEFIN につづく s-variable はすべて異なっていなければならない。これは、simple deterministic grammar からくる要請である。一つの syntax definition の内部においては、導入する nonterminal や、DEFIN のあとにくる s-variable (key terminal word) は、すべて異なったものを用いるのが、ambiguity の点から望ましい。

4.9 constant, その他

constant は、ULG の現在の version には含まれていない。それは、複合データタイプに対する constant の表現に若干の問題があるためである。しかし、次のような format が使用可能になる予定である。

$\langle \text{constant} \rangle ::= \langle \text{built in constant} \rangle \mid \langle \text{compound constant} \rangle$

$\langle \text{built in constant} \rangle ::= \langle \text{number} \rangle \mid \langle \text{character} \rangle$

$\langle \text{compound constant} \rangle ::= (\{ \langle \text{constant} \rangle, \}^* \langle \text{constant} \rangle)$

上の意味は明らかであろう。

また、データタイプの変換手続きや、データタイプに対する述語等も必要であるが、現時点では、implement されていない。

READ, WRITE 文は、

READ $\langle \text{variable} \rangle$

WRITE $\langle \text{variable} \rangle$

の形のものが使用可能である。これは、他の form と区別せず利用できるが、将来、かなり改良される予定である。

5. プログラム例

5.1 ループによる Multiplication

PROGM BEGIN

DECL (A, B, C, M : INT)

OPRTR (CM ← DEFIN (\$1, \$2) INT

SPEC (\$1 : INT, \$2 : INT)

BEGIN

```

DECL (I, J, K : INT, CR, CQ, CS : LABEL)
K←M ;
J←$ 2 ;
IF (= $ 2 N) GOTO CS ;
IF (= $ 2 M) GOTO CQ ;
CR : K←ADD K $ 1 ; J←SUB J N ;
IF (=JM) GOTO CQ ;
GOTO CR ;
CS : K←$ 2
CQ : RETRN WITH K ;
END DEND)
    READ M ; READ N ; READ A ; READ B ;
    C←CM A B ; END PEND

```

5.2 Recursive procedure による multiplication

```

PROGM BEGIN
    DECL (N, A, B, C : INT)
    OPRTR (CM←DEFIN ($ 1, $ 2) INT
    SPEC ($ 1 : INT, $ 2 : INT)
BEGIN
    DECL (M, P : INT ; CS, CQ : LABEL)
    IF (= $ 2 N) GOTO CS ;
    P←SUB $ 2 N ; M←ADD $ 1 CM $ 1 P ;
    GOTO CQ ;
CS : M←$ 1 ;
CQ : RETRN WITH M ;
END DEND)
    READ C ;
    READ N ;
    READ A ;
    READ B ;
    C←CM AB ;
END PEND

```

5.3 FIBONACCI 数列

```

PROGM BEGIN
    DECL (I, M, J, L : INT)
    OPRTR (CO←DEFIN ($ 1) INT
    SPEC ($ 1 : INT)
BEGIN
    DECL (N, A, B, C, K : INT ; CS, CT : LABEL)
    IF (= $ 1 M) GOTO CS ;
    IF (= $ 1 L) GOTO CS ;
    K←SUB $ 1 M ;
    A←SUB $ 1 L ;
    B←CO K ; C←CO A ;
    N←ADD B C ;
    GOTO CT ;

```

```

CS : N←M
CT : RETRN WITH N ; WRITE N ;
END DEND)
    READ J ; READ M ; READ I ;
    L←ADD MM ; J←CO I ;
END PEND

```

5.4 LIST 処理

```

PROGM BEGIN
    DECL (A, B, C : CL)
    MODE (CA←ONEOF (INT ; UND) ;
    CS←ONEOF (CA ; CL)
    CL←STRCT (R, CS ; D, CS))
    OPRTR (CO←DEFIN ($ 1, $ 2) CL
    SPEC ($ 1 : CL, $ 2 : CL)
    BEGIN DECL (E : CL)
    E (R)←$ 1 ;
    E (D)←$ 2 ;
    RETRN WITH E ;
    END DEND)
    READ A ;
    READ C ;
    B←CO A C ;
    END PEND

```

6. む す び

以上、2 章では、拡張型言語の一般的な説明を、3 章では、ULG の概略を、4 章では、ULG の SYNTAX の詳細と プログラム の書き方を、5 章では プログラム の実例を与えた。

ULG は現在、中研の中形計算機 PDP-15 で implement され、種々のプログラミング言語の実験に用いられているが、以後、拡張機能や核言語をさらに充実させることによって、単に実験用としてでなく、本格的な問題向き言語として、しかも、他のすべての問題向き言語の機能をもつ拡張型言語として完成される方針である。

(昭和 48-7-7 受付)

参 考 文 献

- (1) Leavennorth : Syntax Macros and Extended Translation, CACM, 9 (1966)
- (2) 伊藤、房岡：拡張型言語と コンパイラ コンパイラ マシン, 電子通信学会 オートマトン 研資, (昭 48-1)
- (3) 伊藤、房岡：コンパイラ コンパイラ マシン とそのシミュレータについて, オートマトン 研資 (昭 48-6)
- (4) B. Wegbreit : Study in Extensible Programming Languages, Ph. D Thesis in Harvard Univ. (1970)
- (5) E. A. Traft : PPL User's Manual, Harvard Univ. (1971)

付 録

ULG formal syntax

1. program and block

```

<program> ::= PROGM <block> PEND
<block> ::= BEGIN {<declaration> <definition>}a

```

```

{<compound form>}* END
<declaration> ::= DECL ({<identifier list> : <mode> ; |
<s-variable list> : LABEL ; }*
{<identifier list> : <mode>}) | <s-variable list> : LABEL ; }

```

$\langle \text{mode} \rangle ::= \langle \text{mode constant} \rangle | \langle \text{s-variable} \rangle$
 $\langle \text{s-variable} \rangle ::= C | \langle \text{alphabet} \rangle$
 $\langle \text{s-variable list} \rangle ::= \{ \langle \text{s-variable} \rangle, \}^* \langle \text{s-variable} \rangle$
 $\langle \text{mode constant} \rangle ::= \text{INT} | \text{UND}$
 $\langle \text{alphabet} \rangle ::= A | B | C | \dots | Z$

2. form and term

$\langle \text{variable} \rangle ::= \langle \text{identifier} \rangle \{ \langle \text{selector} \rangle \}^*$
 $\langle \text{selector} \rangle ::= \langle \text{number} \rangle | \langle \text{identifier} \rangle$
 $\langle \text{identifier} \rangle ::= \langle \text{alphabet} \rangle$
 $\langle \text{form} \rangle ::= \langle \text{variable} \rangle \leftarrow \langle \text{term} \rangle | \text{GOTO} \langle \text{s-variable} \rangle |$
 $\quad \text{IF} \langle \langle \text{term} \rangle \rangle \langle \text{form} \rangle | \langle \text{block} \rangle | \text{RETRN WITH} \langle \text{variable} \rangle$
 $\langle \text{compound form} \rangle ::= \langle \text{form} \rangle ; | \langle \text{s-variable} \rangle : \langle \text{form} \rangle ;$
 $\langle \text{term} \rangle ::= \langle \text{variable} \rangle | \langle \text{dollar string} \rangle | \langle \text{operator} \rangle \{ \langle \text{term} \rangle \}^*$
 $\langle \text{operator} \rangle ::= \langle \text{s-variable} \rangle | \langle \text{built-in operator} \rangle$
 $\langle \text{built-in operator} \rangle ::= \text{ADD} | \text{SUB} | \text{GREAT} | = | \% | \vee | /$

3. data type and operator definition

$\langle \text{definition} \rangle ::= \{ \langle \text{type definition} \rangle \}^\alpha \{ \langle \text{operator definition} \rangle \}^\alpha$
 $\quad \{ \langle \text{syntax definition} \rangle \}^\alpha$
 $\langle \text{type definition} \rangle ::= \text{MODE} (\{ \langle \text{s-variable} \rangle \leftarrow \langle \text{type def part} \rangle ; \}^*$
 $\quad \langle \text{s-variable} \rangle \leftarrow \langle \text{type def part} \rangle)$
 $\langle \text{type def part} \rangle ::= \text{ONEOF} (\{ \langle \text{mode} \rangle, \}^* \langle \text{mode} \rangle)$
 $\quad \text{STRCT} (\{ \langle \text{identifier} \rangle : \langle \text{mode} \rangle, \}^* \langle \text{identifier} \rangle : \langle \text{mode} \rangle)$
 $\quad \text{ROW} (\langle \text{mode} \rangle, \langle \text{number} \rangle)$
 $\langle \text{operator definition} \rangle ::= \text{OPRTR} (\{ \langle \text{s-variable} \rangle \leftarrow \langle \text{op-def} \rangle ; \}^*$
 $\quad \langle \text{s-variable} \rangle \leftarrow \langle \text{op-def} \rangle)$

$\langle \text{op-def} \rangle ::= \text{DEFIN} (\langle \text{dollar string} \rangle) \langle \text{mode} \rangle$
 $\quad \langle \text{specification} \rangle \langle \text{block} \rangle \text{DEND}$
 $\langle \text{specification} \rangle ::= \text{SPEC} (\{ \$ \langle \text{number} \rangle : \langle \text{mode} \rangle,$
 $\quad \text{and} \langle \text{number} \rangle : \langle \text{mode} \rangle \}$
 $\langle \text{dollar string} \rangle ::= \{ \$ \langle \text{number} \rangle, \}^* \$ \langle \text{number} \rangle$

4. syntax definition

$\langle \text{syntax definition} \rangle ::= \text{SYNTAX} (\{ \langle \text{s-variable} \rangle \leftarrow \langle \text{s-def part} \rangle ;$
 $\quad | \langle \text{smode} \rangle \leftarrow \text{SDEF} \langle \text{s-variable} \rangle ; \}^* \{ \langle \text{s-variable} \rangle \leftarrow$
 $\quad \langle \text{s-def part} \rangle \} | \langle \text{smode} \rangle \leftarrow \text{SDEF} \langle \text{s-variable} \rangle \}$
 $\langle \text{s-def part} \rangle ::= \text{ONEOF} (\{ \langle \text{sd-form} \rangle ; \}^* \langle \text{sd-form} \rangle) |$
 $\quad \langle \text{sd-form} \rangle$
 $\langle \text{sd-form} \rangle ::= \text{DEFIN} (\langle \text{s-indicator} \rangle \langle \text{s-term} \rangle)$
 $\langle \text{s-indicator} \rangle ::= \langle \text{s-variable} \rangle \{ \$ \langle \text{number} \rangle | \langle \text{s-variable} \rangle \}^*$
 $\langle \text{s-term} \rangle ::= \langle \text{s-specification} \rangle \langle \text{block} \rangle \text{DEND}$
 $\langle \text{s-specification} \rangle ::= \text{SPEC} (\{ \$ \langle \text{number} \rangle : \langle \text{smode} \rangle, \}^*$
 $\quad \$ \langle \text{number} \rangle : \langle \text{smode} \rangle)$
 $\langle \text{smode} \rangle ::= \langle \text{s-variable} \rangle | \text{block} | \text{form}$

META SYMBOLS

$::=$ means rewriting
 $|$ means alternative
 $\langle A \rangle$ means nonterminals
 $\{ X \}^\alpha$ means $\varepsilon \cup X$
 $\{ X \}^*$ means $\varepsilon \cup X \cup X^2 \cup \dots$
 other symbols are terminals

シリコン アバランシェ ホト ダイオードとその応用装置

高宮 三郎*・近藤 明博*・中村 泰而**

Si-APD and Opto-electronic Communication Systems

Central Research Laboratory

Saburo Takamiya・Akihiro Kondo

Kamakura Works Taiji Nakamura

Si-APD is a photodetector being used for the opto-electronic communication systems and for light applied apparatus. It has merits of high speed, high S/N, high reliability, low power consumption and compactness in manufacturing the devices for use. Two types of Si-APDs are now under development by Mitsubishi. One type of them has been used for trial for light wave apparatus such as laser range finding systems and light communication equipment, and further it is applied to an optical meter developed by a joint effort of Nippon Kogaku and Mitsubishi, demonstrating its high reliability. The other type is high speed Si-APD developed with the object of using it for a semiconductor laser, the practical employment of which is being anticipated.

1. ま え が き

レーザ光線の発生が世に報告されて以来、光をエレクトロニクスに利用する技術が急速に育ち、光エレクトロニクスと呼ばれる新しい技術分野が形成された。今日ますますめざましい発展を続けていることは周知のごとくである。この分野において、光信号と電気信号の境界領域で動作している光電および電光変換素子は、文字どおり光とエレクトロニクスを結び付ける中心的役割をになっている。

光電および電光変換素子は、すでに数多くの機器に使われ世に役立っているが、それ等を大別すると 1) 光電変換素子が主体となっている撮像装置やパターン読取装置、2) 電光変換素子が主体となっている表示装置、3) 光電、電光両変換素子の組合わせを用いた光通信装置とその応用装置の 3 種類に分けることができる。

APD⁽¹⁾ (アバランシェ ホト ダイオード) は光電子増倍管にとって代わる光電変換素子として生まれた高速高感度受光素子であり、主として光通信およびその応用装置用受光素子として活用されている。

当社では光通信応用機器用の受光素子として、N⁺P 型⁽²⁾および P⁺PN⁺ 型の 2 種類の Si-APD を開発した。前者は応答速度はあまり高くないが低電圧、高感度⁽²⁾、高安定等の優れた性能を持っており主として LED を対象光源として使われている⁽³⁾。また、精密光波測距装置用受光素子として使われ、すでに 2 年余の間故障ゼロの実績を続けている高信頼性素子でもある。後者は応答速度が高い半導体レーザ⁽⁴⁾を対象として開発された高速 APD である。

APD が比較的新しい素子であることも原因の一つであるが、残念なことに APD の特徴が一般には十分に知られていないのが現状である。以下に APD の構造および動作機構などの特徴について述べ、あわせて APD 応用装置として当社内で開発されたレーザ測距器および簡易光通信装置⁽⁵⁾と、当社と日本光学(株)の共同開発によって生まれた精密光波測距装置⁽⁵⁾を紹介し、関連分野への参考に供したい。

2. Si-APD の構造

図 2. 1 に当社が開発した 2 種類の Si-APD の断面構造を示す。受光面の直径 D は共に 0.5 mm で光は上方から入射する。実験的に作られたものを含めると、APD の構造として他にショットキー障

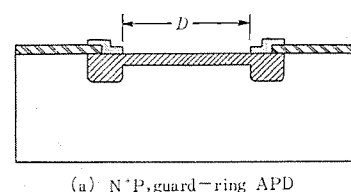
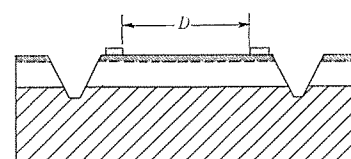
壁形、超階段接合形、点接触形などが報告されている。

通常のホトダイオードと異なり、APD は降伏現象を利用する素子であるため、接合の受光面積内で様な降伏が起こるように工夫されている。たとえば、APD の構造の特徴の一つとして接合の周縁部での降伏を防止するべく、接合の幾何学的形状や材料の不純物濃度を選んでいことがあげられる。具体的に述べると、プレーナ形 APD の場合には図 2. 1 (a) に示されているように接合周縁部に Guard Ring を設けたり、あるいは接合のおう(凹)面の方向に空乏局が広がる構造が採用されている。また、メサ形 APD の場合には図 2. 1 (b) のように接合の周縁に傾斜 (bevel) をつけた構造が採用される。構造には現われないが、降伏を一様化するために転位が少ない良質な結晶を選び均一な接合を形成するなど、製作工程に配慮が払われている。

APD の面積を大きくすると、その面積内の降伏電圧のばらつきが大きくなることはまぬがれられない。そのために APD の受光径は一般に 0.2~0.5 mm 程度であり、通常のホトダイオードと比較すると受光面積が小さいことが特徴の一つである。これは APD の欠点の一つであり、実際の使用状態ではレンズやおう面鏡等の光学系を使って補われる場合が多い。

3. APD における電流増倍機構

逆方向バイアスされたダイオードに光を照射すると光電効果を起こし

(a) N⁺P, guard-ring APD(b) P⁺PN⁺, bevel APD図 2. 1 APD の断面構造
Cross-section of the APDs.

で電流が流れる。これが通常のホトダイオードの動作機構である。APDの場合にはこれに加えて電流増倍機構を持っている。図 3. 1 に APD 内部の動作の略図を示す。

電圧を印加された APD 内では接合界面に電界が強い領域が生じ、ここで電流増倍が行なわれる。図 3. 1 において、光子 ($h\nu$) を吸収して光電効果が起こり 1 次キャリア(電子と正孔)が発生するとキャリアは電界に引かれてそれぞれ矢印の方向に走行する。降伏電圧に近いバイアス電圧が印加された状態では、電界が $5 \times 10^5 \text{ V} \cdot \text{cm}^{-1}$ 程度の強さに達しているため、電界領域内を走行するキャリアには高いエネルギーが与えられ、高速走行する間に Si 地点で原子が持っている電子をはじき飛ばして新たな 2 次キャリアを発生させる。

同様の機構で 2 次キャリアは 3 次キャリアを、3 次キャリアは 4 次キャリアを発生させ、この過程が無限に続けられる。その結果、 n 次キャリアが $n+1$ 次キャリアを発生せしめる確率を γ とすると、光電効果で発生した 1 次キャリアに起因して流れるキャリア対の総和は

$$\sum_{n=0}^{\infty} \gamma^n = \frac{1}{1-\gamma} \quad (=M) \quad (3.1)$$

になる。この値は増倍効果による光電流の増幅倍率であり、APD の増倍率 (M factor) と呼ばれている。衝突電離の確率 γ は電圧に依存し γ が 1 に達すると APD は降伏を起こす。

図 3. 2 に光照射時および非照射時における APD の電流電圧特性を示す。増倍率はバイアス電圧 V_a における光電流と低電圧 V_0 における光電流の比であり、図 3. 2 に例示される V_a の場合の増倍率は 10 である。

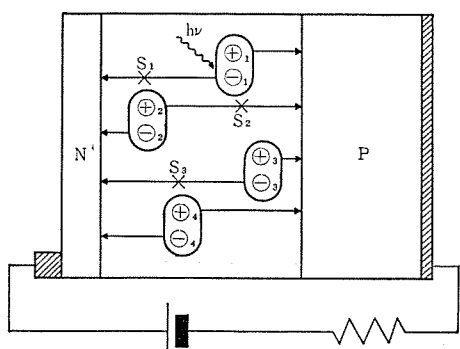
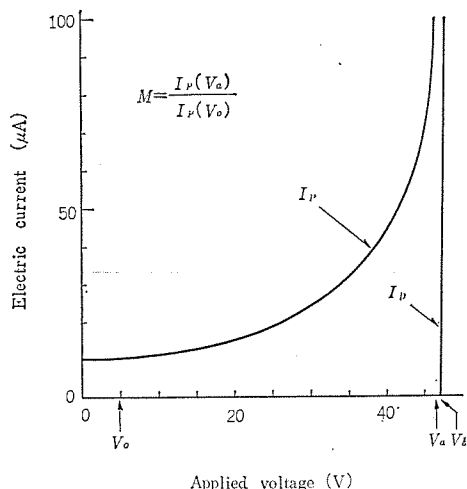


図 3. 1 電流増倍機構
Current multiplication mechanism.



I_P : Photo-current, I_D : dark-current, V_0 : breakdown voltage.

図 3. 2 APD の電流電圧特性
Current-voltage characteristics of an APD.

4. Si-APD の特性上の特長

図 2. 1 に示される Si-APD の諸特性の一覧を表 4. 1 に示す。Si-APD の特性上の特長は、Si ホトダイオードと比較すると高感度であり S/N も 20 dB 程度良い。光電子増倍管と比較すると低電圧、高速応答の利点がある。

感度の点では可視域では光電子増倍管が有利であるが、近赤外域では Si-APD のほうが S/N が高くなる。

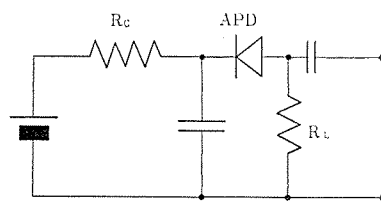
APD の欠点は感度が周囲温度の変化によって大きく影響されることである。この欠点を克服するために温度補償を施した電源が使われる。最も単純な電源としては図 4. 1 に示される定電流源形のものが使われるが、さらに精密な温度補償を行なう場合は APD と同程度の温度特性を持つツェナーダイオードを組込んだものが使われる。

5. APD 応用装置

まえがきで触れたごとく、APD は高速高感度素子として光通信およびその応用装置に活用され、装置の小形コンパクト化、堅固化、高信頼性化、低消費電力化等を果たしている。Si-APD の場合感光波長域が $0.4 \sim 1.1 \mu\text{m}$ であるので YAG レーザ、ルビーレーザ、HeNe レーザ

表 4. 1 Si-APD の諸特性
Characteristics of the Si-APDs.

	N ⁺ P APD	P ⁺ PN ⁺ APD	Dimension & Reference
Structure	図 2.1 (a)	図 2.1 (b)	
Sensitive Area	0.02	0.20	$\text{mm}^2 (0.5 \text{ mm} \phi)$
Breakdown Voltage	36~42	100~300	V (25°C)
Temp. Dependence,	$0.9 \sim 1.1 \times 10^{-3}$	$1.0 \sim 1.2 \times 10^{-3}$	$V_D(T) = V_D(0^\circ\text{C}) / (1 + \beta T)$
Junction Capacity	$16 \sim 20 \times 10^{-12}$	$2 \sim 4 \times 10^{-12}$	pF ($V_a = 0.9 V_D$)
Dark Current	max. 1×10^{-8}	max. 1×10^{-8}	A ($V_a = 10\text{V}$)
Sensitivity	0.25~0.5	0.18~0.25	$\text{A/W} (V_a = 0.1 V_D, \lambda = 0.8 \mu\text{m})$
Max. Multiplication	4000	1000	($V_a \sim V_D$)
Voltage Dependence	$n=1.3$	$n=2.0$	$M = 1 / (1 - (V_a/V_D)^n)$
Cut-Off Frequency	5×10^6	1×10^9	Hz
NEP	1×10^{-12}	2×10^{-12}	$\text{W/Hz}^{1/2} (M \sim 50)$



R_C : current control resistance R_L : load resistance.

図 4. 1 APD のバイアス回路
APD bias circuit.

Ar レーザ、半導体レーザ等を光源とする装置に適用することができる。

5.1 YAG レーザ測速器

光速が知られていることを利用する光学的測距方法の最も単純な方法に、光が目標物体までの距離を往復する時間を測定することによって目標物までの距離を知る方法がある。図 5.1 に示されるのはこの方法による測速器である。光源はプリズムの回転によって Q スイッチされる YAG レーザのパルス発振光であり受光素子として Si-APD が使われている。YAG レーザの場合は受光素子としては Ge-APD のほうが光電変換効率が高いため、Si-APD より Ge-APD が好ましいと考えるのが定説である⁽⁶⁾が、Ge-APD は暗電流が大きいため環境温度が高い場合には S/N の低下が懸念される。

図 5.1 において YAG レーザからの光は分波器で分けられ、大部分はレンズ系を通して目標物体を照射するが、一部分は直接フォトダイオードで検出され時間計数器のスタートパルスとして使われる。

一方、目標物体で反射されて戻った光は APD で検出され、計数器のストップパルスとして使われる。測速器の場合には目標物体が建物・森・山・乗物等々で、特定の物に限定できないため物体の大きさ、反射率、光とのなす角度によって反射光の強度や光パルスの時間幅が影響を受ける。実験セットでは出力 0.5 MW の YAG レーザを使って、視程 3 km の環境条件で 2 km 離れた森の測速に成功している。

反射光検出器として Si-APD と S_1 光電面を持つ光電子増倍管を比較した結果感度の点では同等、応答速度に関しては波形のなまりがはなはだしいため差が見られていない。目標物体がハードで送受信光パルスが短い場合には、Si-APD を使用して光検出器の応答速度を高めることによって測速精度が向上するものと考えられる。

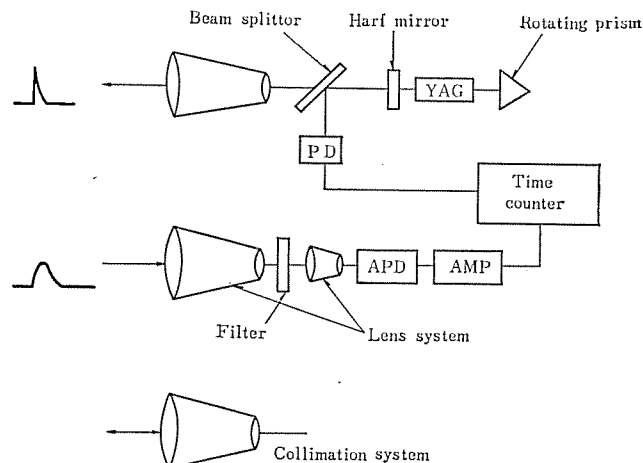


図 5.1 レーザ測速器の構成
Range finding system.

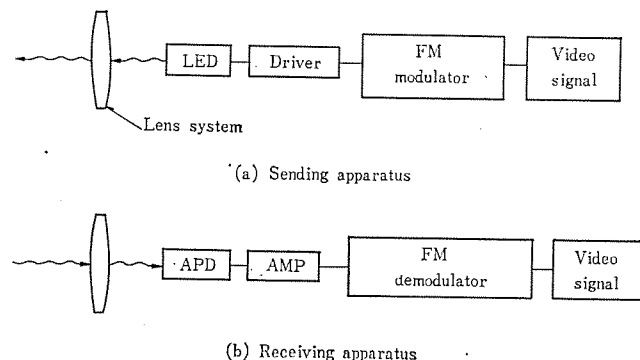


図 5.2 ITV 光伝送装置の構成
Block diagram of opto-electronic ITV transmitter.

5.2 光通信装置

光通信における光源としてはガスレーザ光を ADP や KDP などの電気光学結晶を使って変調する形式のものと、LED の通電電流に変調をかける形式のものがある。光出力の大きさ、変調帯域幅、光の収束性等に関しては前者が有利であるが、LED は電流変調が容易でしかも小形で消費電力が少ないので簡易光通信装置への応用には好都合である。光源とその駆動電源が小形コンパクトであることは、APD 使用による受光系の小形コンパクト化を生かす意味においても重要である。また、GaAs を材料とする LED や半導体レーザが Si-APD の検出感度が最も高い波長域 ($0.8 \sim 0.9 \mu\text{m}$) の光を発する光源であることも好都合である。

図 5.2 に示されるのは $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ -LED と Si-APD の組合わせを用いた ITV の光伝送系の概略である⁽³⁾。空気の揺らぎなどによる受信レベル変動の影響を少なくし、S/N の低化を防ぐ目的から FM-AM 変調方式を用いている。すなわち、送信するビデオ信号を FM 変調器にかけて FM 信号とし、LED 駆動増幅器を通じて LED の発光強度に AM 変調をかけている。受信器内では FM-AM 信号光を APD で電気信号に変換し、増幅した後に FM 復調器を通して元のビデオ信号に戻している。この装置で 250 m の ITV 伝送に成功している。実験に使われた LED や APD が当該システム用に最適設計されたものではないので、今後両素子を改良すればさらに距離を伸ばすことは可能である。また、光出力、帯域幅⁽⁴⁾とも LED を大きく上まわっている半導体レーザが実用化されれば、簡易光通信システムの性能は飛躍的に向上するであろう。

5.3 精密光波測距装置⁽⁷⁾

光速は約 30 万 km/秒であるから光を 150 kHz で変調すると、光が 2 km 進むごとに変調周波数における位相は等しくなる。したがって 1 km 隔った位置に反射鏡を設けると、150 kHz で変調された光は発射光と反射されて発射地点に戻る光の位相は一致し、発射地点と反射鏡の間隔を変えると両光の位相にずれが生じる。この位相ずれを使って距離を求める装置が精密光波測距装置である。

当社と日本光学(株)が共同開発した精密光波測距装置の外観を図 5.3 に示す。写真には現われていないが目標地点にはコーナリフレクタを設置し、送受信系と反射系が互いに視準して被測定位置が決められる。写真の頭部が送受信系で送光系には $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ -LED が、受光系には図 2.1(a) に示される Si-APD が収納されている。この装置は 1 km までの距離を $\pm 5 \text{ mm}$ の精度で測ることができ、一般測量の要求精度を越えているのみならず、しかもワンタッチで距離が表示される簡便さは、従来の測量概念を一変させるものと言うことができる。従来の巻尺による測量と異なって測量地点間の地形のおうとつ(凹凸)や河川、湖がある場合でも何ら問題なく測量できることも大きな利点である。

この方式の測距においても変調周波数を高めることによってさらに測定精度を高めることができるが、それには LED を半導体レーザに切換えると同時に Si-APD を図 2.1(b) のものに切換えることが必要であり、また回路系の時間遅れを少なくする等の改善を行わなければならない。

6. む す び

Si-APD の構造、動作機構、特性について述べ、また、Si-APD が実際の光波応用機器の中でいかに使われ役立っているかを述べるためにレーザ測速器、光通信装置および精密光波測距装置を紹介し

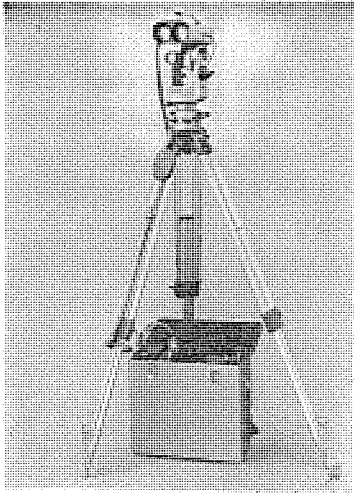


図 5.3 精密光波測距装置の外観
Optical distance meter, MND-2.

た。

空間伝ば(播)による光通信は天候の影響を受けやすいので屋内あるいは比較的近距离通信に限定される。この欠点を克服し通信の信頼度を高く保つためにはオプティカルファイバ等を使って光の伝ば路を

有線化することが望まれる。一方、光通信は電波法の制限を受けないので無線で使うことにも大きなメリットがあり、近距離テレメータやITV、私設電話等に数多く使われることが予想される。その場合にはLEDや半導体レーザとSi-APDの組合わせによる簡易光通信装置がその小形コンパクト性、簡便性を買われるものと思われる。LEDを光源とする機器の場合には光出力が小さい欠点もさることながら、帯域幅、測定精度等がLED自体の特性で限定されてしまうため、半導体レーザの実用化が待たれている。

参 考 文 献

- (1) K. M. Johnson : IEEE Trans., ED-12, No. 2, 55 (1965)
- (2) 藤川, 高宮 : 三菱電機技報, 43, 821 (昭44)
- (3) 中原, 長能, 浪崎, 道家, 大久保 : 三菱電機技報, 45, 1434 (昭46)
- (4) S. Takamiya, et al. : IEEE Proc., 56, No. 1, 135 (1968)
- (5) 坪川 : Nikon TECHNICAL JOURNAL, No. 2, 3 (1973)
- (6) N. Lindgren : IEEE Proc., 58, No. 10, 1410 (1970)
- (7) 中原, 長能 : 量子エレクトロニクス研究会資料, QE 69-23 (昭42-07)

ガラス半導体のスイッチング現象

布下 正宏*・鈴木 武*
平野 昌彦*・新居 宏壬*

Switching Phenomena of Amorphous Semiconductors

Central Research Laboratory Masahiro Nunoshita・Takeshi Suzuki
Masahiko Hirano・Hirotsugu Arai

Amorphous materials are now in the limelight as one of functional materials. Specifically chalcogenide glass draws attention because of its electric and photoelectric particularity and ease in the formation of thin films and multi layers. Under the circumstances, studies have been made on the electric conducting mechanism and switching phenomena of As-Te-Si, As-Te-Si-Ge group for the purpose of putting amorphous semiconductor threshold switches into practical use. As a result, it has been made clear that even in the case of amorphous semiconductors electronic and electric conductivity governs the phenomena based on the energy band theory similar to the crystal semiconductor. Threshold switches made for trial have withstood the test operation with on and off cycles of $10^7 \sim 10^9$ times to certify their practicability.

1. ま え が き

ガラスに対する概念が大きく変りつつある。窓ガラス、ランプ用ガラス、理化学用ガラスに代表される透明でこわれやすく高絶縁性の構造材料というイメージだけでガラスを理解できなくなっており、ホトリミックガラス、磁性ガラス、光電導性ガラス、半導性ガラス、ガラスサミスターなど新しい機能的な材料としてのガラスが次々と登場し、新しい工業材料の一角を占めるようになった。最近では硫黄族元素 (S, Se, Te: カルコゲン元素) を含むカルコゲナイドガラス (非酸化物ガラス) の研究が活発に行なわれ、その特異な光学的性質、電気的性質を利用した赤外線工学用材料、記録用材料その他の光電機能材料としての応用がなされつつある。特に米国の E. C. D. 社の Ovshinsky⁽¹⁾ が適当な組成を持つカルコゲナイドガラスには、スイッチ作用や記憶作用があると発表して以来、この方面の研究が加速度的に発展してきた。すでに Pearson⁽²⁾, Kolomiets⁽³⁾, Eaton⁽⁴⁾ などにより同様な報告がなされていたが、ガラス半導体または非晶質半導体の名称で呼ばれるこの種のガラスは、ゲルマニウムやシリコンで代表される単結晶半導体と異なり、ランダムな不規則性構造を持つためそれらの現象の解明は容易ではない。しかし、不純物や放射線の影響が比較的少ないこと、電気特性が双極性であること、薄膜化が容易であり集積化や多能化の可能性などから、我々は、ガラス半導体の実用化を目指し特に特異な電気的性質の一つであるスイッチ現象に着目しその電導機構およびスイッチ素子としての可能性を検討した。

2. ガラス半導体の電気的性質

2.1 担体輸送機構

酸化物系ガラスのほとんどは絶縁体でイオン電導が支配的であるが、カルコゲナイドガラスは電子電導が支配的で半導体の範囲に入るものが多い。その直流電気伝導度は報告されている種々のカルコゲナイドガラスに対し 10^{-18} Ω/cm 程度のまったくの絶縁体から 10^{-3} Ω/cm 程度の半導体までその成分組成によって大きく変化し、当然非金属性元素や原子量の小さい元素を多く含む組成ほどその電導度は小さい。このようなカルコゲナイドガラスが酸化物系ガラスとその電気的性質におい

て基本的に異なる点は、その結合のきわめて共有結合性の強いことである。すなわち Si-O, B-O 結合など酸化物系ガラスの網目構造を形成している結合が 39~50% のイオン性をもつのに対し、カルコゲナイド系の As-S, As-Te, Si-Te 結合等は 0~12% のイオン性しかもっていないので、電子の波動関数はより非局在性を示す。このため Kolomiets⁽⁵⁾ らや他の多くの研究者によって測定されたホール効果⁽⁶⁾、熱起電力⁽⁷⁾の結果よりその担体はイオンではなく電子正孔であることが実証されている。(ホール効果によると n-type で電子電導、熱起電力によると p-type で正孔電導という結果になり、Hall-effect/seebeck-effect 異常と呼ばれている。)

このようなガラス半導体の中での電子の振舞いおよびその輸送機構を説明するには、結晶半導体においてなじみのエネルギーバンド理論の概念を類推適用できることが多くの研究者によって指摘されている。特に Mott⁽⁸⁾ らや Cohen⁽⁹⁾ らは“移動度ギャップ”なる概念を提唱した。Mott-CFO 模型と呼ばれているこのエネルギーバンド模型は必ずしも完全ではないが、その基本的特徴は光学吸収、光電導、直流電導率温度変化、交流電導率、光電子放出、トンネル電流分光などの実験結果を説明するのに有効である。この模型の特徴はガラス半導体不規則格子の中での電子の振舞いを、近距離秩序の保持と長距離秩序の欠如とから、電子の状態密度分布と波動関数の空間的広がり・散乱の度合とを考慮して、電子の移動度のエネルギー関数として表現したものであって、その電子の状態密度分布には明確なギャップをもたないが、状態の局在化のために電子の移動度がきわめて小さくなって移動度ギャップを形成しているというものである。

ここでは代表的なガラス半導体である Ge-Si-As-Te, Si-As-Te 系ガラスについて得られた実験結果を報告する。

実験試料は高周波誘導加熱炉によって熔融、空冷して製作されたガラスインゴットから約 1 mm 厚のスライスに切り出され、両面を $0.3 \mu\text{m}$ の Al_2O_3 で鏡面研磨した後、 1 cm^2 の円形蒸着金電極をサンドイッチ状にしたものが用いられた。このようなガラス半導体の直流電圧-電流特性は図 2.1 に示すように高抵抗オフ状態の低電圧域ではオーミック関係を示し、それ以上の高電圧前降伏域においては非直線関係を示し、更にしきい(閾)値電圧以上においては急速に低抵抗オン状

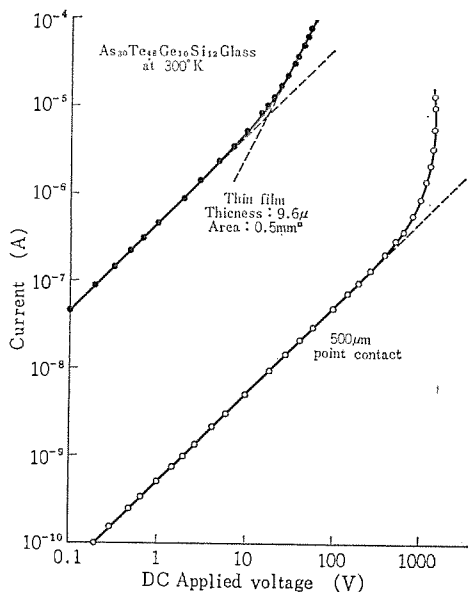


図 2.1 OVONIC 組成のガラス半導体の薄膜素子とバルク点接触型素子の直流 V-I 特性
DC Current-Voltage characteristics of thin film and bulk of OVONIC glassy semiconductors.

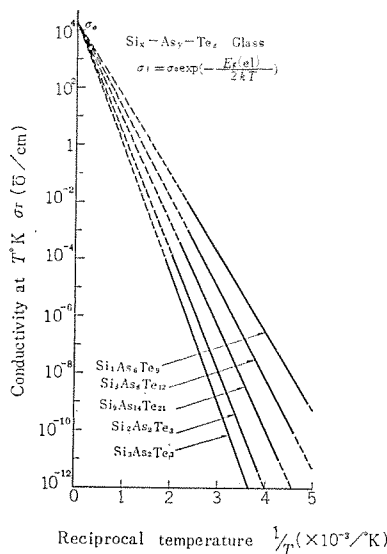


図 2.2 Si-As-Te 系ガラス半導体の直流電気伝導の温度依存性
Temperature dependence of DC electrical conductivity in amorphous Si-As-Te semiconductors.

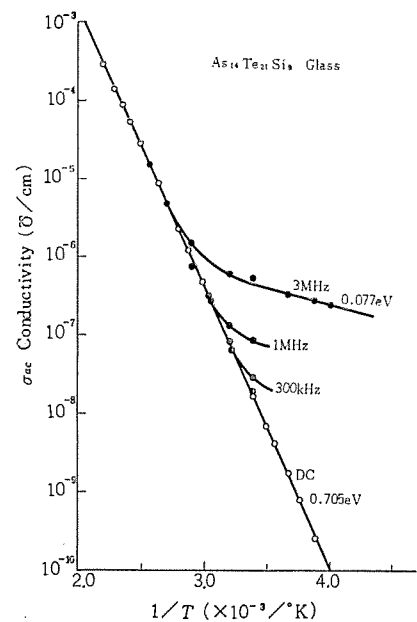


図 2.3 Si₉As₁₄Te₂₁ ガラス半導体の交流電気伝導率の温度依存性
Temperature dependence of AC electrical conductivity in the amorphous semiconductor, Si₉As₁₄Te₂₁.

態へ遷移する。この低電圧オーミック域での直流電導率 σ_T は、図 2.2 にいくつかの典型的な結果を示すように、そのガラス転移温度 T_g 以下のかかなり広い温度域において、結晶半導体の真性電導域と同様に次式に従う。

$$\sigma_T = \sigma_0 \exp(-\Delta E/kT) = \sigma_0 \exp(-E_g(eI)/2kT) \dots (2.1)$$

電導率のかかなり低いこれらのガラス半導体は「relaxation case」⁽⁹⁾ として、図 2.2 の $\ln \sigma_T - 1/T$ のこう(勾)配より求められる直流電導率 σ_T の活性化エネルギー ΔE の 2 倍は電気的エネルギーギャップすなわち移動度ギャップ $E_g(eI)$ を与える。

図 2.2 から明らかなように、式 (2.1) の前指数項 σ_0 にあたる定数は、Ge-Si-As-Te 系、Si-As-Te 系ガラスの組成によらずほぼ同一の値となる。すなわち、これらの系のガラスに対して

$$\sigma_0 = (2.1 \pm 0.6) \times 10^4 (\Omega \cdot \text{cm})^{-1} \dots (2.2)$$

が得られた。この値は他の系のカルコゲナイドガラスのみならずほとんどのガラス半導体、Ge, Si, など多くの結晶半導体の直性電導に対して $10^2 \sim 10^4 (\Omega \cdot \text{cm})^{-1}$ となることが指摘されている⁽¹⁰⁾。Mott や Cohen らによればこの値 σ_0 は次式で与えられ、

$$\sigma_0 = N(E_0)ekT\mu_0 \cdot \exp(\gamma/2k) \dots (2.3)$$

その半導体の移動度ギャップの端での電導度を意味している。ここで $N(E_0)$ はバンド端での状態密度、 μ_0 はバンド端での微視的移動度、 γ はギャップの温度変化係数であり、これらの値を用いた σ_0 の概算値は式 (2.2) の実験値にほぼ一致する⁽¹¹⁾。これらの結果は複雑な不規則系ガラス半導体においても、Ge, Si などの結晶半導体と同様にエネルギーバンド理論に従った電子性電導が支配的であることを証明している。そして式 (2.1) において得られた移動度ギャップ $E_g(eI)$ のみとそのガラス組成に依存した固有の値であり、これらのガラス半導体における他の多くの物理量もこの $E_g(eI)$ に密接な関連をもっていることが示された⁽¹²⁾。

ガラス半導体における低電圧オーミック域での電導機構に関する他の特徴は、移動度ギャップ内および端での局在準位に関連した、交流電導度と直流トラップ制限ドリフト移動度とである。むしろ移動度ギャップを有するガラス半導体特有の電導機構と考えられる。まずガラス

半導体の交流電導は図 2.3 に示すようにその周波数の増加とともに低温域で極端にその電導率が上昇する。これはギャップ内または端に存在する局在準位間での共鳴熱活性化ホッピング電導によるものと考えられ、この電導率から全密度 $10^{20} \text{eV}^{-1} \text{cm}^{-3}$ 程度の局在準位の存在が予想される⁽¹³⁾。この高密度の局在準位は当然直流電導にも重要な影響を及ぼし、ギャップ中の深いトラップ準位としてフェルミ統計則に従って電子と正孔の移動を制限し、結晶半導体における不純物イオンや格子振動による散乱で決まるバンド移動度と異なりガラス半導体中の担体の移動度は次式に示すような温度依存性を有するトラップ制限ドリフト移動度として特徴づけられる。

$$\mu d = \mu_0 \exp(-E_t/kT) \dots (2.4)$$

ここで μ_0 はバンド端での微視的移動度、 E_t は活性化エネルギーである。この事実は Spear⁽¹⁴⁾ や Hartke⁽¹⁵⁾ らによって、図 2.4 に示すように、Se 薄膜その他について報告されており、ガラス半導体の常温でのかかなり低い直流電導率、ドリフト移動度 ($10^{-1} \sim 10^{-4} \text{cm}^2/\text{V sec}$ 程度) が説明される。

図 2.1 の電圧-電流特性において明らかなように 10^4V/cm 以上の直流高電界域においては非直線抵抗性電導を示し、前降伏電導域として電気的降伏および負性抵抗のしきい値スイッチ現象にも深い関連があると考えられるが、まだその機構は完全に解明されたわけではない。二、三のもっともらしい説明がなされている。

一つは誘電体薄膜の電導機構として知られている高電界による内部ショットキー効果すなわち Poole-Frenkel 効果による電導である⁽¹⁶⁾。この電導電流は次式で表わされ

$$I = I_0 \exp[-(E_g(eI) - \beta F^{1/2})/2kT] \dots (2.5)$$

印加電界 F に対し非直線性を示す。ここで I_0 , β は定数。もう一つはジュール熱による電導率上昇によるサーミスタ効果であり⁽¹⁷⁾、他の一つは深いトラップ準位を有する半絶縁体において観測される二重注入による空間電荷制限電流⁽¹⁸⁾として知られているもので近似的に

$$I = (9/8) e \mu_n \mu_p \tau_n \rho_0 (V^2/L^3) \dots (2.6)$$

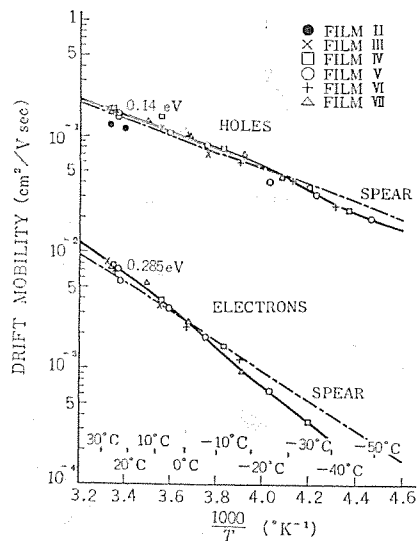


図 2.4 非晶質Se薄膜中のドリフト移動度の温度依存性 (Spear⁽¹¹⁾とHartke⁽¹⁵⁾より)
Temperature dependence of drift mobility in amorphous Se films, from Spear⁽¹¹⁾ and Hartke⁽¹⁵⁾.

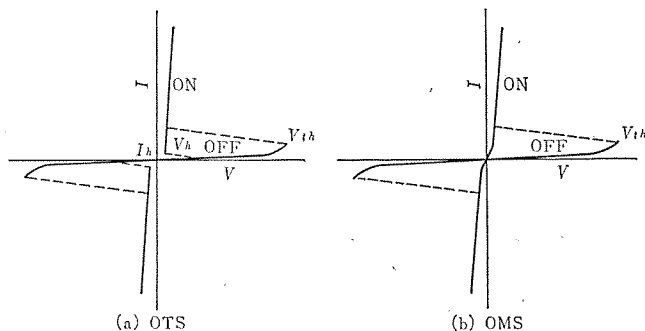


図 2.5 理想的に書かれた (a) OVONIC しきい(閾)値スイッチ (OTS) と (b) OVONIC メモリスイッチ (OMS) の V - I 特性

Idealized Current-Voltage characteristics of (a) OVONIC threshold switch(OTS) and (b) OVONIC memory switch (OMS).

で表わされ印加電圧 V の2乗に比例する。ここで μ_n, μ_p は電子と正孔の移動度, p_0 は熱平衡正孔密度, τ_n は電子のライフタイム, L は半絶縁域の長さである。

これらの非直線性抵抗を示す電導機構のいずれがガラス半導体の高電界域において支配的であるかはまだ確証はないが、しきい値スイッチ現象の原因追究には重要な問題である。この場合にも熱現象とするサージ効果, 電子現象とする空間電荷制限電流および中間的な熱電子現象とする Poole-Frenkel 効果のいずれか明確な決め手がない。

2.2 スイッチ現象とその機構

カルコゲナイドガラスにおいては2種類のスイッチ現象が見い出されており、実用化をめざして多くの研究が進められている。図 2.5 に示すように、一つはしきい値スイッチ (OTS) と呼ばれ、あるしきい値電圧 V_{th} 以下の印加電圧のもとでは高抵抗オフ状態にあり、印加電圧が V_{th} を越えるときわめて低抵抗のオン状態となる。そしてその印加電圧を下げるとある維持電圧 V_h , 電流 I_h となったとき元の高抵抗オフ状態にもどるスイッチ現象である。もう一つはメモリスイッチ (OMS) と呼ばれ、あるしきい値電圧 V_{th} 以下の印加電圧のもとでは高抵抗オフ状態にあり、印加電圧が V_{th} を越えると低抵抗オン状態となる。このオン状態に数〜数十 msec 維持すると印加電圧をゼロ

まで下げても高抵抗オフ状態にもどらず、そのオン電流 (セット電流) に応じた低抵抗状態がメモリされる。このメモリを消去するには数 μ sec 幅のしきい値レベルの高電流パルスを印加することによって再び高抵抗オフ状態にもどることができる。OMS の動作機構は菊地らの研究⁽¹⁹⁾ によってガラス半導体中にしきい値スイッチによって形成される導電チャネル (電流フィラメント) に沿って、そのジュール熱による加熱により無秩序相から秩序相に変化するわち結晶フィラメントを析出し、その低抵抗結晶フィラメントが電極間に通じたときメモリセットとなるためであることが解明された。

メモリ消去リセットは高電流の短いパルスによって析出した結晶フィラメントを再びとかし無秩序相のまま急冷されるためである。このような OMS は E. C. D 社において Si ダイオードと組合せて 16×16 マトリックスアレイとして構成された 256 ビットリードモストリイメモリ (RMM 256) として製品化されており、 10^5 回書換え可能である⁽²⁰⁾。

以上のように OMS の動作機構はガラス半導体においてジュール熱による無秩序相と秩序相との間の相変化によることは明らかである。一方、OTS は図 2.5 に示すとき電流制限型負性抵抗を有するしきい値スイッチ現象でフィラメンタリ降伏を示すことはよく知られているが、その動作機構に関してはまだ解明されていない。それについての議論は熱的降伏であるというものと電子的降伏であるというものとに大別できる。この点について次章で我々の Ge-Si-As-Te 系と Si-As-Te 系ガラス半導体についてのしきい値スイッチ (電流制限型負性抵抗) 現象の実験結果を示しつつ述べることにする。

3. しきい値スイッチ素子

3.1 バルク及び厚膜素子

多くのガラス半導体において観測される電流制限型負性抵抗をもつしきい値スイッチ現象について多くの報告がなされているが、まだその機構が熱的か電子的かの議論に決着がついていない。いいかえると熱がそのスイッチ現象の原因なのか結果なのかという点の決め手がない。この問題は、多くの条件に支配されていて直接的に解明することは容易ではないが、ガラス半導体を用いたしきい値スイッチ素子 (OTS) の実用化にとって、信頼性、安定性、寿命などの点から非常に重要である。我々にとっては真空蒸着またはスパッタ蒸着による薄膜スイッチ素子を得ることが最終目的ではあるが、その前段階として Ge-Si-As-Te 系, Si-As-Te 系ガラス半導体のバルクを用いて $0.3 \mu\text{m}$ Al_2O_3 による機械研磨によって厚膜素子を作成し、スイッチ機構解明のための実験を行なった。また、このバルク、厚膜素子との関連を調べるために Ge-Si-As-Te 薄膜スイッチ素子もまた作成し、実験を行なった。

バルク素子の構造はいろいろ考えられるが、この実験では主に図 3.1(a) に示されたようなガラス半導体バルクの一面を鏡面研磨した後、Au, Pt, または Mo を蒸着して金属ヒートシंकに接着し、その上面に Au, Pt または W 針電極をあてた構造のものを用いた。

これは少なくともいづれか一方の電極面積の小さいほどスイッチ特性が良好なこと (たぶん、高抵抗オフ状態の漏れ電流と容量による充放電電流が減少することによってオン/オフ抵抗比が小さくなるためであろう)、同一表面上に針電極またはギャップ型蒸着電極 ($0.5 \sim 1.0$ mm 間隔) を設けた場合には空中放電が避けられないためである。また薄膜素子は図 3.1(b) に示されるようにスライドガラス上に 0.5 mm 幅帯状の Au または Mo 蒸着膜電極によるサンドイッチ構造のものを作成使用した。蒸着されたカルコゲナイドガラスは原子吸光分

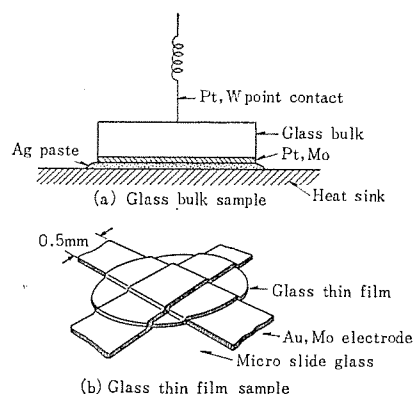


図 3.1 試作されたしきい値スイッチ素子の構造
(a) 点接触型バルク厚膜スイッチ素子
(b) サンドウィッチ型薄膜スイッチ素子
Structure of threshold switching devices.
(a) point-contact device of bulk threshold switch
(b) sandwich-type device of thin film threshold switch

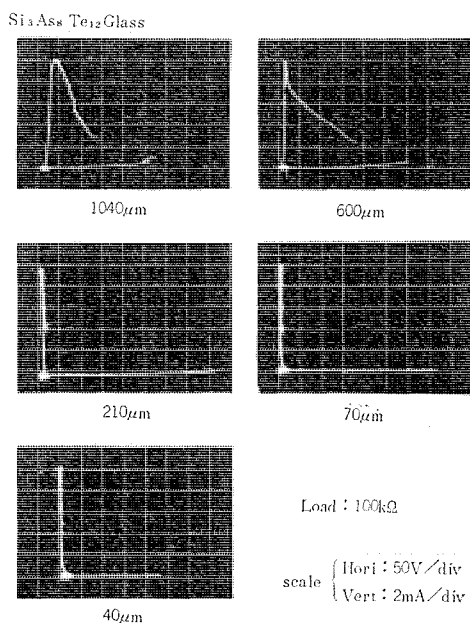


図 3.2 点接触型バルクスイッチ素子のしきい値スイッチング特性の試料厚さ依存性
Thickness dependence of threshold switching characteristics for a point-contact device of bulk threshold switch.

析によって組成を調べた。

バルクスイッチ素子の厚さすなわち電極間隔を変化したときのスイッチング特性の変化を、60 Hz 半波カーブトレーサで観測した結果を図 3.2 に示す。Si-As-Te 系、Ge-Si-As-Te 系ガラスに限らず素子の厚さにより図に示すごとく降伏電圧 V_b (しきい値電圧 V_{th} に同じ)、オン状態低抵抗、オフ状態高抵抗が大きく異なることがわかる。特に 200 μm 以上では厚みの厚いほど熱的ヒステリシスらしき特性を示すが 200 μm 以下の薄いものは良好なスイッチング特性を示す。このような特性の厚さ依存性は放熱、電極間隔、広がり抵抗などの原因と考えられる。蒸着薄膜素子の場合の 60 Hz カーブトレーサでの観測特性は図 3.3 に示す。薄いものほどそして面電極より針電極のほうがより特性のよいことがわかる。このスイッチング特性の厚さ依存性を定量的に調べるためにその降伏電圧 V_b 、降伏電界 E_b の厚さ依存性を直流、交流半波、パルス各印加電圧に対して測定した結果を図 3.4、3.5、3.6 に示す。図 3.4 は OVONIC 組成と呼ばれている $\text{Ge}_{10}\text{Si}_{12}\text{As}_{30}$

$\text{Si}_{16}\text{Ge}_{13}\text{As}_{26}\text{Te}_{55}$ Thin film (7.6 μm)

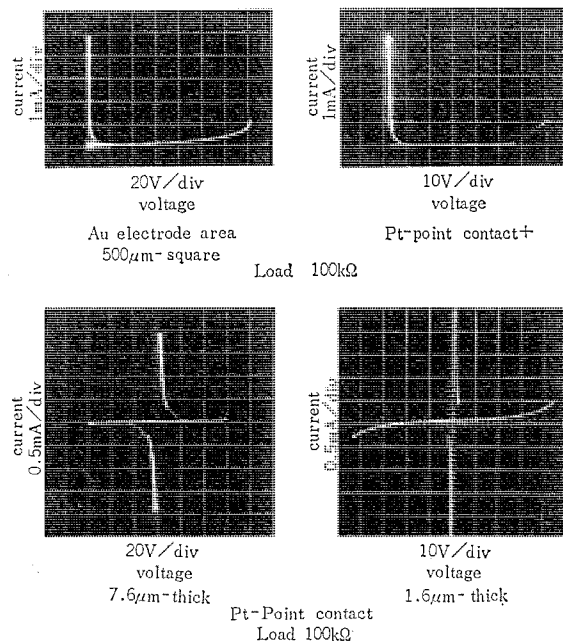


図 3.3 サンドウィッチ型と点接触型薄膜スイッチ素子のしきい値スイッチング特性
Threshold switching characteristics of sandwich type and point-contact type devices of thin film threshold switch

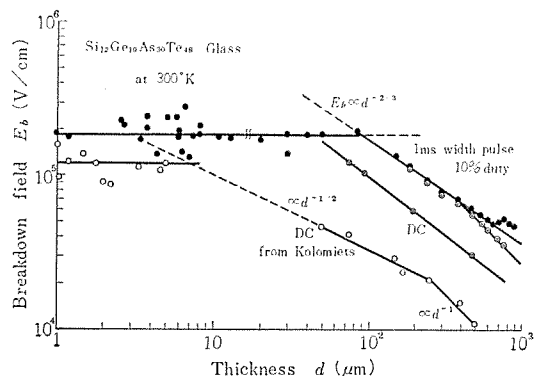


図 3.4 OVONIC しきい値スイッチ素子の降伏電界の厚さ依存性
Dependence of the breakdown field on the thickness of OVONIC threshold switch.

Te_{48} ガラスに対する結果で 20 μm ~1,000 μm は機械研磨による図 3.1(a)の点接触型バルク素子、13 μm 以下は同じ組成で図 3.1(b)のサンドウィッチ型薄膜素子である。白丸のデータは Kolomiets⁽²¹⁾ の直流電圧印加の結果であるが、我々のデータとかなり異なる。我々の素子は点接触であることと、ヒートシンクにより放熱のよいことが特徴であり、Kolomiets の報告では不明であるがたぶんこれらの点が異なるためであろう。この降伏電界 E_b の厚さ依存性からそのスイッチ機構は素子の厚さによって異なることが結論される。この厚さ依存性は Ge-Si-As-Te 系、Si-As-Te 系ガラスの組成には関係なく、電極構造、放熱条件などによって決まっているようで、図 3.5 に示す代表的 Si-As-Te 系ガラスにおいても図 3.4 の OVONIC ガラスと同様の結果となる。この構造のスイッチ素子では 80 μm 以下の薄いときはその降伏電界 E_b はほぼ一定となり、それ以上の厚いときは厚さのほぼ $2/3$ 乗に比例する。図 3.5 より明らかに厚膜の場合は印加パルスのデューティによって大きく異なる。このことは同試料の実測された降伏電圧 V_b と厚さ d との関係を印加パルスのデューティ

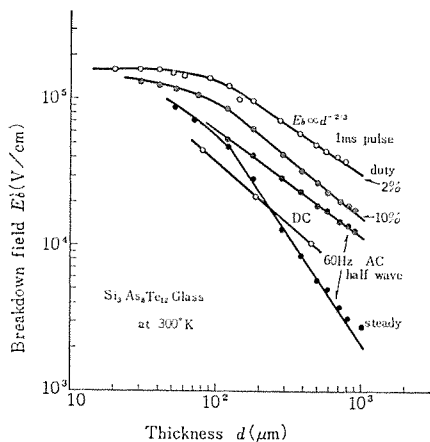


図 3.5 $Si_3As_8Te_{12}$ ガラスの降伏電界の厚さ依存性
Dependence of the breakdown field on the sample thickness for threshold switch of $Si_3As_8Te_{12}$ glass.

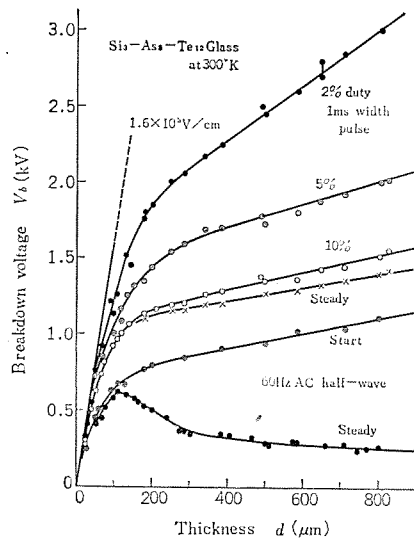


図 3.6 $Si_3As_8Te_{12}$ ガラスの印加パルスデューティをパラメータとしたときの降伏電圧の試料厚さ依存性
Dependence of the breakdown voltage on the sample thickness for threshold switch of $Si_3As_8Te_{12}$ glass as a parameter of duty cycle of applied voltage pulse.

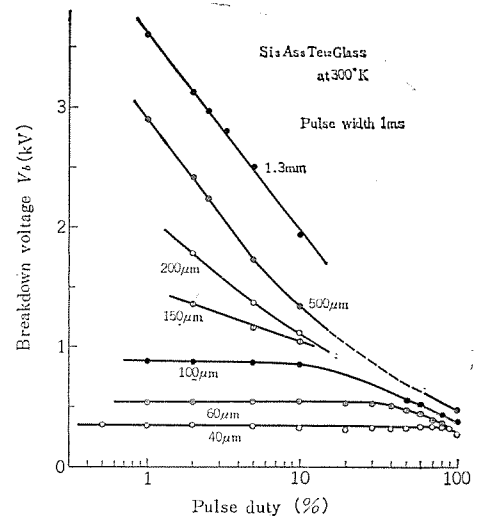


図 3.7 $Si_3As_8Te_{12}$ ガラスの厚さをパラメータとしたときの降伏電圧の印加パルスデューティ依存性
Dependence of the breakdown voltage on the applied pulse duty-cycle for threshold switch of $Si_3As_8Te_{12}$ glass as a parameter of the sample thickness.

をパラメータとして示した図 3.6 を見ればより明らかである。一定の 1 msec 幅の印加パルスのデューティが低くなると素子厚 d の厚いほどその降伏電圧 V_b の変化が大きく、しかも高デューティでは降伏電圧 V_b と定常状態でのしきい値電圧との差が大きくなり、60 Hz 交流半波での定常状態では図 3.2 に示したように 120 μm 程度の厚さで最高値を示し、それ以下の薄さではほとんど降伏電圧 V_b と変らなくなる。降伏電圧 V_b は約 200 μm 以下で厚みとともに急激に減少して一定電界 1.6×10^5 V/cm に漸近しており、200 μm 以下でスイッチ特性が良好になる図 3.2 と密接に関連している。うゑの結果を図 3.7 に示すように、素子厚 d をパラメータとして降伏電圧 V_b と 1 msec 幅印加パルスのデューティとの関係として表わす。図 3.7 より明らかに素子の厚さが 150 μm より厚いときはその降伏電圧 V_b は印加パルスデューティに強く依存しているが、100 μm より薄い素子のときは通常の印加パルスデューティにはほとんど無関係に降伏電圧 V_b が決まっている。以上に述べてきた降伏電圧 V_b と素子厚 d と印加パルスデューティとの関連から、図 2.5 の点接触型スイッチ素子でのしきい値スイッチ現象の機構は、厚さが 200 μm 以上では明らかに熱的降伏であり、100 μm 以下では電子的降伏が支配的であると結論される。これらは前にも述べたように素子の電極構造、熱条件に主として関連しており、Ge-Si-As-Te 系、Si-As-Te 系ガラスの組成にはその降伏電圧 V_b の大小以外には関係しない。

図 3.8 に種々の組成の Ge-Si-As-Te 系 (図中 a, b, c) と Si-As-Te 系ガラスについて、厚さ 1 mm, 0.5 mm, 200 μm , 90 μm での降伏電界 E_b および漸近極限降伏電界とを一定パルス印加 (幅 1 msec デューティ 10%) にて測定し、その直流電導率 σ_{300} との関係として示す。1 mm および 500 μm では明らかに降伏電界 E_b は直流電導率 σ_{300} のほぼ $-1/3$ 乗に比例している。印加電圧がパルスでなくて直流の場合には図中の印で示すように E_b は σ_{300} のほぼ $-1/2$ 乗に比例する。これは次式によって表わされる熱的降伏現象として説明される。

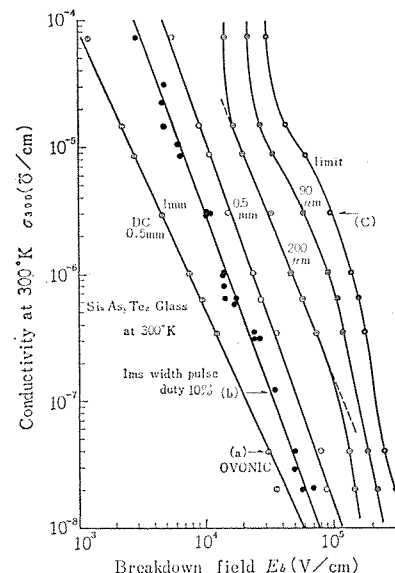


図 3.8 種々の組成の Si-As-Te 系ガラスにおける電気伝導率と降伏電界との関係
Relation between the breakdown field and DC electrical conductivity for Si-As-Te glass of different compositions.

$$C \frac{\partial T}{\partial t} = \vec{j} \cdot \vec{E} - \vec{A} \cdot (H \vec{\nabla} T) \dots \dots \dots (3.1)$$

ここで C はガラスの比熱、 H はその熱伝導率、 T は位置と時間の関数である温度、 \vec{j} は電流密度、 \vec{E} は電界である。式 (3.1) の一般解を求めるための境界条件を知ることは困難であるが、ここで電導率 σ_T は式 (2.1) に従うとし、点接触バルクの抵抗 R は接触直径 a に対し $R = 1/2 \cdot a \sigma_T$ と表わされるとして菊地ら⁽¹⁷⁾や Fritzsche⁽²²⁾の議論を参考にして近似的に解くことができる。

直流または 60 Hz 交流の場合 (定常状態) $C(\partial \vec{T}/\partial t) = 0$ として
$$E_b \propto [HT_0^2/E_0 \sigma(T_0)]^{1/2}/d \dots \dots \dots (3.2)$$

impulse の場合は熱伝導を無視して $\vec{A} \cdot (H \vec{\nabla} T) = 0$ として

$$E_b \propto [CT_0^2/d^2 E_0 \sigma(T_0)]^{1/3} \dots \dots \dots (3.3)$$

となる。ここで T_0 は周囲温度、 E_0 は移動度ギャップである。この式 (3.2), (3.3) の結果は厚いバルク素子の降伏電界 E_b と厚さ d , 組成による直流電導率 σ_T との実験で得た関係によく一致する。このことから厚いバルク素子では熱的降伏によるスイッチ現象であることは明らかである。

100 μm より薄い厚膜バルク素子においては図 3.8 に示すように、また厚さ依存性より単純に式 (3.2), (3.3) には従っていない。その降伏電界 E_b はガラス半導体の移動度ギャップ E_0 に比例しているように見える。このように厚膜バルク素子における降伏電界 E_b が式 (3.2), (3.3) の関係に従わず、厚さ d , 印加電圧パルスデューティ (印加パワー) に無関係にただそのガラス半導体の移動度ギャップにのみ依存していることは、この領域の厚さをもつスイッチ素子における降伏現象が熱的機構よりむしろ電子的機構であることを暗示している。電子的降伏機構には今までの半導体中での多くの負性抵抗現象、降伏現象の機構から類推して次のようなものが考えられている。

- (i) double injection (二重注入)⁽²³⁾
- (ii) recombination injection⁽²⁴⁾
- (iii) impact ionization⁽²⁵⁾
- (iv) avalanche breakdown (なだれ降伏)⁽²⁵⁾
- (v) tunneling injection⁽²⁶⁾
- (vi) collective breakdown⁽²⁷⁾

あるいはこれらをその移動度ギャップの模型と適当に組合せた、いわゆる HFO 模型⁽²⁸⁾, FO 模型⁽²⁹⁾などが提案されているが確証はない。局在準位を高密度に含む移動度ギャップの存在を考慮すれば何らかの形でトラップ準位の作用と空間電荷層の形成が重要な働きとなっていてと考えられ、その意味からいえば (iv) avalanche breakdown と (vi) collective breakdown は不適当であろう。

この降伏機構の手がかりとして降伏電圧 V_b の温度依存性が測定され、図 3.9 に示される。この図から素子の厚さが 100 μm でも 500 μm でもそれほどきわだって差異はみられないで、ともにその V_b の活性化エネルギーは 0.1 eV~0.3 eV である。この組成のガラスの

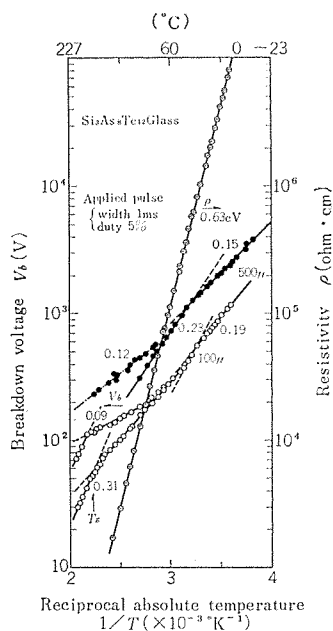


図 3.9 $\text{Si}_3\text{As}_8\text{Te}_{12}$ ガラスの降伏電圧の温度依存性
Temperature dependence of the breakdown voltage for threshold switch of $\text{Si}_3\text{As}_8\text{Te}_{12}$ glass.

直流電導率または抵抗率 ρ の活性化エネルギーが 0.63 eV とかなり大きいことから考えて、この降伏時の倍増担体はかなり浅いトラップ準位から励起倍増されることが予想される。この活性化エネルギーが厚さによってあまり変わらないので降伏時の担体倍増は、熱的であれ電子的であれ同じトラップ準位からの励起と考えられ、電子的降伏としては (iii) impact ionization のとき機構と考えられるがまだ確証はない。また他のガラス半導体においても同じ程度の大きさの V_b の活性化エネルギーが得られることが報告されている⁽³⁰⁾。スイッチ動作時の素子両端の電圧波形は周囲温度によって図 3.10 のように大きく変化し、温度の上昇とともに波形がくずれる。この理由是不明であるが、図 3.9 の V_b の温度依存性において 60°C 以上二また(股)に別れているのはくずれた波形のピーク値と肩値とを併記したためである。以上述べたようにガラス半導体のスイッチ現象の機構は電極構造、放熱条件によって異なるが一般に薄くて放熱の良いものでは電子的降伏によるもの、厚いものでは熱的降伏によるものと考えられる。実際にそのしきい値スイッチの動作機構の解明およびしきい値スイッチ素子の実用には、前降伏非直線抵抗域電導機構だけでなく、高密度電流フィラメントを形成している低抵抗オン状態の電導機構の追究もまた重要な働きをにぎっているであろう。

図 2.5 (a) に示した構造のバルク厚膜素子の一例について実際に連続動作寿命試験の結果を、100 μm の $\text{Si}_3\text{As}_8\text{Te}_{12}$ ガラスにおける 60 Hz 交流半波による降伏電圧 V_b の経時変化として図 3.11 に示す。このデータは三度の実験によるものでその再現性は十分よいの

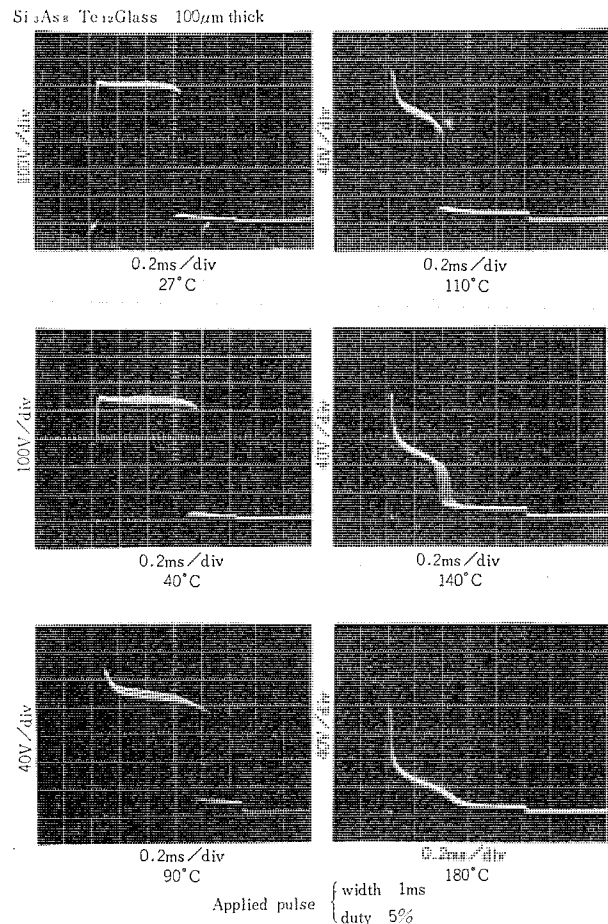


図 3.10 $\text{Si}_3\text{As}_8\text{Te}_{12}$ ガラスのしきい値スイッチングパルス電圧波形の温度依存性
Temperature dependence of the wave forms of applied voltage pulse for threshold switch of $\text{Si}_3\text{As}_8\text{Te}_{12}$ glass

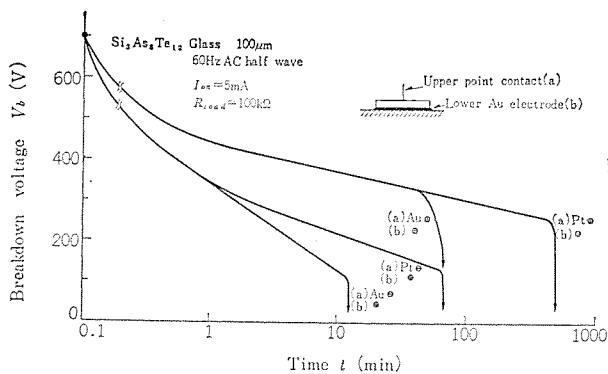


図 3.11 $\text{Si}_3\text{As}_8\text{Te}_{12}$ ガラス半導体の点接触型バルク素子の劣化・寿命特性

Operating life of threshold switch for the point contact type bulk device of amorphous $\text{Si}_3\text{As}_8\text{Te}_{12}$ semiconductor.

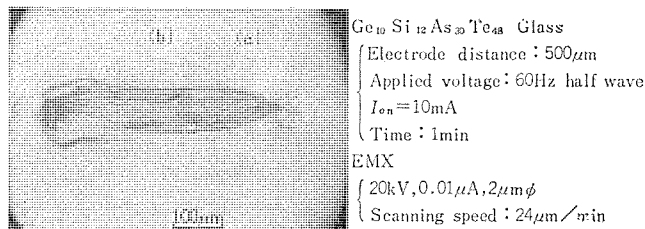
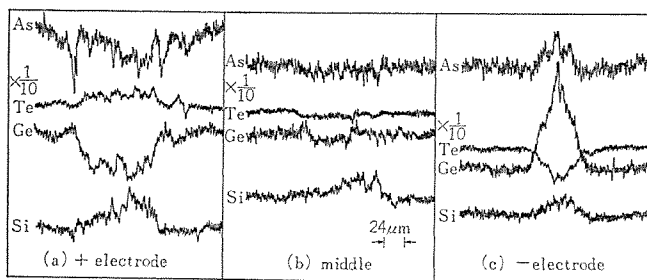


図 3.12 OTS 素子のスイッチ動作による組成偏析の EPMA 観察
EPMA observation of compositional segregation by threshold switching in OTS device.

で、この劣化特性の差異は図中に示した電極材料と印加電圧の極性によるものである。その劣化はガラスバルクと電極金属との相互作用に基づくメモリ形成と考えてよく、電極材料は Pt より Au のほうが、印加電圧の極性は Au 蒸着膜下部面電極側を正としたほうが劣化およびメモリ形成が速い。特に正側電極の状態に敏感に素子の寿命が決まっているようである。1 mm 厚の同組成ガラスの下部面電極を蒸着 Mo 膜、上部針電極を W として、上部正の 60 Hz 交流半波を印加しオン電流 15 mA で 1,500 分 (5.4×10^6 回)、1 msec 幅 5 % デューティパルスで 5,000 分 (1.5×10^7 回) の寿命を得ている。

ここでしきい値スイッチ動作によってそのガラス内部および電極近傍で何が起きているかを、 $\text{Ge}_{10}\text{Si}_{12}\text{As}_{30}\text{Te}_{40}$ ガラスの表面に 500 μm 間隔で 2 本の W 針を立てて 60 Hz 交流半波を印加し、そのオン電流を 10 mA として 1 分間連続スイッチ動作をさせた跡を EPMA で観察して調べた。その結果は図 3.12 に示される。そのガラス表面のスイッチ動作跡は図中の顕微鏡写真で示され、その溶融フィラメント跡はほとんどフォーミングあるいは最初のスイッチ動作による。その写真中の (a) 正電極近傍、(b) 両針電極中央部、(c) 負電極近傍の 3 か所においてフィラメント跡の Ge, Si, As, Te の各元素の分布すなわち組成ずれを EPMA にて測定した結果がグラフに示されている。その結果、スイッチ動作後のガラス組成は電極近傍ではその極性に従ってかなり

ずれており、As, Ge は正電極から負電極へ、Te は負電極から正電極へ、Si は電極間全域にわたりフィラメント中に偏析していることが観測された。したがって、図 3.11 に示した劣化および寿命は電界にひかれ正電極に偏析した Te がガラス中に溶込んだ Au と共晶を形成することによって支配されているようである。このようにスイッチ動作時の電界、電流の極性に従ったイオン電流による組成の偏析、あるいは As の昇華などがこのしきい値スイッチ素子の劣化、寿命をまず規定している。さらに電極破壊が重要な問題であり、特に次節で述べる薄膜素子の場合には重要で、その破壊防止のために、ヒートシンク、コーティングなどが検討され用いられた。

3.2 薄膜素子

前章までの実験結果から、ガラス半導体のしきい値スイッチ現象の機構は、種々の条件によって異なるが一般的にみて薄くて放熱の良い素子では、電子的降伏によるもの、厚いものでは、熱的降伏によるものと結論された。従って安定性・再現性の点からして長寿命のしきい値スイッチ素子を得るには、できるだけ薄膜にする必要があり、またガラス半導体とその他の能動素子との多層化、集積化を実現するためにも、図 2.5 に示したような帯電極のサンドイッチ型構造をもつものが望ましい。そこで薄膜でのスイッチ現象を観察するため、Ge-Si-As-Te 系ガラス半導体を 40~50 メッシュに粉碎しこれを約 8×10^{-6} Torr の真空中で抵抗加熱蒸着 (蒸着源温度 700°C) することにより得た薄膜素子 (10 μm 以下の厚さ) について、主に直流電圧、パルス印加でその特性を調べた。蒸着したガラスは原子吸光分析により $\text{Si}_{10}\text{Ge}_{13}\text{As}_{26}\text{Te}_{55}$ 組成になっているかあるいは、ほぼこれに近い組成となっていることを確認した。

3.2.1 電気特性

図 3.13 に直流およびパルス印加による定常状態でのスイッチング現象を示すが、これに示される降伏電圧 V_b (しきい値電圧 V_{th} に同じ) は蒸着膜厚、周囲温度、デューティサイクルなどに影響される。図 3.14 に直流印加およびシングルパルス (一回だけのパルス) 印加した場合の膜厚と降伏電圧 V_b との関係を示す。これによるとシングルパルス印加の場合には、素子の厚さに比例して V_b が増大しているが、直流印加の場合、厚さ約 3 μm 位から比例関係がくずれ、膜厚の変化に対して V_b の変化が小さくなる。次に印加電圧を一定にしてパルス幅 80 μs のパルスでデューティパーセントを変化させると、図 3.15 に示すごとく、0.5 %, 5.0 % ではスイッチ現象を観察することはできないが、50 % と大きくなるとスイッチする。また、この 50 % デューティの場合でもパルス印加当初からスイッチ現象があらわれるのではなく、室温では 10~11 サイクル目にはじめてスイッチし以後は定常的なスイッチ現象を示すことが観察される。更に図 3.16 にパルス幅一定

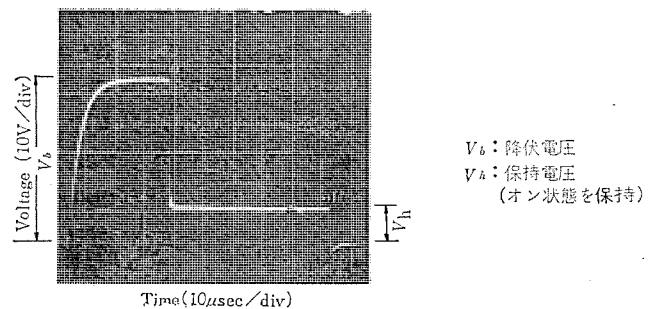


図 3.13 サンドイッチ型薄膜スイッチ素子のパルス印加時のしきい値スイッチング特性
Threshold switching characteristics of sandwich type element under square wave pulsing.

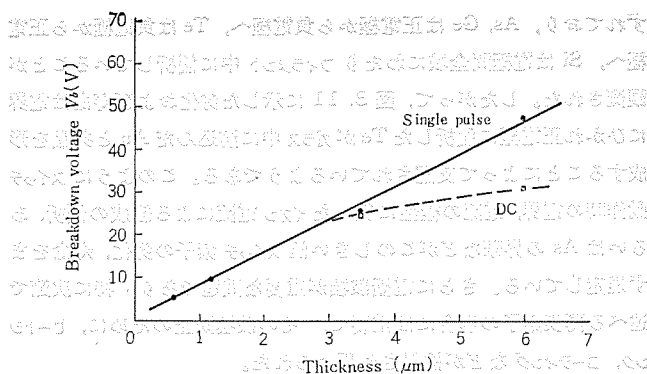


図 3.14 薄膜スイッチ素子の直流およびシングルパルス印加時の降伏電圧の厚さ依存性
Thickness dependence of breakdown voltage under applied single pulse and DC voltages to thin film devices.

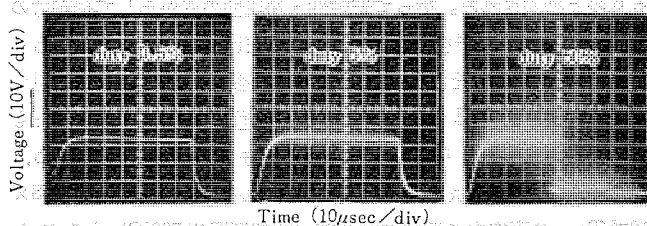


図 3.15 しきい値スイッチング特性のパルスデューティサイクル依存性
Pulse duty cycle dependence of threshold switching characteristics.

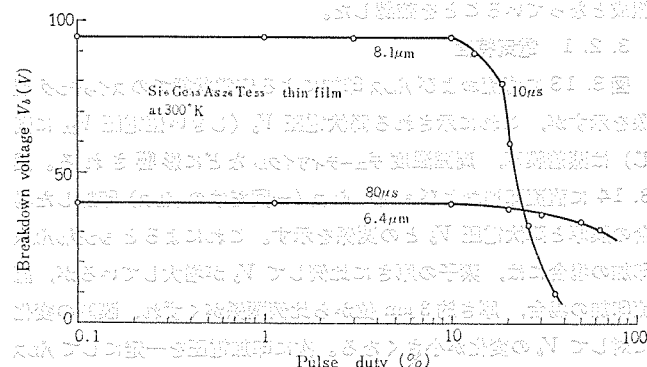


図 3.16 薄膜スイッチ素子の膜厚およびパルス幅をパラメータとしたときの降伏電圧のパルスデューティ依存性
Pulse duty dependence of breakdown voltage on thin film switch devices as a parameter of sample thickness and pulse width.

でデューティパーセントを変化させた例を示す。また、図 3.17 に直流印加、パルス幅 80 μ s のシングルパルス、デューティ 50 %、5 % の継続パルスを印加した場合のオフ時における電流-電圧特性を示すが、シングルパルス印加、5 % デューティパルス印加よりも 50 % デューティパルスおよび直流印加のほうが低い電圧のところから非直線性特性があらわれ、そして低いしきい値電圧でスイッチオンする。以上のように同じ薄膜素子においてもスイッチ現象を引きだすための電界の与え方により、その特性が異なり特にオフ状態の高電界非直線性特性領域にその影響が顕著にあらわれる。

降伏電圧の変動は、電導率の変動にほかならず、特にガラス半導体はその電導率の温度変化が非常に大きくスイッチオンするまでのオフ時のジュール熱が薄膜素子のアクティブ領域の温度を上昇させていると考えられる。これは基板ガラスの熱伝導が悪いためでもある。

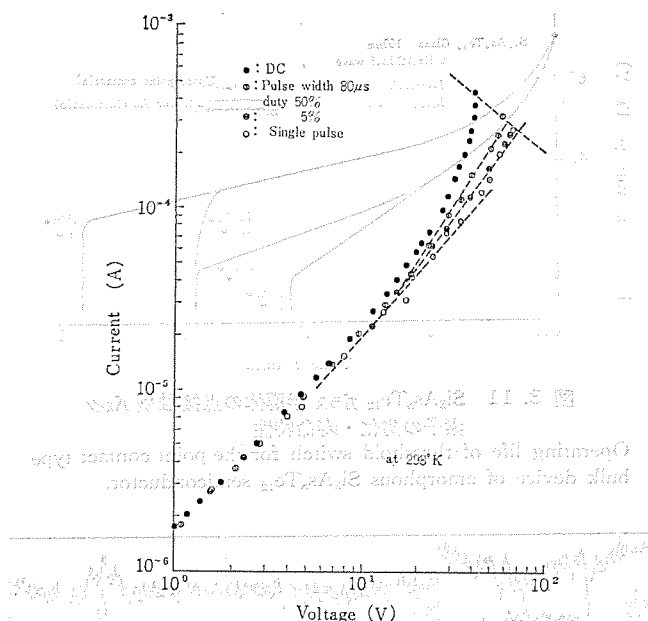


図 3.17 薄膜スイッチ素子のオフ時の I - V 特性
Current-Voltage characteristics in OFF state of thin film threshold switching device.

3.2.2 薄膜素子の寿命

我々が当初試作した薄膜スイッチ素子は電極材料の種類を問わずに電極損傷⁽³¹⁾が見られ(図 3.18)、また極性のいかんにかかわらず上部電極のみが損傷を受け寿命を短いものにしていた。上部電極のみに損傷がみられる原因は現在までのところ明らかではないが上部電極が下部電極より素子の構成上、熱放散が悪いため、オン時のジュール熱が付近にたまり電極物質のガラス半導体薄膜層への熱拡散をうながしたのか、あるいはガラス半導体表面の吸着、吸蔵ガス、またはガラス半導体のスイッチオン時のアクティブ領域の分解により発生したガスなどにより物理的に押し上げられる場合などが考えられる。片側電極だけの損傷現象は同一平面上に電極を対向させて置くギャップタイプでは見られずサンドイッチ型構造に特有のものである。

膜厚方向での断面観察が非常に困難なため完全な解析は行い得ていないが、これらのことを考慮して、上部電極上に一酸化けい(硅)素などの絶縁物をオーバコートした素子を作成した。その結果、オンオフサイクルがパルス幅 80 μ s デューティ 33 % のパルスで当初、約 8×10^2 程度であったものを約 1×10^8 回程度にまでのばすことに成功した。

電極損傷もさることながら、ガラス半導体がメタスティブル状態の非晶質であるという本質から見て熱エネルギーは好ましくないと言える。更にスライドガラス基板のスイッチ素子ではスイッチ特性は、オフ時のジュール熱に影響されており、薄膜素子の基板にヒートシンクとして熱良導体を利用することが望ましいと考えられる。金属のような熱良導体の使用は、下部電極および上部電極との隔離という点で非常に複雑な構造と工程をとらざるを得ない。我々は絶縁物でありしかも熱良導体のベリリア板を利用することにした。

しかしながら、セラミックス体のベリリア板の表面仕上げは粗いため薄膜素子を直接その上につけるには不適當で、ガラス半導体薄膜のはく(剝)離あるいは結晶化をさけることができなかった。そこでわずかの熱伝導率の低下はさけられないがベリリア板に 1 μ m 以下の酸化物ガラスコートをし、良好な表面を得てその上に図 3.19 のごとき薄膜素子を作成した。スライドガラスを基板にした薄膜素子とガラスコート

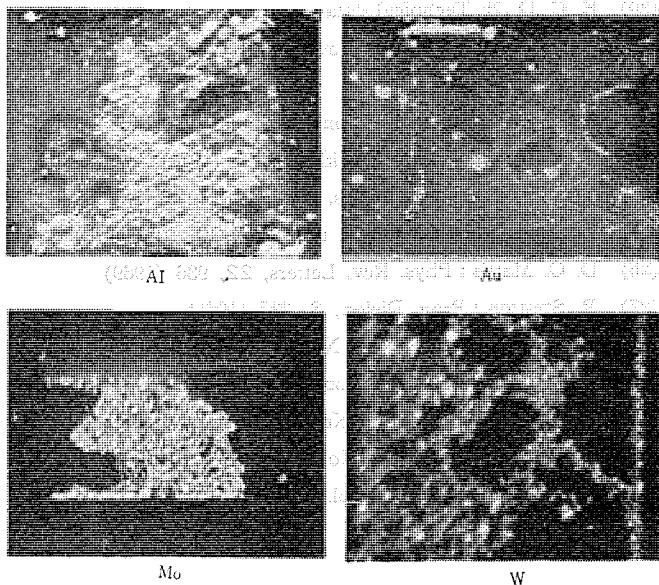


図 3.18 上部面電極損傷例
Examples of damage on the upper electrode.

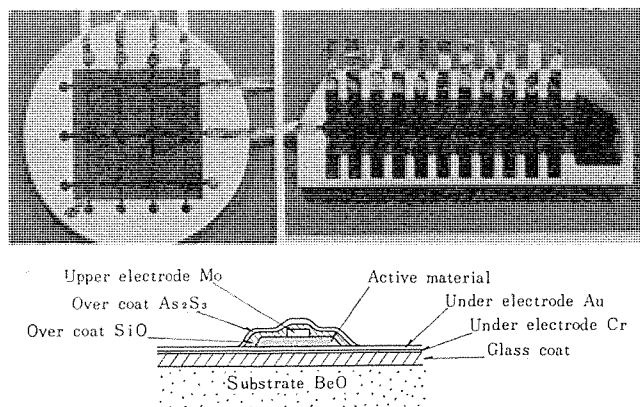


図 3.19. ガラスオーバーコートベリリア基板上に試作されたサンドイッチ型薄膜しきい値スイッチング素子の構造
Structure of sandwich type devices of thin film threshold switch built for trial on BeO substrate overcoated with glass.

ベリリアを基板にした素子とのオフ時のジュール熱の影響は、図3.20に電流-電圧特性の比較によって示すように直流印加でもガラスコートベリリア基板のほうが非直線性の程度が小さくなり、パルス印加に近い結果になった。このことは目的としたオンオフ時のジュール熱の放散をスライドガラス基板の素子よりも良好にしていることを裏付けるものであり、実際に寿命テストをした結果、パルス幅80 μ s duty 33%のパルスで約 1×10^9 回のスイッチオンオフサイクルを行なえるようになった。しかし、これ以上のオンオフサイクルを行なわせようとすると、短時間(数~数十分)に降伏電圧(V_0)の急激な低下をもたらし、オン状態になったままオフ状態に戻らず、スイッチング現象を観察できなくなる。現在のところこの降伏電圧の急激な低下の原因は、解明されていないがスイッチ素子の実用化をより可能とするために、原因究明とその対策が急務である。

4. む す び

カルコゲナイドガラスの機能材料としての利用を目的とし、As-Te-Si-Ge系、As-Te-Si系ガラス半導体の電導機構およびスイッチ現象を検討した。その結果複雑な不規則系ガラス半導体においてもGe, Siなどの結晶性半導体と同様にエネルギーバンド理論に従った電子性電導が

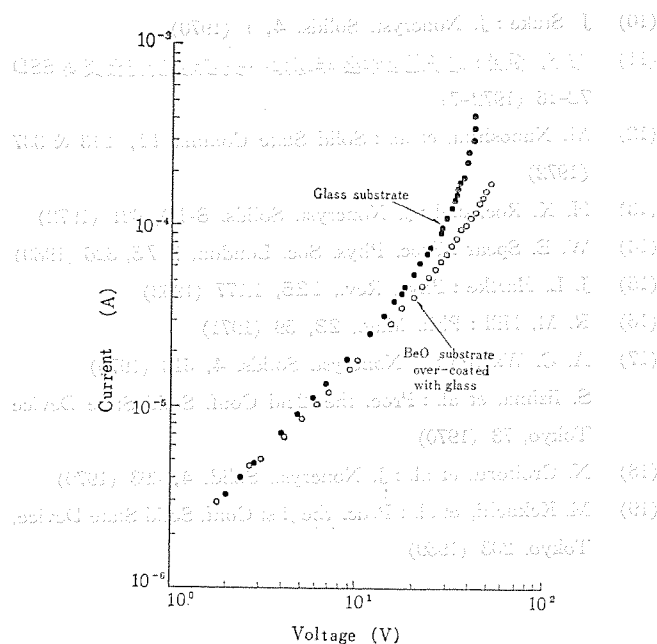


図 3.20 スライドガラス基板上の薄膜素子とガラスオーバーコートベリリア基板上の薄膜素子の直流V-I特性
DC Current-Voltage characteristics of thin film devices on slide glass substrate and BeO substrate over-coated with glass.

支配的であることが証明された。スイッチ現象は素子の構造(電極間隔, 素子厚み)に大きく影響され、バルク素子に近くなる程、その機構は熱的降伏が主たる原因となり薄膜になる程、電子的降伏が支配的となる。更に薄膜素子においても印加電圧のかけ方, 電極構造, 放熱状態などがスイッチ特性および寿命に敏感に影響を及ぼしていることが判明した。現在までのところ我々の作成したスイッチ素子の寿命は $10^7 \sim 10^9$ 回のオンオフサイクルに耐える程度ではあるが、実用化の可能性は十分に見い出せたと考えられる。更に実用化に近づけるためには、ガラス半導体組成, 電極構成, 素子構造, 使用動作条件などの検討とともに前降伏, 非直線性抵抗域の電導機構や、オン状態の高電流密度フィラメントの電導機構などのしきい値スイッチ素子の安定性, 信頼性, 寿命などを支配している基本的なメカニズムの解明と熱的影響の排除の追求が重要な課題であろう。(昭和48-7-20受付)

参 考 文 献

- (1) S. R. Ovshinsky : Phys. Rev. Letters, 21, 1,450 (1968)
- (2) A. D. Pearson, et al. : Advances in Glass Technology, 357, Plenum Press, Inc., New York (1962)
- (3) B. T. Kolomiets and E. A. Lebedev : Radio Eng. Electron Phys., 8, 1,941 (1963)
- (4) D. L. Eaton : J. Am. Ceram. Soc., 47, 554 (1964)
- (5) B. T. Kolomiets, et al. : Sov. Phys. Solid State, 2, 369 (1960)
W. F. Peck, Jr., et al. : J. Electrochem. Soc., 111, 561 (1964)
- (6) A. M. Andriesh, et al. : Sov. Phys. Solid State, 6, 2,652 (1965)
- (7) E. A. Davis and N. F. Mott : Phil Mag., 22, 903 (1970)
- (8) M. H. Cohen, et al. : Phys. Rev. Letters, 22, 1,065 (1969)
- (9) W. Van Roosbroeck, et al. : Phys. Rev., B-5, 2,154 (1972)

- (10) J. Stuke : J. Noncryst. Solids, 4, 1 (1970)
- (11) 布下, 新居 : 電子通信学会 半導体・トランジスタ 研究会資料 SSD 72-16 (1972-7)
- (12) M. Nunoshita, et al. : Solid State Comm., 11, 213 & 337 (1972)
- (13) H. K. Rockstad : J. Noncryst. Solids, 8-10, 621 (1972)
- (14) W. E. Spear : Proc. Phys. Soc. London, B 76, 826 (1960)
- (15) J. L. Hartke : Phys. Rev., 125, 1,177 (1962)
- (16) R. M. Hill : Phil. Mag., 23, 59 (1971)
- (17) A. C. Warren : J. Noncryst. Solids, 4, 613 (1970)
S. Iizima. et al. : Proc. the 2nd Conf. Solid State Device Tokyo, 73 (1970)
- (18) N. Croitoru, et al. : J. Noncryst. Solid, 4, 493 (1970)
- (19) M. Kekuchi, et al. : Proc. the 1st Conf. Solid State Device, Tokyo, 203 (1969)
- (20) E. C. D. 社 Technical data より
- (21) B. T. Kolomiets, et al. : Sov. Phys. Semiconductors, 3, 267 (1969)
- (22) H. Fritzsche, et al. : J. Noncryst. Solids, 4, 464 (1970)
- (23) I. Lucas : J. Noncryst. Solids, 6, 136 (1971)
- (24) W. van Roosbroeck : Phys. Rev. Letters, 28, 1,120 (1972)
- (25) A. E. Owen, et al. : IEEE trans., ED-20, 105 (1973)
- (26) D. C. Mattis : Phys. Rev. Letters, 22, 936 (1969)
- (27) R. Stratton : Prog. Dielec., 3, 235 (1961)
- (28) H. K. Henisch, et al. : J. Noncryst. Solids, 4, 538 (1970)
- (29) H. Fritzsche, et al. : J. Noncryst. Solids, 2, 393 (1970)
- (30) G. V. Bunton, et al. : J. Noncryst. Solids, 6, 251 (1971)
C. R. Handen, et al. : J. Noncryst. Solids, 8-10, 432 (1972)
- (31) M. Guntersdorfer : J. Appl. Physics, 42, 2,566 (1971)

カセットデータレコード用フェライトヘッド

鳥生 次郎*・佐々木 肇*
穂坂 修六**・熊沢 裕**

Read After Write Type Ferrite Heads for Cassette Data Recorders

Central Research Laboratory Jirô Toriu・Hajime Sasaki
Gunma Works Shûroku Hosaka・Yutaka Kumazawa

In place of the conventional paper tape device, a cassette data recorder has come into use in many quarters such as the cases of data communication terminals, POS terminals and key to tape apparatus as well as input output units of computers. Mitsubishi has introduced to the market cassette data recorders type DR-10 RAW and type DR-20 RAW. Concerning this outcome, read after write type ferrite heads have been worked out and put on sale. Mitsubishi type MH-003 cassette data recorder heads are equipped with high density ferrite so as to realize long life and high reliability. This article describes the construction of the head, the material used for it and its characteristics, touching upon the circuit condition in using this head for the reference to the users.

1. ま え が き

カセットデータレコーダは従来の紙テープ装置と比べて、記録媒体の取扱および保管が簡単、処理速度が早い、信頼性が高い、騒音が小さいなどの利点のため、従来の紙テープ装置の使用分野のほかデータ通信端末、POS 端末、キーテープ装置など多方面で利用されるようになった。

当社では、このような用途を目的とした DR-10 RAW 形カセットデータレコーダ⁽¹⁾の商品化につづき、さらに長寿命、高信頼化を目指した DR-20 RAW 形カセットデータレコーダを開発したが、これと関連して今回当社でリードアフタライト方式のフェライトヘッドを開発、製品化した。これはリードアフタライト方式であるから信頼度が高く、また磁性材料としてフェライトを使用しているので耐摩耗性が大で長寿命であることが特徴である。本稿では三菱 MH-003 形カセットデータレコーダヘッドの特性、仕様、使用方法などについて述べる。

磁気ヘッド材料としてフェライトを用いることにより長寿命化が実現できることは一般に知られているが、リードアフタライト方式のカセットデータレコーダヘッドの場合、つぎのような理由よりそのフェライト化がきわめて困難とみられていた。すなわち、リードアフタライト方式のヘッドは小さなカセットヘッドケース内に書込ヘッド2チャンネルと読出ヘッド2チャンネルを含んだきわめて複雑な構造であること、またスキュー、アジマス損失の点より書込ヘッド2チャンネルおよび読出ヘッド2チャンネルのヘッドギャップ

がそれぞれ同一直線上に配置されていなければならない、かつきわめて高い平行度で互いに配置されていなければならないこと、また書込電流により書込ヘッドコイルに生じた磁束が直接的に読出ヘッド側に漏れいするのを防止するクロスフィード対策などいろいろな問題が存在した。合金磁性材料よりなるヘッドにおいてはこれらの点に関する技術がほぼ確立しているが、フェライトヘッドにおいては製造方法がこれと全く異なっており、事実、開発の当初にはこれらの問題点を解決するのに多くの困難を伴った。しかし、特性および生産性を考慮したヘッド構造、材料、製造工程などを総合的に検討した結果、以上の問題点を解決できたと同時に、安定した特性のリードアフタライト方式フェライトヘッドの生産を業界に先がけて実現できた。

2. 一般的性能

以下の議論に先だち、三菱 MH-003 形カセットデータレコーダヘッドおよび E-030 形消去ヘッドの外観図および一般的性能を図 2. 1 および表 2. 1、表 2. 2 に示す。また MH-003 形カセットデータレコーダヘッドおよび E-030 形消去ヘッドを精密取付台(オプション)に取付けた場合の外観図を図 2. 2 に示す。

3. 磁気ヘッド材料

音響用カセットレコーダ装置においては通常合金製ヘッドが使用されているが、ヘッドの摩耗が著しくかつ、高密度記録化を目指した酸化クロム磁気テープなどが出現するにおよんでますますヘッドの耐摩耗性への要求は高まりつつある。さらにカセットデータレコーダ装置では、

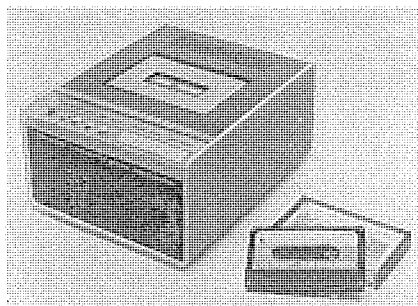


図 1. 1 三菱カセットデータレコーダ DR-20 RAW 形の外観
Exterior view of Mitsubishi DR-20 RAW cassette data recorder.

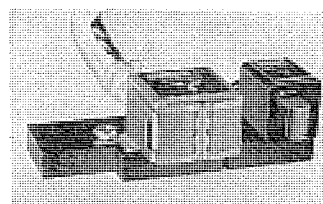


図 2. 1 三菱 MH-003 形カセットデータレコーダヘッドおよび E-030 形消去ヘッドの外観
Exterior view of Mitsubishi MH-003 cassette data recorder head and E-030 erase head.

テープ速度 v	(IPS)	7.5	
95%飽和電流 I_R	(mA _{pp})	13	
標準書込電流 I_W	(mA _{pp})	20	
読出電圧 E_0	(mV _{pp})	7	
読出負荷抵抗 R_L	(k Ω)	10	
書込電流上り(立下り)時間 T_r, T_f	(μ s)	25	以下
クロストーク	(%)	1	以下
クロスフィード	(%)	8	以下
分解能 $\frac{(1600 \text{ FRPI}) E_0}{(800 \text{ FRPI}) E_0}$	(%)	90	以上
スキュー T_S	(μ s)	25	以下
Wヘッド直流消磁率	(%)	1	以下
インダクタンス	(1 kHz) (mH)	18	(READ)
		4.5	(WRITE)
直流抵抗	(20°C) (Ω)	60	(READ)
		20	(WRITE)

表 2.2 三菱 E-030 形 フェライト 消去ヘッド の仕様
Specification of Mitsubishi E-030 ferrite erase head.

項 目	仕 様
消去電流 (直流, mA)	100
消去率 (%)	1 以下
インダクタンス (1 kHz) (mH)	2
直流抵抗 (20°C) (Ω)	11

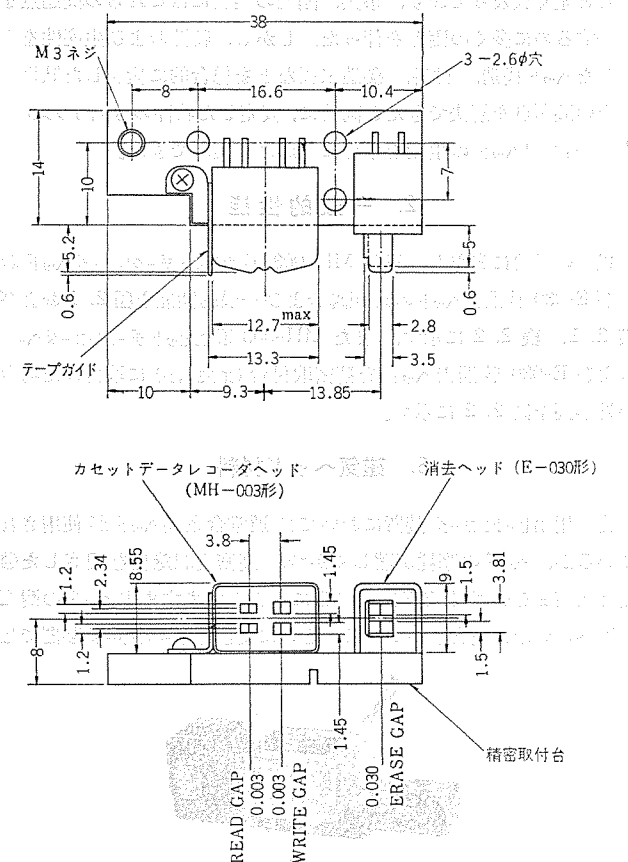


図 2.2 三菱 MH-003 形カセットデータレコーダヘッドおよび E-030 形消去ヘッドの寸法
Size of Mitsubishi MH-003 cassette data recorder head and E-030 erase head.

情報処理速度を上げる目的から、テープ速度 19 cm/s (7.5 IPS) と音響用カセットレコーダ装置の 4.75 cm/s に比べて高速下で使用され、また取扱う情報の性質上 エラレート 10^{-8} bits 以下の高信頼度が装置の寿命、少なくとも 10,000 時間以上、にわたって保証される必要がある。

このようなヘッドに対する耐摩耗性の要求から、従来の合金磁性材料（パーマロイ）を改良した高硬度パーマロイ材料やフェライト磁性材料が一部のヘッドに使用されている。フェライトは特にきびしい耐摩耗性が要求されるVTRヘッドに使用されている。これら磁気ヘッド材料の一般的性能比較を表3.1に示す。耐摩耗性と関係する因子として硬度があげられる。各種材料の硬度を比較した場合、表3.1にみるとフェライトが最も大きく、耐摩耗の点で優れていると言える。また、フェライト磁性材料の耐摩耗性は結晶粒径の大きさにも密接に関係している。一般に多結晶焼結フェライトでは結晶粒径が大きいほど耐摩耗性が優れており、磁気ヘッド材料に適していると言われている。

つぎに表 3. 1 に示した 磁気特性に関する 各項目についてみてみよう。初透磁率 μ_0 は合金磁性材料の場合が大きいが、パーマロイの場合わずかの機械的ひずみが材料に加わることにより著しく低下するので、実際にヘッドに加工された状態ではこの数値よりもかなり低下しており、実用上フェライトと大差ないものと思われる。飽和磁束密度 B_m は磁気記録過程において重要な項目であり、大きいことが望ましいが、現在使用されている磁気テープでは、最大磁束密度 3,000 G 以上あれば実用上問題ないと言われており⁽²⁾⁽³⁾、フェライトで十分である。抗磁力 H_c は小さいほど好ましく、0.1 Oe 程度より小さければ問題ない。比抵抗は大きいほど好ましく、フェライトの場合きわめて有利である。キュリー温度 T_c は大きいほど好ましいが、使用条件を考慮すれば 90°C 以上であれば問題ない。前述のように硬度は耐摩耗性と密接な関係を有しており、フェライトの場合格段に大きく耐摩耗性に優れていることがわかる。

フェライトヘッドと高硬度 パーマロイヘッド を実際にカセットテープレコーダ装置に組み込んだ場合の耐摩耗比較試験結果を図 3. 1 に示す。カセットテープの交換、互換性をも考慮して、耐摩耗試験では 500 pass ごとにテープを交換した。またテープは往復ともにヘッドにしゅう(摺)動するようにし、往復1サイクルをもって1pass とした。なお 1pass の所要時間は約7分30秒である。図 3. 1 よりフェライトヘッド(三菱 MH-003 形)の場合には 3,500 pass の途中経過においても読出電圧の低下はほとんど認められない。これに対して、高硬度 パーマロイヘッドではすでに 1,000 pass において顕著な読出電圧の低下が認められ

表 3.1 各種磁気ヘッド材料の特性
Characteristics of magnetic head materials.

	パーマロイ	高硬度パーマロイ	フェライト (真空焼結)
組 成	Ni 79 % Mo 4 % Fe 17 %	79 Ni 系パーマロイ (特殊元素添加)	Mn-Zn 系
初透磁率 (μ_0)	20,000	>20,000	15,000
飽和磁束 B_{10} (G)	8,700	> 4,800	3,700
抗磁力 H_c (Oe)	0.05	< 0.025	0.015
キュリー温度 T_C (°C)	460	—	95
比抵抗 ($\Omega \cdot \text{cm}$)	55×10^{-8}	100×10^{-8}	6
硬 度 (HV)	115	>210	700

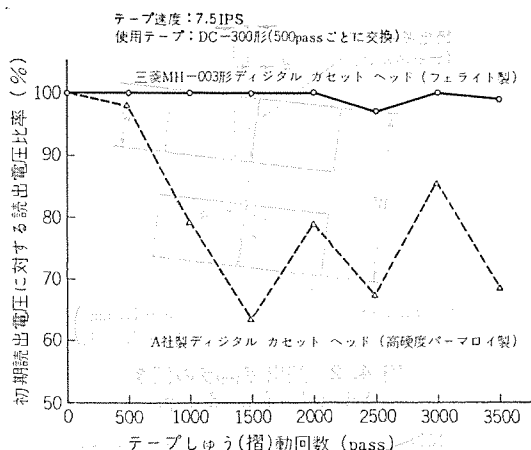


図 3.1 磁気ヘッドの摩耗試験
Results of wearing test of heads.

る。また高硬度 パーマロイヘッドの場合、1,000 pass 以降の読出電圧のばらつきが大きいのはつぎのような理由によるものと思われる。すなわち高硬度 パーマロイヘッドの場合にはヘッド面のテープがしゅう動した部分が摩耗して段が付いており、500 pass ごとにテープを交換した場合、ヘッドとテープの安定な接触が得られないためであると思われる。

以上のごとく、磁気特性の面では合金磁性材料とフェライトの優劣を決定付けるような顕著な差異は見当たらないが、図 3.1 の結果にもみるように耐摩耗性の点でフェライトがきわめて有利であることがわかる。

一方、フェライトにも普通焼結フェライト、真空焼結フェライト、ホットプレスフェライト、単結晶フェライトなどの種類があり、用途に応じて使い分けられている。気孔の多いフェライトはヘッドづまり等のトラブルを生じやすく高信頼度が要求されるカセットデータレコーダヘッドの場合には使用できない。これら各種フェライト材料の気孔の状態を図 3.2 に示す。単結晶フェライトには気孔が全くなく好ましいが、製造コストが高く、もっぱら VTR ヘッド用として使用されている。ホットプレスフェライトは気孔も少なく、かつその大きさも小さいのでヘッド用材料として好ましいが、現在 VTR 用ヘッドのほか一部の音響用ヘッド、特殊用途の磁気ヘッドなどに使用されている。真空焼結フェライトも製造技術面の検討によりきわめて気孔の少ない素材が比較的安価に入手できるようになり、音響用ヘッド、計算機用ヘッドなどに使用されている。普通焼結フェライトは気孔も大きく、またその数も多いので一部の音響用消去ヘッドに使用されている程度である。

以上のごとく、各種ヘッド用磁性材料の特性、耐摩耗性、素材密度(気孔率)、コストなどを評価、検討した結果、三菱 MH-003 形カセットデータレコーダヘッドおよび E-030 形消去ヘッド用材料として真空焼結フェライトを採用した。また磁気テープとしゅう動する非磁性の構造部品材料としては高密度な非磁性フェライトを採用した。

4. 構造

ここではヘッド構造と特性の関係について述べる。

4.1 テープしゅう動面の構造

MH-003 形カセットデータレコーダヘッドは図 2.1 にも示したようにテープとしゅう動する部分はすべて耐摩耗性に優れた真空焼結フェライトおよび高密度非磁性フェライトよりなっており、信頼度の高いカセットデータレコーダヘッドが実現できる。またヘッドギャップは書込、読出ギャップともにギャップ長 3 μm のガラス溶着ギャップよりなっており、ギャ

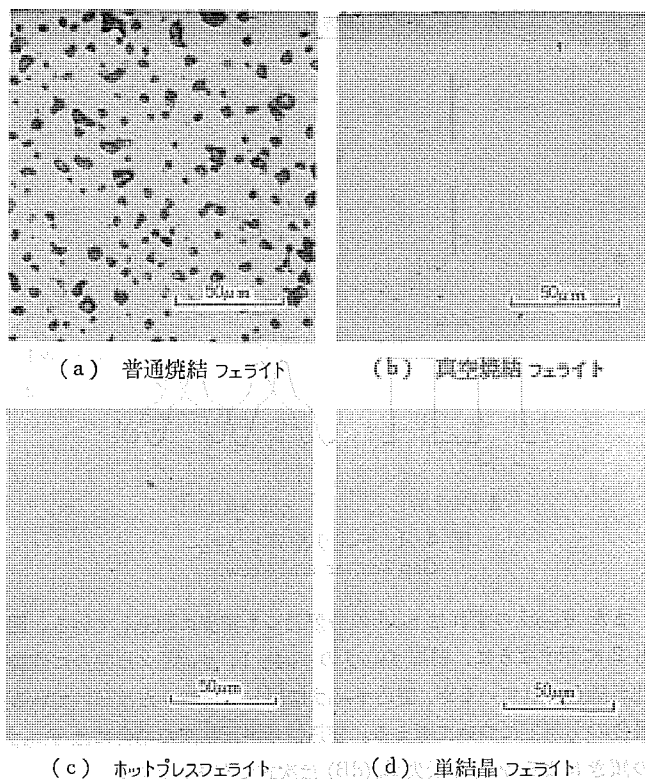


図 3.2 各種フェライト材料の研磨面
Polished surface of ferrite materials.

ップエッジ部の欠損などのないシャープなギャップが形成されている。

4.2 ギャップの直線性および平行度

リードアフタライト方式のカセットデータレコーダヘッドでは、書込および読出ギャップの直線性、平行度が問題となる。書込ギャップはチャンネル 1、2 とともに同一直線上にあるが、読出ギャップがチャンネル 1、チャンネル 2 で互いに $\delta(\mu\text{m})$ だけずれている場合の読出波形のチャンネル間の時間的なずれすなわちスキュー $T_s(\mu\text{s})$ を図 4.1 に図式的に示した。書込電流波形の繰返し周期を $T_1(\mu\text{s})$ 、反転周期を $T_2(\mu\text{s})$ とするとテープ速度が $v(\text{IPS})$ のときスキュー T_s は次式で与えられる。

$$T_s = \frac{\delta}{v} \cdot \frac{10^3}{25.4} \quad (4.1)$$

また、情報処理のエラーを軽減するためにはスキュー T_s は次式を満足することが好ましい。

$$T_s < \frac{T_2}{3} \quad (4.2)$$

したがって表 2.1 にみるように記録密度 1,600 FRPI、テープ速度 7.5 IPS の場合は反転周期 T_2 は 83.5 μs であるので式 (4.1)、式 (4.2) より $\delta < 5.3 \mu\text{m}$ を得る。すなわち読出ギャップのチャンネル間のずれ δ を 5.3 μm 以下に規制しなければならない。

以上の議論では書込ギャップは 1、2 チャンネルともに同一直線上にあると仮定したが、これらが同一直線上にない場合にもスキューを生ずることになる。また上述の書込ギャップ、読出ギャップともに同一平面上にあると仮定したが、実際にはヘッドのテープとのしゅう動面は曲面研磨されており、研磨の方法によっては三次元的には平行でない場合もありうる。最終的にはスキューは書込ギャップから読出ギャップにいたるテープ上の距離のチャンネル間の差によって決まる。これらのことを考慮して、ギャップの 1、2 チャンネル間のずれは 3 μm 以下に規制した。この結果表 2.1 に示すようにスキュー 25 μs 以下を安定して得ることができた。

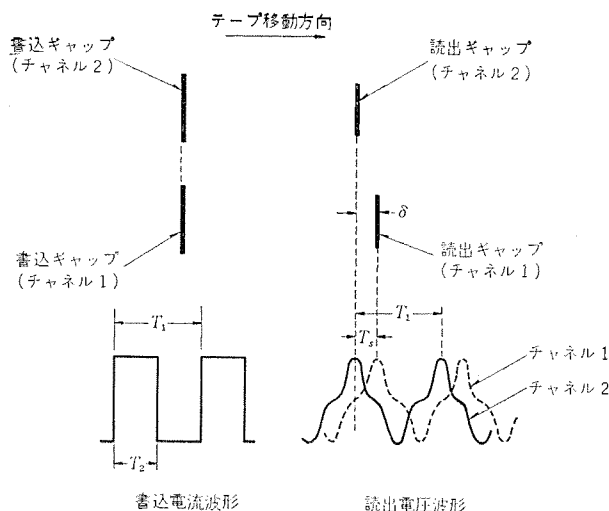


図 4.1 ギャップ配列とスキュー
Gap scatter and skew.

またギャップのずれはヘッドの分解能にも密接に関係している。図 4.2 に示すように、読出ギャップのチャンネル 1、チャンネル 2 は完全に直線性が確保されているが、書込ギャップに対して角度 α だけ傾いている場合の分解能について考える。書込信号が正弦波の場合にはギャップの傾きによるアジマス損失 L_a (dB) は次式で与えられる。

$$L_a = 30 \log \left[\frac{\sin \left(\pi \cdot \frac{w \tan \alpha}{\lambda} \right)}{\pi \cdot \frac{w \tan \alpha}{\lambda}} \right] \quad (4.3)$$

ここに w : ヘッドのトラック幅

λ : テープ上の記録波長

α : 傾き角度

しかし、カセットデータレコーダ装置の書込信号波形はく(矩)形波であり、式 (4.3) をそのままでは適用できない。そこで式 (4.4) に示すヘッドのギャップ長に関するギャップ損失 L_g (dB)、コア材料の周波数特性を考慮したヘッドの再生能率などを考慮して、実際に書込まれるく形波 (立上り時間: 25 μ s) 信号と正弦波信号との対応を実験的に求め式 (4.3) に適用することとした。

$$L_g = 20 \log \left[\frac{\sin \left(\pi \cdot \frac{g}{\lambda} \right)}{\pi \cdot \frac{g}{\lambda}} \right] \quad (4.4)$$

ここに g : ヘッドのギャップ長

この結果、書込信号 1,600 FRPI, 800 FRPI における読出電圧 $E_{1,600 \text{ FRPI}}$, $E_{800 \text{ FRPI}}$ の比率すなわち分解能 (%) とトラックあたりのギャップのずれ d (μ m) との関係として図 4.3 に示す計算結果を得た。図 4.3 より分解能 90 % 以上を得るには $d \leq 1.5 \mu$ m であることが要求される。したがって図 4.2 に示したギャップの最大ずれ D は $D \leq 4.5 \mu$ m となるように規制されねばならないことになる。

以上のスキュー、分解能に対する要求を同時に満足させるよう、三菱 MH-003 形カセットデータレコーダヘッドにおいては書込および読出ギャップが最大 3 μ m 以下の精度で互いに平行となるように規制してある。

4.3 クロスフィードと構造

リードアフタライトヘッドは情報の書込み操作と読出し操作が同時に行なえるので、書込まれた情報に誤りがあった場合、直ちにエラー検出ができることが特徴である。しかし図 2.2 にも示したようにリードアフタライトヘッドは小さいスペースに多くのヘッド素子が組立てられ

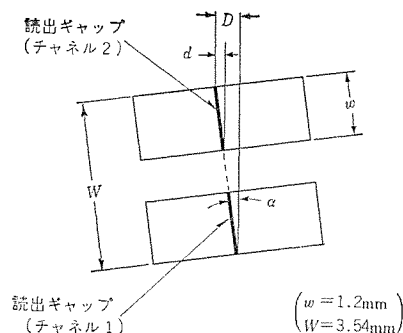


図 4.2 読出ギャップの傾き
Azimuth of head gap.

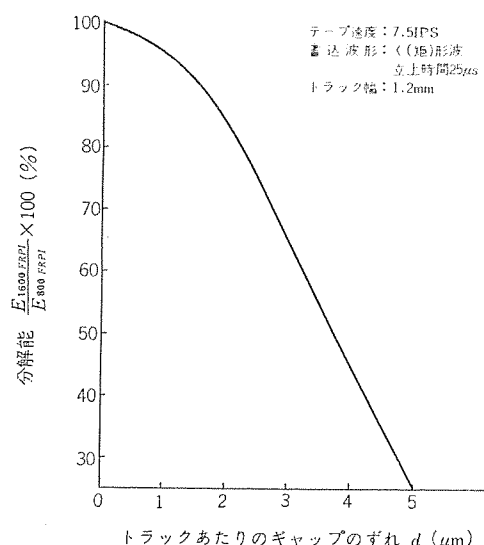


図 4.3 ギャップのずれと分解能
Relations between gap azimuth and resolution.

ており、書込側、読出側間の磁束の漏れが問題となる。書込ヘッドコイルに書込電流を流した場合、テープを磁化するために有効に作用する磁束のほかに、直接的に読出側へ漏えいする磁束が存在する。この漏えい磁束によって読出ヘッドコイルに誘起される電圧をフィードスルーレベルと呼んでいる。テープに書込まれた情報による正規の読出レベル E (mV_{PP}) に対するフィードスルーレベル E_f (mV_{PP}) の比率は一般にクロスフィード (%) と呼ばれている。クロスフィードは 1, 2 チャンネルに同一信号を同極で同時に書込んだ場合が最も大きく、この場合において一般に 8 % 以下であることが要求されている。開発の当初においてはこの値を確保するのにきわめて困難を伴ったが、各種シールド板、シールドケースの材質、形状、寸法および空間構成を追求することにより、クロスフィード 8 % (同極書込) 以下を実現することができた。またその後の検討結果よりクロスフィード 5 ~ 6 % を実現できる見通しを得ている。

5. MH-003 形カセットデータレコーダヘッドの特性

三菱 MH-003 形カセットデータレコーダの一般的性能は 2 章で紹介した。ここではカセットデータレコーダヘッドとして特に重要な特性について述べる。

5.1 インピーダンス特性

三菱 MH-003 形カセットデータレコーダヘッド用の回路を設計するうえで重要となるインピーダンス特性を図 5.1 に示す。チャンネル間のインピーダンスのばらつきも少なくまた共振周波数も書込、読出ヘッドともに大きくとってあるので回路設計上有利である。

5.2 書込電流特性

書込電流を I_W (mA_{PP}) とした場合、図 5.2 に示すように立上り時間 T_r および立下り時間 T_f が定義される。一般的には立上り時間 T_r 、立下り時間 T_f が小さいほど読出レベルは大きくなるが、これに伴ってフィードスルーレベルも大きくなる。ヘッドの評価においては表 2.1 にも示したように、 $T_r, T_f \leq 25 \mu\text{s}$ で試験することとしている。このような条件下における書込電流と読出レベルとの関係を図 5.3 に示す。書込電流を増していくと読出レベルは最大飽和点に達し、以後書込電流の増大とともに徐々に減少していく。最大飽和レベル E_m に対応した記録電流は読取りにくいので、一般に 95% 飽和レベル ($0.95 E_m$) に対応した 95% 飽和電流 I_R を読取る。三菱 MH-003 形カセットデータレコーダヘッドの場合 95% 飽和電流 I_R は 13 mA_{PP} である。デジタル記録では一般に飽和記録が行なわれ標準書込電流値 I_W としては 95% 飽和電流 I_R の 150% の値が採用されている。このような意味から三菱 MH-003 形カセットデータレコーダヘッドの場合、標準書込電流 I_W としては 20 mA_{PP} を採用するのが適当である。

5.3 クロスフィード特性

フィードスルーレベルは図 5.3 に示したように書込電流とともに増大する。またヘッドの使用条件によっても大きく異なってくる。すなわちチャンネル 1 の書込電流と全く極性の異なる電流をチャンネル 2 に流した場合にはチャンネル 1 とチャンネル 2 の書込ヘッドからの漏えい磁束が互いに打消し合うのでフィードスルーレベルが最も小さくなる。この場合のクロスフィードを逆極書込時のクロスフィードと呼ぶことにする。チャンネル 1 またはチャンネル 2 の一方のみに書込電流を流し、同じチャンネルの読出ヘッドで読出した場合のクロスフィードがそのつぎに小さい。この場合のクロスフィードを単極書込時のクロスフィードと呼ぶことにする。チャンネル 1 とチャンネル 2 の書込ヘッドに全く同一 (同極性) の書込電流を同時に流した場合のクロスフィードを同極書込時のクロスフィードと呼ぶことにする。ヘッドに対する要求としては、同極書込時においてもデータ処理上必要とされるクロスフィードを確保できることが望ましい。図 5.3 表 5.1 には以上の各条件下でのクロスフィード測定データを示す。表 5.1 より逆極書込時のクロスフィードは 1% 以下、単極書込時のクロスフィードは 5% 以下、また同極書込時においてもクロスフィード 8% が確保できていることがわかる。

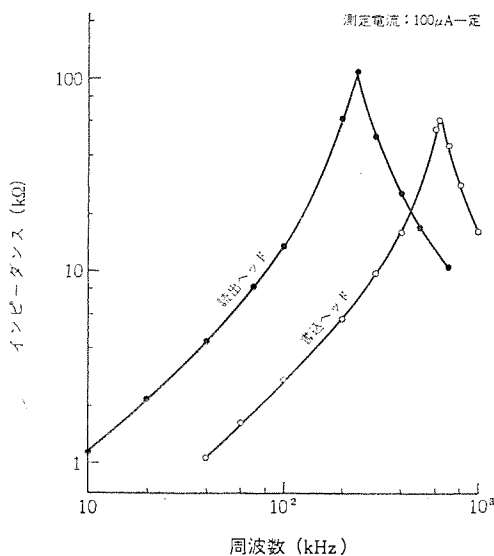


図 5.1 インピーダンス特性
Impedance characteristics.

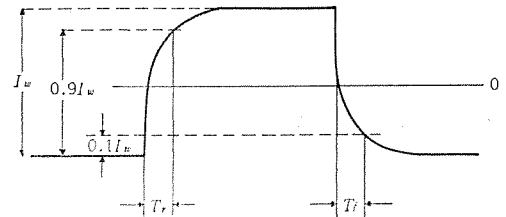


図 5.2 書込電流波形
Waveform of write current.

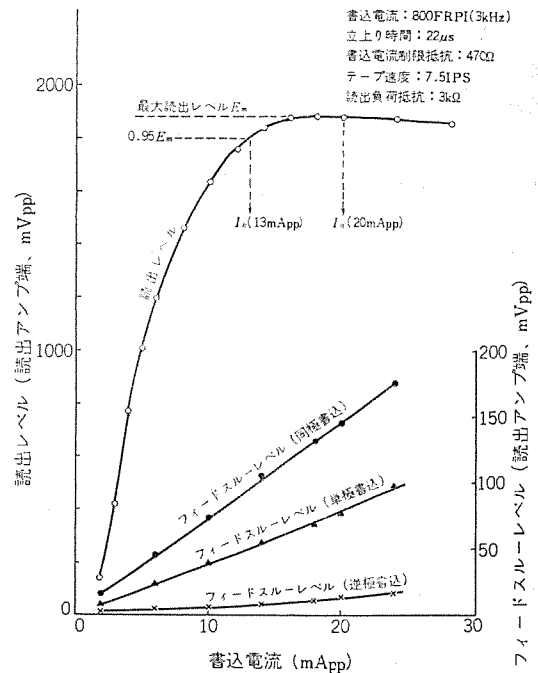


図 5.3 書込電流特性
Read output-write current characteristics.

表 5.1 クロスフィード測定結果
Results of crossfeed measurement.

(単位: %)

書込信号 (kHz)	チャンネル ナンバー	逆極書込時	単極書込時	同極書込時
3 (800 BPI)	1	0.67	4.2	7.7
	2	0.74	4.0	7.4
6 (1600 BPI)	1	0.80	4.2	7.8
	2	0.83	4.1	7.6

6. ヘッドの使用条件

カセットデータレコーダの信頼度を追求するときにはクロスフィードの低減と分解能の向上が重要となる。このクロスフィードおよび分解能は使用ヘッドそのものの性能、あるいは磁気テープやカセット機構で決まる固有な要素と、回路条件などの相対的な条件で決まる要素に分けることができる。そこでヘッドの固有性能を損うことなく相対的条件を設定する必要があり、ここでは MH-003 形カセットデータレコーダヘッドを使用する場合の回路条件とでも言うべきものについて述べる。

6.1 書込電流とクロスフィード

図 6.1 のようなヘッドドライブ回路を例にとると、フィードスルー電圧 E_f は図 6.2 に示すような波形となる。フィードスルーに関係するこの回路の要素としてつぎのものがあげられる。

- (1) 書込電流値 (I_W)
 - (2) 書込電流の立上り(立下り)時間 (T_r , T_f)
 - (3) 読出アンプの周波数特性
- (1) 項の書込電流 (I_W) は図 5.3 に見るように式 (6.1) の関係にある。

$$I_W \propto E_f \dots\dots\dots (6.1)$$

したがってクロスフィードを低減するためには書込電流 I_W を下げれば良いわけであるが、磁気テープを完全に飽和させるだけの電流は最低限必要となる。この書込電流の妥当な値としては 5.2 節で述べたごとく 95% 飽和電流値 I_R の 150% の値が用いられている (JIS 規格案)。またこれ以上の大きい書込電流はクロスフィードのみならず、記録減磁の点からも分解能を低下させる恐れがある。(2) 項の書込電流の立上り(立下り)時間 T_r , T_f は図 6.1 のドライブ電圧 E_a と書込電流制限抵抗 R_W と書込ヘッドのインピーダンスで決まる。フィードスルーレベル E_f は書込電流 I_W の微分値に比例するので図 6.3 に見るように立上り(立下り)時間を長くしてやったほうが有利である。ただしこれも極端に立上り時間を長くすると、読出レベルおよび分解能の低下をきたすので、全体のバランスで決めなければならない。(3) 項の読出アンプの周波数特性がクロスフィードに与える影響はかなり大きい。図 6.2 に示したフィードスルー電圧波形のヒゲ状にのびた部分はかなり高い高周波成分を含んでいる。この高周波成分はヘッドのリード線をも含めた容量分によるものであるが、これは磁気ヘッドを完全に接地することと、読出アンプの周波数特性でこの高周波成分を吸収することで低減できる。一般に使用周波数域ではフラットな特性をもち、高周波域ではオクターブ数+デシベルダウンというようにアンプのゲインを下げて高周波成分を殺すことにより、回路の面からクロスフィードの低減を図っている。

6.2 読出ヘッド負荷抵抗と分解能

6.1 節で述べたと同様にして、分解能に関係する回路の要素を考えるとつぎのものがあげられる。

- (1) 読出ヘッドの負荷抵抗 (R_f)
- (2) 書込電流の立上り(立下り)時間 (T_r , T_f)
- (3) 読出アンプの周波数特性

ここで読出ヘッドから読出アンプへの接続を考えると、読出ヘッドまわりの等価回路は図 6.4 のごとく考えられる。フェーズエンコーディング (PE) 記録方式では、分解能は記録周波数 f の出力と $2f$ の出力の比率で表わされる。例えば 800 BPI (1,600 FRPI) の PE 方式においては分解能は次式で与えられる。

$$\text{分解能} = \frac{800 \text{ BPI の出力 } E_{2f}}{400 \text{ BPI の出力 } E_f} \times 100(\%) \dots\dots\dots (6.2)$$

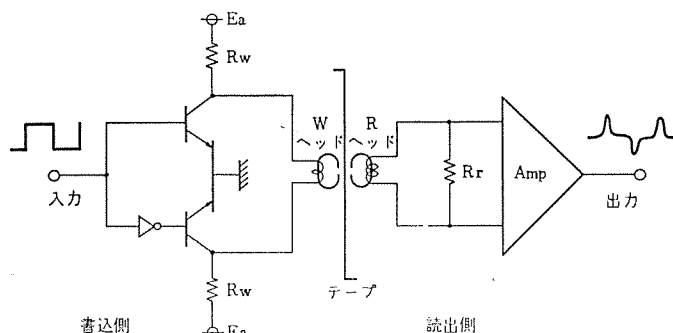


図 6.1 ヘッドドライブ回路
Head drive circuit.

また図 6.4 に示した等価回路において、読出電圧 E_0 は次式で与えられる。

$$E_0 = \frac{R_f}{Z + R_f} \cdot e_0 \dots\dots\dots (6.3)$$

ここに、 E_0 : 読出端電圧

e_0 : 読出ヘッドコイル誘起電圧

Z : 読出ヘッドコイルインピーダンス

R_f : 読出負荷抵抗

式 (6.2), (6.3) より分解能は次式で与えられる。

$$\text{分解能} = \frac{Z_f + R_f}{Z_{2f} + R_f} \times 100(\%) \dots\dots\dots (6.4)$$

ここに、 Z_f : 周波数 f での読出ヘッドのインピーダンス

Z_{2f} : 周波数 $2f$ での読出ヘッドのインピーダンス

一般に $Z_f < Z_{2f}$ であるので式 (6.4) より読出ヘッドの負荷抵抗 R_f が大きければ大きいほど分解能は向上する (ただしこの場合、ヘッドそのものの分解能およびテープなど、回路要素以外の分解能はすべて 100% であると仮定する)。

実際のヘッドについて負荷抵抗と分解能の関係を求めると図 6.5 のようになる。図 6.5 より分解能は負荷抵抗の増加とともに増大し、飽和することがわかる。

しかし一方、図 6.5 に示したように、クロスフィードも負荷抵抗の増大とともに増加していることがわかる。さらに(2)項の書込電流

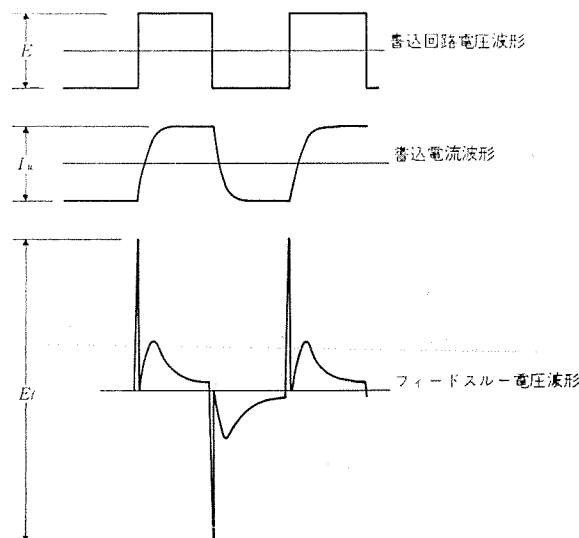


図 6.2 フィードスルー電圧波形
Waveform of feedthrough.

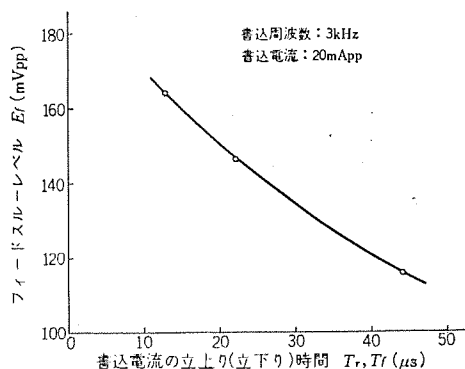


図 6.3 書込電流の立上り(立下り)時間とフィードスルーレベル
Relation between feedthrough voltage and rise-fall time of write current.

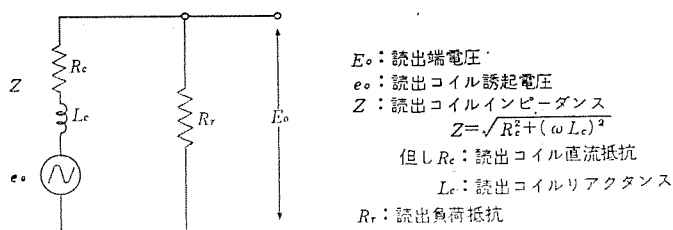


図 6.4 読出ヘッドの等価回路
Equivalent circuit of read head.

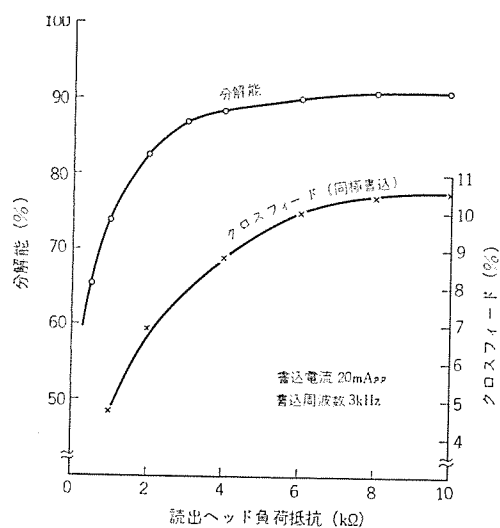


図 6.5 読出ヘッド負荷抵抗特性
Characteristics of resolution and crossfeed curve vs. read load.

の立上り(立下り), (3)項のアップの周波数特性も, 分解能に関してはすべてクロスフィードと対立する。したがって, このようにクロスフィードと分解能という相反する要素を程良く調整するのが回路設定の重要なポイントとなる。

三菱 MH-003 形カセットデータレコーダヘッドにおいては, 書込電流 I_W を 20 mA_{PP} に, 読出ヘッド負荷抵抗 R_r を 3 kΩ 前後にとるのが良い。

7. む す び

カセットデータレコーダは情報処理端末の分野で爆発的な需要拡大が期待されており, 情報処理の高速化にともない長寿命, 高信頼ヘッドへの要求が高まっている。以上に述べたごとく, 三菱 MH-003 形カセットデータレコーダヘッドは高密度フェライトの使用により, これら長寿命, 高信頼度の要求を満足できたと同時に, クロスフィード, スキュー, 分解能など特性の点でも従来の合金ヘッドに劣らぬ特性を実現できた。このようなヘッドの性能をフルに発揮し, データ処理端末の多くの分野で活用されることを希望する。(昭和 48-7-16 受付)

参 考 文 献

- (1) 志賀: 三菱カセットデータレコーダ, エレクトロニクス, 217 (昭 47-2)
- (2) 広田: ホットプレスフェライトによる VTR 磁気ヘッド, 電子材料, 8 (昭 42-7)
- (3) 菅谷: 磁気ヘッド, 電子材料, 55 (昭 43-9)

ハロリン酸カルシウムけい光体の均質性

小 峰 義 治*・栗 津 健 三*

Homogeneity of Calcium-Halophosphate Phosphor

Central Research Laboratory Yoshiharu Komine・Kenzo Awazu

Calcium-halophosphate phosphor particles are almost composed of calcium-halophosphate phase but contain slightly a little other phase or defects. To make clear the state of their presence will give effective suggestions for the improvement of phosphor quality. From this standpoint investigation has been made on the homogeneity among and in phosphor particles. Experiments have been mainly made by resolution of phosphor with acid solution. Analytical research has been chiefly conducted by an X-ray diffraction method. As a result it has been found that $\beta\text{-Ca}_2\text{P}_2\text{O}_7$ is maldistributed near the center of particle, around which phosphor phase is present and CaSb_2O_6 is near the surface of particle and its grain boundaries.

1. ま え が き

ハロリン酸カルシウムけい光体は、照明用けい光ランプに最も多く使用されている。それは、このけい光体が単一で波長幅の広い白色の発光を示し、効率が高くかつ原料が一般的なものであり、そして量産が容易なためである。このけい光体が見出されてからすでに約30年が経過しているが、その間、原料の形態・組成・合成法などについて多くの改善がなされ、効率の向上に寄与してきた。ランプ塗布膜に適応した粉体特性についても同様である^{(1)~(5)}。その結果、現在効率はほぼ最高に近づいているといえよう。この時点でけい光体粉体中にわずかではあるが存在する異なった成分あるいは欠陥を明らかにすることができれば、今後の特性改善に有力な示唆を与えるものと考えられる。このような観点から、粒子間あるいは粒子内の均質性について検討した結果について述べる。

2. けい光体の溶解性

2.1 けい光体溶解量と酸濃度との関係

このけい光体はアパタイト構造を持ち、 $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{F}, \text{Cl})_2 \cdot \text{Sb}$, Mn であらわされる。 Mn および Sb は活性体である。白色けい光体では PO_4^{3-} 6 mol に対し Sb^{3+} は約 0.06 g-atm, Mn^{2+} は約 0.18 g-atm 含まれている。

このけい光体 10 g を濃度の異なる硝酸 100 ml に室温で30分間溶解させたときのけい光体の重量変化を図 2.1 に示す。いずれの溶解条件でも30分で平衡に達しており、これ以上溶解が進行することはない。この図から 2 N で完全に溶解することがわかる。けい光体の分子量を M g, 1 mol を L g 当量とすると、けい光体 W g は $W \cdot L / M$ g 当量となる。ハロリン酸カルシウム白色けい光体は $M=1,010$ g, $L=20$ なので、けい光体 10 g は 0.2 g 当量、2 N 硝酸 100 ml は 0.2 g 当量であるから、この場合当量関係が成立する。これから次の関係式が得られる。

$$W = W_0 \left(1 - \frac{C_H}{C_{HT}} \right) \quad (2.1)$$

ただし W_0 はけい光体の溶解前の重量、 W は C_H の濃度の硝酸で溶解した後のけい光体の重量、 C_{HT} はけい光体が全部溶解するときの硝酸濃度である。

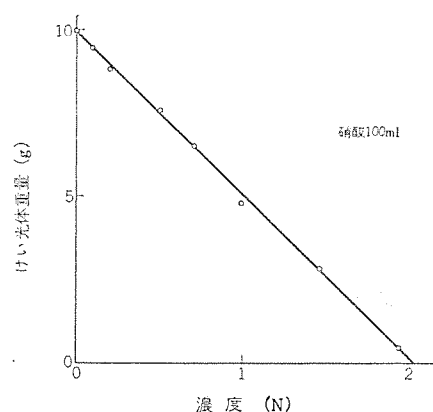


図 2.1 硝酸濃度とけい光体重量
Phosphor weight as a function of nitric acid concentration.

2.2 溶解過程における粒度変化

次に粒度の変化について考える。溶解前に d_{0i} の粒径のものが n_i 個あり、これが溶解により d_i の粒径になったとすれば、粒子を球とすると

$$W_0 = \frac{\pi \rho}{6} \sum n_i d_{0i}^3, \quad W = \frac{\pi \rho}{6} \sum n_i d_i^3 \quad (2.2)$$

ここで ρ はけい光体の密度である。

これを式 (2.1) へ代入し

$$\sum n_i d_i^3 = \left(1 - \frac{C_H}{C_{HT}} \right) \sum n_i d_{0i}^3 \quad (2.3)$$

を得る。これより

$$\left. \begin{aligned} d_i^3 &= \left(1 - \frac{C_H}{C_{HT}} \right) d_{0i}^3 = d_{0i}^3 \cdot X^3 \\ X &= \sqrt[3]{1 - \frac{C_H}{C_{HT}}} = \sqrt[3]{\frac{W}{W_0}} \end{aligned} \right\} \quad (2.4)$$

すなわち、粒径 d_{0i} のものに対して

$$d_i = d_{0i} \cdot X \quad (2.5)$$

を仮定する。いいかえれば $(1-X)$ は溶解により溶けた深さの割合を示すものとする。

図 2.1 から得られた試料をコールタカウンタにより粒度分布を実測した。また溶解前の試料の粒度分布から式 (2.5) を用いて計算により粒度分布を求めた。これらを図 2.2 に示す。計算値と実測値の一致は比較的よいが溶解が進行するとややずれるのは粒子形状の変

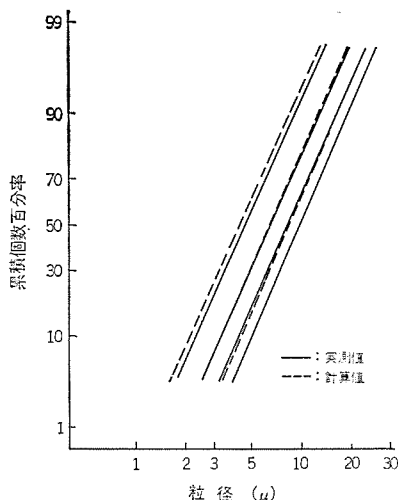


図 2.2 溶解過程における粒度分布の変化
Variation of particle size distribution
on the resolving.

化とえられる。

すなわち式 (2.5) がほぼ成立し、特に小粒子に対する選択的な溶解はみられない。固体粒子の溶解度は $S = S_{\infty} \exp(a/d)$ (S_{∞} は $d = \infty$ のときの溶解度, d は粒径, a は定数) で粒径の関数になるが, $a \ll d$ ならばほとんど粒径に依存しないという説⁽⁶⁾に従う。

2.3 溶解速度

けい光体の溶解過程において、その速度はかくはん速度が一定とすると、温度、濃度およびけい光体の表面積に依存すると考えられる。

これより

$$\frac{dW_t}{dt} = -k \cdot C_t^p \cdot S_t^q \quad (2.6)$$

ただし W_t , C_t , S_t はそれぞれ溶解時間 t における粒体の重量、酸濃度、粉体の表面積であり, p , q は次数, k は速度定数である。

ここで硝酸の場合、けい光体重量 W_0 と酸濃度 C_0 を当量とすると、溶解時間 t においてけい光体重量 W_t と酸濃度 C_t も当量関係が成立する。

$$\left. \begin{aligned} C_t &= \frac{L \cdot W_t}{V \cdot M} = \frac{L}{V \cdot M} \cdot \frac{\pi \rho \sum n_i d_i^3}{6} \\ S_t &= \pi \sum n_i d_i^2 \end{aligned} \right\} \quad (2.7)$$

ただし M はけい光体分子量, L はけい光体 1 mol の g 当量, V は酸の容積である。

このとき

$$\begin{aligned} C_t &= \frac{L}{V \cdot M} \left(\frac{\pi \rho}{6} \sum n_i d_{0i}^3 \right) X^3 \\ &= \frac{L \cdot W_0}{V \cdot M} \cdot X^3 \\ &= C_0 \cdot X^3 \end{aligned} \quad (2.8)$$

$$\begin{aligned} S_t &= (\pi \sum n_i \cdot d_{0i}^2) \cdot X^2 \\ &= S_0 \cdot X^2 \end{aligned} \quad (2.9)$$

$$W_t = W_0 \cdot X^3 \quad (2.10)$$

ただし S_0 は溶解前の粉体の表面積である。

式 (2.6), (2.8)~(2.10) から

$$\frac{dX}{dt} = -\frac{k}{3} \left(\frac{L}{V \cdot M} \right)^p \cdot W_0^{p-1} \cdot S_0^q \cdot X^{3p-2q-2} \quad (2.11)$$

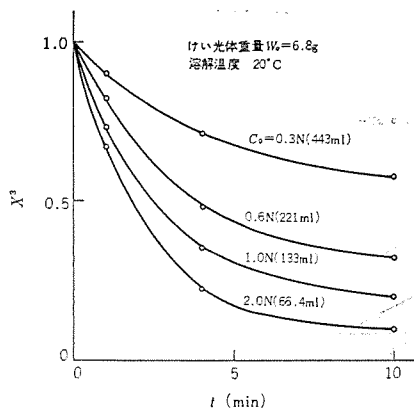


図 2.3 C_0 を変えた場合の溶解時間
と X^3 との関係
 X^3 as a function of resolving time
with C_0 as a parameter.

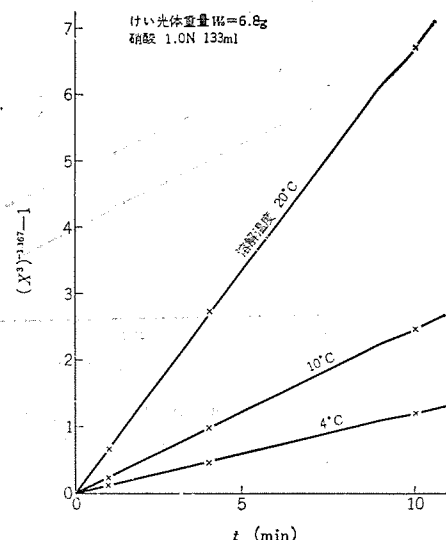


図 2.4 温度を変えた場合の溶解時間と
 $(X^3)^{-1.167} - 1$ との関係
 $(X^3)^{-1.167} - 1$ as a function of resolving
time with resolving temperature as a
parameter.

表 2.1 溶解温度による k' の変化
Variation of k' as a function of resolving temperature.

溶解温度 (°C)	$1/T (^{\circ}K^{-1})$	溶解時間 (分)	$X^3 (=W/W_0)$	k'
4°C	3.61×10^{-3}	1	0.91	0.118
		4	0.72	0.117
		10	0.49	0.119
10°C	3.53×10^{-3}	1	0.83	0.24
		4	0.55	0.25
		10	0.34	0.25
20°C	3.41×10^{-3}	1	0.64	0.67
		4	0.32	0.68
		10	0.17	0.67

これを積分して次式を得る。

$$(X^3)^{1-p-\frac{2}{3}q} = -\left(1-p-\frac{2}{3}q\right) k \frac{C_0^p \cdot S_0^q}{W_0} \cdot t + 1 \quad (2.12)$$

酸濃度 C_0 を変えたときの t に対する X^3 の変化を実測した。実験方法としては、時間 t でかくはんを停止すると同時に大量の水 (0°C) を注加し、溶解がほとんど進行しない状態として、すみやかにろか (濾過) し、残っているけい光体重量 W_t をしょう (秤) 量し, $X^3 = W_t/W$ を求めた。結果を図 2.3 に示す。 t に対する X^3 の値を式 (2.12) に代入すると $p \approx 1.5$, $q \approx 1.0$ を得る。したがって式 (2.6), (2.12) は次のようになる。

$$\frac{dW_t}{dt} = -k \cdot C_t^{1.5} \cdot S_t \quad (2.13)$$

$$(X^3)^{-1.167} = 1.167k \cdot \frac{C_0^{1.5} S_0}{W_0} \cdot t + 1 \quad (2.14)$$

式 (2.14) は, W_0 , C_0 , S_0 を一定とし, k' を温度の関数とすれば

$$(X^3)^{-1.167} - 1 = k' \cdot t \quad (2.15)$$

となる。ただし $k' = 1.167k \cdot C_0^{1.5} S_0 / W_0$ である。

次に温度を変えたときの溶解時間 t と $(X^3)^{-1.167} - 1$ の関係を図 2.4 に示す。これから各温度での k' を求めると表 2.1 および図 2.5 の実線のようになる。図 2.5 の点線は異なった試料から得られたものである。図 2.5 から k' すなわち溶解速度定数 k に対して次式が成立する。

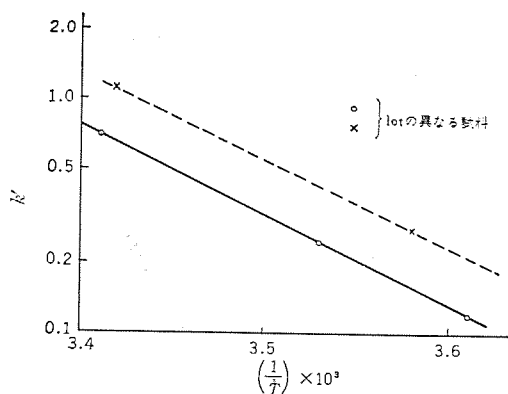


図 2.5 溶解温度による k' の変化
Variation of k' as a function of resolving temperature.

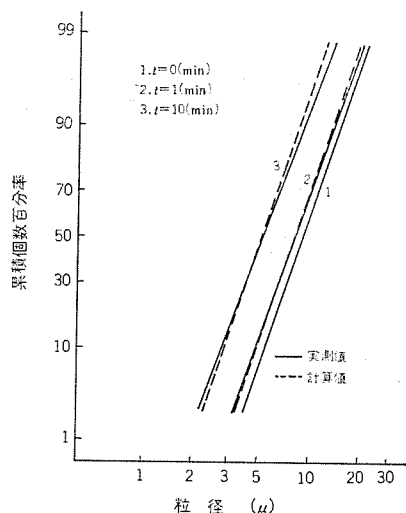


図 2.6 溶解過程における粒度分布の変化
Variation of particle size distribution on the resolving.

$$k = A \exp\left(-\frac{E}{RT}\right) \dots \dots \dots (2.16)$$

ただし A はひん度因子, E は溶解の活性化エネルギーである。
この式から活性化エネルギーを求めると 17 kcal/mol となる。試料による k' の差は $k' = 1.167 C_0^{1.5} (S_0/W_0) k = 1.167 C_0^{1.5} \cdot s_0 \cdot A \exp(-E/RT)$ であるから、比表面積 s_0 が異なるためと考えられる。
次に図 2.3 の $C_0 = 1 \text{ N}$, $t = 0, 1, 10 \text{ min}$ の試料について、その粒度分布をコールタカウンタで測定した。その結果を図 2.6 の実線で、また $d_i = d_{0i} \cdot X$ により計算した粒度分布を点線で示す。計算値と実測値はよく一致し、溶解過程においても、 $d_i = d_{0i} \cdot X$ が成立することを示している。

2.4 異なった相の酸に対する溶解性

このけい光体はアパタイト構造 $\text{Mx}(\text{PO}_4)_y$, $\text{M} = \text{Ca} + \text{Mn} + \text{Sb}$, $\text{X} = \text{F} + \text{Cl}$, $x = 10$, $y = 2$ の結晶であるが、実際には $x < 10$, $y < 2$ であり、X線回折からもアパタイト以外の $\beta\text{-Ca}_2\text{P}_2\text{O}_7$ が認められ、また CaSb_2O_6 , $\beta\text{-Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ が存在していることもある⁽⁷⁾⁽⁸⁾。したがって部分溶解の場合、これらの異なった相についても検討する必要がある。

フッロアパタイト、 $\beta\text{-Ca}_2\text{P}_2\text{O}_7$ および $\beta\text{-Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ の塩酸に対する溶解はいずれも Ca^{2+} と H^+ との交換反応であるといわれる⁽⁹⁾。したがって当量関係が成立する。けい光体の硝酸に対する溶解も 2.1 節で述べたように当量関係である。そこで $\beta\text{-Ca}_2\text{P}_2\text{O}_7$, $\beta\text{-Ca}_3(\text{PO}_4)_2$

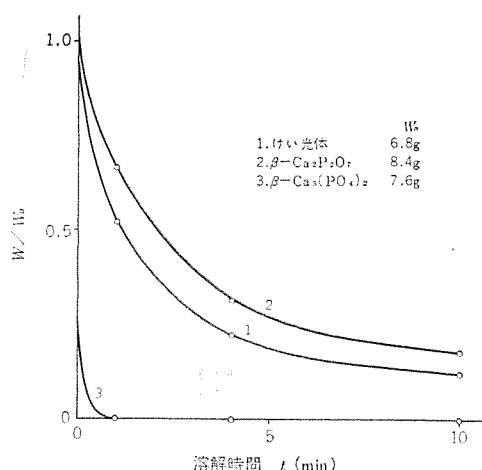


図 2.7 各物質の硝酸に対する溶解速度
Resolving rate of each material for nitric acid solution.

の硝酸に対する溶解においても当量関係が成立するとして、その状態をしらべた。結果を図 2.7 に示す。溶解条件は 1 N 硝酸、132.7 mL、室温で、溶解前の粉体重量 W_0 はけい光体、 $\beta\text{-Ca}_2\text{P}_2\text{O}_7$, $\beta\text{-Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ それぞれ酸と当量すなわち 6.8 g, 8.4 g, 7.6 g である。 $\beta\text{-Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ は 1 分以内に全部溶解するが、 $\beta\text{-Ca}_2\text{P}_2\text{O}_7$ はけい光体よりやや溶けにくい。しかしけい光体中に存在するときの $\beta\text{-Ca}_2\text{P}_2\text{O}_7$ は単独の粒子ではなく、またその量も少量であるので溶解速度はほぼ同じと考えてさしつかえなからう。なお CaSb_2O_6 は硝酸には溶解しない。

3. 粒子内異相成分の分布

3.1 部分溶解試料中の異相成分量

以上のようにハロリン酸カルシウムけい光体の硝酸に対する溶解は粒度にほとんど依存しないことがわかった。

そこで部分溶解により X を変えたときの粉末の特性をしらべた。この目的は粒子内の均質性を明らかにすることにある。

X の異なる試料について X 線回折により各相の定量を行なった。標準試料として無付活 フッロアパタイトに異相成分を混ぜ、検量線はアパタイトの (211) $d = 2.814 \text{ \AA}$, $\beta\text{-Ca}_2\text{P}_2\text{O}_7$ の (008) $d = 3.018 \text{ \AA}$ そして CaSb_2O_6 の $d = 4.99 \text{ \AA}$ ⁽¹⁰⁾ を用いて作成した。混合した異相成分はそれぞれ CaHPO_4 を 1,100°C で 2 時間焼成した $\beta\text{-Ca}_2\text{P}_2\text{O}_7$, CaCO_3 と Sb_2O_3 を 1,000°C で 1 時間空気中で焼成した CaSb_2O_6 である。 $\beta\text{-Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ については、通常の製造方法によるけい光体では X 線的にその存在が認められなかった。でき上ったけい光体を空気中で焼成すると $(\text{Ca}, \text{Mn})_3(\text{PO}_4)_2$ が生成し、Mn の一部が 3 価で固溶するため、藤色に着色するといわれている⁽⁸⁾。われわれの実験でもこれは X 線回折により確認した。しかし、この着色したけい光体を希硝酸で溶解すると着色はなくなり、同時に X 線回折からも $(\text{Ca}, \text{Mn})_3(\text{PO}_4)_2$ が認められなくなることから、この物質はけい光体粒子の表面にできるものと考えられる。

図 3.1 に lot の異なる二つのけい光体について $\beta\text{-Ca}_2\text{P}_2\text{O}_7$ の X に対する変化を示す。これから、 X が 1 からある値まで

$$\beta\text{-Ca}_2\text{P}_2\text{O}_7 \propto \frac{1}{X^3} \dots \dots \dots (3.1)$$

であることがわかる。

$\beta\text{-Ca}_2\text{P}_2\text{O}_7$ が粒子の中心に偏在していると仮定し、粒子を球と考え、 $\beta\text{-Ca}_2\text{P}_2\text{O}_7$ とけい光体相との境界を X_1 とすると

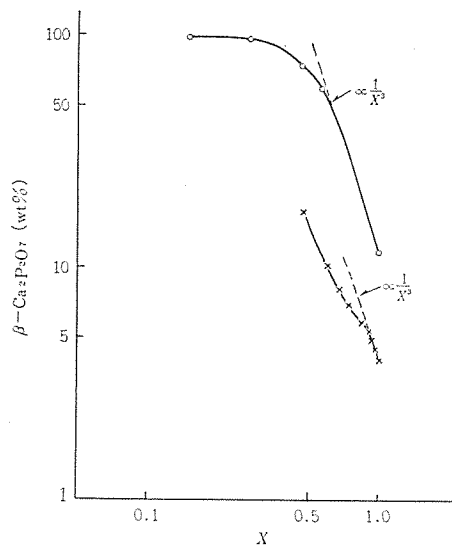


図 3.1 β - $\text{Ca}_2\text{P}_2\text{O}_7$ と X との関係
 β - $\text{Ca}_2\text{P}_2\text{O}_7$ as a function of X .

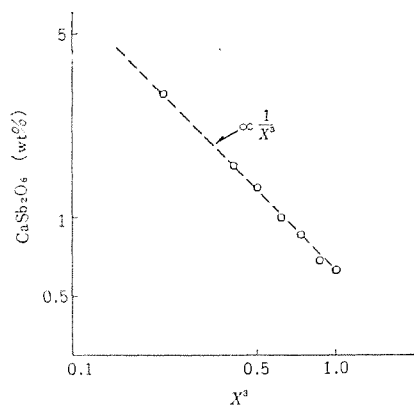


図 3.2 CaSb_2O_6 と X^3 との関係
 CaSb_2O_6 as a function of X^3 .

$$\beta\text{-Ca}_2\text{P}_2\text{O}_7 = \frac{\rho' \cdot \int_0^{X_1} 4\pi X^2 dX}{\rho' \int_0^{X_1} 4\pi X^2 dX + \rho \int_{X_1}^X 4\pi X^2 dX + W_a} \quad (3.2)$$

ただし ρ , ρ' はそれぞれけい光体および β - $\text{Ca}_2\text{P}_2\text{O}_7$ の密度, W_a は $X=1$ での CaSb_2O_6 の重量とする。 CaSb_2O_6 は一般に 1 wt % 以下なので省略し得, また $\rho=3.2 \text{ g/cm}^3$, $\rho'=3.14 \text{ g/cm}^3$ であるから近似的に $\rho=\rho'$ とすれば式 (3.2) は

$$\beta\text{-Ca}_2\text{P}_2\text{O}_7 = \frac{X_1^3}{X^3} \propto \frac{1}{X^3} \quad (3.3)$$

となり式 (3.1) と一致する。すなわち β - $\text{Ca}_2\text{P}_2\text{O}_7$ は粒子の中心に偏在していることがわかる。

図 3.2 に比較的 CaSb_2O_6 の多いけい光体を選び, X^3 に対する CaSb_2O_6 量の変化を示す。 CaSb_2O_6 は硝酸に溶けないので

$$\begin{aligned} \text{CaSb}_2\text{O}_6 &= \frac{W_a}{\rho' \int_0^{X_1} 4\pi X^2 dX + \rho \int_{X_1}^X 4\pi X^2 dX + W_a} \\ &\doteq \frac{W_a}{\frac{4\pi\rho}{3} X^3 + W_a} \quad (3.4) \end{aligned}$$

となる。図 3.2 からわかるように W_a は小さな値であり,

$W_a \ll 4\pi\rho \cdot X^3/3$ であるから式 (3.4) は

$$\text{CaSb}_2\text{O}_6 \doteq \frac{3W_a}{4\pi\rho \cdot X^3} \propto \frac{1}{X^3} \quad (3.5)$$

となる。図 3.2 の実測値が式 (3.5) とよく一致していることがわかる。

以上のことから, けい光体の粒子の中心付近に β - $\text{Ca}_2\text{P}_2\text{O}_7$ が偏在しており, CaSb_2O_6 の場合は $X=0$ 近くまで式 (3.5) に従う変化を示すが, これが硝酸に不溶であることから, 粒子のどの部分に存在しているかは明らかでない。

4. 分級粒子間の組成比較

沈降法により分級したけい光体試料間の組成を X 線回折により比較した。分級にはヘキサメタリン酸ソーダ 0.2 wt % 水溶液を用い操作は 5 回以上くり返した。平均粒径 14.0μ の原粉 2 kg から平均粒径 27.5μ の大粒子 約 50 g, 平均粒径 11.6μ の中粒子 約 400 g, 平均粒径 5.8μ の小粒子 約 1 g を得た。各試料の粒度分布を図 4.1 に示す。また各試料中の異相成分の定量結果を図 4.2 に示す。この結果小粒子中には特に CaSb_2O_6 が多く含まれていることがわかる。中粒子に CaSb_2O_6 が少なく, 大粒子でやや増えているのは大粒子のほうが中粒子よりも粒界を多く含み, この粒界に CaSb_2O_6 が多く偏在するためと考えられる。

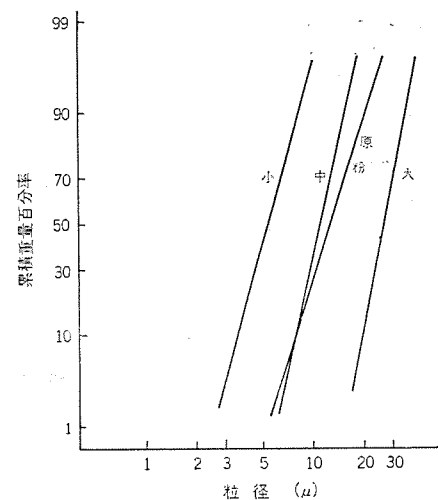


図 4.1 分級試料および原粉の粒度分布
Particle size distributions of divided phosphors and their original phosphor

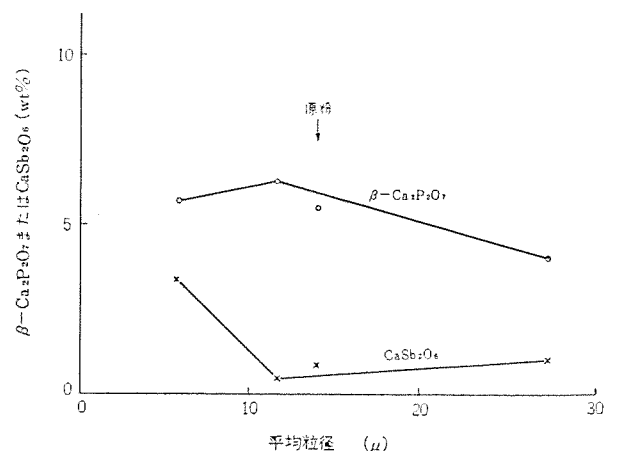


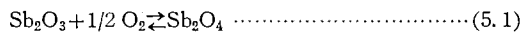
図 4.2 分級試料および原粉中の β - $\text{Ca}_2\text{P}_2\text{O}_7$ および CaSb_2O_6
 β - $\text{Ca}_2\text{P}_2\text{O}_7$ and CaSb_2O_6 in divided phosphors and their original phosphor

5. 考 察

以上の結果からハロリン酸カルシウムけい光体の粒子をモデル的に見ると、中心に $\beta\text{-Ca}_2\text{P}_2\text{O}_7$ が核のように偏在し、その周辺にけい光体相が存在し、表面近傍および粒界に CaSb_2O_6 が存在していると推定される。

$\beta\text{-Ca}_2\text{P}_2\text{O}_7$ が中心部に存在するのは、主材料の $\text{Ca}_2\text{P}_2\text{O}_7$ に 800°C 近くで陽イオンおよびハロゲンが拡散してアパタイトが形成されるが、配合のとき PO_4^{3-} 6モルに対して陽イオンは10モル以下にしているので、全部アパタイトになるには陽イオンが不足するので粒子の中心に $\beta\text{-Ca}_2\text{P}_2\text{O}_7$ の形で残るためと考えられる。

表面近傍および粒界の CaSb_2O_6 については次のように考えられる。



の平衡は約 $1,030^\circ\text{C}$ 以下では右へ進行する⁽¹¹⁾。すなわち $1,030^\circ\text{C}$ 以下で O_2 が存在するときは、 Sb^{5+} のほうが Sb^{3+} より安定である。けい光体の焼成温度は約 $1,150^\circ\text{C}$ であるが、焼成終了後の冷却中に表面付近の Sb^{3+} の一部が O_2 の存在により Sb^{5+} となり CaSb_2O_6 を生成するのであろう。また Sb は温度上昇時 $800\sim 1,000^\circ\text{C}$ では大部分が CaSb_2O_6 となる⁽¹⁰⁾⁽¹²⁾。この CaSb_2O_6 はアパタイトの粒子成長に伴って粒界および粒子表面に偏析する。これは、このけい光体の焼成温度約 $1,150^\circ\text{C}$ で大部分アパタイト中へ拡散するが、一部は粒界および粒子表面に残る。

けい光体の酸に対する溶解速度は、酸濃度と1.5次の関係にある。これは次のように考えられる。溶解は H^+ イオンのけい光体表面への衝突により起こると考えられる。単位時間内にけい光体の表面に衝突する H^+ イオンの個数は酸濃度に比例する。このとき溶解が単に H^+ イオンの数のみに比例するとすれば、溶解速度は酸濃度と1次の関係になる。また Ca は2価なので H^+ イオンが2個同時に反応しなければ溶解しないと考えると、溶解速度は H^+ イオン間の衝突回数に比例する。これは濃度の2乗に比例するので、溶解速度は酸濃度

と2次の関係になる。実験結果から得られた1.5次はおそらく両方が同じ程度に関係しているためと考えられる。

6. む す び

ハロリン酸カルシウムけい光体の硝酸による部分溶解、および分級したけい光体のX線による異相成分の定量などを組合せその均質性をしらべた。その結果、このけい光体粒子は中心付近に $\beta\text{-Ca}_2\text{P}_2\text{O}_7$ が偏在し、その周辺にけい光体相があり、そして表面近傍および粒界に CaSb_2O_6 が存在していることがわかった。これらの結果は今後このけい光体を均質化し、特性を改善する場合に大いに役立つものと思われる。現在たとえばサーモルミネッセンスのような光物性的手段による評価と組合わせてこのけい光体の均質性を検討している。

参 考 文 献

- (1) K. H. Butler, et al. : Ill. Eng., 55, 396 (1960)
- (2) J. L. Ouweltjes : Electrizaritas verwertung, 11, 12, 293 (1958)
- (3) 坊, ほか : 照学誌, 44, 227 (昭35)
- (4) E. M. Grevitch : Svetoteknika, 13, (1967)
- (5) 小峰, ほか : 三菱電機技報, 46, 416 (昭47)
- (6) 久保備 : 粉体, 理論と応用, 丸善 (昭37)
- (7) J. G. Rabatin et al. : J. Electrochem. Soc., 114, 956 (1967)
- (8) J. G. Rabatin, et al. : J. Electrochem. Soc., 111, 542 (1964)
- (9) 金沢ほか : 工業化学雑誌, 74, 849 (昭46)
- (10) K. H. Butler, et al. : J. Electrochem. Soc., 97, 117 (1950)
- (11) 永廻, 佐藤, 清浦 : 工業化学計算上, 200 (昭37)
- (12) D. Robbins : Electrochem. Soc., Spring Meeting, (1962) Abstract No 37



特許と新案

エレベータ出発管理方式 (特許第 609402 号)

発明者 板垣 晃平・篠崎 裕久

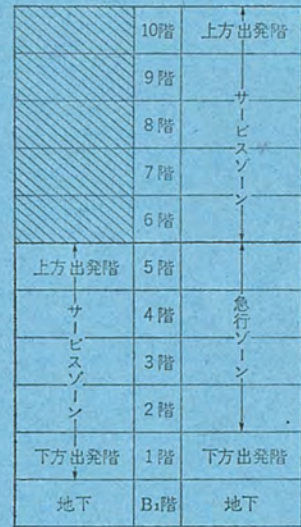
この発明は複数の連続した非停止階からなる急行ゾーンを有する建物において、並設された複数のかごからなるエレベータ装置の出発管理方式に関するものである。

超高層ビルにおいては、輸送力の向上と良質なサービスを得るために、図に一例を示すごとく、エレベータのバンク割りを行なって、高層行き急行バンクと低層行きバンクのようにエレベータバンクを分けて設けることが多い。この場合、高層行き急行バンクでは図に示すごとく下方出発階と、最初のサービス階すなわちサービスゾーンの最下階との間に、相当数の非停止階からなる急行ゾーンを有するようになる。しかし、従来の運転方式では、一般に下方出発階を基点としてエレベータの出発管理を行なうため、かごは常に急行ゾーンを走行した後、サービス階床の呼びに応答することになる。したがって、サービス階で乗場ボタンを押してかごを待つ乗客は、かごが急行ゾーンを走行して階床に到着するのを待遠しい気持ちで待っていなければならない欠点があった。

この発明はかかる欠点を解消したものである。すなわち、ビルの交通が閑散な時以外は、下方出発階とサービス階床との交通がかなりあるものと予想されるので、一般に用いられる方式と同様に下方出発階を基点としてエレベータの出発を管理し、交通が閑散になると、バンク内のかごを予定の台数ずつ下方出発階と上方出発階とに分けて待機させ、下方出発階に待機したかごには、下方出発階と地下からの乗客をサービスさせ、上方出発階に待機したかごには、上方出

階とサービスゾーンからの乗客をサービスさせ、屋上があれば屋上からの乗客もサービスさせる方式である。

したがって、サービス階床からの乗客の呼びに対して、かごがいちいち下方出発階から、急行ゾーンを走行して応答するのではなく、上方出発階に待機するかごが迅速に応答するので、乗客を長く待たせることなく、良質なサービスを提供することができる。



低層行きバンク 高層行きバンク

トーンコントロール回路 (実用新案第 940259 号)

考案者 東 稜

一般にオーディオ用機器におけるトーンコントロール回路の特性としては、図1に示すような上昇(下降)度は一定のまま変曲点のみを変えるようにしたものと、図2に示すような変曲点は一定で上昇(下降)度のみを変えるようにしたものとがある。この考案は図3に示すように、直線増幅器(2)をはさんで上昇(下降)周波数に変化する

るような第1および第2のトーンコントロール回路(3)(4)を接続し、これら両トーンコントロール回路の時定数を任意選択的に調整することにより、総合周波数特性としては、上記図1および図2のような特性が得られるようにしたことを特長とするものである。

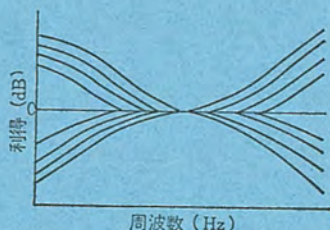


図1

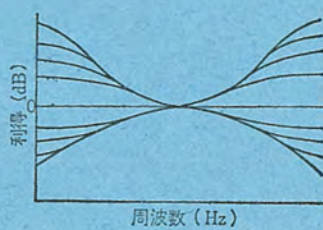


図2

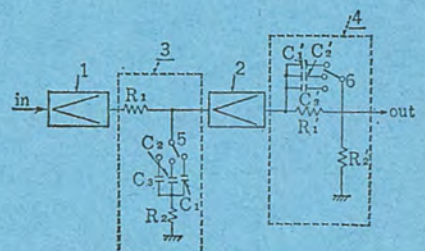


図3

特許と新案

コードつり下げ形灯具 (実用新案第 934622 号)

考案者 諏訪 寧・山崎 肇・保田 智行

この考案は、天井から垂下するコードの長さ調節によって生じるコードの余剰部分を灯具内に収納し得るようにして外観を良くし、しかもコードによる灯具の支持を確実堅固にしたものである。

図を参照して説明すると、(1)は灯具本体、(2)はこの本体の上部にねじにより着脱自在に設けた収納室、(3)はこの収納室の上面中央にこれと一体に設けた管状部で、図3の拡大断面図に示すように、管状部の基部外周にねじ部(4)を、先端からほぼ中央部までの部分に切欠きみぞ(5)をおよび先端内周に環状にとつ(凸)部(6)を形成してある。(7)は内周の一半が上記管状部(3)のねじ部(4)とら合するねじ部をなし、他半が端に向かって縮径するナット、(8)は天井からローゼットを介してつり下げられたコードで、ナット(7)を通して管状部(3)から収納室(2)内へ引入れられ、先端が灯具本体

(1)の器具端子(図示していない)に接続されている。

この考案の灯具は上述のように構成されており、灯具を適当な高さにつり下げするには、まずコード(8)を長さが適当になるように管状部(3)から収納室(2)内に押し込み、次にナット(7)を管状部(3)のねじ部(4)に締付けける。このときナット(7)の縮径内周面により管状部(3)のみぞ(5)の幅がせばまり、そのとつ部(6)によりコード(8)が締着される。

この考案によれば、ナット(7)を管状部(3)に対し締付けたりゆるめたりすることにより、簡単にコード(8)の長さ調節ができ、コードの長さ調節によって生じた余剰部分は、収納室(2)内へ収納するから外観が良く、またコードは管状部内周により締着されるから、長さ調節時にねじられる心配もないものである。

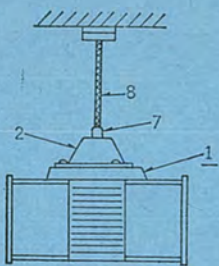


図1

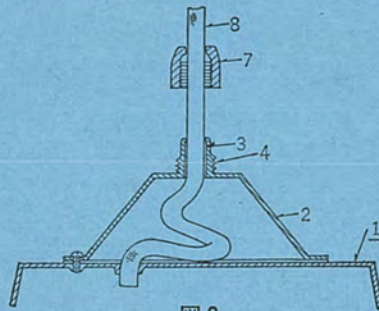


図2

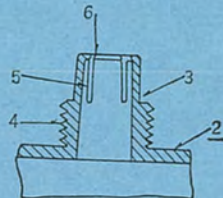


図3

殺菌灯付き衣類乾燥器 (実用新案第 951819 号)

考案者 長沢 重雄

この考案は熱源として電気ヒータを用いた衣類乾燥器の改良に関

するもので、特にヒータの電源回路を巧みに利用して器内が高温の時にのみ殺菌灯を点灯させるようにし、殺菌効率の増加と消費電力の節減を計るようにしたことを特長とするものである。

具体的な回路構成としては、電気ヒータ(7)と直列に接続されたサーモスタット(9)に対して並列に殺菌灯(12)を接続し、サーモスタット(9)が開のとき、すなわち器内温度が設定値の上限に達したとき始めて殺菌灯(12)が点灯するように構成されている。

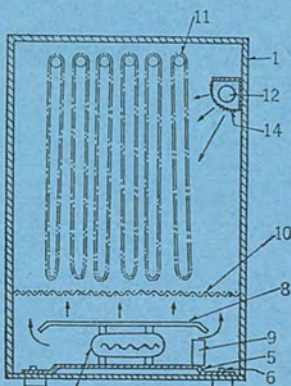


図1

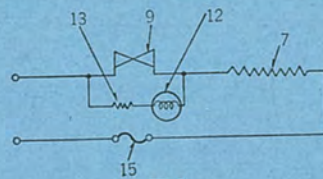


図2

技術講座

超音波探傷試験法 (6)

——超音波探傷の実際 (その 2)——

松 山 宏*

1. 探 傷 例

1. 1 まえがき

第 5 回目の講座で、超音波探傷器の取扱い方および探傷条件に合った探触子の選択方法などについて述べてきたが、本講座では、その応用例として、実際に探傷した、いくつかの例を掲げてみることにする。もちろん、これらの探傷例が、もっとも優れた方法と断ずことはできないはずであり、探傷上の諸因子 (前講座参照) を考え合せたとき、また技術的進歩を考えたと、よりよい方法もあると思われる。しかし実際に永年の経験を積んだ技術者の探傷例には、それだけ参考となるところも多いであろう。

1. 2 探傷例

1. 2. 1 炭素鋼丸棒の摩擦圧接部の探傷例

(a) 目的……摩擦圧接法は、開先仕上げ、溶材、溶接棒などを必要としないため、盛んに利用されている。そこで図 1. 1 に示す炭素鋼丸棒の摩擦圧接部の超音波探傷を実施した。

(b) 探傷方法の考察……被検査物が丸棒であること、摩擦圧接のため、発生する欠陥が棒の径方向に成長するであろうことを考慮すれば、丸棒端面からの直接接合による垂直探傷法が適しているであろう。図 1. 1 に示す探傷面に垂直探触子を機械油を介して接触させ、被検査物中に超音波を入射させる。

欠陥のない場合は、被検査物の底面エコーが得られ、欠陥が存在する場合は、送信パルスと底面エコーの間に欠陥エコーが得られる。

(c) 探傷条件……探傷方法の考察をまとめれば次のようになる。

使用探傷器……FD-180, FD-210 等

使用探触子……PS-5 Q 20 N-M

接触媒質 ……機械油

探傷面 ……被検査物の端面から

(d) 探傷結果……探傷結果を図 1. 2~1. 4 に示す。図 1. 2 に示すように、欠陥がない場合は、被検査物の中央部付近に段が付いているので、その部分からのエコー(W) が等間隔に現れ、エコーの高さは徐々に低くなる。これは段付部からの多重エコーである。これらのエコーの最大値は、ブラウン管目盛において、底面エコーの高さを 100% になるように探傷感度を設定したときに 20% 以下である。摩擦圧接部に、直径 1φ、深さ 8 mm の横穴人工欠陥をつけたサンプルの探傷図形を図 1. 3 に示す。図 1. 2 と比較すればわかるが、段付部からの多重エコーの間に、欠陥エコーが認められる。なお図 1. 4 は自然欠陥の探傷図形を示した。

1. 2. 2 透明板ガラスの探傷例

(a) 目的……近年、厚さ 10 mm 前後の板ガラスが建築材料として使用されるようになってきた。これらの板ガラスに数百ミクロン

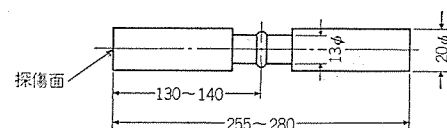


図 1. 1 炭素鋼丸棒の摩擦圧接部のサンプル

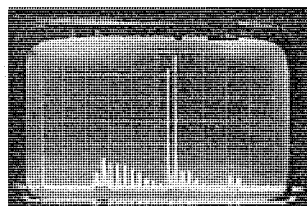


図 1. 2 炭素鋼丸棒の摩擦圧接部の探傷例 (欠陥なし)

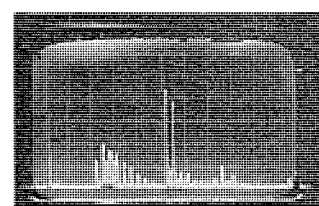


図 1. 3 炭素鋼丸棒の摩擦圧接部の探傷例 (人工欠陥あり)

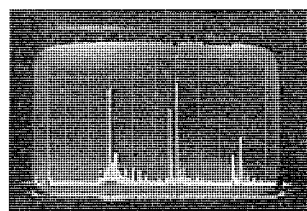


図 1. 4 炭素鋼丸棒の摩擦圧接部の探傷例 (自然欠陥あり)

の欠陥があると、そのところからひびが入ってしまうことがある。透明板ガラスの欠陥というのは、気ほう (泡) や硫化ニッケルや硫化鉄である。いずれにしても広い板ガラスの中から数百ミクロンの欠陥を人間の肉眼で探すことは容易ではない。超音波によりこれらの欠陥を探した。

(b) 探傷方法の考察……被検査物がガラス板であり、厚さが 10 mm 前後では垂直探傷法では、送信パルスにじゃまされて、厚み方向全体を探傷することはできない。そこで斜角探傷法を採用することになる。次に試験周波数であるが、これは被検査物の減衰、発見したい欠陥の形状や大きさ、被検査物の探傷面の状況によって決定しなければならない。そこでまずガラス内横波の減衰を測定する。測定方法としては、1 スキップの場合を 0 dB として、2 スキップ、3 スキップの場合を求めればよい。今回の例では、この減衰は 5 MHz において約 1 dB/cm であった。また欠陥の位置を正確に音速を求めておく必要があるが、今回の例では、ガラス内横波音速が 3,047 km/s であった。被検査物の探傷面が、きわめて平滑であること、5 MHz における減衰が比較的大きいこと、欠陥が非常に小さいこと、などを勘案して、斜角探傷で 5 MHz を用いて探傷することにする。

(c) 探傷の条件……探傷方法の考察をまとめれば次のようになる。

使用探傷器……FD-160 FD-210 または FD-180

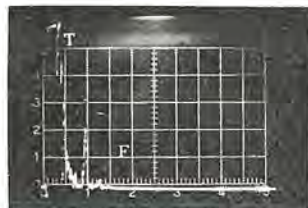


図 1.5 サンプル No. 1 の探傷図形

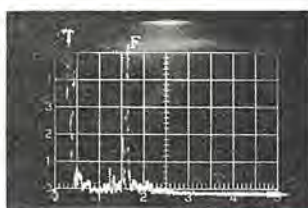


図 1.6 サンプル No. 2 の探傷図形

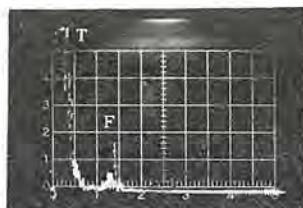


図 1.7 サンプル No. 5 の探傷図形

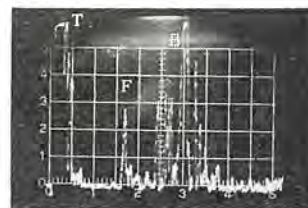
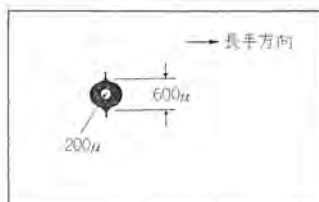
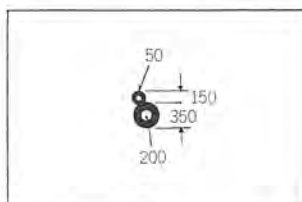


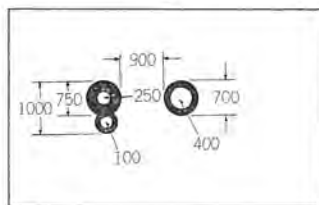
図 1.8 サンプル No. 7 の探傷図形



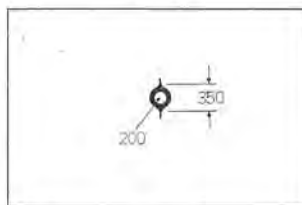
NO.1 8mm厚



NO.3 8mm厚



NO.2 10mm厚



NO.4 8mm厚

図 1.9 透明板ガラスの欠陥の形状

使用探触子……5Z 10×10 A 45 G

接触媒質 ……水

探傷面 ……ガラス表面

その他 ……1 スキップの距離で測定する。

(d) 探傷結果……探傷結果を図 1.5～1.8 に示す。

これに対応する欠陥の形状と寸法を図 1.9 に示す。

探傷器と探触子を組合せた感度は、500μの欠陥を1スキップで探傷した場合に、欠陥エコーが、探傷器のブラウン管の50%になるように設定した。この場合は、24 dBの感度余裕があった。

欠陥形状は、図 1.9 に示すように球状であり、サンプル 1, 4 のように欠陥が単独である場合には、どの方向から探傷しても 1～2 dB 程度の差しかなく、欠陥に方向性がないといえる。しかしサンプル 2, 3 のように、球状欠陥が2個かさなっている場合は、探傷方向によりかなり感度差が生ずる。欠陥の位置は、ガラスの横波音速でブラウ

ン管の横軸目盛を校正しておけば、ブラウン管上に表わされる欠陥位置から判別可能である。

さて、この結果から、どの程度の欠陥まで検出可能であるか検討してみよう。ガラスに発生する欠陥が球状のものであると仮定すれば、欠陥からの反射率は次のようになる。

$$\text{反射率 } \gamma = r/x \text{ ただし } 2\pi r > 0.7\lambda$$

$$\gamma = 66 r^3 / \lambda^2 x \text{ ただし } 2\pi r < 0.7\lambda$$

ここで、 r は球状欠陥の半径

x は探傷面から欠陥までの距離

λ はガラス内横波の波長

x を一定として、欠陥の半径と反射率が比例する条件は $2\pi r > 0.7\lambda$ の範囲である。波長は、 $\lambda = v/f$ であり、 v (ガラス内横波音速) は 3,047 km/s であるから、試験周波数 5 MHz のときは約 0.6 mm となる。

したがって条件、 $2\pi r > 0.7\lambda$ で試験周波数が 5 MHz であれば、 $r = 0.1336$ mm となる。探傷器本体と探触子を組合せた総合感度は先に述べたように感度余裕で 24 dB であったから、最大感度まで約 10 倍感度を上げることができる。すなわち 500 μ と、133.6 μ との比をとれば $500/133.6 \approx 3.5$ となり、なお感度に余裕があり、試験周波数が 5 MHz のときは、おおよそ 140 μ の欠陥まで検出可能であろうと推測できる。

なお試験周波数を更に高くすれば、より小さな欠陥まで検出可能となるはずであるが、被検査物の減衰が増加して感度不足となり実現しえない場合があるので注意しなければならない。

1. 2. 3 板厚 12 mm の鋼板突合せ溶接部の探傷例

(a) 目的……今日では、厚鋼板の突合せ溶接部を超音波検査することは常識的にさえなりつつある。そこで、その探傷方法の基本的手順である NDIS-2404 (鋼構造物溶接部の超音波斜角探傷試験法および等級分類) の手順にしたがって探傷し、この探傷結果を、別に X 線で検査した結果と比較することを実施した。

(b) 探傷方法の考察……突き合せ溶接部の超音波探傷法は NDIS-2404 により実施するのがもっとも基本的である。そこで今回の例も NDIS-2404 にしたがった。そこで NDIS-2404 の概要を記す。

探傷方法 ……斜角探傷法

試験周波数……2 MHz または 5 MHz

接触媒質 ……グリセリン

探傷感度 ……あらかじめ STB-A 2 と屈折角 45 度の斜角探触子

を使用して距離振幅校正曲線を作成し、その C 線に、実際に使用する探触子で STB-A 2 の 4φ×4 のエコー高さを合わせる。

(c) 探傷条件……NDIS-2404 にしたがって探傷条件を設定すれば次のようになる。

使用探傷器……FD-210 または FD-180 (この場合ゲート装置を内蔵する探傷器が必要である)

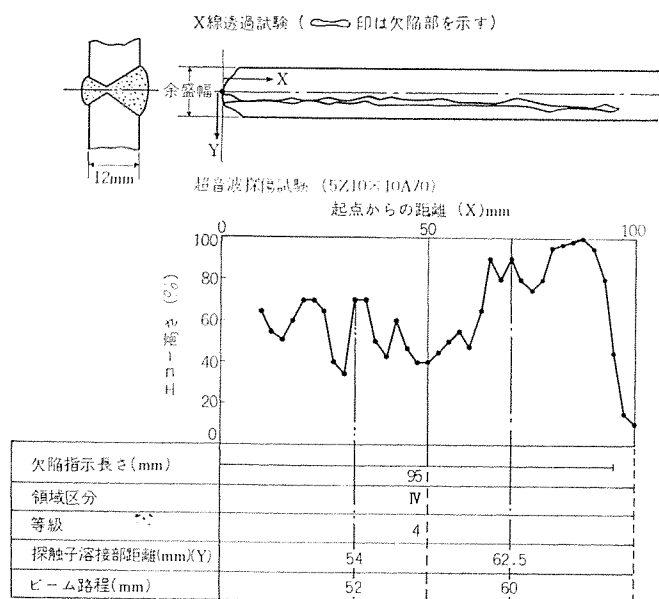


図 1.10 板厚 12 mm 鋼板突合せ溶接部の探傷例

使用探触子……5 Z 10×10 A 70-G

接触媒質 ……グリセリン

設定感度 ……

探傷面 ……鋼板表面

探傷範囲 ……0.5～1 スキップ

(d) 探傷結果……探傷結果を図 1.10 に示す。この結果を要約すると次のようになる。

(i) 注意深い探触子の操作と、ブラウン管波形の観測を行えば X 線透過試験で検出された欠陥は、超音波探傷法で検出しうる。

(ii) 更に X 線透過試験では検出されなかった欠陥をも検出しうることもある。

(iii) 探傷器および探触子の総合感度から推測すれば、板厚 20 mm 程度の鋼板までは、5 MHz の屈折角 70 度の斜角探触子で十分実用的であり、試験周波数 2 MHz の場合より感度は低下するものの指向性は 5 MHz の場合の方がよく、結果として欠陥の発見率は高くなると思われた。

1.2.4 裏当金付き突合せ溶接部の探傷例

(a) 目的……裏当金付き、突合せ溶接部の超音波斜角探傷は、従来より、一般的に難しいとされている。この主な原因は、母材と裏当金の間に流れ込んだ溶接金属や、裏当金内部から反射する欠陥ではない、いわゆる妨害エコーの発生のためである。この例では探傷方法と、欠陥識別方法を調べるために実施した。

(b) 探傷方法の考察……まず実際に探傷する者は、裏当金付き、突合せ溶接部についての予備知識を有していないと探傷中、欠陥エコーと、妨害エコーとの区別がつかなくなる。

本サンプルの断面と予想される妨害エコーは、図 1.11 で示す。そこで、この妨害エコーと欠陥エコーを識別する注意点をあげれば次の

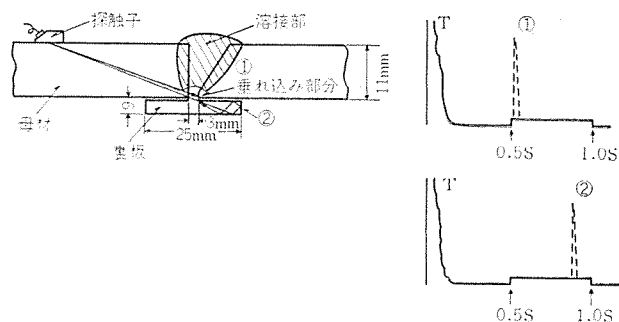


図 1.11 裏板金付き突合せ溶接部の断面と予想される妨害エコー

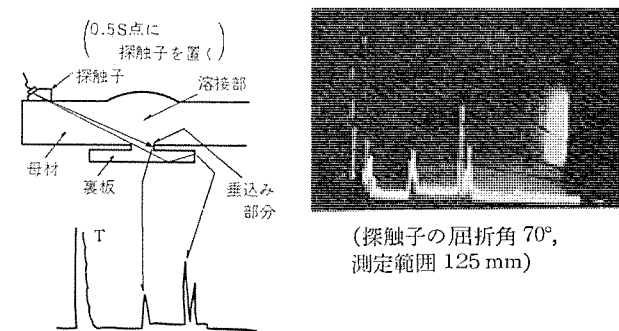


図 1.12 裏板金付き突合せ溶接部の妨害エコー発生状況

とおりとなる。

- (i) 超音波探傷器の横軸(時間軸)を正確に校正しておくこと。
- (ii) ゲートマーカーを正確に校正しておくこと。
- (iii) 溶接部の開先形状やルート部および外観などをよく調べ、妨害エコーの発生する位置をあらかじめ予期しておく。

(iv) 探傷中、接触媒質をつけた指でサンプルの裏面からの、エコーであるかどうかチェックする。

(v) 必要に応じて両面から探傷してみる。

その他は、突き合せ溶接部の超音波探傷と同じ注意でよい。

(c) 探傷条件……探傷条件は次のとおりである。

使用探傷器 FD-210 正確にゲートマーカーを設定しうる探傷器が必要である。もちろん FD-180 形も使用しうる。

使用探触子……4 Z 10×10 A 70-G

接触媒質 ……マシン油

設定感度 ……31.5 dB

探傷面 ……鋼板表面

探傷範囲 ……0～1 スキップ ゲートマーカーは 0.5～1.0 スキップに設定

標準試験片……STB-A2 基準欠陥 4φ×4

(d) 探傷結果……探傷結果のうち妨害エコー発生の状況は図 1.12 更に、探触子の移動に伴う妨害エコーの発生状況は図 1.13 (a) のとおりとなる。この妨害エコーによって識別不可能となる欠陥の存在位置は図 1.14 である。

できるだけ妨害エコーでじゃまされないような探傷方法を検討し

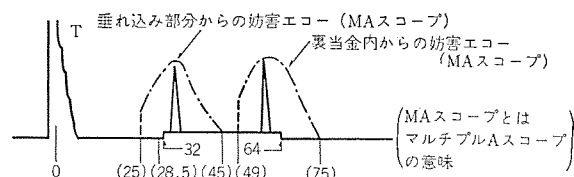


図 1.13 (a) 探触子の移動に伴う妨害エコー発生状況

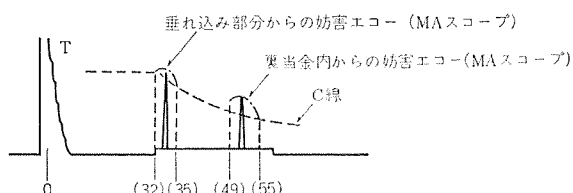


図 1.13 (b) 妨害エコーをB線以上で評価した状況

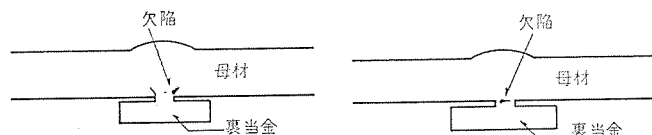


図 1.14 妨害エコーにより識別不可能となる欠陥の存在位置

てみると、1) 探触子の屈折角を 70° 以上にする(こうすると表面波が発生するが強制的に表面波を取除くことを考える)、すなわち 80° 程度にする、2) 図 1.13 (a) で距離振幅校正曲線の B 線 (NDIS-2404 参照) 以下を評価の対象からはずすと、図 1.13 (b) のようになるから、ゲートマカを狭くする。探触子のしゅう(摺)動位置とゲートマカが同期的に設定する。さらにゲートマカのスタート位置を 0.5 スキップではなく、0.6 スキップ程度からにする、などの手段が考えられる。しかしこれらの手段はいずれも実用化されたものではなく、今後この種の装置の開発の必要性をこの試験結果は示唆している。

1.2.5 火力プラントのボイラ用チューブの超音波探傷例

(a) 目的……火力プラントのボイラ用チューブの保守検査として、チューブの内面から発生する欠陥の超音波探傷がある。その一つの例として、チューブ内面で円周方向に発生した欠陥の探傷を実施する。

(b) 探傷方法の考察……図 1.15 に示すようなサンプルであるから、斜角探傷法が適していると思われる。試験周波数は、5 MHz の方が欠陥識別能力が高いので、5 MHz とした。(サンプルの材質が鉄であり減衰が少ないので、5 MHz とすることができた。減衰の多い材料の場合は、2 MHz またはそれ以下の試験周波数を使わなければならない)。接触媒質は、サンプルが水平の場合は、マシン油でよいが、垂直の場合は、マシン油では流れてしまうので、粘度の高いグリセリンや、水ガラスなどを使用した方がよい。

(c) 探傷条件……探傷方法の考察をまとめれば次のようになる。

使用探傷器……FD-210 FD-180 現場での保守検査を考えた場合、軽量小形ゲートマカで装置付の FD-210 形

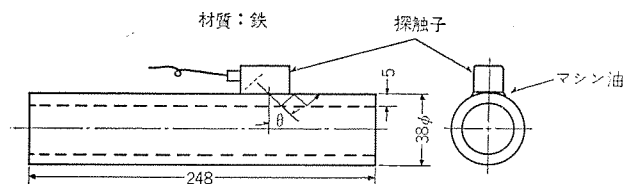
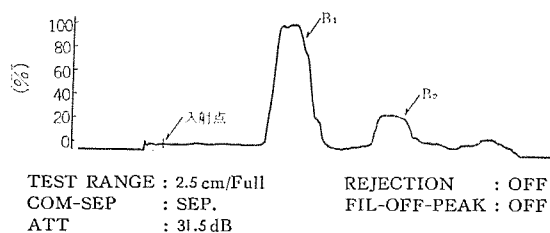


図 1.15 火力プラントのボイラ用チューブのサンプル(鋳物製)



TEST RANGE : 2.5 cm/Full
COM-SEP : SEP.
ATT : 31.5 dB

REJECTION : OFF
FIL-OFF-PEAK : OFF

図 1.16 自然欠陥の探傷波形

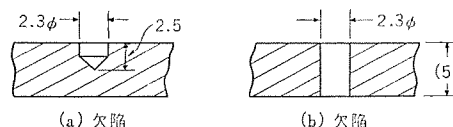


図 1.17 モデル欠陥

の方が適当であろう。

使用探触子……5 Z 10×10 A 45-G

接触媒質 ……マシン油またはグリセリン

設定感度 ……26.5 dB (COM は 3 に設定)

探傷面 ……チューブの表面

探傷範囲 ……1.0~2.0 スキップ

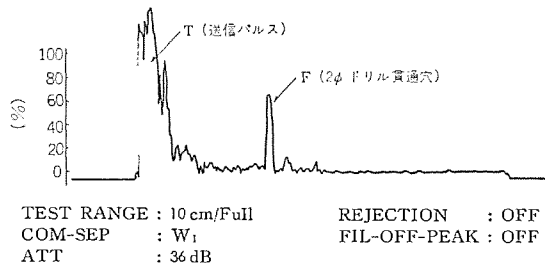
(d) 探傷結果……図 1.16 に自然欠陥の探傷結果を示す。この欠陥が、どの程度のものか不明なので、図 1.17 (a) および (b) のようなモデル欠陥を同一チューブに加工して推察する。モデル欠陥からのエコーを図 1.18 (a) (b) に示す。

保守検査の場合、特に被検査物をサンプルとして、あらかじめモデル欠陥によって、発見しうる欠陥の大きさや、発見した欠陥がどの程度の大きさのものか、おおよそ推量しうるようにしておく都合がよい。

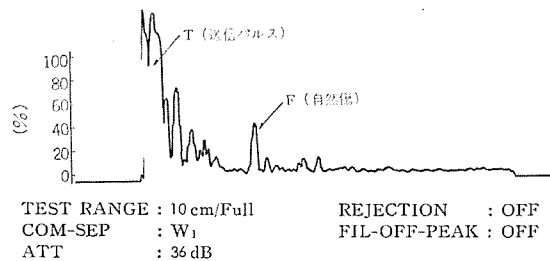
1.2.6 鋭い屈曲部からの超音波探傷例

(a) 目的……図 1.19 に示すようなサンプルの屈曲部を内側から探傷しなければならない場合を想定して超音波探傷実験を試みる。

(b) 探傷方法の考察……このように、鋭い曲率半径をもつ面から超音波探傷するには、探触子にアタッチメントを加工して付加し、この鋭い曲率半径の部分に探触子が密着するようにしなければならない。また探傷面から欠陥位置までの距離が短いので垂直探傷法では、送信パルスがじゃまをして十分明瞭(瞭)に欠陥エコーを見ることができない。このような場合には、超音波遅延材を介して送信パル



(a) モデル欠陥



(b) モデル欠陥

図 1.18 モデル欠陥の探傷波形

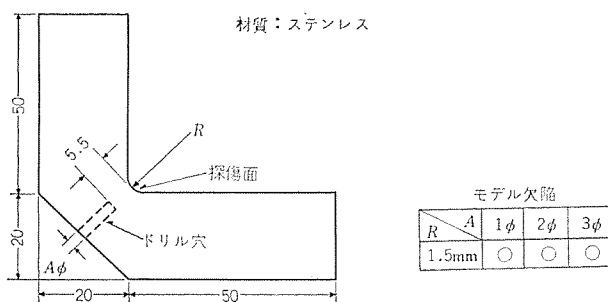


図 1.19 鋭い屈曲部をもつサンプルの形状

スの妨害を除去し、また探傷面直下で感度が大きくなる分割形探触子を採用するとよい。なお被検査物の材質はステンレスで鉄に比べて減衰も大きいので試験周波数は 2MHz とする。探触媒質は、マシン油またはグリセリンでよい。

(c) 探傷条件……探傷方法の考察をまとめると次のようになる。

使用探傷器……FD-210 S 分割形探触子を使用する場合、被検査物へ超音波が入射する、いわゆる入射点が明らかでないので時間軸のよく校正された、ゲートマ-カ装置をもつ探傷器がよい。

使用探触子……2 Z 10×10 ND-G (接触面はとつ(凸)状に加工した)

接触媒質 ……マシン油またはグリセリン

探傷面 ……屈曲部より

(d) 探傷結果……探傷結果を図 1.20～1.22 に示す。なお、図 1.23 は参考のため、無欠陥のサンプルの波形である。

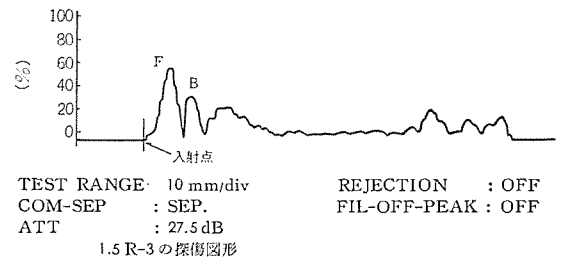


図 1.20 モデル欠陥の探傷結果

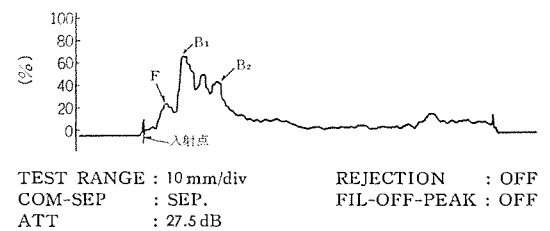


図 1.21 モデル欠陥の探傷結果

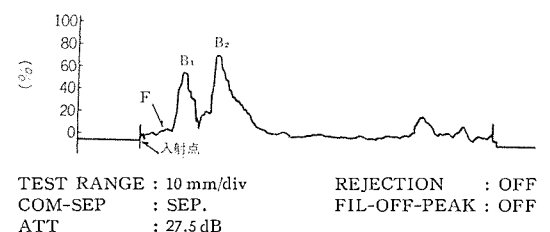


図 1.22 モデル欠陥の探傷結果

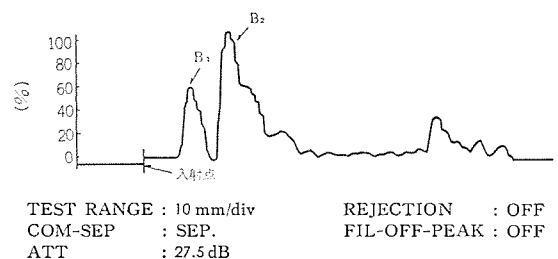


図 1.23 無欠陥サンプルの探傷結果

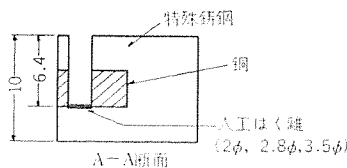


図 1.24 異種金属が密着されたサンプルの形状

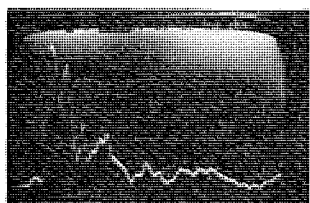
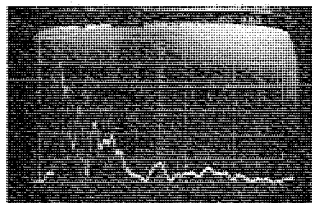
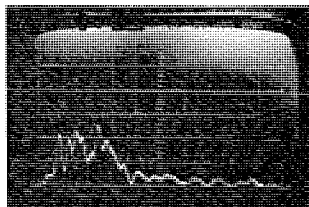


図 1.25 自然はく離部の探傷結果

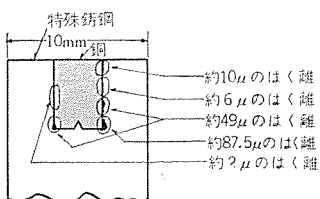


(a)

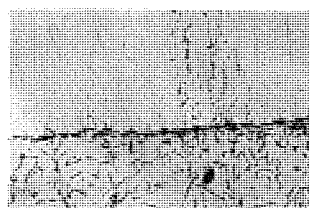


(b)

図 1.26 人工はく離部の探傷結果



(a) 切断面における、はく離分布の概略図



(b) 自然はく離の顕微鏡写真（級6μmのはく離）

図 1.27 はく離の状況

本例のように、接触面を鋭く加工すると、超音波エネルギーの被検査物への入射量が減少して、探傷能力が低下するので、あらかじめ被検査物と同一のサンプルに人工欠陥（モデル欠陥）を加工して、どの程度の欠陥まで識別しうるかよく検討しておくことが必要となろう。またこの探触子のように接触面を加工してしまうと、被検査物への接触状態が安定しなくなるので、再現性のあるデータをうるためには、治具を作って、常に安定に接触するように考えるのがよい。本例のように普通の探触子では、とても探傷しえないと思うような部位からも探傷しうから、超音波探傷に際しては、あきらめずに、いろいろな方法を考えるべきであろう。

1.2.7 異種金属密着状況を調べる探傷例

(a) 目的……図 1.24 に示すサンプルのように、ある金属内へ異種の金属をそう入した場合の密着状況を超音波で査検する。

(b) 探傷方法の考察……本サンプルのように肉厚が 10 mm、さ

らに銅と特殊鋳鋼との密着状態を検査するためには 3.6 mm の位置を検査することになる。したがって、送信パルスが欠陥検出のじゃまをしない分割形探触子を使用するのがよい。使用する探傷器本体は分割形探触子を使用するため、被検査物への超音波入射点を明確に設定しうることが大切である。

(c) 探傷条件……探傷方法の考察をまとめれば次のようになる。

使用探傷器……FD-180 または FD-210 等

使用探触子……5 Z 10 ND-G

接触媒質……グリセリン

(d) 探傷結果……自然はく離部の探傷結果を図 1.25 に示す図中、(I) のパルスの高さで良、不良の判定ができる。図 1.26 (a) (b) はそれぞれモデル欠陥（人工はく離部）の探傷結果である。

本サンプルのように、2 層の材料が密着している場合、その一方から超音波を入射させると、密着不良部では境界面エコー (I) が発生する。もし両層の材料の音響インピーダンスに差がある場合には、例えば、密着部が良好であっても、境界面エコーが現れ、その程度は音響インピーダンスの差、試験周波数、または探傷感度によって異なってくる。このような場合は、明らかに密着良好部と判断されるところを使って、あらかじめ境界面エコーの高さと探傷条件の関係を (把握) しておくことが大切である。

密着良好部と判断するためには、例えば本サンプルの場合には、鋳鋼と銅との間の反射率は約 7 % であり、一方鋳鋼と空気との間の反射率はほぼ 100 % である。（本講座、第 1 回超音波探傷の基礎を参考にされたい）つまり密着良好部と密着不良部との間には、境界面エコー高さに大きな差が現れるはずである。

このような分析からサンプルの一部に密着不良部があると判断し、更にモデル欠陥を作ってそれを確めた訳である。さてこの検査を確認するため、密着不良部を切断し、顕微鏡で調べてみると図 1.27 のような、はく離状態が観測された。しかしながら本実験では機械強度の試験をしなかったため、この結果だけから良、不良を断定することはできなかった。

1.2.8 鋳鉄製パイプの探傷例

(a) 目的……鋳物は一般に、超音波探傷されにくい被検査材といわれている。これは、鋳物は結晶組織が粗かったり、また探傷器のブラウン管でエコーとしてとらえられないような微細な反射源が多数しかも不均一に内在しているためである。この鋳物で作ったパイプの探傷を実施する。

(b) 探傷方法の考察……サンプルは、図 1.28 に示すように軸方向に複雑な形状をしたパイプである。直径は比較的大きいので、小形の探触子を使用することは可能である。サンプルの形状肉厚から考えると、斜角探傷法または分割探傷法のどちらも使用しう。しかし斜角探傷法は、超音波が円周方向にパイプの表面と裏面とで反射しながら伝ば（播）していくので、分割探傷法に比べて、探傷範囲が広くとれるため検査の能率はよい。

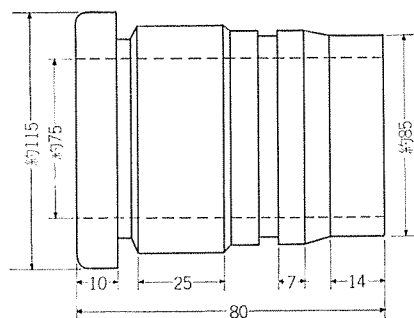


図 1.28 鋳鉄製パイプのサンプル

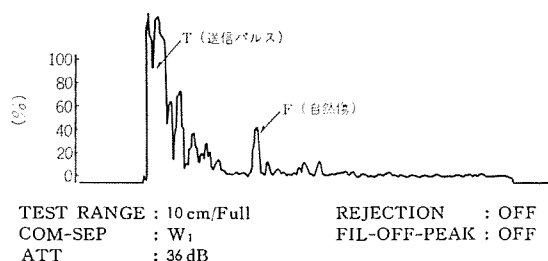


図 1.29 斜角法による自然傷の探傷図形

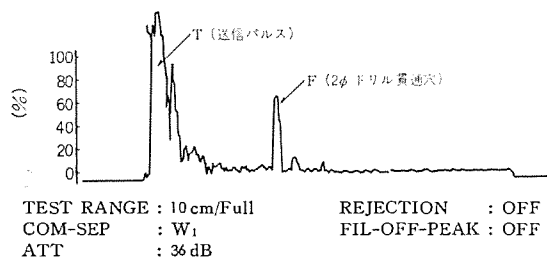


図 1.30 斜角法による2φ貫通穴の探傷図形

試験周波数は、先に述べたように、結晶組織が粗かったり、多くの反射源があったりするので、どうしても低い方が有利である。しかし、あまり低くすると欠陥の検出能力、指向性なども低下してしまうので注意しなければならない。結局、結晶による妨害エコーと検出したい欠陥のレベルとの打合いを求めて、できるだけ試験周波数は高く選んだ方が有利である。

接触媒質は、鋳肌はかなり粗いのでグリセリンを使用するのがよい。使用する超音波探傷器は、斜角探傷法を使用するので、欠陥位置を確実に握しやすい、ゲート装置を内蔵するものがよい。

(c) 探傷条件……探傷方法の考察をまとめれば次のようになる。

使用探傷器……FD-210 S

使用探触子……2 Z 10×10 A 70-G

接触媒質 ……グリセリン

探傷面 ……パイプの表面より

(d) 探傷結果……探傷結果を図 1.29～1.31 に示す。図 1.30 と図 1.31 はモデル欠陥からのエコーである。この探傷結果

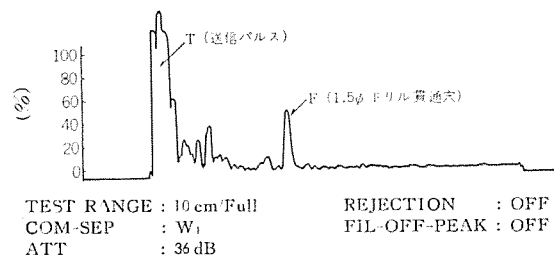


図 1.31 斜角法による1.5φ貫通穴の探傷図形

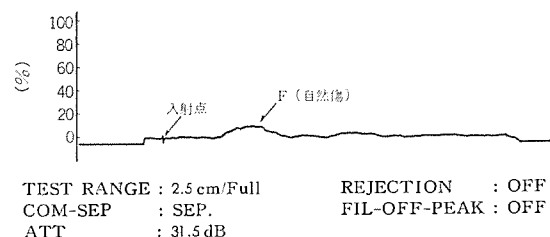


図 1.32 自然欠陥を分割探傷法で探傷したデータ(肉厚8.5mm)

から推定すると1φの貫通穴程度の欠陥も測定可能である。さてこの検出された欠陥はどんなものであろうか。鋳物にありがちな「す」か「ひび」か、これを調べる方法として分割探傷法で探傷を試みたのが図 1.32 である。正常では十分に底面エコーの得られていたものが、欠陥部では、底面エコーも現れなければ欠陥エコーもはっきりと現れない。これは、欠陥の分布状態が、超音波ビームより広いことを物語っており、また欠陥エコーが十分に得られないことは、超音波エネルギーが、欠陥により散乱してしまっていることを物語っている。この試験の結果、この欠陥は、鋳物の「す」であると考えることができる。このように一つの方法のみに止まらず、いくつかの方法を組合せることにより、より欠陥の種類、分布および位置が正確になるものである。

2. 探傷上の諸問題

超音波探傷を実施するうえでの問題点を大別すれば、作業者に関係する問題、探傷装置に関係する問題、探傷データに関係する問題および欠陥の判定すなわち規格に関する問題となろう。以下これらの問題に関して述べたいと思う。

2.1 作業者に関係する問題

超音波探傷の結果は、その作業に従事する従事者の資質より左右される。このことは本講座の初頭でも述べたところであるが、超音波探傷の結果は、作業の従事者が、いかに正しく作業を実施したかにかかっている訳である。今日、日本工業規格で、「要すれば権威ある機関により技術認定を受けた者」に従事者とするように、記載されているのもこのためである。現在は NDI で従事者の技量認定を実施しており、従事者の資質は年とともに高まってきているが、超音波探傷の普及がこれを上回り、定常的従事者不足をきたしてい

表 2.1 超音波探傷器または探触子の性能比較と測定上の注意事項

測定条件の指定項目	(1) 増幅電線性 (NDIS-2102)	(2) 時間軸の直線性	(3) 分解能 (垂直) (NDIS-2101)	(4) 分解能 (斜角)	(5) 感度 (垂直)	(6) 感度 (斜角)	(7) 不感度 (垂直, 斜角)	(8) (注1) 底面反射回数 (垂直)	備考
a 送信エネルギー, PULSE・WIDTH, パルス幅, PULSE ENERGY, COM・1・PULSE LENGTH	メーカー指定外は任意の調度	最小または中間	最小	同 左	最大	同 左	メーカー指定外は最大	同 左	(注1) 底面反射回数による比較は分解能, 直線性の差などがあると異なるものになる。
b 感度調整, ATT, GAIN, ATT・FINE, SENSITIVITY 感度	30dB 以上の余裕がある位置	B5, B6=90~100% 以上	更に 30dB 以上かけられる位置	同 左	白色雑音=10%のところを 0dB とする	同 左	同 左	同一試験片により感度設定する	また, 目形探傷器と新形探傷器の場合にはパルスの幅を合わせる必要がある。
c リジエクション, REJECT, サプレッション	OFF, O, または“切”	同 左	同 左	同 左	同 左	同 左	同 左	増幅直線性が同一レベルであること	
d 分解能用つまみ, RESOL, HF・FILTER, FIL-OFF-PEAK	取説に指定ある以外は OFF または“切”	同 左	分解能最良の位置	同 左	取説に指定ある以外は OFF または“切”	同 左	同 左	同 左	(注2) 必ず本体と同一メーカー製のものを使用すること。
e 測定範囲, TEST RANGE, VELOCITY, 部分拡大, パルス位置, PULSE POS. DELAY	エコー高さの見易い位置, 例, TR=25cm (注3)	B1とB6エコーを CRT スケールの左端と右端に合わせる	エコーの見易い位置	同 左	同 左	同 左	試験片により CR T フルスケールを正確に校正	同 左	(注3) ゴーストエコー (残響) の影響がでない TEST RANGE (FD-210P の場合は PRF) を選定すること。
f 探触子の種類, ①材質, ②大きさ, ③周波数, ④斜角の場合, 周折角 (注2)	①~③共通一する	5 Q 20N	①~③共通一する	①~④共通一する	①~③共通一する	①~④共通一する	同 左	同 左	
g 探触子の保護膜の取付, ①有り, ②無し	①か②に統一する	—	②に統一する	同 左	②に統一する	—	①か②に統一する	同 左	
h 試験周波数	統一する	5 MHz	統一する	同 左	同 左	同 左	同 左	同 左	
i 非金属探傷の場合, 水晶探触子の負電極はとっているか	—	—	—	—	—	—	—	チェックする	
j 白色雑音 (電気的雑音)	エコー頭部が見易いよう ATT を調整	できるだけ出さないこと	同 左	同 左	上記 (b) 参照	上記 (b) 参照	—	—	
k 探傷ケーブルの種別と長さ	メーカー指定の標準品	同 左	同 左	同 左	同 左	同 左	同 左	同 左	
l BRIGHTNESS, 輝度	適度	同 左	同 左	同 左	同 左	同 左	同 左	同 左	
m 焦点, FOCUS, ASTIG	最良	同 左	同 左	同 左	同 左	同 左	同 左	同 左	
n 測定法のチェック	JIS (NDIS) による	JIS (NDIS) による。ただし, Tパルスは除く	二つのエコーの山を100%に合せ, そのときの谷のレベルまで山をおとす	同 左	同一試験片を使用する	同 左	統一する	同 左	
o 試験片	STB-III V15 シリーズ	NDI-STB-A1 学振 STB-III	NDI-STB-A1	NDI-STB-A2	STB-III V15 シリーズ	NDI-STB-A2 の標準傷	統一する	同 左	
p 探触子の圧着と位置	おもりのせる	同 左	エコー高さの最高値の位置に固定する	同 左	同 左	同 左	同 左	同 左	
q 接触媒質	統一する	同 左	同 左	同 左	同 左	同 左	同 左	正確に測定するため, クリセリン	

て、ややもすると十分な教育が施されていないまま、超音波探傷作業に従事している作業者をみかけるが、これは、超音波探傷の非破かい検査分野における地位を失速する行為である。これを解決する方策として、早急に作業者を十分に教育しうる機会を作ることが大切なこととなる。この教育は、NDI、各公立工業技術センタおよび超音波探傷器のメーカーが、定期的または非定期的に講習会を開催しているので積極的にこれを活用するのも一方策であろう。

2.2 探傷装置に関係する問題

探触子は、水浸探傷法を除いて、使用すれば必ず被検査物との接触面が摩耗する消耗品の性格なものである。また探傷装置本体も性能の漂動のような時間単位の性能変化から、スイッチ、ダイヤル類の摩耗やブラウン管の輝度低下に至るまで、長期間（年月単位の）性能変化まで、いろいろある。したがって超音波探傷作業を実施する場合は、探傷装置本体、および探触子の性能変化（劣化）の状況を事前には握していなければならない。性能変化を握する手法として、作業前、作業中に、標準試験片または対比試験片により校正する方法がある。また長期的な性能変化に対しては、超音波探傷器メーカー等から発表されている、検査規準、性能判断基準などを手掛りとした探傷器本体および探触子の定常的管理が必要である。

2.3 探傷データに関する問題

超音波探傷の探傷データは、例えば探傷器も探触子も、それから作業員も十分に教育された者であっても、試験周波数、使用する探触子、探傷器の感度、探傷の範囲などの探傷条件によって、同じ欠陥から得た探傷データにもかわらず、全く異なった探傷データになってしまう場合が多い。更に、他の機種や他のメーカーの探傷器や探触子を使用した場合はこの傾向は顕著となる。したがって、異なる機材で得た探傷データを比較する場合や、同一機材であっても異なった時間や異なった場所で、異なった作業員が得た探傷データを比較する場合には、この探傷条件が唯一のデータ観察のよりどころとなるので十分ぎん味して決めておかねばならない。あらかじめ打合せなどをして決められればこれにこしたことはないが、これができない場合は、詳細な探傷条件を記録しておくことが必要となる。探傷条件の記録方法、項目などについては、探傷例を参考にしたい。また探傷条件の基本となる、探傷器本体および探触子の性能比較と測定上の注意事項を表2.1にまとめたので参考にされたい。

2.4 規格に関する問題

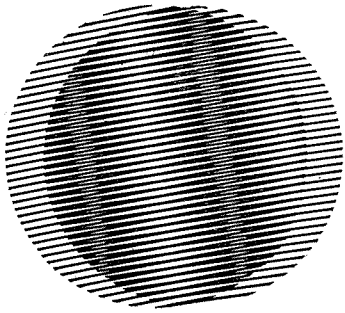
非破かい検査をした結果をみて、製品として活かすか否か決めることは基だ決心の要することであろう。特に超音波探傷法のように探傷条件によって、探傷データが異なる場合には、それは大きい。そこで、この問題を解決するために規格に従って探傷し、そのデータを判定することになるが、この規格について種々の問題がある。

今日のように次々と新しい生産技術が開発され、新しい製品が生み出されるようになると、その生産技術なり製品なりが常に社会の信用を裏切らないことを証明する必要に迫られてくる。すなわち新しい非破かい検査の方法や手段または判断の基準すなわち規格が必要になってくる。特に検査や探傷データ判断の基準は、数々の実験（この中には破かい実験も数多く含まれるのが普通である）を経て決められるため、どうしてもこれらの規格が必要な事業分野において審議され、決定されることになる。しかしながら特に企業がその審議に参加した場合に、企業利益が中心となって、ややもすると規格にならないような規格になる恐れがないとはいえない。非破検査の規格全般についていえることであるが、「規格は、自からを律するために、自から作り、決して他人により与えられるものではない」という考え方が必要であろう。このような考え方に立脚すれば、古い技術基盤をもとに作られた規格にこだわることはなく、常に最新の技術にマッチした検査方法を生み出す可能性を見出すことができる。与えられた標準によって能率よく作業を進めることはもちろんであるが、常に新しい標準、規格を生み出す努力こそ、生きた規格の運用につながることとなろう。

3. む す び

以上6回にわたり、超音波探傷法について述べてきたが、本講を以って終了する。筆者としては、いつくせないままに過ぎてしまったところや、また誤って記述した点があるのではないかと、怖れている次第である。更に技術は日進月歩で進んでいるので、本講座もまた、間もなく書きかえなければならない点が多くでてくるものと思われる。

また幸にも、機会を与えられたならば、本講座で、記述しえなかったこと、また新しい技術に関する解説を試みたいと願っている次第である。



新製品紹介

車両用 AU 94 M 形ユニットクーラ

この度、国鉄ご指導のもとに全国新幹線試作電車（961 系）として、AU 94 M 形ユニットクーラが開発された。

本機は現在使用されている東海道新幹線用 AU 57 形空気調和装置が分散形（1 車両当り天井 9～12 ユニット積載）であるのに対し、集中形（1 車両当り天井両端 2 ユニットと搭載）となっている。

最新の技術を駆使しコンパクト化、軽量化に特に意が注がれた結果、1 車両当りの空気調和装置において、1/2 以下という大幅な重量軽減が達成された。

■ 特 長

（1）ステンレス製のわく（枠）組の中に、むだのない配置で冷凍サイクルを収納、コンパクト化、軽量化を計っている。

（2）トンネル内突入時などの気圧変動により、乗客に不快感を与えないよう、ユニットの客室内外部は十分な気密構造となっている。

（3）騒音の音源である室外側電動送風機に、6 極モータを採用して低騒音化を計っている。

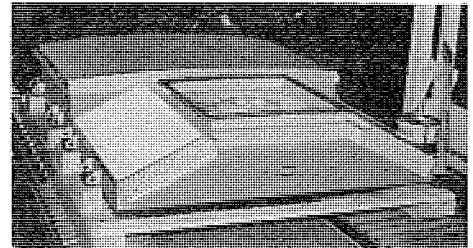
（4）火災防止対策として難燃性、不燃性材料を使用している。

■ 仕 様

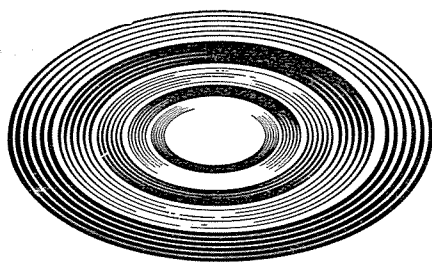
冷房能力	22,500 kcal/h
電 源	主回路 三相 60 Hz 440 V 制御回路 単相 60 Hz 100 V
標準入力	15 kW
標準電流	23 A
循環風量	60 m ³ /min
外形寸法	1,760(幅)×2,400(長さ) 屋根上高さ 380
重 量	450 kg (電気品箱を含む)

■ 用 途

車両用冷房装置



長崎製作所



NEWS FLASH

東京電力(株)川崎発電所向け 154 kV 高抵抗接地系用 母線保護装置

東京電力(株)と共同開発した高抵抗接地系用母線保護装置を、今回第1号機として川崎発電所に納入した。

従来、高抵抗接地系、特にケーブル系重要電気所の母線地絡保護に関しては、ケーブル系特有の現象に対して高信頼度の保護方式が得られなかったため、専用の保護装置を設けず、系統の後備保護に頼るのが一般であった。

ところが最近、系統の巨大化、複雑化に伴い、安定した電力供給のためには地絡事故でも高速除去が要求されてきた。

本装置は以上の情勢に対処すべく開発されたもので、下記特長を有する。

■ 特 長

(1) 故障検出要素、一括保護要素(母線故障検出)、分割保護要素(当該母線故障検出)の3段より構成され、外部事故では少なくとも2要素が不動作となる安定した構成となっている。

(2) 地絡分割要素は

(a) ケーブル系無効電流の影響を避けるため、零相電圧に対する有効分零相電流を動作、抑制力とする有効分比率差動方式の採用。

(b) 故障電流中の直流分に対しては正・負両要素、高調波分に対してはフィルタ要素を備え、以上3要素が動作した時のみリレー動作とするCT飽和対策の採用。

(c) 端子貫通電流が一定以上になれば、地絡リレーをロックする短絡優先方式の採用。により内外部の判別を確実にしている。

(3) 地絡故障検出要素は従来のOVGに代わり、2φGに応動せず1φGのみに応動する新方式としている。

(4) 地絡一括保護要素は電圧差動方式とし、高感度であるため地絡保護と共用している。

(5) 短絡保護方式は超高圧、超々高圧用として標準化された高信頼度方式としている。

(6) CT、PT等入力回路およびシーケンス回路等の常時監視自動点検装置を組み込み高信頼度を得ている。

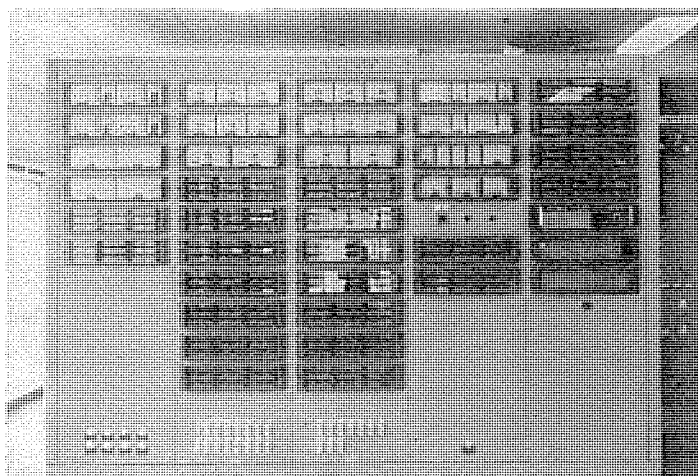
■ 仕 様

適用系統

(a) 母 線	二重母線
(b) 最大短絡電流	32,000 A
(c) 中性点抵抗電流	500~2,000 A
(d) 地絡電流有効分 地絡電流無効分	1/0~1/1
(e) 内部事故時の流出電流	最大50%

保護性能

(a) トリップ時間	短絡 40 ms 以内 地絡 200 ms 以内
(b) 検出感度	短絡 2,000 A 地絡 60%



高抵抗接地系母線保護装置(主盤および点検盤)

[神戸製作所]

新形リミットスイッチの完成

当社では、主に製鉄向けリミットスイッチとして製作してきたHD、TD形リミットスイッチ系列にかわる自動復帰式のKL-HW形リミットスイッチと、他動復帰式のKL-TW形リミットスイッチを完成した。

すでに納入した各種の製鉄、荷役設備において、いずれも好調にか(稼)働しており、目下各方面よりの引合も多く、今後の受注増が期待される。

■ 主な特長

(1) 防水性能を含む耐環境性の向上

リミットスイッチは、使用環境の悪い場所に設置されることが非常に多く、従来は浸水により、リミットスイッチの機能をそこない使用不能になる場合が多くあった。

特に多量の冷熱水を交互に受ける圧延機においては、リミットスイッチの完全な浸水防止は至難とされていたが、KL形は独創的なシール構造の採用により、この至難とされていた浸水防止を完全に克服した。

すなわち、十分な工場試験に加え、製鉄設備では最も悪環境といわれるダウンコイル、連続铸造設備を初めとする多くの圧延設備においてフィールドテストを実施した。

その結果、1台の事故品もなく好成績で試験を終了し、特に防水性能の優秀性と信頼性を実証した。

(2) 小形化

従来品対比において、体積で約1/3の小形化を計った。

(3) 据付け調整の容易化

外部より見やすい指針と表示名板により動作状態を明確にしたので、据付時の調整が容易である。

(4) 誤調整・誤操作に対する破損防止

誤調整・誤操作によりレバーをストップ以上に押し過ぎた場合、従来品はレバー等が破損し、リミットスイッチが使用不能となっていたが、KL形は外部より容易に取換えできるストップ部が折損するのみで、このストップ部を取換えればリミットスイッチはそのまま使用できる構造である。

■ おもな仕様

要 目	形 名	KL-HW形リミットスイッチ	KL-TW形リミットスイッチ
形 式		自動復帰式ローラレバー	他動復帰式ローラフォークレバー
定 格		AC 250 V 5 A 600 V 3 A JEM 1230 A ₁ 1号1種 DC 125 V 0.4 A } JEM 1230 D ₂ 1号1種 DC 250 V 0.2 A }	
電 気 的 寿 命		50万回	
機 械 的 寿 命		500万回	
保 護 構 造		JEM-1030 (制御器具の保護構造) 中の水中形 水圧 2.0 kg/cm ² 以下	
使 用 温 度 範 囲		-10°C ~ +80°C	
耐 電 圧		各端子間 AC 1,000 V 50/60 Hz 1分間 充電部とアース間 AC 2,000 V 50/60 Hz 1分間	
耐 振 動		振動数範囲 5~100 Hz 複振幅 0.02 mm	
耐 衝 撃		15 G	
接 点 構 成		1ab	
ストライカーの限界速度		3 m/s 以下	2 m/s 以下
重 量		3.3 kg	3.5 kg

[神戸製作所]

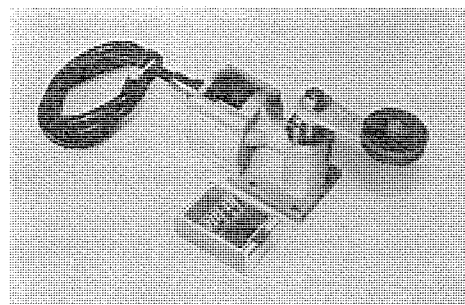


図 1 KL-HW 形 リミットスイッチ

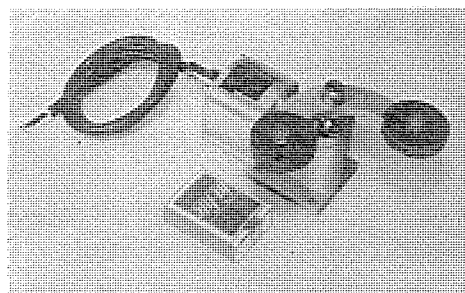


図 2 KL-TW 形 リミットスイッチ

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2番3号(三菱電機ビル) (電) 100 (電) 東京 (03) 218局2111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) 343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) 565局3111番
静岡営業所	静岡市伝馬町16の3番地(明治生命静岡支社) (電) 420	(電) 静岡 (0542) 54局4681番
福岡営業所	福岡市中央区天神2丁目12番1号(天神ビル) (電) 810	(電) 福岡 (092) 72局2111番
長崎営業所	長崎市丸尾町7番8号(長崎底曳会館) (電) 852	(電) 長崎 (0958) 61局6101番
札幌営業所	札幌市中央区北2条西4丁目1番地(北海道ビル) (電) 060-91	(電) 札幌 (011) 212局3711番
仙台営業所	仙台市大町1丁目1番30号(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) 48局5311番
岡山営業所	岡山市駅前町1丁目9番地(明治生命館) (電) 700	(電) 岡山 (0862) 25局5171番
高松営業所	高松市鶴屋町2番1号 (電) 760	(電) 高松 (0878) 51局0001番
新潟営業所	新潟市東大通1丁目2番地23号(北陸ビル) (電) 950	(電) 新潟 (0252) 45局2111番
東京商品営業所	東京都千代田区丸の内2丁目2番3号(三菱電機ビル) (電) 100	(電) 東京 (03) 218局2111番
関東商品営業所	大宮市大成町4丁目298番地(三菱電機大宮ビル) (電) 330	(電) 大宮 (0486) 65局3211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
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) 565局3111番
福岡商品営業所	福岡市中央区天神2丁目12番1号(天神ビル) (電) 810	(電) 福岡 (092) 72局2111番
札幌商品営業所	札幌市中央区北2条西4丁目1番地(北海道ビル) (電) 060-91	(電) 札幌 (011) 212局3777番
仙台商品営業所	仙台市大町1丁目1番30号(新仙台ビル) (電) 980	(電) 仙台 (0222) 21局1211番
北陸商品営業所	金沢市小坂町西97番地 (電) 920	(電) 金沢 (0762) 52局1151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) 48局5311番
高松商品営業所	高松市鶴屋町2番1号 (電) 760	(電) 高松 (0878) 51局0001番
東京機器営業所	東京都港区北青山1丁目2番3号(青山ビル) (電) 107	(電) 東京 (03) 404局0336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
名古屋機器営業所	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) 565局3111番
静岡機器営業所	静岡市小島2丁目1番22号 (電) 420	(電) 静岡 (0542) 82局2061番
浜松機器営業所	浜松市海老塚町479の1 (電) 430	(電) 浜松 (0534) 54局4121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
生産技術研究所	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) 44局6111番
神戸製作所	神戸市兵庫区和田崎町1丁目1番2号 (電) 652	(電) 神戸 (078) 652局2121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) 3局4371番
赤穂工場	赤穂市天和651番地 (電) 678-02	(電) 赤穂 (07914) 3局2221番
長崎製作所	長崎市丸尾町6番14号 (電) 850-91	(電) 長崎 (0958) 61局6211番
稲沢製作所	稲沢市菱町1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) 36局2111番
鎌倉製作所	鎌倉市上町屋325番地 (電) 247	(電) 鎌倉 (0467) 44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	伊丹市瑞原4丁目1番地 (電) 664	(電) 伊丹 (0727) 82局5131番
熊本第一工場	熊本市奄田町弓削720番地 (電) 862	(電) 熊本 (0963) 38局7211番
熊本第二工場	熊本県菊池郡西合志町御代志997 (電) 861-11	(電) 熊本 (09624) 2局0151番
名古屋製作所	名古屋市東区矢田町18丁目1番地 (電) 461	(電) 名古屋 (052) 721局2111番
旭工場	尾張旭市下井町下井 (電) 488	(電) 尾張旭 (05615) 3局5101番
福岡製作所	福岡市西区今宿青木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
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
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
静岡製作所	静岡市小島3丁目18番1号 (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) 6局2111番
大船製作所	鎌倉市大船5丁目1番1号 (電) 247	(電) 鎌倉 (0467) 44局6111番
郡山製作所	郡山市栄町2番25号 (電) 963	(電) 郡山 (0249) 32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 (075) 921局4111番
長野工場	長野市大字南長池字村前 (電) 380	(電) 長野 (0262) 43局1101番
札幌営業所	札幌市中央区北2条東12丁目98番地 (電) 060	(電) 札幌 (011) 231局5544番

次 号 予 定

三菱電機技報 Vol. 48 No. 1

技術の進歩特集

- | | |
|-----------|--------------|
| 1. 研 究 | 5. 計測・制御 |
| 2. 発電・送配電 | 6. 交通・運搬 |
| 3. 産業用電機品 | 7. 家庭用電気品・照明 |
| 4. 電子機器 | 8. 材 料 |

三菱電機技報編集委員会

委員長	正 木 茂 雄	常任委員	藤 永 敦
副委員長	神 崎 邇	"	湊 武 雄
常任委員	伊 藤 一 夫	"	武 藤 正
"	上 田 重 夫	"	吉 松 誠 一
"	宇 佐 見 重 夫	委 員	粕 谷 一 雄
"	大 田 重 吉	"	坂 田 邦 寿
"	北 川 和 人	"	武 田 忠 夫
"	古 賀 亨	"	待 鳥 正
"	外 野 範 吾	"	吉 武 正 彦
"	塚 本 信 雄	"	若 宮 佐 三
"	久 松 章 三		(以上 50 音順)

三菱電機技報 47 巻 12 号

昭和 48 年 12 月 22 日印刷 昭和 48 年 12 月 25 日発行「禁無断転載」定価 1 部 金 200 円(送料別)

編集兼発行人

東京都千代田区丸の内 2 丁目 2 番 3 号

正 木 茂 雄

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 2 番 3 号 (郵便番号 100)

三 菱 電 機 株 式 会 社 内

「三菱電機技報社」

(電話) (03) 218 局 2323 番

発 売 元

東京都千代田区神田錦町 3 丁目 1 番地 (郵便番号 101)

株式会社 オーム社書店

(電話) (03) 291 局 0912 番 振替口座 東京 20018 番