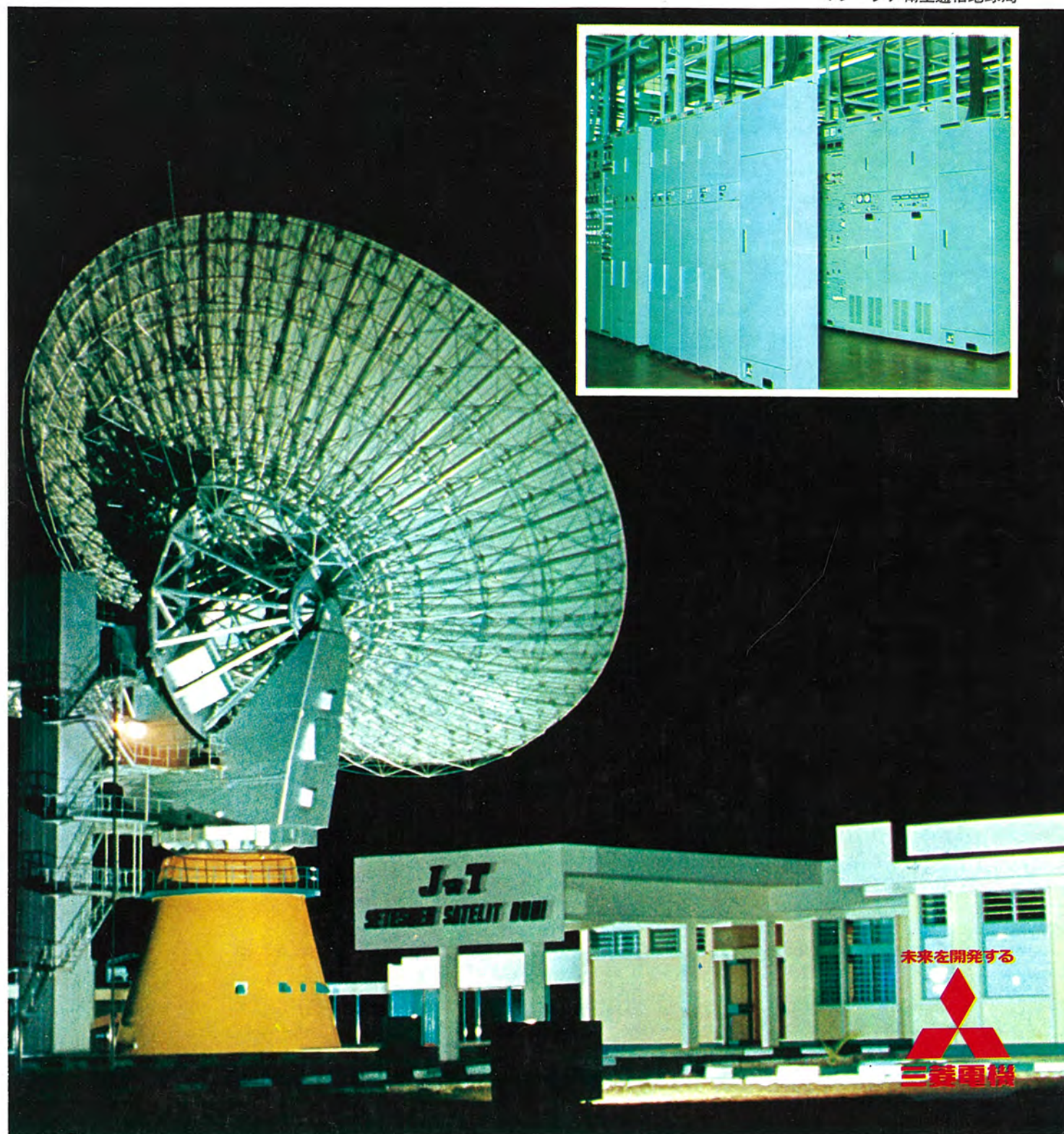


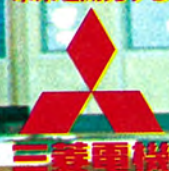
MITSUBISHI DENKI GIHO  
**三菱電機技報**  
Vol.45 February 1971

2

マレーシア衛星通信地球局



未来を開発する





## 目次

### 《普通論文》

マレーシア納入衛星通信地球局	上村三郎・西山 猛・中西道雄	181
カリブ海地方向け気象レーダ装置	渡部 優・御法川秀夫・徳岡清史・小杉 明・沢泉重一	192
雷雲予知システムと情報伝送	青木文夫・御法川秀夫・小林 茂・山本梯三	199
MELCOM 83 オンライン端末計算機システム	松永 宏・渡辺義彦・本間雅美・石坂充弘・酒井勝也	206
プロセス制御用コンパイラ CONFORM	有田不二男・首藤 勝・岡本彰次・居原田邦男	213
日本電信電話公社電気通信研究所納め粒子線加速装置	加藤嘉則・入江浩一・金沢正博・町田賢二・美濃和芳文・大江雅男	221
VE-30 P 形バンデグラフ加速器	小浜太郎・井上功一・岩佐辰弥	230
阪神電鉄向けチョッパ制御装置	北岡 隆・芦谷正裕・古田俊久・成戸昌司	235
高圧AC制御サイリスタ装置	小林 凱・矢野昌雄・居蔵和徳・鈴木一男	240
航空機用変圧整流装置	小川 一・堀口重昭	245
ジャイアントパルスレーザ光の第2高調波発生	富島一成・岡田和夫・伊東 尚	250
反応性スパッタ法で製作した窒化シリコン膜のナトリウムイオンに対する透過防止効果	植松滋幸・中尾院治	256
超大形放電加工機 DM-5000	青島富士雄・小林和彦	260
圧延機およびクレーン用800番, 900番直流電動機	林 昌宏・浜崎晏行・島 幸弘	270
整流子保修用削正機とその作業	河原泰祐	277

### 《技術解説》

三菱未来館の音響設計技術	藤木 一・鈴木英男	285
--------------	-----------	-----

### 《新製品紹介》

ロール加工用放電加工機の発売・MCIOV 形小形電解加工機	294
-------------------------------	-----

### 《ニュースフラッシュ》

帝都高速度交通営団千代田線向け回生ブレーキ付きチョッパ装置量産化に成功・インド国鉄向け多重通信装置の製作進む	296
--	-----

### 《特許と新案》

テレビジョン受像機・位相変調器・電磁流体発電機の電極装置・パネルディスプレイ装置	283
--	-----

ハイライト	国内向け初の 500 kV 1,000 MVA 用変圧器
-------	------------------------------

#### 表紙1 マレーシア衛星通信地球局

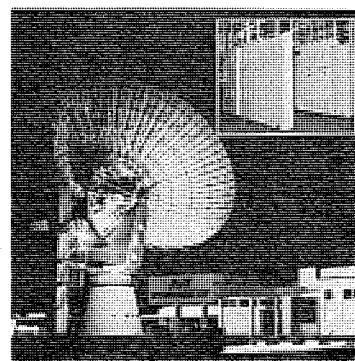
昭和45年4月開局したマレーシア衛星通信地球局の全景である。この地球局はマレーシア東海岸クワンタンに建設され、現在インド洋上のインテルサットⅢ号系衛星を経由して、日本・イギリス・オーストラリア等との間の国際商用通信に供されている。

当社は高温多雨の環境にもかかわらず、全局工事を12カ月という短納期で完了した。アンテナ直径は29.6mで全天回転形で太平洋衛星にもアクセス可能であり、また通信系は近い将来打上げられるインテルサットⅣ号系衛星にも容易に対応しうる設計となっている。本文に全局の詳細が述べられている。

#### 表紙2 UHF帯TVサテライト局用三菱1GHz, 28Vシリーズ高周波高出カトランジスタ

#### 表紙3 三菱SP形耐圧防爆直流電動機

#### 表紙4 三菱RONS変圧器







## **CONTENTS**

### **TECHNICAL PAPERS**

Satellite Communications Earth Station for Malaysian Government.....S. Kamimura • T. Nishiyama • M. Nakanishi...	181
Weather Radar for Caribbean Sea Area .....M. Watanabe • H. Minorikawa • K. Tokuoka • A. Kosugi • S. Sawaizumi...	192
Thundercloud Warning System and Communication System .....H. Aoki • H. Minorikawa • S. Kobayashi • T. Yamamoto...	199
MELCOM 83 On-Line Terminal Computer System .....H. Matsunaga • Y. Watanabe • M. Honma • M. Ishizuka • K. Sakai...	206
CONFORM-A Compiler for Process Control Computer Systems.....F. Arita • M. Sudo • S. Sekimoto • K. Iharada...	213
Electron Linac for Electrical Communication Laboratory Nippon Telegraph and Telephone Public Corporation .....Y. Kato • K. Irie • M. Kanazawa • K. Machida • Y. Minowa • M. Oe...	221
Type VE-30 P Vande Graaff Accelerator.....T. Ohama • K. Inoue • T. Iwasa...	230
Chopper Control Equipment for Hanshin Electric Railway.....T. Kitaoka • M. Ashiya • Y. Furuta • M. Naruto...	235
High Voltage Thyristor Switches.....G. Kobayashi • M. Yano • K. Igura • K. Suzuki...	240
Transformer-Rectifier Unit for Aircraft Use.....H. Ogawa • S. Horiguchi...	245
Second Harmonic Generation with Giant Pulse Laser with KDP.....K. Tomishima • K. Okada • S. Ito...	250
Suppression Effect of Reactively Sputtered Silicon Nitride on Mobile Sodium Ions.....S. Uematsu • Y. Nakao...	256
Giant Electrical Discharge Machines DM-5000.....F. Aoshima • K. Kobayashi...	260
Mitsubishi 800 and 900 Line DC Motors for Mill Auxiliaries and Cranes.....M. Hayashi • Y. Hamasaki • Y. Shima...	270
Commutator Repairing Cutting Machines and Their Operation.....T. Kawahara...	277

### **TECHNICAL ELUCIDATION**

Acoustical Design of the "Mitsubishi-Miraikan" at EXPO '70.....H. Fujiki • H. Suzuki...	285
---	-----

NEW PRODUCTS.....	294
-------------------	-----

NEWS FLASH.....	296
-----------------	-----

PATENT AND UTILITY MODEL.....	283
-------------------------------	-----

HIGH LIGHT.....First 500 kV 1,000 MVA transformer for domestic use	
--	--

### **COVER :**

#### **MALAYSIAN satellite communications earth station**

This photo shows the Malaysian satellite communications earth station which went into operation in April of 1970. This station was constructed on the eastern coast of Malaysia, and is now engaged in communication with Japan, U. K., and Australia via the Intelsat III satellite now positioned above the Indian Ocean.

Mitsubishi was successful in completing the entire construction of the earth station in an extremely short period of 12 months in spite of the adverse conditions of high temperature and tropical monsoon.

The 97-ft dia antenna is fully steerable so that it is accessible to the Pacific Ocean satellites as well. The communication equipment is designed so as to be readily modifiable for the Intelsat IV scheduled to be orbited in the near future.

# HIGH-LIGHT

## 国内向け初の 500 kV 1,000 MVA 用変圧器

当社では、このほど国内 500 kV 送電用変圧器の第 1 号機である単相 500 kV 1,000/3 MVA 変圧器を完成した。

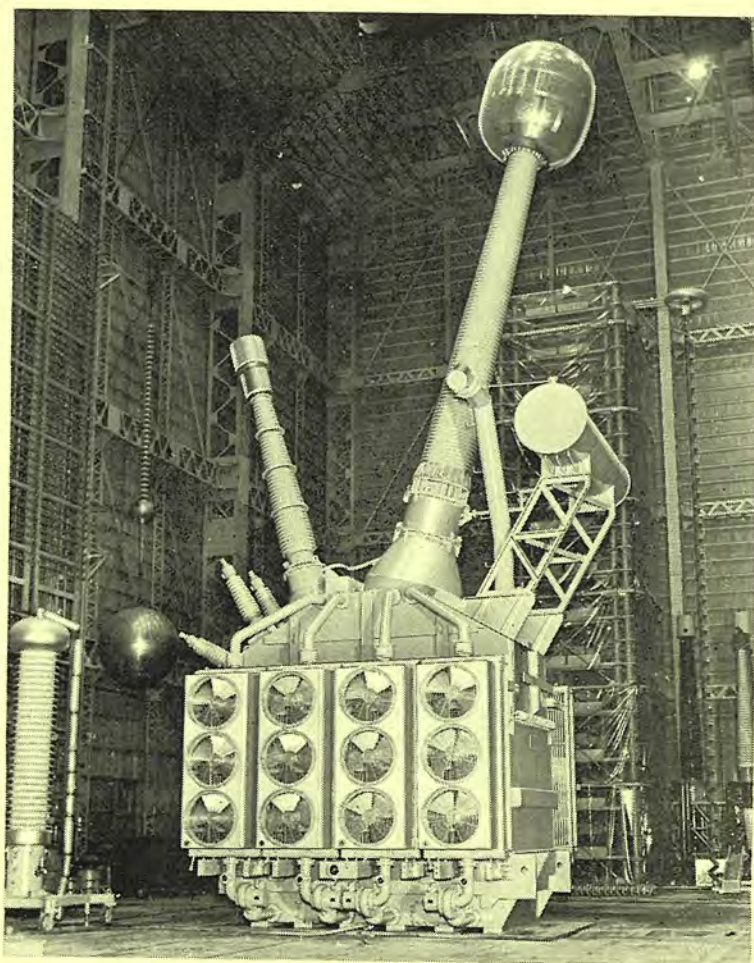
この変圧器は、わが国で運転されるはじめての超々高圧変圧器であり、容量的にみてもバンク容量 100 万 kVA という最大容量器として、従来の 275 kV 変電所用変圧器の 300 MVA を大幅に上回るものであるが、当社大形変圧器の特長である外鉄形フォームフィット構造および E 形絶縁構造の採用により、きびしい日本の鉄道輸送限界内でも余裕をもって組立輸送を可能としている。

またこの変圧器の設計・製作にあたっては、日本における 500 kV 送電の重要性にかんがみて、プロトタイプ変圧器を 1.4 E で長期間運転して絶縁設計の最終的確認を行なうほか、耐塩害特性・耐地震性能など総合的信頼度の向上のため十分の検討を行ったものである。

### ●仕様の概略

外鉄形 フォーム フィット 送油風冷式 単相単巻変圧器

単相	1,000/3 MVA	50 Hz		
高圧側	500/ $\sqrt{3}$ kV	1,000/3 MVA	絶縁レベル	1,550 kV
中圧側	275/ $\sqrt{3}$ kV	1,000/3 MVA	絶縁レベル	200 号
低圧側	63 kV	100 MVA	絶縁レベル	60 号



500 kV 1,000 MVA 用変圧器



# 「三菱電機技報」アブストラクト

UDC 621.396.946:656.76.086

## マレーシア納入衛星通信地球局

上村三郎・西山 猛・中西道雄

三菱電機技報 Vol. 45. No. 2・P181~191

西マレーシアの東海岸に建設されたクワンタン衛星通信地球局の概要を述べる。当社はこの地球局の建物を除く全局設備を受注し、12ヵ月の短納期でこの工事を完了した。クワンタン地球局は1970年4月開局し、インド洋上のインテルサットIII号衛星にアクセスしてイギリス、インドネシア等との間の国際商用通信に使用されている。

アンテナは97フィートの全天回転形、通信系は9対地分装備されており、全局の制御装置のほかに完全な通信試験設備を有している。本文では施設の概要、システム設計、主要性能 ○ および特色ある装置について述べる。

UDC 681.3.06.007.3

## プロセス制御用コンパイラ CONFORM

有田不二男・首藤 勝・関本彰次・居原田邦男

三菱電機技報 Vol. 45. No. 2・P213~220

CONFORMは、制御用計算機MELCOM 350/30のプログラミングを容易にするために開発されたプログラミング言葉であり、FORTRAN形の文形式を基礎とし、ビット処理・スーパーバイザ機能の接続、プロセス入出力・外部メモリ入出力などにプロセス制御に適する形の拡張が施されている。機能拡張は単なるルーチンの追加接続でなく構文構成のレベルで行なわれ、オブジェクトプログラムの実行効率向上に注意が払われた。またアセンブラ言語が自由に混用できるのがこの言語のもう一つの特長であり、さらに高位の問題向きプログラミングシステム（たと ○ えば穴埋め形記述言語）構成の基礎となるよう構造上の配慮がされ ている。

UDC 621.396.96

## カリブ海地方向け気象レーダ装置

渡部 俊・御法川秀夫・徳岡清史・小杉 明・沢泉重一

三菱電機技報 Vol. 45. 2・P192~198

中米、カリブ海地方は、ハリケーンの多発地帯であり、毎年大きな被害を受けている。国連の下部機構であるWMO（世界気象機構）では、南米のガイアナ、西インド諸島のトバゴ・バルバガス・アンティガ・ジャマイカの5カ国に気象レーダ装置を設置し、この地方の気象サービスを充実させ、災害防止を計ることになった。

当社では、このレーダ装置を一括受注し、製作を完了し、現在現地工事中である。

UDC 621.384.64

## 日本電信電話公社電気通信研究所納め粒子線加速装置

加藤嘉則・入江浩一・金沢正博・町田賢二・美濃和芳文・大江雅男

三菱電機技報 Vol. 45. No. 2・P221~229

電子ライナックを用いた電子線およびX線照射用加速装置で、ポリエチレンなどの高分子材料の架橋の研究用として納入された。

最大エネルギーは7 Mev、エネルギー幅は10%以下、ビーム電流は4 Mevのとき200μA以上である。電子線はスキャナーで前後に30cm幅まで走査し、左右は遠隔操作可能な移動台車があって、2 m幅まで均一に照射できる。X線はターゲットから1.5 mで40cmφ内を均一に照射でき、出力は4 Mevのとき 100 R/min-m以上である。また電子線のエネルギー幅を1%まで選別できる機構も備えている。

UDC 621.394/.397:621.396.96:551.594.5

## 雷雲予知システムと情報伝送

青本文雄・御法川秀夫・小林 茂・山本悌三

三菱電機技報 Vol. 45. No. 2・P199~205

産業界、特に電気事業の分野では落雷による電力設備の被害が大きな比率となっており、雷雲の早期発見による被害の回避が強く望まれてきた。

このシステムはこの要求にこたえるために開発されたもので、気象用レーダ信号処理装置、表示装置および抽出した情報の伝送機器から構成され、所期の目的を達成するとともに観測ならびに情報伝送の自動化についても成果をおさめることができた。さらにこのシステムには雷雲情報を直ちに音声情報に変換して通報する自動音声編集装置が含まれており、自動化に大きく貢献している。

UDC 539.1.076:621.384.62

## VE-30P形バンデグラーフ加速器

小浜太郎・井上功一・岩佐辰弥

三菱電機技報 Vol. 45. No. 2・P230~234

理化学研究所納め、VE-30P形バンデグラーフ加速器について述べたものである。この加速器は電子ビームを最高3.0Mevまで加速できるが、通常の直流ビーム専用器と違って直流ビームの他にパルス化した電子ビームを取り出すことができる。

パルスビームはそのピーク電流値が150mAを越え、パルスとはいえ、バンデグラーフ加速器の電子ビーム電流としてはきわめて大きな値であり、また、パルス幅、繰り返し数も簡単に切り換えることができる。

特に、繰り返しパルスビ ○ ームばかりでなくシングルパルスビームも発生させることができる。

UDC 681.142

## MELCOM 83オンライン端末計算機システム

松永 宏・石坂充弘・酒井勝也・渡辺義彦・本間雅美

三菱電機技報 Vol. 45. No. 2・P206~212

企業規模の拡大と経営内容の複雑化に伴って、電子計算機による経営情報システム(MIS-Management Information System)を確立することが重要な課題となっている。広域で発生する情報の収集・処理・検索・分析などを行う大規模システムでは、階級制御方式により、適当に負荷配分が可能な高性能のターミナル・コンピュータを用いたMISのための総合オンライン システムが必要であるMELCOM 83オンライン ターミナル システムは、このために開発された遠隔端末小形電子計算機システムで、ローカル ジョブを実行しながら、遠隔システムとの間でデータ ○ 情報のやりとり、内容分析・演算・記憶・ファイルメンテナンスを実 行する。

UDC 621.337

## 阪神電鉄向けチョッパ制御装置

北岡 隆・芦谷正裕・古田俊久・成戸昌司

三菱電機技報 Vol. 45. No. 2・P235~239

当社はここ数年来、幾つかの試作装置の製作および現車試験によって電気車チョッパ制御方式実用化の開発研究を続けてきた。これらの豊富なデータを基にした実用装置の第一陣として、阪神電鉄、45年度通勤急行車に採用され、快調な営業運転を続けている。この装置の特長は、チョッパ制御方式の特長を生かすとともに、力行専用方式として回路の簡素化をはかり、また機構面でも保守の簡易化に重点をおいた設計を行って経済性、実用性を高めた点にある。

本文ではこの装置の概要と、営業運転に先立って行なわれた現車行試験の結果を紹介する。

UDC 621.314.63

## 高圧AC制御サイリスタ装置

小林 凱・矢野昌雄・居藏和徳・鈴木一男

三菱電機技報 Vol. 45. No. 2・P240～244

1970年8月3.3KVの高圧回路に使用される高圧AC制御サイリスタ装置を完成した。これは無限回の開閉と連続制御が可能で、完全にソリッドステート化されているために無保守・軽量・小形である。われわれは種々の技術的な問題点を解明し、4kVの高耐圧素子を使用した標準系列を完成して顧客の要望に答えるつもりである。今後電力・電鉄・一般工業界等あらゆる分野に使用されるものと思われるが、ここに製品の紹介および問題点の概要を報告する。



UDC 621.9.0477

## 超大形放電加工機DM-5000

青島富士雄・小林和彦

三菱電機技報 Vol. 45. No. 2・P260～269

大形金型製作分野では、社会条件の変化により省力化、機械化による技術革新、体質改善が目前の急務となり、大きな金型を自動的に仕上げる必要が要望されている。当社では多年にわたる放電加工機の製作経験、約30年にわたる基礎的実験と検討、電極製作技術、加工技術など、ハード、ソフト両域における多くの開発と問題点の解決の上に超大形放電加工機DM-5000形を開発した。この機械は長さ2,500、幅1,900、高さ800mmの被加工物が加工でき、かつ電極重量最大10トンを取付けてもきわめて安定、敏速加工ができるものである。こゝでは主として本機の機械系、電気系の構造の概要について述べる。



UDC 621.314.2:621.314.63

## 航空機用変圧整流装置

小川 一・堀口重昭

三菱電機技報 Vol. 45. No. 2・P245～249

航空機用変圧整流装置は、機体の400Hz 200V交流電源から直流電力を得るための装置で、トランス・タイオート・冷却ファンなどから成り、これらを一体構造としたものである。

このたび、この装置を出力容量で35A～200Aの範囲で4種類シリーズ開発したが、これらは航空機用としては、国内で初めてアルミはく(または条巻)トランスを実用化し重量軽減に成功、かつ、信頼性・特性の面でも、多くの特長を持っている。また、官の認定試験などにおいても、満足な結果を得たので、こゝにその特長・構造、各部品の設計上の問題点などを、一般的事項とともに紹介する。



UDC 621.313.2

## 圧延補機およびクレーン用、三菱800番、900番直流電動機

林 昌宏・浜崎英行・島 幸弘

三菱電機技報 Vol. 45. No. 2・P270～276

最近の圧延設備の自動制御化に伴う大形高速化とともに、補機用として、高制御性と高信頼性を兼ね備えた電動機の出現が、要望された。電動機設計技術の向上とあいまって、新系列電動機の検討が行なわれ、1965年12月に、AISE STANDARD No 1 MILL MOTOR STANDARDSが改訂され、従来の600番系列が、800番系列に代った。新800番の特長は、600番との取付互換性を保ちながら、平均1.35倍に容量アップし、かつ温度上昇を、同じく75deg℃に押えている点にあり、直流電動機の設計・製作技術の進歩の一端を示すものである。

また同時に開発整備した900番系列は、三菱独自の呼び名であり、超低慣性高性能が特長である。



UDC 535.374:535.51:621.375.826.

## ジャイアントパルスレーザ光の第2高調波発生

富島一成・岡田和夫・伊東 尚

三菱電機技報 Vol. 45. No. 2・P250～255

光領域における波長変換のもっとも基礎的な技術であるレーザ光のてい倍、とくにてい倍光発生用非線形結晶を基本波電界の高いレーザ共振器中に設置する方法を採用した場合のてい倍効率・問題点・最適条件の設定法などにつき述べる実験ではガラスおよびルビーレーザの出力を基本波とした場合に、同一励起エネルギーでくらべて、上述の方法により得られる第2高調波パワーは、共振器外に設置した非線形結晶により得られる値の2～14倍になった。また、Nd<sup>3+</sup>(ガラス)レーザでは、スーパーラディアンによる逆転分布減少が大きいので、プリユースターカットのロッドを用いるほうがよい。レーザ共振器中に設置する非線形結晶の長さの最適値の近似算法も述べる。



UDC 621.3.047.2.004.6

## 整流子保修用削正機とその作業

河原泰祐

三菱電機技報 Vol. 45. No. 2・P277～281

直流機はそのすぐれた制御特性のため各産業全般にわたってますます使用範囲が拡大され、さらに大形化、高速化される傾向にある。これら直流機は設計製作に高度な技術を要するのみならず運転にはいった後は適切な電気的、機械的調整保守が必要であり、止まることなく運転しつづける整流子に対する保守が最もたいせつな問題となる。

本文は現場における整流子の保修、修正に要する。整流子面のダイヤモンドバイトによる旋削、コンピュータストーンによる面の研削、超硬フライスカッターによるアンダーカット、などをを行う整流子削正機、およびそのあと処理を行なう整流子保修用手工具類などと、その作業について述べる。



UDC 539.23:546.17+28:621.315.61

## 反応性スパッタ法で製作した窒化シリコン膜、ナトリウムイオンに対する透過防止効果

植松滋幸・中尾暁治

三菱電機技報 Vol. 45. No. 2・P256～259

半導体素子の劣化原因の一つに半導体表面の不安定性がある。これはシリコンなど半導体表面のエネルギー準位の発生に基づくもので、これを抑制するために表面洗浄とシリコン酸化膜製作技術の開発が進められてきた。しかし、シリコン酸化膜は外部からのNa<sup>+</sup>の透過を受けやすく、これを防止する膜として窒化シリコンを調べた。

スパッタ法は気相成長法に比べて低温度で窒化シリコン膜が製作できる利点があり、これを用いたMNOSダイオードを試料として、普通のMOSダイオードに対してNa<sup>+</sup>透過性を比較した。バイアス温度処理による容量-電圧特性の変化から、窒化シリコンの場合は酸化シリコンの場合に比べNa<sup>+</sup>の透過量が約1/100に減少することがわかった。



UDC 534.86:681.84

## 三菱未来館の音響設計

藤木 一・鈴木英男

三菱電機技報 Vol. 45. No. 2・P285～292

1章では三菱未来館の各部の構成と音響設計との関連について述べ、具体的な問題点をあげた。このうちの大きな問題は各へやのしゃ音をいかに行なうかということ、および近接して異なる音源がある場合の相互の干渉の問題である。2章ではその解決法について述べた。しゃ音の問題は相互の再生レベルから目標値を設定し、通路の構造をくふうして実現した。音の干渉については指向性スピーカーを用いて解決した。3章では再生装置について説明した。機器はモニター装置を中心に構成したので、音質上は十分満足すべき性能が得られた。実測データを多くのせているので、今後の設計の参考資料としても役立つものと思われる。





## マレーシア納入衛星通信地球局

上村 三郎\*・西山 猛\*・中西 道雄\*

## Satellite Communications Earth Station of Malaysian Government

Communication Equipment Works Saburô KAMIMURA・Takeshi NISHIYAMA・Michio NAKANISHI

The Kuantan Satellite Communications Earth Station constructed on the east coast of West Malaysia is summarized in this article.

Mitsubishi Electric Corporation won the contract for supply and installation of all the equipments and facilities of this earth station except the buildings. And we completed the entire construction in an extremely short period of 12 months.

The Kuantan Station was opened for service in April 1970. It is now carrying on international commercial communication with the U. K., Australia, Indonesia, and various other countries via Intelsat III satellite positioned high above the Indian Ocean in a stationary orbit.

The 97-ft dia antenna of the earth station is fully steerable. Its communication equipment is provided with nine portions for accommodating the nine other earth stations it is designed to communicate with. And besides the control equipment, a complete communication test subsystem is provided.

In the following sections and subsections the installations, system design, essential performances, and equipments and facilities with special features are briefly discussed.

## 1. ま え が き

マレーシア電気通信省は、最初の衛星通信地球局を西マレーシア東海岸のクワンタンに建設した。

当社は昭和44年2月末にこの工事を受注し、方式設計等の打合せ期間を含めて、引渡しまで12カ月というきわめて短期間でこれを達成した。途中、現地における暴動による工事途絶、さらにはモンスーンという現地特有の長期間の豪雨による工期おくれ等、幾多の障害に遭遇し、とくにアンテナ建設工事において種々の危険があったが、当社の多年にわたる工事経験を存分に生かすことによって、これらの難関を克服して、予定どおりの工期内に全工事を完了した。

この地球局は、インド洋地域においてインテルサットⅢ号系衛星にアクセスし、昭和45年4月に開局して以来、日本・インドネシア・オーストラリアおよびイギリスと交信している。通信需要の増大はマレーシアにおいても例外でなく、これらの需要に対応しうるように受信系には数多くの予備装置を設けており、一方電源事情が必ずしもよくないこと、ならびに保守を容易にするために、予備系を構成することにより高稼働率運転を可能にしている。また、インテルサットⅡ号系衛星にアクセス可能であることはもちろんであるが、近い将来打上げを予定されているインテルサットⅣ号系衛星にも、容易に対応できるよう設計上の配慮がなされている。

以下、この施設の概要と、とくに方式および機器において特筆すべき部分について述べる。

## 2. 施設の概要

## 2.1 施設の配置

この施設はクワンタン市北東約8kmの東経103°21'北緯3°52'の地点にあり、東は約1kmで海に面し、西および北は仰角約4°の丘である。したがってインド洋衛星に対しては仰角44°、大平洋衛星に対しては仰角11°でルックアングルとしてかなり良条件である。図2.1に局の全景、図2.2に施設の配置図を示す。図に示すように、中央局舎から約40m離れてアンテナがあり、第2アンテナは中央局舎をはさんで第1アンテナと反対側に設置される予定である。中央局舎はEquipment AreaとAdministrative Areaに大別され、前者には制

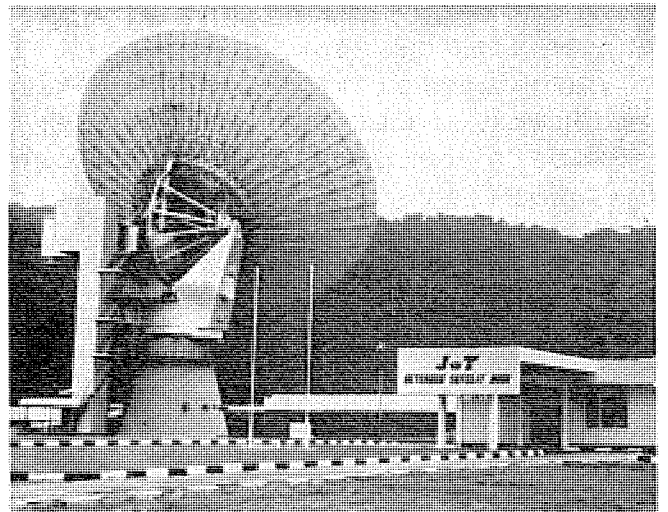


図 2.1 クワンタン 地球局全景  
Kuantan earth station.

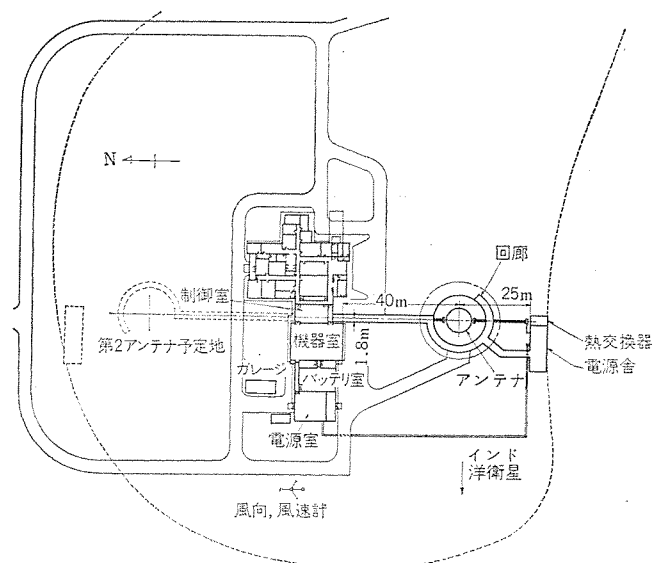


図 2.2 施設配置図  
Site layout of Kuantan earth station.

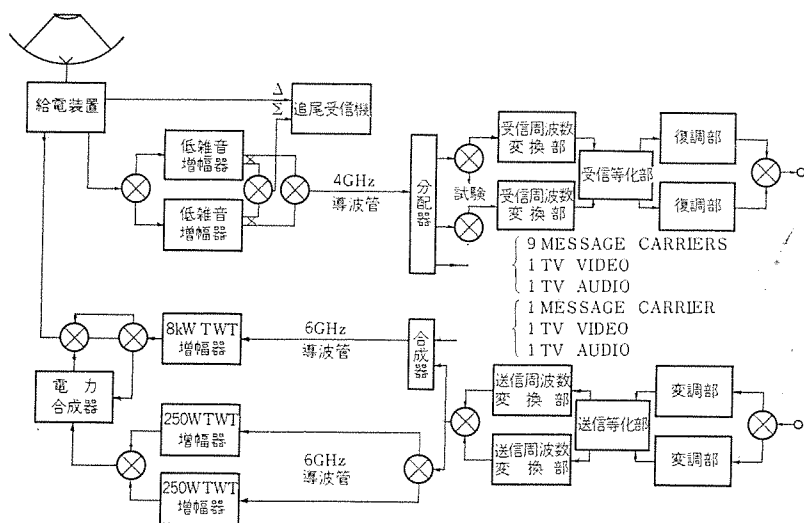


図 2.3 設備構成図 Station configuration.

御室・機器室・電源装置室・測定器収容室等がある。制御室からは、第1（および第2）アンテナを見ることができる。また、中央局舎からアンテナまでは屋根のついた回廊があり、これはアンテナから25m離れた電源舎まで延びている。さらに、この回廊はアンテナ付属のエレベータ乗降口にアクセスするように配置されている。したがって、保守員は降雨時にも、アンテナ上部に設置されている機器を含めたすべての機器のところまで雨にぬれずに到達することができる。この点はマレーシアのような悪天候の多い地点においては保守を容易にする有効な一手段であろう。

## 2.2 構成および機能

地球局設備の構成は図2.3に示すとおりで、これはアンテナと通信系および電源装置に大別される。

### (1) アンテナ

アンテナは、ホーンリフレクタ給電カセグレン方式で、直径97フィート、エレベータ付きである。図2.3にアンテナの外観を示す。アンテナ機械系はAz-Elマウント方式による全天指向形で、回転範囲はAz:  $\pm 170^\circ$ , El:  $-1^\circ$  から  $91^\circ$  である。

アンテナ上部の機器室にはアンテナ給電関係機器のほか、低雑音増幅器およびその付属装置が収容されている。一方、大電力増幅部はアンテナコンクリートペダスタルの内部に設置されている。エレベータは上部機器室のほかに途中、駆動機室にもアクセスしうる。

アンテナの駆動にはサイリスタレオナードによる電気駆動方式が用いられ、アンテナ制御系と組合わせて中央局舎から遠隔制御される。制御モードは自己追尾および手動制御であるが、とくに主駆動機能が障害となった場合にも、補助駆動装置を用いて中央制御室から遠隔駆動できる機能が付加されている。

当社のアンテナ系については多くの機会に発表している<sup>(1)(2)(3)</sup>ので、本文には3.2.1項において円直共用給電系について述べるにとどめた。

### (2) 通信系

通信系は次の各サブシステムで構成されている。

- (a) 送信系無線設備
- (b) 受信系無線設備
- (c) 制御および試験系
- (d) 保守回線装置

これら各サブシステムを構成する主装置名を表2.1に示す。

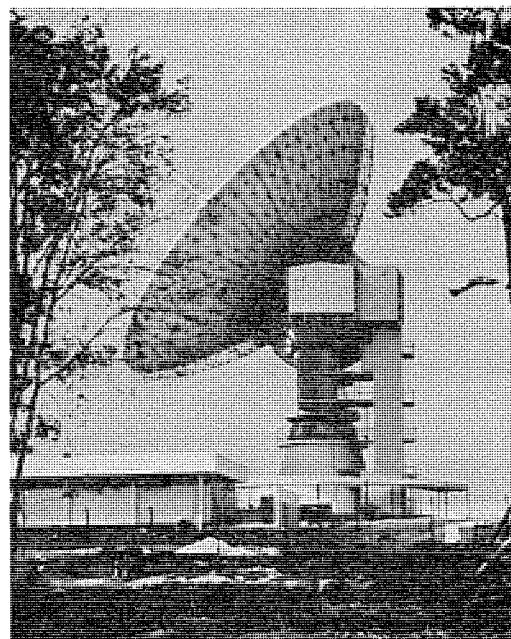


図 2.4 クワンタン地球局アンテナ  
97 ft. antenna for Kuantan earth station.

表 2.1 通信系装置  
Communication Equipment.

送 信 系	大電力増幅部
	局舎間伝送路部
受 信 系	周波数変換部 送信等化部 変調部
	低雑音増幅部 局舎間伝送路部
試 験 系	周波数変換部 受信等化部 復調部
	試験ループ選択架 試験用変換器部 (6 GHz-IF IF-4 GHz 6 GHz-4 GHz) 試験用変復調部 試験用等化部 系統切換部 (IF および BB) 記録計架
制 御 監 視 系	監視卓 送信制御架 受信制御架 TV監視架
	電話端局装置 電信端局装置 電信交換機 操作卓

送信電力増幅部は図2.3に示すように、250 W 進行波管増幅器 (LPA) 2台と、8 kW 進行波管増幅器 (HPA) 1台とで構成されており、いずれも500 MHzの帯域幅を有する。前者は多重電話搬送波用で、後者はTV搬送波および複数搬送波用である。電話搬送波送信の場合は、連続運転であるから2台のLPAはそれぞれ現用・予備として使用される。一方、TV搬送波（映像および音声）の送信は限定的に使用されるから予備系を持たない。もちろん電話搬送波とTV搬送波の同時送出が可能である。

このHPAは多数の搬送波を共通増幅できる機能を有するから、LPAが2台とも障害になった場合には、電話搬送波を含めた多数波を共通増幅して送出できるように構成されている。この場合、送信波は電力合成器を経ないで直接送出される。

受信RF共通増幅部 (LNA) は、ヘリウム冷却パラメトリック増幅器、



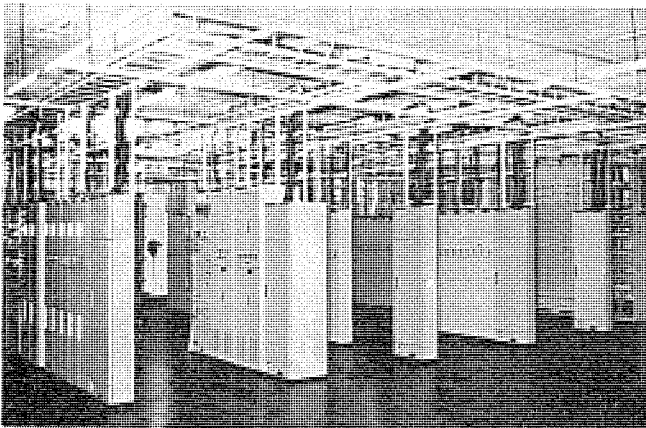


図 2.5 通信系機器室  
Equipment room housing GCE and multiplex equipment.

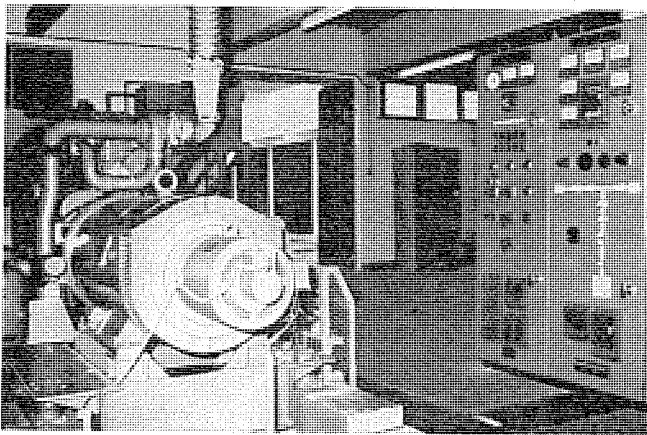


図 2.6 予備用ディーゼル発電機  
Diesel driven engine generator.

表 2.2 総合性能(測定値)  
Measured performance on the mandatory specification.

項 目	測 定 結 果
1. システム G/T	42.6 dB (4 GHz, 仰角 5°)
2. アンテナサイドロップ	主ビームから 1° はなれて -30 dB 以下
3. アンテナ回転角	Az : ±170°, El : -1° ~ +91°
4. アンテナ追尾モード	自動および手動
5. 給電系帯域幅	3.7~4.2 GHz (受信) 5.925~6.425 GHz (送信)
6. 給電系偏波面	円偏波および直線偏波
7. 受信系帯域幅	3.700~4.200 MHz
8. 送信系帯域幅	5.925~6.425 MHz
9. EIRP	
電話系 動作レベル	68.6 dBW (60 ch)
連続可変範囲	+4~-6 dB
最大レベル	63 dBW/ch
TV 映像 動作レベル	90.7 dBW
連続可変範囲	+4~-6 dB
最大レベル	97 dBW
TV 音声 動作レベル	79.5 dBW
連続可変範囲	+4~-6 dB
最大レベル	97 dBW
10. EIRP 安定度	±0.4 dB
11. 搬送波周波数偏差	±20 kHz/月
12. RF 帯域外ふく射	
(a) 帯域外ふく射	-1.8 dBW/4 kHz
(b) 相互変調積	0.5 dBW/4 kHz
13. 遅延ひずみ等化	表 3.5 参照
14. 残留 AM	-50 dB 以下
15. 電話系ベースバンド	ICSC 規定どおり
16. 映像極性	正
17. エネルギー拡散信号	ICSC 規定どおり
18. エンハンス特性	ICSC/CCIR 規定どおり

トンネルダイオード増幅器および低雑音 TWT 増幅器で構成され、それぞれ現用・予備の 2 系統がある。

局舎間伝送路は送受とも円導波管で構成され、送信系は 6 GHz 帯 3 本、受信系は試験用を含めて 4 GHz 帯 3 本が布設されている。受信分波器<sup>(3)</sup>は、同軸回路を使用して小形化され 16 波×2 の分波を容易にしている。

周波数変換部・変復調部を含む無線設備 (GCE) は、さしあたり電話送信は 1 波分、電話受信は 9 対地分、TV 送受信は映像 1 波分、音声 2 波(切換)分が設備された。これら GCE の全装置はすべて完全二重系としてある。

図 2.5 は GCE および端局装置を収容する機器室内部である。

制御系は、中央局舎の制御室に収容される監視卓および制御架から構成される。監視卓では電源装置を含めた全局の装置を監視するとともに、保守回線の接続・通話機能を有しており、制御架ではアンテナ、HPA、LPA、LNA、GCE の各装置の監視および制御、ならびに TV 映像の監視機能を備えている。

通信系の回線ループ試験を完全に行なうために、とくに試験系を充実した。回線試験は電話系および TV 系、変復調ループのほか、RF 共通増幅部を含むロングループ等きわめて多岐にわたる。したがってこれらのループを容易に選択しかつそれを確認するため、いわば局の性能評価の中核ともいふべき回線試験架を設け、試験ループがミミックダイアグラムとして一目りょう然となるようにとくに配慮してある。

保守回線は電話用と電信用とに大別される。電話回線はダイヤル信号、電信用回線は 4 文字符号により、それぞれ特定局の選択呼出が可能である。さらに、保守・運用を容易にするため、保守センタへの回線延長、統制局からのいっせい呼出に应ずる等の機能を有している。

### (3) 電源およびその他の付属施設

商用電源のバックアップとして、容量 250 kVA のディーゼルエンジンゼネレータを設け、商用停電時にはこれにて局の全装置を動作させることができる。図 2.6 にディーゼルゼネレータを示す。

LPA および LNA は静止形インバータから供給され、また中央局舎内の全機器はバッテリー浮動方式で供給されているから、停電時にも瞬断なく通信を維持することができる。

その他の付属施設として次のようなサブシステムがある。

- (a) 気象観測設備(風向・風速・気温・湿度および雨量の測定)
- (b) 標準電波受信ならびに時刻装置
- (c) インターコムおよび局内放送装置
- (d) アンテナ照明設備
- (e) 電気計測器類・付属品・予備品およびドキュメント類

### 2.3 総合性能

地球局の総合性能(測定値)を表 2.2 に示す。表に示すとおり、測定結果はインテルサットの地球局標準特性<sup>(4)</sup>に合致し、主要性能は大きくこれを上回っている。

### 3. システムおよび機器

インテルサット III 号系衛星を使用する衛星通信地球局の具備すべき要件は、ICSC (通信衛星暫定委員会) が決定し規定している。マレーシア地球局はこの規定のすべての要件を満たしており、標準地球局としての使用が認められ、現在商用通信を行なっている。

この地球局の設計上の要点として、次の事項をとくに考慮した。

(a) 対象衛星として インテルサット III 号系および II 号系で動作するとともに、IV号系となった場合にも改修が容易である。

(b) ICSC の規定する標準地球局の具備すべき性能を満足する。

(c) 運用時間か動率 99.8 %以上を確保する。

(d) 運用保守を容易にする。

a) 項に対しては インテルサット II 号と III 号の偏波面の違いに対応して、円直両用のフィードを採用した。b) 項については現有技術では、その実現にほとんど困難さはない。ただ地球局に割り当てられる 1,000 pW の雑音を、各機器にいかにか経済的に配分するか配慮する必要がある。とくに インテルサット III 号系では、振幅特性と遅延特性の要求がきびしく、システムイコライザ (System Amplitude & Delay Equalizer) の採用が必要となる。また マレーシア 地球局では ICSC の要求規格を越えて次の 2 点が要求された。

(i) System G/T : 41.5 dB 以上

(ii) 復調器 スレシホールドレベル : ICSC より 1 dB よいこと

c) 項のか動率は商用通信局として最も重視される。一般的には、機器に使用される部品の数と故障率で決まる機器固有の信頼度を上げるとともに、使用部品数が必然的に多くなる複雑な機器は、冗長系を採用する配慮がなされる。マレーシア 地球局では、アンテナ系を除く、電話用通信機器はすべてセット予備方式のフルリダンダンシを採用している。また、とくに降雨マージンを多くとるために、上記のように ICSC 以上の性能を実現した。か動率に対して配慮さるべきもう一つの面は、誤操作による人為的障害の防止と、障害回復時間 (MTTR) の低減である。これは、d) 項の運用保守の容易さと関連があり、マレーシア 地球局では、監視の簡素化と制御の集中化によって誤操作を防止するよう配慮するとともに、複雑な系を容易に試験できるような綿密な設計を行ない、他に例をみないほど大がかりな通信系試験部を採用した。

### 3.1 通信系システム設計

#### 3.1.1 回線設計 (電力配分)

インテルサット III 号衛星のデータをもとに試算した マレーシア 地球局の回線設計数値を表 3.1 に、計算に用いた伝送パラメータおよび地球局アンテナの条件等を表 3.2 および表 3.3 に示す。

表 3.1 から次のことが明らかとなる。

(a) 地球局送信 EIRP は、ICSC 規定の 61 dBW/CH の最大値より 8 dB 低い 53 dBW/CH (60 CH) で運用される。この値は、運用保守に対する機器設計上とくに注意すべきであり、APC (自動電力制御)・電力計目盛等の設計条件を与えている。

(b) レインマージンは、標準地球局に比べ約 5 dB 多く取ることができる。これはアンテナ仰角によるダウンパス利得約 2 dB のほかに、アンテナ利得およびシステム G/T の改善により得られるもので、マレーシアのごとく雨量の多い局には運用上不可欠のものである。なおマレーシア局では、復調器のスレシホールドレベルを標準局に比べ 1 dB 改善しており、これを見込むとレインマージンは約 12 dB となりさらに余裕をもつことになる。

#### 3.1.2 雑音配分

インテルサット III 号系では、CCIR 勧告のチャネル雑音 10,000 pWp を地球局機器に 1,000 pWp 割り当てている。

マレーシア 地球局では、システム設計に当たって 1,000 pW を表 3.4 のごとく配分した。

HPA/LPA に割り当てた 400 pW は、多数波伝送(最大 5 波伝送)による混変調雑音および FM-AM-PM 変換による雑音とその大部

表 3.1 電力配分

Power budget.

伝送 CH 容量	24 ch	60 ch	132 ch	TV
地球局送信 EIRP dBW	67.3	70.8	73.6	78.6
衛星受信電力密度 dBW/m <sup>2</sup>	-93.1	-89.6	-86.6	-81.8
衛星送信 EIRP dBW	4.4	7.9	10.7	15.7
地球局受信電力密度 dBW/m <sup>2</sup>	-157.0	-153.5	-150.7	-145.7
衛星ノイズコントリビューション dB	6.0	6.0	6.0	3.4
地球局受信 C/T dBW/°K	-153.0	-149.5	-146.7	-139.1
スレシホールドマージン dB	5.8	5.8	5.8	5.5
レインマージン dB	10.9	10.9	10.9	8.0

表 3.2 伝送パラメータ

Transmission parameter.

伝送 CH 容量	24 ch	60 ch	132 ch	TV
試験音実効周波数偏移 kHz	250	410	630	*
衛星帯域幅:				
26% ガードバンド	5.0	10.0	18.2	—
占有帯域幅 $[2(f_m + \sqrt{20}\sigma)]$	4.0	8.0	14.4	—
IF 帯域幅 $[2(f_m + \sqrt{10}\sigma)]$	2.9	5.8	10.5	—
受信帯域幅 MHz	—	—	—	25.0
ベースバンド最高周波数 kHz	108	252	552	—
多重信号負荷レベル dB	4.5	6.1	7.5	—

\*プリエンファシスされた 15 kHz 信号に対する TV 信号周波数偏移 (P-P) は 525/60 方式は 9.4 MHz, 625/50 方式は 7.9 MHz を用いた。

表 3.3 衛星および地球局アンテナの設計値  
Design parameter of satellite and earth station antenna.

インテルサット III 号衛星		
最大送信 EIRP dBW		24
入力バック オフ dB		4
出力バック オフ dB		2
飽和入力 RFD dBW/m <sup>2</sup>		-71.4
G/T (サテライト) dB/K		-16.8
利得 dB/m <sup>2</sup>		97.5-C
地球局アンテナ		
利得 (dB)	4 GHz において	60.0
	6 GHz において	61.3
G/T dB/°K		43.5
仰角 (°)		44.7

表 3.4 雑音配分

Noise budget.

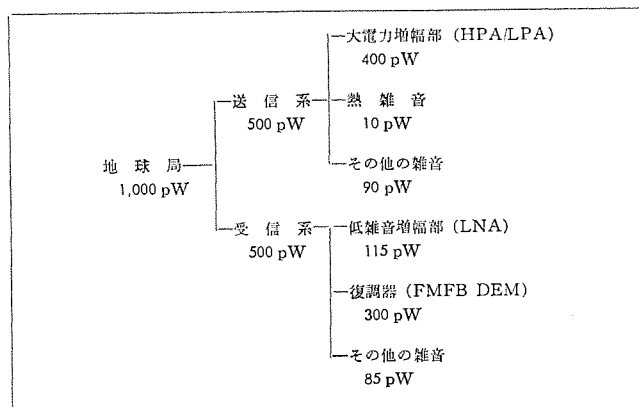




表 3.5 通信系性能  
Communications system performance.

サブシステム	項 目	性 能	備 考
HPA/LPA	1. 最大出力 HPA LPA	37.4 dBW 以上 22.9 dBW 以上	
	2. 出力調整範囲	(1) 運用レベルは任意に設定可 (2) 運用レベルを中心に $\pm 2$ dB 〜 8 dB 連続設定可能	
	3. 出力安定度	$\pm 0.35$ dB/day	
	4. 帯域幅	500 MHz 以上 (5,925 ~ 6,425 MHz)	6 dB 点
	5. 利 得 HPA LPA	68 dB 以上 62 dB 以上	
	6. AM-PM 変換	6 deg/dB 以下	
	7. 不要高調波出力	-60 dB 以下 (2 次, 3 次)	
	8. 不要波出力	5,900 ~ 6,200 MHz 帯: -60 dBW/4 kHz 以下 3,700 ~ 4,200 MHz 帯: -155 dBW/4 kHz 以下	混交調除く
	9. 残留 AM 変調	-45 dB 以下	
	10. 振幅特性	一 次: $\pm 0.1$ dB/MHz 二 次: $0.005$ dB/MHz <sup>2</sup> リップル: $0.25$ dB P-P	500 MHz 帯域 内のいかなる 40 MHz 幅に おいても
	11. 遅延特性	一 次: $\pm 0.05$ ns/MHz 二 次: $0.1$ ns/MHz <sup>2</sup> リップル: $1.5$ ns P-P	500 MHz 帯域 内のいかなる 40 MHz 幅に おいても
LNA	1. 雑音温度	20°K 以下	
	2. ダイナミック レンジ	0.5 dB 利得を抑圧する 入力レベル: -70 dBm	
	3. 利 得	67 dB 以上	
	4. 利得安定度	$\pm 0.2$ dB/10 分 $\pm 0.5$ dB/day $\pm 1.0$ dB/1 Week	
	5. パイロット 信号周波数	3,702.5 MHz, 4,197.5 MHz	
	6. 不要波出力	-190 dBW/4 kHz	入力換算
	7. 振幅特性	一 次: $\pm 0.05$ dB/MHz リップル: $1$ dB P-P	500 MHz 帯域 幅 (3,700 ~ 4,200 MHz) の任意の 11 MHz 幅にお いて
	8. 遅延特性	一 次: $\pm 0.1$ ns/MHz 二 次: $0.01$ ns/MHz <sup>2</sup> リップル: $0.3$ ns P-P	500 MHz 帯域 幅 (3,700 ~ 4,200 MHz) の任意の 11 MHz 幅にお いて
	9. AM-PM 変換	0.5 deg/dB 以下	
GCE (送信系)	1. 出力レベル	-12.5 dBm	
	2. 周波数安定度	$\pm 150$ kHz 以内 (電話) $\pm 250$ kHz 以内 (TV)	
	3. 周波数偏移	250 kHz・rms (24 CH) 410 kHz・rms (60 CH) 630 kHz・rms (132 CH) 9.4 MHz・P-P (525 TV) 7.9 MHz・P-P (625 TV)	0.608 $f_{op}$ の 0 相対レベル 入力
	4. 周波数偏移 調整範囲	$\pm 5$ dB (0.1 dB Step)	
	5. 周波数偏移 安定度	$\pm 0.25$ dB/day	
	6. パイロット信号	60 kHz 連続	
	7. エネルギー 拡散信号	対称三角波による。 周波数: 20 ~ 150 Hz (電話) 25 または 30 Hz (TV)	指定される周 波数を使用
	8. ブリエン ファシス	CCIR REC. 275-1 (電話) CCIR REC. 405 (TV)	
	9. ノイズバンド 除去フィルタ	ICSC 規定のフィルタ使用	
	10. ベースバンド 入力レベル	-36 dBm/CH (電話) 1 VP-P (TV)	
	11. 変調微分特性	1.5% 以下 (電話) 2% 以下 (TV)	
GCE (受信系)	1. N. F	12 dB 以下	
	2. 局発周波数 安定度	$\pm 1 \times 10^{-5}$ 以内	
	3. AGC 特性	入力変動 $\pm 10$ dB に対し 出力変動 $\pm 1$ dB 以内	
	4. スレショルド 改善度	50,000 PW 点で比較して ICSC 規定の C/T より 1 dB 以上改善 (24 or 60 CH) 0.5 dB 以上改善 (132 CH)	FMFB 方式
	5. ディエンファ シス	CCIR REC. 275-1 (電話) CCIR REC. 405 (TV)	
	6. ベースバンド 出力レベル	-23 dBm/CH (電話) 1 VP-P (TV) いずれも $\pm 5$ dB 調整可能	

分をしめる。その他の送信系雑音 90 pW は変調器の非直線ひずみ、IF での機器間干渉およびベースバンドでの干渉が大部分であり、振幅ひずみおよび遅延ひずみは、システムイコライズで等化すれば無視できるほど小さい。

LNA に割り当てた 115 pW は、スプリアスによる雑音および AM-PM 変換による雑音が大部分であり、混交調雑音は非常に小さくすることが可能なため、現実には LNA 総合で 50 pW 程度にすることができる。FMFB-DEM を除く受信系の雑音は送信系同様、IF およびベースバンドの機器間干渉に割り当てたものである。

### 3.2 サブシステムおよび機器

地球局の構成および主要性能は 2 章に示した。前節および ICSC 勧告をもとに設計した通信系の主要性能を表 3.5 に示す。紙面の都合上、これらサブシステムの詳細を紹介できないので、システム上特筆すべき機器についてのみ以下に記述する。

#### 3.2.1 円直共用給電装置

本給電装置は、INT-III、IV 号系の円偏波に対処できるのみならず、INT-II 号系などの直線偏波にも使用できるように設計されている。その特長は、

- (1) 送受共用で、それぞれ 500 MHz の広帯域にわたりそう入損失が少なく、送受の減結合量が大い。
- (2) 円偏波・直線偏波の任意の方向の偏波信号に対処できる。
- (3) 広帯域にわたり、任意の偏波で自己追尾誤差信号を取り出しうるなどである。

本装置は、原理的には図 3.1 に示すように、

- (a) 送受信波の偏波が互いに直交していることを利用して、送受信波の分波を行ない。
- (b) 到来電波方向がアンテナ指向方向からずれた場合に発生する高次モード (TE<sub>01</sub>, TM<sub>01</sub> モード) を、追尾誤差信号として利用し、
- (c) 90° 位相差板を入力電界に対して 45° 傾けて配置すれば、直線偏波を円偏波に変換できる性能を利用している。

この給電装置は、従来の円偏波専用給電装置に比べて、高次モード結合器・90° 位相差板がそれぞれ 1 個余計に必要となるので、それらのそう入損失を極力小さくすること、広帯域にわたり追尾誤差信号を取り出すのに、低損失で密結合な高次モード結合器を開発することが重要課題であった。まず、低損失化については、各部品の長さを極力短くするとともに、導波管の内面処理法、フランジ面の接続法などを改良した。広帯域モード結合器としては、従来から使用してきた低損失で密結合がとりやすい集中定数形モード結合器の代わりに、分布定数形モード結合器を採用し、低損失で密結合 (6 dB) のものを実現し得た。

これらの結果、図 3.1 に示す構成の給電装置で、表 3.6 に示すように通信波に対するそう入損失 0.14 dB (受信), 0.22 dB (送信),

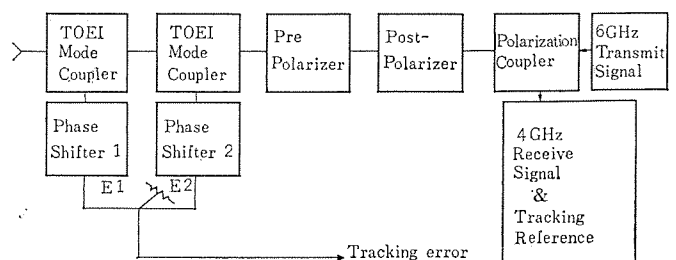


図 3.1 円直共用給電装置系統図  
Block diagram of feed assembly for circular and linear polarizations.

表 3.6 円直共用給電装置の電気性能  
Performance of feed assembly.

項 目		受 信 系	送 信 系
周 波 数 範 囲		3.7~4.2 GHz	5.925~6.415 GHz
そ う 入 損 失		-0.14 dB 以下	-0.22 dB 以下
V S W R	円 偏 波	1.09 dB 以下	1.06 dB 以下
	直 線 偏 波	1.19 dB 以下	1.07 dB 以下
だ 円 偏 波 率	円 偏 波	1.7 dB 以下	1.7 dB 以下
	直 線 偏 波	15 dB 以下	15 dB 以上

表 3.7 地球局送信系または受信系に許容される遅延ひずみ最大値  
Maximum delay distortion of transmitter or receive for earth station.

Number of channels	24	60	132	TV
Bandwidth unit (MHz)	5	10	20	40
Equalization bandwidth (MHz)	4.0	8.0	14.4	32
Linear group delay (ns/MHz) (positive or negative)	±6	±1.2	±0.3	±0.1
Parabolic group delay (ns/MHz <sup>2</sup> )	10	0.7	0.1	0.025
Ripple component (ns P-P)	6	3	2	2

表 3.8 衛星中継器で生ずる遅延ひずみ最大値  
Maximum delay distortion of satellite transponder.

Linear component	±3.0 ns/MHz
Parabolic component	0.10 ns/MHz <sup>2</sup>

表 3.9 地球局送信系に許容される振幅ひずみ最大値  
Maximum amplitude distortion of earth station transmitter.

Number of channels	24	60	132	TV
Bandwidth unit (MHz)	5	10	20	40
Occupied RF bandwidth (MHz)	4.0	8.0	14.4	32
Maximum peak to peak amplitude variation over occupied RF bandwidth	0.75	0.5	0.5	0.75
Maximum slope over the center third of the occupied RF bandwidth (dB/MHz positive or negative)	0.3	0.1	0.03	0.03

表 3.10 イコライザの等価量 (地球局用のみ)  
Equalizing range of system equalizer.

	一 次 傾 斜	二 次 曲 率
送 信 系 遅 延 ひ ず み	±0.7 ns/MHz	0.25 ns/MHz <sup>2</sup>
受 信 系 遅 延 ひ ず み	±0.6 ns/MHz	0.15 ns/MHz <sup>2</sup>
送 信 系 振 幅 ひ ず み	±0.1 dB/MHz	0.02 dB/MHz <sup>2</sup>

VSWR 1.19 以下という非常に良い電気性能が得られた。

### 3.2.2 システムイコライザ

#### (1) 要求条件

衛星通信では、その方式上の要求から FM 改善度を大きくとる必要があり、地上のマイクロ波通信方式に比べチャンネル当たりの周波数偏移を非常に大きく設定している。この場合、周波数偏移の増大につれて、その占有帯域幅が広くなるとともに FM 伝送路で生じる遅延ひずみおよび振幅ひずみも増大し、残留 S/N を劣化させる結果となる。ICSC ではこの伝送系で生じるひずみ特性改善のため、標準地球局には次の機能を有するシステムイコライザを設けるよう勧告している。

(a) 地球局送信系および受信系で生じる遅延ひずみを、表 3.7 に示す残留値以下に等化する。

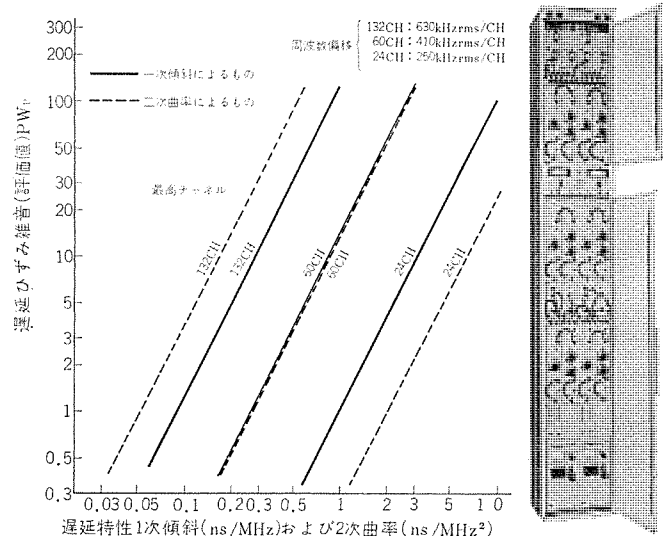


図 3.2 遅延ひずみ雑音 (インテルサット III) Delay distortion noise in Intelsat III system.

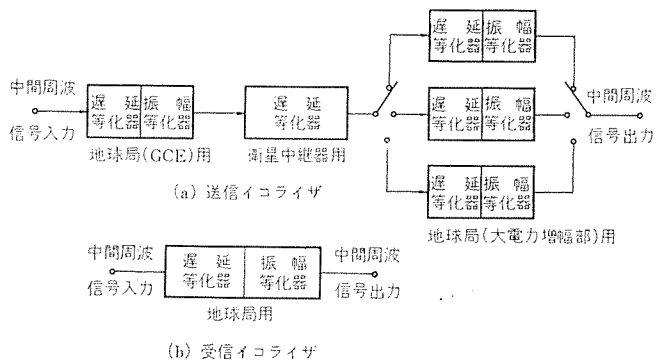


図 3.4 システムイコライザ系統図  
System equalizer block diagram.

(b) 衛星中継器内で生じる遅延ひずみ特性 (表 3.8 参照) を、地球局送信系のイコライザにて等化する。

(c) 地球局送信系で生じる振幅ひずみを、表 3.9 に示す残留値以下に等化する。

ICSC で許容された残留遅延ひずみ特性による準漏話雑音は、図 3.2 に示すとおりである。一方、地球局送信系および受信系で発生する遅延ひずみおよび振幅ひずみ特性は、表 3.10 となり、ICSC の勧告値を満足するには、それ以上の補償範囲を有するシステムイコライザが必要となる。

#### (2) 機能および構成

送信系イコライザの機能を要約すると次のようになる。

(a) 地球局送信系で生じる遅延ひずみおよび振幅ひずみ (表 3.10 参照) の一次傾斜・二次曲率を、表 3.7 および表 3.9 の値以下に等化する。

(b) 衛星中継器で生じる遅延ひずみ (表 3.8 参照) の一次傾斜および二次曲率を等化する。

(c) 大電力増幅部 (LPA 2 台および HPA) の現用、予備その他の切換えによる等化すべき値の変化に応じる。

(d) 等化量の変化に簡単に応じられるよう等化量の可変機能を有する。

このような機能を有するシステムイコライザの外観および系統図を、それぞれ図 3.3 および図 3.4 に示す。系統図に示すように、送信系イコライザは GCE 用、衛星中継器用および大電力増幅部用に分れ



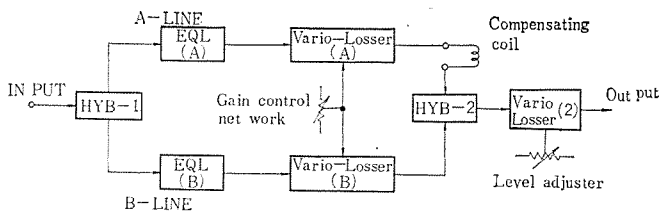
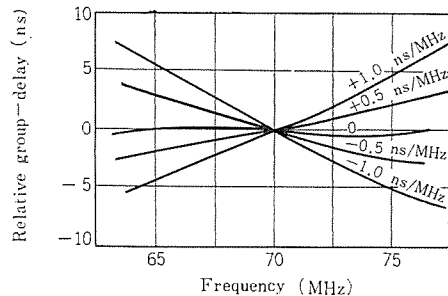
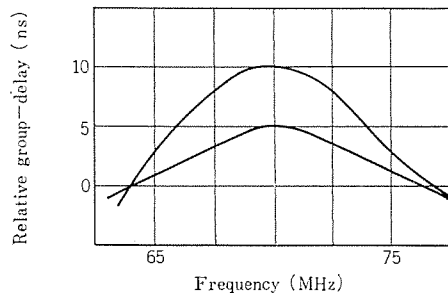


図 3.5 可変等化器 Variable equalizer.



(a) 1次傾斜等化用



(b) 2次曲率等化用

図 3.6 可変遅延等化器特性例  
Typical performance of variable delay equalizer.

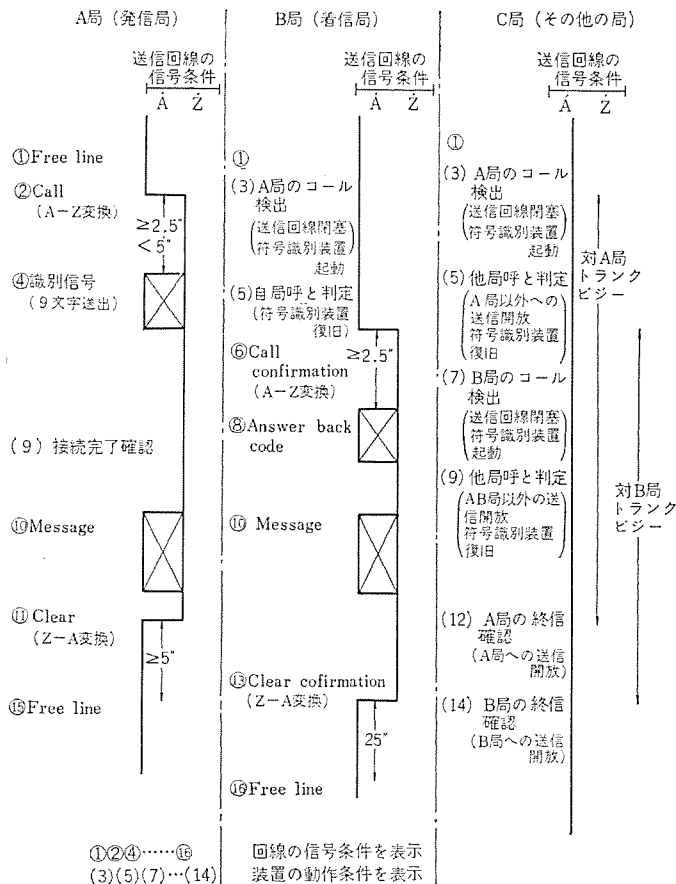


図 3.7 保守電信回線信号条件  
Signaling condition of ESC telegraph system.

ている。

受信系 イコライザの機能は次のとおりである。

(a) 地球局受信系で生じる遅延ひずみおよび振幅ひずみの一次傾斜・二次曲率を、表 3.7 の値以下に等化する。

(b) 低雑音増幅部の現用、予備の切換えにより等化すべき値が変動しても、表 3.7 の値を満足する。

(c) 等化量の変更に簡単に応じられるよう可変機能を有する。

(3) 可変等化回路

イコライザは、現地据付後に地球局各部構成機器の残留特性を等化するものであり、簡単に可変できる構成であることがのぞましく、将来の無線周波数変更および構成機器の特性変化に対しても可変形が有利である。今回使用した可変形遅延等化器は、図 3.5 に示すとおり A・B 2ラインで構成されており、各ラインにはそれぞれ橋絡 T 形等化回路 EQL (A) または (B) が設けられている。遅延等化器の場合、EQL (A) または EQL (B) としてその使用目的に応じて、一次傾斜または二次曲率補償用の遅延等化回路を用いる。また、各ラインに設けた可変減衰器の減衰量を個別に制御することにより、合成された信号の特性を連続的に可変することができる。Compensating Coil は、合成された信号の周波数特性を補償する目的で用いられる。

図 3.6 に、可変形遅延等化器の特性例として一次傾斜および二次曲率の補償特性を示す。

なお可変振幅等化器の場合も同様の構成で実現して、システム イコライザに使用している。

### 3.2.3 保守電信回線用選択符号識別装置

衛星通信保守回線には、マルチ ディステーション 方式の電話回線と電信回線があり、1968 年 1 月に ICSC 30-33 E により新たに選択呼出し方式が提案された。保守電話回線については、2 digit の選択信号をもつ帯域内信号方式であり従来の方式と大差ないが、マルチ ディステーション 方式の保守電信回線に選択呼出し方式が採用されたのは初めてである。つづいて同年 4 月 パリ で開かれた インテルサット アドホック 会議により、この方式に基いた保守電信回線についての符号形式・信号条件等が提案された。

本装置は、この方式提案を完全に満足するように設計されたものである。

(1) 要求条件

図 3.7 に ICSC 勧告の選択呼出し方式信号条件を示す。この方式で要求される主要な点は次のとおりである。

(a) 発信局では Call 信号 (A-Z 変換) 発信後、2.5 秒以上 5 秒以内に所定の識別信号を送出すること。

(b) 受信局では、識別信号が自局呼か他局呼かを判別する機能を有すること。

(c) 受信局では、自局呼と判別すればただちに Call Confirmation (A-Z 変換) し、それから 2.5 秒以後に Answer Back Code を返信すること。

(d) 受信局では他局呼と判別すれば、この Call により成立した回線の送信回線を閉塞し、受信回線を Call が終わるまでモニターすること。

(e) 交信終了時は、発信局が Clear (Z-A 変換) しても 5 秒間は Clear Confirmation (Z-A 変換) を行なわないこと。

現在 インド 洋地域では、すべての局がこの条件を満たすに至っていないため、次のような条件も考慮して設計する必要があった。

(f) 識別信号(9文字構成)の送出方法が、自動送出・手動送出およびテープに一度せん(穿)孔して送出する等の種々の場合があり、また送信時間も一定でないこと、場合によっては9文字すべてを送出しないこともあるため、識別信号のうち、各局固有の“4文字識別符号”のみでも識別可能にすること。

(g) Call (A-Z 変換) が受信された後、識別信号が受信されなければ回線が保留されたままになるので、適当な時間がくれば強制復旧させること。

## (2) 保守電信回線交換機系の構成と機能

一般に地球局の交信対地数は十数カ国になるが、このすべての局と保守電信回線を構成するために、端末のテレプリンタを各局専用に設置すると、経済的でないのみならず運用上はなほ不便である。そこで通常は、数台のテレプリンタを目的局に選択交換する自動交換機が設置される。

前節の要求条件を満たすためには、必ずしも自動交換の必要はないが、信号授受の時間規定の条件を考慮すれば、信号処理を交換機と一体となつて行なうのが得策である。この意味から選択符号識別装置は自動交換機系の一部として設計され、系のもつ機能のうち、着信後の符号識別および発信時の自動符別送出を分担させている。

図 3.8 にマレーシア地球局の電信交換機系統図を示す。電信交換機系は、継電機群架・操作卓および選択符号識別装置で構成され、

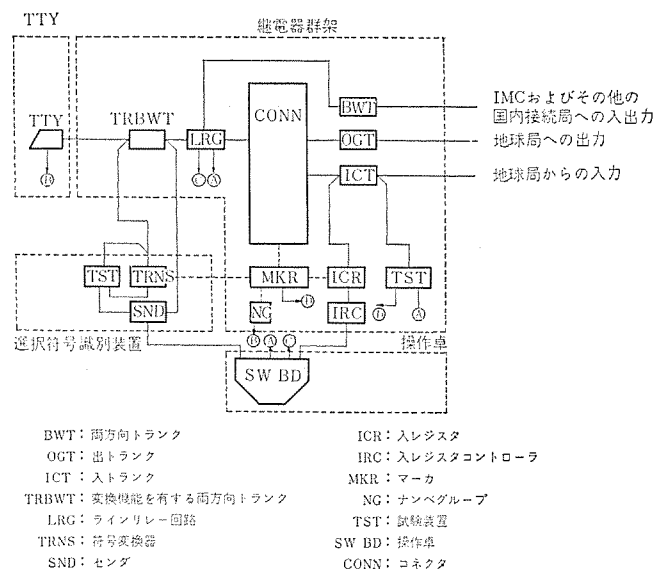


図 3.8 電信交換機系統図  
Trunking diagram of telegraph switching equipment.

表 3.11 電信交換機容量と性能  
Capability of telegraph exchanger.

容 量	入力回線	80 CH
	出力回線	30 CH
TTY トランク	共通制御回路	10 CH
	エクステンション回路	1 式
入力回線ロックアウト回路	入力回線ロックアウト回路	4 CH
	入力回線閉塞回路	80 CH
トランクチェック回路	トランクチェック回路	80 CH
	符号識別回路	4 CH (2 CH 実装)
符号発生回路	符号発生回路	1 式
	テスト回路	1 式
性 能	符号速度	50 ボー
	信号電圧・電流	+80 V, +20~25 mA -80 V, -20~25 mA
Call Confirmation>100 ms	Clear Confirmation>5 s	マージン>35 %
	符号識別装置の入力信号許容ひずみ	2~30 s
符号識別装置の保留時間	符号識別装置の保留時間	2~30 s

前節の要求条件を満たすのみならず下記の機能ももっている。

(a) 受信時の空 テレプリンタ、発信時の希望局回線の補そく

(b) 自局(地球局)および他地球局と、マレーシア 国内の特定 4 局との回線接続交換

表 3.11 にこの交換機系容量および性能を示す。

## (3) 選択符号識別装置

前節までに述べたように、保守電信回線選択呼出し方式では、指定された“識別信号”を特定の時間内にやりとりして回線を成立させるのであるが、信号授受の時間的処理は、継電機群架で自動交換と同時に行ない、識別信号の判別のみをこの装置が行なっている。

この方式に使用される“識別信号”は、国際アルファベット No. 2 に基づく 5 単位調歩式符号による“上段”、“4 文字識別符号”、“下段”、“ベル”、“復帰”、および“改行”の 9 文字構成であるが、このうち“4 文字識別符号”が、各局固有の信号で自局呼か他局呼かの判別に利用される。

したがって識別信号を受信し呼の判別をするためには、4 文字識別符号を抜きだす必要があるが、これは下記の方法がある。

(a) 識別信号の 9 文字を計数し文字順序を判別することにより、4 文字識別符号の位置を検出する。

(b) 選択符号は必ず“上段”符号の後にくることを利用し、“上段”符別の判別回路を設け、この情報から 4 文字識別符号の位置を検出する。

今回は前述のインド洋地域における特殊事情を考慮して、この両者を併用している。

次に受信符号群から文字を判別するためには、一般によく知られているように、直列に送られる符号パルスと並列変換し、1 文字分のパルス列が完了した直後に、この組合せから文字を判別する方法が行なわれる。図 3.9 にその一例を示す。

図において、マークスペース判別ゲートは、文字を構成するパルス位置に同期したシフトパルスで開かれ、符号パルスのマークスペースを判別する。シフトパルスで判別ゲートを、(1) から (2) へと順次シフトすることにより直並列変換が行なえる。記憶回路に記憶された各パルスの判別結果を、1 文字完了ごとに送られる判別パルスで開かれる文字判別ゲートを通し、文字に対応したゲート出力として、判別結果を知ることができる。したがって、この方法ではアルファベット 27 文字に対応した文字判別ゲートを必要とする。

しかし、今回は 4 文字構成の“識別符号”が自局呼の符号か否かを判別すればよく、文字判別ゲートを 4 個置くだけでよい。この目的で設計された“符号識別”回路を図 3.10 に示す。図で文字判別ゲートと反転回路とを、自局符号の文字に対応するよう接続することにより、最終ゲート出力として判別結果が得られる。またパルス判別

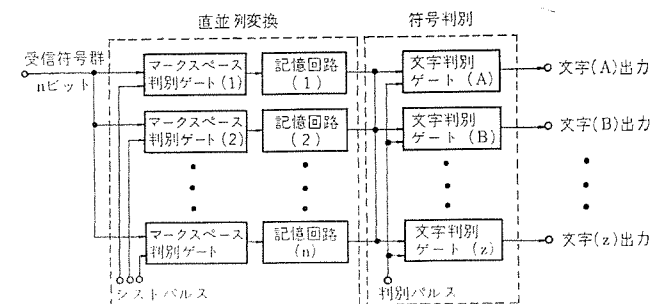


図 3.9 符号判別回路例  
Typical block diagram of code detector

ゲートを駆動するタイミングパルスは、サンプリング用パルスで雑音による誤判別を防止するために、十分な幅までパルス幅を狭くする必要がある。

インド洋地域の特殊事情のために、符号判別には下記の考慮をも払っている。

(i) 手動で識別信号が送られる場合、文字の送出間隔が一定でないため“識別符号”4文字が完了したことを検知した後判別する。

(ii) テープで識別信号が送られる場合、フルスペース信号による文字数増加で、4文字識別符号の位置検出用計数回路が誤動せぬよう配慮する。

上述の設計上の考慮を行なって製作された選択符号識別装置の系統図および外観を、それぞれ図3.11および図3.12に示す。この装置は符号判別のほかに、自局から発信する識別信号の発生回路を持っており、信号条件の規定に合致した信号を送出する機能も有する。また自動試験回路を設けているため、装置の機能試験、各構成回路の動作試験等を容易に行なうことが可能であり、運用保守上有利な構成となっている。

### 3.2.4 通信系試験部

INTELSATに加入している全地球局は、標準地球局としてICSC規定により規定される要件を満たさなければならない。このため、各地球局で通信系に対する要求条件が満足されているかを評価・監視する必要がある。さらに、地球局開局直前に義務づけられている

自局折り返し試験、地球局間対向試験に対して要求条件を評価判定する必要がある。一方、実際の運用に対しては、長期にわたり、これらの諸特性を維持するため、定期的な総合性能の評価と万一の障害を予防する処置を取らねばならない。

地球局を構成する機器は、その機能を失なった場合障害表示するよう設計されているが、すべての機能に対し障害検出回路を設けることは困難であり、また経済的でない。とくに総合システムとして評価判定を必要とする特性劣化は、各機器個別の障害検出では達成できないため、専用の試験装置を必要とする。

さらに2国間にまたがる衛星通信回線の通信品質を維持するためには、S/N、ベースバンドレベル等の必要性能を監視して、万一の異常に対してはどちらの地球局に起因するかを判別する必要がある、このための試験装置も必要となる。

以上を要約すれば通信系試験部を設置する目的は、下記のごとくなる。

- (1) 現用回線の監視
- (2) 自局単独での総合性能評価判定
- (3) 障害時の異状機器の判別

なお、これらの機能をもつ試験部を設計するに当たっては、局の運用保守条件等の客先事情も考慮し、便利で合理的なものとするべく検討した。

#### (a) 基本ループおよび構成機器

地球局の通信系機器構成を考慮して、前述の通信系試験部の目的を達成するためには、表3.12に示した9種のループを構成する必要がある。これらのループの構成機器およびループ系統図を図3.13に示す。

#### (b) 雑音および伝送特性配分

表3.13に基本ループの雑音配分を示す。

通信系試験部の雑音は、被試験機器の雑音配分値と同等もしくはそれ以下におさえなければ、精度の良い評価ができない。前記のごとく地球局通信系は、送受信それぞれに500 pWの雑音を配分しているが、試験部の総合雑音をこれ以下におさえることは可能である。しかし、変復調ループ(送信系)およびGCE送信総合ループでは、被試験機器の配分値が100 pW以下であるのに対し、試験部の復調

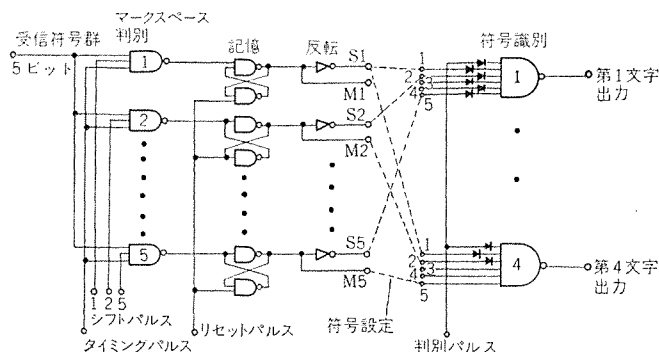


図 3.10 符号識別回路  
Code converter logical diagram.

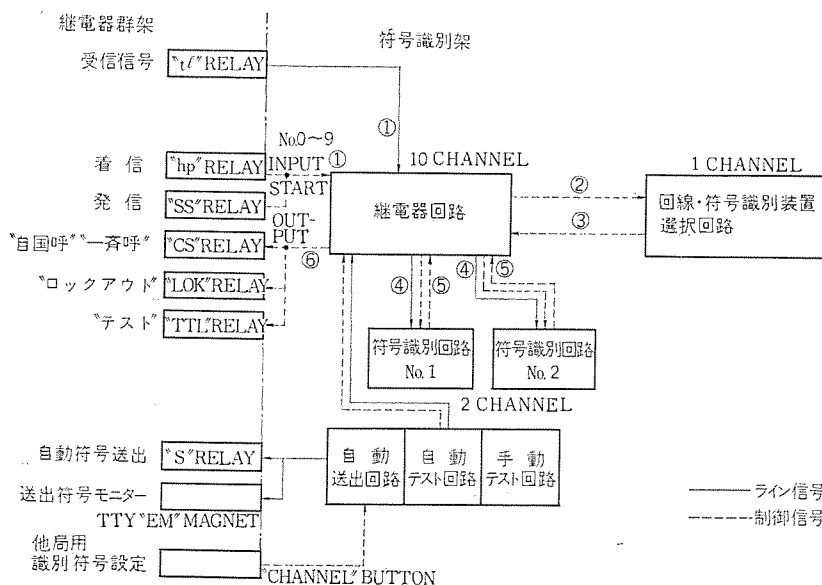


図 3.11 選択符号識別装置系統図  
Code selector block diagram.

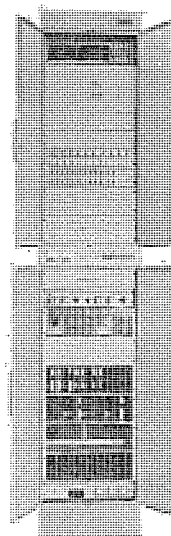


図 3.12 選択符号識別装置  
Code selector.



表 3.12 基本試験 ループ とその機能

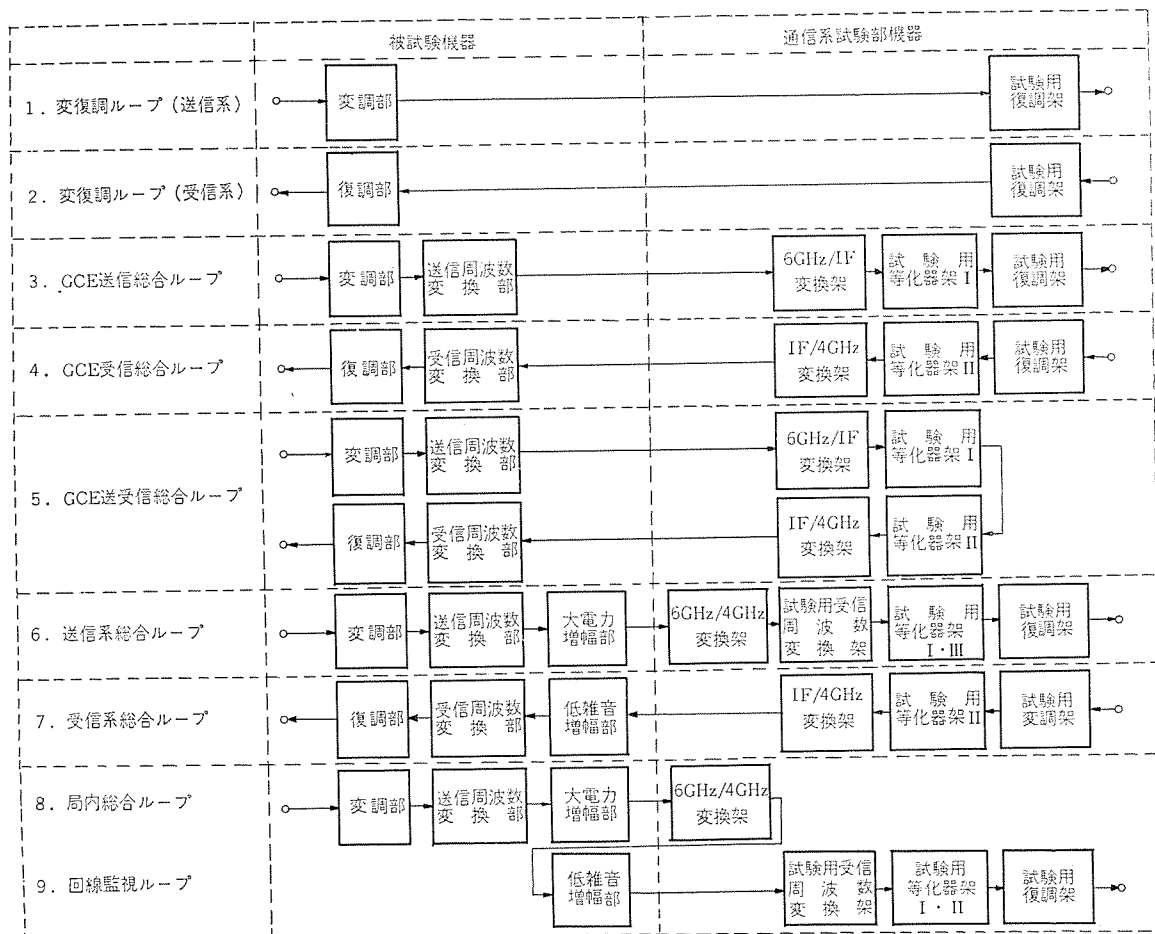
Basic test loop and it's function.

番号	試験 ループ 名	記 事
1	変復調ループ (送信系)	地球局通信系変調器架の特性試験用ループである。
2	変復調ループ (受信系)	地球局通信系復調器架の特性試験用ループである。
3	GCE 送信 総合 ループ	地球局 GCE 送信系の特性試験用ループである。(1)の変復調ループ (送信系) での結果と比較することにより送信周波数変換架の特性評価も可能となる。
4	GCE 受信 総合 ループ	地球局 GCE 受信系の特性試験用ループである。(2)の変復調ループ (受信系) での結果と比較することにより受信周波数変換架の特性評価も可能となる。
5	GCE 送受信総合ループ	地球局 GCE の送受信対向総合試験用ループである。
6	送信系 総合 ループ	地球局送信系総合の特性試験ループである。(3)の GCE 送信総合ループでの結果と比較することにより、大電力増幅部の特性評価も可能となる。
7	受信系 総合 ループ	地球局受信系総合の特性試験ループである。(4)の GCE 受信総合ループでの結果と比較することにより、低雑音増幅部の特性評価も可能となる。
8	局内 総合 ループ	地球局通信系送受信対向総合特性試験ループである。(5)の GCE 送受信総合ループでの結果と比較することにより、大電力増幅部と低雑音増幅部の対向特性評価も可能となる。
9	回線監視ループ	現用回線の品質回線ループである。

表 3.13 基本試験 ループ 雑音配分

Noise budget of basic test loop.

試験系機器	6 GHz/IF 変換架	試験用 等化器架 II	試験用 変調架	試験用 変調架	試験用 等化器架 I	IF/4 GHz 変換架	6 GHz/4 GHz 変換架	試験用 受信 周波数変換架	その他 送路等	計
試験ループ名										
1 変復調ループ (送信系)	—	—	200	—	—	—	—	—	20	220
2 変復調ループ (受信系)	—	—	—	30	—	—	—	—	20	50
3 GCE 送信 総合 ループ	10	—	200	—	10	—	—	—	60	280
4 GCE 受信 総合 ループ	—	10	—	30	—	10	—	—	110	160
5 GCE 送受信総合ループ	10	10	—	—	10	10	—	—	130	170
6 送信系 総合 ループ	—	10	200	—	10	—	10	50	140	420
7 受信系 総合 ループ	—	10	—	30	—	10	—	—	150	200
8 局内 総合 ループ	—	10	200	—	10	—	10	50	140	420
9 回線監視ループ	—	10	200	—	10	—	10	50	140	420

図 3.13 基本ループ 系統図  
Basic test loop block-diagram.

器が 200 pW 以上をしめ構成上好ましくないため、基準となる試験用変調器を設けてこの復調器雑音を評価し、ループの測定結果から差引くことを可能にする構成にした。

IF での振幅特性および遅延特性は、地球局通信系に割り当てられた ICSC 規定値の  $1/\sqrt{2}$  を送・受信それぞれの試験系に配分した。その他の伝送特性は地球局通信系と同じ配分となっている。

なお、試験系の入出力点は地球局内各機器の配置とともに分散するため、試験用導波管およびケーブルが長くなり、これによる振幅特性およびエコリプルが無視できなくなる。このため構成機器の入出力インピーダンスをきびしくおさえるとともに

- (i) 可変振幅および遅延 コライザ の設置
- (ii) 伝送路の適当な個所に VSWR 改善用 アインレータ の設置

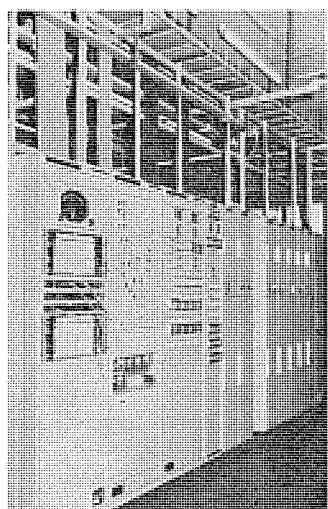


図 3.15 通信系試験部  
Communications test  
subsystem.

191

# カリブ海地方向け気象レーダ装置

渡 部 優\*・御法川秀夫\*\*・徳岡 清史\*\*  
小 杉 明\*\*・沢泉 重一\*\*

## Weather Radar for Caribbean Sea Area

Communication Equipment Works

Masaru WATANABE・Hideo MINORIKAWA・Kiyoshi TOKUOKA

Akira KOSUGI・Shigekazu SAWAIZUMI

Central America and the areas around the Caribbean Sea are the zones frequently visited by hurricanes, suffering heavy damage every year. WMO, which is the subordinate organ of the United Nations, has set up a plan to install five weather radar stations, one respectively in five countries of Guyana of South America, Tobago, Barbados, Antigua and Jamaica in West Indies, so that meteorological observation facilities are filled up in those districts with a view to prevent the disasters to the minimum.

Mitsubishi has received an order for the radar equipment, completed the manufacture and is now working at the respective sites to complete the stations.

### 1. ま え が き

中米、カリブ海地方は、ハリケーンが多発地帯であり、毎年大きな被害を被っている。国連の下部機構である WMO（世界気象機構）では、国連開発計画の一環として、この地方に気象レーダ網をつくり、この地方の気象観測を充実させることになった。当社ではそのレーダ装置を一括受注し、製作・据付工事中であるのでここに紹介する。

このレーダ装置は、南米のガイアナ、西インド諸島のトバゴ・バルバドス・アンティガ・ジャマイカの 5 カ国に、ハリケーンの発生ならびに成長移動してゆく経路に沿って設置され、ハリケーンの発見、予報を主目的とし、航空管制へのサービス、防災体勢などへ役立てるものである。第 1 号機は、バルバドスにおいて 45 年 6 月に据付工事を完了し、運用を開始した。45 年 10 月現在、5 号機の製作も完了しており、据付工事は第 2 建設地トバゴまで完成した。引続いて 3 号機はアンティガ、4 号機はガイアナ、5 号機はジャマイカの現地据付が順次行なわれる予定である。各レーダサイトの概要を表 1.1 に示す。

このレーダ装置の特長は次のとおりである。

(1) 空中線装置は直径 4 m で、平均風速 55 m/s でも動作する

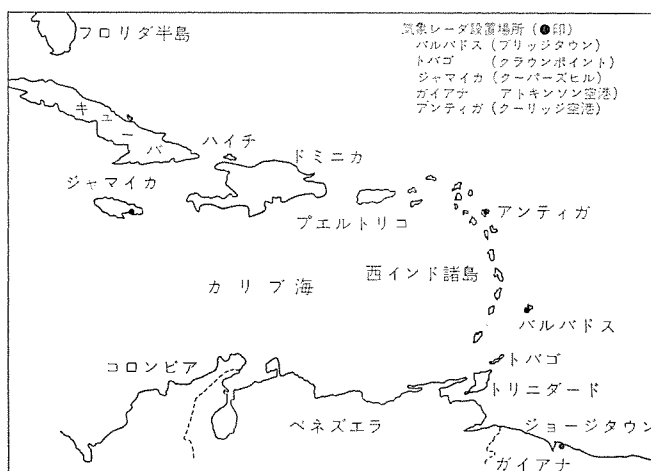


図 1.1 カリブ海地方気象レーダ網  
Weather radar stations in Caribbean Sea area.

表 1.1 レーダサイト概要  
Weather radar sites.

国 名	設置場所	概 要
バルバドス	ブリッジタウン	CMI (Caribbean Meteorological Institute, カリブ海地方気象庁) に設置。カリブ海地方の気象観測、予報等の気象活動の中核ならびに研究・教育機関である。今度設置されるレーダ装置のメインテナンス デポとなる。
トリニダード・アンド・トバゴ	トバゴ 島	クラウンポイント空港に設置。空中線は管制塔上に据付けられる。
アンティガ	セント・ジョンズ	クローリッジ空港に設置。空中線・送受信機は空港から約 1 km 離れた丘陵に設置され、観測は空港ビルで行なう。この間ケーブルによるビデオ伝送をする。12 m の鉄塔を建設し、その上に空中線を設置する。
ガイアナ	ジョージタウン	アトキンソン空港に設置。空中線は空港ビル屋上に据付けられる。
ジャマイカ	キングストン	標高 800 m のクーパーズヒルに設置。12 m の鉄塔を建設し、その上に空中線を設置する。クーパーズヒルから約 20 km 離れたパリスダス空港へ 7 GHz のマイクロ波によるレーダリレーの設置が予定されている。

設計となっている。

(2) RF 増幅器としてパラメトリック増幅器を持ち、探知距離の増大を計っている。

(3) PIN ダイオードを用いた、マイクロ波減衰器による新方式の等エコー装置を備えている。

(4) 特殊管を除き他はすべて半導体化し、信頼性が高い。

(5) 性能の安定性、保守の容易さに重点を置いて設計し、回路はすべてユニット交換方式になっている。

### 2. 機 器 構 成

このレーダ装置は下記の機器から構成されている。図 2.1 に系統図を示す。

#### 装 置

空中線装置	1 台
空中線	1 台
送信装置	1 台
受信装置	1 台



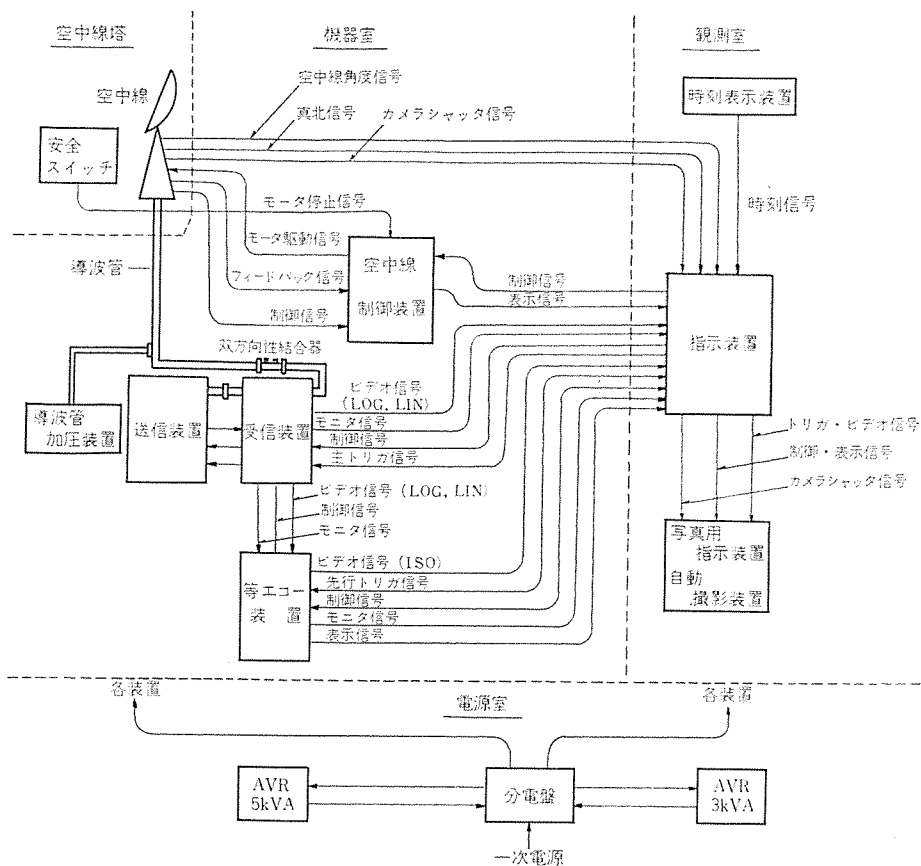


図 2.1 カリブ海地方気象レーダ装置系統図  
Block diagram of Carribbean Sea weather radar.

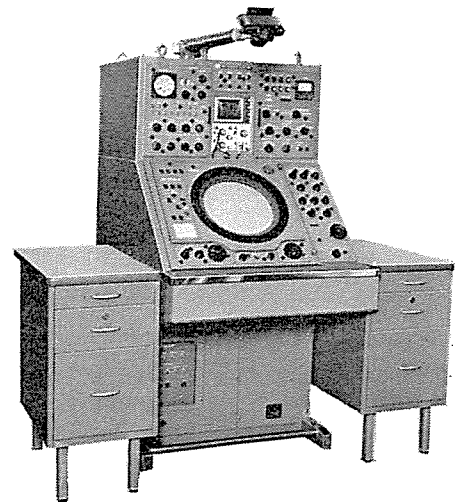


図 2.2 主指示装置  
Operating console

指示装置	1 台		そう入損失	0.5 dB 以下
写真専用指示装置	1 台	35 mm および ポラロイドカメラ に よる撮影	平均電力	500 W
自動撮影装置	1 台		導波管加圧装置	加圧 ゲージ 圧 200 g/cm <sup>2</sup> 最大 除湿装置付き
等エコー装置	1 台		RF 系損失	アイソレータ入力から送受切換器出力ま での損失 1 dB 以下
自動電圧調整器	2 台	容量 5 kVA・3 kVA 各 1 台	送信装置	
分電盤	1 台		送信周波数	2,740~2,950 MHz
時刻表示装置	1 台		送信出力	500 kW
導波管加圧装置	1 台		パルス幅	0.514 μs 切換え
測定器	1 式		繰返し周波数	590/160 PPS
予備品			受信装置	
デポ用	1 式	CMI	RF 増幅器	パラメトリック 増幅器
サイト用	5 式	各 サイト		利 得 15 dB 以上
鉄 塔	2 基	アンティガ, ジャマイカ		帯域幅 40 MHz 以上
				雑音指数 2.5 dB 以下
				総合雑音指数 3 dB 以下
				最小受信感度 -112 dBm 以下
				中間周波数 30 MHz
				受信機特性 直線および対数特性
				対数特性直線範囲 75 dB 以上
				受信機利得調整範囲 60 dB 以上
				STC, AFC 付属
			指示装置	
			表 示	直径 12" ブラウン管
			指示方式	PPI, RHI および A/R スコープ
				RHI は直角座標表示で, 地球曲率補正

### 3. 主要性能・諸元

空中線装置		
反射鏡	直径 4 m	パラボラ
偏 波	水平	
主方向利得	38 dB 以上	
ビーム幅	2° 以下	
サイドローレベル	-23 dB 以下	
走 査	水平 6 rpm 自動走査および手動走査	
	垂直 -5°~85° 手動走査	
	-2°~45° セクタ走査	
耐風性	平均風速 55 m/s まで動作	
RF 系		
大電力アイソレータ	マグネトロンと送受切換器の間にそう入 アイソレーション 10 dB 以上	

RF 増幅器	パラメトリック 増幅器
利 得	15 dB 以上
帯域幅	40 MHz 以上
雑音指数	2.5 dB 以下
総合雑音指数	3 dB 以下
最小受信感度	-112 dBm 以下
中間周波数	30 MHz
受信機特性	直線および対数特性
対数特性直線範囲	75 dB 以上
受信機利得調整範囲	60 dB 以上
STC, AFC	付属
指示装置	
表 示	直径 12" ブラウン管
指示方式	PPI, RHI および A/R スコープ
	RHI は直角座標表示で, 地球曲率補正

	付き
	A/R スコープ ははん用 オシロスコープ
観測距離	50, 100, 200, 300, 500 km 切換え
固定距離目盛	10, 20, 500, 60, 100 km (水晶発振)
	精度 実距離 $\pm 0.5\%$ 以下
可変距離目盛	0~500 km
高度表示	10, 20 km
オフ センタ	1 半径
角度 マーカ	空中線回転中、真北 および垂直 $0^\circ$ 方向で ブラウン 管上に輝線表示
等 エコー 装置	
距離および大気 ガス	PIN 変調器を用いて RF にて行なう
補 正	
補正範囲	6~300 km
減衰範囲	5 dB ごとに 8 段階の レベルスライス および 0~35 dB の連続可変
多階調表示	エコー の強さを黒 レベルを含め 4 段階の輝度で ブラウン 管上に表示する
エコー 強度測定	6~500 km 内の任意の地点のエコー強度を 3 dB ごとに数字表示する 最大範囲 60 dB
空中線制御装置	
制御方式	水平・垂直とも 位相制御方式による SCR 整流直流 モータ 駆動方式
駆動用 モータ	水平 6 kW 垂直 1.1 kW
撮影装置	
主指示装置	モータ 駆動付き 35 mm はん用 カメラ
写真用指示装置	ポロイドカメラ および 100 フィート 35 mm 自動撮影装置

## 4. 装置の要点

### 4.1 装置の諸元

このレーダはハリケーンの観測を主目的とし、観測範囲は最大 500 km であるが、一方では半径 240 km の範囲に降る 0.5 mm/時の弱い雨を検出し、短期間の気象予報あるいは航空管制への気象サービスができる性能を要求されている。

周波数は、強雨を伴うハリケーンを遠距離で捕捉するために有利な 10 cm 波帯 (S バンド) を使用している。空中線の反射鏡の直径は、ビーム幅、利得の点から大口径が望ましいが、駆動機構系が大きくなることから 4 m とした。また平均電力を大きくするため、送信パルス幅は従来の 1~2  $\mu$ s から 4  $\mu$ s (繰返し周波数 160 PPS) とし、デューティサイクルの許容範囲いっぱいにした。このため、次節に述べるように新たに開発したマグネトロンを採用することになった。近距離観測の場合には、パルス幅を 0.5  $\mu$ s (繰返し周波数 590 PPS) に切換えて使用できる。受信装置には、過去富士山気象レーダを初め、実績のある低雑音パラメトリック増幅器を用いて、受信感度を増大し遠距離化を計った。これらの諸元から、このレーダの探知距離を求めると図 4.1 のようになる。

### 4.2 環境条件

レーダ装置に対する環境条件のうち、とくにつぎの点に考慮を払った。

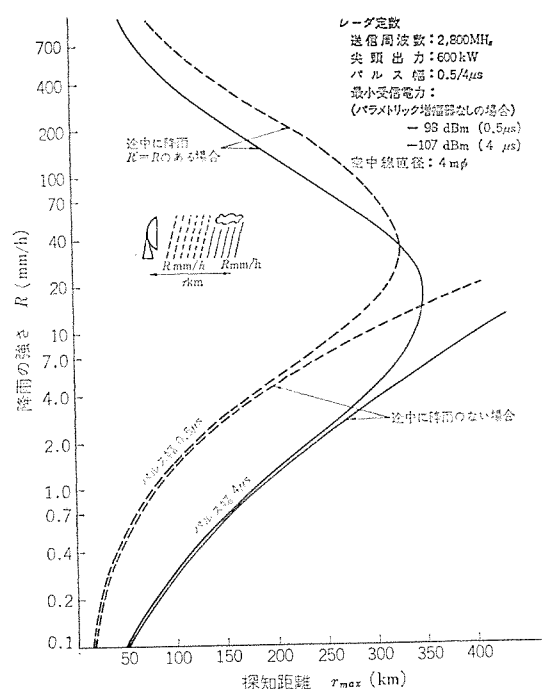


図 4.1 探知距離  
Radar detection range.

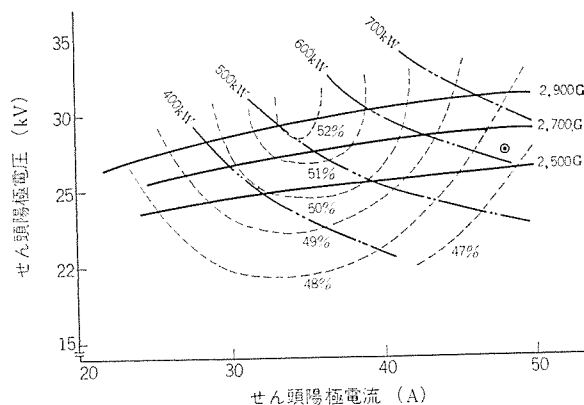


図 4.2 マグネトロン M 1222~M 1226 パフォーマンスチャート  
Performance chart of magnetron M 1222~M 1226.

#### (1) 耐風性

空中線装置に与えられた条件は、平均風速 55 m/s のときでも正常に動作することである。このため水平駆動用モータは 6 kW と大形にした。しかし、通常の弱風時には、このような大出力は必要としないので、強弱の切換機能を持つ駆動方式をとった。また、構造的には、耐風性に重点を置いた設計となっている。

#### (2) 耐熱性

このレーダ装置は、いずれも緯度  $10^\circ \sim 20^\circ$  の熱帯地方に設置されるため、屋外での高温 (室内は空調施設がある)、および強い紫外線の影響を受ける。とくに空中線装置のモータは、防水構造の密閉されたペダスタル内に設置されるという、過酷な温度条件からモータわく番を大きくした。また、直接外気にさらされるケーブルは、熱・紫外線・水に強いという点から、ポリエチレンシースケーブルを使用した。

### 4.3 マグネトロン

送信装置に使用したマグネトロンは、今回、新日本無線 (株) がこの目的で新たに開発した M 1222~M 1226 シリーズである。マグネトロンに対する要求性能は、周波数 2,740~2,950 MHz、せん (尖) 頭出力 600

表 4.1 マグネトロン M 1222～M 1226 の最大定格  
Maximum ratings of magnetron M 1222～M 1226.

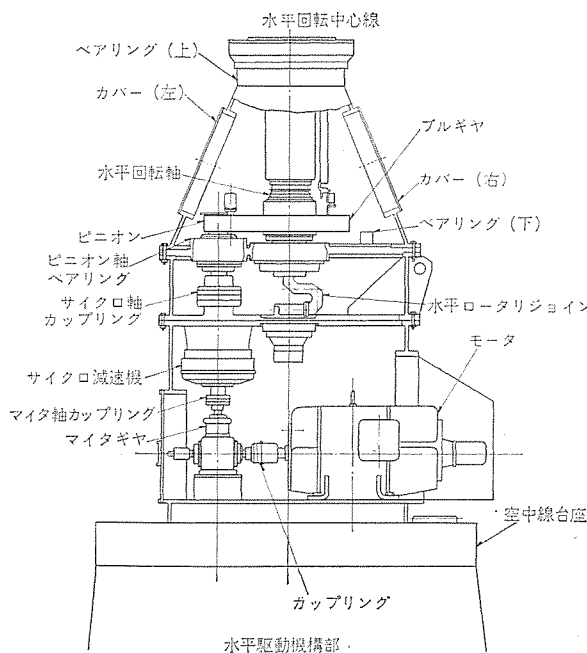
項 目	記 号	最 大	最 小	単 位
ヒータ電圧	$E_f$	17.6	—	V
ヒータ電流	$I_f$	10	—	A
パルス陽極電圧	$e_b$	30	—	kV
パルス陽極電流	$i_b$	70	—	A
パルス陽極入力	$P_i$	2,000	—	kW
平均陽極入力	$p_i$	1,200	—	W
ヒータ予熱時間	$t_k$	—	120	S
デューティ	$D_u$	0.001	—	—
パルス幅	$t_p$	4.2	—	$\mu$ s
陽極温度	$T_p$	100	—	$^{\circ}$ C
出力部加圧	—	3.5	—	kg/cm <sup>2</sup>
負荷 VSWR	$\sigma_L$	1.5	—	—
印加パルス立上がり	$t_{ru}$	—	0.15	$\mu$ s

表 4.2 M 1222～M 1226 の周波数許容値  
Frequency of M 1222～M 1226.

管 名	標準値 MHz	許 容 値 MHz		使用場所
		最 小	最 大	
M 1222	2,760	2,740	2,780	アンテナガ
M 1223	2,810	2,790	2,830	
M 1224	2,850	2,830	2,870	ジャマイカ ガイアナ
M 1224	2,890	2,870	2,910	トバゴ
M 1226	2,930	2,910	2,950	バルバドス

kW 以上、パルス幅最大 4  $\mu$ s である。表 4.1 に M 1222～M 1226 の最大定格を示す。

このマグネトロンは固定同調周波数形であり、その RF 出力は同軸で取り出され、同軸導波管変換器、アイソレータおよび送受切換器を経て空中線へ給電される。また発振周波数 2,740～2,950 MHz を五つのバンドに分割して、5 種類の異なるマグネトロンでカバーしている。これを表 4.2 に示す。各サイトに対する周波数割当は、各サイト間の干渉および他の通信施設との干渉を調査して決定したもので、M 1222 と M 1223 の間の 10 MHz のギャップもこれに基づいたものである。



#### 4.4 空中線および空中線制御装置

##### 4.4.1 空中線装置

この空中線装置は、これまでの気象レーダ装置とは異なり、反射鏡の直径が 4 m と大きくなったばかりでなく、平均風速 55 m/s の強風下で、3 章に述べた動作仕様を満足しなければならない。このため、各部の強度・剛性の要求により、気象レーダ用としてはかなりの大形空中線となった。さらに、地上高 12 m の鉄塔上に設置されることから、現地据付および保守点検作業について考慮された設計となっている。空中線装置の基本構成を図 4.3 に示す。

径反射鏡は開口 4 m のパラボラ面で、鏡面はエクスパンデタルが用いられている。鏡面をささえる骨組は、アルミ合金製で、反射鏡は 3 分割され、輸送および組立作業を容易にしている。

垂直駆動部のきょう（筐）体部には、駆動モータ・減速機・角度検出装置・リミットスイッチなどが収容されている。また、海岸付近に設置されるため、塩害防止から耐腐食性材料を使用し、モータは密閉形とした。検出装置・リミットスイッチは駆動系とは別に、おのおの直接垂直回転軸に取付ける方式で、最も安全性の高いものである。

水平駆動部のきょう体（空中線ペダスタル）は 3 段階に分けられ、上段には駆動用終段歯車装置、角度検出装置および垂直きょう体内に収容された各機器に伝送する電力線・信号線用のスリッパリングが収容されている。中段には、給電系のロータリジョイント、下段には駆動用モータおよび減速機が取付けられている。各機器はきょう体側面の作業孔より、容易に点検および部品交換ができる。駆動モータは垂直用と同様に密閉形である。

##### 4.4.2 空中線制御装置

###### (1) 設計の要点

先に述べた要求条件から、駆動機構部の強度、制御パワーなどについて検討を行なった。とくに機構部は長寿命を計るため、無風状態における円滑な起動、強風時における最大駆動電力の供給、駆動モータの耐環境性および空中線制御精度などに対して十分な考慮を払った。また強風時における所要モータ出力は水平軸 6 kW で、従来の気象レーダのその 3 倍となるので、NORMAL/STRONG

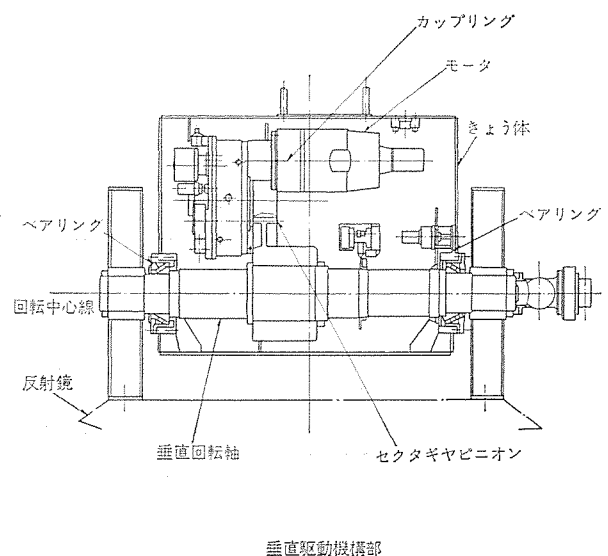


図 4.3 空中線駆動機構  
Antenna drive mechanism.



WIND という、制御モード切換スイッチを設け、モータ出力を 3 kW/6 kW と切換えができる方式とした。

### (2) 動作概要

空中線制御装置は、水平および垂直駆動用直流モータとともに、水平および垂直駆動の速度制御・位置制御を行なうサーボ系を構成する。この装置はサーボ増幅器としての機能を持つと同時に、シーケンス制御を兼ねるものである。

サーボ系のダンピングを改善するために、直流分巻モータに直結した速度発電機からの速度信号を得、速度帰還回路を構成し、さらに風などによる外乱トルクに対し速度変動が少なくなるように、帰還回路内部には、積分補償回路を設け、水平・垂直両駆動系がなめらかに制御されるようになっている。また、直流分巻モータの起動トルクにより、駆動機構部が破損しないように、サイリスタ点弧回路に点弧角の制限を与え、円滑な起動が可能ようになっている。

### (3) 制御モード

空中線の制御モードは、前述のように水平・垂直ともに、自動および手動のモードがある。水平走査の自動モードは、指示装置から速度命令電圧が水平駆動ループへ与えられ、空中線は水平方向に 6 rpm の一定速度で時計方向へ回転する。このときの垂直走査は手動モードで任意の角度に仰角設定できる。一方、垂直の自動モードは、指示装置にある制御変圧器の回転子をマイクロモータで回転させ、この制御変圧器に空中線を追従させることにより、空中線は  $-2^{\circ} \sim +45^{\circ}$  の範囲を正弦波に周期 24 秒にて走査する。このときの水平走査は手動モードで水平方向の任意の角度に設定できるのは、垂直系と同じである。手動モードの動作原理は水平・垂直とも同じで、指示装置にある手動ハンドル軸に連結されている制御変圧器を任意の角度回転させると、空中線角度と手動ハンドルによって設定された角度の差角度分の誤差電圧が制御変圧器から発生する。この電圧は復調器で直流電圧に変換され、手動ハンドルによって設定された角度へ、水平は  $\pm 0.5^{\circ}$ 、垂直は  $\pm 0.3^{\circ}$  の精度で制御される。

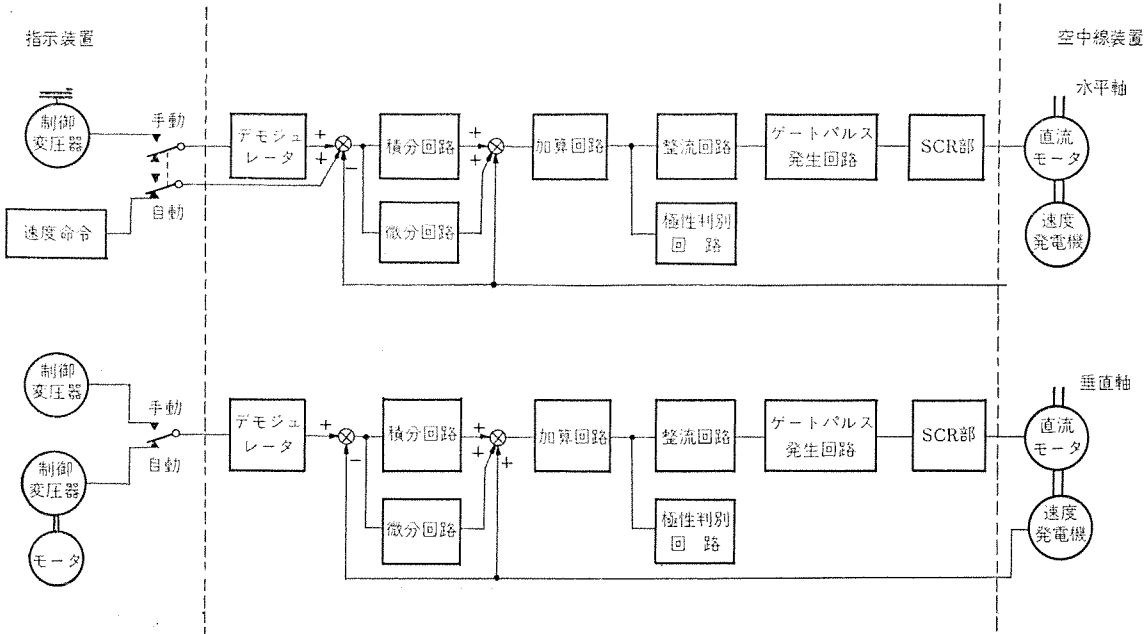


図 4.4 空中線制御系統図 Block diagram of antenna control system.

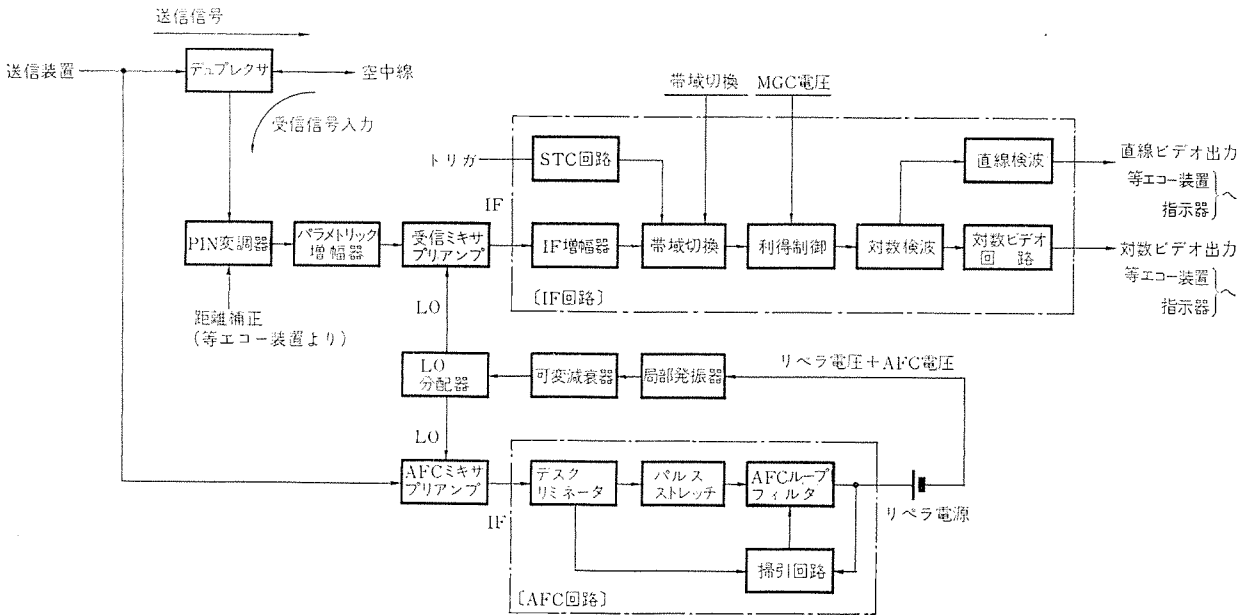


図 4.5 受信装置系統図 Block diagram of receive.

#### 4.5 受信装置

##### (1) 設計の要点

他のレーダ装置では、すでに固体化を実施しているが、気象レーダとしては今回より、クライストロン・TR管・ATR管などの特殊管を除いて、他はすべて半導体回路で構成した。

(a) 耐環境性については、温度範囲  $-10^{\circ}\sim+40^{\circ}\text{C}$ 、湿度 85 % (室温)において、十分なレベル検出精度と安定性を得るために、局部負帰還を含む本質的に安定な回路を全面的に使用したほか、必要に応じ温度補償を行なった。

(b) 操作性を向上するために、できるかぎり調整要素を少なくした。

(c) 保守性については、集中モニタ方式により、主要な電圧・電流を制御盤上のモニタメータにより監視できるほか、総合入出力特性、PIN変調器の特性など主要な性能を簡単に点検できるように、試験信号入力端子・出力モニタメータを取り付けた。

(d) IF回路・AFC回路はすべて薄形シャーシを使用したプラグイン構造とし、高密度実装化と同時に、故障発見・修理を容易にした。

##### (2) 性能

この受信装置の特長は、PIN変調器を用いてRF回路の初段で距離補正を行なうことにより、新たに開発した半導体対数検波器ともあいまって、75 dB以上という広いレベル検出範囲(Dynamic Range)を可能にしたことである。

(a) PIN変調器は、80 dBの利得調整範囲を持ち、約40 dBに相当する6~300 kmの距離補正をし、さらに40 dB受信信号を抑圧することができる。

(b) 受信系初段に雑音指数2.5以下のパラメトリック増幅器を使用して、総合の雑音指数を3 dB以下とし、パルス幅4  $\mu\text{s}$ のときの最小受信感度  $-112\text{ dBm}$ を得ている。

(c) 対数検波器は、飽和特性を持ったIF増幅回路とダイオード検波器を組合せた回路を8段連続接続して、各段ごとに約10 dBの対数特性範囲を持たせ、全段出力を加算して75 dB以上の対数特性範囲を得ている。対数感度は0.12 V/decade、対数特性からのずれは、使用温度範囲全域において $\pm 1\text{ dB}$ 以内である。

(d) 総合受信帯域幅は、送信パルス幅選択に連動して切換え、送信パルス幅0.5  $\mu\text{s}$ のときは4 MHz、4  $\mu\text{s}$ のときは1 MHzである。この帯域幅切換えのために、集中フィルタ方式とし、対数検波器は非同調広帯域特性にしている。

(e) AFC系は、最も基本的なサンプルホールド制御系で、局部発信機クライストロンのリバ電圧を制御し、局部発振器の周波数を変える方式である。AFCループは、送信周波数の偏差 $\pm 20\text{ MHz}$ の範囲を追従し、応答速度は16 ms、精度は全使用温度範囲に対して、 $\pm 0.1\text{ MHz}$ 以下である。また、掃引回路の働きで、自動的に送信信号を探してLOCK ONする機能を備えている。

#### 4.6 長距離ケーブル伝送

クーリッジ空港(アンティガ)に設置される3号機では、空中線装置・送受信装置は、航空機の離着陸ルートの障害関係から、空港から約1 km離れた丘陵に設置される。一方、指示装置は空港のターミナルビルに置かれ、ここからレーダ装置を制御・監視するとともに観測が行なわれる。この間をケーブルにより両方向伝送をする。

(1) ビデオ信号およびモニタ信号は、44 mm 9心アルミシース細心同軸ケーブルにより伝送する。送信側には励振用増幅器を設け、伝送

損失を補償し、受信側には雑音除去回路を設け、誘導雑音を除去することとした。

(2) 微小信号、DC信号などの誘導妨害を受けやすい信号は、シールド付き制御ケーブルにより伝送する。その他の信号は普通の制御ケーブルとした。

(3) ケーブル伝送による信号の遅延は、トリガパルスを遅延させて、指示装置の掃引開始点を送信パルスと一致させることにより補正した。

(4) これらのケーブルは、別々のパイプを通し、かつその間隔を大きくとり、相互誘導を防いだ。

#### 4.7 保守

据付納入後の保守は、全面的に客先で行なうことになっているが、その体勢は、バルバドスのCMI(1号機設置場所)をメインテナンスデポとし、各サイトへの保守運用の指示、部品の補給あるいは、各サイトから送られてくる故障品の修理を行なう。一方、各サイトでは、日常の保守点検をし、ユニットの交換程度の簡単な修理を行なう。予備品もサイト用とデポ用とが準備されており、各サイトの予備品としては、

(1) 回路ユニット

(2) ヒューズ・ランプなどの消耗品

(3) 入手に時間のかかる部品

(4) マグネトロン・TR管・ATR管・マイクロ波ダイオード・ブラウン管・クライストロンなどの特殊管

などである。すなわち、サイトでは、日常の消耗品の交換を行なうとともに、故障時にはその個所を発見し、回路ユニットを交換することにより装置を正常にもどす。故障品はCMIへ送付し、そこで部品の交換・再調整等の修理を行なう。したがって、CMIには、ベアリング・ガスケットなどの機械部品を含み、大部分の部品が準備されている。とくに、受信装置のIF、AFC部の点検・修理を容易にするための専用のテストベンチが設けられている。

#### 5. 現地工事

現地工事に対して与えられた条件は、つぎのとおりである。

(1) 工期は1ヵ所当たり、試験調整期間を含め2ヵ月とする。ただし、1号機および3号機は、下記の気象研究生の教育実習期間を1ヵ月加算し、3ヵ月とする。

(2) 当社では監督員のみを派遣し、作業者は将来このレーダを使用する気象研究生(この種の工事には全くの未経験)とする。ただし、特殊な技術を要する作業のときは、現地業者を使用できる。

(3) 工事は1~2号機、3~5号機の2グループに分け、各グループに2名の監督員を派遣する。うち1名は最初の1台を据付けた時点で帰国し、他の1名で残りのサイトの工事監督・試験調整をすべて行なう。

(4) 工事に必要な材料・工具一切は当社より納入する。ただし、クレーンは客先に準備する。

このような条件の下に、1号機の据付工事を完了し、以下順次工事が進められるが、下記に考慮した点を示す。

##### (1) 工事材料

現地で入手できないので、工事材料は日本から送り出した。現地からの情報をもとにして、材料を準備したが、情報不足の点は過分に見積りがちとなるので、現地と密接に連絡をとり、過不足とならないように留意した。

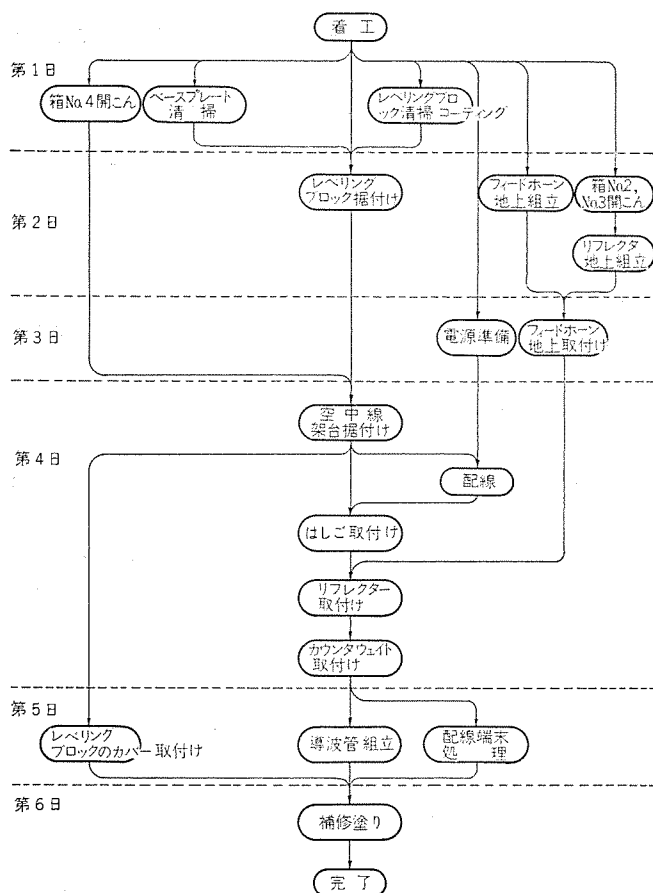


図 5.1 空中線装置組立・据付工事 ネットワーク  
Network chart of antenna installation.

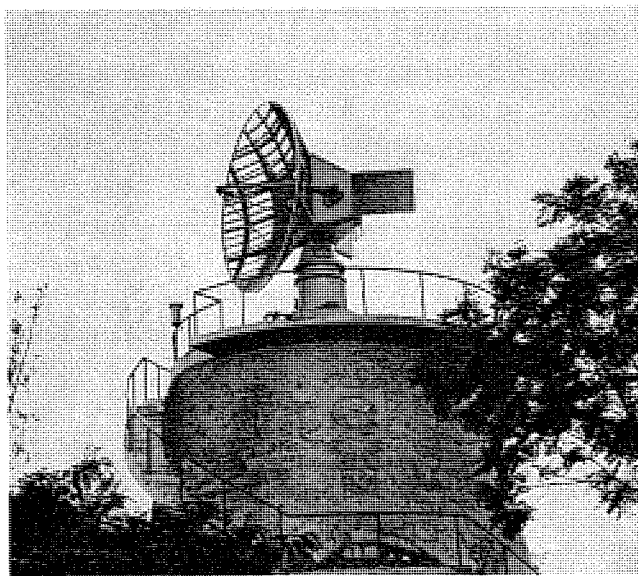


図 5.2 空中線装置 (バルバドス, CMI)  
Antenna installed at CMI, Barbados.

## (2) 工具

工具も現地での入手はできないので、必要なものの一切を送り出した。これによって、ミリとインチの読み違いが起こるといような事故も避けられた。

## (3) 工事要領書

専門外の人にもわかるように、工具の使い方から配線要領等までを詳しく説明し、結線・布線順序についても具体的に示し、図面は立体図を取り入れ、ボルトのそう入方向なども容易にわかるようなものとした。また、作業者が工事内容を前もって知ることができるように、工事要領書とともに、一部のケーブル、接せん(栓)類を現地に送り、監督派遣に先立ち、同軸接せんの組立、ハンダ付けなどの実習が行なわれた。

## (4) 工程計画

工程計画は、単に予定時期を示すガントチャートだけではなく、工事の優先順位を他との関連で示したネットワークがわかりやすい。とくに途中で一部を変更せねばならなくなったときなどには、ガントチャートだけではどの部門までに影響をおよぼすかがわかりにくく、途中で意外な手待ち作業が出てきたりする恐れもある。図 5.1 は現地で空中線装置の工事を進めるために使用したネットワークで、これに組立要員の業務分担を記入して工事に着手した。

## (5) バックアップ

国内にバックアップ体制ができていて、現地での予測できない問題にすぐ対処できることは、現地工事を円滑に進める一つの大きな条件となってくる。今回の1号機では、客先側の工事準備に大幅の遅れがあったにもかかわらず、予定どおり工事を終え、3ヵ月で完了することができたのは、いくつかの悪条件を予測し、国内で準備していったことが役に立ったとともに、上記のバックアップ体制によるところが大きい。

なお、アンティガおよびジャマイカでは、12mの鉄塔を建設し、その上に空中線を設置する予定になっている。さらに、アンティガでは約1kmにわたるケーブルの布設工事が加わる。

## 6. む す び

以上は、カリブ海諸国に輸出された気象レーダの概要であるが、バルバドスに1号機を据付直後、カリブ海を襲ったハリケーン“Dorothy”を完全に追跡し、大いに予報に役立ったことが現地ニュースとして報道された。今後もカリブ海地方の気象観測、予報、とくにハリケーンの観測に活躍することが期待されている。

このレーダ装置は国連からの受注であったが、国連のWMO本部からの技術援助要請に応じて、気象庁ではとくに現地にRADAR EXPERTとして、建設・操作・保守などの教育・指導のため、気象庁東京管区気象台志崎主任技術専門官を派遣された。また、工場完成検査には、気象庁測器課が全面的にこれを担当され、一方、現地より来日した訓練生に対しても種々ご指導いただき、文字どおり国境を超えた国際協力がなされた。ここに関係された気象庁担当官に深甚なる謝意を表する次第である。

また、本プロジェクトの受注・設計・工作・検査・据付・調整の各段階にわたり、多数のかたがたのご指導とご協力を得ることができて、これが本工事を短期間に完成し得た要因である。ここに特に記録にとどめるとともに、紙上を借りて関係のかたがたにお礼を申し述べたい。



## 雷雲予知システムと情報伝送

青 木 文 雄\*

御法川秀夫\*\*・小 林 茂\*\*・山本 悌三\*\*

## Thundercloud Warning System and Communication System

Tokyo Electric Power Co., Engineering Research and Development Laboratory Humio AOKI

Mitsubishi Electric Corp., Communication Equipment Works Hideo MINORIKAWA・Shigeru KOBAYASHI

Teizô YAMAMOTO

The thundercloud warning system comprises a weather radar, signal processing devices, indication devices and transmission devices for the information pertaining to the thundercloud. The system aims at the prediction of thundercloud occurring in an area which is liable to affecting the power lines. It transmits warning information to related sections so as to take every possible precaution to avoid disasters to be caused by the thunderstorm and reduce them to the minimum. As a result of practical operation in the field, it has been proved very successful in accomplishing the aim.

This paper explains the processes in distinguishing the thundercloud from the others and the implementation about them in detail.

## 1. ま え が き

電気事業や航空関係の分野では、雷による被害を防止するため大きな努力が払われている。とくに電気事業の分野では、雷害は塩害と並んで事故件数の上位を占めており、これらのいずれも気象現象と密接な関係があって、早期に予測することが困難であるため、有効適切な方策が以前から望まれていた。

従来までは、この対策として地上の観測員による目視観測が行われてきたが、次のような問題があり精度の良い観測は期待できなかった。

(1) 気象関係官署とは異なり、観測のために専任の人員を確保することがむずかしい。

(2) 目視観測では、電光または雷鳴など発雷してから雷雲の発生が確認されるため、情報が遅れがちであること。

(3) 地上からでは雷雲の発生地域や大きさ等の定量的なデータが入手できないこと。

このほかの手段としては、以前から気象レーダによる実況追跡が大きな効果をもたらすことが知られており、レーダ指示器のパターンを観察してこれを行なうことができたが、目視観測の場合とどのように情報が遅れがちであったり、雷雲と判定するまでの手順が複雑であったため、一般的手法となるにはいたらなかった。

このため東京電力(株)では昭和42年度から当社と共同で雷雲の自動探知に関する実用化研究に着手し、昭和43年度には雷雲に関する多くの有益なデータを収集することができた。ついでこれらのデータから雷雲を識別するための処理方法を確立することに成功し、昭和44年度からそれらの内容を盛り込んだシステムの評価試験を行なった結果、十分にその性能を発揮することが証明され実用化に成功した。これにより雷雲発生から発雷までの間に余裕をもって応動体制をとることが可能となった。

このシステムは冒頭にのべたように気象レーダ、信号処理装置、表示装置および情報伝送機器で構成されるが、レーダを使用しているため、広い地域の状況を迅速には握ることができ、また処理の結果得られた雷雲の信号を指示器上にえがかせることにより、その形

状や移動方向まで読み取ることができるという利点をもち、また異常気象の際には通常の気象レーダとして用いることにより、局地的な気象観測をきめ細かく行なうことができる。

## 2. 雷雲予測の原理

## 2.1 雷雲の一般的性質

飛行機を使った観測によれば、雷雲は強い鉛直流を伴い、雨とひょうを生成して、セルと呼ばれるいくつかの活発な中心をもっているとき盛んに放電することが判明している。このセルは一定の寿命を持ち、全過程は成長段階、成熟段階および消滅段階といった約1時間程度のものであるが、この内成熟段階では降水や雷電を生じ、およそ15分から20分程度継続する。

非常に大きなまた持続する雷雲は、このようなセルが次々に発達してできるものといわれている。

また積乱雲の中の激しい電氣的活動は、通常強い降水と同時に起きるが、電光を発生する前にも弱い降水があり、初めの電光放電はレーダに最初のエコーが現われてから、すなわち雲の内部で降水が始まってから約10分から20分後に発生することが多いといわれている。

## 2.2 レーダから見た雷雲の特性

雷の発生機構はおよそ2.1節にのべたようであるが、昭和43年に発雷中の雷雲をレーダで捕捉して、その高度と強度を測定した結果によると図2.1(a)(b)のようであった。

この観測は発雷中の雷雲を捕そく(捉)するため、水平方向にアンテナを回転させて最も受信電力の大きい方向で停止させ、次に仰角を変化させてほぼ雲底から雲頂までの受信電力を測定したものである。

図2.1(a)には、雷雲のほかにも山岳や降雨などによるエコーのデータを比較のために記入してある。

同図によれば、雷雲は受信電力が約-70 dBmの点でほとんど高度6,000 m以上にあり、そのほかのエコーはほとんどそれ以下の高度にあることがわかる。

また図2.1(b)はすべて雷雲のデータであるが、積乱雲によって発生する雷(熱雲)と、たとえば前線の中で発生する雷(界雷)と

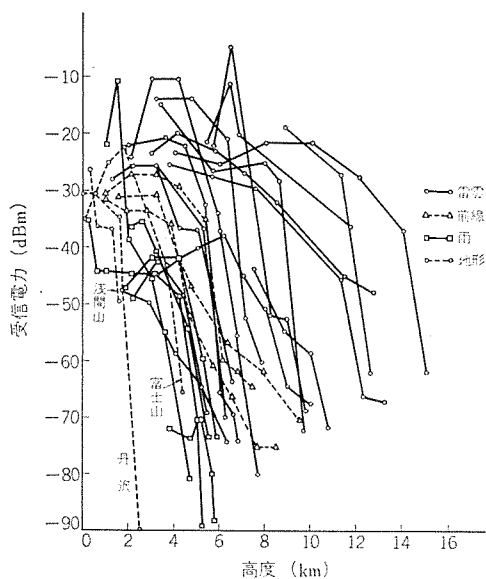


図 2. 1(a) 雷雲・前線・雨および地形の高度・強度分布  
Received power at variable altitudes reflected from thundercloud, front, rain and the ground.

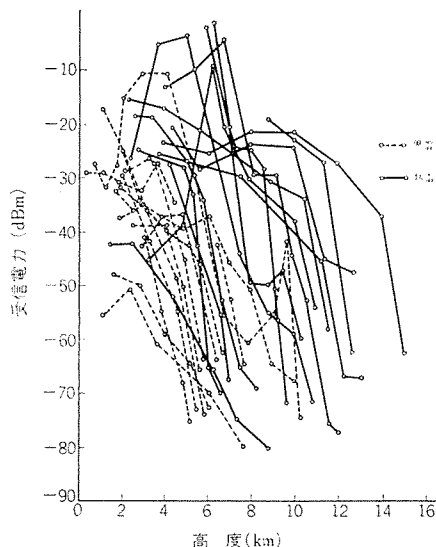


図 2. 1(b) 雷雲エコーの高度・強度分布  
Received power at variable altitudes reflected from thunderclouds.

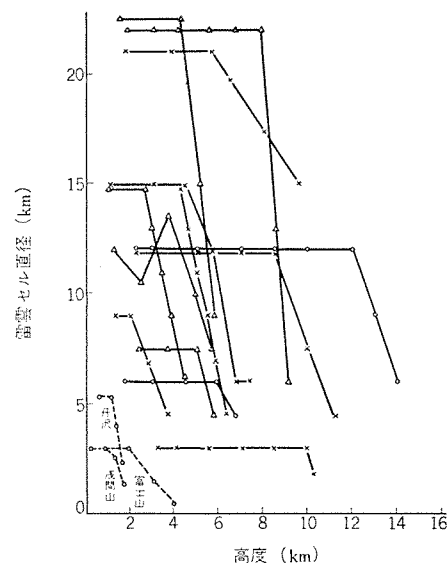


図 2. 2 雷雲セル直径・高度（比較のため地形によるエコーも記入してある）  
Diameter of thundercloud's cells at variable altitudes.

にわけた場合で、これを見ると高さおよび強さともに熱雷が著しくまさっており、雷害が夏に多発することを考えると発生ひん度もさることながら、雷の規模や強さが雷害と密接な関係にあるであろうことが推測される。

次に雷雲はセルを有していることは前にのべたとおりであるが、このセルについて得たデータを図 2. 2 に示す。すなわち、雷雲は雲頂付近までほぼ同じ直径を有するいわゆる円筒形をしており、大きさは約 3 km から 20 km の範囲に分布している。

以上にのべたようにレーダで雷雲を観測した結果、その著しい特性をとらえることができ、次節でのべる雷雲検出の手順を確立するための大きな手掛りとなった。

### 2. 3 雷雲検出の手順

2. 2 節でのべた雷雲の特性を、おのおの判定条件としてとり入れると雷雲検出の手順を構成することができる。すなわち、受信したエコーを、高度およびその高度における受信電力がおのおの 6,000 m 以上および -70 dBm 以上という条件を与えて、これを満たすものだけをとり出す。つぎにこれらのエコーの物理的な大きさを適当な方法で計算し、セルの大きさと比較してこの条件を満たすものだけを雷と判定する方法である。

ここで注意しなければならないのは、目標をアンテナが 1 回走査する間に電波が目標を照射する回数、いわゆるヒット数は同じ大きさをもつ目標であっても距離の遠近によって異なるので、この補正を行わなければならないことである。

また図 2. 2 で説明したように熱雷と界雷とでは高度、および強度に大きな差が見られるので、季節的にこれらのパラメータを変えればよりいっそう確実な判定を行なうことができる。

さて雷雲はいきなり雲頂が 6,000 m を越えた状態で発生するのではなく、これよりも低い高度で成長が始まり、徐々に発達しながらその高度ならびにその強度を増していくのであるから、予知のための判定条件としてうえにのべた雷雲であるか否かの判定条件を用い、雲頂がこのレベルを越えたとき初めて雷雲発生と判断することにすれば、発雷以前に雷雲を予知することができる。あとにのべるように

実際に観測した結果では、雷雲の予知から発雷までの時間が 20 分以内であったケースが 50% 強、それ以外は 20 分以上経過してから発雷しているので、うえにのべた方法により十分予測の機能を果たすことが実証された。

また判定条件に用いたパラメータの数値は、昭和 43 年から 44 年にわたる実験の結果から十分な妥当性を有することが判明した。

## 3. 雷雲予知システムの構成

このシステムは、前節でのべた予知法に基づいて図 3. 1 に示す機器で構成されており、大別すると気象レーダ、信号処理装置、表示装置

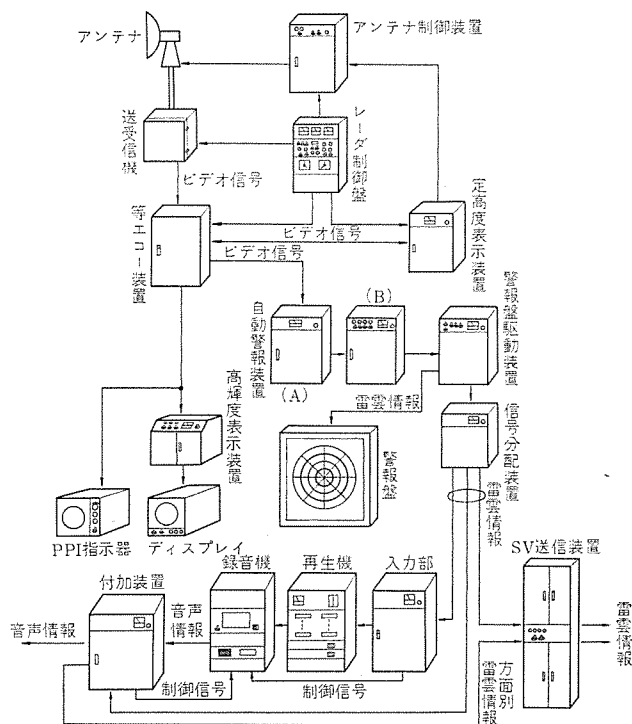


図 3. 1 雷雲予知システム  
Pictorial diagram of thundercloud warning system.

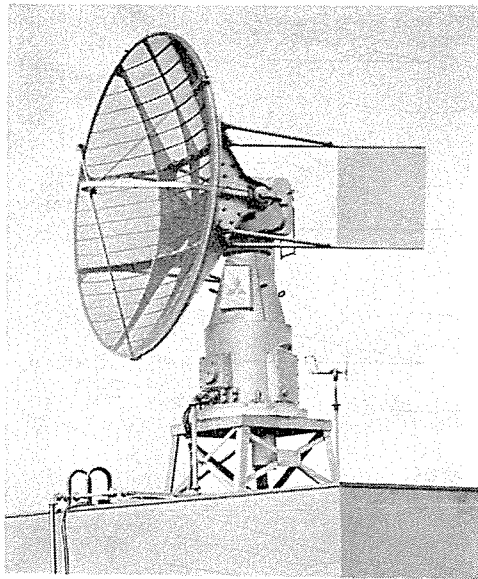


図 3.2 空中線装置  
Antenna.

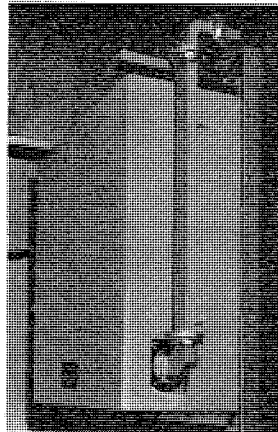


図 3.3 送受信装置  
Transmitter-receiver.

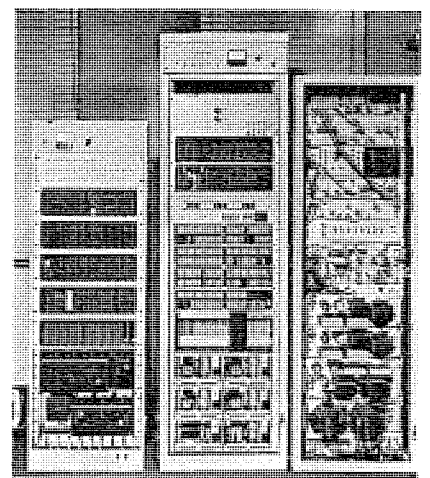


図 3.4 信号処理装置  
Signal processing devices.

置および情報伝送機器の四つの部分に分けられる。

レーダ系では雷波の送信と受信、および受信した信号を増幅してビデオ信号に変換したり、アンテナを定められたモードで駆動させる。

信号処理系では、まずレーダから与えられるビデオ信号をレーダ方程式にしたがって計算し、ついで予知条件からきめられる一定高度付近のビデオ信号だけを抽出する。

この信号はさらに強度ならびに大きさの検定をうけ、ここで雷雲か否か決定される。この処理は各観測区分（距離 25 km と方位 11.25° で囲まれる領域で総数約 150 区分）の数だけ繰り返され、各区分ごとに雷雲の有無が決定される。

表示系では、処理装置から与えられる区分ごとの雷雲状況を、地勢・送電網などの設備配置と比較して迅速に対応措置を決定できるように、これらを記入したグラフィックディスプレイパネル上に表示する。

このほかにも雷雲のみを指示器上にえがかせて詳細な雷雲の形状や大きさを知り、また概略の移動方向を推定して雷雲の接近より前に該当個所に警報を発することができるように指示器が設けられている。

情報伝送系には、グラフィックディスプレイパネルに表示する区分ごとの雷雲状況を、遠隔地にも伝送して表示するための遠隔表示伝送系、グラフィックディスプレイパネルに表示される情報を、音声で伝達するために音声情報を作成する自動音声編集装置、ならびにこの音声情報が必要個所に転送するための機器がある。

次節以降に各機器を概略説明する。

### 3.1 レーダ系

送信機で発振された 5,300 MHz 帯のマイクロ波は、アンテナに導かれてここからペンシルビームとなって空中に発射される。送信電（尖）頭出力は約 60 kW、パルス幅は約 1.2 μs で、アンテナは直径 3 m のパラボラアンテナであり、ビーム幅は水平・垂直共約 1.5 度である。

このアンテナはあとにのべるレーダ制御盤からの指令によって空中線制御装置で駆動されるが、その制御はサイリスタ制御のサーボモータ方式で行なっているので、非常に精度の良い位置制御ができると同時に、強風下においても回転むらのない正常な動作を行なわせることができる。

一方目標から反射された電波は、再びアンテナに捕えられて受信機

に導かれ、中間周波数に変換された後増幅される。受信機で十分な増幅が行なわれた後、検波しビデオ信号として次段の信号処理装置に送られる。

なお受信機には対数特性をもたせてあり、広い入力信号に対して出力が飽和しないようになっている。また送信機と受信機は同一のきょう（筐）体におさめられている。

また通常の気象レーダとどのようにこのシステムには、PPI などの表示装置が設けられているが、表示装置については 3.3 節にのべる。

レーダ制御盤はこのシステム全体を制御するためのもので、電源投入・送信 ON-OFF・アンテナ制御などの操作を 1 個所から集中的に行なえるものである。

### 3.2 処理系

処理装置には、レーダ方程式を解くための等エコー装置、定められた高度範囲のビデオ信号だけを抽出する定高度表示装置といったアナログ処理装置、ビデオ信号の強さを検定し、またビデオ信号の量子化を行なうエコーの大きさを計算し、雷雲か否かの判定を行なうデジタル処理装置がある。

等エコー装置では、次式で示されるレーダ方程式から目標の強さ  $R$  を求める。

$$P_r = \frac{CBR\beta}{r^2} \times 10^{-0.2K_1 r} \dots \dots \dots (3.1)$$

$P_r$  : 受信電力       $R$  : 目標雨量強度

$C$  : レーダ定数       $r$  : 目標距離

$B, \beta$  : 雨滴定数       $K_1$  : 大気等による電波の減衰量

ただし、3.1 節でのべたように受信機からの信号は対数の形をとっているため、式 (3.1) の両辺の対数をとって次式の  $\log R$  を求めている。

$$\log R = \frac{1}{\beta} \left\{ \log P_r + 2 \log r + \log \frac{1}{BC} + 0.2K_1 r \right\} \dots \dots \dots (3.2)$$

ここで  $\log P_r$  は受信機出力である。

送信ごとに受信される信号に対して式 (3.2) の計算を行なうが、これにより目標強度がその距離の遠近には無関係となり、また電波が進行（往復）中に受ける減衰も正しく補正される。すなわち目標の正しい強度が求められる。

つぎに一定高度からのビデオ信号抽出は、まずアンテナをあらかじめ

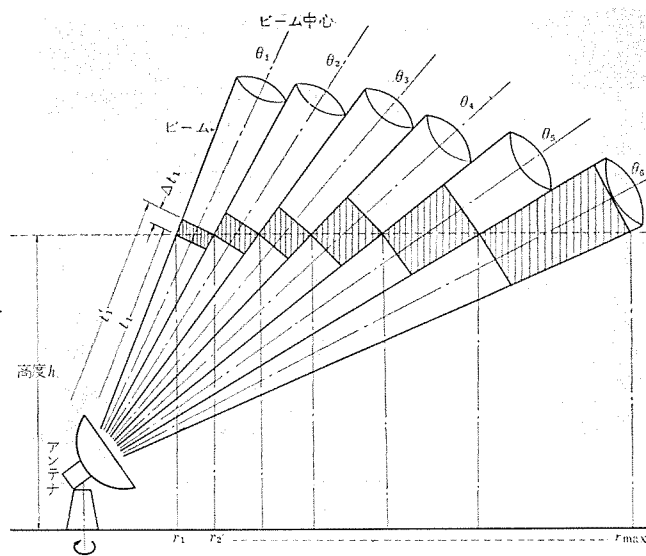


図 3.5 一定高度からのビデオ信号抽出  
Sampling method of echo signal at constant altitude.

め定められた角度（この角度はアンテナから発射される電波のビームが互いに接するように決められている）に駆動し、その角度で送信されたときのエコーを受信するが、このとき所定の高度を電波が往復するに要する時間に変換して、この時間内のエコーだけをとり出すことで実現している。

すなわち図 3.5 に示すようにビームが互いに接する角度にアンテナの仰角を変化させる。このときおのおのの角度を  $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n$  とする。ここでたとえば仰角が  $\theta_1$  のとき図でビームの左端が設定した高度  $h$  と交わるまでの時間が  $t_1$ 、同じビームの右端が高度  $h$  と交わるまでの時間が  $t_1'$  であるとしたとき、 $t_1$  の後  $\Delta t_1 = t_1' - t_1$  の時間だけ信号（この場合には等エコー装置出力の  $\log R$ ）をとり出せば、同図でハッチングした部分、つまり設定した高度を中心としてある幅をもつ空間にある目標だけが抽出されることになる。

この処理を、アンテナが水平方向に一回転する間繰返して行なえば、距離  $r_1$  から  $r_2$  の間の環状の地域の高さ  $h$  における目標をすべてとり出すことができる。どうの処理を  $\theta_2$  から  $\theta_n$  のすべての仰角について行なえば、最大観測距離  $r_{\max}$  までの上空の目標を抽出することができる。

このように等エコー装置の出力が定高度表示装置でサンプリングされて自動警報装置(A)に送られるが、ここではまず強度の条件をみたすか否かが検定される。これは前にのべた  $-70$  dBm に相当するレベルと  $\log R$  の比較を行ない、このレベルを超過するものを識別する。次いでアンテナ位置から  $1$  km ごとに量子化を行ない、各レンジで  $-70$  dBm を超過したもののだけを取り出して増幅し、量子化ビデオに変換する。

この量子化ビデオは、カウンタに送られてカウントされ観測区分の距離の区切りごとに、そのカウント数が自動警報装置(B)に送られストアされる。ストアするアドレスはカウント数のトランスファに先立って送られるアドレスデータで決まり、距離と方位角で構成して特定の観測区分を指定する。

これまでの手順を図 3.6 に示す。

自動警報装置(B)では、送信ごとに送られてくるカウント数をつぎつぎに加算するが、アンテナの回転につれてアドレスを構成する方位角が変わるため、カウント数はアドレスにしたがって指定された場所に自動的に切替られてストアされる。

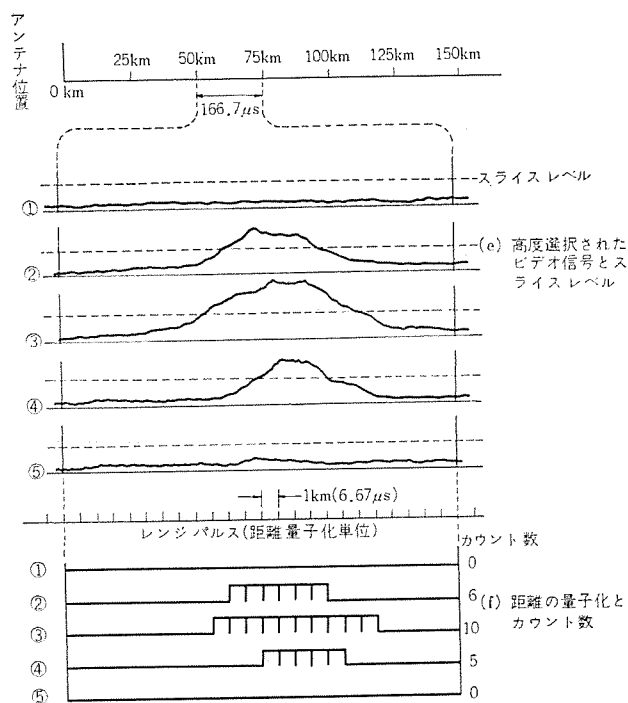
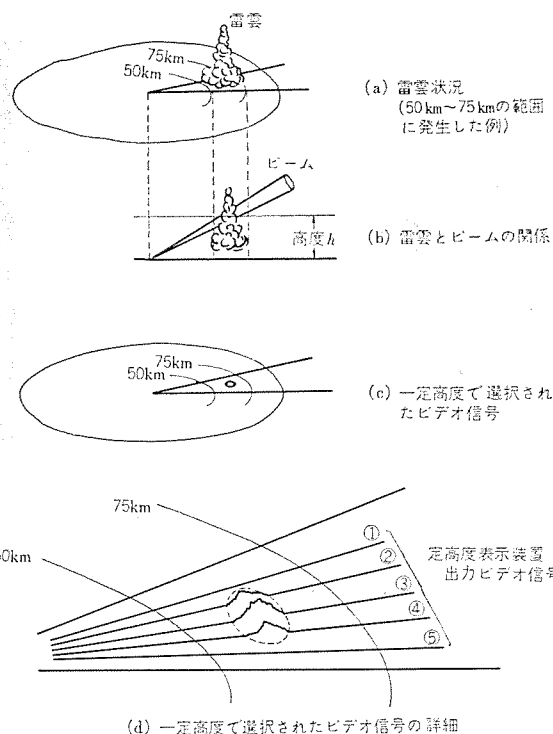


図 3.6 受信信号処理  
Processing of received signal.

全空間の走査が完了すると、ストアされていたメモリの内容が逐次すべてアクセスされて雷雲か否かの判定を受けるが、この周期は約 3.5 分に一回である。

この判定は雷雲の大きさと得られたエコーのカウント数を、ヒット数を考慮しながら比較して、カウント数が大なる場合に雷雲とするものである。

この結果はすべての観測区分の判定終了後、直ちに次の警報盤駆動装置に送られる。

### 3.3 表示系

表示系の内のグラフィックディスプレイを行なう警報盤は、自動警報装置(B)からの雷雲情報をうけた警報盤駆動装置により駆動される。

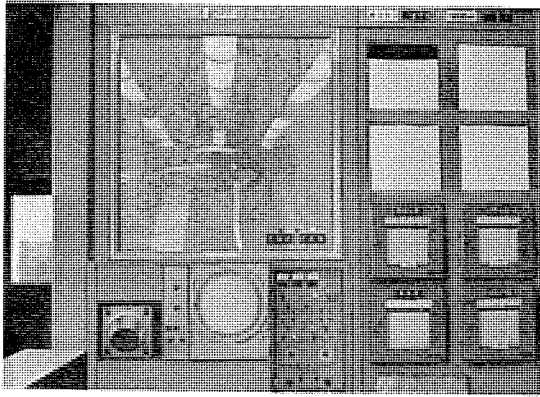


図 3.7 表示装置

Display system.

(radar\_controller, bright display, PPI, graphic display)

この警報盤は、1.5 m 角で奥行は約 20 cm、主要な地勢や送電線電力施設などを記入したフィルムを、前後から薄いアクリル板ではさんだ構造をしており、背面には観測区分の区切りを設けて、その内部に照明用のランプを設置してあるので、このランプが点灯すると、前面ではその区分だけが明るく見え、雷雲発生地域を確認することができる。

つぎにレーダが捕捉したエコーの状況を観察するため、通常用いられる PPI 指示器が設置してある。

この指示器は、レーダ設置点を中心として観測範囲内を平面図のように表示するもので、この画面からエコーの距離、方向および大体の強さを知ることができるが、暗い場所では見られないという制約がある。

この指示器に加える信号を、たとえば定高度表示装置の出力にすれば、地上の山岳等によるエコーを除去した一定高度のエコーのみを観察することができる。

このほかの指示装置としてとくに設置した高輝度表示装置がある。これはうえにのべたように通常の PPI 指示器は暗室でしか観測できないために、電力供給の監視をおこなうような明るい室内でも明りように観察できるようにするためのものである。

高輝度で表示する方式は、PPI 指示器と同じビデオ信号を蓄積管の書込側に入れてパターンを保持させる。一方読取側では、この保持されたパターンを繰返し連続的に高速度で読出してディスプレイにえがかせることにより目的を達するものである。

なお、この高輝度表示に変換する際に、極座標で書込み側に印加された信号は、X-Y 座標の TV 方式で走査線数 945 本の高分解能をもった信号に変換される。

また、この装置では蓄積時間を調整することにより、パターンの残像時間を約 1 分程度にまでおさえることができるので、たとえば航空機などの航跡を連続して監視する場合には非常に有効である。

#### 4. 情報伝送

電力事業において、発雷情報は、運用・経済・安全面においてきわめて重要であり、分散された事業所に的確に連絡通報することが望ましい。

発雷情報は接点伝送による表示警報と、電話および専用回線による音声通報により行なわれる。

##### 4.1 音声による情報の編集と伝送

グラフィック表示やランプ表示はいずれもランプの点灯によって情報を

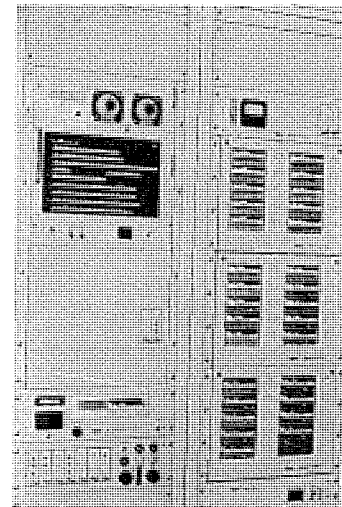


図 4.1 自動音声編集装置

Automatic announce machine.

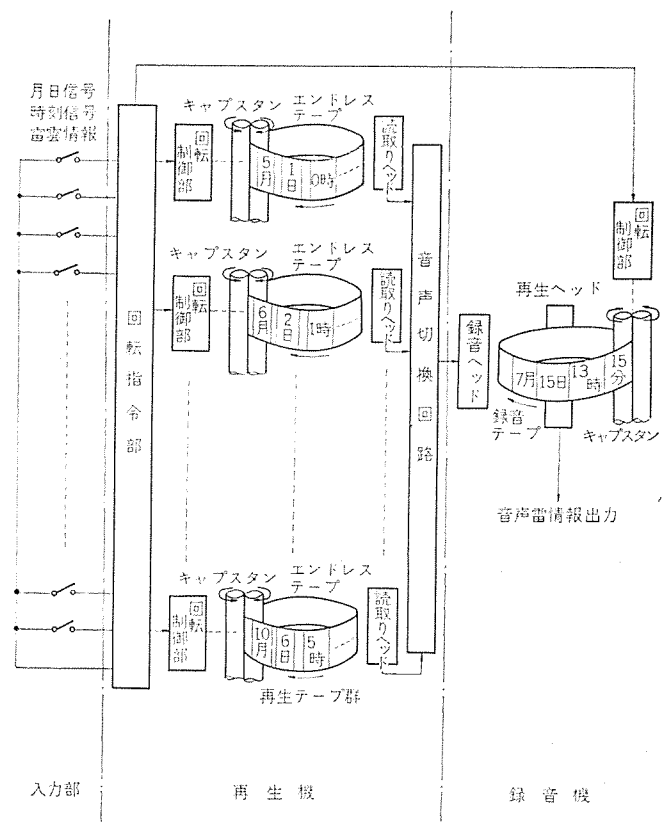


図 4.2 自動音声編集装置構成

Constitution of automatic announce machine.

伝達する手段であるが、同じ情報を音声でも伝送する目的で自動音声編集装置の開発を行ない実用化に成功した。

これは情報を月日・時刻・雷雲状況および雷雲発生地域の順序で通報する形式とするため、図 4.2 に示すように多数のエンドレステープに、単語もしくは語句のレベルで情報を構成するに必要な言葉をすべて録音しておく（これを再生テープと称する）。この録音された位置には適当なアドレスを付与して録音内容がアドレスで呼出せるようにする。

一方編集のためにこれらとは別にもう一本のテープを用意し（これを録音テープと称する）、情報にしたがって再生テープのアドレスがアクセスされてその内容が再生されるとき、同期して回転し、再生テ



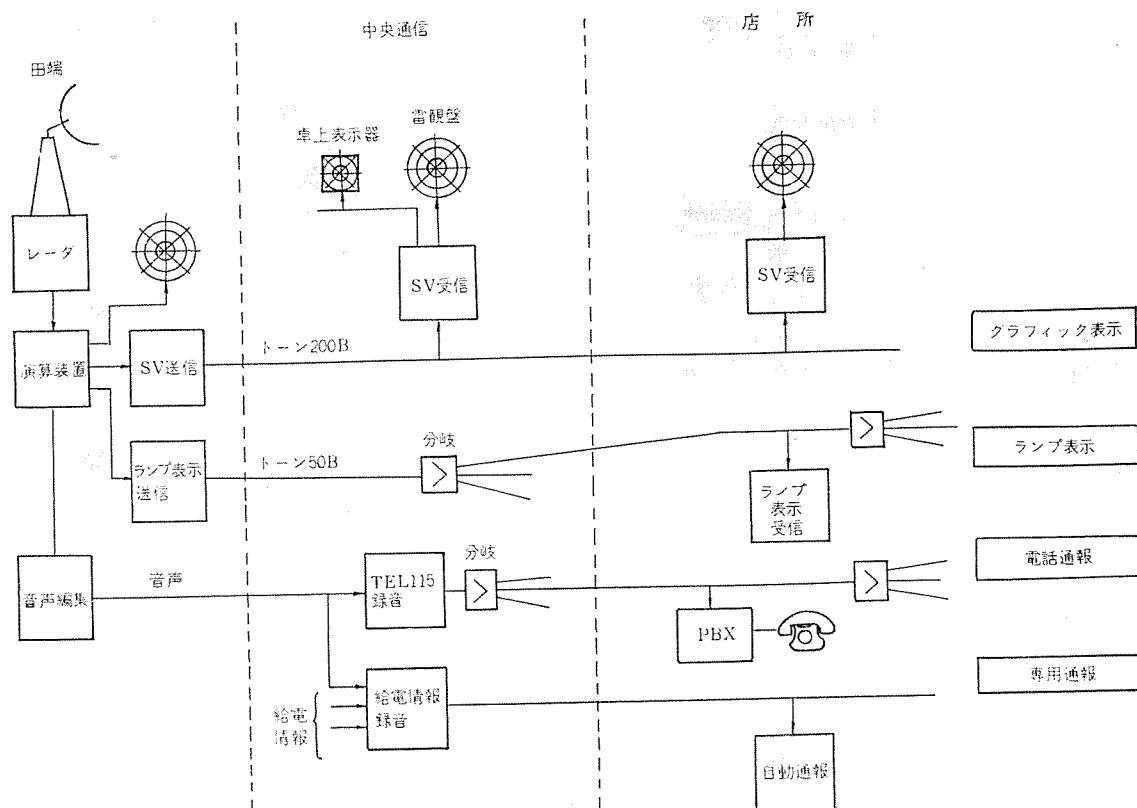


図 4.3 伝送システム  
Communication system.

ープの内容が録音テープに複写されるようにする。

再生テープがアクセスのために回転しているときは、録音テープは停止している。

このような構成をもつ自動音声編集装置に、自動警報装置(B)から信号分配装置を経て雷情報が並列に与えられると、情報の形式にしたがって、まず「月」の単語の内で指定された月がアクセスされて再生され録音テープに移される。続いて「日」「時刻」……の内容が次々と録音される。

この録音テープを最初から再生すれば、人間が話すのと同様な品質で聞きとることができる。

このシステムでは、編集した情報を一度再生しながら本店にある情報装置および録音装置に転送し、そこからあらためて該当地域の給電所に通報する。

それ以外のサービスのために、録音装置を用いて電話による問合せ形式で随時情報を入手できる。

#### 4.2 グラフィック表示

信号分配装置の出力接点を受け、地域ごとの弱雷・強雷情報、観測高度情報および運用状態を示す情報を表示する。

グラフィック盤は、各給電指令所とも同一で142区分におおの弱雷は白ランプ点灯、強雷は赤ランプフリッカ点灯させる。高度表示は0.5 km単位で数字表示される。他の出力接点は上記とは別に11区分に編成変更し、小形桌上表示器に接続している。

#### 4.3 発雷ランプ表示

簡易形伝送装置により、支店・営業所・発電所へ遠隔表示を行なうもので、全地域を3区分し一っせいで通報する。

A地域	群馬・多摩川地方	周波数 $f_2$
B地域	茨城・千葉地方	周波数 $f_3$
C地域	神奈川・山梨地方	周波数 $f_4$

地域ごとに  $f_2, f_3, f_4$  の各1周波数を割り当てている。

伝送情報は下記のとおり

(1) 発雷なし	消灯
(2) 弱雷発生	白ランプ点灯
(3) 強雷発生	赤ランプ点灯、ブザー鳴動自動停止
(4) 強雷多発	赤ランプ継続点灯にてブザー再鳴動自動停止

表示器は付加回路を用いてさらに孫表示器に接続される。

送信装置は田端給電指令所にあるが、信号分配装置の出力接点と情報装置の録音完了までに約6分の差があり、発雷ランプ用情報は6.5分遅れて送出される。

#### 4.4 伝送路

マイクロ・UHF・電線・ケーブル等の回線を通して伝送されるが、音声・信号伝送共に中継分岐が著しく多く、専用の分岐増幅器を設置した。

### 5. 電気的諸元

#### 5.1 レーダ系および処理系

##### レーダ系

アンテナ直径	3 mφ
ビーム幅	約 1.5° (水平・垂直共)
回転数	10 rpm
送信周波数	5,300 MHz 帯の一波
送信せん(尖)頭出力	60 kW (ただし送信管出力端にて)
送信繰返周波数	約 400 Hz
受信特性	対数特性
対数特性範囲および直線性	60 dB 以上 ± 1 dB 以内

## 処理系

演算範囲	3 km～150 km
測定レベル（雨量換算）	0.5 mm/h～100 mm/h
選択高度	0.5 km～15 km（0.5 km～10.5 km までは 0.5 km ステップ, 11 km～15 km までは 1 km ステップ）
全空間の走査時間	約 3.5 分
距離量子化単位	1 km
距離区分	150 km を 25 km ごとに 6 分割 (25 km, 50 km, 75 km, 100 km, 125 km および 150 km)
方位区分	32 等分割
最大観測区分数	192 区分

## 3.2 伝送系

### (1) グラフィック用遠隔表示装置

伝送方式	電気学会通信専門委員会 CDT 方式
伝送容量	低高度 142 点, 高高度 142 点, 高度表示その他 26 点
伝送速度	200 ボー

### (2) 発雷ランプ表示装置

伝送方式	AM および FS 変調
伝送情報	弱雷, 強雷, 強雷多発
伝送速度	50 ボー
構造	壁掛形, 150 H×300 W×250 D

### (3) 中継用分岐増幅器

用途	音声用, 信号用
分岐数	5, 10, 15 分岐

## 6. 評価

電気事業においては、冒頭述べたように需要の急増に対処して電力設備の拡充強化をはかるとともに、その供給信頼度の向上に努力しているが、大規模な電源地点の遠隔化、送電系統の長距離化など設備がますます巨大化しつつあるため、とくに雷害による設備の損壊を最小限にとどめ、供給支障を解消することが急務になっている。

このような中であって、発雷を早期に予知し、その情報を電力系統の運転・保守に活用する「雷情報自動通報システム」を開発実用化した成果は、非常に高く評価されるものと考えられる。

すなわち、この自動化システムの完成によって、次の効果が上がりつつある。

(1) 大部分の発雷が 20 分間以上の余裕をもって予知できるため、その間的確な系統操作を行なうことができ、また事故発生に対応する保守態勢を事前に敷くことができる。

(2) 発雷の予知から通報まで完全に自動化したことによって、

従来この種の観測には気象に関する専門の技術者あるいは専任者が必要であったが、これが不要になり省力化ができる。

(3) 人手によりレーダを使用して雷観測する場合には、定時間隔の断続観測しか実施できなかったが、自動化によって連続観測ができるようになり、発雷の見のがしを解決できる。

以上のとおり、今後ますます実用効果が発揮されるものと期待される。

一方ここでさらに新技術開発を必要とするものに、レーダ送受信機をあげることができる。すなわち、レーダ送受信機は、従来間欠つ使用が中心であったことも一つの理由であるが、連続運転した場合マグネロン等の特殊管を使用しているため、MTBF が他の自動化設備に比べて低い点である。したがって、送信管をはじめとする短寿命部品の改善をはかり、システム全体の信頼度の調和をはかることが当面の課題であると考えられる。

これによって雷害期間を通して連続運転が可能になり、いっそう信頼性の高いシステムが期待できることになり、今後も引続きこの面の開発に努力して行きたいと考える。

なお、今回実用化したシステムは、発雷自動警報・自動通報・高輝度表示など新技術開発成果を組合せたものであり、その技術面の成果の発揮によって着実に裏付けられるものと考えられる。

## 7. むすび

以上紹介したように、レーダと処理装置の結合により世界でも初めての雷雲予知システムを完成させ、実際の運用の結果からも明らかな効果が認められて、今年度をもって成功裡に研究を終了させようの見込みである。すなわち昭和 43 年度から同 44 年度上期までの発雷に対するレーダによる雷雲の予測率は約 90% に達し、ほとんどの雷をその発雷まえに捕捉することができた。なお現在では観測高度を高低の 2 段とし、低高度の観測で早朝発見につとめながら高高度の観測で警報の信頼度を向上させている。

これにより系統運用・需給運用ならびに電力設備保守の面において余裕をもってその対応策を検討、実施可能となった。

最後にこの研究期間中ご指導いただいた東京電力(株)電子通信課・中央給電指令所をはじめ、現地においてご便宜を計っていただいた田端系統給電指令所のかたがたに心からお礼を申上げる。

## 参考文献

- (1) B. J. Mason : 雲と雨の物理 (大田, 内田訳), 総合図書
- (2) 気象ハンドブック, 技報堂
- (3) 斉藤 : 気象の教室, 東京堂出版
- (4) 山内, 松原, 徳丸 : レーダブライディスプレイ装置, 三菱電機技報 44, No. 3, 450 (昭 45)

# MELCOM 83 オンライン端末計算機システム

松 永 宏\*・渡辺 義彦\*・本間 雅美\*  
石 坂 充弘\*\*・酒 井 勝 也\*\*

## MELCOM 83 On-Line Terminal Computer System

Kamakura Works Hiroshi MATSUNAGA・Yoshihiko WATANABE・Masayoshi HONMA  
Central Research Laboratory Michihiro ISHIZAKA・Katsuya SAKAI

Recently, to establish Management Information System-MIS-has been essential along with the development of the scale of enterprises and the complexity of management.

On-line total system using high performance remote terminals is required for this purpose. MELCOM 83 on-line small electronic terminal computer which is different from a conventional on-line terminal is able to carrying out data transmission/receiving, analysis of contents, calculation, memorizing and file maintenance among the dependent sub-system or a higher level system on an on-line mode, and to operating local jobs of normal duties and information analysis.

### 1. ま え が き

近年の企業規模の拡大と経営内容の複雑化に伴って、電子計算機による経営情報システム(MIS—Management Information System)を確立することが重要な課題となっている。企業経営の重要な資源としての情報の価値増殖がMISの課題となるが、それには今日の情報の処理、すなわち広域で発生する情報の収集・処理・索引・分析などが基礎となろう。

専用ターミナルを用いる従来のオンラインシステムでは、端末処理領域をすべて中央計算機が負担するため、大量の情報伝送制御処理が付加され、データ処理領域が低下する。したがってターミナル数が増加すれば、中央計算機に過大負荷がかかり、総合的なシステム処理能力が低下することが多い。このような大規模システムでは、階級制御方式を採用し、最適負荷配分が可能な、能力の高いサブシステムまたはターミナルデバイスを用いた、MISのための高効率で信頼性の高い総合オンラインシステムが必要である。

MELCOM 83 オンラインターミナルシステムは、このような要求を満足するために開発された遠隔端末電子計算機システムである。

このシステムはデータ処理能率が高く、独立した計算システムとしても使用可能で、ローカルに通常業務・情報分析を実行しながら、並行

して種々の入出力装置、データコレクタならびにデータ伝送回線を介して他の処理システムとの間で、データのやりとり、内容の分析、演算、記憶およびファイルメンテナンスを実行することができる。

以下、試作したMELCOM 83 オンライン端末計算機システム(図1.1)について、データ通信回線とのインタフェース、通信制御方式と装置の概要、およびこのシステムの業務への適用例について記述する。

### 2. システム構成と動作概要

#### 2.1 システム構成

MELCOM 83 オンラインターミナルシステムの中央処理装置(CPU:形名MC 83)に、通信制御装置(CCU:形名MCCU 1)によって通信回線に接続され、遠隔システム(他の処理装置または端末装置)との間で、enquiry system, remote batch processing systemなどを構成する。一台の通信制御装置(MCCU 1)は、最大2台のMELCOM 83システムと接続され、各システムは、中央処理装置(MC 83)を中心として図2.1に示すように構成される。各機器の仕様を表2.1に示す。

#### 2.2 通信制御装置の動作概要

通信制御装置の動作は、基本的にはプロセッサで設定するオンラインプログラムに従う。すなわちオンラインプログラムの命令が通信制御装置に与えられると、その命令を解釈して相手システムへの接続要求、応答、またはデータの送受信動作・終了指示動作などを実行する。また接続要求(enquiry)の検出や相手局からの応答を受信した場合には、プロセッサに割込要求または報告を行なう。

通信制御装置は以上のほか、変復調装置(MODEM)との間における信号の直流電圧レベル変換・タイミング制御・データバッファ・直並列変換・誤り検出制御・同期・通信状態監視などの機能を果している。

通信制御装置(MCCU 1)の基本仕様を以下に示す。

通信方式:	半二重通信, 1 回線, 符号伝送
伝送速度:	200 bits/s
伝送符号:	ISO コード
適用回線:	専用線(電々公社回線/私設専用回線)
接続応答方式:	polling 方式/contention 方式(R-R 方式)

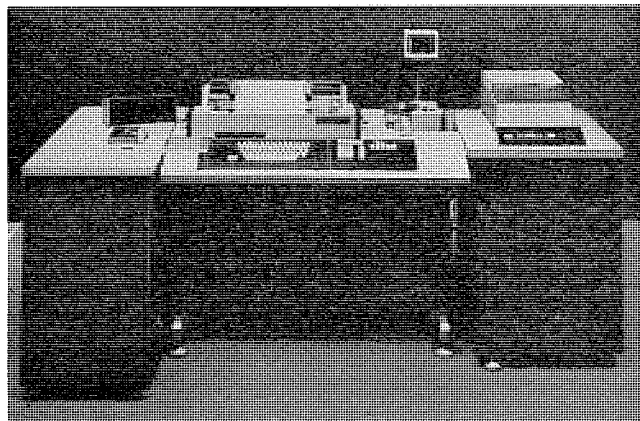


図 1.1 MELCOM 83 オンライン 端末計算機 システム  
MELCOM 83 on-line terminal computer system.

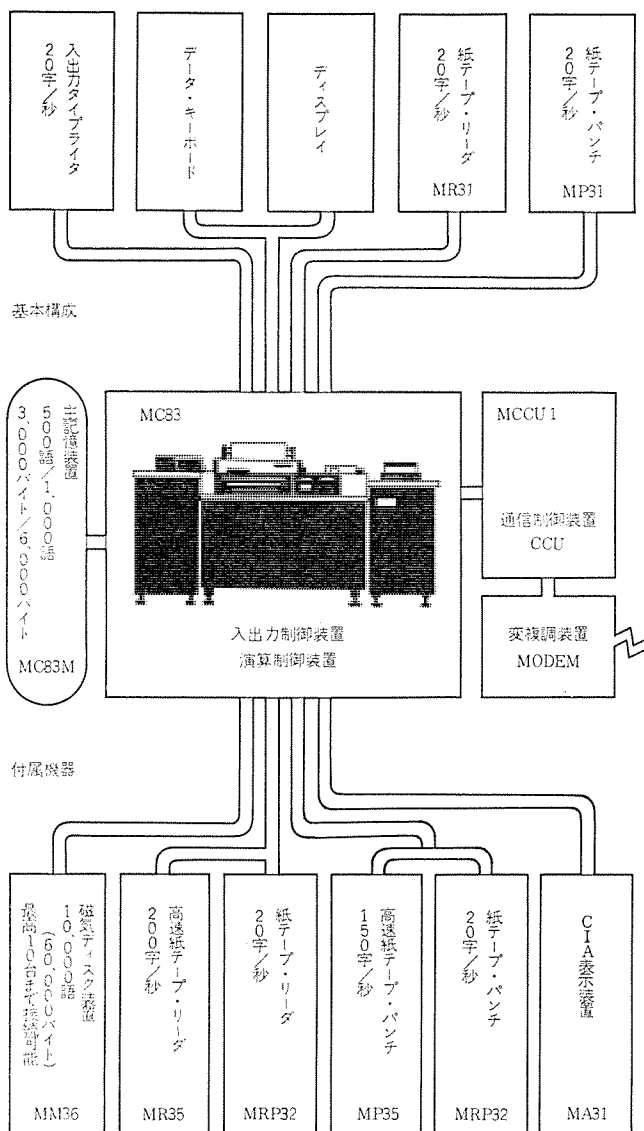


図 2.1 MELCOM 83 オンライン 端末計算機 システム の構成  
Schematic diagram of MELCOM 83 on-line terminal computer.

表 2.1 MELCOM 83 オンライン 端末計算機 システム の基本仕様  
Fundamental specifications of MELCOM 83 on-line terminal computer.

機 器 の 名 称	形 名	内 容
基本構成部分 オペレーションコンソール 1. 入出力タイプライタ	—	文字キー………48キー、4段シフト、ISO配列〈英カナコンビ〉 印字速度………20字/秒 印字間隔………10字/25.4mm〈パイカサイズ〉 印字幅………132文字/行
2. データ キーボード	—	けた数………12けたテンキー式
3. 紙テープ パンチ	MP 31	コード………ISO 8単位 せん孔速度………20字/秒 チェック………偶数パリティ エッジカード ……使用可能
プロセッシングユニット 1. 入出力制御装置 2. 演算制御装置	MC 83	演算方式………二進化十進法、1語=12けた十符号 演算素子………モノリシックIC(TTL, DTL) 制御方式………ストアプログラム、3アドレス方式 表示けた数………12けた十符号
3. ディスプレイ	—	—
4. 主記憶装置	MC 83 M	種 類………磁気ディスク 記憶容量………500語/1,000語(3,000バイト/6,000バイト) アクセスタイム………10ms
5. 紙テープ リーダ	MR 31	コード………ISO 8単位 読取速度………20字/秒 チェック………偶数パリティ エッジカード ……使用可能
通信制御装置	MCCU 1	— 後述

同期方式: 調歩同期方式  
誤字検出方式: 水平、垂直パリティ、始終チェック  
誤字訂正方式: プログラムに従うデータブロック再送制御方式(記憶装置内のバッファ領域を使用する自動再送)  
ローカル マージュ: 45%以上  
送信符号ひずみ: 1%以下

### 3. システムの動作モード

MELCOM 83 オンラインターミナルシステムでは、プロセッサ(MC83)は1k語(6kバイト)の主記憶装置(ディスク)による蓄積プログラム制御方式であり、また通信制御装置も、プロセッサのオンラインプログラム命令によって限定された範囲でプログラム制御を行なっている。したがってこのシステムは、総合広域計算機システムの一構成要素(遠隔端末)であっても、ほぼ完全に自律動作をするサブシステムとなるので、オンライン的な事務処理を実行すること以外に、以下に述べるようにシステムに対応して融通性・拡張性を有する多様な動作をすることができ。

#### 3.1 オンライン動作モード

MELCOM 83 オンラインターミナルシステムと中央計算機システムとのオンライン動作は図3.1に示すように次の4種に分類できる。ただし図中でH-LEVELは総合オンラインシステムにおける中央計算機システム、M-LEVELはMELCOM 83システム、L-LEVELは入出力装置を意味する。

##### (1) Data transmission

I/O(入出力タイプライタ)からの指令によりtype-in情報、またはM-LEVEL(M83)の補助メモリーの内容を(必要により演算処理をして)H-LEVELへ転送する。

##### (2) Data receiving

H-LEVELからの情報を受信し、メモリーへ格納、またはIOCからtype-outする。

##### (3) Information retrieval

I/OからH-LEVELの情報を検索し、M-LEVELの補助メモリーへ(必要により演算処理をして)格納、またはIOCからtype-outする。

##### (4) Load sharing

H-LEVELにおける多重プログラムの負担の一部を分担して処理を

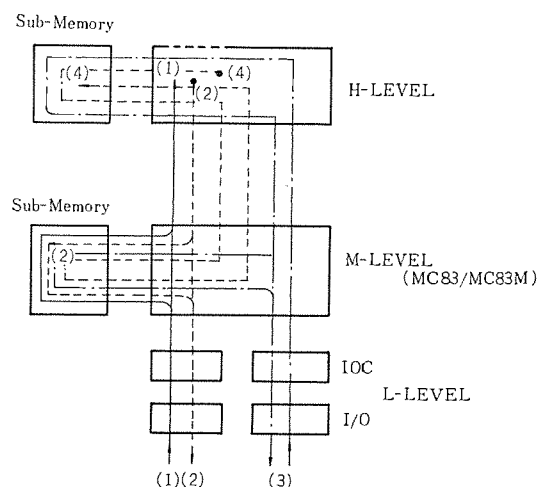


図 3.1 MELCOM 83 システム の オンライン 動作  
On-line operations of MELCOM 83 system.

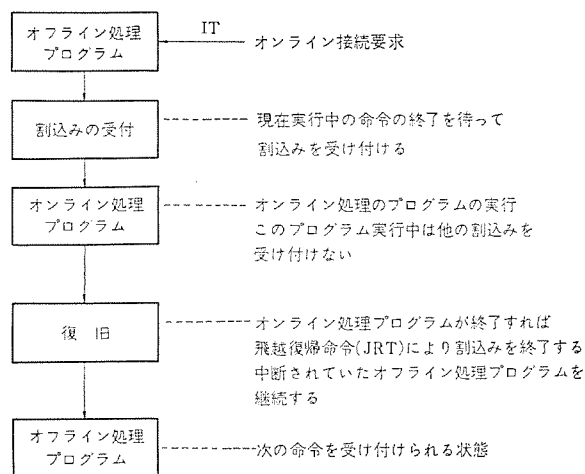


図 3.2 割込機能と優先順位  
Interruption functions and priority level.

行ない、データの一時記憶またはローカルファイルコントロールを実行する。

### 3.2 オンライン=オフライン同時モード

MELCOM 83 オンラインターミナルシステムが、オフライン動作中に中央計算機 (H-LEVEL) からオンライン接続制御符号 (ENQ) を受けると、通信制御装置 (CCU) からプロセッサ (CPU) へ割込み (IT) を発生する。CPU は割込みを受けるとオフライン処理プログラムからオンライン処理プログラムへチェーニングし、図 3.1 (2) または (4) の情報伝達経路が形成される。これが実行し終わると、割込みは解除されて自動的に前のオフライン動作が継続される。

優先順位と割込機能の関係を図 3.2 に示す。

## 4. オンライン処理

### 4.1 オンライン命令

MELCOM 83 オンラインターミナルシステムが、相手局とデータの送受信・接続制御をする場合には、すべて主メモリの蓄積プログラムに従って行なわれる。さらに送信または受信動作状態、異常発生は、通信制御装置 (MCCU 1) から状態情報 (STATUS) として取込まれ、命令で指定する該当けたに格納されるので、プログラム判断によりデータの再送信・再受信などを行なうことができる。

MELCOM 83 のプログラミング言語 (COOL: Customer Oriented Optimum Language) は、34 種のオフライン命令<sup>(1)</sup>と 10 種のオンライン命令から成る。これらの命令は 1 語 12 けたの数値からなる 3-アドレス方式 (命令 3 けた、アドレス部 3 けた×3 アドレス) が採られている。

表 4.1 MELCOM 83 のオンライン命令表  
On-line instruction repertoire of MELCOM 83.

		和名	英名と内容	記号
プログラム変路命令	1	飛越復帰	Jump Return	JRT
通信制御命令	2	接続要求	Enquiry	ENQ
	3	通信終了	End of Transmission	EOT
	4	ビジー	NAK & End	NAK
	5	文字送信 1	Transmit Character	TCH
	6	数値送信 1	Transmit Numeric	TNU
	7	文字受信 1	Receive Character & ACK	RCA
	8	文字受信 2	Receive Character & NAK	RCN
	9	数値受信 1	Receive Numeric & ACK	RNA
	10	数値受信 2	Receive Numeric & NAK	RNN

たとえば、文字データを送信する命令 TCH は次のように使用する。



「A」番地から「B」番地までの文字を送信し、STATUS を「C」番地に格納する。STATUS を「C」番地に格納すると命令の実行を終了する。送信データは、最初に「STX」符号が自動的にそう入されて送出され、次いで「A」番地の上位けたから数値 2 けたを 1 文字として順次送信される。以下「B」番地までのデータが送信される。「B」番地までの送信が終了しないうちに「EOR」符号が現われたときは、最初の「EOR」符号までの送信を行なう。

ついで「ETX」符号および水平パリティチェック用キャラクタ「BCC」が自動的にそう入されて送信され、送信が終了する。

### 4.2 状態情報 (STATUS)

送受信の動作状態は常に CCU の STATUS REGISTER に格納されているが、これは 1 ブロックの送受信が終了し、CCU プログラムが終了ルーチンを実行中に CPU に知らされる。STATUS は次の状態のときにセットされる。

S <sub>0</sub> イクセプション	中央から回線切断信号 (EOT) 受信
S <sub>1</sub> インオペラブル	MODEM NOT READY などの動作不能
S <sub>2</sub> コマンドリジェクト	CPU 命令を受け付けられない
S <sub>3</sub> タイムアウト	時間監視でタイムアウト
S <sub>4</sub> データチェック	水平、垂直パリティエラーの検出 CPU インタフェイスの転送エラー検出 送信データに対する NACK 応答受信
S <sub>5</sub> インクワイアリリジェクト	ENQ 送信に対して NACK 応答受信
S <sub>6</sub> フォーマットエラー	調歩同期チェック、STX、ETX、無意コードのチェック

### 4.3 通信制御命令

MELCOM 83 プログラム COOL のオンライン命令が解釈されると、プロセッサ MC 83 の通信接続制御部は、通信制御装置 MCCU 1 へ通信制御命令を渡す。これを CPU 命令という。MCCU 1 は CPU 命令を解釈して通信制御動作を実行する。CPU 命令は次の 7 種である。

READ	相手局からの受信データを CPU へ転送
READ REPEAT	受信データの再送を要求するために NACK 信号を送出
WRITE	CPU の転送データを相手局に送出
ENQ	ADDRESS+ENQ 信号を送出
EOT	EOT を送出し、回線を開放
WRITE & ACK	ACK を送出し、次のデータブロックを受信
NACK & END	相手局からの接続要求 (ENQ) をリジェクトするため、NACK 信号送出

## 5. 接続応答方式

### 5.1 データの送信

送信データは MELCOM 83 プロセッサ (MC 83) が主メモリ (MC 83 M) から A レジスタに読み出し、通信制御接続部に渡す。ここで必要なコードのそう入その他の編集を行ない、1 コードずつ通信制御装置 (MCCU 1) へ転送する。MCCU 1 は受けたコードをチェックして直



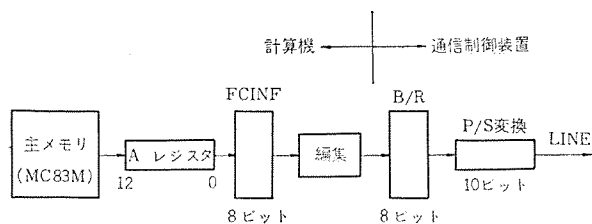


図 5.1 送信データの経路  
Data transmission channel.

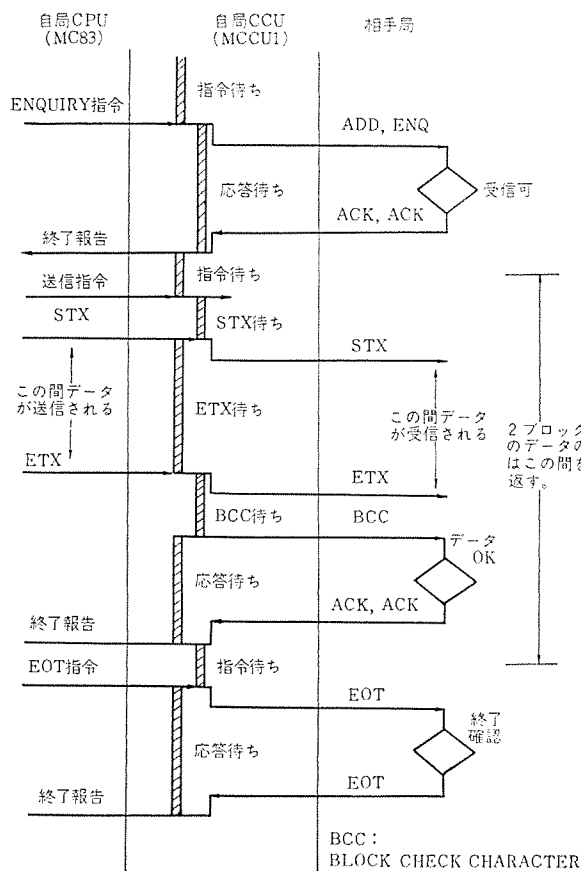


図 5.2 データ送信の動作シーケンス  
Data transmission sequence.

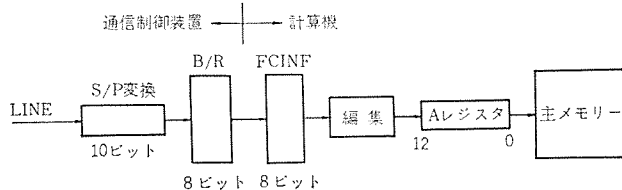


図 5.3 受信データの経路  
Data receiving channel.

列化してスタートビット (ST), ストップビット (SP) をそ入して通信回線へ送出する。1ブロックの送信が終わると続いて水平パリティチェック用コード (BCC) を送り応答を待つ。

送信データ経路を図 5.1 に、またこのシステムから相手局へデータを送出するときの動作シーケンスを図 5.2 に示す。

## 5.2 データの受信

受信データは通信制御装置 MCCU1 で直並列変換して接続部へ渡す。主制御部は1語受信し終われば、主メモリ MC83M の指定番地へ記憶する。1ブロックの受信が終わったとき MCCU1 で BCC コードによる水平パリティチェックを行なう。

受信データ経路を図 5.3 に、また受信動作シーケンスを図 5.4 に

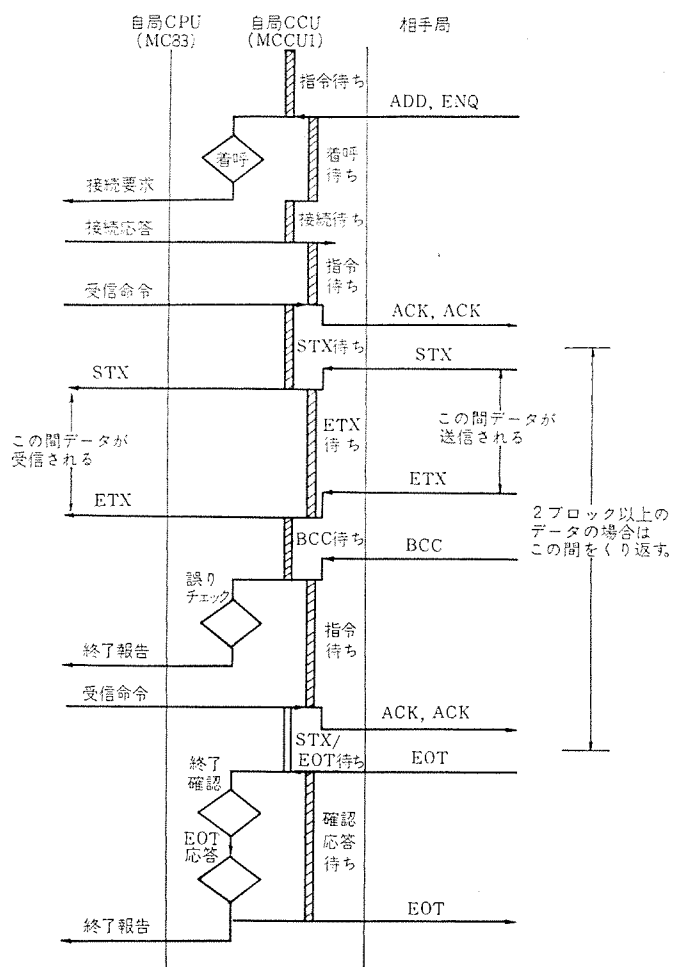


図 5.4 データ受信の動作シーケンス  
Data receiving sequence.

示す。

## 6. 通信制御装置

### 6.1 ハードウェア

通信制御装置 MCCU1 は、共通制御部・回線インタフェース部・CPU インタフェース部に大きく分割できるが、さらに詳細な主要ブロックとそれらの相互関係を図 6.1 に示す。通信制御装置は、CPU 命令または回線を通じて、他の遠隔サブシステムから要求される制御に対応した、シーケンス制御・処理・一時記憶・状態監視・割込みおよび異常時の緊急処置など多様な動作をしなければならない。

また接続応答方式は、適用されるトータルシステムによって異なるが、これらに対してハードウェアが変更されないことが望ましい。このため、両インタフェース部の各部分の動作とその確認、CPU インタフェースと回線監視、制御コードの判別および送出などは、共通制御部のマ

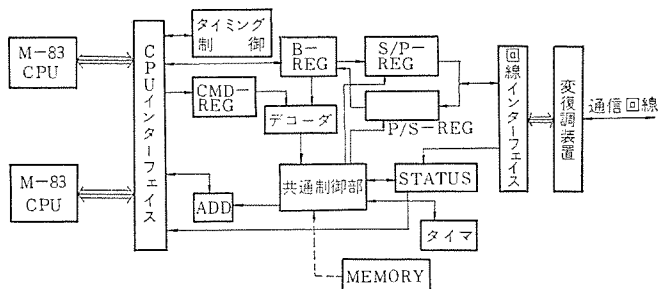


図 6.1 通信制御装置の構成  
Organization of CCU.

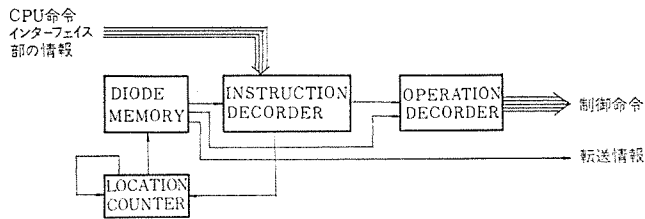


図 6.2 共通制御部とその動作  
Common control section and its operations.

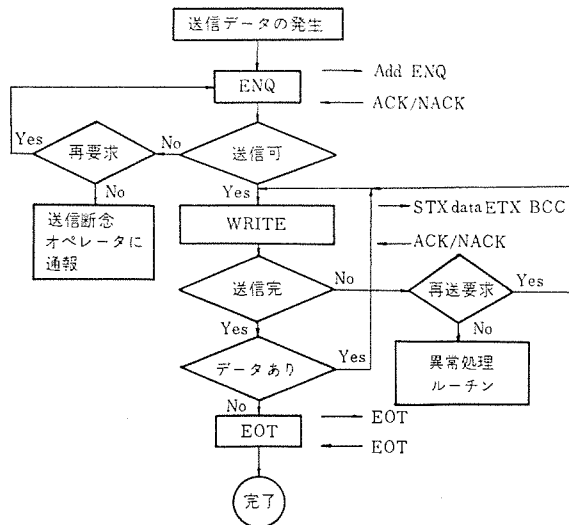


図 6.3 送信動作プログラムの標準形式  
Standard form of the transmission program.

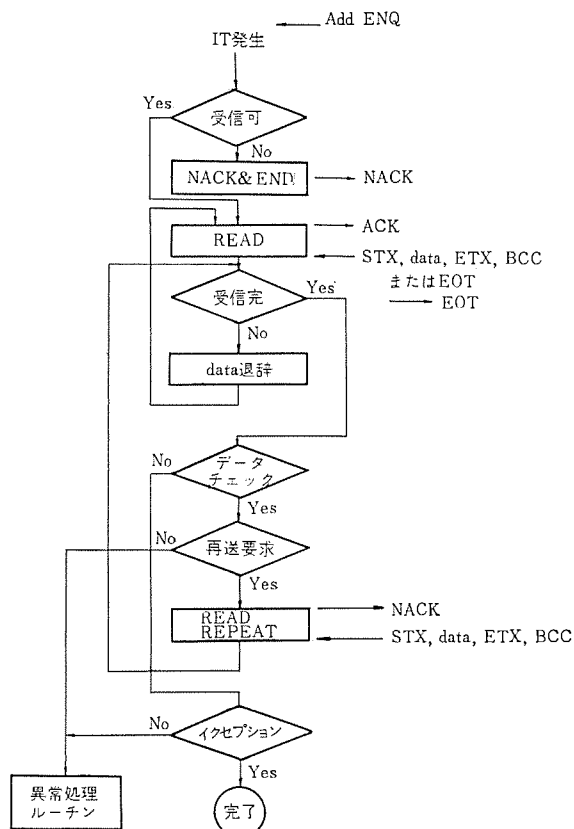


図 6.4 受信動作プログラムの標準形式  
Standard form of the receiving program.

マイクロプログラムにより統一的に実行される。マイクロプログラム制御においても、ある程度のハードウェアを必要とするが、これが最少限となるよう考慮した。

表 6.1 MELCOM 83 CCU 命令表  
MELCOM 83 CCU instructions repertoire.

種別	記号	英名	内容
判断命令	CSR	Check Status Register	STATUS Reg のチェック
	CRD	Check Receive Data	受信制御コードのチェック
	CMR	Check Mode Register	MODE チェック
	CCR	Check Command Register	CPU 命令チェック
	CRP	Check Response	相手局の応答チェック
	CIF	Check Interface	CPU インタフェース状態チェック
	CLR	Check Line Response	LIEN インタフェース状態チェック
制御命令	SMR	Set Mode Register	MODE Reg のセット/リセット
	SCR	Set Control Register	Control Reg の制御
	SSQ	Set Sequence Register	Sequence Reg のセット/リセット
	SST	Set Status Register	STATUS Reg のセット/リセット
	SIF	Set Interface	CPU Interface を制御
	LCT	Line Control	LINE インタフェースへ受信指示
	STM	Set Timer	Timer の選択とチェック
転送命令	SDA	Set Data to S/P-Register from Address	制御コードの送出
	SDB	Set Data from Buffer	Buffer Reg/CK-Reg→S/P へ転送
ジャンプ命令	TRS	Transfer	無条件ジャンプ
	TSA	Transfer and Set Address	サブルーチン処理
	RTN	Return	サブルーチンからメインルーチンへ復帰
	RAW	Réset and Wait	CPU 命令待ち

共通制御部とその動作概念を図 6.2 に示す。

## 6.2 マイクロプログラム

マイクロプログラムは、INSTRUCTION 5ビット・ADDRESS 8ビット・TAG 3ビットの計16ビットを一語とする1アドレス形式で、アドレス部は next instruction address として用いるが、例外的に送出または検出すべき制御コードをここに記入する。アドレス部に、Next Address が記入されているときには、命令実行後アドレス部に記入されたロケーションへ無条件、または条件付きでジャンプする。さらにプログラム中、共通部分はサブルーチン化されていて、TSA 命令でサブルーチンを実行し、通常はメインルーチンへ自動復帰する。命令は表 6.1 に示すように判断命令・制御命令・転送命令・ジャンプ命令に大別される。

プログラムは Initial IT 判別ルーチンから開始され、送信動作ルーチン（または受信動作ルーチン）・応答処理ルーチン・終了報告ルーチンを実行後に Initial IT 判別ルーチンへ戻り、再度 CPU 命令を待つ。送信動作プログラムおよび受信動作プログラムの標準形式を図 6.3 と図 6.4 に示す。

## 7. システムシミュレーション

図 7.2 は、MELCOM 83 オンラインシステムを階級制御システムに適用した場合における送受信されるメッセージ長と、システム応答時間との関係を単純化したシミュレーションモデルを設定して求めたものである。システムのレベルを図 3.1 と同様に遠隔大形計算機システムレベル (H-LEVEL)、MELCOM 83 小形電子計算機レベル (M-LEVEL) および遠隔端末（または周辺装置）レベル (L-LEVEL) に区別し、図 7.1 に示すように、(1)・(2)・(3)の各アクセスルートを設定した場合における、それぞれのシステム起動位置から見た応答時間をシミュレーションした。

ただし、ここでは H-LEVEL における CPU タイムは、データ伝送時間に比べてきわめて小さいものとして無視した。

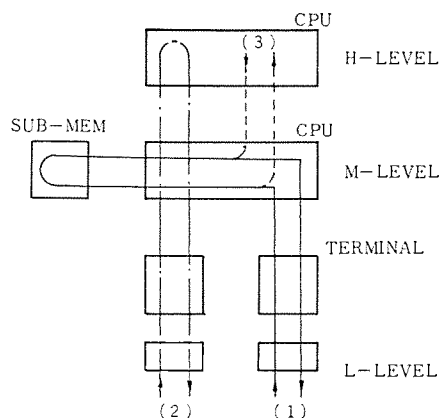


図 7.1 シミュレーションモデル  
Simulation model.

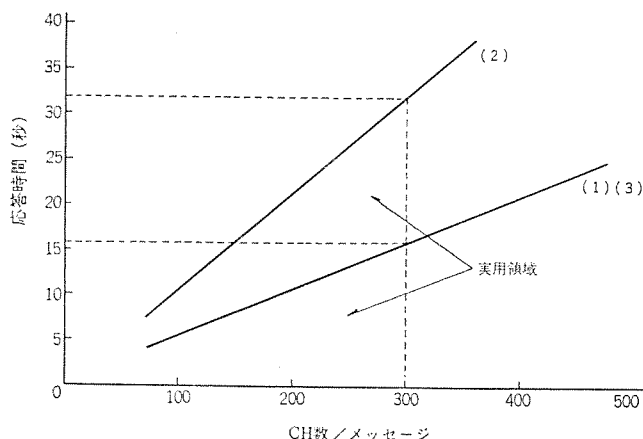


図 7.2 MELCOM 83 オンラインシステムの応答特性  
Response characteristics of MELCOM 83 on-line system.

また、各レベル間のデータ伝送速度はいずれも200ボー、M-LEVELにおける送受信メッセージのバッファはディスクメモリーによるものとし、さらに図示のように付加ディスクメモリー (SUB-MEM) をアクセスできる構成とした。

ただし

- (a) ディスクアクセスタイムはいずれも平均10ms
- (b) M-LEVEL 命令読出タイムは、平均20ms
- (c) STATUS recognition time は無視
- (d) 伝送系の誤り制御は行なわない (誤りなし)

このシミュレーションモデルの概念は、情報検索システムへの適用を基本対象としている。すなわち、ルート(1)は、L-LEVELの端末からM-LEVELのCPUを起呼して、指定のキーワードに基づいた命令に従ってSUB-MEMから必要な情報検索を実行させ、L-LEVELの端末に出力される。

ルート(2)は、L-LEVELの端末からの要求内容(キーワード、アドレス)に存在しないHIGHER LEVELの情報であった場合に、M-LEVELのCPUはその要求内容を一時保留し、H-LEVELのCPUに対してサービス(接続)要求、および、情報索引依頼を行なう。索引情報は、M-LEVEL CPUを経由して最終的に起呼を行なった端末に出力される。

ルート(3)は、逆にH-LEVELのCPUがM-LEVELのCPUに対して接続要求・情報照会・索引依頼・ファイル内容の更新を行なうなど、必要な階級間メッセージ情報をやり取りする場合である。

シミュレーションの結果、メッセージが300キャラクタ(CH)で構成される

場合、ルート(1)・(3)で約16秒、ルート(2)で約32秒の応答時間を要することがわかった(図7.2参照)。

この値は、一般伝票業務または文献索引システムで必要とされる実時間性をほぼ満足しうるものと考えてよい。

## 8. 適用例——MELCOM 83による受注生産オーダ処理システム——

MELCOM 83 オンラインシステムの応用の一例として、受注生産オーダ処理システムを図8.1に示す。数カ所ないし数十カ所の営業所と工場を中央計算機に結び、受注から生産・出荷・代金処理までの一連の業務を一括して処理するシステムである。各端末において自己管理ファイルを持ち、中央計算機と独立して端末処理を行なう。受注生産オーダ処理は通常次のような一連業務に分類できる。

- (a) 見積依頼書および見積計算書作成業務
- (b) 見積書作成業務
- (c) 製造指図書および納期回答書作成業務
- (d) 注文書兼納期通知書作成業務
- (e) 請求書作成業務
- (f) 入金処理業務

たとえば、業務(c)および業務(d)は次のように処理される(図2.1も参照)。

(1) 端末のMR 31(紙テープリーダー)より、すでにシステムタイプライタで作成した確定注文新規見積分の紙テープ1件分をMC 83を経て、MC 83 Mにストアする。ついで、ストアした見積事項に従ってMM 36にすでにストアされているオーダ番号ファイルからオーダ番号をMC 83を経てMC 83 Mにストアする。

(2) 次に(1)の処理で作成され、MC 83 Mにストアされているデータを図5.2の動作シーケンスに従ってセンタに送信する。送信ブロックに対しセンタからNACKが返送されてきた場合は、プログラムに従って3度まで再送する。

(3) MM 36にすでにファイルしてある支払条件ファイル、見積内容翻訳ファイルからMC 83 Mにすでにストアしてある見積事項のコード

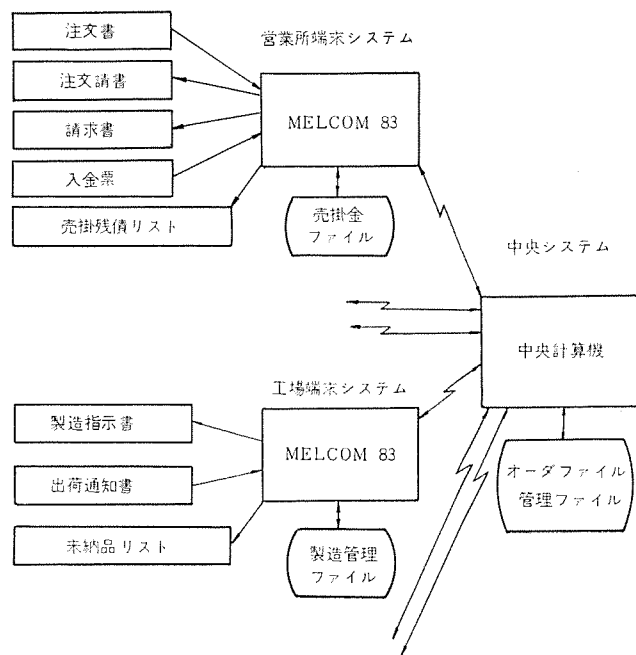


図 8.1 受注生産オーダ処理システム  
Order-made production processing system.

ードに従って、支払条件・見積項目を MC 83 を経て MC 83 M にストアする。

(4) ついで、(1)の処理および(3)の処理で作成され、MC 83 M にストアされたデータに従って、MC 83 のタイプライタによって製造指図書および納期回答書の作成を行ない、MP 31 から管理資料作成用紙テープをパンチアウトする。

(5) センタは処理(2)で受信したデータからオーダーファイルを作成する。

(6) 確定注文新規見積分紙テープがなくなるまで(1)から(5)までの処理を繰り返す。

(7) MR 31 に確定注文既見積分紙テープがかけられる。

(8) MR 31 より確定注文既見積分の紙テープ1件分を MC 83 を経て MC 83 M にストアする。次いでストアした見積事項に従って MM 36 にすでにストアされているオーダー番号ファイルから、オーダー番号を MC 83 を経て MC 83 M にストアする。

この処理で、MC 83 M にストアされたデータは、MC 83 および MCCU 1 を経てセンタに送信される。

(9) MM 36 にすでにファイルしてある支払条件ファイル・見積内容翻訳ファイルから MC 83 M にすでにストアしてある見積事項のコードに従って支払条件・見積項目を MC 83 を経て MC 83 M にストアする。このあと MELCOM 83 端末計算機は HALT となる。

(10) 処理(8)の終了後、センタは該当項目を端末に送信する。

(11) 図 5. 4 の受信動作シーケンスに従ってデータを受信し、これを MCCU 1, MC 83 を経て、MC 83 M にストアし、そのデータをもとに、MC 83 のタイプライタによって製造指図書および納期回答書の作成を行ない、MP 31 からは管理資料作成用紙テープをパンチアウトする。

(12) センタは、処理(8)で受信したデータからオーダーファイルを作成するとともに、処理(10)に従って見積済ファイルの該当項目の消し込みをする。

(13) 確定注文既見積分の紙テープがなくなるまで(8)から(12)の処理を繰り返す。

(14) 確定注文既見積分の紙テープを処理し終わると、端末は HALT となる。

以上により製造指図書および納期回答書作成業務が終了し、ついで次のように注文書兼納期通知書作成業務が実行される。

(15) 端末の MC 83 数値キーボードより、納期回答書の回答事項の1件分をキー入力して MC 83 M にストアする。次いで回答事項を MC 83, MCCU 1 を経てセンタに送信する。

(16) センタでは受信データに従って、オーダーファイルから該当項目を索引して端末に送信する。

(17) MCCU 1, MC 83 を経て、データを MC 83 M にストアし、MC 83 のタイプライタによって、注文書兼納期通知書の作表を行ない、MP 31 からは管理資料作成用紙テープをパンチアウトする。

(18) 処理(16)後、センタでは処理(15)で受信したデータをオーダーファイルにはめ込む。

(19) 端末では所定の処理件数分について、処理(16)から処理(18)までを繰り返し、納期回答書のキー入力がなくなると HALT の状態になる。

MELCOM-83 オンライン端末計算機を用いた総合オンラインシステムでは、上記(a)~(f)の業務を実行しながら、端末(営業所・製作所)およびセンタ(本社)において、MIS のために必要な経営情報を、整理された形で、任意時点に入手することができる。

## 9. む す び

以上、事務用としてユーザに好評な小形電子計算機 MELCOM 83 のオンライン化の概要を述べた。このシステムは昭和 45 年 5 月に日本電信電話公社の機器認定を受けた後、ビジネスショー(東京晴海)会場と当社鎌倉製作所を公社の専用回線で結び、オンライン実演を行ない好評を博した。

最後に、本システムの開発ならびにビジネスショー実演に当たり、種種ご指導・ご便宜を賜りました日本電信電話公社施設局・東京電気通信局・関東電気通信局・東京電信施設所の関係各位に対し深甚なる謝意を表します。またご協力いただいた当社関係各位に感謝します。

## 参 考 文 献

- (1) 大矢、渡辺、宮崎、本間：MELCOM 83 小形電子計算機システム、三菱電機技報、44, 6 (昭 45)

## プロセス制御用コンパイラ CONFORM

有田不二男\*・首藤 勝\*\*・関本 彰次\*\*・居原田邦男\*\*

## CONFORM—A Compiler for Process Control Computer Systems

Central Research Laboratory Fujio ARITA  
Kamakura Works Masaru SUDO・Shôji SEKIMOTO・Kunio IHARADA

CONFORM for the computer MELCOM-350/30 is a language designed for the ease of user programing in the industrial computer control. It is a FORTRAN extension for use in the process control, incorporating the functions such as bit-string operations, executive interface calls, process input/output calls, and external memory read/write operations. The extensions are made at a syntactical level rather than by simple attachment of subroutine calls, so that the compiler generates efficient object codes. Assembler instructions can be inserted at any position of CONFORM program. Problem oriented programming systems, such as fill-in-blank programming languages, are to be developed on this language as their basis.

This article describes the design philosophy, outlines of language specification and the organization of the compiler and object programs.

## 1. ま え が き

工業におけるプロセス制御向けの計算機の利用が、本格的な段階に入ったのは比較的最近のことである。計算機の機能および性能の向上、制御システムの高度化、局所的な制御から全域運営へ、また経営情報システムとの関連の意識の普及などがその推進力となっている。それに伴い計算機のソフトウェアの面についても発展のあとがみられ、種々のシステムプログラムが開発されている。

プログラミングツールとしてとらえられるプログラミング言語と、そのプロセッサに着目すると、プロセス制御応用においては次の要求が強いのが特長である。

- (1) プログラミングの特殊技術を習得する苦勞がなく、プラント制御の技術者が容易にプログラム作成できること
- (2) プログラム作成の労力と時間をできるだけ節約できること
- (3) 制御に必要な機能を十分もち、実行時の時間効率とメモリーなど装置の利用効率を高く保つプログラムを作りうること

制御内容の高度化、機密保持のためユーザ内でのプログラム作成の必要、人件費の高騰、技術者確保の困難さ、といった背景からこれらの要求がますます高まる傾向にあるため、制御応用に必要な機能を持ち、計算機の性能を十分に発揮させるソフトウェアが整備されなければならない。

MELCOM-350/30では、これまでに強力な管理プログラムの下で働くマクロアセンブラ、オンラインシミュレータ、FORTRANコンパイラをプログラミングツールとして提供してきたが、今般開発されたプロセス制御用のコンパイラCONFORMは、単なる一つのコンパイラの追加ではなく、これとアセンブラ、さらに高レベルの言語システムと融合して、上述の要求にこたえる新しいソフトウェア系を実現する基礎を作るものである。

## 2. プロセス制御用プログラミングシステム

## 2.1 制御用言語の必要性

一般用の情報処理プログラム作成には、FORTRAN、COBOLを代表とするいわゆるコンパイラレベルのプログラミング言語を使用するこ

とが、今日では通例となっている。それに対してプロセス制御用途のプログラム作成用としては、過去に幾つかの言語の提案、試みはあったけれども、FORTRAN、COBOLに相当するような代表的なプログラミングツールはまだ確立されていない。プロセス制御用プログラムに現われる処理手続きがFORTRANなどで全部書けるほどに計算処理的でなく、特に多数のスイッチ類の管理、タイミングの制御に処理のきめの細かさや時間的なきびしさが要求されるために、従来あるような標準的なコンパイラレベルの言語では対処しきれないことが一つの理由である。実際には少なくとも部分的には、アセンブラレベルの言語で計算機の機能を生かした書き方をしているのが現状である。

FORTRANの言語機能を拡張してプロセス制御用に使おうとする考え方があり、実際に使われている例もあるが、言語機能上プロセス制御用への適合性に限度があることと、実行時プログラムの効率の点で限界があり、アセンブラ言語との併用をせざるを得なくなっているのが実情である。

一般用情報処理とプロセス制御とで計算機の活用の考え方にやや相異があり、このことがソフトウェアの設計態度にも影響を与えている現象がみられる。一般用の場合、ジョブの流れが機械に与えられ、ジョブスケジュールのプログラムで装置の運用効率を上げるべく制御が行なわれる。重点目標は時間当たりの処理量向上である。ジョブにはコンパイルもあれば実行もあり、オブジェクトプログラムが高ひん度で繰り返し実行されることもあるが、一方実行を一度だけ行なうプログラムも多い。特にFORTRANによる科学技術計算には後者が多い。プロセス制御用の場合はプログラムも設備の一部分と考えられる。制御系の運用が第一重点であり、プログラムは問題を解く計算のために作るのではなく、設備の動作の設計そのものとして行なわれる。余裕時間はフリータイム処理として他の計算ジョブも処理するが、重点はあくまで作りつけられたプログラムの実行による系の制御である。一般用の場合にジョブもデータファイルも外に開いているのに対し、制御用の場合はジョブもデータファイルも作りつけ設備として閉じた系を構成する傾向がある。制御用のみに限定した使い方から経営情報システムへの拡大指向がみられるために、共通データファイル処理機能の必要が指摘されているが、そのようなシステムにおいても、主として制御の



ために使われる部分については上述の事情に変わりはない。

プログラミングツールも、実行時プログラミングパッケージも、このことを配慮して作られる。アセンブラ言語の場合は、機械の機能を生かすプログラムを直接書けるから両者の立場の違いは影響しないが、FORTRAN レベルになると差がはっきりと出てくる。これが単に FORTRAN に部分的修正を施したのみの言語プロセッサが制御用ツールとして主役になれない事情である。

一方、コンパイラレベルよりさらに高いレベルにある簡易化プログラミングツールに対する要求は、次第に増大の途をたどっている。これは、FORTRAN や COBOL 自体が期待をもって登場し、かなりの実績をあげているものの、やはりその習得、活用に手間がかかりすぎることからきている。プログラムを作文することが必要事項であると考え、FORTRAN の習得は技術者の条件であるということになるが、目的は実用的なプログラムを生み出すことであり、FORTRAN よりもっと実務に密着した手続書でそれができるはずだと考えることができる。

これを実現するプログラミングツールとしてたとえば、定形記法の穴埋め記入式処理手続書とそれに基づいて動作するプログラムジェネレータが用いられつつある。ただしこのような系ではその構造上適用分野を限定したほうが効果が得やすく、またこの種のジェネレータで処理しきれぬ部分があるときの対策をうまく講ずる必要があるが、これによってすぐれたツールとして生かすことができる。このような事情により、プロセス制御の基本的な言語プロセッサとしては、適用分野に応じた、それに最も適した高位言語系への拡張または融合性と、きびしいタイミング要求に対するきめ細かい制御動作の処理可能性とが併せ要求されることになる。

以上を要するに、プロセス制御用のプログラミングツールは

(1) きびしいタイミング処理をこなすためにきめ細かいプログラミングをしたい。

(2) 大部分のプログラムをプログラミングの専門家でなく、システム技術者によって容易に作りたい。

(3) しかも全体を通じて、実行時の速度およびメモリー使用の効率を極度に要求する作りつけ設備の使い方が必要。

という環境下に適合する構成をとらねばならず、これに対処できるソフトウェアシステムを提供することが必要となってきたのである。

制御用プログラムを書く言語を作ろうという考えは決して新しいものではなく、制御用計算機の利用開始時期にすでに出されているが、上述のような環境をとらえてソフトウェアシステムの構造全体の問題として考慮することは、今日ようやく現実の問題となってきた。この動きは、やがて制御用プログラミング言語の標準化へと移行していくことと考えられる。

プロセス制御用言語標準化の基礎となる検討活動は何箇所かで行なわれているが、現在もっとも活動的なのはアメリカのパチュー大学におけるワークショップであろう。そこでは言語を手続き言語と問題向き言語に分け、さらに手続き言語を当面の実用標準と長期的な検討とに分けて、それぞれ 1970 年暮から 1972 年にかけて成果をおさめようとしている。

## 2.2 処理系の体系と構成

プロセス制御用のプログラミング言語としては、前述のように FORTRAN レベルの手続き言語と、さらに簡単な定形記法の言語とが要求される。前者は制御用という範囲に最適化されているがその中でははん(汎)用的なものであり、一つのコンパイラが提供されること

によって実用化される。アメリカでは FORTRAN の機能拡張によってこれにあてようとしている例が多い。後者は制御系の形態あるいは適用分野について最適化の範囲を限定したものが実用的であるので、形態別あるいは用途別に何種かのジェネレータが作られることになる。すでに発表されている例としては、IBM の PROSPRO、GE の BICEPS などがあり、いずれも化学プラントを主とした連続プロセスの制御に使われる。これらとアセンブラを含んだ全体として制御用プログラミングシステムを構成することになる。

使用者の立場では、ある制御系に対するプログラム作成には一つの言語を用いるのが原則的な形であろう。上記の言語機能範囲の選定、コンパイラやジェネレータの構成が注意深くなされていれば、ほとんどの場合に一つの言語だけでプロセス制御のプログラム作成ができるのであるが、制御系の多様さ、ときとして起こる特殊な処理あるいは特にクリティカルなタイミング条件などのために、高レベルの言語では一応記述ができて間接的でありすぎるとということが生ずる。そのために高レベルの言語では、必要に応じて一段低レベルの言語に切りかえてプログラムを書く機能が要求される。

このようにプログラミング言語をいくつかのレベル・種類にわたって準備するときの基本条件の一つとして、実行時のプログラム構造の統一性がある。おのおののジェネレータおよびコンパイラから作り出されるオブジェクトプログラムは、システムが一番基本的なもの(通常アセンブラ言語のオブジェクトプログラム)とまったく一様に扱えなければならない。おのおの高レベル言語だけで閉ざされていることは不都合であるし、また、アセンブラ言語のオブジェクトプログラム部分と論理的に接続する機能があることはもちろん、プログラム部分の構造関係、不感時間の長さ、補助メモリーとの情報およびプログラムの転送単位の量といった点まで、高レベル言語を使用することによって、不当に制限をつけることがないという保証が必要なのである。

MELCOM-350/30 ではこの考え方に基いて、はん用的手続き言語 CONFORM のコンパイラと、分野別高レベル言語のジェネレータからなるソフトウェアシステムを構成している。その体系をプログラム生成の観点からとらえると図 2.1 に示すようになる。

分野別システムの機能単位は十分標準化された実用プログラムから選び、それらに対応したオブジェクトプログラム部分は直接生成される。ジェネレータはコンパイラに、コンパイラはアセンブラに接続されており、各言語間にデータと制御の流れに関する結合機能をもたせているので、各レベルで言語の混用が可能となっている。以下に、このシステムの基本的位置にある CONFORM の言語機能とそのコンパイラについて記述する。

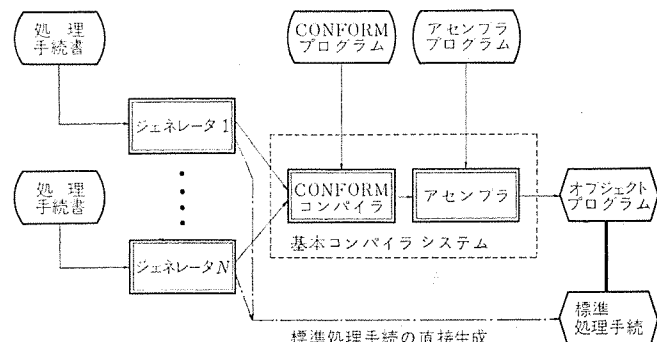


図 2.1 プロセス制御用プログラミングシステム  
Programming system for process control.

### 3.1 言語設計方針

(1) 書きやすく、覚えやすい言語であること。特に、プロセス制御向きの処理機能が他の一般的な機能と遊離した形でなく、言語構造の見地からみて体系的に組み込まれた形となるよう留意する。

(3) さらに高度な穴埋記入式プログラミングシステムでの基本言語となりうるような汎用性をもたせる。言語の全般的な性格が特定応用分野向きに片寄らないように、プロセス制御一般を対象とした汎用的なものにする。

### 3.2 CONFORM 言語の特長

### (1) FORTRAN に対する当面の拡張

## (2) 将来のプロセス制御用言語の追求

の2段に分け、(1)ではFORTRANのシンタックスを変えない範囲での機能拡張を前提としており、シンタックスにおよぶ改善拡張は(2)で行なうことにしている。CONFORMの言語は、本質的に必要な機能はシンタックスのレベルから備え、十分に効率よいオブジェクトプログラムを作るべく、コンパイラを含むソフトウェア系全体の問題として処置すべきであるという態度で作られた点で、パデュー大学の(1)の範囲から幾らか(2)の方向に出ているといえる。

CONFORM 言語の特長のおもな点を以下に  
列記する。

### (1) 二進データの取り扱い

## (2) タスク制御機能

制御系の多重性とプログラムの多重性を対応づけるスーパーバイザ機能を、直接ステートメントとして記述できる。

### (3) 外部メモリー入出力機能

大容量の外部メモリーを内部コアメモリーエリアの延長として、効率的  
使用を可能にする。

#### (4) プロセス 入出力機能

各種のプロセス入出力をはん用的な形で直接ステートメントとして記述できる。

(5) ルーチン 構造および変数の リンケージ

プログラムモジュール結合時の構造指定が可能であり、各モジュール間のデータは変数名を共通指定することにより、名前のままで共用できる。

## (6) アセンブラ言語との混用

CONFORM 言語中に アセンブラ 言語で書いた処理手続きを自由に  
そう入できる。これは、プロセス 制御用では必要の機能である。

### 3.3 CONFORM 言語の概要

CONFORM 言語は、3.1 節に述べたように FORTRAN の形式を借りて組み立てられているので、以下では FORTRAN の文法用語を使って記述する。

### 3.3.1 節使用文字セット

英字 (A~Z), 数字 (0~9), 特殊文字 (ブランク = + - \* / ( )  
" , \$)

### 3.3.2 プログラムの記述形式

処理の記述単位を文 (Statement) と呼び、図 3. 1 に示したコーディングフォームの第 7～72 カラム に記入する。他の文から参照される文の第 1～6 カラム には文番号 (整数) を記入する。

### 3.3.3 データの表現法

データの表わし方には、定数、変数、配列、配列要素および二進因子がある。このうち、二進因子は 1 ビットデータを扱うもので、その他は、データの数値の形によって、整数形・実数形・二進形に区別される。

(1) 定数・変数・配列・配列要素

定数は数値をそのまま表現したもので、整数形は小数点なしで、実数形は小数点付きの数値で表わす。二進形は、16 個のビット 集合を 16 進数で表わす。

例	128	2.5	$3.9 E-3$	"08 AF"
---	-----	-----	-----------	---------

PROGRAM		MEMBER CONTROL CODES FORM		BACK IN	DATE	NO.	NO.
PROGRAMMER		JOB NO.		79 10 79		80 11	
						DATE	
NO.	LINE	CONFORM STATEMENT				NO.	DATE
1	1	PROGRAMMER					
2	2	MEMBER					
3	3	CONTROL CODES					
4	4	FORM					
5	5	BACK IN					
6	6	DATE					
7	7	NO.					
8	8	NO.					
9	9	DATE					
10	10	NO.					
11	11	DATE					
12	12	NO.					
13	13	DATE					
14	14	NO.					
15	15	DATE					
16	16	NO.					
17	17	DATE					
18	18	NO.					
19	19	DATE					
20	20	NO.					
21	21	DATE					
22	22	NO.					
23	23	DATE					
24	24	NO.					
25	25	DATE					
26	26	NO.					
27	27	DATE					
28	28	NO.					
29	29	DATE					
30	30	NO.					
31	31	DATE					
32	32	NO.					
33	33	DATE					
34	34	NO.					
35	35	DATE					
36	36	NO.					
37	37	DATE					
38	38	NO.					
39	39	DATE					
40	40	NO.					
41	41	DATE					
42	42	NO.					
43	43	DATE					
44	44	NO.					
45	45	DATE					
46	46	NO.					
47	47	DATE					
48	48	NO.					
49	49	DATE					
50	50	NO.					
51	51	DATE					
52	52	NO.					
53	53	DATE					
54	54	NO.					
55	55	DATE					
56	56	NO.					
57	57	DATE					
58	58	NO.					
59	59	DATE					
60	60	NO.					
61	61	DATE					
62	62	NO.					
63	63	DATE					
64	64	NO.					
65	65	DATE					
66	66	NO.					
67	67	DATE					
68	68	NO.					
69	69	DATE					
70	70	NO.					
71	71	DATE					
72	72	NO.					
73	73	DATE					
74	74	NO.					
75	75	DATE					
76	76	NO.					
77	77	DATE					
78	78	NO.					
79	79	DATE					
80	80	NO.					
81	81	DATE					
82	82	NO.					
83	83	DATE					
84	84	NO.					
85	85	DATE					
86	86	NO.					
87	87	DATE					
88	88	NO.					
89	89	DATE					
90	90	NO.					
91	91	DATE					
92	92	NO.					
93	93	DATE					
94	94	NO.					
95	95	DATE					
96	96	NO.					
97	97	DATE					
98	98	NO.					
99	99	DATE					
100	100	NO.					
101	101	DATE					
102	102	NO.					
103	103	DATE					
104	104	NO.					
105	105	DATE					
106	106	NO.					
107	107	DATE					
108	108	NO.					
109	109	DATE					
110	110	NO.					
111	111	DATE					
112	112	NO.					
113	113	DATE					
114	114	NO.					
115	115	DATE					
116	116	NO.					
117	117	DATE					
118	118	NO.					
119	119	DATE					
120	120	NO.					
121	121	DATE					
122	122	NO.					
123	123	DATE					
124	124	NO.					
125	125	DATE					
126	126	NO.					
127	127	DATE					
128	128	NO.					
129	129	DATE					
130	130	NO.					
131	131	DATE					
132	132	NO.					
133	133	DATE					
134	134	NO.					
135	135	DATE					
136	136	NO.					
137	137	DATE					
138	138	NO.					
139	139	DATE					
140	140	NO.					
141	141	DATE					
142	142	NO.					
143	143	DATE					
144	144	NO.					
145	145	DATE					
146	146	NO.					
147	147	DATE					
148	148	NO.					
149	149	DATE					
150	150	NO.					
151	151	DATE					
152	152	NO.					
153	153	DATE					
154	154	NO.					
155	155	DATE					
156	156	NO.					
157	157	DATE					
158	158	NO.					
159	159	DATE					
160	160	NO.					
161	161	DATE					
162	162	NO.					
163	163	DATE					
164	164	NO.					
165	165	DATE					
166	166	NO.					
167	167	DATE					
168	168	NO.					
169	169	DATE					
170	170	NO.					
171	171	DATE					
172	172	NO.					
173	173	DATE					
174	174	NO.					
175	175	DATE					
176	176	NO.					
177	177	DATE					
178	178	NO.					
179	179	DATE					
180	180	NO.					
181	181	DATE					
182	182	NO.					
183	183	DATE					
184	184	NO.					
185	185	DATE					
186	186	NO.					
187	187	DATE					
188	188	NO.					
189	189	DATE					
190	190	NO.					
191	191	DATE					
192	192	NO.					
193	193	DATE					
194	194	NO.					
195	195	DATE					
196	196	NO.					
197	197	DATE					
198	198	NO.					
199	199	DATE					
200	200	NO.					
201	201	DATE					
202	202	NO.					
203	203	DATE					
204	204	NO.					
205	205	DATE					
206	206	NO.					
207	207	DATE					
208	208	NO.					
209	209	DATE					
210	210	NO.					
211	211	DATE					
212	212	NO.					
213	213	DATE					
214	214	NO.					
215	215	DATE					
216	216	NO.					
217	217	DATE					
218	218	NO.					
219	219	DATE					
220	220	NO.					
221	221	DATE					
222	222	NO.					
223	223	DATE					
224	224	NO.					
225	225	DATE					
226	226	NO.					
227	227	DATE					
228	228	NO.					
229	229	DATE					
230	230	NO.					
231	231	DATE					
232	232	NO.					
233	233	DATE					
234	234	NO.					
235	235	DATE					
236	236	NO.					
237	237	DATE					
238	238	NO.					
239	239	DATE					
240	240	NO.					
241	241	DATE					
242	242	NO.					
243	243	DATE					
244	244	NO.					
245	245	DATE					
246	246	NO.					
247	247	DATE					
248	248	NO.					
249	249	DATE					
250	250	NO.					
251	251	DATE					
252	252	NO.					
253	253	DATE					
254	254	NO.					
255	255	DATE					
256	256	NO.					
257	257	DATE					
258	258	NO.					
259	259	DATE					
260	260	NO.					
261	261	DATE					
262	262	NO.					
263	263	DATE					
264	264	NO.					
265	265	DATE					
266	266	NO.					
267	267	DATE					
268	268	NO.					
269	269	DATE					
270	270	NO.					

図 3.1 CONFORM のコーディング フォーム  
MELCOM CONFORM coding form.



図 3.5 に以上の実行制御文の例を示す。

### 3.3.7 ビット処理文

ビットデータの処理は、二進代入文でも記述できるが、さらに機能化されたビット処理専用の文が用意されている。

LINE NO.	STATEMENT	OPERATION	DEFINITION	REMARKS
1	SETBIT 15			
2	RESETBIT 15			
3	SCAN 15, 1, 1			
4	DO-SCAN 15, 1, 1			
5	WAIT 15, 1			
6	PURGE 15, 1			
7	DELAY 15, 1			
8	END			

図 3.5 実行制御文の例  
Examples of control statements.

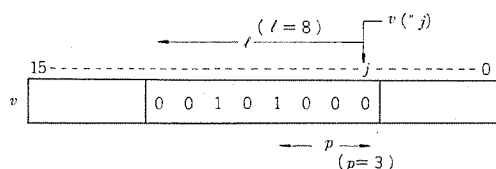


図 3.6 SCAN 文の機能概念  
Implication of SCAN statement.

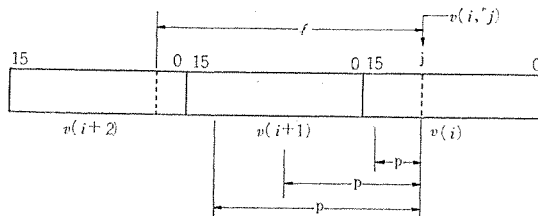


図 3.7 DO-SCAN 文の機能概念  
Implication of DO-SCAN statement.

LINE NO.	STATEMENT	OPERATION	DEFINITION	REMARKS
1	SETBIT 15			
2	RESETBIT 15			
3	SCAN 15, 1, 1			
4	DO-SCAN 15, 1, 1			
5	WAIT 15, 1			
6	PURGE 15, 1			
7	DELAY 15, 1			
8	END			

図 3.8 ビット処理文の例  
Examples of bit manipulation statements.

LINE NO.	STATEMENT	OPERATION	DEFINITION	REMARKS
1	TASK SCHEDULE PROGRAM			
2	MAIN SCHEDULE			
3	BINARY SCHEDULE (SCHEDULE)			
4	ACTIVATED TASK TASK1, TASK2, TASK3, TASK4			
5	DO-SCAN SCHEDULE(1), 1, 1, 1			
6	WAIT SCHEDULE(1), 1, 1, 1			
7	PURGE SCHEDULE(1), 1, 1, 1			
8	DELAY SCHEDULE(1), 1, 1, 1			
9	END			

図 3.9 タスク制御文のプログラム例  
Sample program for task control.

### (1) SETBIT 文

SETBIT  $v$

RESETBIT  $v$

二進因子  $v$  で示されるビットを 1 (SETBIT) または 0 (RESETBIT) にする。

### (2) SCAN 文

SCAN  $v, l, p, k$

二進因子  $v$  から始まる  $l$  ビット領域 ( $1 \leq l \leq 16$ ) 中の最初の 1 のビット位置を整数変数  $k$  に入れ、文番号  $k$  の文を次に実行する。1 のビットがなければ、SCAN 文の次の文を実行する (図 3.6)。

### (3) DO-SCAN 文

DO-SCAN  $v, l, p, k$

二進因子  $v$  から始まる  $l$  ビット領域 ( $1 \leq l \leq 2^{15}-1$ ) 中のビットを調べ、1 のビットに遭遇するごとに、その位置を  $k$  に入れ、DO-SCAN 文から文番号  $k$  の範囲の文を実行する (図 3.7)。

図 3.8 に、これらのビット処理文の例をまとめて示す。

### 3.3.8 タスク制御文

タスクの多重処理はタスク制御文により、簡潔に、しかも他の文との一様性をそこなうことなく記述できる。

#### (1) ASSIGN-TASK 文

ASSIGN-TASK  $t(a_1, a_2, \dots, a_n)$

タスク名の集合  $a_1, a_2, \dots, a_n$  に代表タスク名を定義する。要素のタスク名は、 $t(i)$  の形式で表わす。

#### (2) CALL-TASK 文

CALL-TASK  $t, p, z, c, u$

タスク  $t$  に優先順位  $p$  (整数) を与え、 $z$  で指定するタイミングで起動する。 $z$  が ECB のとき、即時起動、TIME とすれば、指定時刻に、INTERVAL とすれば、指定時間後に、それぞれ起動する。時間  $c$  は、分とシステムクロックの整数倍を 1 単位とする単位数とで表わす。 $u$  は、ユーザー番号である。

#### (3) WAIT 文

WAIT  $t, ECB, w, k$

タスク  $t$  の終了同期を取る。 $k$  はタスク  $t$  にエラーが発生したときの行先文番号である。

#### (4) PURGE 文

PURGE  $t, u$

ユーザー番号  $u$  のタスク  $t$  を強制的に消滅させる。

#### (5) DELAY 文

DELAY  $c$

タスクを時間  $c$  だけ休止させる。

図 3.9 はタスク制御文の例であり、簡単なタスクスケジュールプログラムを示す。この例では、タスクの起動要求は、コア常駐ワード内の対応するビットが 1 であることにより示されているものと仮定している。全ビットを調べ終わると、1 分 30 秒経過の後にふたたび同様の操作を繰り返す。

### 3.3.9 入出力文

データの入出力には、FORMAT 制御付き、外部メモリと内部コアメモリとの直接転送、プロセス入出力の 3 種類がある。

#### (1) FORMAT 制御付き入出力

READ( $u, f$ )list

WRITE( $u, f$ )list

文番号  $f$  の FORMAT 文で指定された様式に従って、入出力装

置  $u$  に対してデータを入出力する。list は入出力データの並びで、変数、配列、配列要素および DO 形並びなど、FORTRAN と同形式のものが書ける。FORMAT 文には、FORTRAN にある標準的な制御機能のほかに、プロセス制御用として、時間変換、二進変換などの機能が追加されている。

### (2) 外部メモリーの入出力

MELCOM-350/30 には大容量、高速の磁気ドラムが標準装備されているが、プロセス制御応用では、これを開放形のファイルとしてではなく、内部コアメモリーエリアの延長として扱う場合が多い。このために両者間のデータ転送用として FETCH, STORE 文がある。

FETCH( $v_1, v_2, v_3$ ), ( $v_1', v_2', v_3'$ ), .....

STORE( $v_1, v_2, v_3$ ), ( $v_1', v_2', v_3'$ ), .....

$v_1$  で内部メモリーエリアの配列を指定し、 $v_2$  で外部メモリーエリアのアドレスを直接指定する。機能は、FETCH 文で外部メモリーから内部コアメモリーへ、STORE 文でその逆の転送を行なう。

### (3) プロセス入出力

プロセス入出力には、アナログ入力、デジタル入出力、パルスバッファ入力、パルス幅出力があるが、CONFORM では言語のはん(汎)用さきと基本的性格を考慮して、次の文で一括して取り扱う。

PROCESS-I/O( $i, p$ )  $v_1, \dots, v_n$  ( $n \leq 4$ )

$i, p$  で入出力動作の種類、リレー番号、ゲインなどを所定のビットパターン(2ワード)で指定する。 $v_i$  は入出力の対象となるプロセス変数である。

図 3.10 に以上の入出力文の例を示す。

STATE NO.	LOCATION	OPERATION	OPERAND	REMARKS	CONFORM STATEMENT															
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
		READ	(4, 10)	I, A, B(I+1)																
		WRITE	(2, 20)	(C(D(I, J), I=1, 10), J=1, M)																
	20	FORMAT	(H"1", H"HEL COM CONFORM", 10F8.2)																	
		FETCH	(A(1), "28EF", 1160), (B(1), IBA, NB)																	
		STORE	(D, 4096, 12)																	
		PROCESS-I/O	(I"CF00", PRCN)	AW1, AW2																

図 3.10 入出力文の例  
Examples of input-output statements.

### 3.3.10 サブプログラム

特殊な関数や、何度も繰り返し使用する処理手続き部分は、それらを独立した一つのコンパイル単位(サブプログラム)とすることができる。サブプログラムには関数形とサブルーチン形がある。

#### (1) 関数形サブプログラム

関数形サブプログラムの一般形は、次のとおりである。

```

t FUNCTION f(a1, a2, ..., an)
  ...
  f=e
  ...
  RETURN
END

```

関数  $f$  の計算手順を定義する。 $f$  の形は、 $t$  で指定する INTEGER, REAL, BINARY で規定され、値は、代入文  $f=e$  で決まる。実行は、RETURN 文により、主プログラムに戻る。 $a_i$  は仮引数で、主プログラムから伝えられるべきデータ名を示す。

関数の引用は、関数名の後に ( ) で包んだ実引数を付けて、計算式中で一つの被演算項として用いる。

関数の定義には、サブプログラムのほかに、プログラム単位内でのみ有効な文関数がある。その定義文形式は、

$f(a_1, a_2, \dots, a_n)=e$

で、関数  $f$  は、仮引数  $a_1, a_2, \dots, a_n$  を含む式  $e$  と定義される。

#### (2) サブルーチン形サブプログラム

```

SUBROUTINE s(a1, a2, ..., an)
  ...
  RETURN
END

```

サブルーチン  $s$  の処理手続きを定義する。 $a_i$  は、仮引数である。サブルーチン形は、一般的な処理とか連立方程式のように多数の計算結果を伝える必要がある場合に適している。

サブルーチンは、次の CALL 文により引用する。

CALL  $s(a_1, a_2, \dots, a_n)$

この文により、実行は、実引数  $a_1, a_2, \dots, a_n$  (仮引数に対応するもの) を持ってサブルーチン  $s$  へ移る。サブルーチン内の RETURN 文の実行により、主プログラムの CALL 文の次の文に戻ってくる。

#### (3) サブプログラムの結合構造指定

主プログラムとサブプログラムの構造上の結合形式は、サブプログラム側で個々の特性として持たされているのではなく、主プログラム側での引用時にどのような形に結合するかを、STRUCTURE 文により指定することができる。

STRUCTURE  $z_1(s_1, \dots, s_n), z_2(s_1', \dots, s_n'), \dots$

$z_i$  は、主プログラム内で呼ばれているサブルーチン  $s_i$  の結合構造を規定するもので、PHASE (フェーズオーバーレイ), SUB (フェーズ内常駐), LOCAL (フェーズ内オーバーレイ), GLOBAL (コア常駐) の指定が可能である。

#### 3.3.11 アセンブラ言語との混用

CONFORM 言語中にアセンブラ言語中の自由な混合使用(インラインアセンブル)が可能である。これにより、コンパイラレベルの言語機能では、直接書きにくい特殊な処理部分をアセンブラ言語で記述し、全体としてコンパイラレベルの言語で効率良くプログラムを書くことができる。

図 3.11 の例に示すように、アセンブラ言語への切換えは、++ ASSEMBLER で、コンパイラ言語への切換えは、++ CONFORM で指定する。

両言語間での名前の相互参照については、コンパイラ側のものは、アセンブラ側で自由に使える、アセンブラ側の名前は、形宣言文で RESERVED 宣言をしてコンパイラ側で使う(図 3.11)。

STATE NO.	LOCATION	OPERATION	OPERAND	REMARKS	CONFORM STATEMENT															
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
		START	(A)																	
		REAL	RESERVED	(TITLE(12))																
		GO TO	2000																	
		++ ASSEMBLER																		
	2000	LD	A	CRAB A																
		REP	?	RIGHT ROTATE 8 BITS																
		STL	A	STORE IN A																
		++ CONFORM																		
		TITLE	DC	M*TRACER*CRAB*AL*REMAINER																
		++ CONFORM																		
	2000	WRITE	(2, 50)	TITLE																
		FORMAT	(H"1", 6AH)																	

図 3.11 アセンブラ言語の混用例  
Example of sample program using in-line assembly.



#### 4. 実行時プログラムの構造

プロセス制御用のプログラミングシステムでは、プロセス制御特有の処理機能を記述する能力とともに、コンパイラにより生成される実行（オブジェクト）プログラムの占有メモリー・実行速度など、プログラムの構造面における効率の良さが強く要求される。ことに、コンパイルレベルの言語で書かれるプログラムは、制御プログラム全体をまかなうものでなく、あくまで、管理プログラム、既製のパッケージを含めたプログラム全体の構成部分として準備される。したがって、システム全体が一体構造で動作できるように、コンパイルレベルで準備されたプログラムと、システムの他の要素との構造上のつながり具合が一様でなければならない。

CONFORM のオブジェクトプログラムの構造設計には、次の点をおもな目標にした。

(1) プログラムの占有メモリーを少なくする。

(2) アセンブラレベルのきめ細かさで、他のプログラムとの接続ができること。

(1) は実行速度の向上に通じる面もあるので、可能な要素は、できかぎり実施するのが望まれる。しかし、あまりコンパイラに負担をかけると、オンラインコンパイル時に問題が生じるので、論理的最適化など、特に、この可能性の強いメモリー節約法は、今回の目標外とした。

オブジェクトプログラム構造設計上の具体的な配慮点を次にあげる。

(1) 部分的ルーチンの生成法

比較的確実な仕事をやるルーチン部分は、サブルーチン形式で生成することを原則とするが、画一的な処理は避けて、タスク制御文のように直接そう入したほうが効率の良いものは、適宜、埋込式を採用している。

(2) 添字計算

添字は、配列名に関係なく、添字の形別に定数表を作成し、添字計算用サブルーチンに、この表をパラメータとして与えて計算する。この方法では、配列名を問わず、同形の添字が多く現われるほど、メモリー節約に効果がある。

(3) FORMAT 制御付き入出力

MELCOM-350/30 では周辺機器に対する入出力は、データの編集、変換機能を持った I/O リーダーライターと呼ばれるプログラムによって集中管理される。CONFORM の FORMAT 制御付き入出力は、すべてこの I/O リーダーライターにつながり込まれるので、同部分に対するオブジェクトは、非常に簡素化されている。

(4) 外部メモリー入出力

外部メモリー入出力に対するオブジェクトは、直接スーパーバイザのデータ転送機能を使うように生成する。これは、外部メモリーを内部コアメモリーエリアの拡張エリアとして、少しでも効率良く使用できるようにとの配慮による。

(5) プロセス入出力

プロセスデータは、応用システムごとにコードの種類、構成が異なるので、編集や変換操作まで提供するのは有用性の面で問題がある。したがって、プロセス入出力についても、直接スーパーバイザ機能を利用するようにオブジェクトを生成する。

(6) サブルーチンの構造およびオペレーティングシステムとのつながり

サブルーチンの結合構造の選択は、従来、アセンブラレベルのみで可能であったが、CONFORM のオブジェクトは、3.3.10 節(3)項で述べた言語機能に従った結合構造で生成できる。そのほか、コア常駐

データやアセンブラ言語で書かれたプログラムとのシンボルのリンケージ、FORTRAN サブルーチンとの互換性など、他のプログラム要素とのきめの細かいつながりを保つために、種々の配慮がなされている。

#### 5. CONFORM コンパイラ構成の概要

##### 5.1 コンパイル方式

CONFORM コンパイラは、図 5.1 に示す形の構成で作成されている。すなわちコンパイラは、CONFORM 言語をアセンブラ言語に変換するまでを受持ち、その後は、既存のアセンブラを利用して最終のオブジェクトプログラムを得る。

この方式による利点としては、

(1) コンパイラは、アセンブラの仕事であるメモリー割付け作業を省略できるので、コンパクトに作れる。

(2) コンパイラとアセンブラは、ジョブコントロールプログラムを介して別タスクとして起動、実行されるので、(1)と合わせて、オンラインコンパイルの際に有利である。

(3) アセンブラ言語との混用が、コンパイラにまったく負担をかけないで実現でき、アセンブラの機能をコンパイルレベルまで持上げることが容易に可能となる。

などがあげられる。反面、このような間接的コンパイル方式の採用は、コンパイル速度の低下を招くが、プロセス制御では、最初に述べたようにプログラムの実行に比べてコンパイルのひん度が低いこと、プラントか（稼）動後は、コンパイルはフリータイム処理となるのが前提であることから、コンパイラの性能としては、コンパイル速度よりも、その占有コアメモリー、オブジェクトプログラムの実行効率に重点が置かれているので、われわれは、前記の利点のほうを重視した。

##### 5.2 CONFORM コンパイラの構成

コンパイラは図 5.2 に示すように、ソースプログラム（CONFORM 言語）を読み取って、文法検査、文の解析などを行なうシンタックス解析部と、この解析結果から、アセンブラ言語を生成するオブジェクト生成部の二つの論理フェーズで構成されている。

コンパイラ構成上の特長的な事項としては、次の点をあげることができる。

(1) 図 5.2 のように、コンパイラはメモリー割付け部を持たない。このため、コンパイラ全体は、三つの物理フェーズで構成され、この種のコンパイラとしては、比較的コンパクトなものになっている。

(2) ソース解析時に、コンパイラ内部に生成される各種のテーブルのあふれには、外部メモリーにオーバーフローエリアを設けて対処し、コア上のテーブルエリアを小さくすることにより、コンパイラの占有コアメモリーの縮小を図っている。

(3) 各テーブルに関する情報（コアエリア中の相対位置、サイズなど）は、1 箇所を集められているので、コアメモリーの余裕に応じて、



図 5.1 CONFORM のコンパイル過程  
Compiling path of CONFORM.

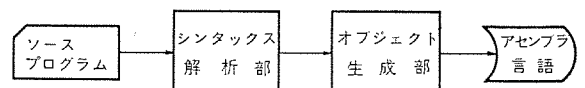


図 5.2 CONFORM コンパイラの論理フェーズ  
Logical structure of CONFORM compiler.

テーブルの拡張・縮小が容易に行なえる。

(4) 各処理ルーチンは、徹底したモジュール化が図られている。これは、単なるルーチンの分割ではなく、コンパイラの作業内容の分析結果に基づいて、レベル分けされた処理機能単位でモジュール化を実施した。コンパイラは、各レベルのモジュールを階層的に結合して組み立てられており、全体の保守が容易になっている。

(5) 一般に、コンパイラ自体の誤りは、作成時のデバッグ段階で皆無にするのが望ましいが、現実には、なかなか困難で、ときには実働に入ってから発見される誤りもある。CONFORM コンパイラは、自己の処理の履歴をダイナミックダンブで追跡できる機能を内蔵しており、いざという場合には、これにより原因究明の重要な手がかりとなるデータを即時に集収することができる。

(6) コンパイラが動に必要な入出力装置、外部ワーキングメモリー量などは、特定のものに固定せず、応用システムの周辺機器構成の多様さに対応できるように配慮されている。

## 6. む す び

MELCOM-350/30 用として開発されたプロセス制御用コンパイラ CONFORM の言語機能と、そのプログラム構造面の特長について述べた。

計算機制御の普及と処理内容の質的向上に伴って、プログラミングツールの発達がますます要請されることは明らかである。コンパイラはその重要なものの一つで、これの言語機能範囲の選定は実行時処理の実態のうえに立って検討されなければならない。プロセス制御用コンパイラ言語は従来 FORTRAN などの流用が多かったが、今後言語標準制定が問題になると思われる。

## 参 考 文 献

- (1) E. A. Weiss : IEEE Trans., IECI-15, No. 2 (1968)
- (2) 有田, 首藤, 関本, 居原田 : プロセス制御用プログラミングシステムの構成, 昭 45 信学全大, No. 941
- (3) 有田, 首藤, 関本, 居原田 : プロセス制御用基本コンパイラ, 昭 45 信学全大, No. 942
- (4) 中島 隆夫 : MELCOM-9100 システムシリーズ (3) — タイムシェアリングオペレーティングシステム —, 三菱電機技報 42, No. 8, 1123 (昭 43)
- (5) 有田, 黒田, 春原, 居原田 : MELCOM-9100 MACRO ASSEMBLER, 昭 43 電気四学会連大, No. 2,537
- (6) E. A. Weiss : Control Engineering, (July, 1969)
- (7) E. A. Kelly : Instrumentation Technology, (May, 1970)

# 日本電信電話公社 電気通信研究所納め粒子線加速装置

加 藤 嘉 則\*

入 江 浩 一\*\*・金 沢 正 博\*\*・町 田 賢 二\*\*

美 濃 和 芳 文\*\*・大 江 雅 男\*\*

## Electron Linac for Electrical Communication Laboratory, Nippon Telegraph and Telephone Public Corporation

Electrical Communication Laboratory, Nippon Telegraph and Telephone Public Corp. Yoshinori KATÔ

Kôichi IRIE・Masahiro KANAZAWA・Kenji MACHIDA

Yoshibumi MINOWA・Masao Ôe

An accelerator for the irradiation of electrons and X-rays by the use of Linac has been delivered to the Electrical Communication Laboratory of the Nippon Telegraph and Telephone Public Corporation for experimenting the cross linking of polymers such as polyethylene. It is capable of delivering an energy of 7 MeV at the maximum with the energy spread of below 10 %. The beam current is more than 200  $\mu$ A at 4 MeV. The electron scanning irradiation is possible up to the width of 30 cm back and forth. There is a remote-controlled trolley for the movement of right and left, which permits uniform irradiation up to 2 m. The X-ray is irradiated uniformly within an area of 40 cm in diameter at a distance of 1.5 m from the target. The output is more than 100 R/min-m at 4 MeV. A mechanism to select the energy spread of electron beams within 1 % is also provided.

### 1. ま え が き

この粒子線加速装置は、電子ライナックを主体とした装置で、3.5～6 MeV のエネルギーの電子線、X線を取り出すことができ、電子線は被照射物を移動台車に乗せて、スキャニング照射ができるようになっており、そのおもな性能は次のようである。

- |                 |                                   |
|-----------------|-----------------------------------|
| (1) 電子線 エネルギー   | 3.5～7 MeV                         |
| (2) 電子ビーム電流     | 200 $\mu$ A 以上 (4 MeV のとき)        |
| (3) 電子線 エネルギー 幅 | 10% 以下                            |
| (4) 電子ビーム電流安定度  | $\pm 5$ %/h                       |
| (5) スキャニング 幅    | 30 cm max                         |
| (6) 移動台車の速さ     | 7 m/min max                       |
| (7) エネルギー 選別度   | $\pm 1$ % 以下                      |
| (8) X線の平坦度      | $\pm 7.5$ % (40 cm $\phi$ at 1 m) |
| (9) X線の出力       | 100 R/min-m 以上 (4 MeV のとき)        |

最近放射線を高分子材料に照射し、その強化をはかる研究が各所でなされ、実用化の段階になっている。

電々公社電気通信研究所 (通研) においても、コバルト 60 の  $\gamma$  線を用いてポリエチレンの改質変性の研究を行っており、すでに表面グラフト重合を用いた接着性ポリエチレンの開発などでよい成果をおさめている。今回の粒子線加速装置を使って、さらに量産のさいの最適条件やコストの問題などを解明し、架橋ポリエチレンも含めた通信ケーブル用ポリエチレン材料の検討に役立てることにしている。

なおこの加速装置は後述のように、15 MeV のエネルギーにも、すぐ性能アップできるように設計されており、今後の成果が期待されている。以下に装置の概要と性能について報告する。

### 2. 基 本 設 計

この装置としてはエネルギー 4 MeV、最大ビーム電流 200 mA が目

標であったが、将来加速管を取り換えれば、そのまま 15 MeV の装置になるようにするため、すでに製品化されている非破壊検査用ライナック ML-15 R 形 (最大エネルギー 15 MeV) と同じ、5 MW の RF 出力をもつクライストロン (PV-2012 W 形) とそのパルサを用い、変更できるように設計した。

とくにこの装置の設計で留意した点は、

- (1) 加速管はパンチャ部を2段にし、ビームの透過率の向上をはかるとともに、長さを適当に選んで、3.5～6 MeV のエネルギー可変はビーム電流の変化だけで行なえるようにしたこと。
  - (2) 加速管からスキャナーおよびターゲットまでのビーム誘導で、90° 偏向運動量無分散系を構成し、10% 以下のエネルギー幅のビームのみを 100% 通過させ、ビーム焦点も小さくしたこと。
  - (3) スキャナー電磁石および電源は 15 MeV の電子線までスキャナー窓で 30 cm の走査ができるようにしたこと。
  - (4) スキャナーを第 2 偏向装置と交換すると、エネルギー選別度が  $\pm 1$  % 以下の電子線や X 線が得られるようにしたこと。
- などである。次にそれらの基本的な設計について簡単に述べる。

#### 2.1 加速管

加速管は ML-15 形ライナックに使用されているものと、同じく定位相速度、定インピーダンス形で、パンチャ部とレギュラー部を、一体構造としたものを用い、マイクロ波入力力が 4 MW のとき、エネルギーゲインが最大 7 MeV になるように加速管長を決めた。

加速管内の加速電界強度は

$$E(z) = \sqrt{2P_0 I r e^{-Iz}} - r i (1 - e^{-Iz}) \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

ただし

$E(z)$  :  $z$  の距離での電界強度

$P_0$  : マイクロ波の入力電力

$I$  : 加速管のマイクロ波の減衰定数

$r$  : 加速管のシャントインピーダンス

で表わされ、(ただしパンチングの起こっている部分ではこの条件で

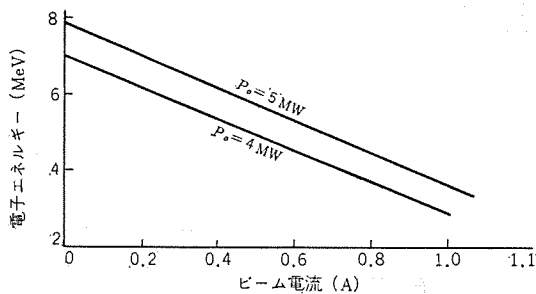


図 2.1 ビーム電流によるエネルギーゲインの変化  
Relation between electron energy and beam current.

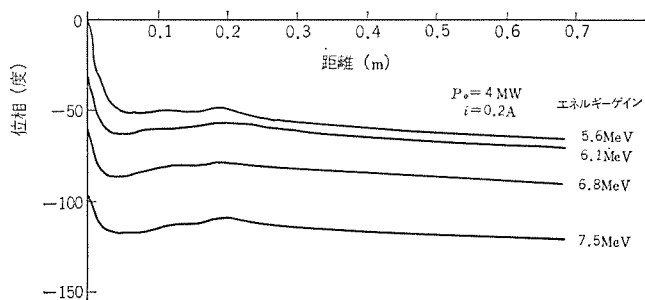


図 2.2 加速管内の電子の位相変化  
Phase relation in the accelerating structure.

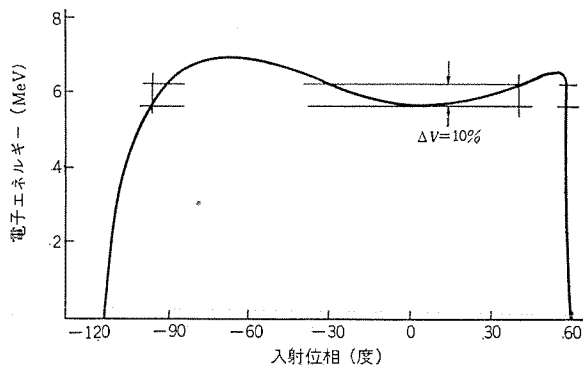


図 2.3 入射位相によるエネルギーゲインの変化  
Relation between energy gain and incident phase of an electron.

ない), エネルギーゲインは加速管長を  $L$  とすると,

$$V = \int_0^L E(z) dz = V_0 - rLi \left( 1 - \frac{1 - e^{-iL}}{iL} \right) \quad (2.2)$$

$$V_0 = \sqrt{2P_0 I r} \frac{1 - e^{-iL}}{I} \quad (2.3)$$

となる。ここで  $V_0$  はビーム電流が零のときの最大エネルギーで、 $I = 0.267$  neper/m,  $r = 60$  MΩ/m,  $P_0 = 4$  MW とすると、 $L = 0.678$  m で  $V_0 = 7$  MeV になる。このときのビーム電流とエネルギーの関係は、図 2.1 のようになり 4 MeV では 715 mA 得られる。また、得られる最大ビーム電流は、式 (2.1) から加速管出口 ( $z = L$ ) で、電界強度が零となる電流を求めると、

$$i = \sqrt{\frac{2IP_0}{r}} \frac{1}{e^{iL} - 1} = 950 \text{ mA} \quad (2.4)$$

となり、このときのエネルギーは 3 MeV となる。

表 2.1 加速管の構造  
Construction of the accelerating structure.

	1 空洞長(mm)	空 洞 数	位 相 速 度 (C: 光速)
第 1 バンチャ ー 部	31	3	0.886 C
第 2 バンチャ ー 部	33	3	0.943 C
レギュラ ー 部	35	14	C

したがって 3~7 MeV までのエネルギー可変は、マイクロ波の入力を 4 MW に保ち、ビーム電流のみを変えて行なうことができる。

また、 $P_0 = 5$  MW とするとエネルギー可変幅は 3.4~7.8 MeV となり、4 MeV では 900 mA となる。

実際の加速管は、表 2.1 のように、3 空洞ずつ 2 段階のバンチャ部と 14 空洞のレギュラー部を一体構造にしたもので、加速管内のビームの位相変化は入射ビームエネルギーを 70 keV とし、 $P_0 = 4$  MW,  $i = 200$  mA とすると図 2.2 のようになる。

入射ビーム位相と出力ビームエネルギーの関係をグラフにすると、図 2.3 のようになり、加速管の透過率は  $173^\circ/360^\circ = 48\%$  エネルギー幅が 10% 以内のビームは、その内  $76.5^\circ/173^\circ = 44\%$  程度になる。

加速管内でのビーム電流の減少はエミッション電流を増せば、ある程度、補えるので加速されるビーム電流値はほぼ図 2.1 になると考えると、4 MeV でエネルギー幅 10% 以下のビームは、 $P = 4$  MW のとき 315 mA のピーク値が得られ、パルス幅を 4 μs、パルスのくり返し周波数を 200 PPS とすれば、平均 252 μA が期待できる。

また、 $P_0 = 5$  MW にすれば、ピーク値で 395 mA、平均値は 315 μA 得られるであろう。

## 2.2 第 1 偏向系

この装置では水平に加速された電子ビームは、加速管をでてから約 2 m 走り、第 1 偏向電磁石 (DM<sub>1</sub>) で鉛直下方に曲げられ、地下室のスキナまたは第 2 偏向電磁石 (DM<sub>2</sub>) へ誘導されるが、電子ビームは 25% 程度のエネルギー幅をもっていることが予想されるので、一般には偏向方向に広がって出力が減少する。そこで、Q 電磁石ペア (Q<sub>3</sub>Q<sub>4</sub>) を DM<sub>1</sub> の後に置いて、運動量無分散の組合せにし、ビームダクトの大きさは、10% 以内のエネルギー幅のビームのみ完全に透過するようにした。また DM<sub>1</sub> の前には Q 電磁石ペア (Q<sub>1</sub>, Q<sub>2</sub>) を置き、DM<sub>1</sub> へのビームの入射条件をよくした。

第 1 偏向系の入口 (DM<sub>1</sub> の入口) のビーム条件を  $(x_0, \theta_0, \gamma_0)$  とし、第 1 偏向系の出口 (DM<sub>2</sub> の入口) のビーム条件を  $(x_1, \theta_1, \gamma_1)$  とすれば、一般に次の関係が成立する。

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ \theta_1 \\ \gamma_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_{11}^X & M_{12}^X & M_{13}^X \\ M_{21}^X & M_{22}^X & M_{23}^X \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 \\ \theta_0 \\ \gamma_0 \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ \phi_1 \\ \gamma_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_{11}^Y & M_{12}^Y & 0 \\ M_{21}^Y & M_{22}^Y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_0 \\ \phi_0 \\ \gamma_0 \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

ただし上式の変換行列  $[M^X][M^Y]$  は、一次近似として次式で表わされる。

$$\begin{bmatrix} M_{11}^X & M_{12}^X & M_{13}^X \\ M_{21}^X & M_{22}^X & M_{23}^X \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & l_2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ \frac{1}{f_2} & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & d & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ -\frac{1}{f_1} & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & l_1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\times \begin{bmatrix} \frac{\cos(\alpha - \beta_1)}{\cos \beta_1} & \rho \sin \alpha & \rho(1 - \cos \alpha) \\ (1 - \tan \beta_1 \tan \beta_2) \sin(\alpha - \beta_1 - \beta_2) & \frac{\cos(\alpha - \beta_2)}{\cos \beta_2} \sin \alpha + \frac{-\rho \cos(\beta_1 + \beta_2)}{0} & (1 + \cos \alpha) \tan \beta_2 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

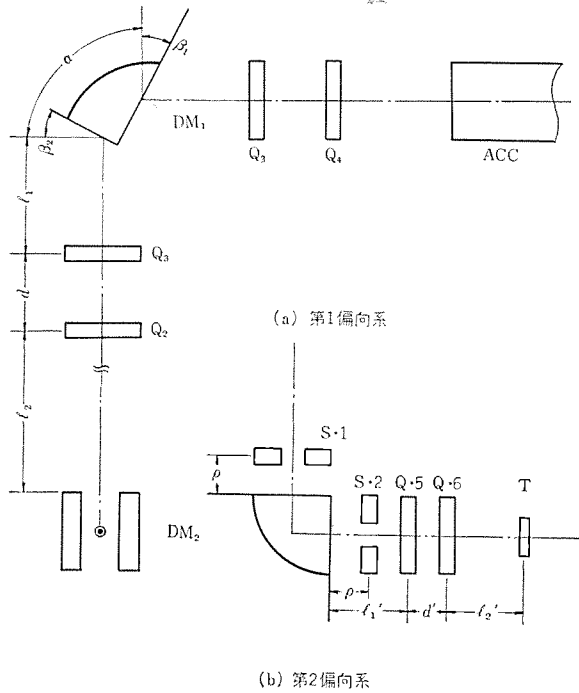


図 2.4 偏向系の構成  
Block diagram of beam deflecting system.

$$\begin{bmatrix} M_{11}^Y & M_{12}^Y & M_{13}^Y \\ M_{21}^Y & M_{22}^Y & M_{23}^Y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & l_2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ -\frac{1}{f_2} & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & d & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ \frac{1}{f_1} & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & l_1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\ \times \begin{bmatrix} 1 - \alpha \tan \beta_1 & \alpha \rho & 0 \\ \tan \beta_1 + \tan \beta_2 & 1 - \alpha \tan \beta_2 & 0 \\ -\rho & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

ここで  $x$  は偏向方向のビームの大きさ、 $\theta$  はその方向の発散角、 $\alpha$  は運動量分散であり、 $y$  は  $x$  方向と直角の方向ビームの大きさ、 $\phi$  は  $y$  方向の発散角である。 $l_1, d, l_2$  は図 2.4(a) の示すように  $DM_1$  と  $Q_3$  の距離、 $Q_3$  と  $Q_4$  の距離、 $Q_4$  と  $DM_2$  までの距離であり、 $f_1, f_2$  は  $Q_3, Q_4$  の焦点距離である。また  $\rho, \alpha$  はビームの偏向曲率半径および偏向角を表わし、 $\beta_1, \beta_2$  はビームの偏向電磁石に対する入射角と出射角を表わす。偏向系出口のビームの大きさは式(2.5)、式(2.6)より

$$x_1 = |M_{11}^X| x_0 + |M_{12}^X| \rho Q_0 + |M_{13}^X| \rho \gamma \quad (2.7)$$

$$y_1 = |M_{11}^Y| y_0 + |M_{12}^Y| \rho \phi_0 \quad (2.8)$$

となるが、運動量無分散の条件  $M_{13}^X = 0$  を満たすような  $l_1, d, l_2, f_1, f_2, \beta_1, \beta_2$  の組合せのうち、 $M_{12}^Y = 0$  となりかつ  $M_{11}^X, M_{11}^Y, M_{12}^X$  も小さくなるようにした。その結果、各パラメータと変換行列は次のようになった。

$$l_1 = 3\rho, d = 2\rho, l_2 = 10\rho, f_1 = 1.92\rho, f_2 = 2.7\rho$$

$$\beta_1 = -30^\circ, \beta_2 = +30^\circ, \alpha = 90^\circ, \rho = 15 \text{ cm}$$

$$[M^X] = \begin{bmatrix} -1.421 & -3.368 & 0 \\ 0.1098 & -0.4435 & -0.297 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$[M^Y] = \begin{bmatrix} -0.4463 & 0 & 0 \\ -0.4324 & -0.3939 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

したがって入射ビームの条件を  $x_0 = y_0 = 5 \text{ mm}$ 、 $\theta = \phi_0 = 5 \times 10^{-3}$ 、 $\gamma = 0.1$  とすると、出口ビーム( $DM_2$  の入口)の条件は、 $x_1 = 9.63 \text{ mm}$ 、 $y_1 = 2.33 \text{ mm}$ 、 $\theta_1 = 35.57 \times 10^{-3}$ 、 $\phi_1 = 16.382 \times 10^{-3}$  となる。

### 2.3 第2偏向系

第2偏向系はエネルギー選別度の精度を上げるためその出入口にスリットをもうけ、図 2.4(b) のようにスリットの位置は磁石から  $\rho$  の距離にとり、 $\beta_1 = \beta_2 = 0$  とし、選別度がスリット幅だけで決まるようにした。

すなわち図 2.4(b) のように磁石とスリットの関係を決めると、入口のスリット位置でのビーム条件を出口のスリット位置でのビーム条件に変換する行列は、 $\alpha = 90^\circ$  のとき

$$\begin{bmatrix} M_{11}^X & M_{12}^X & M_{13}^X \\ M_{21}^X & M_{22}^X & M_{23}^X \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \rho & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \alpha & \rho \sin \alpha & \rho(1 - \cos \alpha) \\ -\sin \alpha & \cos \alpha & \sin \alpha \\ \rho & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & \rho & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\ = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 2\rho \\ -\frac{1}{\rho} & -1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

となり、入口ビームの大きさ  $x_0$  と出口ビームの大きさ  $x$  の関係は、入口ビームの発散角に無関係になり

$$x = -x_0 + 2\rho\gamma$$

となる、したがって入口のスリット幅を  $s_1$ 、出口のスリット幅を  $s_2$  とすればエネルギー選別度は

$$\gamma = (s_1 + s_2)/2\rho \quad (2.9)$$

となり、 $\rho = 15 \text{ cm}$  のとき図 2.5 のようになる。

なお  $DM_2$  の後には第1偏向系と同様に Q 電磁石ペア( $Q_5, Q_6$ )を置いて、ターゲットの位置では運動量無分散( $M_{13}^X = 0$ )と Y 方向の発散に対して無関係の条件( $M_{12}^Y = 0$ )が満たされるように、 $l_1, d, l_2, f_1, f_2$  を決めた。その結果  $l_1 = 2\rho, d = \rho, l_2 = 2\rho, f_1 = 1.05\rho, f_2 = 0.95\rho$  のとき変換行列は次のようになり

$$[M^X] = \begin{bmatrix} -1.70 & -1.70 & 0 \\ -0.291 & -0.8794 & -0.588 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$[M^Y] = \begin{bmatrix} -0.2521 & 0 & 0 \\ -1.097 & -3.966 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

ターゲットでのビームの大きさは、偏向方向が第1偏向系と反対になるので、式(2.7)、(2.8)において  $x_0 = y_1, y_0 = x_1, \theta_0 = \phi_1$  とおくと  $x_2 = 8.0 \text{ mm}$ 、 $y_2 = 2.44 \text{ mm}$  となることが予想される。

### 2.4 スキャナ

スキャン電磁石の大きさと強さの関係は

$$B = \frac{4\pi}{10} \frac{n}{d} I \quad (2.10)$$

$n$ : コイルのターン数

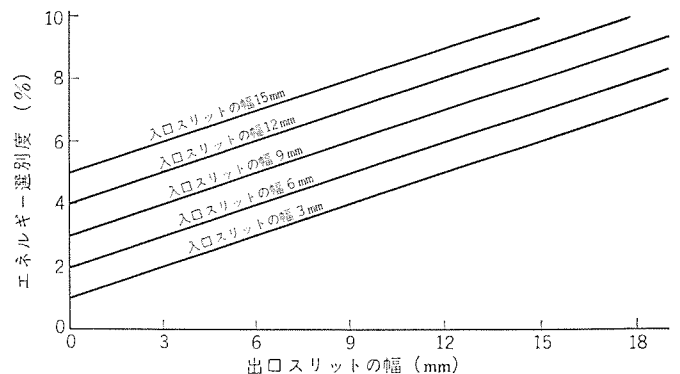


図 2.5 スリット幅とエネルギー選別度の関係  
Relation between energy resolution and slit width.

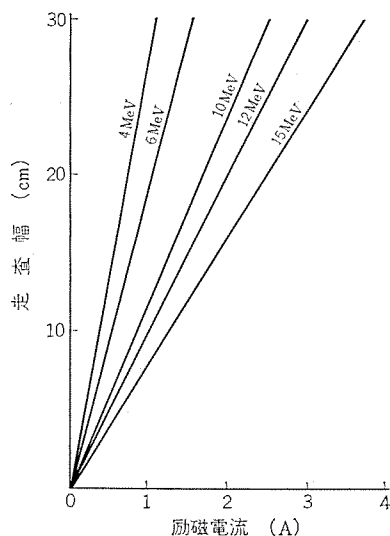


図 2.6 走査幅と励磁電流の関係  
Relation between exciting current and scanning width.

$d$ : 磁石のギャップ

$I$ : 励磁電流

で与えられ、ビームの偏向角は

$$\theta = \frac{l}{\rho} \quad (2.11)$$

$l$ : 磁石の長さ

$\rho$ : ビームの偏向曲率半径

となり、ビームの運動量と偏向角の関係は次のようになる。

$$B\rho = \frac{4\pi}{10} \frac{n}{d} l \frac{1}{\theta} I \quad (2.12)$$

磁石から 150 cm での走査幅を  $2x$  cm とすると、 $\theta \approx x/150$  であるから  $n=500$  T,  $d=4.5$  cm,  $l=10$  cm に設計すると、

$$B\rho = 2.1 \times 10^5 I/x$$

となり、励磁電流と走査幅の関係は各エネルギー( $B\rho$ ) に対して図 2. 6 のようになる。15 MeV のときは  $B\rho=5.2 \times 10^4$  G·cm であるから走査幅を 30 cm にするには  $I=3.7$  A の電源が必要である。

### 3. 装置の構成と各機器の概要

本装置の構成は図 3. 1 のようになっており、X線のしゃへい上から制御室・本体室・照射室の三つのへやに分けて配置されている。そのおもな機器の性能は次のようである。

#### 3.1 制御卓

制御卓の外観は図 3. 2 に示すとおり、冷却装置と加圧装置を除くすべての機器の始動・制御・停止を行なえるようになっており、盤面は操作手順にしたがって左からスイッチやメーターが配列されている。下段左にはモニター端子があり、ビーム波形等の観測ができるようになっており、下段右には 5 kV のイオンポンプ電源が 2 台 (80 l/s 用, 20 l/s 用) が内蔵されている。

#### 3.2 補助電源

補助電源の外観は図 3. 3 のようで、電磁レンズ (ML), Q 電磁石偏向電磁石, スキャン電磁石 (SCAN) の電源があり、各電源は 15 MeV の電子線を偏向するだけの容量をもち、電流はトランジスタで 1 % 以下に制御している。

#### 3.3 パルス

スイッチング素子に水素入りサイリオン (VC-1257) を用いているほかは、すべて半導体化しているライン形パルスで、せん頭値  $-14$  kV, パルス幅  $6 \mu$ s, 最大くり返し周波数 200 PPS のパルスを発生しており、電圧は 1VR で  $\pm 1$  % 以下に自動制御している。外観は図 3. 4 に示す。

パルスは高圧絶縁三心ケーブルを伝搬し、パルストランスで昇圧され、電子銃とクライストンのカソードに  $-70$  kV と  $-140$  kV の高圧パルスを供給する。

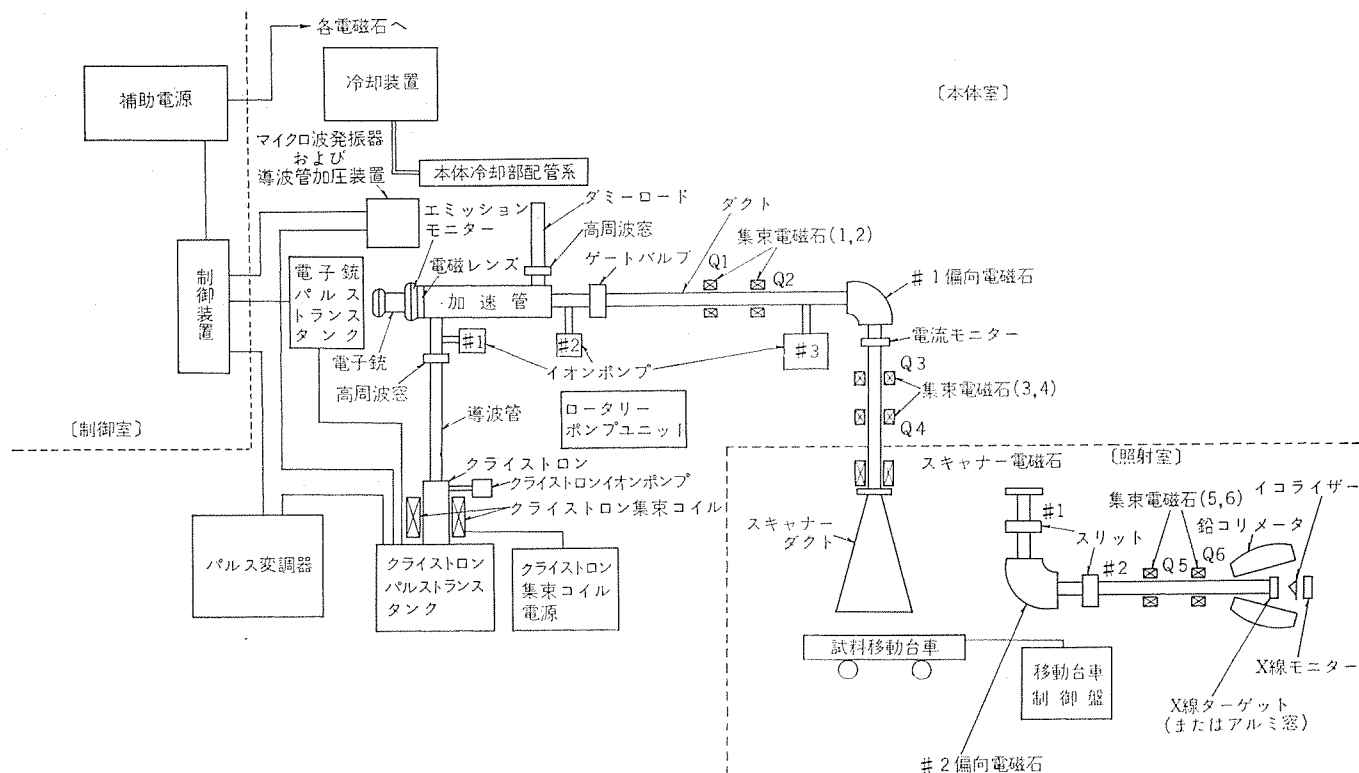


図 3.1 加速装置の構成図

Block diagram of accelerator.



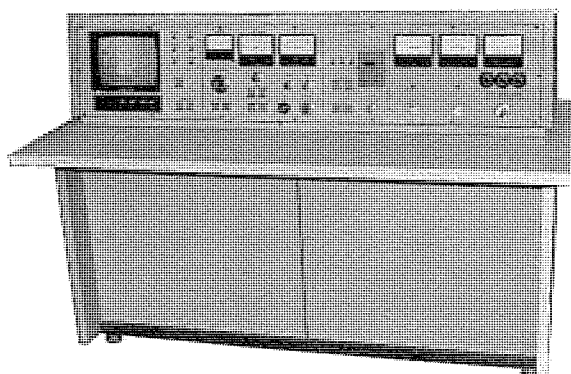


図 3.2 制御卓 Control console.

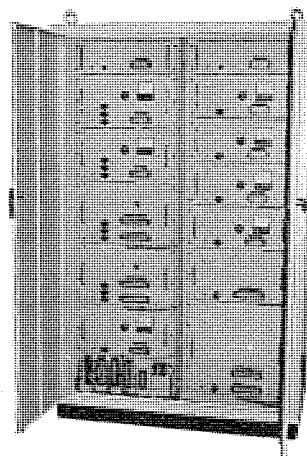


図 3.3 補助電源 Auxiliary power supply.

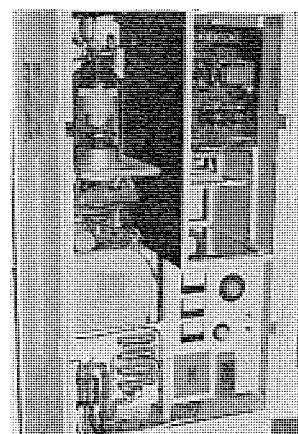


図 3.4 パルサ Pulsar.

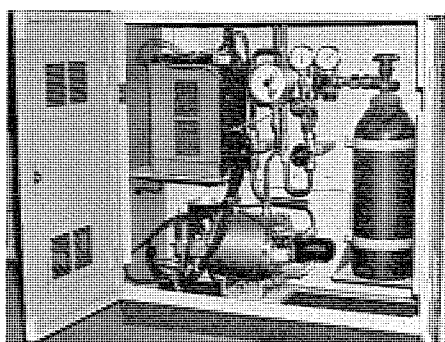


図 3.5 マイクロ波発振器 Microwave oscillator.

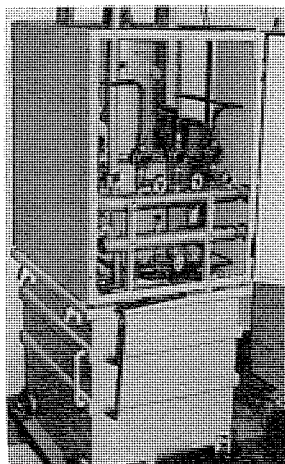
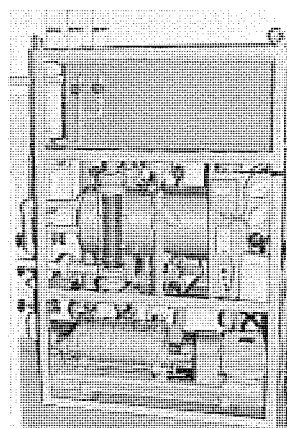


図 3.6 クライストロンおよびパルストランスタンク Klystron and pulsetransformer tank.

図 3.7 冷却装置 Cooling unit.



### 3.4 マイクロ波発振器

板極管 3 CPX 100 A 5 に正帰還をほどこし、帰還ループに周波数標準空洞をそう入し、発振周波数の安定化をはかるとともに、加速管の冷却水をこの空洞に通すことによって、発振周波数と加速管の必要な周波数とある程度温度に無関係に自動的に一致させている。出力はせん頭値約 100 W、パルス幅 8  $\mu$ s でクライストロンを励振している。外観は図 3.5 に示すように、導波管の高圧絶縁ガス(SF<sub>6</sub>) 加圧装置も内蔵している。

### 3.5 クライストロンおよびその集束コイル電源

当社製のクライストロン(PV-2012 W)で、外観は図 3.6 に示す。マイクロ波を増幅し、2,856 MHz でせん頭出力 5 MW 以上、平均出力 10 kW 以上が得られ、イオンポンプで内部を高真空に保持している。クライストロンのまわりには集束コイルがあり、その励磁用電源は大電流用サイリスタを用い、60 A~130 A の電流を制御している。

### 3.6 冷却装置

外観は図 3.7 のようで閉回路循環方式で加速管本体・クライストロン・偏向電磁石等へ冷却水を送っている。熱交換能力は 30,000 kcal/h、一次冷却水量約 80 l/min、二次冷却水量 130 l/min、揚程 60 m 以上である。

### 3.7 加速器本体

加速器本体の外観を図 3.8 に示す。電子銃は傍熱形のアイカソードを用いたピアス式電子銃で、エミッション電流は、外周に取りつけられたコアマノーター(出力約 0.5 V/A)でモニターしながら、制御室でカソードのヒータ電力を調整して制御する。電子銃を出た電子は電磁レンズで集束され、加速管に入りマイクロ波のエネルギーを得て加速される。加

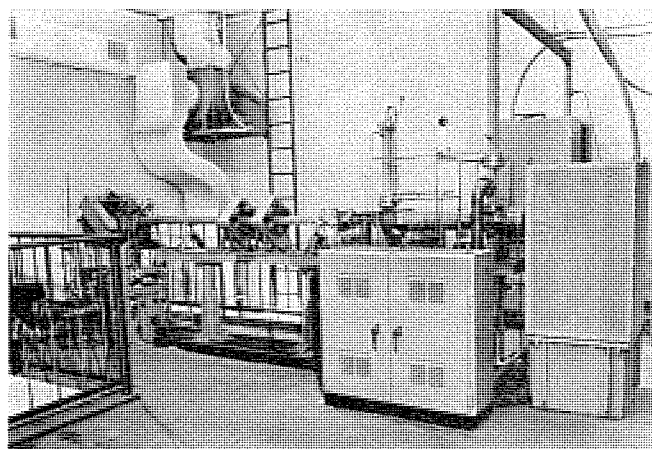


図 3.8 加速器の外観 General view of accelerator.

速管は電鋳法により製作され、両端には空洞形の RF 結合器が一体構造となって装着されており、外周は冷却用の水ジャケットがとりつけられている。電子の加速をした残りのマイクロ波は出口の RF 結合器から出て、水負荷方式のダミーロードに吸収される。なお加速管の入口と出口にはそう入損失 0.1 dB 以下の高周波窓があり、導波管側の加圧部と真空封じをしており、加速管側は入口と出口から 20 l/s の 2 個のイオンポンプで排気している。

### 3.8 第 1 偏向系

加速管を出た電子ビームは、Q 電磁石(Q<sub>1</sub>Q<sub>2</sub>)で集束され第 1 偏向電磁石(DM<sub>1</sub>)に入り、地下の照射室へ導かれる。DM<sub>1</sub>のすぐ後にも Q 電磁石(Q<sub>3</sub>Q<sub>4</sub>)があり、運動量無分散の集束を行ない、エネルギー

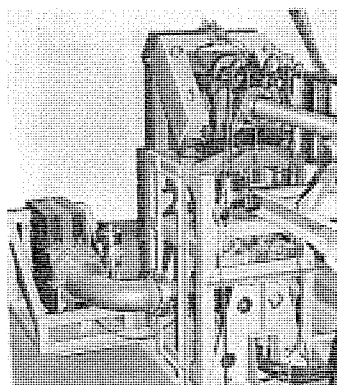


図 3.9 第1 偏向電磁石系  
First deflecting magnet system.

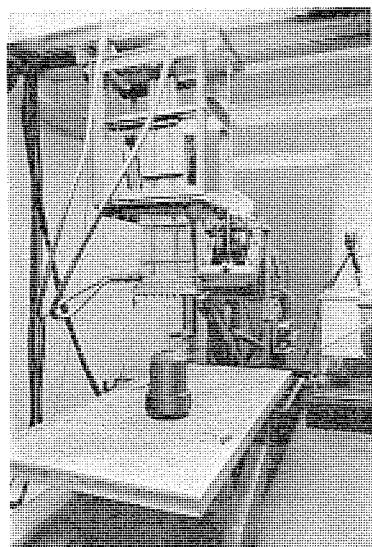


図 3.10 スキャナおよび  
照射用移動台車  
Scanner and irradiation  
table.

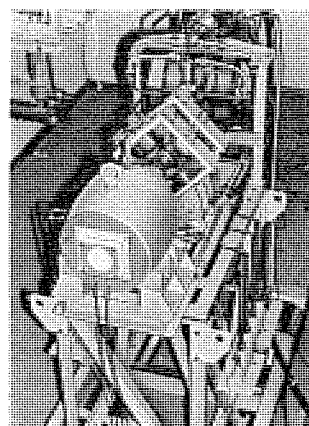


図 3.11 第2 偏向系の外観  
General view of second  
deflecting magnet system.

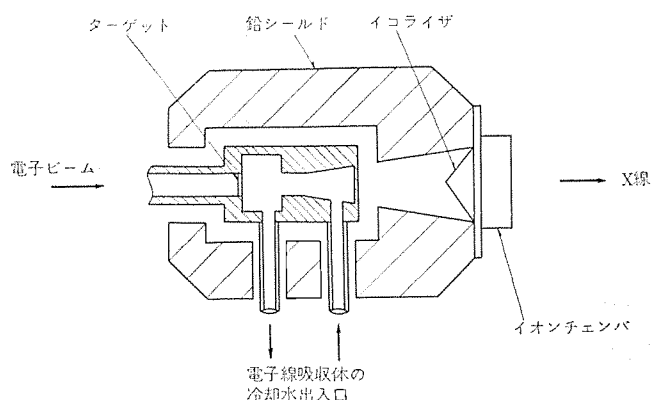


図 3.12 ターゲットまわりの構造  
Construction of target system.

ビーム幅 10% 以下のビームのみをすべて導くように設計されている。DM<sub>1</sub> と Q<sub>3</sub>Q<sub>4</sub> 電磁石の間にはコアマニターがあり、偏向後のビーム電流をモニターし、制御室で平均電流としてメーター表示している。第1 偏向系の外観は図 3.9 のようである。なお偏向ダクト内は 80 l/s のイオンポンプで排気し、加速管部とはゲートバルブでシャ断することができる。

### 3.9 スキャナ系

スキャナの外観は図 3.10 のようで、スキャンダクトの入口にあるスキャン電磁石は、ビームを前後に走査している。スキャンダクトのビーム取出し窓は振幅 30 cm、横幅 4 cm で厚さ 0.15 t のアルミはくをステンレスフランジのみで押え真空封止をしている。

### 3.10 被照射物移動用台車およびその制御電源

地下室にはレールの上に長さ 2 m、幅 1 m の移動車があり、電子線をスキャン照射するとき、試料を乗せてスキャンの方向と直角に自動往復運動し、大きな試料も均一に照射できるようになっている。移動方向・移動速度・移動回数はすべて制御卓でセットでき、必要な移動回数を終えると自動的に止まるようになっている。とくに移動速度はタコメータを使って自動制御して、その精度をあげており最大速度は 7 m/min である。

### 3.11 第2 偏向系

第2 偏向系の外観を図 3.11 に示す。スキャナを取りはずしこの偏向系を取りつけると、第2 偏向電磁石 (DM<sub>2</sub>) の入口、出口のスリットによって、エネルギーの選別された電子線やX線を取り出すことができる。スリットは水冷式で手動でスリット幅を変え、エネルギー選別度

を任意に選ぶことができる。Q 電磁石 (Q<sub>5</sub>, Q<sub>6</sub>) は第1 偏向系と同様に、運動量無分散の集束をし、ターゲットに当てるように設計してある。

ターゲットまわりの構造は図 3.12 のようで、ML-15 R 形のライナックと同じにし、12 MeV で 2,000 R/min-m のX線発生の際にも十分耐えられる構造になっている。ターゲットはタングステンでイコライザは約 15 度コーン (40 cmφ at 1.5 m) の照射野を均一にしている。イオンチェンバはX線の出力をモニターし、制御卓で R/min-m の単位で表示している。

## 4. 出力ビームの性能

ライナックはパルス運転をしているので、ビーム電流の波形も当然パルス状になる。図 4.1 はエネルギーが約 5 MeV の電子ビームの直進部出口、スキャナ出口および第2 偏向系出口のパルス波形とビームスポットの大きさを示したもので、偏向されるにつれてパルス幅と高さが次第に減少していく様子がわかる。

### 4.1 スキャンビームの出力

図 4.2 はマイクロ波入力力が約 5 MW のときのスキャナ出口のビーム電流 (ピーク値) と、そのエネルギーおよびそのときの電子銃からのエミッション電流の関係を示したもので、4 MeV では 360 mA 得られている。エネルギーは電子ビームのアルミニウム中の飛程 (R) を測定し、Feather の式

$$E = \frac{R + 0.160}{0.543}$$

を使って求め、偏向電磁石の励磁電流とエネルギーの関係を校正した。図 4.3 は 4 MeV のときの飛程の測定結果である。

図 4.4 はパルスのくり返し周波数に対する平均ビーム電流の出力を示すもので、4 MeV では 140 PPS で 200 μA に達している。なお点線でビームモニターの指示も並記した。

図 4.5 は吸収線量の量によって着色の色が変化するプラスチックテープを移動台車にはりつけ、左右に移動しながらスキャナで電子線を前後に走査して照射したものである。電子線出力は 4 MeV で 200 μA、移動台車の速さは 2 m/min で 40 回照射したが、その着色の具合から判断すると吸収線量は約 30 Mrad である。

### 4.2 第2 偏向系の出力

スキャナを取りはずし第2 偏向系を取りつけるとエネルギーの選別された電子線やX線が得られるが、図 4.6 はスリットを適当にしぼっ

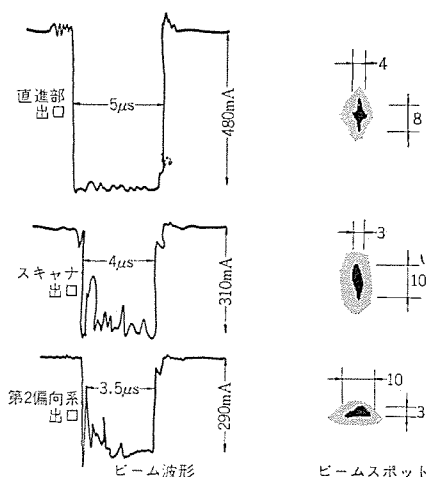


図 4.1 ビーム電流波形とビームスポット  
Beam current wave form and spot size.

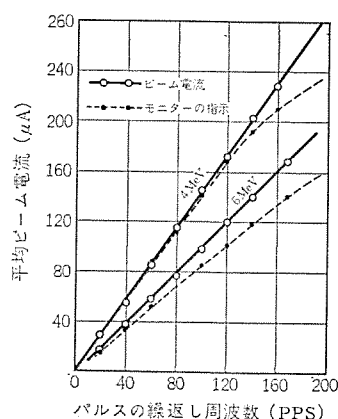


図 4.4 スキャナ出口での平均ビーム電流出力  
Output beam current at scanner.

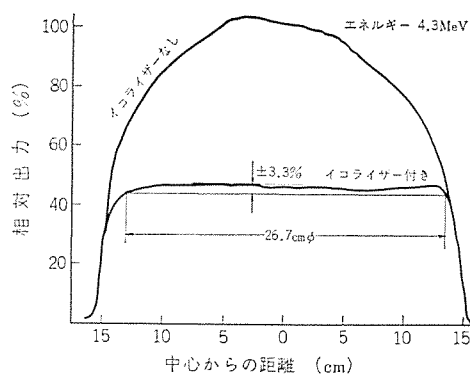
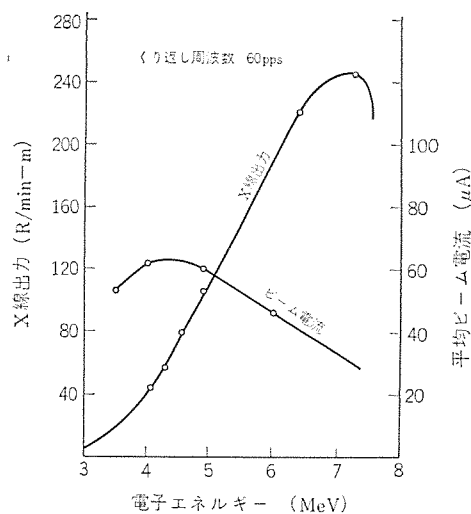


図 4.7 X線の出力分布  
X-ray angular distribution.

図 4.8 電子エネルギーに対するX線の出力およびビーム電流の関係  
X-ray intensity and beam current for an electron beam energy.



## 5. 建家のしゃへい

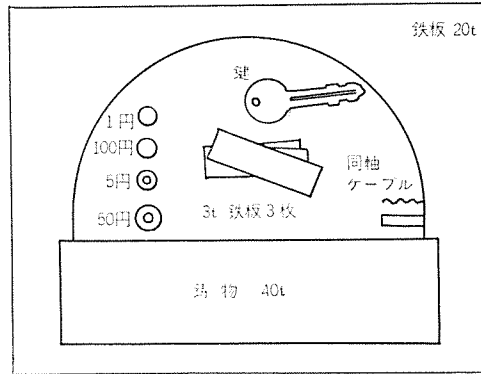
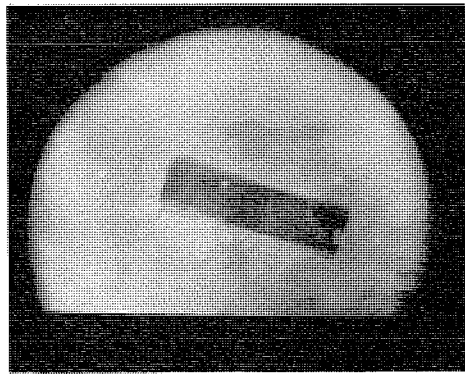
この建家は現在 4 MeV の加速器を将来 15 MeV にエネルギーアップすることを前提にして設計し地下構造とした。

### 5.1 加速器の性能と運転条件

加速器の最大エネルギー	15 MeV
加速器のX線最大出力	2,000 R/min at 1 m
X線出力最大のときの電子線エネルギー	12 MeV
運転時間	48 h/W

### 5.2 計算式

建家を地下構造にしたため、漏えい線の計算には、制御室に対し



電子線エネルギー	4.5 MeV
鉄板の厚さ	20 mm
FSD	75 cm
露出線量	7 R at 1 m
フィルム	サクラ N タイプ
増感紙	フィルム前後 Pb1t
現像時間	1.2 分

図 4.9 ラジオグラフィのテストフィルム  
Radiography test film.

ては本体室と制御室との間の壁を透過してくる直接透過X線強度  $R_d$  と、迷路を通ってくる散乱X線の強度  $R_s$  を求め、天井に対してはスカイラインの強度  $R_a$  を求めた。

#### (1) 直接透過X線 $R_d$

$$R_d = B \frac{R(1, \theta)}{r^2} 10^{-\frac{t}{t_0}}$$

ここで  $B$  はビルドアップ係数、 $r$  は線源から測定点までの距離、 $R(1, \theta)$  は線源から 1 m の位置での  $\theta$  方向のX線の強さ、 $t$  はしゃへい壁の実効厚さ、 $t_0$  はしゃへい材の 10 分の 1 個層である。

#### (2) 散乱X線 $R_s$

$$R_s = R(1, \theta) \frac{\alpha \cos \theta_0}{r_0^2 r^2} s$$

ここで  $r_0$  は線源から散乱壁までの距離、 $r$  は散乱壁から測定点までの距離、 $\theta_0$  は散乱面の法線と入射X線のなす角、 $s$  は散乱壁の面積、 $\alpha$  は散乱係数で

$$\alpha = \frac{CK(\theta_s)10^{26} + C'}{1 + \cos \theta_0 \sec \theta}$$

$K(\theta_s)$  は Klein-Nishina のエネルギー散乱断面積で  $C$  および  $C'$  は図 5.2 のように与えられている。

#### (3) スカイライン $R_a$

$$R_a = g(x, E, \psi) \eta(E) BR(1, \theta) 10^{-\frac{t}{t_0}} \Omega$$

ここで  $\eta(E)$  はレントゲン数を光子束に換算する換算係数、 $\Omega$  はスカイラインに寄与するX線の立体角、 $g(x, E, \psi)$  はスカイラインの散乱係数である。

### 5.3 各部漏えい線の強さ

放射線しゃへいに対する建家図は図 5.1 に示した。点①の線源

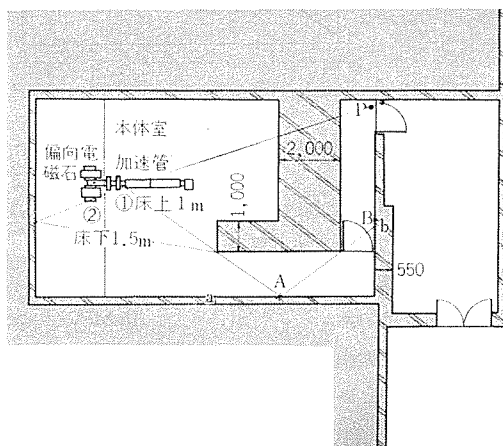


図 5.1 電子ライナック建家平面図  
Floor plan of Linac shielding room.

は  $\theta=0^\circ$  で 400 R/min at 1 m,  $\theta=90^\circ$  で 80 R/min at 1 m,  $\theta=180^\circ$  で 40 R/min at 1 m 程度の強度と仮定する。

#### (1) 直接透過X線 $R_d$

直接透過X線  $R_d$  は①→P の場合を計算する。 $\theta \approx 180^\circ$  としてもよいので  $R(1, \theta) = 40$  R/min at 1 m とすると P 点の直接透過X線強度  $R_d$  は

$$R_d = 6 \times \frac{4 \times 10 \times 6 \times 10}{10^2} \times 10^{-\frac{200 \sec 20^\circ}{38}} \times 10^3 \text{ mR/h} \\ = 0.37 \text{ mR/h}$$

#### (2) 迷路を通ってくる散乱X線 $R_s$

迷路を通して制御室 P 点に散乱してくるX線は、次の仮定のもとに計算する。すなわち線源①から壁 a の点 A に向うX線の強さを  $\theta \approx 140^\circ$  で代表し、60 R/min at 1 m とし散乱壁の面積  $s$  は A 点より左側 a 壁全部とする。①からのX線は A 点で 1 回目の散乱をし B 点に達し、さらに 2 回目の散乱をして P 点に達するものとする。

##### 1 回目散乱 $R_{s1}$

$$R_{s1} = \frac{6 \times 10 \times 6 \times 10}{6^2 \times 4^2} \cos 55^\circ \frac{0.15 K(75^\circ) \times 10^{26} + 0.008}{1 + \cos 55^\circ \sec 50^\circ} \\ \times 8 \times 2 \times 10^3 \text{ mR/h} \\ = 4.25 \times 10^2 \text{ mR/h}$$

このときの散乱X線のエネルギー  $E$  は

$$E = \frac{E_0}{1 + \frac{E_0}{m_0 c^2} (1 - \cos \theta_s)} \\ = 0.618 \text{ MeV}$$

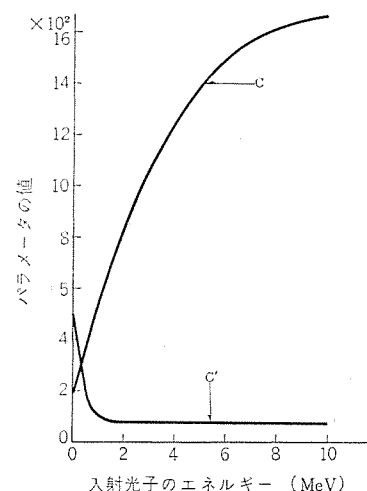


図 5.2 散乱係数のパラメータの値  $C, C'$   
Parameter values of scattering coefficient  $C, C'$ .

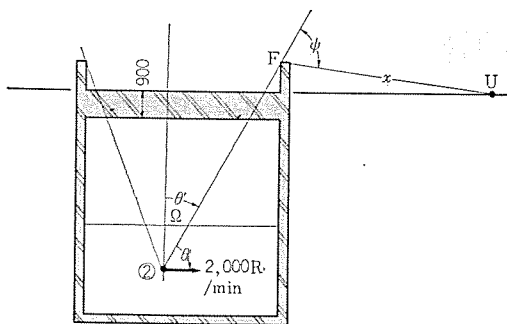


図 5.3 電子ライナック建家立面図  
Cross section of Linac shielding room.

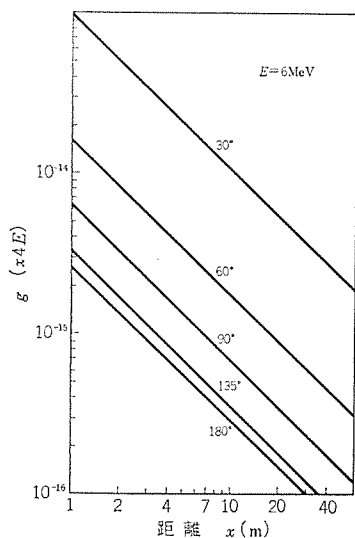


図 5.4 スカイシャインの散乱係数  
Scattering coefficient of skyshine.

したがって2回目の散乱線のP点での強さ  $R_{s2}$  は

$$R_{s2} = \frac{R_{s1}}{4^2} \cos 35^\circ \frac{0.037K(55^\circ) + 0.02}{1 + \cos 35^\circ \sec 88^\circ} \times 2.5 \times 2 \times 10^3 \text{ mR/h}$$

$$= 0.417 \text{ mR/h}$$

### (3) スカイシャイン $R_a$

スカイシャインの計算は図 5.3 建家図で、線源②から  $\theta$  方向の強さのX線が天井にぬけると考え、立体角は天井にぬける全立体角の半分にとる。このときの光子束は②→Fの線上に集中していると仮定して計算する。立体角  $\Omega$  は

$$\Omega = \frac{1}{2} \int_0^{30} 2\pi \sin \theta d\theta$$

$$= 0.421$$

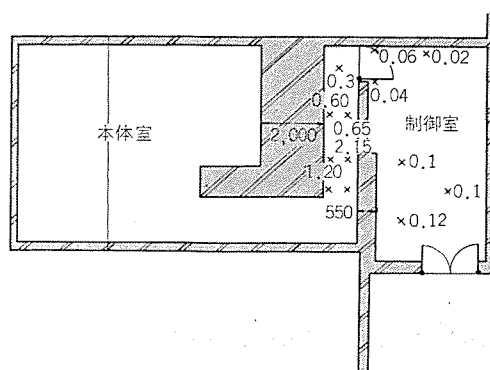


図 5.5 4 MeV 電子ライナック制御室漏えい線量分布  
Radiation leakage distribution of Linac control room  
at energy of 4 MeV.

$\eta(E)$  は 6 MeV の光子の場合  $10^{10}/8 \text{ photons/m}^2/\text{s}/(\text{R/h})$  である。 $g(x, E, \psi)$  は図 5.3 および図 5.4 より  $x=8 \text{ m}$ ,  $\psi=70^\circ$  とすれば  $g(x, E, \psi) = 1.7 \times 10^{-15}$  となり、スカイシャイン  $R_a$  は  $\theta=60^\circ$  だから  $R(1, \theta) = 200 \text{ R/min}$  at 1 m として

$$R_a = 1.7 \times 10^{-15} \times \frac{10^{10}}{8} \times 3 \times 2.0 \times 10^2 \times 6 \times 10 \times 0.421 \times 10^{-\frac{90 \sec 30^\circ}{32}}$$

$$= 0.57 \text{ mR/h}$$

以上各過程で本体室外にもれる最も強いと思われる点について漏えい線を計算したが、この計算には多くの仮定が入っているので実際は計算値と異なった値が出てくる。しかしいずれの場合も最悪の事態を仮定して求めたので、この値を越えることはない。現在 4 MeV のエネルギーで運転しているが、このときのスカイシャインの強さは測定にかからない程度に小さかった。制御室への漏えい線は図 5.5 のようになった。この値からエネルギーが 12 MeV にあがった場合を想定しても、 $\theta=90^\circ$  以上のX線の強度は 5 倍を越えないので制御室の線量は、図 5.4 の値の 5 倍を越えることはない。

## 6. む す び

この装置は非破壊検査用ライナック ML-15 R 形の経験を生かし、制御卓やパルサー等を小形化し、メーター数など必要最小限にとどめた。デザインも一新し、運転者本位に操作しやすいということに主眼を置いて設計されたが、期待どおりの性能が得られ、今後の新しい機種の開発にも役立つであろう。

最後にこの粒子線加速装置の設置にあたり、多大のご協力をたまわった通研の関係各位に厚く感謝します。

## VE-30P 形 バンデグラーフ加速器

小浜 太郎\*・井上 功一\*・岩佐 辰弥\*

## Type VE-30P Van-de-Graaff Accelerator

Central Research Laboratory Tarô OHAMA・Kôichi INOUE・Tatsuya IWASA

A Van-de-Graaff accelerator, type VE-30 P, has been constructed by Mitsubishi for the Institute of Physical and Chemical Research in Tokyo. The machine is capable of producing not only DC electron beam accelerated up to 3.0 MeV, but is good for taking out intensely pulsed beam the peak current of which exceeds 150 mA differing from an ordinary DC beam exclusive unit. Both pulse width and its repetition rate of electron beam are selected easily at the control console. In particular, a single pulse beam is also accelerated by a triggering pulse generator mechanically or electrically.

## 1. ま え が き

加速器の歴史を振り返ってみると、これまで核物理学とともに発達してきた。バンデグラーフ形加速器<sup>(1)</sup>も例外ではなく、核実験の要求から、タンデムバンデグラーフ形加速器<sup>(2)</sup>のような高エネルギー加速器へと発展していった。しかし放射線が次第に核物理以外の分野にも利用されるにつれ、加速器に対する要求も必ずしも高エネルギーばかりでなく、大きなビーム量、ビームのパルス化等、多岐にわたるようになってきた。

理化学研究所納めの VE-30 P 形 バンデグラーフ加速器は広く試料の照射用として当社中央研究所の研究室と製造課の協力の下に製作したもので、電子線でビーム電流が最高 250 mA の直流運転のほかに、ピーク電流値の最高が 150 mA のパルス状電子ビームを取り出すことができる。パルスビームの場合はパルス幅、繰り返し数とも一定の範囲で可変である。また特に、繰返しのないシングルパルスビームを外部からのトリガで発生させることも可能である。

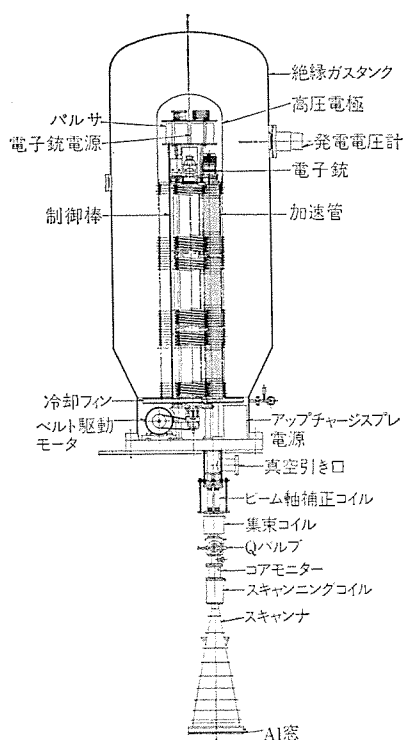


図 2.1 VE-30 P 形  
バンデグラーフ加  
速器断面図  
Section view of VE-  
30 P type Van-de-  
Graaff Accelerator.

## 2. 装 置

## 2.1 VE-30 P 形 バンデグラーフ加速器の構造

VE-30 P 形 バンデグラーフ加速器本体部分の断面を図 2.1 に、絶縁ガスタンクをかぶせた上半部の外観を図 2.2、下半部を図 2.3 に示す。また制御盤の外観を図 2.4 に示す。図 2.1 に示すように、主要部分のタンク内は大きく分けて高さ約 2,100 mm の絶縁のコラムと中央部の加速管、コラム上部の高電圧電極およびその内容物、そしてコラム下部絶縁ベルト駆動機構からなっている。

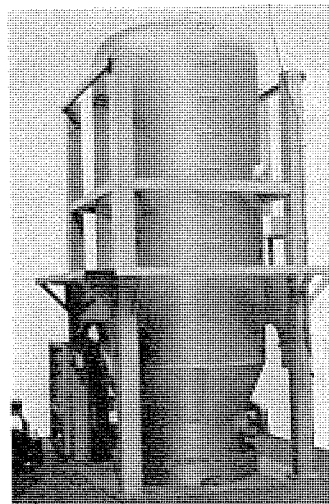


図 2.2 加速器上半部の外観  
Exterior view of the upper half part.

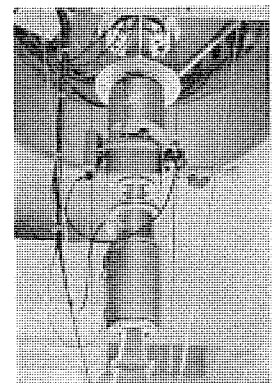


図 2.3 加速器下半部の外観  
Exterior view of the lower half part.

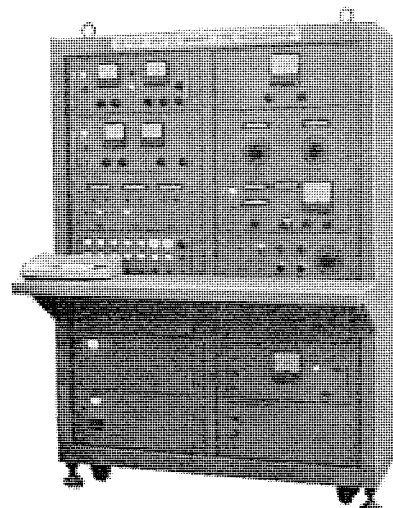


図 2.4 制御盤  
Control console.



コラムは厚さ約 24 mm の角形がいしと 1 mm の金属板を交互に多数重ね合わせて接着した 4 本の絶縁支柱からなっていて、コラム上部にのせる高電圧電極部の重量および絶縁ベルトの張力をささえ、また、運転中ベルトの回転による振動等に十分耐えられる機械的強度をもっている。加速管もコラムと同様厚さ約 24 mm のリング状がいしと 1 mm の金属製の加速電極を交互に接着したものである。

高電圧電極内には電子銃、アインツェルレンズ、パルサ、シングルパルス用フォトマルチプライヤ その他電源類と発電機を容しており、部品の操作はアクリル製の絶縁制御棒をコラム下部で電磁的に回転させて行なう。

高電圧電極内発電機とコラム下部のプーリの間には、幅約 280 mm、周長約 5,400 mm の電荷運搬用絶縁ベルトがかかっている。コラム下部にはこの絶縁ベルト駆動用のモータがあり、長時間使用の際は熱源となるので、この付近の冷却のため冷却フィンがある。絶縁ベルトの走行速度は約 20 m/s である。またコラム下部にはシングルパルス用光変調管があり、高電圧電極内フォトマルチプライヤとの間は黒色パイプで結ばれている。

加速後の電子ビームの通路には、ビームの進行方向に沿ってビーム軸補正コイル、集束コイル、Q パルプ、コアモニタ、スキャンコイル、スキャナ、電子ビーム取り出し用アルミニウムはく(箔)膜の窓の順に並んでいる。アルミニウムはく膜の厚さは約 100  $\mu$  の薄さで、しかもかなりの面積になるため、窓破損時に備えて PIG 形真空計と連動させて Q パルプ(閉塞速度 50 ms)を閉めるようにしている。加速管および下部ビーム通路の真空は、排気速度 400 l/s の油拡散ポンプと 150 l/min の油回転ポンプで排気し、 $1 \times 10^{-6}$  mmHg の高真空に到達後は 125 l/s のイオンポンプで真空を終日維持している。

図 2.1 で絶縁タンク右上方に取り付けられている発電々圧計は、高電圧電極の電位測定とアップチャージスプレの制御用に使用される。

## 2.2 昇圧機構

昇圧機構は通常の 3 MeV 級のバンデグラーフ加速器と同様である。高電圧電極部には昇圧機構として網状コレクタとダウンチャージスプレがある。網状コレクタは絶縁ベルトによってアース側から上昇してきた負の電荷を高電圧電極にとり入れる働きをし、ダウンチャージスプレは後述のアップチャージスプレとは対称に、絶縁ベルトの下降側の面を有効に使って、正の電荷をアース側におろし、高電圧電極の昇圧を能率よく行なうためのチャージスプレ機構である。

コラムの下部には絶縁ベルトに負の電荷をのせるアップチャージスプレと、高電圧電極部からベルトによっておりてくる正の電荷をアースに逃がすコレクタがある。

アップチャージスプレ、ダウンチャージスプレとも、針がくし(櫛)状に並んだ構造をしていて、針の先端は絶縁ベルトの面に垂直に 2 ~ 3 mm の距離をおいて向かいあっている。アップチャージスプレ、ダウンチャージスプレともそのスプレ電圧は約 20 kV である。

高電圧電極の電位の制御は、絶縁タンクに取りつけられた発電々圧計で高電圧電極から発生する電気力線を測定し、発電々圧計の出力電圧を標準電池の電圧と比較して、その電位差をアップチャージスプレ電源の制御管のグリッドに加えて制御する方法で行なっている。

## 2.3 電子銃

電子銃は加速管の上部、アインツェルレンズの上側に位置し、図 2.5 の構造をしている。(1)は渦巻状フィラメント、(2)は球面をした網状グリッド、(3)はアノードである。たいていのバンデグラーフ加速器のビームは直流ビームであり、そのビーム電流は 100  $\mu$ A のオーダーである。したがって電子銃のフィラメントはヘアピン形タングステン線を使用して

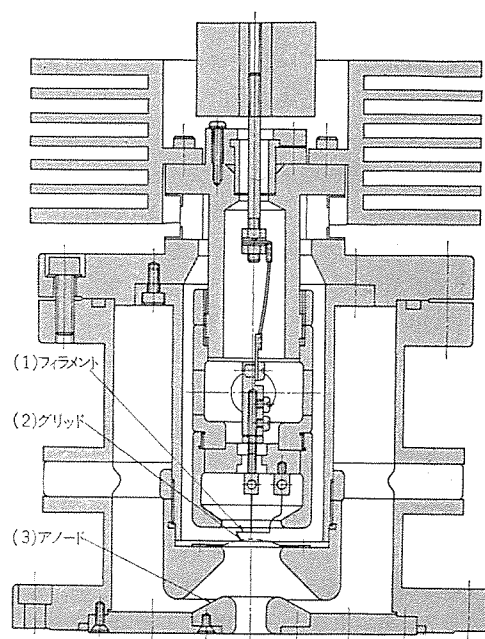


図 2.5 電子銃断面図  
Sectional view of electron gun.

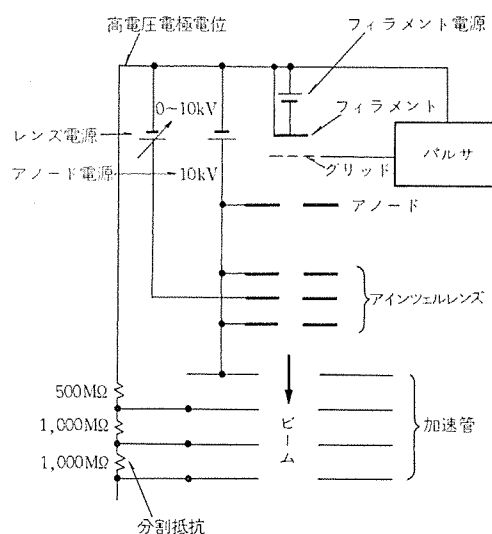


図 2.6 電子銃付近の電位  
Potential of electron gun.

十分な電子ビーム電流を得ているが、この VE-30 P 形のように瞬時値ではあるが、150 mA にも達する強い電子ビーム電流を得るためには、加速管の通過効率をも考慮するとヘアピン形フィラメントではエミッション電流が不足である。

そこで VE-30 P 形では渦巻状のタングステン線フィラメントを使用し、最高 17 A の直流のフィラメント電流を流して必要なエミッションを得ている。フィラメントに供給する 100 W を越える電力のため、電子銃はかなり温度が上昇するので電子銃上部に空冷用フィンを取り付け、電子銃使用中はファンで冷却している。

フィラメント、グリッド、アノードおよび加速管上部の電位関係は図 2.6 に示すようになっている。加速管を直流ビームで運転する場合、電子銃は電界制限領域で使用するため、フィラメント電流にリップルがあると加速後のビーム電流にリップルが現われるので、フィラメントは十分平滑した直流で点火している。

グリッドにはパルサ部を通して制御電圧をかけている。電子ビームを加速しないときは、フィラメントに対して常に負の数 10 V の電圧をか

け、電子銃を十分カットオフの状態にしている。パルスビームを加速するときは、そのパルス幅の時間々隔だけグリッドをフィラメントに対して正に約500V振り電子ビームを送り出す。このとき電子銃は温度制限領域で使用しているので、パルスビームのピーク電流値はグリッドにかかるパルスのパルス波高値の変動にはほとんど依存しない。パルスビームのピーク電流値の制御はフィラメント電流を変えて行なう。

パルスビームに対するグリッドの動作は上述のようであるが、直流ビームを取り出すときはパルスビームのときと異なり、電子銃は熱制限領域、電界制限領域の両方で使用する。したがって後述の図3.6の特性のようにフィラメント電流をパラメータとして、負のグリッドバイアス電圧の深さを変えてビーム電流を制御する。

電子銃アノードはフィラメントに対して常に正で10kVである。

## 2.4 パルサ

パルスビームを加速するには電子銃の項で述べたように、電子銃のグリッドにビームのパルス幅に対応する幅で約500Vの正のパルスをかけて行なう。このパルス発生機構は、図2.7のブロックダイアグラムに示すものである。発生するパルスは表2.1に示す範囲でパルス幅、繰返しとも可変である。また2種類の方法でシングルパルスを発生させることができる。

まず繰返しパルスの場合、必要な繰返し数で図2.7の無安定マルチバイブレータを発振させ、出力の長方形波を微分しアンプ1、アンプ2を通してサイラトロン $T_1$ のグリッドに入れ、 $T_1$ を点火させる。一方、途中で分岐した信号は単安定マルチバイブレータをトリガし、単安定マルチバイブレータの出力波形をふたたび微分してサイラトロン $T_2$ に加える。サイラトロン $T_1$ 、 $T_2$ で構成された出力回路は普通に用いられるもので、抵抗 $R$ の両端に発生するパルスを電子銃のグリッドに加えている。パルス幅は、 $T_1$ 、 $T_2$ のグリッドにはいるトリガパルスの時間差、すなわち単安定マルチバイブレータのパルス幅を切り換えることによって0.5 $\mu$ s、1.0 $\mu$ s、2.0 $\mu$ s、5.0 $\mu$ sのいずれかを選択する。

シングルパルスビームを加速する場合は、次に述べる二つの方法すなわち、機械的または電気的方法でシングルパルスを発生させ、電子銃に印加する。まず機械的方法是、充電されたコンデンサの両端を抵抗で短絡するときに得られるパルスを無安定マルチバイブレータの出力に代わってアンプ1にそう入する方法で、この短絡には水銀リレーを使い、その励磁コイルの電源をコラム下部から絶縁制御棒を駆動して機械的にオン・オフして行なう。

シングルパルス発生のもう一つの方法は図2.7に示しているように、まず、制御盤から電気的パルスを送ってコラム下部にある光変調管の光量を変化させると、その光の変化は黒色絶縁パイプの中を通り、高電圧電極内に設置されたフォトマルチプライヤに達する。この黒色絶縁

パイプの内部はパイプ外部と光学的にシャ断されている。フォトマルチプライヤでふたたび光の変化を対応する電気的パルスに直し、波形を整形して前述の方法と同様無安定マルチバイブレータの代わりにトリガ回路に入れる。

この電気的パルス法は途中で機械的要素がないため、機械的パルス法に比べて制御盤でトリガボタンを押してからビームがでるまでの遅れ時間が一定で、シングルパルスビームと同期をとつて行なう実験に有用である。

## 2.5 コラムと加速管

コラムの長さ方向には、両端の電位差が最大3.0MVに及ぶ直流電圧が加えられるので、電気的にも十分な考慮が必要である。コラムの一部に電界が集中して絶縁が破壊しないよう、コラムの全長にわたって電位差を細かく等分する必要から、コラムは長い一体の絶縁物ではなく前述のような構造になっている。この電位分割用金属板は最上段を除いて1,000M $\Omega$ の高抵抗で順次結ばれていて、コラムの最上部では500M $\Omega$ の抵抗を通して高電圧電極に、コラム下部で電流計を通してアース電位につながれている。さらに、コラムのまわりには空間の電位分布を平坦にするため、リングフープがはめられている。

加速管は高電圧電極とアースの間に位置し、コラムと同様その両端に最高3.0MVの電圧がかかっている。加速管は理想的には全長にわたって1本の構造が望ましいが、機械工作上、また、運搬上の点から1本700mmの加速管を3本接続して2,100mmの長い加速管を構成している。高い耐電圧を持たせ、管内に等電界を作るため、前述のような絶縁がよい26個と加速電極27枚を交互に重ね合わせた構造になっている。

加速電極は加速孔60mm $\phi$ 、上にとつ(凸)のさら(皿)形である加速管はコラムに接近した位置にはあるが、支持機構はまったく独立で、絶縁ベルトの回転によるコラムの振動は加速管とその上部にある電子銃にはまったく伝わらない。コラムで等分割された電位は細いスプリングで対応する加速管の電極に供給されている。

加速管をはじめ絶縁ガスタンク内の諸機構は、絶対圧力20kg/cm<sup>2</sup>の絶縁ガス(N<sub>2</sub>ガス4、CO<sub>2</sub>ガス1の割合の混合気体)中に位置するので、これら各部は機械的に高気圧に耐えるものでなければならない。とくに加速管は接着部分が多いうえ、管内部は1 $\times$ 10<sup>-6</sup>mmHgの高真空に保たなければならないから、製作には高度の技術が心要である。

## 3. 加速ビーム

### 3.1 ビーム軌道

電子銃から発した電子ビームは図3.1に示すような軌道を通して

表 2.1 パルス幅と繰返し数  
Pulse width and repetition.

パルス幅 $\mu$ s	繰返し数 P.P.S
0.5	100, 200, 500, 1,000
1.0	100, 200, 500
2.0	100, 200
5.0	100

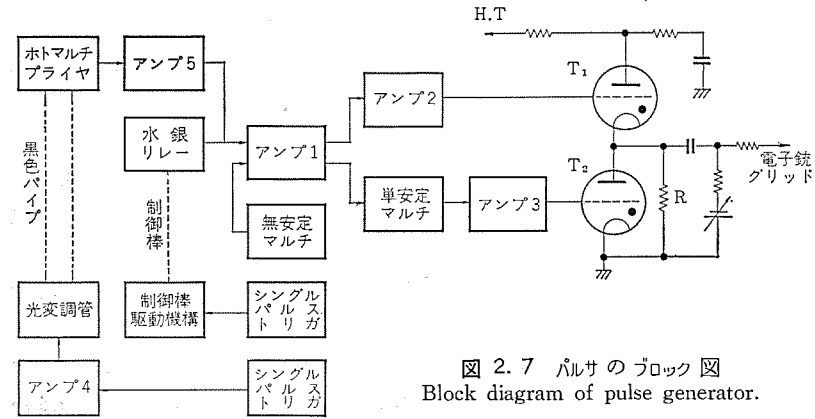


図 2.7 パルスのブロック図  
Block diagram of pulse generator.

ビーム 取り出し窓に集束し、窓を構成している厚さ  $100\mu$  の薄いアルミニウム はく膜を通して真空中から空気中に取り出される。電子銃のフィラメント をでた電子ビーム はアノードを通過する際に約  $10\text{ keV}$  のエネルギーを得てアインツェルレンズにはいる。アインツェルレンズ はビーム 集束の微調整用に使用しているので、ここで電子ビーム の進路はほとんど変わらない。

加速管入口に達した電子ビーム は、加速管入口が構成するアパーチャレンズの使用で鋭く集束すると同時にここから加速管内の長い等電界によって下方アース側に向かって加速される<sup>(3)</sup>。加速管内の電子ビーム の軌道は図示のような直線ではなく厳密には放物線を描くが、図の簡略化のため直線で示した。このバンデグラフ 加速器では電子ビーム は加速管を約  $2/3$  走った所でいったん集束し、加速管を出た電子ビーム は発散形のビーム なので、電磁レンズで集束させて取り出し窓に集束させる。

以上は簡単のため、加速管を厚肉レンズと考えたとき、電子銃のフィラメント をイオン光学上の物点と見なしたが、実際のフィラメント は図 3. 2(a) に示すように直径  $8\text{ mm}\phi$  の大きさを持つ渦巻き状のものである。したがって集束 コイルの電流を注意深く動かすと電子銃フィラメントの像を下方アルミニウム はく膜の位置に写し出すことができる。図 3. 2(b) は  $2.5\text{ MeV}$  のときに一般事務用感光紙をアルミニウム はく膜に外から密着させてとったもので、像の大きさは約  $16\text{ mm}\phi$  である。

電子銃の構造から、フィラメント から放出される電子ビーム の径は電子銃のアノード付近でフィラメントの大きさよりも小さいクロスオーバを作るので、電子ビーム を利用する立場からはフィラメントの像ではなく、クロスオーバを用いるのが有利である。したがって集束 コイルの電流はアルミニウム はく膜にフィラメントの像が写る電流より少し強くして使うのが普通である。 $1.5\sim 3.0\text{ MeV}$  の範囲で、アルミニウム はく膜上の電子ビーム の最小径は数  $\text{mm}$  である。図 3. 3 にアルミニウム はく膜上に最小径の電子ビーム を得る集束 コイルの電流を示す。

被照射体によっては、電子ビーム を点状ではなくもっと広範囲に広げて照射する必要がある。図 2. 1 の扇形の部分はこのためのもので扇のかなめにあたる所に電子線走査用のスキャニング コイルがある。アルミニウム はく膜の所で電子ビーム の走査速度が近似的に一定になるよう、スキャニングコイルに流す電流波形は三角波である。電子ビーム 軸のこの紙面と直角方向の軸ずれは補正コイルで行なう。

### 3. 2 パルスビーム

電子銃のグリッドは電子ビーム を出さない状態では、フィラメントに対して負の数  $10\text{ V}$  の電圧がかかっていて、電子銃をカットオフの状態にしていることはすでに述べた。制御盤を操作しコラム下部より絶縁制御棒を駆動してパルスを働かせ、電子銃にパルスを加えると、パルスビーム を得ることができる。パルスビーム はパルスのピーク電流値で最高  $150\text{ mA}$  にも達するが、デューティはせいぜい数  $100\mu$  なので、平均電流は数  $10\mu\text{A}$  程度で小さく、この値は直流ビーム で運転する場合に比べて一般に小さいので、アップチャージスプレ、ダウンチャージスプレの電流容量は従来の技術で問題ない。

また高電圧電極の静電容量はその形状から  $100\text{ pF}$  程度であるが、パルスビーム のピーク値  $150\text{ mA}$ 、パルス幅  $5\mu\text{s}$  の場合でも 1パルスの電気量は  $0.75\times 10^{-6}\text{ クーロン}$  であるから、高電圧電極の電位が  $1.5\text{ MV}$  のときでも  $100\text{ pF}$  もあればパルス幅内における高電圧電極の電位変動を  $1\%$  以下におさえることができる。

ビーム 電流の測定は幸なことに電子ビーム がパルス状であるので、ビ

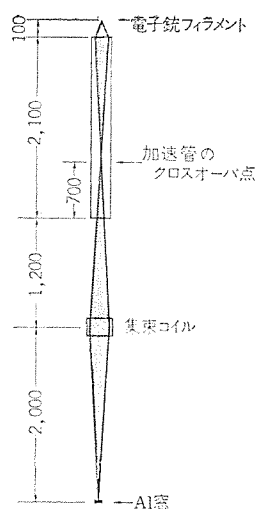
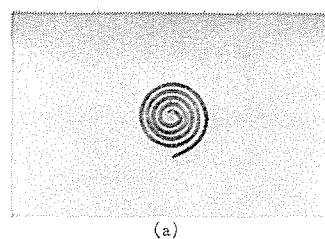
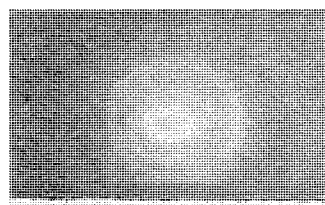


図 3. 1 電子ビーム 軌道の概略  
Outlines of electron beam trajectory.



(a)



(b)

図 3. 2 電子銃フィラメント (a) とその像 (b)  
Filament of electron gun (a) and its image (b).

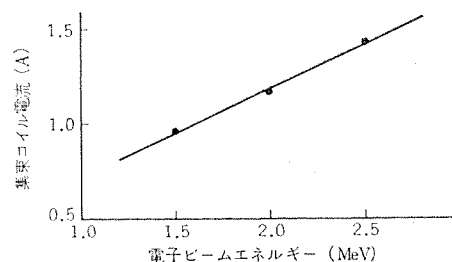


図 3. 3 アルミニウム 窓で電子ビーム の径を最小にする集束コイル 電流  
Focus coil current to minimize beam diameter at Al-window.

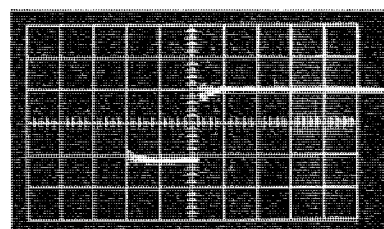


図 3. 4 コアモニターで測定したパルスビーム 波形  
Pulse beam pattern measured by the core monitor.

ーム通路のダクトの外から測定することができる。図 2. 1 のコアモニターはリング状の巻鉄心にホルマル導線を 30ターン巻きつけてダクトにはめたもので、電子ビーム がコアを通過すると巻線に電子ビーム 電流値に対応した電流が発生する。図 2. 1 に示した波形はパルス幅  $2.0\mu\text{s}$  の電子ビーム によるコアモニターの出力をブラウン管に写したものである。パルスビーム の場合電子銃は熱制限領域で使用しているので、パルスビーム 電流のピーク値はフィラメント電流に依存する。フィラメント電流に対応するパルスビーム のピーク電流値をコアモニター測定したものを図 3. 5に示す。ただし横軸は任意目盛でフィラメント電流値は大体  $11\text{ A}\sim 17\text{ A}$  程度である。

### 3. 3 直流ビーム

パルスビーム の加速ばかりでなく、普通の直流ビーム も加速できることは先に述べた。直流ビーム の場合は電子銃の性質から、電子ビーム 電流の制御はフィラメント電流とグリッドのバイアス電圧の深さの両方で行なうことができるが、操作の面からフィラメント電流をある値にし

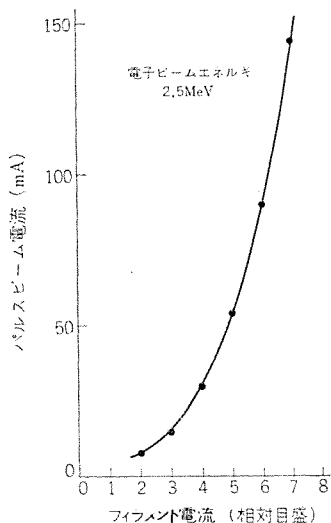


図 3.5 コアモニターで測定したパルスビーム電流  
Pulse beam current measured by the core monitor.

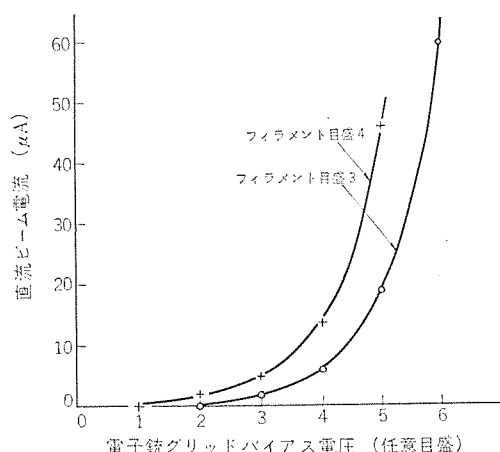


図 3.6 直流ビーム電流のバイアス電圧に対する依存性  
Relation between DC beam current and grid bias voltage.

てグリッドバイアス電圧で制御したほうが便利である。図 3.6 にグリッドバイアス電圧に対する直流ビーム電流の立ち上りの部分を、フィラメント電流をパラメータにしてとったものを示す。一般に直流ビームはパルスビームに比べて平均電流は多いが、パルスビームのピーク値のような大電流ではないので、フィラメント電流は小さな値ですむ。

直流ビームの場合は、パルスビームのときのようにコアモニターは使えないので、電子ビーム電流はアルミニウムはく膜から空気中に取り出し

た電子ビームを金属板で受けて測ったものである。

#### 4. む す び

3 MeV 級の電子用バンデグラフ加速器といえば、バンデグラフ加速器として最も普通な級であるが、この VE-30 P 形加速器は、他のバンデグラフ加速器には見られないパルス状のビームを加速でき、しかもビーム電流は 150 mA を越え、パルス幅は最小 0.5  $\mu$ s と鋭いことを特長としている。特に電氣的トリガによって発生させるシングルパルスビームは、従来のような連続照射ではできない新しい研究分野を開くものと考えられる。

しかし、バンデグラフ加速器は、他の形の加速器と違って電子ビームの性質を大きく左右する電子銃とその制御回路であるパルサが、絶縁ガスタンク中のしかも高電圧電極内という限定された条件内にあるため、部品の設計が非常に苦しい。強いパルスビームの発生に備えてフィラメントの消費電力も一般の直流用電子銃より大きく、また、直流電子ビーム専用の加速器にはないパルサの消費電力を高電圧電極内の発電機の容量でまかなわなければならない。

半導体の使用はパルサ等制御回路の電力消費の点からはよいが、高電圧の放電の際に破損しやすく、保守の面から好ましくない。さらに、高電圧電極内のパルサをはじめ、制御回路に使う数多い電気部品の多くは絶対圧力 20 kg/cm<sup>2</sup> の絶縁ガス中に置かれるため、外圧により機械的に破損するようなものは使用できないので、部品に補強を施すか、その選択には十分な注意が必要である。

この VE-30 P 形バンデグラフ加速器の建設にあたって理化学研究所の今村主任研究員、吉良研究員には多くの協力ならびに助言をいただいた。また加速器の製作、調整にあたっては当社中央研究所製造課の諸氏の協力を得た。ここに謝意を表します。

#### 参 考 文 献

- (1) 今村ほか：三菱電機，31，No. 6，52（昭32）  
篠原ほか：三菱電機，35，No. 6，85（昭36）  
今村ほか：三菱電機，36，No. 4，46（昭37）  
今村ほか：三菱電機，36，No. 6，109（昭37）  
G. Imamura：Mitsubishi Denki Laboratory Reports，3，No. 3，355（1962）
- (2) T. Sidei：The Memories of College of Science，Univ. of Kyoto，XXXII，No. 1，1967
- (3) M. M. Elkind，24，No. 2，129（1953）

# 阪神電鉄向けチョップ制御装置

北岡 隆\*・芦谷 正裕\*・古田 俊久\*・成戸 昌司\*

## Chopper Control Equipment for Hanshin Electric Railway

Itami Works Takashi KITAOKA・Masahiro ASHIYA・Yasuhisa FURUTA・Masashi NARUTO

Mitsubishi has kept on the study and development of the practical adaptation of chopper control equipment to electric cars these five years through the building of trial coaches and their field test. Based on rich information thus made available, practical units were delivered to the Hanshin Railway to be used for commuter service for the first time in the world, which have been operating with success. It has distinctive features of simplified circuits for an exclusive use in power running as well as the utilization of the chopper equipment to the fullest extent. In the point of structure, the case in the maintenance care is made much of in the design so as to improve the economy and practicability of the system.

The article introduces the outlines of the equipment and field test results obtained prior to the commercial operation.

### 1. ま え が き

高圧大容量サイリスタを使った直流電気車のチョップ制御方式は、数年前より試作試験が繰り返されてきた。

当社は、車両用としてもっとも早く昭和40年に第1号機を製作し、阪神電鉄(株)に対しても、昭和41年6月に第1回の現車試験を行なって、その実用が可能であることを確認した。最近はとくにその実用化を目指した開発研究を進め、地下鉄用の本格的な試作機も好調に長期耐久試験が続けられている<sup>(1)</sup>。

これら貴重な経験を基に、この度、阪神電鉄(株)45年度新車用として世界初めの実用化チョップ制御装置を4編成分製作し、その第1編成は45年7月1日より順調に営業運転を続けている。

営業運転に先立ち、阪神電鉄本線および西大阪線ならびに、相互乗入れ先である神戸高速・山陽電鉄両線において、各種性能試験および誘導障害測定が行なわれ、好結果を得、実用性が確認されたのでその詳細を報告する。

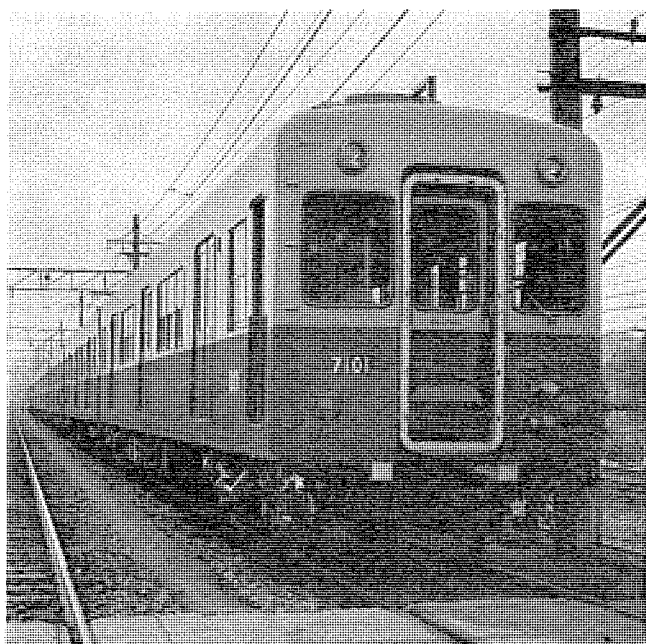


図 1.1 7000系チョップ制御電車  
7000-series chopper controlled car.

### 2. 特 長

チョップ制御方式の一般的な特長は、今までにもよく述べられているが、このチョップ制御装置は営業運転に使用される実用機としていくつかの検討改善を加えたもので、つぎのような特長を有している。

(1) 回路の簡素化による機器重量の軽減と、メンテナンスフリーを第1目標とし、力行専用チョップ装置として信頼性・経済性を高めた。

(2) 回生ブレーキ方式としなくても、阪神電鉄における走行条件では、電力消費節減というチョップ方式の特長は十分生かされることが確認された。

(3) 二相2重チョップ方式を採用して、フィルタ・平滑リアクトルをはじめ転流装置などの小形軽量化をはかっている。

(4) 平形大容量サイリスタおよびダイオード素子を使用して、素子数を軽減するとともに、おのおののスタックをユニット構造として、保守の簡易化をはかっている。

(5) 制御回路にIC演算増幅器を全面的に採用し、小形軽量化・高性能化・信頼度の向上をはかっている。

### 3. 車 両 性 能

45年度新車として、3M2T5両固定編成が計画され、そのうち2M1Tをチョップ制御車とし、残りM、Tは従来と同じカム制御車で、常時併結運転されている。

チョップ制御車のおもな仕様はつぎのとおりである。

架線電圧	定格 1,500 V DC
	変動範囲
	無負荷時 1,800 V
	負荷時最高 1,700 V
	負荷時最低 1,100 V
	瞬間最低 1,000 V (5秒以内)
車両編成	2M1T (TcMM')
車両重量	Tc: 32t, M: 35t, M': 34t
荷 重	定員 Tc: 140人; M, M': 150人
	最大荷重 250% 定員
主電動機	110 kW 300 V 420 A 1h×8台
	2,000 rpm (FF)

最弱界磁率	42%
駆動方式	平行カルダン方式
車輪径	最大 860 mm, 最小 780 mm, 平均 820 mm
歯車比	74 : 13 = 5.70
加速度	2.32 km/h/s (定員平たん線)
減速度	3.9 km/h/s
表定速度	64.4 km/h (特急), 48.4 km/h (急行), 32.2 km/h (準急)
最高速度	130 km/h

#### 4. チョップ

##### 4.1 主回路

多相多重チョップ方式<sup>(2)</sup>を採用したこの装置の主回路つなぎを図4.1に示す。この主回路方式の概要と特長は、つぎのとおりである。

- (1) 力行時、4S2Pに永久接続された主電動機8台を、二相2重チョップ制御で運転している。
- (2) 弱界磁制御は2段の分路方式とし、主電動機が4S2Pの

永久接続であるため、第一主電動機群と第二主電動機群とを共通界磁分路とし、単位スイッチ等機器数の減少をはかっている。

(3) 二相2重チョップで、総合周波数350 Hzで制御するため、主電動機電流・架線電流とも脈流率は、実用上問題ない程度に小さくなっている。

(4) 各ノッチの特性はつぎのとおりである。

- |      |               |
|------|---------------|
| 1ノッチ | 全界磁, 通流率 0.1  |
| 2ノッチ | 全界磁, 通流率 0.5  |
| 3ノッチ | 全界磁, 通流率最大    |
| 4ノッチ | 42%弱界磁, 通流率最大 |

上記特性は、いずれもカム車と合わせているが、二相2重チョップであるため、2ノッチの通流率0.5では架線電流・主電動機電流とも脈流のない完全な直流となる。また、4ノッチの弱界磁制御は63%・42%の2段とし、おのおの全界磁および63%弱界磁における通流率最大を検知して、自動的に進段する。また、弱界磁段での加速度低下を防ぐため、限流値を増加している。

(5) 過電流に対する保護は、HB・OCRで検出し、HB・L<sub>1</sub>・L<sub>2</sub>・L<sub>3</sub>・L<sub>4</sub>で回路を開放する。

##### 4.2 制御方式

制御ブロック図を図4.2に示す。

この装置は二相2重サイリスタチョップ制御方式としたので、2組の単位チョップは1台の発振器より分周器を介して、180°ずつの位相差をもって制御される。

主制御ループとしては、

(a) 限流値を決定する電流パターン $I_p$ と主回路モータ電流 $I_M$  ( $I_{M1}$ と $I_{M2}$ の最大値)とを比較増幅した偏差により、定電流制御を行なう電流制御系

(b) 止めノッチの通流率を決定する電圧パターン $V_p$ によって位相器への信号を固定する電圧制御系

とがあり、両者のうち低電位側の信号がいつも位相器に与えられるので、直線加速時の定電流制御、止めノッチ時の定電圧制御が、円滑に行なわれる。

また、比較増幅部にはオフセット補償回

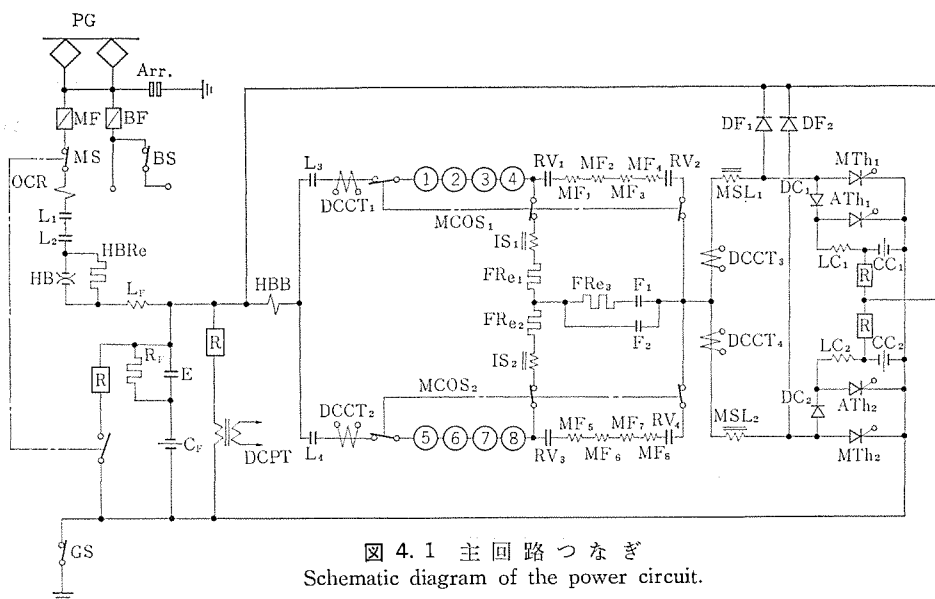


図 4.1 主回路つなぎ  
Schematic diagram of the power circuit.

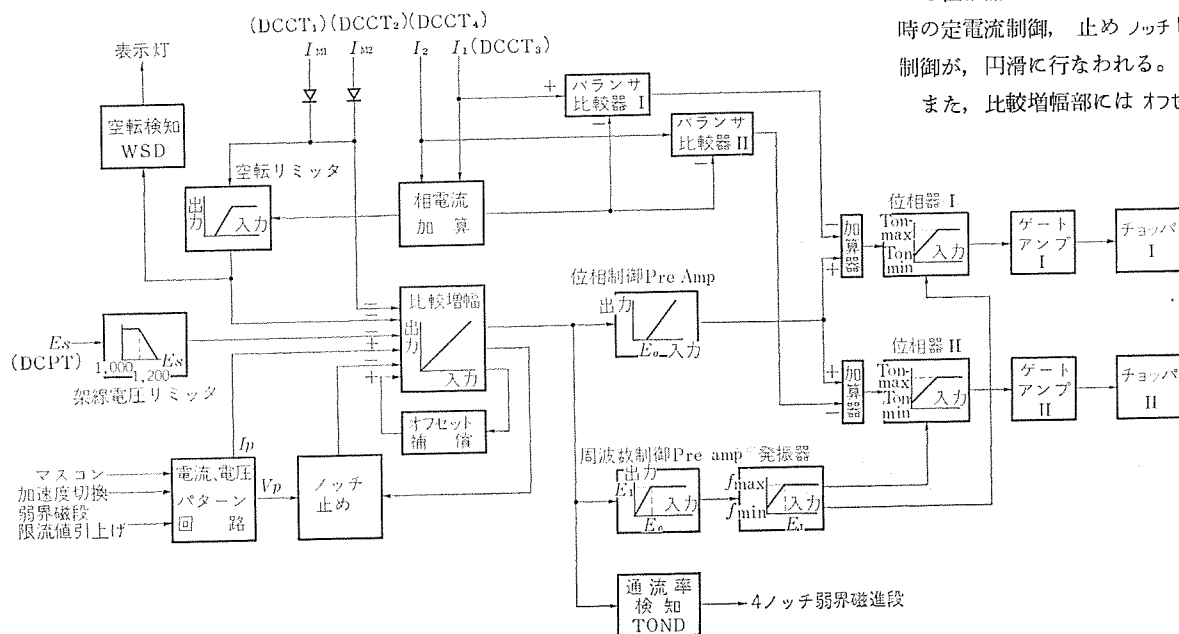


図 4.2 チョップゲート制御回路ブロック図

Block diagram of the chopper control circuit.



路を設け、定電流制御精度を上げている。

ゲート制御方式としては、誘導障害を減らすため定周波数制御方式をとり、単位チョッパは175 Hz、総合350 Hzで運転する。ただし、起動瞬時のみ周波数を下げて円滑な起動にしている。

電流パターンには、起動およびノッチオフ時の乗りごちをよくするため、運転条件を考慮した最適の時定数をもたせており、また定電圧制御系にもそのパターン上昇に対して時定数をもたせ、追ノッチ時の電流立ち上がりを円滑にしている。

リミッタおよび検出器としてはつぎのものを付けている。

#### (a) 架線電圧リミッタ

架線電圧が低くなると、チョッパの転流能力が下がるので、転流装置の最適設計を行なうため、架線電圧がある程度以上に低くなると、その量に従って電流パターンを下げ、転流能力を補償している。

#### (b) 空転リミッタおよび空転検知器

チョッパ制御によれば、空転時もその量に応じて限流値を下げ、再粘着を早めることができるので、微小空転の状態で加速できることになる。

空転の検出は、第一群と第二群のモータ電流を比較する方式とし、空転量に応じて電流パターンを下げている。なお、万一空転が成長し、空転検知器のセット値に達すると運転台にランプを点灯させ、運転士に警告するようになっている。

### 4.3 誘導障害対策

チョッパ制御による架線電流リップル分の影響に関して、つぎの装置に与える障害を避けるように考慮して、チョッパ制御周波数およびフィルタ定数を選定した。

#### (1) 信号関係

- (a) 交流軌道回路 60 Hz
- (b) ATS 信号 1,920 Hz $\pm$ 80 Hz
- (c) 信号 5 kHz $\pm$ 240 Hz

#### (2) 通信関係

- (a) ATS 伝送系 (通信ケーブル) 1,920 Hz $\pm$ 80 Hz  
5 kHz $\pm$ 240 Hz
- (b) 誘導無線系 (架空線) 155 kHz
- (c) 電話系

通信ケーブル	無装荷回線	通話帯域
通信ケーブル	装荷回線	2,100 Hz, 2,460 Hz
架空通信線		通話帯域

この装置では、ATS 信号に対する条件を重視して、350 Hz をチョッパ周波数として選定し、通信関係に対する影響を  $J_P$  による評価によって、カム車以下に押えるようにフィルタ定数を選定した。

## 5. 主要機器

### 5.1 チョッパ装置

チョッパ装置のおもな仕様は、表 5.1 に示すとおりである。

この装置は、チョッパ制御車として世界に先がけて営業運転に使用されるので、実用性を十分に考慮したものとなっている。

サイリスタダイオードは平形素子を使用し、フィンとともにスタッフに組立て、さらにコンデンサ・抵抗器から成るサージ吸収器を組み込み、ユニット構造としている。このユニット構造は4本のボルトで、ユニットの取付けと主回路の接続とを同時に行なうことができ、したがってユニットごとの組立ておよび取りはずしを容易に行なうことができ、取扱いが簡単である。また、素子の劣化に対して故障検出装置を設け、

表 5.1 チョッパ装置要目  
Particulars of the chopper control device.

回 路 方 式	新モルガン回路
定 格 電 圧 定 格 電 流 相 数 制 御 周 波 数 制 御 方 式	DC 1,500 V 1,430 A (最大加速電流) 二相 2 重 175 Hz $\times$ 2=350 Hz 定周波平均値制御方式 (起動時周波数制御)
サイリスタ定格 ダイオード定格	1,300 V 400 A, ターンオフタイム 40 $\mu$ s, 平形 2,800 V 800 A, 平形
素 子 構 成 主サイリスタ 転流サイリスタ 転流ダイオード フライホイールダイオード	4 S-2 P-2 A 4 S-1 P-2 A 2 S-1 P-2 A 2 S-1 P-2 A
冷 却 方 式	強制風冷式
素 子 劣 化 検 出	電圧比較式劣化表示ランプ付き
制 御 装 置	IC 演算増幅器式

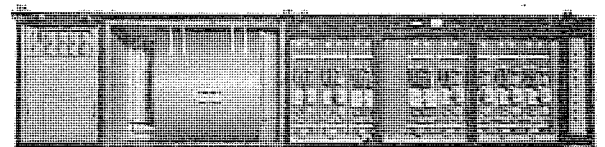


図 5.1 チョッパ装置箱  
Chopper control box.

故障表示灯として外部から確認できるので、日常の点検に便利である。

サイリスタダイオードの冷却は構造の簡単な強制風冷式とし、またサイリスタダイオードを冷却した排風を利用して、フィルタリアクトルおよび平滑リアクトルを冷却しているので、電動送風機は1台で済む。

主回路の配線は裸電線をノメックスシートで絶縁し、FRP 樹脂で板状に成形している。この配線板は、サイリスタダイオードの冷却風道をかねているので、装置が小形軽量になると同時に、前述のユニット構造とともに箱内から主回路電線をなくし、保守において非常に有利である。

ゲート制御回路部は装置の左側に設置し、本体にボルトで組立ててあるので、この部分のみ本体より取りはずしが可能となり、取扱いが容易であると同時に保守に便利である。さらに、このゲート制御回路部は論理回路部・ゲートアンプ部・電源回路部の三つにブロック化をはかり、ブロック間の配線は接せん(栓)で行なっているので、ブロックごとの取りはずしも容易にできる。また、論理回路部はIC演算増幅器を全面的に採用して、小形軽量化とともに信頼度の向上をはかり、さらに制御ブロックごとのカードシステムとして互換性を持たせ、保守の簡易化をはかっている。

### 5.2 断流転換器箱

主回路および制御回路の簡素化をはかった結果、従来の断流器箱と転換器箱とを一箱にまとめることができた。したがって、主回路用高速度減流器・断流器・電磁接触器・逆転器・MCOS・OCR・DCCT・DCPT、および制御回路用補助継電器等が一括収納されている。

### 5.3 フィルタコンデンサ転流装置箱

転流回路およびフィルタ定数の最適設計により小形化をはかって、転流リアクトル・転流コンデンサはフィルタコンデンサとともに、フィルタコンデンサ転流装置箱に一括収納することができた。

## 5.4 フィルタリアクトル

電流・周波数によりインダクタンスが変化しないように、分割巻線・空心形リアクトルとした。また、アルミコイルを使用して軽量化をはかっている。主要項目は下記のとおりである。

形 式	空心形 リアクトル
連続定格電流	500 A
インダクタンス	5 mH
冷却方式	強制風冷式

## 5.5 平滑リアクトル

オープンコア形を採用している。その他の構造はフィルタリアクトルと同じである。

形 式	オープンコア 形 リアクトル
連続定格電流	380 A
インダクタンス	7.2 mH at 825 A
冷却方式	強制風冷式

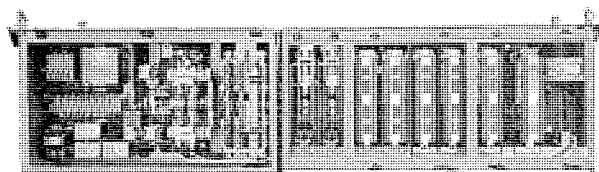


図 5.2 断流転換器箱  
Line switch and change-over switch box.

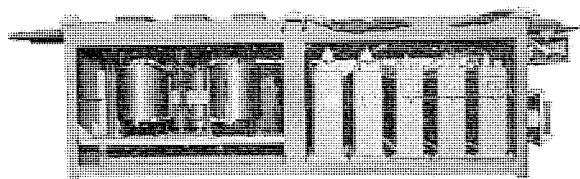


図 5.3 フィルタコンデンサ転流装置箱  
Filter condenser and commutation box.

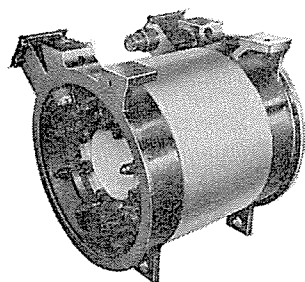


図 5.4 フィルタリアクトル  
Filter reactor.

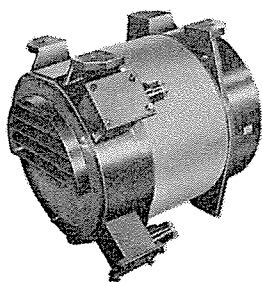


図 5.5 平滑リアクトル  
Smoothing reactor.

## 6. 現車試験結果

### 6.1 定常運転特性

#### (1) 各ノッチにおける起動および加速特性

起動電流の立ち上がり、減流しゃ断時の電流立ち下がりも、設定パターンどおり円滑な制御が行なわれ、ショックのない運転が行なわれた。また、4ノッチでの弱界磁2段自動進段も良好に行なわれ、進段時の制御も安定に行なわれて問題はなかった。

主電動機電流の脈流率は、最大3.5%で、設計計算値とよく一致し、特に2ノッチ定常運転中は通流率0.5であるためにほとんど直流となり、整流上の問題はまったくないといえる。また、限流値のオフセットはほとんど0で、オフセット補償回路による定電流制御精度の良さが示された。一方、チョップ各相電流の不平衡率は約1%で、よく平衡しており、相電流脈流率も約13%で所期の値が十分に得られた。

一括4ノッチ運転のオシログラムを図6.1に示す。

#### (2) 各ノッチ扱い

追ノッチ・戻しノッチ・再ノッチといった各種ノッチ扱いにおいても、電流の立ち上がり、立ち下がりとも設定パターンどおりにショックのない円滑な制御が安定に行なわれた。

### 6.2 空転試験

起動後レールに急激に散水し、強制的に空転させて、チョップの制御動作を確認した。空転が急激に成長した場合にもチョップによる自動絞りのため、最大空転速度は、約9 km/hに抑えられ、すぐ再粘着している。再粘着後は、緩和パターンによって限流値が徐々に上げられるため、そのまま加速が続けられている。また、非常に滑りやすい条件においても、チョップによるアナログ制御のために微小空転を繰り返しながら加速することが確認された。空転試験のオシログラムを図6.2に示す。

### 6.3 誘導障害試験

チョップ制御によって他の設備に障害を与えないように、制御周波数やフィルタ定数を選定したことは前に述べたが、これらについての

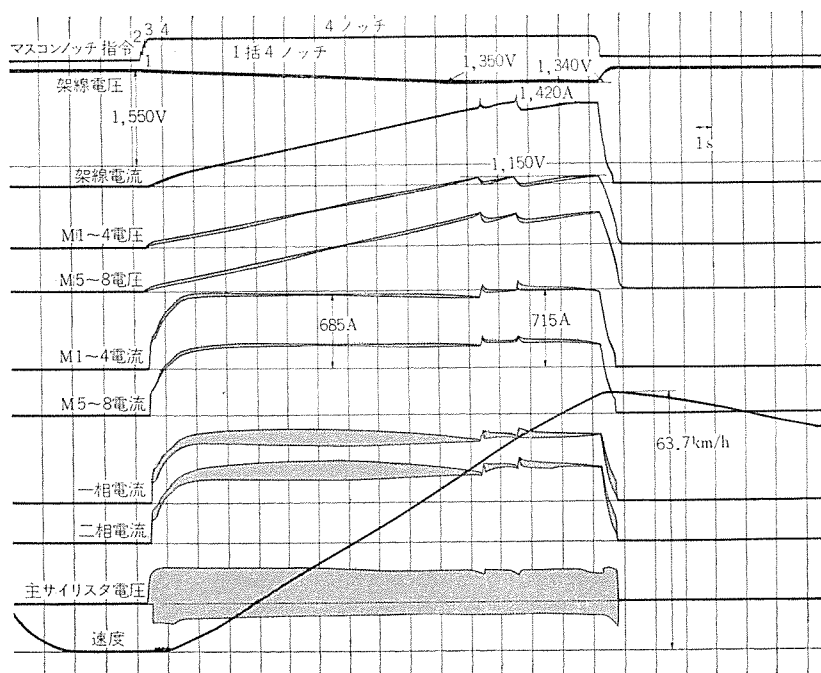


図 6.1 4ノッチ走行試験オシログラム  
Oscillogram at the 4-notch test run.

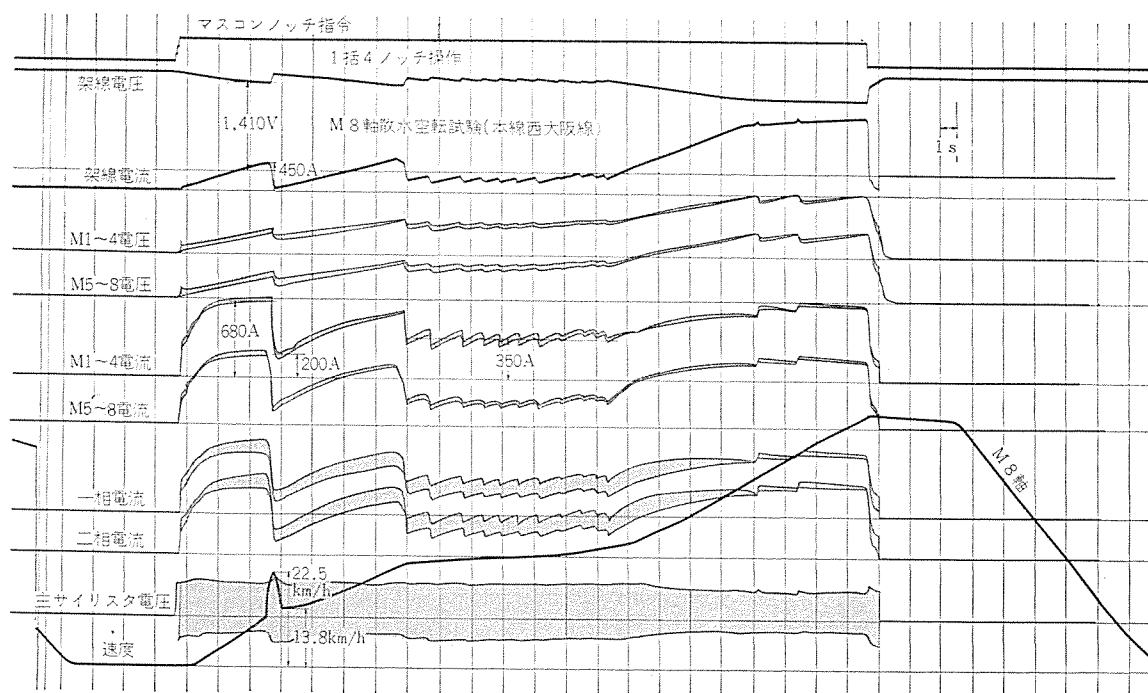


図 6.2 空転試験オシログラム  
Oscillogram at the wheel slip test run.

現車試験結果はつぎのとおりである。

#### (1) 高調波電流分析結果

架線電流の高調波分をロコスキーコイルで検出し、各周波数成分について分析した結果、チョップによる成分はすべて設計値を下回った。これは設計値が架線側インダクタンスを無視しており、フィルタ定数に十分余裕のあることを示している。

#### (2) 信号に与える影響

この試験では、各信号条件において、チョップ制御車と同容量抵抗制御車について常に測定比較を行なった。その結果、交流軌道回路・ATS 信号についても、チョップ制御による影響は抵抗制御車と同程度であり、まったく問題はなかった。

#### (3) 通信線に与える影響

この試験でもチョップ制御車と抵抗制御車について、通信線に対する誘導雑音電圧を測定比較した結果、ATS 伝送系・誘導無線系・電話系とも抵抗制御車と同程度であり、信号伝送レベルに対して十分小さく、実用上まったく問題はなかった。また、変電所にフィルタのある区間でも測定を行なったが、問題はなかった。

## 7. む す び

以上述べたように、このチョップ制御車は、営業運転に先立って行なった現車試験において所期の車両性能を満足することが確かめられ、信号・通信に対する障害も問題なく、冷房付き通勤車として7月1日より快調に走り続けている。営業運転開始から約2ヵ月経た現在まで1件の故障もないということから、実用第一歩を印した本装置に大きな期待をかけて、その実用結果を見守っているしだいである。今後は、よりいっそうの実用化を目指し、重量・価格の低減など各方面からのご要求を満足するように検討を続けてゆきたいと考えている。

最後に、このチョップ装置を設計・製作ならびに試験するにあたり、終始多大なご指導・ご協力をいただいた阪神電鉄関係者のかたがたに深く感謝するしだいである。(昭和45-9-30 受付)

## 参 考 文 献

- (1) 北岡ほか：三菱電機技報，44，No. 2，237 (昭45)
- (2) 北岡ほか：三菱電機技報，42，No. 11，1,422 (昭43)

## 高圧 AC 制御サイリスタ装置

小林 凱\*・矢野 昌雄\*・居蔵 和徳\*・鈴木 一男\*

## High Voltage Thyristor Switches

Itami Works Gai KOBAYASHI・Masao YANO・Kazunori IGURA・Kazuo SUZUKI

On the third of August, 1970 a high voltage thyristor switch for use on 3 kV high voltage circuits was brought to completion. The device is capable of operating a limitless number of times in making and breaking and also continuous control. Being of a complete solid state, it is light, small sized and free from maintenance care.

Mitsubishi tries to settle the technical problems concerning the device, complete a standard series of the products provided with 4 kV high voltage elements and meet the purchaser's demands. These switches are expected to find the use in all kinds of field including electric power, electric railways and general industries. Herein described are the outlines of the problems as well as the introduction of the apparatus.

## 1. ま え が き

サイリスタが登場してから約10年になるが、この間あらゆる分野に応用され、まさにサイリスタ時代といっても過言ではない。このようにサイリスタの優秀な制御性は衆知のところであるが、最近とくに高圧の電力回路系統への使用に強い関心がもたれるところであった。

当社では、高圧回路にも一般の開閉器その他のはん用機器とどうような簡易さをもって使用できる、「高圧サイリスタ制御装置」の開発に今春成功し、各種試験の結果その特性が確認されたので、この特長を生かした各種用途の高圧サイリスタスイッチの販売を開始した。

今回、第1号製品が完成し、負荷との組合せ試験にも好調な結果を収めたが、さらに同仕様の装置を別途製作中であるほか、電力系統のスイッチング用途として開閉容量33,400 kVAのものも製作完了し、高圧サイリスタ制御スイッチは当社により完全に実用時期にはいった。

ここでは標準系列の紹介および第1号製品の構成・特性・試験結果を報告する。

## 2. 標準シリーズおよび特長

本高圧サイリスタ装置は、逆並列接続のサイリスタアームを相数だけそろえ、これにゲート制御、高圧回路動作に必要な保護装置を組合せてパッケージしたもので、3.3 kV 用が標準系列としてそろえられている。プラントのソフトウェアとしての電圧制御・電流制御・速度制御な

ど各種ループも必要に応じて収納できる。

装置は、設置すればすぐ使用できるユニットにまとめられており、列盤屋外設置も可能である。サイリスタは最新鋭の平形素子を使用し、独特のスタックに組立てた循環油冷方式であるので、いかなる環境にも安全である。また、3 kV 高圧回路に必要な電圧定格と過電圧保護を備えているので、この装置を使用するうえでの特殊な制限がない。

基本的特性として無限回数の高ひん度開閉と連続出力制御の能力を有し、かつ従来の可飽和リアクトルあるいは電圧調整方式に比べて経済的であるほか、小形・軽量で据付けも容易である。

用途としてこの特性を利用する広範な応用が考えられるが、たとえばつぎの各種用途がある。

(1) 可飽和リアクトル・誘導電圧調整器などが使用されていた分野は、経済性・特性両面より大幅に置換される。

(2) 鉄鋼・非鉄その他のプラントにおける加熱ラインの制御と開閉操作。

(3) 電力系統のスイッチング。

(4) 高ひん度開閉—さらにサイリスタ制御の特長を生かしたソフトスタートと出力制御の組合せ。

(5) 高圧電動機の起動ならびに制御。

(6) 高圧整流装置あるいは低圧大電流装置の経済的な一次側出力制御。

(7) 三相全波等整流回路接続として高圧整流器・インバータ運転。

表 2.1 3.3 kV 高圧 AC 制御 サイリスタ スイッチ 系列  
Specification of 3.3 kV high voltage thyristor switch.

容 量 kVA	電 圧 kV	電 流 A	相 数	外 形 寸 法		重 量 kg	形 名	使用サイリスタ形名	素 子 構 成
				キュービクル mm	装置全体 mm				
2,000	3.3	610	1	幅 1,710 奥行 850 高さ 2,400	幅 3,000 奥行 850 高さ 2,650	2,000	3-CQ-A1	FT 500 A-80	3S×1P×A2
4,000 (2×2,000)	3.3	1,220	1	幅 2,410 奥行 850 高さ 2,400	幅 4,060 奥行 850 高さ 2,650	3,000	3-CQ-A2	FT 500 A-80	3S×2P×2A
3,500	3.3	610	3	幅 3,010 奥行 850 高さ 2,400	幅 4,760 奥行 850 高さ 2,650	3,500	3-CQ-A3	FT 500 A-80	3S×1P×6A

装置全体は放熱器およびブッシングを含む

表 2.2 FT 500 A-80 形主サイリスタ 定格  
Rating of thyristor.

項 目	記 号	単 位	定格値	条 件
せん頭逆電圧	$V_{RRM}$	V	4,000	
過渡せん頭逆電圧	$V_{RSM}$	V	4,000	
せん頭順阻止電圧	$V_{DRM}$	V	4,000	
過渡せん頭順阻止電圧	$V_{DSM}$	V	4,000	
平均順電流	$I_T(AV)$	A	320	60 Hz 正弦半波 1 サイクル波 高値非くり返し
サージ電流	$I_{TSM}$	A	5,000	
臨界順電流上昇率	$di/dt$	A/ $\mu$ s	200	
臨界順阻止電圧上昇率	$dV/dt$	V/ $\mu$ s	200	$T_j=125^\circ\text{C}$ , $V_D=\frac{1}{2}V_{DRM}$
定常熱抵抗	$\theta_{jf}$	$^\circ\text{C}/\text{W}$	0.06	接合部—フィン間
順電圧降下	$V_{TM}$	V	3.3	$T_j=125^\circ\text{C}$ , $I_{TM}=1,250\text{ A}$

現在、標準シリーズとして製作されているものを表 2.1 に示す。  
これらの装置は、すべて 3 号機器としてつぎの耐電圧値を満足して  
いる。

(a) 商用周波試験電圧値

高圧導電部—低圧回路および大地間 16 kV 1 分間

(b) 衝撃試験電圧値

入力端子—アース間 45 kV 標準全波波形

なお、3.3 kV 用で一段下の容量に対するシリーズ、6.6 kV 回路用  
シリーズも開発が行なわれている。

使用されているサイリスタの定格を表 2.2 に示す。

### 3. 回路とその動作

#### 3.1 装置の仕様

今回、製品として製作したものの仕様はつぎのとおりである。

(1) 銅板加熱用高圧 AC 制御 サイリスタ 装置 1 台

3-CQ-A 3 形 3.3 kV 60 Hz 1,500 kVA 三相、負荷は DC 15  
kV の高圧直流電源である。図 3.1 に内部配置の写真を示す。

(2) 銅板加熱用高圧 AC 制御 サイリスタ 装置 1 台

3-CQ-A 2 形 3.3 kV 60 Hz 3,000 kVA 単相

#### 3.2 回路構成

回路構成としては、主回路・ゲート回路・制御回路・保護回路に  
分類できるが、主回路を図 3.2、図 3.3 に示す。

(1) 主サイリスタ

FT 500 A-60 (3,000 V, 400 A) 4S の逆並列結線である。1 アーム  
のサイリスタ 4S 間のターンオン時間のばらつき  $\Delta t_{on}=1\mu\text{s}$  以下、蓄  
積キャリアのばらつき  $\Delta Q=200\mu\text{C}$  以下に選定している。

(2) 並列 C-R

並列コンデンサ、C1、直列抵抗 R1 および並列抵抗 R2 を備えている。  
交流スイッチにおいては、並列抵抗は必ずしも必要ではないが、点検  
チェックの場合のコンデンサの放電回路を構成させるために設けてある。

(3) リアクトル

空心リアクトルで、つぎの種々の役目がある。

(a) L-RO-CO の回路で入力サージの立ち上がりを押さえる。

この立ち上がりは素子の  $dV/dt$  以下に押えなければならない。

(b) サージ電圧が印加されたとき、電圧を分担し、アレスタが放電  
してサイリスタに印加される電圧を制限電圧以下に抑制するように働  
く。(a) 項に示すよう、サージ電圧の立ち上がりをおさえると、アレ  
スタの放電開始電圧も小となる。

(c) 素子点弧時の  $di/dt$  を押え、点弧時の電圧ばらつきを押え

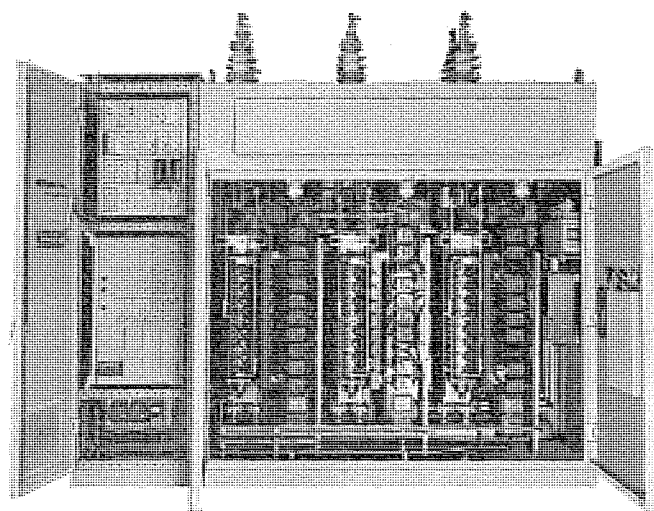


図 3.1 3-CQ-A 3 形 高圧 AC 制御 サイリスタ 装置  
Type 3-CQ-A 3 high voltage thyristor switch.

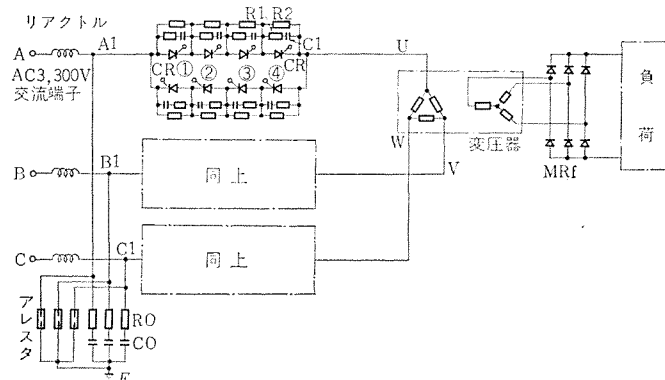


図 3.2 主回路接続図 (3 $\phi$ )  
Connection diagram of main circuit (3 $\phi$ ).

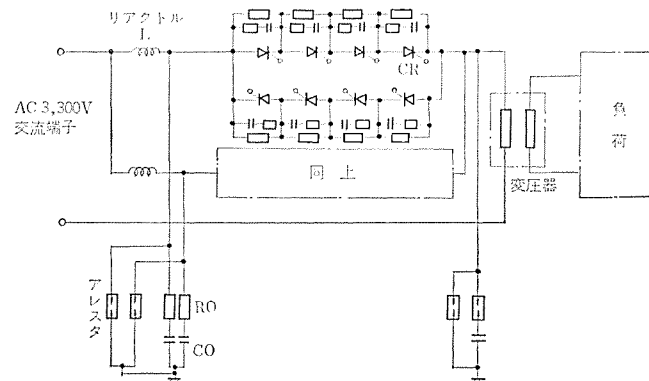


図 3.3 主回路接続図 (1 $\phi$ )  
Connection diagram of main circuit.

る。

(4) アレスタ

3.3 kV 回路に設けられる標準品 SV-GH 形を使用している。

(5) コンデンサ CO

3 号用標準 サージアブソーバ用 コンデンサ 使用。

#### 3.3 設計条件と計算式

検討に必要な条件と計算式を簡単に記す。

(1) サージに対する  $dV/dt$

L, C, R 回路にステップファンクションを印加し、これを解けばよい  
が、時間零における  $dV/dt$  はつぎの式で表わされるので、大体の目  
安とすることができる。

$$(dv/dt)_{t=0} = \frac{1}{L} \times R$$

## (2) ブロック時の電圧アンバランス

直列  $n$  個の内、1 個が他のものより漏れ電流が  $\Delta i_r$  少ないとすれば、電圧不平衡分は次式で表わすことができる。

$$\Delta E = \frac{(n-1) \hat{Z} \Delta i_r}{n}$$

$\Delta E$ : アンバランス分

$\hat{Z}$ : 並列要素の交流インピーダンス。この場合はコンデンサ分圧であるから  $\hat{Z} = \frac{1}{2\pi f_c}$  でよい。

電圧アンバランス率が 10 % 以内になるようにコンデンサの値を決める。

## (3) 点弧時のターンオン電流、 $di/dt$

$di/dt$  は電源からの流入電流について比較的長時限の電流の立ち上がりを意味するが、ターンオン電流は並列コンデンサの放電電流の許容最高値を示し、素子のターンオン特性により素子製造者が決める短時間の概念である。

$$\left. \begin{aligned} \frac{di}{dt} &= \frac{E}{L} \\ I_{TON} &= \frac{E}{nR} \end{aligned} \right\} \text{で計算できる。}$$

$E$ : 電源電圧瞬時値

$n$ : 直列数

$L$ : 直列リアクトル+トランスの励磁リアクタンス

$R$ : コンデンサ直列抵抗

## (4) 点弧時の電圧アンバランス

ターンオンの遅れる素子には他の素子の電圧分担分も印加されるため、過電圧となる。直列  $L$  と並列  $C$  の振動周期  $\pi\sqrt{CL}$  が素子のターンオン時間のばらつき  $\Delta T_{ON}$  より十分大きいときは、電圧の上昇分は次式で計算できる。

$$\Delta E = \frac{n-1}{n} \frac{E}{L} R \Delta t + \frac{n-1}{2LC} (\Delta t)^2$$

## (5) ターンオフ時の電圧アンバランス

蓄積キャリアのばらつきによるもので、電圧アンバランス分は次式で計算できる。

$$\Delta E = \frac{\Delta Q}{C}$$

$\Delta Q$ : 直列素子の蓄積キャリアのばらつき

## 4. サージ電圧試験

3 号回路機器として支障なく使用されうするためには、サージ電圧に対する考慮が十分なされなければならない。サージ電圧の基準をいくらに設定すべきかは種々論議のあるところであるが、BIL に準じて 45 kV 1×40 μs の全波波形に耐える機器とした。

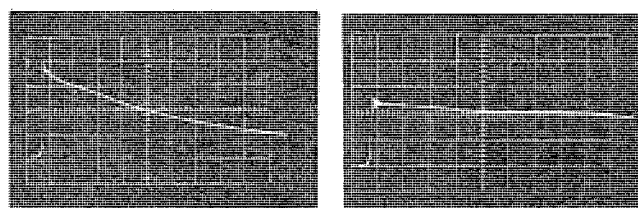
試験回路は主回路接続図、図 3. 1 において主変圧器二次側を、1) オープン、2) C-R アブゾーバ、3) 短絡、の 3 条件で行なった。二次側短絡の条件は、二次側に整流器が接続された場合に主整流器の転流期間中にサージ電圧が入ったケースを考えたものである。

サージ印加点はつぎの 2 ケースに分けた。

(1) A—B, C, E 間 (BC 点はアースと一括)

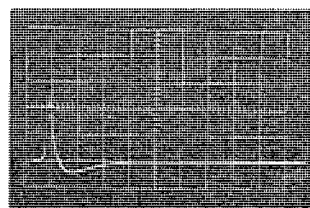
(2) A, B, C—E 間 (A, B, C 点は一括)

各条件の内、サイリスタに最も高い電圧が印加されるのは、主変圧

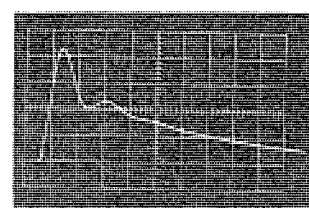


(a) 印加電圧波形  
(A-E 間波形)  
12 kV/div 10 μs/div

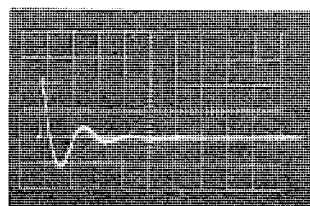
(b) アレスタ電圧波形  
(A1-E 間波形)  
5 kV/div 10 μs/div



(c) リアクトル電圧波形  
(A-A1 間波形)  
12 kV/div 10 μs/div

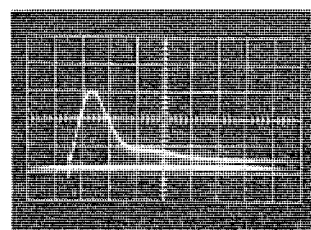


(d) サイリスタ電圧波形  
(A1-U 間波形)  
2.5 kV/div 50 μs/div

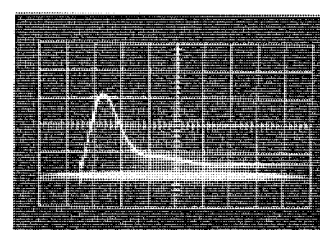


(e) 主変圧器電圧波形  
(U-V 間波形)  
5 kV/div 50 μs/div

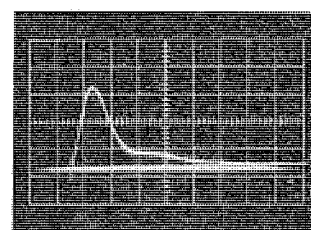
図 4. 1 各部サージ電圧分担波形  
Surge voltage wave form.



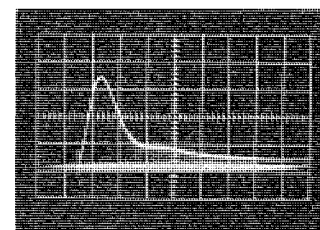
サイリスタ 1  
800 V/div 50 μs/div



サイリスタ 2  
800 V/div 50 μs/div



サイリスタ 3  
800 V/div 50 μs/div



サイリスタ 4  
800 V/div 50 μs/div

図 4. 2 主サイリスタサージ電圧分担波形  
Surge voltage of main thyristor.

器二次側短絡で、A—B, C, E 間に印加する場合である。主変圧器二次側がオープン、または C-R アブゾーバの場合は、主変圧器の一次側よりみたインピーダンスが高いため、主変圧器が分担するのでサイリスタに加わる電圧は低い。A, B, C—E 間に印加される場合も、A1, B2, C1 点電位が各アレスタの制限電圧値にフィックスされるため、サイリスタ分担電位は小さい。

A—B, C, E 間に主変圧器二次側短絡の条件で印加した場合の波形を図 4. 1, 図 4. 2 に示す。

各部分の電圧分担を示すと、表 4. 1 のようになる。



表 4.1 サージ電圧各部分担  
Share of surge voltage.

測 定 点	印 加 電 圧 A-E	アレスタ電位 A <sub>1</sub> -E	リアクトル A-A <sub>1</sub>	サイリスタ A <sub>1</sub> -U					主 変 圧 器 U-V
					サイリスタ 1 CR ①	サイリスタ 2 CR ②	サイリスタ 3 CR ③	サイリスタ 4 CR ④	
最大電圧値	45 kV	12 kV	29 kV	10.5 kV	2,400 V	2,500 V	2,550 V	2,700 V	11 kV
電圧分担1		100 %		87.7 %					91.6 %
電圧分担2				100 %	23.6 %	24.6 %	25.1 %	26.6 %	

図からわかるように、A<sub>1</sub>—E 間の電位はアレスタの制限電圧に固定されるが、主変圧器に加わる電位とサイリスタに加わる電位が振動している。この周期は約 100  $\mu$ s であるが、これはサイリスタに並列のコンデンサと主変圧器の一次側よりみたリーケージリアクタンスの振動周期と一致する。この程度の周波数領域においては、主変圧器をリーケージリアクタンスでおきかえた集中定数回路でよいことは、さらにアナログコンピュータによって確認し、どのような結果が得られた。サイリスタのサージに対する電圧分担も  $\pm 7\%$  以内にあり、良好で、 $dv/dt$  は約 70 V/ $\mu$ s で、素子規格 200 V/ $\mu$ s に対して余裕がある。

### 5. 三相交流制御サイリスタ回路の問題点

(1) 三相制御サイリスタ回路の位相範囲は 150° 必要である。

これは各相の相電圧を基準とし、 $\alpha=0^\circ$  から  $\alpha=150^\circ$  までの制御をさせる必要がある。

図 5.1 に制御範囲を示す。

(2) パルスの消える点は相電圧  $\alpha=180^\circ$  よりさらに 30° おくれたところまでひっぱり必要がある。すなわち、 $\alpha=0^\circ$  の場合にパルス

幅は 210° 必要となる。

(3) パルス消失点を相電圧基準 180° とすると、 $\alpha=120^\circ \sim 150^\circ$  までの領域でパルスが重なるため出力零で、 $\alpha=120^\circ$  になると、出力がジャンプして発生する。この値は全電圧の約 12 % であるが、パルスが  $\alpha=120^\circ$  近辺に定着すると、回路が振動状態となり、主サイリスタを損傷する可能性がある。

(4) 抵抗負荷で  $\alpha=90^\circ$  以上の範囲では、ゲートパルス期間に素子に逆電圧が印加される。図 5.1 に示す。逆電圧期間にゲートパルスが

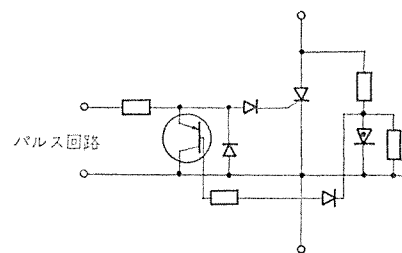


図 5.2 ゲートパルス抑制回路  
Circuit for gate pulse cut off.

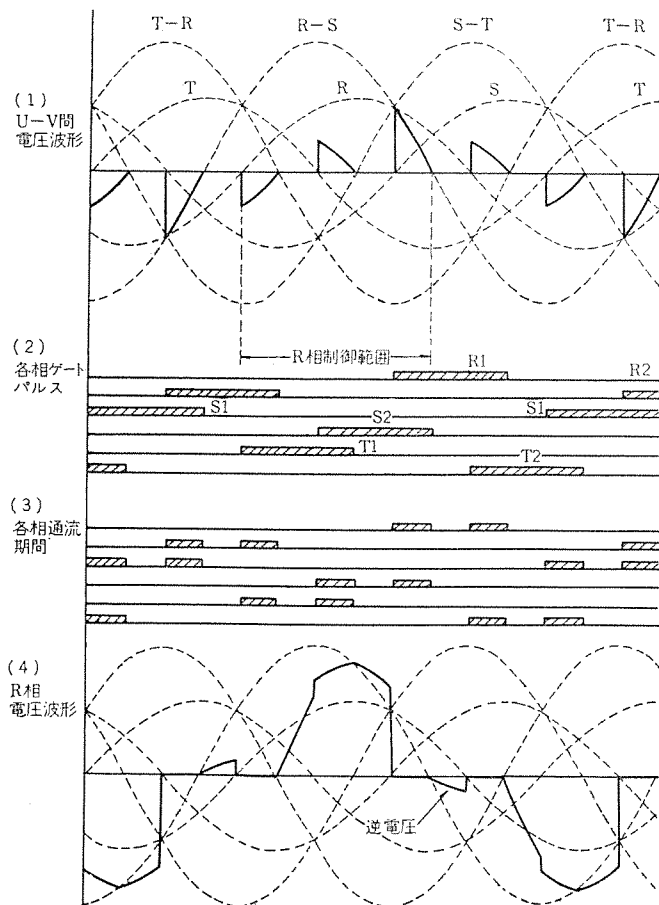


図 5.1 各部電圧波形  $\alpha=120^\circ$   
Wave forms.

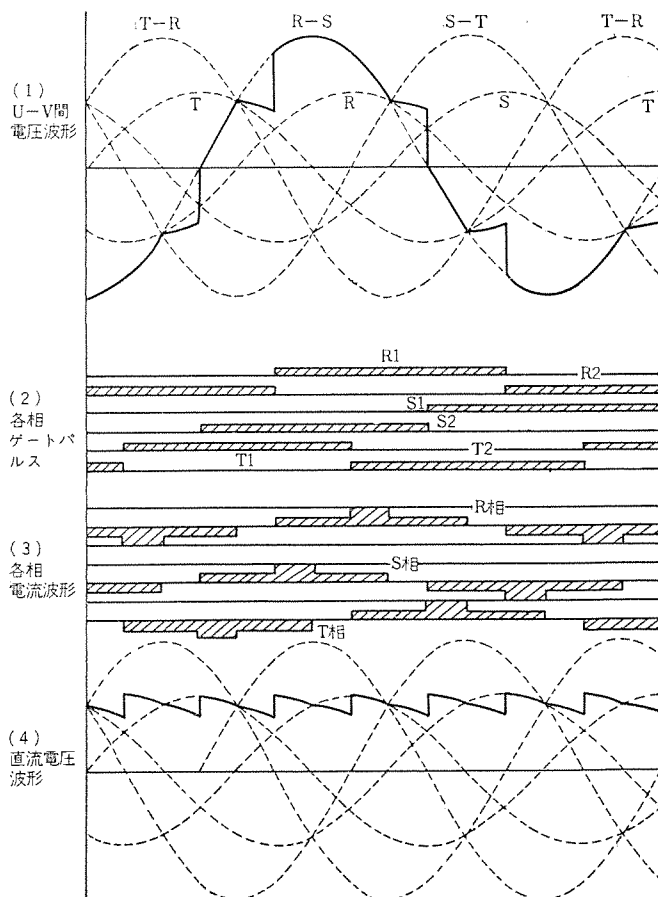


図 5.3 各部波形 ( $\Delta$ - $Y$  整流回路  $\alpha=30^\circ$ )  
Wave forms.

印加されると、サイリスタの漏れ電流がゲート近傍に集中し、ホットスポットができる。この現象を避けるにはつぎの2方法が考えられる。

- (a) 逆電圧期間にはゲートパルスを殺す装置を追加する。
- (b) ゲートパルスをしぼらないようにする。

(a)の方法は、たとえば図5.2に示す回路で達成できるが、部品を追加する必要がある。今回は(b)の方法をとり、 $\alpha=110^\circ$ にリミッタを設け、これ以上は制御しないことにしたが、この場合は制御範囲は20~100%となり、ゲートシャ断によりON-OFFを行なう方式とした。

(5) サイリスタユニットをラインに入れるとき、サイリスタに印加される電圧は電流が連続している場合に、(相間電圧の波高値) $\times \frac{\sqrt{3}}{2}$ であるが、電流断続時には相間電圧波高値が印加される。したがって、許される場合にはサイリスタユニットと負荷の直列回路をデルタ結線すると、サイリスタに要求される電流責務は $\frac{1}{\sqrt{3}}$ となり、経済的なセッとなる。

なお、今回使用した図3.1における各部波形を $\alpha=30^\circ$ につき図5.3に示した。

## 6. 移相回路

移相回路は高電圧のサイリスタと低電位の制御回路を結ぶもので、種々の技術的な問題点があるが、われわれの解決方法を以下に記す。なお、概略図を図6.1に示す。

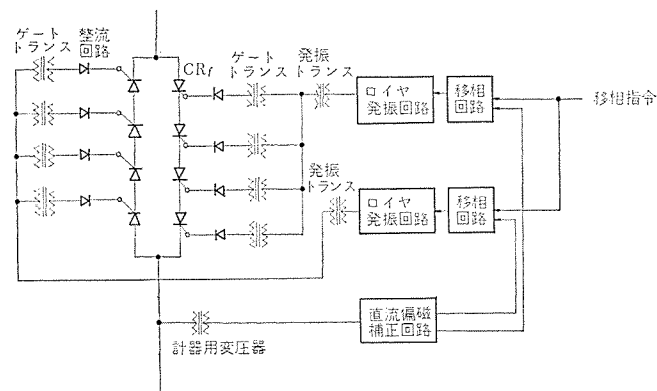


図 6.1 移相回路概略図  
Block diagram of gate circuit

(1) サイリスタに与える信号は1kHzのく形波パルスを整流してパルス幅を持たせる変調方式とした。変調方式としたため、ゲートトランスの電圧-時間積を減ずることができ、ゲートトランスのリークageリアクタンスが小となり、立ち上がりの速いハイゲートドライブが可能となった。

(2) ゲートトランス、発振トランスとも3号機種の絶縁(16kV AC耐圧、45kVインパルス)を持たせて2重絶縁とし、万一の事故の場合にも被害を拡大させない。絶縁の強化とリークageリアクタンスの減少という二つの相反する条件を満足させるため、トランスには特殊なレジジン処理を施している。

(3) 正負の主サイリスタアームの点弧は、ばらつきを少なく押えないと、負荷側機器の直流偏磁が問題となる。とくに、単相変圧器等の偏磁に対して弱い回路構成に対しては、計器用変圧器で検出し、移相回路に補正信号をフィードバックする回路を開発した。

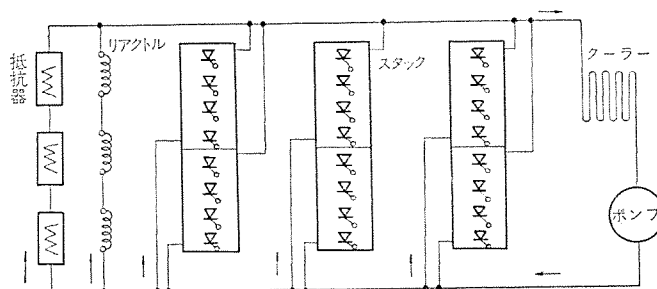


図 7.1 冷却系統図  
Block diagram of cooling system.

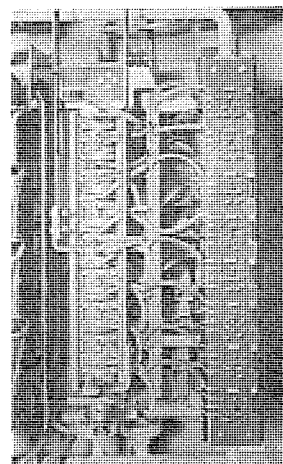


図 7.2 サイリスタスタック組立図  
Thyristor stack.

## 7. 機器の構成

装置の特長をつぎに記す。

(1) 装置は液冷式で、冷却系統図を図7.1に示す。

素子は冷却フィンと一体となったスタックにまとめられている。冷却液は冷却フィン内を循環しているので、素子交換は油流系統に触れないで簡単に行なうことができる。スタックは図7.2に示す。

(2) 冷却液はSK-2で、低粘性の不燃性液で、冷却媒体として最適のものである。

(3) リアクトルは銅管で製作し、冷却液は銅管の内部を直流する。

(4) 並列抵抗器はホーロ抵抗器に耐燃処理を施し、長方形のタンク内に収納して通油冷却した。

(5) 以上に述べたように、キュービクル内の発熱体はすべて液冷にしたので、キュービクルは密閉構造でよく、屋外・屋内どちらにでも設置可能である。

## 8. むすび

以上、高圧サイリスタスイッチについて概略を述べたが、今後あらゆる分野に使用されるものと思われるので、当社では需要家各位のご期待にそえるよう準備を進めている。なお、サイリスタの過電流耐量の増大、ゲートオフ能力の向上、永久ヒューズとの組み合わせ等により、ブレーカとしての用途も今後漸次開拓されるものと思われる。

最後に、関係各位のご援助と協力に感謝の意を表わす。

## 航空機用変圧整流装置

小川 一\*・堀口 重昭\*

## Transformer-Rectifier Unit for Aircraft Use

Nagoya Works Hajime OGAWA・Shigeaki HORIGUCHI

The transformer-rectifier unit is a device to get DC power from a 400 Hz 200 V AC power source carried on the aircraft, and consisting of a transformer, diodes, a cooling fan etc. Four kinds of the devices ranging 35 A~200 A in output capacity now have been developed. They are the first products made for the aircraft use in our country by using aluminium foil or strip coil transformers put into practice and by succeeding in reducing the weight. They have a number of distinctive features including high reliability and good performance. The government test for the approval has been also proved very satisfactory with this new apparatus. Herein are introduced the merits, construction and various problems in the design of the parts of the equipment as general information.

## 1. ま え が き

航空機用変圧整流装置は、一般に T-R ユニット（以下 T-R ユニットという）と呼称され、航空機の交流電源を直流電力に変換する静止形 AC→DC コンバータである。

航空機の電源方式は、従来直流発電機による直流電源方式が一般的であったが、ブラシ整流上の問題、系の重量の問題などから、近年ほとんど交流電源化されており、T-R ユニットは、この交流電源を直流電力に変換して、機体内の直流負荷に対する電力供給源として使用されるため、電源系統の重要な要素の一つとなっている。

このたび当所で開発しシリーズ化した T-R ユニットは、米軍規格（MIL 規格）に基づくきわめてきびしい要求仕様を満足し、コンパクトな構造と航空機積載機種としては、国内では初めてアルミはく（箔）巻トランスを実用化するなど、数々の特長を有するもので、現在国産開発中のほとんどの航空機に積載されることになっている。

この機会に、この T-R ユニットの構造・特長およびアルミはく巻トランスの実用化について、種々の一般的問題点とともに報告する。

## 2. T-R ユニットの概要

現在中・大形ジェット機は、ほとんど交流電源化されており、この T-R ユニットにより、直流電力を得ているわけであるが、一般には図 2. 1 に示すごとく、機体の交流電源母線からサーキットブレーカを介して接続され、直流出力端子は、出力側ブレーカを介して直流母線に

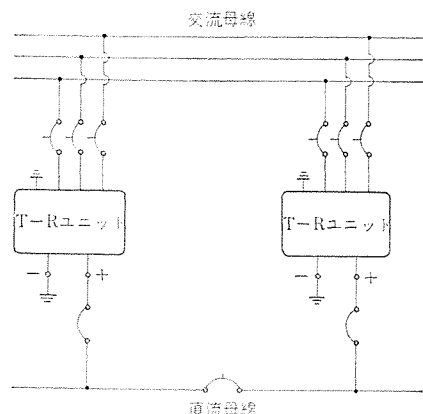


図 2. 1 T-R ユニットの接続例  
Connection diagram of T-R unit.

接続される。通常 T-R ユニットは、図示のごとく複数個を並列接続して使用され、所要負荷に対する単体出力は、定格出力の 1/2 程度に選ばれているため、1 台が故障などで使用不能になった場合でも、他のユニットでその負荷を十分カバーできるようになっている。

T-R ユニットには、このような電源系に使われるもの以外に、バッテリー充電用、特殊照明用など特殊用途に用いられるものもある。

直流電源系に使用される T-R ユニットは、負荷の増減に対し出力電圧調整はなされないのが普通で、当所の T-R ユニットはすべてこの無調整形のものである。この他出力電圧が常に一定となるように電圧調整装置を内蔵した調整形、出力電圧の変動をごく狭い範囲に設定した半調整形のものもある。

## 2. 1 適用規格

航空機用電装品は一般に MIL 規格が適用され、この電力用 T-R ユニットの適用規格としては、次のものがある。

MIL-P-26517 POWER SUPPLY, AIRCRAFT, TRANSFORMER-RECTIFIER, GENERAL SPECIFICATION, FOR

MIL-C-7115 CONVERTERS, AIRCRAFT, GENERAL SPECIFICATION, FOR

前者は米空軍制定、後者は米陸海空軍承認となっているが、特性確認方法など手順の相異はあるが、両者の実質上の相異はない。一般には個別仕様書がこれらの規格、MS 規格に基づいて制定されている。

航空機用電装品は、一般の地上用機器に比べて非常に過酷な環境条件に耐えることを要求されるが、これらの規格から要求される環境試験項目は、35,000~65,000 フィートの高度試験、-54°C の低温試験、+71°C~125°C の高温試験、5~500 Hz±10 G 9 時間の振動試験、240 時間 10 サイクルの湿度試験、15 G 18 回の衝撃試験、MIL-I-6181 による無線障害試験、ガソリン混合気中における防爆試験、塩水噴霧試験などであり、これらの条件下で、所定の動作特性を有し、機能上の欠陥を生じてはならない。認定試験は、一般特性はもちろん、このような環境条件に対するユニットの適性を確認するために、原則として、検査官の立合の下で実施され、すべての項目に対し合格しなければならない。

## 2. 2 具備条件

T-R ユニットは、2. 1 節の環境条件に対し、十分耐えうることは

もちろんであるが、一般に要求される条件としては

- (1) 小形軽量であること
- (2) 信頼性の高いこと
- (3) 出力電圧波形が良好で、リップル分が少ないこと
- (4) 電圧変動率が少ないこと
- (5) 保守性・整備性が良いこと
- (6) 磁気騒音が少ないこと
- (7) 使用周囲環境範囲が広く、あらゆる条件下で確実に作動できること。

などである。これらの条件は、航空機用電装品としては当然必要とされるものではあるが、特に T-R ユニットの、その機能が、航法通信などに影響を与えることもあるため、設計上特に考慮しなければならない。

### 3. 構造および動作

T-R ユニットの、機体内の交流 400 Hz 200 V 三相電源を、所要直流電圧（機体内では、ほとんど 28 V 系であるが、特別に設定されることもある）に変換するもので、交流電圧を所要電圧に変圧するための主トランスと、これの二次出力を整流するためのダイオードが主要構成部品である。この他入力・出力側のフィルタ回路、冷却用ファンなどで全体を円筒形ケースに収め、一体構造としている。

図 3.1 は、当所で現在製作している 4 種類の T-R ユニットの外観写真で、このうちの代表機種についてカバーを取除いた状態の構造写真を図 3.2 に示す。また、図 3.3 は、この T-R ユニットの内部結線図で、この図に示すように、主トランスの二次側は Y $\Delta$ 結線としこの二次出力をダイオードで全波整流し相間トランスフィルタを通して出力端子に接続している。これら各部品の特性が、ユニット全体に大きな影響を与えるため、ここでこれら構成部品について、設計上の問題点、構造・動作などこの T-R ユニットの開発にあたって検討した事項を、一般的な事項とともにまとめておく。

#### 3.1 主トランス

一次 Y 二次 Y $\Delta$ 結線とし、直流出力電圧との関係から一次 200 V を約 22 V に変圧している。V/T は約 1.5 で航空機用乾式トランスで 1~6 kVA 容量のものでは、V/T=0.8~1.8 程度に選定される例が多い。

##### 3.1.1 コア形状

コアは、特殊設計の E 形または Y 形カットコアを使用している（図 3.4 参照）。当所の T-R ユニットにおいては、小形小容量のものは、Y 形カットコアを使用し、容量の大きなものは、E 形カットコアを使用している。Y 形カットコアは、鉄心の利用効率が高く全体をコンパクトにまとめることができること、また、磁路の平衡が保てることが大きな特長であるが、強制風冷式で、トランス、ダイオードを同一ファンで冷却する T-R ユニットにおいては、通風が悪く冷却効果が悪くなることと、カット面が多いため（E 形では 1 か所、Y 形では 3 か所）コアカット面のずれ・ギャップの増大による特性上の不具合、磁気騒音の増大を起しやすなどの難点があり、容量の大きな T-R ユニットでは、冷却効果・振動衝撃などによるずれの発生、トランス重量の軽減（アルミはくコイルの採用による）などを考慮し、E 形カットコアを使用している。

##### 3.1.2 トランス軽量化の問題

前述のごとく、航空機用電装品に対しては、この重量軽減につい

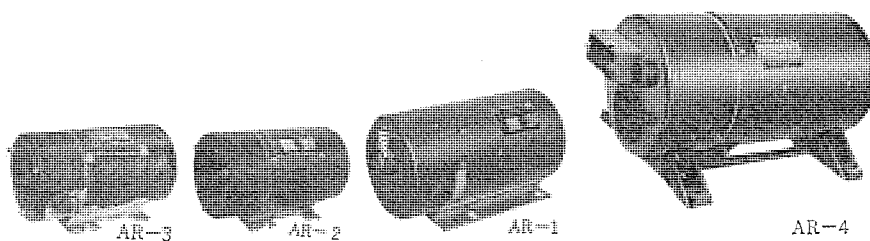


図 3.1 T-R ユニット  
Transformer-rectifier unit.

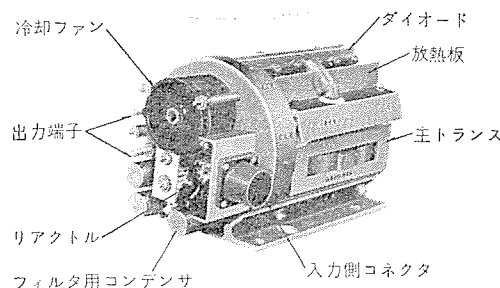


図 3.2 T-R ユニットの内部構造  
Interior view of T-R unit.

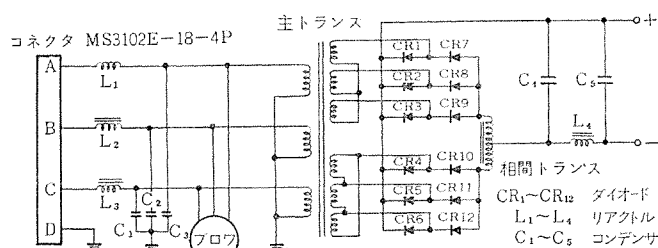


図 3.3 結線図 (P/N AR-1)  
Schematic diagram of T-R unit.

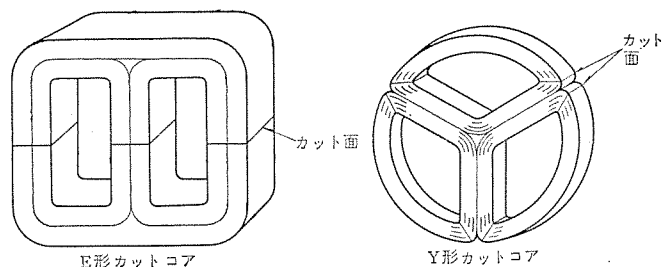


図 3.4 カットコアの形状  
E and Y cut core.

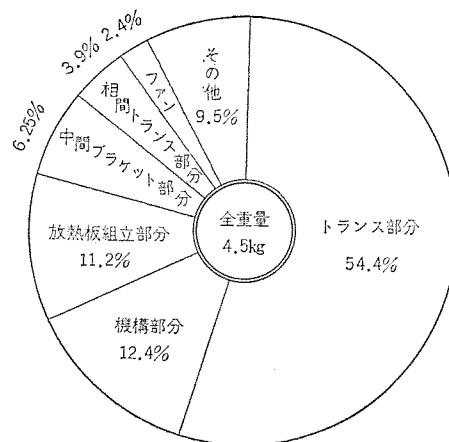


図 3.5 T-R ユニットの重量構成  
Weight analysis of TR-unit.

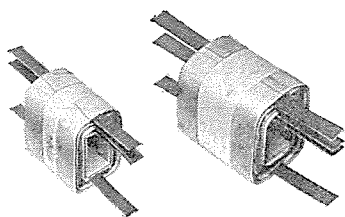


図 3.6 アルミはく巻トランスコイル  
Al-foil transformer coil.

て特に考慮しなければならない。図 3.5 は、100 A T-R ユニットの一例として、その重量構成を示したものである。これから明らかのごとく、主トランスは、全重量の約 55 % を占めており、T-R ユニットの軽量化は、このトランス部をいかに軽量化するかにかかっていると見える。トランス重量の軽減については、各種文献に詳しいので、ここでは、特に T-R ユニットの設計に際して考慮した事項をコア部とコイル部に分けてまとめておく。

#### (1) コアの軽量化

コアの重量軽減のためには、コア形状の選定はもとより、(3.1.1 項)のべた E 形カットコアと Y 形カットコアでは、自然冷却式で一般の銅コイルを使用した場合は、Y 形カットコアのほうが、小形軽量化できる) 同一コア形状では、最大磁束密度を高くとることが必要で、重量は磁束密度の増加とともに軽減される。したがって、飽和磁束密度が高く、損失の少ない材料の選定が必要で、同時にカット面の仕上・組立についての十分な検討を要する。すなわち、最大磁束密度の限界と、カット面の仕上・組立との間には、密接な関係があり磁束密度を大きくした場合、材料はもちろんのこと、カット面の仕上状況、組立方法に細心の注意を払うことが必要で、ギャップの増大による異常電流、磁気騒音の発生などを伴いやすい。この T-R ユニットの場合は、組立による製品のばらつきを最小限に保つことを主眼にして、鉄心材料は 0.1 mm 厚の方向性けい素鋼板を使用し、カット面は 0.2 S 以下に仕上げ、かつ最大磁束密度を 16 k ガウスに押えている。したがって、コアそのものによる重量軽減は、必要最小限にとどめてあり、製品のばらつき、振動衝撃によるギャップの増大から生ずる異常音、特性劣化、無線障害の発生などに対する防止に役立っている。

#### (2) コイルの軽量化

コイル重量は、一般には、温度上昇と耐熱性との関係から定まるもので、特に高々度における冷却効果との兼ねあいから決定される。一般には他の電気部品に対する熱的影響を考慮すれば、トランス温度上昇は H 種絶縁使用程度に設計すべきであり、銅導体を使用するかぎり、導体寸法を下げコイル重量を下げる操作には限界がある。この T-R ユニットの設計では、このコイルを銅からアルミに変更することによりコイル重量を約 60 % に軽減できた。図 3.6 は、アルミコイル単体の外観写真である。本件は 5 章で詳述する。

### 3.2 ダイオード

ダイオードは、この T-R ユニットの最も重要な部品の一つで、その使用温度範囲は  $-55^{\circ}\text{C} \sim +180^{\circ}\text{C}$  にも達し、特に厳選されたシリコンダイオードを使用している。

### 3.3 冷却ファン

冷却ファンは、交流 400 Hz 200 V 入力で駆動されるモータファンで、この T-R ユニットの唯一の回転部分であり、信頼性の点からみると、ユニット中最も単体 MTBF 値が低い。たとえば、特にこの信頼性の向上について考慮された当所製 T-R ユニットの設計でも、ファン単体の MT

表 3.1 相間トランスの効果  
Effect of interphase transformer.

項 目	相間トランスなし	相間トランスあり
平均電流 (1 アーム当り)	0.167	0.167
ダイオード導通角 (電気角)	60	120
主トランス 二次実効電流	0.577	0.408
主トランス 二次容量 1)	1.43	1.05
主トランス 一次容量 2)	1.01	1.01
相間トランス 容量 3)	0	0.059
合 計 1)+2)+3)	2.44	2.119

(注意) 直流側負荷電流・電力に対する割合で示す

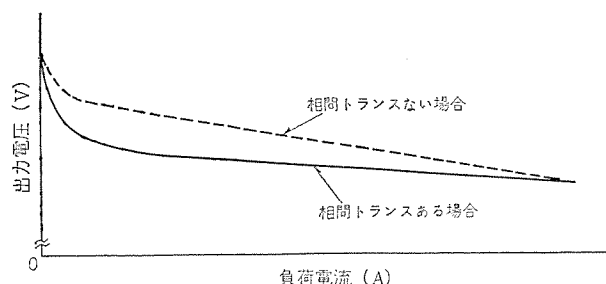


図 3.7 出力電圧変動特性  
Voltage regulation curve.

BF が 20,000 時間程度であるため、ユニット全体の MTBF は約 12,000 時間となる (MTBF はいずれも計算値)。この例からわかるとおり、ファン単体の信頼性向上がユニット全体の信頼性を左右することにもなり、ファンの設定上特に考慮する必要がある。

たとえば、冷却効果すなわち風量を増すための手段として、回転数を増すことが最も簡便であるが、この種のファンは、2 極または 4 極のモータで駆動されるのが普通で、モータ同期速度は 2 極の場合  $n=120 \times 400/2=24,000$  rpm、4 極の場合  $n=12,000$  rpm となり、4 極から 2 極にすることにより、ベアリング寿命の低下、潤滑方法、振動の増加などを、モータ構造とともに考慮しなければならず、今までの実績からみても、回転数の増加がそのまま信頼性・寿命の低下につながる例が多い。たとえば、現在国内で使用されている外国製 T-R ユニットの設計では、ファンの回転数約 20,000 rpm であるが、このファンの信頼性が悪いため MTBF 1,000 時間以下との報告がある。

当所 T-R ユニットの設計では、特に低高度において高スリップ ( $S=0.5$  以上) 特性を持たせ、高々度においてはじめて高速回転となるように設計してある。したがって、冷却効果は、低高度・高々度共に十分確保され、かつ、このような設計上の配慮から、信頼性寿命の大幅な改善がなされ、ユニット全体の信頼性を向上させている。

この冷却ファンは、MIL-B-23071 の規定の認定試験に合格したものと同一シリーズのもので、航空機用電装品をはじめとし、ミサイル関係にも使用されている。

### 3.4 相間トランス

相間トランスは、ダイオード出力端に接続される一種のリアクトルで、トランス二次 Y 点に接続された全波整流ブリッジのおおのの端子電圧が、相間トランスの中性点からみて等しくなるように働くもので、表 3.1、図 3.7 に、相間トランスの効果についてまとめている。大きな特長は、トランス容量を減少させること、すなわち重量軽減が達成でき、また、実用範囲での電圧変動率を少なくすることである。

## 4. T-R ユニットの特性および特長

当所においては、この T-R ユニットの定格出力容量で 35 A・50 A

表 4.1 T-R ユニット仕様諸元  
Specification of TR unit.

形名		AR-1	AR-2	AR-3		AR-4
人 力 AC	電 圧 V	195~210	195~203.5	191~203.5		195~203.5
	周 波 数 Hz	380~420	380~420	380~420		380~420
	全負荷電流 A	8	4.5	2.0	2.3	2.5
	相 数	3	3	3		3
出 力 DC	定格電圧 V	28	28	20	18	16
	定格電流 A	100	50	35		200
最大リップル電圧 V		1.5 P-N	1.5 P-N	1.5 P-N		1 P-P
過 負 荷 出 力		150 % 5 分	150 % 5 分	150 % 5 分		150 % 2 分
		250 % 1 分	250 % 1 分	250 % 1 分		200 % 1 分
		500 % 1 秒	500 % 1 秒	500 % 1 秒		1,000 % 0.05 秒
効 率		85 以上	85 以上	80 以上		80 以上
力 率		90 以上	90 以上	90 以上		90 以上
定 格		連 続	連 続	連 続		連 続
冷 却		自冷ファン	自冷ファン	自冷ファン		自冷ファン
寸法 (縦×横×高さ) mm		127.7×228 ×134	101.6×185 ×104	101.6×185 ×104		241.3×312.4 ×177.8
重 量 kg		4.5	2.7	2.5		10.5
適 用 規 格		MIL-P- 26517 A(1) (MDK-5027) ほか	MIL-P- 26517 A(1) (MDK-5030)	MIL-P- 26517 A(1) (MDK-5024)		MIL-C- 7115 C (MDK-5033)

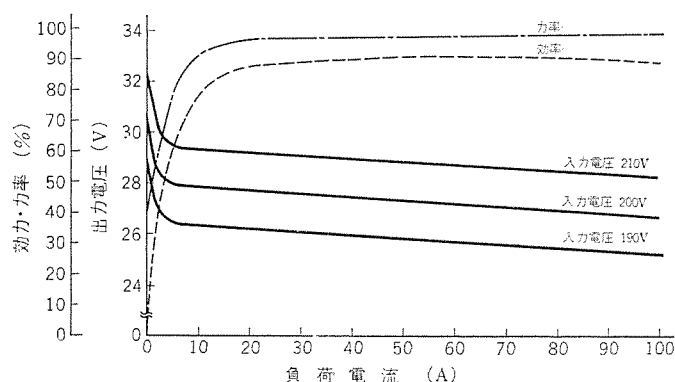


図 4.1 T-R ユニットの負荷特性曲線 (P/N AR-1)  
Typical load characteristic curves of TR-unit.

・100 A・200 A の 4 種類をシリーズ開発したが、これらの特性・特長についてのべる。

#### 4.1 特 性

表 4.1 は、これら T-R ユニットの仕様諸元、図 4.1 は、100 A 定格 P/N AR-1 について、負荷電流に対する出力電圧・力率・効率の関係を示したものである。特にリップル電圧は、図 3.3 の結線図に示すごとく、トランス二次側 Y-Δ 出力を全波整流することによって出力電圧位相は 30° になる（等価的には 12 相半波整流）ため、出力電圧の脈動が少なくなる結果、非常に小さくなっている。したがって、一次・二次のフィルタは、リップル吸収を特に必要とせず、ラジオノイズ吸収用として取り付けている。ただし、200 A 定格 P/N AR-4 は、リップル吸収フィルタを内蔵しており、他の 3 種のものに比べて、リップル電圧は 1/3 以下になっている。これらは MIL-I-6181 D・無線障害試験に合格している。

#### 4.2 特 長

これら T-R ユニットの特長は、次のごとくである。

##### (1) 軽量であること

アルミはく巻トランスの採用および機構部の軽量化

##### (2) 信頼性が高いこと

表 4.2 冷却ファン耐久性確認方法  
Confirmation of cooling fan durability.

項 目	実 施 方 法	数 量	結 果
耐 久 性	周囲温度 125°C にて連続 1,500 時間定格電圧にて実施。この間入力は 24 時間ごとに 5 分間 OFF し、起動性を確認する。	1 台 (抜 取)	良 好
加 速 寿 命	電圧を 110 %、90 %、100 % に変化させ周囲温度 25°C、-55°C、+25°C、+55°C の各状態で、計 384 時間運転、引きつづき +125°C、+25°C、-55°C、+25°C、+55°C、+125°C の各状態で計 620 時間運転合計 1,000 時間以上	2 台 (抜 取)	良 好

図 3.2 に示す構造写真でもわかるように、ファンは冷却効果を良くするために、ダイオード、トランスなどの発熱体に対し、合理的に配置されており、前述のごとく、ファンの回転数を下げることが可能となったため、T-R ユニットの信頼性向上を計ることができた。表 4.2 は、この T-R ユニットに使用されているファンの耐久性試験の実施方法をまとめたものであるが、これらの試験においてファンは、いかなる故障も起こっていない。

これらの配慮および、ダイオード・コンデンサ・トランス等の選定、最適設計により、T-R ユニットの MTBF は 10,000 時間以上確保できる見通しである。

##### (3) リップル電圧が少ない

トランス二次側 Y-Δ 結線と、全波整流ブリッジによる等価に相半波整流により、リップル電圧はきわめて小さい。

##### (4) その他

(a) 微わい(歪)振動がほとんど起こらない

(b) サーマルプロテクタ(サーマルスイッチ)の装置が可能(200 A 定格 P/N AR-4 は、サーマルプロテクタ付き)で、冷却ファンの故障による二次故障の防止ができる。

### 5. アルミはく巻トランスコイル

前述のごとく、この T-R ユニットには、重量軽減を主目的としてアルミはく巻トランスを使用している。

表 5.1 は、アルミコイル使用のトランスと、銅コイル使用のトランスについて、重量比較を行なったものである。この表でアルミ使用のものは、100 A 定格 P/N AR-1 の実測値を、銅使用のものは、アルミコイルの抵抗値と同一抵抗となるように線サイズを選定して、計算した算出値を掲げたものである。コア重量は、アルミコイルが銅コイルに比べてコイル外側寸法が大きくなる(アルミコイル寸法 44×70 mm に対し、銅コイル寸法 40×57 mm)結果、コアの所要窓寸法が大きくなり、約 4 % ほど増加するが、コイル単体重量は、アルミは銅の約 60 % に軽減できる。したがってトランス単体重量では、アルミはく巻トランスを採用したことにより、通常の銅トランスの場合より約 10 % の軽

表 5.1 アルミ・銅のトランス重量比較  
Comparison between the weight of aluminium and copper.

単 位 kg

項 目		ア ル ミ	銅	比(アルミ:銅)
コイル	導 体 部	0.14×3 個	0.25×3 個	0.56 : 1
	リードほか	0.07×3 個	0.07×3 個	1 : 1
	計	0.21×3 個	0.32×3 個	0.66 : 1
コ ア		1.70	1.63	1.04 : 1
そ の 他 (端子等)		0.13	0.13	1 : 1
合計 (トランス重量)		2.46	2.72	0.9 : 1



表 5.2 絶縁処理アルミはく(または条)の特性  
Characteristic of insulated treated Al-foil or strip.

導 体 サ イ ズ	50 $\mu$ 厚×50 mm 幅
皮 膜 厚	4 $\mu$
仕 上 厚	58 $\mu$
ピ ン ホ ール ※1	良
B. D. V (A. C) ※2	$\bar{X}$ 290 V (min 250 V)

- ※ 1. 水 (1 L) : トリエタノールアミン (20 g) : コンゴレッド (1 g) の溶液中に試料を浸した状態で DC 12 V を印加し, 10 分経過後, 皮膜変色の有無を調べる。  
 ※ 2. 銅電極 (500 g, 25 mm $\phi$ , 先端の丸み 2.5 R) と Al-foil 導体間に AC 60 Hz を印加する。

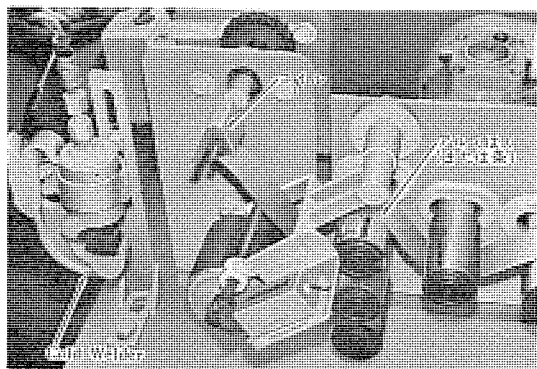


図 5.1 アルミコイル巻装置(大日本電線所有)  
Al-coil winder.

減をはかることができた。実際には, アルミはく導体ではホットスポット (Hot Spot) が存在しないため, 同じ耐熱区分の絶縁処理を施したアルミと銅では, アルミのほうが抵抗値を高くとることが可能となり, あわせて, アルミコイルのコイル容積が大きくなることから熱放散性が良くなることなどにより, この T-R ユニットにおけるトランス重量軽減は, 実質上 15 %程度になると推定される。

アルミはくコイルの絶縁処理方法は, 最も重要な要素としていろいろな方法が提示されているが, この T-R ユニットでは H 種以上の耐熱性を持たせるため, はく全体をアルマイト処理し, さらに H 種絶縁ワニスによりピンホール封口処理を施している。この絶縁処理手順は次のごとくである。

アルミはく スリット→アルカリ処理→中和→水洗→

(定尺に切断) (油脂分および  
エッジのバリ除去)

アルマイト処理→封口処理

(全 面) (全 面)

このような処理により, 化学的安定性ととも, 絶縁強度も十分確保されており, 表 5.2 に, アルマイト処理アルミはくの特性の一例を示す。絶縁破壊電圧はこの場合 100 V 以上あれば使用上の問題はなく, またピンホールはコイル 1 ターン当たり 2 個以下となるよう規定しているが, 実際にはほとんど存在していない。

図 5.1 は, このアルミはくのコイル巻装置である。アルミはくは, 適当なテンションが与えられ, コイルボビンに巻き上げられる。このアル

ミはくとリード部は, 図 5.1 に示す Cold Welder によって冷間圧接されている。この冷間圧接法は, 現在最も多く採用されている接続方法で, この場合は取扱いの簡便さ, 信頼性・安定性等を考慮して決定された。特にアルマイト処理面の皮膜は, 冷間圧接では取除く必要がないのも大きな特長である。

## 6. む す び

このたび開発した T-R ユニットについて, その構造・特長を中心にして述べたが, これらは, 航空機積載機器としてのきわめてきびしい環境条件と, 重量軽減に対する考慮ならびに信頼性向上のための調査・検討によって達成されたもので, 今後いっそうの需要拡大が期待される。

特にアルミはく巻トランスの開発にあたっては, 大日本電線(株)との共同研究の形で進められたもので, 当時はまだ国内でも実験的に数例をみるにとどまり, 実用化にはいたっていない段階にあったため, 特にアルミはく(または条)の絶縁方法, コイル巻方法などは, きわめて過酷な環境条件——特に湿度試験・塩水噴霧試験に対する絶縁性の確保, 化学的安定性, コイルとリード間の圧接面の電食の問題, また, コイルの機械的安定性, 寸法精度, 小形化の問題など——に対し, 何回かの試作・検討のすえ確立されたものであり, T-R ユニットとしての, 認定試験などにおいても何ら問題を生ずることなく, コイルの適正が保証された。今後の課題としては, 特に軽量化を目的としたとき, アルミの導電率がアルカリ処理(油脂分の除去, スリットのバリ除去のために行なう)のために低下する(アルカリ処理後の導電率は, 処理前の 90~95 %になる)が, これを極力なくする方法を確立する必要がある。

ここでは, 航空機用電装品としてのアルミコイルの使用について述べたが, これらの研究成果と実績により, アルミ材価格の安定性を考慮した一般の乾式トランス・リレーなどのコイルのアルミ化が今後いっそう期待される。

最後にこの T-R ユニットの開発にあたり, 特にアルミはく(または条)コイルの実用化について, 共同開発研究を重ね, 各種技術資料の提出およびコイル製作に協力いただいた, 大日本電線(株)の関係のかたがたに厚くお礼申し上げたい。

## 参 考 文 献

- (1) 松元ほか: 三菱電機技報, 35, No. 12, 1,665 (昭 36)
- (2) 木村ほか: 変圧器の設計工作法, 電気書院 (昭 35)
- (3) 甲斐: 整流器, 日刊工業新聞社 (昭 41)
- (4) 高瀬: 航空機の電気装備, 電学誌, 88-5, 956
- (5) T. Pelikan: Modern Distribution Transformers With Aluminum Foil Windings, The Brown Boveri Review, 54, No. 7 (1958)
- (6) D. Mc Cormic: Aluminum Foil Transformer Coils, Electrical Review (1968)

# ジャイアントパルスレーザ光の第2高調波発生

富島 一成\*・岡田 和夫\*・伊東 尚\*

## Second Harmonic Generation with Giant Pulse Laser with KDP

Central Research Laboratory

Kazunaru TOMISHIMA・Kazuo OKADA・Syo ITO

The application of solid state laser in the fields of material processing, detection of air pollution, medical science, photography and photochemistry, has been on the increase. Coherent optical sources with wavelengths different from those of practical lasers are required almost in all of these fields.

In this report are discussed second harmonic generations by glass and ruby lasers with KDP, which are the fundamental techniques of conversion of the wavelength of light, special importance being attached to the efficiency of SHG and the optimum design of length of the nonlinear crystal when placed inside the laser cavity to obtain high efficiency by making use of a higher fundamental electric field.

### 1. ま え が き

近年のレーザ技術の発達により、遠赤外域から紫外域にわたってレーザ発振が可能になり、現在レーザ発振装置の改良とともに、通信・情報処理・計測・加工など多くの分野への応用研究が精力的におこなわれている。また、レーザ光はコヒーレントでしかもふく(幅)射密度が高いため、これを用いることにより、従来非常に小さな効果としてしか検知されなかった非線形光学効果が、容易に観測できるようになった。代表的な非線形光学効果としては、光波のてい(通)倍、二種の光波の和および差、周波数の光波発生および多光子遷移過程などがあげられるが、本報告ではそのうちのてい倍について述べる。

光の第2高調波発生(SHG)の実験は、1961年にルビーレーザと水晶を用いてFranken<sup>(1)</sup>らが始めて観測したが、彼らの実験では第2高調波と基本波のエネルギーの比は、基本波の出力エネルギーが3Jのときにわずかに $10^{-8}$ にすぎなかった。しかし、その後、

- (1) 出力パワーの高いレーザが容易に得られるようになったこと
- (2) 位相整合の技術が開発されたこと<sup>(2)</sup>
- (3) 非線形定数が大きく位相整合のとれるタンゲストロンズ系の結晶の開発が進んだこと<sup>(3)</sup>
- (4) 非線形結晶を電界強度の高いレーザ共振器中に設置し、第2高調波を発生させるいわゆる intra-cavity SHG の技術が開発されたこと<sup>(4)</sup>

などにより、基本波から第2高調波への変換効率は飛躍的に高くなった。

一方、Nd<sup>3+</sup>を含むガラスまたはYAG単結晶による非常に効率の高いレーザ発振が可能になり、とくにYAG(Nd<sup>3+</sup>)を用いると、その高効率の結果CO<sub>2</sub>ガスレーザにつぐ大出力の連続発振が実現されるようになったが、その発振波長が1.06μであるため、可視でないこと、大気伝ば(播)に際しての吸収損失が大きいため、この波長域での検知器の特性の良いものが未開発であることなどのため、場合によってはその効率の高いことを有効に利用できないうらみがあり、これをてい倍して緑色光にすると、これらの問題がすべて解決するので、実用上、てい倍技術の開発が重要になってきつつある。

本報告ではおもにガラスロッドを用いたジャイアントパルスレーザのてい倍、とくに intra-cavity SHG について詳述する。この種の実験は連続発振レーザに対してはすでに報告があるが、ジャイアントパルスレーザに

ついては、詳細な報告がこれまでなされていなかった。

非線形結晶としては、燐酸水素カリウム (potassium dihydrogen phosphate ; KDP) の単結晶を用いた。非線形定数が比較的小さいKDP結晶を用いた理由は、その屈折率の温度変化が小さく、通常の温度変化の範囲内では位相整合角を一定とみなすことができ、実際に際し温度制御系が不要であること、均質で良質な単結晶が低価格で容易に入手可能であることなどである。

なお、本報告における内容分担は下記のとおりである。

立案—富島、岡田、伊東

実験実施—岡田、伊東

結果検討—富島、岡田、伊東

### 2. 理 論

#### 2.1 レーザ光のてい倍

レーザ共振器の外に非線形結晶を設置した場合のてい倍光の発生。以後、extra-cavity SHG と略す。

非線形結晶に周波数 $\omega$ のレーザ光が入射すると、角周波数 $2\omega$ で変化する誘電分極が結晶中に誘起され、この分極から第2高調波が発生する。

非線形定数テンソルを $\vec{d}$

基本波電界が $\vec{E}_\omega(\vec{r}) = \vec{E}_\omega e^{i(\frac{\omega}{c})\vec{n}\cdot\vec{r} - i\omega t}$

で表わせるとすると、

誘起される分極波 $\vec{P}(\vec{r})$ は $\vec{d} \cdot \vec{E}_\omega \vec{E}_\omega e^{i(\frac{2\omega}{c})\vec{n}\cdot\vec{r} - 2i\omega t}$

となり、結晶中における位相速度は基本波レーザ光のそれと等しい。基本波の伝ば方向に対する第2高調波の位相速度が、分極波の位相速度に等しいときは、位相整合 (phase matching) がとれている状態と呼ばれ、効率よく第2高調波が発生する。したがって、位相整合がとれるための条件は、入射する基本波に対する屈折率と発生する第2高調波に対する屈折率とが等しいことである。

一軸性結晶であるKDP結晶の場合、そのC軸と角度 $\theta$ をなして伝ばする異常光線に対する屈折率は

$$\frac{1}{n^{(e)}(\theta)^2} = \frac{\cos^2\theta}{n^{(o)2}} + \frac{\sin^2\theta}{n^{(e)2}} \dots\dots\dots (2.1)$$

である。ここに $n^{(o)}$ 、 $n^{(e)}$ は常光線、異常光線の主屈折率を表わす。第2高調波は異常光線として発生するので、

$$\frac{1}{n_{\omega}^{(0)2}} = \frac{1}{n_{\omega}^{(e)2}(\theta_m)^2} = \frac{\cos^2\theta_m}{n_{\omega}^{(0)2}} + \frac{\sin^2\theta_m}{n_{\omega}^{(e)2}} \dots\dots\dots (2.2)$$

よりきまる角度  $\theta_m$  で単光線として基本波を入射させることにより、両光線に対する屈折率を等しくすることができる。なお  $\theta_m$  は次式で与えられる。

$$\theta_m = \sin^{-1} \left\{ \frac{n_{\omega}^{(e)}}{n_{\omega}^{(0)}} \cdot \left[ \frac{n_{\omega}^{(0)2} - n_{\omega}^{(0)2}}{n_{\omega}^{(0)2} - n_{\omega}^{(e)2}} \right]^{\frac{1}{2}} \right\} \dots\dots\dots (2.3)$$

第2高調波パワーは、上述の電気分極波が存在するときのMaxwellの方程式を解いて得られるが、C. C. Wang<sup>(5)</sup>らによれば、非線形結晶としてKDP結晶を用いたときには下記のように求められる。

$l \ll l_{\text{coh}}$  のとき、

$$P_{2\omega} = \frac{32\pi^3(2\omega)^2 d_{36}^2 \sin^2\theta_m l^2}{S(n'C)^3} \cdot P_{\omega}^2 \dots\dots\dots (2.4)$$

$l \gg l_{\text{coh}}$  のとき

$$P_{2\omega} = \frac{32\pi^3(2\omega)^2 d_{36}^2 \sin^2\theta_m l l_{\text{coh}}}{S(n'C)^3} \cdot P_{\omega}^2 \dots\dots\dots (2.5)$$

ここに、

$P_{2\omega}$ ,  $P_{\omega}$  : 第2高調波および基本波パワー

$\omega$  : 基本波周波数

$\theta_m$  : 位相整合角

$d_{36}$  : KDP結晶の非線形定数

$C$  : 光速

$n'$  : 基本波に対する屈折率

$l$  : KDP結晶の長さ

$l_{\text{coh}}$  : 可干渉長

$S$  : ビーム断面積

である。

## 2.2 Intra-cavity SHG

式(2.4), (2.5)ともに、第2高調波パワーは、基本波パワーの2乗に比例して増大することを示している。したがって、レーザ共振器を構成する反射鏡を、基本波に対してはその反射率を100%に、第2高調波に対しては透過率を100%にし、レーザ共振器中に非線形結晶を設置することにより、同一励起エネルギーでextra-cavity SHGにくらべ大きな第2高調波パワーが得られる。

ガラス(Nd<sup>3+</sup>)レーザ共振器中に非線形結晶を設置した場合の光子密度、逆転分布の時間変化を表わす方程式は次のようになる。これは、W. G. Wagner<sup>(6)</sup>らがジャイアントパルスレーザに関する計算をおこなうのに用いた式に、第2高調波発生項を付与したものである。

$$\frac{d(\phi_+ + \phi_-)}{dt} = \frac{\sigma Ll}{\left(\frac{L}{C}\right)} N(\phi_+ + \phi_-) - \frac{\gamma}{\left(\frac{L}{C}\right)} (\phi_+ + \phi_-) - \frac{K}{\left(\frac{L}{C}\right)} (\phi_+^2 + \phi_-^2) \dots\dots\dots (2.6)$$

$$\frac{dN}{dt} = \frac{\sigma Ll}{\left(\frac{L}{C}\right)} N(\phi_+ - \phi_-) \dots\dots\dots (2.7)$$

ここに、 $\phi_+$ ,  $\phi_-$  は、レーザ共振器内の基本波の平均フォトン密度、 $+$ ,  $-$  は、それぞれ出力鏡にむかって進むフォトンおよびその逆むきに進むフォトンを示す。発振しているときには $\phi_+$ ,  $\phi_-$ の大きさは等しい。

$N$  : 逆転分布

$\sigma$  : 吸収断面積

$\gamma$  : 1 pathあたりの損失

$L$  : 共振器長

$l$  : 非線形結晶の長さ

$Ll$  : レーザロッドの長さ

$K$  : 第2高調波発生をあらわす係数。

実効的な可干渉長( $l_{\text{coh}}$ )は5mm以下であるので第2高調波パワーは式(2.5)により与えられる。ただし、 $P_{\omega}$ はKDP結晶に入射する基本波パワーとする。このとき、 $K = \{32\pi^3(2\omega)^2 d_{36}^2 \sin^2\theta_m l \text{ coh} hVC\} / (Sn'^3C^3)$ となる。

式(2.6)の右辺第1項は、レーザ光の誘導放出による増幅を表わす項、第3項は、第2高調波発生による基本波に対する損失、第2項は、それ以外の損失を表わす項である。さらに式を単純化するため、時間は $(L/(\gamma C))$ を単位にして記述し、

$n = N/N_0$ ,  $\phi_{\pm} = \Phi_{\pm}/N_0$ ,  $\psi = 2\phi_+ (=2\phi_-)$ ,  $k = (KN_0)/(2\gamma)$ ,  $n_i = \gamma/(\sigma N_0 L_e)$  ( $n_i$ は発振しきい(閾)値時の逆転分布に対応する。また、 $N_0$ はロッド内の活性イオン密度を表わす)とおきかえると式(2.6), (2.7)は次式に書き直すことができる。

$$\frac{d\psi}{dt} = \left( \frac{n}{n_i} - 1 - k\psi \right) \psi \dots\dots\dots (2.8)$$

$$\frac{dn}{dt} = -\frac{n\psi}{n_i} \dots\dots\dots (2.9)$$

ジャイアントパルスのピーク時の $\psi$ ,  $n$ を $\psi_P$ ,  $n_P$ 、発振開始時の値を $\psi_i$ ,  $n_i$ と記すと、 $\psi = \psi_P$ では $d\psi/dt = 0$ あるから、 $\psi_P \neq 0$ なる解は

$$\psi_P = \frac{1}{k} \left( \frac{n_P}{n_i} - 1 \right) \dots\dots\dots (2.10)$$

はである。また、式(2.8), (2.9)から

$$\frac{d\psi}{dn} = -\left( 1 - \frac{n_i}{n} \right) + \frac{kn_i}{n} \psi \dots\dots\dots (2.11)$$

が得られるが、この方程式の解は $\psi_i = 0$ とおくと

$$\psi = \left( \frac{n}{n_i} \right)^{kn_i} \left( \frac{n_i}{1 - kn_i} + \frac{1}{k} \right) - \left( \frac{n}{1 - kn_i} + \frac{1}{k} \right) \dots\dots\dots (2.12)$$

と求められるので、式(2.10), (2.12)から $\psi_P$ を求めると

$$\psi_P = \frac{1}{k} \left\{ \frac{n_i}{n_i} \left( \frac{n_i}{n_i 1 + kn_i - kn_i} \right)^{\frac{1}{kn_i-1}} - 1 \right\} \dots\dots\dots (2.13)$$

となる。

$T_{\omega}$ ,  $T_{2\omega}$ を出力鏡の基本波、第2高調波に対する透過率とすると、共振器外にとり出される基本波および第2高調波パワーは次式で表わされる。

$$P_{\omega} = hVCN_0ST_{\omega}\phi_+P = \frac{hVCN_0ST_{\omega}\psi_P}{2} \dots\dots\dots (2.14)$$

$$P_{2\omega} = \frac{hVCN_0\gamma kST_{2\omega}\psi_P^2}{2} \dots\dots\dots (2.15)$$

上式はYAG、ガラス中のNd<sup>3+</sup>のような下位準位における寿命を無視できる系に対し成り立つ式である。ルビーレーザの場合には、レーザ遷移の下位準位が基底準位であるので、式(2.7)の右辺に2をかけた方程式を解く必要がある。

## 3. 実 験

### 3.1 ガラスレーザを用いた intra-cavity SHG

#### 3.1.1 測定系

測定装置の配置および結晶の切り出し角についての説明図を、それぞれ図3.1・図3.2に示す。

レーザ発振器の共振器長は380mm、レーザロッドの寸法は直径10mm、長さ75mmで、端面は光軸に対し垂直に研磨されたものである。共振器を構成する反射鏡は、一方を毎秒400回で回転するポロプリズムとし、他方を誘電体多層膜反射鏡とした。この反射鏡は平面

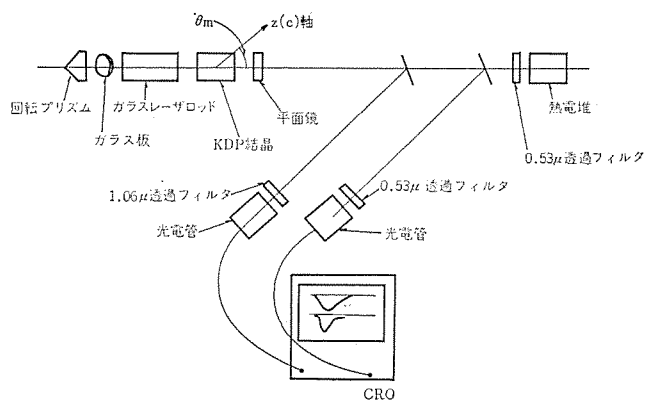


図 3.1 第 2 高調波測定装置の配置  
Experimental arrangement of observing the second harmonic wave.

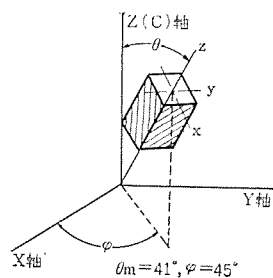


図 3.2 実験室系  $x, y, z$  と結晶軸  $X, Y, Z$  の関係  
Relation between the laboratory axes  $x, y, z$  and the crystallographic axes  $X, Y, Z$ .

鏡で、 $1.06 \mu$  における反射率は 90%， $0.53 \mu$  における透過率は 90%である。レーザー光の（通）倍では KDP 結晶に常光線として入射する基本波に対してのみ、位相整合がとれ、これに直交した偏光を持つ異常光線として入射する基本波に対しては、位相整合がとれないので、効率よく第 2 高調波を発生させるため、共振器の軸とブリュスター角をなすようにガラス板を設置し、有効な直線偏光のみが共振するようにした。この実験では、レーザー光の偏光面はポラリスムの直角のかど（稜）に平行である。

波長  $1.06 \mu$  における KDP 結晶の位相整合角を、式 (2.3) を用いて求めると  $41^\circ 30'$  になり、吸収係数は実測したところ  $35\% \text{ cm}^{-1}$  であった。

### 3.1.2 測定結果

Intra-cavity SHG において、レーザー光の入射角が位相整合角に近い場合の基本波パワーと第 2 高調波パワーの測定結果を図 3.3・図 3.4 に示す。このときの励起エネルギーはしきい値の 1.3 倍である。横軸には共振器の軸と KDP 結晶面の法線のなす角度を目盛った。

図 3.3 で黒丸 (●) をつないだ曲線は、KDP 結晶のかわりに同じ位置に平行性のよい、反射損以外の損失の無視できるガラス板をおき、面法線と共振器の軸のなす角度を  $\Delta\theta$  傾け、Fresnel 損失による基本波の変化を記録したものである。この場合、面が 20 分直角の位置から傾くと、基本波パワーはほぼ 1/2 におちており、KDP 結晶は位相整合角に対し、 $\pm 10$  分以内の誤差で切り出さなければならないことがわかる。KDP 結晶の長さは図 3.3 では 10 mm、図 3.4 では 25 mm である。位相整合がとれ、第 2 高調波が効率よく発生する角度では、基本波に対しては損失がふえたことになるので、基本波パワーの減少がおこる。

図 3.4 でピークの位置がずれているのは、結晶の切り出し角が位

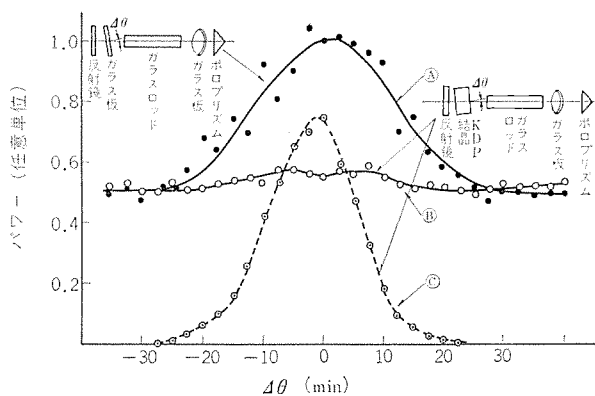


図 3.3  $\Delta\theta$  に対する基本波パワーおよび第 2 高調波パワーの変化 (KDP 結晶; 10 mm) ① 共振器中にガラス板を含む場合の基本波パワー ② 共振器に KDP 結晶を含む場合の基本波パワー ③ 第 2 高調波パワー  
Variation of the fundamental power and the SH power vs.  $\Delta\theta$ . (KDP crystal: 10 mm) ① Fundamental power when a glass plate was set in the cavity instead of KDP. ② Fundamental power for intra cavity SHG. ③ SH power.

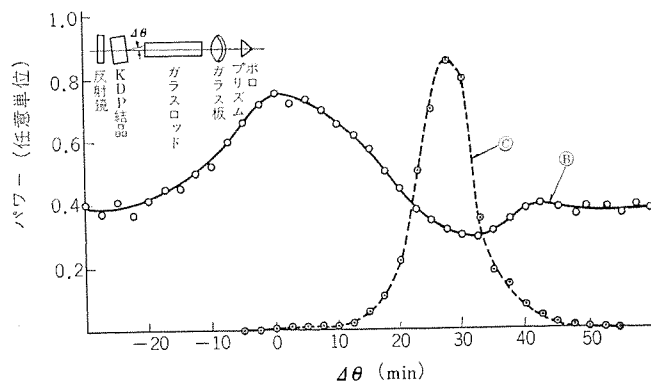


図 3.4  $\Delta\theta$  に対する基本波パワーおよび第 2 高調波パワーの変化 (KDP 結晶; 25 mm) ④ 共振器中に KDP 結晶を含む場合の基本波パワー、⑤ 第 2 高調波パワー  
Variation of the fundamental power and the SH power vs.  $\Delta\theta$ . (KDP crystal: 25 mm). ④ Fundamental power for intra-cavity SHG. ⑤ SH power.

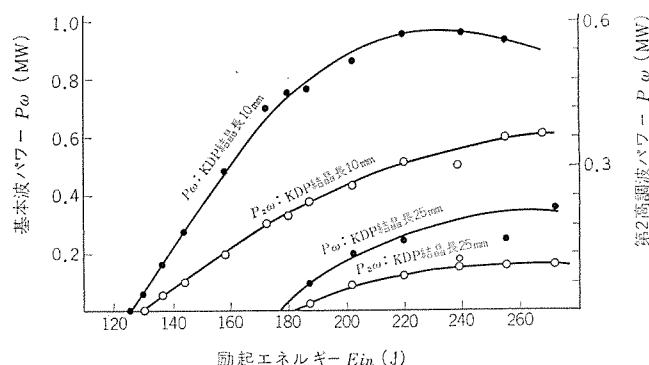


図 3.5 励起エネルギーに対する基本波および第 2 高調波パワーの関係  
Variation of the fundamental power and intra-cavity SH power vs. excitation energy.

相整合の角度から約 18 分ずれていたためであり、図 3.3 とくらべてみて好ましい状態でないことは明かである。

図 3.5 に励起エネルギーに対するパワーの測定値を示す。KDP 結晶の吸収係数が無視できないことおよび第 2 高調波の発生は基本波に対し、損失となるので、結晶長とともに第 2 高調波パワーが増大

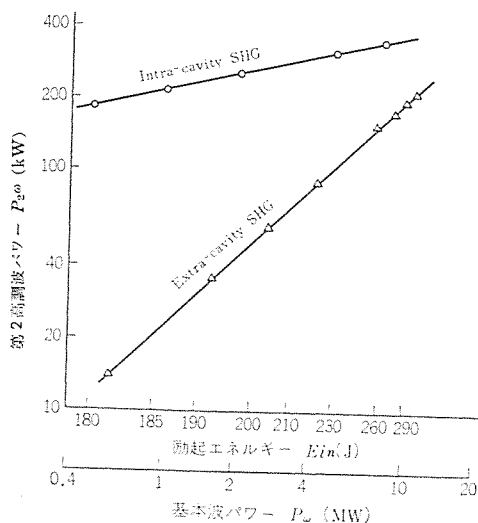


図 3.6 KDP による intra および extra-cavity SHG にて得られた第 2 高調波パワー (レーザー: ガラス ( $\text{Nd}^{3+}$ ))  
SH power obtained in the intra- and extra-cavity SHG by glass laser with KDP crystal.

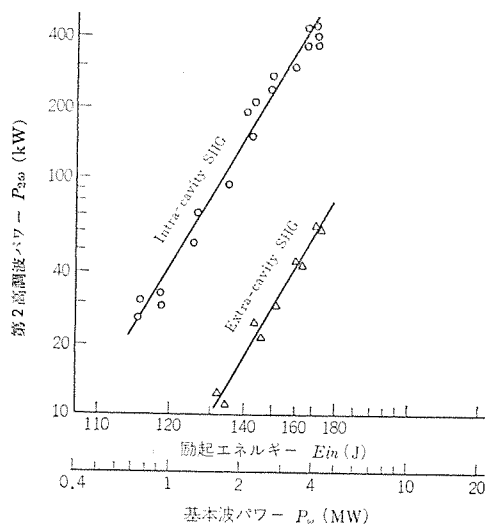


図 3.7 KDP による intra および extra-cavity SHG にて得られた第 2 高調波パワー (レーザー: ルビー)  
SH power obtained in the intra- and extra-cavity SHG by ruby laser with KDP crystal.

するとはかぎらず、励起エネルギーをきめると、最大パワーを与える結晶長が決定される。図においても結晶長が 10 mm の場合のほうが、25 mm の場合より大きい出力を与えている。最適長の決め方については次章で検討する。

図 3.6 に長さ 10 mm の KDP 結晶を用いたときの、intra- および extra-cavity SHG において得られる第 2 高調波パワーの比較を示す。図の上側の横軸には、励起エネルギーを目盛ったが、下側の横軸にその励起エネルギーにより得られる基本波パワーを目盛った。ただし、この基本波パワーの値はレーザー共振器中に KDP 結晶を設置せず、出力鏡の反射率を 50 % にして得られる値である。extra-cavity SHG に対しては横軸の値が基本波入力である。図をみると、励起エネルギーの大きさによりその程度に差はあるが、intra-cavity SHG においては、第 2 高調波パワーが大きく増大していることがわかる。今回実験に使用した結晶表面は無反射コーティングを施していないが、無反射コーティングを施すことは、基本波の角度依存性を除くことおよび KDP 結晶など潮解性の大きい結晶の表面保護という二つの意味で重要である。

### 3.2 ルビーレーザーを用いた intra-cavity SHG

ルビーレーザーを用いて同様の測定をおこなった結果を図 3.7 に示す。ルビーロッドの寸法は直径 6 mm、長さ 75 mm、KDP 結晶の長さは 10 mm にした。intra-cavity SHG における出力鏡の基本波 (波長:  $0.6943 \mu$ ) に対する反射率は 99 %, 第 2 高調波に対する透過率は 83 % であり、extra-cavity SHG における出力鏡の反射率は 50 % である。図の横軸は図 3.7 と同様の目盛り方をした。

図より、同一励起エネルギーに対し、第 2 高調波パワーは、intra-cavity SHG にて得られる値の 14 倍に増大したことがわかる。

また、KDP 結晶の長さを 20 mm にして測定したところ、10 mm の場合にくらべ、intra-, extra-cavity SHG の両方の場合とも第 2 高調波パワーはほぼ 2 倍に増加しており、結晶長に比例している。なお、ガラス、ルビーレーザーとも現有の設備では損失、ジャイアントパルスの発振モードなどを正確に制御できないので、ピーク値・パルス幅・ひろがり角・ビーム断面積などの再現性がわるく、基本波・第 2 高調波パワーの測定値は、ほとんどの場合平均値の  $\pm 20$  % の範囲内ではらっている。パワーの測定誤差は基本波に対しては  $\pm 10$  %, 第 2 高調波に対しては因子  $2 \pm 1$  以内である。

## 4. 検 討

てい倍効率を決める重要な要素は可干渉長 ( $l_{\text{coh}}$ ) の値である。

基本波の可干渉長、断面積を一定にして、基本波パワーを増大させると、第 2 高調波は式 (2.5) に示すように基本波パワーの 2 乗に比例して増大する。図 4.1 にガラスレーザーを用い、レーザー共振器の外に長さ 25 mm の KDP 結晶を設置した場合に得られる第 2 高調波パワーの測定値を示す。図中、A 線は励起用ラップへの励起エネルギーを一定にし、KDP 結晶に入射するパワーをフィルタを用いて減少させたときの、第 2 高調波パワーの測定値を示している。この場合、基本波の 2 乗に比例して第 2 高調波パワーが増大しており、レーザービーム断面積、可干渉長が一定の場合の 2 乗則が証明されている。B 線は基本波パワーを励起エネルギーにより、変化させた場合の測定値であるが、基本波ビーム断面積、可干渉長が一定でないため、第 2 高調波パワーは基本波パワーの 2 乗に比例しなくなり、1.2 乗に比例している。したがって、式 (2.5) から  $l_{\text{coh}}/S \propto P_{\omega}^{-0.8}$  をみたと考えられる。

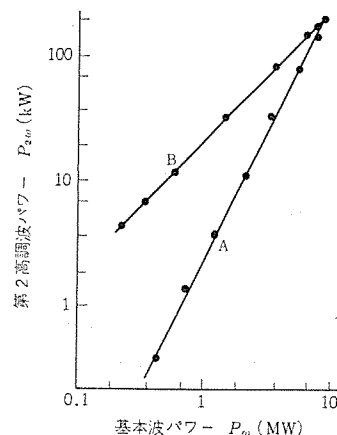


図 4.1 共振器外に 25 mm の KDP 結晶を設置した場合の基本波パワー対第 2 高調波パワー (A) 基本波の変化はフィルタによる (B) 励起エネルギーによる  
Power dependence of second harmonic wave for extra-cavity SHG with 25 mm KDP crystal. (A) Fundamental power was varied by filters, (B) by excitation energy.

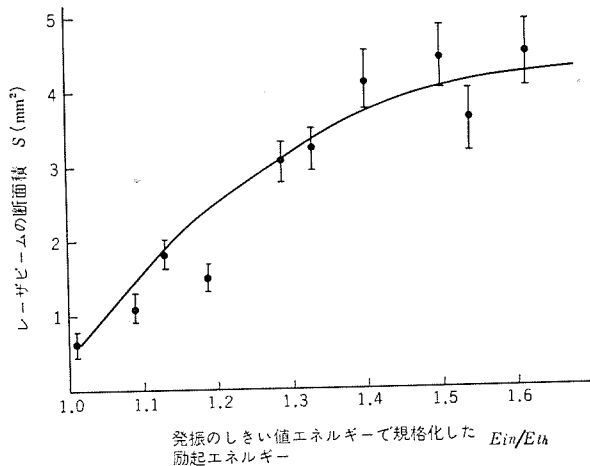


図 4.2 励起エネルギーに対するレーザービームの断面積の変化  
Cross section of laser beam (half power point) as a function of excitation energy.

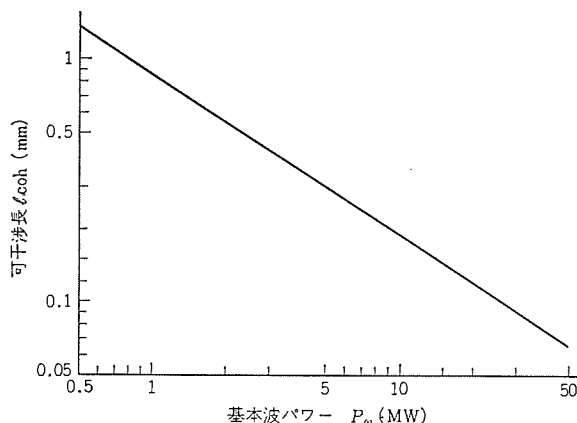


図 4.3 可干渉長の基本波パワー依存性  
Coherent length as a function of fundamental power.

共振器中に KDP 結晶を含まず、出力鏡の反射率を 50% としたときの、ジャイアントパルスレーザー光のビーム断面積を測定したところ図 4.2 のようになっている。断面積が図中の実線により与えられるとして、上述の関係を用いて  $l_{coh}$  の値を計算すると図 4.3 に示すとおりになる。ただし、図の横軸は共振器内でのパワーを示す。

ガラスレーザーを用いた場合の intra-cavity SHG における第 2 高調波パワーを求めるには、 $l_{coh}$  と  $S$  の値が共振器内の基本波パワーの関数として、図 4.2 および図 4.3 により与えられるとして、式 (2.15) を用いればよいが、その計算結果を図 4.4 に示す。そのさい、逆転分布は励起エネルギーに比例するとした。1 path あたりの損失  $\gamma$  は反射鏡の透過率 (0.05/path), KDP 結晶による吸収, ロッド内における散乱損失, 共振器の回折損失などその他の損失 (0.1%/path と仮定した) の和とした。その他用いた定数は以下のとおりである。

$$d_{36} = 3 \times 10^{-9} \text{esu}^{(7)}, \quad n' = 1.503, \quad \theta_m = 41^\circ 30', \quad l = 10 \text{ mm}, \\ L = 420 \text{ mm}, \quad N_0 = 1 \times 10^{20} \text{cm}^{-1}, \quad \sigma = 1.7 \times 10^{-20} \text{cm}^2 \text{(8)}$$

図 4.4 の実測値と計算値には、励起エネルギーの大きいところで大きなひらきがある。この主たる原因は、逆転分布を励起エネルギーに比例するとしたことと考えられる。すなわち、ロッドの端面と出力鏡の反射によって雑音光が増幅され、レーザーロッド中の逆転分布の減少が生ずる。この減少分は発生した雑音光子数とロッドの増幅係数の積になるが、両者とも逆転分布に比例するので、大略励起エネルギーの 2 乗に比例する。したがって励起エネルギーを  $E_{in}$  とすると、発振

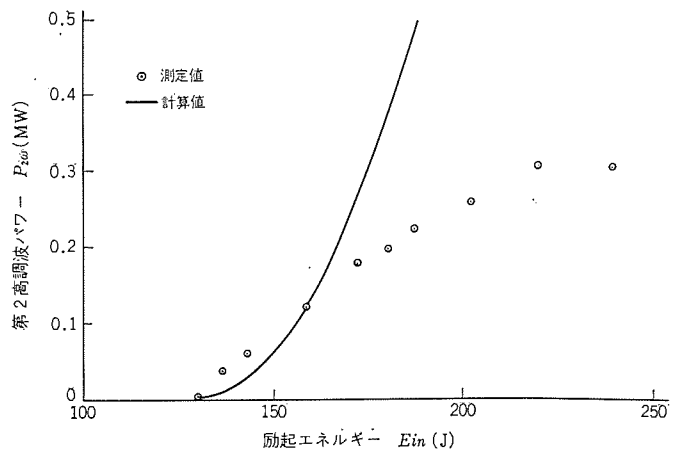


図 4.4 第 2 高調波パワーの計算値と実験値の比較  
Comparison between calculated and measured values of SH power.

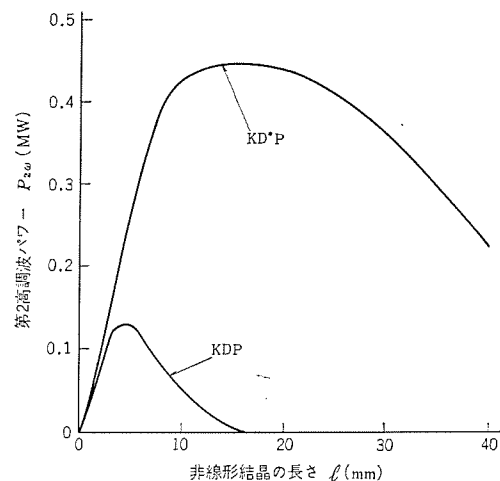


図 4.5 第 2 高調波の非線形結晶長依存性  
SH power as a function of length of nonlinear optical crystal.

開始時の逆転分布 ( $N$ ) は  $N \propto E_{in} - aE_{in}^2$  になると考えられる。このことは、共振器を形成する反射鏡を直角プリズムと平面鏡とし、端面が光軸に対して垂直に切り出されたレーザーロッドを使用したレーザー共振器において、出力鏡の反射率を高くするほど、低い励起エネルギーで出力の飽和が観測されることから推定される。その他前述した種々の仮定をもうけたに於ては、第 2 高調波パワーの評価式 (2.15) は、励起エネルギーの小さい領域 ( $E_{in} < 190 \text{ J}$ ) では現象をよく説明できていると考えられる。励起エネルギーが 150 J のとき、KDP 結晶の長さに対する第 2 高調波パワーを、式 (2.15) から求めると図 4.5 に示すとおりになる。基本波に対する吸収が大きいため、結晶長が 5 mm 以下で最大出力になる。

KDP 結晶に代わって、非線形定数は KDP 結晶の 0.92 倍<sup>(9)</sup>であるが、吸収係数の小さい ( $10^{-3} \text{cm}^{-1}$ ) KD\*P 結晶を用いるとして、同様の計算により求めた値を図 4.5 に示す。この場合には結晶長 16 mm で第 2 高調波出力が最大になり、KDP 結晶を用いるときに比べ、その最大値は 3 倍以上になることがわかる。ただし異なる励起エネルギーに対しては、最大出力はもとより最大値を与える結晶長も変化する。

ガラスレーザーを用いた intra-cavity SHG において、第 2 高調波パワーの増加が、励起エネルギーが大きくなるほど小さくなるのは前述したように逆転分布の減少がおこるからであるが、ルビーレーザーで同様な逆

転分布の減少の効果が観測されなかったのは、この減少分の大きさをきめる尺度 ( $\sigma/\tau$ ) がガラスレーザーの値にくらべ、0.1 倍程度であるためである ( $\tau$  はけい光寿命)。端面がブリュースター角で切断されたロッドを用いれば、ガラスレーザーを用いた場合にも、この種の損失を小さくでき、第2高調波パワーはさらに増大できると考えられる。

## 5. む す び

ジャイアントパルスレーザーのKDP結晶を用いた intra-cavity SHG による第2高調波発生の実験を報告したが、必要な場合には、KD\*P、LiNbO<sub>3</sub> などを用いればさらに効率よく発生させることができる。またレーザー発振器、extra-cavity SHG の入出力特性、ビーム径などを測定すれば、可干渉長がきめられることに着目して、所要の出力を得るための最適非線形結晶長のきめ方について記した。ビーム径・可干渉長はレーザー発振器により異なるが、この手法はそのまま適用できるものである。

ここで述べたジャイアントパルスは、測距・レーザレーダ・写真露光光源として有用と考えているが、今後、情報伝送・ディスプレイなどの情報産業機器に使用できる YAG 連続発振レーザーのてい倍をおこなう予定である。

(昭和45-8-6受付)

## 参 考 文 献

- (1) P. A. Franken, A. E. Hill, C. W. Petters and G. Weinreich : Phys. Rev. Lett., 7, 118 (1961)
- (2) J. A. Giordmaine : Phys. Rev. Lett., 8, 19 (1962)
- (3) J. E. Geusic, H. J. Levinstein, J. J. Rubin, S. Singh and L. G. VanUitert : Appl. Phys. Lett., 11, 269 (1967)
- (4) J. E. Geusic, H. J. Levinstein, S. Singh, R. G. Smith and L. G. VanUitert : Appl. Phys. Lett., 12, 306 (1968)
- (5) C. C. Wang and G. W. Racette : Physics of Quantum Electronics (1966) MacGraw-Hill Book Co.
- (6) W. G. Wagner and B. A. Lengyel : J. Appl. Phys., 34, 2040 (1963)
- (7) G. B. Boyd, A. Ashkin, J. M. Dziedzic and D. A. Kleinman : Phys. Rev., 137A, 1,305 (1965)
- (8) E. Snitzer : Quantum Electronics (1964) Columbia University Press
- (9) R. C. Miller, D. A. Kleinman and A. Savage : Phys. Rev. Lett., 11, 146 (1963)



# 反応性スパッタ法で製作した窒化シリコン膜の ナトリウムイオンに対する透過防止効果

植松 滋幸\*・中尾 皖治\*

## Suppression Effect of Reactively Sputtered Silicon Nitride Film on Mobile Sodium Ions

Central Research Laboratory Shigeyuki UEMATSU・Yoshiharu NAKAO

Instability on the surface states of semiconductor is said to be one of the causes of deterioration of semiconductor devices. To suppress the instability, the surface treatment technique, such as surface purification and passivation with the silicon dioxide films, has been developed.  $\text{Na}^+$ , however, easily penetrates the silicon dioxide films. So the silicon nitride films have been studied to avoid the penetration of  $\text{Na}^+$ .

The preparation of silicon nitride films by sputtering has a merit of being able to deposit at low temperature. The penetration effects of  $\text{Na}^+$  are evaluated about the silicon dioxide films and the sputtered silicon nitride films using the MOS diodes and the MNOS diodes, respectively.

According to the change of the capacitance-voltage characteristics after the bias-temperature treatment, It is found that the  $\text{Na}^+$  penetration effect on the silicon nitride films is reduced to a magnitude of 1/100 than in the case of the silicon dioxide films.

### 1. ま え が き

トランジスタやICなどの半導体素子の表面に、厚さ0.1ミクロン程度の窒化シリコン膜を付着することにより、外からの汚染による素子の性能低下を防ぐことができる。

一般に、抵抗・コンデンサやダイオード・トランジスタなどの電子部品の開発には、それらの表面保護技術を欠くことはできない。とくに、ゲルマニウムやシリコンなどの半導体では、素子の動作にあずかる電子や正孔の状態が汚染物質、たとえば水分子や $\text{Na}^+$ (ナトリウムイオン)などの影響を受けやすい<sup>(1)</sup>。すなわち、ミクロな見方をすれば半導体表面のエネルギー状態は不安定であり、この表面状態はわずかの汚染物質によっても大きく支配される。

半導体素子に対する性能、とくに安定性に対する要求のきびしさは、半導体表面処理や表面保護膜形成技術やパッケージング技術の進歩を促し、同時に、半導体表面物性に関する知見やじんあいや水処理に関する情報を豊かにした。

しかしながら、MOS構造の電界効果形のトランジスタやICの出現は、バイポーラ形に比べて一段ときびしい表面安定化技術が必要になった。すなわち、MOS形素子は、制御電極によってシリコン表面状態を積極的に変化させることにより動作するもので、したがって汚染物質の影響をきわめて大きく受ける。

### 2. シリコン表面安定化のための窒化シリコン膜

シリコン表面の安定化の問題は、保護膜として酸化シリコン膜を中心に検討されてきた<sup>(2)(3)(4)(5)</sup>。酸化シリコン膜は、シリコン自体の表面を酸化して得られるので製作が容易であるうえ、比較的に化学的・物理的・電氣的に安定であるため、さかんに用いられるようになったが、ただ一つの欠点は、この酸化シリコン膜中に $\text{Na}$ などのイオンが電界によって移動しやすいことである<sup>(3)(5)</sup>。すなわち、このようなイオンの移動はシリコンの表面状態を変え、半導体素子の特性を変化

させる<sup>(6)</sup>。この欠点を補うものとして登場したのが、リンガラス<sup>(3)</sup>や窒化シリコン膜<sup>(7)</sup>である。

このうち窒化シリコン膜は、構造が細密で $\text{Na}^+$ などを通さない利点があるが、シリコンに直接つけると半導体素子の特性を悪化させる欠点がある<sup>(8)</sup>。そこで、酸化シリコン膜と窒化シリコン膜両者の欠点をあい補うため、シリコン表面を酸化シリコン膜でおおい、さらに、窒化シリコンで被覆する構造が考えられた<sup>(8)</sup>。このような構造にすると、酸化シリコン膜の形成中に $\text{Na}^+$ が混合しないようにすることは容易であるから、窒化シリコン膜形成後は $\text{Na}^+$ の侵入を防ぐことができ、したがって、半導体素子の特性を安定に保つことができる。

窒化シリコン膜の製法は、ここにのべるスパッタ法<sup>(7)(9)(10)(11)</sup>と気相成長法<sup>(7)(12)(13)</sup>がある。前者は、窒化シリコン膜を形成する温度が200°C程度であるのに反して、後者では、800°C程度の高温が必要である。したがって、前者の方法で形成した膜は後者の膜に比べ、やや細密さで劣る<sup>(14)</sup>が、特に高温を避けたい半導体素子への応用には有利である。

ここでは、シリコンの窒素ガスとの反応性スパッタ法で形成した窒化シリコン膜の $\text{Na}^+$ の透過防止効果を、金属—窒化シリコン—酸化シリコン—半導体(MNOS)ダイオードと、金属—酸化シリコン—半導体(MOS)ダイオードについて調べた。

### 3. 試料の調製

#### 3.1 窒化シリコン膜の製作

窒化シリコン膜は、図3.1に示す二極RFスパッタ装置を用いて製作した。装置の動作条件を次に示す。導入ガス：窒素、圧力： $1 \times 10^{-3}$  Torr, 印加電圧：13.56 MHz, 1900 V (peak to peak), ターゲット：シリコン。

窒化シリコン膜の生成プロセスは次のように考えられる。すなわち、高周波放電により形成されたプラズマ中の $\text{Na}^+$ イオンが、シリコンターゲットの前面に存在するイオンシースで加速され、そして、シリコンを衝撃す

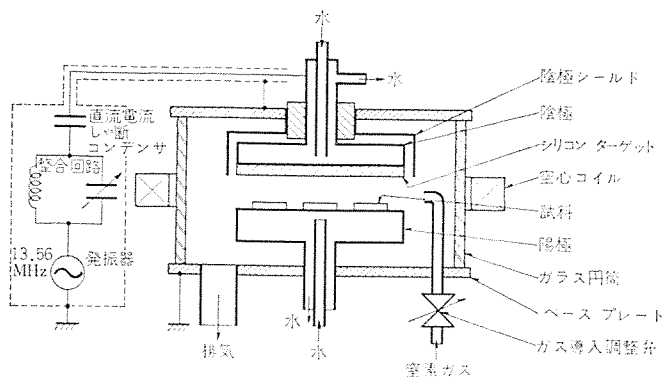


図 3.1 二極 RF スパッタ装置  
Schematic diagram of RF sputtering system.

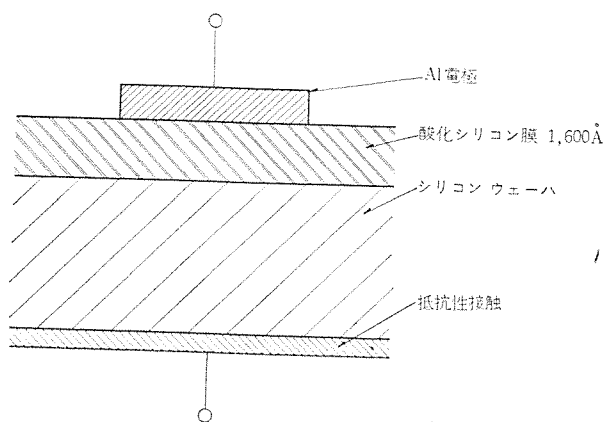


図 3.2 MOS ダイオード断面図  
Cross section of MOS diode.

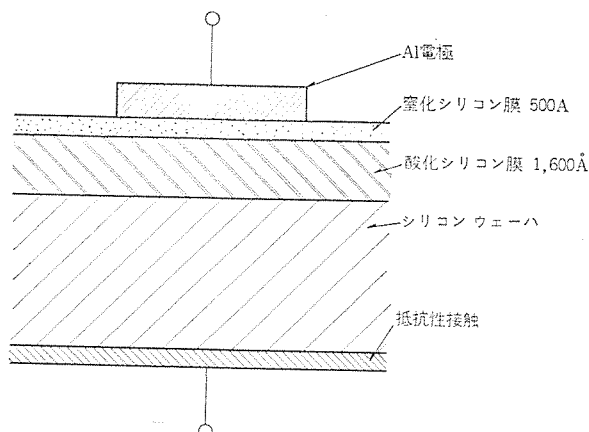


図 3.3 MNOS ダイオード断面図  
Cross section of MNOS diode.

ることによりシリコン粒子がスパッタされるが、このときの放電空間が励起されている窒素原子または分子で満たされているために、シリコンは窒化されることになる<sup>(9)</sup>。

### 3.2 MOS および MNOS ダイオードの製作

MOS ダイオードは、 $n$  形  $2\sim4\ \Omega\text{cm}$  のシリコンウェハを  $1,100^\circ\text{C}$  の乾燥酸素ふい気中に浸すことにより、約  $1,600\ \text{\AA}$  の酸化シリコン膜を形成し、図 3.2 に示すように、その酸化膜の表面にアルミニウム膜を真空蒸着により付着し電極とした。

MNOS ダイオードは、上記の MOS ダイオードの製作工程中、アルミニウム蒸着膜の付着前に約  $500\ \text{\AA}$  の窒化シリコン膜を RF スパッタ装置で付着し、図 3.3 に示すような構造の素子を製作した。

### 3.3 MOS および MNOS ダイオードの $\text{Na}^+$ の汚染方法

ナトリウムによる汚染の仕方は次のように行なった。MOS および

MNOS ダイオードともアルミニウム蒸着膜を付着する前に、 $\text{NaCl}$  0.1 規定の水溶液 (液温  $60^\circ\text{C}$ ) に 10 分間浸し、それぞれ、酸化膜および窒化膜の表面を汚染した。

## 4. 実験結果および検討

### 4.1 スパッタ窒化シリコン膜

#### (1) 赤外吸収スペクトル

反応性スパッタにより製作した窒化シリコン膜の赤外吸収スペクトルを、図 4.1 に示す。これから、吸収ピークの位置は波長で  $11.6\ \mu\text{m}$  で、熱窒化や気相成長法で製作された窒化シリコン膜の値  $11\sim12\ \mu\text{m}$  に一致する<sup>(7)</sup>。

#### (2) イッチング速度

##### (a) 高温リン酸による イッチング

$200^\circ\text{C}$  の 98% リン酸溶液中の イッチング 速度は、約  $420\ \text{\AA}/\text{min}$  であった。これは、気相成長法で製作された イッチング 速度約  $300\ \text{\AA}/\text{min}$  <sup>(12)</sup> より大きい。

##### (b) バッファド ふっ酸液

ふっ化アンモニウム液でバッファしたふっ酸溶液中の イッチング 速度は、気相成長法<sup>(12)</sup>のものに比較して 3~4 倍早い値となった。このことはスパッタ中に、不純物ガスとして含まれている水分子や酸素分子により、窒化シリコン膜中にふっ酸に溶けやすい酸化シリコンが、若干混合していることが推察できる。

### 4.2 $\text{Na}^+$ の透過防止効果

#### (1) イオンの透過防止効果の評価方法

##### (a) MOS および MNOS ダイオードの $C-V$ 特性

MOS ダイオードのように、金属-絶縁膜-半導体を重ね合わせた

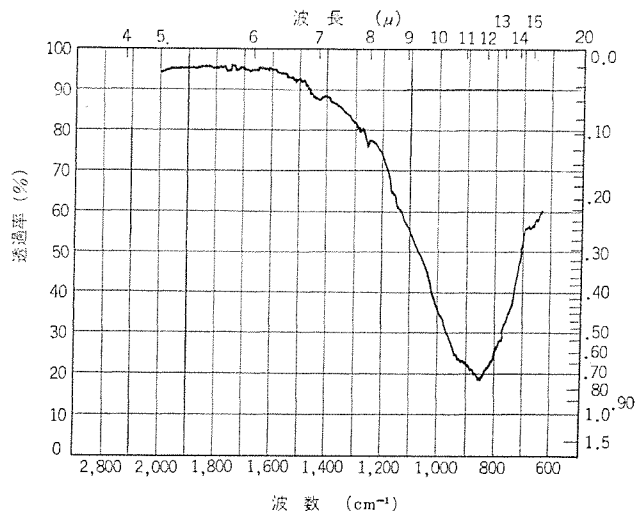


図 4.1 スパッタ窒化シリコン膜の赤外線吸収スペクトル  
Infrared absorption spectrum of silicon nitride obtained by sputtering.

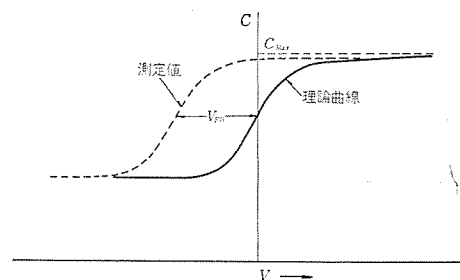


図 4.2 MOS ダイオードの  $C-V$  特性曲線  
 $C-V$  characteristics of MOS diode.

構造のダイオードの静電容量は、バイアス電圧によって変わる。絶縁膜中に電荷がなく、また、半導体と金属との間に仕事関数の差がない理想的な場合は、このバイアス電圧 ( $V$ ) と静電容量 ( $C$ ) との関係、いわゆる、 $C$ - $V$  特性曲線は計算により求められる<sup>(15)(16)</sup>。実際に測定した MOS ダイオードの  $C$ - $V$  特性曲線は、図 4.2 のように理論曲線が、 $V_{FB}$  だけ平行移動した状態になっている。

実験に用いた試料の電極金属のアルミニウムの仕事関数は、シリコンの仕事関数にほぼ等しいので、MOS あるいは MNOS ダイオードにおける  $C$ - $V$  曲線の理論値からのずれは、絶縁膜に含まれる電荷とシリコン表面準位にトラップされる電荷によって起こる。これらの電荷の影響の大きさを知る目安として、絶縁膜中の電荷がすべて絶縁膜と半導体との界面に存在していると、仮定したときの電荷の数  $N_{FB}$  (個/cm<sup>2</sup>) で示される<sup>(16)</sup>。

$N_{FB}$  は次式で表わされる。

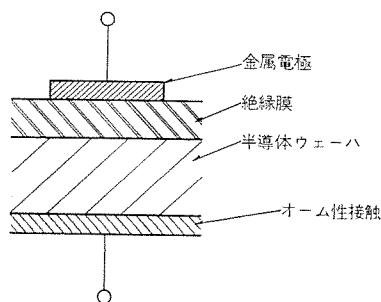


図 4.3 金属-絶縁膜-半導体ダイオードの構成  
Structure of metal-insulator-semiconductor diode.

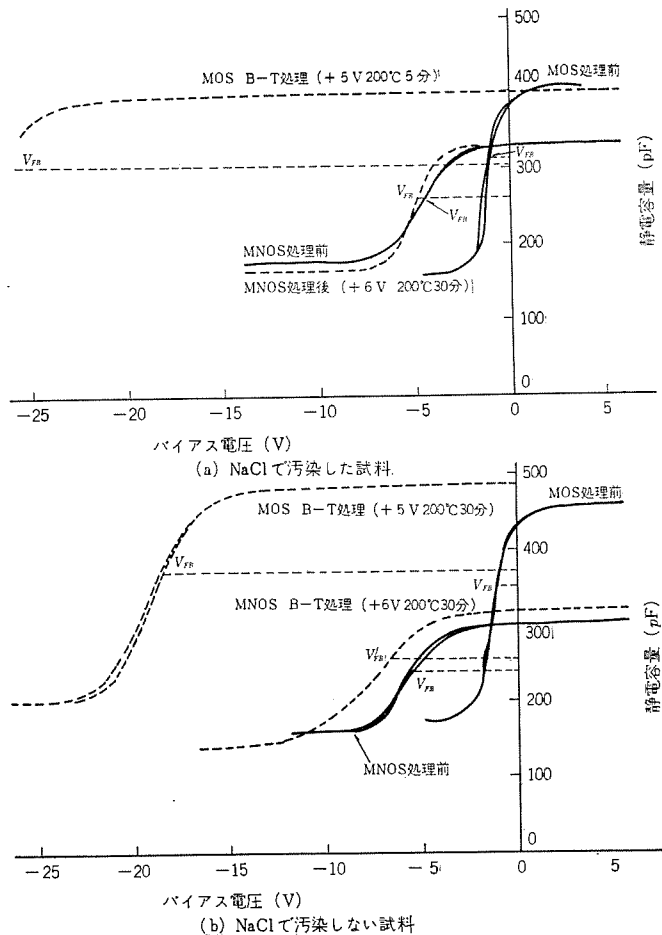


図 4.4 B-T 処理効果 (1)  
Effect of bias-temperature treatments on the diodes (1)

$$N_{FB} = -\frac{C_{MAX}V_{FB}}{q} \dots \dots \dots (4.1)$$

実際、これらの電荷の影響は、絶縁膜中の電荷の総量が等しくても界面に垂直方向の分布状態によって異なり、界面に近い所に分布するものは大きく、遠ざかるにつれて小さくなる。

#### (b) B-T 処理

絶縁膜中の不純物原子やイオンは、常温では、絶縁膜を構成する分子のネットワークで自由に動きまわれないように拘束されている。したがって、この拘束力に打ち勝つ十分なエネルギーとして電界を加える (Bias)。そして、温度を高める (Temperature) 状態によって、不純物イオンの移動の観察を容易にすることができる。この Bias と Temperature を略して B-T 処理と呼んでいるが、ここでは、バイアス電圧として金属電極に 5 あるいは 6 V—30 分印加し、温度は 200 °C に保った。

#### (c) 評価方法

Na<sup>+</sup> の透過性を検討すべき絶縁膜を用いて、図 4.3 に示すような構造のダイオードを製作し、これを B-T 処理するか、この処理の前後で  $C$ - $V$  特性を測定し、 $N_{FB}$  を求める。この処理前後で絶縁膜中のイオン数の増減はないから、 $N_{FB}$  の差、 $\Delta N_{FB}$  はイオンの移動によって起こる量である。したがって、同一の B-T 処理条件で、MOS あるいは MNOS ダイオードを比較すると、 $\Delta N_{FB}$  の大きい膜ほどイオンの透過性が高いことがわかる。

#### (2) スパッタ窒化シリコン膜の評価

実験に用いた MOS および MNOS ダイオードの絶縁膜は、それぞれ酸化シリコン膜 1,600 Å および酸化シリコン膜 1,600 Å と窒化シリ

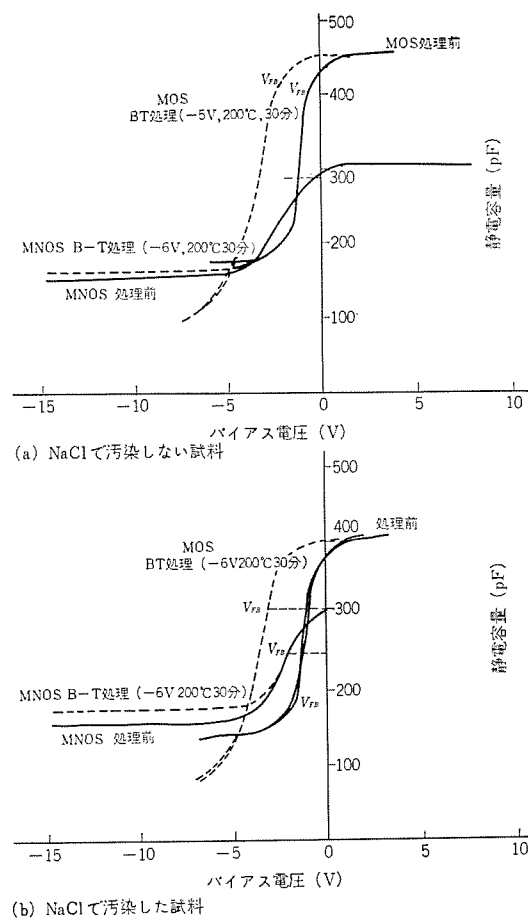


図 4.5 B-T 処理効果 (2)  
Effect of bias-temperature treatments on the diodes (2).

表 4. 1 MOS ダイオード および MNOS ダイオード の表面準位に  
及ぼす B-T 処理効果  
Changes of surface states in MOS or MNOS diodes due to  
bias-temperature treatments.

試 料			MOS ダイオード SiO <sub>2</sub> 1,600Å	MOS ダイオード SiO <sub>2</sub> 1,600Å	MNOS ダイオード SiO <sub>2</sub> 1,600Å SiN 500Å	MNOS ダイオード SiO <sub>2</sub> 1,600Å SiN 500Å
Na <sup>+</sup> の 汚 染			な し	あ り	な し	あ り
B-T 処 理 条 件			±5 V, 200°C 30分	±5 V, 200°C 正バイアス 5分 負バイアス 30分	±6 V, 200°C 30分	±6 V, 200°C 30分
正 バ イ ア ス	$N_{FB}$ (1/cm <sup>2</sup> )	処理前	9×10 <sup>10</sup>	9×10 <sup>10</sup>	3.5×10 <sup>11</sup>	2.8×10 <sup>11</sup>
		処理後	1.67×10 <sup>12</sup>	2.26×10 <sup>12</sup>	4.0×10 <sup>11</sup>	3.0×10 <sup>11</sup>
	$\Delta N_{FB}$ (1/cm <sup>2</sup> )		+1.57×10 <sup>12</sup>	+2.16×10 <sup>12</sup>	+5×10 <sup>10</sup>	+2×10 <sup>10</sup>
負 バ イ ア ス	$N_{FB}$ (1/cm <sup>2</sup> )	処理前	9×10 <sup>10</sup>	9×10 <sup>10</sup>	1.25×10 <sup>11</sup>	1.25×10 <sup>11</sup>
		処理後	2.7×10 <sup>11</sup>	2.7×10 <sup>11</sup>	1.25×10 <sup>11</sup>	1.25×10 <sup>11</sup>
	$\Delta N_{FB}$ (1/cm <sup>2</sup> )		+1.8×10 <sup>11</sup>	+1.8×10 <sup>11</sup>	0	0
シーリング効果			な し	な し	あ り	あ り

ン膜 500 Å である。

窒化シリコン膜の Na<sup>+</sup> 透過防止効果を評価するために、B-T 処理条件は、MOS ダイオードが 5 V 200°C に対して、MNOS ダイオードが 6 V 200°C とした。これは、酸化シリコン膜と窒化シリコン膜の誘電率および厚さを考慮した結果、MNOS ダイオードの絶縁膜の電界が MOS ダイオードの場合に比べてやや高くなるように選んだ。

B-T 処理のバイアス電圧の極性を金属電極側を+にした場合、MOS および MNOS ダイオードの C-V 特性の変化を、NaCl で汚染した場合と汚染しない場合について、それぞれ図 4. 4 (a)と図 4. 4 (b)に示す。

同様に、B-T 処理のバイアス電圧の極性を金属電極側を-にした場合を図 4. 5 に示す。

図 4. 4 および図 4. 5 の結果を式 (4. 1) を用いて、B-T 処理による変化分  $\Delta N_{FB}$  を求めると表 4. 1 の結果が得られる。表 4. 1 から MNOS ダイオードの  $\Delta N_{FB}$  は、MOS ダイオードの  $\Delta N_{FB}$  より 1/100 低い値であることがわかる。これは、前述のように絶縁膜中の Na<sup>+</sup> の移動量が小さいことを示しており、窒化シリコン膜が Na<sup>+</sup> に対する透過防止効果を持っていることがわかる。

## 5. む す び

トランジスタや IC などの半導体素子の性能の安定性を高めるために、窒化シリコン膜による半導体表面保護効果を検討してきたが、スパッタ法で製作した窒化シリコン膜の Na<sup>+</sup> に対する透過防止効果を評価した。

試料は MOS および MNOS ダイオードを用い、熱酸化膜の厚みは 1,600 Å, スパッタ 窒化膜の厚みは 500 Å とした。そして、これらのダイオードは NaCl 溶液で汚染した。

Na<sup>+</sup> の透過防止効果は、試料を高温 (200°C) におき、酸化膜や窒化膜に、高電界 10<sup>5</sup> V/cm が加わるようにバイアス電圧を与え、生じたイオンの移動を、ダイオードの容量-電圧特性曲線の変化から求めた。

スパッタ 窒化シリコン膜を用いた MNOS ダイオードは、酸化シリコン膜を用いた MOS ダイオードに比べて、Na<sup>+</sup> の移動に起因する表面電荷密度は約 1/100 となり、スパッタ 窒化シリコン膜の Na<sup>+</sup> に対する透過防止効果を確認した。  
(昭和 45-12-2 受付)

## 参 考 文 献

- (1) A. L. McWhorter et al. : Proc. IRE, 42, Part II, 1,376 (1954)
- (2) H. S. Lehman : IBM J., 8, No. 4, 422 (1964)
- (3) D. R. Kerr et al. : IBM J., 8, No. 4, 376 (1964)
- (4) F. Fang et al. : IBM J., 8, No. 4, 410 (1964)
- (5) D. P. Seraphim et al. : IBM J., 8, No. 4, 400 (1964)
- (6) R. O. Jones : Microelectronics & Reliability, 6, No. 4, 277 (1967)
- (7) S. M. Hu : J. Electrochem. Soc., 113, No. 7, 693 (1966)
- (8) 菅野 : 三菱電機株式会社 北伊丹製作所における講演予稿
- (9) A. R. Janus et al. : J. Vacu. Sci. Tech., 4, No. 1, 37 (1967)
- (10) 植松, 中尾 : 学振 131 委員会資料, No. 155 (昭 41)
- (11) 植松, 中尾 : 応物学会 (春季) 予稿, 第 2 巻, 2a-D-6 (昭 42)
- (12) 杉岡, 梶原, 堀 : 未発表論文
- (13) 杉岡, 梶原 : 未発表論文
- (14) 植松, 中尾 : 未発表論文
- (15) A. Goetzberger : BSTJ., 45, No. 7, 1,097 (1966)
- (16) A. S. Grove et al. : Solid-State Elec., 8, No. 2, 145(1965)

# 超大形放電加工機 DM-5000

青島 富士雄\*・小林 和彦\*

## Giant Electrical Discharge Machines DM-5000

Nagoya Works    Fuzio AOSHIMA・Kazuhiko KOBAYASHI

In the field of producing large die, it has become pressing need to improve and remodel the whole setup to renovate the technique through labor saving and mechanization, finishing the large die automatically. Based on many years' experience in the electrical discharge machining and through study on the fundamental experiment for three years, a good number of problems on the manufactures of electrodes and the machining technique have been brought to solution. Giant electrical discharge machines type DM-5000 have been developed by Mitsubishi.

The device is capable of machining work 2,500 mm long, 1,900 mm wide and 800 mm high. Attachment of an electrode weighing 10 tons at the maximum to the set does not give it harm to the safety and very quick working is feasible. The article describes the outlines of the construction of the electrical system.

### 1. ま え が き

現在国内の各種金型製作に使用されている放電加工機は約 3,500～4,000 台と推測され、特にここ 3～4 年の設置台数の伸びはまことに目ざましいものがある。これは半導体電源の進歩により、電極消耗を加工量に対して無視できるほど小さくすることができるといふ電源性能の著しい向上と、油圧サーボ機構の採用によりきわめて安定・敏速な加工が可能となり、加工能率が格段に向上したためである。これにより放電加工機は抜型はもとより鍛造型・ダイキャスト型・モールド型・ガラス金型など、いわゆる底付き型加工分野にも急速に利用されるようになり、現在では放電加工機なくして金型製作は考えられなくなった。

しかし現在各種の金型製作に使用されている放電加工機は、被加工物の長さ 1,000 mm、幅 800 mm、高さ 500 mm 程度が最大である。それ以上の被加工物、たとえば自動車のボデー、ドアなどの大形プレス金型、あるいは大形のプラスチック型・鍛造型などはこれまでそれを加工しうる放電加工機がなく、その製作は依然としてならい加工の後、高度の技術と経験、勘を必要とする手作業によって行なわれているのが現状である。これらの手作業を行なう熟練作業者は労働力不足を反映し年々希少な存在となり、一方では金型需要の増大、短納期、製作費の低減などの要求が強まり、大形の金型製作分野においても省力化・機械化による技術革新、体質改善が目前の急務となっている。

この状況は世界的な傾向でもあり、諸外国の大形の金型製作分野においても、超大形の放電加工機が省力化のための技術革新として採用されている。

超大形放電加工機の製作台数の最も多いのはアメリカで、CINCINNATI, ELOX, INGERSOL 社などのメーカーにより製作され現在約 12 台実動しているといわれている。電極材はグラファイトがほとんどで、主としてブランク型、トリミング型の加工に使用され、絞り型はグラファイトをならい加工後仕上げて電極としているようである。

欧州ではイタリアの金型メーカーである LAMET 社が、自社製の機械で電鍍電極を使用して、主として大形の絞り型を加工しているようである。スイスの AGIE 社も超大形機を製作している。現在欧州

全体で 2～3 台、昭和 45 年末までには数台が実動にはいるといわれている。

このような背景のもとに、わが国の大形の金型製作分野でも放電加工の活用が強く要望されている。当社ではこれまでの放電加工機製作技術の蓄積と、さらに約 3 カ年にわたる超大形機の基礎的検討をおこない、さらに通産省・大蔵省よりこの種の機械の開発がし(斯)界のために重要不可欠として、重機械開発融資の対象機種として認定されるという背景の下で国産 1 号機を開発・製作した。この機械は三菱自動車工業(株)名古屋自動車製作所に納入され、現在きわめて順調に実動している。

この機械は長さ 2,500 mm、幅 1,900 mm、高さ 800 mm までの被加工物が加工可能で、絞り型、トリミング型など自動車部品の大形プレス金型の加工を目的としている。本機の取り付けうる電極重量は 10 トンときわめて大きく、その状態でも安定かつ精密な加工ができる世界でも最大級にランクされる放電加工機である。

本文では超大形放電加工機開発の技術的背景、機械系の構造、仕様、設計上の問題点および分割電極方式などについてその概要を述べる。

### 2. 超大形放電加工機開発の技術的背景

この種の機械は加工電源の特性、機械系の剛性・精度・機能も重要であるが、機械導入によって満足な経済的効果をあげるにはソフトウェアに属する電極製作技術、加工技術もきわめて重要である。当社ではこれらの基本的分野で約 3 カ年にわたる綿密な基礎的実験と検討を行ない、その結論を基礎に本機は製作されたものである。以下その概略を述べる。

#### 2.1 機械系の剛性・振動に対する問題

最大電極重量 10 トンを取り付けて加工を行なう場合、油圧シリンダの油の圧縮性に起因する油圧系の共振および、放電加工特有の電極運動(上下方向の微小運動)により、機械系に寄生振動が発生しては良好な加工は望めない。このため機械系の仮設計後、当社中央研究所において実機の約 1/4 のモデルを製作し、剛性および固有振動数について綿密な計算と実験を行ない、その結論に基づいて機械系の構造、寸法が最終決定された。したがって機械完成後の過酷な振

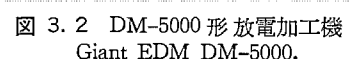
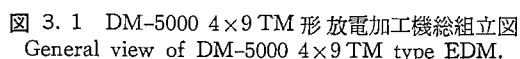
## 2.2 大形電極の製作法の開発<sup>(1)</sup>

電鍍電極を使う立場から見た場合、電極消耗、熱変形、加工中の電鍍層のはく離・破れの問題、それらが総合された結果として加工精度は満足されるものが得られるかという問題がある。また電極を作る立場から見ると、放電加工に十分耐えうる電極を製作するために、均一電鍍層と電鍍応力を低下させるための電鍍浴の問題、補助極の使用技術、電鍍後の補強材とその方法、母型からのはく離の問題などがあげられる。これらの問題は精力的な研究と数多くの実用化の結果、現在では実用上十分満足な結果が得られ、電鍍電極で外ばん(鋳)部品を加工した乗用車が現在すでに市中を走っている。

放電加工は加工電圧と Duty factor を一定とした場合、加工速度はピーク電流値の1.4~1.5乗に比例して増大するが、同時に面あらさも増大する。これを避けるため電極を2個以上に分割絶縁し、それぞれの電極を単独の比較的小容量の電源に接続して同一面あらさに対する加工速度の向上を計るマルチリード方式が世界的に採用されている。この方式で加工を行なう場合、おのおのの極間電圧のうちの最低電圧を検出して、電極のサーボ送りを行なう制御方式が一般にとられているようであるが、この制御方式では各電極に流れる加工電流のバランスをとることは困難で、分割効率が悪く、期待どおりの加工速度が得られない。この点に関しわれわれは独特の制御方式を開発し、きわめて能率のよい加工が可能となった。この詳細については稿を改めて述べたいと思う。

以上のように超大形放電加工機は、ハードウェア、ソフトウェアの領域における数多くの開発と問題の解決のうえて製作されたものである。

放電加工中の電極の運動は、放電加工の加工現象にもとづき比較的早い応答が必要である。その一方、電極を含めた可動部の重量は



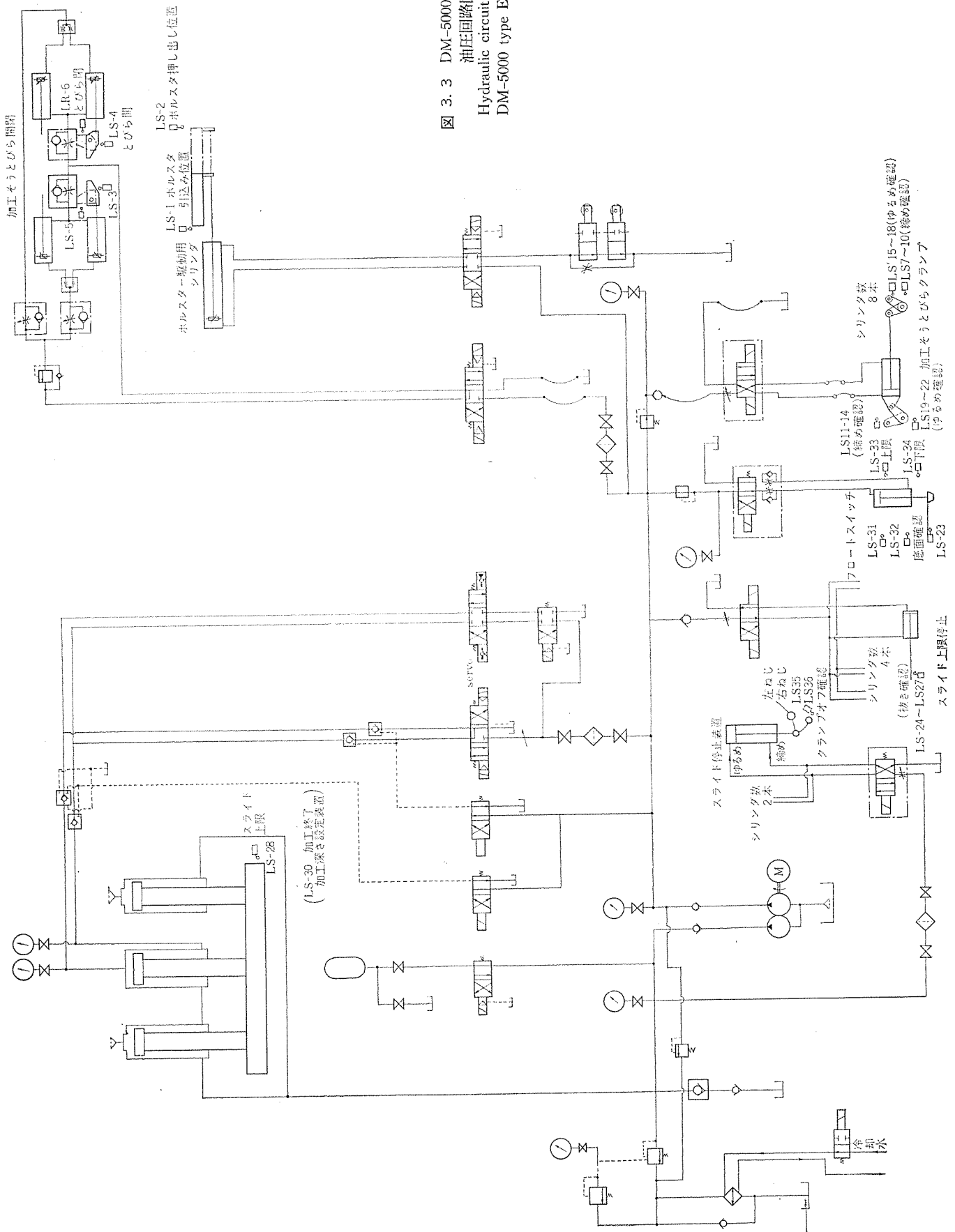


図 3.3 DM-5000 形 放電加工機  
油圧回路図  
Hydraulic circuit diagram of  
DM-5000 type EDM.



20 トン 以上にも達する。これを徹速安定に駆動するために応答が早く、しかも駆動力の大きい油圧サーボ機構を用いた。

#### 3. 1. 4 スライド (ラム) のローリングガイド方式

放電加工機に要求される精度はきわめて高い。とくにスライドの運動精度によって金型の精度が決定されるため、スライドのガイド方式はきわめて重要である。電極は図 4. 5 のような運動を行なっているので、ガイド面の焼付き・摩耗・スティックスリップを起こさないような方式が必要であり、それにはころがり接触によるガイド方式が最適である。

#### 3. 1. 5 操作性, 安全性に対する配慮

被加工物の取り付け、取りはずしや位置決めが容易にできるようムービングボス形式を採用し、機械操作などは 1 カ所で集中操作ができるようになっている。機械が大形であること、大量の加工油を扱うこと、無人運転が安心して行なえることなどを考慮して安全面に対する考慮は徹底的に行なわれている。

#### 3. 2 機械系の構造概要 (図 3. 1, 図 3. 2 参照)

本機は機械装置、電源装置、加工液貯蔵タンクおよびろ過装置などより構成されている。

機械本体は図 3. 1 に名称を示すようにベッド、コラム (アップライト)、クラウン、スライド (ラム)、ムービングボスおよび加工そうより構成され、クラウン上には 4 台の加工電源と機械系制御盤、油圧ユニットおよび排気ファンが設置されている。ベッド、コラム、クラウン、スライドおよびムービングボスは、鋼板溶接構造で焼鈍を行なって溶接による残留応力を完全に除去し、長期の使用に対し精度劣化の生じないよう十分注意が払われている。クラウンには中央にメインシリンダ、その両側に 2 本のバランスシリンダが装着され、それらのピストンロッドはスライドに接続固定されている。スライドは、左右のコラム内面に取り付けられた 4 本のガイドレール (焼入れ、研摩されている) 表面に転動・循環するスライドニードルベアリングによってガイドされるため、その運動はきわめて正確かつ円滑に行なわれ、スティックスリップや摩耗による精度の低下、焼き付きなどのおそれがない。

スライドは任意の位置に静止させることができ、また 0.01 mm 単位の位置微調整が押しボタン操作で可能である。

加工条件の自動切り換えは、条件切り換え点の深さとそれぞれの加工条件をプリセットしておくことにより行なわれ、所定の深さまで加工が進めば加工電源は自動的に OFF となり、電極は最上端まで復帰して停止する。スライドが最上端にある状態では、機械的なストップによりその位置が保たれる。

ベッド上には中央にボス移動用のシリンダがあり、その両側には“V”および“平”形のガイド面が設けられている。加工時のボスの位置の固定は、移動方向ではベッド上のストップに油圧シリンダで押しつけられ、移動方向と直角方向には上記 V 形ガイドによって規制され、常に一定の位置に保たれる。

ボスは被加工物と電極を機械へととりつけ、とりはずしすることが容易に行なえるようコラム外に引き出せる構造となっている。

加工そう (槽) はボス上に取り付けられており、その前後両面のとびらは油圧操作により開閉およびレール動作がボタン操作で行なわれる。(図 3. 4, 3. 5 参照)

加工そう前面下部には加工液の給排用パイプの接続金具が装備されており、パイプの他端はろ過装置部と一体構造の補助タンクに接続されている。加工そう内の液面高さの調整および液の急速排出は、補助タンク内の装置をボタン操作することによって行なわれる。

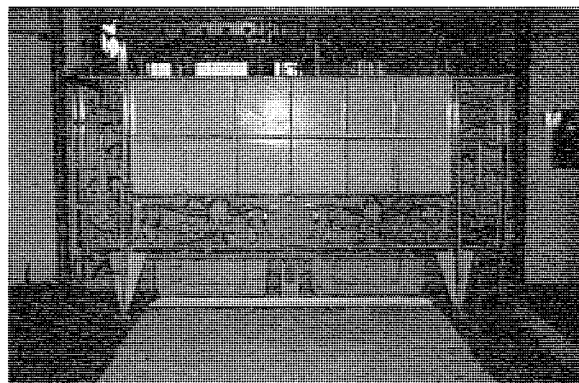


図 3. 4 加工そう (槽) とびらを閉じた状態  
State of closing door work tank.

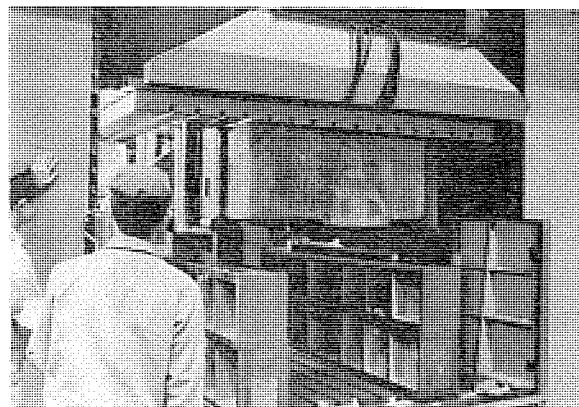


図 3. 5 スライドに負荷約 10,000 kg を取り付けた状況  
State of mounting weight (about 10,000 kg).

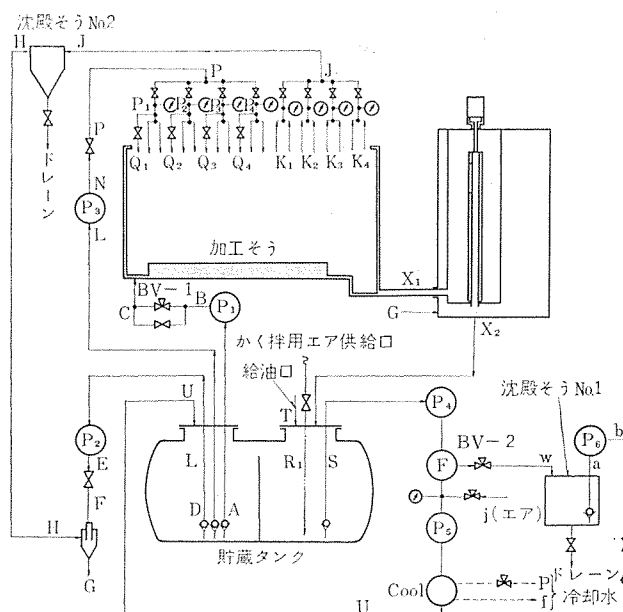


図 3. 6 DM-5000 形 放電加工機加工液 ダイアグラム  
DM-5000 type EDM machining fluid diagram.

加工液の噴出および吸引圧力は、右側コラム前面の操作位置に設けられた微調整バルブ・圧力計によって調整でき、スライド部に設けられたホースによって電極との接続ができる。また加工中は常時一定量の加工液がそう内に流入循環し、加工液の温度上昇および汚濁を防止している。

加工液貯蔵タンクは地下に埋設され、その容量は約 14,000 l である。加工液のろ過は毛管現象をろ過に応用した毛管同調ろ過方式を

表 3.1 仕様と比較表 Comparison of specification.

仕 様 項 目 被加工物の大きさ L×W×H(mm) 加工そのの大きさ L×W×H(mm) テーブル上面の大きさ L×W(mm) デ イ ラ イ ト (mm) 主 軸 サ ー ボ 行 程 (mm) 電 極 取 付 部 の 大 き さ L×W(mm) 電 極 最 大 重 量 (kg) テ ー ブ ル 移 動 距 (mm) テ ー ブ ル 積 載 重 量 (kg) 加 工 液 貯 蔵 量 (L) 機 械 の 大 き さ L×W×H(mm) 機 械 重 量 (kg) 機 械 据 付 面 積 L×W(mm) 電 源	国 籍 メーカ名 形名	日 本		ス イ ス	米 国
		三 菱 電 機 (DIAX)		A 社	B 社
		DM-500	DM-5000		C 社
被加工物の大きさ L×W×H(mm)		800×600×450	2,500×1,900×800		
加工そのの大きさ L×W×H(mm)		1,200×750×530	2,900×2,400×1,100	2,000×1,300×850	2,600×1,900×1,200
テーブル上面の大きさ L×W(mm)		800×600	2,500×2,000	1,720×1,200	2,600×1,900
デ イ ラ イ ト (mm)	MAX	700	2,000	1,600	1,980
	MIN	400	1,100	900	1,065
主 軸 サ ー ボ 行 程 (mm)		300	900	700	915
電 極 取 付 部 の 大 き さ L×W(mm)		400×300	2,500×1,900	1,800×1,300	2,600×1,900
電 極 最 大 重 量 (kg)		200	10,000	2,000	15,000 (スライド引揚能力)
テ ー ブ ル 移 動 距 (mm)	前 後	400	3,000	1,500	
	左 右	500	0	0	
テ ー ブ ル 積 載 重 量 (kg)			20,000	4,000	45,000
加 工 液 貯 蔵 量 (L)		1,500	14,000		19,000
機 械 の 大 き さ L×W×H(mm)		2,800 H	8,720×6,000×6,655	3,150×2,965×4,600	5,300 H
機 械 重 量 (kg)		4,500	60,000	12,000	28,000
機 械 据 付 面 積 L×W(mm)			15,000×12,000	4,780×4,780	
電 源			4×DE-90 TM		

表 3.2 加工電源性能  
Performance of source supply.

	電源単体性能	DM-5000 形 加工性能
最大平均加工電流 (A)	約 50	約 200
最大加工速度 (電極：銅またはグラファイト⊕) (g/min)	2	8
最良仕上面あらさ (μHmax)	6~8	6~8
電極消耗比 (低消耗条件において) (%)	1 以下	1 以下

注 本機は加工能力のより大きい電源との組み合わせ、電源台数の増設も可能である

に上昇した場合に動作する熱交換機が装備されている。

### 3.3 加工電源

加工電源としては、広範囲に放電パルスを制御できるトランジスタ電源 4 台を使用しており、マルチリード方式およびパワーアップ方式による加工が可能で、加工条件の選択、切り換えなどは集中操作盤（図 3.8）で操作することができる。なお本機は加工能力のより大きい電源との組み合わせ、電源台数の増設も可能である。

表 3.1 は DM-5000 形放電加工機と他機種との仕様比較表で、表 3.2 は本機の電源仕様である。

## 4. 機械系設計上の問題点

3.1 節で超大形放電加工機の基本構想について述べたが、ここでは下記のごとき設計上の問題点について具体的に述べる。

- (1) 機械の剛性の問題
- (2) 重量の大きい可動部を敏速かつ安定に制御するためのサーボ機構の問題
- (3) 高精度を出すための構造上の問題
- (4) 操作性の問題
- (5) 安全に対する問題

### 4.1 機械本体の剛性

#### 4.1.1 機械本体の固有振動数

本機は電極最大重量 10 トン（可動部を含めると約 20 トン）を取り付けて敏速かつ安定な加工が行なわれなければならない。放電加工

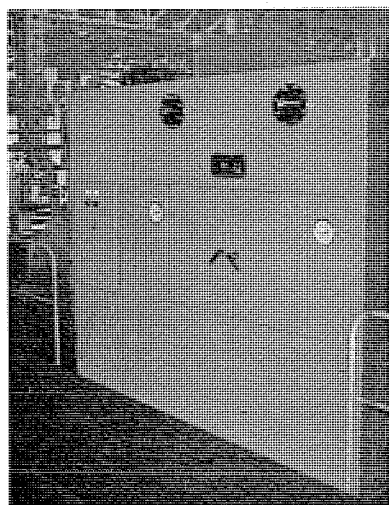


図 3.7 ろ過装置全景  
Panoramic view of filtering device.

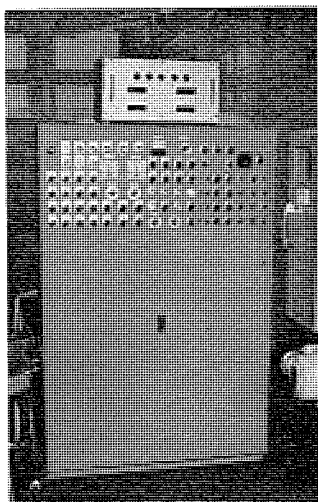


図 3.8 集中操作盤  
Control panel.

採用し、ろ過・逆洗・スラッジ排出は一定時間ごとに全自動で行なわれる（図 3.7 参照）。またろ過装置部分には加工液温が 40℃ 以上

は静止に近い状態で加工しているように見えるが、電極は図 4. 5のごとく微小な上下運動を行ないながら、平均的にはきわめて遅い速度で下降するのが普通の加工状態である。このように大きな慣性力のある負荷が微小な上下運動を行なえばこれが加振源となり、機械系に寄生振動が発生する。よって機械系の固有振動数は少なくともサーボ系の共振周波数以上であることが必要である。またサーボ系の共振周波数は、加工に必要なバンド幅よりも高いことが必要であり、 $f_1 > f_2 > f_3$  の関係を満たす必要がある。

$f_1$  : 機械本体の共振周波数

$f_2$  : サーボ系の共振周波数

$f_3$  : 加工に必要なバンド幅

バンド幅  $f_3$  は図 4. 5 の実験結果より 10 Hz 以上であることが望ましく、機械系の固有振動数  $f_1$  は上記バンド幅より十分に高く 50 Hz 以上必要であろう。実機による振動試験の結果では、図 4. 1 のごとく無負荷状態（電極を取り付けない状態）で、クラウンに  $z$  軸方向の加振力を加えた  $y$ - $z$  面内固有振動数  $f_{1y}$  は 82 Hz（負荷 10 トンにおいて 63 Hz）、クラウン上で  $x$ - $y$  面内のモーメント加振力を加える  $z$  軸回りのねじれ固有振動数  $f_{1z}$  は 52 Hz の結果が得られ、所期の目的は達せられている。

#### 4. 1. 2 機械本体のたわみ

機械系の負荷状態を図 4. 2 のごとく単純に考えれば、クラウンに  $\delta_1$ 、コラムには  $\delta_2$  のたわみが発生する。スライドが上下に運動するときのガイドは、コラム内面に設けられているため、 $\delta_2$  が大きいとそれだけスライドが左右に振れて加工精度が低下するので、 $\delta_2$  はできるだけ小さくする必要がある。図 4. 2 のごとく対称に最大負荷（ $2P = 10,000$  kg）をかけたときの  $\delta_{2\max}$  は 0.007~0.008 mm（計算値）、 $\delta_{1\max}$  は 0.015 mm（実測値）であり、電極面積  $350 \text{ dm}^2$  ( $2.1 \text{ m} \times 1.7 \text{ m}$ ) の加工が十分安定に行なわれた。

#### 4. 2 油圧サーボ機構

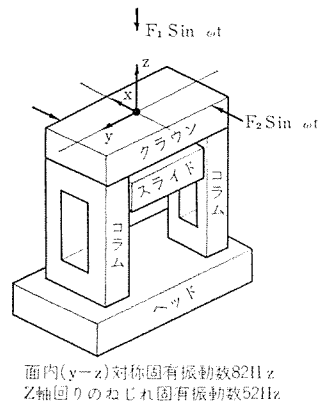
放電加工を安定に行なうためには、極間間げきを常に一定に自動制御する必要がある。このため本機では油圧サーボ機構を採用している。この制御系のブロック線図を図 4. 3 に示す。一般に放電加工においては、極間間げきと平均加工電圧の間には、図 4. 4 に示すようなある対応関係が存在するので、平均加工電圧が一定になるように極間間げきを制御する方法がとられている。極間間げきに対する平均加工電圧の変化分は、図 4. 4 より  $6 \sim 7 \text{ V}/\mu$  くらいになると考えてよい。

さて、本機において前記のごとく約 20 トンの荷重が油圧系の負荷としてかかるので、油圧サーボ系の応答速度の低下が相当に問題となり、かなり慎重な設計を要する。つまり負荷が非常に大きくなると、油圧系の負荷としては単に慣性負荷ばかりでなく、作動油の圧縮による等価ばねも考慮に入れねばならず、両者の共振周波数が重要な問題になってくるからである。

放電加工が安定であるためには、制御系の速応性はどの程度まであればよいか。図 4. 5 は標準機（DM-250）における実際の安定加工中の極間間げきの変化を求めた測定値である。これによれば第 2 高調波まで考えて  $5 \sim 10 \text{ Hz}$  位の変化が見られ、制御系の応答速度としては、この程度の周波数まで安定に追従できることが要求されよう。

そこで、油圧サーボ機構を設計するにあたって一応目標にした点はずぎのとおりである。

(a) 最大荷重約 20 トンにおいても、加工が安定に行なえるよ



面内( $y$ - $z$ )対称固有振動数 82 Hz  
 $z$ 軸回りのねじれ固有振動数 52 Hz

図 4. 1 DM-5000 形 EDM 固有振動数  
DM-5000 type EDM proper frequency.

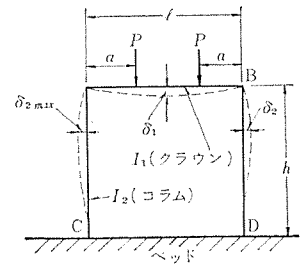


図 4. 2 機械系の負荷状態とひずみ  
Load condition and strain of machine.

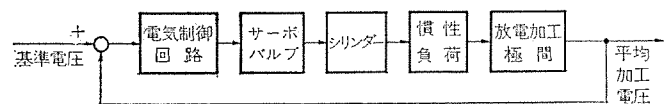


図 4. 3 油圧サーボ機構のブロック線図  
Hydraulic servomechanism block diagram.

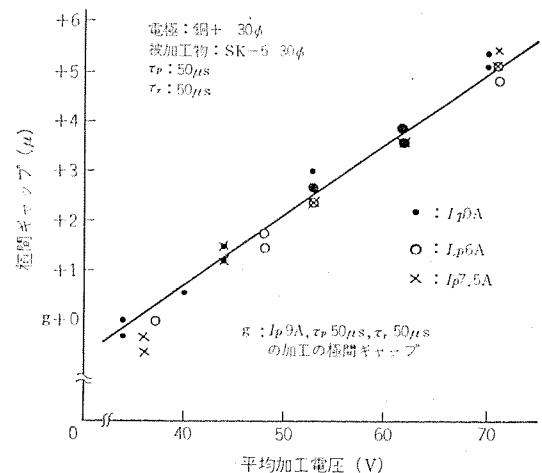


図 4. 4 極間間げき(隙)と平均加工電圧との関係  
Characteristic between machining gap and mean machining voltage.

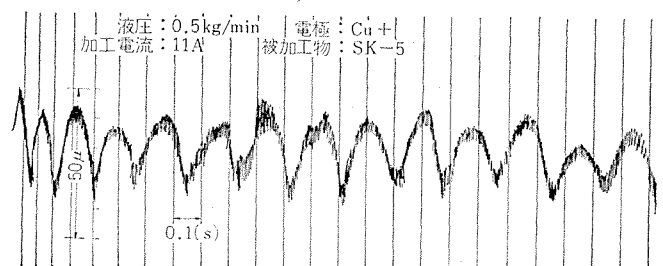


図 4. 5 放電加工中の極間間げきの変化  
Variance of machining gap during electrical discharge machining.

うに、制御系の応答が十分であること。制御系のバンド幅が 10 Hz 程度以上あることが望ましい。

(b) 配管における圧力損失をできるかぎり少なくするため、配管径を太く、剛性の高いものを使用する。

(c) 加工開始および終了時には、素早く電極を所定の位置に持っていくのに十分なサーボパルプの流量が得られること。

以上のような点を考慮に入れて、油圧系の諸元値をつぎのように

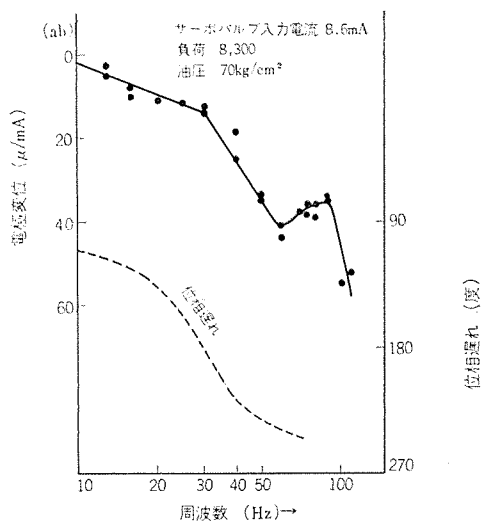


図 4.6 油圧系の周波数応答  
Frequency response of hydraulic system.

決定した。

シリンダ 平均有効面積	375 cm <sup>2</sup>
シリンダ 全 ストローク	90 cm
供給圧力	70 kg/cm <sup>2</sup>
サーボバルブ 無負荷最大流量	42 l/min

油の圧縮性による等価ばねと慣性負荷の振動系の共振周波数は次のごとく表わされる<sup>(2)</sup>。

$$\omega_n = \sqrt{\frac{2gA^2}{\beta \cdot V \cdot W}} = 2\sqrt{\frac{gA}{\beta \cdot L \cdot W}} \dots \dots \dots (4.1)$$

- ここに  $g$  : 重力加速度 (cm/s<sup>2</sup>)  
 $A$  : シリンダ 有効面積 (cm<sup>2</sup>)  
 $W$  : 負荷重量 (kg)  
 $\beta$  : 作動油の圧縮率 (cm<sup>3</sup>/kg)  
 $V$  :  $\frac{1}{2} \times$  (シリンダの体積) (cm<sup>3</sup>)  
 $L$  : シリンダの全 ストローク (cm)

式 (4.1) に前記数値を用いて計算すると、負荷 8,300 kg のとき約 28 Hz となる。

機械本体組立後の油圧系(サーボバルブ—シリンダ)の周波数応答の測定結果は図 4.6 に示すとおりである。これより油圧系は積分要素と二次系の合成されたものと見なすことができ、30 Hz 付近に共振周波数が存在しており、これは上記の計算値とほぼ合致していることがわかる。この結果、全体の制御系としてはある程度の位相補償を行なうことにより、10 Hz 程度のバンド幅がとれるものと推定され、さらにこのバンド幅は、機械本体の固有振動数の約 1/8 にあたり、ほぼ仕様を満足するものである。

#### 4.3 機械精度とスライドの運動精度

本機による加工には ランキング 型やトリミング 型の加工も当然含まれる。これらの型はパンチとダイとの片側クリアランスは普通板厚の 3～5%にとられる。今板厚を 0.8 mm とすればクリアランスは 0.024～0.040 mm となり、電極(スライド)の運動精度はそれ以下に押えなければならない。本機は JIS, B 6403, 液圧プレス精度検査規格に規定されている 1 級許容差の 1/2 を本機の許容差とし、その他に放電加工機として必要と思われる項目を付加し表 4.1 のごとき社内規格に基づき機械を製作した。

表 4.1 の検査項目のうちで放電加工機の特徴を最もよく表わしているものは、4 番の「スライドの上下運動の真直度」と 7 番の「スライドの運動方向切換時の精度」である。

4 番、7 番の意味を図 4.7 に示す。(b)のような測定法によってダイヤルインジケータの指示をグラフに表わしたとき、A B C D E F G のごとき軌跡が得られたとする。測定長 A D 間に現われる最高点 B、最低点 C 間の幅がスライド運動の真直度である。点 E において下降より上昇に運動を切換えたとき、インジケータの指示が F に変わったとすれば E F が切換え時の誤差となる。この二つの要素は電極と被加工物間の側面のクリアランスに直接影響し、同時に加工能率にも影響するので極力少なくしなければならない。

本機のスライドのガイド部構造を図 4.8 に示す。

#### 4.4 操作性について

(a) ムービングボルスタ方式および集中操作盤

本機が対象とする被加工物は寸法的・重量的に非常に大きいので被加工物および電極の機械内への装入、とりはずしを容易にするため ムービングボルスタ方式を採用し、また作業者が機械内に入って作業できるよう、加工そう前後両面のとびらは水平位置まで開くことが

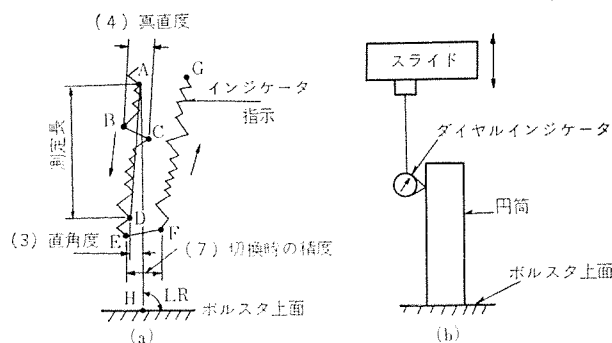


図 4.7 直角度・真直度・切換時精度の意義  
Significance of accuracy (right angle, straightness) when the slider is turned.

表 4.1 DM-5000 形 放電加工機精度検査規格  
Standard of accuracy test in DM-5000 type EDM.

単位 (mm)

番号	検査事項	測定長	許容差	備考
1	ボルスタ上面の真直度	左右方向 L=2,500 前後方向 L=2,000 対角方向 L=3,100	0.07 0.06 0.09	$\frac{1}{2} \times \left\{ 0.02 + \frac{0.050}{1,000} L_1 \right\}$ 注) 1.
2	スライド下面とボルスタ上面との平行度	左右方向 L=2,500 前後方向 L=1,900 対角方向 L=3,100	0.15 0.12 0.18	$\frac{1}{2} \times \left\{ 0.04 + \frac{0.100}{1,000} L_2 \right\}$ 注) 1.
3	スライドの上下運動とボルスタ上面の直角度	左右方向 L=100 前後方向 注) 2.	0.02 0.02	
4	スライドの上下運動の真直度	左右方向 L=200 前後方向 注) 2.	0.01 0.01	
5	ボルスタ停止位置の復元精度	左右方向 前後方向	±0.02	
6	スライド停止位置の復元精度	左右方向 前後方向	±0.02	
7	スライドの運動方向切換時の精度	左右方向 前後方向 注) 3.	±0.01 ±0.01	

- 注) 1. かつて寸寸法は JIS, B 6403 液圧プレス精度検査規格 1 級の値を示す。  
 2. 測定長はスライドの可動範囲の最上および最下端を除く任意の位置とする。  
 3. 測定位置はスライドの可動範囲の最上および最下端を除く任意の位置とする。  
 4. 作業側を“前”，作業者の右側を“右”とする。

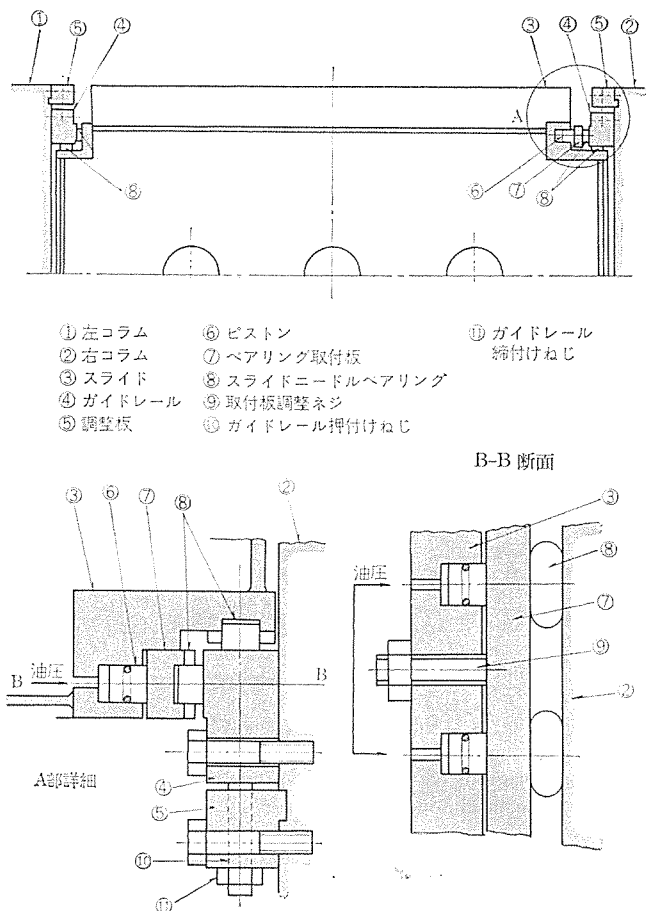


図 4.8 スライドのガイド方式  
Guide mechanism of slide.

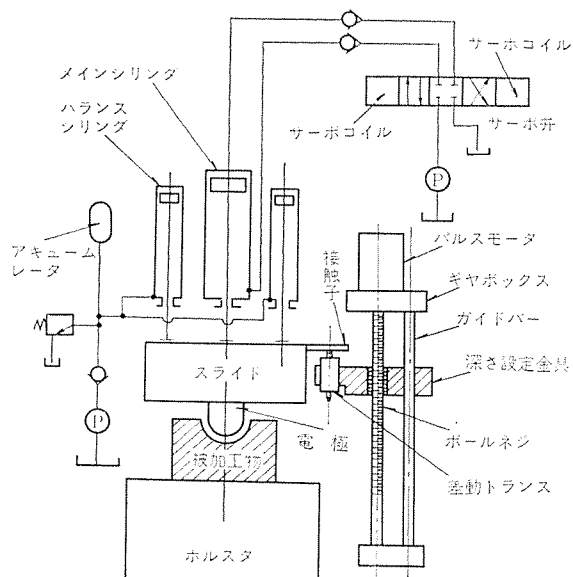


図 4.9 加工深さ設定機構  
Set up mechanism of depth sinking.

できる構造となっている（図 3.4 参照）。機械系の操作、加工条件および加工深さの設定は集中操作盤で、また加工液圧などの調整は機械前面の操作位置で集中管理できるように設計されている。集中操作盤のボタン類は機械操作系、位置決め系、加工条件選択および深さ設定系などのブロック別に配置されている。

#### （b）差動トランス方式による上下位置設定方式

スライドの高さ方向の位置微調整が簡単にできることおよび任意の位置で静止させうること、これも機械操作上きわめて重要な事項で

ある。これらの動作は深さ設定装置とその制御系によって行なわれるが、その構造作動の概略を図 4.9 によって説明する。

パルスモータ、減速機構およびボールねじによって動かされる深さ設定金具は、1パルスあたり 0.01 mm 移動するように設計されている。この設定金具には差動トランスが取り付けられ、その可動片はばねで常に上方に持ち上げられているが、スライド部より張出している接触子によって押し下げられることにより差動トランスの出力電圧が変化し、その電圧によってサーボバルブはメインシリンダに流出入する油量を制御する。電極の位置は差動トランスの出力電圧が零となるよう常時制御されている。したがって設定金具の位置が制御回路から送られるパルスによって上下すれば、それに応じて電極は上下し、設定金具が静止していれば電極も静止している。

一方、放電加工時には原点、すなわち電極表面と被加工物表面が接触した点より、要求される加工深さに相当するパルス数をパルスモータに与えて、差動トランスの位置を電極位置よりも先行させて静止させて置く。加工が進行すると電極位置が下降してスライド部の接触子が差動トランスの可動片を押しつけ、その出力電圧は零に至る。出力電圧零の信号で加工電源および深さ設定装置に、「次のリセット条件に移行」の命令が送られ、加工条件はリセットされた条件に移行すると同時に、設定金具はパルスモータにより次の加工深さ（加工深さもリセットしておく）分だけふたたび下降して待機している。このような動作が4段階まで設定できるので、荒加工→中加工→仕上げ加工→最終仕上げなどの加工条件とおおのこの条件における加工深さを集中操作盤で最初に設定しておけば、機械は自動的に動作し、無人運転が可能である。

#### （c）ろ過の自動化

ろ過装置は2セット使用しており交互に逆洗を行ない、スラッジは別個に設けられた沈殿そう内に排出され、長時間放置された後清澄液はポンプにより加工液系内に回収される。これらの動作もすべて自動的に行なわれまったく人手を要さない。

### 4.5 安全上の問題について

#### 4.5.1 機械操作

本機の外形寸法は、表 3.1 からわかるようにきわめて大きく操作位置から機械周囲の状況を知ることは不可能である。したがって

- （1）ボルスタの出し入れ
- （2）加工そうとびらの開閉動作
- （3）スライドの上下動作（ただし位置決め時のみ）

を行なうときには、その動作を行なっても危険がないことを確かめるため操作位置と反対側に準備ボタンを設け、作業者が安全を確認したうえで、この準備ボタンを押さなければ上記3動作ができないようにインターロックされ、動作中はベルによって作業者の注意を喚起している。このほかに、セフティロック・上部デッキへの昇降用階段にはインターロック用リミットスイッチが設けられている。

セフティロックは、作業者がボルスタとスライド間に入って作業しているとき、スライドが降下してこないよう、もし何らかの誤動作などにより降下してきてもセフティロックによりスライド降下をささえるために設けられたもので、通常所定の位置におかれ、その位置からはずした場合には機械はまったく操作できないようインターロックされている。

昇降用階段のインターロックも上部デッキに上る作業者の安全を確保するためのもので、ステップを階段の昇降ができる状態にしたときは、機械操作はまったくできないようにしてある。

#### 4. 5. 2 電極保護

本機の場合、電極材として銅電鍍またはグラファイトが多く使用されると考えられる。これらの材料は強度的に弱くわずかな接触でも変形または破損し、その修正はかなりめんどろである。油圧式放電加工機では、加工中に停電または非常停止をかけたときには油圧源が切れ、機械はその状態で停止するよう設計されているが、バルブなどの油漏れによって電極位置が徐々に降下するおそれがある。本機では可動部重量が大きいだけに、このようなことは絶対さなければならない。そのために特殊な油圧回路を設け、停電または非常停止をかけたときは電極をわずかに上昇させ、その位置で油圧とねじによるクランプ機構でスライド部と一体となっているパーを強力に締めつけ、可動部重量をささえるよう設計されている。

#### 4. 5. 3 加工液系火災予防に対する安全対策

本機の加工液所要量は約 17,000~17,500 l である。加工液としては三菱煙霧灯油またはその同等品を推奨している。三菱煙霧灯油の引火点は 78~82°C で第 3 石油類に属している。消防法により第 3 石油類 2,000 l 以上を貯蔵するときは、危険物の一般取扱所に指定され、据付・取扱などは法律に基づいて行なわなければならない。

機械としては可燃性の液体を多量に取扱うために安全対策は万全を期し、下記装置などが装備されている。

##### (1) 異常加工検出装置<sup>(3)</sup>

放電加工は火災発生の危険が内在しており、これに対する根本的解決策として当社が独自に開発したものである。放電加工中、加工液が熱分解しカーボン状の付着物が発生生長し、液面付近まで成長する場合がある。このような状態が最も危険であり、異常加工検出装置は付着物の成長を自動的に検出することによって、加工電源を切る装置である。

##### (2) 液面制御装置

液面が加工そう内の一定位置（調整は可能）より下った場合には加工電源がされる。

##### (3) 液温検出装置

加工そう内の液温が 60°C 以上に上昇した場合には、加工電源が切れる。

##### (4) 加工液冷却装置

ろ過装置出口における加工液温が 40°C 以上になったときは、冷却を行なう。

##### (5) 排煙装置

加工そう液面より発生する灯油のペーパー、加工によって生ずる煙などを工場外に排出するためファンが設けられている。

##### (6) 安全増防爆形モータ、防爆形照明器具などの使用

##### (7) 炭酸ガス消火装置

現時点で考えおよばない何らかの原因で、万一事故が発生した場合には加工そう周辺部より消火に十分な量の炭酸ガスを放出し、瞬間的に消火する。

### 5. 分割電極方式について<sup>(4)(5)</sup>

放電加工は、一つ一つの放電の累積で行なわれるものであるから、個々の放電のエネルギーを増加させれば、加工速度は増加するが、仕上面あらさのほうも同時にあらくなるという性質があり、良好な仕上面あらさを得ようとする目的には必ずしも添わなくなる。したがって仕上面あらさを良い状態に保ったまま加工速度だけを増加させる方法が望ましく、この方法として分割電極方式がすでに当社で数

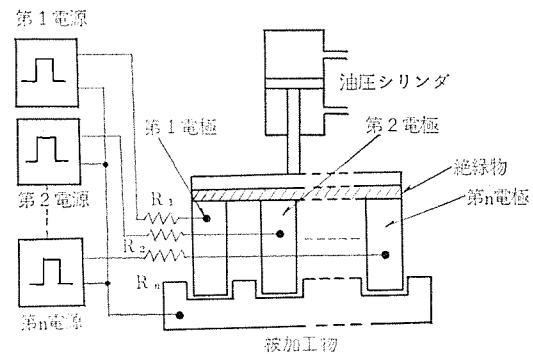


図 5.1 分割電極方式の原理図  
Principle drawing of split electrode system.

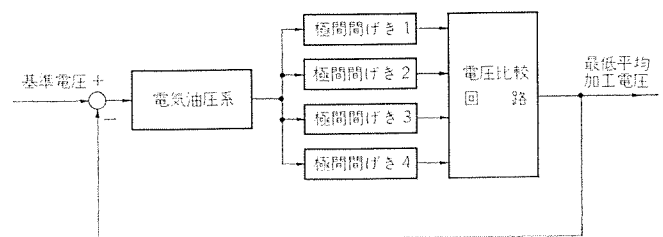


図 5.2 分割電極加工における極間間け制御方式の  
ブロック線図  
Block diagram of machining gap control system in split  
electrode machining.

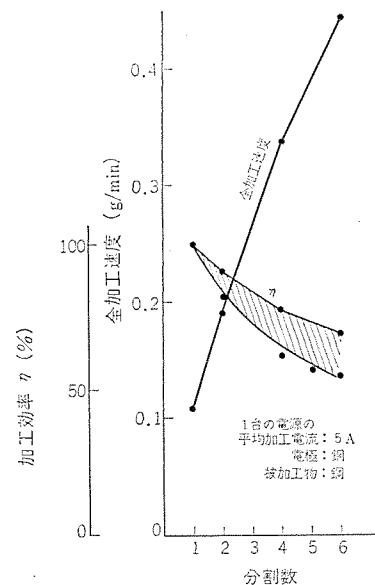


図 5.3 分割数と加工効率 η の関係  
Relation of splitted electrode number and machining  
efficiency.

年前に開発されている。本機においてもこの方式を採用し、加工時間の短縮を計っている。

この方式の原理図を図 5.1 に示す。一つの電極を二つ以上の電極数（図 5.1 では  $n$  個）に絶縁分割し、さらにそのおのおのに互いに独立した電源を接続して加工する。分割された比較的小面積の電極で加工する時間とほぼ同一の時間で、全体の電極面積が加工されることになるから、加工時間としては分割しない場合の時間と比較して、ほぼ  $1/(\text{分割数})$  に短縮され、かなり加工時間の短縮が期待できる。

本機では分割電極方式用電源を 4 台使用し、最大 4 分割加工までできるようになっている。この方法により加工した例を図 5.4、

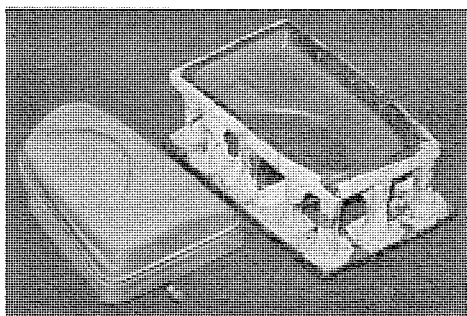


図 5.4 自動車のフロントフェンダー 絞り型（4分割加工）  
Front fender of motor car drawing die and electro-  
forming electrode.

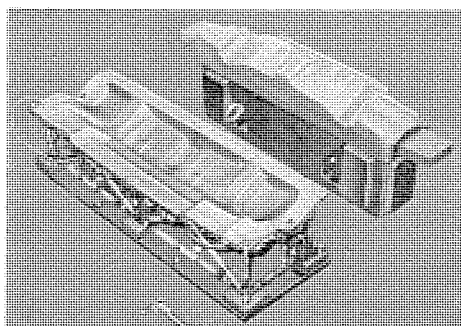


図 5.5 自動車の フレームバックアッパーサイド 絞り型（2分割加工）  
Car body drawing die and electroforming electrode.

5.5 に示す。いずれも分割方式を採用することによって加工時間の大幅な短縮ができた。なおこの詳細については参考文献を参照されたい。

## 6. む す び

本機は約3カ年の基礎的検討とモデルによる実験、中形機による加工テストの積み重ねのうえに製作された。また通産省・大蔵省よりは重機械開発の融資対象機種として認定されたことは、この種機械の開発が金型業界のために重要不可欠と認められたものと思う。現在機械は納入先において順調に実動しているが、放電加工機導入の目的である経済的効果、すなわち省力化、加工費の低減、加工時間およびリードタイムの短縮と型精度の向上などについては稿を改めて述べたいと思う。

本機の使用にあたっては電極製作の問題、加工技術上の問題などいわゆるソフトウェア領域もきわめて重要であり、当社ではハードウェアも含めて放電加工発展のため努力している。業界各位のご指導ご鞭撻を心よりお願いする次第である。

## 参 考 文 献

- (1) 加藤，片寄：電鍍電極による放電加工，三菱電機技報，43，No. 12（昭44）
- (2) 電気一油圧サーボ機構の簡易設計法，東京精密測器(株)発行資料
- (3) 三菱電機 カタログ「安全装置の完備した三菱 ダイアックス 放電加工機」
- (4) 斉藤，小林：第52回電気加工研究会資料（昭43，7）
- (5) 斉藤，小林：電極分割方式による実験，精機学会関西地方講演会資料（昭43）



# 圧延補機およびクレーン用 三菱 800 番, 900 番直流電動機

林 昌宏\*・浜崎 晏行\*・島 幸弘\*

## Mitsubishi 800 and 900 Line DC Motors for Mill Auxiliaries and Cranes

Kobe Works Masahiro HAYASHI・Yasuyuki HAMASAKI・Yukihiro SHIMA

With the increasing scale and speed of modern steel mills with the automatization system, faster response ability and higher reliability have come into the requirement of the motors for the auxiliary apparatus. In response to the improvement of the design technique studies have been made on a new series of motors. In Dec. 1965 AISE STANDARD No. 1 MILL MOTOR STANDARD were established to revise the old 600 line with a new 800 line.

The new series has a taking point of interchangeability with the old series but with the capacities of motors raised to about 1.35 times and the temperature rise kept below 75 deg. °C. This manifests part of advancements made in the design and manufacture of DC motors. A 900 series developed at the same time is a name unique to Mitsubishi products having a feature of a super low moment of inertia and high performance.

### 1. ま え が き

1947年に、米国 AISE より発表された圧延補機用直流電動機規格は、標準定格および外形寸法を規定した、いわゆる 600 番系列標準電動機として世界各国で採用され、わが国でも 1953 年、当社がいち早くその導入を行なって以後、日本電機工業会 JEM 1109(1956)として規格化された。

ときあたかも鉄鋼設備投資第二次合理化計画の実施期に当たり以後各新鋭製鉄所の圧延補機として、10 年あまり 600 番形が広く需要各位に親しまれてきた。

ところが、圧延設備の自動制御化に伴い、設備が高速大形化するにつれて、ミルの能力を最高度に発揮させるために主ロール駆動電動機はもちろん、スクリュウダウン・フィードローなどの補機電動機の特性もまた重要視されるようになり、主ロール特性にマッチした速応性と高信頼度を兼ね備えた電動機の出現が要望され、電動機設計技術の向上とあいまって新系列電動機について検討が加えられた結果、1965 年 12 月に Aise Standard No. 1 DC Mill Motor Standards が改定され、従来の 600 番系列が 800 番系列 (802~818) にとって代わった。

新 800 番の特長は、600 番形との取り付け互換性を保ちながら、平均 1.35 倍の容量アップを行ない、かつ温度上昇を同じく 75 deg C

におさえている点にある。

直流電動機の製造技術の進歩の一端をしめすものであり、従来の 600 番形に比べて、トルクあたりの  $GD^2$  が減少するので制御性能が大幅に向上する。

したがって、鉄鋼設備投資の活況に伴う新鋭設備の圧延補機として、国内規格化に先立って新 800 番形が圧倒的に多く採用され、当社は、昭和 41 年 10 月に 1 号機を完成して以来すでに、約 1,600 台の新系列直流電動機の製作実績を有するに至った。

三菱 800 番形は、数千台の三菱 600 番形の製作経験と最新の設計技術を駆使して開発した新系列直流電動機で、サイリスタ運転に適し、とくに特性および過渡性能の向上に留意するとともに、定圧力式ブラシ保持器の採用その他取り扱い容易な構造に考慮をはらった。

つぎにとくに低慣性を要求される AGC 圧下その他用として、800 番新系列でも、すでに物足らぬ傾向が出てきたため、新 800 番を上まわる当社独自の高性能特殊系列直流電動機を開発し、これを 900 番形と名付けた。

すでに実用運転開始後、約 4 年になるが、ミル能力の確保に寄与すること大で、その高性能と高信頼度の実証され、その名声は広く海外にまで及んでいる。

### 2. 三菱 800 番形直流電動機

#### 2.1 特 長

##### (1) 八角鋼板溶接フレームの採用

外形寸法をおさえて容量アップを行なうためには、機内空間を有効に利用する必要がある。そのため鋼板溶接の八角形フレームを採用し、界磁巻線のスペースおよび通風路の確保につとめた。

##### (2) ラミネートフレームの採用

自動制御化の発展とともに、補機電動機にも高速応度が要求されるようになった。とくに近代ミルの大形化に伴い、容量の大きいわく番にこの要求が集中する傾向にあるため、 $\#810$ 以上にラミネートフレームを採用して全磁気回路をラミネート化し、急激な電流変化に対する補極磁束のおくれをふせぎ、過渡状態における整流性能の確保に万全を期した。

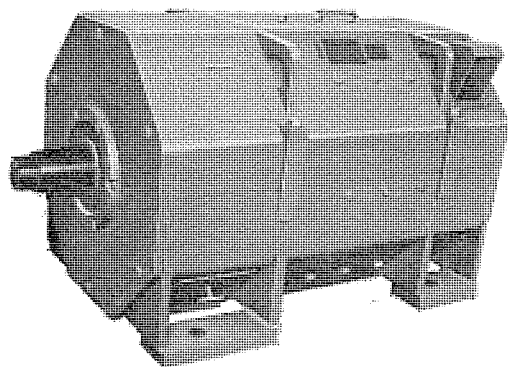


図 1.1 三菱 800 番電動機の外観  
Typical Mitsubishi 800 series DC mill motor

### (3) 補償巻線の採用

倍電圧制御あるいは過負荷における電動機のしり上がり特性の防止、および過大な負荷電流に対する有効トルクの確保など、電機子反作用に基づく減磁作用による電動機の性能悪化を防止するため、(2)項との関連において $\#810$ 以上に補償巻線を採用した。

800番形電動機は、規定により上下フレームを分割せねばならない。したがって通常の補償巻線の結線方法では、上下フレームにまたがるつなぎ部分を電動機の前側・後側で、それぞれ切りはなさねば上下フレームの2分割はできない。また上フレーム・下フレームで、それぞれ独立した結線方法を行なうと過大な軸電流が発生する。

当社は補償巻線に特殊結線方法を採用することにより、これらの問題を解決し、補償巻線付きでありながら補償巻線なし機と同様の取り扱い、すなわち上下フレームの締付ボルトをはずすのみで、フレームを分割することに成功した。わが国特許 昭44-18105、米国特許 801984 が、公告されている。

### (4) 電機子回路に特殊バランス結線の採用

$\#812$ 以上の電機子巻線には重巻方式を採用した。4極機以上の重巻機では、ブラシャーム電流のリプルが整流に悪影響を及ぼすので、当社独特の特殊バランス結線を採用し、各アーム電流に垂下特性をもたせて整流性能の向上を計った。

以上の(2)～(4)項の採用により、600番時代に比べ飛躍的に性能が向上した。これらは他に例をみぬ三菱新系列電動機独特の大きな特長である。

### (5) 冷却効果の向上

電機子みぞにおさめられた電機子巻線の遠心力によるとび出しを、おさえるために用いられていた従来のくさび方式に代わりガラスエポキシバンドを採用した。これによりみぞ内電機子巻線を直接冷却風にさらして電機子巻線の冷却効果を高めるとともに、くさびよりバンド厚みの薄くなっただけ浅みぞとなり、整流能力の向上にも寄与している。電機子巻線端のバンドももちろんガラスバンドゆえ、リアクタンス電圧が減少し整流性能が向上する。

また主極・補極巻線は、エポキシ樹脂によりそれぞれの鉄心と一体に固めているので、巻線の発生熱は巻線表面と鉄心の両方から有効に放散され、しかも巻線が浮動することなく振動衝撃に対して十分保護されている。

### (6) F種絶縁の採用

電機子および界磁巻線には、エポキシ樹脂によるF種絶縁を採用している。機械的に堅固なことはもちろん、熱伝導性が他の絶縁よりすぐれているので、冷却効果がよく、一方温度上昇限度はB種なみにおさえているので、寿命および信頼度ははるかに向上している。

### (7) 定圧力ブラシ保持器の採用

ブラシ保持器は、もっとも重要な構造部分の一つで、過酷な負荷・衝撃・振動に対して、安定な運転ができるすぐれた構造が必要である。ブラシ保持器は、金形鋳造により各部寸法の精度を保ち、つる巻きばねを使用した定圧力構造を採用している。ブラシと整流子との接触やしゅう(摺)動特性がすぐれ、ブラシの摩耗によるばね圧の調整は不要である。またブラシレバーは、デッドポイントを持っているので、ブラシ取り換えも容易に行なえる。

### (8) 軸交換

回転子構造は、軸交換が可能な構造を採用してある。

### (9) 軸

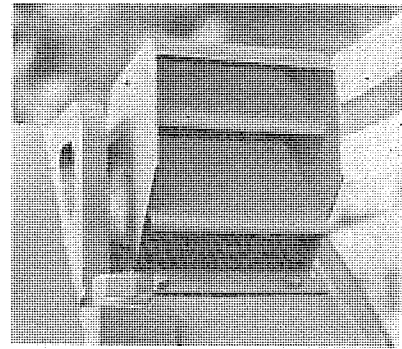


図 2.1 運転中の排気口，自動 シャッタ  
Air outlet opening.

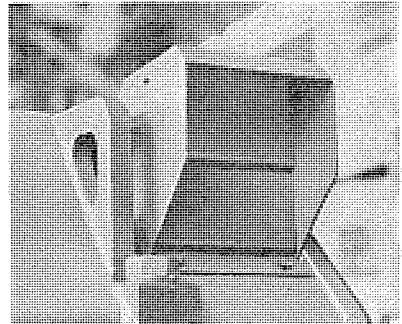


図 2.2 停止中の排気口，自動 シャッタ  
Air outlet opening.

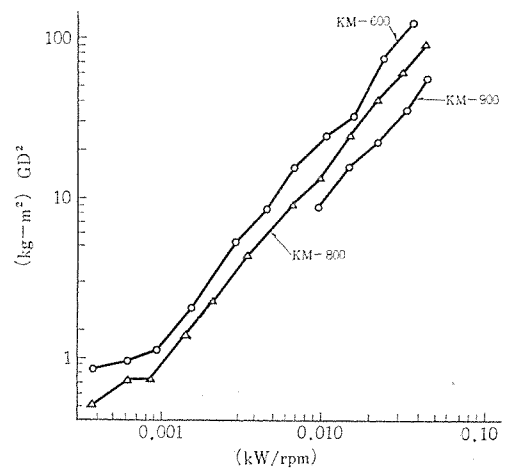


図 2.3 KM-motor  $GD^2$  の比較  
 $GD^2$  of KM-600, 800, 900.

先にのべたごとく、600番形より同一外形寸法で出力が約1.35倍アップしている。軸強度も当然検討を行ない、材質強度を上げ応力集中をさけ、軸強度を十分確保してある。

### (10) 容易な保守

整流子まわりの保守点検が便利のように、点検窓は可能なかぎり大きくとり、そのカバーも、ワンハンドオープニング構造を採用してある。また強制通風の場合、排気孔には、風圧で開閉する自動シャッタを取り付けてあるので、電動機休止時に内部にじんあいや掃除水まつ(沫)などの入るのを防ぐことができる。

### 2.2 性能

#### (1) $GD^2$

$GD^2$ は、図2.3のごとく三菱600番形の同一わく番に対し、平均約70%に低減しており、制御性能はそれだけ向上する。

#### (2) 速度特性

圧延補機電動機は、外形寸法の制限から電気装荷を大きくする傾

表 2.1 電動機の定格 Motor ratings.

わ く 番 号	全閉自冷形1時間定格 または他力通風形連続定格				全閉自冷形 30分定格		全閉自冷形反復5分周期定格						他力通風量			GD <sup>2</sup> kg・m <sup>2</sup>	最大安全 回転速度 rpm	
	出 力 kW	回 転 速 度 rpm			出 力 kW	回転速度 rpm	出 力 kW	回転速度 rpm	出 力 kW	回転速度 rpm	出 力 kW	回転速度 rpm	冷却風量 m <sup>3</sup> /min	電動機入口風圧 (参考値)mmAq	反整流子 副より			整流子 隙より
		直 巻	複 巻 または 分 巻	加 減 速 度														
802 A	3.7	900	1,025	1,025/2,050	4.9	750	4.1	840	3.7	1,080	3.7	1,130	3.1	20	13	0.5	3,600	
802 B	5.5	800	900	900/1,800	7.5	675	6.0	700	5.5	950	5.5	1,000	3.1	20	13	0.71	3,600	
802 C	7.5	800	900	900/1,800	10	675	7.5	800	7.1	940	6.7	1,000	4.6	26	13	0.71	3,600	
803	11	725	800	800/2,000	14	620	11	725	11	840	10	880	5.7	32	16	1.36	3,300	
804	15	650	725	725/1,800	19	580	15	650	14	775	13	800	7.1	32	16	2.2	3,000	
806	22	575	650	650/1,950	29	500	22	575	21	690	18.5	715	9.5	39	20	4.2	2,600	
808	37	525	575	575/1,725	49	450	30	570	28	625	26	630	12	39	20	8.6	2,300	
810	52	500	550	550/1,650	67	440	45	550	39	615	34	600	15	45	26	12.6	2,200	
812	75	475	515	515/1,300	100	420	63	510	55	580	45	565	21	51	32	23.0	1,900	
814	110	460	500	500/1,250	150	400	86	515	82	565	63	560	26	58	32	39.0	1,700	
816	150	450	480	480/1,200	198	400	110	600	104	540	82	535	34	64	39	58.0	1,600	
818	185	410	435	435/1,100	242	360	138	485	123	490	97	470	46	77	39	88.0	1,500	

注 ※印をつけた30%ED5分周期とは、5分周期のうち、負荷時間1.5分、無通電停止時間3.5分の反復負荷連続使用定格を示す。ただし界磁は連続励磁とする。

向にあり、したがって電機子反作用による減磁効果のため、過負荷領域・弱め界磁領域・倍電圧領域でしり上がり速度特性となる傾向がある。

そのため#808以下の小形機では、主極鉄心端の切り上げおよびエアギャップの増大などの対策で、十分安定性能を維持できるが、容量が大きくなるとこれらの対策では十分でない。したがって#810以上は補償巻線をつけて電機子反作用を打ち消し、十分な垂下速度特性をもたせて、過大な負荷電流に対する有効トルクを確保している。

### (3) 整流性能

大形機には、電機子回路にバランス結線の採用および必要に応じて、ブラシのタンジェンシャルスタガを併用することにより、全わく番を通じて十分な整流能力を有していることを確認した。

### (4) 過渡整流

大形になるほど、過渡整流が苦しくなるので、#810以上は、全磁気回路のラミネート化により過渡整流能力は飛躍的に向上した。発電機として高速で回転しているときに、突入電流を印加した場合、 $di/dt \sim 200$  PU/sにおいても、火花の発生はきわめて少なく問題のないことを確認した。

## 2.3 適用

### (1) 形式

つぎの3種類がある。

全閉自冷形	KM-E
防滴他力管通風形	KM-CD
防滴他力通風形	KM-CF

これらは、互いに給排気孔の開閉、冷却ファンの交換・追加・除外、フレームの加工などにより、比較的簡単に転用することが可能である。

### (2) 励磁方式

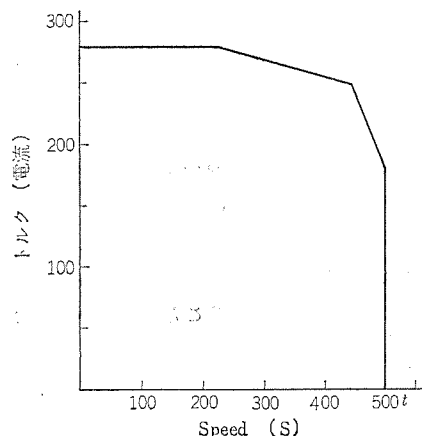
つぎの4種類がある。

他励磁	励磁電圧は220Vが標準
分巻(安定巻線付き)	
複巻	直巻度は、全閉1時間定格において約50%が標準である。ただし定電圧スクリュウダウン用は、約25%を標準としている。
直巻	

表 2.2 最大始動トルク  
Maximum starting torque.

	最大始動トルク (%)
直 巻	500
複 巻	450
分 巻	300

注) 1. 最大始動トルクおよび最大運転トルクの値(%)は、全閉自冷形1時間定格の電動機の定格トルクを100%として表わしたものである。  
2. この表の最大運転トルクは、全界磁定格電圧における値である。

図 2.4 電圧制御する場合の最大運転トルク  
Over load capacity under voltage control.

### (3) 定格

表 2.1 は、JEM 1109 (1968) の規定であり、これに準拠している。

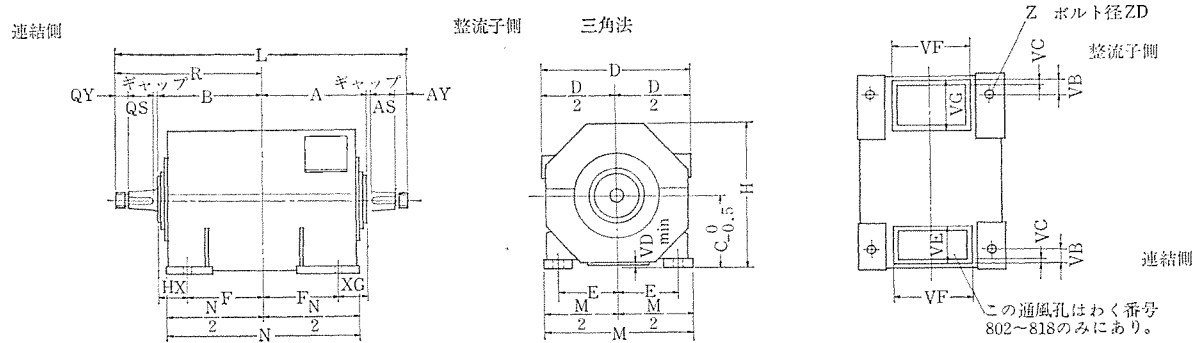
### (4) 可変電圧制御

電動機は平滑な直流電源の場合、最高500Vまで可変電圧制御が可能である。またサイリスタのようなリップル電源では、最高460Vまで可変電圧制御が可能であり、この場合の電源としては、三相50Hzまたは60Hz、最高370V(交流線間実効値)で、6アーム制御結線(300Hzまたは360Hz、脈動周波数と等価なものとする)。

### (5) 絶縁の種類および温度上昇

F種絶縁とし、温度上昇はB種なみの、巻線75degC、整流子85degC、(基準周囲温度40°C以下)としているので、信頼度が向上している。

表 2.3 電動機の寸法 Dimensions of motors.



わく番号	A	B	C	D	E	F	H	L	M	N	R	Z	ZD	QS	QY	XH	通 風 孔 寸 法							ギヤッ プ	軸 呼 び 番 号
														AS	AY	XG	VB	VC	VD	VE	VF	VG			
802	304	304	193	400	158	210	400	834	380	520	417	24	M 20	70	30	94	22	10	13	56	184	121	13	NJ 310	
803	342	342	215	460	178	228	440	940	432	598	470	28	M 24	83	32	114	44	13	13	64	216	127	13	NJ 311	
804	367	367	228	480	190	240	470	990	458	648	495	28	M 24	83	32	127	57	13	13	70	229	140	13	NJ 313	
806	394	394	254	540	210	265	520	1,074	508	698	537	28	M 24	95	35	129	54	13	13	86	260	152	13	NJ 315	
808	445	445	285	600	238	315	580	1,208	578	795	604	35	M 30	108	38	130	51	13	22	89	292	165	13	NJ 317	
810	475	475	311	660	260	330	635	1,276	622	825	638	35	M 30	108	42	145	54	13	22	92	345	178	13	NJ 319	
812	520	520	339	720	285	362	690	1,396	685	915	698	35	M 30	120	45	158	64	16	22	124	349	210	13	NJ 321	
814	590	590	374	780	318	405	760	1,542	762	1,055	771	42	M 36	120	48	185	86	16	22	140	387	235	13	NJ 324	
816	659	659	406	860	342	445	830	1,714	825	1,188	857	42	M 36	135	50	214	114	25	22	168	405	279	13	NJ 326	
818	698	698	450	940	380	495	920	1,792	915	1,265	896	47	M 42	145	40	203	98	25	22	181	457	305	13	NJ 328	

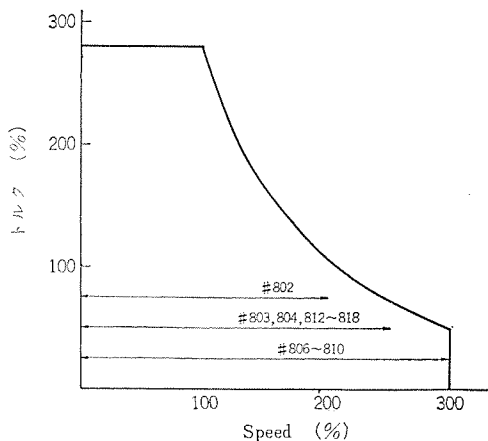


図 2.5 界磁制御する場合の最大運転トルク  
Over-load capacity under field control

#### (6) 最大始動トルクおよび最大運転トルク

表 2.2 に示す最大始動トルクは、始動開始の瞬間において電動機に突入する電流により定まるトルクの最大値で、主として電動機の軸強度・軸受荷重などから制限される。最大運転トルクは、電動機運転中(加減速を含む)発生しうるトルクの最大値で、この値は主として電動機の整流能力から制限される。したがってこの値をこえぬように電流制限制御を行なうか、または回路を開かねばならぬ。可変電圧制御および界磁制御による最大運転トルクは、図 2.4、図 2.5 のとおりである。

#### (7) 寸法

表 2.3 の JEM 1109 (1968) による。

### 3. 三菱 800 番形低速度用直流電動機 (特殊仕様)

熱間可逆圧延の主ロールの前後面テーブル・フィードローなどは、主ロールの短時間逆転と連動して、正逆転をひんばんにくり返し、各種

テーブルのなかで最も活躍するテーブルで、ライブテーブル (LIVE TABLE) と呼ばれている。これらの駆動方式に各個駆動とラインシャフト式とがある。

ラインシャフト方式では、減速機構その他の部分が故障したときの生産停止時間が長くなり、長い目で見たときの経済性から考えて、これらのライブテーブルには各個駆動方式を採用することが多くなってきた。また熱間連続圧延のデレイトーブルその他にも低速度用が多用されるようになってきた。

当社では 800 番標準系列に、この低回転速度専用の電動機定格を追加した。(JEM 規格にはない。) 表 3.1 参照。

この系列は、ロールに直結するため、その回転速度を低くしておく必要があり、電気設計が標準と異なる低回転速度専用であり、その特長はつぎのとおりである。

#### 3.1 特長

(1) 定格電圧 220 V で、標準系列の 1/5 または 1/4 の回転速度が、得られる。(802~808 は 1/4, 810~818 は 1/5)。したがって、標準機を約 50 V 程度の低電圧で使用して低回転を出すときに比べて、電流値が小さいので配線が楽であり、ロールセクションごとの電流容量も小さくてすみ、全体的に経済的になる。

(2) 外形寸法は、表 3.2 のとおりである。電動機の実際の配置を考えて片軸端とし、端子箱を反負荷側端面に設けてある。足取り付け寸法は規格どおりであるが、軸方向長は軸貫通部をラビリンス構造とした分だけ (次項参照) JEM-1109 の寸法より、延びている。

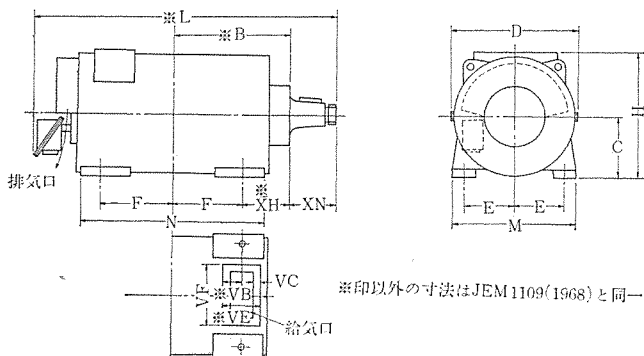
(3) 用途の性質上多量の水がかかることが予想されるので、防水構造とすることが望ましい。したがって本系列のみフレームの 2 分割を止めて一体フレームとし、軸受の軸貫通部をラビリンス構造として水の浸入を防ぐ。

(4) F 種絶縁としている。本系列のみ全巻く番を通じソリッド 1 円フレーム、補償巻線なしとしている。

表 3.1 低回転系列の定格  
Ratings of low speed motor series.

わ く 番	出 力 kW	電 圧 V	回 転 速 度 rpm
KP-802 L	1.9	220	225
KP-803 L	2.8	220	200
KP-804 L	3.8	220	181
KP-806 L	5.5	220	162
KP-808 L	7.4	220	115
KP-810 L	10.4	220	110
KP-812 L	15.0	220	103
KP-814 L	22.0	220	100
KP-816 L	30.0	220	96
KP-818 L	37.0	220	87

表 3.2 低回転系列の寸法  
Dimensions of low speed motors.



わく番	L	B	C	E	F	M	N	D	H	XH	XN	VC	VB	VE	VF	概略重量 kg
802	910	344	193	158	210	380	520	400	450	134	113	10	34	88	184	230
803	1,045	387	215	178	228	432	598	460	490	159	128	13	44	95	216	330
804	1,075	417	228	190	240	458	648	480	520	177	128	13	57	105	227	400
806	1,150	449	254	210	265	508	698	540	570	184	143	13	54	119	260	550
808	1,310	505	285	238	315	578	795	600	630	190	159	13	51	127	292	850
810	1,395	545	311	260	330	622	825	660	680	215	163	13	54	135	305	1,000
812	1,550	600	339	285	362	685	915	720	740	238	178	16	64	167	349	1,500
814	1,710	680	374	318	405	762	1,055	780	810	275	181	16	86	187	387	2,100
816	1,905	759	406	342	445	825	1,188	860	880	314	198	25	114	223	406	2,700
818	2,005	808	450	380	495	915	1,265	940	970	313	198	25	98	243	457	3,800

(5) ライブケーブルの回転速度は、圧延機の仕様により一定でないが、直流電動機の自由度を利用し、動作電圧を変えて回転速度を所要値にセットする。したがって表 3.1 に示す電圧・回転速度のみに適用されるのではなく、トルク値によって選定されるものである。

### 3.2 適用

定格電圧	220 V (倍電圧制御可)
励 磁	他励 220 V
定格の種類	連 続
温度上昇限度	巻線 75 degC 整流子 85 degC (周囲温度 40°C 以下)
形 式	準防水形
わく番呼称	標準わく番に -L をつける。例 #810 L

## 4. 超低慣性三菱 900 番形直流電動機

### 4.1 誕生のいきさつ

800 番形は、外形寸法および定格(出力・電圧・回転速度・時間定格)、温度上昇限度などすべてが規定されているため、回転子の  $GD^2$  は、ある程度の値以下には下りにくい。

ところが最近の高速大形ミルでは、主電動機以外の補機、たとえばスクリュウダウンの AGC Fine Adjust や Manipulator Side Guide の停止精度などにおいて、機械系全体の  $GD^2$  に占める直流電動機の  $GD^2$  の割合が大きいと、その部分の能力が十分に発揮されず、ひいてはミル全体の能力に影響を及ぼすことが重視されはじめ、600 番より  $GD^2$ /トルク の小さい新 800 番ですら満足できぬ需要が現われてきた。

一方欧州の情勢は、Siemens, AEG などでは AISE Standard の Hp・rpm・取り付け寸法のみを守り、電圧を自由に選定し、定格電圧を上げて電流を減らし、整流子長を短かくし、その分だけ電機子を長くして電機子径を下げることにより、AISE, 600 番形の約 50% の  $GD^2$  に低減することに成功している。

したがって、当社はミルの能力を高め、かつ欧州勢と対抗してゆくために、用途によっては規格によらず温度上昇限度をあげ、 $GD^2$  を極端に減らした新 800 番形を上まわる高性能の Special Designed Motors の必要性を痛感し、いち早く 800 番形と並行して開発を完了した。

某社プレートミル AGC スクリューダウン用として、すでに実用約 4 年の実績を有しており、そのすぐれた性能は高く評価され、現在までに約 70 台の製作実績を有するに至った。

この Extra Low Inertia Series を Standard 800 Series と区別するため、900 番形と呼称し当社独自の呼び名としている。

900 番形は、その用途の性質上容量の大きいわく番の需要が多い

ので、一応 #910~922 を標準としている。なお #920~922 は、当社独自で表 4.1 のごとく出力アップを行なった。

### 4.2 特長

三菱 800 番形の特長はすべて受けつぐ。すなわち

- (1) 八角ラミネートフレームは #800 番形と共用
  - (2) 補償巻線の採用
  - (3) 電機子回路のバランス結線の採用
  - (4) 電機子みぞくさびを廃し、ドリルガラスバンドの採用による冷却効果の向上
  - (5) 定圧力ブラシ保持器の採用
- などの特長は同一であるが、低慣性で電機子径を極端に小さくしているため、本系列では軸交換は考慮していない。その他

(6) 定格 kW, V, rpm, はすべて 800 番と同一で温度上昇限度のみ異なる。時間定格は、連続・強制通風を原則とする。900 番系列の通風量は 800 番系列の 2 倍を標準としている。

(7) 取り付け寸法も 800 番とまったく同一である。したがって、600 番・800 番・900 番では、同一わく番呼称に対し、取り付け上の互換性を有する。これは、この一連の系列の一大特長で、既納

600 番形で、出力不足または  $GD^2$  過大で難儀されている場合に有効な解決策となろう。

#### (8) H 種ドリル絶縁の採用

電機子径を下げて  $GD^2$  を極端に小さくしているが、電機子径を下げて外形寸法がおさえられているため、電機子長はそれほどのばすことはできない。したがって電機子の体積が減り、その熱容量が減るため絶縁階級を上げて H 種ドリル絶縁とし、温度上昇限度を 110 degC (巻線で) まで上げた。ドリル (Doryl) 絶縁は、三菱・米国ウェスチングハウスの有する特許の耐熱性樹脂 (別名 ジフェニルオキシド樹脂) を応用した絶縁で、従来のシリコン絶縁に比べて

(a) 絶縁組織が機械的に強固で、この傾向は高温で特に著しい。

(b) シリコン系と異なり、本質的に整流子皮膜を害することはない。すなわちブラシの異常摩耗が起こらない。

(c) フェノール製造工程で工業的に安価に入手しうる。

以上の特長を有する。

(9) 過負荷耐量は、全速度範囲において常用最大 250 % トルクを保証している。

(10) 整流子に銀入銅を採用して、機械強度の向上を計り信頼度を増した。

#### 4.3 性能

##### (1) 補償巻線の採用による速度特性の安定化

$GD^2$  をより小さくするために電機子径を下げ、電気装荷を上げるとしり上がり速度特性となる傾向にあるが、補償巻線をつけることにより、基底速度・倍電圧速度・弱め界磁最高速度においても、純分巻のみで、所定過負荷まで垂下特性を示しており、安定度の高い電動機である。図 4.1 は、速度特性のテストデータの一例である。

##### (2) 電機子回路に特殊バランス結線の採用

#810 以上と同じくバランス結線を採用した結果、整流性能を向上することができた。

図 4.2 は、無火花整流帯のテストデータの一例である。

##### (3) 全磁気回路のラミネート化による過渡性能の向上

ラミネートフレームは、800 番形と共用している。

上記 (1)~(3) 項の採用により、過渡時における整流悪化を防止することができた。すなわち、発電機として高速で回転している状態で突入電流を印加したとき、 $di/dt=200\sim300$  PU/s となるが、このきびしい条件に対しても問題ないことを確認した。図 4.3 は KM 916 のテストデータであるが、高速 960 rpm における電動機として、 $di/dt=300$  PU/s のとき、過渡整流火花は #2~#3 であった。

##### (4) $GD^2$

表 4.1 は 900 番系列の  $GD^2$  の値で、三菱 800 番に対し平均約 60 % に減少している。これは同出力の三菱 600 番に対しては、実に 40 % となっている。

図 4.3 は、KM 916 のサイリスタ電源による正逆転の工場テストのオシロである。これは同一電動機 2 台を直結し、逆並列サイリスタ電源にて +960 rpm → -960 rpm まで正逆転したときで、加速率は、960 rpm/0.34 s = 2,820 rpm/s となり、従来の電動機 (#618) に比較して約 1/4 程度の時間に短縮され、制御性能向上への寄与は目ざましいものがある。

##### (5) 温度上昇

H 種ドリル絶縁とし、温度上昇限度を 110 degC まで上げた。テストでは、KM 916 の強制通風において、F 種なみの温度上昇に入っており、十分の信頼度を有している。

表 4.1 KM-900 系列の定格および  $GD^2$   
KM-900 series ratings and  $GD^2$ .

わ く 番	出 力 kW	回 転 速 度 rpm	$GD^2$ kg-m <sup>2</sup>
KM-910	52	550/1,650	8.1
KM-912	75	515/1,300	14.5
KM-914	110	500/1,250	22
KM-916	150	480/1,200	32.3
KM-918	185	435/1,100	52
KM-920	280	390/975	105
KM-922	370	360/1080	172

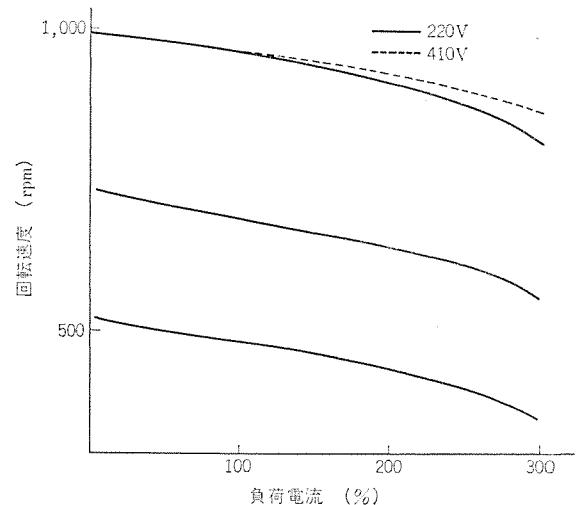


図 4.1 負荷速度特性 (KM-916)  
Speed characteristics of KM-916.

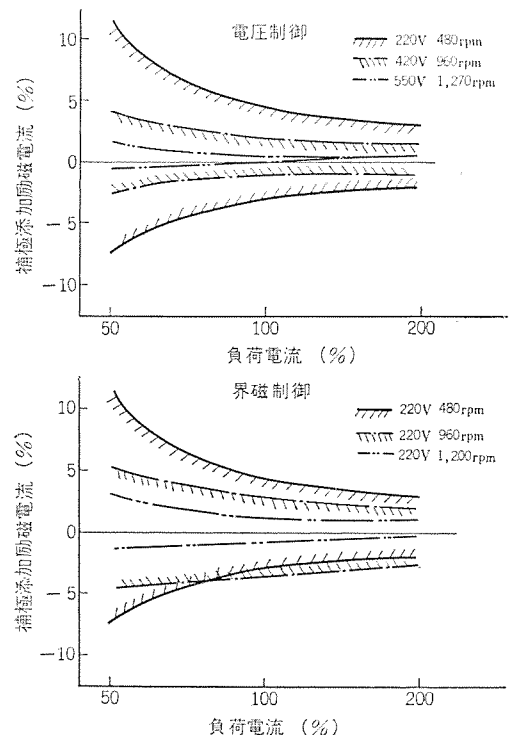


図 4.2 無火花帯 (KM-916)  
Sparkless zone (KM-916).

## 5. む す び

三菱圧延補機用直流電動機には、KM 800 および KM 900 の 2 系列がある。

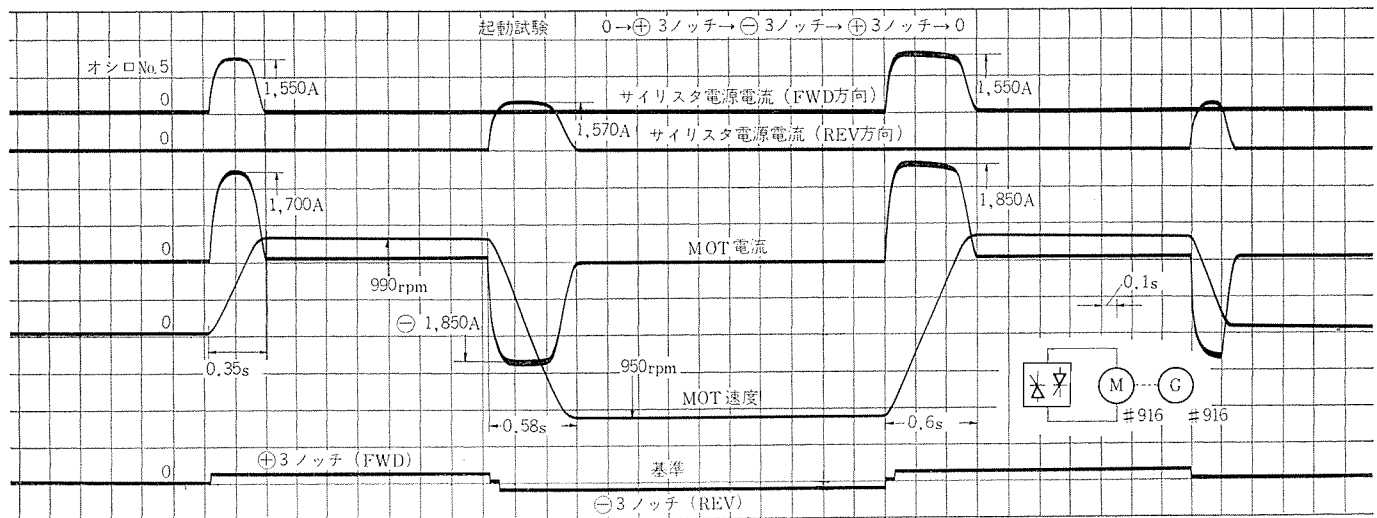


図 4.3 逆 転 試 験 Reversing test.

三菱 800 番形は、数千台に及ぶ三菱 600 番形の製作経験と最新の設計技術を駆使し、さらに使用者の要望を参考として開発整備した新系列直流電動機で、とくに特性および過渡整流の向上に留意するとともに、保守容易な構造に意を用いた。

三菱 900 番形は、圧延補機用超低慣性系列に名づけた三菱独自の呼び名で、H種絶縁を採用しているほかは、外形寸法・出力・電圧・回転速度はすべて 800 番と同一である。

すでにか(稼)動開始後約 4 年、約 70 台の製作実績を有する高性

能・高信頼度電動機で、そのすぐれた性能は国内はもちろん海外でも高く評価され、世界各国から照会・引合いが続いている。

三菱 800, 900 番系列直流電動機は、鉄鋼設備の新鋭大形化にマッチした性能を有しており、その他の一般動力応用分野にも広く適用される標準系列であり、必らずやプラントの合理化、コストの低減、生産性の向上に寄与するものと確信し、三菱直流機のご愛用を切望する次第である。



# 整流子保修用削正機とその作業

河 原 泰 祐\*

## Commutator Repairing Cutting Machines and Their Operation

Kobe Works Taisuke KAWAHARA

Because of their excellent control characteristics, DC motors find increasingly a wide field of application in every industry. They are in the trend of changing to larger sizes and higher speeds. They need not only high technical skill in the design and manufacture, but also pertinent electrical and mechanical care in the adjustment and maintenance after put in commercial operation.

Especially good maintenance of commutators which are kept running all the time poses the most important problem. The article describes the lathing of the commutator face with diamond cutting tools, the grinding of the face with a commutator stone, the correction by under cutting with a tungsten carbide milling cutter and hand tools to take care of the commutator maintenance after that all required for the repair and the adjustment on the job site.

### 1. ま え が き

本文は、軸受台付き直流機の場合、現場で整流子を削正、アンダカット等をするときに使用する整流子削正機とその作業について述べたものである。直流機はとくに整流子に対する保守がたいせつである。適切な保守を欠くと、整流悪化、整流子またはブラシの異状摩擦、その他の異状を発生するおそれがある。要点は整流子面を清潔にし、良好な酸化皮膜を維持し円滑な真円を保ち、適切なアンダカットおよび削正手入れを行なうことである。

### 2. 構 成

#### (1) 整流子削正装置

送り台 (長さは指定により製作) 1台

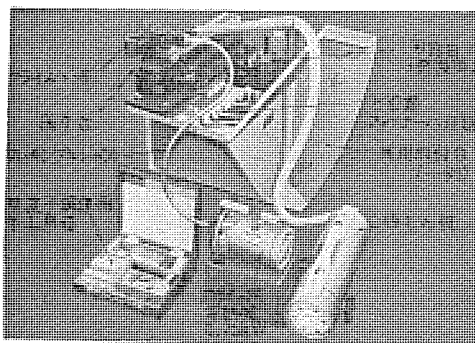


図 2.1 整流子削正機  
Commutator repairing cutting machine.

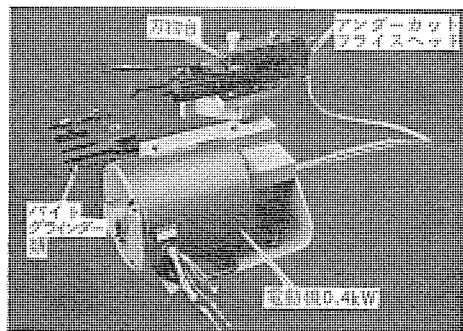


図 2.2 整流子削正機 (エレベータ DCM 用のもの)  
Commutator repairing cutting machine.

刃物台	1台
ダイヤモンドバイト	1本
(2) 刃物台自動送り装置	
無段変速機 電動 50/60 Hz 100 V 0.4 kW	1台
クラッチ ドライブシャフト 付き	1台
(3) 整流子 グラインダ 装置	1式
送り台、刃物台は (1) を使用、整流子用と (低) 石付き	
(4) アンダカットフライス 装置	
アンダカットフライスヘッド	1台
駆動電動機 50/60 Hz 100 V 0.75 kW	1台
(5) 吸じん装置 50/60 Hz 100 V 約 500 W	1式
(6) 専用取付台 (指定による)	1式
(7) 付属品、整流子保修用手工具	
整流子保修用手工具 (一般用または高速用)	1式

### 3. 整流子保修用削正装置の特長

- (1) 整流子の保守に関する機械装置、手工具類がすべてもうらされている。
- (2) 削正装置・研削装置・アンダカット・自動送り装置、などがユニット化され、ブロックビルド方式でそれぞれの作業ができる。
- (3) 各ユニットが小形軽量のため、装置を整流子面に取り付けるのが簡単である。
- (4) 各部品が標準化されているので安価になり、製作期間が短い。

### 4. 各部の構造

#### (1) 整流子旋削装置

送り台と刃物台は焼入研磨による工作が施され、摩擦に耐え、ダイヤモンドカットの高速切削およびグラインダ研磨作業など、高荷重に耐える精密機械である。ラック、ピニオン送り構造で、高低速切換減速ハンドルによって適切な切削送りが得られる。またセンタの左右方向の高さの調整装置を設けている。

送り台と刃物台とからなり、組み立てた状態を図 4. 3 に示す。送り台は大中小、あるいは指定の大きさに製作する。

刃物台も図 4. 4、図 4. 5 に示すように 2 種類あり、一般には図

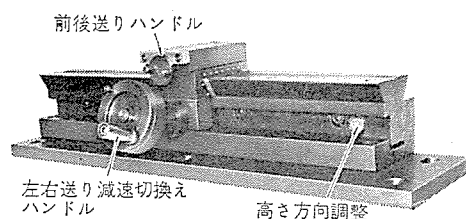


図 4.1 送り台(大)  
(テーブル 寸法 600 mm)  
Large saddle.

図 4.7 整流子用  
と石取り付け (と  
石 38×65×170 mm)  
Commutator stone  
holder.

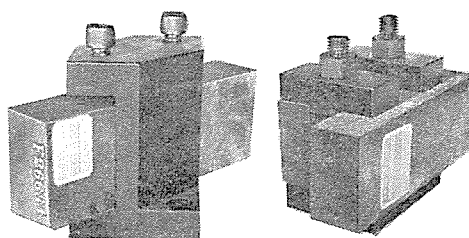


図 4.8 整流子用  
と石取付  
Commutator  
stone holder.

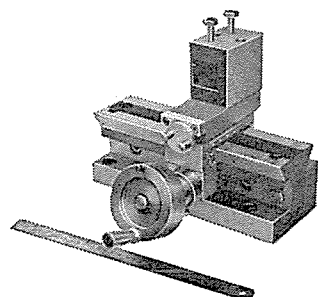


図 4.2 送り台 (小)  
Small saddle.

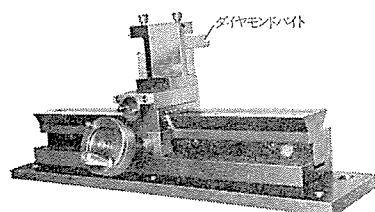


図 4.3 削正装置  
(テーブル 寸法 250 mm)  
Turning tool post.

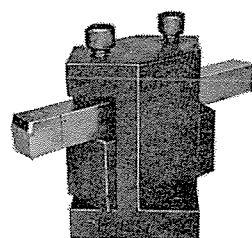


図 4.4 刃物台  
(バイト 25 mm 角)  
Tool post.

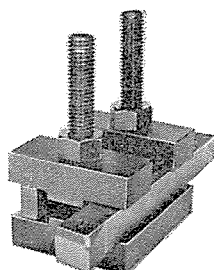


図 4.5 刃物台  
Tool post.

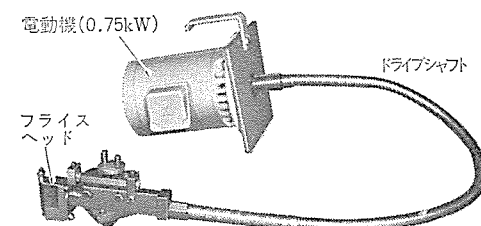


図 4.9 アンダカッ  
トフライスヘッド  
Under cutting  
milling head.

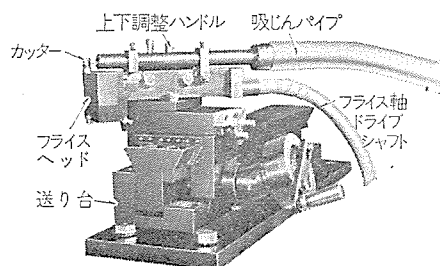


図 4.10 フライスヘッド  
組み合わせ  
Special milling  
equipment.

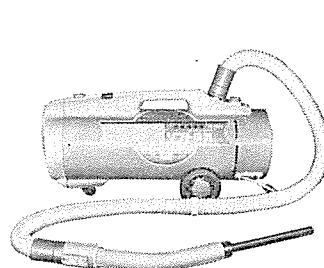


図 4.11 吸じん装置  
Vacuum cleaner.

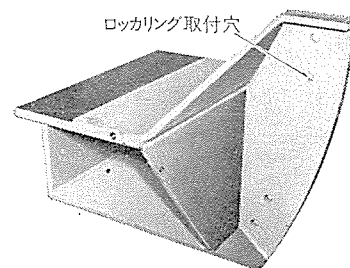


図 4.12 専用取付台  
(一例) 大形機用  
Special bracket.

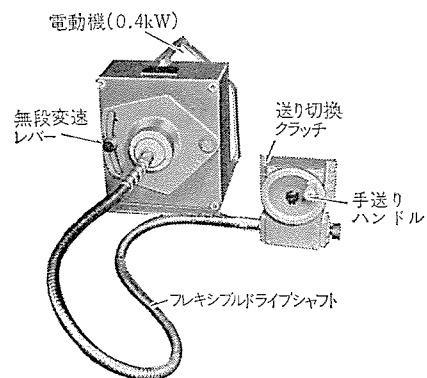


図 4.6 自動送り  
装置  
Automatic feeding  
attachment

4.4 のものを使用する。

(2) 刃物台自動送り装置

無段変速機と送りを切り切りするクラッチとからなり、両方をフレキシブルドライブシャフトで連結している。

(3) 整流子面グラインダ装置 (整流子用と石による)

送り台および刃物台は 4.1 節のものを使用、と石 (コミュテータストン) を取り付けけた状態を図 4.7, 4.8 に示す。

(4) アンダカットフライス装置

小形超硬メタルソーによるフライス装置で、主軸部は小径カッターを使用するため、外周はできるだけ小さく (半径 11 R) 完全密封ベアリング構造、主軸・サポートは SCM-4 鋼、焼入研磨を施して剛性強化を

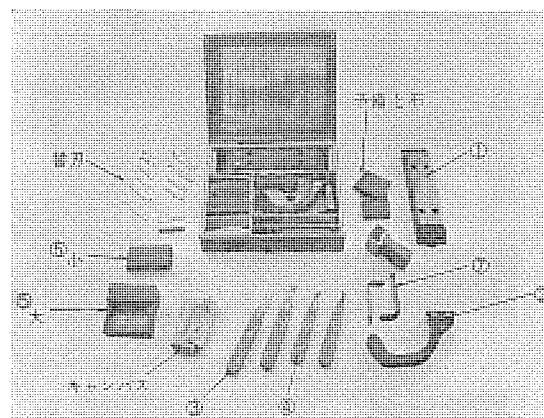


図 4.13 整流子保修用手工具一式 (高速用の例)  
Commutator repairing tools.

表 4.1 整流子保修用手工具 (高速の例)  
Commutator repairing tools.

番 号	用 具 名	数 量	
1	ハンドストーン用具	1	細目 3 S 極細目 320 L 予備付き
2	アンダカット用具	1	替刃付き
3	面取り用具 左, 右	1 組	替刃付き
4	マイカ掃除用具	1 組	左右替刃付き
5	ハンド掃除用具	1 組	大小キャンパス付き
6	工具修正と石	1	
7	六角スパナー	1	M 6 工具修正用

計る。フライスヘッドと駆動電動機をフレキシブルドライブシャフトで連結している。

この装置は(1)の送り台に取り付けて作業。

(5) 吸じん装置(型式を変更する場合がある)

(6) 専用取付台

機に合わせて製作。図 4. 12 は ロッカーリング に固定する取付台の一例である。

(7) 整流子保修用手工具

保修用具は、機械加工された整流子面の最終手仕上げを行なうものである。一般用・高速機用の2種類あり、いずれかを選定する。

## 5. 削正機による作業

### 5. 1 準備

整流子についているすべてのブラシをはずし、削正機の送り台を所定の位置にセットする。取付位置はストーンおよび刃物先端から見ると整流子のしゅう(摺)動方向が下向きになるようにし、軸心とストーンおよび刃物先端が同一高さか少し高いめにセット。送り台はベッドまたは基礎上から強固に取り付け、なるべく敷板・台の個数を少なくして、両面が平滑に削られたものを使用する。機械のエンドブレイをあらかじめ測定し、送り台の送りをいっばいに送ってもライザにあたらないことを確認し、静止状態で軸方向の送りが軸心と平行になるようにインジケータを取り付けて調整する。被削物を電動機として運転し研削するときは、インジケータと大地間は絶縁しておく。(この場合はインジケータと機械のベッドなどとの取付間)。電機子は規定回転数で回転し、正負一對のブラシアームとブラシを取り付け、低電圧で運転する。このとき、ブラシは摩耗が激しいので製品のブラシを用いず、旧品または専用のものを用いるとよい。

### 5. 2 ライザ部のおおい

切粉および研磨粉が電機子内部にはいるのを防ぐため、整流子ライザには綿布・さらしなど薄い布をダイヤモンド(セルロース系接着剤)を用いてはりつけ、回転中にははずれないように外周を麻ひも、または綿テープで縛る。

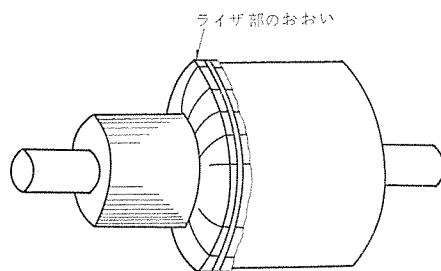


図 5. 1 電機子ライザ部のおおい  
Shield of riser.

## 6. 整流子の旋削作業(ダイヤモンドバイト使用)

(1) ダイヤモンドバイトは作業中振動しないように、できるだけ強固に取り付け、その突き出し長さはシャंकの厚みぐらいの長さにし、できるだけ短いほうが好ましい。

(2) ダイヤモンドバイトを整流子面に当てたまま、機械を始動あるいは停止しないこと。また、作業中送り速度を変えることは切削抵抗の変動をきたし、好ましくない。

(3) ダイヤモンドバイトは切込み送り速度を小さくし、切削速度を高速にして切削を行なう。整流子切削に適した切削条件としては表

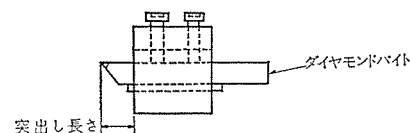


図 6. 1 ダイヤモンドバイト取り付け  
Setting of diamond tool.

表 6. 1 ダイヤモンドバイト 切削速度  
Cutting speed of diamond tool.

	切削速度 m/min	送り速度 mm/min	切り込み(片側)mm
普通切削	1,000~600	20~30 以上	0.2 以上
仕上切削		15	0.05

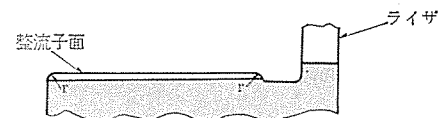


図 6. 2 整流子端の加工  
Cutting method of the commutator radial corner.

6. 1 を参考。

(4) ダイヤモンドバイトで削り出される切りくずは、非常に細かくて加工物の回転の風圧で舞い上がるので、電機子内部に侵入しないようにライザの箇所をカバーする必要がある。作業者は防じんめがねおよびマスクなど着用する必要がある。

(5) マイカのあるアンダカットみぞに異物が入っていないか清掃後よく点検してから作業を開始する。

(6) ダイヤモンドバイトの寿命を判断するには、けずられた面の光沢が鈍くなり、かつ白くなって手ざわりがざらざらと荒れてきた場合には、これは刃先が摩耗したか、欠けた状態で切削した現象であるので早めにバイトを取り換える。

(7) ダイヤモンドバイトは、使用後は刃先が破損しないよう保管する。

(8) 自動送り装置を使用の場合は、フレキシブルドライブシャフトを小さく曲げないようにし、無段変速機を操作して(3)の切削速度に合わせる。整流子面の最終端の切削は手送りに切り換え注意して削正する。

(9) 切削作業の最後、図 6. 2 のように整流子の端部を切削前と同じよう丸く面取りを行なう。

(10) 以後の手入れは後述の 10 項により行なう。

## 7. 整流子面の研削(グラインダ)作業

(1) ダイヤモンドバイトによる旋削の場合は、ほとんどグラインダの必要はない。なお、条こんが残った場合、あるいは面の荒れが浅く上記旋削を行なわない場合に行なう。

(2) 整流子用と石は、最初は 1 S を使用、研削量の多い場合は、と石が整流子面に接触すればその位置で保持し、研摩されてと石があたりなくなるのを待つ。

(3) 新しい点で軽く接触させ、接触させたまま軸方向に送らないこと。

(4) 面荒れ・ハイパー・ローバーなどがなくなり、振れが 0.02 mm 以下になると、3 S の仕上整流子用と石を用いてふたたび研削する。このときは、と石を整流子面に接触させたまま軸方向にも送って平滑に研摩し、整流子面を鉛筆の先で触れて触感が非常に良くなるまで行なう。

(5) 以後の手入れは後述の 10 章により行なう。

## 8. 切削および研削作業についてのトラブルと処置

機械の軸受部分の振動が規定以上の場合、バランスを修正して切削あるいは研削を行なう。切削（研削）側と180°反対側に取り付けられたインジェクタの振れが小さくならない場合は、次のような原因がある。

- (1) 軸受のあたりがよくない。
- (2) 給油量が少ない。
- (3) 給油中に空気が入っている。
- (4) ジャーナル部のだ円が大きい。
- (5) ジャーナル部に曲りがあり、一つの軸受内で振れが異なる。
- (6) グリースがかたすぎる（ころがり軸受の場合）。
- (7) ころがり軸受の内輪面が軸と正しく直角に取り付けられていない。

温度の関係で振れ出す場合は次のようなものがある。

- (1) 軸受の潤滑不良。
- (2) 整流子スパイダのはめ合いがゆるい。
- (3) 温度変化により整流子がひずんでくる。

## 9. アンダカット作業

### 9.1 準備

(1) 旋削（研削）作業に引続いて行なう場合は、刃物台をそのままにしてバイト（と石）のみ取りはずして、アンダカットフライスヘッド（図4.10）を取りつければよいが、新しくこの作業を行なう場合は削正作業準備の項に記したように装置をセットする。このとき、刃物台をいっばいにライザ側へ送り、刃物台がじゃまになって切削できない場合があるので適当な角度を選定する。

(2) 送り台の取り付けを行ない、次にアンダカットの深さ、およびレベルの調整を行なうが、深さは特に指示のないかぎり1.5mmで行ない、カッタ深さをハンドルにより調整する。作業中にハンドルが回らないようストップ用のねじを締める。

(3) カッタの高さ調整は、各セグメントマイカの中央部を切るように

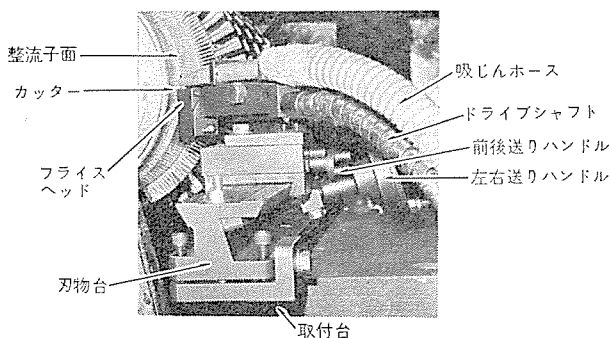


図 9.1 アンダカット作業  
Undercutting work.

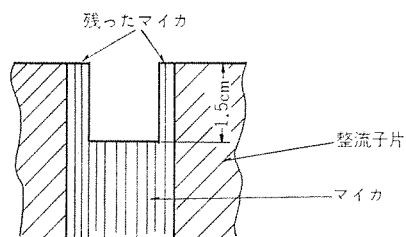


図 9.2 マイカ断面図  
Sectional drawing of mica.

調整ハンドルで行ない、整流子のマイカに沿って軸方向に左右に移動させ調べる。平行度は送り台レベル調整用ボルトで調整する。

(4) 作業準備は以上で完了するが、削正の場合と同様にライザにはおおいをして削切粉が電機子内部にはいらないように注意。

### 9.2 作業

(1) カッタ軸の電動機および吸じん装置を起動し、静かに送りハンドルを回しながらカッタを反ライザ側からライザ側へ送る。送り速度はマイカの切れ具合から適当に選定する。手送りカッタをライザ側いっばいに送り込み、そのまま逆転して元に戻す。この動作を各マイカごとに繰り返す。カッタの径の関係上、ライザ側いっばいにアンダカットができない場合は可能な範囲まで切削。残りは、4章の(7)アンダカット手で行なう。

(2) アンダカットの機械作業で整流子マイカの厚さが、カッタの幅より厚いため、マイカが残ることがある。これらの処置に対しては保修手工具により切残しのマイカの切取りを行なう。

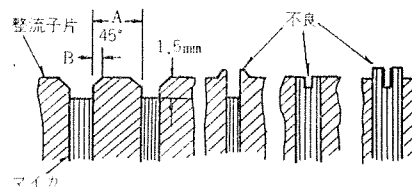
(3) 以後の処置は付属品整流子保修用具を使用し、面取り、清掃をする。

## 10. 整流子面の削正後の処理

機械加工後、または機械加工を必要としない程度の整流子面の最終仕上げは4章の(7)整流子保修用手工具で行なう。

### 10.1 アンダカット面取り

面取り用具に面取りを行なう。より面取り寸法は図10.1に示す。この刃物には右・左勝手がある。



整流子片の厚さ A mm	面取りの幅 B mm
5 まで	0.3
5 ~ 8	0.5
8 をこえ	0.8

図 10.1 アンダカット 要領  
Undercutting procedures.

### 10.2 キャンバスかけ

旋削後、研削後は整流子の表面に完全な酸化被膜が、得られるまでキャンバス用具でみがくとともにブラシあたり面を点検し、カップピッキング（注2）の有無を調べる。カップピッキングを発見したときは、ナイフの先などで完全に取除く、これを放置すると条こん摩耗となることがある。

（注1） 研磨布は溶融アルミナ質の微細目、すなわち研磨布 AA 320 (JISR 6251) を使用する。炭化けい素質（研磨布 C. CC）は、と（砥）粒が通電性があり、また摩耗粉は微細化してブラシの内面に浸入し、条こん摩耗の原因となることがあるので使用しない。

（注2） カップピッキングとは整流子片が削られ、ブラシに銅粉が付着する現象をいう。

## 11. 整流子保守の要点

整流子の面は良好な酸化被膜が形成されることが必要であり、良

好な整流子面は光沢のある茶褐色から黒褐色になる。生銅色あるいは鈍い色はよくない。正常の状態で被膜は数日（ときには数カ月）の運転で形成され安定する。この安定した良好な被膜形成を助けるようにすることがたいせつで、このためキャンパス用具でときどきみがくとい。良好な被膜ができているときは、必要のないかぎり研磨布をかけたり、ストーンがけをしないことである。

#### （１）清掃

機械の保守上重要なことは、機械を清潔に保つことである。付着したごみ・油気・カーボン粉などを十分除去する。

#### （２）有害ガス

亜硫酸ガス・塩素ガス・アンモニアガスなど有害ガスは整流子表面に厚い絶縁性の被膜が形成され、電流が整流子・ブラシ間に流れるとき、膜を破り放電が行なわれ条こん発生の原因になる。有害ガスは微量でも悪影響がある。たとえば3 PPM（百万分の3）の亜硫酸ガスによっても害をうけることがある。

#### （３）ごみなどの異物

ブラシ・整流子面にごみなどの異物が入り、条こん発生や異状摩擦となることがあり、とくに据付け初期の運転で、建設工事のごみがあるときは注意を要する。

#### （４）油気

油漏れや、ふん囲気中の油蒸気は条こん発生の原因となる。整流子面に油やグリースを塗ることは厳禁。

#### （５）湿度

湿度の過大・過小も条こん発生、ブラシ異常摩擦の原因となる。

#### （６）低電流密度

実際の運転が軽負荷となり、ブラシ電流密度が低いと摩擦係数が増大し、ことに5.5 A/cm<sup>2</sup>以下になると良好な被膜の発生を妨げ、ブラシチャタリング・条こん発生などの障害を起こす。軽負荷が続くときは、ブラシ電流密度が5.5～10 A/cm<sup>2</sup>になるようにブラシをあげて運転する。

#### （７）整流子ブラシの異状について

整流子を荒損しない程度の火花は事実上問題はない。図 11. 1 に

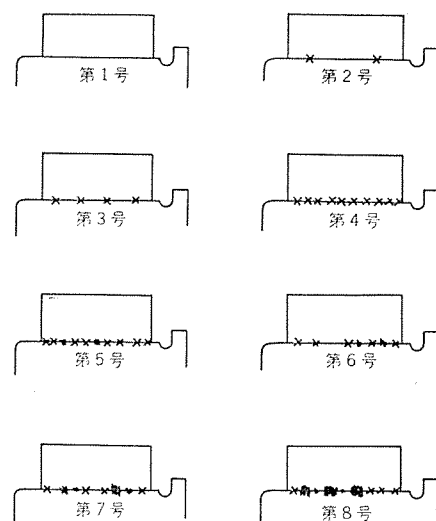


図 11. 1 整流子火花号数  
Number of commutator sparks.

JEC-54 (1965) に規定された火花の号数を示す。有害と考えられる火花はこの5号以上となり、5号以上の火花発生の際は、運転を停止し調査する。

## 12. むすび

以上、整流子保修用削正機の紹介と同機による整流子の修正作業内容の概要について述べたが、高速度で連日連夜、回り続ける整流子に対しては、適切十分な保守が最もたいせつな問題である。前述のほか、千差多様な事象に対応して処置しうるためには、さらに豊富な経験と技術を要するが、本文をもとに、より効果的な整流子の保守が行なわれ、それぞれの機械の合理化および性能を十分に発揮されるように活用されれば幸甚と考える。

終わりに、この削正機三十数台の製作、納入、使用の実績を得たことにあたり、多大の協力をいただいた関係各位に厚く謝意を表する次第である。

最近登録された当所の特許

名 称	登 録 日	登 録 番 号	発 明 者	関 係 場 所
電解積分装置	44- 5-29	544346	松岡宏昌	中央研究所
他励直流電動機の制御装置	44- 5-29	544347	赤松昌彦	中央研究所
母線保護装置	44- 5-29	544348	寺田 真・阪上正幸	神戸製作所
位相弁別装置	44- 5-29	544349	高田信治・三宅康明	神戸製作所
列車制御装置	44- 5-29	544350	北岡 隆・六藤孝雄	伊丹製作所
開閉装置	44- 5-29	544351	{木村雅夫・長尾良章 服部卓也	名古屋製作所
列車制御装置	44- 5-29	544352	六藤孝雄	伊丹製作所
超小形回路部品の実装方法	44- 5-29	544353	平子征佳	北伊丹製作所
リミッタ回路装置	44- 5-29	544354	鳥居健太・金子弘美	鎌倉製作所
放電灯用電極物質	44- 5-29	544355	{土井貞春・宮井 隆 伊藤 弘	大船製作所
高次姿態波抑圧 アンテナ	44- 5-29	544356	伊藤卓司・春山鉄男	鎌倉製作所
放電灯用電極物質	44- 5-29	544357	{甲斐潤二郎・土井貞春 伊藤 弘・宮井 隆	大船製作所
単相直流電動機の世界制御装置	44- 5-29	544358	遠藤吉隆	商品研究所
電気かみそり	44- 5-29	544359	{武井久夫・小川 昇 小池利男・福田興司	群馬製作所
石油燃焼機の制御装置	44- 6- 6	545016	小野健一	商品研究所
同期調相機	44- 6- 6	545017	近藤博通	中央研究所
内燃機関点火装置	44- 6-10	545535	三木隆雄	姫路製作所
多気筒内燃機関点火装置	44- 6-10	545536	三木隆雄	姫路製作所
強磁性電着薄膜記憶装置の製造法	44- 6-10	545537	{豊田準三・秦卓也 前田良雄・松岡宏昌 蒲正容仁・杉浦俊夫 酒井勝也	中央研究所
近接 リレー 装置	44- 6-10	545538	{茂木 充・亀田 享 神原宇工春(日進電機)	北伊丹製作所
高圧水銀灯	44- 6-10	545539	土橋理博・若林正雄	大船製作所
高圧水銀灯	44- 6-10	545540	土橋理博・若林正雄	大船製作所
複合 アンテナ	44- 6-24	546750	{喜連川 隆・武市吉博 小野 誠	鎌倉製作所
アンテナ	44- 6-24	546751	{喜連川 隆・武市吉博 小野 誠	鎌倉製作所
電圧一周波数変換装置	44- 6-24	546749	田井昌輝	神戸製作所
高電圧整流器の点弧回路	44- 6-24	546752	川畑隆夫	中央研究所
電動機制御装置	44- 6-24	546753	赤松昌彦	中央研究所
ジフェニルエーテル-P, P'-ジカルボン 酸の製造法	44- 6-24	546754	{江藤昌平・西崎俊一郎 古橋靖夫	中央研究所
火災報知器	44- 6-24	546755	橋本英彦・吉川 浩	商品研究所
電源電圧変動及び温度変化に対する補償時限装置	44- 6-24	546756	西川一成	北伊丹研究所
単相誘導電動機の世界制御装置	44- 6-24	546757	藤井 学	商品研究所
バケットクレーン の制御装置	44- 7-14	548558	吉田太郎・高岡明雄	名古屋製作所
ブレーキ 付電動機	44- 7-14	548559	秋吉俊男	福岡製作所
交流間電力変換装置	44- 7-14	548560	赤松昌彦・大野栄一	中央研究所
回転電機の積層形回転子	44- 7-14	548561	森 与志彦	神戸製作所
水銀電量計	44- 7-14	548562	秦卓也・松岡宏昌	中央研究所
並行2回線送電線の優先遮断装置	44- 7-14	548563	古谷昭雄・高田信治	神戸製作所
サイリスタ の制御装置	44- 7-14	548564	三木隆雄	姫路製作所
トランジスタ 開閉装置	44- 7-14	548565	三木隆雄	姫路製作所
速度応動限時装置	44- 7-14	548568	小川裕三	神戸製作所
平衡型直流増幅装置	44- 7-14	548566	岩村武志	商品研究所
放電管用電極物質	44- 7-14	548568	{土井貞春・伊藤 弘 武田隆夫	大船製作所
電動機制御装置	44- 7-26	550196	渡辺克己・山下隆三郎	長崎製作所
水銀放電管	44- 7-26	550197	{土橋理博・三上龍夫 近藤 登	大船製作所
高圧水銀灯	44- 7-26	550198	{土橋理博・高井美則 橋本健一	大船製作所
電解積分器	44- 8- 6	550829	秦卓也・松岡宏昌	中央研究所
電圧変動表示装置	44- 8- 6	550832	武田克己・三好明好	福山製作所





# 特許と新案

## テレビジョン受像機

考案者 植竹勝人

この考案は、テレビジョン受像機から発せられる不要ふく射を軽減し、かつ感電などの危険を防ぐための CES 規格にも適合するようにしたテレビジョン受像機に関するものである。

テレビジョン受像機を動作させると、その局部発振器・掃引発振出力回路・音声回路などから、電磁エネルギーが空間および電力線を伝って外部にふく射され、他のテレビジョン受像機などに妨害を与えることが知られている。この不要ふく射を軽減するための一つとして、テレビジョン受像機の裏板あるいは底板などに金属板を張りつけ、これをアースしてシールドする方法があるが、裏板・底板には放熱孔があるために、トランスレス方式のテレビジョン受像機のようにシャシに電圧がかかっている場合は、商用周波数の 1,000 V に対し 1 分間耐えられるコンデンサで、シャシとシールド板との間を隔ててやらなければならない。このようなコンデンサは耐圧が高いために高価となり、かつ裏板・底板のように、しばしば取りはずす必要のあるものにリード線などによって、コンデンサをシールド板とシャシ間に接続することはめんどろである。

この考案はこのような欠点を除去するため、図に示すようにキャ

ビネットの裏板(1)に張られた金属のシールド板(3)の上にポリエステルフィルム(4)の誘電体(4)を配置し、さらにその上に金属はく(5)を張ってコンデンサを形成させ、その金属はくをシャシ(6)に金属片(7)で導電的に接続するようにしたものである。

このような構成によりきわめて簡単かつ安価な構成で、不要ふく射を軽減するためのシールド効果、および安全対策に対して十分に満足させることができる。

(登録実用新案第 877030 号) (宮本記)

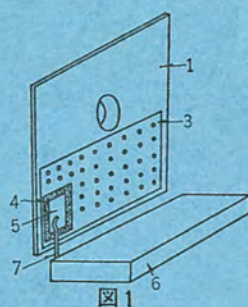


図 1

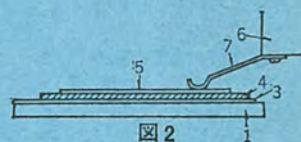


図 2

## 電磁流体発電機の電極装置

発明者 伊藤利朗・森川鉄也・村井 裕

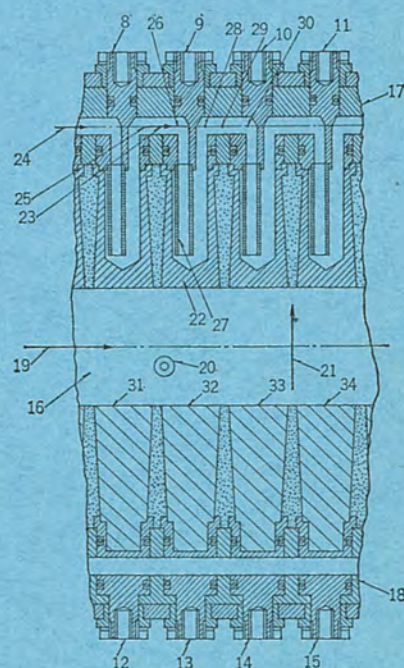
この発明は、電磁流体 (MHD) 発電機における電極の材質・形状・構造に関するものである。

MHD 発電機の出力  $P$  は、電極降下  $\delta V$  に関係し、 $\delta V$  ができるだけ小さいことが出力向上のうえから必要である。したがって、従来では、正負両電極としてグラファイトのような耐熱性材料を、断熱状態に近い電極表面温度を上げた状態で、使用することが考えられていた。しかし電極表面温度を上げて使用すると、電極の消耗が激しく、寿命したがって経費の面で不利である。

ところが電極降下  $\delta V$  は、主として正電極における材質と電極表面温度の関数であること、したがって負電極は適当に水冷された金属、たとえば銅・ステンレス鋼等を使用しても、MHD 発電機の効率に対してほとんど影響しないことが判明した。

したがって、この発明では、図のように、MHD 発電機の負電極 (22) として銅・ステンレス鋼等で構成して冷却し、正電極 (31)~(34) としてグラファイト・ $ZrB_2$  等の耐熱材料で構成し、断熱状態に近い状態で使用するようにしたものである。

(特許第 552803 号) (早川記)





# 特許と新案

## 位 相 変 調 器

発 明 者 桂 川 弘・川 上 昭・中 村 信 弘

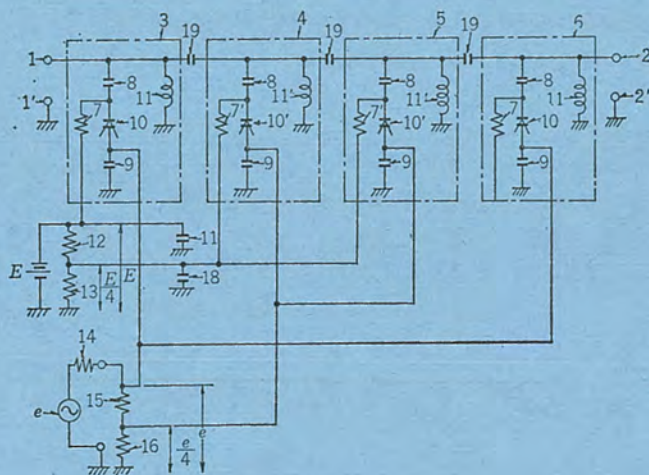
この発明は、共振回路を多段結合した回路網の離調周波数に対する遅延時間特性を利用した位相変調器の特性改善に関するものである。

従来、変調度を高めるための手段として、上記のように共振回路を多段結合する方法はなかった。このような構成法を容易に考えついても、多段結合した場合の離調度の均等化を行なうためのバイアスの加え方、すなわち回路定数を変化させる方法が困難であった。

この発明はいかなる回路定数においても離調度を均等化し、特性のよい変調器を提供するものである。図の実施例において、変調信号  $e$  によって共振回路(3)～(6)の各定数を変化させる場合、共振回路の同調周波数のずれの程度  $\delta$  と、それぞれの回路の選択度  $Q$  との積(離調度)が、全共振回路にわたり同一となるように変調信号の大きさを調整すると、この回路網を通過している高周波信号の各共振回路の遅延量を均等化できる。この場合、電圧可変容量ダイオード(10)、(11')のバイアス電圧  $V$  対キャパシタンス  $C$  の関係は、 $C=KV^{-n}$  で表わされる( $K$  は定数、 $n$  は可変容量ダイオード等で定められる値  $1/2 \sim 1/3$ ) ので、仮りに  $n=1/2$  とすれば共振回路(3)、(6)に使用するダイオード(10)のバイアスは中間の共振回路(4)、(5)に使用するダイオード(10')のバイアスよりも約4倍のバイアスを印加する必要がある。また共振回路の選択度  $Q$  は  $1/\omega CR$  または  $\omega L/R$  で表わされるから、

全共振回路同一であるので、離調度を全共振回路(3)～(6)にわたり同一にするには、ダイオード(10)(10')に印加する変調信号振幅は、ほぼ中間の共振回路(4)(5)の1に対して両端の共振回路(3)(6)には4の割合にすればよい。このように構成することで離調度が均等になるので、全共振回路の遅延量も均等になるので、全共振回路の遅延量も均等化されひずみも均等化される。

(特許第544341号)(宮本記)



## パ ネ ル デ ィ ス プ レ イ 装 置

発 明 者 吉 沢 達 夫・伊 吹 順 章

この発明は、フランクフルト効果を利用する新しいパネルディスプレイ装置である。

図において(1)は面状けい光体を連続発光させる面光源で、希土類元素である  $Tm \cdot Tb \cdot Eu$  によりけい光体を同時に活性化することによって、青・緑・赤の半値幅  $200 \text{ \AA}$  以下の非常に鋭い発光スペクトルをうるようにしたものである。(2)は面光源(1)から出る光を、それぞれ青・緑・赤に分ける3種類の干渉フィルタ、(3)はこの干渉フィルタにより得られるそれぞれの各色の光について、フランクフルト効果を利用する半導体素子、(4)はそれぞれこの半導体素子(3)と干渉フィルタ(2)との間に配置した透明電極、(5)はこの各透明電極と反対側において各半導体素子(3)に共通に接する透明電極、(6)は基板である。

上記透明電極(4)および(5)により各半導体素子(3)には、映像信号を増幅した電圧が印加され、光学吸収端の移動が制御され、これにより光の透過率が変化して基板(6)と画像が得られる。

この発明のパネルディスプレイ装置は、壁掛けテレビに利用できる。

(特許第533886号)(早川記)

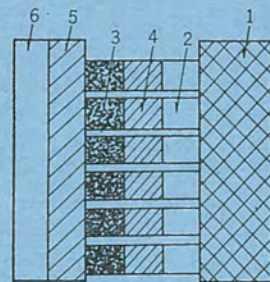


図 1

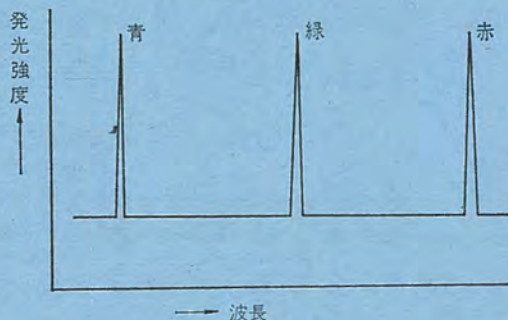
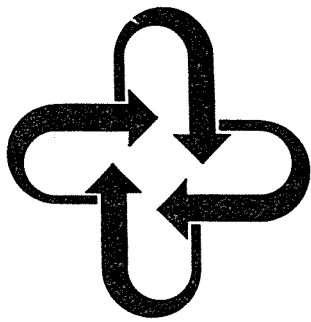


図 2



# 技術解説

UDC 534.86 : 681.84

## 三菱未来館の音響設計技術

藤木 一\*・鈴木 英男\*\*

### 1. 三菱未来館の概要と音響再生上の問題点

三菱未来館は、日本人が近い将来自然をいかに利用・制御し、さらにどのようにして科学技術の力を用いて、自然と夢とを調和させながらより高度の文化と理想の生活を、築きあげるかを描くことを目的としている。その展示内容は造形物やスクリーンからなり、視覚を重点とし“見る”ことによって、その意味が理解できるようになっているのが特長である。図1.1は三菱未来館の構成を示す平面図であり、全館は大きく5部に分かれ、第Ⅰ部から第Ⅳ部までは毎分16mの速度のトラペータ（動く歩道）に乗って移動し、前室と第5部および各部のつなぎの部分は歩くようになっている。前室の入口から第Ⅳ部の出口までの301mを、0.63m/sの速度で歩くとして約14分で第Ⅴ部に達する。各展示場は型模を配置し、ホリミラースクリーン・スモークスクリーン・通常スクリーンに画像を映写し、これに伴った効果音・ナレーション・音楽等を移動時間に合わせて演出する。各部の内容の概略は次のようになっている。

#### (1) 第Ⅰ部の前室：日本の四季

入って来る観客を柔らかい光線、静かなふんい気の音楽でつつみ、ハーフミラーの効果で日本の四季の情景を写しだし、その美しさを認識させる。ここでは日本の季節感と内部の幻想的なムードを一致させた曲を流す。

#### (2) 第Ⅰ部：日本の自然

A室(海)・B室(火山)にわかれており、A室では、ホリミラースクリーンの映し出す暴風雨の海の真只中に放り出されたような錯覚を出す。B室も同じくホリミラースクリーンにより、火山の爆発する情景を描きだす。音源としては風・波などの激しい音(A室)や、火山の鳴動と断続的な爆発(B室)などの効果音に加えて、それらを強調するダイナミックな音楽を流す。

#### (3) 第Ⅱ部：日本の空

まず第Ⅱ部前室では、宇宙空間の透明なスペースの中に青く壮大な地球の姿を見せ、観客が宇宙空間の中にいる実感を持たせる。次の小球体では、各国語のアナウンスで世界各国の気象状況が報告されて

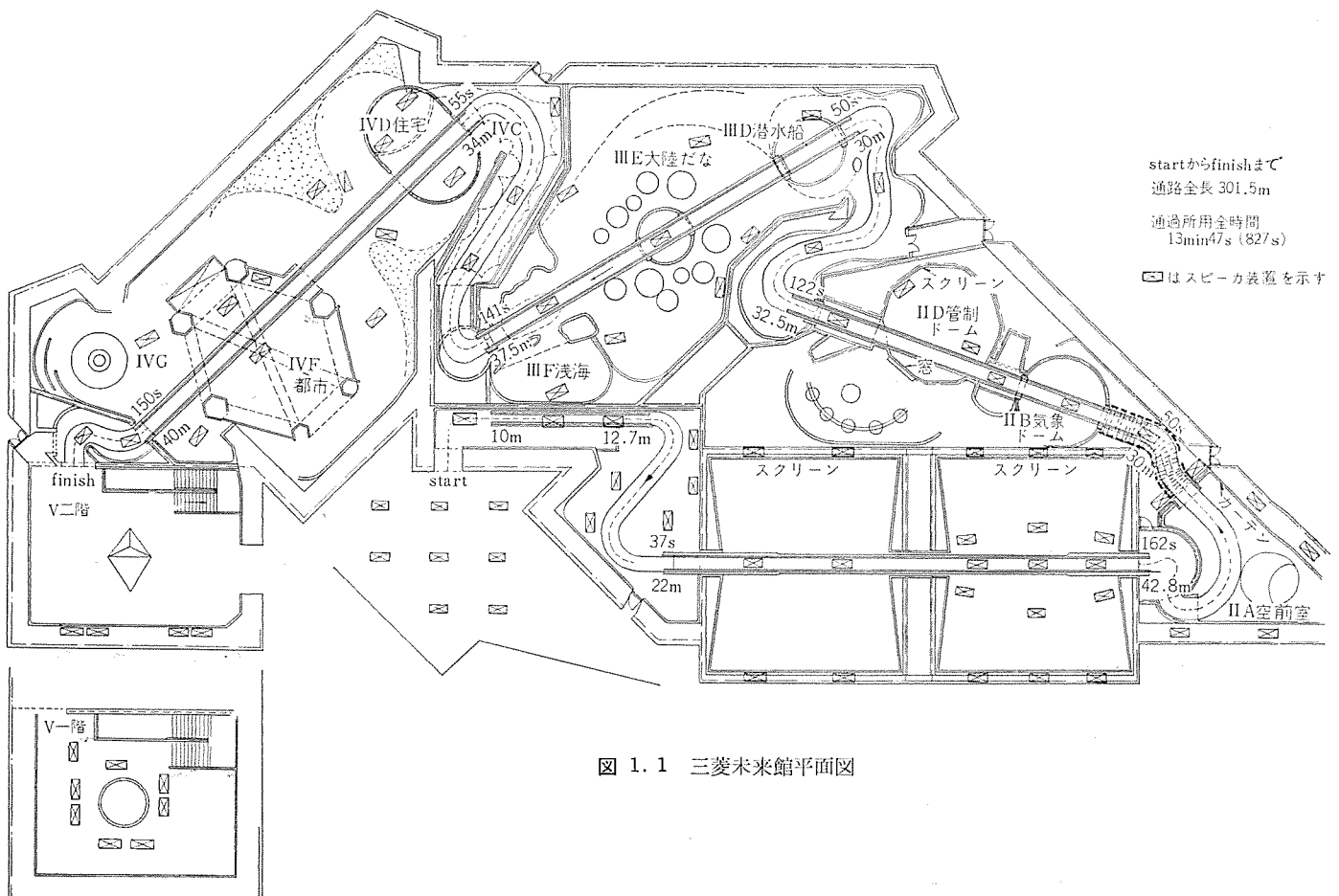


図 1.1 三菱未来館平面図



くる。さらに次の管制球では、ジェット機編隊による台風制圧シーンが展開される。ここで使用される音源は、無限の空間を感じさせるクールな電子音が基調になっており、その他の効果音的な音声、機械操作音などがある。

## (4) 第Ⅲ部：日本の海

ここでは海底開発基地や海底都市の未来図を示し、新しいユートピア的生活園としての海底を観客に訴える。音源は水中音と海を表現する作曲をBGMとして流し、種々の効果がその他のスピーカーから流される。

## (5) 第Ⅳ部：日本の陸

未来住宅の前庭・内部を通り、さらに進むと、富士山麓に開発されつつある新しい居住地や化学農場・集約農場などの光景が見える。さらに行くと未来の都市コアの一角へ入り、そこに自然と完全に調和した21世紀の日本の陸の姿を見る。ここでは、BGMとして陸の未来を表現する作曲音を流す。住宅の内部では、鳥の声や朝の表現などが効果音として用いられる。

## (6) 第Ⅴ部：あなたも参加する

第Ⅳ部までどちらかというと、与えられるままに展示物を見、音を聞いてきた観客に、休息と解放感を与えることを目的としている。舞台上で踊子とその壁面に大映しされるシルエトンや360°スクリーンが用いられている。

以上が三菱未来館のおもな内容、およびそれと音響との関係に関するものであるが、次に三菱未来館における音響再生上のいくつかの問題点を述べる。

### (a) シャ音の問題

館の構成、建物の構造から見てシャ(遮)音の問題がもっとも大きい。各部は通路やトラベータによって空間的に連続しており、部分的には100dB(第Ⅰ部)程度の音圧が要求されるので、他の部分への音のもれが心配される。具体的には第Ⅰ部A室・B室の相互の音のもれ、第Ⅰ部から第Ⅰ部の前室と第Ⅱ部前室への通路を通しての音のもれ、第Ⅰ部からシャ音壁を通して直接第Ⅱ部へ達する場合などがある。

### (b) 音源の相互の干渉

三菱未来館ではトラベータに沿って各種の模型を配し、スクリーンを用いて画像を映し、それに合わせてナレーションや効果音・音楽等を流しているところが多いが、互いに十分な距離をとることができないので、それぞれの音が干渉し互いの効果を減殺する可能性がある。この問題は高性能の指向性スピーカーを用いたり、スピーカーの配置を考慮することによって解決することとした。

### (c) 通過時間の問題

三菱未来館の特長の一つはトラベータの使用にあるが、観客が各展示物を通過する時間は、トラベータの速度によって決まってしまう。ナレーションの内容を十分理解してもらうためには、それが長すぎてももちろんまずいし、また短すぎても同じ部分を2度聞かせることに

なってしまう。この点についてナレーションの長さとともに、その内容について考慮して不自然さのないようにした。

### (d) 建築構造上の問題

三菱未来館は、いわゆる永久館ではなく終了後はとりこわされるため、構造的な音響処理の困難さがある。たとえば外部騒音に対してどの程度まで許容されるか、音響再生レベルとの関連から検討する必要がある。

以上三菱未来館の概要と、音響再生上の問題点について述べたが、次にそれらの問題をどのように処理してきたかについて説明する。

## 2. 音響設計

### 2.1 音響再生レベル

音響再生において再生レベルは最も重要な要因の一つである。三菱未来館では図2.1に示すような音響レベルを想定した。

シャ音壁1により①・②のレベルは③・④のように下がる。⑤は冷房ダクトからの音、トラベータの運転音、人の声等である。⑥・⑦は同じようにシャ音壁2によって⑧・⑨となる。

外壁の構造は、鉄パイプの構造体の表面に厚さ20mmのユニオンボードを1枚はりつけたもので、部分的に6mmのガラスを使用している。シャ音を目的とした場合、ユニオンボード相互の継ぎ目でのすき間がそのまま音のもれにつながるの、すき間のないようにはりつけることに留意した。ユニオンボード1枚の透過損失TLは約20dBで、建物内外の騒音レベルは図2.1に示すようになる。6mm厚さのガラス板のTLは29dB(400Hz)である。

Ⅱ部のトラベータの上では、⑧・⑨の音はシャ音壁2から十分離れているのとシャ音物によって約10dB低下するため、シャ音壁自体のTLと合わせてほとんど問題にならなかった。シャ音壁2は30mm厚さのユニオンボードと、5mm厚さのフレキシブルボードの二重壁となっており、TL125Hzは20dB、TL250Hzは30dBである。

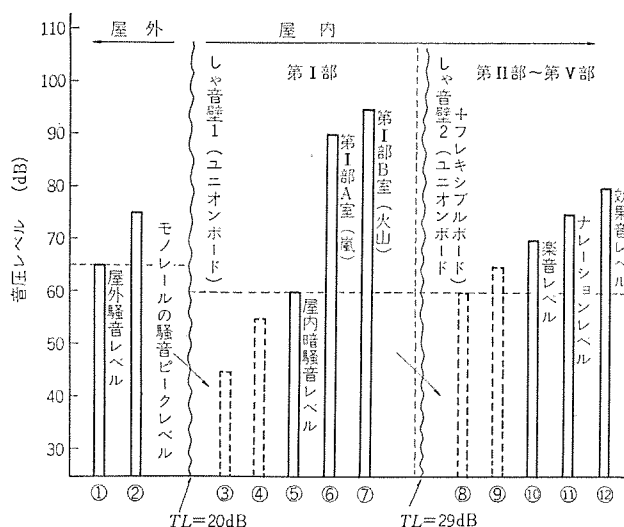


図 2.1 屋内外の音響レベル

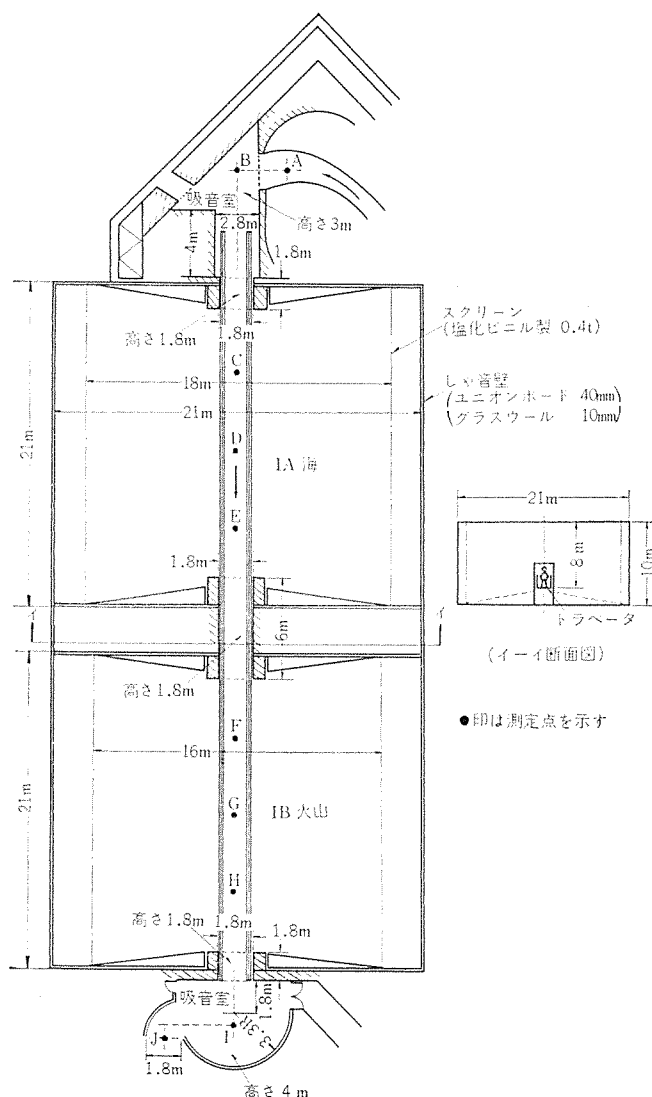


図 2.2 第 I 部概略図

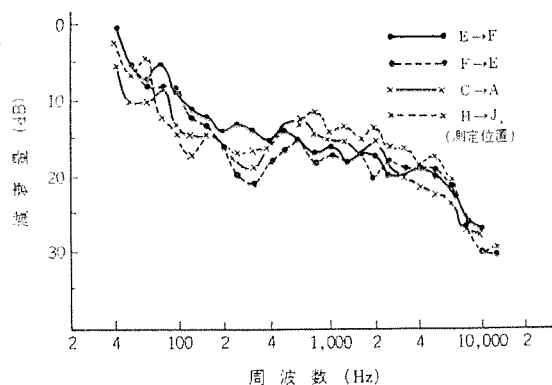


図 2.3 透過損失 (TL) 測定結果

## 2.2 第 I 部の音響処理

第 I 部の「海」および「火山」のへやでは、平均音圧 90~95 dB を目標とした。これに対して隣接した第 I 部前室の日本の四季および第 II 部前室の宇宙空間のところでは、きわめて静かな音楽を BGM として流さなければならない (70~75 dB)。そこで心理音響的によどの程度の透過損失があれば、各へやで十分な効果が得られるかについて検討したが、これらの問題について、明確な答を提供するような実験結果はあまり見受けられない。そこで当初、一応の目安として 20 dB の TL を目標とした。

図 2.2 は、第 I 部関係の概略図を示したもので、図からわかるように第 I 部では A 室・B 室の空間的にちょうど中ほどをトラペータで自動的に進むようになっている。このためしゃ音用のとびらを用いて音をしゃ断するというわけにもいかず、結局音の通過する面積をできるだけ小さくするということになる。しかしながらあまり狭くすると、トラペータからからだをのり出した場合など危険性がある。そこで第 I 部の入口・出口および A 室と B 室の仕切りはトンネル形とし、安全性を見込んで最小の面積とした。さらに出入口については、図 2.2 に示すような吸音室を設け、音のエネルギーを拡散し音圧上昇を防ぐよう考察した。

TL の測定結果を図 2.3 に示す。音源としてはホワイトノイズを用い、1/3 oct ごとに各場所における音圧を測定し TL を求めた。測定点は図 2.2 に示すとおりである。全帯域での TL は、約 15 dB ほどであり目標の 20 dB には達しなかった。しかしながら、実際に使用する音源を用いて聴覚的に判定した結果ではほとんど問題がない、というのが大方の意見であった。

## 2.3 指向性スピーカー

音源の相互干渉の問題については、三菱「未来館」の企画にはいった当初からとりあげてきた問題である。特に第 II 部~第 IV 部では展示内容が豊富で、場面が急激に変化するところが多い、それに対応していくつかの異なるナレーションが近接して流される場合があり、それらの干渉が心配された。そこで当然の結果として、指向性スピーカーの使用が考えられ、種々検討を行なってきた。たとえば、連続分布を持った指向性スピーカーの指向特性の計算や、それに近似した装置の試作等である(三菱電機技報 Vol. 44 No. 3 参照)。ところが指向性スピーカーについても、物理的な面での検討・改良は行なわれているが、部屋の影響まで含めたところまではあまりなされていない。そこで数種の指向性スピーカーを、屋内と屋外で比較試聴したところ、指向性の効果が屋内などの反射のあるへやでは大幅に減少することが確かめられた。このように指向性スピーカーそのものの性能向上は当然であるが、さらにそれが使用されるへやの吸音については十分注意することが必要である。三菱未来館でも、展示物の材質については十分検討し、指向性スピーカーの使用されるところでは、吸音には十分の注意をはらった。

図 2.4 は未来館で使用した指向性スピーカーであり、図 2.5 はそ

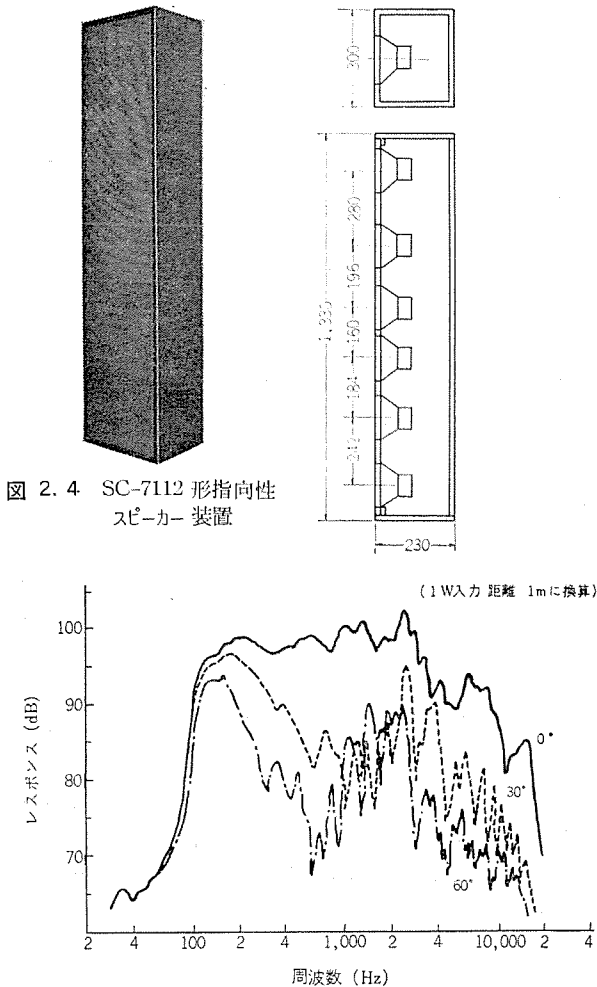


図 2.4 SC-7112 形指向性スピーカー装置

の周波数伝送特性である。図 2.6 は、第 I 部で実際に使用している状態での指向性スピーカーの効果調べるために行なった測定結果であり、図 2.7 はスピーカー装置と測定位置の関係を示す図である。通常の 2 way スピーカーシステムでは、測定位置によって音圧レベルにあまり差がない。しかし、指向性スピーカーでは低音域での効果は少ないが、中高音域では明らかにその効果が見られる。なお「未来館」で使用した指向性スピーカーは、300 Hz 以下をカットするフィルタを使用して、低音域での指向性の低下を無視できるようにした。

#### 2.4 スクリーンの影響

第 I 部では、スピーカー装置が映写用スクリーンの背面に位置するため、スクリーンによる高域の減衰が心配された。図 2.8 は、スクリーンの穴の径・ピッチ・厚さを示す。図 2.9 は、トラベータ上で測定した再生系の周波数特性である。高域の減衰が著しいが、これはスクリーンの開口率が小さいことや、へやの残響時間が低音域で大きいことなどによるものと思われる。このような高域減衰の傾向は、一般のホールでも見られることであり、音質的に高音不足ということとは特に

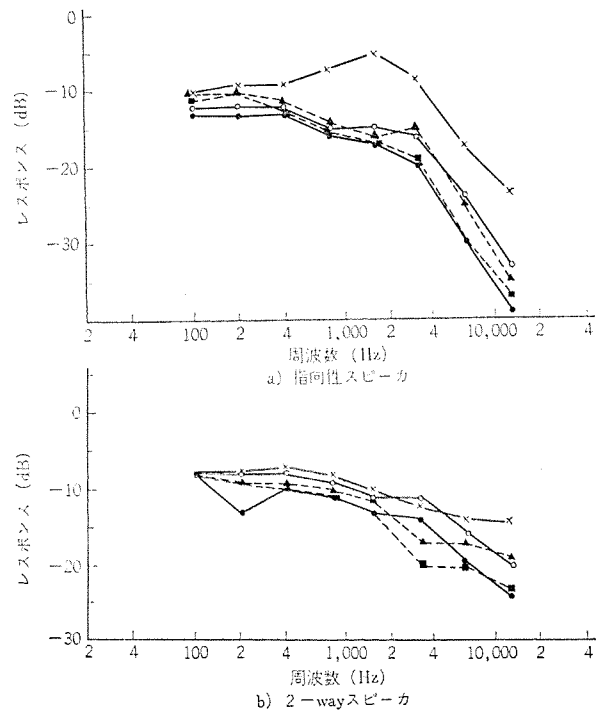


図 2.6 指向性スピーカー装置と 2-way スピーカー装置の周波数伝送特性の比較

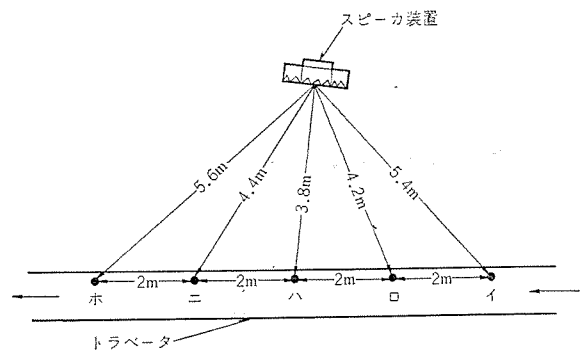


図 2.7 指向性スピーカー装置の効果調べるためのスピーカー装置および測定点の位置関係

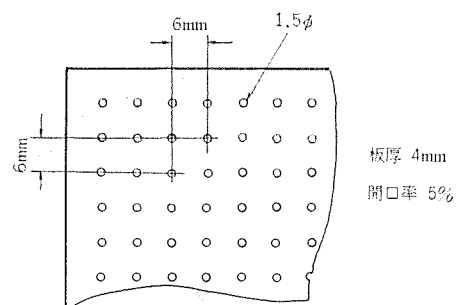


図 2.8 映写用スクリーン

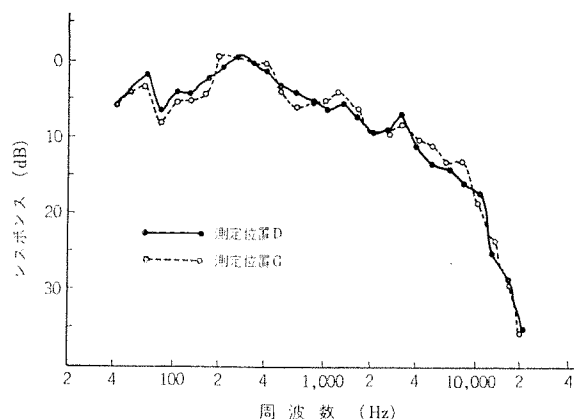


図 2.9 第Ⅰ部用音響装置の周波数伝送特性

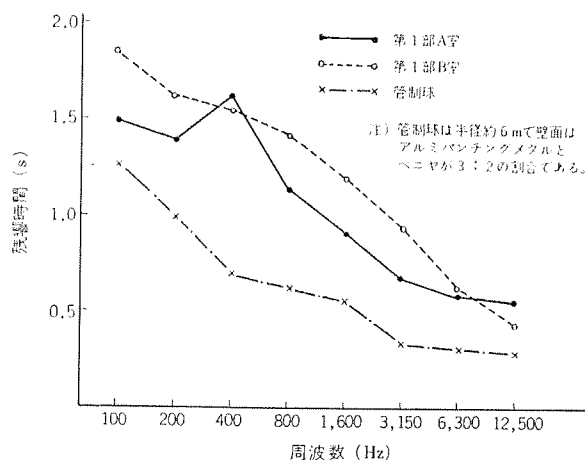


図 2.10 第Ⅰ部および第Ⅱ部管制球の残響特性

感じられなかった。

なお第Ⅰ部 A 室・B 室、および第Ⅱ部管制球の残響時間を測定したので、それを図 2.10 に示す。

### 3. 音 響 装 置

展示内容や建物の構造からも知られるように、三菱未来館は音源の種類・装置・チャネル数などがきわめて多い。またスピーカー装置も 90 余台におよび、それぞれ展示物に合わせて適当な場所に配置しなければならない。これらの系統を集中的に管理するために、スピーカー以外は音響室に集め、操作卓のモニター装置を用いて故障を容易に発見できるようにした。また操作卓前壁面にスピーカー配置板を設け、どのスピーカーが動作中であるかを明示した。ただし第Ⅰ部では増幅器を映写機の近くに配置するため映写室に置き、音響室とは別系統とした。

図 3.1 は操作卓およびスピーカー配置板、図 3.2 はテープデッキおよびアンプを示す。図 3.3 は第Ⅰ部用増幅器である。

図 3.4 および図 3.5 は、第Ⅰ部およびそれ以外の音響装置の系統図を示す。なお緊急放送時の場合には、通常の系統がすべて OFF

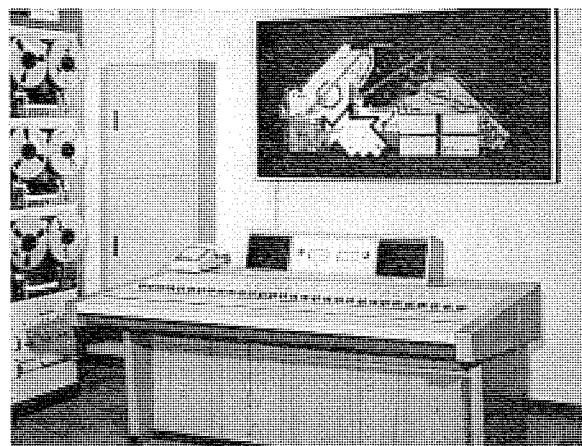


図 3.1 操作卓およびスピーカー配置板

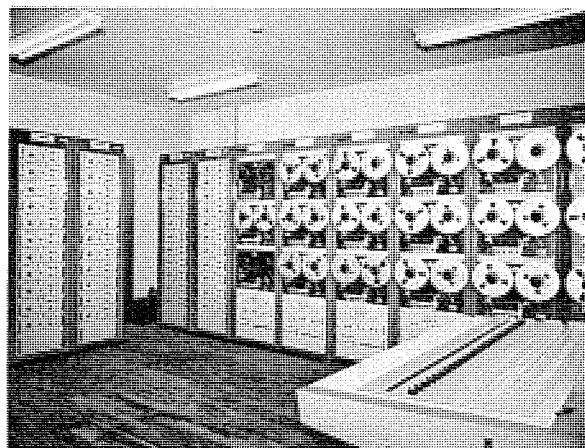


図 3.2 テープデッキおよび増幅器

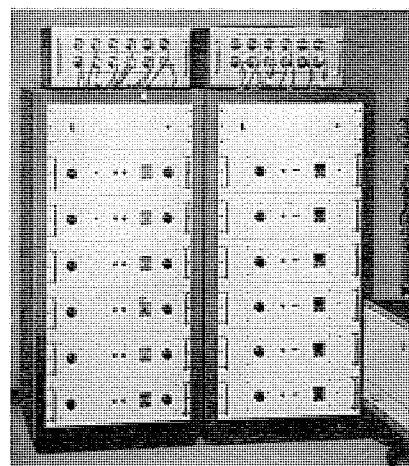


図 3.3 第Ⅰ部用増幅器

となるような切換装置が備えられている。

再生装置については特に音質を重視し、おもにモニター装置として使用されているアンプ、スピーカーを使用した。特に第Ⅰ部では、大形

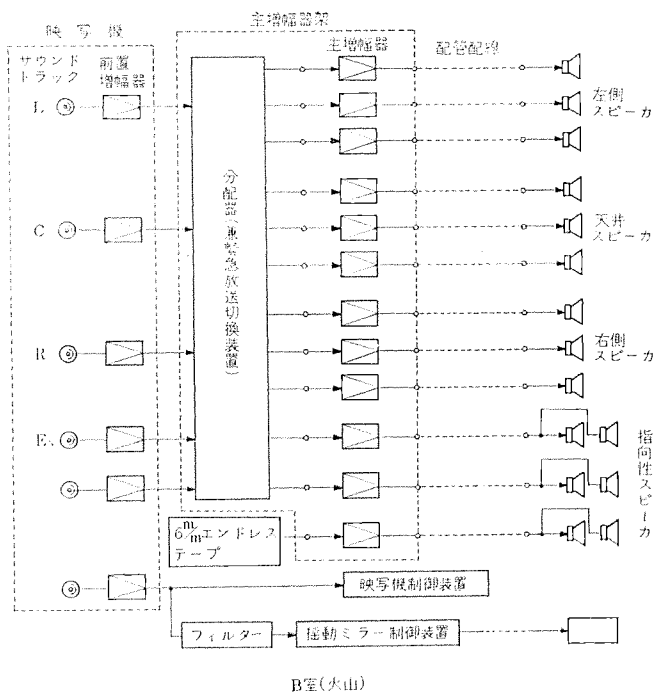
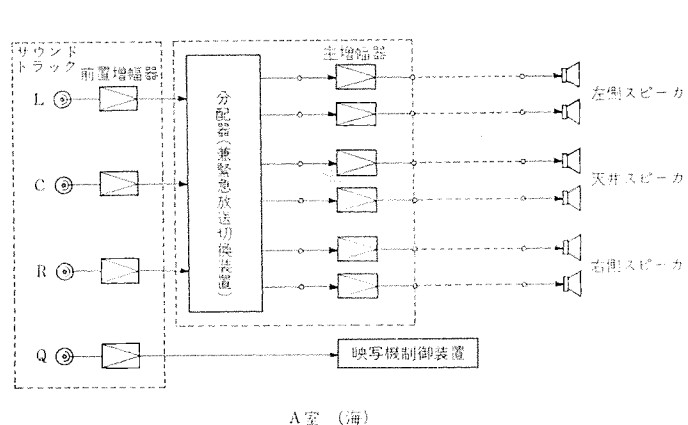


図 3.4 第I部用音響機器系統図

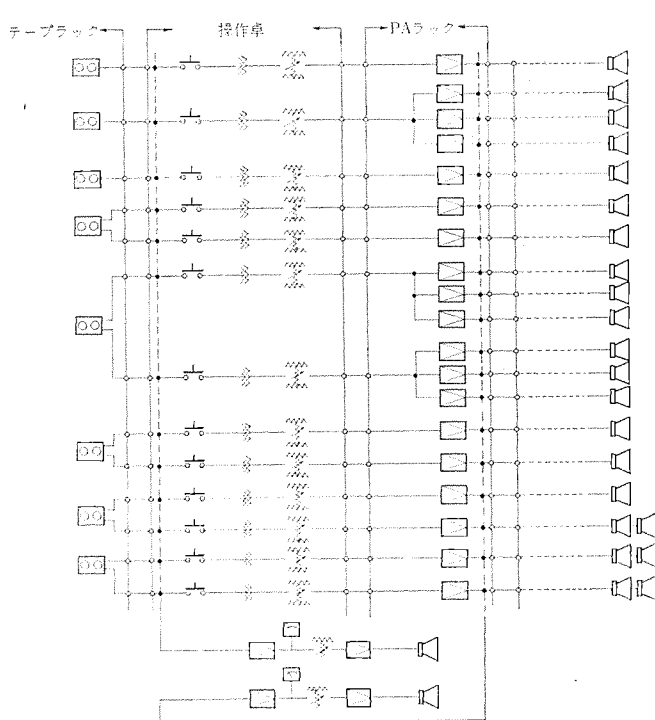
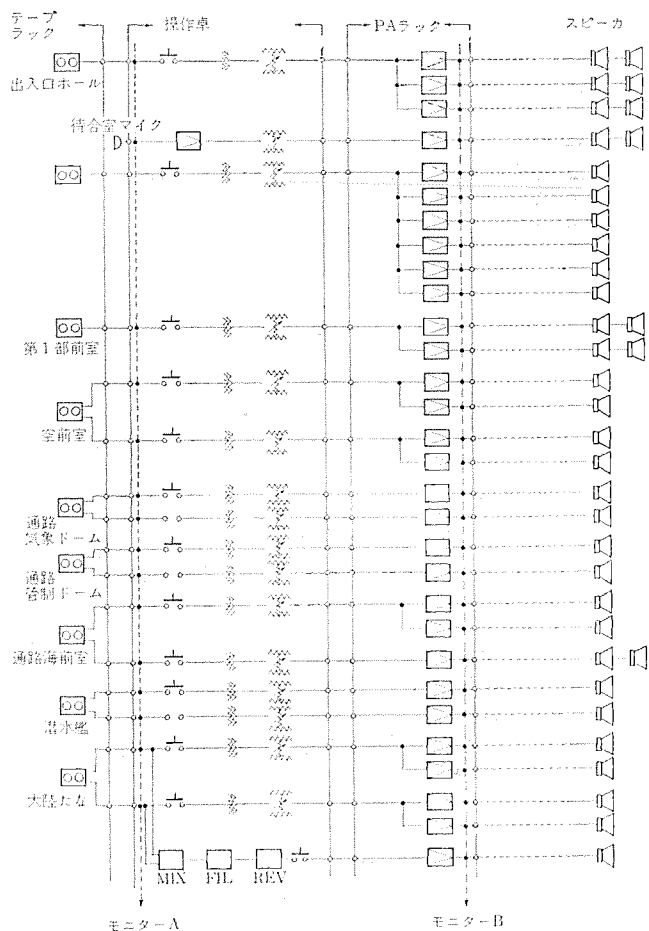


図 3.5 第I部以外の音響機器系統図



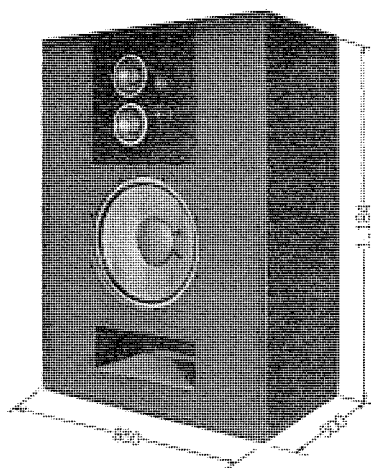


図 3.6 SC-8403 形 スピーカー装置 (サラウンドをはずした状態)

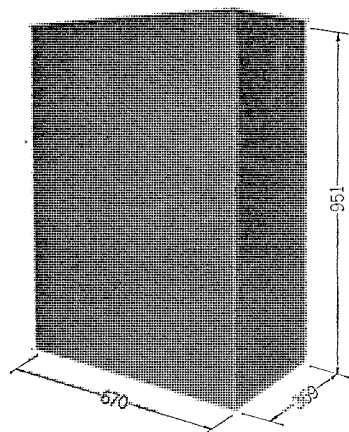


図 3.7 SC-8303 形 スピーカー装置

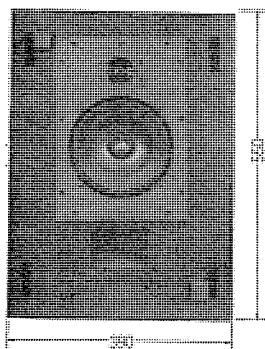


図 3.8 SC-8203 形 スピーカー装置 (サラウンドをはずした状態)

モニター装置 10 台, 中形モニター装置 5 台, その他補助用の指向性スピーカー 6 台を使用し, 目標の音圧レベルをひずみなく再生することができた。また音源は, 大半がテープデッキのオートリバース方式によるため, テープおよびヘッドの摩耗に注意し, 性能・音質上多少の劣化でも認められる場合にはただちに交換するようにした。

以上が音響装置の概要であるが, 以下におもな装置の定格を記す。

### 3.1 再生専用テープデッキ (18 台)

再生方式 4トラック, ステレオフォニック方式

	(オートリバース)
テープ幅	6 mm
テープリール	JIS 26 形
テープ速度	19 cm/s
ワウフラッター	0.15 % WRMS 以下
周波数特性	50~10,000 Hz $\pm$ 3 dB
出力	0 dBm
S/N	52 dB 以上
電源	AC 100 V 60 Hz

### 3.2 アンプ

第 I 部用アンプは MA-402X (10 台) および MA-301X (8 台)

伝送周波数特性	30~15,000 Hz $\pm$ 1 dB 以内
入力インピーダンス	600 $\Omega$ , 10 k $\Omega$
出力インピーダンス	8 $\Omega$ 負荷に適合
入力レベル	-22 dBm (ATT 付き)
出力レベル	46 dBm (MA-301X は 45 dBm)
電力増幅度	74 dB (MA-301X は 73 dB)

第 I 部以外で使用するアンプ (50 台)

伝送周波数特性	50~10,000 Hz $\pm$ 1 dB 以内
入力インピーダンス	テープデッキに適合
出力インピーダンス	150, 300, 600 $\Omega$ の負荷に適合
入力レベル	テープデッキに適合
出力レベル	45 dBm (30 W)

### 3.3 スピーカー装置

SC-8403 (10 台)……図 3.6

方式	3 way パスレフ方式 (40 cm $\times$ 1, 12 cm $\times$ 2, 5 cm $\times$ 2)
クロスオーバー周波数	300 Hz, 3,000 Hz
再生周波数帯域	30~20,000 Hz
インピーダンス	8 $\Omega$ , 300 $\Omega$
出力音圧レベル	104 dB/VA, 50 cm
許容入力	40 W
寸法	h 1,184 $\times$ w 850 $\times$ d 500
重量	120 kg

SC-8303 (17 台)……図 3.7

方式	2 way パスレフ方式 (30 cm $\times$ 1, 5 cm $\times$ 1)
クロスオーバー周波数	1,500 Hz
再生周波数帯域	30~20,000 Hz
インピーダンス	8 $\Omega$ , 300 $\Omega$
出力音圧レベル	102 dB/VA, 50 cm
許容入力	30 W
寸法	h 951 $\times$ w 670 $\times$ d 369
重量	45 kg

SC-8203 (20 台)……図 3.8

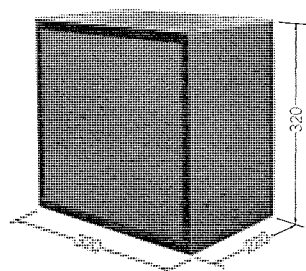


図 3.9 SC-7113 形 スピーカー装置

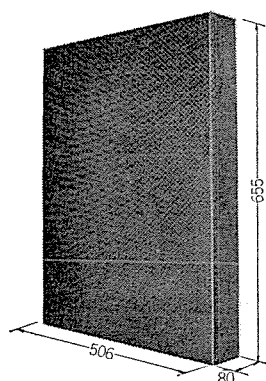


図 3.10 SC-5103 形 スピーカー装置

クロスオーバー 周波数	2,500 Hz
再生周波数帯域	80~15,000 Hz
インピーダンス	600 $\Omega$
出力音圧 レベル	97 dB/VA (50 cm)
許容入力	3 W
寸 法	h 320×w 320×d 220
重 量	5 kg

SC-5103 (12 台)……図 3.10

方 式	2 way 密閉方式 (16 cm×1, 5 cm×1)
クロスオーバー 周波数	2,000 Hz
再生周波数帯域	40~20,000 Hz
インピーダンス	600 $\Omega$
出力音圧 レベル	97 dB/VA (50 cm)
許容入力	20 W
寸 法	h 655×w 506×d 79
重 量	10 kg

## 4. む す び

以上が三菱未来館の音響設計および装置の概要である。音響設計に関してはモデルを造って検討し、その結果にもとづいて音響設計を行なうのが従来の進め方ではあるが、時間的な制約もありそれができなかった。結局今までの経験にもとづいて目標を設定し、建築構造的に許される範囲で音響処理を行なうという方針をとった。結果的には音響に関しては、ほとんど問題がなかったということは幸いである。むしろ全パビリオン中最優秀のランクにあるとの専門家の評価であった。

音響機器は、おもにモニター装置として使用されているアンプ・スピーカー等を使用したもので、音質の点では心配がなかった。ただ使用条件が相当きびしいので期間中4回の検査を行ない、テープデッキのヘッド交換を行なった。また故障の際には即座に交換できるよう予備品を用意した。しかしながら開期直前に操作の手違いからアンプ1台が故障した以外は全然なく、装置の堅固性が十分確かめられた。

三菱未来館は大好評のうちに幕を閉じることができたが、もし音響効果がその一端をになっているとすれば、それは伊福部氏の作曲、東宝によるテープソースの作成、タムラ製作所による機器の提供、およびその他のかたがたのご協力の賜物であり深く感謝する次第である。

方 式	2 way バスレフ 方式 (20 cm×1, 5 cm×1)
クロスオーバー 周波数	2,000 Hz
再生周波数帯域	40~20,000 Hz
インピーダンス	300 $\Omega$
出力音圧 レベル	101 dB/VA
許容入力	25 W
寸 法	h 550×w 390×d 282
重 量	15 kg

SC-7112 (12 台)……図 2.4

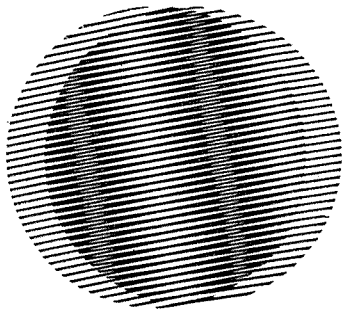
方 式	指向性 スピーカー 装置 (16 cm×6)
再生周波数帯域	300~10,000 Hz
出力音圧 レベル	103 dB/VA (50 cm)
許容入力	40 W
寸 法	h 1,330×w 300×d 230
重 量	25 kg

SC-7113 (7 台)……図 3.9

方 式	2 way 密閉方式 (16 cm×1, 5 cm×1)
-----	------------------------------

最近登録された当社の実用新案

名 称	登 録 日	登 録 番 号	考 案 者	関 係 場 所
水冷却器	44- 5-28	873077	山越明秀・水野久隆	本 社 冷 計
電気冷蔵庫	44- 5-28	873079	加藤栄一	静岡製作所
空気調和機吹出口の風向き調節装置	44- 5-28	873080	牛田善和・池田日登志	静岡製作所
冷暖房装置	44- 5-28	873082	牛越 諒・高橋賢司	中津川製作所
換気扇用取り付け板	44- 5-28	873092	田口幹雄	中津川製作所
吸排気形換気扇	44- 5-28	873093	村山悦郎	商品研究所
換気扇	44- 5-28	873094	市岡 洋・入沢淳三	中津川製作所
電磁式流量計	44- 5-28	873068	高野博夫・前川善六	中央研究所
液体冷却機	44- 5-28	873075	三津沢武夫	和歌山製作所
携帯用電気ドリル	44- 5-28	873078	佐々静男・弘瀬 潔	福岡製作所
携帯用電気ドリル	44- 5-28	873081	穴山光夫・佐々静男	福岡製作所
スイッチ	44- 5-28	873083	平岡浩司・杉浦 博	名古屋製作所
動力伝達切換装置	44- 5-28	873084	山崎明彦	通信機製作所
積算量記録装置	44- 5-28	873085	益田鑑吾	福山製作所
開閉装置	44- 5-28	873086	貴志之保	神戸製作所
印字形記録装置	44- 5-28	873087	林 正之	福山製作所
ジグザグミシンの操作装置	44- 5-28	873088	本田英三	和歌山製作所
吸収式冷暖房装置の分離器	44- 5-28	873097	山崎起助・湯山 莖	商品研究所
音響機器の音質表示装置	44- 5-28	873098	五十嵐 進	郡山製作所
赤外線電気ストーブ	44- 5-28	873099	田村弘治郎・内田武士 長沢重雄・藤田 勲	郡山製作所
吸収式冷暖房機の分離器	44- 5-28	873100	笠置 紘・山崎起助	商品研究所
吸収式冷暖房機の溶液固化防止装置	44- 5-28	873102	山崎起助・湯山 莖	商品研究所
吸収式冷暖房機の溶液固化防止装置	44- 5-28	873103	笠置 紘・山崎起助	商品研究所
赤外線電気ストーブ	44- 5-28	873106	長谷川 清・藤田 勲	郡山製作所
吸収式冷房装置	44- 5-28	873108	笠置 紘・山崎起助	商品研究所
パルス 発信装置	44- 5-28	873089	佐藤安俊・山根満徳	福山製作所
パルス 発生装置	44- 5-28	873090	武田克己・佐藤安俊	福山製作所
パルス 発生装置	44- 5-28	873091	武田克己・佐藤安俊	福山製作所
巻取式空気清浄装置	44- 5-28	873095	岩崎善彦・山地 昇	和歌山製作所
電磁開閉器	44- 5-28	873096	茂手木良夫・中島治男	名古屋製作所
器具取付用締結装置	44- 5-28	873101	清水文隆	長崎製作所
制御装置	44- 5-28	873104	池辺義一	長崎製作所
多限時継電器回路	44- 5-28	873105	大原洋三	神戸製作所
リードスイッチの端子装置	44- 5-28	873107	大西正義	姫路製作所
温度補償回路付 タイマー 回路	44- 5-28	873111	武田克己・三好明好	福山製作所
導管付救助膜	44- 5-28	873109	宇川 彰	相模製作所
衣類乾燥機	44- 5-28	873110	馬淵公作・鶴谷嘉正	群馬製作所
衣類乾燥器	44- 5-28	873115	馬淵公作・鶴谷嘉正	群馬製作所
スライド 自動映写機用 フィルム 付無端磁気 テープカートリッジ	44- 5-28	873116	成木利正	商品研究所
扉 スイッチ の操作装置	44- 5-28	873120	高沢正二・関根文男	商品研究所
電気温水器の フロートスイッチ 取り付け装置	44- 5-28	873121	赤羽根正夫・根岸宣匡	群馬製作所
ミサイル等のドップラ 信号追尾用受信系における 位相同期 AM 復調器	44- 5-28	873123	河村 孝	鎌倉製作所
半導体集積回路 パッケージ 装置	44- 5-28	873112	白井裕三	北伊丹製作所
電磁継電装置	44- 5-28	873113	藤井重夫	神戸製作所
電磁継電装置	44- 5-28	873114	藤井重夫	神戸製作所
自動点滅器	44- 5-28	873117	神本明輝	福山製作所
自動点滅器	44- 5-28	873118	神本明輝	福山製作所
転換 リレー	44- 5-28	873119	有 福 裕	伊丹製作所
自動点滅器	44- 5-28	873122	武田克己・神本明輝	福山製作所
プレス 加工装置	44- 5-28	873142	秋山光種	京都製作所
電気ストーブを利用する中華火鍋	44- 6- 2	873513	陳 燦 暉 (権利譲受)	群馬製作所
直流電力制御装置	44- 6- 2	873535	赤松昌彦	中央研究所
液面検出装置	44- 6- 3	873985	伊藤俊幸	伊丹製作所



## 新製品紹介

### ロール加工用放電加工機の発売

DM-252 形放電加工機は、ロール材の外周の一部に放電加工を行なうなどの用途に最適な加工機である。

特に、鉄筋コンクリート用異形棒鋼を圧延成形するロールのキャリパーに節付け加工する作業や、刻印加工などには偉力を発揮する。

この種の加工は、従来、特殊専用機による機械加工によって行なわれていたが、ロール材の硬度を高くする必要が生じたこと、細くて細かい節付け加工の要求が高まったことなどのため、機械加工では困難な場合が多くなっており、DM-252 形は、まさにこれらの難問解決のために誕生した放電加工機であると言える。

放電加工機は、材料硬度に関係なく加工でき、複雑異形の加工が熟練を要さず容易であること、加工中は人手が不要であることなどの特長をもっているため、型加工の分野では、なくてはならない機械として広範に使用されている。

またトランジスタ電源の出現により、電源性能が向上し、電極低消耗が可能となるとともに、加工速度も数倍に増大した。

そのため、従来は電極消耗が多いために、困難視されていた同一電極による繰返し加工が可能になり、用途もさらに広がっている。

DM-252 形放電加工機は、このトランジスタ電源により、高性能の加工を行なうと同時に、加工の自動化・無人化をも可能にした。

#### ■ 特 長

(1) 電極低消耗加工が可能で、加工能率が高い

すでに定評のある三菱トランジスタ電源との組み合わせにより、電極低消耗加工が可能であり、加工能率が従来に比べ格段に向上し、電極の修正などが不要である。

(2) 加工の自動化・無人化が可能

同一加工形状の繰返しの場合には、加工開始から全周完了まで、つぎのような独自の方法を採用しているため、自動化無人化が可能である。

(a) 加工条件の自動切換

(b) 割出しの自動化

(c) 電極の自動交換

(d) 自動停止

(3) 被加工物ロールの搬入・搬出が容易

ヘッドコラム部分を電動で 1,700 mm 横へ移動できる構造となっており、ロールの搬入・搬出の際、ヘッドコラム部分が作業の支障にならないようにできている。

(4) 容易で安価な電極製作技術

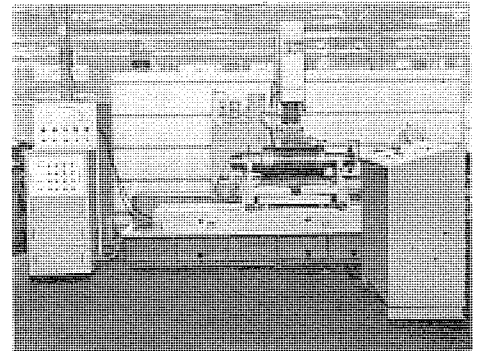
異形形状の節加工・刻印加工などには、容易でかつ安価な電極製作技術をも同時に開発した。

#### ■ おもな仕様

(1) 被加工物寸法

ロール 胴径	200~450 mmφ
ロール 胴長	500~1,000 mm
ロール 全長	1,000~2,000 mm
ロール 軸径	100~200 mmφ
ロール 重量	2,000 kg

(2) ヘッドコラム 左右移動距離 (電動) 1,700 mm



DM-252 形 放電加工機

(3) 割出し台 センタ 高さ (受台 スライド 面より)	450 mm	
(4) ロール 軸の受部上下移動距離	50 mm	
(5) 電源本体	1 台	
(6) 機械操作盤	1 台	
(7) プログラムコントロール 装置	1 台	[名古屋製作所]

## MC 10 V 形 小形電解加工機

MC 10 V 形 小形電解加工機が開発され、大阪で開かれた。工作機械国際見本市に展示出品された。

電解加工は、従来の食塩水にかえて、積分効果の小さい硝酸ソーダ系水溶液を用い、高圧空気混入方式 (当社特許) により加工することにより、高精度の加工を安定に行なえるようになった。しかも、従来非常に厄介であった電極設計が、この方式では簡易になり、一定寸法だけ製品寸法より小さな電極で十分実用できるようになった。したがって、電極形状修正に要した数回の試加工は一切不要となり、電解加工で一番困難視されていた電極製作の繁雑さが解消された。

この結果、抜型荒加工・アルミリッシン 押出型裏孔加工・小形部品鍛造型加工などの分野に、小形の電解加工機の大きな需要が生まれてきたのにこたえて、MC 10 V 形 電解加工機が開発された。

この MC 10 V 形 小形電解加工機においては、硝酸ソーダ系水溶液を使用し、高圧気体混入方式を採用しているほか、機械構造としては、四本柱構造とし、ワークテーブル 駆動方式となっている。このような機械構造により、高精度型ほり電解加工を安定に加工するに必要な、送り軸の十分な剛性を得ており、また、据付面積を最小限に押え、工場内設置を容易にする配慮も払われている。

このほか、電極と被加工物の間げき (隙) が、平衡間げき近傍に接近して初めて極間に加工電流を供給する、「リカバリ 装置」を内蔵しており、これは短絡その他不測の事態により機械を停止させたあとの再加工時にも、高精度をそこなうことなく、しかも容易な操作で加工を続行できる。

### ■ 仕 様

#### (1) 機械部

加工送り ストローク	200 mm (特殊油圧制御)
加工送り速度	0.3~3 mm/min
加工そう (槽) 内側寸法	800×900×500 (高さ) mm
被加工物取付面	600×400 mm
電極、被加工物取付面間距離	500 mm

#### (2) 電源 (CE 10 A 形 付属の場合)

入力電圧	220/200 V	60/50 Hz
出力 電 圧	12 V	
電 流 最 大	1,000 A	

### ■ 加工性能 (CE 10 A 形 付属)

最大加工面積	50 cm <sup>2</sup>
加工速度	11 g/min (1,000 A, 鉄加工の場合)
仕上面あらさ	5~10 μR <sub>max</sub> (材料によっては鏡面となる場合もある)

[名古屋製作所]

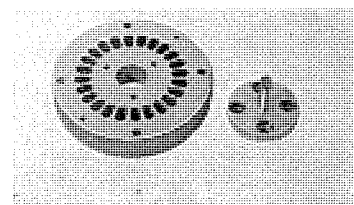


図 1 加工例

モータコア 抜型 バッキングプレート の加工  
(加工時間 1 スロットあたり 20 分)

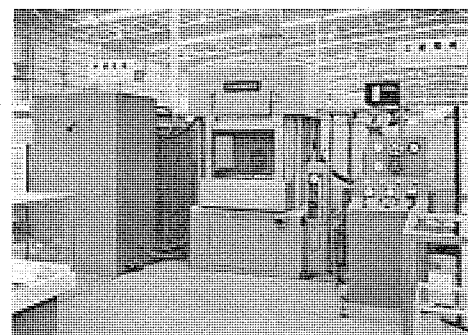
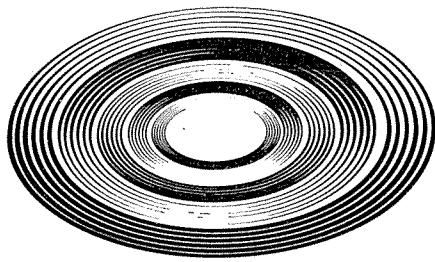


図 2 MC 10 V 形 電解加工機全景



# NEWS FLASH

## 帝都高速度交通営団千代田線向け回生ブレーキ付チョップ装置量産化に成功

当社は世界で初めてといわれる、回生ブレーキ付きチョップ装置を世界に先がけて量産し、多数納入した。この第1号編成の試運転も成功のうちに終了し、後続の電車とともに営業運転が待たれている。

チョップ制御装置は、昭和40年に当社が車両用チョップ装置の工場試験を行ない、実用性のあることが確認されてから足かけ5年、客先との技術的タイアップのもとに、2回の試作車の段階を経て46年3月、千代田線の部分開通時に大量130両のチョップ車が営業線に投入されるまでに至ったものである。

この電車の主要諸元はつぎのとおりである。

電気方式	DC 1,500 V 架空線式
編 成	CT <sub>1</sub> T <sub>2</sub> M <sub>1</sub> M <sub>2</sub> T <sub>C1</sub> T <sub>C2</sub> M <sub>1</sub> M <sub>2</sub> M <sub>1</sub> CM <sub>2</sub>
加速度	3.3 km/h/s
減速度	3.7 km/h/s
最大運転速度	100 km/h
主電動機	145 kW × 8 台
チョップ装置	
定格電圧	DC 1,500 V
定格電流	1,600 A (最大加速電流)
相 数	2 相および 3 相
制御周波数	330 Hz × 2 相および 220 Hz × 3 相
制御方式	定周波平均値制御方式、AVR および ACR 付き
制御装置	IC 演算増幅器式
ブレーキ装置	電気指令式 MBF ブレーキによる回生ブレーキとの併用方式
ATC 装置	高信頼度の IC 化 3 重系 ATC 装置

このチョップ制御電車量産化の成功が、今後の地下鉄新線の主力となることは必至であり、広く国内・国外の近効高速電車が同調するものと考えられる。

[伊丹製作所]



図 2 帝都高速度交通営団千代田線  
チョップ制御電車

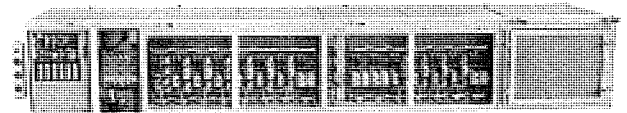


図 1 チョップ装置外観

## インド国鉄向け多重通信装置の製作進む

インド国鉄 (Ministry of Railways, Government of India) に納入する、マイクロ波多重通信装置の製作が、現在当社通信機製作所・鎌倉製作所 (アンテナのみ担当) で今年5月末ごろの船積みをめざして急ピッチに進められている。

このプロジェクトは、国鉄の連絡業務などに供される 7 GHz 帯 120 CH 容量の電話回線で、昨年3月の国際入札の結果、激しい競争に打勝ってこのほど正式契約調印の運びとなった。

今回当社が納入する装置は、インドの中央部を走るデカン高原に沿った Central Railway ほか二つの Railway 管内に設置され、回線の総延長は約 1,300 km、東京—鹿児島間の主要都市を直線で結んだ距離に相当する。無線機台数 119 台、アンテナ (3.3 mφ) 68 台、導波管・反射板等を含めて受注金額は約 2.5 億円である。

これを機に当社多重通信機部門が海外に躍進し、世界のマイクロウェーブ網建設に寄与することが各方面から期待されている。

[通信機製作所]

# 本社・営業所・研究所・製作所・工場所在地

本 社 東京都千代田区丸の内2丁目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) 561局5311番
静岡出張所	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	福岡市天神2丁目12番1号(天神ビル)(電)810	(電) 福岡 (092) 75局6231番
長崎出張所	長崎市丸尾町7番8号(長崎底曳会館)(電)852	(電) 長崎 (0958) 23局6101番
札幌営業所	札幌市北2条西4丁目1番地(北海道ビル)(電)060-91	(電) 札幌 (011) 261局9111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) 47局5111番
岡山出張所	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12番地(北陸ビル)(電)950	(電) 新潟 (0252) 45局2151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	与野市上落合後原842番地(大名古屋ビル)(電)338	(電) 与野 (0488) 33局3181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) 561局5311番
福岡商品営業所	福岡市天神2丁目12番1号(天神ビル)(電)810	(電) 福岡 (092) 75局6231番
札幌商品営業所	札幌市北2条西4丁目1番地(北海道ビル)(電)060-91	(電) 札幌 (011) 261局9111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23号(日本生命ビル)(電)730	(電) 広島 (0822) 47局5111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
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	浜松市上西町42の5(電)430	(電) 浜松 (0534) 63局6121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) 46局6111番
神戸製作所	神戸市兵庫区和田崎町3丁目10番地の1(電)652	(電) 神戸 (078) 67局5041番
伊丹製作所	尼崎市南清水字中野80番地(電)661	(電) 大阪 (06) 491局8021番
三田工場	三田市三輪町父々部85番地(電)669-13	(電) 三田 (07956)局 4371番
長崎製作所	長崎市丸尾町6番14号(電)850-91	(電) 長崎 (0958) 23局6211番
稲沢製作所	稲沢市菱町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) 23局7231番
鎌倉製作所	鎌倉市上町屋325番地(電)247	(電) 鎌倉 (0467) 46局1111番
通信機製作所	尼崎市南清水字中野80番地(電)661	(電) 大阪 (06) 491局8021番
北伊丹製作所	伊丹市瑞原4丁目1番地(電)664	(電) 伊丹 (0727) 82局5131番
熊本第一工場	熊本市竜田町弓削720番地(電)862	(電) 熊本 (0963) 62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 (0963) 54局0951番
名古屋製作所	名古屋市中区矢田町18丁目1番地(電)461	(電) 名古屋 (052) 721局2111番
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	福岡市今宿青木690番地(電)819-01	(電) 福岡今宿(09295) 6局04 31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) 46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) 27局1101番
ラジオ工場	尼崎市南清水字中野80番地(電)661	(電) 大阪 (06) 491局8021番
札幌営業所	札幌市北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. 45 No. 3

### 原子力発電特集

#### 《特別寄稿》

- 「原子力発電特集号」によせて

#### 《特集論文》

- 美浜発電所の計画と概要
- 関西電力美浜発電所の電気設備
- 関西電力美浜発電所の原子炉の計装と制御
- 発電用加圧水形原子炉
- 原子力タービン
- 原子力用タービン発電機
- 加圧水形原子炉の核計装設備
- 原子力プラントにおける放射線監視装置
- 原子力発電所における計算機応用

#### 《普通論文》

- 論理図を人力データとする自動設計システム (LDOS)
- 粉体塗装による絶縁
- 超音波探傷器 FD-180 形
- 三菱 E 形コントロールセンタの特長と今後の市場要件
- 電極汚損による酸化物陰極のエミッション減少

### 三 菱 電 機 技 報 編 集 委 員 会

委員長	正 木 茂 雄	常任委員	湊 武 雄
副委員長	神 崎 邇	"	武 藤 正
常任委員	石 川 理 一	"	依 田 功
"	上 田 重 夫	委 員	北 垣 成 一
"	宇 佐 見 重 夫	"	田 附 和 夫
"	北 川 和 人	"	南 日 達 郎
"	古 賀 亨	"	秦 卓 也
"	小 堀 富 次 雄	"	林 昇 寿
"	鈴 木 正 材	"	松 元 雄 蔵
"	牧 野 六 彦	"	和 田 義 勝

(以上 50 音順)

昭和 46 年 2 月 22 日印刷 昭和 46 年 2 月 25 日発行「禁無断転載」定価 1 部金 100 円(送料別)

#### 編集兼発行人

東京都千代田区丸の内 2 丁目 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

大日本印刷株式会社

(郵便番号 162)

#### 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) (03) 218 局 2323 番

#### 発売元

東京都千代田区神田錦町 3 の 1 (郵便番号 151)

株式会社 オーム社書店

(電) (03) 291 局 0912 番 振替東京 20018