

IMITSUBISHI DENKI GIHO

三菱電機技報

Vol.46 February 1972

2

銀座インペリアルビル 納め 展望用エレベータ



三菱電機技報



普通号

目次

《普通論文》

数値制御用プログラミング言語 MELCOM-7000 APT W	井上高志・水野忠則・小浦泰三・小野修一	167
MELCOM-7000 はん用グラフィックライブラリ (GDL) の設計	浅野勝弘・飯川昭一・藤間孝雄・片岡信弘	178
C232形 カラー キャラクタ ディスプレイ装置	大川清人・渡辺 治・田 隆吉・小田勇介	190
MELCOM-350-5F 制御用電子計算機	仁田周一・長沢一嘉・中根 勇・斎藤善次・渡部重彦	196
溶銑・溶鋼流量計	小林健三・浜崎芳治・淡野光章	200
関西電力(株)読書発電所納め自動応水運転装置	寒松良次	205
シーケンスコントローラ MELCAP	中山彪生・松本直巳・吉田日出夫・大塚昭子・相良辰雄	209
立体骨組構造のホモロガス解析	塚口憲三・滝沢幸彦・南 友策	219
排煙脱硫送風機	宮内 貞夫	225
オーストラリア NSW 納め電車用電機品	久山研一・竹内元彦・大田幹雄	229
日本国有鉄道納め日本海縦貫線用 ED 75700 形交流機関車	佐々木和男・児玉俊英・笠原 清・森原健司・忍 正寿	236
電力用ポリプロピレンフィルムコンデンサ	神谷友清・鶴田敬二・八木谷孝之・走出忠昭・小角国夫	246
制御用電磁継電器の信頼性と適用	丸地謙二・長尾良章・松本文雄	256
最近の熱間圧延機電機品	久保田伸夫・川崎宗男	263
回転磁界形無限可変移相器	中原昭次郎・紅林秀都司・溝潤哲史	269

《ニュースフラッシュ》

277

新形高圧真空電磁接触器発売・6.6kV 6NCH形 高圧交流電磁接触器完成・移動距離監視方式による自動仕分け制御装置
(特許申請中) 試作完了・メキシコ向け 6×51,600kVA 開放形タービン発電機第1,2号機完成・シンガポール DBSビル
向け超高速エレベータ 450m/min 受注・阪神電鉄(株)梅田駅向け三菱トラベータの完成

《特許と新案》

275

やぐら形電気こたつ・放電灯の調光装置・複合多層超電導体および製造方法・耐圧防爆形回転電機

《表紙》

表紙 1 銀座インペリアルビル納め展望用エレベータ

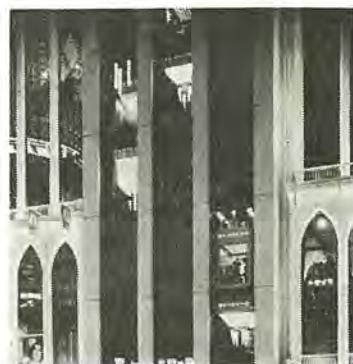
渋谷東急百貨店・新宿ジョイパックビルに次いで、銀座インペリアルビル・原宿イベリアビル・新宿後楽園と統々展望用エレベータが納入され、最近展望用エレベータがひとつのブームとなっている。

表紙写真は、昨年11月オープンした銀座インペリアルビル納入の展望用エレベータであり、銀座4丁目の交差点に面し、当社の広告塔三菱スカイリングの真向いに位置して、道行く人々の注目を集めている。

表紙 2 三菱生産番号記録装置

表紙 3 三菱サイリスタ

表紙 4 三菱ボウリング自動採点機 Meltas



**GENERAL ISSUE****CONTENTS****TECHNICAL PAPERS**

Programming Languages for Numerical Control MELCOM-7000 APT IV	.....	T. Inoue • T. Mizuno • T. Koura • S. Ono... 167
Design of GDL (Graphic Display Library) under MELCOM-7000 Computing Systems	.....	K. Asano • S. Iikawa • T. Fujima • N. Kataoka... 178
Type C 232 Color Character Display System	.....	K. Ohkawa • O. Watanabe • T. Den • Y. Oda... 190
MELCOM-350-5 F Process Control Computers	.....	S. Nitta • K. Nagasawa • I. Nakane • Z. Saitô • S. Watabe... 196
Molten Steel Flow Meters	.....	K. Kobayashi • Y. Hamasaki • M. Danno... 200
Flow Responsive Generation Control Device for Yomikaki Power Station, Kansai Electric Power Co.	.....	R. Sanematsu... 205
Introduction to MELCAP System	.....	T. Yamanaka • N. Matsumoto • H. Yoshida • S. Ôtsuka • T. Sagara... 209
Homology Analysis of Three Dimensional Framed Structure	.....	K. Tsukada • Y. Takizawa • Y. Minami... 219
Fans for Sulphur Dioxide Absorption Process	.....	S. Miyauchi... 225
Electrical Equipment for Double-Deck Motor Coaches for New South Wales Government Railways	.....	K. Kuyama • M. Takeuchi • M. Ohta... 229
Type ED 75700 AC Electric Locomotives for the Japanese National Railways	.....	K. Sasaki • T. Kodama • K. Kasahara • K. Morihara • M. Simobu... 236
Polypropylene Film Capacitors	.....	T. Kamiya • K. Tsuruta • T. Yagitani • T. Hashiride • K. Kosumi... 246
Reliability and Application of Control Magnetic Relays	.....	K. Maruchi • Y. Nagano • H. Matsumoto... 256
Recent Hot Mill Electrical Equipment	.....	N. Kubota • M. Kawasaki... 263
A Rotating Field Infinitely Variable Phase Shifter	.....	S. Nakahara • H. Kurebayashi • A. Mizobuchi... 269

NEWS FLASH	277
------------	-------	-----

PATENT AND UTILITY MODEL	275
--------------------------	-------	-----

COVER :**Elevators for Observation Use delivered to the Ginza Imperial Building**

Following the installation of elevators for observation use in the Shibuya Tokyu Department store and Shinjuku Joypack Building, similar sets were supplied one after another to the Ginza Imperial Building, Harajuku Iberia Building and Shinjuku Korakuen. This indicates a kind of boom to equip elevators in buildings for the purpose of observation.

Illustrated in the cover are the elevators delivered to the Ginza Imperial Building inaugurated last November. Facing the crossing of Ginza 4-chome and being situated just opposite to the Mitsubishi Sky Ring, the advertising tower, the construction attracts the attention of passers-by.

「三菱電機技報」アブストラクト

UDC 681.142.01: 007.3

数値制御用プログラミング言語 MELCOM-7000 APT IV
井上高志・水野忠則・小浦泰三・小野修一
三菱電機技報 Vol. 46・No. 2・P167～177

最近、工場の省力化が叫ばれているが、このたび三菱電機では、その一環として、数値制御用言語 MELCOM-7000 APT IVを開発した。このAPT IVは、アメリカIITRIで開発された最新のAPT IVに準拠したもので、IBM-360 APT IIIの機能も十分に満足している。

使用可能なオペレーティングシステムとしては、BPM (64Kワード以上) およびBTM (80Kワード以上) である。本文では、数値制御機械使用者のための、APT IVの言語仕様、またソフトウエア技術者のために、APT IVプロセッサの内部処理方法、さらにはAPTの将来の発展方向を紹介する。

UDC 681.3.02

MELCOM-7000はん用グラフィックライブラリ(GDL)の設計
浅野勝弘・飯川昭一・藤間孝雄・片岡信弘
三菱電機技報 Vol. 46・No. 2・P178～189

GDL (Graphic Display Library) は、MELCOM-7000計算機システムのもとで動くはん用グラフィック処理用サブルーチンパッケージである。

1) 高速ソフトコピー装置として、2) 人間と計算機との協同作業を可能にする会話形图形処理装置として、コンピュータグラフィックスは急速な発展が予想され、そのハードウエアの開発とともに利用技術の開発も急がれている。この論文にはわれわれが開発したGDLにつき、图形処理に対する基本的は探の方法を中心に、MELCOM-7000システムでの構築方法、さらには実用試行によるGDLの評価を述べて いる。

UDC 681.142.07: 53.087

C232形 カラーキャラクタディスプレイ装置
大川清人・渡辺治・田 隆吉・小田勇介
三菱電機技報 Vol. 46・No. 2・P190～195

最近のMOS ICメモリの発展はめざましく、情報産業用としても、すでに実用の域に達しているものもある。MOS ICメモリ自身種々の特長を持っているが、その特長をうまく利用することによって、これまで実現しえなかつたシステム設計を可能にすることができる。われわれは、リフレッシュメモリにMOS IC RAMを用い、文字パターン発生器にMOS IC ROMを使用した、新しいキャラクタディスプレイの方式を開発した。本文ではこの方式により128台のキーボードをまったく独立に操作させることを可能にした。C232形マルチステイション タイプカラーキャラクタディスプレイ装置について述べている。

UDC 681.326

MELCOM350-5 F 制御用電子計算機
仁田周一・長沢一嘉・中根 勇・齊藤善次・渡部重彦
三菱電機技報 Vol. 46・No. 2・P196～199

小形制御用電子計算機 MELCOM 350-5とプログラム互換性をもたせた MELCOM 350-5 FはMSI、混成集積回路、発光ダイオードなど、最新の部品の使用、高速ブレーテッドワイヤメモリの使用、小形化、約5倍の速度向上をはかるとともに、制御用計算機として要求されるワンブッシュスタート、オートリスタート、遠隔パネル、フェイルセーフ関係の充実、疑似命令とオプションハードウエア命令の関係の技術的改良を行なったものである。

UDC 532.57: 669.161.18

溶銑・溶鋼流量計
小林健三・浜崎芳治・淡野光章
三菱電機技報 Vol. 46・No. 2・P200～204

最近の鉄鋼生産工程連続化の著しい進展に伴い溶融金属を連続的に取り扱う技術が要求されている。

本論文では連続製鋼工程や連続鋳造工程において必要とされながら、被測定物が非常に高温な流体 (1400℃～1600℃) であるため、従来測定困難とされてきた流量を非接触で連続的な測定を可能にした溶銑・溶鋼流量計について紹介する。

UDC 621.221.2: 621.316.728

関西電力(株) 読書発電所納め自動応水運転装置
実松良次
三菱電機技報 Vol. 46・No. 2・P205～208

関西電力(株) 読書発電所向け自動応水装置を45年10月に納入した。

本発電所の取水ダム及び取水路は通常の流れ込み式水力発電所と異り、取水量を中央給電指令所の指示により調節する方式である。取水路はこう配I/2000長さ8.5 kmあり、運転に与える影響が大きいと考えられたので、水路系を数式化してデジタル計算機による解析を行い、その結果に基づいて自動応水装置を設計・製作した。

その解析手法、シミュレーションと実機運転結果との比較について概説し、他の特殊な流れ込み式水力発電所の応水装置の設計のご参考に供する。

UDC 621-523

シーケンスコントローラ MELCAP
山中彪生・吉田日出夫・大塚昭子・松本直己・相良辰雄
三菱電機技報 Vol. 46・No. 2・P209～218

従来シーケンスコントローラ回路は、電磁リレーによりその都度制御対象に応じた回路を組んでいた。しかし最近のプラント規模の大形化、制御の複雑化はいちじるしく、ユーザー、メーカーの双方にこのシーケンス制御をバックワイヤリングの変更をしないで、プログラム的に処理できるものが望まれていた。ただしそれは直接現場機器を動かすという意味で、信頼度が高く、プログラミング・運転・保守の容易なものでなければならない。このような要求を満たすべく、火力発電所のバーナ自動制御への摘要を意図してMELCAPなる装置を開発したので、ここにその概要を紹介する。なお本装置はもちろん他のプラントシーケンス制御にも適用できるものである。

UDC 624.044: 621.396.677

立体骨組構造のホモロガス解析
塙田憲三・滝沢幸彦・南 友策
三菱電機技報 Vol. 46・No. 2・P219～224

近年、電波天文をはじめとして要望された高鏡面精度の大形可動アンテナを実現する手段として、その構造の変形が、それが、パラボラからパラボラに移行したと見なせるものであれば高い鏡面精度が維持できるはずである、というホモロジの概念がある。(1)(2)

筆者らは、このホモロジの概念を使って大形高鏡面精度アンテナを設計するために、その概念の反射鏡骨組構造の重力変形への適用性、電算機計算の効率化のための級数展開法、反射鏡骨組とその支持構造部を分離して設計する場合の厳正解の求め方、などを マトリクス変位法に基づいて理論的に解明し、ホモロガス反射鏡の設計法の確立を試みた。

「三菱電機技報」アブストラクト

UDC 621.615: 662.613.5: 662.753.3: 665.6/.7

排煙脱硫送風機

宮内貞夫

三菱電機技報 Vol. 46 No. 2 P225~228

空気中の硫黄酸化物の多くは、発電所その他の工業用炉で重油を燃焼するのが主原因であるが、この防止方法の一つとして、排気ガスから亜硫酸ガスを吸収する装置が開発されている。以下にこれらの代表的プロセスに用いられる送風機の特長および形式についての比較検討を説明する。



UDC 621.333; 621.337: 621.314.57

オーストラリア N.S.W. 納め電車用電機品

久山研一・竹内元彦・大田幹雄

三菱電機技報 Vol. 46 No. 2 P229~235

オーストラリアのニューサウスウェールズ州鉄道 (N.S.W. Government Railways) に郊外電車用電機品53編成を納入した。これは、シドニー近郊の増大する輸送量に対応するためのもので、世界でも珍らしい全2階建式電車である。1968年に製作された4両の試作車用電機品は、当社をはじめ4社がそれぞれ独自の方式をもって1両ずつ製作して実績を競ったが、その後やく2年間にわたる当社電機品の好調な運転実績とその技術力が評価され、今回の量産車の受注を獲得することができた。車体・台車・ブレーキ装置は、いずれも現地のコモンウェルス・エンジニアリング (Commonwealth Engineering), グッドウイン社 (A.E. Goodwin), ウィスティングハウス・ブレーキ社 (Westinghouse Brake Limited) がそれぞれ担当している。



UDC 621.335.2.025

日本国有鉄道納め日本海縦貫線用 ED75700 形交流機関車

佐々木和男・児玉俊英・笠原 清・森原健司・忍 正寿

三菱電機技報 Vol. 46 No. 2 P236~245

日本海縦貫線の単相交流20kV 50Hz 電化開業用として ED 75700 形交流機関車を完成・納入した。この機関車は、磁気增幅器を用いた無電弧、ノッチレスのタップ切換方式を採用しており、性能や制御方式および回路構成などを基本的には、東北線用の ED 75 形に合わせているが、寒冷地・塩害地走行条件のために、20kV 機器を屋内に収納する関係から、大部分の主要電機品について軽量化・小型化を重点的に行なったこと、制御回路の無接点化や制御機器の改良を推進したことなどから、最新技術が各部に導入されており、今後の国鉄の主力機関車として期待されている。当社は、この機関車の主要電機品の細部設計を担当したので、これらの内容について紹介する。



UDC 621.319.4

三菱電力用ポリプロピレン フィルム コンデンサ

神谷友清・鶴田敬二・小角国夫・八木谷孝之・走出忠昭

三菱電機技報 Vol. 46 No. 2 P246~255

当社で製作しているポリプロピレンフィルムを使用した不燃性油入電力用コンデンサについて使用主材料や製造技術上の問題を明らかにし、紙コンデンサと比較して含浸以前に予備耐圧試験を行ない得るために製品の信頼度が向上すること、静電容量の温度特性がより一定に近いこと、エージング処理によってコロナ開始電圧が上昇することなどを述べる。さらに、エージングによる $\tan \delta$ の挙動などのフィルムコンデンサに特有な興味ある性質にふれていく。特に、過負荷特性の項ではフリッカ防止装置に用いられるサイリスタスイッチの現象を実験により入れ、これに もフィルムコンデンサが適していることを示した。



UDC 621.318.5

制御用電磁継電器の信頼性と適用

丸地謙二・長尾良章・松本文雄

三菱電機技報 Vol. 46 No. 2 P256~262

各種産業装置自動化の発展、普及とともに使用される制御用電磁継電器の数および種類は、増大し、制御装置の機能を左右する重要な回路部品となっている。電磁継電器は小型化、高信頼度化、長寿命化が進み、また半導体部品との効果的な結合も行われ、今後も機能の多様化と性能向上が進んでいくものと考えられるが、一方その適切な適用が必要とされる。ここでは各種のはん用電磁継電器についてはん用性、経済性および信頼性を検討し標準化を行ったが、その内容と信頼性の考え方、信頼性試験結果および適用基準についてまとめた。



UDC 621.771: 621.316.3/.7

最近の熱間圧延機電機品

久保田伸夫・川崎宗男

三菱電機技報 Vol. 46 No. 2 P263~268

熱間圧延機電機品の最近の技術進歩はめざましく、高精度、高能率の制御が要求されるため、計算機または、高速演算回路を使用して、最適制御を行なうようになった。

制御も電機品のみにとどまらず、温度制御・板厚制御・張力制御と、製品と直結した制御を行なうようになり、制御にノウハウ的な部分の比重が増加してきた。さらに、その高精度・高速度制御の要求から、従来の電機品単体の性能も著しく向上している。

これらを、簡単に説明する が本文である。



UDC 621.372; 621.318

回転磁界形 無限可変移相器

中原昭次郎・紅林秀都司・溝渕哲史

三菱電機技報 Vol. 46 No. 2 P269~274

この移相器は、外部直流印加磁界の回転角度により透過位相を制御できるために、良好な移相量の周波数特性や温度特性を持っている。この報告では、まず、フェライトチューブ内装導波管中の高次モードやしゃ断現象の問題について追求し、いかなる高次モードが発生しているかを解明した。そして、特性改善の一方法として金属棒を導波管と同心円的に挿入する方法を提案し、その効果を実験的に確かめている。さらに、フェライトチューブ内の磁化分布を仮定し、移相量の近似計算を行ない、かなり良い近似値を得ている。最後に、試作した回転磁界形無限可変移相器の性能を示したが、十分実用に供するものがある。



数値制御用プログラミング言語 MELCOM-7000 APT IV

井上高志*・水野忠則*・小浦泰三*・小野修一*

Programming Languages for Numerical Control MELCOM-7000 APT IV

Kamakura Works Takashi INOUE • Tadanori MIZUNO • Taizo KOURA • Shuuichi ONO

There is a cry for labor saving in the management of factories of late. Mitsubishi has worked out, as a part of means for this objective, programming languages for numerical control MELCOM-7000 APT IV. This APT IV is in conformity to the latest APT IV developed by IITRI in America and fully meets the function of IBM-360 APT III. As an operating system good for use, there are BPM (above 64 k words) and BTM (above 80 k words). In this article are introduced a language specification for those operating numerical control machines, an internal treatment method of APT IV processor for software technicians and also a tendency of future development of APT.

1. まえがき

機械工業におけるオートメ化、特に加工部門におけるメカニカルオートメーションの分野は技術革新の著しい分野で、この中核をなすのが数値制御 (Numerical Control 以下 NC と略す) である。この NC は電子計算機の新しい応用分野の一つであって、機械工業の世界で電子計算機が表立った役割を演ずるようになってきたのは、ごく最近のことである。

NC は従来人間が操作していた工作機械などを、数値および符号から成る数値情報で自動制御することをいう。通常、機械の動きや操作等を示す数値情報をせん孔した紙テープ (NC テープ) を NC 装置に読ませて機械を制御する。

この数値情報により機械の動きを制御するという概念は、設計から NC テープ作成までの間で大量の情報を取り扱わねばならないという問題が提起された。これを解決するため電子計算機を用いた数々の自動プログラミングシステムが、設計図と機械制御システム間のギャップをうめるために開発されている。

このたび三菱電機では、NC自動プログラミングシステムの一つであるAPT IVをMELCOM-7000シリーズのアプリケーションプログラムとして組み込んだので、その概要を紹介する。

2. NC プログラミング

2.1 手動プログラミングと自動プログラミング

NC 機械を使用して部品を加工するためには、設計図面から NC テープを作成するプログラミングの作業が必要である。このプログラミングの作業をする人を一般に パートプログラマ と称している。

NC プログラミングには手動 プログラミングと自動 プログラミングがある。

手動プログラミングでは一般に図2.1に示すように、図面から工具通路の座標値を手計算して、切削条件等を考慮しながら工具の動きに沿ってプロセスシートと称する用紙に数値情報を書きこんで、それをみながらテープせん孔機でNCテープを作成する。

従来はこの手動プログラミングによる場合がほとんどで、現在も広く用いられている。しかし、加工形状が複雑な場合、単純な形状でも数が多い場合、または工具軸の傾斜する4軸・5軸工作機械を使用する場合などでは、計算もやっかいで誤りも増加し、プログラミングに多大の時間を費やすようになる。このため電子計算機を用いた自動



図 2.1 手動 プログラミング と 自動 プログラミング
Manual programming and computer programming.

プログラミングによる NC テープの作成が、近年さかんに行なわれるようになってきた。

この自動プログラミングでは、一般に図2.1に示すように、図面から最低限必要な座標や切削条件を読みとり、定められた言語（プログラミング言語）で加工に必要な情報を記入したパートプログラムを作り、詳細な計算は電子計算機で行なうものである。NCテーブの作成も計算機が行なうから、パートプログラム作成までがパートプログラマの作業となる。このためプログラミングの作業が容易になり早くNCテーブが作成できる。

2.2 NC自動プログラミングシステム

一般に自動 プログラミング システム は、プログラミング 言語、処理 プログラム
および電子計算機の総称をさす。

現在、日本および世界で用いられている NC 自動プログラミング言語には表 2.1 のようなものがある。

APT を含めた大部分の NC 言語では、パートプログラマが工具の選択や切削データ(送り速度や切り込み量など)の決定を行なっているが、EXAPT などのように、これらも自動的に決定して領域内の自動切削を行なうことができる ワークショップテクノロジをとり入れた言語もある。また類似形状の部品や同形式の機械加工プロセスを必要とする部品を、ファミリにグループ化するファミリプログラミングも存在する。

アメリカでは AUTOSPOT, ADAPT, ヨーロッパでは, EXAPT, 2 CL, 日本では FAPT などもよく使われているが, 位置決めプログラムから複雑な多軸プログラムまで行なえる, 最もはん用的な言語である APT が現在世界で, もつとも広く使用されている。

このような NC 自動プログラミング言語には各種あり統一されていないため、その標準化の必要性が叫ばれている。国際的には ISO/TC 97/SC 5/WG 1 が NC プログラミング言語の標準化を検討しており、A

表 2.1 代表的な NC 自動 プログラミング 言語
Typical NC programming language.

言 語	加 工 対 像	対象軸数	開 営
ADAPT	はん用	2 軸	各コンピュータメーカー
APT III, APT IV	はん用	3~5 軸	アメリカ (IITRI)
AUTOSPOT	穴あけ用	1 軸	アメリカ (IBM)
CAMP	はん用	3 軸	アメリカ (W)
EXAPT I, II, III	I-穴あけ用, II-旋削用 III-プライス加工用	1軸, 2軸 (EXAPT Vevein)	ドイツ
FAPT	はん用	2 軸	日本 (富士通)
HAPT	はん用	2 軸	日本 (日立)
IFAPT	はん用	1~2 軸	フランス
SPLIT	フライス加工用	3~5 軸	アメリカ
ZCL	はん用	2 軸	イギリス

PT および APT ライクの言語がとりあげられている。日本でも、電子協のメカニカルオートメーション技術委員会下の NC 自動 プログラミング 言語専門委員会などで、標準化調査活動が行なわれている。

3. APT の概要

3.1 APT の発展過程

APT は Automatically Programmed Tools の略称で、現在の NC 自動 プログラミング システムの中では最大のもので、豊富な機能を備えている。

APT の原型は 1955 年に MIT (マサチューセッツ工科大学) で完成された。1957 年には、これに改良を加えた APT II が開発され、同時に AIA (Aerospace Industries Association) は APT 計画 グループを結成した。1961 年 11 月には APT III が開発されたが、APT III の機能拡張や信頼性向上を目的とし、さらにその思想をより多くの企業にわかつたために AIA は ALRP (APT Long Range Program ; APT 長期計画) を立て、その本部を IITRI (イリノイ工科大学研究所) においていた。

ALRP は会員制で、現在 アメリカでは約 100 機関、ヨーロッパでは約 20 機関、日本では 14 機関が加盟して、この計画を支持し会費を負担しており、三菱電機もこれに加盟している。ヨーロッパでは 1965 年に EURAPT が、日本では 1967 年に日本支部として JADE (Japan APT Development Program) が設立され活動している。

ALRP は 1971 年から ALRP/CAM-I (Computer Aided Manufacturing-International) の新しい組織に移りつつある。CAM-I の目的は、APT (計算機による NC テープの作成) から製造自動化の全領域を包括する ソフトウェア の開発へと対象を拡大することにある。

現在 ALRP/CAM-I の開発は、APT IV が一番大きな項目である。APT III が IBM-7090 用に作成されたものであるのに対して、この APT IV は Computer Independence と Expandability を目的として開発中のもので、現在 IBM システム/360-65 に組込まれほぼ完成しており、拡張作業 (曲面創成など) を続けている。その プロセッサ は主として FORTRAN で書かれており、プログラムステップ数は約 7 万ステップ、サブルーチン数は約 400 で 256 k バイト (64 k ワード) 以上の大形計算機を対象としている。

APT IV 言語仕様は APT III の言語仕様を完全に含んでおり、新たに数種の命令が付加されている。しかし APT III と APT IV では処理方式がかなり異なるため、命令には少し異なるものがある。

3.2 APT システム

通常 APT システム といった場合は APT 言語、APT 处理 プログラム および計算機の総称をさす。図 3.1 に APT システムを用いた設計から加工までの NC 生産 システム を示す。これは APT を用いた自動設

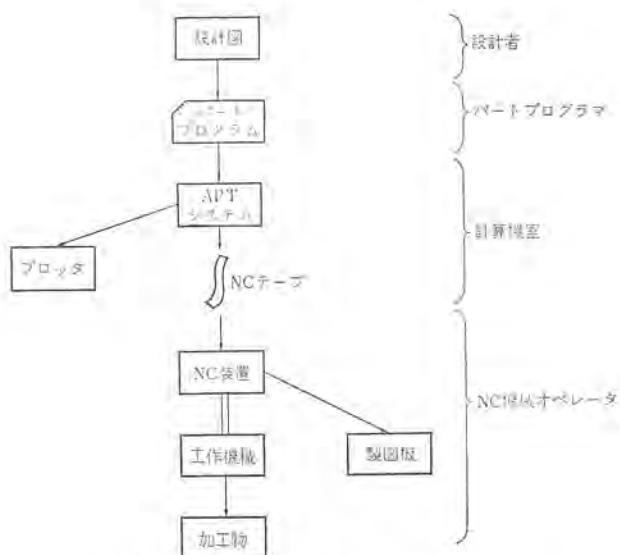


図 3.1 APT システム を用いた NC 生産 システム
NC manufacturing system using APT system.

計加工 システム と考えられる。

APT の適用分野は一般の NC 工作機械 (ボール盤、フライス盤、旋盤、中ぐり盤) などはもちろん、自動製図機、ガス 切断機、ガス溶接機、配線機や布線機など広範囲にわたっている。

3.3 MELCOM-7000 APT IV システム構成

MELCOM-7000 APT IV は IITRI の開発した APT IV に基づいて開発されたもので、ほとんどその機能を満足しており、メモリの縮小、端末からの使用可能化などの改良がなされている。そのシステム構成条件は次のとおりである。

ハードウェア

- (1) MELCOM-7700 または MELCOM-7500
- (2) カード 読取り装置または紙 テープ 読取り装置 1 台
- (3) ラインプリンタ
- (4) 高速磁気ディスク 装置 (RAD) 1 台
- (5) 紙 テープ セン (穿) 孔装置または磁気 テープ 装置 1 台
(NC テープ の作成に利用)

モニタ

- (1) BPM (バッチ プロセッシング モニタ)
コア 容量 64 kW 以上、ワーキングエリア 48 kW 以上
- (2) BTM (バッチ タイムシェアリング モニタ)
コア 容量 80 kW 以上、ワーキングエリア 48 kW 以上

4. APT IV パート プログラム

APT IV パート プログラム は NC 機械に対して、切削に要する工具の動き等の情報を与える NC テープ を作成するための プログラム であり、次の四つの型に分類される。

- (1) 図形定義命令 切削対象を幾何学的に定義する命令
- (2) 切削命令 工具の通路を指定する命令
- (3) ポストプロセッサ 命令 切削条件等を指定する命令
- (4) その他

4.1 図形定義命令

APT システム で物体を切削するには、それを形成する幾何学的要素を定義しておかねばならない。一般的な定義形式は、

シンボル=面の形式／記述 データ

ここでシンボル はその図形に割当てられた名前であり (以下の説明

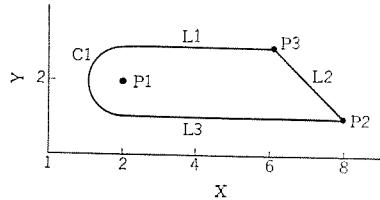


図 4.1 サンプル Sample.

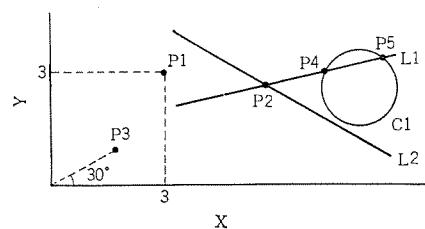


図 4.2 点の定義 Definition of points.

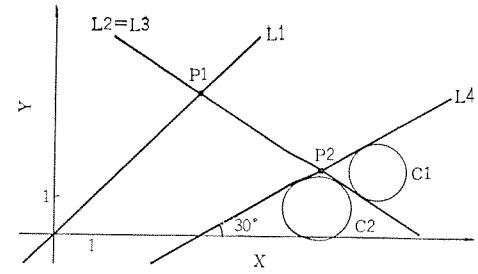


図 4.3 直線の定義 Definition of lines.

では、シンボルにはアンダーラインを付けてある）、面の形式とは POINT, CIRCLE といった图形名（APT 用語）、また記述データはその图形を完全かつ一義的に表現するための数値、修飾語（接することを示す TANTO 等の APT 用語）、および以前に定義された图形のシンボルからなる。

たとえば図 4.1 に示したような平面図を持った物体を考えると、これは C1, L1, L2, L3 と名付けられた円と直線により規定されるが、このような円や直線は次のようにして定義される。

(1) 補助的な点の定義

P1=POINT/2, 2, 0

P2=POINT/8, 1, 0

P3=POINT/6, 3, 0

(2) C1, L1, L2, L3 の定義

C1=CIRCLE/CENTER, P1, RADIUS, 1

L1=LINE/P3, TANTO, RIGHT, C1

L2=LINE/P2, P3

L3=LINE/P2, PARALLEL, L1

ここで示したのは、図 4.1 の定義方法の一例であり、この他にもさまざまな定義の方法が用意されている。

次に、基本的图形の定義方法の代表的なものを列挙する。

4.1.1 点の定義（図 4.2 参照）

(1) 座標値による定義

P1=POINT/3, 3, 0

(2) 直線の交点として定義

P2=POINT/INTOF, L1, L2

(3) 極座標による定義

P3=POINT/RTHETA, XYPLAN, 2, 30

(4) 円と直線の交点として定義

P4=POINT/XSMALL, INTOF, L1, C1

P5=POINT/XLARGE, INTOF, L1, C1

4.1.2 直線の定義（図 4.3 参照）

(1) 2点の座標値による定義

L1=LINE/1, 1, 0, 0, 0, 0

(2) 2点（シンボル）による定義

L2=LINE/P1, P2

(3) 1点と接円による定義

L3=LINE/P1, RIGHT, TANTO, C1

(4) 1点と X 軸となす角による定義

L4=LINE/P2, ATANGL, 30

(5) 1点と交線との角度による定義

L5=LINE/P3, ATANGL, 70, L3

(6) 2接円による定義

L4=LINE/RIGHT, TANTO, C1, \$

RIGHT, TANTO, C2 (継続行)

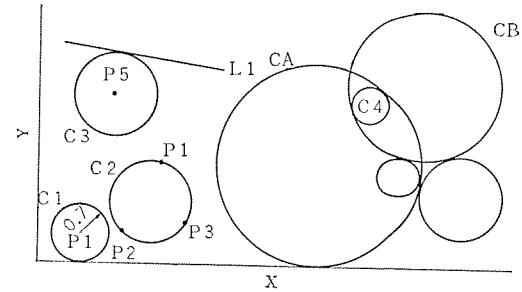


図 4.4 円の定義 Definition of circles.

L3=LINE/LEFT, TANTO, C1, \$
RIGHT, TANTO, C2

ただし、\$ は継続行があることを示している。

4.1.3 平面の定義

(1) 3点による定義

PL1=PLANE/P1, P2, P3

(2) 1点と平行平面による定義

PL2=PLANE/P4, PARALLEL, PL1

(3) 平面の方程式による定義

PL3=PLANE/0, 0, 1, 10
(PL3⇒ 0x+0y+1z=10)

4.1.4 円の定義（図 4.4 参照）

(1) 中心点と半径による定義

C1=CIRCLE/CENTER, P1, RADIUS, 0.7

(2) 円周上の3点による定義

C2=CIRCLE/P2, P3, P4

(3) 中心点と接線による定義

C3=CIRCLE/CENTER, P5, TANTO, L1

(4) 2接円と半径による定義

C4=CIRCLE/YLARGE, IN, CA, IN, CB

4.1.5 線織面（ルールドサーフェス）の定義

線織面とは、2本の直線（曲線）上の点を結ぶ直線の集りにより定義される面である（図 4.5 参照）。

RS=RLDSRF/S1, P1A, P1B, P1C, \$
S2, P2A, P2B, P2C

4.1.6 その他の图形定義

以上のほか、次の图形定義が許されている。

円すい面、だ円面、球面、双曲面、円筒面、2次曲面、コニック、パターン（点の集合）、タブシ面（与えられた点群をなめらかに結んだ空間曲線通り、一定方向に伸びた直線の集合により形成される面、図 4.6 参照）、バウンデッド面（制限面）等。

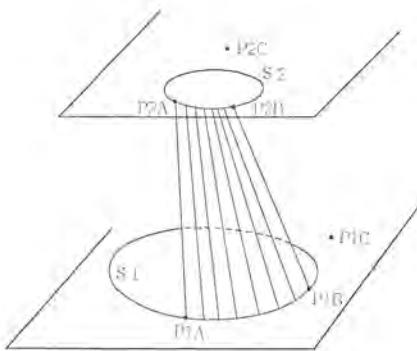


図 4.5 線織面の定義
Definition of ruled surface

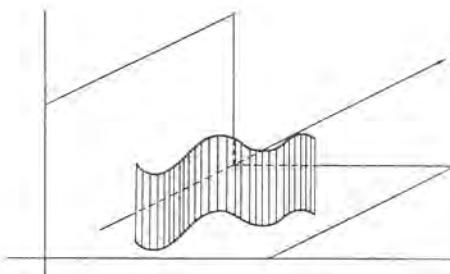


図 4.6 タブシル面
Tabulated cylinder.

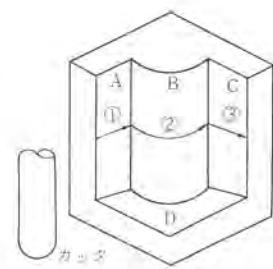


図 4.7 制御面
Control surface.

表 4.1 制御面 Control surface.

	ドライバサーフェース	パートサーフェース	チェックサーフェース
切削 ①	A	D	B
切削 ②	B	D	C
切削 ③	C	D	?

4.2 切削命令

4.2.1 工具の運動を制御する面

APT では工具の運動を三つの面で制御する。

パートサーフェス (PS) ……工具の進行方向を制御する面であり、通常工具軸方向の切込みの深さを制御する面。

ドライバサーフェス (DS) ……工具の進行方向を制御するもう一方の面であり、通常工具の側面により切込みの深さを制御する面。

チェックサーフェス (CS) ……PS と DS により制御されて進む工具が、どこまでその状態を続けるかを指示する面 (図 4.7 および表 4.1 参照)。

4.2.2 工具と制御面の関係を示す修飾語

工具と制御面との位置関係を示す修飾語として、APT には次のようなものがある (図 4.8 参照)。

TO : 工具を制御面の直前 (トレーンス 幅内) まで動かす。

ON : 工具を制御面の上に乗せる。

PAST : 工具を制御面を通りすぎた点まで進める。

TANTO : 工具を制御面に接する点まで動かす。

4.2.3 切削ステートメント

(1) 初期移動ステートメント

工具を初期の位置から切削開始面の許容誤差の範囲内に移動させるステートメントである。

GO / $\left\{ \begin{array}{l} \text{TO} \\ \text{ON} \\ \text{PAST} \end{array} \right\}$ 次のステートメントで DS, $\left\{ \begin{array}{l} \text{TO} \\ \text{ON} \\ \text{PAST} \end{array} \right\}$ \$ になる面

以降のステートメントで PS に, $\left\{ \begin{array}{l} \text{TO} \\ \text{ON} \\ \text{PAST} \end{array} \right\}$ 移動の最終位置をより正確なる面 $\left\{ \begin{array}{l} \text{TO} \\ \text{ON} \\ \text{PAST} \end{array} \right\}$ にするための CS 面

(2) 通常の切削ステートメント (連続切削)

これ以前にある切削命令による工具の最終位置から始まる次の切削の方向、およびそのときの DS と CS を指定するステートメント。

GOFORWD
GOBACK
GOLFT
GORGT
GOUP
GODOWN
} / DS 名, $\left\{ \begin{array}{l} \text{TO} \\ \text{ON} \\ \text{PAST} \\ \text{TANTO} \end{array} \right\}$, CS 名(次の切削ステートメントの DS にもなる)

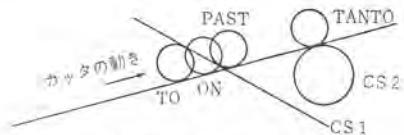


図 4.8 制御用の修飾語
Control modifier.

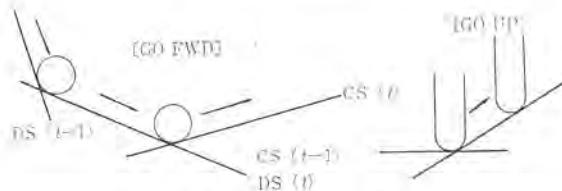


図 4.9 GOFWD と GOUP
Motion by GOFWD, GOUP

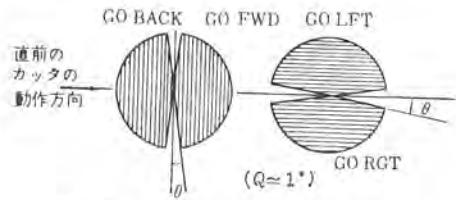


図 4.10 各切削命令の動作範囲
Range of each motion statement.

の左側は、直前のステートメントによる工具の進行方向に対するこのステートメントによる進行方向を指示するもので、上段から順に、前進、後退、左折、右折、上昇、下降を意味している。

(例)

GOFORWD / L1, TO, C1

GOUP / L1, PAST, L2

注) 特に指定しないかぎり PS は XY 平面である。

GOFORWD, GOBACK と GOFORWD, GORGT の違いを図 4.10 に示してある。

(3) 無条件移動ステートメント

工具を空間内の指定された点へ移動させるステートメント。

GOTO / 点のシンボル または座標値

(4) 一定長移動ステートメント

工具を現在位置から所定の距離だけ動かすためのステートメント。

GODLTA / x 座標の増分, y 座標の増分, z 座標の増分

4.3 ポストプロセッサ命令

ここに掲げる命令はポストプロセッサ (5.6 節参照) に対して、切削条件などの制御情報を伝えるステートメントである。

(1) SPINDL ……主軸の回転数を指定

(2) FEDRAT ……工具の送り速度を指定

(3) STOP ……主軸、テーパーリード 等の停止を指定

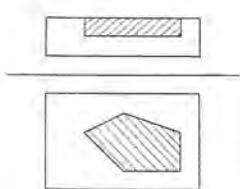


図 4.11 ポケット
POCKET.

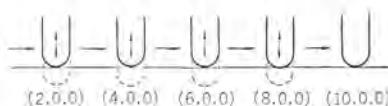


図 4.12 連続穴堀り
Sequential digging.

- (4) COOLNT 切削液の注入、停止を指定
- (5) MACHIN APT システムで得られた工具通路の一般解を、特定の NC 機械用に変更する ポストプロセッサを指定

4.4 その他

4.4.1 POCKET ステートメント

とつ(凸)多角形の内部を削り取る特殊な切削命令

図 4.11 の斜線部が単一の“POCKET”で削り取られる。

4.4.2 JUMPTO, IF ステートメント

パートプログラムの流れをコントロールする命令として無条件分岐ステートメント (JUMPTO) と条件付き分岐ステートメント (IF) があり、プログラムの簡略化 (ルーピング) などに役立つ。

(使用例) 連続穴堀り (図 4.12 参照)

X=2

I1) GOTO/X, 0, 0
GODLTA/0, 0, -0.5
GODLTA/0, 0, 0.5
X=X+2
IF(8-X) I2, I1, I1

I2) GOTO/10, 0, 0

4.4.3 MACRO

APT では、しばしば使用される類似した切削シーケンスを重複して記述するのを避けるために、MACRO というステートメントがある。これは MACRO と TERMAC で囲まれた範囲を、CALL で呼び出すことによって実行される機能である。

使用例 (図 4.12 参照)

```
M1=MACRO/X
GOTO/X, 1, 0
GODLTA/0, 0, -.5
GODLTA/0, 0, .5
TERMAC
CALL/M1, X=2
CALL/M1, X=4
CALL/M1, X=6
CALL/M1, X=8
GOTO/10, 0, 0
```

注) 上例は単純な切削であるために、IF ステートメントを用いるほうが簡単であるが、切削が複雑になった場合には有効な方法である。また、MACRO のアーギュメント (上例の X) に、TO, ON, GOLFT 等も指定できる。MACRO の中に、他の MACRO を 9 レベルまで呼ぶことができる。

4.4.4 COPY ステートメント

COPY は座標移動、座標回転を伴う繰返し切削を行なう場合に有効なステートメントであり、次の四つの型がある。

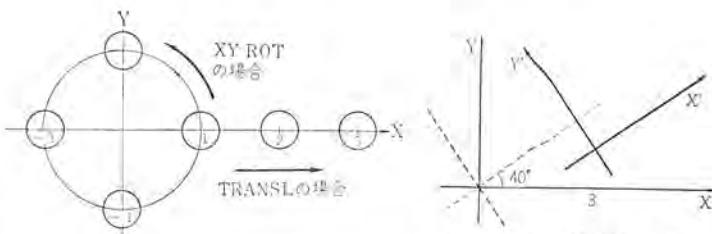


図 4.13 COPY による穴堀り
Digging with COPY.

図 4.14 MATRIX による座標変換
Coordinate conversion with MATRIX.

(1) 座標移動

COPY/n, TRANSL X, Y, Z, m

(2) 座標回転

COPY/n, XYROT, a, m

(3) 変換マトリックスを使用するとき

COPY/n, MODIFY, マトリックスのシンボル, m

(4) 同一動作を繰り返すとき

COPY/n, SAME, X, m

いずれの型でも、INDEX/n と COPY/n の間の切削命令を m 回繰り返し、(1)から(3)の型は座標変換をともなう。

INDEX/1

GOTO/(P1=POINT/1, 0, 0)

GODLTA/0, 0, -1

GODLTA/0, 0, 1

GOPY/1, TRANSL, 1, 0, 0, 2

(COPY/1, XYROT, 90, 3)

(図 4.13 参照)

注) (3)の型の COPY/ を使用するには、事前に変換マトリックスを定義しておかねばならない。

4.4.5 MATRIX ステートメント

MATRIX は座標変換 (回転、平行移動など) のマトリックスを与えるステートメントである。

(1) 平行移動

シンボル=MATRIX/TRANSL, x, y, z

(2) 回転

シンボル=MATRIX/ $\begin{Bmatrix} XYROT \\ YZROT \\ ZXROT \end{Bmatrix}$, 角度

(3) スケール変更

シンボル=MATRIX/SCALE, スケールファクタ

(4) 以上の組合せ (積)

シンボル=MATRIX/マトリックス(シンボル), \$
マトリックス(シンボル)

(例) MTRI=MATRIX/XYROT, 40, \$
TRANSL 3, 1, 0

(図 4.14 参照)

4.4.6 REFSYS ステートメント

通常の座標系でなく、別の座標系を用いたほうが定義しやすい場合、二つの座標系の間の関係をマトリックスで示し、“REFSYS/マトリックスのシンボル名”から“REFSYS/NOMORE”の間の図形定義を指定された座標系で行なうことができる。

4.4.7 TRACUT ステートメント

このステートメントは、“TRACUT/マトリックスのシンボル名”と“T

RACUT/NOMORE”間の切削命令を指定したマトリックスにより変換して実行する。このステートメントは、切削ステートメントに適用される点がREFSYSステートメントと異なるが、座標変換をするという点では共通している。

4.4.8 その他

APT には以上に述べたステートメントのほかに、次のようなステートメント、機能がある

- (1) PARTNO ……パートプログラムのタイトル
 - (2) REMARK ……注釈行
 - (3) FROM ……工具の始点を示す
 - (4) FINI ……パートプログラムの終了を示す
 - (5) CUTTER ……工具の形状を指定する
 - (6) TOLER
 - INTOL } ……許容誤差の大きさを指定する
 - OUTTOL }
 - (7) 演算命令 ……FORTRAN とほぼ同等の演算機能
 - (8) 関 数 ……SIN, COS などの九つの関数
 - etc.

4.5 パートプログラムの例

図4.1に示したような部品の

トプログラムの説明を行なう。(図4.15参照)

- (1) このプログラムを識別するための表題
 - (2) 計算されたすべての工具通路座標値のプリントアウト
 - (3) 注釈行・・・図形定義命令
 - (4) 工具の始点となる P0 を定義
 - (5), (6), (7) 座標値による点の定義
 - (8) 中心 P1, 半径 1.0 の円の定義
 - (9) P3 を通り, 円 C1 の右側に接する直線の定義
 - (10) P2 と P3 を通る直線として L2 を定義
 - (11) P2 を通り, 円 C1 の左側に接する直線の定義
 - (12) 注釈行・・・機械命令とその他のステートメント
 - (13) 部品の内部への切り込みが許されないことを指定する
 - (14) 削り残しを .005 インチまで許す
 - (15) 直径が .25 インチの工具を使用する
 - (16) 主軸の回転数は時計回りに 200 rpm

図 4.15 パートプログラム 例
Example of part program.

- (17) 切削液は MIST の状態にせよ
 - (18) 工具の送り速度は 20.0 インチ／分
 - (19) 注釈行・・・切削命令
 - (20) P0 を工具の始点とせよ
 - (21) 工具を P0 から最短距離にある直線 L2 上の点の直前（許容誤差範囲内）まで移動せよ
 - (22) L2 に沿って、L1 の延長線をすぎる所まで切削せよ
 - (23) L1 に沿って C1 に接する所まで切削せよ
 - (24) C1 に沿って L3 をすぎる所まで切削せよ
 - (25) L3 に沿って、L2 の延長線を過ぎた所まで切削せよ
 - (26) 始点へ戻れ
 - (27) このステートメント以前で定義された図形の内部表現等がプリントアウトされる。
 - (28) 注釈行・・・機械命令
 - (29) 切削液を止めよ
 - (30) 主軸の回転を停止せよ
 - (31) パートプログラムの終了

5. APT IV プロセッサ概要

5.1 プロセッサの構成

APT IV プロセッサは、メインプロセッサとポストプロセッサの二つに分かれしており、メインプロセッサは四つのフェイズからなる。プロセッサ構成図を図5.1に示す。

各プロセッサ および フェイズの概要は次のとおりである。

- (1) メインプロセッサ
 パートプログラムを処理して、NC装置に依存しない標準的なファイル(CLFILE)を作成する。CLEILEはカット軌跡の座標点などからなる。

(2) ポストプロセッサ
 標準的なCLFILEから、個々の工作機械のNC装置が理解できる形に変換してNCテープを作成する。

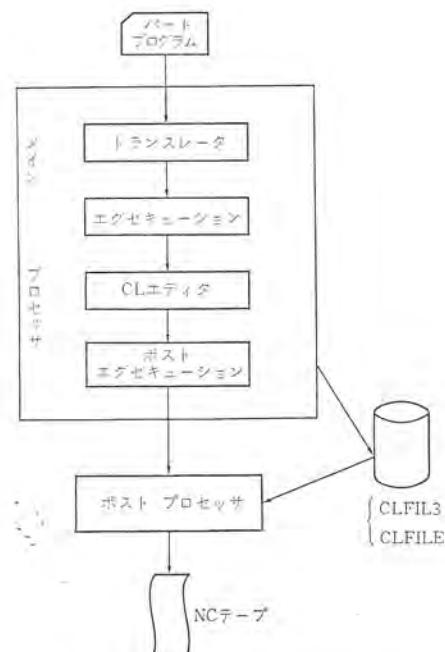


図 5.1 APT IV プロセッサの構成
Structure of APT IV processor.

- (3) トランスレータ フェイズ
パートプログラムを解析し、中間言語に翻訳する。
 - (4) エグゼキューション フェイズ
中間言語に基づき幾何学的図形の定義をし、カッタの軌跡を求める。
 - (5) CL エディタ フェイズ
前フェイズの補助的な機能 (COPY など) を行なった後、カッタロケーション ファイル (CLFILE) を作成する。
 - (6) ポスト エグゼキューション フェイズ
指定されたポストプロセッサに制御を移す。

5. 2 トランスレータフェイズ

このフェイズの処理概略図を図 5.2 に示す。
このころでは、パートプログラムがどのような方法で中間言語に翻訳されるか、翻訳中に用いる構文表とはどのようなものか、および中間言語にはどのような種類があるかについて述べる。

5. 2. 1 翻訳方式

APT プロセッサの翻訳方式は、実用のコンパイラではまだあまり実現化されていない Floyd のプロダクションテクニックを利用している。

この方式は スタックテーブル に順次文字を貯え、構文表と照らし合わせて、一定の処理を行なう方法である。この翻訳過程をわかりやすく説明するため、ツリー表示と スタック の状態の変化を示し、これに基づいて説明を行なう。

(1) ツリー表示による説明

解析がどのように行なわれて、入力文字列がステートメントとして認識されるかを、ツリー表示で図 5.3 に示す。ここで用いた例は次に示すステートメントで、ステートメントの両端にはステートメントの始めと終りを示すために、左端記号(ー)と右端記号(ー)が付加されている。

|- GOLF / PL 1, TO, C1 -|

この場合に使用される構文表(生成規則)は表5.1に記してある。図5.3や表5.1に用いられている記号(超変数)は、次の意味を有している。

s : ステートメント	p : プロセデュア
v : 変 数	i : 識別子
ip : 条件付識別子	1 : 文 字
d : 数 字	

図 5.3 の中で、○印内の数字は使用した生成規則番号を示す。このようにあるステートメント（文字列）は、一定の規則（構文表）に基づいて順次上位記号（超変数）に左から右の順でまとめられていき、正しい（文法に合った）ステートメントであることを示す s に統合される。

(2) スタック

(1)のツリー表示で示した処理は、計算機内ではスタックテーブルを用いて行なわれる。

ツリー表示で用いた同じ例について、スタックテーブルがどのように変化していくかを表 5.2 に示す。ここで下線を引いた部分が表 5.1 に示す生成規則を適用する対象になっている。

5. 2. 2 構文表

図 5.2 に示すように、構文表は固定化されたものではなく、ロードコンプレックスという、APT プロセッサ 本体とは別のプログラムによって自由に作り出すことができる。このロードコンプレックスの入力となるものは構文の定義である。構文の定義例とロードコンプレックスによってできた構文表、および適用されるパートプログラムの例を表 5.3 と表 5.4 に示す。

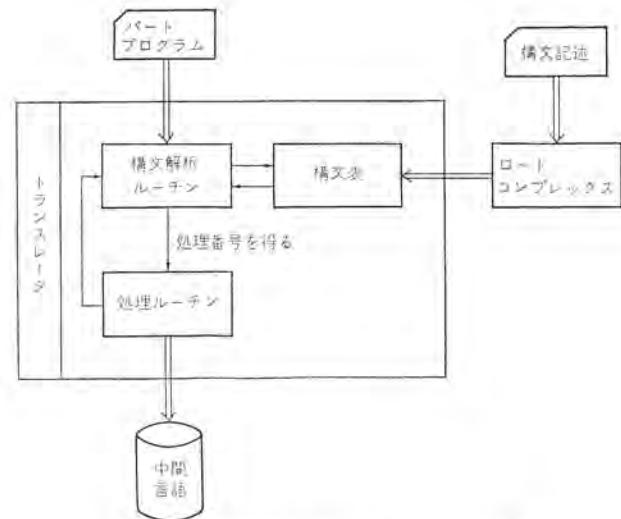


図 5.2 トランスレータフェイズ Translator phase.

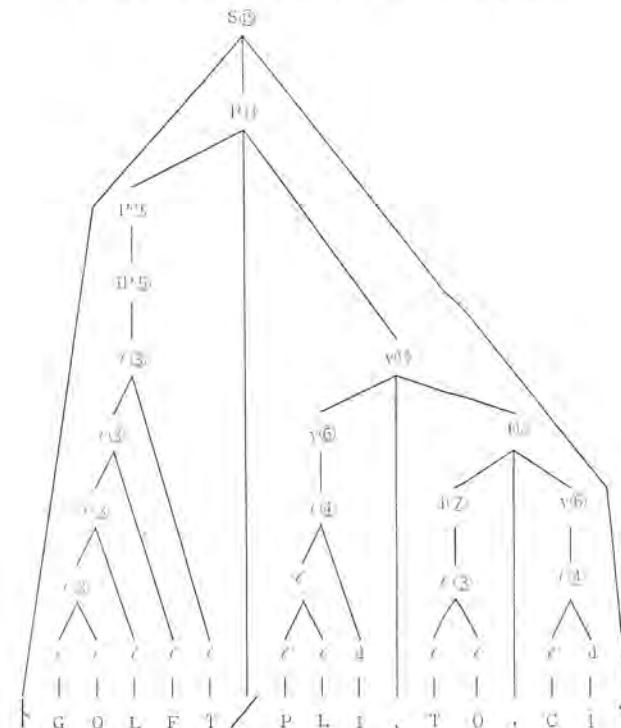


図 5.3 ツリー表示 Tree representation.

表 5.1 構文表 Syntax table

生成規則番号	生成規則	処理番号	処理内容
1	空 \rightarrow $\vdash \delta$	0	1 文字読んでスタックに $\vdash \delta$, サブスタックに文字そのものを入れる
2	$1 \rightarrow \vdash \delta$	9	1 文字読んでスタックに δ , サブスタックに文字そのものを入れる
3	$1l \rightarrow \vdash \delta$	25	1 文字読んで、スタックの最後の 1 または d のかわりに δ を入れ、サブスタックに文字そのものを入れる
4	$1d \rightarrow \vdash \delta$		
5	$1' \rightarrow ip_1'$		サブスタックに入っているシンボルの属性により $1'$ を v , i または ip に変え、スタックの第2パラメータにシンボルのポインタを入れる、サブスタックは消す
6	$1, \rightarrow v,$	35	
7	$1, \rightarrow i,$		
8	$1 \dashv \rightarrow v \dashv$		
9	$ip_1 \rightarrow p_1$	2	ip を p にかえる
10	$/ \rightarrow / \delta$	29	1 文字読んで、スタックに δ , サブスタックに文字そのものを入れる
11	$, \rightarrow , \delta$		
12	$i, v \dashv \rightarrow i \dashv$	16	後ろから 2 番目のスタックの第2パラメータに入っているポインタが示すシンボルをアーギュメントスタックに入れる
13	$v, i \dashv \rightarrow v \dashv$		
14	$p/v \dashv \rightarrow p \dashv$	27	後ろから 2 番目のスタックの第2パラメータに入っているポインタが示すシンボルをアーギュメントスタックに入れる
15	$\vdash p \dashv \rightarrow \text{空 (s)}$	26	アーギュメントスタックのデータと p の性質により、中間言語を作成し、スタックの内容を消す

表 5.2 スタック Stack.

時点	スタック	使用生成規則番号	処理番号	サブスタックおよびアーギュメントスタック
1	空	1	0	(サブスタック)
2	ト 1	2	9	G
3	ト 11	3	25	GO
4	ト 11	3	25	GOL
5	ト 11	3	25	GOLF
6	ト 11	3	25	GOLFT
7	ト 1	5	35	
8	ト ip	9	2	
9	ト p	10	29	
10	ト p/I	2	9	P
11	ト p/I1	3	25	PL
12	ト p/Id	4	25	PLI
13	ト p/I1	6	35	
14	ト p/v	11	29	
15	ト p/v, 1	2	9	T
16	ト p/v, II	3	25	TO
17	ト p/v, 1	7	35	
18	ト p/v, i	11	29	
19	ト p/v, i, 1	2	9	C
20	ト p/v, i, Id	4	25	CI
21	ト p/v, i, 1	8	35	(アーギュメントスタック)
22	ト p/v, i, v	12	16	(1) (2) (3)
23	ト p/v, i	13	16	CI
24	ト p/v	14	27	CI TO
25	ト p	15	26	CI TO PLI
26	空(s)			

表 5.3 構文定義と構文表 (ステートメント解析)
Syntax definition and syntax table (statement analysis).

パートプログラムの例 1	k=1 \$S COMPUTE
構文定義	構文表
15 DOLLAR DOLLAR	DATA PRODTB (19) / -15 / DATA PRODTB (18) / Z 10400000 / DATA PRODTB (17) / Z 10400000 /
パートプログラムの例 2	k=LINE/(POINT/1, 1, 1), PI TEMP
構文定義	構文表
37 (GEM VBL, TEMP, NUMBER, IDENT, PERMID	DATA PRODTB (294) / -37 / DATA PRODTB (293) / Z 40010000 / DATA PRODTB (292) / Z 08020000 / DATA PRODTB (291) / Z 40040000 / DATA PRODTB (290) / Z 08084502 / DATA PRODTB (289) / Z 40004000 /

ただし、ここで DOLLAR, GEM といった構文定義に使用する記号は表 5.1, 図 5.3 で用いた 1, v などに対応している。

表 5.4 構文定義と構文表 (図形定義)
Syntax definition and syntax table (geometrical definition).

パートプログラムの例 1	P1=POINT/3, 3, 0
構文定義	構文表
POINT REAL REAL REAL 101	DATA GEOMTB (597) / Z 40002000 / DATA GEOMTB (598) / Z 40002000 / DATA GEOMTB (599) / Z 40002000 / DATA GEOMTB (600) / -101 /
パートプログラムの例 2	P2=POINT/INTOF, L1, L2
構文定義	構文表
POINT/ INTOF LINE LINE 1	DATA GEOMTB (606) / Z 10000400 / DATA GEOMTB (607) / Z 08001000 / DATA GEOMTB (608) / Z 08001000 / DATA GEOMTB (609) / -1 /
パートプログラムの例 3	P3=POINT/RTHETA, XYPLAN, 2.5, 30
構文定義	構文表
POINT/ RTHETA XYPLAN, YZPLAN, REAL REAL 8	DATA GEOMTB (635) / Z 20000004 / DATA GEOMTB (636) / Z 4000000E / DATA GEOMTB (637) / Z 40002000 / DATA GEOMTB (638) / Z 40002000 / DATA GEOMTB (639) / -8 /

表 5.5 中間言語 Intermediate language.

タイプ	中間言語	機能
制御	LABEL	ステートメントラベルを示す
	JUMP	無条件に指定されたステートメントへジャンプする
	CONJMP	負, 0, 正によって指定されたステートメントへジャンプする
	CALL	指定したサブルーチンに処理を任せる
記憶域割当	VBLJMP	変数の値により指定されたステートメントへジャンプする
	RESRV	変数の記憶領域を予約する
データ移動	MOVE	複数個のデータを移す
	REPL	1 個のデータを移す
	SEQNCE	内部シーケンス番号を記憶する
	CVTSUB	添字付変数の場合のアドレス計算をする
算術演算	HOLDAT	文字データを記憶する
	FADD	加算
算術演算	FSUB	減算
	FMMPY	乗算
	FDIV	割算
	FEXP	問い合わせ
マクロ	CALMC	マクロを呼ぶ
	RETM C	マクロから戻る
	EMTRY	マクロの入口を示す

表 5.6 中間言語の例
Samples of intermediate language.

パートプログラム	中間言語						
PL 1=PLANE/0, 0, -4, 1	FSUB	0	\$21 T \$1	\$	0.	\$	
	RESRV	PL 11	2	4	1		
	CALL	APT 044	0	PL 11	\$	0.	
GOLFT, PL 1, TO, C 1	\$	0.	0	\$21 T \$1			
	CALL	APT 200	\$\$	T 0	0	C 1	
	\$	1.					
	CALL	APT 201	0	PL 1	\$\$	GOLFT	

5.2.3 中間言語

中間言語(Intermediate Language ; IL)はトランセレータフェイズの出力となるもので、五つのタイプがあり、19種類ある。(表 5.5 参照)
パートプログラムと中間言語の対応の例を表 5.6 に示す。

5.3 エグゼキューションフェイズ

エグゼキューションフェイズの役割は、トランセレータフェイズで出力された中間言語に基づき、図形定義命令によるキャノニカルフォームの作成、およびキャノニカルフォームを用いて動作命令を処理し、カッタの軌跡を求める計算を行なう。このフェイズの処理概略図を図 5.4 に示す。

インタプリータでは、中間言語を入力してその内容に従って中間言語を実行するため分枝する。中間言語処理ルーチンでは、おののの機能を実行する。中間言語が CALL の場合は、サブルーチンライブラリを呼んで実行する。一つの中間言語の処理が終了したらインタプリータに戻り、FINI がくるまで繰り返す。

APT におけるカッタの軌跡を求める方法には次の二つがある。

1. 解析的手法 (二次元の簡単な図形の場合)

2. 繰り返し的手法 (複雑な図形の場合)

解析的手法の場合は、直接的に計算式によって目的の点を求める。すなわち、図 5.5 の場合は、カッタ径だけ平行移動した直線の交点が目的の点である。繰り返し的手法の場合は、図 5.6 に示すように複数の段階を経て目的の点に達する。目的の点を見つける手順は次のようになる。

(1) もとの点 (P1) から二つの面 (S1 と S2) に対する最短距離 (D1 と D2) を求める。

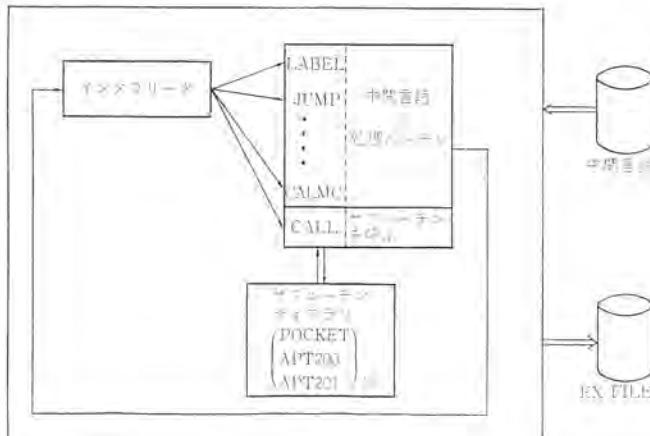


図 5.4 エグゼキューションフェイズ
Execution phase.

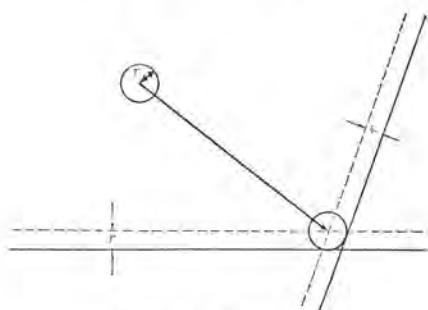


図 5.5 解析的手法
Analytical method.

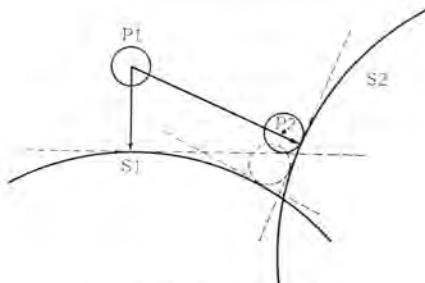


図 5.6 繰り返し的手法
Iterative method.

(2) D1 と D2 はともに トレースの値より小さいか。

(3) 小さければ、その点が目的の点である。そうでなければ、図 5.6 の点 P2 を求める。

(4) 点 P2 をもとの点 P1 として、(1)から(2)を繰り返す。

繰り返し的手法は解析的手法に比較して計算時間はかかるが、どのような面に対しても同じ計算方法で求められるという利点がある。

5.4 CL エディタ フェイズ

CL エディタ フェイズでは、エグゼキューション フェイズで得られた EXFILE を編集して CL (Cutter Location) データを作ります。この CL データは APT の一般解とも称すべきもので、CLFILE または CLFILE3 に書かれ、次の ポストエグゼキューション フェイズで個々の「NC 装置+工作機械」に合った NC テープに変換される。この フェイズのおもな機能は次のとおりである。

(1) 工具位置と工具方向およびポストプロセッサの制御情報を含む CLFILE、または CLFILE3 の作成。CLFILE3 には APT IV の出力形式で書かれる。

(2) COPY, TRACUT, VTLAXS の処理

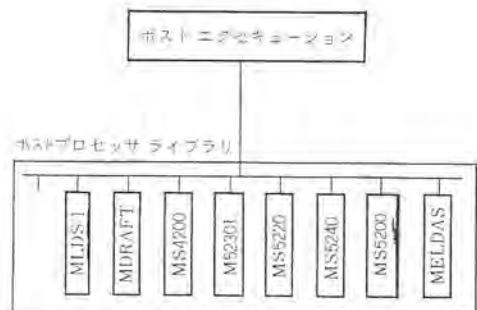


図 5.7 ポストエグゼキューションと ポストプロセッサライブラリ
Post execution and postprocessor library.

(3) 前に作られた CLFILE から、指定された部分をとりだし新ファイルを作成する。これは CLDAT ステートメントによる。

(4) CL データのプリント。これは CLPRNT ステートメントによる。

5.5 ポストエグゼキューション フェイズ

ポストエグゼキューション フェイズの機能はユーザ作成の ポストプロセッサに制御を移して実行させることで、パートプログラムの MACHIN ステートメントで指定された ポストプロセッサを ポストプロセッサライブラリからとりだして実行させる (図 5.7)。このライブラリには APT III 形と APT IV 形の ポストプロセッサが含まれる。APT III 形と APT IV 形では入力の CL データのファイル形式が異なるだけで、渡される情報は同じである。現在ライブラリには、数値制御装置 MELDAS 用の ポストプロセッサが登録されており使用できる。

5.6 ポストプロセッサ

5.6.1 ポストプロセッサの機能

ポストプロセッサは メインプロセッサで得られた CL データを入力として、これを特定の「NC 装置+工作機械」用の形式に変換し NC テープを作成するもので、そのおもな機能は次のとおりである。

(1) 工具位置情報の変換

NC 装置は加工に必要とする精度に応じて最小指令単位が 0.01 mm, 0.005 mm, 0.002 mm 等異なるため、CL データのうち工具位置情報を NC 装置の指令単位に丸める。

また NC 装置の座標方式には増分値方式、絶対値方式があるが、増分値方式の場合は位置情報の差分を求める必要がある。絶対値方式の場合には、機械座標原点に対する平行移動などの処置が必要になることもある。

なお NC 装置の補間方式には直線補間だけでなく円弧補間もあるが、この場合には CLFILE の位置データより不用なものを省略したり、円弧中心を求めたりする特別の処理が必要になる。以上のような処理をされたデータを NC 装置のテープ様式に合わせ、加工順序に従ってテープ上にパンチする。

(2) 補助機能データの変換

使用工具の指定、主軸回転数の指定、主軸の正転・逆転・停止、冷却剤の投入・停止等の指定を行なう補助機能データは CL データとして CLFILE 上に書かれてあるが、これらを使用する NC 機械に合ったコード形式に変換する (表 5.7)。

(3) 自動加減速操作

送り速度はパートプログラムで指定されるが、機械には慣性がありパートプログラムの指定どおりの指令を機械に与えるとショックを生じたり、指定どおりの通路を工具が動き得ない場合がある。このため速度変化が過大になるときには、ポストプロセッサで速度ステップを機械の特性に応じて、いくつかのステップに分解する必要がある。

表 5.7 ポストプロセッサ用語と出力指令対応表
Postprocessor word-code format.

ポストプロセッサ用語	NC テープアドリス・コード
AUXFUN/3	M35
COOLNT/ON	M85
COOLNT/OFF	M95
PREFUN/9	G98
SPINDL/OFF	M55
STOP	M05
OPSTOP	M15

注) \$ はエンドオブブロックコードを示す。

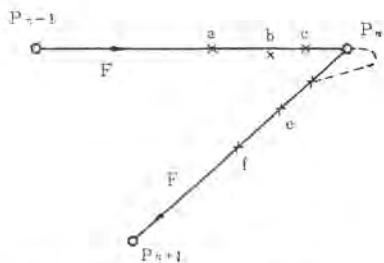


図 5.8 コーナにおけるオーバーシュート
Overshoot at corner.

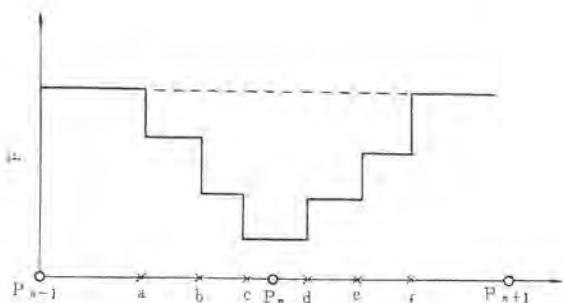


図 5.9 コーナにおける送り速度の制御
Feedrate control at corner.

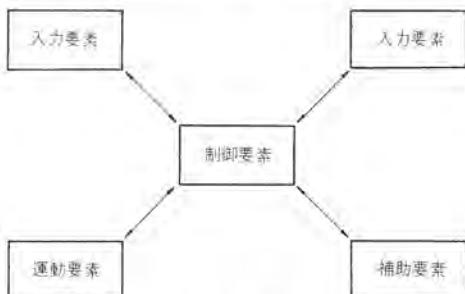


図 5.10 ポストプロセッサの構成
Structure of postprocessor.

また図 5.8 のように運動方向が急変する場合、機械にはショックを与えることなくパートプログラムで指定された送り速度ではコーナでプログラムどおりの運動をせずにオーバーシュートする場合がある。このためポストプロセッサで図 5.9 のように、減速ステップを作りだしてコーナで速度を落としコーナを過ぎるとまた加速ステップを作り出す必要がある。分割方法にはいろいろあるが、場合によっては大変複雑な処理を要求される。

(4) ポストプロセッサ アウトプットリストの作成

これは手動プログラミングにおけるプロセスシートに相当する。このほかにも次のような機能を一般に有している。

(5) 速度データの変換

(6) リミットチェック

(7) テープリード読み取り時間の補償

(8) サイクルモーションの生成

(9) 加工時間の算出

(10) 多軸機械におけるリニアリゼーション

5.6.2 ポストプロセッサの構成

ポストプロセッサはメインプロセッサが機能的に各フェーズに分かれていると同様に、機能的に制御要素、入力要素、補助要素、運動要素、出力要素の五つに分けられる(図 5.10)。各要素はモジュールと呼ばれるサブ要素から成る。ポストプロセッサの構造がモジュール化されていることは、各ポストプロセッサ間の互換性の保持および拡張性の面で重要なことである。

各要素の機能は次のとおりである。

(1) 制御要素

制御要素はポストプロセッサ全体のプログラムの流れを制御する。制御は CL データを読むため入力要素にあたり、次にこのデータを処理する運動要素または補助要素に移る。データが適当量処理されると出力要素に制御が移り、紙テープ等の出力媒体に処理される。以下 CL データがなくなるまでこの過程が繰り返される。

(2) 入力要素

入力要素はメインプロセッサの出力である CLFILE を読んでデータが許容されたものであるかどうかをチェックし、ポストプロセッサで処理しやすい形に変換する。このデータはコアのデータ領域にたくわえられ、運動要素および補助要素で適宜とり出されて処理される。

(3) 補助要素

補助要素は主としてポストプロセッサ用語の処理を行なう。ここで処理されて変換されたデータは、アウトプットバッファにたくわえられる。

(4) 運動要素

運動要素は工具の移動に関するすべての機能を実行する。この運動要素は円弧補間、リニアリゼーション等を扱う要素と NC 機械系に合った移動指令と速度指令を作りだす要素に分かれれる。処理結果はアウトプットバッファにたくわえられる。

(5) 出力要素

出力要素はアウトプットバッファがいっぱいになると、その情報を NC 機械に合った指令に変換して NC テープを作成する。また見やすい形にまとめられたアウトプットリストを作成する。

6. 将来への展望

三菱電機の NC 用言語の一つである APT の将来の発展方向には次の二つが考えられる。

APT IV 機能拡張

小形計算機用 APT の開発

それぞれについて、具体的にどのような項目があるかを述べる。

6.1 APT IV 機能拡張

(1) マクロライブラリの整備

ファミリープログラミングの基本となるもので、類似形状のパートプログラムをシステムマクロとして登録することによって、パートプログラムは、この登録されたマクロを組み合わせるだけでプログラムの作成が可能になる。

(2) プリプロセッサの開発

必要最小限度の入力データを入力するだけですむように、シャフト

用とか、プラケット用といった専用の プリプロセッサを開発する。これにより、誰でも簡単にわずかな期間で NC テープの作成が可能になる。

(3) スカルプチャードサーフェス

三次元の自由曲面の創成、および切削の機能を持つスカルプチャードサーフェスを APT IV システムに接続する。

(4) 会話形、グラフィック形 APT

NC テープ作成までの時間を短縮するため、会話形にし、かつグラフィックディスプレイやプロッタをオンラインで結び付けた APT を開発する。

6.2 小形計算機用 APT の開発

現在の APT IV は中形計算機から大形計算機用であるが、小形計算機や超小形計算機でも NC テープの作成を可能にするため、次の 2 種類の APT を開発する。

(1) ミニ APT

APT IV の機能を全体的に整理して、規模を小さくした APT の

開発

(2) モジュール APT

APT IV システムを機能別に分けてモジュール化し、小形の計算機で動く専用機を有した専用の APT を多種類開発する。このような APT を モジュール APT と呼ぶ。

7. むすび

NC 用言語としての APT IV は、きわめて強力な機能を持っており、従来より使用してきた IBM システム/360 APT III 等の文法機能もほぼ満足している。

さらに、IITRI では、APT IV に対したゆまぬ改良、機能拡張が行なわれており、MELCOM-7000 APT IV も、これからさらに改良、発展が加えられ、機械・自動車・造船等の工業オートメーションのための一大武器になっていくことを確信する。

MELCOM-7000 はん(汎)用グラフィックライブラリ(GDL)の設計

浅野 勝弘*・飯川 昭一**・藤間 孝雄**・片岡 信弘**

Design of GDL (Graphic Display Library) under MELCOM-7000 Computing Systems

Head Office Katsuhiro ASANO

Kamakura Works Shoichi IIKAWA・Takao FUJIMA・Nobuhiro KATAOKA

GDL (graphic display library) is a subroutine package for a general purpose graphic processing under the MELCOM-7000 computer systems. As a high speed soft copy device and as a conversational graphic processing device enabling the cooperation between a human and a computer, the computer graphics is expected to make rapid growth, and together with the development of the hardwares the development of utilization technique is to be hastened.

This article describes, in connection with GDL developed by Mitsubishi, the process of composing the MELCOM-7000 system and the valuation of GDL through practical testing with method of grasping basically the graphic treatment taken as a center of discussion.

1 まえがき

計算機による図形表示は1956年ごろから米国で研究されはじめ、以後ライトペン等の入力装置が開発され、初めて実用化されたのは米国の防空システム (Sage 1957-1963年) であろう。以後多くの研究者によってマンマシンコミュニケーションシステムとしてのコンピュータグラフィックシステムが発展してきた。コンピュータグラフィックシステムの意義は、計算機の長所である情報の伝達、処理の高速性、正確さ、記憶容量の大量さと人間の長所である認識能力、判断力、思考力、学習能力とを密接に結びつけて高い情報処理能力を実現させることにある。現在コンピュータグラフィックスのおもな応用分野として次のような分野が考えられる。

(1) ソフトプリントの性格の応用

(a) 空港のカウンタかロビーあるいは駅などでの発着便の便名・時刻・ゲート番号等の表示

(b) 医学上の心電図・心音図を表示し、研究者の指示によって拡大・停止・記録等を行なう。

(c) テキスト、ドキュメントの編集

(2) コンピュータと人間の協同作業

(a) CAD (Computer Aided Design)

コンピュータの記憶・演算・処理の高速さ、正確さと、人間の判断・識別能力を結びつけて、計算機と会話しながら機械設計、自動車の車体、建築物、橋りょう(梁)の設計、電気回路の設計等を行なう。

(b) シミュレーション (Simulation)

制御システム、電子交換機、経済現象のシミュレーション、航空機、宇宙船などの操縦訓練のための環境作成のシミュレーション。

(c) CAI (Computer Aided Instruction)

教育の内容とその手順など従来の経験によってかなり明確になっていることをプログラムとしておののの生徒の個性、知識のレベルに応じて、ディスプレイ装置を通して教育する。

今回、われわれはこのような計算機の応用分野に対処するため、はん用のグラフィックスシステムを開発した。本報告では、はん用グラフィックスシステムのために開発したグラフィックディスプレイライブラリについて、その設計概念、ソフトウェア技術を中心に、さらに実際の応用シス

テムに適用した場合の有用性を航空管制システムのシミュレーションを通して報告する。

2. グラフィックスハードウェアの機能および特長

マンマシンコミュニケーションシステムとして使用しうるものでなくてはならないという見地に立って、次のようなことがらが設計目標とされている。

(1) オペレータの指示に従って高速に応答できること。

(2) 長時間画像をみていても目が疲れないような高性能な画質であること。

(3) オペレータの計算機に対する指示が容易にできるような入力装置を有すること。

次に、ディスプレイハードウェアを中心とした概要を説明する。

2.1 ディスプレイハードウェアのおもな機能および性質

2.1.1 バッファード方式のリフレッシュタイプ

今回のシステムでは、画質や図形の即応性等の点で最もすぐれているリフレッシュタイプが採用されている。この方式ではCRT (Cathode Ray Tube) 画面上に図形を連続的に表示しておくために、同一図形を繰り返し表示する。このことを通常リフレッシュと呼ぶ。

また、ディスプレイコントローラにコアメモリを持ち、図形表示に必要なオーダプログラムをここに格納してリフレッシュを行なうバッファード方式となっている。このバッファと計算機のコアメモリとはデータチャネルを通して結ばれており、オーダプログラム、表示開始指示、表示停止指示等はすべて、このチャネルを通して送られる。表2.1にそのコマンドの一覧表を示す。

2.1.2 オーダ

前述のオーダプログラムを構成する要素をオーダと呼ぶ。オーダはディスプレイコントローラに表示指令あるいはそれに付随した制御指令をする基本単位であり、計算機の命令 (Instruction) に相当する。表2.2にオーダレパートリー一覧表を示す。

2.1.3 サブルーチニングと多重間接ブランチ

同一図形を画面上の二つ以上の場所に表示する際にサブルーチニングという技術を使用すると便利である。このために今回のシステムでは表示オーダにCPUのBAL (Branch And Link) 命令に相当するB

表 2.1 グラフィックディスプレイコマンド一覧表
List of graphic display commands.

分類	名 称	シンボル	機能 説明
WRITE	WRITE BUFFER	WRBF	CPU のコアメモリよりディスプレイバッファの指定番地に指定サイズのデータを転送する
READ	READ BUFFER	RDBF	ディスプレイバッファの指定番地から指定サイズのデータを CPU のコアメモリへ読み込む
	READ MANUAL INPUT	RDMIN	アテンションを発生したキー操作の詳細情報を CPU のコアメモリへ読み込む
	READ CURSOR	RDCS	キーボードインプットでディスプレイバッファへ入った情報を CPU のコアメモリへ読み込む
	READ XY CO-ORDINATE	RDXY	ライトペンアテンション発生時の图形の XY 座標を CPU のコアメモリへ読み込む
	NO OPERATION	NOPR	無動作
CONT-ROL	SET ADDRESS REGISTER & START	SARR	指定のディスプレイバッファアドレスより表示開始をする
	SET ADDRESS REGISTER & STOP	SARP	表示を停止し、指定アドレスをバッファアドレスレジスタへセットする
	INSERT CURSOR	INCS	CHU 領域へカーソル表示フラグをセットする
	REMOVE CURSOR	RMCS	カーソル表示フラグを取り除く
	SET AUDIBLE ALARM	SAUD	警報を鳴らす
	SET INDICATORS	SIND	指定のランプを点灯する
	SENSE SECONDARY STATUS BYTE	SNBY	SECONDARY STATUS BYTES を CPU のコアメモリへ読み込む

主オーダープログラム

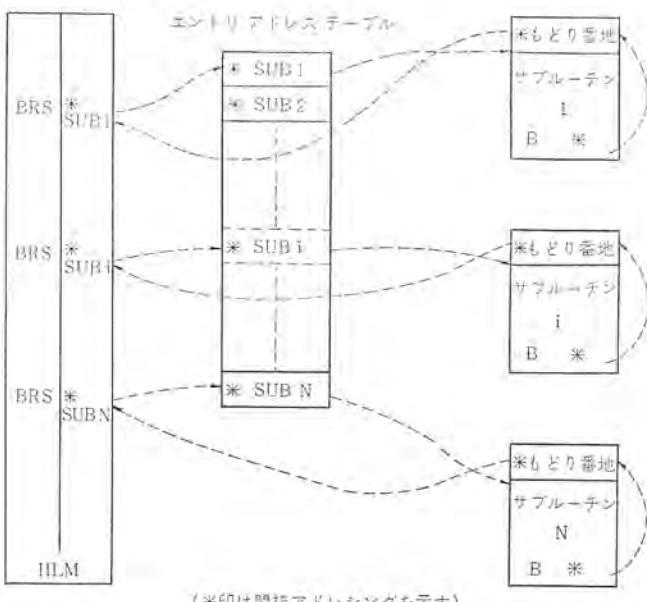


図 2.1 間接アドレッシングを使用した BRS 命令の使用例
Examples of indirect addressing by using BRS order.

RS (Branch Subroutine) オーダーが設けられている。この命令の仕様は、オペランドで指定されるアドレス 1 番地にもどり番地を格納し、さらにオペランドで指定される番地へ制御を移す。また、この BRS オーダーに多重の間接アドレッシングを許すことにより、非常に柔軟なオーダープログラムの管理が可能になっている。（後述のブロックリスト管理を参照）

表 2.2 グラフィックディスプレイオーダー一覧表
List of graphic display orders.

分類	名 称	シンボル	機能 説明
表示オーダー	ABSOLUTE POINT PLOT	APP	ビーム位置を現在位置からオペランドで指定する位置まで移動し、点を表示する
	ABSOLUTE LINE PLOT	ALP	ビームの初期位置を始点とし、オペランドで指定する位置を終点とする線分を描く
	INCREMENTAL POINT PLOT	IPP	ビームを現在位置からオペランドで指定する変化量を加えた位置まで移動し、点を表示する
	INCREMENTAL LINE PLOT	ILP	ビームの初期位置を始点とし、オペランドで指定する変化量を加えた位置を終点とする線分を描く
	CHARACTER UNPROTECTED	CHU	キーボードインでキャラクタをそう入できる領域を定義する
	CHARACTER PROTECTED	CHP	文字、記号の表示領域で、かつキーボードイン操作から保護された領域を定義する
オペランドオーダー	1 WORD NO OPERATION	NP1	無動作
	2 WORD NO OPERATION	NP2	無動作
	END ORDER SEQUENCE	EOS	表示を停止し、CPU に割込みを発生する
	HALT AND BRANCH AT MAIN FRAME	HLM	オーダープログラムの最後におくフレーム周期に同期して、オーダープログラムの開始番地へジャンプする
	BRANCH UNCONDITIONAL	BRU	オペランドで指定する番地へ無条件にジャンプする
	BRANCH SUBROUTINE	BRS	オペランドで指定するサブルーチンへジャンプする
	STORE XY-COORDINATE	SXY	現在のビーム位置をオペランドで指定した番地へ格納する
	TRACKING LIGHT UP	TRP	トラッキングマークを表示し、SXY と併用しライトペンによるトラッキングを可能にする
	TRACKING TRACK BALL	TRB	トラッキングマークを表示し、SXY と併用し、トラックボールによるトラッキングを可能にする
	PERMIT DETECT INTERRUPT	PDI	ペンディングされていたライトペン割込みを発生させる
カテゴリ	STORE CATEGORY STATUS	SRC	現在のカテゴリをオペランドで指定する番地へ格納する
	LOAD CATEGORY STATUS	LDC	現在のカテゴリをオペランドで指定される番地の内容と変更する

表 2.3 画像の持つカテゴリ
Category of image.

カテゴリ	種類
プリンティング	あり、なし
輝度	明、中、暗
文字サイズ	大、小
L P 検知	DISABLE, NONDEFERRED DETECT, DEFERRED DETECT

2.1.4 表示カテゴリの制御

マンマシンコミュニケーションをいっそう円滑に行なうために、今回のシステムでは表示画面に表 2.3 に示すカテゴリを与えてあり、LDC (Load Category Status) オーダーと SRC (Store Category Status) オーダーとによって任意の部分图形を任意のカテゴリに設定することができます。LDC オーダーは新たなカテゴリをディスプレイコントローラに設定するために使用し、オペランドアドレスで指定する語 (Word) の内容で、新

表 2.4 M-7000 計算機システム 基本機能一覧表
Specification of M-7000 system.

項目	MELCOM-7500	MELCOM-7700
記憶装置		
語 長	32 ビット (4 ビート)	
容 量	16,384 バイト～524,288 バイト	
サイクルタイム	850 ns/4 バット	
命令		
種 類	89	106
長 さ	4 バイト	
はん用レジスタ	16～256	16～512
アドレス方式	直接、相対間接、インディクタ、ページング	
演算時間		
固 定	2.0(μs)	1.8(μs)
加 算	2.0(μs)	1.8(μs)
乗 算	7.2(μs)	4.9(μs)
浮 効	4.9(μs)	3.3(μs)
加 算	9.5(μs)	5.4(μs)
入出力処理装置		
マルチプレクサ サブチャネル		
サブチャネル		
転送速度	8 (最大 24)	
セレクタ	400 k バイト/秒 (最大 800 k バイト)	
転送速度	3,000 k バイト/秒	

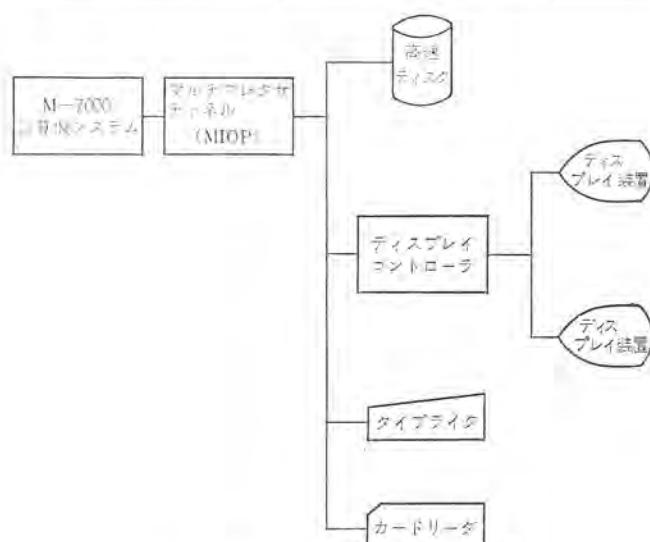


図 2.2 グラフィックスディスプレイシステムの構成例
Graphic system.

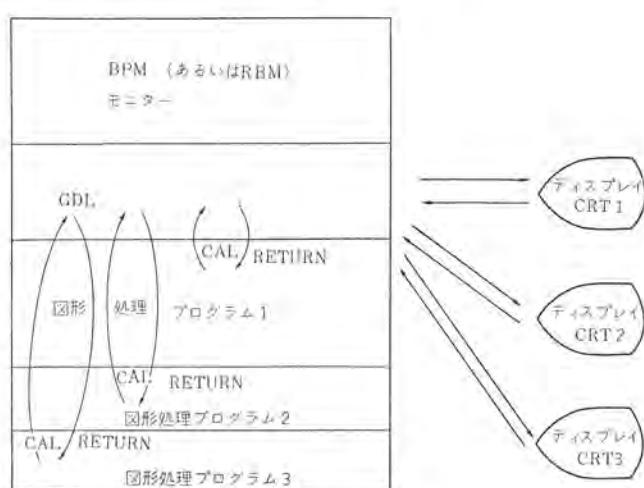


図 2.3 プログラムの動作モード
Execution mode of programs.

たな カテゴリ が決められる。また、SRC オーダ はすでに設定されている カテゴリ をオペランドアドレスで指定する語に格納することができる。

2.1.5 種々の入力機器

ディスプレイハードウェアをとおして計算機に情報を入力する手段としては

- (1) ファンクションキー
- (2) アルファニューメリカルキー (A/N + -)
- (3) ライトペン
- (4) トランクボール

等の機器がある。ファンクションキーはいくつかの押しボタンで構成されており、このキーを押すことにより計算機にチャネル割込みを発生させることができる。また、さらに計算機側では RDMN (Read Manual Input) コマンドをディスプレイコントローラへ送ることにより、実際に押されたファンクションキーを知る情報を得ることができる。アルファニューメリカルキーは英数字をコントローラ バッファへ直接入れる手段で、オペレータが打けん(鍵)したキー情報がカーソルの表示されていた CHU 領域 (CHU オーダ 参照) に格納される。CHU 領域がリフレッシュサイクルに含まれているときはその英数字はただちに表示される。ライトペンは万年筆状の形をした入力装置で、先にあるホトダイオードによって光を検出することができる。CRT 画面上で光っている部分にライトペンをあてると計算機側に割込みが発生し、計算機側では RDXY (Read XY Coordinate) コマンドによってライトペンが光を検出した CRT 画面上の XY 座標を得ることができる。ライトペンは特定の部分図形を指定したり、CRT 画面上に図面を描くのに便利である。また、トランクボールによってトランкиングマーカのローカルな移動をすることができる。最終的なトランкиングマーカの位置はトランクボールエンコーダ (ファンクションキーの一種) で計算機側に知らせる。

2.2 グラフィックス処理装置としての M-7000

計算機システム

2.2.1 ハードウェア インタフェイス

図形処理を会話形式で行なうためには、非常に高速な処理とコントローラ バッファと計算機のコアメモリ間の高速なデータ転送能力が要求される。またさらに、大規模なグラフィックスシステムになると外部記憶装置上に多くのファイルを必要とする。このような点で非常にすぐれた性能を持つ M-7000 計算機システムを今回の グラフィックスシステムでは使用している。表 2.4 に基本性能の一覧表を示す。また図 2.2 に典型的な グラフィックスシステムの構成例を示す。

2.2.2 ソフトウェア インタフェイス

グラフィックディスプレイライブラリ (GDL) は サブルーチンパッケージとして用意されており、オペレーティングシステム BPM あるいは RBM の上で動作する。GDL が使用されるときはオペレーティングシステムの機能によってコアメモリの フォアグラウンド プログラム領域にロードされ、いくつかの図形処理プログラムによって共用される。図 2.3 にその動作モードを示す。

3. GDL の機能および特長

グラフィックスディスプレイを用いたシステムにおける図形データ処理方式を考えてみると、ユーザプログラムはインプットデータをあらかじめ定められた手順に従い図形処理に適したデータ構造に作りかえ、しかるのちこのデータに従って図形を生成しディスプレイ画面に表示する。

オペレータはライトペンにより図形の一部をとらえて、これを計算機に知らせたり、アルファニューメリックキー や ファンクションキーによって、計

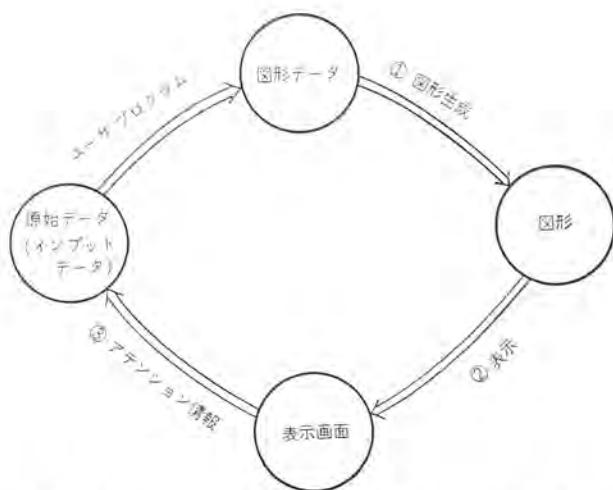


図 3.1 グラフィックスシステムにおける图形データ処理方式
Data processing system in graphic display system.

算機に各種の情報をインプットする。ユーザプログラムはこれらの情報を従って图形データの変更を行なったり、オペレータの要求する計算を行なってその結果を画面に表示する。このような過程をくりかえすことによりオペレータは最終的に必要とする結果を得るにいたる。このような過程においてグラフィックス言語に要求される基本的な機能は、次のようなものである。

- (1) 与えられたデータに従っての图形の生成とその管理。
- (2) 生成された图形のディスプレイバッファへの連送および画面表示の開始、画面の消去等計算機とディスプレイコントローラの入出力に関するもの。
- (3) ライトペン、アルファニューメリックキー、ファンクションキー等による計算機とオペレータのコミュニケーションのための割込処理に関するもの。いわゆるアテンション処理。

この(1), (2), (3)の機能相互間の関係を図示したものが図3.1である。

以下GDLにおいてこれら(1), (2), (3)の機能をいかに実現しているかを述べる。

3.1 GDLにおける图形管理方式

グラフィックスシステムにおける图形管理には次のようなことを考慮する必要がある。

- (1) 图形データに従って图形を生成するとともにその変更削除が容易であること。すなわち图形の一部分の変更が图形全体に影響をおよぼさないこと。

- (2) 图形の一部分がライトペン検出の単位となりえること。

そこで一つの图形を部分图形の集合としてとらえ、图形の変更・削除をこの部分图形の変更・削除としてとらえることにより、(1)の要求が満足される。部分图形というものはそれ自身独立に変更・削除される単位であり、必ずしもまとまった意味のある图形とはなっていない。もし一つの图形を部分图形の概念の導入なく一様な一次元的点、線等の基本图形の集合ととらえれば、その一部分を変更する場合图形全体を作り直す必要がある。また、オペレータの要求に従って图形を敏感に変化させることもできないし、CPU処理時間を不当に多く使用してしまう。图形の生成はこの部分图形の生成とこの部分图形の組立の問題となる。

GDLではこの部分图形を作り出している点、線等の基本图形の集合をブロック(BLOCK)という概念でとらえ、图形全体はこのブ

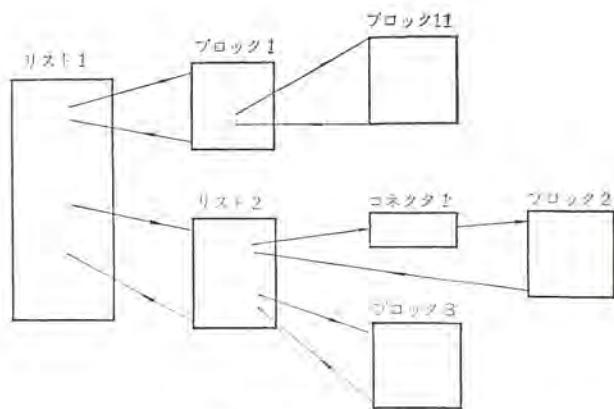


図 3.2 図形構造
Picture structure.

ロックの集合としてとらえる。图形の変更はこのブロックの変更であり、部分图形の追加・削除はこのブロックの追加・削除である。

さらにこれら部分图形を構成するブロックをつなぎあわせ、まとまった图形として構成するためにリスト(LIST)という概念を導入した。これは部分图形相互間の関係を記述するもので、これによって部分图形を組み立て、意味のある图形を生成する。一つの图形を作りあげる場合、関連のある部分图形を集め、一つのリストに接続し、これを一つの部分图形としてさらに組み立ててゆくことにより图形の階層構造を作りあげてゆく。ブロック自身も論理的に他のブロックを包含することが可能であり、ブロックどうしでも階層構造を構成することが可能である。

GDLではさらにコネクタ(CONNECTOR)という概念を導入している。これはリストあるいはブロックへブロックを接続しようとするとき、直接つながず、これを通じてつなぐ役目をするものである。これにより接続状態を解消しようとするとき、リストあるいはブロックを直接いじらずコネクタのみを変更すればよいといった图形メインテナナンス上の利点を生じる。図3.2にブロック、リスト、コネクタを用いた图形構造の一例を示す。

次に(2)の要求すなわち部分图形がライトペン検出の単位となりうるためには、ブロックそのものがライトペン検出の単位となりうればよい。しかしながらブロックで表現される部分图形は、图形メインテナナンスの観点より分けられたものであり、ライトペン検出性の観点より分けられた部分图形とは必ずしも一致するものではない。そこでブロックで表わされる部分图形の一部をさらに別のライトペン検出のための部分图形として認識するためにシーケンス(SEQUENCE)という概念を導入した。このシーケンスによって表わされる部分图形はあくまでもライトペン検出の単位であり、图形メインテナナンスの単位ではない。

また图形のメインテナナンスにおいては图形構造は変化させず、部分图形のごく一部のみを変更したいという要求が生じる。この場合この変更を行なう部分を別の部分图形として認識することも可能であるが、あまりにも图形を細かく部分图形に分割することは图形処理上非効率である。そこでブロックで表わされる部分图形を構成する点、線等の基本图形に名前をつけ、この基本图形をこの名前で参照し変更・追加・削除等行なうことを可能にした。これをエレメント(ELEMENT)と称する。これによって全体の图形構造を変更することなくブロックで認識される部分图形を細かく変更することが可能である。これはまたライトペン検出の単位ともなり得る。

以下にこれらのブロック/リスト/コネクタ/シーケンス/エレメントをいかに実現しているかを述べる。

3.1.1 ブロック (BLOCK)

ブロックは点、線等の基本図形の集合であり、これによって一つの部分図形を構成する。ユーザはこの部分図形を定義するにあたってまずブロックを宣言する必要がある。このあと基本図形生成のためのルーチン群をコールすることにより部分図形を形成してゆく。ブロックには次のような二つの属性をブロック宣言時に規定することができる。

(1) ライトペン検出性

これはこのブロックで表わされる部分図形の中にさらにライトペン検出の単位となる部分図形の定義が可能かどうかを決定するものである。これが可能であるときのみシーケンスで表わされるライトペン検出の単位となる部分図形が定義可能である。ブロック内の基本図形をエレメントとして宣言することは常に可能であるが、ライトペン検出性のブロックのときのみこのエレメントもライトペン検出の単位となりうる。そうでないときは単に基本図形変更の単位となり得るのみである。

(2) 閉鎖性と開放性

点、線等の基本図形でブロックを組み立ててゆく過程で、画面の明暗、文字の大小等の画面に対するカテゴリの指定が行なわれる。ブロック内で定めたこれらの値があとにつづくブロックに影響をおよぼすものを開放性といい、影響をおよぼさないものを閉鎖性という。

物理的にはオーダープログラムはパケットという単位で管理される。メモリはページという単位で管理されており、パケットは通常何ページかの物理的に連続したエリアによって構成される。ページの大きさは8, 16, 32, 64 バイトのいずれかであり、GDL のシステムジェネレーション時に決定される。ブロック宣言時にパケットを何ページで構成するかの宣言を行ない、以後基本図形によってブロックを構成してゆくことによりパケット内にオーダープログラムが作成されてゆく。一つのパケットがいっぱいになれば、自動的に次のパケットがとられる。このようにしてブロックは物理的には不連続な複数個のパケット(最大15個)によって構成される。

3.1.2 リスト (LIST)

リストは部分図形相互関係を記述するものであり、これによって図形を構成してゆく。実際にはリストは他のリストあるいはブロックへのサブルーチンジャンプのオーダのみで構成されており、これ自身ではなんらの図形を表現するものではない。

3.1.3 コネクタ (CONNECTOR)

コネクタはリストあるいはブロックにブロックを接続するとき、これを通じて接続することにより図形のメインナビリティをよくしようとするものである。実際にはこれは1ワードのテーブルであり、ブロックのアドレスを保持するものである。

3.1.4 シーケンス (SEQUENCE)

シーケンスはライトペン検出の単位となる部分図形であり、基本図形によってブロックを構成してゆく過程において、ブロックで表わされる部分図形の一部をさらに部分図形としてシーケンス宣言するものである。実際には構成過程においてシーケンスの始まりと終りを宣言することにより、その間に生成された基本図形の集合がシーケンスとして認識される。

3.1.5 エレメント (ELEMENT)

エレメントはブロックを構成する一つの基本図形を、図形変更あるいはライトペン検出の単位として認識しようとするものである。これはまたシーケンスの中に宣言することも可能である。これはブロックを基本図形によって構成する過程において基本図形の一つをエレメントとして宣言することによってなされる。

3.2 GDL における図形生成方式

オーダープログラム生成のための手順は次のようなものである。まず图形構成に必要なブロック、リスト、コネクタ等を GBLOCK, GLIST, GDECLC 等を用いて宣言を行なったあと、マスタリストに他のリスト、ブロック等を GCONSL を用いて接続してゆく。さらにマスタリスト以外のリストにもこのようにしてリスト、ブロックを接続し图形構造を作りあげてゆく。この後オーダープログラムをつめてゆくブロックを GSELE CT で順次選定し、GBEAM, GPOINT, GLINE, GCHA, GSEQ P, GSEQL, GSEQC 等のオーダ生成のためのサブルーチンをコールしてオーダープログラムを生成してゆく。これらオーダ生成に際しては、ビーム位置の指定はいずれも絶対あるいは現在位置からの相対アドレスのいずれもが指定可能であるから、相対アドレスのみでブロック内のオーダを生成すればこのブロックははん用部分図形となりうる。

ブロックにブロックあるいはコネクタを接続するには GSUBRD, GSUBRI 等を用いればよい。图形生成が終わった時点で GPLOT をコールすることによりオーダープログラムをディスプレイバッファに転送し、表示の開始を行なう。

表示図形の変更のためには、GDELETE, GALTER, GRESET, GERASE 等のルーチンが用意されている。また画面の明るさ、文字の大きさ、ライトペン検知性等のイメージカテゴリの制御のために GBLINK, GINTENS, GSIZEx, GDSIZE, GSENS 等のルーチンが用意されている。

さらにアルファニューメリックキーによる文字の入力のためのカーソルのそう入、削除のために GlCURS, GRCURS, GRDATA 等のルーチンが用意されている。(表 3.1 参照)

3.3 GDL による図形構成の一例

次に GDL を使用して图形表示を行なった一例を示す。

ブロック 0 には車輪表示のためのオーダがセットされており、ブロック 1 には右車輪の中心に、ブロック 2 には左車輪の中心にビームの位置を移動するオーダがセットされている。リスト 1 にブロック 1, ブロック 2 を接続し、リスト 1 の先頭より画面表示を行なったものが図 3.4 である。

さらにこのリスト 1 にブロック 3, ブロック 4 を接続し車体の表示を行なったものが図 3.5 である。車体の真ん中の線はブロック 3, ブロック 4 の両方より描かれるため濃くなっている。これにさらにブロック 5, ブロック 6 を接続し、窓わくを追加したものが図 3.6 である。次にブロック 7 のアンテナを追加し、ブロック 5 の中に窓内わくをシーケンスとして追加し、さらにその中に縦線と下の線をエレメントとして追加したものが図 3.7 である。さらに右の窓、ブロック 6 について同様のことを行なったものが図 3.8 である。ブロック 5 のエレメントの縦線を斜めの線に、横線を文字におきかえたものが図 3.9 である。次にブロック 5 のエレメント以下を消却し、ブロック 6 全体を消却し、新たに作りなおしたものが図 3.10 である。

3.4 GDL におけるバッファ管理方式

3.4.1 ディスプレイバッファの管理方式

このディスプレイはバッファード方式であり、またマルチコンソール方式であるため、ディスプレイバッファの各コンソールへの割りあては図 3.11 のように行なわれる。

すなわちディスプレイバッファの先頭にはハードウェア使用のための固定エリアがあり、残りの部分を各コンソールに対するオーダープログラム格納のエリアとして割りあてる。各コンソールは他のコンソールとは独立にそれぞれに対するオーダープログラムをアクセスすることにより画面表示を行

表 3.1 GDL サブルーチン一覧表

List of GDL subroutine.

ルーチン名	機能	ルーチン名	機能	
ディバイスコントロールルーチン			エレメントオペレーションルーチン	
GALOCAT	コンソールにディスプレイバッファをわりあてる	GSELECT	以降のオーダをセットしてゆくブロックを選定する	
GRELEASE	コンソールが占有していたディスプレイバッファをフリーにする	GBEAM	指定された位置にビームを移動させるオーダを生成する	
GVARY	コンソールのオンラインオフラインの切りかえを行なう	GIDBEAM	以降のオーダ生成のため現在のビーム位置をシステムに与える	
GASSING	コンソールにオペレーションナルレベルを与える	GPOINT	点の表示を行なうオーダを生成する	
イニシエイションターミネーションコントロールルーチン			GLINE	
GINIT	ワーキングエリアに図形データ生成のための初期設定を行なう	GCHAR	指定した位置に指定された文字表示を行なうオーダを生成する	
GREQ	指定したインターブトに対応したタスクの起動を行なう	GSPACE	指定した文字数だけのスペースを行なうオーダを生成する	
GTERM	図形処理の終了を宣言する	GSEQP	指定されたテーブルにしたがって点表示を行なうべくオーダを生成する	
GUSE	GNOUSE で切りはなされていたワーキングエリアとディバイスの関係を復旧する	GSEQL	指定されたテーブルにしたがって線表示を行なうべくオーダを生成する	
GNOUSE	ワーキングエリアとディバイスの関係を切りはなす	GSEQC	文字列の表示を行なうオーダを生成する	
GEXIT	タスクの終了を宣言する	GLOADA	エーザの作成したオーダをブロック内にセットする	
GTRAP	トラップ発生時にコントロールを受けとるルーチンを宣言する	GRSBEAM	現在のビーム位置をリストアする	
オーダ実行コントロールルーチン			サブルーチンコントロールルーチン	
GPLOT	指定されたブロック／ルーチンの先頭から表示を開始する	GSUBRD	指定されたブロック／リストへのサブルーチンジャンプオーダが生成される	
GCLEAR	画面表示を停止する	GSUBRI	指定されたコネクタをかいしてのインダイレクトサブルーチンジャンプオーダが生成される	
GWAIT	I/O動作に対して同期をとる	GCONNECT	指定されたコネクタにブロック／リスト／コネクタを接続する	
イメージマネージメントルーチン			GDISCON	
GSEGMNT	セグメントの宣言を行なう	指定されたコネクタをフリーにする		
GBLOCK	ブロックの宣言を行なう	イメージカテゴリコントロール		
GLIST	リストの宣言を行なう	GBLINK	プリントを行なうオーダを生成する	
GCONSB	二つのブロックを接続し一つのブロックにする	GINTENS	画面の明るさを指定したものに変更するオーダを生成する	
GCONSL	指定されたリストへブロックまたはリストへのジャンプオーダを生成する	GSIZE	文字の大きさを制御するオーダを生成する	
GBSEQ	シーケンスの始まりを宣言する	GIDSIZE	システムに対して現在の文字サイズを知らせる	
GESEQ	シーケンスの終了を宣言する	GSENS	ライトペン検知性の制御を行なう	
テキストオペレーション			テキストオペレーション	
GELEMNT	エレメントの宣言を行なう	GICURS	指定された位置にカーソルをセットする	
GDECLC	コネクタの宣言を行なう	GRCURS	カーソルを取りさる	
GDELETE	リストにつながっているブロックまたはリストを切りはなす	GRDATA	キーボードによりインプットされた情報を読みこむ	
GALTER	エレメント内のオーダを入れかえる	トラッキングオペレーション		
GRESET	指定されたエレメント以降のブロック内容を消却する	GTRACK	トラッキングマーカの表示を行なうオーダを生成する	
GERASE	指定したブロック／リストを消却する	アテンションコントロールルーチン		
スペシャルコントロールルーチン			GATTEN	
GLIGHT	指定したコンソールランプのオンオフを行なう	GINQ	アテンションリースの制御を宣言する	
GALARM	コンソールのブザーをならす			

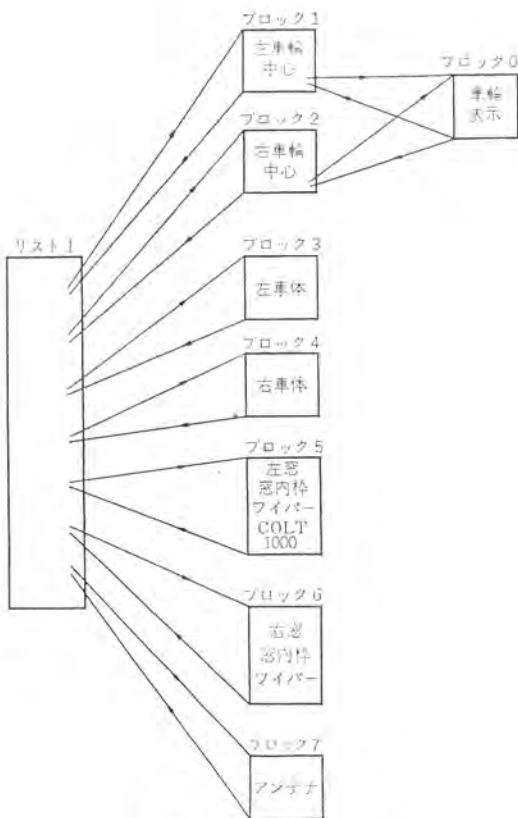


図 3.3 図形構成の一例
Example of picture construction.



図 3.4 車輪の表示
Picture of wheel.

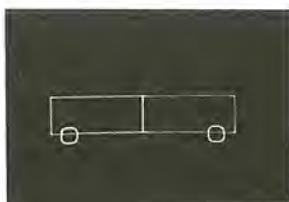


図 3.5 車体の表示
Picture of body.

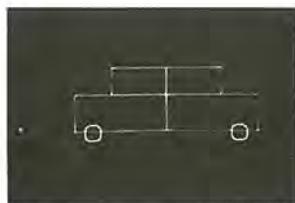


図 3.6 窓わく表示
Picture of body with window frame.

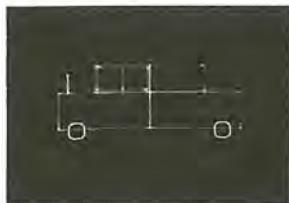


図 3.7 アンテナ表示
Picture of body with antenna.

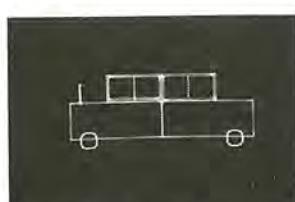


図 3.8 車体表示
Picture of body.

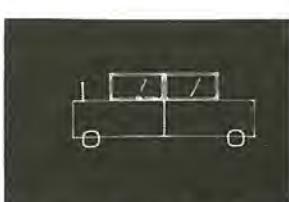


図 3.9 ワイパー表示
Picture of body with wiper.

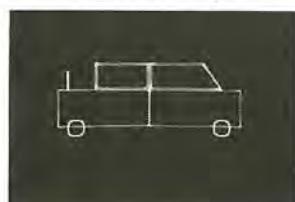


図 3.10 車体表示
Picture of body

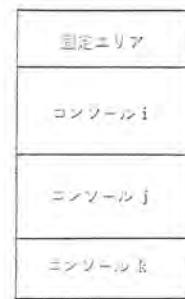


図 3.11 コンソールに対するディスプレイバッファの割当て
Allocation of display buffer to consoles.

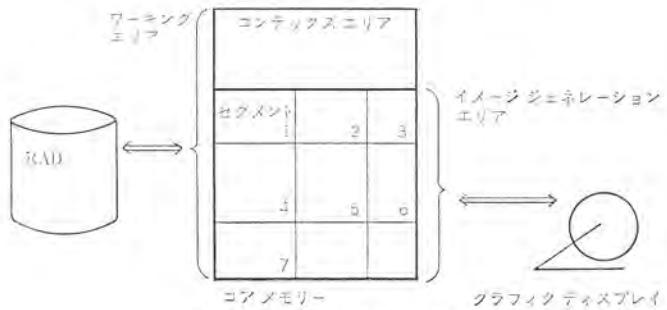


図 3.12 ワーキングエリアの構造
Structure of working area.

なう。ユーザの使用するコンソールおよびコンソールに割りあてられるバッファは、ユーザの宣言によって決定される。

3.4.2 ワーキングエリアの管理方式

ユーザプログラムがオーダープログラムの生成するエリアおよびその他の图形構成上必要とされる制御情報を格納するエリアをワーキングエリアと名付ける。このワーキングエリアはさらにコンテックスエリアとイメージジェネレーションエリアの二つに分かれる。コンテックスエリアには各ブロック、リスト、コネクタ等の属性および各種制御情報等がセットされる。イメージジェネレーションエリアにはディスプレイのリジェネレーションに用いられるオーダープログラムそのものが生成される。ディスプレイバッファへ転送されるのはこのイメージジェネレーションエリアのみであり、コンテックスエリアはメモリに残される。(図 3.12 参照)

3.4.3 イメージジェネレーションエリアのディスプレイバッファへの転送方式

ユーザプログラムによりオーダープログラムが生成されるのはイメージジェネレーションエリアであり、実際にコンソールに画面表示のためのリジェネレーションを行なうためアクセスされるデータは、コンソールバッファ内にイメージジェネレーションエリアより転送されたオーダープログラムである。したがって、以下ユーザプログラムによりイメージジェネレーションエリアの内容が変更されるたびごとに、ディスプレイバッファへのデータの転送が必要となる。画面全体の変更、部分変更にかかわらず、イメージジェネレーションエリアを常にディスプレイバッファへ転送すればもっとも簡単であるが、データ転送中にジェネレーションが中断するため画面の表示に中断が生じてのぞましくない。したがってデータ転送量はなるべく少なくするのがのぞましい。イメージジェネレーションエリアの変更部分のみを連送する方法も考えられるが、イメージジェネレーションエリアの変更部分は必ずしも物理的に連続しておらず、変更部分のみを選んで転送するには必ずしも能率的でない。したがってGDLではセグメント(SEGMENT)という概念を導入した。これはワーキングエリアをいくつかのセグメントに分割し、画面変更を行なった場合には変更に関係したセグメントのみを連送しようとするものである。この個々のセグメントの大き

さはユーザによって定義される。(図 3.12 参照)

3.4.4 RAD (磁気ディスク) とコアの転送方式

ディスプレイコントローラの台数が複数台にわたる場合、おのののコンソールに対するワーキングエリアをすべてコアメモリにもつことは能率的でない。そこでそのタスクが他のコンソールに対するワーキングエリアの処理を行なっている間、そのコンソールに対するワーキングエリアを RAD (Rapid Access Disk) へ退避することを可能にした。これによつてユーザはコアメモリを有効に用いることができる。この RAD へのワーキングエリアの退避に先立つて、ユーザはワーキングエリアとコンソールとの切りはなしを宣言する必要がある。この宣言を行なつたあと、ユーザは自分の責任においてワーキングエリアを RAD に退避することが可能となる。逆に RAD 等へ退避した画面を復帰して再びそのコンソールに対する画面処理を行なうことが可能である。これにより複数台のコンソールに対する画面処理を一つのワーキングエリアで行なうことが可能である。

3.5 GDL におけるアテンション処理方式

図形処理においてはライトペン、キーボード入力、その他のエラー等のアテンションソースが存在する。これらのアテンション処理方式としてプログラム技術的にみれば、図形処理タスクとは独立なタスクをアテンションによって起動する方式と図形処理タスクでアテンション情報をポーリングする方式の二つが考えられる。

GDL では図形処理の容易さから後者の方を選んだ。アテンション情報はキューイングされユーザリクエストによりユーザに渡される。ユーザはアテンション情報を取りこむにあたつては情報取りこみのエリアを指定する。取りこまれる情報は次のようなものである。

ファンクションキーによるアテンション：キーコード

ライトペンによるアテンション：ライトペンが与えた図形を構成するブロック、シーケンス、エレメントの識別子 (ID)

ライトペントラッキングによるアテンション：ブロック、シーケンス、エレメントの識別子および X 座標、Y 座標

エラーアテンション：ハードウェアの各エラーステータス

ただしこれらのアテンションが発生したとき、そのタスクが待 (wait) 状態にあればタスクのトリガが行なわれる。

またユーザは必ずしもこれらすべてのアテンションソースを必要としているわけではない。そこで各アテンションソースについてディスアーム、アームディスエイブル、アームイネイブルの三つのコントロール指定を可能とした。ディスアームの状態ではアテンションが発生してもキューイングされず無視される。またアームディスエイブルの状態ではアテンション情報はキューイングされるがタスクのトリガは行なわれず、またユーザリクエストによつてもアテンション情報は取りこまれない。アームディスエイブルの状態では通常のアテンション処理が行なわれる。

4. 應用システムからみた GDL の評価

—航空管制システムのシミュレーション—

上記グラフィックディスプレイシステムがより高度の応用システムにどのように役立つだろうか、また、どのような問題が生ずるであろうかといふ疑問に対して解を求めるため、当社で以前より開発を進めている航空管制システム (ATC) の MELCOM-7000 システムによるリアルタイムシミュレーションを行なつてみた。

この結果、上記のようなグラフィックディスプレイシステムがこの程度の応用システムにはかなり有効であるという結論を得た。

4.1 ATC におけるグラフィックス処理の概要

以下に ATC 自動化システムにおける表示内容、入力処理内容、グラフィック処理の特長等について述べる。

(1) 表示内容

(a) 航空機シンボル

各航空機の航空位置、種別を示す。

(b) タグ

各航空機ごとに名札として、便名・高度等の航空機情報を当該シンボルの近くに表示する。

(c) タビュラ飛行情報

航空機が到來または出発する前にあらかじめその航空機情報を表形式で表示する。また状況によってタグ表示を中断し、その航空機情報を表形式で表示する。

(d) マップ

航空路、レンジマーク (レーダからの距離を示す円)、管制境界等の図的情報を表示する。

(e) その他

システムメッセージや刻々の時刻、英数字入力内容等を表示する。

表示状況の一例を図 4.1 に示す。

(2) 入力処理内容

(a) 航空機情報の表示制御

各航空機情報の内容変更やタグ表示の開始、終了に関する制御等を行なう。

(b) 画面制御

画面の拡大、縮少または移動 (オフセット) に関する制御や表示対象データの選択を行なう。

(c) データ指定入力

ライトペンやトラックボールによって入力処理の対象とする航空機などを特定するデータを指定する。

(3) ATC グラフィック処理の特長

ATC における表示処理は、CAD (Computer Aided Design) 等のグラフィック処理と異なり、次の 2 点が指摘される。

(a) 表示出力を中心とした比較的単純なインタラクティブグラフィックス

ATC 表示機能の主眼はレーダーの動きに合わせて航空機の位置、

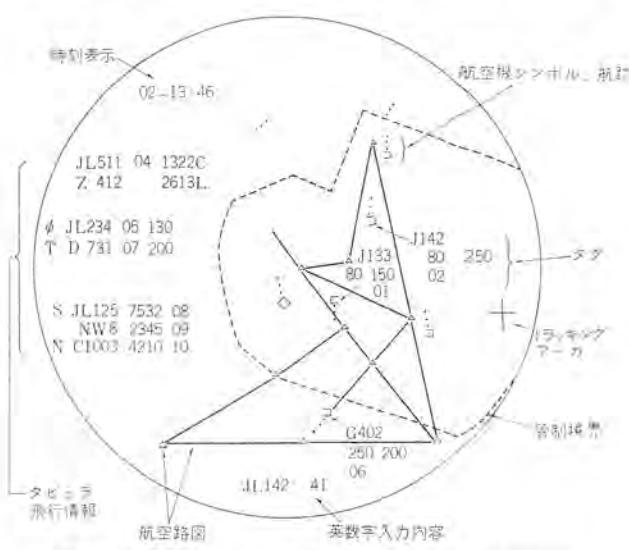


図 4.1 ATC におけるグラフィックディスプレイの表示例
Display example in ATC.

タグの内容等を日々更新することにある。入力処理は以後の表示更新における各航空機の表示様式、内容を制御するもので簡単な制御情報の設定のみでよい。したがって、インタラクティブグラフィックスではあるが比較的単純である。

(b) 単純なデータ構造

表示出力、入力とも個々の航空機の情報のみによってほとんど処理され、他機との関連による複雑な処理は少ない。したがって、一般的なグラフィックと異なりデータ間に複雑な相互関係がない。これらの観点から、いわゆるグラフィック用の高レベル言語 (Problem Oriented Language) は特に必要とせず、イメージ管理を中心とした GDL レベルでのサポートが適合する。

4.2 ATC 表示処理からみた GDL の機能評価

GDL の使用により ATC 表示処理は表示装置機械語の処理から解放され、論理的かつ比較的容易にイメージを取り扱える。このレベルのグラフィックスとしては機能的に十分なサポートといえる。以下に ATC における GDL 利用方法を述べる。

4.2.1 イメージエリアの構成

表示イメージを作るときは、最初に全体を格納するメモリ場所を規定する。さらにイメージエリア全体を複数個の転送区画 (セグメント) に区分し、各表示項目のイメージエリアはそれぞれのセグメントの中にパケットとしてとる。パケットの割付けは任意の時点でダイナミックに行なえるように GDL によってサポートされる。

(1) 表示項目とパケットの対応づけ

各表示項目に対するパケットの割付けは論理的単位 (ブロック) で行ない、ブロックを宣言するときにパケットサイズを指定する。

(a) 航空機シンボル、タグ、タビュラ飛行情報は一機のイメージごとに論理的操作を行なうので、その単位でブロックを規定しパケットを割り当てる。

(b) 英数字入力イメージ、トラッキングマークは入力に関係するため、それ以外のイメージと独立なブロックとしてパケットを割り当てる。

(c) マップ情報、その他は航空路、時刻表示等イメージの種類ごとにブロック化してパケットを規定した。

(d) タグ等各航空機に関するイメージには動的なデータ量の増減がない。またその他のイメージはあらかじめ最大データ量を規定できる。この ATC イメージの特殊性を根拠にイメージエリアの能率を考えてマルチパケットにならないように考慮した。(マルチパケットではブロックオーバヘッドが大きくなる)

(2) イメージのセグメント

イメージをセグメントに分割することによって種々の利点が得られるが、ATC では次の諸点を考慮してイメージのセグメント化をはかった。

(a) 表示タイミングの異なるものはセグメントを分離する。これによって不要なデータ転送を避ける。さらにパッファへのイメージ転送中は表示がとまるが、転送データ量を少なくすることによって表示停止時間が短くなる。この観点は ATC のような周期的更新のある業務では人間工学的に重要な問題である。

(b) イメージパターンの異なるものをセグメントに分割する。航空機シンボル、タグ、タビュラ飛行情報はそれぞれのイメージ形式をもち、発生消滅の動きがランダムである。このような場合、イメージエリアの効率、処理の簡潔さ、デバッグの容易さを考慮するとイメージパターンごとにセグメントを分けるのがよい。

イメージエリア効率を例にとると次のようにいえる。たとえば航空機シンボルとタグを混合して1個のセグメントを構成すると、図 4.2 の

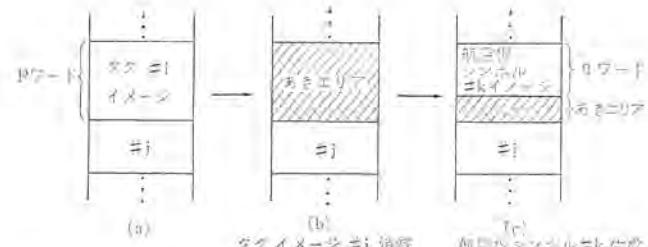


図 4.2 イメージ領域の動的割付け
Dynamic allocation of image area.

(a) の状況から(c) の状況に変わるとときにはばなあきエリアを生じる。このエリアはイメージ #1 が消滅するまで使用不可になる。このような状況が各所にできるとエリア効率が悪くなる。

(c) 英数字入力、トラッキングマークの各イメージを独立のセグメントとする。これらのイメージはディスプレイバッファへ転送されたあと表示卓のマニュアル操作によって計算機内のイメージと独立に変わる。

計算機が他のイメージを出力するとき英数字入力イメージも出力すると、表示卓よりマニュアル入力途中のディスプレイコントローラバッファ内のイメージが計算機内のコアメモリにあるイメージによって置きかえられ破壊されてしまう。このような事態を避けるため、英数字入力イメージ等は独立のセグメントとする。

(3) ATC イメージの物理的構成

以上の方針に基づいて図 4.3 のようなイメージエリア構成をとった。

4.2.2 イメージの論理構成

ATC では表示データ量は多いが表示内容、メインテナンス操作共に比較的単純である。イメージのメインテナンスは航空機1機ごとの単位あるいは特定のエレメント更新を主とし、複数個の集合体を対象とする論理的操作はほとんどない。したがってイメージのブロックリスト構成を簡潔さ、デバッグの容易さに着目して構成した。ブロックリスト構成の要点は次のようである。

(1) 表示項目とブロックの対応づけ

各表示項目のブロック化は 4.2.1 項(1)の項で述べたとおりである。タグ、タビュラ飛行情報についてさらにその中を細かくブロック化することはイメージ構成の簡潔性、ブロック化に伴う制御データの増加等から行なっていない。その中の詳細項目に関するメインテナンスはイメージエレメントの更新として取り扱う。

(2) イメージ構成の要点

(a) ブロック化した各表示項目をリストによってつなぎ1枚の画面 (イメージ) を作る。

(b) 航空機シンボル、タビュラ飛行情報は発生消滅のひん度が激しいので、それぞれ航空機シンボルのブロックのみからなるサブリスト、タビュラ飛行情報ブロックのみからなるサブリストを作りイメージ構成を簡明にする。

(c) タグは対応する航空機シンボルイメージにサブルーチンとしてつなぐ。

(d) 全体をつなぐリストとしてマスタリストを定義しサブリスト、各種ブロックを接続する。マスタリストはリストエレメントの変更がない。

(3) イメージの構成モデル

上記の方針によってアクティビティの異なる表示項目をつないで簡潔な構成モデルを得た。全体の構成概要、および表示順序を図 4.4 に示す。

(4) エレメント構成

各ブロックはそれぞれの表示内容に応じた複数個のエレメント (表示

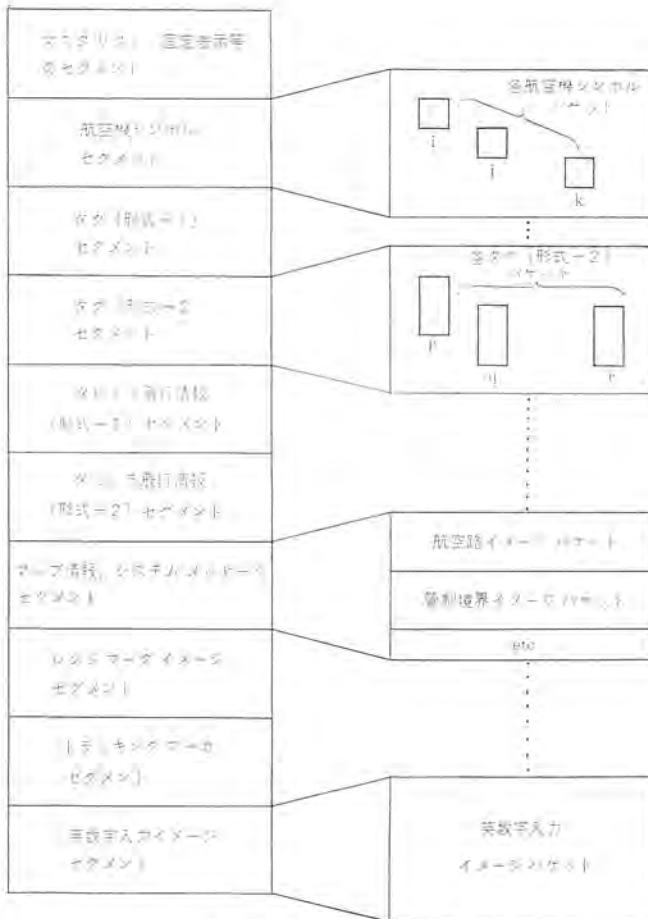


図 4.3 イメージ領域の構成例
Construction of image area.

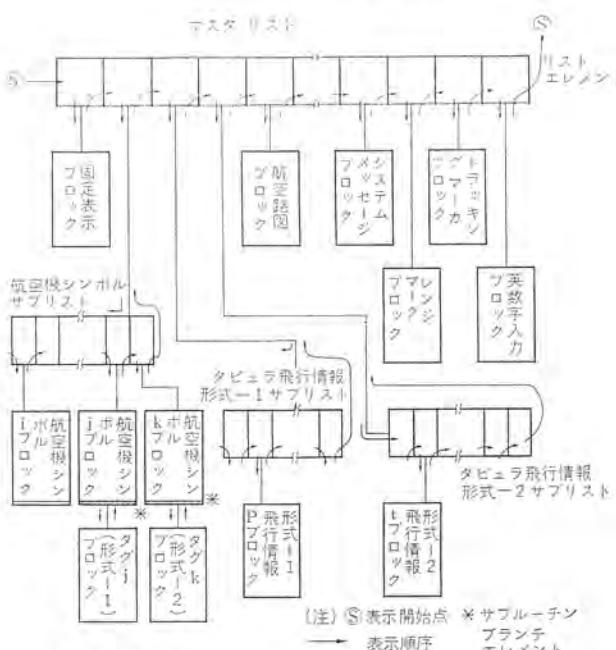


図 4.4 ATC 表示イメージの論理的構成と表示順序
Logical structure and display sequence of a display image in ATC.

要素) からなる。 代表的な例として航空機シンボルの場合を図 4.5 に示す。

4.2.3 イメージ更新

GDL の各種イメージメンテナンスサブルーチンによりイメージの更新は容易に行なえた。以下にイメージ更新の形態を GDL による具体的方

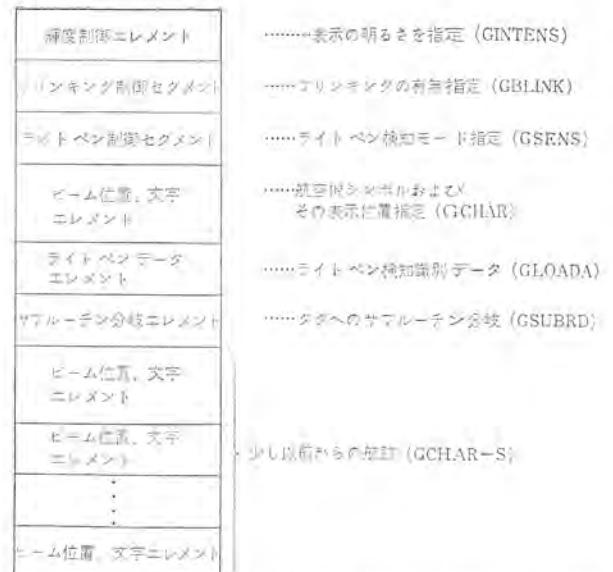


図 4.5 航空機シンボルを表示するブロックのエレメント構成図
Construction of element to display symbols of air plane.

法を示す。

(1) イメージの生成とまっ(抹)消

既述のように航空機シンボル、タグは到着機が空港空域に到來したり、出発機が離陸したときに初めてそのイメージを作る。また機が着陸したり、出発機が空港空域から外へ出た時点でイメージをまっ消する。タビュラ飛行情報も特定事象の発生によってイメージの生成、まっ消を行なう。これらの要求に対して、ダイナミックなイメージの生成、まっ消といふブロックレベルでの論理的操作を必要とする。(図4.6 参照)

(2) エレメントの更新

航空機の進行につれて航空機シンボルの位置、タグの内容（高度など）を周期的に刻々更新せねばならない。これらはそれぞれのブロックにおけるエレメントの更新によって行なう。図4.7にエレメント更新の手順を示す。

(3) ブロック内イメージの入れかえ

(a) システムメッセージ、航空路図等はブロックとしてのダイナミックな生成、まっ消は必要ない。最初、ブロック、それに付随してパケットを定義し永久に存在させるのがよい。しかし マニュアル 入力等によってその内容を部分的にあるいは全体を変更する必要がある。この場合のメンテナンスは複数個エレメントのリセット機能が適合する。

(b) ブロック内に最初にエレメントを生成するとき、以後内容を更新される部分の先頭のエレメントに対して GDL にエレメント宣言をする。メインテナス時にそのエレメントをさ(指)して、それ以降のエレメント全体をリセットして新をなエレメント群を生成する。(図 4-8 参照)

4.3 ATC 用途からみた GDL 性能評価

4.2 節に示したように、GDL の機能面では ATC 用途に格好である。しかし ATC 同様、表示データ量が多く、かつひん繁にイメージの更新を行なう業務では、量的性能面で 2、3 難点があるようと思われる。

(1) 表示容量

グラフィックディスプレイでは1秒間に数十回同じイメージを繰り返し表示することによって、明るくフリッカ(ちらつき)のない画面を得る。したがって全イメージを1回表示する最大時間が規定される。この制限時間内に表示できるデータ量(表示容量)が多いほどよい。一般に



図 4.6 ブロックの生成、まつ消手順
Creation and deletion sequence of block.



図 4.7 エレメントの生成、まつ消手順
Creation and deletion sequence of element.

イメージには実質的な表示（文字、線）を伴わないエレメントがはいるが、表示容量向上のためにはこのような無効エレメントの少ないほうがよい。GDL のブロックリスト構成はサブルーン分岐エレメント、ブランチエレメント等の制御エレメントがはいり無効分となっている。ATC の経

図 4.8 ブロック内のエレメントの入れかえ手順
Replacing sequence of element.

験から類推すると一般的なグラフィックス業務においてもブロックリスト構成によって 1~3 割程度は無効時間になると思われる。したがって大きな表示容量を要求する業務では丁寧な構成に工夫を要する。

(2) イメージエリアの所要量

ブロックリスト構成はイメージエリアにおいても幾つかのオーバヘッドが生じる。1 個のブロックは数ワードの制御データエリアを必要とし、リストは全体が一種のオーバヘッドとみなされる。原則的にブロックとリストエレメントとは対をなすから、1 個のブロックに対して 10 ワード強のオーバヘッドを生じる。したがってイメージを細くブロック化するとイメージエリアの効率が悪くなる。(たとえば 1 ブロック 10 ワードのエレメントとするとオーバヘッドは 50 パーセント強になる) 表示データ量が多いときはこの点も考慮してイメージ構成を行なう必要がある。

(3) イメージ処理能力

一般的にいってインタラクティブ グラフィックスは、マンマシンコミュニケーションのため機能面の整備も重要であるが処理速度が重視される。GDL でもこの点かなりの配慮がなされているが必ずしも十分とはいえない。もし、GDL を使用せずに専用のライブラリを使用すれば 2 倍程度のイメージ処理能力になることが予想される(ただし、これはイメージ処理内容によって異なるであろう。また上記はエラーチェック等の機能やメインテナビリティ等の機能面を考慮に入れてない)。しかしこのような処理能力の不足は GDL というより グラフィックス処理そのものがもつ性格と思われる。

(4) プログラム デバッグの困難さ

一般的にいってやや複雑なイメージ構成になると普通の技術計算、EDP 処理に比べてデバッグが困難である。その要因として

(a) オーダ(表示装置機械語)の順序等に誤りがあると画面が消えることが多く、イメージ全体の中からエラー個所で摘出することが

困難である。

(b) イメージ内容をひん繁に変更した後のイメージは、比較的簡単なブロックリスト構造でもその追跡がやっかいである。

(c) エラー個所が判明してもその原因がわかりにくい。一般にはイメージメインテナンスの操作ミスで生じるが直接原因を把握しにくい。等があげられる。これらに対処する方法として次のような方法があげられる。

(イ) デバッグサポート機能を備える（表示順序のトレースなど）

(ロ) 業務処理とグラフィックサポート間のインターフェイスにおいてエラーチェックを充実する。しかし組み合わせによるエラー等があり、十分なチェックアウトはなかなか困難であろう。現に GDL ではかなりのエラーチェックがなされているが、今回のシミュレーションでは結構イメージ内容にエラーがでた。

(ハ) 画面が消えるなどの重大なエラーが生じないようなオーダ体

系にする。

5. む す び

以上に述べた GDL は、4 章で述べた航空管制シミュレーションシステムをはじめとして多くの実試用に供しており、多方面から機能的・性能的・使い勝手の面から本論文には掲載していない種々のご批判をいただいている。

今後はこの実試用結果を見守り、そこから得られるデータを参考にし、よりいっそうの実用化を目指し各方面からの要求を満足できるよう改良を進めていきたい。

最後に、この GDL を設計・製作するにあたり多大のご協力をいただいた COSCO Ltd. 諸氏、また数多くの有意義な意見をいただいた本社・システム事業部関係者各位に深く謝意を表する。

C 232 形 カラーキャラクタディスプレイ装置

大川 清人*・渡辺 治*・田 隆吉*・小田 勇介*

Type C 232 Color Character Display System

Kamakura Works

Kiyoto OHKAWA・Osamu WATANABE・Takayoshi DEN・Yusuke ODA

Remarkable is the development of recent MOS IC memory, which has entered into the stage of practical use. As the MOS IC memory has various merits, effective utilization of its merits has made it practicable to design a system which was hard to realize up to now. By the use of MOS IC RAM for a refresh memory, and MOS IC ROM for a character pattern generator, a new type of character display system has been developed. This article describes a type C 232 multi-station type color character display system which has made it possible to operate 128 key boards at the same time, individually.

1. まえがき

計算機の利用技術が向上するにつれ、計算機を使ったシステムの中で周辺装置がしめる割り合いは、年々高くなり、将来は 50% を越すであろうとも言われている。中でも入出力装置は、機械と人間とが出会う重要な接点であり、これまでにも種々の入出力装置が使われてきたが、これらは、印字速度が遅い、書きなおしがきかない、騒音がある、などの欠点があり、必ずしも満足できるものではなかった。

これに対して、キャラクタディスプレイ装置は、コード化された情報を像化して表示するための文字パターン発生器と CRT (陰極線管)、1画面分の情報を記録するリフレッシュメモリ、制御装置、および情報を入力するためのキーボードを有する全電子式入出力装置で、情報の転送および編集は、人間の感覚からみれば瞬時に起こる。装置は全電子式であるため騒音を発せず、よりすぐれた入出力装置であるといえる。

このような特長を生かして、最近キャラクタディスプレイを取り入れた計算機システムの開発がさかんになり、キャラクタディスプレイもすでに実用の域に達したものと思われる。

今回、リフレッシュメモリに MOS IC RAM (Random Access Memory) を使用し、文字パターン発生器に MOS IC ROM を使用したマルチステーションカラーキャラクタディスプレイ装置を開発したので、その概要を紹介する。

2. 構成および仕様

C 232 形 キャラクタディスプレイ装置の構成を図 2.1 に、仕様を表 2.1 に示す。制御部は、構造的には高さ 1,800 mm、幅 700 mm、奥行 600 mm の架 1 本で、この中に、制御回路、制御盤、電源、端子盤をすべて収容している。CRT および K/B は、端子盤からケーブルで接続され、最大 1.5 km まで離すことができる。制御部の写真を図 2.2 に示す。

本装置の構成要素は下記のとおりである。

- (1) CRT コントローラ (CRT CONT)
- (2) リフレッシュメモリ (RFM)
- (3) 入出力 コントローラ (IOC)
- (4) ビデオ回路 (VIDEO)
- (5) タイミング回路 (TMG)

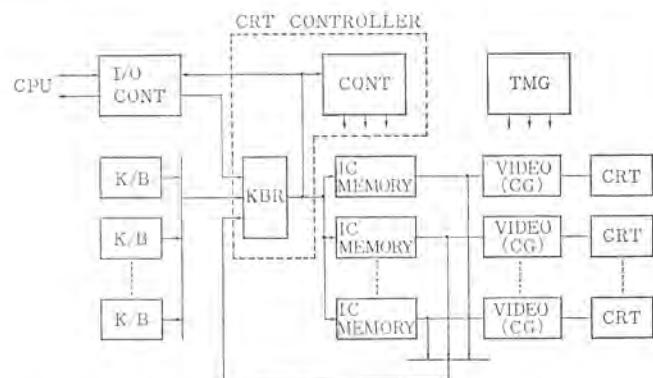


図 2.1 C 232 形 キャラクタディスプレイ構成図
Block diagram of type C 232 character display system.



図 2.2 C 232 形 キャラクタディスプレイ制御部 (16 台用)
Controller of type C 232 character display system.

(6) CRT (CRT)

(7) キーボード (K/B)

各構成要素の機能は、概略次のとおりである。

2.1 CRT コントローラ

CRT CONT の動作モードには、次の四つがある。

(1) トランスマットモード

リフレッシュメモリの内容を計算機に転送するモードである。複数台

表 2.1 C 232 形 カラーキャラクタ ディスプレイ装置の仕様
Specification of type C 232 character display system.

表示文字数	640 字 (40 字×16 行)
表示文字の種類	英字 (26), 数字 (10), ファンタション (10), カタカナ (45), 特殊記号 (27)
文字コード	ISO (カナ入り) コード
表示色	赤, 緑, 青, 黄, シアン, マゼンタ, 白の 7 色
CRT の大きさ	カラーモニタ 19 形
表示方式	白 黒 標準 16 形 (12 行, 9 形)
文字表示方式	ラスタースキャニング方式 (TV 方式)
フレーム数	ドット方式 (7 点×5 点)
メモリ	60 フレーム, 秒
端末接続台数	MOS IC メモリ
カーソル機能	最大 16 台 ADVANCE, BACK STEP, SCANRIGHT (LEFT), UP (DOWN), CARRIAGE-RETURN, HOME, TYPE IN, CLEAR, ERASE, DELETE, INSERT, ROLL UP (DOWN), TRANSMIT
編集機能	

のキーボードから、同時に転送要求が出された場合の優先順位は特に規定せず、まったくランダムに取り込まれる。

(2) データインモード

計算機から転送されてきた情報を、リフレッシュメモリに書き込むモードである。このモードは、トランスマットモードと同様、入出力コントローラを介して、計算機とのデータ転送をおこなう。トランスマットモードおよびデータインモードは、次に述べるエディットモードより優先度が低く、エディットモード中はその動作が完了するのを待つ。

(3) エディットモード

キーボードからの指示に従い、各種の編集とカーソルの移動をおこなう。これらの動作は、文字表示のためのリフレッシュメモリからのデータの読み出し以外の時間におこなわれる。CRT コントローラには、最大 128 台のキーボードが接続可能であるが、各キーボードからの指令は CRT コントローラで時系列に処理され、各オペレータはまったく独立に、文字のタイピングに関しては、毎秒 16 回の速度で、また編集に関しては毎秒 2 回 (キーボードが 16 台の場合には、毎秒 16 回) の繰り返しで、キーを押下げすることができる。エディットおよびカーソル移動の種類は表 2.1 に示すとおりである。エディットモードにおける時分割処理の詳細は 3 章で述べる。

(4) アイドルモード

この間、CRT コントローラは休止状態にあるが、リフレッシュメモリは文字表示のために約 30 % の時間を費している。

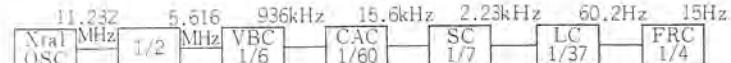
リフレッシュメモリはダイナミックタイプの MOS IC メモリで構成しているため、長時間リードサイクルを中断することができないので、文字表示のためのリフレッシュメモリの読み出しを最優先にし、残りの時間をトランスマットモード、データインモード、エディットモード、に割り当てている。

2.2 リフレッシュメモリ

リフレッシュメモリは、CRT 上に文字パターンを繰り返し表示するための、いわゆるリフレッシュメモリとしての役割と、計算機、またはキーボードとのデータの転送をおこなうためのバッファメモリとしての役割をはたしている。

リフレッシュメモリは、ダイナミックタイプ MOS IC メモリを使用しているが、ディスプレイ装置のメモリとして使用した場合には、もともとリフレッシュの機能を備えているので、特にリフレッシュのための回路を必要とせず、全体を小形、安価に構成することが可能である。

本装置では、CRT 1 台ごとに 1 画面分のリフレッシュメモリを用意し、しかも CRT の台数に応じて自由に増設ができるようにしてあ



VBRG (Video bit counter) : 1 文字の 5 コラムと 1 スペースを制御
CAC (Character address counter) : 40 文字/行を制御
SC (Segment counter) : 1 文字の 7 ロードと行間のアラスタを制御
LC (Line counter) : 16 行/画面を制御
FRC (Frame counter) : カーソルの移動とプリントを制御

図 2.3 タイミング回路ブロック図

Block diagram of timing circuits.

る。このメモリはランダムアクセスが可能であるので、任意のメモリの任意のアドレスの内容を自由にアクセスでき、このため、CRT コントローラの制御内容が非常に簡素化されている。リフレッシュメモリの詳細は 4 章で説明する。

2.3 入出力コントローラ

入出力制御装置は CRT コントローラと計算機のチャネルとのインターフェイスで、その内容は使用する計算機によって異なる。

本装置 1 号機では、MELCOM 350-30/30 F の MPX チャネルに接続するので、それに必要な入出力制御装置を備えている。

2.4 ビデオ回路

ビデオ回路は、コード信号を文字パターン信号に変換する文字パターン発生器と、カラーコードを検知してカラーモードを発生するカラーモード制御部、および CRT に信号を伝送するためのドライバ回路から成り立っている。ビデオ回路もリフレッシュメモリと同様、CRT 1 台ごとに 1 回路用意し、CRT の台数に応じて容易に増設することができる。文字パターン発生器は、MOS IC ROM を使用している。

2.5 タイミング回路

タイミング回路のブロック図を図 2.3 に示す。タイミングの内容は次に示すものである。

- (1) ロジック用クロック
- (2) メモリ制御用タイミング
- (3) CRT 同期信号用タイミング
- (4) 表示フォーマット用タイミング

この中、(1)～(3) は装置に固有のタイミングで固定であるが、(4) については、CRT 画面上のどの位置に、どの大きさの文字を表示するかを決めるものであるから、その内容を変更すれば、各種の画面構成を可能にすることができる。

2.6 CRT

CRT は文字表示部で、白黒、またはカラーのモニタテレビ、またははん（汎）用のカラーテレビを一部改造したものが使用できる。各種 CRT を任意に選択できることは、当方式の特長の一つである。

カラー表示をする場合には、R, G, B の各色のビデオ信号が、カラー CRT の 3 本のカソードにそれぞれ独立に印加される。

2.7 キーボード

キーボードには標準カナなし、標準カナ付き、および工業用の 3 種があり、その 1 例として工業用キーボードを図 2.4 に示す。キーボードの機能は次に示す 7 種のものがある。

(1) タイピング

キーを押下げることにより、任意の文字をタイピングすることができる。出力は 8 ビットのコード信号で得られる。

(2) カラー指定

カラーキーを押下げることによって、表示文字の色を 7 色で指定することができる。



図 2.4 工業用キーボード
Industrial type key board.

(3) 編集

CLEAR ERASE INSERT DELETE ROLL UP, ROLL DOWN のキーを押下げることによって、画面を編集することができる。その機能は次に示すとおりである。

CLEAR: 全画面消去し、カーソルをホームポジションにもどす。

ERASE: カーソルのある行の、カーソルから後の画面を消去する。カーソルは移動しない。

INSERT: カーソルのある行の中で、カーソルの位置にスペースがそう入される。カーソルからとの文字は 1 文字づつ右にシフトする。カーソルは移動しない。

DELETE: カーソルのある行の中で、カーソルの位置の文字が削除され、その後の文字が 1 文字づつ左にシフトする。

ROLL UP/DOWN: カーソルのある行の 1 行分のデータを 1 行上または下に転写する。

(4) カーソル移動

ADVANCE, BACKSTEP, SCANRIGHT, SCANLEFT, UP, DOWN, CARRIAGE-RETURN, HOME の 9 種のキーにより、カーソルを画面上の任意の位置に移動させることができる。

(5) 転送

トランシミットキーを押下げると、画面上の SOT マーク (►) と EMK マーク (◀) ではさまれたデータが計算機に転送される。その間キーボードはロックされる。

(6) ファンクションキー

ファンクションキー (#1～#10) を押下げすれば、ファンクションコードが自動的に計算機に転送される。文字キー押下げの後ファンクションキーを押下げすれば、文字コードとファンクションコードの組み合わせで、ファンクションの種類を拡大することができる。

3. CRT コントローラの制御方式

マルチステイションタイプのディスプレイにおいては、1 台のコントローラで、同時に何台の CRT およびキーボードを制御することができるかと言うことが、一つの重要なポイントである。

本装置では、すでに述べたように、リフレッシュメモリに RAM を使用しているので、ディレイラインやディスクメモリを使用したものに比べてアクセス時間が早く、各キーボードからの要求を短時間に処理することができる。最大 128 台の端末の同時動作を可能にしている。以下その制御方式について説明する。

CRT コントローラの各モード間の優先度は、2.1 節で述べたように、表示・編集・転送の順になっている。この中、表示に要する時間は、本装置の場合、全体のわずかに 30 % であるから、表示を最優先にしても 70 % は編集、およびデータの転送に使うことができる。各編集(カーソル移動を含む)に要する時間は、表 3.1 に示すとおりで、その内容は、ラスターの水平の帰線時間に処理できるものと、それよ

表 3.1 編集時間 Editing time.

編集の種類	クロック数	処理時間
TYPE IN	3	3.2 (μs)
CARRIAGE-RETURN	3	3.2
HOME	1	4.1
ERASE	42	44.9
ROLL UP/DOWN	83	86.7
DELETE	120	128.2
INSERT	120	128.2
CLEAR	1,063	1,135.7

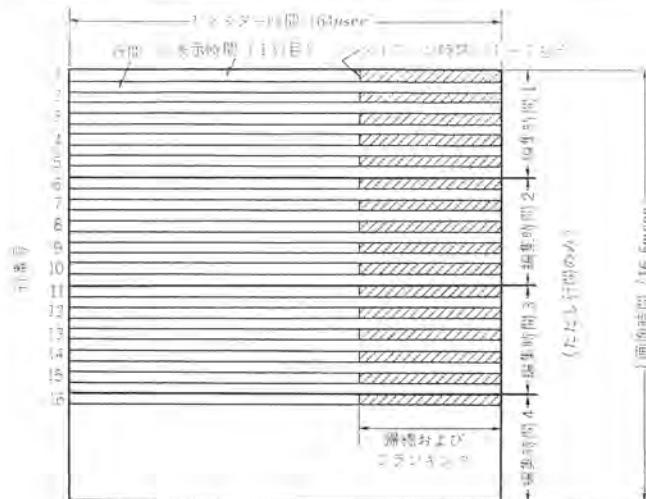


図 3.1 編集およびカーソル移動のタイミングチャート
Two dimensional timing chart for editing, typing in and cursor move.

り時間と要するものとに大別できる。水平の帰線時間に処理できないものは、表示画面の行間の時間に処理する。

タイプインやカーソル移動のように、繰り返しの速い編集動作(速い場合には毎秒 10 回以上の繰り返しで処理しなければならない)は幸い短時間に処理され、CLEAR などのように比較的時間と要する動作は、繰り返しは毎秒 2 回程度である。

以上のことから編集の動作は、次の二つに分けて処理することが望ましい。

- (1) 繰り返しが速く、処理時間も短いもの……タイプイン、カーソル移動
- (2) 繰り返しが遅く、処理時間も長時間と要するもの……一般的な編集動作

すなわち、タイプイン、カーソル移動に関しては図 3.1 に示すように、文字表示部のラスターの水平帰線時間、およびブランク期間(ラスターの両端の文字を表示しない部分)を割り当てる。文字表示部は各行 7 本のラスターから構成されているので、16 行の文字表示部を持つ 1 フレーム時間(1/60 秒)に 112 台分、4 フレーム時間には、448 台のタイプイン、およびカーソル移動を時分割処理できる。

一般的な編集に対しては、図 3.1 に示すように行間の時間を割り当てる、表 3.1 に示すように処理時間の最大のものは、CLEAR の 1.14 ms であるが、編集機能の拡張を考慮して、1 フレーム当たり 4 台分の編集動作を時分割処理する。1 台のキーボードについて考えれば、編集動作の繰り返しは毎秒 2 回であるから、32 フレームに 1 回、編集動作が処理されればよいことになり、このような時分割処理方式を採用すれば、最大 128 台の端末からの編集要求を処理することができる。

編集動作は、トランシミット、およびデータインの転送動作に優先することはすでに述べたが、次に転送動作の待ち時間について考察する。

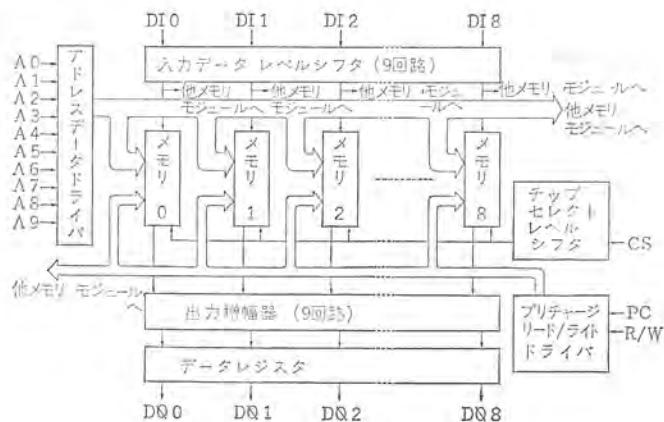


図 4.2 MOS IC メモリ構成図
Structure of MOS IC memory.

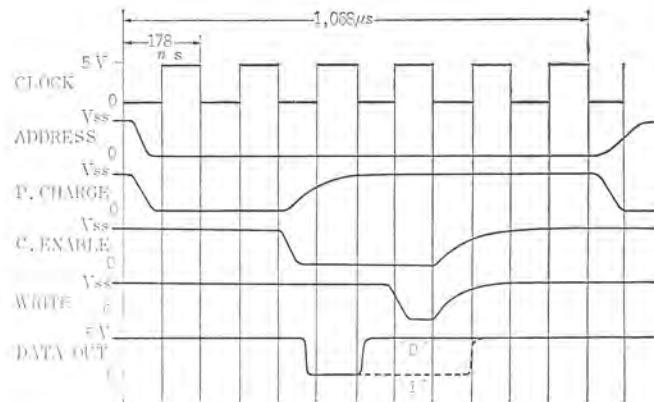


図 4.3 IC メモリタイミングチャート
Timing chart of IC memory.

力回路はメモリごとに独立に用意している。

本装置に使用した IC メモリの基板を図 4.4 に示す。



図 4.4 9ビット 1024ワード MOS IC メモリ基板
9 bits, 1024 words MOS IC memory card.

5. 表示方式

5.1 文字パターン発生方式

文字パターン表示方式には種々の方式があるが、本装置では、はん用のテレビが表示部に使えるように、ビーム走査方式にラスタースキャン方式を採用している関係上、ドットパターン方式を採用している。文字構成要素は 5×7 の 35 ドットである。

リフレッシュメモリにコードの形で記録された文字情報は、毎秒 60 回の速度で読み出され、文字パターン発生器に供給される。文字パターン発生器は、2,240 ビットの MOS IC ROM で、一つのチップに 64 文字分の文字パターンを記録している。文字パターン発生器の回路内容は、図 5.1 に示すとおりである。また文字パターン発生器の基板を図 5.2 に示す。

文字パターン発生器からは、 5×7 の文字構成要素の横方向の 5 ビットが同時にに出力され、直並列変換してビデオ信号とする。これを 7

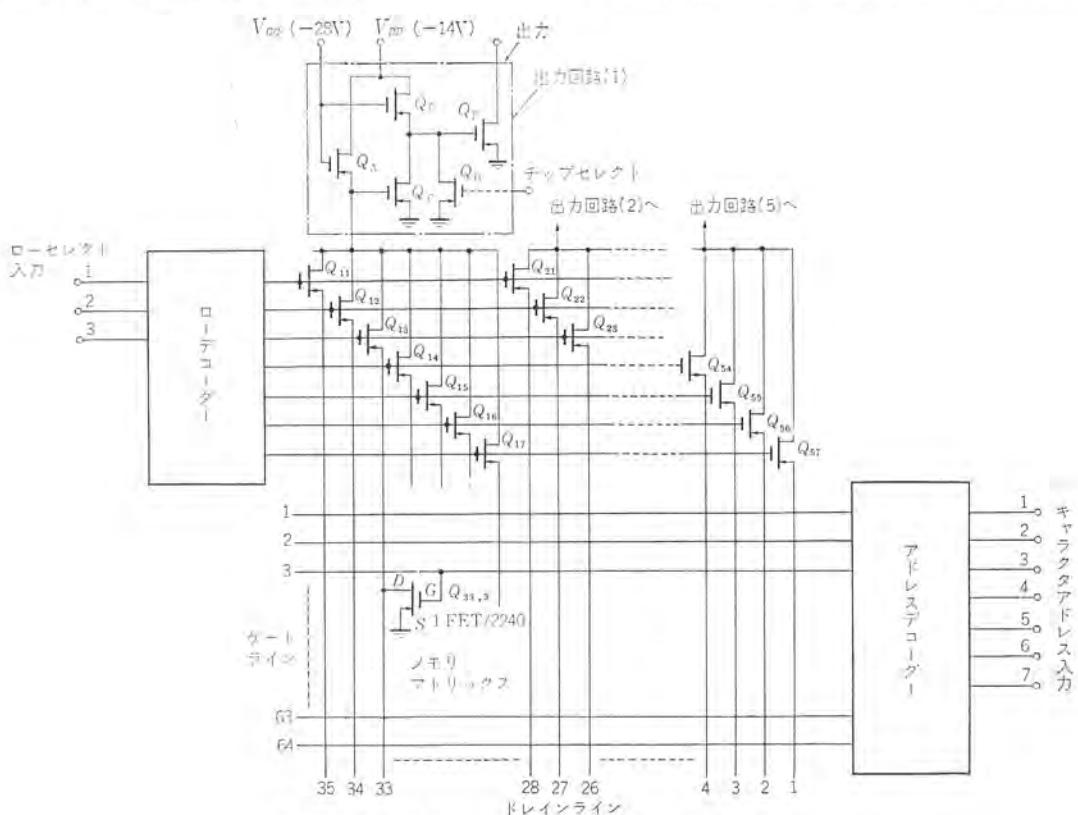


図 5.1 文字パターン発生器
Character generator.

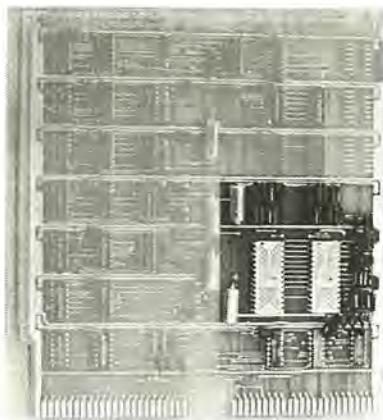


図 5.2 文字パターン発生器基板
Character generator card.

回繰り返すことによって1行の文字が表示される。

5.2 カラー表示方式

本装置では、色の指定は文字のブロック単位でおこなうこととしている。色指定コードはリフレッシュメモリ内においては、文字コードと同等に取り扱われ、色指定しようとする文字のブロックの先頭にその色コードを付加する。色コードを付加した部分は、画面上ではブランクになる。色指定は行ごとにキャンセルされるので、色指定の効果は行の最後でおわり、次行に色指定がなければ、それ以後は基準の色、すなわち緑で表示される。

リフレッシュメモリから色コードが読み出されると、色デコーダで7色をデコードし、エンコーダで、赤(R)、緑(G)、青(B)の3原色信号をエンコードした後、カラーラッチにR、G、Bの各信号をセットする。カラーコードにつづく文字コードは、文字パターン発生器で文パターンのビデオ

信号に変換されたあと、R、G、Bの各色信号でゲートされ、R、G、Bの3色のビデオ信号を形成する。これらの信号は同期信号に同期してCRT表示部に供給され、それぞれ、R、G、Bの各カソードに独立に印加され、カラー表示を達成している。

6. むすび

以上のように、ここでは、C 232形、改良マルチステーションタイプカラーキャラクタディスプレイ装置を、CRTコントローラの制御方式とMOS ICを使ったリフレッシュメモリの制御方式を重点にして紹介した。本文で検討したように、CRTコントローラを時分割で使うことにより、用途によっては128台の端末を、同時に独立して操作することができる。多端末の同時動作、および転送速度の向上は、IC RAMの採用により可能になったものであるが、同時にMOS IC RAMおよびROMの採用により、装置の構成を非常にコンパクトに、しかも端末の数に対して非常にフレキシブルにすることを可能にしている。

本装置は、たとえば、多数の端末を同時に使用するCAIシステムや、プロセス用コントロールの端末装置として最適なもので、端末当りのコストは非常に安くなり、本装置の特長を大いに發揮できるものと思う。

参考文献

- (1) 大川、渡辺：画像技術、2, No. 3, 69 (昭46)
- (2) E. Yamazaki : Japan Electronic Engineering 45, No. 8, 24 (1970)
- (3) 山崎：ソフトウェア科学 2, No. 11 (昭45)
- (4) 大川：ソフトウェア科学 3, No. 2 (昭46)

MELCOM-350-5F 制御用電子計算機

仁田 周一*・長沢 一嘉*・中根 勇*
斎藤 善次**・渡部 重彦**

MELCOM-350-5F Process Control Computers

Head Office Shûichi NITTA・Kazuyoshi NAGASAWA・Isamu NAKANE
Kamakura Works Zenji SAITÔ・Shigehiko WATABE

A good number of MELCOM-350-5 process control computers have been operating with success. Now new products in the same line and having program compatibility with the above ones have been developed. They are named MELCOM-350-5 F being possessed of numerous features such as the employment of MSI, hybrid IC, light emitting diodes and high speed plated wire memories. They are made compact sized with five times higher speed. Fulfillment of another demands for process control computers such as one push start, auto restart, remote panel and fail-safe system, radical improvement in the relation between quasi instructions and optional hardware instructions are incorporated in them.

1. まえがき

当社では、小形制御用計算機として MELCOM-350-5⁽¹⁾（以下、M-5 と略す）を発表し、多数の納入実績⁽²⁾⁽³⁾をもってきた。ここに最近の電子部品の発展、プリント基板の高密度化、メモリの高速化の技術、M-5 の経験を十分に生かし、M-5 とのプログラム互換性をもたらしたうえで、疑似命令の扱いの改良、主記憶装置としてブレーテッドワットメモリの採用、約5倍の高速化、小型化をほどこし、制御用計算機として特に要求されるオプション部を豊富にした MELCOM-350-5 F（以下、M-5 F と略す）を開発した。

構成としては、集積回路（以下、IC と略す）、混成集積回路（以下、ハイブリッド IC と称す）、発光ダイオードを中心とし、離散的素

子の使用を極力廃止し、プリント基板の規格も従来のものから大きく変えたものにした⁽¹⁾⁽⁴⁾。

なお、入出力装置に関しては文献（5）を参照されたい。以下、制御用計算機の特長を中心に述べる。

2. 構成と仕様

M-5 F 中央処理装置（以下、CPU と略す）の構成を図 2.1 に仕様を表 2.1 に外観を図 2.2 に示す。CPU は図 2.1 に示すように

（1）演算制御装置（エラー処理部、乗除算機構（オプション）も含む）

（2）記憶装置

（3）優先割込制御部

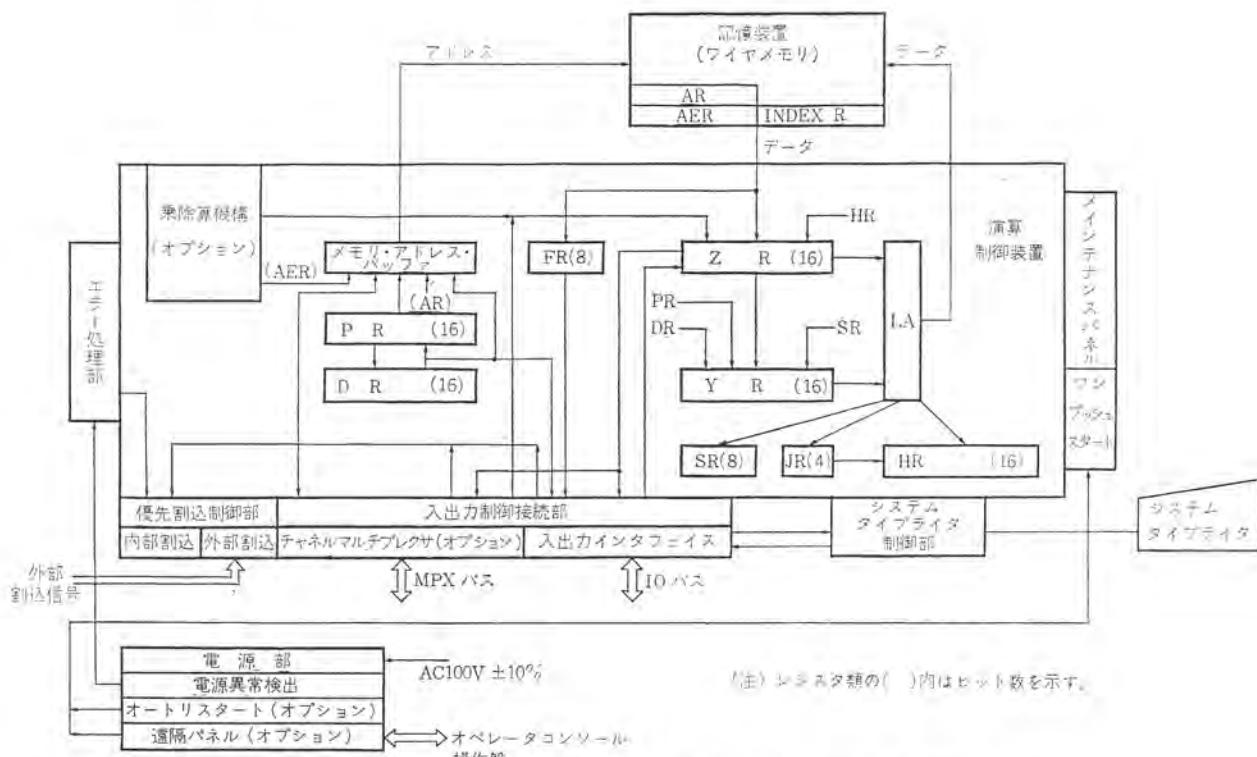


図 2.1 M-5 F CPU 構成図 Configuration of M-5 F CPU.

（主）シグネタ類の（）内はビット数を示す。

表 2.1 M-5 F CPU 仕様一覧
Specification of M-5 F CPU.

分類	項目	仕様
記憶装置	素子 語長 容量 (1k=1,024)	ブレデードワイヤ (構成) 16 ビット + 1 バリティ ビット 4 k 語, 8 k 語 (グループ 1) 8 k 語, 16 k 語 (グループ 2) 8 k 語, 16 k 語, 24 k 語, 32 k 語 (グループ 3)
	拡張 サイクルタイム	同一グループ内でのみ拡張可能 500 ns (モード: READ RE-STORER, CLEAR WRITE)
	不正アドレスチェック メモリ保護	あり プログラムコントロール (スイッチにより上限 ページ指定) 電源異常時保護
	回路素子 クロック周波数	TTL-IC 8 MHz
	演算方式	2 進並列, 負数は 2 の補数演算
	命令数 命令形式 アドレス方式	基本命令 32 1 語 + 命令, 単一アドレス 直接アドレス 相対アドレス 間接アドレス 相対間接アドレス
演算制御	インデックス修飾 演算速度	インデックスレジスタ 16 個 (メモリ内部) 加減算 全けた送り (間接アドレス)
	2 μs 4 μs 500 ns	
	レベル 点数 種数	71 レベル 71 点, 付加エニット追加で最大 239 点 Inhibitible/Non-inhibitible
	内部割込み 外部割込み	23 レベル 23 点 48 レベル 48 点 付加エニット追加で最大 48 レベル 216 点
後方 割り込み (エラー) (処理)	ハードウェア プログラム	バリティチェック メモリ保護 不正命令コードチェック 不正アドレスチェック ウオッチドッグタイマー 電源異常 温度異常
	システム	シグナル
ワンブッシュスタート	有 (標準)	
実時間時計	1/60 s, 1/50 s	
入出力制御	入出力モード	プログラム制御モード ダイレクト・メモリアクセスモード
	入出力チャネル	標準入出力チャネル プログラム制御モード マルチブレクサチャネル (オプション) ダイレクト・メモリ・アクセスモード 最大 8 チャネル, ワード幅転送 200 k 語/秒
オプション機能	乗除算機構 (ハードウェア)	
	オートリスタート 遠隔パネル制御・表示 マルチブレクサチャネル	
設置条件	温度範囲	10~40°C
	相対湿度	35~85%
	電源	AC 100 V ± 10% 50/60 Hz
	消費電力	1 kVA 以下
	大きさ (16 kW 以下)	800×800×1,230 (幅×奥行×高さ)
システム タイプリ アタ	重量 (16 kW 以下)	170 kg
	機能	印字, 紙テープパンチリード, キーボード
	動作速度	19.4 字/秒
	使用コード	ISO コード

- (4) 入出力制御接続部 (入出力 インタフェイス および チャネルマルチブレクサ (オプション))
 (5) システムタイプリタ制御部
 (6) メインテナスパネル
 (7) 電源部
 より構成されている。(1), (3), (4), (5), (6) は 図 2.2 の



図 2.2 CPU キャビネット
CPU cabinet.



図 2.3 語の形式 Word format.

卓上の部分に収納されており、280 mm × 170 mm のカード基板に IC を最大 90 個積載した大形機能カードで構成されている。

(1) は図 2.1 に示すように D, F, H, J, P, S, Y, Z レジスタと演算論理ユニット (LA) およびそれらの制御回路より構成されている。A レジスタおよび 16 個のインデックスレジスタは、メモリの特定番地でシミュレートしている。

M-5 F では 1 語は 16 ビットであり、図 2.3 に示す 3 種の形で使用される。命令語ではビット 15~10 が命令コードとしての役割を持ち、符号ビット (ビット 15) が “0” の時 32 種の基本命令コードを、“1” の時 32 種の疑似命令コードを発生する。

表 2.2 に基本命令表を示す。命令は加減算、乗除算 (オプション)、論理積、排他的論理和、右および左けた (桁) 送り (0~15 けた)、けた送り数指定、2 種類のデクレメント、ロード、ストア、9 種類のブランチ、入出力命令等であり M-5 とプログラムの互換性がある。

表 2.2 のうち○印をつけた命令は M-5 にはない新しい命令であり、△印をつけた命令は M-5 より機能の向上された命令である。

命令語のうちビット 9 は間接アドレス指定のタグ、ビット 8 はページタグとなり、ビット 7~0 は 256 語をブロックとするページ内の各アドレスを指定する。M-5 F では (M-5 も同様) メモリの全番地が 256 語をブロックとするページ単位に分割されていて、0 番地から始まる最初の 256 語が 0 ページ、以下順に 1~127 ページと呼ばれている。ビット 9 とビット 8 のタグの組合せにより表 2.3 に示す 4 種のアドレス方式をとることができる。

直接アドレス方式で 0 ページをスクラッチパッド領域として使用でき、間接アドレス方式でメモリの有する 32,768 個の番地全部を指定することができる。

表 2.2 M-5 F 命令表 Instruction repertoire of M-5 F.

番	マシンコード	シンボリックコード	内 容	実行時間 ^印
	00, 8X		ILLEGAL OPERATION CODE	1.0 μ s
	04	EWT	ENTER WAIT	1.0
	08	DCR	DECREMENT WITHOUT ECHO	1.5
	0C	DCE	DECREMENT WITH ECHO	1.5
	10	RB	RESET MOST SIGNIFICANT BIT	1.5
	14	SB	SET MOST SIGNIFICANT BIT	1.5
	18	LS	LOAD STATUS	1.0
△	1C	STS	STORE STATUS	1.5
	20	A	ADD	2.0
	24	S	SUBTRACT	2.0
	28	N	LOGICAL AND	2.0
△	2C	EO	EXCLUSIVE OR	2.0
	30	SL	SHIFT LEFT LOGICAL	2.5~4.0
□	34	CG	CONTROL MEMORY GUARD	1.0
△	38	SRA	SHIFT RIGHT ARITHMETIC	2.5~4.0
○	3C	LJ	LOAD J-REGISTER	1.0
	40	BZ	BRANCH ON ZERO	1.0
	44	BEV	BRANCH ON EVEN	1.0
	48	BSL	BRANCH AND SET LOCKOUT	1.0
	4C	BRL	BRANCH AND RESET LOCKOUT	1.0
	50	BR	BRANCH	1.0
	54	BC	BRANCH ON CARRY	1.0
	58	BO	BRANCH ON OVERFLOW	1.0
	5C	BP	BRANCH ON POSITIVE	1.0
	60	RDD	READ DIRECT	7.0
	64	M	MULTIPLY (オプション)	5.5~7.5
	68	WRD	WRITE DIRECT	7.0
	6C	D	DIVIDE (オプション)	8.5
	70	L	LOAD A-REGISTER	1.5
	74	LR	LOAD IMMEDIATE SHORT	1.5
	78	BAL	BRANCH AND LINK	1.5
	7C	ST	STORE A-REGISTER	1.5
	5200	NOP	NO OPERATION	1.0

^印 : M-5 にはない命令^印 : M-5 より機能の向上された命令印加指定: 0.5 μ s 追加印加指定: 1.0 μ s 追加

表 2.3 アドレス方式 Addressing.

ビット9	ビット8	呼 び 名	実効オペランドアドレス
0	0	直接アドレス	A (0ページ指定)
0	1	相対アドレス (ページアドレス)	(PR)14~8+A
1	0	間接アドレス	Aに入っている内容
1	1	相対間接アドレス	(PR)14~8+Aに入っている内容

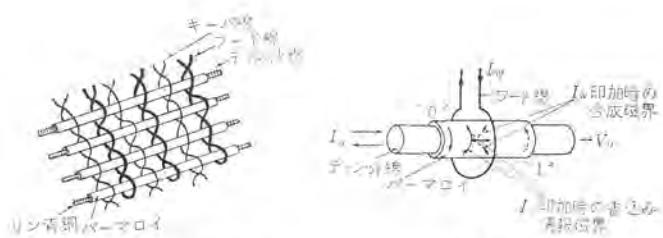
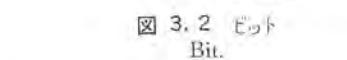
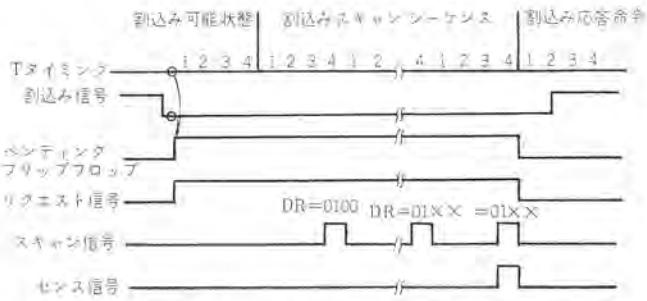
(PR)14~8: 命令自身が置かれているページ

3. 特 長

3.1 ワイヤメモリ

M-5 F では記憶装置としてワイヤメモリ(織成形)を使用している。織成形ワイヤメモリは原理的には図 3.1 に示すように、リン青銅にパーマロイを電着した磁性線をディジット線(横糸)とし、絶縁銅線をワード線(縦糸)とし、これらを布状に織ったものである。この場合、ワード線と平行して磁性線が織り込まれているが、これは磁気キーといい、駆動電流の減少、記憶密度の向上に効果がある。各ワード線とディジット線の交点がそれぞれ記憶点(ビット)として動作する。1ビットの原理的構造を図 3.2 に示す。

ワード線にワード電流(I_W)を流すと、円周方向(磁化容易軸方向)に記憶された磁気ベクトル(右巻きあるいは左巻き)は、それと直角方向の磁界(困難軸方向)に倒される。この I_W の変化に対応して生ずる磁束量 ϕ の変化分 $d\phi$ が $e = d\phi/dt$ の形で、ディジット線に誘起する電圧として検知される。これが読み出し時の記憶出力電圧となり、この極性により“1”か“0”かを区別する。書き込みは I_W を流した状態で、ディジット線にディジット電流(I_D)を流すと、 I_W による磁界(困難軸方向)と I_D による磁界(容易軸方向)の合成磁界の

図 3.1 ワイヤメモリ
Wire memory.図 3.2 ビット
Bit.図 3.3 割込みシーケンス
Interrupt sequence.

方向に、磁化ベクトルが向き、ここで I_W を切れば、円周方向の右巻きまたは左巻きに磁化ベクトルの向きがそろうことになる。

ワイヤメモリの特長としては、高速動作、安定な温度特性、高密度記憶などがあげられる。

3.2 割込み

割込み機構には、プログラムにより禁止可能なUITと禁止不可能なNITの2種類が合計71レベル71点あり、8点を単位として任意に選択が可能である。

割込み要因としては、(1)内部割込み(フェイルセーフ、入出力割込みなど)23点、(2)外部割込み(プロセス信号など)48点とがあり、メモリ番地0101_H~0147_Hが順次割り当てられている。外部割込み24点分に対しては、さらに1点につき最大8点まで拡張可能な付加割込み機構が用意されており、最大216点まで外部割込みが接続可能である。

割込み信号が発生すると、割込み機能カードのペンドイングフリップフロップに保持し、CPUにリクエスト信号を送り、CPUが割込み可能状態になると、割込みスキャンのシーケンスに入り1点スキャンするごとにDRを“+1”し、0101_H番地より順次500 ns/点でスキャンする。割込みがセансされるとスキャンシーケンスは終了し、その時のDRの内容がメモリ応答番地を指示する。図 3.3に割込みシーケンスのタイミングチャートを示す。

3.3 ワンプッシュスタート

計算機スタート時の操作を1動作のみで実行するワンプッシュスタート機能(以下OPSと略す)を用意している。

プログラムスタートには通常、(1)計算機を初期状態にする。(2)モードを指定する。(3)スタート番地設定レジスタを選択し、スタート番地を設定する。(4)スタートスイッチを押す。という手順が必要であるが、OPSを用いることにより、メモリ番地0100_HをOPS応答番地として使用し、(1)~(4)の手順を自動的に実行する。すなわちOPSスイッチを押すことにより、計算機を初期状態にし、メモリ番地0100_HをPRにセットし、次にスイッチを離すことによりスタートし、0100_Hに書かれた命令からプログラムを実行する。図 3.4にOPSシーケンスを示す。

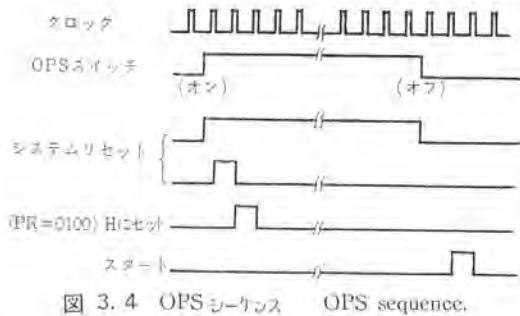


図 3.4 OPS シーケンス OPS sequence.

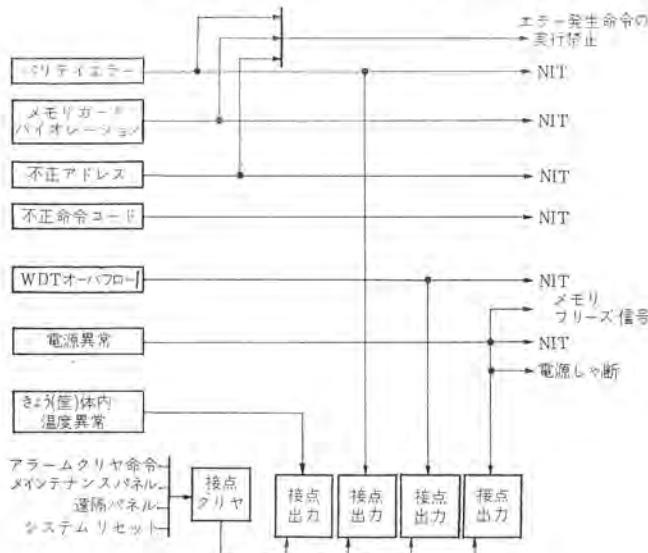


図 3.5 フェイルセーフ処理 Fail safe.

3.4 フェイルセーフ

M-5F では次のような各種要因による エラーに対する チェック機能を備えている。

- (A) ハードウェアに起因する エラー
 - (1) パリティエラー
 - (B) おもに プログラムに起因する エラー
 - (1) メモリガードバイオレーション
 - (2) 不正命令コード
 - (3) 不正アドレス
 - (C) システム全体の フェイルセーフ
 - (1) ウオッチドッグタイマー (WDT) の オーバフロー
 - (2) 計算機直流電源の異常
 - (D) 外部条件に起因する エラー
 - (1) CPU および メモリ きょう(筐)体内温度異常
 - (2) 計算機交流電源の異常

図 3.5 に(A)～(D)の エラーに対する ハードウェア処理、および プログラムとの インターフェイス を示す。

3.5 オートリストア

オートリストア機能 (以下 ARS と略す) とは、計算機交流電源異常検出による電源自動しゃ断後、電源の正常復帰を検出し、自動的に電源を投入し、同時に計算機をスタートさせる機能である。

停電検出回路により、計算機交流電源の異常 (停電・瞬停・レベル

降下) を常に監視し、異常を検出すると CPU に NIT および メモリ内容保護のための メモリフリーズ信号を発生し、同時に計算機直流電源しゃ断時の過渡状態においても、メモリ内容が破壊されないような シーケンスで電源をしゃ断する。次に自動再起動回路により、交流電源の回復を検出し、投入時の過渡状態において メモリ 内容の破壊および CPU の暴走が発生しないような シーケンスで直流電源を投入し、その後 OPS 機能に自動的に起動をかけることにより、ARS メモリ応答番地 0100H に書かれた命令から プログラムをスタートさせる。

3.6 遠隔パネル

計算機動作状況の監視、電源の投入／しゃ断、および 計算 スタート／ストップを オペレータコンソールなどの 遠隔より 監視、制御するための 遠隔パネル 機構を用意している。

遠隔パネルの機能は下記のとおりである。

表示: RUN, STOP, EWT, POWER

操作: シーケンサ オン／オフ、OPS, STOP, 電源 アラームクリヤ、計算機 アラームクリヤ

3.7 疑似命令、および 乗除算ハードウェア オプション

浮動小数点、倍精度演算などの サブルーチン に対して、 疑似命令コードを ハードウェア 命令コード と同じように与え、かつ 不正命令割込みを使用することにより、サブルーチンによる パラメータ 指示などの プログラム上のはん雑さを解消している。

すなわち 命令の 符号ビットに “1” があるものを 疑似命令 とし、これを 不正命令コード として NIT を発生させ プログラムに知らせ、その応答 プログラムで 疑似命令の コードを 判別し、それぞれの 疑似命令 ルーチンで 演算を 実行する。

乗除算に関しては、 ハードウェア による 演算 (オプション) と 疑似命令による 演算 と があり、それらを 同一命令コード とし、かつ 下記のよう な ハードウェア 処置をすることにより、 ハードウェア であるか、 疑似命令であるかを 意識しないで プログラム が 可能 に なっている。

(1) 乗除算命令の 符号ビット は “0” とする。

(2) ハードウェア オプション がないときは、 乗除算命令コード により NIT を 発生 する。

(3) ハードウェア オプション があるときは、 オプションカード を そう入す ることにより、 NIT の 発生 を 禁止 し、 演算 は ハードウェア で 実行 され る。

4. むすび

以上、M-5F の 特長 を 中心に 記述 した。今後、より 小形 の 専用機との 接続、 シリーズ化 による 総合 システム の 中核 として の 利用 が 期待 できる。

参考文献

- (1) 中尾(勝)ほか: 三菱電機技報, 43, No. 11 (昭44)
- (2) 中司ほか: 三菱電機技報, 43, No. 11 (昭44)
- (3) 川崎ほか: 三菱電機技報, 43, No. 11 (昭44)
- (4) 仁田, 中尾(好): SICE 学術講演会 504, Aug. 1970
- (5) 仁田ほか: 三菱電機技報, 45, No. 12 (昭46)

溶銑・溶鋼流量計

小林 健三*・浜崎 芳治*・淡野 光章*

Molten Steel Flow Meters

Central Research Laboratory

Kenzō KOBAYASHI・Yoshiharu HAMASAKI・Mitsuaki DANNO

The latest iron and steel industry has made marked development in a continuous production process. With this activity a technique is demanded for handling the molten metal continuously. The measurement of the flow volume of melt, however, is hard to realize because of extremely high temperature such as 1,400°C~1,600°C, though it is necessary in the process of continuous steel making or continuous casting.

This article describes a new flow meter which is capable of measuring continuously molten pig iron or steel by a nocontact method in reference to the principle of operation and results of the measurement with the device.

1. まえがき

米国・ソ連に次ぎ世界第3位を占めるわが国の鉄鋼生産量は近年ますます増加の一途をたどり、その成長は目ざましいものがある。

それにつれて製銑・製鋼・圧延全般にわたる技術分野において

- (1) より高い生産性
- (2) より良い操業条件・製品・品質
- (3) 省力化

等の要求によりその生産工程の連続化は著しい発展を示し、連続鉄造はすでに実用段階に入り、造塊分野での比重はますます大きくなりつつある。また連続製鋼技術も各国で研究開発が進められており、高炉も将来は連続出銑となることが期待されている。

このような生産工程の連続化に伴い溶融金属を連続的に取り扱う技術がますます要求され

- (1) 連続輸送方式(電磁ポンプ・電磁とい等)
- (2) 流量制御方式(流量調整・方向転換・起動停止等)
- (3) 諸物理量の連続測定方法(温度・成分・流量等)

などの開発が強く望まれている。

ここに紹介する溶銑・溶鋼流量計は上記の要望にかんがみ開発したもので、連続製鋼工程や連続鉄造工程において必要とされながら、従来溶銑・溶鋼が非常に高温流体であるため(1,400°C~1,600°C)測定困難とされていた流量測定を非接触で連続的に行なうものである。

以下に溶銑・溶鋼流量計の測定原理、測定結果について説明する。

2. 測定原理

2.1 電磁誘導方程式

高周波電磁界のつくられている空間に導電性物体がそう入されたとき、その物体は表皮効果によりこの高周波電磁界を排除する。

図2.1において被測定流体

- (1) 磁性をもたない(磁性体ではキューリー温度以上)
- (2) 導電性がある

と仮定すると流体中の電磁誘導方程式は

$$\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} = \text{rot}(\mathbf{v} \times \mathbf{B}) + \frac{1}{\sigma\mu} \mathbf{J} \mathbf{B} \quad (2.1)$$

と表わされる。

ここに \mathbf{B} : 磁束密度 σ : 電気伝導度

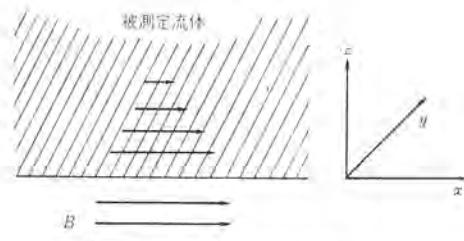


図2.1 磁束の排除
Exclusion of magnetic flux.

v : 流体流速 μ : 透磁率

いま式(2.1)において

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{B} &= [B_x, 0, 0] \\ B_x &= B_{x_0}(z) \cdot \exp[j(\omega t - \alpha x)] \\ v &= 0 \\ \alpha^2 &\ll \omega \sigma \mu \end{aligned} \right\} \quad (2.2)$$

と仮定すると

$$\frac{d^2 z_{x_0}}{dz^2} = j \omega \sigma \mu B_{x_0} \quad (2.3)$$

となる。

ここに ω : 角周波数 α : 定数

したがって式(2.3)の解を求めるときのようになる。

$$\left. \begin{aligned} B_{x_0} &= B_{x_0}(0) \exp\left(-\frac{z}{\delta}\right) \cdot \exp[j(\omega t - \alpha x)] \\ \delta &= \sqrt{\frac{1}{\omega \sigma \mu}} \end{aligned} \right\} \quad (2.4)$$

式(2.4)において δ は表皮深さとよばれ、高周波電磁界の浸透深さを示すものである。

2.2 等価回路および断面積測定原理

いま図2.2に示すようにこの高周波電磁界をコイルによってつくり、その中に導体をそう入すると、上述の表皮効果により周波数・透磁率・導電度に応じて電磁場が排除され、コイルの等価インダクションが変化する。このインダクタンスの変化分は高周波電磁界中にそう入された導体の大きさに関係する。

さて図2.2の状態でのコイルの等価回路は図2.3(a)で示されるが、さらに簡略化して図2.3(b)のように表現することができる。

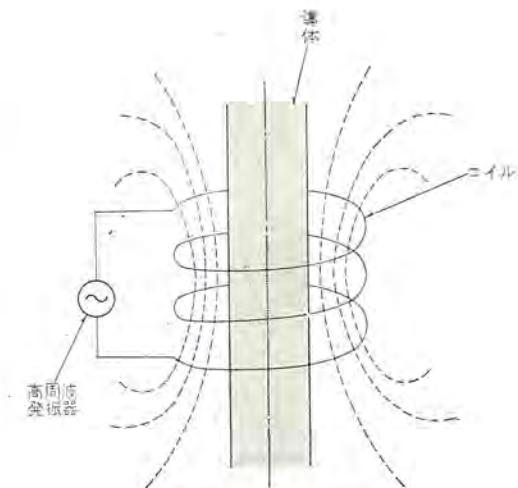


図 2.2 測定の原理
Principle of measurement.

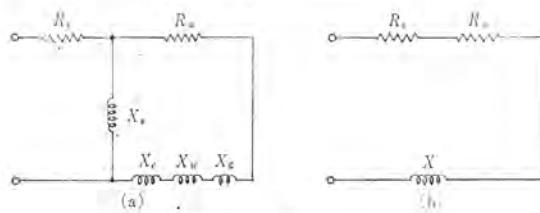


図 2.3 等価回路
Equivalent circuits.

図 2.3 (a)において

- | | |
|--------------------|-------------------------------|
| R_c : コイルの抵抗 | R_w : 导体の抵抗 |
| X_g : コイルのリアクタンス | X_g : コイルと導体との間のギャップのリアクタンス |
| X_w : 导体のリアクタンス | X_e : 外部磁路のリアクタンス |

である。また図 2.3 (b)において

$$\left. \begin{aligned} R_w' &= \frac{R_w X_e}{R_w^2 + (X_1 + X_e)^2} \\ X &= \frac{X_e (R_w^2 + X_1^2 + X_1 X_e)}{R_w^2 + (X_1 + X_e)^2} \\ (X_1) &= X_c + X_w + X_g \end{aligned} \right\} \quad (2.5)$$

である。

いま導体の大きさを D (円筒状導体であれば円筒の直径) として
 $D \gg \delta$ とすると

$$X_c, X_g \gg R_w, X_w, X_e \quad (2.6)$$

が満たされているとき

$$X_c, X_g \gg R_w, X_w, X_e \quad (2.7)$$

が成立し、等価インダクタンス L は

$$\left. \begin{aligned} L &= \frac{L_e L_g}{L_e + L_g} \\ (L_e &= \frac{X_e}{\omega}, L_g = \frac{X_g}{\omega}) \end{aligned} \right\} \quad (2.8)$$

となる。いま

$$S_w : 导体の断面積 \quad S_0 : コイルの断面積$$

$$L_0 : 空心コイルのインダクタンス$$

$$L_{g_0} : 空心コイルの場合のコイル内のインダクタンス$$

とし、コイルの幅がコイル径に比べ十分大きく、

$$\frac{S_w}{S_0} \ll 1 \quad (2.9)$$

であればコイルの等価インダクタンスは

$$L = L_0 \left(1 - \frac{L_e}{L_{g_0} + L_e} \cdot \frac{S_w}{S_0} \right) \quad (2.10)$$

で与えられる。したがって導体をコイル内にそう入したことによるインダクタンスの変化分は

$$\Delta L = L_0 - L = \frac{L_0 L_e}{L_{g_0} + L_e} \frac{S_w}{S_0} \quad (2.11)$$

となり、導体断面積とインダクタンス変化分は比例関係にある。

一般にコイル幅をコイル径に比べ十分大きくとれない場合

$$\frac{\Delta L}{L_0} = A \left(\frac{S_w}{S_0} \right)^\beta \quad (2.12)$$

で表わすことができる。ここに

$$A, \beta : コイルの形状によりきまる定数$$

したがってあらかじめ与えられたコイルについて L_0, A, β の値を測定しておけば、任意の断面積 S_w の導体をコイルにそう入したときのコイルのインダクタンスの変動分を測定して、その断面積を知ることができる。

2.3 流量測定原理

上述した断面積測定原理に基づいて、図 2.4 のような傾斜をもつ流路に溶融金属を流すことによりその流量を測定することができる。

いま図 2.4において

$$S_A, S_B : 上流部 A 点, 下流部 B 点における流体断面積$$

$$v_A, v_B : 上流部 A 点, 下流部 B 点における流速$$

$$h : 落差$$

である。もし傾斜流路を流体が流下するときの流体抵抗が重力に対して無視できるほど小さいと仮定すると

$$q = S_A v_A = S_B v_B \quad (2.13)$$

$$v_B^2 = v_A^2 + 2gh \quad (2.14)$$

が成り立つ。ここに

$$q : 体積流量 \quad g : 重力の加速度$$

いま

$$v_A^2 \ll 2gh \quad (2.15)$$

と仮定すると式(2.13)、式(2.14)より流量 q は

$$q = S_B \sqrt{2gh} \quad (2.16)$$

と近似的に表わすことができる。

式(2.12)、式(2.16)より

$$q = \frac{S_0}{A} \cdot \left(\frac{\Delta L}{L_0} \right)^{1/\beta} \sqrt{2gh} \quad (2.17)$$

となる。

図 2.5 のような検出コイルを含む LC 共振回路を考える。共振周波数は

$$f_0 = 1/2\pi\sqrt{LC} \quad (2.18)$$

で与えられる。いま L が ΔL だけ変化したとき

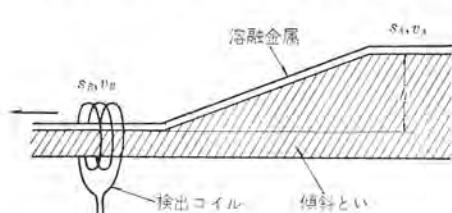


図 2.4 傾斜といい
Inclined gutter.

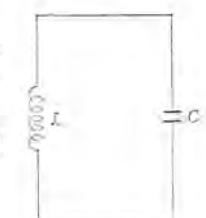


図 2.5 LC 共振回路
L-C oscillating circuit.

表 3.1 仕様
Specification of melting steel flow meter.

項目	仕様
出力信号	1~10V
測定可能流量範囲	50~400 kg/min (溶銅) (使用範囲に応じて設計可能)
標準発振器	発振周波数 2.5 MHz/5 MHz 切換 周波数安定度 10^{-6}
高周波発振器	発振周波数 2.5 MHz/5 MHz 切換 周波数安定度 10^{-5}
検出コイル	インダクタンス 3~6 μ H コイル冷却方式 水冷
零調整	粗調/微調切換
測定精度	4% 以内 (測定範囲にわたり)
傾斜とじ	落差 65 mm
動作チェック	標準コイル内蔵 MEAS./TEST 切換

4. 測定結果および考察

4.1 実験装置および測定結果

図 4.1 のブロック図に示すような実験装置により本流量計の測定テストを行なった。

本流量計の測定精度を知るために正確な流量が必要であるが、現在溶銅のような高温溶融金属の流量を直接測定する方法が他にならいため、図のように流れ出た湯の量をロードセルにて連続的に測定し、その微分値を正しい流量と考えることにした。

図 4.2 に実験状況、図 4.3 に測定チャートの一例を示す。

なお本流量計による測定流量値は式(2.20)に基づいてあらかじめ真鍮棒にて行なった校正結果によるものである。ここで溶銅の密度は 6.6 g/cm^3 とした。

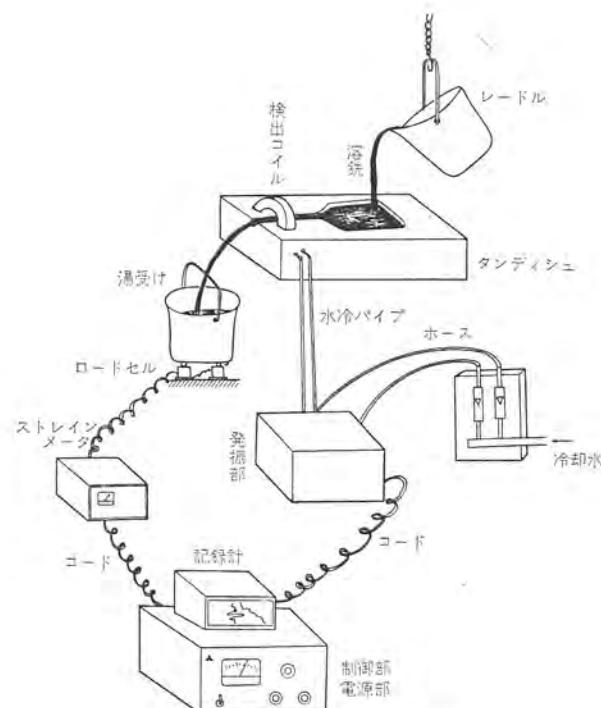


図 4.1 実験装置概略図
Measurement of melting steel flow.

4.2 考察

本流量計の測定精度を考えるとき、傾斜といの流体抵抗や近似による誤差等を含めて流量補正係数を考える。ここで

$$\text{流量補正係数 } \varepsilon = \frac{\text{真の流量}}{\text{流量計による測定流量}} \quad \dots \dots \dots (4.1)$$

である。いま

q : 流量計指示による流量

W_r : ロードセルにて測定した流出湯重量

q_r : 流出湯重量より求めた流量

とすると

$$\varepsilon = \frac{dW_r}{dt} \Big|_{t=t} \quad \dots \dots \dots (4.2)$$

で与えられ、 q_r を真の流量と考えると

$$\varepsilon = \frac{q_r}{q} = \frac{dW_r}{dt} \Big|_{t=t}/q \quad \dots \dots \dots (4.3)$$



図 4.2 実験状況
Measurement-test.

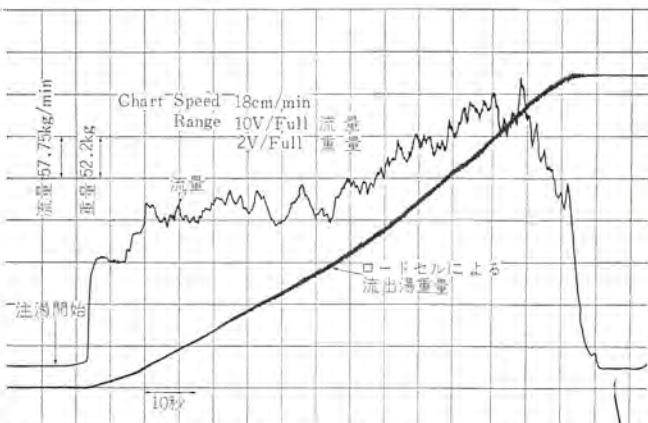


図 4.3 測定チャートの一例
One result of measurement-test

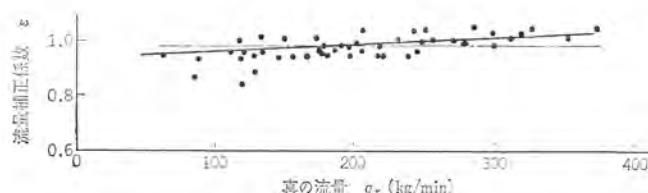


図 4.4 流量と流量補正係数の関係
Connection of correction factor with melting steel flow.

関西電力(株)読書発電所納め 自動応水運転装置

実松良次*

Flow Responsive Generation Control Device for Yomikaki Power Station, Kansai Electric Power Co.

Head Office Ryouji SANEMATSU

Mitsubishi delivered a flow responsive generation control device (FREC) to the Kansai Electric Power Company for use in Yomikaki Power Station in Oct., 1970. The dam and water way of this power station are unlike those of a run-off-river type station. The water quantity here is regulated by instructions from a central load dispatcher's office. The water way in this project is 8.5 km long with a gradient of 1/2,000. As it is considered the water way has a great effect on the operation of the plant, mathematical analysis has been made on it with a digital computer and, in accordance with the result thus obtained, the flow responsive generation control device has been designed. This article describes the method of the analysis and comparison between simulation and practical operation results for the reference to the design of a similar control device for other special run-off-river type power station.

1. まえがき

流れ込み式水力発電所の無人化方式として、流入量に従って水車の起動・停止および負荷調整を行なう応水運転方式が採用されている。通常の流れ込み式発電所では、貯水容量のあるダムはもとより、取水する河川の自然流量に応じて運転される。

関西電力(株)読書発電所は通常の流れ込み式発電所とは異なり、貯水容量の大きなダムを有し、取水量は中継指令に従って、取水ダムのスルースゲートを開閉して調整する発電所であり、自動応水装置を昭和45年10月に納入した。本装置の製作にあたり、水路系の解析を行ない、その解析結果に基づいて設計した。この解析手法およびシミュレーションと現地運転結果との比較を以下に紹介し、他の特殊な形態の流れ込み式水力発電所の応水装置の設計のご参考に供す。

2. 読書発電所の概要

本発電所は、日本有数の大河川木曽川水系に取水ダムを有する流れ込み式発電所で、応水運転を行なう3台の発電機の他に、同じ取水ダムより直接圧力鉄管にて導水する発電機(80 MVA)1台がある。

図2.1は応水運転を行なう3台の発電機の水路略図である。また主機の定格事項は次のとおりである。

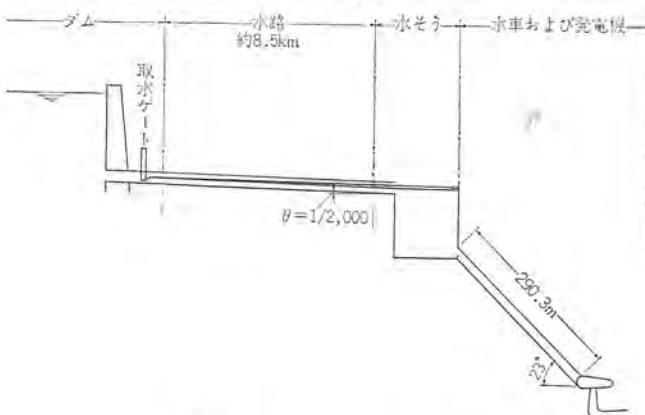


図2.1 読書発電所水路略図
Water way of YOMIKAKI power station.

水車：立軸單輪單流フランシス水車

出力：16,500 kW

落差：112 m

流量：16.8 m³/s

回転数：360 rpm

発電機：立軸開放形三相同期発電機

出力：17,000 kVA

電圧：6.6 kV

電流：1,485 A

力率：0.8

周波数：60 Hz

3. 応水装置の設計方針

本装置の製作にあたり、関西電力(株)より与えられた設計条件は次の3点であった。

- (1) 調整池より水をオーバーフローさせないこと
- (2) 圧力鉄管に空気を吸い込ませないこと
- (3) 運転が確実であること

上記3点を重視し、取水路が運転に与える影響が大きいと思われたので、ここに着目して水系各部を数式化し、デジタル計算機によるシミュレーションを行なうこととした。

4. 水系各部の数式化

図4.1は応水運転のブロック図である。水系各部の数式化は次のごとく行なった。

4.1 ダム部(取水量制御部)

理論式

$$Q = C \cdot B \cdot G_0 \sqrt{2gh}$$

ここに Q : ダムよりの放流量 C : 流出係数 B : ゲート幅 G_0 : ゲート開度 g : 重力加速度 h : ダム水位

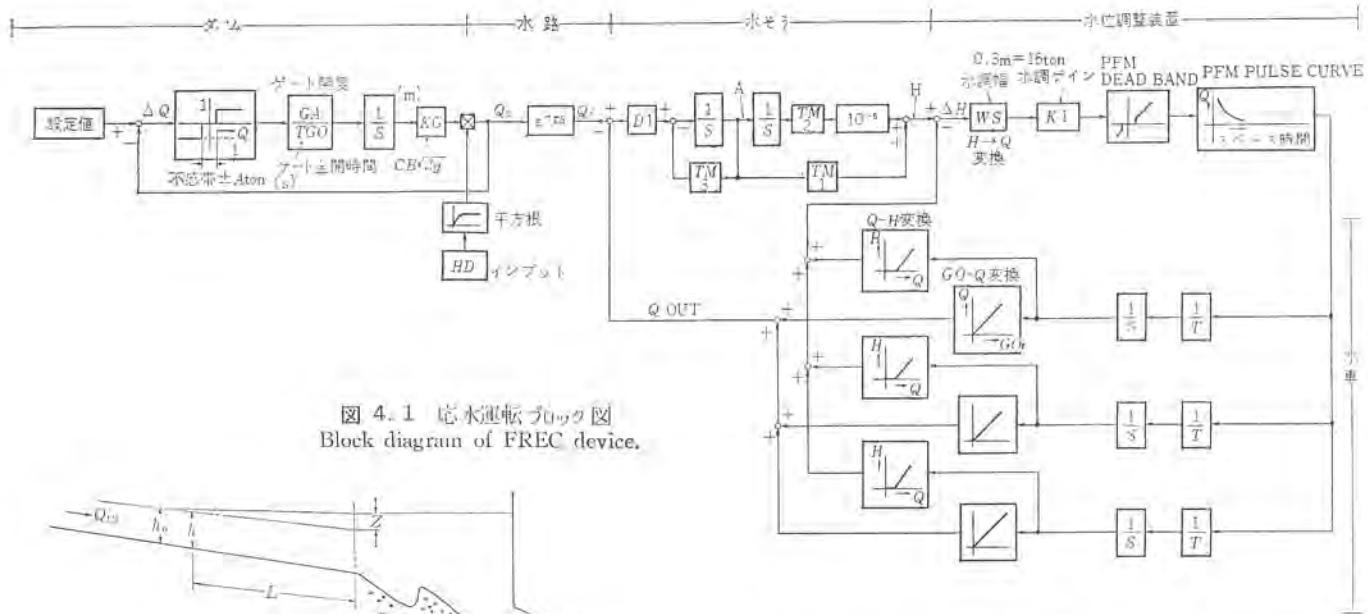


図 4.1 応水運動ブロック図
Block diagram of FREC device.

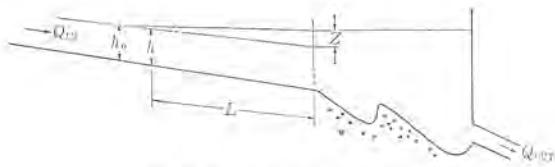


図 4.2 水そうおよび水路
Tank and channel.

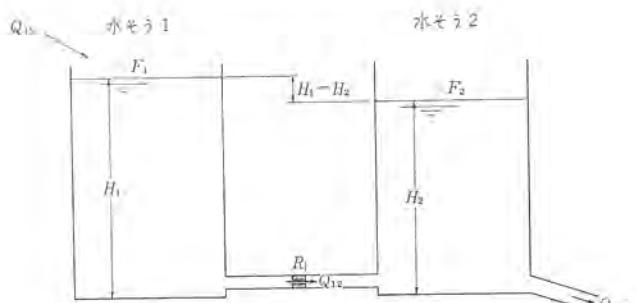


図 4.3 等価水そう
Equivalent tank.

4.2 水路部

流下一次遅れ $e^{-\tau s}$ として模擬した。

4.3 水そう部 (実水そうと背水水そう部)

水そう部は実水そうと背水水そうの2水そうに分けて考える方式⁽¹⁾で模擬した。すなわち図 4.2 のような断面の水そうおよび水路がある場合、まず自流量 Q_{IN} における水路の等流水深 h_0 を求め、この h_0 と実水路水深 h の比が、 $h_0/h=0.99$ となる水深点までの水そう入口からの距離 L を背水到達距離とする。

この水そう部は、図 4.3 に示すように等価的に水そう 1、水そう 2 の二つの水そうからできていると考える。ここで水そう 1 は、背水の到達する領域の水路を一つの等価水そうとみなしたものであり、この等価水そうの長さ L_t は次式にて求められる。

$$\frac{L_t}{L} = \alpha$$

係数 α は実験値である。したがって等価水そう 1 の面積 F_1 は、 $L_t \times B$ (平均水路幅) で表わされる。水そう 2 は実際の水そうで、その面積 F_2 は実際の水そう面積である。

また両水そうの水位差 $H_1 - H_2$ は、等流水深延長線と水そう入口線の交点における等流水深と実際の水そう水深との差 Z に関係するものとして

$$H_1 - H_2 = \beta Z$$

なる式で表わされ、 β は実験値である。以上のように考えれば、水

そう 1 に供給される水量は背水の到達しない領域の流量であるから、水位に関係なく取水量と流量が等しいと考えることができる。

上記のような 2 水そう系の伝達関数を求めると次式のとおりとなる。

$$\frac{T_{e3}S+1}{T_{e1}S(T_{e2}S+1)} \quad (4.1)$$

ここで

$$T_{e1} = F_1 + F_2$$

$$T_{e2} = \frac{F_1 F_2 (H_1 - H_2)}{(F_1 + F_2) Q_{IN}}$$

$$T_{e3} = \frac{F_1 (H_1 - H_2)}{Q_{IN}}$$

式 (4.1) を変形すると

$$\begin{aligned} & \frac{T_{e3}S+1}{T_{e1}T_{e2}S^2 + T_{e1}S} \\ & = \frac{\frac{T_{e3}}{T_{e1}T_{e2}}S + \frac{1}{T_{e1}T_{e2}}}{S^2 + \frac{1}{T_{e2}}S} \end{aligned}$$

したがって図 4.1 のブロック図で

$$TM1 = \frac{T_{e3}}{T_{e1}T_{e2}}$$

$$TM2 = \frac{1}{T_{e1}T_{e2}}$$

$$TM3 = \frac{1}{T_{e2}}$$

となる。ただし背水到達距離 L および等流水深 h_0 を求める場合の簡易計算式としては、Manning の式、Bresse の式を適用するが、これらはすべて断面積が幅の広い長方形の場合に適用される実験式であり、馬てい(蹄)形水路や幅のせまい水路に適用することは問題がある。

しかし概略計算を行なう場合には、特に問題ないものとして用いられている。また上記の水路系の考え方では流入量 Q_{IN} が一定の場合を想定したもので、取水ゲートを閉からある流量開度まで開いていく過渡段階が考慮できないこととなる。しかし本発電所の背水水そうは概算で貯水量約 6 万 m³ あり、これは 3 台の発電機を 10 分間全負荷で運転できる量である。一方取水ゲートは全閉から 3 台分取

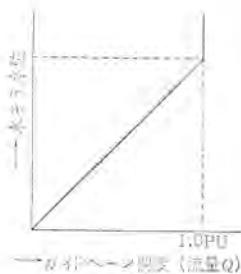


図 4.4 水位調整特性
Characteristics of water level control.

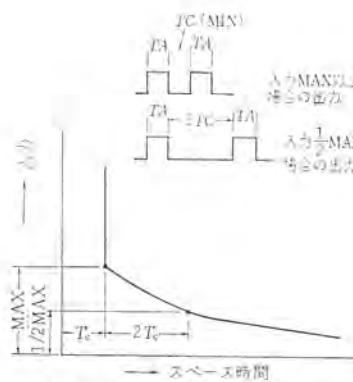


図 4.5 PFM サーボアンプの特性
Characteristics of PFM servoamp.

水開度までの所要時間が約3分である。上記の貯水量とゲート開閉時間より判断して、ゲート開閉動作の過渡段階は特に考慮しないこととした。

4.4 水位調整装置（水調装置）

応水装置は水車の起動・停止を行なうものであるが、流入量に応じて負荷を調節する水位調整装置（水調装置）を付加することにより、安定な運転が可能となる。水調装置の特性は図 4.4 に示すような特性で、水位と水車出力（使用流量）を比例させることにより、流入量に応じた使用流量とし、安定な運転を行なうものである。本応水装置で作用する水調装置は 1 セットとし、取水量に応じて、たとえば 3 台分取水の場合 2 台全負荷運転で 1 台に水調装置を使用、2 台分の場合 1 台全負荷運転で 1 台に水調装置を使用、1 台分の場合には運転する 1 台に水調装置を使用する方式とし、負荷のバランス運転は行なわないこととした。これは本発電所の運転方式が取水ゲートによる流入量の段階取水による運転であることから考えて、その必要がないと判断したためである。

4.4.1 水調幅

図 4.4 に示す水位と流量 Q の関係で

$$WS = \frac{Q}{H}$$

で表わされる。すなわちこの部分で水位を流量に換算している。

4.4.2 水調ゲイン

水調装置内部増幅器のゲインであり、計算上 $K_1 = 1.0$ として計算した。実際の装置では、水調装置の安定な運転値に調整できる要素である。

4.4.3 PFM サーボアンプの不感帯

水調装置出力要素として、入力の大きさにより出力バルスのスペース時間が変化する PFM サーボアンプを使用しているが、この装置に不感帯を設けるためのものである。不感帯がない場合水調による負荷制御がハンチングする。

4.4.4 PFM サーボアンプのバルス

PFM サーボアンプの入力と出力の関係を数値化する部分であり、その入出力の関係は図 4.5 のとおりである。

$$Q = K \varepsilon^{-\alpha(t-TC)} \quad (4.2)$$

ここに

TC : 最大入力時のスペース時間

$$t = 3 \times TC \text{ のとき } \frac{1}{2} Q_{\max} \text{ となる}$$

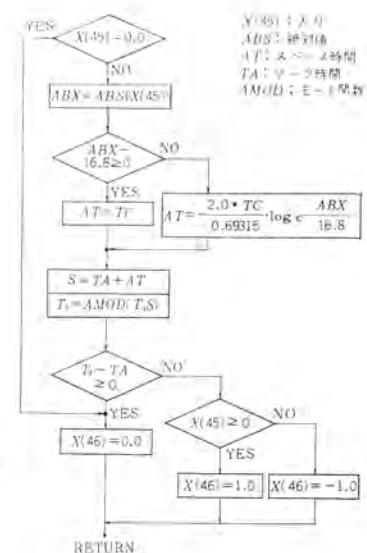


図 4.6 パルスカーブ
プログラム
Pulse curve
program.

式(4.2) より

$$t = -\frac{1}{\alpha} \log_e \frac{Q}{K} + TC \quad (4.3)$$

式(4.2)において $t = TC$ のとき Q は $16.8 \text{ m}^3/\text{s}$ であるから

$$K = 16.8$$

同様に $t = 3 \times TC$ のとき Q は $8.4 \text{ m}^3/\text{s}$ であるから

$$8.4 = 16.8 \varepsilon^{-\alpha(3TC - TC)}$$

$$0.5 = \varepsilon^{-\alpha(2TC)}$$

$$\log 0.5 = -2TC \times \alpha \log_e \varepsilon$$

$$\alpha = 0.69315 \times \frac{\alpha}{2TC} \quad (4.4)$$

式(4.4)を式(4.3)に代入して

$$t = -\frac{2TC}{0.69315} \log_e \frac{Q}{17} + TC \quad (4.5)$$

上記関係から図 4.5 の関係を図 4.6 のパルスカーブプログラムとした。

5. 計算結果と現地運転結果との比較

5.1 起動の場合

図 5.1 は、全機停止中から 3 台運転分の取水を行なった場合の計算結果および実機運転結果を示す、図 5.2 は上記計算結果の計算機アウトプットデータである。

図 5.1 では実際の水位変動が、計算結果より大きくでているが、これは計算に使用した背水水そうの模擬が、実際より大きすぎたためである。しかし、計算結果に基づいて製作した装置による運転と計算結果とが、ほぼ一致した水位変動をしている。

5.2 停止の場合

図 5.3 は、全機運転中の状態より取水停止した場合の計算結果および実機運転結果を示す。図 5.4 は、上記計算結果の計算機アウトプットデータである。なお図 5.3 に記載の計算結果の水そう水位の値と、図 5.4 の水そう水位の値が異なるが、これは図 5.4 の水位初期値と図 5.3 の実機運転結果の水位初期値が異なっていたためで、図 5.3 の計算結果の水そう水位は、図 5.4 の値を実機運転の初期値に補正して記載している。

停止の場合の結果でも、起動の場合と同様に、実機の水位変動が計算結果より大きな値となっているが、これも前記と同じ理由によ

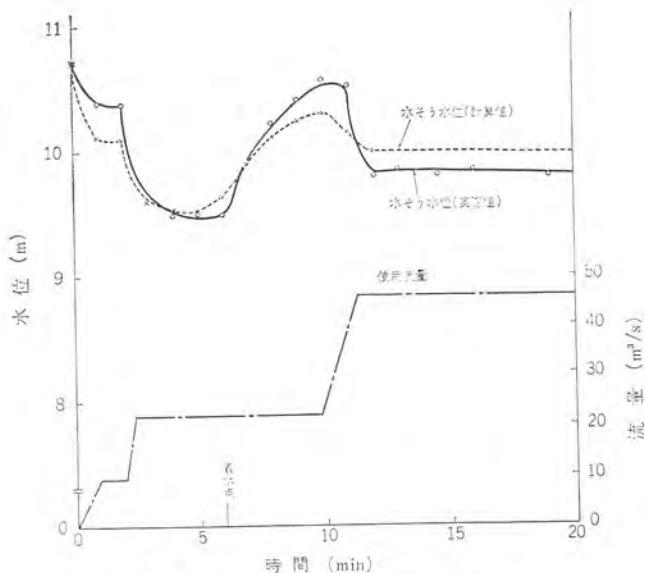


図 5.1 起動時の流量・水位の変化
Change of flow and level at starting time.

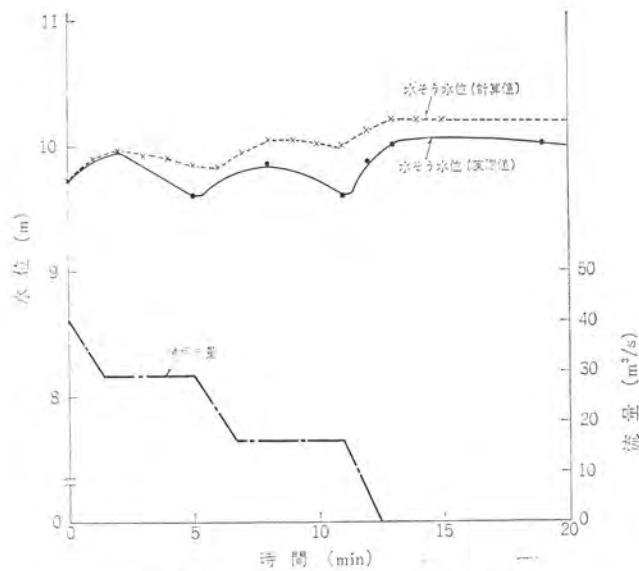


図 5.3 停止時の流量・水位の変化
Change of flow and level at a standstill.

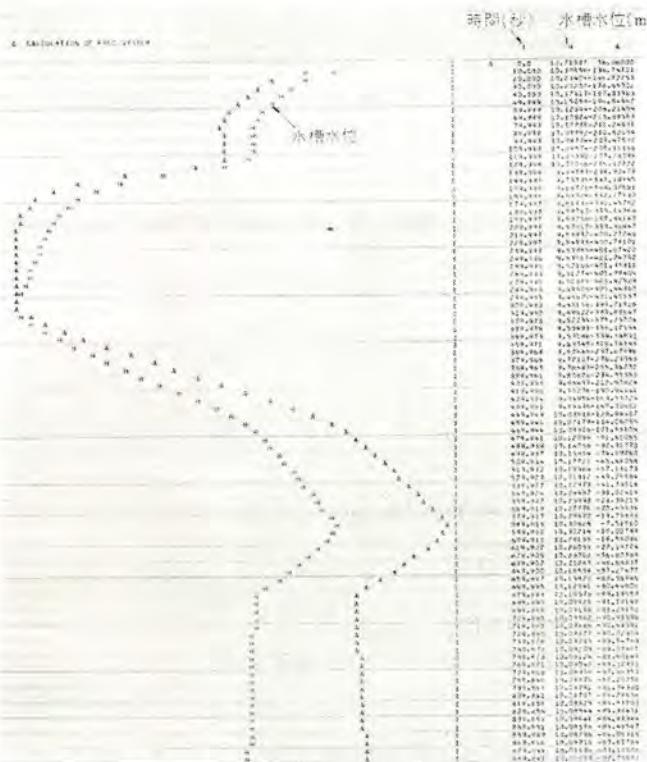


図 5.2 起動時の計算機アウトプット
Computer calculation data at starting time.

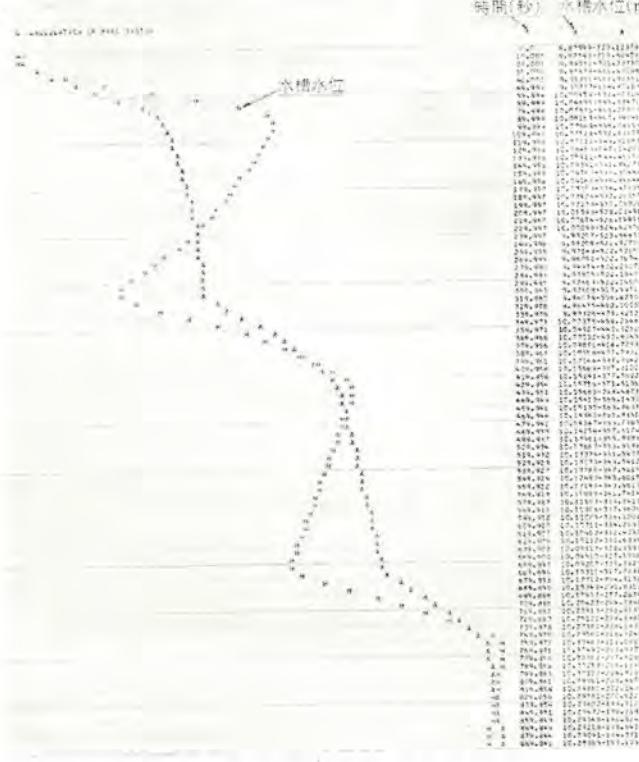


図 5.4 停止時の計算機アウトプット
Computer calculation data at a standstill.

るものである。また水位変動の傾向はほぼ一致している。

以上述べたとおり図 5.1, 5.3 の計算結果と実機運転結果を比較してみて、上記水路系の模擬が妥当なものであったと判断できる。

なお上記検討は当社の Block Diagram の Simulation Program Compiler (BACS) を使用し、デジタル電子計算機により行なった。

6. む す び

以上 関西電力(株)読書発電所向け自動応水装置について、その概要を述べた。水路が特殊な形態の流れ込み式水力発電所においては、水路定数・水路形態および水車の特性等を考慮して、装置を設計する必要があるが、各部分を前記のように数値化して設計計算を

行なうことにより、確実な装置の製作が可能となる。

読書発電所自動応水装置の製作経験から、どのような特殊条件の取水路をもつ流れ込み式発電所でも、最適な無人化装置の製作が可能であるという確信を得た。

終わりに本装置の設計ならびに現地試験に対して、終始ご指導ご協力いただいた関西電力関係者各位に、厚くお礼申しあげるしだいである。

参 考 文 献

- 小山田：急激繰返し負荷による周波数擾乱とその対策、北海道電力論文（昭36-6）

シーケンス コントローラ MELCAP

中山 彪生*・吉田日出夫*・大塚 昭子*
松本 直巳**・相良 長雄**

Introduction to MELCAP System

Kobe Works Torao YAMANAKA・Hideo YOSHIDA・Shoko ÔTSUKA
Head Office Naomi MATSUMOTO・Tatsuo SAGARA

Sequence control circuits used to be made with electromagnetic relays everytime according to control phenomena. However, because of the marked increase in the scale of the latest plants and of the complication of control, demands have been made by both the users and the manufacturers to have the sequence control that can be processed with programs without changing the back wiring. However, this means that apparatus in the field are directly operated with it and ease in programming, operation and maintenance must be assured with high reliability. With the object of meeting such requirements MELCAP system has been developed for the intention of application to the burner of thermal power plants. This article is the introduction to the outline of the system. It is needless to mention that the system is applicable to the sequence control of other plants than those quoted herein.

1. まえがき

シーケンス制御は電力・工業その他さまざまなプラントにおいて不可欠なものである。

特にシーケンス制御と言あげるまでもない簡単なシーケンス回路は、古くから電磁繼電器により組まれ、現在でも使用されている。プラントの大規模化・複雑化に伴い、シーケンス回路も次第に大きくなり組み入ったものとなり、半導体素子の台頭に伴ってこれらのうちのあるものは半導体ロジックにより組まれるようになった。しかし、電磁繼電器の場合も、半導体ロジックの場合も、制御対象に合わせて回路を組んでいくいわゆるワイヤドロジック (Wired Logic) 方式であった。

一方電子計算機がプラントの制御にも使われるようになると、シーケンス制御のある部分は、計算機が行なうようになった。計算機はストアドプログラム (Stored Program) 方式であるため、制御対象ごとに回路を変える必要はなく、単にプログラムの内容を変えるだけでよいという著しい特長をもっている。しかし、計算機はプログラムがコアメモリ等にソフトな形で入っており、運転にはシステムタイライタの操作が必要な点や、環境条件等から従来のワイヤドロジック方式の装置と、そっくり置換えることはできない。また設計あるいはプログラミングにおいても、計算機は入出力がワード単位であり、命令体系もワード単位のデータを処理するように構成されているため、データの四則演算を主体とした制御には適するが、処理のほとんどが論理条件判別であるようなシーケンス制御には、プログラムの所要ワード数が多く不向きである。

三菱シーケンスコントローラ MELCAP (Mitsubishi Electronic Logical Control Apparatus) は、計算機と同じストアドプログラム方式を採用しながら、運転・操作上は従来のワイヤドロジック方式の装置と何ら変わらぬものである。特に環境条件および入出力インターフェイスについては、プラントにおける設置場所を十分に考慮し、従来のワイヤドロジック方式の装置に匹敵するものとしている。

またプログラミングについても、命令体系がシーケンス制御専用のエイクなものであり、従来ワイヤドロジック方式の装置を設計していた人でも、簡単にコーディングすることができる。入出力はそれぞれ最大

2,048点と超大型のシーケンス制御までこなせ、同一の制御パターンを複数台の機器に適用する場合、プログラムは1台分のみ書いて繰返しができるようになっている。

以下 MELCAPについて紹介する。

2. MELCAP 開発に至った経緯と基本設計方針

MELCAP 開発の発端となったのは、火力発電プラントのバーナ自動制御装置であった。新鋭大形火力発電所のボイラには40本のバーナがあり、これらの出し入れ、点火消火等の制御を行なうバーナ自動制御装置には、それぞれ数百点の入力および出力信号があり、制御装置は入力信号を受けてその状態を判別して、あるものは記憶し、あるものは一定時間の遅延を行なって出力を出していく。出力信号はバーナあるいは付属機器を動作させ、動作の結果は、再び入力信号となって制御装置に戻ってくる。このようにしてバーナ自動制御装置は起動・停止の操作を自動的に進めたり、非常時の処置を行なったりする。

小規模のプラント用のバーナ自動制御装置は、電磁繼電器により構成されるが、大規模のものは半導体ロジックにより構成される。当社では国産第1号の半導体形バーナ自動制御装置を開発して、九州電力(株)大分火力発電所に納入以来、すでに十数セットの製作納入実績をもっている。これらは、NAND回路を中心としたはん用論理回路カードシステム MASC-10 シリーズにより、ワイヤドロジック方式で構成されている。この方式には、設計者の描いた論理図がそのままの形で装置の結線となる点や、クロック等の速い信号がないため、雑音に対する防護策が容易である等いろいろの特長があり、その信頼性はすでに実績があるが、ワイヤドロジック方式であるため、制御対象に従って毎回設計をやらねばならず、したがって製作・試験についても毎回異なるものをやる必要があり、特に結線後の制御内容の変更がやっかいであるという欠点があった。

昭和45年4月に、新形バーナ自動制御装置の開発を目的とするプロジェクトチームが筆者らを中心として発足した。

プロジェクトチーム発足より、MELCAP 開発に至るまでの検討経過の概略を図解すると図2.1のようになる。

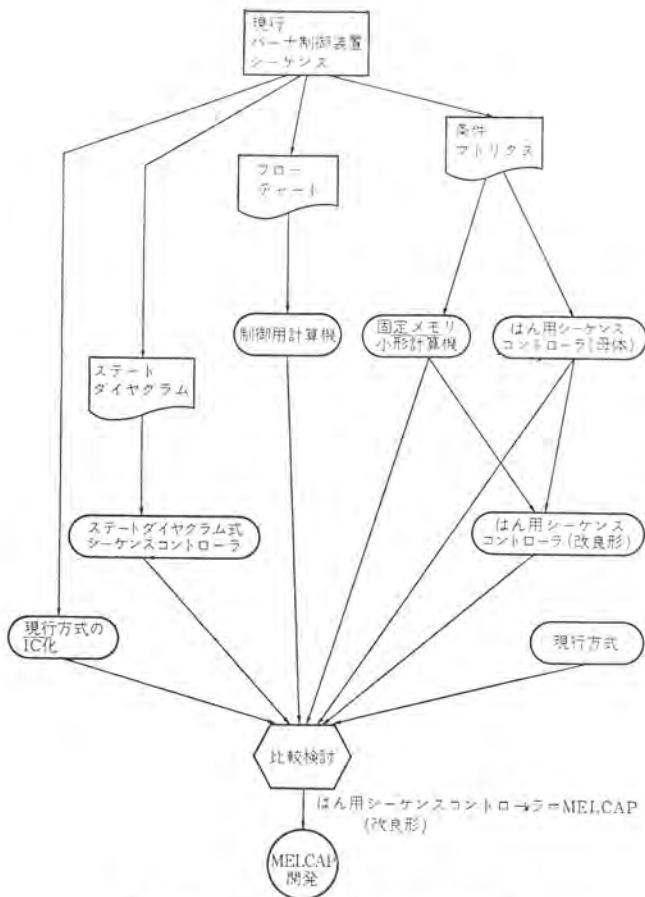


図 2.1 MELCAP 開発に至る経緯
Circumstances to the development of MELCAP system.

- (1) まず現行バーナー自動制御装置より適当なモデルを抽出して、入出力およびその間の論理条件を記した条件マトリクスを作成し、シーケンス制御としての規模・性格をは掲した。
- (2) 上記条件マトリクスを一般的に実行処理する装置として、固定メモリの小形計算機を想定して検討を行なった。
- (3) 同じく上記条件マトリクスを一般的に実行処理する装置として、磁気ドラムを使用した MELCAP の母体となるシーケンスコントローラの構想を得た。
- (4) 現行装置のシーケンスに戻り、制御対象機器の動作をフローチャートにし、これを制御用計算機で実行処理する場合について検討した。
- (5) 上記(2)、(3)、(4)の案はいずれも、中央処理装置を高速時分割で使用するのに対し、高速動作のない方式として、制御対象をステートダイヤグラムの形でとらえ、その移行条件を監視しつつ、シーケンス制御を進めるステートダイヤグラム式シーケンスコントローラの構想を得た。(この装置については、別の機会に紹介することになるであろう。)
- (6) 上記(5)案は制御対象ごとに結線を変化する部分が若干あり、(2)、(4)案は、1章に述べたような理由からシーケンス制御には非効率的な面がある。一方(3)案もドラム形のため保守上の問題があるので、(3)案のドラムをタイオード固定メモリに変えて若干の改良を加え、新形シーケンスコントローラの構想を得た。
- (7) 以上得られた(2)～(6)の5案および現行方式、およびそれをIC化したもの、合計7案を比較検討し、45年7月にMELCAP開発の結論に達した。



図 2.2 MELCAP

MELCAP 開発に際してとった基本設計方針は、次のとおりである。

- (1) 工事ごとのハードウェアの変更を必要としないこと。——ストアドプログラム方式を採用し、工事ごとのロジックの組み方をプログラムメモリに集約する。
- (2) 従来のワイヤロジック方式と同等以上の信頼性を有すること。——プログラムメモリはダイオードリードオンリメモリ(ROM)とし、回路構成に当たっても信頼性を第一とする。
- (3) 占有スペース、取り扱いについても現状システムより小さくまた容易であること。——機能をシーケンス制御専用にしほる。
- (4) いろいろなシーケンス制御に容易に適用できること。——従来ワイヤロジック方式の装置を設計していたものでも、容易にプログラムできるように簡単で、しかもプログラムのワード数が少なく、プログラムの労力が少なくてよいものとする。また入出力ユニットにはプラントの制御回路と直接接続できるものを用意し、中継リレー盤等を考えるわざわしさをなくす。
- (5) 運転・保守が容易であること。——従来の装置と同様、運転に際してタイプライタ等の操作はまったく不要で、環境条件も同等で可とする。

以上より明らかなように、MELCAP はバーナー自動制御装置の改良が元となって生まれたものであるが、バーナー自動制御を一つの大規模なシーケンス制御として一般的にとらえ、これを実行処理するものとして開発したものであるため、種々のシーケンス制御に適用できるシーケンスコントローラとなっている。

図 2.2 は三菱重工業(株)香焼実験工場において、超臨界圧テストボイラ用バーナー制御装置に適用した MELCAP の全容である。

3. MELCAP の仕様と特長

3.1 MELCAP の仕様

MELCAP の仕様は表 3.1 にまとめるとおりである。

1 命令の実行時間が $10 \mu\text{sec}$ であるというのは、現在制御用コンピュータのサイクルタイムが数分の $1 \mu\text{sec}$ から数 μsec であるのに比べて、非常に遅いという印象を与えるかもしれないが、命令を論理演算専用という立場からその効率をあげているので、実質的にはそれほど問題にならない。そして内部使用素子の能力としては、この実行時間を数倍にあげる能力をもっているが、設計指針としては、スピードは実用上さしつかえない程度におさえて、動作の安定性を重視した回路構成としている。

表 3.1 MELCAP の仕様
Specifications of MELCAP.

1命令実行時間	10 μ sec
動作ステップ数	5ステップ (したがって1ステップ 2 μ sec)
プログラムメモリ	最大 4K words lword 16bits+1 bit (parity) ダイオード リードオンリメモリ (送気コアメモリも接続可能)
装置容量	入力点数 最大 2,048 点……………(8点単位で増減可能) 出力点数 最大 2,048 点……………(4点単位で増減可能) タイマー 最大 512 点 時間 1~640 sec (4点単位で増減可能) 補助メモリ 内部メモリ最大 512 点 メモリ フラッシュメモリ最大 992 点 (各 256 点単位で増減可能) 2 レベル 8 点 (標準) 最大 20 点……………(4点単位で増減可能)
増込み機能	2 レベル 8 点 (標準) 最大 20 点……………(4点単位で増減可能)
入力仕様	110V DC 3 mA
出力仕様	AC 出力用…AC 220V 2A 以下 DC 出力用…DC 110V 2A 以下 ランプ出力用…DC 100V 0.3A 以下 (15VA 以下) AC 100V 50/60Hz または DC 110V (インバータ使用)
環境条件	温度 -10°C~+50°C 湿度 30~90%
主要素子	DTL, TTL, MSI, HTL 素子回路 シリコントランジスタ, シリコンダイオード

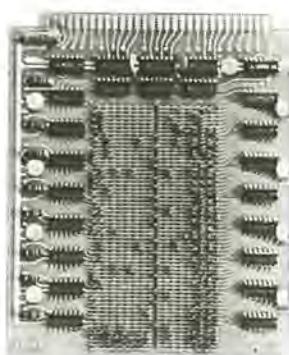


図 3.1 ダイオードリードオンリメモリ
Diode read only memory.

動作ステップが、5ステップというものは一つの命令を実行するのにも、まずプログラム番地を1進め、プログラムを読み出し、パリティチェックを行ない、必要な情報を必要な場所に転送するというような数段階の過程を踏まえるわけであるが、それらの段階を五つのタイミングにわけけて制御しているということである。

プログラムメモリで、ダイオードリードオンリメモリというものは、図3.1に示すようなダイオードマトリクスのことで、プログラムの書き込みは、ダイオードの埋め込みというハード作業になり、一度作成されたプログラムは、あと書き直されることはなく、読み出し専用に使用されるのでこのように呼ばれる。ところが初めからこのようなリードオンリメモリを使用すると、制御論理の変更に対する柔軟性を欠くことになるので、書き込み読み出しが自由にできるコアメモリ装置を接続して、運転することも可能になっている。

装置容量で入・出力点は、プラント側からMELCAPにつなぎこめる接点の数、およびMELCAPからプラント側に送出できる出力の点数を意味する。

補助メモリというのは、リーシーケンスの場合の自己保持リレー、または普通の補助リレーに相当する。内部メモリと呼ばれるものが、自己保持リレーに相当するもので、この要素を使用するときは、必ずセット命令とリセット命令が別個に必要である。

ラッチャメモリは普通の補助リレーに相当するもので、この要素を使用するときは、セット命令のみでよい。すなわちセット命令がかかったとき、論理判別結果がOKならセットされ、論理判別結果がNOであれば、自分でリセットするタイプのメモリである。リーシーケンスの補助リレーは、ある論理判別を行なうためと、ある論理判別結果を

伝達するために使用されるが、前者の機能はMELCAPにおいては、プログラムがはたすため、ラッチャメモリの機能は、リーシーケンスにおける補助リレーの後者の機能をはたすことになる。

入力仕様欄における110V DCの電源は、MELCAP側から供給されるので、プラント側が用意する入力は無電圧接点である。

出力はAC、DC出力とも、小形のコンタクタ程度は直接付勢できる能力をもち、特にパワー増幅のために外部に補助リレーを置かなくてよいよう考慮している。(ただし制御対象のシステムによっては、補助リレーでインターフェースできるように、トランジスタのオープンコレクタドライバユニットも用意されている。)

電源に関しては、普通の商用電源が使用でき、電源重音離音については、ラインフィルタを設けて特に考慮されている。

環境条件については、一般に屋内で制御盤が置かれる所であれば、特に空調も要さず普通のリレー盤と同様にとりあつかえるよう考慮を払った。

割込み機能は、標準では2レベルで各レベル4点ずつの8点である。2レベルとはある種の割込み要因が2種類同時に(または一方が処理中に他方の要因が入った)生じた場合、そのどちらを優先させるかの順位を2段階までつけ得るということである。同一レベル内の4点の割込み要因の処理順序は到達順に行なわれる。この割込みは最大5レベル、20点まで増加できる。

3.2 MELCAPの特長

MELCAPの特長は、その設計指針に要約されているが、ここで再度まとめてみることにする。

(1) 制御論理の組み立てがフレキシブルである

これは従来の機械式リーシーケンス、または、はん用論理カードシステムがその論理の構成をワイヤリングで行なうのに対し、MELCAPにおいてはプログラムで行なうところにある。すなわち機械式リーシーケンスやはん用論理カードシステムにおいては、制御対象によってそのハードウェアそのものが変化するのに、MELCAPにおいては、ハードウェアはいつも固定で、変化するのはプログラムの内容のみである。これによってハードウェアの標準化が推進され、品質の均一化が期待できる。試験調整段階でのプログラム変更の容易さは、MELCAPの試験装置としておかかるコアメモリ装置によって満足される。コアメモリ装置は、最終的にROM(リードオンリメモリ)によりプログラムが固定されるまでの間接段階で使用されるもので、プログラムはそのコントロール上の16進KEYスイッチによって自由に変更することができ、もちろんこのコアメモリに書かれたプログラムにより実機を制御することも可能である。図3.2はこのコアメモリ装置を示す。

(2) オンライン制御機器として絶対の信頼度を有する

MELCAPは、ON-LINEで使用される機器であるので、その信頼度にはかく別の配慮が必要である。それがどのようなものであるかという項目だけあげると、下記のとおりとなる。

(a) 回路の全無接点化

(b) シーケンス制御専用として回路を単純化するとともに、ROM(リードオンリメモリ)によってメモリの信頼度をあげる。

(c) 2重照合システム、パリティチェック、高しきい値論理回路の採用等、随所に対誤動作防止策がほどこされている。

(d) 装置の心臓部であるCOU(Central Operating Unit)は、自己検診システムの採用により、常時その異常が監視されている。

(e) プラントとのインターフェースを包含するI/O一体化システムとし、その故障に対する保護もシステムとして協調をとったものとしている。



図 3.2 コアメモリ装置 (ソフトメモリ)
Core memory device.

る。

(3) プログラムの容易さ

従来のリレーシーケンスに置きかわって使用されるものという立場から、その命令体系も単純化し、必要な入力条件の読み込み、論理判別、その結果の出力、というように基本的には3種類の命令でプログラムが構成できるようになっており、その点では、従来のリレーシーケンスのEWDを作成するのと同じ発想でプログラムが書けるよう配慮されている。その他保存用プログラムリスト、論理チェック用ブール代数リスト等、OFF LINEで大形計算機を使用して作表するトランシレータも開発完了している。またブール代数式でプログラムすれば、それが直接機械語に翻訳されるようなトランシレータもすでに開発済みである。

(4) 運転・保守の容易さ

プログラムは最終的にはROM(リードオンリーメモリ)で固定されるが、そのようになった暁には、すべてハードで固められたことになり、従来のはん用論理カードシステムのパックワイヤリングの変更部分が、マイクロドマトリクスに集約されたものと解釈でき、その取扱いはリレーシーケンス、はん用論理カードシステム同様完全なワンタッチコントロールシステムとなる。また装置の動作状態は、メインテンナンスパネル上の表示ランプによりチェックできるようになっている。

(5) 納期の短縮

ハードウェア工事とプログラムの作成が並列に行なえるため、納期の短縮がかかる。

(6) 据付スペースが小さく工事が容易になる

従来のリレーシーケンスに比べると格段に据付スペースが小さくなり、また外部とのつなぎは専用のターミナルパネルが設けられるため、あちこちのパネルに分散することなく、外部ケーブルの接続が容易である。

4. MELCAPのハードウェア

4.1 構成と機能

MELCAPシステムのブロック図は図4.1に、各ブロックの説明は表4.1に示すとおりである。

またMELCAPにおける基本動作は、下記のとおりである。

(1) 入力呼び込み動作：所定の入力情報を入力レジスタに呼び込む

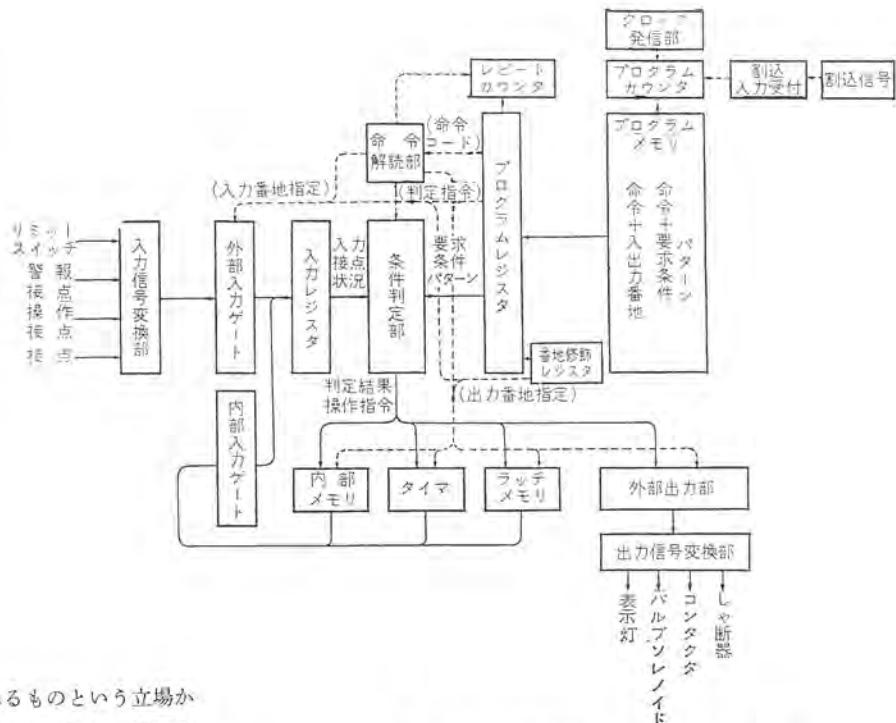


図 4.1 MELCAP システム ブロックダイヤグラム
Block diagram of MELCAP system.

表 4.1 各ブロック機能説明
Description of each block of MELCAP.

名 称	機 能 説 明
プログラムカウンタ	プログラム番地を指定するカウンタ
プログラムメモリ	本装置でいかなる制御を行なわせるかというプログラムを収納するメモリ、最大4kW、ダイオードリードオンリーメモリ(ROM)である。
プログラムレジスタ	プログラムメモリの1wordずつの内容を読み出すためのレジスタ
命令解読部	プログラムレジスタに読み出された内容がいかなる命令であるかを解読する回路
外部入力ゲート	ゲート接点の状態を選択して読み込むためのゲート
内部入力ゲート	ワットメモリ、内部メモリ、タイマーの出力を選択して読み込むためのゲート
入力レジスタ	外部入力ゲート・内部入力ゲートで選択された入力状態を1時記憶しておくレジスタ
条件判定部	入力レジスタにあるブラントの状態が、プログラムメモリに書かれた条件を満足するか否かを判別する回路 判別器による判別結果を蓄積し、出力信号を出すべきか否かを決定する回路
番地修飾レジスタ	番地修飾用のレジスタで、たとえば同じ種類の操作対象が複数台あるとき、プログラムの内容を同じにして、入力番地および出力番地を移動してやるだけで1号機2号機の制御ができる場合がある。そのような場合は、外部入力番地・外部出力番地・ワットメモリ番地・内部メモリ番地・タイマー番地をそれぞれ何番地修飾させるべきかを記憶するレジスタ
レピートカウンタ	上記番地修飾レジスタで述べた説明のごとき繰返し操作を行なう場合、繰返し回数を規定する減算カウンタ
外部出力部	外部出力ドライバ駆動用メモリ、二重照合機能あり
ワットメモリ	条件成立でセット、条件不成立でリセットするメモリ
内部メモリ	セット条件成立でセットされ、リセット条件成立でリセットするメモリ
タイマー	1秒～640秒セット可能タイマー

- (2) 条件判別動作：入力レジスタの情報と、プログラムに書かれた要求条件とを比較照合判定を行う
(3) 出力動作：条件判別の結果により、所定の出力番地に出力信号を出す
(4) 制御動作：プログラム番地のある番地にジャンプさせたり、入出力番地を修飾したり、あるプログラムを繰返させたりする動作

4.2 基本機能動作

(命令・プログラミングの詳細は、後述の表 5.1 に示す命令一覧表、次章のプログラムの項を参照されたい。)

(1) AND 機能

プログラムで D 命令・DI 命令を続けると、それら全部の AND の結果として判定部で記憶される。

条件判定部では D, DI 命令の実行中に 1 度でも NO の判定があれば、それ以後の判定をマスクし、全体の結果として NO の判定結果を出力する。

(2) OR 機能

プログラムで DO 命令・DIO 命令がくると条件判定部ではそれ以前の判定結果が OK なら、以後の判定に対してマスクをし、もし NO なら、その命令以前の判定結果を Reset し、その命令以後の判定を行ない、その結果を出力することにより OR 論理をとっている。

(3) 割込機能

割込入力信号が入ると、プログラムカウントを強制的に割込処理プログラムの書かれているプログラム番地にセットし、割込処理動作を優先的に行なう。

(4) インクリメント機能

同一バージョンのシーケンス制御が複数組に及ぶとき、1組分のプログラムで複数台の処理を行なわせることができる。このときには番地修飾用のレジスタを使用し、このレジスタは入力・出力・内部メモリ・タイマ・ラッチメモリに対して、それぞれ独立に番地の修飾が可能である。

4.3 おもなユニット

(1) 内部メモリ・ラッチメモリ

MSI を使用し、256 bit 2 枚のカードで 1 ブロックを構成する。LO AD 命令に対する呼び出しに対して、順序どおりのグループ出力が得られるコントロールゲートを設けてある。

(2) タイマ

カウント方式のタイマであり、时限の設定は 1 秒から最大 640 秒までの設定が可能である。1 枚のプリント基板に 4 点分が収納されている。

(3) 入力信号変換ユニット

外部の接点入力信号を 15 V のロジックレベル信号に変換するもので、全シリッドステート化されている。外部の接点には MELCAP システムより DC-110 V を供給し、変換回路は -70 V 以下で “ON”, -30 V 以上で “OFF” のヒステリシス特性を有す。各入力点ごとに外部接点の状態を示す表示灯が設けてあり、1 枚のプリント基板に 8 点分が積載されている。

(4) 出力信号変換ユニット

15 V のロジックレベルの信号を外部機器駆動信号に変換するもので、駆動対象により各種の変換ユニットが用意され、任意の出力点に任意の種類の変換ユニットがプラグインで選択できる。変換ユニットには AC 駆動用にトライアック素子出力、DC 駆動用に水銀接点出力、軽負荷にはリードリレー出力等がある。

(5) プログラムメモリ

コアメモリとダイオードリードオフリメモリの 2 種類がある。前者については後述するが、後者はシーケンスが決定し、オンライン制御を行なうときに使われるもので、図 3.1 に示したごとく 1 語 17 ビット、64 word 分が 1 枚のカードに実装されている。

4.4 メインテナンス

MELCAP システムには、メインテナントパネルが設けてあり、この操作により動作の確認が行なえる。通常のか（稼）動時には、START-STOP スイッチを START 側にしておけば、プログラムが RUN モードで制御動作を順次行なう。STOP 側にするとプログラムが STOP し、ここで 1 命令ずつのステップ動作を行なわせて、各レジスタの内容の表示により動作確認が可能である。

さらに下記のような監視・操作を行なうことができる。

(1) パリティチェック

プログラムメモリの内容、および信号伝送バス間の伝送信号に対しパリティチェックを行なっている。エラー発生時には表示点が点灯すると同時にモード選択により、パリティエラー発生番地でプログラムを停止させるか、あるいは、パリティエラー発生番地でジャンプし、プログラム番地の最初に戻すことができる。

(2) 渋滞監視

プログラムが、あるループ内に入り込んで同一ループ内から抜け出せず、全体の制御に対し盲目になったとき警報を発す。

(3) 電源監視

各種電源電圧を監視し、電源異常が発生したときに警報を出すとともに、制御が安全側に動作するように各種電源間の制御を行なう。

(4) FREEZE

FREEZE スイッチを操作することにより、出力信号を現状維持に凍結させることができる。

4.5 付属設備

MELCAP の試験および生産用の設備として、次の装置が準備されている。

(1) コアメモリ装置

本装置はシーケンスが固まらない前の試験のときなど、自由にプログラムを修正したい場合に使用されるものである。

磁気コアメモリ 4 K 語・紙テープリーダ・紙テープパンチャー・手動操作用キーおよび表示灯を備えた装置で、紙テープリーダあるいは手動キー操作によりコアメモリに内容を書き込むことができ、紙テープパンチャーでコアメモリの内容を紙テープに取ることも、手動キー操作でメモリの内容を表示させることもできる。さらに、MELCAP 本体に接続して、本装置のコアメモリに記憶されたプログラムによって、MELCAP を運転することも可能である。

(2) ダイオードメモリ作成用装置

紙テープリーダと表示灯および操作スイッチで構成される装置で、紙テープリーダで読み取ったテープの内容を表示して、ダイオードメモリカードのダイオード埋込位置を表示する。またダイオードの埋め込みが完了したメモリカードと、紙テープの内容を短時間で比較照合して製作されたダイオードリードオフリメモリの検査を実行する機能も備えている。

5. MELCAP のプログラム

5.1 MELCAP の命令

MELCAP の命令とその種類（シンボリックコード）は、表 5.1 に示すとおりである。全部で命令は 15 個あるが、これを大きく分けると下記のごとくなる。

(1) 入力の読み込み命令

(2) 論理判別命令

(3) 出力命令

(4) コントロール命令

表 5.1 シンボリックコード命令一覧表
Symbolic code instruction table.

命 令				動作 内 容	動作 内 容
シ ノ ボ リ ッ ク コ ド	名 称	バ イ ナ リ	HEX DEC	シ ノ ボ リ ッ ク コ ド	内 容
L	Load	0110	6	人力指定番地	* 指定された入力ゲートを開き、インプットレジスタに人力情報を記憶する。
LM	Load Modified	0111	7	人力指定番地	* 指定された番地から、人力番地修飾レジスタに記憶された番地だけ移動した入力ゲートを開き、インプットレジスタに人力情報を記憶する。
D	Discriminate	1010	A	人力が「1」であるべき、要求パターン	** インプットレジスタの入力情報が、「1」であるべき要求パターンを満足するか否かを判別し、補助判別回路にその結果をしまう。
DI	Discriminate Inverse	1000	8	人力が「0」であるべき、要求パターン	** インプットレジスタの入力情報が、「0」であるべき要求パターンを満足するか否かを判別し、補助判別回路にその結果をしまう。
DO	Discriminate Or	1011	B	人力が「1」であるべき、要求パターン	** D 命令と同じ動作をするが、この命令で判別された結果は、それまでに判別された結果に対し、Or 条件として取扱かわれる。
DIO	Discriminate Inverse Or	1001	9	人力が「0」であるべき、要求パターン	** DI 命令と同じ動作をするが、この命令で判別された結果はそれまでに判別された結果に対し、Or 条件として取扱かわれる。
S	Store	1110	E	出力指定番地	補助判別器に蓄積された判別結果が、OKなら指定された番地から番地修飾レジスタに記憶された番地だけ、移動した出力番地にセット信号を送る。
SI	Store Inverse	1100	C	出力指定番地	補助判別器に蓄積された判別結果が、OKなら指定された番地から番地修飾レジスタに記憶された番地だけ、移動した出力番地にリセット信号を送る。
SR	Store Reset	1111	F	出力指定番地	S 命令と同じ動作をするが、出力信号を出した後、次の判別にそなえて補助判別器の内容をリセットしておく。
SIR	Store Inverse Reset	1101	D	出力指定番地	SI 命令と同じ動作をするが、出力信号を出した後、次の判別にそなえて補助判別器の内容をリセットしておく。
J	Jump	0101	5	(飛び先番地-1) 番地	無条件に飛び先番地に飛ぶ。
JD	Jump Discriminated	0100	4	(飛び先番地-1) 番地	補助判別器に蓄積された判別結果が、OKなら飛び先番地に飛ぶ。
RN	Repeat Number	0011	3	繰返し回数	複数の操作対象を同じプログラムを繰返して使用して制御する場合、その繰返し回数をレポートカウンタにセットする。
XRG	Set		1	(1) 外部入力修飾番地数	外部入力番地修飾レジスタに修飾番地数をセットする。
XRL	Index		2	(1)(10) ラッチメモリ修飾番地数	ラッチメモリ番地修飾レジスタに修飾番地数をセットする。
XRT	Register	0010	3	(1)(10)(2) タイマ修飾番地数	タイマ修飾レジスタに修飾番地数をセットする。
XRM			4	(1)(10)(2) 内部メモリ修飾番地数	内部メモリ番地修飾レジスタに修飾番地数をセットする。
XRO	Set Index Register(output)	0001	1	外部出力修飾番地	外部出力番地修飾レジスタに修飾番地数をセットする、レポートカウンタの内容を1減する。

L または LM 命令で入力を読み込む場合は、指定した入力番地に続く 8 番地分の入力情報がインプットレジスタに読み込まれる。

D または DO のときオペランド部には “11000000” のごとく 8 つの “1” “0” のパターンを書くが、この 8 つのパターンは、L または LM 命令で読み込まれた 8 つの入力情報とのおのの最初から順に対応し、“1” のところはそれに対応する入力情報が “1” であることを要求しており、“0” のところは条件判別対象外であることを意味する。また、DI, DIO のとき “1” のところは逆に入力情報が “0” であることを要求しており、“0” のところは条件判別対象外となる。

表 5.2 マクロ命令一覧表
Macro instruction table.

命 令	動作 内 容
※	論理積
+	論理和
=	転送
×	否定 (条件判別の場合 DI) 転送 の場合 SI)
*	LOOP 内で使用し、LM でなく、L で判別するもの。
GO TO A	プログラム番地
A : プログラム番地	
IF (A) B	
A : 準理式、記号番地どちらでもよい	
B : プログラム番地	
LOOP A, N (a1, a2, aa, ai, as)	
A : ループをかける最後の論理式の記号番地	
N : リピートナンバ	
ai : 内部メモリ番地修飾レジスタに修飾番地数 ai をセットする。	
as : タイマ番地修飾レジスタに修飾番地数 as をセットする。	
aa : ラッチメモリ番地修飾レジスタに修飾番地数 aa をセットする。	
ai : 外部入力番地修飾レジスタに修飾番地数 ai をセットする。	
as : 外部出力番地修飾レジスタに修飾番地数 as をセットする。	

MELCAP の動作形式は、基本的にはビット演算形式を採用しているが、入力および論理判別は 8 ビットごとに同時に処理できるようになっている。

機械は 16 ビット + 1 パリティの 2 進機械語によって制御されるが、設計者がプログラムするのは、アセンブラーレベルのプログラムであれば、シンボリックコード + 10 進番地でコーディングすることになる。

またさらにプログラムを容易にするために、マクロ命令が用意されている。マクロ命令一覧表は表 5.2 のとおりである。マクロ命令はシーケンス論理をブール代数式で表現するもので、これを使用する段階ではすでにリレーシーケンスの知識も必要でなく、シーケンスを純粹に論理式として取扱うことができる。また、コーディングする場合は、マクロ命令とアセンブラーレベルの命令を混用しても、いっこうにさしつかえないようになっている。

5.2 MELCAP のプログラム作成手順

MELCAP のプログラム作成手順は、図 5.1 に示すとおりである。まず設計者は、制御対象の制御思想をブロックダイヤグラムで表現する。次に計算機と同じように入出力番地の割付を行なう。以上二つの工程が済んだところで、いよいよ プログラムが可能となる。プログラムを 5.1 節に述べたアセンブラーレベルの命令か、またはマクロ命令によってコーディングする。コーディング完了すれば、これをカードにパンチして大型計算機にかける。計算機は、このプログラムの文法上のチェックを行ない、OK なら、プログラムリストとチェック用ブール代数リスト、およ

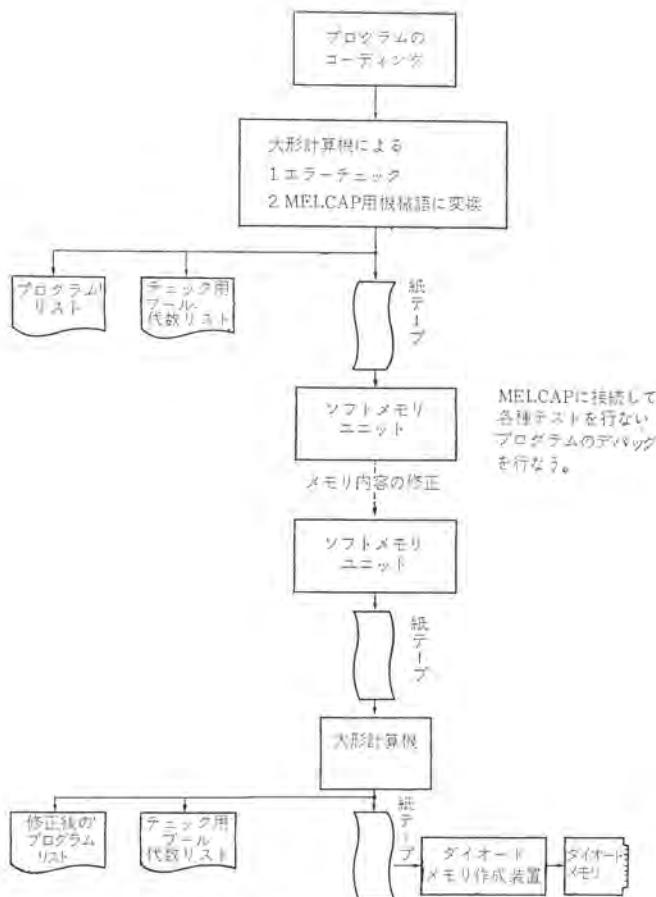


図 5.1 プログラム作成手順
Programming process for MELCAP.

び紙テープを川力として出す。

プログラムリストとは次項にその例を示すが、実際に機械がそれによって制御されるバイナリプログラムと、コアメモリ装置を扱うときに便利な16進プログラム(HEX, DEC, PROGRAM)およびシンボリックコードのオリジナルプログラムが並記されたものである。

またチェック用ブール代数リストは、プログラムを一度マシンコードに変換したあと、逆にそれを論理式として打出したもので、このリストと、前に設計者が作製したブロックダイヤグラムとを共に見れば、プログラムの論理的誤りを見つけることができる。客先へ承認図として提出されるのは、ブロックダイヤグラム、入出力番地割付表、チェック用ブール代数リストとなる。もう一つ計算機から得られた紙テープは、コアメモリ装置のデブリーダにかけられる。

そうするとコアメモリ装置のコアメモリにプログラムが記憶される。このコアメモリ装置をMELCAP本体に接続して運転すれば、そのプログラムどおりの制御を行なうことができる。このコアメモリ装置は、操作ディスク上の16進KEY SWによって任意にプログラムを変更することができる。したがって工場シミュレーションテスト、および現地調整試験は、このコアメモリ装置をつかって試験を行ない、プログラムが修正される。(コアメモリ装置は客先に納入するものではなく、試験装置として準備される)。

そのようにして最終的にかたまつたプログラムを、コアメモリからデブリーダによって紙テープに読み出す。この紙テープを修正前のオリジナルなプログラムの紙テープとともに、もう一度計算機にかけ修正部分を整理して再度最終プログラムとして、プログラムリスト・ブール代数リスト・紙テープが打出される。このプログラムリスト・ブール代数表は決定図として客先に提出され、紙テープはダイオードROM作成機にかけ

られてダイオードROMが作成される。できたROMは再度試験機で紙テープの内容とつきあわされ、テストOKなら、これが現地に送られて試験装置であるコアメモリ装置と置換されてMELCAPシステムが完成することになる。

5.3 プログラム例

命令の使い方、コーディングのしかたの詳細は別の機会にゆずるとして、ここでは、実際の簡単なプログラム例について解説することにする。

制御対象は原水ろ過そうのプロセスで、電磁弁V₁~V₆、処理水ポンプで制御される図5.2に示すようなシステムとする。この処理工程は、採水・表洗・逆洗・洗浄の四つに分かれ、各工程は下記の動作を行なうものである。

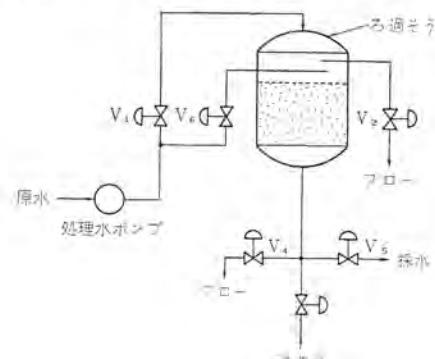
(1) 採水：弁V₁、V₅だけ開いて処理水ポンプを運転し原水をろ過する。

(2) 表洗：弁V₂、V₆を開きろ過そうの表面を洗う(V₁、V₅は閉じる)

(3) 逆洗：弁V₃を開き逆洗水を通水して、弁V₂よりブローする。(このときV₆は閉、Pは停止する)

(4) 洗浄：処理水ポンプを運転し、弁V₁より通水し、弁V₄よりブローする。(このときV₂、V₃は閉じる)

本制御の論理図は図5.3に示すようになる。各運転工程には、工程を記憶するラッチリレーに相当するメモリと、動作時間設定するためのタイマを設ける。このプロセスのサイクルは、次のようになる。スタートPBを押すと、採水用メモリがセットされ、弁V₁、V₅に「開」指令を出すとともに、採水タイマをセットする。採水タイマが設定時間に達すると、次の表洗工程に移り、表洗用メモリがセットされ、採水メモリをリセットし、弁V₂、V₆へ「開」信号を出すとともに、表洗タイマをセットする。表洗タイマが設定時間に達すると、逆洗工程に移り、逆洗用メモリがセットされ、表洗用メモリをリセットし、弁V₃へ「開」信号を出すとともに、逆洗タイマをセットする。逆洗



	採水	表洗	逆洗	洗浄
V ₁	開			開
V ₂		開		閉
V ₃			開	開
V ₄	閉	閉		
V ₅			閉	閉
V ₆			開	
P			停止	起動

図 5.2 原水ろ過そうのプロセス運転制御
Process control of filter bed.

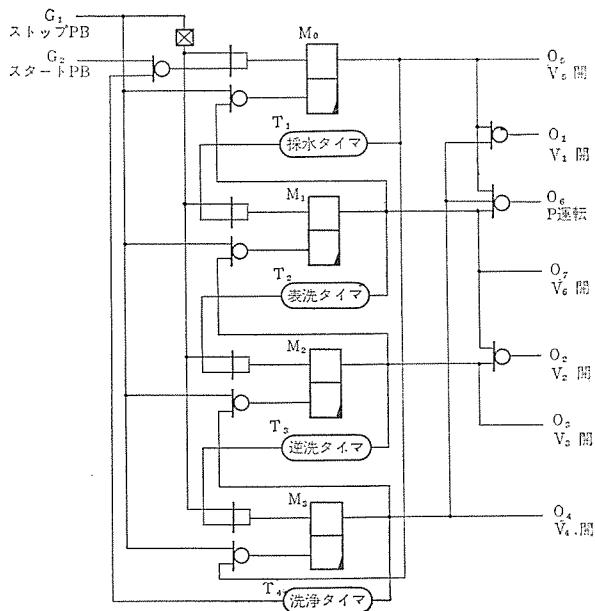


図 5.3 原水ろ過そろ制御論理図
Logic diagram for filter bed control.

タイムが設定時間に達すると、次の洗浄工程に移り、洗浄メモリがセットされ、逆洗メモリをリセットし、弁 V_1 、 V_4 へ「開」信号を出すとともに、洗浄タイムをセットする。洗浄タイムが設定時間に達すると、再び採水工程に移り、採水用メモリがセットされ、洗浄用メモリをリセットする。また、ストップ PB を押すと、すべてのタイマ・メモリがリセットされ、プロセス起動前の状態にもどる。このプロセスをプログラムする前に、表 5.3 に示すように番地割付をする。これを基にして、前記の制御をマクロ命令でプログラムしたリストを表 5.4 に示す。このプログラムを計算機にかけて、文法上のチェックを行ない、表 5.5 に示すようなフォームでリストとして出す。このプログラムリストには、アセンブリレベルのシンボリックプログラムと、2進数の機械語に変換されたバイナリプログラムと、16進数に変換されたヘキサデシマルプログラムが打出される。

バイナリプログラムは、実際に機械がそれによって駆動される2進符号を表したものであり、具体的には、ダイオードリードオンリーメモリにおいて、符号“1”的所にダイオードが立てられることを意味している。

ヘキサデシマルプログラムは、コアメモリ装置（ソフトメモリ）を使用するとき用いられるもので、このプログラムに表われている数のキーを順に押せば、前記した2進符号がコアメモリにロードされる。

シンボリックプログラムは、いわゆる保守・設計チェックにあたって、バイナリプログラムまたは、ヘキサデシマルプログラムの意味するところを示すものであり、設計者は、この言語でプログラムを書いてよい。

表 5.6 は以上のプログラムの意味するところを、計算機が論理式に翻訳して打出したブール代数チェックリストであり、設計者・ユーザは、プログラムをチェックするにあたって、いちいちプログラムを読み下す必要はなく、このチェックリストとブロックダイヤグラムを比較検討すればよい。

このプログラムの内容は、表 5.1 または、表 5.2 と比較してみれば容易に解釈できると考えるので、ここではその詳細説明を省略する。

表 5.3 入出力番地割付表
Address Assignment for filter bed control.

プログラム番地	入出力名
外部入力番地	
G1	ストップ PB
G2	スタート PB
M0	採水用メモリ
M1	表洗用メモリ
M2	逆洗用メモリ
M3	洗浄用メモリ
T1	採水タイム
T2	表洗タイム
T3	逆洗タイム
T4	洗浄タイム
内部メモリ	
O1	V_1 開
O2	V_2 開
O3	V_3 開
O4	V_4 開
O5	V_5 開
O6	P運転
O7	V_6 開
タ イ マ	
O8	V_1 閉
O9	V_2 閉
O10	V_3 閉
O11	V_4 閉
O12	V_5 閉
O13	処理水ポンプ運転
O14	V_6 閉
外部出力番地	
O15	V_1 開
O16	V_2 開
O17	V_3 開
O18	V_4 開
O19	V_5 開
O20	V_6 開
O21	V_1 閉
O22	V_2 閉
O23	V_3 閉
O24	V_4 閉
O25	V_5 閉
O26	V_6 閉

表 5.4 マクロ命令プログラムリスト
Program list by macro instructions.

LEVEL	NAME	FUNCTION	COMMENT
0001	MAIN	MAIN	
0002	MAIN	MAIN	
0003	MAIN	MAIN	
0004	MAIN	MAIN	
0005	MAIN	MAIN	
0006	MAIN	MAIN	
0007	MAIN	MAIN	
0008	MAIN	MAIN	
0009	MAIN	MAIN	
0010	MAIN	MAIN	
0011	MAIN	MAIN	
0012	MAIN	MAIN	
0013	MAIN	MAIN	
0014	MAIN	MAIN	
0015	MAIN	MAIN	
0016	MAIN	MAIN	
0017	MAIN	MAIN	
0018	MAIN	MAIN	
0019	MAIN	MAIN	
0020	MAIN	MAIN	
0021	MAIN	MAIN	
0022	MAIN	MAIN	
0023	MAIN	MAIN	
0024	MAIN	MAIN	
0025	MAIN	MAIN	
0026	MAIN	MAIN	
0027	MAIN	MAIN	
0028	MAIN	MAIN	
0029	MAIN	MAIN	
0030	MAIN	MAIN	
0031	MAIN	MAIN	
0032	MAIN	MAIN	
0033	MAIN	MAIN	
0034	MAIN	MAIN	
0035	MAIN	MAIN	
0036	MAIN	MAIN	
0037	MAIN	MAIN	
0038	MAIN	MAIN	
0039	MAIN	MAIN	
0040	MAIN	MAIN	
0041	MAIN	MAIN	
0042	MAIN	MAIN	
0043	MAIN	MAIN	
0044	MAIN	MAIN	
0045	MAIN	MAIN	
0046	MAIN	MAIN	
0047	MAIN	MAIN	
0048	MAIN	MAIN	
0049	MAIN	MAIN	
0050	MAIN	MAIN	
0051	MAIN	MAIN	
0052	MAIN	MAIN	
0053	MAIN	MAIN	
0054	MAIN	MAIN	
0055	MAIN	MAIN	
0056	MAIN	MAIN	
0057	MAIN	MAIN	
0058	MAIN	MAIN	
0059	MAIN	MAIN	
0060	MAIN	MAIN	
0061	MAIN	MAIN	
0062	MAIN	MAIN	
0063	MAIN	MAIN	
0064	MAIN	MAIN	
0065	MAIN	MAIN	
0066	MAIN	MAIN	
0067	MAIN	MAIN	
0068	MAIN	MAIN	
0069	MAIN	MAIN	
0070	MAIN	MAIN	
0071	MAIN	MAIN	
0072	MAIN	MAIN	
0073	MAIN	MAIN	
0074	MAIN	MAIN	
0075	MAIN	MAIN	
0076	MAIN	MAIN	
0077	MAIN	MAIN	
0078	MAIN	MAIN	
0079	MAIN	MAIN	
0080	MAIN	MAIN	
0081	MAIN	MAIN	
0082	MAIN	MAIN	
0083	MAIN	MAIN	
0084	MAIN	MAIN	
0085	MAIN	MAIN	
0086	MAIN	MAIN	
0087	MAIN	MAIN	
0088	MAIN	MAIN	
0089	MAIN	MAIN	
0090	MAIN	MAIN	
0091	MAIN	MAIN	
0092	MAIN	MAIN	
0093	MAIN	MAIN	
0094	MAIN	MAIN	
0095	MAIN	MAIN	
0096	MAIN	MAIN	
0097	MAIN	MAIN	
0098	MAIN	MAIN	
0099	MAIN	MAIN	
0100	MAIN	MAIN	
0101	MAIN	MAIN	
0102	MAIN	MAIN	
0103	MAIN	MAIN	
0104	MAIN	MAIN	
0105	MAIN	MAIN	
0106	MAIN	MAIN	
0107	MAIN	MAIN	
0108	MAIN	MAIN	
0109	MAIN	MAIN	
0110	MAIN	MAIN	
0111	MAIN	MAIN	
0112	MAIN	MAIN	
0113	MAIN	MAIN	
0114	MAIN	MAIN	
0115	MAIN	MAIN	
0116	MAIN	MAIN	
0117	MAIN	MAIN	
0118	MAIN	MAIN	
0119	MAIN	MAIN	
0120	MAIN	MAIN	
0121	MAIN	MAIN	
0122	MAIN	MAIN	
0123	MAIN	MAIN	
0124	MAIN	MAIN	
0125	MAIN	MAIN	
0126	MAIN	MAIN	
0127	MAIN	MAIN	
0128	MAIN	MAIN	
0129	MAIN	MAIN	
0130	MAIN	MAIN	
0131	MAIN	MAIN	
0132	MAIN	MAIN	
0133	MAIN	MAIN	
0134	MAIN	MAIN	
0135	MAIN	MAIN	
0136	MAIN	MAIN	
0137	MAIN	MAIN	
0138	MAIN	MAIN	
0139	MAIN	MAIN	
0140	MAIN	MAIN	
0141	MAIN	MAIN	
0142	MAIN	MAIN	
0143	MAIN	MAIN	
0144	MAIN	MAIN	
0145	MAIN	MAIN	
0146	MAIN	MAIN	
0147	MAIN	MAIN	
0148	MAIN	MAIN	
0149	MAIN	MAIN	
0150	MAIN	MAIN	
0151	MAIN	MAIN	
0152	MAIN	MAIN	
0153	MAIN	MAIN	
0154	MAIN	MAIN	
0155	MAIN	MAIN	
0156	MAIN	MAIN	
0157	MAIN	MAIN	
0158	MAIN	MAIN	
0159	MAIN	MAIN	
0160	MAIN	MAIN	
0161	MAIN	MAIN	
0162	MAIN	MAIN	
0163	MAIN	MAIN	
0164	MAIN	MAIN	
0165	MAIN	MAIN	
0166	MAIN	MAIN	
0167	MAIN	MAIN	
0168	MAIN	MAIN	
0169	MAIN	MAIN	
0170	MAIN	MAIN	
0171	MAIN	MAIN	
0172	MAIN	MAIN	
0173	MAIN	MAIN	
0174	MAIN	MAIN	
0175	MAIN	MAIN	
0176	MAIN	MAIN	
0177	MAIN	MAIN	
0178	MAIN	MAIN	
0179	MAIN	MAIN	
0180	MAIN	MAIN	
0181	MAIN	MAIN	
0182	MAIN	MAIN	
0183	MAIN	MAIN	
0184	MAIN	MAIN	
0185	MAIN	MAIN	
0186	MAIN	MAIN	
0187	MAIN	MAIN	
0188	MAIN	MAIN	
0189	MAIN	MAIN	
0190	MAIN	MAIN	
0191	MAIN	MAIN	
0192	MAIN	MAIN	
0193	MAIN	MAIN	
0194	MAIN	MAIN	
0195	MAIN	MAIN	
0196	MAIN	MAIN	
0197	MAIN	MAIN	
0198	MAIN	MAIN	
0199	MAIN	MAIN	
0200	MAIN	MAIN	
0201	MAIN	MAIN	
0202	MAIN	MAIN	
0203	MAIN	MAIN	
0204	MAIN	MAIN	
0205	MAIN	MAIN	
0206	MAIN	MAIN	
0207	MAIN	MAIN	
0208	MAIN	MAIN	
0209	MAIN	MAIN	
0210	MAIN	MAIN	
0211	MAIN	MAIN	
0212	MAIN	MAIN	
0213	MAIN	MAIN	
0214	MAIN	MAIN	
0215	MAIN	MAIN	
0216	MAIN	MAIN	
0217	MAIN	MAIN	
0218	MAIN	MAIN	
0219	MAIN	MAIN	
0220	MAIN	MAIN	
0221	MAIN	MAIN	
0222	MAIN	MAIN	
0223	MAIN	MAIN	
0224	MAIN	MAIN	
0225	MAIN	MAIN	
0226	MAIN	MAIN	
0227	MAIN	MAIN	
0228	MAIN	MAIN	
0229	MAIN	MAIN	
0230	MAIN	MAIN	
0231	MAIN	MAIN	
0232	MAIN	MAIN	
0233	MAIN	MAIN	
0234	MAIN	MAIN	
0235	MAIN	MAIN	
0236	MAIN	MAIN	
0237	MAIN	MAIN	
0238	MAIN	MAIN	
0239	MAIN	MAIN	
0240	MAIN	MAIN	
0241	MAIN	MAIN	
0242	MAIN	MAIN	
0243	MAIN	MAIN	
0244	MAIN	MAIN	
0245	MAIN	MAIN	
0246	MAIN	MAIN	
0247	MAIN	MAIN	
0248	MAIN	MAIN	
0249	MAIN	MAIN	
0250	MAIN	MAIN	
0251	MAIN	MAIN	
0252	MAIN	MAIN	
0253	MAIN	MAIN	
0254	MAIN	MAIN	
0255	MAIN	MAIN	
0256	MAIN	MAIN	
0257	MAIN	MAIN	
0258	MAIN	MAIN	
0259	MAIN	MAIN	
0260	MAIN	MAIN	
0261	MAIN	MAIN	
0262	MAIN	MAIN	
0263	MAIN	MAIN	
0264	MAIN	MAIN	
0265	MAIN	MAIN	
0266	MAIN	MAIN	
0267	MAIN	MAIN	
0268	MAIN	MAIN	
0269	MAIN	MAIN	
0270	MAIN	MAIN	
0271	MAIN	MAIN	
0272	MAIN	MAIN	
0273	MAIN	MAIN	
0274	MAIN	MAIN	
0275	MAIN	MAIN	
0276	MAIN	MAIN	
0277	MAIN	MAIN	
0278	MAIN	MAIN	
0279	MAIN	MAIN	
0280	MAIN	MAIN	
0281	MAIN	MAIN	
0282	MAIN	MAIN	
0283	MAIN	MAIN	
0284	MAIN	MAIN	
0285	MAIN	MAIN	
0286	MAIN	MAIN	
0287	MAIN	MAIN	
0288	MAIN	MAIN	
0289	MAIN	MAIN	
0290	MAIN	MAIN	
0291	MAIN	MAIN	
0292	MAIN	MAIN	
0293	MAIN	MAIN	
0294	MAIN	MAIN	
0295	MAIN	MAIN	
0296	MAIN	MAIN	
0297	MAIN	MAIN	
0298	MAIN	MAIN	
0299	MAIN		

6. MELCAP トランスレータ

6.1 概要

MELCAP のプログラムを直接マシンランゲージでプログラミングするには、技術的にも熟練を要するし、ミスも多く能率的ではない。このため当社製中形はん用計算機 MELCOM-3100/40 D を使用し、MELCAP のマシンランゲージプログラムをゼネレートできる、MACRO および SYMBOLIC ランゲージを開発した。このランゲージを使用することにより、MELCAP のあらゆる機能をもったプログラムが、MELCOM-3100/40 D を使用して、マクロレベルでコーディングが可能となり、プログラムの容易さや省力化の面、さらにプログラムの保守のうえから著しい効果をあげることができた。

MELCAP トランスレータを実行するのに必要な、MELCOM-3100/40 D の機器構成は図 6.1 のとおりである。

6.2 MELCAP トランスレータの構成

MELCAP トランスレータは、次の三つの PHASE より構成されている。

- (1) PHASE-1: MACRO および SYMBOLIC ソースプログラムの AUDIT と、ソースプログラムの ブール代数によるプリントアウト
- (2) PHASE-2: MELCAP-MACRO ソースプログラムの COMPILE
- (3) PHASE-3: MELCAP-SYMBOLIC ソースプログラムの ASSEMBLE

上述の各 PHASE における主要な機能は次のとおりである。

6.2.1 PHASE-1: AUDIT

この RUN では、MACRO および SYMBOLIC ランゲージでコーディングされたソースプログラムを読み込み、文法上の検査を実行するとともに、ソースプログラムの論理上の誤まりを発見するためのブールリストをプリントアウトする。検査の結果、文法上のミスが発見された場合は、その内容を AUDIT リストとしてプリントアウトする。

主要な検査項目は次のとおりである。

(1) SYMBOLIC プログラム

- (a) 各フィールドの第1文字はブランクでない。
- (b) D, DI, DO, DIO 命令のオペランドは、8キャラクタとなっている。
- (c) BEG, RN, XRM, XRT, XRL, XRG, XRO 命令のオペランドは数字である。
- (d) RN 命令が使用されるときは、次に XRO 命令があること。
- (e) RN 命令と XRO 命令の間に、LM Gn(注)があれば XRG 命令、LM Tn があれば XRT 命令、LM Ln があれば XRL 命令、LM Mn があれば XRM 命令があること。
- (f) ILLEGAL 命令を使用しないこと。
- (g) および LM 命令と S, SR, SI, SIR 命令の間には、D, DO, DI, DIO 命令があること。
- (h) 使用禁止の番地を使用していないこと。
- (i) 入力出力番地が使用最大番地を越えていないこと。
- (j) 飛び先番地に対応するラベルがあること。

(注) n は数字(入力番地)を示す

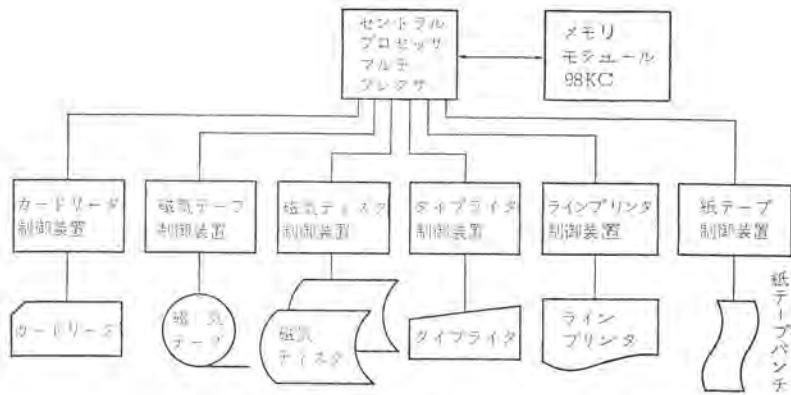


図 6.1 MELCAP トランスレータに使われる MELCOM-3100/40 D の機器構成
System arrangement of MELCOM-3100/40 D.

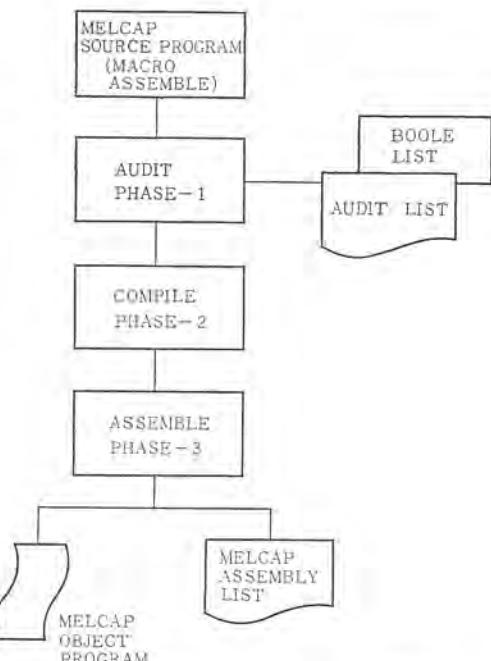


図 6.2 MELCAP トランスレータの構成
Block diagram of MELCAP translator.

(2) MACRO プログラム

- (a) ILLEGAL 命令および記号を使用しないこと。
- (b) 論理式で並列出力のある場合「,」で区切られていること。
- (c) IF 命令の形式が正しく書かれていること。
- (d) LOOP 命令の修飾番地数は 5 種類であること。
- (e) LOOP 命令の中に LOOP 命令があってはならない。
- (f) ブランチ命令を使用したとき、飛び先番地に対応するラベルがあること。
- (g) 入力出力番地が使用最大番地を越えないこと。
- (h) 使用禁止の番地を使用しないこと。

6.2.2 PHASE-2: COMPILE

前項の AUDITRUN で文法上の検査が行なわれた後の正しいプログラムは、この RUN にインプットされる。このとき、MACRO ランゲージは、SYMBOLIC ランゲージに COMPILE され、SYMBOLIC ランゲージでコーディングされたプログラムとともに DEIT されて、コンピュート用プログラムに変換される。図 5.4 は MACRO プログラム、図 5.4, 5.5 は、COMPILE された SYMBOLIC プログラムの一例である。

ある。

6.2.3 PHASE-3: ASSEMBLE

前項の COMPILE の RUN でえられた SYMBOLIC プログラムは、マシンランゲージに ASSEMBLE され、その結果を ASSEMBLY LIST として作表するとともに、紙 テープに MELCAP オブジェクトプログラムとしてパンチアウトされる。このパンチアウトされた紙 テープは、MELCAP のソフトメモリに LOAD されロジックシミュレーションに使われる。

7. む す び

以上 MELCAP の概容を示したが、要するにさまざまな制御が現在電子計算機による直接制御 (DDC) を指向している中で、現場機器と直接インターフェイスする機器として、重電機器の立場からみたシーケンス制御装置の新しい形を試みたものである。

なお本装置 1 号機は、すでに三菱重工業(株)香焼実験工場において超臨界圧 テストボイラ用 バンと組み合わされ、46 年 6 月より火力プラント自動化研究試験の一助として順調に運転中である。

最後にこのシステムの計画・設計・試験にあたって、多大のご指導・ご協力を賜った三菱重工(株)長崎研究所電算制御研究室・同長崎造船所火力プラント部計画室・当社隸属システム技術部・通電第 2 技術部第 2 電波技術課および神電機器製造部機器開発課の関係各位に深く感謝する次第である。

参 考 文 献

- (1) 山中、松本、吉田：昭和 46 年度 電気関係学会 関西支部 連合大会講演論文集 G 6-1, シーケンス 制御における論理条件判別の 1 方法
- (2) 石橋、戸倉：最近の ポラ 制御方式と制御装置、電気計算、昭 45-1)
- (3) 福永、伊藤、荒木：コアメモリを用いた万能論理回路、制御工学、8, 4, 64
- (4) G. LAPIDAS : Programmable Logic Controllers, Control Engineering, 18, 4, 71

立体骨組構造のホモロガス解析

塚田 塩三・滝沢 幸彦・南 友策

Homology Analysis of Three Dimensional Framed Structure

Communication Equipment Works

Kenzo TSUKADA・Yukihiko TAKIZAWA・Yuusaku MINAMI

As a means to realize a large movable antenna having a mirror surface of high accuracy demanded for radio wave astronomy and others, there is a concept of homology that the high accuracy can be maintained if the deformation of its structure is assumed as a shift of parabola to parabola. In order to design a large antenna of high accuracy of the kind by using this concept, a method has been established through a theoretical solution based on a matrix displacement method regarding the applicability to the gravity deformation of reflector framed structure, on a series expansion method for turning electronic computers to more efficient and pursuit of exact solution in designing the reflector frame by separating its supporting structure.

1. まえがき

近年、電波天文を始めとして要望されたした高鏡面精度の大形可動アンテナを実現する手段として、その構造の変形が、それが、パラボラからパラボラに移行したと見なせるものであれば、高い鏡面精度が維持できるはずである、というホモロジの概念⁽¹⁾⁽²⁾がある。

筆者らは、このホモロジの概念を使って、大形高鏡面精度アンテナを設計するために、その概念の反射鏡骨組構造の重力変形への適用性、電算機計算の効率化のための級数展開解法、反射鏡骨組とその支持構造部を分離して設計する場合の厳正解の求め方、などをマトリクス変位法に基づいて理論的に解明し、ホモロガス反射鏡の設計法の確立を試みた。

2. ホモロジ解析法

2.1 Homologous Parameter の定義

任意の回転放物面体 ($f=f_0$ のパラボラ) を構成する節点群が、重力によって変位し、変位後もパラボラを形成するためには、その変位は特に弾性変位である焦点距離の変化も許せば、次のような剛体的

変位と弾性的変位の組合せで表わされる変位であればよい。

(1) 元のパラボラ ($f=f_0$) の剛体的な移動および回転で表わせる変位モード。

(2) 元のパラボラに対し焦点距離の変化 ($f=f_0+\Delta f$) で表わせる変位モード。

しかしに、鉛直軸と水平軸のまわりに動く構造に対しては、そのモードは構造の対称性から、図2.1に示す座標系にて、次の四つのモードでそのパラメータを定義することができる。

(1) 元のパラボラが、 z 軸の方向に h_1 だけ剛体的に移動。

(2) 焦点距離が、 $f=f_0$ に対し $f=f_0+h_2$ に変化。

(3) 元のパラボラが、 $-x$ 軸方向に h_3 だけ剛体的に移動。

(4) 元のパラボラが、 y 軸まわり (右ネジが $-y$ 軸方向に進む回転) に h_4/f_0 剛体的に回転。

2.2 Homology Equation

$h_1 \sim h_4$ で定義されるホモロガスパラボラは、その性質から二つのモードに分けて考えることができ、図2.2、2.3に示すように、それぞれの場合に対して、パラボラ上の任意の節点 i が変位し、変位後の節点群がそれぞれ、 h_1, h_2 および h_3, h_4 で定義されるホモロガスパラボラ

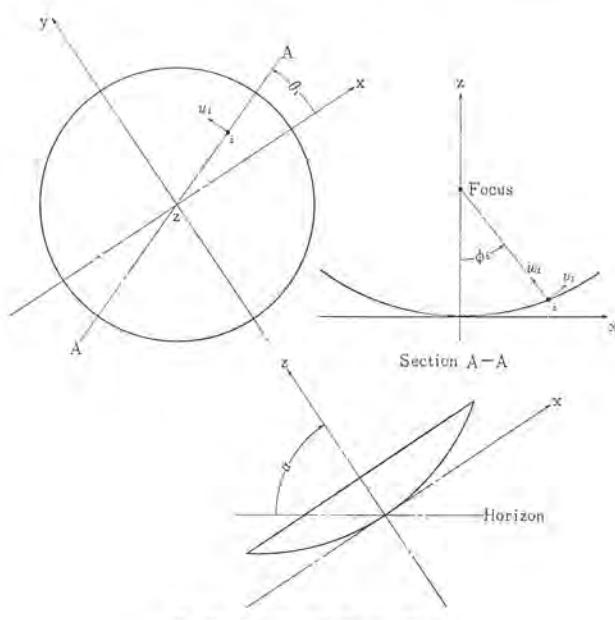


図 2.1 座標系の説明
Systems of coordinates.

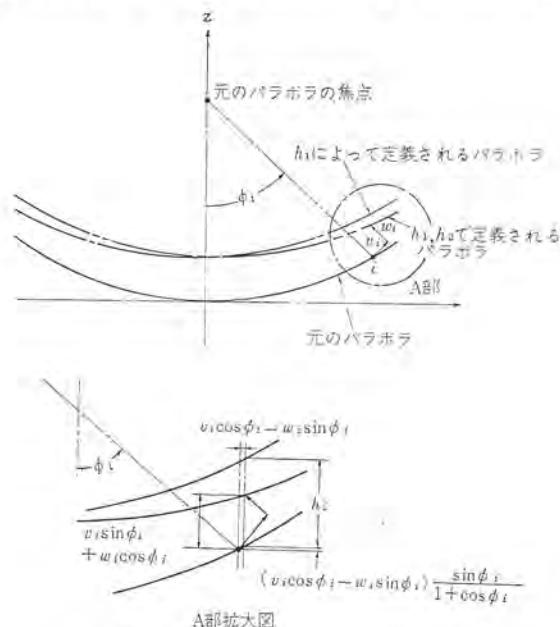


図 2.2 0次のホモロガス変形
Homologous deformation of 0th order

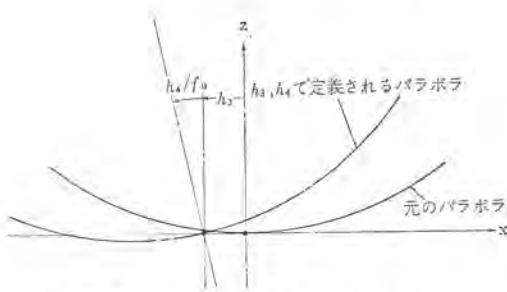


図 2.3 1 次のホモロガス変形 ($\theta=0^\circ$ の面)
Homologous deformation of 1st order.

を形成するためには、その節点変位の間に、式(2.1)、式(2.2)の関係が成立しなければならない。

$$w_i = -\frac{\sin \phi_i}{1+\cos \phi_i} v_i + h_1 - h_2 \frac{1-\cos \phi_i}{1+\cos \phi_i} \quad (2.1)$$

$$w_i = -\frac{\sin \phi_i}{1+\cos \phi_i} v_i + h_3 \frac{\sin \phi_i}{1+\cos \phi_i} \cos \theta_i + h_4 \frac{(3+\cos \phi_i) \sin \phi_i}{(1+\cos \phi_i)^2} \cos \theta_i \quad (2.2)$$

つまり、ホモロジを実現できる変位モードは、式(2.3)で表わされる、0次、1次のモードに限られる。

$$\left. \begin{aligned} u(\phi, \theta) &= u_1(\phi) \sin \theta \\ v(\phi, \theta) &= v_0(\phi) + v_1(\phi) \cos \theta \\ w(\phi, \theta) &= w_0(\phi) + w_1(\phi) \cos \theta \end{aligned} \right\} \quad (2.3)$$

2.3 Path Length の差と鏡面精度

図 2.1 に示す座標系において、ふ(俯)仰角度 α_0 を基準とすれば、任意のふ仰角度 α における見かけの重力の成分は、 x 軸、 z 軸方向に対してそれぞれ式(2.4)で与えられる。

$$G_x = \cos \alpha_0 - \cos \alpha, \quad G_z = \sin \alpha_0 - \sin \alpha \quad (2.4)$$

さらに、幾何学的な Path Length の差 Δ_{path} は、構造の支持条件、剛性分布、密度分布の非回転対称性から生ずる 2 次以上の変形モードを別とすれば、図 2.4 に示すように、

$$\Delta_{\text{path}} = [w^*(\phi, \theta) - w(\phi, \theta)] (1 + \cos \phi) = J \cdot (1 + \cos \phi) \quad (2.5)$$

ここで

$$\begin{aligned} J &= h_1 - h_2 \frac{1-\cos \phi}{1+\cos \phi} - \left[\frac{\sin \phi}{1+\cos \phi} v_0(\phi) + w_0(\phi) \right] (\sin \alpha_0 - \sin \alpha) \\ &+ \left[h_3 \frac{\sin \phi}{1+\cos \phi} + h_4 \frac{(3+\cos \phi) \sin \phi}{(1+\cos \phi)^2} - \left(\frac{\sin \phi}{1+\cos \phi} v_1(\phi) + w_1(\phi) \right) \right] \cdot \\ &(\cos \alpha_0 - \cos \alpha) \end{aligned} \quad (2.6)$$

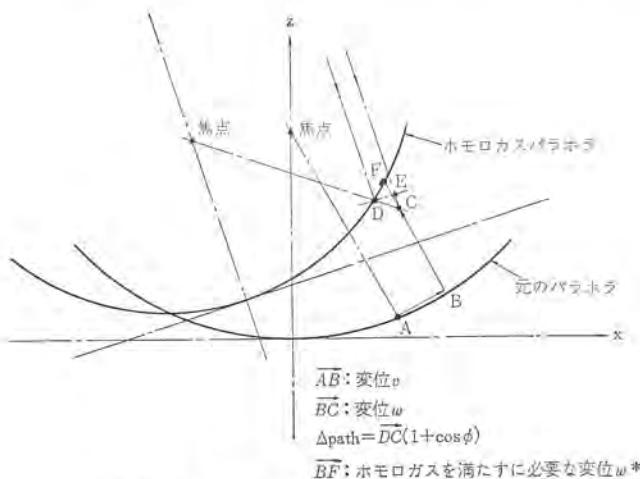


図 2.4 Path length の差と変位の関係
Relation between path length and deformation.

で与えられる。

ホモロジは数学的には完全に実現可能であるが⁽¹⁾、実際の設計では漸近法によって繰返し検討することになり、たとえば、式(2.5)、(2.6)、(2.7)を使って鏡面精度を最小とするように、 $h_1 \sim h_4$ を求めながら、その近づき方を検討するのも一方法である。

また、鏡面精度 RMS は一般的に式(2.7)のように与えられる⁽³⁾。

$$RMS^2 = \frac{\int_A \left(\frac{d_{\text{path}}}{2} \right)^2 F dA}{\int_A F dA} \quad (2.7)$$

ここに、 F ：照度分布

3. 骨組構造の級数展開解法

3.1 マトリクス変位法による骨組構造解析

骨組構造の剛性マトリクス法による解析法は、すでに多くの報告⁽⁴⁾⁽⁵⁾がなされており、ここでは詳しく述べないが、3.2節との関係で簡単な例として滑接節点を有するトラス構造について述べる。

図 3.1 に示す座標系で、任意の直線部材 i, j の部材端力と材端変位の関係は

$$\begin{bmatrix} Q_i \\ Q_j \end{bmatrix} = \frac{EA_{i,j}}{l_{i,j}} \begin{bmatrix} B_i^T D_{i,j} B_i & -B_i^T D_{i,j} B_j \\ -B_j^T D_{i,j} B_i & B_j^T D_{i,j} B_j \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_i \\ U_j \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

で与えられる。

ここに、 Q_i, Q_j ：部材 i, j の i 端側、 j 端側の材端力を示す列ベクトル

U_i, U_j ： i 節点、 j 節点の変位を示す列ベクトル

$A_{i,j}$ ：部材 i, j の断面積

$l_{i,j}$ ：部材 i, j の長さ

$B_i, D_{i,j}, B_j$ ：変換マトリクス

3.2 回転対称トラス構造の級数展開解法

2.2節で検討したことから、その重力変形に対してホモロジを実現するには、支持条件・剛性分布・密度分布が回転対称であることが必要である。

図 3.2 に示すような回転対称なトラス構造を例として、骨組構造に対しても級数展開解法⁽⁶⁾が可能なことを、マトリクス変位法によって以下証明する。

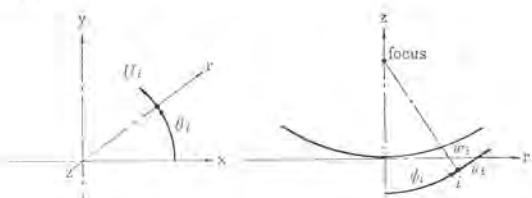


図 3.1 座標系の説明
Systems of coordinates.

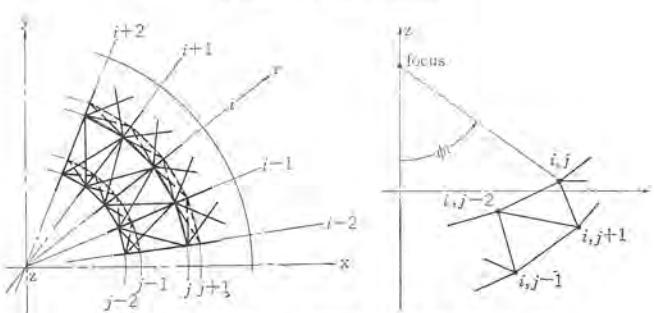


図 3.2 回転対称骨組構造概念図
Outline of rotationally axisymmetric framed structure.

図3.2に示す回転対称構造で、任意の部材*i, j-m, n*の部材剛性マトリクスは、

$$\begin{Bmatrix} {}_{ij}^{mn}Q_{ij} \\ {}_{ij}^{mn}Q_{mn} \end{Bmatrix} = \frac{EA_{ij}^{mn}}{l_{ij}^{mn}} \begin{bmatrix} B_{ij}^T \cdot D_{ij}^{mn} \cdot B_{ij} & B_{ij}^T \cdot D_{ij}^{mn} \cdot B_{mn} \\ -B_{mn}^T \cdot D_{ij}^{mn} \cdot B_{ij} & B_{mn}^T \cdot D_{ij}^{mn} \cdot B_{mn} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} U_{ij} \\ U_{mn} \end{Bmatrix} \quad \dots \dots \dots (3.2)$$

で与えられる。

ここに、 $U_{ij}^T = (u_{ij} \ v_{ij} \ w_{ij})$: *i, j*節点の*u, v, w*方向変位
 ${}_{ij}^{mn}Q_{ij}^T = ({}_{ij}^{mn}Q_{ij}^u \ {}_{ij}^{mn}Q_{ij}^v \ {}_{ij}^{mn}Q_{ij}^w)$: 部材*i, j-m, n*の*i, j*節点側材端力

$$B_{ij} = \begin{bmatrix} -\sin \theta_i \cos \theta_i \cos \phi_j - \cos \theta_i \sin \phi_j \\ \cos \theta_i \sin \theta_i \cos \phi_j - \sin \theta_i \sin \phi_j \\ 0 \sin \phi_j \cos \phi_j \end{bmatrix} \text{ : 変換マトリクス,}$$

$$D_{ij}^{mn} = \begin{bmatrix} x\alpha_{ij-mn}^0 & x\alpha_{ij-mn}^1 & y\alpha_{ij-mn}^0 & y\alpha_{ij-mn}^1 & z\alpha_{ij-mn}^0 & z\alpha_{ij-mn}^1 \\ y\alpha_{ij-mn}^0 & y\alpha_{ij-mn}^1 & z\alpha_{ij-mn}^0 & z\alpha_{ij-mn}^1 & & \end{bmatrix} \text{ : 変換マトリクス, } \text{対称行列}$$

$$x\alpha_{ij-mn} = (\gamma_n \cos \theta_m - \gamma_j \cos \theta_i) / l_{ij}^{mn}$$

$$y\alpha_{ij-mn} = (\gamma_n \sin \theta_m - \gamma_j \sin \theta_i) / l_{ij}^{mn}$$

$$z\alpha_{ij-mn} = (z_n - z_j) / l_{ij}^{mn}$$

図3.1に示す回転対称骨組構造にて、任意の節点での部材結合状態は、 $\theta = \theta_i$ の面内に存在する部材と $\theta = \theta_{i+2\theta}$ および $\theta = \theta_{i-2\theta}$ の面につながる対の部材の組合せで構成され、それらの部材剛性マトリクス表示による*i, j*端の材端力は、

$$\begin{Bmatrix} {}_{ij}^{ik}Q_{ij} \\ {}_{ij}^{ik}Q_{ik} \end{Bmatrix} = \frac{EA_k}{l_k} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & a_{22} & a_{23} & 0 & a_{25} & a_{26} \\ 0 & a_{23} & a_{33} & 0 & a_{35} & a_{36} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} U_{ij} \\ U_{ik} \end{Bmatrix} \quad \dots \dots \dots (3.3)$$

$$\begin{Bmatrix} {}_{ij}^{i-1,n}Q_{ij} + {}_{ij}^{i+1,n}Q_{ij} \\ {}_{ij}^{i-1,n}Q_{ij} \end{Bmatrix} = \frac{EA_g}{l_n} \begin{bmatrix} a_{11} & a_{15} & a_{16} & 2a_{11} & 0 & 0 & a_{14} & -a_{15} & -a_{16} \\ a_{21} & a_{25} & a_{26} & 0 & 2a_{22} & 2a_{23} & -a_{21} & a_{25} & a_{26} \\ a_{31} & a_{35} & a_{36} & 0 & 2a_{32} & 2a_{33} & -a_{31} & a_{35} & a_{36} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} U_{i-1,n} \\ U_{ij} \\ U_{i+1,n} \end{Bmatrix} \quad \dots \dots \dots (3.4)$$

で与えられる。

ここに、マトリクス要素、 a_{11}, a_{12}, \dots 等は構造の幾何学的な形状によって決まり、構造が回転対称であれば、

$$\begin{aligned} -\sin(\theta_{i-1} - \theta_i) &= \sin(\theta_{i+1} - \theta_i) = \sin 2\theta = \text{CONST} \\ \cos(\theta_{i-1} - \theta_i) &= \cos(\theta_{i+1} - \theta_i) = \cos 2\theta = \text{CONST} \end{aligned}$$

であることから、マトリクス要素 a_{11}, a_{12}, \dots 等はすべて θ に無関係となり、

$$a_{11} = \left(\frac{\gamma_n}{l_{ij}^{mn}} \sin(\theta_m - \theta_i) \right)^2$$

$$a_{12} = a_{21}$$

$$= \frac{\gamma_n}{(l_{ij}^{mn})^2} \sin(\theta_m - \theta_i) [\{ \gamma_n \cos(\theta_m - \theta_i) \gamma_j \} \cos \phi_j + (z_n - z_j) \sin \phi_j]$$

$$a_{13} = a_{31}$$

$$= \frac{\gamma_n}{(l_{ij}^{mn})^2} \sin(\theta_m - \theta_i) [-\{ \gamma_n \cos(\theta_m - \theta_i) - \gamma_j \} \sin \phi_j + (z_n - z_j) \cos \phi_j]$$

$$a_{14} = a_{41} = -\frac{\gamma_n \gamma_j}{(l_{ij}^{mn})^2} \sin^2(\theta_m - \theta_i)$$

$$a_{15} = a_{51}$$

$$= -\frac{\gamma_n}{(l_{ij}^{mn})^2} \sin(\theta_m - \theta_i) [\{ \gamma_n - \gamma_j \cos(\theta_m - \theta_i) \} \sin \phi_n + (z_n - z_j) \cos \phi_n]$$

$$a_{16} = a_{61}$$

$$= \frac{\gamma_n}{(l_{ij}^{mn})^2} \sin(\theta_m - \theta_i) [\{ \gamma_n - \gamma_j \cos(\theta_m - \theta_i) \} \sin \phi_n - (z_n - z_j) \cos \phi_n]$$

$$a_{22} = \frac{1}{(l_{ij}^{mn})^2} [\{ \gamma_n \cos(\theta_m - \theta_i) - \gamma_j \} \cos \phi_j + (z_n - z_j) \sin \phi_j]^2$$

$$a_{23} = a_{32} = -\frac{1}{(l_{ij}^{mn})^2} [\{ \gamma_n \cos(\theta_m - \theta_i) - \gamma_j \} \cos \phi_j + (z_n - z_j) \sin \phi_j] [\{ \gamma_n \cos(\theta_m - \theta_i) - \gamma_j \} \sin \phi_j - (z_n - z_j) \cos \phi_j]$$

$$a_{24} = a_{42}$$

$$= -\frac{\gamma_j}{(l_{ij}^{mn})^2} \sin(\theta_m - \theta_i) [\{ \gamma_n \cos(\theta_m - \theta_i) - \gamma_j \} \cos \phi_j + (z_n - z_j) \sin \phi_j]$$

$$a_{25} = a_{52} = -\frac{1}{(l_{ij}^{mn})^2} [\{ \gamma_n \cos(\theta_m - \theta_i) - \gamma_j \} \cos \phi_j + (z_n - z_j) \sin \phi_j] [\{ \gamma_n - \gamma_j \cos(\theta_m - \theta_i) \} \cos \phi_n + (z_n - z_j) \sin \phi_n]$$

$$a_{26} = a_{62} = \frac{1}{(l_{ij}^{mn})^2} [\{ \gamma_n \cos(\theta_m - \theta_i) - \gamma_j \} \cos \phi_j + (z_n - z_j) \sin \phi_j] [\{ \gamma_n - \gamma_j \cos(\theta_m - \theta_i) \} \cos \phi_n - (z_n - z_j) \cos \phi_n]$$

$$a_{34} = a_{43}$$

$$= -\frac{\gamma_j}{(l_{ij}^{mn})^2} \sin(\theta_m - \theta_i) [\{ \gamma_n \cos(\theta_m - \theta_i) - \gamma_j \} \sin \phi_j - (z_n - z_j) \cos \phi_j]$$

$$a_{35} = a_{53} = \frac{1}{(l_{ij}^{mn})^2} [\{ \gamma_n \cos(\theta_m - \theta_i) - \gamma_j \} \sin \phi_j - (z_n - z_j) \cos \phi_j] [\{ \gamma_n - \gamma_j \cos(\theta_m - \theta_i) \} \cos \phi_n + (z_n - z_j) \sin \phi_n]$$

$$a_{36} = a_{63} = -\frac{1}{(l_{ij}^{mn})^2} [\{ \gamma_n \cos(\theta_m - \theta_i) - \gamma_j \} \sin \phi_j - (z_n - z_j) \cos \phi_j] [\{ \gamma_n - \gamma_j \cos(\theta_m - \theta_i) \} \sin \phi_n - (z_n - z_j) \cos \phi_n]$$

$$a_{44} = a_{54}$$

$$= -\frac{\gamma_j}{(l_{ij}^{mn})^2} \sin(\theta_m - \theta_i) [\{ \gamma_n - \gamma_j \cos(\theta_m - \theta_i) \} \cos \phi_n + (z_n - z_j) \sin \phi_n]$$

$$a_{46} = a_{64}$$

$$= -\frac{\gamma_j}{(l_{ij}^{mn})^2} \sin(\theta_m - \theta_i) [\{ \gamma_n - \gamma_j \cos(\theta_m - \theta_i) \} \sin \phi_n - (z_n - z_j) \cos \phi_n]$$

$$a_{55} = a_{55} = \frac{1}{(l_{ij}^{mn})^2} [\{ \gamma_n - \gamma_j \cos(\theta_m - \theta_i) \} \cos \phi_n + (z_n - z_j) \sin \phi_n]^2$$

$$a_{56} = a_{65} = -\frac{1}{(l_{ij}^{mn})^2} [\{ \gamma_n - \gamma_j \cos(\theta_m - \theta_i) \} \cos \phi_n + (z_n - z_j) \sin \phi_n] [\{ \gamma_n - \gamma_j \cos(\theta_m - \theta_i) \} \sin \phi_n - (z_n - z_j) \cos \phi_n]$$

$$a_{66} = a_{66} = \frac{1}{(l_{ij}^{mn})^2} [\{ \gamma_n - \gamma_j \cos(\theta_m - \theta_i) \} \sin \phi_n - (z_n - z_j) \cos \phi_n]^2$$

$$\dots \dots \dots (3.5)$$

$$\text{で与えられる。}$$

したがって、任意の節点*ij*における材端力の和は、

$$F_{ij} = \sum_n ({}_{ij}^{i-1,n}Q_{ij} + {}_{ij}^{i+1,n}Q_{ij}) + \sum_k {}_{ij}^{ik}Q_{ij} \dots \dots \dots (3.6)$$

ここで、変位 $U_{ij}^T = (u_{ij} \ v_{ij} \ w_{ij})$ が θ に関して級数展開形で表わされれば、式(3.6)で示される材端力の和は式(3.8)となる。

$$U_{ij} = G * \bar{U}_j \dots \dots \dots (3.7)$$

ここに、

$$G = \begin{bmatrix} \sin m\theta_i & 0 & 0 \\ 0 & \cos m\theta_i & 0 \\ 0 & 0 & \cos m\theta_i \end{bmatrix}$$

$$\bar{U}_j^T = (u_j \ v_j \ w_j)$$

$$F_{ij} = G \cdot \sum_n \frac{2EA_n}{l_n} \cdot K_{jn} \cdot \bar{U}_{jn} + G \cdot \sum_k \frac{EA_k}{l_k} \cdot K_{jk} \cdot \bar{U}_{jk} \dots \dots \dots (3.8)$$

ここに、

$$K_{jn} = \begin{bmatrix} a_{14} \cos m \cdot \theta & a_{15} \sin m \cdot \theta & a_{16} \sin m \cdot \theta & a_{17} & 0 & 0 \\ -a_{21} \sin m \cdot \theta & a_{22} \cos m \cdot \theta & a_{23} \cos m \cdot \theta & a_{24} & 0 & a_{25} \\ -a_{31} \sin m \cdot \theta & a_{32} \cos m \cdot \theta & a_{33} \cos m \cdot \theta & a_{34} & 0 & a_{35} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & a_{22} & a_{23} & 0 & a_{25} & a_{26} \\ 0 & a_{32} & a_{33} & 0 & a_{35} & a_{36} \end{bmatrix}$$

$$\bar{U}_{jn}^T = (u_n \ v_n \ w_n \ u_j \ v_j \ w_j)$$

$$\bar{U}_{jk} = (u_j \ v_j \ w_j \ u_k \ v_k \ w_k)$$

したがって、式(3.8)から明らかなように、一般に自由節点において材端力の和は、その節点に働く等価外力の和に等しい⁽⁴⁾⁽⁵⁾ことから、節点外力 $P_{ij}^T = (P_{ij}^u \ P_{ij}^v \ P_{ij}^w)$ も節点変位と同様に θ に関して級数展開形で表わされれば、結果として、 θ に無関係な項のみで節点力と節点変位の間に連立多元一次方程式が成立する。

$$P_j = \sum_n \frac{2EA_n}{l_n} \cdot K_{jn} \cdot \bar{U}_{jn} + \sum_k \frac{EA_k}{l_k} \cdot K_{jk} \cdot \bar{U}_{jk} \dots \dots \dots (3.9)$$

ここに、

$$P_{ij} = G \cdot \bar{P}_j$$

$$\bar{P}_j^T = (P_j^u \ P_j^v \ P_j^w) \dots \dots \dots (3.10)$$

したがって、支持条件(境界条件)、剛性分布、密度分布が完全に回転対称な構造であれば、上述のように級数展開解法が骨組構造の場合にも適用可能であり、電算機を使用した場合の記憶容量の制限を受けることもなく、計算時間も著しく短縮される。

また式(2.4)に示したように、水平軸まわりに回転する構造ではその重力加速度も級数展開した場合に、0次、1次の変形モードが支配的となり、構造を回転対称とすることによって、ホモジの実現が著しく容易になることが明らかである。

4. 構造の分割解法

4.1 解析法

図4.1に示すような構造において、反射鏡骨組をホモジの概念にて設計しようとすれば、その支持構造部の剛性も含めて、連続体として厳密な解析を行なわねばならない、しかし現実の問題として、その検討はすべてを連続体として行なうこととは、電算機の容量を考えても不可能に近い、したがって実際には適当に境界層を設け、それぞれを別々に検討しながら、相互の影響(物理的なつながり)をその検討に加えることを考えねばならない。

図4.1において、適当な境界層を設ければ、一体構造としての剛性マトリクス表示は、

$$\begin{bmatrix} K_{11} & 0 & K_{13} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & K_{22} & 0 & K_{24} & 0 & 0 \\ K_{13}^T & 0 & K_{33} + K_{33} & 0 & K_{35} & 0 \\ 0 & K_{23}^T & 0 & K_{44} + K_{44} & K_{45} & 0 \\ 0 & 0 & K_{35}^T & K_{45}^T & K_{55} & K_{66} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & K_{56}^T & K_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ X_4 \\ X_5 \\ X_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ P_4 \\ P_5 \\ P_6 \end{bmatrix} \dots \dots \dots (4.1)$$

で与えられる。

ここに、

K_{33} : zone 3-zone 1 を結ぶ部材の節点群3に対する剛性マトリクス

K_{33}^T : zone 3-zone 5 を結ぶ部材(面素)の節点群3に対する剛性マトリクス

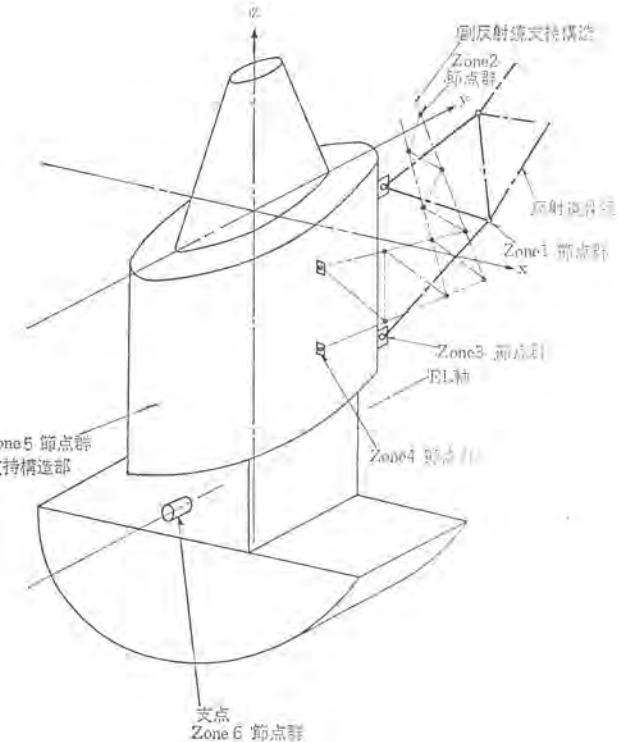


図 4.1 反射鏡部構造概念図
Outline of reflector structure.

る剛性マトリクス

X_i : zone i の節点群の節点変位を表わす列ベクトル

P_i : zone i の節点群の節点に働く等価外力を表わす列ベクトル

このように、境界層を zone 3 と zone 4 とすれば、構造解析は次の三つの部分に分割して進めるのが実際上好ましい。

(1) 反射鏡骨組構造部

$$\begin{bmatrix} K_{11} & K_{13} \\ K_{13}^T & K_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ X_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_1 \\ P_3 \end{bmatrix} \dots \dots \dots (4.2)$$

(2) 副反射鏡支持構造部

$$\begin{bmatrix} K_{22} & K_{24} \\ K_{24}^T & K_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_2 \\ X_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_2 \\ P_4 \end{bmatrix} \dots \dots \dots (4.3)$$

(3) 支持構造部

$$\begin{bmatrix} K_{33} & 0 & K_{35} & 0 \\ 0 & K_{44} & K_{45} & 0 \\ K_{35}^T & K_{45}^T & K_{55} & K_{66} \\ 0 & 0 & K_{56}^T & K_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_3 \\ X_4 \\ X_5 \\ X_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_3 \\ P_4 \\ P_5 \\ P_6 \end{bmatrix} \dots \dots \dots (4.4)$$

ここに、 $_1P_3 + _3P_3 = P_3$, $_2P_4 + _4P_4 = P_4$

以下に、上記三つの構造に分割しながら、全体構造としての解を求める手順を述べる。

(1) 反射鏡骨組構造部

zone 3 の節点群を仮想支点群とし、外力 P_1 に対して解く。

$$\begin{bmatrix} K_{11} & K_{13} \\ K_{13}^T & K_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_1 \\ R_3^1 \end{bmatrix}$$

$$X_1^1 = K_{11}^{-1} \cdot P_1, \quad R_3^1 = K_{13}^T \cdot K_{11}^{-1} \cdot P_1 \dots \dots \dots (4.5)$$

(2) 副反射鏡支持構造部

zone 4 の節点群を仮想支点群とし、外力 P_2 に対して解く。

$$\begin{bmatrix} K_{22} & K_{24} \\ K_{24}^T & K_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_2 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_2 \\ R_4^1 \end{bmatrix}$$

$$X_2^1 = K_{22}^{-1} \cdot P_2, \quad R_4^1 = K_{24}^T \cdot K_{22}^{-1} \cdot P_2 \dots \dots \dots (4.6)$$

(3) 支持構造部

zone 6 の支点群の変位 $X_6=0$ とし、式(4.5)、(4.6)で与えられる反力を加えて解く。

$$\begin{bmatrix} 5K_{33} & 0 & K_{35} \\ 0 & 5K_{44} & K_{45} \\ K_{35}^T & K_{45}^T & K_{55} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_3^1 \\ X_4^1 \\ X_5^1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_3 - R_3^1 \\ P_4 - R_4^1 \\ P_5 \end{bmatrix} \quad \dots \quad (4.7)$$

(4) 反射鏡骨組構造部

zone 3 の仮想支点群に式(4.7)で得られる強制変位 X_3^1 を与えて、無荷重状態にて解く。

$$\begin{bmatrix} K_{11} & K_{13} \\ K_{13}^T & K_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1^2 \\ X_3^1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ Q_3^1 \end{bmatrix}$$

$$X_1^2 = -K_{11}^{-1} \cdot K_{13} \cdot X_3^1, \quad Q_3^1 = (1K_{33} - K_{13}^T \cdot K_{11}^{-1} \cdot K_{13}) \cdot X_3^1 \quad \dots \quad (4.8)$$

(5) 副反射鏡支持構造部

zone 4 の仮想支点群に式(4.7)で得られる強制変位 X_4^1 を与えて、無荷重状態にて解く。

$$\begin{bmatrix} K_{22} & K_{24} \\ K_{24}^T & K_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_2^2 \\ X_4^1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ Q_4^1 \end{bmatrix}$$

$$X_2^2 = -K_{22}^{-1} \cdot K_{24} \cdot X_4^1, \quad Q_4^1 = (2K_{44} - K_{24}^T \cdot K_{22}^{-1} \cdot K_{24}) \cdot X_4^1 \quad \dots \quad (4.9)$$

ここで、連続体としての厳正解を式(4.10)のように表わせば、

$$\left. \begin{array}{l} X_1 = X_1^1 + X_1^2 + X_1^3 \\ X_2 = X_2^1 + X_2^2 + X_2^3 \\ X_3 = X_3^1 + X_3^2 \\ X_4 = X_4^1 + X_4^2 \\ X_5 = X_5^1 + X_5^2 \\ X_6 = 0 \end{array} \right\} \quad \dots \quad (4.10)$$

$$\begin{bmatrix} K_{11} & 0 & K_{13} & 0 & 0 \\ 0 & K_{22} & 0 & K_{24} & 0 \\ K_{13}^T & 0 & 1K_{33} - 5K_{35} & 0 & K_{35} \\ 0 & K_{24}^T & 0 & 2K_{44} + 5K_{45} & K_{45} \\ 0 & 0 & K_{35}^T & K_{45}^T & K_{55} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1^1 \\ X_2^1 \\ X_3^1 \\ X_4^1 \\ X_5^1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -Q_3^1 \\ -Q_4^1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \dots \quad (4.11)$$

したがって、問題は式(4.11)を変形した式(4.12)を解くことに帰結する。

$$\begin{bmatrix} 5K_{33} & 0 & K_{35} \\ 0 & 5K_{44} & K_{45} \\ K_{35}^T & K_{45}^T & K_{55} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 4_1 K_{33} & 0 & 0 \\ 0 & 4_2 K_{44} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_3^2 \\ X_4^2 \\ X_5^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -Q_3^1 \\ -Q_4^1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \dots \quad (4.12)$$

ここで、

$$\left. \begin{array}{l} X_1^2 = -K_{11}^{-1} \cdot K_{13} \cdot X_3^1 \\ X_2^2 = -K_{22}^{-1} \cdot K_{24} \cdot X_4^1 \\ 4_1 K_{33} = 1K_{33} - K_{13}^T \cdot K_{11}^{-1} \cdot K_{13} \\ 4_2 K_{44} = 2K_{44} - K_{24}^T \cdot K_{22}^{-1} \cdot K_{24} \end{array} \right\} \quad \dots \quad (4.13)$$

式(4.12)を、

$$(K + A) \cdot X = Q \quad \dots \quad (4.14)$$

とすれば、式(4.14)の解は

$$X = [E + \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \cdot (K^{-1} \cdot A)^n] \cdot K^{-1} \cdot Q \quad \dots \quad (4.15)$$

ここで、

$$(K^{-1} \cdot A)^n : (K^{-1} \cdot A) のべき乗$$

E : 単位対角行列

式(4.10)において、

$$\left. \begin{array}{l} X_3^2 = X_3^3 - X_3^4 + X_3^5 - X_3^6 + \dots \\ X_4^2 = X_4^3 - X_4^4 + X_4^5 - X_4^6 + \dots \\ X_5^2 = X_5^3 - X_5^4 + X_5^5 - X_5^6 + \dots \end{array} \right\} \quad \dots \quad (4.16)$$

とすれば、 $X_3^3, X_3^4, X_3^5, \dots$ 等は順次以下のように得られる。

(6) $K^{-1} \cdot Q$ の計算

支持構造部の zone 3, 4 の節点群に式(4.8), (4.9)で得られた反力を働かせて解く。

$$\begin{bmatrix} X_3^3 \\ X_4^3 \\ X_5^3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 5K_{33} & 0 & K_{35} \\ 0 & 5K_{44} & K_{45} \\ K_{35}^T & K_{45}^T & K_{55} \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} -Q_3^1 \\ -Q_4^1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \dots \quad (4.17)$$

(7) $K^{-1} \cdot A \cdot K^{-1} \cdot Q$ の計算

反射鏡骨組構造部・副反射鏡支持構造部のそれぞれの仮想支点群に式(4.17)で得られる境界層の変位 X_3^3, X_4^3 を強制的に働く。

$$\begin{bmatrix} K_{11} & K_{13} \\ K_{13}^T & K_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1^4 \\ X_3^3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ Q_3^2 \end{bmatrix}$$

$$X_1^4 = -K_{11}^{-1} \cdot K_{13} \cdot X_3^3, \quad Q_3^2 = (1K_{33} - K_{13}^T \cdot K_{11}^{-1} \cdot K_{13}) \cdot X_3^3 \quad \dots \quad (4.18)$$

$$\begin{bmatrix} K_{22} & K_{24} \\ K_{24}^T & K_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_2^4 \\ X_4^3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ Q_4^2 \end{bmatrix}$$

$$X_2^4 = -K_{22}^{-1} \cdot K_{24} \cdot X_4^3, \quad Q_4^2 = (2K_{44} - K_{24}^T \cdot K_{22}^{-1} \cdot K_{24}) \cdot X_4^3 \quad \dots \quad (4.19)$$

支持構造部の zone 3, 4 の節点群に式(4.18), (4.19)で与えられる反力を働くせて解く。

$$\begin{bmatrix} X_3^4 \\ X_4^4 \\ X_5^4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 5K_{33} & 0 & K_{35} \\ 0 & 5K_{44} & K_{45} \\ K_{35}^T & K_{45}^T & K_{55} \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} Q_3^2 \\ Q_4^2 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \dots \quad (4.20)$$

(8) $K^{-1} \cdot A \cdot K^{-1} \cdot A \cdot K^{-1} \cdot Q$ 以降

(7) と同様の手続きで、あらたに式(2.20)で得られた変位 (X_3^4, X_4^4, X_5^4) を使って順に求めればよい。

したがって、この繰返し計算によって、変位の厳正解は式(4.21)のように得られる。

$$\left. \begin{array}{l} X_1 = X_1^1 + X_1^2 + X_1^3 + X_1^4 + \dots \\ X_2 = X_2^1 + X_2^2 + X_2^3 + X_2^4 + \dots \\ X_3 = X_3^1 + X_3^2 + X_3^3 + X_3^4 + \dots \\ X_4 = X_4^1 + X_4^2 + X_4^3 + X_4^4 + \dots \\ X_5 = X_5^1 + X_5^2 + X_5^3 + X_5^4 + \dots \end{array} \right\} \quad \dots \quad (4.21)$$

5. む す び

高鏡面精度の大形可動アンテナを、その重力変形に対してホモロジの概念で設計することを試み、回転対称構造へのホモロジの適用法、巨大構造であるための電算機容量の制限の解決のための級数展開解法の適用性、および構造設計に便なるように構造分割解法による厳正解の求め方、について検討を加えた⁽⁷⁾。

それらの具体的な計算結果は別の機会に述べるが、以上をまとめて次の結論が得られる。

(1) 水平軸まわりに回転する、回転対称構造は、その重力変形はホモロジにのりやすい構造である。

ただし、本質的には完全なホモロジは、重力変形を対象とする限り実現不可能である。

(2) ト拉斯構造はもとより、剛接構造に対しても級数展開解法の適用が可能であり、回転対称構造に対して特に有力な解法とな

る。

(3) 構造の分割解法は三次元構造に対して、無限級数となるが、設計上、互いの剛性に差があればあるほどその収れん(収)性は早く、2~3回の繰返し計算でほとんどさしつかえない程度の結果が得られる。

おわりに、本検討には東京天文台赤羽教授・森本助教授、東大天文教室海部助手に毎々加わっていただいた、ここに深謝の意を表する。

参考文献

(1) S. Hoerner : J. of the Structural Division, ASCE, 93,

No. ST 5 (1967)

- (2) S. Hoerner : Astron. J., 72, 35 (1967)
- (3) P. D. Kalacher : Trudy Fiz. Inst. Akad. Nauk SSSR, 17 (1962)
- (4) H. C. Martin : Introduction to Matrix Methods of Structural Analysis (1966), MacGrawhill, Inc.
- (5) J. S. Archer : Proc. ASCE, 84, No. ST 6 (1958)
- (6) 坪井：曲面構造 (1965)，丸善
- (7) 大林、塚田：天文月報, 64, 4, 6, 8, 10 (昭46)

排 煙 脱 硫 送 風 機

宮 内 貞 夫*

Fans for Sulphur Dioxide Absorption Process

Nagasaki Works Sadao MIYAUCHI

The problem of air pollution is now drawing the attention of the world, for the matter is concerning the everybody's life. Most of sulphur oxide in the air is chiefly produced by burning heavy oil in power plants and other industrial furnaces. As one of the preventive measures of this hazard a device to absorb sulphur dioxide from exhaust gases has been now under development.

This article describes the features of fans used for a representative process of the measure and the discussion on the comparison among various types of them.

1. まえがき

重油燃焼に伴う亜硫酸ガスの処理は、公害対策の一環として非常に大きく取り上げられているが、この方法の一つには排煙脱硫がある。

このプロセスの中に用いられる送風機は、ボイラ排気煙通の途中に配置されるもので、従来の誘引通風機と似かよった点もあるが、容量・構造等の点でかなりの特異性を含んでいる。

わが国の排煙脱硫の代表的なプラントについて、各種送風機を納入したので以下にその概略を述べる。

2. 低いおう化対策

わが国の原油輸入量は、年間約18,000万kWh以上になると推定されるが、この原油の半分が重油になる。原油の80%は中近東域からの輸入で、蒸留後の重油は2~4%のいおう分を含んでいる。また、わが国の石炭は年間約5,000万t生産されるが、いおう分は1%内外で、これらを合計すると、年間200~250万tのいおうが亜硫酸ガスの形で放出されることになる。これを硫酸に換算すると600~770万tで、ほぼ国内需要に匹敵している。

一般に、大気中の亜硫酸ガス濃度は0.01~0.3ppm程度と言われるが、わが国の大都市とか工業地帯では、0.5~3ppmに達している。

表 2.1 わが国の一次エネルギー供給量
Primary energy supply in Japan.

(換算単位 10¹³ kcal)

年度別 項目 エネルギー種別	昭和45年度(推定)			昭和46年度(推定)		
	実数	換算	%	実数	換算	%
水力 10 ⁹ kWh	81.5	19.9	8.3	90.6	22.2	6.6
原子力 10 ⁹ kWh	6.0	1.5	0.6	32.6	8.0	2.4
石炭 10 ⁶ Ton	78.4	51.4	21.4	82.8	55.1	16.3
国 内 輸 入 皮	52.3	31.3	13.0	52.0	31.4	9.3
石 油 10 ⁶ kJ	26.1	20.1	8.4	30.8	23.7	7.0
石 油 10 ⁶ kJ	172.6	161.7	67.2	262.0	246.2	72.8
国 内 原 油	0.7	0.7	0.3	1.0	0.9	0.3
海 外 開 発 原 油	22.6	21.2	8.8	53.7	50.5	14.9
輸 入 原 油	125.5	118.0	49.0	182.5	171.6	50.7
製 品 輸 入	23.3	21.8	9.1	24.8	23.2	6.9
そ の 他		6.1	2.5		6.9	1.9
国 内 輸 入		4.9	2.0		5.1	1.4
合 計	240.6	100.0		338.4	100.0	
国 产 エ ネ ル ギ ィ	56.8	23.6		59.6	17.6	
輸 入 エ ネ ル ギ ィ	183.8	76.4		278.8	82.4	

注) 原子力および海外開発原油は輸入とみなした

る。図2.1は亜硫酸ガスの健康への影響を図示したもので、測定された濃度がいかに過大なものかがわかる。

そこで、政府は昭和44年に公害対策基本法を決定したが、その中で環境基準として、次の目標をあげている。

(1)-(a) 年間を通じて、1年間値が0.2ppm以下である時間が総時間数に対し、99%以上維持されること

(b) 年間を通じて1時間値の1日平均値が、0.05ppm以下である日数が総日数に対し、70%以上維持されること

(c) 年間を通じて、1時間値が0.1ppm以下である時間が総時間数に対して、88%以上維持されること

(2) 年間を通じて1時間値の年平均値が0.05ppmを越えないこと

(3) いずれの地点においても、年間を通じて大気汚染防止に定める緊急時の措置を必要とする程度の汚染の日数が総日数に対し、その3%を越えず、かつ連続して3日以上続かないこと

これら環境基準の達成の方策として、

(1) 高煙突による拡散

(2) 低いおう原油および天然ガスの探鉱開発および輸入・原油

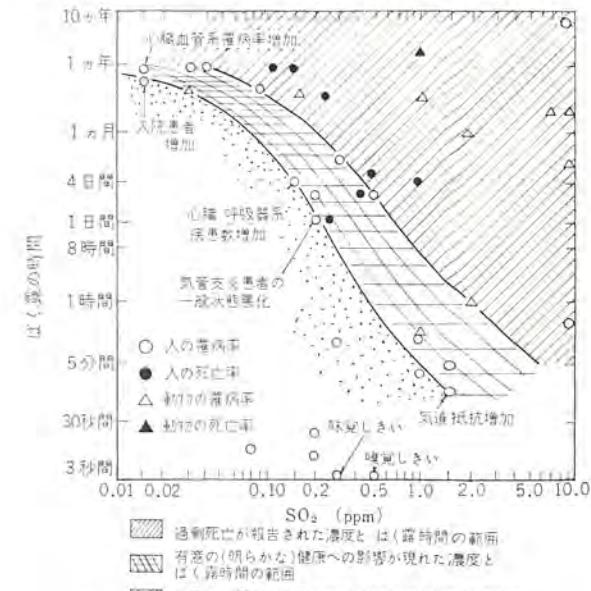


図 2.1 亜硫酸ガスの人の健康への影響の出現
Advent of effect on human health with sulphur dioxide.

表 3.1 排煙脱硫プロセス一覧
List of sulphur dioxide absorption processes.

	プロセス名	使用媒体	副生品	開発者	記事
乾式法	ライルフット法	活性炭	混 SO_2 ガス	西独 ライルフット社	活性炭の取扱いに問題。発火の危険性
	アルカリアートアルミナ法	ソーダ入粒状アルミナ	H_2S	アメリカ 鉱山局	有触媒の製造に問題。
	モンサント・ネレク法	V 205	70% H_2SO_4 (NH_4) ₂ SO_4	モンサント・ネレク社	設備の腐食に問題
	東工大法	V 205-K ₂ SO_4		東工大	副生品処理に問題
	触媒吹込法	V 205	CaSO_4	アメリカ エンジン電力	触媒の再活性に問題
	炉内添加法	CaCO_3	CaSO_4	アメリカ NAPCA-TVA	ボイラー保守に問題
	ガス化脱硫法	$\text{CaO} \cdot \text{MgO}$	H_2S		
半乾式法	溶融塩法	Li_2CO_3 Na_2CO_3 K_2CO_3	H_2S	アメリカ アトミック・インダストリーズ	高温材質、触媒価格に問題
	シェル法		SO_2	オランダ BIPM	
半乾式法	酸化マングン法	MnO	(NH_4) ₂ SO_4	三菱重工	
	酸化マンガン法	MnO	(NH_4) ₂ SO_4	アメリカ 鉱山局	
	活性炭吸着法	活性炭	20% H_2SO_4	日立	
湿式法	フルファーリッシュ法	カーボン担体触媒	15% H_2SO_4	西独	副生品処理に問題
	石灰乳法	河水 + CaCO_3	CaSO_4	イギリス	排ガス拡散悪く、中止
	アソキニヤ法	NH_4OH	(NH_4) ₂ SO_4		白色排煙に問題
	液相酸化希硫酸法	FeSO_4	15% H_2SO_4		
	再生アルカリ法	$\text{Ca}(\text{OH})_2\text{NaOH}$	CaSO_4	三菱化工機	
	ウエルマンロード法	K_2SO_3 または Na_2SO_3	CaSO_4	アメリカ ウエルマンロード社	
	神奈川工試法	海水	CaSO_4	神奈川工業試験所	吸収水処理に問題
	ケミコ法	MgO	CaSO_4	アメリカ ケミコ社	
	バーコ法	NaOH	CaSO_4	スエーデン バーコ社	
	ドロマイト吸込法	CaCO_3 スラリー	CaSO_4	アメリカ コンバーションエンジニアリング	

の生だき

(3) 重油の脱硫および排煙脱硫

などがあげられている。

(1) の高煙突による拡散は、排出される亜硫酸ガス量と地上濃度を考慮した規定があるが、これら煙突が集合した場合には、問題が起こることが考えられるし、地上濃度に対する規定が徐々に強化されるというので、抜本的方法とは言いつがたい。(2) の方法はわが国に資源が乏しいことと、経済性および実現までにかなりの時間がかかるということもあって、(3) の方法が一番有力視されている。

重油の脱硫はいおう分 1% が限度とされているが、環境基準の昭和 53 年度における過密地域の目標は、0.55-1% となっているので、脱硫の点からいと排煙脱硫のほうが実現性が大きい。また経済性の面からいと重油 1kl 当たりいおう分 1% の低下について、直接脱硫だと 1,800 円、間接脱硫だと 1,400 円といわれているのに対し、排煙脱硫では 900-1,000 円ということで(3) の内でも排煙脱硫が一番見込みがある。

3. 排煙脱硫法の種類(表 3.1 参照)

排煙脱硫プロセスのうち、国内で大容量化プラントを運転しているものの中では、

- (1) アンモニア法
- (2) 酸化マングン法 三菱重工業(株)
- (3) 活性炭吸着法 (株)日立製作所
- (4) ウエルマンロード法 三菱化工機(株)

等がある。

4. 排煙脱硫送風機

排煙脱硫送風機は、ボイラの排気風道にバイパスを設けて、その中ほどに設置されるので、通過風量は排ガス量と同じでかなりの量になる。特質としては、次のような点が考えられる。

- (1) 送風機の前後に縮切りダンバがいる。
- (2) 風量制御用入口ダンバが付属する。
- (3) 設置場所が狭い。
- (4) ボイラ負荷に比例して排ガス量が変化するので、風量変動範

囲が大きい。また負荷変動への追従が必要である。

(5) ボイラの主送風機との並列運転が必要である。

表 4.1 排煙脱硫装置用送風機配置上の比較
Comparison of fans on arrangement for sulphur dioxide absorption process.

項目	押し込み送風機(FDF)	排出送風機(IDF)
1 ガス温度	140~180 °C	60~80 °C
2 处理風量	100%	75~80%
3 所要動力	100%	75~80%
4 耐食性	問題なし 標準軸封装置が必要	特殊材料、塗装等が必要 特殊軸封装置が必要
5 強度	問題なし	ダストの付着に耐えるよう がんじょうな構造が望ましい
6 適用機種	ターボファン (TU, FA) タジアルチップ (ID, FG) ターボファン	ラジアルチップ ID FG ターボファン

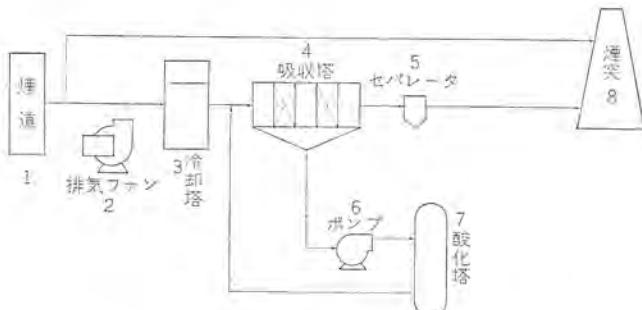


図 4.1 湿式アンモニア法の系統図
Systematic flow chart of wetted ammonia process.

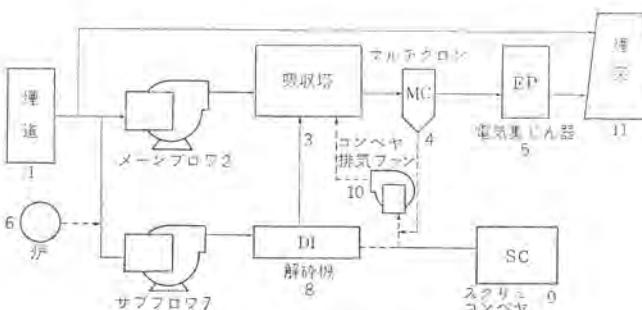


図 4.2 活性酸化マングン法の系統図
Systematic flow chart of active manganese dioxide process.

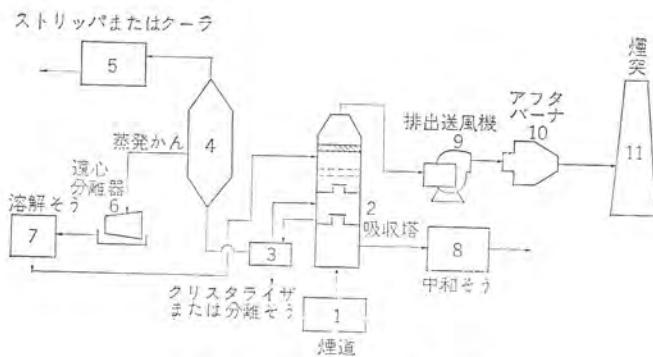


図 4.3 ウエルマンロード法の系統図
Systematic flow chart of welman lord process

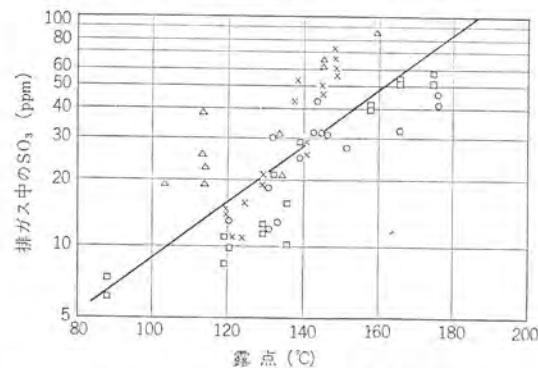


図 4.4 排ガス中の SO_3 濃度と露点の関係
Relation between the cardinal number of SO_3 and the dew point in exhausted gas.

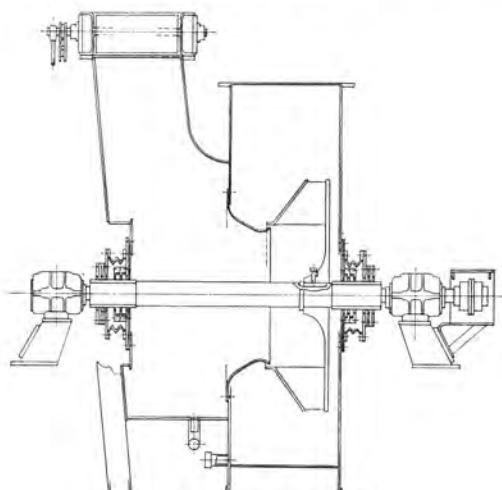


図 4.5 組立断面図
Construction drawings of the fan.

この送風機をプロセスの前におくか、後におくかで所要動力および形式に多少の差が考えられる。前におく場合は、ちょうど普通のボイラの誘引通風機と同じであるが、後におく場合は、温度が下がって風量がへり腐食の問題が起こる。

図 4.1~4.3 に代表的プラントにおける系統図を示す。

押込式の送風機では、腐食は主として排ガス中の無水硫酸 SO_3 によると考えられている。いわう分 3% の重油を燃焼させると、ほぼ 0.2% 容積の亜硫酸ガス SO_2 が発生し、このうちの一部(約 1~3%)は、さらに酸化されて SO_3 に転化するので、排ガス中の SO_3 濃度は約 20~60 ppm になる。

図 4.4 に示すようにこの場合の露点は、水蒸気よりはるかに高く、約 125~165 °C くらいである。送風機入口は通常露点以上になるよう運転されているので、それほど問題にならないが、場合によ

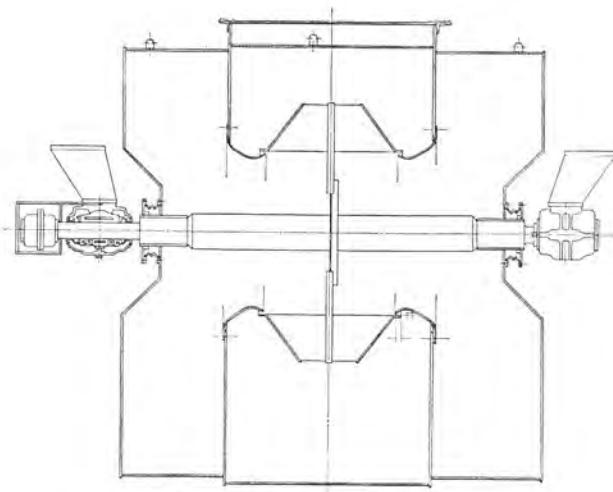


図 4.6 組立断面図
Construction drawings of the fan.

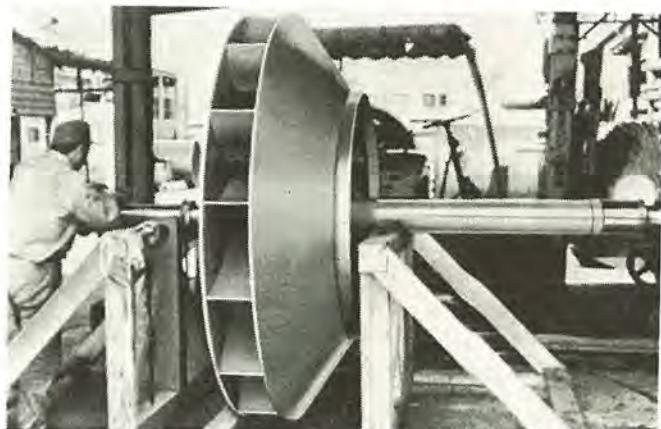


図 4.7 羽根車
Wheel assembly.

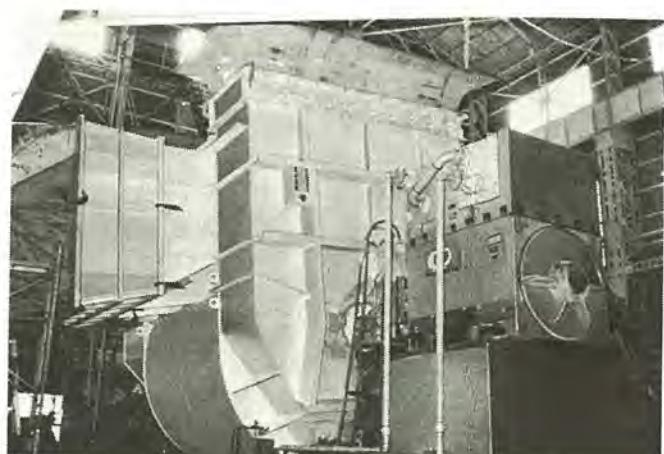


図 4.8 送風機外観
Appearance of fan.

っては、露点以下となり激しい腐食を起こすこともある。

湿式プロセスの後に送風機を置く形式では、特に使用材料に注意が必要である。

羽根車には、リベット曲げフランジ等があると腐食しやすいため、全溶接構造とし、組立て後応力除去焼純を行なう。すなわち主板・側板と羽根およびボスと主板は、いずれも溶接で組立てる。特に直径があまり大きくなき羽根車では、軸にフランジ部を設け直接主板をボス締めする構造になっている。また、軸封パッキンは二重になって

表 4.2 硫酸基の耐食材料
Anticorrosion material for sulphur acid.

重 量 比 %	30°C 以 下	中 間 温 度 ま で	沸 点 ま で
0.25 以 下	ス テン レ ス (オーステナイト)	50°C ま で ステンレス(オーステナイト) 100°C ま で プラスチック 65°C ま で ゴム	Fe-Cr-Ni 合金
0.25~5		80°C ま で Fe-Cr-Ni 合金 65°C ま で ゴム 100°C ま で プラスチック	
5~10		50°C ま で Fe-Cr-Ni 合金 100°C ま で プラスチック 65°C ま で ゴム	
10~25		50°C ま で Fe-Cr-Ni 合金 100°C ま で プラスチック 65°C ま で ゴム	
25~50		50°C ま で Fe-Cr-Ni 合金 100°C ま で プラスチック 65°C ま で ゴム	
50~60	プラスチック ゴム	50°C ま で プラスチック	
60~75	Fe-Cr-Ni 合金 プラスチック	50°C ま で プラスチック	
75~95	Fe-Cr-Ni 合金 プラスチック		
95~100	ス テン レ ス (オーステナイト)	50°C ま で Fe-Cr-Ni 合金	
100 以 上		60°C ま で ステンレス(オーステナイト) Fe-Cr-Ni 合金	

おり、中間にじやばらを置きケーシングおよび軸受台にそれぞれ取付ける。このようにすればケーシングが温度変化のため軸封装置とともに伸縮しても、軸貫通部からのガス漏れを防ぐことができる。

湿式のプロセスから出でてくるガスは、主として硫酸基のミストを含むガスであって、表 4.2 に示すように温度 100°C 以下で使える構造としては、オーステナイト系ステンレス (SUS 32, SUS 41, SUS 42)、英國規格の S 80 (20 Cr-1 Ni) および二、三のニッケルクロム鋼 (20 Cr-21 Ni-3 M, 22 Cr-3 Ni, 24 Cr-5 Ni) 等があるが、普通鋼に塩化ビニル・ポリエチレン、フェノール、天然ゴム、塩素化ゴム、等のライニングを施すのもよいと考えられる。

これら送風機は割合低温で使用され、耐食およびダストの付着が問題になるので、ラジアルチップターボファン (ID 形, FG 形) が適している。またさらに装置が大型化した場合は、効率の良い翼形送風機 (FA 形) 等も検討する必要があろう。表 4.3 は、既納送風機の仕様でこれらの特長としては、

- (1) 特殊材料および樹脂塗装の採用
- (2) 全溶接構造の羽根車
- (3) 特殊軸封装置の採用

表 4.3 排脱用送風機の特長
Characteristic features of the sulphur dioxide absorption process fans.

納 入 先	東亜燃料(和歌山)	日本合成ゴム(千葉)	中部電力(四日市)
形 式	FG9089 両吸込	FG9081 両吸込	ID-1007 片吸込
風 量 Nm ₃ /min	5,670	3,835	1,815
風 壓 mmAq	200	190	700
回 転 数 rpm(同期)	600	720	1,200
温 度 °C	227	238	60
電動機容量 kW	600	390	420
台 数	1	1	2
納入年月日	昭和46年2月	昭和46年4月	昭和46年7月
排 煙 脱 硫 の 方 法	アンモニヤ法 (三重工)	ウエルマシロード法 (三化工)	酸化マンガン法 (三重工)
配 置	FDF	IDF	FDF
材 質			
ケ ー シ ン グ	S-TEN	SS 41 ポリエチレンライニング	SS 41
羽 根 車	COR-TEN	SUS 27 フェノールコーティング	corten S-ten
軸	S 4 OC	SUS 27 フェノールコーティング	S 25 C
入 口 ダ ン パ	S-TEN, SS 41	SS 41 ポリエチレンライニング	SS 41
軸 封 装 置	特 殊	特 殘	特 殘

(4) 水洗装置の設置

等がある。

5. む す び

排煙脱硫送風機は、適用される脱硫プロセスに特有のものである。すなわち脱硫プロセスの前におく場合は、従来のボイラの誘引通風機と大差ないが、脱硫プロセスの後におく場合は、形式はもとより構造材質ともに変化することが多い。

現状では脱硫プロセスの種類が多いので、標準を決めることはむずかしいが、今後実績を見ながら努力していきたいと考える。

参 考 文 献

- (1) The Corrosion Handbook, John Wiley & Sons Inc.
- (2) ライニング便覧, 日刊工業新聞
- (3) ボイラ低温腐食の一考察, 火力発電, 16, No. 7
- (4) 脱硫とその方法, 生産技術, 21, No. 5
- (5) 大気汚染の現状と評価, 化学工場, 12, No. 12
- (6) 硫黄酸化物と公害防止, 化学工場, 15, No. 3

オーストラリア NSW 納め 電車用電機品

久山 研一*・竹内 元彦*・大田 幹雄*

Electrical Equipment for Double-Deck Motor Coaches
for New South Wales Government Railways

Itami Works Kenichi KUYAMA・Motohiko TAKEUCHI・Mikio OHTA

Electrical equipment corresponding to 53 compositions of electric coaches have been delivered by Mitsubishi to the New South Wales Government Railways. The operation of these new coaches are to cope with the increase of traffic volumes in the suburb of Sydney, where double deck motor coaches rare in the world will be in service. In 1968 4 trial coaches were constructed and four leading electrical manufacturers including Mitsubishi participated in the project with their peculiar types of machines to compete each other. After two years' thorough tests Mitsubishi products have been proved excellent and resulted in an order of this big quantity of electrical equipment. The car bodies, trucks and brake equipment have been built respectively by Commonwealth Engineering Co., A. E. Goodwin Co. and Westinghouse Brake Limited in Australia.

1. まえがき

オーストラリアのニューサウスウェールズ州鉄道(New South Wales Government Railways)では、シドニー近郊の輸送量増大に対処するため、世界でも珍らしい全2階建式電車の導入を計画し、1968年に試作車4両の入札が行なわれ、電機品は当社をはじめ4社が、それぞれ独自の方式のものを1両分ずつ製作・納入し、きたるべき量産車に備えて実績を競ってきた。

1970年に行なわれた量産車53編成の入札に際しては、やく2年間にわたる試作車の好調な運転実績と、その技術力が評価され、同鉄道に歴史的に多くの納入実績を有していた、英國メーカーをはじめとする多数メーカーとの競争の結果、受注の栄冠をかちとることができた。車体・台車・ブレーキ装置は、それぞれ現地のコモンウェルスエンジニアリング社 (Commonwealth Engineering), グッドウイン社 (A. E. Goodwin), ウェスチングハウス・ブレーキ社 (Westinghouse Brake Limited) が、それぞれ担当することになり、この間の技術的調整が重要課題となった。全2階建式電動車というわが国では見られない形式であり、設計的には、スペースおよび重量の点できびしい制約があったが、メインテンスフリー化を重点とした小形軽量化を図って、所期の目的を達成することができた。1971年から1972年にかけて、現地で1号車の組立が行なわれ、春には完成の予定になっている。



図 1.1 オーストラリア N. S. W. G. R. 納め 全2階建式直流電車
Double deck motor coach for N. S. W. G. R.

三菱電機の手による電機品を積載した電車が、シドニー郊外に姿を見せる日も近い。ここに本電車の概要を紹介する。

2. 電車の性能と特長

2.1 特長

この電車は、シドニー市近郊の輸送力増強を目的として計画されたもので、客室を2階建とすることによって大幅な収容乗客数の増大を図っている。車体中央部の床下は、車両限界いっぱいに客室がはりだしているため、一般の電車のように電機品を取り付けるスペースがなく、主要電機品の大部分は、車体両端の平天井と屋根との間の限られたスペースに納められることが要求された。

さらに、車体の重心をできるだけ下げて安定な走行を確保するため、屋根上の電機品については、きびしい重量制限が仕様書に規定されており、各機器の設計にあたって、とくに小形軽量化に考慮が払われた。また、納入後の保守を極力少なくすることが重要課題であって、回路構成は簡潔を旨として所定の性能、および機能を確保しながら機器の統一をはかり、種類を少なくしている。

補助電源用高圧静止インバータをはじめ、主制御器のパイロットモータ制御・空転検知などは無接点化している。

主電動機は、台車装架で歯車装置との繋手は、WNギヤカップリングを使用する方式である。

2.2 性能

この電車は、すべてニューサウスウェールズ州鉄道 (New South Wales Government Railways) 仕様書の規定によって設計・製作され、一般規格としては、ASまたはBS規格が適用されている。基本編成は、MTの2両固定編成であり、通常4編成の4M4Tで運転される。要求された基本性能は、つぎのとおりである。(架線電圧 DC 1,450 Vのとき)

(1) 速度および加速度

最高運転速度	70 mile/h (113 km/h)
平均加速度 (高加速時)	1.7 mile/h/s (2.74 km/h/s)
(低加速時)	1.4 mile/h/s (2.26 km/h/s)
平均減速度 (最大)	3.0 mile/h/s (4.83 km/h/s)
(常時)	2.0 mile/h/s (3.22 km/h/s)

表 2.1 主要要目 Principal data.

電気方式	DC 1,500 V
軌間	1,435 mm
基本構成	MT
車両重量	M車 T車
自重	45 t 32 t
定員	52 t 40 t
乗員	61 t 49.5 t
電車性能(連続)	
出力	全界磁 40% 界磁
	360 kW 540 kW
定格速度	25 mph 35 mph
引張力	7,200 lbs 7,600 lbs
最高速度	70 mph
加速度	1.7 mph/s (高加速) 1.4 mph/s (低加速)
減速度	2.0 mph/s (通常) 3.0 mph/s (最高)
車輪径	37"
駆動方式	WN 駆動方式
側車比	86/15=5.74
主電動機	直流直角 4 極 丸形 自己通風式
	135 kW 725 V 205 A (40% 界磁)
	129 kW 725 V 195 A (72% 界磁)
	90 kW 725 V 140 A (全界磁)
制御方式	ブリッジ渡り、抵抗カム制御、直並列および弱界磁制御
補機方式	無接点装置によるバイロットモータ制御
インバータ	出力: 直流 120 V, 交流 240 V, 単相 50 Hz
	入力: 直流 1,500 V 9.8 A
	出力: 直流 6.5 kW 120 V 54.2 A
	交流 4.5 kVA 240 V 18.8 A 単相 50 Hz

(2) 架線の最大電流は、編成あたり平均 600 A 以内のこと

(3) 上り 33% こう配において、2M 2T 編成の 1M 車故障時でも起動できること

主電動機の容量は、上記の仕様によって線路条件および運転ダイヤを電子計算機で忠実にシミュレートし、最適値を求めた。主電動機は、満員乗車の 4M 4T 編成のうちの 1M 車故障の場合でも、規定の運転ダイヤを確保することができ、また、定員乗車の 4M 4T 編成では、10% 程度の回復余力を有している。

表 2.1 に電車の主要要目を、図 2.1 に電車の性能曲線、図 2.2 にノッチ曲線を示す。

2.3 回路の構成と制御方式

(1) 主回路

DC 1,500 V 回路の力行専用で、4 個モータのブリッジ渡りによる直並列制御を行なっている。直列および並列段における起動抵抗の制御、および主電動機の界磁制御は、カムスイッチによって行なわれる。使用カムスイッチ数をできるだけ少なくして、良好な乗心地を確保するため、2 群の起動抵抗器は交互に進段させる方式にしている。力行およびノッチオフ時には、一段減流起動およびしゃ断を行ない、乗りごこちの向上を図っている。

(2) 制御回路

カム軸の進段停止および限流値制御には、無接点化が行なわれている。この無接点装置は、小形のトランジスタ式インバータを内蔵しているために、交流電源が不要で、直流 120 V だけで動作できる特長があり、万一、補助回路が故障してもバッテリによって車両の運転は確保される。限流値は、低加速度 (1.4 m·p·h·p·s) と高加速度 (1.7 m·p·h·p·s) が選択できるようになっており、高加速度の場合には、応荷重装置によって乗客に無関係に規定の加速度が得られるようにしている。

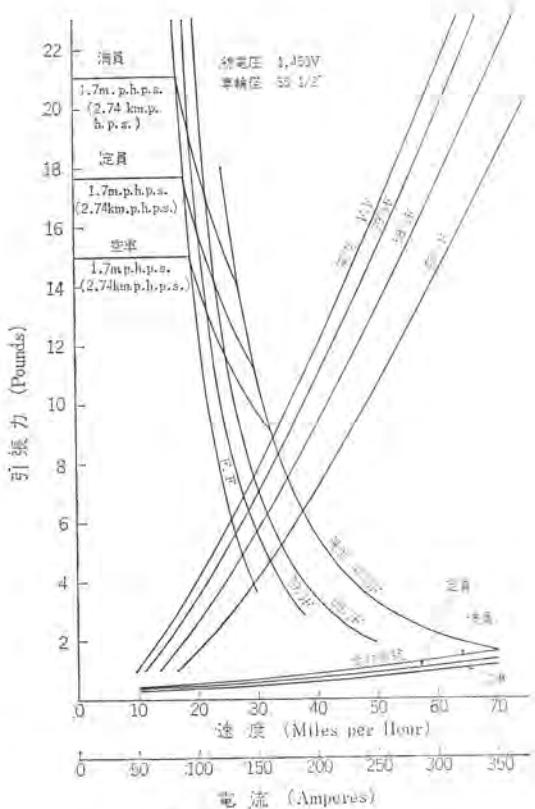


図 2.1 電車性能曲線
Train performance curves.

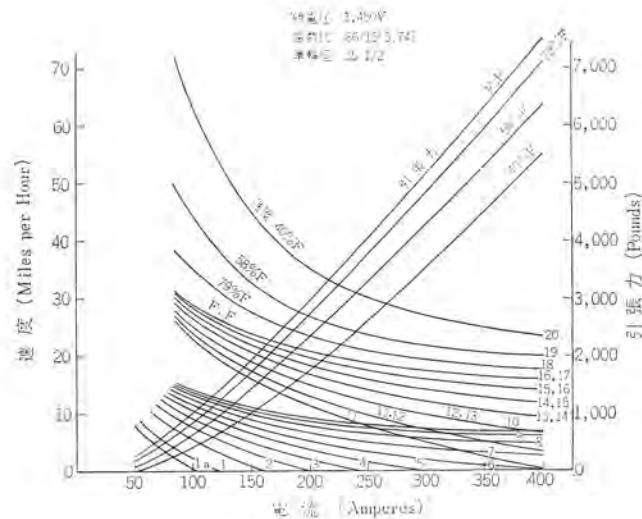


図 2.2 ノッチ曲線
Notching curves.

(3) 保護方式

各主電動機回路には、過電流検出器および空転検知装置が設けられている。空転発生の場合には、直ちに再粘着を行ない、万一、空転が継続するときには、ノッチオフする方式をとっている。

(4) 補助回路

低圧補助電源としては、各 M 車に積載された 11 kVA の静止インバータによって、MT 車 2両分の直流 120 V および単相交流 240 V 50 Hz を供給している。インバータ容量は、隣接する車のインバータが故障したときにも、その車の直流負荷をまかうことができるよう選定されている。

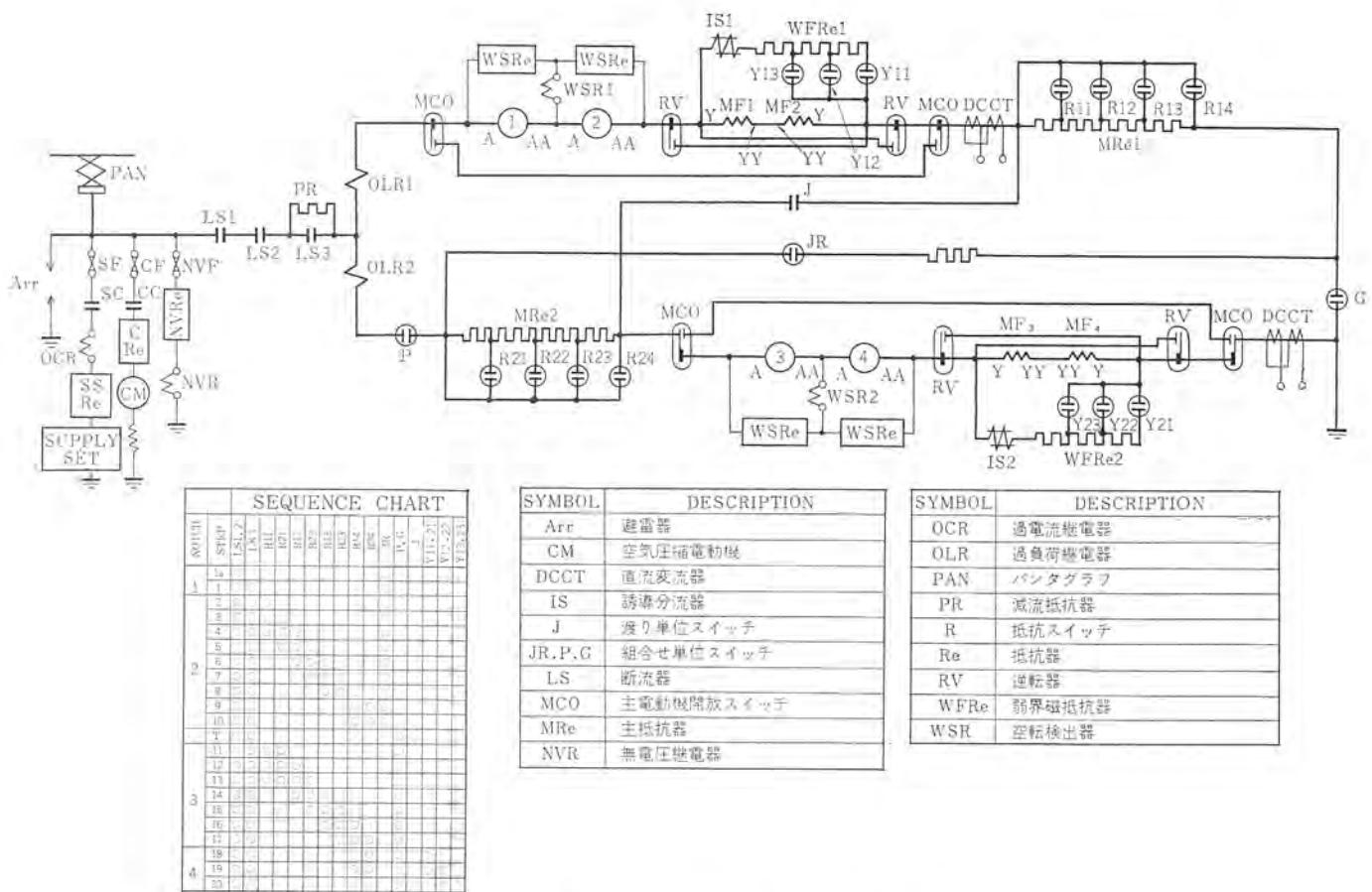


図 2.3 主回路つなぎ Main circuit diagram.

3. 主電動機および駆動装置

3.1 主電動機

電動車には、定格出力 135 kW の主電動機 4 台が装架されている。従来、オーストラリアの電気鉄道車両には、ほとんどりかけ式主電動機が使用されていたが、前回納入した試作電車での実績が認められ、今回 NSWGR 向けに初めて台車装荷式主電動機を大量に納入した。駆動方式は、当社が標準としている WN ドライブ方式である。

主電動機の要目はつぎのとおりである。

形名	MB-3179-A 形
形式	直流直巻補極付き、保護付き、自己通風式
連続定格	135 kW 725 V 205 A 1,900 rpm (40 % F) 90 kW 725 V 140 A 1,350 rpm (FF)
絶縁	F 種
高速試験速度	4,750 rpm
最弱界磁率	40 %
重量	907 kg
特性曲線	ノッチ曲線参照

図 3.1 MB-3179-A 形
主電動機
Type MB-3179-A traction
motor.



主電動機の特長はつぎの諸点である。

(1) 加速時の架線電流を小さくおさえるため、主電動機は全界磁の速度を下げて、大トルクモータとしている。

(2) 端子電圧が高く、しかも回転速度を低くするために、電機子巻線に波巻を採用したが、大幅な弱め界磁 (40 % F)、あるいは過電圧 (1,000 V) においても安定な整流を得るために、主極コイルの巻数をできるだけ大きくとるとともに、主極コイルのギャップは中心部が最も狭く両端に近づくにつれてリニアに広がる、いわゆるクサビギャップを採用し、電機子反作用の影響をできるだけ少なくしている。

(3) 無溶剤エポキシワニスと耐熱有機絶縁材料を組み合わせた耐熱絶縁システムの採用、整流子ライズと電機子コイルリードとの接続に、TIG 溶接の適用などによって、熱的・電気的・機械的にきわめて信頼性の高い構造にしている。

(4) 軸受は標準タイプを使用しているが、ラビリンス構造によってグリースの密封化をはかり、5 年間無給油を目指している。

(5) ブラシ保持器は特殊な構造とし、整流子が摩耗・削正によって直径が小さくなった場合には、保持器の取付部は動かさずにボックス部分だけを取り換えればよい。

3.2 駆動装置

駆動装置は、車軸につりかけたギヤユニットと可とうギヤカップリングを組み合わせた、WN ドライブにしている。

要目はつぎのとおりである。

(1) ギヤユニット (図 3.2)

形名	WN-1054-AFM
形式	一段減速 ヘリカルギヤユニット



図 3.2 WN-1054-AFM 形
減速歯車装置
Type WN-1054-AFM reduction gear unit.



図 3.3 WN-2550-FR 3 A 形
ギヤカップリング
Type WN-2550-FR 3 A gear coupling.

歯車比	86/15 (5.74)
圧力角	26°
モジュール	7
重量	445 kg

(2) ギヤカップリング (図 3.3)

形名	WN-2550-FR 3 A
形式	ダブル インターナル エキスター ナルギヤ タイプ
許容変位	軸方向 $\pm 10 \text{ mm}$ 半径方向 $\pm 17.5 \text{ mm}$
重量	40 kg

駆動装置は、いずれもとくに保守の容易化をはかって設計されている。

そのための主な特長は、つぎのとおりである。

(1) ギヤカップリングの潤滑には高粘度のギヤコンパウンドを使用するが、途中給油を容易にするために、新たに開発したグリースニップルを備えている。このニップルは、カップリングの外周に取り付けられているが、高速回転時に油もれがなく、しかも通常のグリースガンによって容易に給油できる巧妙な構造になっている。

(2) 電動機軸とギヤユニットのピニオン軸との高さの差の測定を、容易に行なうためのアタッチメントをもうけている。また、高さの差の調整はギヤユニットつり装置のシムを抜きさしすることによって、容易に行なえる構造にしている。

4. インバータ

車両のけい光灯・ファンおよび制御などの低圧電源を得るために、電動発電機に代わって静止形サイリスタインバータが採用されている。

(1) 回転部分および消耗部品がなく、保守がほとんど不要で、メンテナンスフリーである。

(2) 出力電圧精度は良好で、かつその特性も安定である。

(3) 変換効率が高い。

(4) 回転部分がまったくないので、騒音が少ない。

などの特長を有しているが、このインバータには新しい回路方式を採用しており、つぎの特長を有している。

4.1 特長

(1) 新方式インバータ

従来のインバータではサイリスタアームが4組あり、これでブリッジを構成するのが一般的であるため、サイリスタ個数が多くなり、複雑になる欠点があった。この欠点を除去するため、コンデンサで電源電圧を2分割し、これと2組のサイリスタアームとで構成された新方式インバータを採用している。したがって、高圧側のサイリスタダイオードの数が

半減し、これに伴って分圧抵抗、分圧コンデンサも半減して回路構成が簡素化され、信頼度の向上・小型軽量化が図られている。

(2) 高耐圧サイリスタダイオード

半導体製法技術の進歩によって高耐圧サイリスタダイオード素子が出現し、従来1,500 Vインバータで5個直列接続していたのに対して、一挙に3個に減少させることができた。

4.2 仕様および回路構成

(1) 仕様

この装置のおもな仕様はつぎのとおりである。

形式 新方式インバータ (直流はサイリスタ整流による定電圧制御、交流は定電圧変圧器による正弦波化および定電圧化)

入力電圧 DC 1,500 V (変動範囲 1,100~2,050 V)

出力電圧および容量

AC 240 V 4.5 kVA (うち、正弦波は 1.7 kVA)

DC 120 V 6.5 kW

出力電圧変動範囲

DC 120 V $\pm 3\%$ (1,350~1,840 V において)

$\pm 5\%$ (1,100~1,350 V および

1,840~2,050 V において)

AC 240 V

(正弦波) $\pm 5\%$

周波数 50 Hz $\pm 5\%$

(2) 回路構成

回路構成を図 4.1 に示す。

回路は極力簡素化し、高信頼度化を図っている。電源電圧は、分IEコンデンサ $C_{1,2}$ によって2分割し、これの分圧点と二つのサイリスタアーム $CRF_{1,2}$ の中間との間に、出力トランスを接続する方式にしている。転流エネルギーの帰還は、出力トランスにタップを設けて行なうトランス帰還方式を採用し、回路構成の簡素化を図っている。この新方式インバータによってサイリスタダイオード・転流装置を従来のものに比べて半減させることができた。

実際のサイリスタダイオードの各アームは、1,700 V耐圧の素子を3個直列に接続されている。

直流出力電圧の定電圧化は、出力トランスの二次側をサイリスタ整流して行なっており、これをL-Cフィルタによって平滑し、リップルを除去している。

けい光灯のように定電圧で、かつ正弦波を必要とするものには、特殊な定電圧トランス(CVT)を用いて変換している。CVT方式で

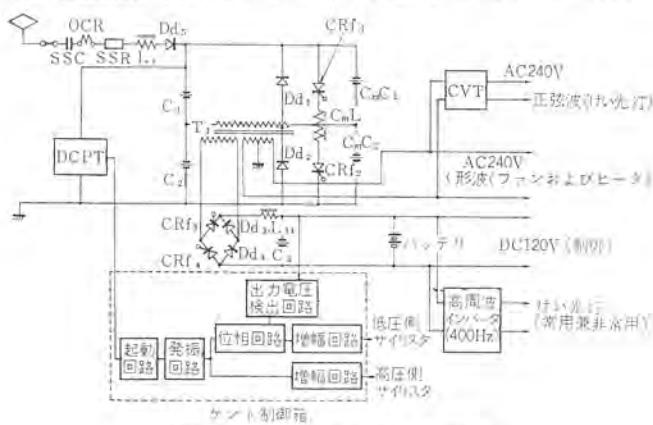


図 4.1 新方式インバータ回路図
Simplified static inverter circuit.

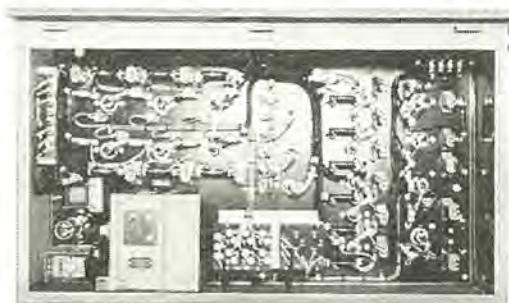


図 4.2 SIV-11 A 形 インバータ：サイリスタグループ
Type SIV-11 A static inverter : thyristor group.



図 4.3 SIV-11 A 形 インバータ：トランス・コンデンサグループ
Type SIV-11 A static inverter : transformer and capacitor group.

は、正弦波 フィルタ がまったく不要になるので、部品数が少なくなり、高信頼度化される。一方、ファン およびヒータ は、電源 電圧が相当変動しても支障がないので、く(矩)形波のまま供給している。ただし、ファン はく形波用の特殊設計品である。非常用けい光灯電源としては、低圧 400 Hz インバータを用いている。ただし、非常時のみではなく常用にも使用している。CVT および高周波 インバータは、室内に格納されている。

4.3 構 造

サイリスタ 箱の外観写真を図 4.2 に、トランス・コンデンサ 群の外観写真を図 4.3 に示す。サイリスタ 箱には、半導体部品・ゲート 箱・小物部品をすべて収納し、完全密閉にしている。

冷却 フィン は、後部より突出して自冷効果を上げている。ゲート 回路は、すべて 1 箱にまとめて接せん(栓)で容易に着脱できるようにしている。

トランス・コンデンサ 類は、一つの フレーム にまとめ、H 種 エポキシ 完全モールド にし、防じん・防水構造にしている。機器は、屋根上に格納されるために、部品は最適設計を行なわれているが、新回路方式の採用とあいまって、サイリスタ 箱 115 kg、トランス・コンデンサ 群 520 kg と大幅に軽量化が達成された。

また、インバータ は、常時の特性測定、故障時の チェック などが専用試験器で簡易に行なえるように設計されている。

4.4 試験結果

(1) 入力電圧急変

最悪条件の $1,100 \text{ V} \rightarrow 2,050 \text{ V}$ という過酷な電圧急変に対してもその動作は安定で、直流電圧の過渡電圧も 160 V 以内できわめて良好であった。

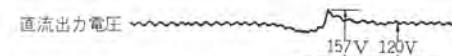
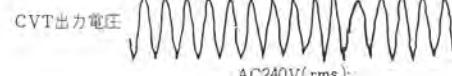
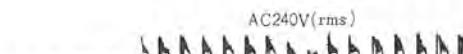
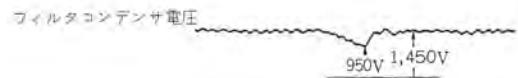


図 4.4 インバータ瞬時入力中断試験
Instantaneous supply-voltage interruption-test of inverter.

(2) 電源中断

定格負荷において、電源中断後の 0 ~ 25 ms の間では出力電圧は正常で、25 ~ 50 ms の間では徐々に減衰し、50 ms 以上の中斷時には、インバータ の入力側の接触器を開く特性を要求されていたが、これもすべて良好であった。50 ms 以内の瞬時中断試験の オシロ を図 4.4 に示す。

(3) その他

この新方式 インバータ は、その転流装置が半減したことなどによって、総合効率は 85 % ときわめて高いことが立証された。

5. 制御装置

主制御装置をはじめ、断流器・高圧インバータ・主電動機開放器・主抵抗器などの主要機器は、図 5.1 に示すように、すべて車体両端の天井の上に配置されており、保守・点検は屋根カバーを押し上げ、高い作業台上で行なうようになっている。カム式制御装置を構成する主要機器は、いずれも長年の使用実績を有する高信頼度のものである。機器配置は、保守・点検が容易なようになっている。また、保守回帰の延長と保守の省力化のために、徹底した防水・防じん処理が施されており、単位スイッチの インタロック 部をはじめ、接点部はすべて防じんカバーで保護されている。

5.1 断流器箱

防水構造の箱には、単位スイッチをはじめ、電磁接触器・高圧補助ヒューズ・保護離電器などの高圧回路用機器が納められている。

離電器などの小物部品が納められている室は、防じんおよび単位スイッチの アーク を受けないように完全に仕切られている。

単位スイッチの しゃ断性能は、仕様書に規定されている最低 25 A から最高 10,000 A という、過酷な条件を満足することが工場試験によって確認された。図 5.3 に しゃ断時の オシログラム を示す。

5.2 主制御器箱

ファイバグラス 製の カバー を取りはずすと、箱の前面および上部より内部の点検が容易に行なえるような機器配置になっている。この主制御器箱には、主カム接触器を主体に、パイロットモータ制御用の無接点装置・補助カムスイッチ・応荷重用圧力スイッチ・抵抗管・セレン等の多くの機器が納められている。無接点装置の部品は、トレイに組み込まれて完全な防じん処置が施されているとともに、着脱が簡単に行

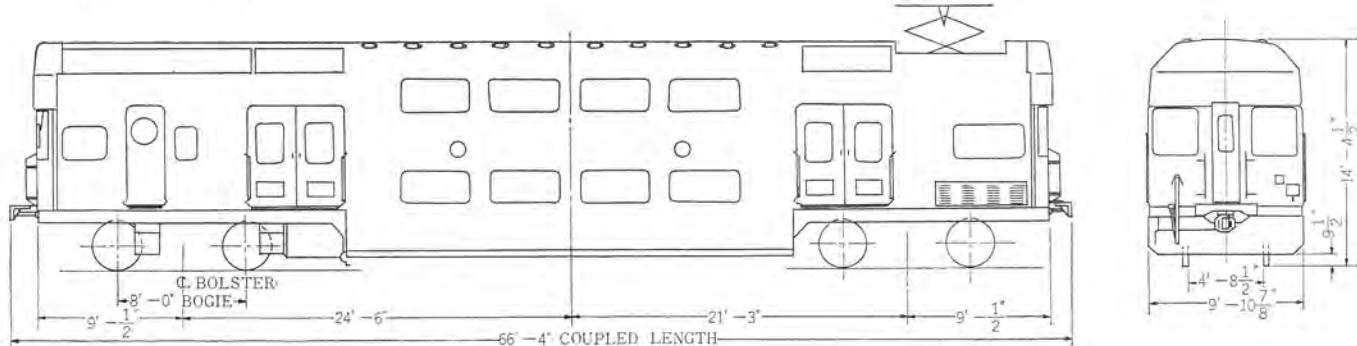
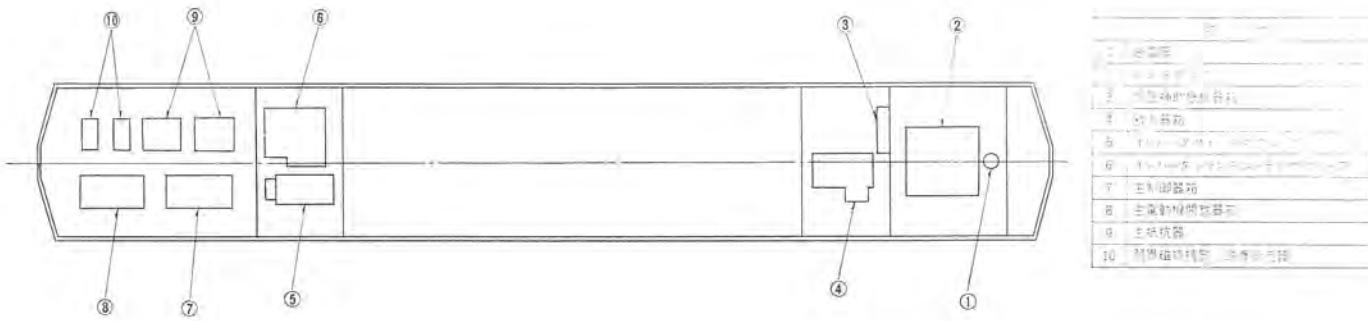


図 5.1 機器配置
Single line dimensions and apparatus arrangement.

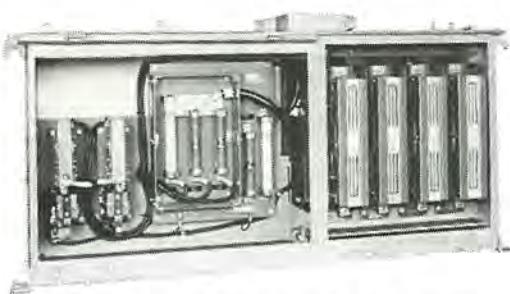


図 5.2 ML-N 4 A-212 形 斷流器箱 (正面)
Type ML-N 4 A-212 high tension (front view).

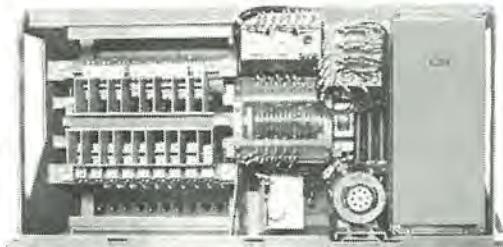


図 5.4 CB-17 C-20 形 主制御器箱 (正面)
Type CB-17 C-20 camshaft group (front view)

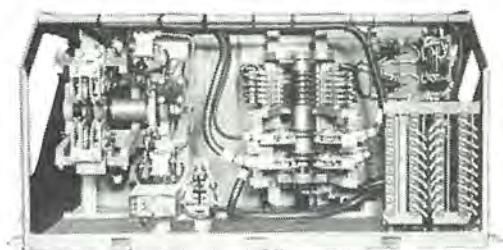


図 5.5 FC-613 形 主電動機開放器箱 (正面)
Type FC-613 motor cutout switch group.

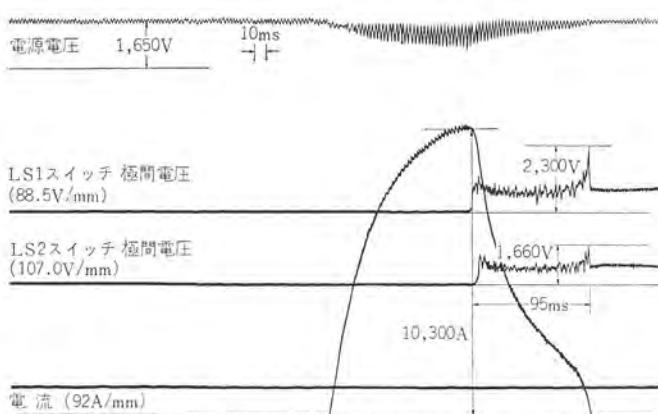


図 5.3 単位スイッチしや断試験
Rupturing test of line switch group.

なれる構造になっている。応荷重用圧力スイッチは、荷重によって変動する台車の空気 パネ圧力を検出し、マイクロスイッチによって限流値を5段階に切り換え、一定の加速度を得させるためのものである。

5.3 主電動機開放器箱

主制御器箱と同様の形状および寸法で、主電動機開放器・逆転器を中心に、空転検出器・繼電器などを格納している。主電動機開放

器は、運転室に設けられている操作ハンドルによって遠隔操作ができる。空転検出器は、リードリレーを使用した無接点式で、小型軽量化とともに、信頼度の向上が図られている。

5.4 主抵抗器

エレメントは、機械的強度と耐腐食性にすぐれた鉄クロムのリボン形で、耐熱絶縁がい(碍)子によって支持した耐振動・耐じん・耐水構造のものである。抵抗ユニットは、両端を耐熱磁器製がい子によって支持する単体保持構造で、がい子をはずせば、抵抗ユニットを簡単にわくから取りはずすことができ、分解手入れが容易である。

6. む す び

以上、きわめて概説的であるが、この種々の特長ある電車の概要

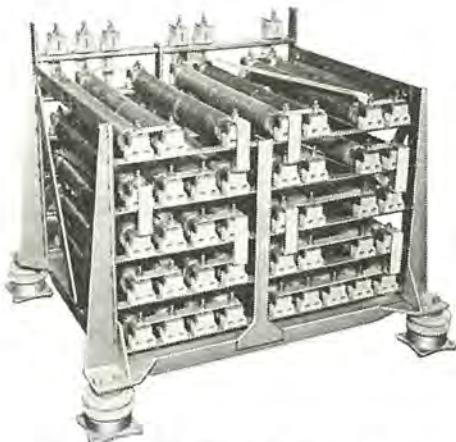


図 5.6 EW-17 AS-59 形 主抵抗器
Type EW-17 AS-59 starting resistor.

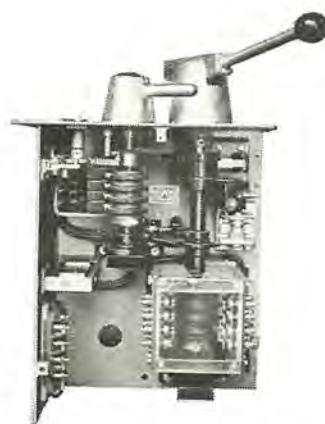


図 5.7 KL-211 A 形 主幹制御器
Type KL-211 A master controller (front view).

を述べた。各機器ともきわめて短期間のうちに製造ならびに形式試験が行なわれたが、すべて計画どおりの性能が得られた。昭和46年5月の8両分をはじめとして、昭和47年3月にかけて53両分の電機品が続々と船積みされ、オーストラリアのコメンジ社における梱装を待つことになっている。このように大量の電機品を、歴史的に欧州、とくに英国メーカーの独壇場であったオーストラリアに輸出できることは、

われわれにとって大きな誇りであると同時に、責任を痛感する次第である。シドニー郊外の美しい田園に、三菱電機の手による電機品を積載した全2階建式電車が雄姿を見せる日も近い。これを機会にしてますます両国の経済交流と親善が深められることを願って筆をおきたい。

日本国有鉄道納め 日本海縦貫線用 ED 75700 形 交流機関車

佐々木和男*・児玉 俊英*・笠原 清*・森原 健司*・忍 正寿*

Type ED 75700 AC Electric Locomotives for The Japanese National Railways

Itami Works

Kazuo SASAKI・Toshihide KODAMA・Kiyoshi KASAHARA
Kenji MORIHARA・Masatoshi SHINOBU

It has been planned by the Japanese National Railways to operate AC locomotives and begin commercial run of the line along the coast of the Japan Sea by October, 1972. For this purpose single phase 20 kV AC 50 cycle locomotives type ED 75700 have been constructed. The locomotive is fundamentally the same as type ED 75 operating in the Tohoku line in the points of control system and circuit composition. But most of the major apparatus are built lightweight and compact so as to be housed in the machine compartment to protect 20 kV apparatus from snow and salt. Besides new techniques such as electronic control circuits and improved control equipment are taken up in the design. They are expected to play major role in the JNR. Mitsubishi has taken charge of designing the main electric apparatus of the locomotive, so the details are introduced in this article.

1. まえがき

国鉄の日本海縦貫線の青森—新潟間は、単相交流 20 kV 50 Hz 電気方式で、昭和 47 年末までに開通の予定で、この交流区間専用機関車として新形式の ED 75700 形交流機関車が投入されることになり、第一次量産車 34両が昭和 46 年 10 月の青森—秋田間開通として完成された。

この機関車は、運用面で東北線用の磁気増幅器式 ED 75 形交流機関車と共通性をもたせる必要があって、性能や制御方式および回路構成などの基本的仕様を ED 75 と同一にしているが、寒冷地・塩害地方を走行するという条件のために、パンタグラフを除く 20 kV 機器類一式を屋内に収納し、これによって生ずる車体長さと重量の増大を抑制し、ED 75 と同じ車体長 13,500 mm、運転整備重量 67.2 t を厳守するというシビアな設計条件が与えられたことから、主要電機品関係は、小形・軽量化に重点をおいた設計を行なうことになり、ED 75 や従来の交流機関車に見られなかった最新の技術を導入して、これを達成したことが最大の特長としてあげられる。その他にも保守の簡易化と信頼性を高めるために、制御回路の無接点化と制御機

器の改良設計を推進しており、今後の国鉄の主力交流機関車として期待されるものになっている。

当社は、日本国有鉄道車両設計事務所に協力して、この機関車の心臓部である主変圧器・磁気増幅器・シリコン整流器をはじめ、主平滑リアクトルや無接点論理回路装置などの主要機器の設計を担当したので、これらのことからを中心にしてこの機関車の概要を述べ、ご参考に供したいと思う。

2. 特 長

(1) 制御方式と回路構成は、東北線用 ED 75 で確立された方式を採用

(a) 高粘着性能

磁気増幅器の位相制御によってノッチレス電圧制御を行なうことができ、さらに電圧変動率の小さい低インピーダンス変圧器を使用しているので、高粘着性能を得ることができる。

(b) 無電弧タップ切換方式

タップ切換器に磁気増幅器を組み合わせて制御する方式により、無負荷状態でタップ選択スイッチの開閉を行なうことができるので、接触部の消耗が少なく、保守が容易である。

(2) 東北線用 ED 75 と重連可能

青森を経由して東北線にはいることが将来予想されるので、ED 75 との重連特性を良くするために、主変圧器は ED 75 用のものと特性を合わせるように設計されている。

(3) 主要電機品の小形・軽量化

(a) 主変圧器

外鉄形フォームフィット方式の横形構造とし、上部に屋内に収納する AC 20 kV 機器を設置するためのスペースを作りだし、コイル冷却方式や絶縁構造の合理化を行ない、タンクの一部や油冷却器のアルミ化を採用して小形・軽量化を実施している。

(b) 主シリコン整流器

800 A 2,500 V の大容量平形シリコン素子を用いて使用素子数の大幅減少をはかり、ダクト送油風冷方式を採用して装置の小形・軽量化をはかっている。



図 1.1 ED 75700 形 交流機関車
Type ED 75700 AC electric locomotive.

(c) 主平滑リアクトル

コイルにはアルミ線のポリアミド絶縁（商品名ノーマックス）を使用し、電車用の単独つり構造を採用し、従来の外箱を廃止して軽量化を行なっている。

(d) 制御機器の改良

タップ切換器用無接点論理回路装置はIC化を行ない、制御回路はサイリスタ式の無接点回路にしている。また、単位スイッチはダブルコントラクト式にし、シャンク器や電磁接触器の真空スイッチ化などが採用されている。

3. 性能

この機関車はつぎの性能を有している。

(1) 客車600tをけん引し、平たん線でのつりあい速度100km/h以上

(2) 貨車1,200t（最大1,300t）をけん引して、10%こう配で起動可能

(3) 2両重連で貨車1,200t（最大1,300t）をけん引して25%こう配で起動可能

これらの条件をもとに設計された性能曲線を図3.1に、またこれから求められた線電圧20kVにおけるつりあい速度を表3.1に示す。

出発時の期待粘着係数を求めるとき、出発抵抗を8kg/tとしたとき、10%1,300tけん引の場合に約37%、同じように、25%重連1,300tけん引の場合に約35%になる。

主電動機としては、交流および直流機関車標準のMT52A形4台を使用し、主変圧器はじめ各機器の容量はつぎのように選定されたものである。

(a) 主変圧器の連続定格電流は、基本になっているED75が東北線最急こう配区間の25%，約12kmを重連で1,300tけん引して

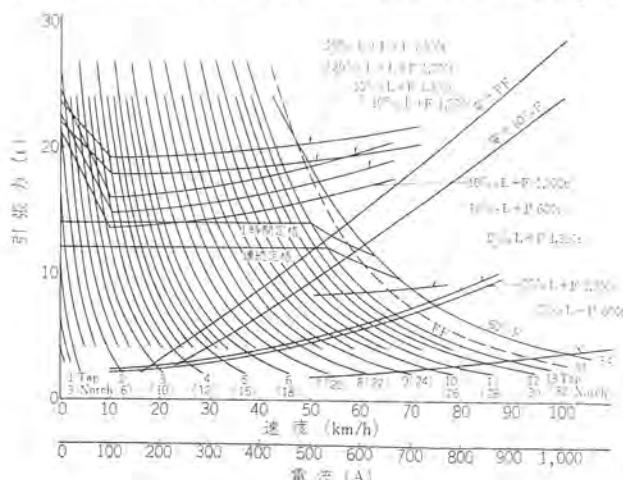


図3.1 性能曲線
Performance curves.

表3.1 つりあい速度
Balancing speed.

けん引荷重t	こう配%	ノット界磁	つりあい速度km/h	記事
貨車1,200	10	32	全界磁	46 単機
貨車1,300	10	32	全界磁	45 単機
貨車1,200	25	32	全界磁	44 2両重連
貨車1,300	25	32	全界磁	43 2両重連
客車600	0	34	60%弱界磁	101 単機

通過できるようなシビアな条件の発生するひん度を勘案して、主電動機連続定格の約86%に選定されているので、ED75700の場合もこれに合わせている。また、二次定格電圧は、主電動機の許容端子電圧いっぱいまであげて、直流無負荷電圧が約1,100Vになるよう選定されている。

(b) シリコン整流器の並列素子数は、10%こう配で、繰り返し2回起動を行なっても十分に耐えられるように選定されており、図3.2のような電流条件を満足するものになっている。

(c) 磁気増幅器は乾式風冷式で、熱時定数が主電動機にほぼ近い20~30分程度と推定されたので、連続定格電流は主電動機に合わせて2,040Aにしてある。

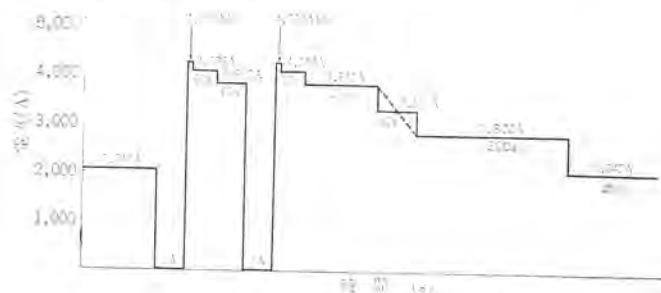


図3.2 シリコン整流器に対する電流条件
Current duty for silicon rectifier.

表3.2 主要要目 Major particulars.

機関車方式	シリコン整流器式 交流電気機関車
用途	客貨両用
運転整備重量	67.2t
軸配置	B ₀ -B ₀
機関車形状	箱形両運転台
機関車寸法(長さ×幅×高さ)	13,500×2,800×3,600 mm
ペイタ折りたたみ高さ	4,280 mm
台車中心距離	7,600 mm
連結面間長さ	14,300 mm
台車	
固定軸距離	2,500 mm
動輪径	1,120 mm (計算用 1,080 mm)
動力伝達方式	1段歯車減速 つりかけ式 弾性歯車使用
歯車比	16:71=1:4.44
モジュール	12
電気方式	単相交流 50 Hz 20 kV 變動範囲 22-16 kV (23 kVまで設計保証)
機関車性能	
1時間定格引張力	14.1t
1時間定格速度	49.1 km/h
1時間定格出力	1,900 kW
最高運転速度	100 km/h
制御方式	重連・低圧タップ無電源切換え (13タップ) タップ間自己饱和形 磁気増幅器による位相制御 制界磁2ノッチ (60% Fまで) MT52A形×4台 4極直巻補極付 他力通風形
主電動機	475 kW 900 V 570 A (脈波) TM16A形 外鉄形送油風冷式 フォームフィット 低圧13タップ
1時間定格	2,330 (冬期 2,710) kVA/2,200 kVA/130 kVA/ 380 kVA/20 kV/1,248 V/384 V/1,470 V
主変圧器	MA1B形 H種乾式風冷式 外鉄形(巻鉄心) 196×2 kVA 96 V 2,040 A (両波)
連続定格	RS44形 単相プリッジ結線および磁気増幅器組 合用 SI800平形素子 ダクト送油風冷方式 2,400 kW 1,200 V 2,000 A
低圧タップ切換器	LTC4B形 電動カム輪式 13ノッチ 2,040 A 1,250 A
連続定格	IC67形×4台 内鉄形 H種乾式 風冷式 オーブシコア形
主平滑リアクトル	10 mA (at 540 A) 540 A 1,150 V 50×2 Hz 相変換機 4極單相 50 Hz 400 V 100 kVA
連続定格	補機方式 列車暖房方式 ブレーキ装置
補機方式	補機電動機 三相カゴ形 誘導電動機 主変圧器4次巻線 380 kVA 50 Hz EL14AS 空気ブレーキおよびネジブレーキ

なお、条件(1)の高速性能を満足させるために弱め界磁ノッチ2段を設け、60%界磁まで弱めるようにしてある。

この機関車の主要要目を表3.2に示す。

4. 制御方式

4.1 主回路

この機関車の主回路つなぎを図4.1に示す。

前述のように、この機関車はノッチレス電圧制御と無電弧タップ切換えを行なっている。すなわち、主変圧器は13個のタップを有するが、主電動機に供給される電圧は連続的に変えることができ、タップ切換えのときにもSスイッチは無電弧で開閉できるようになっている。以下にこの作用の概要について述べる。

(a) 位相制御による電圧制御

主回路つなぎに示すように、主変圧器二次側タップに選択開閉器S1～S13が接続されており、このSスイッチの負荷側に自己飽和形磁気増幅器が2組接続され、さらにこの出力をシリコン整流器で整流後に主電動機負荷に供給されるようになっている。この電圧制御が磁気増幅器で連続的に行なわれるが、磁気増幅器の制御としてはいずれの場合も、下タップ側の磁気増幅器は論理回路の判断によって飽和状態になるように指令されていて、上タップ側の磁気増幅器のみが主幹制御器指令によって飽和の位相を変えられるようになっている。上タップ側の磁気増幅器の位相角を変化していけば、負荷電圧の平均値は下タップ電圧の平均電圧から、上タップ電圧の平均電圧までの範囲で連続的に変化させることができる。

したがって、磁気増幅器の定格としては負荷電流を流しうる電流

容量と、低電位側の負荷電流による電圧降下とタップ間電圧との和を吸収しうる吸収電圧容量とをもたせてある。

(b) 無電弧タップ切換え

上に述べたように、高電位側の磁気増幅器を制御して、タップ電流を任意に制御できるので、たとえば3タップと4タップに接続されている状態からタップを上側に移すときには、4タップ側磁気増幅器を飽和状態にし、補助的な役割として、3タップ側磁気増幅器を不飽和状態に制御してやれば、負荷電流は全部上側タップS4に流れるので、S3スイッチを開放しても負荷電流をしゃ断することができない。つぎに、S5スイッチを投入しても単に磁気増幅器の励磁電流数アンペアしか投入しないので、無電弧切換えができる。一方、タップを下げる場合もどうようにして、高タップ側の磁気増幅器を不飽和状態にして全部下側タップに電流を移した後、切換えを行なえばよいわけである。

4.2 制御回路

交流機関車の引張力特性を最大に生かすため、運転手の操作によって主電動機の電圧制御を行なうように制御回路が構成されている。

図4.2は、制御回路をブロック線図で示したものである。すなわち、主幹制御器MCからタップ指令と位相制御指令が発生されるようになっており、これがタップ切換器無接点制御装置に伝えられる。この指令によってタップ切換器のステップ位置が指令値と異なるときには、比較器で検出されて位相指令は開放され、タップ指令値に達するまで上昇または下降指令を論理回路へ伝える。

奇数・偶数タップの検出および上昇・下降の条件から、論理回路により前置増幅器に無電弧切換えができるように適当な信号を与え、無電弧移行条件に主磁気増幅器を制御する。一方、無電弧切換え条件

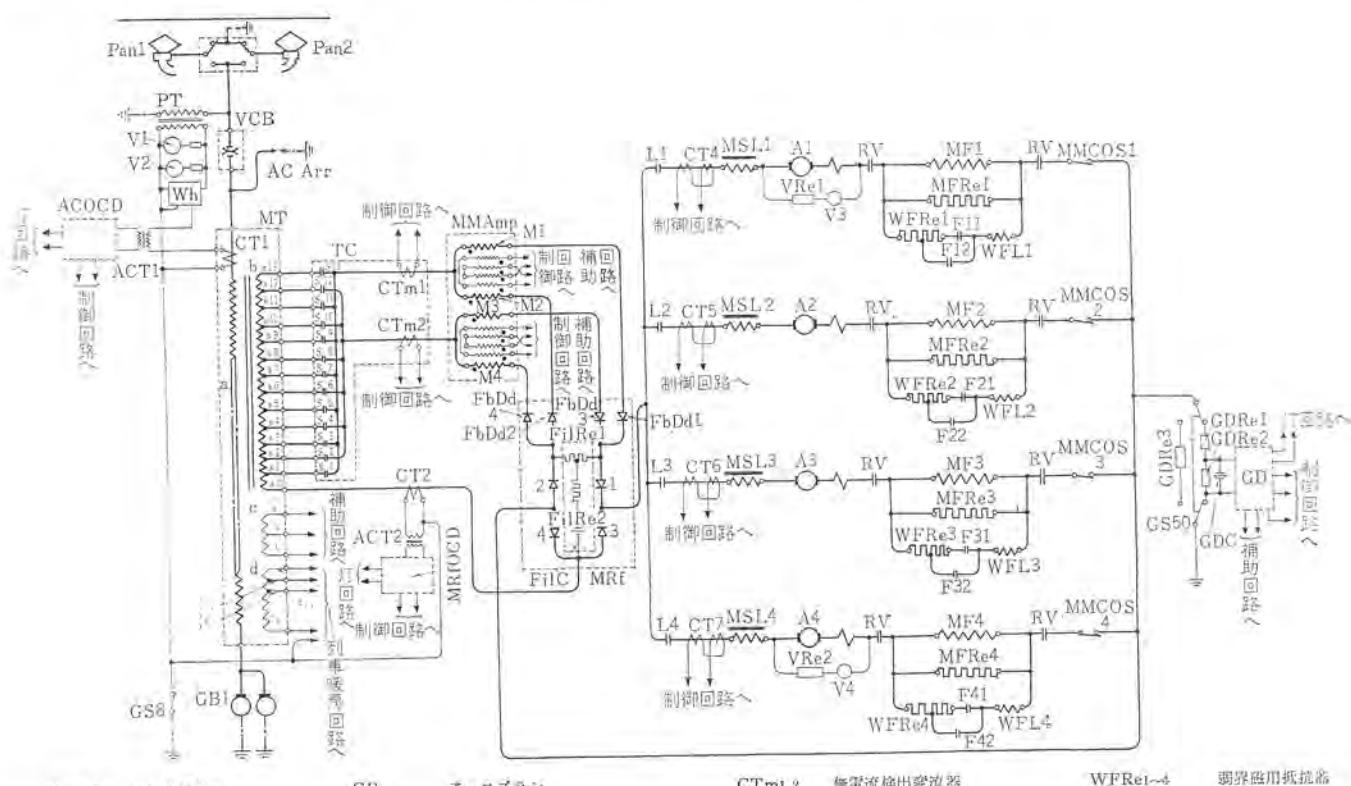




図 4.2 制御回路 ブロック線図
Control circuit block diagram.

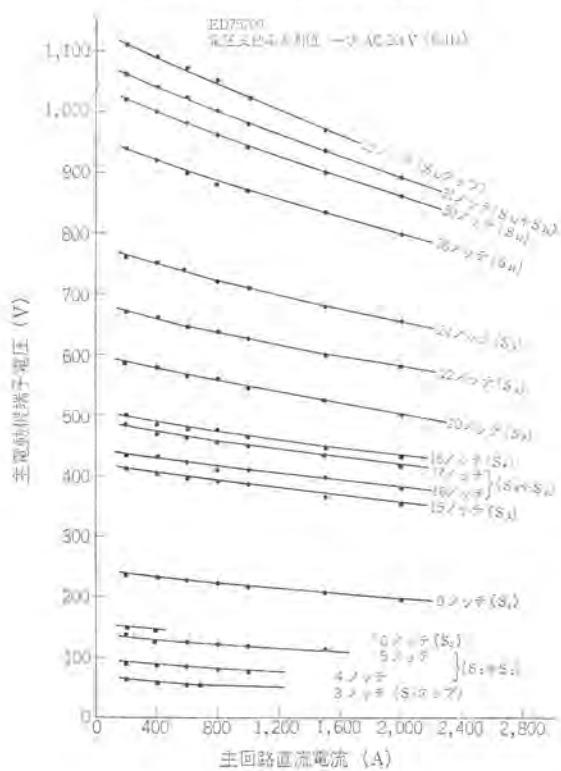


図 4.3 直流電圧—直流電流曲線
DC voltage—DC current curve.

が満されているかを検出する目的で、そう入されている無電流検出器 CTm によって無電流条件を確認後、論理回路の判断によってタップ切換器操作用無接点回路に信号を与え、タップを 1 段移行させる。

このような判断機能は、各タップ移行ごとに自動的に毎回行なわれ、指令値と一致するまでタップ移行が行なわれる。指令値に一致したことが確認された後、MC からの位相制御指令が前置増幅器に与えられ、高電位側の主磁気増幅器の位相制御が行なわれる。

MC は主ハンドル操作によって階段状の電圧制御ができるとともに、バニアハンドル操作によって連続的な指令値を与えることができるので、こう配起動のような微細電圧制御を必要とするときには連続電圧制御が可能である。位相制御を行なっている場合の負荷電流に対する電圧変動率は、図 4.3 に示すように、ほぼ平行した特性を示し、かつ主電動機電流が空転などの原因で急変したときにもこの条件が満足されるので、再粘着特性が非常に良い。

なお、この機関車は重連総括制御ができるようになっており、先頭車 MC からのタップ指令と位相制御指令とが補機に伝えられるので、上記と同じ制御が補機側でも行なわれる。

5. 主要機器

5.1 TM 16 A形主变压器

TM 16 A 形 主変圧器は、国鉄 東北本線に標準形式として量産されてきた磁気増幅器式 ED 75 形 電気機関車⁽¹⁾用 TM 11A 形主変圧器の特性に合わせるように設計された。これは、今回の ED 75700 形電気機関車が、先の ED 75 形と実際に重連運転されるためである。したがって、TM 11 A 形とどうよう、二次巻線は 13 タップ切換え方式、また無電弧 タップ切換えおよび タップ間連続制御に磁気増幅器が使用されており、変圧器の レギュレーション も極力一致させるように考慮されている。

しかし、構造面では耐寒・耐雪・耐塩対策にともない、ED 75 501⁽²⁾・ED 77 形などの最近の交流電気機関車とどうようと 20 kV 特高機器を車両屋内に設置している。この設置条件のため、TM 11 A 形とは、その外形をまったく異にせざるを得ないにもかかわらず、

表 5.1 主変圧器の仕様と諸元
Specification of main transformer and various items.

形 式	TM 16 A形, 外鉄形フォームフィット, 送油風冷式, 屋内用連続定格	
相 數, 周 波 敷	単相, 50 Hz	
容 量	一次巻線	2,330 kVA (No. 13 タップにおいて)
	二次巻線	2,200 kVA (No. 13 タップにおいて)
	三次巻線	130 kVA (補機用)
	四次巻線	380 kVA (要房用)
電 壓	一次巻線	20,000 V
	二次巻線	1,248~96 V (タップ間 96 V)
	三次巻線	384 V
	四次巻線	1,470~1,280~1,056 V
溫 度 上 界 限 度	巻線 85 deg(C) (抵抗法), 油 65 deg(C) (温度計法), 基準周囲温度 25°C, ただし, 冬季四次巻線使用時には周囲温度 10°C として各温度上界限度は, 上記値より 15 deg(C) 高いものとする	
電 動 送 風 機	MH 3045-FK 70形, 1.5 kW 400 V 三相 50 Hz, 風量 80 m ³ /min, 風圧 55 mmAq	
電動油ポンプ	MH 3053 B-OP 10 B形, 1.5 kW 400 V 三相 50 Hz, 循環油量 700 L/min, 揭程 7 m (鉛油)	
変圧器総重量	3,500 kg (実測値)	
準 妥 規 格	JRS 15302-1	

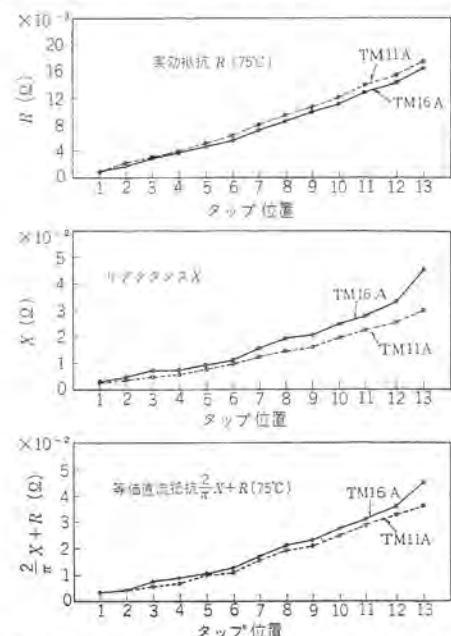


図 5.1 リアクタンス および実効抵抗 (二次側換算値)
Reactance and effective resistance with main transformer.

同一特性を要求されたという二つの面をいかに合理的に満足させるかということ、さらに機関車全体としても強く要求された重量軽減が設計のポイントになった。以下に、両者の比較をおまぜて TM 16 A 形主変圧器の特長について説明する。

表 5. 1 に主変圧器の仕様と諸元を示す。

図 5. 1 に主変圧器各タップにおける一次二次間のリアクタンス・実効抵抗(おののの実測値)を二次換算値で示す。目標にした TM 11 A 形主変圧器の場合の特性を点線で併記している。主変圧器のレギュレーションとしては、等価直流抵抗で評価すればよいが、図示のとおりに一応満足する結果が得られた。

図 5. 2 が、これらの特性を考慮して採用した巻線配置である。TM 16 A 形では、その上部に特高機器(しゃ断器・避雷器・パンタ断路器)を設置するために、とくに高さ方向の制約が大きく、同時に車幅方向の寸法制限、タップ切換器への接続を考慮して必然的に小さなコイルを多数配置する設計になった。この結果、全コイル枚数は、TM 11 A 形の 12 枚から今回の 23 枚になったが、これによる鉄心窓内導体巻積率の低下、したがって重量増の傾向は、コイル冷却方式・絶縁構造の合理化(一次コイル間の絶縁紙に薄形のものを採用するなど)によるコイル間寸法の縮小によって補ない、同時にリアクタンス

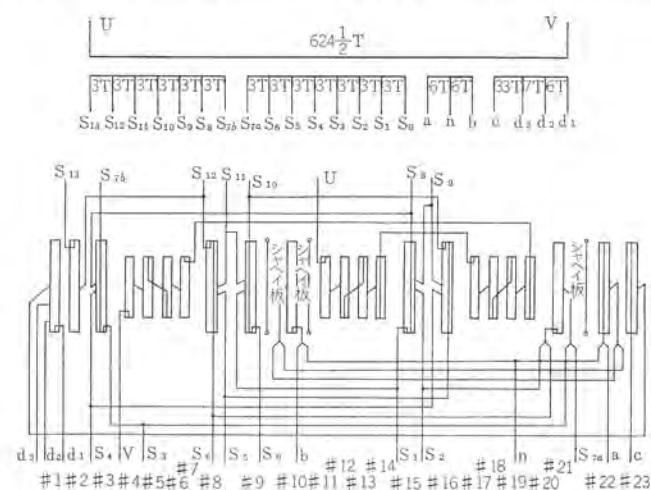


図 5.2 巻線配置
Arrangement of winding.

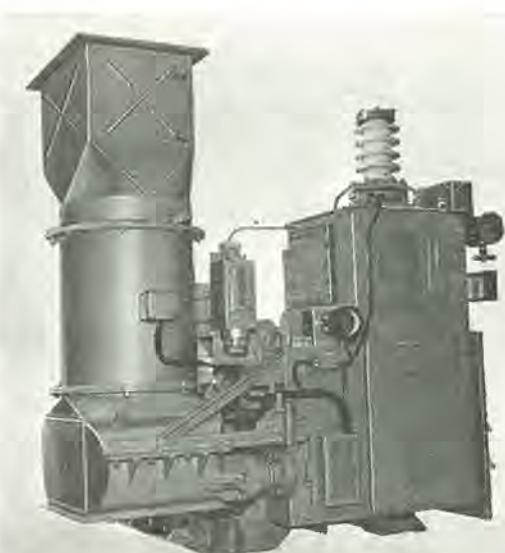


図 5.3 主変圧器外観
Exterior view of main transformer

については、一次二次巻線対向群数を 4 群から 6 群に増して、所望の特性が得られるよう考慮した。

これらの結果、図からもわかるとおり、とくに二次巻線などが従来のものと比較して相当複雑な構成になっているが、これは本質的に設計自由度の大きい外鉄形交互巻線配置の採用と、過去のデータの蓄積に加えて、最近の電子計算機による変圧器漏れリアクタンスなどの諸特性の計算精度向上の裏付けの上に可能になった。

図 5. 3 に主変圧器外観を示すが、外部構造としては、TM 11 A では 2 台の電動送風機を使用して、主磁気増幅器と共に冷却を行なっていたが、今回は特高機器の屋内設置化、主整流器の油浸形化などの変更に伴って主回路機器配置・冷却方式などが根本的に見なおされ、主変圧器は単独の送油風冷式になり、主磁気増幅器は主整流器と共に冷却されることになった。

油冷却器は、もっとも軽量・小型になるアルミコルゲートパイپ構造で製作し、床面との間から空気を上方へ吸入する室内吸式を採用した。ただし、排風については、車内負圧による機関車側面のフィルタからの雪の侵入を極力防止するため、上部排風ダクト内に切換器を設けて夏期は室外排風、冬期は室内排風に切換可能な構造になっている。さらに、日本海に面した海岸線を長距離にわたって運行する本機関車への塩害を考慮して、フィン材には亜鉛コーティングのアルミ材を使用した。これは、アルミの表面に亜鉛層を金属的に浸透させて耐食性を向上させたものである。冷却器は、主として風側の最適条件からバランス風量 $80 \text{ m}^3/\text{min}$ にしたが、電動送風機は、従来の $70 \text{ m}^3/\text{min}$ 定格のものをそのまま使用することができた。

二次側端子は、車幅方向両側に 2 分し、その間のつなぎは両側に取り出された S7 端子によって変圧器外部で接続している。二次側端子から、バー配線で変圧器上側部に取り付けられたタップ切換器にコンパクトに接続されている。

タンク関係に一部ハンドホールカバーのアルミ化を実施して軽量化に努めた。

これら種々の重量軽減策を行なった結果、各種設計条件の制約があったにもかかわらず、TM 11 A 形主変圧器総重量の $4,330 \text{ kg}$ に対して、TM 16 A 形では $3,500 \text{ kg}$ と大幅な重量減を達成することができた。

5.2 MA 1 B 形 主磁気増幅器

無電弧タップ切換およびタップ間連続制御を行なうための MA 1 B 形主磁気増幅器は、ED 75 形電気機関車用 MA 1 A 形とまったく同一制御特性が要求され、鉄心・コイルなどの磁気増幅器としての主要部分は、完全同一設計で製作されている。設計変更不要の理由としては、以上のほか、冷間圧延けい素鋼帯による当社独得の M コアの使用、H 種乾式絶縁の採用で、元来その容量に比較して小形・軽量であったこと、さらに良好で豊富な運転実績などによるものと考えられる。磁気増幅器の主要設計内容および特性については、参考文献(1)を参照されたい。

表 5. 2 に MA 1 B 形主磁気増幅器の仕様と諸元を示す。

図 5. 4 に主磁気増幅器の外観を示す。

外部構造は、主変圧器の項でも触れたとおり、全主回路機器の配置を再検討した結果、主磁気増幅器は油浸形主整流器と組み合わされ、冷却風は室内の主磁気増幅器ケース下部より吸入され、中身鉄心・コイルを冷却し、その後に主整流器の油冷却器を通って 2 台の送風機で上方へ吸い上げられる。排風は、主変圧器の場合と同様、夏期は室外に、冬期は室内に排風する切換式になり、送風機上部に

表 5.2 主磁気増幅器の仕様と諸元
Specification of main magnetic amplifier and various items.

形 式	MA 1B 形, 外鉄心(巻鉄心), 屋内用, H 種乾式風冷式(冷却風は主整流器と共に), 連続定格
相 数, 周波数	単相 50/60 Hz
容 量	196×2 kVA
電 壓	96 V
電流, 回路電圧	出力巻線 2,040 A 1,250 V 制御巻線 10 A 100 V バイアス巻線 5 A 100 V
絶縁・耐力	出力巻線 AC 4,800 V 1 min 制御巻線 AC 1,200 V 1 min バイアス巻線 AC 1,200 V 1 min
巻線温度上昇限度	18 deg(C)(抵抗法), 基準周囲温度 25°C
冷却風量	80 m³/min×2
総 重 量	1,800 kg



図 5.4 主磁気増幅器外観
Exterior view of main magnetic amplifier.

設置されるこの切換器のスペースを確保するために、MA 1B 形ではそのケース高さを MA 1A 形より 70 mm 低減させているが、試験の結果、とくに温度上昇などは従来の値とほとんど差がないことを確認している。冷却風量は、主整流器の運転条件から 80 m³/min×2 と従来より増加させている。

5.3 RS 44 主シリコン整流装置

5.3.1 概要

シリコン整流器は、小形・軽量およびメンテナンスフリー化をはかるため、平形大容量素子を用いたダクト油冷方式が採用された。以下に特長を示す。

(1) 特殊な冷却ブロックを用いた液冷式ダイオードスタックを採用したため、平形ダイオードをはじめ部品の点検・取替えが油を抜かないで簡単にできる。

(2) 上記の液冷式ダイオードスタックにより、少量の絶縁油で良好な冷却が得られる。

(3) 素子劣化検出装置は、素子および付属品の信頼性が向上したため省略した。

(4) 並列素子間の電流バランスは、セミメッシュ結線を採用したので良好な結果を得た。

(5) 冷却用送風機は、磁気増幅器と共に、さらに(機)装上磁気増幅器と結合されて装置がコンパクトになった。

5.3.2 仕様および素子

(1) 仕様

シリコン整流装置の仕様を表 5.3 に示す。

(2) 平形シリコンダイオード

素子の大容量化は、使用素子数の低減による信頼性の向上、装置の小形・軽量化等の多くの利点がある。本整流装置と同性能のス

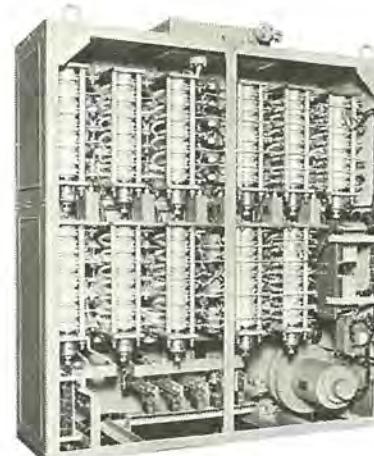


図 5.5 RS 44 シリコン整流装置外観
Silicon rectifier type RS 44.

表 5.3 シリコン整流装置仕様
Specification of silicon rectifier.

形 式	RS 44
方 式	単相ブリッジ結線、送油風冷式
定 格 出 力	2,400 kW
定 格 直 流 電 压	1,200 V
定 格 直 流 電 流	2,000 A 連続 3,600 A 10 分
定 格 周 波 数	50 Hz
素子形式	主整流器 偏 遷 用
素子構成	FD 1000 A-50 (SI 800-25) FD 1000 A-24 (SI 800-12)
主 整 流 器	制御側 3S×3P×2A (セミメッシュ接続) 反制御側 3S×4P×2A (セミメッシュ接続)
偏 遷 用	2S×3P×2A×2G (ストリッピング接続)
周 围 温 度	-20°C ~ +40°C
冷 却 油	車両変圧器用絶縁油 1 種
循 環 油 量	350 l/min (20°C)
冷 却 風 量	80 m³/min×2

表 5.4 平形シリコンダイオード特性表
Characteristics of flat packaged silicon diode.

用 途	主 整 流 器	偏 遷 用 整 流 器
形 式	FD 1000 A-50	FD 1000 A-24
国 鉄 形 式	SI 800-25	SI 800-12
平 均 頭 電 流	800 A (商用周波、正弦半波 180°, 通電 $T_f=106^\circ$)	
サ ー ジ 電 流	14,000 A (60 Hz 正弦半波 1 サイクル波高値、非繰返し)	
せん 頭 過 電 流	30 mA ($T_f=150^\circ$)	
せん 頭 過 電 压	2,500 V	1,200 V
過度せん頭過電圧	2,800 V	1,500 V
せん頭順電圧降下	1.5 V (2,500 A 波高値, $T_f=25^\circ$)	
定 常 熱 抵 抗	0.04°C/W (接合部-フイン間)	
動作接合部 温度	-40 ~ +150°C	
圧 接 力	1,500 kg	

ド形ダイオード SR 300 C-24 (国鉄形式: SI 300-12) を使用した RS 21 形と比較すると、素子数で $\frac{66}{254}$ になり、大幅に減少した。表 5.4 に今回使用した平形シリコンダイオードの主要特性を示す。

(3) 素子間電流バランスのための考慮

従来、車両用整流装置では、分圧器の簡素化を行なうためにメッシュ接続が採用されてきたが、素子順電圧降下による電流アンバランスを少なくするため、本整流装置では並列素子間を低抵抗で接続する、セミメッシュ方式が採用された。図 5.6 に 1 アームの接続図、図 5.7

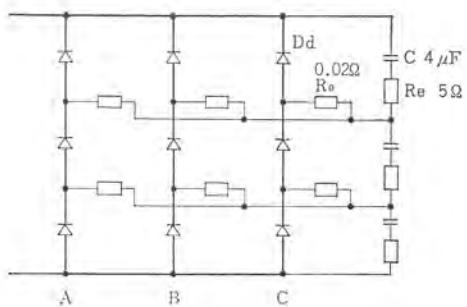


図 5.6 アーム内結線図
Connection diagram of arm.

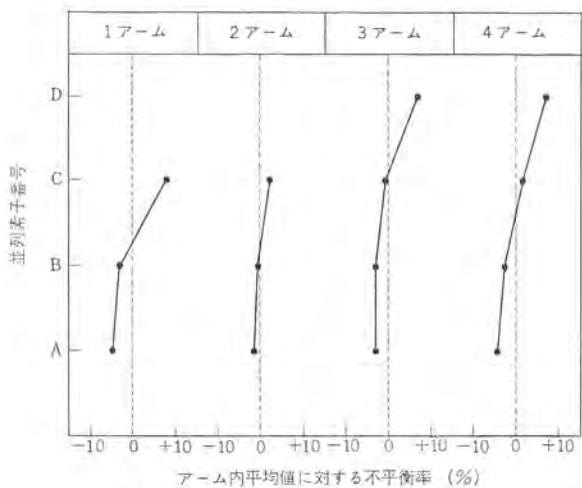


図 5.7 並列素子電流分担
Current share data.

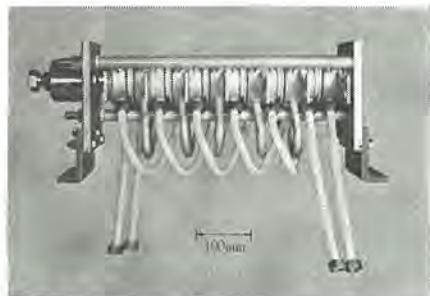


図 5.8 平形ダイオードスタック外観
Flat packaged diode stack.

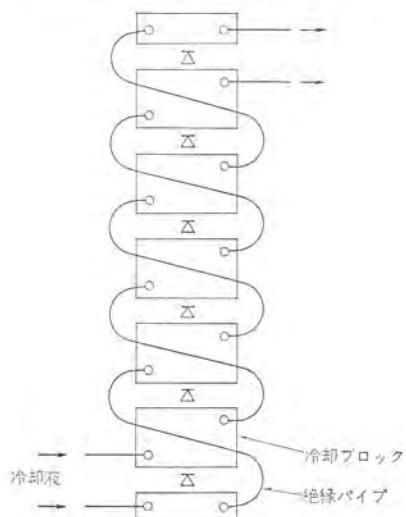


図 5.9 平形ダイオードスタック冷却系統
Cooling system of flat packaged diode stack.

に電流分担を示す。この結果、1アーム内平均値に対する不均衡率は±10%以内に収めることができた。

5.3.3 構造

整流装置は、主整流器4アーム・帰還用整流器4アーム分の液冷式ダイオードスタック、およびその付属品・導体・冷却系統部品等より構成されている。平形ダイオードスタックは、6素子で1スタックにまとめられ、主整流器用7スタック・帰還用4スタックで、上段6列・下段5列の合計11スタックがキューピクル前面に配置されている。本整流装置は、磁気増幅器と背面の中央わくでスペーサを介して連結・一体化されて組み立てられている。

冷却用送風機は、磁気増幅器と共に用して小型・軽量化をはかった。冷却風は、送風機で室内空気によって磁気増幅器を冷却し、整流装置用冷却器を通り、屋根風道を経て外部に吐出する。

5.3.4 平形ダイオードスタック

平形ダイオードは、特殊な内部構造をもつ円板形の冷却ブロックが両側にあってサンディッチされた形になり、これが順次つみ重ねられて端部に設けられた締付機構によって一括して締付けられている。

スタックの外観を図5.8に示す。スタック内の冷却液は、順次に冷却ブロック内をスパイラルな経路で通じる。冷却ブロック間は絶縁チューブで接続されている。したがって、素子は冷却液に無関係に締付機構の操作によって簡単に着脱ができる。スタック内部冷却系統を図5.9に示す。冷却系統は、1スタック2経路(3素子で1経路)で合計 $11 \times 2 = 22$ 経路が並列で、別に設けられた送油ポンプにより冷却器を通して冷却油は循環する。

5.4 タップ切換器および無接点論理回路装置

5.4.1 LTC 4 B形タップ切換器

このタップ切換器は、無電弧タップ切換え方式であるので、タップ選択開閉器は、負荷電流しゃ断能をもたないカム接触式にしている。切換え動作は、操作電動機によって主幹制御器の指令と論理回路の判断で無電流条件で行なわれるが、無電流条件においても、選択開閉器はわずかな主磁気増幅器励磁電流を投入・しゃ断するので、従来のED75のLTC3形タップ切換器には別に切換開閉器を設けていたが、このLTC4B形では切換開閉器を廃止して、選択開閉器にアーカ接点を設けて小電流の投入・しゃ断を行なわせている。

このタップ切換器は、本体の箱内に前述のタップ選択開閉器13個とカム軸や駆動装置などを収納しており、主変圧器二次端子とは銅

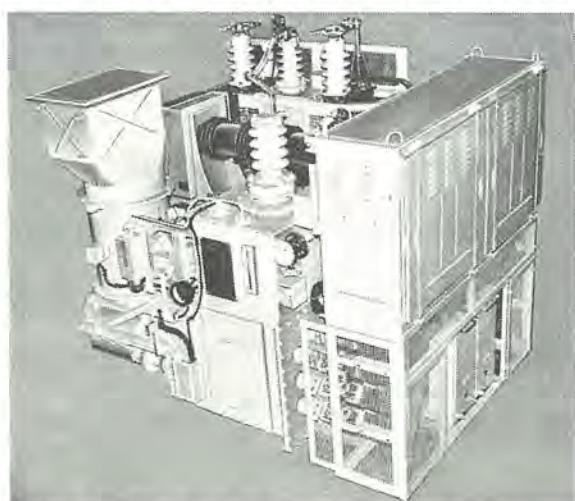


図 5.10 タップ切換器および主変圧器組立外観
Exterior view of tap changer, main transformer and high tension apparatus.

帶とコペル銅線によって接続され、主変圧器に無理な力が加わらないように考慮されている。

このタップ切換器の主な特長は次のとおりである。

(1) 通電容量は、連続定格 1,250 V 2,040 A で、短時間には、4,000 A 以上の電流を流すことができる。

(2) 切換時間は、0.7~0.9 秒/ステップである。このため、操作電動機は立上りのよい起動を行なわせるようにし、発電ブレーキで急速停止を行なっている。

(3) 操作電動機の制御回路には、RLS 3 形無接点装置を使用している。

(4) ノッチ追隨装置はリードスイッチ式である。

5.4.2 無接点論理制御装置

本装置は、主幹制御器の指令するステップに、タップ切換器のステップ位置を追従させるとともに、主磁気増幅器を制御する論理制御装置であり、4 個の標準トレイより構成され、つぎのように分納されている。

名 称	箱 数	取 納 場 所
電源および比較検出部	1	タップ切換器箱下部
無電流検出部および論理回路部(含パラタップ回路)	1	タップ切換器箱下部
主磁気増幅器用前置増幅器部	2	高圧機器わく内

制御方式は、ED 75・76 で採用した方式で十分実績もあり、目新しいものではないが、今回特に論理回路を従来の無接点リレー“サイバック”(速応性レーミ形磁気増幅器)にかえ、HTL 形 IC (High Threshold Logic 形集積回路) で構成して小形・高信頼度化を図ったものである。論理回路部の体積は約 1/10、重量は約 1/20 になっている。この IC 化論理回路のすぐ近くには AC 4,000 A 以上の大電流が流れる機会があり、その他電磁弁等サージ発生源がいたるところにあるため、種々の工場における基礎試験の結果、電源・配線・構造等に考慮が払われた。

なお、機関車は、営業運転時に制御不能故障が発生した場合、編成化された電車と異なって立往生することになり、他ダイヤへの影響が非常に大きいので、制御の中核となる論理回路の信頼度については冗長系等が検討された。その結果、論理回路方式は本機を IC 論理で、また待機予備を持つ二重系にし、待機予備には長期の不使用に対しても安定しているリレー論理にして高信頼度にこだえようとした。

つぎに、各部の機能について述べる。

(1) 電源および比較回路部

論理回路の IC・トランジスタ等の無接点装置の電源部が收められているほか、主幹制御器の指令ステップと、タップ切換器のステップ位置とを比較して、タップ切換器の進段または戻し指令を出している。比較は制御用磁気増幅器で行なっている。

(2) 無電流検出部および論理回路部

無電流検出用変成器 CTm は、タップ切換器箱内のリードに取り付けられて、その出力がこの部分に導かれ、検出用磁気増幅器で主回路電流の有無を弁別し、その信号を論理回路に与える。

一方、論理回路は IC で構成されており、無電流検出器出力、タップ切換器の奇数・偶数ステップ位置、進段・戻し指令等から、いずれの主磁気増幅器を励磁すべきか、またタップ切換器を移行させるべきかなどの論理判断を行なう。

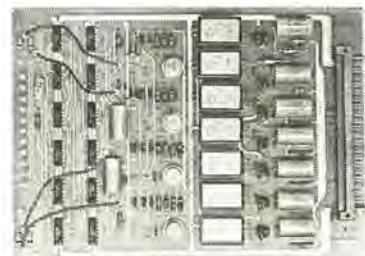


図 5.11 IC 式論理回路 カード
IC logic circuit card.



図 5.12 無電流検出論理回路 トレイ
Non-current detector logic circuit tray.

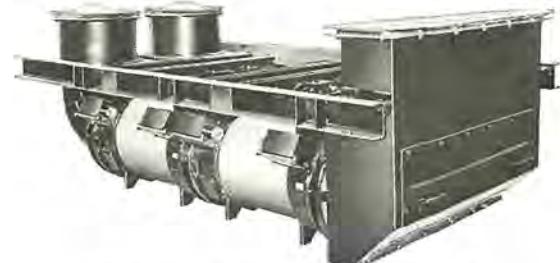


図 5.13 主平滑リアクトル 装置 外観
Exterior view of main smoothing reactor equipment.

(3) 主磁気増幅器用前置増幅器

主幹制御器からの位相指令および前記論理回路からの指令を受けて、主磁気増幅器の制御巻線を励磁する出力を発生する非直線関数発生増幅器で、非直線帰還回路をもった SCR 増幅器である。

5.5 IC 67 形主平滑リアクトル

この ED 75700 形用 IC 67 形平滑リアクトルは、オーフンコア形で、基本的な仕様は東北線用 ED 75 の IC 23 に合わせているが、軽量化のためにアルミ導線や単独つり構造などの新方式を採用している。従来の IC 23 は、外箱と送風機を含めて約 2,300 kg にもなり、ED 75 用電機品では主変圧器に次いで重量の大きいものであったが、今回の新方式の採用によって主平滑リアクトル装置は、完成重量で約 500 kg の大幅な重量軽減を達成することができた。

以下にこの IC 67 形主平滑リアクトルの特長とおもな仕様を述べる。

5.5.1 特長

(1) コイルはアルミ導線・ノックス絶縁により軽量化

従来の IC 23 のコイルは、銅線・DGC 絶縁方式で、リアクトル単体重量は 445 kg であった。これに対して IC 67 のコイルは、アルミ導線・ノックス絶縁方式で、リアクトル単体重量は 350 kg に軽量化された。

(2) 外箱を廃止し単独つり方式によって軽量化

リアクトル単体の外被を防水風導構造にし、端子箱も水密式にして

表 5.5 IC 67 形主平滑 リアクトル 要目
Major smoothing reactor.

方 式	オーブンコア形
冷却方式	乾式風冷式
定 格	連 繼
インダクタンス	10 mH (at 540 A)
電 流	540 A
回路電圧	1,150 V
周波数	50×2/60×2 Hz
脈流率	24/20 %
絶縁種別	F 級
通 風	40 m³/min
重 量	350 kg/個
使用回数(1両分)	4 回
送風機	40 m³/min, 30 mmAq, 0.75 kW 2 台



図 5.14 MT 52 A 形主電動機
Type MT 52 A traction motor.

電車用で実績のある単独つり方式を採用したので、従来の外箱は廃止され、リアクトル装置としては大幅な重量軽減になった。

(3) 脈流平滑作用は IC 23 と同じ

アルミ線を使用すると、銅線より線サイズを大きくする必要があるので、リアクトル外形寸法の制限からコイル巻数が減少することになる (IC 23 では $4 \times 9 \text{ mm}^2$ 銅線の 43×3 回巻に対して、IC 67 では $4.5 \times 11 \text{ mm}^2$ アルミ線の 39×3 回巻にしている) が、この IC 67 では鉄心のコア中央部に、IC 23 のときに設けられていた切欠きをやめるとともに、鉄心断面積を少し大きくすることで IC 23 の仕様と同じインダクタンス 10 mH (at 540 A) を満足するものとした。なお、アルミニコイルのリアクトルは、試作品として IC 23 X が東北線 ED 75 に積載されて使用実績を得ておらず、その性能に問題がないことが確認されている。

(4) その他

鉄心は、IC 23 と同じオーブンコア方式で、ED 75 と同じような配置で床下に取り付けられている。

5.5.2 おもな仕様

IC 67 形主平滑 リアクトルの主要項目を表 5.5 に示す。

5.6 主電動機

さきに述べたように、この機関車には MT 52 A 形機関車用標準形主電動機が使用されている。形式および脈流運転に対する定格は次のとおりである。

脈流および直流直巻補償付き 4 極 つりかけ式

閉鎖他力通風式 F 級絶縁

1 時間定格 (脈流) 475 kW 900 V 570 A 1,070 rpm

脈流率 24/20 % (50×2/60×2 Hz)

2 % 永久分路 風量 70 m³/min

5.7 その他の主要機器

(1) 主幹制御器

「パンタグラフ・VCB・補機起動」の指令を出す補助ハンドルと、進行

方向制御用の逆転ハンドル、および速度制御用の指令を出す主ハンドルとバニアハンドルの各操作運動機構で構成されている。

主ハンドルにはタップ指令および位相指令を発生するためのバーン発生器を備えていて、主ハンドルとバニアハンドルとは機械的に連動されているので、バニア制御は任意の操作で容易に行なうことができる。

(2) パンタグラフ

ED 75700 用パンタグラフは、耐塩害化のために舟体部分はステンレスにしており、耐寒・耐雪のためにバネとシリカ部分にはおおいが設けられている。また、このパンタグラフは空気上昇・バネ下降方式にしてあるので、パンタ上昇中にはパンタ電磁弁を常に励磁保持し、下降のときには電磁弁の励磁を切るようにする必要がある。しかし、ED 75700 と重連される東北線 ED 75 は、バネ上昇・空気下降式であるため、パンタ上昇のときには上げ電磁弁を励磁し、投入後は無励磁でパンタが上昇状態を保ち、下降のときには下げ電磁弁を加圧して下降させる方式である。したがって、このままでは同じ上昇・下降指令で両者のパンタグラフを制御できないので、ED 75700 側のパンタ制御回路に指令変換用の記憶リレー回路を設けて ED 75 と同一指令で空気上昇式パンタが制御できるようにしてある。

(3) 空転検知・自動砂まき装置

主電動機電流比較方式の空転検知・自動砂まき回路を設けてある。すなわち、この回路は主電動機過電流検出器の入力回路を利用して車輪の空転および滑走を各主電動機電流相互のアンバランスとして検出し、マグアンプとサイリスタなどで構成されている無接点式空転検知器を動作させ、砂まき電磁弁を励磁して自動砂まきを行なわせる方式を採用している。

(4) 補助回転機

補機方式は、従来の交流機関車と同様で、分相起動形相変換機によって、三相交流を得、三相誘導電動機を駆動している。

6. 保 護 方 式

主電動機の過電流は、各主電動機回路にそう入された過電流検出器によって検出され、断流器がそれぞれの回路をしゃ断する。

シリコン整流器の過電流は、シリコン整流器の交流側に設けられた過電流検出器により、主変圧器事故に対しては一次側過電流検出器により、また二次側回路の接地事故に対しては接地検出器により、いずれも一次側の VCB をトリップさせる。

補機回路は抵抗接地してあり、接地事故が発生すればネオンランプが表示する。相変換機の起動制御は、無接点論理回路により、約 10 秒以内に起動を完了しない場合には VCB をトリップさせる。

なお、過電流検出器は CT により、また接地検出器は内蔵マグアンプによって、それぞれ高圧回路から絶縁されている。

7. 機器配置・ぎ装

この機関車の基本的な車体構造は、ED 75 に合わせてあるが、前述のように、主要電機品に大幅な形状変更が行なわれたので、機器配置もこれに伴って変更され、主回路配線の順に主要電機器が配置されるように合理的にぎ装設計がなされている。この機関車の外形と機器配置とを図 7.1 に示す。

8. む す び

以上で ED 75700 形の特長・性能・電機品について概要を述べた

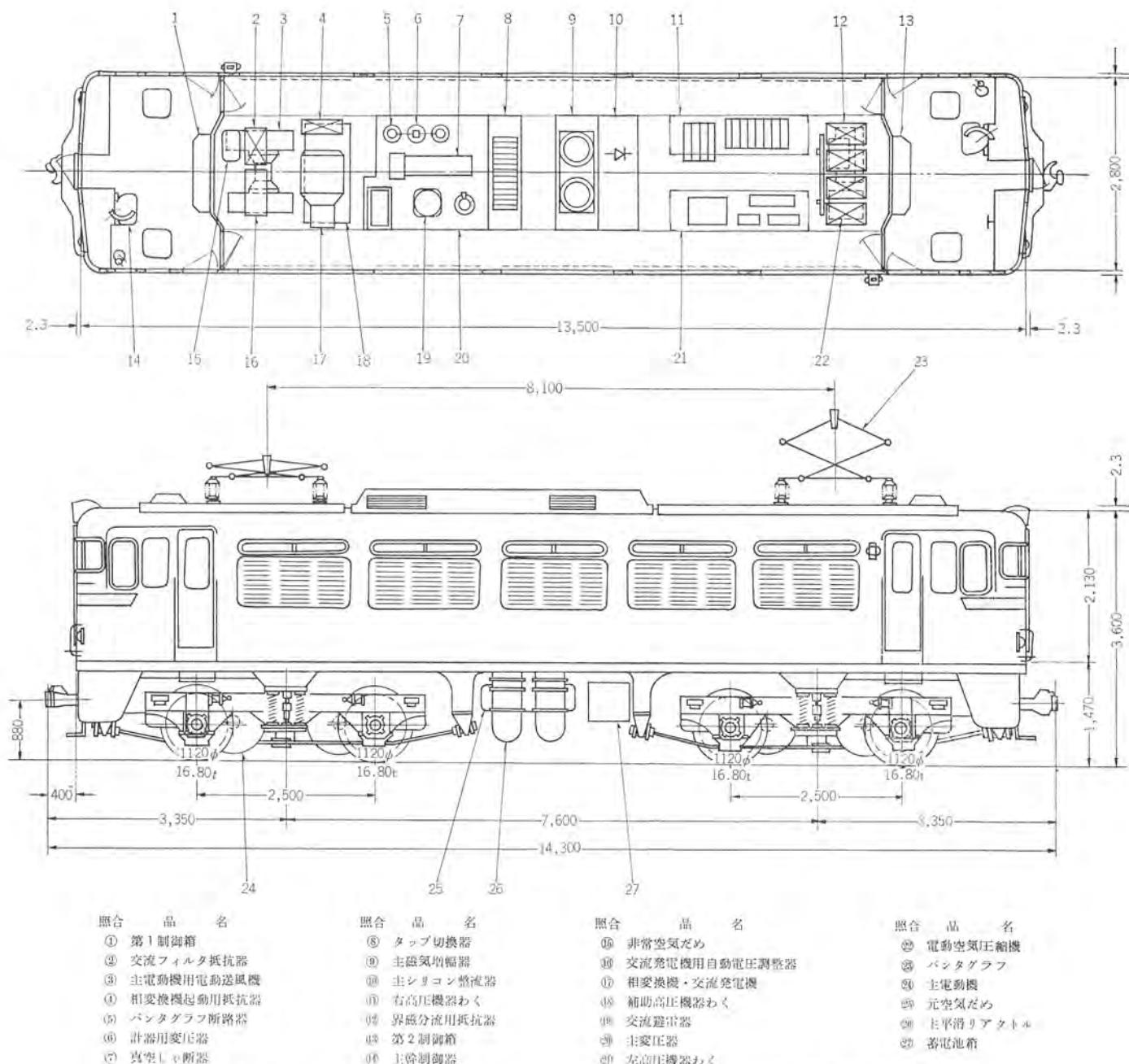


図 7.1 外形寸法と機器配置

Outline dimensions and internal arrangement.

が、このように本機関車の設計に当たっては車体長と重量とを従来どおりに抑えながら、AC 20 kV 機器を屋内に収納しなければならないというシビアな設計条件が最大の問題であったにもかかわらず、日本国有鉄道 車両設計事務所と協同のもとに、従来の機器方式にとらわれない最新の技術を駆使して各機器を解決できることを関係者一同喜んでいる。

この機関車の第一次車 34 両は無事に営業運転にはいっており、引き続いだ青森一新潟間の全線開通用として第二次車の製作に着手

されつつあり、今後の量産が期待されている。

最後に、この機関車の設計・製作に当たってご指導をいただいた日本国有鉄道各位、ならびにご協力をいただいた三菱重工(株)三原製作所関係各位に対して深く謝意を表してむすびとする。

参考文献

- (1) 白庄司、鶴田：三菱電機技報、38, No. 5 (昭39)
- (2) 三橋、矢野、芦谷、黒田：三菱電機技報、41, No. 2(昭42)

三菱電力用ポリプロピレンフィルムコンデンサ

神谷 友清*・鶴田 敬二*・小角 国夫*
八木谷孝之**・走出 忠昭**

Mitsubishi Polypropylene Film Capacitors

Mitsubishi Electric Corp., Itami Works
Shizuki Electric Mfg. Co., Ltd.

Tomokiyo KAMIYA・Keiji Tsuruta・Kunio KOSUMI
Takayuki YAGITANI・Tadaaki HASHIRIDE

Noninflammable oil filled capacitors using polypropylene films are produced by Mitsubishi for used to improve power factor. This article describes technical problems in manufacturing as well as the materials constructing them. Outstanding features are the high reliability promised compared with conventional paper capacitors because of the possibility of preliminary withstand voltage tests before the impregnation of the oil, the capacitance within operating temperature being nearly constant and the corona starting voltage rises through aging treatment. Mention is also made interesting character peculiar to the film capacitor such as the behavior of $\tan \delta$. Particularly, in the paragraph of overload characteristic, specifical phenomena of thyristor switch to be used for limitation of voltage flicker are taken up in experiments and film capacitors are proved the most suitable for them.

1. まえがき

電力用コンデンサ小形化の歴史は、油浸複合誘電体改良の歴史でもある。絶縁紙の改良、油処理技術の向上、真空技術の発達などによって小形軽量化が進められてきた。

不燃性油の採用は、高誘電率・高耐圧・機器の不燃化の点で画期的なものであったが、このたびの合成フィルムの採用はこれに匹敵するに十分な歴史的変化であるといえる。すなわち、昭和40年ころに不燃油含浸紙コンデンサにおいて電位傾度は15~18 kV/mmにまで至ったが、紙コンデンサでこれ以上に改良することはその努力の割に効果が上がらず、もはや行きつく所までいきついた感があった。

一方、近年における高分子化学の急速な発展は、電力用コンデンサに可能性のある幾つかの誘電材料を提供してくれた。たとえば、ポリエチレン・ふっ化エチレン・ポリエチレン・ポリプロピレンなどであるが、 $\tan \delta$ ・耐電圧・含浸剤による溶解性・誘電率等の温度・電圧・時間特性、さらに経済性などの電力用コンデンサに最適な条件を考慮したとき、特殊なポリプロピレンを除いてほとんどのものは、大なり小なり短所を有している。

ポリプロピレンフィルムを主誘電体に使用した不燃性油入コンデンサは、米国において昭和42年ころに開発された。フィルムは均質・均厚なものができ、5~30 μ の厚さも得られる。いかに高純度なパルプを用いて高度な処理を施した絶縁紙といえども、導電性微粒子の皆無を図り得ない点、まったくそういった有害な成分を含まないフィルムは、コンデンサの場合に有利であり、信頼度を高めることにもなった。

また、フィルム自体の絶縁強度は油浸紙の約8倍、不燃油の約16倍であり、比誘電率はそれぞれの1/2.5程度であるので、コンデンサを形成したときの電位分担は、絶縁強度の高いフィルムがほとんどを受け持つ結果になっている。フィルムの比誘電率が油浸紙に比べて小さいことよりも、絶縁強度が高いために電位傾度を高くし得たことの度合いのほうが大きく、さらに低損失であることとあいまってこれが小形化の最大要因になっている。比重は紙と同等であるため、小形化に比例して軽量化されている。

当社は、技術提携先である米国ウェスチングハウス社の最新の技術を

習得し、基礎実験の繰返しの後に昭和43年春に試作品を完成、製造設備を整えて同年秋から販売を開始し、約2年半の間に700 MVAを出荷、需要家各位の好評を得ている。

本報告では、従来の油浸紙コンデンサと比較した当社のフィルムコンデンサの特長について簡単に触れた後、フィルムコンデンサ固有の技術的問題についての最近の研究成果を紹介する。

2. 三菱フィルムコンデンサの特長

(1) 電力損失が小さい

図2.1は代表的な製品の損失-温度特性であるが、従来の不燃性油入紙コンデンサの電力損失がほぼ2 W/kVAであるのに比べて、フィルムコンデンサでは1 W/kVAよりも少なく、半分以下になっている。この低減された損失分による電力料金の軽減度は大きい。

(2) 小形・軽量である

耐電圧の高いフィルムの採用により、従来の不燃性油入紙コンデンサと比べて容積で60%前後と小形になっており、窮屈な場所にも設置可能である。図2.2に大きさを比較した写真を示す。また、重量も比例して軽減されているために運搬・据付工事に有利である。図2.3は、14.8 kV 3相 50 Hz 26,460 kVA 定格のコンデンサであるが、人物と比較するとその小形さがよくわかる。

(3) 温度上昇が小さい

低損失であるため、発生熱量が少なくて温度上昇が小さい。この

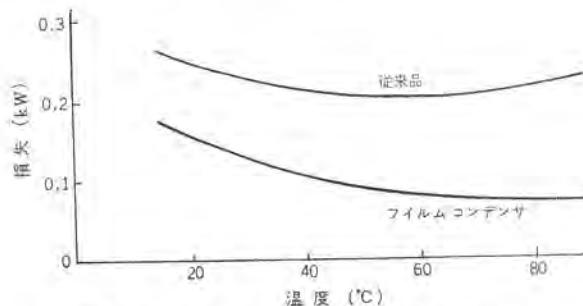


図2.1 損失-温度特性図 (100 kVA 当り)
Loss vs. temperature (at 100 kVar capacitor).

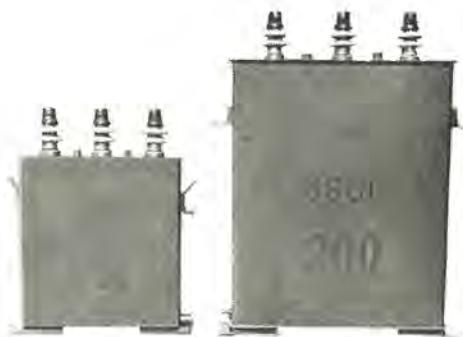


図 2.2 フィルムコンデンサ(左)と従来品(右)の比較
Film capacitor (left) and conventional capacitor (right)



図 2.3 フィルムコンデンサ 14.8 kV 三相 50 Hz 26460 kVar.
Film capacitors 14.8 kV 3 phase 50 Hz 26460 kVar rated.

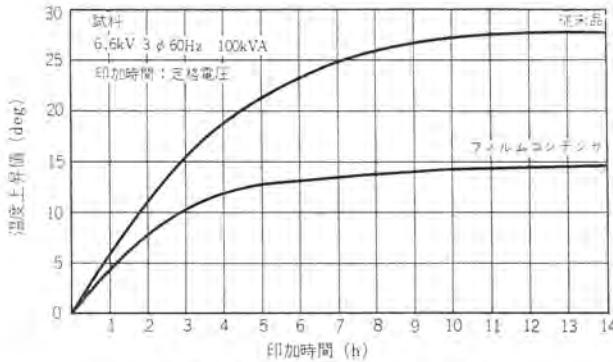


図 2.4 溫度上昇特性図
Characteristic curves of temperature rise.

ため電気室の換気冷却などの設備費が軽減でき、キューピクル収納用・地下用・ビル用などにも適している。図 2.4 に温度上昇特性図を示す。

(4) 信頼度が高い

電気的・化学的にすぐれたフィルムの使用によって長期運転における信頼性が高まり、また後述の過電圧特性にすぐれているので過負荷耐量も大となっている。

(5) 温度特性がすぐれている

図 5.1 に示すように、-35°C から +100°C 近くまでの広範囲な温度領域で静電容量の変化が少なく、国内はもちろん、ほとんどの国で使用可能である。

(6) 不燃性である

不燃性油を使用しているので、万一、雷や不慮の事故などで火花

・その他で油が分解しても不燃性ガスを発生するのみで、燃焼のおそれがあまりなく安全である。

(7) 保守・点検が容易である

特に考慮を払った設計により、ほとんど無保守・無点検で運転できる。

3. フィルムコンデンサ固有の技術問題

3.1 絶縁油の含浸性

比較的高い交流の電位傾度のもとで使用されるコンデンサの誘電体においては、誘電体の中に絶縁油が未含浸の空き隙(ボイド)を残すと、その付近に部分放電を発生して、その際に生ずる放電熱や高エネルギー線のために誘電体が急速に劣化して絶縁破壊に至る経路は、よく知られた絶縁劣化現象である。

普通の紙コンデンサにおいては、電極はく(箔)の間にコンデンサ薄紙またはクラフト紙を数枚重ね合わせて誘電体を構成し、真空加熱乾燥によって十分に脱気・脱水したのち、絶縁油を真空含浸することで油浸紙中に残留するボイドを完全に除去することは比較的容易である。それは、コンデンサ薄紙またはクラフト紙が透気性を有し、絶縁油に対する浸透性がよいことのためである。

コンデンサの誘電体として使用できるプラスチックフィルムとしては、種々のものがその可能性を持っているが、どのフィルムの場合でも透気性と絶縁油に対する浸透性の点では、コンデンサ薄紙またはクラフト紙と比べて極端に悪く、コンデンサの製造技術の観点に立てば、これらの性能は皆無に等しい。したがって、フィルム自体の電気特性がコンデンサの誘電体としていかに適するようにみえても、フィルムのみで商用周波領域の交流用のコンデンサを経済的に作ることは困難なことになる。近時、プラスチックを繊維状にして紙と同じように抄造し、適当なバインダや熱融着で薄紙状にして透気性を持たせた薄葉絶縁物の開発も進んでいるが、価格と厚さの点からコンデンサの誘電体として使用できる域に達していない。

プラスチックフィルムの透気性と、油への浸透性の悪い点を補ってプラスチックフィルムをして、ボイドを完全に除去したコンデンサの誘電体として使用する方法として、フィルムとコンデンサ紙を組み合わせてコンデンサ紙に絶縁油の浸透経路の役目を持たせる方法が行なわれている。フィルムとコンデンサ紙との組み合わせにはいろいろの方法が用いられるが、三菱フィルムコンデンサでは、図 3.1 に示すように、2枚のフィルムの間にコンデンサ紙をはさんだサンドイッチ層が採用されている。フィルムと電極はく(箔)との接合面への絶縁油の浸透は、図 3.1 の矢印(→)で示すように、接合面の細い隙(ボイド)を面と平行に浸透するものと、コンデンサ紙を通して浸入した油がフィルム面と直角方向にフィルムを貫通して行なわれるものがある。接合面のボイドを完全に除去するためには、後者のフィルム面に直角に貫通して浸透する経路が特に重要な意義を持つ。

完全なフィルムコンデンサの製作のためには、選定された絶縁油とプラスチックフィルムが、定められた処理条件下において許容できる時限

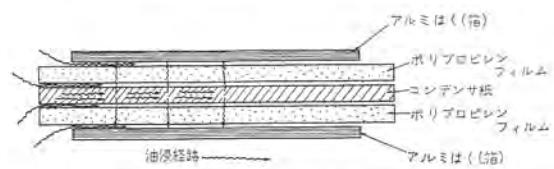


図 3.1 フィルムコンデンサ構造図
Construction of film capacitor.

内に、フィルム自体を損傷することなくフィルム貫通方向の絶縁油浸透を行なわせることが必須条件になる。

3.2 フィルムの電力配分

2枚のフィルムの間にコンデンサ薄紙をはさんだサンドイッチ層を誘電体とするコンデンサでは、油浸紙がフィルムと同じように誘電作用を営むことは避けがたい。電極間におけるこれらの誘電層は、直列誘電回路を形成し、交流電界のもとではおののの誘電体の電力密度はそれぞれの比誘電率に反比例して配分される。サンドイッチ層を等価的な複層誘電層としてフィルム層と油浸紙層に分けて考える。(図3.2) 誘電体全体の電力を P_0 とし、フィルム層の電力を P_f とすると、 P_f は次式で示される。

etc etc

ε_i : 油浸紙の比誘電率

ϵ_f ：フィルムの比誘電率

t_1 : 油浸紙の厚さ

t_f : フィルム 全体の厚さ

$$p: \text{パーセントフィルム} \left(\frac{t_f}{t_f + t_i} \right)$$

$$\alpha \approx \varepsilon_f/\varepsilon_i$$

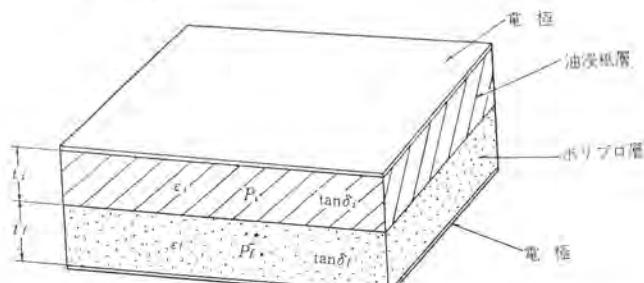


図 3.2 複層誘電体層 Compound dielectric layer.

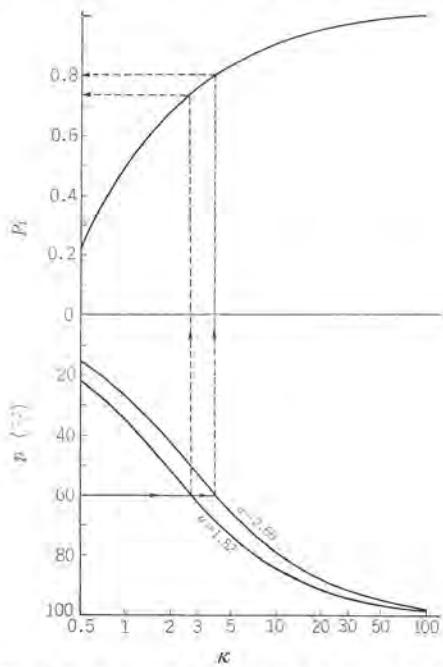


図 3.3 フィルムの電力配分と φ との関係曲線
Power distribution of films vs. factor p .

一般的に、交流回路に使用されるフィルムコンデンサにおいては、 P_f を大きくすることで性能の改善や小形・軽量化が達せられる。そのためには式(3.1)の κ を大きくすること、すなわち式(3.2)の α または ρ を大きくすることで達せられる。 κ は、誘電体中のフィルム含有分であり、これをあまり大きくすると絶縁油の含浸性をそこなう制限要因が働く。したがって、ある ρ の範囲において $\varepsilon_t/\varepsilon_s$ すなわち α を大きくしなければならない。そのためには、油浸紙の ε_t を大きくすること、すなわち高い比誘電率の油を用い、他方において低い比誘電率のフィルムを用いることが要求される。このような条件に適合する組み合わせとして、三菱フィルムコンデンサには、ポリプロピレンフィルム・低密度コンデンサ紙・三塩化ジフェニール油が用いられて効果をあげている。

上述の説明をより明らかにするため、図3.3にフィルム中の電力配分 P_f とパーセントフィルム ρ の関係を含浸剤として三塩化ジフェニールと鉱物油の場合について関係曲線を示す。図において $\alpha=2.66$ が三塩化ジフェニールに、 $\alpha=1.82$ がコンデンサ油に相当する。パーセントフィルムが60の場合の含浸油の相違によるフィルム中の電力配分 P_f は、それぞれ0.8および0.73となり、三塩化ジフェニールのほうが P_f が大きく、その差に相当するだけコンデンサの運転性能を良くすることができ、誘電体自体のコストを低減することもできる。

3.3 電極はく(箔) 縁端の電界集中の緩和

フィルムコンデンサの含浸油として比誘電率の比較的大きい油を選ぶことは、フィルム中の電力配分を大きくできるメリットのほかに、電界集中の大きい電極はく(箔)終端部の電界を緩和させてコロナ開始電圧を上昇させる効果は重要である。フィルムコンデンサの過電圧耐用性については別の章で詳述することとし、ここでは簡単に触れておく。

フィルムコンデンサは、紙コンデンサと比べて電極間の平均電位傾度が倍以上に高く設計されるため、電極はく縁端の油層の電位傾度もそれだけ大きくなる。油層の電位傾度には、油浸紙の場合と異なり、油の比誘電率が直接影響する。油の比誘電率が5に近い三塩化ジフェニールの場合と、2に近い鉱物油の場合とでは、鉱物油のほうが油層の電位傾度は倍以上になる。現実には縁端効果と、油自身の電気特性の相違のためにこの割合でコロイド開始電圧が相違してくることはならない。

この相違を示す実例として、同じフィルムと紙との構成の試験用コンデンサに三塩化ジフェニルと鉱物油を含浸させ、室温中で1.5倍の定格電圧を印加してコロナ開始電圧の変化を求めるものを図3.4に

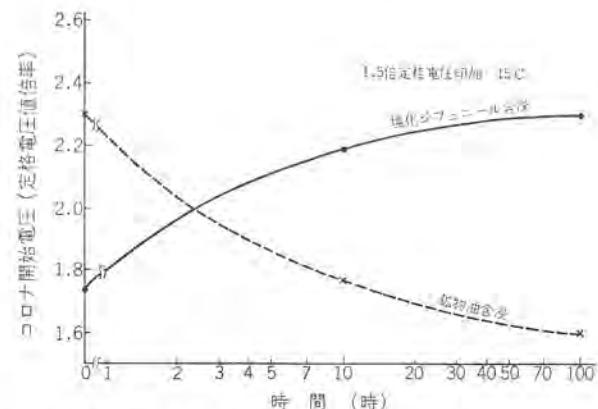


図 3.4 含浸剤別の CSV の時間変化曲線
CSV vs. time with variant impregnating materials.

示す。三塩化ジフェニール含浸のほうは、初期においては低いが、時間の経過とともに上昇して100時間くらいで飽和値に達する。

他方、鉱物油含浸のほうは、初期には定格電圧値の2.3倍あったものが100時間後には1.6倍までに低下する。最終的には三塩化ジフェニールのほうが鉱物油と比較して1.4倍も高い値を示す結果を得た。

フィルムコンデンサは、電極端においてあるレベル以上の部分放電を発生すると、その部分の劣化が急速に進行して絶縁破壊につながる度合は紙コンデンサと比べて強い。このような意味からも含浸油の比誘電率の大きいことが強く望まれるわけである。

4. ユニットコンデンサ

三菱フィルムコンデンサについてコンデンサを実際に製作する面から、使用する主材料の選定・構造・製造条件などの順序で概説することにする。

4.1 主材料の選定

フィルムコンデンサの主体をなす誘電体材料について説明を加える。その他の諸材料については、従前の紙コンデンサと本質的に変わりない。

4.1.1 ポリプロピレンフィルム

フィルムコンデンサにおいては、ポリプロピレンフィルムが誘電体の主役を果しているのであるから、その選定に厳密さが要求されることはない。

コンデンサ用のポリプロピレンフィルムは、ポリプロ樹脂をダイから射出した後、2方向に延伸したいわゆる2軸延伸フィルムが使用される。この延伸によって電気性能中の耐電圧が改善される。延伸方法には二つの方法が採用され、米国ではチュークラ法によるもの、日本ではテンタ法によるものが用いられている。チュークラ法によるものは、縦方向と横方向の伸び強度の差が少ないので対し、テンタ法によるものはその差が大きい。フィルム厚の均一性の点ではテンタ法のほうがすぐれている。延伸方法の差は、電気性能にあまり影響するものではなく、むしろ延伸作業中にフィルム中に不純物が付着する機会が少ないとこのほうが重要と思われる。

フィルムの性質として重要視されるもの一つは、ポリプロ樹脂の分子構造的な組成を示すアイソタクチック含有分がある。この含有分が多いほど樹脂の結晶化成分が多く、三塩化ジフェニールに対する溶解性が少ない。三塩化ジフェニールに対する溶解は、フィルム中の非結晶部分の溶出がおもなもので、この溶出が含浸剤のフィルム膜の直角方向への浸透に寄与するところが大きい。したがって、ある程度の溶解性のあるフィルムが、コンデンサの誘電体材料として適すると言える。表4.1に現在コンデンサ用として使用されているポリプロピレンフィルムの特性を示す。

ポリプロピレンフィルム中の不純物やウイークポイントを検出する適当な方法は、現在確立していないが、フィルムの場合は紙コンデンサと違つて都合のよいことには、フィルムのみでコンデンサ素子を巻き取り、適当に圧縮して未含浸のままで直流電圧破壊試験を行ない、その結果が間接的に不純物の多少を示すことである。図4.1は10μ厚のフィルム2枚重ねで巻き取ったコンデンサ素子(対極面積2m²)100個の直流電圧での破壊分布を極少値グラフに記入したもので、図中の二つの回帰直線は、それぞれ改良前(2)と改良後(1)とを示すものである。

表4.1 ポリプロピレンフィルム特性比較表
Characteristic comparison of various polypropylene films.

項目	フィルム	米国H社	米国D社	国産1	国産2
比重		0.903	0.902	0.903	0.903
熱収縮性 110°C	縦	2.29%	6.58%	8.43%	7.60%
	横	0.99%	7.73%	5.64%	1.24%
120°C	縦	11.39%	10.35%	16.58%	9.37%
	横	17.80%	20.26%	19.58%	13.27%
三塩化溶解性	120°C	2.92%	1.58%	2.29%	2.53%
灰分		20PPM	30PPM	560PPM	5,300PPM
アイソタクチック含有率		96.7%	95.8%	96.2%	96.0%

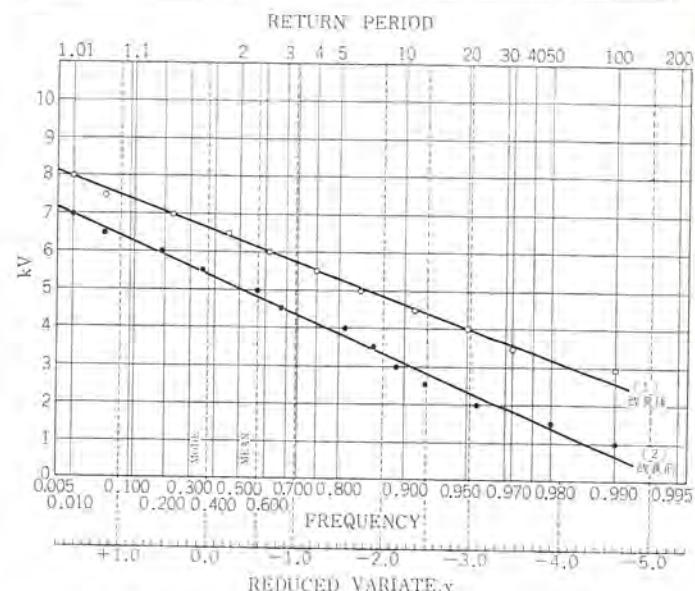


図4.1 フィルムコンデンサの直流電圧破壊分布特性比較
Distribution of DC breakdown voltage for film capacitors.

4.1.2 コンデンサ紙

フィルムの間にはさまれるコンデンサ紙は、含浸油の浸透材としての性能が要求される。フィルムの運転時の電位傾度が40~45kV/mmであるのに対し、油浸紙のほうは15~18kV/mmの割合で、電圧負担も少ない。

フィルムコンデンサのtanδは、油浸紙のtanδに依存するところが大きいから、フィルムコンデンサのtanδの改善にはコンデンサ紙の低損失が強く要求される。紙コンデンサの場合には高負荷時のコンデンサ内部の熱平衡点を高温に移動させるため、100°C以上におけるコンデンサ紙のtanδを低くすることに主力が注がれていたが、フィルムの浸透材としては100°C以下の低損失がより重要になる。

浸透機能と低損失特性を付与するためには、明らかに低密度紙であることが有利であるが、三塩化ジフェニール中にポリプロピレン樹脂の非結晶部分が溶出して油中のイオン濃度が高くなった場合、電界中のイオンの移動を抑制するためにコンデンサ紙の高気密度を保持する必要がある。したがって、低密度・高気密度の低損失紙(85°C)が適する紙質と考えられる。

4.1.3 含浸油

3.2節および2.3節で述べたように、フィルムコンデンサの含浸油の比誘電率が高いほど、フィルム中の電力配分を大きくすること、電極端付近の油中の電位傾度を緩和することのため、フィルムコンデンサの電気的性能が向上する。ただし、油の耐電圧や固有抵抗も含浸油として他の重要な特性因子であることは言うまでもない。三菱

フィルムコンデンサでは、現在三塩化ジフェニールが用いられている。含浸油の物性として忘れてならぬ重要要素は、含浸の適正温度において低粘度であることで、フィルムコンデンサの含浸油として現在の三塩化ジフェニールよりさらに好適な油の出現が望まれる。

4.2 構 造

フィルムコンデンサの内部構造は、従前の紙コンデンサの一部がポリプロピレンフィルムに代わったものであるから、紙コンデンサの構造と比べて基本的に違はない。

フィルム化によって誘電体の体積当りの平均電力密度が上がり、誘電体の正味体積は紙コンデンサの場合の 50% 程度になる。電極間の正味の誘電体の体積をフィルム・紙についてそれぞれ V_f ・ V_t とするとき、三塩化ジフェニール含浸の場合の両者の比は式 (4.1) で示される。

ただし、 ϕ は パーセントフィルム で、 $\alpha = 2.66$ とする。

図 4.2 に ρ と V_f の関係曲線を示す。

通常のフィルムコンデンサでは、 ϵ が50~70%くらいに取られるため、正味の誘電体容積は $50 \pm 5\%$ 程度になるが、アルミはく、電極マージン部の誘電体の容積が素体容積に加わり、さらに素体を収納する際のケースのデッドスペースの関係で、コンデンサとしての製品の容積は通常60~70%になる。

コンデンサ 運転中に含浸油が ケース 溶接部・がい(碍)子のはんだ付け部から漏油することは、コンデンサの性能を劣化させる主要因になる。フィルムコンデンサにおいては、ケースの溶接を自動化することによって溶接条件を均一化でき、漏油に対する信頼性を格段に改善することができた。(図4.3参照)

4.3 製造条件

フィルムコンデンサの製造の手順は、図4.4のプロセスチャートに見られるように、紙コンデンサの手順と相似している。詳細に立入ると、細かい相違点があり、そのおもな相違点を中心述べる。

4.3.1 素子券取り

数枚の薄葉誘電体とアルミはくとを重ね合わせて巻き取る素子巻取りは、作業面からみれば紙コンデンサの場合となんら変わることはない。ポリプロピレンフィルムは、コンデンサ紙と比べてスクラッチ損傷を受けやすく、フィルム面の損傷は製品の耐電圧を悪くする。スクラッチ傷は、素子の巻取り作業中に受けるもので、フィルムとローラ面との接触には特別の考慮が払われている。

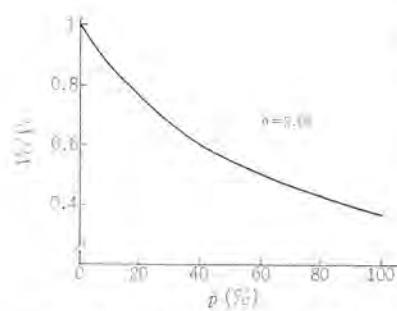


図 4.2 p と素体の体積比関係曲線
Factor p vs. volume ratio of capacitors.



図 4.3 自動 ケース 溶接機
Automatic casing welder.

4.3.2 素子の予備耐圧試験

フィルムコンデンサの素子は、巻き取られたままの未含浸の状態でも十分な耐電圧を有する。したがって、紙コンデンサと違って予備耐圧試験の効果はきわめて大きい。素子は、一定の圧縮条件下で一定レベルの直流電圧を印加してフィルム中に弱点を含む素子を除去し、一定レベルの耐電圧を有するものにそろえられる。この操作がフィルムコンデンサの耐電圧信頼度を向上させる寄与度は高い。

4.3.3 乾燥含浸處理

紙コンデンサにおいては、紙の中の残留水分を完全に除去し、含浸油の溶融ガスを除去して含浸を行なうことが、コンデンサ製作上の急所とされている。フィルムコンデンサにおいても、フィルム中にコンデンサ紙を含んでいるので、その点はまったく変わりがない。

紙 コンデンサ では紙自体が気体を透過しやすく、含浸油の浸透性がよいため、含浸に対して特別な技術的困難はない。フィルム コンデンサではフィルム相互の接合面はないが、アルミはくとフィルムとの接合面があり、この面に完全に絶縁油を浸透させることができて困難になる。この点については、すでに 3.1 節で触ってきたが、完全な含浸を工業的に採算の合う条件で行なうことが、フィルム コンデンサの製造技術そのものであると言つて過言ではない。

その要点は、含浸前の到達真密度を高い真密度まで到達させ、含浸行程に移る前に未含浸コンデンサの素子内部までを所定の温度に均一化した後に含浸に移る。含浸時にも所定の温度に所定時間保持して絶縁油がフィルムの分子格子を通してフィルム面に直角方向に浸透させるのである。これらの諸条件は、装置それぞれに対して固有の条件を定めるものであり、紙コンデンサの場合の乾燥・含浸の条件と

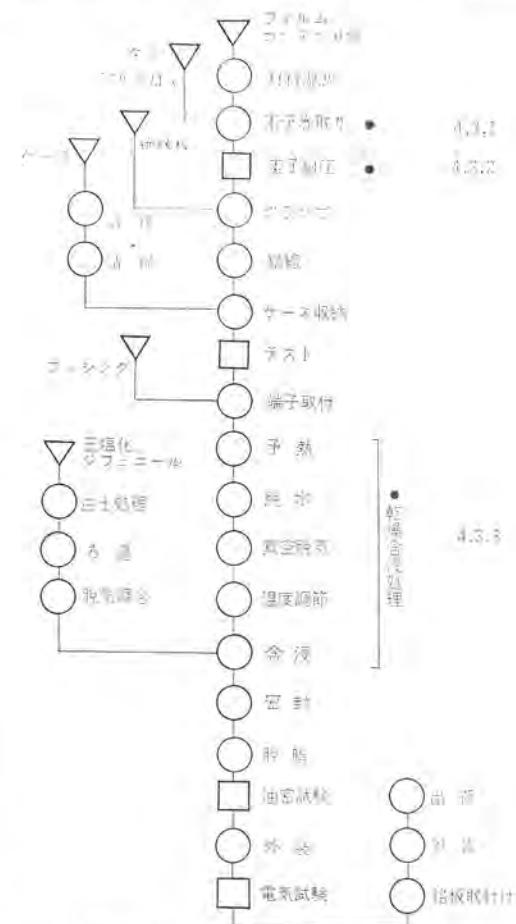


図 4.4 フィルムコンデンサ 製造工程図
Process flow chart of film capacitors.

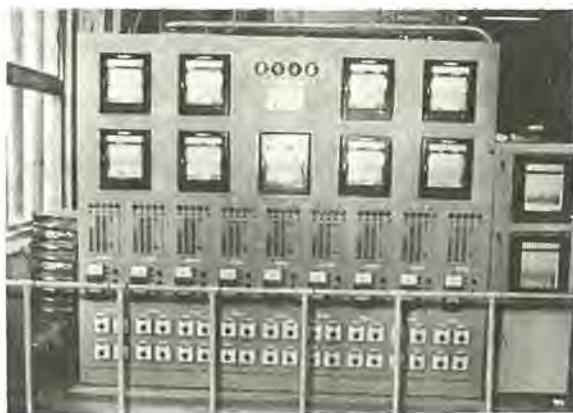


図 4.5 処理条件設定コントロールパネル
Control panels for vacuum drying and filling process.

比べると、その厳密さは格段の開きがある。これらの操作を人手が行なうことは、困難を伴うので処理プログラムをあらかじめ設定し、クロックパルスを内蔵した制御装置によって自動的に処理プログラムが行なえるようにしてある。図 4.5 に制御装置の前面を示す。

5. 電気的性質

フィルムコンデンサを交流回路に用いる場合、運転上に関連の深い性質について比較的詳しく述べる。

5.1 一般特性

5.1.1 静電容量特性

ポリプロピレンフィルム自体は、無極性の物質であるため、一般の無極性物質と同じように、フィルムの比誘電率は温度に対して負特性を示す。フィルムの間にはさまれている三塩化ジフェニル含浸紙は、フィルムより負特性の傾向が大きい。油浸紙が大略 $-0.1\%/\text{C}$ であるのに対してフィルムだけのものは $-0.03\%/\text{C}$ 程度である。したがって、油浸紙とポリプロピレンフィルムの複合誘電体で構成されるフィルムコンデンサでは、その間の値を取ることになる。

パーセントフィルム ρ の大きいほどフィルムのほうの影響を受けやすいが、 $\rho=0.6$ における典型的な温度特性を他と比較して図 5.1 に示す。図において曲線 1, 2 および 3 は、それぞれ全フィルム・ $\rho=0.6$ のフィルムコンデンサ・紙コンデンサの静電容量温度特性を示す。20°Cにおける同一静電容量値のフィルムコンデンサは、同じ紙コンデンサと比べて運転温度条件に近い 60°C 付近において 2% くらい容量値が大きい。これは、それだけフィルムのほうが紙より有利にコンデンサ電力を供給できるということである。

5.1.2 $\tan \delta$ 特性

図 3.2 に示すような直列誘電体回路の $\tan \delta$ は、フィルム層と油紙層の $\tan \delta$ をそれぞれ $\tan \delta_f$ と $\tan \delta_i$ で表わすと、式 (5.1) になる。

$$\tan \delta = \frac{\tan \delta_i}{1+1.66\rho} \left\{ 1 + \rho \left(\frac{2.66 \tan \delta_f}{\tan \delta_i} - 1 \right) \right\} \quad \dots \dots \dots (5.1)$$

ただし、 $\alpha=2.66$

式 (5.1)において、通常 $\tan \delta_i=0.002$, $\tan \delta_f=0.0002$ くらいであるから、式 (5.1) はさらに簡略化されて式 (5.1) になる。

$$\tan \delta = \tan \delta_i \frac{1-0.73\rho}{1+1.66\rho} = \frac{0.2(1-0.73\rho)}{1+1.66\rho} \% \quad \dots \dots \dots (5.2)$$

式 (5.2) によって任意の ρ におけるフィルムコンデンサの $\tan \delta$ 値を容易に算出できる。フィルムコンデンサの $\tan \delta$ は、 $\rho=0.3$ で $\tan \delta_i$ の $1/2$, $\rho=0.6$ で $\tan \delta_i$ の $1/3$, $\rho=0.7$ で $\tan \delta_i$ の $1/4$ くらいになる。

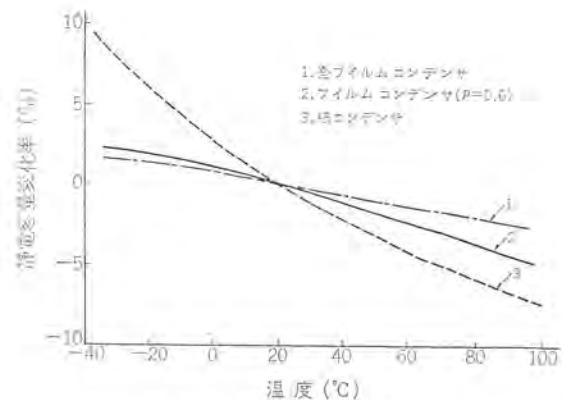


図 5.1 静電容量-温度特性
Capacitance vs. temperature.

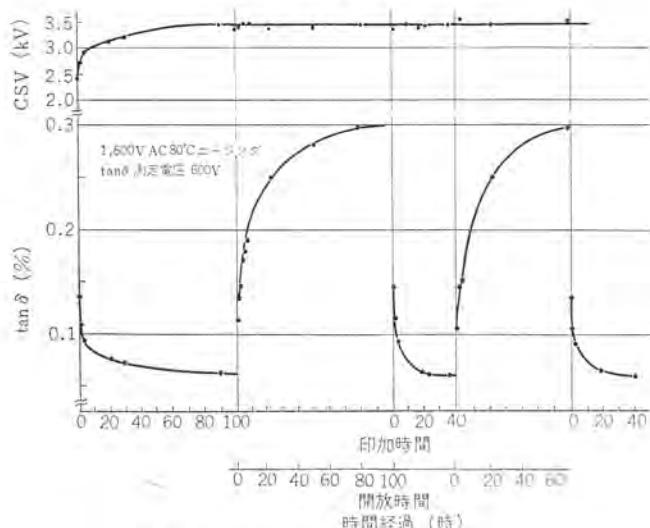


図 5.2 $\tan \delta$ と CSV の時間経過変化
 $\tan \delta$ and CSV vs. time.

フィルムコンデンサの $\tan \delta$ 値は、測定電圧印加後に直ちに測定を行なうとかなり高い値を示す場合が多い。フィルムコンデンサに定格電圧に近い電圧を印加しておくと、最初は急速に時間経過とともに低下し、次第に飽和値に達する。印加電圧を開放すると、時間経過とともに急速に上昇し、次第に元の値に戻っていく。図 5.2 は、電圧印加時間と $\tan \delta$ 値の変化を示す顕著な実例である。本例は、 $\tan \delta$ の変化がやや極端であるが、多少の差はある、これと同じ傾向を示すものが多い。通常、20°C 以上のふんい気では電圧印加後 100 時間くらいで飽和値に達する。フィルムコンデンサの運転時における電力損失を算出する場合には、この飽和値を用いるほうが妥当性がある。

$\tan \delta$ 値の電圧印加時間に対する依存性の複雑な現象を十分に解明する段階に達していないが、フィルムコンデンサの絶縁油の含浸工程において、高温条件下に三塩化ジフェニルとポリプロピレン樹脂が共存するため、樹脂の非結晶部分が三塩化ジフェニルに溶出するためであることは間違いない。その際、樹脂の中に混在する熱安定剤や未反応残部分が絶縁油の中に溶けこんで、油中のイオン濃度を高める。イオン濃度の高い油は、油浸紙のほうに拡散してイオン濃度の高い油浸紙が出現する。

図 5.3 は、重量比で 10% のポリプロピレンフィルム(米国製コンデンサ用)を三塩化ジフェニルと共存させ、密封状態で 100°C の恒温そう中に 50 時間静置した後の三塩化ジフェニル抽出液と、ポリプロピレンフィルムを添加しない三塩化ジフェニルとを同じ熱処理を施したときの $\tan \delta$ 温度特性を示すものである。フィルムの溶出によって油の $\tan \delta$

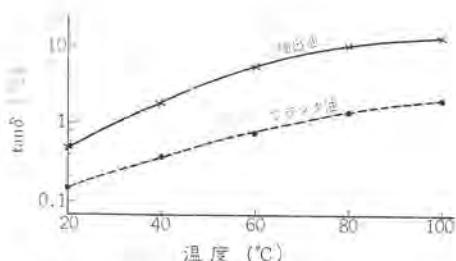


図 5.3 抽川油の $\tan \delta$ 温度特性
Tan δ vs. temperature for impregnating liquids.

値は数倍に達している。80°Cにおける固有抵抗値も、抽川油が 1.87×10^{12} であるのに対してブランク液は 1.77×10^{12} で1けた低く、油中のスペースチャージの濃度の相違がこのような電気特性の差を導いたものであろう。

イオン濃度の高い油浸紙に電界が加わると、電界に沿ってイオンが移動し、そのための損失が誘電体損失にさらに付加されて高い値を示すことになる。交番電界中でイオンの移動が繰り返されているうちに荷電粒子は、その極性のために紙の繊維やフィルムとの境界面に捕えられ、油中を移動するイオン濃度は低下し、 $\tan \delta$ 値もそれに相応して良くなっていく。ある交番電界のもとで、ある温度のもとで捕えられるイオン数と、油中に残るイオン数とが平衡状態に達するため、時間経過とともに $\tan \delta$ 値が平衡値(飽和値)に漸するものと推定される。

5.2 過負荷特性

フィルムコンデンサが定格運転条件において、どの程度の耐用寿命があるかを推定するため、フィルムコンデンサのみの実用試験によって独立してこれを行なうことは、長期の時間と大規模な試験計画を展開して初めてその目的が達せられるものであろう。

一方において、紙コンデンサは長い使用実績に基づく歴史があり、その技術的な背景は確固としている。もし、この技術的蓄積を全面的に利用してフィルムコンデンサの技術的諸問題の判断規準とすることができるのであれば、それは最も効果的で確実な手段と言わねばならない。

本項の過負荷特性、および次項の過電圧特性については、上記の趣旨から紙コンデンサの特性と常に対比することによってフィルムコンデンサの位置づけを行なうことで論旨を進める。

5.2.1 電圧に関する過負荷耐性

フィルムコンデンサでは、フィルム層への絶縁油の油浸経路としてフィルムの間にコンデンサ紙をはさんでいることは、3.1節で述べたとおりである。これはさみこまれる紙の紙質は、4.1.2項で述べたように低密度・高気密度の低損失紙であり、これは交流用高圧コンデンサに用いられるものと一致している。この油浸材としての油浸紙は、油浸機能を當む以外には、紙コンデンサの電極間誘電体としての誘電体作用を當むものとその機能は変わらない。この油浸紙に着目し、フィルムコンデンサと紙コンデンサの共通の場を求めて電圧作用を類推・判断することが、フィルムコンデンサの電圧作用を知る近道である。

これは、フィルムコンデンサのフィルムとコンデンサ紙の複層誘電体層をコンデンサ紙のみの単層誘電体に等価的に置換した等価紙厚の概念を導入することから始まる。

$$\text{等価紙厚 } [\mu] = 2.66 \times (\text{フィルムの全厚}) + \text{はさみこまれる紙厚} \quad \dots \dots \dots (5.3)$$

等価紙厚は式(5.3)から簡単に算出できる。

紙コンデンサにおいては、薄紙コンデンサ紙が使用され、商用周波の

表 5.1 誘電体厚と目安となる使用電圧
Dielectric thickness and applicable voltage.

誘電体厚 μ	等価紙厚	目安とし得る使用電圧	誘電体構造
第1層	第2層	第3層	
10	13	10	66 μ 1,100 V
12	13	12	77 1,300
15	13	15	93 1,550
18	18	15	106 1,750

1枚の使用電圧は実用上の推奨値とは限らない。

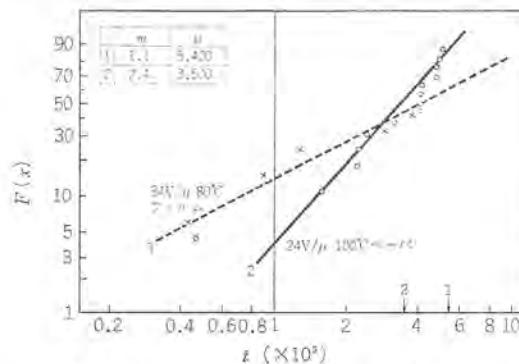


図 5.4 フィルムコンデンサと紙コンデンサの寿命比較
Life comparison for film capacitors and paper capacitors.

交流定格電圧に対して油浸紙の電位傾度は、通常 $15 \text{ V}/\mu \sim 18 \text{ V}/\mu$ の間に選定されている。これらの選定は、素子1個あたりの負担電圧や運転時の熱平衡などの他の因子との見合いで行なわれる。

フィルムコンデンサの誘電体を等価紙厚に変換し、そこに紙コンデンサの設計基準を適用してみると。もし、それが不都合を生ずることになれば、それを修正し、その不都合の原因を求めることがさらに近似した対応ができることになる。表5.1は、油浸紙の電位傾度を $16 \text{ V}/\mu$ とし、現在入手容易なフィルム厚とコンデンサ紙の組み合わせに対する使用電圧の目安を示す。

表5.1の使用電圧を一応の基準として、フィルムコンデンサが紙コンデンサの過負荷電圧耐性に比べてどの水準にあるかを求めるこにより、定格電圧の運転条件下でのフィルムコンデンサの耐用性を推定することができる。この目的での実験調査は、現在鋭意推進中で、この調査における一部の結果を図5.4に示して参考に供する。図5.4は、紙コンデンサの試料の電位傾度を $24 \text{ V}/\mu$ で定常的に運転し、ふんい気温度を調整して試料の内部素子温度を $100 \sim 105^\circ\text{C}$ に保ち、15試料のうちの14試料の破壊時間をワイルプロットしたもので、これを図中の実線で示してある。 $\kappa=0.6$ のフィルムコンデンサの試料(紙と同一容量)に対しては、等価紙厚に対して $34 \text{ V}/\mu$ で運転し、その素子温度を $80 \sim 85^\circ\text{C}$ に保って、10試料中5個の破壊分布を破線で示してある。電圧印加中の温度の相違は、実際のコンデンサの運転時の素子内部の最高温度が、紙コンデンサのほうがフィルムに比べて常に 25°C 以上高い値を示すことが実測されているためである。

図5.4における二つの回帰直線は、比較的平均寿命がよく似通ったものである。この結果は、紙コンデンサの定格値基準1.5倍の過負荷電圧が、フィルムコンデンサの2.1倍と同じ程度の寿命を期待し得ることを示している。または、フィルムと紙の複層誘電体($\kappa=0.6$)は、1.5倍程度の過電圧寿命に対して紙と同じ寿命を期待するためには、等価紙厚に対して1.4倍程度に電位傾度を高め得ることを示唆する。

現実に、 $25 \text{ V}/\mu$ で常温中で運転しているフィルムコンデンサは、約

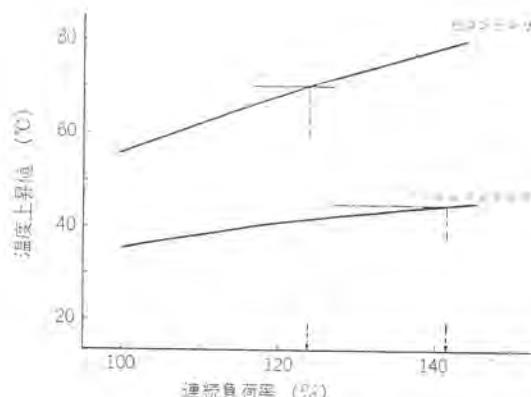


図 5.5 過負荷温度上昇曲線
Temperature rise resulting from over-load operation.

10,000 時間に達するも 12 試料が全部無事故である。われわれの現在の実験過程においては、 $\rho=0.5 \sim 0.6$ 程度においては等価紙厚で算出した電位傾度に対して $30 \text{ V}/\mu$ くらいが過電圧に対する使用許容限度であるとの予測を得つつある。この値は、紙コンデンサの $20 \text{ V}/\mu$ に相当するもので、概略的に $\rho=0.5 \sim 0.6$ のフィルムコンデンサの過負荷電圧耐性は、オールペーパーに対して 1.5 倍の耐性を持つと考え得る。

5.2.2 熱平衡よりの過負荷耐性

前節においてフィルムコンデンサの過電圧耐性は、紙コンデンサより高いことを述べたが、実際のコンデンサの設計の見地からすれば、過電圧耐性が高いからといって直ちにそれに応じた電位傾度を採用するわけにはいかず、熱平衡の面からの検討が必要である。すなわち、選定された電位傾度に対し、過負荷状態において素体内部の温度が、許容された温度以下に平衡を保つことが必要である。熱平衡温度を低くするためには、素体の熱伝導率・素体の構造と配列・素体の収納方法・ケース寸法などのコンデンサ設計上の技術が大きく影響する。

図 5.5 は、これらの付帯技術と同じ水準として製作した 200 kVA の単位コンデンサの定格に対する過負荷率と、内部素体の最高温度上昇値との関係を示す。この設計の電位傾度は、紙において $16 \text{ V}/\mu$ 、フィルムコンデンサの紙層において $15.5 \text{ V}/\mu$ である。

コンデンサ運転時のふんい気温度を 40°C として紙コンデンサの最高許容温度を 110°C 、フィルムコンデンサのそれを 85°C とすると、許容温度上昇値は、それぞれ 70°C および 45°C になる。許容温度上昇線と素子温度上昇線との交わる点がそれぞれの許容過負荷率で、紙においては 124% 、フィルムにおいては 142% までの連続過負荷運転が許容される。図で明らかなように、定格負荷以上では常にフィルムコンデンサのほうが紙コンデンサより温度上昇値が $25 \sim 30^\circ\text{C}$ 低いことがわかる。

5.2.3 過負荷特性上の問題点

フィルムコンデンサの過負荷特性上の問題点は、誘電体の過負荷における耐電圧性能ではなく、むしろ熱平衡温度にあることが上述の説明で推察できよう。

フィルム化によって誘電体の容積は、式(4.1)で与えられる量に縮少する。 $\rho=0.6$ では約 $1/2$ になり、誘電体中の電力密度は、等価紙厚での電位傾度が等しい場合、フィルムのほうが 2 倍になる。当社製フィルムコンデンサにおいては、紙コンデンサの電位傾度 $16 \text{ V}/\mu$ に近い値をフィルムコンデンサの油浸紙電位傾度としても、熱平衡的に十分な過

負荷耐用性を有し得る設計になっている。

電位傾度的には、十分余裕を残すフィルムコンデンサの過負荷耐用性能をさらに改善するためには、ポリプロピレンフィルムの耐熱性を高めて許容温度限界を高めるか、ポリプロピレンフィルムとコンデンサ紙との含浸油を含めての総合の $\tan \delta$ 値を改善する必要があり、今後の改善の方向を示している。

5.3 過電圧耐用性

過電圧耐用性とは、誘電体のコロナ開始電圧値の水準以上の過電圧に対する耐用性をさし、その印加時間は、通常数サイクルオーダーの短時間の場合が多い。並列コンデンサではスイッチの開閉時に、直列コンデンサでは系統の故障などにこの種の異常電圧が発生するものである。このような異常電圧は、その印加時間は瞬時であっても、誘電体内部の電界集中の大きい場所にコロナ損傷を与え、その部分が定常電圧下で絶縁劣化を早めて寿命を短縮する危険がある。このようなコロナ開始電圧(以下 CSV と略称)レベル以上の異常電圧に対してフィルムコンデンサがどのような耐用性を示すか、前項と同じように、紙コンデンサと対比して述べる。

5.3.1 CSV 特性

フィルムコンデンサの CSV は、 $\tan \delta$ 特性と同じように、電圧印加時間効果がきわめて顕著である。 $\tan \delta$ の場合には電圧開放後にまた元の値に復元するが、CSV の場合には不可逆的である。したがって、CSV に対しては電圧印加時間の操作をエージングと呼ぶことにする。(図 5.2)

フィルムコンデンサの CSV を論ずる場合には、そのエージング履歴を無視することはできない。 $\rho=0.6$ 、等価紙厚 77μ のフィルムコンデンサのエージング履歴のないものは、温度 20°C において最初 $2,200 \text{ V}$ 程度の CSV を示す。このコンデンサに同じ温度で $1,500 \text{ V}$ の電圧を印加してその後の CSV を測定すると、時間経過とともに上昇する。最初の期間はその上昇率は大きく、次第に飽和値に近づいていく。飽和値に達する時間は、常温で 100 時間くらいである。図 5.6 に時間経過と CSV の変化曲線の一例を示す。一度、CSV が飽和値

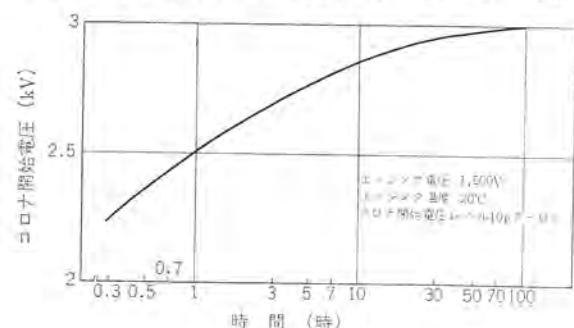


図 5.6 コロナ開始電圧時間特性
Corona starting voltage vs. time.

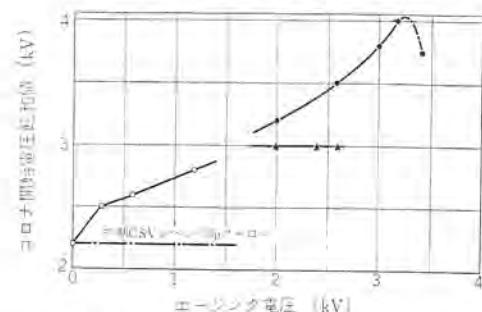


図 5.7 コロナ開始電圧とエージング電圧
CSV vs. aging voltage.

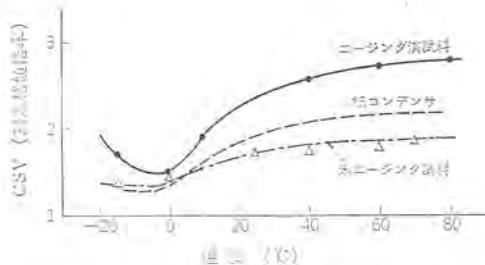


図 5.8 CSV 温度特性
CSV vs. temperature.

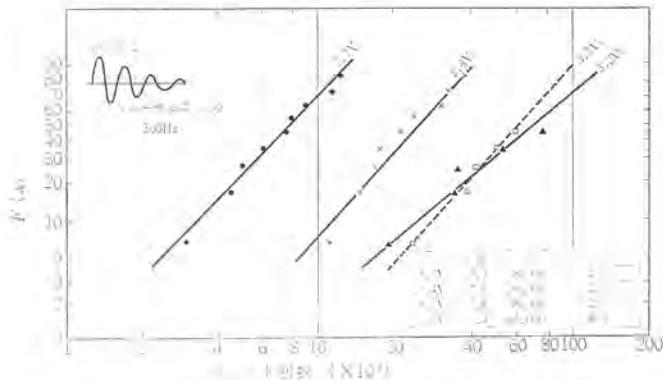


図 5.9 印加電圧別のショット回数と破壊分布の関係
Relation between number of shots and breakdown distribution.

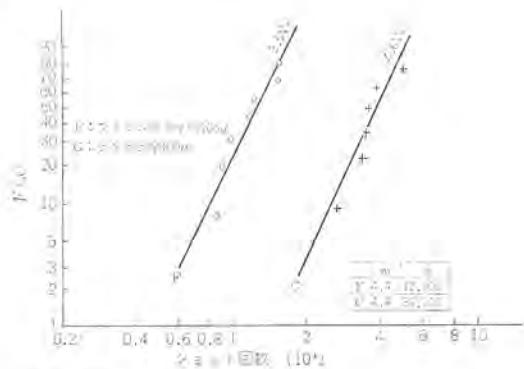


図 5.10 等価紙厚のほぼ等しい フィルムコンデンサと
紙コンデンサの過電圧破壊分布
Relation between number of shots and breakdown distribution for variant capacitors.

に達したものは、電圧を開放してもこの飽和値を維持していく。同じエージング電圧でエージング温度を変えた場合、飽和値は電圧値に依存し、飽和に達する時間は温度に依存し、温度が高いほど、飽和達成時間が短縮される。したがって、エージング時間を十分に取ったものは、そのエージング温度よりもエージング電圧のほうが重要な因子となる。

今と同じフィルムコンデンサと、電極間けきが 100μ の紙コンデンサとを高温に保ち、初期 $2,000\text{V}$ 、ステップ電圧 200V 、ステップ期間 2 週間の条件でステップストレスエージングを行なった場合のフィルムおよび紙コンデンサの CSV の変化を図 5.7 に示す。図において●印がフィルムコンデンサ、▲印が紙コンデンサで、その測定温度はそれぞれフィルムが 80°C 、紙が 100°C である。図で明らかのように、フィルムのほうはエージング電圧に対応して CSV を高めていく。エージング電圧 $3,400\text{V}$ で最高値の $4,000\text{V}$ に達し、それ以上のエージング電圧では CSV が逆に低下する。したがって、このフィルムコンデンサに対しては $3,400\text{V}$ ~ $3,600\text{V}$ が CSV を上昇させ得る限界電圧である。紙コンデンサの

ほうはエージング電圧に関係なく一定の CSV を保ち、 $2,800\text{V}$ のエージング電圧で 11 試料中の 10 個がパンクして $2,600\text{V}$ 以上の値は得られなかった。

定格電圧値（等価紙厚の電位傾度で $16\text{V}/\mu$ 程度）以下のエージング効果を、 20°C のコンスタントストレスで 500 時間以上、0, 300, 600, 1,200V の 4 水準で行なったもののエージング後の CSV を図 5.7 の○印で示す。

図 5.8 は、フィルムコンデンサの CSV の温度特性を示すもので、定格電圧でエージングを完了したものと未エージングの 2 種類の相違を明らかにした。CSV は、 $0\sim-20^\circ\text{C}$ の間に最低値が存在するが、実際上問題にならない。

定格電圧でエージングが完了したフィルムコンデンサの CSV は、コンデンサの運転時温度の全領域において紙コンデンサの値より高く、特に通常温度の領域では 20% 以上高くなる。

5.3.2 過電圧耐用性

エージングが完了したフィルムコンデンサは、紙コンデンサに比べてその運転中の温度領域では CSV が高いが、CSV が高いことが直ちに過電圧に対してコロナ損傷を受けにくいことと解することはできない。コンデンサのコロナ損傷は、電界集中の大きい電極はくの線端部に受けやすいが、フィルムコンデンサと紙コンデンサとでは含浸油は同一であるが、電極はくの接する誘電体は、一方はポリプロピレンであり、他方は油浸紙である。同じレベルの過電圧が印加されても、この材質の相違によってコロナ損傷の度合は相違するものと解すべきである。

図 5.9 は、 $\rho=0.6$ 、等価紙厚 77μ のフィルムコンデンサに 300Hz の減衰振動電圧（リバーサル率 0.8）を印加し、その破壊に至るまでの電圧印加ショット回数をワイルプロットしたもので、印加電圧の最初の 1 サイクルのピーク間隔を、定格電圧のピーク間隔で除した値の倍率に相当する電圧値 3 水準の結果を示している。実線はフィルムコンデンサの未エージング試料について、破線はエージング試料に対するものである。このような過電圧を 2,000 回試料に印加した以後の効果について交流定常電圧に対して調査した結果、許容できる過電圧は室温 ($15\sim25^\circ\text{C}$) で未エージング品では定格電圧の 3 倍以下で、エージングが完了したもので 3.4 倍程度である。

図 5.10 は、 $\rho=0.6$ 、等価紙厚 106μ のフィルムコンデンサと、紙厚 100μ の紙コンデンサの 300Hz の過電圧ショットにおける破壊のワイルプロットを示す。図で F がフィルム、C が紙に対するもので、定格値倍率 4.6 倍で印加した紙のほうが、倍率 3.5 倍のフィルムより平均ショット数で 3 倍くらいの耐用性が大きい。

紙コンデンサの過電圧の以後効果については調査中であるが、破壊ショット数よりの推定では定格電圧の 4 倍くらいと考えられる。したがって、室温以上では過電圧許容限度の比率は、定格電圧に対して未エージングフィルムで、 3V_R 、エージングフィルムで 3.4V_R 、紙コンデンサで 4V_R くらいの比率になる。温度が高いほど、その比率は接近し、温度が低いほどその差が大きくなる傾向がある。

5.3.3 過電圧耐用性の問題点

CSV の高いはずのフィルムコンデンサが、過電圧による損傷の点からみると、紙コンデンサよりやや劣るかに見える。しかしながら、その過電圧耐用性の絶対値の点からみるとやはりすぐれており、高い値を示すものであるから、実用上に支障はない。すなわち、使用回路に異常電圧が発生しやすい場合には、仕様決定時点でのこの点を明確にして設計に反映しておけば、問題になるものではない。

将来、フィルムの改質が進み熱平衡が有利になった場合に、さらに誘電体の電位傾度を上げる際には、過電圧耐用性も同時に上げる方策を講ずる必要があり、フィルムコンデンサの将来の改善のためにはこの研究が最も重要なものとなろう。

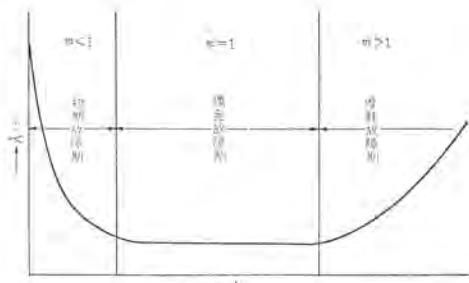
6. む す び

現在、当社ではフィルムコンデンサに関する開発・製品化を完了した。一般負荷の力率改善用のみならず、アーチ炉・誘導炉の力率改善にも

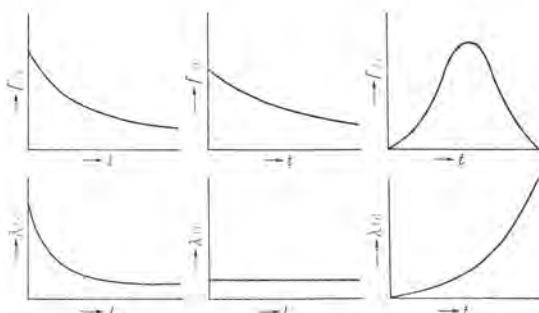
広く使用され、また過渡現象なしに高応答高開閉ひん度のできるサイリスタスイッチと組み合わせてフリッカ防止装置としてもすぐれたものが得られる。系統の高調波除去用として、先般製作されたフィルタ装置は、ポリプロピレンフィルムコンデンサの採用によってわずかな床面積しか必要としない。

当社ではこれまでに得た実験データをもとにして、新しい需要分野の開拓にも努力を傾注する一方、さらにすぐれたフィルムコンデンサの開発にとり組んでいる。

補 遣



付図1 故障率曲線
Failure rate curve.

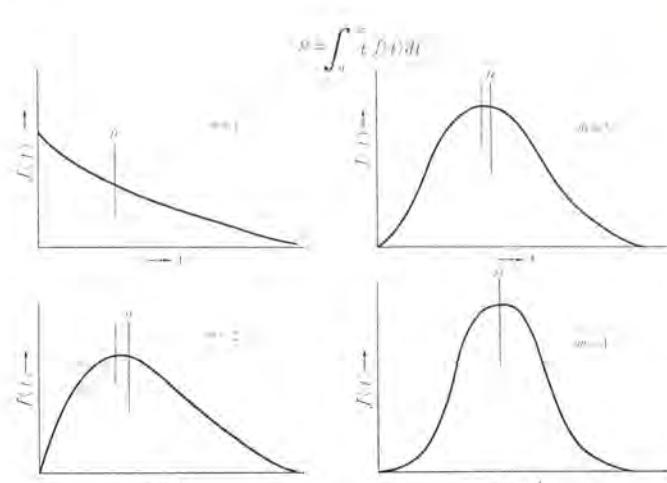


付図2 λ(t)に対するf(t)の関係
Relation between function λ(t) and f(t)

本文ではたびたびワイブルプロット(Weibull plot)による寿命特性の説明を行なった。以下、ワイブルプロットについての工学的な意義を簡単に解説する。

一般に、機器の故障率(λ(t))の時間的な変化は、付図1に見られるように、初期故障・偶発故障・摩耗故障の三つに分けて考えられている。そのおののにおけるλ(t)の変化の模様は、減少形・一定形・増加形となる。λ(t)は、tにおいて故障する数の残存数に対する割合で、瞬間故障率とも呼ばれるものである。

ある一定期間に故障する数を全体の数で割った値のtに関する関数を故障密度関数(f(t))といい、故障の発生ひん度を直観的に示す分布関数として多く用いられる。付図2は、λ(t)に対するf(t)の関係を示す。



付図3 確立密度関数とMTBFの関係
Relation between probability density function and MTBF (μ).

機器を運転はじめて時間tに至るまでに発生した故障数の全体数に対する比を、累積故障率(F(t))といい、F(t)は次式で得られる。

$$F(t) = \int_0^t f(t) dt$$

ワイブル確率紙は、Y軸を $\log \log \frac{1}{1-F(t)}$ とし、X軸を $\log t$ としたグラフで、実験で得られた累積故障率に対応する時間にプロットを行なう。このようなプロットに直線を当てはめることを直線に回帰させるといい、かくして得られた直線をワイブル回帰直線と呼称する。ワイブル確率紙上の回帰直線の傾斜は、ワイブルパラメータmで呼称され、 $m < 1$ 、 $m = 0$ 、 $m > 0$ によってλ(t)、f(t)の形が決定づけられる。

寿命特性の重要な尺度である平均寿命(MTBFまたはμ)は、故障密度分布の平均値を示すもので、次式で算出される。

$$\mu = \int_0^\infty t \cdot f(t) dt$$

確率紙においてmもμも図式的に容易に求められ、種々のmの値に対応したf(t)の形、分布のモードとμの関係位置を付図3に示す。

制御用電磁継電器の信頼性と適用

丸地謙二*・長尾良章*・松本文雄*

Reliability and Application of Control Magnetic Relays

Nagoya Works Kenji MARUCHI・Yoshiaki NAGAO・Humio MATSUMOTO

With the development and prevalence of automatization of various industrial production facilities, electro-magnetic relays increase in number and kind, promising to become important component parts of circuits to govern the function of control equipment. The electro-magnetic relays are considered hereafter to advance in the phase of multiplex function, the improvement of efficiency through the reduction of sizes, the elevation of reliability, the increase in life span and the effective combination with semi-conductor parts. On the other hand their appropriate application will be a vital requisite. In this report are summarized the results of studies, in regard to general purpose electro magnetic relays, on their adaptability to general uses, economy and reliability for the purpose of standardization.

1. まえがき

各種産業装置の発展・自動化が急速に進み、それに使用される制御用電磁継電器（以下継電器と略す）の数、および種類は膨大なものとなり、制御装置の機能を左右する重要な回路部品となっている。一方、半導体を使用した無接点継電器も急速に普及しつつあるが、継電器は半導体部品では得られない特長を有し、小形化、信頼性の向上、長寿命化および高感度化が進み、半導体部品とのより効果的な結合も行なわれつつあり、今後も継電器および半導体部品は、それぞれの特長を生かして発展し、すぐれた制御装置が出現し、継電器の使用分野の拡大と高信頼度化・高性能化が進展するものと考えられる。したがって、システム設計において継電器の種類の選択、性能および信頼度をよく知り、装置の設計を行なうことはきわめて重要なことである。

継電器は用途面・機能面からの多様化が進んでいるが、一般制御用としては、電磁接触器（水平動作、モールド）タイプ継電器と、電子管ソケットを使用するプラグインタイプ継電器、通信機および電話用として使用されていた小形継電器（ミニチュアリレー）、および、リードスイッチを使用したリードリレーなどである。

本文では当社で製造および標準として使用している継電器について、信頼度試験結果とその検討およびその適用について紹介し、需要家各位の参考に供したいと考える。

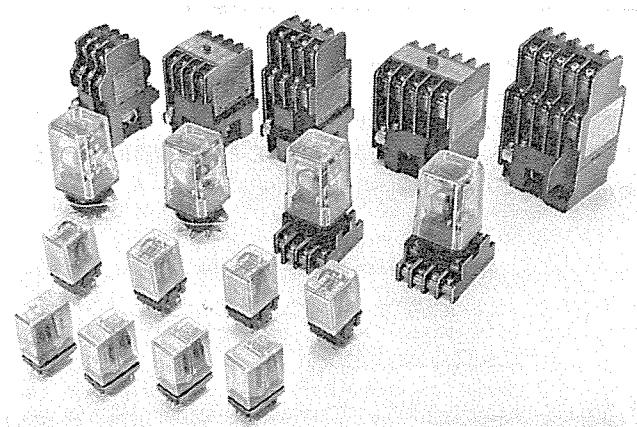


図 1.1 制御用電磁継電器
Control magnetic relays.

2 制御用継電器の標準系列

継電器はその使用分野、用途および機種により多くの種類がある。一般制御用として数多くの継電器の中から、最適なものを選定することはかなり繁雑なことであるが、特性・はん用性（経済性）および信頼性を考慮した標準化をはかり、選定と適用を明確にすることにより容易となる。当社ではこれらの標準化の検討を実施し、使用継電器の集約化を計ったが、この継電器の例を図 2.1 および表 2.1 に示す。

2.1 A 系列継電器 (SR 形)

水平動作モールドタイプの継電器で、定格通電電流 10 A、定格電流 AC 220/550 V 5/3 A で、大容量誘導（コイル）負荷に使用でき、接点にころがり接触機構を採用しているため、比較的接触信頼度の高い継電器である。直流操作式 SRD 形、ラッチ付き SRL、SRM 形、双子接点付き SR(D)-S 形、接点にリードスイッチを使用した SRR 形、ニューマチックタイマ SRT 形、ソリッドステートタイマ SRS 形など、同一形体での応用品も豊富である。

2.2 C 系列継電器 (RP 形)

電子管ソケットに適合するプラグインタイプの継電器で、定格通電電流 5 A、定格電流 AC 110/220 V 2/1 A で、中容量誘導（コイル）負荷に使用できる使いやすい継電器である。応用品として双子接点付き RP-S 形、リードスイッチを使用した RPR 形、ソリッドステートタイマ RPS 形がある。

2.3 D 系列継電器 (RD 形)

プラグインタイプ 小形継電器であるが、耐電圧は AC 1,500 V を満足

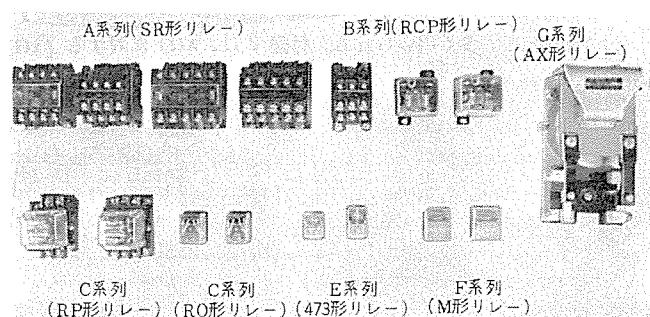


図 2.1 制御用継電器の標準系列
Standard types of control magnetic relays.

表 2.1 制御用継電器標準系列の仕様
Specification of standard type control magnetic relays.

系列	形 名	接点数	定格電流 A		最高定格電圧 電圧(V)/ 電流(mA)	寿命		耐電圧 (1分間)	用途	
			交流コイル 負荷 110V	直流水コイル 負荷 110V		機械的 (万回)	電気的 閉路/しゃ断 AC 110V			
A	SR-4, 5, 8, 10 SRD-4, 5, 8, 10	4P~10P	6	2	10	AC 550V DC 220V	24/10	30/3A(L) 100万回	AC 2,500V	Mg・Sw, リレー, バルブ開閉用 シーケンス用
	SR-4S, 5S, 8S, 10S SRD-4S, 5S, 8S, 10S		1	0.5	5		1,000 3/5	10/1A(L) 100万回		
B	パワーリレー (B)	2T 3T			10	AC 220V DC 220V		1,000	AC 1,500V	Mg・Sw バルブ開 閉用
C	RP-200P RP-300P	2T 3T	3 2	0.25 0.2	5	AC 220V DC 220V	12/10	10/1A(L) 100万回 7.5/0.75(L) 100万回	AC 1,500V	Mg・Sw, リレー, バルブ開閉用 シーケンス用
	RP-200SP RP-300SP	2T 3T	3 2	0.25 0.2	5		1,000 6/5	5/0.5(L) 100万回		
D	RD-2P RD-4P	2T 4T	1.5 1	0.1 0.05	5 3	AC 110V DC 110V	12/10	3/3A(R) 10万回	AC 1,500V	小形 Mg・Sw, リ レー開閉用 シーケンス用 プリント基板用
	RD-2SP RD-4SP	2T 4T	1	0.05	3		5,000 6/5	3/3A(R) 10万回		
E	ミニチュアリレー	2T 4T	0.2 0.2	0.05 0.05	1	AC 110V DC 110V	3/5 1/0.1	5,000 1/1A(R) 10万回	AC 500V	シーケンス用 プリント基板用
		2T 4T								
F	ミニチュアリレー	4T 6T	0.1	0.025	1	AC 110V DC 110V	1/0.1	10,000 1/1A(R) 10万回	AC 500V	シーケンス用 プリント基板専用
G	AX-11 22 31 40	2P~4P			5	10	DC 550V	1,000 DC 550V 5A(L) 50万回	AC 2,500V	直流大形負荷用

し、定格通電電流 3A、定格電流 AC 110V 1A で、小容量誘導負荷に使用できる。プリント基板への取付けも考慮されており、インターフェース用としても使用できる。

2.4 E および F 系列継電器

E 系列はプラグインタイプ 小形継電器で、プリント基板への取付けもでき、F 系列はプリント基板取付け専用の継電器で、ともに双子接点、リフトオフ式で接触信頼度は良く、シーケンス制御用に適している。

2.5 その他

G 系列継電器 (AX 形) は、DC 550V 5A の直流大形負荷開閉用、B 系列継電器は、プラグインタイプで定格通電電流 10A のものである。

3. 電磁継電器の信頼性の概念

継電器の信頼性としてもっとも重要なものは、接触信頼度と寿命である。すなわち、接点の接触不良の発生確率を示す故障率、および保証寿命で継電器の信頼度の尺度とするのが適当と考える。

3.1 電磁継電器の保証寿命

制御装置の規模が大きくなり、1台に多数の継電器が使用され、装置のか(稼)動率・信頼度が重要視されるようになり、継電器は従来のように修理しながら使用する機器でなく、寿命限界あるいは故障する前に取り換えて使用する(予防保全)ものに変わりつつある。

このことから、継電器は個々の使用条件での保証寿命が必要となる。その寿命は、接点消耗、コイル寿命、絶縁の低下、接触抵抗の増大、動作電圧の変化、および部品の破損などによって決まる。これらの故障発生の形態のほとんどは摩耗故障となる。摩耗故障は、ワイル分布において、形状母数 $m > 1$ で故障率増加の形 ($m = 1$ は偶発故障・故障率一定、 $m < 1$ は初期故障・故障率低下) となり、したがって、電気的および機械的寿命試験結果をワイル確率紙にプロットすることにより、ロット保証寿命を知ることができ、これらのデータの積み重ねにより、より精度の高い保証寿命の推定ができる。

3.2 電磁継電器の接触不良の故障率

継電器の接触信頼度試験は、JEM 1230「制御用電磁継電器」に一例が規定されており、自己のコイルを開閉したばあいの停止回数により故障率が算出できる。この接触信頼度試験の基本回路を図 3.1 に示す。この回路は送り時間が非常に早く、接点 チャタの大きい継電器ではひん繁に停止することがあるため、応答性、接点 チャタ小を要求する、シーケンス用継電器の信頼度試験としてはすぐれたものと考えられるが、自己のコイルが接点負荷になり、継電器のコイル入力はコイル電圧が変わってもほぼ一定のため、接点電圧、電流を任意に変化できない欠点がある。当社では、低レベル負荷での信頼度を確認するため、JEM 接触信頼度試験回路を変形し、接点の電圧電流が任意に変えられる方法を併用している。図 3.2 にこの試験

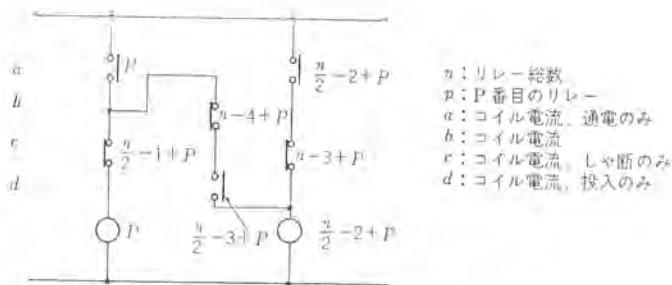


図 3.1 接触信頼度基本ユニット
Fundamental diagram of contact reliability test.

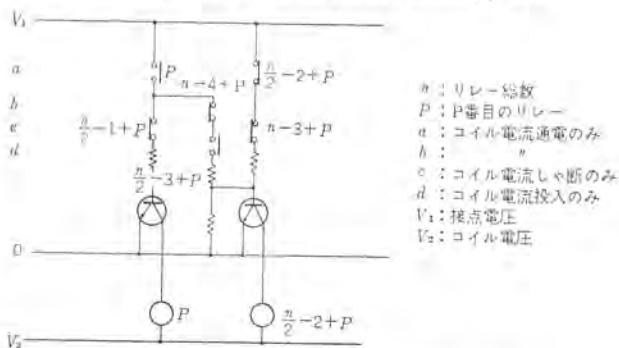


図 3.2 低レベル接触信頼度試験回路
Contact reliability test circuit for low voltage and current.

の基本回路を示す。

繼電器の接触不良は寿命限界前では偶発故障となり、一度接触不良を発生しても同一接点での再現性が乏しく、そのまま再使用できるケースが多い。このような偶発故障は指數分布にしたがい、接触不良の発生確率を示す故障率 $\lambda(t)$ は時間(開閉回数)に無関係な定数 λ となり、信頼度関数を $R(t)$ とすると

$$R(t) = \exp \left[- \int_0^t \lambda dt \right] = \exp(-\lambda t)$$

となり、接触不良を発生した時点から、次の接触不良を発生するまでの時間(開閉回数)の平均値、すなわち、平均故障間隔(MTBF)を L とすれば

$$L = 1/\lambda$$

の関係がある。

接触信頼度試験結果から故障率を算出する方法は、つぎのようになる。

n_r : 供試電磁繼電器の台数

n_c : 供試電磁繼電器 1 台中の試験接点数

n_0 : 試験回数

r : 停止回数

とすると、1接点あたりの延総開閉回数 N は

$$N = n_r \cdot n_c \cdot n_0$$

1接点あたりの故障率の推定値 $\hat{\lambda}$ は

$$\hat{\lambda} = r/N \quad (\text{failure/cycle})$$

これを信頼水準 $(1-\alpha) \times 100\%$ の片側上限値 λ_u を推定するには、 χ^2 分布より

$$\lambda_u = \hat{\lambda} \cdot \frac{\chi^2[2(r+1), \alpha]}{2r} = \frac{r}{N} \cdot \frac{\chi^2[2(r+1), \alpha]}{2r}$$

を計算すればよい。

4. 電磁繼電器の信頼度試験

信頼度試験は繼電器そのものの改良向上のためと、繼電器を多数

使用した装置の設計製造、あるいは保守を行なうための基礎資料を得るものが主であり、ここでは、前項で述べた寿命保証のためのデータ、および接触不良の故障率を求める試験の概要と試験結果について述べる。

4.1 機械的寿命

4.1.1 試験と判定条件

繼電器の機械的寿命に及ぼす要因は固有のものとして

(1) 可動部・衝突接触部の摩耗・変形または破損……鉄心残留ギャップの減少、接触子ばねの破損、接点変形脱落、可動接触子駆動体の破損

(2) コイル焼損・断線・過熱

(3) 接続部……ハンダ付部の断線、端子ねじのゆるみ

使用信頼度を左右する使用条件としては

(4) 操作電圧変動

(5) 開閉ひん度

(6) 使用環境……温度・湿度・腐食性ガスの有無・じんあい・取付け・振動・衝撃

(7) 保守……保守点検の有無と時期および保守内容、保守作業者のレベル

などがあり、繼電器固有のものについては、メーカーにおいて十分に信頼度を向上させるとともに、使用条件を明確にする必要があると考える。当社の繼電器は、工場試験室において 90% 信頼水準で機械的寿命を保証している。寿命の判定条件としては

(a) 鉄心残留ギャップの摩耗……規定値以下になった時点(落下電圧励磁電流の変化でもチェックできる)

(b) 動作電圧の変化……規定値内をはずれた時点(吸引電圧 85% 以上、落下電圧 10% 以下になった時点)

(c) コイル焼損・断線

(d) 部品の破損

4.1.2 標準系列繼電器の機械的寿命

SR 形繼電器の特性・性能・寿命および信頼度についてはすでに紹介すみであるので、その詳細は省略するが、機械的寿命試験の結果をワイル確率紙にプロットすると図 4.1 に示すようになり、平均寿命 $\mu = 1,400$ 万回、標準偏差 $\sigma = 350$ 万回、製品の 10% が故障するまでの寿命すなわち 90% 信頼寿命は 920 万回で、形状母数 $m =$

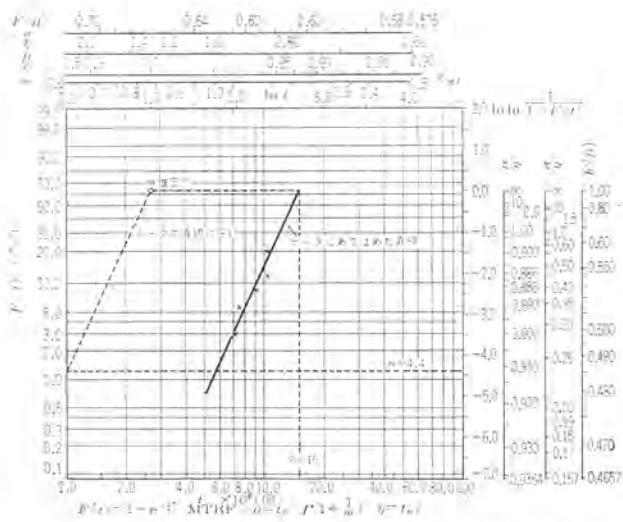


図 4.1 SR-4 形電磁繼電器機械的寿命試験結果
Mechanical life test results of type SR-4 relays.

4.4 の摩耗故障である。

RP 形繼電器で、SR 形と同じように検討した結果 $\mu=1,350$ 万回、 $\sigma=250$ 万回、90% 信頼寿命は 1,000 万回で $m=6$ の摩耗故障である。

4.2 電気的寿命

4.2.1 試験と判定条件

繼電器の電気的寿命に及ぼす要因で固有のものとして

- (1) 接点材質……接触抵抗・溶着・消耗・絶縁低下
- (2) 接点ギャップ
- (3) オーバトラベル(ワイブ)……消耗
- (4) 接触圧力……接触抵抗・接点チャタ・溶着
- (5) 絶縁距離……絶縁低下

使用条件としては

- (6) 使用電圧・電流
- (7) 負荷の種類……抵抗・誘導または容量負荷
- (8) 電源の種類……交流・直流
- (9) 開閉ひん度
- (10) サージ吸収回路の有無
- (11) 操作電圧変動……接点のばたつき
- (12) 使用環境……温度・湿度・腐食ガス

などがある。電気的寿命試験は、実負荷で実施するばあいと等価負荷で実施するばあいがあるが、当社では主として後者で実施している。この試験条件として、JEM 規格では、表 4.1 に示すように、適用別に試験条件を分類している。電気的寿命の判定条件として

- (1) 接点消耗……接点重量消耗量またはオーバトラベルが規定値以下になった時点
- (2) 絶縁……絶縁抵抗と耐電圧が規定値以下になった時点
- (3) 接触抵抗……規定値以上になった時点

である。

4.2.2 標準系列の電気的寿命

SR 形繼電器の電気的寿命のばらつき、およびその故障形態は、図 4.2 に示すように AC 220 V 5 A で $\mu=55$ 万回、 $\sigma=10$ 万回、90% 信頼寿命 40 万回で $m=6.1$ 、また AC 220 V 3 A で 90% 信頼寿命 75 万回、 $m=5.8$ でいずれも摩耗故障となり、ばらつきは非常に小さいことがわかる。

RP 形繼電器の場合、図 4.3 に示すように AC 220 V 1 A で $\mu=110$ 万回、 $\sigma=23$ 万回、 $m=5.5$ で摩耗故障である。

表 4.1 JEM 規格による電気的寿命試験条件
Electrical life test conditions in JEM 1230-1969.

級別	試験電流				用途	
	閉路		しゃ断			
	電流	力率または時定数 (L/R)	電流	力率または時定数 (L/R)		
A ₁	$10I_m$	0.6~0.7 lag	I_m	0.3~0.4 lag	交流電磁接觸器操作用	
A ₂	I_m	0.9~1.0 lag	I_m	0.9~1.0 lag	交流抵抗回路用	
D ₁	I_m	$100 \pm 15\% \text{ ms}$	I_m	$100 \pm 15\% \text{ ms}$	直流電磁接觸器操作用	
D ₂	I_m	$40 \pm 15\% \text{ ms}$	I_m	$40 \pm 15\% \text{ ms}$	小形直流電磁接觸器 繼電器操作用	
D ₃	I_m	1 以下 ms	I_m	1 以下 ms	直流抵抗回路用	

I_m は定格(使用)電流を示す。

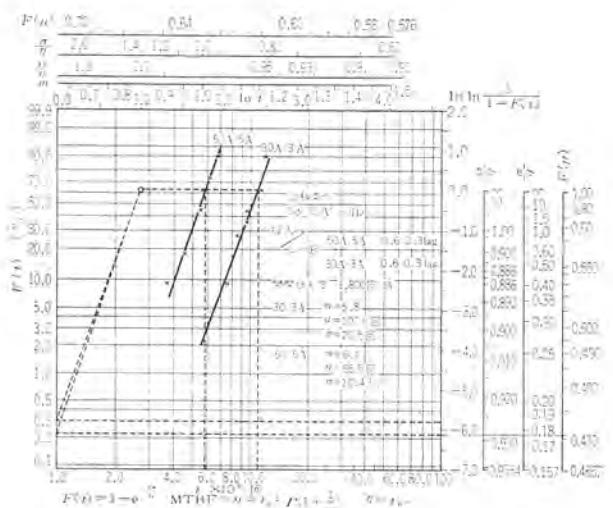


図 4.2 SR-4 形 電磁繼電器電気的寿命試験結果
Electrical life test results of type SR-4 magnetic relays.

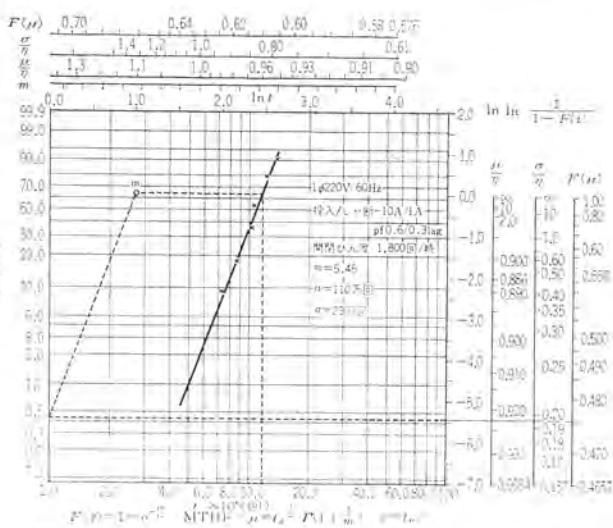


図 4.3 RP-200 P 形 電磁繼電器電気的寿命試験結果
Electrical life test results of type RP-200 P magnetic relays.

4.3 接触信頼度

4.3.1 試験と判定条件

繼電器の接触信頼度試験は、図 3.1 に示す JEM 試験回路、および図 3.2 に示す低レベルにおける接触信頼度試験回路により実施し、その停止回数より故障率または平均故障間隔を算出した。接触不良で停止したばあい、繼電器を取り換えず、停止パターンを調査し、再始動させる。同一パターンで繰り返しひん繁に停止するばあいは、接点の接触不良が摩耗故障によるものと部品破損があり、不良繼電器を取り換える必要がある。

標準系列の接触信頼度試験結果を表 4.2 および図 4.4 に示す。

4.3.2 SR 形 繼電器の接触信頼度

繼電器の接触不良の原因は、外部じんあいまたは繼電器内部のじんあいの接点接触面に付着、亜硫酸ガス・塩素ガス・アンモニアガスまたは炭酸ガスなどの腐食性ガスによる接点のコヒラー作用、および接点間に発生するアーキにより有機物が炭化または酸化し、この炭化物または酸化物が接点面に付着することによって発生すると推定され確認されているので、SR 形繼電器では図 4.5 に示すようころがり接觸機構を採用し、他の標準系列でも接点の金メッキ、カバーによる防じん、双子接点等の考慮をし接触信頼度を高めている。

表 4.2 電磁繼電器の故障率と平均故障間隔
Failure rate and MTBF of magnetic relays.

形 名	開閉電圧 電流	試験結果		故障率 (λ) 1接点あたり 10^{-6} (fr/cy)	平均故障間隔 (MTBF) 1接点あたり (万回)	備 考
		開閉回数 (万回)	停止回数 (回)			
S	AC 100 V/90 mA	300	2	4.2	6.5	24,000 15,000 SR-8, 4a4b, JEM 回路
	AC 200 V/45 mA	300	2	8.3	13	12,000 7,700 SR-8, 4a4b, JEM 回路
	AC 24 V/400 mA	100	20	250	270	400 370 SR-8, 4a4b, JEM 回路
	AC 24 V/400 mA	300	6	50	61	2,000 1,640 SR-8, 4a4b, 2P 並列, JEM 回路
	AC 100 V/90 mA	500	1	1.3	2.5	80,000 39,000 SR-8S, 4a4b, JEM 回路
	AC 24 V/400 mA	300	2	8.3	13	12,000 7,700 SR-8S, 4a4b, JEM 回路
R	AC 100 V/46 mA	300	4	33	43	2,970 2,330 RP-200P, 2T, JEM 回路
	AC 24 V/192 mA	300	9	75	87	1,330 1,150 RP-200P, 2T, JEM 回路
	AC 12 V/385 mA	100	10	250	287	400 348 RP-200P, 2T, JEM 回路
	DC 12 V/240 mA	300	1	8.3	17	12,000 5,900 RP-200P, 2T, JEM 回路
	AC 100 V/46 mA	500	3	7.5	10.4	13,300 9,600 RP-200SP, 2T, JEM 回路
	AC 24 V/192 mA	300	4	17	22	5,900 4,500 RP-200SP, 2T, JEM 回路
リ リ レ I	AC 12 V/440 mA	3,000	5	4.2	5.3	24,000 19,000 SRR-6, 2a2b, JEM 回路
	DC 6 V/3 mA	300	3	17	23	6,000 4,300 SRR-6, 6a
	DC 6 V/3 mA	300	2	17	23	6,000 4,300 RPR-4, 4a
R	AC 100 V/16 mA	2,500	6	3	3.7	33,000 27,000 RD-4P, 4T, JEM 回路
	AC 6 V/260 mA	1,000	7	8.7	10.5	11,000 9,500 RD-4P, 4T, JEM 回路
E ニ チ ア リ レ I	DC 6 V/120 mA	1,000	7	8.7	10.5	11,000 9,500
	DC 3 V/1 mA	10	8	2,000	2,360	50 42
	DC 24 V/11 mA	1,000	0	0.62	1.8	150,000 56,000
	DC 5 V/6 mA	1,000	0	0.62	1.8	150,000 56,000

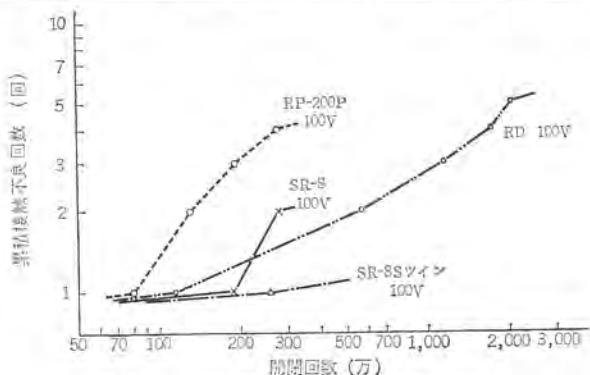


図 4.4 電磁繼電器の接触信頼度試験結果
Contact reliability test results of magnetic relays.

SR 形繼電器で接触信頼性に及ぼす要因調査のため、実施した接觸信頼度試験結果を表 4.3 に示す。この結果をまとめるとつぎのようになる。

(1) 回路電圧……100 V, 200 V 回路で 1 接点あたりの故障率が 10^{-6} (fr/cy) のものが、24 V 回路では $10^{-6} \sim 10^{-7}$ (fr/cy) に低下する。これは高い電圧では、接点表面に生成される不導通皮膜が電気的に破壊されるが、電圧が低くなると破壊されにくくなるためと考えられる。

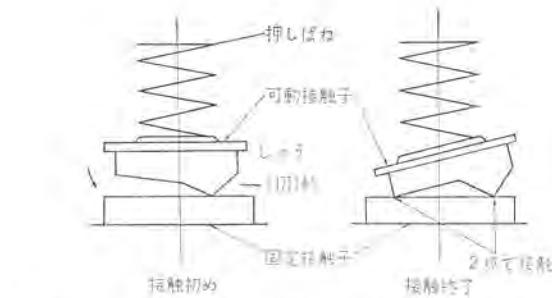


図 4.5 SR 形電磁繼電器の接觸子構造 (ころがり接觸)
Contact behavior of type SR magnetic relay

表 4.3 SR 形繼電器接觸信頼度試験結果
Contact reliability test results of type SR magnetic relay.

要 因	水 準	試 驗 結 果	
		開閉回数 (万回)	停止回数 (回)
コ イ ル 電 圧	AC 24 V	100	17
	AC 100 V	100	0
	AC 200 V	100	0
開 閉 ひ ん 度	1,200 回/時	100	2
	3,600 回/時	100	0
	7,200 回/時	100	1
接 点 材 質	Ag	100	0
	Ag+Au メッキ	100	1
	AgNi	100	1
接 觸 方 式	突 合	100	32
	こ ろ が り	100	17
接 点 直 並 列	ツ イ シ	100	1
	2P 直 列	100	8
	2P 並 列	100	1
	4P 直 列	100	17

注) 環 境……通 常
試験回路……JEM 接触信頼度試験回路

(2) 開閉ひん度……JEM 接触信頼度試験回路で、開閉ひん度の差は、繼電器の送り速度が一定であるため休止時間の多少を示す。1,200 回/時は 3,600 回/時より故障率が若干増加した。これは休止時間の長い場合、不導通皮膜の生成、および接点間にじんあい付着の確率が高いためと考えられる。

(3) 接点材質……24~200 V 10 VA 程度の回路では Ag 接点、Ag 接点金メッキ、および AgNi 接点では故障率に大差はない。

(4) 接触方式……SR 形繼電器で採用しているころがり接觸では、一接点あたりの故障率が一般的な突合せ接觸の約 $1/2$ と信頼性が高く、ツイン接点は低電圧で接觸信頼性が高い。

(5) 接点の直並列……理論的には 1 個の接点の接觸不良の故障率を λ とすれば、2 個並列に使用すると故障率は λ^2 、n 個直列に使用すると $1 - (1 - \lambda)^n$ となる。試験結果は故障率が 2P 直列接続に対し 4P 直列接続で 2 倍、2P 並列接続で 1 けた減少した。

4.3.3 RP 形および小形繼電器の接觸信頼度

RP 形および RD 形繼電器は接觸信頼度向上対策として、組立途中で付着するじんあいを取り除くため、カバーをかぶせる前に繼電器の洗浄を行ない、接点は純銀に金メッキを施して初期の接觸安定化をはかっている。

E 系列小形繼電器は、接点が双子で GS 合金に金メッキを施し高信頼性である。

F 系列小形繼電器は、可動バネが銀 パラジウムの上に金張りの双子接点、固定バネが銅ニッケル合金の基材の上に銀 パラジウムで、接觸が



図 4.6 SRR 形・RPR 形 リードリレー
接触信頼度試験

State of contact reliability test of
type SRR and RPR reed relays.

安定し、低レベル回路にも使用できる。

4.3.4 SRR 形・RPR 形リードリレーの接触信頼度

リードリレーは、密封容器の中で接点開閉を行なうためじんあい・腐食性ガスなどの外部ふん囲気に影響されないため接触信頼性が良い。リードリレーの接触不良は、電気的寿命限界近くで主に電流開閉による接触面の荒れにより接触抵抗が増加して発生する。SRR 形は SR 形繼電器と、RPR 形は RP 形繼電器と同一取付け寸法で取り付くよう設計し、とくに悪環境で SR 形または RP 形繼電器を使用して接触不良が多い場合に置き換えるように考慮している。

4.4 耐環境試験と化学的劣化試験

最近大気汚染が大きな問題として取り上げられているが、繼電器の接触信頼度も周囲ふん囲気（硫化ガス・有機ガス・じんあいなど）の影響が大である。繼電器が使用される環境条件は種々あり、工場での環境試験とでは相当の差があり、かつ加速係数も明確でないが、じんあい中および亜硫酸ガス中で JEM 試験回路により、接触信頼度試験を実施した。この試験結果を表 4.4 に示す。試験条件はつぎのとおりである。

じんあい中……じんあい成分: NaCl , MgCl_2 , CaSO_4 , 木粉,
トコ

じんあい飛散: 吹きつけ 30 秒 \rightarrow 休止 2 分

試験回路: JEM 接触信頼度試験回路

(図 3.1)

開閉ひん度: 3,600 回/時

亜硫酸ガス中……ガス濃度約 1,000 PPM, ガス中放置 8 時間 \rightarrow 通常
ふん囲気中で接触信頼度試験

開閉ひん度 7,200 回/時

試験結果をまとめると次のようになる。

(1) じんあい中……SR 形繼電器の接点部は、防じん構造で配線くずなどの接点部への進入は防止できるが、微細なじんあいは接点部に侵入し接触不良を発生させる。じんあいの多いところでは、透明防じんカバー付きの SR-C 形繼電器、あるいは接点部が半密封されている RP 形繼電器を使用し、リードリレーは、通常ふん囲気と同じ高接触信頼性の要求される用途に適する。

(2) 亜硫酸ガス中……AC 100 V 回路での SR 形繼電器、RP 形繼電器および SRR 形リードリレー、AC 24 V 回路での RP 形繼電器とも接触信頼度試験結果は、通常ふん囲気中と大差はなかったが、



図 4.7 じんあい中の接触信頼度
試験状況

State of contact reliability test in
the dust



図 4.8 亜硫酸ガス中の接触信頼度試験状況
State of contact reliability test in the sulphurous
acid gas

表 4.4 接触信頼度試験結果（環境試験）
Contact reliability test results.

形名	周囲ふん囲気	開閉電圧/電流	試験結果			故障率(λ) 1接点あたり $10^{-9}(\text{fr/cy})$	60% 信頼水準
			開回数(回) (万台)	閉回数(回) (万台)	停止数(回) (万台)		
SR-8	じんあい中	AC 100 V/90 mA	10	25	20	2,000	2,180
RP-200 P	じんあい中	AC 100 V/46 mA	20	100	0	12.5	37
SRR-6	じんあい中	AC 100 V/36 mA	10	100	0	12.5	37
SR-8	亜硫酸ガス	AC 100 V/90 mA	10	100	0	12.5	37
RP-200 P	亜硫酸ガス	AC 100 V/46 mA	20	100	1	25	50
RP-200 P	亜硫酸ガス	AC 24 V/192 mA	20	100	2	50	77
SRR-6	亜硫酸ガス	AC 100 V/36 mA	10	100	0	12.5	37

接触抵抗 (DC 6 V 0.1 A 通電、電圧降下法で測定) は、接点部が完全に密封されている SRR 形リードリレーは非常に安定し、50 mΩ 以下であるが、SR 形繼電器および RP 形繼電器は、10~30 万台で接触抵抗が 1 Ω 以上と増加し、DC 6 V では導通不良も発生した。これは硫化ガスにより銀接点表面に硫化銀皮膜が形成されるもので、とくに低電圧で接触不良を発生しやすい。AC 100 V ではこの皮膜が電気的に破壊され高い接触信頼度を示したと考えられる。低電圧で高い接触信頼度の要求される用途には、厚みの厚い金張（または金メッキ）接点か、接点部が密封されたリードリレーなどが適する。

5. 電磁繼電器の選定と適用

5.1 電磁繼電器の選定

繼電器の選定は、用途により信頼性・性能・寿命および経済性の諸点から最もバランスのとれたものを選定することが必要である。したがって、繼電器の定格・信頼性・性能・寿命を知ること、および装置の構造・用途・使用条件を十分理解することが必要となる。制御用繼電器の選定規準は図 5.1 にその概要を表わしたが、用途・負荷から、これに適合する繼電器をえらび、さらに装置の期待寿命・信頼性・価格・構造および作業者の技能レベルを考えて決定する。

繼電器の故障率を知り、装置全体の総合信頼度を計算し、目的とする信頼度を満足するかどうか検討し、不足のばあい並列冗長（たとえば接点の 2 極並列使用）、待機冗長の手段をとるか、より信頼性の良い繼電器を使用する。この信頼性の検討には、経済性も考慮する必要がある。

5.2 電磁継電器の適用

5.2.1 接点電圧

交流回路でシーケンスを組むばあい SR 形および RP 形では、図 5.2 に示すように 100~200V が最も故障率が低く、100~200V で回路設計したほうが信頼性が高く使用できる。直流回路では継電器のしゃ断能力およびサージ電圧を考慮して DC 24~48V で使用するが、DC 100V 以上の場合にはサージ吸収器回路を併用したほうが良い。直流回路のサージ電圧吸収の方法には、R-C、シリスタおよびトランジistor があるが、いずれの方法も落下時間が長くなるので、適用にあたっては十分考慮する必要がある。SRD 形継電器のコイルをしゃ断したばあいのサージ電圧・落下時間・各種サージ吸収回路の関係を図 5.3 に示す。

5.2.2 操作回路

操作回路の電圧変動はできるだけ避け、定格電圧の 100~95% で使用することが望ましい。電圧が定格電圧より高いと電磁石の吸引力が大きくなり、投入衝撃がふえ、機械的耐久度が低下し、定格値

より低すぎると不完全動作やばたつきを生じ、信頼性が低下する。

5.2.3 適用電圧・電流と負荷

継電器は定格電圧・電流を変え種々の負荷に使用できる。JEM 1230 では適用負荷別にその責務を分類しており、合理的であるが、当社継電器もこの JEM 1230 に準拠して、適用別・定格電圧別の定格電流を決定している。

5.2.4 負荷電流と寿命

継電器の電気的寿命は電流により異なり、負荷電流条件と期待寿命を明確にしないと継電器の最適な選定はできない。当社標準継電器の各負荷における寿命は、図 5.4 に示す負荷寿命が、曲線で示される。これより継電器の使用推定寿命は明確となる。

5.2.5 周囲環境

継電器の接触信頼性に最も影響のあるものにはじんあい・腐食性ガスがあるが、重汚染場所を除けばはん用継電器を使用し、接点電圧を高め制御盤を気密構造としたほうが経済的である。汚染の激しい場所では、接点を金にするか密封形のリードリレーまたはハーメチックシールドタイプの継電器の使用が望ましい。

5.2.6 接点チャタ

有接点継電器では、水銀接点リレーを除くと数 ms 程度の接点チャタは避けられず、継電器回路ではとくに問題にはならないが、半導体のように応答性の速いところでは誤動作することがあるので、このような場合 C-R ノイズキラーをつけることを検討する。

6. むすび

当社電磁継電器の標準系列 (SR 形・RP 形・SRR 形・RPR 形および RD 形) を中心に、はん用継電器の信頼性、選定および適用について述べたが、より高度な制御装置に使用される継電器の選定使用に、さらに今後発展・高度化するシステムに占める継電器の重要性を認識し、機器自体のよりいっそうの向上と適用に際して、より適正な資料を今後も提供したいと念願している次第である。終わりに、この資料をまとめたにあたり協力頗った関係者各位に謝意を表わす次第である。

参考文献

(1) 丸地ほか：新形制御用継電器と信頼性の諸問題、

三菱電機技報 42, No. 8 (昭 43)

(2) JEM 1230 : 制御用電磁継電器



図 5.1 制御用電磁継電器の用途負荷からの選定表
Selection of magnetic control relay from uses and loads.

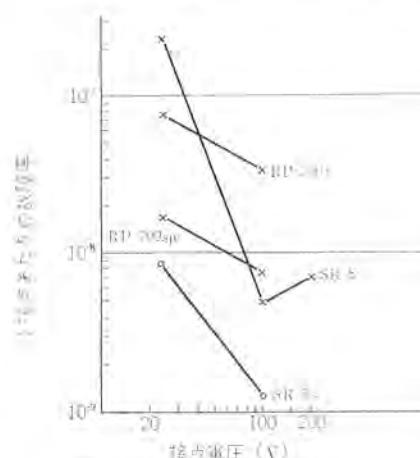


図 5.2 接点電圧-故障率
Contact voltage vs. failure rate.

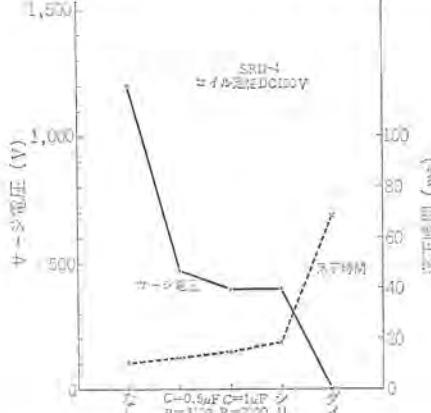


図 5.3 SRD 形各種サージ吸収回路によるサージ電圧落下時間比較
Surge voltage and release time of type SRD-4 magnetic relay with surge absorber.

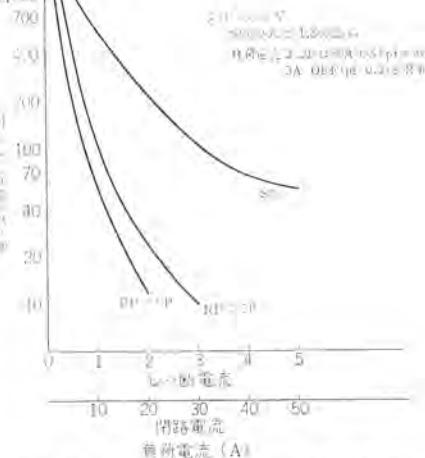


図 5.4 電磁継電器の負荷-電気的寿命
Loads vs. electrical life of magnetic relays

最近の熱間圧延機電機品

久保田 伸夫*・川崎 宗男*

Recent Hot Mill Electrical Equipment

Head Office Nobuo KUBOTA・Muneo KAWASAKI

The progress in the technique of electrical equipment used for hot mills is remarkable. Because of demand for high accuracy and high efficiency in the control of the machines, electronic computers and high speed operation circuits are employed for attaining the optimum control. The control technique is to be applied not only to the electrical equipment of the plant but also to the temperature, the thickness of plates and the tension of work; thus the weight to be borne by control is increasing to take care of technical know-how. To cope with this trend the electrical equipment itself has been improved extremely of its unit performance. The article describes about them briefly.

1. まえがき

最近の当社の主たる熱間圧延機品としては、著しい製作実績をほこり、ホットストリップミル2ライン、厚板ミル3ライン、条鋼ミル3ライン、棒線材2ライン、分塊ミル1ラインと納入し、現在製作中、または、好調にか(稼)動している。これらの電機品には、当社の最新技術が駆使されている。

熱間圧延機用電機品については、次のようなものを主に述べる。

- (a) 分塊圧延機用電機品
- (b) ピレット圧延機用電機品
- (c) 棒線材用電機品
- (d) 厚板圧延機用電機品
- (e) 熱間帶鋼圧延機用電機品

などであるが、当社の最新の技術の一端を紹介することにする。

これらの電機品は最新の技術が駆使されているが、特に顕著な事項としては、

- (1) プロセス計算機 (MELCOM-350-30) と DDC 用小形計算機 (MELCOM-350-5) のハイアラキーシステムによる完全自動化。
 - (2) ホットストリップミルにおけるコンピュータ AGC の成功。
 - (3) 主機電源のサイリスタ負荷による無効電力変動対策としての、サイリススイッチによるコンデンサの投入しゃ断。
 - (4) AGC システムや条鋼のスタンド間無張力制御システム (AMTC) の徹底的シミュレーション解析による最適システムの活用。
 - (5) 小規模シーケンス、自動化および高速四則演算回路への、超小形計算機 (MELMIC-100) の適用の成功。
- があげられる。詳細については以下に述べることにする。

2. ハイアラキーシステム

プロセス計算機 MELCOM-350-30 (M-30 と略称) と、DDC 用計算機 MELCOM-350-5 (M-5 と略称) とのハイアラキーシステムを構成することは、鉄鋼プラントの多機能を制御するためには、必ず(須)のシステムである。

2.1 ホットストリップミル

プロセスコンピュータ (M-30) は、粗圧延機および仕上圧延機のスケジュール計算、仕上温度および巻取り温度計算、仕上圧延機のギャップタイム一定制御のためのページング計算等を行ない、DDC 用の M-5 や

他のプロセス機器を制御する。また、加熱炉の燃焼制御を考慮中である。

DDC 用 M-5 計算機は、タイムシヤリングにより多重ループの位置制御、シーケンス制御を精度良く高速に行なうように設計されている。M-5 による DDC の詳細は、三菱電機技術 43, No. 11 (1969) を参照していただきたい。図 2.1 にホットストリップミルの自動化システムを示す。

スラブは、スラブレシーピングテーブル上から所定の加熱炉入側テーブル上に自動停止する。ウォーキングビームタイプの加熱炉であれば、加熱炉の内のスラブ間隔が一定となるようブッシャにてスラブ自動装入が行なわれる。炉内で加熱されたスラブは、計算機の指令により炉出側テーブル上へ自動抽出され、VSB を経て粗圧延機にて圧延される。粗圧延機の圧下、エッジ、サイドガイド、デスクバーナーは、スケジュール計算の結果により、プリセットされている。粗最終スタンドには、クローズカッブルの粗圧延機が設置されるが、無張力制御のために、ルーパが設置される方法とルーパを設げず張力電流により、圧延速度を制御する方法とがある。粗圧延機のデスケーリングは、スケジュールパターンによって噴射される。

粗圧延機で圧延されたスラブは、ディレーテーブル上へ送られるが、ここでは先行スラブのギャップ制御や、仕上温度制御のためのテーブルロックキング制御が行なわれる。

クロップシヤにて、スラブ先端と尾端を自動切斷し、仕上圧延機のかみ込みやすさを助け、フイシティによる圧延機破損を防いでいるが、切斷歩道より向上のために当社が開発した形状認識装置が使用されている。ロングスラブからコイル 2 個を圧延する場合は、クロップシヤにて設定された長さに 2 カットされる。

仕上圧延機の各スタンドは圧下、速度、サイドガイドがスケジュール計算により、プリセットされており、所定の板厚、良好な形状で圧延されるよう制御される。自動板厚制御 (AGC) システムがスタンド間ルーパの定張力位置制御とともに、圧延中のスキッドマーク温度降下等の外乱に対して絶対板厚を適正な値に保つ。(AGC システムの項を参照されたい)

また従来仕上温度を一定に保つために、仕上圧延機はわずかな加速率で加速圧延を行なっていたが、近年生産性アップのために、速い加速率で加速圧延を行なう。この場合、仕上温度はスタンド間スプレーにて計算機制御される。また加速圧延後の通板速度への自動復

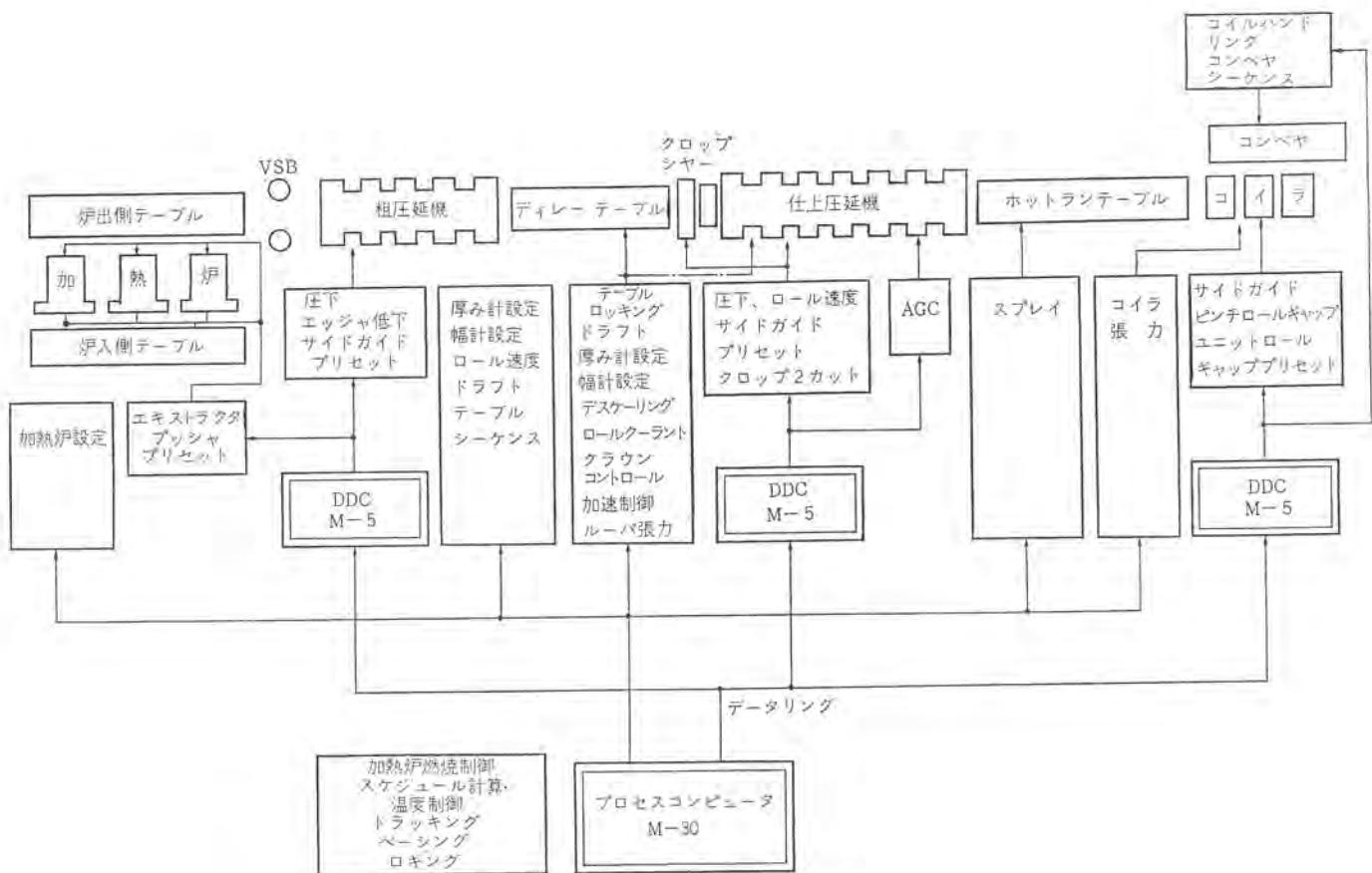


図 2.1 ホットストリップミル自動システム
Hot strip mill automation system.

帰が行なわれる。

製品の冶金学的特性を均一にするために、巻取り温度がホットランテーブル上のクラントスプレーにより計算機制御される。またコイラ巻き取りのために、自動減速後、自動尾端停止により所定の位置に尾端が停止するよう制御され、さらにコイルハンドリング、コンベヤ、パンデング、ひょう(秤)量 シーケンスが、M-5 計算機により制御される。

2.2 連続形鋼ミル

プロセスコンピュータは、主に工程管理用として使用されるが、材料のサイズは、ホットストリップミルよりも圧倒的に多く、その圧延スケジュールを計算することは、困難なことである。

スケジュールは、ハイアラキーシステムを通して、データリンクにて伝送される。

また、DDC 用 M-5 計算機は、特に、位置制御、AMTC の DDC 制御がおもな制御項目である。

加熱炉を出たビレッドは、粗圧延機で圧延され、ホット粗と同様スケジュールに従って、圧下の設定が M-5 により行なわれる。

中間スタンド群は、エッジミル、ユニバーサルミルの複数スタンドから構成される。この各スタンドは圧下、速度、サイドガイドはスケジュール計算によりブリセットされる。また、粗圧延機で圧延されたスラブは、スタンド前テーブル上へ移送されるが、ここでは先行材のギャップタイム制御や、ロールスキッド防止のためテーブルロッキング制御が行なわれる。

またスタンド間では、材料を無張力状態におくことが、製品のために要求されるが、無張力制御のためにはルーパが設置される方法と、ルーパを設けず張力電流により圧延速度を制御する AMTC 法 (AUTOMATIC MIN. TENSION CONTROL) がある。(AMTC の項を参照されたい)

同様に、仕上スタンド群も中間スタンド群に準ずる。

スタンド群は、各種の DDC 位置制御を十数ループの制御を行ない、AMTC に対する自動ゲイン調整をもあわせて行なっている。

また、条鋼・形鋼においては、ロール組換えまたはスタンド組換えが複雑化している。またスタンド組換え時の配管・配線をもすべて自動カッコを使用し、完全自動化している。

また、条鋼・形鋼ラインの精整においては、製品のトラッキングは、別の計算機を使用している。これらは、制御用基準値も出し、製品カードの作成も行なう。またラインは、複雑化し、その自動運転は、DDC 計算機の位置制御、シーケンス運転も行なう。

また、ハードウェアによる自動運転が、随所でプロセス計算機および DDC 計算機の機能を助けている。

製品切断から、検定・分割・仕分・結束に至るまで、完全自動運転を行ない、さらにプラントによって自動倉庫システムをも付加している。

2.3 厚板圧延機

プロセスコンピュータ M-30 は、粗および仕上圧延機のスケジュール計算、粗・仕上の負荷配分とギャップタイムの計算、低温仕上材に適応される仕上温度制御および作業指示、シーケンスコントロールを行なっている。

DDC 用 M-5 計算機は、タイムシケーリングにより多重ループの位置制御を、加熱炉入側からレベラーまでを分担する。

スラブは、スラブレシーピングテーブル上から所定の加熱炉入側テーブル上に自動停止する。ウォーキングビームタイプの加熱炉であれば、加熱炉内のスラブ間隔が一定となるようブッシュにてスラブ自動装入が行なわれる。エキストラクタ・デスケッタの位置制御を行なうと同時に、加熱炉出側テーブルから粗圧延機までのシーケンスコントロールは M-30 にて行なう。粗圧延機は、可逆圧延機であるから、各バスのスケジュール計算に従って圧延されると同時に、各バスの圧延終了後に、それ以後

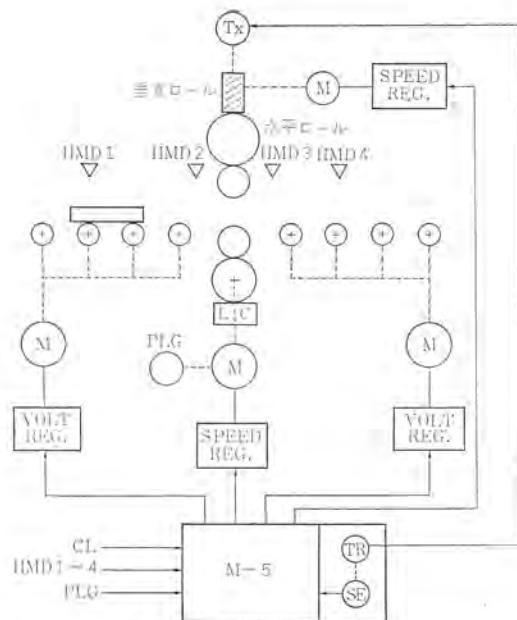


図 2.2 厚板自動化システム
Plate mill automation system.

のスケジュールの再計算が行なわれる。仕上圧延機の圧延時間を考慮した後、仕上圧延機へ自動的にスラブが移送される。粗同様、仕上圧下・サイドガイドなどの位置設定は、M-5 計算機が担当する。スケジュール計算および修正については、粗圧延機と同様である。

しかし、仕上圧延機では、板厚の均一化のために AGC を使用している。AGC は、ハードウェアを使用してきたが、最近では、厚板においても、DDC 計算機を使用するように計画されている。

また、板クラウンに関するロールベンドィング制御（バックアップロールベンドィングまたはワーカロールベンドィング）も計算機出力によって制御されるようになった。厚板の温度制御は、ホットストリップと同様、複雑な部分であるが、当社は、すでにモデル式を開発し、順調な運転を行なっている。また、低温仕上材については、冷却状態をつかみ、特殊なスケジュール計算を行なっている。厚板圧延機の自動化システムを図 2.2 に示す。

さらに精整ラインには、作業指示用・トラッキング用などに CRT を行ない、表示システムを管理する M-30 計算機を導入している。

3. AGC システム・AMTC システム

3.1 AGC システム（特許申請中）

ホットストリップミル 仕上圧延機では、スタンド間 ルーパの定張力定位置制御とともに、圧延中のスキッドマーク温度降下等の外乱に対して絶対板厚を適正な値に保つために、自動板厚制御（AGC）システムが適応されている。

川崎製鉄（株）（水島）および神戸製鋼（株）（加古川）の新ホットストリップミルには、M-5 による完全なるデジタル制御コンピュータ AGC システムが採用されている。図 3.1 にコンピュータ AGC システムを示すが、M-5 は全スタンドに AGC を行なっており、ロールフォス AGC・X 線モニタ・加速補償・尾端補償・ルーパ補償のほかに、コンピュータ AGC の特性を生かしたフィードホワード制御を行なって、その板厚精度と運転方式とは改善され、調整過程は従来に比べて著しく短縮された。板厚精度の一例を図 3.2 に示す。

3.2 AMTC システム（特許申請中）

連続スタンドをもつ圧延機のスタンド間の強力を制御するために、

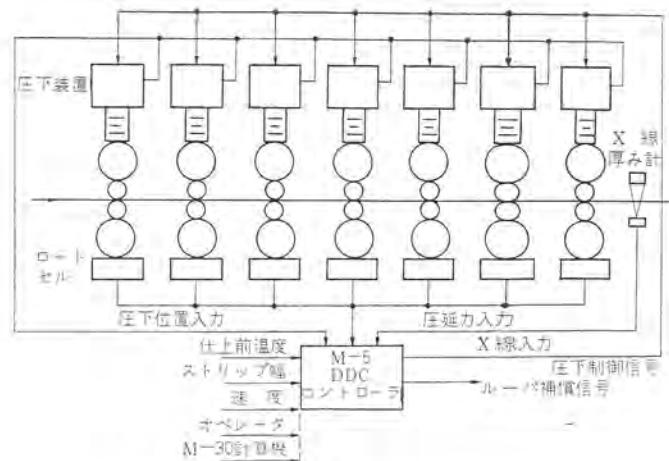


図 3.1 コンピュータ AGC システム（特許申請中）
Computer AGC.

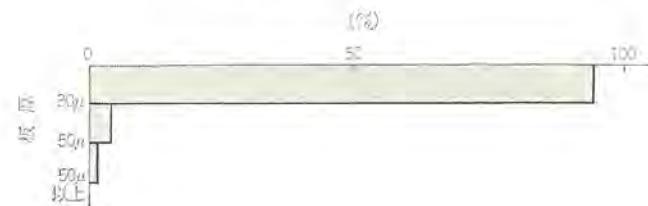


図 3.2 コンピュータ AGC システム 実績の一例
Example of computer AGC.

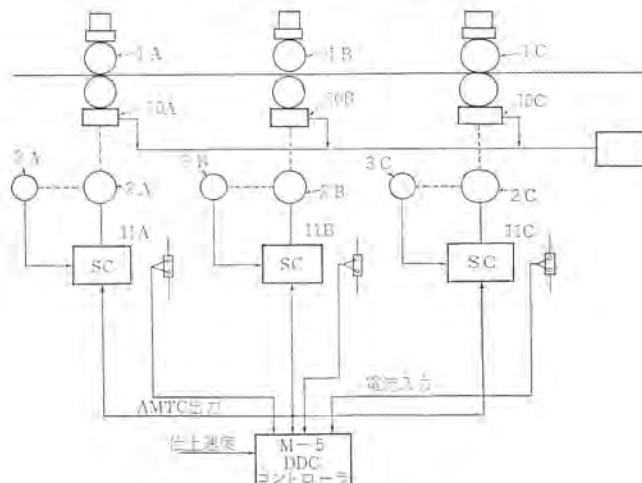


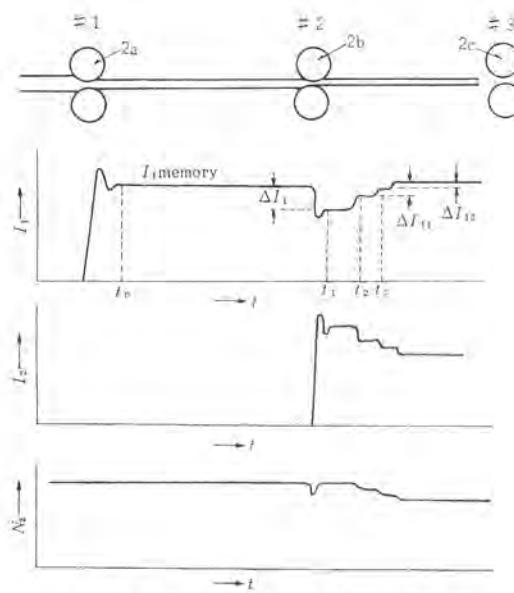
図 3.3 AMTC 制御コンピュータ
Computer for AMTC.

ルーパを使用する例が多いが、ルーパがなく、しかも、材料に対して、張力許容限界があるときには、この張力制御を使用しなければならない。これを AMTC (Automatic Minimum Tension Control) と称す。

最近の AMTC システムは、ハードウェアのものと M-5 による完全なるデジタル制御コンピュータシステムのものとがあるが、それを図 3.3 に示す。連続するスタンド間には、張力・圧縮力が生じても完全なる制御が可能なように考慮されている。また、スタンド間での時間が制限されることもあるので、予測制御も可能である。またその圧延の状態と電流との関係は、図 3.4 に示すとおりである。

4. ダイナミック シミュレーション

鉄鋼ラインの最適制御には、どうしても機械系の詳細動作、圧延される材料の圧延状態と電気制御を総合的に考慮しなければならな



いことはいうまでもない。しかも、圧延状態は常に変わるために、過渡状態を知り、ダイナミックな特性を知ることが最も重要なことになる。つまり、計画・設計をするためには、圧延状態を仮定したシミュレーションが必要となってきた。

当社は、このためその解析が困難であると考えられている熱間圧延状態の各種について、当社の最も誇りとするシミュレーションシステム BACS を使用し、解析してきた。BACS は、IBM 360-75 システムの最大機能を使用し、すでに AIEE にも発表されたすぐれたシミュレーションシステムである。

(1) 計算機 AGC の適用に当っても、当社では、この BACS を利用し、詳細なシミュレーションを展開した。あらゆる外乱に対して、その適応機能と精度を確認する、コンピュータ AGC ダイナミックシミュレーションプロジェクトチームが作られた。

その結果、自信に満ちたコンピュータ AGC システムが、先にも述べたように、川鉄(水島)、神鋼(加古川)のホットストリップミルに適用され、そのシステムと精度は満足されるものであった。図 4.1 にそのシミュレーションダイヤグラムを示す。

(2) 連続形鋼圧延においては、世界でも例の少ない、形鋼(ル

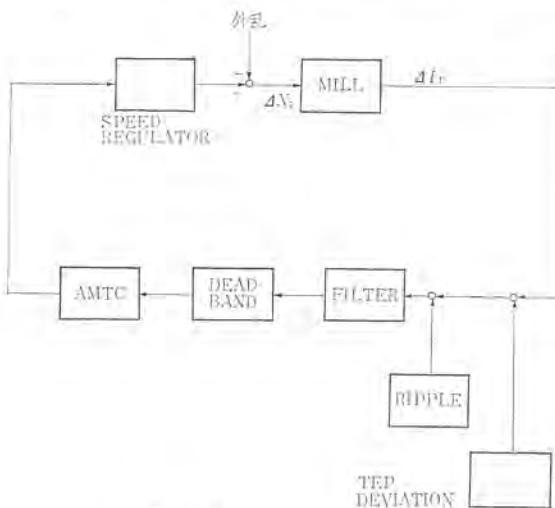


図 4.1 シミュレーションブロック
Block Diagram of simulation.

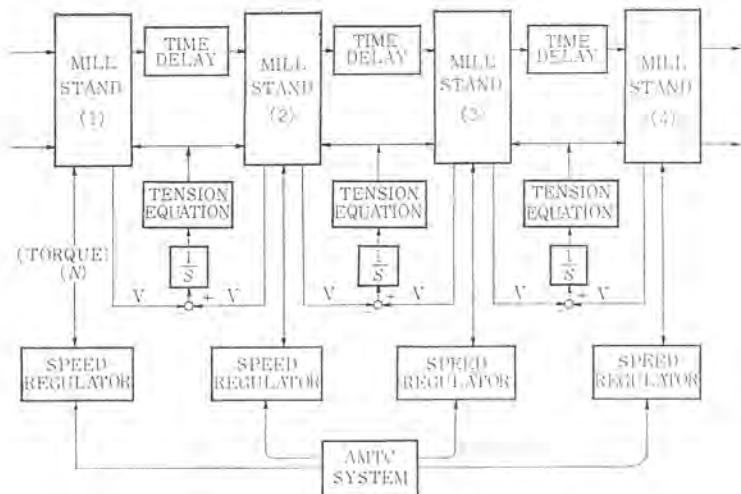


図 4.2 張力と速度のブロック図
Block Diagram of speed vs. tension.

バの使用できない)の連続圧延機の無張力制御を行なうために、複雑な圧延機間の影響係数を知り、温度変化・寸法変化・速度変化・スキッドマーク・先進率・後進率などの変化等をすべて考慮して、圧延機・材料・電気制御系のダイナミックシミュレーションを長期に渡り展開した。無張力制御(AMTC)におけるダイナミックシミュレーションには、IBM 360-75 システムを使用した。その系は、膨大な量に達し、プロジェクトチームは 15 man・month に及んだ。

シミュレーションの結果は、著しいものがあり、スタンド間張力影響係数、張力・圧縮力の過渡状態、スキッドマークの影響および先進率・後進率の算定など、実際の適用のための解析を完成させた。そのテンションブロックを図 4.2 に示す。

5. ミニコン適用

最近の鉄鋼ラインは省力化の波にもまれ、ハイアキシシステムによる自動化の分業化が著しくなってきた。そのため、制御用計算機においても、その機能をさらに詳細機能に分解するとともに、今まで、その効果がうんぬんされたシーケンス制御にも、計算機の機能を加えられるようになった。それらは、分業自動化の機能は、ほとんど單一で、大きな計算機では、その経済的な面が問題となるのである。そこで生れた計算機がミニコン(超小形計算機)である。図 5.1 に示すのが、デジタル速度計であり、図 5.2 に示すものが、油圧下の位置制御系である。この他、シングルスタンダードのフィードホワード AGC 等、鉄鋼ラインで適用できる機能は無限と言ってもよい。当社は、このためミニコンピュータ MELMIC-100 を開発してきた。

MELMIC-100 は、表 5.1 に示すような性能をもち、周辺装置とともにキューピタルに収納される。調整時には、RAM 方式で行なわれ、ROM 方式で固定される。そのため、設計計画の時間は著しく減少すると同時に、同一機能多ループの制御には、その経済的な面は、著しく、今後ともその適用は、大幅に伸びるものと考えられる。予想される適用機能は次のとおりである。

- (1) ロールフォス AGC システム
- (2) フィードホワード AGC
- (3) 伸び率制御
- (4) 自動減速システム
- (5) デジタル速度制御主幹
- (6) コイルハンドリング
- (7) 小ループ、DDC 位置制御装置

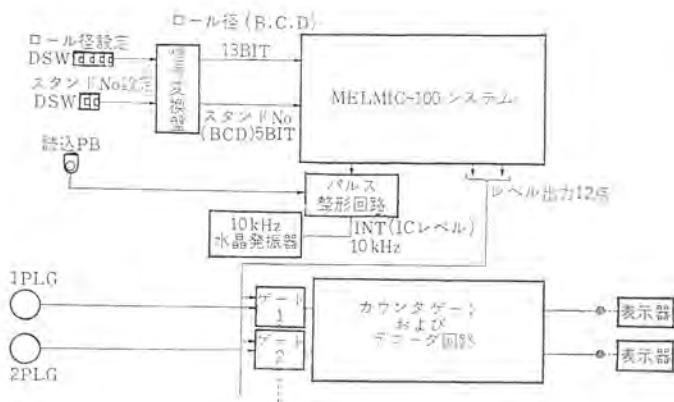


図 5.1 ディジタル速度計測システム
Digital speed measurement system.

表 5.1 MELMIC-100 の仕様
Specifications of MELMIC-100.

■演算制御ユニット (MELMIC-101)	形 状	高さ 150, 幅 480, 奥行 370 mm ラックマウント
回路素子 TTL/DTL 集積回路		タイプまたはデスクトップタイプ
制御手順 読み出し専用内部プログラム記憶方式		
演算方式 2道並列, 固定小数点	電 源	AC 100/115 V±10 %, 1φ, 50/60 Hz
命令種類 基本 27 種	周囲条件	温度 0°C~50°C, 濡度 95 % 以下
演算速度 4 μs		
語 長 16 ビット	■ROM カード (MELMIC-181)	
メモリ	メモリ素子	IC 化読み出し専用メモリ
制御手順 読み出し専用メモリ, 256 語 ROM カード (MELMIC-181) 4枚または RAM カード (MELMIC-182) 1枚	メモリ容量	64 語/カード (1 語=16 ビット十パリティ+1 ビット)
レジスタ 最大 512 語まで拡張可能	形 状	高さ 190, 幅 13.5, 奥行 155 mm プリントカードタイプ
IC レジスタ		
アキュムレータ 2 語	■RAM カード (MELMIC-182)	
ステータスレジスタ 1 語	メモリ素子	MOS LSI メモリ
バッファレジスタ 6 語	メモリ容量	256 語/カード (1 語=16 ビット十パリティ+1 ビット)
(レジスタカード (MELMIC-111) 4枚) 接続可能	形 状	高さ 190, 幅 54, 奥行 155 mm シャシタイプ
他に外部レジスタとして 23 語接続可能		
割り込み 1 レベル 6 原因 (標準装備) 割り込み原因はさらに外部追加可能	■レジスタカード (MELMIC-111)	
形 状 高さ 250, 幅 480, 奥行 370 mm ラックマウント	メモリ素子	IC レジスタ
	メモリ容量	3×8 ビット/カード
電 源 AC 100/115 V±10 %, 1φ, 50/60 Hz	形 状	高さ 190, 幅 13.5, 奥行 155 mm プリントカードタイプ
周囲条件 温度 0°C~50°C, 濡度 95 % 以下		
■入出力ユニット (MELMIC-124)	■ROM 書込み装置 (MELMIC-191)	
入力信号 32 点, 無電圧接点信号, DC 24 V, 10 mA 以上	機 能	ROM カード用プログラム書込み
出力信号 16 点, 無電圧接点信号メータ接点, DC 100 V, 0.5 A 以下	形 状	高さ 280, 幅 490, 奥行 400 mm デスクトップタイプ
入出力状態 IC レジスタ, 3 語 (1 語=16 ビット) 保持		
	■RAM 書込み装置 (MELMIC-192)	
	機 能	RAM カード用プログラム書込みおよびシステム調整用
	形 状	高さ 135, 幅 360, 奥行 512 mm デスクトップタイプ

(8) マルチプレクサ

(9) 故障監視装置

などである。MELMIC-100においては、演算機能がミニコンとしては、十分なため、シーケンサとしての機能はさることながら、演算機能としての使用法に一段と偉力を発揮している。

6. 電動機

最近納入された主電動機は、冷却方式をユニットクーリング方式とし

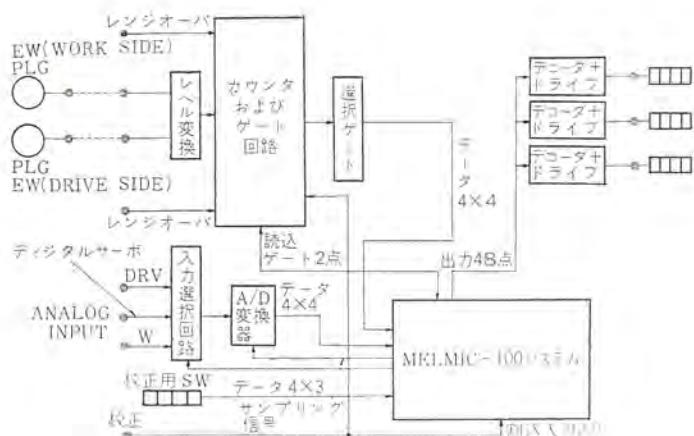
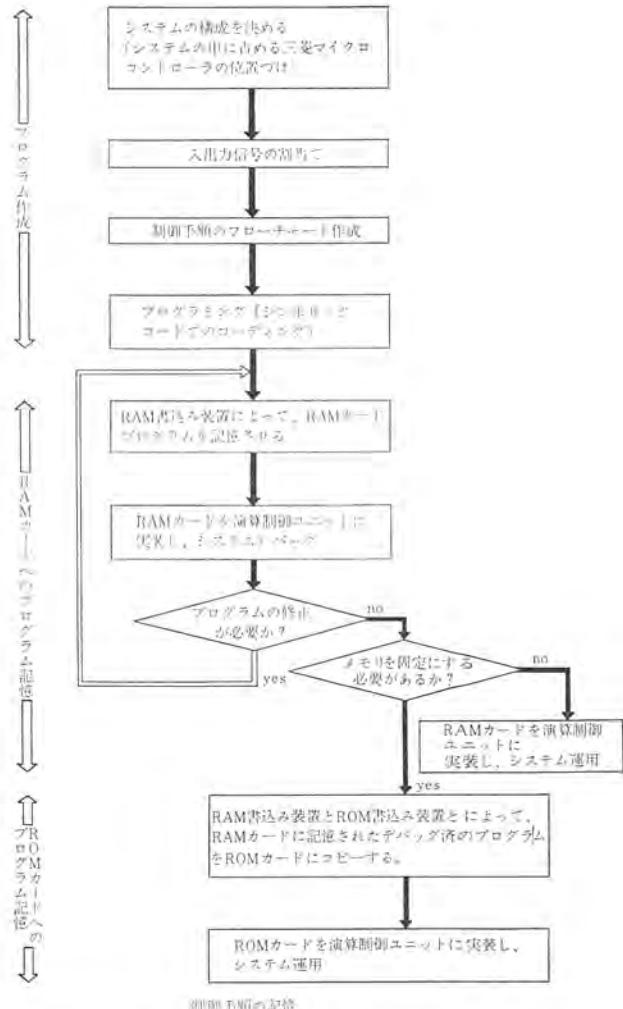


図 5.2 油圧圧下システム図
Hydraulic screw down system.

表 5.2 MELMIC-100 の使用方法
How to use MELMIC-100.



て外気からしゃ断し、塩害その他の原因による絶縁の低下のないよう万全を期している。なお冷却ファンおよびクーラを適当に分割しているので、それらが1台故障を起こしても支障がなく、圧延が続行できる。

ホットランテーブル用には、永久磁石励磁方式直流電動機を採用したほか、低速度用800番直流電動機については、従来の観念にとらわれることなく、防水対策を十分に考慮した新機軸標準系列を判定し、全面的に採用している。

また、前にも述べたように、制御系が高速応答、高性能のため電動機側にも di/dt の高速応答が要求され、主機電動機では、100 PU/s, AGC システムの圧下では 200~300 PU/s が要求される。また、ホットストリップミルの主電動機には、先にも述べられたように、軸振動が制御系周波数応答と共振しないように、十分なる軸振動周波数を検討、軸寸法を設計している。

7. 電源系統

(1) 設備の大容量化により、サイリスタ電源は、70 kV, 66 kV または 33 kV よりのじか落しとされ

る。主機主回路は、トランス 結線の組合せにより、ホットストリップミル 仕上スタンドでは、スタンド当たり 12 相となり、3 スタンドで組合せ 36 相としている。また、厚板ミルなどでは、スタンド上ロールで 12 相とし、上下ロールで組合せ 24 相としている。これらによって、高調波発生を抑制している。主回路は、当社 1 号機 サイリスタからの標準である循環電流なし逆並列接続回路であり、平形両面圧接機構のセンタゲート方式 FT-500 A 素子 (4,000 A 2,500 V) を使用している。また ASR 制御系にて安定で高精度の制御を行なうとともに、事故保護に対しても万全の対策を施している。制御回路には、演算増幅器等に大幅に IC を導入し、装置全体の小形化と信頼度の向上をはかっている。また、補機などの電源には、新形の平形 250 A 定格の素子 FT-250 A シリーズを使用したコンパクトタイプ装置の CF-F を使用している。サイリスタレオード装置は、その総生産量がすでに 750 MW を越えている。

さらにサイリスタ負荷の場合は、系統の無効電力が大きくなり、たとえばホットストリップミルでは、100~120 MVA 程度となり、電圧変動の問題を生じるが、その対策として、次のものをいくつか組合せている。

- (1) 粗同期電動機の無効進相電力制御
- (2) 進相コンデンサのサイリスタによる同期開閉
- (3) 同期コンデンサ装置

上記は、ホットストリップミルの電源に対する処置である。

一般に、可逆圧延機をもつ厚板・分塊などの高速の無効電力変動に対しては、後述する同期コンデンサ投入が必要で、その投入は、無接触形の方式でなければ寿命がもたず、また開閉時の影響が、電源系統の電圧 フリッカとなる。

そのためコンデンサを、次のようにしてサイリスタで同期投入することが、最も高速でしかも、電源系統に悪影響を及ぼさぬ方式である。

特長

- (a) 静止器であり、保守の要はない。
- (b) コンデンサの同期投入、同期しゃ断が可能であるため、コンデンサに過渡時の過電流は流れないので、コンデンサの寿命を縮めることもなく、また系統にじょう(擾)乱を与えることはない。
- (c) 屋外用としても設計できるため、据付場所に制限はない。

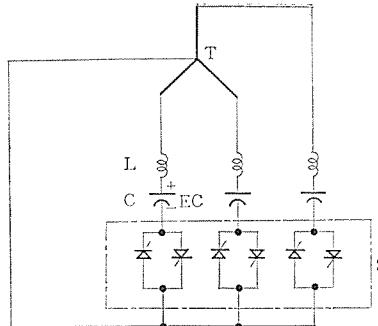


図 7.1 サイリスタコンデンサ回路方式
Circuit diagram of thyristor condenser.

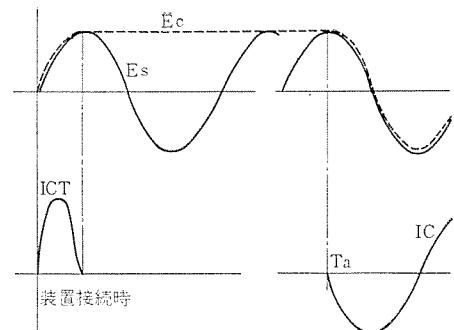


図 7.2 サイリスタコンデンサ電流電圧
Relation of voltage and current with thyristor condenser.

(d) サイリスタを使用するので、瞬時応答と考えてよく、周波数の高い、フリッカも十分除くことができる。

(e) 無効電力を吸収し、回路の力率を著しく向上できる。

(2) 図 7.1 は、この装置の概略結線図を示しているが、この装置は、変圧器 T、直列リクトル L (6%程度) コンデンサ C、およびサイリスタ TH とダイオード D を逆並列に接続したサイリスタスイッチ S によってなっている。この図をもとにして、この回路の動作を説明すると下記のとおりである。

いま、サイリスタ TH のゲートに点弧信号を与えないとき、コンデンサはダイオード D を通る電流により、変圧器の二次電圧まで図示の極性に充電される。

すなわち、図 7.2 において、変圧器 T の二次電圧を E_s とするとき、コンデンサの電圧は、 E_c のごとくになり、またコンデンサのチャージ電流は ICT となる。 $(ICT$ は変圧器の一次または二次側しゃ断器を投入するとき一度しかない) このフリッカ防止装置を動作せしめるには、電圧の変化または無効電力を検出して、サイリスタ TH のゲートに点弧信号を送るわけであるが、これは、たとえば、図 7.2 の時点 T_a 点のごとく E_c と E_s が等しくなる点で、ゲート信号を入れると、過渡現象なしに完全に同期投入が行なわれ、コンデンサは充電を行なって、フリッカ防止装置は動作状態に入り、コンデンサは進み電流をとつて、フリッカを低減する。これを切り離すときには、サイリスタのゲートに信号を送ることをやめると、コンデンサは再び E_s の尖端値まで充電されて、コンデンサ電流は零となる。このようにして、サイリスタのゲート信号によってコンデンサを過渡現象なしに回路に接続切り離しを行ない、進み続流を加減してフリッカを防止するものである。

8. むすび

以上のように、熱間圧延電機品には、最近の技術の最先端を駆使し、それにデジタル計算機を導入して、精度の高い制御を行なっていることがわかる。

各設備電機品の納入に先立ち、製鉄所各位に対してこれらのシステムの採用と、ご協力を心から感謝申し上げる。

回転磁界形無限可変移相器

中原昭次郎*・紅林秀都司**・溝渕哲史**

A Rotating Field Infinitely Variable Phase Shifter

Kamakura Works

Shōjirō NAKAHARA・Hidetoshi KUREBAYASHI・Akihito MIZOBUCHI

This phase shifter, being controllable of its transmitted phase by the rotation angle of externally applied DC magnetic field, has good frequency and temperature characteristics of differential phase shift.

In this paper are described the problems of higher order modes and waveguide cutoff phenomena in a ferrite mounted circular waveguide to clarify successfully the character of the mode existing therein. A proposal is made on the improvement of the performance of the phase shifter with evidence obtained through experiments. The method consists in coaxial insertion of a metal rod in the waveguide mounted with a ferrite tube. Differential phase shift is calculated by a perturbation method using an assumption of magnetization distribution in the ferrite tube, resulting in good approximate values. Lastly, description is made on the performance of the rotating field infinitely variable phase shifter built for trial. The device is quite satisfactory for practical use.

1. まえがき

この報告は、マイクロ波回線中継局のフェーディング防止装置、あるいは通信衛星 EDA 用などに用いる移相器のように、位相の不連続的変化を避けなければならないような用途には、きわめて有用な回転磁界形無限可変移相器に関するものである。この移相器は、外部直流印加磁界の回転角度に応じて、透過位相が変化する獨特の動作をするアナログ移相器であるため、他の移相器に比較して、移相量の温度特性や周波数特性が良く、また、ヒステリシス特性も少ないため、駆動方法も柔軟であるなどいくつかの特長を持っている。さらに、外部直流印加磁界を回転させるだけで、移相量は、その角度に応じて連続に変化し、印加磁界が 1 回転すれば、元の状態に戻るため、無限連続可変移相器となる。

われわれは、この移相器に関して 6 GHz 帯で実験を行なったが、2 章に 2 分の 1 波長板の構造と動作原理について述べ、3 章ではフェライトチューブ内装導波管の諸特性について述べ、まず、フェライトチューブ内装導波管中での高次モードの発生、あるいはしゃ断現象について詳細に追求し、種々の設計資料を得ている。また、金属棒をその導波管と同心円的にそう入することにより、そう入損失の改善やしゃ断現象の緩和（すなわち、使用可能周波数範囲の広域化）を達成した。4 章は回転磁界形 2 分の 1 波長板の移相量の近似計算であり、電磁界分布としては誘電体チューブ内装導波管のそれを、フェライトチューブ内の直流磁化分布としては、いくつかのモデルを仮定して計算を行ない、かなり良い近似値を得ている。5 章には試作した回転磁界形無限可変移相器の性能について述べている。

2. 構造および動作

回転磁界形無限可変移相器は、図 2.1 にその構成図を示してあるように、4 分の 1 波長板（以後、 $\lambda/4$ 板と書く）を、回転磁界形 2 分の 1 波長板（以後、 $\lambda/2$ 板と書く）の前後に接続して構成するのである。図 2.1 には、動作説明のための座標系なども同時に描いてあるが、今、左方より直線偏波 E_{in} が入射すると、 $\lambda/4$ 板通過後円偏波となり $\lambda/2$ 板に入る。そして、 $\lambda/2$ 板内で外部直流印加磁界の回転角度に応じた移相をした後、 $\lambda/2$ 板への入射時とは逆の回転方

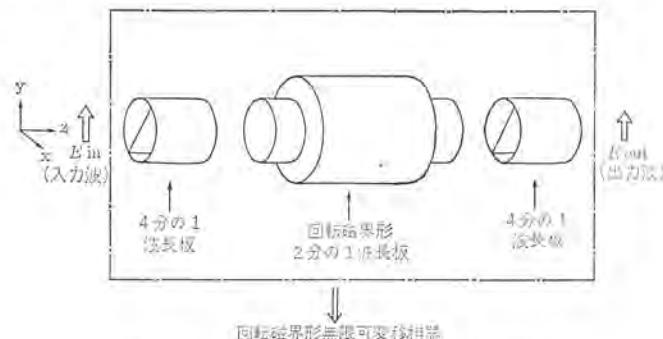


図 2.1 回転磁界形無限可変移相器の概略図
Conceptual drawing of the rotating field infinitely variable phase shifter.

向円偏波となって $\lambda/2$ 板を出る。その円偏波は $\lambda/4$ 板で再度直線偏波に直され、出力 E_{out} となるわけである。この説明の場合は、入出力波共に直線偏波であったが、入出力波共に円偏波である場合は、 $\lambda/2$ 板のみで良く、入出力波いずれか一方が、直線偏波で、他方が円偏波である場合は、直線偏波側に $\lambda/4$ 板を接続することにより、回転磁界形無限可変移相器とすることができる。

同じことを定量的に考えると、図 2.1 に示すように、入力波を E_{in} 、出力波を E_{out} とすると、それらの間には次の関係が成立する⁽¹⁾。

$$E_{out} = -j \exp [j(\beta L + 2\theta)] \cdot E_{in} \quad \dots \quad (2.1)$$

ここに、 βL は各移相板により決定される固定の位相量。

θ は外部直流印加磁界の回転角度。

式 (2.1) から明らかのように、 βL は θ に無関係な固定の位相量であるから、入力波と出力波の相対的位相は、 $\lambda/2$ 板の外部直流印加磁界の回転角度 θ の 2 倍の位相量で変化する。そこで $\lambda/2$ 板外部直流印加磁界を連続的に回転すれば、1 回転 720° で進み遅れ両方向に無限に位相変化する無限連続可変移相器となる。 $\lambda/4$ 板としては、普通の誘電体板を用いたもの、あるいは、ビスを用いたものなどを使用できるので回転磁界形無限可変移相器の特性の良否は、ほとんど、 $\lambda/2$ 板の特性の良否に依存している。

さて、 $\lambda/2$ 板の構造は図 2.2 に示してあるが、図 2.2 (a) (b) は、それぞれ導波管の管軸に垂直および平行面内での断面図である。

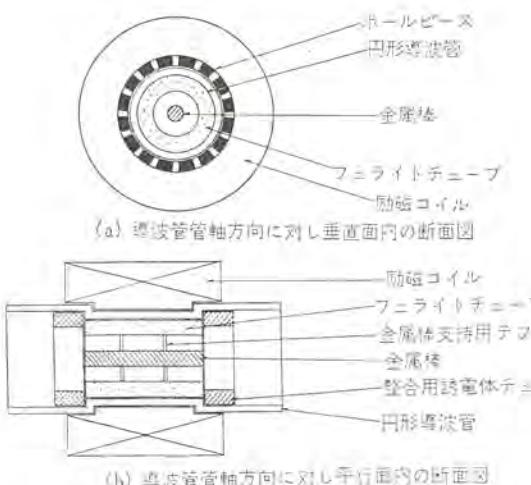


図 2.2 回転磁界形 2 分の 1 波長板の構造
Structure of the rotating field half wave plate



図 2.3 正と負の円偏波状態
Positive and negative circularly polarized states.

円形導波管の内部には、フェライトチューブと整合用誘電体チューブを管壁に密着するように内そう(挿)し、さらに導波管と同心円的に金属棒をそう入する。導波管の外部には、フェライト励磁用コイルを配置している。図に示した励磁用コイルは、16 ポールヨークであるが、2組のコイルに適当な組合せの電流を流すことにより、4 極磁界パターンが回転するような電磁石である。(以後、このようなコイルを励磁コイルと呼ぶことにする。) 中央部にそう入した金属棒については後述するが、特性の改善をはかるためのものである。

次に、 $\lambda/2$ 板の動作であるが、 TE_{11} モードが円形導波管中を伝ば(播)している場合、導波管中のある位置で円偏波磁界が発生している。図 2.3 には、 $\lambda/2$ 板の電波伝ば方向に関して垂直面内での断面図を示してあるが、励磁コイルの2組のコイルに適当な組合せの電流を流すことにより、図 2.3 (a) (b) に示すような状態にことができる。紙背に向う方向に進む疑似 TE_{11} モード波を考えると、図 2.3 (a) の場合は、円偏波磁界が外部直流印加磁界に対し右まわりとなり、フェライトはマイクロ波に対して μ_0 (自由空間の透磁率) よりも小さい実効透磁率 $\langle\mu_+\rangle$ を示す。また図 2.3 (b) では、 μ_0 よりも大きな実効透磁率 $\langle\mu_-\rangle$ を示すことになる。(以後、前者を正の円偏波状態、後者を負の円偏波状態と呼ぶことにする。) また、 $\langle\mu_+\rangle$ $\langle\mu_-\rangle$ は励磁電流の強さにより変化するものである⁽⁴⁾。

したがって、正と負の円偏波状態で伝ば定数が異なることになるが、これら二つの状態に対する透過位相の差が 180° になるように、フェライトチューブの長さと励磁電流値を選定し、 $\lambda/2$ 板を構成するのである。

3. フェライトチューブ内装導波管の諸特性

$\lambda/2$ 板に関しては、多くの報告があるが⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾⁽⁷⁾、フェライト励磁用外部直流印加磁界の強さ、移相能率、周波数特性、構造の単純

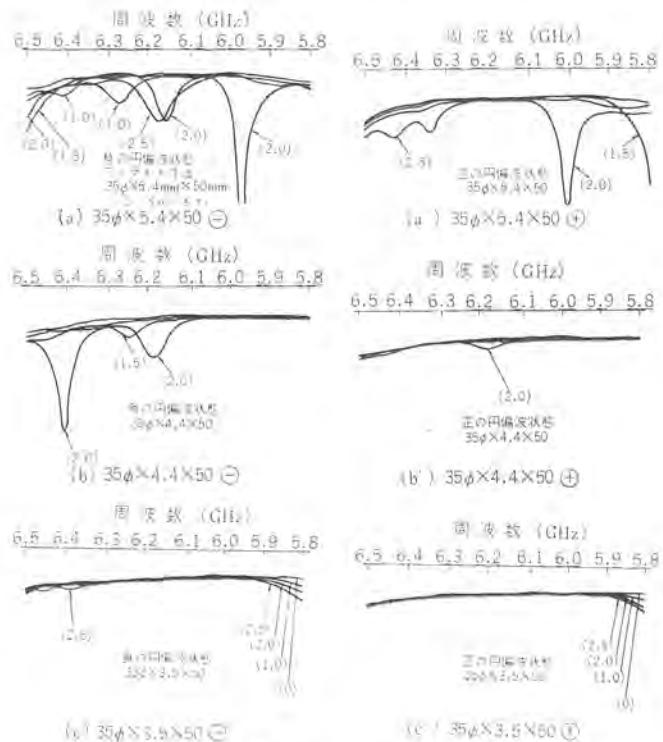


図 3.1 (a) ~ (c') 35 mmφ フェライトチューブ内装導波管の周波数に対するそう入損失変動
Insertion loss variation of 35 mmφ ferrite-tube mounted waveguides as a function of frequency.

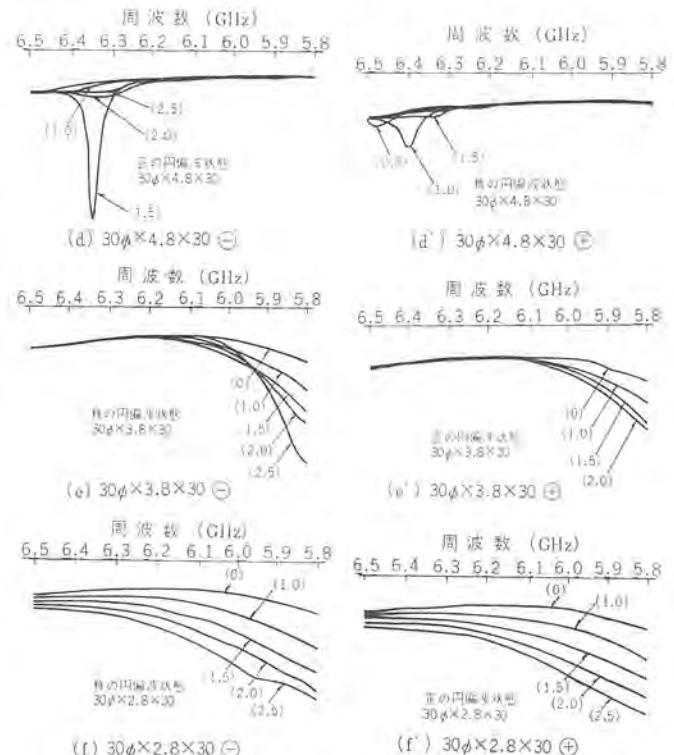


図 3.1 (d) ~ (f') 30 mmφ フェライトチューブ内装導波管の周波数に対するそう入損失変動
Insertion loss variation of 30 mmφ ferrite-tube mounted waveguides as a function of frequency.

さなどを考慮して、導波管は極端にしづらないようにし、その導波管の管壁に密着するように、フェライトチューブを内装した構造に限定した。また、励磁コイルとしては、図 2.2 に示したような 4 極磁界パターンが回転するような電磁石を使用している。

最初に、内径 35 mmφ、30 mmφ、26 mmφ の円形導波管を用い

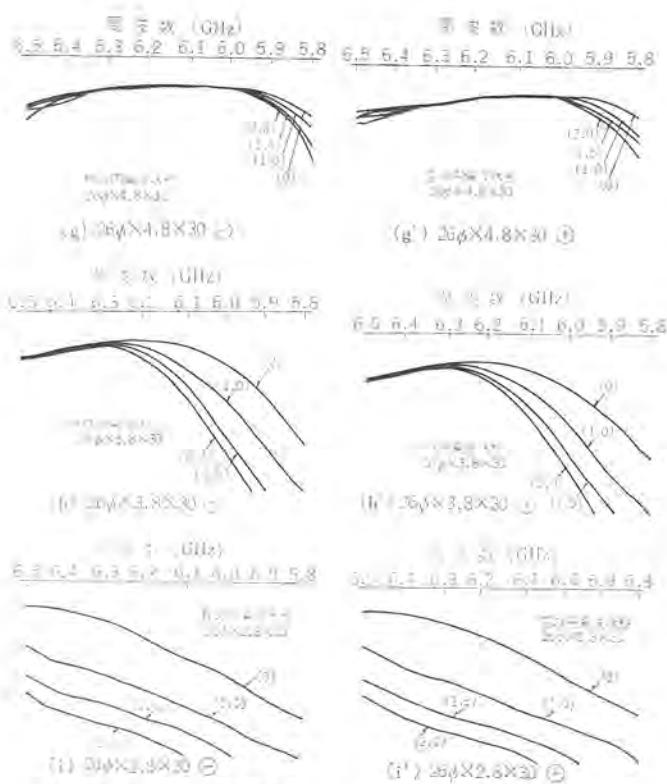


図 3.1 (g)～(g') 26 mmφ フェライトチューブ 内装導波管の周波数に対するそう入損失変動
Insertion loss variation of 26 mmφ ferrite-tube mounted waveguides as a function of frequency.

て、厚みの異なるフェライトチューブを内装したフェライトチューブ内装導波管を構成し、正負の円偏波方向に励磁した状態でのそう入損失の変動を見るために、 $\lambda/2$ 板からの出力を周波数の関数として記録した。図 3.1 はその測定結果のいくつかであり、図 3.1 (a)～(c') は 35 mmφ、図 3.1 (d)～(f) は 30 mmφ、図 3.1 (g)～(g') は 26 mmφ の導波管を用いたもので、6.5～5.8 GHz の周波数範囲での記録である。スイーパで周波数(横軸)を変化させたときの $\lambda/2$ 板からの出力(縦軸)を、X-Y レコーダで記録したものである。なお、図中の()内の数字は励磁電流値を示すものである。

これらの測定結果を総合すると、

(1) 35 mmφ フェライトチューブ 内装導波管

t (厚み)=5.4 mm の場合は、正負の円偏波状態で、共に、高次モードの共振現象がはげしく発生している。 $t=4.4$ mm の場合は、 $t=5.4$ mm に比較すると共振現象はかなり減少しているが、6.5～6.1 GHz の間で発生している。負の円偏波状態で特に顕著である。 $t=3.5$ mm の場合は、高次モードの共振現象は、ほとんど発生していないが、導波管のしゃ断現象が 5.9～5.8 GHz の間で発生している。また移相能率も悪い。

(2) 30 mmφ フェライトチューブ 内装導波管

$t=4.8$ mm の場合は、6.5～6.1 GHz の間で高次モードの共振現象が発生している。 $t=3.8$ の場合は、高次モードの共振現象は見当たらない。6.1～5.8 GHz の間で導波管のしゃ断現象が発生している。5 mmφ の金属棒を導波管中に同心円的にそう入すると、この現象は 150 MHz 程度低周波数側へ移動する。金属棒を 10 mmφ にすると、さらに低周波数側へ移動する。しかし、金属棒を太くしていくと移相能率が悪くなってくるので、金属棒の太さは移相能率と損失の両面から決定されるべきものである。 $t=2.8$ mm の場合は、もちろん高次モードは発生しないが、導波管のしゃ断現象が大きく発生

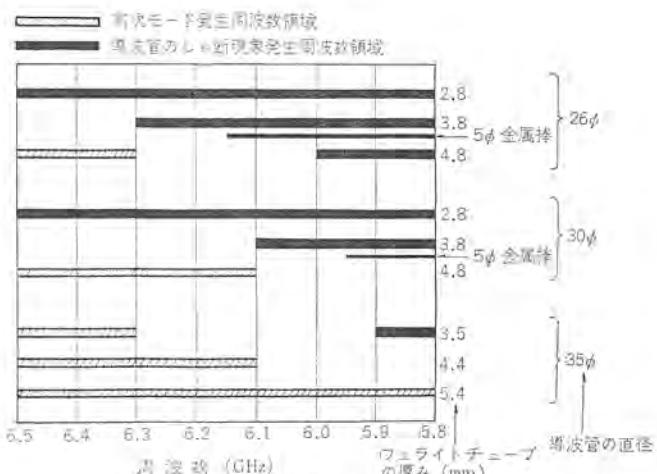


図 3.2 高次モード発生周波数範囲と導波管のしゃ断現象発生周波数範囲
Frequency regions in which higher order modes and waveguide phenomena break out.

し、移相能率も悪くなる。

(3) 26 mmφ フェライトチューブ 内装導波管

$t=4.8$ mm の場合は、6.5～6.3 GHz の間で高次モードの共振現象が発生し、6.0～5.8 GHz の間で導波管のしゃ断現象が発生している。

$t=3.8$ nm の場合は、高次モードは発生していないが 6.3～5.8 GHz の間で導波管のしゃ断現象が発生している。 $t=2.8$ の場合は、高次モードは発生していないが、全領域でしゃ断現象が発生している。移相能率も悪い。

これらの結果をより明確にするために、高次モードが発生する周波数領域と導波管のしゃ断現象が表われる周波数領域を図 3.2 にまとめた。この図を参考にすれば、 $\lambda/2$ 板の寸法の見当が容易に可能となる。

次に、いかなる高次モードが発生しているかを検討してみた。外径 35 mmφ、厚み 4.4 mm のフェライトチューブを用いて実験を行なったが、負の円偏波方向に励磁し、その励磁電流値を一定に保持し、そしてフェライトチューブの長さを変化したときの、そう入損失異常ピークの出る周波数をプロットしてみると、直線関係で変化することがわかった。この現象は、単一の高次モードが発生し、長さ方向に共振していることを意味していると思われる。また、このフェライトチューブ内装導波管の中央に、管軸方向に沿って、細い抵抗体あるいは金属棒を入れても、高次モード共振ピークの位置・高さはほとんど変わらないこと、さらに、フェライトチューブの内面に管軸方向に、対称的な位置 4カ所に、抵抗体あるいは帶状の金属はく(箔)を入れてみると、抵抗体の場合は、共振ピークの高さが大幅に減少し、金属はくの場合は消滅してしまうなどの実験事実と、この構造から想像される高次モードなどを考慮すると、発生している高次モードは、疑似 TM_{11} モードであろうと思われる。

図 3.3 (a) (b) (c) は、35 mmφ、30 mmφ、26 mmφ 誘電体チューブ 内装導波管の各モードに対するしゃ断周波数を示したもので、同時に、今回実験に使用したいくつかのフェライトチューブが、これらのしゃ断周波数といかなる関係にあるかを示したものである。前述の実験結果と図 3.3 を参考にして検討すると、疑似 TM_{11} モードが十分しゃ断されるような寸法に選定しておけば、高次モードの抑圧はできるようである。この高次モード発生周波数領域が、使用可能周波数帯域の上限を決定するものである。もちろん、フェライトチューブを薄くして、疑似 TM_{01} 、 TE_{21} 、 TM_{11} モードなどがしゃ断領域にな

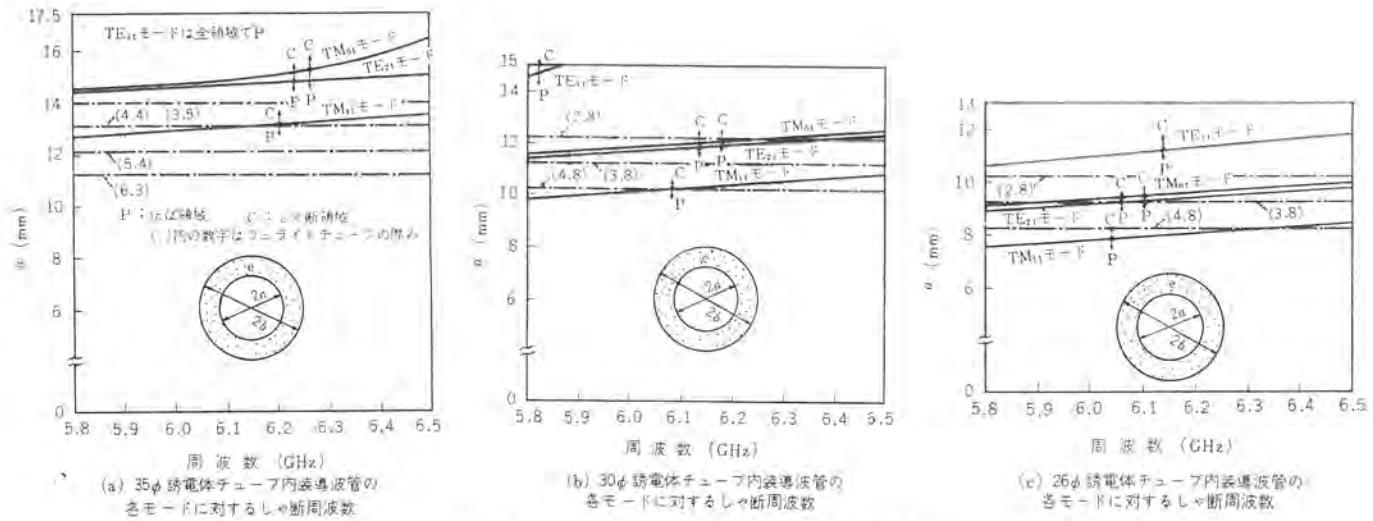


図 3.3 誘電体チューブ内装導波管のしゃ断周波数
Cutoff frequencies of dielectric-tube mounted waveguides.

るようにしておけば、高次モードに関しては、問題がなくなるであろうが移相能率が悪くなり、移相器が大型化するか、駆動電力が増大するなど好ましくない結果につながる。したがって、移相能率を良くするためにには、できるだけ厚いフェライトチューブを使用したいのである。導波管を極端にしづらいい限りにおいては、その厚みの限度として、疑似 TM_{11} モードが伝ばしない範囲を考えれば良いようである。

また、使用可能周波数帯域の下限を決定する導波管のしゃ断現象の問題がある。たとえば、図 3.1 (e) (e')においては 6.1~5.8 GHz の間で、この現象が発生しているが、しかも、正負両円偏波状態で、同様に発生している。これは、フェライトチューブ内装導波管がしゃ断周波数に近づくと、フェライトチューブ内での円偏波成分が少なくなり、直線偏波成分が多くなってくるためフェライトのマイクロ波に対して示す実効透磁率は、単に $\langle \mu_+ \rangle$, $\langle \mu_- \rangle$ で考えてはいけないのであって、直線偏波に対して示す実効透磁率も考慮しなければならないことを意味している。この直線偏波に対して示す実効透磁率は、印加磁界が弱い時は、 μ_0 よりも小さいから正の円偏波方向に励磁したときには、相加え合さる方向に、負の円偏波方向に励磁したときには、相殺し合う方向に働くのである。実際に、位相変化を測定してみると、負の円偏波方向に励磁すると位相変化はほとんどなくなるか、あるいは極端な場合進みの方向に変化するし、また、正の円偏波方向に励磁すると進みの方向に大きく変化するのである。

さて、使用可能周波数帯域を少しでも広くするためには、その上限周波数に関しては高次モードを抑圧するか、発生する周波数を高周波数側へ移動させるかであり、下限に関しては、しゃ断現象発生周波数を低周波数側へ移動させることである。そこで、前者については、フェライトチューブ内面の対称的位置 4 所に細い帯状の鉄はくを管軸に沿って置いてみると、高次モードは抑圧することはできたが、移相能率が悪くなってしまった。後者については、フェライトチューブ内装導波管中に、適当な太さの金属棒を同心円的にそう入することによって、基本モードに対するしゃ断周波数を低周波数側へ押し下げる事ができた。図 3.2 中の 5 mmφ 金属棒とあるのは、5 mmφ の金属棒をそう入したときのしゃ断現象発生周波数範囲を示したもので、150MHz 低周波数側へ移動している。そのとき、移相能率はそれほど減少せず、また、正常に動作している周波数領域に

おいて、そう入損失の改善をもたらすなどの好結果を得た。この方法により、使用可能周波数範囲を若干広げることができた。

4. 移相量の近似計算

A/2 板の移相量を知るために、フェライトチューブ内装導波管の伝ば定数を求める必要があるが、この伝ば定数を厳密に求めることは困難である。そこで、摂動法により計算をし、実験値との比較を行なってみた。

LAX の摂動公式によれば、伝ば定数は、次の式より求めることができる⁽¹⁾。

$$\Gamma + \Gamma_0^* = \frac{j\omega \int_{\text{断面}} [\mathcal{A}\mu] \vec{h} \cdot \vec{h}_0^* ds}{\int_{\text{断面}} \vec{E}_0 \cdot (\vec{E} \times \vec{h}_0 + \vec{E}_0 \times \vec{h}) ds} \quad (4.1)$$

ここに、 \vec{E} , \vec{h} : フェライトチューブ内装導波管の電磁界

\vec{E}_0 , \vec{h}_0 : 誘電体チューブ内装導波管の電磁界

Γ : フェライトチューブ内装導波管の伝ば定数

Γ_0 : 誘電体チューブ内装導波管の伝ば定数

$\mathcal{A}\mu$: 導波管の管軸方向に垂直面内でのフェライトチューブ断面

s : 導波管の管軸方向に垂直面内での導波管断面

$$[\mathcal{A}\mu] = \mu_0 \begin{pmatrix} \mu_{11}-1, & \mu_{12}, & \mu_{13} \\ \mu_{21}, & \mu_{22}-1, & \mu_{23} \\ \mu_{31}, & \mu_{32}, & \mu_{33}-1 \end{pmatrix} \quad (4.2)$$

$$\mu_{11} = \frac{(\gamma H_r)^2 + (\gamma H_\theta)^2 + \gamma(4\pi M_\theta)(\gamma H_\theta) - \omega^2}{(\gamma H_r)^2 + (\gamma H_\theta)^2 - \omega^2}$$

$$\mu_{12} = \frac{-\gamma(4\pi M_r)(\gamma H_\theta)}{(\gamma H_r)^2 + (\gamma H_\theta)^2 - \omega^2}$$

$$\mu_{13} = \left(-\frac{j}{\omega} \right)$$

$$\mu_{21} = \frac{-\gamma(4\pi M_\theta)(\gamma H_r)}{(\gamma H_r)^2 + (\gamma H_\theta)^2 - \omega^2}$$

$$\mu_{22} = \frac{(\gamma H_r)^2 + (\gamma H_\theta)^2 + \gamma(4\pi M_r)(\gamma H_r) - \omega^2}{(\gamma H_r)^2 + (\gamma H_\theta)^2 - \omega^2}$$

$$\mu_{23} = \left(\frac{j}{\omega} \right)$$

$$\begin{aligned}
& \cdot \frac{\gamma(4\pi M_r)(\gamma H_\theta)^2 - \gamma(4\pi M_\theta)(\gamma H_\theta)(\gamma H_r) - \gamma(4\pi M_r)\omega^2}{(\gamma H_r)^2 + (\gamma H_\theta)^2 - \omega^2} \\
\mu_{31} &= (-j\omega) \cdot \frac{\gamma(4\pi M_\theta)}{(\gamma H_r)^2 + (\gamma H_\theta)^2 - \omega^2} \\
\mu_{32} &= (j\omega) \cdot \frac{\gamma(4\pi M_r)}{(\gamma H_r)^2 + (\gamma H_\theta)^2 - \omega^2} \\
\mu_{33} &= \frac{(\gamma H_r)^2 + (\gamma H_\theta)^2 + \gamma(4\pi M_\theta)(\gamma H_\theta) + \gamma(4\pi M_r)(\gamma H_r) - \omega^2}{(\gamma H_r)^2 + (\gamma H_\theta)^2 - \omega^2}
\end{aligned} \quad (4.3)$$

H_r, H_θ : 外部直流印加磁界の r 方向成分, θ 方向成分

$4\pi M_r, 4\pi M_\theta$: 直流磁化の r 方向成分, θ 方向成分である。ただし、この $\mathcal{J}\mu$ を求める際に、外部直流印加磁界および直流磁化は、 r 方向成分と θ 方向成分のみで z 方向成分はないし、また、マイクロ波磁界と磁化は、直流のそれらと比較して小さいから計算途中でこれらの積が出てきた場合は無視している。

今、フェライトチューブ内装導波管の電磁界分布は、同じ誘電率を持つ誘電体チューブ内装導波管の分布と同じであると仮定し、

$$\Gamma = j(\beta_0 + \mathcal{J}\beta), \quad \Gamma_0 = j\beta_0 \text{ とおくと式 (4.1) は}$$

$$(\mathcal{J}\beta)_+ = \frac{\omega \int_s [\mathcal{J}\mu]_+ \vec{h}_0 \cdot \vec{h}_0^* ds}{\int_s \vec{h}_0 \cdot (\vec{E}_0 \times \vec{h}_0^* + \vec{E}_0^* \times \vec{h}_0) ds} \quad (4.4)$$

となる。さらに、式 (4.3) (4.4) を用いて伝ば定数の差を計算する。

$$\begin{aligned}
& \frac{(\mathcal{J}\beta)_+ - (\mathcal{J}\beta)_-}{\eta_0 \cdot \beta_0} \\
&= \frac{\int_{a/b}^1 \int_0^{2\pi} \{ j(\mu_{31} - \mu_{13})(-jh_r)h_z + j(\mu_{32} - \mu_{23})(-jh_\theta)h_z \} x dx d\theta}{\pi \int_0^1 \{ (-jE_r)(-jh_\theta) - (-jE_\theta)(-jh_r) \} x dx} \\
\end{aligned} \quad (4.5)$$

となる。ここに、 $\eta_0 = \sqrt{\mu_0/\epsilon_0}$, $\beta_0 = \frac{2\pi}{\lambda_0}$

λ_0 : 自由空間波長

λ_g : 管内波長

$2a$: フェライトチューブ内径

である。用いた \vec{E}_0, \vec{h}_0 の各成分は以下に示した。

$0 \leq x \leq a/b$ において

$$\begin{aligned}
E_{0z} &= a_1 J_1(k_1 b x) \cos \theta \\
-jE_{0\theta} &= \frac{2\pi}{(k_1 b)^2} \cdot \frac{b}{\lambda_0} \cdot \frac{1}{x} \cdot a_1 J_1(k_1 b x) + \eta_0 b_1 J_1'(k_1 b x) \sin \theta \\
-jE_{0r} &= -\frac{2\pi}{(k_1 b)^2} \cdot \frac{b}{\lambda_0} \cdot \frac{1}{x} \cdot a_1 J_1'(k_1 b x) + \eta_0 \frac{1}{x} b_1 J_1(k_1 b x) \cos \theta \\
h_{0z} &= b_1 J_1(k_1 b x) \sin \theta \\
-jh_{0\theta} &= -\frac{2\pi}{(k_1 b)^2} \cdot \frac{b}{\lambda_0} \cdot \frac{1}{x} \cdot a_1 J_1'(k_1 b x) + \frac{\lambda_0}{\lambda_g} \cdot \frac{1}{x} b_1 J_1(k_1 b x) \cos \theta \\
-jh_{0r} &= -\frac{2\pi}{(k_1 b)^2} \cdot \frac{b}{\lambda_0} \cdot \frac{1}{x} \cdot a_1 J_1(k_1 b x) + \frac{\lambda_0}{\lambda_g} b_1 J_1'(k_1 b x) \sin \theta
\end{aligned} \quad (4.6)$$

$a/b \leq x \leq 1$ において

$$\begin{aligned}
E_{0z} &= [a_2 J_1(k_2 b x) + a_3 Y_1(k_2 b x)] \cos \theta \\
-jE_{0\theta} &= \frac{2\pi}{(k_2 b)^2} \cdot \frac{b}{\lambda_0} \cdot \frac{1}{x} \cdot [a_2 J_1(k_2 b x) + a_3 Y_1(k_2 b x)] \\
&+ \eta_0 \cdot [b_2 J_1'(k_2 b x) + b_3 Y_1'(k_2 b x)] \sin \theta
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
-jE_{0r} &= -\frac{2\pi}{(k_2 b)^2} \cdot \frac{b}{\lambda_0} \cdot \frac{1}{x} \cdot [a_2 J_1'(k_2 b x) + a_3 Y_1'(k_2 b x)] \\
&+ \frac{1}{x} \eta_0 \cdot [b_2 J_1(k_2 b x) + b_3 Y_1(k_2 b x)] \cos \theta \\
h_{0z} &= [b_2 J_1(k_2 b x) + b_3 Y_1(k_2 b x)] \sin \theta \\
-jh_{0\theta} &= -\frac{2\pi}{(k_2 b)^2} \cdot \frac{b}{\lambda_0} \cdot \frac{1}{x} \cdot [a_2 J_1'(k_2 b x) + a_3 Y_1'(k_2 b x)] \\
&+ \frac{\lambda_0}{\lambda_g} \cdot \frac{1}{x} \cdot [b_2 J_1(k_2 b x) + b_3 Y_1(k_2 b x)] \cos \theta \\
-jh_{0r} &= -\frac{2\pi}{(k_2 b)^2} \cdot \frac{b}{\lambda_0} \cdot \frac{1}{x} \cdot [a_2 J_1(k_2 b x) + a_3 Y_1(k_2 b x)] \\
&+ \frac{\lambda_0}{\lambda_g} \cdot [b_2 J_1'(k_2 b x) + b_3 Y_1'(k_2 b x)] \sin \theta
\end{aligned} \quad (4.7)$$

$$k_1 b = 2\pi \frac{b}{\lambda_0} \sqrt{1 - (\lambda_0/\lambda_g)^2}$$

$$k_2 b = 2\pi \frac{b}{\lambda_0} \sqrt{\epsilon - (\lambda_0/\lambda_g)^2}$$

ϵ : 誘電体チューブの誘電率

$a_1, a_2, a_3, b_1, b_2, b_3$: 境界条件により決定される係数

$\mu_{13}, \mu_{31}, \mu_{23}, \mu_{32}$ は、フェライトチューブ内の磁化分布が決まれば近似的に求められるものであるが、複雑な分布をしており、ここでは、二つの磁化分布モデルを考えることにより移相量の計算を行なった。

モデル (a) : θ 方向に一様に磁化している (図 4.1 (a) に示す)。

このとき、 $\mu_{31} = j\kappa, \mu_{13} = -j\kappa$ となるから

$$(\mathcal{J}\beta)_+ - (\mathcal{J}\beta)_- = \frac{2\pi \int_{a/b}^1 (-jh_r) h_z x dx}{\int_0^1 (-jE_r)(-jh_\theta) - (-jE_\theta)(-jh_r) x dx} \quad (4.8)$$

この式に従って計算すると、図 4.2 中の (イ) となる。

モデル (b) : 磁石のポールピース付近では r 方向に磁化し、他の領域では θ 方向に磁化しているものとする (図 4.1 (b) に示す)。



図 4.1 移相量の計算に用いた直流磁化モデル
Models of DC magnetization used in phase shift calculation.

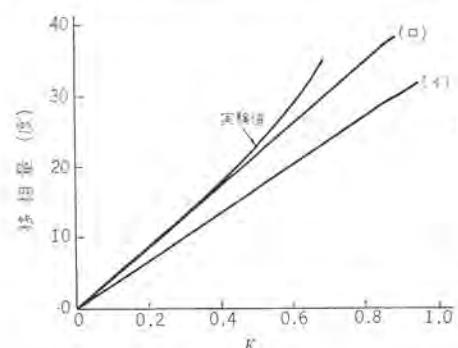


図 4.2 移相量の実験値と計算値
Experimental and calculated values of phase shift.

このときには、

$$\frac{(\Delta\beta)_+ - (\Delta\beta)_-}{\eta_0 \cdot \beta_0} = \frac{4\kappa \int_{a/b}^1 \{\cos 2\theta_0 (-jh_r) + \sin 2\theta_0 (-jh_\theta)\} h_z dx}{\pi \int_0^1 \{(-jE_r)(-jh_\theta) - (-jE_\theta)(-jh_r)\} x dx} \quad \dots \dots \dots (4.9)$$

$2\theta_0$ ：磁石のポールピース角度（図 4.1 (b) 参照）

となる。使用した励磁コイルは、 $2\theta_0 \approx 15^\circ$ であったので、これを用いて計算すると、図 4.2 中の (d) となる。

図 4.2 には、これら二つのモデルを用いて計算した値と同時に実験値も示してあるが、 κ が小さい間は、モデル (b) を用いればかなり良い近似値を得ることができる。なお、この実験値をプロットするときの κ としては、フェライトチューブに磁束検出用コイルを巻き、それを励磁コイル中に入れ、そして励磁したときの磁束を測定することにより、内部の磁束密度を求めて、これを用いて計算した値を使用している。

5. 回転磁界形無限可変移相器の性能

図 5.1 は試作した $\lambda/2$ 板である。6.4 GHz を中心に調整した $\lambda/4$ 板（6.2~6.6 GHz で、だ円偏波率 1.15 以内）2 個と $\lambda/2$ 板を組合せ



図 5.1 試作した回転磁界形 2 分の 1 波長板
Rotating field half wave plate constructed on trial.

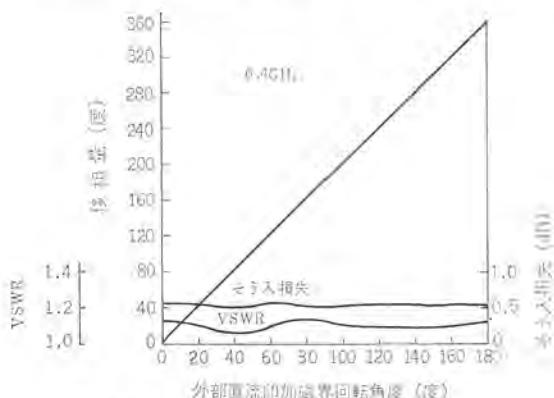


図 5.2 回転磁界形無限可変移相器の性能
Performance of the rotating field infinitely variable phase shifter.

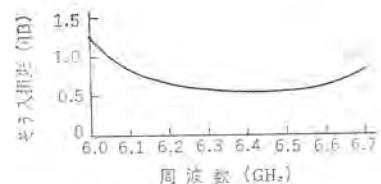


図 5.3 回転磁界形無限可変移相器のそろ入損失の周波数特性
Insertion loss characteristic of the rotating field infinitely variable phase shifter as a function of frequency.

て、回転磁界形無限可変移相器を構成した。図 5.2 は、6.4 GHz での外部印加磁界回転角度に対する VSWR、そろ入損失、移相量である。移相量の直線性は $\pm 2^\circ$ 以内、そろ入損失の変動は 0.1 dB 以内であった。図 5.3 には、そろ入損失の周波数特性を示してあるが、300 MHz の範囲で 0.6 dB 以内に入っている。

6. むすび

フェライトチューブ内装導波管中での高次モードの共振現象や、導波管のしゃ断現象について、フェライトチューブの外径と厚み、励磁電流、あるいは、周波数を変数とした詳細な測定を行ない多くの設計資料を得た。また、フェライトチューブ内の直流磁化分布として、いくつかのモデルを仮定し振動計算を行なった結果、かなり良い近似値が得られることを解明している。そして、これらの資料をもとに構成した回転磁界形無限可変移相器は、そろ入損失 0.6 dB、そろ入損失変動 0.1 dB 以内、移相量の直線性 $\pm 2^\circ$ 以内など優秀な性能を持っており、十分、実用に供するものである。 $\lambda/2$ 板に関してまだ検討の余地は残されているが、今回使用した $\lambda/4$ 板を改良することにより、さらに特性の向上は望めるはずである。

最後に、この移相器の開発に当たりご指導ご協力いただいた日本電信電話公社 武蔵野電気通信研究所 海底同軸伝送研究室 原主任、および当社謙倉製作所・相模製作所の関係各位に対し感謝の意を表したい。

参考文献

- (1) J. A. Weiss : 1962 Western Electric Show and Convention
- (2) A. G. Fox, et al : B. S. T. J. (1955-1)
- (3) N. Karayannis, et al : Proc. I. R. E. (1956-10)
- (4) B. Lax, et al : Microwave Ferrites and Ferrimagnetics (1962), MacGrawhill Book Co.
- (5) M. C. Mohr : The Microwave Journal (1970-1)
- (6) N. B. Sultan : IEEE Trans. MTT, 19, (1971-4)
- (7) C. R. Boyd : IEEE-GMTT (1971-5)



特許と新案

やぐら形電気こたつ

考案者 長沢重雄

この考案は、やぐら形電気こたつにおいて、その発熱部を簡単に取付け取りはずしができ、かつ取付けた状態では誤って脱け落ちることがないようにしたものである。

以下にこの考案の一実施例を図とともに説明する。木わく(1)の発熱体取付部(4)に対向せる二内側にピン(6)を突設するとともに、発熱部(7)を上記取付部(4)内において、わずかに水平方向に滑動できうる大きさとし、これの上周縁の上記ピン(6)に対向する位置

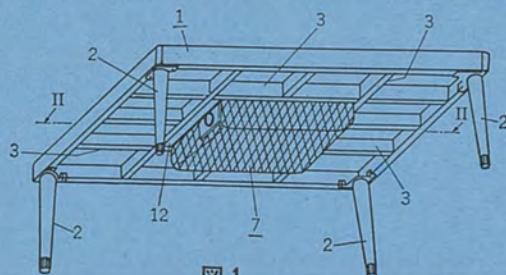


図1

にL字形状の切込み(11)を設け、かつ発熱部(7)を木わく(1)の取付部(4)に、切込み(11)とピン(6)とを係合させることにより、取付けたとき、その両者間にできる空けき(隙)にバネ(14)の弾力により可動機(12)をはめ込ませるように構成し、可動機(12)を押圧し、ピン(6)と切込み(11)を係脱することで、発熱部(7)を取付けまたは取りはずす。

(実用新案 第908200号) (桜本記)

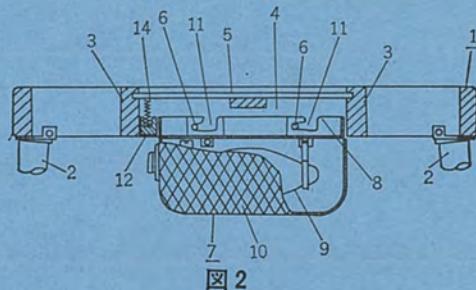


図2

放電灯の調光装置

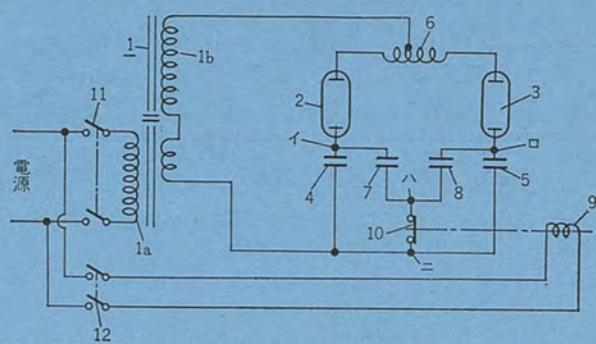
考案者 根岸昭康

この考案は、放電灯の2灯並列点灯形定電力安定器の調光装置に関するもので、図示実施例に示すように、第1の放電灯(2)とその調光用主コンデンサ(4)の直列回路、および第2の放電灯(3)とその調光用主コンデンサ(5)の直列回路をそれぞれ並列に接続し、これを漏えい(渦)変圧器(1)の二次巻線(1b)に接続させるとともに、上記第1の放電灯(2)とその主調光用主コンデンサ(4)の接続点(1)、および上記第2の放電灯(3)とその主調光用主コンデンサ(5)の接続点(2)の間に、補助コンデンサ(7)、(8)の直列回路を接続し、上記補助コンデンサ(7)と(8)との接続点(3)と、上記調光用コンデンサ(4)と(5)との接続点(4)とを短絡、開放させることにより上記放電灯(2)、(3)を調光させるようにしたものである。

すなわち、接点(10)が閉じている場合は、二つの放電灯(2)、(3)はそれぞれ全光点灯し、いずれか一方が不点灯でも他の放電灯には影響を及ぼさない。次に接点(10)が開いた場合はコンデンサ(7)、(8)が放電灯(2)、(3)からはずされ、ランプ電流が減少して2灯

とも減光する。さらにたとえば第2の放電灯(3)が不点灯になると、コンデンサ(5)、(7)、(8)の直列の回路がコンデンサ(4)と並列に接続されるため、第1の放電灯(2)の電流は増加し、第2の放電灯(3)の消灯による光束の減少を補うことができる。

(実用新案 第910769号) (大須賀記)



特許と新案

複合多層超電導体および製造方法

発明者 小俣虎之助・石原克巳・平田郁之

この発明は、従来の銅複合超電導ケーブルに代わって、複数個の超電導素線間に有害な空げき(隙)を有することなく、複合超電導素体の占める面積と熱的良導体金属の占める面積の比率を、広範囲かつ任意に変化しうる複合多層超電導体、およびこれを同一工程で作製する方法に関するものである。

すなわちこの発明の特長は次のようである。

(1) 長手方向にそれより合わせることなく任意に配列された複数個の超電導素線、および少なくとも超電導素線の相互の間げきを埋める金属層から構成され、超電導素線の表面に拡散層を形成して、超電導素線を上記金属層に密着させる。

(2) 金属被覆超電導線をより合わせることなく金属管にそう入する工程、この金属管のまま引抜ダイスで引抜加工する工程、引抜加工工程の中間と最終段階で熱処理する工程をもつこと。

(3) 金属被覆超電導線をより合わせることなく金属管にそう入する工程、金属細線を超電導線相互の間げきまたは超電導線と金属管との間げきにそう入する工程、これを金属管のまま引抜ダイスで引抜加工する工程、引抜加工の中間および最終段階で熱処理する工程をもつこと。

(特許 第 583571 号) (萩原記)

耐圧防爆形回転電機

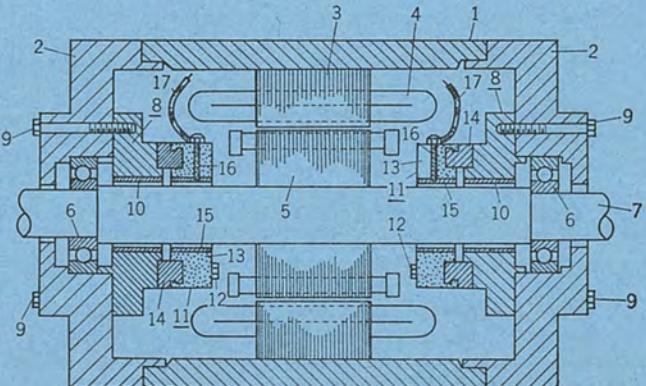
考案者 秋吉俊男

一般に耐圧防爆形回転電機は、その内部と外部を連絡する静止したはめ合部および回転軸の貫通する部分等のすきまにおいて、それぞれ回転電機の容積および危険ガスの種類等に応じて、規格によって規定される所定範囲の大きさと奥行の長さを有するすきまを保持する必要があり、これを厳正に保持しないと爆発事故の原因となる。しかし、このすきまはたとえば水素ガスを対象とするものにおいては、きわめて小さいものであるから、ボールベアリングの摩耗等により接触して事故を生じやすいという問題があった。

そこで、この考案は防爆用すきまの接触を速やかに検出して、不良部品の取換処置等を講ずることができるようにするため、図に示すように回転軸(7)に対し、規定の防爆用すきまを介して環状の防爆用隔壁(8)を固定し、この防爆用隔壁の側面に環状の接触検出子(11)を電気的に絶縁して保持し、これを上記防爆用すきまと同等のすきまを介して回転軸(7)に対向させ、上記防爆用隔壁(8)が回転

軸(7)と接触したとき、回転軸(7)および接触検出子(11)を通じて電流を流し、警報装置などを作動させうるよう構成したものである。

(実用新案 第 891340 号) (山川記)





NEWS FLASH

新形高圧真空電磁接触器発売

当社では、一般産業界のビルや工場の配電系統の自動化・省力化に適合し、多くの特長をもつ新形の3kV級VZ形高圧真空電磁接触器、VZF形高圧真空コンピネーションスイッチを完成した。

■特長

(1) セラミック真空スイッチ管を採用し、従来に比べて画期的に小形化・軽量化され、使いやすさに徹した構造で、多段積みキューピタルに最適である。

(2) 低開閉サージ性能

電動機開閉に適用する場合には、L-R並列素子サージ抑制器を内蔵しており、地中コンタクタに比べてもすぐれた低サージ性能をもっている。

(3) 高開閉ひん度に強く長寿命

寿命：電気的 25万回

機械的 250万回(常励式)

(4) 各種仕様が可能

固定形、引出形、操作方式(常励式、瞬励式)等多種仕様に応じることができる。

(5) 標準設計と量産体制の完備で短納期である。

■仕様

形名	種別		高圧真空電磁接触器	高圧真空コンピネーションスイッチ
要目	3-VZ-2 E	3-VZ-2 L	3-VZF-2 E	3-VZF-2 L
定格使用電圧			3.3 kV	
定格使用電流			200 A	
定格周波数			50/60 Hz	
定格しゃ断容量		25 MVA	25 MVA <small>※(1) (250 MVA)</small>	
短時間電流	2 秒 0.5 サイクル		4,400 A (8,800 A 0.5 秒) 33 kA	
触締断路器			※(2) 3号 A	
開閉容量			A級(定格電流の10倍以上)	
開閉ひん度	1,200回/時	600回/時	1,200回/時	600回/時
電気的寿命	25万回		25万回	
機械的寿命	250万回	25万回	250万回	25万回
操作方式	常時励磁方式	瞬時励磁方式	常時励磁方式	瞬時励磁方式
定格操作電圧	※(3) DC 100 V, 110 V			
補助接点数	4a, 4b			
製品重量	18 kg	19.5 kg	39 kg	40.5 kg

注) ※(1) 電力ヒューズ付きの場合にはしゃ断容量250 MVA

※(2) 同相極間のみ3号 B

※(3) 操作回路の定格電圧は標準のDC 100 V, 110 VのほかにDC 48 V, 200 V, 220 VおよびAC 100 V, 110 V, 200 V, 220 V



3-VZ-2 L形高圧真空電磁接触器

6.6 kV 6 NCH形高圧交流電磁接触器完成

三菱6NCH形交流電磁接触器は、地中形6.6kV級で、三相かご形および巻線形電動機の運転、電動機応用や変圧器一次側開閉器として広く使用できるもので、各種用途に適し、すぐれた性能を発揮する。

[神戸製作所]

■特長

(1) 超小形

3.3kV級コンタクタと同一取付けスペースで、盤幅600の配電盤に3段積収納ができる。

(2) シンプルな構造で、保守取扱いが容易

特殊耐熱磁器の消弧室をはじめ、各種部品の一体成形化によりシンプルな構造となり、保守取扱いがいっそう便利となった。

(3) 高性能

高ひん度開閉に耐え、耐電圧・耐衝撃電圧が高い。

(4) 互換性

交流操作・直流操作、機械的ラッチ式各種の応用が同一スペース・同一取付寸法で互換性が高い。

(5) 応用品

スケルトンタイプとして引出構造のものも製作できる。

■定格・性能

種類 形名	交流操作式		直流操作式		ラッチ式	
定格仕様	6NCH-105S 6NCH-205S		6NCH-105D 6NCH-205D		6NCH-105L 6NCH-205L	
定格電圧	三相 6,600V					
定格電流	100A	200A	100A	200A	100A	200A
定格しゃ断容量	25MVA (三相 6,600V 2,300A)					
定格短時間電流	2,300A (三相 6,600V) 0.5秒					
開閉容量	A級: 定格電流の10倍 (三相 6,600V 2,000A)					
開閉ひん度	300回時 (3号)	300回時 (3号)	300回時 (3号)			
寿命	電気的	25万回 (2種)	25万回 (2種)	25万回 (2種)		
	機械的	250万回 (2種)	250万回 (2種)	25万回 (4種)		
補助接点	常開接点 2個 常閉接点 2個 AC 440V 6A DC 220V 1A DC 110V 3A					
操作	交流操作	100V 50Hz, 100-110V 60Hz, 200V 50Hz, 200-220V 60Hz				
コイル	直流操作	DC 100, 110, 200, 220V (ラッチ式も同様)				
最大適用電動機	750kW (定格 100A)		1,500kW (定格 200A)			
容量	変圧器	1,000kVA (定格 100A)		2,000kVA (定格 200A)		

[長崎製作所]

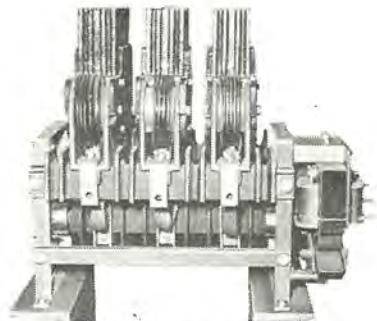
移動距離監視方式による自動仕分け制御装置（特許申請中）試作完了

製品倉庫・部品倉庫・配送センタに直結し、あるいは貨物の集配業務の一部として“仕分け”という繁雑な作業がある。こうした作業の省力化に貢献する制御装置として、当社は、磁気エスコート式仕分け制御装置を開発してきたが、その第2弾として、超小形計算機MELMIC-100を用いた仕分け制御装置の試作を、オリエンタルチェイン工業（株）の協力を得てこのほど完了した。

■原理

仕分けコンベヤの駆動系には、適当な伝達機構を介してシャフトエンコーダを連結するだけである。荷物の仕分け先信号を定めたとき、エンコーダのカウント値を読み取り、仕分け払出し口までの距離に相当するエンコーダカウント値を加えた値でMELMIC-100に記憶する。

一方MELMICは、當時エンコーダの値をスキャンし、当該カウント



三菱 6NCH 形交流電磁接触器



図1 試作完了の自動仕分け制御装置

に達したとき、荷物が所定の仕分け口に到達したとして、払い出し指令を発信する。

■特長

- (1) ベルトコンベヤ、チェインコンベヤ、フックコンベヤ、スラットコンベヤなど各種コンベヤに適用でき、取付けはきわめて簡単である。
- (2) 標準仕様の MELMIC-100 で、搬送速度 120 m/min、最大仕分け口数 60 まで処理可能である。
- (3) 1 台の MELMIC-100 で、複数コンベヤラインの制御に拡張できる。

[本社 総合システム部]

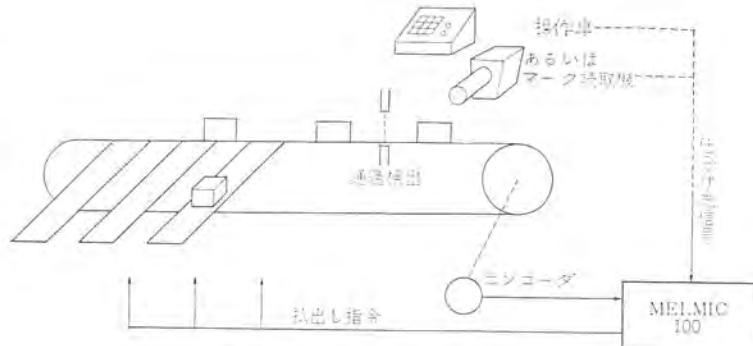


図 2 自動仕上げ制御装置の原理

メキシコ向け 6×51,600 kVA 開放形タービン発電機第 1、2 号機完成

当社では、このほどメキシコ電力庁向けに最大出力 51,600 kVA タービン発電機 2 台を完成し、無事立合試験を終えた。

本機は 60, 50 Hz 両用機であり定格は下記のとおり

容量: 51,600/43,000 kVA 電圧: 13,800/11,500 V

回転数: 3,600/3,000 rpm 周波数: 60/50 Hz

極数: 2

絶縁: 固定子 B 種、回転子 F 種

力率: 0.9

形式: 円筒形回転界磁形

以上であるが、風量・危険速度の設計には特に注意が払われた。また他のおもな特長としては

(1) 発電機の両側からジェットタービンにて駆動されるもので、「TWIN PAC TYPE」である

(2) 屋内パッケージ形、開放形、フィルタ装着

(3) 回転子は F 種絶縁を採用

(4) ブラシレス励磁方式採用 (PMG 付き)

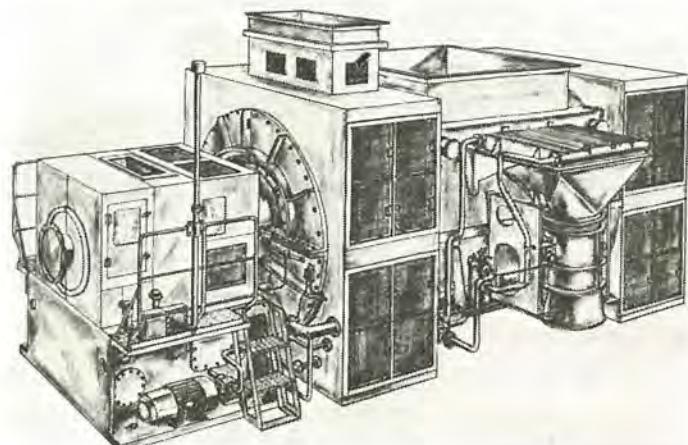
(5) 発電機中性点保護装置 (NTR, NGR)、および比率差動用 CT を発電機本体に取付けている。

(6) 発電機関係潤滑油装置を備えている。オイルクーラ、ポンプその他いっさいの計器および装置が発電機本体に組み込まれている。

(7) 両ブラケット形で組立輸送のため、現地での据付が簡単である。

上記のように発電機本体には種々の装置や付属品が装備されているが、これらがすべてコンパクトにまとめられており、基礎面積は従来のタービン発電機とは何ら変わらないものである。

なお、今回の 2 台完成にひき続き、残る 4 台を製作中であるが、来春には 3 号機以降 6 号機まですべて完成の予定である。



[長崎製作所]

シンガポール D. B. S. ビル向け 超高速エレベータ 450m/min 受注

シンガポール開港銀行ビル向けに、記録的超高速である 450 m/min のエレベータ（わが国における最高速エレベータは、京王プラザホテルの 360 m/min）4 台を含む、エレベータ 18 台、ダムウェーブ 4 台、エスカレータ 6 台、計 28 台を当社が一括受注した。

DBS : The Development Bank of Singapore

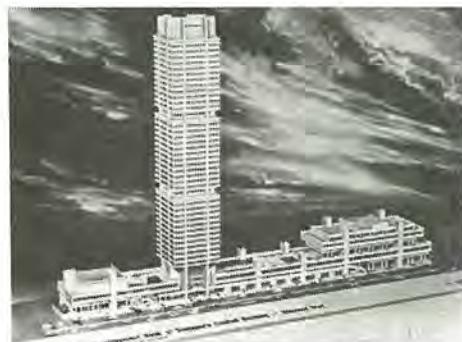
規 模：地下 2 階、地上 47 階（機械室 49 階）

DC-GL 30 人乗り 450 m/min 49 stop × 1 台

DC-GL 20 人乗り 450 m/min 13 stop × 3 台

Bldg main Contractor : 大林組

船積納期：47 年 12 月末日



[本社 昇降機業務部]

阪急電鉄(株)梅田駅向け三菱トラベータの完成

当社では、このたび阪急電鉄(株)梅田駅構内コンコースに三菱トラベータの据付を完了、営業運転を開始した。

一昨年開催された万国博では、三菱未来館・アメリカ館に合計 5 台の三菱トラベータを設置し、多数の乗客輸送にすぐれた性能を実証したが、このたび阪急梅田駅に納入したものは、総幅をはじめ据付所要スペースを縮小するとともに一段と性能向上を計った第 1 号機である。

三菱トラベータは、鉄道やバスのターミナル、空港内のサービス等大量輸送の用途に最適で、都市交通機関としての利用等幅広い需要が期待される。

■三菱トラベータの特長

(1) アルミダイカスト製のパレットを用い、こまかいピッチで深いみぞ形状のクリートを設けているので、乗降部クシ板とのかみ合いが確実で、また、負荷によって変形することなくきわめて安全である。

(2) 特にパレットの境界をジグザグ状にかみ合う構造としているので、物がはさみ込まれることなく、境界部に乗っても安全である。

(3) パレットはゴム製ローラで支持され、レール上を案内されて運行するので、ベルト式に比べ乗りごこちはきわめて快適である。

(4) 水平・傾斜形はもちろんオーババス、アンダーバス等地形に合わせた設置が可能である。

(5) パレットの破損はめったにないが、万一破損しても取換えが容易で、長期的にみて経済的である。

■三菱トラベータの標準仕様

形 名	1200 T	900 T
総 幅 mm	1,680	1,352
パレット幅 mm	977	649
速 度 m/min	30, 35, 40	
傾 斜 角	0°~10°	
輸送能力 人/時	9,000	6,000
ハンドレール		両側
運転方式	キースイッチ操作可逆式	
内側板	ステンレス鋼板	

■阪急電鉄(株)向け三菱トラベータの仕様

形 名	1200 T, 水平形
有効機長	49 m
速 度	40 m/min
内側板	ステンレス鋼板

[稻沢製作所]



阪急梅田駅向け 23 号機

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) (番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) (番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) (番450)	(電)	名古屋 (052)	565局3111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) (番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) (番810)	(電)	福岡 (092)	72局2111番
長崎出張所	長崎市丸尾町7番8号(長崎底曳会館) (番852)	(電)	長崎 (0958)	61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) (番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) (番980)	(電)	仙台 (0222)	21局1211番
富山営業所	富山市桜木町1番29号 (番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) (番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) (番700)	(電)	岡山 (0862)	25局5171番
高松営業所	高松市鶴屋町2番1号 (番760)	(電)	高松 (0878)	51局0001番
新潟営業所	新潟市東大通1丁目2番地23号(北陸ビル) (番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) (番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 (番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 (番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) (番450)	(電)	名古屋 (052)	565局3111番
機器静岡営業所	静岡市小鹿2丁目1番22号 (番420)	(電)	静岡 (0542)	82局2061番
機器浜松営業所	浜松市上西町42の5 (番430)	(電)	浜松 (0534)	63局6121番
福岡商品営業所	福岡市天神2丁目12番1号(天神ビル) (番810)	(電)	福岡 (092)	72局2111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) (番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) (番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 (番920)	(電)	金沢 (0762)	52局1151番
広島商品営業所	広島市中町7番32号(日本生命ビル) (番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 (番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) (番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 (番530)	(電)	大阪 (06)	344局1231番
中央研究所	尼崎市南清水字中野80番地 (番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 (番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 (番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 (番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 (番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 (番669-13)	(電)	三田 (07956)	4371番
赤穂工場	兵庫県赤穂市天和651番地 (番678-02)	(電)	赤穂 (07914)	3局2221番
長崎製作所	長崎市丸尾町6番14号 (番850-91)	(電)	長崎 (0958)	61局6211番
稻沢製作所	稻沢市菱町1番地 (番492)	(電)	稻沢 (0587)	32局8111番
和歌山製作所	和歌山市岡町91番地 (番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 (番247)	(電)	鎌倉 (0467)	44局1111番
通信機製作所	尼崎市南清水字中野80番地 (番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 (番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 (番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 (番861-11)	(電)	熊本 (0963)	43局0951番
名古屋製作所	名古屋市東区矢田町18丁目1番地 (番461)	(電)	名古屋 (052)	721局2111番
旭工場	尾張旭市下井町下井 (番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 (番819-01)	(電)	福岡今宿(09295)	6局0431番
福山製作所	福山市緑町1番8号 (番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 (番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 (番670)	(電)	姫路 (0792)	23局1251番
静岡製作所	静岡市小鹿3丁目18番1号 (番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 (番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 (番247)	(電)	鎌倉 (0467)	46局6111番
郡山製作所	郡山市柴町2番25号 (番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 (番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 (番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岡所1番地 (番617)	(電)	京都 (075)	921局4111番
長野工場	長野市大字南長池字村前 (番380)	(電)	長野 (0262)	27局1101番
札幌営業所	札幌市北2条東12丁目98番地 (番060)	(電)	札幌 (011)	231局5544番
札幌工場				

次号予定

三菱電機技報 Vol. 46 No. 3

空調と冷凍 特集

《特集論文》

- 我が国における地域冷暖房空調方式の今後のありかた
- マルチセントラル空調システム
- 空気熱源式ヒートポンプ(パッケージエアコンディショナ)
- 空気熱源水熱媒ヒートポンプユニットの暖房時の運転特性
- ヒートポンプチラーエンジニア
- ブライン式ヒートポンプ
- マンションにおける室内温度の立ち上がりシミュレーション
- 往復式冷凍圧縮機の環状吐出弁の運動
- 密閉形圧縮機技術

○ 低温倉庫用パッケージエアコンディショナ

- 冷蔵・冷凍クーリングユニット
- 船用超低温コンデンシングユニット
- 低温用小形コンデンシングユニット
- 低温用小形クーリングユニット
- 最近のオープンショーケース

《普通論文》

- 火力発電所運転員訓練用シミュレータ
- 低騒音電圧器
- 山陽新幹線用配電盤および保護遮断装置
- 直流シーム溶接
- パターン処理システム(I)ーパターン処理用ミニコンとディスプレイシステム

三菱電機技報編集委員会

委員長	正木茂雄	常任委員	牧野六彦
副委員長	神崎邇	"	濱武雄
常任委員	石川理一	"	武藤正
"	上田重夫	委員	北垣成一
"	宇佐見重夫	"	田附和夫
"	北川和人	"	中村敏行
"	古賀亨	"	南日達郎
"	小堀富次雄	"	秦卓也
"	塚本信雄	"	林昇寿
"	福家章	"	待鳥正
"	堀謙二郎		(以上50音順)

昭和47年2月22日印刷 昭和47年2月25日発行「禁無断転載」定価1部 金200円(送料別)

編集兼発行人

東京都千代田区丸の内2丁目2番3号

正木茂雄

印刷所

東京都新宿区市谷加賀町1丁目12番地
(郵便番号162)

大日本印刷株式会社

印刷者

東京都新宿区市谷加賀町1丁目12番地

高橋武夫

発行所

東京都千代田区丸の内2丁目2番3号(郵便番号100)

三菱電機株式会社内 「三菱電機技報社」

(電)(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