

未来を開発する  
三菱電機

昭和37年9月15日第三種郵便物認可 三菱電機技報 49巻3号(通巻526号)昭和50年3月25日発行(毎月1回25日発行)

# MITSUBISHI DENKI GIHO 三菱電機技報

Vol.49 No.3

陸上交通特集

3  
1975



国鉄・塩浜操車場と貨車ヤード自動化システム(YACS)

# オペレーションの容易な電車総合試験システム

## 帝都高速度交通営団 綾瀬工場納め 電車総合試験装置

近年、鉄道車両の高性能化・編成の長大化と労働力のひっばくに伴い、車両保守検査の自動化を求める声が高まりつつあります。

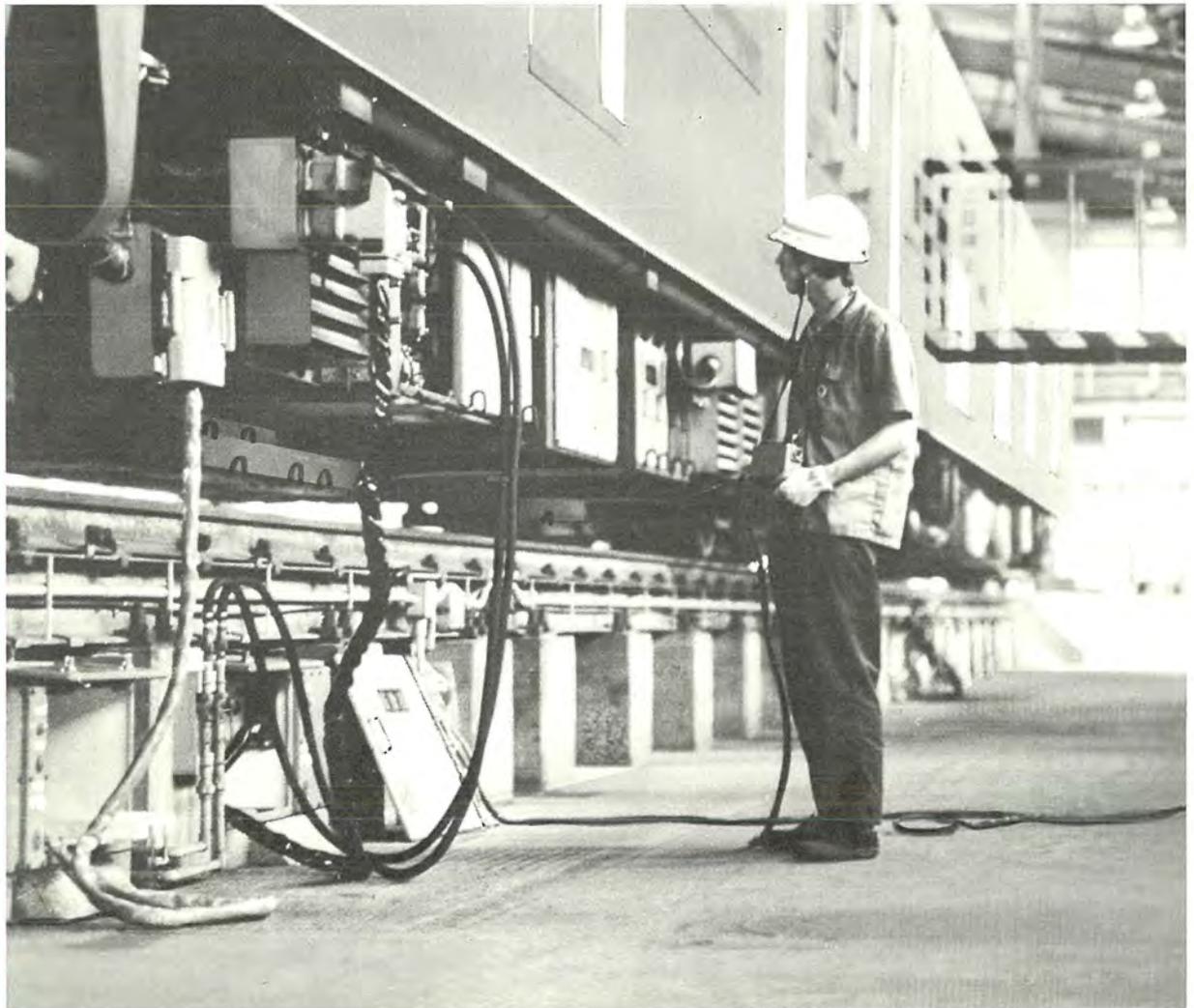
三菱電機では、このような要求に答えて、昭和42年来電子計算機を用いた電車総合試験装置を、既に8システム製作しました。この装置は、走行状態を模擬し、車両総合性能を正確・迅速にチェックする以外にも次のような特長をもっています。

### 特長

- ①マンマシン・コミュニケーションに対し、十分な工夫をこらしています。例えば、電子計算機の処理内容は画面や放送を通じて、話し言葉により伝えられます。
- ②検査プログラムは、必要かつ十分なプログラムとなるよう吟味されていますので、それだけ車両の保守が容易です。
- ③セルフチェックシステムが完備されていますので、安心して車両を検査できます。



▲中央操作室  
▼自動試験風景





## 陸上交通特集

### 目次

#### 《特集論文》

車両用H種絶縁主電動機	中島博行・山本 泰・美藤 亘・東 捷敏	193
シリコン油入車両用変圧器	南角英男・桑原 宏・鶴田敬二・児玉俊英・安部 勉	199
スペイン国鉄納め3,000V高圧回生ブレーキ付きチョップパ制御装置	芦谷正裕・成戸昌司・中西信行・高見 弘	206
磁気浮上式鉄道用光センサ	長能宗彦・笠原久美雄・河村寿三	211
国鉄向け湖西線列車無線通信装置	加藤哲郎・頼政利博・大塚 明・竹垣 弘・三井和夫	215
帝都高速度交通営団納め電車総合試験装置	原 幹夫・松田 哲・小原博修・金田順一郎・石本正明	221
三菱電気バス用電機品	河辺正雄・三橋英一・久山研一	225
三菱軌道バス・MATシステム試験線の概要	穴見真二郎・露木益郎・六藤孝雄・八幡敏雄・祖父江幸男	230
新都市交通システムの評価法	下地貞夫・小林健三・宮花節子	236
乗合バスの運行管理システム	浅野哲正・打田良平・六島昭治・中堀 一郎	242
塩浜操車場自動化システム	工藤一能・田形欽次・渡辺武雄・石井和夫	247
高速道路における自動車密度推定手法の実験的検討	渡辺幸太郎・中堀 一郎・岡沼 徹・渡辺秀雄・三浦 望	254
地下鉄操業管理の総合化	北川和人・岩村 衛	259

#### 《普通論文》

電気絶縁油としてのシリコン油	桑原 宏・鶴田敬二・石井敏次・牧野芳弘・伊藤光一	269
パターン処理システム(V)―色彩図形解析表示システム―	伊藤貴康・中島英雄・福島正俊・成川武文	276
モータ制御用IC	大久保利美・中野隆生・尾形 孝・里 治則	280
500kVガス絶縁開閉機器の高電圧試験	高橋宏次・板倉文一郎・浜 孝紘・夏井恵史	287
電気掃除機用フィルタ《ロシポーザ》の開発	福田興司	292
マグヒートレンジ(商用周波誘導加熱調理器)	日比野昌弘・伊藤利朗	295

#### 《技術講座》

キャラクタディスプレイ(その3)	大川清人	300
------------------	------	-----

#### 《特許と新案》

電気スイッチ・回路開閉装置		268
---------------	--	-----

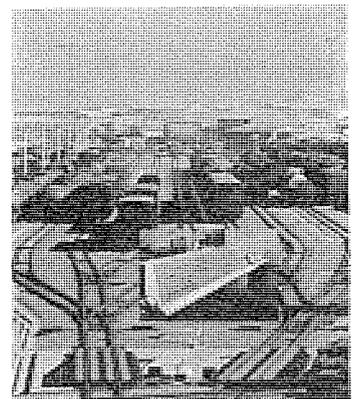
#### 《表紙》

##### 国鉄塩浜操車場と貨車ヤード自動化システム

日本国有鉄道の貨物輸送近代化の大きな柱として、貨車操車場自動化システムYACS (Yard Automatic Control System) が進められている。

従来の操車場(ヤード)は危険作業が多いこと、屋外で昼夜悪天候にもかかわらず作業を行うこと、などがYACS化に拍車をかけ、全国の主ヤードは、YACS導入が推進される方向である。

写真は、昭和49年9月川崎市の臨海工業地区で開業した、塩浜操車場構内とコントロールセンタ内に設置され、現在か(稼)動中の電子計算機システム(ME-LCOM 350-5F×2重系)である。





## SPECIAL EDITION ON LAND TRANSPORTATION

### CONTENTS

#### SPECIALLY COLLECTED PAPERS

A Railroad Traction Motor Using Class H Insulation Hiroyuki Nakashima, Yasushi Yamamoto, Wataru Bito, Katsutoshi Higashi	193
A Silicone-Oil-Immersed Transformer for Rolling Stock Hideo Nankaku, Hiroshi Kuwahara, Keiji Tsuruta, Toshihide Kodama, Tsutomu Abe	199
A New 3000-V Chopper Controller with Regenerative Braking for RENFE Masahiro Ashiya, Masashi Naruto, Nobuyuki Nakanishi, Hiroshi Takami	206
An Optical and Position Height Sensor for a Magnetically Levitated High-Speed Ground Transportation System Munehiko Nagano, Kumio Kasahara, Toshimi Kawamura	211
A Communications System for the Kosei Line of Japanese National Railways Tetsuro Kato, Toshihiro Yorimasa, Akira Otsuka, Hiroshi Takegaki, Kazuo Mitsui	215
Integrated Train Testing Equipment for Tokyo's Teito Rapid Transit Authority (TRTA) Subways Mikio Hara, Satoshi Matsuda, Hironobu Kohara, Junichiro Kaneda, Masaaki Ishimoto	221
Electrical Equipment for the Mitsubishi Electric Bus.....Masao Kawabe, Eiichi Mitsubishi, Kenichi Kuyama	225
A Test Track for MAT System Guided Buses Shinjiro Anami, Masuro Tsuyuki, Takao Muto, Toshio Yahata, Yukio Sofue	230
A Method of Evaluation for New Urban Transit Systems.....Sadao Shimoji, Kenzo Kobayashi, Setsuko Miyahana	236
An Operation and Control System for Route Buses Tetsumasa Asano, Ryohei Uchida, Akiharu Rokushima, Ichiro Nakahori	242
An Automatic Control System for JNR's Shiohama Marshaling Yards Kazuyoshi Kudo, Kinji Tagata, Takeo Watanabe, Kazuo Ishii	247
Experimental Verification of Estimations of Expressway Traffic Density Kotaro Watanabe, Ichiro Nakahori, Toru Okanuma, Hideo Watanabe, Nozomu Miura	254
Integration of Subway Operations Control.....Kazuto Kitagawa, Mamoru Iwamura	259

#### TECHNICAL PAPERS

Silicone Oil as a Dielectric.....Hiroshi Kuwahara, Keiji Tsuruta, Toshitsugu Ishii, Yoshihiro Makino, Koichi Ito	269
Pattern Processing Systems (IV)—A Color-Picture Analysis and Display System Takayasu Ito, Hideo Nakajima, Masatoshi Fukushima, Takefumi Narikawa	276
ICs for Motor Speed Control.....Toshimi Okuho, Takao Nakano, Takashi Ogata, Harunori Sato	280
High-Voltage Test Procedures for 500-kV Gas-Insulated Switchgear Koji Takahashi, Bunichiro Itakura, Takahiro Hama, Keishi Natsui	287
Development of the ROSSIPOSA Vacuum Cleaner Filter System.....Kouji Fukuda	292
The MAG-HEAT Principle of Commercial-Frequency Induction Heating.....Masahiro Hibino, Toshio Ito	295

#### TECHNICAL LECTURE

Character Display (Part 3) .....	Kiyoto Okawa	300
----------------------------------	--------------	-----

#### PATENTS AND UTILITY MODELS

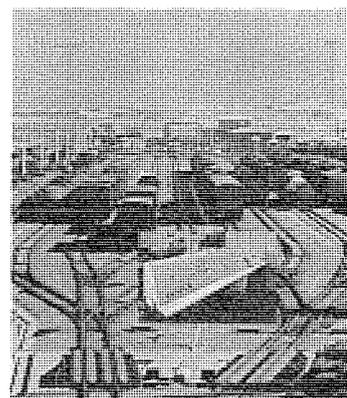
268

#### COVER

An Automatic Control System for JNR's Shiohama Marshaling Yards  
One of the main elements in the efforts of the Japanese National Railways (JNR) to modernize their freight-handling operations is a system for automatic marshaling-yard control.

The considerable danger involved in conventional freight car marshaling, plus the fact that work must go on day and night and in all kinds of weather, is prompting the introduction of such systems at main yards throughout Japan.

This month's *Giho* cover shows the Shiohama Marshaling Yards (opened in September 1974 in the seaboard industrial region of the city of Kawasaki) along with the dual MELCOM 350-5F computer system that controls car movements.



# 「三菱電機技報」アブストラクト

UDC 621.3.04:621.3.048:621.315.6

## 車両用H種絶縁主電動機

中島博行・山本 泰・美藤 亘・東 捷敏

三菱電機技報 Vol.49・No.3・P193～198

最近の車両性能の向上から、主電動機には大容量化・高トルク化が要求されている。限られた収納スペースの中でこの要求を満足するためには、主電動機の耐熱性の向上、すなわちH種絶縁システムの確立が急がれていた。H種絶縁システムのポイントともいえるべきH種無溶剤形含浸ワニスの開発により、電氣的・機械的特性にも優れ、耐熱性のよいH種絶縁主電動機の製作が可能になった。ここでは、新ワニスの一般的性質、評価試験の方法や結果、H種絶縁主電動機的设计例などについて報告する。

UDC 621.396.931

## 国鉄向け湖西線列車無線通信装置

加藤哲郎・頼政利博・大塚 明・竹垣 弘・三井和夫

三菱電機技報 Vol.49・No.3・P215～220

昭和49年7月20日に開通した湖西線は、琵琶湖の西岸を走り、東海道線山科駅より、北陸線近江塩津駅に至る約80kmの国鉄新線である。同線の特徴は近代的な設備を用いており、運転は全線 CTC 化を行い、指令制御はすべて大阪の中央運転指令室から行っている。

ここに中央指令と運転士との情報交換手段として、列車自動追跡機能を備えた湖西線 CTC 列車情報無線設備を紹介する。

UDC 621.314.2:678.842:621.335

## シリコン油入車両用変圧器

南角英男・桑原 宏・鶴田敬二・児玉俊英・安部 勉

三菱電機技報 Vol.49・No.3・P199～205

車両用変圧器には、従来より不燃性合成油が使用されてきた。しかるに近年、公害問題上より不燃性油の製造が中止され、日本国有鉄道では、これに代わる絶縁油としてシリコン油の採用が決定された。

しかし、このシリコン油が、本格的に変圧器に使用されるのは世界的にも例がなく、油の各種究明とともに、その特性を十分に考慮した変圧器の開発・設計が要求された。

ここでは、このシリコン油入車両用変圧器の特長とその概要などについて述べる。

UDC 621.317.7:621.335.4

## 帝都高速度交通営団納め電車総合試験装置

原 幹夫・松田 哲・小原博修・金田順一郎・石本正明

三菱電機技報 Vol.49・No.3・P221～224

近年、鉄道車両界における車両のエレクトロニクス化・編成の長大化は著しい。このような高性能車両の保守においては、専門的な知識と技術が要求されるが、いずれも短時日には得がたい。サイリスタチョップ制御装置を営業車両に採用した、帝都高速度交通営団においても同様の問題があったが、これを解決するためにこのたび電子計算機を使用した電車総合試験装置を導入した。この装置の導入により、10両編成の電車編成の同時試験・試験内容の拡充・試験精度の向上・試験作業の単純化・試験時間の短縮・試験結果データの EDP 化などが実現され、多大の成果が得られつつある。

UDC 621.337:621.314.571:621.337.5

## スペイン国鉄納め 3,000V 高压回生ブレーキ付 チョップ制御装置

芦谷正裕・成戸昌司・中西信行・高見 弘

三菱電機技報 Vol.49・No.3・P206～210

回生ブレーキ付チョップ制御電車については、DC1,500V 及び、DC750V 線電圧については地下鉄・郊外電車用として実用化され、電力消費が少なく、メンテナンス費用が少ないなどの特長を十分に発揮し、最近の省エネルギーという時代の要請に合ったものとして注目を浴びている。こんど我が国で初めて 3,000V という高压用チョップ制御装置を開発・製作し、スペイン国鉄に納入したので、その内容及び試験結果の概要について報告する。この装置は、ヨーロッパへの初輪出品であり、我が国のチョップ技術力を示すものとしてその運転実績が期待されている。

UDC 629.114.53:621.31

## 三菱電気バス用電機品

河辺正雄・三橋英一・久山研一

三菱電機技報 Vol.49・No.3・P225～229

最近、公害防止の一手段として電気自動車が開光を浴びているが、そのうちでも実用化が早いといわれる電気バスの電機品について述べる。

エネルギーとして電池だけを使用し、直流電動機をサイリスタチョップによって制御する。逆導通サイリスタを用いたチョップ装置によって電圧制御を行うと同時に、自動弱め界磁制御を行い、アクセル連通流率制限制御と併用し、従来のエンジンバスと同様の運転感覚を得ることに成功した。運転はきわめて容易であり、走行性能も電気自動車としては抜群である。

UDC 625.3/6

## 磁気浮上式鉄道用光センサ

長能宗彦・笠原久美雄・河村寿三

三菱電機技報 Vol.49・No.3・P211～214

磁気浮上鉄道の推進・制御システムとして自製式 LSM が最も有力と考えられている。この方式の実現には地点検知器が必要不可欠な要素であり、精度や応答性などの点から光センサが最も有望視されている。我々は、1次コイルに沿って反射テープを張り、変調した発光ダイオードの反射光を受信する方式の光センサを試作し、所期どおりの検知性能を得た。この方式では浮上高さも同時に測定できる。

ここでは、試作した装置の原理や構成などの概要と、模擬試験による結果とについてその大要を述べる。

UDC 629.113.6:625.1:001.5

## 三菱軌道バス・MATシステム試験線の概要

穴見真二郎・露木益郎・六藤孝雄・八幡敏雄・祖父江幸男

三菱電機技報 Vol.49・No.3・P230～235

三菱軌道バス・MATシステムは、当社と三菱重工(株)が共同開発したコンピュータコントロールによる完全無人運転可能な中量軌道輸送システムで、交通公害が少なく、安全性・信頼性が高く、しかも建設費が安く、市民の生活環境に調和した新しいシステムである。ここでは、試験線設備のうち、システムの中核となる情報伝送、自動運転などの概要について述べ、現地試験結果の一部を紹介する。試験線建設により、MATシステムの実用化への見とおしがたてられ、実路線建設のための貴重な資料が得られた。

# Abstracts

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 49, No. 3, pp. 215~220 (1975)  
UDC 621.366.931

## A Communications System for the Kosei Line of Japanese National Railways

by Tetsuro Kato et al.

JNR's Kosei Line, opened on July 20, 1974, runs for 80 km from Yamashina Station (Tokaido Line) along the west shore of Lake Biwa to Omi-Shiotsu Station (Hokuriku Line). It features ultramodern equipment, with a fully computerized train control (CTC) system. All the instructions and control signals originate from a centralized operational headquarters in Osaka.

This paper describes the train-information radio equipment, which incorporates an automatic train-tracking function to facilitate information exchange between the central headquarters and the motorman.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 49, No. 3, pp. 193~198 (1975)  
UDC 621.3.04:621.3.048:621.315.6

## A Railroad Traction Motor Using Class H Insulation

by Hiroyuki Nakashima et al.

Recent improvements in rolling stock have created a demand for higher-capacity higher-torque traction motors. To meet this demand within the existing limitations of space, the pace of making improvements in the thermal characteristics of traction motors—specifically, the development of a Class H insulation system—has been forced. The determining factor has been a Class H solventless impregnating varnish, which has made possible the manufacture of a Class H traction motor that is superior both electrically and mechanically while being resistant to high temperatures.

Discussion is made of the general characteristics of the new varnish, evaluation-test procedures and results, and some typical designs of traction motors using Class H insulation.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 49, No. 3, pp. 221~224 (1975)  
UDC 621.317.7:621.335.4

## Integrated Train Testing Equipment for Tokyo's Teito Rapid Transit Authority (TRTA) Subways

by Mikio Hara et al.

The current trends in this field are toward an increasing use of electronic technology in rolling stock, and toward longer trains. The maintenance expertise for this complex equipment requires time-consuming specialized training. TRTA, operator of a network of Tokyo subway lines, faced this problem when adopting cars equipped with thyristor chopper controllers; the solution they arrived at is computer-aided train testing equipment.

The outstanding results produced have enabled unified testing of a 10-car train, broadening of the items tested, upgrading of testing precision, simplification of test operations, shortening of testing time, and electronic data processing of test results.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 49, No. 3, pp. 199~205 (1975)  
UDC 621.314.2:678.842:621.335

## A Silicone-Oil-Immersed Transformer for Rolling Stock

by Hideo Nankaku et al.

Conventionally, rolling stock transformers have used nonflammable synthetic oil, but with the manufacture of such oils being discontinued for environmental reasons, the Japanese National Railways has decided to replace them with silicone insulating oils.

This full-scale use of silicone oil in transformers, however, is unprecedented anywhere in the world, and it has thus been necessary to design and develop a transformer which is compatible with various grades of oil, taking full advantage of the characteristics of each. A general description of such a transformer is given, along with its salient features.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 49, No. 3, pp. 225~229 (1975)  
UDC 629.114.53:621.31

## Electrical Equipment for the Mitsubishi Electric Bus

by Masao Kawabe et al.

Recently, electrically powered vehicles have attracted attention as a means of combatting pollution, and this paper discusses equipment for electric buses, an area in which practical developments are relatively well advanced. Powered solely by batteries, the DC drive motors are thyristor chopper controlled, and use reverse conducting thyristors to achieve voltage control simultaneously with automatic field weakening control. These features, in combination with current ratio-limiting control at the accelerator pedal, make operation as easy and familiar as conventional motor buses, while running characteristics have all the advantages inherent in an electrical vehicle.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 49, No. 3, pp. 206~210 (1975)  
UDC 621.337:621.314.571:621.337.5

## A New 3000-V Chopper Controller with Regenerative Braking for RENFE

by Masahiro Ashiya et al.

The regenerative braking system of the chopper-controlled EMUs of the subway and commuter systems running under 750-VDC and 1500-VDC lines is exhibiting striking advantages in terms of lower power consumption and maintenance costs. Consequently, it has been attracting wide attention as an energy conservation measure.

Mitsubishi Electric has developed and produced Japan's first 3000-V chopper-control system, which the paper describes. Delivered to RENFE (Spanish National Railways), it is the first chopper-control system to be exported to Europe, and so it will be closely watched as a representative of Japan's chopper-control technology.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 49, No. 3, pp. 230~235 (1975)  
UDC 629.113.6:625.1:001.5

## A Test Track for MAT-System Guided Buses

by Shinjiro Anami et al.

The Mitsubishi Automatic Transportation (MAT) system, jointly developed by Mitsubishi Electric and Mitsubishi Heavy Industries, is a medium-capacity guided-bus system that is computer-controlled to provide unmanned operation. The system offers safe, reliable, economical transportation that is low in pollution.

The construction of a test track has opened the way for realization of a commercial MAT network, and has provided valuable related data. The primary aspects of the test track facilities—i.e., data transmission and automated operation—together with the results of on-track testing, are described.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 49, No. 3, pp. 211~214 (1975)  
UDC 625.3/6

## An Optical and Position Height Sensor for a Magnetically Levitated High-Speed Ground Transportation System

by Munehiko Nagano et al.

The self-controlled linear synchronous motor with self-detecting excitation is seen as the choice for propulsion and control of magnetically levitated ground transportation vehicles. However, a sensor for ground position detection is essential, and an optical type seems most promising in terms of precision and response.

Construction has been completed of a prototype sensor that receives the output from a modulated light-emitting diode as it is reflected from transverse strips of reflective tape attached along the track. This sensor performs at the expected level of position detection and enables monitoring of levitation height.

Presented are the principles and structure of the prototype sensor, and the results of simulation tests.

# 「三菱電機技報」 アブストラクト

UDC 717.7:681.3.004

## 新都市交通システムの評価法

下地貞夫・小林健三・宮花節子

三菱電機技報 Vol.49・No.3・P236～241

大都市近郊のニュータウンに、新しく敷設が望まれている中容量軌道システムにつき、技術的・経済的・社会的観点から総合的に検討を行う目的で、最適設計の目的関数として、所要時間などのほかに利用者の利便性及び、快適性も含めた便益構造へのアプローチを進めた。また、適用例として、あるニュータウンの後背地に更にニュータウンが発展しつつある場合の最適交通システム、特に、路線配置計画の解析を行った。

UDC 681.326:656.259:625.42

## 地下鉄操業管理の総合化

北川和人・岩村 衛

三菱電機技報 Vol.49・No.3・P259～265

鉄道の自動化の一例：鉄道のような労働集約的産業にも、情報処理技法を採用したサイバネチックシステムの導入がはかられるに至ったことは注目に値する。伝送技術並びに計算機制御技術に依存する列車運行管理、電力・換気・防災管理、車両基地管理、などより構成される総合管制システムの採用は、生活共同体、鉄道経営体の双方にとって魅力ありかつ効用もあり、ここに構想概要を応用例とともに述べる。

UDC 711.7:656.132:519.2:351.811.12

## 乗合バスの運行管理システム

浅野哲正・打田良平・六島昭治・中堀一郎

三菱電機技報 Vol.49・No.3・P242～246

都市における乗合バスの運行速度の低下、信頼性の低下と、バス事業の経営悪化は昨今特に著しく、抜本的な施策の必要にせまられている。本文では種々のバスの運行改善手法について概括し、都市街路におけるバス運行状態の実測結果を示すとともに、交通工学的な立場から交通流の解析とバス運行モデルの設定を行った。あわせてバス運行改善のための手法についてその内容を紹介する。

UDC 665:678.842:621.315.6

## 電気絶縁油としてのシリコン油

桑原 宏・鶴田敬二・石井敏次・牧野芳弘・伊藤光一

三菱電機技報 Vol.49・No.3・P269～275

従来の不燃性合成油の代替品として、シリコン油が脚光を浴びるようになり、変圧器用絶縁油としての実用化の研究が急速に進められ、車両用変圧器の絶縁油として使用されるようになった。

シリコン油は、電気的・化学的あるいは熱的にも優れた特性を有し、更に難燃性であること、また、医薬品や化粧品にも使用されており、安全性においても十分に確認されていることなどから、今後、電気絶縁油としての用途が更に開発されるであろう。

この文では車両用変圧器として使用した場合のシリコン油について、これまで研究された種々の特性についてその概略を述べる。

UDC 656.212.5.65.011.56.681.32

## 塩浜操車場自動化システム

工藤一能・田形欽次・渡辺武雄・石井和夫

三菱電機技報 Vol.49・No.3・P247～253

現在、貨車操車場のYACS（操車場自動化システム）化への気運は、日々増大する貨物輸送業務の円滑化とともに、急速に進められている。このような情勢のもとで、第3番目のYACSとして、昭和49年9月に川崎市の臨海工業地帯の一角で、運用を開始した「塩浜操車場自動化システム」を、ここに紹介する。

ここでは、まず一般の貨車操車場の機能を述べ、次に塩浜操車場の規模と特徴、システムの構成と機能、アプリケーションシステムから見た場合の転走貨車の制御上の動き、及び運用開始後の計算機システムのか動状況、などについて概説したものである。

UDC 681.3.02

## パターン処理システム (V)

### —色彩図形解析表示システム—

伊藤貴康・中島英雄・福島正俊・成川武文

三菱電機技報 Vol.49・No.3・P276～279

計算機による図形処理技術の進歩により、その対象とする領域が拡大され、現実の複雑な図形や情景を処理する必要が生じるにつれ、対象のもつ色彩情報を有効利用しようとする要求が高まっている。このような状況に対処するため、当社中央研究所においては、機能化された色彩図形入力システムを組み込んだ色彩図形解析表示システムを開発し、現在色彩図形処理の研究に活用している。このシステムでは、計算機との対話形式によって効率のよい色彩図形解析が行えるようにしている。本文ではシステムの概要、基本機能などについて紹介する。

UDC 005:656.021

## 高速道路における自動車密度推定手法の実験的検討

渡辺幸太郎・中堀一郎・岡沼 徹・渡辺秀雄・三浦 望

三菱電機技報 Vol.49・No.3・P254～258

高速道路交通の発達とともに、その交通流の解析と制御の重要性が増してきている。ここではその一環として、高速道路上の走行車両の区間密度を両端点の交通量と通過速度からオンラインで推定する手法を解説し、レーダスピードメータを速度検出器として使用した名神高速道路交通流実測の内容と、区間密度推定手法を適用した検討結果について述べる。これにより区間密度推定手法が十分実用に耐え得ることが判明した。

UDC 621.382:621.313.2:621.316.71

## モータ制御用IC

大久保利美・中野隆生・尾形 孝・里 治則

三菱電機技報 Vol.49・No.3・P280～286

IC化の進展はモータ制御回路にも及び、ICのもつ本質的メリットである小形、軽量、低価格とともに高精度、高信頼度などの特長を織り込んだIC応用製品がモータコントロール分野にも浸透しつつある。この論文では、当社で独自にモータ速度制御用ICとして開発した、位相制御方式IC-M5177P、VTRサーボコントロール用IC-M51401Kを製品化するにあたって体験した技術的諸問題について記述し、あわせて今後の技術動向について概論した。

# Abstracts

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 49, No. 3, pp. 259~265 (1975)  
UDC 681.326:656.259:625.42

## Integration of Subway Operations Control

by Kazuto Kitagawa and Mamoru Iwamura

It is noteworthy that cybernetic systems applying data-processing techniques are being introduced even in the labor-intensive railway transportation industry. Adoption of an integrated control system—one composed of line and train control, power supply and ventilation control, yard control, etc., and relying on telecommunications and computer-control technologies—is attractive and effective from the viewpoints of both the community and the managing authority. Some structural features are described, together with possible applications.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 49, No. 3, pp. 236~241 (1975)  
UDC 717.7:681.3.004

## A Method of Evaluation for New Urban Transit Systems

by Sadao Shimoji et al.

As new residential communities spread farther and farther from metropolitan centers, a new approach to the design of the medium-capacity mass transit systems is being developed on the basis of benefit structure, a concept that takes into account not only travel time but also the comfort and convenience of users. The approach aims at an optimum design integrating technological, economic and social viewpoints.

The paper also undertakes an analysis of an optimum transit system for an existing exurban community beyond which further residential development is taking place. The analysis places particular emphasis on route distribution.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 49, No. 3, pp. 269~275 (1975)  
UDC 665:678.842:621.315.6

## Silicone Oil as a Dielectric

by Hiroshi Kuwahara et al.

Silicone oil, noted as a likely alternative for nonflammable synthetic oils, has seen rapid progress toward practical applications in transformers, and is now in use in railroad rolling stock transformers.

It has outstanding electrical, chemical and thermal characteristics, and is combustion-resistant. Further, since its safety has been fully proven by use in drugs and cosmetics, wider usage as an insulating oil is predicted.

Outlined are the research results to date concerning the properties of silicone oil as they relate to its use as an insulating oil in rolling stock transformers.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 49, No. 3, pp. 242~246  
UDC 711.7:656.132:519.2:351.811.12

## An Operation and Control System for Route Buses

by Tetsumasa Asano et al.

Decreased running speeds, impaired service performance and a worsening of the economics of operation are problems that are hitting urban bus services with increasing severity of late, bringing a necessity for drastic measures. This paper examines a variety of means for improving bus operations, and presents the results of actual measurements of bus operating conditions in city streets. A bus operation model has been developed to analyze traffic flows from the viewpoint of traffic engineering, and some methods for improving bus operations are advanced.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 49, No. 3, pp. 276~279 (1975)  
UDC 681.3.02

## Pattern Processing Systems (IV) —A Color-Picture Analysis and Display System

by Takayasu Ito et al.

Improvements in picture-processing technology have broadened the area of its application, and the processing of increasingly complex source materials calls for maximum utilization of the color information included in the original. To this end the Central Research Laboratory has developed a color-picture analysis and display system incorporating a functionalized color-picture input system. The system is at present being used in research on color-picture processing. Utilizing a conversational computer interface, it achieves excellent color-picture analysis.

The system and its basic functions are introduced.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 49, No. 3, pp. 247~253 (1975)  
UDC 656.212.5.65.011.56.681.32

## An Automatic Control System for JNR'S Shiohama Marshaling Yards

by Kazuyoshi Kudo et al.

The trend toward marshaling-yard automation progresses, improving traffic flow despite increases in traffic volume. This article introduces the automation and control system for JNR's Shiohama Marshaling Yards, the third such installation built by Mitsubishi Electric. The yard was opened in September 1974.

The initial discussion of the general functions of marshaling yards is followed by details of the size, system structure and functions, and the special features of the Shiohama Yards. Presented too are trends in moving-car control, from the standpoint of system application, and the conditions affecting operation of the computer system since the yard opened.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 49, No. 3, pp. 280~286 (1975)  
UDC 621.382:621.313.2:621.316.71

## ICS for Motor Speed Control

by Toshimi Okubo et al.

The intrinsic advantages of integrated circuits in terms of size, weight, cost, accuracy and reliability have resulted in the appearance of IC apparatus for motor control.

This paper discusses the technological problems encountered during the development of a production model incorporating the IC-M5177P phase-control IC and the IC-M51401K VTR servocontrol IC. These are motor-control ICs produced by Mitsubishi Electric using in-house technology. Technical problems deserving future consideration are also pointed out.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 49, No. 3, pp. 254~258 (1975)  
UDC 005:656.021

## Experimental Verification of Estimations of Expressway Traffic Density

by Kotaro Watanabe et al.

With the increase in expressway traffic, flow analysis and control is assuming greater and greater importance. This article presents a method of on-line estimation of traffic density in a given sector of an expressway. The method is based on measurement of traffic volume at the sector end points and on vehicle running speed. Also discussed are the results of an analysis based on actual measurement by radar speed detectors along the Meishin (Nagoya-Kobe) expressway, and sector-density estimation techniques. The results show that the density-estimation techniques are fully suitable for practical application.

# 「三菱電機技報」アブストラクト

UDC 621.3.027.8:621.316.5:001.45

## 500kVガス絶縁開閉機器の高電圧試験

高橋宏次・板倉文一郎・浜 孝紘・夏井恵史

三菱電機技報 Vol.49・No.3・P287～291

電力需要の増大と、機器の縮小化に対する要求は、SF<sub>6</sub>ガス適用技術と、有機絶縁物の製造技術の向上により、500kVガス絶縁開閉装置 (Gas Insulated Switchgear) の完成をみた。

GISにおいては、SF<sub>6</sub>ガス中の電位傾度が比較的高く、またエポキシ樹脂注型絶縁物も機械的・電氣的に高い応力で使われるものが多い。したがって、GISの高電圧性能の検証は十分に検討された方法で実施されなければならない。

当社は、十分な開発・設計試験、実用化試験を終え、適正な製品試験の実施により、満足すべき実用性・信頼性・経済性をもつGISを市場へ送り出している。

UDC 621.313.3:648.525:676.41:697.983

## 電気掃除機用フィルタ《ロシポーザ》の開発

福田興司

三菱電機技報 Vol.49・No.3・P292～294

電気掃除機の普及率は49年2月現在で89.2%までに伸長し、家庭生活の必需品となっている。しかしながら過去の市場調査の結果、使用中の掃除機に何らかの不満を示しているユーザが多くみられ、特に『吸じん力が弱い』という掃除にとっては基本機能の未完成を一番多く指摘された。我々開発部門では、この基本機能を満足させるためのフィルタの開発を第一に考えて研究した結果、超能力フィルタといわれる〈ロシポーザ〉の発見に至った。

本文では、この〈ロシポーザ〉の開発経過、構成、特長などを、従来の布フィルタと比較しながら述べる。

UDC 538.52 [621.365.5]:517.947

## マグヒートレンジ (商用周波誘導加熱調理器)

日比野昌弘・伊藤利朗

三菱電機技報 Vol.49・No.3・P295～299

安全性に対する価値観の向上や、省資源機器への期待などの最近の社会情勢に適應した新しい加熱原理にもとづく調理器、それが誘導加熱調理器である。マグヒートレンジは当社が最初に開発に成功した商用周波誘導方式の誘導加熱調理器である。この論文は(1)誘導加熱調理器の原理、構造、(2)マグヒートレンジを実用化するに当たって基礎となった電磁現象の解析結果、(3)それから導き出されたいくつかの技術内容などについて述べる。

UDC 681.327.12

## キャラクタ ディスプレー (その3)

大川清人

三菱電機技報 Vol.49・No.3・P300～306

この講座では、初回、総合的にキャラクタ ディスプレーを分析して、その特徴、基本構成、種類、用途などを明らかにし、前回、ディスプレイの構成と特徴、及び応用的をしばって、やや詳しく検討を加えたが、これに引きつづき、最終回として、今回はスタンドアロンタイプのキャラクタ ディスプレーを例に掲げて、動作原理を紹介し、合わせてシステム設計上問題になる事柄を、ディスプレイ単体の機能、システムの構成法、及びシステムの機能の三つの面から取りあげ、機能に関してはその具体的実現法を、またシステム構成法に関しては、具体的手法を紹介した。

# Abstracts

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 49, No. 3, pp. 287~291 (1975)  
UDC 621.3.027.8:621.316.5:001.45

## High-Voltage Test Procedures for 500-kV Gas-Insulated Switchgear

by Koji Takahashi et al.

Demands for more electric power and for smaller equipment have resulted—through progress in developing the application technology for SF<sub>6</sub> gas and the manufacturing technology for organic insulation materials—in the development of 500-kV gas-insulated switchgear (GIS).

In most GIS, the potential gradients in the SF<sub>6</sub> and the electrical stresses in the molded epoxy insulation are high, so that high-voltage performance verification calls for a rigorously developed methodology.

Mitsubishi Electric's full range of tests—development, design and application—are the basis of a line of GIS of high quality measured in terms of practicability, reliability and economy, which have been marketed.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 49, No. 3, pp. 292~294 (1975)  
UDC 621.313.3:648.525:676.41:697.983

## Development of the ROSSIPOSA Vacuum Cleaner Filter System

by Koji Fukuda

The vacuum cleaner is clearly a household necessity in Japan, where the ownership ratio is 89.2%. However, market research has shown a degree of user dissatisfaction, a common complaint being weak suction. In order to rectify this basic functional shortcoming, developmental efforts at Mitsubishi Electric concentrated on a filter system, culminating in the ROSSIPOSA superfilter.

The paper discusses the developmental process, construction, and features of the Rossiposa filter in comparison with conventional textile filters.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 49, No. 3, pp. 295~299 (1975)  
UDC 538.52(621.365.5):517.947

## The MAG-HEAT Principle of Commercial-Frequency Induction Heating

by Masashiro Hibino and Toshio Ito

Cooking by induction heating is a new concept that is well adapted to recent social trends, including increased safety consciousness and the desire to conserve energy. A new cooking appliance based on Mitsubishi Electric's MAG-HEAT principle is the first to succeed in using commercial-frequency excitation.

The paper discusses the operating principle and construction of the appliance, the results of the analysis of the basic electromagnetic phenomena applied in product development, and some of the technological outcomes of these analyses.

# 車両用H種絶縁主電動機

中島博行\*・山本 泰\*・美藤 亘\*\*・東 捷敏†

## 1. ま え が き

電気車用主電動機の絶縁は、A種・B種の時代を経て、現在ではF種絶縁が一般的になっている。当社は、耐熱有機絶縁材料 (NO-MEX, KAPTON など) と、無溶剤エポキシワニス<sup>(1)</sup>の真空含浸とを組合せた耐熱絶縁システムの開発と実用化について業界をリードしてきた。

他方、最近では、チョップ制御が普及するに従い、

- (1) 粘着係数が従来の抵抗制御よりも高くとれる。
- (2) 大容量高速度形の電動機がチョップ制御に適する。

という制御面からの要求、高加減速・高速度運転がますます必要になるという車両性能上からの要求などのために、更に主電動機の大容量化・高トルク化が必要になってきた。狭軌用電車の場合には、主電動機の収容スペースが極度に制約されるため、現在以上に電動機の形態を大きくすることは困難であり、大きさを同一に保ちつつ容量増大するためには、耐熱性の向上、すなわちH種絶縁の導入を図らざるを得ない。

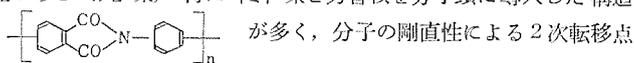
H種絶縁材料としては、フィルム・エナメル電線・積層品・成形品などで既に工業化されているものが多いが、機器としての絶縁性を左右する含浸用材料としては、ディフェニルエーテル樹脂 (ドリル樹脂)・シリコン樹脂などの溶剤形のものも多く使用されており、絶縁組織を固着して機械的強度と熱放散の向上を図り、防湿効果を助長するという含浸ワニス本来からの目的から見ると、ボイドレスな絶縁層を形成する無溶剤形ワニス<sup>(2)</sup>が、特に車両用主電動機においては望まれている。

H種絶縁主電動機のポイントとも言うべき無溶剤形含浸ワニス<sup>(2)</sup>の開発を進めてきたが、耐熱性のある新規な樹脂を得ることができたのでその概要と、H種主電動機の絶縁構成や適用効果などについて以下に紹介する。

## 2. 樹脂の一般的性質

### 2.1 H種無溶剤形含浸ワニス UNI RESIN

近時、無溶剤形含浸ワニスとして、シリコン系<sup>(1)</sup>・ポリアミド系樹脂<sup>(2)</sup>が開発されて回転電機品の含浸用樹脂として取り入れられつつある。このような耐熱性樹脂の特長は、シリコン系はともかくとして、耐熱性のあるヘテロ環、特にイミド環と芳香核を分子鎖に導入した構造



の向上と、耐熱劣化性への寄与が主体となっている。しかし、このような結合基は、一方では分子の柔軟性・屈曲性を失わせるもので、無溶剤ワニスとして必ず(須)な液状性・低粘度化を妨げる要因ともなっている。これらの相反する特性を十分に考慮し、耐熱性だけでなく、ワニスとしての電氣的・機械的の特性の向上、作業性の向上を図ったワニス UNI RESIN を以下に紹介する。

### 2.2 UNI RESIN の性状と応用

粘度特性を図1.に示す。室温において半固体状態であるが、60°Cまで加温することにより、含浸可能な粘度とすることができる。

ゲル化時間は、硬化促進剤の添加によって任意に変えることができ、150°Cにおけるそれは、標準仕様で15~30分が普通である。更に短くすることも可能であるが、作業条件によって考慮されるべきであろう。

ポリアミド電線 (1.0φ, 0種) を用いたコイル接着強度 (せん断引張

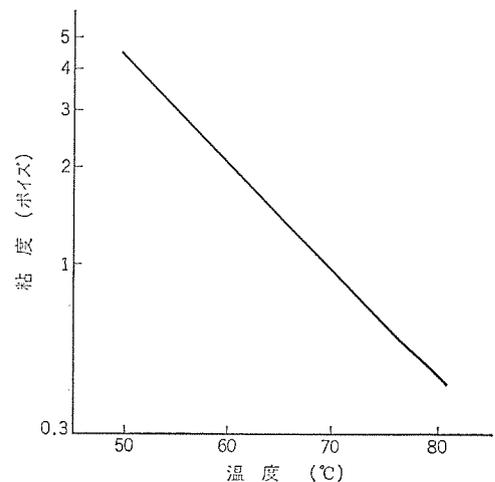


図1. 粘度と温度との関係

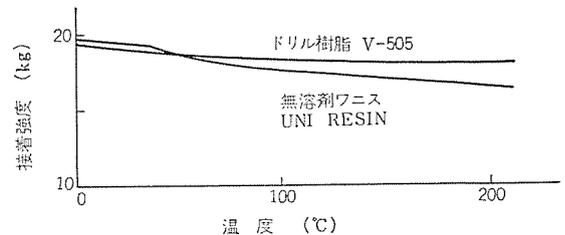


図2. コイル接着強度と温度との関係

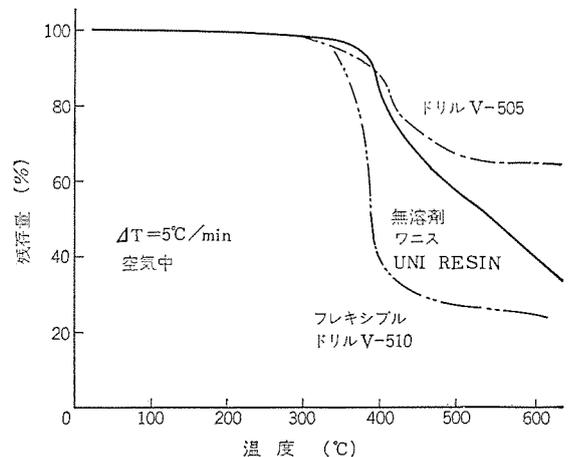


図3. 熱天ばかり(秤)曲線 (TGA)

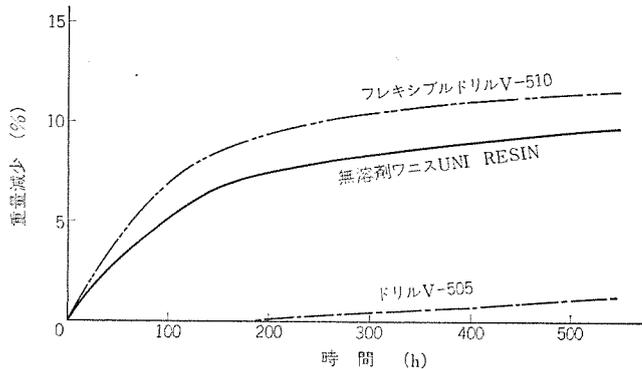


図 4. H種樹脂の加熱重量減少 (240°C, 空気中)

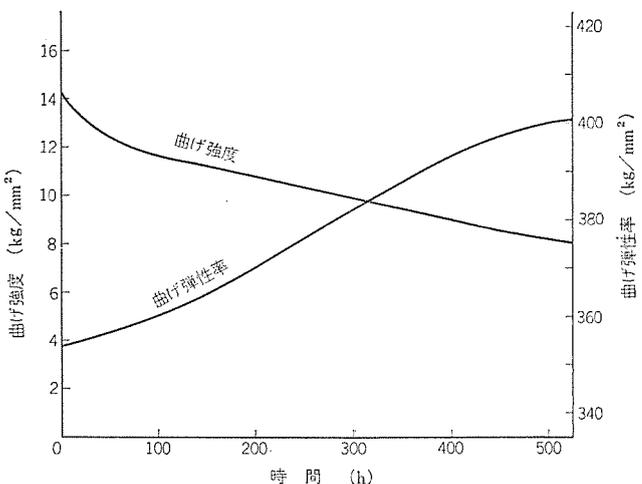


図 5. 熱劣化による機械的性質の変化 (劣化温度 240°C, 測定 25°C)

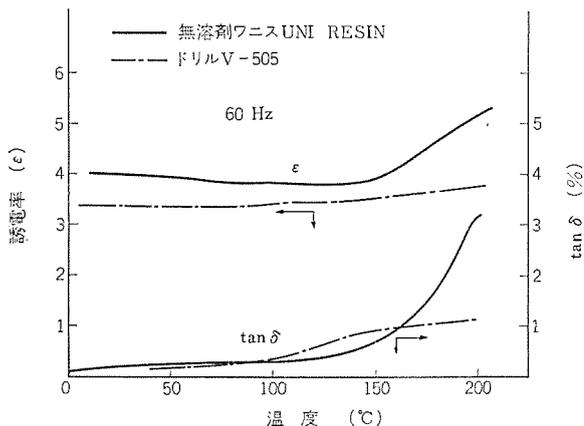


図 6.  $\tan \delta$  と  $\epsilon$  の温度特性

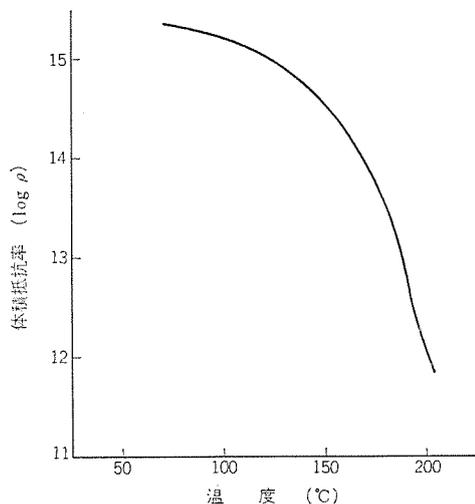


図 7. 体積抵抗率の温度特性

表 1. 耐熱水性・耐化学薬品性

項	目	重量変化 (%)
熱水, 100°C, 56時間		1.4
10% 塩酸, 25°C, 7日		0.4
10% かせいソーダ, 25°C, 7日		0.2
メチル エチル ケトン, 25°C, 7日		0.1

り法)を測定した結果では、ドリル樹脂とほとんどその(遜)色のないものである(図 2.)。

### 2.3 耐熱性

硬化樹脂の耐熱性を評価する方法として、通常、熱劣化特性が測られているが、熱安定性の目安としては、加熱重量減少が簡便である。塊状のサンプルを用い、一定昇温速度での重量減少では、375°C 以上から分解を開始する。比較として用いたドリル樹脂の V-505 よりは劣るが、フレキシブルドリルよりは優れている(図 3.)。しかし、240°C の定温加熱では、熱天びん(秤)曲線ほどの差はみられない。

### 2.4 機械的性質

150°C×15時間、更に 200°C×15時間硬化した樹脂を用い、240°C で劣化した後の機械的特性の変化を測定した(サンプル形状 3×11×80 mm)。その結果を図 5. に示す。500時間劣化後においても十分な特性を保持しており、外観からの形状変化も生じていない。

### 2.5 電気的性質

2.4 節と同一硬化条件で作製した 1 mm 厚のサンプルを用いて測定した結果を図 6., 7. に示す。 $\tan \delta$ ,  $\epsilon$ ,  $\rho$  もともに 150°C 以上から変化を示し始めるが、いずれも絶縁材料として十分に満足すべき範囲にあることが認められる。

また、常態での絶縁破壊電圧は、30 kV/mm で、熱劣化(240°C)による低下は、その重量減少が 7~8% (250時間)に達するまでほとんどみられなかった。

### 2.6 その他の性質

耐薬品性及び耐水性として、浸し(漬)による重量変化を調べた。表 1. に示したように、いずれもほとんど変化していないことがわかる。

## 3. 耐熱性の評価

新たに開発されたワニス UNI RESIN は 2 章で述べたように、耐熱含浸ワニスとして優れた特性を有しているが、含浸ワニスとしての評価は、絶縁構成との適合性によってその合否が左右されるものであり、樹脂単品での特性と必ずしも合致するものでないことをしばしば経験するところである。

車両用主電動機においては、ポリイミドフィルム、ポリアミドフィルム、ガラス布など(いずれも素材としては H 種以上の耐熱性を有している)を絶縁基材とし、F 種エポキシワニスで真空含浸処理した F 種絶縁システム<sup>(3)</sup>が現在の主流になっている。これらのフィルムは、その耐熱性もさることながら、絶縁破壊電圧が優れていることから、スペースがプレミアムとなっている車両用主電動機では、今後 H 種化が図られても、絶縁基材としてはこれらの材料が引き続き使用されるものと考えられる。そこで、含浸用ワニスの評価を行う場合、これらの絶縁基材との構成の中で評価する必要がある。

絶縁評価の方法としては、まずパーテストにより、作業性・耐熱性・電気的特性などをは握し、実用に際して問題がないかどうかを調査する。次いで、モートレット試験により、実際の使用において生じる

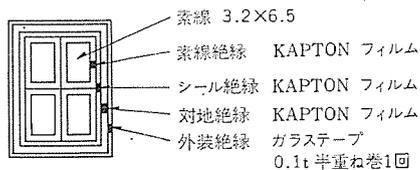
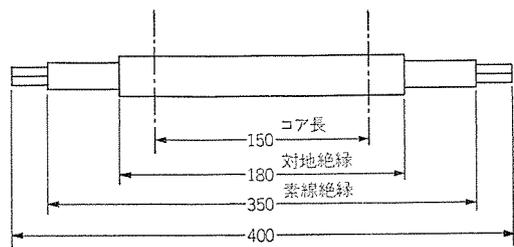


図 8. パーテスト 試料

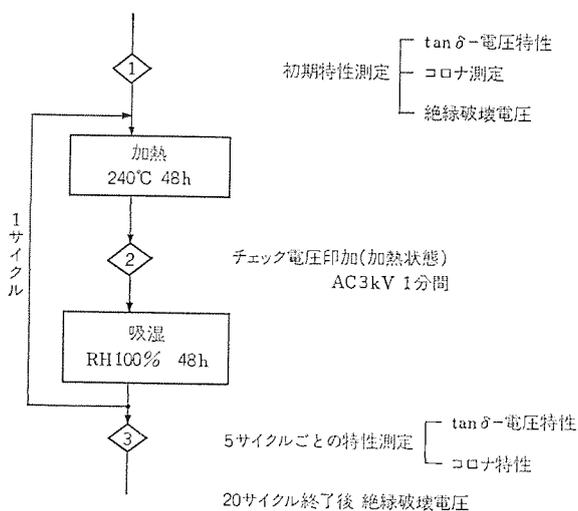


図 9. パーテスト劣化サイクルと測定項目

絶縁劣化要因を織り込んだ劣化促進試験を行う。そして、実機に採用して諸調査を行った。

### 3.1 パーテスト

図 8. はパーテストに使用した試料であり、図 9. はその劣化サイクルを示した。コロナ開始電圧 (CSV) は、20サイクル終了後も十分に高い値を示しており、F種ワニス (エポキシ) 含浸品と比べて、優れた特性を表している (図 10.)。

絶縁破壊電圧は、20サイクル終了後、従来のF種ワニスでは保持率が38.3%と大幅に減少しているが、UNI RESINでは76.9%と絶縁耐力は保持されており、耐熱性の優れていることを示している (図 11.)。

劣化サイクル後の試料を分解すると、F種ワニスでは炭化が進んでいるのに対し、新ワニスでは黒く変色はしているが、依然として樹脂状を呈している。

### 3.2 モートレットテスト

#### 3.2.1 試験方法及び試験装置

型巻コイルを採用する電動機絶縁の機能評価試験法としては、IEEE No. 275 に方法が示されており、

モートレット試験法として周知のものである。この方法は、電動機が運転中に受ける種々の劣化要因のうち、熱・振動を個々別々に与え、絶縁劣化検出の手段として吸湿・チェック電圧を用いるものである。

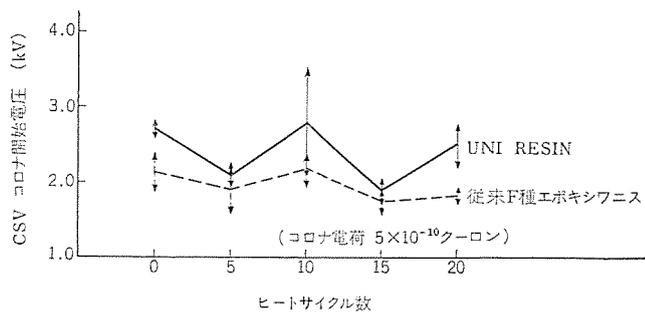


図 10. パーテストにおけるコロナ開始電圧の変化

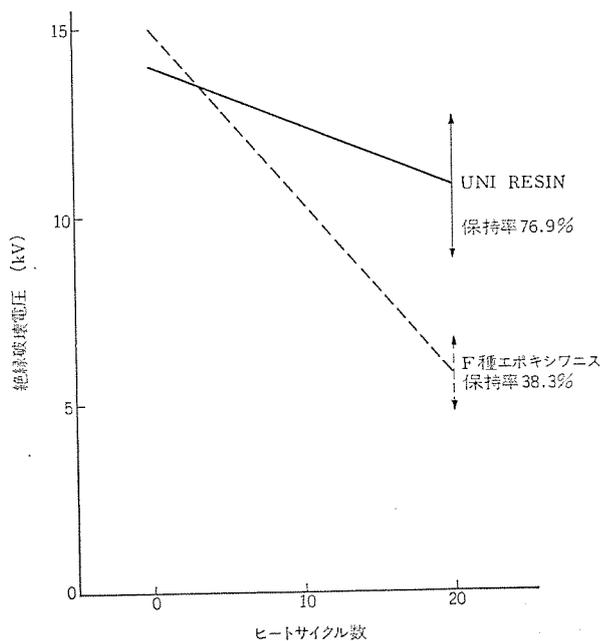


図 11. 絶縁破壊電圧の変化

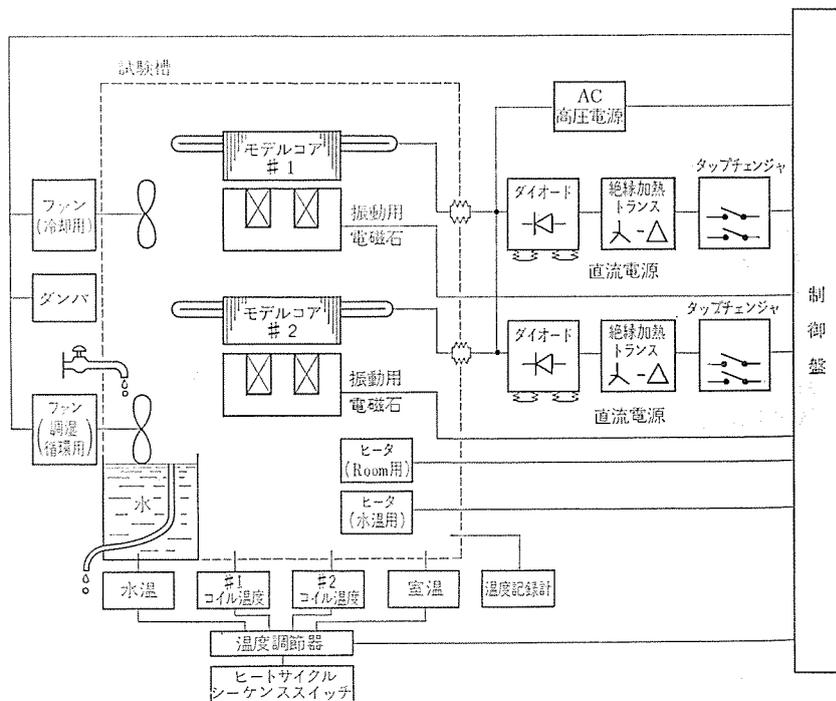


図 12. 機能評価試験装置 ブロック図

しかし実機では、劣化要因はそれぞれ直列・並列に加わり、その相乗作用によって寿命が左右される。そこで当社では、実機の電機子の一部を用い、熱・振動・湿気・電圧の主劣化要因を同時又は随時

に与えることのできる電動機絶縁総合機能試験装置を開発し、電車電動機絶縁組織の特性確認を行っている。

試験装置及び試験条件のブロック図を図12, 13. に示す。試料

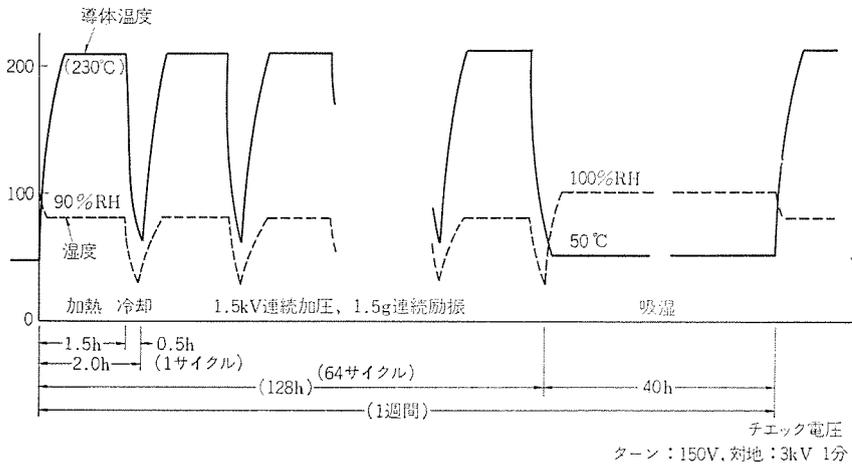


図 13. 機能評価試験条件

は、実機の加工条件を踏襲し、全体を真空含浸処理して製作したものをを用いた。電磁式振動架台にセットされた試料は、直流電流を通电して加熱 (1.5 時間) された後、強制風冷 (0.5 時間) で冷却し、これをヒートサイクルの1サイクルとする。ヒートサイクル中には 60 Hz 1.5 kV の電圧を対地絶縁に印加して実機における脈動電圧よりもシビアサイドに条件を設定している。同時に、電磁方式によって 120 Hz 1.5 g の重力加速度をコイル及び鉄心に与えて加速劣化させる。また、そう(槽)内湿度は常時 90 ~ 100 % になるように設定している。

ヒートサイクルによる絶縁性能のチェックを周期的に行う。すなわち、一定ヒートサイクルごとに、測定時の温度差による測定値のばらつきを防ぐ意味で、一定温度 (50°C) における  $\tan \delta$  の測定を行い、引き続いて 50°C, 100 % RH で 40 時間吸湿後、対地間 3 kV (実機の対地絶縁に加わる常時電圧の 2 倍に相当する)、素線間 150 V の交流電

圧を 1 分間印加して耐電圧試験を実施している。試験状況の写真を図 14., 15. に示す。

### 3. 2. 2 試料

供試試料の絶縁構成を図 16. に示す。これらの絶縁組織は、3. 1 節で述べたパーテストで特性を確認されたものである。これらの電機子コイルは、鉄心に組み込んだあと、コイルリード部に、通电加熱や素線間絶縁耐力チェックに適するように、試験用導線をろう付けし、絶縁テーピングが施される。その後、実機と同一プロセスに従ってレジ含浸・乾燥・仕上げを行って試料とした。

### 3. 2. 3 試験結果

機能試験途中で 250 サイクル経過した時点ごとに  $\tan \delta$  (1 kV の  $\tan \delta$  の値) と  $\Delta \tan \delta$  (3 kV における  $\tan \delta$  値と、1 kV における  $\tan \delta$  値との差) との変化を図 17., 18. に示す。図より新開発 H 種絶縁

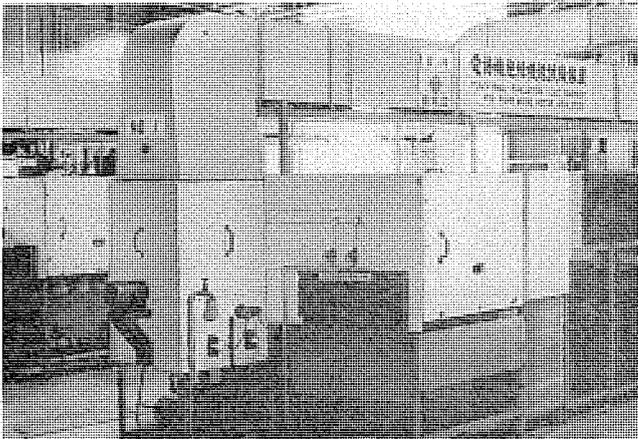


図 14. 機能評価試験装置全景

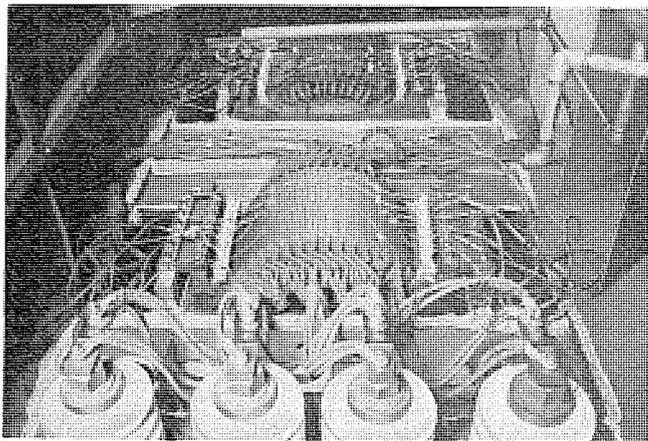


図 15. モートルリード試験状況

	仕様 A	仕様 B
素線絶縁	カプトン	ガプトン、ノメックスを交互配置
シール絶縁	カプトン	同 左
対地絶縁	カプトン	同 左
外装絶縁	ガラステープ	同 左

図 16. モートルリード試験試料の絶縁構成

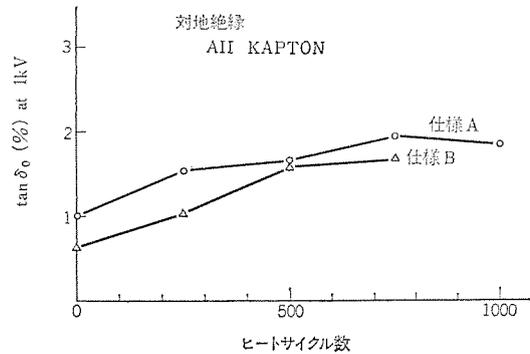


図 17.  $\tan \delta$  値の変化

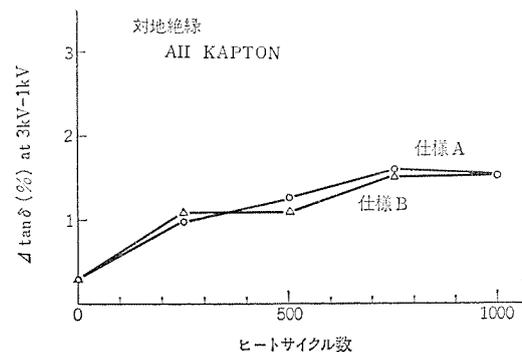


図 18.  $\Delta \tan \delta$  値の変化

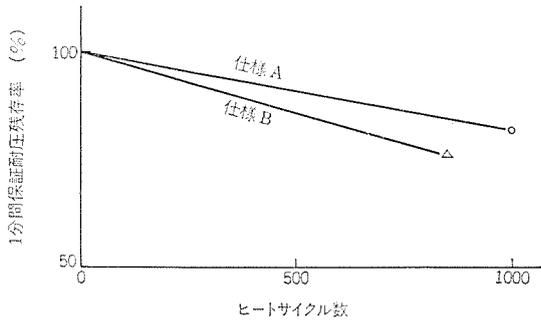


図 19. 絶縁破壊電圧

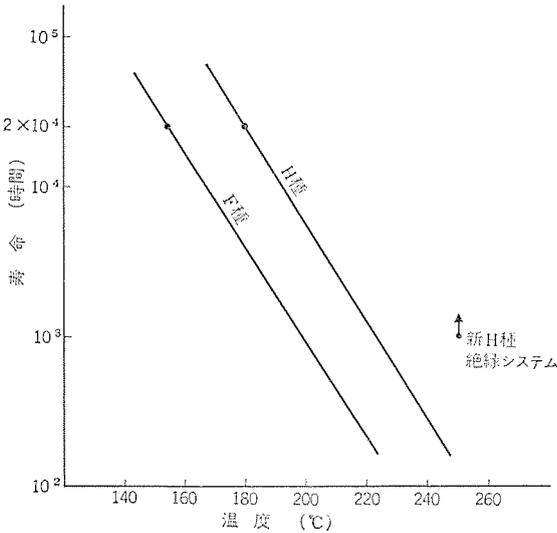


図 20. モートル試験の寿命評価

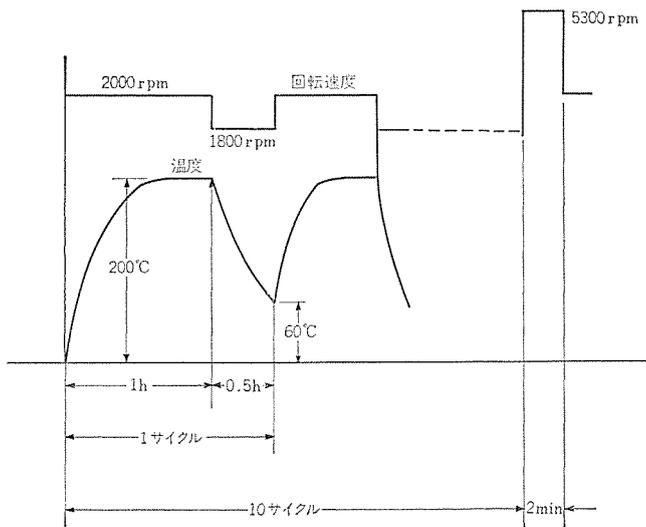


図 21. 実機試験のヒートサイクル

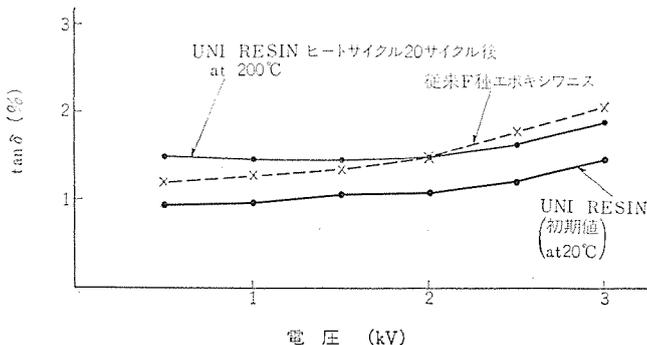


図 22. 実機の  $\tan \delta$  特性

システムの良好な特性の一端がうかがえる。図 19. は、ヒートサイクルによる絶縁破壊電圧の低下の傾向を、初期値を 100 % としてプロットしたものであり、1,000 サイクル 終了時点でも、絶縁破壊電圧の低下は極めて小さい。更に、これらの破壊電圧は、20 kV 近傍に分布しており、破壊箇所も対地絶縁においてではなくて、クレープージを通しての沿面せん(閃)絡であったので、対地絶縁は実測値以上の高い絶縁耐力を示していることになる。今回の試験結果を IEEE No. 275 に示された評価基準と比較して表せば、図 20. のようになり、車両用主電動機の絶縁という特殊性を考慮しても、十分な耐熱性を有していることが分かる。

### 3.3 実機における試験

図 8. に示したパ-テストの絶縁構成と同一絶縁仕様により、UNI RESIN で処理された主電動機 (1 時間定格 : 145 kW, 375 V, 425 A, 2,300 rpm) を試作し、図 21. に示すヒートサイクル試験を 20 サイクル行った。 $\tan \delta$ -電圧特性を図 22. に示している。 $\tan \delta$  値、 $\Delta \tan \delta$  値ともに F 種絶縁よりも小さな値になっている。20 サイクル後の  $\tan \delta$  値は若干大きくなっているが、これは、測定時の温度が 200°C であるためであり、劣化によるものではない。この図から、 $\tan \delta$  の温度特性も、その変化が極めて小さいことが分かる。

1 時間温度上昇値もヒートサイクル前に 140 deg であったものが、20 サイクルヒートサイクル後で 137 deg となり、その差はほとんど認められない。

## 4. 実機への適用

### 4.1 周辺材料

電機子及び界磁コイルの主絶縁 H 種化が可能となっても、H 種絶縁主電動機の完成を意味しない。主電動機は、多くの部品・材料から構成されており、電機子コイルや界磁コイルの温度を高く設計することになれば、その周辺材料もおのずと熱的責務が従来より厳しいものになる。電機子コイルと整流子の接続には、車両用主電動機では TIG 溶接<sup>(4)</sup>が一般に採用されており、この部分に対する心配は除かれる。スロットウェッジ・電機子コイルエンド部を固定する ガスバンド、整流子の片間絶縁やリング絶縁、仕上げワニス・接着剤・充てん(填)材料などに検討すべき問題があり、含浸用 H 種ワニスの開発と並行してこれらの材料についても開発を進めてきた。

### 4.2 H 種絶縁主電動機的设计

IEC Pub. 349 や BS 173, JRS などでは決められた温度上昇限度は、F 種絶縁の場合、電機子コイルで 140 deg°C, 界磁コイルで 155 deg°C であり、H 種絶縁の場合にはそれぞれ 160 deg°C, 180 deg°C である。この温度上昇限度の増大分 (電機子コイルで 14 % 増, 界磁コイルで 16 % 増) の中では、7 % 程度の容量増大が理論的に可能である。比率としては小さな値にみえるが、収容スペースの限られている車両用主電動機にとっては非常に大きな値である。当社で製作した台車装荷式電車用主電動機は 60 機種余になるが、それらの出力係数 (kW/rpm/ $D_a^2 L_c$  値) を設計年度ごとに平均して示したものが図 23. である。kW/rpm はトルクを示し、 $D_a^2 L_c$  ( $D_a$ : 電機子外径、 $L_c$ : 電機子鉄心長) は電機子の体積を示すので、図の縦軸は単位体積あたりのトルクを示すことになる。これによると、二つのトルク増大の飛躍が見られる。すなわち、昭和 30 年代後半における、B 種絶縁時代からエポキシワニス が採用されて F 種絶縁になった段階、そしていま一つは、昭和 40 年代中期における、マイカを絶縁基材とする時代から耐熱性フィルムを絶縁基材とした段階である。前者は、

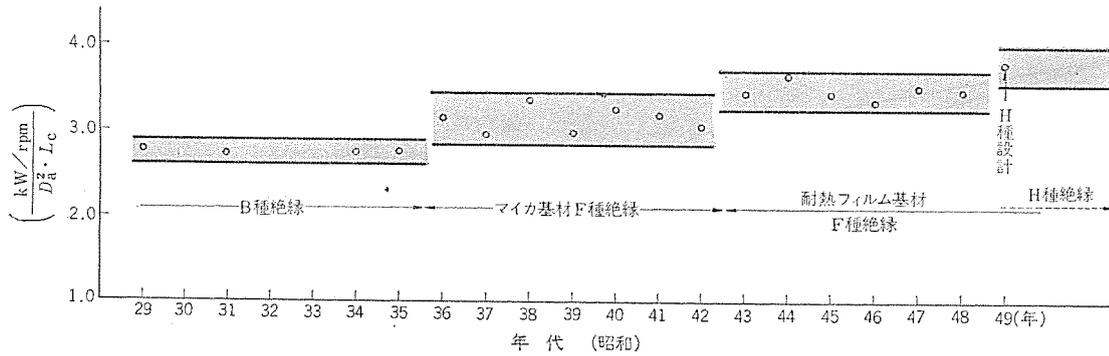


図 23. 主電動機的设计年度ごとの出力係数

表 2. 主電動機设计比較

絶縁階級	同一容量で小形化の場合		同一重量で容量増大の場合	
	H種絶縁	F種絶縁	H種絶縁	F種絶縁
1時間定格	100kW, 375V, 300A 1450rpm (80%F)		170kW, 375V 500A, 1750rpm	160kW, 375V 470A, 1750rpm
電機子直径	330	350	350	
電機子鉄心長	150	150	180	
ヨーク外径	565	582	600	
重量 kg (%)	620 (92.5)	670 (100)	830	

絶縁階級を上げること、エポキシワニスの特長によつてなされたものであり、後者は耐熱性フィルムの均一性と、絶縁破壊電圧が高いことによるスペースファクタの向上、及び優れた熱放散性が大きく寄与した。そして今、H種絶縁の採用によつてF種絶縁の登場やフィルム絶縁の登場のときと同様な、新たな飛躍が期待されている。

この新しいH種絶縁システムを実際に主電動機に適用する場合には、

- (1) 定格出力は同一で、F種からH種へグレードアップすることによつて小形化を図る。
  - (2) 同一寸法で、H種絶縁の適用によつて容量増大を図る。
- の2通りの方法が考えられる。この二つの場合の設計例を表2.に示す。

### 5. む す び

車両用主電動機では、宿命的に一定の収容スペースしか与えられず、その中で高トルク化が追求されてきた。他方、使用環境としては、3Gにも及ぶ振動加速度のもとで、雨雪やじんあいにさらされている。このため、F種エポキシワニスによる一体固化絶縁や、耐熱性フィルムの採用など、他の回転機に先がけて実施されてきた。ここに紹

介したように、エポキシワニスと比肩できる電氣的・機械的特性を有し、耐熱性にも優れた無溶剤形ワニスを得られたことによつて従来から使用されてきた耐熱性フィルムとの組合せにより、H種絶縁システムを確立することができた。

最近の車両性能の向上やメンテナンスの面からのM車比率の減少などにより、主電動機の高トルク化に対する要求も大きい。H種絶縁システムの確立によつてこれにも答えられるものと期待される。耐熱性の向上は、単に高トルク化が可能というだけでなく、絶縁寿命に対する余裕の向上を目的とした採用も可能であり、信頼性の要求される電気車用主電動機においては、この点においても極めて有意義なことである。

### 参 考 文 献

- (1) B. Van Wert, W. Waterman : Reprinted from 10th, Electrical Insulation Conference, Sep. 20-23 (1971)
- (2) 秋山, 牧野, 矢島, 菅原 : 東芝レビュー, 25, No. 11, 1393 (昭45)
- (3) (4) 浅越, 久山 : 主電動機および車両性能, 三菱電機技報 42 (昭43)

## シリコン油入車両用変圧器

南角英男\*・桑原 宏\*・鶴田敬二\*・児玉俊英\*・安部 勉\*

## 1. ま え が き

車両用変圧器の歴史は、我が国の商用周波交流電化が開始された昭和30年ごろに始まった。当初より車両の火災に対する安全の面から、変圧器の絶縁油として塩化ディフェニールを主成分とする不燃性合成油が使用されていた。その後、東海道新幹線の開業を契機として鉄道の高速度が一躍脚光を浴びるようになり、それに伴って車両用変圧器にも容量の増大と軽量化とが要求されるようになった。

不燃性油は比重が約1.5で、他の絶縁油と比べて重いので、これに代わるものとして、比重が小さく、電気的にすぐれ、かつ難燃性であるシリコン油が、比較的早くから軽量化の観点から着目されていた。しかしシリコン油は高価で、経済性の面からシリコン油実用化の研究はあまり行われていなかったが、不燃性油がPCB公害のやり玉としてクローズアップされてきたころから、不燃性油の代替油として急速に実用化のための研究が行われ、既に車両用変圧器に実用されるに至った。

当社はこれに先駆け、表1.に示すように昭和48年にシリコン油を使用した車両用変圧器TM920、TM201X及びTM922を実車積載実証試験用として製作・納入し、現在それぞれの量産品としてTM201及びTM20形変圧器を製作・出荷中である。

このような大容量器にシリコン油が使用されることは、世界的にも例がなく、従来の変圧器と比べてかなり異なった点、あるいは注意すべき点があるが、不燃性油の代替品としての主たる要素である燃焼性などのシリコン油自体の特性の詳細、及び各種材料との関連性については、別掲論文に譲り、ここでは主としてこのシリコン油入車両用変圧器の特長とその概要について述べ、参考に供したい。

## 2. 絶 縁 設 計

## 2.1 シリコン油及びシリコン油含浸絶縁物の絶縁特性

車両用変圧器では、従来、機関車用には2号鉱油+クラフト絶縁紙、また電車用には不燃性油+クラフト絶縁紙という複合絶縁方式が使用されてきた。最近、特に軽量化が要求されるものには、不燃性油+ポリアミド絶縁方式が採用されたものもある。

したがって、新しくシリコン油を使用する場合、その基本となる絶縁耐力特性が、従来の上記絶縁方式と比較して劣っていないかどうかをまず確認する必要があった。表2.に規格値によるシリコン油・2号鉱油・不燃性油の絶縁特性の比較を示す。これより、基本的にはシリコン油は、従来からの鉱油・不燃性油と同等以上の絶縁特性を有することが分かる。

また、例えば20~40ppm程度の水分を含有するシリコン油と2号鉱油との交流破壊電圧を、各種電極を使用して測定した結果を図1.に示す。これより、2者間には大差ないことが分かる。

図2., 3.は、実際の形状に製作されたコイルのターン間絶縁破壊特性で、クラフト紙+2号鉱油、クラフト紙+シリコン油、ポリアミド紙+不燃性油、ポリアミド紙+シリコン油の各種絶縁組合せにおける絶縁厚さと交流・インパルス破壊電圧との関係を示す。

この測定結果から、クラフト紙+シリコン油の絶縁耐力は、クラフト紙+2号鉱油よりわずかに低下するが、実用上ほとんど差はないと考えてよい。ポリアミド紙(ここではNOMEX410)を使用した場合には、不燃性油中よりシリコン油中のほうが破壊電圧が高く、かつクラフト紙絶縁よりも優秀な特性を有している。

表 1. シリコン油入車両用変圧器の製作実績

変圧器形名	定格容量 (kVA)	一次/二次電圧 (kV)	絶縁方式 シリコン油入	総重量 (kg)	製 造 年 和	用 途
TM 920	3300	25/2.072	ポリアミド紙使用 特別A種	3290	48	全幹線 961 試作電車用
TM 201 X	1650	25/2.261	ポリアミド紙(一部耐熱処理紙)使用 A種絶縁	3150	48	新幹線現車試験用
TM 922	1235	20/1.85	耐熱処理紙使用 A種絶縁	2360	48	在来線現車試験用
TM 201	1650	25/2.261	〃	3340	49~	新幹線 TM 200 用代替品 (量産用)
TM 20	1235	20/1.85	〃	2520	49~	在来線 TM 14 用代替品 (量産用)

表 2. シリコン油・2号鉱油・不燃性油の絶縁特性比較

	シリコン油 (JRS 64013-3)	2号鉱油 (JIS C 2320)	2号B不燃性油 (JIS C 2321)
絶縁破壊電圧 (kV) (室温 2.5mm・GAP)	45 以上	30 以上	45 以上
誘電正接	0.0001 以下 (25°C)	—	0.05 以下 (50°C)
体積抵抗率 (Ω・cm)	$5 \times 10^{14}$ 以上 (25°C)	$5 \times 10^{12}$ 以上 (80°C)	$1 \times 10^{12}$ 以上 (50°C)
全酸価 (mg KOH/g)	0.01 以下	0.02 以下	0.01 以下

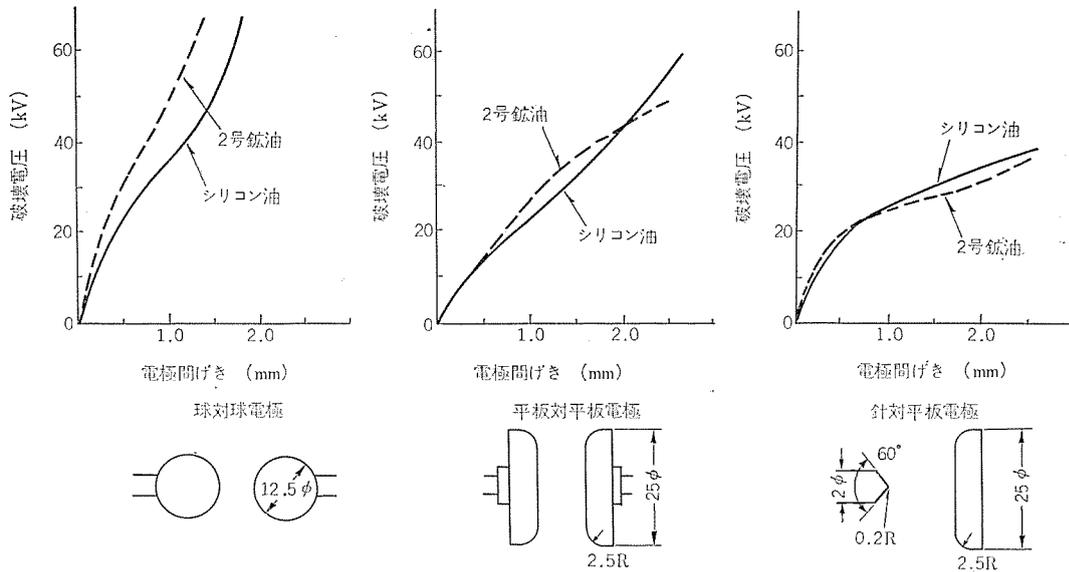


図 1. シリコン油と2号鉱油の交流破壊電圧

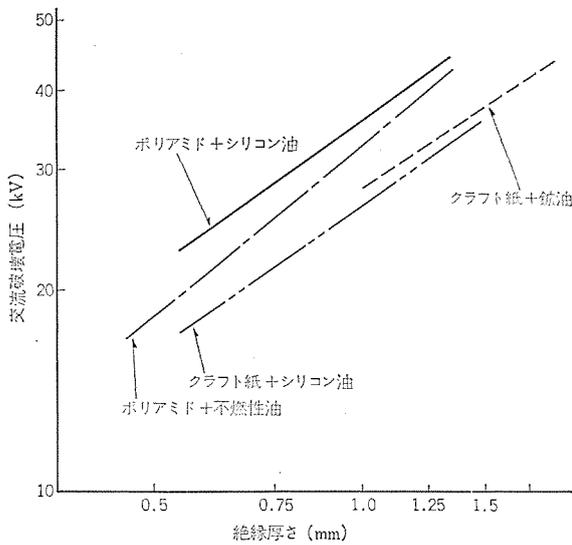


図 2. 各種油浸紙の交流破壊電圧

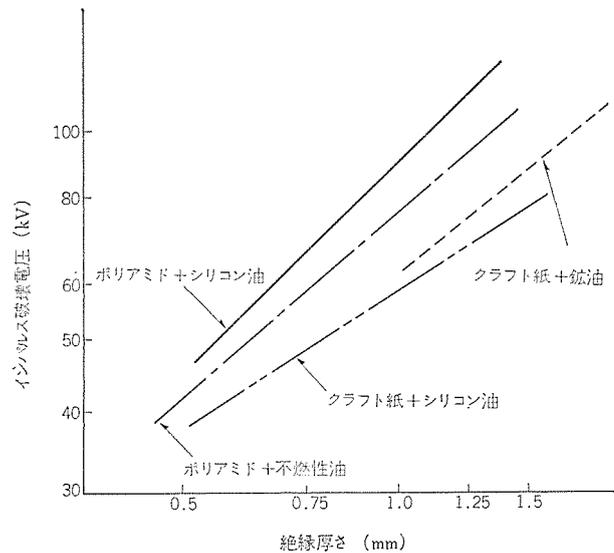


図 3. 各種油浸紙のインパルス破壊電圧

## 2.2 実器の絶縁特性

表 1. に示す現車積載試験用 TM 201 X 形及び TM 922 形変圧器は、以上の油及び油浸紙の絶縁特性を確認した上、その絶縁構成は従来の絶縁方式と全く同一寸法・構造に製作した。表 3. に TM 922 形変圧器、及び同一絶縁寸法の不燃性油入 TM 14 形変圧器の 1 次巻線・2 次巻線と大地間の誘電正接・絶縁抵抗の温度特性を示すが、シリコン油の場合、これらの特性が非常に優れていることが分かる。これらの変圧器は、正規耐電圧試験にすべて合格したが、絶縁特

表 3. TM 922, TM 14 形変圧器の誘電正接・絶縁抵抗温度特性

変圧器形名	TM 922		TM 14	
	シリコン油+クラフト紙		不燃性油+クラフト紙	
温度 (°C)	12	80	8	44
誘電正接 (%)	0.21	0.51	2.14	4.87
絶縁抵抗 (MΩ)	2000 以上	2000 以上	350	150

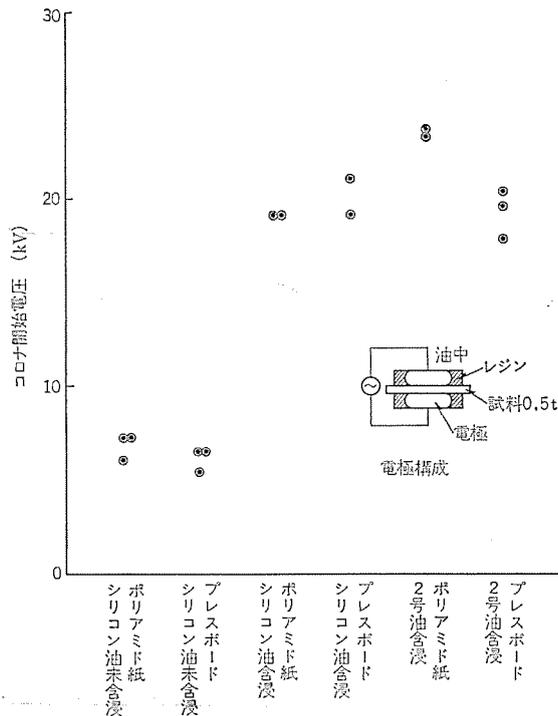


図 4. 油浸紙のコロナ開始電圧

性に関連してその部分放電特性を測定した結果、特にポリアミド絶縁物を使用した TM 201 X 形及び TM 920 形変圧器では、その放電電荷量が従来のものと比較してかなり大きいことが判明した。TM 201 X 形の場合、最高回路電圧 30 kV 印加時に最大  $10^3$  pc 程度である。

この原因を究明するため、絶縁油自体の部分放電特性を実験すると同時に、各種絶縁構成において油の含浸状態を変えた試料についてコロナ開始電圧を測定した。この結果を図 4. に示すが、これより、絶縁物、油の種類にかかわらず、油含浸が十分であれば同程度のコロナ開始電圧を有し、含浸が不十分であると低電圧から部分放電が発生することが分かる。

更に、カレンダータイプのポリアミド紙へのシリコン油の含浸性実験から、その含浸特性が良好でないことが明らかになっている。したがって、この実器の部分放電特性結果は、主としてポリアミド紙へのシリコン油の含浸効果によって左右されているものと考えられたが、別の実験でシリコン油中で部分放電を発生させると、わずかではあるがゲル状物質が発生し、同時に可燃性ガスを発生することが分かった。したがって、ポリアミド紙を使用するさいには、設計及び工作法などを慎重に考慮する必要がある。

量産形シリコン油代替品 (TM 20, TM 201) では、A 種絶縁が採用されており、次節に示すように、各種の絶縁設計対策が施されている。

### 2.3 絶縁構造の特長

シリコン油及びその含浸絶縁物の絶縁特性の特異性を考慮して、以下の対策を実施した。

#### (1) 無圧密封構造

シリコン油のガス溶解度は、従来から使用されてきた窒素ガスの場合、飽和値が約 15~17% と不燃性油の約 3 倍で非常に大きく、したがって従来の窒素封入方式では、油ポンプによる油強制循環を行うと気泡が発生し、かつ粘度が高いため、1 度発生した気泡の消滅が遅く、充電部を含めてこの気泡の環流が認められ、巨視的な絶縁特性低下が実証されたので、後述の金属パローズを使用した無圧密封構造を採用した。

#### (2) 低減絶縁構造及び各種電界低減策

部分放電低減策として、巻線導体部の電位傾度を下げるために低減絶縁構造を採用した。車両用変圧器の 1 次側絶縁階級は、線路側 30 号 (新幹線) 又は 20 号 (在来線) に対し、接地側は 1 号であるので、巻線部の電位に合わせて合理的な絶縁寸法を採用し、かつ主要な導体端部には、半円状の異形導体を取付けた。電界については、抵抗紙模写によって確認を行った。

その他、巻線部分に対向する鉄心コーナ部の電界集中を低減するため、これらの部分には電界緩和用シールドを新設している。

## 3. 冷却設計

シリコン油は、非常に広範囲の粘度のものが合成可能で、当然、冷却面から従来の不燃性油の粘度の約 12 cst (25°C) と同程度又はそれ以下のものが要求されたが、別掲論文にも示すように、最重点課題である難燃性の面から 50 cst (25°C) の粘度のものが選定された。この結果、変圧器本体及び部品に少なからぬ影響を与えることになった。

### 3.1 シリコン油及び油浸絶縁物の熱的特性

表 4. にシリコン油及び不燃性油の各特性のうちの冷却設計に必要なものをまとめてある。これより、シリコン油は、不燃性油と比較して粘度は高く比重が小さいが、比熱・熱伝導率は有利であることが分かる。また粘度の温度変化が小さい。

シリコン油含浸 プレスボードの熱伝導率は約 0.195 kcal/mh°C、不燃性油の場合には約 0.16 kcal/mh°C、またシリコン油含浸ポリアミド紙の場合には、約 0.165 kcal/mh°C である。

表 4. シリコン油・不燃性油の熱的特性比較

項目	PCB KC-1000			シリコン油 KF 96-50 CS		
	20°C	50°C	80°C	20°C	50°C	80°C
比重 $\gamma$ kg/m <sup>3</sup>	1520	1490	1470	970	945	920
動粘度 $\nu$ m <sup>2</sup> /s	$18 \times 10^{-6}$	$4.8 \times 10^{-6}$	$2.5 \times 10^{-6}$	$55 \times 10^{-6}$	$34 \times 10^{-6}$	$20 \times 10^{-6}$
比熱 $C_p$ kcal/kg°C	0.277	0.281	0.286	0.350	0.352	0.354
熱伝導率 $k$ kcal/mh°C	0.0895	0.0886	0.0877	0.150	0.139	0.128
プラントル数 $Pr$	305	81.5	43.1	448	293	183

表 5. TM 200, TM 201 X 形変圧器の温度上昇結果

項		目	TM 200	TM 201 X	
損失 (kW)	銅 鉄 全	損 損 損失	37.55 1.76 39.31	36.67 1.64 38.31	
		温度 上 昇 (deg)	油	30.4	30.5
			1次巻線 - 油温度差	20.0	33.0
2次 "	20.0		35.0		
3次 "	12.2		18.0		

### 3.2 冷却性能

一般に、強制流管内熱伝達率を求める場合、下式がよく使われる。

管内層流の場合： H. Hausen の式

$$h = \left[ 3.65 + \frac{0.0668 \cdot d/l \cdot Re \cdot Pr}{1 + 0.04 \{d/l \cdot Re \cdot Pr\}^{2/3}} \right] \frac{k}{d}$$

管内乱流の場合： McAdams の式

$$h = 0.023 \cdot Re^{0.8} \cdot Pr^{0.4} \cdot \frac{k}{d}$$

ただし、 $h$ ：熱伝達率 kcal/m<sup>2</sup>h<sup>o</sup>C  $Pr$ ：プラントル数  
 $k$ ：熱伝導率 kcal/mh<sup>o</sup>C  $d$ ：相当直径 m  
 $Re$ ：レイノルズ数  $l$ ：代表長さ m

実際の油流は非常に複雑で、上式をそのまま適用できないが、傾向をみるため、例えば乱流の式で両者の油を比較すると、同一冷却構造、同一油流速の場合、シリコン油の熱伝達率は不燃性油の約 1/2 になる。

しかし、実際には油の種類により、層流と乱流との区分が変わることもあり、また流速も同一と仮定できぬので、単純に比較はできないので、次に個別に比較した結果の一部を紹介する。

表 5. に、不燃性油入 TM 200 形と、それとほぼ同一内容で製作されたシリコン油入 TM 201 X 形の各部温度上昇結果を示す。これより、巻線 - 油温度差では、シリコン油のほうが約 1.5~1.8 倍に大きくなっている。一方、油温度上昇は、油冷却器風側熱伝達が一定であるという条件も加わり、特に差はみられない。ただし、ここで注意すべきは、次節に示すように、両者の油流量には約 25% の差が存在している。図 5. は、TM 200 用油冷却器の熱交換量の比較を示すが、これより、両者の油による差はわずかであり、かつ定格油流量 700 l/min 近傍では、いずれも熱交換量にほとんど差が認められない。

### 3.3 流路圧力損失と油ポンプ特性

流路圧力損失の傾向を知るため、円管内流れの代表的な次式で検討する。

$$H = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} + \zeta \cdot \frac{v^2}{2g}$$

ただし、 $H$ ：圧力損失 ヘッド m  $d$ ：相当直径 m  
 $\lambda$ ：管摩擦係数  $v$ ：油流速 m/s  
 $\zeta$ ：損失係数  $g$ ：重力加速度 9.8 m/s<sup>2</sup>  
 $l$ ：管長さ m

上式の右辺第 1 項は摩擦項で、その係数  $\lambda$  は流れの状態によって変

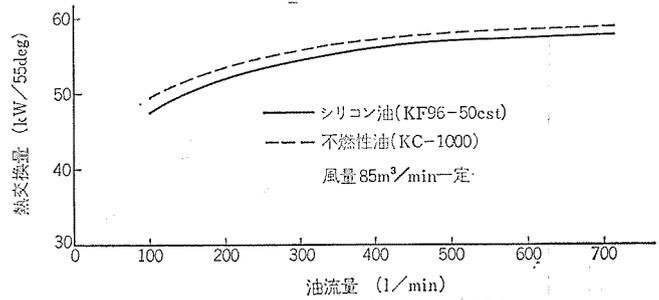


図 5. TM 200 用油冷却器の冷却性能

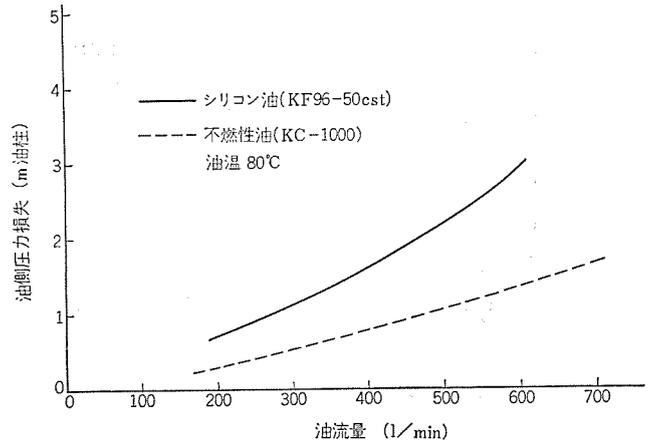


図 6. TM 200 用油冷却器の油側圧力損失特性

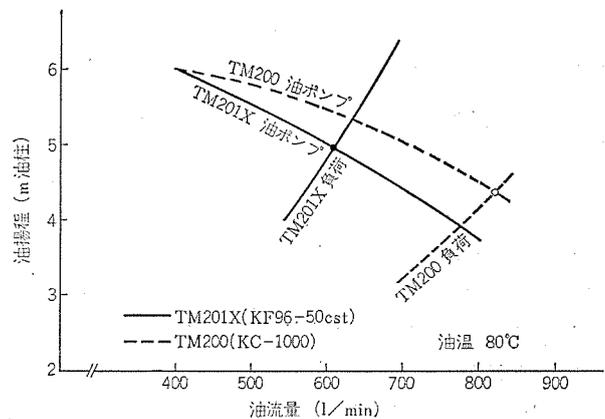


図 7. TM 200, TM 201 X のバランス油流量

化するが、おおむね「 $\lambda = a + \frac{b}{Re^c}$ 」ただし、 $a, b, c$ ：定数」の式のように表され、シリコン油の場合、粘度が大、したがって  $Re$  が小となって  $\lambda$  は大きくなる。なめらかな円管内層流では、 $\lambda$  は  $Re$  に反比例し、非常に大きな圧力損失となる。

前式の右辺第 2 項は、管内断面の変化によって生ずる圧力損失分で、その係数  $\zeta$  は管内断面形状のみできまり、粘性の影響はない。

したがって、実器流路においては、圧力損失の両者成分の比率によって粘度増加の効果が変わってくるが、さきにあげた TM 200 用油冷却器で実測した圧力損失特性を図 6. に示す。これより、シリコン油の場合には圧力損失は約 2 倍に増加していることが分かる。

油冷却器のほか、変圧器本体及び配管部の圧力損失を、若干の推定を含めて油ポンプ特性と合わせてバランス流量とともに表したのが図 7. である。これより、シリコン油中では、油ポンプ揚程の低下分の約 10% と、負荷揚程の増大分の約 100% とから、バランス流量は約 25% 低下することになる。

### 3.4 量産形器での冷却設計面の対策

量産設計においては、規格の温度上昇限度までの余裕分にかかわらず、温度上昇値を元の不燃性油品と同等程度にすることが要求され

表 6. TM 14, TM 20 の冷却設計比較

項 目	TM 14 (KC-1000)	TM 20 (KF 96-50 cst)
油ポンプ仕様 (50 Hz 時)	700l/min 4.5 m	700l/min 7 m
導体電流密度 (A/mm <sup>2</sup> )	1 次	5.42
	2 次	5.92
温度上昇実測値 (deg) (50 Hz 時)	油	37.5
	1 次巻線	62.3
	2 次巻線	62.4

たので、上記各冷却特性を考慮して下記対策を実施した。

(1) 油ポンプ揚程の増強

定格流量 700l/min を確保できるように油ポンプの揚程を約 1.5~1.7 倍に増大した。

(2) コイル導体サイズの増大

主として巻線-油温度差の低減を図るため、導体サイズを最大 20% 程度増大し、電流密度を低減した。

(3) 冷却ダクト構造の改良

従来の冷却ダクト構造を見直し、より均一な冷却効果が得られるように改良した。表 6. に TM 14 形と、その代替品 TM 20 形を例にとった冷却設計面の内容比較を示す。

4. 構造設計

変圧器の基本的構造として、従来からの軽量・小形などの車両用に特に要求される特殊条件に最も適した送油風冷式外鉄形フォームヒット構造を採用し、これにシリコン油化に伴う新たな対策を盛り込んでいる。これらの構造上の特長を列挙すると、次のとおりである。

(1) 2. 3 節で触れたとおり、絶縁上の点から従来の窒素封入密封構造に代えて無圧密封構造を採用している。これに使用される金属ベローズについては、5. 1 節で詳述するが、ここでシリコン油の温度による体積膨脹率が不燃油の約 1.4 倍であり、その分だけ応動量が大きくなることに注意を要する。

このため、応動油量の大きいものでは、変圧器ぎ装寸法制限や、部品の統一化を考慮してベローズを 2 個併設した。

(2) 油ポンプベアリングのシリコン油中寿命に関連して予想されるベアリング交換作業を容易にするため、油ポンプ前後に仕切弁を設けた。

(3) 変圧器内部事故時の難燃化を徹底させるため、従来の放圧膜に加えて自動復帰形弁を設置し、余分の油の放出を防止している。

(4) 1 次線路側端子がケーブルヘッド接続方式のものでは、シリコン油の特性を考慮してぎ装時に特に油作業を要しない、気中着脱式のケーブルヘッド構造を採用した。

(5) 量産形シリコン油変圧器は、不燃性油品の代替品として設計されたので、当然、同一取付構造にしてあり、かつ電気的特性、部品配置、重量なども含めて従来品と完全互換ができるように考慮されている。

図 8. に TM 201 形主変圧器を例にとった内部構造図を、また図 9. にその外観を示す。

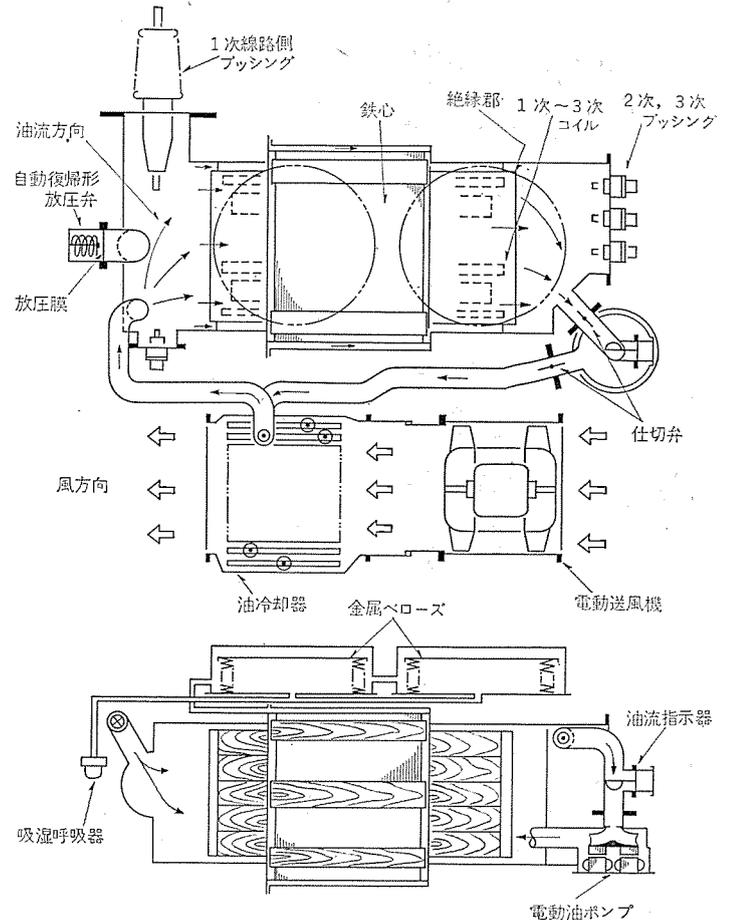


図 8. TM 201 形変圧器内部構造

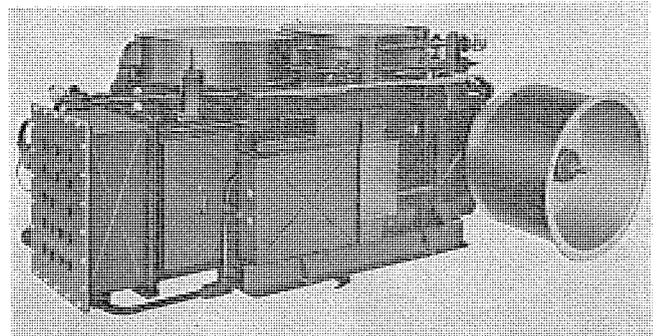


図 9. TM 201 形変圧器

5. 付属部品、材料関係

前述のように、シリコン油入変圧器は、従来のものと比べて内容が大きく異なり、その性能を十分に発揮・維持するため、新しい機能を有した付属部品・材料が必要になった。

5.1 金属ベローズ式コンサバータ

従来の変圧器では、タンク側板の一部に設けたガス室をコンサバータとして用いたが、シリコン油入の場合、油とガスを完全にしゃ断し、かつ非圧縮性である油の膨脹・収縮を吸収する機能を合わせ有した構造が必要になる。更に、車両積載であることを加味し、この変圧器用コンサバータにはステンレス製溶接ベローズ式を採用して無圧密封構造にした。(ベロー材: SUS 304 CP 0.3t)。外観を図 10. に示す。

金属ベローズ式コンサバータを採用するに際しては、ベローズの伸長・収縮時のそれぞれにおける共振特性試験、振動耐久試験及び応動耐久試験を実施し、いずれも仕様を十分に満足する結果を得た。殊に、

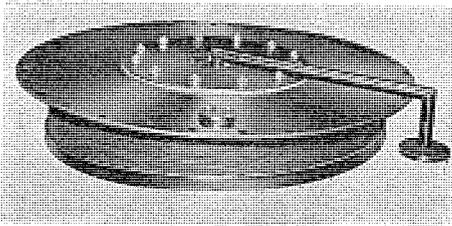


図 10. 金属ベローズ

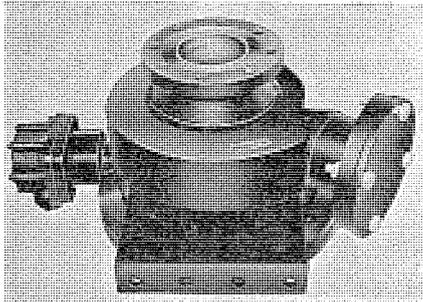


図 11. 電動油ポンプ

表 7. 電動油ポンプ 主要諸元

	従 来 品	新 設 計 品
使用絶縁油	不燃性油	シリコン油
循環油量 (l/min)	700	700
揚 程 (m 油柱)	4	7
電 源	単相, 60 (Hz), 220 (V)	
出 力 (kW)	2.0	2.2
油なし重量 (kg)	75	57
外形寸法 (mm)	320×355×475	320×485×270

応動耐久試験では、通常の使用状態(85°Cの油温度変化が3回/日ある状態)で約200年に相当する応動回数を確認している。また、金属ベローズには、その一部にとつ(凸)状マーク、若しくは位置表示マークを備え、その伸縮状態が外部より確認できるように考慮されている。

### 5.2 電動油ポンプ

シリコン油は、従来の絶縁油と比べて使用状態で粘度が高く、このためにコイル表面・冷却器部などで十分な油流速を確保する必要上、電動油ポンプが高揚程・高出力になり、重量・外形寸法の増大が懸念された。これに対し、新しく電動油ポンプを設計し、従来品と比べて小形・軽量化することに成功した。表7.にその主要諸元の比較を、図11.にその外観を示す。

シリコン油は、潤滑油として優れた性質を有するが、ただ、鋼-鋼の組合せではその境界潤滑性がよくなく、このままで電動油ポンプのベアリング運転寿命を従来どおりに期待することは難しい。そのため、昭和47年当初より、鉱油及び一般のシリコン油を用いてベアリング寿命比較試験を実施している。この種の試験を行っても、直ちに結論を得ることは難しく、今後もひきつづいてデータの積重ねが必要であるが、これまでの試験結果より、概略次のことが分かった。

(1) ボール保持器は高力黄銅もみき製とし、精密級ベアリングを使用する。

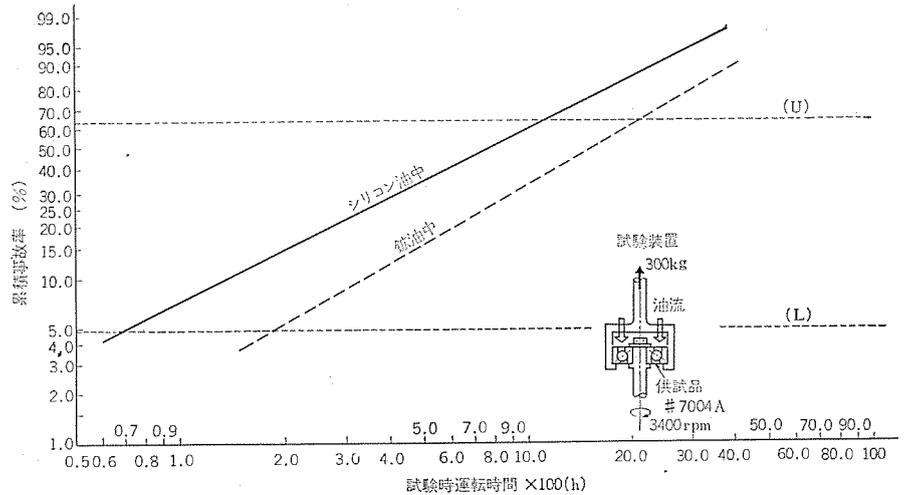


図 12. ベアリング 運転寿命加速試験

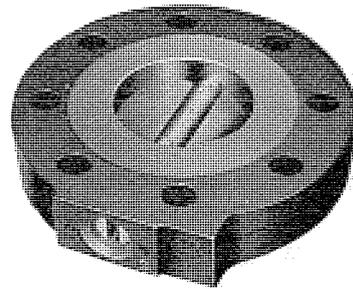


図 13. 仕切弁

(2) ベアリング部への冷却油循環を十分に考慮すること。

(3) シリコン油中におけるベアリング運転寿命は、上記(1), (2)項を考慮して、鉱油の場合の約1/2である。

図12.は、これまでの実測時間をワイブル確率紙に表したものである。

### 5.3 仕切弁

電動油ポンプを点検・交換などで取外す場合、変圧器本体の油に触れないでその操作ができるように、新たに仕切弁を開発し、電動油ポンプの前後に配置した。

外観を図13.に示すように、この仕切弁は、その中央部に両端を弁軸で支持された弁板を有し、通常はこの弁板を油流と平行な状態(弁:開)にしておき、必要に応じて外部より弁軸を操作して弁板を閉状態にし、油回路を仕切るものである。また、仕切弁は、使用中に振動などで誤動作しないように、弁軸端部にストップが設けられている。

### 5.4 放圧装置

本来、放圧装置は、変圧器で内部事故が発生した場合にその内部異常圧力を速やかに外部へ放出するものであるが、このシリコン油入変圧器用には、これに加えて器内圧力がある一定値以下になれば、放圧装置内に設けたコイルばねの働きによって自動的にカバーが閉じ、不必要に油が器外へ流出するのをシャ断する自動復帰機能を有したものを新たに開発・使用している。また、この放圧装置は、変圧器側に従来と同じように、放圧膜を設けた2重構造にされている。図14.にその外観(放圧膜付き)を、また、図15.にこの放圧装置の一動作例を示す。

### 5.5 プッシング類

これまで使用されてきた1次線路側ケーブルヘッドは、ぎ装時に変圧器の油を一部抜いて作業を行わねばならなかったが、シリコン油入りで

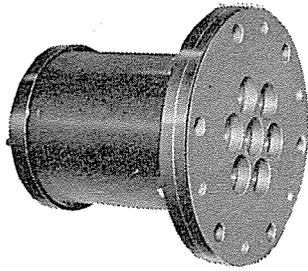


図 14. 自動復帰形放圧弁

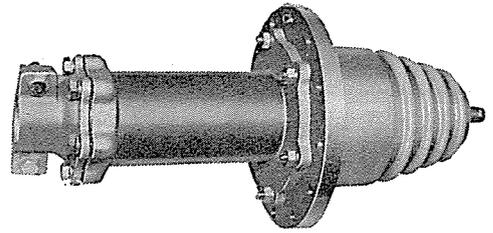


図 16. プレハブ式ケーブルヘッド

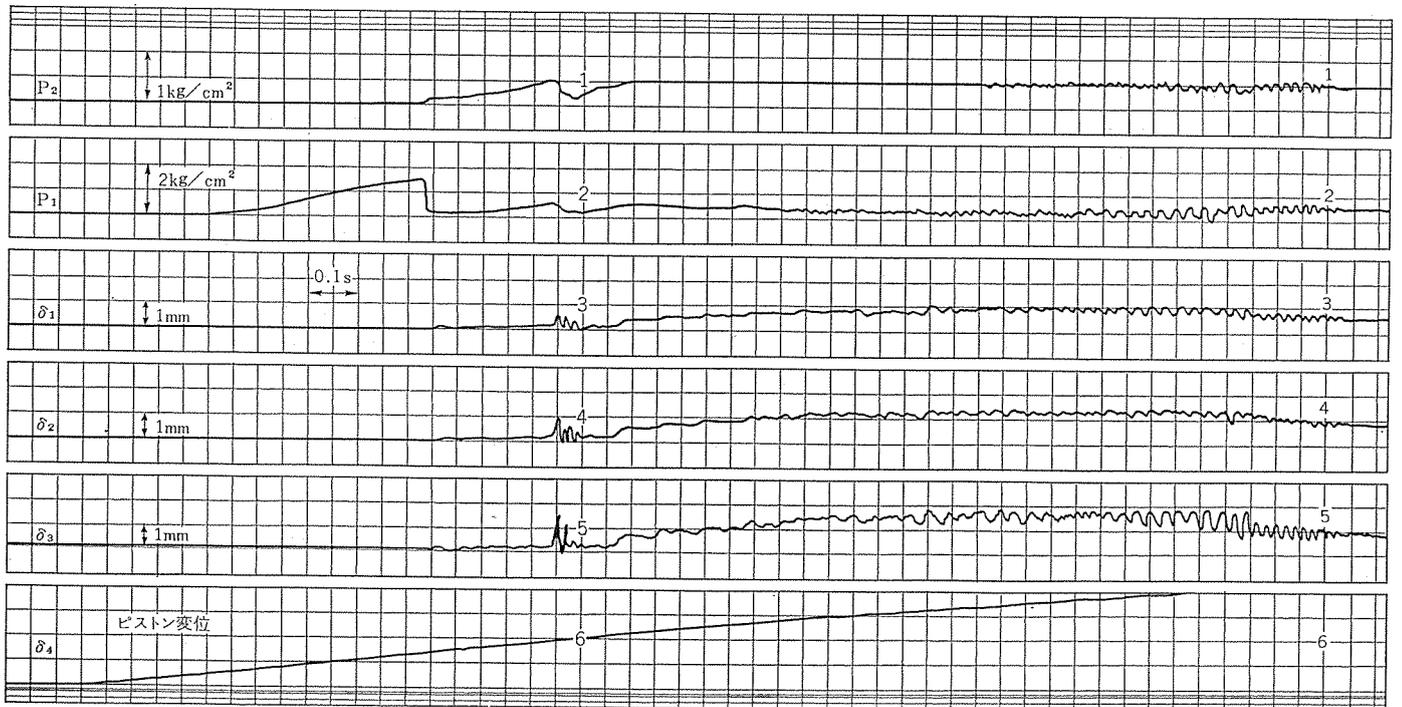
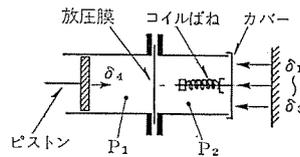


図 15. 自動復帰形放圧弁の動作例

は、油の取扱いに、より細心の注意が必要になるので、このケーブルヘッドは、プレハブ形変圧器直結式にし、ぎ装時に変圧器の油に一切触れないで外部より接続作業ができるものにした。ケーブルヘッド外観を図 16. に示す。

### 5.6 材料関係

材料関係については、別掲論文に詳述する各種材料試験の結果に基づいてその選択を行っており、前述以外にも若干の変更がなされている。まず、ガスケット類は、従来は主としてシリコンゴムを使用していたが、膨潤が大きくて不適であるので、種々検討の結果、ふっ素ゴム製のガスケットを使用した。また、温度仕様が高くなれば、中身部品材料も大幅に変更される。例えば、コイル絶縁紙及びコイル間バリヤなどは、クラフト紙・クラフト積層板からポリアミド紙・ポリアミド積層板に、また、支持構造物・くさびなどに使用されていた木材は、

耐熱樹脂積層板・ポリアミド積層板に変更されることとなる。

## 6. む す び

以上、主としてA種絶縁シリコン油入車両用変圧器について述べたが、今後の課題としては、経済性も加味した設計の合理化と、長期的諸特性の究明とが考えられる。

また、一層の軽量化を図るべく、ポリアミド紙を採用した特別A種絶縁変圧器については、その温度限界・熱劣化特性などを今後更に深く広範囲に検証を進めていくことが要求される。

最後に、この開発に際して日本国有鉄道車両設計事務所、鉄道技術研究所をはじめ、当社中央研究所の各関係者の多大のご協力に感謝するとともに、今後とも一層のご指導、ご協力をお願いする次第である。

# スペイン国鉄納め3,000V高圧回生ブレーキ付チョップ制御装置

芦谷正裕\*・成戸昌司\*・中西信行\*・高見 弘\*

## 1. ま え が き

回生ブレーキ付きチョップ制御電車については、DC 1,500 V 線電圧及び DC 750 V 線電圧については既に実用化され、地下鉄・郊外電車としてその特長を十分に発揮し、好評を拍している。当社は、ここ数年間に 1,500 V 用としては、帝都高速度交通営団千代田線<sup>(1)</sup>、有楽町線<sup>(2)</sup>、阪神電気鉄道<sup>(3)</sup>などに多数納入し、DC 750 V 用についても大阪市交通局谷町線用として製作・納入して好成績を納めている。

チョップ制御電車は、電力消費が少なく、メンテナンス費用が少なく、制御性能がよくて乗心地がよいなどで、最近の省エネルギー、人件費の縮減などの時代の要請に合致したものととして注目を浴び、普及範囲が大幅に広がっている状況にある。

このたび、スペイン国鉄 (RENFE) より直流 3,000 V 電車用の回生ブレーキ付きチョップ制御装置 2 編成、4 両分を受注し、製作納入した。

DC 3,000 V 線電圧という高い電圧の電化区間は我が国にはないが、ヨーロッパその他では一般的である。当社は、我が国で初めてこの 3,000 V チョップ装置を開発・製作し、その試験の結果、所期の性能が得られたので、ここにその装置の内容、及び試験結果の概要について報告する。

## 2. 電 車 性 能

直流 3,000 V チョップ制御電車は、さきに当社が、製作・納入して既に営業運転に使用されている、カム式抵抗制御電車との連結運転が行われるため、車両性能・運転扱いなどは、すべて、このカム式抵抗制御電車が基準になっている。すなわち、連続定格出力は、1 編

成 (MT) あたり 1,160 kW であり、最高運転速度は、140 km/h が可能である。また、この最高速度から 15 km/h の低速域まで回生ブレーキを作用させることができる。100 km/h 以上の高速域では、回生ブレーキ力の不足分を空気ブレーキによって補足している。

### 2.1 電車性能

この電車は、すべてスペイン国鉄仕様書の規定によって設計・製作されている。適用規格は、UIC (国際鉄道連合会規約) である。

仕様書の要求する電車性能は、次のとおりである。

#### (1) 力行性能

(a) 最大荷重で、下記の条件の下で運転可能であること。

(i) 直線平たん路線で ……………140 km/h

(ii) 上りこう配路線 10% で ……110 km/h

15% で …… 90 km/h

20% で …… 80 km/h

(b) 起動時の平均加速度は、2.0 km/h/s 以上のこと。

(c) 主電動機 1 群開放 (2 電動機/編成開放)、最大荷重で上りこう配 22% を起動可能なこと。

#### (2) 電気ブレーキ性能 (回生ブレーキ)

(a) 最高速度 140 km/h より回生ブレーキがかけられること。

(b) 抑速ブレーキの条件は、最大荷重で 22% の下りこう配区間において車両速度 80 km/h 以下の保ち運転が可能なこと。

表 1. に主要項目を、図 2. 及び図 3. に力行性能曲線及びブレーキ性能曲線を示す。

主幹制御器のハンドル位置と通流率との関係は次のとおりで、カム式制御の電車との特性は通流率制御によって合わせ、重連可能にしてある。

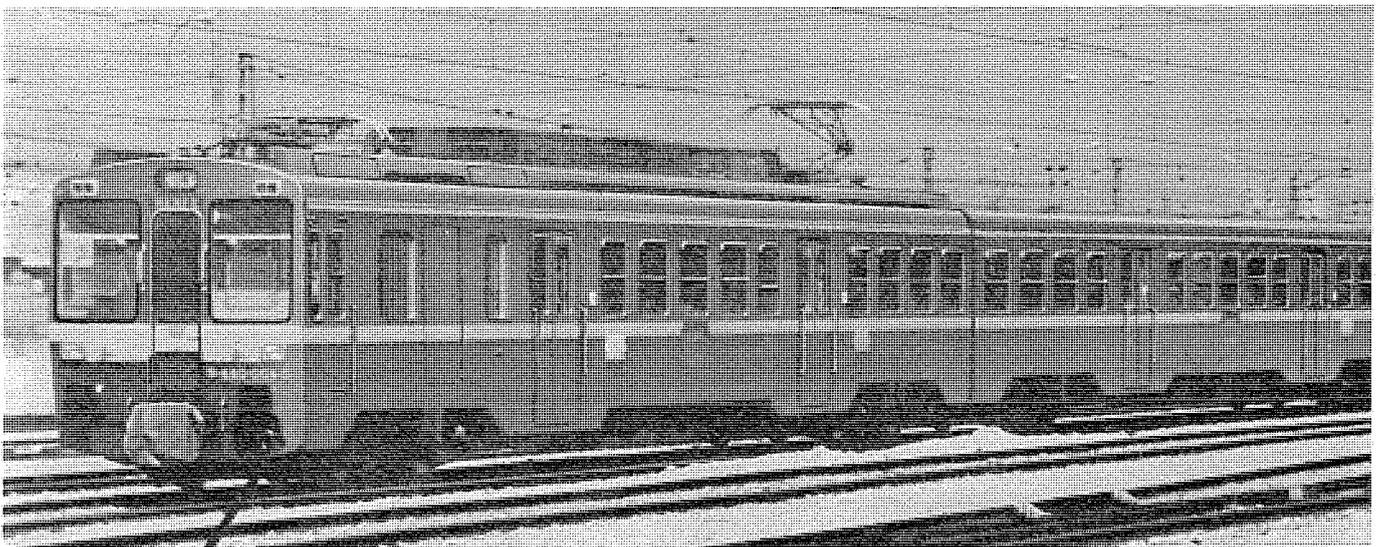


図 1. スペイン国鉄の 3,000 V 同系列電車

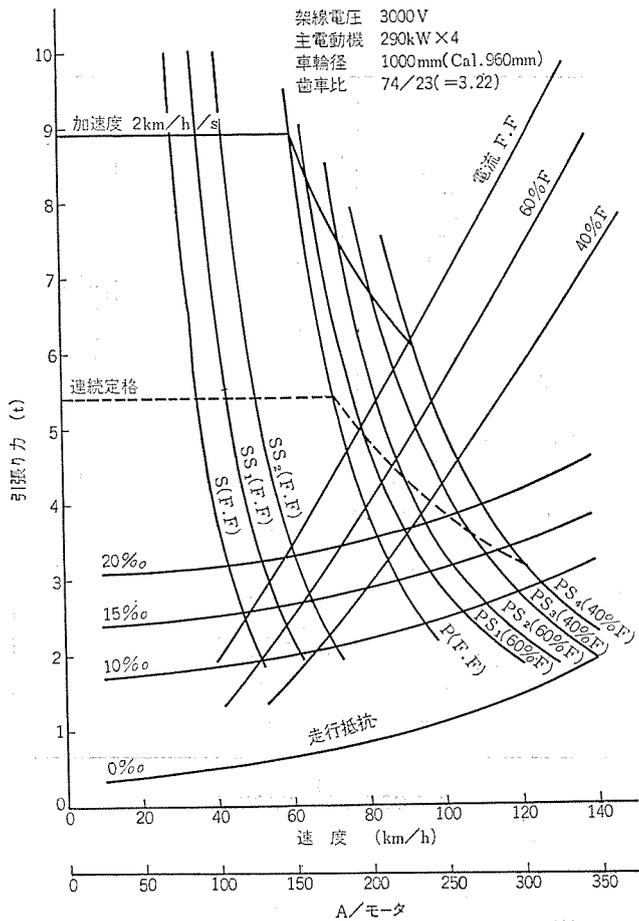


図 2. 力行性能曲線

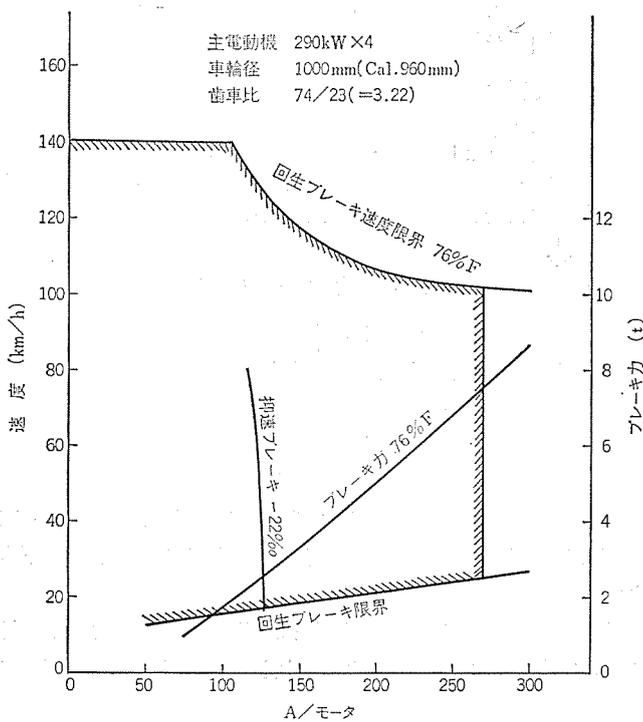


図 3. 回生ブレーキ性能曲線

ハンドル位置	主電動機界磁率	通流率
M (力行)	全界磁	0.1
S ( " )	"	0.51
SS <sub>1</sub> ( " )	"	0.61

表 1. 主要要目

電気方式	DC 3,000V
	電圧変動 2,000~3,600V
軌間	1,668mm
基本編成	M-T
車両重量	M車: 57.3t, T車: 33.1t (いずれも空車重量)
車両性能(連続)	
出力	1,160kW
定格速度	80km/h
引張り力	5,550kg
最高速度	140km/h
加速度	2.2km/h/s
歯車比	74/23=3.22
車輪径	1,000mm
駆動方式	WN 駆動方式
主電動機	直流, 直巻, 4極, 丸形, 自己通風式
連続定格	290kW, 1,500V, 210A, 1,450rpm (80%F)
制御方式	回生ブレーキ付, サイリスタチョップ制御
定格電流	210A (連続)
リップル率	
主電動機電流	10%以下
架線電流	2%以下
チョップシステム	2相チョップシステム
周波数	175Hz(ユニット), 350Hz(合成)
補機方式	低圧: 交流 220V, 直流: 72V
電動機	30kVA, DC 3,000V
	出力 AC 220V 50Hz, 3相
空気圧縮機用電動機	10kW DC 72V 120A, 1,500rpm
補助空気圧縮機用電動機	0.75kW DC 7.2V 14A, 1,500rpm

SS <sub>2</sub> (力行)	全界磁	0.71
P ( " )	"	0.98
PS <sub>1</sub> ( " )	60%F	0.91
PS <sub>2</sub> ( " )	60%F	0.98
PS <sub>3</sub> ( " )	40%F	0.91
PS <sub>4</sub> ( " )	40%F	0.98
F (抑速ブレーキ)	76%F	最小~最大
B <sub>1-7</sub> (停止ブレーキ)	76%F	同上

### 3. 3,000V チョップ

#### 3.1 主回路方式及び特長

3,000V の高圧を考慮して設計したこの装置の主回路つなぎを図 4. に示す。また、この簡略つなぎを図 5. 及び図 6. に示す。主回路方式の概要と特長とは次のとおりである。

- (1) 主電動機は 2S-2P 永久接続され、この 4 台の主電動機を 2 相 2 重チョップによって制御している。
- (2) 弱め界磁は 2 段の分路方式とし、それぞれの界磁段で通流率制限による中間ノッチを設けてスイッチ数の低減を図っている。
- (3) 主平滑リアクトルには結合形を採用し、脈流率の低減と、リアクトルを 2 相当たり 1 台に低減してある。
- (4) 回生ブレーキは主電動機界磁を弱め界磁一定とし、高速回生能

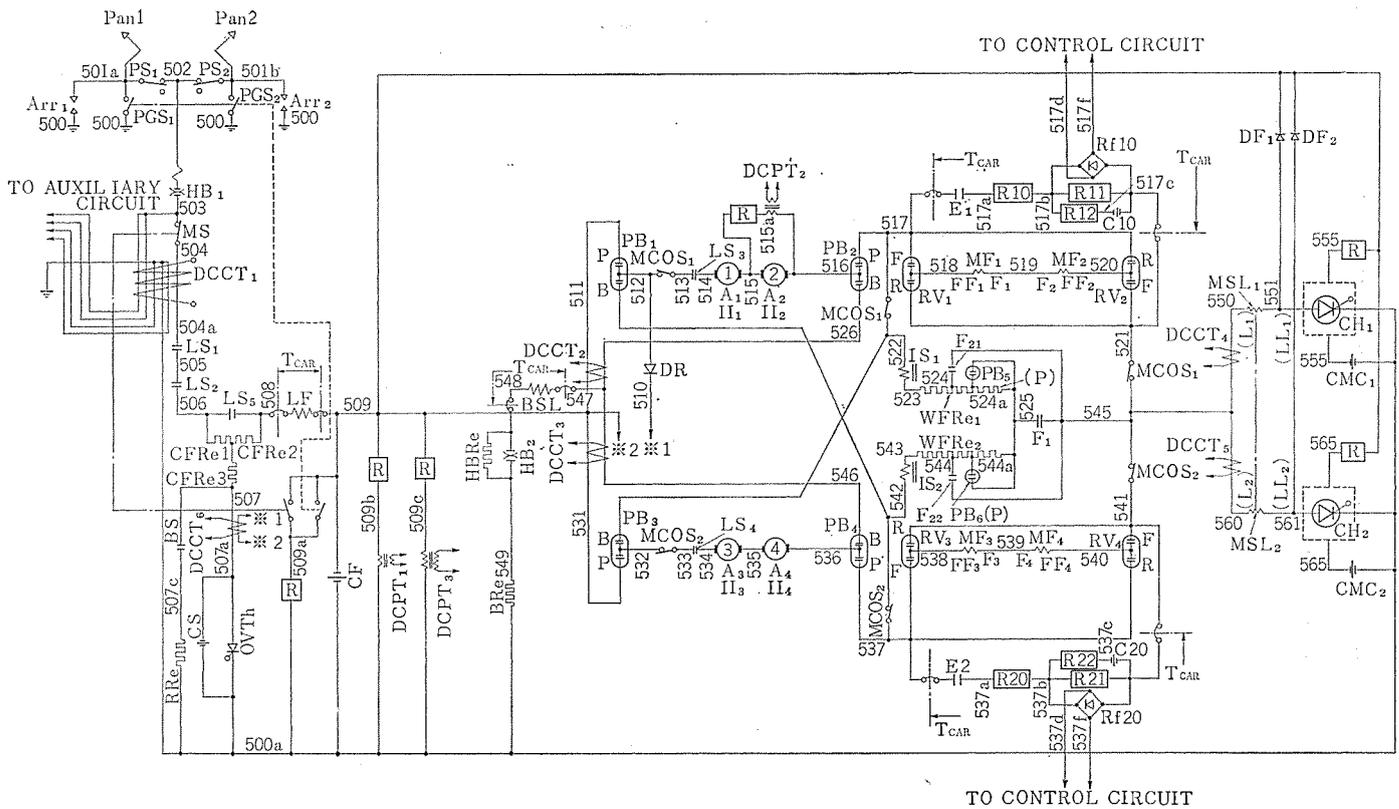


図 4. 3,000 V チョップ主回路つなぎ

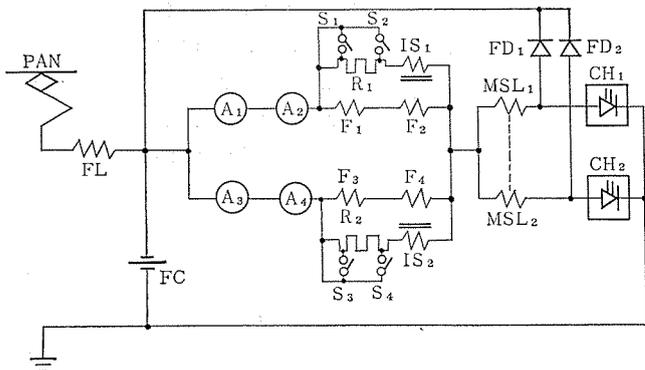


図 5. 力行主回路

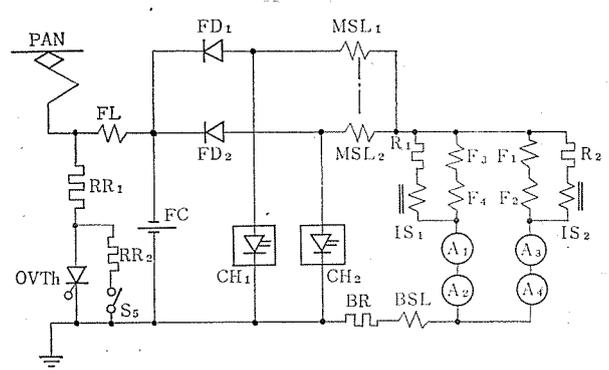


図 6. 回生ブレーキ主回路

力を増大するとともに、主電動機に直列抵抗を設けて 140 km/h からの回生ブレーキを可能にしている。

(5) 回生負荷しゃ断対策として、チョップ安定化用回生抵抗を設けている。

(6) 保護継電器類はすべて無接点化し、高圧部の信頼度向上と、保守の簡易化を図っている。

(7) 抑速回生ブレーキが可能である。

### 3.2 制御方式

制御ブロック図を図 7. に示す。この装置は 2 相 2 重サイリスタチョップ制御方式で、2 組のチョップに対して 1 台の発振器より分周器を介して相差運転をして制御される。合成周波数は 350 Hz である。主制御ループは限流値を制御する定電流制御系と、止めノッチで通流率を固定して電動機電圧を一定に制御する定電圧制御系とから構成されている。高速回生時に電動機電圧が架線電圧を越えないようにする制御は、電動機電圧リミッタによって行っている。また、力行時の弱め界磁は通流率検知によって進段し、回生時には一定弱め界磁の定電流制御なので、ブレーキ力は一定に制御される。

その他の制御ループとしては、次のものがある。

- (1) 相電流平衡制御及び相不平衡検知。
- (2) 架線電圧リミッタ。
- (3) 空転自動絞リ制御及び大空転検知。
- (4) 抑速ブレーキ制御及び電動機開放運転。
- (5) 接地事故検知、過電流検知、架線接地事故検知、おお(溢)流並びに過電圧抑制装置動作検知、過電圧検知及び制御電圧低下検知。

一方、ゲートパルス回路は 3,000 V 電圧で 4S-1P 接続のサイリスタに対して、安定な動作が得られるように十分に考慮された設計を行っている。

### 3.3 チョップ装置

DC 3,000 V の高圧になった場合、従来になかった問題点がある。特に、高電圧でのチョップのスイッチング特性、サイリスタの直列接続素子のスイッチング電圧バランス、サイリスタ素子のゲート回路へのノイズの抑制、チョップ転流失敗時の保護などを十分に考慮して設計する必要がある。これら 3,000 V の問題点について十分に試験・検討してこ



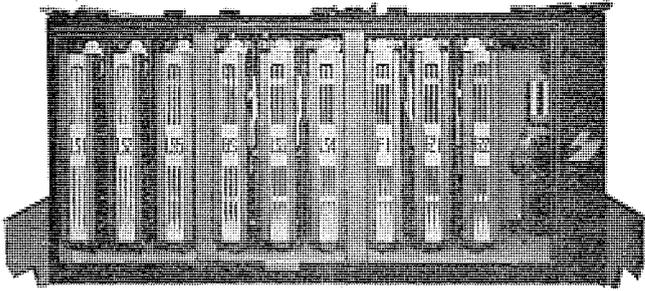


図 10. 断流器箱

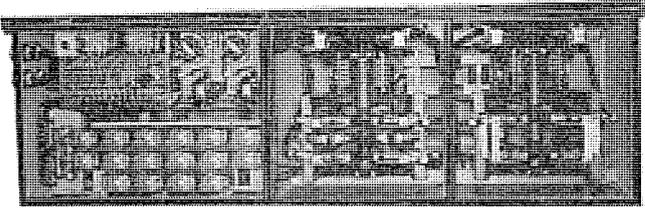


図 11. 転換器箱

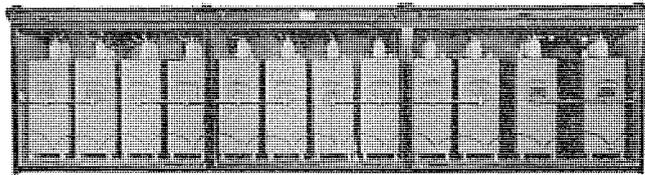


図 12. コンデンサ箱

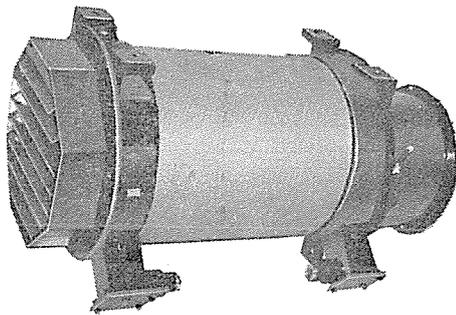


図 13. 結合形主平滑リアクトル

#### 4. その他の主要機器

##### 4.1 断流器箱

断流器箱には 3,000 V 用標準形単位スイッチが 9 台収納されている。この電車用電機品は、すべて車体わくに直接取付けられており、機器の耐アース絶縁には特に注意が払われている。

##### 4.2 転換器箱

転換器箱には逆転器・制動転換器・DCCT・DCPT・接触器補助リレー・セレン整流器・空ノッチスイッチなどが収納されている。

##### 4.3 コンデンサ箱

コンデンサ箱にはフィルタコンデンサ及び転流コンデンサが収納されている。コンデンサは 3,000 V 用として特に考慮が払われたもので、過酷な責務に耐えるように紙コンデンサを使用している。

##### 4.4 結合形主平滑リアクトル

2 相 2 重チョップ用として、2 相结合した主平滑リアクトルを採用した。空心形 3,000 V 用として新たに開発したもので、結合率は電動機電

流の脈流を押さえるのに十分な値にしてある。冷却は風冷式で、専用のブロウを設けてある。

##### 4.5 フィルタリアクトル及び限流リアクトル

架線電流のリップルを押さえるフィルタリアクトルと、回生ブレーキ時のチョップ転流失敗時の電動機電流抑制用リアクトルとは同一のものとし、3,000 V 16 mH の空心形を採用した。

##### 4.6 その他

その他の機器として誘導分路器・界磁分路抵抗器・予備励磁接触器箱・ブレーキ抵抗器・補助抵抗器がある。これらは在来のカム式電車と合わせるように考慮されている。

#### 5. 試験結果

3,000 V チョップは我が国で初めての開発品であり、工場で綿密な試験を行ったうえで出荷した。その結果は極めて良好で、満足すべき結果が得られた。その内容は次のとおりである。

##### 5.1 定常運転試験

力行及び回生ブレーキの定常運転試験を、電車と等価なフライホイール装置を回して行った結果、各運転扱い・ブレーキ扱いに対して円滑な加減速が得られた。高速回生特性については、電動機に直列に抵抗をそう(挿)入する方式を採用しているが、電動機電圧が架線電圧より高い領域においても安定な制御特性が得られた。

また、3,000 V での温度上昇試験、各ノッチ及び抑速ノッチ相当の連続運転試験でも、各機器ともに異常なく良好な結果が得られた。

##### 5.2 特殊試験

空転・無負荷回生・回生負荷変動・回生負荷しゃ断・電源電圧変動・停電などの特殊試験を実施したが、いずれも良好な結果が得られた。また、3,600 V の最高電圧運転試験についても、心配されたサイリスタ素子ゲート回路へのノイズの問題もなく、DC 1,500 V の従来のチョップと同程度であり、サイリスタ素子・コンデンサ・リアクトルなどの各機器の高圧運転も良好であった。

#### 6. む す び

以上に述べたように、このチョップ制御装置は、工場での種々の試験の結果、電車としての初期の性能を満足することが確かめられた。

この回生ブレーキ付き 3,000 V チョップ制御電車は、我が国では初めてのものであり、しかも、DC 3,000 V 電化が一般的なヨーロッパの初輸出品としてスペイン国鉄での良好な運転実績が期待されている。

また、回生ブレーキ付きチョップ電車は、スペイン国鉄においても未経験のことであり、回生負荷の状況、誘導障害などについて、この電車の運転経験によって更に小形・軽量化、実用度の向上などの検討を続けてゆきたい。

最後に、この装置の設計・製作並びに試験にあたり、ご指導ご協力いただいた関係者のかたがたに深く感謝するしだいである。(昭和 50-1-13 受付)

#### 参 考 文 献

- (1) 北岡ほか：三菱電機技報，45，No. 8，1,028 (昭 46)
- (2) 芦谷ほか：三菱電機技報，47，No. 9，918 (昭 48)
- (3) 北岡ほか：三菱電機技報，45，No. 2，237 (昭 46)
- (4) 芦谷ほか：昭和 49 年電学会関西支連大，G 94

# 磁気浮上式鉄道用光センサ

長能宗彦\*・笠原久美雄\*・河村寿三\*\*

## 1. ま え が き

社会の要請する新しい交通システムの開発において、大量・高速な輸送手段としての鉄道の果たす役割は増えることはあっても減ることはないといわれる。そうした背景の中で、超電導あるいは常電導による磁気浮上鉄道は、無公害・省エネルギー形の高速度交通機関として注目されている<sup>(1)</sup>。

日本では、国鉄が磁気浮上・リニアモータ式の超電導磁気浮上鉄道の開発を進めているが、アメリカ、西ドイツなどの諸外国においても、さまざまな方式で浮上式鉄道の技術開発が精力的に行われている<sup>(1)(2)</sup>。

さて、浮上式鉄道の実用化のために磁気浮上など基礎的な技術固めが強力に進められるにつれて、開拓し解決すべき技術的要素がより明確化されてきた。特に、時速 500 km を実現するための推進方式や高速走行時における浮上案内の安定性<sup>(3)</sup>、あるいは、精度の良い速度制御<sup>(4)</sup>の問題などは、浮上式鉄道実現のための基本技術として極めて重要であり、この線に沿って鋭意開発が進められている。

上に述べたように、浮上式鉄道という特殊性からくる要請として、非接触高さ計測の必要性が一方であり、さらには、推進・制御技術に必要不可欠な要素としての地点検知精度の問題も重要性が高い。ここでは、光波を用いた新しい方式による検知装置の研究試作結果について、その概要を述べる。以下本文においては、光センサと呼ぶが、ビームを絞ることが容易で磁界の影響を受けないなど光の有する特性が十分生かされ、高精度で応答も早い。センサとして数々の長所をもっているが、オプトエレクトロニクス技術としても、ここで述べる光センサは、ユニークな応用例といえよう。

## 2. 光センサの原理と特長

磁気浮上式鉄道の推進システムには、LIM (リニアインダクションモータ)、LSM (リニアシンクロモータ) の両方が考えられているが、超電導磁気浮上方式では LSM が最もすぐれた方式と考えられ、なかでも、車上に界磁をもっているので、列車の界磁の空間的位相を検出し、推進力あるいは制動力が働くように推進コイルの電圧・電流を制御する、いわゆる自制式と呼ばれる方式が、他制式と呼ばれる方式に比べて非常に安定なシステムと評価されている<sup>(2)</sup>。この方式では、界磁は軌道に沿って設置された地上の 1 次コイルに対応させてあり、制御の精度を高め推進効率を上げるには、特に精密な地点検知が要求される。

これまで考えられている検知の方法に、光方式以外では、機械的スイッチ、交差誘導無線、高周波利用の近接スイッチ、電波によるレンジアンドレンジレート法などのほか、超音波や磁気ダイオードを応用する手法などを挙げるができる<sup>(2)</sup>。しかし、精度、応答性あるいは耐雑音特性などでいずれも難点があるのに対し、光波を用いる方式では基本的にそのような難点がない。

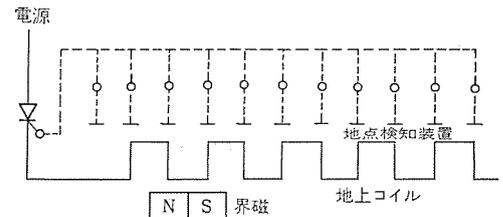


図 1. 自制式 LSM 制御方式の原理

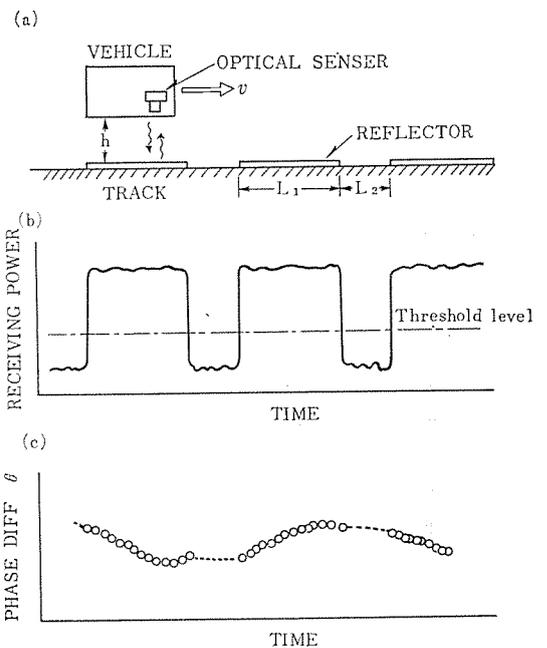


図 2. 試作光センサの動作原理

自制式 LSM の場合のシステム構成の原理図<sup>(2)</sup>を図 1. に示すように、電源の制御は列車から離れたところにある変電所で行うので、地点検知の誤差や検知データの伝送遅れは制御の精度や効率への影響が大きい。システムとして許容される総合遅れ時間は数 ms であり、センサとしての開発目標を 50  $\mu$ s 程度にとった。この値は、時速 500 km で走行する場合の地点検知精度で示すと約 1 cm である。

今回開発した光センサにおいては、1 次コイルの位置に合わせて反射テープを張り、発光ダイオードを高周波で変調して送受信する方式を採用することにより、所要精度を十分満たすとともに、浮上高さも無接触で求めることができるようになってきている。すなわち、この光センサの原理図を図 2. に示したところからも分かるとおり、反射受信光量の変化による信号レベルの変動から地点検知を行い、一方、送信光と受信光の変調信号の位相差が浮上高さに比例することを利用し、浮上高さ検知も行うのである<sup>(5)</sup>。

なお、高さ検知の精度は変調周波数を、例えば 15 MHz に選ぶと 0.36 度の精度で位相差を求めることによって、1 cm 以下にすることができる。

このほかにも、この光センサには種々の特長はあるが、それらを

まとめると次のようになる。

- (1)  $\mu\text{s}$  以下の高速応答をする。
- (2) 1 cm 以下の地点検知精度をもつ。
- (3) 地点検知センサで浮上高さも検知できる。
- (4) ソリッドステート化され、小形・コンパクトであり、かつ低電圧動作で消費電力が少ない。
- (5) 外来光や磁界の影響による誤動作が防げる。

原理的には、これまで述べたとおり比較的単純であるが、これを原理通りの高精度なハードウェアとして実現する過程でいろいろ問題に遭遇し、それらを逐次解決することにより試作・実験ではほぼ所定の性能を得ることができた。

### 3. 試作装置

#### 3.1 装置の構成

光センサを機能的な構成から大別すると、発光ダイオード(LED)からの変調光を送信し、フォトダイオードで受信するオプティカルヘッド部と、送受信信号を電気的に処理して所要の検知信号を出す回路部となる。センサとしての出力信号は、すべてTTLロジックレベルとし、信号伝送系との接続が容易になるように配慮してある。

試作した装置の外観と実験する場合の回路接続の様子を図3.に、機能的にそれらをブロック図で表したものを図4.にそれぞれ示す。

#### 3.2 オプティカルヘッド

1次コイルに沿って張られる反射テープは、道路標式などに用いられるものと同等で、コーナキューブに似た性質、つまり反射に方向性がある、高い反射率を有することが特長である。車体に取り付けられた場合のオプティカルヘッドと反射テープとの距離は1m前後になるものと想定されるが、いずれにしても小形軽量であるほうが望ましいこと、反射受光量の点や工作及び調整の容易さなどを考慮して検討した結果、光学系としては図5.に示すような小形のレンズと半透鏡を用いる形式とした。反射テープでの入射光、反射光とも平行光線になっており、ヘッドとテープの距離変動による信号レベルの変化は無視しう程度の微量である。

#### 3.3 信号処理回路

この回路は既に図3.に示したとおり、位置検知部と浮上高さ検知部とが主回路で、中間周波数回路部と発振回路部とが補助回路として加わり全体の回路を構成している。

位置検知回路では、中間周波数回路部からの出力を直接検波し、シュミット回路でICレベルの出力が得られる。検波段への入力信号レベルは500 mV<sub>P-P</sub>以上、総合特性としては、利得で約100 dB強、等価帯域幅約15 kHzでS/N比20 dB以上となるように系の条件設定と利得配分を行った。

一方、浮上高さ検知回路においては、位相測定精度を高めるために、第2中間周波数部を入れて信号周波数を下げるとともに回路帯域幅を約100 Hzに落としてS/N比を向上させている。高さ信号は、受信信号と基準信号とクロックパルスとをゲート回路に入れ、デジタルパルス数として得られる。試作回路においては、パルス1個が1 cmになるように周波数関係を選んでいる。精度を向上させるには、周波数関係の選択の仕方を変えたり、出力に平均化操作を加えるなどの手法が用意されている。基本的な誤差要因であるゲートへの入力信号周波数と基準信号周波数との間の周波数差の発生、あるいは計数回路における各信号周波数のドリフト発生などについては、水晶発振器の採用とドリフト自動補償回路構成法で解決している。受

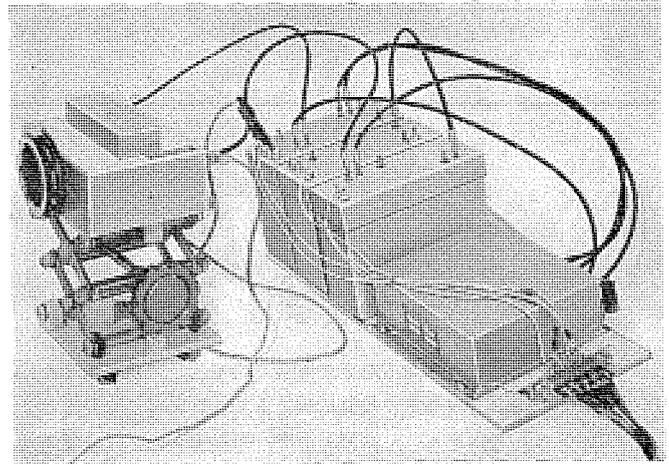


図3. 試作装置の外観

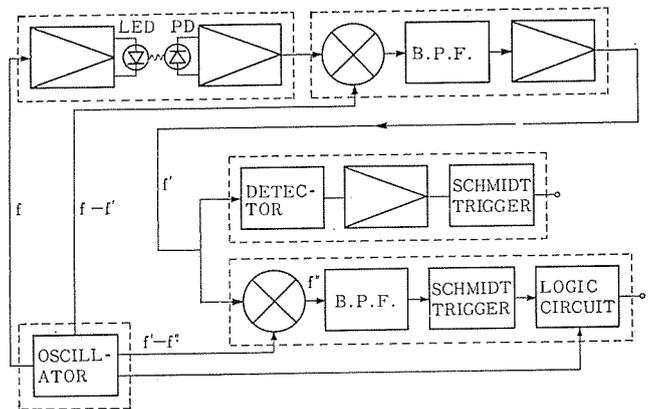


図4. 光センサのブロック図

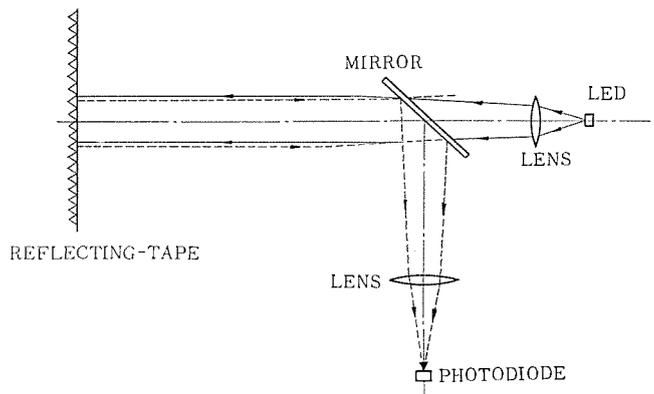


図5. 光センサヘッドの光学系

信回路系の微小位相ドリフトについては、回路の特性としてやむを得ないが、その対策は別途検討し、解消する手法に大体的見通しが得られている。

### 4. 地点検知精度の検討<sup>(6)</sup>

推進・制御要素としての光センサの基本的役割は地点検知であり、ここでは受信信号の立上りを基準にして、その精度について検討する。精度に影響を与える要素には次のようなものがある。

- (1) 車両の走行速度( $v$ )と光のビーム径( $D$ )の比。
- (2) 受信信号レベルと最終S/N比。
- (3) 反射光量の変動と回路定数の変動とによる、等価的な応答変動(遅れ)。

なお、無変調光を用いる方式では、外部から入射する雑光による誤

動作などの影響が心配されるが、変調光を電氣的に狭帯域信号として処理するこの方式では全く問題がない。

したがって、上記の3点を考慮すれば十分であり、ここでは図6に示す模式的な信号波形で検討する。波形そのものもっている幅 $\bar{v}_n$ は雑音電圧に対応し、シミュットレベルの幅 $2\delta E$ は回路系の変動に対応している。系全体の立上り時間のジッタ時間 $\Delta t$ にはこの二つが相加的に寄与し、これを計算すると近似的に次式で与えられることが導ける。

$$\Delta t = t_r(B) \cdot f(B)$$

ただし、

$$t_r(B) = \frac{8}{\pi} \left\{ 1 - \left( 1 - \frac{2}{11} \pi B \frac{1}{\varepsilon} \cdot \frac{D}{v} \cdot \frac{E_0}{(E_s)_0} \right)^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{2}}$$

$$f(B) = \frac{1}{2} \left\{ \frac{\delta E}{E_0} + \left( \frac{\pi}{2} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \frac{\bar{v}_n}{(E_s)_0} \right\}$$

ここで、 $(E_s)_0 = m_s P_i A_v R_L \eta$

$$\bar{v}_n = (4kTBN_f R_L)^{\frac{1}{2}} A_v$$

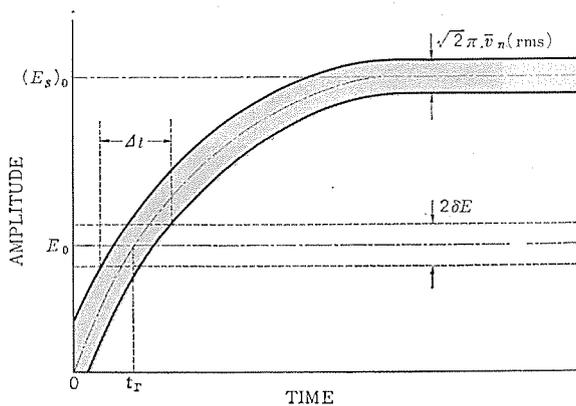


図 6. シミュット回路への入力波形模式図

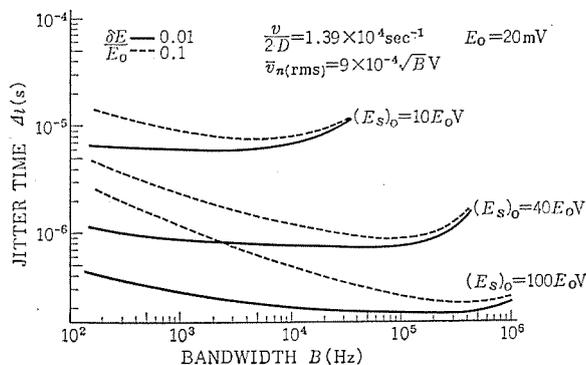


図 7. 検知精度への帯域幅の影響 (a)

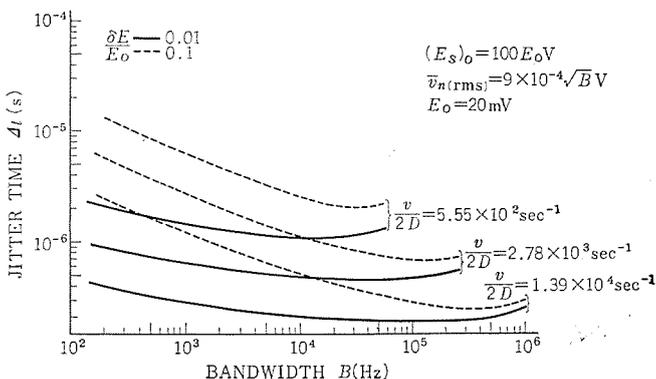


図 8. 検知精度への帯域幅の影響 (b)

なお、 $B$ ,  $E_0$ ,  $\varepsilon$ ,  $P_i$ ,  $s$ ,  $R_L$ ,  $\eta$ ,  $m$ ,  $A_v$ ,  $N_f$  は、それぞれ帯域幅、定常状態における信号レベル、定数 (=0.54)、光検出器への入射光量、感度、負荷抵抗、検波回路の効率、変調度、増幅器の利得と雑音指数である。

上式から、試作装置の諸定数と動作条件を考慮に入れて計算した結果の例を図7.及び図8.に示す。前者は、反射テープからの入射信号光量をパラメータとし、後者は、車両の速度とビーム径の比をパラメータとして、回路の帯域幅 $B$ とジッタ時間 $\Delta t$ との関係を示している。図にはビーム径1cmのときの車両の速度に換算した値を記入し参考に供してある。

いずれについても、各パラメータに対して $\Delta t$ を最小にする $B$ が存在することが分かる。この最適値は、帯域幅が広がることによる立上り時間の短縮と $S/N$ 比が悪くなることによるばらつき増加とが同程度のときの値であるが、図からも分かるように、この最適値から外れてもその影響は軽微で、しかも相当条件が悪い場合でも $\Delta t$ は $\mu s$ 程度にしかすぎず、地点検知の精度のうえからは帯域幅の選定を厳しく行う必要がない。むしろ使用する部品の価格や装置としての最終性能や経済性から決めてよいことが分かる。

## 5. シミュレーションによる性能試験

実装試験が不可能なため、地点検知も高さ検知もすべて等価的な試験方法を考え、実験室における性能試験を実施した。

### 5.1 模擬試験装置

光センサの地点検知精度としては、時速500kmで1cmを通過するのに要する時間、約70 $\mu s$ を安定に検出できれば所要性能が満たされると考えられる。そのために、4カ所に細いみぞを切った円板を回転させる部分と反射テープを往復運動させる機構とを組合せた装置を試験用に作った。後者の機構は浮上高さの変動を代行させている。図9.は、この装置によるセンサ性能試験の様子である。

### 5.2 試験結果

みぞの幅2ミリ、4ミリ、10ミリはそれぞれ時速500km、250km、100kmに相当する。そのおのおのにおける中間周波数段、検波段及びシミュット段の出力波形を図10.に示すように、センサは1cmの精度で安定に地点検知を行うことが確認できた。実用する場合、反射テープの汚損による誤動作が心配されるので、反射テープの前に透過率の異なるフィルタをおき、等価的に反射率を下げて、どの程度まで透過率を下げて正常な動作をするか調べ、反射率が半分になっても問題ないことも分かった。

オプティカルヘッドと反射テープとの距離に対応したパルス出力も得られ、

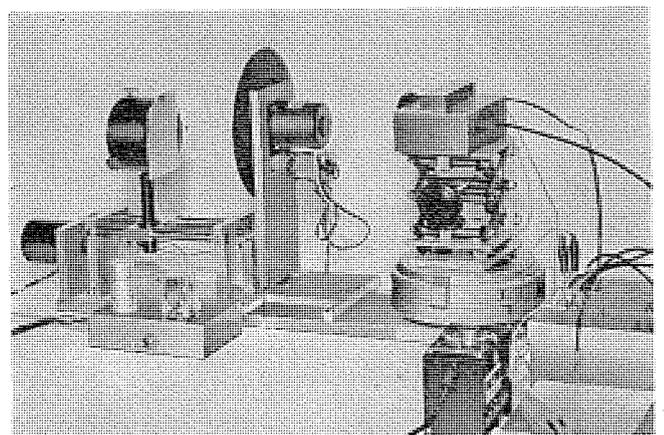


図 9. 模擬試験による光センサのテスト

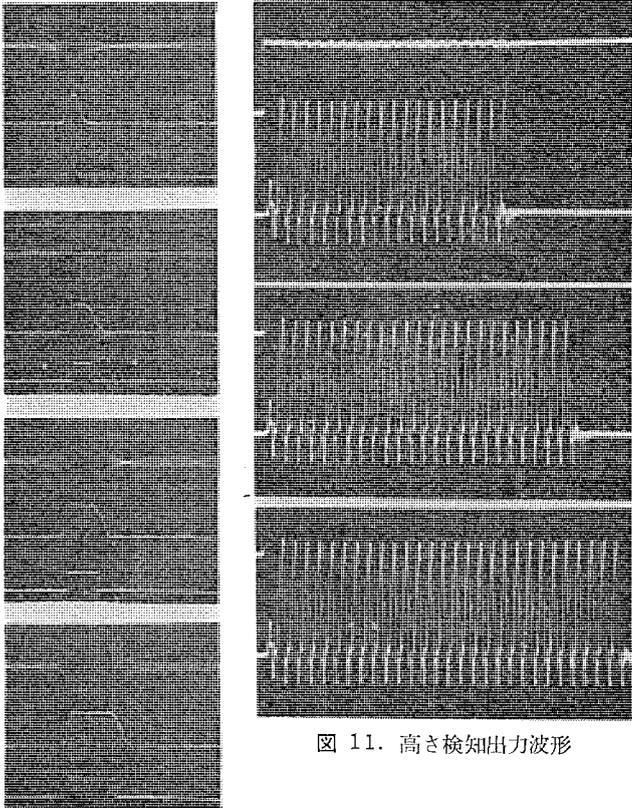


図 11. 高さ検知出力波形

図 10. 地点検知回路出力波形

浮上高さの測定も所定の精度で求められた。図 11. に得られた出力波形を示す。移動する過渡状態についてもパルス計数器でその追従性を確認した。

### 5.3 回転ドラムによる高速試験<sup>(5)</sup>

模擬試験装置の円板の円周速度は時速 100 km 弱である。もっと高速になれば、図 8. からも明らかなようにジッタ時間は短く、精度を調べる目的では高速試験の必要がない。しかし我々としてはその点を確認めるとともに、別の意味での高速運転時における問題点を見つけるために、大形回転ドラムに長さの異なる種々のテープを張り付け、最高時速 200 km を超えるところまでの高速運転を行った。図 12. にそのときの状況を、また図 13. にデータを示す。この結果、検知精度的には問題ないことがはっきりした。

なお、高速回転試験は一般にかなりの危険を伴うこともあり、試作装置では速度による試験を行わなかった。

## 6. む す び

超電導磁気浮上式鉄道では浮上高さ計測が必要であること、自制式 LSM が推進・制御の方式として確立されるには、精度が高く応答性の良い地点検知器の開発が急務であることなどを背景として、今回開発した光波による新方式のセンサについて、試作装置の概要を述べた。

LED の変調光と反射テープとを組合せたこの方式では、地点検知だけでなく浮上高さも 1 コのセンサで同時に計測できるなどの特長

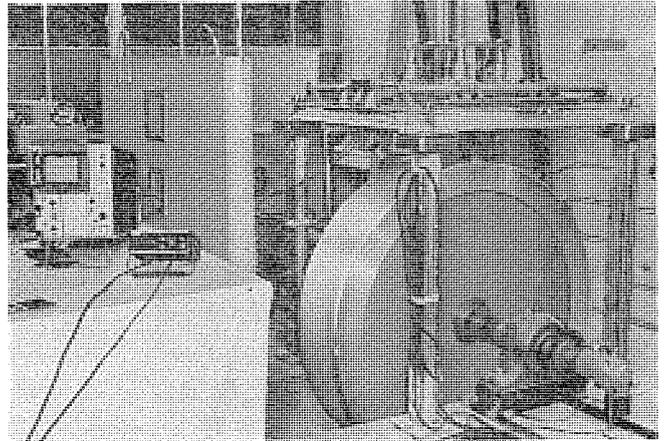


図 12. 回転ドラムを用いた地点検知試験

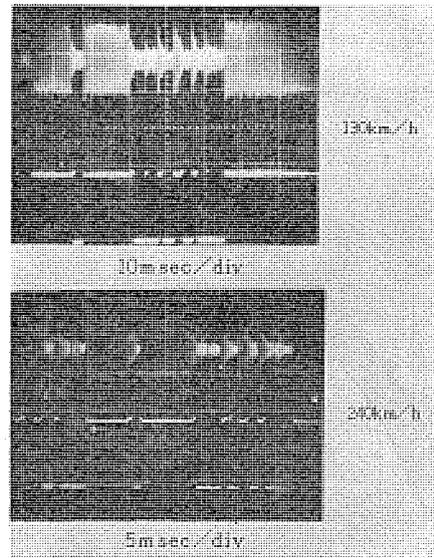


図 13. 出力信号波形

を有している。その性能は、模擬試験装置を用い、試作した光センサで十分な特性が得られることが実験的に確認できた。

反射テープの汚れの影響や地点検知精度向上のための条件についても検討を加え、技術的な基本問題はほぼ見通しがついたといえる。今後は、車両に積載する実用装置としての具体的な諸要求を解決できるよう、実情に合わせた検討と試験車にセンサを積んでの実験が課題であろう。

終わりに、光センサ開発に当たり、ご協力、ごべんたつを頂いた関係各位に対し、ここに謝意を表する。

### 参 考 文 献

- (1) 京谷：電学誌，94，400 (昭 49)
- (2) 京谷，杉本：信学誌，57，491 (昭 49)
- (3) 山田ほか：電学誌，94-B，49 (昭 49)
- (4) 白庄司ほか：三菱電機技報，48，No. 3，393 (昭 49)
- (5) 長能，笠原，河村：昭 49 信学全大，1245
- (6) 笠原，長能，橋本：昭 49 信学全大，1246

# 国鉄向け湖西線列車無線通信装置

加藤 哲郎\*・頼政 利博\*・大塚 明\*\*・竹垣 弘\*\*・三井 和夫\*\*

## 1. ま え が き

昭和49年7月20日に営業開始した湖西線は、琵琶湖の西湖岸を、東海道本線の山科駅から、三井寺、延暦寺、坂本、雄琴、比良、牧野などの景勝地を抜け、北陸本線の近江塩津駅に至る20駅、74.1kmの国鉄新線である。

同線の特徴は、全線CTC化を行うなど、新幹線なみの近代設備を有し、列車運行に対する指令は、すべて大阪の中央指令室から行われている。ここに、中央指令と運転士間の情報交換手段として、400MHz帯の無線を使用した列車情報無線設備を完成したので紹介する。

## 2. 方式の概要

### 2.1 設備構成

路線上のどの位置の列車とも通話するため、沿線に小出力の基地局を多数配置し、有線と搬送回線を利用して、大阪中央指令に結び、中央司令員と列車乗務員との指令通話及び列車乗務員相互間の通話

を行う小出力分散基地局方式を用いている。列車側の設備は、全国の列車に装備されている前後部連絡用携帯無線機をそのまま用いるもので、個有設備として新たなものは持っていない。

無線基地局の置局については図1.に示すように、沿線に小出力の25基地局を設け、電波伝搬上の弱電界区間をなくすとともに、在来線(東海道本線)への妨害を少なくしている。またトンネル内においても良好な通話ができるよう漏えい(洩)同軸ケーブル(LCX)を用い、99%以上のサービスエリアの確保を目標とした。

運転指令担当の区分により無線においても、高島トンネルの南口を境界とし南北にゾーン分割を行い、おのおの中央指令台から列車と独立に指令通話ができる。各基地局は図2.に示すように南ゾーンは堅田、北ゾーンは近江今津に統合して京都まで搬送中継し、大阪までSHF回線を利用し中央指令台に接続している。

### 2.2 方式の主なる特長

この方式の主なる特長として

(1) 列車より基地局に対し品質のよい回線を確保するため、電界入力の高い基地局が自動選局される方式とした。これは列車の移動

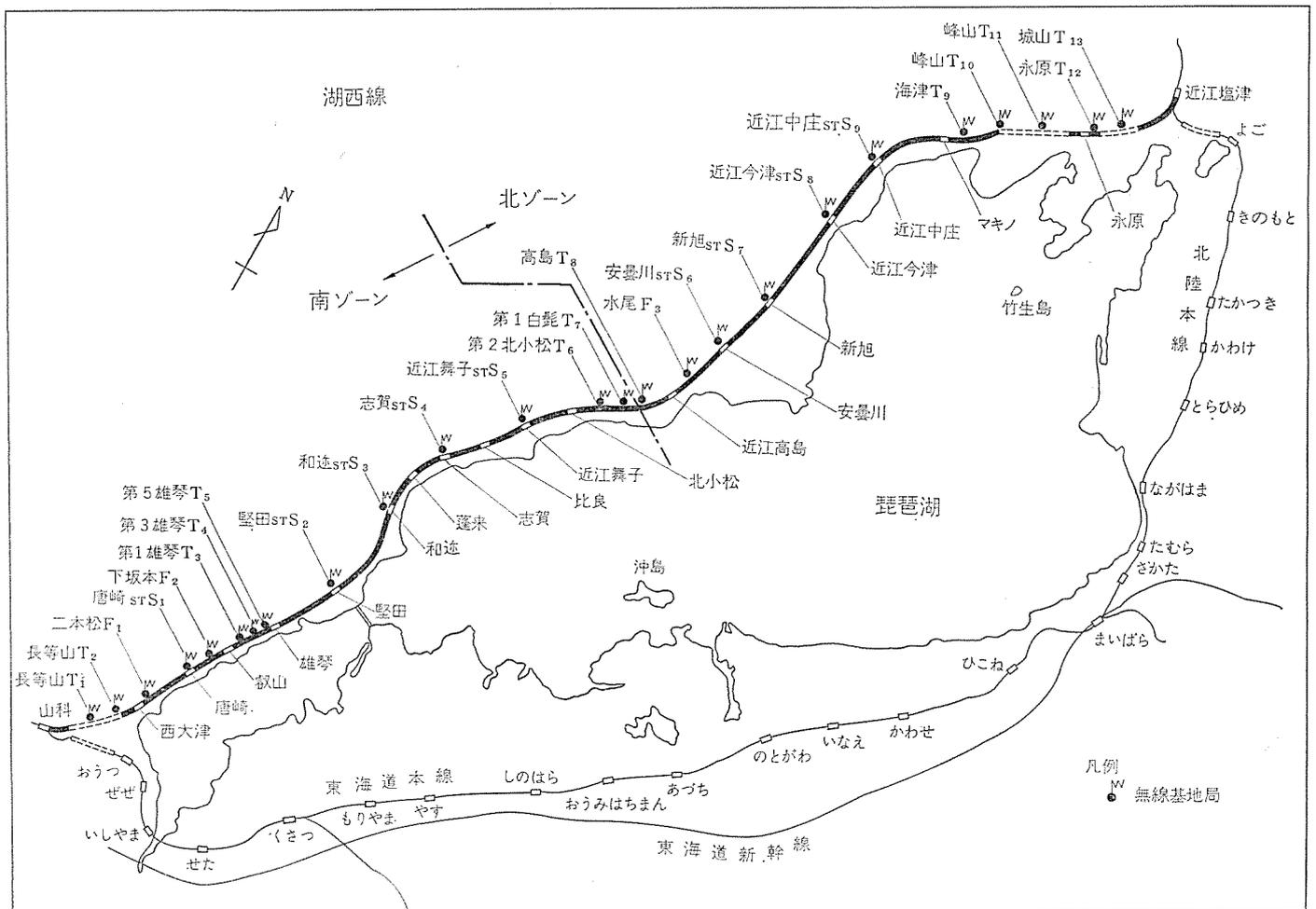
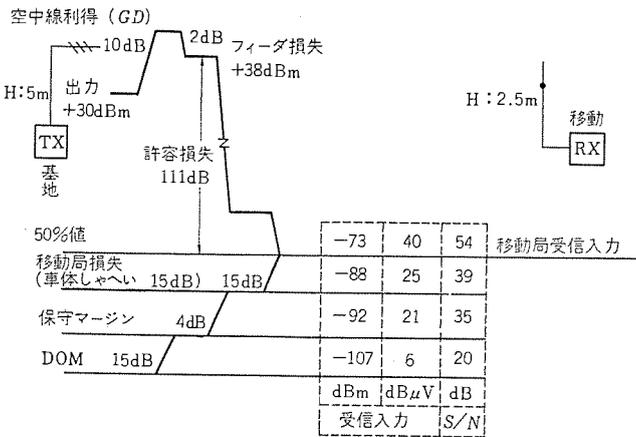


図1. 湖西線無線基地局配置図

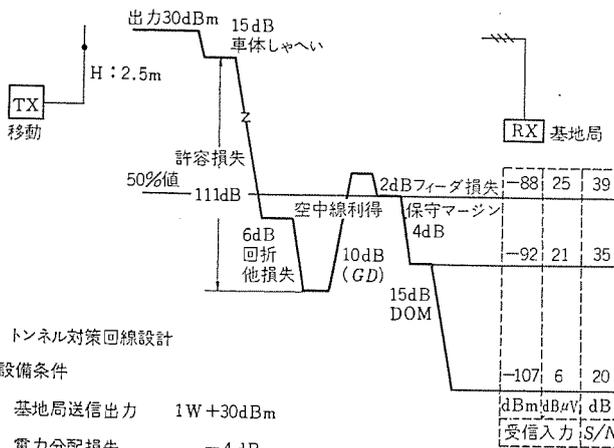
\* 日本鉄道建設公団 \*\* 三菱電機(株)通信機製作所



(1) 基地→移動レベルダイヤ



(2) 移動→基地



(3) トンネル対策回線設計

設備条件

基地局送信出力	1W + 30dBm
電力分配損失	-4 dB
フィーダ損失	0.1dB/m
空中線利得(GD)	10dB
漏えい同軸ケーブル	種類 結合損 減衰
	48 80dB 23dB/km
	47 70 " 23 "
	46 60 " 26 "
	45 50 " 36 "

図 4. 回線設計図

3. 回線設計

回線設計については図 4. に示すレベルダイヤを基準とした。

実測の結果より次の関係式を得、利用した。

(1) 列車の進行方向に基地局がある場合の電界入力値

(a) 最小(99%値)  $30 - 35 \log_{10} D$  (dBμV)

(b) 最大(1%値)  $63 - 40 \log_{10} D$  ( " )

注)  $D$  は距離(km)で 1 km より長い場合に適用できる。4 km の 99% 値は 9 dBμV (インピーダンス 50Ω) となる。

(2) 列車の後方に基地局がある場合の電界入力値

(a) 最小(99%値)  $30 - 40 \log_{10} D$  (dBμV)

(b) 最大(1%値)  $57 - 45 \log_{10} D$  ( " )

注) 4 km の 99% 値は 6 dBμV (インピーダンス 50Ω) となる。

漏えい(洩)同軸ケーブル(LCX)による一例として、峰山トンネル(約 4 km) のレベルダイヤを図 5. に示す。

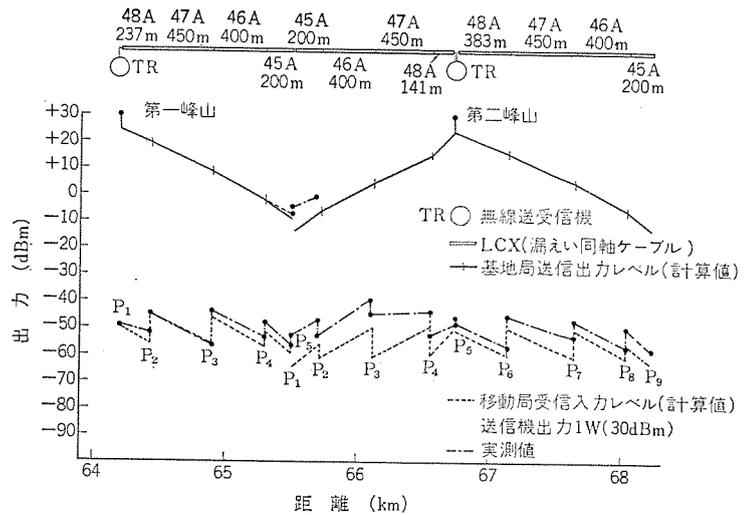


図 5. トンネル対策(LCX)レベルダイヤの一例

4. 機器仕様

4.1 主要性能

この装置の主要性能を表 1. に示す。

4.2 構造

基地局設備は駅、沿線、トンネルの 3 種類があり、駅設備本体架(図 6.) を基本として、沿線設備及びトンネル設備はおのおのの外きょう(筐)に本体架を収用する構造としている。本体架はおのおのきょう体部、送信部、受信部、操作部、接続部及び電源部からなり、送信部、受信部、電源部はセット予備化し、自動並びに遠隔操作切換が可能である。無線機架下には電池内蔵の電源装置を有している。

大阪中央指令の無線指令盤は列車運転指令台に組み込まれ、図 7. に示すように着信ランプ、選択ボタン、上り、下り、復帰ボタン、マイク及びスピーカーからなっている。

無線指令盤から出た信号は大阪中央指令機器室の制御架に入り各無線機をコントロールする。制御架の外形は図 8. に示すとおりで、きょう体部、送信部、受信部、接続部、操作部及び電源部より構成されている。

4.3 制御信号

大阪中央指令よりの制御は図 9. に示すように、指令よりの基地選択、上り、下りの周波数切換、復帰及び送信起動をトーン信号にて制御している。S/N 選択結果の表示信号(着信表示)は基地局から指令へ送出される。

これらの信号は次のとおりである。

(1) 制御信号(24波)

局選択	$f_m$	14波
	(802.5 Hz ~ 1252.5 Hz)	
周波数切換	$f_1, f_2$	2波
	(2,200 Hz, 2,300 Hz)	
送信起動	$f_{PR}$	1波
	(2,100 Hz)	
折り返し試験	$f_{CH}$	1波
	(2,700 Hz)	
動作機指定	$f_{N01}, f_{N02}$	2波
	(2,800 Hz, 2,900 Hz)	

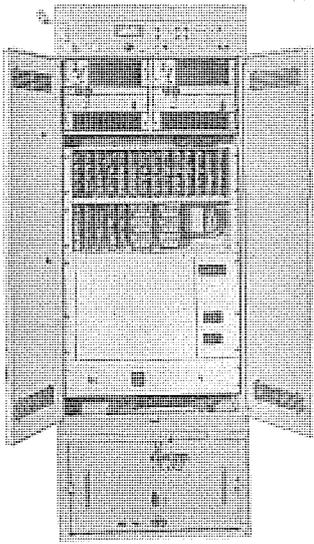


図 6. 基地局無線機

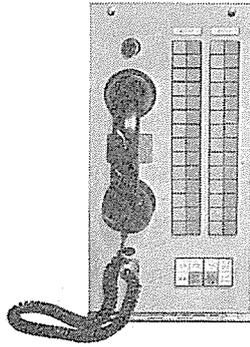


図 7. 湖西線無線指令盤

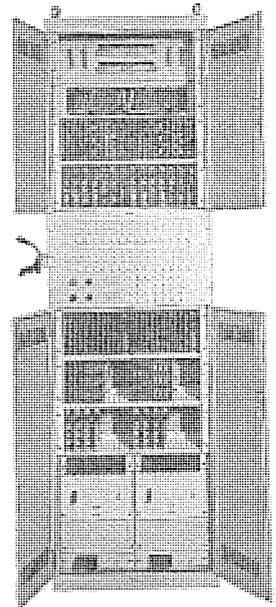


図 8. 湖西線無線指令装置

表 1. 基地局無線機主要性能

性 能		性 能				
一 般	通話可能範囲	湖西線内(長等山T西口~城山T東口)70.462km	受 信 機			
	通話ゾーン区分	高島トンネル南口より南北の2区分				
	使用周波数	前後部連絡用 400 MHz 帯 3 波	選択度	70 dB 低下にて 25 kHz 以内		
	通話方式	プレトーク	スケッチ調整範囲	雑音を 10 dB 抑圧するレベルから 15 dB $\mu$ V まで調整		
	追跡方式	最大受信入力比較方式による自動追跡	音声復調周波数特性	1 kHz 30% 変調を基準として 0.3 kHz は +4, 2 kHz は -4, 3 kHz は -8 $\pm$ 3 dB 以内		
	回線品質	S/N=35 dB 以上	音声復調出力&インピーダンス	1 kHz 70% 変調にて +8 dB(mW)600 $\pm$ 30% 平衡		
	現用予備切換	送信機 50% 値低下受信機ローカル停止リミッタ電流停止による自動現用予備切換又は中央よりの制御による切換	音声系ひずみ率	27 dB 以上		
送 信 機	高周波出力	1 W	電 源 部	入力電圧	DC -30 V~DC -21.6 V+接地 (基準 -24 V)	
	インピーダンス	50 $\Omega$ 不平衡		出力電圧電流	DC -19 V, 最大負荷 4 A	
	安定度	5 $\times$ 10 <sup>-8</sup> loge(e+T) e: 自然数 T: 日数	リップル	出力 50 mVPP 以下		
	変調方式	可変リアクタンス位相変調方式	電 源 変 換 部	標準入力	AC 100 V $\pm$ 10% (AC 200% $\pm$ 10%)	
	周波数倍率	12( $\times$ 2 $\times$ 2 $\times$ 3)		出力	DC -24 V 最大 5 A 平均 3 A	
	最大周波数偏移	100% 変調に対して $\pm$ 5 kHz	充電機	トリプル充電		
	変調入力	VOICE 1 kHz 70% 変調に要する入力は -8 $\pm$ 3 dBm	電池容量	18 AH		
	インピーダンス	600 $\Omega$ High	中 継 付 加 装 置	制御項目	下り波指定, 上り波指定, 通話波指定	
	音声変調周波数特性	1 kHz 30%値基準とし 0.3 kHz で -10.5, 2 kHz で +4, 3 kHz で +6 dB $\pm$ 3 dB 以内			監視項目	復帰, 送信, 現用指定, 予備指定, テスト
	ひずみ及び雑音	1 kHz 70% 変調にて -20 dB 以下	入力レベル比較切換	警報南(北) 停電, 現用機障害, 予備機障害		
	S/N 比	1 kHz 100% 変調のとき 45 dB 以上	ラ イ ン 結 合 装 置	機能により ABCD と分類	LINE A	搬端接続中央 3 分岐局 AMP 付 (堅田, 今津の 2 局)
	アラーム出力	定格出力の 2/3~1/3 (通常設定 1/2) にて警報 (アース OFF)			LINE B	中間 AMP 付局 (唐崎, 志賀, 安曇川, 海津の 4 局)
受 信 機	受信方式	水晶制御シングルスーパーヘテロダイン方式	LINE C	中間 AMP なし局 (A, B, D 以外の局 15 局)		
	入力インピーダンス	50 $\Omega$ 不平衡	LINE D	端末局 (第 1 長等山, 第 1 白鬚, 城山, 高島の 4 局)		
	局部発振周波数	$\frac{f+10.7 \text{ MHz}}{3}$ (MHz)	ライン送出レベル	A 局にて -18 dBm になるよう送出		
	偏差	$\pm 5 \times 10^{-6}$ 以内	ライン受信レベル	A 局にて 0 dBm 送出時の各局受信レベルを基準とする		
	20 dB 雑音抑圧感度	+3 dB $\mu$ V 以下	ラインインピーダンス	600 $\Omega$		
	音声系 S/N 比	1 kHz 70% 変調の入力電圧に対し 入力 15 dB $\mu$ V にて 30 dB 以上				
	通過帯域幅	6 dB 低下にて 12 kHz 以上				

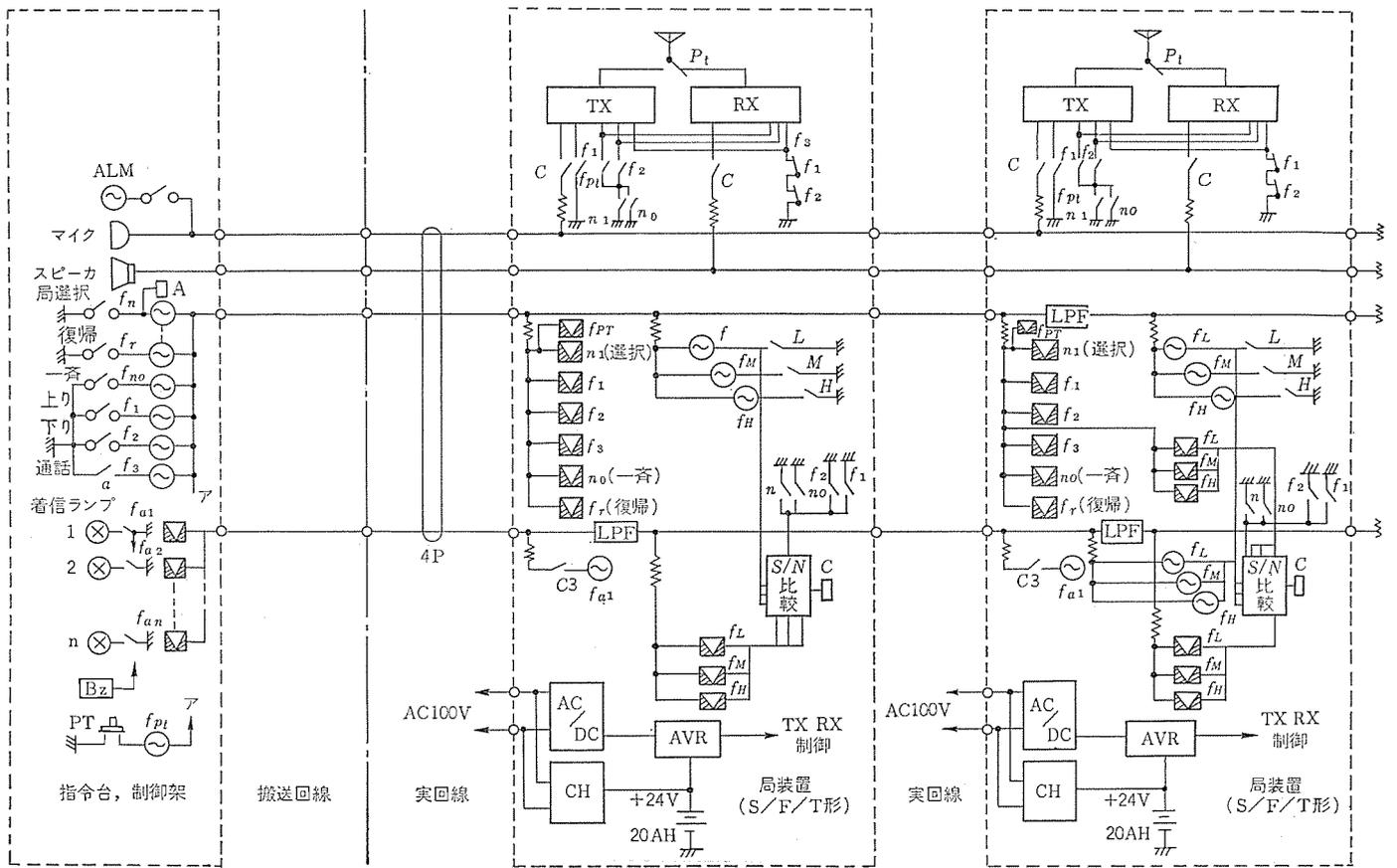


図 9. 制御回線系統図

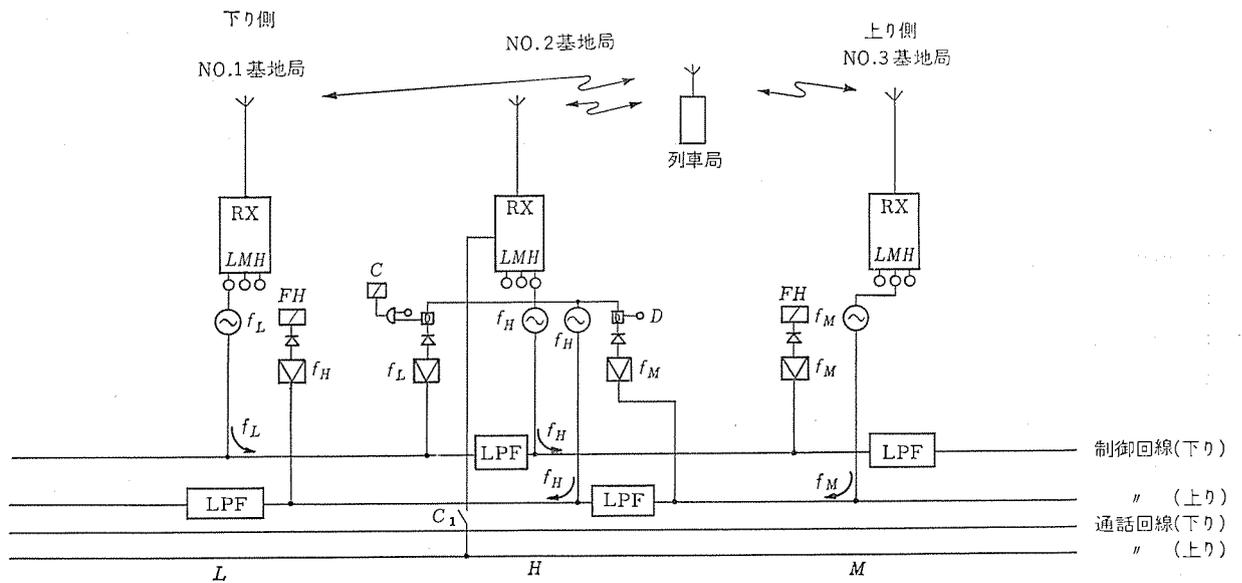


図 10. S/N 選択説明図

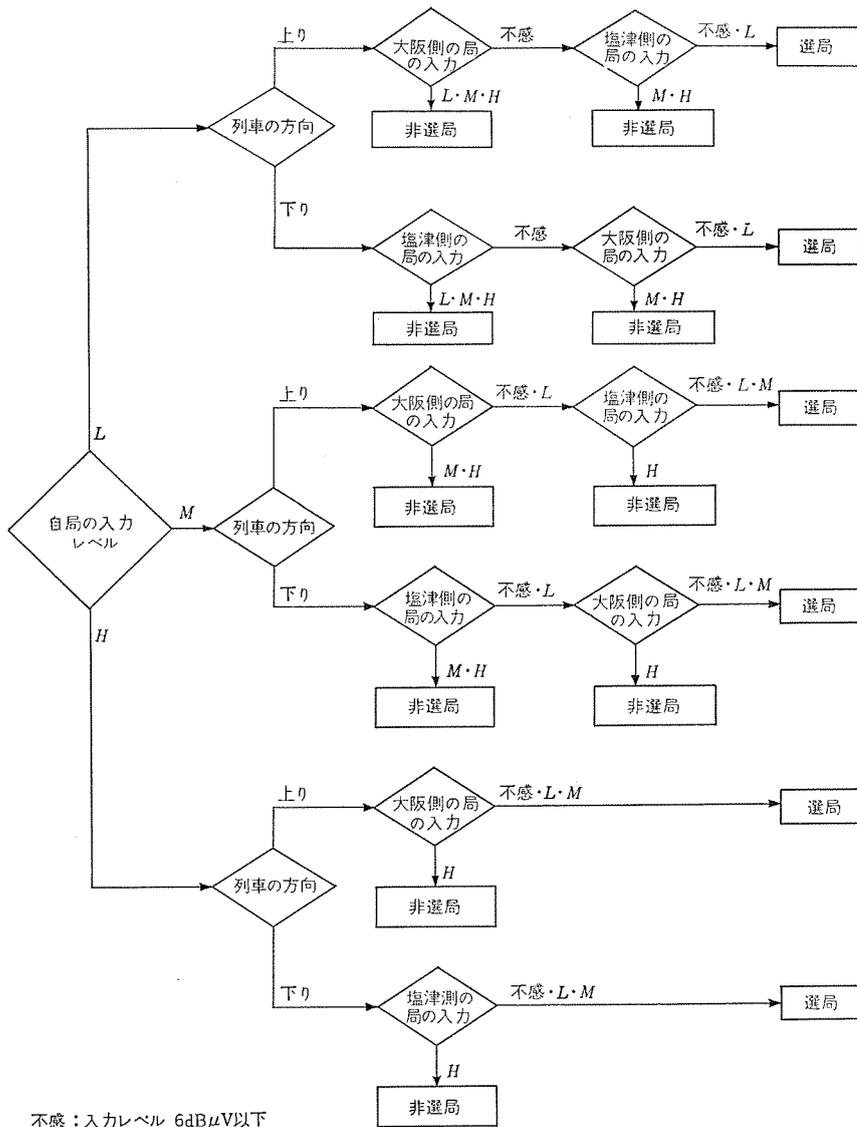
復 帰	$f_r$	1 波
(2,400 Hz)		
着信階位	$f_L$	3 波
(4,500 Hz, 4,750 Hz, 5,000 Hz)		
(2) 監視信号 (19 波)		
局別着信	$f_n$	14 波
(802.5 Hz~1252.5 Hz)		
警 報	$f_{a1}, f_{a2}$	2 波
(2,750 Hz, 2,850 Hz)		
障 害	$f_{a1}, f_{a2}$	2 波
(2,250 Hz, 2,350 Hz)		

停 電	$f_P$	1 波
(2,150 Hz)		

信号波は南ゾーンと北ゾーンが独立しているため、各ゾーンは同一周波数を使用している。S/N 比較用信号周波数は、線路(ろ)濾波器の構成を簡単にするため帯域外の 4.5~5 kHz に 3 波を配列している。

#### 4.4 無線機故障、停電表示

無線機故障 (送信出力低下、受信局発停止及び感度低下) の場合、又は停電の場合は各系に共通 (南北各ゾーンはそれぞれ堅田、今津を中心に更に南北の系に分けられている) の警報信号を送出すると、中央制御架では自動的にその系のテストを開始し、当該の無線機が停電か故障かを識別して表示する。テストは自動スキャン機能



不感：入力レベル 6dB $\mu$ V以下  
 L： " 6~10dB $\mu$ V  
 M： " 10~20dB $\mu$ V  
 H： " 20dB $\mu$ V以上

図 11. 選局条件チャート

持ち個別折り返し通話テストも可能である。

#### 4.5 基地局 S/N 選択機能

基地局受信系において品質のよい回線を得るため、隣接局と入力電界の比較を行い優位の局のみが信号線(全ゾーン共通)に接続される方式を採用した。また優位局は着信信号を送出し、指令所にて着信表示を行っている。この基地局選択方式の原理は次のとおりである。

(1) 移動局よりの電波は、基地局受信機において、入力レベルに応じて、高(H)、中(M)、低(L)の3段階に区分する。高周波入力「H」及び「M」は、リミッタ電流の値により区分するものとし、「L」については雑音検出を用いた。ここで入力電界の分割は次の値としている。

Hレベル S/N=35 dB 以上 入力 20 dB $\mu$ V 以上  
 Mレベル S/N=25 dB 以上 入力 10 dB $\mu$ V 以上  
 Lレベル S/N=20 dB 以上 入力 6 dB $\mu$ V 以上

(2) この3段階に対応した帯域外の信号  $f_H$ ,  $f_M$ ,  $f_L$  が判定情

報として両隣接局に伝送される。図 10. で移動局の電波は No. 1 に L, No. 2 に H, No. 3 に M のレベルで入るとすると、No. 2 の制御線には下り方向から No. 1 より  $f_L$  信号が着信し、上り方向から  $f_M$  信号が着信する。信号はおのおの  $f_L$  及び  $f_M$  の信号受信器で検出した後 No. 2 の H 条件と比較器 D で比較し、H 条件は最優位で比較器出力の接続リレーの C を動作させて音声出力を通話回線に接続する。

(3) 入出力信号が回線と接続され、自己保持する。したがってプレトーク中は優位局からだけ送信される。この保持は隣接局が優位になったとき転移する。

(4) 隣接局が同入力範囲の場合は、あらかじめ基地局で上り又は下り列車の周波数切換指定を記憶しておき、列車の進行方向を優位とする。

以上を要約したフローチャートを図 11. に示す。

## 5. 試験結果

### 5.1 回線品質

全線試験した結果、ほぼ 99% にわたり S/N=35 dB 以上を得ることができ、また LCX によるトンネル対策も図 2. のごとく電界 75 dB $\mu$ V 以上の良好な入力を得た。しかし、前述のように在来線前後部連絡用無線機の電波を使用しているため混信問題が考えられた。このため空中線は前後比が高く指向性のよい 8 素子反射器付き八木空中線を用い、不要方向へのふく射を減らし、また高周波部には減衰器を内蔵し実効出力を低減できる構造とした。現在までの試験では混信は余り問題となっていないが、既設東海道線からの妨害に対しては、測定されてなく今後問題が生じた場合何らかの手段を構じる必要があると考えている。

移動局より基地局の信号は 20~30 dB のスタンディングに対し、切換時における雑音発生を考慮し切換時間を 0.3 秒に設定してあるが、試験では切換時の雑音も気にならず良好な結果を得ている。

### 5.2 制御結果

擬似故障時の切換表示を含め、中央指令からの制御監視はすべて正常に動作したが、各局間の線路との不整合により、信号波のレベル設定に難があった。これは特定局で集中等価するなどして、信頼性の向上と特性改善をはかっている。

## 6. むすび

湖西線情報無線は、CTC 線区における高信頼度の無線通信系として大いに機能を発揮するとともに、今後 CTC 化列車無線の一中枢として活躍を期待されている。

最後にこの設計、製作、試験にあたり、終始ご指導をいただいた日本鉄道建設公団、日本国有鉄道その他の関係各位に深く謝意を表すものである。

# 帝都高速度交通営団納め電車総合試験装置

原 幹夫\*・松田 哲\*\*・小原博修\*\*・金田順一郎+・石本正明\*\*+

## 1. ま え が き

近年、鉄道需要の増大に伴い、車両の高性能化・長大編成化には著しいものがある。

帝都高速度交通営団地下鉄千代田線車両(6000形)及び有楽町線車両(7000形)はこの代表例で、ATC装置・チョップ制御装置・ブレーキ装置などのあらゆる箇所に電子回路が応用される一方、5～10両の車両が1編成を構成している。

営団ではこのたび、このようにエレクトロニクス化された6000形及び7000形車両の保守を容易にするために、電子計算機を使用した電車総合試験装置を綾瀬工場に導入したので、以下にその概要を紹介する。

## 2. 導 入 目 的

電車の検査は大別すると、

- (1) 摩耗・消耗部品の検修
- (2) 機器・装置の性能・動作の確認試験

とに分けられる。(1)の検修は比較的簡単な技術を習得すれば行えるが、(2)の確認試験については、前述のごとき近代車両の場合は、特に専門的で高度な技術が必要とされる。この(2)の場合に対して保守陣に要求される機能を列挙してみると次のようになる。

### (a) 試験作業の容易化

専門的な技術や知識がなくても、車両を試験できる態勢を整えておくことが望ましい。

### (b) 試験の正確化

試験条件の設定方法・計測方法などが統一されていて、常に正確で均質なデータが得られるよう検査体系が整備されていること。

### (c) 試験内容の充実

編成中の車両ごとの複雑な条件設定をもれなく、誤りなく行った上で、車両性能の静特性だけでなく可能な限り動特性をもとらえ得ること。

### (d) データの合理的管理

試験により得られたデータが整理された形で保管されていて、必要な時にはいつでも検索や参照が自由に行えるよう整備されていること。

### (e) 試験工程の標準化

対象車両や試験員の個性差により試験手順や所要時間が変動することのないよう、試験工程が標準化されていること。

### (f) 試験結果の信頼度

車両の不良箇所の指摘に当たっては、判断材料をなるべく広はんかつ豊富に収集し、総合的な判断を下すことによってアウトプットの確度を上げ、結果的に誤った指摘をすることのないように配慮されていること、また良否の判定基準値は、車両の実用上有意な試験ができるよう、十分に吟味されていること。

### (g) 試験作業の能率化

試験を行うのに要する準備時間・試験処理時間・記録時間などの短縮を図り、作業能率を上げる。

この電車総合試験装置は、これらの諸要求を満足させるべく導入された装置である。

## 3. 試 験 内 容

この装置では車上装置の動作チェック・絶縁抵抗測定などを主として行い、車輪径測定・台車関係寸法測定などのいわゆる在姿検査は自動試験の対象外としている。ただし、在姿検査結果は、コンピュータに人為的にデータをインプットすれば、記録用紙に他の自動試験結果とともにプリントアウトされるように考慮されている。また、在姿検査を自動化の対象外としたところから、在姿検査を主力とする列車検査はこの装置による試験対象には含めず、検車区で行う1カ月検査と工場で行う出場検査とをこの装置の試験対象とした。

試験対象機器ごとに上記の2検査におけるトータルの試験項目数と試験内容の一例とを挙げると次のようになる。

- (1) 高圧機器の絶縁抵抗測定・絶縁耐圧試験……………106項目  
集電・母線回路/主回路/CP-M回路/MG-M回路/暖房器回路
- (2) 低圧機器の絶縁抵抗測定・絶縁耐圧試験……………237項目  
制御回路(AC・DC)/送風機回路/けい光灯/行先灯回路/乗務員室暖房回路/低圧電源回路/MG・CP制御回路/表示灯・合図回路/前灯・標識灯・予備灯回路/パンタ操作回路/戸閉回路/ATC回路/ブレーキ回路
- (3) 電動発電機・蓄電池の性能試験……………93項目  
起動出力測定/保護継電器動作試験/蓄電池電圧測定
- (4) 空気圧縮機の性能試験……………51項目  
起動試験(2段起動確認)/蓄積時間測定/調圧器動作試験/安全弁動作試験
- (5) 制御回路の性能試験……………344項目  
通流率測定/パターン電圧測定/空ノッチ動作試験/保護継電器動作試験/主幹制御器試験
- (6) 制動装置の性能試験……………1,394項目  
漏気試験/A・Bインパタ出力測定/応荷重装置測定/ブレーキ表示灯確認試験/初込め圧力測定/常用ブレーキ試験/非常ブレーキ試験/応急ブレーキ試験/ブレーキ制御器試験
- (7) ATC装置の性能試験……………536項目  
車両信号動作試験/信号判別器動作試験/周波数偏差試験/速度照査試験/最終継電器動作試験/3者択2試験/動作時素測定/戸閉保安装置動作試験
- (8) 誘導無線装置の性能試験……………50項目  
通話送受信試験/非常発報試験
- (9) 一般電気関係の性能試験……………69項目  
引通し線導通試験/その他

(10) 在姿試験データ記録…………… 1,244項目

車輪各部測定/車体各部測定

以上、性能試験項目数は合計 2,880項目（出場検査 1,881項目と1  
 カ月検査 999項目）に達し、在姿試験項目数は合計 1,244項目（出  
 場検査 694項目と1カ月検査 550項目）に達する。

#### 4. システム構成

##### 4.1 構成ブロック

図 1. に示すブロックにより構成されている。

電子計算機が使用できないときでも、1カ月検査が処理できるよ  
 う手動操作盤が、計算機システムとは独立に用意されている。

マンマシンコミュニケーション用に、自動音声通報装置が計算機から作業  
 者への通報用として、インタホン装置が作業員から計算機への通報用  
 として、そしてイヤホンが作業員相互の連絡用として設備されてい  
 る。

以上の構成ブロックの見取図として、図 2. を参照されたい。

##### 4.2 電子計算機とその周辺装置

この試験装置の頭脳部に相当する電子計算機システムは、次の各機器  
 により構成されている。

###### (1) MELCOM 350-5F 形中央演算処理装置

コアメモリ (16 K 語)、演算制御装置、優先割込制御部、入出力インタ  
 フェース、システムタイプライタ制御部より構成され、あらかじめプロ  
 グラムされた実行手順に従い試験を処理し、「良」又は「否」の判定を行  
 う。

###### (2) 補助記憶装置 (128 K 語)

プログラム、判定基準値、試験項目のネーム、試験結果などの記憶を行

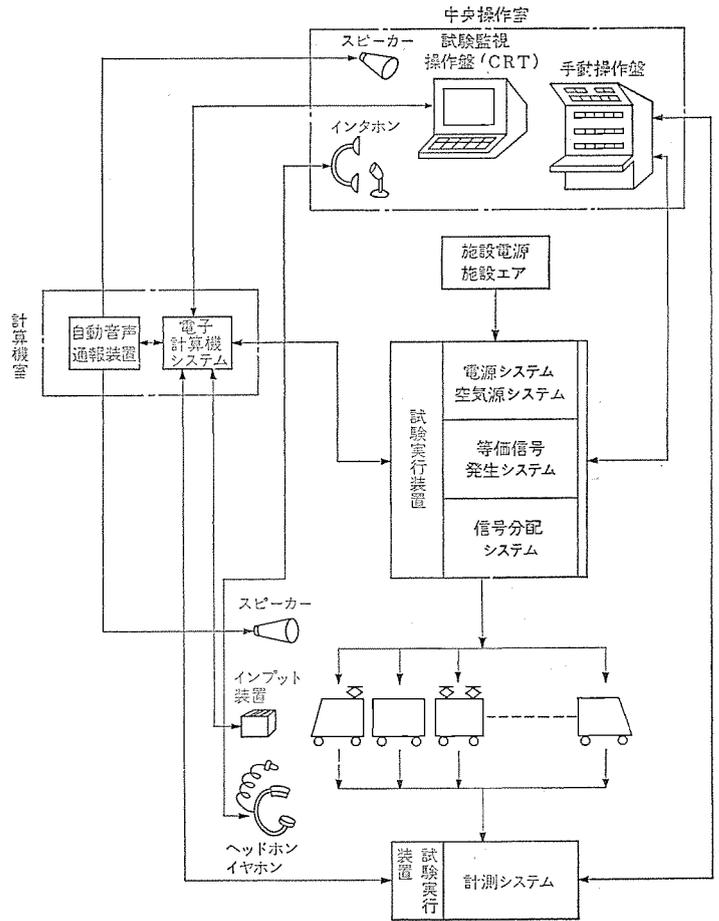


図 1. 電車総合試験装置 システムブロック 図

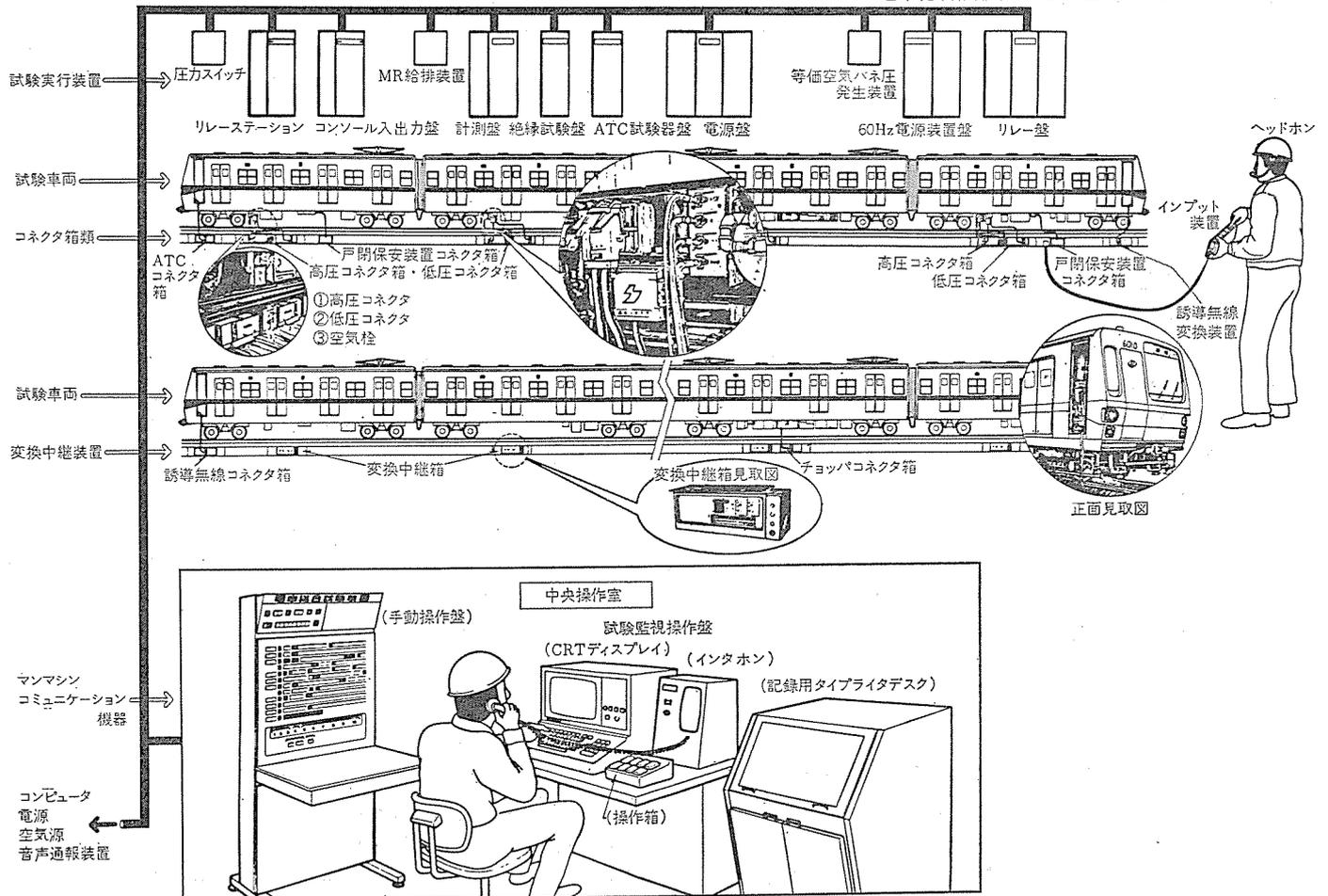


図 2. 電車総合試験装置 システム見取図 (検車ピット)

う。

### (3) 計算機室周辺機器

システムタイプライタ、紙テープリーダー、紙テープパンチ、モニタテレビより構成され、プログラムの準備、イニシャルスタート、エラー情報印字などを行う。

### (4) キャラクタディスプレイ

検車場にある中央操作室に、キー入力装置とともに設置され、初期条件の設定・試験命令のインプット・試験実行状況と結果の画面表示などを行うとともに、「否」判定時に対処する各種リクエストがキー操作で指示できるように考慮されており、マンマシンコミュニケーションの中心装置となっている。なお、表示される画面は、モニタテレビにより計算機室にても監視できるように配慮されている。

### (5) 自動音声通報装置

試験の開始及び終了時、又は試験中に、ピット側作業者に対する作業指示、注意などのメッセージを計算機が選択して、スピーカーを通じ自動的に放送する。

### (6) ロギングタイプライタ

1カ月検査、出場検査の試験成績表を所定のフォーマットに従い、リクエストされたときに作表する。

### (7) インプット装置

各車両に1台ずつ用意されており、作業者による目視確認・手動操作の完了などを計算機に伝達する手元操作盤である。

### (8) プロセス入出力装置

デジタル入力(96点)、デジタル出力(64点)、割込入力(128点)より構成され、電源システム・絶縁試験盤、計測システム、インプット装置、自動音声通報装置との入出力の制御を行う。

### (9) コンソール入出力装置

数車両ごとに分割配置されるリレーステーションに対応して設置され、No. 1 から No. 5 のコンソール入出力装置で構成される。リレーステーション、ATC 試験器盤、変換中継箱などの入出力を扱う。

## 4.3 手動操作盤

手動操作盤は、電子計算機のバックアップ装置として、計算機を使用しないときに計算機の代わりに、各種試験条件の設定、試験実施命令、試験結果の表示をつかさどる装置である。

試験の実施命令は、試験対象機器の選択→試験項目の選択→試験対象車両選択の一連の選択をボタンスイッチを操作することにより、後述する機能をもつ試験実行装置に所用の動作を行わせるべく指令する。一方ディスプレイとしては、測定データをはじめ、シーケンス試験の良否結果、試験実行装置・施設電源電圧・施設空気圧の良否状態などを表示する。この手動操作盤の外観を図3に示す。

## 4.4 試験実行装置

### (1) 電源システム

試験実行装置の電源システムは、電源盤と60Hz電源装置より構成されている。電源システムのモニタリング用に各種の接点出力を有し、常時電源の動作状態を電子計算機及び手動操作盤に通報している。

#### (a) 電源盤

電源盤はこの電車総合試験装置が動作するのに必要な各種の電源を

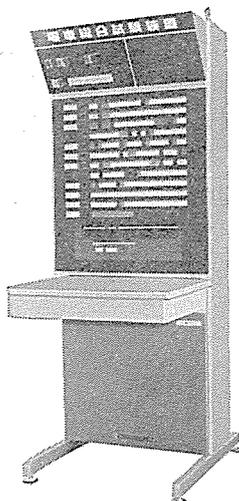


図3. 手動操作盤外観図

表1. 計測システム構成機器(例)

計測器の名称	計測器の行う試験項目例
AD変換器	チョップパターン電圧
AD変換器	蓄電池電圧
AD変換器	MG電圧
時間間隔測定器	チョップ通過時間
周波数測定器	インバータ周波数
P/E変換器	ブレーキシリンダ空気圧

作り各機器に供給すること、及び試験ピットに対応して電源のコン電位をレールにアースするために設けられている。

### (b) 60 Hz 電源装置盤

60 Hz 電源装置盤は、チョップ制御装置、MG 装置保護回路及び試験装置のDCPTに60 Hzの交流電源を供給する装置である。

## (2) 計測システム

このシステムは車両から試験結果として出力された交直流電圧・周波数・パルス間隔時間などを測定し、コード変換を行って計算機及び手動操作盤にアウトプットする。表1.にこのシステムの構成機器とその用途の一例を示す。

### (3) ATC 試験器盤

この装置はATC装置(インバータ、受電器、信号判別器、論理照査器)と速度計、キャブシグナル、戸閉保安装置を試験対象とするものである。

ATC 試験器盤は試験回路及び条件の設定、測定点の選択などの機能を有している。

試験回路の設定では車両ピット線の選択があり、試験条件には主たるものとしてATC信号と等価速度信号がある。

## 5. オペレーション

### 5.1 自動運転

(1) 各種コネクタをつなぎ込む。

(2) 電源を投入し、CRTキー入力により日時、天候、編成番号、検査種別、試験モード、試験開始番号などを入力した上で自動スタートを命令する。

(3) 自動音声通報装置が動作し、試験内容及び手動操作に関するメッセージが放送されるので、作業者はその指示に従う。

(4) 計算機は前述の実行装置に指令を行い、(2)で指示された試験開始番号より、順次自動試験を行う。

(5) 試験シーケンスを進めるソフトウェアシステムは、図4.に示す構成となっており、試験プログラムは、機器性能試験と在姿検査を合わせると約4,100項目に達するため、個々の項目に対し、コントロールワードにて表現し、スケジュールの指示により、インタプリティブに実行される。図5.にその一例を示す。図にて、個々のブロックが、一つのコントロールワードと対応し、共通サブルーチンにて、その内容が解釈されるようになっている。

(6) 車上装置に不具合箇所が発見された場合は、その不具合箇所がキャラクタディスプレイに表示され、次の処理がキー入力に応じて実施される。

(a) シンダン ……ステップ番号を進める

(b) クリカエシ ……再度試験を行う

(c) スキップ ……項目番号を進める

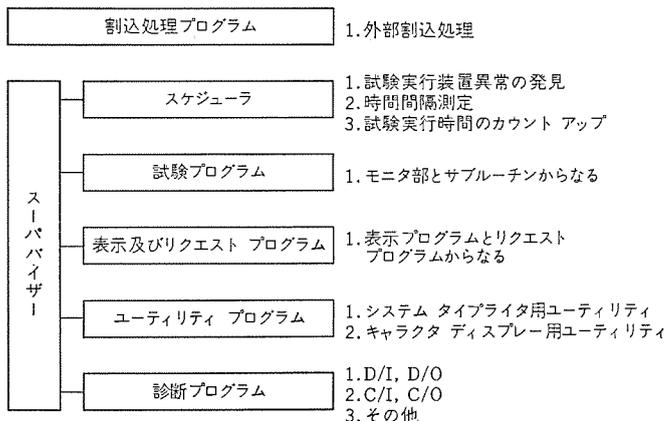


図 4. ソフトウェア構成

- (d) ジャンプ ……指定された試験項目に進める
- (e) ケイソク ……不良箇所連続計測を行う
- (f) シュリョウ ……試験を終了する

(7) 試験終了後、電源をシャ断し、コネクタを取りはずす。

(8) 試験結果成績表の印字を行う。

### 5.2 手動運転

試験員が中央操作室に設置されている手動操作盤の試験ボタンを操作すれば、自動的に試験が命令される。手動操作盤からの命令により、試験実行装置は車両に印加すべき試験用等価信号を発生する。車両の出力を受けた

計測システムでは、これを計測してデジタル変換し、手動操作盤に計測値を知らせる。試験員は手動操作盤上に表示された値を読みとり、車両の動作状態を判定及び記録する。

### 6. 特 長

この電車総合試験装置の特長を記すと次のとおりである。

- (1) 10両(1編成)の電車を時分割的に同時に試験し得る能力と規模を備えている。
- (2) 車両の動作状態をチェックし、良否の判定を下すために、所定

のステップごとに10両(1編成)の電車全デジタル出力点をスキャンしているため、車上装置の不具合点が必要かつ十分に吟味された上で指摘される結果、車両の保守作業上のむだが省かれる。

(3) 試験実行装置各部の出力を常時計算機で監視しているため、システムの実用信頼度が高い。

(4) 計測システムにおいては、回生付チョップ電車の出力を正確に自動計測できるよう、電磁誘導・静電誘導に対する対策のほか、コモンモードノイズに対しても、十分な対策が施されている。このため10<sup>-2</sup>Vの電圧測定・10<sup>-6</sup>秒といった高い測定分解能を有している。

(5) 低レベルな信号は、デジタル的に伝送されるため、アナログ伝送の場合に比し、信頼度が大幅に改善されている。

(6) カラーキャラクタディスプレイの活用により、試験員が複雑なコードを覚えていなくても、あらゆるモードの試験命令が可能となっている。また、車両動作状態を把握するのに必要なすべての情報が色別された文字により簡潔に伝えられるため、10両(1編成)の電車を対象に複雑な試験を高速度で処理しているにもかかわらず、試験員のオペレーションは簡単かつ容易である。

(7) カラーキャラクタディスプレイの活用により、各種のプログラム変更(判定基準値の変更、試験順序の変更など)がキーボード操作により容易に行えるため、フレキシブルなシステム運用が可能になっている。

(8) 自動音声通報装置と計算機との組合せにより、計算機の作業員への要求が話し言葉により伝えられるため、計算機要求の解釈が容易となり、誤操作などの原因が除かれている。

(9) 計算機のバックアップ装置である手動操作盤は、ボタンスイッチ操作でシステムの各部に必要な指令がすべて与えられるよう考慮されており、オペレーションが容易である。

### 7. む す び

以上、営団の電車総合試験装置についてその概要を述べたが、導入目的である試験作業の容易化・試験の正確化・試験内容の充実・データの合理的管理・試験工程の標準化・試験結果の信頼度向上・試験作業の能率化などはすべて満足されており、この装置を導入した目的は完全に達成されたと見えよう。

この装置は昭和50年4月より本か(稼)動に入る予定であり、現在本か動に備えて連日テストランが繰り返されている。営団としてはこのテストラン期間中に、要員の教習・作業手順の最適化・組織変更などの検討を行い、スムーズに本か動に入っていけるよう準備中である。

このようにこの装置は、まだ実使用の緒についたばかりであるため、今後運用の中で改良点も出てくると思われるが、関係者一同更に研究を重ねより良いものとしたい。

最後に、この装置の導入に当たって多大のご尽力をいただいた営団車両部・綾瀬工場・綾瀬検車区の方々に対し深く謝意を表すものとす。 (昭和50-1-7受付)

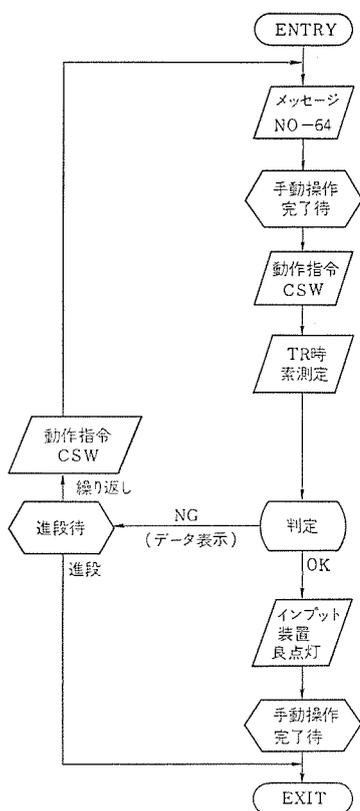


図 5. ブレーキ保安装置試験フロー

# 三菱電気バス用電機品

河辺正雄\*・三橋英一\*\*・久山研一†

## 1. ま え が き

近年、自動車の排出する一酸化炭素・炭化水素・窒素酸化物・鉛などによる大気汚染、あるいは騒音などのいわゆる自動車公害が、自動車の普及に伴って、特に都市部において重大な社会問題となっている。この対策の一環として、本質的に排気ガスを放出せず、また騒音も著しく低減できる電気自動車の開発が進められており、昭和46年からは通産省工業技術院の大形プロジェクトにも取りあげられている。

このプロジェクトの一環として、我々も電気自動車用電機品の研究を受託しているが、このうち、都市路線用電気バスについては第1次実験車による試験が完了し、実用試験の段階に入っている。また研究の成果を活用して当社は、神戸市交通局に電気バス用電機品を納入したが、優れた性能を発揮して実用に供されている。

ここでは、大形プロジェクトによる研究成果を中心としてこれら電気バス用電機品について紹介する。

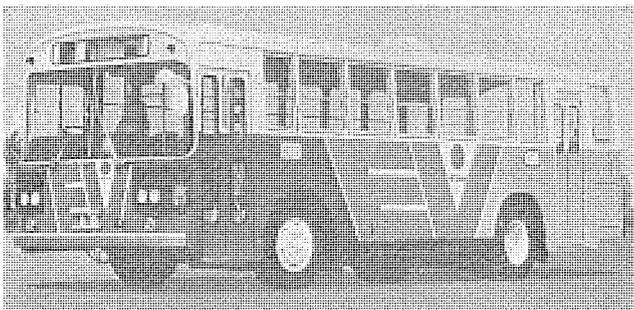


図 1. 電気バス外観 (通産省大形プロジェクト第1次実験車)

## 2. 電気システム

### 2.1 電気システムの特長

ここで述べる電気バスの電気方式は、電池だけをエネルギーとするいわゆる純電池方式である。駆動力源としては、直流電動機を使用し、最近急速に進歩したサイリスタチョップ装置によって高効率の連続無接点制御を行っている。電気駆動システムの概要は図 1. に示すとおりであり、次のような特長を有している。

- (1) 抜群の走行性能 (3.2 節参照)
  - (a) ディーゼルバスを上回る発進加速性能
  - (b) 都市内走行用として十分に高い最高速度
  - (c) 優れた登坂能力
- (2) 容易な運転操作と自然な運転感覚
  - (a) ギヤチェンジ不要
  - (b) アクセルペダルで発進加速度とバランス速度の両方をコントロールできる。(2.2 節, 2.3 節参照)
  - (c) エンジンブレーキ相当の回生ブレーキ (2.4 節参照)
  - (d) 敏速・スムーズな力行・回生切換え

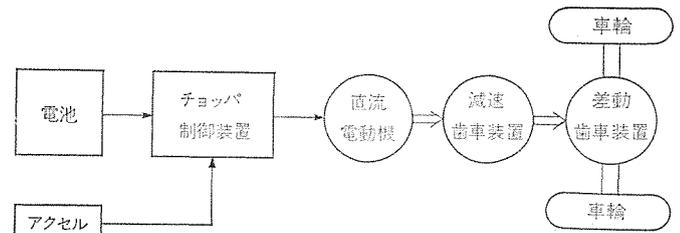


図 2. 電気バスの電気駆動システム

- (e) 後進時の自動速度制限
- (3) 快適な乗心地
  - (a) ソフトスタートと減流しゃ断
  - (b) ギヤチェンジなしのスムーズな加速
  - (c) 静かな運転音
- (4) 高効率
  - (a) 電力損の少ない電気システム
  - (b) 効率のよい電動機と制御装置
- (5) 万全の保護・安全対策
  - (a) 過熱・過速度時に回路しゃ断
  - (b) 過電流・過電圧時の回路開放
  - (c) 暴発予防
- (6) 高信頼性と省保守
  - (a) 車両用として十分に実績のある製作技術
  - (b) 制御装置の完全な無接点化
- (7) 小形・軽量
  - (a) 最新技術を駆使した小形軽量の電動機と制御装置
  - (b) コンパクトな構成機器と合理的な機器配置

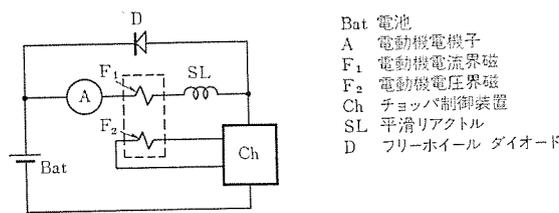
### 2.2 自動弱め界磁制御と通流率制限制御 (AVF & RCR)

直流電動機のうち、直巻電動機は起動時に大トルクを得やすいこと、制御が容易で安定であることなどの長所を有するため、車両の駆動用として一般に広く使用されている。ところが、電気自動車については、従来のエンジン自動車と同様の運転感覚を持たせることが望ましく、そのためにはアクセルペダルの踏込量によって加速度を変えらるとともに、踏込量に応じた速度で定速運転を行う必要がある。この目的には、一般に分巻電動機の特性が適していると言われていたが、当社ではチョップ制御の特性を巧妙に利用し、直巻電動機を使用し、しかも従来のエンジン自動車と同様の運転感覚を持たせる方法を開発した。この方法は

- (a) 自動弱め界磁制御 (AVF 制御)
- (b) 通流率制限制御 (RCR 制御)

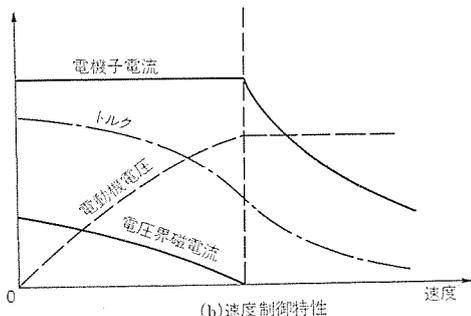
の併用によって行われる。

高速域でのトルク不足をカバーするため、一般に弱め界磁制御が行われるが、従来は界磁コイルを抵抗器で分路する方法が採られていたため、スイッチが必要になり、メンテナンスフリーにならない、界磁の強さが段階的にしか変えられないなどの欠点があった。これらの欠



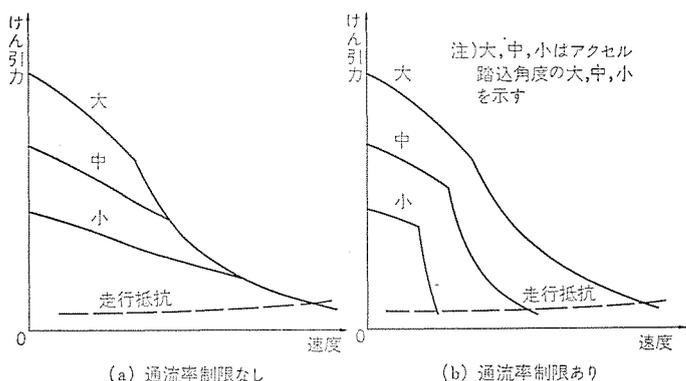
Bat 電池  
 A 電動機電機子  
 F<sub>1</sub> 電動機電流界磁  
 F<sub>2</sub> 電動機電圧界磁  
 Ch チョップ制御装置  
 SL 平滑リアクトル  
 D フリーホイール ダイオード

(a) 回路モデル



(b) 速度制御特性

図 3. 自動弱め界磁原理図



(a) 通流率制限なし

(b) 通流率制限あり

図 4. アクセル 連動通流率 制限制御説明図

点を解消し、しかも運転フィーリングを改良するために、図 3. (a) の原理図に示すような“自動弱め界磁(AVF)”を採用した。チョップのオン・オフの繰り返しによって電機子に加わる電圧を制御するとともに、F<sub>2</sub> 界磁(電圧界磁)に流れる電流の大きさも制御するのがその原理である。特性は図 3. (b) に示すように、電圧界磁の電流がチョップの通流率によって定まり、低速度では大きく、高速度では小さくなり、自動的に界磁の強さが変わる。

従来の電気自動車では、アクセルによって可変できるのは、加速電流値だけであるので、自動弱め界磁を使用しても、速度-けん引力特性は図 4. (a) のようになり、中~高速度域ではアクセルの踏み方を少々調節してもけん引力が変化しないので、自由に走行速度を選ぶことが困難であった。ところが、アクセルペダルの踏込角度に応じて最大通流率(したがって電動機電圧)を一定の限度に制限する制御(RCR)を付加すると、図 4. (b) の特性が得られ、このようにすると、速度-けん引力特性のアクセル開度による変化の様子が、従来のエンジン自動車と類似になるので、今までの自動車と同じようなフィーリングで運転することができる。(特許申請中)

### 2.3 回生ブレーキ

回生ブレーキの目的は大きく分けて、(a) 制動力を得ること、(b) 電池にエネルギーをもどすこと、の二つである。

制動力については、従来の内燃機関のエンジンブレーキに相当する制動力を回生ブレーキによって発揮させて、主として運転フィーリングを従来の自動車に近づけることを目的とする場合と、これより大きいブレーキ力を回生ブレーキに期待して、停止ブレーキにも回生ブレーキを利

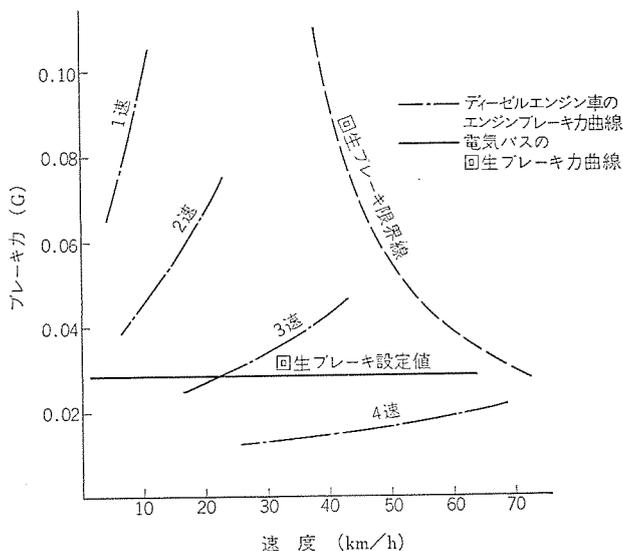


図 5. 回生ブレーキ特性

用する場合がある。後者の場合には、原理的に回生ブレーキは全速度域にわたって十分な大きさのブレーキ力を得ることができないので、従来の摩擦ブレーキを補助的に使わなければならないし、この協調が難しいし、また停止ブレーキを回生に頼ることは安全面での問題もある。

したがって、この電気バスでは、回生ブレーキはエンジンブレーキの代用となる程度のブレーキ力を得るにとどめ、アクセルペダルをもどした位置で回生ブレーキが作用するようにしている。回生ブレーキ力としては 0.03 G を標準とし、最高速度から低速まで一定のブレーキ力が得られるようにした。このブレーキ力は、従来のバスの 3 速のエンジンブレーキ力にほぼ相当するが、設定値はかなり自由に選ぶことができる(図 5. 参照)。

## 3. 車両要目と走行性能

### 3.1 標準車両要目

下記の要目を有する車両を対象として電機品が設計されているが、用途・路線条件・要求性能などに応じて、電池電圧・減速比などを変更してオプションとすることができる。

(1) 対象車両	車種	都市内路線用バス
	定員	約 70 名
	車両重量	約 14,000 kg (定員乗車時)
(2) 電池	電圧	384~432 V (公称値)
	容量	310~400 Ah/5 h
(3) 電動機		(5.1 節参照)
(4) 制御装置		(5.2 節参照)
(5) 動力伝達装置	方式	減速歯車装置及び差動歯車装置
	総減速比	約 16.6 (変速機なし)
(6) タイヤ	形式	9.00-20-14 PR
	半径	490 mm (計算用)
(7) 機器配置		図 6. に示す。

### 3.2 標準走行性能

走行性能は、電池の状態(電池電圧・放電状態・電流電圧特性・充放電回数など)によって大きく変化するが、ここでは 350 Ah/5 h, 432 V の鉛電池を使用し、満充電状態での走行性能を示す。

走行性能曲線は図 7. に示すように、アクセル踏込量をパラメータと

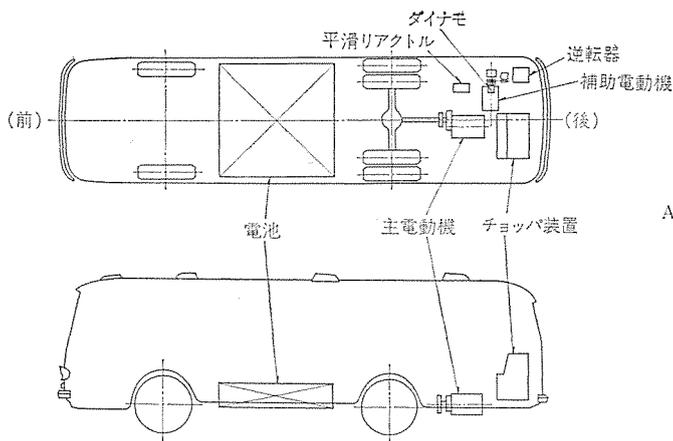


図 6. 主要電機品配置図

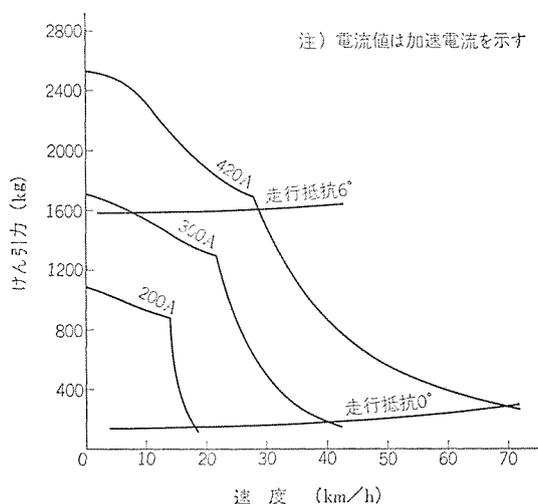


図 7. 走行性能曲線

して描いてあるが、踏込量最大のときの性能は次のとおり。

- (1) 最高速度 70 km/h
- (2) 6° ころ配登坂速度 29 km/h
- (3) 最大登坂能力 16 %
- (4) 加速時間  
0~30 km/h 6.5 s  
0~200 m 20.5 s
- (5) 1 充電走行距離 40 km/h 連続 210 km 以上

#### 4. 電気回路

##### 4.1 主回路

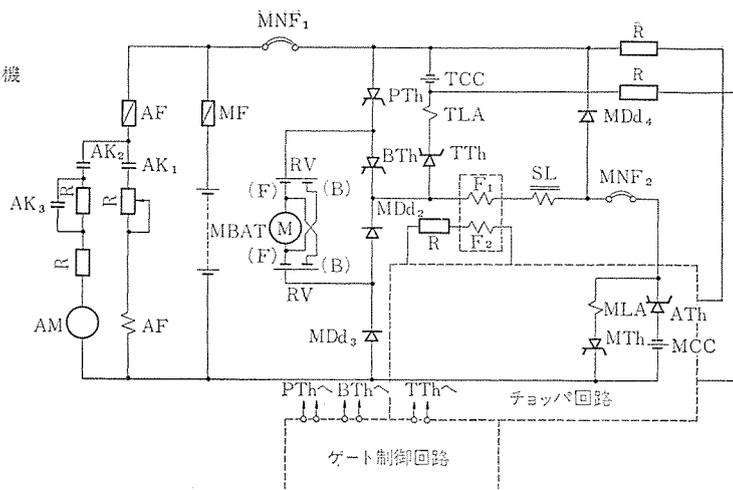
主電池に接続されているいわゆる主回路を図 8. に示した。この主回路は、主電動機回路と補助電動機回路とに分けられ、更に主電動機回路は、

- (a) 電流制御用チョップ回路
- (b) 力行-回生切換回路
- (c) 前進-後進切換回路
- (d) 保護回路

より構成されている。主回路のほかにチョップのゲート制御回路が付加されている。

チョップ回路は、逆導通サイリスタを用いた反転サイクル方式を採用しており、このために素子数が少なく、回路も簡単になるとともに、転流用のリアクトルとコンデンサを小さくすることができた。

力行-回生の切換えは、路線バスの運行を考えたとき、転換ひん度が大きく、また転換時間も短いことが要求されるので、サイリスタと



MBAT 主電池	断器	MLA, TLA 転流リアクトル
M 主電動機電機子	MTh 主サイリスタ	MCC, TCC 転流コンデンサ
F <sub>1</sub> 主電動機電流界磁	ATh 消弧サイリスタ	RV 逆転器
F <sub>2</sub> 主電動機電圧界磁	PTh 力行サイリスタ	AM 補助電動機電機子
SL 平滑リアクトル	BTh 回生サイリスタ	AF 補助電動機界磁
MF, AF ヒューズ	TTh 切換サイリスタ	AK 1~3 接融器
MNF 1~2 ノーヒューズレシャ	MDd 2~4 ダイオード	R 抵抗

図 8. 主回路つなぎ図

ダイオードを用いた無接点切換方式としている。図 8. の PTh, BTh, TTh, MDd<sub>2</sub>, MDd<sub>3</sub> がこれに相当する。

前進-後進切換回路は、動作ひん度が小さいので、有接点の転換器を使用し、運転席の切換指令によって空気シリンダで転換する方式としている。

保護回路は、ヒューズとノーヒューズレシャ断器で構成してあり、ヒューズは、主電池とチョップ装置の間で過大電流が流れた場合にレシャ断され、ノーヒューズレシャ断器は、チョップ装置が関係している部分で異常を生じたときにレシャ断されるように、保護範囲が分担されている。

補助電動機回路は、運転席のキースイッチ投入によって自動的に界磁回路が投入された後、電機子が 2 段起動される構成となっている。

ゲート制御回路の構成は、限流値を決定する電流パターンと、通流率を決定する電圧パターンとを発生させ、これと主回路帰還量(電動機電流を DCCCT で検知)を比較し、その偏差によってチョップに位相制御信号を与えるようになっている。

##### 4.2 操作と動作

車の運転操作は、運転席からアクセルペダルなどで行われるが、この指令はゲート制御回路を通してチョップ装置を次のように動作させる。

(1) アクセルペダルを踏み込むと、ゲート制御回路に力行指令が与えられ、主回路の力行サイリスタ PTh がオンされるとともに、主サイリスタ MTh と消弧サイリスタ ATh とが交互に動作を始めて力行が開始される。

(2) アクセルペダルをいっぱい踏み込むと、力行パターン発生器からのパターン電圧が最大となり、これがゲート制御回路に与えられて加速電流が最大となり、加速力も最大となる。チョップ通流率が最大となる速度まで加速された後は、通流率は最大値のまま、車は電動機の最弱界磁の特性に従って最高速度まで加速される。

(3) アクセルペダルの踏込みを途中の位置にとどめると、パターン電圧は途中の値となり、この値に比例した加速力で加速されるが、パターン電圧に比例した速度に達すると、急速に加速電流が絞られて加速力が急減し、走行抵抗とバランスする速度で定速運転される。

(4) アクセルペダルを元にもどすと、力行サイリスタ PTh がオフとなり、次いでゲート制御回路に回生ブレーキ指令が与えられ、制動サイリスタ

表 1. 保護動作

No.	異常状態	検知器	保護動作
1	過大電流が流れたとき	過電流検知器	ノーヒューズブレーカを強制的に開放する
2	過大電圧が発生したとき	過電圧検知器	同上
3	電圧が大きく下がったとき	低電圧検知器	ゲート制御回路内の力行指令を開放する
4	主電動機の温度が高くなったとき	電動機埋込み温度検知器	運転台温度警報ランプを点灯する
5	力行ペダルをききに踏み込んだまま運転台スイッチを投入したとき	暴発予防リレー	力行ペダルを1度元の位置に釈放しないと力行指令回路ができない
6	圧縮空気圧力が低下したとき	気圧スイッチ	力行指令回路ができない
7	戸が閉じられていないとき	戸閉連動リレー	同上
8	主蓄電池端子付近で短絡したとき	元ヒューズ	元ヒューズ溶断
9	制御電源オフ中に過大電流が発生したとき	磁気感応リレー	ノーヒューズブレーカを強制的に開放する
10	車の速度が過大になったとき	速度検知器	力行から回生制動に切り換わり抑速する

BTh がオンされるとともに、MTh と ATh とが交互に動作を始めて回生ブレーキが作用する。

(5) 車が停止していれば回生電流が発生しないので、回生電流検知器によって回生ブレーキ回路は開放となる。

(6) 逆転ハンドルを前進から後進に転換すると、アクセルペダルの踏込量に応じて起動加速力は加減されるが、速度はこれに関係なく低い値に押しえられるので、安全に後進できる。

#### 4.3 保護

主電気回路に関係する異常事態に対しては、表 1. に示すように万全の保護が行われる。

### 5. 主要電機品

#### 5.1 主電動機

主電動機は、最新の設計製作技術を適用して小形・軽量かつ堅ろうなものとしており、都市内路線走行に十分な 75 kW の容量を有している。要目は次のとおり。

形式	直流直巻(弱め界磁制御用巻線付)、保護形自己通風式
形名	MB-3188 形
1時間定格	75 kW 375 V 224 A 2,200 rpm
最高許容回転数	6,800 rpm
絶縁クラス	F 種
最弱界磁率	38.7 % (自動弱め界磁)
重量	380 kg

外観は図 9. に示すとおりである。

定格回転数は 2,200 rpm であるが、最高は 6,800 rpm と極めて高い回転速度を許容し、制御範囲を広くとってあるので、ギヤチェンジなしで全速度域を十分にカバーすることができる。

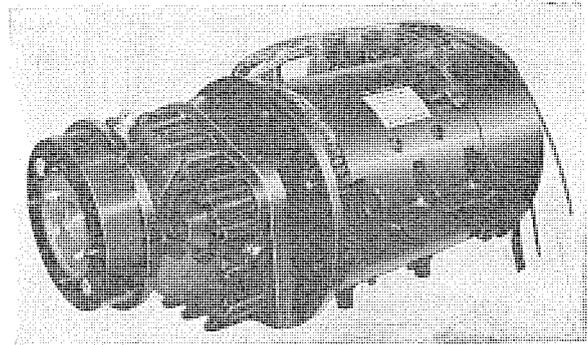


図 9. MB-3188 形主電動機外観



図 10. 車体後部に取付けられたチョップ箱外観

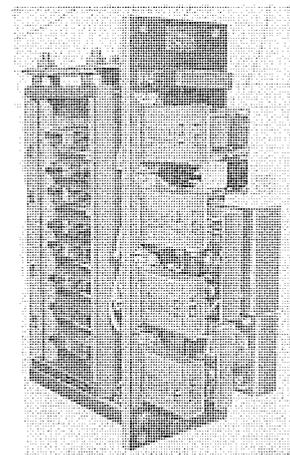


図 11. サイリスタユニット

絶縁には耐熱有機絶縁物を使用し、無溶剤エポキシワニス の真空含浸によって一体固化を行い、耐熱性・機械的強度ともに優れた組織を形成している。また、電機子コイルと整流子との接続は TIG 溶接で行い、オーバートによる故障の皆無を図っている。

#### 5.2 制御機器

制御機器は、次のようにブロックにまとめた上、車体に取付けられている。

- (1) チョップ箱(外観は図 10.)
- (2) 平滑リアクトル
- (3) 逆転器箱
- (4) 自動弱め界磁用及び補助電動機用抵抗わく
- (5) ノーヒューズしゃ断器
- (6) 加速電流パターン発生器

チョップ装置の大半は、チョップ箱に収納されており、車体後部のインジウム内に納まるよう、小形・軽量化に特に努力を払ってある。

サイリスタ及びダイオードの合計 8 個を、2 個のスタックにまとめてあり、

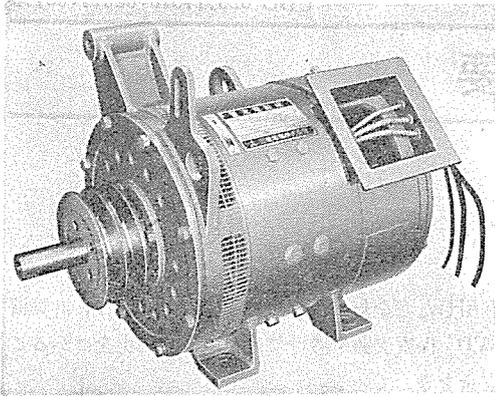


図 12. A-347 形補助電動機外観

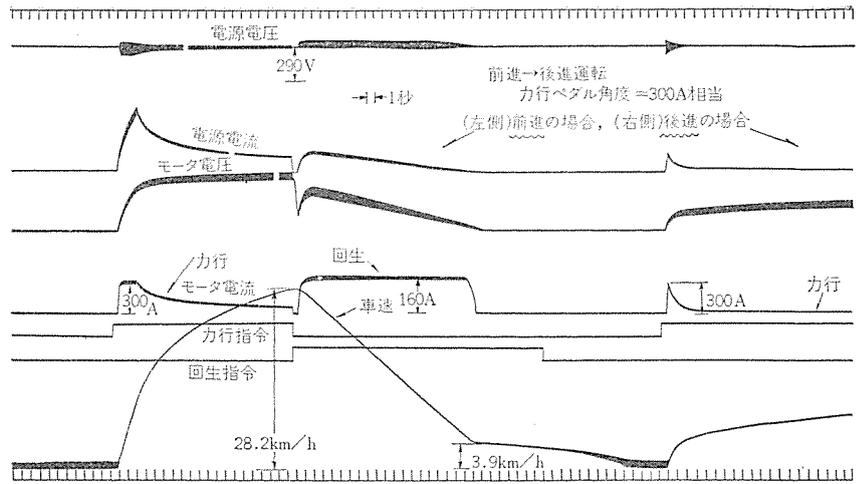


図 13. 工場試験 オシログラム

専用のブローで強制冷却するとともに、内蔵の風速検知器でこれを監視している。

加速電流パターン発生器は、運転席のアクセルペダルで操作され、加速トルクとパルス速度との指令を発生するもので、長寿命と高信頼度が要求されるので、新幹線電車などで実績のある可変抵抗方式を採用した。

### 5.3 補助電動機

ダイナモ、パワステアリング用オイルポンプ及びエアコンプレッサを駆動するために、補助電動機を使用している。電動機は直流分巻、自己通風式であって、主電池を電源とし、3kWの1時間定格出力を有する。ダイナモは補助電動機わくに取り付けられてベルト駆動、オイルポンプは直結駆動、コンプレッサはベルト駆動されている。外観を図12.に示す。

## 6. 試験結果

### 6.1 工場試験

主電動機とチョップ装置とを組合せ、等価負荷試験装置を用いて工場試験を行ったときのオシログラムの一例を図13.に示す。加速・減速はなめらかであり、回生への切換わり、及び回生電流の立上がりも良好である。回生ブレーキは速度約4km/hまで作用しており、回生有効速度範囲は十分に広い。後進では、起動直後まではアクセルペダルの踏込角度に応じた加速電流で加速されているが、すぐに電流が大幅に絞られて低い速度が保たれている。

また、力行及び回生の指令が出てから、電流立上がりまでの遅れ時間が短いので、運転感覚は良好と思われる。

### 6.2 実車試験

432V、350Ah/5hの電池を使用し、満充電状態で実車走行試験を行ったときの加速特性を図14.に示した。0~30km/hの加速時間は、実測で6秒であり、極めて高い加速度が得られている。こう配に対する登坂車速を図15.に示した。

40km/hで定速運転時の1充電走行距離は210~220kmであるが、通常の都市内路線走行では、1充電走行70~80km/hで使用できる。なお、450Ah/5hの電池を使用した試験では、40km/hの定速運転時の1充電走行距離は330kmに達した。

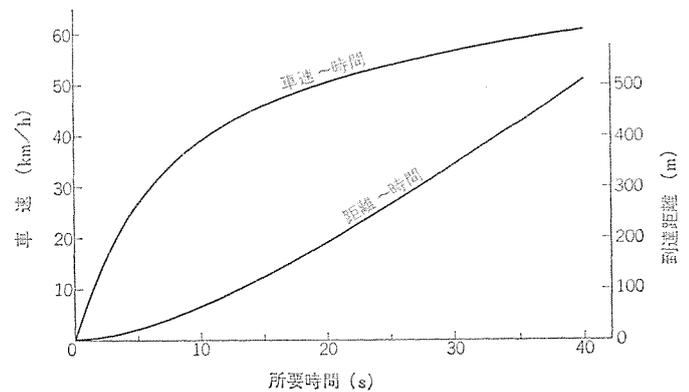


図 14. 発進加速特性

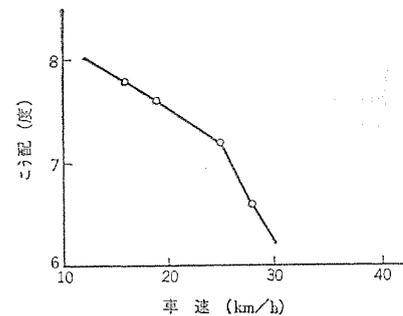


図 15. 登坂性能曲線

## 7. むすび

電気自動車のうちでも、運行ルートが固定している路線用電気バスは、使用条件や負荷条件が明確であること、専門の運転者によって運転されること、車庫設備が整備できることなどのために、電氣化に伴う問題点が解決しやすく、今後急速に実用化が進むことが期待されている。しかし、電気バスとしての歴史は長いものの、最新技術を導入した再出発からはまだ日も浅く、今後更に使いやすく、安価でしかも安定した品質の電機品を供給するため、一層の努力が必要と考えられる。

最後に、今回、電気バス開発のプロジェクトをリードされた通産省の関係者各位、及びご協力とご支援をいただいたユーザ各位に厚く感謝の意を表す次第である。

# 三菱軌道バス・MATシステム試験線の概要

穴見真二郎\*・露木益郎\*\*・六藤孝雄+・八幡敏雄++・祖父江幸男\*\*

## 1. ま え が き

三菱軌道バス・MATシステム (Mitsubishi Automatic Transportation System) は、当社が三菱重工業(株)と共同開発した新しい交通システムである。MATシステムは、ニュータウン内及びニュータウンと最寄りの鉄道駅を結ぶ交通機関、空港内の交通機関などに適用されるべく開発されたもので、次のような特長をもっている。

(1) 輸送量は、バスと鉄道の間で相当し、1時間片道5,000人～15,000人を基本としており、マイクロバス程度の大きさの車両(定員32人、満員50人程度)を輸送需要に応じて、車両編成と運転間隔を変えることにより、きめこまかいサービスを提供できる。ラッシュ時には、最小運転間隔90秒の高密度運転を行い、深夜・早朝などの超閑散時には、デマンド運転も行うことができる。

(2) 電気駆動、ゴムタイヤの採用により、排気ガスが無く、騒音、振動なども従来の交通機関に比べて著しく小さく、快適な乗心地となっている。

(3) 計算機を利用した完全無人運転可能なシステムであり、計算機制御とは別系のATC保安装置を設けて列車の衝突防止をはかることにより乗客の安全を守っている。

(4) 車両の回転半径が小さく、登坂力がすぐれているため、路線計画が容易にでき、用地費の軽減を図ることができる。更に、小形軽量車両なので、軌道けた(桁)は、構造が簡単で、軽量となり、現地工事の簡略化、工期の短縮、工費の節減が図れる。

当社は、システムの安全性、信頼性、経済性などの確認と実用化促進のために、昭和48年9月、三菱重工業の工場用地に路線長710mの本格的な試験線を建設し、現在まで各種試験を行ってきた。

ここでは、試験線の規模、車両、通信、自動運転の概要及び試験結果の一部を述べる。

## 2. 試験線の概要

試験線の路線計画にあたっては、最小の設備でMATシステムの実用化のための試験を広範囲に実施できるように種々の路線案を検討した結果、図2.に示すような分岐、半径10mのループを含む路線を建設した。

路線とおもな施設の概略仕様は、次のとおりである。

- (1) 路線延長 単線 710 m  
内訳 地上部 595 m  
高架部 115 m
- (2) 曲線の種類 10 m, 100 m, 200 m
- (3) 最急こう配 40 ‰
- (4) 縦曲線半径 500 m
- (5) 緩和曲線の線形 3次放物線
- (6) 分岐器 1カ所 180度回転式
- (7) 駅 A駅, B駅の2カ所

A駅: 車両のとびらと連動閉鎖する自動とびらを設置  
B駅: 監視用ITVカメラを設置

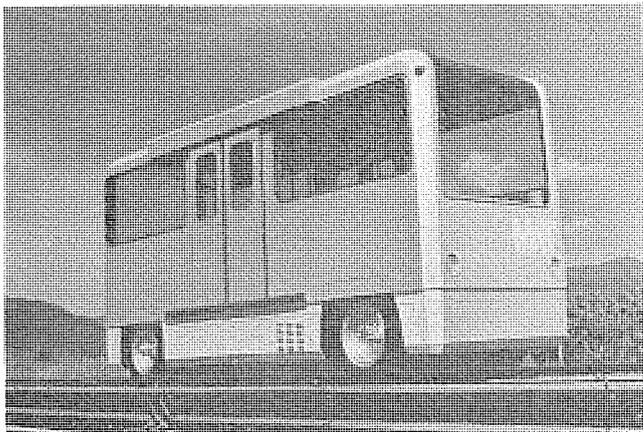


図1. 軌道バス

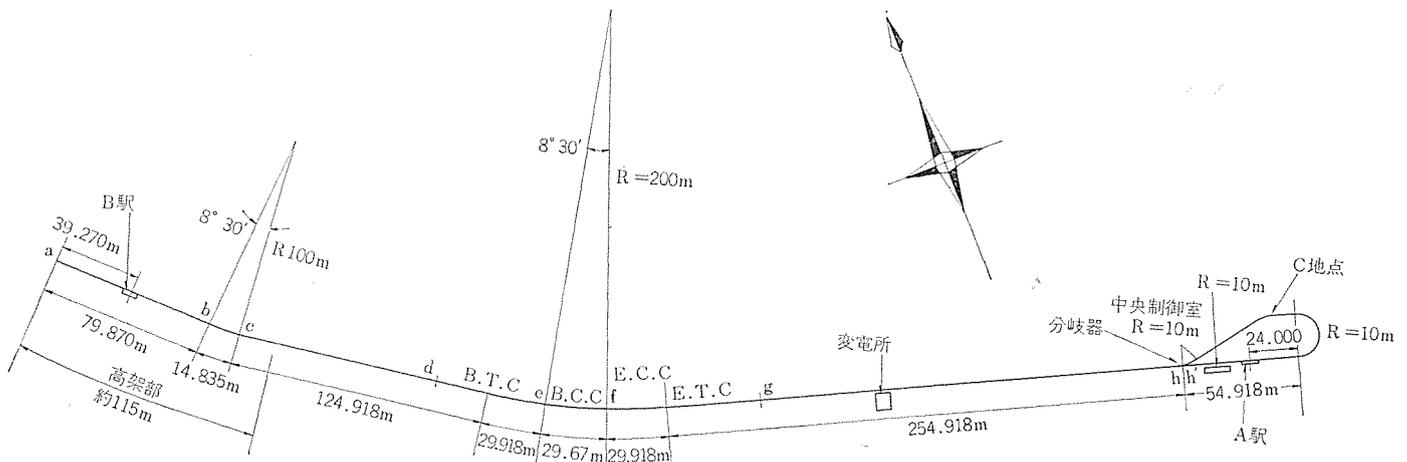


図2. 路線平面図



図 3. 中央指令室

- (8) 中央指令室 1カ所 1階建
- (9) 変電所 1カ所  
容量 350kVA AC 3φ 60Hz  
6.6kV/275, 220, 110V
- (10) 軌道けた H形鋼の溶接構造 左右2本の走行けた  
中央案内けた
- (11) 電車線 アルミニウム 合金押出材の剛体 トロリ 3線
- (12) 車両 2両

### 3. 車 両

#### 3.1 車両の概要

実路線における車両は、経済性を考慮して、M-M基本ユニットを輸送需要に応じて数ユニット連結する方式をとるが、試験線では、基本ユニットのうちのM車と外形上は全く同じで電気機器を1両に集中とう(搭)載させた電動客車(1号車)と試験のみを目的とした屋根なしの鋼製簡易電動車(2号車)を製作した。図4.に1号車の形式図を、図5.に走行装置形式図を、表1.に仕様を示す。

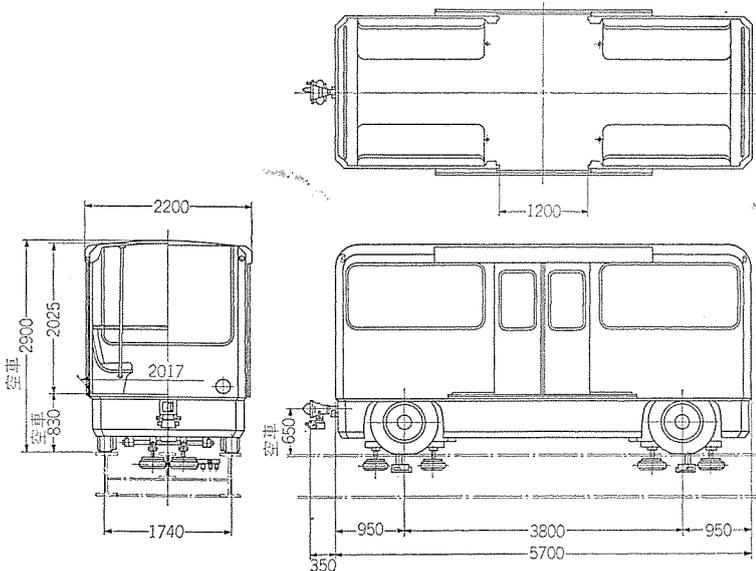


図 4. 車両形式図 (1号車)

表 1. 車両の仕様 (1号車)

項 目	仕 様
乗 客 数	座 席 16人 定 員 38人
車 両 重 量	6.28 t (実路線使用の車両は 5.00 t)
車 両 最 大 寸 法	車 長 5700 mm 車 幅 2200 mm 高 さ 2900 mm (空車時)
案 内 方 式	中央案内方式
軸 間 距 離	3800 mm
車 体	軽合金溶接構造
走 り 装 置	ゴム車輪独立車輪方式 空気ばね支持 路面間距離 1740 mm
電 気 方 式	AC 3φ, 60 Hz, 275 V
主 電 動 機	DC 325 V, 220 A, 65 kW
制 御 方 式	サイリスタ位相制御 応荷重装置付
ブ レ ー キ 装 置	空気ブレーキ
戸 閉 装 置	空気操作自動閉
暖 房 装 置	電熱器式 0.74×4 kW
空 調 装 置	冷房能力 12000 kcal/h 送風量 2100 m³/h
連 結 装 置	密着自動連結器
集 電 装 置	給電軌条上面接触式 2コ/両
放 送 装 置	車載テーブルプレーヤによる案内放送
運 転 方 式	完全自動運転, マスターコントロールによる車上手動運転可
車 両 性 能	最高運転速度 60 km/h, ただし特殊試験では 70 km/h 加 速 度 3 km/h/s 減 速 度 常用最大 4 km/h/s 非常 6 km/h/s 最小回転半径 10 m 最大登坂力 10%

#### 3.2 推進駆動方式

MAT システムでは、多数の列車を短い時間間隔で運転を行うので、正確な速度制御が必要である。更に、限られたき装スペースも考慮に入れると、三相交流を電源としたサイリスタ位相制御による実績のある直流電動機方式が最適である。試験線の試作車にもこの方式を取り入れ、所期の性能を発揮している。

#### 3.3 ブレーキ方式

ブレーキ方式は、実路線では空気ブレーキと電力回生ブレーキを併用する電空併用電磁直通ブレーキ方式を採用するが、回生ブレーキは、既に確立した技術であるので、今回の試作車両では取り上げず、空気ブレーキだけを設けている。空気ブレーキの制御ステップは、7段(B1~B7)で、別系に非常ブレーキを備えている。

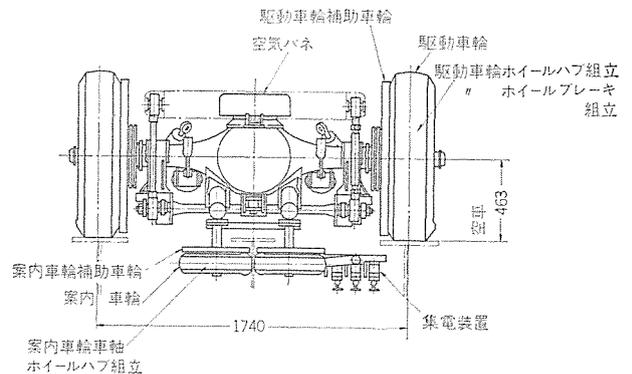


図 5. 走行懸架装置形式図 (駆動軸側)

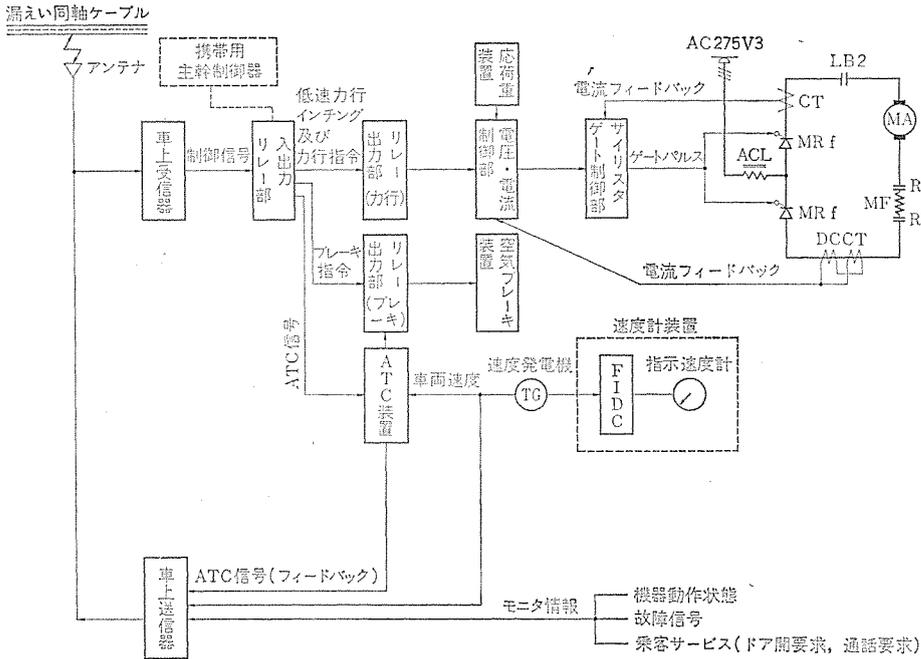


図 6. 制御ブロック図(車上)

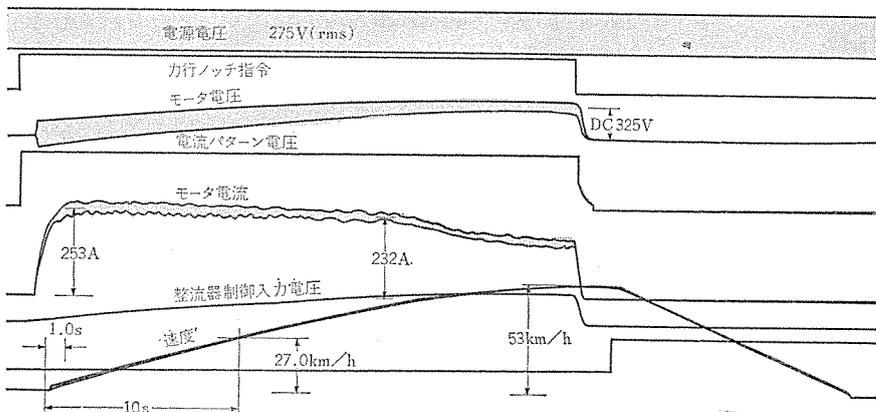


図 7. 走行オシログラム(7ノッチ運転, 空車)

### 3.4 速度制御と保護機能

試験線では、全地上制御を実施しているため、車両の加減速制御は、すべて地上の中央指令室からの指令によって自動的に行われる。車上では、指令室からの制御指令によって各機器が動作するが、一方、車上からは、速度や機器の動作状態などが監視信号として地上へ送信される。

指令室から送られてくる力行ノッチ指令により車上の制御装置の電圧電流制御部で電圧パターンを発生する。一方、車上の応荷重装置によって荷重条件が入力され、これによって電流パターンを発生する。サイリスタレオナード装置は、パターンに比例した直流出力を出して主電動機を駆動する。このとき、主電動機電流は、直流変流器によって検出され、電流制御部へ帰還されて電流パターンと比較制御され、定電流を保つ。このようにして定電流制御のもとでサイリスタレオナード装置の出力電圧が次第に上がり、指令ノッチ電圧に達すると、位相角が固定し、以後は一定の出力電圧が主電動機に印加され、その特性に従って加速される。車両の制御ブロック図を図6に示す。

車両の異常検知機能としては、交流側接地検出、サイリスタレオナード装置過電流検出、主電動機過電流検出、離線検知、制御電圧低下検知、連結解放の動作検知、車両の後退検知、空気圧低下検知などが

あり、これらの検知回路によりそれぞれの回路が保護され、同時に地上へ信号を送るようになっている。

### 3.5 車両試験及び電波障害試験

車両の試験としては、起動及び走行性能試験、ブレーキ性能試験、車両騒音測定、車両振動測定、連結性能試験、走行抵抗測定など種々の条件で行ったが、いずれも仕様、性能を満足している。図7.に起動試験のオシログラムの一例を示す。

家庭のTV受信に及ぼす影響を調査するためにふく(輻)射電磁波のスペクトル分析を実施したが、妨害電波は測定できぬほどに微弱であり、また実際にテレビ受像機やラジオを軌道近傍に置いて映像や音声を監視したが、ノイズの影響を全く受けないことが確認された。

## 4. 情報伝送

自動運転制御に関する情報伝送には、信頼性の高いシステムが要求され、列車の在線区間識別もあわせて、極超短波帯LCX(漏えい同軸ケーブル)方式による高品質・高信頼度の列車通信方式を開発して現車試験を実施した。

試験線における情報伝送システムの構成を図8.に示す。

指令室の制御盤を制御中枢とし、軌道に沿って架設された漏えい同軸ケーブル(LCX)を介して、走行中の列車との間に音声(緊急放送・通話)及び符号(制御指令・モニタリング情報)を送る。また、ゴムタイヤ車両であるために従来の鉄道における軌道回路による閉そく区間列車在線検知方式が用いられないので、閉そく区間(SE1~SE8)に対応して

LCXケーブルを分割し、地上無線局受信入力による在線検知をあわせて行っている。ほかに、駅ホームにおける乗降状態監視のためにビデオ直送方式によるITV装置を設け、制御室操作車には自動放送装置とともにITV受像機を実装している。

### 4.1 装置の仕様

#### (1) 無線装置

通信方式	複信方式
送信出力	1W
電波形式及び周波数	
地上局	F <sub>1</sub> 468.95 MHz
車上局	F <sub>2</sub> 458.025 MHz
変調方式	周波数変調
空中線	地上局 LCXケーブル 車上局 ダイポールアンテナ
受信方式	単一スーパーヘテロダイン方式

#### (2) 情報伝送装置

変調方式	FSK方式
伝送速度	1,200ボ-
符号方式	隣接位相反転符号

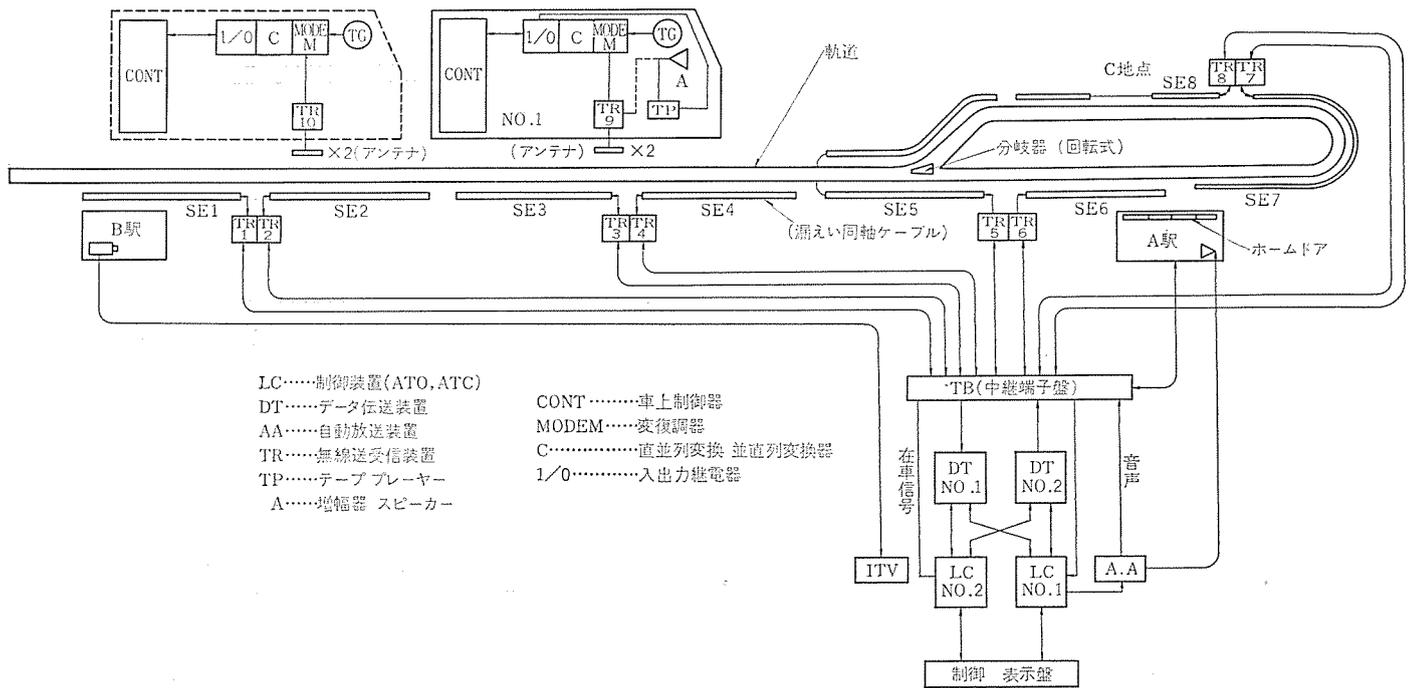


図 8. 伝送系概要図

同期方式 調歩同期

誤り検出方式

隣接反転 パリティチェック 同期 パターンチェック

総数検定の併用

伝送情報 1ワード 17点

伝送周期 60ms

#### 4.2 列車無線系

この系は、LCX ケーブルを架設し、1対の無線周波による密結合無線通信方式であり、列車が閉そく区間を移行する場合、隣接2区間の地上受信機のスケルチ信号出力に対応して伝送制御盤から出力される送信機起動信号によって瞬時に切換え、在線区間の地上無線局との通信を可能にしている。

試作車による試験の結果は、次のとおりである。

##### (1) LCX 結合特性

ダイポールアンテナとLCXとの間隔を25cmとした場合の地上局受信入力レベルは、図9.のとおりであり、変動幅は、10dB以内である。

##### (2) LCX ふく射特性

ふく射波の減衰特性は、図10.のような特性を示しているが、試験線での近接区間におけるD/U比は、約20dB得られている。

##### (3) 回線 S/N

指令室と車両間の対列車通信回線のS/Nは、力行運転時にノイズレベルが約10dB増加するが、30dB以上の良質な回線となっている。

#### 4.3 情報伝送系

中央の制御装置からの制御信号は、符号変換して変調され、車上受信される。車上では、復調、符号変換されて制御信号として出力し、列車の運転制御が行われる。また、伝送制御盤からの送信区間指定信号により制御信号が在線区間に対して順次送信される。一方、区間内の列車では、受信信号の搬送波を検出し、列車の動作情報を逆の経路を経て返送する。

試作車によって次のように基本性能を確認した。

##### (1) 信号伝送レスポンス

伝送遅れ時間は、1号車と2号車に対して同時に送信した場合に

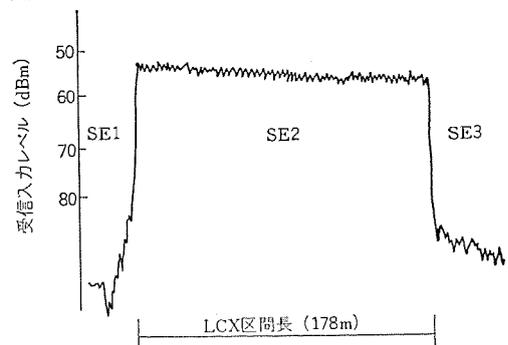


図 9. 地上局受信入力レベル

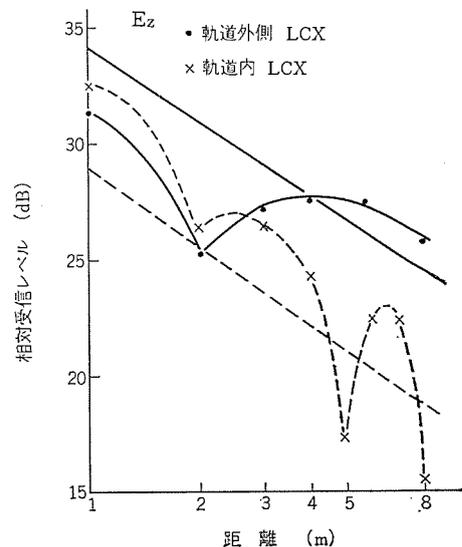


図 10. ふく射特性

180ms以内であり、許容レスポンス内である。

##### (2) 符号誤り率

符号送信ワード数に対する受信検定不良ワード数を計数した結果、イレメント誤り率は、 $10^{-6}$ 以下である。

## 5. 列車保安システム

MAT 自動運転制御において、運転の保安は、自動運転装置とは別の系で構成された ATC システムによって確保されている。

列車在線検知方式としては、ゴムタイヤ車両を使用しているため、従来の鉄道のようにレールに信号電流を流して鉄車輪で短絡する ATC システムを採用できないので、地上に在線区間に対応して在線メモリ回路を構成し、列車が隣りの閉そく区間に進入してはじめて、既に通過した閉そく区間の在線メモリをリセットする、いわゆる NEXT-IN-RESET 方式を採用している。この方式によれば、在線検知系で何らかの故障（車両側の在線検知用発振機故障や地上在線ケーブル断線など）が発生した場合には、故障した閉そく区間で在線メモリ回路が在線を保持していて後続車をこの閉そく区間の手前で停止させることができる。この記憶は、継電器の落下状態で「在線あり」の状態としているので継電器自体の故障が発生しても列車が在線している状態になりフェイルセーフに作用する。試験線でも安全性が確認されている。

## 6. 自動運転制御

自動運転制御としては、列車の運転制御、進路制御並びに乗客サービス、機器の異常監視（モニタリング）などがある。試験線では、全地上集中制御方式を採用し、将来の実路線への適用も考慮してワイヤードロジック専用機とその中枢機能を電子計算機に置き換えた場合の両者について試験している。

### 6.1 運行モード

試験線において車両を走行させる場合、分岐器の転換の状態、車両の進行方向、車両相互の連結・解放の点から種々の走行形態が考えられる。自動運転・手動運転に限らず、車両走行の保安を確保する必要がある。

試験線における運行は、主として保安を確保する ATC システムの面から図 11. の運行形式に示す五つの運行モードに分類されている。

#### (1) 運行モード1

A 駅 - B 駅間における往復運転モードで、分岐器は定位側に転換させる。

#### (2) 運行モード2

A 駅 - B 駅間における往復運転モードで、分岐器は反位側に転換させる。

#### (3) 運行モード3

A 駅 - B 駅間における往復運転モードであるが、1号車を A 駅定位側に、また、2号車を A 駅反位側に振り分けて同時に運行する。

下り運転時には1号車が先に、また、上り運転時には2号車が先に発車する。

#### (4) 運行モード4

下り運転時に B 駅で1号車と2号車を分離し、まず、1号車を走行させ閉そく SE3 に停止させた後、2号車を発車させて連結させる。連結後 A 駅まで走行させる。上り運転時には A 駅から B 駅まで走行させる。

#### (5) 運行モード5

このモードは、手動運転扱いにより上記 1, 2, 3, 4 以外の運行を実施するためのもので特に決められた運行形態はないが、路線条件による速度制約を受けるので補助的に速度制限機能が付加されている。

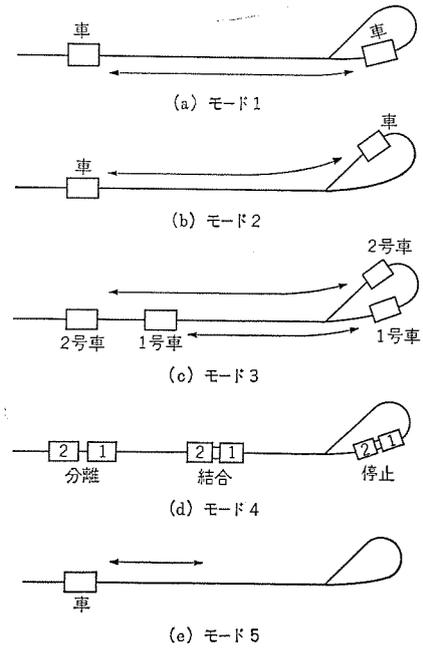


図 11. 運行形式

### 6.2 運転モード

車両を走行させるための運転扱いを次のように分類している。

#### (1) 手動運転モード

車両の走行制御をすべて手動扱いによって実施するもので 1~5 の運行モードは、すべて実施可能であり、運転扱いは、車上と地上のどちらに位置しても運転することができる。

#### (2) 自動運転モード

運転モード 1~4 が実施可能である。

車両の発車制御は、試験線としての性格上、操作員並びに試験員に対する安全上の理由から安全確認後、手動操作で発車スイッチを押して実施されるが、実路線のことも考慮し、自動発車制御も可能なようにしている。

#### (3) デマンド運転モード

A 駅並びに B 駅のホームにおいて乗客がデマンドスイッチを押すことにより、車両が呼ばれて乗客を希望する駅に輸送する形式の自動運転扱いである。

### 6.3 自動制御内容

#### (1) 駅間走行制御

A 駅(定位側, 反位側), B 駅相互間を走行中の車両の速度制御を行う。

速度制御としては、安定した制御と乗心地のよい運転を行うためにヒステリシスをもたせた速度ゾーン制御方式を採用している。

#### (2) 定位置停止制御

駅において車両ドアと駅ドアが一致するように定められた位置に停止させる。

停止パターンと列車の速度を常に比較しながらブレーキゾーンを選択する方式である。

#### (3) 車両ドア・駅ドア自動開閉制御

列車が駅の定位置に停止したことを確認後、車両ドアと駅ドアが同期的に自動開閉される。

#### (4) 発車制御

操作卓から方向転換や出発指令が行われたときに、車両状態などの出発条件をチェックして駅間走行制御に移す。

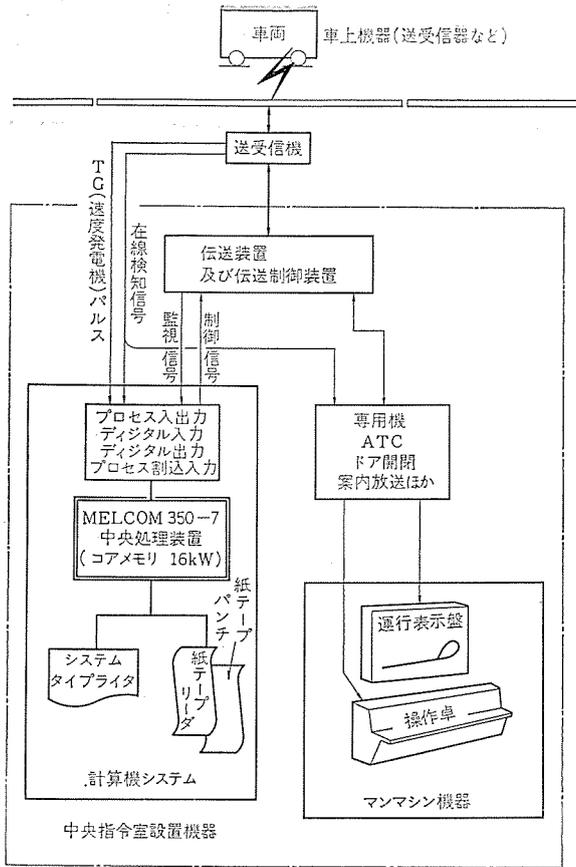


図 12. 計算機による自動運転システム構成図

(5) 自動案内放送制御

列車及び駅の乗客に対して自動的に案内放送を行う。

(6) 進路制御

列車の行先に応じて分岐の制御を行う。

(7) 連結・解放制御

連結して停止している2両の車両を自動的に解放して単独走行したり、再び自動的に連結したりする。

6.4 システムの構成

6.4.1 ワイヤードロジック専用機システム

列車の運転制御やサービス業務までを含めて運行管理を集中的に行うため、ワイヤードロジックで駅間走行制御と定位置停止制御、ATC信号発生とその論理、シミュレーション及び分岐やドアの制御などを論理的に包含した装置を中心とし、伝送系、車上機器及びマンマシンインタフェース機器から構成されている。

6.4.2 計算機システム

ワイヤードロジックの一部の機能を計算機制御に置き換えた場合には、図12.に示されるように高性能・高信頼度の小形制御用計算機MELCOM 350-7を中心としたシステム構成となっている。

計算機の処理機能としては、駅間走行速度制御、定位置停止制御、連結・解放制御、発車制御を受持っている。

駅間走行速度制御は、ワイヤードロジック専用機と基本的には同じであるが、一つの閉そく区間を更に2~3分割でき、よりきめ細かい制御を可能としている。

定位置停止制御は、ワイヤードロジック専用機と同様の方式を計算機制御用に改良したゾーン制御方式と、計算機の特長をより有効に活用するために新たに開発した予測方式との2種類について試験してい

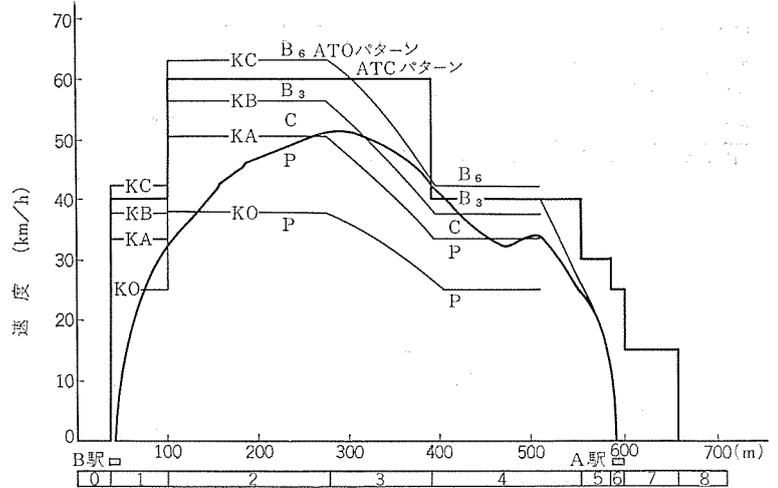


図 13. 駅間走行曲線 (モード1, 下り運転)

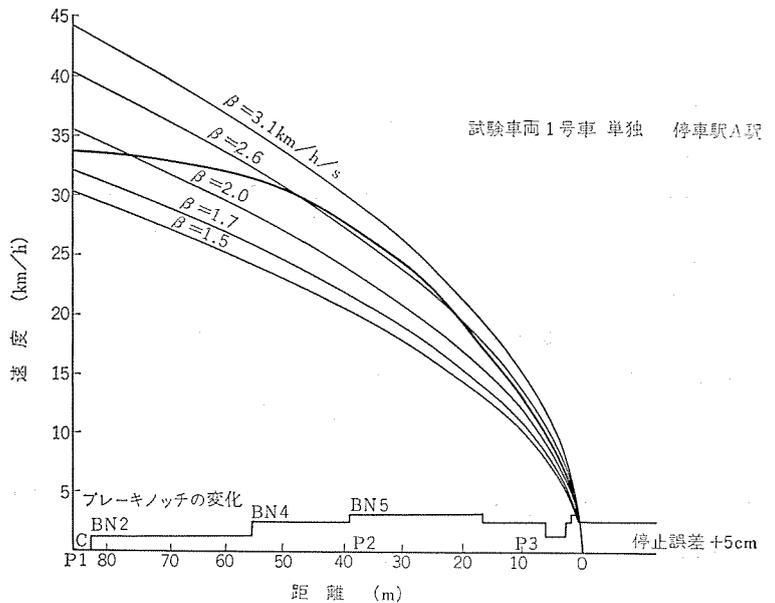


図 14. 定位置停止曲線 (ゾーン方式)

る。

6.5 試験結果

ワイヤードロジック専用機による自動走行試験結果の一例を図13.に、計算機による定位置停止試験結果の一例を図14.に示す。

ワイヤードロジック専用機並びに計算機の両者とも予想どおりの好成績をおさめることができた。

7. む す び

以上、三菱軌道バス・MATシステム試験線の概要とその試験結果の一部を述べたが、試験線での各種試験により、無人運転に対する安全性・信頼性が十分確認された。

昭和48年12月の試験線の公開から1年以上を経過し、その間、数千人以上に及ぶ多数の関係各方面の方々の御試乗をいただき、貴重な意見をいただいた。これら各位のご意見と試験で得られたデータをもとに、今後とも、軌道バスを新しい都市交通機関としてよりよいものにするため関係者一同、より一層の努力を重ねるつもりである。

# 新都市交通システムの評価法

下地 貞夫\*・小林 健三\*・宮花 節子\*

## 1. ま え が き

都市やその周辺の居住地域に導入される交通機関は、その地域住民の生活環境にできる限り適合したシステムとして設計されるさう勢にある。技術的・経済的・社会的観点から総合的に検討し、利用者に良質なサービスを提供するために、交通システムを利用者の立場から計量的に評価する手法、及びこの手法を適用して、利用者にとり好ましい交通システムを計画設計するための方法につき研究が行われている。<sup>(4)(9)(11)</sup>

社内においても同様の観点から、交通システムの概念設計として評価項目の選定法、すなわち目的関数としての利用者の便益構造の研究及び、最適システムの構成法の研究が進められてきた。ここでは、その手法の内容及び適用例として、大都市近郊のニュータウンに新しく敷設が望まれている、中容量軌道システムの解析結果につき報告を行いたい。

以下に、このような交通システムの最適案を抽出するための評価プロセス、評価・目的関数としての利用者の便益構造へのアプローチを述べ、適用例としてあるニュータウンの後背地に更にニュータウンが発展しつつある場合の最適交通システム、特に、路線配置計画の解析を行う。

## 2. 交通システム評価法の構成

交通システムの最適案の尺度となる「評価」につき述べる。

適用地域に最も適合した都市交通システムを求めため、次のようなステップにより解析が実施される。

- (1) 適用地域の需要構造の解析……都市交通の需要モデル
- (2) 適用交通システムの策定……車両などの基本機能への分解
- (3) 利用者の立場からの評価……社会的評価モデル
- (4) 最適システム……(1)～(3)を総合的に実施

この四つの過程においてすなわち、(a)交通需要の推定、(b)モダルスプリット(すなわち、需要の各交通モードへのスプリット、分配)の推定及び、(c)総合評価において、図1.のように「評価」がなされることが必要である。

これまでに需要モデルにおいては、時間・コストなどの一種のインピダンス項について考察が行われている<sup>(1)</sup>。また、モダルスプリットモデルにおいても、時間価値を用いて運賃などのコストを総合して、二つ以上の交通モードを比較し、需要量のモード間分配を行ったり、また個人用自動車と公共交通機関(マスターと通称される。)と大きく2分し、所要時間比でモード間分配を与えるような形のものが研究されている<sup>(2)</sup>。

ここでは、時間及びコストに加え利用者の快適性・利便性からの評価をも行うこととし、交通システムの評価値を与える目的関数を構成し、更に、実用性を重んじて、煩雑さを避けるためにこの目的関数の単純化を計った。

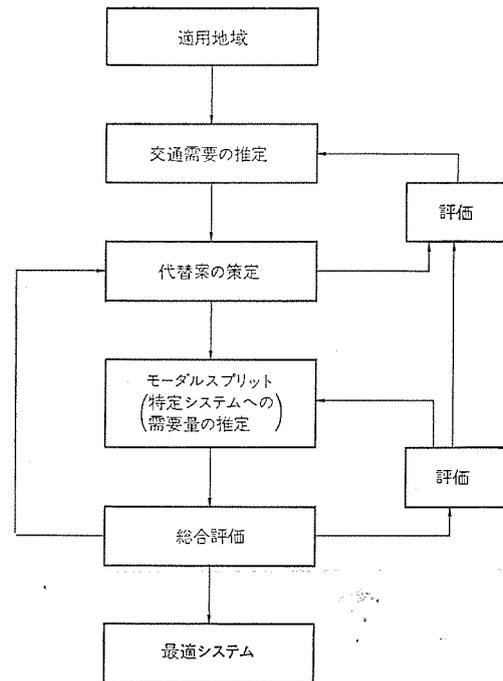


図1. 最適交通システム選定のプロセス  
(「評価」の位置づけ)

## 3. 交通システムの評価手法

交通システムの評価手法は、(1)実態調査データに基づき評価モデルを作る方法と<sup>(5)(7)(8)(10)(11)</sup>、(2)細部の評価項目を与えて、討論やアンケートにより評価構造を定める方法<sup>(3)(4)(6)(8)(9)(12)(13)</sup>の二つに分けることができる。

第1の方法では、交通機関選択の実態データをもとに、モダルスプリットを説明するモデルを開発することを主眼とする<sup>(10)(11)</sup>。例えば植松氏<sup>(11)</sup>は、通勤者の交通機関の選択性向の解析が行われ、東京の西部住宅地域から都心3区(千代田、中央、港)へ向かうトリップを行っている人を対象に、所要時間、運賃、歩行時間、乗換え数、所要時間の変動、混雑度、疲労度、待ち時間に関するデータを調査し、いくつかの可能なルートに関して、それぞれの好ましきの順位などを求めた。これらの実態データにもとづき、利用者の選択性向を与える予測式を導き、70～80%の説明率を得た。

一方、第2の方法に属する場合、重要な評価項目の抽出がまず目的とされる。例えばNational Analystsの報告では<sup>(13)</sup>、米国北東回廊付近に住むさまざまな交通機関利用者約500人を対象に、グループ深層面接、個人面接やアンケートによって交通機関を選択する動機・要因を調査し、これに因子分析法(R法、Q法)を適用し主要因の抽出を行っている。また、Golob<sup>(12)</sup>は、General Motorsが開発しようとしている一種のデマンドバスであるJitneyシステムの事前評価に用いており、システム設計のための利用者の選好度の解析が行われている。すなわち、車両設計要素に関し13種、サービスに関し10種、

表 1. 交通 システム の便益評価構造

- (I) 時 間
  - (1) 歩行時間 (構内歩行時間も含む)
  - (2) 手続き時間
  - (3) 待ち時間
  - (4) 乗車時間
  - (5) 計画時間
  - (6) 全所要時間
- (II) 信頼性
  - (1) 時間的信頼性 (変動幅とひん度)
  - (2) システムの信頼性
  - (3) 設備のオペレーションの信頼性
  - (4) 情報の信頼性
- (III) 環 境
  - (1) 設備環境
    - (a) 必要設備
    - (b) サービス設備
    - (c) 占有空間
    - (d) 内外装
  - (2) 人的環境
    - (a) 利用者
    - (b) 当局者
  - (3) ふんい気
    - (a) 物理的生理的ふんい気
    - (b) 心理的ふんい気
- (IV) 拘 束
  - (1) 時間的拘束
  - (2) 利用者に対する制限
  - (3) 自由意思に対する制約
- (V) 情 報
  - (1) 伝達内容
  - (2) 伝達媒体
  - (3) 伝達方法
- (VI) 心理感
  - (1) 不安感
  - (2) 適合感

表 2. 物理的生理的ふんい気の詳細構造

- 物理的生理的ふんい気 (快適性の一部)
  - 気 温
  - 湿 度
  - 換 気
  - 騒 音
  - 振 動
  - 加速度
  - 加加速度
  - 照 明
  - 色 彩
  - におい
  - ガ ス

便利性要素に関し 8 種及び運賃に関し 1 種の項目を選択し、800 人を対象に面接アンケートを実施して、二者択一法 (Paired Comparison Method) で答えを求め、これを間隔尺度になおして各項目の重要度を調べている。

このように、第 2 の方法では選好特性あるいは利用者便益の構造へのアプローチを行うのであるが、現在のところ、得られた結果から解析モデルを導き、第 1 の方法におけるように、実際のモデルスプリットを説明するまでに至っていない。

ここでは、第 2 の方法に近い立場をとり、便益構造を解明しつつ、実際の現象を説明し得る解析モデルの導出に努めた。すなわち、まず、すべての交通目的の項目、構造化されていない細かな項目、いくつかの項目の組合せで表されている項目も含めることとし、多くの項目につき統一概念や共通因子の抽出を行った。これにより、利用者便益は

- (1) 時間的要素に関するもの。
- (2) 信頼性に関するもの。
- (3) 環境に関するもの。
- (4) 意思の拘束及び自由に関するもの。
- (5) 情報に関するもの。
- (6) 心理感に関するもの。
- (7) 価格に関するもの。

の各軸で表し得ることが分かった。これらの項目を、トリップの各段階に対して構造化せずに、すべての段階に共通に適用可能な形に、表 1.<sup>(18)</sup> に示すような構造を仮定した。

実際の評価に当たっては、これらの細部の項目の設計レベルに対して、評価値を求めることが必要である。たとえば、車内ふんい気は更に表 2. のように分解される。おのおのの細分化された項目に関して、生理学的な立場から人間に対する好ましきの程度が研究されていて<sup>(14)</sup>、これらの結果及び調査データなどから、効用関数 (Utility Function) を求める。振動の効用関数、すなわちさまざまな交通機関の種類がもたらす振動の程度に対し、人間が感じる好ましきの程度を相対値として表したものを、図 2. に示す<sup>(15)</sup>。また、心理感のうち不安感は更に細かく分解されるが、乗物のタイプ別に直接不安感の与える評価値を求めると、図 3. に示すようになる。

どちらの例も、現存する車両タイプを基準にして効用値を求めたものであるが、新しいタイプの車両については、既存のタイプより内

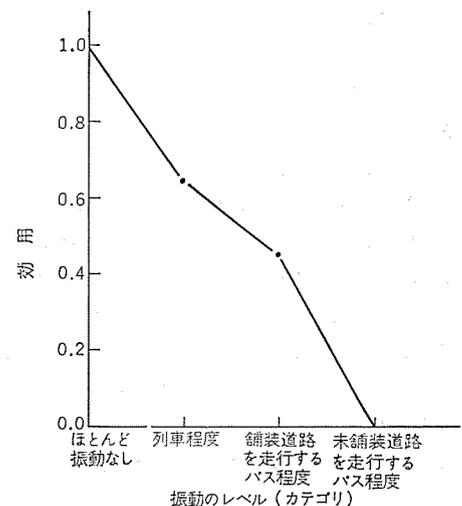


図 2. 振動の効用関数

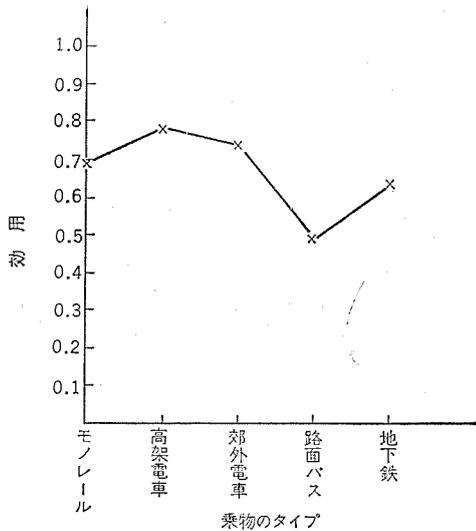


図 3. 不安感の効用関数

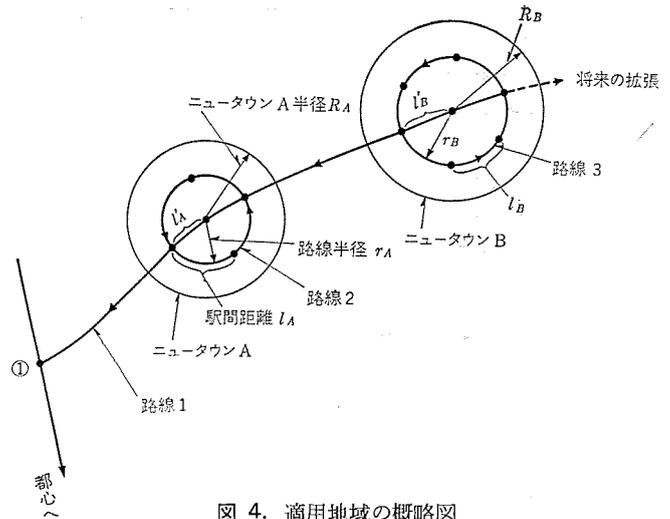


図 4. 適用地域の概略図

そう(挿)あるいは外そうして評価値を求めるか、あるいは車両特性のそれぞれの物理的スケールに対する効用関数を定めて、それに基づき評価値を求める方法をとる。

次に、これらの効用関数値をもとに、各項目の相対的重みづけ加算を行って、より上位の属性の評価値を求める。最終的な評価値を求めるために、いろいろなトリップの段階やトリップ目的に対する相対的重みを求めておく必要がある。実際これらの値は、利用者別や目的別に大きく異なると予想されるが、モダリティスプリットなどを解析するには、通勤、通学、ショッピング・レジャー、及び帰宅と分割するだけで十分と考えられる。この詳細については、別報に述べてある<sup>(15)(16)</sup>。

#### 4. 評価手法の路線配置計画への適用

前章で述べた交通システムの評価手法を適用して、あるモデル地域に最も適した路線計画の解析を行う。既に報告したもの<sup>(17)</sup>を発展させ、あるニュータウンに新交通システムが導入された後、その奥に更にニュータウンが開発された場合の拡張計画を考える。図4.にモデル地域及び路線配置の概略を示す。図において、二つのニュータウンA、Bが順次開発されてゆくに当たり、最初はそれらをくし差しに路線1を設置し、ニュータウンの開発が進むにつれて補助路線2や3が設置されるものとする。

ニュータウンの発展に関して、第1に当初からニュータウンの全域が設定され、その人口密度が年次増加する場合、第2にある地区センタを中心として、全方向に年次に居住地域を拡大してゆくような場合の二つのケースが考えられる。

##### 4.1 適用地域の詳細

図4.に沿って適用地域の詳細につき述べる。図において、二つのニュータウンのうちAは駅①\*から6kmの位置にあり、BはAより更に5kmの奥にあるものとする。また、両ニュータウンはおのおの半径 $R_A(m)$ 、 $R_B(m)$ の円で近似できるものとする。この内ニュータウンAは既に開発され、その後ニュータウンBが開発を開始し、表3.に示すように順次居住地域を拡大して、最終的に半径 $R_B(m)$ のニュータウンになるものとする。この際人口密度は100人/haで一定とすると、最終人口はおのおの $\pi R_A^2$ 万人、 $\pi R_B^2$ 万人となる。

この適用地域に対して、運行方式や車両特性などはすべて同一線

表 3. ニュータウン 特性及び発展計画

(1) 最終ニュータウン半径	$R_A(m)$ , $R_B(m)$
(2) 最終ニュータウン面積	$\pi R_A^2(m^2)$ , $\pi R_B^2(m^2)$
(3) 標準人口密度	100人/ha
(4) 交通需要	人口1人当たり 0.36トリップ(片道)
(5) ピーク時1時間当たり	0.18トリップ/人・時間(片道)
(6) 平均アクセス時間(min)	=平均距離(m) * $\sqrt{2}/80(m/min)$
(7) ニュータウンB 発展計画	
第1年	半径 $0.5 R_B(m)$
" 2 "	" $0.625 R_B(m)$
" 3 "	" $0.75 R_B(m)$
" 4 "	" $0.875 R_B(m)$
" 5 "	" $1.0 R_B(m)$

ただし、 $R_A=1,000(m)$ 、 $R_B=2,000(m)$ とする

表 4. 車両運行方式及び車両特性

(1) 最小ヘッドは1.5分とし、最少連絡数でも所定混雑度にならない場合はヘッドを最大5分まで増大させる
(2) 車両数は、所定の混雑度範囲内に入るように1両単位で増減させた
(3) 混雑度は、乗車人員が座席数の2~2.5倍の範囲内とした
(4) 運行速度は表5.の三菱軌道バスの諸元及び駅間距離から求めた
(5) 車内環境や乗心地など車両特性は所与とした
(6) 車両待ち時間は運転間隔の2分の1とした
(7) 乗換え歩行は1分とした

件として表4.のように定める。交通システムとしては、路線配置計画が適用地域の状況に応じて発展すると予想されるので、補助路線である円形路線(路線2及び3)の半径を $r_A(m)$ 、 $r_B(m)$ 、またその路線上の駅の数 $N_A$ 個、 $N_B$ 個とし、パラメータとして取扱う。

次に、設置される交通システムとしては、数万人程度の規模の需要に最適な中容量システムである三菱軌道バス(MAT)を想定した。MATの諸元をこの報告に使用した範囲内で表5.に示す。

##### 4.2 代替案の詳細

次の各項目の検討を行う。

\* 都心に向かう大量交通機関への乗換駅とする。

表 5. 車両特性及び運行方式諸元  
(三菱軌道 バス MAT に基づく)

車 両 寸 法	幅 2200×高 2900×長さ 6400
座 席 数	16 席
定 員	32 人
加 速 度	3.5 km/h/s
減 速 度	4.0 "
最 大 速 度	直線部 50 km/h* 円形路線 40 km/h*
停 車 時 間	20 s
最 小 運 転 間 隔	1.5 min
混 雑 度	2.0~2.5 倍 (座席数の)
軌 道	高架軌道
駆 動	電気駆動
サスペンション	ゴムタイヤ

\* 最高速度は 60 km/h であるが制限速度を考慮して直線路線 50 km/h, 円形路線 40 km/h とした。

- (1) ニュータウン A と B の住民の負担評価量の比較
- (2) ニュータウン B の発展年次における最適路線の変化
- (3) ニュータウン B に対する最適路線計画
- (4) 車両の速度向上の影響
- (5) 人口密度の影響

#### 4.3 ニュータウン A と B の住民の負担評価量の比較

ニュータウン A, B の完成時の住民個人の負担評価量の比較を行う。ここに負担評価量は、運賃、所要時間及びマイナス方向に測定された<sup>(4)</sup> 利便性効用、快適性効用の関数である。表 1. に示した便益構造における各効用関数を用いると、次式のように表すことができる。すなわち、

$$B = F + v_T \times T + v_{CF} \times \{1 - u_{CF}(x_{CF})\} + v_{CV} \times \{1 - u_{CV}(x_{CV})\} \quad \dots \dots \dots (1)$$

ただし

- B: 負担評価量
- F: 運賃
- T: 所要時間
- v: 重み係数
- u: 正方向に測定された効用関数

であり、足字  $x_{CF}$  及び  $x_{CV}$  はそれぞれ快適性、利便性に関するものであることを表す。各属性の水準  $x_{CF}$ ,  $x_{CV}$  は交通システムの特徴、トリップの状態の O-D (Origin-to Destination) 解析及びシミュレーション結果から推定を行った。B の極小値が最適システムを与える。運賃は別に決められるが、除いて考察することができるの

で、以下そのようにして B を算出する。

各ニュータウンの路線に対する各住民の負担評価量を、路線半径  $r$  及び駅数  $N$  をパラメータとして図 5. に示す。ニュータウン A に対する最適路線は直線路線だけで、ニュータウン内 3 駅、駅間距離約 400m となるが、これに対しニュータウン B に対する最適路線は、直線路線に半径約 1,400 m の円形路線を組合せたものである。その円形路線に対する駅数は 7~11 (例えば 9 駅とすると、駅間距離は 1,100 m となる) であまり変化はない。これは、駅数が多くなれば、アクセス歩行時間は少なくなるが、それだけ表定速度が減少して、お互いの効果が打ち消し合うためである。都心から見て A 地域の後背地である B 地域からの利用者の負担評価量は、この時、A からの利用者の約 2 倍となる。このニュータウン B において、直線路線だけと円形路線設置の最適案と比較すると後のほうが負担評価量が減少し、利用者にとりその分だけ運賃の増加とみあうことを意味している。

#### 4.4 ニュータウン B の発展各年次における最適路線

ニュータウン B が発展して行く場合の、利用者 1 人当たりの、運賃を除く負担評価量を同様パラメータに対して示したものが図 6. である。それぞれ、B の等価半径  $R_B=1,000$  m, 1,250 m, 1,500 m, 1,750 m, 2,000 m に対応し、最適路線案を  $\blacktriangle$  印で、比較最適路線案を  $\uparrow$  印で示してある。半径が 1,000 m の時は直線路線だけが、円形路線を加えた場合より負担評価量が少なくて評価が良く、これに反し  $R_B=1,250$  m 以上に発展してゆくと、円形路線を加えたほうが良いと推定される。いずれの場合も、ニュータウンの発展に対し、路線半径  $r$  や直線路線の駅間距離  $l$  の最適値は、図 7. (a) に示すように増大する傾向がある。

実際に、ニュータウン B のように地域が拡大してゆく場合は、そのたびに路線を修正してゆくことは不可能であるから、最終住区に合った路線をある時期に追加設置し、発展の途中である程度の負担評価量の増加になるが、図 7. (b) に示すように、完成時には最適路線を得るものとする。最終時に最適な路線 (Route B と呼ぶ) を、発展途中で評価したものを、図 7(b) に示す。ニュータウン B の最終半径が 2,000 m の時、発展の途中で半径が 1,600 m までは直線のみ、1,600 m に達した段階で、Route B を設置する必要がある。

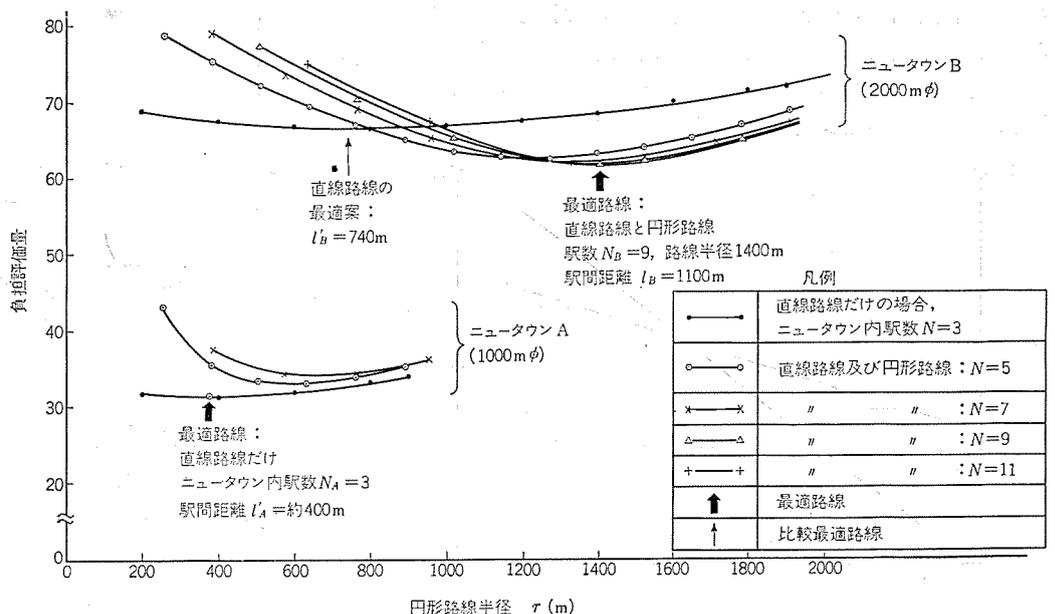


図 5. ニュータウン A, B の最適路線と負担評価量の比較

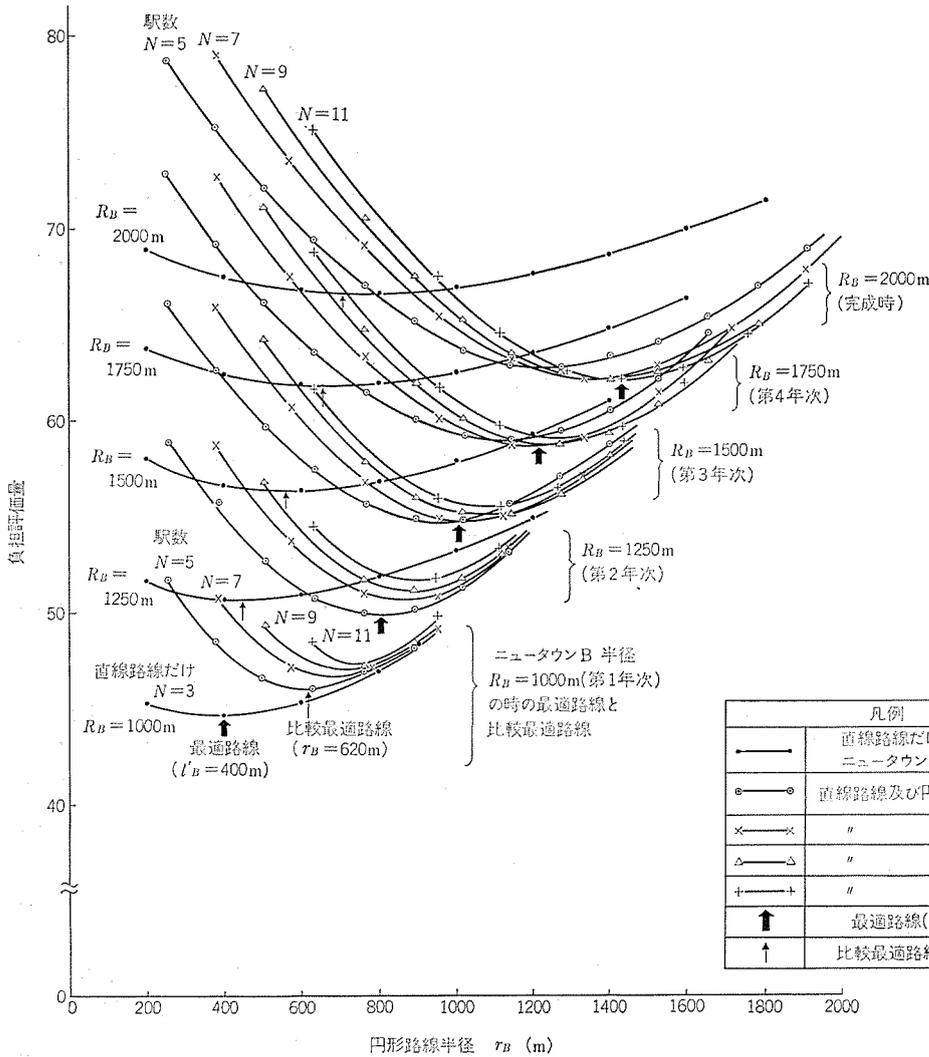


図 6. ニュータウン B 半径  $R_B$  が発展した時の最適路線

#### 4.5 車両速度向上の効果

これまでの計算では、車両最高速度を直線部で 50 km/h、円形路線部で速度制限を行うと仮定し、40 km/h としたが、しかし、路線の曲率半径が 200 m 以上では 60 km/h で走行可能である。この場合の負担評価量を、 $R_B=2,000$  m として、図 6. の対応する結果と合わせ、図 8. に示す。図 6. と比較すると、最適路線は直線路線及び円形路線 (半径  $r_B=1,500$  m)、駅数  $N=11$  となり、以前より路線半径が 100 m 増加し、負担評価量は 11.3 % ほど改善された。

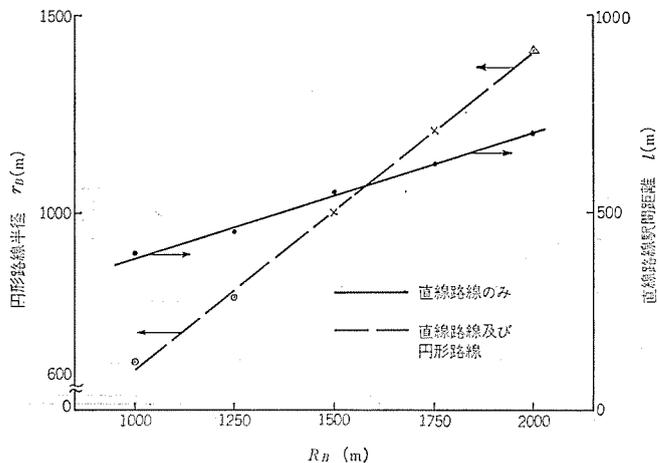


図 7. (a) 最適路線 (半径  $r$  (m)) と駅間距離  $l$  (m)

#### 5. む す び

中容量軌道車両にもとづく、大都市近郊のニュータウン 向けの最適交通システムにつき、技術的・経済的・社会的視点から総合的に検討を

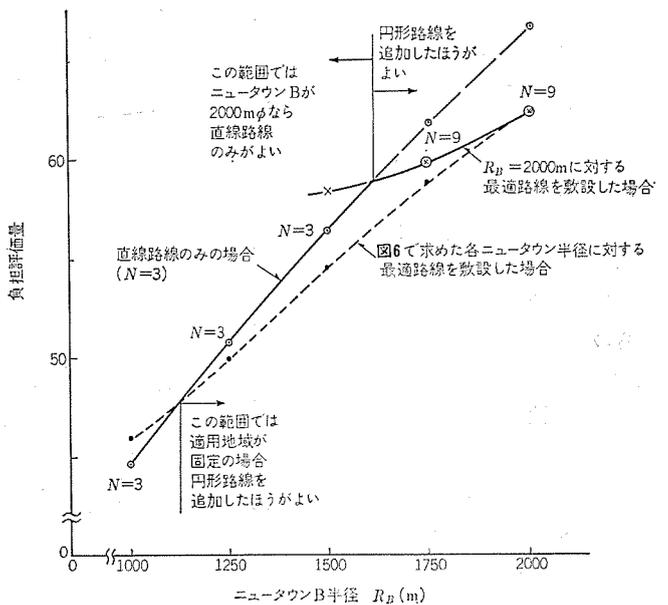


図 7. (b) ニュータウン B が発展する時の最適路線計画

#### 4.6 人口密度の影響

ニュータウンの発展形態 #2 として、当初から最終居住地域全域に一樣に入居し、人口密度が増加してゆく場合、結果は、人口密度が 0.25 人/h (最終時の 1/4) の時、1 人当たり負担評価量は 9 % ほど減少するが、最適システムはほとんど変わらない。この軽減量は、快適性のみで、B ニュータウンより乗車する人はすべて着席が可能である。人口密度低下による需要量減少に対し主として車両数を減少して輸送量のバランスをとるものとしたが、便利性、所要時間による評価値の変化は僅少である。

このように、あらかじめ定められた地域に一樣に入居が開始されるような場合は、最終時の最適路線が常に最適となる。一般のニュータウンにおいては、発展形態 #1 と #2 の中間になるため、最適路線も両者の中間的な処置となる。

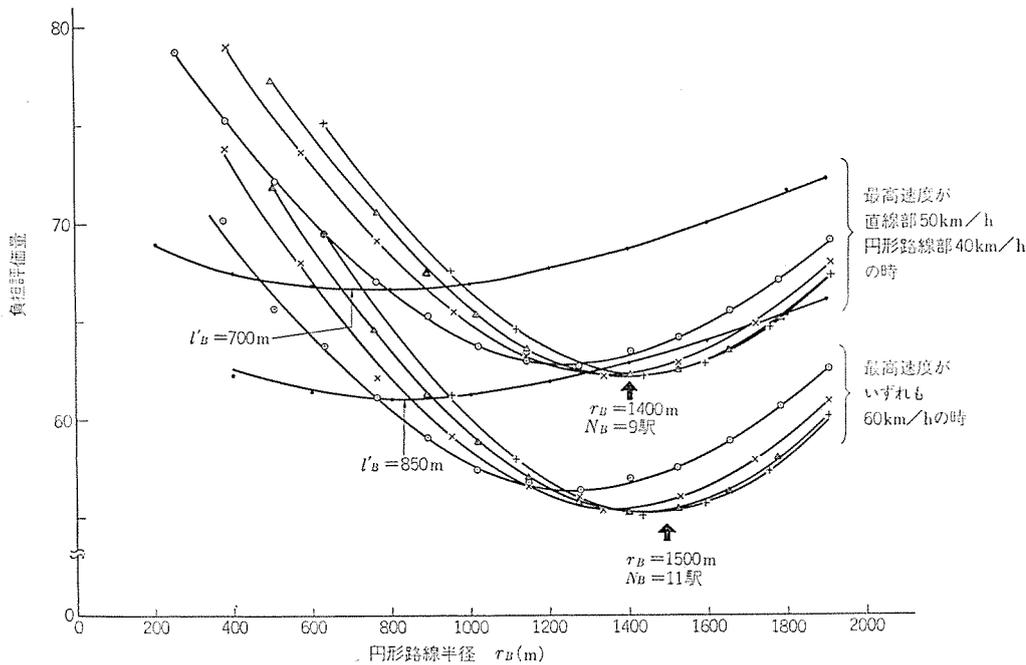


図 8. 車両の最高速度を 60 km/h に速度向上した場合

行う目的で、最適設計の目的関数として、所要時間などのほかに利用者の便益性及び快適性をも含めた便益構造へのアプローチを進めた。また、適用例として、あるニュータウンの後背地に更にニュータウンが発展しつつある場合の最適交通システム、特に、路線敷設計画の解析を行った。この中容量軌道システムは、ニュータウンのようなある程度以上のまとまった居住地域に対して、機動性に富み、利用者に対してこれまでのようなバスに比べて大量の輸送が可能であり、また、在来の大容量システムへの feeder line として、これとの cooperation を行うことにより、きめ細かく、質の高い交通サービスを提供することができる。その可能性及び最適システムに関して、ここに報告したような、オペレーショナルな立場からの研究を今後、一層発展させて行くことが必要であろう。

また、このようなシステムの概念を解析する手法は、他のシステムにも適用可能であり、現在、3軸制御を行う人工衛星の概念設計への適用を検討しつつある。

終わりに、この研究を進めるに当たり、(財)運輸経済研究センター「交通の質」研究会の委員各位、並びに社内関係者各位のご指導ご援助を賜った。ここに深謝の意を表する。(昭和50-1-10 受付)

#### 参考文献

- (1) Quandt, R. E., Ed.: The Demand for Travel: Theory and Measurement. Heath Lexington Books (1970)
- (2) Martin, B. V., et al.: Principles and Techniques of Predicting Future Demand for Urban Area Transportation. M. I. T. Report No. 3, M. I. T. Press (1970)
- (3) Pardee, F. S., et al.: Measurement and Evaluation of Alternative Transportation System Effectiveness. The Rand Corporation, RM-5869-DOT (1969)
- (4) Pardee, F. S., et al.: Measurement and Evaluation of Alternative Regional Transportation Mixes, I, Summary; II, Methodology; III, Example. The Rand Corporation, RM-6324-D OT (1970)
- (5) Dodson, E. N.: Investigation of Alternative Modal Split Formulations. *J. High Speed Ground Transpn* 4, 255-272 (1970)
- (6) Voorhees, A. M. & Associates, Inc.: Screening and Evaluation of Public Transit Vehicle Systems. Technical Report No. 1, AMV-R-15-1073 (1970)
- (7) Hargen, D. T., et al.: Individual Attitudes and Family Activities. *J. High Speed Ground Transpn* 4, 439-467 (1970)
- (8) 菅原: 新交通システムの評価, システムと制御, 16, 776-784 (昭47) など
- (9) Keller, W. F.: A Preliminary Evaluation Model for Personal Rapid Transit. Intersociety Conference on Transportation, The American Society of Mechanical Engineers, Denver, Colo., 1-9 (1973)
- (10) (財)運輸経済研究センター: 航空と鉄道の旅客配分, 研究資料 440119 (昭45)
- (11) 植松: 都心通勤者調査と通勤におけるコース選択要因の解析, 統計数理研しゅう報, 13, 93-134 (昭40)
- (12) Golob, T. F., et al.: An Analysis of Consumer Preferences for a Public Transportation System. *Transpn Res.*, 6, 81-102 (1972)
- (13) National Analysts, Inc.: The Needs and Desires of Travellers in the North East Corridor: A Survey of the Dynamics of Mode Choice Decisions. PB 191 027 (1970)
- (14) 大島: 環境生理学, 人間と技術社
- (15) Kobayashi, K., et al.: A Method for Evaluating Urban Transportation Planning in Terms of User Benefit. *Transpn Res.*, 9 (1975)
- (16) 小林, 青木, 谷: 交通システムの計量的評価に関する研究, 交通工学, 8, 15-24 (昭48)
- (17) 小林, 青木, 谷: 新交通システム設計の一考察, 第10回鉄道サイバネシヨポジウム, 10, 539-545 (昭48)
- (18) (財)運輸経済研究センター「交通の質」研究会小委員会資料, 9-4 (昭49)

# 乗合バスの運行管理システム

浅野 哲正\*・打田 良平\*・六島 昭治\*\*・中堀 一郎†

## 1. ま え が き

近年の自動車交通の急速な拡大は、交通事故、排ガス公害、交通マヒなどの弊害を増大させる結果となり、殊に最も手軽に利用されてきた乗合バスが、交通混雑のため公共輸送機関としての本来の機能を失いつつある。このためバス運営事業体においては、経営の悪化が昨今特に著しく、これに伴うサービス低下は更にバス利用者をバスから離反させるという悪循環をたどり、一部にはバス事業体の存立自体が危ぶまれるようになった。

これは我が国ばかりでなく、欧米諸外国においても同様に、各国とも問題解決のためのさまざまな手法を検討、分析し、個々のケースにおける適切な方法を模索しつつ、部分的に実用化が進められている。これらの方策としては、例えばバス優先信号、バス優先、専用レーンの設置、自動車流入量調整などであるが、いずれも交通行政、運輸行政と深い関連がある。また、バス事業体としては路線ダイヤの改善、乗客サービスの改善など、積極的努力を要する問題があって、広い視野に立つ関係者の協力と今後の成果が期待されている。

これらバス運行改善の手法実現のためには、関係機関による多額の投資を必要とするので、試行錯誤を極力少なくし、実施以前の段階で十分に交通工学的な検討を行う必要がある。以下、本文では現在検討されている諸手法を概括し、市街路における実測値と、その解析手法について示すとともに、バス運行改善のための具体的方策について述べる。

## 2. バス運行管理手法

国内外において最近、実施されつつあるバス運行改善のための諸手

法をまとめて表 1. に示す。この表では諸手法を大別して車両自体を改良するハードウェア的な方法と、車両の運行方式の改善を目的とするソフトウェア的な方法、及び側面からの改善に関する方法とに分類し、表現してみた。

### 2.1 都市内の運行方式の改善事項

運行改善をはかる種々の手法については、日本と欧米諸国との間に大差はないが、交通網を、よりマクロな立場から見た場合、日本では異種交通機関相互の乗継ぎ、連絡が悪いことが特徴的である。この連絡手段として有効なエスカレータや、高速鉄道とバスターミナルを連絡するバスアンドライドと称する思想を取り入れた新しい有機的なバス運行改善システムを作成し、実用化して行かなければならない。これらも考慮に入れたバス運行改善事項は、行政主体から考えれば次のようになる。

- (1) 乗入規制：バス専用路、バス専用駐車場の増設など。
- (2) 総量規制：運輸手段として自主的にバスを選択させる。
- (3) 都市開発と交通計画の同期融合をはかる。
- (4) 都市交通の一元化：バス路線網の再整備

他方、バス事業体から考えれば、次のような事項について検討することが必要となろう。

- (1) 路線網の再編成
- (2) 人件費の節減：ワマン化、車両大形化の推進など。
- (3) 運行方式の改善：計算機導入による運行管理手法の合理化及び管理情報の高能率収集。

以上の各項は、いずれも行政組織と、バス事業体との間の緊密な連絡と検討があって、初めてその効果を期待できるものである。したがって改善を要する地域ごとに、両者が多方面から協力しあって最善のバスシステムを作成する努力が必要になると思われる。

表 1. バス運行改善のための諸手法

分類	項目	内 容	適 用 例
車両自体を改良する方法	2列乗降バス	2列乗降できる広幅ドアバス	英国ほか
	連接バス	全長18m程度で複数車両を連結運行する	スウェーデン、スイス、西ドイツ
	電気バス	駆動力源として電池をとり置き無公害化する	日本、英国ほか
	デュアルモードバス	専用軌道と一般路の双方を走行するバス	日本
車両の運行方式を改良する方法	バスロケーションシステム	バス運行管理の改善を計るため、中央で在車位置を知り、指令、表示などを適宜行う	日本(東京渋谷地区)、フランス(サカマシステム)、英国、西ドイツ
	デマンドバスシステム	利用客の要求に応じて適宜、比較的小形のバス車両を配車し、タクシーに近い機能を実現する	日本(能勢町、鬼怒川温泉)、オランダ(バクシー)、米国(ダイヤルライド、ジェニーシステム、ミニバス)、スウェーデン(ミニバス)、英国、西ドイツ
	通行規制	バス専用、優先路の設置、一方通行路の逆行など、道路管理面からバス運行の円滑をはかる	日本(各地専用路など)、米国(シャリーハイウェイ)、スウェーデン(イエテボリ市)、英国ほか
	複合路線	運行密度に応じた複合路線を設置する	日本(大阪ゾーンバス)ほか
側面からの改善方法	財政補助	バス運営事業体に対する財政援助を行う	米国(ツアーモービル、マジックカーペット)
	サービス向上	バス専用施設の拡充、車内クーラの設置、バス停施設の拡充など	英国、フランス(バス停の泥よけ、広屋根)、西独(自動券売機)など

## 2.2 デマンドバス システム

次章以降では、都市街路でのバス交通特性に関する検討事項を述べているが、都市内のバス運行特性と直接には関連のない改善方式としてデマンドバスシステムがある。現在、特に交通混雑はない過疎地などで、このシステムは一部実用化されている。このシステムが持つ利点としては、バス利用者の要請に応じた配車を行い、タクシーの機能に近い便益を提供するとともに、バスの運行効率を上げて利用者とバス事業者の双方が利便を得るようにしたことである。このシステムとしては次のような運営形態が考えられている。

- (1) 自由走行形：特定路線やバスストップを持たない。
- (2) 径路選択形：あらかじめ設定された複数径路のうち、利用客からのコールに応じて、最適径路を選択走行する。
- (3) ルートデューション形：定路線を走行し、定められた寄道ルートからのコールがあれば、う(迂)回走行する。
- (4) 循環路線形：定路線を循環走行し、コールのあったバスストップだけに停車する。通常の路線バスに近い。
- (5) 単路線形：中心地に車を置き、コールのあった比較的短距離地点へ走行し、運行サービスを行う。

デマンドバスシステムの構成要素の中では、技術上、コール情報を収集する手段と、移動体であるバス車両と地上間の通信手段とに検討を要する問題が残されている。

このシステムは、その適用地域ごとに最適と考えられる方式があって、一概に定形化しがたいオーダーメイド的性格を持つと考えられる。現段階では、運賃制度にからむ地域的な特殊事情がデマンドバスシステムの過疎地での実用化を可能にした。これを契機として、交通密度の高い都市内においても、このシステムが持つメリットを生かす方向でバスシステムの再検討がいずれ必要になる。

## 3. 市街路におけるバス交通特性

バスの都市街路における運行改善のための、いくつかの手法について前章で掲げた。これらの手法の有効性を検討し、更に手法を実現するための第1歩として、現在のバス運行状態を実測し、バス運行モデルを設定することが必要となる。

### 3.1 混合交通流の実測

バスは他の自動車と道路上を混在して走行する混合交通である点が、運行管制上の基本的問題点であると考えられる。したがって、ここではバスと自動車の相互の影響を明確にするため、その基礎資料を得る目的で、一般市街路において実測を行った。

対象とした道路セクションは、図1のような形状であり、全長が820m、8個の細街路、5個の信号、6個の横断歩道、4個のバス停を含む2車線一方道路である。この道路はCBD地区(Central Business District)にあり、自動車交通量は平均1,000台/時間、バス交通量は

平均100台/時間である。この道路における、自動車及びバスの走行所要時間の日変化特性は図2のようになる。更に駅における停車時間の日変化特性は図3のようになる。

この調査では、走行所要時間(速度)、交通量、密度について、次の方法で計測した。

走行所要時間：バス全車、及び自動車の10%を選び、これらが図1.の道路セクションの両端点(横断歩道ライン)を通過する時刻を計測した。更にバスについては、各バス停における着発時刻を計測した。

交通量：図1.に示す道路セクションの両端点、及び細街路の出入口における5分間交通量を計測した。

密度：図1.の道路セクションを、一定時間ごとに写真にとり、これより台数を計測した。

上記の実測は、平日の午前7時より、午後7時までの12時間について行われた。実測の結果、得られた諸特性は次のとおりである。

### (1) 交通量-走行所要時間特性

30分間交通量と、30分間平均走行所要時間の関係を図4.に示す。図4.は、この特性が図1.のように信号を含んだ道路セクションに

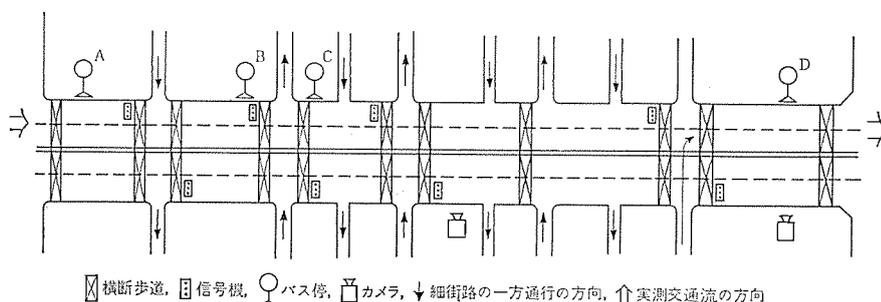


図1. 道路セクション

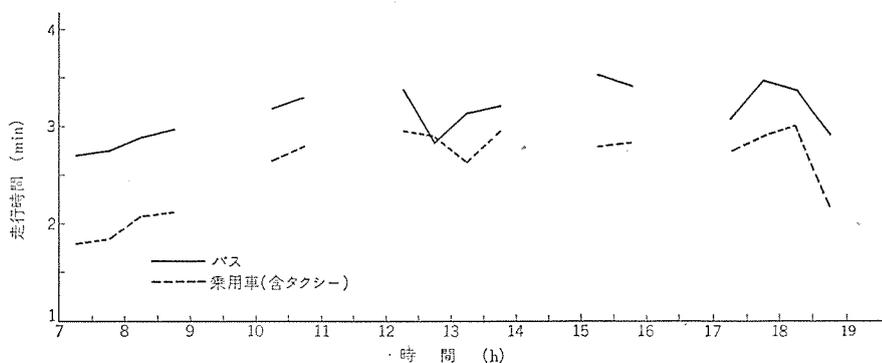


図2. 走行所要時間日変化特性

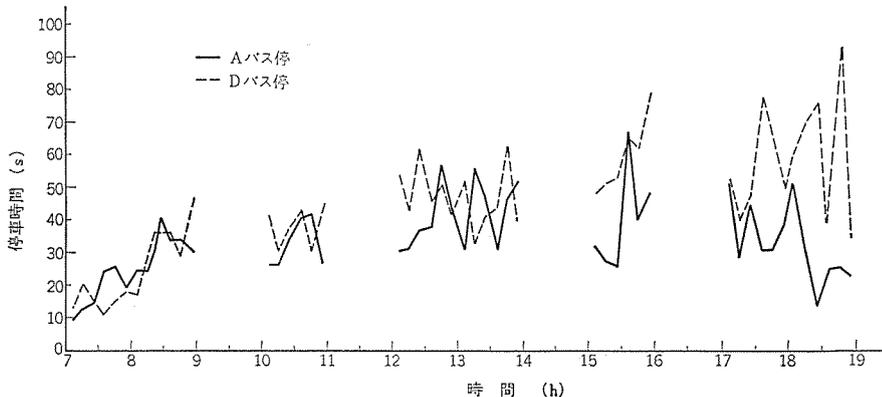


図3. バス停車時間日変化特性

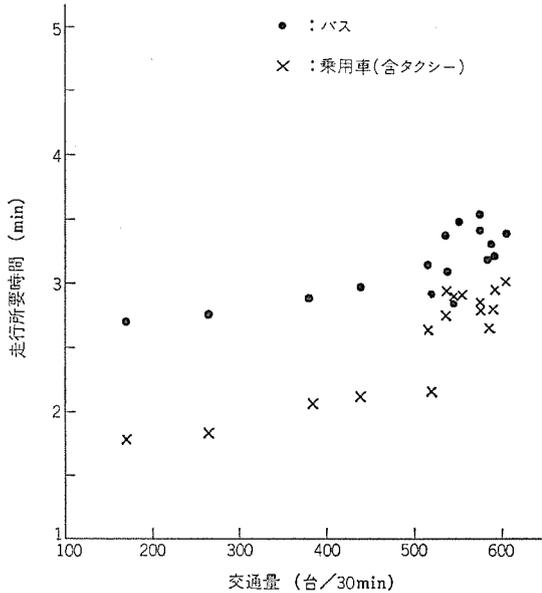


図 4. 交通量 - 走行所要時間特性

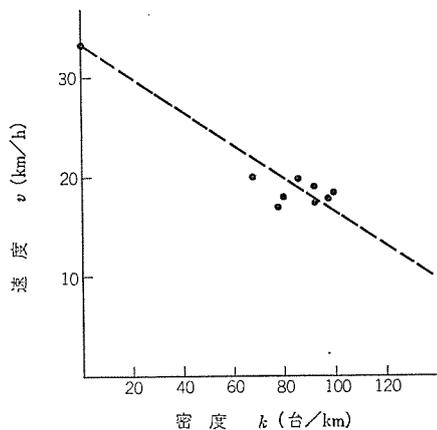


図 5. 交通密度 - 速度特性

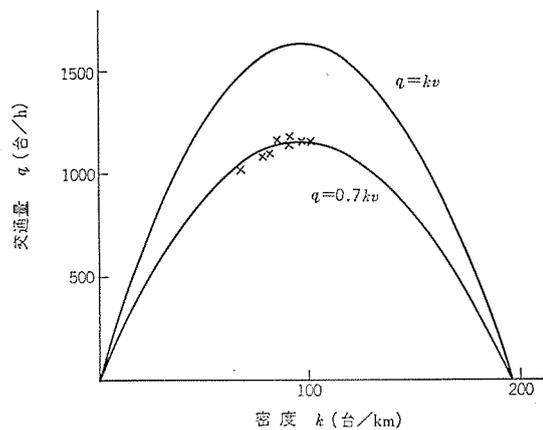


図 6.  $q = kv$  特性 (30 分平均)

においても、ほぼ区間線形で近似できることを示している。

(2) 密度 - 速度特性

30 分間平均密度と、30 分間平均速度の関係を図 5. に示す。図 5. は、この特性がほぼ線形で、次式のように近似できることを示している。

$$v = 0.172k + 33.5 \dots\dots\dots (1)$$

(3)  $q = kv$  特性

高速道路のような一様交通流で成立つといわれている、 $q = kv$  特性

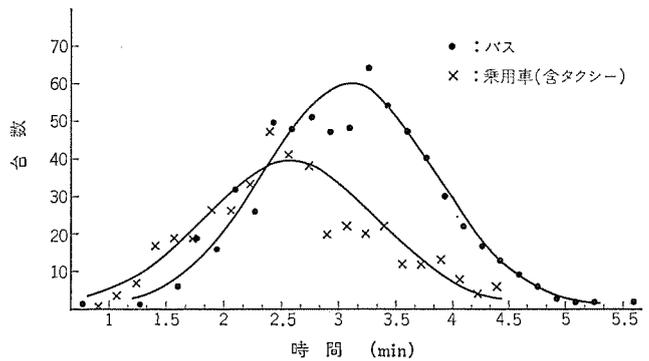


図 7. バス・自動車の走行所要時間分布

表 2. バス・自動車走行所要時間の正規分布との比較

	$\pm \sigma$ (68.0%)	$\pm 2\sigma$ (95.5%)	$\pm 3\sigma$ (99.7%)
バス走行所要時間 平均: 3 分 6 秒 $\sigma$ : 45.5 秒	68.1%	95.6%	99.5%
自動車走行所要時間 平均: 2 分 34 秒 $\sigma$ : 45.2 秒	65.6%	95.5%	100%

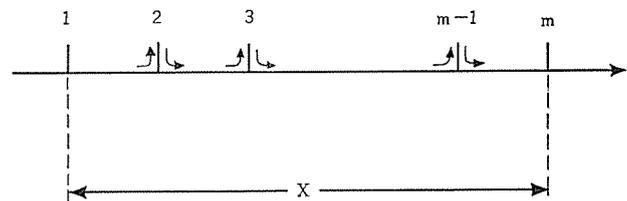


図 8. リンク構造

を調べる。30 分間平均密度  $k$  が定まれば、式 (1) を用いて  $kv$  が求まる。これから得られた交通量  $q$  を、図 6. の実線で示す。一方、実測より得られる 30 分間平均交通量 (図 1. の道路セクションにおける両端交通量の平均で近似) をとったものが図 6. の  $\times$  印で示したものである。これは、 $q = \alpha kv$  で回帰すれば、 $\alpha$  は約 0.7 となる。 $\alpha$  は駐車率、細街路流入率、バス自動車混合比率などによって定まる定数と考えられる。

(4) バス - 自動車走行所要時間分布

バス及び自動車の走行所要時間分布を図 7. に示す。これらはいずれも正規分布 (図 7. 実線) で、近似できることが表 2. より分かる。表 2. において、( ) 内に示した数字が正規分布の場合を示す。

3. 2 バス運行モデル

以上の実測に基づき、バス運行モデルを考える。ここではバス以外の交通流モデルをマクロ流体モデルとして考え、バスを個別ミクロモデルとして扱う。

(1) 道路交通流モデル

今、道路セクションの構造を、図 8. のように大交差点の出口から、大交差点の入口までと考え、その内部にいくつかの細街路交差点、小信号横断歩道を含むことを許容する。

ここで、次の変数を導入する。ただし  $j$  は時間間隔を示す。

- $a_i(j)$ :  $i$  地点交通量
- $e(j)$ : 細街路流入流出交通量の総和
- $\bar{p}(j)$ : 時間空間平均交通量
- $\bar{\rho}(j)$ : 時間平均区間密度
- $\bar{v}(j)$ : 時間平均走行速度

$k(j)$  :  $j$  時刻区間密度

このとき、交通量保存則は次のように表される。

$$k(j+1) = k(j) + \frac{1}{X} \{q_1(j) - q_m(j) + e(j)\} \dots\dots\dots (2)$$

一方、実測より得られた次の実験式を仮定する。

$$\bar{p}(j) = \alpha \cdot \bar{p}(j) \cdot \bar{v}(j) + \Psi \dots\dots\dots (3)$$

( $\Psi$  は観測誤差を表す)

ここで、簡単のため、次の2式の近似式を用いる。

$$\bar{p}(j) = \{k(j) + k(j+1)\} / 2 \dots\dots\dots (4)$$

$$\bar{v}(j) = \{q_1(j) + q_m(j)\} / 2 \dots\dots\dots (5)$$

これらの式より、リンク密度を状態変数とする次の基本モデルが得られる。

$$k(j+1) = \frac{\{X - \alpha \cdot \bar{v}(j)\} k(j) + 2q_1(j) + e(j) - 2\Psi(j)}{X + \alpha \cdot \bar{v}(j)} \dots\dots\dots (6)$$

(2) バスモデル

道路交通流モデルから得られる区間密度とバス走行時間の期待値の間には、ほぼ線形の関係がある。一方、リンク走行時間のばらつきは図7.のように正規分布となる。この場合の走行時間は、リンク内での信号待ち時間、他の自動車の影響、バス各車の諸特性を含んだマクロな立場からみたものである。したがってバスの走行時間は次のように確率的に定まる。

$$T = T_A + \varepsilon(\sigma) \dots\dots\dots (7)$$

ただし、 $T_A$  : 走行時間の平均

$\varepsilon(\sigma)$  : 走行時間の標準偏差により、確率的に定まるばらつき(ばらつきは正規分布である)。

停留所での停車時間は平均的にみると、乗降車人数に從属する簡単な1次式として与えられる。停車時間  $T_P$  は、したがって次式より求めることができる。

$$T_P = A \cdot P + B \dots\dots\dots (8)$$

ただし、 $P$  : 乗(降)車人数

$A$  : 一人が乗(降)車するのに要する時間

$B$  : 乗(降)車時のむだ時間

ここで、乗降車人数は過去のデータより推定する。また、交差点通過時間は統計的にみて、右左折、直進で、ある一定の値をとるものと

と仮定する。

以上の、バス運行モデルを一つの要素とし、今後、バス路線、バスダイヤの検討を行っていくことが可能となろう。一方、交通流モデルを、より精密にとらえ、信号の影響を考慮していく研究も進みつつあり、優先信号の効果などが定量的に論じられている。この分野の研究は、今後、更に発展するものと期待される。

4. バス運行改善に対する方策

先に述べた交通工学的な検討と併行し、バスの利用を促進するために体系的な検討を行ったシステム(BUPS)の一部を紹介する。これは、バス運行データの収集を基礎として、より高度に情報化し、運行効率の向上及びサービスの向上をはかろうとするものである。

4.1 システム構成

BUPSシステムの全体構成を図9.に示す。構成要素について概略を次に説明する。

(1) CPU : このシステムの中央にあり、概略、次のソフトウェア機能を有する。

- (a) 交通状態推定 : 旅行時間、区間密度の推定。
- (b) 交通流予測 : ダイナミックマクロモデルによる。
- (c) 運行管制 : 発車時刻調整、増減便決定など。
- (d) 乗客サービス : 待時間算出、デマンド応答など。

(2) 通信装置 : 地上システムと移動体であるバスとの間で AVI (Automatic Vehicle Identification) 機能を果たし、ハルスコード、又はトーン変調による情報の授受を行う。地上装置間は電電公社回線で通信する。

(3) バス停装置 : 運行系統別の待ち時間表示装置を備え、必要に応じてバス利用者からのコール装置を備える。

(4) 路上機 : 可変標識とバスからの信号受信機を備える。

(5) 車庫装置 : 出発指令表示装置と信号受信機を備える。

(6) 交通データ計測装置 : 路上自動車交通量を計測する装置。

4.2 システムの機能

上記の構成要素によって、このシステムは次の機能を遂行する。

(1) レーンコントロール : 路上機の可変標識表示により、レーンのバス専用/優先/解除の切換えをオンライン制御し、バスの優先走行をはかりつつ、全体交通流への影響を極少にとどめることを目的とし

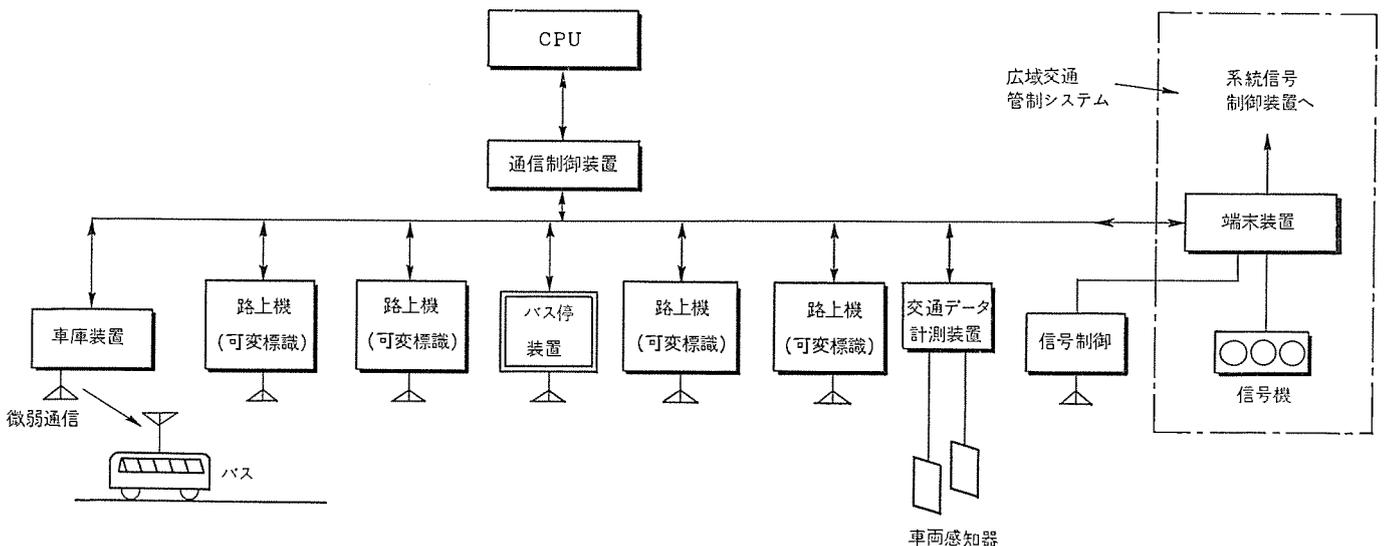


図9. BUPSシステム構成図

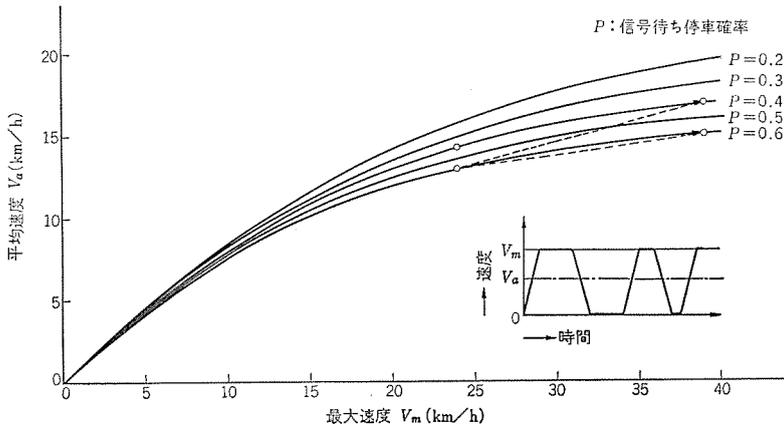


図 10. バスの優先走行速度特性

て行う。

(2) 2元式優先信号：バスの交差点通過時、青延長又は赤短縮の信号割込制御を行うが、信号修正限度を全体交通流の制御範囲内にとどめるよう制御する。

(3) 多段優先度走行制御：運行ダイヤに対する絶対遅延時分と、先行車との相対時分の相関により、バス優先レベルを多段階に設定し、不必要な優先走行を行うことなく、定時、定間隔運行を確保する。

(4) 各種運行管理：利用者からのコールがないバス停の高速通過、満員バスのバス運行、長距離バスの弾力的区間急行運転などを行うことができる。

(5) サービス向上：バス停に次のバスが来るまでの時間表示を行い、臨時便や終便に対する案内が簡単にできる。バス停でのコールボタン設置により、過疎時間帯における臨時便の設定管理ができる。ターミナルでは路線案内盤上に運行ひん度などを表示する。

#### 4.3 バス優先走行の効果

バスレーン制御、優先信号制御を併用し、バスの優先走行制御を行った場合、バスの運行速度がどの程度向上するか簡単な試算を行ったが、その結果を図 10. に示す。この関係は次式で示される。

$$V_a = \frac{V_m}{1 + \frac{1}{3600} \left[ \frac{V_m}{L_1} \left( \frac{V_m}{3.6\beta} + T_1 \right) + P \frac{V_m}{L_2} \left( \frac{V_m}{3.6\beta} + T_2 \right) \right]} \quad \dots (9)$$

- ただし、 $V_a$ ：バスの平均速度 (km/h)  
 $V_m$ ：バスの最大速度 (km/h)  
 $\beta$ ：バスの加減速度 ( $m/s^2$ )  
 $T_1$ ：バスのバス停における平均停車時間 (s)  
 $T_2$ ：バスの信号待ち平均停車時間 (s)  
 $L_1$ ：バス停の平均間隔 (km)  
 $L_2$ ：信号機の平均間隔 (km)  
 $p$ ：信号待ち停車確率

図 10. から次のことが推察される。

(1) バスの平均速度を 13 km/h とすると、これを 17 km/h (30% up) とするためには、バスレーン設置により最大速度を 25 km/h から 39 km/h とし、優先信号制御により信号待ち停車確率を 0.6 から 0.4 にすることが必要になる。

(2) 停車ひん度が高いと、最大速度を増した割合には平均速度が向上しない。

(3) 速度の高い領域では、信号優先制御の効果が大きく、バス優先レーンの制御と併用することにより、バスの平均速度向上にとって相乗の効果を発揮する。

## 5. む す び

地下鉄網が比較的良好に整備された都市において、通常距離の移動については、バスのほうが所要時間が短く便利であるという調査報告がある。このような意味でも各種新交通システムとは違った角度からバス運行体系を見直し、便利なバスの復権を旨としてバスシステムの再編成をはかる必要がある。

バス運行改善をはかるためには、運行改善の手法を体系化するとともに、交通工学的な立場からバス運行モデルを設定し、細部にわたる地道で長期的な努力を続けることが要求される。

おわりに、混合交通流の実測にあたりご協力をいただいた各位に深く感謝の意を表します。

## 参 考 文 献

- (1) C. M. Elmberg : The Gotheburg Traffic Restraint Scheme, Transportation 1, No. 1, 1~27 (1971)
- (2) 川名：都市バスに利用者から注文する、運輸と経済, 32, No. 9 (昭 47)
- (3) 岡本：東京における広域交通管制の現状とその将来, 電学誌, 93, No. 6, 507~514 (昭 48)
- (4) 機械振興協会, 経済研究所：社会開発システムの研究(3)ーバスレーンの効果分析ー, 機械工業経済研究報告書, 47-D-3, (昭 48)
- (5) 久本：バス優位性をどう考えるか, 運輸と経済, 34, No. 2 (昭 49)
- (6) 中村：ヨーロッパの都市交通対策, 運輸と経済, 34, No. 10 (昭 49)
- (7) 西川, 板倉, 宇土, 中堀, 菅野, 岡沼：都市街路におけるバス交通特性の調査, 第 2 回交通工学研究発表会, 論文集 (昭 49)
- (8) 中堀：都市平面街路における自動車密度推定の一手法, 第 17 回自動制御連合講演会 (昭 49)

# 塩浜操車場自動化システム

工藤一能\*・田形欽次\*・渡辺武雄\*\*・石井和夫\*\*

## 1. ま え が き

昨今の貨物輸送業務は、安全性、高速化に加えて、省力化も各界からの要請に答えるべく実施されており、その進歩には、目をみはらせるものがある。

このような状況のもとで、国鉄における貨物輸送も、各部において近代化が推進されているが、その中でも全国各地に点在し、かつその中枢部を占めている貨車操車場 (Yard) の自動化建設は、緊急に行われつつあるプロジェクトの一つである。

塩浜操車場は、郡山、高崎操車場について、3番目の操車場自動化システム (YACS) として、誕生したものである。

ここでは、各種の設計打合せ、プログラム作成、及び現地試験を経て、昭和49年9月、運用開始となり、現在好調にか(稼)動を続けている「塩浜操車場自動化システム (塩浜 YACS)」の概要を紹介する。

塩浜 YACS の特長は次のとおりである。

- (1) リモコンカー (L4) を採用した最初の実用化ヤード。
- (2) 電算室の無人化に伴う保守要員の省力化。

## 2. 塩浜 YACS の概要

### 2.1 塩浜操車場とその特徴

塩浜操車場は、神奈川県川崎市の臨海工業地帯の一角に位置し、周

辺地域の貨物輸送業務を行うために、新設された中規模のハンパヤードである。

塩浜操車場は、武蔵野線、京葉線の新設に伴う輸送量の増大、及び周辺の各工場地帯から出荷、あるいは入荷される貨物を一手に担うことが予想され、とりわけ、付近の石油精製工場からの取扱貨車 (タンク車) が、圧倒的に多いのが特徴である。図1は、塩浜操車場付近の貨車の流れ図である。

なお、塩浜 YACS 達成に必要な、ヤード構内機器配置図は図2に示すとおりであり、塩浜操車場の規模はおおよそ次のとおりである。

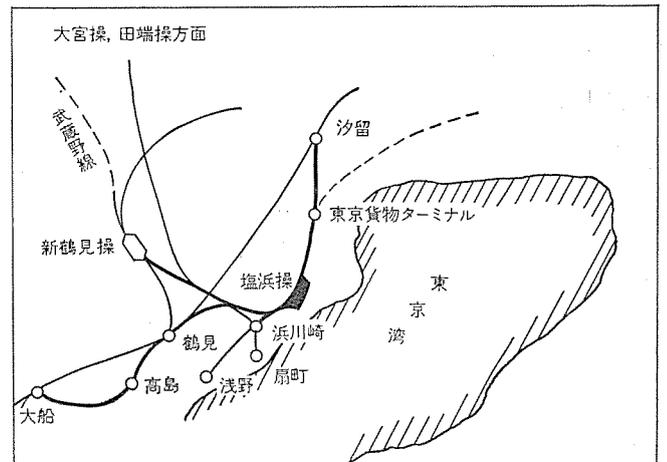


図1. 塩浜操車場を中心とした貨車の流れ図

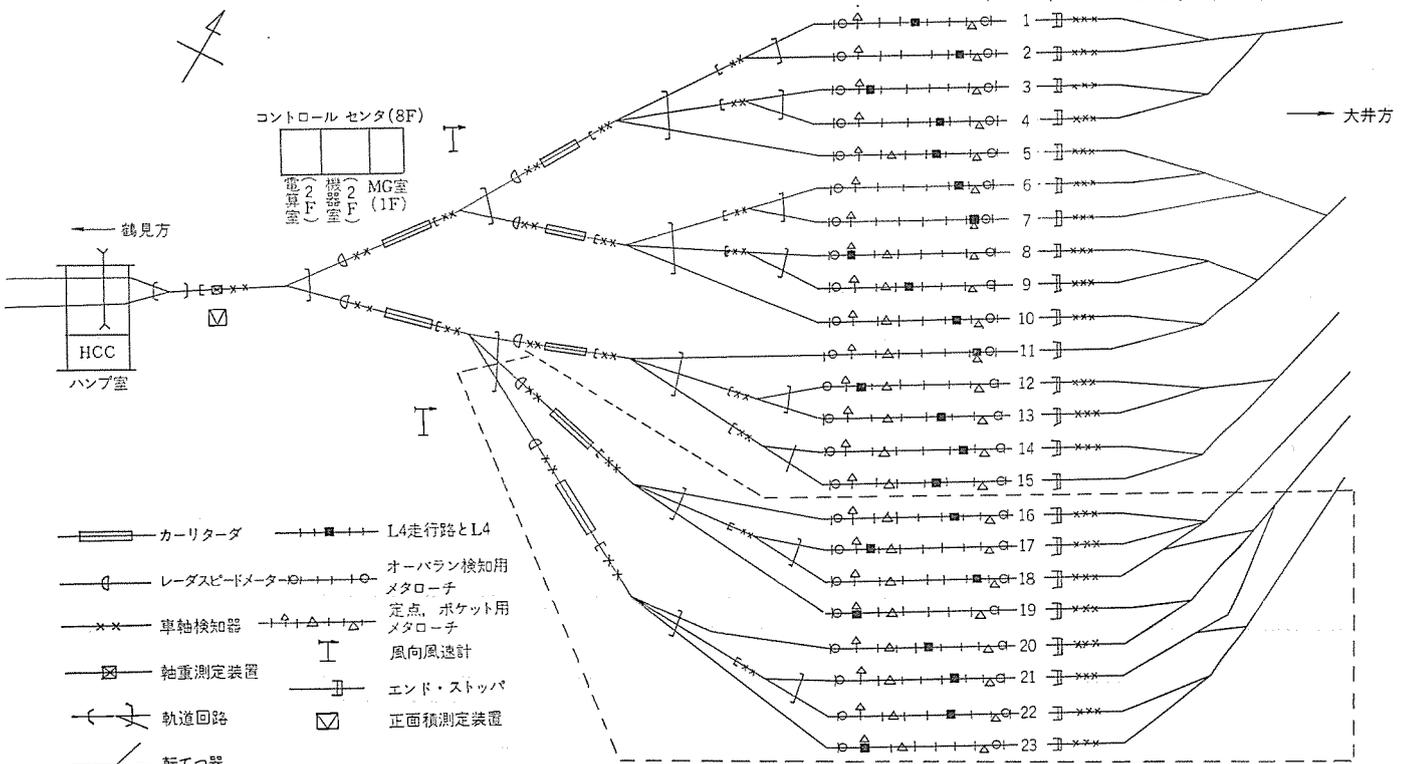


図2. 塩浜操車場 構内配置図 (点線内は将来増設予定のもの)

- (1) 方向別仕訳線数： 15線 (将来23線まで拡張予定)
- (2) 取扱貨車両数： 約1,000両/日 (将来1,800両/日)
- (3) 制御方式： リモータ方式
- (4) ルート数： 約500ルート

## 2.2 ヤードの機能と塩浜 YACS の範囲

ヤードの機能を、簡単に述べると次のようになる。

つまり隣接ヤード又は、出発駅より集結し編成された貨物列車が当該ヤードに到着列車として、到着する。

その際、到着列車と一緒にあらかじめ入力されてくる「1列車編成成分の貨車情報」(着組成通報)をもとに、当該ヤードの作業規準に従い、分解表(列車番号、分解番号と先行番線、などの各データの入っている情報テープ)を作成し、それを電子計算機システムに記憶させる。

その状態で、到着列車をハンパ頂上に押上げ、分解貨車単位に適当な間合いをおき、切離す。

すると分解車は、急こう(勾)配を下り始め、転走貨車付近に設置されているヤード機器により、検知、及び制御され一定速度内で仕訳線の停留貨車と連結させる。そしてつぎつぎと散転され、仕訳線内に停留した貨車を、組成作業計画に基づき1列車に仕立てて、出発列車として隣接ヤードに送り出す機能を持ったものである。

以上の各作業は、従来すべて人手にゆだねられており、その危険度が高いこと、及び多くの従事者が必要なこと、などが YACS 化に拍車をかけているのが現状である。

ここに紹介する塩浜 YACS は、上記作業のうち、下記の作業項目に対しての自動化が実施された操車場である。

- (1) 転走貨車の方向別仕訳線への進路構成制御 (仕訳制御)
- (2) 転走貨車の走行速度制御 (速度制御)
- (3) 仕訳線内の停留車との、一定速度内での連結速度制御

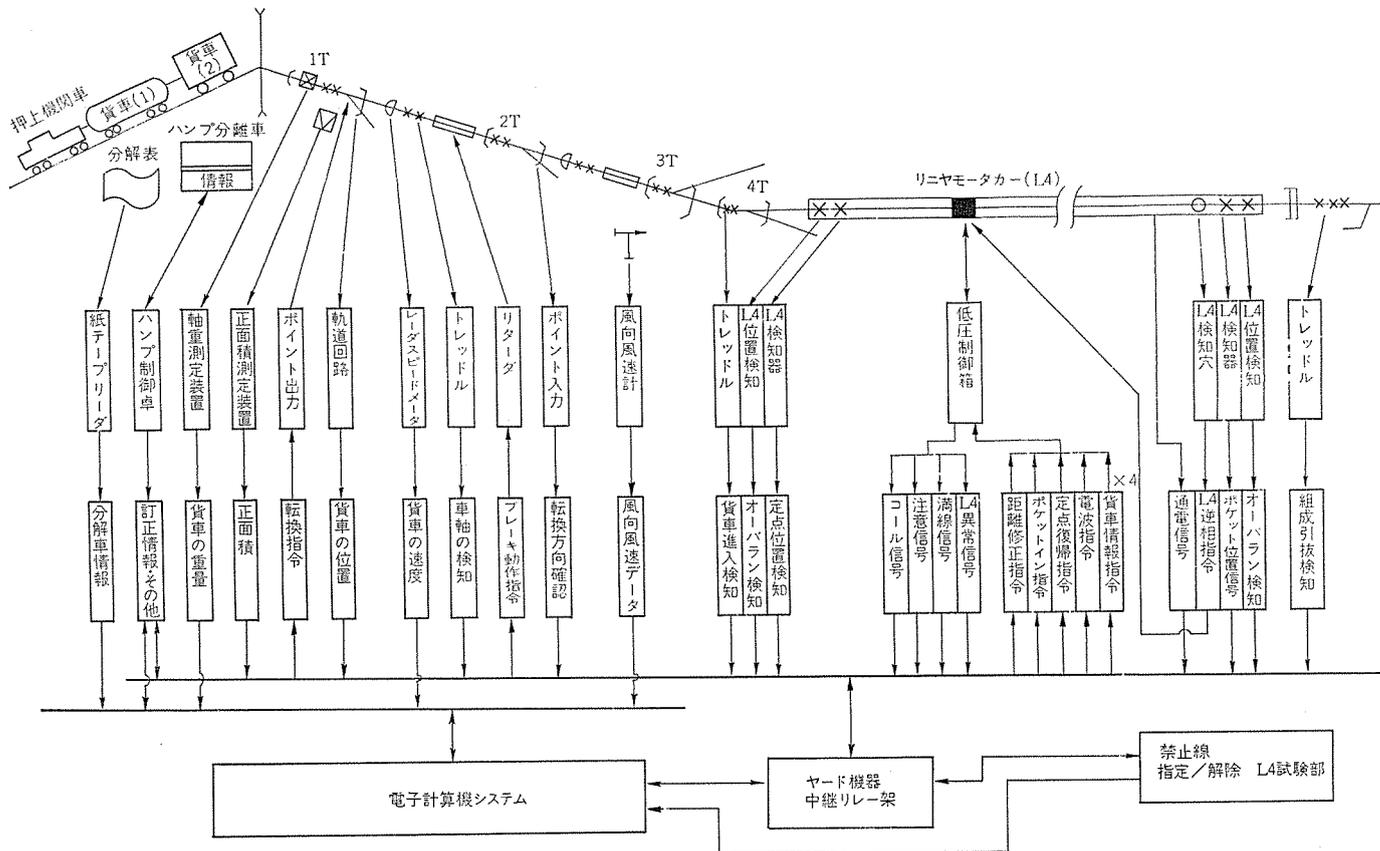


図 4. 塩浜 YACS 構成図



図 3. 塩浜操車場 構内の夜間風景

その他ヤード構内も継電連動化されており、それらと一体となって、一連のヤード作業が実施されている。

## 2.3 塩浜 YACS の制御方式

従来の YACS 制御方式には、次の2通りの方法があった。

- (1) ターゲットシューティング方式
- (2) 油圧・ユニット方式

今回、塩浜 YACS で初めて、次の制御方式が実用化された。

- (3) リモータ (略称: L4) 方式

塩浜 YACS の制御方式は、ハンパ頂上より仕訳線入口までを、2段のカーリターダによるターゲットシューティング方式で制御を行い、仕訳線内を L4 により、連続的に転走貨車の制御を行って、安全速度で停留車に連結させる方法である。

## 3. システムの構成と機能

このシステムの構成図は、図 4. に示すとおりであり、そのソフトウェアは、国鉄と当社の共同開発により開発された。

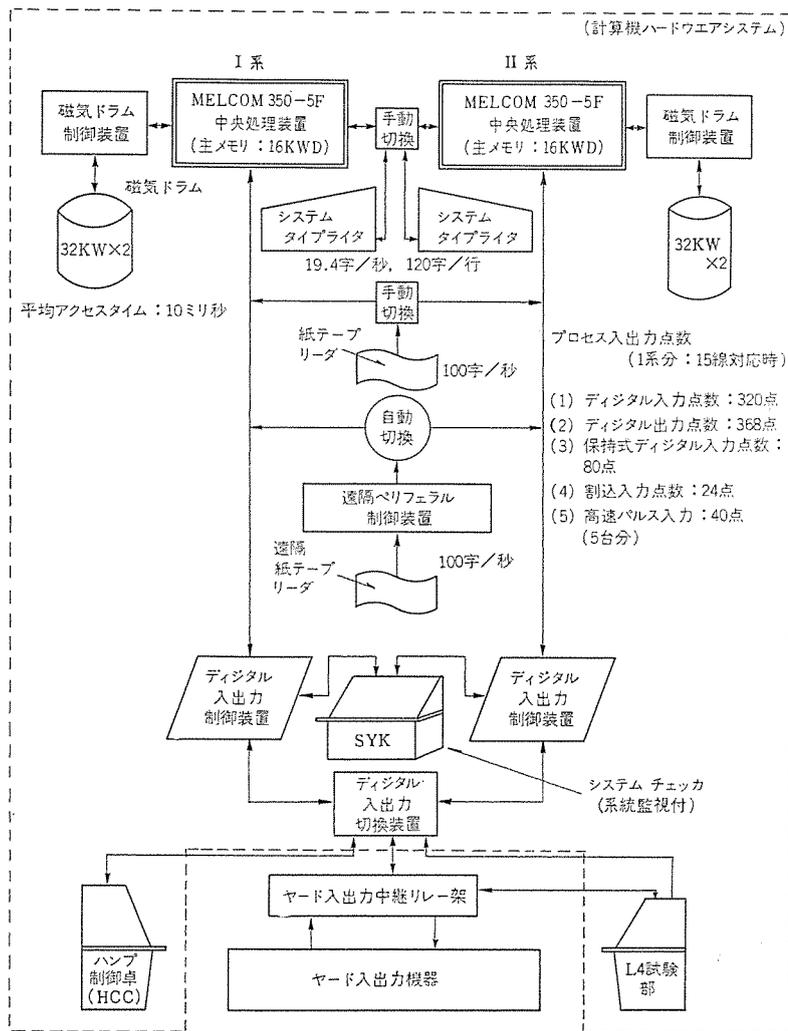


図 5. ハードウェア システム 構成図

表 1. ヤード 機器一覧とその概要

機 器 名 称 (略 称)	信号区別		機 能 及 び 用 途	入出力信号の点数
	入力	出力		
1. 軌 道 回 路 (TC)	○		ポイント鎖錠用及び、分解貨車の存在を知るために用いられる	1点/台
2. 車 輪 検 知 器 (TD)	○		貨車の車輪を検知するもので、分解貨車の軸数、L4 情報指令タイミングに主に用いられる	1点/台
3. 軸 重 計 (AW)	○		分解貨車の重量をアナログ(電圧)値で測定する	10点/台(A/D変換後)
4. 正 面 積 測 定 装 置 (SQ)	○		分解貨車の正面積を4レベルで測定する	4点/台
5. 風 向 風 速 計 (WD)	○		橋内の風向風速値をアナログ(電圧)値で測定する	11点/台(A/D変換後)
6. レーダスピードメータ (RSM)	○		転走中の分解貨車の速度測定を行って、リターダ速度制御のデータとして用いられる	8点/台
7. カ ー リ タ ー ダ (RT)		○	転走貨車を、目標速度に近づけるためのブレーキ(空圧)装置として用いられる	4点/台
8. ポ イ ン ト (PT)	○	○	転走貨車を、目的の方向別仕訳番線に進路を構成するために用いられる	2点/台(入出力とも)
9. リ ニ ャ モ ー タ カ ー (L4)	○	○	方向別仕訳線に進入した貨車の速度制御を行って、停留車に安全速度で連結させるのに用いられる	9種/台(入出力とも)
10. エ ン ド ス ト ッ プ (ES)			方向別仕訳線内停留車の流出防止のために設置されているブレーキ装置であるただし、計算機との入出力信号はない(1台/仕訳線)	

### 3.1 ハードウェア システムの構成

まず中央処理装置には、ワイヤメモリを実装し、高速演算処理を可能にした制御用電子計算機 MELCOM 350/5F (16 KWD) を使用している。そして、計算機システムのか動率向上のために、中央処理装置、磁気ドラム、及び入出力装置は、2重に装備されている。

計算機ハードウェアシステム構成図は、図 5. に示すとおりであり、各仕様は次のとおりである。

#### (1) 計算機本体

- 主メモリ : プレーテッドワイヤメモリ 16K語
- 語長 : 16ビット/語+1パリティビット
- サイクルタイム : 0.5マイクロ秒
- 命令数 : 32種

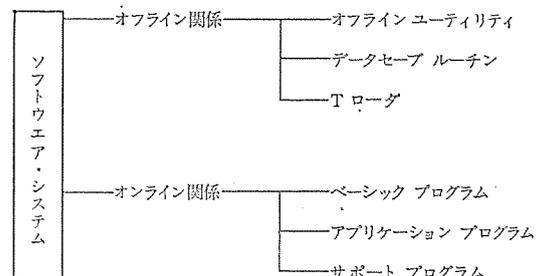
#### (2) ヤード入出力機器

塩浜 YACS 用自動化機器には、10種類あってその概要は表 1. に示すとおりである。

### 3.2 ソフトウェア システム

#### 3.2.1 ソフトウェア システムの構成

塩浜 YACS におけるオンラインリアルタイム処理の運営を能率よく行えるように設計されており、その構成は次のような体系になっている。



#### 3.2.2 ソフトウェア システムの機能

##### (1) オフライン 関係

計算機システムとヤードが接続されていない状態のときに、主メモリ、及び外部メモリにオンライン関係の各種プログラムのセッティング、及び重故障発生時のデータ退避を行うために用いられるオフライン処理群のプログラムである。

##### (2) オンライン 関係

###### (a) ベーシックプログラム

システムの入出力信号制御、オンライン業務処理プログラムの実行制御、エラー監視、及び計算機運転システムの制御処理を行う一連の管理プログラムである。

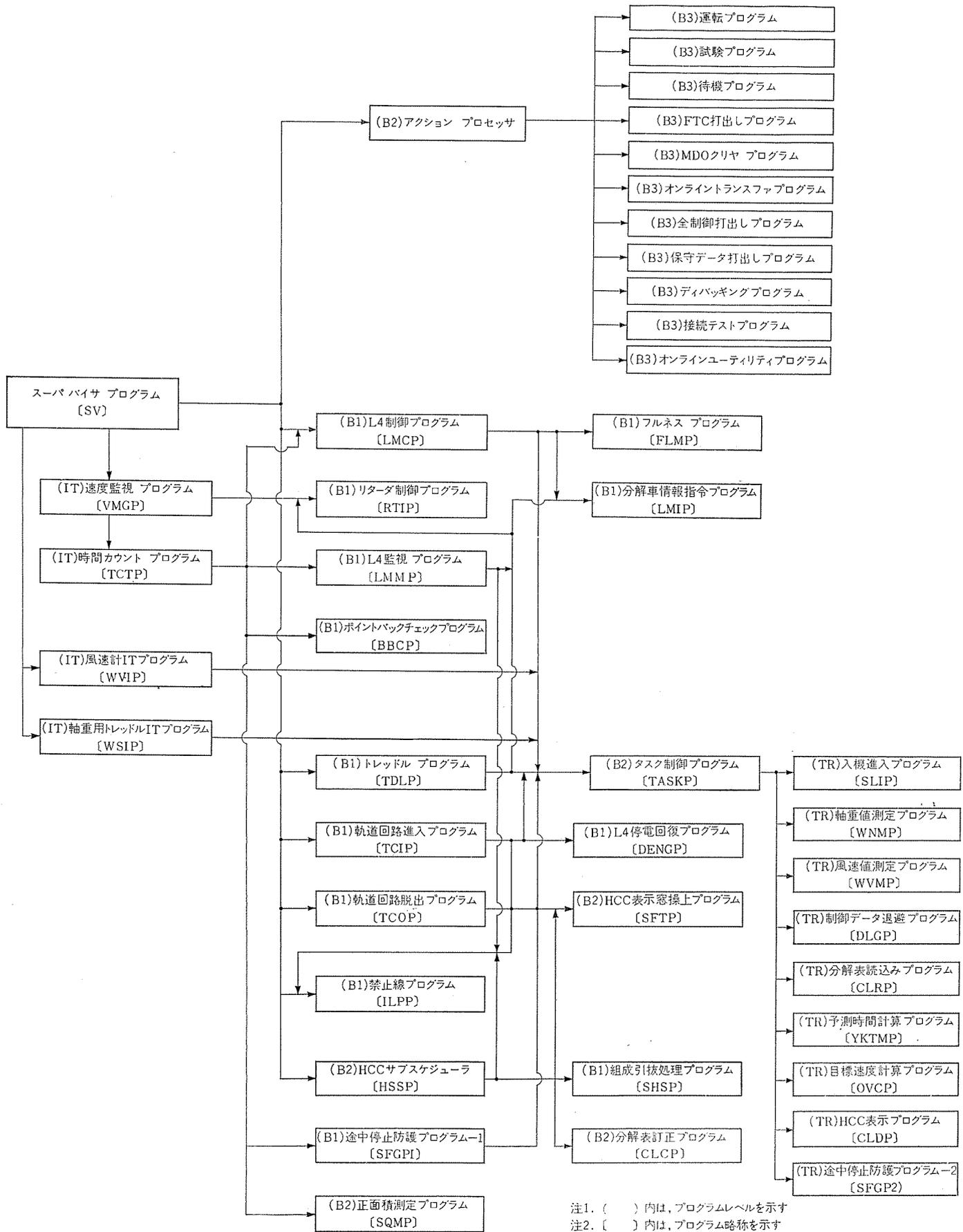
###### (b) アプリケーションプログラム

4章に述べてあるアプリケーションシステムの業務処理を行っているプログラムシステムである。

これには、周期的に起動するもの、ヤード入力信号により起動するもの、一定時間ごとに起動するものがあり、時々刻々変化するヤード構内の動きに追随しながら、動作していくプログラム群より成立している。

###### (c) サポートプログラム

プログラムデバッグ、ヤードとの入出力接続状態のチェック、及び計算機ハードウェアの診断、などのチェック機能が容易に行えるためのプログラム群である。



注1. ( ) 内は、プログラムレベルを示す  
 注2. [ ] 内は、プログラム略称を示す  
 注3. IT/B1/B2は、レジデント プログラム、B3はワーキング  
 エリアを使用、TRはトランジェント エリアを使用して  
 動作する

図 6. プログラム システム 構成図

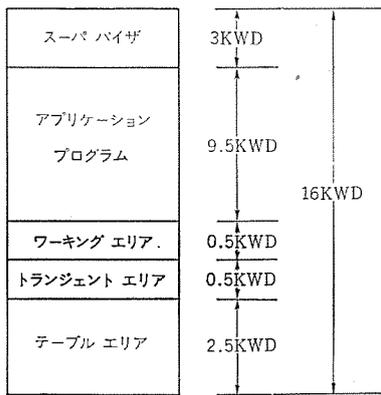


図 7. 主メモリマップ

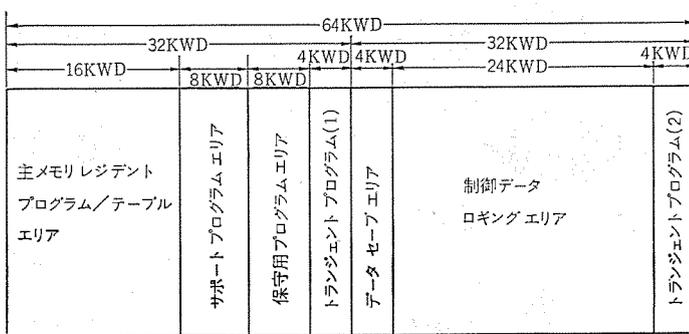


図 8. ドラムメモリマップ

なお、上記のプログラム構成図は、図 6. のとおりであり、主メモリ、及びドラムメモリの各マップは図 7., 8. である。

### 3.3 運転方式と運転管理システム

運転方式は、計算機システム重故障によるヤード作業の停止時間を少なくし、かつ、製作コスト、待機系の有効利用、などの面より、「待機 2 重系 (Duplex System)」方式が採用されている。

そこで、各系の計算機運転状態には次の 4 状態があり、各状態への移行は図 9. に示すとおりである。

- (1) 「運転」状態： 計算機システムは正常であり、ヤードと入出力が接続されていて貨車制御が実施できる状態。
- (2) 「待機」状態： 計算機システムは正常であるが、ヤードとの出力は切離されていて、待機している状態。
- (3) 「試験」状態： 計算機システムは正常であって、ヤードへの出

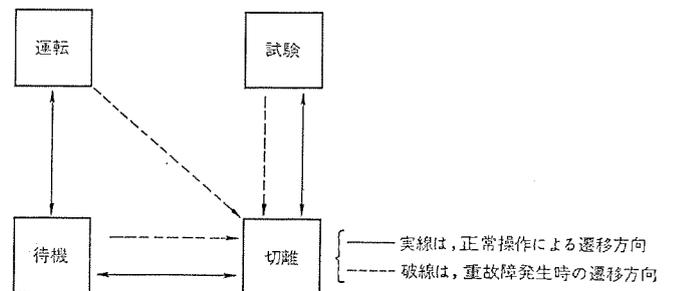


図 9. 運転状態の遷移図

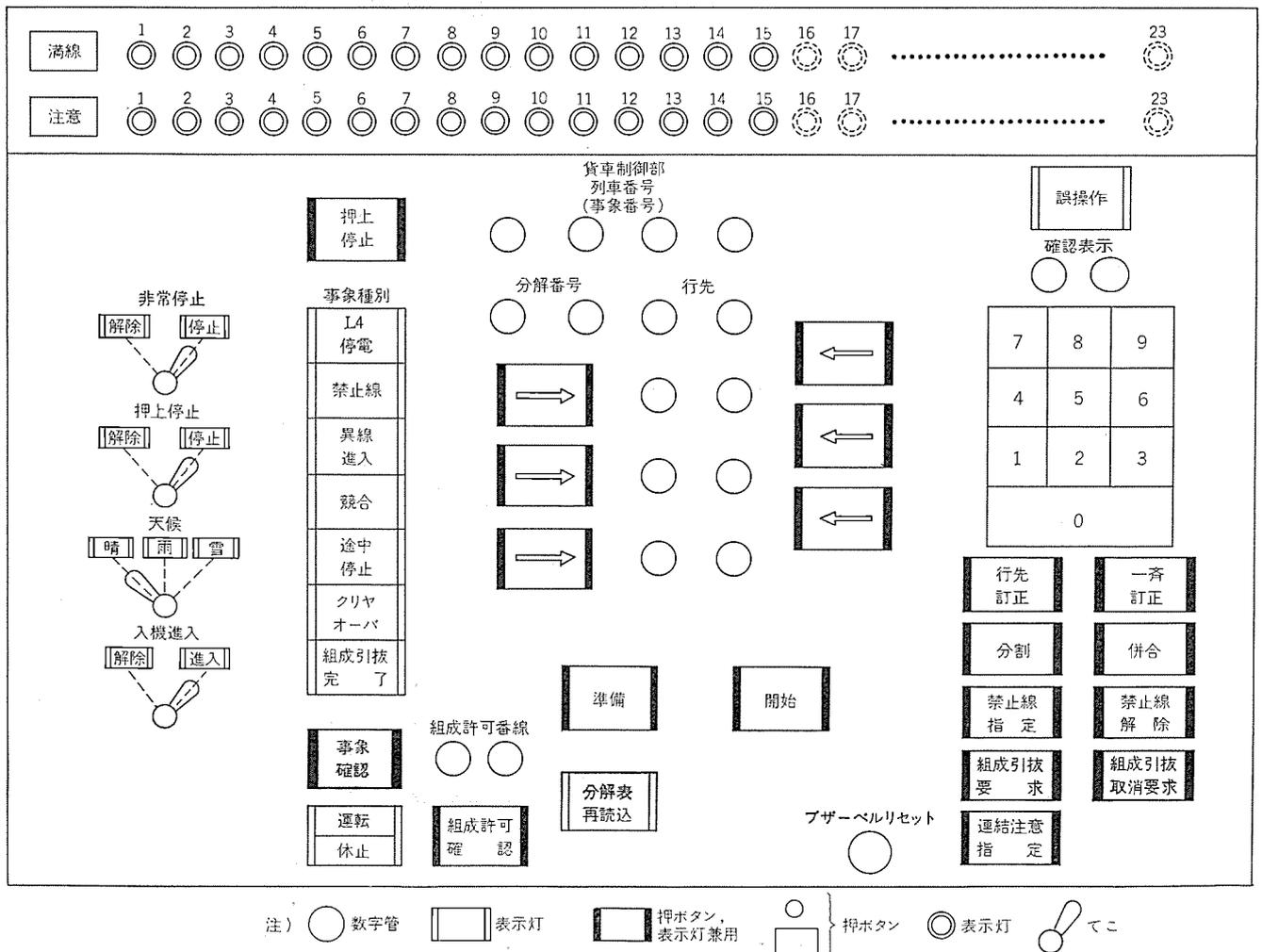


図 10. HCC 貨車制御部 盤面図

力は切離されているが、入力はヤード又はコンソール (SYK) と接続可能であり、プログラムテストが可能な状態。

(4) 「切離」状態： 入出力ともにヤードとは切離されている状態でオフライン作業以外には使用できない状態。

#### 4. アプリケーション システム

##### 4.1 貨車制御を行う準備作業

列車番号、分解番号と行先仕訳番線がパンチされている分解表テープを、PTR にセットし読取らせる。終了した時点でそれらの情報をHCC (ハブ制御卓) に表示する。

ここでハブ作業員は、散転しようとしている列車情報と、電子計算機に読ませた情報とが一致していることが確認できる。

この時、又は散転途中で行先変更、あるいは間違いが発見されれば、HCC より変更操作ができる。図 10. は、HCC, 貨車制御部の盤面図である。

##### 4.2 貨車制御のシーケンス

ハブ 頂上より切離された分解貨車は、急こう配を高速で、指定された「行先 (仕訳番線)」に向かって、転走を始める。

その際、前もって与えられた情報は行先だけであるため、これだけでは貨車制御を行うには不十分である。したがって転走中にヤード構内の適所に設置されている機器群より、制御に必要な下記の自分解車の情報が測定される。

- 分解貨車の車軸数： 車軸検知器
- 分解貨車の分解長： レーダスピードメータ
- 分解貨車の重量： 軸重測定器

分解貨車の正面積： 正面積測定装置

構内の風向風速値： 風向風速計

##### (1) 仕訳制御について

転走貨車が、軌道回路に進入すると、軌道回路信号が計算機に入力される。そこで当該軌道回路と行先により、次段のポイントが決定され、次段軌道回路脱出端までに先行貨車がないことを確認して、次段のポイントを行先方向に転換指令を出し、その確認を行う。もし先行貨車が存在する場合には、先行貨車が軌道回路を脱出した時点

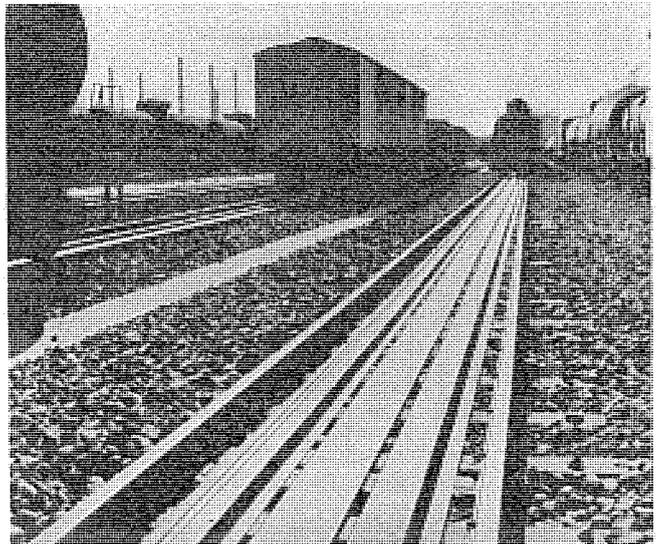


図 11. 転走貨車と仕訳線内の L4 走行路

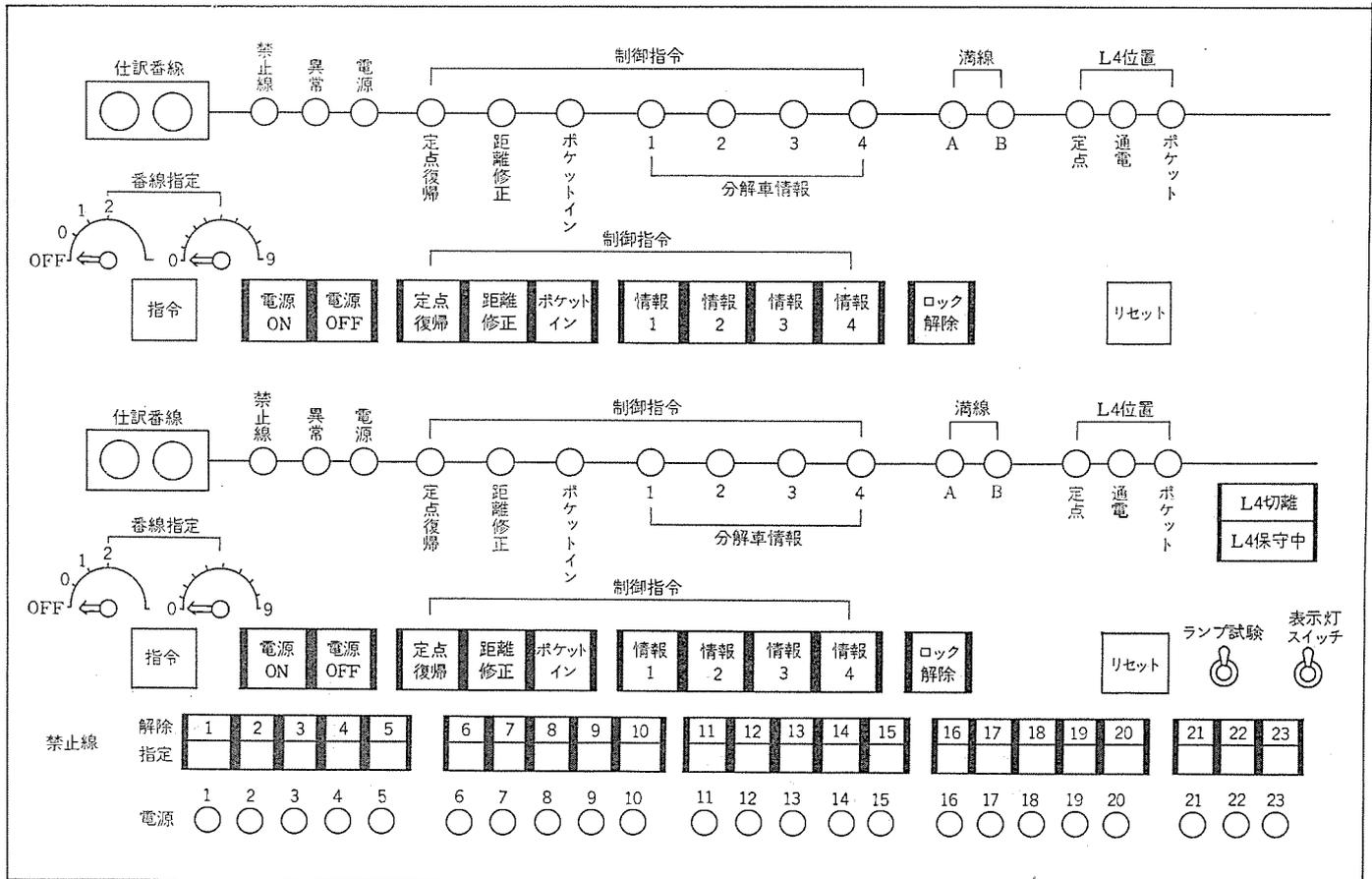


図 12. L4 試験部 盤面図

で、ポイント転換処理が行われる。

このようにして、次々とポイント転換処理を行いながら、目的とする行先（仕訳番線）に、貨車を進入させる。

#### (2) 速度及びL4制御について

ハンプ頂上より仕訳線入口までの速度制御は、ターゲットシューティング方式である。つまりハンプ頂上より急こう配を転走し始めた分解貨車は、前項で述べた情報を実測し、更にテーブルにあらかじめ記憶されている各区間の走行距離、走行抵抗などにより、リターダ脱出目標速度が決定され、カーリターダの前に設置されている車軸検知器とレーダスピードメータにより、転走貨車の接近を検知し、貨車重量、天候状態により適性ノッチを決定し、カーリターダに動作指令を出す。以後レーダスピードメータにより40msごとに転走貨車の速度監視を行い、リターダ脱出目標速度まで減速させて、その時点でカーリターダに開放指令を出す。

そして仕訳線入口に待機しているL4のキャッチ速度(10~15km/h)で転走貨車を進入させる。

次に仕訳線内の速度制御であるが、これはまくら木上に敷設された走行路を自由に走行できるリニアモータによる連続制御である。まず仕訳線内に転走貨車が進入すると、L4内の近接スイッチにより貨車の進入を検知し車輪を捕捉して、一定速度内(13~15km/h)で減速地点まで走行する。

そこでL4内ブレーキにより貨車を減速させ、その後突放しを行ってL4は単体で仕訳線入口地点(定点)に復帰する。

もし復帰途中で後続の転走貨車を検知すると、急停止し、以後同様の動作を繰り返す。

なお減速地点と突放し速度は、分解貨車の重量及び連結注意車の有無により計算機より指令される。図10はL4試験部の盤面図である。

#### 4.3 組成作業について

出発列車を仕立てる場合の組成作業は、まず組成現場よりハンプに対して“n番線の組成作業を行いたい”旨の連絡を行う。それに基づきハンプでは、HCCを介して計算機に問い合わせ操作を行い、その判定を待つ。条件が満足されれば、HCCに組成許可の表示が行われ、それを組成現場の作業員に連絡することにより、組成作業が開始される。

現場の組成作業が終了すると、自動的に「組成作業完了」を検知し、L4の初期セット運転終了後、その旨HCCに表示されて、一つの組成作業が終了する。

#### 5. 営業開始後のか動状況

昭和49年9月開業以来、3ヵ月(11月末現在)になろうとしている。開業当初システムの初期故障的障害が1件あったが、それも関係者の

協力で解決することができた。

9月末(1ヵ月間)までにおける計算機システムのか動状況は、次のようになっている。

運転状態 系別	運転	待機	メンテナンス	計算機 システム ダウン	か動状況
I系	256時間00分 (38.94%)	259時間00分 (39.40%)	142時間00分 (21.60%)	0時間25分 (0.06%)	
II系	255時間30分 (38.86%)	266時間45分 (40.58%)	135時間10分 (20.56%)	0時間00分 —	
計算機 システム	511時間30分 (38.90%)	525時間45分 (39.99%)	277時間10分 (21.05%)	0時間25分 (0.03%)	1314時間50分 (99.97%)

なお、10月、11月におけるか動データが集計できていないため、この資料には記載できなかったが計算機システムダウンがなく、好調にか動されているので、か動率は99.99% (概算)以上になっている。

#### 6. む す び

昭和43年に自動化ヤードが誕生して以来、急速にYACS化に対する気運が生まれ、現在塩浜YACSを含め、5ヤードにおいてか動又は現地試験中である。

そして現在、全国各地の主ヤードを自動化ヤードとすべく、「YACS標準化」の検討が着々と進められている。

このような情勢のもとで、各既設の自動化ヤード及び試験中の自動化ヤードで集積されたデータ、技術、経験などを持寄って、今後の貨車操車場自動化システムを推進し、実りある仕事にしたいと考えている。

末尾ながら、このシステムの設計、製作、調整、試験に関して、ご協力いただいた関係各位に感謝する次第である。

特に、終始塩浜YACS建設に対して、また今回の執筆についても多大なるご指導ご助言をいただいた、日本国有鉄道東京第2電気工事局、及び南局・塩浜信号支区の方々に深く感謝する次第である。(昭和49—11—30日受付)

#### 参 考 文 献

- (1) 仁田、長沢：MELCOM 350-5F 制御用電子計算機、三菱電機技報、46、No. 2 (昭47)
- (2) 瀬間：JREA、17、No. 11、12 (昭49)
- (3) 工藤ほか：第9回 鉄道サイバネティクス利用論文集、309、塩浜操車場の自動化システム、P. 139
- (4) 石丸、中川ほか：第11回 鉄道サイバネティクス利用論文集、303、塩浜操車場の自動化—第2報—、P. 163

# 高速道路における自動車密度推定手法の実験的検討

渡辺幸太郎\*・中堀一郎\*\*・岡沼徹\*\*・渡辺秀雄+・三浦望++

## 1. ま え が き

自動車交通の発達により我が国でも本格的な高速道路交通時代に入り、交通システムの一環として高速道路交通流の解析と制御の必要性が生じてきている。この論文では交通流の研究において重要と思われる道路区間内の車両数（区間密度）のオンラインによる推定手法と、速度検出器としてレーダスピードメータを使用した名神高速道路交通流実測の内容を説明し、密度推定手法をこの実測データに適用した結果について述べる。

名神高速道路での交通流実測は昭和49年3月6、7日に桜井パーキングエリア京都側にある陸橋（鷗林橋）と、天王山トンネル大阪側入口を両端とする京都方向の2車線からなる道路区間において行われた。この実測では、区間両端における車両の通過時刻と通過速度の計測並びに一定時間間隔の区間写真撮影が実施された。

区間密度推定は Nahi や Gazis らによって開発されており、その概要は次のようになる。Nahi と Trivedi の推定方式は、流入地点交通量と通過速度並びに流出地点通過速度を入力とし、区間密度と空間平均速度を状態変数として車両保存則と空間平均速度の推定移行式からなるシステム状態方程式をたて、流体方程式（交通量）＝（区間密度）・（空間平均速度）を観測方程式としてカルマンフィルタにより区間密度と空間平均速度を推定する方式である<sup>(1)</sup>。Gazis と Knapp の推定方式は、流入出地点交通量を入力とし、区間密度を状態変数として車両保存則からなるシステム状態方程式をたて、流入出地点通過速度より旅行時間を推測し概略の区間密度を算出して、これに状態変数が等しいという観測方程式を用いてカルマンフィルタにより区間密度を推定する方式である<sup>(3)(4)</sup>。

Gazis と Knapp の推定方式は、複雑な旅行時間の計算と密度推定計算の2段になっているため計算時間が長くなるが、Nahi と Trivedi の方式は計算がはるかに簡単であるし、推定精度も余り変わらない。この論文の区間密度推定には Nahi と Trivedi の推定方式、並びにその問題点を一部改良した推定方式を使用する。この推定方式を今回の実測データに適用した結果は十分満足のものである。

## 2. 交通流実測とその結果

### 2.1 名神高速道路交通流実測の内容

昭和49年3月6、7日の両日、図1にある桜井パーキングエリア京都側陸橋（鷗林橋）と、天王山トンネル大阪側入口を両端とする京都行き2車線からなる道路区間において実測を行った。

鷗林橋を流入地点 A、天王山トンネル大阪側入口を流出地点 B とするその区間は長さが約1.48 km であり、道路のこう（勾）配は鷗林橋まで1.54%の上り、そこから水無瀬川付近まで2.91%の下りで、そこから天王山トンネル入口まで4.58%の上りとなっている。

実測時間は6日について7時から9時まで、7日について7時か

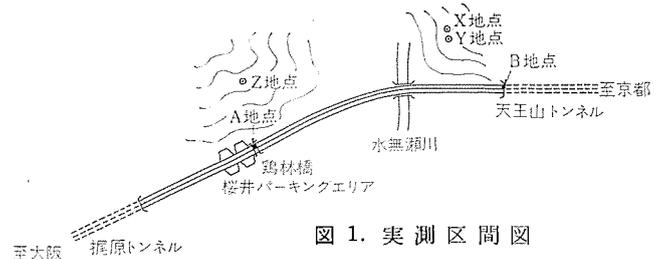


図1. 実測区間図

表1. 写真撮影時刻表

a時						a+1時	
00	11	22	33	59	59	0	0
分	分	分	分	分	分	分	分
03	03	03	03	03	03	03	03
秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒

・時点において写真撮影

表2. 実測の生データ

3月7日 7時30分～35分 地点A 追越 車線

0分0秒～0分59秒		1分0秒～1分59秒		0分0秒～0分59秒		1分0秒～1分59秒	
表示速度 km/h	車両区別	表示速度 km/h	車両区別	通過時刻 秒	車両区別	通過時刻 秒	車両区別
78		81		0		0	
74		84		14		2	
75	1	77		19	1	4	
78		74		21		6	
78		77		23		8	1
78		77		24		10	
78		75		25		12	
78		71		26		14	
87	1	74		27	1	16	
86	1	64		29	1	17	
79	1	62		30	1	20	
84	1	63		33	1	21	
81		61		34		22	
71	1	76	1	45	1	23	
69		84		48		25	1
77		87		52		30	
79		69		54		33	
85		79		56		43	
85		72		59		59	

車両区別は大形車を1とする

ら9時、10時から12時、13時から15時までである。

地点A、Bでは走行車線と追越車線のそれぞれにおいて車両の通過時刻及び通過速度を計測した。また4トン以上の車両を大形車として車種別の記録も行った。

地点X、Y、Zでは区間(A、B)の部分写真撮影を表1.の時刻表に合わせて行い、それら3箇所よりの撮影写真をまとめた区間写真より、1分ごとの区間密度と空間平均速度を計測した。

### 2.2 実測使用機器

車両の通過時刻は、ラジオの時報に同期させた4台のストップウォッチを

用いて計測した。

車両の通過速度は発振器にガンダイオードを用いたポータブルタイプのレーダスピードメータを4台使用して計測した。

写真撮影は200~600mmの望遠レンズを装置したカメラを3台用い、フィルムは白黒(ASA 400)を使用した。なお、各カメラの撮影時刻の同期をとるため、水晶発振器を用いたタイマをラジオの時報に合わせ、カメラに装備した電磁シャッターを作動させた。

### 2.3 実測結果

表2. は実測の生データの一部分(3月7日7時30分~32分)である。表の左側はレーダスピードメータで計測した通過車両の速度であり、実速度はこれに射照角度を考慮に入れた校正をして求められる。表の右側は通過車両の時刻である。これからある時間の交通量が求められる。

図2., 3. は各地点の3月7日の10分間交通量であり、破線部は実測の不調により交通量が求められなかった。

図4., 5. は各地点の3月7日7時~8時の5分間交通量である。

図6., 7. は各地点の3月7日7時~8時の5分間平均通過速度と標準偏差である。B地点の速度がA地点の速度より約10km/h低いのは道路こう配の差によると考えられる。標準偏差は各5分間の平均速度に対するその5分間の通過車両速度の偏差であり、各地点の各時間で約10km/hとほとんど変化しない。大形車は小形車に対して明らかに通過速度が低い。

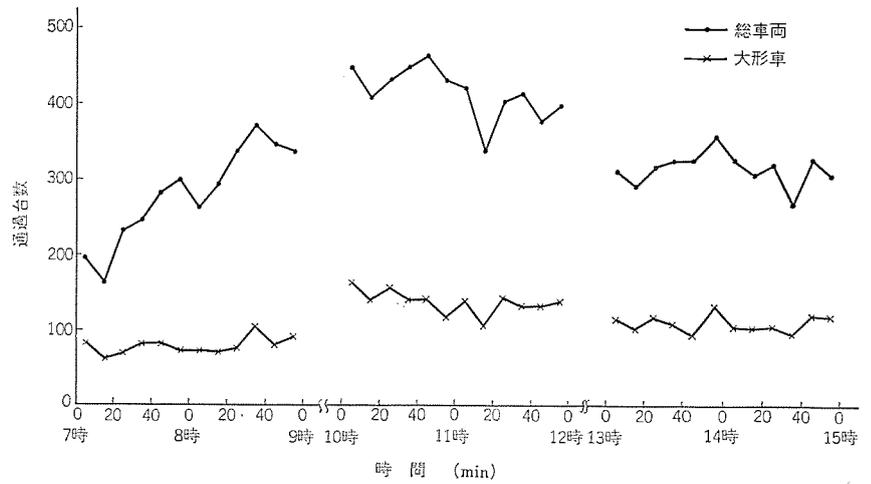


図2. A地点の10分間交通量日変化(3月7日)

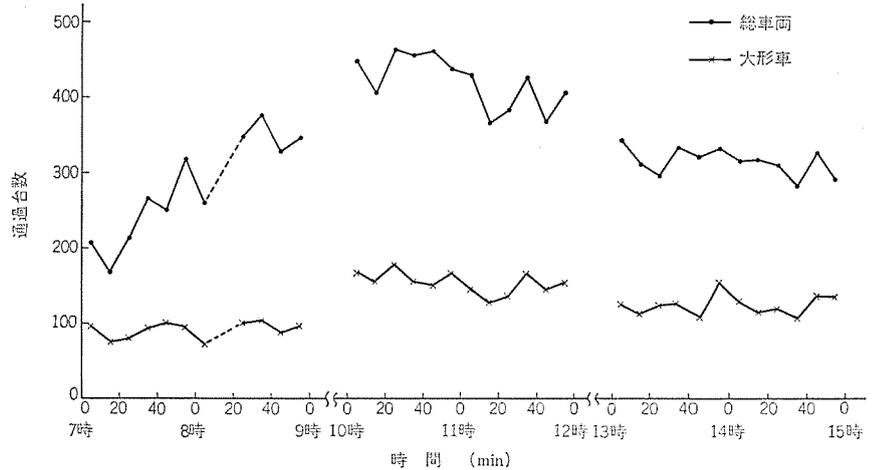


図3. B地点の10分間交通量日変化(3月7日)

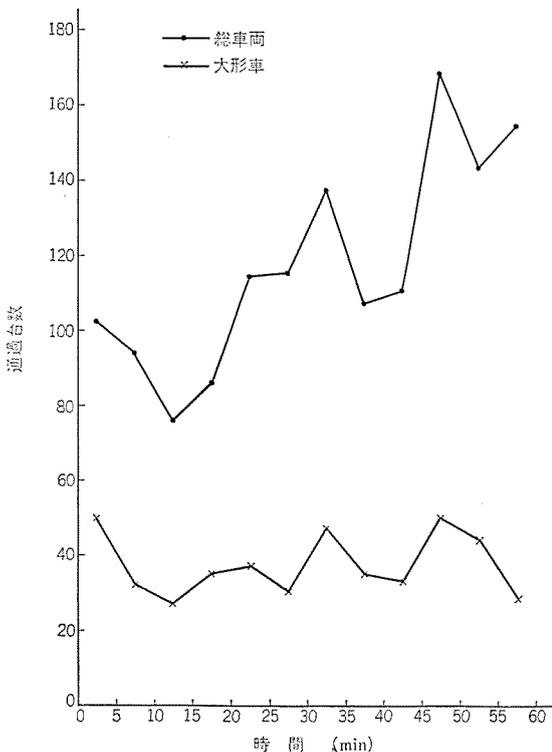


図4. A地点の5分間交通量(3月7日 7~8時)

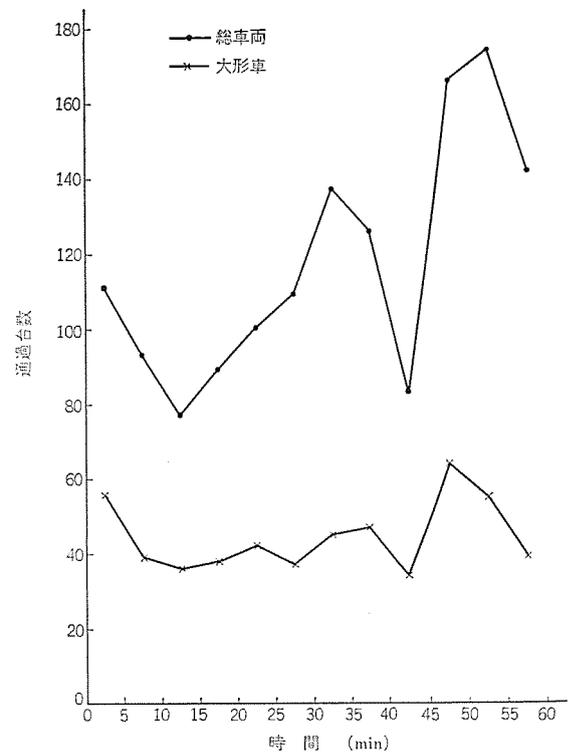


図5. B地点の5分間交通量(3月7日 7~8時)

図 8. は各地点の 3 月 7 日 7 時～8 時の 5 分間別大形車混入率である。本来は地点 A と地点 B の混入率がほとんど一致しなければならないが、今回の実測では大形車の判定に個人差があり図のような各地点での混入率の違いが出てくる。

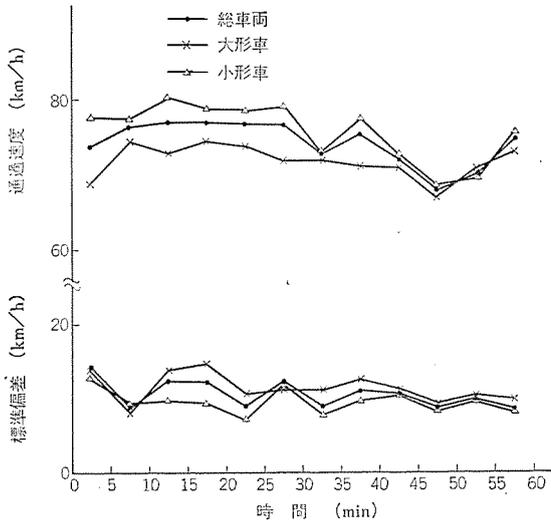


図 6. A 地点の 5 分間平均速度と標準偏差 (3 月 7 日 7 ～ 8 時)

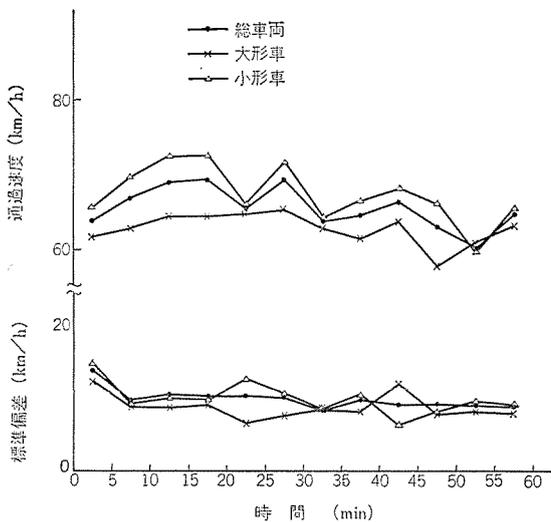


図 7. B 地点の 5 分間平均速度と標準偏差 (3 月 7 日 7 ～ 8 時)

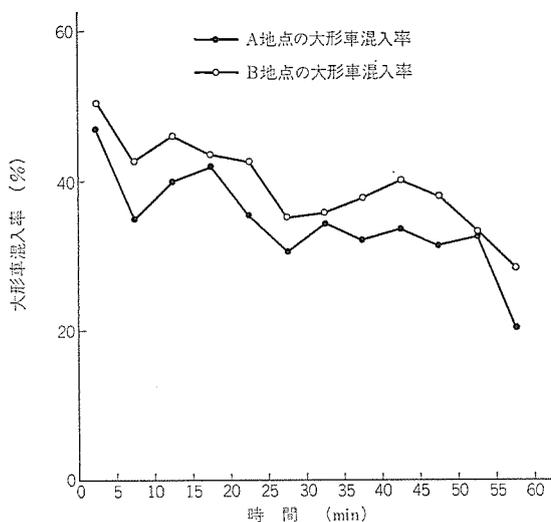


図 8. 5 分間大形車混入率 (3 月 7 日 7 ～ 8 時)

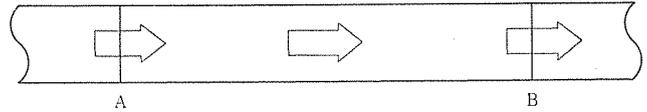


図 9. 高速道路区間図

### 3. 推定方式

#### 3.1 Nahi の推定方式

区間密度, 空間平均速度を推定する道路区間として図 9. のような途中に流入出ランプのない区間をとる。

A を流入点, B を流出点とし,  $X$  を区間 (A, B) の長さ,  $l$  を区間 (A, B) のレーン数,  $T$  をサンプリング時間とする。時刻は離散的に  $kT$  ( $k=1, 2, \dots$ ) で表す。

次に以下のような変数を定義する。

区間密度  $\rho(k)$ : 時刻  $kT$  における区間中のレーン数と単位長当たりの車両台数

空間平均速度  $u(k)$ : 時刻  $kT$  における区間中の車両走行速度の平均値

$I_1(k)$ : 時間  $(kT, (k+1)T)$  の間に A 地点を通過する車両台数

$I_2(k)$ : 時間  $(kT, (k+1)T)$  の間に B 地点を通過する車両台数

$v_1(k)$ : 時間  $(kT, (k+1)T)$  の間に A 地点を通過する車両の走行速度の平均値

$v_2(k)$ : 時間  $(kT, (k+1)T)$  の間に B 地点を通過する車両の走行速度の平均値

$I_1(k), I_2(k), v_1(k), v_2(k)$  の観測値を  $y_1(k), y_2(k), y_3(k), y_4(k)$  とすると観測ノイズ  $\xi_1(k), \xi_2(k), \xi_3(k), \xi_4(k)$  を用いて次のように表される。

$$y_1(k) = I_1(k) + \xi_1(k) \dots \dots \dots (1)$$

$$y_2(k) = I_2(k) + \xi_2(k) \dots \dots \dots (2)$$

$$y_3(k) = v_1(k) + \xi_3(k) \dots \dots \dots (3)$$

$$y_4(k) = v_2(k) + \xi_4(k) \dots \dots \dots (4)$$

ここで  $kT$  時刻において区間 (A, B) に存在する車両台数を  $N(k)$  とし, 各車両の走行速度を  $u_i(k), i=1, 2, \dots, N(k)$  とすると

$$\rho(k) = \frac{N(k)}{lX} \dots \dots \dots (5)$$

$$u(k) = \frac{1}{N(k)} \sum_{i=1}^{N(k)} u_i(k) \dots \dots \dots (6)$$

である。この時,  $u_i(k)$  を確率変数とみなし, 交通流が定常であるとして次式を仮定する。

$$\left. \begin{aligned} E v_i(k) &= \mu \\ E \{ [v_i(k+l) - \mu] \{ v_j(k) - \mu \} ] &= a e^{-b|l|} \delta_{ij} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (7)$$

これを  $u(k)$  に代入し確率過程モデルより次式を得る。

$$u(k+1) = \alpha u(k) + \eta(k) \dots \dots \dots (8)$$

ただし,  $\alpha = e^{-b}$

$$E \eta(k) = (1 - \alpha) \mu$$

$$E \{ [\eta(k) - (1 - \alpha) \mu] \{ \eta(l) - (1 - \alpha) \mu \} ] = \frac{\alpha(1 - \alpha^2)}{N(k)} \delta_{kl}$$

これを用いて速度の関係式が次のように求められる。

図 10. のように  $kT$  時刻において  $P, Q, R$  を走行中の車両が  $(k+1)T$  時刻において  $P', Q', R'$  に移行したとすると,  $P'$  にいる車両の台数は  $I_1(k)$  でその平均速度は  $v_1(k)$  であり,  $R'$  にいる車両の台数は  $I_2(k)$  でその平均速度は  $v_2(k)$  である。  $Q'$  にいる車

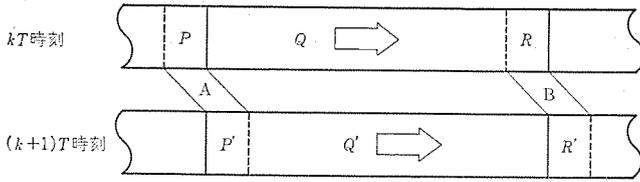


図 10.  $kT$ ,  $(k+1)T$  時刻の高速道路区間図

両の台数は  $N(k) - I_2(k)$  であり、式 (8) より空間平均速度は  $\alpha u(k) + \eta(k)$  である。したがって  $(k+1)T$  時刻における空間平均速度は  $R'$  の影響もかんがみて次式で表される。

$$u(k+1) = \frac{I_1(k)v_1(k) + (N(k) - I_2(k))(\alpha u(k) + \eta(k)) + I_2(k)v_2(k)}{N(k) + I_1(k)}$$

$$= \alpha u(k) + \eta(k) + \frac{v_1(k) - \alpha u(k) - \eta(k)}{N(k) + I_1(k)} \cdot I_1(k) + \frac{v_2(k) - \alpha u(k) - \eta(k)}{N(k) + I_1(k)} \cdot I_2(k) \quad \dots (9)$$

区間密度は車両保存則により次の関係にある。

$$\rho(k+1) = \rho(k) + \frac{I_1(k) - I_2(k)}{L} \quad \dots (10)$$

ただし、 $L = lX$ ,  $N(k) = L\rho(k)$

一方、交通流が一様であることから流体方程式より次の関係式が成立つ。

$$I_2(k) = Tlu(k)\rho(k) + \phi(k) \quad \dots (11)$$

ここで  $\phi(k)$  は  $E\phi(k) = 0$  なる性質をみたす雑音と考えることができる。

以上から式 (9), (10) に、式 (11) を代入してシステム状態方程式が構成され次のようになる。

$$\begin{bmatrix} \rho(k+1) \\ u(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \left(1 - \frac{Tl\alpha}{X}\right)\rho(k) + \frac{I_1(k) - \phi(k)}{L} \\ \alpha u(k) + \eta(k) + \frac{v_1(k) - \alpha u(k) - \eta(k)}{L\rho(k) + I_1(k)} \cdot I_1(k) \\ + \frac{v_2(k) - \alpha u(k) - \eta(k)}{L\rho(k) + I_1(k)} \cdot (Tlu(k)\rho(k) + \phi(k)) \end{bmatrix} \quad \dots (12)$$

一方、式 (11) に式 (12) を代入して

$$y_2(k) = Tlu(k)\rho(k) + \phi(k) + \xi_2(k) \quad \dots (13)$$

なる観測方程式が作られる。

ここで  $I_1(k)$ ,  $v_1(k)$ ,  $v_2(k)$  の最小平均 2 乗推定値を  $\hat{I}_1(k)$ ,  $\hat{v}_1(k)$ ,  $\hat{v}_2(k)$  とし誤差を  $\eta_1(k)$ ,  $\eta_2(k)$ ,  $\eta_3(k)$  としてカルマンフィルタを使うと  $\rho(k)$ ,  $u(k)$  の推定値  $\hat{\rho}(k)$ ,  $\hat{u}(k)$  は次式で表される。

$$\begin{bmatrix} \hat{\rho}(k+1) \\ \hat{u}(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \left(1 - \frac{Tl\alpha}{X}\right)\hat{\rho}(k) + \frac{\hat{I}_1(k)}{L} \\ \alpha\hat{u}(k) + (1-\alpha)\mu + \frac{\hat{v}_1(k) - \alpha\hat{u}(k) - (1-\alpha)\mu}{L\hat{\rho}(k) + \hat{I}_1(k)} \cdot \hat{I}_1(k) \\ + \frac{\hat{v}_2(k) - \alpha\hat{u}(k) - (1-\alpha)\mu}{L\hat{\rho}(k) + \hat{I}_1(k)} \cdot Tl\hat{u}(k)\hat{\rho}(k) \\ + F(k)(y_2(k) - Tl\hat{u}(k)\hat{\rho}(k)) \end{bmatrix} \quad \dots (14)$$

ただし、 $F(k)$  はカルマンゲインである<sup>(2)</sup>。

式 (14) において式 (15) を代入し  $\mu$  を  $\hat{u}(k)$  で置き換えると最終的な区間密度、空間平均速度の推定式 (16) を得る。

$$\left. \begin{aligned} \hat{I}_1(k) &= c_1 y_1(k) + d_1 E I_1(k) \\ \hat{v}_1(k) &= c_2 y_3(k) + d_2 \mu \\ \hat{v}_2(k) &= c_3 y_4(k) + d_3 \mu \end{aligned} \right\} \quad \dots (15)$$

$$\text{ただし、} c_1 = \frac{\sigma_{I_1}^2}{\sigma_{I_1}^2 + \sigma_{\xi_1}^2}, c_2 = \frac{\sigma_{v_1}^2}{\sigma_{v_1}^2 + \sigma_{\xi_3}^2}, c_3 = \frac{\sigma_{v_2}^2}{\sigma_{v_2}^2 + \sigma_{\xi_4}^2}$$

$$d_i = 1 - c_i, i = 1, 2, 3$$

$$\begin{bmatrix} \hat{\rho}(k+1) \\ \hat{u}(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \left(1 - \frac{Tl\alpha}{X}\right)\hat{\rho}(k) + \frac{c_1 y_1(k) + d_1 E I_1(k)}{L} \\ \hat{u}(k) + \frac{c_2 (y_3(k) - \hat{u}(k))}{L\hat{\rho}(k) + c_1 y_1(k) + d_1 E I_1(k)} \cdot (c_1 y_1(k) + d_1 E I_1(k)) \\ + \frac{c_3 (y_4(k) - \hat{u}(k))}{L\hat{\rho}(k) + c_1 y_1(k) + d_1 E I_1(k)} \cdot Tl\hat{u}(k)\hat{\rho}(k) \\ + F(k)(y_2(k) - Tl\hat{u}(k)\hat{\rho}(k)) \end{bmatrix} \quad \dots (16)$$

### 3.2 Nahi 方式の修正

3.1 節の Nahi の推定方式での問題点は式 (12) を導出するとき、式 (11) を式 (9), (10) に代入していることである。このため車両保存則が近似的にしか成立せず、後述するように区間密度の推定はあまりよくない。またこの推定方式を適用する区間が平たん(坦)でないため、後述の実測データからの密度推定によると  $E(y_2(k) - Tl\hat{u}(k)\hat{\rho}(k)) = 0$  とならず空間平均速度の推定精度がよくない。これらの点を改善するために式 (9), (10) に式 (1) ~ (4) を代入してシステム状態方程式を構成し、式 (12) を観測方程式としてカルマンフィルタを使って  $\rho(k)$ ,  $u(k)$  の推定値  $\bar{\rho}(k)$ ,  $\bar{u}(k)$  を求め、正数  $\beta$  を  $E(y_2(k) - \beta Tl\bar{u}(k)\bar{\rho}(k)) = 0$  となるように定め、 $\hat{\rho}(k) = \bar{\rho}(k)$ ,  $\hat{u}(k) = \beta\bar{u}(k)$  として推定値  $\hat{\rho}(k)$ ,  $\hat{u}(k)$  を求める。

この最終的な推定式は次のようになる。

$$\begin{bmatrix} \bar{\rho}(k+1) \\ \bar{u}(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{\rho}(k) + \frac{y_1(k) - y_2(k)}{L} \\ \bar{u}(k) + \frac{y_3(k) - \bar{u}(k)}{L\bar{\rho}(k) + y_1(k)} \cdot y_1(k) + \frac{y_4(k) - \bar{u}(k)}{L\bar{\rho}(k) + y_1(k)} \cdot y_2(k) \\ + F(k)(y_2(k) - Tl\bar{\rho}(k)\bar{u}(k)) \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \hat{\rho}(k) \\ \hat{u}(k) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{\rho}(k) \\ \beta\bar{u}(k) \end{bmatrix} \quad \dots (17)$$

ただし、 $F(k)$  はカルマンゲインであり<sup>(2)</sup>、 $\beta$  は  $E(y_2(k) - \beta Tl\bar{u}(k)\bar{\rho}(k)) = 0$  なる正数である。

### 4. 推定結果とその検討

実測のデータを用いた式 (16) 並びに式 (17) による区間密度推定の結果が図 11., 12. である。 $X$ ,  $T$ ,  $l$  はそれぞれ 1.48 km, 4 秒, 2 レーンである。空間平均速度も同時に推定できるのでその結果も掲げる。推定方式中の定数  $\alpha$ ,  $\alpha$  は道路特性から 100, 0.8 と定め、各種の統計量は実測から次のように決まる。 $\sigma_{I_1}^2 = 1.6$ ,  $\sigma_{v_1}^2 = 202.5$ ,  $\sigma_{v_2}^2 = 102.9$ ,  $E I_1(k) = 1.56$ ,  $\sigma_{\xi_1}^2 = \sigma_{\xi_2}^2 = 4.10 \times 10^{-6}$ ,  $\sigma_{\xi_3}^2 = \sigma_{\xi_4}^2 = 5.5$ ,  $\sigma_{\phi}^2 = 1.6$  式 (17) の  $\beta$  については 1.13 であることが計算により求められる。

なお、 $\alpha$ ,  $\alpha$  を  $50 \leq \alpha \leq 400$ ,  $0.3 \leq \alpha \leq 0.99$  の範囲で動かしても推定値はほとんど変わらない。またカルマンフィルタの誤差とも分散行列の初期値は各要素を 1.0 とする。

図 11., 12. において区間密度は区間 (A, B) 内の車両台数に変換して表示し、●印は 1 分ごとに写真から求めた区間内の真の車両台数であり、■印は 10 分ごとに写真から求めた区間内の空間平均速度である。なお、空間平均速度の実測誤差はかなり大きい。

図 11. は式 (16) による推定結果であり、×, △印は図中にあるように推定の初期値を変えた場合を示している。これは 10 分程度

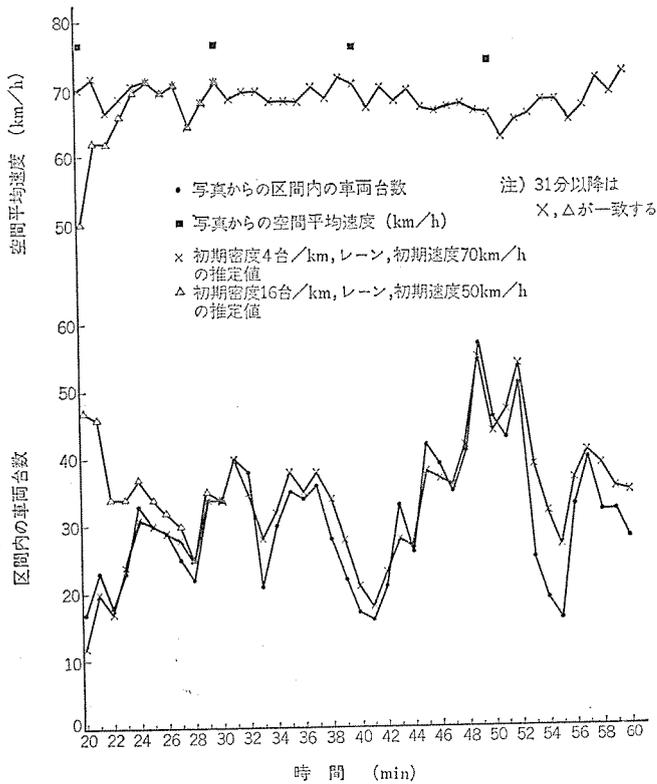


図 11. 式 (16) による区間密度, 空間平均速度の推定  
(3月7日 7~8時)

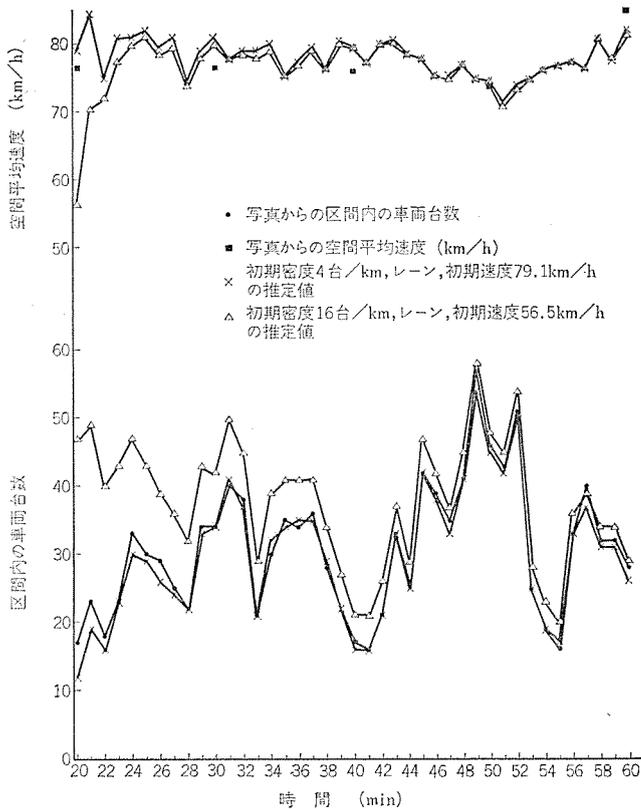


図 12. 式 (17) による区間密度, 空間平均速度の推定

で一致している。しかしその区間密度推定は 31 分, 39 分, 55 分付近で実測値からかなり違っており, 空間平均速度の推定値は全体に約 10km/h ほど実測値より低い。

図 12. は式 (17) による推定結果であり,  $\times$ ,  $\triangle$ 印は図中にあるように推定の初期値を変えた場合を示しているが, 区間密度については約 40 分で大体一致している。しかし  $\times$ 印の推定値は区間密度, 空間平均速度のいずれもよく実測値に一致している。

以上のことから式 (17) の推定は精度が良いにもかかわらず, 推定初期値が真値からかなり離れている場合式 (16) のように推定値がすぐには真値に収束しない。よって実際の区間密度推定においては式 (16) と式 (17) の推定方式を組合せて用いれば十分実用に耐えらる。

## 5. む す び

Nahi の推定方式 (式 (16)) 並びに一部改良した推定方式 (式 (17)) による区間密度推定の結果は, 適用高速道路区間の形状の複雑さにもかかわらず十分に満足のものである。今後の問題点としては区間長の変化による推定精度の違いの検討, 車種別の区間密度推定並びに空間平均速度の明確な推定などがあげられる。

なお, この推定方式をオンラインで行うためには道路区間両端の各レーンにおいて通過検出と速度検出を行い, これらデータを伝送し区間密度を得る演算を行わなければならない。通過及び速度の検出器としてループ, 超音波, レーダなどを利用することができる。計算機はミニコンピュータで十分である。

最後に, 三菱電機(株)制御製作所 梅本隆司, 鎌倉製作所 吉田元彦の両氏及び実測に際し種々ご援助いただいた関係各位に感謝致します。

## 参 考 文 献

- (1) N. E. Nahi and A. N. Trivedi : Recursive Estimation of Traffic Variables, Section Density and Average Speed, Trans. Sci. 7 (1973)
- (2) N. E. Nahi : Estimation Theory and Applications (1969), John Wiley and Sons, INC.
- (3) D. C. Gazis and C. H. Knapp : On-Line Estimation of Traffic Densities from Time-Series of Flow and Speed Data, Trans. Sci, 5 (1971)
- (4) C. H. Knapp : Traffic Density Estimation for Single and Multilane Traffic, Trans. Sci. 7 (1973)

# 地下鉄操業管理の総合化

北川 和人\*・岩村 衛\*\*

## 1. ま え が き

都市圏交通の問題として、都市計画の立場から公共交通を見直し、都市規模に応じ、市民の足として鉄道が再評価される機運にある。したがって昭和50年代に地方中核拠点都市に新設を予定される通勤高速鉄道(地下鉄)の近代化が論じられるのは故なしとはしない。

本文は時代のすう(趨)勢、社会の要請、技術の動向などを看取して、操業の効率化に焦点を合わせ、今後の都市の発展に応じた近代的な操業を可能にする総合的な管制システムのイメージを述べるもので、具体化への一つのアプローチとして参考ともなれば幸いである。

地下鉄トータルシステムという言葉の意味は、長期計画策定から新線建設の業務まで、上記の操業の域を超える地下鉄事業全般を指したり、あるいは施設、設備の集成そのものを指したり、そのあいまいさのゆえに立場によって誤解を招きかねない。ここでは日常の輸送業務が鉄道要員や旅客を含めて効率的に運用される操業管制に焦点を合わせた仕組を指すこととする。

## 2. 操業総合化の必要性

### 2.1 近代化要請の背景

これまでの技術革新を伴う量的拡大指向の経済は高成長をもたらした一面、潜在化したひずみが顕在化し、社会開発の再評価要望が高まり、1970年代前半が政策の質的転換期と指摘されるに至った。都市では住宅、水利、交通などの施設を含めた社会開発が重視され、交通体系もまた

- (1) サービス性： 正確性、迅速性、量的配分の適正
  - (2) 公共性： 便益と経済の調和、生活環境の保持、安全性
- の視点に立って、生活共同体本位に位置付けられ、都市の形態、規模によりその選択が行われる機運が強い。それは自動車交通との共存を前提とし、鉄道あるいは中量軌道とバスとが相補する公共輸送体系の充実とマイカー交通の制約をもたらすものと予想される。図1. 参照。

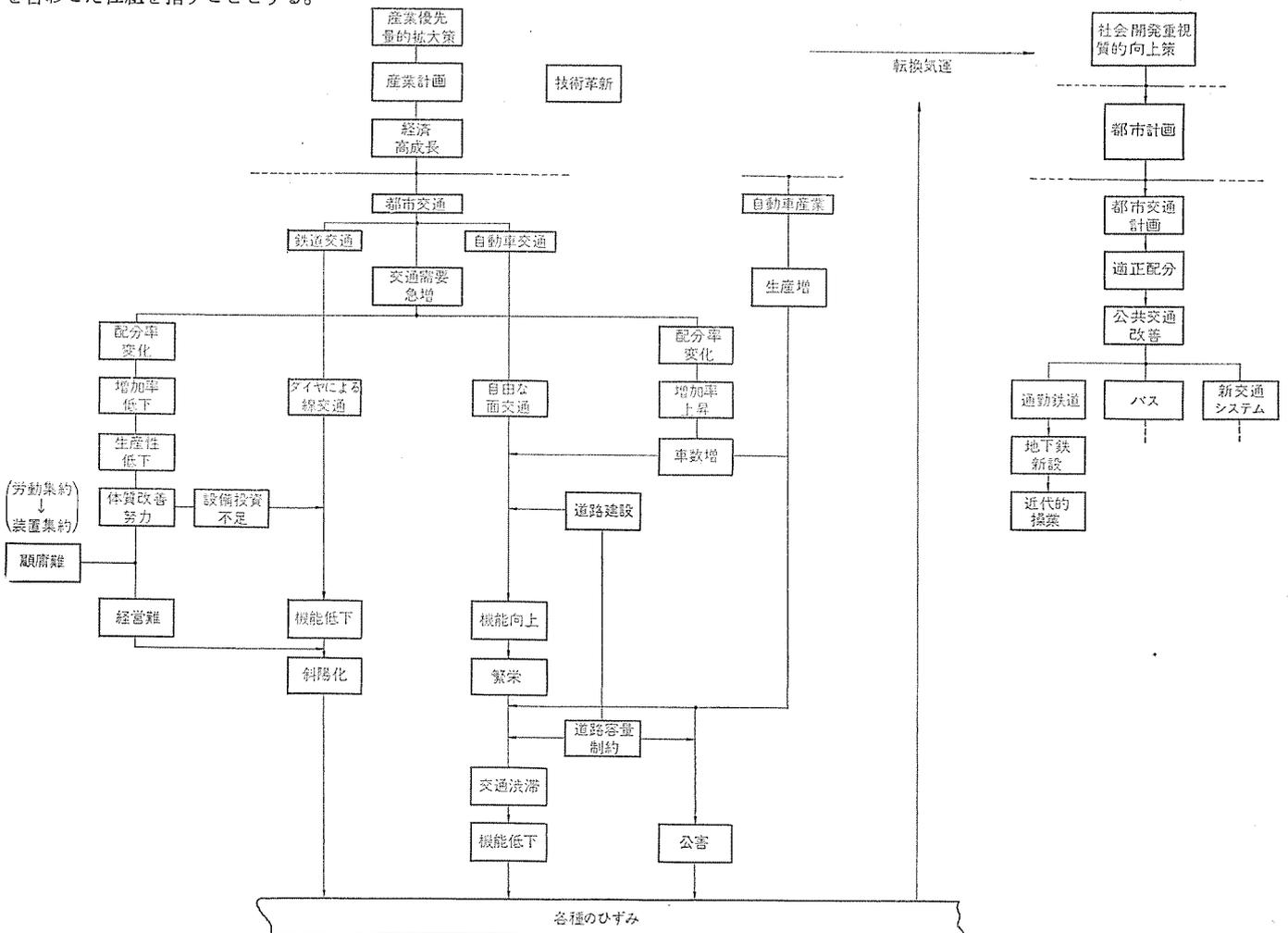


図 1. 都市交通近代化の背景

## 2. 2 操業総合管制の必要性

前節の要点(1)は高密度通勤輸送にとってモビアであるだけ重要性を増し、(2)は地下鉄特有の環境、防災にわたる社会責任増を来し、鉄道業務の質的、量的の変化に積極的に対処する必要性が生じた。

従来のように、専門的な自動化機器による局部的効率化にとどまる以上全般的な効果への寄与に限界があり、これを破るには情報網の整備と情報管理の充実という背骨を通して、各業務の有機的関連付けを果たすことが有効な手段であり、個々の業務内部に閉じる自動化の改善を包摂して、総合的な管制システム化することが要望されるのも当然視される。

## 3. 対象都市鉄道の想定

この鉄道は既設の鉄道と相補しつつ、ニュータウン、都市周辺、市街、都心、の各地域を過ぎる通勤鉄道であり、市街地では地下鉄としてバス交通とともに都心の路面交通緩和にも応分の副次的寄与も期待される。図2はモデル都市と路線例である。全長約22kmの往復線で、私鉄よりの乗入れを想定している。輸送需要は昭和60年の想定人口を基に地域別の需要発生から試算する。上下別各駅乗降客数、各駅間輸送量は定期、一般の客別に、また適当な時間帯別に求められるので、列車編成、列車定員を決めれば、必要な運行条件、整備列車数、車両基地容量が定められ更に、実績能力から接客用自動化機器台数も想定しうる。例えばこのモデルの場合、最大輸送能力としては、ほぼ $2.0 \times 10^4$ 人/時間であるが、混雑時に朝3分、夕6分のヘッドの運行で平均的混雑率を150%程度に抑えている。線路、駅、トンネルの物理的条件の想定より対象設備の概要も仮定し得る。

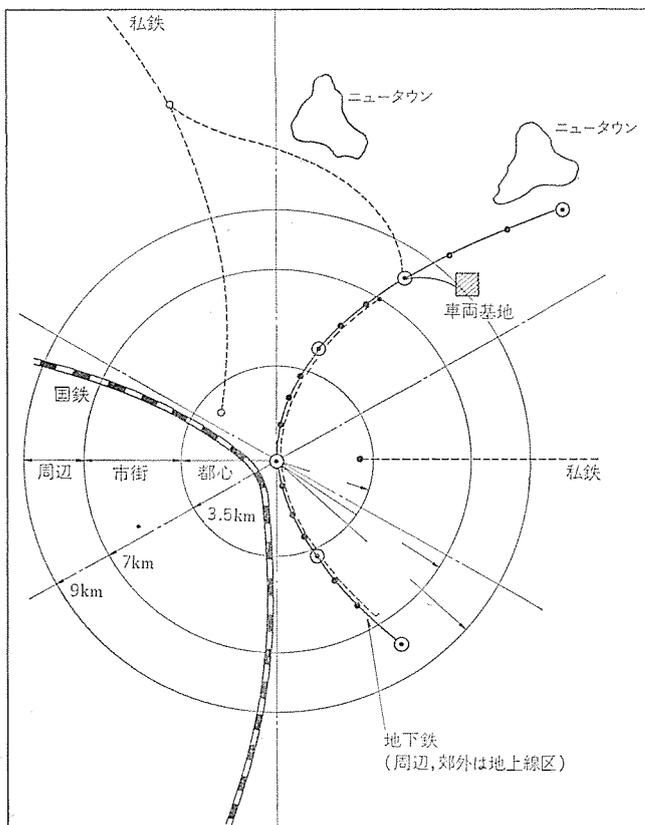


図2. モデル都市と路線

## 4. 総合管制システムの形態

鉄道業務は生産活動の根幹をなす輸送業務、その円滑化を助ける各支援業務、及び運賃を扱う販売業務に大別される。

この諸活動を図3.に示す業務システムに整理するとその管理は、日常の列車や客の動静に密な関係にあるものと、それらと比較的疎な関係にあって一般企業と大差ないものに色分けできる。前者は現業の末端まで、即時性を重視して、計画、実施、評価の管理サイクルの徹底が必要であり、後者は前者の結果が活用しうる道があれば、全体として操業の効率化、一般管理や経営への効用も期待できる。

一般に業務管理の基盤は情報管理にあり、その適切化が全体の効率化に資することは自明であり、絶対的な決め手ではないが人間の管理体系に類似した階層構成が無難かつ合理的と考えられる。したがって上位に本社機能、中位に操業の中核としてのコントロールセンタ機能、下位に現場機能(一部にサブコントロールセンタ機能を持たすことを考慮)を与え、情報処理能力に優れた計算機の導入をレベルに

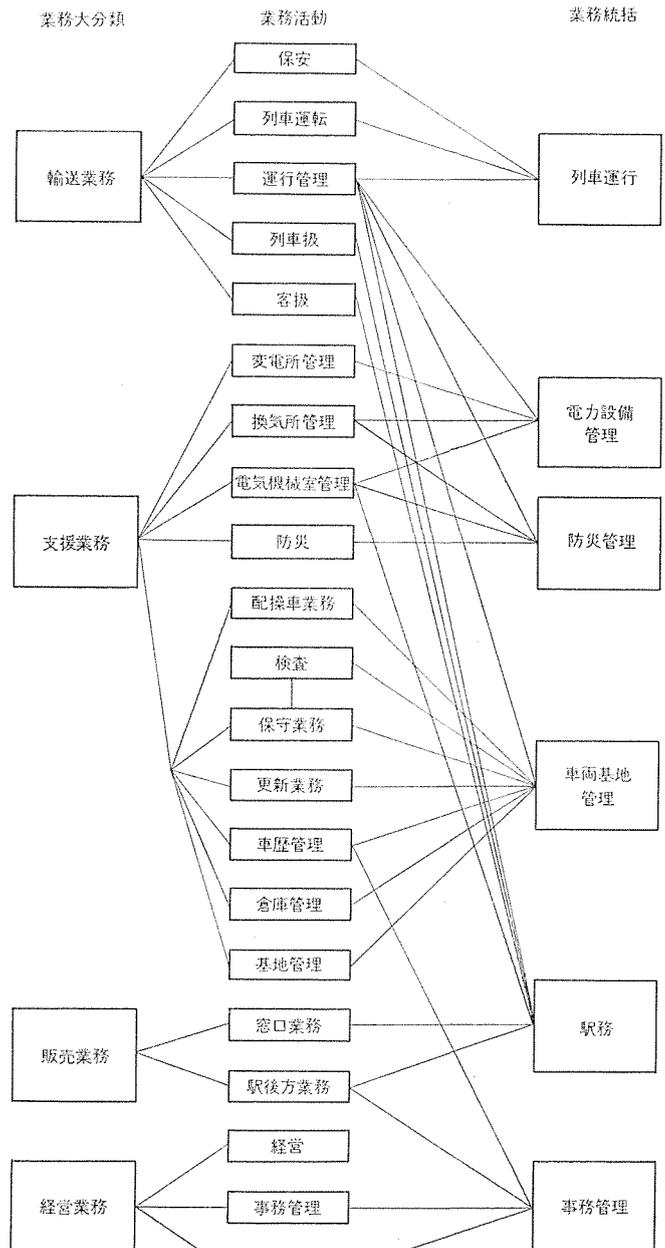


図3. 地下鉄の業務

応じて企てるものとする。各業務はそれぞれ専用機を持つ必然性はなく、図4.は4種の計算機システムによる構成例である。コントロールセンタの各システムは下位の現場と直結して、独自に閉じるほか、運行管理計算機システムを中核にセンタレベルでの相互の連係を保っている。本社の輸送本部は下位と情報連絡路はあるものの日常の操業はコントロールセンタにまかせ、一方本社の計算機は本社要務の処理のほか下位の委託業務をオフラインで処理する形態をとっている。センタの

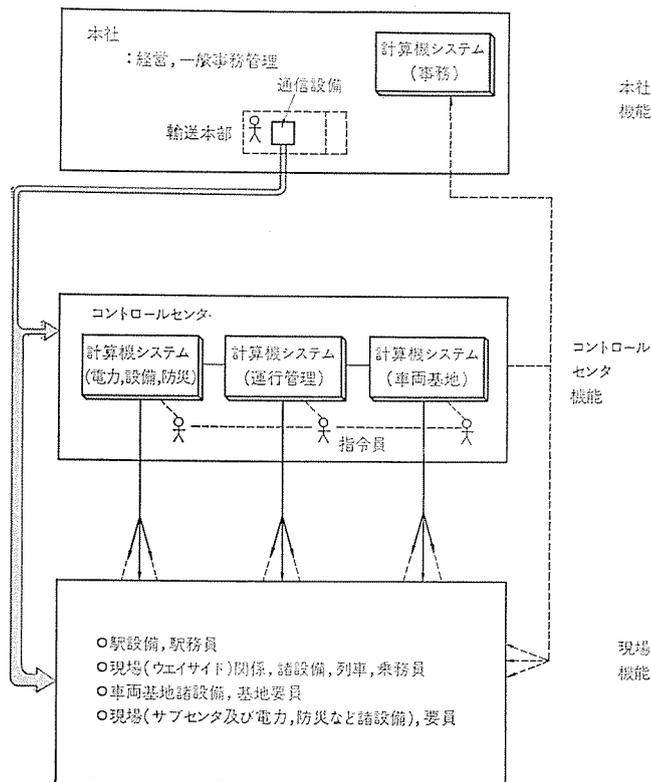


図4. 総合構成イメージ

各システムはいずれも情報管理を基幹に一部に制御を含めた、リアルタイム処理に重点を置き、かつ人間と機械の特質を生かしたマンマシンシステムとし、目的に応じ、2重系、あるいは1重系、更に手動バックアップ系を持つ構成をとっている。伝送網は、音声、映像、符号にわたって整備され、符号伝送系は2重系を想定している。

諸般の考慮からセンタは車両基地構内に設ける。図5.は指令室のイメージを示す。センタの管理者は事故時以外の操業管理を、運転指令員、電力設備防災指令員、及び基地構内操車係員を含めた基地指令員の運用にゆだねている。

なお自動化設備の改善、導入によって各業務個別の効率化も推進され、上述の管制機能と相まって、総合的に操業機能が改善されるが、これは「企業管理体系の合理化」、「安全性」、「省力」、「エネルギー保全」、及び「環境保持」の姿勢を重んじ、公共性と経済性の調和をねらって展開されるものである。

## 5. 各業務の自動化

従来個別に実績のあるものは簡単に、その他をやや詳しく、一べつ(暫)しよう。

### 5.1 列車運行管理

運転指令員、駅務員、運転士にまたがる業務を安全な通勤大量高速輸送に適するように自動化することである。個々の列車の自動運転はいわゆる分散形制御方式を採り、走行、停止は車上制御装置が果たし、運転士業務を大幅に軽減する。運行管理システムは所定ダイヤを基に全線の列車群の運行を管理する。すなわち列車追跡、進路制御、列車群管制(運転モード、発車指令など)、運転整理、指令伝達(列車、駅、その他間)を行う。進路、列車間隔、過走に対してそれぞれ、継電連動装置、自動閉そく(塞)、ATC装置が保安を担当する。したがって列車の運行は運行管理システムの下に統括される形態となり、輸送の全般にわたり、電力設備防災管理、車両基地と密接に

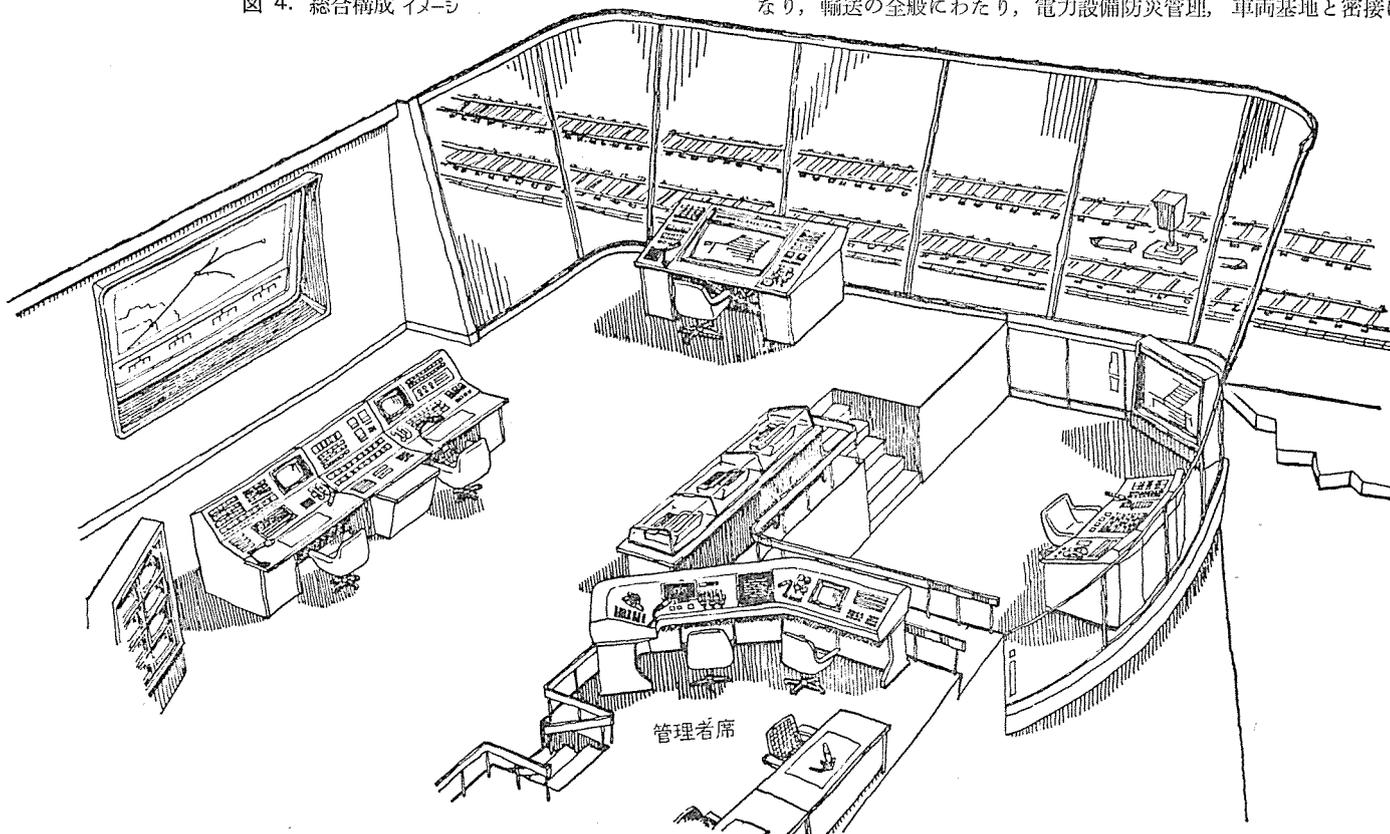


図5. コントロールセンタ指令室のイメージ

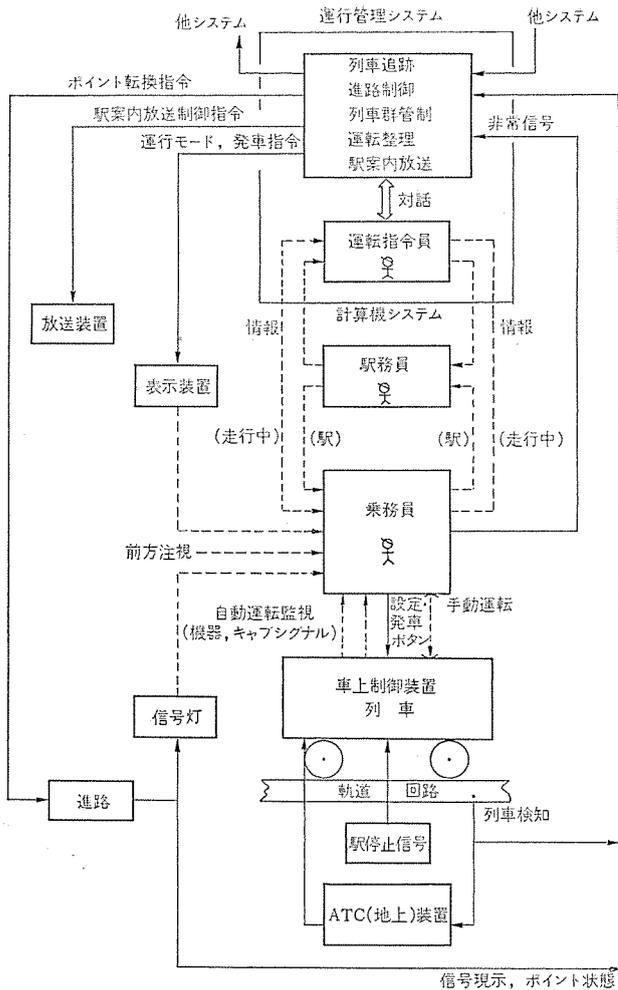


図 6. 運行管理システムの概要

連携してはじめて使命が果たされる。高密度列車運転におけるサービス維持のため、ダイヤ乱れ対策、事故時の千差万別のケースへの対策などは、計算機と指令員との協力下における弾力性ある適切な措置にまつ方法に大きな効用が期待される。図 6. は運行管理計算機システムのイメージを与え、これは機能上デュアルシステムとしている。なお局限された空港内交通などでは完全な無人運転も行われ、注目されているが、大量輸送の地下鉄ではワマン運転を望むものの、運用上、法規上まだ多分に問題を残している。

### 5.2 電力設備防災管理

変電所の合理的運営に加え、地下鉄では換気、空調、排水、照明など特有の問題もあり、換気所、駅の電気機械室設備を含めて、全線の条件を考慮した管制が行われる必要がある。

一方地震、水害など災害は不可避であり、鉄道火災は他交通機関に比しまれてはあるものの地下鉄という物理的条件の下で災害が群衆のパニック状態を誘い被害の波及、拡大も予見されるため公共施設としては人命を重視して防災施設を強化する傾向にあるといえる。したがって発生防止は不可能としても、災害の波及拡大の抑制と鎮静、除去に備えて、その早期発見と事後措置の適切化を目指した通報、判断、指令、制御の正確、迅速化を基本とする防災システムが待望される。一般的対策は省略し、火災に対するシステムの考えを以下に述べる。情報管理機能を効率化し、災害時の千変万化の諸現象に対し適切に対応しうるように、コントロールセンタに防災センタと称する中枢機能を置きその統括下に各駅の駅務員に駅防災ターミナルという機能を持たせる。センタの指令員は状況を認知し、防災活動上

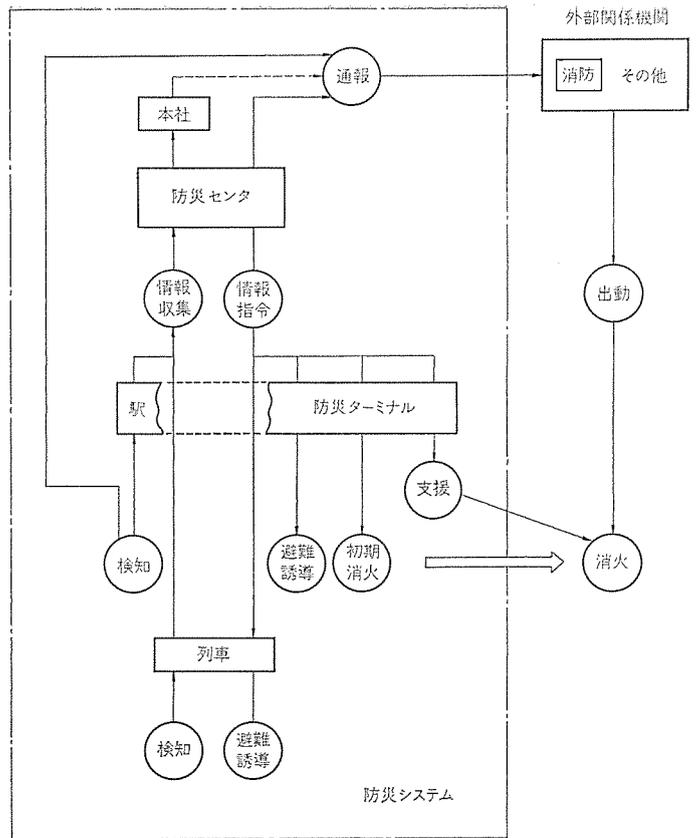


図 7. 防災システムの機能のイメージ

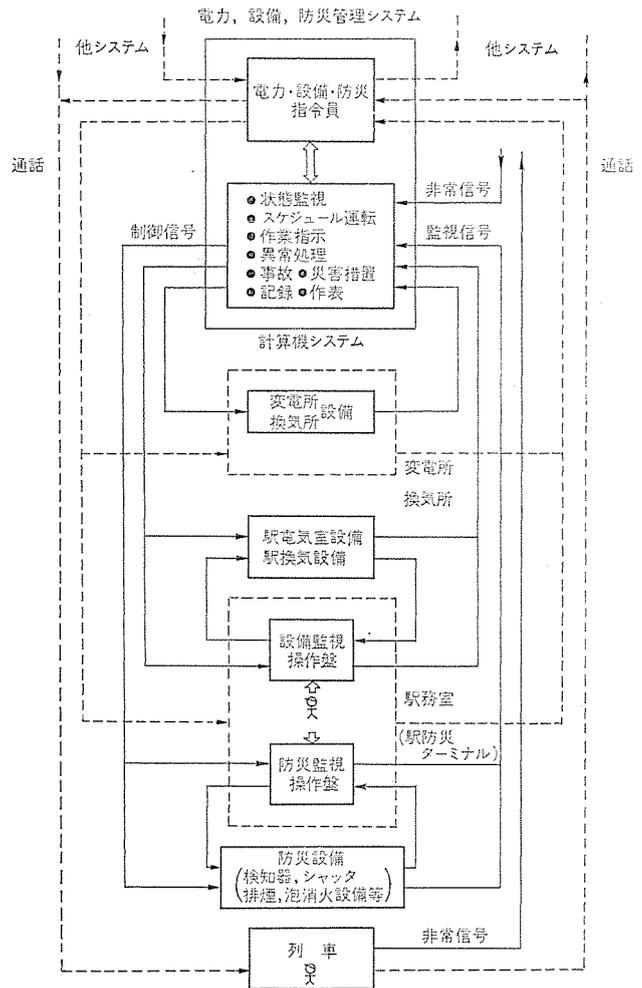


図 8. 電力、設備、防災管理システムの概要

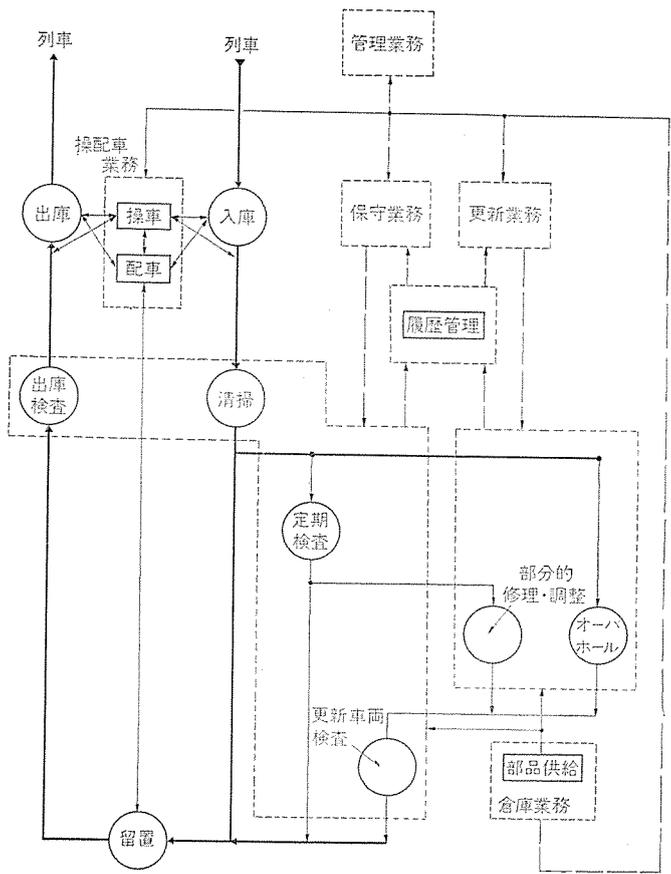


図 9. 車両基地の業務体系

必要な情報交換を駅防災ターミナル、本社及び外部関係機関と行う。なかんずく総合的な情況は(把握)と他システム指令員への指令、調整波及の防止措置が重要である。駅防災ターミナルはサブセンタ機能を持つとともに、拠点優位性を利し、独自の防災活動(避難誘導、初期消火、公共消防の支援など)の主役を務める。駅間の被災列車は原則として次駅まで走行して処置される。システムのイメージを図7に示す。

また防災システムは、運用上の関連性を考慮して、電力設備の管理と合わせて、一つの計算機システムとして構成している。図8はこれを示す。計算機は1重系としているが、計算機ダウン時も電力は遠隔手動操作のバックアップがあり、防災は駅防災ターミナルに活動主体が依存されるので、音声などの通信系が確保されている限り重大な支障とはならない。

5.3 車両基地管理

本線容量に対し列車運用上のバッファ機能をもつとともに、か(稼)動可能な車両を整備して列車として運行要請に答えるのが基地の使命で、通常工場も併置されている。図9は構内の列車の動きと関連業務を示している。ここに随時円滑な列車の供給を急務とする立場、車両の整備(検車・保守・更新)を重視する工場の立場、更に鉄道全般の保守管理データシステムの確立を望む要請とが交錯し、重点指向のいかんによって幾つかの姿が考えられる。工場部門の作業は自動化し難い部分が多く、比較的容易な工作機械のNC及び検査部門の一部の自動化が従来試みられてきた。

基地構内では多様な作業がほぼ定型的なスケジュールに沿って各地区で行われるが、ある程度の条件変動を伴っているのが定常的な姿である。この操業過程は例えば本線事故のような外乱が発生すれば、事後措置から、構内各作業が大きな影響を受ける場合が多い。した

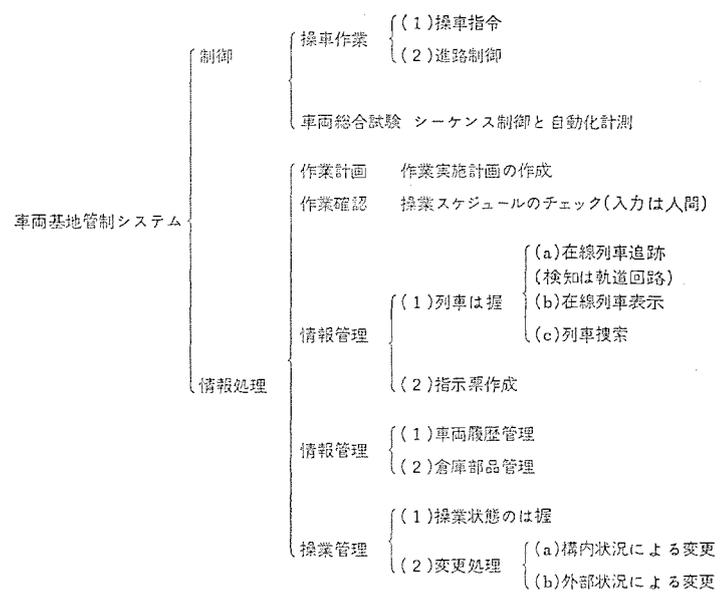


図 10. 車両基地システムの機能

がって変動の吸収、変更処置など、操業状態の的確な把握の下に、適切な指示を与え操業の円滑化をはかることを主に、保守、更新作業に対し車歴原始データの活用、及び倉庫部品の管理も加えた、総合的な基地の操業管制をねらうには計算機と人間の協力によるマンマシンシステムが有効と考えられる。一方施設上の物理的条件が全体の効果発揮を相殺してはならず、例えば出入庫線の容量、レイアウトなど、最繁時の連続出庫が可能ならにあらかじめ自動化システムによる操業を想定した慎重な考慮が必要である。

図10は機能構成概要を示す。車歴原始データは随時工場で引用できるが、既述の保守管理資料への加工は本社の事務管理システムにゆだね、必要時には基地においても請求し得るように考えている。構内進路制御は実景を視認できる操車係員の遠隔操作にしている。計算機は1重系であるが、在線情報及び車両試験などはバックアップ機能を有し、機能は低下しても急場には支障はなく、またシステムの回復は終業後に行える。中央処理装置としては情報処理用と車両自動試験用(小形機)に分けるもよく、図11は基地内の管制系の配置例を示している。

5.4 駅務

旅客駅の基本機能は次の2点にまたがる使命を果たすことである。

- (1) 線路網の要所に設けられた輸送上の拠点。
- (2) 不特定多数の利用者と列車との接点。

このために図12に示す業務を伴う。従来の近代化は接客用自動化機器の採用による省力化が主体で、ようやく販売後方業務への展開も指向されるものの、(2)の一部の域にとどまっている場合が多い。ここでは各業務が駅操業管理業務の下に統括され、駅務以外の他システムと有機的な関連を保ち、しかも限定された小数の駅務員で、自駅の自律的活動が支障なく展開される姿を目指している。ゆえに情報伝送網の完備を前提に、駅務員室には中央管制との関係及び販売後方業務に対する中継的性格からサブセンタ機能(含駅防災ターミナル機能)をもたせるとともに、自駅の集中管制機能をもたせることとしている。また大駅には定期券発行装置を設ける。特に中央管制不能時にはサブセンタとして介入できる機能を含ませる。また混雑時の客扱いや異常時のパニック抑止を含め、群集の管制(流動管制や情報提供)を重視した防災の拠点機能を備える。このように通勤



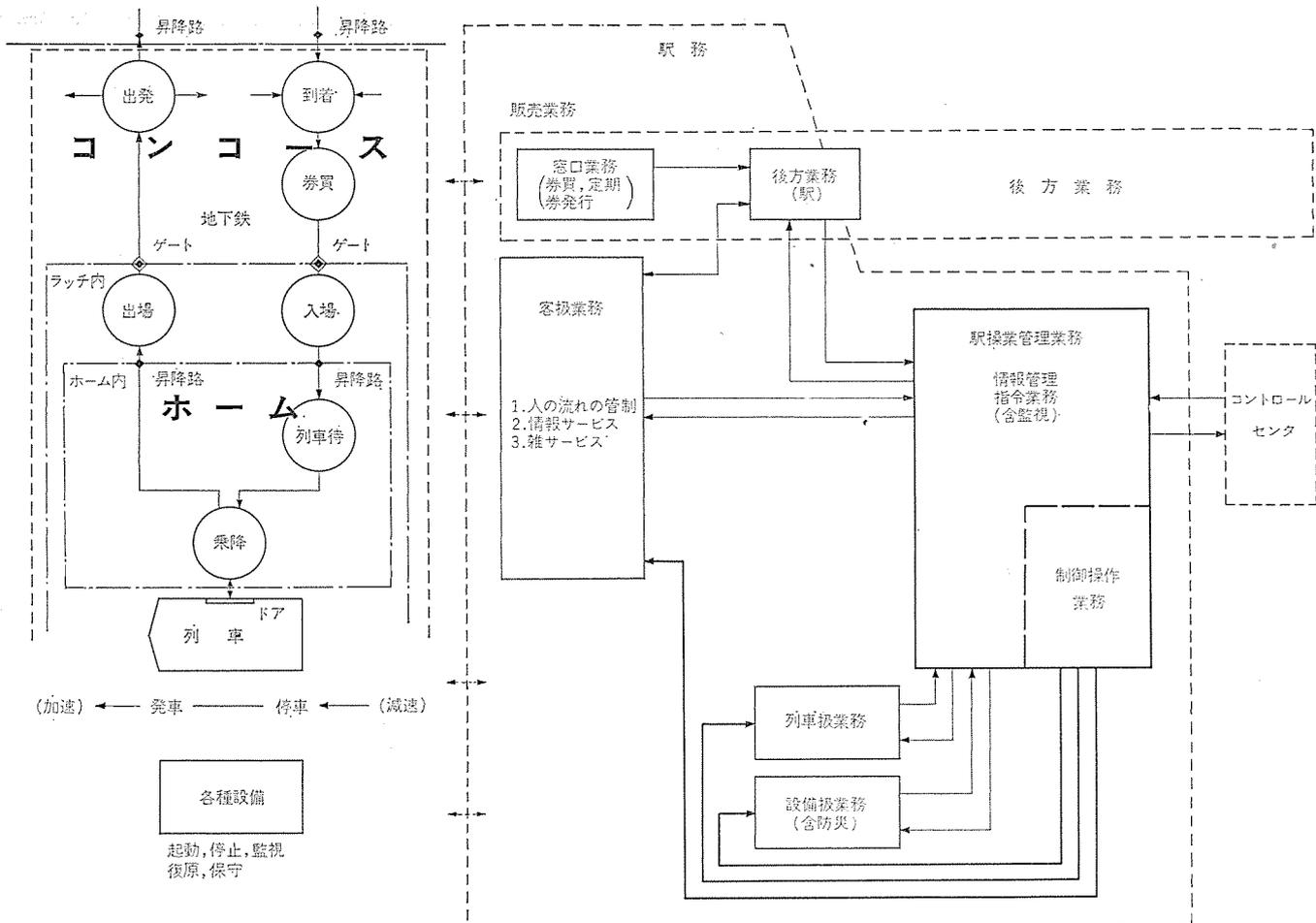


図 12. 駅務業務体系

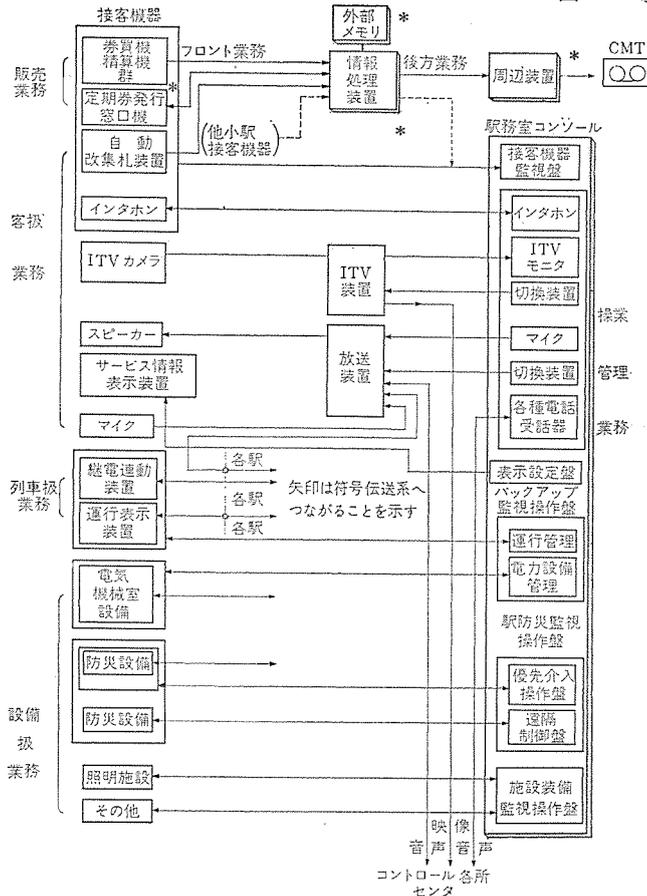


図 13. 駅務システムの構成

### 5.5 事務管理

本社の計算センタが中心となって事務管理計算機システムが運用される。経営管理を支援する立場にある事務管理機能として次の内容を含み、総合的な企業活動に効用をもたらす。

- (1) 事務情報処理
- (2) サブシステム 依託事項の処理。
- (3) 経営管理部門への資料作成。
- (4) 設計部門への計算サービス。

しかしながら経営主体である公共事業体に事務用大形機が既設の場合、販売後方業務オンライン化（例えば定期券のオンライン発行、あるいは販売集計）等を行う場合などにはその中央計算機の在り方を含め計算機システム構成が問題となろう。

### 6. むすび

視点を人間の活動に当てて、通勤用地下鉄の近代化を追うと、各業務管理の総合化というイメージが次第に輪郭を強めて浮び上がってくる。我々は現在それを具体化する道をたどっている。本文はこの途上の論議の一端にすぎないが、現実性を持ち、かつ逐次構成にも配慮したシステムのイメージ形成に幾分かの補いとなる。

なお経済評価、全系の信頼性、処理装置の機能などの問題のほか、(1) マンマシン系の適切性、(2) 伝送系回線効率の向上策、(3) 運転整理、異常時の換気、群衆の流動などの予測や制御の改善、(4) 保守方針と体制、が今後関心を呼ぶ要点であり、一層の検討が必要であろう。

当社の登録実用新案

登録番号	名 称	考 案 者	登録番号	名 称	考 案 者
1031998	ヘッドライヤー	川合輝一・小池利男	1032980	電話用防音器	{河島 清・鈴木賢一郎 稲葉 稔
1031999	パルスカウント形両波整流復調回路	寺田 武	1032981	表示灯式故障表示装置	村上光弘
1032009	シール装置	奥田安男・安岡博敏	1032982	水冷却塔の散水装置	{佐藤喜一・玉山学支 小林靖夫
1031903	インバータ装置	赤松昌彦	1032983	床置形冷房機	今井 進
1032018	冷蔵庫きょう(筐)体	林 八郎	1032984	自動車用方向指示器の未復帰警報装置	坂本敏之
1032019	冷蔵庫の冷却器取付装置	永野幸信	1032985	自動車用方向指示器制御装置	山根恒夫
1032020	冷蔵庫	小西 勝・石倉正男	1032986	衣類乾燥機	{町原義太郎・三ヶ田文彦 上原幹夫・鶴谷嘉正
1032021	電気掃じ機の集じん装置	加藤 悟・榎 道男	1032987	チューナ装置	{飛田敏彦・岩村清志郎 藤原 修
1032022	冷蔵庫	織田隆嗣・田中 毅	1032988	受信電界強度検出回路	北村義弘
1032023	スイッチの取付装置	川合輝一・小池利男	1032989	アンテナ過入力指示装置	秋本克幸
1032024	冷蔵庫	小林 汪	1032990	軸受冷却装置	福田 晃
1032025	可とう(撓)性板への部品取付装置	永野幸信	1032991	磁気テープの終端検知装置	小椋義正・小池輝夫
1032026	冷蔵庫	石倉正男	1032992	密閉形電動圧縮機の給油装置	鈴木学而
1032027	冷蔵庫	早川孝紹・林 八郎	1032993	密閉形電動圧縮機の給油装置	鈴木学而
1032008	ヘッドライヤー	小池利男・川合輝一	1032994	照明器具用かさ	井上員成
1032009	ヘッドライヤー	{小池利男・川合輝一 増田三郎	1032995	折置式補助燃料タンク	大久保貫一
1032010	冷蔵庫などの卵たな装着装置	小泉鉄一	1032996	印刷配線板用端子	山本佳久
1032011	ヘッドライヤー	小池利男・川合輝一	1032997	印刷配線板	才原勝也
1032012	きょう(挾)持装置	川口和孝	1032998	自動車用冷房装置	高橋 剛・岡本春樹
1032013	冷蔵庫	早川孝紹・永野幸信	1032999	電動機における軸受潤滑用グリ -ス排出装置	滝本貞固・伊藤敏光
1032014	冷蔵庫	河村伊佐夫・田中 毅	1033000	回転電機の軸受装置	藤山辰之・神田昭夫
1032015	冷蔵庫の化粧わく	矢沢 篤	1033001	電線接続具	山崎 肇・井上員成
1032016	マンコンベヤの安全スイッチ調整装置	石田松彦	1033002	ヘッドライヤー	川合輝一・小池利男
1032017	冷蔵庫	木南 勤	1033003	空気調和機	大谷泰昭・薬科公彦
1032001	ヘッドライヤー	小池利男・川合輝一	1033004	空気調和機	海野 賢
1032002	盗難防止装置	三木隆雄	1033005	車両用除湿装置	{伊藤一昌・桑村勝美 桜田 武
1032003	ヘッドライヤー	小池利男・川合輝一	1033006	空気調和機	高橋克己
1032004	温風器	望月雅之	1033007	空気調和機	高橋克己・野田富士夫
1032005	温風器	望月雅之	1033008	空気調和機のすえ付装置	高橋克己・関口 浩
1032006	感温筒の取付装置	坂部俊一	1033009	冷房装置	八尋 裕一
1032028	送風機の取付装置	川合輝一・小池利男	1033010	空気調和機	野田富士夫・渡辺雅典
1032029	乾燥室付冷蔵庫	丸山哲朗	1033011	空気調和機の露受ざら	{林 俊秀・野田富士夫 高橋克己
1032030	継手	池上秋水	1033012	空気調和機の配管穴ふさぎ具	関口 浩・野田富士夫
1032031	ヘッドライヤーのノズル	川合輝一	1033013	空気調和装置	三浦 隆・佐久間 清
1032032	ヘッドライヤー	川合輝一・小池利男	1033014	空気調和機のプラスチックキャビネット	安藤正俊・高橋克己
1032033	巻線機用リールキャリア	鈴木俊夫	1033015	クーラーなどの風速風向制御装置	藤井 学・太田 誠
1032034	たわみ継手	忍 正寿・永原 豪	1033016	空気調和機の自動風向変更装置	{藤井 学・太田 誠 遠藤吉隆
1032035	耐熱絶縁壁	{森川鉄也・村井 豊 小林幸人	1033017	衣類乾燥機	桜井信捷・勝田喜助
1032976	超電導 コイル	{岩本雅民・金関直弥 岡上公彦	1034544	液体流通体	蓬 萊 勝
1032977	照明器具	{山崎 肇・吉成武彦 石川孝司・井上員成			
1032978	多指針表示装置	忍 正義			
1032979	偏向装置	藤村健夫			

# 図書館に! 研究者に!

## 技術に興味をお持ちの方に

### 三菱電機技報索引

1966~1973

- 昭和50年2月発行
- 体裁A4版
- 64ページ(予定)
- 定価¥2,500円



必要な文献をさがし出すことは重要な仕事です。そのさがし方は概して容易ではありません。この索引は、三菱電機技報(1966~1973)に発表した技術・製品に関する全文献を内容(主題)から探がし出せるレファレンス・ツールです。

〔原寸見本〕

論文題名	巻	刊	年	号	頁
超々高圧変圧器					
超々高圧変圧器用プッシング	41	(1967)	3	454	~460
超々高圧大容量変圧器試験設備	41	(1967)	3	449	~453
超々高圧変圧器に対する絶縁試験	41	(1967)	3	439	~448
メキシコ向け400kV変圧器	41	(1967)	3	424	~431
超高圧電力研究所納め500kV変圧器	41	(1967)	3	418	~423
超々高圧変圧器	41	(1967)	3	409	~417
見出し 関連見出し	変圧器	可搬形変圧器; 乾式変圧器; 計器用変成器; 高周波変圧器; 高洩れ変圧器; 単巻変圧器; 試験用変圧器; 送電用変圧器; 定電流変圧器; 電圧変成器; 電流変成器; 電力用変圧器; 配電用変圧器; パルス変圧器; 超々高圧変圧器 をも見よ			
	低周波ビレットヒーター用変圧器	43	(1969)	3	370~375
	変圧器の乾燥とプレスボードの電気的性質	42	(1968)	9	1245~1250
	ガス分析による変圧器異常の早期発見	41	(1967)	3	461~465
	変圧器短絡強度の電子計算機による解析	40	(1966)	5	904~912
	機器保護・変圧器保護	40	(1966)	4	608~611

### 注文伝票 (帖合)

昭和 年 月 日

注文主	書名	発行所
住所 氏名	三菱電機技報索引 (定価 二,五〇〇円)	三菱電機技報社
		発売元 株式会社 オーム社書店
	冊数	

書店名

発行所 三菱電機技報社

東京都千代田区丸の内2丁目2番3号(〒100) 三菱電機株式会社内 Tel.(03)218-2327

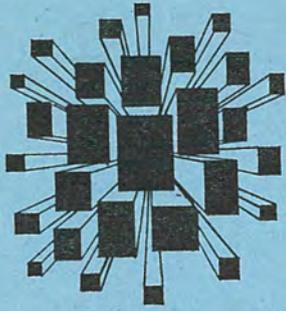
制作 日外アソシエーツ株式会社

東京都大田区大森北1の23の8 第三下川ビル(〒143) Tel.(03)763-5241

発売元 株式会社 オーム社書店

東京都千代田区神田錦町3の1 Tel.(03)291-0912

●お申し込みは注文票でお近くの書店へ



# 特許と新案

電気スイッチ (特許第659085号, 同第659086号)

発明者 渡辺 睦夫

この発明は、導電流体を循環駆動させる装置により、電極間に導電流体を流通あるいは排出することにより、電気回路を開閉する電気スイッチに関するものである。

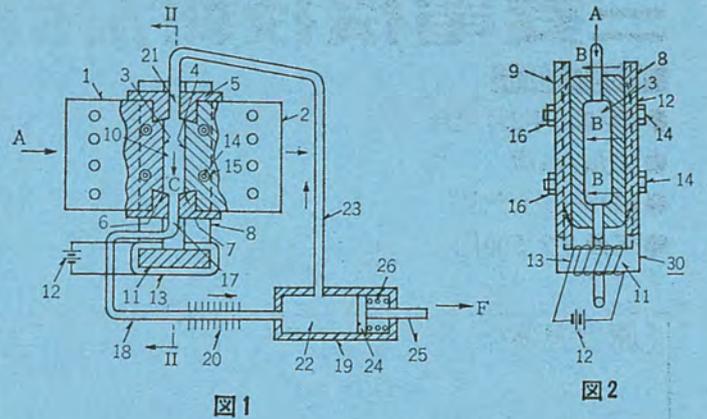
図1. は、この発明の電気スイッチの動作原理を示す断面図で、II-II線における断面を図2. に示し、(1), (2)は外部導体が接続される端子で(3), (4)はこれら端子の電極、(5)はこの電極間で電極室(10)を形成する電気的絶縁わく、(8), (9)はB方向の磁束を出し電極室(10)にある導電流体(22)に磁気駆動力を与える磁極板で、磁路(11)に励磁コイル(13)が巻回され電磁石(30)が構成される。励磁コイル(13)は別電源(12)により励磁される。

電極室(10)の排出口(17)から配管(18)によりシリンダ(19)に接続され、配管(23)により吸入口(21)に接続されて導電流体(22)の循環経路が形成されている。

操作機構によりピストンロッド(25)がF方向に引かれると、電極室(10)と配管(18), (23)内の導電流体(22)はシリンダ(19)側にもどされ、電極(3), (4)間は電気的に開路する。ピストンロッド(25)は引張力が解除されると、ばね(26)の復元力により反対方向に付勢され、シリンダ(19)の収容容積がせばめられて導電流体(22)は配管(23), (18)を通り電極室(10)に充てんされ、電気回路は閉路される。こう

して電極間に電流が流れ、この電流方向に対し励磁コイル(13)により適正に励磁された電磁石(30)のB方向の磁束が直交し、導電流体(22)はC方向に駆動され配管(18), シリンダ(19), 配管(23)を循環し、途中熱交換器(20)により冷却される。

このようにして導電流体(22)は電磁石(30)により適正な循環速度が与えられ、電極(3), (4)を効果的に冷却し、小形・軽量の電気スイッチが得られる。



## 回路開閉装置 (実用新案第958188号)

考案者 竹内 孝治・杉中 輝明

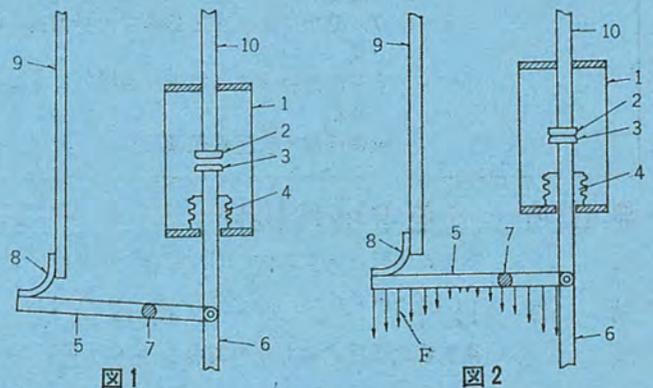
この考案は、可動電極の操作ロッドの投入操作を容易にした回路開閉装置に関するものである。

図はこの考案を実施した真空スイッチ形区分閉器の概要を、投入時の状態で示している。(1)は真空スイッチ本体、(2)は固定電極で、被導体(10)により固定されている。(3)は可動電極で、操作ロッド(6)に取付けられている。(5)はこのロッドに一端部を回動可能に連結されたリンクで、中間部はロッド(6)寄りの部分で支軸(7)に回動可能に支持され、他端部は可とうな導体のシャフト(8)を介し、固定された主導体(9)に接続されている。

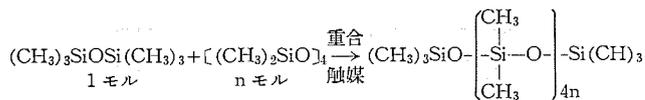
図のように投入されると、主導体(9)、シャフト(8)、リンク(5)、ロッド(6)、被導体(10)で形成されるU字状の主回路に電流が流れる。この電流による磁束は紙面に垂直に上向きに生じ、磁束密度はリンク(5)の両端で大きくなるため、このリンクに働く力Fの分布は、中央で小さく両端で大きい分布をとる。支軸(7)はロッド(6)寄りとなっているので、この支軸を中心とするモーメントは反時計式方向、すなわち可動電極(3)の投入方向に作用し、その大きさは主回路電

流が大きいかほど電磁力は大となり、ますます有効に作用する。

したがって、大電流であっても投入操作圧力をとくに増大することなく投入操作が容易に行え、また接触圧力が増大するので、接触不良をなくし大きな主回路電流でも安全に投入できる。







nを任意に取るにより、任意の平均分子量をもつ、希望の粘度のシリコン油を得ることができる。50 cSt のシリコン油の重合度は約50である。実際には触媒中和後に高温でストリッピングし、未反応又は低重合度のシリコンを除去した蒸発量の非常に少ないシリコン油が市販されている。

## 2.2 一般物性

シリコン骨格のSi—O結合と、炭化水素のC—C結合とでは、その性質がかなり違っている。Si—Oの結合エネルギー106 kcal/molは、C—C結合の85 kcal/molよりもかなり大きく、シリコン結合の熱安定性の一つの要因となっている。シリコンの構造は、一つのヘリックスが6個の(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>SiO単位からなるコイル状で、分子間力が小さい。また、けい素は炭素よりも大きく、C—Cの結合距離1.54 Åと比べてSi—Cの結合距離は1.93 Åとかなり長く、メチル基はSi—C結合の回りをかなり自由に回転できるので、相当大きな空間をこの分子が占めている。つまりシリコン分子は互いに余り近接できないため、その分子間引力が妨げられている。更にコイル状構造のため、Si—O結合による双極子間の相互作用が弱まり、表面メチル基におおわれた分子間力の弱い構造となっており、凝集エネルギー密度は非常に小さい。このため同じ分子量の炭化水素と比べて沸点・粘度・表面張力・蒸発熱、粘性流の活性化エネルギーなどが小さくなると考えられる。シリコン油の熱酸化安定性・粘度特性・圧縮性・消泡性・非粘着性・境界潤滑性などの諸性質は、上記の構造と密接な関係がある。鉱油と比べて水・窒素・酸素・炭酸ガスなどが通過しやすいことも、分子間力の弱いためとされている。

シリコン油、鉱油及び従来の不燃油の一般特性を表1.に、電気絶縁用シリコン油の長所・短所を表2.に示す。

## 2.3 物理的性状

シリコン結合の重合度によって水のようにさらさらした0.65 cStの粘度から、重合度数千に及ぶ水あめ状の粘度100万 cSt程度のシリコン油があるが、車両用変圧器用としては引火点が高くてなるべく低粘度という要求から、現在50 cStのシリコン油が採用されている。一般の鉱物油や合成油と比較して、温度による粘度変化が非常に少ないことが特長で、高温でも粘性を失わず、ごく低温でも液状を保ち、広い温度範囲で一定した性能を示している。

シリコン油の温度による容積変化は、他の絶縁油と比べて大きい。表面張力(25°C)は約21 dyne/cmで、水の72 dyne/cm、鉱油の35~40 dyne/cmと比べてかなり小さく、広がりやすい。高温における蒸発量は鉱油や不燃油と比べて小さく、蒸気圧も非常に低いなどの特長を有している。

## 2.4 化学的性状

### 2.4.1 熱酸化安定性

シリコン油は、空気中で高温にさらされても安定である。180°Cまでは酸化劣化をしないので、H種絶縁油として使用できる。180°C以上の高温では次第にメチル基が酸化され、シリコン分子間の架橋が起きて粘度が上昇し、ゲル状物となる。例えば、空気中におけるシリコン油(100 cSt)のゲル化時間は、175°Cで5,000時間以上、200°Cでは約200時間、250°Cでは約40時間である。

酸化を起こさないふんい気(密封・真空・不活性ガス中など)で加熱すると、いわゆる熱分解(解重合)が生じて粘度や引火点の低

表 1. 絶縁油の一般特性

	シリコン油 KF 96(50 cSt)	鉱油 JIS 2号油	従来の不燃油 KC 1000
比重 25°C	0.96	0.87(20°C)	1.53
粘度 25°C (cSt)	50	11	12
流動点 (°C)	-50以下	-30以下	-30以下
蒸発量 95°C 5h (%)	0	0.4以下	2以下
引火点 (°C)	310	140	130(消炎性)
比熱 (cal/g·°C)	0.35	0.45	0.28
熱伝導率 (cal/cm·s·°C)	3.6×10 <sup>-4</sup>	2.9×10 <sup>-4</sup>	2.4×10 <sup>-4</sup>
体積膨脹係数 (cc/cc·°C)	10.6×10 <sup>-4</sup>	7×10 <sup>-4</sup>	7.4×10 <sup>-4</sup>
N <sub>2</sub> ガス溶解量 (%)	16	8	5
誘電率 50 Hz, 50°C	2.7	2.2	5.2

表 2. 絶縁用シリコン油の長所・短所

	特 性	注 目 す べ き 事 項
長 所	1. 耐熱・耐酸化性が優れている	高温で使用でき、機器の性能をアップできる
	2. 流動点が低く、耐寒性が優れている	低温の起動が容易である。寒冷地でも使用可能である
	3. 温度の変化に対する粘度の変化は小さい	使用温度によって機器の機能に差を生じない
	4. 蒸発量が少ない	高温での蒸発損失が少ない
	5. 引火点が高い	引火しにくい
	6. 難燃性である	燃焼が広がらない
	7. 比重が小さい	不燃油の約2/3で、機器の重量を軽減できる
	8. 腐食性がない	金属材料を腐食しない
	9. 他の物質を侵さない	プラスチック・ゴムなどの有機材料に対する影響が少ない
	10. 生理的に不活性である	生物に対して全く無害である
短 所	1. 熱膨脹係数が大きい	機器の設計上、体積変化に対する注意を要する
	2. 粘度が高い	オイルポンプの循環動力、熱伝達に不利である
	3. 境界潤滑性が悪い	軸受部に高負荷をかけられない
	4. ガス溶解性が大きい	ガス封入式の機器の設計が難しい
	5. 吸湿量が多い	電気特性を維持するために、水分の保守管理が必要
	6. 含浸しにくい	合成絶縁紙などに含浸させる工程が複雑になる
	7. 表面張力が小さい	機器から漏れやすい
	8. コストが高い	機器の価格が高くなる

下、蒸発量の増加が起こる。このときの生成物は、主に低分子の環状シリコン [(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>SiO]<sub>n</sub>、つまりD<sub>n</sub>で、n=4のD<sub>4</sub>が最も多い。D<sub>n</sub>の種類は、周囲の条件によって多少変わり、ポリアミド絶縁紙が共存する場合には、D<sub>4</sub>のほかにD<sub>3</sub>の生成量もやや多くなる。加熱温度と粘度低下の関係を図2.に示す。

D<sub>4</sub>やD<sub>3</sub>などの揮発性低分子のないシリコン油の引火点は310~315°Cで、熱分解が急速に進行する温度である約300°Cとほぼ一致している。D<sub>4</sub>の沸点は175°C、引火点は54°Cで、低分子のシリコンが蒸発して引火するものと解釈できる。シリコン油の蒸発量と引火点の関係は図3.に示すとおりで、シリコン油の蒸発量が1.2~1.3%を越えると、急激に引火点が低下し始める。変圧器などの電気機器にシリコン油を封入して使用する場合は、熱分解を受けて生成する低分

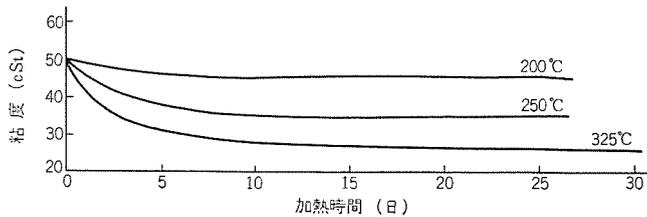


図 2. 加熱劣化による粘度変化

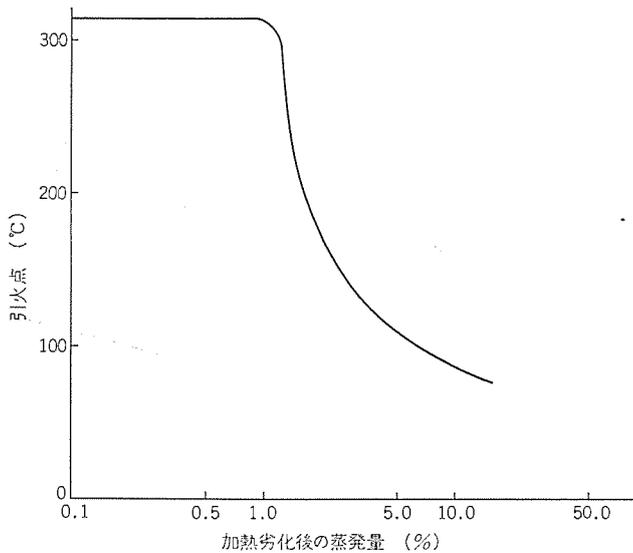


図 3. 蒸発量と引火点との関係

子シロキサン量、つまり蒸発量を測定することにより、機器の安全性を確認できる。この場合の燃焼内容は、鉱油と異なっており、低分子シロキサンが蒸発し去ると、引火点は元の 300°C 前後に回復する。

#### 2. 4. 2 燃焼性

絶縁油の燃焼性を正當に評価する試験方法は確立されていないが、JIS C 2321 の燃焼性試験では、シリコン油の着火するまでの時間は 5～9 秒であるが、鉱油は 3 秒以下である。この JIS 法は、実際の燃焼性との関連が乏しいと思われるので、絶縁油の薄層にブンペーナの炎を局部的にあてて着火させたときの燃焼状況を図 4. に示す。

シリコン油は、鉱油と比べて難燃性で、油温約 300°C 以下ではバーナで直接着火しても燃焼を開始しない。一方、鉱油は 150°C で着火させると急速に全面的に引火して激しく燃焼を継続する。不燃油は油温 150°C で着火させると黒煙を生じて燃焼するが、着火源を取り去ると直ちに消炎する。

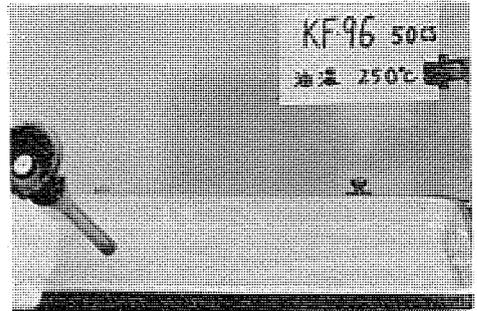
#### 2. 5 電気的性質

シリコン油の誘電特性は、鉱油や不燃油と比べて優れており、温度や周波数などによる特性の変化が小さい。ただし吸湿すると、破壊電圧や絶縁抵抗が低下するので、機器の気密や、組合せて使用する絶縁材料からの水分の管理に注意する必要がある。図 5. はシリコン油の含水量と破壊電圧との関係を JIS C 2320 の方法に準じて求めた結果で、破壊電圧は含水量の増加に伴って低下し、100 ppm を越えると急速に低下する。熱劣化を受けて低分子シロキサンの増加したシリコン油の破壊電圧と絶縁抵抗は、劣化前と変わらない。

シリコン油の耐アーク性は鉱油とほぼ同じで、分解ガスの発生量、組成も鉱油に類似している。



(a) 鉱油



(b) シリコン油

図 4. 鉱油とシリコン油の燃焼試験

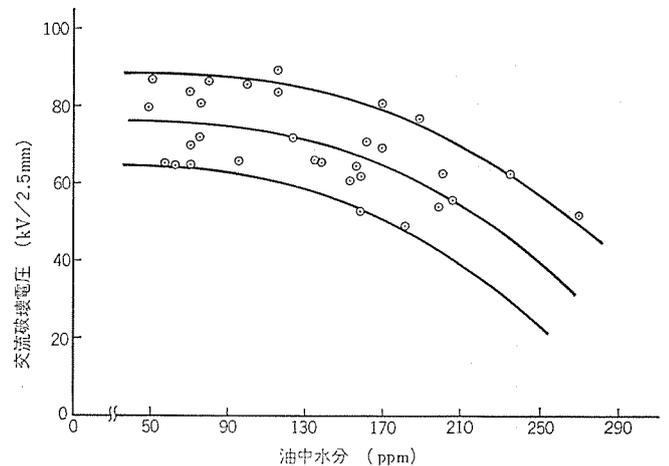


図 5. 交流破壊電圧に及ぼす油中水分の影響(1 回目の点, at 10°C)

### 3. シリコン油に関連した各種特性

#### 3. 1 材料によるシリコン油の汚染

脱気処理をしたシリコン油 (KF-96, 50 cSt) と、十分に乾燥した材料とをステンレス鋼製の密封容器に封入し、油面上へは窒素ガスを充てん(填)し、140°C で 1,000 時間加熱したあと、シリコン油の全酸価・蒸発減量・引火点・粘度・誘電正接 ( $\tan \delta$ ) を測定した。

図 6. は、一例として 8 種類のゴムについてシリコン油汚染性試験を行った結果を示している。ブチルゴム、エチレンプロピレンゴム、クロロプレン、ハイパロン、ニトリルゴム及びシリコンゴムは、シリコン油の特性を低下させる傾向を示しているが、テフロン及びふっ素ゴムは、シリコン油をほとんど汚染しないことが分かる。

シリコン油は鉱油とは異なり、材料によって汚染されると  $\tan \delta$ ・全酸価が大きくなるばかりでなく、引火点・粘度・蒸発減量なども変化する。図 7. は、種々の材料についてゴムの場合と同様の試験を行った際の油の全酸価と蒸発減量との関係をプロットしたものである。

全酸価の増大とともに蒸発減量も大きくなっている。このことから蒸発減量の増大は、全酸価の増大によって引き起こされる2次的な変化と考えられる。蒸発減量がある程度以上大きくなると、シリコン油の引火点が低下するので、シリコン油中で使用する材料の選択に際しては、全酸価を増大させる材料は極力避けなければならない。

### 3.2 ポリアミド紙の油中耐熱性

ステンレス鋼製の密封容器にシリコン油 (KF-96, 50 cSt), ポリアミド紙 (ノメックス #410) 及び裸銅を詰め、油面上へは窒素ガスを充てんし、160, 180, 220°C の各温度で1,000, 2,000, 6,400時間加熱したあと、シリコン油及びポリアミド紙の試験を行った。ポリアミド紙は、水分の多い状態で加熱すると、加水分解を起こすことが知られているので、ポリアミド紙及びシリコン油の密封容器への充てんに際しては、脱水処理を十分に行った。

表3. は、加熱前後のポリアミド紙とシリコン油の特性を示している。ポリアミド紙の交流破壊電圧及び破壊強さに及ぼす加熱温度・加熱時間の影響はほとんどみられず、加熱後も交流破壊電圧・破壊強さは良好な値を示している。シリコン油については、加熱前後で特性の変化している項目とそうでない項目とがある。tan δ 及び体積抵抗率 ρ に関しては、加熱前の値と比べて若干悪くなっているが、加熱後の値も決して悪い値ではない。引火点は、160, 180 及び 220°C のいずれの場合にも加熱時間が2,000時間ではほとんど低下していないが、6,400時間の場合には顕著に低下し、特に加熱温度が220°Cの場合には、180°Cまで低下している。粘度については、160, 180°Cのいずれの場合にも加熱前後でほとんど変化していないが、220°C加熱の場合には加熱時間とともに低下する傾向がみられる。蒸発減量については、220°C加熱後は著しく大きな値を示している。全酸価については、160, 180 及び 220°Cのいずれの場合にも加熱前とほ

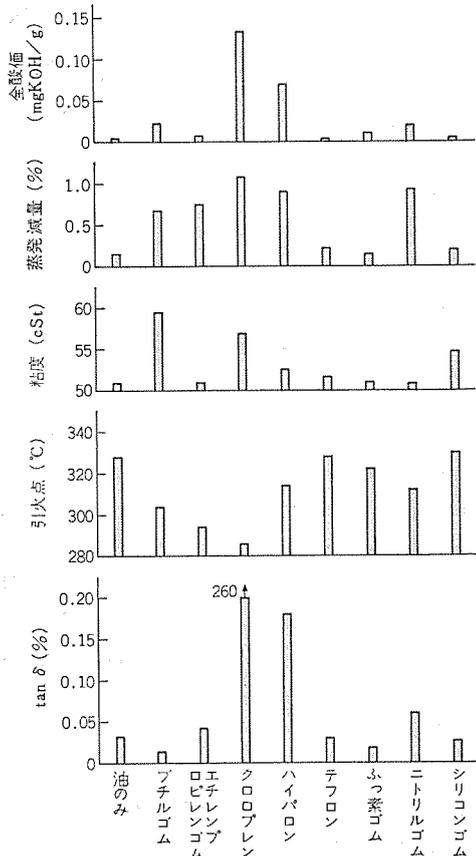


図 6. 各種ゴムのシリコン油汚染性

とんと同じ値を示している。

以上のことから、十分乾燥した状態のポリアミド紙-シリコン油-裸銅系におけるポリアミド紙の耐熱寿命は220°C以下の温度では極めて長いものと予想される。また、シリコン油は220°Cでは引火点、粘度及び蒸発減量において顕著な変化が認められるので、これよりも低い温度で使用しなければならないことが分かる。

### 3.3 ポリアミド紙のシリコン油含浸性

図8. は、厚さ0.5mm、大きさ50×50mmのポリアミド紙 (ノメックス #410) 及びプレスボードを十分に乾燥した後にシリコン油に浸し、油中重量の経時変化を調べた結果である。油中重量は、時間とともに最初は増大し、それ以後は一定値を示しているが、これは最初にポ

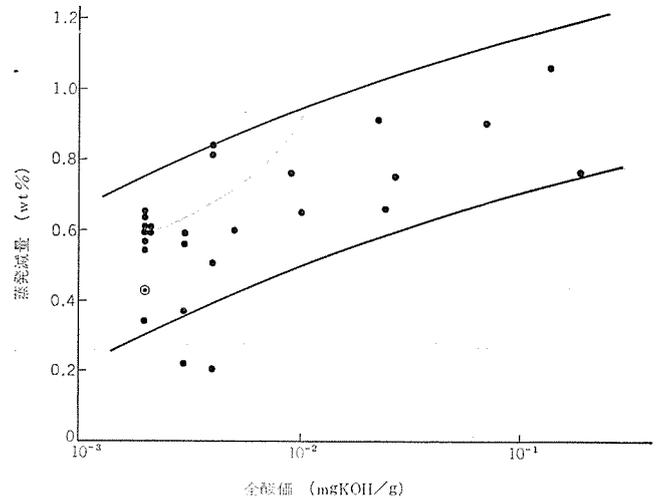


図 7. 全酸価と蒸発減量との関係

表 3. ポリアミド紙及びシリコン油の加熱前後における特性

測定項目	加熱温度 (°C)	加熱時間 (h)			
		0	1,000	2,000	6,400
ポリアミド紙の特性	交流破壊電圧 at 20°C (kV/mm)	160	71	70	69
	180	70	71	74	66
	220	70	68	69	66
破 壊 強 さ (Lb/in <sup>2</sup> )	160	32	34	31	33
	180	32	29	29	27
	220	32	28	27	32
シ	tan δ at 20°C (%)	160	0.010	0.019	0.015
	180	0.007	0.018	0.013	0.040
	220	0.007	0.020	0.040	0.015
リ	ρ at 20°C (Ω-cm)	160	2.59×10 <sup>15</sup>	1.65×10 <sup>15</sup>	9.85×10 <sup>14</sup>
	180	2.59×10 <sup>15</sup>	3.90×10 <sup>14</sup>	1.02×10 <sup>15</sup>	4.16×10 <sup>14</sup>
	220	2.59×10 <sup>15</sup>	2.40×10 <sup>14</sup>	1.13×10 <sup>14</sup>	1.25×10 <sup>15</sup>
コ	引 火 点 (°C)	160	322	314	324
	180	322	316	324	294
	220	322	308	324	180
油	粘 度 (cSt)	160	50.7	50.8	50.3
	180	50.7	50.3	50.4	49.6
	220	50.7	48.2	47.9	46.7
の	蒸 発 減 量 (wt %)	160	0.3	1.1	0.4
	180	0.3	0.4	0.5	0.7
	220	0.3	2.6	1.2	2.5
特	全 酸 価 (mg KOH/g)	160	0.002	—	0.001
	180	0.002	—	0.001	0.003
	220	0.002	—	0.005	0.002

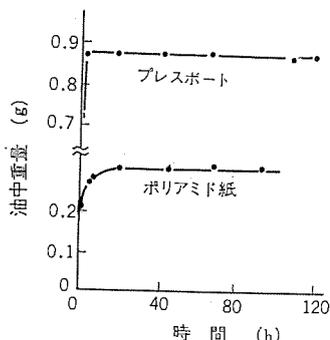


図 8. ポリアミド紙及びプレスボードのシリコン油含浸性

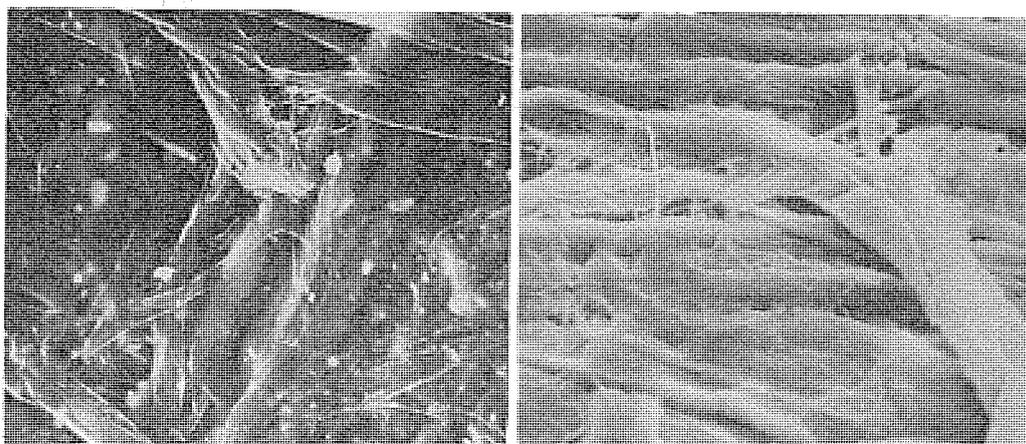


図 9. ポリアミド紙及びプレスボード表面の電子顕微鏡写真 (500 倍)

リアミド紙及びプレスボード中の気泡がシリコン油で置き換わり、時間とともに浮力が小さくなるが、油で完全に含浸されると、浮力は変化しなくなるためである。プレスボードに関しては、2時間後には既に飽和しているが、ポリアミド紙の場合には20時間後に飽和しており、ポリアミド紙は、プレスボードと比べて含浸しにくいことが分かる。

ポリアミド紙がプレスボードと比べて含浸しにくいのは、図9.に示すように、ポリアミド紙の表面が薄いフィルムで覆われているため表面からの含浸は起こらず、端面を通してのみ含浸されるためである。したがって、ポリアミド紙を油浸紙材料として使用する場合には、この点を十分に考慮しておかなければならない。

### 3.4 シリコン油、ポリアミド紙の破壊電圧と

#### 水分並びに温度の関係

一般に絶縁材料の破壊電圧は水分・温度によって影響されるので、シリコン油-ポリアミド紙絶縁系の実用化に際しても、この点をあらかじめ調べておく必要がある。そこで、試料としてシリコン油(KF-96, 50 cSt)とポリアミド紙(ノメックス #410, 厚さ 20 mil)を用い、交流破壊電圧と水分並びに温度との関係を調べた。

鉱油などの油中水分は一般に、脱水溶剤としてCM溶剤(三菱化成製)を用い、カルフィッシャー法で測定されている。シリコン油の場合には、CM溶剤を用いると、溶剤中のメタノールとシリコン油中の低分子量異性体とが反応して水を生じ、誤差の原因となるため、シリコン油中の水分測定は脱水溶剤としてエチレングリコールを含むPE溶剤(三菱化成製)を用いたカルフィッシャー法で行った。

図10.は、シリコン油の交流破壊電圧と温度との関係を水分量をパラメータとして示したものである。直径12.5mmの球電極を用い、3kV/sの電圧上昇速度で測定した値である。シリコン油の破壊電圧は、第1回目の破壊を行うと、導電性の破壊生成物によって電極間が橋絡され、第2回目以降は著しく低い値となるので、第1回目の破壊値をデータとして用いた。油中水分が15ppm, 48ppmのいずれの場合もほとんど同じ値を示し、また温度の上昇とともにわずかに低下する傾向を示している。

図11.は、油浸ポリアミド紙の交流破壊電圧と温度との関係を油中水分量をパラメータとして示したものである。破壊電圧はあらかじめ一定量吸湿させた油浸ポリアミド紙を、油中で直径25mmの球電極の間にはさみ、3kV/sの電圧上昇速度で測定した。

ポリアミド紙の水分量が0.39%より多い場合には室温から100°Cまでのデータのみで、それ以上の温度におけるデータはプロットされて

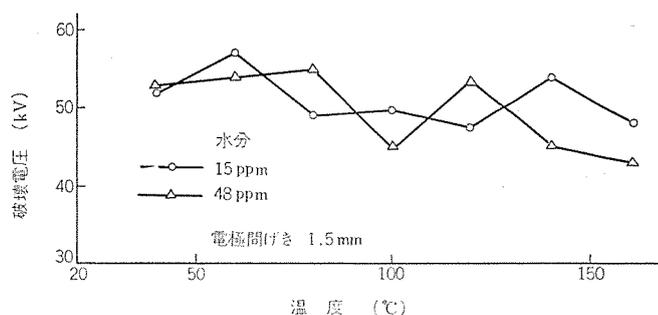


図 10. シリコン油の交流破壊電圧に及ぼす水分並びに温度の影響

いないが、100°C以上の温度になると、紙にふくれが生じて破壊電圧を測定できなかったためである。100°C以下の温度では、吸湿量が0.39~5.06%の範囲で吸湿量・温度による影響はみられず、また、0.39%の試料については、室温から200°Cの温度範囲でほとんど一定値を示している。

### 3.5 シリコン油の部分放電特性

シリコン油の部分放電特性については不明な点が多い。ここでは、シリコン油(KF-96, 50 cSt)と2号鉱油について部分放電特性を比較した。

実験は、図12.(a)に示す電極構成で行った。高圧側は針状電極、低圧側は直径25mmのステンレス鋼製平板電極であり、極間には全路破壊防止用の絶縁スペーサを入れた。電極容器は密封構造にしてあり、内容積600mlのガラス容器である。試料油の油中水分は20ppm以下とした。針先端から絶縁スペーサまでの距離 $l$ をパラメータとして、図12.(b)の測定回路によって20チャンネル波高分析器を用いて印加電圧と放電電荷量及び発生ひん(頻)度との関係を調べた。実験にはすべて60Hz商用周波電源を用い、室温で行った。

図13.は、2号鉱油及びシリコン油の印加電圧と放電電荷量との関係を示している。2号鉱油の場合には、ある電圧以上になると、放電電荷量が急激に増大する傾向を示しているが、シリコン油の場合には、このような傾向はみられない。図14.は、印加電圧と放電発生ひん度との関係を示している。発生ひん度についても、放電電荷量の場合とほぼ同様の傾向がみられる。

シリコン油中の部分放電に関連した最も特異な現象は、部分放電によるシリコン油のゲル化現象である。このゲル状物質は、各種分析器を用いて分析した結果、シリコン油の重合生成物であることが分かっ

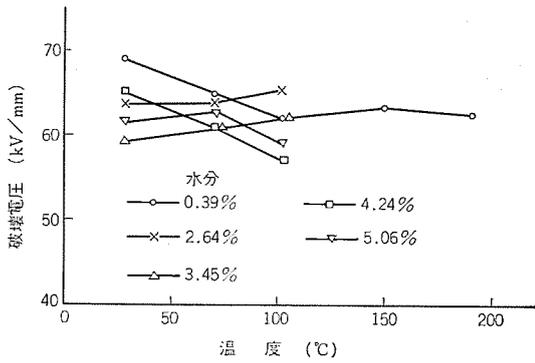


図 11. 油浸ポリアミド紙の交流破壊電圧に及ぼす水分並びに温度の影響

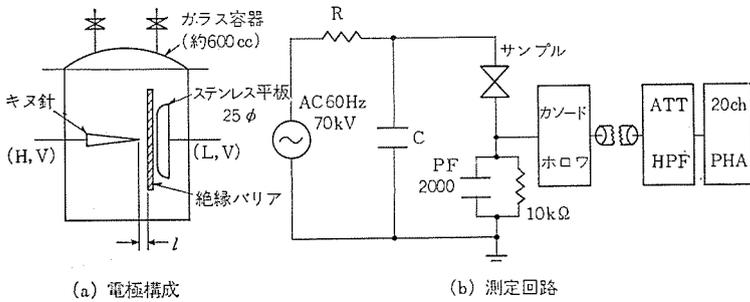


図 12. 電極構成及び測定回路

た。

ゲル状物質生成のメカニズムなどについては、今後詳細な検討を行わなければ分からないが、ゲル状物質の生成にどのような因子が影響するかを明らかにするため、油中水分量、油の脱気度及びシリコン油製造メーカーによる違いなどについて実験を行い、表 4. に示す結果を得た。この実験ではどの条件でもゲル状物質の生成、分解ガスの発生が認められ、油中水分量、脱気度及びメーカーによる顕著な差はみられなかった。

### 3.6 シリコン油のアーキによる燃焼性

油の燃焼性を比較するには種々の方法が考えられるが、変圧器に火災が発生するとすれば、アーキによって起こる可能性が最も強い。したがって、筆者らは、油中でアーキが発生した場合の燃焼性をシリコン油 (KF-96, 50 cSt) と 2号鉱油とで比較した。

油中アーキによって油が燃焼する過程を考えてみると、まず、アーキによって油が分解し、可燃性ガスを生ずる。これが油面に達して酸素が供給されると、アーキによって着火し、ガスが燃える。次に、この燃焼熱及びアーキなどによって油が加熱され、油温が引火点以上になると、油の燃焼が起こるものと思われる。したがって、油の分解による可燃性ガスの発生量 (油の種類、アーキエネルギー)、電極配置、油の引火点などによって燃焼に至るまでの通電時間は異なるものと思われる。したがって、実験は、A (アンペア) 領域と kA (キロアンペア) 領域との二つの電流域に分け、油面から電極までの深さ、電極間げき (隙) などを変えて行った。

A領域の実験に際しては、直径 19 cm、深さ 6 cm の鉄製容器に 1,350 ml の試料油を入れ、電極をセットした。電極間げきは 2 mm であり、油面から電極までの深さは 10, 20 及び 30 mm の 3 水準とした。印加電圧は 6.9 kV、電流は 6.1 A 及び 13 A の 2 水準とした。それぞれのケースについて燃焼状況を観察した結果は表 5. に示すとおりである。油が同じ場合には、電流が大きいほど、また、電極深さが小さいほど短時間で燃焼に至る傾向がみられるが、電極深さに

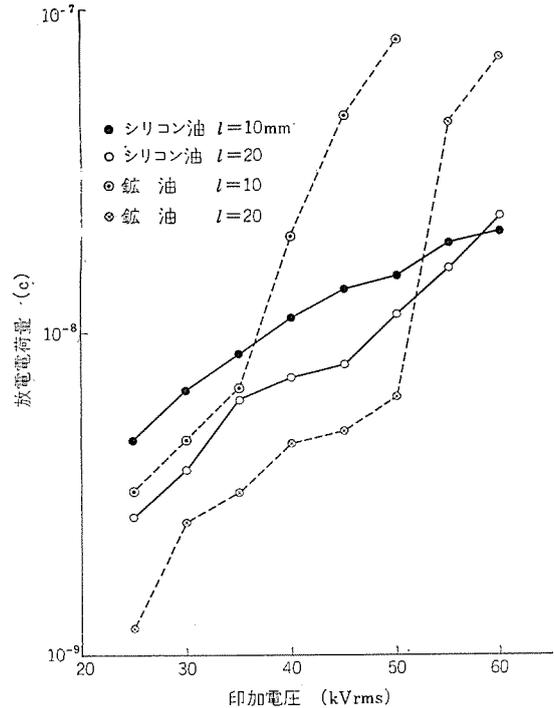


図 13. シリコン油及び 2号鉱油に関する印加電圧と放電電荷量との関係

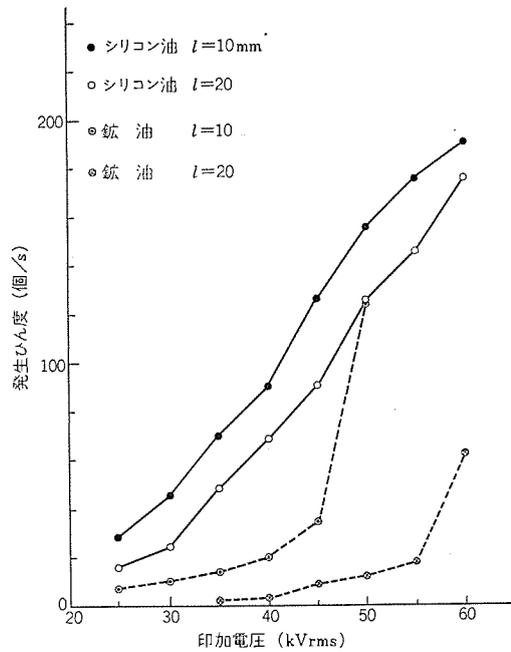


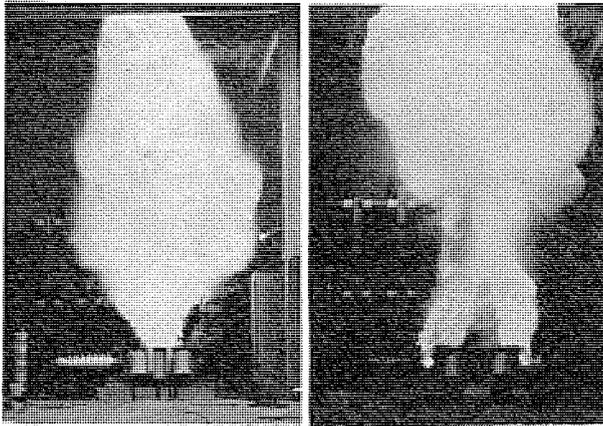
図 14. シリコン油及び 2号鉱油に関する印加電圧と放電発生ひん (頻) 度との関係

表 4. 部分放電によるシリコン油のゲル化特性

試料油	A 社		B 社	C 社	
水分 (ppm)	120	10	8	11	12
脱気度	飽和油	脱気油	飽和油	脱気油	脱気油
電荷量 (c/min)	$7.31 \times 10^{-5}$	$1.84 \times 10^{-5}$	$2.79 \times 10^{-5}$	$1.35 \times 10^{-5}$	$1.24 \times 10^{-5}$
印加時間 (h)	152	152	152	152	152
生成量 (g)	0.11	0.11	0.19	0.09	0.07

表 5. アーク試験によるシリコン油と2号鉱油の燃焼性比較

No.	油	電圧 (kV)	電流 (A)	油中深さ (mm)	油量 (cc)	通電時間	初期油温 (°C)	最終油温 (°C)	備考
1	2号鉱油	6.9	6.1	10	1,350	4分	30	140	燃える
2	"	"	"	20	"	7分	"	150	"
3	"	"	"	30	"	12分	"	120	アーク油面まで上がらず。不燃
4	シリコン油	"	"	10	"	25分	"	260	燃える
5	"	"	"	20	"	27分	"	212	ギャップ短絡
6	2号鉱油	"	13	10	"	—	"	—	気中アーク持続
7	"	"	"	20	"	3分	"	140	燃える
8	"	"	"	30	"	2分45秒	"	"	" 油量減少
9	シリコン油	"	"	20	"	13分	31	243	燃える
10	"	"	"	10	"	8分30秒	"	230	"

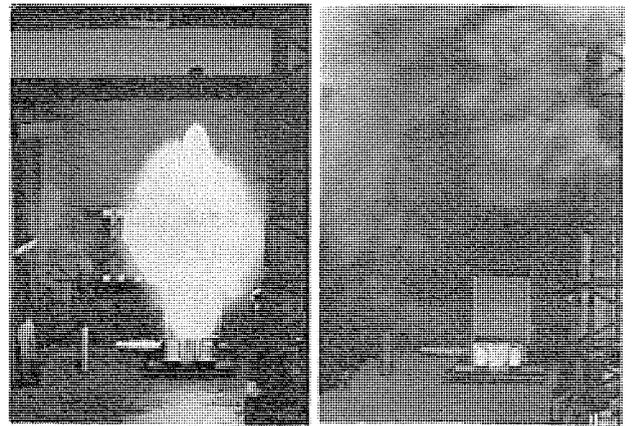


(a) 0.33 秒後 (b) 2.1 秒後

図 15. アークによる2号鉱油の燃焼

ついでには余り小さすぎたり、大きすぎたりすると燃焼は生じない。シリコン油と2号鉱油とを比べてみると、電流及び電極の深さが同じであれば、燃焼に至るまでの通電時間には5～6倍の差があり、シリコン油のほうが燃えにくいことが分かる。

kA 領域の実験に際しては、内容積 500 l の鉄製容器にシリコン油あるいは鉱油 450 l を充てんし、電極間げき 50 mm の電極を油面から 50 mm の深さにセットした。印加電圧は 26 kV、電流は 20 kA で、通電時間は 10 サイクルとした。アーク発生と同時に炎とともに油が気中に舞い上がり、2号鉱油の場合には、飛び散った油にも火がついた。一方、シリコン油の場合には、気中に舞い上がった油が燃えつきると火は消え、延焼しなかった。図 15. 及び図 16. は、それぞれ鉱油及びシリコン油の燃焼状況を高速度カメラで撮影した 1 こまを示している。このように、鉱油とシリコン油とでは、燃焼性に明らかな



(a) 0.2 秒後 (b) 2.3 秒後

図 16. アークによるシリコン油の燃焼

差がみられるが、この点については、シリコン油の引火点が鉱油のそれと比べて格段に高いことが有利に作用しているものと思われる。

#### 4. む す び

紙面の関係でシリコン油の内容容について十分に述べることができなかつた。シリコン油は、医薬品や化粧品にも使用されており、シリコン油の人体への安全性は十分に確認されている。シリコン油は、難燃性と無毒性との特長を活用し、今後電気絶縁油としての用途が更に開発されることが期待される。

なお、この研究に際して日本国有鉄道車両設計事務所、鉄道技術研究所をはじめ社内の各関係各位に多大のご協力を得たことを深く感謝する次第である。(昭和 50-1-10 受付)

# パターン処理システム(V)－色彩図形解析表示システム－

伊藤 貴康\*・中島 英雄\*\*・福島 正俊\*\*・成川 武文\*\*

## 1. ま え が き

計算機を用いた図形処理技術の進歩にもなるとともに、対象となる分野が拡大し、現実の複雑な図形や情景の中に含まれる色彩情報を図形処理に有効に利用したり、色彩情報そのものを計算機で処理しようとする気運が高まっている。

しかしながら、実際の工業、科学技術分野において、具体的に現れる対象に対して、色彩情報、色彩図形の認識・処理を計算機によって、自動化する要求が極めて多いにもかかわらず、その研究・開発は始まったばかりというのが実情である。

これは、計算機への色彩図形データの入力に当たって、オンライン、実時間での色彩図形入力システムとして実用に耐えうるものが少ないことや、色彩図形データの大容量性などに起因する技術的・経済的な問題による。

このような状況に対処するためには、色彩図形の色彩解析、編集、修正、計量化機能を有し、前処理段階において、色彩情報を有効利用し、意味のある図形データの抽出を行い、データ量の削減が図れる色彩図形実時間入力システムの活用が急務であろう。

このような機能を実現するものとして提案するのがここに紹介する色彩図形解析表示システムであり、このシステムは、実時間で色彩図形を読み取って、カラー図形ディスプレイを用いて、モニタしながら、対話的に指示を与えて行くことによって図形解析し、簡単な図形処理をも遂行することができる構成になっている。このシステムはその柔軟な構成により、航空写真の解析、医用写真の処理など、幅広い応用分野が考えられ、有効利用されるものと思われるので、ここにシステムの概要、基本機能、応用例などについて紹介するものである。

## 2. システムの概要

色彩図形情報処理においては、色彩情報をもつ現実の色彩図形を対象としており、その処理目的は多様になり、また通常対象となる図形データは、3色あるいは4色に色分解されるために、白黒濃淡図形の場合にくらべて、その画像データは3倍ないし4倍にもなり、全体として膨大なデータ量となる。例えば35mm判カラーフィルム(24mm×36mm)を50 $\mu$ m間隔、1点当たり8ビットで4色読み取りを行えば、そのデータ量は約1.4メガバイトにも達する。

このような状況に対処するためには、柔軟性と拡張性のあるハードウェア、ソフトウェア構成をもち、色彩図形を実時間で計算機に入力でき、色彩情報に含まれる意味内容の解析を行うことにより図形データ量の削減が図れる機能をもったシステムが必要になってくる。

このシステム機能を実現するため、色彩図形実時間入力装置として高性能カラーフィルムリーダを用いこれにミニコンピュータとカラー図形ディスプレイを組み込むことにより、色彩図形入力機能のシステム化を図ったものが、ここに提案する色彩図形解析表示システムである。こ

のシステムは、実時間で色彩図形を読み取ってカラー図形ディスプレイを用いて、モニタしながら、対話的に指示を与えることによって図形解析を遂行できるようになっており、色彩図形の色彩解析、編集、修正、計量化といった機能を有し、これによって意味のある図形データを抽出し、図形データ量の削減が図れるようになっている。更にこのシステムは、簡単な色彩図形処理をもシステムとの対話形式で行うことができる。

## 3. システムの基本機能

色彩図形解析表示システムは、システムのもつ、各装置のハードウェア機能と、ミニコンピュータ制御によるソフトウェア機能の有機的結合によって、

- (a) 色彩図形の入力・記憶機能
- (b) カラー図形表示機能
- (c) 色彩図形の対話的計量化機能

といった基本機能を有している。実際既設の色彩図形解析表示システムにおいては、次のような諸機能がシステム化されている。

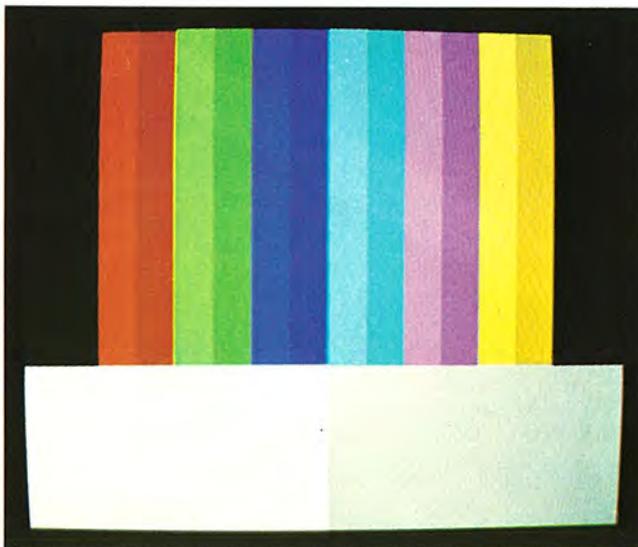
- (1) カラーフィルムをサンプル間隔50 $\mu$ m(100 $\mu$ m, 200 $\mu$ mでも可能)で、各点を赤、緑、青、白/黒の各カラーごとに8ビット(256段階)にデジタル化できる。カラーの読み取りは任意のカラーのみ、又は4色同時読み取りが指定できる。
- (2) カラーフィルムの色彩図形データを10 $\mu$ s/画素で読み取ることができる。
- (3) 資料フィルムの全体の濃度により、光学濃度 $0D\sim 2D$ を256段階にデジタル化することも、 $0D\sim 3D$ を256段階にデジタル化することも可能。
- (4) 読み取られたR, G, B, B/Wの値の組合せにより、指定された標準色と比較して、色分解を行い、計数化もできる。
- (5) カラーフィルムの色彩情報の解析や、図形としての編集、修正がミニコンピュータとの対話形式によって行える。
- (6) カラー図形ディスプレイに色、大きさ、領域などの表示モードを対話形式で指定し、入力データや処理データを擬似カラー図形として表示できる。
- (7) 特定の色彩をもつ図形の面積、長さを計算することができ、図形データの濃淡値ヒストグラムをカラー図形ディスプレイ上に表示することができる。
- (8) 色彩図形の入力データ、処理データを磁気ディスク、磁気テープに記憶することができる。
- (9) 35mm判ロールフィルムの自動コマ送りやカラーフィルタの交換ができる。

## 4. システム構成

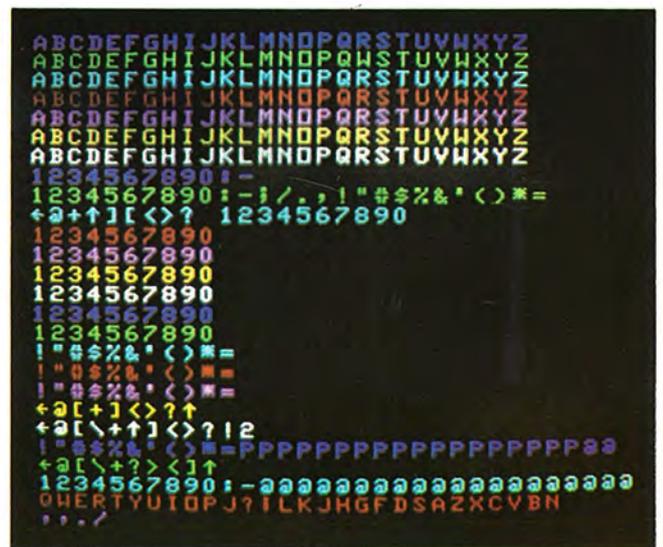
当社中央研究所においては、前述の構想にもとづいて、色彩図形解析表示システムを開発したが、現在当所に設置されているシステムは色彩図形入力装置として、高性能カラーフィルムリーダを用い、更にカ



図 2. 色彩図形解析表示システムの外観



(a) カラーバー



(b) キャラクタ表示例

図 5. カラー図形ディスプレイの基本機能の表示例

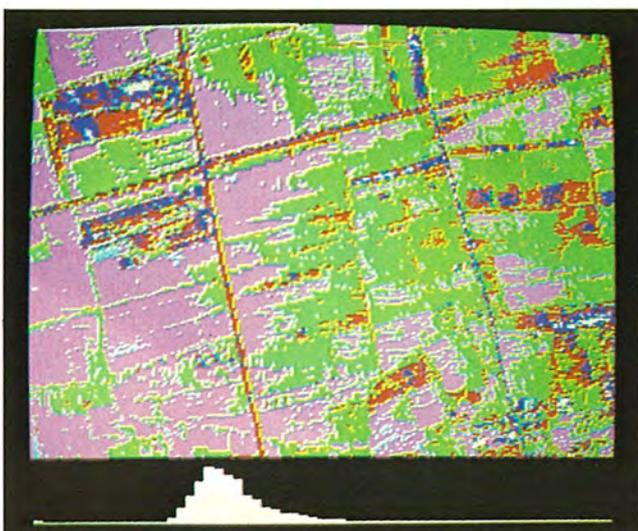


図 6. 擬似カラー表示と濃淡値ヒストグラムの表示例



図 8. 色彩図形原図

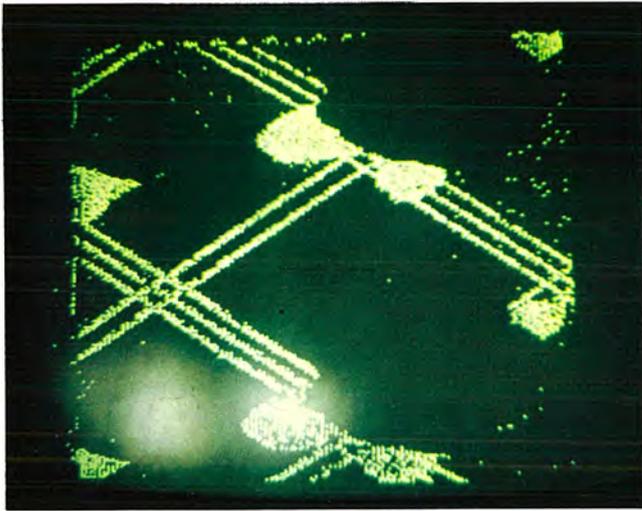


図 9. 図8.の緑成分の抽出例

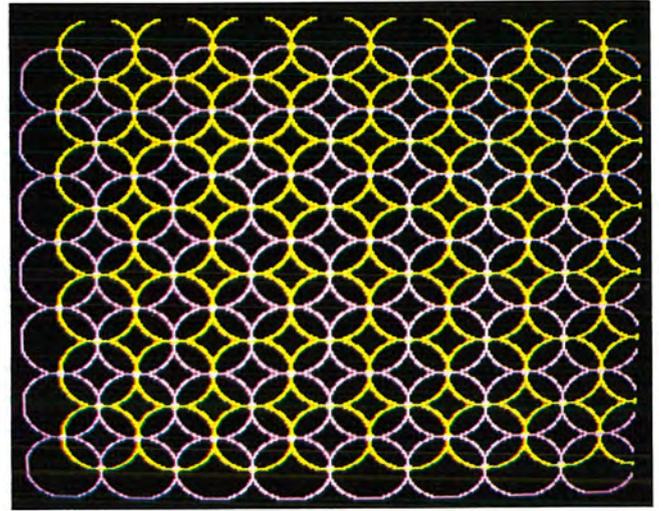
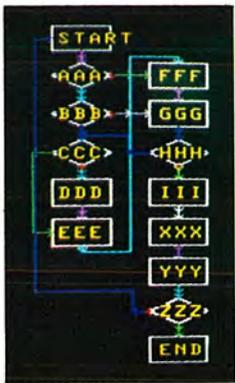
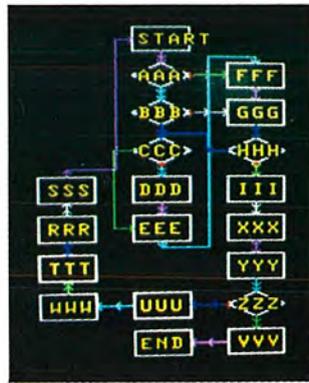


図 10. デザインパターン表示例



(a) フローチャートの生成例



(b) (a)をオンラインで編集した例

図 11. フローチャートのカラー表示例

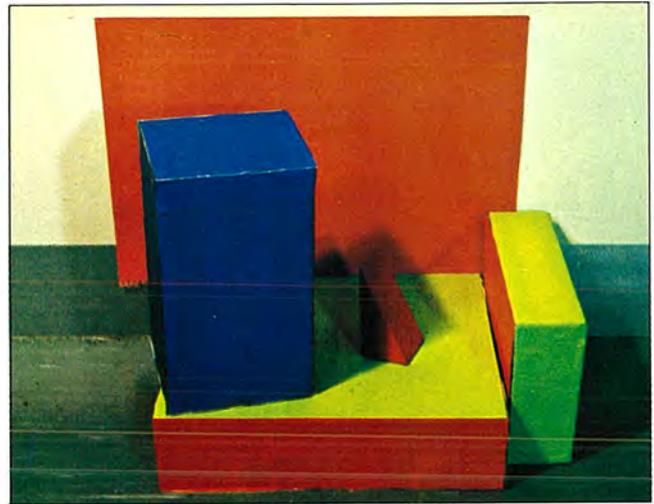


図 12. 影のある情景



図 13. 図12.の色彩の色度図表示

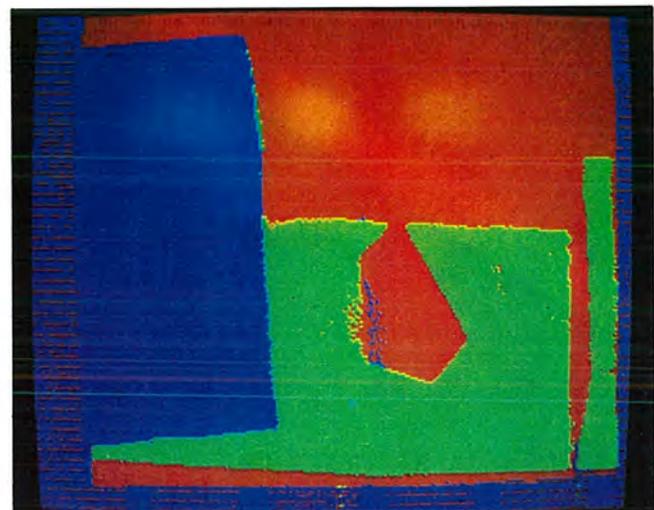


図 14. 図12.の色彩による領域同定を行った結果

ラ- 図形 ディスプレー, 外部記憶装置 (磁気 テープ, 磁気 ディスク) を備えた ミニ コンピュータ システム としての 構成 をしている。図 1. にその 構成 図を, 図 2. に システム の 外観 を示す。またこの システム では 白黒濃淡 フィルム ライタ, プロッタ, 入力 タブレット が 接続 され, オプション として 利用 することが でき, システム の 機能 向上 が 図ら れている。更に システム の ミニ コンピュータ から オンライン で 使える 当社 大形 計算機 MELCOM 7500 で 本格的 な 色彩 図形 処理 が 行える ように なっている。

次に 色彩 図形 解析 表示 システム の 主要 な 装置 である, 高性能 カラー フィルム リーダ と, カラー 図形 ディスプレー について 説明 しよう。

#### 4.1 高性能 カラー フィルム リーダ

高性能 カラー フィルム リーダ は, 回転 ドラム 形 の メカニカル スキャナ 方式 である。これまで, メカニカル スキャナ 方式 の フィルム リーダ の 場合, 読み 取り 速度 と カラー 読み 取り の 点 で 方式 上 問題 が あり, この システム の 要求 している オンライン 性を 十分 満たす ことが 困難 であつた。この 点 の 解決 を 図り, オンライン による 色彩 図形 の 高速 読み 取り を 目標 として 開発 された のが, 筆者ら の 考案 になる マルチ ヘッド スキャナ 方式 による 高性能 カラー フィルム リーダ であり, 現在 色彩 図形 解析 表示 システム の 入力 装置 として 実用 化 している。

図 3. に 高性能 カラー フィルム リーダ の 構成 図 を示す。

表 1. に 高性能 カラー フィルム リーダ の 主な 性能 について 示す。

この カラー フィルム リーダ は カラー フィルム の 高速・各色 同時 読み 取り が でき, 市販 の 計算機 入力 用 フィルム リーダ と 比べ た 場合, 読み 取り 速度 の 点 で は 白黒 フィルム に対して 5 倍以上, カラー フィルム では その 3 倍以上 になっている。なお, この カラー フィルム リーダ は, 35 mm 判 ロール フィルム の 場合 に は, 自動 コマ 送り 機構 が オプション として 用意 されており, また 読み 取り ヘッド の カラー フィルタ の 交換 も 行える ように なっている。

図 4. に この フィルム リーダ による 濃度 測定 の モデル 化 した 図 を示す。なお 図 中 は カラー フィルタ が ある 場合 を 示して あり, 白黒 ヘッド の 場合 は この フィルタ が ない こと になる。

#### 4.2 カラー 図形 ディスプレー

ミニ コンピュータ によって 色彩 図形 解析 を 対話 的 に 行う に は, 入力 図形 データ, 中間 処理 データ, 解析 結果 など を 随時 モニタ できる 図形 表示 用 カラー ディスプレー が 必ず (須) と なって くる。この ため, 色彩 図形 解析 表示 システム において も, 標準 的 な 出力 装置 として カラー 図形 表示 用 ディスプレー を 具備 している。

現在, 当所 に 設置 されて いる 色彩 図形 解析 表示 システム では 次の よう な 機能 を もつ 簡易 形 の カラー 図形 ディスプレー を 用いて いる が, 画素 数, 表示 色数, 制御 機能 の 拡張 は 図れる ように なっている。

- 表示方式: ラスタスキャン方式
- 表示画素数: 水平方向 256点  
垂直方向 240点
- 表示色: 赤, 緑, 青, マゼンタ, イエロー, シアン, 白の7色  
とそのハーフトーン及び黒の計15色
- 画像メモリ: リフレッシュメモリとしてMOS ICメモリを内蔵している。
- 8方向ベクトル付き
- 英数字, カタカナの色彩表示
- 部分消去

図 5. に この カラー 図形 ディスプレー で 表示 可能な 色 の 種類 と 文字 の 種類 を 示した。

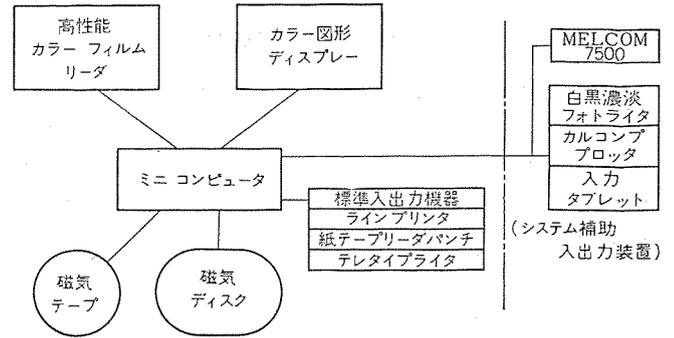


図 1. 色彩 図形 解析 表示 システム の 構成 図

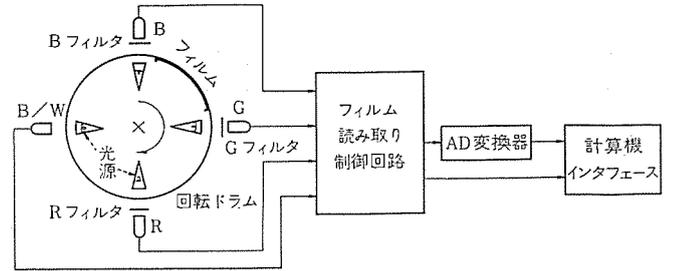


図 3. 高性能 カラー フィルム リーダ の 構成 図

表 1. 高性能 カラー フィルム リーダ の 性能

項目	内容
測定対象	リバーサル カラー フィルム (白黒フィルムも可)
測定フィルム サイズ	(最大) 125 mm × 175 mm
アパーチャ サイズ	(資料面上) 50 μm × 50 μm
測定濃度	(光学濃度) 0.0 ~ 3.0 D
測定モード	2 D, 3 D レンジの切換え可
濃度レベル分解能	256 レベル/色 (8 ビット)
サンプリング間隔	50 μm, 100 μm, 200 μm の選択可
データ読み取り速度	188 K 画像/秒
光源	タンダステン電球
読み取りヘッド数	4ヘッド (R・G・B・B/W)

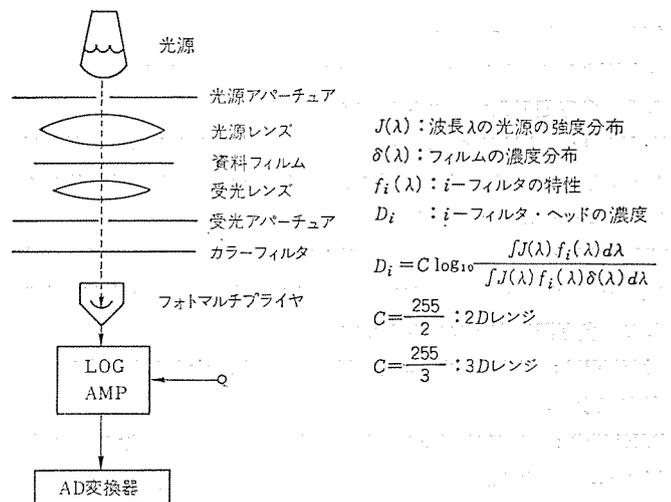


図 4. カラー フィルム リーダ の 各 ヘッド における 濃度 測定 原理 図

## 5. システムの利用形態

計算機による色彩図形処理においては、白黒濃淡図形に数倍する図形データの大容量性によって、図形の記憶容量や処理時間に関し問題が生じ、効率的なシステム操作、データ圧縮が大きな課題となると思われる。例えば、前述したように35mm判カラーフィルムを最小50 $\mu$ で読み取った場合は

フィルムサイズ： 24mm×36mm

スポットサイズ： 50 $\mu$ m×50 $\mu$ m

サンプル間隔： 50 $\mu$ m

1点分解能： 8ビット

読み取り色数： R, G, B, B/Wの4色

であるから結局、約1.4メガバイトにもなり、小さな画面にもかかわらず大量の色彩図形データをもっていることが分かる。

このような状況に対処するために、ミニコンピュータを有効利用して、色彩解析・計量化を行って図形データ量の削減を図り、更に進んで対話形式で簡単な図形処理まで行わせ得るようにしたのがこのシステムである。すなわちシステムのオンライン性を有効に用いることによって、次のような利用が図れるわけである。

例えば、画像面上のデータに対し、要求が起こればその都度、読み取り領域、サンプル間隔、読み取りモードの指定を任意に行って、カラーフィルムリーダを動作させ、必要な色彩図形データだけを読み出して、つぎつぎと部分的な処理を重ねることによって、全画面の大量データに対しても、小さな記憶容量しかもたないシステムで対処できるわけである。

このようなことが可能であるためには、カラーフィルムリーダの読み取り位置の精度がサンプル間隔に対して十分に保証されていることや、読み取りヘッドの移動速度が十分速いことが要求されるが、このシステムでは、これらの要求を実用上十分満たしうるものとなっている。

## 6. 基本ソフトウェア

色彩図形解析表示システムには、これまで述べてきた、諸機能を実現するための基本ソフトウェア群が用意されており、これらは、

- (1) 多彩図形入力ソフトウェア
- (2) 色彩図形表示ソフトウェア
- (3) 色彩図形解析ソフトウェア
- (4) その他のソフトウェア

に大別される。以下主な基本ソフトウェアについて説明しよう。

### 6.1 色彩図形入力ソフトウェア

FREAD： 高性能カラーフィルムリーダからの色彩図形データの読み取りモード、領域、データ数を指定し、磁気ディスク、磁気テープに決められたデータフォーマットで記憶する。

TVRFAD： カラーTVカメラに読み取りモード、領域、データ数を指定し、ミニコンピュータのコア又は磁気テープに色彩図形データを収集する。

### 6.2 色彩図形表示ソフトウェア

CMONIT： 図形の生データ、処理データを、大きさを指定して色彩表示する。

PSEUDO： 濃淡図形をその濃度情報に応じて、色割当てを行い擬似カラー表示する。

HIST： 図形データの濃淡値ヒストグラムをカラー表示する。

GDGE： カラーデザインパターンの生成・編集機能をもつ。

PICT： 円・短形などの基本図形表示サブルーチン・パッケージ。

FLOWCHART： プログラミングにおけるフローチャートのカラー表示と編集機能をもつ。

### 6.3 色彩図形解析ソフトウェア

COMPD： 特定色彩領域の面積を計算する。

NCOL： 画像データ中の特定の色彩の同定を行う。

COLAN： 色相情報を用いて領域の識別を行う。

NOISE： 図形の中のノイズ除去。

BINARY： 濃淡図形を適当なしきい(閾)値で2値図形に変換する。

THIN： 図形の細線化及び太らし操作を行う

SCAL： 画像の縮小を行ってカラー図形ディスプレイに表示する。

### 6.4 その他のソフトウェア

NUMOUT： 高性能カラーフィルムリーダで読み取られた図形データをラインプリンタに数値で打ち出す。

MTDUMP： 磁気テープ、磁気ディスクのファイルデータをダンプする。

LPOUT： 高性能カラーフィルムリーダや、カラーTVカメラで読み取った、図形データをラインプリンタに重ね打ちし、濃淡図形として出力する。

FWRITE： 白黒濃淡図形をフィルムライタに出力する。

PLOT： 色彩線図形をプロッタに出力するための、サブルーチンパッケージ。

次にこれらの基本ソフトウェアを適用した幾つかの例について説明しよう。

#### (1) 航空写真の解析例

図6. は高性能カラーフィルムリーダで読み取った白黒の航空写真をPSEUDOソフトウェアによりカラー図形ディスプレイ上に擬似カラー表示したものであり、この画面の下部に白く見えているのは、HISTソフトウェアにより濃淡値ヒストグラムを表示したのである。

図7. はCOMPDソフトウェアによって、図6.の各カラー領域の面積比率を計算しテレタイプライタに出力した例である。

#### (2) 色彩図形の色彩分離例

カラーフィルム上の色彩情報をフィルムリーダで入力し、何色であるか判定してカラー図形ディスプレイに表示する例について説明する。図8.に示す原図をNCOLソフトウェアによってR, G, B, おおの256段階に読み取り、その値の組合せにより何色であるか判定してカラー図形ディスプレイに表示する。例えば、緑成分を表示した例が図9.である。

#### (3) 色彩図形表示ソフトウェアの応用例

色彩図形を扱う場合の一つとして、色彩図形の生成、表示がある。このシステムにおいても、カラー図形ディスプレイを用いて色彩図形を生成・表示する機能を有している。また色彩線図形などの表現がPICT, FLOWCHARTを用いることによって行え、例えば、円からなるデザインパターンに適用した例が図10.であり、図11.にはカラーフローチャートの生成・編集の例を示した。

## 7. 色彩図形処理への応用

色彩図形処理においては、色彩解析、前処理、特長抽出、認識といったさまざまな階層の問題があるが、これらのうち簡単な場合については、色彩図形解析表示システムを用いて対処することができ、次にその幾つかについて説明する。

WHITE	0.192	%
YELLOW	0.000	%
CYAN	0.552	%
MAGENTA	34.136	%
GREEN	46.234	%
RED	13.397	%
BLUE	4.525	%
HALF WHITE	0.767	%
HALF YELLOW	0.119	%
HALF CYAN	0.060	%
HALF MAGENTA	0.018	%
HALF GREEN	0.002	%
HALF RED	0.000	%
HALF BLUE	0.000	%
BLACK	0.000	%

図 7. 図 6. の各カラー領域の面積比率を計算した例

### 7.1 色彩解析への応用

高性能カラーフィルムリーダによって、色彩図形情報の計算機への入力が可能となったわけであるが、色彩は、光の刺激により生じる視感覚としての心理量であり、カラーフィルムリーダから得られる信号はそのままでは、色刺激に対応しないから、これらに固有の色彩解析方式が考えられなければならない。

色彩図形処理においては、色彩情報の正しい(把握)が重要な意味をもち、この点からも色彩解析は必要である。

高性能カラーフィルムリーダを用いた色彩図形解析表示システムにおける色彩解析法としては、

- (1) 標準カラーフィルム色票を用意し、それとの比較を行う方法と
- (2) 読み取られた各フィルタの濃度値をもとに、色の3刺激値を算出し、色度図表示する方法

とが考えられる。図 12. の3次元色積み木情景の色彩解析を行い、色度図上に表示した結果を図 13. に示した。

### 7.2 陰影除去の問題への応用

物体認識や航空写真の解析においては、光源や太陽の位置によって物体の陰影ができ、これが処理上大きな障害となる場合がある。

このような陰影は前処理段階で除去することが望ましいが、対象を白黒濃淡画像としてとらえた場合、陰影除去のため、各種のセマンティクスを入れた複雑なアルゴリズムになる。

これに対し、対象の色彩情報が使えて、同じ色相領域では、陰影のできている部分と、そうでない部分との違いは明度だけに依存すると判断してよいと考えられる場合には、色彩図形解析表示システムによって、色相による領域分割を行い、簡単に陰影除去が行える。図 12. に対して図 13. で行った色彩解析結果を用いて、色による領域分割を行った結果を図 14. に示した。

## 8. む す び

計算機によって色彩図形処理を行う場合には、処理目的に多様性があること、扱うデータ量が膨大であること、更には処理すべき項目も入出力装置の簡単な制御から、図形の認識といった高度の処理に至るまで各種の処理過程が混在していることなどが問題となってくる。この中にはプログラム化が困難なものもあるが、人間のわずかな介入によってシステムの処理効率が飛躍的に向上する局面が数多く存在する。

このような状況に有効に対処できるものとして提案したのが、ここに紹介した、高性能カラーフィルムリーダを用いた色彩図形解析表示システムであり、例えばオンラインで色彩図形解析を行って、色彩図形データ量の削減を図ったり、簡単な色彩図形処理をも実行することができるようになっている。このシステムを有効利用することによって、前述の応用分野のほか、工業用図面の処理や医用・織物分野への応用が図れるものと考えられる。

しかしながら、高性能カラーフィルムリーダを用いた色彩図形解析表示システムによって、例えば不透明資料や現実の3次元情景を計算機に入力する場面を考えると、これらを1度カラーフィルムの形にする必要があり、特に実時間の色彩図形入力用としては有効でない場合がある。

そこで当社中央研究所においては、オンライン、実時間で色彩図形や3次元情景を計算機に入力できるシステムとして、カラーTVカメラを用いた色彩図形入力システムの開発を旨とし、現在その基礎実験を行っており、一部色彩図形解析表示システムへの組み込みを図りつつある。

なお、当所において現在、開発設置されている、色彩図形解析表示システムは、通産省大形プロジェクト「パターン情報処理システムの研究・開発」の当社受託テーマ「色彩図形認識の研究・開発」を実施するに当たっての色彩図形入力システムとして活用されている。

なお最後に、この高性能カラーフィルムリーダの設計・製作にあたっては、小西六写真工業(株)にご協力いただいた。同社の関係者に深謝の意を表す。

## 参 考 文 献

- (1) 伊藤：計算機による色彩図形情報処理の諸問題，電子通信学会パターン認識と学習研究会(昭49-7)
- (2) 秋田，伊藤：カラーTVカメラを用いた色彩図形入力システム，電子通信学会パターン認識と学習研究会(昭49-7)
- (3) 伊藤：計算機による色彩図形情報処理，三菱電機技報，48，No. 8(昭49)
- (4) 伊藤，福島，秋田：色彩図形解析表示システムとその応用，エレクトロニクス(昭49-10)

# モータ制御用IC

大久保利美\*・中野隆生\*\*・尾形 孝\*・里 治則\*

## 1. ま え が き

IC化の進展はモータ制御回路にも及び、ICのもつ本質的メリットである小形、軽量、低価格とともに高精度、高信頼度などの特長を織り込んだIC応用製品がモータコントロール分野にも浸透しつつある<sup>(1)</sup>。このため今なおモータ単体は交流モータが主流をなすが、モータ自身の製品系列は逐次電池駆動の可能な小形直流モータに移行しつつあり、音響制御用、ビデオ機器用はもちろん、カメラ、映写機などの精密機器、コンピュータ端末機器などの広い応用分野を背景に、電子制御小形直流モータが近年多量に生産され、将来かなりの分野に使用されることが予想される。

現在モータ関連分野でIC化の対象領域としては

- (1) 速度制御回路 (AC, DC モータ)
- (2) モータ回転機構 (特に DC モータのブラシ機構)
- (3) モータとモータ応用製品の境界領域の電子回路部分 (モータ応用製品全システム の特性改善)

の三つに大別されるが、動作電源電圧、駆動電流、熱放散などの電気特性と現状のIC製造技術を考慮すると、現時点では最適なIC化対象ブロックは(1)の速度制御回路のIC化が最も有効にIC化メリットを発揮できる分野と考えられる。

表1. は交流 (AC)、及び直流 (DC) モータの速度制御回路の制御方式による分類を示す。この論文ではモータ速度制御用ICとしておのおの世界最初に開発されたもの、すなわちDCモータでは位相制御形高性能速度制御回路のIC化手法につきM5177Pを、ACモータではVTRテープ速度制御回路のIC化手法につきM51401Kをとりあげ、IC化の問題点、解決方法、特性改善効果につき詳述する。

表 1. モータ速度制御回路一覧

		具体例	
ACモータ	インダクションモータ	位相制御	
	ACサーボモータ	台形波比較	.....M51401K
		のこぎり歯状波比較	
DCモータ	ガバナ	機械ガバナ	
		電子ガバナ	.....TCA 600B
	速度制御	位相比較	.....M5177P
		PLL	MC 4044P, XR-S200 SL-650 HI-2800) など
		周波数制御	

## 2. 回路構成及び電気特性

### 2.1 位相制御用 IC (M5177P)

位相制御形のモータ速度制御回路は、近年IC化技術の進歩とともに多方面に広く応用されつつあるPLL (Phase Locked Loop) 方式の一応用と考えられる<sup>(2)~(4)</sup>。基本的動作原理は基準周波数発振器で基準周波数 $f_0$ を発振させ、 $f_0$ の位相とモータ回転数 $N$ に比例した信号 (モータに直結した速度発電機より生じる正弦波を波形整形回路によりパルスに波形変換) の位相を比較し、位相差に比例したパルス幅をもつ電圧を位相比較器より発生させ、駆動用トランジスタでモータ駆動する方式である。(駆動は積分回路を通しDC変換した後、ドライブするものと、直接パルスドライブするものと2通りある)。

この方式ではモータ回転数が低下した場合には、基準周波数 $f_0$ と制御系の位相差が大きくなり、すなわち位相比較器出力パルス幅が大きくなり、モータに対する電圧印加時間が長くなり、回転数が増大する方向になり、また逆に外乱によりモータ回転数が上昇した場合には、電圧印加時間が短くなり、回転数が低下する方向に変化し設定値にもどるといふ原理によるものであり、位相比較器出力が時間変化がなく一定であれば、モータ回転数は基準周波数 $f_0$ にLockされる。したがって、位相比較器、モータ駆動回路、波形整形回路の閉回路系の制御利得が十分大きければ、モータ速度制御系の安定性はほぼ基準周波数 $f_0$ の特性により決定され、一般には、電子ガバナなどの電圧制御形速度制御回路に比べ、高性能、高精度の速度制御が可能となる。

図1. にこの方式によるモータ速度制御回路のIC化例としてM5177Pの回路図を、図2. にブロック図を示す。以下M5177Pの設計方法及び特性例につき説明する。

このICは基準周波数発振器、位相比較回路及びシュミットトリガ回路からなる波形整形回路、各ブロックへのパワー供給用定電圧回路より構成される16ピンのモールドICである。系全体の特性を支配する基準周波数発振器は、通常よく使用されるCR形自走マルチバイブレータ回路を用い、温度特性を改善するため温度補償用ダイオード $D_1$ 、 $D_2$ を、マルチバイブレータ回路の負荷抵抗 $R_1$ 、 $R_2$ とスイッチング用トランジスタ $Q_1$ 、 $Q_2$ のコレクタ間におのおのの設け、形状及び接合面積の温度特性に与える影響を考慮し、回路設計を行った。発振周波数の温度特性は温度補償用ダイオード $D_1$ 、 $D_2$ の順方向電圧 $V_{D1}$ 、 $V_{D2}$ 、 $Q_1$ 、 $Q_2$ のベース・エミッタ間電圧 $V_{BE}$ 、コレクタ飽和電圧 $V_{CES}$ の温度係数に依存し $V_{D1}$ 、 $V_{D2}$ 、 $V_{BE}$ 、 $V_{CES}$ の温度係数は接合面積比により任意に設定できるのでチップ面積を最小にし、かつ温度特性が最もよい回路を図3. の実験結果をもとに決定した。

図3. は $D_1$ 、 $D_2$ の接合面積及び直列接続個数を可変にした場合の温度特性例を示す。図3. より最適設計として

は、片側半周期に関して温度補償用のダイオード面積を大きく ( $\approx 2S_0$ )、他方の半周期に関しては温度補償用ダイオードを2個直列に接続することが望ましい。この構成によりIC化部分(外付けCRの

温度係数を除く)だけの温度変化による回転数変化として $\pm 0.15\%$  ( $T_a = -20 \sim +75^\circ\text{C}$ )の特性を実現できた。モータ速度系全体の温度係数は上記のICだけの变化に外付けCRの温度変化を加味する必要

があるが、コンデンサをマイラコンデンサ、抵抗をカーボン抵抗にした場合、系全体の温度変化による回転数変化として $\pm 0.35\%$  ( $T_a = -20 \sim +75^\circ\text{C}$ )の特性になる。

一方、発振周波数の電源電圧特性に関しては

(1) ダイオード  $D_1, D_2$  の導入により、マルチバイブレータ回路の電源電圧特性が改善された。  
 (2) 横方向PNPトランジスタの定電流負荷回路<sup>(6)</sup>を使用した定電圧回路の導入により、電源電圧変化が大幅に軽減された。

(1)(2)より図4.に示すように、 $V_{cc} = 9 \sim 16\text{V}$ でモータ回転数変化が $\pm 0.1\%$ の良好な特性を実現できた。この特性も active 素子をチップ面積の極端な増加なしで自由に使用できるIC化メリットを十分生かし、特性改善をはかった一例といえる。

IC設計上マルチ回路に次いで重要なのは、位相比較回路であるが、このブロックについては、RST形フリップフロップを2段並列構成にし、基準発振周波数の出力の立下がりを利用した微分トリガとシュミットトリガ回路出力の立下がりを利用した微分トリガとの時間差に比例したパルス幅を生成する主信号制御部分と、電源オン時又は外乱(負荷変動、電源変動、ノイズなど)が加わった過渡状態で、基準周波数  $f_0$  にモータ信号周波数  $f_M$  をLockさせるためのフリップフロップ回路より構成される。この位相比較回路部分は、微分トリガによる動作を主体にしているため、短いパルス幅での高精度な制御が可能であるという利点をもつ反面、IC化という観点から考えれば、

(1) 外付けコンデンサの増大によるピン数増大  
 (2) 負トリガによりIC固有の4層構造による寄生効果による誤動作  
 などの問題が生じる。M5177Pでは(1)の問題に対しては、微分動作を電子回路的にを行い、(2)の問題に対しては、入力をDTL、出力をTTL形のロジック回路を位相比較回路部分に導入し、解決することができた。

一方駆動回路については、モータの使用用途により、モータの仕様(トルク電流、 $V_{cc}$ )が異なること、及び位相比較出力と駆動回路間他の機能を導入し利用する機会が多いことを考え、外付けとした。上記検討により、表2.に示すように位相制御用モータ用ICの回転数の制御特性として、 $T_a = -20 \sim 75^\circ\text{C}$ において、温度特性 $\pm 0.3\%$   $V_{cc} = 9 \sim 16\text{V}$ にお

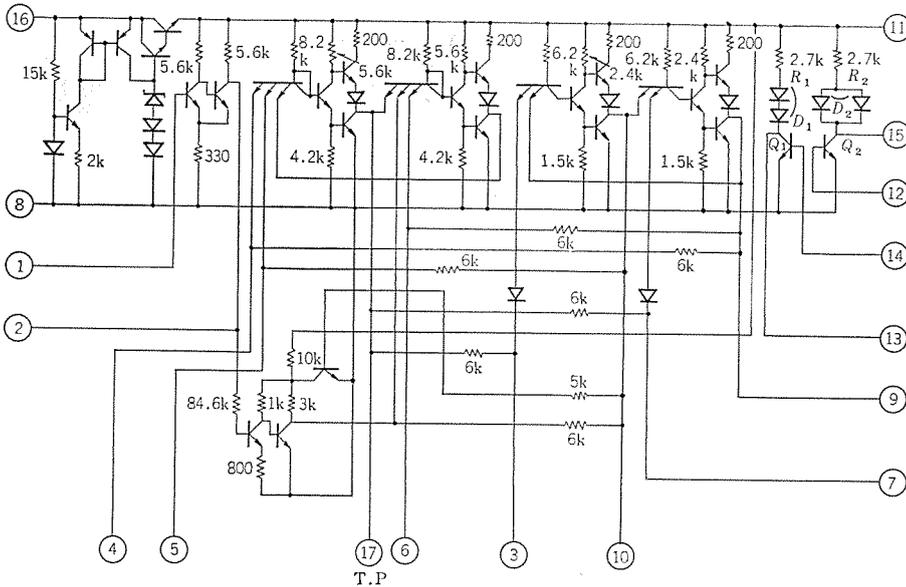


図 1. M5177P 等価回路

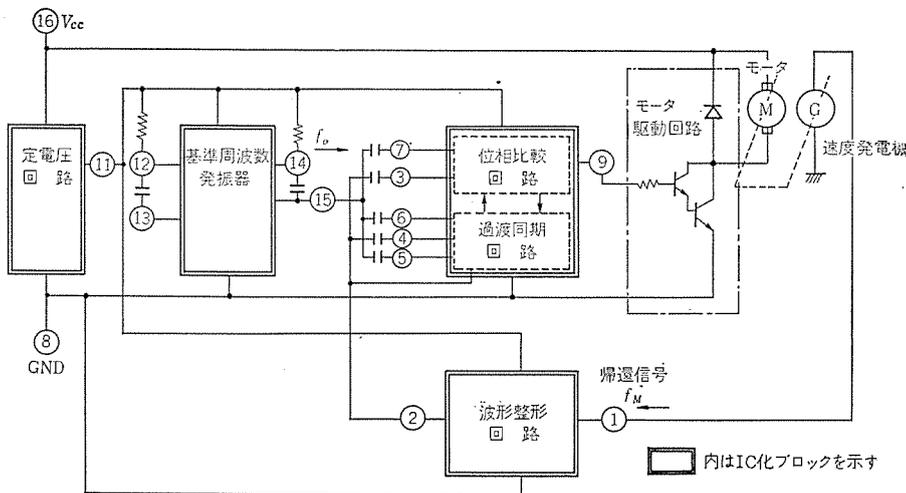


図 2. M5177P ブロック図

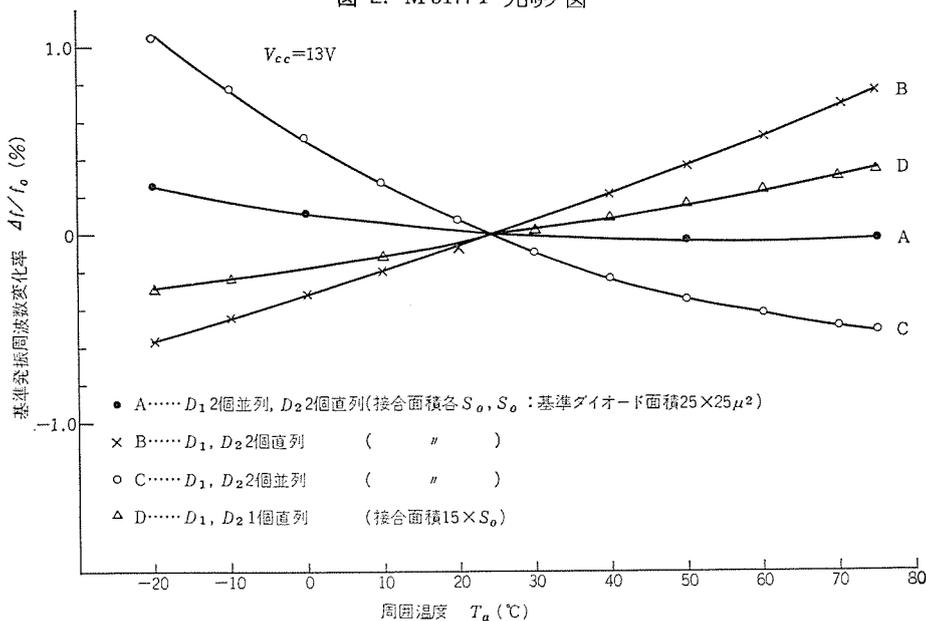


図 3. 基準発振周波数の温度特性

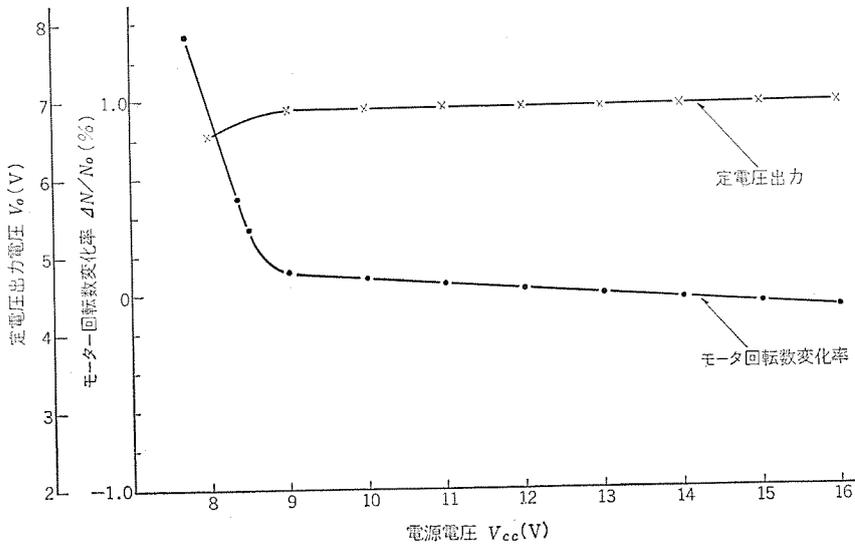


図 4. 電源電圧に対するモータ回転数変化率及び定電圧出力

表 2. モータ速度制御回路における個別部品回路と M 5177 P 使用回路との比較

項目	条件	個別部品回路	M 5177 P 使用回路
電源電圧	—	4~16 V	9~16 V (安定化電源内蔵)
周囲温度	—	-20~+60°C	-20~+75°C
回路電流	ドライバ用パワー トランジスタを除く	10 mA	17 mA
回転数変動率			
電源電圧	$V_{cc}=9\sim 16V, I_L=0$	$\pm 0.2\%$	$\pm 0.1\%$
周囲温度	$V_{cc}=13V, T_a=-20\sim 75^\circ C$	$\pm 0.5\%$	$\pm 0.3\%$
トルク電流	$V_{cc}=13V, I_L=0\sim 150mA$	$2 \times 10^{-3}\%/mA$	$5 \times 10^{-4}\%/mA$
ドリフト	$T=1\sim 30min$	$\pm 0.1\%$	-0.1%
制御回路	M 5177 P 相当部のみ		
部品点数		23	15
占有面積		32 cm <sup>2</sup>	8 cm <sup>2</sup>
特長			IC 化により 内蔵可能

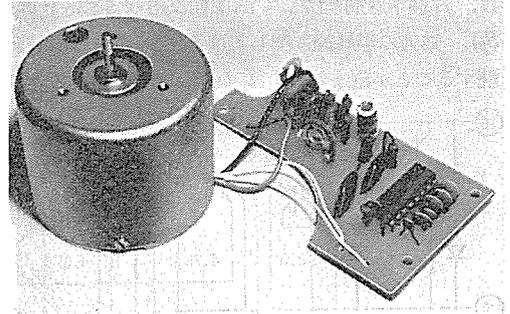


図 5. M 5177 P を用いた IC 化プリント基板及び DC モータ

いて電源電圧特性  $\pm 0.1\%$ ,  $I_L=0\sim 150\text{ mA}$  においてトルク特性  $5 \times 10^{-4}\%/mA$ , 電源印加後 1~30 分においてドリフト特性  $-0.1\%$  の特性を実現した。

図 5. は M 5177 P を用いた IC 化プリント基板及び DC モータを示す。

## 2.2 AC サーボ用 IC (M 51401 K)

M 51401 K は, 1/2 インチ用 VTR のサーボコントロール回路部に用いる IC であり, 装置の構成を図 6. に示す。

この IC の目的とする動作機能は, VTR の回転ヘッドとテープの走行速度との相対速度を制御し, 映像信号をテープに安定に記録し, かつモニタ TV 上で安定に画面を再生させることである。

従来のディスクリートの AC サーボ回路は部品点数が多くそのまま IC 化した場合, 外部ピン数が 20~24 ピンになることが考えられるが, 独自の回路設計により 16 ピンの IC にすることができた。図 7. に詳細な回路図及び外部結線を示す。

この IC の特長は下記のごとくであり各回路ブロックは図 6. に示すものに対応する。

- (1) 単安定マルチバイブレータ: 通常用いられる回路に比べ調整が 1 カ所であり, ピン数を 1 本減少させて同等機能を発揮できる。
- (2) サンプルホールド回路: 出力電圧のダイナミックレンジを広くとれる。
- (3) 集積化サーボコントロール回路: 単安定マルチバイブレータ 2 個分

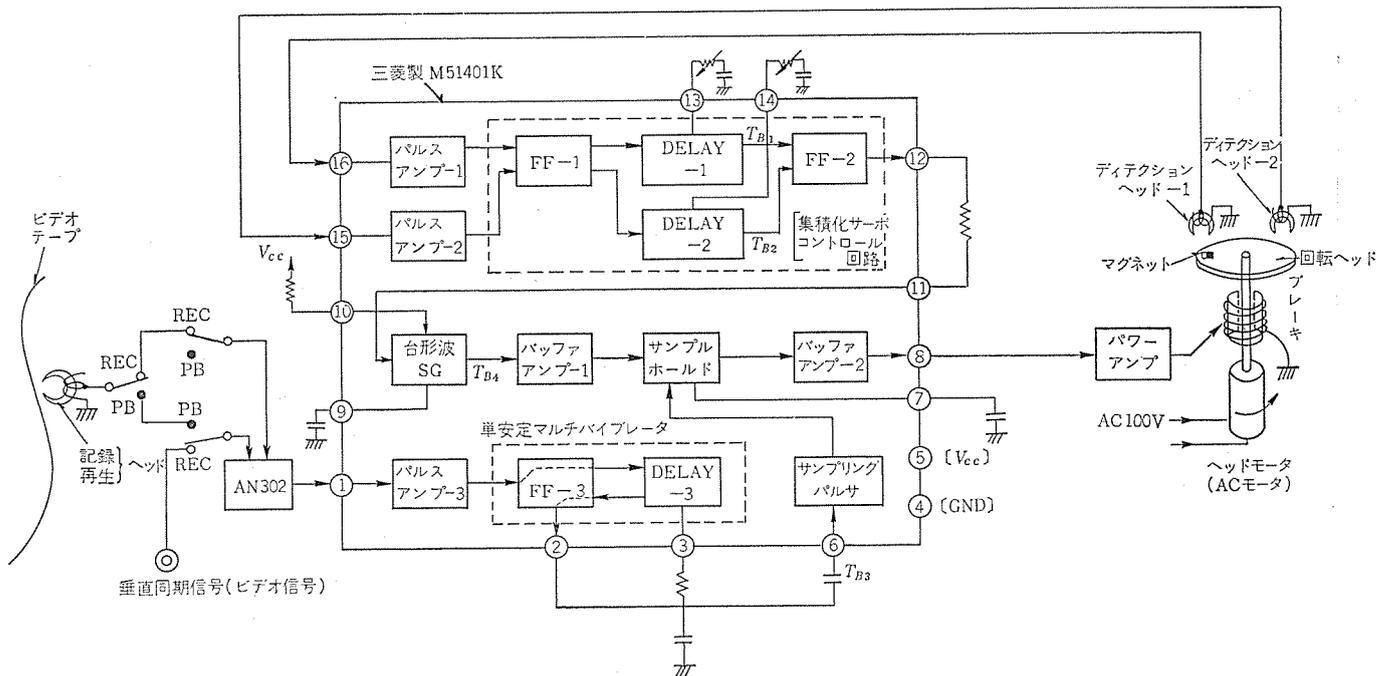


図 6. M 51401 K のブロック図及び周辺回路



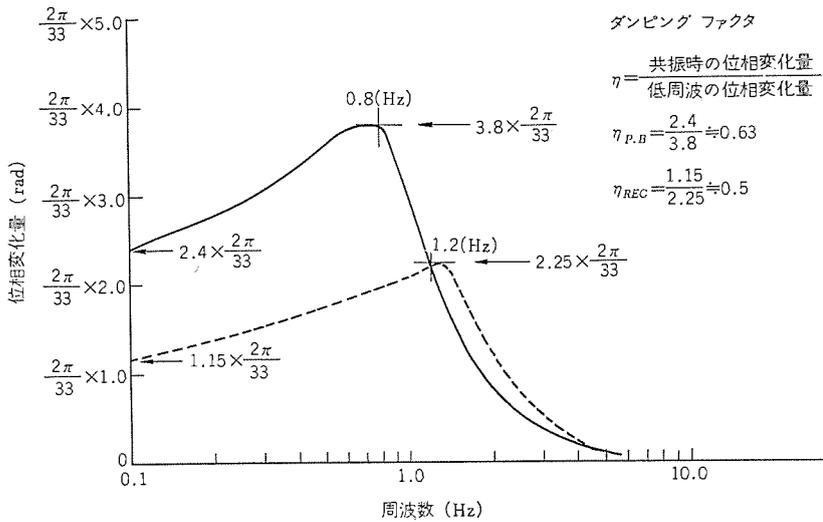


図 8. サーボコントロール系の周波数特性曲線

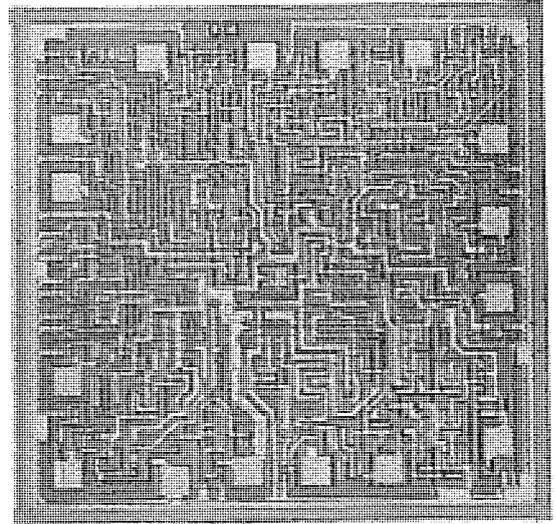
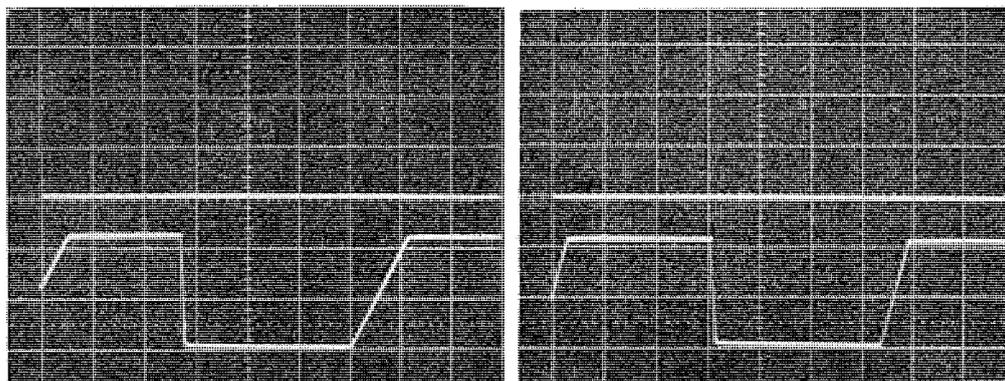


図 11. パターン写真

Sample No. 測定項目	1		2		3		4		5	
	REC	PB								
位相変化量 モノマルチ-1 $T_{B1}=1ms$	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
位相変化量 モノマルチ-3 $T_{B3}=2ms$ $T_{B3}=25ms$	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
位相変化量 台形波回路 $T_{B4}$ at 6V DC	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
合計 (rad)	-0.004	-0.049	-0.004	-0.043	-0.005	-0.047	-0.002	-0.041	-0.002	-0.039
判定条件 REC ≤  0.012  rad PB ≤  0.060  rad	OK									

図 9. 位相変化量対温度総合特性



(a) PB (再生) 時  
5 V/div, 5 ms/div  
(b) REC (録画) 時  
5 V/div, 5 ms/div

図 10. Lock 時の台形波と サンプリングパルス

に相当し、ピン数が通常考えられるものより 2 本減少できた。

(4) 台形波発生回路：従来はミラー積分回路を用いた方式であったが、この IC では定電流回路方式としたため、台形波の傾斜切換えには外付けピンを 1~2 本減少できた。

図 6. の構成よりなる VTR サーボ系がこの IC を用いて安定に速度制御でき、かつ目的の精度内に収まるためには、図 8. のサーボ系の周波数特性と、図 9. の位相変化量対温度特性が要求される仕様範囲に収まればよい。

1/2 インチ VTR にこの IC を用いて、機械系と電気系を含めた総合のサーボ系周波数特性曲線を図 8. に示す。同図より PB 時の共振周波数は 0.8 Hz で、ダンピングファクタ  $\eta_{PB} \approx 0.6$  であり、REC 時の共振周波数は 1.2 Hz でダンピングファクタ  $\eta_{REC} \approx 0.55$  である。一般にサーボ系でダンピングファクタ  $\eta = 0.6$  がもっとも安定であるのでこの装置のダンピングファクタ  $\eta_{PB}$ ,  $\eta_{REC}$  はおのおの良好な値になっていることが分かる。また共振周波数もおのの標準の VTR が示すデータとなっている。

次に温度特性に関しては、図 9. に総合の位相変化量対温度特性曲線を示す。ここでは 5 個のサンプルに関してデータをとった。要求される仕様は、温度  $T = -10 \sim +60$  °C の範囲で変化させたときの位

相変化量はPB時では0.06 rad以内、REC時に0.012 rad以内に収まればよい。図9. から分かるように、5個のサンプルとも十分にその要求範囲内に収まった。

図6. の構成よりなるサーボ系が、定常時安定なLock状態にあるとき、基準信号であるサンプリングパルスと速度変動分をもった信号である台形波との各信号波形を図10. に示す。

M51401Kのチップサイズは1.9×1.9mm<sup>2</sup>、素子数は173個(トランジスタ64個、ダイオード12個、抵抗97個)であり、図11. にチップの拡大写真を示す。

このICによるACブレーキサーボ方式では、速度変動に伴う位相変動量を直流電圧に変換し、ブレーキのコイルに負帰還し供給するものであり、本質的にはDCモータを用いたDCサーボ系へも応用可能である。表3. にこのICによって得られた電気特性を示す。

表3. M51401Kの電気特性

項 目	特 性 値
電 源 電 圧	8.5~15V (動作保障)
回 路 電 流	40~50mA (電源電圧=12V)
パルスアンプ入力レベル-1φ2	60mV以上
" " -3	200mV以上
出 力 電 圧	0.5~10V
出力リップル電圧	80mV以下
ハンチング量(REC)	50μs以下
" (PB)	200μs以下
引きこみ時間	4秒以内
周波数特性	図8. 参照のこと
温度特性	図9. 参照のこと

### 3. 技術動向

#### 3.1 PLLモータ用IC<sup>(2)~(4)</sup>

PLLの基本概念は1930年代に確立され、多方面に応用が試みられ、最近ではPLLのIC化によりコンパクトに実装でき、多方面への応用が考えられている。モータの速度制御をPLL方式で構成する場合も効果的な性能がえられ、特に磁気テープやドラムやディスクなどの速度制御には高性能が要求されるため、PLL方式による速度制御が適している。

図12. はEXAR社製IC, XR-215を用いたPLL方式によるモータ速度制御のブロック図を示す。PLLは追値制御回路なので、図12. の破線で囲んだ基本化した閉回路で考えると、出力信号C(S)は式(1)のように表される。

$$C(S) = \frac{R(S) \cdot G(S)}{1 + H(S) \cdot G(S)} \quad (1)$$

ただし、 $G(S) = K_0 \cdot K_A \cdot K_1 \cdot T_s$ ,  $H(S) = K_2 \cdot T_m(S)$

$R(S)$ : PLL系におけるVCOの時間変化

$K_1$ : コントローラの電圧利得

$K_2$ : タコメータの速度・電圧変換利得

$K_A$ : OP Ampの電圧利得

$K_0$ : 位相比較器の位相・電圧変換利得

$T_s$ : LPFの周波数特性

$T_m(S)$ : モータの電圧・速度変換利得

モータ速度制御に適したPLL・ICは外国製品としては、EXAR社製, XR-S200, XS-210, XR-215, Plessey社製, SL-650, Harris社製, HI-2800, HI-2820などがある。国内製品としては、前述のM5177Pがある。

#### 3.2 電子ガバナ用IC(3ピン化例)

電子ガバナはDCモータの駆動コイルの逆起電力が回転速度に直接比例することを利用し、基準電圧と逆起電力を比較し、その誤差電圧

により制御トランジスタを制御しモータ回転数を一定にする方式であるが、一般には、モータの端子間には逆起電力 $E_a$ のほかに、巻線抵抗、ブラシなどの接触抵抗によるモータ内部抵抗 $R_a$ が含まれるため、モータ端子間より逆起電力だけを信号として、取り出すようにするため、抵抗ブリッジ構成で用いることが多い。

ここに示すA社の電子ガバナ用ICは3ピンのIC化例で、入力端子①、出力端子②、調整抵抗端子③より成り、抵抗ブリッジの変形と考えられる。回路構成は図13. のブロック図に示すとおりであるが、出力端子(ピン2-ピン3間)にモータ逆起電力に比例した基準電圧 $V_{ref}$ を生ぜしめ、 $V_{ref}$ を常に $E_a$ に等しくなるように調整抵抗間の電圧降下を変化させる。すなわちトルク

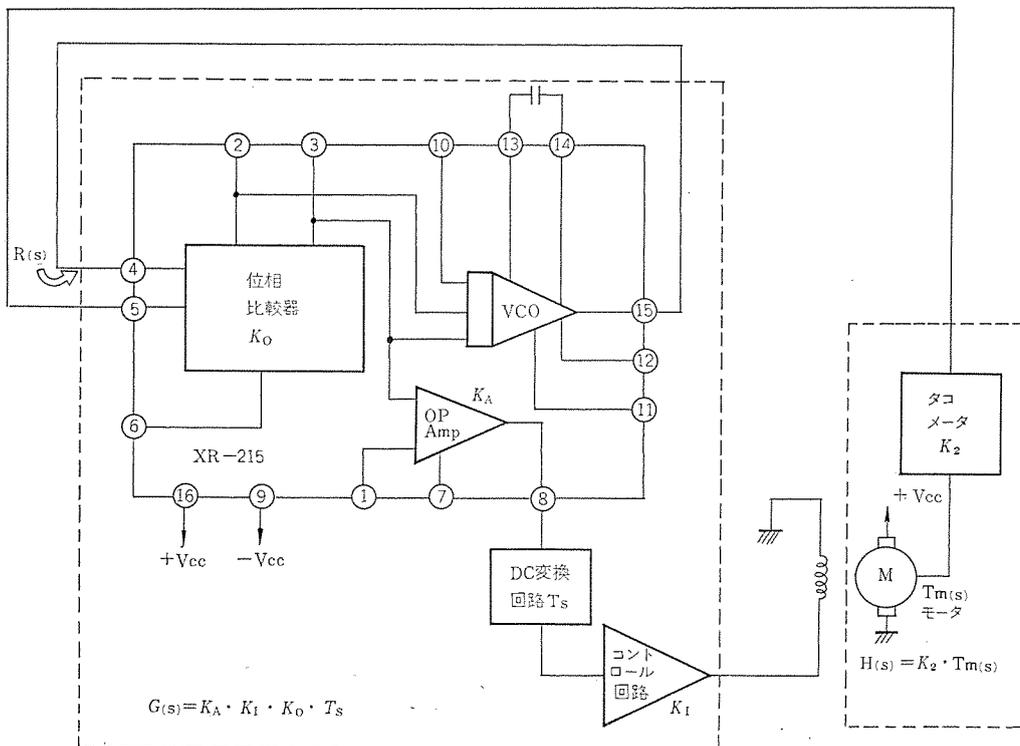


図12. PLL方式によるモータ速度制御のブロック図

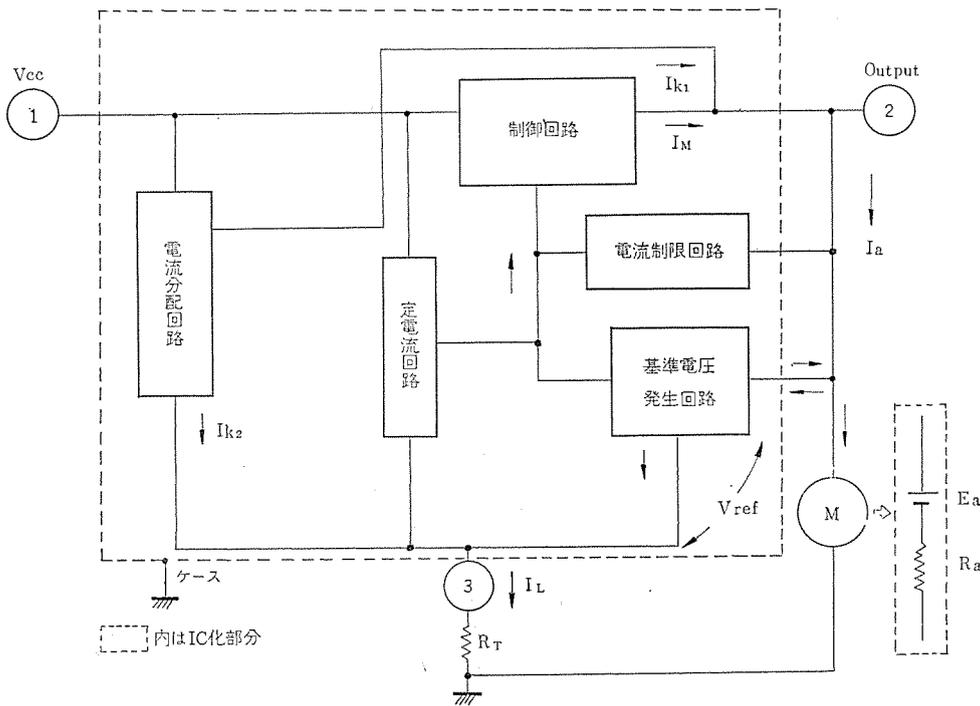


図 13. 3ピンモータ用 IC のブロック図

電流などの外乱によりモータ内部抵抗  $R_a$  の電圧降下が増大した場合、変化分を IC に内蔵された電流分配回路により一定の電流分配比  $K$  だけ調整抵抗に流し込むことにより、 $V_{ref}$  と逆起電力は一定に保持されたままで回転数の変動はない。また電源電圧に依存しない構成にすることにより影響をなくし、また周囲温度特性に関しては、基準電圧  $V_{ref}$  の温度特性を IC 内部でベース・エミッタ間電圧  $V_{BE}$  の負の温度係数と、 $V_{BE}$  のバイアス及び接合面積の差による  $\Delta V_{BE}$  の正の温度係数で打消しあう回路構成にすることにより  $-30\%/^{\circ}\text{C}$  の特性を得、逆起電力温度変化を補償している。

#### 4. む す び

以上、モータ速度制御用 IC を製品化するにあたって、具体的に経験した技術的諸問題について記述し、併せて今後の技術動向について、ユニークな製品を例にとり概論した。

M 5177 P についていえば、IC 化制御回路をもつ世界で初めての位相制御方式 DC マイクロモータを可能にし、交流同期モータと同等

の回転安定度をもたせ、従来交流モータの欠点であった電源周波数、発熱の問題を解決し微調多段変速を可能にした。

M 51401 K は同じく世界で初めて VTR のサーボコントロール回路部に用いられるように作られたものであり、VTR の死命を決する回転ヘッドとテープの走行速度を制御し、映像信号をテープに安定に記録し、安定に画面再生を可能にした。これら特長ある IC の出現により、IC 応用製品のモータコントロール分野への浸透が一層強まることと思われる。

今後の技術動向としては電圧制御発振器 (VCO) まで組み込んだ PLL・IC 化、ブラシ機構の IC 化、デジタルサーボシステムの IC 化などが考えられるが、IC の持つ本質的メリットを生かして今後とも、種々な回路が考えられ、応用

分野が広がるものと思われる。

終わりに M 5177 P, M 51401 K の開発にあたり、種々ご教示、ご尽力いただいた関係各位に感謝致します。

#### 参 考 文 献

- (1) A. Kusko : Solid State Motor Speed Controls, IEEE Spectrum, 9, p. 50~55 (1972)
- (2) 阿部 : PLL・IC 応用技術, トランジスタ技術, 11, No. 4, p. 187~192 (昭 49)
- (3) Al Moore : モータスピードコントロール, 電子科学, 23, No. 11, p. 43~55 (1973)
- (4) L. J. Milligan, E. Carnicelli : Phase Locked Loops Provide Accurate, Efficient dc Motor Speed Control, EDN August, p. 32~35 (1972)
- (5) 大久保, 中野, 堀場 : IC 用横形 PNP トランジスタ, 三菱電機技報, 43, No. 6 p. 807~811 (昭 44)

# 500kVガス絶縁開閉機器の高電圧試験

高橋 宏次\*・板倉文一郎\*・浜 孝紘\*・夏井 恵史\*

## 1. ま え が き

SF<sub>6</sub>ガス絶縁技術と、固体絶縁物の製造技術は、縮小形開閉装置を出現させ、また引き続き、500 kV ガス絶縁開閉装置 (Gas Insulated Switchgear; 以下 GIS と略す) の完成へ発展した。500 kV GIS においては、この縮小率に反比例した高い絶縁耐力が要求され、高電圧性能の評価試験は十分に検討の上、実施されなければならない。

当社では、500 kV GIS についてその開発・設計試験、実用化試験及び製品試験を高度の高電圧技術と試験設備を駆使して実施し、その十分な高電圧実用性能と信頼性を確認している。

本文では、500 kV GIS の高電圧性能試験について、その開発から製品化に至る試験の経過と結果、及び製品試験の方法について述べる。

## 2. 開 発 試 験

### 2.1 電氣的特性試験

500 kV 絶縁スパーサについては、スパーサ近傍の電界を実機とほぼ同様な状態に置いて耐電圧・部分放電・せん絡特性試験を行った。試験は、図 1., 2. に示す試験容器を用いて実施し、耐電圧は AC 840 kV, 標準インパルス 1,800 kV, 開閉インパルス 1,200 kV のいずれも良好であり、部分放電試験も定格電圧に相当する 550 kV まで印加したが、検出感度 1 pC で内部コナを認めなかった。引き続き、せん

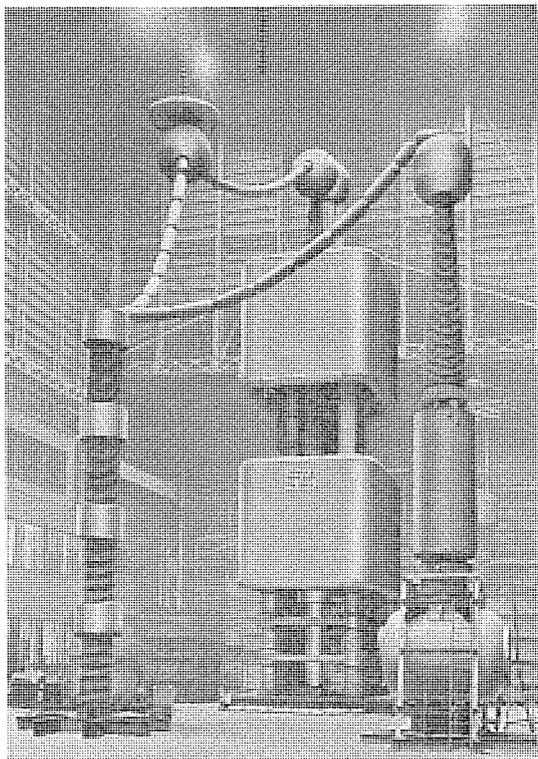


図 1. 絶縁スパーサ試験状況

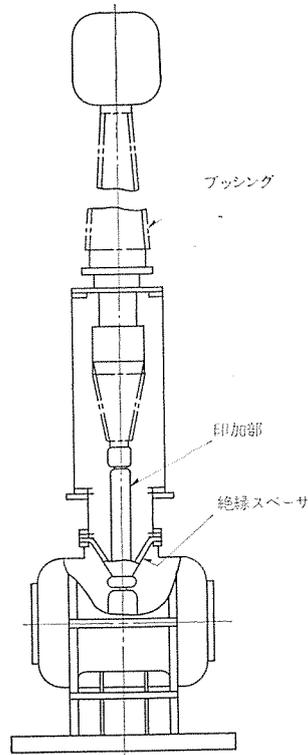


図 2. 耐電圧試験装置

絡試験を実施、同時に  $V-t$  特性の測定を行った。これらの電氣的特性試験を行った結果、絶縁スパーサ近傍での電氣的特性を耐電圧及び絶縁協調面から検討すると、次のことが言える。

(1) 耐電圧特性に対しては十分な余裕があり、組立公差、機器の動作振動などに対しても問題はない。

(2) 気中棒ギャップでは通常、負極性が高く、GIS の SF<sub>6</sub> ガス中ではこの逆に負極性がやや低い。GIS の平坦 (坦) な  $V-t$  特性に加え、この極性効果が加わり、急しゅん (峻) 波領域での内外せんの協調が困難になってくる。

(3) 線路引込口ギャップとの協調を考えると、1  $\mu$ s 以下の  $V-t$  については検討を要する。

(4) 急しゅん波頭での保護は、経済性を考えて気中球ギャップも考えられるが、500 kV の信頼性向上のうえから避雷器の設置がより好ましい。

単体機器についても、しゃ断器、断路器及び母線接続タンクなどについて機器ごとのせん絡試験を実施し、高電圧性能のは (把) 握を行った。

GIS に使用するエポキシ樹脂注型絶縁物の試験片による長期課電試験を実施した結果では、悪条件でも使用時の電界強度で 50~100 年の寿命の保証が推定されているが、更に 500 kV GIS 絶縁物製品に対する確認の実証試験を行った。図 3., 4. に示すように特殊変圧器の上部に SF<sub>6</sub> ガスを充てんした試験用タンクを取付け、この中

にスパーサ、及びしゃ断器に使用する絶縁操作棒・支持筒などを実際に使用する場合と同一の電位分布になるように配置して 420 kV ( $\approx 550 \times 1.3 / \sqrt{3}$ ) を連続課電した。長期課電は 44 年 6 月から開始され、昭和 46 年 4 月に取り出し図 1., 2. に示す試験容器で耐電圧試験及び部分放電試験を実施した。試験の結果、AC 840 kV 1 分間、標準インパルス 1,800 kV のいずれにも良好であり、部分放電試験も 413 kV ( $550 \times 1.3 / \sqrt{3}$ ) で検出感度 1 pC の内部コナを認めなかった。このように常規大地電圧の 1.3 倍の電圧を約 2 年間課電した後でも耐電圧性能は良好であり、劣化の傾向は認められない。更に同じ試験料で引き続いて課電し、異常を認めていない。

### 2.2 スパーサ変形時の耐電圧試験

GIS 機器のある一部で非常に特殊な状態が発生し、ガス圧上昇が起こった場合、スパーサの片側に破裂板の破裂圧力までの圧力が加わってスパーサが変形するが、この状態で耐電圧性能に異常がないかどうかを検証した。試験は図 5. に示すように、スパーサ片側に破裂板の



図 3. 絶縁物単体試験状況

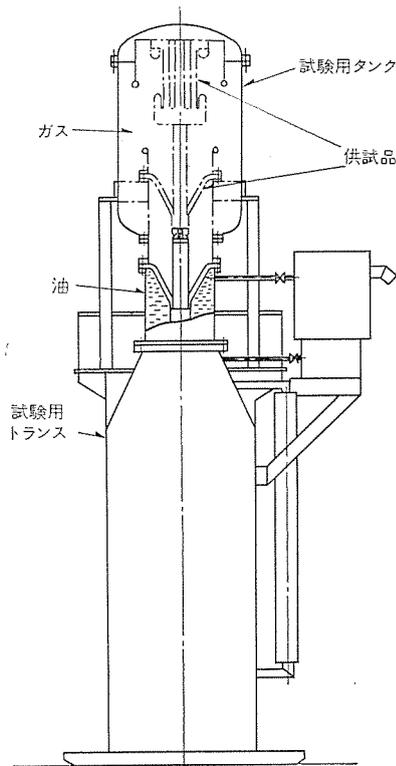


図 4. 絶縁物単体試験装置

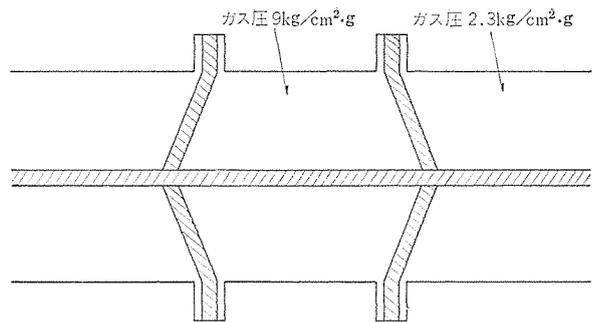


図 5. 変形時のスパーサ試験

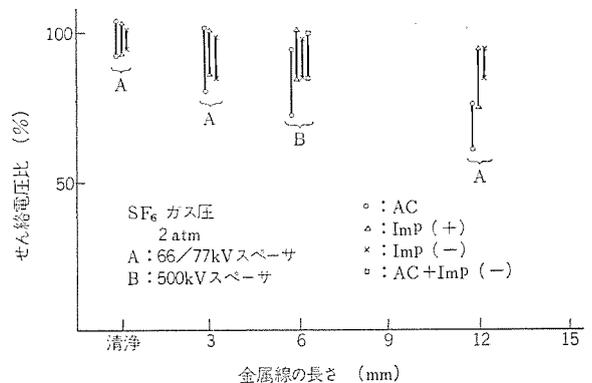


図 6. 金属線によるせん絡電圧低下率

最高破裂圧力  $9 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{g}$ 、他側に機器の最低ガス圧  $2.3 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{g}$  を封入し、AC 840 kV 1 分間、標準インパルス 1,800 kV 正負各 1 回を印加し、いずれの場合にも異常のないことを確認した。

500 kV 絶縁スパーサの水圧試験時に中心部の変形量をダイヤルゲージで測定しているが、この結果では  $6.7 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{g}$  の差圧で中心部が軸方向に 0.9 mm 変位するにすぎず、またその状態における電位分布も測定したが、絶縁物表面の電位傾度の変化は無視できる。

### 2.3 金属粉による耐電圧値の変化

500 kV GIS で固形不純物が混入した場合の機器内部のせん絡電圧の低下率を検証した。図 1, 2. に示す試験装置を用いて 500 kV 絶縁スパーサ近傍に 6 mm の銅の切りくず 78 mg, アルミの切りくず 11 mg, 鉄の切りくず 61 mg, 10 mm 長さの絶縁糸 10 個, 更に銅微粉 55 mg, アルミ微粉 35 mg を入れた。印加電圧は AC, 標準インパルス単独, 更に実使用状態に近い条件を検証するため, AC によって固形不純物がガス空間に浮遊しているところへインパルスが襲来するという, AC にインパルスが重畳したときの影響を確認した。

参考までに 66/77 kV 絶縁スパーサについての実験結果とあわせ、そのせん絡電圧の低下率を図 6. に示す。66/77 kV 絶縁スパーサの場合、金属線の長さ 3 mm のときには 20 個、12 mm のときには 3 個入れた。

試験結果に見られるように、AC が最も影響を受け、金属線の長いほど、せん絡電圧の大きな低下が認められた。また AC-IMP 重畳の試験結果、AC 重畳の効果はこの結果からはほとんど見られず、IMP 単独のデータと大差ないことがわかった。

### 2.4 長時間課電試験

AC 過電圧を長期に課電し、GIS 全体として絶縁物、その他が信頼して使用できるか否かの検証を行う目的で実施した。試験は第 1 次課電 (S 45.10~S 46.2) 及び第 2 次課電 (S 46.7~S 46.9) と 2 回にわたって実施、しゃ断器・断路器・避雷器・コンデンサ形計器用変圧器・ケーブルを母線で接続した GIS 1 相分に 413 kV ( $550 \times 1.3/\sqrt{3}$ )



図 7. 長期課電試験状況

を連続課電した。連続課電中及び課電後の耐電圧性能試験ではいずれも良好な結果を得たが、試験途中において実用性能を検証するため、次のような試験を実施した。試験状況の写真を図 7. に示す。

#### (1) ヒートサイクル試験

昼間は連続過電圧を通電し、夜間は通電停止させ、繰り返し温度変化による熱的・機械的ストレスの影響について調べた。その結果、絶縁物その他に異常は認められず良好であった。

#### (2) 高温維持試験

夏期の高温時に AC 過電圧課電のまま、定格電流の 110% の過電流を昼夜連続通電した。また冬期にもヒータ 2 kW, フォウ ON の条件で試験を行った。試験完了後、解体点検の結果も異常を認めなかった。

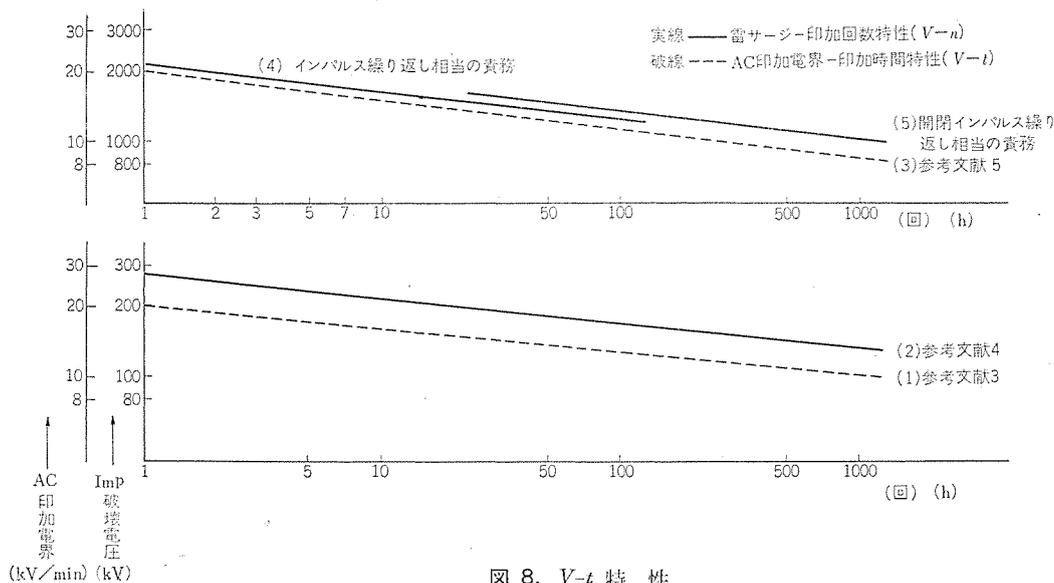


図 8.  $V-t$  特性

### (3) 低温維持試験

冬期の気温低下時にガスヒータ電源が停止した場合、GISがどうなるかを検証するもので、冬期の約20日間、電圧印加のままGISの通電を停止し、低温状態を自然条件のもとに放置した。試験後、内部点検などを実施したが異常は認められず良好であった。

### (4) AC短時間過電圧希ひん(頻)度印加試験

実系統でのAC過電圧を想定し、課電後、582 kV ( $550 \times 1.83 / \sqrt{3}$ )を10秒間ずつ1時間間隔で5回印加した。結果異常なく良好であった。

### (5) インパルス繰り返し印加試験

実系統での約30年分の雷インパルス 1,300 kV 90回、開閉インパルス 1,030 kV 900回に対する絶縁耐力を検証するもので、長期課電後にその等価試験として雷インパルス 1,350 kVを正負各100回印加した。結果にはなら異常を認めず、良好であった。

等価試験方法は、図8.の $V-t$ 特性によった。図8.の $V-t$ 特性によると、(1)のAC印加電界-課電時間特性と、(2)のインパルス破壊電圧-印加回数特性は平行であり、したがって(4)のインパルス 1,300 kV 90回相当の特性曲線、及び(5)の開閉インパルス 1,030 kV 900回相当の特性曲線も同様に(3)のAC印加電界-課電特性と平行と仮定してよいと思われる。よって、グラフより、(4)、(5)の印加回数100回の点は、(4)で1,300 kV、(5)で1,350 kVとなり、1,350 kVのインパルス電圧を200回印加すれば、等価試験として成立するものと考えて実施した。

## 3. 製品試験

### 3.1 製品高電圧性能の品質管理

GISは、しゃ断器・断路器・母線・ブッシングなどの単体機器の組合せによって全体としての機能を発揮できるようになっており、したがって絶縁構造もガス絶縁・固体絶縁・油絶縁・空気絶縁と各種絶縁構造に適合した絶縁耐力試験方法を考慮しなければならない。

GIS高電圧性能検証方法としては、設計・開発段階において2章に述べたように、破壊試験を前提とする各種の特性試験・実用性能試験を実施し、機器の限界性能を十分には握しておく必要がある。

一方、製品の高電圧試験は、非破壊試験によって機器の性能を検証することを目的としており、標準製品に対して経済的な面も考慮した品質管理活動として、部品段階での検査から製品段階での耐電

圧試験によって構成されるものである。

当社は、GISに使用される部品については、部品段階できびしい検査標準を設定し、特に絶縁物は単体について、その製作最終工程で絶縁物の絶縁寿命診断としての耐電圧・部分放電試験を全数について実施し、合格したものだけを組立工場へ送り込むシステムを実施することにした。

組立検査工程については、部品単体、単体組立状態、総組立状態などの組立途中において3段階の検査ポイントを設定し、

検査標準並びにチェックリストによる絶縁構造検査を実施し、製品高電圧試験に先立って十分なチェックを行うことにした。

### 3.2 500 kV GIS 絶縁物試験設備

500 kV GISには注型絶縁物が使用されるが、これらの注型絶縁物は、導電用電極・構造用電極などが同時に注型される。これらの絶縁物は大型注型品であり、絶縁強度や機械的強度の特性を生かして機器の重要な部品として高い電位傾度、高い応力で使用されることが多い。

これらの理由から、製品として使用される注型絶縁物は、その製作完了時点できびしい性能検査を行う必要がある。これらの絶縁物は、高電位傾度・高応力で使われるので、製品の製作段階でポイド・クラックなどの欠陥が存在すれば、それは部分放電による絶縁劣化や、クラックの進展によって絶縁物の破壊に至るものである。

非破壊試験方法としては、超音波法・X線透過法などの各種の方法が考えられたが、絶縁物の極めて小さな欠陥を発見する必要があり、どの方法も測定精度が十分でなく、高電圧印加による部分放電試験が最適であることが判明した。

エポキシ樹脂絶縁物の評価基準は、部分放電電荷量と絶縁寿命との関係から求めなければならない。しかし材料特性、形状、部分放電の発生箇所、絶縁媒体、発生形態などで一概には言えず、またそれぞれの発生状況についても定量的に判断するには数多くの実験とデータの集積とが必要である。

許容される部分放電電荷量については、各種のデータが提供されているが、Kreugerは絶縁物中のポイドの部分放電電荷量に関する実験結果を発表しており、その中で3kV/mmの電位傾度では $10^{-12}$ クーロンを越える部分放電でも有害であると述べている。当社の500 kV GISに使用される絶縁物は、常規大地電圧において上記の値以下であり、この電位傾度では $10^{-12}$ クーロン以下であれば、エポキシ樹脂の絶縁劣化はないと考えられる。

このようにして500 kV GIS注型絶縁物製品は、それが完成した段階で部分放電試験室へ送られ、製造段階における最終検査として全数について部分放電試験が実施される。

図9.が500 kV GIS用絶縁物試験設備の外観であり、この試験設備は絶縁物製造工場に併置されている。図10.にこの試験設備の断面図を示す。試験用変圧器から試験用タンクまでは、印加線から出るコロナの防止と、安全の確保及び設備のコンパクト化を考

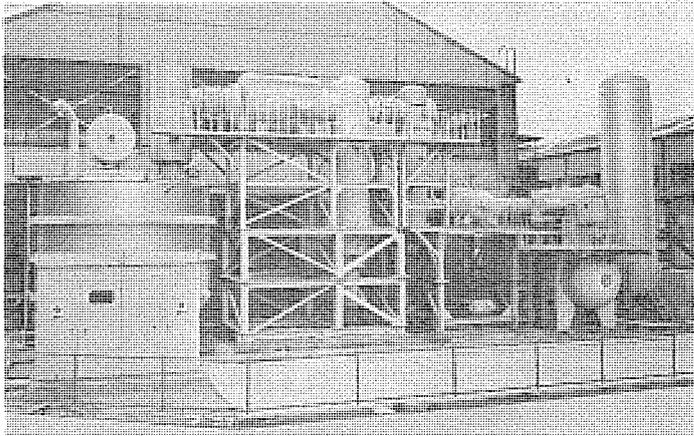


図 9. 絶縁物試験設備

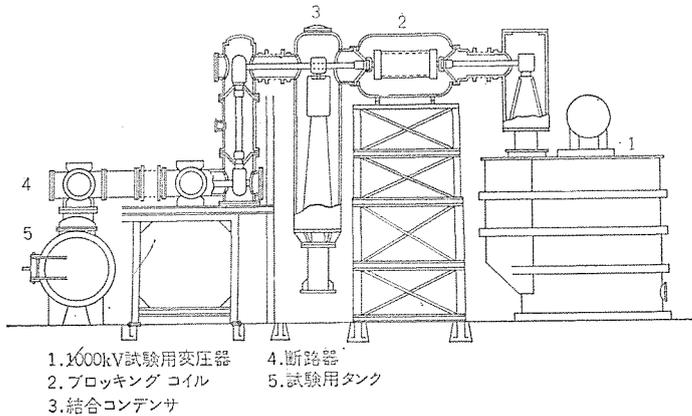


図 10. 試験設備断面図

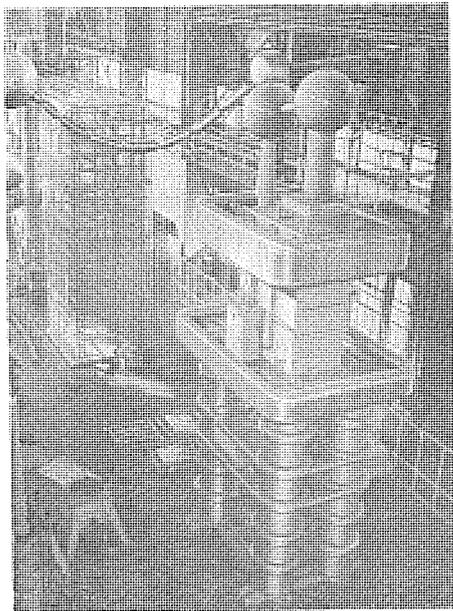


図 11. GIS 高電圧試験設備

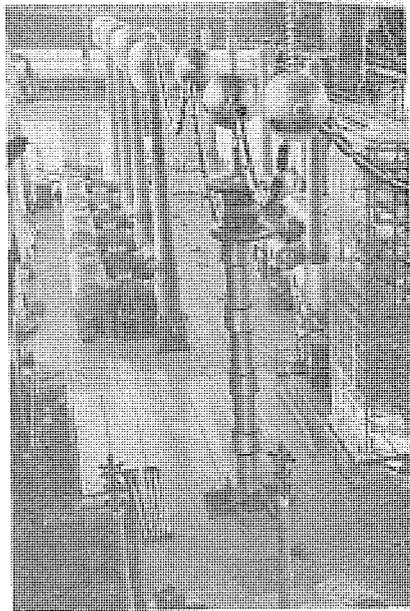


図 12. GIS 高電圧試験状況

GIS 方式の全密封形試験設備とした。電源から侵入してくるコナを阻止するため、試験用変圧器と試験回路との間に 100 kHz, 40 dB の仕様のブロッキングコイルを設置してあり、この装置では AC 840 kV の耐電圧値まで部分放電フリーの試験が実施可能になっている。

試験設備は、量産に対処するため、組立及び解体が簡単かつ短時間で出来るよう、生産工場とのライン化を図り、製造工程の最終段階で絶縁物を台車に積み込み、その台車をそのまま試験用タンクへ

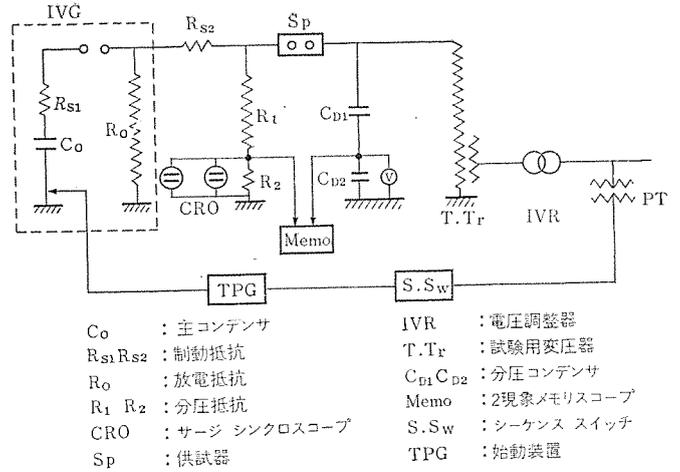


図 13. AC 重畳インパルス試験回路

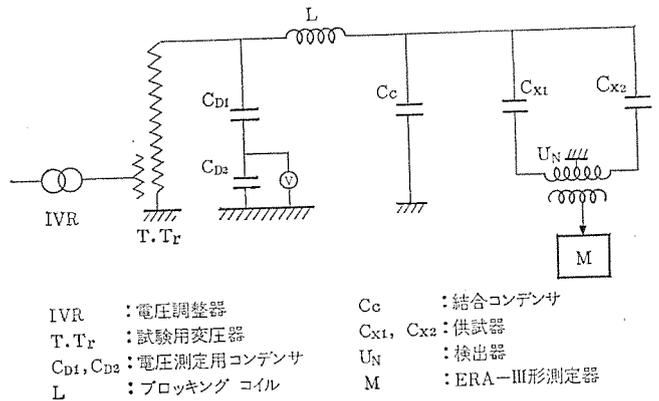


図 14. 部分放電測定回路

入れれば、試験ができる構造にした。

### 3.3 製品高電圧試験

500 kV GIS 製品組立完成段階として、製品高電圧試験が実施される。この試験は外雷電圧、開閉異常電圧、持続性異常電圧及び常規大地電圧に対して十分にその製品が実用絶縁性能を有することを検証するために実施されるものである。これらの検証試験の試験電圧波形としては、標準インパルス・開閉インパルス・商用周波及び長時間耐圧などがある。機器性能としては、設計・開発試験で十分に性能の裕度などは把握されており、製品完成段階での高電圧試験では、その製品が標準の製品製作工程にしたがって正しく組立てられたか否かをチェックするために実施されるものである。

図 11. に 500 kV GIS 専用の製品高電圧試験設備を示し、図 12. に 500 kV GIS の製品試験

の状況を示す。

製品の第 1 号器は、製品の標準化当初のものとして、全項目にわたる試験が行われた。標準インパルス及び開閉インパルスは、定格電圧 3,200 kV の衝撃電圧発生装置より印加された。極間試験の標準インパルス耐電圧は図 13. に示す回路で実施され、片極には常規大地電圧、別の片極から標準インパルスが印加され、極間には AC が重畳するインパルス耐電圧試験として実施された。

商用周波耐電圧試験は、840 kV 1 分間、及び長時間耐圧試験は

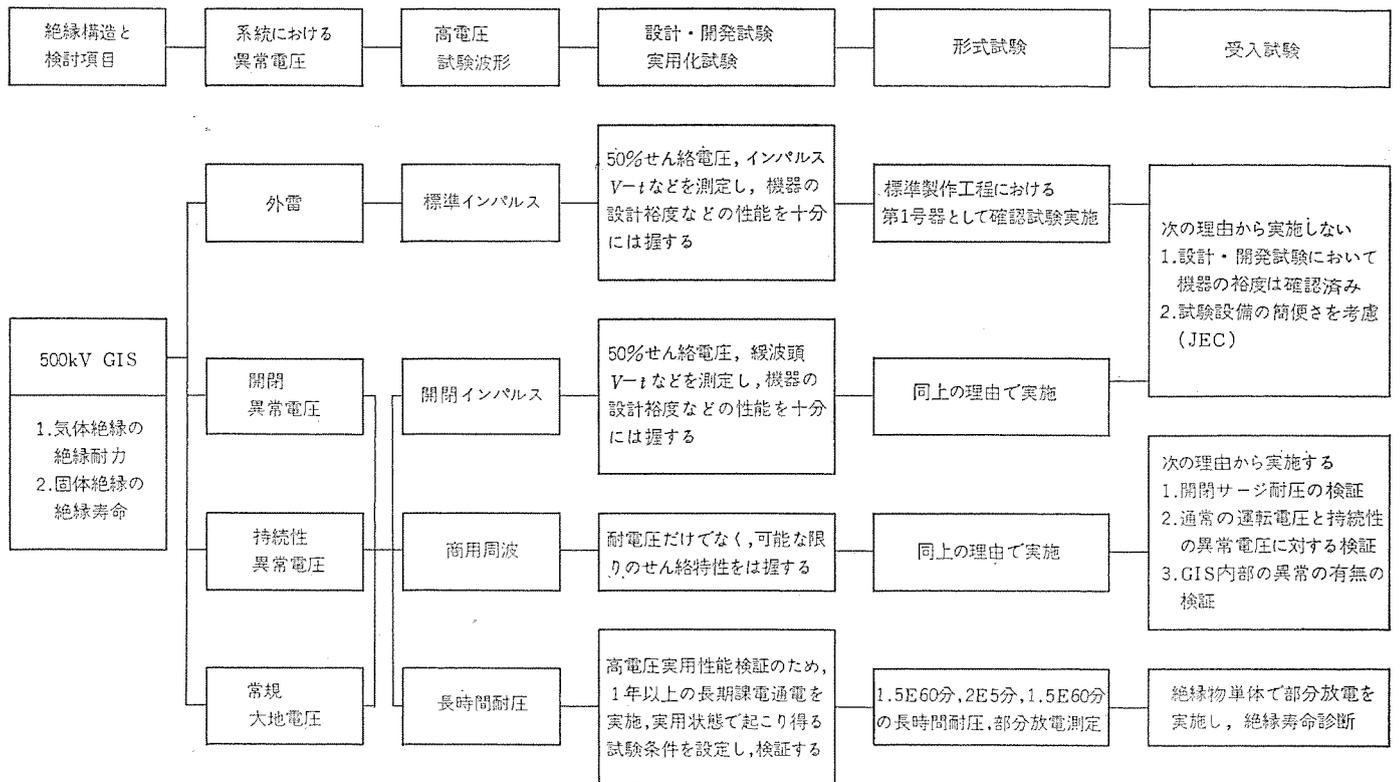


図 15. 500 kV GIS の高電圧性能 検証方法

1.5 E (476 kV) 1時間, 2 E (635 kV) 5分, 1.5 E (476 kV) 1時間という長時間耐電圧試験 ショークスにより, 縦続接続された 600 kV 3,000 kVA, 500 kV 2,500 kVA 試験用変圧器 2 台から印加された。総組立状態での部分放電電荷量の測定は, 耐電圧試験前後, 長時間耐電圧試験中に継続して 図 14. に示す回路で実施した。図に示すように, 電源及び試験用変圧器から試験回路に侵入する部分放電を阻止するため, 100 kHz, 40 dB の仕様を有するブロッキングコイルを設置した。また試験回路で発生する部分放電が, 測定回路へ侵入するのを防ぐため, 試料の接地側を絶縁取付けで2分割にし, 平衡回路による測定を実施した。この結果, 総組立状態における部分放電電荷量の検出感度は, 1.5 E (476 kV) で部分放電フリーの状態を作り出すことができた。

#### 4. む す び

500 kV GIS について, その開発から製品までの高電圧性能検証試験方法と実施結果についてまとめた。この結果から, 当社の 500 kV GIS 高電圧性能については長期の開発試験から実用化試験, 更には綿密な品質保証の試験を終了し, 十分な性能と信頼性を有するものが完成された。

GIS 高電圧試験の考え方と実施方法についてのブロックダイアグラム

を 図 15. に示す。図に示すように, 500 kV GIS 高電圧性能の検証は, 設計・開発試験で十分に実施し, 受入試験では絶縁物単体の絶縁性能検証, 電極や組立状況の検査などの総組立の前段階での検査をきびしく実施する。以上のことを前提にすれば, 製品に対する高電圧試験としては, GIS 内部の異常の有無を検証することがその目的となり, 商用周波耐電圧試験だけの実施でも, 絶縁性能の品質を保証する可能性は十分にあると考えられる。

500 kV GIS における高電圧技術は, 機器の最も重要な機能の一つであり, 試験方法の問題についても今後更にデータの蓄積と, 十分な検討を進めたい。

終わりにあたり, 長期にわたって研究・開発にご指導いただいた関係各位に深く謝意を表するしだいである。

#### 参 考 文 献

- (1) 桑原ほか: 三菱電機技報, 47, No. 10 (昭 48)
- (2) 桑原ほか: 昭和 49 年度電気学会全国大会, 987
- (3) 第 2 回電気材料 シンポジウム 予稿集 D-4, 電気学会 44-10-1, 2
- (4) 大日日本電線時報, No. 43 (昭 44-11)
- (5) 三菱電機 500 kV ガス 絶縁変電所の開発
- (6) F. H. Kreuger: 部分放電検出, コロ社

# 電気掃除機用フィルタ《ロシポーザ》の開発

福田 興司\*

## 1. ま え が き

昭和30年ごろより、家庭電化ブームによって一般に普及の始まった電気掃除機も、49年2月には89.2%の普及率までに伸長し、洗たく機や冷蔵庫などとならんで家庭生活の必需品となっている。

また購入内訳をみると、買替え・買増しが63%を占めるようになり、これは取りも直さず2台目、3台目の掃除機使用経験者が多くなったということである。それだけに中途半端な機能では満足されず、46年4月に行った市場調査でも、使用している掃除機に何らかの不满を示しているユーザが36%もあり、新規購入品に対しての品質の要求度が、ますます高くなっていることを表している。

ここでは、このような背景のもとで開発した電気掃除機用フィルタ《ロシポーザ》の開発経過、構成、特長などを従来の布フィルタなどと比較しながら述べる。

## 2. 市場調査と開発の経過

### 2.1 購入内訳調査

掃除機の購入内訳(B・B・R調べ)は図1.に示すように推移している。昭和43年10月~44年3月の半年間では63%が新規需要であったものが、4年半後の昭和48年4月~48年9月の半年間では

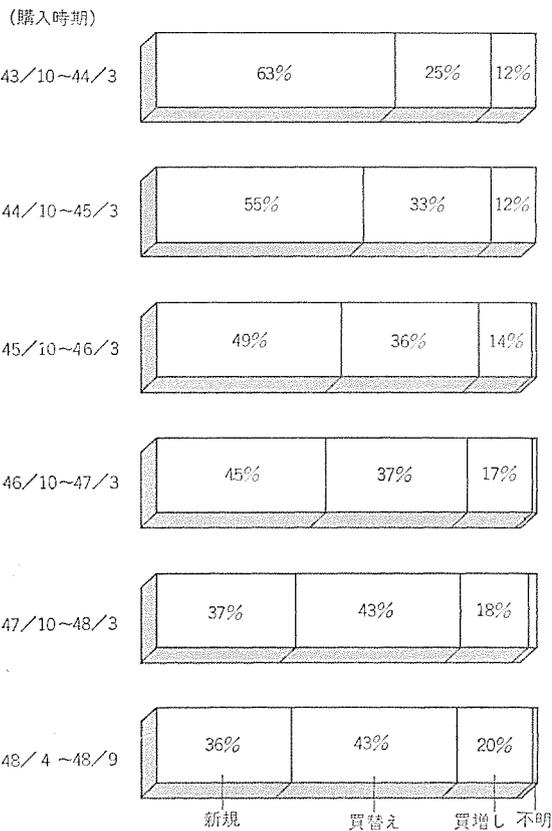


図1. 購入内訳調査

それが36%に激減し、代わって買替え、買増し需要が63%にも伸びてきている。

### 2.2 使用ひん(頻)度調査(46年4月主婦パネル調査)

図2.に示すように、ほとんど毎日のように電気掃除機による掃除が行われており、掃除機の利用度の高いことが分かる。

### 2.3 使用中の掃除機への評価(46年4月主婦パネル調査)

意外にも74%の人が“ふつう”と“不満足”であった。買替えや買増しで、新製品や他社品との比較も既に行っているはずであるが、4割弱のユーザが不满をもっていた。

### 2.4 掃除機を買う時に重視する点(46年4月主婦パネル調査)

表1.のような結果である。この重視する点の裏をかえせば、使用している掃除機の不满、不足な点を表していることになる。

表1.の項目を重視する順にならべると、①吸じん力が強く、②ちり処理が簡単で、③音が静か、④じゅうたんの掃除もよくできる、⑤小形軽量で、⑥付属品が本体に格納できるもの、となる。

### 2.5 市場調査の分析と開発の主眼点

電気掃除機は、国産第1号以来約40年の歴史をもち、現在では年

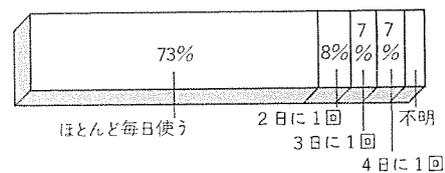


図2. 掃除機の使用ひん度調査

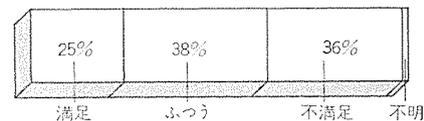


図3. 使用中の掃除機への評価

表1. 掃除機を買う時に重視する点

重視する項目は	全 体 (重視の順)		
	1 位	2 位	3 位
1. デザインのよいもの	2 人	2 人	10 人
2. 本体の色の気に入ったもの	—	—	5
3. 吸じん力の強いもの	245	69	24
4. 音の静かなもの	37	110	75
5. 小形軽量のもの	19	27	46
6. ちり処理の簡単なもの	54	104	82
7. じゅうたん掃除のよくできるもの	22	44	38
8. ちりを沢山ためられるもの	1	3	8
9. 値段の安いもの	6	11	33
10. 付属品が本体に格納できるもの	12	29	74
11. 排気で霧吹きができるもの	—	—	6
合 計	398	399	401

産 400 万台を越えるマーケットに成長したにもかかわらず、基本機能である“吸じん力”がまだユーザに満足されず、クレームが多い現状を我々開発部門は強く認識し、その解決が急務であることを第1に考えた。

「吸じん力の強い掃除機」とは、集じんケースいっぱいになるまで、ごみを強力に吸い込むことであるが、ここで問題になる点は、掃除機の新機時は、よくごみを吸い比較的満足度が高いが、使用後3ヵ月～1ヵ年と長くなるに従って、吸じん力の低下を訴えるユーザが多いことである。

“吸じん力の強さの維持”こそが吸じん力の強い掃除機のポイントになる。ここで吸じん力を低下させる原因は、フィルタの目詰まりにあることは明白なので、このフィルタの目詰まりが少なく、通気抵抗の少ない、しかも除じん効果の大きいフィルタ素材の開発がこの問題解決のキーを握っていた。

当時国内外で入手し得る可能な限りのフィルタ素材を収集しての検討、考えられる新ろ過方式の模索、試作、試験……をくり返す中で待望の目的にかなう性能を發揮し得る、新フィルタ素材とその除じん方式が発見され、我々はこれを「ロシポーザ」(ROSSIPOSA)と命名した。

次にその「ロシポーザ」の構成・特長などについて述べる。

### 3. 「ロシポーザ」の構成

#### 3.1 ろ材(フィルタ素材)の原材料

綿花の中にある綿実が生えている短い毛、すなわち“コットンリンスター”より精製した、リンスターパルプは数ミクロンの径で、長さは2～3mm程度のもので、分子式は $[C_6H_{10}O_5]_n$ で与えられる。物理的性質は多孔質で、通気抵抗が少なく、また化学的にも安定しているなど、フィルタ素材として適している。

#### 3.2 製法と特性

3.1節に記した原材料に、レーヨンなどの長繊維を混入させたものを、工業的に蒸煮→洗浄→漂白→こう(明)解などの前工程を経て、抄紙機にかけた後、加圧乾燥してシート状に形成する。

次に2次加工として、引張り、破裂強さを増すことや、水分の吸収によるぜい弱化を極力防ぐ目的で、フェノール樹脂を溶剤に溶融させたそう(槽)内に浸し(漬)させて、約20%の樹脂分を含浸させた後、乾燥させる“はっ(撥)水処理”を行いJIS P-8137に規定しているはっ水度R7以上のはっ水性をもたせた、不織布状のフィルタ素材を得る。

この段階で、厚さ、密度(JIS P-8118)、耐折強さ(JIS P-8115)、引張り強さ(JIS P-8113)、こわさ(JIS P-8125)、含水率(JIS P-8127)、破裂強さ(JIS P-8131)、透気度(JIS P-8117)、はっ水度(JIS P-8137)、気孔径(SAE規格)などの一部がチェックされ、素材の諸特性が決定される。

#### 3.3 フィルタの構造

フィルタの素材として上記した新不織布の発見に至ったが、この素材を掃除機用フィルタとして、生かすための問題点として、①小形、コンパクト化設計の要望の強い掃除機本体内部に、いかに広い過表面積で収容するか、②素材表面に付着するちりを振り落とし、吸じん力の回復をはかるための除じん装置を、いかに構成し①に関連づけするか、…の2点を挙げ試行錯誤をして、最終的に図5.に示すようなフィルタ「ロシポーザ」の構成に至った。

この「ロシポーザ」は素材を波形にギザギザに折り曲げたものを、特

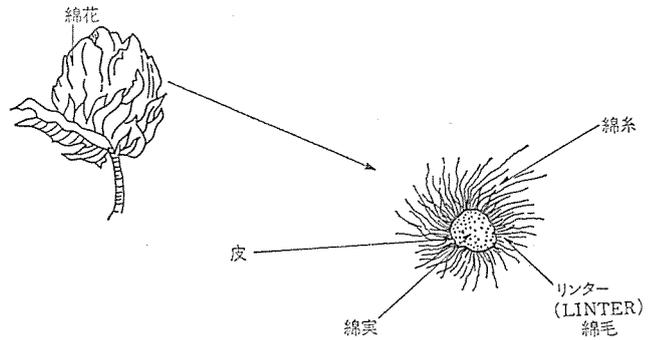


図4. コットンリンスター 説明図

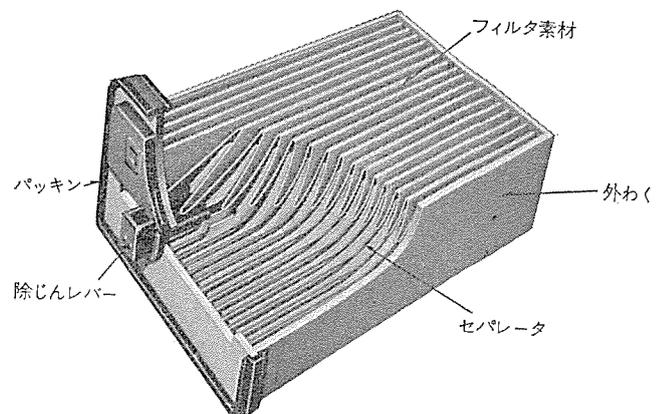


図5. ロシポーザ 構造図(カット見本)

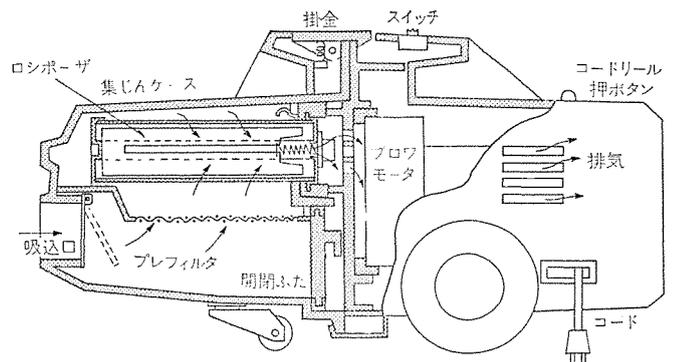


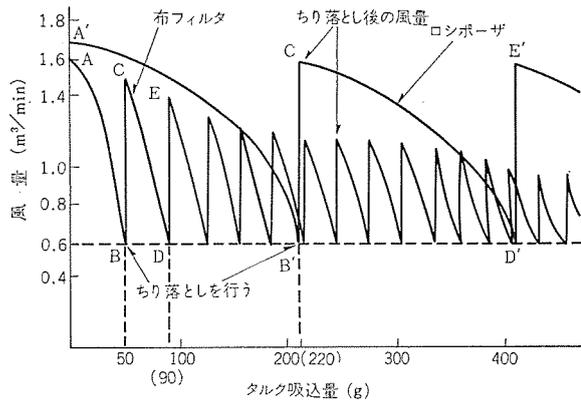
図6. 風神ロシポーザの構造図(TC-3200形の場合)

殊な合成樹脂で外わくとともに一体的に成形したものを、上下2層になるように対向させ、中間の通風路の中に、独立したセパレータとして振動式の除じん装置を収容したもので、コンパクトな中に従来の5～6倍の広い過表面積を得ることができた。

#### 3.4 「ロシポーザ」を採用した掃除機の構造と仕様

「ロシポーザ」を採用した掃除機は、既に家庭用10機種、業務用2機種、セントラルクリーナ2機種にも及び、市場でもおのおの高い評価を受けているが、ここではその中の一例として、家庭用のTC-3200形の構造と仕様を示す。

仕様	電源:	単相交流 100 V, 50～60 Hz
	消費電力:	620 W
	吸込仕事率:	93 W
	本体重量:	4.7 kg
	外形寸法:	467×210×260 mm



1. タルク吸込速度 10 g/分
2. 風量は 10 g 吸込ませるごとに測定
3. 風量が約 0.6 m³/分 になったときにちり落としを行いタルクを捨てる
4. その後再び 1. 2. 3. を繰り返す
5. タルク 9 g は 30 畳の一般ちり (多少よごれの多い) を掃除したダスト量に当たる
6. タルクは JIS Z 8901 に規定している試験用粉体第 4 種相当品である
7. 風量などの測定は JIS C-9108 により行った

図 7. ロソポーザと布フィルタの吸じん力比較グラフ

#### 4. 〈ロソポーザ〉の特長

(1) 強い吸じん力で目ざまりしにくい。

〈ロソポーザ〉は従来の布フィルタに比べ、通気抵抗が少ない(透気度が大きい)ので、同じ出力のプロモータを使用した場合には風量がそれだけ多く得られ、しかも素材を波形にギザギザ折りにして、ろ過表面積を布フィルタの約 5 倍の 2,000 cm² にすることができ、目ざまりしにくく、図 7. の吸じん力比較グラフにおいても約 5 倍以上の吸じん量となっている。これを説明すると、まず布フィルタの吸じん力の推移状態はタルクを吸わない新品時での掃除機の風量を測定すると 1.6 m³/min あり A 点となる。徐々にタルクを吸わせていくとフィルタの目ざまりに従って A→B の曲線に沿って風量が低減し 50 g 吸って B 点に達すると、風量が 0.6 m³/min となり家庭において実用にならない程度の吸じん力となる。この状態においてスイッチを切り、プロモータを止め、除じんレバーを駆動させてちり落としを行いフィルタ面より分離したタルクを、集じんケースより外へ捨てる。その後再びスイッチを入れて風量を測定すると 1.5 m³/min まで回復する (B→C)。上記をくり返すことにより C→D→E……のように、のこぎり歯のような曲線で吸じん力が推移する。

〈ロソポーザ〉についても同様に、新品状態での風量は 1.7 m³/min で A' の点となり、タルクの吸引により A'→B' の曲線に沿って 220 g 吸込むと風量が 0.6 m³/min になり、ちり落としを行うと風量が 1.6 m³/min まで回復する。これをくり返すことにより C'→D'→E'……のように推移する。

(2) 新品時の吸じん力が持続する。

従来の布フィルタは使用するにつれて、布目の中に細じんが集積して除じん効果(ちり落とし効果)が徐々に悪化して、回復率が 50~60% と低下してしまう。

これに対し〈ロソポーザ〉は、ろ過表面が平滑で、かつち密なため、ちり離れがよく回復率が 90% 以上を維持する。したがって長期間の使用でも、新品時の強力吸じん力が維持されている。

回復率  $\eta$  とは

$$\eta = \frac{v_t}{v_0} \times 100$$

$\eta$ : ちり落とし回復率 (%)

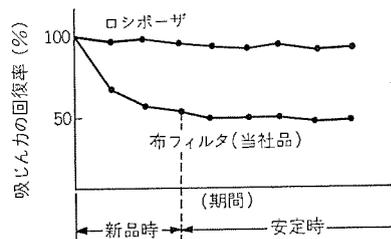
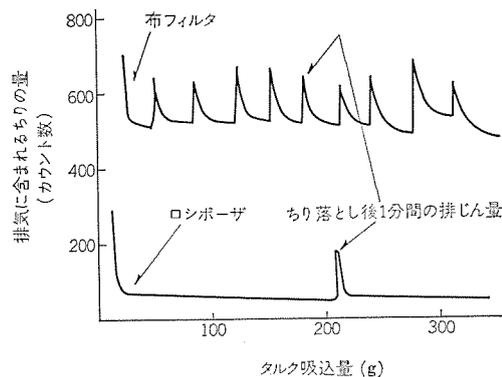


図 8. 吸じん力の回復率の推移



1. タルク 10 g/分 で吸込ませてその間の排じん量を排気口からじかに測定
2. これを風量が 0.6 m³/分 になるまで行う
3. ちり落としを行い、タルクを捨てた後、1 分間作動させてその間の排じん量測定
4. デジタル粉じん計 (柴田化学製 S-634 形) で測定

図 9. 排気に含まれる排じんの比較

$v_0$ : 新品時の風量 (m³/min)

$v_t$ : 安定時のちり落とし後の風量 (m³/min)

(3) 排気に含まれる細じんが少なく衛生的である。(ろ過効率が低い)

掃除機を使用した場合の室内空気の汚染は、ほうき、はたき、による掃除の数分の 1 といわれている。〈ロソポーザ〉は素材のち密さと、製法などの違いにより集じん理論でいう、さえぎり効果、慣性効果、拡散効果、粉じん負荷効果などに優れ、図 9. に示すように、従来の布フィルタに比べその排じん量は数分の 1 の値である。

排じん量の測定は図 7. の吸じん力比較グラフのデータと同時に行ったものである。排じん量はちり落としを行うことにより慣性作用でタルクがフィルタの目を貫通しやすくなり、直後の測定で急に増しグラフではパルス状となる。

〈ロソポーザ〉は目が細かく、ちり落としのひん度も少ないので排じん量が少なくなる。

#### 5. む す び

電気掃除機の 3 大機能要素といえば、(1)真空を起し気流を発生させる「プロモータ」、(2)ごみを気流に乗せるための「床ブラシ」、(3)吸込んだごみを気流から分離するための「フィルタ」であり、この報告による〈ロソポーザ〉の開発で、掃除機の心臓といわれる、フィルタにおいて、長足の進歩をなしとげ市場でも高い評価を受けている。しかし 2. 4 節のユーザの要求にもあるとおり、より静音を追求したプロモータや、じゅうたんの普及に伴う各種じゅうたんに適する床ブラシ、更には操作性の向上、本格的省力化や省エネルギーを指向した掃除機など、解決すべき開発テーマは多い。今後ともこれらの諸問題に対して積極的に取組み、少しでもユーザに喜んでもらえる、よりよい製品を世に出したいと考えている。

# マグヒートレンジ(商用周波誘導加熱調理器)

日比野昌弘\*・伊藤利朗\*\*

## 1. ま え が き

誘導加熱調理器は文字どおり電磁誘導加熱方式を利用した調理器である。誘導加熱は工業用に広く利用されているが、これを家庭用の器具に利用するのは誘導加熱調理器が初めてと思われる。誘導加熱調理器が最近になって実用化されるに至った理由はいろいろ考えられるが、なかでも安全性などに対する価値観の変化と、実用化のための技術背景が進歩したことが上げられよう。

社会の価値観の変化は誘導加熱調理器のユニークな機能に対応している。誘導加熱調理器は金属製のなべに直接発熱を起こすという原理によって、従来の調理器にはない優れた特長を有して特に次の五つが強調される。(1)熱効率が高い、(2)安全性が高い(火災並びに 300℃ 以上の高温部がなく、火災、火傷の危険性がない)、(3)ふきこぼれ物の焦げつきがなく衛生的である、(4)なべの温度分布が比較的均一である、(5)熱出力あるいはなべの温度の制御が精度よく行える。一方従来の調理器に比べて欠点とみなされる点もある。(1)なべの材質あるいはなべの形状が限定される、(2)ふく(輻)射あるいは炎を使う調理ができない。これらの欠点は調理機能にある程度の制約を与えるものであるが、調理習慣の変化によって補われる可能性がある。したがって最近安全性、衛生的などに対する価値観の増大、省エネルギー機器への期待感、それに利便性の希求などの社会的要請が、誘導加熱調理器の特長と合致していることにより、誘導加熱調理器の将来性が保証されているといえよう。

次に技術面の動向を考察する。誘導加熱において、励磁周波数は特性に影響を与えるもっとも重要なパラメータである。周波数が高いほど発熱効率が向上し、振動・騒音が相対的に小さくなる。特に 15 kHz 以上の周波数を選べば、振動周波数は人間の可聴範囲を越え、騒音として感じられなくなるので、高周波で励磁する方式の誘導加熱調理器は 15 kHz 程度以上の周波数を使用するのが賢明である。それには商用周波を高周波に変換する技術が必要である。近年半導体技術の著しい進歩によって、かなり高い周波数 40 kHz 程度までの周波数変換が可能になり、誘導加熱調理器にとって一つの技術的な障壁がとり除かれることになった。しかし、変換装置によるコスト高、周波数変換の過程における損失による総合効率の低下、及び電波障害などの問題がある。

これに対して、低周波(商用周波)で励磁する場合には原理的に

発熱効率が低く、相対的に電磁力に基づく振動・騒音が大きく、家庭用には利用が難しいとみなされていた。しかしこれらの問題が技術的に解決されるならば、周波数変換装置が不要となり、シンプルのコストの低い誘導加熱調理器を得ることができる。低周波励磁による上記の問題点を解決する手段を見いだすためには、誘導加熱の現象論的解析にもとづき、構造の最適化をはかることが必要であった。

マグヒートレンジは、上記の技術問題を構造の最適化によって解決して開発された商用周波励磁方式の誘導加熱調理器である。

## 2. マグヒートレンジの基本構造

マグヒートレンジは、基本的には調理容器、調理容器を載せる上板、及び励磁装置で構成される。レンジの寸法は使用される調理容器の大きさによって決定される。一般家庭で使用されている調理容器は 20 cm 径前後のものが多く、調理器はその程度の容器を加熱する大きさに設計されるのが一般的である。つぎに調理容器は誘導加熱の原理によって金属製であることが要求される。上板はその上部に高温の調理容器が載せられるので、耐熱性の高いこと、かつ容器からの伝熱による熱損失を小さくするために適当な断熱性を有していること、更にある程度の機械的強度を持っていることが必要である。励磁装置は交番磁束を発生するもので、調理容器にその磁束を能率よく鎖交させる構造としなければならない。またこの部分での熱損失はできるだけ小さいことが望ましい。

図 1. にマグヒートレンジの基本構造を示している。

## 3. 電気等価回路

マグヒートレンジの電磁現象は空けき(隙)付変圧器のそれに類似している。励磁コイルは 1 次巻線、調理容器は 2 次巻線に相当する。したがって電気的ベクトル図は、変圧器と同様の形の図 2. で表現できる。この図で、 $I_0$  は磁束  $\Phi$  を発生させるための励磁電流、 $E_p$ 、 $E_e$  はそれぞれ調理容器、励磁巻線に誘起する電圧、 $I_p$  は調理容器に流れる電流、 $I_e$  は  $I_p$  を補償するために励磁巻線に流れる電流、 $V_1$  は励磁巻線の端子電圧である。

励磁装置の鉄損が無視でき、かつ主磁気回路の磁気抵抗が小さい場合で  $I_0 \ll I_p$  が仮定できるならば、図 2. のベクトルダイヤグラムは図 3. のような電気等価回路で表現できる。同図で調理容器の等価インピーダンスを  $z_p = r_p + jX_p$ 、励磁コイルの抵抗を  $r_1$ 、リアクタンスを  $X_1$

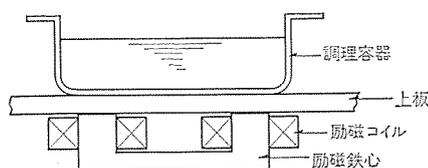


図 1. マグヒートレンジの基本構造

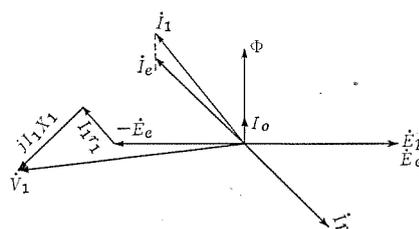


図 2. マグヒートレンジの電気的ベクトル図

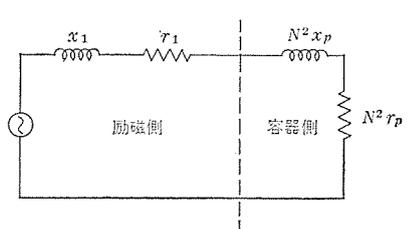


図 3. マグヒートレンジの電気的等価回路

と考えればよい。 $N$ は励磁コイルのターン数である。この等価回路によれば、調理容器の発熱量は  $I_p^2 \cdot r_p N^2$ 、調理器の損失は  $I_p^2 \cdot r_l$  であるから、電気効率（調理容器の発熱量/入力）は、

$$\varepsilon = N^2 r_p / (r_l + N^2 r_p) \times 100 (\%) \quad \text{力率は}$$

$$pf = \cos [\tan^{-1} (X_l + N^2 X_p) / (r_l + N^2 r_p)] \times 100 (\%)$$

で与えられる。したがってマグヒートレンジの電気特性は、励磁コイルの抵抗、漏えいリアクタンス及び調理容器の等価インピーダンスに依存する。特に重要な特性である効率を決定するのはコイル抵抗と調理容器の等価抵抗である。

調理容器の等価インピーダンスは、調理容器底部の磁界分布や、うず電流分布などの電磁諸量をは(把)握することによって知ることができる。

#### 4. 理論解析

マグヒートレンジは、調理器という視点から、また電気器具の視点から、いろいろな特性付けが行われる。それらの中で技術的な特性を考えてみるならば、電気的特性、熱的特性、機械的特性の三つからなる。電気的特性には、電気効率、力率、電磁力、発熱分布などがあり、熱的特性として、熱効率、調理容器の温度分布、キャビネットの温度上昇、励磁装置の温度上昇、また機械的特性として振動、騒音、各部分の強度などがある。これらの特性の中で、電気的特性が基本となる特性で、これがマグヒートレンジの性能を表すもっとも重要なものとなる。この章では電気的特性を理論的に解析する手段を簡単に述べる。

電気特性に影響を与える要因は(1)調理容器と励磁コイルあるいは鉄心との配置関係、(2)調理容器の材質、厚さ、(3)電源周波数が主要なものである。解析モデルはこの三つの要因の影響を調べる目的で設定した。計算モデルの一例は図4.に示すような構造で、励磁電流は平行に配列された直線状シートカレント、調理容器は2枚の異質金属板から成る無限平板で近似している。シートカレントは、無限大の比透磁率と固有抵抗を有する磁性材の上面に置かれた場合と、空心の場合の2ケースを考えた。この解析モデルが対象とする実際の調理器構造は図5.であり、調理容器が励磁装置に比して十分大なるときは近似度が高い。

図4.の解析モデルにおいてMaxwellの電磁界方程式は系の線形性を仮定して次のようになる。

$$\frac{\partial^2 A_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 A_z}{\partial y^2} = \begin{cases} 0 & \text{in air} \\ \mu_0 \mu_{ri} \sigma_i \frac{\partial A_z}{\partial t} & \text{in metal} \end{cases} \dots\dots\dots (1)$$

$A_z$  : ベクトルポテンシャルの電磁方向成分  
 $\mu_{ri}$  :  $i$ 番目の調理容器金属の比透磁率  
 $\sigma_i$  :  $i$ 番目 " 導電率

更に電流波形が正弦波であることを仮定すれば式(1)の金属中における方程式は

$$\frac{\partial^2 A_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 A_z}{\partial y^2} = \mu_0 \mu_{ri} \sigma_i j \omega A_z \dots\dots\dots (2)$$

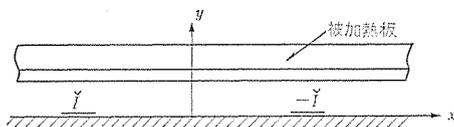


図4. マグヒートレンジの解析モデル

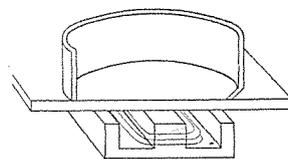


図5. 解析モデルの対象となる実際構造

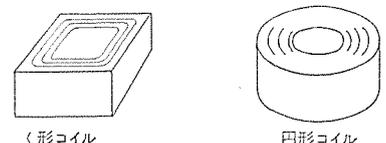


図6. 励磁コイルのいろいろな形状

と単純化される。この式(2)の一般解は

$$A_z = \mu_0 \mu_{ri} I \int_0^\infty \check{M}_{ia} (\varepsilon^{-p_i y} + \check{N}_{ia} \varepsilon^{p_i y}) \sin ax da \dots\dots\dots (3)$$

$$p_i = \sqrt{a^2 + j \omega \mu_0 \mu_{ri} \sigma_i}$$

$\lambda$  : コイルピッチ  $\omega$  : 電流の角周波数

で表され、各領域において上記式のような一般解を設定し、カレントシートをつくるベクトルポテンシャルを一般解と同様の形である

$$A_s = \mu_0 \int_0^\infty A_a \varepsilon^{-\lambda y} \sin ax da \dots\dots\dots (4)$$

で表現し、境界条件を与えて、それぞれの一般解に含まれる未知係数  $\check{M}_{ia}$ 、 $\check{N}_{ia}$  などを求めることによって、各領域のベクトルポテンシャルを計算することができる。未知係数に付された記号(V)はこれらが複素数であることを意味する。

こうして求められたベクトルポテンシャルから、調理容器の等価抵抗、等価リアクタンス、更に電磁力を導出することができる。

等価インピーダンスは、カレントシートをつくる平面上で複素ポインティングベクトルを面積分することによって得られ、調理容器に働く電磁力は調理容器の底面におけるマクスウェル応力を面積分することによって得られる。複素ポインティングベクトルを  $S$ 、マクスウェル応力を  $P$  とすれば、等価インピーダンスは

$$Z_e = r_p + j x_p = \frac{2}{I^2} \int_S \check{S} ds = \frac{1}{I^2} \int_S \check{E}_z \cdot \check{H}_x ds \quad \text{電磁力は}$$

$$F_y = \frac{1}{2} \int_S P ds = \frac{\mu_0}{4} \int_S (\check{H}_y H_y - \check{H}_x \cdot \check{H}_x) ds$$

で計算され、電磁力は調理容器を上下に振動させる成分の時間平均値として求められる。なお記号(\*)は共役複素数を意味する。

#### 5. マグヒートレンジの電気特性

この章では前章の方法で計算した電気特性の結果をいろいろな要因との関係として述べる。

##### 5.1 コイル形状

コイル形状は図5.に示すような周期的に配列されたく(矩)形状あるいは扇形状のほか、図6.に示すような円形コイル、く形コイルなどが考えられる。これらいろいろなコイル形状について理論解析した結果によれば、電気特性はこれらコイル形状の違いによって本質的に異ならないことが分かった。

##### 5.2 励磁周波数

図7.はいろいろな材質の調理容器について、等価抵抗と電磁力が励磁周波数によって変化する模様を示したものである。この図によれば以下のようなことが分かる。調理容器の材質に依存して周波数特性は大いに異なる。比較的低い周波数域(商用周波数)では鉄材容器の等価抵抗が大きく、ステンスのような非磁性、高抵抗材の容器では小さい。この周波数域では容器材質の磁性が等価抵抗に大きな影響を与えている。これに対して高い周波数域ではステンスのような固有抵抗の大きい金属材の等価抵抗が大きい。この現象は誘導加熱のスキン効果によるものと理解できる。

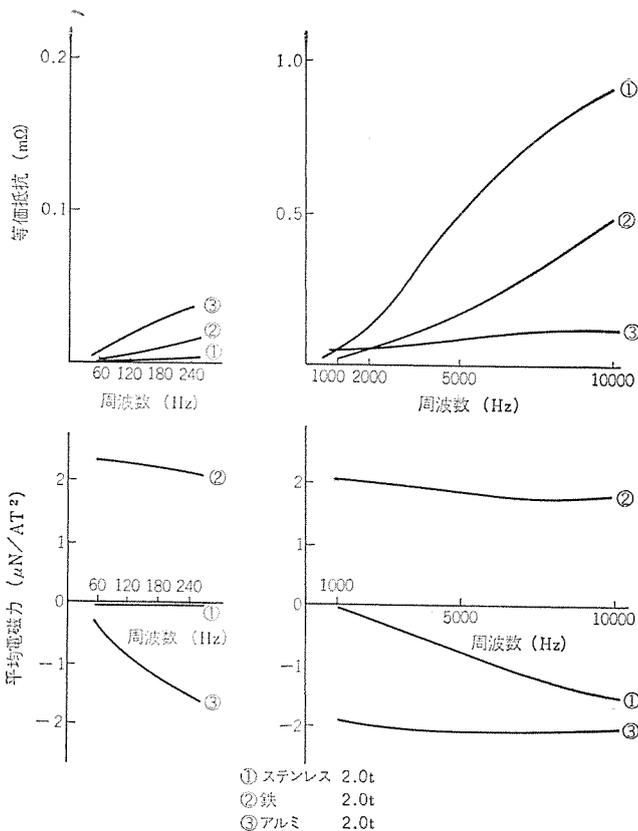


図 7. 等価抵抗, 平均電磁力の周波数変化 (空心)

表 1. 等価抵抗に及ぼす鉄心の効果

		鉄心なし	鉄心あり
鉄板	2.0t	2 μΩ	44 μΩ
銅板	2.0t	8	23
銅板	4.0t	9	19

表 2. 調理容器材質と電気特性の関係

材質	等価抵抗 (μΩ)	等価リアクタンス (μΩ)	効 率 (%)	力 率 (%)	総合電磁力 (kg/kW)
鉄	73	336	91	16	121
銅	20	-45	74	49	-9
アルミ	23	-24	76	39	-7
ステンレス	1.8	-0.5	20	12	0
鉄 鋳 物	20	215	74	10	320

注 1) 60 Hz, 励磁鉄心あり  
2) 板厚 3mm

電磁力の周波数特性は容器の磁性によって顕著に異なり、周波数の増加につれて、強磁性体では常に吸引力（容器を励磁装置側に引きつける力）で力の大きさは漸減し、非磁性体では、常に反発力で、力の大きさは漸増する。

以上のデータから明らかのように、誘導加熱調理器においては、使用する励磁周波数に対応して容器の材質として最適なものが存在する。また、効率、電磁力の両特性とも、励磁周波数の高いほうがよいことが分かる。以下は商用周波励磁の結果だけを述べる。

### 5.3 励磁鉄心の効果

励磁鉄心は等価抵抗、電磁力などに大きな影響を与える。鉄心の影響を簡単に映像効果で解釈するならば、カレントシートはその映像カレントにより倍増されたと同様の効果を鉄心が与え、等価抵抗、電磁力は鉄心の存在により空心の場合の4倍の値に増加される。ただし、鉄心は調理容器に流れるうず電流に対しても映像効果を有するから、現象はもっと複雑で、その詳細な検討は電磁界方程式を解くことに

よって行われた。表 1. に鉄心有無に対応した代表的な特性値を掲げる。これによれば、調理容器が強磁性体の場合は鉄心付加の効果が著しく、銅などの高導電性金属の場合は、鉄心付加の効果は小さいことが分かる。この結果は商用周波励磁方式による場合は、励磁装置に鉄心を必要とすることを教えている。

### 5.4 調理容器の構造と材質

一般に使用されている金属製の調理容器の材質は、ステンレス、鉄、銅、アルミ及び鉄鋳物である。商用周波励磁において、等価抵抗及び電磁力に与えるこれら材質の影響は 5.1 節においても触れたが、ここで更に詳しく検討する。表 2. は調理容器の材質と等価抵抗、等価リアクタンス、1AT 当たりの平均電磁力及び、実用するに当たって達成し得る電気効率、力率、総合電磁力の関係を示したものである。これらの値は励磁鉄心の付加されたモデルに関して計算した一例である。このテーブルから以下のことが理解できる。

効率の面では鉄、銅、アルミ製の調理容器は比較的高く、実用できる値であるが、電磁力の面で実用化が困難である。なぜならば、総合電磁力の値は、その材質の調理容器の重量より大きく、それが振動力であることにより、容器は激しく振動し、とび跳ねる。特に、銅、アルミ製の場合電磁力は反発力となり、容器を数 cm 以上浮き上がらせる現象を呈する。

ステンレスの調理容器は効率の面で実用性がない。特に非磁性のステンレスでは板厚がうすい場合、ほとんど発熱しない。このことはステンレスがレンジカバーに使用できることを示唆している。

いずれの材質でも、容器が単質の材料で形成されているものは、商用周波励磁方式の誘導加熱調理器に適用できないことを表 2. は示している。したがって商用周波励磁方式で誘導加熱調理器を実用化するためには、調理容器の構造に何らかの工夫が必要である。そこで調理容器を異質の金属板の合板で形成した場合について理論検討を行った。図 8. は銅板と鉄板を組合せた調理容器の計算例である。横軸は銅板の厚さ、縦軸は等価抵抗及び 1AT 当たりの平均電磁力である。鉄板の厚さは鉄のスキンドープス約 1mm 以上あれば特性にほとんど影響がない。このグラフでは鉄板の厚さを 3mm としている。このグラフは非常に有意義な現象を示している。その一つは銅鉄合板にすることによって等価抵抗がかなり増加することであり、更に銅板がある特定の厚さを有するときに平均電磁力が零になることである。図 8. では銅板厚が約 0.3mm で等価抵抗が最大になり、そのときの値は鉄の場合の約 2 倍である。平均電磁力は銅板厚が約 1.5mm のときに零になる。前者の銅板厚を CT、後者の銅板厚を ZT とすれば、銅板厚を CT と ZT の間に選べば電磁力が小さく、等価抵抗の高い調理容器とすることができる。なお、この CT と ZT は他の要因例えば励磁周波数、空けき長、コイルピッチに依存して変わる。

理論検討によれば CT, ZT は次式で概算できる。

$$CT \approx 0.28 \times \left(\frac{60}{f}\right) \times \left(\frac{g}{5}\right) \times \left(\frac{80^2}{\lambda^2}\right) \dots \dots \dots (5)$$

$$ZT \approx 1.5 \times \left(\frac{60}{f}\right) \times \frac{l^{-0.2} + 1.4}{l^{-5/2} + 1.4} \times \frac{80^{0.85}}{\lambda^{0.85}} \dots \dots \dots (6)$$

ただし、 f : 励磁周波数 (Hz)    g : 空けき長 (mm)  
λ : コイルピッチ (mm)

以上の結果は銅鉄合板について検討したものであったが、銅の代わりにアルミを用いても同様の現象が生じる。ただし、CT, ZT は固有抵抗の違いによって変えられる。銅の板厚を  $d_{Cu}$ 、固有抵抗を  $\rho_{Cu}$

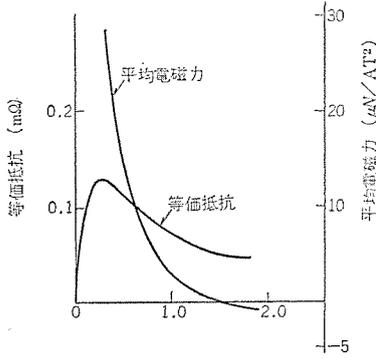


図 8. 銅鉄合板の電気特性

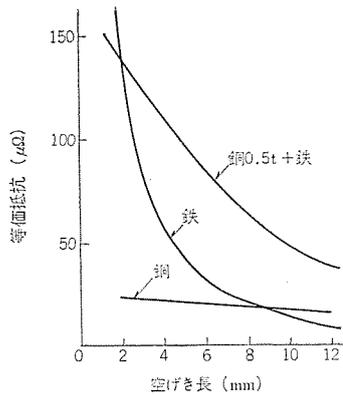


図 9. 等価抵抗の空げき長依存性

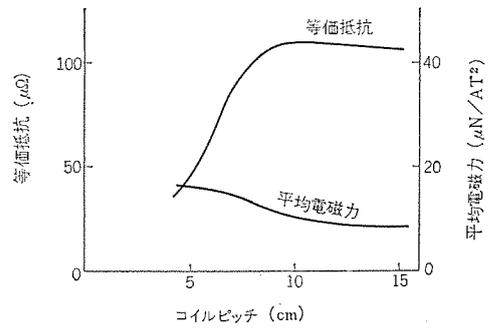


図 10. 電気特性のスケール効果

アルミの板厚を  $d_{al}$ 、固有抵抗を  $\rho_{al}$  とすれば、いま検討しているモデルでは  $\rho_{cu}/d_{cu} \equiv \rho_{al}/d_{al}$  の関係が成り立つので、それぞれ式(5)、式(6)  $\rho_{al}/\rho_{cu}$  倍すれば対応するアルミ鉄合板の  $CT$ 、 $ZT$  を得ることができる。

$CT$ 、 $ZT$  はマグヒートレンジの調理容器を設計するに際して重要なパラメータである。

### 5.5 空げき長

誘導電動機、空げき変圧器のような他の電機と同様に誘導加熱調理器においても空げき長は特性に大きな影響を与える要因である。誘導加熱調理器においては特に、調理容器と励磁装置の間にレンジカバーを設ける必要があり、何らかの空げき長が存在せざるを得ない。電気的特性は空げき長が小さければ小さいほどよい。この一例を図9. に示している。しかしレンジカバーは熱的・機械的問題点が集中する部分であるので、空げき長は総合的な見地から決定される。

### 5.6 コイルピッチ

誘導加熱の現象にはスケール効果があり、励磁装置の大きさが特性に影響を与える。解析モデルにおいてこのスケールはコイルピッチを指標として表現されている。調理容器が厚さ 0.5 mm の銅板と厚さ 2 mm の鉄板の合板で形成されているものについて、コイルピッチの影響を示したのが図 10. である。この図によればコイルピッチが数 cm 以下であると等価抵抗は極端に小さく、電磁力が大きい。また 10 cm より大きくなると等価抵抗、電磁力の変化が小さい。このことはコイルピッチを 8~10 cm 程度に選ぶことが最適であることを意味している。これは調理器を構成する上で好都合な値である。

## 6. マグヒートレンジの基本技術

商用周波励磁方式の誘導加熱調理器は電気効率が低く、電磁力にもとづく振動、騒音が大きいという問題点を内蔵していることを、1章で述べたが、ここではこの二つの問題点を解決した手段を述べる。まず電気効率の向上は調理容器の材質と構造を工夫することによ

て達成された。5.4 節において理論的検討を行った結果から明らかになったように、調理容器を鉄と銅あるいはアルミの合板構造とすることによって電気効率を 90% 以上とすることが可能である。銅板を用いる場合、その最適厚さは 0.7~0.8 mm、アルミ板の場合は 1.2~1.4 mm である。また鉄板の厚さは必要磁束量と磁気飽和の関係から 2~3 mm とするのがよい。なおこのような合板構造とすることによって電磁力の時間平均値を小さくすることもできる。しかし電磁力の時間平均値を小さくするだけでは調理容器の振動、騒音を十分に抑制することはできない。調理容器に働く電磁力は磁性体の境界層に作用する磁気吸引力と調理容器内を流れるうず電流に作用する反発力(ローレンツカ)の二つの成分から成っている。前者の磁気吸引力は磁性体境界層の磁束密度の 2 乗に比例し、したがって励磁周波数の 2 倍の周波数で変化する。一方後者の反発力は励磁コイルを流れる電流とうず電流の積に比例し、やはり励磁周波数の 2 倍の周波数で変化する。

吸引力と反発力の位相関係は磁性体に入り込む磁束とうず電流の位相差によって決まり、一般にその位相差は 90~180° の間にあり、吸引力と反発力の合成力は、たとえそれらの大きさが等しくても振動成分が残るのである。この模様を図 11. に示す。この振動力は合板構造の調理容器においてもかなりの大きさで、1G 以上である。

マグヒートレンジはこの振動力を励磁装置の構造を工夫することによって除去した。以下にその構造と原理を説明する。図 12. にその構造を示す。励磁装置は 4 コの磁極とそれらに巻回された励磁巻線及び 4 コの磁極を磁気的に結合する継鉄で構成されている。4 コの巻線は対極の 2 コずつを結線して二つの励磁回路を形成し、それら励磁回路に互いに 90° 位相の異なる交流電流を供給するようにしてある。このようにした励磁装置の上に調理容器を載せて励磁すれば、二つの等価な磁気回路に磁束を発生させ容器に誘導発熱を起こす。このとき電磁力が容器に働き前述の振動力が発生する。そこで二つ

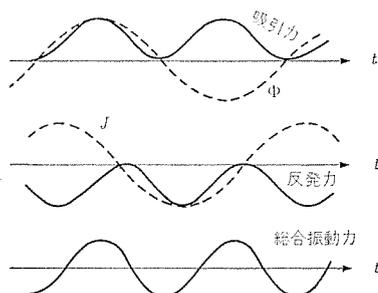


図 11. 調理容器に働く振動力成分の時間変化

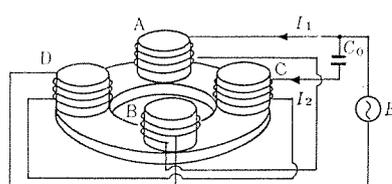


図 12. マグヒートレンジの励磁装置構造

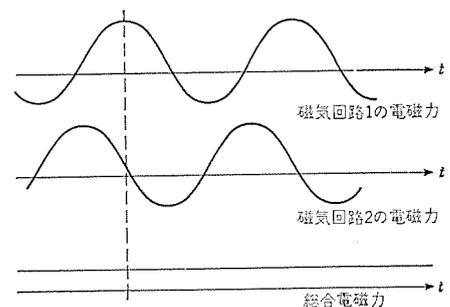


図 13. 振動力除去の図解

の励磁回路のアンパターンが等しければそれぞれの磁気回路における振動力の大きさは等しく、時間的に位相が $180^\circ$ 異なるので、調理容器に働く電磁力を集計すれば振動力成分は零になる。この模様は図13.に示されている。

上記の二つの基本的な技術によって低周波励磁の問題点であった効率の向上と振動・騒音の軽減を達成し、マグヒートレンジの実用化を導いた。

なおマグヒートレンジにおける振動の問題として、電磁力の分布にもとづく調理容器の弾性振動があるが、これは調理容器の形状及びそれを構成する鉄板の厚みを適当に選ぶことによってかなり軽減される。

## 7. マグヒートレンジの実用構造

### 7.1 調理容器の構造

調理容器は効率、発熱量、振動の関係からその底部をアルミと鉄の合板とし、耐蝕性、衛生性などの関係から容器の内面及び側面はステンレスで覆われる構造となっている。図14.に調理容器の断面を示している。底部はステンレス-鉄-ステンレス-アルミの4重構造である。

### 7.2 励磁装置

励磁装置の基本構造は図12.に示したとおりで、各部材には、鉄損の軽減、磁気抵抗の軽減、放熱効果などの考慮が払われている。継鉄にはけい素鋼板の巻鉄心、磁極には扇形断面を有するフェライトが用いられ、巻線と磁極は耐熱性の樹脂で固められ巻線における発熱を放熱しやすくする構造となっている。励磁回路はAとB及びCとDを直列に結線し、一方の回路、例えばCとDの回路にコンデンサ $C_0$ を直列に結線して両回路の端子を単相電源に接続する。

### 7.3 上板(レンジカバー)

マグヒートレンジの上板にはいろいろな役割が課せられる。もっとも重要なのは、励磁装置の保護と調理容器を安定に載置させることである。したがって上板には厳しい使用条件が課せられる。第1に割れたり、傷ついたりしてはならない。第2にふきこぼれた物によって腐食されてはならない。第3に熱変形が大きくてはいけない。またヒートサイクルによる劣化の起こりにくいものである必要がある。これらの外にも上板自体で誘導発熱が起こってはならないし、また励磁装置のつくる磁束をさえぎるものも使用できない。また調理器としてある程度的美観も要請されるのである。これら種々の条件を満足する上板はその構造材質選定に相当な熟慮が払われた。

候補としてとり上げられたのはステンレス板、ガラスセラミック及び耐熱性有機材料であったが、ステンレス板は熱変形の問題、ガラスセラミックは衝撃力による破壊の問題があり、最終的にはエポキシ系樹脂の積層板が実用化された。この樹脂の耐熱性は $150^\circ\text{C}$ 以下であるため、種々の温度上昇防止策が施されている。

### 7.4 出力制御

出力制御方式には印加電圧を変化させる方式、励磁コイルの結線切換えによる段階制御方式、通電時間を制御する方式などが考えられるが、マグヒートレンジでは通電時間のオン-オフ時間比を変える連続制

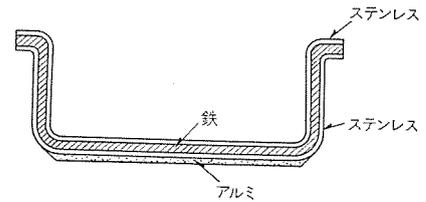


図14. 実用化された調理容器の構造

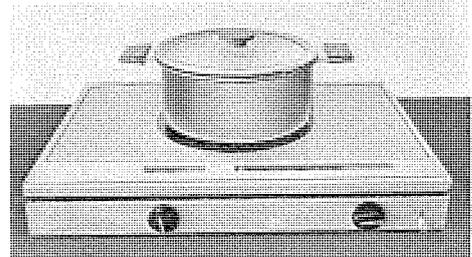


図15. マグヒートレンジの実用品

御方式を採用した。オン-オフの周期は温度の時間変化が問題にならない程度に設定されている。

### 7.5 安全対策

マグヒートレンジには使用者の誤使用によるレンジの損傷を防ぐ目的と、使用上の便宜をはかる目的によって幾つかの安全対策がほどこされている。誘導加熱の原理に関係するものとしては、次の安全対策が施されている。

- (1) 調理容器が載せられていない状態では通電しない。
- (2) 専用容器以外の調理容器あるいは他の物体が誤って載せられた場合電源をシャ断する。

マグヒートレンジの専用調理容器は、等価抵抗が高く力率が最大となるような材質構造に設計されているので、インピーダンスあるいは力率を検知すれば、専用調理容器と他の物体を識別することができる。

このほかにマグヒートレンジには空焼保護機能が設けられている。これは調理容器が空焼きされたりそれに類した誤った運転により、温度が高く( $350^\circ\text{C}$ )なったときに自動的に電源をシャ断する機能である。空焼を検知する手段も前述のインピーダンスの変化を利用したものである。

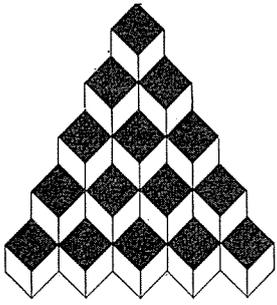
更にマグヒートレンジには一般の電気器具と同様の安全対策が幾つか施されている。

図15.にマグヒートレンジの実用品の写真を掲げる。

## 8. む す び

マグヒートレンジは49年3月からクリーンレンジという商品名で発売が開始された。マグヒートレンジは商用周波励磁方式であることにより、高効率、コンパクト、信頼性が高いなどの優れた特長を有し、将来における誘導加熱調理器の普及に大きく寄与するものと考えられる。

終わりにマグヒートレンジの開発に際してご指導、ご援助を賜った中央研究所並びに静岡製作所の関係各位に謝辞を申し上げます。



## キャラクタディスプレイ (その3)

大川 清人\*

### 1. ま え が き

この講座は、技術講座「キャラクタディスプレイ」の3回目である。初回はキャラクタディスプレイ全般にわたり広く解説を加え、キャラクタディスプレイの特長、基本構成、種類、用途などを明らかにし、これに引き続き、第2回目は、各種ディスプレイの構成と特長、及びその応用的をしばって、やや詳しく検討を加え、ディスプレイの種類と、ディスプレイの応用との対応づけを行った。

今回は、キャラクタディスプレイを更に詳しく理解してもらうために、キャラクタディスプレイの動作原理とシステム構成上考慮すべき事項などについて述べたいと思う。

キャラクタディスプレイの動作原理と言っても、ディスプレイの種類によりその内容が異なり、すべての場合につき動作原理を紹介することはとても紙面が足りないので、ここでは現在最も一般的に使用されている、表示部にCRTを使ったリフレッシュタイプのスタンダード形キャラクタディスプレイをその代表例とし、その動作原理を紹介してみたい。

### 2. キャラクタディスプレイの動作原理

動作原理の詳細な説明に入る前に、キャラクタディスプレイの構成と全体の情報の流れをもう1度述べておきたい。

ここで代表例として取り上げた、スタンダード形キャラクタディスプレイの構成は、図1.に示すとおりである。

計算機から出力された情報は、入出力インタフェースで応答し、正常に転送されたデータ部分をリフレッシュメモリに書き込む。リフレッシュメモリへはこれ以外にキーボードを介してもデータの書き込みが行われる。

リフレッシュメモリに書き込まれたコード化された1画面分のデータは、毎秒50~60回の繰り返しで読み出され、順次文字発生器に供給される。文字発生器からは文字コードに対応した文字パターンが出力され、ビデオ回路で、モニタTVのラスタの走査に同期したシリアル信号に変換される。この信号はビデオ信号としてモニタTVに供給され、文字の形でCRT画面に表示される。

一方、計算機側へ情報を転送する場合は、リフレッシュメモリに記録されているデータを、キーボードからの指示で入出力インタフェースに送出し、これに計算機に回答するための必要な情報を付加して計算機

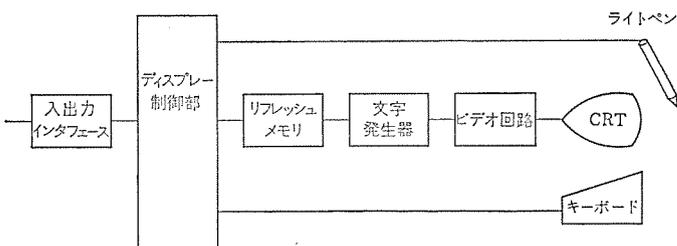


図1. スタンダード形キャラクタディスプレイ構成図

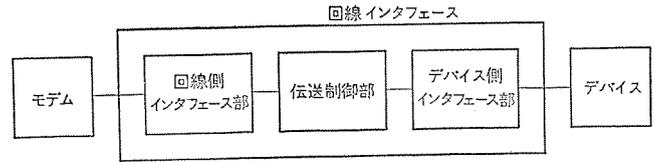


図2. 回線インタフェースブロック図

側へ情報を送り出す。

以上はデータの流れに関連する各モジュールの動作の概要であるが、次に各モジュールごとにその動作の内容をもう少し詳しく述べてみたい。

#### 2.1 入出力インタフェース

入出力インタフェースは前回述べたように、チャンネルインタフェースと回線インタフェースに分類されるが、ここでは回線インタフェースの場合について動作を紹介する。

回線インタフェースの構成は図2.に示すように、回線上のシリアル信号を同期化して取り込み、パラレル信号に変換し、かつ逆にパラレル信号をシリアル信号に変換し回線に送出する回線側インタフェースの部分と、伝送制御をつかさどる伝送制御部と、デバイス側のインタフェースの大きく三つのブロックから構成されており、更に細かく言えば、BCC (Block Check Code) のチェックと発生部及び、NCU (Network Control Unit) 接続機能を有するブロックをも含む。

回線側のインタフェースは、通信方式(半2重、全2重など)、同期方式(非同期式、同期式など)などにより、各種の回路形式をとるが、インタフェース回路の最もはん(汎)用的な部分は、最近LSI化され、トランスミッタ、レシーバとして市販されている。これらの具体例とその動作については参考文献を参照して頂きたい。

伝送制御部は、応答方式により各種のものがあるが、基本的には計算機側から転送されてきた伝送制御情報の解読、及び計算機側へ送出する伝送制御情報の発生と、これらの伝送制御情報をいかなる

表1. 主な伝送制御キャラクタ

伝送制御キャラクタ	キャラクタの意味
SOH (start of heading)	伝送データの始めを示す
STX (start of text)	テキストの始めを示す
ETX (end of text)	テキストの終わりを示す
EOT (end of transmission)	伝送データの終わりを示す
ENQ (enquiry)	相手局に応答を要求する
ACK (acknowledge)	受信データが正しいことを送信側に知らせる
DLE (data link escape)	この後につづくキャラクタの意味を変える
NAK (negative acknowledge)	受信データが誤りであることを送信側に知らせる
ETB (end of transmission block)	ブロックの区切りを示す

順序で送出するかという伝送制御シーケンスの制御とを行う。

伝送制御情報は通常、キャラクタの組合せで構成され、その主なキャラクタを表 1. に示す。

伝送制御キャラクタによって構成される伝送制御情報は伝送制御方式により種々異なるが、当社のキャラクタディスプレイに採用しているものを表 2. に示す。計算機から端末側へ送出される伝送制御情報は 7 種、逆に端末から送出される伝送制御情報は 16 種で、これらの組合せにより計算機、端末間で、情報のやりとりが行われる。その一例を図 3. に示す。ここでは伝送制御情報は一般的な表記法を採用しているが、具体的には、表 2. に示すようなものが用いられる。

図 3. において、センタはまず端末側の状態を確認するための制御情報 (ENQ) を送出しこれに対して端末側は受信準備状態を知らせる制御情報 (DLE ACK) を送出する。センタでは、端末側が受信準備完了であることを確認して、データ (D<sub>1</sub>) を送出し、端末側ではこれを正しく受信すると、正しく受信したことを知らせる制御情報 (DLE NAK) によりセンタに知らせる。センタはこれに引きつづき、次のデータ (D<sub>2</sub>) を送出し、端末側はこれを正しく受け取ると今度は DLE ACK によりデータ (D<sub>2</sub>) を正しく受け取ったことをセンタに知らせる。

同様に次のデータ (D<sub>3</sub>) を送出するが、D<sub>3</sub> が一連の送出データの最後、すなわち ETX で終わっている場合には、センタ側は D<sub>3</sub> を送出した後、これが端末側で正しく受信できたか否かを ENQ により聴きに行く。その結果端末側は正しく受信したことを示す DLE NAK を送出し、データの送出を終了する。

その後 EOT をやりとりして通信を終結する。

以上の伝送制御手順の中で、正常応答に DLE ACK と DLE NAK の両方を交互に使っているが、これは ACK/NAK 法と称し、ACK と NAK が交互に伝送されることでシーケンスの正常動作を確認するためのものである。

以上のような伝送制御により受信したデータは、入出力インタフェース部のデバイス側インタフェースを介して、デバイス側に転送される。キャラクタディスプレイの場合、デバイス側とは、具体

表 2. 伝送制御情報 (M-345 方式の場合)

制御局から従属局へ送出する メッセージ・フォーマット

アドレス・シーケンス	監視シーケンス	テキスト	メッセージ名
SRSD OIII HDDD	EB TC XC		TRAFFIC POLL
SRSD OIII HDDD	D L <sub>1</sub> E	EB TC XC	TRAFFIC POLL WITH ACK
SRSD OIII HDDD		(DB LE EL)	S T X テキスト
SRSD OIII HDDD	DN LA EK	E/EB T/TC X/BC	RETRANSMISSION REQUEST
SRSD OIII HDDD	E N Q	EB TC XC	STATUS POLL
SRSD OIII HDDD	D L <sub>1</sub> E	EB TC XC	STATUS POLL WITH ACK
SRSD OIII HDDD		(DB LE EL)	S T X テキスト
		E/EB T/TC X/BC	同報電文

従属局から制御局へ送出する メッセージ・フォーマット

アドレス・シーケンス	監視シーケンス	テキスト	メッセージ名
SRSD OIII HDDD	(DB LE EL)	S T X テキスト	E/EB T/TC X/BC
SRSD OIII HDDD	D L <sub>1</sub> E	(DB LE EL)	S T X テキスト
SRSD OIII HDDD	D L <sub>1</sub> E	(DB LE EL)	S T X テキスト
SRSD OIII HDDD	D L <sub>1</sub> E	EB TC XC	NO TRAFFIC WITH ACK
SRSD OIII HDDD	D L <sub>1</sub> E	EB TC XC	NO TRAFFIC WITH BUSY
SRSD OIII HDDD		DB LE EL	EB TC XC
SRSD OIII HDDD	D L <sub>1</sub> E	DB LE EL	EB TC XC
SRSD OIII HDDD	D L <sub>1</sub> E	DB LE EL	EB TC XC
SRSD OIII HDDD		(DBD LEL;TC ELE XC)	EB TC XC
SRSD OIII HDDD	D L <sub>1</sub> E	(DBD LEL;TC ELE XC)	EB TC XC
SRSD OIII HDDD	D L <sub>1</sub> E	(DBD LEL;TC ELE XC)	EB TC XC
SRSD OIII HDDD	D L <sub>1</sub> E	(DBD LEL;TC ELE XC)	EB TC XC
EE OO TT	または EEEE OOTC TTXC		NO TRAFFIC
SRSD OIII HDDD	(DBD LEL*TC ELE XC)		EB TC XC
SRSD OIII HDDD	D L <sub>1</sub> E	(DBD LEL*TC ELE XC)	EB TC XC
SRSD OIII HDDD	D L <sub>1</sub> E	(DBD LEL*TC ELE XC)	EB TC XC
SRSD OIII HDDD	DE LN EQ	EB TC XC	REPLY REQUEST

注: ( ) 内の DLE・BEL は、必要に応じてそり入される。

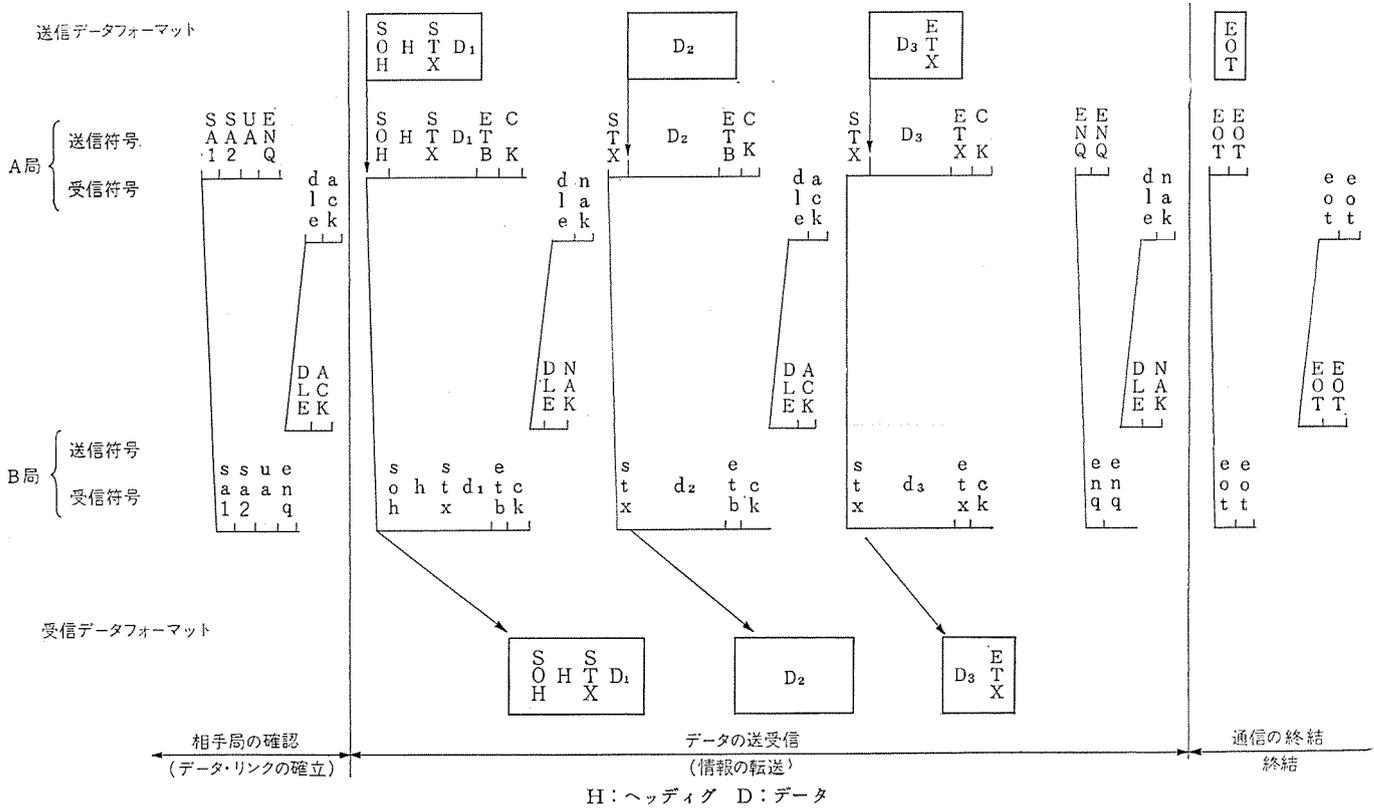


図 3. 伝送制御手順 (A局からB局へデータが送られる場合)

的にはディスプレイ制御部、及びこれにつづくリフレッシュメモリである。

これとは逆に、リフレッシュメモリの内容を計算機側に送出する場合、送信用の伝送制御手順が取られ、類似の方式によりデータが送出される。

入出力インタフェースのうち、回線側インタフェースとデバイス側インタフェースはランダムロジックであるためワイヤードロジックで構成され、この内回線側インタフェース部はLSI化されているものが多いが、伝送制御部はプログラムコントロールすることが可能であり、マイクロプロセッサの進歩にともない、端末側においてもプログラムコントロール方式を採用するものが多くなった。

プログラムコントロールした場合の入出力インタフェース部の構成は図4.に示すものになる。

2.2 表示部

入出力インタフェースがディスプレイの計算機とのインタフェースとすれば、表示部は人間とのインタフェースである。次に表示部の動作原理を紹介したい。

ここで取り上げた表示部の基本原理は家庭用テレビと同じであるが技術的には内容がかなり異なり、家庭用テレビをそのまま使用することはできない。しかしモノクロームの場合には、工業用テレビモニタが使用でき、カラーの場合にはスタジオモニタが使用できる場合もある。

キャラクタディスプレイの表示部は次のような特質を持つ。

(1) ビームの走査はインタレス方式を採用せず、順次走査方式を採用する。その理由は表示画面のちらつき(フリッカ)を避けるためである。

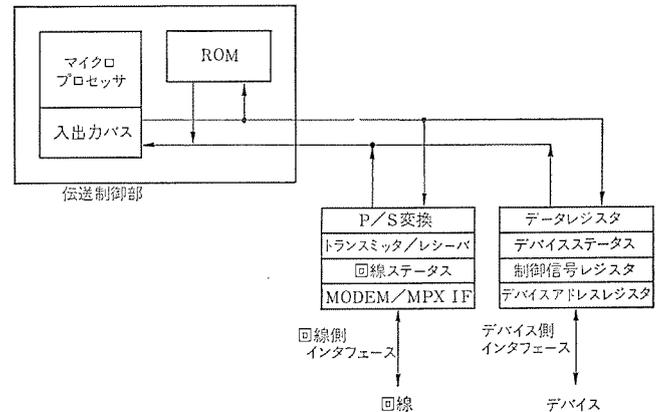


図 4. 回線インタフェース (プログラム制御方式)

るが、漢字ディスプレイのように文字が大きい場合にはフリッカが目立たないためインタレス方式を採用することもある。

(2) 取扱う信号が量子化された“0”か“1”であるため、表示部のビデオ増幅器も飽和形のものを用い、中間調が出ないものが普通である。しかし、モノクロの場合は通常工業用テレビモニタを流用できるので中間調の表示も可能である。

(3) 信号の周波数帯域が広く、10 MHz~20 MHzに及ぶ場合もある。

(4) カラーの場合、色情報の転送にはNTSCなど、通常TVで使用する方式では変復調回路が高価である点、また信号の帯域が広くとれないなど不利な点があるためRGB方式を採用する。そのため

表示部は R, G, B 信号をそれぞれ増幅する 3 チャンネルのビデオ増幅器を有している。

(5) 画面のひずみは家庭用テレビに比べ一段ときびしく、特にカラーの場合の色ずれは周辺付近においてもラスタ1本以内におさめる必要がある。

(6) 特に走査線の本数を標準以上に増やす必要がある場合には、通常 60 Hz であるリフレッシュの回数を 50 Hz 程度に下げた表示部が必要となる。

これらの仕様を満足するために、カラーの場合は専用の表示部を新規に製作しなければならない。

表示部のビーム走査方式を決定する場合、ランダムスキャンか、ラスタスキャンか、またラスタスキャンとした場合でも縦方向か横方向かなどの問題はあがるが、大多数のキャラクタディスプレイは横方向のラスタスキャン方式(すなわち、家庭用テレビと同方向のビーム走査方式)を採用しているため、この方式について文字表示方式を紹介したい。

ラスタの本数は通常 256 本程度であるが、表示の行数を多くしたい場合には、垂直の繰り返し周波数を通常の 60 Hz から 50 Hz 近くにおとし、水平の周波数をかえることなしにラスタの本数を 300 本以上まで増加させる場合もある。

このラスタの中の約 10% の部分は垂直の同期信号の前後の不安定な部分に費され、その残りが文字表示に使用される。

今、一行の文字を表示しようとする場合、1 行の文字を水平方向に  $n$  等分し、各  $1/n$  の情報、すなわち各セグメントの情報をビデオ信号として表示部に供給することによって 1 本のラスタに乗せ、 $n$  本これを並べることによって 1 行の文字表示が達成できる。 $n$  は通常 7 で、これ以外に行間にラスタ 4 本分程度のスペースをとる。

この例では 1 画面の行数を 25 行にしても表示に必要なラスタの本数は 271 本となり、垂直の周波数を 50 Hz 程度にすれば、一画面に必要なラスタは得られるが、 $n$  を 9 にして文字の品質をあげようとする場合には、必要なラスタの本数が多くなりすぎるので、行間用にラスタの割りつけは行わないことがある。この場合には垂直のビームの走査のやり方により行間をスキップする方式を採用しなければならない。

### 2.3 文字発生器

文字発生器は ROM で構成される。そのアドレス情報は文字コードとセグメント指定情報から成り、選択された文字の選択されたセグメントの情報が ROM から出力される。各文字のセグメントは一般には 5 ビットで構成されるから、5 ビットが同時に読み出され、これをシリアル信号に変換して表示部に供給する。

アドレス情報のうち文字コードに対応する部分はラスタが 1 本走る間に 1 行分の文字数だけ切換えられ、ラスタが次に進んでも再度同じアドレスを文字発生器に供給し、これを 1 行のセグメントの本数だけ、すなわち一般には 7 回繰り返す。

一方、アドレス情報のうち、セグメント指定情報による部分は、ラスタが次に移るごとに更新され、セグメントの最後まで行くが行が新しくなると最初にもどる。このようにして、ラスタが 7 本走る間に文字発生器から 1 行分の表示に必要なビデオ情報がすべて読み出される。

A/N, カナを表示する場合文字発生器は最大 128 種の文字情報を

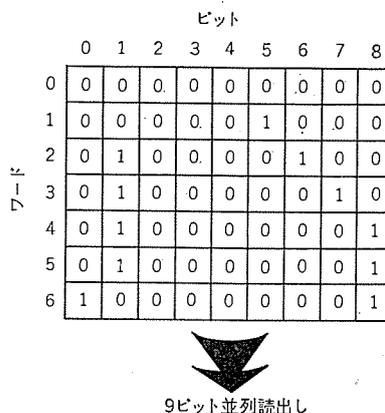


図 5. 文字発生器の文字記憶形態 (文字“H”の場合)

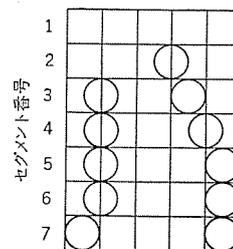


図 6. 文字表示例 (文字“H”の場合)

もつものを必要とする。この文字発生器をアクセスする文字コードは JIS 7 単位コードを使用した場合、SI/SO ビットをこれに付加して 8 ビットとなるが、このうち 7 ビット目を無視して 7 ビットを文字発生器の文字コードアドレスとして 128 種の文字指定に使用する。

文字発生器は使用コードの違い、表示パターンの違いなどにより各種のものを用意する必要がある。図 5. に縦 7 × 横 9 の点で文字を表示して、画質を向上させたものについての文字発生器の 1 文字分の記憶形態を示す。またそのパターンによる表示結果を図 6. に示す。

### 2.4 リフレッシュメモリ

リフレッシュメモリには、文字コードの状態が記録されていて、表示画面上のラスタの走査に同期して、そこに記録された内容が読み出され、文字発生器にアドレス情報として供給される。

既に述べたように 1 行が 7 本のラスタで構成される場合には 7 回繰り返し 1 行分の文字コードをリフレッシュメモリから読み出し、ラスタが次に移るごとにセグメントを更新することによって、1 行分の文字表示を達成する。

行間ではリフレッシュメモリの読み出しは行われませんが、次行の第一セグメントの表示にかかる初めに次行の文字コードの読み出しを始める。同様の動作を画面の最後まで繰り返して 1 画面の表示を完了する。

リフレッシュタイプのキャラクタディスプレイではリフレッシュメモリに、ダイナミックタイプの IC のランダムアクセスメモリ (IC-RAM) が最も適している。その理由に次のものが考えられる。

(1) ダイナミックタイプの IC-RAM に必要なリフレッシュ動作を特別の回路により行わなくても、表示のためのリフレッシュ動作で十分達成できる。そのためにはリフレッシュの休止期間が規定値を越さないよ



う、メモリのアクセス方式を考慮する必要があり、また垂直の帰線期間などメモリアクセスの休止する時間を規定値以内にする必要がある。

(2) ダイナミックタイプの RAM は揮発性であるが、キャラクタディスプレイの場合電源断後も表示画面を保持することは一般には要求されないため、リフレッシュメモリも揮発性のものでも十分である。

(3) 表示画面をリフレッシュするために、リフレッシュメモリから読み出す時のサイクルタイムは  $1\mu\text{s}$  前後であり、現在最も多く使用されている IC-RAM のサイクルタイム、 $600\sim 700\mu\text{s}$  に丁度適合していると言える。

(4) リフレッシュメモリに必要なタイミング信号は、表示部を駆動するために本来必要なタイミングから容易に作成でき、特別にタイミング発生回路をもつ必要がない。

(5) リフレッシュメモリ程度の小容量のメモリでは、周辺ロジックの比重の軽い IC メモリが適している。

(6) 消費電力が少なく、かつ小形である。

以上述べたような理由で現在では多くの場合、リフレッシュメモリにはダイナミックタイプの IC-RAM が使用されている。

## 2.5 ディスプレー制御部

ディスプレイ制御部には次に述べる四つの動作モードがある。

### (1) ディスプレーモード

ディスプレイ制御部は休止の状態であるが、表示のために毎秒  $50\sim 60\text{Hz}$  の繰り返しでリフレッシュメモリからの読み出しだけが行われている。

### (2) データ入力モード

入出力インタフェースを介してデータを取り込むモード。

### (3) データ出力モード

計算機側へデータを出力するモード

### (4) エディットモード

キーボード、ライトペン、又は計算機からの指示で、リフレッシュメモリ内のデータの配列を変えたり、カーソルの位置を移動させたりする、いわゆる編集動作を行うモードで、通常、ディスプレイ動作が優先され、エディット動作は行間や帰線時間に割付けられる。

これらのディスプレイ制御部の動作を行わせるためのロジックは従来ハードワイヤードなものが多かったが、ここでもマイクロプロセッサを使ったプログラム制御方式のものが採用されはじめている。プログラム制御方式にした場合、仕様の変更にはプログラムを記録した ROM の変更で対処できるので、仕様の変更など機能の多様化に適した制御方式であると言える。

既に入出力インタフェース部のプログラムコントロール化の話はしたが、ディスプレイ制御部もプログラム制御方式を採用した場合、この両者を一体化して、一つのプロセッサで制御する方式も可能である。

## 2.6 ライトペン動作

ライトペンは応用面から見れば、画面上の項目の選択、カーソルの移動などに使われるが、ライトペンの基本的な機能は、ライトペンで指示した画面上の位置情報を検知することである。

ライトペンは本来光を発する機能はなく、逆に受光素子を内蔵しており、ペンの視界内をラスタが通過したとき信号を発生するものである。

画面上に表示されている文字の位置を検知する場合には、この方法で問題はないが、無表示位置を検知するためには、ライトペンにスイッチを設けておき、このスイッチを押すことによって、1フレーム時間、ラスタを光らせ、光を検知する方法をとらなければならない。

ライトペンが光を検知したとき、ライトペンが発生した信号によって、ラスタの走査に同期して動いている、ロー、カラムのカウンタの内容を読み取れば、それがライトペンの位置情報を示すことになる。

この位置情報をもとに、単にカーソルの移動を行う場合もあるが、あらかじめライトペンの使用できる領域を指定しておき、得られた位置情報がその指定領域のものか否かの判定を行い、そうであればその指定領域の先頭に、検知確認の印を表示した後、そのアドレス情報とその指定領域内のデータを送出すると言うような複雑な動作を行わせることもある。

## 3. システム設計

キャラクタディスプレイに限らず、端末システムのシステム設計をする場合、各端末機器の構成、機能に合わせて、計算機を含めての複合システムとしての構成、機能を取りあげなければならない。

この内、各端末機器の構成については、キャラクタディスプレイの構成として、既に各種のものについて紹介したので、ここでは、

(1) 各端末機器の機能として、キャラクタディスプレイのオペレータインタフェース、及び計算機インタフェースに関連する機能

(2) 複合システムとしての構成

(3) 複合システムとしての機能

の3項目について、システム設計上考慮しなければならない事項、並びに、その具体策を述べてみたい。

### 3.1 キャラクタディスプレイの機能

システム設計上、キャラクタディスプレイに要求される機能は、オペレータサイドから見れば、

(1) 見やすい

(2) 操作しやすい

(3) 間違いにくい

(4) 保守しやすい

などであり、その具体策として、キャラクタディスプレイは次のような機能を備えている。

(1) 色表示

(2) ブリンク表示

(3) タブ機能

(4) ライトペンフィールド指定

(5) 数字フィールド指定

(6) プロテクト

(7) ガイダンス

(8) フォーマットチェック

(9) ビルトインテスト機能

また、計算機サイドから要求される機能は、

(1) データ転送効率の向上

(2) 計算機からの制御機能

などがあり、具体的には次のような機能を持たせている。

- (1) NULL サプレッション
- (2) タブ 機能
- (3) オペレータが入力したデータのみ転送
- (4) インテリジェント化によるクリーンデータの転送
- (5) 計算機の指令による起動
- (6) 計算機側からの診断機能

3.2 システムの構成法

システム設計上、キャラクタディスプレイ単体に要求される機能は以上述べたとおりであるが、複数の端末の組合せを考える場合には、取扱うデータ量の多寡、データ発生源又は転送先の地理的位置によって、その構成を考えなければならない。

システム構成の問題を

- (1) 複数台のキャラクタディスプレイを接続する方式
  - (2) キャラクタディスプレイを距離を離して設置する方式
- の二つの角度から考察してみたい。

3.2.1 複数システム方式

複数のディスプレイ接続方式としては図7.に示す各種方式が可能である。図7.において(a)(b)(c)(d)はスタンダードタイプのキャラクタディスプレイを複数台接続する方式である。

(a)は、単にシングルステーション接続方式で複数台のディスプレイを計算機に接続する方式で、情報量が多い場合に適する。

(b)は、マルチポイント接続方式で、端末機器が直線的に配列されていて、情報量あまり多くない場合に適する。この場合の端末の制御は、ポーリング/セレクティング方式により、計算機側が全体の端末を制御できる方式をとらなければならない。

(c)は、ループ伝送方式によるもので、キャラクタディスプレイ側の入出力インタフェースの回線側の回路は、ループ伝送方式用のものを用意しなければならない。この方式を採用すればケーブルコストの低減が期待できる。

(d)は、マルチプレクサを使用する方式である。マルチプレクサには回線制御能力は持たないため、回線制御能力を持つ複数台のキャラクタディスプレイが接続され、ディスプレイ各単体は独立に計算機とのデータ転送を行う。

マルチポイント接続方式とは、各ディスプレイにモデムを必要としない点、及び各ディスプレイ相互の距離は比較的近接している点などが異なる。

(e)、(f)は、マルチステーションタイプディスプレイで、(e)、(f)の違いは、計算機との接続方式がチャンネル接続か、回線接続かという点にあり、本質的には同じものである。

マルチステーションタイプの場合、各ディスプレイの端末は、リフレッシュメモリ以下表示部までは個々に装備し、ディスプレイ制御部、入出力インタフェース、タイミングなどは集中化して低価格化を図っている。また、ディスプレイ以外の端末機器も接続することができ、端末相互間のデータをローカルにやりとりすることも可能である。

3.2.2 設置方式

ディスプレイの端末が設置される地理的位置により、どのようなシステム構成がとられるかを次に考えてみたい。

設置場所が散在している場合、図7.の(a)(b)の方式がとられ、

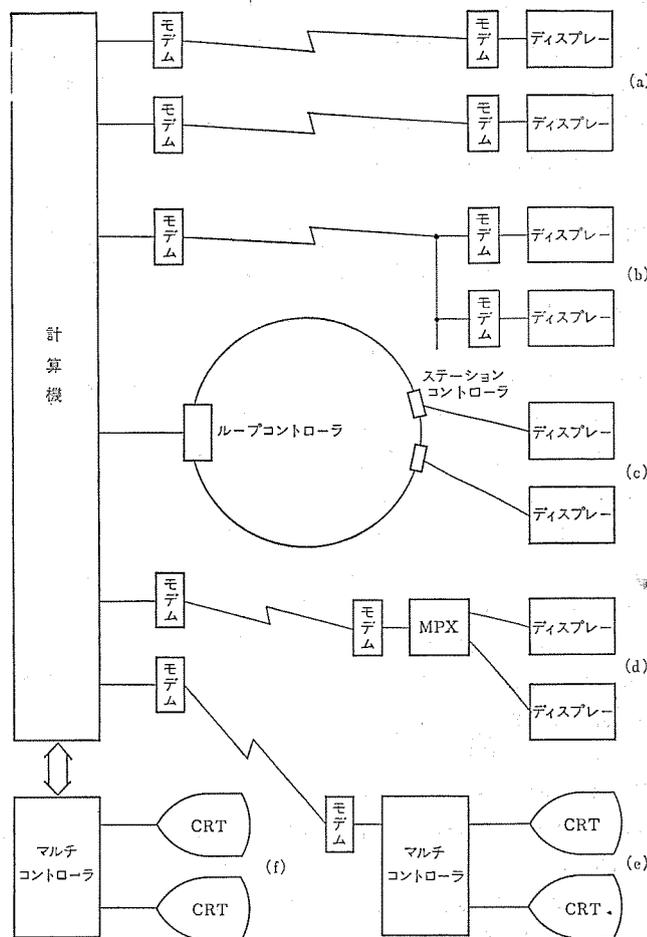


図7. 複数システム方式

その内、比較的直線的である場合、情報量にもよるが、(b)のマルチポイント接続方式がとられる。

また、一工場内など、比較的限られた領域に複数台のディスプレイが設置される場合には、図7.(c)(d)(e)(f)などの方式がとられ、特にマルチコントローラが計算機室に設置され、取扱う情報量が多い場合には、(f)に示すチャンネル接続方式が採用される。

マルチステーションタイプの場合で、端末すなわち表示部、キーボード、ライトペンが同一構内とはいえ、マルチコントローラとの距離が1kmにもなる場合には、これらを接続するケーブルのコストが高価なものになるため、ビデオ信号、キーボード信号、ライトペン信号を1本のケーブルに重畳して伝送するシングルケーブル伝送方式を採用することがある。

また、計算機の近くで1、2台のディスプレイを使うような場合には、図7.(a)に示すシングルステーション接続方式のものをモデムを使わず、計算機直結で使う場合もある。

3.3 システムの機能

システムを設計する場合、次に示すような機能を考慮することが必要である。

- (1) オペレータ、及び計算機に対して十分な応答性を有する。
- (2) 必要な台数のディスプレイが安価に接続できる。
- (3) RAS機能が備わっている。

以下、これらの具体策について考えてみたい。

### 3.3.1 応答性

応答性を良くする手法として、回線に対しては、回線の本数を増やす、転送速度を上げる、などがあり、ディスプレイ装置に対しては、ローカルファイルを用いる、また、情報の効率を上げるなどのローカル処理の充実を図る方法がある。

また回線を介して転送する方式では間に合わないような場合は、図7.(f)に示すチャンネル接続方式にするか、図7.(a)のモデムなしで計算機に接続し、48Kボー程度の転送速度を得る方法をとることもできる。

マルチステーションタイプの場合、ローカル表示画面をプリンタにプリントアウトすることもできるが、この場合、プリントの待ち時間を少なくするためには、プリンタの台数を増やすことも考えられるが、ディスクメモリなどにバッファし、待機する方法をとることもできる。

### 3.3.2 システムコストの低廉化

機能の面からシステムコストの低廉化に結びつくものとして、端末のインテリジェント化、マルチステーションタイプにおける、ローカル処理/オフライン処理などがある。

ローカルファイルに固定画面をファイルしておき、これをローカルに取扱うとか、入力データをローカルファイルにファイルしておき、まとめて計算機に送出するなどがその例である。

### 3.3.3 RAS

キャラクタディスプレイ単体のRAS (Reliability, Availability, Serviceability) 機能としては、ビルトインチェック機能を持たせる程度で、計算機側のテストプログラムに依存するものが多いが、システムを組んだ場合は、計算機側にテストプログラムを完備すること以外に次のような機能を備えることが望ましい。

- (1) マルチステーションタイプの場合、マルチコントローラ側で各端末の状態を集中監視できること。
- (2) マルチステーションタイプの場合、ローカルに診断プログラムによる診断が可能であること。
- (3) 故障した端末の切離しが、他に影響を及ぼさず、容易に行えること。
- (4) 1台の端末が故障した場合、他の端末がこれを代行できること。

と。

もちろん装置が故障しないことが最も望ましいが、故障をおこした場合には、以上述べたような手法でシステム全体がダウンすることを防ぎ、早期にシステムの復帰を行わなければならない。

## 4. む す び

以上3回にわたり、キャラクタディスプレイについて、総括的なものから、動作原理に至る技術的に掘り下げたところまで広く解説を加えてきたが、この講座が、キャラクタディスプレイを含むシステム設計を行う場合の何らかの参考になれば幸いである。

当社のキャラクタディスプレイ開発の歴史は古く、現在ディスプレイファミリーとして、各種のタイプがそろっており、これらの内容については既に報告されたものがあるので、巻末の参考文献を参照して頂きたい。

最後に、この講座の執筆にあたり、いろいろとご指導ご援助いただいた社内関係各位に謝意を表する。(昭和50-1-10 受付)

### 参 考 文 献

- (1) 大川ほか：三菱電機技報, 45, No. 12, 1,618 (昭46)
- (2) 大川ほか：三菱電機技報, 46, No. 2, 12 (昭47)
- (3) 大川ほか：三菱電機技報, 47, No. 8, 897 (昭48)
- (4) 山崎ほか：三菱電機技報, 47, No. 12, 1,272 (昭48)
- (5) 小畑ほか：三菱電機技報, 48, No. 3, 376 (昭49)
- (6) 大川：三菱電機技報, 48, No. 12, 1,436 (昭49)
- (7) 大川：三菱電機技報, 49, No. 2, 182 (昭50)
- (8) 山崎：ソフトウェア科学, No. 11 (昭45)
- (9) 大川：ソフトウェア科学, No. 2 (昭46)
- (10) 大川, 渡辺：画像技術, 2, No. 3, 69 (昭46)
- (11) E. Yamazaki, K. Ohkawa : SID Journal 11, No. 3, 14 (1974)
- (12) 猪瀬, 山本：電算機講座, データ通信, 産報 (昭45)
- (13) 緒方：データ通信端末装置, 技研 (昭45)
- (14) 山崎：MOS-LSI とその応用, 産報 (昭49)

当社の特許

登録番号	名 称	発 明 者	登録番号	名 称	発 明 者
713330	計算機における乗算方式	三上晃一・蒲原捷行	715705	不純物の拡散方法	高木義夫・西海 宏
713331	エレベータ装置	{平野一郎・松倉欣孝 竹下光夫	715706	充電表示方式	小西寛示
713332	アンチバックラッシュ 駆動方式	遠藤義昭・岡田東亜	715707	放射線照射装置	{秋葉稔光・鈴木敏允 上田孝寿・美濃和芳文
713333	エレベータ速度制御装置	安西伸夫・渡辺英紀	715708	機関点火用ガバナウエイト製作方法	荒川利弘・岩田辰雄
713334	エレベータ速度制御装置	安西伸夫・渡辺英紀	715709	放電加工用電極及びその製作方法	斎藤長男・加藤 強
713335	内燃機関点火装置	大西正義	715710	異方性磁石の製造方法	{榎山公男・下田光信 田嶋尚志・石井良衛
713336	内燃機関制御装置	三木隆雄	715711	充電表示装置	{平田 毅・荒金堅二郎 森下光晴
713337	記憶回路	梅田義明・六藤孝雄	715712	放電灯装置	赤松昌彦
713338	放電灯の起動装置	柳瀬正人・大野克弘	715713	機関の吸気負圧検出装置	才田敏和
713339	内燃機関用配電器の点火早め角度測定装置	白石 彊	715714	カラブラウン管けい光面の製作方法	水上幸三・小林弘男
713340	内燃機関用配電器の点火早め角度測定装置	白石 彊	715715	高速送り機構	西村征治・鎌田 勉
713341	ベルト式動力伝達装置	{永淵一美・稲田 斎 網島朝次・万豆正孝	715716	粒子加速度の加速管	永井昭夫・小橋宣彦
713342	スルホール印刷回路基板の製造方法	{小林 功・沢江哲則 星野昌弘	715717	開閉器	駒井克行
713343	内燃機関点火装置	本庄由尚・千葉聖一	715718	能動素子及び能動素子を含む回路の動作速度判定装置	松井秀夫
713344	温水器	{熊沢 裕・馬淵公作 石井勝己	715719	リニヤモータ用リアクションレール	片岡正博
713345	プログラム形 タイムスイッチ	吉川英之	715720	ブラシパッター 装置	阿部東彦・植松滋幸
713346	回転電機の集電環短絡装置	藤山辰之・鶴野秀之	715721	軸受異常検出装置	石 雅彦・山口克樹
713347	位置決め方式	重徳良夫	715722	内燃機関点火装置	大西正義・森田 茂
713348	高周波加熱装置	高瀬明生	715723	内燃機関点火装置	大西正義・森田 茂
713349	信号発生器	淡野光章	717036	原動機の動力測定装置	浅野哲正
713350	マイクロ波加熱装置	小畑哲男	717037	位相関係検出装置	高田信治・中村勝己
713980	形状の無接触測定装置	吉山裕二・稲荷隆彦	717038	耐熱性熱硬化性樹脂の製造法	西崎俊一郎・江藤昌平
713981	オゾン 発生器	田畑則一・森 貢	717419	超硬質赤色ガラスの製造法	林 次郎・西楽隆司
713982	ひ(砒)加 ガリウム の気相成長方法	伊藤道弘・織田隆雄	717420	硬質赤色 ガラス	{林 次郎・西楽隆司 上村正光
714451	無接点式燃料 ポンプ	三好明好	718421	自動印字装置	{菰原 智・田中睦務 井上隆之
714452	周波数でい(通)倍装置	下井 弘	717422	自動洗濯機	{吉井有時・遠藤 誠 竹内康生
714453	自動車用換気装置	吉野昌孝	717423	一回転 クラッチ	西村征治・宇根隆 蔵
714454	線材表面の連続研削・研磨機	押上森喬	717424	有機水銀処理装置	田畑則一・森 貢
715695	放電加工装置	{斎藤長男・荒井伸治 小林和彦	717425	自動車用換気装置	吉野昌孝
715696	高圧水銀灯	土橋理博・若林正雄	717426	エスカレータ手しょう(摺)成形装置	宇川 彰・藤沢 殉三
715697	開閉装置	杉中輝明	717427	ブレーキ 制御方式	金子弘美・西 健一
715698	自動周波数追従装置	山田 勉	718841	無線送信機切替装置	片山泰一
715699	けい光 ランプ	{大田重吉・朝長 明 山崎清司	718842	長短符号検出回路	山内才胤・佐藤征男
715700	樹脂組成物	{伊藤公男・岡崎和男 進藤紘二・藤沢 修	718843	面発熱体の製造方法	近藤正司・市村伸男
715701	高熱材料の超音波探傷法	菰原 智・渡辺光人	718844	サイリスタスタック	武内邦臣・中原義明
715702	金属ハロゲン化物入り水銀放電灯	竹田俊行・土橋理博	718845	温度制御回路	近藤紘一・松田英昭
715703	超高圧放電灯の電極防止方法	{土井貞春・加茂部 透 橋本健一	718846	温度制御回路	近藤紘一・松田英昭
715704	可変容量半導体装置	河津 哲	718847	低圧水銀放電灯の製造方法	{村井直道・鈴木勝利 阿部 巧

当社の特許

登録番号	名 称	発 明 者	登録番号	名 称	発 明 者
718848	低圧水銀放電灯の製造方法	{村井直道・鈴木勝利 阿部 巧	721115	ケーブル巻取り装置	浅野哲正
718849	周波数帯域増幅器	大西良一・深見 毅	721116	変圧器	木野崎泰三・白神十九一
718850	接合形電界効果トランジスタ及びその製造方法	{高木義夫・西海 宏 土佐雅宣	721117	高インピーダンス接地系用母線保護方式	寺田 真・辻倉洋右
718851	信号をその発生順に記憶し取出す装置	山崎英蔵・西 健一	721118	半導体装置	釜原 紘一
718852	分周波発生レーザ装置	伊 東 尚	721119	半導体装置	赤桐行昌
718853	加工装置	{斎藤長男・荒井伸治 宮沢生行	721120	ヘテロジャクションの製造法	{伊吹順章・吉沢達夫 大西 勝
718854	ガスレーザ装置	谷口 一郎	721121	半導体装置	伝田隆治
718855	マイクロ波加熱装置	小畑哲男	721122	貨車加減速装置	岸本 健・小倉新三
720047	高圧蒸気放電管	大盛真次・近藤 登	721123	半導体装置の製造方法	米田良忠
720188	平衡装置付移動体	田中睦務・林原 毅	721124	エレクトロルミネセンス発光装置	倉橋浩一郎・池端重樹
720189	多段警報装置付計器	{武田克己・三好明好 桜井五十次	721125	半導体ドーピング装置	{中村邦宏・藤川恭一郎 西面宗男
720190	マイクロ波フェライト変流器	立川清兵衛・小畑哲男	721126	TV音声多重ステレオ受信回路	寺田 武
720191	マイクロ波変流器	立川清兵衛・小畑哲男	721127	マトリックス光授受装置	中尾佳生
720192	長さ計測装置	山下弘雄	721128	マトリックス光授受装置	中尾佳生
720193	筒状送風機	新倉宗寿	721129	不純物拡散方法	中原征人・亘 善彦
721109	光導電セルの製造方法	{大西 勝・吉沢幸夫 伊吹順章	721130	電気ノコ	未松義次
721110	有線電話装置	小林信三	721131	太陽電池パネル	泉田喜一郎
721111	料金調定方式	芝浦寿宏	721132	集じん装置	下口正雄
721112	気体温度測定装置	森川鉄也・野間口 有	721133	直熱形陰極	小坂橋正康・佐野金治郎
721113	3相2相変換用変圧器	菅 寿郎	721134	角度検出装置	石井康一・倉藤 康
721114	発電機の励磁装置	米沢英憲	723130	車両用暖房装置	高橋 剛

<次号予定> 三菱電機技報 Vol. 49 No. 4 冷凍と空調特集

特集論文

- 事業場の冷房の労働者への影響
- 冷凍冷蔵クーリングユニット
- 低温冷蔵庫の応用
- 並列圧縮式半密閉形コンデンシングユニットの特性
- 冷凍サイクルにおける信頼性 H<sub>2</sub>/R<sub>2</sub>/Li システム
- 冷凍多段形オープンショークエースのエアカーテン

普通論文

- FP ROM (Field Programmable Read Only Memory) 書込装置
- PVK-CdS 複合層感光板を用いた電子写真方式
- 36 kV 25 kA SF<sub>6</sub> ガスしゃ断器
- 原子炉制御保護系リレーラック

三菱電機技報編集委員		三菱電機技報 49 巻 3 号		昭和 50 年 3 月 22 日印刷
委員長	松岡 治	常任委員	本間吉夫	昭和 50 年 3 月 25 日発行
副委員長	神崎 遼	"	三輪 進	
"	武藤 正	"	吉山裕二	定価 1 部 300 円 (送料別) 無断転載を禁ず
常任委員	伊藤一夫	委 員	飯田春吉	編集兼発行人 松岡 治
"	宇佐見重夫	"	粕谷一雄	印刷者 高橋 武夫
"	大田重吉	"	久保博司	印刷所 東京都新宿区市谷加賀町 1 丁目 12 番地
"	北川和人	"	熊本 永	大日本印刷株式会社
"	祖父江晴秋	"	橋爪 基	発行所 東京都千代田区丸の内 2 丁目 2 番 3 号 (〒100)
"	塚本信雄	"	林 昇寿	三菱電機株式会社内
"	久松章三		(以上 50 音順)	「三菱電機技報社」Tel. (03) 218 局 2 3 2 3
"	日野雅行			発売元 東京都千代田区神田錦町 3 丁目 1 番地 (〒100)
		3 号特集担当	北川和人	株式会社 オーム社書店
				Tel. (03) 291 局 0912, 振替口座 東京 20018