

MITSUBISHI

三菱電機技報

MITSUBISHI DENKI GIHO Vol.61 No.2

2
1987

交通特集



交通特集

目次

特集論文

交通におけるニーズと技術開発の展望……………	1
曾根 悟	
最近の列車運行管理システム……………	3
石田隆朗・六藤孝雄・館 精作・村木一己・祖父江幸男	
鉄道車両における情報システムの動向……………	8
森原健司	
最近の車両推進制御システム……………	14
成戸昌司	
最近の車両用主電動機……………	20
宗行満男・地藏吉洋	
車両補助電源システムと空調システムの動向……………	27
松永健市郎・東濱忠良・加我 敦・米畑 譲・堤 好一郎	
最近の列車無線システム……………	33
田口俊生・松本和臣・湯原 裕・横山保憲・三井和夫	
最近の電鉄用電力供給システム……………	38
田中潤次郎・田中 実・青木芳博	
最近の駅務システム……………	42
大倉忠廣・森本博文・有村慎一・福井 毅・松本眞二	
車両基地におけるコンピュータ利用……………	47
高橋啓一・本多隆一・水谷次雄・川原和孝・吉村元由	
東京急行電鉄(株)向けバス運行管理システム……………	51
高橋信一・新川 清・中平泰男・川原健志・間仁田俊行	

普通論文

小田急電鉄(株)納め運転教習シミュレータ……………	56
佐藤 薫・武 昭价・本多隆一・星野正光・柿元栄三	
東海道・山陽新幹線向け100系電車用電機品……………	61
植田幸雄・遠藤道忠・田原 先・関根康祐・牧 美好	
車両補助電源用新シリーズインバータ装置……………	64
—MELSIV—2000シリーズ—	
米畑 譲・松浦敏明・松本新吾・笠原 清・中谷俊雄	
三菱汎用シーケンサにおけるデータリンクシステム《MELSEC-NET》……………	70
伊藤善文・葛西由夫・伊藤龍夫・橋本正人	
気中アーク制御VJC方式配線用遮断器……………	77
山本清美・久常文之・田丸繁見・山県伸示・藤井 洋	
特許と新案……………	84
ディスプレイ用陰極線管	
スポットライト	
パワーマニピュレータ……………	82
三端子レギュレータシリーズ……………	83
多機能電源用ICシリーズ……………	(表3)

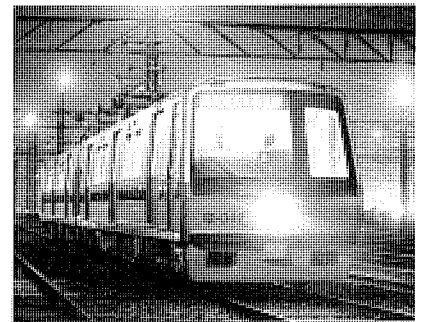
表紙

東京都交通局12号線試作車両

表紙は東京都交通局が、12号線用として試作した車両である。この車両には積極的に最新技術が導入され、安全性や乗客サービスの向上・省エネルギー化・省保守化等これからの地下鉄車両にふさわしい機能が備えられている。

推進システムが直流モータを使用した方式からインバータ制御による交流モータ駆動方式となったのをはじめとして、主要機器にGTOサイリスタやマイクロコンピュータなど最近のエレクトロニクス技術が大幅に採用されている。

また、列車全体の機能を総合的にとらえるために、車上集中制御装置が階層化複合コンピュータシステムとして構築されている。これは、光ネットワークを中核に、主要機器に対する制御指令とモニタリングを行うもので、表紙写真にこのシステムの一環として制御される液晶の「行き先表示」が見える。



アブストラクト

最近の列車運行管理システム

石田隆朗・六藤孝雄・館 精作・村木一己・祖父江幸男
三菱電機技報 Vol.61・No.2・P3～7

近年の伝送技術とコンピュータ技術の飛躍的進歩は、鉄道分野における各種の運用管理システムにも大きな変化をもたらし、より高い信頼性と使いやすさを目指して、種々の試みがなされている。

ここでは、その中心となる列車運行管理システムについて、技術的動向と新しく開発された要素技術を紹介し、最近の納入事例について、その構成と特長を述べる。

車両補助電源システムと空調システムの動向

松永健市郎・東濱忠良・加我 敦・米畑 謙・堤 好一郎
三菱電機技報 Vol.61・No.2・P27～32

首都圏の車両冷房化率は85%に達しているが、冷え過ぎ防止や除湿に対する機能向上を強く求められている。エレクトロニクス応用によって、こうしたニーズにこたえられるようになり、車両冷房からより快適な車両空調へ脱皮が可能になった。しかも空調の電源まで含めて、車両内のシステム化を図れば機器間の重複した機能が整理され、小形軽量化や高効率化も促進できる。

鉄道車両における情報システムの動向

森原健司
三菱電機技報 Vol.61・No.2・P8～13

近年、鉄道車両はパワー半導体やマイコンなどによって高度に電子化され、高性能化・高機能化・省エネルギー化・乗客サービスの向上など多くの課題を克服してきた。しかし、更にその成果を大きいものにするには、列車を一つの装置ととらえ、個々の機器をインテリジェント化し、更にそれらの機器を直列伝送路で結び、シンプルな構成とすることを提案した。その具体例として車上試験装置や車上集中制御装置などの情報システムについて述べる。

最近の列車無線システム

田口俊生・松本和臣・湯原 裕・横山保憲・三井和夫
三菱電機技報 Vol.61・No.2・P33～37

国内・欧米の列車無線の技術動向を概観し、次いで日本国有鉄道（新幹線・在来線）と欧米の列車無線システムの用途・仕様・特長を述べ、鉄道の効率化・近代化のために列車無線は不可欠となっており、従来からの電話に加えデータ通信により車両保守管理の分野にまで活用されている現状を紹介する。特に新幹線のトンネル用及びLCX（漏えい同軸ケーブルの略称）用無線中継方式と機器の開発は、永年にわたるノウハウの蓄積を基に高信頼度システムへと発展を重ねて、いずれも対列車通信に大きく貢献している。

最近の車両推進制御システム

成戸昌司
三菱電機技報 Vol.61・No.2・P14～19

エレクトロニクス技術の導入によって、鉄道車両は推進制御システムを主に大きく進歩している。多様化している車両ニーズから技術開発のテーマを整理し、その幾つかを実現している4象限チョップパやVVVFインバータ制御方式の最新技術を中心に、その基幹要素技術について述べる。特にGTOサイリスタ応用技術、マイコン応用の高粘着制御技術など当面の課題については、試験結果を含め具体的に述べる。

最近の電鉄用電力供給システム

田中潤次郎・田中 実・青木芳博
三菱電機技報 Vol.61・No.2・P38～41

最近の電鉄電力供給システムはパワーエレクトロニクス技術、マイクロエレクトロニクス技術の浸透により特長づけられ、受変電機器における絶縁・冷却の技術の向上とあまって、過去にはみられない新しい機能・性能をもち、より近代化されたシステムを提供できるようになった。本稿では電力供給システムの各構成要素について技術動向を述べるとともに、今後のシステムの方向についても考察を試みる。

最近の車両用主電動機

宗行満男・地藏吉洋
三菱電機技報 Vol.61・No.2・P20～26

近年のパワーエレクトロニクスやマイクロエレクトロニクスの発展に伴い、鉄道車両もカム式抵抗制御車の時代からチョップパ車、インバータ車の時代へと変化しており、主電動機に対するニーズも直流直巻電動機だけでなく分巻電動機や誘導電動機、更にはリニアモータへと多様化してきている。これらの状況を踏まえ以下に主電動機に関する最近の技術について述べ、あわせて製作例を紹介する。

最近の駅務システム

大倉忠廣・森本博文・有村慎一・福井 毅・松本眞二
三菱電機技報 Vol.61・No.2・P42～46

鉄道における駅業務は、乗車券関係業務・旅客案内業務・運転関係業務・管理業務に分類されるが、乗車券関係業務・旅客案内業務が大半を占めており、機械化・システム化が進められている。本稿では、駅における主要業務の機械化・システム化の状況を要約するとともに、当社が最近製作した機器・システムを紹介し、更に今後の機械化・システム化の動向についても述べる。

Abstracts

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 61, No. 2, pp. 27 ~ 33 (1987)

Recent Trends in Auxiliary Power Supplies and Air-Conditioning Systems for Trains

by Ken'ichiro Matsunaga, Tadayoshi Tohama, Atsushi Kaga, Yuzuru Yonehata & Koichiro Tsutsumi

The percentage of passenger railcars in metropolitan Tokyo with air conditioning has reached 85%, but there is still a strong demand for improvements in the equipment to eliminate local overcooling and to reduce humidity. The introduction of electronic technology has enabled these needs to be met, increasing passenger comfort by upgrading from cooling to true air conditioning. It has also enabled a rationalization and systematization of railcar equipment, including the power supplies for air conditioning, that has eliminated unnecessary overlaps between equipment, reducing its size and weight and increasing its efficiency.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 61, No. 2, pp. 3 ~ 7 (1987)

Recent Trends in Train-Traffic Control Systems

by Takaharu Ishida, Takao Muto, Seisaku Tate, Kazumi Muraki & Yukio Sobue

Recent dramatic advances in computer and communication technologies have had a major impact on railway operation-control systems. Much effort has been directed at improving the reliability and ease of use of these systems.

Train-traffic control is central to all such systems. The article introduces technical trends and newly developed individual technologies as they have been applied to major systems for train-traffic control. It also cites recent installation examples, describing the system configuration and its features.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 61, No. 2, pp. 33 ~ 37 (1987)

Recent Train Radio Systems

by Shizuo Taguchi, Kazuomi Matsumoto, Hiroshi Yuhara, Yasunori Yokoyama & Kazuo Mitsui

After outlining technical trends in train radio systems, the article goes on to discuss the applications, specifications, and features of train radio systems in Japan's National Railways, Europe, and the United States. The article points out the current extension from conventional telephone communications to data transmission, and the role this can play in the management of rolling-stock maintenance. It also introduces the LCX wireless relay system used in Shinkansen Line tunnels, which obviates the need for coaxial-cable installation, and achieves high reliability.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 61, No. 2, pp. 8 ~ 13 (1987)

Trends in Information Systems for Railway Vehicles

by Kenji Morihara

Electronic engineering, from power semiconductors to microprocessors, plays an increasingly important part in railway vehicles, making significant contributions in a number of areas such as better performance, lowered energy requirements, and improved passenger service.

However, the article suggests that if further major advances are to be made, a train must be taken as an entity comprising a number of individual items of equipment, each of which must be rendered more intelligent, and all of them linked by a serial dataway to form a single, simple configuration. Practical examples are cited, including information systems for on-board test equipment and centralized control equipment.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 61, No. 2, pp. 38 ~ 41 (1987)

Recent Traction Power-Supply Systems

by Junjiro Tanaka, Minoru Tanaka & Yoshio Aoki

Recent traction power-supply systems, characterized by the increasing adoption of power-electronic and microelectronic technology accompanied by corresponding improvements in the technologies for insulation and cooling in substation equipment, offer new and unparalleled functions and performance. It has thus become possible to devise thoroughly modernized systems.

The article describes technical developments in the elements constituting traction power-supply systems, and suggests trends likely to be followed in future systems.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 61, No. 2, pp. 14 ~ 19 (1987)

Up-to-Date Technology for Propulsion Control for Electric Rolling Stock

by Masashi Naruto

The introduction of electronic technology to electric rolling stock has contributed to some major advances, particularly in propulsion-control systems. The article treats technical developments in terms of diversifying rolling-stock needs, describing the technology basic to these advances, concentrating on new technical developments such as four-quadrant chopper control and VVVF-inverter control. In particular, it introduces the Corporation's most advanced technology, including test data, in current topics of high interest such as GTO-thyristor applications and the use of microprocessors for high-adhesion control.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 61, No. 2, pp. 42 ~ 46 (1987)

The Latest Automation Systems for Railway Stations

by Tadahiro Okura, Hirofumi Morimoto, Shin'ichi Arimura, Takeshi Fukui & Shinji Matsumoto

Operations at railway stations may be divided into passenger-ticket business, the guidance and direction of travelers, operations directly involved in running the trains, and the tasks of management. Passenger-ticket business and the guidance and direction of travelers constitute the great majority of these operations, and advances are being made in their systematization and mechanization.

The article briefly introduces the current state of automation of these main operations at railway stations, introduces equipment and systems recently built by the Corporation, and explores future trends in systemization and mechanization.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 61, No. 2, pp. 20 ~ 26 (1987)

Up-to-Date Technology for Traction Motors

by Mitsuo Muneyuki & Yoshihiro Jizo

In step with developments in power electronics and microelectronics, railcars are leaving the era of cam-type resistive propulsion control for chopper and inverter control. In traction motors, too, the trend is away from a preponderance of direct-wound DC motors toward diversification, with the adoption of compound-wound motors, induction motors, and even linear motors. Against this background, the article describes the latest technological developments in traction motors and introduces some products embodying them.

アブストラクト

車両基地におけるコンピュータ利用

高橋啓一・本多隆一・水谷次雄・川原和孝・吉村元由
三菱電機技報 Vol.61・No.2・P47～50

従来、車両基地におけるコンピュータ利用は、検修業務のごく一部に適用されているにすぎなかった。しかし、近年のコンピュータ技術の進歩により、難かしいとされていた各種基地業務の自動化が進み省力、省エネルギーに大きく貢献している。

ここでは、最近の基地業務の自動化の傾向、及び具体的事例をあげその構成と特長を述べるとともに、今後の方向を展望する。

車両補助電源用新シリーズインバータ装置 —MELSIV—2000シリーズ—

米畑 譲・松浦敏明・松本新吾・笠原 清・中谷俊雄
三菱電機技報 Vol.61・No.2・P64～69

近年、車両冷房装置の普及と負荷の多様化により、補助電源装置がますます大容量化され、従来のMGに替わる静止形補助電源装置（Static Inverter：SIV）の需要が増大している。当社では1966年に我が国初のSIV装置を納入以来、数多くの実績をあげている。今回、近年の電力半導体進歩の流れにそった“GTO二重チョッパ、トランジスタインバータ”による高効率、小形軽量、低騒音形の車両用補助電源装置を開発したので、その概要、試験結果を報告する。

東京急行電鉄(株)向けバス運行管理システム

高橋信一・新川 清・中平泰男・川原健志・間仁田俊行
三菱電機技報 Vol.61・No.2・P51～55

路線バス業界の課題である定時運行、等間隔運行、乗客へのサービス向上、営業所事務処理の自動化などの実現を目的としたバス運行管理システムを、東京急行電鉄(株)の指導のもとにミニコン（M70/30）とオフコン（M80/20）を用いて開発した。このシステムは運行指示内容を表示する車載機などのH/W開発、運行にかかわる予測アルゴリズムのS/W開発など従来システムにない大きな特長をもっている。ここにシステムの機能その他の概略について述べる。

三菱汎用シーケンサにおけるデータリンクシステム 《MELSEC—NET》

伊藤善文・葛西由夫・伊藤龍夫・橋本正人
三菱電機技報 Vol.61・No.2・P70～76

現在、FAの中核を担う役割を果たすようになってきた汎用シーケンサにおいて、データリンクシステムは不可欠の要素となっている。

このたび、新形汎用シーケンサ《MELSEC—Aシリーズ》を開発するにあたり、従来の《MELSEC—Kシリーズ》用データリンクシステムの機能、性能を大幅アップしたデータリンクシステム《MELSEC—NET》を開発した。このデータリンクシステムの機能、特長を紹介する。

小田急電鉄(株)納め運転教習シミュレータ

佐藤 薫・武 昭价・本多隆一・星野正光・柿元栄三
三菱電機技報 Vol.61・No.2・P56～60

電車の運転士になるには、8科目に及ぶ学科と実技の国家試験に合格しなければならない。従来のシミュレータは、もっぱら実技訓練のみを目的としていたが、今回開発したシステムでは、実車を模擬した車両の前方に風景を投影する以外に、信号/標識、運転曲線、写真、Q&AなどをCRT表示することによって、臨場感あふれる環境の中で、運転理論、運転法規、車両故障時の対処方法、救援運転の能力、などを幅広く立体的に教習することができる。

気中アーク制御VJC方式配線用遮断器

山本清美・久常文之・田丸繁見・山泉伸示・藤井 洋
三菱電機技報 Vol.61・No.2・P77～81

電極蒸気の放出現象に着目したVJC（Vapour Jet Control）方式の新しい限流遮断技術の開発に成功し、従来品では実現できなかった高限流遮断器の実現を果たした。VJCアークの現象解析と高いアーク電圧の発生するメカニズムを分析し、これを遮断器へ適用したときの性能向上、効果などについて触れる。

東海道・山陽新幹線向け100系電車用電機品

植田幸雄・遠藤道忠・田原 先・関根康祐・牧 美好
三菱電機技報 Vol.61・No.2・P61～63

100系新幹線電車は、東海道・山陽新幹線のモデルチェンジ車として製作されたもので、多くの新技術が採用されている。最高速度が230km/hにアップされ、食堂車やグリーン車に2階建車が導入された。主回路方式は、力行は200系同様、サイリスタ位相制御方式を、電気制動は0系と同様、抵抗カム軸発電制御方式を採用するなど、機能面並びにハードウェア面において、0系並びに200系電車の実績を反映している。

Abstracts

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 61, No. 2, pp. 64 - 69 (1987)

A New Series of Static-Inverter Auxiliary Power Sources for Rolling Stock

by Yuzuru Yonehata, Toshiaki Matsuura, Shingo Matsumoto, Kiyoshi Kasahara & Toshio Nakatani

The increasing multiplicity of loads that must be supplied by auxiliary power sources in rolling stock, including the widespread installation of air conditioners, means that their sources must have correspondingly larger capacities. This has increased demand for static inverters (SIVs) to replace conventional motor-generator sets. Ever since the Corporation supplied the first Japanese SIV in 1966, it has established a strong installation record for SIVs. The article describes the development of an auxiliary power source for rolling stock that employs the latest advances in power-semiconductor technology—a GTO double-chopper transistor inverter—to achieve high efficiency, compact size, and low operating noise. An outline of the equipment and test results are also given.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 61, No. 2, pp. 47 - 50 (1987)

The Application of Computer Systems to Railcar Depots

by Keiichi Takahashi, Ryuichi Honda, Tsugio Mizutani, Kazutaka Kawahara & Motoyoshi Yoshimura

The use of computers in railcar depots used to be limited to a few aspects of training operations. However, in recent years the progress in computer technology has enabled major advances to be made in automation, labor saving, and reduced energy consumption in basic depot operations previously thought intractable.

The article examines recent trends in the automation of these basic depot operations, cites typical examples with their structure and characteristics, and surveys future trends.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 61, No. 2, pp. 70 - 76 (1987)

MELSEC-NET, a Data-Link System for General-Use Programmable Controllers

by Yoshifumi Ito, Yoshio Kassai, Tatsuo Itoh & Masata Hashimoto

Data-link systems are an indispensable element in enabling general-use programmable controllers to perform their leading role in factory automation. For our new MELSEC-A series of general-use programmable controllers, we developed the MELSEC-NET system by upgrading the functions and performance of the data-link system used with MELSEC Series K. The article introduces the functions and special features of the new data-link system.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 61, No. 2, pp. 51 - 55 (1987)

A Service Controlling System for Tokyu Corporation's Route Buses

by Shin'ichi Takahashi, Kiyoshi Shinkawa, Yasuo Nakahira, Takeshi Kawahara & Toshiyuki Manita

This system, developed under the guidance of the Tokyu Corporation, achieves automation of bus-service control including scheduling and spacing of buses, improving passenger services, and automation of bus terminal operations. The system centers on a Melcom 70 Model 30 minicomputer and a MELCOM 80 Model 20 office computer. It offers such important improvements over the earlier system as bus on-board hardware for display of driving instructions and software for generating predictive algorithms related to driving. The article outlines the system's functions and other parameters.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 61, No. 2, pp. 77 - 81 (1987)

Molded-Case Circuit Breakers with Vapor Jet Control

by Kiyomi Yamamoto, Fumiyuki Hisatsune, Shigeru Tamaru, Shinji Yamagata & Hiroshi Fujii

We have developed molded-case circuit breakers with high current-limiting capacities never before attainable by applying the electrode-vaporization phenomenon in our Vapor Jet Control (VJC) system. Analyses of VJC arcing phenomenon and of the mechanisms that generate high arcing voltages were applied to MCCBs, resulting in the increases in performance and effectiveness discussed in the article.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 61, No. 2, pp. 56 - 60 (1987)

A Railway Training Simulator for the Odakyu Electric Railway Co., Ltd.

by Kaoru Sato, Akiyoshi Take, Ryuichi Honda, Masamitsu Hoshino & Eizo Kakimoto

In order to become a railcar operator in Japan, a written examination in eight subjects and a national accreditation test of operator skills must be passed. Previous simulators were designed primarily to develop operator skills, but the system described in the article was designed to impart and foster a wider and well-rounded operator education. It therefore features not only the use of a model railcar in front of which images of scenery are shown on a screen using a video projector but also signals and signs, run curves, photographs, and questions and answers. This combination creates a realistic operating environment in which instruction in operating theory and regulations can be given, along with the correct ways to deal with railcar breakdowns and the development of other operator skills.

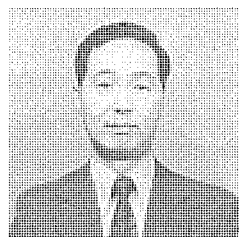
Mitsubishi Denki Giho: Vol. 61, No. 2, pp. 61 - 63 (1987)

Electric Equipment for Series 100 Shinkansen Trains

by Yukio Ueda, Michitada Endo, Susumu Tahara, Yasuhiro Sekine & Miyoshi Maki

Series 100 Shinkansen trains were manufactured as replacements for the trains serving the Tokaido and Sanyo Shinkansen lines, and they incorporate a number of new technologies. Maximum speed has been raised to 230km/h, and double-decker construction has been adopted for the "green" (first-class) and dining cars. Phase control of thyrista is used for powering control, as with the Series 200, and rheostatic brake system with resistor switch for braking control, as with the Series 0. The new series therefore reflects, in both functions and hardware, the advances made in Series 200 and Series 0.

巻頭言



東京大学工学部教授
工学博士

曾根 悟

交通におけるニーズと技術開発の展望

1. 交通をとりまく社会的ニーズ

長期的な視点から、わが国の交通問題の現状を眺めてみると、以下のような多くの問題点が明らかになる。人々の生活レベルを衣・食・住・交に分けてみると、衣と食は世界最高レベルに達しており、改善の遅れている住も少くとも量的には不足の時代から過剰の時代に入った。これらに対し交通のみがまだ“戦後”から脱しきれず、通勤輸送は混雑するのが当然で、押し込み・剝ぎとり・積み残しといったことが日常的に見られ、新幹線ですら座席確保が利用者の最大の関心事となるほど混雑が見られる。これは欧米諸国では、見られない現象である。一方、輸送密度の低い地方の路線では、鉄道・バスを問わず維持自体が困難になっており、公共交通網の廃止による、いわゆる transportation poor の問題が深刻化している。現象的にはモータリゼーションの進んだ先進国に共通の悩みといえるが、量的に見ればヨーロッパでは廃止対象にならないような、2,000~4,000人/日もの交通量のある鉄道を廃止しようとするなど、経営上または政策上看過し得ない問題もある。

この他、世界共通の問題として、道路交通に伴う事故、渋滞、環境問題もあり、中でも交通事故は自然災害や戦争、他の事故等比べてはるかに多くの不慮の死をもたらしており、大問題である。

一方、短期的な視点では、国鉄改革に伴う過渡的なさまざまな歪と、巨大都市周辺に見られる緊急性の高い輸送力増強のニーズが見られる。国鉄改革では低コスト運営の実現のために、他産業が長年月かけて進めてきた生産性向上を一気に急ピッチで行う結果として相当の余剰人員が出るだけでなく、組織の変更に伴って一時的にせよ車両等の発注が減少して、関連産業にも重大な影響が及ぶことになる。現在はこのような暗い面が表面化しているが、首都圏の通勤輸送や、東海道、東北新幹線のように、経営上拡大経営が有利なところでは、やがてかなり思いきった額の投資が行われることは明白である。また、この改革を機会に、民鉄に対する規制が緩和されて運営上の自由度が増し、第2種鉄道事業の新規参入も可能となるなど、民鉄側もこれまでよりも一層積極的な経営をされることが期待できよう。

このような点を考えると、本来、鉄道の活性化に有効な国鉄改革

ではあるが、一時的な停滞のために産業界が工夫をして、この時期をうまく乗りきらないと、国民にとっても産業界にとっても、取り返しのつかない結果を生じる可能性もある。

2. 技術開発の方向性

紙面の都合で十分な根拠は示し得ないが、わが国の公共交通機関に関するこれまでの技術開発には、経営・サービス上好ましくない共通点があった。その第一は、ニーズに合わせた技術開発というよりも、ニーズ(種)を育てる形の技術開発が多かったことであり、第二に、乗客のための技術よりも、運営側の都合を優先する技術が多くとられてきたことである。これらは、既に民営化を控えた国鉄で明確に潮流が変化しており、当然民鉄も民鉄らしくサービス向上に本腰を入れることとなろう。もう一つ、第三点として、これまでの技術開発は、失敗が許されないという雰囲気で行進することが多く、結果的に大きな進歩が実現し難かった、という点が指摘できる。欧米のように、開発には失敗がつきもの、と割りきる雰囲気はわが国には弱く、この点ではどこまで改善できるか、筆者にも見当がつかかねるが、政策官庁への脱皮を図りつつある運輸省に、大英断をもって指導方針の転換を図ることを提言したい。

3. 具体的な開発課題

ここでは、これまでなじみの良かった seeds-oriented な、VVVF制御とかモニタリングシステムとかいった分類を敢えて捨てて、needs-oriented な形で、具体的課題例の提示を試みたい。

(1) 大都市における高密度輸送能力の向上

専用の軌道を持ち、高度な保安系に安全を保障された鉄道が2分に1本の列車しか通すことができず、人間の注意力だけが頼りの自動車が高速道路上を数秒間隔で走っている、というのはバランス上異常である。大都市の通勤輸送で強いニーズがありながら、これまで輸送密度向上のための総合的な対応がなされなかった結果が現在の通勤地獄であり、これが自ら鉄道離れを助長してきた。保安系に移動閉塞などを採用し、ネックとなる主要駅と端末駅の構内配線等を若干改善し、運行管理をもっときめ細かく行って時隔の精度を高め、乗客の誘導案内系の整備と増発による混雑緩和の相乗作用で駅停車

時間を縮め、都市近くの高密度運転区間では通過列車主体のダイヤとするなど、総合的な対策をとれば、複線で長大編成の列車を片道1時間当たり48本(現状最大30本程度の60%増)程度運転できる筈である。

このような高密度輸送区間では少しのダイヤ乱れも、システムの大きな混乱に発展しやすいので、車両等には従来のような高い信頼度が要求されるとともに、不都合が発生した場合に素早く適切な処置がとれるよう、モニタリングシステムや高度な運行管理システムの開発も必要となろう。

(2) 公共輸送の高速化

交通システム全体の質を高めるためには、できる限り公共交通システムの魅力を増して、個別輸送より公共輸送を選択する機会を増やすことが有効である。そのための効果的な方法は公共輸送のスピードアップである。ここでいうスピードアップとは最高速度を高くすることではなく、待ち時間等も含めた乗客の所要時間を短縮することである。

道路系では、信号系に公共輸送優先制御を組み込むとか、専用レーン、優先レーンなどの合理的規制も考えられる。また、現状のように制限速度を低めに設定しておいて、ある程度速度超過を黙認する方式は、結果的に公共交通優先と逆の効果を持つことにも注意する必要がある。

鉄道では、不必要な速度制限を課すことのない信号システムやATO等の開発、粘着性能を向上してこれを十分に活用した高性能な駆動系の開発、総停車回数を合理的に減らすことによる高速化などが有効な方法で、いずれも needs-oriented な技術開発を必要とする。

(3) 需要把握技術の開発

交通業界は他の業種と比べてこれまで市場調査に消極的であった。設定したダイヤでの乗車実績は調査しているものの、これの分析も大雑把で、ダイヤ改正に有効に反映させているとは言い難い。まして、サービスレベルと運賃・料金との関係とか、所要時間や乗換えの煩わしさ等の乗客の評価も把握していないため、全く新しいサービスを開始した際の従来サービスとの分担率の変化などは、大幅にはずれるのが常となっている。改札口等主要な部分に通過人員のカウンターをつけたり、車両で測っている乗客重量のデータを記録するなどして、乗車実績の詳細なデータをとったり、アンケート等により潜在的なニーズを探るなどして、より多くの満足を与えることにより、自らの発展を図るべきであろう。

(4) 低コスト軌道系の開発と非軌道系への軌道的制御の導入

国鉄ローカル線の経営状態が、同程度の輸送密度の民鉄や外国の鉄道と比較して著しく悪いのは、運賃が安いからではなく、コストが高すぎるからである。このことが良いサービスの実現を妨げ、利用者数を減らすという悪循環も生じている。用途に応じて、機器の信頼度や自動化の程度などを見直し、要員を多能工化して仕事量に見合った要員数で運営するため、保守を含めた勤務形態を根本的に見直す必要がある。また、大量輸送の鉄道と少量輸送のバスとの中間の特性を持つシステムの新設要求が、都市を中心に強いニーズとして存在するが、これまでのモジュール、いわゆる新交通システムなどはいずれも建設費がかさみ、広汎なニーズに応えているとは言い難い。その最大の理由は新たな専用空間を地下か高架に作り出すことにあり、

もっと既存の路面を有効活用することを考えるべきである。その意味では、一見時代に逆行するようではあるが、軽快電車やバスをベースに、主要部分を専用軌道化し、一部は共用する方式を見直す必要がある。

(5) 柔軟な運用システム

鉄道の魅力が相対的に低下してきた原因の一つに、大量定形輸送の名の下に画一的な運営を進めてきたことが挙げられる。需要に合わせた多様な設備を提供したり、編成長の調整、列車の増発、ダイヤの修正などを、短時間で実行に移せる体制を整えて、低コストで良いサービスが提供できるよう、生産システムを変更する必要がある。このためには諸運用の作成支援システム、広報・案内・誘導システム、増解結の自動化を含めた駅構内自動運転システムの開発、列車乗務員の役割の見直し(たとえば操縦の比重を低下させ、分散配置された運行管理者としての機能を付与)などが有効であろう。これにより、少くとも都市間輸送については、いつどの列車を利用しても座席が得られる状態を早急に実現し、次いで鉄道でなければ実現困難な種々の付帯サービスをニーズに応じて採り入れることができるようになる。

(6) 安全問題への取組み

昭和50年代10年間の乗客死者数(職員を含み病死を除く)を輸送量(人×km)で割った比率は、国鉄を1とすると民鉄0.3、航空機35、自動車3,250であり、鉄道(国・民鉄計)に比べ自動車の危険率は何と4,300倍に達している。このような状況の下で、交通による人命の犠牲を減らす最も有効な方策は自動車の乗客を少しでも鉄道に誘導することである。もちろん自動車の安全性を高めることも重要で、コストを考えるとときわめて困難が予想されるが、安全誘導システム、車線・車間距離制御システム、不適格運転者排除システムなどの開発が強く望まれる。鉄道の安全にとって最大の弱点は踏切であって、ここでの事故発生確率を減らすための警報時間制御や支障検知システムの開発には引き続き力を注ぐ必要がある。

(7) 省エネルギー・省資源・環境対策

自動車の輸送量あたりエネルギー消費率が鉄道のそれの約7倍であることから、ここでも鉄道への誘導の有効性は明白である。安全問題と合わせて、鉄道の魅力を増やすことの社会的意義は大きい。

自動車の利便性を直接鉄道に求めることは困難であるから、他の方策も考える必要がある。駆動技術、軽量化技術等の進歩を十分に取入れた第2世代の電気自動車は、かつて成功し得なかった汎用性を持ち得る可能性が出てきているし、各種の形態で鉄道との結合輸送を進めることで、両者の利点を享受できる可能性も大きい。低コストのカートレインや、列車ホームを自動化した駐車場にして乗換えを容易にすることなどが考えられる。

鉄道側では、新製車両の回生ブレーキは今や当たり前になったが、既存車の改造や、これに合わせた協調的地上システムの開発を急ぐ必要がある。

いずれにせよ、鉄道に対する社会の期待は大きく、今後積極的な技術開発により末永い発展が望まれている。

D 最近の列車運行管理システム

石田隆朗* 村木 一己***
六藤孝雄** 祖父江幸男*
館 精作**

1. ま え が き

新設路線建設などの設備投資が限界にきている大都市周辺の鉄道事業において、今後の輸送需要に対応し、道路交通に抗して発展するためには、単に車両性能の向上にとどまらず、業務の機械化や自動化による運用効率の向上、サービス改善による旅客誘致が不可欠な条件となっている。

このような背景の下で、列車運行業務の自動化は昭和40年代の初めから計画され、コンピュータを利用して自動進路制御や旅客案内制御などを行う列車運行管理システムの導入が、中小規模路線を中心として行われてきた。当社においても、昭和46年に最初のシステムを納入して以来、自動運転などを含めた総合システムとして技術開発を進めてきたが、従来導入が困難とされていた既設大規模路線向けの列車運行管理システムも、近年の周辺技術の進歩により比較的容易に実現できるようになり、最近相次いで導入されている。

以下では、列車運行管理システムの最近の動向を述べ、納入事例について紹介したい。

2. 運行管理システムの動向

近年の伝送技術及びコンピュータとその周辺技術の飛躍的進歩は、運行管理システムにも大きな変化をもたらし、より高い信頼性とより良い操作性を求めて種々の試みがなされているが、一般的な動向として以下の点をあげることができる。

2.1 システム構成の多様化

駅に小規模のコンピュータを分散配置し、各駅の制御機能を分担させた分散形列車運行管理システムは、昭和50年代の初めから導入が計画され、小規模システムでは既に実用に供されている。最近では大規模路線のシステムにおいても一部実用の段階に入っているが、実用化の過程で分散形システムと集中形システムの長所、短所が改めて見直され、導入目的や路線状況に応じて、それぞれの長所をいかした多様なシステム構成の採用が可能となってきた。

このような動向を反映するように、後に紹介する最近の納入事例においても、ユーザーの考え方に応じて各々特長ある構成が採用されている。

2.2 マンマシンインタフェースの高度化

CRT表示装置の解像度の向上と利用技術の進歩及び種々の入力方式の出現は、運転指令所の様相を一変させようとしている。CRTの採用により、従来のびょう(屏)風形の表示盤は縮小又は廃止も可能となり、指令所の省スペースに貢献している。また、運行図表形式のダイヤ表示や線路図形式の運行状況表示など、視認性に優れた多様な図形表示と、システムの示すガイダンスに従った簡単な操作を可能にしている。

2.3 伝送系の共用とシステムの統合化

鉄道業務の自動化は、それぞれの運用組織に対応して独立に計画され、専用の伝送系とコンピュータによりシステム化を実現してきたが、

伝送技術の進歩により各サブシステムで伝送系の共用が図られるとともに、各サブシステムを有機的に結合することによって、トータルシステムへと発展してきている。特に中小規模路線においては、当初からトータルシステムとして計画し、運用効率の向上と経済性を追求している。

2.4 情報サービスの強化

中央の運転指令所に集中する運行情報の伝達は、従来は通話のみ relied、運行乱れ発生時、指令員が問合せの応対に追われる結果となっている。このような問題を解消するため、駅務室や乗務区などの関連部所に簡易な情報端末を配して中央から運行情報を伝送し、更に旅客への情報サービス機能を強化したシステムが増えている。

2.5 知識工学の導入

知識工学の応用システムとして、エキスパートシステムに対する注目と期待は最近とみに大きくなり、鉄道分野においてもその傾向は例外ではない。特に数少ない熟練者の経験的知識により遂行されている、ダイヤ作成業務や運転指令業務に対するエキスパートシステムの適用が実験的に試行されている。

3. 要素技術の開発

以上に述べたような社会的・技術的動向を踏まえ、当社では列車運行管理システムの効率的な構築と、信頼性及び操作性の向上を目指して、各種の要素技術の開発に努めてきた。以下にその一端を紹介する。

3.1 駅制御装置

駅制御装置は分散形運行管理システムにおいて駅に配置される処理装置で、継電連動装置や旅客案内装置と結合して列車追跡・進路制御・案内表示・放送制御を行う。駅の制御進路数が100を超える大規模路線の制御に適合できるように工業用計算機《MELCOM 350-50 シリーズ》モデル A 2200 を用いて構成されている。この装置の仕様並びに外観をそれぞれ表1.と図1.に、また特長を以下に示す。

(1) ハードウェア

(a) CPUは16ビット機として最高レベルの高速処理性能をもっている。

(b) メモリ容量は512Kバイトと大容量化を図っている。二重系に構成する場合、ダイヤデータ・列車追跡データなどの共通データに対し256Kバイト単位のコモンメモリが使用される。

表 1. 駅制御装置の仕様

1. 装置構成	MELCOM 350-50 A 2200 二重系
	主メモリ 512 K バイト
	コモンメモリ 256 K バイト
2. 入出力点数	入 力 864 点
	出 力 160 点
3. 通信制御	48 Kbps 同期式 2 回線 (対中央装置)
	9,600 bps 同期式 2 回線 (対駅端末装置, 対案内制御装置)
4. 外形寸法	700 mm (W) × 800 mm (D) × 1,900 mm (H)
	(1 架当たりの寸法)

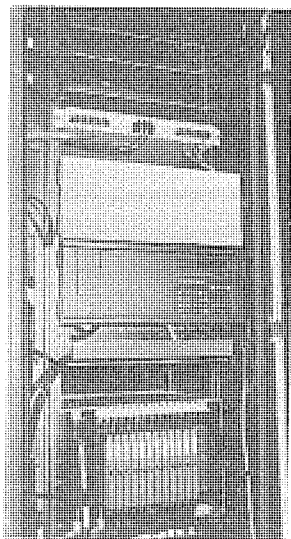


図 1. 駅制御装置の外観

(c) 中央とのデータのやりとりは、同期式 48 Kbps の通信回線を使って行われる。

(d) 厳しい設置環境に対応するために、防じん・電磁ノイズ対策を施し、空調のない状態で稼働可能な特殊シャーシを採用している。

(e) 瞬時停電対策として、すべてのメモリを CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) を使用し、完全静止化し信頼性の向上を図っている。

(2) ソフトウェア

オペレーティングシステム (OS) は、迅速なリアルタイム処理を必要とする産業各界のプラント制御システムで、十分な実績のある TSOS (Time Sharing Operating System) を採用している。

(3) 保守機能

分散配置された駅制御装置の保守を容易にするために、以下の機能をもっている。

(a) OS 並びにアプリケーションプログラムは、中央計算機から伝送系を介してローディングされる。

(b) 装置故障時のトラブルシューティングを容易にするため、エラー情報の高速退避を行い、中央で分析することを可能にしている。

3.2 CRT を使用したマンマシンインタフェース

中央指令室におけるマンマシンインタフェースは、人 (指令員) と機械 (システム) が日常的に情報交換を行う手段である。したがって、利用者にとって、①操作入力を行いやすいこと、②システムが管理する情報を速やかにきめ細かく提示できることが、マンマシンインタフェースとして要望される。



図 2. タッチ入力装置と大形 CRT を用いた操作卓

まず、操作入力に関して、運行管理システムの場合、一般に入力項目の種類が多く、項目当たりの入力情報も多いので、オペレータが迅速かつ確実に操作を行うために、コンピュータ側からの適切な支援が必ず (須) である。このような目的に沿った操作入力の方法として、タッチ入力装置と大形 CRT を用いた操作卓の例を図 2. に示す。操作卓にはパソコン《MULTI 16》を用い、その CRT 管面を囲ってタッチ入力装置が取り付けられている。《MULTI 16》に常時表示されている入力項目メニュー画面の一つをオペレータが触れれば、タッチ入力装置がタッチ面の座標を検出して中央計算機に信号を送る。中央計算機はこの信号を判別して、リクエスト項目に対応するデータ入力画面を大形 CRT に出す。大形 CRT に対する入力は通常、キーボードを用いるが、特殊な情報コード入力 (例えば駅名など) が必要な場合にはガイダンスリクエストを行うことにより、上記パソコンの画面に情報コードリストをガイダンス表示する。

以上のようにこのシステムは、①従来の押しボタン式と同じ感覚で操作できる、②必要な入力コードのガイダンス表示が得られる、③物理的な押しボタンスイッチを集約できるため、操作卓の小形化、機能変更に伴う対応が容易である、など多くの特長をもっている。

一方、表示出力用としては、20 インチの高解像度グラフィックディスプレイを使用し、運行図表形式のダイヤ表示、線路図形式の列車在線状況表示などを行い、視認性の改善を図っている。運行図表は図 3. に示すように、約 2 時間分全駅の列車運転筋を画面に表示するが、更に必要に応じ拡大表示もでき、また列車種別に応じて色替え表示し識別しやすくしている。指令員が運転状況に応じ運転整理を行う場合には、仮ダイヤ表示がなされ変更内容の確認が容易に行われる。列車在線状況は、従来、運行表示盤に表示していた閉そく単位の列車位置・先行列車・次列車・信号機・進路開通状況・遅延状況などを図 4. に示すように CRT 画面に表示するものである。

以上、マンマシンインタフェースにおいて CRT を用いた例を示したが、操作性・視認性の点で、扱え上得られる効果は大きく、指令所の省スペースにも効果を発揮している。

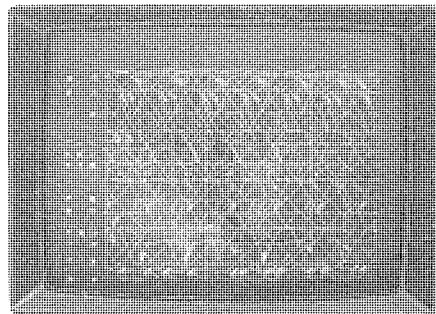


図 3. ダイヤ表示画面

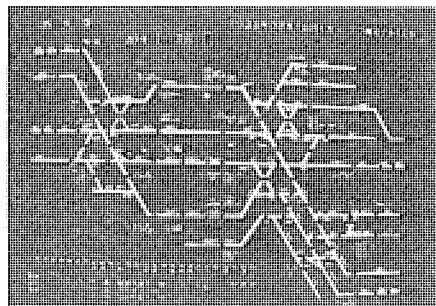


図 4. 列車在線表示画面

3.3 運転整理支援システム

現状の列車運転方式では、車両故障など不測の事態により列車ダイヤが乱れた場合に、指令員の高度な判断により運転整理が行われている。指令員は乱れたダイヤを速やかに正常ダイヤに復帰させるために、遅延状況・運転形態などの情報に基づき運行図表上で試行錯誤し整理案を作成している。

しかし、輸送力増強に伴う列車ダイヤの高密度化や列車種別の多様化に対応し運転整理には一層の迅速性が要求され、しかもその成否が社会的に大きな影響を与えるようになりつつある。このため、今後少数の熟練者への依存に対する限界が予想され、更に熟練者の将来的な減少も予想される状況にある。

以上の状況に対し、当社では以前から知識工学的なアプローチによる運転整理支援システム ESTRAC (Expert System for Train Traffic Control) の開発を進めている。これは、熟練指令員から運転整理に必要な知識を獲得して、それに基づいて整理案を自動作成する試みである。既に数々の文献などで詳しく報じているように、当初は小規模なダイヤ上で基礎的な検討を行ってきたが、現在は大都市近郊の通勤線区を対象として実用性を検証する段階に達している。

このシステム ESTRAC-III は、図 5. に示すように遅延状況を入力すると、まず代替案を自動的に作成する。この代替案は、計画ダイヤ通りの運行では定時に実施できない待避関係に着目したヒューリスティックな方法で作成される。次に、指令員が一つの代替案を選択すると、列車の運行を逐次シミュレーションしながら、必要に応じてルールベースを参照して整理案を作成する。そして、指令員が最終的な判断を下せるように、各案に対する評価値と予測ダイヤを表示する。このルールベースは、ダイヤ変更の可能性と必要条件を各列車・各駅ごとに IF-THEN 形式のルールとして記述したものである。各ルールは、

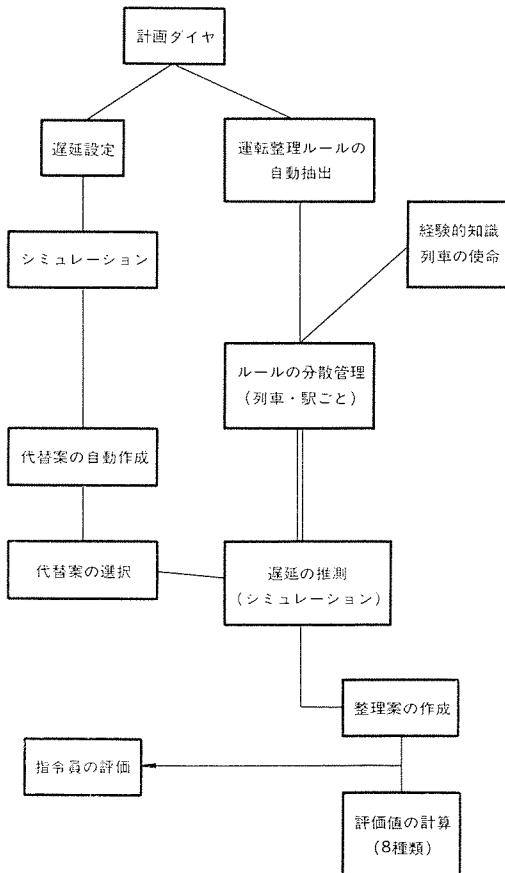


図 5. ESTRAC における運転整理支援

計画ダイヤなどからあらかじめ設定でき、しかも指令員の経験的知識や列車の使命を反映するように修正できる。

現在、様々な初期遅延に対して検討しているが、それぞれに内容の異なった整理案を短時間で作成できるので、指令員を迅速かつ適切に支援できると考えられる。

4. 最近の納入事例と特長

当社では最近、阪神電気鉄道(株)、近畿日本鉄道(株)及び小田急電鉄(株)に相次いで列車運行管理システムを納入した。これらのシステムでは、前述した技術動向を反映して、それぞれの路線条件や運用条件に応じたシステム構成が採用されるとともに、運用面でも種々の改善が図られ、マンマシンインタフェースの改善も積極的に行われている。

4.1 阪神電気鉄道(株)の列車運行管理システム

本線全線及び西大阪線を対象とするシステムで、1日の列車本数は1,500本、被制御駅は車庫を含めて17駅、列車種別の多い大規模路線である。この路線では、昭和46年以來一部の区間で列車運行管理システムを実運用しており、今回はそれを基礎にマンシンの改善、高信頼化、サービス向上を目的として、システムの更新と全線への拡張を行ったものである。

(1) システムの構成と運用

図 6. の全体構成に見られるように、このシステムは運行制御系と運行情報系に分かれる。運行制御系は既設 CTC の有効活用も考え、CTC 中央装置に計算機を接続し、中央計算機ですべての制御処理を行う集中形システムを採用している。ただし、中央の計算機システムはダイヤ情報をベースとして制御を進める PTC 系(二重系)と、各駅の簡単な制御条件と列車種別によっても制御のできる ARC 系との異ソフト準三重系の構成を採ることにより、PTC 系が故障の場合にも自動モードから手動モードへ直接グレードダウンすることを避けている。

また、運行情報系は、将来の発展性を考えて汎用の高速ループ伝送系を使用して構成し、運行制御系から運行情報系の中央計算機へ周期的に伝送される運行状況は、この伝送系を介して介して駅及び運転関係各所に設置された端末に伝えられる。

(2) マンマシンシステム

中央指令所の操作卓は全く等価な3組の操作卓からなり、指令所負荷のピーク時にも、3卓で個別にオペレーションができるよう考慮されている。各操作卓は高解像度のグラフィックディスプレイ装置、操作入力用としてのキャラクタディスプレイ装置及びライトペンから構成され、実施ダイヤを車種別に色を替えて運行図表形式で表示する機能、全駅又は駅別に列車運行状況を表示する機能などを持ち、マンマシンシステムの視認性と操作性を向上している。

4.2 近畿日本鉄道(株)の列車運行管理システム

奈良線西大寺駅を中心とした5駅を制御対象とするシステムで、昭和57年4月から奈良線東生駒駅において実験的に運用してきた分散形システムの実績と評価を踏まえ、5駅に拡張して構築したものである。西大寺駅は、奈良線、京都線及び橿原線が平面交差し、かつ車庫の所在駅でもあり、1日の運行列車本数が1,500本にものぼる、民鉄における超大形級の駅である。

このシステムは、このように複雑な西大寺駅を含めた列車運行管理システムを分散方式で実現することにより、更に広い線区を対象としたシステムに発展できることの確認を主要な目的としている。

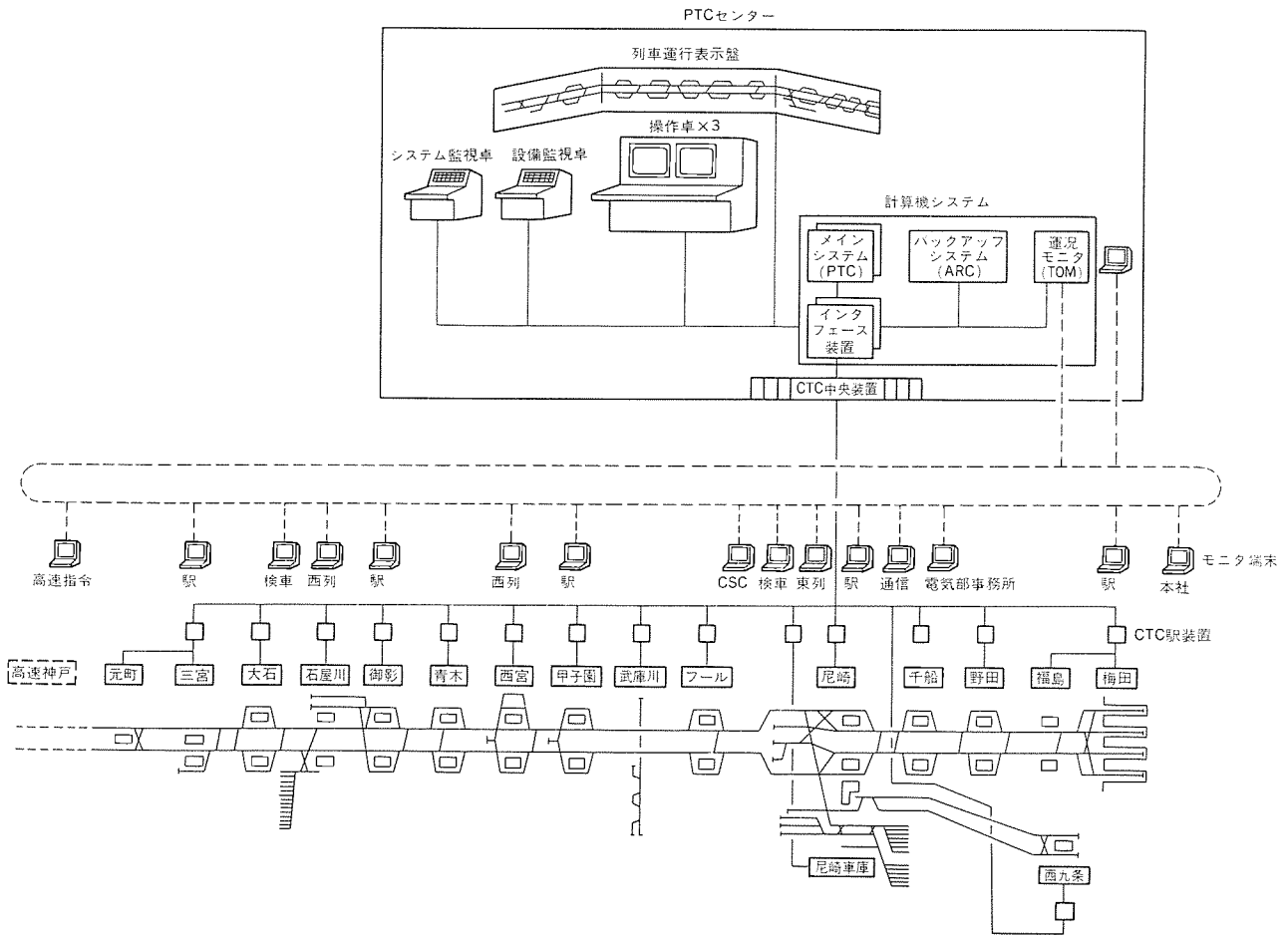


図 6. 阪神電気鉄道(株)の列車運行管理システム

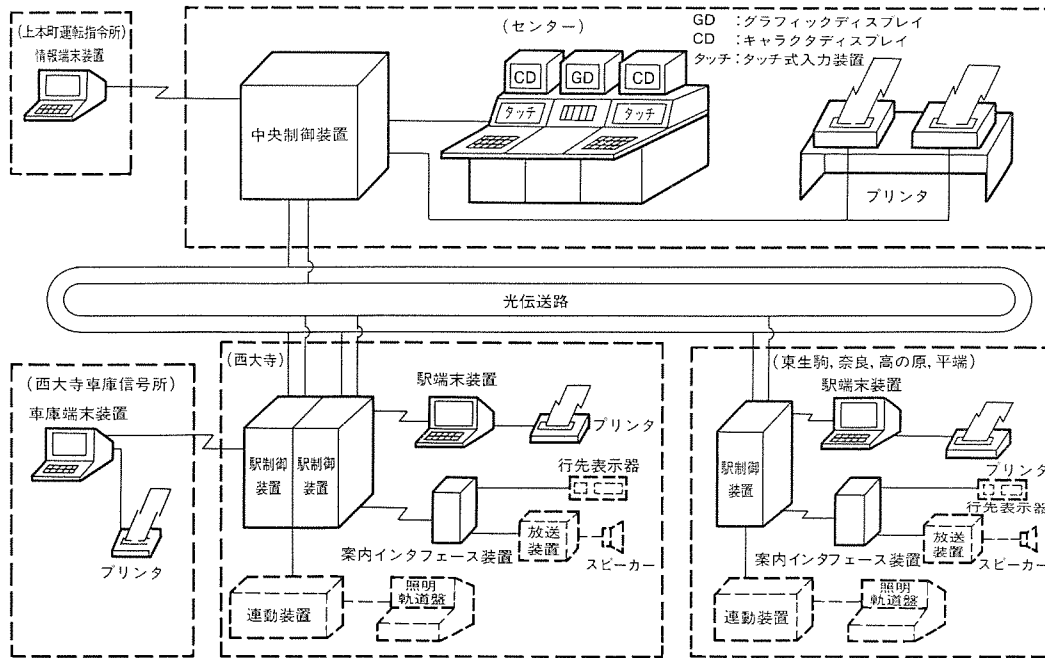


図 7. 近畿日本鉄道(株)の列車運行管理システム

(1) システムの構成と運用

図 7. にシステムの全体構成を示す。このシステムは被制御駅に駅制御装置を設置し、汎用の光ループ伝送系により中央システムと結合した分散形構成を採用しているが、これは以下の点を考慮して選択されたものである。

(a) 中央システム故障に際しても、各駅で制御が続行できる。

(b) マイコンなどの電子技術の進歩により、CTC装置を使用した集中方式と、価格的に見合うようになりつつある。

(c) この路線にはCTC装置がほとんど設備されていない。

(d) 生産性、保守性を左右する駅ソフトウェアの標準化が考えやすい。

駅システムは、各駅に共通性をもたせて標準化を図るため、機能別

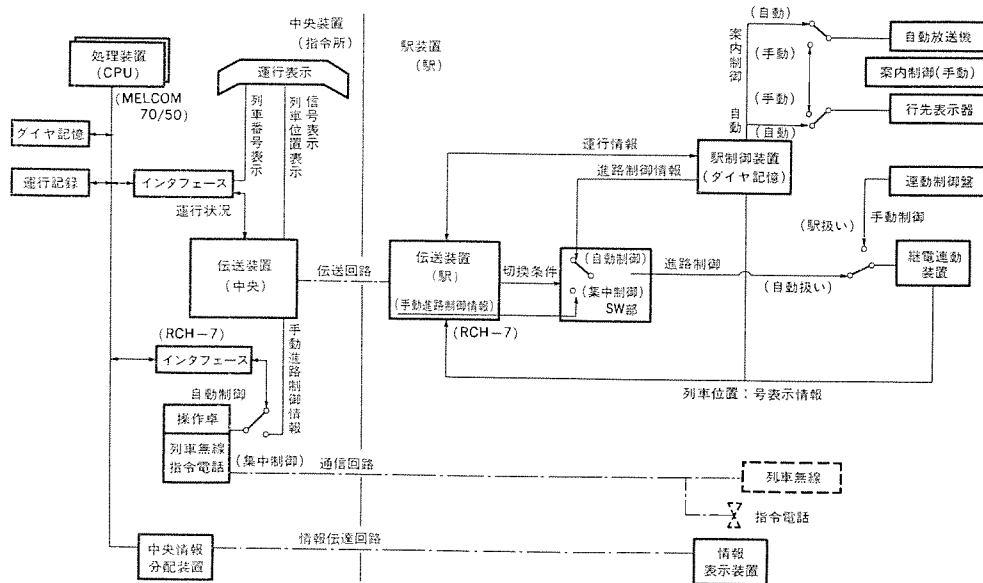


図 8. 小田急電鉄(株)の列車運行管理システム

に、駅制御装置、駅端末装置、案内インタフェース装置により構成される。駅制御装置は 3.1 節で述べた新開発のマイコンを使用し、特に西大寺駅については二重系構成として、稼働率の向上を図っている。また、駅異常時にはセンターから回復情報を 48 Kbps で高速伝送することにより、駅の速やかな回復が可能である。駅端末装置は、常時は運行状況を表示する情報端末として使用され、中央システム故障時にはバックアップとして、駅ごとの運転整理などを行う駅操作卓としての役目を果たす。

(2) マンマシンシステム

センターのマンマシンは 3.2 節でその詳細を紹介したように、グラフィックディスプレイ、キャラクタディスプレイ及びタッチ式入力装置から構成される。操作用として使用されるキャラクタディスプレイとタッチ式入力装置は 2 組設置され、繁忙時は同時操作ができるよう考慮されている。対象が 5 駅でもあり、屏風形の軌道照明盤は設けていないが、高解像度のグラフィックディスプレイの表示は、十分にこれをカバーしている。また、本来の運転指令所には情報端末が設置され、運行情報が提供されている。

4.3 小田急電鉄(株)の列車運行管理システム

全線を対象としたシステムで、1日の列車本数は約1,700本、被制御駅数は23駅、列車種別の多い大規模路線である。このシステムは(株)京三製作所と共同開発したもので、当社は主として情報系のシステムを担当している。

(1) システムの構成と運用

図 8. のシステム構成図に見られるように、このシステムは運行制御系と運行情報系により構成されている。運行制御系は被制御駅に駅制御装置を設置した分散形構成を基本としているが、中央システムとの結合を、データ伝送機能を付加した CTC 装置により行っているのがこのシステムの特長である。

これは、大規模路線における分散形システムの実績が我が国にないため、全線の CTC システムを完成した上で、駅の分散制御機能を段階的に導入する方法が採られたことと、分散方式の長所をいかしつつも、駅制御装置が故障した場合のバックアップとしては、CTC 装置による運行表示と中央からの直接手動制御を基本とする考えによる

もので、したがって駅制御装置は冗長系を設けていない。

一方、運行情報系は運行制御系とは別系として、2,400 bps の専用回線を使用しており、運行制御系から中央情報分配装置に伝送される運行情報は、この専用回線を介して、駅及び関連部所に設置された端末装置に伝えられる。

(2) マンマシンシステム

司令所には、運行監視用として CTC 装置と直結した運行表示盤が設けられ、中央処理装置又は駅制御装置が故障した場合にも表示機能は維持できるよう考慮されているので、CTC モードによる直接制御のバックアップが可能である。

司令員の操作用としては、運行に関する設定操作及び通信設備の取扱いを主体とする操作卓が 2 席マルチ機能で 2 卓、情報の収集とシステムの運転操作を主体とする総括卓が 1 卓設けられている。操作卓は各卓ともに、操作入力用としてキャラクタディスプレイ装置 2 台、運行監視の補助用としてグラフィックディスプレイ装置 1 台で構成され、他に手動進路設定パネル、通信パネルなどが設けられている。総括卓は、表示専用のキャラクタディスプレイ装置 1 台と、運行監視の補助用としてグラフィックディスプレイ装置 1 台、他に運転パネル、通信パネルなどからなっている。

また、基本ダイヤや臨時ダイヤの作成用として、専用のワークステーションが設けられているのも、このシステムの特長である。

5. む す び

列車運行管理システムは、コンピュータ技術や伝送技術の進歩とともに発展し、現在では運用形態に応じた自由なシステム構築が可能となってきている。今後も技術の変遷により、その形態は変わってくると思われるが、その目的とするところは、安全性の向上、運用効率の向上、旅客サービスの向上であり、変わることはない。

当社としても、これらの目的に沿って更にレベルアップを図るべく、今後ますます進展するであろうトータルシステム化、情報化に向けて技術開発を進めていく所存である。

最後に、開発に際して種々御指導いただいた顧客各位に感謝の意を表したい。

鉄道車両における情報システムの動向

森原健司*

1. ま え が き

鉄道車両において、電力用半導体素子やマイコンを始めとする電子部品を車載機器に応用し始めて、既に10数年の歳月が過ぎた。この間、車載機器の電子化は目ざましい勢いでより高度に、かつ広範囲に適用され、鉄道車両が抱える高性能化・多機能化・省エネルギー・省メンテナンス・小形軽量化・乗客サービスの向上など、多くの課題を克服し、大きい成果をあげてきた。しかし、更なるその成果を大きいものにするには、従来のように個々の機器の改良を主眼にすることも大事ではあるが、これからは、むしろ列車を一つの装置と見立てた上で、鉄道車両の課題をとらえ直し、解決法を見い出して行くアプローチが重要である。

その一つとして、まず個々の機器をマイコンでインテリジェント化し、更にそれらの機器を情報伝送路で結び、シンプルな構成の列車とすることが考えられる。すなわち、個々の機器が持つ情報を列車として一元的に管理し、ハードウェア(以下、H/Wという)を増やすことなく制御、モニタ及び診断機能を合わせもった自律的な車両の実現を目指すべきである。具体的には、列車モニタリング装置で培ったマイコンや直列伝送技術、情報処理技術などの応用によって車上試験装置更には車上集中制御装置を実現することである。ここでは、それらの装置を総称し、“鉄道車両における情報システム”と呼ぶこととしたい。

本稿では、それらの装置の事例を交えて述べるとともに、今後の動向について考察する。

2. 最近の車載電機品の動向

鉄道車両の起動・停止を直接行う推進制御システムにおいて、駆動用電動機は起動時のトルクが大きくなり、鉄道車両の特性に適している

直流直巻電動機が一般に使用されてきた。また、駆動電動機のトルク及び速度制御を行う制御装置は、スイッチによって電動機の印加電圧や界磁率を制御する方式に代わり、電力用半導体素子やマイコンなどによって主回路及び制御回路を無接点化し、最新の制御技術を駆使したチョップ制御装置が地下鉄を中心に広く普及している。なお、ごく最近では直流直巻電動機に代わり整流子とブラシを必要としない誘導電動機を用い、電動機の電圧と周波数を制御し速度制御を行うVVVF(可変電圧可変周波数)インバータ装置が、主回路の構成が簡単で無接点化がより図れることや、電動機のメンテナンス性が大幅に向上するなどの理由から、急速に採用され始めている。また、照明装置や冷・暖房装置、エアコンプレッサなどの補機用電源は、従来、電動発電機(MG)であったが最近では静止形インバータ装置(SIV)が多く採用され、チョップ装置などと同様、高圧回路の無接点化とマイコンなどによって制御回路の電子化を実現している。その他空調装置・空気ブレーキ装置・自動列車制御装置(ATC)などもマイコンなどによって電子化が急速に進んでいる(図1.)。

一方、従来のように車載機器の方式や構成などH/Wの改良のみでなく、省エネルギー運転装置の例にみられるように、マイコン技術を応用し、車両性能や路線条件、到達時間などを勘案した上で、最も省エネルギーになる走行制御を行うなど、ソフトウェア(以下、S/Wという)面での開発を行おうとする新しい試みもある。

このように車載機器は、電子化を幅広くかつ着実に進め、H/W及びS/W両面において大きく変わろうとしている。

3. 車上モニタリング装置の誕生とその役割

電子化が進んだ車両の故障発生状況は、突発的で再現性が乏しい傾向がある。加えて列車は長大編成の方向にあり、運転士にとって全車両の状況把握が難しくなっている。したがって、故障発生

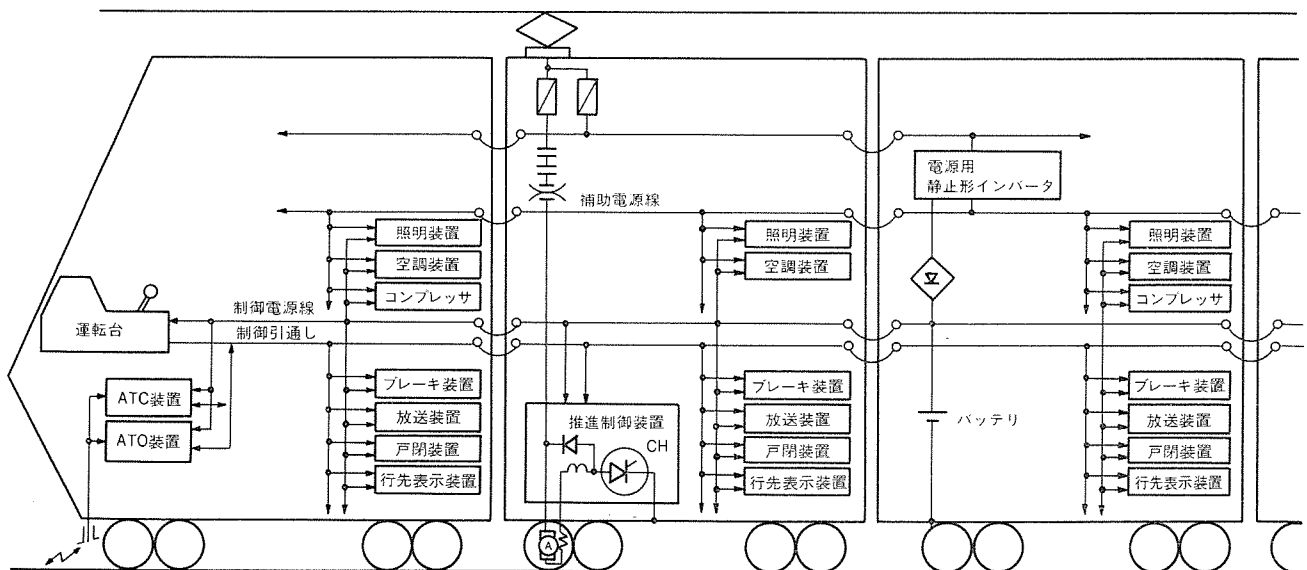


図1. 最近の電車における車載電機品の構成例

時に正確かつ迅速な処置と、車両工場での原因究明及び修復を難しくし、列車の運用効率を低下させつつある。このため、モニタリング装置の開発が促進され、最近の車両には国内外を問わず搭載されるようになってきている。

3.1 車上モニタリング装置の構成による分類

当社は、我が国で初めて直列伝送技術を応用した本格的な列車モニタリング装置を開発し、以来用途に応じた装置を多数納入してきた。それらは目的、規模によって表1.のように分類できる。

(1) セルフモニタ：制御機能を実行するH/Wと同一のH/Wで、自己の動作をモニタする装置で、マイコン応用製品は、この機能の実現が非常に容易である。

(2) 機器モニタ：モニタ対象の制御装置とは、別のH/Wで構成(電源も含めて)され、特定機器専用と汎用のタイプがある。

(3) トレインレコーダ：飛行機のフライトレコーダに相当し、ATC制限速度・走行速度・キロ程・運転操作の履歴など列車の運行データを記録する装置で、事故発生時の原因追求などに有用である。

(4) 集中表示モニタ：各車の機器の異常や動作情報を直列伝送路で伝送し、運転台に集中表示する装置である。

(5) 列車モニタ：各車の各種装置(制御装置、ブレーキ装置など)を、列車全体として統合的にモニタする装置である。先頭車に中央局、各車に端末局を搭載した2階層の中規模の列車モニタ(A)と、中央局、端末局及び伝送I/Fの3階層からなる大規模な列車モニタ(B)に分類される。両者はモニタ点数、故障表示と記録方法、機能の持たせ方によって更に、2~3のレベルに分類できる。

3.2 列車モニタリング装置の事例紹介

事例として、仙台市交通局に納入した列車モニタリング装置について紹介する。なお、この装置はワンマン運転を考慮したものである。

3.2.1 システムの構成

図2.に概略構成を示したが、各車に搭載するT_{C1}・M₁・M₂・T_{C2}各モニタリング装置、各対象機器内に組み込むモニタ伝送インタフェース(以下、モニタ伝送I/Fという)、運転台に設置しホーム監視を行うモニタビューア(CRTディスプレイ)とモニタビューアへの表示内容を選択するファンクションキーを備えたモニタ操作盤から構成される。T_{C1}モニタ

表1. 車上モニタリング装置の機能による分類

システム名称	構成
(1) セルフモニタ	制御装置 (モニタ機能付き)
(2) 機器モニタ	モニタ ← 対象機器
(3) トレインレコーダ	レコーダ ← 運行情報
(4) 集中表示モニタ	ディスプレイ ← 直列伝送線 ← 伝送ユニット ← 対象機器
(5-1) 列車モニタ(A)	ディスプレイ ← 直列伝送線 ← モニタ中央局 ← モニタ端末局 ← 対象機器
(5-2) 列車モニタ(B)	ディスプレイ ← 直列伝送線 ← 対象機器 ← 伝送I/F ← モニタ中央局 ← モニタ端末局 ← 対象機器

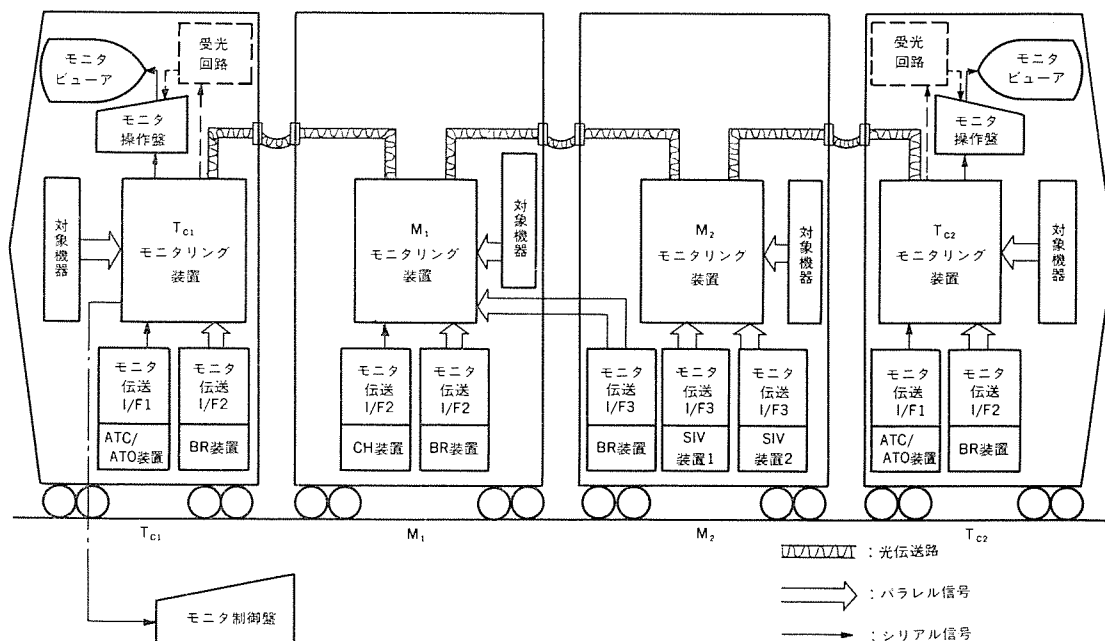


図2. 列車モニタリング装置の構成例

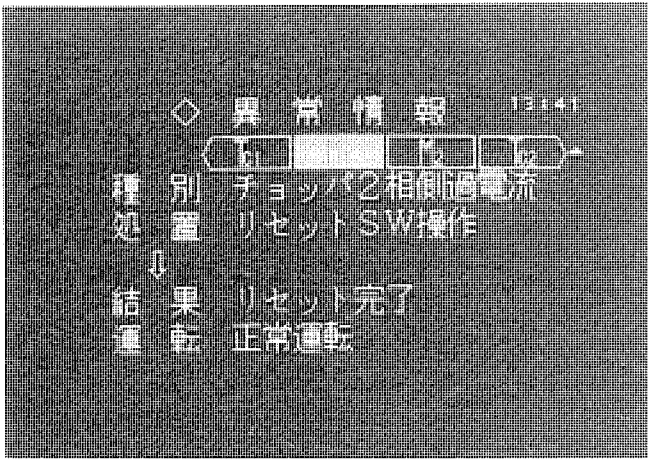


図 3. 異常情報の表示例

リング装置は、列車モニタリング装置全体を統括する中央機能、モニタビューアの表示制御機能及び各機器のモニタ情報を収集する端末機能を備えている。また、TC2モニタリング装置は表示制御機能と端末機能を持ち、M1・M2モニタリング装置は端末機能をもっている。これらの装置間は光伝送路で結び、各車のモニタリング装置とモニタ伝送I/F間は、電気信号による並列又は直列データ伝送で情報の授受を行う。各車で収集したモニタ情報は、TC1モニタリング装置の中央機能部に光伝送路を経由し伝送する。このうち表示に必要な情報は表示制御機能部に転送後編集し、モニタビューアに表示する。

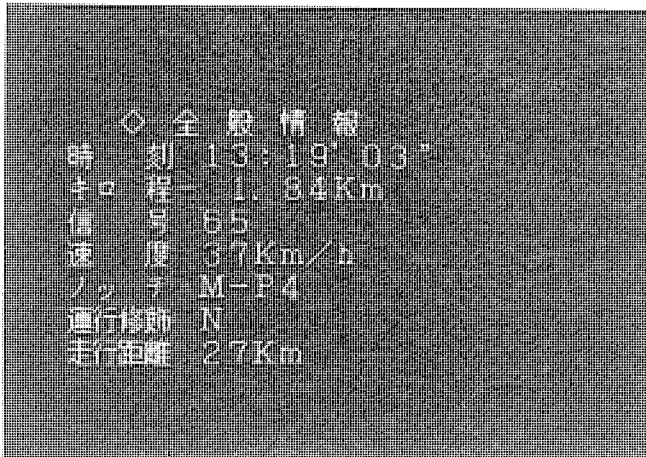


図 5. 全般情報の表示例

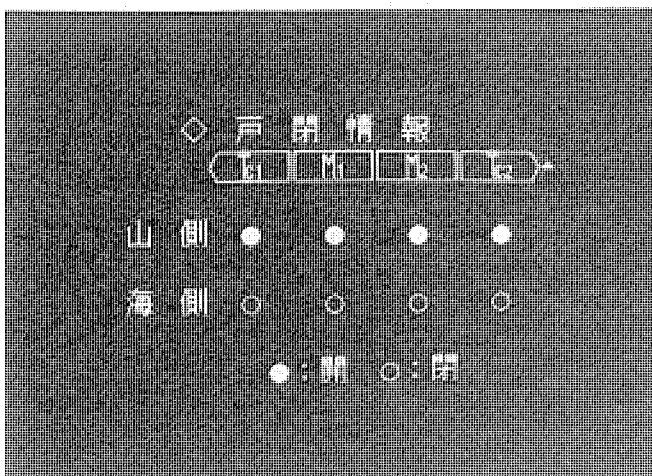


図 7. 戸閉情報の表示例

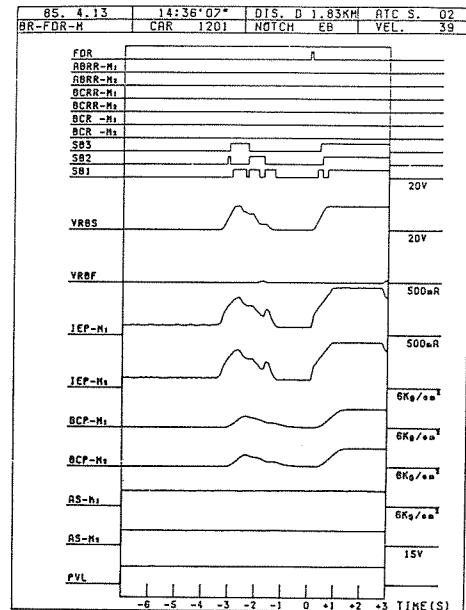


図 4. 故障記録データの出力例

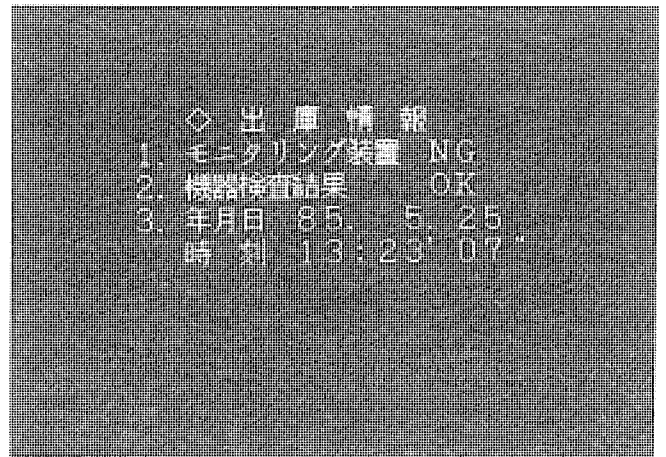


図 6. 出庫情報の表示例

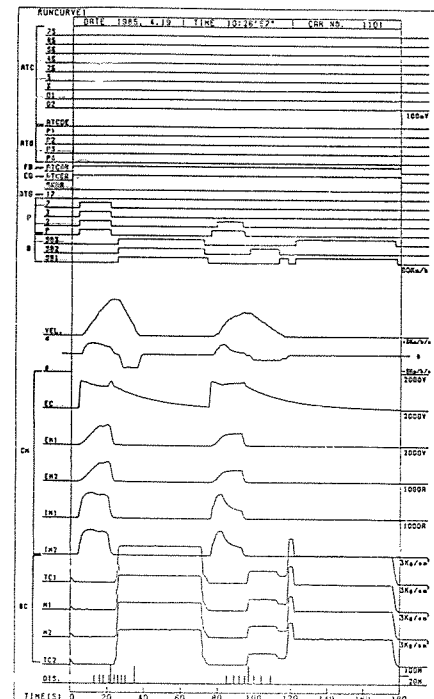


図 8. ランカーブの出力例

3.2.2 システム機能

(1) 車両故障発生時の故障情報の提供

運転中に故障が発生した場合、図 3. に示すようにモニタビューアに故障発生車両の位置、故障内容及び応急処置の案内表示を行う。乗務員はそれらの情報を参考にし、乗客及び後続列車への影響が極力少なくなるように迅速かつ適切な処置に努める。乗務員のとった処置に対する対象機器の動作結果と、その後の運転のガイダンスを表示する。なお、複数の故障が同時に発生したときでも、画面の切換によってすべての故障内容を知ることができる。また、故障原因究明のためメモリに記憶されていた故障時の関連データは、工場などでプリンタやプロッタに出力する。図 4. はプロッタの出力例である。

(2) 列車運転を補助する情報の提供

乗務員は、運転台に設置されたモニタ操作盤のファンクションキーを操作することによって、次のような情報をモニタビューア上に表示することができる。

- (a) 全般情報画面(図 5. 参照)：時刻・キロ程・ATC 信号コードなどを表示し、列車の運転状況を把握するものである。
- (b) 出庫情報画面(図 6. 参照)：出庫時に車載機器やモニタリング装置自身の異常の有無をチェックするものである。異常がある場合、画面の切換によってその内容を知ることができる。
- (c) 戸閉情報画面(図 7. 参照)：各車両扉の開閉状態を表示する。その動作から扉の異常診断も可能である。
- (d) 起動条件情報画面：マスコン、ATO 装置など列車の起動条件にかかわる信号の状態確認を行うもので、起動指令を与えたにもかかわらず起動しないときなどの原因究明ができる。
- (e) 非常ブレーキ動作情報画面：非常ブレーキの動作の要因を確認するものである。

(3) 試運転による列車及び機器性能情報の提供

試運転時、列車及び機器性能を確認するランカーブと試運転成績書の作成を行うことができる。図 8. にランカーブの出力例を示す。

(4) 機器動作状態情報の提供

走行中における全車両のブレーキシリンダ圧力、主電動機電流などをリアルタイムに表示できる。また、各車間の比較を行うことによって異常診断も可能である。なお、特定機器の動作も確認できる。

(5) セルフチェック

ウォッチドグタイマによるプログラムの動作監視や、プログラムメモリのサムチェック及びデータ伝送の監視を行う。また、動作や異常状態の表示をビジュアル化し保守をやりやすくした。

4. 今後の車両情報システムの動向

鉄道車両発展の一つの方向として図 9. のようなイメージを描くことができる。これらの実現に当たっては、車両のいろいろな情報を的確に取捨選択し、必要とする情報をいかに正確に取り込み、それらの情報をいかに上手に使うかが、鉄道車両がもつ多くの課題を合理的に解決する上で最も重要なテーマの一つである。このような考えにかんがみ、列車モニタリング装置で培った技術を基に、車両情報のシステム化について二つの具体化を提案している。一つは車上試験装置であり、もう一つは車上集中制御装置である。以下、これらについて事例を交えながら考え方や動向について紹介する。

4.1 車上試験装置

鉄道車両は電子化を進め、高性能化・高機能化・省エネルギーなど多くの課題を解決してきた。しかし、一方では次のような新たな問

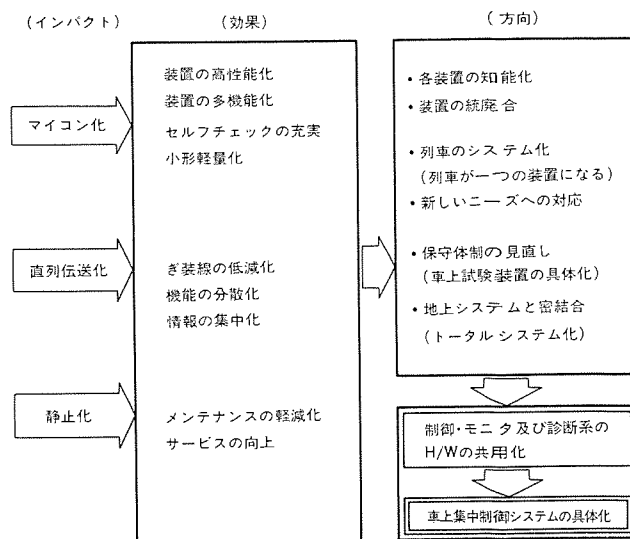


図 9. 鉄道車両の今後の方向

題が起きつつある。

- (1) 車載機器が高性能化され構成が複雑になるにつれ、それらの性能の検証方法が難しくなっている。
- (2) 電子機器の故障モードは、従来の機構部品と異なり、突発的で再現性が無い場合がありトラブルシュートが難しくなっている。
- (3) 多機能化の要請にこたえ、新たな機能の追加とともにH/Wが増加し、今以上の対応は難しくなっている。

これまでに(1)については、コンピュータを利用した総合試験装置や単体の自動試験装置を、また(2)については、モニタリング装置を導入し、新しい車両の保守技術を構築しつつある。

しかし、次のような理由から地上の試験装置と車上のモニタリング装置の機能分担を見直し、現在地上側にある試験実行機能を車上のモニタリング装置に取り込み、車上試験装置へと発展させた方が、高度に電子化された車両の保守により適している。

- (1) 増大しつつある保守費の抑制と低減を図る必要がある。
- (2) 電子機器は、従来機器と異なり列車を静止状態で試験する意味合いが少ない。かえって、人手にさらされることによって故障するケースがある。

表 2. 車両保守に必要な情報と関連装置

項番	情報の内容		総合試験装置	列車モニタリング装置	車上試験装置
	列車状態				
1	各機器のリアルタイムな動作情報	静止時			
		走行時		○	○
2	機器に異常が発生した前後の関連動作情報	静止時			
		走行時		○	○
3	列車走行性能の情報	試運転時		○	○
		営業運転時			○*
4	各機器の通常動作及び特性試験の情報	静止時	○		○
		走行時			○*
5	各機器の保護動作試験の情報	静止時	○		○
6	各機器の動作特性の経年変化の情報	静止時	○		○
		走行時			○*
7	機械部品の摩耗及び消耗度の情報	静止時	○		○

注 * 印 電子化された車両を保守する上で有用

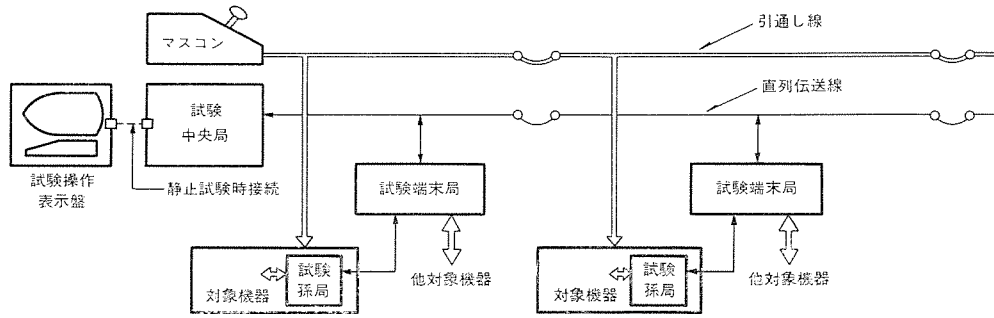


図 10. 車上試験装置のシステム構成

- (3) 静止試験だけでは十分な等価性の設定が難しくなっている。
- (4) 列車の運用効率を高めるため、電子化された装置も従来どおり予防保全を可能にする必要がある。

4.1.1 機能

車上試験装置に持たせる機能を総合試験装置や列車モニタリング装置と対比して表 2. に示す。特に次の点(表の*印)が、電子化された車両を保守する上で有用である。

(1) 走行状態でシケンス及び動作特性を試験する機能

実路線での走行時に、各機器に最適な試験条件を設定し、その時の動作データの収集と診断を行うため、等価性の高い試験ができる。

(2) (1)項のデータを基に動作特性の経年変化を追跡する機能

特性変化や誤動作頻度の累積データから装置の異常を判定しようとするもので、特に電子化された装置の予防保全に有効である。

以上の機能によりつぎのような効果が期待できる。

- (a) 静止での試験時間が大幅に短縮する。
- (b) 予防保全が可能となるため、列車の運用効率が向上する。
- (c) 特定の試験場所が必要でないため、建屋などの初期投資が軽減できる。

4.1.2 システム構成

図 10. に示すように、列車モニタリング装置と同様に先頭車に中央局を、各車両に端末局を設置する。ただし、列車モニタリング装置と異なり車上試験装置は走行試験を主体とするものである。なお、車上試験装置は、列車モニタリング装置を搭載している車両においては、

直列伝送路はもちろん、中央局、端末局も含めた H/W の共用化が可能である。

4.2 車上集中制御装置

今まで車載機器は、必要なデータを個々に収集するとともに、性能及び機能設定も個々の機器ごとに行う傾向が強かった。しかし、このような方法による改善は、もはや限界に近づいており、今後は、機器単体レベルから列車全体へ、更に地上サブシステムを含めたトータルシステムの最適化へと進めて行くことが好ましい。

このためには、車両は各機器をマイコン化によってインテリジェント化し、分散処理機能高めるとともにセルフモニタ機能の充実を個々に図る必要がある。同時にその機器間を従来の電線の代わりに高性能な光ファイバ伝送などの情報伝送網で結び、列車全体の制御指令情報と、その結果に基づく各機器のモニタ情報を一元化し、それらの情報が地上又は運転台からの指令により自由に取り出せるようにすることが必要である。そうすることによって、引通し電線やぎ装用電線及びつなぎ箱などが大幅に減少し、重量軽減が期待でき、更に各種機器の統廃合が進むため車両の構成がシンプルになる。つまり H/W を増やすことなく、むしろ減少させながら、車両の高性能化・多機能化・保守費の低減・乗客サービスの向上などが実現できる。

以上のような思想を取り入れ、このたび、東京都交通局 12 号線試作車用に新しく車上集中制御装置を開発し納入したので、その概要を述べる。

4.2.1 システム構成

車両間引き通し線を大幅に減少させるため、光ファイバによって制

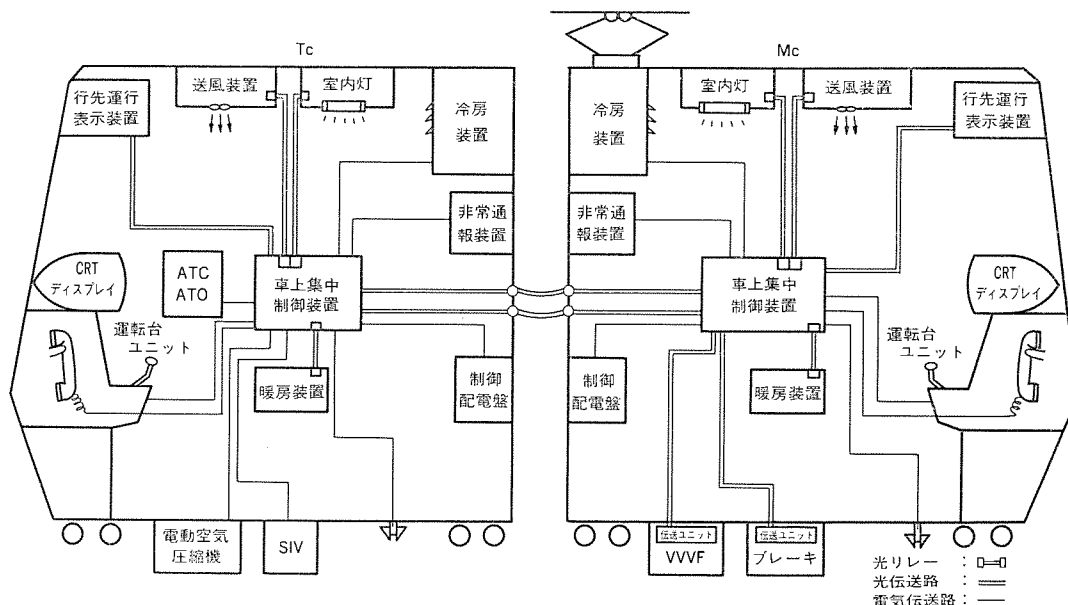


図 11. 車上集中制御装置のシステム構成図

御指令やモニタ情報を伝送する。図 11. にシステム構成を示したが、この装置は両運転台の中央装置と CRT ディスプレイ、VVVF インバータ装置などの各装置内に設置した端末装置、これらを結ぶ光ファイバケーブルなどから構成されている。伝送用のコンピュータは、高速系に 16 ビット、その他は 8 ビットを用い階層化した。また、光ファイバによる伝送回路は二重化ループ方式とし、制御指令は中央装置から光伝送路を経由し、各装置内の端末装置に伝送される。また、室内灯・暖房・送風装置など補機への起動指令も光ファイバを介し、最終段で光無接点リレーを動作させ端末までの光化を実現した。更に、非常通報装置の音声信号及び行先・運行番号表示装置の制御指令も光伝送路経由で伝送し、H/W の共用化を追求するなど新しい試みを多く採用している。

4.2.2 機能

(1) 運転台から各車への制御・リセット・開放指令の直列伝送

ATC や ATO, マスコンなどの運転台機器からの制御、リセット及び機器開放指令を、光ファイバ伝送路を経由し、各車の VVVF インバータ、ブレーキ装置などに伝送する。

(2) 補機への制御指令の直列伝送と補機回路の投入・開放

照明装置、冷・暖房装置などへの制御指令を、光ファイバケーブルを経由し各車の伝送端末へ伝送する。また、伝送端末から光信号で補機回路の負荷を投入・開放する光無接点リレーを制御する。

(3) 列車モニタ機能

主機及び補機の制御指令の直列伝送に伴うモニタ機能のほかは、3 章で紹介した列車モニタリング装置の機能、つまり、故障記録、運転台への故障情報の表示、列車性能データの収集などを行う。

(4) 運転台のユニット化 (図 12.)

直列伝送の利点をより一層生かすには、運転台の入力信号から車載機器の出力に至るまで電子化や光化で、低レベルに統一するためメータ・表示器などを LCD, LED で低レベル化するとともに運転台ユニットとしてまとめた。

(5) 運転室と客室間の相互通話機能

車内に異常が発生したとき、乗務員と乗客間で相互通話する非常通話装置は、音声デジタル化し、光ファイバを経由し伝送する。

(6) 液晶式行先・運行番号表示装置の静止化とその制御(図 13.)

反射・透過兼用方式で昼夜の明るさによらず視認性が優れている。この装置は赤、青などのカラー化が可能で機械的動作部のない全電子式装置のため、保守調整が不要で耐環境性に優れている。

5. む す び

マイコンを始めとする電子技術や直列伝送技術などを応用して、車載機器のインテリジェント化や情報の一元化が促進され、車両の構成も大きく変わろうとしている。鉄道には高い安全性と信頼性が求められており、営業線上での車両故障が及ぼす影響の大きさを考えた場



図 12. ユニット化された運転台



図 13. 液晶式行先・運番表示装置

合、やはり車両保守は予防保全が基本である。したがって、車両の設計に当たっては高度に電子化された車両の予防保全の方策と、万一突発的な異常が発生しても、すみやかに処置が行われるよう、次の事項を考慮することが重要になる。

(1) 有接点の摩耗状態などが目視検査できたと同じように、電子回路の動きをビジュアル化する。

(2) 個々の機器又は列車全体として、いずれかに異常が発生したときの処置方法及びメンテナンス方法の思想を、H/W 及び S/W 両面にわたり規格化(標準化)する。

以上のように電子化が進めば進むほど、保守への対応を十分考慮していくことが大切である。

当社は、これまで鉄道車両の各種情報システムの研究・開発に鋭意取り組んできたが、今後とも、より合理的な車両情報システムの実現を目指して努力する所存である。これまで多大の御援助・御指導を賜った関係各位に深く感謝する。

最近の車両推進制御システム

成戸昌司*

1. ま え が き

近年、エレクトロニクス技術の導入によって、鉄道車両は大きく変わってきている。特に、車両の性能と信頼性を決定づける推進制御システムの進歩が、その主役であったとしても過言ではない。

パワーエレクトロニクスの分野では、電力変換制御技術の開発が中心であり、1960年代からの交流電気車へのシリコンダイオードやサイリスタ位相制御の適用、1970年代の直流電気車チョップ制御の実用化、更に1980年代に入って直流電気車VVVF（可変電圧・可変周波数）インバータ制御の実用化が、その大きな発展の内容である。この間当社は、大容量逆導通サイリスタやGTO（ゲートターンオフ）サイリスタ開発の先駆的役割を果たしたばかりでなく、2,000両分を越えるチョップ装置、130両分を越えるVVVFインバータ装置を納入し、世界有数の車両用パワーエレクトロニクス製品メーカーとして、車両の省エネルギー化・省力化に貢献してきた。

一方のマイクロエレクトロニクスの分野では、制御技術を支える要素としてICやLSIの応用技術が進歩し、現在ではマイコンが高度で、複雑な制御機能を高い信頼度を維持しながら実現することができるようになっている。

今後、鉄道車両への要求はますます多様化してくるものと考えられ、またそれに対応できるエレクトロニクス技術の進歩もめざましいものがある。したがって、社会的ニーズを正確に把握し、その実現に向けて各種技術をいかに組み立てるかの複合化技術が重要である。

ここでは、車両システムへの技術ニーズを整理し、現在の主役となっているGTOサイリスタとマイコンの応用技術とその適用製品の状況を紹介します。

2. 車両システムの技術ニーズと開発の動向

2.1 社会ニーズとその課題

従来から鉄道には、速さ、安全性及び快適性がその基本ニーズとして追求され、技術もそれにつれて進歩してきた。最近では社会的にもニーズが多様化してきており、より一層の高速性と便利さが強く求められている。それを推進制御システムの課題としてとらえると、

- 到着時分の短縮 → 車両性能（最高速度・加速度）の向上
- 故障の防止 → 信頼度の向上、冗長系
- 乗り心地改善 → トルク制御技術の向上

にまとめることができる。しかし、“性能の向上”に集約できるこれらの課題も、最新のエレクトロニクス技術を駆使すれば実現は可能であるといえる。そして、もう一つの重要なニーズは、これらを“安価”に実現することである。

2.2 技術ニーズと開発の動向

上述のように技術ニーズは経済性の追求が基本であり、性能向上を車両として無駄なくシンプルな構成で実現することである。車両推進制御システムに課せられる経済性向上策は、

(1) 車両新製費の低減

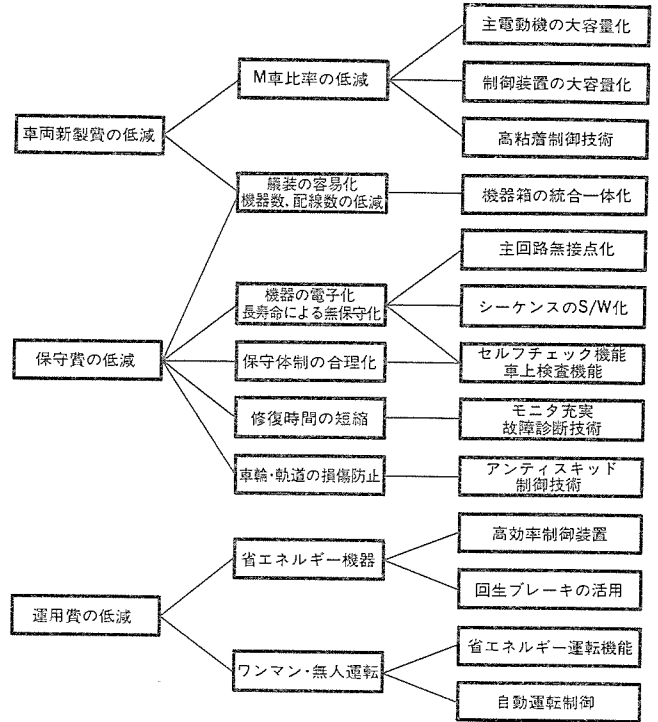


図 1. ニーズと技術開発のテーマ

(2) 保守費の低減

(3) 運用費の低減

であり、これらを具体化するための技術開発のテーマをまとめると図1.のようになる。

3. 推進制御システム

3.1 直流電気車における発展

図2.に直流電気車における推進制御システムの発展を示す。チョップ制御方式実用化によってパワーエレクトロニクス技術が主役となり、1980年代に入ってから交流誘導電動機を使用してブラシレス化による保守性向上を追求したVVVFインバータ制御方式の開発、実用化が進んだ。この発展を支えてきた電力半導体の中で、特にGTOサイリスタの大容量化開発によって、チョップ制御方式は性能や経済性を大幅に向上させた4象限チョップ制御方式が主流となり、インバータ制御方式も量産期に入りつつある。

3.2 4象限チョップ制御方式⁽¹⁾

チョップ制御方式発展の中で、前述のニーズに取り組み当社が開発したもので主な特長は次のとおりである。

(1) チョップの高周波化

新しい高速スイッチング素子として、GTOサイリスタを応用してチョップ周波数を数倍に上げ、主平滑リアクトルの省略又は小形化、フィルタ装置の小形化などを実現した。これによって車両性能の向上、損失の低減、機器の小形軽量化及び経済性の向上が図られた。

(2) 他励分巻電動機制御

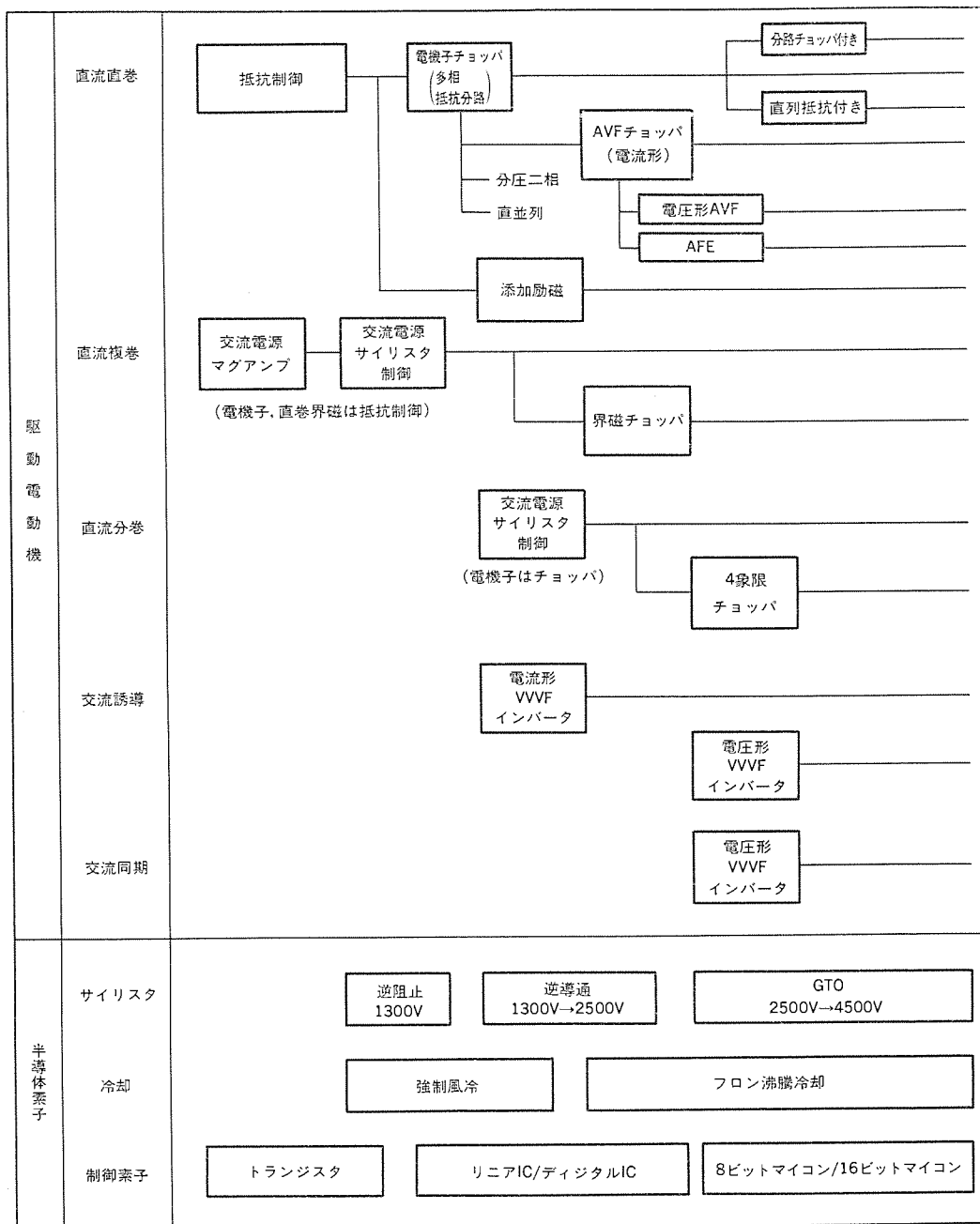


図 2. 直流電気車推進制御システムの発展

従来の直巻電動機制御に比べて回生能力や粘着性能を向上させ、一方では力行/ブレーキや前進/後進の転換を GTO サイリスタで行って大幅な無接点化を実現した。これによって、信頼性の向上、機器の小形軽量化及び経済性の向上が図られた。

(3) マイコンによるデジタル制御

高精度の制御を行うとともに、無調整化と検査機能の充実によ

てより一層の無保守化を実現している。

このようにチョッパ制御の特長を最大限に発揮して、現在営業運転に使用されている 4 象限チョッパ制御電車の主要要目を表 1. に示す。図 3. はその先駆車両である帝都高速度交通営団銀座線 01 系電車、図 4. はスペインバルセロナ地下鉄電車の主回路である。01 系電車は、M車とT車の比が 1 : 1 で 3.0 km/h/s の高加速度を実現しているが、

表 1. 三菱 4 象限チョッパ電車一覧

ユーザー名	帝都高速度交通営団	スペイン バルセロナ市	オーストラリア NSW 州鉄道	シンガポール
車両形式	01系	地下鉄1, 3号線	S/U I/U	—
製造年	S 58~62年	S 60~61年	S 60年~	S 61年~
電気方式	DC 600V	DC 1,500V, DC 1,200V	DC 1,500V	DC 750V
車両編成	3M3T	2M, 2M1T	MT	4M2T
定格出力	120kW×4台×3ユニット	150kW×4台×2ユニット	150kW(S/U) 140kW(I/U)×4台	145kW×4台×4ユニット
制御方式	4象限CH	同左	同左	同左
ブレーキ方式	回生	回生・発電	同左	同左
車両数	68	175	568	39%

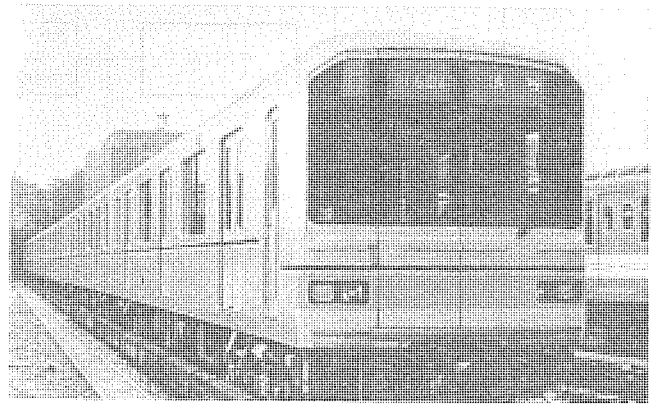


図 3. 帝都高速度交通営団銀座線 01 系 4 象限 チョップ電車

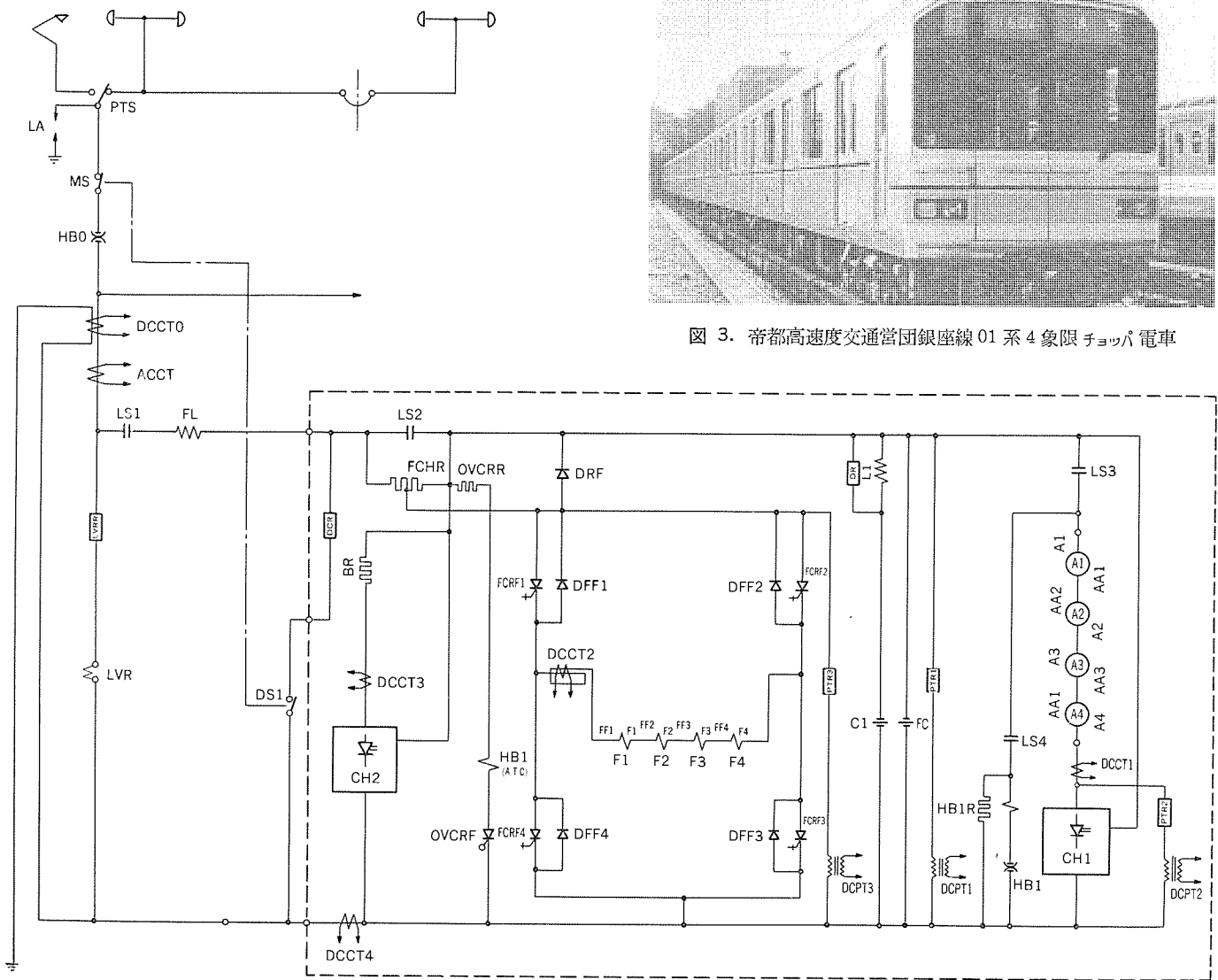


図 4. ハルセロナ地下鉄の 4 象限 チョップ主回路つなぎ

(その 1)

表 2. 三菱 VVVF インバータ 電車一覧

ユーザー名	熊本市交通局	大阪市交通局	近畿日本鉄道		札幌市交通局	小田急電鉄
車両形式	8200 系	20 系	7000 系	1250 系	8500 系	2600 系
製造年	S 57 年	S 59~60 年	S 59~60 年	S 59~61 年	S 60~61 年	S 60 年
電気方式	DC 600 V	DC 750 V	DC 750 V	DC 1,500 V	DC 600 V	DC 1,500 V
車両編成	単車	3M 3T	3M 3T	MT	単車	MT
定格出力	120 kW×1 台	140 kW×4 台×3 ユニット	140 kW×4 台×3 ユニット	165 kW×4 台	60 kW×2 台	175 kW×4 台
制御方式	電圧形 VVVF	同左	同左	同左	同左	同左
ブレーキ方式	回生・発電	回生(抑速付き)	回生(抑速付き)	回生(抑速付き)・抑速発電	回生・発電	回生
車両数	2	8	24	14	4	2

(その 2)

ユーザー名	新京成電鉄	近畿日本鉄道	イタリア ミラノ市	日本国有鉄道	北神急行電鉄	名古屋市交通局
車両形式	8800 系	3200 系	地下鉄 2 号線用	207 系	7000 系	6000 系
製造年	S 60~62 年	S 60~61 年	S 61 年	S 61 年	S 61 年	S 62 年
電気方式	DC 1,500 V	DC 1,500 V	DC 1,500 V	DC 1,500 V	DC 1,500 V	DC 1,500 V
車両編成	4M 4T	2M 2T	2M 1T	6M 4T	3M 2T	2M 2T
定格出力	135 kW×4 台×4 ユニット	165 kW×4 台×2 ユニット	255 kW×2 台×2 ユニット	150 kW×4 台×6 ユニット	170 kW×4 台×3 ユニット	170 kW×4 台×2 ユニット
制御方式	電圧形 VVVF	同左	同左	同左	同左	同左
ブレーキ方式	回生	回生(抑速付き)	回生・発電	回生	回生(抑速付き)	回生
車両数	32	24	12	1	25	2

当社はその高粘着性能を更に高める アンチスリップ 制御方式を開発し、現車試験でその性能を確認した。その内容は 4.3 節で紹介する。海外向けの 4 象限 チョップ 装置はいずれも発電 ブレーキが併用され、回生 ブレーキ との円滑な可逆制御を行っているのが特長である。

3.3 VVVF インバータ制御方式⁽²⁾⁽³⁾

この方式は鉄道技術者長年の夢として、当社が早くから開発に着手していたものである。ここ数年、後述の技術進歩によって実用化が急速に進んでいる。当社最新 インバータ 装置の特長を次に示す。

- (1) 高耐圧大容量 GTO サイリスタ実用化による主回路の簡素化と信頼性の向上
- (2) マイコンによる完全 デジタル 制御
- (3) 光ファイバによる ゲート 信号伝送
- (4) 一体箱方式の採用

表 2. に製作中を含め当社装置が使用されている VVVF インバータ 制御電車の主要要目を、図 5. に標準化した インバータ 装置を示す。

また最近には、小形地下鉄や新交通 システム 向けとしてリニアモータ 電車が注目されている。これに使用する インバータ 装置は回転形誘導電動機用と基本的に同じであるが、リニアモータ の特性に合わせた制御系を構成している。

3.4 交流電気車における発展

パワーエレクトロニクス 技術応用の先駆となった交流電気車では、ダイオード からサイリスタ 位相制御方式への展開によって、大幅な無接点化と回生 ブレーキ の導入による省エネルギー化が実現した。最近、高調波成分の低減と力率の改善という長年の課題を解決する GTO サイリスタ 応用 PWM 高力率 コンバータ が登場し、誘導電動機 を駆動する

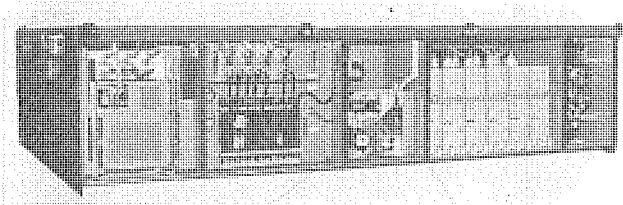


図 5. VVVF インバータ 装置 (一体箱方式)

表 3. GTO 主要定格

形 式	FG 2000 AV-90	FG 1800 AH-50
ピーク繰返しオフ電圧 (V)	4,500	2,500
可制御陽極電流 (A)	2,000	1,800
実効オン電流 (A)	700	860
サージオン電流 (A)	7,000	11,000
ターンオフ時間 (μs)	30	20
ターンオフゲイン	5	5

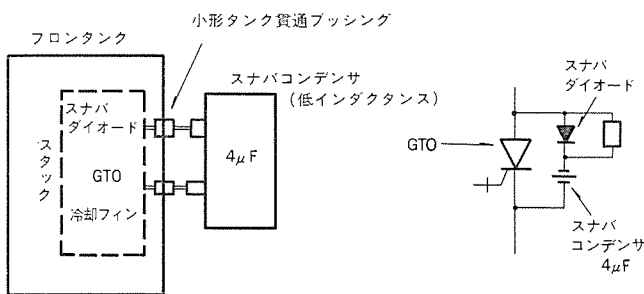


図 6. GTO 回路配置図

VVVF インバータ と組み合わせた新しい交流電気車推進制御 システム として当社は開発を進めている。

4. 基幹要素技術

高周波 4 象限 チョップ や VVVF インバータ、更には高力率 コンバータ を含めた車両推進制御 システム の基幹となっている要素技術について述べる。

4.1 高耐圧大容量 GTO とその応用技術

最近の パワーエレクトロニクス 技術最大の焦点である GTO とその応用については、先にその詳細を紹介した⁽⁴⁾。GTO の特長を生かし、その性能を最大限発揮させるには、

- (1) GTO と応用装置の定格の関係を明確にする。
- (2) GTO の性能を左右する スナバ 回路、フリーホイーリングダイオード、アノードリアクトル 及びゲート 駆動回路などの周辺回路の高信頼度最適設計を行う。

ことが重要である。

4.1.1 GTO サイリスタ

現在実用している GTO の主要定格を表 3. に示す。国内における VVVF インバータ 電車実用化の原動力となった 4,500 V GTO は、自己消弧形で、しかも高耐圧素子のためオン 電圧損失とスイッチング 損失が課題であった。そのため動作モードを厳密に分析し、損失の和が最小になるよう素子特性を設定してこれを解決した。

4.1.2 スナバ回路

スナバ回路の最適設計には、その定数をはじめ部品の構造的配置が重要である。

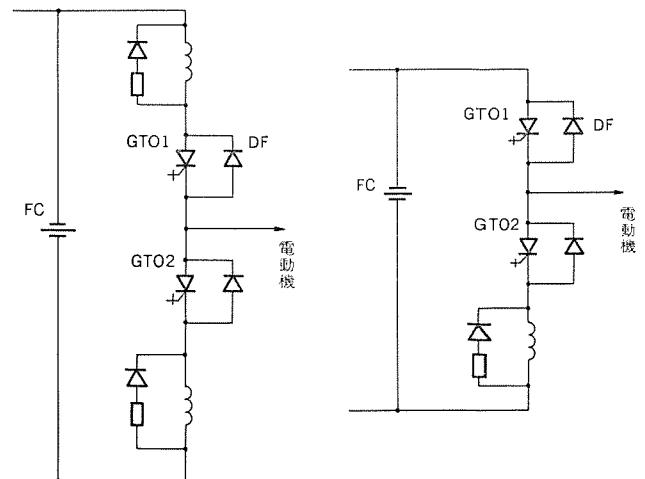


図 7. VVVF インバータアノードリアクトル 回路

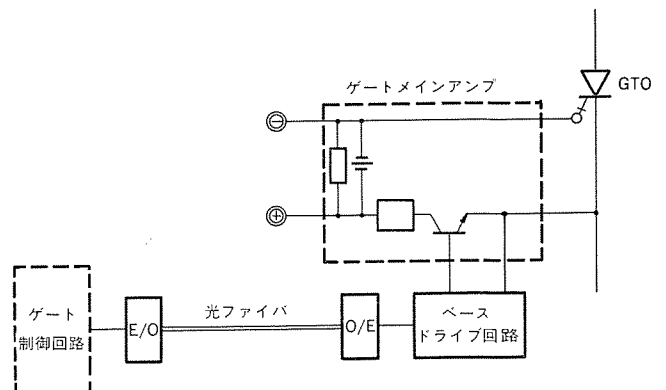


図 8. 光ファイバ式 GTO ゲート 回路

(1) スパコンデンサ

後に述べる配線インダクタンスを小さくしてGTOの電流が下降するフォール期間のスパイク電圧を抑え、スパコンデンサ容量4μFで2,000Aの遮断能力を実現している。

(2) スパダイオード

素子外装を工夫することにより、順回復電圧と内部インダクタンスの小さなスパダイオードを実用化した。

(3) 配線浮遊インダクタンス

GTOサイリスタ、スパダイオードとその冷却フィン、フロントタンクとその貫通ブッシング、スパコンデンサとそのブッシングの配置を三次元的に解析し、浮遊インダクタンスを大幅に低減した。図6.にその配置を示すが、タンク内に半導体素子と冷却フィン、タンク外にスパコンデンサを集約して簡素な構造とし、機器の信頼性を大幅に向上させている。

4.1.3 アノードリアクトル

GTOサイリスタの di/dt を抑制するアノードリアクトルなどの周辺回路は、主回路構成が簡単なVVVFインバータでは装置の信頼性や大きさを決定する重要な要素となる。当社はこの主回路の動作を詳細に分析し、図7.に示すアノードリアクトル集中方式を実用化した。この方式は、アームごとに挿入する方式と比較して、 di/dt 抑制効果は同じであるが、GTOサイリスタゲート電位の低下を図ることができ、部品の集約化による信頼性の向上と小形軽量化を実現している。

4.1.4 ゲート信号の光伝送

高速度でスイッチングするGTOサイリスタの応用製品は、一方でその制御部にマイコンを使用しており、パワーエレクトロニクスとマイクロエレクトロニクスの技術が高度に複合化したものである。それだけに高低圧絶縁技術が極めて重要で、従来のゲートトランス方式では、コロナによる絶縁劣化対策やトランス巻線間の浮遊容量を介した主回路からの誘導雑音対策に細心の注意を払ってきた。当社は、この高低圧間信号伝送に光ファイバを用いて、低レベルの信号受け渡しを実現した。そのため、

(1) ゲートプリアンプが不要となる。

(2) 主回路電位変化の影響を受けにくく、接地点のとり方も簡易化されるため耐ノイズ性が向上する。

などの特長があり、製品の信頼性を向上させている。図8.に光伝送ゲート回路を示す。

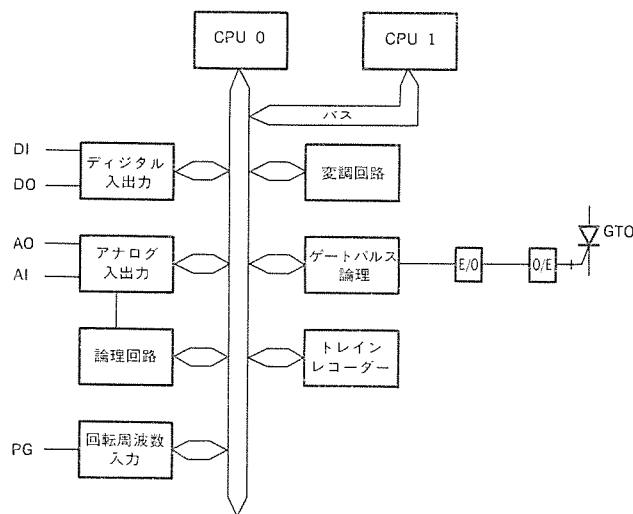


図9. 16ビットマイコンVVVFインバータ制御のブロック図

4.2 マイコンによる推進制御⁽⁹⁾

従来アナログ回路で構成されていた分野にマイコンが大幅に導入されている。それは次の点が主な要因となっている。

(1) 4象限チョップやVVVFインバータなどのように、複雑なパターン発生や制御モードの切替が要求される機種については、その機能実現にマイコンの応用が不可欠である。

(2) CPUの高速化やメモリの大容量化などのハードウェアの進歩、ソフトウェア支援システムの充実、更にサンプル値制御における制御理論の確立や現代制御理論の展開により、推進制御のデジタル化が技術的、経済的に可能となった。

(3) モニタや故障診断機能などの付加が容易である。

16ビットマイコンをマルチシステムとして使用して実現した、VVVFインバータの完全デジタル化制御系のブロック図を図9.に示す。主回路スイッチの投入・開放を行うシーケンス回路も徹底した機能分析によるソフトウェア化を検討し、大部分のリレレス化を実現した。一部の有接点機器も動作チェックソフトウェアを備えることによってインテリジェント化し、メンテナンスフリー性を追求している。

4.3 高粘着制御

4象限チョップやVVVFインバータ制御方式は、連続的な再粘着制御ができるだけでなく、駆動特性がいずれも分巻電動機特性をもっているため、高粘着すなわち高加減速度を実現できるのも特長の一つである。ここでは、マイコンを用いてその粘着性能を更に向上させる新開発アンチスリップ制御について述べる。

4.3.1 すべり特性

図10.に示すように、駆動力を増大させるとあるすべり速度 V_0 までは粘着力も増大するが、それ以上になると粘着力が減少してすべり速度は急激に増大する。これが空転である。したがって空転を

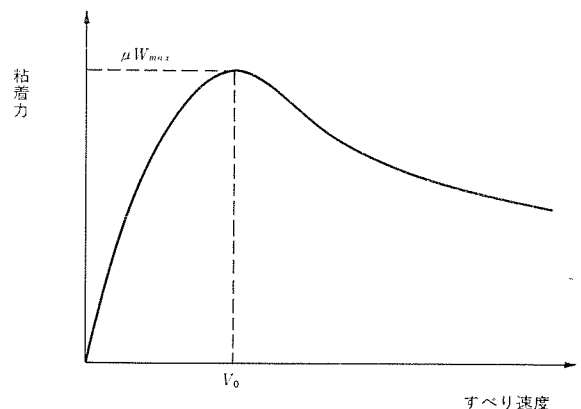


図10. すべり特性

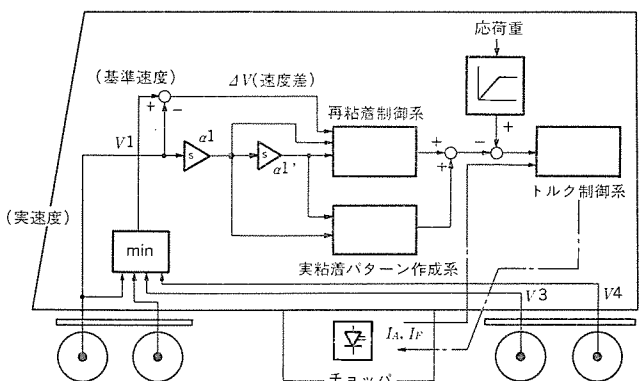


図11. アンチスリップ制御のブロック図

表 4. 平均加速度比較表

路面条件	現状制御	ANTI-SLIP 制御	向上率
乾 燥	3.32 km/h/s	→ 3.71 km/h/s	12%
散 水	1.94 km/h/s	→ 2.32 km/h/s	20%

最小限に抑え、粘着力のピーク値付近に制御領域を保つのが従来からの課題であった。

4. 3. 2 アンチスリップ制御

チョップ制御を実用化したとき画期的に向上した高粘着制御は、主電動機の電圧を検知して、その差やその変化率を空転量とみなし、それに比例して主電動機電流すなわち駆動トルクを下げて再粘着させていた。しかし、この方式には主電動機特性差などによる不要動作を防ぐ不感帯が必要であり、また速度によって感度が異なることも吸収しなければならぬため、再粘着制御が行われる空転量も大きく目になっていた。したがって、微小空転しながらの加速もその加速度低下量が大きく、乗り心地も十分良いとはいえなかった。新たに開発したアンチスリップ制御方式は、駆動軸のすべてから速度信号を採り、各々の速度差だけでなく加速度 α やその時間変化率 $d\alpha/dt$ を制御量として、マイコンのトルク制御系に入力している。図 11. にその制御ブロック図を示す。 α 、 $d\alpha/dt$ 検出によって図 10. の空転領域へ入ったことを直ちに見つけ、粘着力のピーク値へ早く戻す制御を行うすなわち加速度低下量を最小限にするものである。

4. 3. 3 現車試験結果

アンチスリップ制御を 4 象限チョップ電車で組み込んで、1M1T 編成の現車試験を行った。結果を表 4., 図 12., 図 13. に示す。この方式では微小空転のところで再粘着し、粘着力大、すべり率小の領域で制御できていることがわかる。従来のチョップ再粘着制御に比べ、10~20% の増粘着が可能となっている。

4. 4 一体箱構造

従来の車両床下ぎ(簾)装電機品は、メンテナンス性を重視して機能別に分散取付けされていた。4 象限チョップやVVVFインバータでは、そのメンテナンスフリー性を生かして一つの機器箱に集約し、車体中央部に取り付ける方式が有効で、そのメリットは次のようである。

- (1) 小形軽量化ができ省エネルギーにつながる。
- (2) 機器の完成度を工場が高め、信頼度を上げている。
- (3) 車体取付けの容易化により工程短縮が可能である。
- (4) 一体シールド構造により、地上信号機器や通信回路への誘導障害を抑制する。

5. む す び

以上、車両の性能を決定する主役である車両推進制御システムについて、そのニーズから技術的課題、4 象限チョップとVVVFインバータに代表される最新の技術及びそれを支える各種基幹要素技術を紹介した。当面パワーエレクトロニクス分野ではGTOサイリスタの大容量化と特性の改善が、マイクロエレクトロニクス分野ではマイコンの性能改善と機能拡大が図られるが、応用技術面からは次世代のデバイスも考える必要があるだろう。

車両システムはエレクトロニクス技術の進歩によって、今後ますます高機能・知能化、集約・統合化が進むと思われる。したがって、車両推進制御システムも車両性能の発揮だけでなく、車両全体に要求される多様化した機能を実現していく必要がある。それには個々の要素

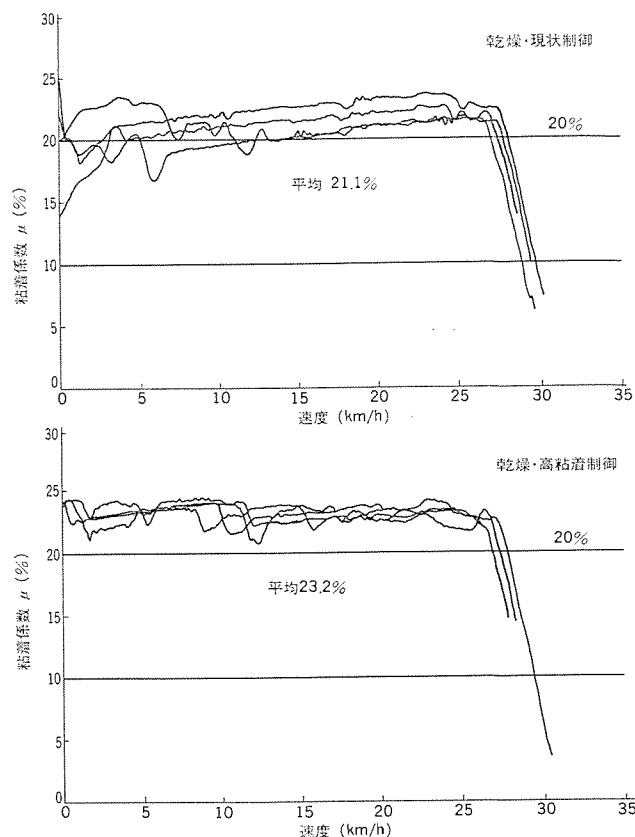


図 12. 速度-粘着特性試験結果

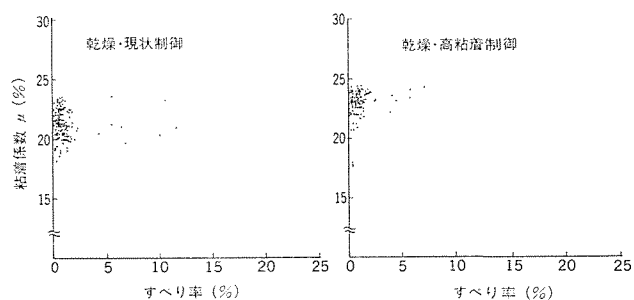


図 13. すべり率特性試験結果

技術の標準化を確立させ、システム技術の展開を容易にすることが重要であるが、我々メーカー技術者だけでは限界があるといわざるを得ない。ユーザー各位の御指導を得て最適なシステム構築に努力する所存である。

参 考 文 献

- (1) 刈田ほか：新方式高周波 4 象限チョップシステム，三菱電機技報，56, No. 8 (昭 57)
- (2) 居蔵ほか：交流可変速技術の車両への応用，三菱電機技報，57, No. 7 (昭 58)
- (3) 太田：車両のインバータ制御技術，OHM (昭 60-6)
- (4) 金田ほか：車両推進制御装置における GTO の応用，三菱電機技報，58, No. 12 (昭 59)
- (5) 四方ほか：マイクロコンピュータの車両用制御装置への応用，三菱電機技報，58, No. 3 (昭 59)

最近の車両用主電動機

宗行満男*
地蔵吉洋*

1. ま え が き

当社はすぐれた設計、製作技術、品質管理を基に、現在に至るまで世界中に40,000台以上の車両用主電動機を納入してきた。また、その種類は機関車用、郊外電車用、地下鉄用、軽快電車用などあらゆる種類の車両にわたっている。

最近、パワーエレクトロニクスやマイクロエレクトロニクスの発達に伴い、従来の抵抗制御車に代わってチョップ車が一般的になり、ここ数年はインバータ車が急速に増大してきた。当社でもそれを反映して、直流直巻電動機だけでなく、4象限チョップ車用の分巻電動機やインバータ車用の誘導電動機の納入台数が急増している。更に当社では、前述の回転形電動機に加え小形地下鉄や新交通システムの車両に最適と言われているリニアモータに注目し、その性能検証も進めている。

本稿では、最初に主電動機に関する最新技術、構造に触れ、最近の代表的な製作例を紹介し、後半で当社が試作し、当社伊丹製作所の構内で走行、検証しているリニアモータについて紹介する。

2. 最近の主電動機技術

車両用主電動機は、一般産業用の電動機と比べ、かなり厳しい仕様が与えられる。すなわち、限られた寸法制約の中に大容量の電動機を構成し、厳しい環境、使用条件の下で高い信頼性を保ち、かつ省メンテナンスなものとななければならない。そのため、設計段階で種々の解析を行い、洗練された構造を採用し、ハイグレードな絶縁を適用している。

2.1 解析技術

(1) 通風解析、温度上昇解析

主電動機がコンパクトに構成されるためには、通風のバランスをとり、内部の温度上昇のバランスをとることが重要である。そのため、主電動機内部の通風解析及び温度上昇解析を行って、電動機各部の温度が適正な値となるように設計される。図1.及び図2.に、800kWの大容量直流主電動機及び150kW誘導電動機の解析結果と実測値を示す。誘導電動機、直流電動機共、解析結果と実測値がよく合っており、設計段階での有力な手段となっている。

(2) 磁界解析、整流解析

直流機においては整流は最も重要な性能であるが、良好な整流性能を得るため、設計段階で主電動機内部の磁界分布解析及び無火花整流帯の解析を行って、コイル配置、補極の形状などを決定している。大容量機など特に整流の難しい電動機においては、有力な解析のための道具となっている。

2.2 絶縁

当社の主電動機は、優れた特性をもつユニークな絶縁システムを採用している。ここでは電着マイカ絶縁システムと、完全C種絶縁システムを紹介する。

(1) 電着マイカ絶縁システム

電着マイカ絶縁システムは当社独自の技術で、直流機の電機子コイルの基本絶縁(層間絶縁)に用いられている。この絶縁システムは電気泳動現象を利用して、水分散ワニス中に混入させたマイカ粉をコイル表面に接着させる絶縁方式で、その原理図を図3.に示す。すな

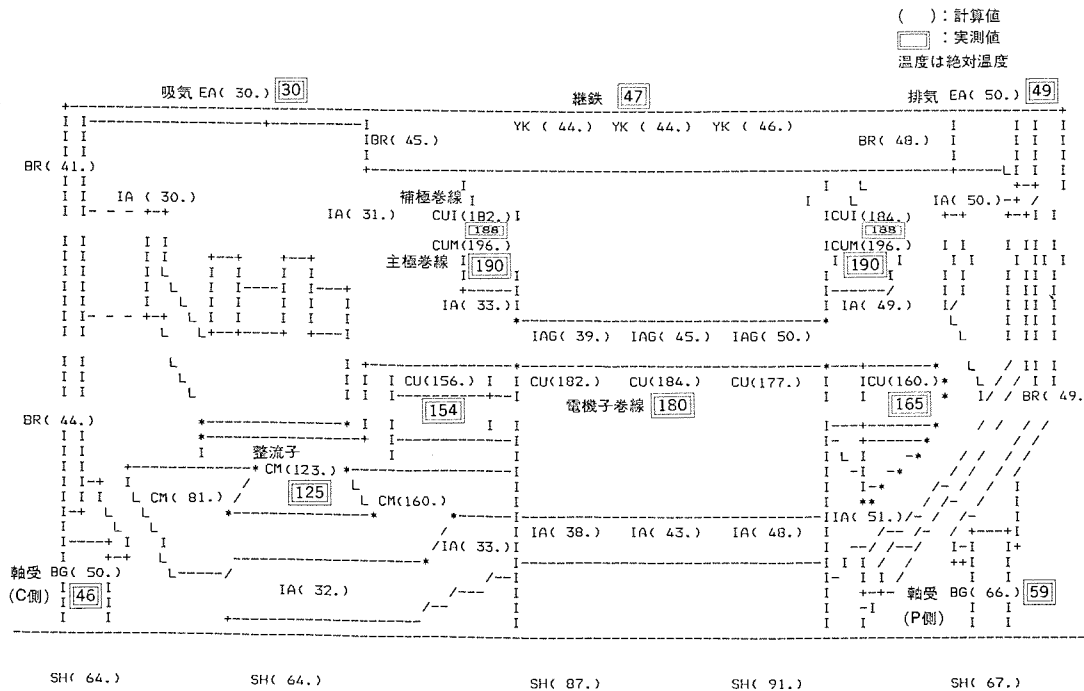


図 1. 800 kW 直流主電動機の温度上昇解析結果

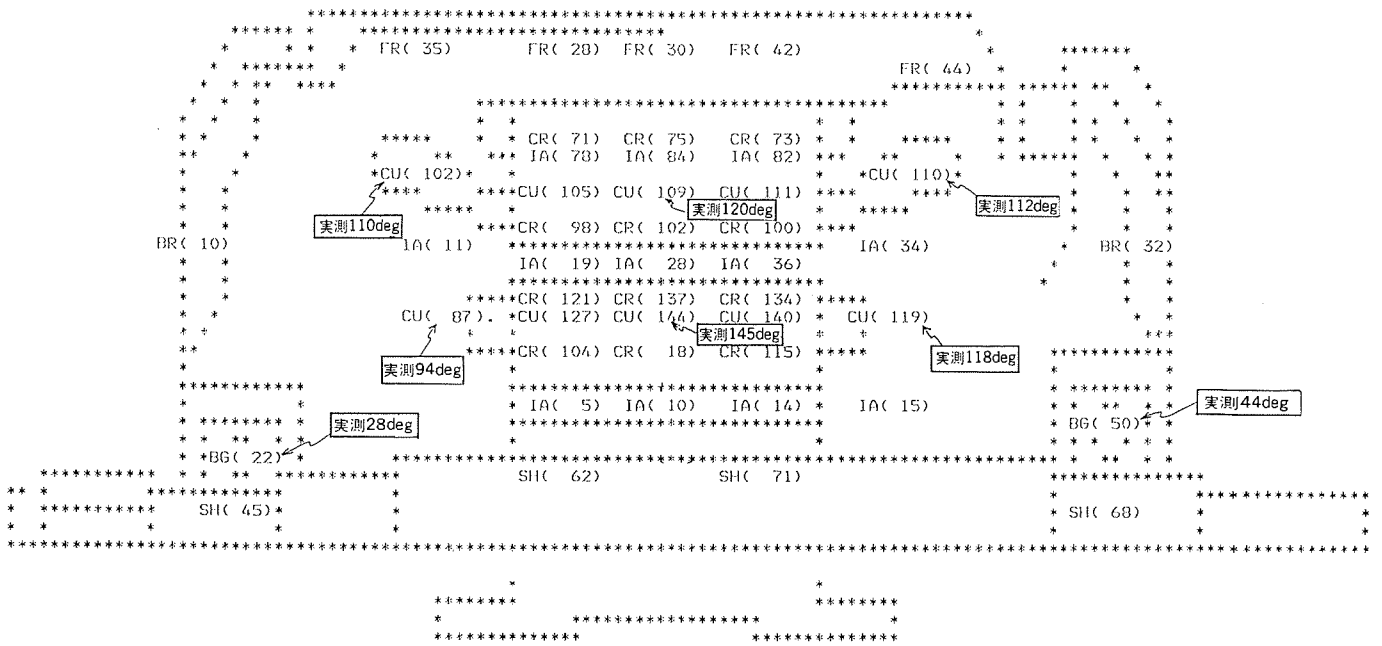


図 2. 150 kW 誘導電動機の温度上昇解析結果

わち、水槽にマイナス電位を印加し、成形されたコイルにプラス電位を印加すると、水中に混入されたマイカ粉が水分散ワニスとともにコイル表面に接着する。この状態はポーラスなので、含浸によりワニス容易に浸透し、優れた絶縁が形成される。

このシステムは無機質のマイカが基本となっているため、耐熱区分が高く、また化学反応を利用しているため、人手を介する必要がなく信頼性が極めて高い。当社では昭和45年から開発を開始し、最近では図4.に示すような大規模なプラントを完成して、すべての直流電動機の電機子コイルに電着マイカ絶縁システムを適用している。

(2) C種絶縁システム

最近、当社では従来のH種絶縁より更に耐熱区分の高い完全C種絶縁システムを開発した。図5.にIEC規格に従い、モータレットで評価した寿命曲線を示す。直流機の電機子コイルは230°Cで2万時間、界磁コイルは245°Cで2万時間、誘導電動機の固定子コイルは240°Cで2万時間の寿命をもつことが示されている。

以上のように、C種絶縁システムは極めて高い耐熱寿命をもっており、電動機の小形軽量化、特に整流子のない誘導電動機の小形化、長寿命化及び信頼性の向上に大いに寄与することが期待される。

2.3 構造

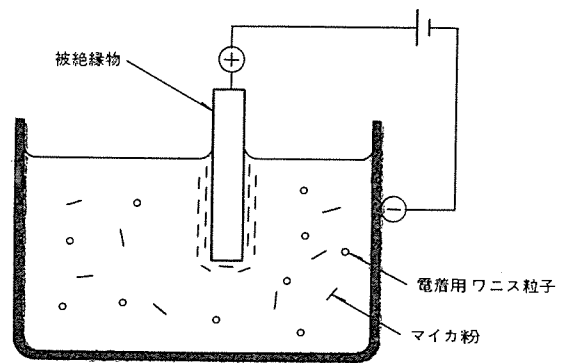
省メンテナンスは主電動機の重要な課題であり、主電動機の構造には、メンテナンスの軽減をねらって種々の工夫が凝らされている。以下に代表的な例を紹介する。

(1) 風取りカバー

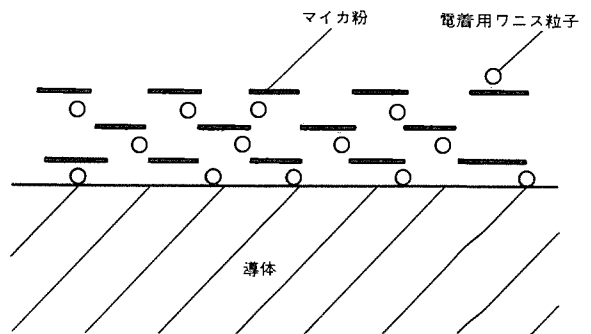
図6.に当社独特のエアインレットの構造を示す。重力分離を利用することにより、鋼毛を使わずに、ごみ、ちり、水の侵入を防いでおり、特に車輪と反対側から空気を取り入れる方式をとっているため、車輪側からのブレーキシュー、雨水など入りやすく、メンテナンスの極めて楽な構造となっている。直流機の場合は、ブラシの交換が必要なため、風取りカバー全体が取り外せる構造となっているが、交流機の場合はその必要がないため、風取り入れ口部(金網)のみ取り外せる構造となっている。

(2) ベアリング構造

ベアリング部は、当社独特の構造で6~8年間、無分解を目指した



(a) 電着原理図



(b) 析出被膜の構造

図 3. 電着絶縁

ものとなっている。図7.に示すように、従来の密封形構造をベースに考案されたもので、グリス補給口を設け3~4年目に給油することにより、古いグリスを排出グリスポケットに押し出し、新しいグリスと入れかわる構造とすることにより、長期無保守化を達成している。

(3) 端子箱構造

各部の保守回帰が延長されてくると、口出し線の交換の容易化も重要な課題となってくる。当社では図8.に示すように、簡単でか

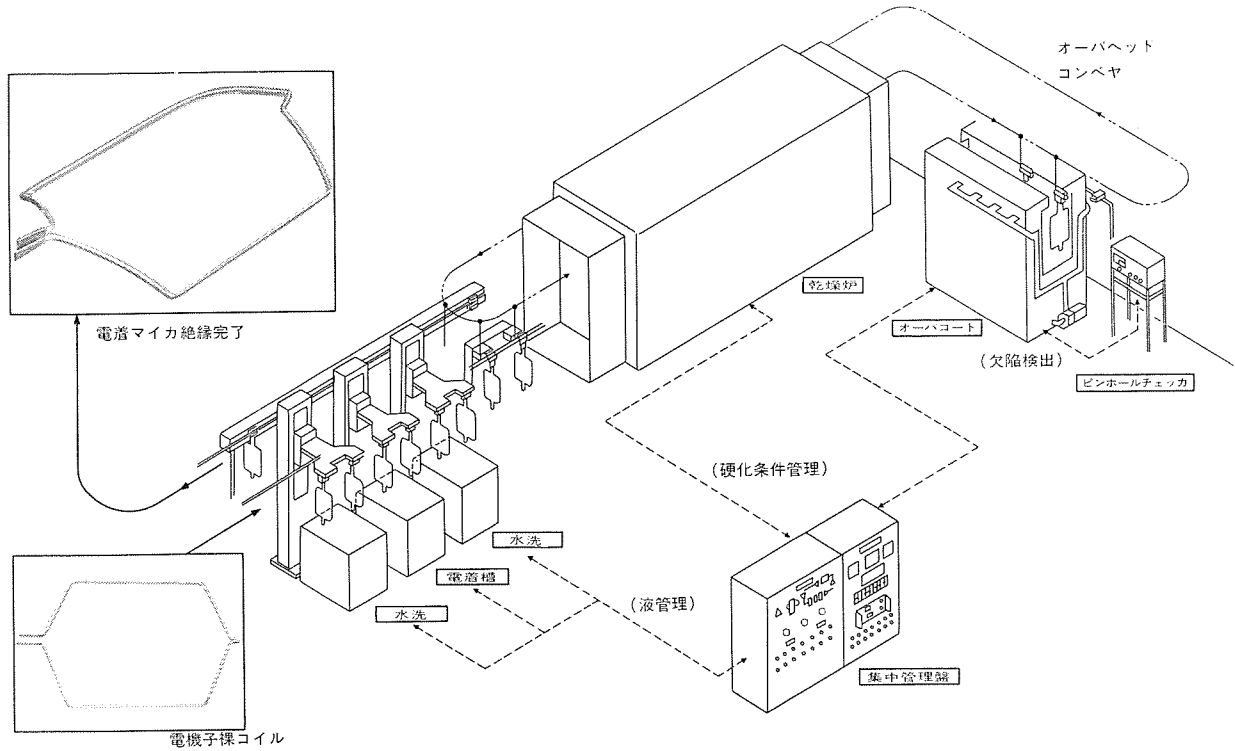


図 4. 電着絶縁設備

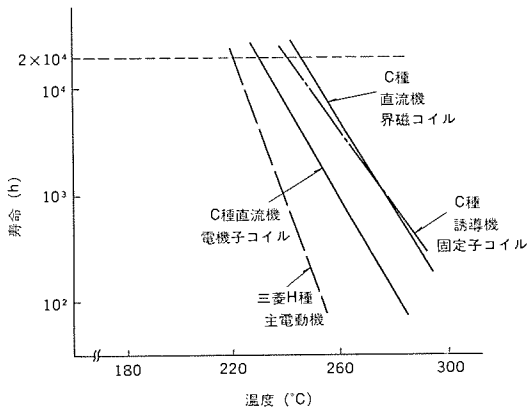
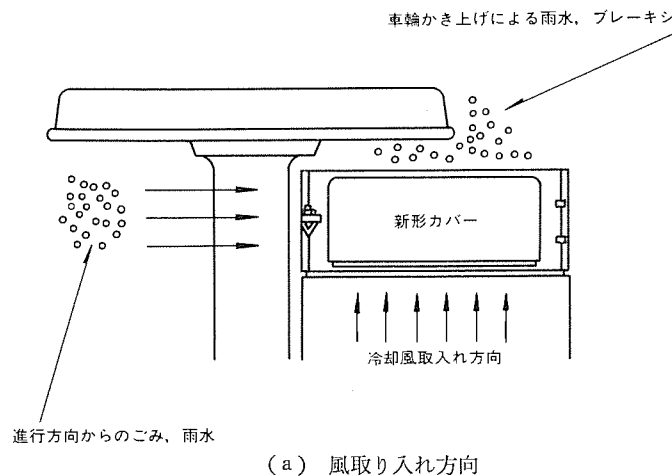
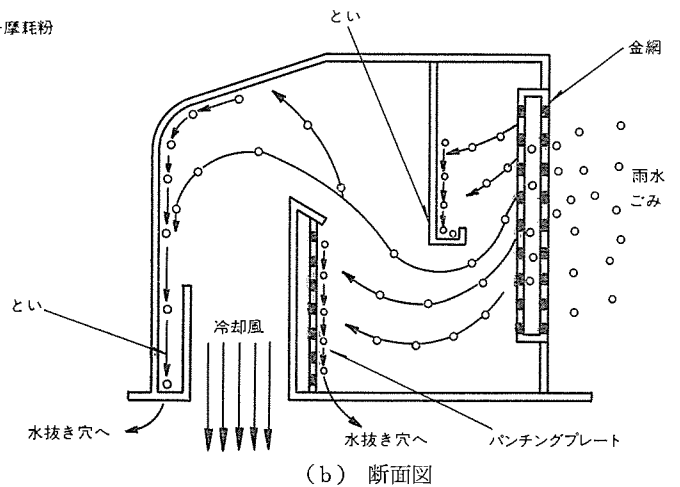


図 5. 三菱C種絶縁寿命評価特性

つ電線の着脱の容易な端子箱構造として、口出し線の交換の容易化を図っている。
(4) その他



(a) 風取り入れ方向



(b) 断面図

図 6. 風取りカバー

その他にも寿命の長い長尺ブラシや万一フラッシュオーバーが起こっても、簡単な清掃のみで再使用可能なブラシホルダの採用など、メンテナンスフリー化の努力がなされている。

3. 誘導電動機

最近インバータ車が増大し、車両駆動用の誘導電動機が増加してきた。車両駆動用の誘導電動機はかなり特殊であるので、以下にその特長を述べる。

3.1 すべり

誘導電動機は印加される周波数に対し、わずかに遅れた周波数で回転することによりトルクを発生する。この遅れは、すべりと呼ばれるが、その量は印加される周波数に対して、わずかに数%であり、発生するトルク及び流れる電流はほぼ、すべりの量に比例する。車両では複数の電動機が1台のインバータで制御されるため、複数の電動機に同じ周波数が印加されるが、車輪径に差があると異なる回転数で回るため、すべりが異なって運転されることとなり、それぞ

れの電動機の発生するトルク、流れる電流にアンバランスが生ずることとなる。

例えば、図 9. のように力行において、電動機が $s\%$ すべりで運転されている場合、車輪径差が $\pm a\%$ あれば、大径車輪を駆動して回転の遅い電動機は、 $(s+a)\%$ のすべりで運転されていることとなり、トルク、電流共に規定の値に対して $(s+a)/s$ 倍となり、電動機の責務も厳しく、また粘着が厳しくなってくる。

車輪径差の影響を受けにくくするためには、電動機のすべりを大きく設計しておく以外に、車両用では回転子導体に特殊な黄銅を使うなどして、定格すべりを 3% 程度に設定している（一般産業用では $1\sim 2\%$ ）。また、同時制御される電動機の装着された車輪間の径差は、 6 mm 程度 ($\pm 3\text{ mm}$) に管理することにより、トルク、電流のアンバランス量は $\pm 10\%$ 以下に抑えられている。

3.2 フレームレス構造

直流電動機はフレームが磁気回路を構成しているが、誘導電動機の場合は、磁気回路を構成せず単に電動機を支えるための構造物となっている。誘導電動機の特長の一つに小形軽量があるが、フレームをいかに軽量化してゆくかは、重要な課題の一つでありフレームレスの誘導電動機を試作した。誘導電動機の外観を図 10. に示す。積層された固定子鉄心を両側からクランプで締め付けて、クランプに電動機取付腕を溶接したもので、積層された固定子の外周は、むき出しとなっている。この構造により、電動機は従来形に比べて約 30 kg 軽量化されている。

3.3 重量

誘導電動機の重量を図 11. にまとめた。直流電動機に比べ、 20% 程度軽量化されていることがわかる。

4. 最近の主電動機製作例

ここでは、最近製作された代表的な主電動機を紹介する。表 1. にその主要要目を示す。直流分巻電動機（図 12.）や三相かご形誘

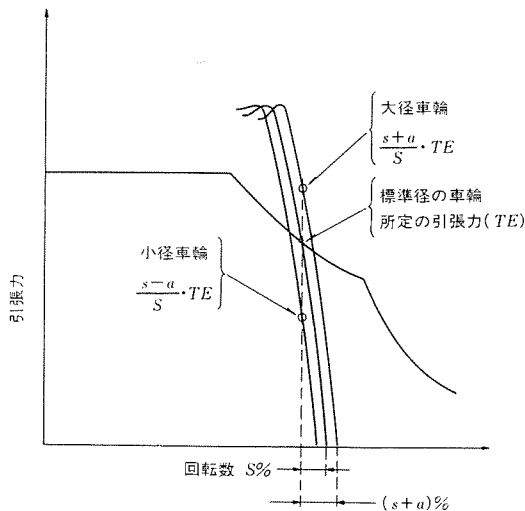


図 9. 車輪径差と引張力のアンバランス

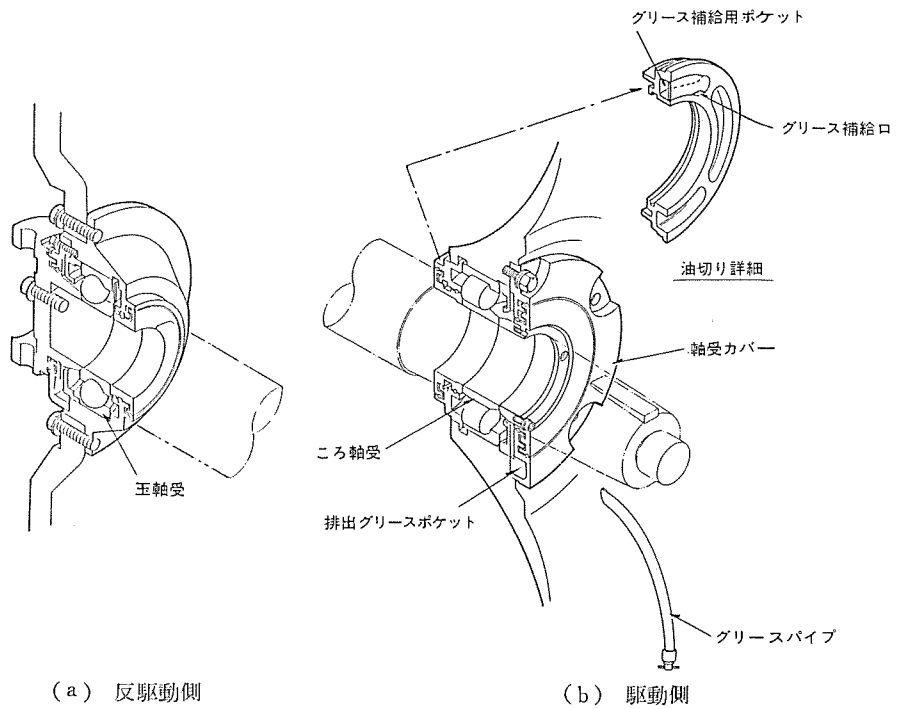


図 7. ベアリング構造

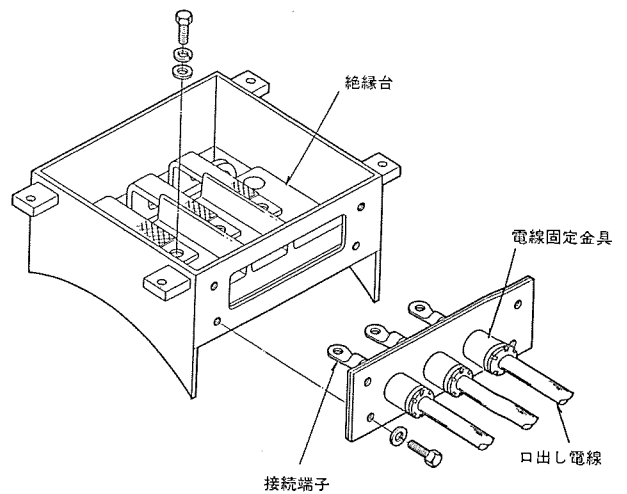


図 8. 端子箱

導電動機（図 13.）が増大しており、昭和 62 年 3 月時点で分巻電動機は約 600 台、誘導電動機は約 350 台の納入実績となる。また、機関車用主電動機は、ますます大容量化する傾向にあり、中国向け 6 軸機関車用の 800 kW の主電動機は、つりかけ式でありながら

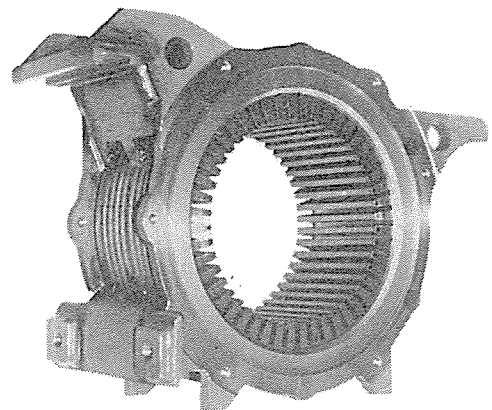


図 10. 誘導電動機 フレームレス構造

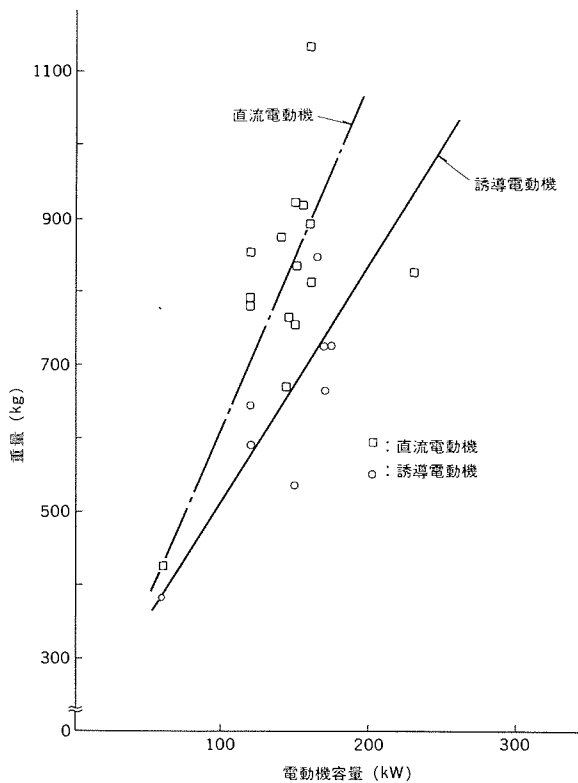


図 11. 主電動機容量と重量

3,450 kg と非常に軽く構成されている。

5. リニアインダクションモータ

ここでは、最近、小形地下鉄用あるいは新交通システム用として注目されている リニアインダクションモータについて述べる。リニアインダクション

モータは、三相誘導電動機をその軸に平行な面で切断して水平に展開したような構造をしており、回転運動の代わりに直線運動をする誘導電動機である。車両推進用としては、片側励磁式のもの一般的であり、固定子部分を車上に、回転子に相当するリアクションプレートと呼ばれる アルミニウムと鉄の複合板を地上に敷設する。

リニアモータは、その特長をいかして、低床形で急こう配や急カーブの路線をスムーズに走行できるリニアモータ駆動の電車システムの開発が進められている。このリニアモータ電車は、建設費が安く、経済的な都市内の中容量交通機関の実現を目指して、小形地下鉄や新交通システムへの適用が検討されており、その実用化の日も近いと考えられる。

以下にリニアモータ電車推進用のリニアモータの特長、構造などについて述べる。

5.1 リニアモータの特長

- リニアモータは三相誘導電動機の一つであり、基本的には回転形の三相誘導電動機と共通性があるが、一方ではリニアモータ特有の性質もある。このリニアモータ固有の特長について示すと以下のようになる。
- (1) 形状が扁平薄形であり、回転部分など機械的可動部分がない。したがって、車両の低床化が可能となり、また保守も容易である。
- (2) 直接に直線運動が得られ、減速歯車装置が不要である。
- (3) 推進力は、リニアモータの一次側とリアクションプレートとの間に非接触で直接伝達される。すなわち、非粘着推進である。
- (4) 推進力のほかにリニアモータの一次側とリアクションプレートとの間に吸引力が働く。
- (5) リニアモータは長さが有限であるため、端効果が存在する。

したがって、リニアモータを設計する場合、上記の吸引力に対して十分な剛性を持ったフレーム構造とすること、端効果による特性の低下を考慮に入れた設計とすることが重要である。リニアモータの場合は、

表 1. 最近の主電動機製作例

項目	形名	MT-202	MB-3290	MB-3286	MB-3301	MB-5021	MT-63	MB-530
用途		新幹線	4象限チョップ車	4象限チョップ車	4象限チョップ車	インバータ車	インバータ車	AC機関車
形式		直流直巻電動機	直流分巻電動機	直流分巻電動機	直流分巻電動機	かご形誘導電動機	かご形誘導電動機	直流復巻電動機
容量 (kW)		230	120	160	145	170	150	800
電圧 (V)		625	300	375	375	1,100	1,100	925
電流 (A)		405	440 分巻 90	480 分巻 40	430 分巻 90	115	100	940
回転数 (rpm)		2,900	1,600	2,050	1,950	1,895	2,200	930
重量 (kg)		825	790	810	670	665	535	3,450
外観					図 11.	図 12.		

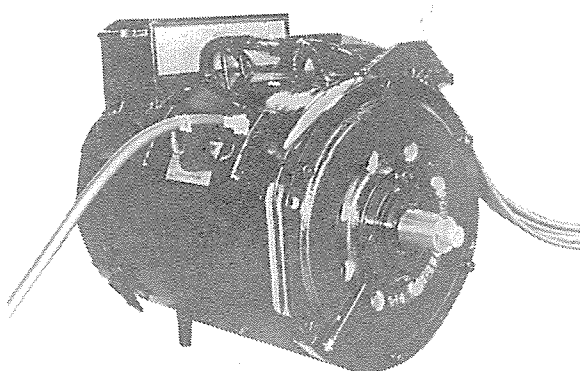


図 12. 4象限チョップ車用 145 kW 直流分巻電動機

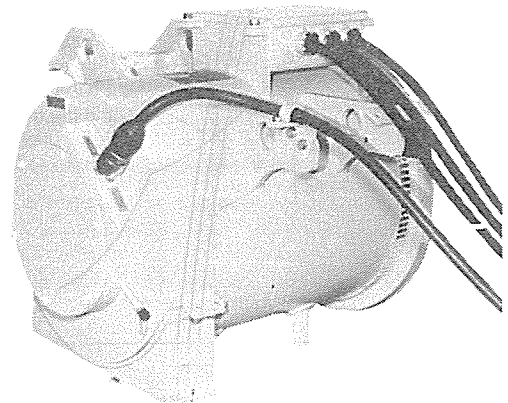


図 13. インバータ車用 170 kW かご形誘導電動機

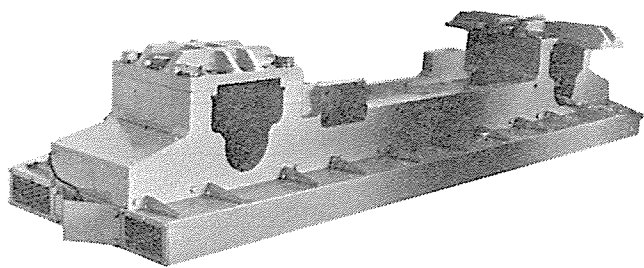


図 14. リニアモータ (一次側) の外観

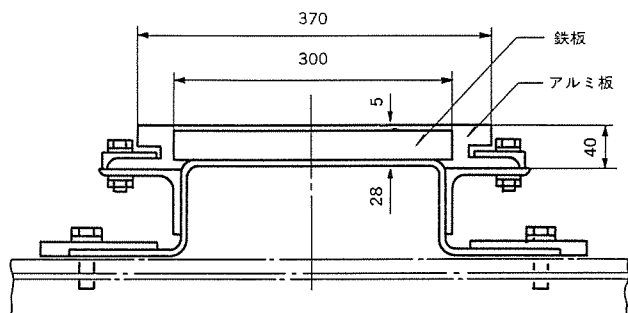


図 15. エンドバー式リアクションプレートの断面図

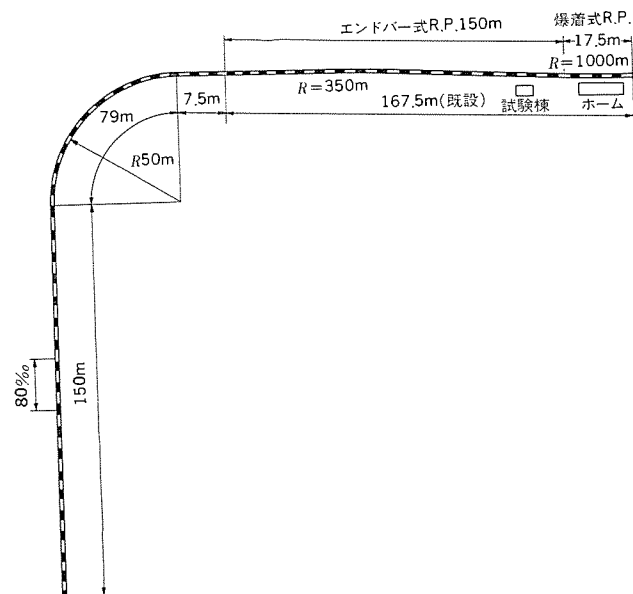


図 16. リニアモータ 電車総合試験設備

表 2. 試験項目

- (1) 主要機器の特性試験
 - (a) LIM 特性試験
 - (b) VVVF インバータ制御特性試験
 - (c) ブレーキ制御特性試験
 - (d) リアクションプレート特性試験
- (2) 総合エンジニアリング試験
 - (a) 走行性能試験 (車両性能, 車体, 台車)
 - (b) リアクションプレートの環境, 機械的強度試験
 - (c) 騒音測定試験
 - (d) 信号, 保安に関する試験

二次回路がプレート状であり、従来の回転形インダクションモータのような等価回路や円線図法といった手法を用いるのが困難であり、特性の計算は端効果も考慮した電磁気的な取扱いによって計算機で数値

計算を行っている。

5.2 リニアモータの構造

リニアモータは、けい素鋼板を積層した偏平く形状の固定子鉄心に 2 層重ね巻きした三相巻線が施されており、吸引力に対するたわみを抑制するために、長手方向に通した 2 本のはり(梁)からなるフレームに取り付けて固定する構造となっている。

コイルエンドはステンレス製の保護カバーで覆われており、強制風冷式の場合この保護カバーは冷却風筒も兼ねている。リニアモータの台車への取付けは、球面ころ軸受を介して前後の車軸に 2 点支持される構造となっている。ローリングに対しては、一方の球面ころ軸受支持部から張り出した腕を、車軸に設けた左右のころ軸受部で受ける構造となっている。球面ころ軸受を使用するのは、セルフステアリング機構を



図 17. 試験車両の外観

表 3. リニアモータ 車両総合試験設備用試験車両要目

項番	項目	仕様
1	電気方式	DC 750 V 架空電車線方式
2	軌間	1,067 mm
3	加速度	3.0 km/h/s
4	減速度	3.5 km/h/s
5	車体	鋼製溶接構造 寸法: 9,288(L) × 2,450(W) × 3,050(H) (mm) 床面高さ: レール面上 700 mm 自重: 15 t
6	台車	ボルスタ付き台車 セルフステアリング構造 軸距: 1,680 mm 車輪径: 500 mm 台車高さ: 580 mm
7	リニアモータ (車上一次側)	70 kW, 三相, 550 V, 255 A 20 Hz, 8 極 所要推力: 1,350 kg/台 1 台/両
8	リアクションプレート (地上二次側)	厚さ: 33 mm (アルミ 5 mm, 鉄 28 mm) 幅: 鉄, アルミ共 300 mm (爆筋式) 鉄 300 mm, アルミ 3.70 mm (キャップ式)
9	VVVF インバータ装置	350 kVA PWM 方式 入力: DC 750 V 出力: AC 550 V, 20 Hz, 三相 制御周波数 2~45 Hz

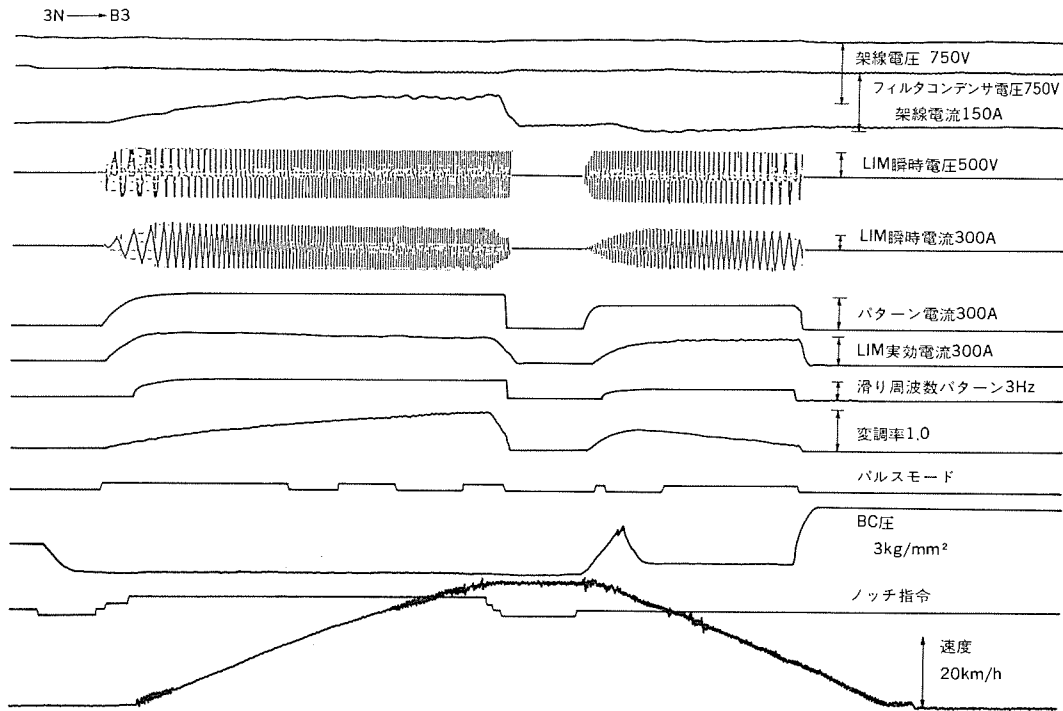


図 18. 走行試験 オシログラム

持った台車において、車軸の動きを拘束しないようにするためである。リニアモータの外観を図 14. に示す。

5.3 リアクションプレート

リアクションプレートは、回転形誘導電動機の回転子に相当し、車上の一次側とともにモータの特性を左右する重要なコンポーネントである。リアクションプレートは、一般にアルミニウム板と鉄板から構成され、両者の固定方法は爆着が一般的であるが、このほかにアルミニウム板と鉄板を直接には接合しないキャップ式と呼ばれるタイプのもがある。

後述する当社伊丹製作所構内に設置された「リニアモータ電車総合試験設備」では、爆着式とキャップ式の一つである図 15. にその断面図を示したエンドバー式のリアクションプレートが敷設されている。このエンドバー式リアクションプレートは二次鉄心よりオーバハングした部分のアルミ導体の断面積を大きくして、二次抵抗を低くするとともに推力の発生に寄与する二次電流の横方向成分を増加させて、同一滑りに対する推力特性を改善できる。

5.4 リニアモータ電車総合試験設備の概要

リニアモータは前述のように直線運動を行うため、実使用状態での特性を検証するためには、実際に走行させて試験する必要がある。そこで、実際に走行させることによってリニアモータの特性を試験するだけでなく、VVVF インバータとの組合せ制御特性や、リアクションプレートの電気的、機械的特性、台車の機械的特性、騒音などのリニアモータ電車に関する種々の試験を行う目的で、当社伊丹製作所構内に、リニアモータで駆動される試験電車とリアクションプレートを敷設した走行路からなる「リニアモータ電車総合試験設備」を設置した。図 16. にこの試験設備の線形を、表 2. にこの設備を用いて行える試験項目を示す。

図 17. に試験車両の外観を示す。また、主要項目を表 3. に示す。

最後にこの試験設備による走行試験結果の一例を図 18. に、またこれらの結果から求められたリニアモータの推力、電流などの特性を計画性能と比較したものを図 19. に示す。

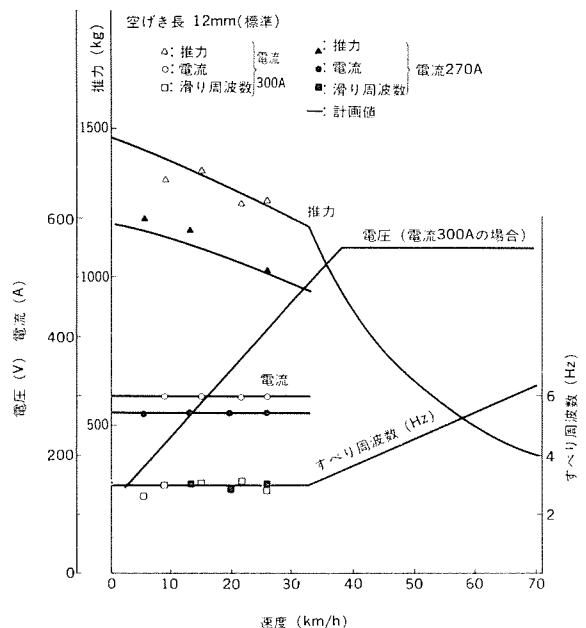


図 19. リニアモータの性能測定結果 (加速時)

これまで、この試験設備を使用して得られた種々の試験結果から、リニアモータ電車システム実用化の目処が得られた。

6. む す び

以上、直流電動機、誘導電動機から、リニアインダクションモータに至るまで、最近の主電動機について述べてきた。最近では制御方式も多様化し、かつ機能も拡大しており、車両推進システムの中で占める電動機の比重は下がりつつあるものの、依然として車両の中で最も重要な機器であることには変わりはなく、今後更に全体システムの中で電動機をとらえながら、より小形軽量に、より信頼性高く、より省メンテナンスな電動機を求めて、新しい技術の開発に挑戦していきたい。

車両補助電源システムと空調システムの動向

松永健市郎* 米畑 譲***
東濱 忠良* 堤 好一郎†
加我 敦**

1. ま え が き

今日、車両の冷房化は旅客輸送サービス向上の一環として強力に推進され、首都圏の車両冷房化率は今や平均 85% に達している。しかしながら、従来の車両冷房は機能上限界のある オン・オフ制御であるため、時として“冷え過ぎ”たり、梅雨時には“蒸し暑くなる”こともある。

一方、マイクロプロセッサ応用技術や可変速制御技術の発展によって、今や“車両冷房”からより快適な“車両空調”へ脱皮し、車内環境改善のニーズにこたえられるようになった。しかも空調の電源まで含めて系統化を図れば車両内のシステムも改善され、機器の小形軽量化や高効率化も促進することができる。

ここでは、総合的に空調装置と電源の機能の向上を図り、次世代に向けて再構築された補助電源を含めた車両用新空調システムを紹介する。

2. 新空調システムの概要

図 1. に今回実用化した新空調システムの概要を示す。このシステムの特長は、DC 1,500 V 架線から DC/DC コンバータによって安定化された DC 600 V を、空調電源 BUS(母線)として編成内を引き通していることである。各車両のインバータ空調装置はこの BUS から電力を供給され、車内の湿度・温度の制御を行う。この結果、広範囲な気候や周囲条件のもとで、快適性は大幅に改善される。

しかも、コンバータは従来の静止形インバータ(SIV)よりも小形軽量となることはもちろん、インバータを組み込んだ空調装置も同様に小形化されている。

3. 車両冷房の現状

3.1 快適性

快適性の評価として数値的に定義をすることは、多少困難な面がある。乗客は老若男女にわたり、しかも幅広いし(嗜)好性を持つため一つの数字で表現しがたいが、“日本人対象の快適度”⁽¹⁾を基にし

ている。例えば、100人中85人が快適な状態を“快適度85%”と定義する。

快適度は $\pm 2^{\circ}\text{C}$ の温度偏差で約 20% のばらつきが生じるものであり、従来の オン・オフ制御での快適性の管理能力が、この程度である。原因は温度センサの検知ヒステリシス幅が大きく、応答時間も遅いことと、冷房装置も冷媒圧力の関係で再起動に所定の時間が必要なため、結果として車両内の温度管理の精度は、人の感じる快適さからみると必ずしも十分なものではなかった。例えば、昼間の乗客の少ない時間帯では、酷暑の期間でも“冷え過ぎ”を指摘されることがある。また、周囲温度が低い降雨時には冷房装置が十分稼働せず、締め切った車内ではかなり不快な状態になることもある。

冷房制御を必要とする時間のうち、冷房装置がフル稼働する時間の割合はむしろ少なく、大半は自動制御の オン・オフ、間欠運転が行われ、温度・湿度の管理が必要であると考えられる。例えば、一つの編成において 18 時間冷房装置が運転されている状況でも、フル運転を行うラッシュ帯を 5 時間とみれば、オン・オフ制御をしなければならない時間は 13 時間(全体の 72%)に達する。

このことから、乗客閑散時や除湿必要時における快適性の向上を望まれてはいたが、技術的なブレークスルーがなく今日に至っている。

3.2 システム

空調装置は 1 車両(20 m 車)あたり、30 kVA 程度の電力を必要とする。このため、冷房開始時に数両が同時に起動すると電動発電機や SIV の過電流限界に至り、システムダウンとなるおそれがあるので順序起動シーケンスを備え、起動突入電流を分散するようにしている。しかも、電気機器品交流化の一環として電動空気圧縮機も交流化され、この間の起動優先シーケンスが加わることを想定すると、空調システムは更に複雑になる。

4. 新空調制御システム

エレクトロニクスの進歩によって、快適性向上のニーズに今、こたえることができるようになった。図 2. に今回実用化したマイクロプロセッサ

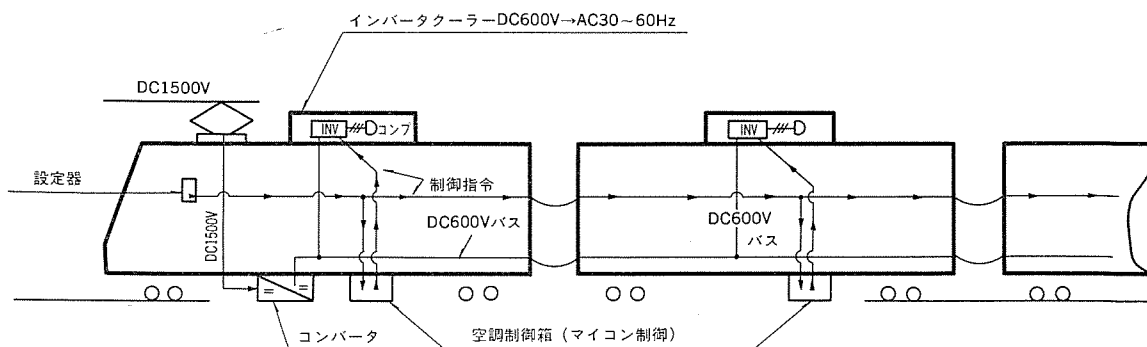


図 1. 新空調システム

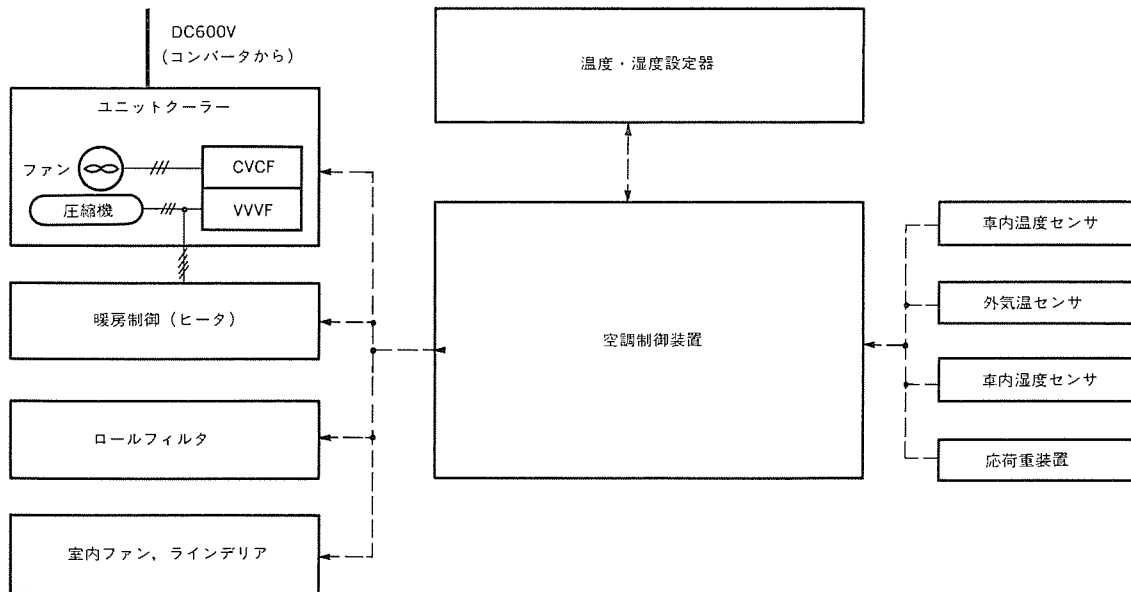


図 2. 新空調制御システム

応用の新空調制御システムを示す。

4.1 新空調制御の電子デバイス応用

新空調制御の特長は、最近のマイクロエレクトロニクスとパワーエレクトロニクス双方の応用に大きく依存している。

(1) 電子センサの採用

車内の温度と湿度を高精度・迅速に検出する。

(2) マイコン演算処理

車外温度や乗客のこみ具合(応荷重)によって、適宜、空調能力を補正し最適な除湿冷房運転パターンを設定する。

(3) パワートランジスタ応用

1,200 V・300 A, 1,400 V・80 A 素子の空調駆動インバータへの採用。

などである。

4.2 快適性向上の制御

従来のオン・オフ制御の精度では快適度の管理幅は60~85%の範囲であったが、インバータ空調によって車内温度は±1°C以下に制御され、快適度の管理幅は80~85%にまで改善される。更に快適度の向上には、ラインデリアや室内ファンを有効に活用することが重要である。例えば、“気温26°C、湿度55%”での快適度は85%であるが、ラインデリアを併用して風速約1.5 m/sの空気の流れを加味すると、“気温27°C、湿度65%”でも同じ85%の快適度がえられるからである。

今回実用化した快適性向上のソフトウェアは、温度と湿度の相関をアルゴリズム化したものである。個々の要素を以下に紹介する。

(1) 除湿制御ソフトウェア

除湿制御は今、車両空調システムに求められている最重要課題である。前節で現状の除湿制御について若干触れたが、ここでもう少し詳細な説明を加える。

梅雨時など外気温度の低い季節には、車内温度はあまり上昇せずに湿度が増大し、快適度が低下する。除湿を行うには、車内が冷え過ぎないように冷房能力を下げた運転を行う必要がある。このためには温度と湿度を正確に検知し、きめ細かく冷房能力の制御を行わなければならないが、従来のオン・オフ方式ではモードが粗く、除湿の効果が現れるまでに温度が低下してしまい、空調制御は停止する

ことが多い。

インバータ空調では冷房能力を抑えた運転を行えるので、低温時でも湿度を下げることによって、快適性を保つものである。新空調システムでは除湿ソフトウェアの実用化により、温度と湿度から圧縮機容量と、室内ファン風量制御の適正運転パターンを設定し、効果をあげている。特に、約25°C以下では、人体の顕熱による発熱量が潜熱発生量よりも高くなる現象、すなわち再熱効果を有効に利用して相対湿度を抑制した。

(2) 外気温度追従ソフトウェア

車内と車外の温度差が大きいと、乗降時に時としてヒートショックを覚えることがある。こうした弊害を避けるために、外気温度が33°C以上においては、外気温度追従ソフトウェアによって車両内外の温度差を7°C以下に抑える。

(3) 換気制御ソフトウェア

換気量を多くするほど空調装置の負荷が増加する。このソフトウェアによって、一人当たりの基準換気量を約13 m³/hとし、適切な快適度を保ちながら電力消費の削減を達成している。

4.3 新空調制御の省エネルギー効果

快適性の向上がもたらされることは言うまでもないが、省エネルギー効果も重要な点である。第一に、インバータによる起動制御によって起動突入電流を抑制し、オン・オフ制御に比較して約10%の節電が可能である。第二に、冷房効率の向上がある。

クーラーの冷媒サイクルは、低速領域においてエネルギー消費効率(EER)が著しく向上する特長がある。これは、圧縮機容量は低下するが熱交換機容量の比率が相対的に増加するため、可変速(VVVF)制御によれば自由に回転数を制御できるため、低回転領域でも効率良く温度制御が可能になる。もちろん、冷房能力は圧縮機の運転周波数にほぼ比例して変化するので、乗客数や外気の変動、ドア開閉に応じた温度変化に対しても、精度、効率とも良好に応答する。この結果、オン・オフ制御に比べてシーズン期間中の節電率は15%を期待できる。

第三は、機械的な面での特長で、従来一般に使用されていたレシプロ圧縮機に比べて圧縮効率の良いロータリ圧縮機の採用や、内面溝付き配管を使用した熱交換器の採用などによって、10%の電力節

減となる。

4.4 新空調制御装置

図2.に示すように、インバータ部は車両屋根上搭載のユニットクーラーに内蔵されており、DC 600 V を電源とする。この DC 600 V は、DC 1,500 V 架線からコンバータを経由して定電圧変換されており、この電圧では補助機器の耐圧仕様を変更する必要はなく、使用するトランジスタにとっても効率的な電圧値であることから設定されている。

圧縮機は、インバータ出力の可変電圧・可変周波数 (VVVF) 三相交流 (最大 AC 440 V) で、送風ファンは定電圧・定周波数 (CVCF) で駆動制御されている。以下に主要構成機器について述べる。

(1) 空調マイクロプロセッサ (マイコン) 制御装置

マイコンユニット、各種主回路接触器などから構成されている。この装置は指令条件や環境条件 (温度・湿度・荷重) を管理し、主回路接触器ユニットクーラーに対して制御指令を与える。図3.に装置外観を示す。

(2) 温度・湿度表示設定器

クーラー・インバータの運転目標をここで設定し、運転状況及び故障状況も表示する機能もっている。故障状況の把握と処理の迅速化に有効である。図4.に外形を示す。

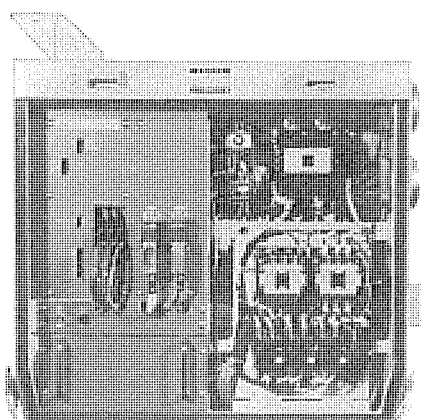


図3. 空調制御箱 (床下取付け) (マイコン制御ユニット搭載)

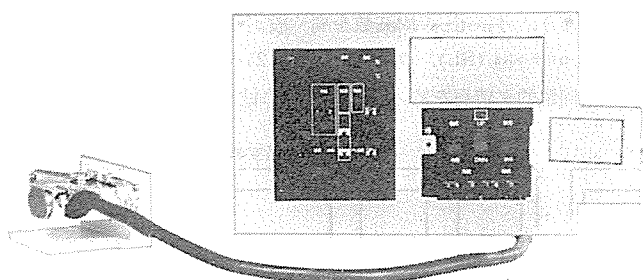


図4. 温度湿度表示設定器 (車内取付け)

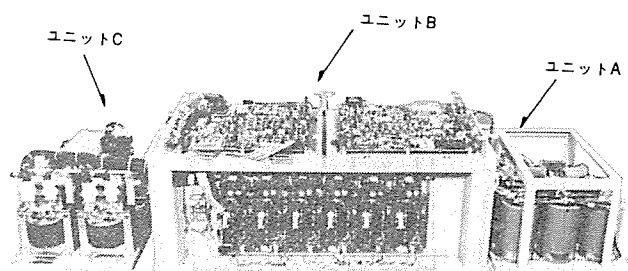


図5. 空調容量制御インバータユニット (屋根上、クーラー内搭載)

(3) 空調容量制御インバータユニット

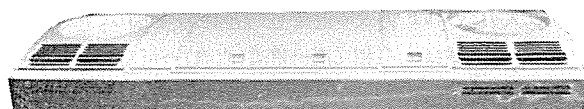
送風機制御用 CVCF 電源ユニットと、圧縮機制御用 VVVF 電源ユニットを組み合わせた複合形インバータとし、屋根上のユニットクーラーに収納しやすい構成としている。図5.に電源ユニットの外形をしめす。

(4) 空調装置 (ユニットクーラー)

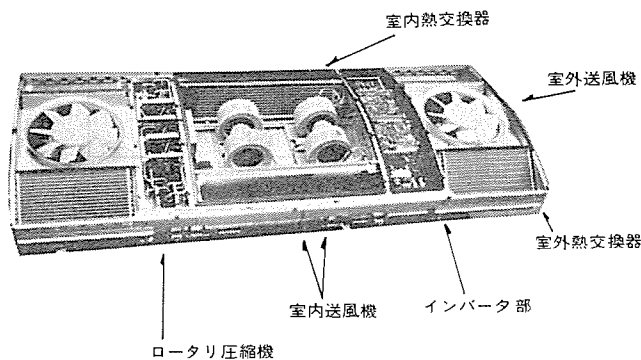
空調装置には圧縮機を駆動する上記インバータが内蔵されている。しかし、装置外形は圧縮機を従来のレシプロタイプからロータリタイプに

表1. インバータ空調装置の仕様

		仕 様		
電源装置	方 式	コンバータ		
	容 量	130 kW		
	入 出 力	入力 DC 1,500 V, 出力 DC 600 V $\begin{matrix} +5\% \\ -10\% \end{matrix}$		
冷房装置	方 式	集中式		
	容 量	42,000 kcal/h		
	循 環 風 量	110 m ³ /min		
	扇 風 機	ラインフローファン又は首振り扇風機		
	圧 縮 機	回転式 2.4 kW × 4 台 (VVVF 電源)		
	制 御 方 式	車内外温度、湿度センサ、乗車効率検知などによるマイコン制御		
	室 内 送 風 機	シロッコファン 55 m ³ /min × 2 台		
	室 外 送 風 機	軸流ファン 160 m ³ /min × 2 台		
	熱 交 換 器	内面溝付管使用プレートフィン形		
除 湿 運 転	あり			
冷房装置駆動インバータ	方 式	CVCF+VVVF 複合形トランジスタインバータ		
		CVCF インバータ部	VVVF インバータ部	
		室内、室外送風機制御用	圧縮機制御用	
	入 力	主回路電源	DC 600 V $\begin{matrix} +5\% \\ -10\% \end{matrix}$ (コンバータ装置から給電)	
		制御電源	AC 200 V ±10%, 1φ, 60 Hz	
	出 力	定格容量	7 kVA	23 kVA
		定格電流	9 A	30 A
		定格電圧	三相 AC 440 V, 60 Hz	三相 AC 440 V, 60 Hz
		周 波 数	40 Hz (除湿モード) 60 Hz (冷房モード)	30~60 Hz
	制 御 方 式	正弦波近似 6相 PWM 制御 (V/f 一定)		



(a) 外 観



(b) 内 部

図6. CU76形可変容量制御冷房装置

表 2. 車両補助電源 システム 比較検討表

1. 現 行 方 式	2. AC入力VVVF方式	3. 低圧DC入力VVVF方式
<p>DC1,500V SIV (入力) (出力) AC440V 3φ 60Hz (又はAC200V 3φ) DC100V</p> <p>— : 直流 / : 変換器 ~ : 交流 ⚡ : 可変電圧, 可変周波数</p> <p>交流一般負荷</p>	<p>DC1,500V SIV AC440V 3φ (又はAC200V 3φ) DC100V</p> <p>交流一般負荷</p> <p>交流入力クーラー用電源</p>	<p>DC1,500V SIV DC600V AC440V VVVF3φ DC100V AC200V 3φ</p> <p>交流一般負荷</p> <p>低圧直流入力クーラー用電源</p>
<p>DC1,500VからAC440V 3φ(又は200V)電源を作り、この電源でクーラー駆動する。ON-OFF制御</p>	<p>DC1,500VからAC440V 3φ(又は200V)電源を作り、この電源でクーラーをVVVF駆動する。</p>	<p>DC1,500Vから低圧直流電源を作り、この電源でクーラーをVVVF駆動する。</p>

したため、むしろ小形軽量になった。表 1. にユニットクーラーの仕様、図 6. に外形を示す。

5. 補助電源システム

車両用補助電源装置の方式は、表 2. に示すような空調 システムとの関連で選択される。

- (1) 補助電源から三相交流を引き通し、接触器でじかにユニットクーラーをオン・オフ制御している既存空調システムの補助電源を、MGからSIVに変更する場合。
- (2) 既存電源システム(三相交流BUS)のまま、空調装置をVVVF制御する場合。
- (3) 新車あるいは冷房化改造車で、自由に車両空調・補助電源システムを選択できる場合で、インバータ空調と電源装置のコンビネーションを図れる方式。

5.1 システムの評価

今回実用化した空調システムと関連する、AC入力VVVF方式と、低圧DC入力VVVF方式の電源システム比較を図7. に示す。AC入力VVVF方式は、三相交流→整流(直流)→可変電圧・可変周波

数交流の変換を行う。この場合、三相交流を発生する電源はインバータやACフィルタ・トランスなど、欠くことのできない要素によって大形となるうえに、わざわざ作った三相交流を再び直流にしなければならぬ。

低圧DC入力VVVF方式は電源装置構成がシンプルであり、寸法、重量が小さくなる。しかもこの低圧直流を、電源BUSとして車両編成内に引き通し、別に設ける低圧インバータを経由して一般制御電力を適宜供給することも可能である。このBUS経由のインバータ起動器を採用すれば、交流電動圧縮機を採用する場合などにも、他機器との起動タイミング調整は不要になる。

5.2 コンバータ回路方式

図 8. が今回実用化した130kW・DC/DCコンバータ装置の簡略主回路つなぎである。二相二重チョップで架線のDC1,500Vを安定なDC600Vに変換するもので、従来のSIVに比べると、主回路スイッチング素子が12相分から2相分に減る。トランス及びACフィルタが無くなり、チョッピング周波数を高く設定しているため、チョップ出力フィルタリアクトル(SL)、同コンデンサ(FC2)が小形化された、など幾つかの回路的な特長を持っている。この結果、大幅な小形軽量化、

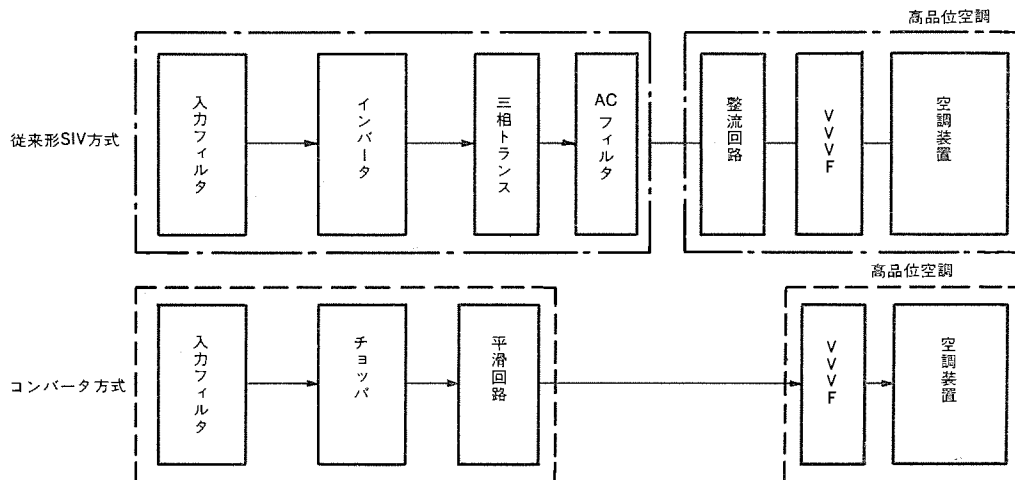
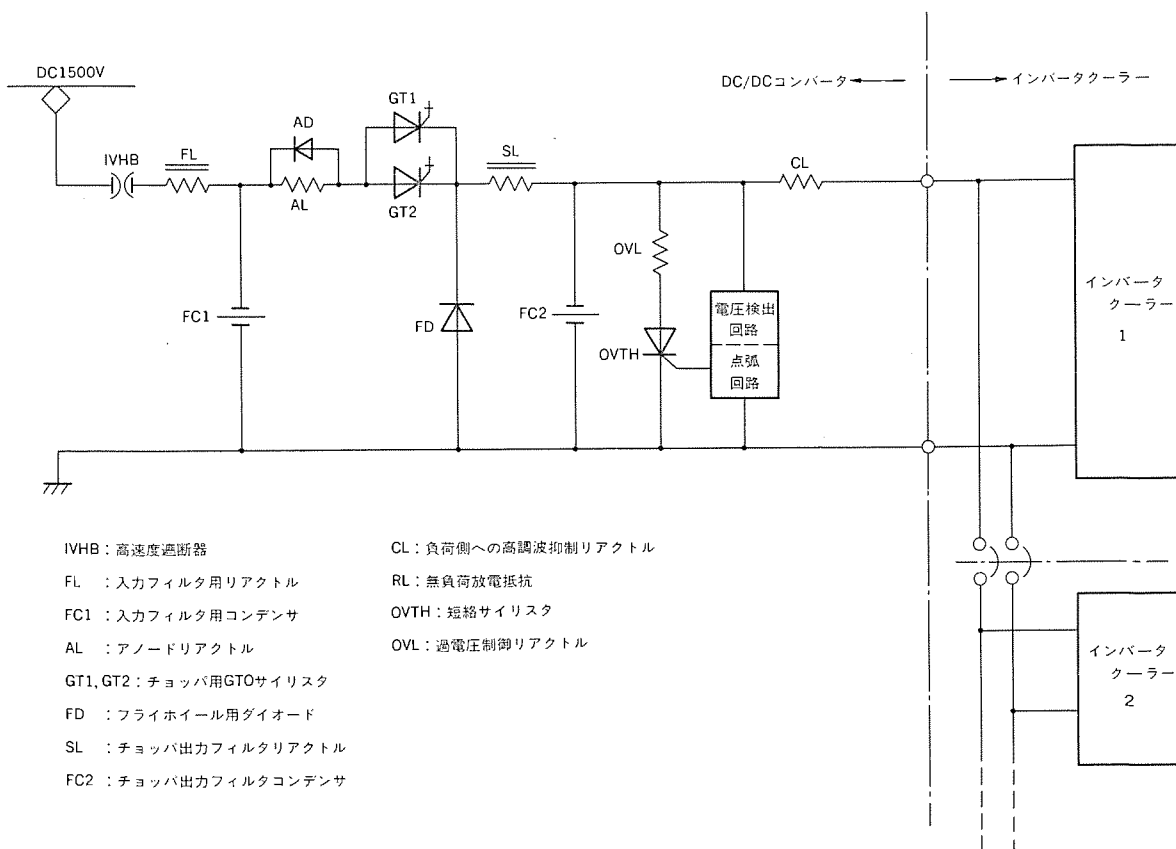


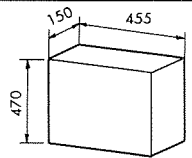
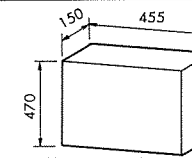
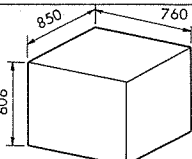
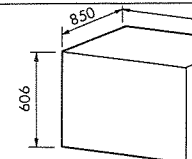
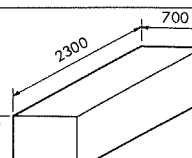
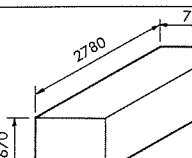
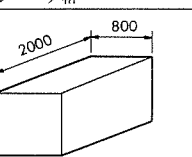
図 7. 電源 システム の比較



- IVHB : 高速度遮断器
- FL : 入力フィルタ用リアクトル
- FC1 : 入力フィルタ用コンデンサ
- AL : アノードリアクトル
- GT1, GT2 : チョップパ用GTOサイリスタ
- FD : フライホイール用ダイオード
- SL : チョップパ出力フィルタリアクトル
- FC2 : チョップパ出力フィルタコンデンサ
- CL : 負荷側への高調波抑制リアクトル
- RL : 無負荷放電抵抗
- OVTH : 短絡サイリスタ
- OVL : 過電圧制御リアクトル

図 8. 130 kW, DC/DC コンバータ 簡略主回路つなぎ

表 3. SIV と DC/DC コンバータ の寸法, 重量比較

(1) SIV (128kW)	(2) DC/DC コンバータ (130kW) (コンバータ箱 1箱構成)
 <p>高圧補機 スイッチ箱 25kg</p>	 <p>高圧補機 スイッチ箱 35kg</p>
 <p>起動装置箱 175kg</p>	 <p>起動装置箱 165kg</p>
 <p>インバータ箱 550kg</p>	 <p>コンバータ箱 1,250kg</p>
 <p>変圧器箱 1,375kg</p>	
<p>総取付面積 3,924m²</p> <p>総重量 2,125kg</p>	<p>総取付面積 2,883m²</p> <p>総重量 1,450kg</p>

注 寸法単位mm

低騒音化を図ることができた。

5.3 コンバータの仕様と構造

表 3. に従来の SIV と DC/DC コンバータ の外形寸法・重量の比較を, 図 9. に 130 kW DC/DC コンバータ の外観を示す。従来の SIV 装置に比べ, 取付面積で 27%, 重量で 32%, の小形軽量化を実現している。

6. 試験結果

当社工場における事前確認試験を経て, 帝都高速度交通営団の 6000 形冷房改造準備車 5 両に各機器を実装し, 試験を実施した。各車に 42,000 kcal のユニットクーラー (合計 5 台) と, 電源の 130 kW コンバータ 1 台を搭載した。試験実施期間は昭和 61 年 6 月から 7 月である。

6.1 除湿制御・温度制御

(1) 除湿制御

各種の環境条件に対して有効な除湿制御を検証するために, 圧縮

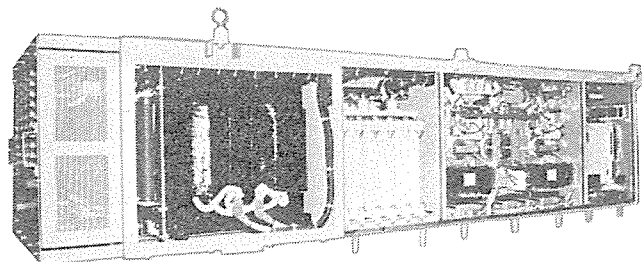


図 9. 130 kW, DC/DC コンバータ 装置の外観

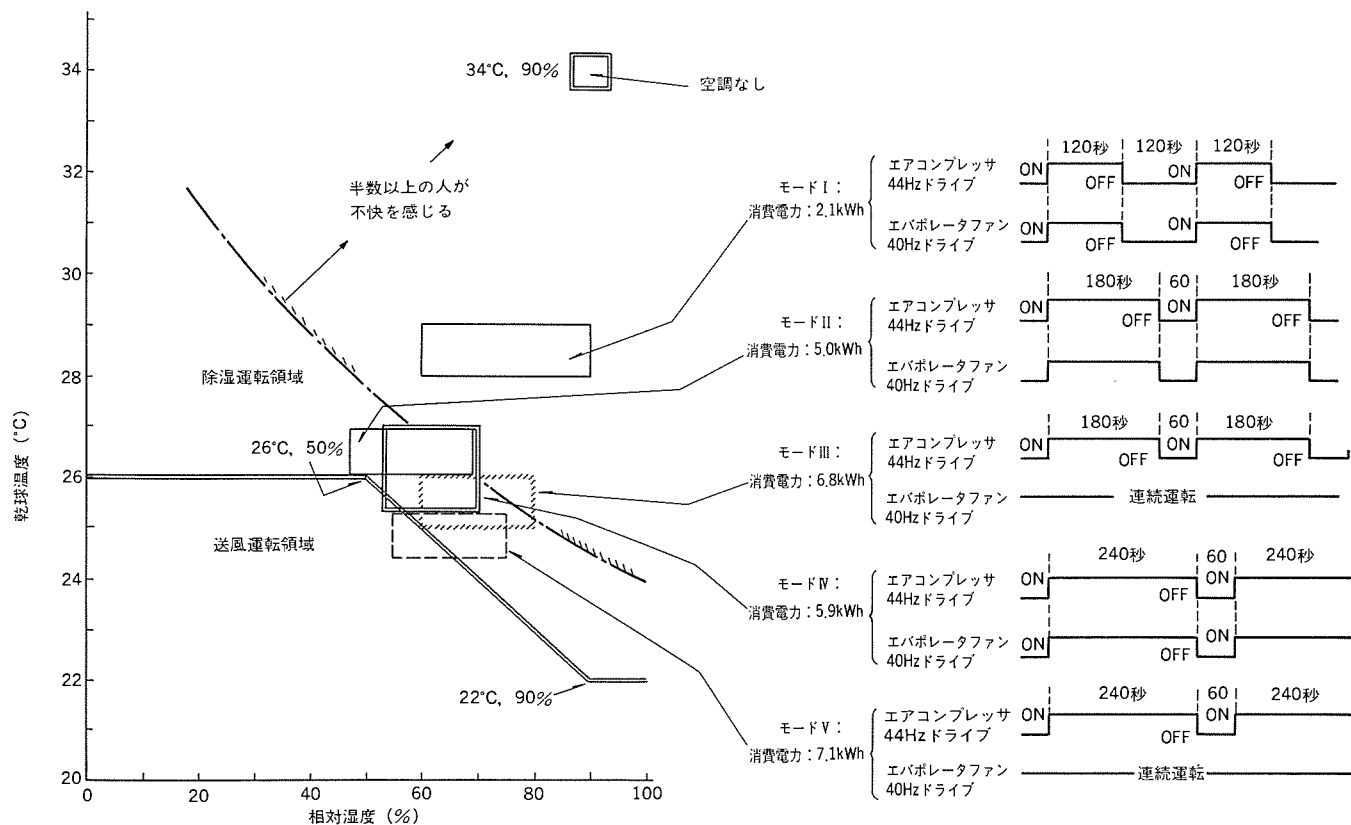


図 10. 除湿試験結果

機と送風ファンの駆動条件を組み合わせた5種モードの効果を調査した。各モードともその能力に応じて、温度、湿度を一定のゾーンに制御でき、高温・高湿度状態の車内に快適性が回復した。図10.に結果を示す。今後はこれらのモードを組み合わせることによって、効果的な空調制御が行えるとの確証を得た。

(2) 温度制御

空調制御の精度も±0.5°Cのばらつきに収まり、所期の目的を十分達成した。

6.2 省エネルギー効果

現車での検証試験は短期間であるため、フル運転での省エネルギー効果の確認となった。1ユニットあたりフル運転では18kWの消費電力で、従来との比では20%以上の省エネルギー効果のあることを確認した。したがってシーズンにわたる、種々のモードの空調制御を考えると、30%以上の電力節減が可能と推定できる。

6.3 騒音・保護協調

騒音・保護協調についても問題はなかった。特にコンバータは磁わい音から解放され、騒音レベルは62~3dB(Aスケール・1.0m)であ

った。

7. む す び

今回開発・実用化した補機電源を含めた空調システムは、オールシーズンで大幅に車内の快適性を改善する。すなわち春夏秋冬を通じて常に車内状態を監視し、適宜、冷房モード・除湿モード・ヒータ制御モードを選択して快適性を保つことができる。しかも、30%以上の省エネルギー効果も期待できるばかりでなく、従来のSIVなどの大容量補助電源に比べて騒音も大幅に低減することができた。また、システム全体が小形軽量であることから、車両ぎ装にも有利である。

最後に、このシステムの実用化にあたり、御協力・御助言いただいた各位にここに厚くお礼申しあげる次第である。

参 考 文 献

- (1) 井上, 宇市: 空気調和ハンドブック, 丸善(株)
- (2) 浜崎, 横家: 三菱電機技報, 56, No. 11, p. 54 (昭58)
- (3) 松田ほか: 三菱電機技報, 59, No. 3, p. 57 (昭60)

最近の列車無線システム

山口 俊生* 横山 保憲**
 松本 和臣* 三井 和夫**
 湯原 裕*

1. ま え が き

近年、鉄道の各線区で列車の高速・高密度化が推進され、また、運転・事故情報の迅速な伝達など鉄道運営の効率化・近代化によって、列車無線の活用は不可欠となっている。一方、CTC(列車集中制御方式)の導入に伴う駅要員の削減などが推進された結果、列車乗務員と運転指令又は地上の必要箇所が直接通話連絡を行う列車無線の要求が高まり、列車無線が急速に普及しつつある。

現在、列車無線と呼ばれている大部分の設備は、このような列車乗務員が直接に地上と通信連絡を行うものであるが、それぞれの鉄道事情によって、システム構成や利用形態が若干異なっている。

ここでは、紙面の制約上、技術動向を概観し、日本国有鉄道(以下、国鉄という)と欧米の列車無線を主体に概要を述べる。

2. 列車無線システムの技術動向

(1) 無線方式は、誘導無線方式、空間波方式及びLCX(漏えい同軸ケーブルの略称)方式があり、通話方式には、単信、半複信及び複信の各方式があるが、鉄道線区ごとの事情を考慮した方式が採用

されている。

(2) 地下鉄の列車無線は、多くの場合、密結合誘導無線方式で、通話用は複信方式、また、突発事故などを列車から指令所へ緊急通報するための非常警報送信波(単向方式)を別波とし、無線周波数は150~250kHz付近が使用される。最近の地下鉄で、無線データ伝送を列車運行制御に利用したシステムがみられる。

(3) 民鉄の場合は空間波方式(150MHz又は400MHz帯)が大部分で、乗務員への的確・迅速な指示、事故防止、旅客サービスの向上及び業務運営の近代化の必要性から全民鉄の約7割の線区に整備され、大手民鉄では、ほぼ全線に列車無線が導入されている(図1)。

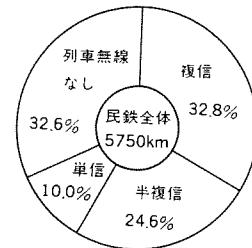


図1. 民鉄列車無線方式別の現状(昭和60年3月現在)

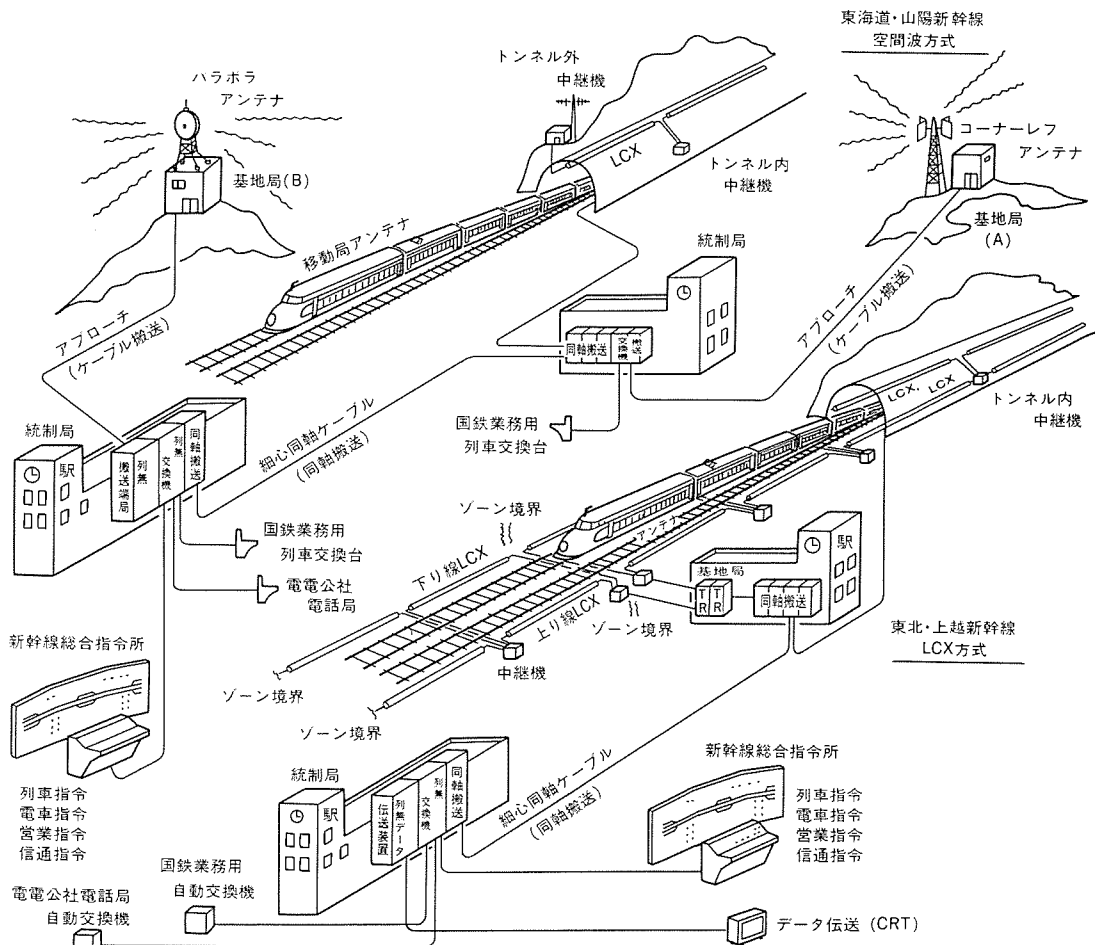


図2. 新幹線列車無線システムの略図

* 日本国有鉄道電気局 ** 三菱電機(株)通信機製作所

(4) 国鉄新幹線及び在来線では、400 MHz 帯を使用して、それぞれのニーズに合ったシステムが構築されている。

(a) 新幹線では、空間波方式と LCX 方式があり(図 2.)、前者は東海道・山陽新幹線で使用され、基地局は約 20 km 間隔で電波伝搬の良好な場所に設け、電話 10 回線で回線の接続・制御はアナログ信号方式である。次に、後者は線路の両側に架布設した LCX を介して列車通信を行う方式で、高品質回線の特性をもち、東北・上越では 24 回線容量で電話に加えデータ通信を導入している点の特筆される。

東海道新幹線列車無線は、開業以来 20 年以上を経過し老朽化のため設備及びシステム更新時期に達したことから、東北・上越で実績のある LCX 方式に設備更新を推進中で、電話回線の拡充に加えデータ通信によるニューメディアサービスを可能とするものである。

また、LCX 方式の利点を生かして、列車無線の多目的利用(例えば、列車制御情報伝送)を図ること、及び建設コストの経済化の研究が行われている。

(b) 在来線の場合は、乗務員無線、通話無線及び防護無線に大別され、乗務員無線は単信方式で昭和 44 年から列車の前後部連絡及び駅一乗務員間の情報連絡手段として全国的に使用されている。通話無線は、大都市国電区間(山手線・京浜東北線ほか)では複信方式が設備されたが、建設費・建設期間など総合判断により大都市圏を中心に半複信方式とし、その他の線区では単信方式で整備された。防護無線は、列車脱線時などに列車から防護電波を送信し、その電波を近接する約 1 km 以内の列車が受信して乗務員が非常ブレーキをかけるものである。

(5) 欧米の列車無線であるが、ヨーロッパの多くの国では、国際間列車の運行に関連してシステムの周波数、機能、構成などは UIC(国際鉄道連合)規格に準じ、450/460 MHz 帯で複信方式のシステムが導入されている。

3. 新幹線列車無線システム

3.1 システムの変遷

東海道新幹線列車無線方式の決定に当たり、400 MHz 帯空間波方式以外に 13 GHz 帯無線方式なども検討されたが、トンネルなどの弱電界対策を実用化しうること、及び既存技術によって新幹線全体の安定度を高めたいとの考えから 400 MHz 帯空間波方式が採用され、その後の山陽新幹線にも設備されている。

一方、東北・上越新幹線で LCX 方式が採用された背景は、

- (1) 空間波方式では大宮以北でオーバーチ(電波が遠方まで届きすぎる)により、東北・上越それぞれ独立した無線回線の構成が困難なこと。
- (2) 全線の約 3 割がトンネルで、多くのトンネル対策が必要。
- (3) 通話のふくそう(輻輳)に対処できるだけの回線容量とデータ通信の可能な回線品質が必要なこと。

などの理由により、空間波方式では実現が困難であったためである。

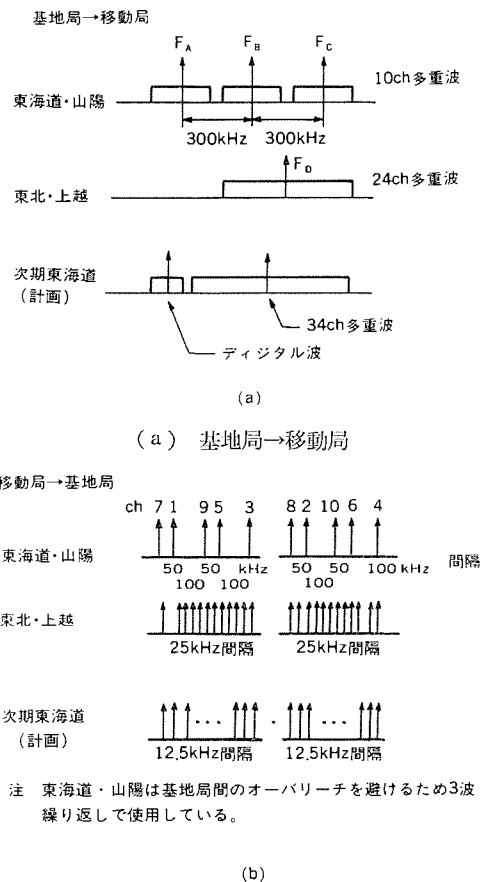
3.2 システムの概要

このシステムは、運転指令系、営業指令系、業務公衆系(以下、業公系という)及びデータ通信系(東北・上越のみ)から構成される(表 1.)。運転指令系は、総合指令所(東京)の列車指令と運転士間の直通電話回線であり、同様に営業指令系は営業指令と車掌間の直通電話回線である。業公系は、列車乗務員が用いる業務電話と乗客が用いる公衆電話があり、最寄りの統制局を経由して国鉄の業務電話網及び日本電信電話(株)(NTT)の加入電話網に接続する構成である。

このシステムの特長は、1 列車当たりの同時通信回線数が多いこと

表 1. 新幹線列車無線方式・機能・性能

No.	項目	東海道・山陽新幹線	東北・上越新幹線	次期東海道新幹線
1	無線方式	空間波方式	LCX 方式	LCX 方式
2	チャンネル容量	10 ch	24 ch	40 ch
3	回線種別	運転指令系 2 ch 営業指令系 2 ch 業務・公衆系 6 ch	運転指令系 4 ch 旅客指令系 2 ch 業務・公衆系 6 ch データ通信系 3 ch	運転指令系 4 ch 旅客指令系 2 ch 業務・公衆系 24 ch データ通信系 6 ch ラジオ放送 2 ch (電話換算 4 ch)
4	1 列車当たりの同時使用チャンネル数	運転指令系 1 ch 営業指令系 1 ch 業務・公衆系 2 ch 計 4 ch	運転指令系 1 ch 旅客指令系 1 ch 業務・公衆系 2 ch データ通信系 2 ch 計 6 ch	運転指令系 1 ch 旅客指令系 1 ch 業務・公衆系 8 ch データ通信系 3 ch 計 13 ch
5	回線品質	全線の 90% で S/N 比 35dB 99.9% で通話可能	全線の 99% で S/N 比 40dB 99.99% で通話可能	全線の 99% で S/N 比 40dB 99.99% で通話可能
6	ゾーン切換方式	地上子による切換	基地局からの指定信号による切換	基地局からの指定信号による切換
7	公衆電話サービス	手動即時式 沿線 13 都府県 1 列車 電話機 2 台	自動即時式 全国対地 1 列車 電話機 2 台	自動即時式 全国対地 1 列車 電話機最大 18 台
8	移動局呼出方式	全ゾーン斉呼出し	在線ゾーンスポット呼出し	在線ゾーンスポット呼出し
9	無線機送信出力	基地局 40 W 移動局 4 W	基地局 2 W 移動局 4 W	基地局 2 W 移動局 4 W
10	移動局アンテナ	ユニポールアレー (屋根上)	スロットアレー (スカート部)	方形パッチ形マイクロストリップ (スカート部)



注 東海道・山陽は基地局間のオーバーチを避けるため3波繰り返して使用している。

(b) 移動局→基地局
図 3. 無線周波数配置

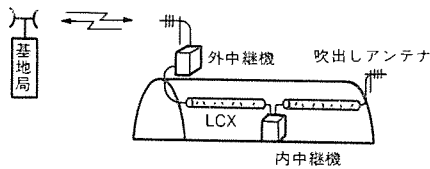


図 4. 直接増幅中継方式

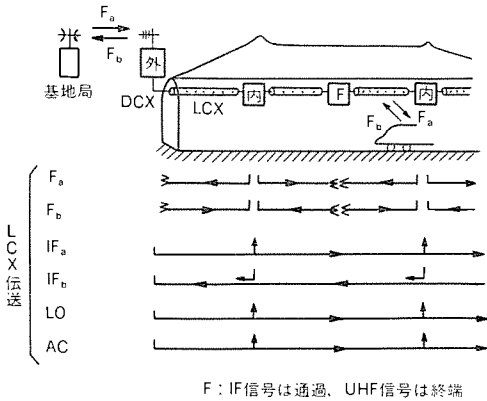
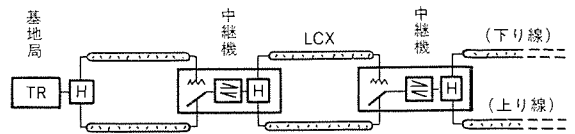
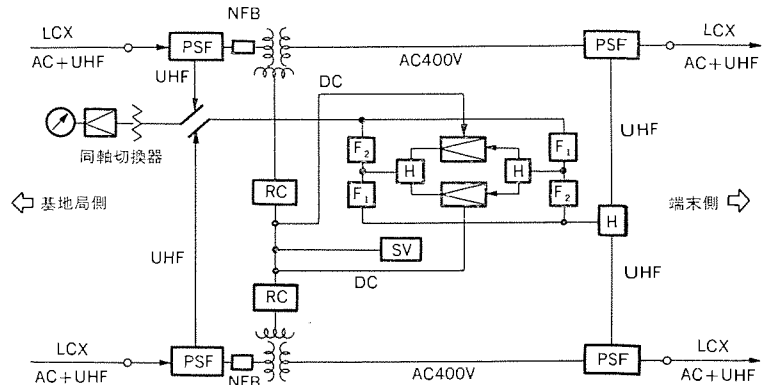


図 5. ヘテロダイン中継方式と信号の流れ



TR: 無線送受信機, H: ハイブリッド回路

図 6. LCX無線中継方式



注 F₁: フィルタ1
F₂: フィルタ2
RC: 整流器 SV: 監視部 PSF: 電力分波器

図 7. LCX中継機の構成

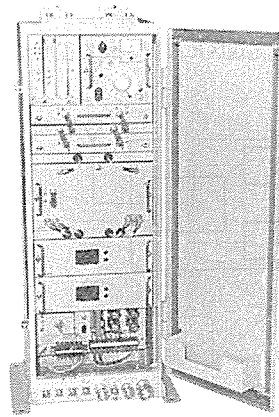


図 8. LCX中継機の外観

及び指令電話が使用される必然性から、サービスエリアが99.9%以上を確保されていることである。

無線周波数配置は、図3.に示すとおりで現行帯域幅は基地局→移動局(A→Bという)が900kHz、移動局→基地局(B→Aという)が700kHzであり、この帯域内で多チャンネル化を推進している。

3.3 空間波方式

この方式は、400MHz帯の10回線多重波3波(A→B)と単一通信路10波(B→A)を使用し、基地局は常時電波送出方式で近隣基地局の無線ゾーンと相互に干渉のないように、2~3周波を繰り返して割り当てている。移動局は通話時電波送出方式で5波ずつ2群に分け、それぞれの群内で相互変調妨害の確率が最小となる配列とし、地上子(定点で列車に情報を与えるため、レール間に設置される地上設備)により無線ゾーンの追跡を行うとともに、受信周波数の切替及びアンテナ指向性の切替を行っている。運転指令系は中ゾーン構成で一斉・群別・個別の選択呼出方式、営業指令系は大ゾーン構成で音声呼出方式に対し、業公系は小ゾーン単位に追跡交換を行い前方4ゾーン、後方3ゾーンの予閉そくにより、最小限3分の通話時分を保証している。

トンネル区間には、中継機とLCXによる弱電界対策方式で中距離以下のトンネルには直接増幅中継方式(図4.)を、長距離トンネルにはヘテロダイン中継方式(図5.)を採用している。後者の中継機は、やや複雑になるがトンネル系全体として経済性・システム信頼度に優れている。

トンネル無線中継方式と機器の開発は、開業前のモデル線区での直接増幅中継方式に始まり、永年にわたるノウハウの蓄積を基にヘテロダイン中継方式へと発展させ、次いで東北・上越の高信頼度のLCX用中継機へと展開し、いずれも対列車通信に大きく貢献している。

3.4 LCX方式

LCX方式の特長は、①回線品質が安定している、②オーバーチを考慮しなくてもよく、電波の有効利用が図れる、③沿線の地形条件による電波伝搬の影響を受けない、などが挙げられ、また、システム信頼度上、LCX断線対策及び中継機電源供給(LCXにAC400Vを重畳している)の2ルート化のためLCX2本布設が採用された。東北・上越では、LCX方式の採用により空間波方式と同じ周波数

帯域で24回線容量を実現した。オーバーチがないので多重波1波(A→B)と単一通信路24波(B→A)を使用し、運転指令系・営業指令系・業公系は従来の東海道・山陽との互換性を考慮して、呼出方式・追跡方式などはほぼ同じであるが、業公系の車上発信はプッシュホン電話機による自動即時式とし列車から全国どこへでもかけられるようにした。

データ通信3チャンネルを設備し、FSK1,200bps伝送により、車両状態監視(車両モニタ)情報の新幹線指令所への伝送による故障時の迅速・適切な応急処置への活用、列車位置(基地局ゾーン単位)情報の業公系交換機への転送により、A→Bスポット呼出利用及び列車無線移動局設備故障情報の地上への伝送などそれぞれ活用している。

基地局は各駅の機器室に設置され、1基地局は平均20kmのサービスエリアを担当する。LCX中継方式は図6.に示すとおりで、LCX障害により片ルート断の場合でも、中継ルートの自動切替により障害が先へ波及しない構成をとっている。中継数は駅間距離により異なるが最大20中継で、1中継区間のLCXの構成は給電側から順次伝送損を補償するグレーディング構成で、結合損が75, 65, 55, 50dBの4種類のLCXが使用されている。このため、受信レベルの中央値変動は10dB以内となり、中継間隔は最大1.5kmである。中継機は、

400 MHz 帯増幅器 2 台並列動作で利得 42 dB, 出力約 1 W の双方向共通増幅する直接増幅中継方式により, 従来の中継機に比べ信頼度を向上 (約 3 倍) している (図 7, 図 8.)。

3. 5 次期東海道新幹線システム

次期システムは, 東北・上越新幹線で実績ある LCX 方式で 40 回線容量のシステムとし, 電話回線の拡充に加えラジオ再放送及びデータ通信によるニューメディアサービスを可能とする計画である。データ通信サービスとして想定される内容は, 東北・上越で実用中のもの以外に列車案内情報 (旅客案内に利用), FAX 通信 (運転用・車掌用・公衆用), マルス (座席予約) 端末による乗車券・座席指定券販売, ビデオテキスト通信及びパソコン通信などが挙げられる。

業公系の車上発信は回線数の増強とともに自動即時式とし, 車内電話機の増設及びカード式電話機の導入により現行に比べ格段に使いやすくなることが期待される。また, データ通信には地上デジタル網との整合性が良く, コスト面で有利なデジタル無線方式を導入する計画である。

4. 在来線列車無線システム

4. 1 導入の経緯とシステムの考え方

国鉄における列車無線は, 昭和 35 年の東海道本線のビジネス特急“こだま” (東京-大阪間) にその端を発するが, それ以降の導入は活発なものでなく特定線区に設置される程度であった。一方, 列車

乗務員が前部・後部間の通話に用いる携帯形の無線機 (乗務員無線) は, 必要性和運用の簡易性により昭和 44 年来順次導入が進められ現在 20,000 台を越えるまでになった。

国鉄の分割民営化が実施されるに当たり, その基盤整備が各方面で実施されているが, 移動通信においても列車無線を導入することとなり, その総数は基地局設備 2,000, 車上局設備 11,000 に及ぶ大規模なものである。しかしながら, 従来設備されている機器の活用化, 多種線区独立で運用される指令体系など, 使用者側からの要求はきびしいものがあり一般の無線機では対応困難であった。

今回の導入に当たっては各線区のニーズを検討し, システムは A, B, C の 3 ラックに分類, 主に B, C の 2 システムを設置することとした。B システムは大都市圏に設置し列車無線の各機能を満足させたシステム, C システムは地方線区に設置し既存の乗務員無線の活用を図るシステムである。

4. 2 運用上の要求とシステム概要

列車無線は, 各国及び国内の各民鉄でも有効に利用されているが, 基本機能は下記のとおりであり, 在来線列車無線でもその機能は必要となるものである。

4. 2. 1 列車無線の必要機能

(1) 線区全線において, 連続的な通話を必要とし, そのサービスエリアは線状である。

(2) 複数の通話ゾーンをもち, かつゾーンの分割・統合が可能である。

(3) 指令から車上局を呼び出すに当たっては, 個別/一斉の区別を可能とする。

(4) 通話の内容を他の車両に傍受させるモニタ機能をもっている。

(5) 緊急割込みが車上から指令に対して可能である。

(6) 基地局及び車上局の試験及びその監視が可能である。

(7) 指令における通話内容を録音することが可能であり, 必要により有線電話回線へ接続させる。

大都市圏における通話はトラヒックが高く, またその緊急性も高いことより上記機能を満足させるが, 地方線区に

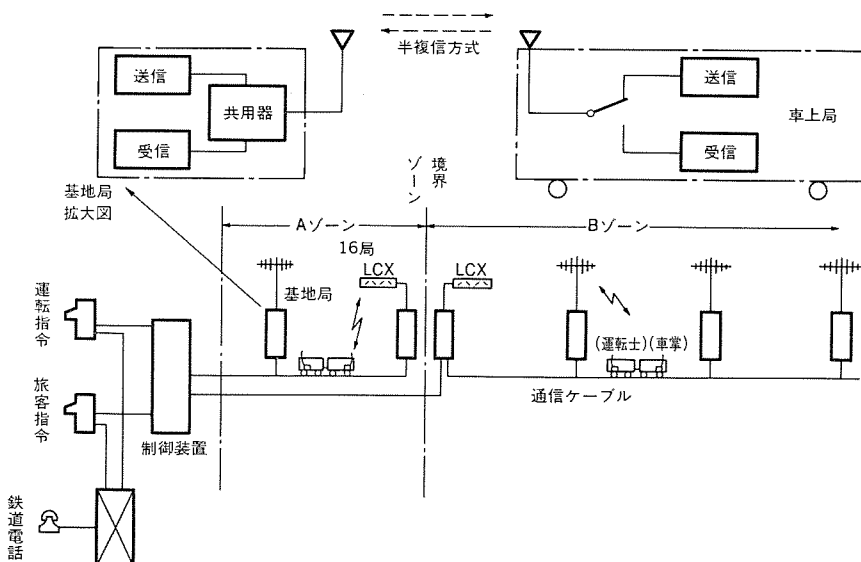


図 9. B システムの系統図

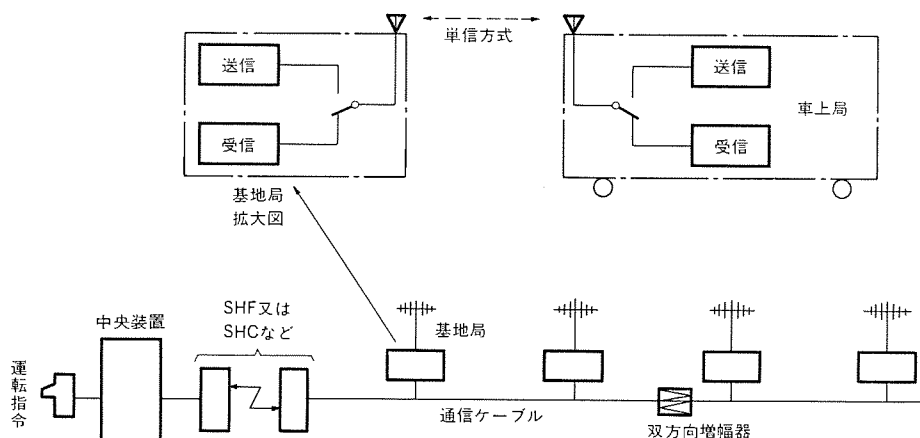


図 10. C システムの系統図

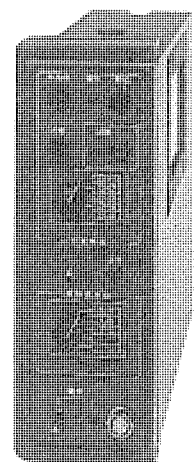


図 11. 車上局の外観

おけるシステムは機能の制限を行った。

4.2.2 システム概要

Bシステムを図9., Cシステムを図10., 車上局の外観を図11.に示す。

(1) Bシステム

各基地局は連続送信で車上局に情報を送り、車上局は所要時

表2. 使用信号周波数 (Bシステム)

名称	信号周波数 (Hz)			
	中央→基地	基地→車上	車上→基地	基地→中央
空線信号	2,280			
個別呼信号	2,400			
一斉呼信号	1,960			
試験折返信号	800			
ゾーン識別信号 (A)	—	88.5		
” (B)	—	107.2		
” (C)	—	131.8		
割込許可信号	—	162.2		
中央呼出し (応答信号)				2,300
割込信号				1,600
試験信号				800
ゾーン指定信号 (A)	88.5	—		
” (B)	107.2	—		
” (C)	131.8	—		

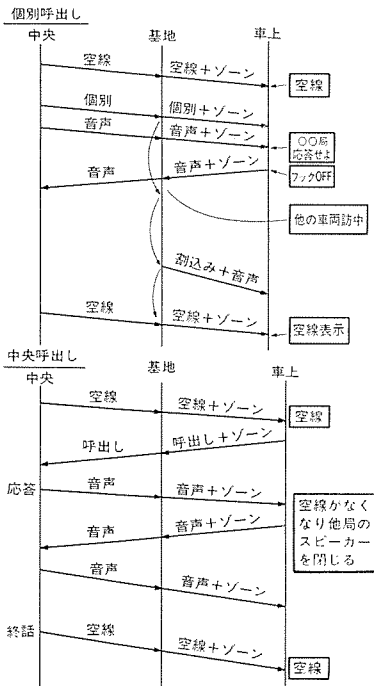


図12. 信号流れ図例 (Bシステム)

表3. Bシステム仕様例

送信周波数安定度	$\pm 5 \times 10^{-6}$ 以内
送信信号遅延等化	80 μ s 単位にて等化可能
受信系切換	H/L 2段の S/N 比較による1ゾーン1局選択方式

ストックで通話する半複信方式とした。線区当たり1波を使用するが、電波の有効利用を図るべくゾーン区分には下部帯域のゾーン識別・指定信号を用いゾーン区分を行った。

前述の各機能を得るため各種の回線制御信号を必要とするが、基

地間の干渉による接続劣化をさけるためアナログトーンを用いている。信号の周波数を表2., 中央局一車上周間信号の流れの一例を図12.に示す。1波/線区のため基地送信系に高安定水晶を使用し、かつ信号位相を合わせるための遅延回路を設けた。また、受信系は入力電界の比較を行い、最大入力基地の音声信号を指令へ接続した。これらの仕様を表3.に記述する。

(2) Cシステム

各基地及び車上局共に必要時にプレストークで送信する単信方式とした。線区に対するサービスエリアは常時連続とせず、指令が指定する1基地局のみ送受信を可能とさせる方式とし(待受・一斉呼を除く)、同一波干渉に伴う問題・複数基地局着信による問題を運用面に対応し、システムそのものの簡易化を考慮した。

4.3 在来線列車無線の今後

在来線列車無線は、分割民営前の最後の導入であり、今後は各会社の方針で運用形態の展開・機器の発展がなされると考えられる。ランク別に統一されたシステムの導入により、分割民営後の会社・線区間の相互乗入れに対しても円滑な運用が期待される。

5. 欧米の列車無線

西独、フランス及び英国ではUIC方式列車無線を導入しており、西独ではUIC仕様に加えてデータ伝送(FSK 600 bps)により個別呼出し、運転指示及び車内放送接続ができること及びTEE(国際列車)やIC(都市間急行)の列車には列車公衆電話が設置されている。

フランスの場合は、データ伝送の機能はないが、列車防護とデッドマン(運転士異常時の防護)装置の動作が指令で把握できる特長がある。米国では欧州と異なり単信方式が一般的で、FCC(連邦通信委員会)が鉄道用として160 MHz帯15 kHz間隔で91波を認可し、一つの鉄道会社に2~10 chを割り当てている。

6. 交通システムにおける位置付け

列車無線は、輸送管理面、運転保安面の強化及び列車運転業務近代化の一環として必要不可欠となっており、導入段階では列車一地上間の連絡通話や列車防護の目的であったが、列車の高速・高密度運転など時代の要請とともに列車群管理の通信手段として、更にはデータ通信による車両モニタリング情報伝送や列車運行制御への利用など、車両管理・運行管理の分野にまで活用されている現状にある。

7. むすび

列車無線は、列車運転業務上及び旅客サービス上から、重要な設備であり、今後、列車電話の多機能化・データ通信の拡充・強化による業務用及び公衆用サービスへの展開など広範囲な業務に利用され、列車一地上間の多様な情報の総合伝送システムへと発展していくものと考えられる。また、新周波数帯の開拓による大容量列車無線への展開も期待される。

参考文献

- (1) 倉本, 進士: 移動通信の展望, 信学誌 (昭60-11)
- (2) 佐々木: 欧米鉄道における移動無線の現状, 鉄道通信 (昭61-5)
- (3) 今野, 近藤: 在来線列車無線システムの今後, 鉄道通信 (昭61-1)
- (4) 岸本, 佐々木: LCX通信システム, 電子通信学会 (昭57)

最近の電鉄用電力供給システム

田中潤次郎* 青木芳博*
田中 実*

1. ま え が き

電鉄に対する高速性・利便性・安全性・経済性・快適性などのサービス向上の要求は年を追って強くなり、多様な広がりを見せている。この要求にこたえるべく、諸設備、諸システムの開発、研究は盛んなものがあるが、電力供給システムにおいてもハードウェア面、ソフトウェア面で新技術の導入、新システム構築へのたゆみない努力が続いている。

電鉄電力供給システムの基本的使命は、列車の運転に必要な電力を安定に、高い信頼性でかつ安全に供給することであるが、同時に事業者の経営課題であるコストパフォーマンスの向上、設備の効率的運用の要求を満たすものでなければならず、また、その公共性から環境への適合性も不可欠の条件である。最近の電力供給システムは、昭和52年の回生変電所の導入を契機とするパワーエレクトロニクス技術の発展と、昭和54年の静止形制御保護システムの採用以来みられるマイクロエレクトロニクス技術の応用拡大により特長づけられ、過去にはみられない新しい機能、性能を発揮し得るものとなっている。一方、伝統的な受変電機器においてもガス絶縁に代表される絶縁、冷却の技術の進歩により一層近代化された設備を提供できるものとなっている。

本稿では、直流き電を中心に電力供給システムの各構成要素について最近の技術を紹介するとともに、将来のシステムのあり方についても考察を試みる。

2. 交流側設備

交流側設備は、高信頼性・縮小化・省エネルギー・保守の省力・環境との調和を図り、60/70 kV 級以上の開閉装置は SF₆ ガス絶縁開閉装置が採用され、また変圧器は防災性に優れたモールド式乾式あるいは SF₆ ガス絶縁式変圧器が採用されている。

2.1 SF₆ ガス絶縁開閉装置 (GIS)

(1) GIS は、昭和43年に84 kV の実用化がされて以来、72 kV から550 kV まで広範囲のシリーズ化を完成している。そのうち72 kV から120 kV については、電動又は電動ばね操作によるエアリス化により、更に保守の省力、縮小化、低騒音化が図られている。GIS は、導電部を化学的に不活性・不燃性で絶縁・消弧特性に優れた SF₆ ガス中に密封し、ユニット式構成としており、①外部雰囲気からの遮断により長期間劣化せず高信頼度を維持、②据付け面積・容積の大幅な縮小、③最小区区分割輸送による現地据付け工期の短縮、④密閉システムによる高信頼性・保守の省力化の向上、などの特長がある。

(2) 近年、大気圧近傍の SF₆ ガス圧を使用したく(矩)形容器のキュービクル形 GIS (C-GIS)⁽¹⁾ が製作され、実用機は昭和58年に、電鉄用としては61年に北神急行電鉄(株)その他に納入している。C-GIS は前述の GIS の特長のほか、①大形矩形容器に構成機器を一体収納・複合化することにより据付け面積・容積とも従来 GIS の60% (当社比) 程度に縮小、②エアリス化による低騒音化と保守の省

力化の向上、③矩形容器の採用、また操作機構は外部に露出せず前面集中配置としており、操作性の向上・環境との調和が図れる、などの特長がある。現在72 kV から120 kV までのシリーズ化は完了、更に24/36 kV を含めたシリーズ化を進めており、電鉄変電所に適した設備として広く採用されることになろう(図1.)。

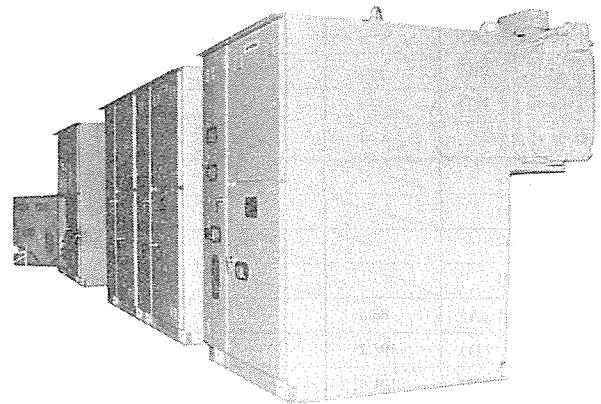


図 1. 84 kV キュービクル形 GIS

2.2 変圧器

(1) モールド変圧器

33 kV 以下、10 MVA までの変圧器に適用され、整流器用として3 MW・D種自冷を納入したほか、電力用・所内電源用など広く採用されている。乾式変圧器に比べ、①防災性・耐湿性に優れている、②小形・軽量である、③保守・点検が容易、④強じんて変動負荷・短時間過負荷に強い、⑤損失が小さい、などの特長がある。

(2) SF₆ ガス絶縁変圧器⁽²⁾

GIS と同一の SF₆ ガスを使用し変圧器外箱内に密封したもので、防災性に最も優れた変圧器である。154 kV 以下、60 MVA までの変圧器に適用される。実用機として、昭和54年に66 kV・3 MVA を、電鉄用としては56年に新幹線交流き電用 AT のほか、整流器用4 MW・D種自冷、受電用30 MVA・送ガス自冷、その他を納入している。

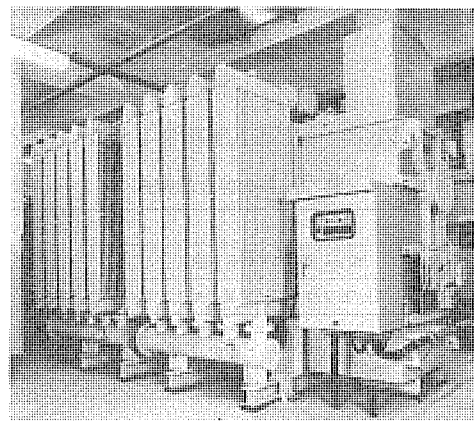


図 2. SF₆ ガス絶縁式整流器用変圧器

SF₆ガス絶縁変圧器は、乾式変圧器と油入変圧器の両者の優れた点を兼ねそなえており、①不燃性・非爆発性で防災性に最も優れている、②環境汚染の心配がなく環境調和に優れている、③屋外使用に対しても問題なく耐環境性に優れている、④耐電圧特性に優れている、⑤完全密閉化により保守点検が容易、⑥低騒音で損失が小さく、また補機レス化による省エネルギーが図れる、⑦SF₆ガスは鉱油に比べて軽く軽量化が図れる、⑧GISとの直結によりコンパクト化が図れる、などの特長があり、屋内・屋外・地下変電所を問わず普及するであろう(図2.)。

3. 直流側設備

直流側設備については、フロン沸騰冷却による補機の無いシリコン整流器が一般化しているほか、直流高速度遮断器の静止化による保守の省力化を図る半導体遮断器、あるいは回生車により電車線で発生する余剰回生電力を有効利用し、省エネルギー化を図る回生インバータの採用が進むなど、パワーエレクトロニクス技術が全面的に浸透している。

3.1 半導体遮断器

従来、変換器直流側及び各き電回路には直流高速度遮断器(HS CB)を設け、機器及びき電回路の保護を行っている。直流電流遮断の場合、遮断時に回路インダクタンスに蓄えられているエネルギーを遮断部で処理しなければならず、HSCBではこれをアークエネルギーに変換して処理するので、主接触子の荒れや消弧室絶縁物の劣化などにより、保守に労力を要している。また、近年の変電所設備の大容量化に伴い、遮断容量の増大が必要になってきているのと同時に、事故時の大電流に対する耐量が必要で、変換機器、き電設備のコスト上昇の要因となっている。

これらの諸問題を解決するため、静止形半導体遮断器の開発、実用化を進めてきた。半導体遮断器の場合、直流電流遮断は半導体素子で行い、回路インダクタンスに蓄えられたエネルギーは、非直線抵抗体で熱に変換して処理する方式で、静止化による保守の省力化が図られる。また、高速検出器と組み合わせて事故電流を目盛値に近い値で限流遮断するため、設備の経済化、事故点損傷の軽減、電源容量増への対応などの面に大きな効果を発揮する。

電流遮断方式としては、昭和49年の750V用試作、昭和53年の1,500V用実用器、55年のサイリスタ整流器と組み合わせたシステム化による実用器(DC-SIS)⁽³⁾における電力用サイリスタと転流回路とを使用した方式から、最新のものではゲート信号で素子の導通状態を直接制御できるGTOサイリスタを使用した方式⁽⁴⁾となっており、

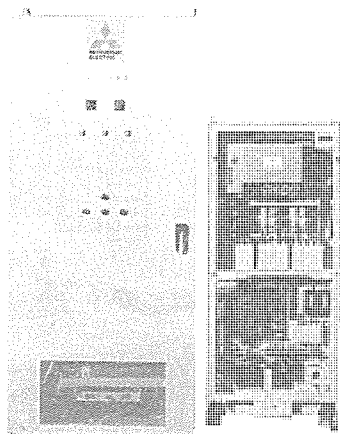


図3. GTO遮断器

昭和61年には実使用されている。この場合、ゲート制御にはマイクロプロセッサを、冷却には自冷式ヒートパイプを、それぞれ採用し、高速化・高信頼度化・小形化が図られている(図3.)。

3.2 回生インバータ

回生車の普及に伴い、地下鉄を中心に省エネルギー、車両回生制動力の確保などを目的として、電車線で発生した余剰回生電力を交流側に逆変換して駅設備などに有効利用するとともに、電車線電圧上昇を抑制する回生インバータが直流変電所に設備されている。

昭和52年に神戸市交通局に設備されて以来、札幌市交通局、京都市交通局、福岡市交通局など、各地下鉄で採用されている。また、東京都交通局では光トリガサイリスタを使用して、主回路の簡素化が図られている。最近では地下鉄のみならず、北神急行電鉄(株)や近畿日本鉄道(株)東大阪線で抑速回生区間での制動力確保対策として設備される例もあり、回生インバータの効果が広く評価されている。回生インバータの直流側電圧は、整流器の軽負荷電圧より高い範囲で運転されるが、負荷の力行、回生のモード変化に対し、循環電流を最小限に抑制しつつ、スムーズに切換ができる。回生インバータの設置効果については前述の省エネルギー、抑速回生制動力確保のほか、車両空気ブレーキ使用量軽減によるブレーキシューの長寿命化、地下鉄における道内温度上昇の抑制などの付随効果についても報告されている⁽⁵⁾(図4.)。

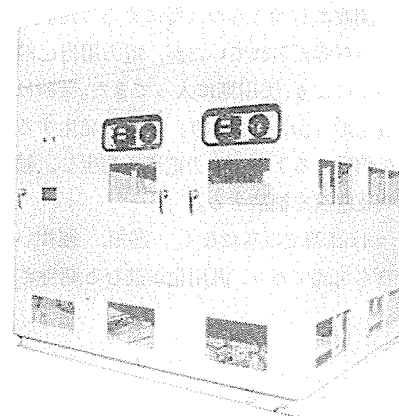


図4. 回生インバータ

今後は自動式インバータなど、整流器機能との一体化による設備の利用率向上、省スペース及び高機能化などを目的とした機器開発が課題になると考えられる。また、フライホイール、蓄電池などによる電力蓄積装置についても、車両回生電力の吸収、ピーク負荷の平準化、架線電圧降下補償などに設置効果が確認されており、特に電力系統からの受電が困難な場所などについては有効であると考えられる。

4. その他のパワーエレクトロニクス応用

4.1 電圧制御整流器

変電所出力電圧を制御することは、古く昭和45年から日本国有鉄道で実施されているが、これはシリコン整流器に電圧補償用サイリスタ整流器を直列に接続し(DC-VR)、受電変動、ピーク負荷時にも変電所出力電圧の低下を防止し、車両パンタ点電圧低下を防ぐ目的のものであった。

その後サイリスタ素子の大容量化により、昭和55年にはフロン冷却による全サイリスタ整流器も札幌市交通局で採用されている⁽⁶⁾。この場合には、受電電圧変動及び軽負荷時の出力電圧上昇を抑え、回生

インバータ電圧を低く設定することによる車両回生率の向上、変電所ピーク電力の抑制、更には事故電流の遮断という効果を得ている。更に変電所間負荷バランス制御による設備容量の低減などの可能性もあり、注目されている。

4.2 サイリスタセクションストップ⁽⁶⁾

電車線路は事故時あるいは保守作業時などに局部的に停電させるため、き電区分用のセクションが設けられるが、車両通過時のパンタグラフによる短絡を防止するため、中間セクションが設けられる。この中間セクションへの電力供給方法としては、遮断器を設ける場合が多いが、遮断器の保守、ケーブル布設工事などが必要である。

これに対し、静止形でかつ変電所からセクション位置までのき電ケーブルが不要で、更に力行車及び回生車のいずれにも対応でき、常にセクションオーバーを防止できるサイリスタセクションストップが採用されている。これによると、内蔵している電流、電圧検出装置により、セクション内へ進入した車両の運転状態を判別し、2台のサイリスタスイッチの通電方向を、常に力行側か回生側に統一するように制御され、セクション内での負荷状態の切替に対しても速やかにモード切替が行われる。

4.3 アクティブフィルタ⁽⁷⁾

電力変換装置を代表として、各種設備負荷の発生する高調波電流による各種障害に対しては、リアクトルとコンデンサからなる高調波フィルタが設けられるが、電力系統との協調、反共振点の出現など、すべての次数の高調波に有効なものには得にくかった。アクティブフィルタは原理的には以前から考えられていたが、電力用自己消弧半導体及び制御技術の進歩により、実用期に入ってきた。装置は高周波PWM方式直列多重電圧形インバータにより、負荷の発生する高調波電流を検出してこれを相殺するように出力電流を発生し、結果として電源系統側への高調波電流を補償する。

アクティブフィルタは高調波のみでなく、進相、遅相いずれの基本波無効電力の補償も可能であり、汎用化が進むと期待される(図5.)。

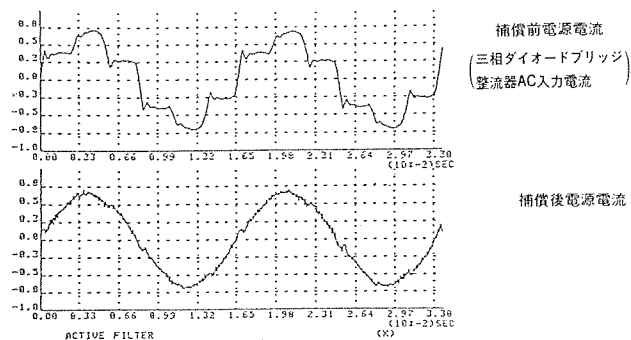


図 5. アクティブフィルタの効果

5. 監視・制御・保護システム

近年のマイクロエレクトロニクス技術の急速な進歩により、高信頼度・保守の省力・高機能化を図る静止形の保護継電装置並びに変電所制御装置を導入したシステムが採用されるとともに、電力管理システムによる制御・監視の自動化・集中化が進められている。

5.1 静止形(デジタル式)保護継電器⁽⁸⁾

デジタルリレーは、昭和49年のビットスライス形高速マイクロプロセッサの登場により急速に実用化開発が行われ、昭和52年から56年にかけてのフィールド実証試験を経て実用化されている。電鉄用としては、昭和56年に札幌市交通局へ納入のほか、10箇所以上で実績があり、

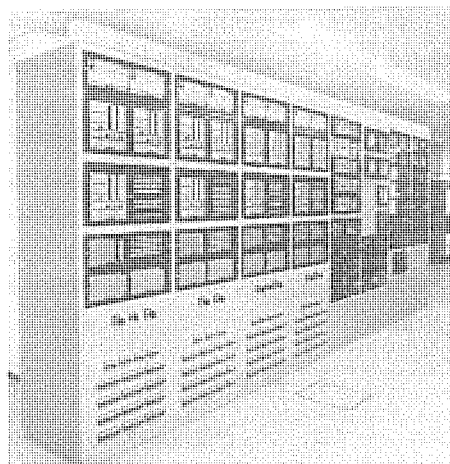


図 6. デジタルリレー

今後更に導入は加速される傾向にある。デジタルリレーの特長を次に示す(図6.)。

- ①高性能・高機能化：デジタル処理による演算機能及びメモリ機能により、アナログ形・機械形リレーでは困難であった特性・機能の実現が可能。
- ②高信頼度化：広範囲できめ細かな常時監視及び自己診断機能により装置の故障・異常を事前に発見、修復が可能となる。
- ③保守の省力化：自己診断機能、出力部の自動点検、またリレー機能のプログラム化により特性変化がなく、定期点検間隔の延長が図られる。
- ④融通性・拡張性の確保：同一ハードウェアで種々の保護リレーが実現でき、保護方式の改造・変更などに対してハードウェアを変更することなく、メモリの交換で対応できる。
- ⑤装置の小形化：マイコンを構成するLSI素子の高集積化に伴い、装置の小形化・縮小化が図られる。

5.2 静止形変電所制御装置

従来の電磁リレーの結合によるシーケンス制御に変わり、シーケンス機能及び数値演算機能を持ち、ソフトウェアによるプログラム処理により高信頼度化を図り、設備の増設・変更に対しても容易に対応できる静止形変電所制御装置(プログラマブルコントローラ：PC)が採用されている。昭和54年に日本国有鉄道、福岡市交通局に納入のほか、40箇所以上で実績がある。シーケンス制御・点検機能のほか、最近では指令所にもついていた機能を変電所にもたせて自動化し、保守の省力、高機能化がより進められる傾向にある。制御装置は以下に示すような機能を果たすことができ、システムの規模・機能に応じてH、M、Eタイプの電鉄用シリーズの適用を図っている(図7.)。

- ①自己診断機能：常時、中央処理装置・メモリ・プロセス入出力装置の監視を行い誤制御を未然に防止する。
- ②自動監視：保護リレーの

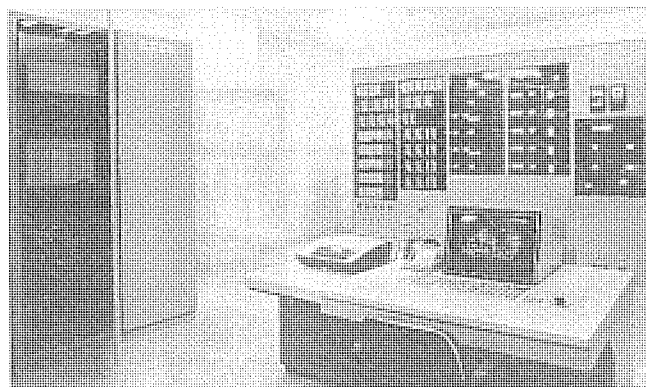


図 7. 静止形変電所制御装置

誤動作・誤動作を点検，監視する。③保護連動点検：保護リレー動作による保護連動の点検。④個別制御：スイッチ選択による機器制御のほか，インタロック・鎖錠などをソフトウェアで実施する。⑤スケジュール制御：スケジュールに基づく機器の運転，故障発生時の運転スケジュール変更。⑥故障復旧制御：故障の発生に対して復旧操作を自動的に行う。その他，計測・記録機能及びCRT又はプラズマディスプレイによる表示並びに他装置との通信機能（HDLC又はPIO）がある。

5.3 電力管理システム

電鉄における電力設備管理の基本として，従来から行われてきた遠方監視制御装置の導入による変電所の無人化と指令所からの集中監視制御がある。最近では電子技術の進歩に伴い遠方監視制御装置の性能も向上し，高速・多量の情報伝送により指令所におけるより確実な変電所状況の把握が可能となった。しかし，変電所数が多くなると日常の停送電業務のほか，故障発生時の対応など指令員に多くの負荷が集中することになり，電力管理システムを通じて電力指令業務の積極的な自動化を図っている。

(1) 電力指令業務には，監視・記録・統計・機器操作・連絡業務などがあり，これらの自動化のための機能として監視表示・計測・スケジュール運転・指定制御・単独制御・故障処理・記録・統計機能などがある。これらの制御・判断・処理・記録を自動化することにより，迅速・確実な操作と安定で経済的な運転，保安度の向上，自動化及び省力化の推進，管理の改善などの効果を実現している。

(2) 今後の動向として，変電所におけるデジタル制御・保護システムの普及に伴い機能分散形システムの構築が進み，処理の高速化・高信頼化が期待できるとともに，指令所におけるマンマシンインタフェースも現在のCRTディスプレイ・系統表示盤から大形ディスプレイの採用，音声入出力装置の実用化によるより的確な系統状態の把握が実現できる。また，保全データ管理による保守業務の自動化も進むと考えられる。

6. 最適き電システムの構築

電鉄における電力供給システムは，地上設備の電機化並びに車両におけるチョップ，VVVFなどの回生車の急速な増加に伴い複雑化しており，エネルギー，制御・保護，運用の各側面からよりトータルな最適システムを構築していく必要がある。同時にシステム構築のためのツールであるシミュレーション技術の重要性がますます高まってきている。

6.1 シミュレーション技術の活用

(1) き電系統電力シミュレータ

回生車，回生インバータ，電圧制御整流器などにより構成するシステムの導入効果を評価し，変電所数や諸設備の定格・定数を決定するには，車両・地上両システム全体のエネルギーダイナミクスを定量的に把握する必要がある。これのサポートツールとしてき電系統シミュレータを開発し，システムの構築に活用している。対象とする線区の運行計画・線路条件・車両諸元・系統の諸定数・変電所諸元などを入力することにより，変電所及び車両総合エネルギー，パンタ点電圧，力行・回生電力，フィード電流などのデータが出力される。これらのデータにより，変電所位置・容量，電圧制御の妥当性，諸設備・き電線路の定格の妥当性，回生設備設置の効果確認と容量決定などを行き電シ

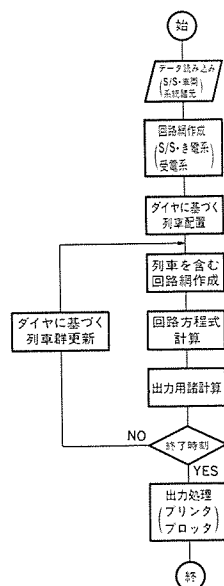


図 8. き電系統電力シミュレータのフローチャート

ステム全体の最適性を評価できる(図8.)。

(2) 高調波・系統解析シミュレータ

交流・直流系統の故障計算，潮流計算，サージ計算，高調波解析には系統解析シミュレータが用いられる。特に高調波に対しては，各分野でのサイリスタ応用装置の設置が増加していることから，最近は特に大きな関心を集めている。高調波による電圧ひずみ，電流分布，周波数特性，等価妨害電流などが系統解析シミュレータにより得られ，系統への影響を予測し未然に対策を講ずることが可能である。

6.2 今後の電力供給システムの方 向

パワーエレクトロニクス・マイクロエレクトロニクス技術の適用領域は急速に拡大しつつあり，既に直流設備，制御保護装置を全静止形としたエレクトロニクス変電所とも呼ぶべき設備も実用に供されている。エレクトロニクス化により，回生，電圧制御，電力制御といった制御機能の充実，変電所・制御所・車両の相互間の通信機能の高度化，あるいは保護リレーや遮断器の応答性能の高速化などが可能となりこれらを駆使・統合した新しいコンセプトに基づく電力供給システムの具体化も間近であるといえる。

更に車両の運行と融合したトータルな電力管理(エネルギーマネジメント)の実現，最適制御導入による設備利用効率の極大化，あるいは変電所のインテリジェント化や人工知能応用による指令業務・保守業務の一層の合理化，近代化などを指向したシステムとなっていくと考えられる。

7. む す び

以上，電鉄用電力供給システムの最近の技術動向について紹介した。ハードウェア技術の向上，エレクトロニクス化技術の進歩，システム化技術の前進により，電力供給システムは従来にない新しい価値(機能，性能)を付加して面目を一新しつつあるといえる。今後もこれら技術の向上を図り，ユーザー各位のニーズにこたえつつ，より高品質のシステムを市場に提供していくべく研究・開発を推進していく所存である。

参 考 文 献

- (1) 信崎ほか：三菱電機技報，57，No. 3，p. 44 (昭58)
- (2) 佐藤ほか：三菱電機技報，58，No. 9，p. 36 (昭59)
- (3) 大沢ほか：三菱電機技報，56，No. 8，p. 29 (昭57)
- (4) 竹田ほか：電気学会全国大会，888，p. 1107 (昭61)
- (5) 藪谷ほか：電気学会研究会，PE-79-19，p. 1 (昭54)
- (6) 鈴木ほか：三菱電機技報，55，No. 10，p. 60 (昭56)
- (7) 池田ほか：電気学会研究会，PE-86-152，p. 31 (昭61)
- (8) 大石：OHM，'84/9，p. 50 (昭59)

最近の駅務システム

大倉忠廣* 福井 毅*
森本博文* 松本真二**
有村慎一*

1. ま え が き

旅客駅は鉄道の窓口として重要な役割を担っており、営業活動の第一線として多数の要員により業務が遂行されてきたが、逐次機械化・システム化により業務の効率化が進められている。今後も新技術の導入による改善や新しい時代の流れに対応した変革が続けられると思われるが、当社における最近の駅務関係のシステム並びに構成機器を紹介しつつ、駅における業務の機械化・システム化の動向について述べる。

本論に入るまえに、システム化を考察する観点から駅における業務を大まかに分類してみると、乗車券関係業務・旅客案内業務・運転関係業務・駅管理業務の4部門に分類され、広義にはこれに関連業務が加わる。このうち、乗車券関係業務と旅客案内業務が業務量の大半を占めており、駅固有の業務として機械化・システム化が逐次進められており、本来の駅務システムとして本稿でその動向について述べる。

運転関係業務は、運転関係システムの一環として効率化が進められるべき性質のものであり、本誌別稿「(最近の列車運行管理システム)」でふれられている。駅管理業務は事務の効率化として、いわゆるOAシステムの適用が課題と考えられ、関連業務では情報ターミナル化へ向けてニューメディアシステムの導入が課題と考えられる。

2. 乗車券関係業務

乗車券関係業務は出改札業務と後方業務に分類されるが、自動券売機・自動改札機・自動精算機・乗車券発行機・定期券発行機など出改札機器の機能の充実が進むとともに、関連する後方業務の機械化と併せてデータ収集を主としてオンラインシステム化が進んでいる。更に出改札機器の監視・制御を遠隔集中化することにより、業務の一層の効率化を期待できる駅務オンラインシステム化へも進みつつある。

一方、従来出改札機器の導入ができなかった駅へも設置を促進することにより、サービスの充実やシステム化の拡大を図ることなどもねらいとして、簡易形や普及形と称される小形の機種あるいは自動形(顧客操作形)の機種が、指定券・乗車券・定期券などの発行機において開発され実用化されつつある。また、指定券などの予約発券システムにおいても、システムの更新とともに性能改善と機能充実によりサービスの向上が進んでいる。

以下に当社の最近の乗車券関係システム・機器の例を紹介するが、このほかにも駅務データオンライン集計システム、普及形定期券発行機、簡易形乗車券発行機、簡易形予約発券端末、自動券売機のオンライン接続機構などがあることを付記しておく。

2.1 駅務オンラインシステム

各駅に設置されている自動券売機・自動改札機などの駅務機器の監視制御や旅客に対するサービスを駅務センターで集中的に行い、窓口業務を中心とする駅業務のより一層の効率化を図るシステムとして、阪神電気鉄道(株)における実施例を紹介する。

2.1.1 システム構成

図1.にシステム構成を示す。全線を4ブロックに分割した管区対応で駅務センターを設け、センター要員に対するマンマシンインタフェースとしてセンター監視操作卓とITVモニターをおく。各被制御駅には、駅務機器監視制御のための駅制御装置とITVカメラ、インターホン、放送などの端末機器を設ける。駅務センターと各被制御駅において、データ回線はLAN(ローカルエリアネットワーク)によりループ状に構成し、映像回線はそれぞれ対向接続している。

2.1.2 機能

各駅の駅務機器を駅務センターにオンライン接続するとともに、映像や音声伝送設備を設け次の機能を果たしている。

(1) 駅務機器の動作状況監視と遠隔制御

自動券売機、自動改札機などの動作状態を駅務センターで集中監視するとともに、業務開始時・終了時の制御、列車の運転状況や旅客状況に合わせた制御及び機器異常発生状況に合わせた制御を行う。

(2) 駅務機器周辺及び旅客の映像による監視

自動券売機・自動改札機などの周辺での旅客の状況は、ITVによって駅務センターで把握し、放送設備やインターホンと組み合わせる不慣れた旅客の案内や事故・不正の防止を行う。ITV表示画面の選択は駅務センター要員の操作によるほか、旅客からインターホンで問い合わせがあった場合自動的に選択表示ができて迅速な対応を可能としている。

(3) 音声による旅客との通話連絡

運行異常時や災害発生時などの全旅客に対する連絡や、不正客に対する注意などを放送設備によって行い、乗越し精算の指示や機器の取扱いの説明を各自動券売機と改札口内外に設けたインターホンによって行う。

(4) 駅務機器に関するデータの収集

後方業務の省力化のため、自動券売機の発売実績・自動改札機の処理実績データを駅務センターにオンライン収集して作表処理し、運賃改定時には自動券売機の運賃テーブルのダウンロードも行う。

なお、当社ではセンター計算機を阪神エンジニアリング(株)と共同で製作するほか、駅制御装置及びITVによる監視システムを担当している。

2.2 定期券自動発売機

定期券発売所に定期券発行機が導入され、購入待時間の短縮などサービス改善に果たしてきた役割は大きいですが、機械の取扱いと発売を係員が行うため発売時間帯に限られ、初電又は終電近くの購入ができないう難点は残った。また機械化に伴って発売所の集約化が進められ、一部の利用客は定期券を購入するため発売所のある駅へ出向かなければならなくなった。このような不便さを解消し、より一層サービスを向上することを目指して定期券自動発売機が開発された。

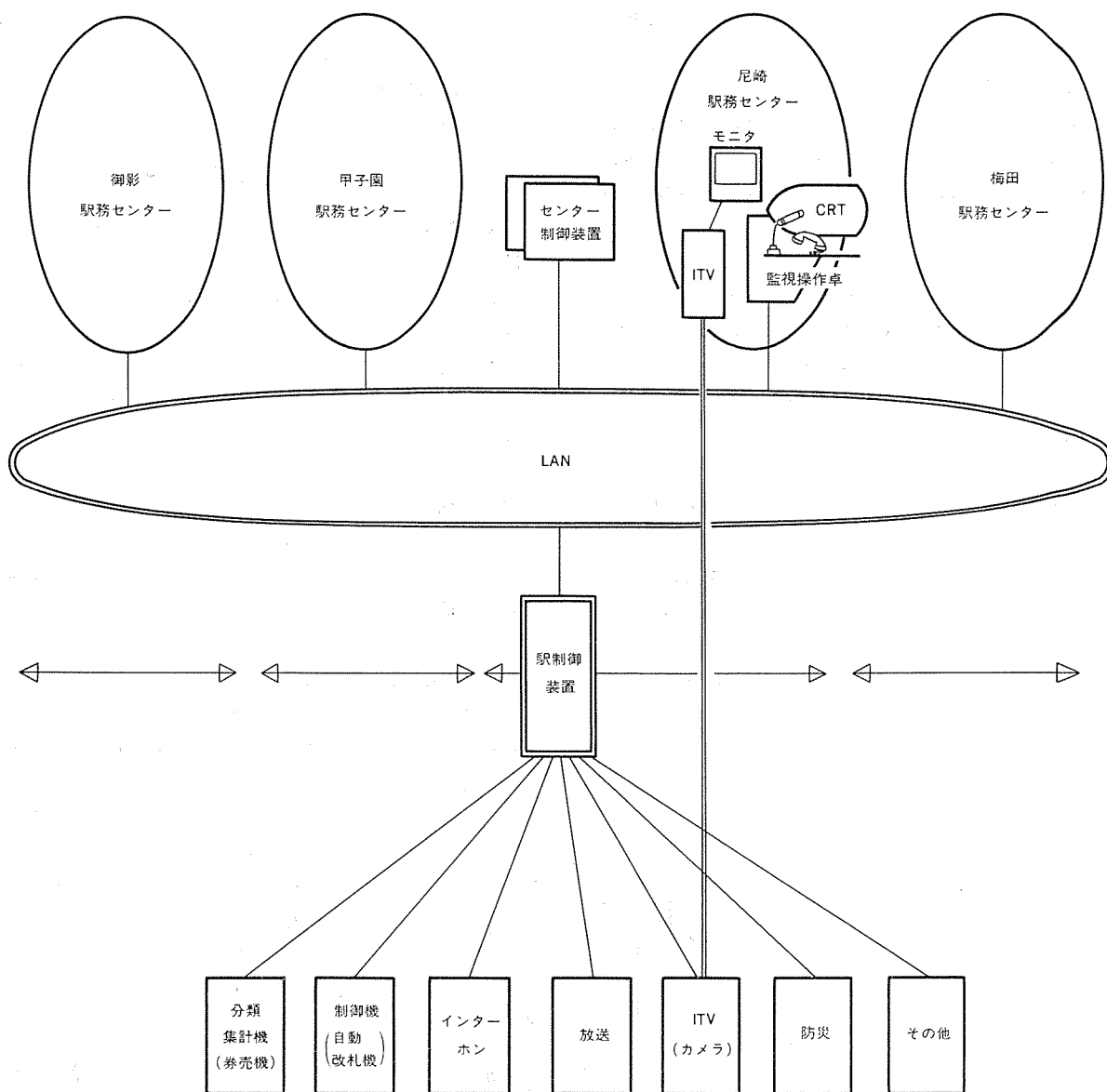


図 1. 駅務オンラインシステムの構成図

2.2.1 機能

この発売機は、引き続き定期券を購入する利用客を対象とした自動形の機械であり、駅に多数導入されている近距離乗車券用の自動券売機と同様に、購入者の操作によって定期券の発売ができるようになっている。定期券購入者は、所持している定期券をこの発売機に挿入し、購入する定期券の使用月数を設定し、表示にしたがって料金を投入することにより定期券を購入することができる。

この発売機の動作は次のとおりである。

- (1) 挿入された定期券の裏面に磁気記録されている購入情報と氏名情報を読み込み乗車区間を表示する。
- (2) 設定された使用月数と乗車区間から定期券の料金を算出し表示する。
- (3) 挿入された現金と算出した料金をとを比較し、挿入現金が定期券料金と等しいか超えたとき定期券の発行を開始する。
- (4) 券面印刷情報は、購入情報と使用月数との組合せ処理及び氏名情報の画像処理により生成する。
- (5) 磁気記録情報は購入情報と使用月数の組合せ処理及び氏名情報から生成する。

表 1. 定期券自動発売機の概略仕様

項目	仕様
発売速度	約 10 秒 (現金投入後)
印刷方式	定着形感熱直接印刷方式
券用紙 (mm)	ポリエステルカード紙 (磁気皮膜付き) 57.5×85.0
取扱金種 (円)	硬貨: 10, 50, 100, 500 紙幣: 1,000, 5,000, 10,000
外形寸法 (mm)	750(W)×900(D)×1,800(H)

この発売機の概略仕様を表 1. に示す。

2.2.2 特長

この発売機的主要な特長は次のとおりである。

- (1) 購入者操作形で係員の介在なしで発売できる。
- (2) 利用者名を新規購入時の手書き書体で印刷できる。
- (3) 外形寸法を自動券売機と同一としてある。
- (4) 音声と表示による操作案内に配慮してある。

なお、新規に購入する利用客は従来どおり定期券発売所に向くが、定期券発売所用の定期券発行機にも、購入情報の生成と氏名情

報（申込書から読み取り）の画像処理を行って磁気記録する機能の追加を併せて開発した。

2.3 特急座席予約発券システム

京成電鉄(株)の上野～成田空港間“特急スカイライナー”の座席予約システムは、海外旅行客の増加と沿線のベッドタウン化が進んでおり、利用者へのサービス向上を図るため、大幅なダイヤ改正を契機にシステム更新が行われた。

2.3.1 システム構成

図2.にシステム構成を示す。中央処理装置にミニコン《MELCOM 70/50》を使用し、各発券端末とをNTT回線(2,400bps)で結んでいる。なお、上野端末については発券量が多いことから、回線速度を9,600bpsにしてスピードアップを図っている。

2.3.2 機能

特急券購入時間のスピードアップなど利用者へのサービス向上及び運用面でのフレキシビリティを考慮し、次のような機能を付与している。

- (1) 特定区間の発売はワンタッチ操作でできる。
- (2) 乗車券又は座席指定特急券の単独発券及び併売発券ができる。
- (3) 座席指定特急券と成田空港～空港ターミナル間のバス券との組合せ発券ができる。
- (4) ダイヤ改正、運賃・料金改定に伴うデータの変更はユーザー側で簡単に行える。
- (5) 列車の停車駅変更に対応できる。
- (6) 次列車の残席リストを出力し、車内で空席を発売できる。

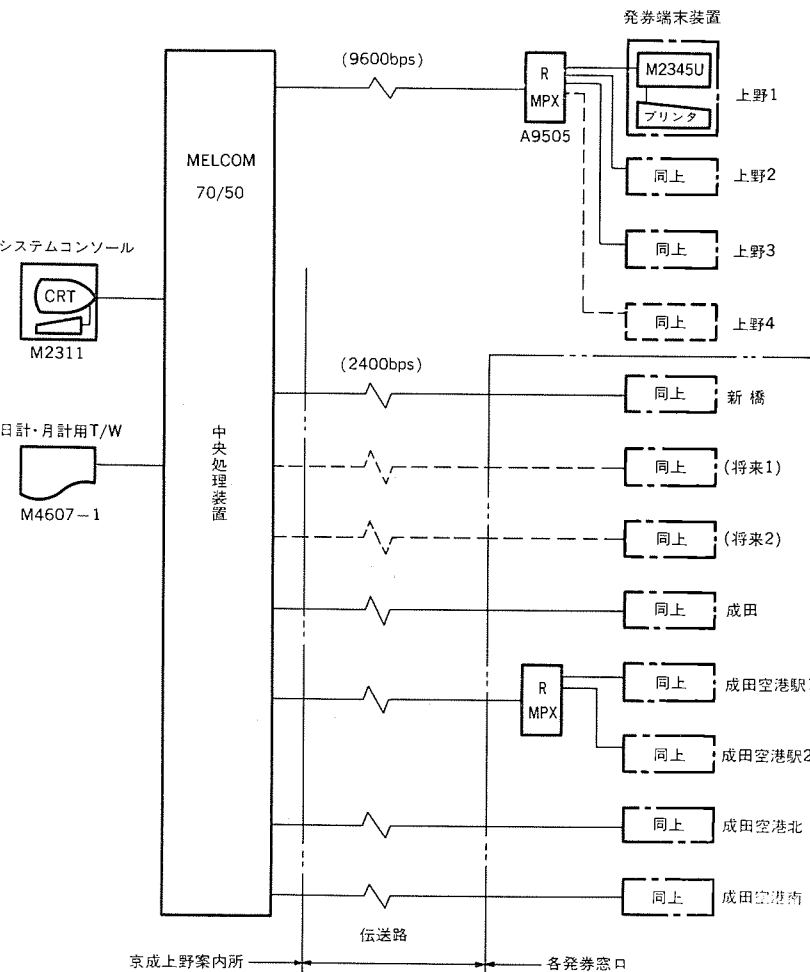


図2. 特急座席予約システムの構成図

(7) 発売代理業者からの返却座席の処理がディスプレイの座席図画面により簡単に行える。

なお、印字速度600cps(漢字)の高速プリンタの採用により発券スピードの向上を図っている(図3., 図4.)。

3. 旅客案内業務

駅における旅客案内業務は、主に列車の発着に関する案内と異常時の情報案内に区分されるが、列車の発着に関する案内については改札口やホームなどにおける表示と放送の自動化が進められている。システム面では各線区の運転関係システムの設備状況により、ダイヤ情報を内蔵した独立形の装置から、運行管理システムからのダイヤ情報により制御する連動形のシステムまでであるが、当然連動形として手動介入をなくす方向が望ましいといえる。

表示装置では、反転式などの機械的なものから発光ダイオードなど電子式の静止形へ、放送装置ではアナログテープ又はディスクによる方式からデジタル文節合成方式へと改善が進んでいる。案内内容についても列車案内にとどまらず、異常時や広報案内表示を付加するなど多機能化も進みつつある。

以下に当社の最近の旅客案内システム・機器の例を紹介する。

3.1 新幹線駅旅客案内情報システム

新幹線における旅客案内情報サービスとして、発車標・到着標による列車運行表示案内及び接近・到着・発車・通過・始発・遅れの自動案内放送がある。

最近では発車標に発光ダイオードを使用した静止形電気掲示装置が採用されており、事故やお知らせ等の情報も提供することができるようになっている。また、自動放送にはデジタルPCM 80Kbpsの録音編集方式を採用しているが、音声記憶媒体として固定ディスク装置の小形・大容量

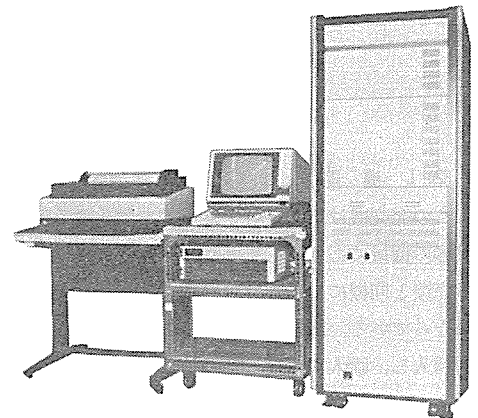


図3. 特急座席予約システム（中央装置）

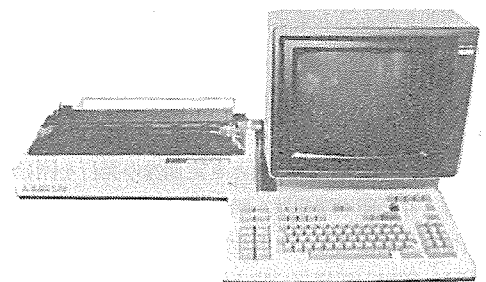
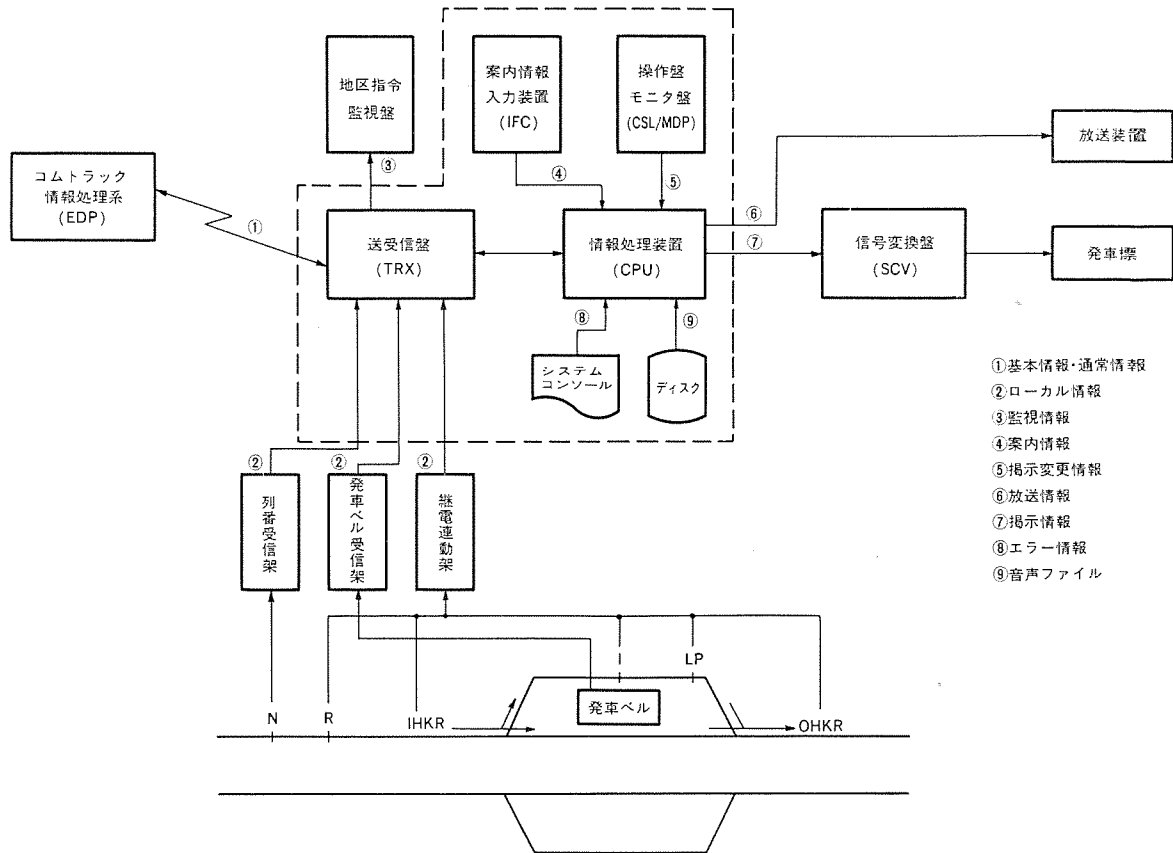


図4. 特急座席予約システム（端末装置）



- ① 基本情報・通常情報
- ② ローカル情報
- ③ 監視情報
- ④ 案内情報
- ⑤ 揭示変更情報
- ⑥ 放送情報
- ⑦ 揭示情報
- ⑧ エラー情報
- ⑨ 音声ファイル

図 5. 新幹線駅旅客案内情報システムの構成図

量化及び音声処理バッファメモリとして IC-RAM の低廉化の動向を背景に、情報処理と音声制御の処理装置の一体化を図っている。

3. 1. 1 制御情報

図 5. に新幹線駅旅客案内情報システム (PIC: Passenger Information Controller) のシステム構成を示す。列車案内に必要な情報は、運転関係システムの中央コムトラックからのダイヤ情報と継電連動装置からの地点信号、列車番号等のローカル情報から得られる。中央コムトラックからは、1 日分の基本情報と列車運転に伴って発生する通常情報が伝送される。基本情報には、列車ダイヤ情報・出発順序情報・到着順序情報・駅状態情報が含まれ、通常情報にはコムトラックで計算した列車の遅延情報や運転指令・旅客指令によって入力される変更情報・事故情報がある。

PIC は、列車の運転に伴って発生するローカル情報によって列車追跡を行い、コムトラックから受信した列車データと比較しながら列車運

行を把握し、発車標・到着標の繰上げ及び自動放送のタイミングを得る(図 5.)。

3. 1. 2 案内情報

東京駅における PIC による案内情報は、列車運行案内・事故案内・お知らせ案内の 3 種に分けられる。列車運行案内は、改札口の発車標で出発列車の案内情報として種別(愛称)・番号・時刻・番線・自由席号車を和文と英文で交互に表示し、運行形態と編成に対応した接近・到着・発車・始発・乗換えの案内放送を行う。

事故案内はコムトラックから送信される事故情報(事故内容・発生場所・運転状況・復旧見込みなど)を案内情報入力装置で文章に変換し、発車標の最下段を利用して流し表示を行う。案内情報入力装置では、ワープロ形式の自由文の作成・登録とタッチパネルを使用した穴あけ形式の固定文の作成も可能であり、発車標へお知らせ案内を表示することができるようになっている(図 6.)。

3. 2 自動案内放送装置

AAN-5000 形自動案内放送装置は、小田急電鉄(株)列車運行管理システムにおいて、自動案内放送を行うために開発されたもので、駅制御装置からの放送情報により放送文を編集し、指定された回線に放送出力を行うインテリジェントな端末である(図 7.)。

3. 2. 1 概要

従来この種の自動放送装置には、音声の記憶媒体として

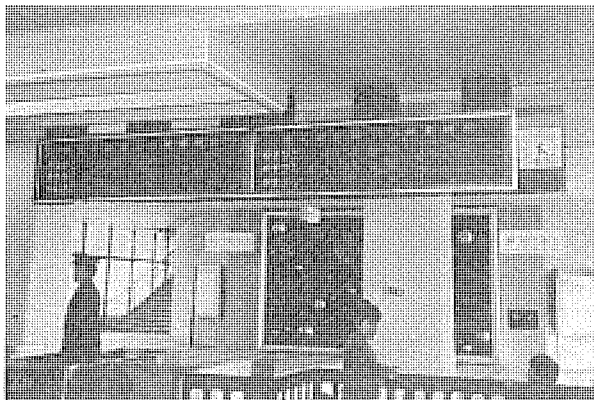
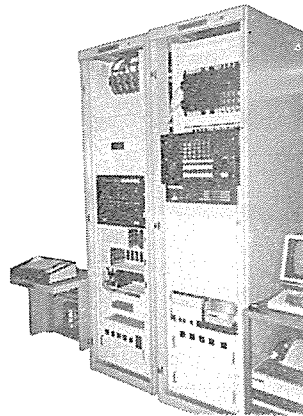


図 6. 新幹線駅旅客案内情報システム



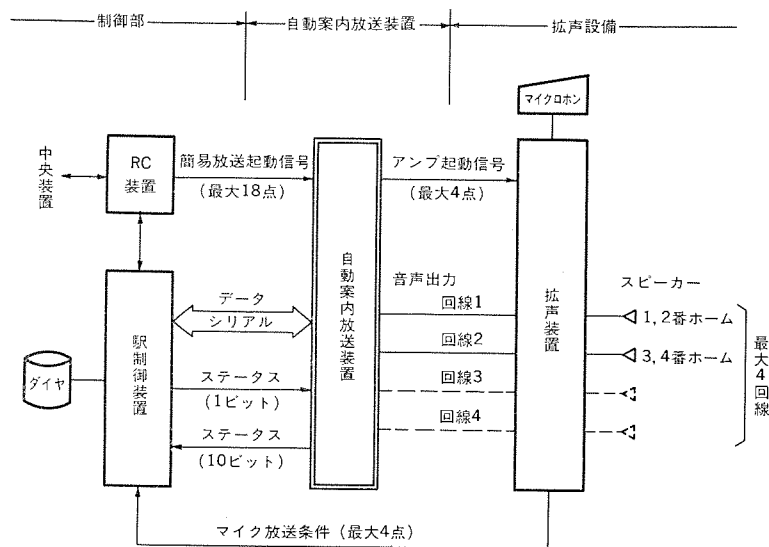


図 7. 自動案内放送システムの構成図

磁気テープを使用した装置、磁気ディスクを使用した装置、読出し専用半導体メモリを使用した装置があった。

これらのうち、磁気テープや磁気ディスクを使用した装置は記憶容量が大きい反面小形化が難しく、かつ機械的駆動方式であるため使用環境範囲(温度・湿度・振動・ほこり等)が狭く、定期的な保守整備が不可欠であるなどの問題があった。一方、読出し専用メモリを使用した装置は、小形化に適する反面音声の追加・変更に専用の

表 2. AAN-5000形自動案内放送装置の仕様

項目	仕様	
時分割多重度	4	
出力回線数	4	
音声記憶データ形式	ADPCM	
音声記憶媒体	CMOS-RAM	
音声記憶時間	最大576秒(288秒ごと増設可能)	
音声再生方式	文節合成方式	
音声再生周波数帯域	250~3,000 Hz	
消費電力	60 VA 以下	
重量 (kg)	据置形	約 17
	パネル取付形	約 21
外形寸法 (mm)	据置形	430(W)×390(D)×170(H)
	パネル取付形	480(W)×395(D)×199(H)

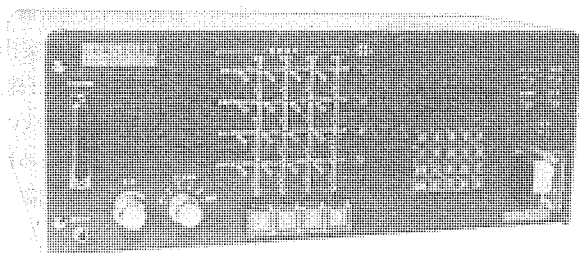


図 8. AAN-5000形自動案内放送装置

データ作成機器が必要であるなどの問題があった。

この装置はこれらの問題を解決すべく、音声の記憶媒体として読み書き可能な大容量半導体メモリを使用し、最新の音声圧縮技術を採用した録音機能付きの小形・軽量・高信頼度の自動案内放送装置である。表 2. にこの装置の主な仕様を示す。

3.2.2 特長

この装置は小形ではあるが、以下のように多くの特長をもっている(図 8.)。

- (1) 経年変化による音質の劣化及びレベル変化がない。
- (2) 信頼性が高く保守の必要がほとんどない。
- (3) 4回線に同時に異なる放送を出力することができる。
- (4) メモリの使用効率がよく、コストパフォーマンスに優れている。
- (5) 音声の録音機能をもっている。
- (6) 放送文の変更や複雑なシーケンス制御を容易に行うことができる。
- (7) 動作が非常に速く、小形・軽量でかつ低消費電力形である。
- (8) 音声記憶用メモリの停電対策がなされている。
- (9) マイクロフロッピディスクにより、音声情報をセーブ又はロードする機能をもっている。

4. む す び

乗車券関係業務においては、小形あるいは自動販売形の発行機により窓口業務の機械化が拡大するとともに、データオンラインシステム化更には駅務オンラインシステム化が進展していくと思われる。将来動向としては、キャッシュレス化社会への対応としてカード化が最大の課題と考えられるが、当面はプリペイドカード(前払い方式)やクレジットカード(後払い方式)による乗車券購入方式でカードの導入が進みつつあり、将来構想としてカードによる乗降方式への移行も研究が始まっている。

旅客案内業務では、運転関係システムの充実・拡大とも合わせて、主要線区から一般線区へと旅客案内システムの拡大が進むとともに、異常時案内情報など情報の充実や多様化も進んでいくと思われる。

また、多数の旅客が集散するターミナル駅では、鉄道を便利に利用するための案内情報、沿線の案内情報その他旅客が求める情報を広く提供する情報サービスも駅の機能として求められている。このようなニーズにこたえるためのシステムは、既に一部で導入されているが、今後、評価・改善を加えながら導入が進んでいくものと予想される。

当社としても、今後も駅務の機械化・システム化の拡大・充実のための改善に取り組んでいくとともに、将来の駅務及び関連のシステムの変革に備えて、カードシステムやニューメディアシステムといった新技術の導入にも取り組んでいきたいと考えている。

終わりに、これまで駅務関係のシステム・機器の開発に当たって、御指導・御協力をいただいた関係各位に感謝の意を表するとともに、今後とも一層の御支援をお願いしたい。

車両基地におけるコンピュータ利用

高橋啓一* 川原和孝**
 本多隆一* 吉村元由***
 水谷次雄**

1. ま え が き

車両基地の業務のなかでは、早くから車両保守業務に自動試験装置が導入され、自動化による省力効果をあげている。これに対し、他の業務については、たびたび自動化の計画がなされてきたが、対象とする業務の複雑さ、経済性の点からなかなか実用に至らなかった。

しかし、近年のコンピュータ技術の進歩、OA、FAの発展を背景として、車両基地内のかんりの業務の自動化が可能になり、省力、省エネルギー効果をあげている。

また一方、車両保守業務における試験装置と車載モニタとの協調にみられるように、従来の枠を越えたシステムへの発展も芽生えつつある。ここでは、車両基地の業務について、自動化の動向を述べるとともに幾つかの具体的事例について紹介する。

2. 基地業務におけるコンピュータ利用の動向

車両基地の業務は規模により多少異なるが、一般的には図1.に示すような業務から成り立っている。ここでは、図1.に示される各々の業務について、コンピュータ利用の動向を述べる。

2.1 車両保守業務

車両保守業務は基地業務の中核をなすもので、工程管理、検修管

理、車歴管理からなっている。このうち、検修管理の一部として、自動試験装置が早くから導入され省力効果をあげている。

自動試験装置の構成は、従来、コンピュータのコストなどから中央集中形が一般的であったが、近年、マイコンの性能向上、光ファイバの普及により分散形の構成も実用化しつつある。機能面でも単なる自動計測、自動記録から、検査結果のデータ処理、車載機器管理も含めた車歴管理へと発展しつつある。

一方、近年の地下鉄では、車両にモニタ装置が搭載されるケースが増大しており、モニタ装置と試験装置との適切な機能分担も今後の検討すべき課題である。また、工程管理についても自動化の検討が進められつつある。

2.2 車両運用業務

車両運用業務のなかで車両運用計画の作成業務は、早くから自動化が可能であると思われてきたが、そのアルゴリズムは複雑で自動化の難しい分野となっていた。しかし、近年のパソコンの性能向上とエキスパートシステム技術を応用した問題解決(探索)機能の導入により、東京都交通局大島車両検修場に納入したシステムにおいて、車両運用計画の自動作成は実用化の域に達した。今後、作成された運用計画による構内進路制御の自動化、運転士の業務管理を加味した計画の作成、及び本線ダイヤが乱れたときの出入庫管理と構内運転整理の即時性の向上、などの機能を充実させたシステムへと発展していくと

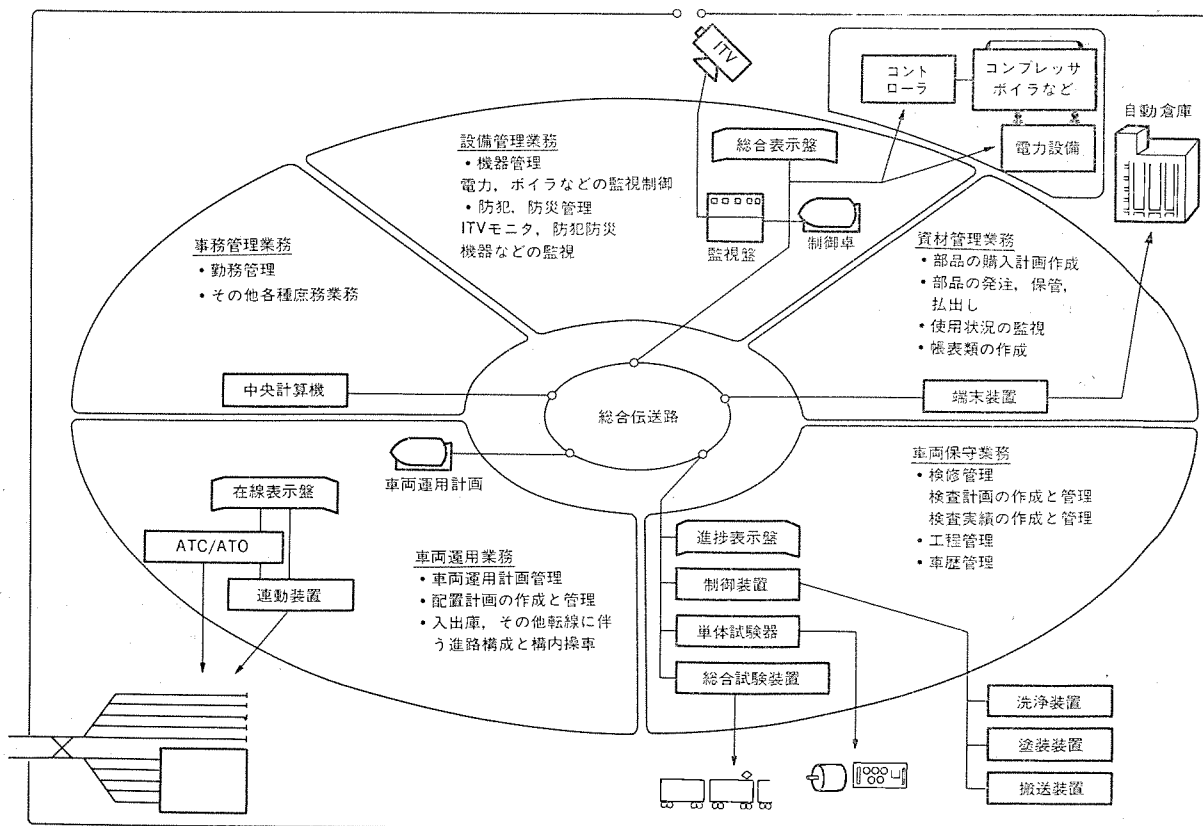


図1. 基地内業務の分類

* 本社 ** 制御製作所 *** 伊丹製作所

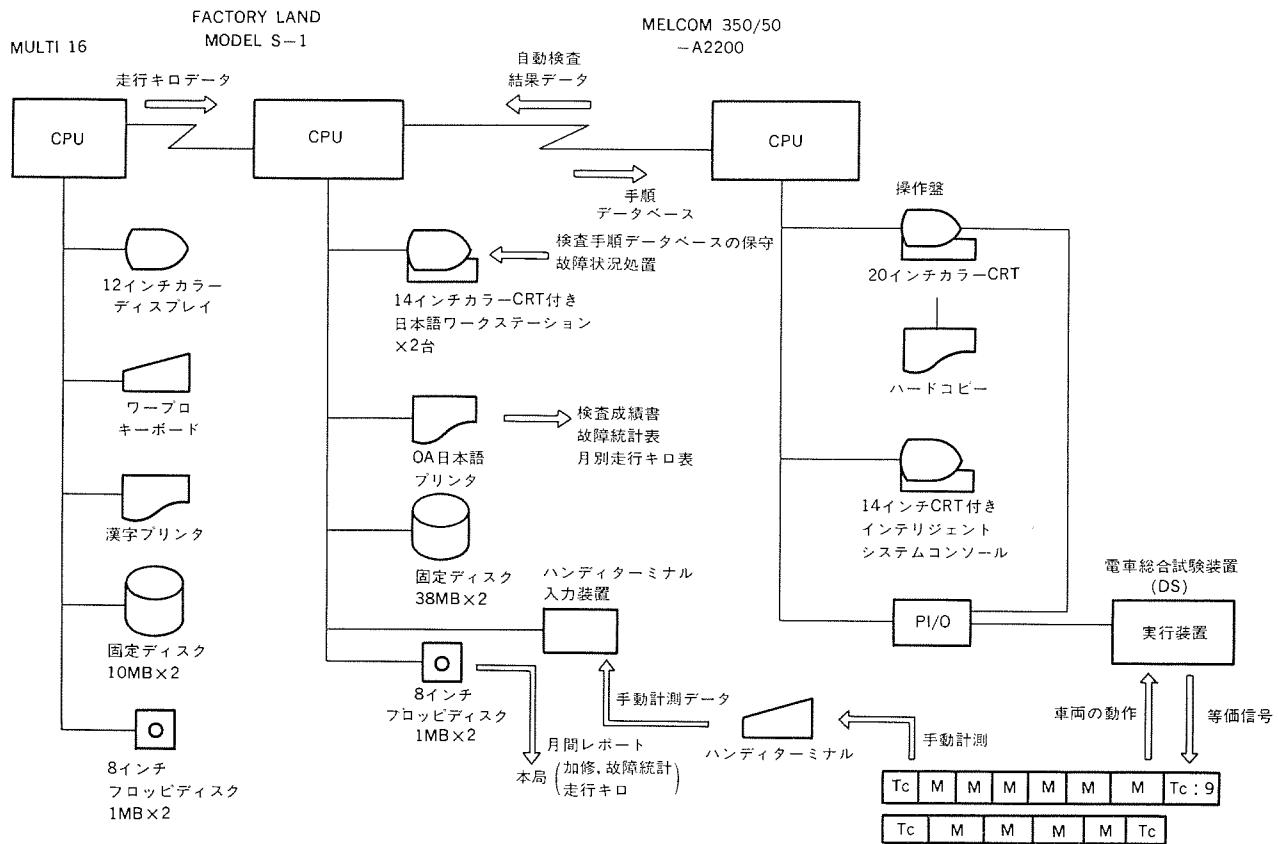


図 2. 車両検修システム構成の概念図

期待される。

2.3 設備管理業務

車両基地内の各設備管理については、日本国有鉄道（以下、国鉄という）において早くから実施されており、主として受配電設備、コンプレッサ設備を集中監視・制御を行うことにより省力効果をあげている。一方、省エネルギー対策についても国鉄仙台工場におけるボイラ燃焼監視制御でその一歩を踏み出したが、近年のエネルギーコストの下落により若干後退しつつある。今後の動向としては、大阪市交通局中百舌鳥基地にみられるように、集中監視と省エネルギーを複合したシステムが導入される傾向にある。

2.4 資材管理業務

資材管理業務の自動化は、その導入効果が大きいにもかかわらず、製造工場における資材管理と異なり、多品種少量で、必要量の算出予測がたてにくい等の問題があり、なかなか実用化の域に達しなかった。しかし、近年磁気カード等の普及により、部品ごとのカードを取り出し使用量を入力するのみで、使用量、残量などの把握が容易になり、常に適正な在庫量を維持することが可能になった。また、スタックレーンなどを用いた自動倉庫との結合により、効率の良いシステムが実現しつつある。

3. 最近の事例

2章で示した各業務のうち、自動化された最近の事例を以下に紹介する。

3.1 東京都交通局大島車両検修場向け車両検修システム

3.1.1 概要

都営新宿線は昭和61年9月、船堀、篠崎間が延伸開業されるに伴い、従来6両編成18本にて運営されていた列車は、8両編成10

本、6両編成11本に増備される。この6両、8両の混在化により、大島車両検修場にある既設の電車総合試験装置の改修工事が必要となった。これを機会にこの検修場内のFA化も併せて推進することとし、計算機《FACTORY LAND》モデルS1（以下、S1という）を中心として、各種FA、OA機器を導入し、業務の大幅な改善に成功した。システム構成を図2.に示す。

3.1.2 機能と特長

- (1) 電車総合試験装置は制御用計算機《MELCOM 350-50シリーズ》モデルA2200を用い自動操作盤に20インチCRTを採用、文字の視認性、漢字表示などのマシン機能を向上させた。
- (2) 電車総合試験装置の検査手順、検査名称、判定基準値などの検査制御手順データをS1のデータベース上に構築することにより、検査手順の修正、変更を容易に実施できる。
- (3) 車両運用計画、車両配置計画の立案と、清掃指示書の作成、走行キロの集計などをパソコン《MULTI 16》で実施し、業務を簡易化した（詳細は3.2節参照）。
- (4) 目視検査の結果データをハンディターミナルHT-8000で収集することにより、検査作業の漏れ、転記ミス無くすとともに、目視検査データが自動検査の結果と同等に扱えるようになった。
- (5) 電車総合試験装置とハンディターミナルから収集した検査データはS1に転送、記憶する。このように検査データを履歴管理することで、車載機器の故障傾向など、予防保全に役立つデータが得られる。
- (6) 車両の加修、故障に関するデータは、S1のワークステーションから容易に入力できる。このデータは交通局本局に設置されたホストコンピュータへフロッピーの形で渡せるため、従来の手書きデータを本局にて手入力する方法と比べ、業務が大幅に簡易化した。更に、故障統計処理が検修場で可能となり、本局から処理データを貰う必要

がなくなったため、必要なデータが即時に入手できるようになった。

3.2 東京都交通局大島車両検修場向け車両運用計画管理システム

3.2.1 概要

車両基地内の各種業務のうち車両運用計画は、車両保守、設備管理、資材管理などのデータ処理と異なり、問題探索のアルゴリズムが必要なため、電算化の困難な業務であった。しかし、近年、パソコンの機能向上は著しく、エキスパートシステムを応用し、車両運用計画管理システムを開発、納入した。

3.2.2 機能及び特長

このシステムは、ダイヤ、列検ルールなどの基本情報をもとに、運用計画、車両配置などの運用情報を作成するもので、その機能概要を図3に示す。

車両運用を計画するためには、車両の検査、清掃などの日程、塗油装置のついた特殊な編成(2編成)の走行などの条件を加味したうえ、全列車の走行キロがなるべく均一となるよう数日先の車両運用まで考慮して、翌日の運用を計画する必要がある。このため、従来は専門の職員がこの計画業務に長時間を要していたが、このシステムの導入により、短時間で運用計画が組まれCRTに表示される。更に運用計画をもとに、当日の検修場内車両配置をCRTに表示す

るとともに、各車両の清掃実施要領(編成ごとの床磨き、洗浄などの実施指示)を車両清掃指示表として印字作成する。また、各列車の走行キロを集計し上位計算機への入力データとして管理している。これらのソフトウェア構成を図4に示す。

3.3 大阪市交通局中百舌鳥検車場向け換気制御システム

3.3.1 概要

大阪市交通局御堂筋線の延伸に伴い、中百舌鳥に建設される検車場は100,000m²の地下検車場となる。検車場は列車検査線など11線で、留置線部は車体洗浄線1線と留置線33線で構成されている。また、留置線部は1ないし2留置線を1ゾーンとした19ゾーンに区分されている。留置線部の換気は、建設費、運営費、換気効率などを総合的に判断した結果、第3種換気方式とした。また、各ゾーンの末端部には、2~3台のゾーンダンパを設けている。このように地下検車場であり、かつ留置線上部の覆土層が薄いために、土中への放熱は期待できないばかりか、夏季には逆に熱が侵入する可能性もある。一方、留置線内では風速が低いので熱伝達率も悪く、このような状態で、泊車しているゾーンも泊車していないゾーンも一律に換気すると必要換気量が多大となるため、検車場内の列車情報、各ゾーンの温度情報などからダンパの制御、排風機の制御を自動的に行うことにより、最小限の換気量で効率の良い換気を行うシステムを実現した。

3.3.2 機能と特長

- (1) 制御用計算機《MELCOM 350-50 シリーズ》モデル A 2200 を用い、20 インチ CRT 上に スケルトン 及び制御画面を表示するなど マニュアル機能を充実させている。
- (2) 制御は、検車場内の列車情報(ポイント情報、軌道回路情報、信号情報を基に予定されている泊車番線の予測を行うとともに、各ゾーンの温度情報、ゾーンのダンパ運転パターンからダンパの制御量、排風機の制御量を演算し最適な自動換気制御を行う。
- (3) 車両運用に変更があった場合についても列車情報により自動的に対応できる。
- (4) 火災発生時は、列車火災が発生したゾーンの排煙を有効に行うため、火災発生ゾーンに対応したダンパ運転パターンと排風機運転パターンに従って排煙制御を行う。火災が多重発生した場合を想定して、複数の火災まで対応可能としている。
- (5) ダンパ、排風機の最適制御を図ると同時に、排風機3台中2台をインバータ制御することにより、省エネルギー効果もねらっている。平常時のアルゴリズムを図5に示す。

3.4 国鉄仙台工場向けボイラ燃焼監視制御装置

3.4.1 概要

国鉄仙台工場は、東北・上越新幹線対応の最新鋭の工場として脚光を浴びているが、このたび将来を見通した省エネルギー対策の一環として、ボイラの省エネルギー制御方式を導入した。このボイラは、工場及び仙台新幹線第一運転所用に使用している20t/H 炉筒煙管高温水ボイラ4缶で、このうち2缶に対して燃焼監視制御装置《MAC TUS 620》を導入し、ボイラの燃焼状態を常に最適状態に維持することによりボイラ効率を向上させ、燃料費及び電力料金の節減を図るものである。制御システムを概念を図6に示す。

3.4.2 機能と特長

- (1) ボイラの最適燃焼制御方法は種々あるが、ここでは導入による効果を考え、低O₂制御のみを行うとともにFDF(押し込通風機)をインバータ制御することにより電力量節減も併せて行っている。

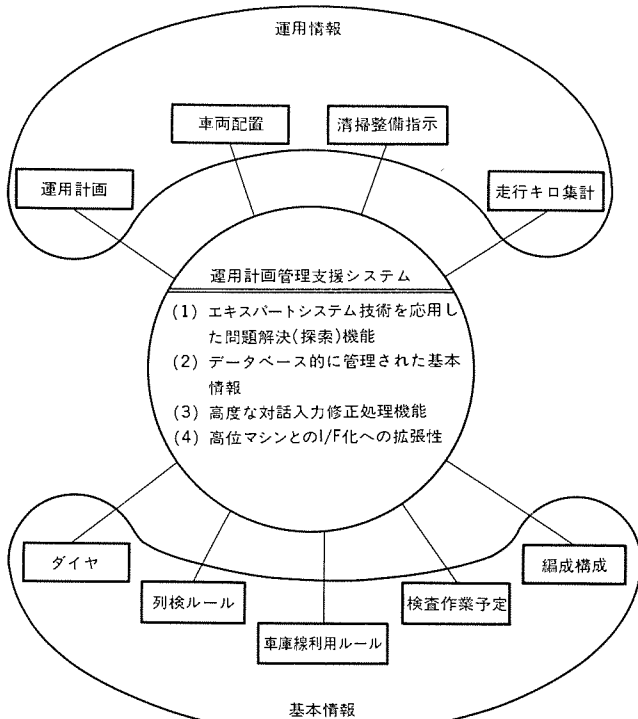


図3. 機能概要図

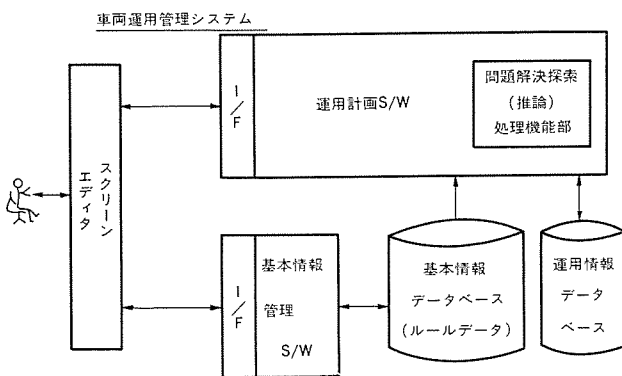


図4. S/W システム構成図

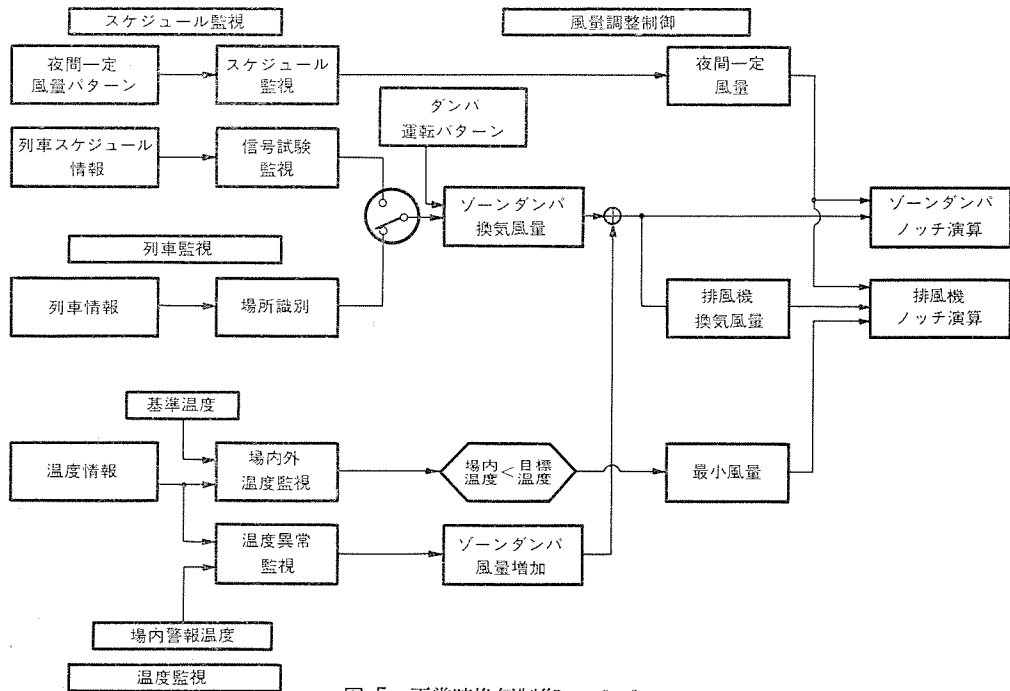


図 5. 平常時換気制御 アルゴリズム

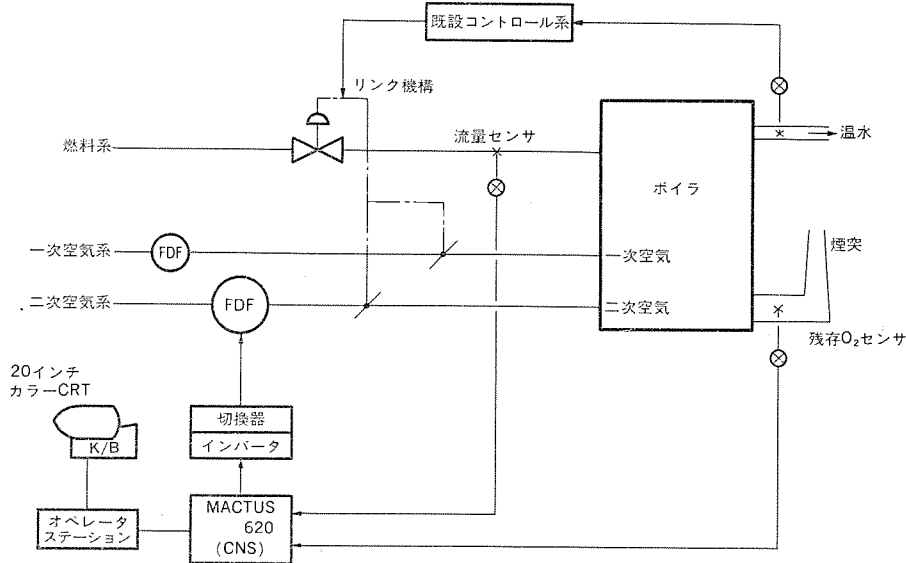


図 6. ボイラ制御システムの概念図

- (2) 4 缶のうち 2 缶を任意に選択して最適燃焼制御を行うことができる。
- (3) 《MACTUS》の CRT 画面を通して、ボイラの運転状況や、各種プロセスアラームを一括監視できる。
- (4) 《MACTUS》のプログラム言語は、標準パッケージ化された計装制御用問題向き言語を採用しているため、ボイラの制御機能にあったプログラムの作成、変更が容易に行える。

4. む す び

以上、車両基地におけるコンピュータ利用の動向について述べてきた。車両基地におけるコンピュータ利用は、本線に比べるとその業務内容の複雑さゆえにやや遅れがちな感があった。

しかし、近年、業務の近代化を目指してコンピュータをはじめとする各種情報関連機器の進歩を背景として、車両基地業務におけるコンピュータの利用が盛んに検討され始めており、今後の発展を大いに期待されている分野である。

車両基地は本線へ車両をより正確に、効率良く供給するという重要な使命を持っている。今後、この使命を効率良く行うために総合電機メーカーとしての当社の総合力、技術力をもって人と機械の調和のとれたシステムの実現に積極的に貢献していく所存である。

参 考 文 献

- (1) 新居ほか：第 23 回鉄道サイネ論文集，425～429
- (2) 前田ほか：第 23 回鉄道サイネ論文集，583～587

東京急行電鉄(株)向けバス運行管理システム

高橋信一* 川原 健志***
 新川 清** 間仁田俊行+
 中平泰男***

1. ま え が き

都市構造の過密化に伴い、自動車の増大は交通混雑、交通渋滞などの深刻な原因となっている。このため公共的交通機関である路線バスは、定時かつ円滑な運行が困難な状況にあり、利用者のバスに対する信頼性は低下し、都心部での利用者の減少傾向を招き、バス事業経営を圧迫している。こうした背景からバス事業では、より積極的な運行の改善と経営の効率化と近代化が急務となってきている。

三菱電機(株)は以上のようなバス事業者の要求に対応するために、移動通信とコンピュータ《MELCOM 70 モデル 30》(M 70/30) 及び《MELCOM 80 システム 20》(M 80/20) を利用した“バス運行管理システム”を開発し東京急行電鉄(株)に納入したので、ここにシステムの概要、ハードウェア、ソフトウェアなどについて紹介する。

2. システム概要

2.1 目的

このシステムの導入に際しては、次のことを主目的とした。

- (1) バス運行の適正化
- (2) 利用者に対するサービスの向上(到着予測時刻などの表示)
- (3) 乗務員の勤務時間管理の自動化
- (4) 営業所事務処理の自動化

2.2 システム構成

このシステムは図1.に示すように、運行管理システムと後方業務システムの二つから構成され、山手線目黒駅をターミナルとする目黒通り4路線7系統に適用され、目黒営業所の営業所設備、主要停留所用路上機とターミナル用路上機などから構成されている。両システムは構内通信回線で結合され、基本情報、運行計画及び運行実績などの情報交換ができるようになっている。

2.3 システム機能

各システムは図2.に示す機能で構成されている。運行管理システムの運行データ処理装置は、ミニコン(M 70/30)を使い、次に示す主な処理を行う。

- ①通過情報収集, ②接近予測, ③ダイヤ予測・修正, ④運行制御,
- ⑤運行監視(表示), ⑥運行ダイヤ転送, ⑦勤務管理

後方業務システムの後方業務処理装置は、オフコン(M 80/20)を使い、次に示す主な処理を行う。

- ①基本情報管理, ②運行計画管理, ③運行実績管理, ④収入金管理,
- ⑤整備工場業務処理, ⑥車庫入れ自動割付け

2.4 システムの特長

このシステムは表1.に示すように、従来システムに比べて次の特長をもっている。

- (1) 通過情報により、各ダイヤごと、主要地点の到着時刻を予測

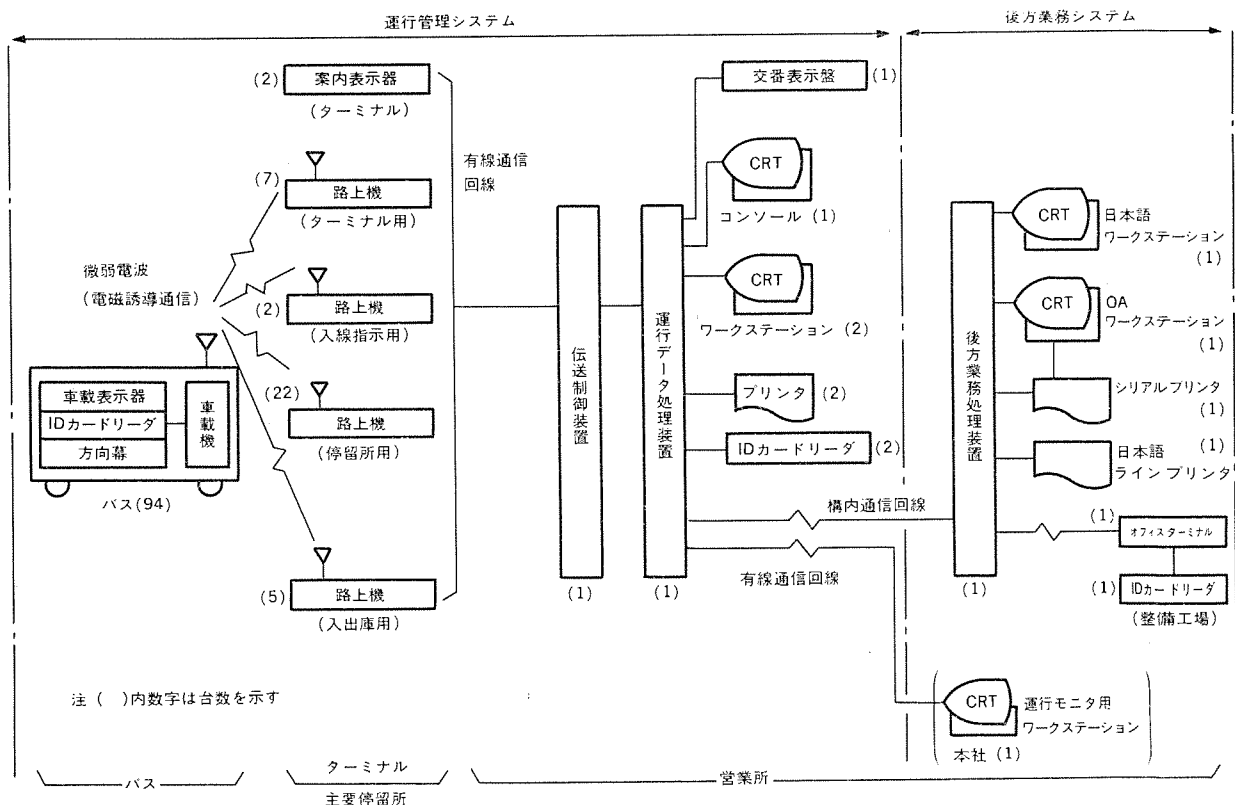


図1. システム構成図

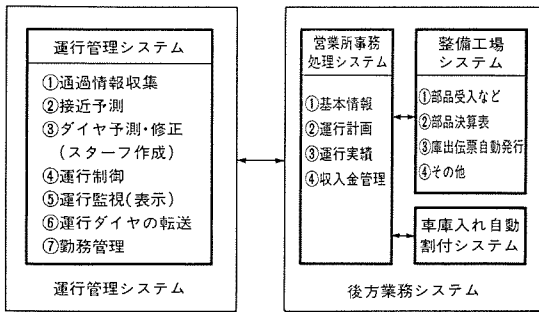


図 2. システムの機能構成

表 1. システム比較

機能	本システム	従来システム(バス・ロケ)
1 通過情報収集	主要地点の通過時にバス情報を収集する。	同左
2 接近予測	ターミナル及び主要地点で、発車(到着)時刻を予測する。	なし
3 ダイヤ予測修正	ダイヤごとのターミナル到着予測を行い、ダイヤ修正する。	なし
4 運行制御	運行指示内容(運行時間表など)を車載表示器に表示する。	待機、出発などの連絡情報をバス車内のランプ点灯で知らせる。
5 運行監視(表示)	ダイヤごとの主要地点の通過時刻表示(計画、予測、実績)	主要地点での通過時刻実績表示
6 運行ダイヤの転送	車載表示器には、運行時間表、案内表示器・路上機に発車(到着)時刻	・時刻情報の転送はない。 ・「一つ前」などの停留所出発情報
7 勤務管理	・営業所、車内のIDカードリーダーを使う。 ・交番表示盤を利用する。	・同左 ・交番表示盤相当品はない。

注 バス・ロケ：バスロケーションシステム

- する。
- (2) 運行ダイヤの修正は、自動モード又は手動モードで行える。
 - (3) 乗務員指示は、車載表示器に運行時間表などを表示して行う。
 - (4) 主要停留所用路上機には、到着予測時刻を表示する。
 - (5) 案内表示器とターミナル用路上機に、発車予定時刻を表示する。
 - (6) 出庫順に乗務員の出勤状況を確認できる交番表示盤を使う。
 - (7) 営業所事務処理(交番表作成、ダイヤと乗務員の自動割付けなど)を行う。

3. 通信方式

このシステムは移動するバスからの情報を営業所で把握し、接近予測や運行ダイヤ作成などを行うために、必要なデータを遅滞なく伝達

表 2. 装置間の通信仕様

項目	車載機～路上機	項目	路上機～伝送制御装置	伝送制御装置～本社端末
通信媒体	フェライトコア空中線相互の電磁誘導(微弱電波)	通信回線	符号品目	NTT-D1規格相当
通信方式	路上機からのトリガ信号の受信後に応答する半二重通信	通信方式	半二重通信	半二重通信
搬送周波数	96 kHz	同期方式	調歩同期	独立同期方式(BSCコンテンツン)
変調方式	位相変調	符号検定方式	水平、垂直パリティチェック方式	CRC方式
情報伝送速度	4,800 bps	伝送速度	200 bps (A, B, E 形) 50 bps (C, F 形)	2,400 bps
送信レベル	微弱電波の範囲内			
受信レベル	87.5 dB μV/m 以上			

するように通信回線を構成した。表 2. に各装置間の通信仕様を示す。

4. ハードウェア

4.1 運行管理システム

4.1.1 営業所設備

営業所設備は図 1. に示す装置により構成されている。

(1) 運行データ処理装置

この装置は中央処理部の制御用計算機(M70/30)、運行実績データなどの保存用の補助記憶装置(FXD)、システム管理・保守用のフレキシブルディスク(FDD)、時計装置などにより構成される。図 3. にハードウェア構成を示す。

(2) 伝送制御装置

この装置は各種路上機と運行データ処理装置との間のデータ(通過情報、接近案内情報、運行指示情報など)送受の伝送制御機能をもっている。

(3) 交番表示盤

交番表示盤は出庫時刻順に乗務員の出勤状況を確認するために使用するもので、従来にない機能・特長をもっている。運行管理者は代務者の充当などの管理業務を能率良く遂行できる。図 4. に交番表示盤の外観を示す。

4.1.2 路上機

路上機は機能・用途により 6 種類に分類され、仕様を表 3. に示す。今回開発した路上機は、発車(到着)予測時分を時刻表示することが従来のバスロケーションシステムと異なる大きな特長である。

4.1.3 車載装置

車載装置は車載機本体、ID カードリーダー(車内名札兼用)、車載表示器、アンテナから構成されている。車載表示器には、その時点で走行するのに最適な運行ダイヤの運行時間表(スタッフ)などを表示できるようになっており、従来にない特長をもっている。図 5. に車載表示器の外観を、表 3. に装置の概略仕様を示す。

表 3. 運行管理システム装置の概略仕様

装置	項目	仕様
運行データ処理装置	(1) 中央処理部 ・語長 ・主メモリ ・補助メモリ(FXD) ・ (FDD)	M70/30 16ビット 1Mバイト 38Mバイト×1 1Mバイト×2
	(2) 時計装置 ・情報 ・停電保証 ・自動修正機能	年、月、日、時分、秒、曜日 15時間以上 FM電波による自動修正機能付き
伝送制御装置	(1) 制御部 ・語長 ・メモリ	インテル 8085 相当 8ビット ROM 32Kバイト、RAM 16Kバイト
	(2) 各種路上機との通信制御	表 2. に記述
路上機	(1) 制御部 ・語長 ・メモリ	インテル 8085 相当 8ビット ROM 16Kバイト、RAM 4Kバイト
	(1) 制御部 ・メモリ	インテル 8085 相当 ROM 32Kバイト(内16Kバイトは表示用) RAM 6Kバイト(内4Kバイトは表示用)
車載装置	(2) 表示部 ・LED表示 ・画面表示	最大7表示可能 400文字の組合せ表示
	(3) IDカード読取り部	磁気コード読取り方式(10進7けた情報)
	(4) 方向幕インタフェース部	方向幕信号(10進2けた)

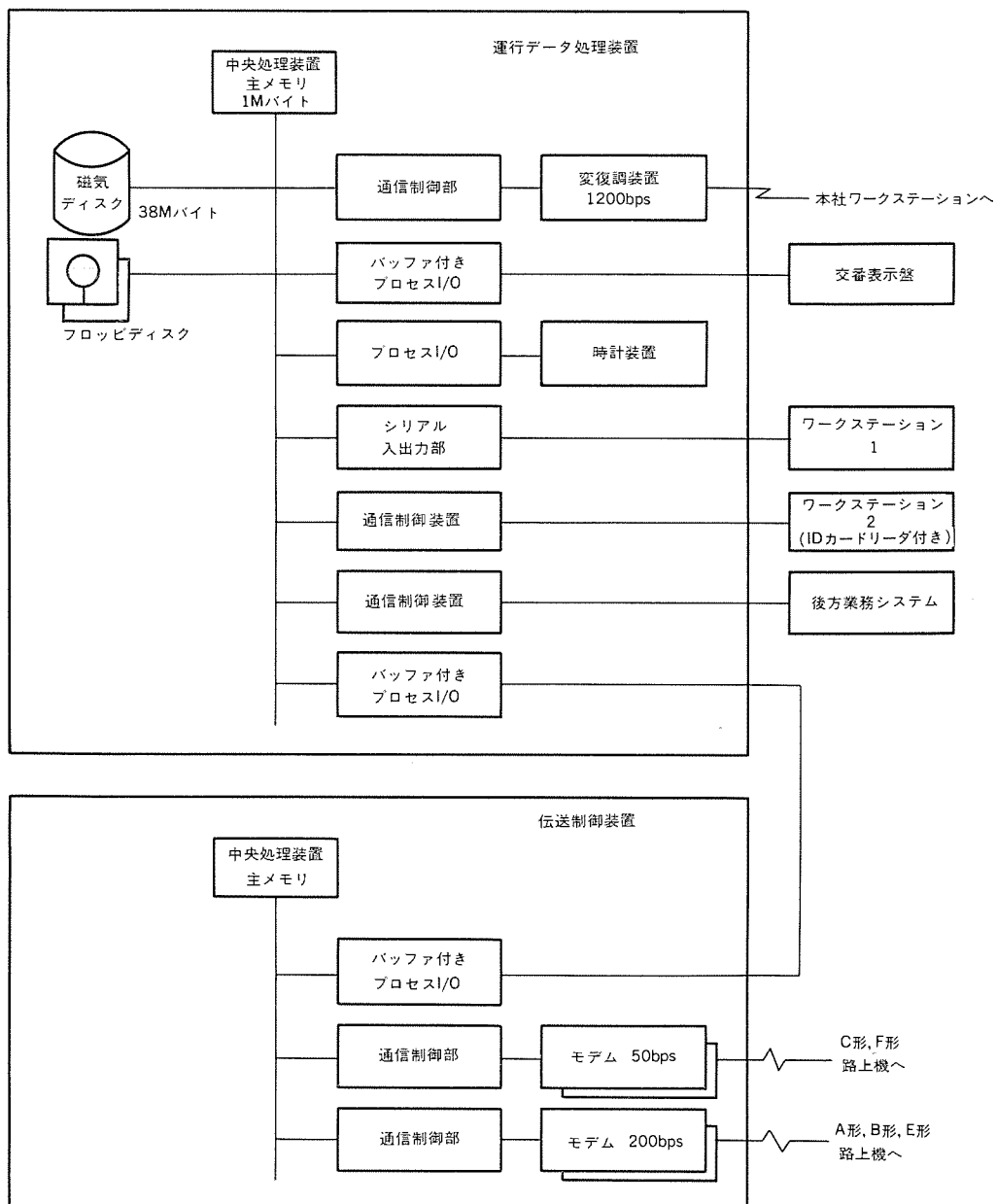


図 3. 運行管理 システムハードウェアの構成図 (営業所)

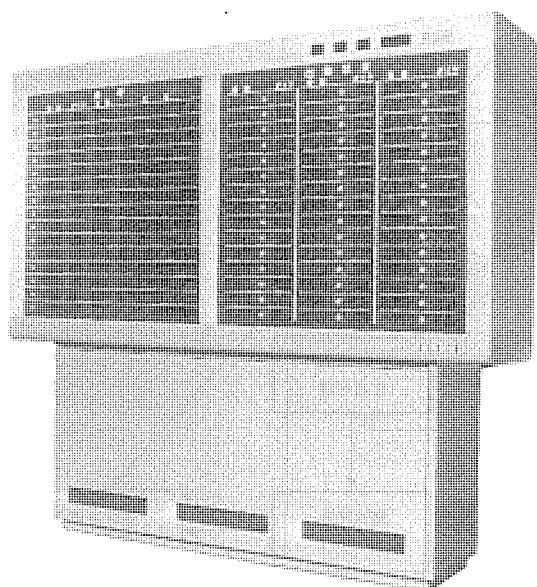


図 4. 交番表示盤の外観

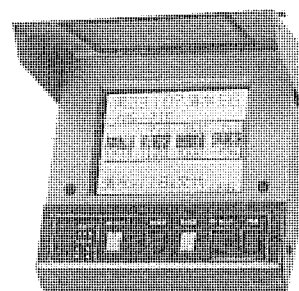


図 5. 車載表示器の外観

4.2 後方業務システム

このシステムはオココン(M80/20)を、営業所事務処理用及び整備工場用に採用している。その仕様を表 4. に、構成を図 6. に示す。

5. ソフトウェア

5.1 運行管理システム

このシステムのソフトウェア概略処理フローを図 7. に示す。次に運行

表 4. 後方業務 システムハードウェア の仕様

中央処理装置	記憶容量	M 80/20 2 M バイト (最大実装 4 M バイト)
磁気ディスク装置	記憶容量	134 M バイト 2 台 固定ディスク
フロッピーディスク装置	記憶容量	1 M バイト 8 インチ 両面倍密度
磁気テープ装置	速度 記憶密度	72 K バイト/秒 1,600/800 ロウ/インチ
日本語ワークステーション装置	表示密度 表示字数	24×24 ドット 漢字 1,000 字 (40 字×25 行) カナ 2,000 字 (80 字×25 行)
日本語シリアルプリンタ装置	文字構成 印字速度 印字幅	24×24 ドット 漢字 72 字/秒 英数カナ 105~210 字/秒 漢字 90 字/行, カナ 136 字/行
日本語ラインプリンタ装置	印字速度 印字幅	漢字 180 行/分, カナ 240 行/分 漢字 90 字, カナ 136 字 5 ヘッド

データ 処理装置の処理内容を述べる。

(1) 通過情報収集

路上機からの通過情報により、運行状況格納テーブルを生成する。

(2) 接近予測

このシステムの特長となっているターミナル及び主要停留所での到着時刻の予測は、主要停留所の路上機と路上機の間を一つの単位区間と考え、単位区間ごとの実績値と予測値の総計値を利用して行う。ここで未走行区間の予測は、各区間の実績値に対する荷重平均値を利用して所要時分を算出する。

(3) ダイヤ予測・修正 (スターフ作成)

このシステムの特長となっている処理であり、上記の接近予測処理により、各運行ダイヤのターミナル到着時分が予測されるので、次の運行計画が立てられる。また、ダイヤが交通渋滞などにより乱れた場

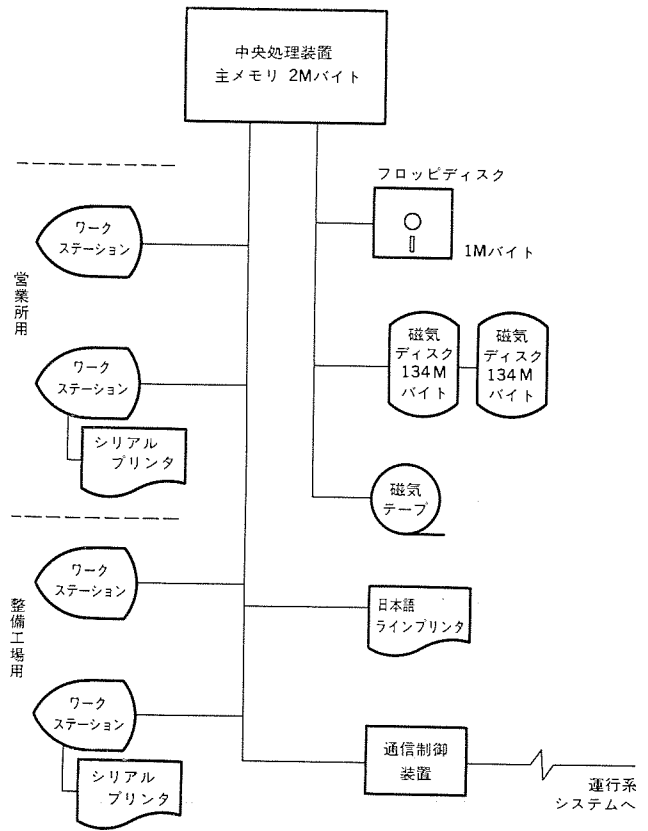


図 6. 後方業務 システムハードウェア の構成図

合、基本ダイヤに回復させるべく、段階的に次のような自動モード(運行管理者が介入しない)でダイヤ修正処理を行う。

- (a) 自路線内の調整時分を越えない遅延運行: 延伸等間隔調整
- (b) 自路線内の調整時分を越えただんど運行: 折返しによる回復

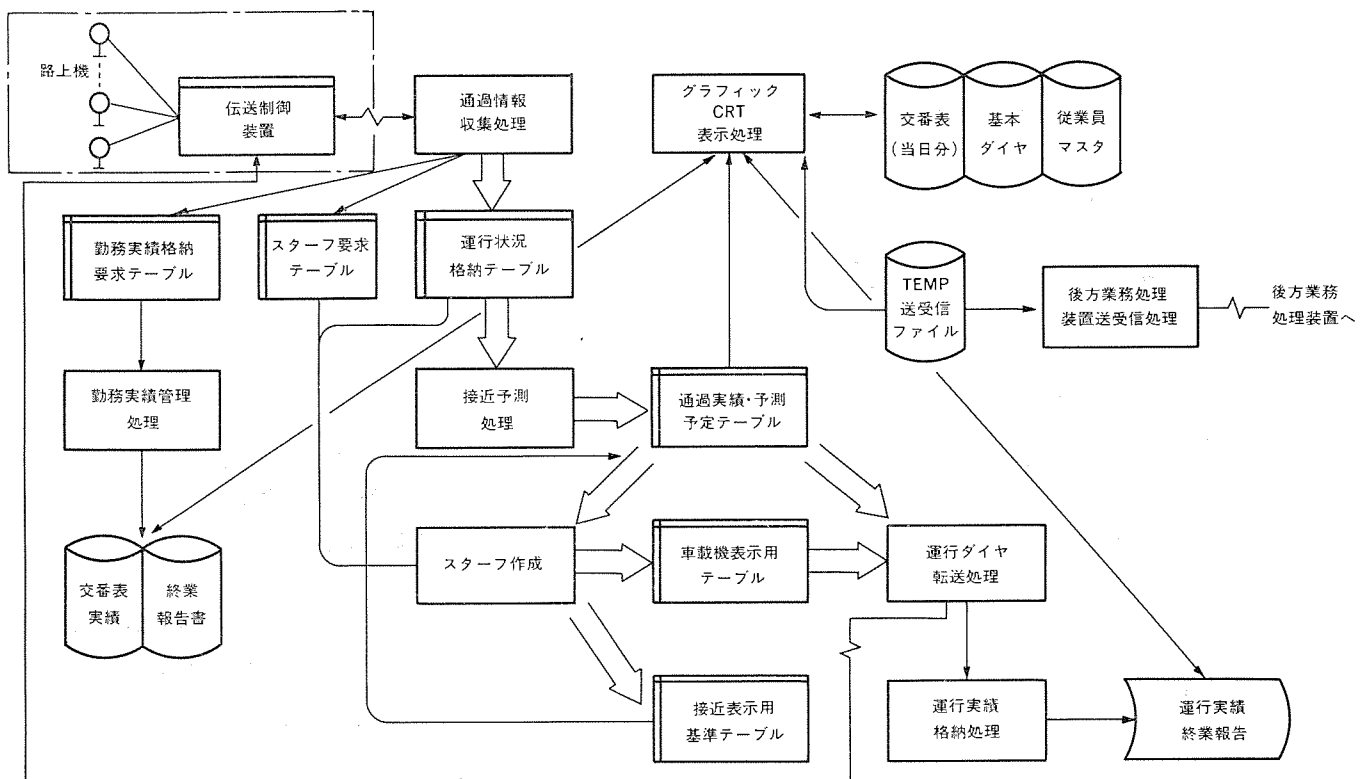


図 7. 運行管理 システム のソフトウェア 概略処理フロー

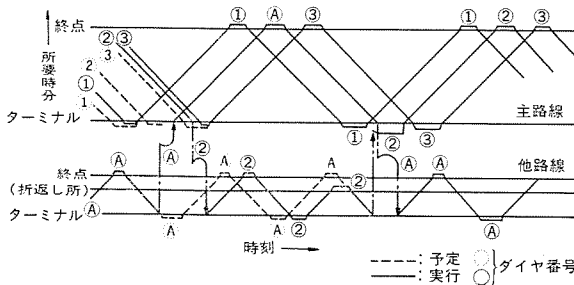


図 8. ダイヤ修正の基本的考え方の一例

(c) 主路線の調整時分を越えただんど運行：他路線との交換
 ここで、上記のうち(c)の処理の一例を図 8. に示す。この処理は主路線のバスが大幅に遅れたとき、他路線からバスを抽出し、主路線に投入して等間隔運行に近づける。その代わりに主路線の遅延バスを抽出路線に投入し、また機会をみて両者を復帰させる考えである。なお、調整時分は、起終点での基本ダイヤの発時分から乗務員の休憩時分を除いた待時分である。また、運行管理者が手動モードに変更して、出発時刻変更・投入・交換・入庫・折返し・欠行などの運行指示ができるようになっている。

(4) グラフィック CRT 表示

運行管理者は、CRT 操作により以下の内容を表示させて全ダイヤの運行状態、道路状況などを把握できる。

(a) 運行状況表示：路線別・系統別運行状況、特定社番位置な

表 5. 営業所事務処理システムのソフトウェア処理概要

処理機能	主要項目	内 容
1 基本情報	ダイヤ情報管理	・基本情報(ダイヤ、停留所、系統、交番など)の登録、変更 ・スタッフ及び各マスタリストの作成
	車両・乗務員情報管理	・車両及び従業員マスタファイルのデータ登録、変更 ・人事基本事項、健康、賞罰、事故などの管理
2 運行計画	休暇管理	・乗務員の休暇の登録、整備予定車の登録 ・出力帳票：休暇、欠勤者リスト、交番者リストなど
	配車業務	・各ダイヤに乗務員と車両の自動割付けを行い、交番表作成 ・出力帳票：交番表、点呼簿、車両使用状況など
3 運行実績管理	手当・勤怠管理	・運行実績データから乗務員の個人別手当、勤怠データを計算する。 ・出力帳票：勤務日報、出勤状況など
	燃料管理	・使用燃料、オイルの集計後、車両別燃料、オイル使用状況表など作成
	管理統計資料作成	・運行実績、交番実績情報により、日次、月次の管理資料作成 ・出力帳票：区別別実績表、運転日報など
4 収入金管理	回数券、定期券発売管理	・回数券、定期券の発売管理資料の作成 ・ホストコンピュータ入力用のデータ作成
	売上管理	・売上データの入力、納金日報、ホストコンピュータ入力用の納金データ及び納金月報の作成

表 6. 整備工場システムの処理機能

処理機能	内 容
1 部品管理	磁気カードを使用した在庫管理
2 外注部品管理	外注品の業者別・費目別実績表などの出力
3 予・決算管理	年度別予算表、部材費・外注費の決算表
4 寿命把握重要保安部品	部材、外注部品、重要保安部品の寿命実績表などの出力
5 作業時間把握	整備区分別に作業内容実績表の出力
6 統計資料	燃料管理資料などの出力

ど

- (b) 車庫状況表示：割付済車両、予備車両、整備車両
- (c) 運行実績表示(当日分)：区間別平均所要時分など
- (d) 運行ダイヤ予測修正：ダイヤごと運行時刻(予定・予測・実績)
- (e) 各種設定、帳票出力処理：交通情報、気象情報の設定など
- (f) 基本ダイヤ情報受信処理及び業務終了処理

後方業務処理装置から基本ダイヤ情報(マスタ)及び交番表情報を受信し、基本ダイヤファイルを生成し、当日の実績情報を送信する。

(5) 運行ダイヤの転送

運行ダイヤに関連する情報は、車載表示器に入線指示、スタッフ情報(運行時間表)を、路上機には接近案内情報を、案内表示器には発車確定時刻及び発車予定時刻を転送する。

(6) 勤務管理

営業所の ID カードリーダー、車載用 ID カードリーダー、入出庫用路上機及び停留所用路上機から収集した情報を利用して行う。

5.2 後方業務システム

(1) 営業所事務処理システム

このシステムはダイヤ情報、乗務員情報、車両情報をもとに運行計画処理を行い、交番表を作成する。交番表を作るにあたって、乗務員とダイヤの自動割付けを行えることが大きな特長である。

ここで作られた交番表が運行管理システムに受け渡される。また、運行管理システムから当日の運行実績を受け取り、乗務員の手当・勤怠に関する処理及び車両の実績管理などに必要な資料を作成する。更に、限られたスペースに翌日出庫しやすいように駐車させ、交番表データによる入庫時間、翌日の出庫時間及び車庫の物理的条件から、車庫における入庫車両の駐車位置指定を自動的に行う、車庫入れ自動割付システムも用意されている。主なソフトウェア機能についての処理概要を表 5. に示す。

(2) 整備工場システム

このシステムは表 6. に示す部品管理を中心に、外注部品管理、予・決算管理、作業時間把握、寿命把握及び重要保安部品管理の機能を持ち、実績表、関連資料などを出力する。また、磁気カードを使用した在庫管理を行う部品管理機能が特長となっている。

6. む す び

このシステムは運用開始してから約 1 年弱経過し、所期の目的を達成しつつあり、その導入効果は詳細なる分析を待たねばならない。このシステムは、いわゆる社会システムとして位置づけられるものであり、都心部での社会問題となっているバス運行の積極的な改善を意図して、業界に先がけてシステム開発し、導入した意義は極めて大きく、今後の発展が期待できるものと考えられる。今後は、更にシステムの拡大と多様化が予想されるため、当社の総合力と技術力をいかした特長あるシステム開発に努めていきたい。

最後にこのシステムの開発、運用にあたって御指導、御協力いただいた関係各位に感謝する次第である。

小田急電鉄(株)納め運転教習シミュレータ

佐藤 薫*・武 昭价*・本多隆一**・星野正光***・柿元栄三***

1. ま え が き

安全、正確、迅速に大量輸送を行うという社会的使命を担っている鉄道において、運転士の役割は極めて重要である。その運転士になるには、国によって認可された動力車操縦者養成所で、8か月にわたって所定の教育訓練を受け、8科目に及ぶ学科と実技の修了試験に合格しなければならない。

有能な運転士を養成するために、日本全国29箇所の各養成所では、それぞれ工夫をこらした教育・訓練機材を開発、導入しており、その最頂点に位置する機材として、近年、シミュレータが関心の的となっている。

訓練用のシミュレータとしては、航空機用があまりにも有名であり、電車用にもそのコンセプト及び製造技術を流用すれば、事は簡単と考えがちであるが、実は鉄道の場合には航空機ほど訓練自体に危険が伴い、かつ多額の運航費がかかるというわけではなく、実車そのものの訓練、すなわち、営業線で指導者が見習者の手をとって教えるという昔ながらの方式でも事足りること、及び法的にもシミュレータでの訓練時間だけ実車での訓練時間が減らせるというわけではないとの理由から、鉄道各社とも、関心が高いわりには、その導入には消極的であった。

一方、オームの法則から始まり列車の走行方程式に至る“運転理論”，鉄道車両や信号系統の“機能／構造”，“運転法規”などの学科については、従来、教室で教科書をもとに教師が講義する座学が主体であり、生徒にとっては実際の運転との関連がつかみ難く、理解が困難であった。

今回開発したシミュレータは、技能訓練よりも学科教育に、より重点をおいた教習装置であり、最新のAV(Audio Visual)機器をシ

ミュレータシステムに組み込むことによって、テレビ世代の生徒の興味と緊張を持続させつつ安全運転に必要な十分な知識を吸収させることを目的としている。

2. システムの概要

図1.にシミュレータの全体図を示す。

- (1) 模擬車両内の運転機器を操作することによって、計器や表示灯が実車同様に作動するとともに、擬音が流れる。また、別に設置されている実物の車両床下機器(制御装置及び制動装置)を連動させることも可能である。
- (2) 模擬車両前方のビデオスクリーンには、運転速度に応じた風景が投影される。
- (3) スクリーンに向かって左側にCRTが2台あり、上段CRTには、模擬路線の状況に対応して、信号／標識などが時々刻々表示される。下段CRTには、運転曲線、電力消費曲線、加速度曲線などの各曲線が、リアルタイムで表示される。
- (4) 教官卓に組み込まれた主計算機のフロッピーシートを挿し替えることによって教習項目が選択でき、教官用CRTに表示される列車状況を見ながら簡易キーボードを操作すれば、例えば走行中の列車に故障を発生させたりすることができる。
- (5) スクリーン及びCRT2台には、教習項目によっては、乗務員室以外の車両機器の写真や基本点検順序、入換合図、Q&A(設問と解答)なども表示される。

3. 構成及び機能

図2.にシミュレータの構成を、図3.にブロック図を示す。以下、図2.の構成図に沿って、このシミュレータの構成、機能／性能及び特長

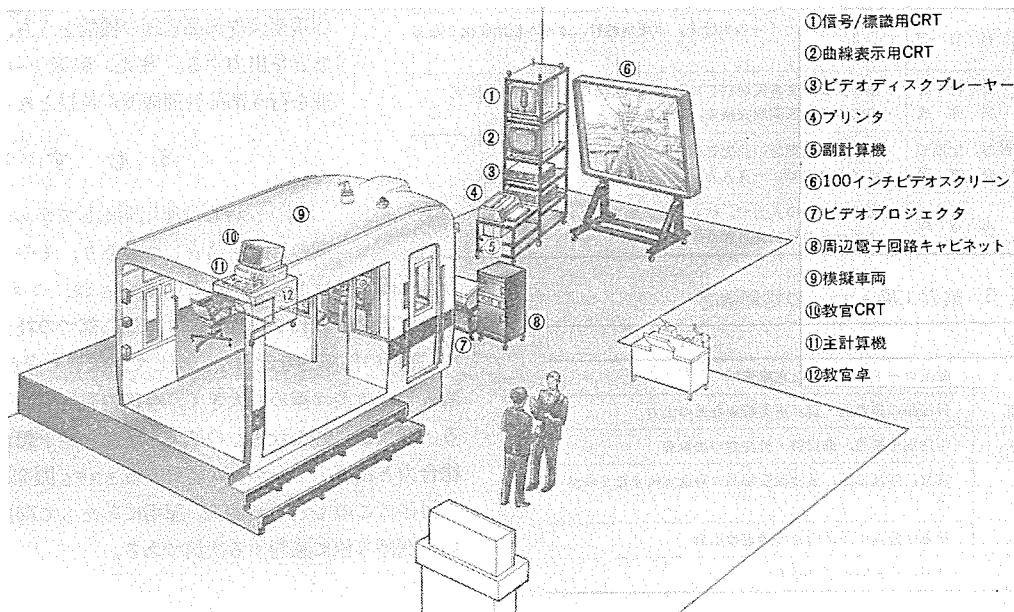


図1. シミュレータの全体図

を紹介する。

3.1 模擬車両

模擬車両は、小田急5200形電車の先頭部を切断した形状であり、多人数の生徒を同時に教育できるように右側面が大きく切り欠かれていること、及び機器の内部が見えるように透明アクリルカバーを多用するなどの工夫が施されている以外は、外観、機能ともに実車を忠実に模擬しており、運転台のレバー、スイッチ類を操作することによって、あたかも実際の電車を運転しているかのような感覚（計器、表示灯類の作動及び音響）が得られる。また、ATSシステムについても模擬されている。

主要機器は実車部品を使用しているが、空気系統の制御レバーには、ポテンショメータを付加するなどの改造を施しており、また計器は、すべて電流計駆動に置きかえている。車両の床には、前後2個のスピーカーが取り付けられており、表1.に示す各擬音が発生される。

3.2 路線映像

模擬車両の前方に、ビデオプロジェクションシステムを設け、ビデオディスクに収録されている実路線の映像を投影している。スクリーンは100インチの湾曲形を使用し、映像が運転者から見て最も明るくなり、かつ、視点が実車運転時と一致するように配置されている。路線映像は、電車の先頭部にテレビカメラを取り付け、小田急千歳船橋駅手前から相模大野駅通過までの区間を55km/hの定速で30分間走行して撮影した。テレビカメラは放送用を用い、1インチビデオテープを使用したので、NTSC方式としては、最高の映像が収録できている。

このようにして収録したビデオテープの映像をビデオディスクに再録し、シミュレータのコンピュータで模擬列車の走行速度(0~110km/h)に合わせて時々刻々制御し、再生することによって速度変化を模擬している。

光学式ビデオディスクを用いているので、従来のフィルムやビデオテープ

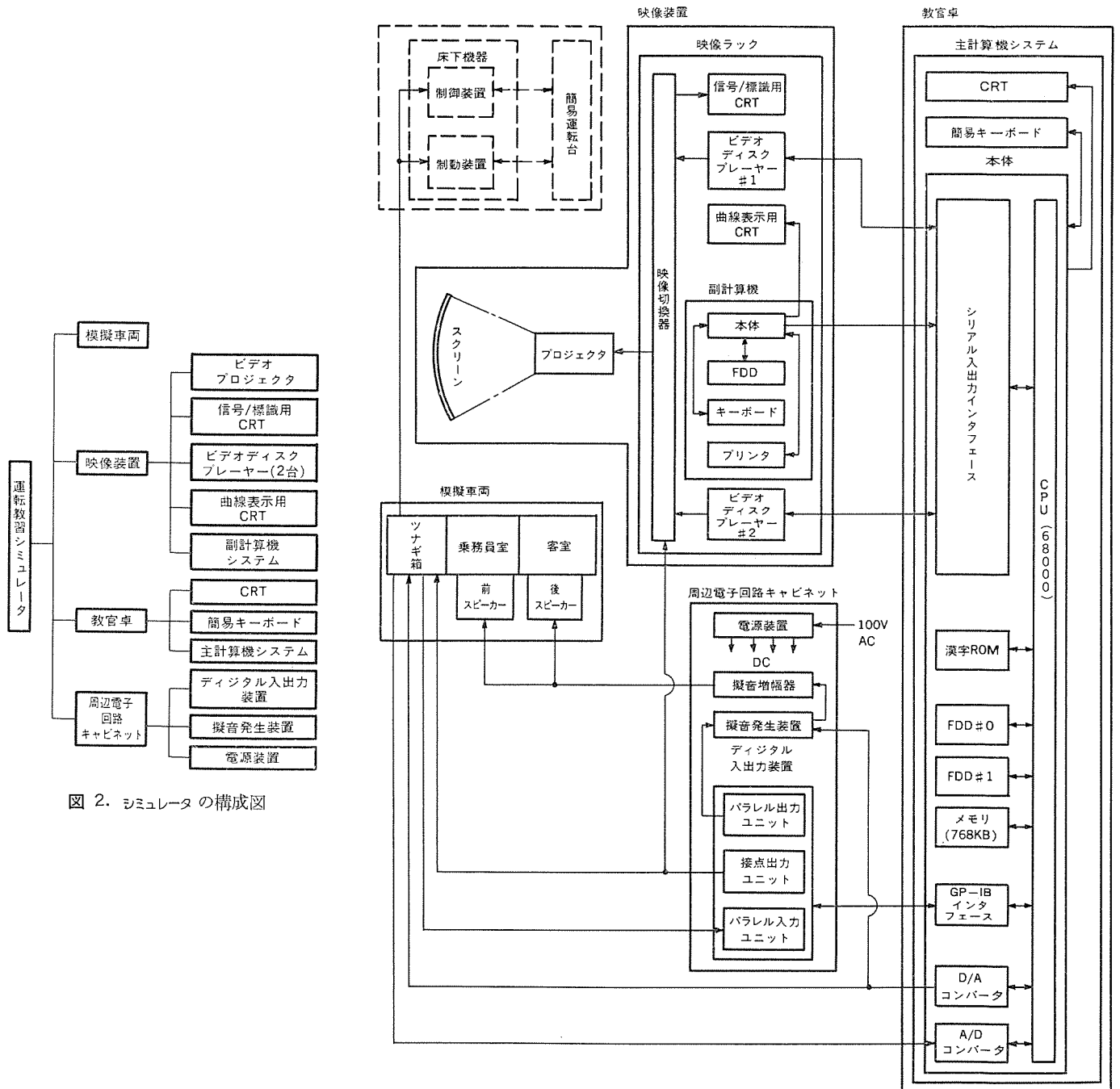


図 2. シミュレータの構成図

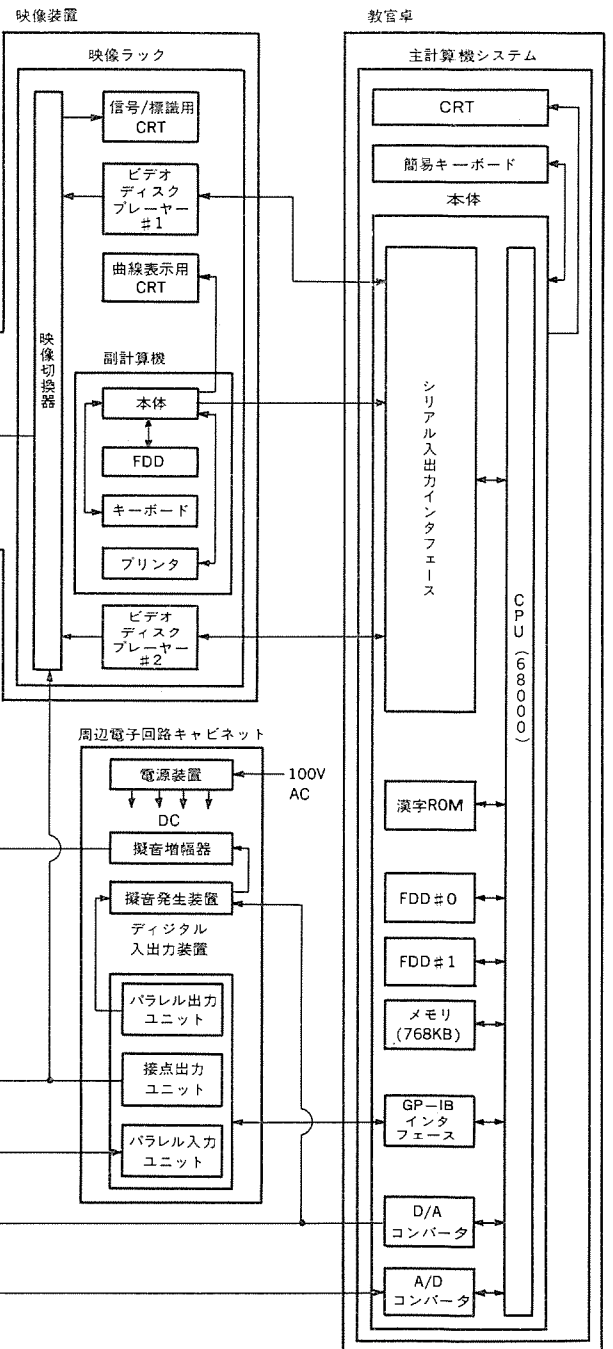


図 3. ブロック図

を使用した場合に見られた低速走行時のちらつきやノイズが無く、出発地点の選択や後進が瞬時に容易に行え、かつ、停止状態の模擬をいつまで続けていても支障がない。

3.3 信号/標識映像

前述の方法で撮影、収録された路線映像中の信号は、当然ながら常に青点灯の状態であるが、シミュレータにおいては点灯色を自在に制御する必要がある。このため、従来は一定形状のミニチュア信号灯をスクリーンの横に取り付け、これを点灯させる方式が一般的であったが、このシミュレータでは、信号灯の静止画をアニメーションの手法を用いて路線映像とは別のビデオディスクに収録し、模擬列車の走行位置とATS模擬に連動させて28インチのCRTに表示することによって、模擬路線中にあるすべての形状の信号灯のあらゆる点灯状態を模擬している。また、線路脇にある曲線、こう配などの標識についても、同様の方法で表示している。図4.に信号/標識映像の例を示す。

3.4 その他の動画、静止画

信号/標識の静止画が収録されているビデオディスクには、他に運転法規教習用の入換合図、発光信号、発炎信号の動画や、故障処置教習用の各機器の写真が収録されている。これらのうち、各機器の写真については、100インチスクリーンに拡大投影され、他は信号/標識用の28インチCRTに表示される。図5.に動画及び写真の表示例を示す。

3.5 曲線表示

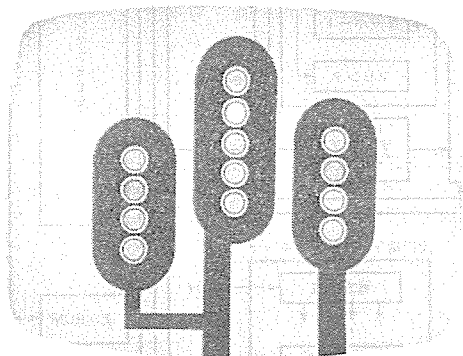
次の7種類の曲線が、模擬列車の走行状態や操作に応じて、信号/標識CRT(曲線表示用CRT)に、時々刻々カラー表示される。

表1. 擬音の種類

番号	擬音	音色	スピーカー出力	備考
1	レール摩擦	グォ~~~~~	前後同時	速度によって音量が変化
2	レール継目	ゴットン, ゴットン	前後交互	速度によって周期が変化
3	風切り	ヒュ~~~~~	前後同時	速度によって音量が変化
4	電動機	ビィ~~~~~	後のみ	速度によって周波数が変化
5	ブレーキ排気	シャ~~~~~	前のみ	BC圧の変化時
6	コンプレッサ	□□□□□……	後のみ	動作時
7	車掌弁	シャ~~~~~	前のみ	BP圧の変化時
8	笛	パァ~~~~~	前のみ	ペダル踏込時
9	断流器	パコッノ	後のみ	動作時
10	トンネル通過	グォ~~~~~	前後同時	速度によって音量が変化
11	鉄橋通過	グォ~~~~~	前後同時	速度によって音量が変化
12	対向車スレ違い	グォ~~~~~	前後同時	速度によって音量が変化
13	ポイント通過	ゴトゴトゴト……	前後交互	速度によって周期が変化

- (1) 運転曲線
- (2) 電力消費曲線
- (3) 力行ノッチ曲線
- (4) 制動ノッチ曲線
- (5) 逆起電力曲線
- (6) 電流/けん引力曲線
- (7) 加速力曲線

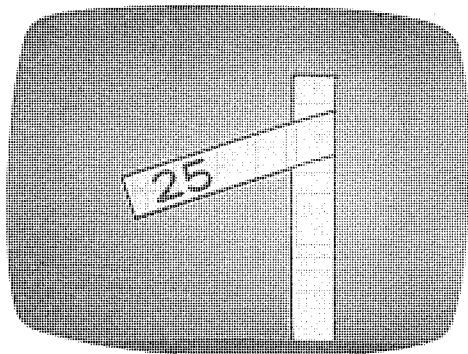
また、教習項目によっては、このCRTに設問と解答(Q&A)、基本点検順序のフローチャート、数式、などが表示される。これらの曲線、文字などを表示するために、シミュレータ全体を制御する主計算機とは別に専用のコンピュータ《MULTI 16Ⅲ》が設けられている。このコンピュータには、プリンタが接続されているので、必要に応じてCRT



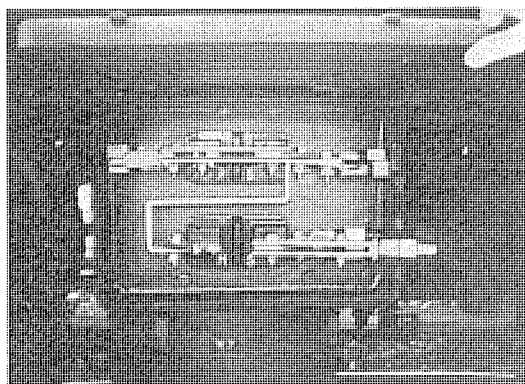
(a) 信号灯



(a) 入換合図



(b) こう配標



(b) MS切

図4. 信号/標識映像例

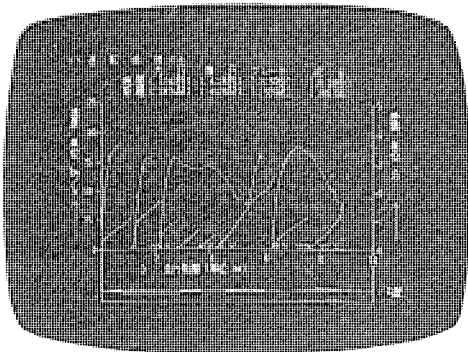
図5. 動画及び写真の映像例

に表示されている画像のハードコピーをとり、教習の参考や反省材料として役立てることができる。図6.に曲線表示用CRTの表示例を示す。

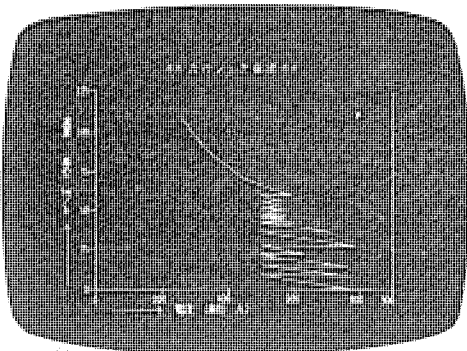
3.6 教官卓

教官卓は、CRT、簡易キーボード及び主計算機からなるコンパクトな構造で、デジタル入出力装置を分離したために電線の本数が少なく、キャスター付きで容易に移動可能である。図7.に教官卓の外形を示す。

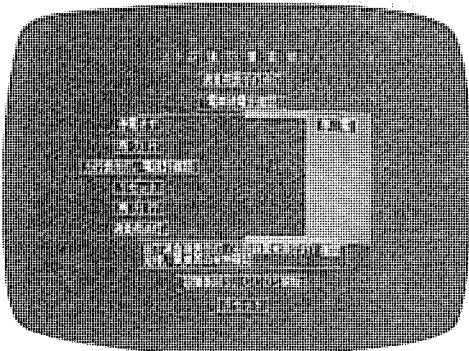
このシミュレータは、元電源を投入するだけですべてのシステムが自動的に立ち上がり、教官用CRTに操作手順が表示されるので、教師はそれに従って教習項目のフロッピーディスクを挿入し、簡易キーボードを操作するだけで、50種にのぼる教習項目のうち目的の項目を容易に選択実施できる。図8.に教官用CRTの表示例を示す。表2.にこのシミュレータで実施可能な教習項目を、表3.に簡易キーボードの機能を示す。



(a) 運転曲線



(b) 力行ノッチ曲線



(c) 故障処置画面

図6. 曲線表示用CRTの表示例

模擬車両機器の操作情報は、時々刻々、主計算機に入力され、走行特性、主電動機などの特性、及びそれらの制御回路、空気圧系統を、リレー1個、バルブ1個にいたるまで実車どおりに模擬しているプログラムによって演算処理され、再び模擬車両に戻されて、計器、表示灯、路線映像用ビデオディスプレイなどを作動させている。主計算機には、また、路線映像用ビデオディスクのフレーム番号に対応した路線情報(駅、ATSセンサ、ポイント、鉄橋、こう配、曲線、信号/標識の種類と位置、等々)が記憶されており、模擬列車の走行位置に合わせて、擬音や信号/標識ビデオディスプレイを制御している。

ソフトウェア(プログラム)は、8レベルのマルチタスクによって並列に処理している。使用言語は、高速演算・処理を行う必要から、大部分がアセンブラであるが、模擬特性の係数変更やCRTへの表示文字・図形の変更などは、BASICによって容易に行うことができる。

3.7 周辺電子回路キャビネット

周辺電子回路キャビネットには、デジタル入出力装置、擬音発生装置、電源装置が収納されている。デジタル入出力装置は、模擬車両内のスイッチ類からの接点入力信号(80チャンネル)と、表示灯やリレー類を作動させる接点出力信号(48チャンネル)、及び擬音を制御するためのTTLレベルのDO(32チャンネル)をコンピュータに入出力するための回路であり、主計算機との間をGP-IBで結ぶことにより、主計算機を積載した移動式教官卓へのケーブル本数を最小限に抑えることができた。

擬音の発生は、すべて電子的に行い、列車の速度や運転操作の状況によって変化する音については、シンセサイザ方式を、状況によら

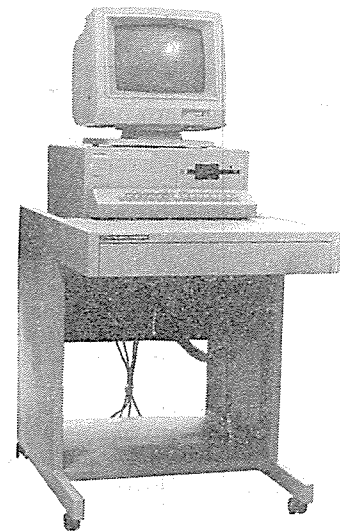


図7. 教官卓

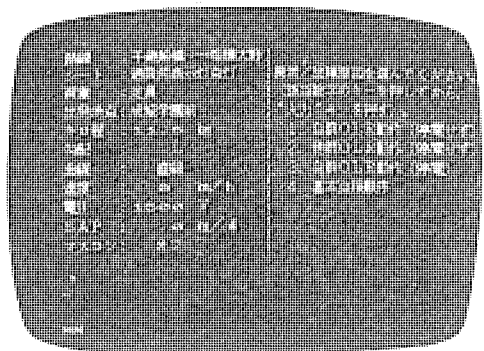


図8. 教官用CRTの表示例(過負荷表示灯点灯)

表 2. 教 習 項 目

教 科 目	表 題	教 習 項 目
A T S	各駅停車運転	運転曲線、電力曲線と各駅停車
ATS 信号	信号指示条件	信号現示に応じた列車操縦
信 号	信号異現示	信号異現示対応運転
運転法規 1	鉄道信号	<ol style="list-style-type: none"> 1. 出発信号機故障 (閉塞方式変更せず) 2. 場内信号機故障 (手信号代用器使用) 3. 閉塞信号機停止現示進入 4. 発光信号 5. 発炎信号 6. 入換合図
運転法規 2	閉 塞	<ol style="list-style-type: none"> 1. 指導通信式 2. 指導式 3. 特殊隔時法 4. 伝令法
運転理論 1	主電動機電車特性	<ol style="list-style-type: none"> 1. 力行ノッチ曲線 2. 制動ノッチ曲線 3. 逆起電力曲線 4. 電流率引力曲線
運転理論 2	加減速度	<ol style="list-style-type: none"> 1. 加速力曲線 2. 運転曲線
模擬故障 1	過負荷表示灯点灯	<ol style="list-style-type: none"> 1. 自詳 OLR 動作 (停電せず) 2. 他詳 OLR 動作 (停電せず) 3. 自詳 OLR 動作 (停電) 4. 基本点検順序
模擬故障 2	起動不能	<ol style="list-style-type: none"> 1. 瞬間停電 2. CR 故障 3. 直流元 NFB 断 4. 制御電制 NFB 断 5. PMR 故障 6. 制御スイッチ接触不良 7. マスコン内 MI-F 接触不良 8. 基本点検順序
模擬故障 3	制動故障	<ol style="list-style-type: none"> 1. 給気弁故障 2. CP 管空気入らず 3. 直流元 ATS 元 NFB 断 4. TCI 車作用装置故障 5. M3 車作用装置故障 6. 制動不緩解時の処理
模擬故障 4	MG プロフ表示灯点灯	<ol style="list-style-type: none"> 1. 停 電 2. MG OCR 動作 3. 低配 MG1 CP1 NFB 断 4. MG 故障 5. 特殊負荷 NFB 断 6. M2 車床下プロフ故障 7. MG 切換箱内制御プロフ NFB 断 8. 整流装置 NFB 断 9. 基本点検順序
模擬故障 5	知らせ灯不点	<ol style="list-style-type: none"> 1. 戸閉回路故障 2. 最後部車低配戸閉 NFB 断 3. 基本点検順序
救 援 運 転 牽 引	牽引力減少 救援運転	<ol style="list-style-type: none"> 1. MCO 操作 2. MS 操作 3. 救援牽引

表 3. 簡易キーボードの機能

“はい” キー	CRT (コンピュータ) の問いかけに対して、確認後、返事をする。
“空車” “定員” “満車” } キー	模擬列車の応荷重を設定する。
“現示変更” キー	設定した信号灯の点灯色を変更する。
“故障解除” キー	模擬車両側 (生徒側) では復旧できない模擬故障を解除する。
“再開” キー	教習項目を変更して教習を再開する。あるいは繰り返す。
“ページ替” キー	CRT の表示画面が 2 ページ以上にわたる場合にページ替えを行う。
“進め” キー	模擬されている状態 (例えば静止画のコマ、等) を 1 ステップ進める。
“戻れ” キー	模擬されている状態 (例えば静止画のコマ、等) を 1 ステップ戻す。
“凍結” キー	模擬状態を凍結する。
数字キー (“0”~“9”)	CRT に表示されている項目から、1 項目を選択する。
“取消し” キー	数字キーを誤って押した場合に、取り消す。
“入力” キー	選択した数字を、確認後、入力する。

ず常に一定の音が出ればよいものについては、実際の音を ICメモリに記憶しておき、必要に応じて取り出す方式 (ADPCM: Adaptive Differential Pulse Code Modulation 方式) を採用している。

電源装置は、シミュレータ全体の交流・直流電源を制御、監視しており、スイッチ一つですべてのシステムを作動させることができる。電車シミュレータは、一般に電車の高電圧大電流機器が数多く置かれた教材室に同居し、すぐ近くを本物の電車が通るといった悪環境に設置せざるを得ないため、電源システムのノイズ対策には特に注意を要するが、このシミュレータでは、設計段階から厳重な対策を講じた結果、2,000 V を越えるラインサージに対しても、何ら問題なく動作している。

4. む す び

このシミュレータを実際に教習に使用した結果では、当初の予想に違わず、生徒たちが非常に興味をもって学習するため、実技と学科とのつながりの理解が、格段と容易になった。また、生徒同志でシミュレータを使って自由に学びあうようになったことなどは、予想を上まわるメリットであった。更に、当初はあまり期待していなかった実技訓練についても、実際に使用してみると、かなり実車に近いフィードバックが得られ、初期訓練には十分役立つことがわかった。

また、シミュレータの空き時間には、車掌や駅員など運転士以外の社員が使用することによって、線路や運転施設・機器について、また運転士の仕事についての理解を深めるなどに貢献している。なお、このようなシステムは、電車用に限らず、あらゆる分野の教育、訓練に適用可能と考えられる。

このシミュレータの開発に際し、多大な御尽力をいただいた方々に対し、深謝する次第である。

東海道・山陽新幹線向け100系電車用電機品

植田幸雄*・遠藤道忠**・田原 先*・関根康祐*・牧 美好*

1. ま え が き

日本国有鉄道では、東海道・山陽新幹線向けに新しいタイプの100系電車が完成した。この電車には、東海道・山陽新幹線用0系電車並びに東北・上越新幹線用200系電車の実績を十分に踏襲した上、21世紀にむけての高性能車両の実現を目指して小形軽量化・省力化・サービス向上や乗り心地の改善などのために多くの新技術が採用されている。

性能面では、最高速度が210 km/h から230 km/h にアップした上、新幹線として初めて、付随車が導入された。これに伴って、主電動機容量が185 kW から230 kW に増大したほか、付随車には渦電流ディスクブレーキを採用した。

主回路方式は、力行運転時は、200系同様サイリスタ位相制御であるが、等価妨害電流(J_F)を0系と同等以下に保ちながら、主回路の簡素化のために等4分割制御を採用している。発電制動は0系と同様、抵抗カム軸制御を採用して、回路の簡素化と製作費の低減を図っている。

100系電車は、量産先行車で種々の性能試験を行ったあと、昭和60年10月から営業運転が開始された。引き続き量産車が投入されており好評を博している。

以下、100系電車の主回路電機品の主なものについて概要を述べる。

2. TM 203 形主変圧器

2.1 仕様

主変圧器の主な仕様を0系新幹線用TM 201 A 形と対比して表1. に示す。

2.2 特長及び構造

二次巻線の分割数は、 J_F が低減するように、巻線配置と巻線使用順序を追求した結果、200系電車の不等6分割から等4分割に低減できた。一方、シリコン油、ポリアミド絶縁の高耐熱性をいかし、小形軽量を追求するための配慮を随所で行っており、以下にその内

表 1. TM 203 形主変圧器の主要仕様 (TM 201 A 形との比較)

電車形式	100系新幹線		0系新幹線	
主変圧器形式	TM 203		TM 201 A	
方式	単相、60 Hz、連続定格、外鉄形、送油風冷式、無圧密封式、シリコン油使用			
定格	一次	2,500 kVA, 25,000 V, 100 A	1,650 kVA, 25,000 V, 66 A	
	二次	2,510 kVA, 3,636 V (909 V × 4), 690 A	1,500 kVA, 2,261 V, 663 A	
	三次	250 kVA, 413 V, 605 A	150 kVA, 232 V, 646 A	
絶縁種別	特別 A 種 (ポリアミド絶縁物使用)		A 種 (耐熱処理紙使用)	
温度上昇限度 (°C)	巻線	110	巻線	85
	油	70	油	65
循環油量 (l/min)	500		700	
冷却風量 (m ³ /min)	80		85	
寸法 (mm)	2,305 × 2,439 × 845		2,395 × 2,393 × 995	
総重量 (kg)	2,520		3,330	

容を示す。

(1) 光ファイバ素子による巻線温度の実車走行測定⁽¹⁾⁽²⁾などにより、確認した精度の高い走行シミュレーション計算と、二次分割巻線の利用率に見合う一次容量の選定により、変圧器容量の適切な低減を図った。

(2) 巻線の発熱分布に対する油流の適正配分について検討するとともに、循環油量と巻線-油間温度差の関係を測定した結果から、巻線を軽量化としながら送油ポンプの油量を従来の700 l/min (7 m 油柱) から500 l/min (5.5 m 油柱) と小形にできた。また、変圧器本体タンクの放熱量を考慮して油冷却器の必要放熱量を決め、軽量化を図った。

(3) 鉄心構造を見直し、無負荷特性を従来品並みとしながら、磁束密度を約5%増加した。

(4) 部品類では、上記のほか次のような軽量化を図った。

(a) 低圧側プッシングは、耐熱エポキシ樹脂による一体成型端子板を採用したが、中心導体を銅からアルミに変更して約40%の軽量化を図った。完成品についてヒートサイクル・ヒートショック試験・耐荷重試験・低温～高温の振動試験を従来品と同じ条件で行い、問題ないことを確認した。

(b) 金属バロース式コンサータは、缶体を変圧器本体タンクに直付けし、肉厚を低減して約100 kg 軽量化した。

以上の軽量化を図った結果、図1. に示すとおり1,000 kVA 当たりの重量及び占有体積が、0系電車用TM 201 A 形に比べていずれも約50%低減が達成でき、近年の機器集約による単器容量の増加要求に十分こたえ得るものである。

主変圧器の外観を図2. に示す。

2.3 量産への検証試験

量産に際しては、形式試験による基本性能の確認のほか、下記の試験などにより信頼性の検証を行った。

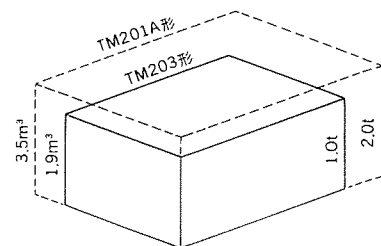


図 1. 1,000 kVA 当たりの重量と占有体積の比較

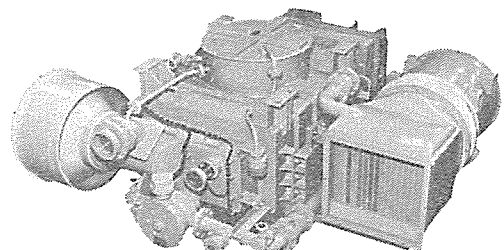


図 2. TM 203 形主変圧器

* 伊丹製作所 ** 赤穂製作所

表 2. RS 203 形主シリコン制御整流装置の主要仕様

形 式	RS 203
方 式	単相混合ブリッジ4段縦続接続
定 格 容 量 (kW)	2,025
定 格 直 流 電 圧 (V)	2,500
定 格 直 流 電 流 (A)	810 (連続)
周 波 数 (Hz)	60
主 サ イ リ ス タ	1,000 A, 4,000 V 1S×1P×2A×4B
主 ダイ オード	1,600 A, 4,000 V 1S×1P×2A×4B
周 囲 温 度 (°C)	-10~+40
冷 却 方 式	フロン沸騰冷却風冷式

(1) 短絡強度試験

二次側4分割巻線の中で最もインピーダンスの小さい巻線について、想定できる最も過酷な条件での短絡試験を行い、試験後のインピーダンス変化率が2%以下(JEC 204で規定)であることを確認した。

(2) 環境試験(冷熱試験)

完成品全体を環境試験室内に設置し、-10°Cから+65°Cまで周囲温度を変化させ、補機の運転特性、起動特性及び保護継電器との動作協調について試験し、問題なく運転できることを確認した。

3. RS 203 形主シリコン制御整流装置

3.1 概要

整流装置は主電動機8台分の電力を供給するもので、主回路は混合ブリッジの4段縦続接続となっている。素子には高耐圧・大容量のサイリスタ、ダイオードを採用し、使用素子数を低減した。冷却方式は200系同様フロン沸騰冷却を採用して、保守の省力化、信頼性の向上及び小形軽量化を図り、200系と比べて外形寸法で約30%減、重量で約40%減となった。

3.2 仕様

整流装置の主な仕様を表2.に示す。

3.3 特長及び構造

(1) 等4分割制御

整流ブリッジは、小形軽量化及び製作費の低減を図るために、4段縦続接続を採用した。等4分割制御ではあるが、マスコンのノッチに対応した位相制御角は、高調波電流の低減及びノッチ間の速度バランスを考慮して決定した。

(2) 高耐圧・大容量素子の採用

整流ブリッジの各アームの直列数及び並列数を1個とするために、高耐圧・大容量素子として今回初めて4,000V定格のものを採用した。

(3) アルミ製冷却ユニットの採用

冷却方式はフロン沸騰風冷式で、冷却ユニットはフロンタンク部もアルミ製とし、フロンタンクと凝縮器は一体形構造にした。1ユニットに2ブリッジ分の素子を収納し、整流装置は2ユニットで構成した。

(4) ふさぎ板方式の採用

雪害対策として、200系新幹線のボディマウント方式に対し、各機器間のふさぎ板方式を採用し、小形軽量化を図った。主シリコン制御整流装置の外観を図3.に示す。

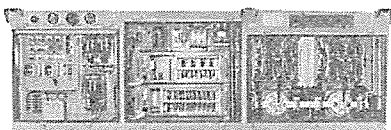


図 3. RS 203 形主シリコン制御装置

4. MT 202 形主電動機

4.1 概要

MT 202 形主電動機は、車両性能の向上と車体構造の大幅なモデルチェンジを図るため、次の事項を考慮して設計した。

- (1) 電動車両の減少(付随車及び2階建車両の導入)
- (2) 起動加速度の向上(1.0→1.6 km/h/s)
- (3) 高速性能の向上(210→230 km/h)
- (4) 小形軽量化

そのために、0系用主電動機(F種絶縁)に比べて、容量は約25%増大の230kW(H種絶縁)であるが、重量は部分的にC種絶縁材料の使用などの最新技術を採用して約6%軽量の830kg、また外形寸法は長手方向に約6%短くして反駆動側に速度計発電機が取付け可能な構造とした。

4.2 仕様

MT 202 形主電動機の主要仕様を表3.に示す。定格容量は種々の条件で実走行シミュレーションを行い、rms電流が定格の95%となるように設定した。

4.3 構造及び特長

MT 202 形主電動機は構造上次のような特長をもっている。

- (1) 主極のつばの形状を変更して、飽和特性を改善し、起動加速度の向上と高速性能の向上を、全界磁制御のみで達成できた。
- (2) 電機子コイル、界磁コイルに、C種絶縁材料を使用して耐熱性の向上を図っている。
- (3) 軸受構造は、整流子・反整流子側とも密封軸受構造で、従来の環状グリス室のほかに第2グリス室を設け、グリス量を増加させて潤滑寿命の延長を図っている。
- (4) カーボンブラシは、0系用主電動機MT 200B形の50mmから72mmへの長尺化を行い、ブラシの交換周期の延長を図っている。
- (5) 冷却方式は、200系用主電動機MT 201形で実績のある強制通風方式を採用し、冷却効率の改善を図っている。

主電動機の外観を図4.に示す。

駆動装置との連結は、QD 253形たわみ軸継手を使用しており、これは0系用主電動機MT 200B形と同じ可とう歯車継手式を採用している。QD 253形たわみ軸継手は、車両の高速化と、歯車比の増大による小歯車の高速回転化に対応するため、高速での安定性を十分配慮した設計としている。

表 3. MT 202 形主電動機の主要仕様

車 種	100 系	0 系	
形 式	MT 202	MT 200 B	
方 式	脈流直巻補極付き	同 左	
主 極 数	4	同 左	
通 風 方 式	開放強制通風方式	開放自己送風方式	
動 力 伝 達 方 式	可とう歯車継手	同 左	
絶 縁 種 別	H 種	F 種	
連 続 定 格	出 力 (kW)	230	185
	電 圧 (V)	625	415
	電 流 (A)	405	490
	回 転 数 (rpm)	2,900	2,200
脈 流 率 (%)	50 (at 60×2 Hz)	同 左	
界 磁 分 流 率 (%)	10 永久分路	同 左	
通 風 量 (m³/min)	14	18	
高 速 試 験 回 転 数 (rpm)	4,620	3,820	
絶 縁 耐 力 試 験 電 圧 (V)	5,700	5,100	
重 量 (kg)	830	870	

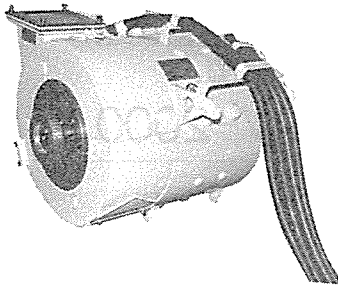


図 4. MT 202 形主電動機

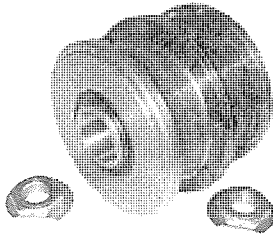


図 5. QD 253 形たわみ軸継手

たわみ軸継手の外観を図 5. に示す。

5. IC 204 形主平滑リアクトル

(1) 仕様

IC 204 形主平滑リアクトルの主要仕様を表 4. に示す。

(2) 特長及び構造

IC 204 形主平滑リアクトルは、小形軽量化と車内騒音に与えるリアクトルの影響を少なくするために、オープンコア形の 2 分割タイプとし、2 個のリアクトルを和動形に配列する方式としている。更に、車内騒音低減のために、車体側では当社で行った車体床構造のモックアップを用いた騒音試験で効果のあったリアクトル上面の横はり(梁)と機器梁にステンレスを使用している。

熱容量は、種々の条件で実走行シミュレーションを行い、リアクトルのコイル温度上昇が 155°C を越えないように熱的条件を定め、その結果、連続定格電流は 350 A で満足することを確認した。

IC 204 形主平滑リアクトルの外観を図 6. に示す。

6. CS 56 形主制御器

6.1 仕様

CS 56 形主制御器の主要仕様を表 5. に示す。

6.2 特長及び構造

主制御器は前進、後進、力行、ブレーキの回路切換及び発電ブレーキ

表 4. IC 204 形主平滑リアクトルの主要仕様

形 式	IC 204
方 式	内鉄(オープンコア)形、2 コイル和動式
冷 却 方 式	乾式、強制風冷式
絶 縁 種 別	F 種
定 格	連 続
インダクタンス (mH)	15.0 (2 コイル 405 A 通電時) 16.0 (1 コイル 405 A 通電時)
電 流 (A)	2 コイル - 350
回 路 電 圧 (V)	2,500
脈 流 率 (%)	50
周 波 数 (Hz)	60×2
風 量 (m ³ /min)	40 (1 コイル)
絶縁耐力試験電圧 (V)	5,700
抵 抗 値 (Ω)	0.085 (at 115°C 1 コイル)
重 量 (kg)	705 (電動送風機を含む)

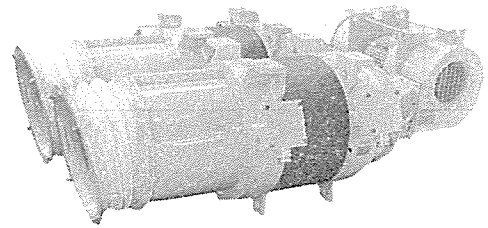


図 6. IC 204 形主平滑リアクトル

表 5. CS 56 形主制御器の主要仕様

形 式	CS 56
方 式	電動カム軸式
主回路直流電圧 (V)	2,500
主回路直流電流 (A)	405 2回路
制御回路直流電圧 (V)	100
制 御 方 式	2 回路 1 軸式
抵 抗 軸 制 御 段 数	22
転 換 軸 位 置 数	4

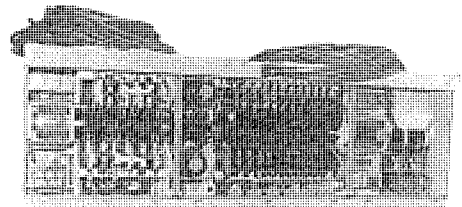


図 7. CS 56 形主制御器

制御を行うものであり、0 系電車に使用している CS 56 形主制御器を基本として設計しているが、100 系電車の場合、より高速からの発電ブレーキ作用に備えカム軸ステップを 2 ステップ増加している。主な特長は次のとおりである。

- (1) CS 56 形主制御器に比べ、カム軸ステップを 2 ステップ増加したが、カム投入シーケンスを新しくすることによりカムスイッチを逆に 2 個減らしている。
- (2) 逆転及び制動転換を行うカムスイッチに双投カムスイッチを使用し小形軽量化を図っている。
- (3) 限流値制御装置は、従来の磁気増幅器方式の代わりに演算増幅器を使用した IC 方式とし小形軽量化を図っている。
- (4) 予備励磁装置は 0 系電車では別箱としていたが、整流器をシリコンダイオードで小形化し主制御器に格納した。

CS 56 形主制御器の外観を図 7. に示す。

7. む す び

以上、100 系電車の主要電機品の概要について述べた。これらの電機品は、単体試験や総合的な組合せ試験及び走行試験においても、計画どおりの特性・性能を満足することが確認された。

最後に、これらの機器の設計・製作に当たって、多大な御指導・御援助を賜った日本国有鉄道の関係各位に深く感謝する。

参 考 文 献

- (1) 植田ほか：東北・上越新幹線向け 200 系電車用電機品，三菱電機技報，55，No. 4 (昭 56)
- (2) 佐藤ほか：走行風利用冷却車両用変圧器，電気学会全国大会，839 (昭 58)
- (3) 久間ほか：光ファイバセンサの原理と応用，三菱電機技報，57，No. 10 (昭 58)

車両補助電源用新シリーズインバータ装置

—MELSIV-2000シリーズ—

米畑 譲*・松浦敏明*・松本新吾*・笠原 清*・中谷俊雄*

1. ま え が き

近年の電力制御用半導体の進歩は著しく、自己消弧形素子として以前から小容量領域において実用化されていた ゲートターンオフサイリスタ (GTO) 及び パワートランジスタは、今やそれぞれ 4,500 V、3,000 A、そして 1,200 V、400 A の容量までシリーズ化されるに至っており、それらを応用した多くの装置が次々と生産されている。

当社は、これらの素子の応用技術をいち早く実用化させ、電動発電機 (MG) から静止形インバータ (SIV) への置換え気運の高まっている、車両補助電源装置へ適用した GTO インバータを、既に 120 台以上 (トータル容量 10,000 kVA 以上) 製作納入している⁽¹⁾⁽²⁾。また、車両駆動用可変速電源装置も着々と製作実績を重ねている現状である⁽³⁾。

一方、パワートランジスタモジュールの大容量化とともに、一般工業用可変速電源、計算機電源用無停電電源、エレベーター駆動用電源などへのトランジスタの適用が広まり、現在 600 kVA 程度の装置にまでトランジスタインバータが適用されている。

以上の背景をもとに、今回十分な企画・設計・製作・検証を経て、超低騒音などの優れた特長をもつチョップインバータ方式の静止形車両

補助電源装置を完成させ、その試験結果も良好であったのでここにその概要を報告する。なお、この SIV は 70~150 kVA の装置について現在順調に実運転中であり、特にその低騒音特性、コンパクト性について好評を得ている。

2. GTO 二重チョップ、トランジスタインバータの開発背景

近年の電力半導体の進歩は著しいが、ここで電圧形インバータに使用される素子の特長及び GTO 二重チョップ、トランジスタインバータの開発背景について述べる。

2.1 電圧形インバータ用素子の比較

表 1. にパワートランジスタ、GTO 及びサイリスタの比較を示す。同表に示すように、パワートランジスタを使用した場合、他の素子に比べ素子自体の損失が小さく、スナバ、転流回路も不要であり、また GTO やサイリスタのような圧接構造も不要なため、冷却フィンの小形軽量化できインバータ装置をコンパクトにすることができる。また、電流遮断特性が優れているため、万一過電流が流れた場合でもトランジスタのベース遮断だけで保護が行える。

トランジスタは、GTO やサイリスタに比べ以上のような優れた特長を持っているため、パワートランジスタの大容量化の流れに従い、トランジスタインバータで製作される変換装置の容量範囲が広がっている。

2.2 電圧形インバータ用素子の変遷

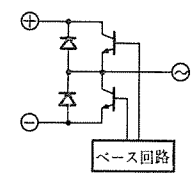
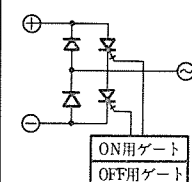
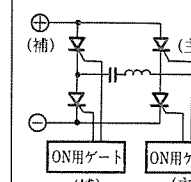
図 1. に電圧形インバータに使用される半導体素子の変遷を示す。同図に示すように、GTO やトランジスタの大容量化はめざましく、現在 GTO は 4,000 kVA までの大容量変換装置に適用され、従来 GTO で製作されていた 600 kVA 以下の装置はトランジスタの特長をいかして、トランジスタインバータが適用されている。将来ますます現在の GTO インバータの領域まで、トランジスタインバータが入り込むと思われる。また、図 2. に 1980 年及び 1985 年におけるトランジスタインバータと GTO インバータの製作領域概要を示す (図 1., 図 2. とともに当社の実績ベース)。約 5 年前までは、トランジスタでは製作が難しかった 140 kVA SIV 装置も、現在はトランジスタインバータで製作する領域に入っている。

今回、上述した電力半導体の進歩にそって、トランジスタインバータを採用した“二重チョップ、トランジスタインバータ”方式 SIV を開発した。

3. 装置の特長

図 3. にこの装置の開発ニーズ、開発背景及び特長を示す。この装置は、二重チョップ、トランジ

表 1. パワートランジスタ、GTO、サイリスタの比較

項目	パワートランジスタ	GTO	サイリスタ	
インバータの構成	簡単	やや複雑	複雑	
ドライブ回路 (構成・容量)	ベース回路	オン/オフ用ゲート回路が必要	オン/オフ用ゲート回路のみ必要	
遮断動作	転流回路	不要	不要	要
	遮断信号	ベース信号を取り去り OFFさせる	外部から遮断信号を別に与え OFFさせる ・ターンオフゲインが低いので、比較的大きな信号がいる	外部から遮断信号を別に与え、転流回路により OFFさせる
	転流/遮断失敗 (重故障)	原理上なし	遮断失敗あり ↳ 素子破損する場合がある	転流失敗あり ↳ ヒューズで保護
	スイッチング速度	特に早い 3~5 μs	10~20 μs	15~50 μs (転流パルス ~100 μs)
	最高動作周波数	約 10 kHz	数 kHz 以下	数百 Hz
遮断能力	回路電圧の影響なし	回路電圧の影響なし	回路電圧により変動	
基本回路				
損失	小、スナバレスのため損失が小さい	中、トランジスタに比べ、スナバ損失、スイッチング損失が大きい	大、転流回路の損失が大きい	

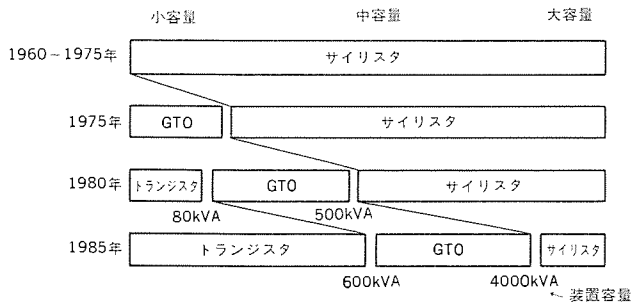


図 1. 電圧形インバータに使用される半導体素子の変遷 (概要)

スタインバータの採用により下記特長をもっている。

(1) 低騒音

インバータ変圧器は1パルス波形で駆動されるため、変圧器の騒音が大幅に低減する。100kVA装置の騒音測定値は、無負荷で61dB、実使用状態想定負荷(50%負荷)で64dB、定格負荷(100%負荷)で65dBであった。これは従来のGTO 12相インバータ(当社製)に比べると約5dB低い値である。

(2) 小形軽量化

トランジスタモジュールの採用により、従来のGTO 12相インバータ(当社製)に比べ寸法比で約85%、重量比で約85%に小形化される。

(3) 高効率

スナバ回路の不要なパワートランジスタの使用により、高効率化が可能である(効率92%以上、無負荷損失2kW以下)。

(4) 高信頼性

自冷冷却ファン採用により、装置に回転部品がなく、またシーケンスの採用により、リレー回路を無接点化し信頼性向上を図っている。

また、冷却ファンの保守、リレー回路の保守なども不要であり、保守面からみても非常に簡素化が図られた装置である。

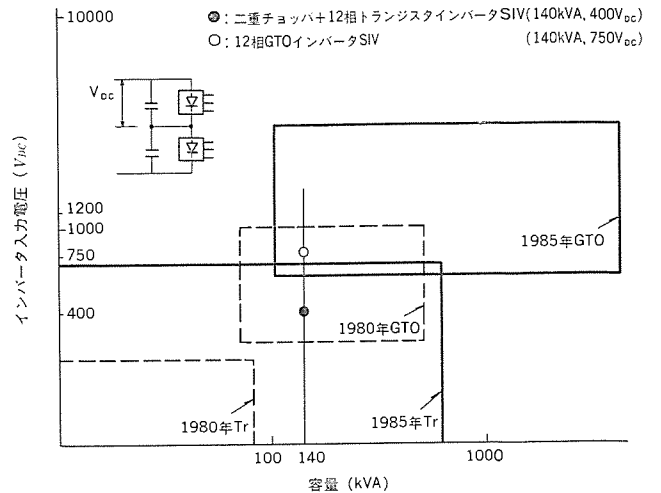


図 2. トランジスタ、GTOインバータの製作領域概要 (SIV, VVVF, CVCFなどの電圧形インバータの製作領域)

4. 装置の概要

4.1 定格

表 2. に GTO 二重チョッパ、トランジスタインバータ装置の標準仕様を示す。標準系列の考え方は、インバータ箱に収納するパワートランジスタモジュールの並列数に応じて、40kVA以下、45~85kVA、90~125kVA、130~170kVAの4系列とし、各々系列ごとに装置の寸法、重量を設定している。

4.2 回路構成と基本動作

この装置の主回路及び制御回路の構成を図 4. に示し、以下にその基本動作について説明する。

(1) 入力電圧は架線から、パンタグラフPan., スイッチIVS, ヒューズIVFを介して直流遮断器IVHBに加えられる。

(2) 直流遮断器IVHBの投入により、IVS→IVF→IVHB→IVR→FL→RC→FC1→FC2→GSの経路で、フィルタコンデンサFC1, FC2

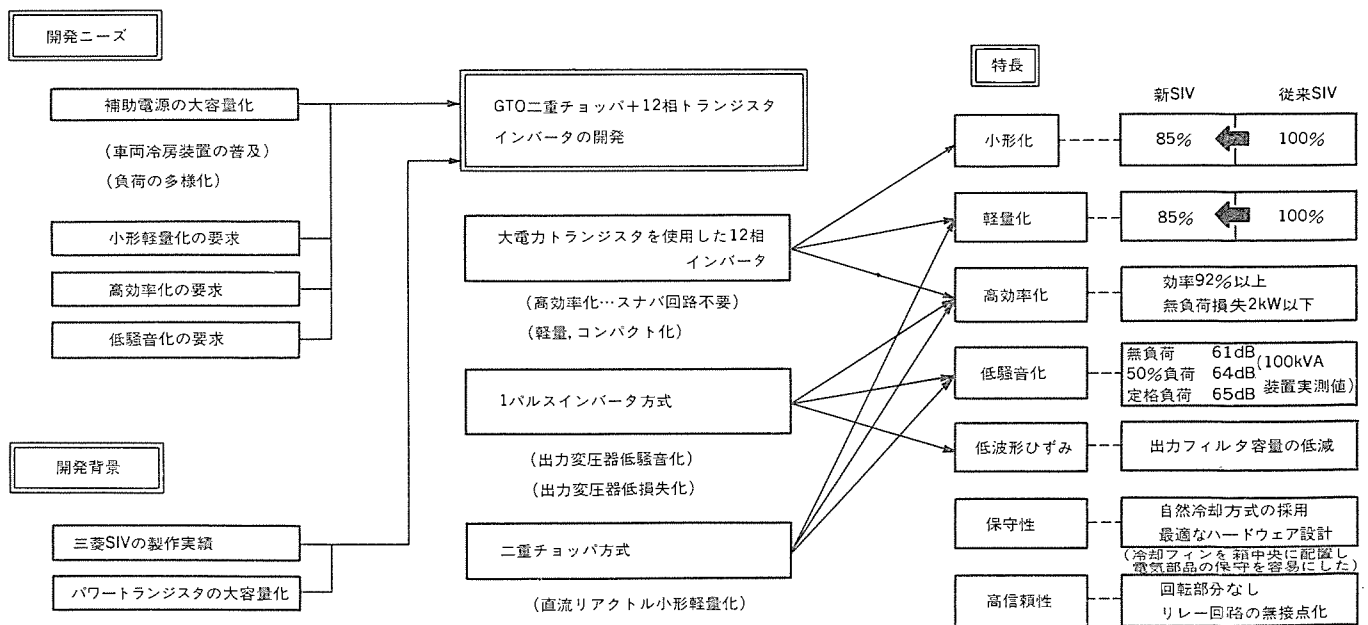


図 3. GTO 二重チョッパ、トランジスタインバータ装置の特長

表 2. GTO 二重チョップパ, トランジスタインバータ 装置の標準仕様

項目	標準仕様	
方式	主回路方式	GTO 二重チョップパトランジスタ 12相インバータ
	制御方式	チョップパ定電圧制御
	冷却方式	自然冷却方式
入力	定格電圧	DC 1,500 V
	電圧変動範囲(標準)	900~1,800 V
出力	定格出力容量	40~170 kVA
	定格の種類	100%連続
	相数	三相
	定格電圧	AC 200 V, AC 440 V 正弦波
	電圧精度	+5~-10%
	定格周波数	60 Hz, ほか
	周波数精度	±1%
	負荷力率	85%
波形ひずみ率	5%以下	
使用条件	周囲温度	-10~+40°C
	制御電源	DC 100 V (70~110 V)

は入力電圧の 1/2 ずつに初期充電され, それとともにインバータ制御回路が動作する。

(3) フィルタコンデンサ FC1, FC2 はフィルタリアクトル FL とともに直流平滑フィルタを構成し, 架線へ流出する高調波電流の抑制並びにチョップパ入力電圧脈動の抑制を行っている。

(4) 初期充電完了後 ロッキングサイリスタ BTH が オン される。

(5) 起動指令により定電圧基準が設定され, 二重チョップパ回路の GT1, GT2 が オン し, インバータ入力コンデンサ FC3, FC4 を充電す

る。

(6) FC3, FC4 はフィルタリアクトル SL とともに直流平滑フィルタを構成し, 直流電流, 直流電圧の脈動を抑制している。

(7) FC3, FC4 の充電電圧に応じて, インバータ は直流から交流の変換を行い出力電圧がソフトスタートする。

(8) インバータは 1 パルスモード 運転され, 12 相インバータ構成で 5 次, 7 次の高調波成分を除去した交流電圧を出力する。

(9) チョップパにより出力電圧を定電圧制御することにより, 入力電圧変動及び負荷変動に対して安定した出力電圧特性が得られる。

4.3 GTO 二重チョップパ動作原理

GTO 二重チョップパの動作原理を, 一重チョップパと対比させて表 3. に示す。表に示すように, 二重チョップパは一重チョップパに比べ, 平滑リアクトル電流リップルは約 1/10, 平滑コンデンサ電圧リップルは約 1/20 になる。二重チョップパ方式の採用により, 平滑リアクトルは小形軽量化ができ装置全体としてコンパクトな構成が可能になった。

4.4 装置の構成

この装置は, 従来から使用されている車両補助電源用電動発電機を静止化する場合の置換えに対応できるように, 図 5. に示す 4 箱構成とすることを標準としている。電動発電機の各箱構成とは, 次のように対応させて車体ぎ(艀)装が容易になるように配慮している。

- (1) 高圧補機スイッチ箱 ←MG ヒューズ箱
- (2) 起動装置箱 ←MG 抵抗器箱
- (3) インバータ箱 ←MG 制御装置
- (4) 変圧器箱 ←電動発電機本体

図 6. の写真はインバータ箱を車がわから見たもので, 中央部がパワートランジスタモジュールとそれを駆動するベースドライブ回路から構成さ

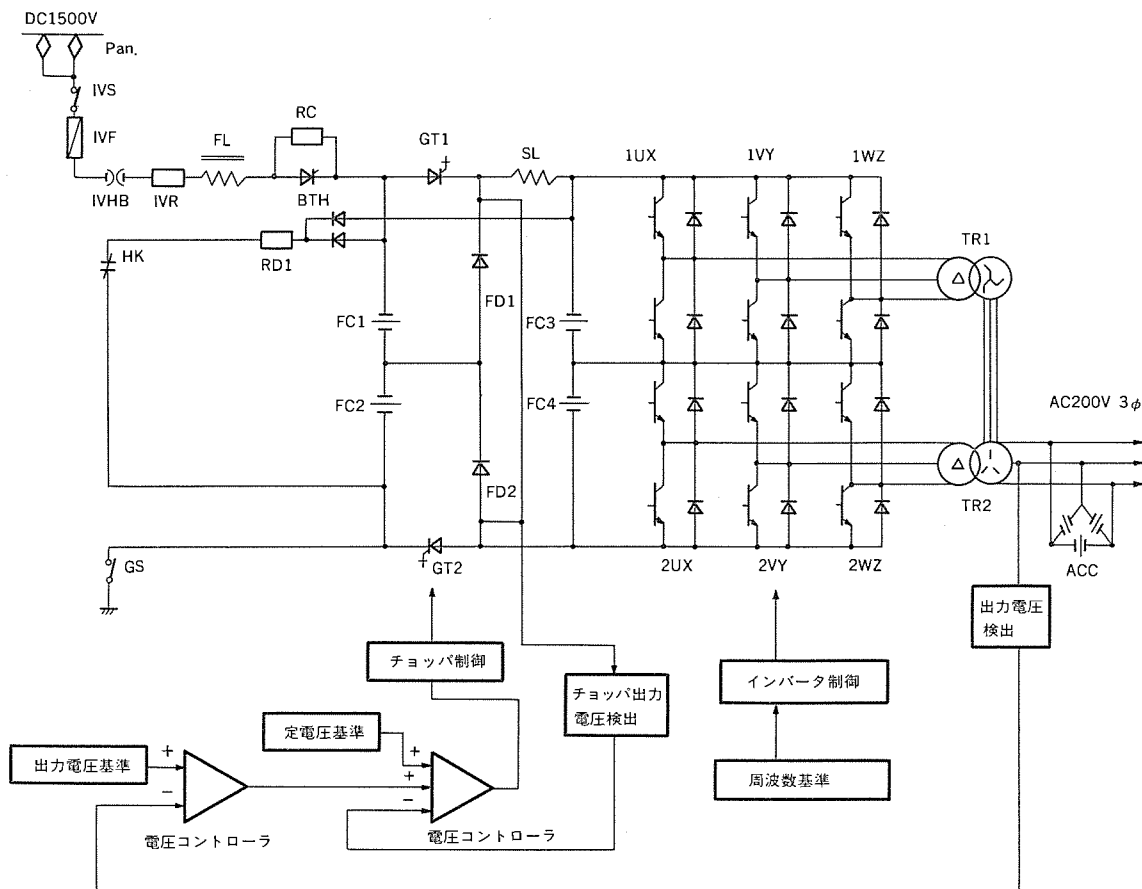


図 4. 回路構成

表 3. GTO 二重チョップ動作原理

方式		GTO二重チョップ	GTO一重チョップ
項目			
素子構成例	2,500V 素子	(1) GTO 1 ^S × 1 ^P × 2 ^A (2) Dd 1 ^S × 1 ^P × 4 ^A	(1) GTO 2 ^S × 1 ^P × 1 ^A (2) Dd 2 ^S × 1 ^P × 2 ^A
	4,500V 素子	—	(1) GTO 1 ^S × 1 ^P × 1 ^A (2) Dd 1 ^S × 1 ^P × 2 ^A
各部電圧・電流概略波形	GT1		
	GT2		
	GT1+GT2 出力電圧		
	SL電流 i_SL		
	FD1電流		
	FD2電流		
リップル電流	E _d =1,500V	$2di = \frac{E_d - E}{SL} \times \frac{1}{360} \times \frac{E}{E_d} - 0.5$ $= 0.0647 \times \frac{1}{SL}$	$2di = \frac{E_d - E}{SL} \times \frac{1}{360} \times \frac{E}{E_d}$ $= 1.036 \times \frac{1}{SL}$
	E _d =1,800V	$0.1244 \times \frac{1}{SL}$ 約 $\frac{1}{10}$	$1.233 \times \frac{1}{SL}$
リップル電圧	E _d =1,500V	$2dv = 2di \times \frac{1}{360} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{FC}$ $= 0.449 \times \frac{1 \times 10^{-4}}{LS \times FC}$	$2dv = 2di \times \frac{1}{360} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{FC}$ $= 14.4 \times \frac{1 \times 10^{-4}}{LS \times FC}$
	E _d =1,800V	$= 0.864 \times \frac{1 \times 10^{-4}}{LS \times FC}$ 約 $\frac{1}{20}$	$= 17.1 \times \frac{1 \times 10^{-4}}{LS \times FC}$
評 価		◎	○

れるインバータ部、左側がGTOサイリスタからなるチョップ部となっており、チョップ部はGTOサイリスタが2個だけであることと、インバータ部のパワートランジスタモジュールのスイッチング損失が小さいことから冷却フィンを箱中央に設けることができるため、すべての電気部品が正面カバーを開けることで点検可能な構造となった。右側は制御回路部でプリント基板、そしてシーケンサを含む無接点制御装置一式が収納されている。この装置は、起動装置箱の直流遮断器、放電用コンタクトなどを除いてすべて無接点化されている。車両中央側には平滑用コンデンサ、電圧・電流センサなどが収納され外部との配線用のクリート、キャンプラグが設けられている。

変圧器箱は、変圧器、リアクトルなどは開放部に、コンデンサ、ACCTなどは密閉箱に収納している。また配置、カバーの工夫により騒音、誘導障害の低減を図っている。

4.5 保護方式

図7.にこの装置の保護システムをフローチャートにして示す。運転中

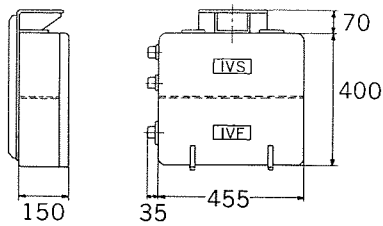
に、異常の有無を図中の保護アイテムについてチェックし、異常がなければ運転を続行する。もし、異常があれば軽故障として、いったん装置を停止し、自動再運転する。一定時間内に続けて異常がないかをチェックし、異常がなければそのまま運転を続行し、もし続けて異常を検出した場合は、重故障として装置を停止し運転ロックする。重故障の場合は、車両側からのリセット指令又はインバータ箱のリセットボタンにより運転ロックを解除し再起動する。

以上のように、装置の保護に対して万全を期しており、万一外部じょう乱などにより異常が生じた場合でも、自動再起動により運転を続行することができ、操作性の向上を図っている。

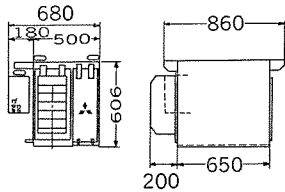
5. 試験結果

(1) 出力電圧波形

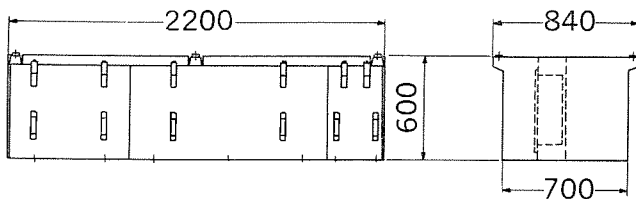
図8.に入力電圧1,500V時の無負荷及び定格負荷時の交流出力電圧波形を示す。波形ひずみ率は無負荷時1.9%, 定格負荷時2.6



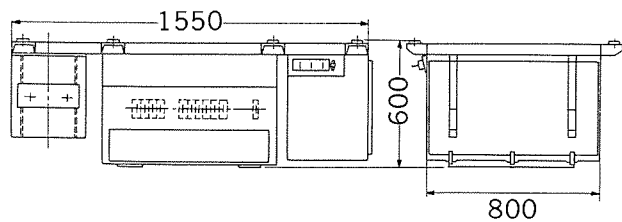
(a) 高圧補機スイッチ箱 (図4.のIVS, IVF収納), 25 kg



(b) 起動装置箱 (図4.のIVHB, IVR収納), 160 kg



(c) インバータ箱 ((a)(b)(c)以外の部品収納), 55 kg



(d) 変圧器箱 (図4.のFL, SL, TR1, TR2収納), 86 kg

図5. 装置の構成 (100 kVA装置)

%と小さく、エアコン、ヒータなどの大電力供給はもとより、車両用制御電源、室内灯用電源としても十分に適用可能な波形である。

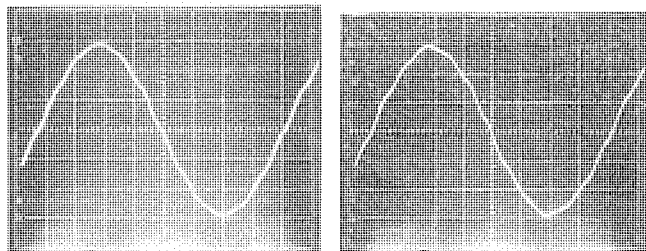
(2) 負荷変動試験

図9.に負荷変動試験結果 (14 kVA ⇔ 140 kVA, 入力1,500 V)を示す。定格の10%の14 kVAをベース負荷と想定した。

負荷投入時、負荷解除時に出力電圧は多少変動するが、いずれの場合にも約2サイクル以内に定常状態に復帰する。負荷変動に対して良好な応答が得られることを確認した。

(3) 電源電圧変動試験

図10.に電源電圧変動試験結果 (1,100 V ⇔ 1,400 V, 140 kVA負荷時)を示す。電源電圧変動をチョッパ部で吸収するため、電源電



(a) 入力1,500 V, 無負荷時 (ひずみ率1.9%) (b) 入力1,500 V, 定格負荷時 (100 kVA, PF=0.85, ひずみ率2.6%)

図8. 出力電圧波形 (AC 200 V, 60 Hz)

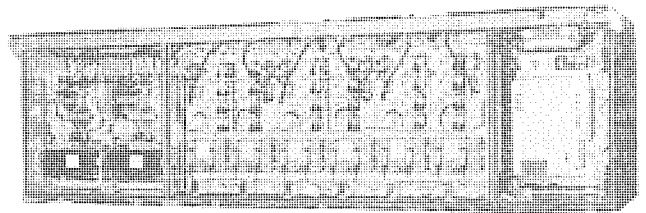


図6. SIV装置の外観

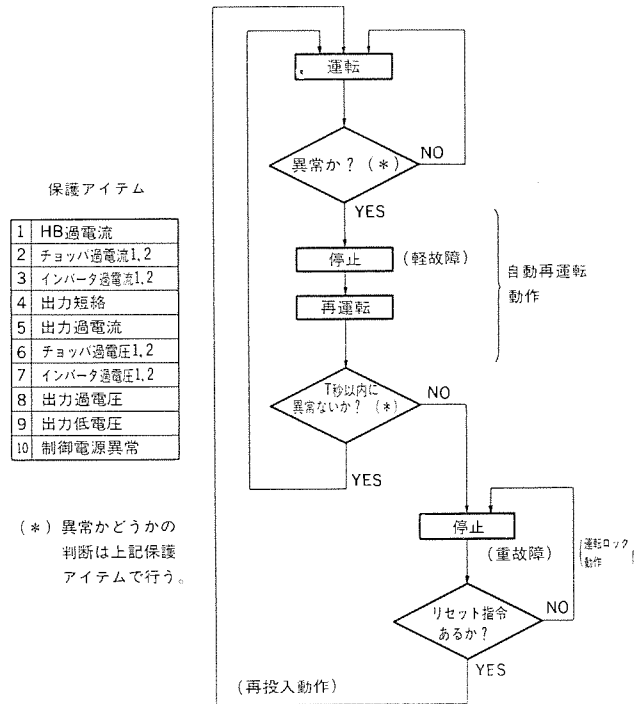


図7. SIV装置保護方式

圧変動の影響が出力波形に表れず、非常に良好な特性を示している。

(4) 騒音試験

70 kVA, 100 kVA, 150 kVAの装置について、インバータ箱、変圧器箱を並べて騒音を測定した結果 (騒音計Aスケール、装置から1m離れた点)を 図11.に、また100 kVA装置の騒音分布を 図12.に示す。同図に示すように、100 kVA装置の騒音測定値は、無負荷で61 dB, 実使用状態想定負荷 (50%)で64 dB, 定格負荷で65 dB

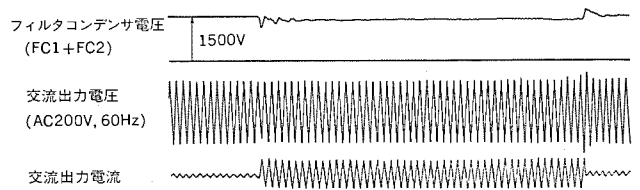


図9. 負荷変動試験結果 (14 kVA ⇔ 140 kVA, 入力1,500 V)

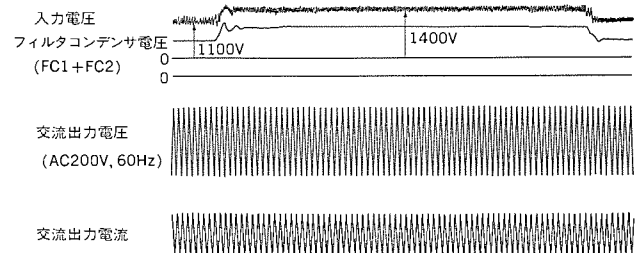


図10. 電源変動試験結果 (1,100 V ⇔ 1,400 V, 140 kVA負荷時)

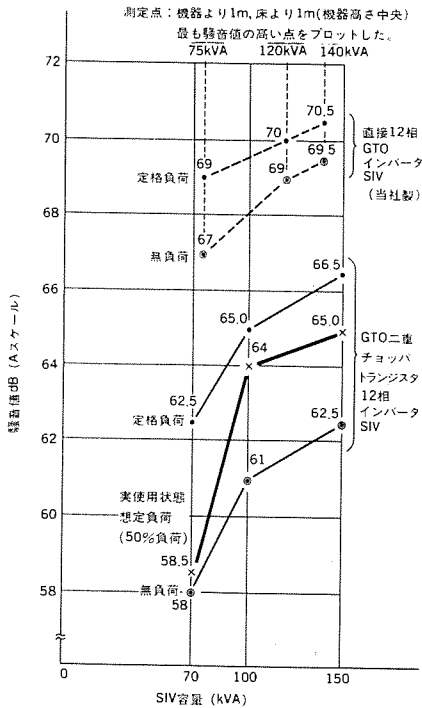


図 11. 騒音実測結果

であった。以上のように、1パルスインバータ及び二重チョップの適用により、従来のGTO 12相インバータ(当社製)に比べ約5dBも騒音レベルを下げ、この装置の超低騒音化を図ることができた。

(5) 効率測定

100~150 kVAの装置について、定格負荷領域で約92~93%の効率が得られた。また、1パルスインバータのため出力変圧器の鉄損も小さく、この装置を定格電圧、無負荷運転した場合の損失は2kW以下であった。

(6) 故障模擬試験

この装置の信頼性及び保護動作を確認するために、模擬的に故障を発生させる試験を実施した。下記に示すすべての故障モードに対し、図7の保護アイテムで異常検出し正常に保護動作することを確認した。

故障模擬試験項目

- (1) チョップ通弧
- (2) チョップ失弧
- (3) トランジスタ通弧
- (4) トランジスタ失弧
- (5) 出力短絡
- (6) 入力電圧断
- (7) 各種電圧、電流 センサ断
- (8) その他

図13.に故障模擬試験結果の一例として、チョップ通弧試験結果を示す。同図に示すように、チョップ通弧によるインバータ入力コンデンサ

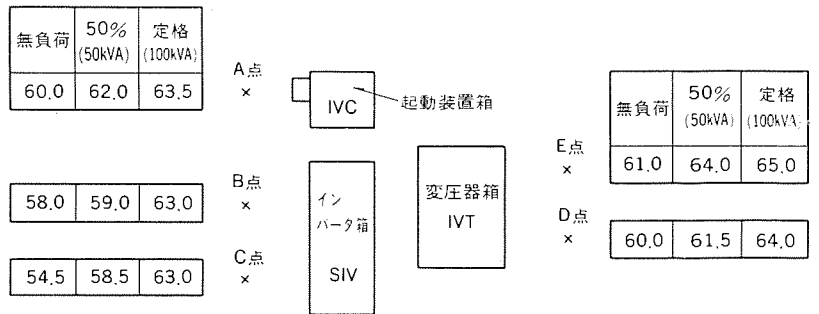


図 12. 騒音分布実測結果 (100 kVA 装置)

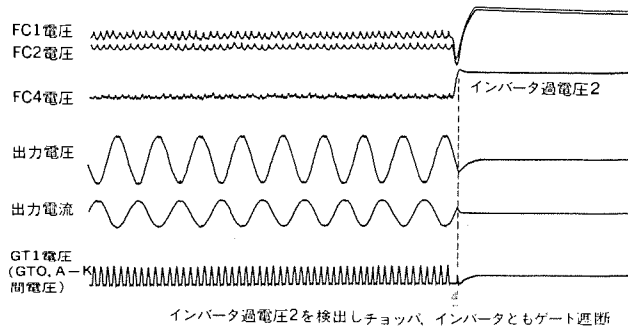


図 13. 故障模擬試験結果 (チョップ通弧試験結果)

(FC 3, FC 4) 過電圧を検出し、チョップ、インバータをゲートオフし装置を保護している。

6. む す び

以上述べたように、今回、電力半導体の進歩の流れにそってトランジスタインバータを採用した“GTO二重チョップ、トランジスタインバータ”方式SIVを開発した。この装置はトランジスタインバータ及び二重チョップ方式の採用により、①低騒音、②小形・軽量、③高効率、④高信頼性、など数多くの特長もっている。現在70~150kVAの装置について順調に実運転中であり、特にその低騒音特性について非常に好評を得ている。今後、更に数多くの実績を積み重ねていくものと期待される。

終わりに、この車両補助電源装置の開発、製作にあたり御指導、御協力をいただいた関係各位に深く感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- (1) 鈴木ほか：車両補助電源用GTOインバータ装置、三菱電機技報、56、No. 8 (昭57)
- (2) S. Mine, Y. Yonehata, M. Shigenobu, M. Yano: THE AUXILIARY POWER SUPPLY FOR ROLLING STOCK, IPEC-Tokyo '83, p. 1309
- (3) 加藤ほか：4,500V GTOを応用した車両用VVVFインバータ、昭和60年電気学会全国大会

三菱汎用シーケンサにおけるデータリンクシステム 《MELSEC-NET》

伊藤善文*・葛西由夫*・伊藤龍夫*・橋本正人*

1. ま え が き

汎用シーケンサ（プログラマブルコントローラ、PCとも呼ぶ）は、自動車産業をはじめ、化学・食品・鉄鋼・電機産業など幅広い分野で使用され、その需要を急速に拡大し、今や1,000億円市場になろうとしている。シーケンサは、以前には単一機械を制御するマシンコントローラとして使用されていたが、最近では複数の機械やライン全体を制御するラインコントローラとしての用途も拡大しており、シーケンサ間及びシーケンサと上位コントローラ間のデータの授受を行うデータリンクシステムの必要性が高まっている。

当社では、1981年、汎用シーケンサとしては初めて分散形階層システムの構築が可能な《MELSEC-Kシリーズ》用データリンクシステムを発売し、以来1000システムを超える種々の用途に使用され工場のFA化、FMS化に役立ってきた。

本稿で紹介する《MELSEC-Aシリーズ》用データリンクシステム《MELSEC-NET》は、上記Kシリーズ用システムを使用いただいた数多くの顧客から寄せられた改善提案を反映して開発し、1985年発売されたシステムで、機能・性能・使い勝手の面で大幅に改善を加えた。特に回線は二重ループとし、異常発生時のループバック性能などRAS機能の強化に力を入れた。（図1.）

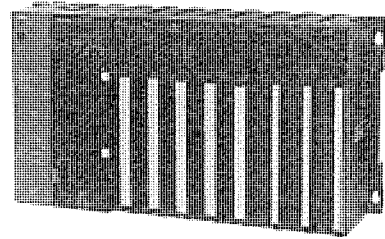


図1. データリンク機能内蔵シーケンサの外観

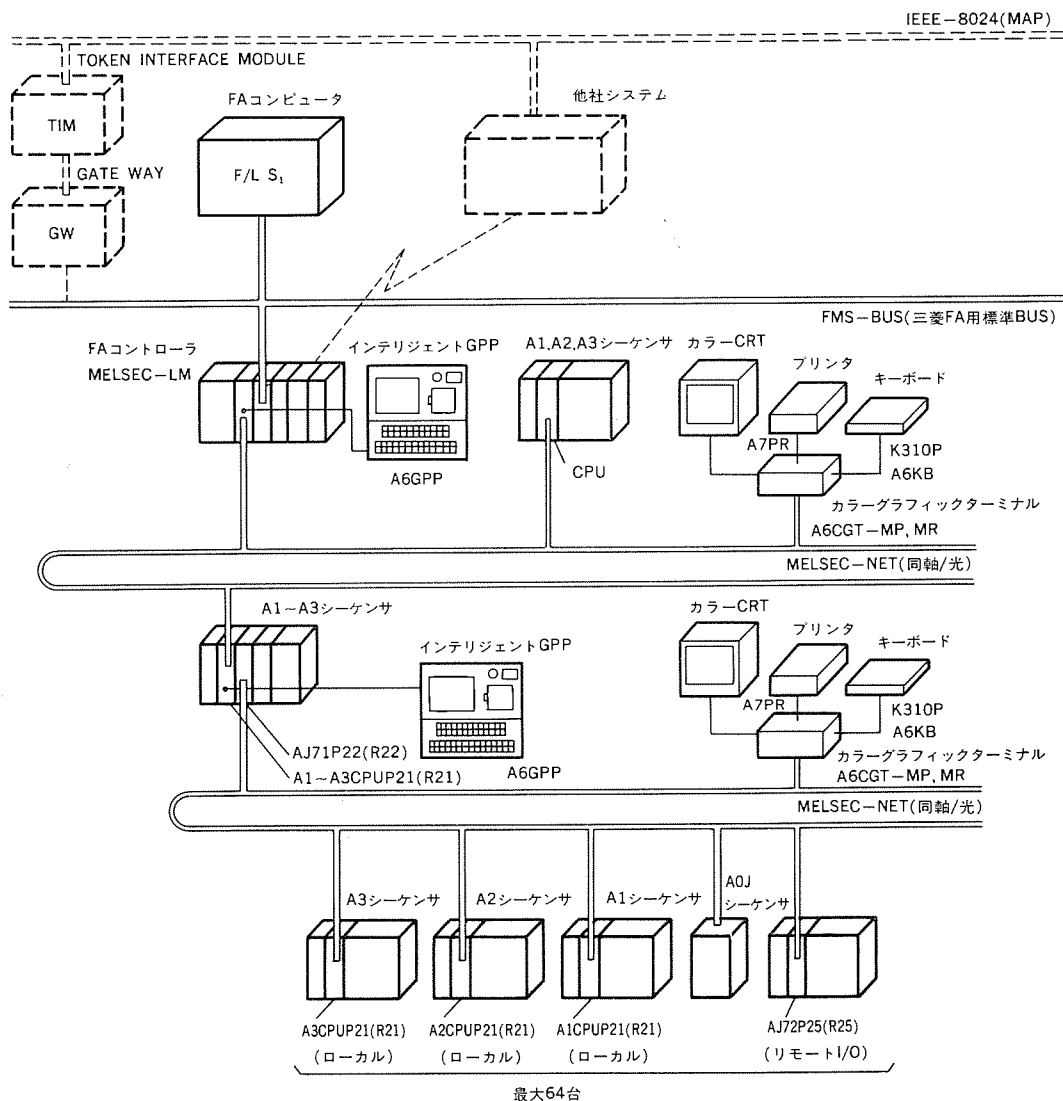


図2. 《MELSEC-NET》のシステム構成例

2. 開発のねらい

多数の改善提案，市場ニーズをかんがみて，以下に挙げる項目に重点をおき《MELSEC-NET》を開発した。

(1) 伝送の高速化

ループ状の伝送路において効率良く N 対 N 通信を行う伝送制御により，全局で共通に使用できる 1 ビットのリンクリレー (1,024 点) と 16 ビットのリンクレジスタ (1,024 点) を設けて，これにより親局と子局，子局と子局間の制御信号の授受の高速化を実現した。また親局は各子局との制御信号を中継する必要がなく，この面でもプログラムの簡素化による高速化を図った。

(2) リモート GPP 機能の追加

グラフィックプログラミングパネル (GPP) を親局に接続することにより，自局のほか，全子局 (ローカル局) のプログラムのアップロード/ダウンロード，モニタ，テスト，リモート RUN/STOP ができる機能を追加した。このリモート GPP 機能は，全子局 (ローカル局，リモート I/O 局) から親

局に対して可能である。また，リモート I/O 局に GPP を接続することにより，リンク系から切り離して自局のテスト操作ができるので，入出力機器との外部配線チェックや動作チェックが可能である。

(3) RAS 機能の充実

回線を二重ループとしたことにより異常局が発生したときは，正副ループによりループバック制御を行い，異常局のみを自動解列するようにした。また，2 局に異常が発生したときには，その中間局も同時に解列されるためにバイパススイッチ (バッテリバックアップ付き) を回線上に設置することにより，自動的に異常局のみをバイパスして解列することもできる。

また，前述のリモート GPP 機能と併せ，RAS 機能を一段と充実させた。

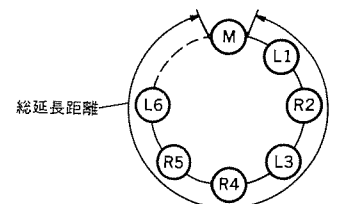
(4) FA コントラールとの直結

FA コントラール《MELSEC-LM》をこの NET と直結することにより，上位コンピュータとの交信など，高度な制御における制御信号の授受も高速化できる。

表 1. 《MELSEC-NET》の仕様一覧

項 目	内 容							
	A1CPUP21/R21	A2CPUP21/R21	A3CPUP21/R21	AJ71 P 22/R 22	AJ72 P 25/R 25	A0J2CPUP23/R23	A0J2 P 25/R 25	
2 階 層	マスタ局	○	○	○				
	ローカル局	○	○	○		○		
	リモート I/O 局						○	
3 階 層	マスタ局				○			
	ローカル局	○	○	○		○		
	リモート I/O 局					○	○	
最大入出力点数	256 点	512 点	2,048 点	—	512 点	336 点 (増設ベースユニット使用時 480 点)	336 点	
1 局あたりの最大リンク使用可能点数	入 力 (X)	256 点 (32 バイト)	512 点 (64 バイト)	2,048 点 (256 バイト)	—	512 点 (64 バイト)	512 点 (64 バイト)	
	出 力 (Y)	256 点 (32 バイト)	512 点 (64 バイト)	2,048 点 (256 バイト)	—	512 点 (64 バイト)	512 点 (64 バイト)	
1 システムにおける最大リンク点数	リンクリレー (B)	1,024 点 (1/8 バイト/点, 128 バイト)						
	リンクレジスタ (W)	1,024 点 (2 バイト/点, 2,048 バイト)						
1 局における最大リンク可能点数	マスタ局 ローカル局	$Y+B+W \leq 1,024$ バイト						
	リモート I/O 局	$X+Y+W \leq 512$ バイト $X=0 \sim 1$ FF (最大 512 点) $Y=0 \sim 1$ FF (最大 512 点)						
システムの許容瞬停時間	10 ms 以下							
通 信 速 度	1.25 Mbps							
通 信 方 式	半二重ビットシリアル方式							
同 期 方 式	フレーム同期方式							
伝 送 路 形 式	二重ループ形式							
ル ー プ 総 延 長 距 離	最大 10 km (局間 1 km : 光/500 m : 同軸)							
接 続 ス テ ー シ ョ ン 数	最大 65 台/ループ (マスタ局 1 台, ローカル/リモート I/O 局 64 台)							
変 調 方 式	CMI 方式							
伝 送 フ ォ ー マ ッ ト	HDLC 準拠 (フレーム形式)							
誤 り 制 御 方 式	CRC (生成多項式 $X^{16}+X^{12}+X^5+1$) 及びタイムオーバーによるリトライ							
R A S 機 能	異常検出及びケーブル断線によるループバック機能，自局のリンク回線チェックなどの診断機能							
接 続 コ ネ ク タ	2 心光コネクタプラグ (CA 9003) : 光/BNC-P-3-Ni (DDK) 相当品 : 同軸							
使 用 ケ ー ブ ル	SI-200/250 : 光/3 C-2 V, 5 C-2 V 相当品 : 同軸							

注 ループ総延長距離とは，マスタ局の送信端から子局経由でマスタ局の受信端までの距離のことである。
光ファイバケーブル，同軸ケーブル共に最大 10 km である。



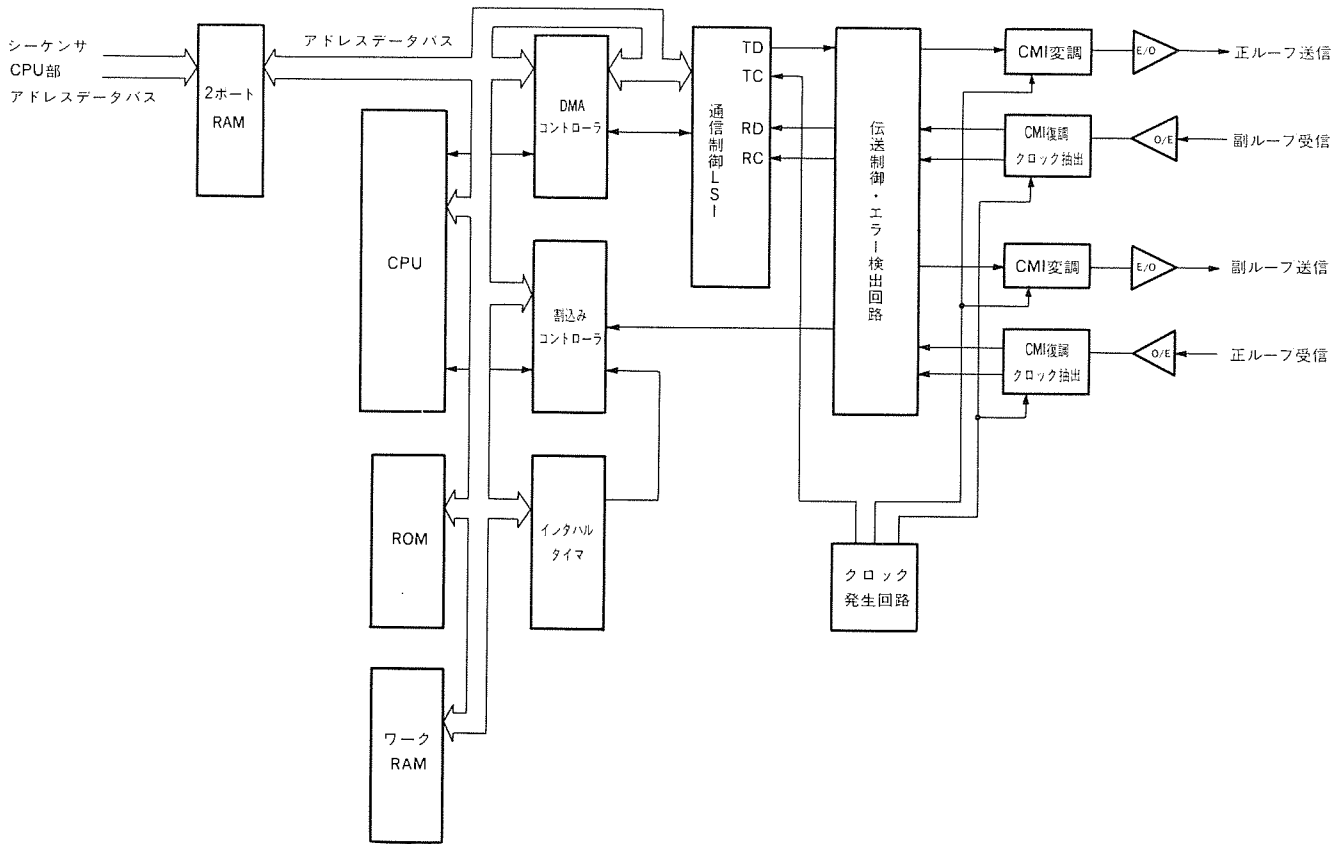


図 3. データリンク機能部のハードウェア構成ブロック図(光データリンク)

3. システムの概要

3.1 システム構成

図 2. に《MELSEC-NET》のシステム構成例を示す。マスタ局 1 台とリモート局 1 台の小規模なデータリンクシステムから、一つのループに最大 1 対 64 台の PC を接続し、そのループを上位層、下位層として接続することにより最大 4,161 台の大規模なデータリンクシステムを構築することができる。また、PC 以外に、プログラムを作成することなく容易にモニタ画面を作成できるカラーグラフィックターミナル (A 6 CGT-MP, MR) を《MELSEC-NET》に接続して、データリンクシステムのモニタ装置とすることもできる。

更に、FA として要求される PC の統括制御、上位コンピュータとの交信を実現するために、《MELSEC-NET》の最上位に FA コントローラ《MELSEC-LM》を位置付けし、高度な制御に対応できるシステムを構築できる。

以上のように《MELSEC-NET》は、FA のコンポーネントとして PC を適用する上での十分な機能を装備しているため、システムに応じて最適な構成を構築できる。

3.2 仕様

表 1. に《MELSEC-NET》の仕様を示す。

3.3 ハードウェア構成

《MELSEC-NET》の信号伝送路の種類には光ケーブルと同軸ケーブルの 2 種類があり、ハードウェアの違いとしては伝送信号を光変換して伝送するか、高周波トランスにより昇圧した電気信号で伝送するかである。また、データリンクユニットを機能及び形状面で分類すると次の 3 種類となる。

(1) シーケンサ CPU 機能とデータリンク機能を一体化したマスタ局及びローカル局用ユニット (例: A 3 CPUP 21/R 21)

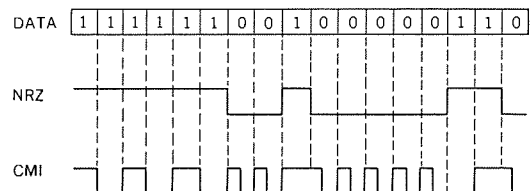


図 4. NRZ から CMI への符号変換例

(2) I/O スロット部に装着するデータリンク機能ユニットで、3 階層のマスタ局用ユニット (例: AJ 71 P 22/R 22)

(3) I/O 制御機能とデータリンク機能をもつリモート I/O 局用ユニット (例: AJ 72 P 25/R 25)

以上 3 種類についてのリンク機能部は共通回路構成である。このデータリンク機能部とシーケンサ CPU 部間のリンクデータの交信は、8 ビットデータバスの 2 ポート RAM 経由で行っている。

データリンク機能部のハードウェア構成を図 3. に示す。ここで、シーケンサ CPU からの送信データ及びシーケンサ CPU への受信データは、いったんワーク RAM に格納し、1.25 Mbps の送受信速度に追従させるために、DMA コントローラにより通信制御 LSI との間でデータの授受を行う。通信制御 LSI から送信されるデータは、ループバック切替を担う伝送制御回路を経由し、次の CMI 変調部により図 4. に示すように安定な伝送を実現するための CMI 符号に変換した後、E/O(電気/光)変換を通して送信される。また、O/E(光/電気)変換を通じた受信信号は、CMI 復調部によりデータとクロックを抽出し、伝送制御回路を経由して通信制御 LSI に入力され、ここで受信される。正常時のデータは、正ループ受信にて前局より受信し、正ループ送信にて次局へ送信しているが、次局が異常となった場合は伝送制御回路・エラー検出回路部で副ループ送信を使用して前局へ送信するループバック切替を行う。

4. システムの特長

4.1 通信機能

通信機能として、サイクリック伝送とトランジェント伝送の両機能を実現している。

(1) サイクリック伝送

マスタ局と全ローカル局間でリンクされるリンクリレー (B: 最大 1,024 点, 1 ビット/1 点), リンクレジスタ (W: 最大 1,024 点, 16 ビット/1 点) の伝送, 及び K シリーズデータリンクで行われているマスタ局とローカル局, リモート I/O 局間の 1 対 1 で対応する入力 (X: 最大 2,048 点, 1 ビット/1 点), 出力 (Y: 最大 2,048 点, 1 ビット/1 点) の伝送を, サイクリック伝送で実現している。リンクリレーとリンクレジスタの伝送は N 対 N 通信, 入力と出力の伝送は 1 対 N 通信で行っている。

また, ループを上位ループ, 下位ループと 3 階層接続した場合, 上位ループのマスタ局のリンクリレー, リンクレジスタの情報が下位ループのサイクリック伝送に自動的に付加され, リンクされる。一方, 下位ループの全ローカル局のリンクリレー, リンクレジスタの情報は, そのループのマスタ局すなわち上位ループのローカル局の情報として上位ループにリンクされる。これにより, 中間局に新たなシーケンスを設けることなく, 上位ループのマスタ局と下位ループのローカル局の通信が実現できる。

これらの伝送において, サイクリック伝送が行われる都度, ループ内の全 PC 間で上述のリンクリレー, リンクレジスタ, 入力, 出力のすべてがリフレッシュされる。マスタ局, ローカル局がシーケンサ CPU と前記データをリフレッシュするのは, サイクリック伝送が終了したタイミングである。

(図 5.)

(2) トランジェント伝送

サイクリック伝送に加えてトランジェント伝送では, マスタ局からのローカル局内部のワードデバイス (タイマ (T), カウンタ (C) など) の読出し, 書込み (図 6. に示す専用の応用命令 LR-DP, LWTP がある), GPP から他局 PC への起動 (RUN), 停止 (STOP), ポーズ (PAUSE) 制御及びシーケンサプログラムのアップロード, ダウンロード, モニタなどの機能を実現する。トランジェント伝送は, サイクリック伝送のリアルタイム性を保証するために, 1 伝送サイクル中で送受信するバイト数を制限している。また, 多数の GPP から同時にモニタなどの要求が発生した場合でも, 各 GPP に平均的にサービスが実施できるように制御を行っている。

4.2 GPP 機能

GPP はデータリンクシステム中では, どの局に

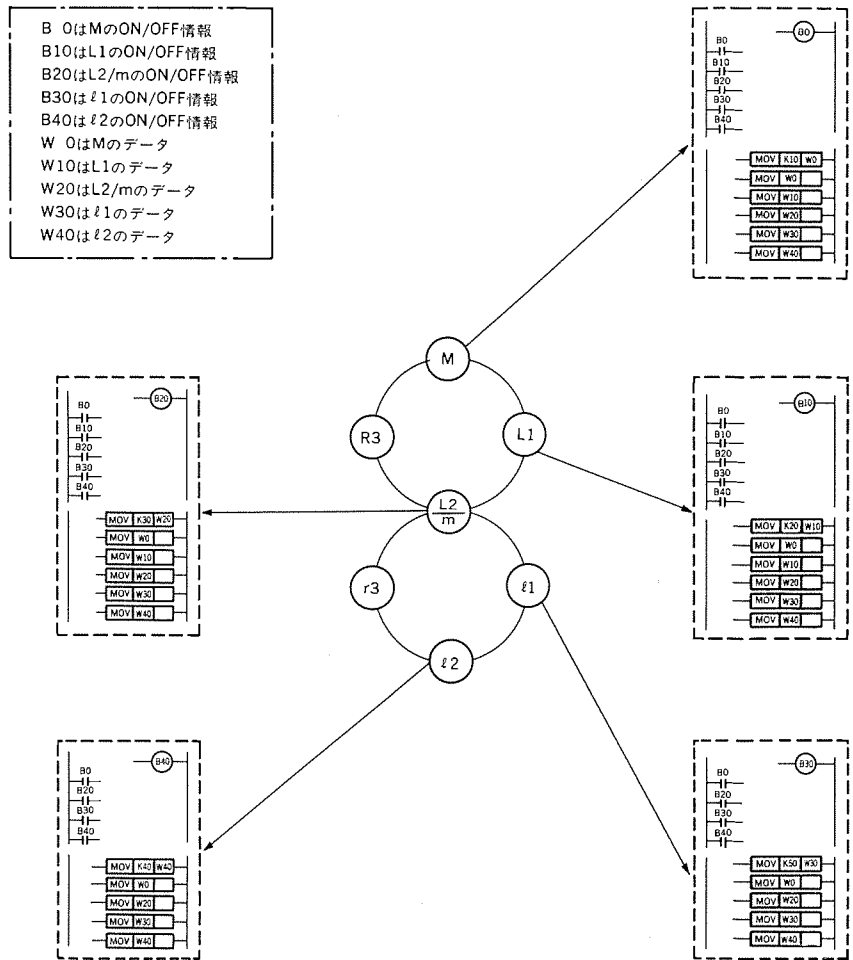


図 5. 3 階層におけるリンクリレー (B), リンクレジスタ (W) の適用例

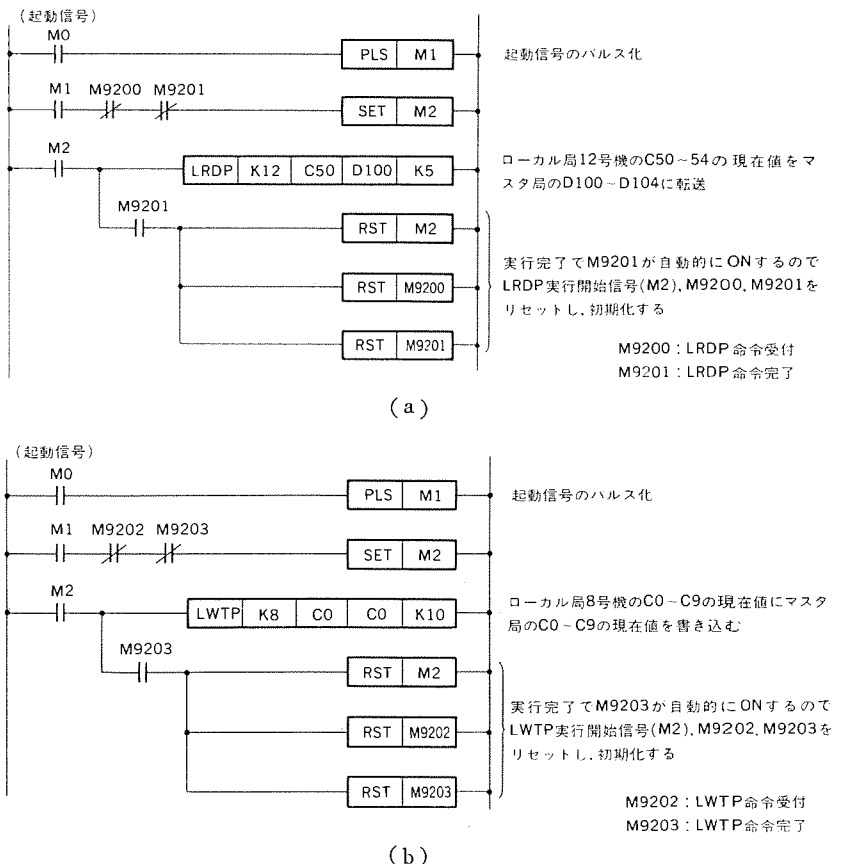


図 6. マスタ局のワードデバイス読出し書込みシーケンス例

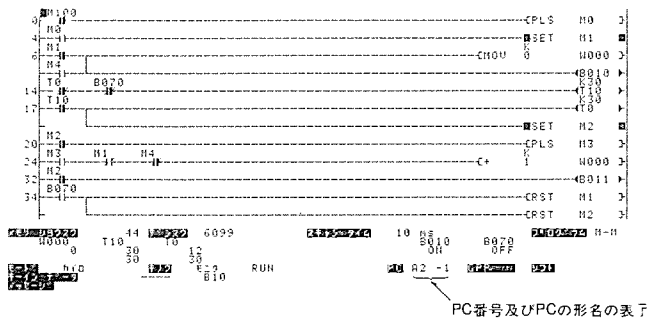
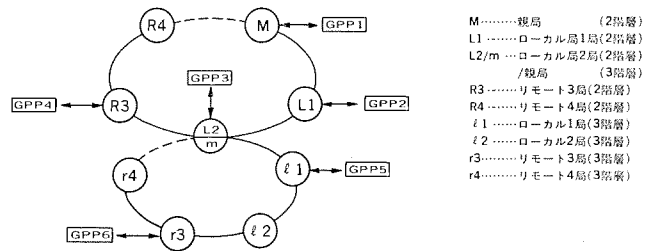


図 7. 回路モニタ画面 (M局の GPP から L1局をモニタ)

も接続可能である。このとき、上述のトランジェント伝送機能により、GPP が接続された局を通して他局 PC と交信を行うことができ、次に挙げる機能が実現できる。

- (1) プログラムのアップロード/ダウンロード
- (2) 動作モニタ (回路モード/リストモード)
- (3) 強制出力
- (4) シーケンス処理の起動 (RUN), 停止 (STOP), ポーズ (PAUSE)

これらの機能は、いったん PC 番号を GPP に設定すれば、その後の操作は通常の GPP が接続された局で行うものと同一である。図 7. はマスタ局に接続された GPP のローカル局 (局番 1) の回路モ



対象 PC	自局	M	L1	L2/m	R3	R4	r1	r2	r3	r4
GPP1	FF	0	1	2	FF	FF				
GPP2	FF	0	1		0	0				
GPP3	FF	0			0	0	1	2	FF	FF
GPP4	FF	0			0	0				
GPP5	FF			0			1		0	0
GPP6	FF			0					0	0

図 8. 3階層における PL 番号適用例

ニタの表示例であるが、右下の PC の部分に PC 番号が表示されているのを除けば、通常の回路モニタと同一である。PC 番号は、マスタ局指定時は '0', ローカル局指定時は該当局の局番を、また、GPP

1 | リンク線子局数
1台のマスタ局に対する子局の台数を設定

2 | マスタ局→ローカル局
リンクリレー(B), リンクレジスタ(W)にマスタ局がデータを書き込む範囲を設定

3 | 監視時間
リンクスキャンタイムの監視のための時間を設定

10 | リンクデバイス使用範囲
リンクリレー(B), リンクレジスタ(W), 入力(X), 出力(Y)のデータリンクに使用する範囲を自動的に表示する

* リンクセッテイ *

マスタキョク	リンクソコキョク スワ	M → オールL		カンシ シ カン 10ms	カンツ シ カン 10ms
		B	W		
M	8	140-1FF	39-9E	20	xxxx

M: B ← オールL: B 0-23F
 M: W ← オールL: W 0-13B
 M: W → オールR: W 181-23E
 M: W ← オールR: W 282-341
 M: Y → オールL: X 420-51F
 M: Y → オールR: Y 650-78F
 M: X ← オールL: Y 400-53F
 M: X ← オールR: X 620-79F

L/R NO.	M ← L		M → R	M ← R	M → L/R		M ← L/R	
	B	W	W	W	Y	X/Y	X	Y/X
R1	-----	-----	180-201	-	700-74F	20- 6F	6E0-73F	0- 5F
L2	0- 7F	-	-----	-----	-	-	400-45F	400-45F
L3	200-23F	101-13B	-----	-----	420-47F	100-15F	-	-
R4	-----	-----	-	-	680-6DF	0- 5F	680-6DF	0- 5F
R5	-----	-----	181-1BC	2DF-302	7A0-7BF	50- 6F	750-79F	0- 4F
R6	-----	-----	223-23E	303-341	650-67F	30- 5F	620-65F	0- 3F
L7	-	0- 3B	-----	-----	4D0-51F	700-74F	460-4DF	280-2FF
L8	80- DF	9F- DE	-----	-----	480-4BF	300-33F	4E0-53F	450-4AF

M: マスタ キョク L: ローカル キョク R: リモートI/O キョク

4 | 局番設定
該当局番がローカル局か、リモートI/O局かを設定する

5 | マスタ局→ローカル局
リンクリレー(B), リンクレジスタ(W)に各ローカル局がデータを書き込む範囲を設定

6 | マスタ局→リモートI/O局
リモートI/O局内の特殊機能ユニットへのデータ書き込み時に使用するリンクレジスタ(W)の範囲を設定

7 | マスタ局→リモートI/O局
リモートI/O局内の特殊機能ユニットからのデータ読出し時に使用するリンクレジスタ(W)の範囲を設定

8 | マスタ局→ローカル局/リモートI/O局
マスタ局の出力(Y)をローカル局の入力(X)に、またはリモートI/O局の出力(Y)にそれぞれ対応させるデバイス番号を設定

9 | マスタ局→ローカル局/リモートI/O局
マスタ局の入力(X)をローカル局の出力(Y)に、又はリモートI/O局の入力(X)にそれぞれ対応させるデバイス番号を設定

図 9. リンク 設定要領

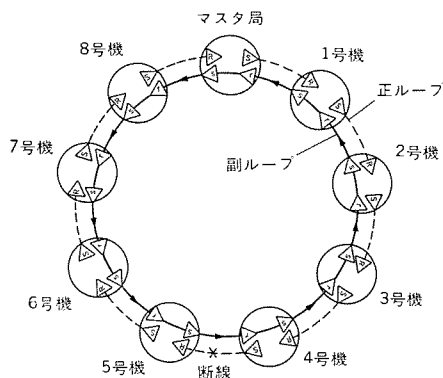
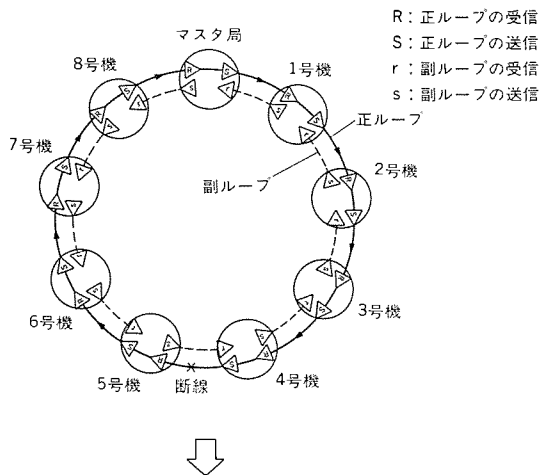


図 10. 正ループの断線によるループの移行

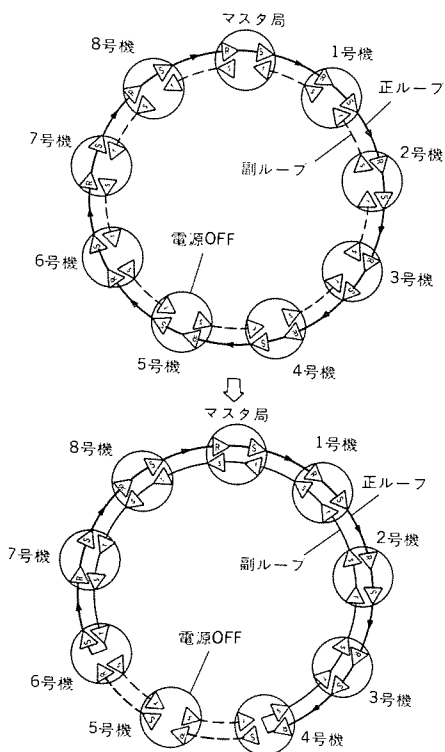


図 11. 子局電源 OFF 時のループの移行

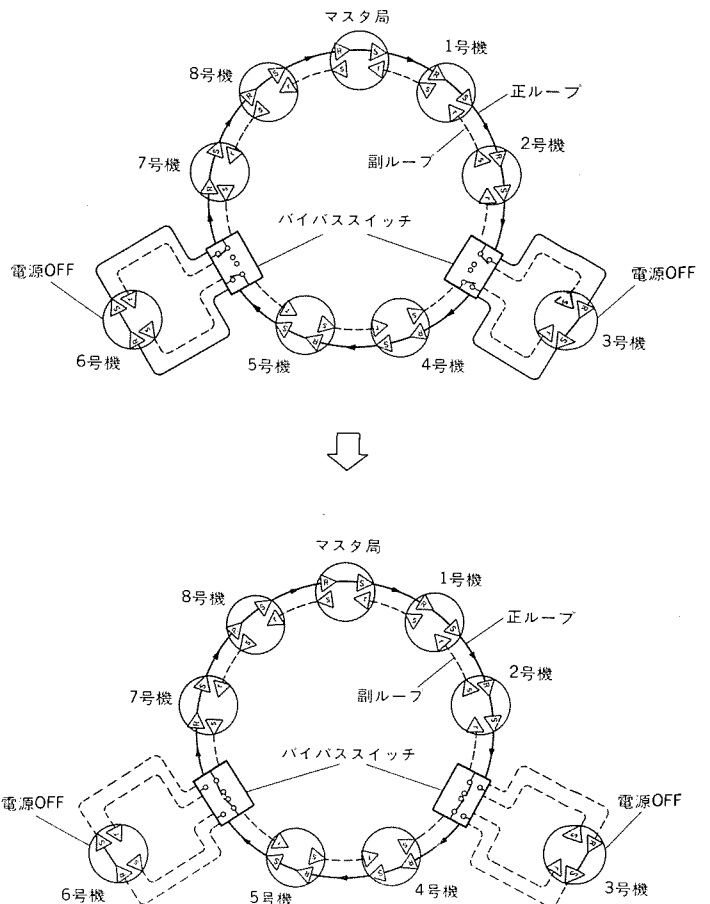


図 12. バイパススイッチ動作時のループの移行

が接続されている局自体（自局という）指定時は 'FF' あるいは自局の局番を設定する。図 8. に 3 階層における PC 番号の指定例を示す。

以上の機能が装備されているので、マスタ局に GPP を接続すれば、そのループに接続されている全 PC の動作の監視、デバッグなどを容易に行うことができる。

更に、《MELSEC-NET》ではループバック制御を行うため、局番を正ループの流れに従ってマスタ局の隣から順次設定する必要がある。このために、各局の送信範囲を局番順とするなどの制限もなく設定できるようにした。この場合、リンク範囲はマスタ局のパラメータに登録するのみでよく、具体的には図 9. に示すリンク設定要領により指定できる。また、リンク局数を増減する場合、上記のリンク設定要領に局の挿入、削除機能があるので全局のリンク範囲を再設定する必要はない。

5. RAS 機能

多数の PC を階層的に構築するシステムでは、高い信頼性と稼働性が要求されるため、《MELSEC-NET》は多くの障害対策機能を備えている。このうちのループバック機能及び GPP による診断機能について以下に述べる。

5.1 ループバック機能

ループ状の伝送路をもったデータリンクシステムは、通信路あるいは局のダウンがシステム全体のダウンにつながる危険性がある。これを回避するため、ループを二重化し、併せて各局の送受信モジュールも二重化した。二重ループの一方を正ループ、他方を副ループと呼ぶ。データリンクの状態には、①正ループによるデータリンク、②副ループによるデ

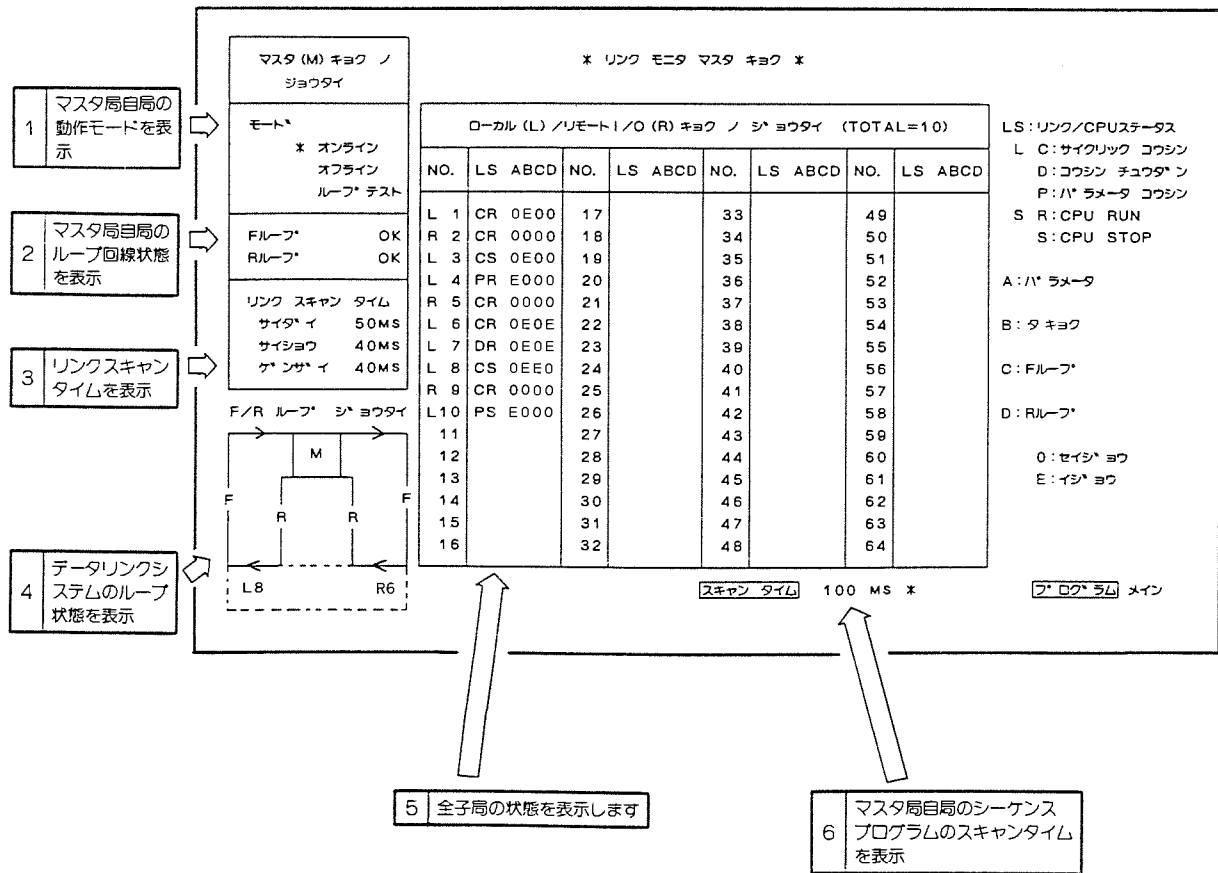


図 13. マスタ子局用の モニタ 画面

ータリンク, ③正/副両方向でループバックによる データリンク, ④正方向のみでループバックによる データリンク, ⑤副方向のみでループバックによる データリンク, ⑥データリンク不可能, の六つの状態がある。通常は正ループによる データリンクを実施するが, 子局の電源断やループの断線などの障害が発生した場合, いったん通常の通信を中断して異常箇所を速やかに検出し, 自動的に最適なループ状態を構築する。その後通常の通信を再開する。このループ構築に要する時間は子局の電源断において約 50 ms と, 高速処理を実現している。また, 上記異常箇所が正常に戻れば, 本来の正ループによる データリンクへ自動的に移行する。(図 10., 図 11.)

なお, 2局以上の子局が電源断の場合は, その両端局の間の子局はループバックの外となり, データリンクから切り離される。これを回避する場合のために, バイパススイッチ (A 6 BSW) が用意されている。バイパススイッチはバッテリー内蔵で, 接続された子局が電源断なるのを検出して自動的にループから該当局を切り離し, ループを正常に復帰させる (図 12.)。これにより, 更にループ障害対策が向上できる。

5.2 GPP による診断機能

ループに障害が発生したとき, 早く確実に修復することが重要となる。このために, どこでどのような障害が発生しているかを素早く診断できる機能が要求される。これを GPP に当該機能を付加する

ことで実現した。マスタ局に GPP を接続しリンクモニタを行うことで, データリンクの状況を把握することができる。図 13. がそのモニタ画面である。データリンクシステムのループ状態の表示は, どの局にてループバックが行われているかを示しているのので, どの子局の電源が OFF されているかが判明する。更に各子局の状態も表示しているのので, ループの断線箇所の推定が可能である。

このほか, 子局用リンクモニタとして次の 2 種類が用意されている。

- (1) ローカル 局用 リンクモニタ
- (2) リモート I/O 局用 リンクモニタ

6. む す び

以上紹介した《MELSEC-NET》及びシーケンサ《MELSEC-A シリーズ》は, 発売以来その機能, 性能, 使いやすさで顧客の好評を得ている。シーケンサ及びそのデータリンクシステムは, 今後も工場の自動化に欠くことのできない FA システムのコンポーネントとして, その需要はますます拡大すると予想されるが, 顧客のシステムの構築をより容易にするため, 今後, 《MELSEC-NET》と上位のコントローラ, 計算機, あるいは上位ネットワークとの親和性を一層強化していく所存である。

気中アーク制御VJC方式配線用遮断器

山本清美*・久常文之*・田丸繁見*・山県伸示*・藤井 洋*

1. ま え が き

ファイオン 消弧室の発明により配線用遮断器が広く普及し、その後電磁反発式限流方式やアーク駆動方式の遮断が研究開発されて発展を続けてきた。しかし、それらの方式は構造的な複雑さとそれに伴う外形寸法の巨大化などのために、主力製品として市場を席巻するには至らなかった。ここで紹介するペーパジェットコントロール（以下、VJCと呼ぶ）方式の限流は、電極近傍で生起しているアーク柱の物理現象を探究し、電極蒸気の放出現象に着目し、圧力反射体を配置しアーク柱を絞ってアーク電圧を高め、限流遮断を行うという従前にはない新しい概念のものである。この革新的なVJC限流遮断方式を採用した配線用遮断器について、技術解明をしたので以下に述べる。

2. VJC 遮断方式の原理

2.1 気中アークに対する従来の考え方

1955年以來、気中アークでは、アークはその高温部（陽光柱）に周囲の低温空気を吸引し、これを昇温し、アークの自己電流によって生じる自己ピンチ力によって生じる圧力場により決定された高速プラズ

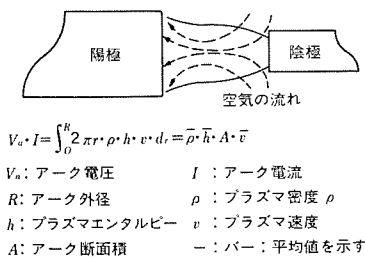


図 1. エンタルピーフローモデル

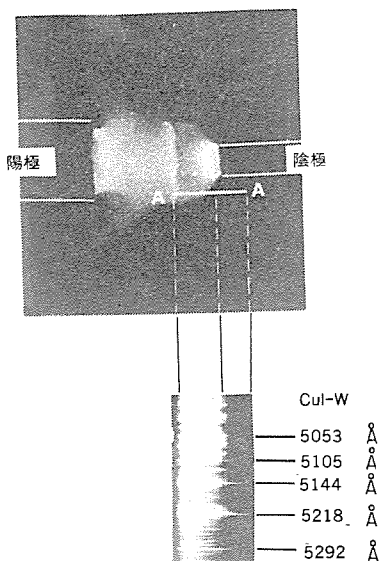


図 2. スペクトル

マの流れとなり、アーク陽光柱により排出されるという“エンタルピーフローモデル”が主流となっていた。このようなモデルでは、アーク電圧は周辺空気を吸い込めば吸い込むほど、上昇することになる。この様子を図 1. に示す。

2.2 短ギャップ大電流アークの実際

電極距離形状によっては、アーク陽光柱への空気の吸引は生起せず、逆にアーク陽光柱から外周空間へ、電極蒸気が一方的に放出されることが明らかとなった。アーク空間のスペクトルを観測したのが図 2. である。電極距離は 20 mm、陰極径 5φ、陽極径 14φ であり、電極材料は Cu-W である。写真は 6,500 Å 中心波長とし、半値幅 5 Å の特殊バンドパスフィルタを使用している。これによって、アークの発する連続スペクトルのみが撮影され、6,000 K 以上の高温空間が明りょうとなる。すなわち、発光している部分はアークコアと呼ばれる 6,000 K 以上の高温プラズマ領域である。図中 A-A は、分光観測のためのスリット位置を示す。示しているスペクトルは、Cu 原子の線スペクトルでありアークの足の背後、すなわち陰極の背後にまで Cu 原子が侵入していることを示しており、空気吸引説では説明できない。

図 3. に陰極のアークの足の背後、空気吸引なら負圧を示すはずの流れの圧力を測定した結果を示している。図中、丸印は圧力測定のための特殊プローブの断面を示し、破線はプローブ表面上の各点で測定された圧力を示している。矢印は最も高い電圧を示した方向を示しており、12.5 kA ピーク電流時に 0.18 atg を記録した。この矢印の方向が、このプローブを置いた近傍空間における流れの方向を示している。すなわち、流れはアーク空間から外周へ向かっていることを示し、更に図中示した圧力波形が、電流期間中、常に正を示していること及び図 2. に示した Cu スペクトルの存在などから、「空気吸引は生起せず、電極蒸気の一方的放出である」ということが分かる。このような Vapour Dominant Arc（電極蒸気のアーク）に対しては、従来のように“エンタルピーフロー説”ではそのエネルギーロスのメカニズムは説明できない。また、このようなアークに対しては、アーク空間への空気流入を遮断してもアーク電圧は低下するものではない。

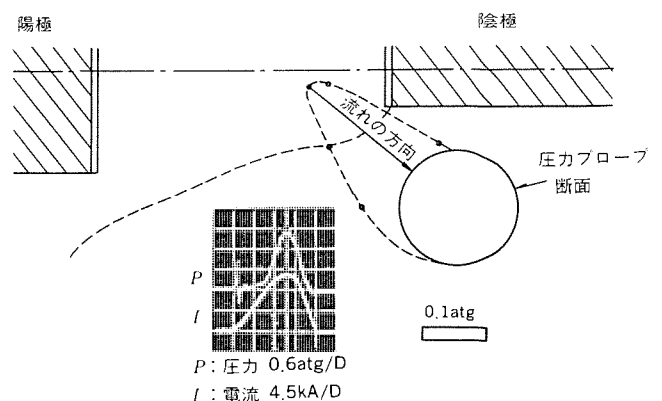


図 3. アーク空間近傍の流れの圧力

2.3 エネルギーロスのメカニズム

注入される電気エネルギーは次式のように表される。

$$E_{in} = T_c + H + K + Q \dots\dots\dots (1)$$

ここに E_{in} : 注入電気エネルギー ($= \int V_a \cdot Idt$)

T_c : 電極への伝熱エネルギー

H : 電極蒸気のエンタルピー

K : 電極蒸気の運動エネルギー

Q : 放射エネルギー

電極距離が微小 (例えば 1~2 mm) でかつ電流が小さい (数 kA 以下) 場合には、電極界面現象が支配的であり、Radiation Loss の割合も小さいが、5 mm 以上、数 kA の短ギャップ、大電流アークに対しては、実験の結果、電気エネルギーの大部分は、Radiation として消費されることが明らかとなった。したがって、Vapour Dominant Arc に対しては、結果として Radiation を増大させれば、アーク電圧が増大することが分かった。

2.4 VJC

従来、むずかしいとされていたアーク電圧の制御を、我々は VJC で実現した。VJC とは、電極周辺を厚みのある絶縁物あるいは高抵抗金属材料で覆うことにより、アーク電圧を制御する方法である。絶縁物によって電極周辺を覆うことにより、①アークの足の御制、②電極からの高温ベーパーの放射方向の制限、その結果として、③アーク陽光柱の断面積の縮小が起こる。上記①は、絶縁材料による効果である。②は、アーク足の背後に厚みのある絶縁物があることにより、従来、背後に抜けていた流れが妨げられ、圧力が上昇するとともに絶縁物の出す蒸気により、アーク足の周辺部の圧力が更に上昇し、電極から出るベーパーの方向に制限を加える。③は上記の①と②の結果として足が小さく、かつ高温ベーパーの放射方向の制限によって必然的に起こり、かつ絶縁物の出すベーパーがアーク外周部の温度を冷却し、更にアーク陽光柱断面積を縮小しているこの様子を図 4. に示す。また電極蒸気の流れに沿って電極蒸気を受ける物理過程を追ってみると、

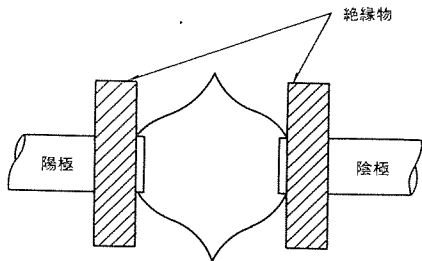
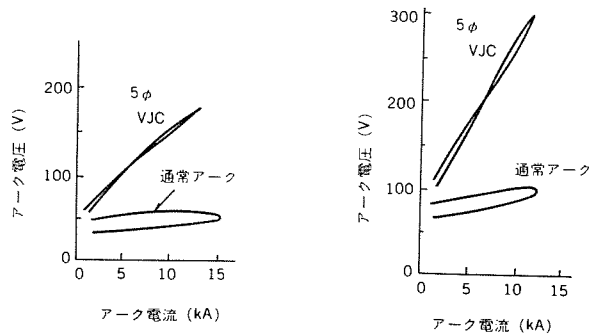


図 4. VJC の概略

- a₀: 電極から発したベーパーは、電気入力を受けて高温 (2~3 万度) かつ高圧 (数気圧) になる。
- a₁: アークの高圧部から外側の低圧部に向かって徐々に加速され、遂には高速 (数百 m/s 以上) になりながら流れる (このとき、体積は圧力差により膨張している)。エネルギー的には電気入力を受けながら Radiation Loss と膨張による冷却を受け、結果として温度は下降する。
- a₂: 更に外縁部に流れ、アークのコア部を外れる。電気入力も少なくなると低温となり、したがって Radiation も少なくなり、もっぱら断熱膨張による冷却を受け温度が下降し導電性を失いアーク空間外へ去る。このとき、体積は低い圧力のもとで



(a) 電極距離 5 mm (b) 電極距離 20 mm

図 5. VJC のアーク電圧

膨脹する。なお、 a_{0a1a2} とは金属粒子の物理過程を示す。

上述の一連の過程で、アークの温度分布は Radiation と圧力差に基づく膨脹冷却に依存する。したがって、VJC アークは絶縁物によるアーク空間 (特にアークの足近傍) の圧力上昇及び絶縁物蒸気の冷却効果により、すなわち、Radiation Loss と膨脹冷却を促進させることにより、アークのエネルギーロスを増大させアーク電圧を上昇させる。このような VJC アークについて、実際測定したアーク電圧の例を図 5. に示す。同図(a)は電極距離 5 mm, (b) は 20 mm であり、低圧回路遮断器の開極動作の代表的な開極距離に相当する。図は、この範囲の距離において通常アークに比べると圧倒的に高いアーク電圧を示し、実用上有用であることを示している。

3. VJC 遮断方式の基礎調査

VJC 遮断方式をノーヒューズ遮断器へ応用するに先立って、限流・遮断性能に深い関係をもつ各種パラメータの影響を把握する必要がある。以下にその関係を実験にて確認したので報告する。なお、各項目の変数は各グラフ中に図示した。

3.1 接点サイズと限流効果

図 6. に接点の表面積と限流波高値の関係について示す。試験条件は電源電圧単相 250 V, 短絡電流 13.7 kA, 短絡位相 0° であり供試器は、接点の大きさのみ変化させた。図から、接点サイズが大きくなればなるほど、ほとんど直線的に限流効果が鈍化している様子が分かるが、このことは前述の VJC の原理の項で説明した VJC の作用効果を裏付けている。したがって限流効果を最大限に発揮させ

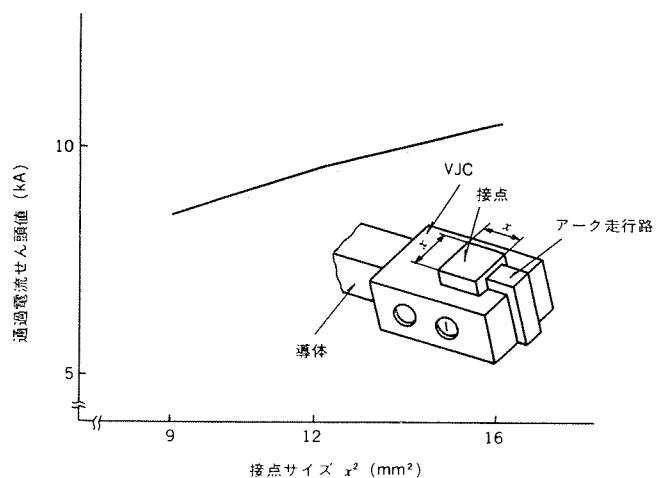


図 6. 接点サイズの影響

るためには、接点に関係した諸問題（例えば接点消耗、温度上昇、溶着など）が解決さえすれば接点サイズは小形になればなるほど効果的である。

3.2 VJCの張り出し幅と限流効果

図7.にVJCの張り出し幅と限流波高値の関係について示す。試験条件は、電源電圧単相250V、短絡電流13.7kA、短絡位相 0° であり、供試器の接点サイズは 4×4 一定とし、VJCの張り出し幅のみ変化させた。図から限流波高値は、VJCの張り出し幅が大きくなるにつれて小さくなるが、約2mmの張り出し幅でその限流効果も飽和することを示している。

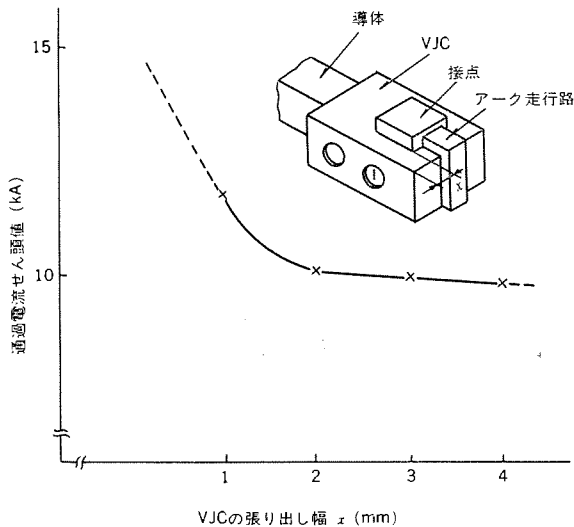


図7. VJCの張り出し幅の影響

3.3 アーク走行路幅と限流効果

図8.にアーク走行路幅と限流波高値の関係について示す。試験条件は電源電圧単相250V、短絡電流7.5, 13.7, 30kA、短絡位相 0° であり、供試器の接点サイズは 4×4 とし、アーク走行路幅のみ変化させた。図からアーク走行路幅は、大きくなるに従って限流効果は鈍化している様子が見られるが、これは大きくなったアークスポットが接点をはみ出してアーク走行路にも拡大した結果、アークスポットの電流密度が小さくなっていることを示す。そもそもアーク走行路は、電

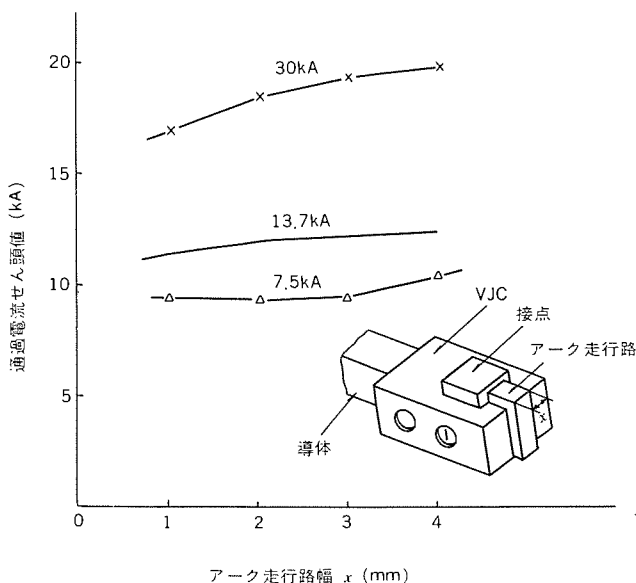


図8. アーク走行路幅の影響

流零点直前のアークスポットの移動を可能とし、遮断性能の向上を図る目的で設置しているため、走行路幅は零とはできないが、限流効果を最大限に発揮するため全電流遮断の責務について遮断性能・接点消耗その他に異常のない範囲でアーク走行路幅を最小限にすればよいことが分かる。

3.4 アーク走行路と接点との表面高さの差と限流効果

図9.にアーク走行路の高さと接点高さとの差に対する限流波高値との関係を示す。試験条件は電源電圧単相250V、短絡電流30kA、短絡位相 0° であり、供試器の接点サイズは 4×4 、アーク走行路幅は2mmとし、接点表面とアーク走行路表面との段差を変化させて限流波高値を測定した。図から、前述の段差が小さくなるにつれて、更に接点表面高さよりアーク走行路表面の方が高くなるにつれて限流効果はどんどん鈍化する。アークスポットの転流のしやすさよりアーク走行路には一定の高さが必要であるが、遮断に関する全責務で問題のない範囲内で、限流効果を最大限に発揮するためには、アーク走行路の接点表面に対する段差はできるだけ対向接点より遠ざかる向きに大きくすればよいことが分かる。

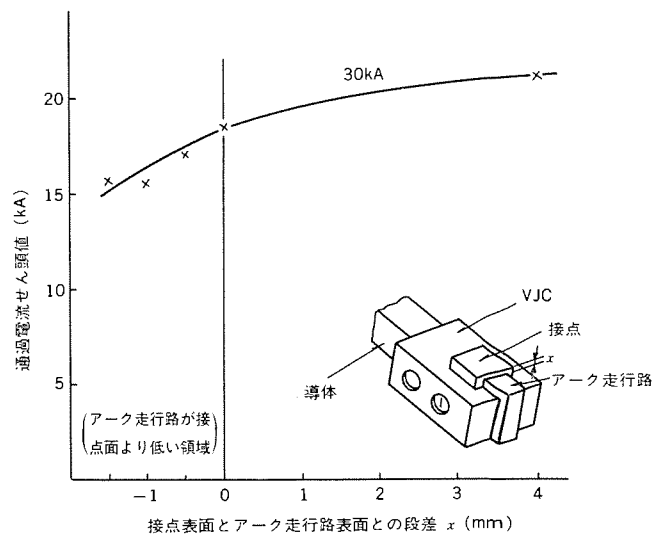


図9. 接点とアーク走行路の段差の影響

3.5 アーク走行路面とVJC表面の段差に対する限流効果

図10.にアーク走行路面とVJC表面との段差に対する限流波高

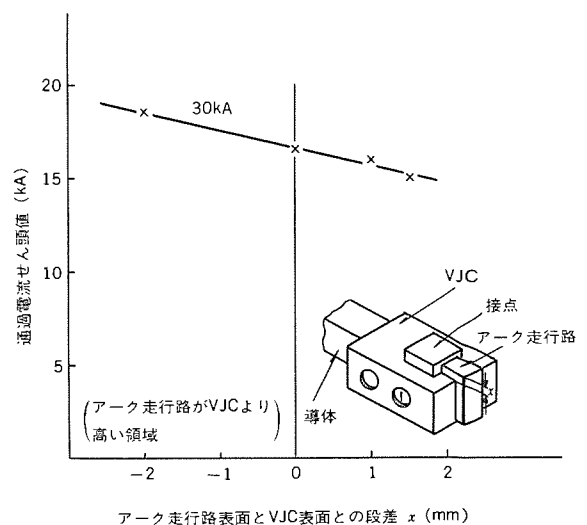


図10. アーク走行路とVJCの段差の影響

値を示す。試験条件は電源電圧単相 250 V、短絡電流 30 kA、短絡位相 0° であり、供試の接点は4×4、アーク 走行路幅は 2 mm としている。図からアーク 走行路表面は VJC 表面より低く、その段差が大きくなるほど限流効果は大きくなるのが分かる。遮断責務、接点消耗などに異常がない限り、限流効果を最大限に発揮させるためにはできるだけ VJC を高く、アーク 走行路表面を低く設置すればよいことが分かる。

3.6 VJC 材料の検討

接点の合金（銅）以上の抵抗率をもつものは、すべて VJC 候補材料となるが、特に限流効果の大きい有機絶縁物、無機絶縁物、高抵抗金属材料、金属表面処理材（金属酸化物）、複合材などの材料を中心に評価試験を行った。評価項目として、定格電流、過負荷電流での開閉耐久性、耐熱性、消耗性、短絡遮断時のアークによる熱的機械的衝撃性、耐熱性、消耗性、新品時及び短絡遮断後の過電流領域での耐熱性などを総合的に検討した。試験結果、回路遮断器本体の種類などによって一律には定め難い。ガラス入りエポキシ、ガラス入りドリル樹脂、ガラス入りポリブチレンテレフタレート、ポリオキシベンゼン、ガラス入りフェノール、ポリエステル、ポロナイトライド、高抵抗金属（鉄、ニクロムなど）などが良好な結果を示した。

更にこれらの材料を信頼性（機械的強度・耐熱性・消弧性能・接点への影響・メグ耐圧への影響）、環境性、成形性、導体への取付性コストなどの観点から詳細検討し、最終的に使用材料の決定に至った。

4. VJC 遮断方式のノーヒューズ遮断器への応用

4.1 構造

前述の基礎調査に基づき、VJC 遮断方式をノーヒューズ遮断器へ応用したものを図 11. に示す。固定接触子に固着された固定接点の周りを覆った絶縁物及び可動接触子に固着された可動接点の周りを覆った絶縁物が、ノーヒューズ遮断器に適用された前述の VJC である。材質は前述のとおり耐アーク性、耐機械力、耐環境性、成形性などの幅広い試験責務を経て芳香族系ポリエステル又は熱可塑性の PBT を採用している。また、固定接触子及び可動接触子への固着の方法は、固定側は固定接触子と VJC の圧入方法を採用し、更にその上部から消弧室の支持枠の端部で支持している。可動側は可動接触子のリ

ベットかしめ方式を採用している。更に VJC の張り出し幅は 2 mm 強としている。

4.2 動作作用

以上のようなノーヒューズ遮断器に異常電流が発生すると（すなわち、電源側端子・固定接触子・固定接点・可動接点・可動接触子・シャント・ヒータ・コイル・負荷端子へと異常電流が発生すると）、可動接点は開極し、接点間には必ずアークが発生する結果となる（断面カット図を図 11. に示す）。このアークは前述の VJC 遮断方式の項で行った詳細説明のように、アークの足、つまり接点上のアークスポットの大きさの制限、接点からの高温ペーパジェット放射方向の制限、その結果としてアーク陽光柱の断面積の縮小、更に接点間の中央部分のラジエーションロスと断熱膨脹による冷却が生じ、接点間のアーク電圧を上昇させるものである。更にこのノーヒューズ遮断器は、複数の磁性金属体からなる消弧板・対向グリッド・エネルギー吸収体・アークランナなどにより構成される消弧室をもっており、前述のアークはこれら絶妙なバランスで構成された消弧空間で伸張・冷却作用を受けて、更にアーク電圧を上昇させるとともに電流零点時での接点間の高絶縁回復力を得て、遮断性能をも大幅に向上させるものである。

その結果、通過電流せん頭値・通過エネルギー I^2t ・アークエネルギーなどの諸量が減少し、電磁力低下による耐機械的強度の低下、ジュール発熱の減少による通電導体部の耐熱容量の低下、アークエネルギー低下による消弧空間の縮減などが可能となり、VJC 遮断方式をもつ回路遮断器は小形化が達成できる。したがって、これらの一連の動作は前述の VJC の限流効果を一層大きなものとし、従来の概念を打ち破る高遮断容量化・高限流性能化・超小形化を実現可能としたのである。また、VJC 遮断方式の最も大きなメリットは、高性能を発揮する技術の割に構成が簡単であるという点にあり、多量に生産される汎用品に適用できる技術であることである。

4.3 その他の技術

VJC 遮断による限流効果を更に向上させるため、リレー部分にインパクトトリップ機構を採用している。図 11. のようにリレー部分をプランジャータイプの電磁石とし、強制開離機構と連動させる構造とすることで接点の開極時間を大幅に短縮することに成功した。図 11. において、過電流が発生するとコイルを流れる電流の作る磁場により、

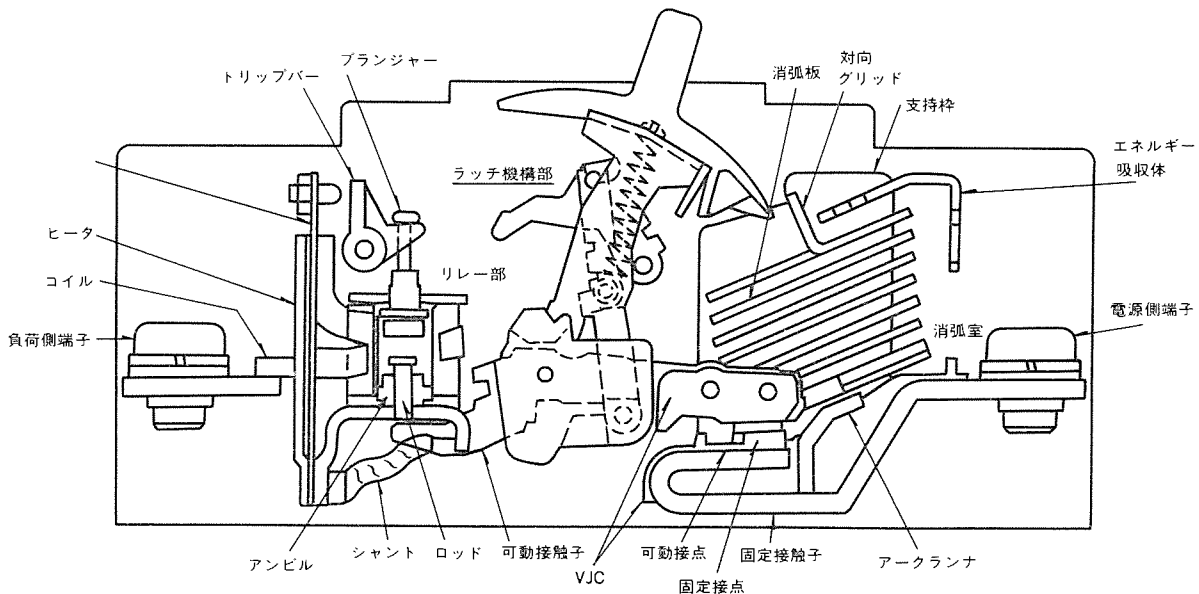


図 11. VJC 付きノーヒューズ遮断器の構造断面図

プランジャーは高速でアンビルに向かって駆動するが、途中プランジャーの駆動方向には自由に移動可能なロッドを強力に打撃し、ロッドは急激な直線運動を開始する。このロッドは、回転軸を中心に回転可能な可動接触子の後端部を打撃して、可動接点は直ちに開極動作を開始する。

一方、前述の強制開離機構の動作と平行して行われるトリップ機構の一連の動作については、プランジャーの駆動動作と連動してトリップバーは右方向に回転し、ラッチ機構部が動作し、次にリンク部が折れ曲がることで接点は結果的にトリップ状態に維持されることになる。ところで、従来品においては前者の強制開離機構をもっていないことから過電流発生時、接点が開極するには後者のトリップ機構の一連の動作時間が必要で、長いリレー時間を要していたが、当強制開離機構をもつ Super SCRUM シリーズにおいては、前述のリレー時間を非常にわずかなものとする事ができる。この所要時間の絶対値は、回路条件、供試器条件によりもろもろの値を示すが、推定短絡電流 5 kA の対称電流では、従来例では事故発生時点より 8 ms 強であったものが、新形では 4 ms 弱と約 1/2 に短縮されている。前述のリレー時間の大幅短縮は、VJC 遮断方式の限流効果を更に助長するとともに接点消耗の軽減にも役立ち、接点の長寿命化にも大きく貢献するものである。

5. VJC の効果

以上のように、VJC を実器に適用することによって、次のような大きなメリットを引き出すことができた。すなわち、VJC 適用品は前述の説明から明らかなように、回路の事故電流を遮断する際、一例を図 12. に示すように大きな限流現象を伴うので小形化が可能である。すなわち、通過電流が小さくなるので遮断器内部の通電部材の耐電磁機械力を弱くできること、通過エネルギー I^2t が小さくなるので通電部材の熱容量を低下できること、更にアーク自身の放出するアークエネルギーも小さくなるので、アーク処理空間も大きいものが不要なこと、などにより回路遮断器は小形化の達成が可能となり、盤スペースの縮減を図ることはもとより、省資源の観点からも大きく貢献できるものである。また、同様の理由により遮断容量も大幅に拡大されるので、広範囲のトランス容量にも適用可能となった。表 1. に VJC 遮断器と従来品との比較を 100 AF を例に示した。

VJC 遮断方式は、従来の遮断方式に比べて限流性能が向上するので、カスケードバックアップ性能が向上する。例えば、AC 460 V 回路で従来形の組合せ (NF 225-S+NF 50-SB) で 10 kA であったものが、VJC 遮断器にすると (NF 225-SS+NF 50-SS) 15 kA になるといった具合である。また、限流効果が大きいことから、分岐に VJC 遮断器を使用すると、上位主幹遮断器の瞬時引き外し電流値に容易に達し得ないから、選択遮断領域も向上する。例えば、AC 220 V 回路で主幹遮断器を NFE 600-S とし、分岐遮断器を従来の NF 50-SB から NF-50-SH に置換すると、選択遮断可能な電流域は 10 kA から 20 kA と大幅な格上げを達成することができる。更にアークエネ

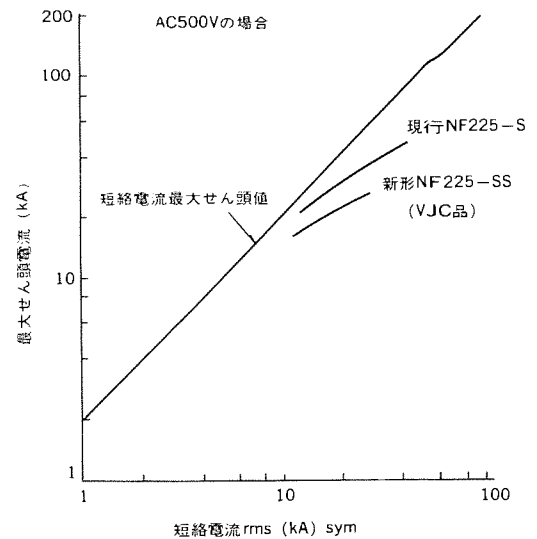


図 12. 限流特性

表 1. VJC 方式と従来方式との比較例

比較項目	遮断方式の別	VJC 遮断方式による 新製品の例	従来遮断方式による 従来製品の例
形 名		NF 100-SS	NF 100-S
外 形 (幅×長さ×高さ) (mm)		90×155×68	105×165×86
投 影 面 積 比 (%)		80	100
体 積 比 (%)		64	100
遮 断 容 量 (kA) (at AV 220 V)		50	35
遮 断 容 量 比 (%)		143	100
適 用 ト ラ ン ス 容 量 (kVA) (at AC 220 V)		750 (電線 38 mm ² , 1 m)	500 (電線 38 mm ² , 1 m)

ルギーが減少するので、遮断器内部の圧力も抑制されるので外部へのアーク吹出し量も低減され、アークスペースも減少させることができた。

6. む す び

低圧気中アークの解明は、多くの研究者が取り組んでいるが、未知の部分がまだ多く残されている。我々遮断器の技術者は、国内外を問わず絶えず技術革新に挑戦しており、今回ここに述べた VJC 限流遮断方式により、従前の遮断技術を大きく一歩前進することに成功した。この技術により、小形高遮断容量の達成、限流選択遮断及びカスケード遮断領域の大幅拡大など高度なシステム設計のできる製品化を可能とし、従来技術の革新を図ることができた。

(原稿受付 昭 61-9-8)

スポットライト パワーマニピュレータ

放射性物質を遠隔操作で取扱うための装置として、マニピュレータがよく使用されます。今回、三菱重工(株)高砂研究所殿が東海試験場に建設された三菱燃料ホットラボ向けに、取扱い荷重50kgのMA-H50形パワーマニピュレータを製作納入いたしました。パワーマニピュレータは、原子力発電所で使用された使用済み核燃料棒の試験検査等を行なうホットセル内に設置され、燃料棒の持運び、各種試験検査装置の移動、保守等に使用され、取扱い荷重および対象物の剛性に対応できるハンド把握力が要求されます。

このパワーマニピュレータは、人間の腕に相当するマニピュレータ本体を上下に移動させるテレスコピックチューブ、これらを保持して移動させるためのキャリッジとガーダ、遠隔操作用制御盤で構成されています。ハンドの開閉、手首の回転と伸縮、肘の屈曲、肩の屈曲と回転の6自由度を持っており、ハンドは遠隔操作によってフックハンドと交換することができます。運転操作は、ホットセル外のペンダント形操作ボックスのスイッチによる手動操作方式です。

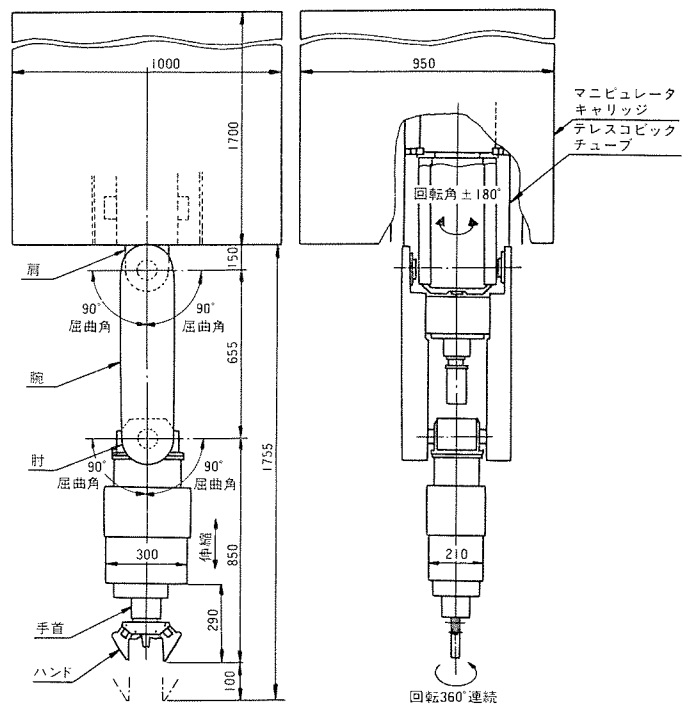
このパワーマニピュレータの特長は、①マニピュレータ本体が6自由度を持っていることと、キャリッジおよびガーダの移動にインバータ制御を採用していることにより、取扱い対象物に対するアクセスが容易に行なえること。②ハンドの把持力がプリセットにより10kgf～50kgf連続可変になっているため、取扱い対象物に変形、傷を与えることがない等です。



仕様

要素	項目	仕様
平行ハンド フックハンド	開き幅	最大120mm
	握力	10～50kgf 握力設定・ロック可能
	開閉速度	約500mm/min
	保持重量 保容量	ハンド開閉方向が垂直の場合50kgf 約500kgf
手首回転	回転トルク	最大約200N・m トルク制御なし
	回転速度	無負荷時約6rpm
	回転	連続
手首伸縮	伸縮長さ	100mm
	伸縮速度	約550mm/min
肘屈曲	屈曲速度	約1.0rpm
	屈曲角	±90°
肩屈曲	屈曲速度	約1rpm
	屈曲角	±90°
肩回転	回転トルク	最大約100N・m トルク制御なし
	回転速度	無負荷時約1.5rpm
	回転角	±180°
テレスコピック チューブ	容量	約500kgf
	引上げ速度 揚程	無負荷時約2m/min 3300mm
キャリッジ	走行速度	2.5m/min
	移動距離	約1.4m
ガーダ	走行速度	2.5m/min
	移動距離	約6.2m

概略図



三端子レギュレータシリーズ

スポットライト M5F78××、78××、79M××、79××、M5N317

三端子レギュレータは、一般民生機器はもとより、産業機器にも広範囲に使用されている安定化電源用ICです。このたび自社特許を網羅し、従来製品をはるかに凌ぐ最高性能を実現させたシリーズ90品種を開発しましたので、お知らせします。特にリップル除去比、出力インピーダンス特性が従来品と比較し、約10倍(当社比)優れているため、家電製品やマイコンの電源等、広範囲な応用に最適です。

概要

三端子レギュレータは、オーディオ、ビデオ等の家電製品に代表される一般民生機器はもとより、OA機器、電装品等の産業機器にも広範囲に使用されている安定化電源用ICです。機能としましては、入力端子に印加される変動の大きい不安定な電圧を安定化し、高精度で温度や負荷状態による影響を受けない一定電圧を、出力端子に発生させるものです。

今回、自社特許を盛り込み、最高性能を実現させた三端子レギュレータシリーズ90品種を製品化しました。

シリーズにより、500mA~1.5Aまでの電流供給能力を持ち、安定化電源に要求されるあらゆる保護回路も内蔵されています。

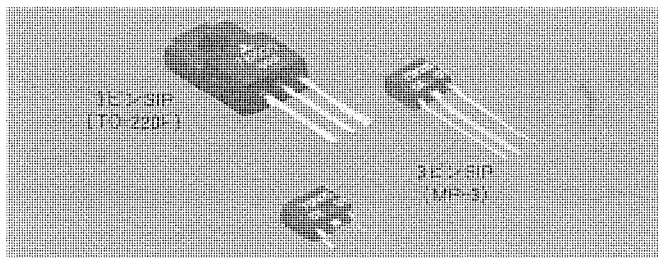
シリーズとしましては、正電源タイプ、負電源タイプ、出力電圧固定タイプ、出力電圧可変タイプと豊富なバリエーションがあり、あらゆる電圧ランクを揃えています。

特長

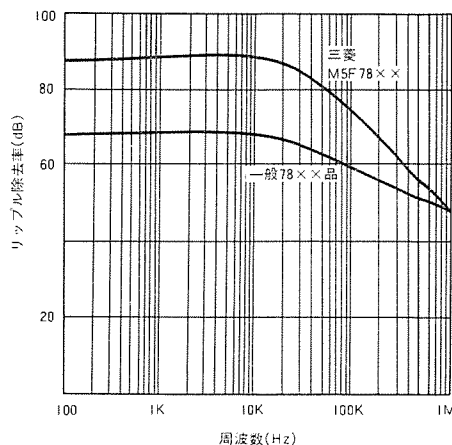
- 高リップル除去比………90dB
従来品と比較して約20dB(約10倍、当社比)向上しているため、電源電圧変動に対して、非常に安定しています。
- 低出力インピーダンス……5mΩ
従来品と比較して約 $\frac{1}{10}$ (当社比)であるため、負荷変動に対して非常に安定しています。
- 出力平滑コンデンサが小さい
従来品と比較して、1/1000(当社比)以下の容量に小さくできるので、セットの小形化、低価格化が可能です。
- 高品位な音質が得られる
オーディオ、ビデオ機器の電源等に使用された場合、音質的にも品位が高くなるという評価を得ています。
- 豊富なパッケージ
TO-220F(フル・モールドパッケージ)
MP-3(小形面実装パッケージ)
- 豊富な電圧ランク
5、6、7、8、9、10、12、15、18、20、24V
- あらゆる保護回路を内蔵
電流制限回路、過熱保護回路、ASO制限回路

用途

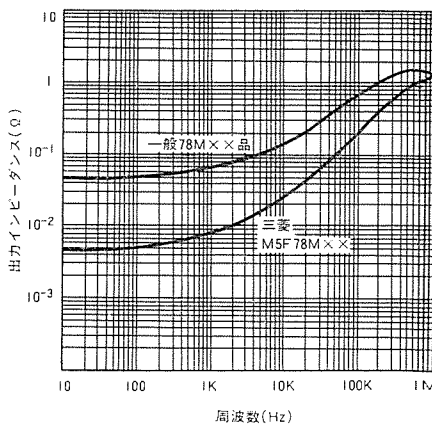
オーディオ、ビデオ、家電製品等の民生機器およびOA機器、車載用等の産業機器における電源システム。



リップル除去率R.R



出力インピーダンスRo



特性表

	形名	最大定格電圧 (V)	最大定格電流 (A)	リップル除去率 (dB)	出力インピーダンス (mΩ)	外形
正 固 定	M5F78M××L	35~40	500m	90	5	TO-220F
	M5F78M××M					MP-3
	M5F78××L		TO-220F			
負 固 定	M5F78××M		MP-3			
	M5F79M××L		-500m	80	10	TO-220F
	M5F79M××M					MP-3
	M5F79××L	-1	TO-220F			
M5F79××M	MP-3					
正 可 変	M5N317L	1.5		80	20	TO-220F
	M5N317M					MP-3

特許と新案 有償開放

有償開放についてのお問合せ先 三菱電機株式会社 特許部 TEL (03) 218-2136

ディスプレイ用陰極線管 (特許 第917125号, 1146746号)

発明者 石井 隆, 菅原 喬

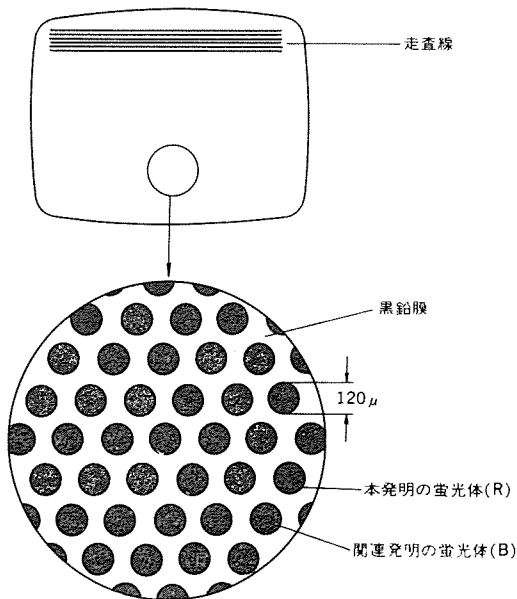
漢字表示装置その他のディスプレイ装置に使用されるカラー陰極線管は、解像度を増大させるために、画面の走査速度を商用のカラーテレビジョンよりも2~3倍遅くして使われていますが、その蛍光面は10%残光時間(刺激停止後明るさが1/10になるまでの時間)が50ミリ秒以上の蛍光体で構成されることが望まれます。

この技術(特許第917125号)は、この要求を満足するとともに、更に充分な輝度を有する蛍光面に関し、赤色長残光性蛍光体であるマンガ付活オルトリン酸亜鉛マグネシウム蛍光体に、輝度の高い赤色短残光性蛍光体を所定の割合で混合して赤色蛍光体を得るものです。

また、図示のように、関連特許(第1146746号)の蛍光体(青白色に発光する)と前記赤色蛍光体を組み合わせることにより、赤、緑、青の三色発光カラーディスプレイが実現できます。

特長

- 本技術に係る蛍光面を用いた漢字表示装置で漢字を表示しても、画面のちらつき(フリッカー)が生じません。
- 商業用カラーテレビジョンの赤色発光蛍光輝度に近い、充分な輝度を有する蛍光面が得られます。
- 通常の蛍光面検査に用いられている紫外線ランプによって、蛍光面製造後の検査を行うことができます。



<次号予定> 三菱電機技報 Vol. 61 No. 3 宇宙開発特集

特集論文

- 宇宙開発特集に寄せて
- 宇宙開発の現状と展望
- 技術試験衛星V型(ETS-V)
- 通信衛星3号(CS-3)
- リモートセンシングと画像処理
- オーストラリア主要都市間衛星通信システム
- 衛星搭載用アンテナ
- 人工衛星の姿勢制御技術
- 大型伸展・展開構造物

- 人工衛星における能動型熱制御
- 人工衛星搭載用 GaAs 半導体デバイス
- 普通論文
- 磁気軸受フライホイールの宇宙実験モデルの製作
- 高信頼性 MIC 基板
- 人工衛星の帯電放電と帯電防止技術
- 人工衛星用電熱式ヒドラジンクラスタの熱解析
- 新住宅用規格形エレベーター
- 高耐圧・大電流 GTO サイリスタの特性

<p>三菱電機技報編集委員</p> <p>委員長 鶴田敬二</p> <p>委員 峯松雅登</p> <p>” 松村 充</p> <p>” 尾形善弘</p> <p>” 高橋宏次</p> <p>” 藤井 学</p> <p>” 三輪 進</p> <p>” 郷 鉄夫</p> <p>” 高橋誠一</p> <p>” 関沢英男</p> <p>” 柳下和夫</p> <p>幹事 長崎忠一</p> <p>2月号特集担当 今村純寿</p>	<p>三菱電機技報 61 巻 2 号</p> <p>(無断転載を禁ず)</p> <p>昭和 62 年 2 月 22 日 印刷</p> <p>昭和 62 年 2 月 25 日 発行</p> <p>編集兼発行人 長崎 忠一</p> <p>印刷所 東京都新宿区榎町7 大日本印刷株式会社</p> <p>発行所 東京都港区新橋六丁目4番9号 (〒105) 菱電エンジニアリング株式会社内 「三菱電機技報社」Tel. (03) 437 局 2338</p> <p>発売元 東京都千代田区神田錦町3丁目1番地 (〒101) 株式会社 オーム社 Tel. (03) 233 局 0641 (代), 振替口座東京 6-20018</p> <p>定 価 1部 700 円送料別 (年間予約は送料共 9,100 円)</p>
---	--

多機能電源用ICシリーズ

スポットライト

M5290P・M5292P/M5291P

M5290P・M5292Pは、システムリセット回路を内蔵したトラッキング±固定出力 (M5290P…±5V、M5292P…±12V) タイプの安定化電源用ICです。出力電圧をIC内部で固定し、リセット回路を内蔵することで、システムの実装面積の縮小化とともに安全性をも向上させます。また、M5291P/FPはDC-DCコンバータ用として設計されたICで、ステップアップ、ステップダウン、出力反転用として広範囲な応用に適しています。

概要

電源用ICは、今話題のCDをはじめとするオーディオ機器やビデオなどの民生用機器、さらにOA機器などの産業用機器まであらゆる分野に幅広く使用されています。しかし、セットが高付加価値・多機能になるにつれ、電源用ICにもさまざまな機能が要求されつつあります。このたび三菱電機では、多機能電源用ICとして、低入・出力動作が可能なりセット回路付固定±出力トラッキング電源M5290P・M5292P、DC-DCコンバータM5291P/FPを開発しました。

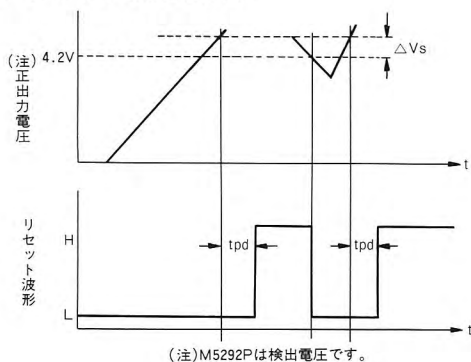
<M5290P・M5292P>

- 固定±出力トラッキング電源 M5290P…±5V
M5292P…±12V
- マイコン保護用のシステムリセット回路内蔵 (ヒステリシス付)
4.2V検出、Lowリセット、遅延時間可変
- 出力ON/OFF制御可能
- 低入・出力電圧差動作可能 ($V_{id}=0.2V$)

<M5291P/FP>

- DC-DCコンバータ
ステップダウン、ステップアップ、出力反転動作
- 出力設定電圧が広い 1.25~40V
- 低消費電流 1.4mA
- 出力スイッチ電流が大きい 200mA
- 動作周波数範囲が広い 100~100KHz
- ピーク電流制限回路内蔵

M5290Pリセット動作説明図




正出力電圧が、正常時はHighレベル、4.2V以下になるとLowレベルをリセット端子に出力します。遅延時間tpdは、遅延容量端子に付加する容量で可変します。


$$tpd = 7.0 \times 10^4 \times C (\text{sec})$$

C: 遅延容量

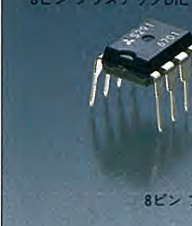
M5290P
16ピン プラスチックDIL




M5292P
16ピン プラスチックDIL



M5291P
8ピン プラスチックDIL



M5291FP
8ピン プラスチックフラット



ピン接続図

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
コネクタ出力(-)	コネクタ出力(+)	エミッタ出力(-)	エミッタ出力(+)	NC	NC	出力(-5V)	出力(+5V)	バランス調整	基準入力	遅延容量	リセット出力	-VCC	VCC	コネクタ出力(-)	コネクタ出力(+)

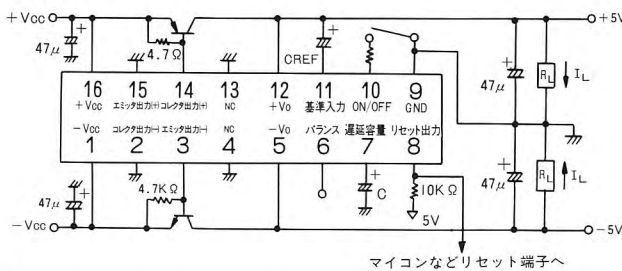
(注) M5292Pの場合、13番が検出端子となります。

ピン接続図

1	2	3	4	5	6	7	8
スイッチ	コネクタ	スイッチ	エミッタ	発振容量	接地	ピーク電流検出	電源
8	7	6	5	4	3	2	1
ドライバ	コンパレータ入力	電源	ピーク電流検出	発振容量	接地	スイッチ	コネクタ

M5290P超低入・出力電圧差の応用例

入・出力電圧差 V_{Io} が0.2V(外付けTRの $V_{CE(sat)}$)という非常に低い状態でも安定に動作する応用例です。



CREF

この容量を付加することで、次の特性が得られます。

1. リプル除去比を改善できる。
2. 出力雑音電圧を改善できる。
3. 出力電圧の立ち上り時定数を調整できる。

10番端子をGNDに落とすことで、出力を遮断できます。

M5291P/FPステップ・アップコンバータ応用例

