

# MITSUBISHI DENKI GIHO

# 三菱電機技報



Vol.56 No.8

交通エレクトロニクス特集

 未来を開発する  
三菱電機

8  
1982



## 交通エレクトロニクス特集

### 目次

#### 特集論文

ターミナルレーダ情報処理システム (ARTS) .....	1
菊田正雄・小西秀俊・青野正宏・鶴沢 清	
高速道路トンネル内防災用通信設備 .....	5
近弘澄夫・山際豊行・重森留幸・児山淳弥・小山勝行	
マイクロ波による車両番号読取装置 .....	10
佐瀬克巳・井上晴雄・関川一彦・室園章貴	
東北・上越新幹線列車無線設備 .....	15
三浦清蔵・松本和臣・横山保憲・花房正昭・原田永康	
日本国有鉄道の磁気浮上式鉄道における光伝送車制御装置 .....	21
佐々木拓二・森原健司・池田博昭・石原正彦・松本輝仁	
阪神電気鉄道(株)納め電鉄変電所集中管理システム .....	24
森本博文・鍋倉浩一郎・伊藤雅寛・川原健志	
サイリスタ遮断器を用いた電鉄用静止形直流給電システム .....	29
大沢喜信・鈴木敏夫・冬広 力・米畑 譲・田中 実	
熊本市交通局納め8200形インバータ電車 .....	34
太田幹雄・加我 敦・宗行満男・三橋英一・赤川英爾	
新方式高周波4象限チョップパシステム .....	39
刈田威彦・東 捷敏・成戸昌司・金田順一郎	
車両補助電源用GTOインバータ装置 .....	45
鈴木敏夫・米畑 譲・重信正広・田原 先・金沢 勲	

#### 普通論文

サウジアラビア向け海水ポンプ用同期電動機 .....	53
加藤之敏・松谷恭司・松村喬二・河面英則・阪部茂一	
合成開口レーダの画像再生信号処理 .....	58
小野 誠・田中宏和・葛岡成樹・松井保憲・桐本哲郎	
制御用CRT画面作成支援システム“ピカソ” .....	61
白井澄夫・大原 彰・西村 宏・細谷裕美	
機械構造設計のCAD/CAMシステム《MELCAD-MD》 .....	65
三井大三郎・山中尚光・稲垣洋光	
大形空調用高効率圧縮機“JH-Eシリーズ” .....	69
大日方興信・平原卓穂	
AE-S形低圧気中遮断器 .....	73
石川尊義・玄羽康司・田丸繁見・矢木沢守・黒瀬 治	

#### 特許と新案

熱交換器の水量制御装置 .....	51
冷蔵庫の野菜入れ .....	
冷却貯蔵庫、温度検知装置 .....	

当社の登録実用新案一覧 .....	50・80
-------------------	-------

#### スポットライト

三菱汎用シーケンサ《MELSEC-KOJ》 .....	78
三菱新形有圧換気扇“C形シリーズ” .....	79
三菱電子温風式家具調こたつ .....	(表3)

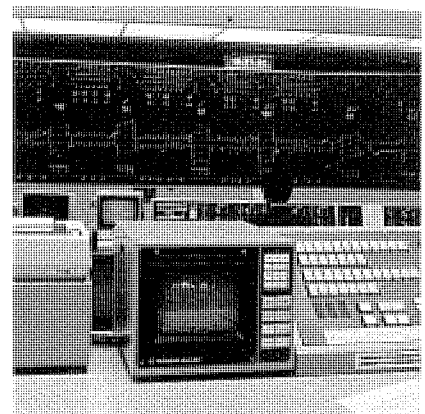
### 表紙

#### 車両モニタ用ディスプレイ装置

写真は日本国有鉄道 東北・上越新幹線総合指令本部の電車指令卓に設置された車両モニタ用ディスプレイ装置で、今回の開業に伴い導入された崭新なシステムである。

東北・上越新幹線の列車は、走行中の車両状態(1編成12両)を監視するため、前後部運転台に情報を集中し表示する機能(車両モニタ装置…当社も納入)をもっている。走行中車両故障が発生した場合、乗務員はこの表示によって判断し、応急処置を施し列車運行の乱れを少しでも緩和させる方式をとっている。

しかし、トラブルが多様複雑な場合は、当社納入施行の列車無線データ伝送装置(本文P.15参照)を用いて、東京にあるこの中央指令室へ情報を転送し指示を受けることができるもので、これは移動体通信の分野での新しい試みで、その実用化によって今後の発展が期待されている。



## アブストラクト

### ターミナルレーダ情報処理システム (ARTS)

荻田正雄・小西秀俊・青野正宏・鷗沢 清

三菱電機技報 Vol.56・No.8・P1~4

ターミナルレーダ情報処理システムは、レーダデータ及び航空機の飛行データの情報処理を行い、大口径ブラウン管に従来のレーダ画像表示に加えて英数字情報の表示を行うものであり、空港近傍空域の航空管制に貢献している。既に、東京・大阪・新東京・福岡の4空港及びテストシステムを合わせ5システムが整備されている。

本稿ではシステムの概要及び最近開発した航空機の安全監視機能について述べる。

### 日本国有鉄道の磁気浮上式鉄道における光伝送車制御装置

佐々木拓二・森原健司・池田博昭・石原正彦・松本輝仁

三菱電機技報 Vol.56・No.8・P21~23

日本国有鉄道の磁気浮上式鉄道は、昭和56年から編成走行実験が開始され、各車両にはマイコン車制御装置を搭載している。この装置は磁界に対する信頼性向上と軽量化を図るため、回路は部品単位で磁気遮(へい)蔽し、装置間には光ファイバ伝送方式を採用した。車両間の光ファイバケーブル接続には新たに開発した光コネクタがあり、走行実験を通し確認された着脱可能な光ファイバ系をもつ車上传送システムの実用性に大きな期待が寄せられている。

### 高速道路トンネル内防災用通信設備

近弘澄夫・山際豊行・重森留幸・児山淳弥・小山勝行

三菱電機技報 Vol.56・No.8・P5~9

高速道路では事故対策に細心の注意を払う必要がある。特にトンネルの場合、車両故障、衝突事故、火災事故などが発生すると大災害になるおそれがあり、そのためにトンネル内の交通状況を集中監視し、ドライバーに対して交通情報を提供し、事故防止、避難誘導などを行うとともに万一事故が発生しても速やかに対処出来るように情報の収集・伝達手段としてITV・放送設備などが設置され効果を上げている。ここでは天神トンネル向け設備についてその概要を紹介する。

### 阪神電気鉄道(株)納め電鉄変電所集中管理システム

森本博文・鍋倉浩一郎・伊藤雅寛・川原健志

三菱電機技報 Vol.56・No.8・P24~28

阪神電気鉄道(株)に納入した電鉄変電所集中管理システムは、大阪~神戸間の10変電所を尼崎に設置した電力指令所から集中自動管理するシステムである。本稿では指令業務をより高度に自動処理化したことについて記述するとともに、マイクロプロセッサを用いたワンデスク形のバックアップ装置についても述べる。なお一部変電所間の伝送に光伝送を使用しているため、これについても紹介する。

### マイクロ波による車両番号読取装置

佐瀬克巳・井上晴雄・関川一彦・室園章貴

三菱電機技報 Vol.56・No.8・P10~14

移動体に電波を照射して、データを読取る装置はいくつか開発され、その一部が実用化されている。

本稿では電波を電力源として動作するIC化応答器により、容易に移動体の識別を可能にする装置を紹介するとともに川崎、札幌2地区の日本国有鉄道貨車ヤードで行った実用試験により得られた結果を報告する。

### サイリスタ遮断器を用いた電鉄用静止形直流給電システム

大沢喜信・鈴木敏夫・冬広 力・米畑 譲・田中 実

三菱電機技報 Vol.56・No.8・P29~33

従来、電鉄用直流変電所の直流回路の保護として機械式直流高速度遮断器が使用されているが、機械的に開閉を行うため主接触部の消耗が激しく、保守に手間がかかるものとなっている。この直流高速度遮断器に代わり、サイリスタ遮断器を用いた静止形直流給電システムを開発し、このたび札幌市交通局琴似変電所に納入し実用運転に入った。

本稿では静止形直流給電システムの概要、構成、特長などについて紹介する。

### 東北・上越新幹線列車無線設備

三浦清蔵・松本和臣・横山保憲・花房正昭・原田永康

三菱電機技報 Vol.56・No.8・P15~20

東北・上越新幹線列車無線は、全線に漏えい同軸ケーブルを使用する方式が採用された。この列車無線設備のうち基地局装置、中継装置、データ伝送装置及び移動局装置の内容を紹介する。

東海道・山陽新幹線列車無線が空間波方式、10回線容量に対し、この方式は全線LCXによる24回線容量で、対列車データ通信が導入されたことなどが特長であるが、ここに後者のシステム並びに装置の概要を紹介する。

### 熊本市交通局納め8200形インバータ電車

太田幹雄・加我 敦・宗行満男・三橋英一・赤川英爾

三菱電機技報 Vol.56・No.8・P34~38

電車の主電動機を無整流子化したいという長年の夢が現実のものとなった。当社は熊本市交通局に営業用として我が国初めてのVVVFインバータによる三相誘導電動機駆動システム電機品一式を製作納入した。この新駆動方式車両は主電動機の無整流子化、主回路の無接点化による大幅な保守低減だけでなく、高性能化、省エネルギー効果を発揮すると期待できる。このたび十分な走行試験を終了し、実用車として良好な制御特性が確認されたのでその概要を報告する。

# Abstracts

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 56, No. 8, pp. 21~23 (1982)

## On-Board Control Equipment Using Light-Wave Transmission for the Japanese National Railways' Magnetic-Levitation System

by Takuji Sasaki, Kenji Morihara, Hiroaki Ikeda, Masahiko Ishihara & Teruhito Matsumoto

Since 1981, the Japanese National Railways has been carrying out multi-railcar running tests of magnetic-levitation trains with on-board microcomputer controllers. To improve reliability with respect to the magnetic field and to reduce weight, individual components of the controller circuit have been magnetically shielded and an optical-fiber transmission system has been adopted for communications between different items of equipment. Newly developed optical connectors are used for railcar-to-railcar optical-fiber cable connections. This on-board transmission system is provided with an optical-fiber system that tests have established can be connected or disconnected while the train is moving. Great potentials are seen in this system for practical applications.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 56, No. 8, pp. 1~4 (1982)

## An Automated Radar Terminal System (ARTS)

by Masao Karita, Hidetoshi Konishi, Masahiro Aono & Kiyoshi Uzawa

This sophisticated radar system assists air controllers by processing aircraft radar data and flight data and indicating alphanumeric information as well radar positions on large-diameter CRT displays. In Japan, such systems have already been installed at New Tokyo International Airport, Tokyo International Airport, Osaka International Airport, and Fukuoka Airport, and a fifth system is undergoing tests and evaluation at Tokyo International Airport. These have contributed to the air-traffic control of their airspace. This article presents a brief description of the system and the supervisory function for airplane safety recently developed by Mitsubishi Electric.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 56, No. 8, pp. 24~28 (1982)

## A Centralized Railway-Substation Control System for the Hanshin Electric Railway

by Hirofumi Morimoto, Koichiro Nabekura, Masahiro Ito & Takeshi Kawahara

This system has been installed in the electric-power control station at Amagasaki to perform centralized automatic control of ten substations installed between Osaka and Kobe. This article introduces the sophisticated automatic implementation of substation control, along with one-disk type backup equipment using a microprocessor. Also introduced is the optical transmission system employed between certain substations.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 56, No. 8, pp. 5~9 (1982)

## Supervisory and Communication Equipment for Highway Tunnels

by Sumio Chikahiro, Toyoyuki Yamagiwa, Tomeyuki Shigemori & Atsumi Koyama & Katsuyuki Koyama

Highways, especially highway tunnels, require special care to guard against vehicle breakdowns, collisions, and fires that could develop into major disasters. This combination of CCTVs and radio rebroadcasting equipment is able to perform centralized traffic supervision in tunnels, to provide drivers with traffic information and other instructions to prevent accidents, and to give directions on how to make an escape in the case of an accident. Such units have made a great contribution to the effective gathering and provision of information within tunnels. The article gives an outline of the supervisory and communication equipment for Japan's Tenjin Tunnel.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 56, No. 8, pp. 29~33 (1982)

## A Static-Type DC Feeding System with Thyristor Circuit Breakers for Railway Substations

by Yoshinobu Osawa, Toshio Suzuki, Tsutomu Fuyuhira, Yuzuru Yonehata & Minoru Tanaka

DC railway substations have so far used high-speed DC circuit breakers to protect DC circuits. However, these circuit breakers use mechanical contacts that undergo severe wear of the major contact elements, and therefore require time-consuming maintenance. To eliminate this disadvantage, Mitsubishi Electric has developed a static-type DC feeder system using a thyristor circuit breaker and has already entered the field testing stage at the Kotoni Substation of the Sapporo Bureau of Transportation. The article gives an outline of this novel static-type DC feeder system, and describes its construction and other features.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 56, No. 8, pp. 10~14 (1982)

## An Automatic Railcar-Number Identification System Using Microwaves

by Katsumi Sase, Haruo Inoue, Kazuhiko Sekigawa & Akitoshi Murozono

Although various devices have been developed that radiate electromagnetic waves toward moving objects and gather data on the objects, and some of them have already gone into practical use, their reliability and the accuracy of the readings obtained have not always lived up to expectations. This identification system is equipped with an IC transponder designed to operate on power derived directly from the radiation. This article introduces the equipment, which readily identifies moving objects, along with the results of field tests performed at freight-car yards of the Japanese National Railways in Kawasaki and Sapporo.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 56, No. 8, pp. 34~38 (1982)

## The Type 8200 Light Rapid Vehicle with an AC Propulsion System for the Kumamoto Municipal Transportation Bureau

by Mikio Ota, Atsushi Kaga, Mitsuo Muneyuki, Eiichi Mistuhashi & Eiji Akagawa

The long-felt need for a commutatorless rolling-stock traction motor has recently been satisfied. Mitsubishi Electric has manufactured and delivered Japan's first commercial AC motor-propulsion system with a VVVF (variable-voltage, variable-frequency) inverter to the Kumamoto Municipal Transportation Bureau. Great potentials are seen in this new propulsion system because of its unique commutatorless rolling-stock traction motor, high performance, and reduced power consumption. The running tests have established satisfactory system capabilities and control characteristics. An outline of the system is given in the article.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 56, No. 8, pp. 15~20 (1982)

## Train-Radio Equipment for the Tohoku and Joetsu New Trunk Lines

by Seizo Miura, Kazuomi Matsumoto, Yasunori Yokoyama, Masaaki Hanafusa & Nagayasu Harada

The Tohoku and Joetsu new trunk lines use leaky coaxial cables (LCX) for communications over the entire route length. The article discusses the train-radio equipment, including base stations, radio boosters, data-transmitting equipment, and mobile stations.

Unlike the New Tokaido Trunk Line and the New Sanyo Trunk Line, which use a space-wave system with a capacity of ten circuits, the Tohoku and Joetsu new trunk lines covered here feature a capacity of 24 circuits using LCX and providing for data communications with trains. The features of the latter system are also discussed.

## アブストラクト

### 新方式高周波4象限チョップシステム

刈田威彦・東 捷敏・成戸昌司・金田順一郎  
三菱電機技報 Vol.56・No.8・P39～44

パワーエレクトロニクスの進展に伴いチョップ制御方式が、電気車制御方式の主流として広く実用化されている。このたび電力半導体素子技術の進歩と蓄積された制御技術を背景にして、徹底した小形軽量化と高いコストパフォーマンスを実現する高周波4象限チョップ装置を開発した。ここでは、開発の内容と実機等価容量をもつ試作機とその試験結果について紹介する。

### 制御用CRT画面作成支援システム“ピカソ”

白井澄夫・大原 彰・西村 宏・細谷裕美  
三菱電機技報 Vol.56・No.8・P61～64

工業用計算機システムにおけるCRT表示画面は、プラントの運転・監視・制御のマンマシンインタフェースとして重要な役割を担い、使用される枚数も増加している。“ピカソ”は、このような画面の設計・作成作業を支援し画面品質を向上させるために開発された。“ピカソ”を用いると、CRTとの対話により画面仕様の検討を行いながら画面を組立てていくことができ、優れた品質の見やすい画面が得られる。更に客先の要望に対して容易かつ迅速にできる。

### 車両補助電源用GTOインバータ装置

鈴木敏夫・米畑 譲・重信正広・田原 先・金沢 勲  
三菱電機技報 Vol.56・No.8・P45～49

近年、車両用電源装置として照明・制御回路などに加えて、空調装置へも給電するようになり、単相インバータ装置だけでなく、三相インバータ装置の要求も増加するとともに、更に省エネルギー化、低騒音化が望まれていた。このたび、これらの状況を背景に最近特に性能向上が著しい自己消弧機能を有するGTO（ゲートターンオフサイリスタ）を使用したインバータ装置を開発・製作し、その試験結果も良好であったのでその概要を報告する。

### 機械構造設計のCAD/CAMシステム《MELCAD-MD》

三井大一郎・山中尚光・稲垣洋光  
三菱電機技報 Vol.56・No.8・P65～68

《MELCAD-MD》は三菱電子計算機による機械構造設計CAD/CAM/CATシステムである。グラフィックディスプレイ装置との対話による図形の作成及び編集、寸法線自動作画、注記、品目欄作成による図面の作成及び編集、プロッタへの出図、N/Cデータの生成、有限要素法解析データの生成、3次元データによる3次元モデル処理などの機能を持ち、設計業務の生産性を高める有力な道具としてさまざまな業種の設計業務に活用できる。

### サウジアラビア向け海水ポンプ用同期電動機

加藤之敏・松谷恭司・松村喬二・河面英則・阪部茂一  
三菱電機技報 Vol.56・No.8・P53～57

サウジアラビア向けに、海水ポンプ用同期電動機24台、総容量47,600kWを納入した。この電動機の特徴は、高効率でしかも大きな非同期トルクをもつことである。構造も簡単で小形化され、かご形誘導電動機と同様の外観となり保守も容易である。この性能を確保するためにポンプを含めた軸系の振動・電動機内の電磁界及び通風の挙動について最新の解析手法を適用し、工場試験においてその有効性を実証した。本稿では電動機の仕様・特長及び解析の概要を述べる。

### 大形空調用高効率圧縮機“JH-Eシリーズ”

大日方興信・平原卓穂  
三菱電機技報 Vol.56・No.8・P69～72

このたび当社は、5～10馬力クラスの空調用レシプロ圧縮機の高効率化を図った“JH-Eシリーズ”の開発に成功した。当シリーズは高性能弁機構、ピストン頂部のフローガイド、吸入ガスが高温部から加熱されるのを防ぐ遮熱システム、駆動電動機の高効率化などにより、従来シリーズに比べ15%の省電力化が達せられた。本稿では、当シリーズの特長と開発の概要を紹介する。

### 合成開口レーダの画像再生信号処理

小野 誠・田中宏和・葛岡成樹・松井保憲・桐本哲郎  
三菱電機技報 Vol.56・No.8・P58～60

合成開口レーダはマイクロ波を用いる映像センサで衛星高度から極めて高い距離分解能の映像が得られる。衛星で得られたデータから画像を再生するためには膨大なデータを処理しなければならない。この論文は当社で開発した高性能な画像再生アルゴリズムの概要を紹介し、米国で打上げられたシーサット1号に搭載された合成開口レーダから得たデータの処理に適用した結果を述べる。

### AE-S形低圧気中遮断器

石川尊義・玄羽康司・田丸繁見・矢木沢守・黒瀬 治  
三菱電機技報 Vol.56・No.8・P73～77

低圧電路の過電流保護装置の中心として、広く使用される低圧気中遮断器として新たに開発したAE-S形遮断器は、ばねチャージ式操作方式、小形軽量、高遮断容量などのメカニズムの開発と半導体化した引外し素子とを結びつけ、保護協調性の向上、引外し精度の向上、プレファレンシャルアラームなどの機能の付加を可能にした。通電部の設計にあたっては、計算機による熱解析を行ったのでそれについても述べる。

# Abstracts

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 56, No. 8, pp. 61~64 (1982)

## "PICASSO"—A CRT Picture-Assembly System for Industrial Computers

by Sumio Usui, Akira Ohara, Hiroshi Nishimura & Hiromi Hosoya

The roles and the number of CRTs used as man-machine interfaces with industrial computer systems for plant operation, monitoring, and control are subject to growing demand. Mitsubishi Electric's newly developed PICASSO supports picture design and preparation on CRT displays with improved screen quality. It allows picture design and preparation to be performed while reviewing screen specifications, providing an easy-to-view screen with improved quality. PICASSO can also cope flexibly with a range of customer requirements.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 56, No. 8, pp. 39~44 (1982)

## A Four-Quadrant Chopper System with a High Controlled Frequency

by Takehiko Katta, Katsutoshi Higashi, Masashi Naruto & Jun'ichiro Kaneda

Advances in power electronics have encouraged the widespread adoption of chopper-control systems, particularly in the control systems for electric railcars. With sophisticated power-semiconductor-device technology and years of experience in the field of control technology, we have developed a four-quadrant chopper system with a high controlled frequency that dramatically reduces size and weight and improves cost performance. The article describes the development of the new chopper equipment and of proto-type equipment that has a capacity equivalent to actual equipment.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 56, No. 8, pp. 65~68 (1982)

## The MELCOM Computer-Aided Design System for Mechanical Design

by Daisaburo Mitsui, Naomitsu Yamanaka & Hiromitsu Inagaki

MELCAD-MD is a CAD/CAM/CAT\* system that operates with Mitsubishi computers. Designed to be used with a graphic display, MELCAD-MD includes vital functions such as the preparation and editing of drawings, automatic drawing of dimension lines, placing notes, preparation and editing of drawings by compiling lists, outputting data to a plotter, generating numerical-control data and finite-element analysis data, and three-dimensional projections. MELCAD-MD is seen as having great potential for widespread use in various applications as an advanced tool to streamline design tasks.

\*Computer-aided design, computer-aided manufacturing, and computer-aided testing.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 56, No. 8, pp. 45~49 (1982)

## A GTO Inverter for Auxiliary Power Supplies on Rolling Stock

by Toshio Suzuki, Yuzuru Yonehata, Masahiro Shigenobu  
Susumu Tahara & Isao Kanazawa

In recent years, the power supplies on rolling stock are increasingly called upon to supply not only lighting or control circuits but also air-conditioning equipment. This means that single-phase inverters must be supplemented by three-phase inverters. Inverters are also required to effect power savings and to generate less noise. Mitsubishi Electric has recently developed and manufactured thyristor inverters with improved gate-turn-off functions. The test results were satisfactory. In this article, a brief description of the inverter is given.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 56, No. 8, pp. 69~72 (1982)

## Series JH-E High-Efficiency Compressors for Air Conditioners

by Okinobu Ohinata & Takuho Hirahara

Mitsubishi Electric has succeeded in developing Series JH-E reciprocating compressors with a capacity of 5 to 10 horsepower. These high-efficiency compressors for air conditioners are provided with a greatly improved valve-plate assembly, convex-topped "flow-guide" pistons embodying a rectification function, a heat-insulation system that prevents suction gas from being heated by a high-temperature section, and a highly efficient motor that reduces power consumption by 15% in comparison with conventional compressors for air conditioners. The article presents the features of Series JH-E compressors, with a brief description of their development.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 56, No. 8, pp. 53~57 (1982)

## Synchronous Motors for Seawater Pumps for the Government of Saudi Arabia

by Kunitoshi Kato, Kyoji Matsutani, Kyoji Matsumura, Hidenori Komo  
& Shigekazu Sakabe

Mitsubishi Electric has delivered to the Government of Saudi Arabia 24 synchronous motors for seawater pumps with a total capacity of 47,600kW. The main features of the motors are their high efficiency and large torque. Other features include simple, compact construction externally similar to a squirrel-cage induction motor, and easy maintenance. To establish the performance of the synchronous motor, factory tests were performed for vibration of the axle system, including the pump, the magnetic field within the motor, and the ventilation, using the latest means of analysis. Satisfactory results were achieved. The article presents the features and specifications of the synchronous motor, along with the means of analysis.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 56, No. 8, pp. 73~77 (1982)

## Series AE-S Low-Voltage Circuit Breakers

by Takayoshi Ishikawa, Yasushi Genba, Shigemi Tamaru, Mamoru Yagisawa  
& Osamu Kurose

The new Series AE-S circuit breakers were developed to form the mainstay for low-voltage applications. Used as overcurrent-protection devices, Series AE-S circuit breakers feature a spring-charged operating system, light weight, and a high breaking capacity, plus reliable semiconductor tripping elements, thus improving the coordination of protection and the accuracy of the tripping. Another feature is the flexibility that enables functions such as a preferential alarm to be added. The energized section has been designed after thermal analysis using a computer.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 56, No. 8, pp. 58~60 (1982)

## Digital-Signal Processing of Satellite-Borne SAR Data

by Makoto Ono, Hirokazu Tanaka, Shigeki Kuzuoka, Yasunori Matsui  
& Tetsuo Kirimoto

A synthetic aperture radar is an image sensor that provides images with extremely high geometric resolution. To reproduce images from satellite-derived data, a large volume of data must be processed. A brief description of a high-performance image-reproducing algorithm developed by Mitsubishi Electric is given here, with the results of its application to the processing of data from the satellite-borne SAR mounted in the U.S.'s SEASAT-1.

# ターミナルレーダ情報処理システム(ARTS)

荻田正雄\*・小西秀俊\*\*・青野正宏\*・鶴沢 清\*

## 1. ま え が き

ターミナル 航空交通管制は空港近傍の空域を飛行する航空機の運航を管制するものであり、主要空港には航空交通管制用レーダが整備されている。航空管制官はレーダ画面を監視して航空機の位置を目視確認し、無線により航空機と交信し、航空機の針路、速度、高度などに関する指示を行う。

ターミナルレーダ情報処理システム (Automated Radar Terminal System : ARTS) は、ターミナル管制のレーダデータを情報処理し航空機の位置、高度、速度などを大口径表示装置上に英数字などを用いて航空機の機影に重ね合わせて表示するものである。

当社は我が国における航空交通管制の自動化については、自動化の計画の当初から参画しており、昭和37年から昭和45年にかけて運輸省航空局からの委託による研究調査を行った。昭和46年から昭和47年には《MELCOM 7500》を中央処理装置とした評価システム、ARTS-Mを東京空港に設置し好評を得た。その後昭和49年から昭和

表 1. ARTS による管制と従来のレーダ管制の比較

項目	従来のレーダ管制	ARTS による管制
航空機の位置	レーダ画面上の機影と通信により確認する。	表示装置上に自動的に英数字表示する(図3.)。
航空機の高度	通信により把握する。	表示装置上に応答高度でデジタル表示する(図3.)。
航空機のスピード	同上	表示装置上に対地速度でデジタル表示する(図3.)。
飛行計画	運航票(フライトストリップ)による。	運航票に加え、データ伝送機能により自動的に表示装置にリスト表示する(図2.)。
管制の移管	他の管制所の管制官と電話連絡により管制権の移管を行う。	データ伝送機能を用いて表示装置からのキーボード入力で行う。
対地衝突回避	管制官が検知し、パイロットに指示する。	プログラムが検知し、管制官に対し警報を発生する。(評価中)
管制能力	所定の管制方式により識別を行った航空機の位置を視認し、その後当該航空機に対する追尾は管制官の記憶と予測に基づいて、レーダ映像の視認を継続しながら絶えず、便名などとの相関をとることによって行う。また、高度、速度の情報は対空通信を適時行うことにより更新するなどのため管制官の負荷は大きい。	システムにあらかじめ内蔵された飛行計画情報と航空機から送信されるレーダ情報との相関により特定航空機の識別を行った後、自動追尾を継続し、位置情報は管制席シンボル(英字)で表示し、かつ便名、高度、速度などの情報を継続的に航空機の移動にともなって表示するので管制官の負荷をかなり軽減している。
通信負荷	大	小

表 2. ARTS 導入の歴史

日 本	年 月	米 国
	1960-12	ニューヨーク市上空にて空中衝突事故発生
	1961-3	将来の航空管制システムについて研究開始(プロジェクトビーコン)
「ATC 自動化研究会」発足	1962	
	1964	ARTS-I の設置 (アトランタ空港)
	1968	ARTS-IA の設置 (ニューヨーク広域レーダ管制所)
	1971	繁忙62空港に ARTS-III の整備開始
評価システム ARTS-M の設置 (東京)	1972	
	1973	ARTS-III の整備完了
ARTS の設置 (東京・大阪)	1975-3	
ARTS の設置 (テストシステム)	1979-11	
	1981-1	ARTS-III A の運用開始 (New York TRACON)
ARTS の設置 (新東京)	1981-3	
ARTS の設置 (福岡) MSAW/ETG のソフトウェア機能拡張 (テストシステム)	1982-3	

和50年に実用システムとして ARTS-J を完成し、東京・大阪両空港に納入設置を行い、順次、新東京空港、福岡空港に納入している。また、評価・開発用の ARTS テストシステムも納入している。

従来のレーダ管制と ARTS 導入によるレーダ管制の差異を表1.に示す。ARTS の計画導入・発展の歴史を日米両国について表2.に示す。

本稿では、我が国のシステムである ARTS-J の概要と昭和56年度に機能拡張され現在評価中である最低安全高度警報 (Minimum Safe Altitude Warning : MSAW) 機能、拡張疑似ターゲット発生 (Enhanced Target Generator : ETG) 機能について紹介する。

## 2. システムの構成

### 2.1 特色

- (1) 既存のレーダに接続される Add-on システムである。
- (2) システムの信頼性をより一層高めるため、システム的重要部分には冗長性を持たせている。
- (3) 障害発生時には自動的に障害機器を切離して再構成し、運用を継続できる。

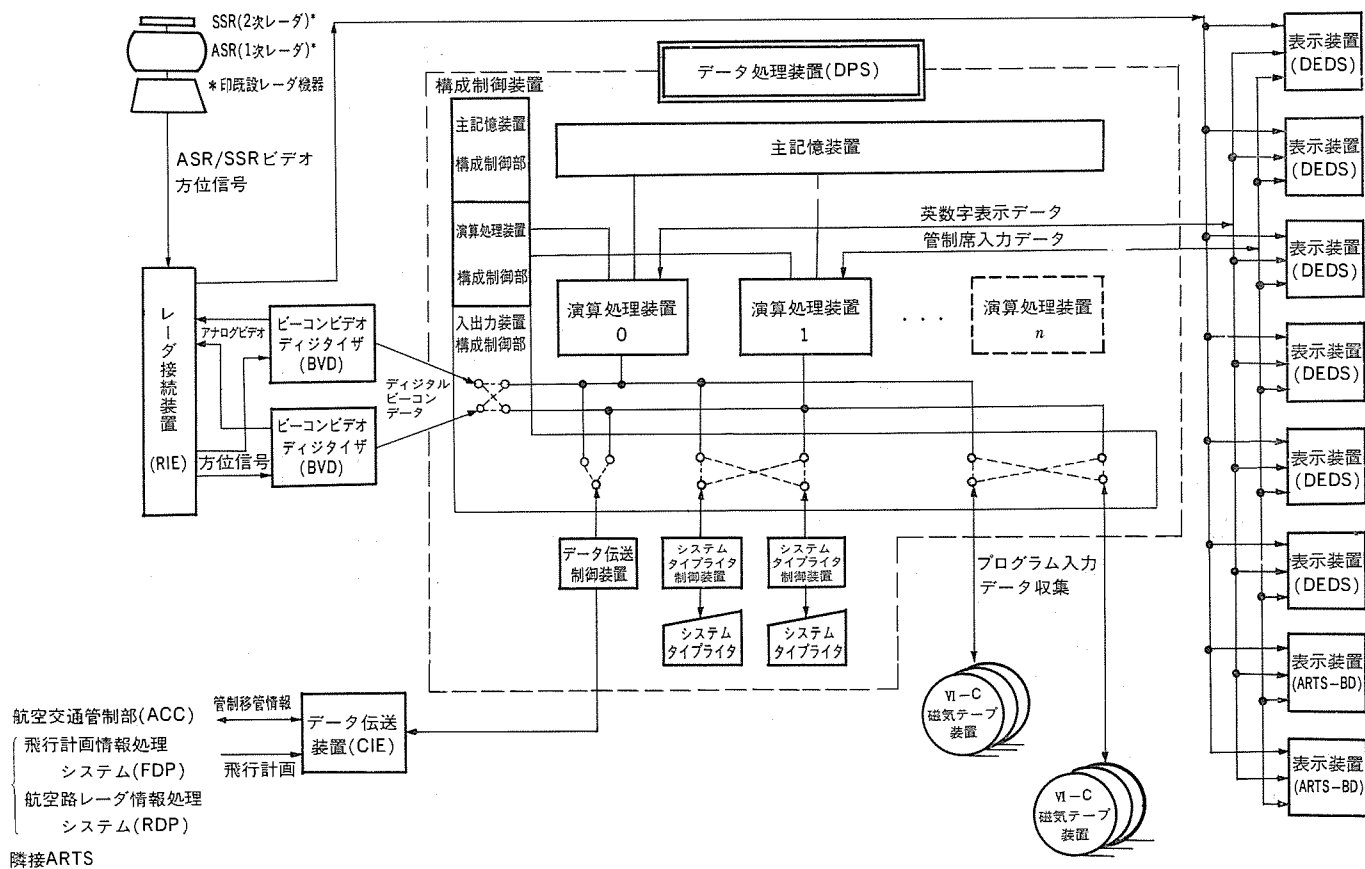


図 1. ARTS システムの構成と情報の流れ

2.2 システム構成機器

ARTS-J システムは以下に述べる機器で構成している。その構成と情報の流れを図 1. に示す。

(1) レーダ接続装置 (Radar Interface Equipment : RIE)

RIE は既存のレーダと ARTS とのインタフェースをなすもので、レーダ信号の増幅分配、方位信号の変換を行って、ビーコンビデオディジタイザと表示装置に供給する。

(2) ビーコンビデオディジタイザ (Beacon Video Digitizer : BVD)

BVD は 2 次レーダからの信号を受け、これをもとに、方位、距離、航空機識別コード (モード 3/A) 及び高度 (モード C) 情報を抽出し、データ処理装置へデジタル形式で情報を送り出すことを主な機能とする。

(3) データ処理装置 (Data Processing Subsystem : DPS)

DPS は ARTS の中核として、演算処理装置、記憶装置、周辺装置などのハードウェアとソフトウェアから成る。航空管制システムの主要な要件である信頼性及び拡張性の見地から計算機はマルチプロセッサ方式を採用しており、トラフィックの増加、機能の拡張に容易に対処できるよう演算処理装置、記憶装置を独立に拡張することができる。DPS は BVD からのビーコン (航空機識別符号、高度など) 情報と航空交通管制部 (Area Control Center : ACC) の飛行計画情報処理システム (Flight Data Processing : FDP) から伝送されてくる飛行計画などの情報をもとに、目標検出、飛行計画との照合、自動追尾などの処理を行い運航状況を表示装置に表示する。また ACC の航空路レーダ情報処理システム (Radar Data Processing : RDP) との間で管制移管情報の授受を行う。

(4) 表示装置 (Data Entry and Display Subsystem : DEDS,

ARTS-Bright Display : ARTS-BD)

DEDS は管制官とシステムのマンマシンインタフェースを提供する。レーダからのビデオと DPS で処理されたデータは CRT (Cathode Ray Tube) 上で重畳表示され (図 3.), 管制官はデータ入力装置を用いて、システムへのデータ入力、表示の制御などを行うことができる。管制官に見やすい画面を提供するために 22 インチの高分解能 CRT が使われている。データ入力装置としては英数字キーボード、クイックロックスイッチ、トラックボールが一組になっている。トラックボールは CRT 上の位置指定に用いられる。

(5) データ伝送装置 (Communication Interface Equipment : CIE)

CIE は ARTS の DPS と、ACC の FDP 及び RDP との間において、伝送方式やメッセージ形式の変換処理を行い、メッセージの中継を行う。

3. システムの機能

ARTS は 2 次レーダ情報による各航空機のビーコンコード、高度、位置情報と、ACC とのデータ伝送により入力された飛行情報とを結合し、これを図 3. に示すような一つのブロックとして、管制機の識別符号、高度、速度をレーダ画面に英数字表示する機能をもっている。以下に ARTS の主な機能について述べる。

(1) 非管制機の表示機能

ARTS の処理空域内に入った航空機を表 3. に示すようなキャラクタで該当航空機の位置に重畳表示する。

(2) 飛行計画の入力機能

飛行計画は ACC からデータ伝送により、又は磁気テープから自動的に主記憶装置に入力する。



表 3. 非管制機の表示

表 示	内 容
□	管制対象であり高度情報を応答する航空機
△	管制対象であるが高度情報を応答しない航空機
*	管制対象でないが高度情報を応答する航空機
+	管制対象でなく高度情報も応答しない航空機

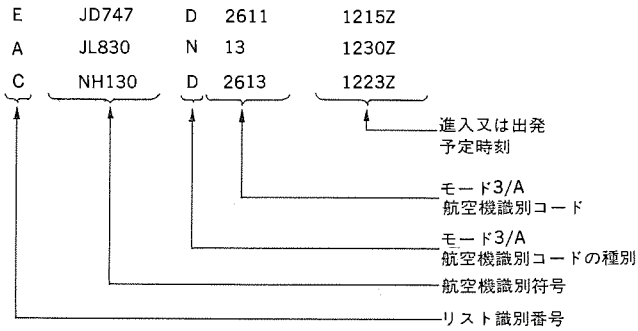


図 2. リスト表示形式例

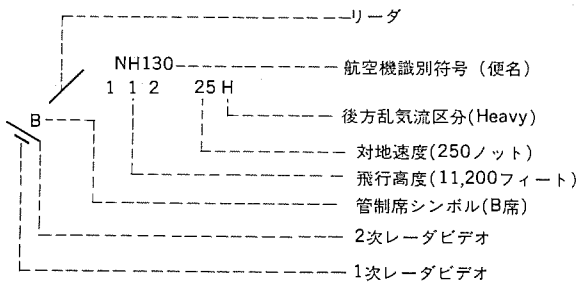


図 3. 追尾中の航空機表示

(3) リストへの表示機能

進入・出発予定時刻の一定時間前には図 2. に示すような形式で自動的に該当管制席に表示する。

(4) 自動追尾機能

該当航空機が所定の管制空域内に入ると表 3. で示す非管制機の表示を行い、その後飛行計画の割当てでビ-コンコードと航空機の応答ビ-コンコードをキーとして自動的に追尾が開始される(図 3.)。

この追尾状態は、着陸するか管制空域外に出るまで継続する。

(5) マンマシンインタフェース機能

管制官は表示装置上の入力装置(キーボードなど)を使って他管制席及びACCとの間の管制移管、手動による追尾開始/終了、飛行計画の手動入力などの操作を行うことができる。

4. 最低安全高度警報 (MSAW) 機能

MSAW とは 100 フィート単位で入力される航空機の高高度情報をもとにして、その航空機が地上・山岳・タワー・ビルディングなどに衝突する可能性があるか否かを監視し、その危険性を検知した場合には表示装置又はブザー (MSAW アラーム)などを介して管制官に警報を発する機能をいう。

MSAW 処理には大別して、地形による監視と着陸体制に

ある航空機の監視があり、該当航空機の飛行高度と一定時間内の予測高度を用いて監視している。

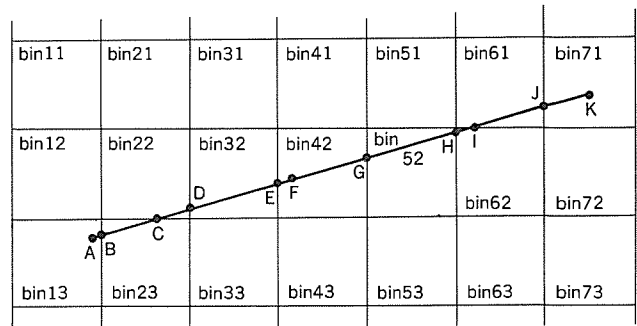
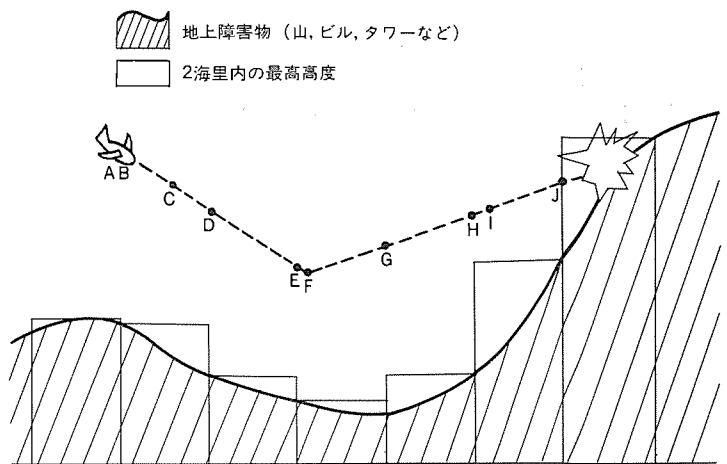
(1) 地形による監視機能

この処理の対象となる航空機は、処理範囲内を2海里四方に細分割した地域ごとの最高高度(地形データ)とその航空機自身の高度を比較することにより、その地形の最高高度より上空を飛行しているか否かを監視される。また、この処理は航空機の予測飛行経路についても現在の上昇下降率で飛行した場合 (Preject 処理) の危険度、一定時間後に回避操作を行った場合 (Projection 処理) の安全性についても監視される(図 4.)。

(2) 着陸体制にある航空機の監視

空港近傍の空域で進入空港に着陸しようとしている航空機に対して実施する。これらの航空機に対して地形による監視機能を実施するとすべてその予測位置で地上と衝突すると処理され、正常な飛行をしていながら警報が発せられてしまうのでこのような特別な処理を行っているものである。

この処理の航空機に対しては滑走路ごとにもつ一定の降下線 (Glide Slope) に沿って降下しているものとしてこの降下線に沿っ



各binは2海里四方の領域を示す  
 航空機はA点からK点へ向けて飛行する  
 A~F...現在の降下率で監視する範囲 (Predict)  
 F~K...危険回避操作を行ったと仮定し監視する範囲 (Projection)  
 <高度監視チェックポイント例>  
 A...bin13, bin23 G...bin42, bin52  
 B...bin13, bin23 H...bin52, bin62, bin51  
 C...bin23, bin22 I...bin62, bin61  
 D...bin22, bin32 J...bin61, bin71  
 E...bin32, bin42 K...bin71  
 F...bin42

図 4. 地形による高度監視の概念図

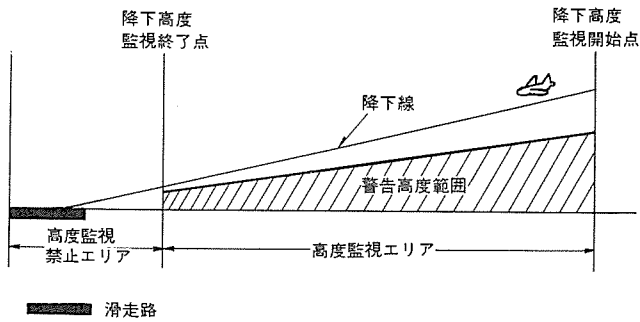


図 5. 着陸体制にある航空機の監視の概念図

た警告高度と該当航空機の現在の高度及び一定時間後の予測高度について高度監視を行い、その安全性を確認する(図 5.)。

この場合、一定時間後の予測位置があらかじめ定めたエリア(例えば滑走路)に到達していれば、警告高度範囲であっても警告を出力しないように考慮している。

### 5. 拡張疑似ターゲット発生 (ETG) 機能

ETG とは任意に制御可能な疑似航空機を発生させる機能をいう。ETG にはモード 1 とモード 2 と呼ばれる二つの制御モードがある。モード 1 は実運用と平行して実機管制の機能を阻害することなく ETG 機能を用いることのできる状態をいう。モード 2 は ARTS がすべて

ETG の機能となり実運用には供されない状態をいう。

ETG では任意の識別符号、スピード、高度、飛行方向をもった航空機を任意の位置から疑似的に飛行させることができる。この発生させた航空機のスピード、高度、飛行方向などは表示装置上のキーボードを介して指定の値に徐々に又は一気に変化させることも可能である。また、指定航空機を自動的に指定された空港の滑走路に着陸させたり、ある地点で待機旋回させたりすることもできる。

疑似航空機の発生やその後の飛行経路などをあらかじめ磁気テープ上に作成しておき(シナリオと呼ぶ)、このシナリオを読み込むことにより、ある空港から航空機を出発させたり進入着陸させたりして、実管制をシミュレートする機能も有している。

これらのほかに風による航空機への影響やレーダの入力誤差による影響などもキーボードから与えることが可能である。

### 6. むすび

今後、ARTS-J システムは ARTS 未設置空港への導入が計画されているとともに、最適着陸順位の推奨、航空機同士の異常接近警報、1 次レーダビデオの処理などの機能拡張へ向けて進むと予想される。更に 1 空港の管制ばかりでなく、数空港の管制を一元化して行う広域レーダ進入管制システムについても検討されている。

最後に ARTS システムの開発に当たり、終始多大な御指導をいただいた運輸省航空局殿及び関係者各位に深く感謝する次第である。

# 高速道路トンネル内防災用通信設備

近 弘 澄 夫\*・山 際 豊 行\*\*・重 森 留 幸\*\*・児 山 淳 弥\*\*・小 山 勝 行\*\*

## 1. ま え が き

近年高速自動車道の発達に伴い、通行車両に対する情報サービスと安全対策がますます重要となってきた。特にトンネルの場合、環境の特殊性から事故防止が必要なことはもちろん、万一の車両故障、衝突事故、火災事故などに際し、二次的事故の発生を防止することが重要である。

そのため迅速で正確な状況把握と、ドライバーに対しての交通情報提供あるいは適切な指示などを行う通信設備が必要であり、ITV設備、中波ラジオ再放送設備、拡声設備などが他の防災設備とともに使用され効果を上げている。

以下ここでは最近の実施例として九州自動車道天神トンネルの設備についてその概要を紹介する。

## 2. ITV 設備納入例

### 2.1 設備概要

図 1. に ITV 設備の系統図を示す。カメラは 100~150 m 間隔で設置されており坑口付近とトンネル内全域を管理所で監視できる。モニターは 20 インチ 3 台で各々独立に各カメラを監視でき、通常は上り線に 1 台、下り線に 1 台を割当て 1 台は共用で使用している。

各カメラからの映像信号をカメラ制御箱内のビデオトランスにより、不平衡 75 Ω-平衡 140 Ω に変換し、画像伝送用平衡対ケーブルによりトンネル坑口の電気室まで伝送し、ここで伝送ケーブルによって生じる減衰ひずみの補償を行い各モニターごとに映像切換えを行った後、トンネル外幹線伝送路（日本電信電話公社 ITV-4 M 映像回線）へ送り出して管理所まで伝送する。

制御は管理所から集中制御でき、各モニター対応での自動あるいは自動によるカメラ選択と坑外用カメラのズームレンズ・旋回装置の制御などを行うことができる。

監視方式には前記自動あるいは自動モードによる切換監視のほか、電気室で自動火災感知器、手動通報器、消火栓などの防災設備、及

び非常電話設備の信号とインタフェースして、その動作に連動して最寄りのカメラを強制選択する非常連動切換監視の 3 選択方式を採用している。自動切換えには 2 台のモニターを使用し 上り線・下り線をそれぞれ独立にサイクリック切換える個別自動と、上り線、下り線を通して 2 台ずつ組にして切換える全自動とがある。

非常連動は通常 3 台のモニターを使用して、発報地点最寄りのカメラとその前後のカメラを連動させる場合が多いが、このシステムでは 2 台の VTR と対応させ、最寄りのカメラとその後方のカメラを連動させるようにしている。表 1. に ITV 総合仕様を示す。

### 2.2 設備機器の概要

#### 2.2.1 カメラ部

##### (1) カメラ本体

坑外用は建電協（建設電気技術協会）Ⅲ形、坑内用は建電協Ⅱ形相

表 1. ITV 設備総合仕様

方 式	方 式	日本標準テレビジョン方式に準ずる。
	走査線数 (本)	525
	水平周波数 (kHz)	16
	垂直周波数 (Hz)	約 61
	走査方式	2:1 インタレース
性 能	同期方式	外部同期
	総合解像度	水平 300 本以上、垂直 350 本以上
	周波数特性	60 Hz~4 MHz
	ランダム雑音 (dB)	47 (p-p/rms) 以上
	ハム雑音 (dB)	36 (p-p/p-p) 以上
	遠端漏話減衰量 (dB)	23 以上

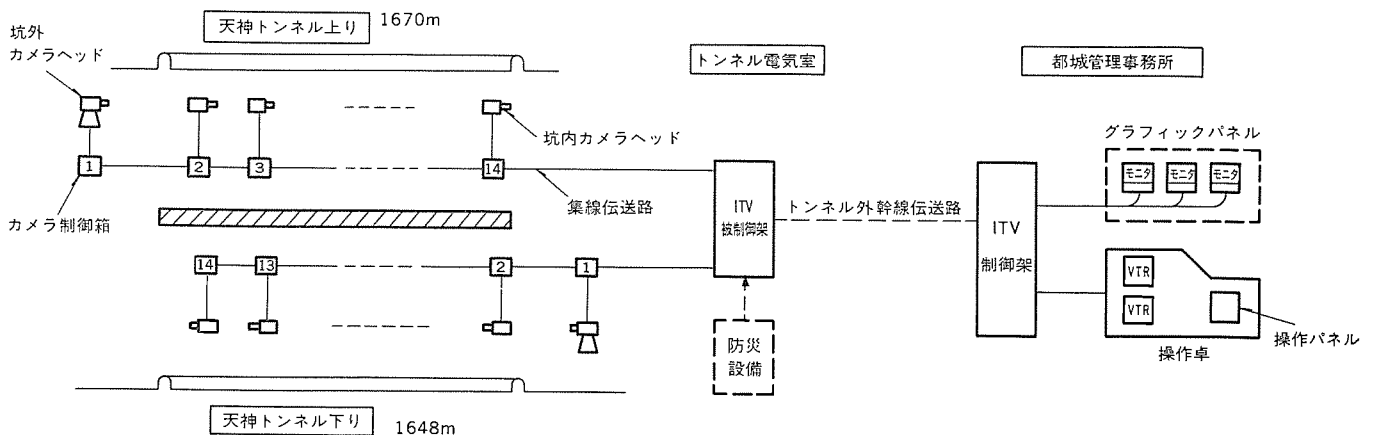


図 1. ITV 設備系統図

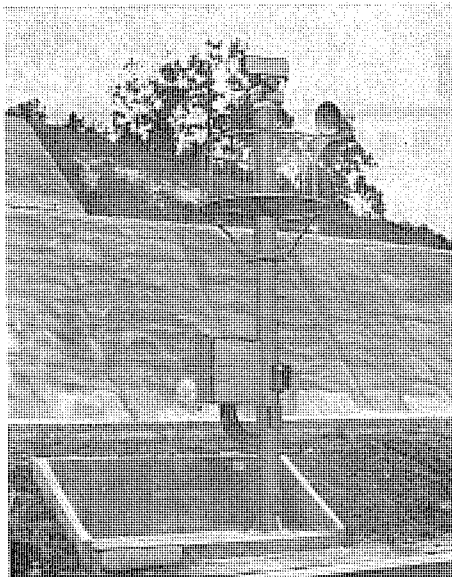


図 2. 坑外カメラ取付状況

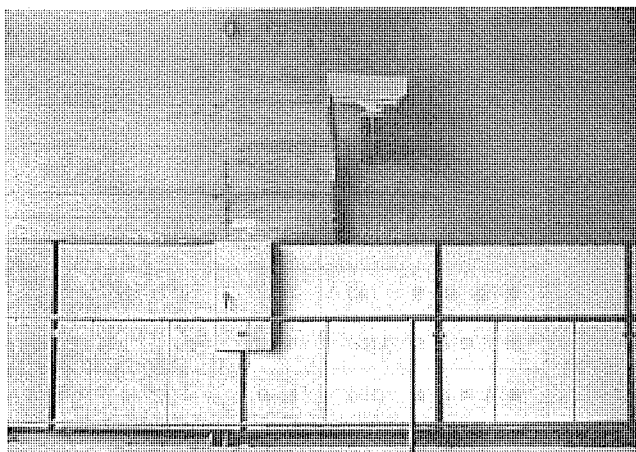


図 3. 坑内カメラ取付状況

当のカメラで、撮像管は高感度で残像の少ないニュービコンを使用している。このカメラは図 2.、図 3. に示すようにカメラヘッド部とカメラ制御部が分離したもので、カメラヘッド部は小形化され、トンネル建築限界内への取付けが容易となっているほか、回路の調整部はすべてカメラ制御部にまとめられており、保守・調整が容易に行える構造となっている。カメラ電源の投入制御は全カメラ一斉のほか、常時はカメラ選択に連動してクイックスタートさせる方式を併用して撮像管の長寿命化を図っている。

またカメラ選択信号によってカメラ制御箱内で映像信号をスイッチし、監視しているカメラの信号のみを送送路に送り出し送送路内の同時送送信号数を少なくして漏話による  $S/N$  劣化の改善を図っている。

## (2) レンズ

レンズは照度変化の大きい坑外用、坑口用カメラには EE レンズを使用し、照度変化の小さい坑内用カメラには EE 機能の無い一般のレンズを使用している。レンズ焦点距離は従来直線部で 50 mm が使われていたが、坑口付近の EE レンズを除き（一般レンズの 75 mm には明るさ  $F: 1.4$  があり、EE 付きの 75 mm レンズは  $F: 1.8$  より明るいレンズがなく感度不足が懸念されるため）望遠の 75 mm にして、より遠方を監視範囲（取付け位置より前方約 35~200 m）にして、万

一火災事故が発生したとき、手前に取付けられたカメラで事故地点が監視出来るようにしている。

また自動車のヘッドライトやテールランプが視野内に入ると、ブルーミングを起こし自動車や道路が見ずらくなる。このためトンネル照明光（低圧ナトリウム灯で波長約  $590 \mu\text{m}$ ）だけを通す光学フィルタをレンズに装着しブルーミングを防止している。

## (3) 火災事故に対しての配慮

機器本体を耐熱形として、万一の火災事故のときでも対応時間正常動作させる方式と、機器は一般仕様のものを使用し、焼損を受けてもシステム的に他の機器に影響を与えないように配慮する方式が検討され、今回後者の方式を採用した。具体的対策としては、

- (a) 電源ケーブルは 2 条とし千鳥配線とするほか、主管路からの立上り部は耐火仕様のケーブルを用いた。
- (b) 伝送ケーブルの心線内訳を極力各カメラ対応として割当て心線短絡事故の場合でも他カメラに影響を与えないようにした。立上り部は耐熱仕様のケーブルを用いた。

などである。

## 2. 2. 2 集線伝送路

集線伝送路として使用出来るケーブルには平衡対ケーブルと同軸ケーブルがあるが、以下の理由により平衡対ケーブルを用いた。

- (a) 減衰特性は同軸ケーブルの方が優れているが、同一減衰量で比較すると平衡対ケーブルの方が経済的である。また広帯域形（一般に LL ケーブルと呼称）とすることで平衡対ケーブルでも減衰特性の改良が可能である。
- (b) 平衡対ケーブルの方が外部誘導妨害を受けにくい（特に低周波に対して）。
- (c) 多対とすることにより他の伝送項目（制御項目、外部同期用パルスなど）と共用出来る。

平衡対ケーブルには市内 CCP、市外 PEF などの元来電話線用に設計された標準的なものもあるが、誘導妨害及び漏話による画質劣化が懸念されるため、以下に述べる対策を施した画像伝送用のケーブル (LL  $0.65 \phi + \text{CCP } 0.65 \phi$ ) を設計製作した。

- (a) 遮へい効果の大きいシース付きのケーブルとした（ラップシース + 画像対のユニット遮へい）。
- (b) 心線平衡度の良いものとした ( $128 \text{ dB}/250 \text{ m}$  以上 at 60 Hz)。
- (c) 遠端漏話減衰量特性の良いものとした ( $60 \text{ dB}/250 \text{ m}$  以上 at 4 MHz)。
- (d) 動作減衰量特性の良いものとした ( $20 \text{ dB}/\text{km}$  以下 at 4M Hz)。

## 2. 2. 3 ITV 被制御架

図 4. にブロック図を示す。各カメラは同期信号部からの同期パルスにより集中同期されて、垂直帰線期間での切換えを可能にして、カメラ切換え時の同期乱れを無くしているほか、被制御架入力での映像信号の水平同期信号位相を合わせて（伝送ケーブル長の違いによる伝ば（播）時間の差を補正）、クランプなどの映像プロセス処理を容易にしている。またこの位相合わせは漏話による  $S/N$  劣化の改善にも役立っている。

線路等化部では伝送ケーブルによって生じた信号の振幅ひずみを補償等化する機能を持っており、カメラから本架までのケーブル長に合わせて等化を行っているが最大距離は約 2 km である。

線路等化部からの映像出力は映像分配切換部に導かれ、ここで管



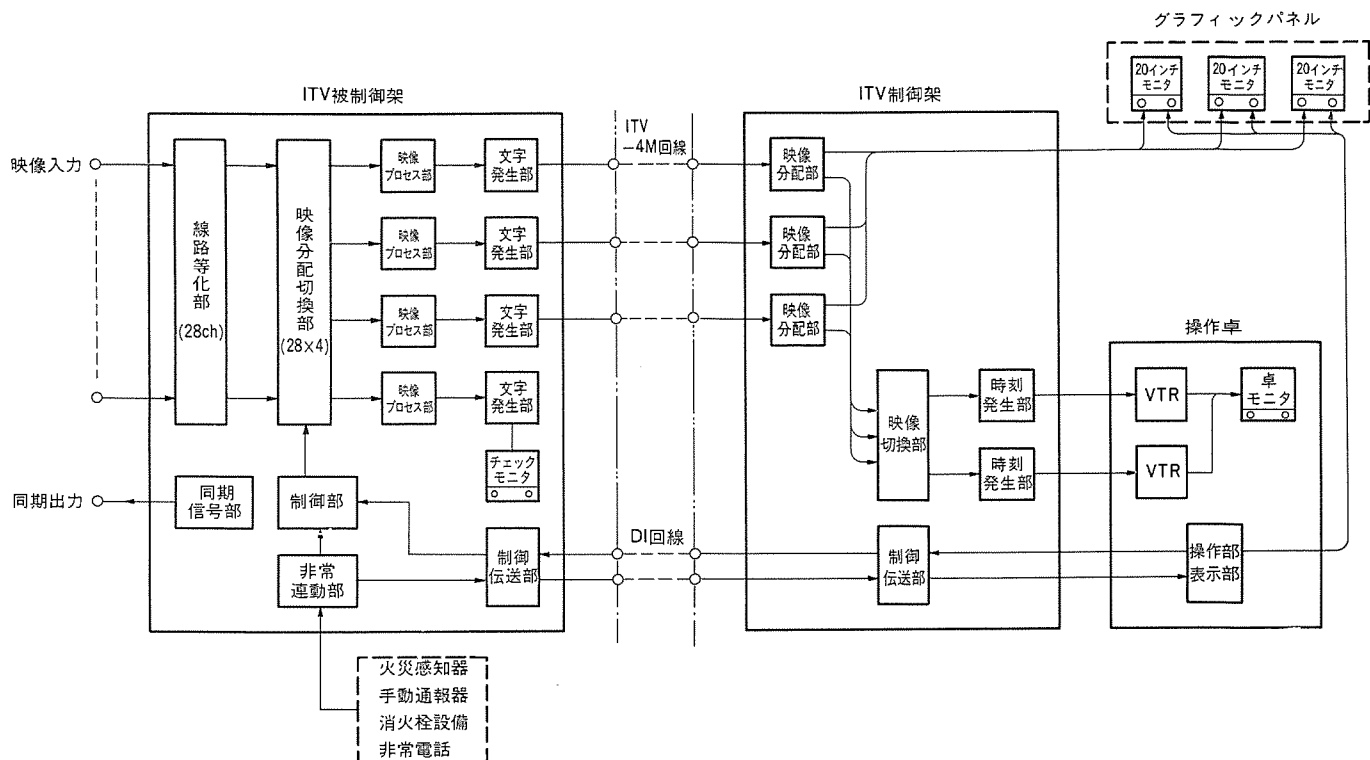


図 4. ITV システムブロックダイヤ



図 5. 管理所の操作卓とモニタ

理所からのカメラ切替信号あるいは非常連動信号により任意のカメラを切替えて、映像プロセ部に出力している。映像プロセ部はクランプ、同期混合などの波形整形を行うもので、クランプによるハム改善度は約 20 dB である。

文字発生部ではトンネル名、カメラ番号、非常連動記号(非常連動モードの場合のみ)などを映像信号に電氣的に重畳している。トンネル内は同じような画面となりやすいが、これにより位置を知ることができる。

#### 2. 2. 4 コントロール室設置機器

操作卓は ITV と放送設備の操作部をもち、電力速制の卓と併設している。20 インチビデオモニタ 3 台はグラフィックパネル上に設置しており、輝度、コントラスト、水平同期、垂直同期などは卓よりリモコン可能であ

る。

卓内には 2 台の VTR があり、手動による録画のほか、非常連動時 2 系統の映像を自動録画できる。またマイクを使つての録音(再生画像に説明などのアフレコも可能)、放送設備の指令・モニタ音声の録音も可能としている(図 5.)。

### 3. 中波ラジオ再放送設備納入例

#### 3. 1 設備概要

図 6. に中波ラジオ再放送設備の系統図を示す。この設備はトンネル付近で受信できる中波ラジオ放送をトンネル近くの電気室屋上で受信し、通常はこれをトンネル内に再放送して通行車両に受信サービスを行っている。トンネル内で異常事態が発生した場合は緊急放送に切替えて各再放送波と同一周波数でトンネル内の車両にカーラジオを通じて緊急放送を行い事故防止を図るものである。

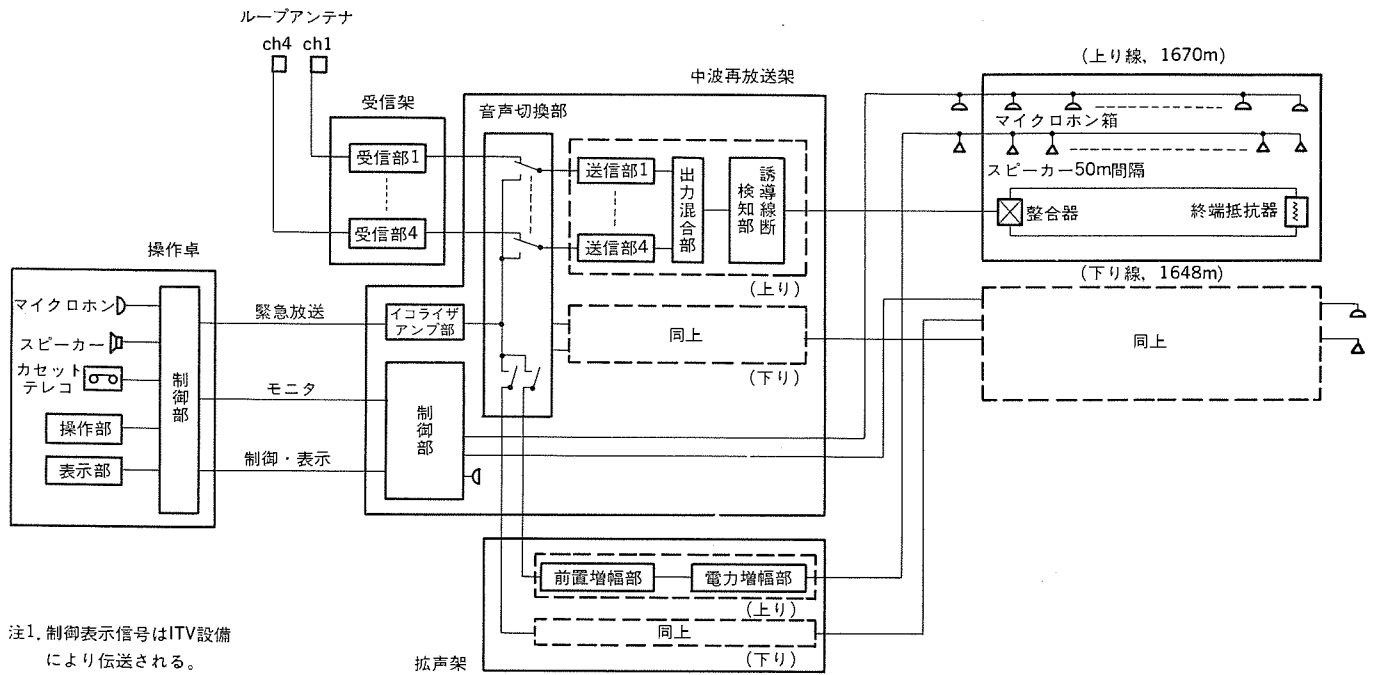
天神トンネルは宮崎市と都城市の間に位置しているので、宮崎市側からのドライバーは宮崎市側のラジオ放送を、都城市側からのドライバーは都城市側のラジオ放送を受信してトンネルに進入してくると思われるので、NHK 第 1 (宮崎局)、NHK 第 2 (宮崎局)、宮崎放送(宮崎局)、宮崎放送(都城局)の 4 波をトンネル内に再放送している。

緊急放送は、コントロール室の操作卓に備えたマイクロホンやカセットレコーダーのほか、電気室の中波再放送架及びトンネル内、外のマイクロホン箱のマイクロホンを使用して行うことができる。緊急放送の優先順位はマイクロホン箱、中波再放送架、操作卓の順で、マイクロホン箱相互間には先取り優先になっている。

#### 3. 2 設備機器の概要

##### (1) 受信空中線

中波ラジオ放送を選択度良く受信する目的で、8 の字形の指向特性を持つループアンテナが各再放送波ごとに合計 4 台電気室の屋上に設



注1. 制御表示信号はITV設備により伝送される。

図 6. 中波ラジオ再放送設備, 拡声設備系統図

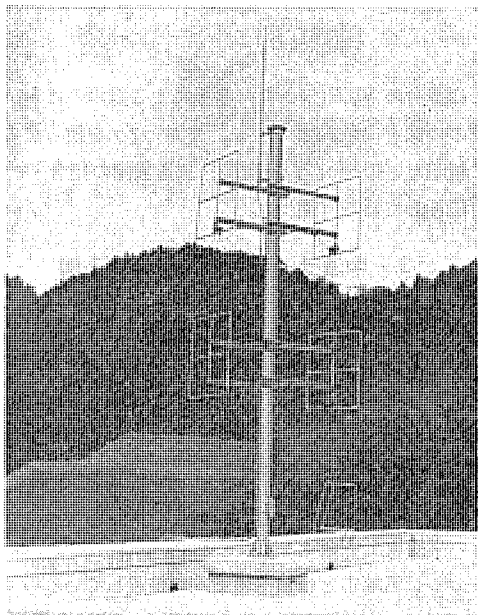


図 7. 空中線取付図

置している (図 7.)。

(2) 誘導アンテナ

誘導アンテナは平行2線式とし、トンネルの両側壁に誘導線を布設している。この方式は伝送損失が少なく、トンネル内電界強度差を小さくできる。誘導線の両端はトンネル入口より50m程度中に入った位置で引留め、トンネル外への漏えい電界を極力少なくしトンネル外への電波障害の防止を図っている。図8.に電界強度特性の一例を示す。整合器と終端抵抗器間約1.5kmの電界強度は77~86dBμである。

(3) 受信架

従来ダイオード特性を利用したエンベロープ検波方式が採用されていたが、ここでは各放送波の周波数に周波数と位相を同期させる同期検波方式を採用し隣接する周波数の混信防止を図っている。

(4) 中波再放送架

イコライザアンプ部は操作卓からの緊急放送用音声信号の伝送ケーブルの周波数特性に基づく伝送損失を補正している。送信部は終段にE級増幅を採用し省エネルギーを図っている。音声切換部はアナログスイッチを使用し滑らかに音声信号を切換えている。誘導線断検知部は中波

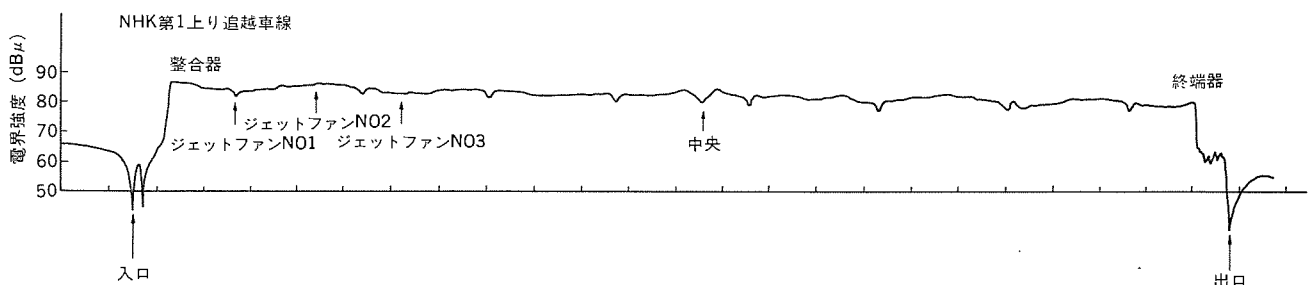


図 8. トンネル内電界強度特性



図 9. マイクホン取付状況

再放送架から整合器間の同軸ケーブルと、整合器から終端抵抗器間の誘導線に直流電流を重畳し誘導線の断線を検出している。

#### (5) 操作卓

マイクホン及びカセットテープレコーダーを使用し緊急放送ができる。各放送波及び拡声放送の内容をモニタできると同時にカセットテープレコーダーに録音できる。中波ラジオ再放送設備と拡声設備の動作状態が集中監視できる(図 5.)。

#### (6) マイクホン箱

マイクホンを使用して、マイクホン箱が備えられている車線(上り、下り)ごとに各放送波とスピーカーを通じて緊急放送ができる(図 9.)。

### 4. 拡声設備の納入例

#### 4.1 設備概要

図 6. に拡声設備の系統図を示す。この設備は通常の場合ほとんど使用されないものであるが、事故が発生した場合、二次的災害防止や車両渋滞、避難誘導などの混乱予防のための情報提供を図るものであり、中波ラジオ再放送設備と同じ場所からトンネル内、外に備え

られたスピーカーを通じて緊急放送を行うことができる。

### 4.2 装置機器概要

#### 4.2.1 スピーカー

##### (1) スピーカーの配置

トンネル内はスピーカーからの音が壁に反射し反響が非常に強いので拡声放送の明りょう(瞭)度をよくするためには、スピーカー配置の間隔を狭くし、出力を小さくし、スピーカーからの直接音を聞かせるようにする必要がある。ここでは 50 m 間隔でスピーカーを配置している。

##### (2) スピーカーの種類

トンネル内のスピーカーは湿気、車の排気ガス、清掃時の噴射水への耐力と、反響対策上鋭い指向性が要求される。ここでは口径 286 mm、定格入力 15 W のホーンスピーカーを出力 4 W に設定し(タップ切換え)使用している。トンネル坑外のスピーカーは口径 396 mm、定格入力 25 W のホーンスピーカーを 12 W に設定し(タップ切換え)使用している。

#### 4.2.2 拡声架

前置増幅部はグラフィックイコライザを備え拡声放送の再生周波数帯域を制限することにより、トンネル内の反響を抑制し明瞭度の良い拡声放送を可能にしている。電力増幅部は拡声放送が行われていないときは電源を断りし省エネルギーを図っている。

## 5. む す び

我が国においては地形上トンネルが多く、道路交通上の防災が重要な問題の一つになっている。トンネル内防災用通信設備の実施は最近では定着化しており新しいことではないが、ここに紹介したものは、この規模のトンネルのごく標準的なものであり、今後この方面の計画の参考に概要を紹介した。

終わりに、このシステム実施にあたって御指導、御協力をいただいた日本道路公団の関係者各位に深く感謝する。

### 参 考 文 献

- (1) 植木ほか：三菱電機技報，49，No. 12，P. 785 (昭 50)
- (2) 大久保ほか：三菱電機技報，45，No. 11，P. 1414 (昭 46)
- (3) 建電協 ITV カメラ装置仕様書 (昭 49)

# マイクロ波による車両番号読取装置

佐瀬克巳\*・井上晴雄\*・関川一彦\*\*・室園章貴\*\*

## 1. ま え が き

マイクロ波を利用した車両番号読取装置 (Automatic Car Identification : ACI) は、貨車に取付けられる応答器 (車上子) とマイクロ波送受信機及びアンテナから成る質問器 (地上子) とで構成している。車上子は照射されるマイクロ波を電源として、あらかじめ IC に書込まれた個別番号を質問器に返送し、走行しつつデータの取得ができるものである。

この装置は昭和 56 年度塩浜操車場 (神奈川県川崎市) で現地試験を行い、更に札幌貨物ターミナル (北海道札幌市) において、雪の影響を含めて長期実用試験を行ったのでその概要を報告する。

## 2. システムの概要

### 2.1 システムの構成条件

車両番号読取システムを構成するにあたり、そのセンサとして要求される技術的条件は次のとおりである。

- (1) 特定のエリア内でのみ車上子が動作すること (有効標定範囲は 3 m 以内とする)。
- (2) 車上子は無電源とする。
- (3) 車上子は汚れ、水、氷などに対して実用上影響無いこと。
- (4) 車上子は小形及び低価格であること。
- (5) 車上子の持つ情報量は可能な限り冗長さの高いこと。
- (6) 占有周波数帯域幅が小さいこと。
- (7) 雑音及び干渉に対して強いこと。
- (8) 車上子の移動に対する捕捉可能最大速度は 120 km/h とする。

### 2.2 周波数選定

周波数選定条件は次のとおりである。

- (1) 他の無線局へ与える妨害の影響が少ないこと。
- (2) 雨、水、じんあい (塵埃) などの影響ができる限り少ないこと。
- (3) 回路構成が簡単で小形化できる周波数帯であること。
- (4) 空中線はできるだけ小形にできること。

(2), (3) 項を考えると周波数はできるだけ低い方がよいが、1 GHz 以下では各種無線用、特に移動通信用の割当波がふくそう (輻射) し、あまり好ましくない。しかし、周波数をあまり高くすると地上装置は比較的高出力を要するため、回路構成、コストの点で不利になる。結局、電子レンジのバンドである  $2,450 \pm 50$  MHz での帯域であれば、比較的問題が少なく装置構成上も条件を満たせるのでこの周波数帯を使用した。

### 2.3 伝送方式

雑音及び干渉に強く、また情報伝送に適するところから、将来、LSI 化が可能なデジタル方式で構成した。概要は次のとおりである。

車両番号読取装置の地上装置は、2.45 GHz 帯のマイクロ波搬送波を応答器に向け発射する。このマイクロ波搬送波は車上子の論理回路動作に必要な電力を供給するほか、応答器の車両番号情報を地上装置に伝送する場合の搬送波として使用する。

車上子の論理回路には 80 ビットの PROM を内蔵しており、それぞれ同期 16 ビット、車番情報 48 ビット (BCD, 12 けた (桁)), CRC チェックコード 16 ビットを図 1. の伝送フォーマットに従って記憶している。48 ビットの車両番号情報はシステムの要求に従って自由に使用できるほか、容量の大きな PROM を組込むことにより容易に伝送すべき情報量を増やすことができる。

また車上子の論理回路には 700 kHz, 850 kHz, 1,000 kHz の三つの低周波発振器が組込まれており、先に述べた伝送フォーマットに従って複極 FSK 変調される。この変調波は、地上装置より送られてくる 2.45 GHz 搬送波とミキシングされた後、地上装置へ再放射される。車上子から返送される信号は微弱ではあるが、複極の FSK 変調波として理論上は約 11 dB 程度の C/N 比で誤り率  $1 \times 10^{-6}$  を確保できる (図 2.)。

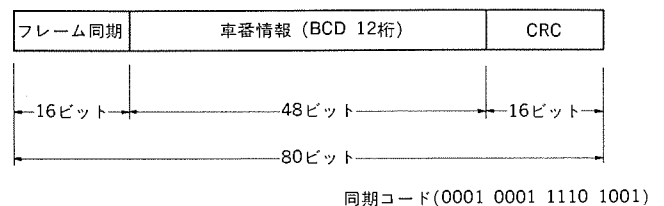


図 1. 伝送フォーマット

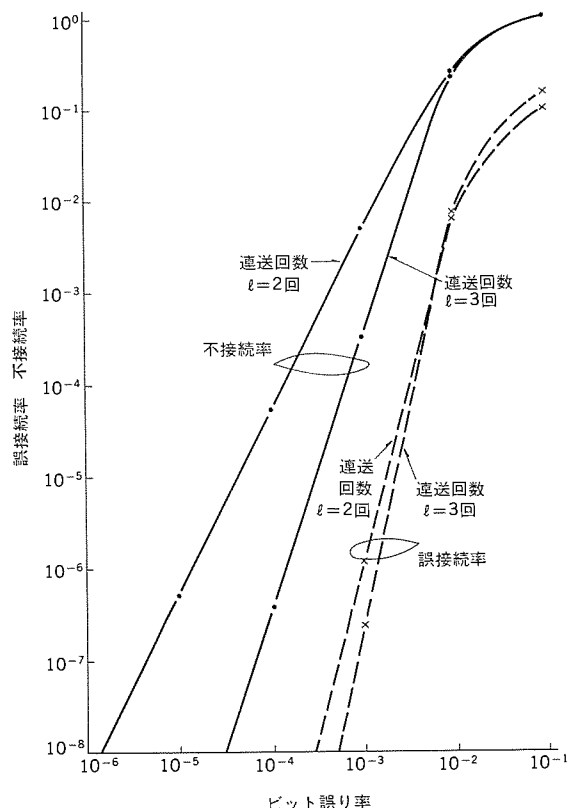


図 2. 多数決判定方式による番号誤り率



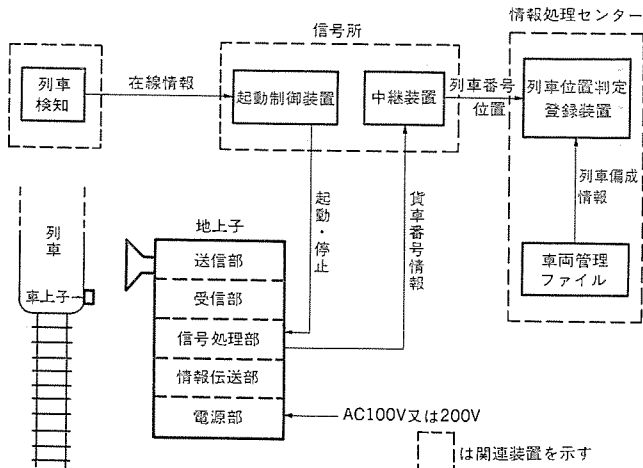


図 3. システム構成例

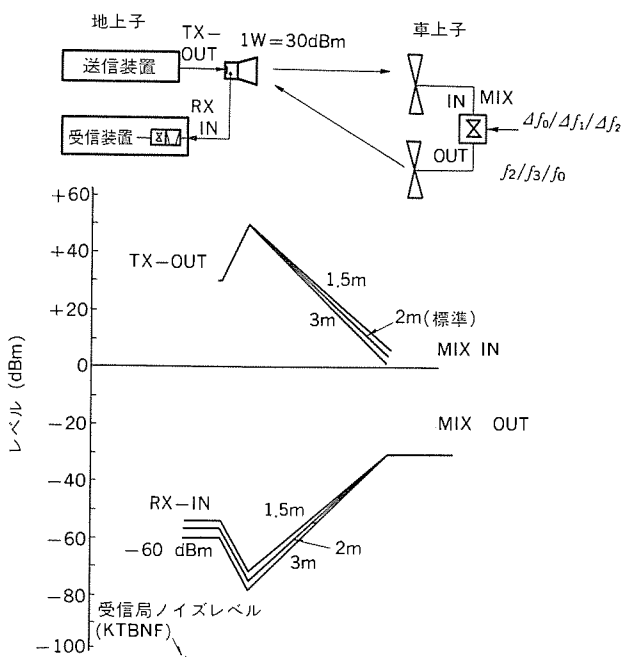


図 4. システムレベルダイヤ

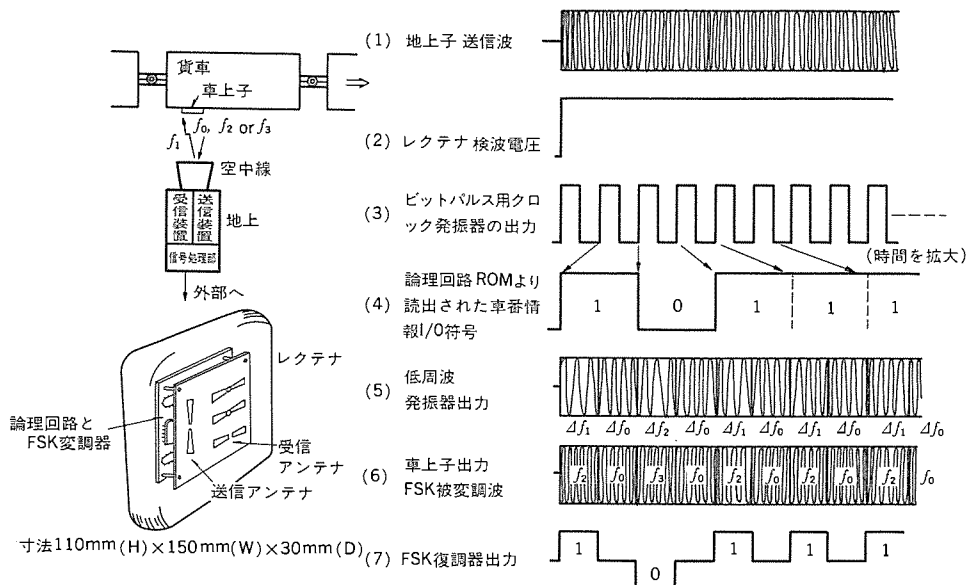


図 5. 装置各部波形

## 2.4 システム構成

この装置を用いた車両番号自動識別システムの構成例を図 3. に、そのシステムレベルダイヤを図 4. に、また装置各部波形を図 5. に示す。

## 3. 装置性能と外観

装置の性能及び外観は次のとおりである。

### (1) 総合性能

- ・読取可能速度 : 時速 120 km/h 以下
- ・読取可能距離 : 3 m 以内
- ・読取可能範囲 : アンテナ中心より上下方向 50 cm, 左右方向 30 cm
- ・車上子取付角度 : 左右 10 度以内, 前後 10 度以内
- ・環境条件 : -20 ~ +60°C (地上装置)  
-30 ~ +70°C (車上子)
- ・構造 : 防滴構造 (地上装置), 防水構造 (車上子)

### (2) 地上装置 (図 6.)

- ・周波数安定度 :  $\pm 3 \times 10^{-4}$  以内
- ・送信出力 : 1 W
- ・スプリアス輻射 : -40 dB 以下
- ・雑音指数 : 15 dB 以下
- ・受信帯域幅 : 800 kHz
- ・最低所要受信入力 : -82 dBm
- ・誤り検定 : CRC 検定及び多数決判定
- ・同期検出 : フレーム同期
- ・データ伝送 : 1,200 b/s / 2,400 b/s
- ・電源電圧 : AC 110V +10% / -15%
- ・外形寸法 : 490mm (W) × 470mm (D) × 850mm (H)

### (3) アンテナ (図 7., 図 8.)

- ・形式 : 偏波共用平面アレーアンテナ
- ・送受信周波数 : 2,450 MHz
- ・偏波面 : 水平 (送信) 及び垂直 (受信)
- ・交叉減衰量 : 30 dB 以上
- ・アンテナ利得 : 20 dB

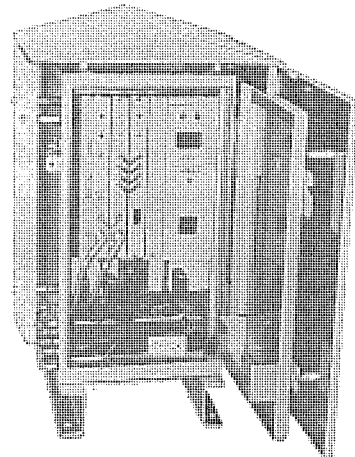


図 6. 地上装置外観

- ・外形寸法 : 800 mm(W) × 740 mm(H) × 150 mm(D)
- (4) 車上子 (図 9.)
- ・受信周波数 : 2,450 MHz
- ・送信出力 : -30 dBm (公称値)
- ・変調方式 : 3 値 FSK-DSB

- ・周波数偏移 : 約 150 kHz
- ・伝送容量 : 48 ビット (BCD 12 桁)
- ・伝送速度 : 35 K b/s (キロビット/秒)
- ・所要電界強度 : 145 dB $\mu$ V/m
- ・電 源 : 無電源

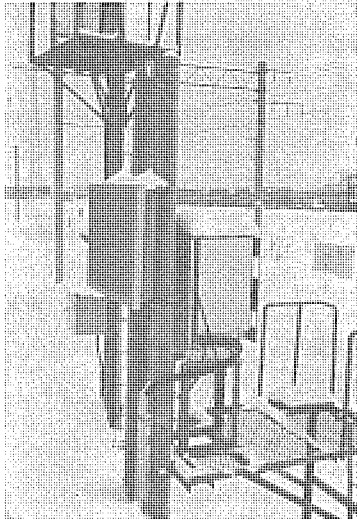


図 7. 地上アンテナ外観

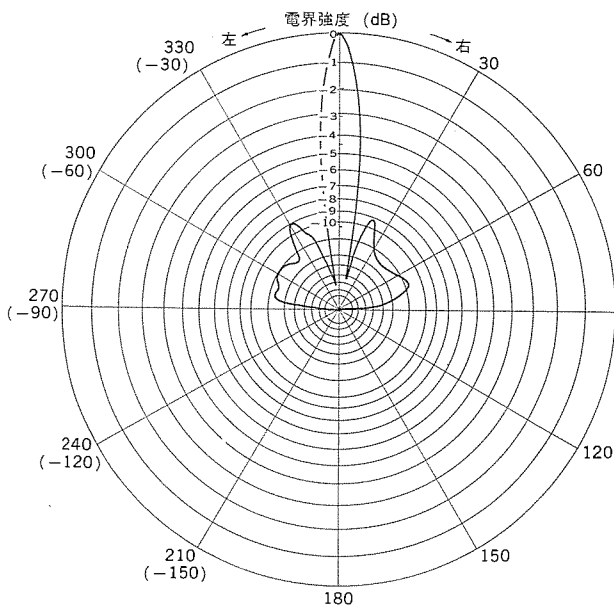


図 8. 地上アンテナ水平断面指向特性

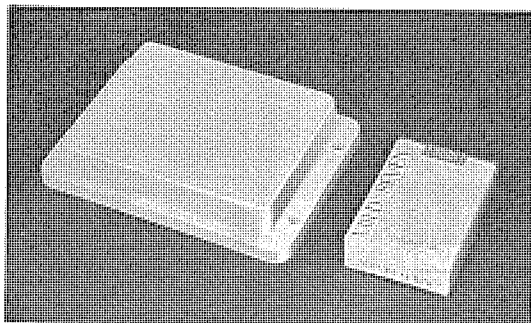


図 9. 車上子外観

#### 4. 北海道札幌地区における現車試験

##### 4.1 現車試験システムの構成

北海道白石地区にて実施した現車試験システムの構成を図 10. に示す。今回の実験に用いた貨車はタンク車 (タキ車) 86 両, 鋼材車 (トキ車) 18 両で, 車上子はそれぞれの貨車の両側に各 1 台ずつ合計 208 台取付けた。

一方アンテナを含む地上装置は, 貨車の両側に取付けた車上子を個別に検出できるように線路の両側に平行して 2 台設置した。受信した車上子番号はそれぞれの地上装置に設けられているマイクロコンピュータにより CRC チェック, 多数決判定された後, 2,400 b/s 変調器により, あらかじめ定められた伝送フォーマットに従って約 10 km 離れたコントロールセンター (CTC) へ伝送する。

コントロールセンターでは, そこに設置してある CPU により受信したデータをフロッピディスクに記憶するが, 同時に受信時刻, 受信データの内容, 装置の動作状態も CRT へ表示し監視している。

##### 4.2 装置概要

###### 4.2.1 車上子

できるだけ低電圧及び低消費電力で動作するよう論理回路は CMOS IC を使用して地上からの電波による検波電圧 3 V を動作限界としている。地上装置に伝送する FSK 信号は車上子の発振安定度

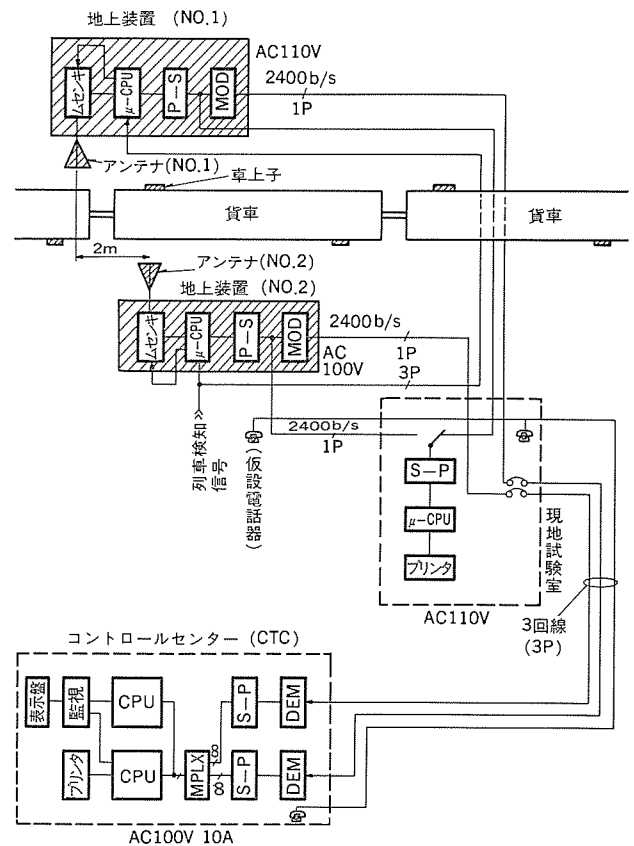


図 10. システム構成図

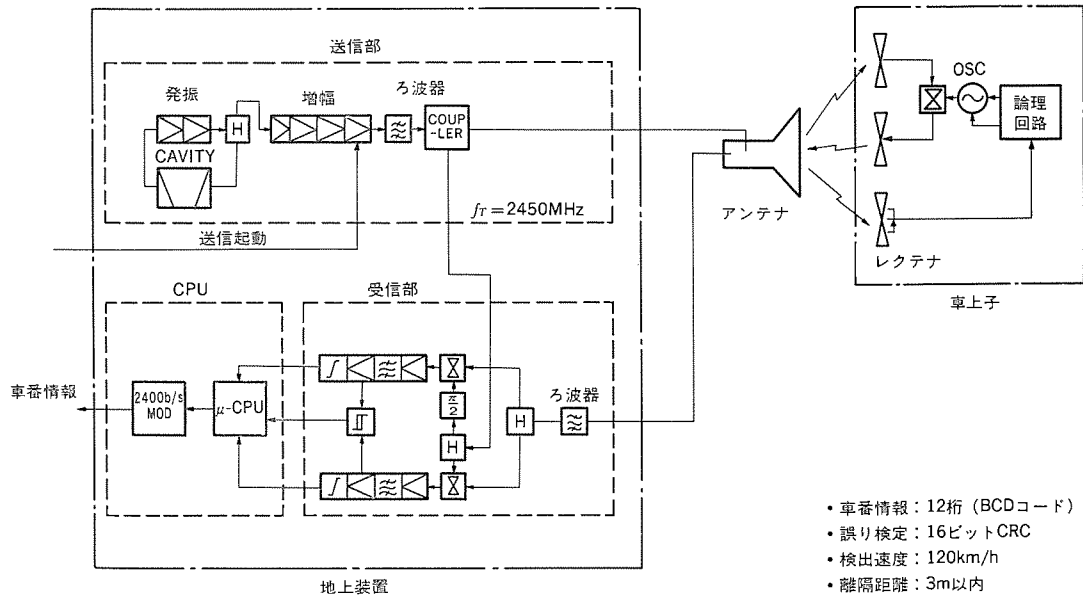


図 11. 車両番号読取装置系統図

などより 150 kHz 離して 700 kHz, 850 kHz, 1,000 kHz の 3 波とし、35 Kb/s の伝送速度とした。

アンテナはプリント基板上にダイポールを 4 個配置し、送信、受信各 1 個で形成 (受信は水平、送信は垂直偏波) し、電圧検出用としては別に 2 素子設けている。

#### 4. 2. 2 地上装置

送信は 2.45 GHz の直接発振を行って回路を単純にしている。出力は 1 W で、周波数安定度は  $\pm 1 \times 10^{-4}$  以下を目標とした。受信は各種の方法が考えられるが、ここでは S/N 上有利な直接検波方式を採用した。受信帯域幅は 800 kHz である。(図 11.)

#### 4. 2. 3 地上アンテナ

1 フレーム 80 ビット、35 Kb/s の伝送では 1 データ当たり 2.3 ms の読取時間が必要である。読取可能最大速度 120 km/h とし、受信確度を上げるため連送照合を行い、1 車両につき 3 データが必要とすればビーム照射幅は 0.23 m となる。したがって、水平方向のアンテナビームは車上子照射面で約 30 cm 以上必要となる。また、車両により車上子取付高さがばらつくのでこの範囲を 50 cm 以内とした。

以上の放射パターンを確保することと、設置場所の条件を考えてできるだけ薄い平面状の物が望ましいことから地上アンテナは 12 素子 (4 × 3) のアンテナとし、利得 20 dB を目標とした。

#### 4. 2. 4 到達距離

地上子と車上子の間隔を 3 m とし、以下のように回線設計した。

(1) 検波電圧よりみるとこの間のレベル関係は次のとおりである。

送信出力	+30.0 dBm
自由空間損失	-49.6 dB (距離 3 m)
地上アンテナ	+20.0 dB
車上子アンテナ	+5.0 dB
	+5.4 dB (約 3.5 mW)

検波効率を 50% とすると 5 kΩ 負荷でレクテナ検波電圧は約 3 V 確保できる。実際には、車上子は 2.5 V 前後まで動作すること、車上子消費電力の低減を図ることで設計上のマージンは十分見込むことができる。

(2) C/N より見ると複極 FSK では  $1 \times 10^{-6}$  以上の誤り率を確保

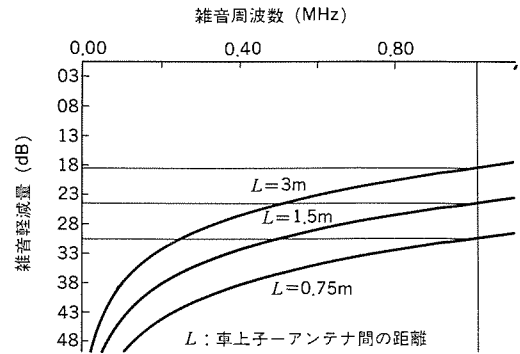


図 12. 直接検波による PM 雑音軽減量

するために、所要 C/N として 11 dB 以上必要となる。

地上装置受信雑音は、次の 3 項目により影響を受ける。

- ・熱雑音 : -97 dBm
- ・送受まわり込み : -80 dBm (送信波 C/N=70 dB)
- ・壁面反射 (実測) : -79 dBm

以上より受信雑音は熱雑音以外の要因で決定され、最大 -76 dBm となる。一方、信号受信レベルは、

車上子送信出力	-30.0 dBm
自由空間損失	-49.6 dB
車上アンテナ利得	+2.5 dB
地上アンテナ利得	+20.0 dB
	-57.1 dB

C/N は約 19 dB となり  $1 \times 10^{-6}$  の BER は十分確保できる (5 dB は装置劣化などのマージンと考える)。実際には直接検波を行っているため、PM 性雑音を低減できることから更に C/N は改善される。PM 性雑音の改善量を図 12. に示す。

#### 4. 3 システムの信頼度予測

一般的にシステムの信頼度の向上を図るためには冗長系 (二重化) などの導入が必要となる。

この実験システムとしては、機器の信頼度及び修理時間を考慮した最適なシステム構成として図 13. に示す系で実験を行った。図に示

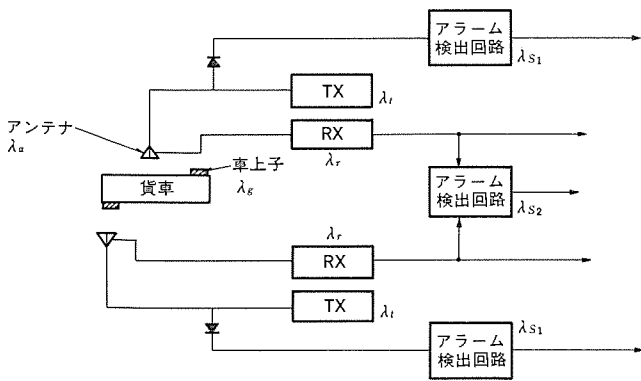


図 13. 信頼度から見たシステム構成図

すシステム構成で車上子又は地上装置系が故障によりデータが受信できなくなる確率 $P$ は、

$$P=3.6 \times 10^{-6}$$

程度と予測される。

### 5. 実験結果

北海道における現車試験では温度、雪、氷その他貨車形状の差などが受信率にどのような影響を与えるかを調査するのが目的であった。特にこの装置のような屋外機器にとって $-20^{\circ}\text{C}$ にも達する環境条件は誠に厳しく、更には氷、雪、汚れなどが機器特性に与える影響は非常に顕著なものが予想されていた。塩浜操車場と札幌貨物ターミナルの実験により下記のこと分かった。

(1) 雪の影響はほとんど無視できる。

地上アンテナの上部に若干雪が付着したが、特性の変化をもたらすほどでは無かった。

(2) 氷については貨車が移動していることもあり、特に付着現象は認められなかった。

(3) 雨の影響は全く無いと言ってもよい。

(4)  $-20^{\circ}\text{C}$ の温度条件においても機器の異常は認められなかった。

(5) いずれにおいても読取率は100%であり、速度120 km/hにおいて3回以上読取ることが可能であるとの結論を得た。

### 6. むすび

無電源の車上子に電磁波を照射して、書込まれた番号を読取る方法は、いくつか開発されその一部が実用されているが、ここで報告した半導体論理素子で構成した車上子は、実用化試験の結果、予期どおりの優れた性能をもっていることが分かった。

また、最大120 km/hまでの走行速度に対して高精度の読取が可能であり、電車、機関車、コンテナなどにも応用可能であり、今後広く鉄道以外でも移動体の所在を自動的に検知する交通システムのセンサとして多くの用途が開けるものと考えている。

最後に御指導、御協力をいただいた郵政省電波監理局殿及び日本国有鉄道関係者各位に対してここに感謝する次第である。

### 参考文献

- (1) 小野寺：マイクロ波式番号識別装置，電子通信学会技術研究報告，MW 76-63 (昭51)
- (2) 佐瀬，井上，牛山，岡原，室園，大山：マイクロ波による貨車番号識別システム (第1報)，第17回鉄道サイバネシンプジウム論文集 (昭56)
- (3) A. Cohen and Smolsky : The Effect of Rain on Satellite earth Terminal Rigid Radomes, The Microwave Journal September (1966)
- (4) H. Inoue, T. Yuge : Automatic Car Identification Tests in the Japanese National Railways IEEE VT conference Record May (1982)



# 東北・上越新幹線列車無線設備

三浦清蔵\*・松本和臣\*・横山保憲\*\*・花房正昭\*\*・原田永康\*\*

## 1. ま え が き

東北・上越新幹線列車無線は、全線に漏えい同軸ケーブル（以下、LCXという）を使用する方式が採用された<sup>(1)</sup>。この列車無線設備のうち基地局装置、中継装置、データ伝送装置及び移動局装置の内容を紹介する(図1.)。

東海道・山陽新幹線列車無線<sup>(2)</sup>が空間波方式、10回線容量に対し、この方式は全線LCX方式による24回線容量で、対列車データ通信が導入されたことなどが特長である。

LCXは、従来からトンネル内など特殊区間での不感地帯対策に利用されているが、高品質、高安定回線の確保及び所要周波数帯域内での回線容量増加（電波の有効利用）などの面からこの方式が採用された。

## 2. システム概要

全線の上り線側、下り線側の両側にLCXを布設し、かつLCXの伝送損失を補償するために約1.3~1.5kmごとに中継機を設け、基地局は、各駅の信号・通信（信通）機器室に上部方、下部方の2基

地局（駅間距離の短い区間は1基地局）を設置している。

列車無線の機能・性能は、表1.に、無線周波数配置、LCX布設位置は図2.、図3.に示すが、東海道・山陽に比較してシステムの主要な特長は次のとおり。

- (1) 回線・トラヒック増強を図った。
  - (a) 回線容量は、10回線から24回線に拡大した。
  - (b) 運転指令系は、2chふやして合計4chとし、東北・上越両線区への対応（特に東京～小間及び東京～熊谷間での列車共存を考慮した）。
  - (c) 業務公衆系（以下、業公系という）通話ゾーン閉そく数縮小によりトラヒック増強を図った。LCX方式採用で移動局からの電波のオーバーチが無いことから、前方2、後方1ゾーン計4ゾーン（従来8ゾーン）閉そくに縮小した。
- (2) 業公系の車上発信は、自動即時通話を可能（列車から全国どこへでも通話可能）にした。
- (3) 対列車データ通信の導入により、新利用分野へ展開した<sup>(3)</sup>。
  - (a) 列車内各種情報の収集・利用、例えば業公系での列車スポット呼出しの利用など。

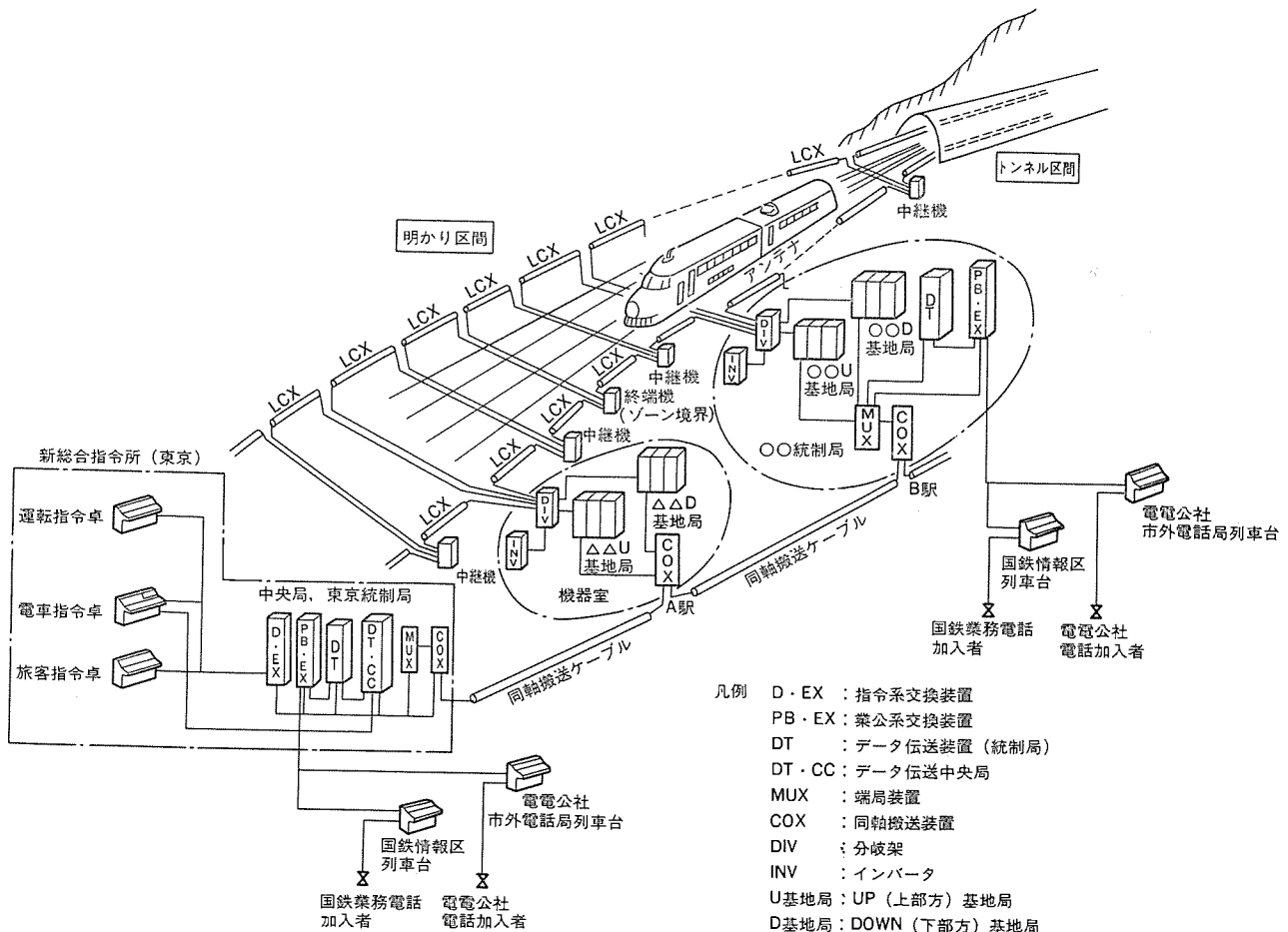


図1. 東北・上越新幹線列車無線システム概要図

\* 日本国有鉄道 \*\* 三菱電機(株)通信機製作所

表 1. 新幹線列車無線方式・機能・性能表

No.	項目	東海道・山陽新幹線方式	東北・上越新幹線方式
1	無線方式 無線周波数	空間波方式 (基地送信多重波, 移動送信単一波) 基地局 400 MHz 帯 3 波 移動局 400 MHz 帯 10 波	LCX 方式 (基地送信多重波, 移動送信単一波) 基地局 400 MHz 帯 1 波 移動局 400 MHz 帯 24 波 (実装 15 波)
2	回線品質 サービスエリア (通話可能区域) 通話 S/N 接続安定度 符号誤り率	99.9% 以上 全線の 90% で S/N 35 dB 以上 99% 以上 —	99.99% 以上 全線の 99% で S/N 40 dB 以上 99% 以上 1,200 b/s で $1 \times 10^{-4}$ 以下
3	列車無線 ch 数容量 (カッコ内は実装数)	運転指令系 2 ch 営業指令系 2 ch } 計 10 ch 業公系 (業務・公衆) 6 ch (10 ch)	運転指令系 4 ch (4 ch) 旅客指令系 2 ch (2 ch) 業公系 (業務・公衆) 12 ch (6 ch) データ系 6 ch (3 ch) } 計 24 ch (実装 15 ch)
4	1 列車当たりの同時使用 ch 数	運転指令系 1 ch 営業指令系 1 ch } 計 4 ch 業公系 (業務・公衆) 2 ch	運転指令系 1 ch 旅客指令系 1 ch 業公系 (業務・公衆) 2 ch データ系 2 ch } 計 6 ch
5	ゾーン切換え (移動局)	定点制御方式 (地上子による強制切換え)	基地局よりの指定信号による切換え
6	ゾーン閉そく	運転指令系 中ゾーン 営業指令系 大ゾーン 業公系 小ゾーン (前 4, 後 3 ゾーン計 8 ゾーン)	運転指令系 中ゾーン 旅客指令系 大ゾーン 業公系 小ゾーン (前 2, 後 1 ゾーン計 4 ゾーン)
7	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
8	空中線	基地局 コーナレフ形又はパラボラ形 移動局 ユニポールアレー形 (前後 2 方向切換え)	基地局 全線にわたり LCX 布設 移動局 スロットアレー形
9	トンネル対策	平行 2 単線又は LCX	LCX

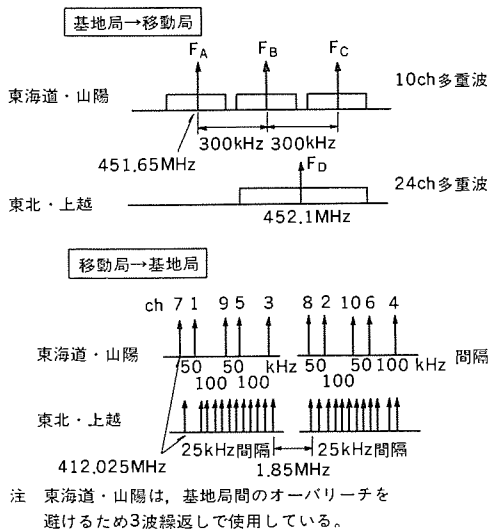


図 2. 無線周波数配置

(b) 運転席の車両モニター画面情報 (車両機器の動作・故障情報をいう) を新総合指令所 (東京) の電車指令卓の CRT へデータ伝送表示し, 電車故障時の処置などに活用する。

### 3. 地上設備の概要

総合系統図を図 4. に示す。新総合指令所に, 運転指令系及び旅客指令系の各電話交換装置並びにデータ系中央局が設置され, また統制局を 6 箇所設け, それぞれに業公系電話交換装置及びデータ伝送装置を設置している。以下に特色を示す。

- (1) 中継方式は, LCX 方式列車無線の中核をなすもので, 中継機電源系二重化及び UHF 増幅器 2 組を並列運転とし, かつ移動局向け (以下, A→B という) 1 波と移動局から (以下, B→A という) の複数波を同一の増幅器で増幅する広帯域共通増幅方式を採用し, システム及び機器信頼度向上を図っている。
- (2) 基地局及び中継機の監視, 制御情報は, 沿線情報を統轄する

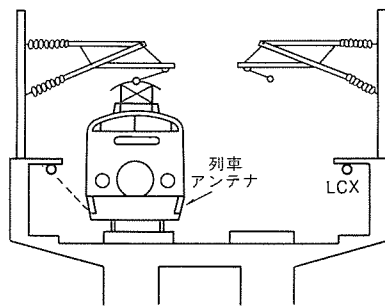


図 3. LCX 布設位置と列車アンテナ

CIC システム (Centralized Information Control System 通信情報制御監視装置) の駅装置を経由して伝送され, 関係場所に設けている端末 CRT での表示及び遠隔制御を可能にしている。

(3) 基地局が, すべて駅通信機器室に設置したことにより, 連絡回線設備を必要とせず直接に同軸搬送装置を経由して統制局及び中央に接続する。

(4) 指令系回線 (6 ch) とデータ系の一部は, 重要性にかんがみて, 東京までの回線構成を, 通常は同軸搬送回線を使用するが回線故障時には, マイクロ回線による迂回構成で接続する。

### 4. 基地局装置

送信端局架, 受信架及び制御監視架で構成し, 無停電の DC-24V の供給を受け, 各駅の機器室に配置されている。図 5. に示すように UHF 信号と AC 400 V を重畳する分岐架及び同軸ケーブル (DCX) を経由して LCX に接続する。

#### 4.1 送信端局架

端局部の構成により 1 形 (一般用) と 2 形 (統制局に併設される基地局用) がある。以下に 1 形について述べる。端局部は, A→B 方向には 24 ch (12~108 kHz) の多重信号に変換すること及び B→A 方向では受信架よりの音声周波数帯域 (0.3~3 kHz) を群帯域 (60~108 kHz) に変換する機能を有し, また周波数変換に必要な搬送波信号は, 同一場所に併設の同軸搬送装置から供給を受けている。同軸搬送装置との受渡しは, 指令系 6 ch は音声周波数帯域で, 業公系及びデータ系は群帯域で行われる。

送信部 (24 ch の SS-PM 多重, 送信出力 2 W) 2 組により, 100% 予備構成で現用機故障時は予備機へ自動的に切替える。

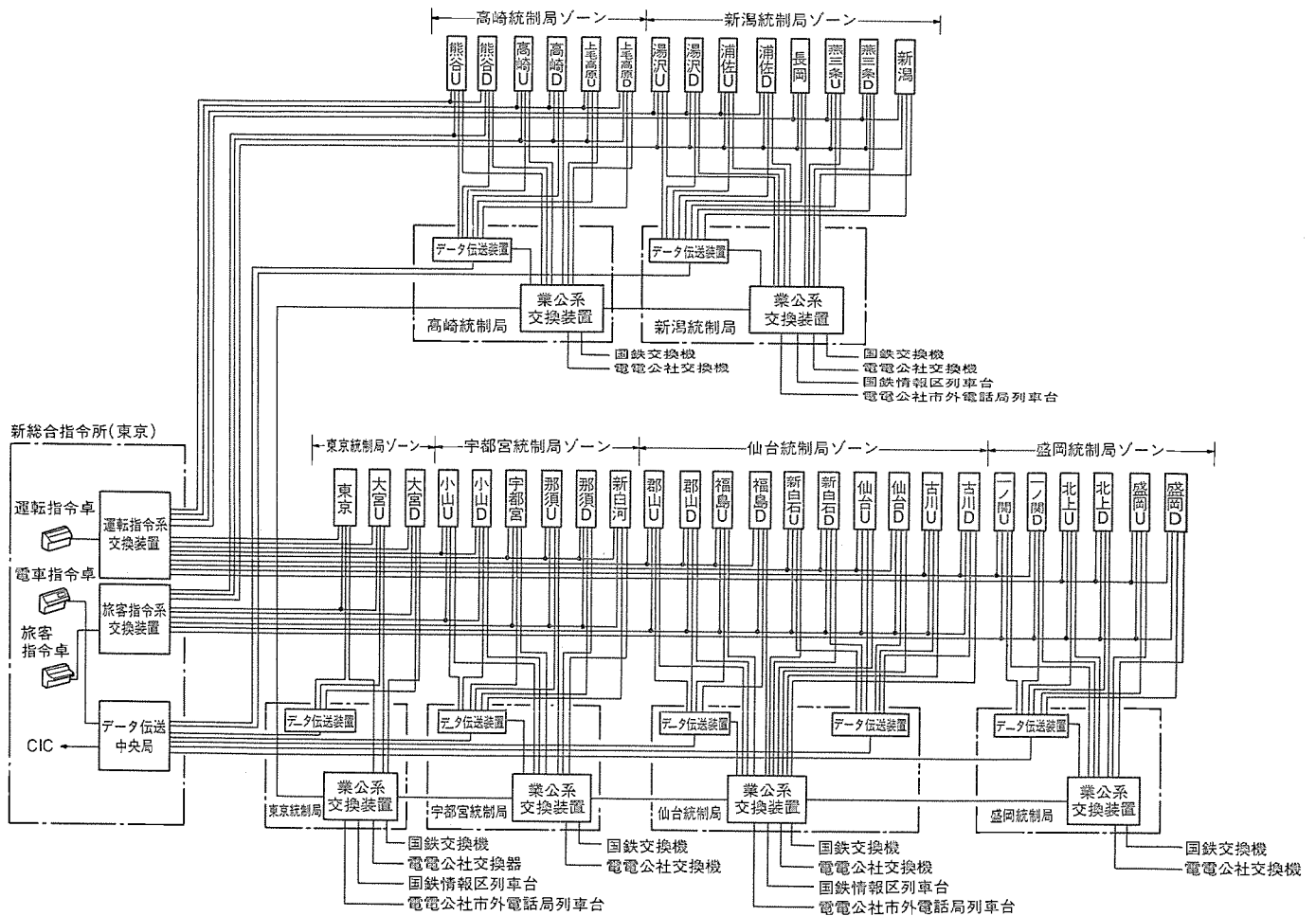


図 4. 東北・上越新幹線列車無線総合系統図

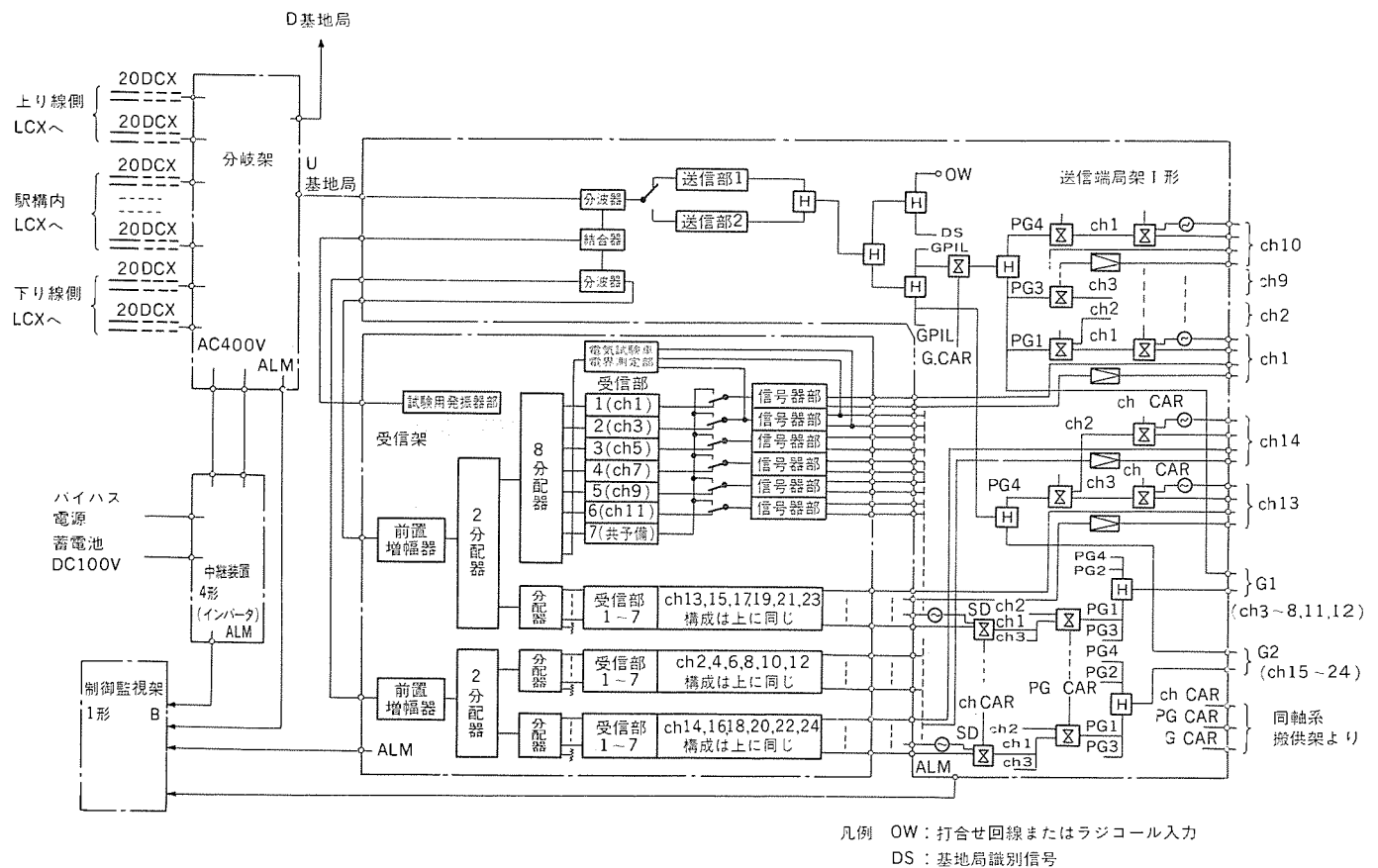


図 5. 基地局装置系統図

#### 4.2 受信架

移動局からの単一系電波を受信し、かつ基地局指定信号を信号器部で検出し、受信出力を端局部に渡す。受信部6組に対し1組の共通予備受信部を設け、指令系chは遠隔制御による切換えも可能である。

#### 4.3 制御監視架

沿線に点在する多数の中継装置の監視制御を行うもので、2波組合せのトーン信号で子局選択を行い、被選択局からのデジタル信号(FSK 200ボ-3連送CRC付き)を検出・表示すると同時にCIC装置を経由して、端末CRTでの表示及び遠隔制御を可能にしている。中継装置1~3形は監視項目のみ、4形は監視及び制御項目を有する。

### 5. 中継装置

1形は中継架、2形は終端架、3形は交流定電圧架各1組のほかにそれぞれ電源架及びキュービクル(明かり区間のみ使用)各1組とともに沿線に設置される。図6.に中継架の外観を示す。

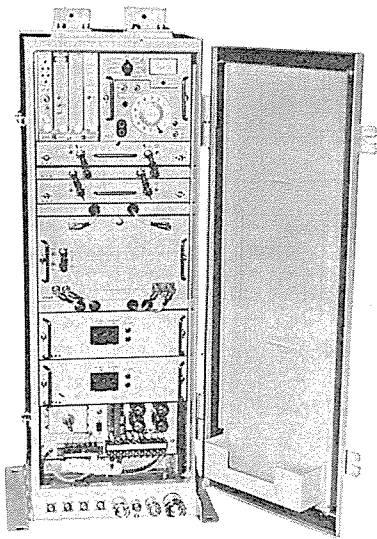


図6. 中継架

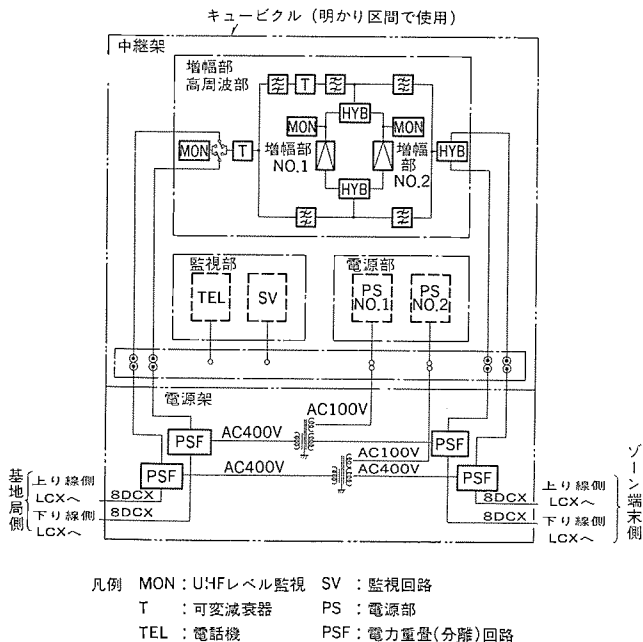


図7. 中継装置1形系統図

(1) 中継架は、LCX伝送損失を補償するために約1.3~1.5kmごとに設け、利得は42dB、出力+29dBmである。

(2) 終端架は、基地局ゾーンの端末に設置され、A→B方向のUHF信号及び電源入力監視機能を有する。

(3) 交流定電圧架は、4形(インバータ)から電源供給する中継機数が10台以上の場合に、AC400V電圧変動安定化のため特定1箇所のみ併設される。

(4) 4形は、入力DC100V、出力AC400V、容量5又は8kVAのインバータで、駅通機器室(必要により駅間機器室)に設置され、2組構成により上り線側LCX及び下り線側LCXにそれぞれAC400Vを供給する二重化方式である。LCX接続コネクタの電流容量10Aの制限のため、1形及び2形の合計数14台までに供給可能である。

(5) 電源架は、架線からの誘導電圧に対する絶縁協調対策としての絶縁トランス2組及びLCXに伝送されているUHF信号と商用周波数(AC400V)とを分離又は重畳を行うPSF4組からなる電源二重化方式により信頼度向上を図っており、例えばLCX片側断線の場合でも中継機動作に支障がない。

(6) キュービクルは、雨、雪、直射日光などからの機器を保護するために明かり区間で使用する(図7.)。

### 6. データ伝送装置

定形データ系と汎用データ系に区別してニーズに対応させ、移動局(1列車当たり)は、データ系2回線(定形データ系と汎用データ系各1回線)同時送受信可能とする。前者は定形化された短データ伝送であり、後者は定形データ系では伝送できない長データ伝送に使用するので、2回線以上をこれに当てる。

#### 6.1 システムの機能

(1) 業公系A→Bのスポット呼出しに必要な列車位置情報の収集及びこれら情報の業公系交換機への転送。

(2) 列車上で得られる移動局設備故障モータ及び防護警報受信情報などを収集し、CICへの転送による有効利用。

(3) 大量のデータ伝送を必要とするもの例えば車両モータやFAXなどは、汎用データ系で行う。

#### 6.2 システムの構成

データ伝送システムの概略構成は、図8.に示すように中央局、統制局、基地局及び移動局で構成し、移動局位置(列車位置)を基地局を単位とする小ゾーンと統制局を単位とする大ゾーンで認識する。

#### 6.3 用途及び伝送回線

用途及び定形データ系伝送回線の仕様を表2., 表3.に示す。

#### 6.4 定形データ系の利用

(1) 業公系A→Bスポット呼出しに利用

移動局へのポーリングによるデータ収集を行い、列車番号と列車位置

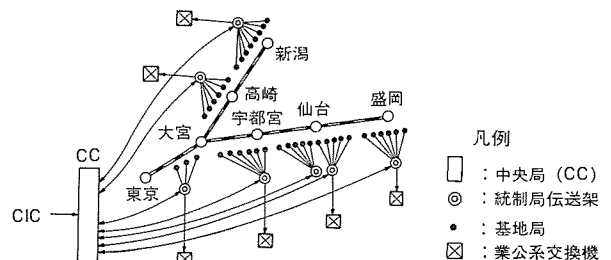


図8. データ伝送システム概略構成図



表 2. システムと用途

系 統	ch 割当て	用 途
定形データ系	ch 15	(1) 周期的定形データ(列車位置を主とするデータ)の収集……業公系A→Bスポット呼出しに利用
	ch 16	(2) 移動局設備故障モニタの収集 (3) 防護警報受信情報の伝送 (4) 列車位置情報及び上記(2), (3)のCICへの転送による有効利用 (5) 汎用データchの接続制御
汎用データ系	ch 17	(1) 車両モニタの伝送(列車→総合指令所)
	ch 20	(2) ファクシミリなどの大量データ伝送

表 3. 定形データ系伝送回線仕様

伝 送 区 間	伝 送 速 度	変 調 方 式	備 考
移動局←統制局	1,200 b/s	FSK	三連送多数決判定後 CRC チェック
統制局←中央局	2,400 b/s	4φDPSK	JIS HDLC-NRM に準拠
中央局←業公系交換機	2,400 b/s	4φDPSK	JIS HDLC-NRM に準拠
中央局←CIC	2,400 b/s	4φDPSK	JIS HDLC-ABM に準拠

情報(ここでは、統制局番号と基地局番号で表したものを)を中央局で収集し、列車在線ファイルに登録するとともに、CICへの転送及び各統制局の伝送架並びに業公系交換機に伝送する。

業公系交換機では加入者から交換台経由でA→B呼出しがあった場合、列車位置ファイルに問合せを行い、位置情報がある場合は、在線する基地局ゾーンに対しスポット呼出しを行うが、位置情報がない場合は、全線呼出しを行い回線接続する。このような列車位置情報の検索によるスポット呼出しにより、業公系A→B呼出し時の無効トラヒックが大幅に低減し、この結果、呼損率の改善にその効果がある。

(2) 移動局設備故障モニタの収集

移動局内列車無線設備の故障情報をリアルタイムで統制局を通じて中央局経由CICへ伝送する。

(3) 防護警報受信情報

移動局で防護警報受信があった場合、又はこれが断になった場合、防護警報受信又は防護警報断情報を統制局を通じて中央局経由CICに伝送する。

(4) CICへの情報伝送による有効利用

中央局で収集する情報のうち、列車番号・列車位置情報、移動局設備故障モニタ及び防護警報受信モニタなどは、CICの端末CRTに表示されるので列車走行中でも故障部位を把握できる。例えば、折返し駅でのシート交換による処置などが可能になること及びこれらデータの故障履歴は統計管理に利用できるなどのメリットがある。

6.5 汎用データ系の利用

データ通信時代の動向からみて、対列車データ通信においても各種ニーズが予想されるが、これらの用途に対し汎用データ系で回線提供を行う前提としている。

汎用データ系の利用により、車両モニタシステムでは運転台のディスプレイに表示される車両の走行状態や機器の状態の各種情報を新総合指令所の電車指令卓に設置されたCRTへ転送し、故障に対する応急処置の迅速、適切化が図られる。また、記録通信などにより指令員から列車乗務員に対する口頭連絡のかわりに、手書きの書画(例えば、運転情報、旅客情報など)を行うことも可能である。

汎用データ系の伝送方式は、システムの要求条件により異なるが、

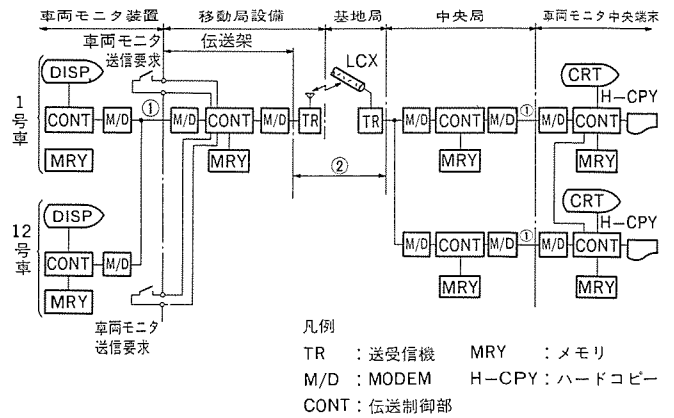


図 9. 車両モニタ伝送システム図

以下に車両モニタにおける実用例を述べる。

車両モニタ情報の新総合指令所への転送は、列車乗務員と電車指令員との間で、電話連絡をとりながら行う。伝送画面の選択及び起動は列車乗務員が行い、電車指令員は伝送された画面を必要に応じハードコピーする。なお、車上ディスプレイの画面は1行32文字の8行である。車両モニタ伝送システム図を図9に示す。

図において無線区間③の誤り率をかながみて、ブロック伝送とし、車上区間①及び地上有線区間②はFSK 1,200 b/s (ビット/秒)、ARQ方式ブロック伝送とする。また、移動局と中央局間はFSK 1,200 b/s、CRC三連送多数決ARQ方式ブロック伝送である。

7. 移動局装置

列車一地上間通信のための移動局装置が電車内に搭載されている。

移動局装置構成を表4に、総合システム図を図10に示す。

7.1 送受信架

(1) 送信部9組(運転指令系2, 旅客指令系2, 業務公衆系2, データ系3)を実装し、その出力(4W)は10分配器及び切換スイッチを経由して空中線から送り出される。

(2) 受信部(24chのSS-PM多重)2組を実装し、左右のLCX用空中線にそれぞれ接続して、スペースダイバーシティ受信を構成している。受信出力はビデオ・コンバーターで合成(SN改善)して端局架に渡される。

表 4. 移動局装置構成

構 成 品	設 置 箇 所	組	
制 御 装 置	制 御 架	1号車ボンネット	1
	信 号 架	同 上	1
	運 転 指 令 操 作 盤	1号車, 12号車運転室	2
	旅 客 指 令 操 作 盤	車 掌 室	1
	投 者 操 作 盤	ビュフェ車	1
	業 務 電 話 機	車 掌 室	1
端 局 装 置	公 衆 電 話 機	ビュフェ車	2
	端 局 架	1号車ボンネット	1
無 線 送 受 信 装 置	送 受 信 架	同 上	1
	電 源 架	同 上	1
	空 中 線	1号車中央下部スカート部	2
デ ー タ 伝 送 装 置	伝 送 架 1 形	1号車運転室	1
	伝 送 架 2 形	12号車運転室	1
構 内 無 線 装 置 防 護 無 線 装 置	構 内 防 護 架	1号車, 12号車ボンネット	2
	操 作 盤	1号車, 12号車運転室	2

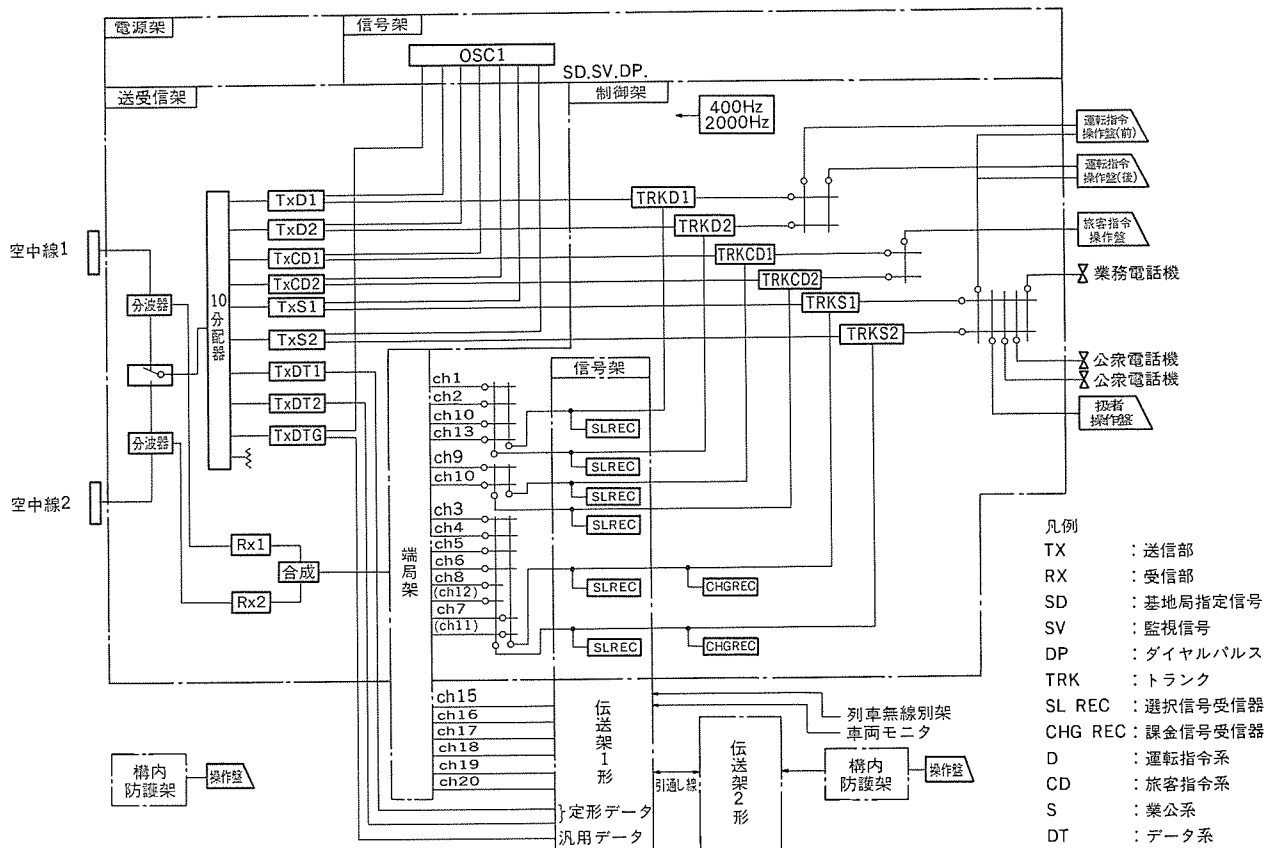


図 10. 移動局装置総合系統図

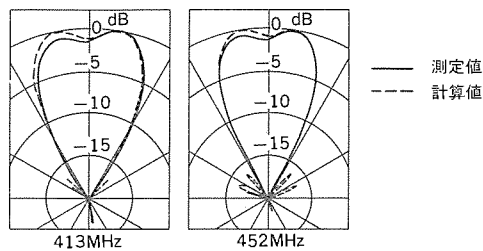


図 11. 水平面内パターン

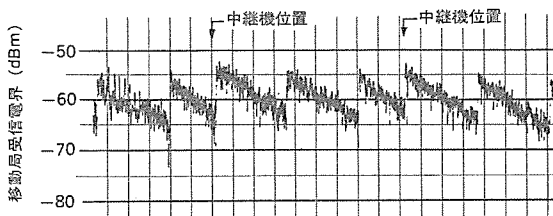


図 12. 移動局受信電界 (測定値)

## 7.2 電源架

車両側インバータより AC 100 V を受電して、送受信架及び端局架へ DC-19 V 及び -24 V を供給するが、電源故障により回線が全断とならないように電源二重化方式を採用している。

## 7.3 端局架

A→B 方向 24 ch の復調用端局装置で、群復調部は信頼性を考え二重系構成としている。保守用としての信号発生器、レベルメータなどの計測器も実装している。

## 7.4 空中線

放射素子 8 個と分配器 1 個から構成する空中線が、1 号車側面スカート部の左右に各 1 組取り付けられている。図 11. に水平面内パターン、

図 12. に移動局受信電界 (測定値) を示す。

## 7.5 制御装置

運転指令系、旅客指令系及び業公系の回線制御を行う制御架、回線制御に必要な発振器、信号器を実装した信号架並びに端末の操作盤、電話機で構成している。

## 7.6 データ伝送装置

伝送架 1 形は、定形データ系及び汎用データ系について、列車無線を介して地上との間のデータ伝送を行い、2 形は 12 号車側情報を引通し線及び 1 形を経由して地上へ伝送する役割を有す。

## 7.7 構内及び防護無線装置

運転室と駅運転事務室及び電車基地内信号扱所との通話連絡用として構内無線があり、また列車防護用として沿線巡回員が携行する防護送信機からの防護警報電波を受信して、運転士に警報を知らせるための防護受信部ほかが構内防護架に収容されている。

## 8. む す び

以上、東北・上越新幹線列車無線設備につき、そのあらましを述べた。これらのほかに、ラジコール・システムなどの設備があるが、紙面の都合で割愛した。

実施に当たり日本国有鉄道をはじめ、日本鉄道建設公団並びに多くの関係の方々に多大の御指導、御協力をいただいた。ここに厚く感謝の意を表する。

## 参 考 文 献

- (1) 林, 馬場: 電気学会雑誌, 102, No. 2, P. 31 (昭 57)
- (2) 石原: 新幹線の電子通信システム, 電子通信学会 (昭 48)
- (3) 喜田, 松本ほか: 第 17 回鉄道におけるサイバネティクス利用国内シンポジウム 論文集, P. 445 (昭 55-11)

# 日本国有鉄道の磁気浮上式鉄道における光伝送車上制御装置

佐々木拓二\*・森原健司\*\*・池田博昭\*\*・石原正彦\*\*・松本輝仁\*\*\*

## 1. ま え が き

低騒音、無公害の輸送機関を旨とする日本国有鉄道の磁気浮上式鉄道は、昭和54年に宮崎の実験線において速度517 km/hの浮上走行に成功した。昭和55年からは軌道をU字形に改造しU形浮上車の3両編成走行や超電導コイル用の極低温槽(クライオスタット)内で蒸発するヘリウムの液化器を車上に搭載するなどの実用化に向けての実験が進められている。実験走行中の浮上車には、車上制御装置を搭載しており、地上からの指令に基づき車上機器を制御するとともに、車上機器の動作状態を地上に送り出している。

本稿では、磁気浮上式鉄道宮崎実験線における車上制御装置の役割とその性能について報告する。特に車上制御装置に適用したマイクロコンピュータ回路の磁界対策と、車両で初めて実用化した連結間切離し可能な光ファイバ伝送システムを中心に述べる。

## 2. 宮崎実験線における車上制御装置

実験線は、非接触で走行する磁気浮上式鉄道の実用化を目指しているもので、地上に推進用と浮上用のコイルを進行方向に並べ、これらのコイル列と車上の超電導コイル(SCM)列とでリニア同期モータ(LSM)を構成する。

このシステムでの推進・案内及び浮上力は、地上コイルとSCMとの間に働く電磁相互作用を利用しており、マグネットの小形化を図るためには、機器を含めた車両の小形軽量化が要求される。また車上には、走行に必要な機器や車体運動解析用の走行データを大量に採取するための機器を搭載しており、走行中自動的にこれらの機器を制御する必要がある。

このため、地上の指令に従い車上の機器を一括して制御する小形軽量でかつ信頼性の高い車上制御装置を搭載した。磁気浮上車で使

用する機器の信頼性には、従来機器には大きな要求とはならなかった磁界に対するものがある。これは車上制御装置がSCMからの直流磁界及び地上コイルからの交流磁界の中に設置されるため、磁界に対する信頼性を高めかつ重量を軽くするためマイクロコンピュータを用い、各回路は部品単位で磁気遮へい(蔽)するとともに、装置間には光ファイバ伝送方式を採用した。

## 3. システム構成

車上制御装置のシステム構成を図1に示す。図のように車上制御装置は中央装置と端末装置の組合せで使用される。中央装置は先頭車両に搭載し、端末装置は他車両に搭載する。ただし、試験モードに応じて制御の中心となる車両が先頭車又は後尾車になるため、この2車両には中央装置を搭載し、いずれか一方を端末モードとして使用する。

中央装置は地上との情報交換を一括して行い、全車両の機器制御を管理する。端末装置は中央装置からの制御指令を受け自車の機器制御を行うとともにその状態情報を送り返す。

## 4. 機能

中央装置は次のような機能をもつ。

- (1) 地上信号受信：地上からの制御指令を受取る。
- (2) 車上機器の制御：制御指令に従って車上機器を制御する。
- (3) 装置間伝送制御：端末装置との間で制御指令と車上機器状態情報の交換を光ファイバを介して行う。
- (4) 車上状態モニタ：車上機器状態、車両速度、軌道上位置、制御指令などを車制パネル面にLED表示し地上に転送する。また装置内に記憶しプリンタに出力できる。
- (5) 速度・位置の演算：位置検知装置からの位置パルス信号を計

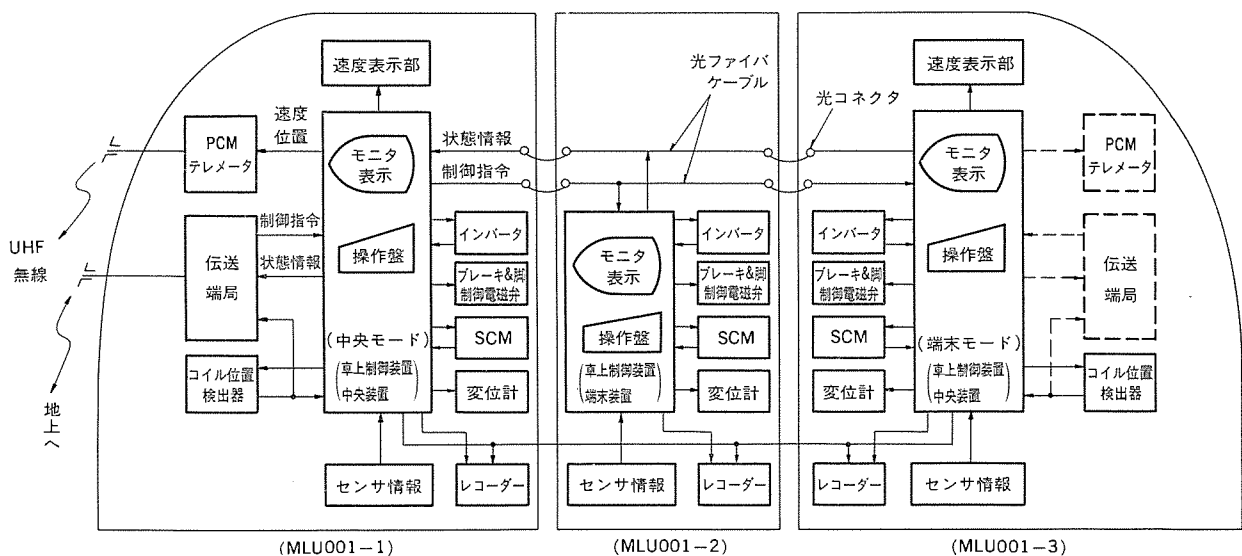


図1. 車上制御装置システム構成図

数し、車両速度と軌道上位置を演算する。

(6) 異常検知：車上電源の電圧低下、SCM異常電圧などを検知する。

(7) ブレーキパターンチェック：装置に内蔵した停止パターンと実速度とを比較し、必要に応じてブレーキ要求を出す。

(8) 手動操作：装置パネル面からの制御指令に従って車上機器を制御する。

一方端末装置は上記(2)(3)(4)(6)及び(8)項の機能を持つ。

### 5. 機器構成

装置のブロック図を図2に示す。装置の軽量化のため外箱はアルミ板とした。アルミニウムは磁気遮蔽効果がないため、磁界試験結果に基づき電源装置内のトランスなど個別に磁気シールドを施した。また電磁リレーは、磁界の影響を強く受けるため使用せず、トランジスタなどによって無接点化を図った。

論理処理部は2台の鉄道車両用8ビットマイクロコンピュータを使用し、一つは速度演算用、他方は車制問伝送を含めた車両機器の制御用となっている。光ファイバによる直列伝送部は図2に示すように伝送制御部、データリンク部、光ファイバ(艦)装線、光ジャンパ連結部で構成している。伝送制御部は情報の並列⇄直列変換、送受信の制御を行っており9.6Kb/s(キロビット/秒)の伝送速度を持つ。データリンク部は情報の光電変換部で、光回路形成用素子(光分配器)と光電変換用素子(O/E変換器)を持つ。O/E変換器は0.8μmの発光ピークをもつLED(発光レベル-14dBm)とPIN-PD(受光レベル-12~-45dBm)とで構成する。

光ファイバ艦装線、ジャンパ線はファイバコード4本の集合ケーブルで常時使用は2本、他の2本は予備コードとなっている。ファイバコードはコア径100μm、ファイバ径150μmのステップインデックス形多モード石英系ファイバ線を使用した。光ファイバを用いることで大きく重量軽減ができ、電気引き通し線を使用した場合との重量比較を表1に示す。

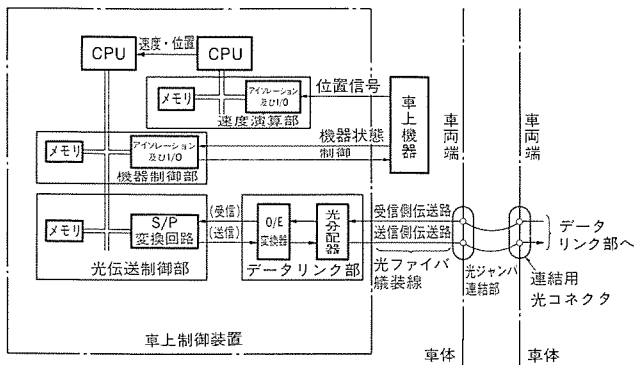


図2. 車上制御装置ハードウェアブロック図

表1. 電気引き通し線と光ファイバ線との重量比較表 (1車両当たり)

方式	引き通し線数	ケーブル径	ケーブル重量
光ファイバ	4本	12φ×1	1.2kg/10m×18m=2.16kg
電気引き通し線 (1.25sq)	150本	28φ(26心)×5 25φ(20心)×1	30.0kg/10m×18m=54kg

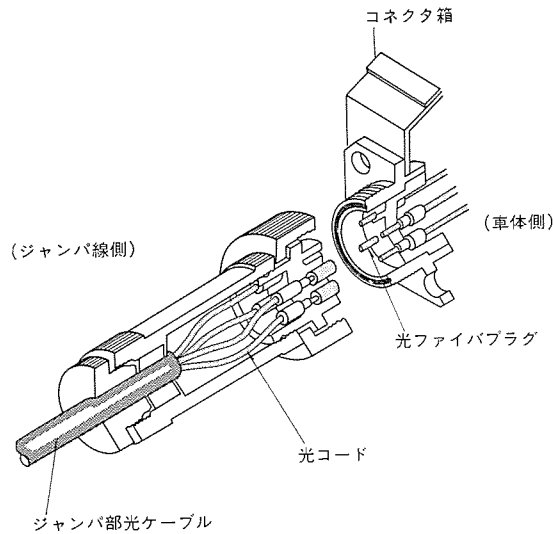


図3. ジャンパ光コネクタ部

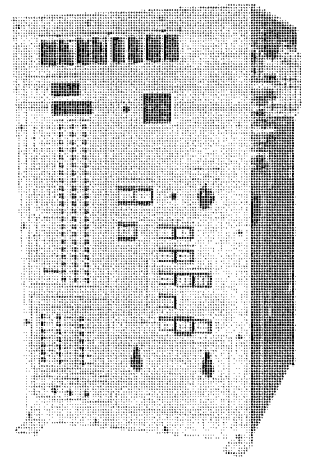
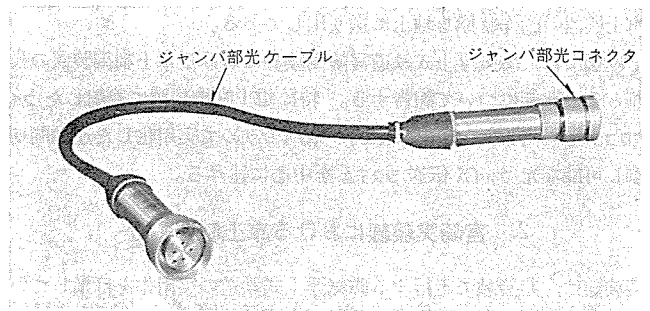
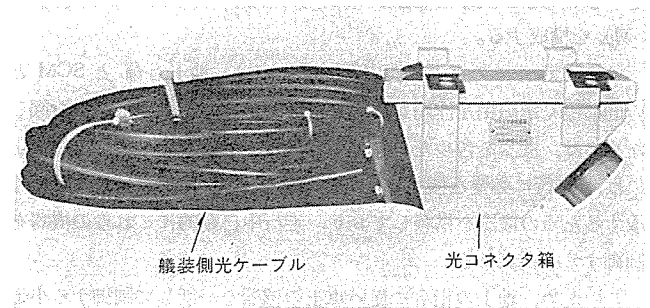


図4. 車上制御(中央)装置外観



(a) 光ジャンパ部



(b) 艦装ケーブル

図5. 光ジャンパ部及び艦装ケーブル

す。

ジャンパ連結用の光コネクタは車両の切離し、又は連結の際従来の電線と同様の扱いをファイバケーブルに対してもできるようにするための、耐振、防水及び接続損失の少ない構造になっている(図3参照)。

以上の構成による車上制御装置(中央装置)の外観を図4に、光ジャンパ連結部及び艦装ケーブル外観を図5に示す。

### 6. 制御及び性能

(1) 車上機器の制御

車上機器の制御は地上からの制御指令(又は車上操作盤からの手動操作)に従って行う。ただし脚(支持、案内車輪)制御は、一定の速度以下では脚が上らないようにしている。演算のサンプリング時間は機器制御が30ms、速度演算が200msである。また速度演算誤差は500km/hまで±1km/h以下である。

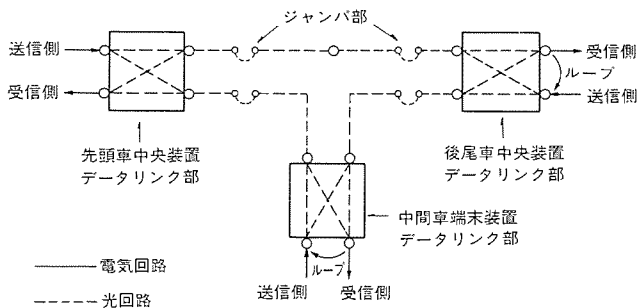


図 6. 光伝送路

(2) 車上制御装置間伝送制御

車上制御装置は 3 章に示すように中央装置と端末装置とからなり、中央及び端末装置は互いに光ファイバ伝送路を介して次の情報の授受を行う。

- (a) 制御指令情報：11 項目（中央→各端末装置）
- (b) 監視情報：22 項目 / 1 車両（各端末装置→中央装置）

伝送は送受信別々の伝送路を用い、各ビット状態に対応した光パルスを送受信させる直列データ伝送方式を採用している。伝送制御は 40 ms のサンプリング時間で中央装置が所定の端末装置を指定して信号を送信し、その端末装置からの信号を受信して 1 回の伝送が完了する対話形の方式をとっている。この場合、端末装置からの信号にその車両の状態情報が入っているときのみ正常に受信ができる。

また、伝送路の信頼性を高めるため送信側と受信側伝送路をデータリンク部で光分配器と電気回路で結ぶループ構成とした。これによりいずれか一方の伝送路が切断されても伝送の継続が可能になっている (図 6. 参照)。

7. 試験結果

外箱がアルミニウムのため、直流磁界に対する遮蔽効果が期待できず、耐磁界性を高めるための磁界試験を行った。また光ファイバ伝送部については、走行中の振動による光ジャンパ部の光損失を測定するための振動試験を行った。

(1) 磁界試験及びその結果

磁界試験は鉄心入常電導コイルと超電導磁石を用い車上制御装置で使用する主な部品について行った。その結果、スイッチングレギュレータが

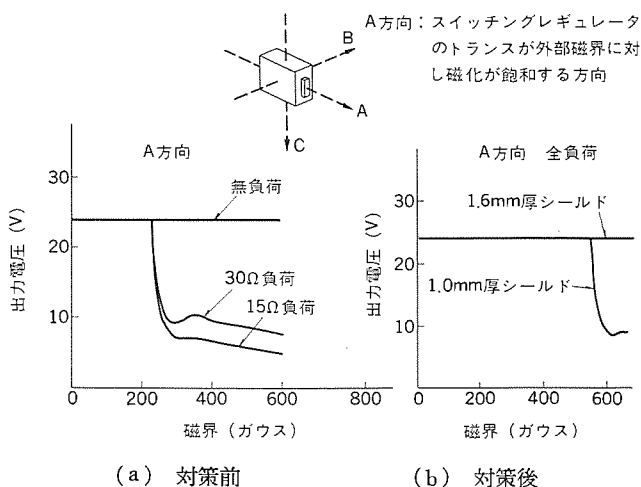
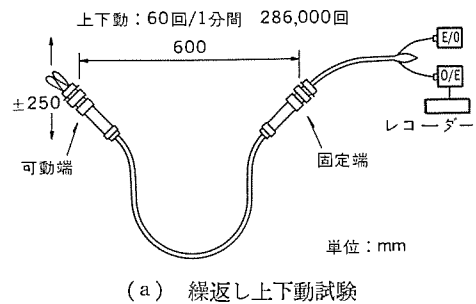
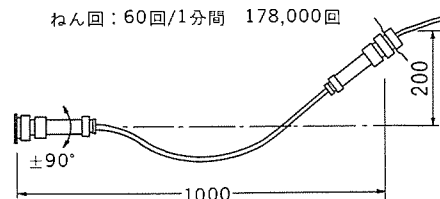


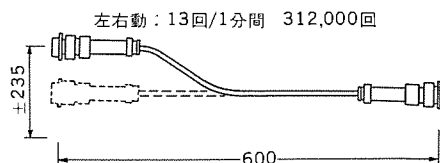
図 7. DC 24 V / DC 24 V スwitchングレギュレータ 磁界試験



(a) 繰返し上下動試験



(b) 繰返しねん回試験



(c) 繰返し左右動試験

図 8. 光ジャンパ部振動試験

特に大きく影響を受けることが明確になった。

スイッチングレギュレータは、内部のトランスに対して磁化が飽和する向きに磁界をかけるとその強さに応じて出力が低下した。この対策としてトランス、チョークなどに磁気遮蔽を施した (図 7. 参照)。

(2) 光ジャンパ部の振動試験

光ジャンパ部の機械的評価試験としては、繰返し上下動試験、繰返しねん回試験、繰返し左右動試験を JIS E 6801, また振動試験を JIS E 4031・2 種に準じて行った。試験方法としては両端でループを作った光ファイバジャンパケーブル (光コネクタ付き) の固定端側を光送受信機に接続し各試験に対する光出力変動を常時観測することとした (図 8. 参照)。その結果、いずれの場合も折損、光損失増加などの変化は一切みられなかった。

8. む す び

近年の列車システムの高性能化に伴い車両間を渡る情報量は、非常に多くなってきており今後光ファイバ伝送が従来の引き通し用電線にかわる日も近いと考えられる。本稿で述べてきたように、車両間引き通し線を光ファイバ線に置き換えることは光ファイバ線自身が誘導雑音を全く受けないため伝送系の信頼性が大幅に増すうえ、非導電性であるため動力ケーブルとの複合又は隣接が可能である。しかも光ファイバ線は小形軽量のため、スペースの有効活用、配線工事の省力化なども図れ非常に有用である。

今回、光伝送を行うにあたって耐振、防水を考慮した着脱可能な車両間ジャンパ連結用光コネクタを開発し、磁気対策を施した車上制御装置本体を含め、走行実験を通じて所期の性能を十分満足していることが確認できた。

最後に装置の設計及び実験にあたり、多大の御協力をいただいた関係者各位に深く感謝する次第である。

# 阪神電気鉄道(株)納め電鉄変電所集中管理システム

森本博文\*・鍋倉浩一郎\*\*・伊藤雅寛\*\*\*・川原健志\*

## 1. ま え が き

今回、阪神電気鉄道(株)に納めた変電所集中管理システムは、変電所10、特高系統数14、複線き電系統及び信号付帯高配系統を運営管理する中規模システムであるが、電力指令業務の画一的運営を目的にすべての業務の自動化をめざして開発したシステムである。

自動処理項目の拡大に当たっては、処理装置停止時の指令業務混乱、混乱防止のための二重化などによるコスト高、格納プログラムの膨張と使用率のきわめて悪いプログラムの準備面よりややもすれば妥協されたシステム化へと進むケースが多いが、今回開発したシステムは都市内鉄道として常に統制された指令業務であることこそが安定した電力供給への道であることに観点を置き、大幅かつ高度な自動化の採用を図った。

一方、システム構成面でも電力指令所の移転を機に従来の考えにとられることなく簡素なシステムを心掛けた。まず情報伝送装置は一連の系統制御上の制御遅れを許容し得る範囲から制御1:4対向方式とした。計算機は一重を基本条件とした。計算機停止時のバックアップ装置としては、マイクロプロセッサを用いたデータ処理装置にワンデスク形の操作卓とタイプライタを接続し、計算機停止中の指令業務渋滞の軽減につとめた。また従来、電力系統状態把握のため設けること

が常識とされていた電力系統盤は、高密度形CRTディスプレイ装置の採用と設備台数との協調のもとに、今回思いきって省略した。これらのシステム構成上の配慮から電力指令所はきわめてシンプルかつ機能性に富んだレイアウトが可能となった。システムの装置構成を図1に示す。

## 2. システムの特長

### 2.1 大幅かつ高度な自動処理制御化

電力管理業務における定形処理、記録処理、故障異常処理のすべてについて、計算機を有効活用した大幅な自動化を図っている。

特に、目的系統を指定するだけで順序制御処理を行う指定制御は6種類、故障発生に伴う異常時処理制御は12種類の処理制御を有し、計画停送電処理は停電区間及び予定停送電時間の入力のもとに、194通りの停電パターンのなかから制御手順を自動的に設定し制御を実行するなど、積極的な自動化をしている。

### 2.2 指令員の監視及び指令業務監視機能の充実化

#### (1) 変電所の状態、電力系統状況の同時把握

高密度画素のCRTディスプレイ装置により豊富な情報量の監視と、図形CRTディスプレイ装置を2台設置したことによる変電所の詳細な状況、電力系統状況の同時監視ができるようになっている。このCR

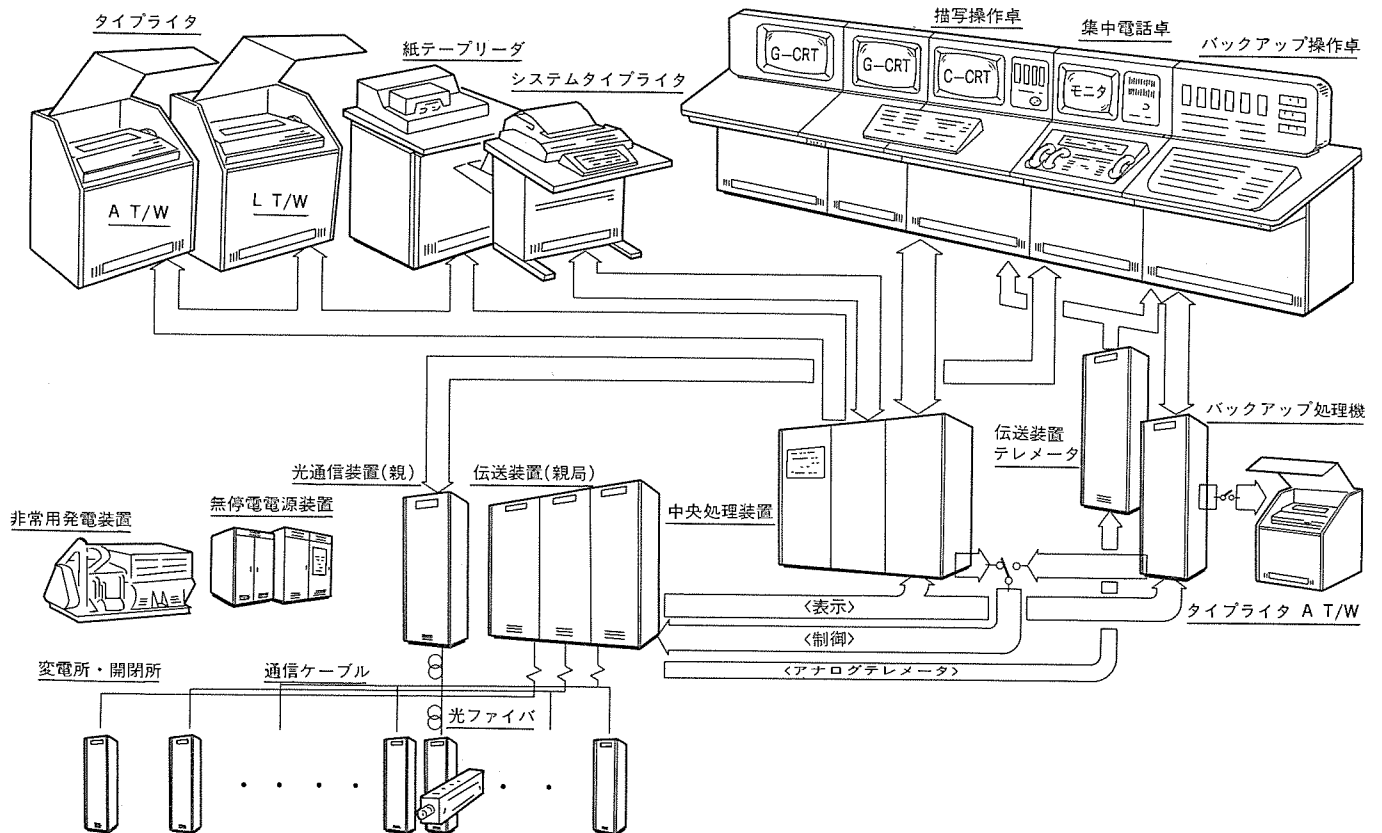
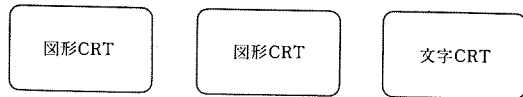


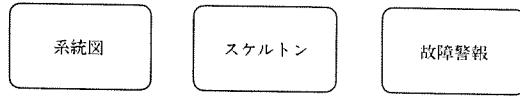
図1. システムの装置構成



T ディスプレイ 装置は、



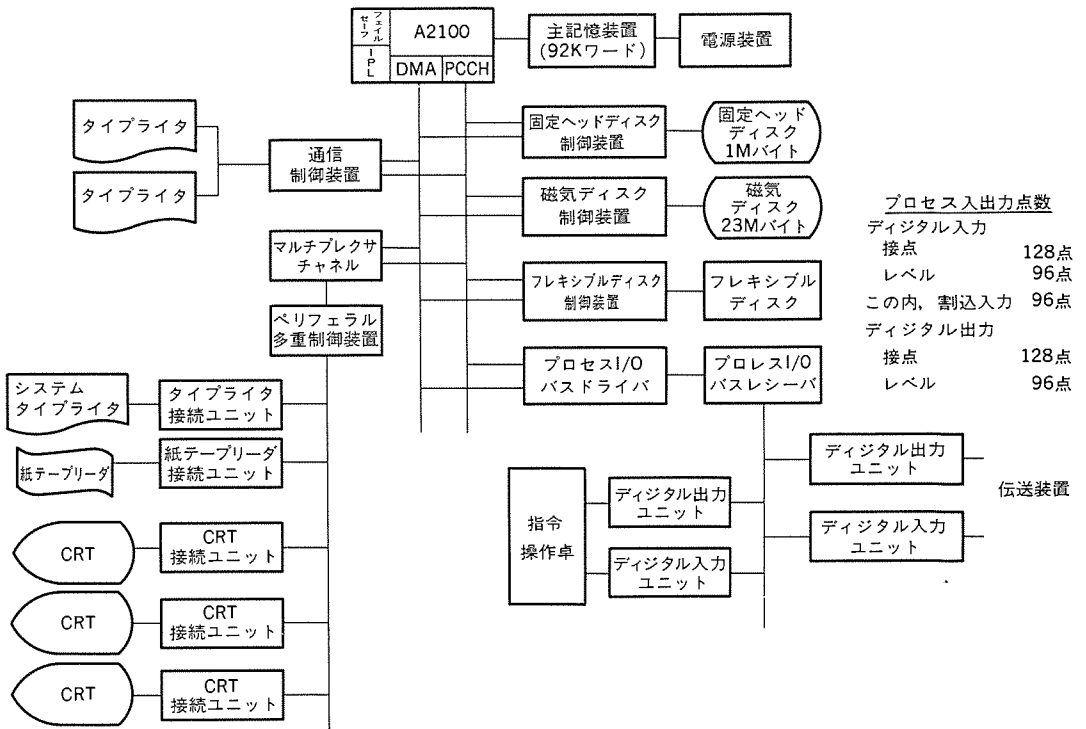
のように配置し、例えば変電所の状態変化発生時は、



というように自動的に表示を行い、故障内容に対応した該当変電所のスケルトン及びその故障に関連した系統図が同時に見ることができ、的確な判断を容易にしている。

### (2) 特高系統の電源系別母線加圧色表示

特高系統は、電力会社の四つの電源系で受電し社内送電線で接続し構成しているが、この電源系別に加圧時色別するとともに、無加圧時は黄色、異電源突き合わせ時は白色に色変化させ表示し、パターン認識を有効活用した監視手法としている。



プロセス入出力点数

デジタル入力	接点	128点
	レベル	96点
この内、割込入力		96点
デジタル出力	接点	128点
	レベル	96点

### 2.3 多様な配慮をしたシステム設計

このシステムでは次のような機能を付加している。

#### (1) 非遠制御機器状態入力

系統状況の現実に、より近づけた系統制御とするために、非遠制御機器の状態を指令操作卓から模擬入力し、制御の合理性(制御条件)のチェックに絡ませて処理するようにしている。

#### (2) 54 Hz 表示入力

指令操作卓からの入力により、54 Hz に振替えられたとき電遮断器は、その遮断器の状態表示に 54 Hz 使用中を付加して表示し、代替状況を把握できるようにしている。

#### (3) ルーテイング切替時の同期検定

特高系統における電源系の無停電切替時、自動的に同期検定処理を行い無停電ルーテイング切替ができるようにしている。

## 3. システムの構成

### 3.1 計算機システム

#### 3.1.1 ハードウェアの構成

このシステムをコントロールする計算機には、高性能・高信頼度で、かつコンパクト設計の三菱工業用計算機《MELCOM 350-50》A 2100を採用した。また、マンマシンインタフェースとして高解像形 20 インチ CRT の M 2398-10 (4,800 画素)を採用することにより、多情報でかつ見やすい画面を実現している。計算機ハードウェア構成図を図 2.

に示す。

#### 3.1.2 ソフトウェアの構成

このシステムを構築するソフトウェアとしては、ベーシックレベルのソフトウェアから、各種アプリケーションプログラムレベルのソフトウェアまで多種多様のソフトウェアがあるが、システムで発生する各種の処理要求をリアルタイムに効率よく実行するため、図 3. に示す構成としている。

##### (1) ベーシックプログラム

###### (a) スーパーバイザ (TSOS-D)

タスク管理、メモリ管理、入出力制御管理、資源管理などを行う。

図 2. 計算機ハードウェア構成図

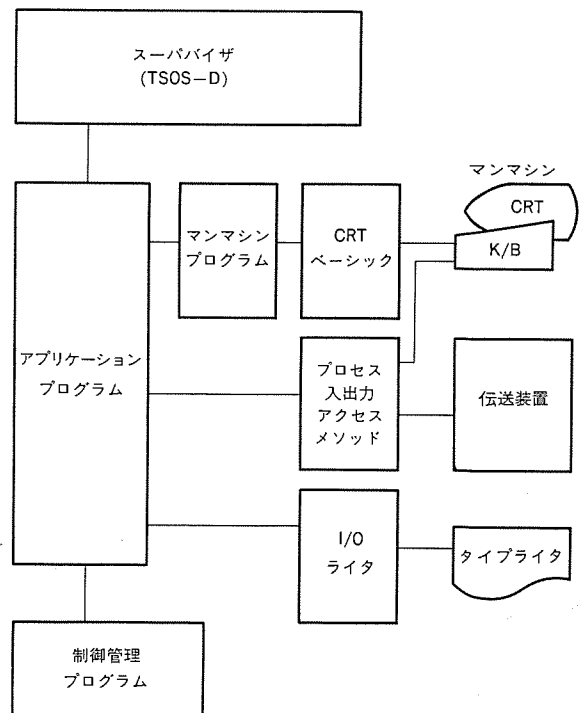


図 3. 計算機ソフトウェア構成図

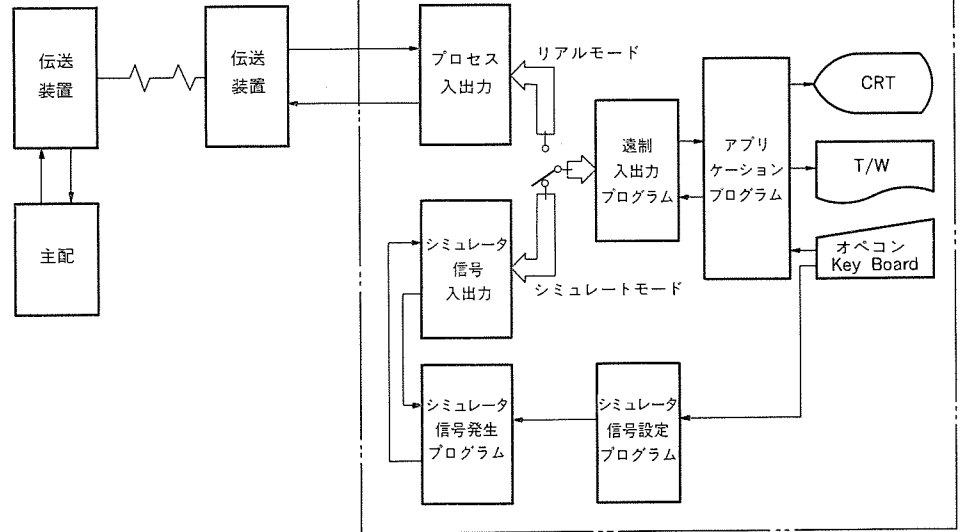


図 4. ソフトウェアシミュレータ機能概念図

(b) I/O ライタ

回線経由でアナウンスメント及びロギングタイプライタへの印字出力などを行う。

(c) CRT ベーシックサブルーチン

M 2398-10 (20 インチ CRT) の入力及び表示出力を行う。

(d) プロセス 入出力 アクセスメソッド

プロセス 入出力を容易に行えるよう物理アドレスによるアクセス機能と割込処理機能を有する。

(2) 制御管理 プログラム

アプリケーションプログラムの実行時、互いの処理競合を避け処理要求の順序管理を行う。

(3) マンマシンプログラム

CRT を設置したオペレータズコンソールに対する会話などの一切の処理を行う。マンマシンプログラムを介することによって各アプリケーションプログラムは、直接、対オペレータズコンソール処理を行う必要がなくなった。

(4) アプリケーションプログラム

このシステムの機能を実現しているプログラム群で、各種監視、制御を行うもので以下のように大別する。

(a) 周期起動するプログラム

計算機の内部タイマによって起動するもので、遠制御入出力処理、スケジュール制御などがある。

(b) スキャニングによる変化検知で起動するプログラム

変電所の状態変化により起動し、変化をタイプライタ印字、CRT 表示する状態処理などがある。

(c) オペレータズコンソールよりの割込みで起動するプログラム

指令員が key を押し、処理を要求することによって起動するプログラムで各種制御プログラム(単独制御、指定制御、計画停送電制御、故障制御など)がこれに含まれる。

(d) 定時刻に起動するプログラム

計算機内部のカレンダーに従って起動するプログラムで、電力日報作表、電力統計作表、機器・故障統計処理などがある。

3. 1. 3 ソフトウェアの特長

(1) CRT との対話

CRT を使用するシステムは、アプリケーションプログラムとマンマシンプログラムとのインタフェースプログラムが必要となる。また、往々にして変更を余儀なくされることが多い。そこでこのシステムでは、インタフェースプログラムを介さず、会話コントロールワードとマンマシンプログラムのみで対処し、機能分離を明確にすることによって変更などにも強い構造としている。

(2) シミュレートモード

このシステムでは、リアルモードのほかにシミュレートモードを持たせ、工場内でのソフトウェア総合試験、指令員の教習及び増設工事における試験などを容易にしている。以下にソフトウェアシミュレータの機能を示す。概念図を図 4. に示す。

(a) 伝送装置模擬機能

伝送装置の伝送手順の模擬を行う。

(b) 保護連動模擬機能

オペレータズコンソールから現場シーケンスの連動を模擬入力し設定を行

う。

(c) 異常動作模擬機能

オペレータズコンソールから発生タイミングを入力し設定しておくことにより、伝送装置の異常動作、保護連動の異常動作を実現することができる。

シミュレートでは、現地機器の状態及び故障状況を具備しており、これら機能とアプリケーションプログラムとを駆使することによりあたかも現地設備を運転しているように操作することができる。

(3) プロダクション

効率的なプロダクションを行うために以下の方法を採用した。

(a) チーフプログラマチーム

設計チーム、プログラム作成チーム、テストチーム、現地調整チームと作業単位にソフトウェア製作体制を分離し、それぞれのチームをチーフが一括管理することにより一貫した技術レベルの確保を図った。

(b) 高位言語

CONFORM という JIS 7000 レベルの FORTRAN に工業用の諸機能を追加した高位言語を使用し、コーディングデバッグの期間短縮を図った。

(c) トップダウン設計

HIPO を使用し、徹底した構造化、ドキュメントベースのトップダウン設計を行った。

3. 2 バックアップシステム

3. 2. 1 ハードウェア構成

このシステムはコントロール装置として、高性能・高信頼かつ低消費電力設計のマイクロプロセッサを使用した《MELFLEX 400》採用のバックアップ装置と、マンマシンインタフェースとして操作記録印字のためにタイプライタ装置を制御監視のために表示灯・指示計を配列したバックアップ操作卓を設け、むだの無い高性能バックアップシステムを実現している。バックアップシステムハードウェア構成を図 5. に示す。

3. 2. 2 ソフトウェア構成

このシステムを構成するソフトウェアは、計算機システムと同様にベーシックなものから各種アプリケーションプログラムに至るまで多く用意され、システムにて発生する各種処理要求を効率良く処理するよう図 6. に示す構成としている。

(1) ベーシックプログラム

(a) スーパーバイザ (モニタ C)

リアルタイムに実行するすべてのプログラムの管理を行う。

(b) 入出力制御プログラム (I/O P)

A/I, A/O, タイプライタなどの入出力デバイスを制御するプログラムで、モニタ C の制御下において実行する。

(c) 印字フォーマット

ソースデータとして、各種の文字列・2進データを受けアプリケーションプログラムにより作成した印字フォーマットテーブルに従って、タイプライタに出力可能なデータ編集処理を行う。

(2) アプリケーションプログラム

このシステムの機能を実現しているプログラム群で、次にあげる二つに大別される。

(a) サイクリックに起動するプログラム

伝送装置から送られてくるデータを常時スキャンングにより取込み、状態変化により起動を行い、タイプライタ印字、若しくはバックアップ卓上の各種表示灯・指示計に表示する処理などがこれに含まれる。

(b) 割込み処理プログラム

バックアップ卓からの割込みにより起動するプログラムであり、指令員のkey操作による処理要求により起動する。局選択、機器選択処理、電力量補正処理などがこれに含まれる。

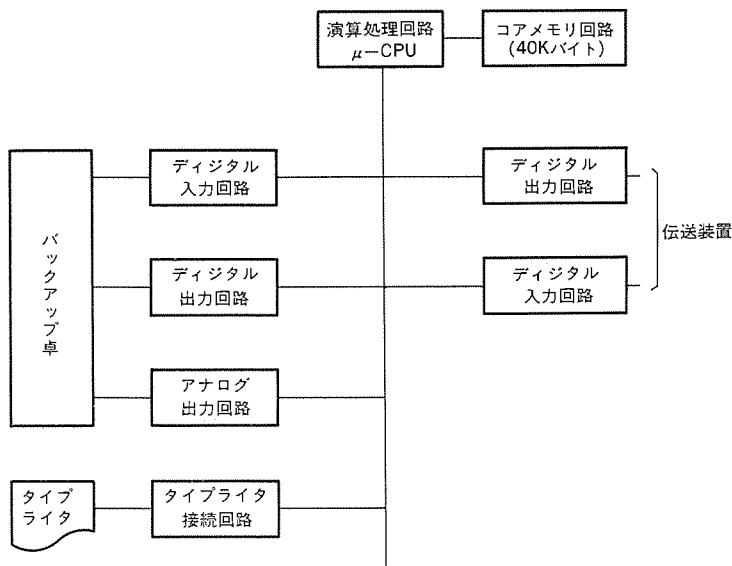


図 5. バックアップハードウェア構成図

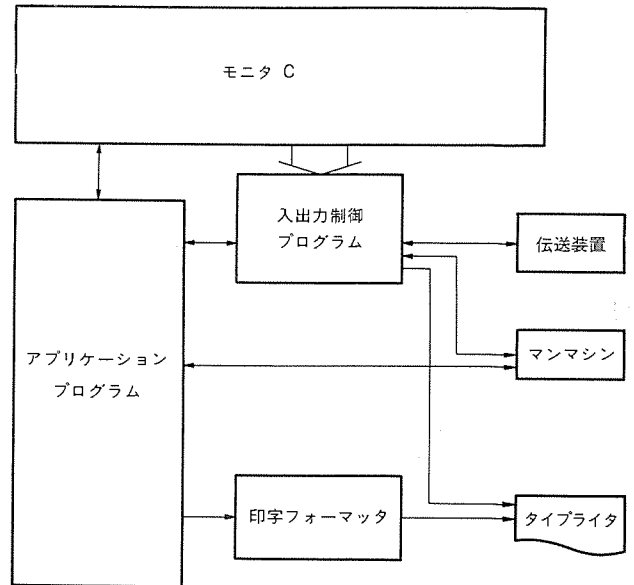


図 6. バックアップソフトウェア構成図

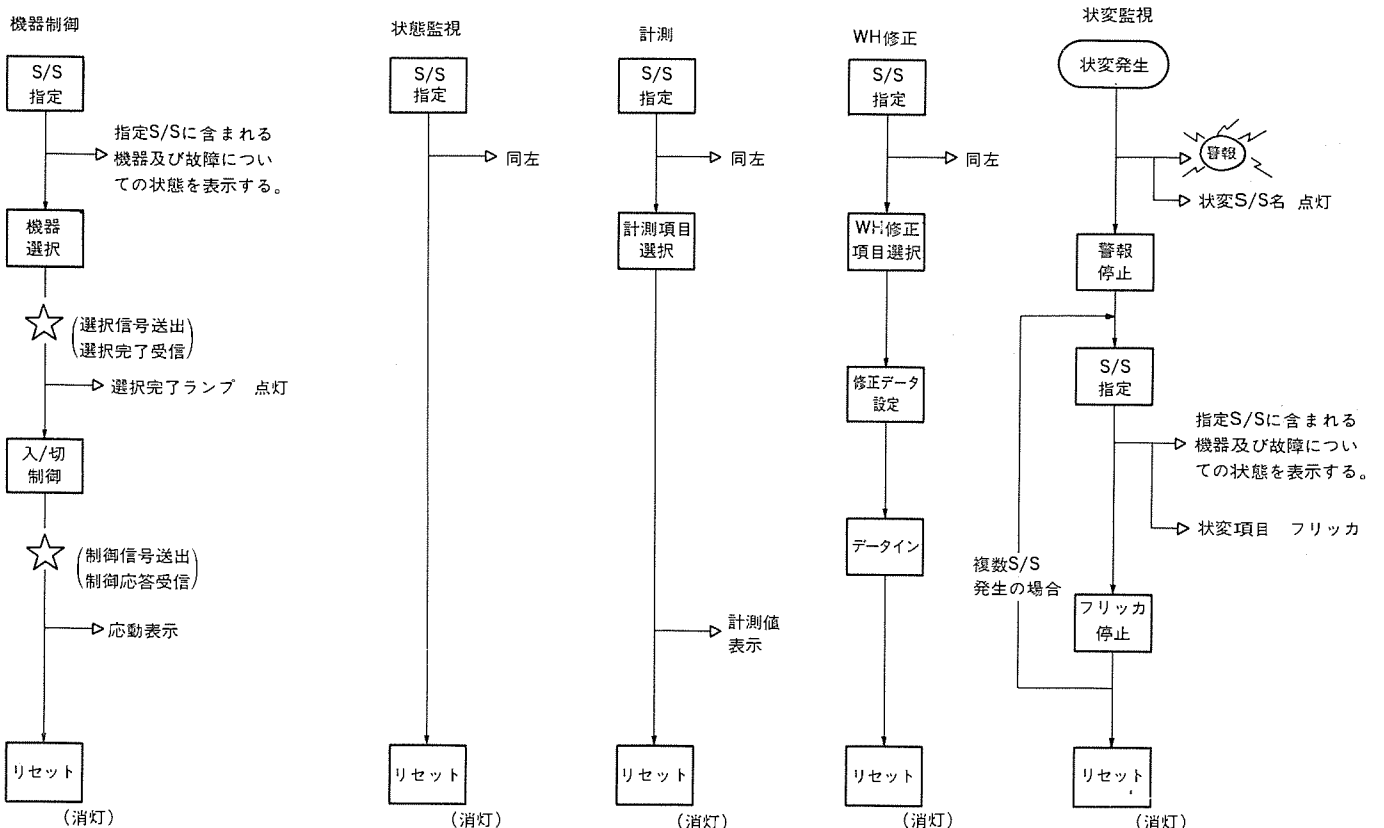


図 7. バックアップオペレーションフロー

### 3.2.3 バックアップシステムの特長

(1) マイクロプロセッサの採用によるフレキシブル性  
変電所設備の増設・変更に対して、インデックステーブルの追加変更のみで容易に対処できる。

(2) 信頼性の向上  
主要論理をソフトウェア化することにより使用するハードウェアの種類を限定、十分なデレーティング設計が可能となり信頼性が著しく向上している。

(3) 低消費電力設計  
《MELFLEX 400》は低消費電力設計が実施されているため、従来の同一機能装置に対し1/3程度の消費電力であり、高密度実装でありながら自然空冷を可能としている。

(4) タイプライタ設置の互換性  
バックアップシステムに使用のタイプライタと計算機システムにて使用のタイプライタを全く同一仕様のものとし、相互に交換することを可能としシステム稼働率を高めている。

(5) 集約形デスクによるマンマシンの小形化  
従来変電所ごとに設けていた制御卓を機器選択スイッチ・故障表示灯・指示計など各変電所の最大数を配置し、S/S指定スイッチとの併用にて制御、監視を行うようにしたことにより小形化するとともに従来とあまり変わらない操作性を確保している。図7.に代表的なオペレーションのフローを示す。

### 3.3 伝送システム

#### 3.3.1 伝送システムハードウェア構成

伝送システムは指令所装置として、伝送装置・アナログテレメータ装置・光伝送装置、また変電所装置として伝送装置・伝送補助装置・光伝送装置（出屋敷開閉所のみ）で構成している。指令所と各変電所間の伝送路は、制御・表示回線各1Pの有線回線と出屋敷開閉所～指令所間に布設される光ファイバケーブルによる光回線により構成している。

#### 3.3.2 伝送装置の仕様

このシステムに使用の伝送装置は、その論理回路にLSI、CMOSを使用して高信頼度化・小形化・低消費電力化を図った《MELFLEX 310》を採用している。伝送装置は10箇所の変電所・開閉所を計算機入出力回路の低減及び信頼性設計、システム許容時間などの検討から表1.による仕様としている。

#### 3.3.3 光伝送装置の仕様

光伝送装置は出屋敷開閉所と指令所間に設置している。装置の主目的は制御及び表示のデータの伝送であるが、光伝送の広帯域伝送特性を利用しITVの画像伝送、変電所の機器動作音も伝送する機能も付加している。

光伝送装置は、表2.に示す仕様を持った光電気変換部と伝送路を光系にするか有線系にするかの手動切換回路、及び光異常の場合自動的に有線系に切換わる機能を持った回線切換部で構成している。

表 1. 伝送装置仕様

	制 御	表 示	計 測	備 考
対向方式	1:4	1:1	1:10	
符号方式	NRZ 等長符号	NRZ 等長符号	—	
同期方式	フレーム同期方式	フレーム同期方式	—	電気学会通信専門委員会 CDT 情報伝送装置仕様基準に準拠
符号検定方式	連送照合+パリティ検定+定マーク検定	連送照合+パリティ検定	—	
伝送方式	常時サイクリック伝送	常時サイクリック伝送	選択時伝送	
計算機との受渡し	電流信号によるレベル渡し (ワード直列ビット並列)	電流信号によるレベル渡し (ワード直列ビット並列)	0-24V 信号による接点渡し (選択信号)	
M O D E M	伝送速度 (b/s)	200	200	50
	使用周波数 (Hz)	1,200	800 (出屋敷S/H 2,400)	2,465 (東明S/S 2,465) 2,635, 2,805 (出屋敷S/H 2,805) 2,975, 3,145
	レベル (dBm)	送信 -2~-30 受信 0~-22	送信 -2~-30 受信 0~-22	送信 -2~-30 受信 0~-22

表 2. 光伝送装置仕様

項 目	仕 様
伝 送 方 式	波長多重双方向伝送
伝 送 信 号	カラー映像信号+音声相当各1ch
変 調 方 式	直接IM (映像信号) FM-直接IM (音声ch)
伝 送 波 長	0.87 μm (出屋敷→指令所) 0.80 μm (指令所→出屋敷)
発 光 素 子	LED
受 光 素 子	APD
A G C 方 式	パイロット検出 Full AGC 方式
音声サブキャリア	7.5 MHz

## 4. む す び

指令業務の自動化をめざし計算機やデータ処理装置を主体にしたシステムは、ますます進展するものと考えられる。今後もシステム機能・構成などにレベルアップを図り、より魅力のあるシステムの実現に、たゆまぬ努力を積む所存である。

最後にこのシステムの開発に際し、多大の御協力・御指導いただいた阪神電気鉄道(株)殿の関係者各位に感謝の意を表す。

# サイリスタ遮断器を用いた電鉄用静止形直流給電システム

大沢 喜信\*・鈴木 敏夫\*・冬広 力\*・米畑 讓\*・田中 実\*

## 1. ま え が き

最新の電鉄用直流変電所では、SF<sub>6</sub>ガス絶縁機器、モールド変圧器、フロン沸騰冷却式整流器、電力回生インバータ、静止形継電器などの採用により、省エネルギー・省力化が図られている。

一方、これらのシステムの直流回路の開閉や事故電流の遮断には直流高速度遮断器(HSCB)が使用されており、機械的に開閉を行うため主接触部の消耗が激しく、前記の機器に比べ保守点検に手間がかかるものとなっている。このため、HSCBに代わる無騒音、無アークの省力形機器の実現が待たれていた。

サイリスタ遮断器に関しては、当社は日本国有鉄道と共同で開発を進め、昭和53年には既に1,500V、2,000Aの通電能力を有するサイリスタ遮断器を完成させ、日本国有鉄道福塩線上戸手変電所において長期実負荷試験を行い良好な結果を得、実用化へ自信を深めた<sup>(1)(2)</sup>。その後も、電鉄用直流変電所システムの直流回路の静止化による省力化を目指すにあたり、単にHSCBをサイリスタ遮断器に置き換えるだけでなく、直流変換器も含めたシステムとして機能的にかつ経済的に静止化する方式について研究を進めていた<sup>(3)</sup>。

このほどその成果として、サイリスタ遮断器を用いた静止形直流給電装置を開発、製作し、札幌市交通局(琴似変電所)に納入した。装置は運輸省の認可を得て昭和57年2月に正式実用運転に入っている。この装置は直流変換器としてサイリスタ整流器を使用し、その直流出力制御機能との協調により事故電流の遮断、き電回路の保護を行うものであり、世界でも初めての試みである。

以下にこの装置にも使用しているサイリスタ遮断器の動作原理、この装置による静止形直流給電システムの概要、動作、特長、試験結果などについて概要を紹介する。

## 2. 静止形直流遮断器の原理

直流電流が流れているサイリスタを消弧させる場合、強制的にサイリスタに逆電流を流しサイリスタ電流を零として消弧を行う必要があり、サイリスタ遮断器は、基本的に負荷電流を流す主サイリスタと強制消弧のための転流回路とにより構成する。

図1. はサイリスタ遮断器の基本原理図で、その動作を簡単に説明すると次のとおりである。転流コンデンサCAは、あらかじめ別電源により図示の極性に充電している。負荷電流Iは主サイリスタMTHを通して負荷RLに供給する。事故電流の検出時あるいは遮断指令

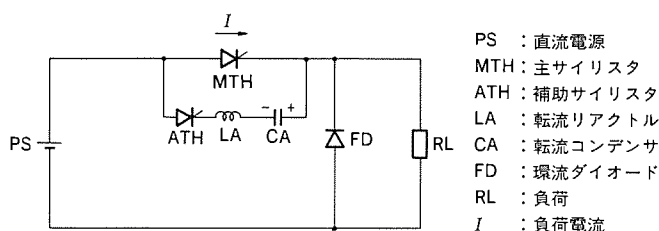


図1. サイリスタ遮断器の基本原理図

時、MTHのゲート信号を停止すると同時に補助サイリスタATHを点弧すると、CA→MTH→ATH→LA→CAの経路でIと逆方向に転流電流が流れ、これがIと等しくなったとき、MTHの電流は零となりターンオフする。一方、負荷電流は電源PS→ATH→LA→CA→RLの経路に転流し、CAを図示と逆極性に電源電圧以上になるまで充電して、電源電流が零となるとともにATHもターンオフし遮断が完了する。更に環流ダイオードFDが通電を開始して、負荷のインダクタンスに蓄えられた電磁エネルギーを消費して負荷電流も減衰する。転流コンデンサCAは別電源により再度図示の極性に充電され、次の投入、開放指令に備える。

## 3. 静止形直流給電システムの方式と特長

### 3.1 現行の直流変電所システム

現行の直流変電所では、変換器はほとんどシリコン整流器が使用され、その冷却もフロン沸騰冷却方式が用いられて、全く可動部分の無い静止機器となってきている。

一方、回路の開閉や事故電流の遮断には、従来より直流高速度遮断器(HSCB)が使用され保護協調がとられている。しかしHSCBは機械接点を有し、電流遮断時の回路エネルギーをアークエネルギーに変えて遮断を行うため、主接触部の消耗が激しく保守点検に手がかかるものとなっている。また、遮断は高速度に行われるものの機械的な動作であるため、事故時の遮断電流は整定電流に比べて高く、現行の規格では推定短絡電流50kAで遮断電流は25kA以下となっており<sup>(4)</sup>、遮断時間はほぼ20ms以下である。整流器、変圧器などの機器はこの事故電流に対し十分な耐量が必要となる。また大容量変電所では、直流母線を分離してHSCBの遮断容量に見合った設備構成とする場合もある。

### 3.2 静止形直流給電システム

き電回路を静止化することによって、

- ・保守の省力化が図られる。
- ・事故電流を早期に遮断し、遮断電流もほぼ日盛値に近い値に限

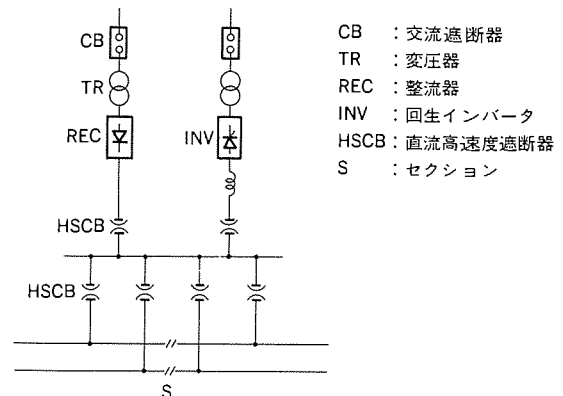


図2. 電鉄用直流き電回路の基本構成(回生インバータのある場合)

表 1. 静止形直流給電システム例

項目	方式	(a)	(b)	(c)
回路構成				
凡例		<ul style="list-style-type: none"> <li>交流遮断器</li> <li>変圧器</li> <li>サイリスタ整流器</li> <li>回生インバータ</li> <li>サイリスタ遮断器 (THCB)</li> <li>ダイオード</li> <li>セクション</li> </ul>		
特長, その他		<p>HSCBをTHCBの逆並列接続あるいは両方向性THCBで置き換えたもの。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>すべての事故電流を遮断できる容量とすればシリコン整流器でも可。(インバータ保護用THCBが必要)</li> <li>従来のHSCBとの単独置換が可能。</li> </ul>	<p>回生方向遮断器を共通に一組とし、各き電回路とはダイオードにより接続したものの。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>同左</li> <li>回生側を共通化することによりTHCBの数を低減したものの。</li> <li>サイリスタ整流器との協調により転流回路の簡素化が可能。</li> </ul>	<p>各き電回路をサイリスタ整流器とし、ダイオードブリッジと共通のTHCBを通して接続したものの。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>き電の停止は該当サイリスタ整流器の電流遮断と共通のTHCBの遮断により行う。</li> <li>交流側を共通母線とする事も可能。</li> <li>THCBは全体で一組でよい。</li> <li>サイリスタ整流器の総容量は増加せず、THCBを通して相互予備とできる。</li> </ul>

の方向にサイリスタ遮断器を設け、力行方向電流は各サイリスタ遮断器の主サイリスタ(TS)を通して給電する。

一方、回生方向電流は各回線に設けられた回生ダイオード(RD)による弁を通じて一つにまとめられ、共通に設けた一組の回生用サイリスタ遮断器の主サイリスタ(TM)を通して直流母線に流れ、他のき電回路に給電されるかあるいは回生インバータにより回生される。回生インバータは直流母線に接続されて、チョップ車両の回生エネルギーが他のチョップ車両に消費されずに変電所に回生されてきた場合、交流側に逆変換し車両の回生失効を防止する。各力行方向遮断器に設けられた還流ダイオード(FD)は力行方向電流の遮断時、き電線のリアクタンスに蓄えられた電磁エネルギーを短絡する。また選択回路は、力行方向遮断器(54F)の遮断時、該当の54Fのみに転流回路からの転流電流を供給するように動作する。

回生方向遮断器(54R)は、それ自身転流回路を含むサイリスタ遮断器を構成している。

逆方向ダイオード(MD)は54R遮断時の転流電流が54FのTS, RDに流れるのを少なくするとともにすべての54F開放状態時に、54Rの無負荷遮断が行えるように設けた。

この静止形直流給電装置は機械的な接点を持ってないので、電流

流遮断される。

・遮断時にアークなどもなく、また動作時の騒音も無い。

などの効果が期待され、諸外国でも試作研究が行われている<sup>(5)</sup>。

当社では昭和53年2月に1,500V, 2,000Aの通電能力を有するサイリスタ遮断器を日本国有鉄道と共同開発し、同上戸手変電所において短絡遮断試験、長期実負荷試験を実施し、その実用性を確認した。一方、サイリスタ遮断器はその動作原理からも分かるとおり、逆方向電流が阻止されるため、直接き電用の遮断器として使用するには何らかの対策が必要であった。

図2. に示すような代表的な電鉄用直流き電回路を考えたとき、き電用の遮断器は力行方向電流を給電するだけでなく、回生電流あるいは隣接変電所からの延長給電など回生方向電流をも通電しなければならない。また、き電事故時には事故電流を遮断・開放して事故回線の切離しを行う必要がある。

表1. は以上のような機能を備え、図2. と同様の方面別電車線路にき電する場合の静止形直流き電システムの代表例である。今回の実用化では、サイリスタ遮断器単体の小形化にとどまらず、システム構成の合理化によりサイリスタ遮断器の省略、節減を図り、装置の小形化、経済化を進めるため表1. (b)の方式でかつ転流回路の簡素化を行った。

#### 4. 静止形直流給電システムの概要

##### 4.1 構成

図3. は今回製作、納入した札幌市交通局琴似変電所の直流き電回路の概要である。交流電源は変圧器、サイリスタ整流器により直流電圧に変換し直流母線に給電する。サイリスタ整流器は通常、直流電圧を一定制御し、軽負荷時の直流電圧上昇を抑制する。今回の静止形直流給電装置は、直流母線から各き電回路

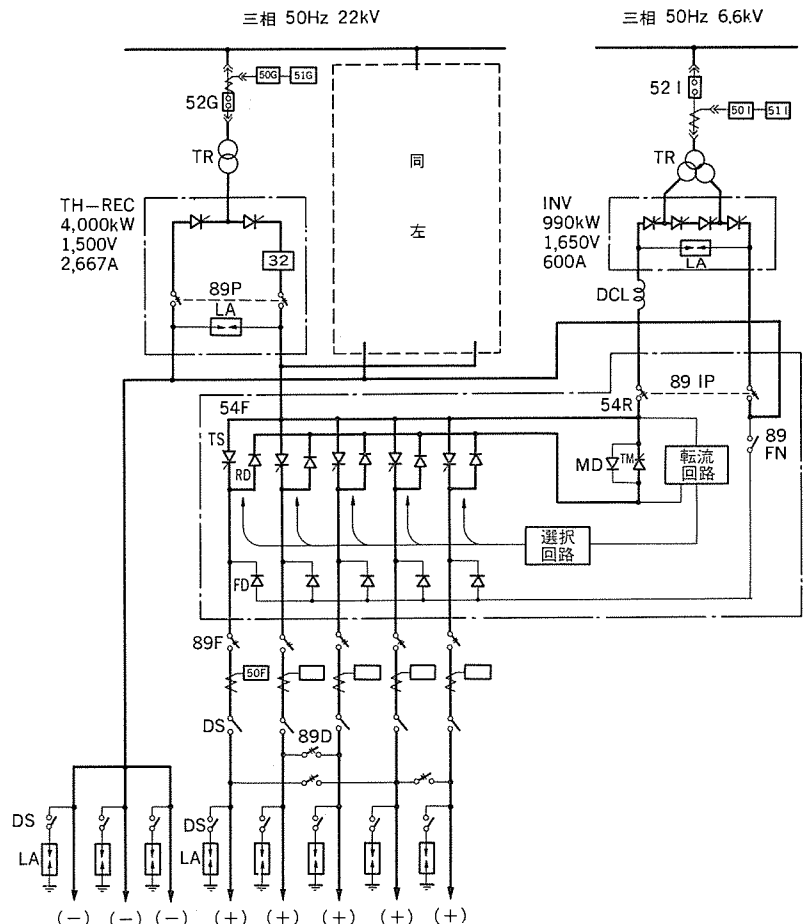


図 3. 札幌市交通局琴似変電所概略単線接続図



遮断を行っても電気的には高インピーダンスを通して接続されたままとなるため、架線の保守時などの安全確保に各き電線の断路器(89F)を電動による遠方操作ができるようにした。

更にサイリスタ整流器自身、電流遮断機能を備えていることから、整流器、回生インバータの保護用として従来より設けられるHSCBを省略し、電動断路器(89P, 89IP)とした。

以上、このシステムによると一切のHSCBが省略され、通常は操作されない保安上の断路器を除き、直流き電回路の静止化が行われた。

#### 4.2 動作原理

次にこの装置による電流遮断動作について説明する。

##### (1) 回生方向過電流遮断

回生過負荷など回生方向過電流の遮断は54Rにより行う。54Rの遮断は、TMのゲート信号を停止するとともに、転流回路より転流電流をTMの逆方向に流すことにより行う。この転流電流が回生方向電流と等しくなるとともにTMはターンオフし、回生方向電流は転流回路に転流する。き電線に蓄えられた電磁エネルギーは転流回路に吸収され、回生方向電流が零となって遮断が完了する。

##### (2) 力行方向電流遮断

54Fによる力行方向電流の遮断は54Rの転流回路と選択回路により行う。このため、遮断動作時は該当のTSのゲート信号を停止するとともに、転流回路と選択回路により遮断しようとするTSに転流電流を供給する。この転流電流が力行方向電流と等しくなるとともにTSはターンオフし、力行方向電流は転流回路に転流する。電源側に蓄えられた電磁エネルギーは転流回路に吸収され、力行方向電流が零となって遮断が完了する。き電線に蓄えられた電磁エネルギーはFDにより短絡されて減衰する。なおこのとき54Rの転流回路を使用するため、54Rの遮断も同時に行う。

##### (3) 力行方向過電流遮断

き電回路事故時など力行方向過電流時は、基本的には(2)項の力行方向負荷電流遮断と同様の方法で54Fを遮断するが、その動作に54R遮断を伴うため、54R遮断完了までの事故電流増加を防止するようにサイリスタ整流器による電流絞り込みを併用する。つまり、力行方向過電流時はTSのゲート信号停止と同時に54Rの遮断、サイリスタ整流器の電流絞り込みを行い、力行方向事故電流の抑制を行う。その後(2)項と同様の方法により54Fの遮断を行う。サイリスタ整流器はTSがターンオフした後、電圧発生可能となる。

#### 4.3 特長

この装置による新しい直流き電システムはサイリスタ整流器、サイリスタ遮断器を有機的に組合せた方式であり、次のような特長がある。

(1) 直流き電回路の静止化により、①高速度の電流遮断を行い、事故電流も小さく抑制できるため、事故点の損傷を軽減し、機器に与える影響も小さくなる。②開放、投入が短時間に行え、操作に要するエネルギーが小さい。③無アーク遮断のため騒音が無く、アークによるトラブルも無くなり、保守点検周期が長くなる。

(2) サイリスタ整流器の出力制御機能により、①ピーク負荷に対し、出力電流を抑制し、隣接変電所へピーク電力を分散することができるので設備容量の低減が可能である。②変電所の出力電圧を制御し、軽負荷時の電圧上昇を抑制することにより回生インバータの電圧を下げることができ、車両の回生率を向上させることができる。

(3) このシステムによる力行方向過電流遮断は、サイリスタ整流器の電流遮断機能との協調により遮断を行う方式としているため、各54

Fの電流遮断総設備容量を大幅に低減できる。また、54Rを共通に一組とする回路方式を採用したことにより、逆方向電流に対する遮断器数も少なくできる。

## 5. 静止形直流給電装置の概要

### 5.1 装置の仕様

この装置の主な仕様を表2.に、外観を図4.に示す。

### 5.2 装置の構成上の特長

#### (1) 素子の選択

実回路における将来の車両増強も考慮し、シミュレーションにより定格を決定した。この定格電流及び開放状態時の雷サージの印加などを勘案し、素子の選定を行った。54F, 54Rの主サイリスタとしては三菱大電力サイリスタFT2500BH-56(2,500A, 2,800V)を使用した。また回生ダイオードについても常時負荷は小さいが、ピーク電流が大きいため三菱大電力ダイオードFD1600A-50(1,600A, 2,500V)を使用した。大電力素子の使用により素子数を少なくし、装置の小形化及び信頼性の向上を図った。またそれぞれについて、サージ電圧印加時のオフ電圧上昇率、ターンオン時のオン電流上昇率が素子の耐量を超えないよう適切なサージアブソーバも考慮した。

#### (2) 気中フィン形フロン沸騰冷却方式の採用

大電流素子の使用に伴い素子当たりの発生ロスが大きいため、効率

表2. 静止形直流給電装置の仕様

項目	54F (5回路)		54R
	き電用サイリスタ	回生用ダイオード	回生用サイリスタ
定格電圧	1,500V	1,500V	1,650V
定格	S種	S種	S種
定格電流	1,300A連続 4,500A, 20s	200A連続 2,500A, 20s	600A連続 3,000A, 20s
検出整定値	4,500A	2,500A	3,000A
遮断方式	サイリスタ整流器及び54Rとの組合せ	54Rによる	自己遮断
冷却方式	フロン沸騰自冷式	気中自冷式	フロン沸騰自冷式
使用素子	FT2500BH-56 2,500A, 2,800V	FD1600A-50 1,600A, 2,500V	FT2500BH-56 2,500A, 2,800V
周囲温度	40°C	40°C	40°C



図4. 外観(現地据付状態)

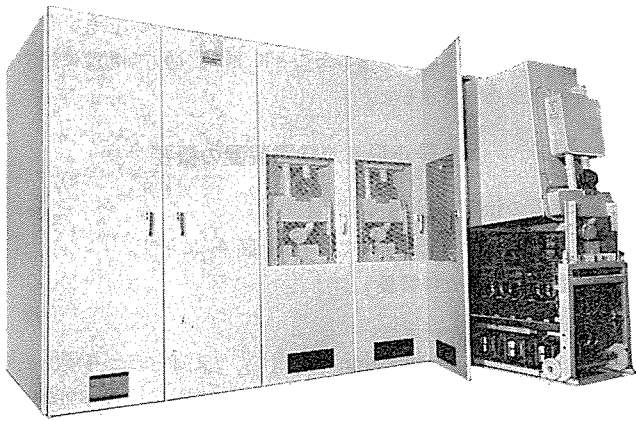


図 5. 引出ユニットを引出した状態

よく冷却することが必要となる。この問題に対し熱伝達率特性に優れ、開発以来多数の実績を有し、安定した性能を発揮するフロン沸騰冷却方式を採用した<sup>(6)</sup>。これは冷媒が素子の発生熱と重力作用により自然循環するもので、冷媒の冷却を空気による自冷とすることにより、ポンプ、ファンなどの無い完全静止機器とすることができた。また気中フィン形とすることにより、素子、冷却片が気中に配置されるため保守点検、あるいは万一の場合の素子交換が容易に行える構造となった。

(3) 引出構造の採用

主サイリスタ、フロン沸騰冷却系及び主サイリスタ回りの各種電気品(スナバー、ゲートユニットなど)を引出構造とした(図5.)。これにより引出した状態での保守点検が可能のため、部品密度が高く、小形化することが可能となった。なお、主回路はボルト締めにより確実に接続するようにし、ゲート信号などはコネクタにより容易に着脱できるようにした。また、一つの引出ユニットには主回路2回路分を収納し、全体で3ユニットとした。

(4) 設備容量の縮減

回生用サイリスタ遮断器を共通に一组とする回路方式とし、サイリスタ遮断器数を少なくしたこと及びサイリスタ遮断器とサイリスタ整流器との協調により、力行方向事故電流を遮断するようにして各54Fの遮断容量を大幅に縮減したことなどにより、き電回路を単に両方向性のサイリスタ遮断器化した場合と比較して、サイリスタ個数で60~70%に(同一定格の場合)、またサイリスタ遮断器の総遮断容量で20%以下とすることができた。

(5) 設置スペース

以上のような工夫により小形化した結果、従来のHSCBを使用する方式と比較して床面積を約40%に縮小した(これはHSCB 54F 5台、54P 2台、54I 1台計8台とこの静止形給電装置とを当社比で比較した)。

6. 試験結果

工場及び現地に各種試験を実施し、各内容について所定の機能を有することを確認した。以下に遮断試験結果の一部について紹介する。

6.1 工場遮断試験

(1) 54F 短絡遮断試験

この装置とサイリスタ整流器とを組合せ、実電圧による短絡遮断試験を行った。そのときの試験結果を図6.に示す。サイリスタ整流器による電流絞り込みが行われており、過電流検出後54Fの遮断完了まで及び整流器の電流絞り込み時間は約7ms程度である。

(2) 54R 短絡遮断試験

54Fの負荷側に1,500V直流電源を接続し、直流母線を短絡する方法で54Rの短絡遮断試験を行った結果を図7.に示す。

過電流検出後、遮断完了まで約7ms程度である。

6.2 現地遮断試験

(1) 54F 短絡遮断試験

札幌市交通局琴似変電所において各種試験を実施したが、図8.は車両基地(変電所至近点)で短絡させ、54F投入状態でサイリスタ整

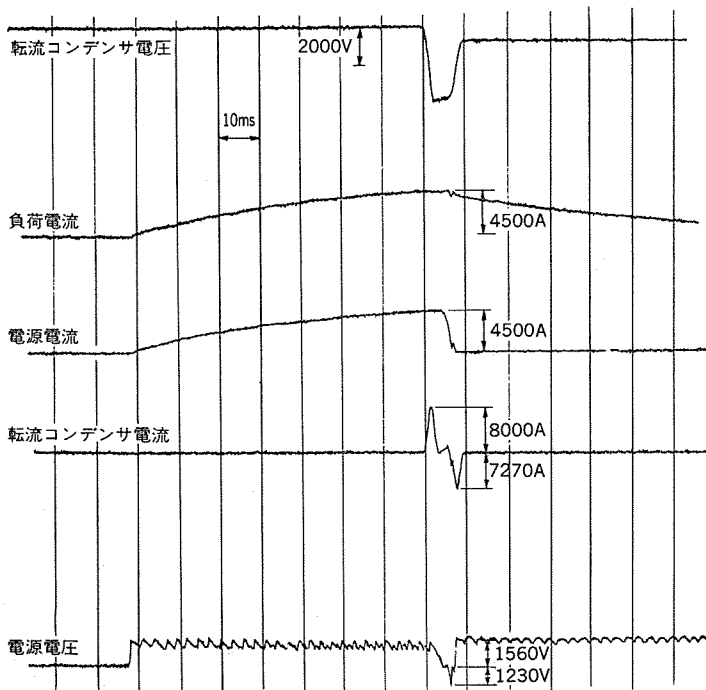


図 6. 54F 短絡遮断試験

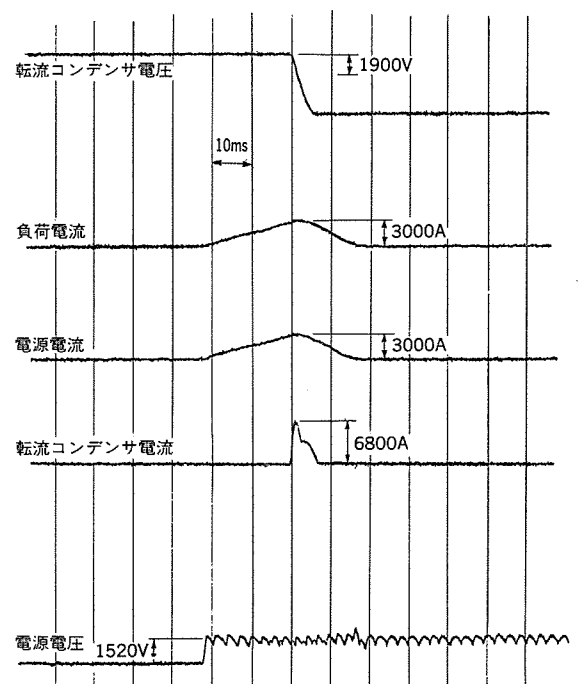


図 7. 54R 短絡遮断試験

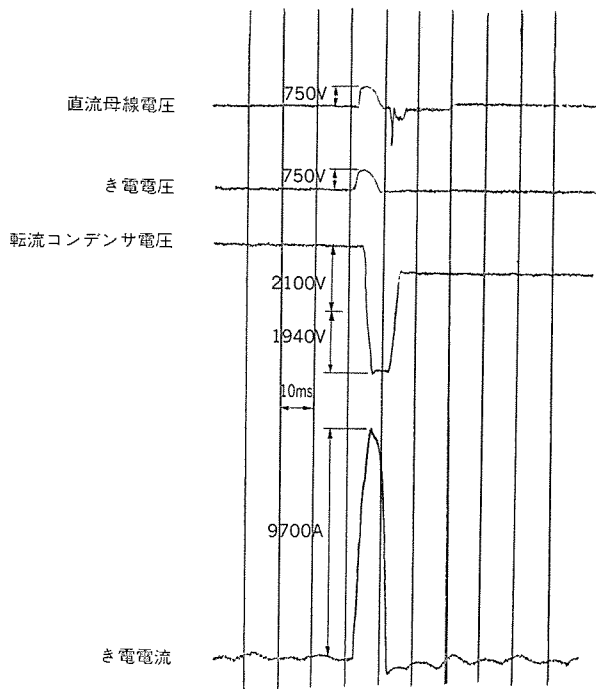


図 8. 54F 短絡遮断試験

流器を投入して短絡電流遮断を行った結果である。事故電流はサイリスタ整流器により絞り込むが、ピーク値は9,700 A程度に達している。整流器の絞り込み時間は車両との協調のため、100 ms としてあるため、オシログラム上では遮断後の整流器電圧は零のままとなっている。

(2) 車両負荷電流遮断試験

実回路において1編成車両を走行させ、力行負荷時、回生負荷時、セクション渡り時など各種負荷状態で実車両負荷の遮断試験を行った。図9は354Fに力行負荷を取っている状態で354Fの遮断を行った結果である。車両は隣接変電所よりの給電を受けて正常に走行を続けた。遮断した354Fのき電電圧は隣接変電所からの電圧を示しており、354Fの電流は零となっていることにより、遮断が行われていることが分かる。

以上のほかにも定格電流通電試験、各種保護動作試験など各種試験を実施し、その性能を確認したがここでは省略する。

7. む す び

サイリスタ整流器とサイリスタ遮断器とを組合せた新しい静止形直流給電システムを実用化することができた。この装置は工場及び札幌市交通局琴似変電所において各種試験を実施し、運輸省の認可を得て同変電所において稼働中である。この装置はサイリスタ整流器による直

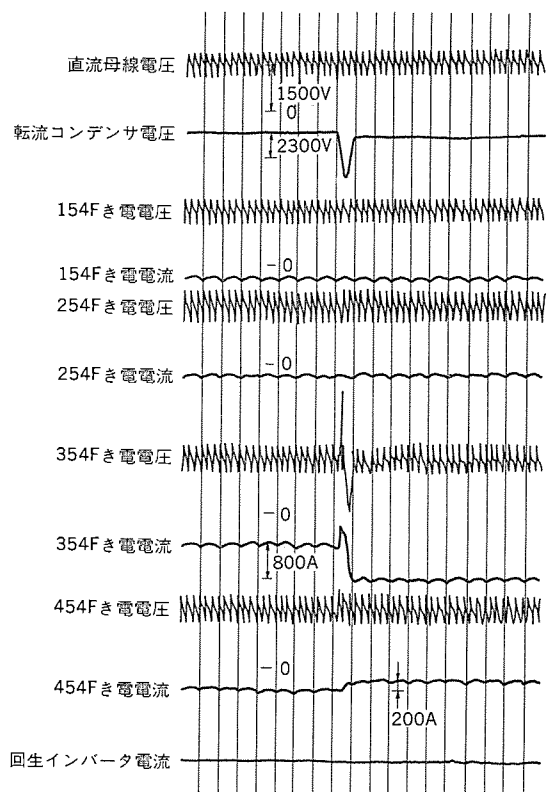


図 9. 354F 車両負荷電流遮断試験

流出力制御による直流電鉄変電所としての機能の高度化、並びに直流き電回路の静止化による保守の省力化、遮断時間の短縮による事故時の損傷の軽微化などの特長があり、しかもシステム化により、小形、経済的な装置となっている。これらの特長は今後の直流電鉄変電所の静止化、省力化の可能性を大きく前進させるものである。

最後にこの装置の完成にあたって多大の御指導、御支援をいただいた札幌市交通局殿をはじめ関係者各位に深く感謝する。

参 考 文 献

- (1) 木下, 鈴木ほか: 電気学会, 電子装置/制御変換装置合同研究会資料, EDD-79-107/PCC-79-35, P. 23 (昭54-9)
- (2) 木下: 電気鉄道, No. 359, 32, No. 4, P. 20 (昭53-4)
- (3) 小山, 鈴木ほか: 第16回鉄道におけるサイバネティクス利用国内シンポジウム 論文集, 507, P. 315 (昭54-11)
- (4) 電気規格調査会, 標準規格, JEC-152 (昭46)
- (5) J. Zyborski: PROC., IEEE., P. 685 (1976-7)
- (6) 小林ほか: 三菱電機技報, 48, No. 2, P. 229 (昭49)

# 熊本市交通局納め8200形インバータ電車

太田 幹雄\*・加我 敦\*・宗行 満男\*・三橋 英一\*\*・赤川 英爾\*\*

## 1. ま え が き

電車の主電動機を堅固なかご形誘導電動機にしてインバータで制御する駆動システムは、メンテナンスフリー、車両性能の向上、省エネルギー、機器の小形軽量化の点で優れており、このシステムの実現は我々の長年の夢であった。

当社は昭和47年通商産業省大型プロジェクト「インバータ制御電気自動車の研究」を緒に、昭和51年日本鉄道技術協会事業「無整流子電車電動機と制御方式の開発実験」を行うなど実用化の研究を重ねてきた<sup>(1)</sup>。

一方、昨今の都市交通事情から路面電車が見直され、昭和53年から軽快電車の要素開発委員会が設置され、当社はこれの開発に参画し、主電動機及びチョップ制御装置の試作を行った<sup>(2)</sup>。その成果を昭和55年広島電鉄(株)及び長崎電気軌道(株)に適用し各方面の好評を得た。

路面電車再見の声が高まる中で、今回上述の長年蓄積してきたインバータシステム技術を盛り込み、熊本市交通局8200形車両に実用化を図った。この車両はインバータ電車として我が国で初めての営業用車であり関係方面から注目されている。

以下に装置の概要と現車試験結果について述べる。

## 2. インバータ電車の特長

電気鉄道車両において、主電動機を無整流子化したいという要請はかなり以前からあったが、制御の容易さ、車両運用に適したトルク特性により今日まで直流電動機が用いられてきた。

しかし、近年のパワーエレクトロニクス及びマイクロエレクトロニクス技術のめざましい進歩とサイリスタの大容量化に伴い、誘導電動機とインバータとによる新しい車両駆動システム、すなわちインバータ電車が実用化されることになった。

このインバータ電車の主な特長は次のとおりである。

### (1) 小形軽量化

誘導電動機は最高回転数向上による小形軽量化、制御装置は機器構成の単純化による小形軽量化を図り、軽快電車、小形地下鉄などの低床形電車への適用も可能となった。

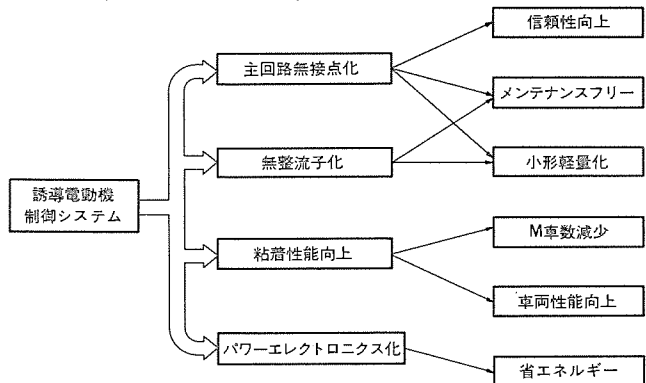


図 1. インバータ電車の特長

### (2) 保守性と信頼性の向上

誘導電動機は整流子、ブラシが無くこれらの保守点検が不要になり、またフラッシュオーバーを発生しない。制御装置では力行とブレーキ、前進と後進の機械的切換スイッチが不要となり、主回路機器の大幅な簡素化と無接点化が図れる。この結果、車両システムとして保守性・信頼性が向上する。

### (3) 車両性能の向上

誘導電動機は、車輪が空転・滑走した場合に特性上自らトルクを減ずるため、大空転に至り難い。このため高い粘着性能が得られ車両性能が向上し、編成中の電動車数比率の減少が期待できる。

### (4) 省エネルギー

効率の良い回生ブレーキを作用させることにより、省エネルギー化に貢献できる。

以上のインバータ電車の特長をまとめて図 1. に示す。

## 3. 車 両 性 能

このたび、熊本市交通局昭和57年新車用として納入した電機品は、次の特長を有している。

(1) 粘着性能の良いモーター方式の採用と、誘導電動機の良い再粘着特性を利用して、 $\alpha=3.0$  km/h/s の高加速性能を得た。

(2) 最先端技術のVVVF(可変電圧・可変周波数)インバータ制御装置を採用して、ソフトスタートに始まる主電動機トルクの可変電圧・可変周波数連続制御により良好な乗心地を得た。また回生ブレーキを行い消費電力節減を図った。

(3) 主幹制御器のノッチごとに加速度が選定できるようにして、操作の任意性、即応性を直接制御式車両と同感覚なものとした。

(4) 主電動機の無整流子化、主回路の大幅な無接点化、インバータによる断流器の無電流遮断、回生ブレーキ失効時、発電ブレーキへの自動切換えによるブレーキライニングの摩耗抑制など、直流電動機方式の軽快電車に比べてより一層の保守低減を実現した。8200形の外

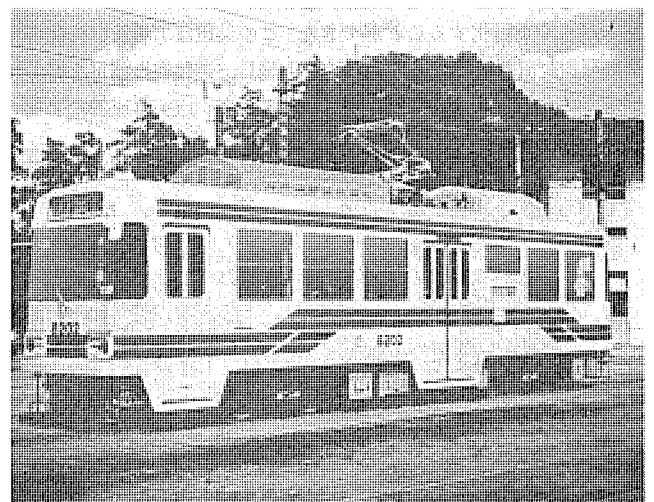


図 2. 熊本市交通局8200形インバータ電車外観

表 1. 8200 形車両主要諸元

形 式	2軸ボギー電動客車
車両編成	単車及び2両連結
軌 間 (mm)	1,435
電気方式 (V)	DC 600 (最低 400, 最高 660)
自 重 (t)	19
定 員 (名)	70 (座席 25)
車体寸法 (mm)	長さ 12,800, 幅 2,360, 高さ 3,900
最高速度 (km/h)	40
加 速 度 (km/h/s)	3.0 (200% 乗車まで一定)
減 速 度 (km/h/s)	常用 4.6 非常 5.0
電動台車	モノモータ 2軸駆動
駆動装置	直角カルダン 平行リンク式継手
歯 車 比	51/8=6.375
主電動機	三相かご形誘導電動機 120 kW×1 台
制御装置	電圧形 PWM 制御 VVVF インバータ (回生ブレーキ付, 回生ブレーキフェイル時発電ブレーキ作動)
空気ブレーキ装置	SME-R 形電制御併用直通空気ブレーキ 回生ブレーキ補足, 応荷重装置付 保安ブレーキ装置付き
補助電源装置	5kVA サイリスタインバータ (AC 100 V, 60 Hz, DC 24 V)

表 2. 誘導電動機要目

形 名	MB-5008-A
方 式	丸形三相かご形誘導電動機
歯 車 比	6.375 (51/8)
車 輪 径 (mm)	650 (計算) 新製 670 最小 625
駆 動 方 式	両軸駆動直角カルダン方式
定 格 の 種 別	1 時間
定 格 出 力 (kW)	120
定 格 電 圧 (V)	440 (線間)
定 格 電 流 (A)	200
定 格 周 波 数 (Hz)	53
定 格 す べ り (%)	2.8
定 格 回 転 数 (rpm)	1,600
極 数	4
冷 却 方 式	自己通風式 (低騒音形アルミファン)
絶 縁	H 種
重 量 (kg)	645

観を図 2. に, 主要諸元を表 1. に示す。

#### 4. 主電動機

##### 4.1 路面電車用主電動機の条件

新時代の路面電車用主電動機として満たされなければならない条件は以下のとおりである。

- (1) 高性能であること。
- (2) 小形軽量であること。
- (3) 省エネルギーであること。
- (4) 信頼性が高く, メンテナンスフリーであること。

以上の要求を最も満たすものとして, 8200 形では主電動機としてかご形誘導電動機を採用した。

##### 4.2 特長

誘導電動機要目を表 2. に, 特性曲線を図 3. に示す。インバータによる車両駆動用誘導電動機として初めて営業運転に供されるものであり, 一般産業用の誘導機とは異なった考え方, 方式を種々採用した。

###### (1) 定 格

高加減速度を得るため容量は 120 kW とした。また, 制御性を考慮して定格すべりは 2.8% と一般産業用のものと比べるとかなり大きくなっている。

###### (2) 駆動方式

車輪径が小さく, 軸間距離の小さい台車に大容量の電動機を装架するため, 1 台車 1 電動機, 直角カルダン両軸駆動式を採用した。

###### (3) 絶 縁

C 種絶縁材料を用いた H 種絶縁を採用し, 電動機の耐熱性・信頼性の向上を図り, 小形軽量化を達成した。

###### (4) 固定子

(a) インバータ運転時の高調波電流による温度上昇を抑制するため, 固定子コイルの並列本数を多くし, コイル断面形状を偏平なものとした。

MB-5008-A G.R. = 6.375  
120kW 440V 200A 1600rpm W.D. = 650mm(calc.)  
53Hz, 4P, 2.8%すべり 架線電圧 = 600V  
歯車損 = 5%

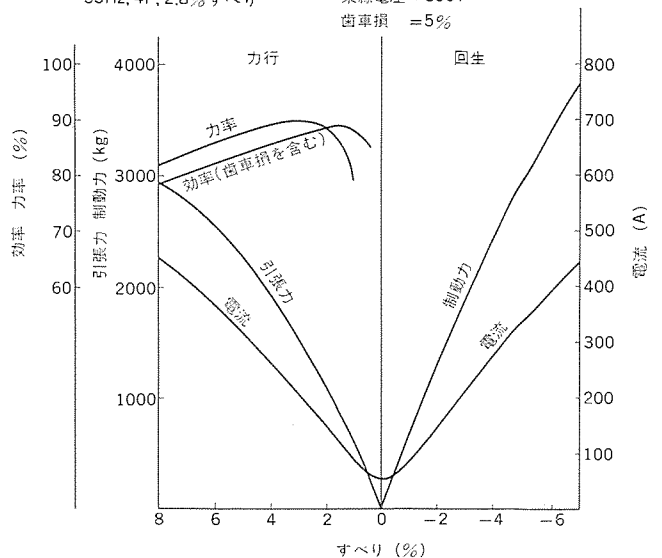


図 3. 誘導電動機特性曲線

- (b) コイルエンドは振動に耐えるよう強固に固定している。
- (c) 固定子溝を深くしてコイルを深く挿入し, 固定子溝開口部に通風スペースを設けて冷却効果を高めた。
- (d) エアギャップは一般産業用誘導電動機に比べて広くとり振動, ごみに強い構造とした。
- (5) 回転子
  - (a) 堅固なかご形回転子とした。
  - (b) 回転子バーはすべりを確保するため, 固有抵抗が大きく強度も十分な銅亜鉛合金棒を用いた。またエンドリング(端環)は熱膨脹を極力抑えるため, 抵抗の小さな純銅で構成し, 断面積を十分確保した。
  - (c) 回転子バーとエンドリングを強固に接合し, エンドリングの上にはシュリンクリング(保持環)を取りつけて回転子の強度, 信頼性を高めた。
- (6) 軸受構造  
軸受構造は三菱式構造密封形であり, グリス潤滑としている。誘導

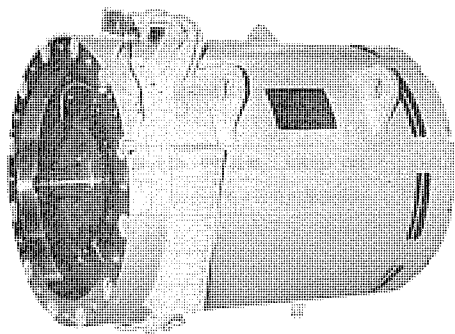


図 4. 誘導電動機外観

電動機では軸受が唯一の保守部品となるので、特にラビリンスを強化し、保守周期の延長を図った。

(7) 冷却

冷却はファンによる自己通風式であり、ファン構造を工夫して低騒音化を図った。

(8) 回転数検出器

すべり制御を精度よく行うため、高精度の回転数検出器を軸端に備えた。

誘導電動機の外観を図 4. に示す。

5. インバータ制御装置

5.1 特長

インバータ制御装置の要目を表 3. に示す。制御装置はフィルタリアクトル、フィルタコンデンサ、断流器箱及びインバータ装置で構成し、各機器は低床形電車へのぎ(艀)装を可能にするために高さ 550 mm 以下にまとめ、小形軽量化を図った。

制御装置の特長は以下のとおりである。

(1) 電圧形パルス幅変調

主回路簡略つなぎ図を図 5. に示す。主回路は構成が単純で、制御特性の良好な電圧形 PWM 方式を採用した。転流方式は実積のあるマクマレーンパルス転流方式を採用し、転流音を抑制するため可飽和リアクトルを廃止した。素子には 2,500 V, 1,000 A の高速度逆導通サイリスタを使用して、過電圧・過電流耐量を大きく取った。

(2) マイコンを用いた高精度演算

所定のパフォーマンスを得るため、制御上高精度な分解能が要求されるすべり周波数演算部、空転検出部などについては、8ビットマイクロコンピュータを使用して、演算周期 3 ms の高速度演算を行い、制御応答特性及び機能の向上を図った。PWM 波形作成部には ROM を多用したデジタル回路を採用し、三相不平衡の少ない回路とした。

(3) ノッチに対応した加速度

ノッチ曲線を図 6., 図 7. に示す。ノッチ指令及び荷重に対応して限流値とすべり周波数を設定し、加速度を選定するとともに戻しノッチ機能を持たせ、在来車の直接制御式車両と運転感覚を合わせた。また止めノッチ制御も変調率固定方式として在来車と特性を合わせた。

(4) 回生ブレーキ・発電ブレーキ制御

誘導電動機駆動システムでは、力行から回

生への切換えは制御回路ですべり周波数指令を正から負へ変更するだけで可能で、主回路の転換は不要である。8200 形では再粘着特性の良さを生かして常用最大ブレーキを減速度  $\beta=4.6 \text{ km/h/s}$  と大きく設定するとともに、5 km/h 以下の低速まで回生ブレーキを常用して省エネルギー効果をねらった。更に回生ブレーキ失効時には、速やかに発電ブレーキに切換える方式を採用して、ブレーキライニングの省保守

表 3. インバータ制御装置要目

定格入力電圧 (V)	DC 600
制御容量 (kVA)	最大 240
出力電圧 (V)	AC 0~440
出力周波数 (Hz)	2~75
主回路方式	電圧形パルス幅変調制御方式 逆導通サイリスタ (2,500 V, 1,000 A) 使用による。 マクマレーンパルス転流方式
制御方式	定電流・定すべり周波数制御及び定電力制御方式 止めノッチ: 変調率固定方式 起動方式: 電圧及びすべり周波数制御によるソフトスタート方式 回路遮断方式: (正常時) インバータによる無電流遮断 (異常時) 高速度減流器による 1 段減流遮断
冷却方式	フロン沸騰自冷式
重量 (kg)	VVVF インバータ箱 675 断流器箱 160 フィルタコンデンサ箱 185 フィルタリアクトル 107

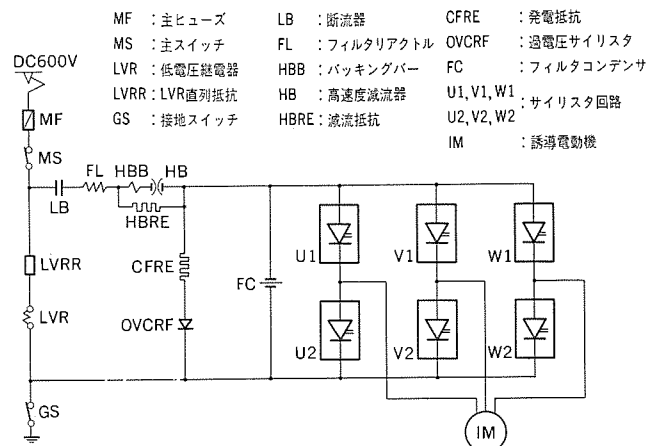


図 5. 主回路簡略つなぎ図

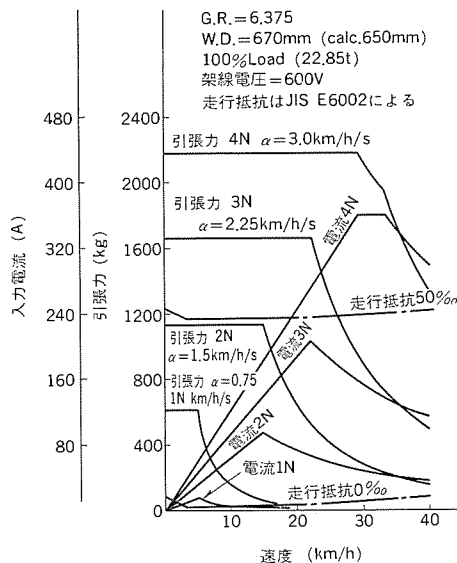


図 6. ノッチ曲線 (力行)

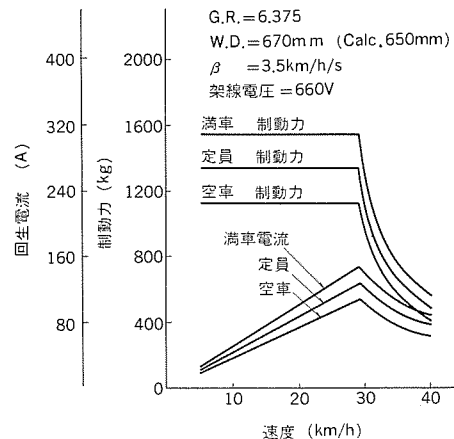


図 7. ノッチ曲線 (回生)



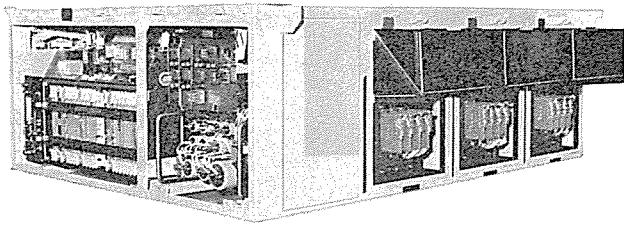


図 8. インバータ 制御装置外観

性を考慮した。

(5) 誘導障害対策

インバータ回路のスイッチング動作により発生する高調波電流の電源側への流出抑制のために、入力側に逆L形 LC フィルタを設けた。また直達ノイズに対しては、機器のシールド化及び主回路配線のツイスト化を徹底し、更に高調波電流 バイパスコンデンサを挿入するなどの対策を施して大幅な直達ノイズの低減化を図った。

(6) フロン 沸騰冷却

主回路用 サリスタの冷却にはフロン 沸騰自冷式を採用し、無保守化・低騒音化を図った。また三相に分割して各相ユニット構造とし、取扱いの容易なものとした。

インバータ 制御装置の外観を図 8. に示す。

(7) 勾配起動制御

誘導電動機駆動システムにおいては、こう(勾)配上で車両が後退しつつ起動すると見掛け上すべり周波数が大きくなり、定電流制御のため出力電圧が絞り込まれ、所定トルクが出ず起動不能になるおそれがある。そのため電動機軸端に正逆方向検知可能な回転数検出器を設けて、インバータ発振周波数を最低値 (2 Hz) に保ち、十分な起動トルクを確保する方式とした。

5.2 制御方式

VVVF インバータの制御ブロックを図 9. に示す。制御回路では、電動機軸端の脉冲発生器からの電動機回転数と ACCT (交流変流器) による各相電動機電流をフィードバックして、周波数と電圧の二つを制御対象としている。インバータ 周波数は、電動機回転数にすべり周波数を力行時には加算、ブレーキ時は減算することにより出力される。出力電圧は、変調正弦波と搬送三角波とを比較して作られる出力変調パルス の時間幅を変化することにより制御される。

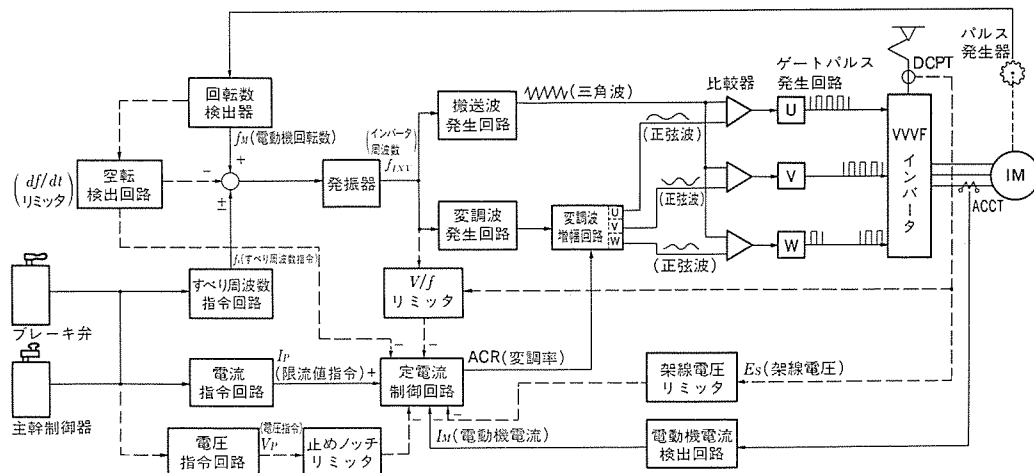


図 9. インバータ 制御回路 ブロック 図

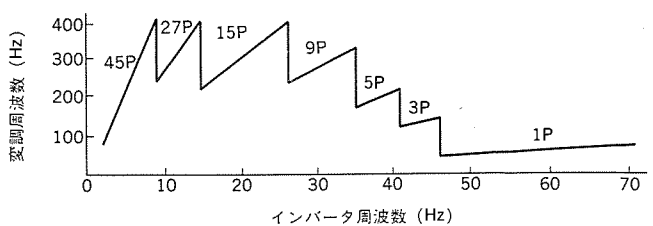
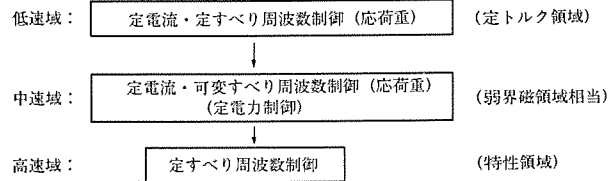


図 10. インバータ 周波数と変調周波数との関係

変調モードは、基本波半 サイクル中に含まれるパルス数によって、45⇒27⇒15⇒9⇒5⇒3⇒1パルスの7種類の動作モードに分類される。低速時は図 10. に示すようにパルス数を多くして変調周波数を高くすることにより、電動機電流の高調波含有率を低減し、トルク脈動を15%以下に抑えた。

制御方式は車両に適したパフォーマンスが得られるように、以下の方式を採用した。



6. 走行試験結果

現車による走行試験に先だって、当社伊丹製作所内の車両推進システム 総合試験装置を使用した台車との組合せ試験を実施した。この装置により実走行状態を模擬した力行・回生特性試験のほか、電動機トルク脈動測定など種々の貴重な技術データを得ることができた。図 11. は 45, 9, 1パルスでの電動機電流波形とその周波数分析結果である。図 12. には電動機軸トルクを実測し周波数分析した結果を示す。脈動トルクとしてインバータ 周波数の6n倍の周波数成分が観測されているが、その量は小さくて駆動系とトルク脈動の競合は特に問題は無かった。

引続いて日本車輛製造(株)の構内試運転線及び熊本市交通局の実路線にて綿密な計画のもとに長期にわたる各種走行試験を実施した。定常走行試験を始めとし、連結走行、離線、回生負荷変動、空転・滑走試験など様々な特殊試験を行い、安定に制御されていることを確認した。通信系への影響については、等価妨害電流  $J_F$  値の実測によれば電源リップルを含めて力行時 1.2 A, 回生時 0.9 A で問題の無い値であった。またラジオ障害はほとんどなかった。営業運転を想定したダイヤ 走行の結果、各装置の温度上昇は低く問題はなかった。また、騒音や振動は小さく良好

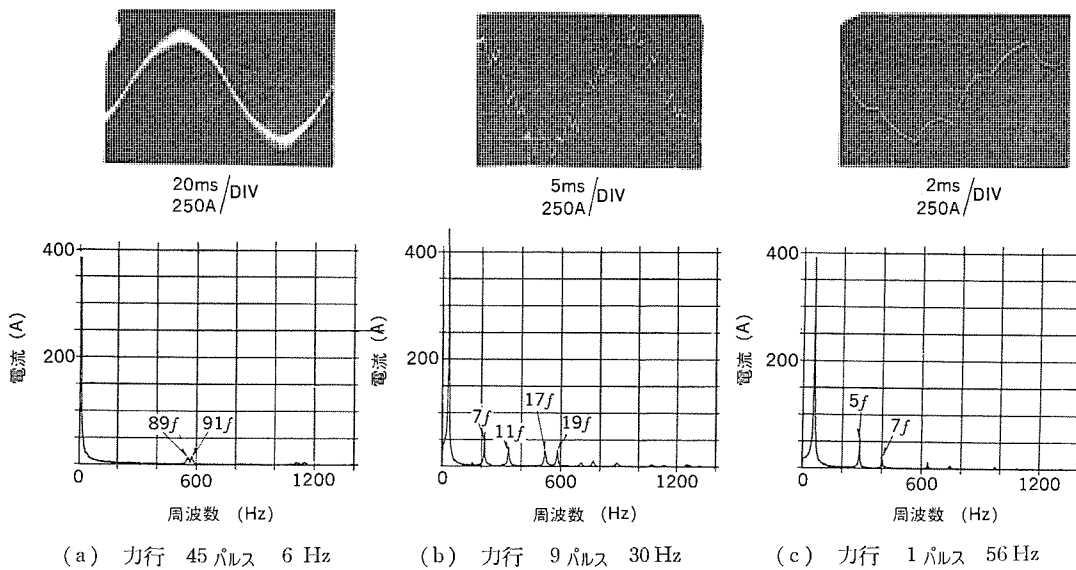


図 11. 電動機電流周波数分析結果

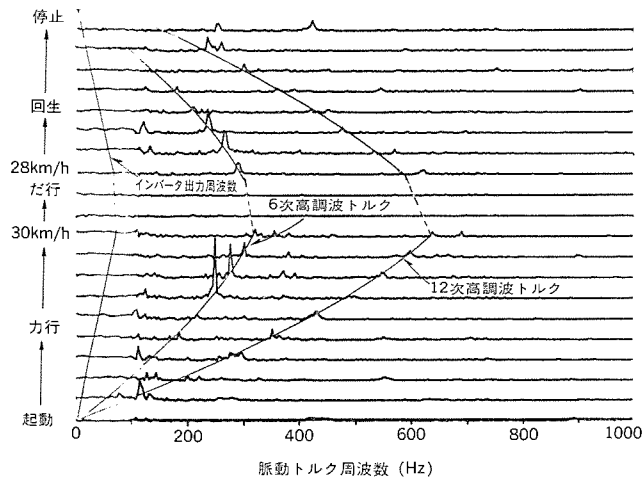


図 12. 脈動トルク周波数分析結果

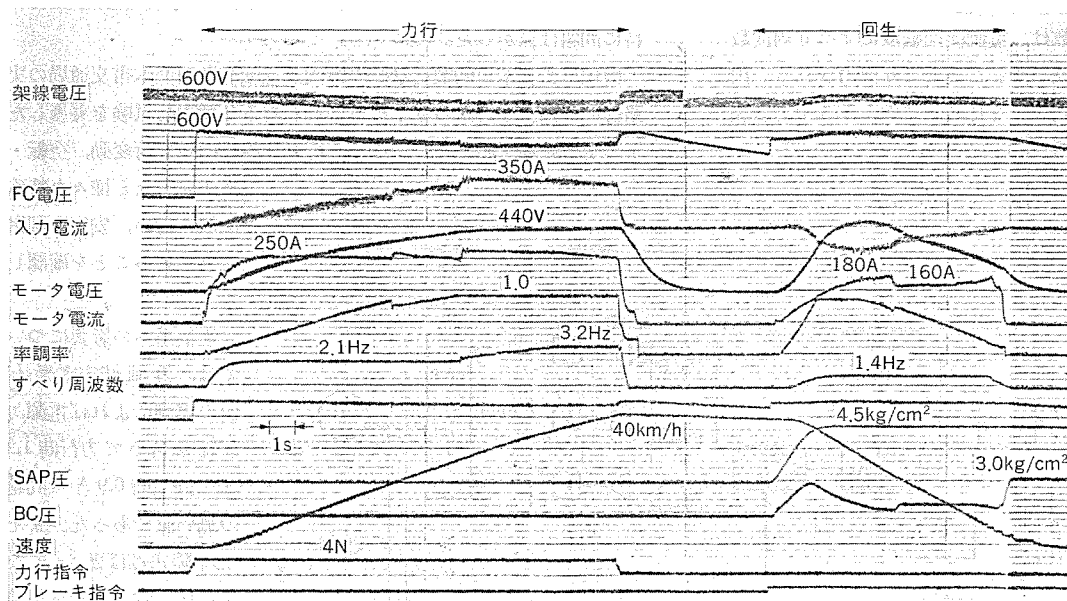


図 13. 走行試験実測例

な乗心地を有していることを確認した。

図 13. に力行一括4ノッチ→常用最大回生ブレーキの実測データを示す。最低起動周波数を2Hzに設定しているためノッチ投入から速やかに定加速状態に入り、フィルタとの共振点を異常無く通過している。すべり周波数の変化から、定トルク制御→定電力制御→定すべり制御へと円滑に移行していることが分かる。

### 7. むすび

以上、我が国で初めて営業運転された熊本市交通局 8200 形 インバータ 電車の車両性能、装置の概要及び試験結果について述べた。誘導電動機駆動システムの特長である高性能、省エネルギー、保守性と信頼性の向上、小形軽量化などが遺憾なく発揮され、今後の市民の足として都市交通の改善に寄与するものと期待される。

この新しい誘導電動機駆動インバータ制御システムは路面電車、小形地下鉄車両のみならず地下鉄、郊外電車及び機関車など広範囲に適用されてゆくものと考えられる。この装置がこれらの適用拡大の先鞭となれば幸いである。

終わりにこのインバータ電車の実用化に当たり、御指導いただいた熊本市交通局殿及びその他の関係者各位に深く感謝の意を表わす次第である。

### 参 考 文 献

- (1) 古屋ほか：車両用誘導電動機駆動用インバータ制御システム，電気学会全国大会講演論文集 820 (昭57)
- (2) 三橋ほか：路面電车用高性能な主電動機と制御装置，三菱電機技報，55, No. 4 (昭56)
- (3) 太田ほか：インバータによる車両用無整流子電動機駆動システム，三菱電機技報，55, No. 4 (昭56)

# 新方式高周波4象限チョップシステム

刈田 威彦\*・東 捷敏\*\*・成戸 昌司\*\*・金田 順一郎\*\*

## 1. ま え が き

パワーエレクトロニクス の発展により直流電気車に広く実用されているチョップ制御方式は、本質的に損失がなくブレーキ時の回生制御も容易なため、省電力が実現できること、無接点化による保守の簡易化と信頼性の向上、更に高速応答性や円滑な連続制御による制御性の向上など、従来の抵抗制御方式にはない大きな利点を有している。

当社は、逆導通サイリスタをはじめとするチョップ用半導体素子、沸騰冷却方式などの素子応用技術及びAVF(自動可変界磁)方式などの制御技術の開発を推進しながら今までに多数のチョップ制御装置を納入し、チョップの発展実用化に貢献してきた。しかし、その背景に高い経済の成長と強い省エネルギーの要請とがあったため需要が活発であったともいえる。更に近年、VVVF(可変電圧・可変周波数)インバータによる誘導電動機駆動システムが実用化されつつあり、チョップ車がその長を發揮して今後も発展していくためには、経済性の高いことを第一に、無保守化やサービス性の向上が重要な条件となる。我々は、これらの課題を解決できる新しい電気車チョップ制御システムの開発に取組み、試作装置における検証も完了した。

ここでは、開発の内容と工場及び現車における試験結果について報告する。

## 2. 開発の展開

我々は、今までのチョップ車実用化段階においても、

- (1) 初期投資額の増大抑制
- (2) 小形軽量化
- (3) 保守性の向上

などを課題として、常に改良開発を行ってきた。そして成果も着実

に反映され、現在までの広い普及に貢献しているといえる。しかし、VVVFインバータシステムをはじめとするエレクトロニクス技術の急速な進歩を考えると、チョップシステムの今後の発展には画期的な革新が必要である。

図1.にこの開発の展開図を示す。最も現実的な上記課題を飛躍的に解決する、すなわち革新を実現できる発想の出発点として、「大きな単位で既存機器をなくす」ことを基本条件に設定した。これを車両性能や効率の向上も図れる具体的目標に展開して、次のような対応技術の開発を行った。

### 2.1 チョップの高周波化

最近の半導体製造技術の進歩によって可能となってきたもので、主平滑リアクトルを省略できる大きな特長を持つが、実用化するための研究項目としては次のものを行った。

- (1) 高周波サイリスタ素子と応用技術の開発
- (2) 高周波機器冷却技術の確立
- (3) 主電動機性能との協調(整流・温度上昇)
- (4) 制御系との協調
- (5) 保護装置

### 2.2 他励電動機制御方式

従来のチョップ車では運転モードの切換えを有接点機器で行う例が多かったが、チョップシステムの画期的な前進のためには、この部分の完全無接点化が不可欠である。このたびの開発では、半導体機器の信頼度が最近大幅に向上していることから、力行とブレーキ及び前進と後進の切換えを無接点で行える他励界磁制御方式を選定した。今まで類似の無接点化を指向したのものとしては、直巻界磁の分流チョップ、別電源からの直巻界磁添加励磁、界磁2分割の自動可変界磁(AVF)チョップなどで、界磁制御方法が主であった。

他励界磁制御方式は従来方式と比較して、粘着も含めた車両性能、電力節減率、装置の大きさや保守性、制御の信頼性及び外乱に対する応答性などの総合評価で優れているものである。すなわち、現在地下線区を中心に多く実用されている電機子チョップ車と郊外線区で多く実用されている界磁チョップの両方の利点を併せ持つものといえる。この方式の実行化に当たって次の課題を研究した。

- (1) 電機子・界磁協調制御系の確立
- (2) 主回路無接点切換論理の保護装置
- (3) 他励電動機保護装置

## 3. 高周波4象限チョップ

### 3.1 基本回路と特長

#### 3.1.1 基本回路

直流電動機で駆動される電気車は、主に

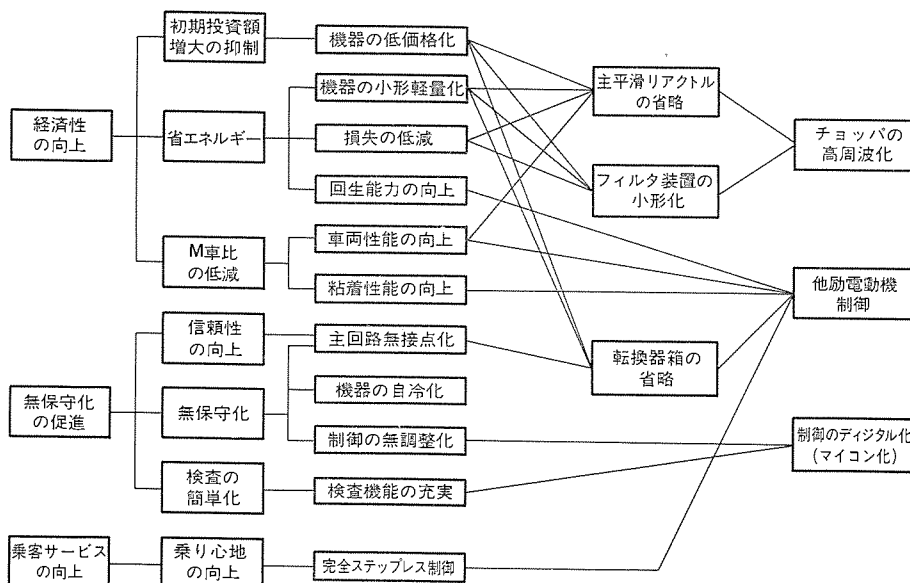


図1. 4象限チョップ開発の展開図

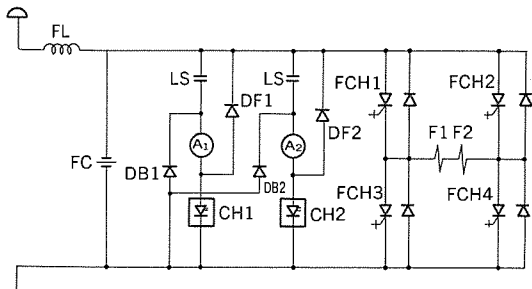


図 2. 主回路簡略つなぎ

電機子電圧制御と界磁制御とを併用して速度制御される。4象限チョップ制御方式は図 2. の主回路簡略つなぎに示すように、直流他励電動機を使用し、電機子は高周波で動作する電機子チョップに直接接続し、他励界磁巻線は界磁励磁装置に接続する。界磁励磁装置は4アームのサイリスタスイッチによって界磁電流の極性切換えと電流量の制御を行う。電車の速度制御はもちろん、「前進力行」「前進ブレーキ」「後進力行」「後進ブレーキ」の四つの運転モードの切換えが界磁励磁装置の制御で連続かつ円滑に行えるもので、この意味から4象限チョップと称している。

### 3. 1. 2 制御方式

図 3. に「力行」「ブレーキ」の運転モードの速度-電流特性曲線を示す。「力行」の運転モードでは界磁励磁装置の FCH1 をチョップ動作させ、FCH4 を短絡しておく。起動から中速域までは、電機子チョップの通流率を増加させて電機子電流を一定に制御し、電機子電流と比例させて界磁電流を増減させ、直巻電動機と同等の安定した走行性能をもたせている。

電機子チョップの通流率が最大に達した後は、電機子電流一定の弱界磁制御で加速し、最弱界磁率に達すると直巻換算界磁率一定の特性域に入る。FCH1 の通流率を制御することで、これらの界磁電流の調整が任意に行われる。「ブレーキ」の運転モードでは、回生ブレーキ力を得るために、他励界磁を強く励磁することによって電機子電圧を電車線電圧より高くし、回生電流を流す制御を行う。具体的には、電機子電流と界磁電流とで決まる制動トルクが、ブレーキ指令値と等しくなるように界磁電流を制御する。界磁電流を最大界磁率まで励磁した後は、界磁電流は一定とし、電機子チョップを最小通流率から最大通流率まで制御して広い速度範囲で回生制動を作用させる方式とした。

### 3. 1. 3 特長

- (1) 界磁励磁装置で界磁電流の極性反転と電流量の制御を行うので、逆転器・転換器・弱界磁スイッチ・分路抵抗器・誘導分流器のような界磁制御用機器が不要になり、従来存在していた転換器箱を省略できる。したがって、大幅な軽量化とともに有接点部分の低減による保守性の向上が図れる。
- (2) 界磁電流を他励制御することにより、回生ブレーキ領域を広げ回生電力量を増大できる。
- (3) 他励電動機の使用と電機子チョップの応答の速い制御によって粘着性能の向上が図れる。
- (4) 速応性のある完全ステップレス制御が実現できる。
- (5) チョップを高周波化することで主平滑リアクトルを省略でき、また入力フィルタ装置を小形化できるため、価格低減と効率の向上が図れる。

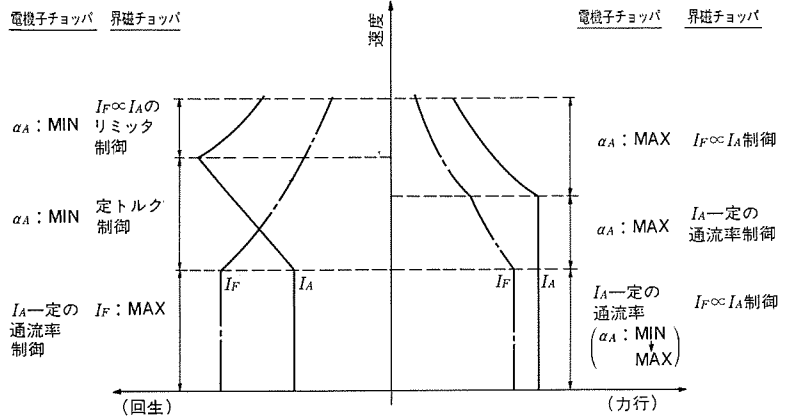


図 3. 速度-電流特性曲線

(6) 速度-トルク特性が任意に得られるため、ATO (列車自動) 運転にも最適な方式である。

## 3. 2 主電動機

### 3. 2. 1 分巻特性への対応

4象限連続運転を可能にするために、主電動機は他励電動機を採用した。他励電動機はその特性により、架線電圧の急変や離線などの外乱に対し、入力電流の変化が大きく、整流上はシビアになる。分巻特性のもう一つの不利な点は、並列に接続された電機子回路で電流アンバランスを生じやすいことである。これらの問題に対しては、電機子チョップの迅速な電流変化を抑制する制御とアンバランスを補正する制御で対応している。

### 3. 2. 2 高周波脈流での整流

高周波チョップで運転される電動機では、直流の場合に比べて整流が悪化することが考えられたので、次の点について検討した。

- (1) 脈流による補極磁束の遅れを改善するためにヨークの積層が必要であること。
  - (2) 主極磁束脈動による変圧器起電力を抑制するために主極分路が必要であること。
- 前者は、脈動周期が 1 ms と非常に短い時間のため、ヨーク積層の効果があまり期待できないこと、後者は主極コイルが小電流多巻数の設計になるので、インダクタンスが大きく主極磁束の脈動は小さいため、整流を悪化させる変圧器起電力を無視できる値であることから従来と同一の設計思想のものとした。

### 3. 2. 3 高周波脈流での温度上昇

脈流運転では、鉄損の増大、コイル内渦電流損の増大、交流分銅損などにより、直流運転に比べて温度上昇が高くなる。経験的に得られている諸データから判断して、1 kHz、15% 脈流では、直流に比べて約 10% の温度上昇が推定されたので、主電動機はこの点を考慮した設計とした。

## 3. 3 高周波チョップ

チョップの高周波化を実現するには、次の特性を持つ高周波スイッチング用半導体素子を開発する必要がある。

- (1) 最小通流率を従来装置と同程度に抑えるため、ターンオフスイッチング時間を大幅に下げたものであること。
- (2) スwitching 損失の低いものであること。
- (3) スーパー回路、ゲート回路を含めた周辺機器がコンパクトにまとめられるものであること。

高周波能力をもつチョップ用素子として、現在実用レベルに達しつ

表 1. 高周波チョップ比較表

	新形素子式高周波チョップ	GTO式高周波チョップ
チョップ部回路 (1相分)		
使用素子	高周波用新形逆導通サイリスタ	ゲートターン オフ サイリスタ
素子定格	2,500V-800A ( $I_{T(AV)}$ ) 10 $\mu$ s	2,500V-1,000A ( $I_{T(O)}$ ) 15 $\mu$ s
チョップ部必要部品	素周波数	1kHz
	素子構成	MCRF 1S-1P-1G=1 ACRF 1S-1P-1G= $\frac{1}{2}$
	スナバ容量	C=0.2 $\mu$ F R=300W
	直流コンデンサ	10 $\mu$ F
	リアクトル	可飽和リアクトル
	ゲート回路	従来のサイリスタ式と同程度
	その他	補充電抵抗器

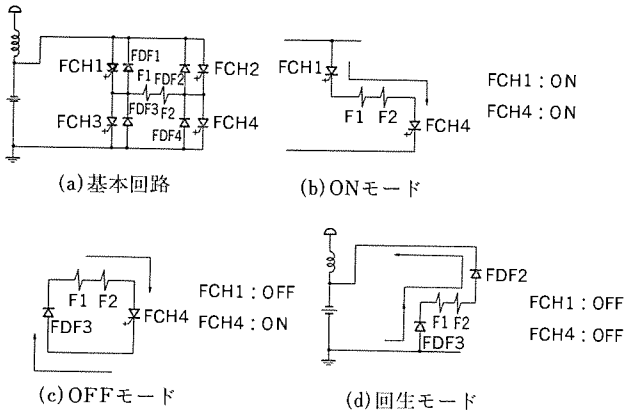


図 4. 界磁チョップつなぎ

つあるのは、高周波用新形逆導通サイリスタと自己消弧形サイリスタ (GTO) である。これらを使用した高周波チョップ部回路を表 1. に示す。現時点では各々一長一短があるが、今後はチャイアントランジスタ (GTR) や静電誘導形サイリスタ (SIT) を含め素子の製造及び応用技術の進歩を見極めながら鉄道車両用として最適な素子を選択する必要がある。

3.4 界磁チョップ

前述のように 4 象限チョップの界磁制御は、主電源励磁式ブリッジ形界磁チョップで行うこととした。

図 4. (a) に示す回路構成要素 (FCH1~FCH4) には、すべて自己消弧形サイリスタ (GTO) を使用し、チョップ動作を可能なものとした。これは電車線電圧に依存せず界磁電流を確実に制御できること、界磁電流の極性反転を瞬時にできること、更に装置の保守性の向上を図るためである。ある運転モードで、図 4. (b) (c) のように FCH1 が ON-OFF 動作し、FCH4 を短絡した制御状態から異なる運転モードへ移るとき、瞬時に FCH1, FCH4 を OFF すると図 4. (d) に示すように、

界磁電流が電源側に回生されてすばやく減衰し、界磁電流の極性切換えが早く円滑にできる。またこの動作が、電車線電圧変動などの外乱に対する良好な過渡応答特性を保つことにもなる。

一方、界磁電流切換え機能を無接点化すると、切換えが確実に行われたかどうかを確認する手段が必要となる。このため界磁回路には電流方向の検知できる検出器を使用し、電流方向と電流量とを検出した上で電機子チョップを動作させるようにし、有接点方式と同等の信頼性が得られるものとした。

4. 試作装置の内容

4.1 仕様

4.1.1 車両性能

(1) 帝都高速度交通営団丸ノ内線車両による現車試験を想定して、丸ノ内線 500 形車と同程度の車両性能が得られるように、車両性能曲線を設定した。今回の試作は M 車 1 両分であるが、これを 6 両分にして示した仕様が表 2. である。

(2) ブレーキの制御は、界磁チョップ制御、電機子チョップ併用の回生ブレーキ方式である。 $\beta=4.0$  km/h/s の減速度が、250% 乗車の荷重条件で、車速 38 km/h から停止直前まで得られる。

4.1.2 特性曲線

特性曲線を図 5. に示す。図は界磁電流をパラメータとして特性を示しているが、直巻換算した特性についても、丸ノ内線 500 形車の 75 kW 主電動機と比較して示した。

表 2. 車両仕様要目

編成	6M
自重 (t)	214
荷重 (定員) (t)	41.8 (760 人 / 6 両)
編成重量 (定員) (t)	255.8
加速度 (km/h/s)	3.2
減速度 (km/h/s)	4.0
最高速度 (km/h)	65

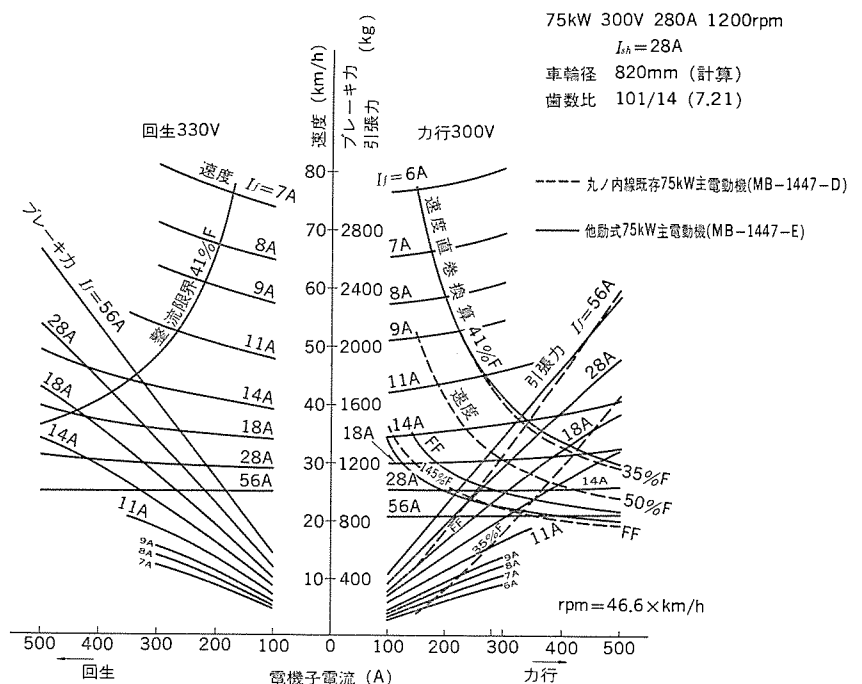


図 5. MB-1447-E 形主電動機特性曲線

表 3. 主電動機定格

形 式	直流他励補極付き丸形枠自己通風式
1 時 間 定 格 (kW)	75
電 圧 (V)	300
電 流 (電 機 子) (A)	280
(分巻界磁) (A)	28
回 転 数 (rpm)	1,200
絶 縁 種 類	F 種
重 量 (kg)	800
駆 動 方 式	WN 駆動方式
歯 数 比	101/14 (7.21)

4. 2 機 器

4. 2. 1 主電動機

(1) 主電動機の定格

主電動機の定格を表 3. に示す。

(2) 主電動機の特長

(a) 他励界磁巻線は F 種 DGC 平角銅線を使用している。電機子は丸ノ内線 500 形 車用の 75 kW 主電動機と同一仕様で設計した。主電動機特性を合わせるために、定格における主極コイル起磁力は、ほぼ等しくした。

(b) 外部構造は、既存の 75 kW 主電動機に合わせてありぎ(艀)装互換が可能である。

4. 2. 2 チョップ装置

図 6. に実装置の主回路つなぎを示す。電機子回路は二相一重方式で、界磁回路にはアーム短絡保護のためアノードリアクトル (FAL) を設けた。電機子チョップの素周波数は 1 kHz, 界

磁チョップの周波数は 160 Hz にした。この周波数は、次の効果をねらって選定したものである。

- (1) 電機子回路から主平滑リアクトルを省略すること。
- (2) 界磁制御の応答性を損わない程度まで周波数を下げて界磁チョップ部周辺機器の容量を低減すること。

次に制御ブロック図を図 7. に示す。チョップ装置の主要要目を表 4. に示す。この装置には、新しく開発した 2,500 V, 800 A,  $t_{off}=10 \mu s$  の高周波スイッチング用新形逆導通サイリスタを使用しており、素子数・補助部品数の低減を図り装置の信頼度を向上させている。装置は、次のように保守・点検の簡易化を図った構造とした。

(1) 電機子チョップは、フロン沸騰冷却方式として各相ごとの箱にまとめた。

(2) 界磁チョップは GTO 素子・スナバ-用コンデンサ・抵抗器・ダイオード及びゲート駆動回路を一体にした自冷式スタック構造とした。(図

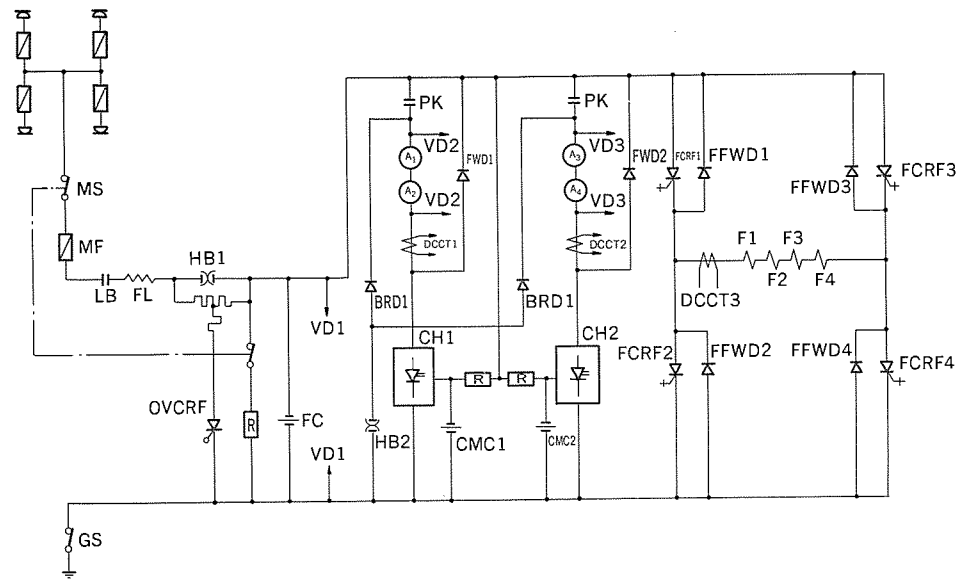


図 6. 主回路つなぎ

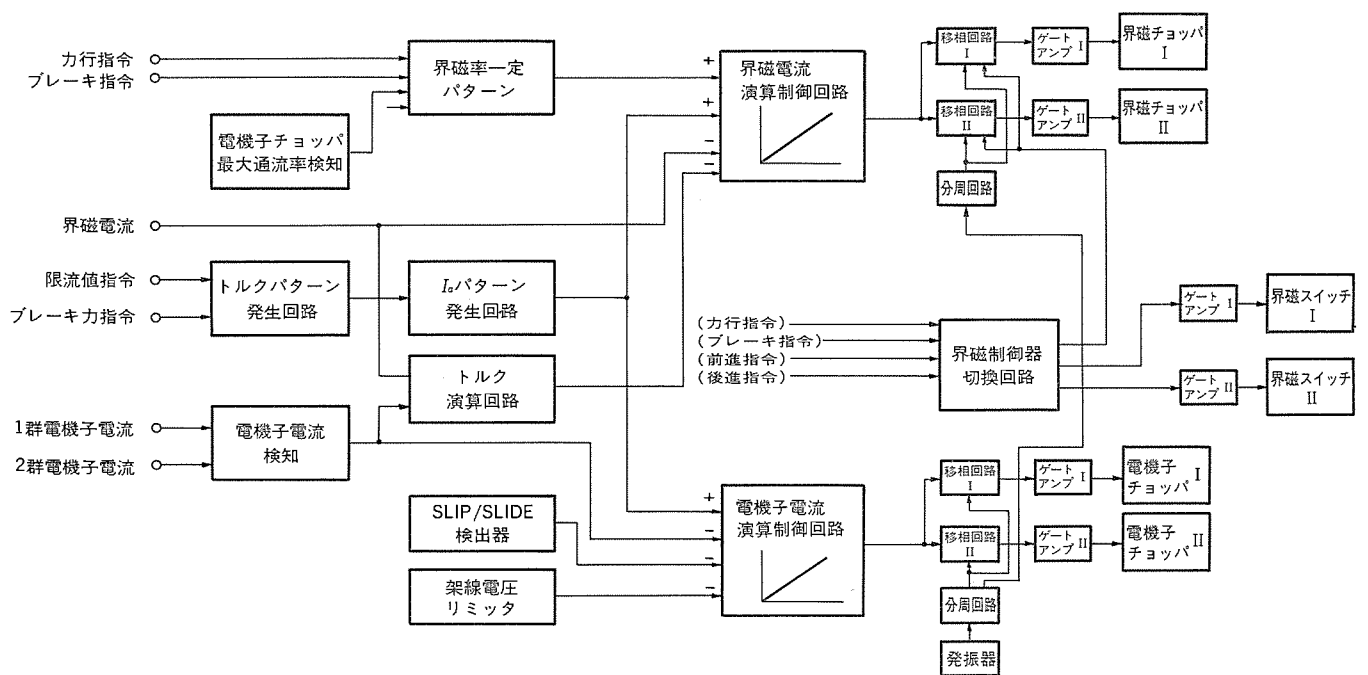


図 7. 新方式チョップ制御ブロック図



表 4. チョップ装置要目

		電機子チョップ	界磁チョップ
定 格 電 圧 (V)		DC 600 (750)	DC 600 (750)
定 格 電 流 (A)		1,000 (最大)	56 (最大)
制 御 方 式		定周波平均値制御起動 周波数制御付き	定周波平均値制御
相 数		二相一重	単 相
素 周 波 数 (Hz)		990	160
使 用 素 子		高周波スイッチング逆 導通サイリスタ	ゲートターンオフサイ リスタ
サイ リ ス タ 定 格	定 格 順 止 電 圧 (V)	2,500	2,500
	平 均 順 電 流 (A)	800	270
	遮 断 電 流 (A)	—	600
	タ ー ン オ フ 時 間 (μs)	10	15
素 子 構 成	主 サ イ リ ス タ	1S-1P-2G	1S-1P-4G
	補 助 サ イ リ ス タ	1S-1P-2G	—
	フ リー ホイ リ ン グ ダイ オード	1S-1P-2G	—
	界 磁 還 流 ダイ オード	—	1S-1P-4G
過 電 圧 抑 制 サ イ リ ス タ	1S-1P-1G	—	
フ ィ ル タ 定 数		フィルタリアクトル 2mH フィルタコンデンサ 1,200 μF	$f_0=103\text{Hz}$

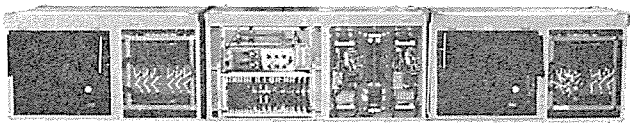


図 8. チョップ装置箱

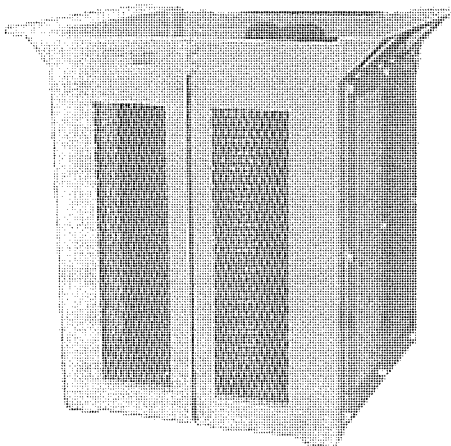


図 9. 主フィルタリアクトル

表 5. 外形寸法・重量比較表

機 器	外形寸法 (上段) (mm) と重量 (下段) (kg)	
	高周波 4象限方式	従 来 方 式
チ ョ ッ プ 装 置	3,865×720×690 1,000	3,200×700×690 840
コ ン デ ン サ 箱	—	800×700×690 350
断 流 転 換 器 箱	1,210×650×570 280	2,150×680×690 550
主 平 滑 リ ア ク ト ル	—	1,270×690×610 320' (プロフ付き)
主フィルタリアクトル	545×500×665 360 (自冷)	1,085×690×610 250 (プロフ付き)
床下隠装面積 (m <sup>2</sup> )	3.84 (65%)	5.89 (100%)
機器総重量 (kg)	1,640 (71%)	2,310 (100%)

表 6. 実消費電力比較表

	抵抗制御車	従来の 電機子チョップ車	高周波 4象限チョップ車
力 行 電 力 (kWh)	284	269	256
回 生 電 力 (kWh)	—	59	65
実 消 費 電 力 (kWh)	284 (1)	210 (0.74)	191 (0.67)

8., 図 9.)

### 4.3 開発の成果

当開発には種々の目的があったが、検証の結果は次のように評価することができる。

- (1) 小形軽量化に対しては、従来装置に比較して 35% の小形化が可能となった。表 5. にその数値を示す。
- (2) 消費電力は、回路効率の向上と制御方式の違いにより従来のチョップ方式に比較して約 10% の節減が可能となった。表 6. は、特定の路線でシミュレーション計算を行った結果である。

## 5. 試験結果

この高周波 4象限チョップ方式の開発内容を検証するため、実機容量をもつ試作装置を製作し、工場試験と帝都高速度交通営団丸ノ内線での現車試験を行った。その結果、所期の性能を満足する良好な結果が得られたので以下に紹介する。

### 5.1 工場試験

#### 5.1.1 主電動機

##### (1) 温度上昇試験

1時間定格における温度上昇試験結果を表 7. に示す。電機子コイルで 12%、補極で 11%、直流に比べて脈流運転の方が温度上昇が高い。他励巻線は温度上昇にほとんど差はないが、これは界磁電流はチョップ制御されても、脈流率が小さいためであると考えられる。整流子の温度上昇は脈流の方が 14% 高いが、これは電機子コイルからの熱伝達のほかに、整流火花の影響も考えられる。

表 7. 1時間温度上昇試験結果

	電機子コイル	整 流 子	補極コイル	分巻界磁コイル
直 流 運 転	78	55.5	61.5	88.5
脈 流 運 転 (1.056 Hz, 16% 脈流)	87	63.5	68.5	90

運転条件 300 V, 280 A ( $I_f=28\text{A}$ ), 1,200 rpm 単位=deg C

表 8. 整流火花号数測定結果

運 転 条 件			整 流 火 花 号 数	
電機子電流 (A)	他励巻線電流 (A)	回 転 数 (rpm)	直 流 運 転	脈 流 運 転
200	8	2,683	1	2 (25% 脈流)
280	11	1,963	1	2 (23% 脈流)
450	18	1,382	1	2 (19% 脈流)
280*	11	1,963	1	1 (16% 脈流)
280*	11	1,963	1	1 (10% 脈流)

注 \*印は脈流運転時に平滑リアクトルを挿入して脈流率を低下させた。

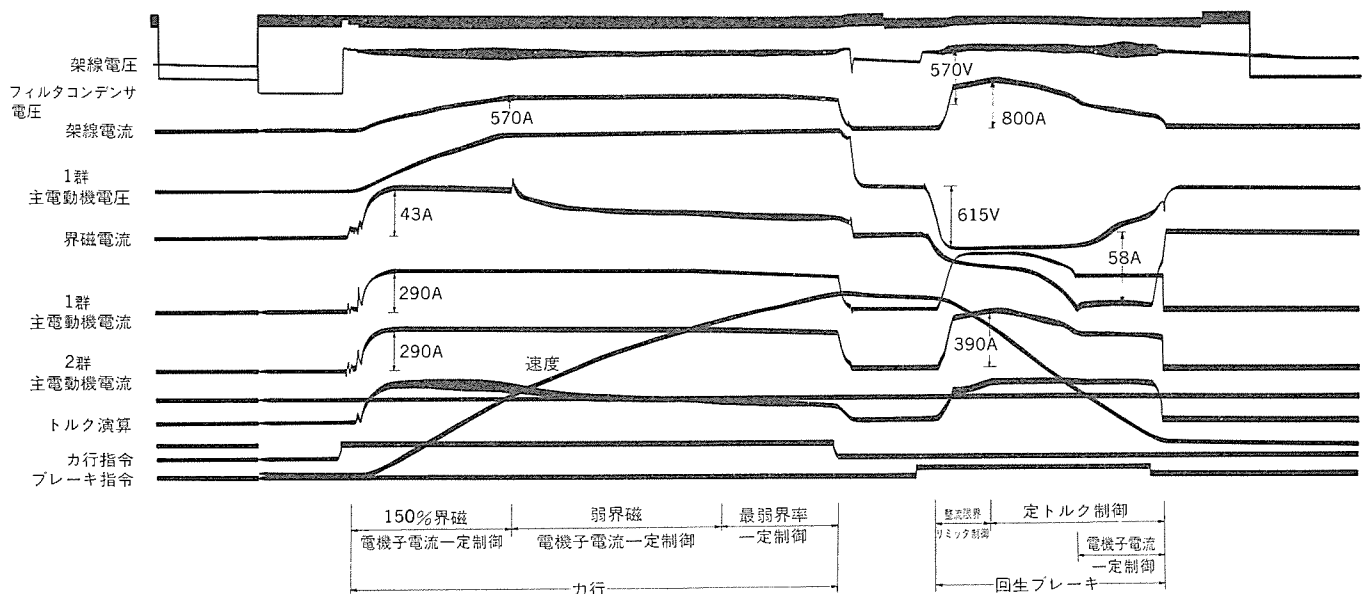


図 10. 工場試験 オシログラム

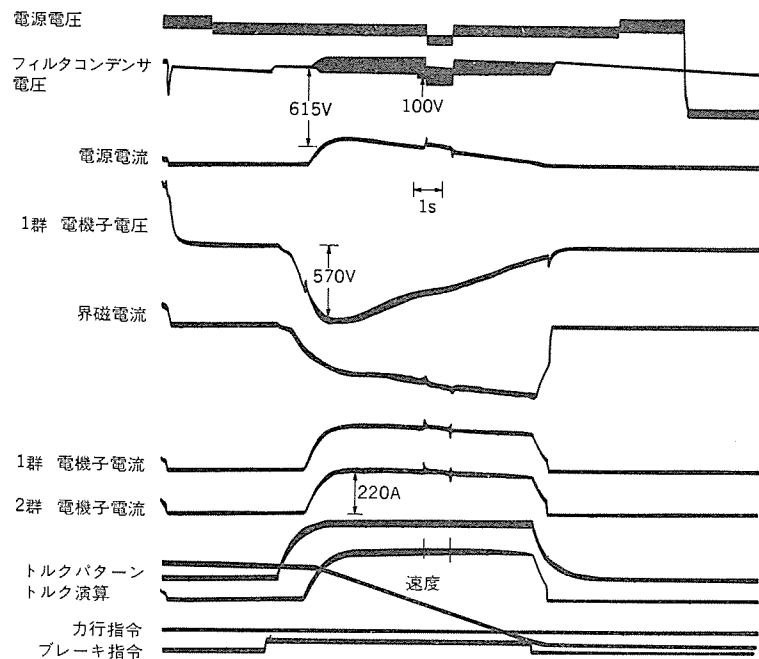


図 11. 回生ブレーキ時電源変動試験 オシログラム

(2) 整流試験

車両性能上、実際に運転されるいくつかの条件を選んで、直流及び脈流で試験した結果を表 8. に示す。脈流の方が若干整流火花号数が大きくなっているが、実用上は問題ないと考えられる。

5. 1. 2 チョップ

工場試験で行った定常運転のオシログラムを図 10. に示す。

(1) 力行制御

電機子チョップ制御から界磁チョップ制御への切換えもスムーズに行われ、円滑な電機子電流一定制御が行われている。

(2) 回生ブレーキ制御

界磁チョップによるリミッタ制御、定トルク制御も円滑に行われており、中速域から低速域にかけては電機子チョップによる安定な回生ブレーキ制御が行われている。

(3) 電源変動試験

力行・回生起動時の電源電圧変動に対する制御は、 $\Delta V = 100V$  の急変に対し安定に制御されている。その特性を図 11. に示す。

5. 2 現車試験

試作装置一式を帝都高速度交通営団丸ノ内線車両に搭載して現車試験を行った。試験内容は次のとおりである。

- (1) 力行・回生ブレーキ 定常試験
- (2) 無負荷回生・回生負荷遮断試験
- (3) 空転試験
- (4) 誘導障害試験

いずれの試験においても良好な結果が得られ、今後の実装置の設計に役立つ貴重なデータが得られた。

6. む す び

以上述べた 4 象限 チョップ方式は、現車試験において所期の性能を満足することが確認された。

チョップ方式は半導体技術と優れた実績をもつ電鉄技術の結果により、省エネルギーの要請に合致した社会的ニーズとしての交通機関へ広く普及してきた。今回開発した 4 象限 チョップは、その過程で常に課題であった価格の上昇と機器の増大を抑え、性能、信頼性及び保守性を大幅に向上させ得るものである。エレクトロニクス技術の著しい発展によって新しい推進制御システムが実用化されていく中で、この方式がその特長をいかんなく発揮するものと期待される。我々はこの実用結果を見守り、今後の各種システムの実用化研究に役立てたいと考えている。

# 車両補助電源用GTOインバータ装置

鈴木敏夫\*・米畑 讓\*・重信正広\*・田原 先\*\*・金沢 勲\*\*

## 1. ま え が き

昭和33年にサイリスタが発表されてから、その優れた特性により、電力変換分野への応用、発展には目をみはるものがある。車両補助電源用途においても、従来の電動発電機に代わるものとして、高圧インバータ装置の開発が進められ、当社は昭和41年我が国初めてのDC 600V用5kVA、DC 1,500V用6kVA単相サイリスタインバータ装置を納入して以来、多数の実績を有している<sup>(1)</sup>。近年、照明、制御回路への給電に加えて、比較的容量の大きい空調装置へも給電されるようになり、単相インバータ装置だけでなく、三相インバータ装置の要求も増加するとともに、更に省エネルギー化、低騒音化が望まれていた。

このたび、これらの状況を背景に、最近特に性能向上が著しい自己消弧能力を有するゲートターンオフサイリスタ（以下GTOと称す）を使用したGTOインバータ装置を開発、製作し、その試験結果も良好であったのでその概要を報告する。

## 2. GTOインバータ装置の特長

自己消弧機能を有するGTOを使用したインバータ装置は従来のサイリスタインバータ装置に比べて次の特長を有している。

### (1) 高効率

ゲート電流を逆極性に流すことにより消弧が可能のため、転流回路が不要となりスイッチング損失を低減することができ、効率が向上する。

### (2) 小形、軽量

転流回路が不要となり主回路が簡素化されるので、大形部品が減少し、小形・軽量化が可能となる。

### (3) 低騒音

転流時の転流リアクトルなどから発生する磁気音が無くなるので、低騒音化が図れる。

### (4) 転流能力の安定性向上

GTOの転流はゲート制御によって行われるので、架線電圧低下時でも転流能力に影響がなく、入力電圧変動の大きい車両用などに適している。

## 3. 三相GTOインバータ装置

### 3.1 装置の概要

当社では、DC 1,500V用三相大容量サイリスタインバータ装置を既に完成させているが<sup>(2)</sup>、GTOの採用で転流回路が不要となり、主回路の簡素化、高効率化、軽量化並びに低騒音化を更に一歩進めることができた。表1.に今回製作した三相GTOインバータ装置の要目を示す。

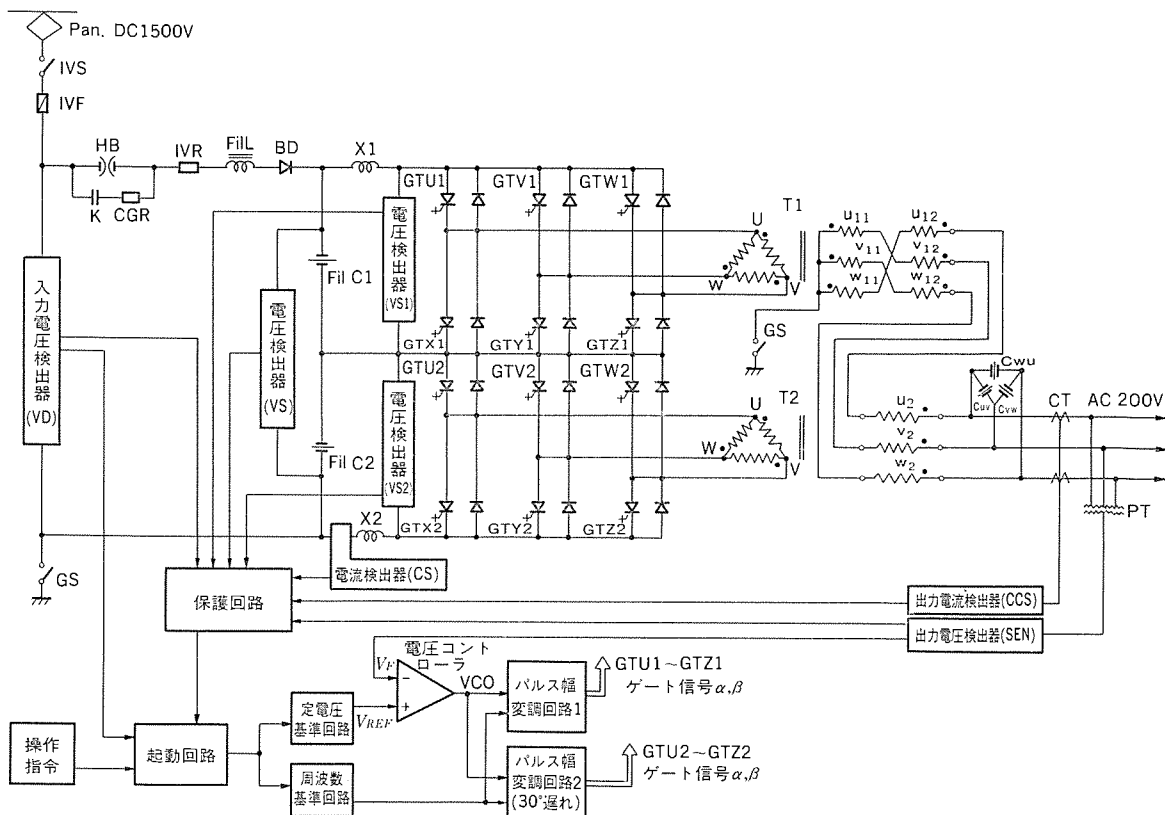


図1. 回路構成図

表 1. 三相 GTO インバータ装置の要目

項 目	仕 様	
方 式	コンデンサ分圧 12相接続 GTO インバータ方式	
制 御 回 路	多パルス・パルス幅変調定電圧制御	
入 力	定 格 電 圧 (V) DC 1,500	
電 圧 変 動 範 囲 (V)	DC 1,000~1,800 (但し定格負荷時は DC 1,100~1,800 V)	
出 力	定 格 容 量 (kVA)	75
	定 格 電 圧 (V)	AC 200 $\pm 5\%$ $-10\%$
	周 波 数 (Hz)	60 $\pm 1\%$
	相 数	三 相
	重 率 (%)	10 以下
冷 却 方 式	自然冷却方式	
周 囲 温 度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	-10~40	

### 3.2 回路構成と基本動作

主回路及び制御回路の構成を図 1. 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、パンダグラフ Pan., スイッチ IVS, ヒューズ IVF を介して直流遮断器 HB, 電磁接触器 K に加えられる。

(2) フィルタ用コンデンサ Fil C1, Fil C2 はフィルタ用リアクトル Fil L とともに直流平滑フィルタを構成し、架線への高調波電流流出の抑制並びに GTO インバータへの入力電圧脈動の抑制を図っている。

(3) 起動指令により、電磁接触器 K が投入され、充電抵抗器 CGR 経由でフィルタ用コンデンサ Fil C1, Fil C2 がそれぞれ入力電圧の 1/2 ずつに充電された後、直流遮断器 HB の投入、電磁接触器 K の開放で起動装置の投入が完了する。

(4) フィルタ用リアクトル Fil L に直列に接続されたブロッキングダイオード BD はパンダグラフが離線した場合などに、コンデンサ Fil C1, Fil C2 の電荷を主電動機回路などに流出させない機能を有している。

(5) GTO インバータユニットがコンデンサ Fil C1, Fil C2 にそれぞれ接続され、直流から交流への変換を行う。

(6) 交流出力の制御は、多パルス・パルス幅変調方式により、出力電圧基本波の制御と高調波の低減を同時に行い、インバータ変圧器 T1, T2 で 12 相多重接続している。

(7) 多パルス・パルス幅変調方式と 12 相多重接続により、交流フィルタ用コンデンサは大幅に小形化することができる。また交流フィルタ用リアクトルは変圧器 T1, T2 の漏れリアクタンスの利用で十分である。

### 3.3 特長

#### 3.3.1 多パルス・パルス幅変調方式

出力周波数の 1 サイクル内で、5 回のターンオフ動作を行う多パルス・パルス幅変調方式を採用した。スイッチング回数の増加分だけ損失が増加するが、あらかじめ求めた転流位置  $\alpha, \beta$  の最適値を使用することにより、出力電圧の第 11 次、第 13 次高調波成分の大幅な低減が可能であるため、出力回路の交流フィルタを更に小形化できるとともに、第 11~13 次付近のバンドパスフィルタも省略できる。各相の GTO の最適転流位置  $\alpha, \beta$  及び負荷力率 100% の場合の各部電圧波形例を図 2. に示す。

(1) 図 2. (a) の主回路つなぎに示した U 相 GTO (記号 GTU) の転流位置の最適値  $\alpha, \beta$  を、出力電圧  $E_0$  (%) に対してプロットしたグラフを (b) に示す。また (b) には所望の出力電圧  $E_{01}$  に対して GTU の転流位置  $\alpha_1, \beta_1$  が決定される様子を破線で示した。

(2) (c), (f), (i) は GTU, GTV, GTW の 1 サイクル分のオ

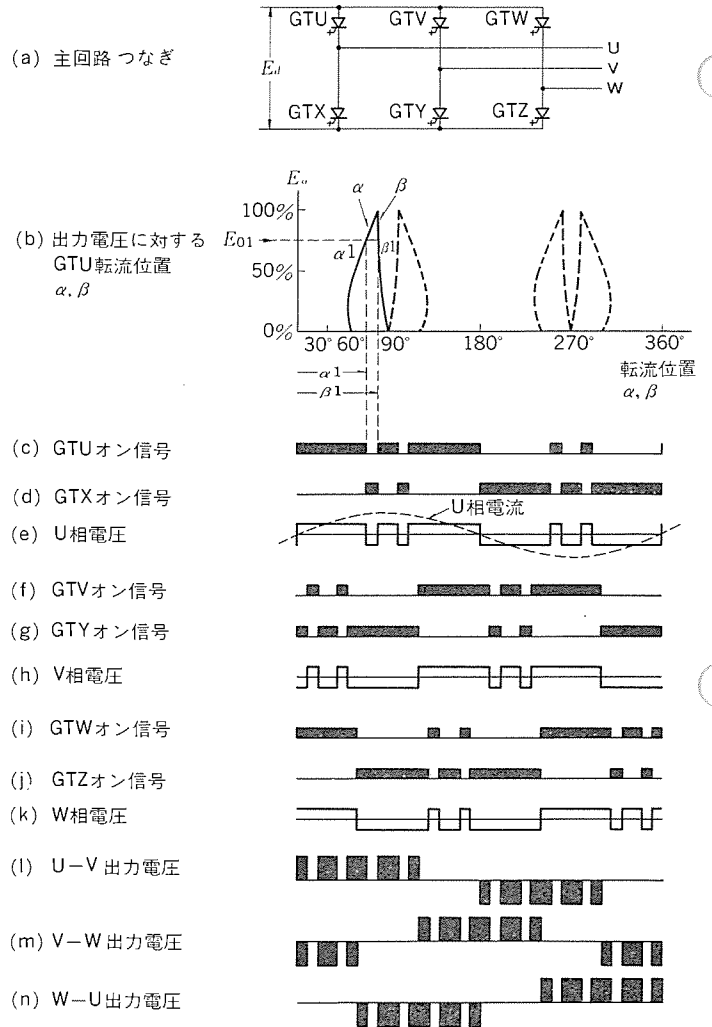


図 2. 各部電圧波形例

ン信号を示し、(d), (g), (j) は GTX, GTY, GTZ の オン信号を示している。

(3) 以上の GTO 動作により U, V, W 相電圧, U-V, V-W, W-U 線間電圧は (e), (h), (k), (l), (m), (n) のように決定され、第 11 次、第 13 次の高調波成分が低減された出力電圧波形が得られる。

#### 3.3.2 12 相多重接続

図 1. に示すように、2 台のインバータは、インバータ変圧器 T1, T2 に接続され、T2 に接続したインバータを T1 に接続したインバータより 30° 遅らせて制御することにより、図 3. (a) のベクトル図に示す 12 相多重接続が可能となり、出力電圧から第 5 次、第 7 次の高調波成分を除去することができる。図 3. (b) は多パルス・パルス幅変調方式インバータの 12 相多重接続時合成波形例を示したものである。

#### 3.3.3 定電圧制御

図 1. には、定電圧制御回路ブロック図を合わせて示している。次に述べる動作により、出力電圧は常に良好な定電圧特性を示す。

(1) 出力電圧は出力電圧検出器を経由して、フィードバック信号  $V_F$  となり、電圧コントローラで定電圧基準値  $V_{REF}$  と比較増幅される。

(2) フィードバック信号  $V_F$  が基準値  $V_{REF}$  より小さい場合には、電圧コントローラ出力が大きくなり、出力電圧を増加させる方向に転流位置  $\alpha, \beta$  を制御する。

(3) また、その逆の場合には電圧コントローラ出力が小さくなり、出力電圧を減少させる方向に転流位置  $\alpha, \beta$  を制御する。

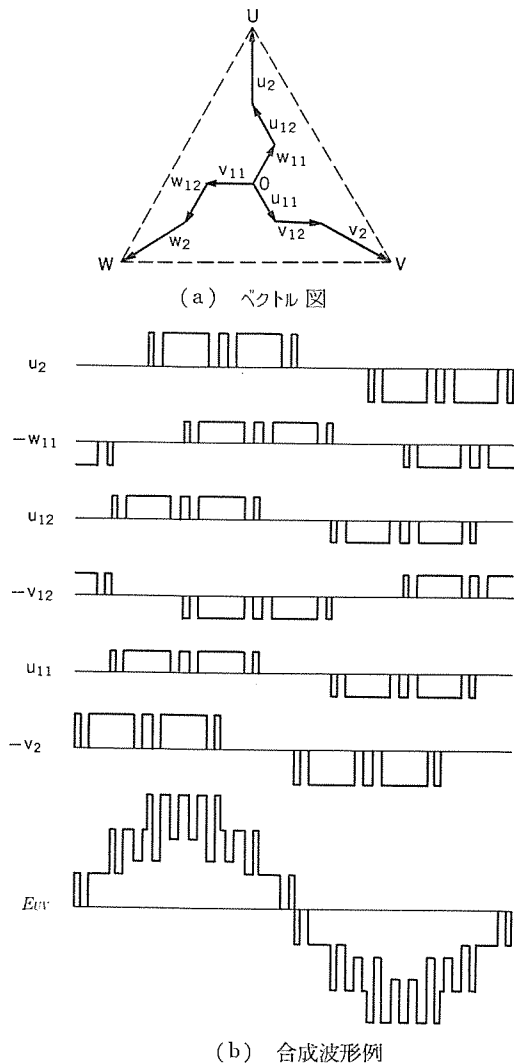


図 3. 12 相多重接続

### 3. 3. 4 離線対策

車両走行時には線路状態、架線に対するパンタグラフの追従性あるいは局部的変形の有無などにより、多かれ少なかれ離線が発生する。線路状態が良く車両速度が低い場合あるいは複数のパンタグラフが引き通されている場合には、離線時間は十分小さいと考えられるが、シングルパンタ車両が条件の悪い路線を走行した場合には大きな離線が発生することがある。そこでこの装置では余裕をみて、100 ms 程度の離線期間においても負荷に給電継続できる機能を付加した。

### 3. 3. 5 並列運転機能

車両編成と補助電源給電システムの関連によっては、2 台のインバータ装置の並列運転が必要となることが考えられる。そこでマスタ発振器（周波数基準）などの共通部分の無い完全個別制御方式による並列運転機能を確保するための装置を付加した。

### 3. 4 保護

故障アイテムに重故障と軽故障の区分を設け、重故障時には直ちに装置を停止後投入回路をロックして、その影響を極力小さくするようにしている。軽故障時には装置を停止後再投入して、一定時間内に再度軽故障が発生した場合のみ装置を停止後投入回路をロックとし、再発しない場合にはそのまま運転を続行することにより、操作性の向上を図っている。

なお、いずれの場合にも、遮断電流限界以上の電流を GTO で遮

断しないように保護協調を考慮した。

### 3. 5 装置の構成と特長

自然冷却方式の採用、保守性の向上に加え、できるだけ小形軽量となるように設計した。装置の構成と特長をまとめて表 2. に示す。

### 3. 6 試験結果

この装置の使用条件を考慮した種々の項目について試験を実施し、設計どおりの機能を有することを確認した。主な内容についてまとめて示す。

#### (1) 定常特性

入力電圧及び負荷率の変動に対する交流出力電圧と交換効率の測定結果を図 4. (a) に示す。交流出力電圧の変動幅は極めて小さい。また、定格点における変換効率は 90% となり、変換効率が高いことが確認された。

#### (2) 出力電圧波形

図 4. (b) に入力電圧 1,500 V 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(歪)は使用範囲で 4~6% であった。

#### (3) 空調装置投入試験

図 5. (a) に 60 kVA 負荷状態から 15 kVA の空調装置を投入したときのオシログラムを示す、出力電圧変化も小さく良好な結果が得られた。

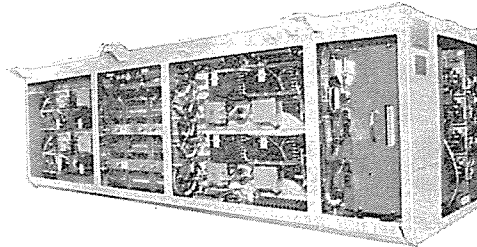
#### (4) 離線模擬試験

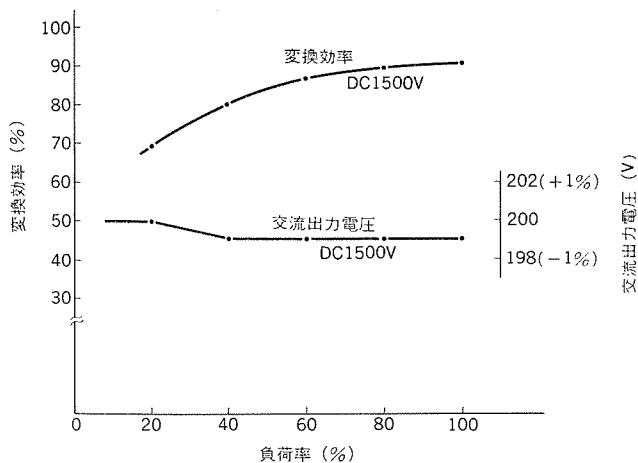
架線電圧を瞬時 0 V として、約 100 ms 後に再び印加する離線模擬試験結果を図 5. (b) に示す。電圧再印加時に 15% 程度のオーバキュートが発生するが、5 サイクル前後で定常値となり負荷への給電が継続することを確認した。

#### (5) 並列運転試験

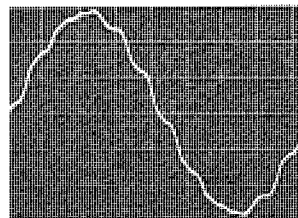
1 号機が定格電圧、定格負荷で運転中、2 号機を同期並入する試験と、1, 2 号機が並列運転中に 2 号機を解列する試験並びに 2 号機

表 2. 装置の構成と特長

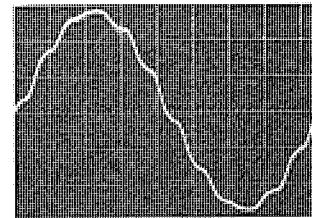
装置	構成	特長
インバータ箱	(1)GTOスタック (2)スナバー抵抗ユニット (3)フィルタ用コンデンサユニット (4)制御回路ユニット (5)リレーユニット (6)その他	(1)GTOスタックは自然通風により冷却 (2)各機器がユニット化され、ユニット単位での保守点検が可能 (3)制御回路ユニットは特にコンパクト
		
変圧器箱	(1)フィルタ用リアクトル (2)変圧器T1,T2 (3)ACフィルタ用コンデンサ (4)ACCT (5)ACPT (6)その他	(1)フィルタ用リアクトル、変圧器T1、T2は自然通風により冷却 (2)ACフィルタ用コンデンサ、その他部品の収納部は端子箱を兼ねた構造
起動装置箱	(1)直流遮断器 (2)電磁接触器 (3)気圧リレー (4)その他	(1)点検カバーを外すことにより容易に点検可能 (2)絶縁がいしにより取付け
充電装置箱	(1)制御電源用変圧器 (2)整流スタックユニット (3)スナバー用CRユニット (4)その他	(1)各機器がユニット化 (2)すべて密閉箱収納



(a) 交流出力電圧と変換効率



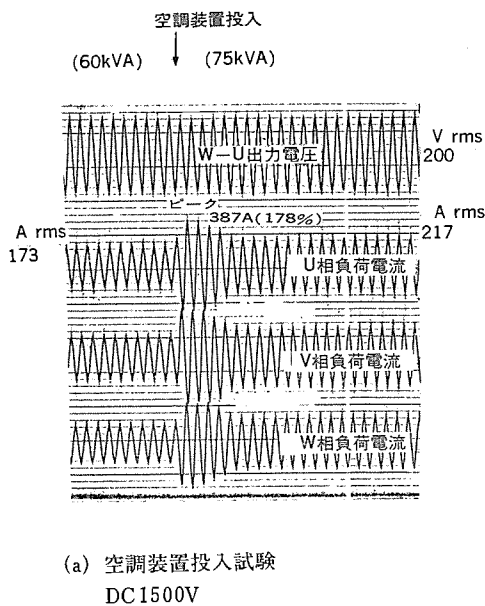
①無負荷 歪率5.4%



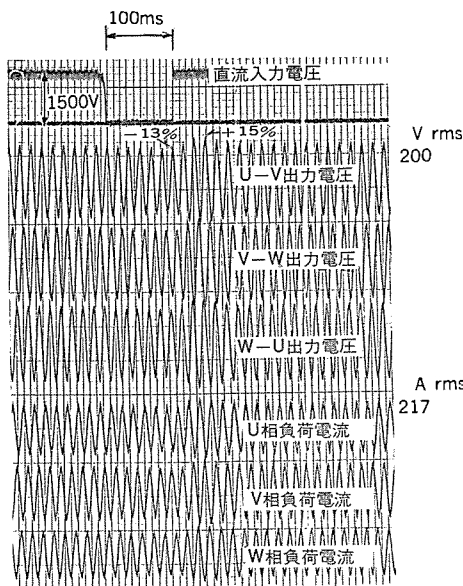
②定格負荷 歪率5.2% (75kVA, pf=85%)

(b) 出力電圧波形 (V: 100V/div, H: 2ms/div)

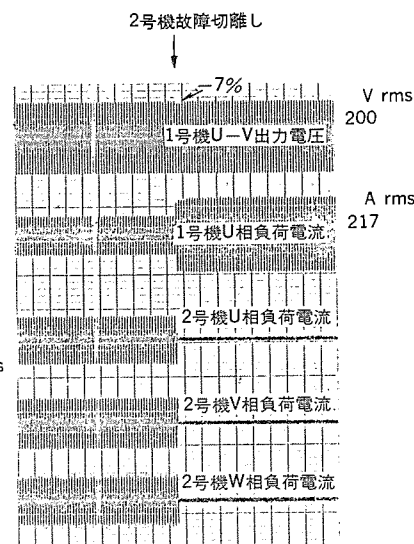
図 4. 定常特性と出力電圧波形



(a) 空調装置投入試験 DC1500V



(b) 離線模擬試験  
DC1500V, 75kVA (pf=85%)  
復帰時25~30%オーバーシュート



(c) 並列運転時故障切離し模擬試験  
1号機50%負荷→100%  
2号機50%負荷→0%

図 5. 試験結果

の故障切離し模擬試験を実施した。図 5. (c) に 2 号機の故障切離し模擬試験結果を示すが結果は良好であった。

#### (6) 騒音試験

定格電圧、定格負荷条件でインバータ箱、変圧器箱を並べて騒音測定の結果、最大で約 70 dB (Aスケール、装置より 1 m の点) であり、十分低騒音化が図られていることが確認された。

#### (7) 実車走行試験

定常運転特性試験、離線対策確認試験並びに信号系への誘導障害試験も無事完了し、現在長期間にわたる実車走行試験を好調に継続中である。

### 4. 単相 GTO インバータ装置

#### 4.1 装置の概要

照明、制御回路などを負荷とする単相インバータ装置としては、23 kVA の装置をメキシコ地下鉄に納入した。この装置は騒音が 64 dB

と低騒音であり、重量面では従来使用されていた装置の 22% の軽量化を実現し、既に営業運転に使用されている。以下にこの装置の概要を報告する。

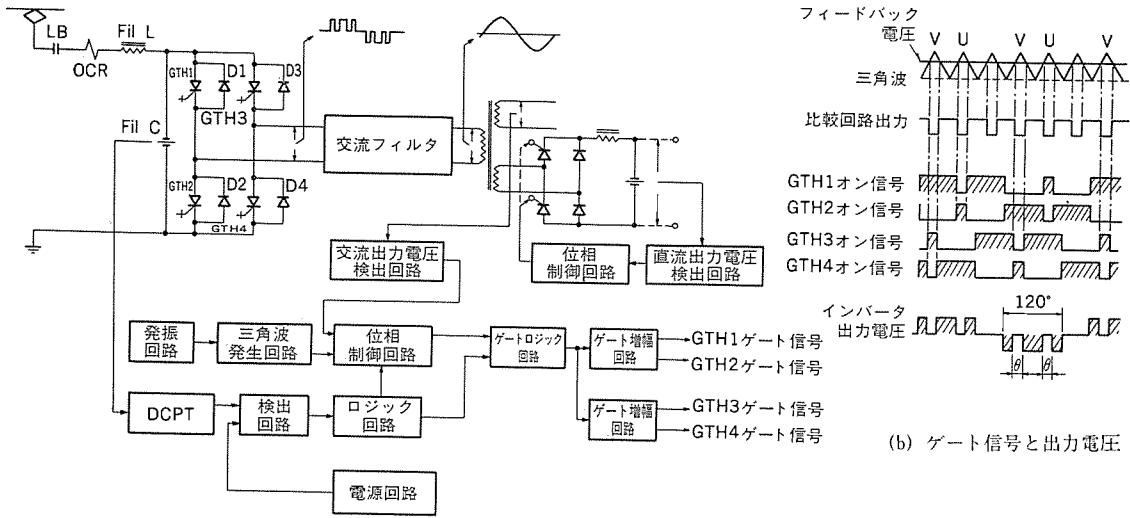
表 3. にこの装置の要目を示す。入力電圧の変動範囲が大きく、直流出力に関しては電圧変動率が小さく、かつ 72~80 V まで調整できるということ、海拔 2,240 m という特殊仕様がある。

#### 4.2 回路構成と基本動作

図 6. (a) に主回路及び制御回路の構成を示す。入力の L-C フィルタを經由して、GTO の単相ブリッジインバータが接続される。インバータ出力は 3 パルス・パルス幅変調により定電圧化され交流フィルタで正弦波化される。直流出力は変圧器の他巻線から全波整流された後、直流フィルタで平滑化されて負荷に供給される。

##### (1) 3 パルス・パルス幅制御

図 6. (b) にゲート信号とインバータ出力波形の関係を示す。位相角 120° の半サイクルを 3 パルスで構成し、そのパルス幅を制御すること



(a) 主回路及び制御回路 図 6. 回路構成と基本動作

表 3. 単相 GTO インバータ 装置の要目

項 目	仕 様		
入 力	定 格 電 圧 (V)	DC 750	
	電 圧 変 動 範 圍 (V)	DC 400~DC 1,000	
出 力	出 力 の 種 類	交 流 出 力	直 流 出 力
	容 量	17.5 kVA	4.4 kW
	出 力 電 圧 (V)	220 ± 5 %	75 ± 2 %
	出 力 電 圧 調 整 範 圍 (V)	—	72~80
	周 波 数 (Hz)	60 ± 5 %	—
	相 数	単 相	—
	歪 率 (%)	10 以下	—
冷 却 方 式	自然冷却方式		
周 囲 温 度 (°C)	-20~50		
海 抜 (m)	2,240		

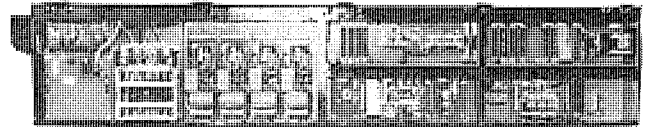


図 7. 23 kVA GTO インバータ装置

により定電圧制御を行う。したがって、第3次高調波を含まず3次以上の高調波も低減できるので、交流フィルタが小形化できる。なお、入力電圧変動範囲が400~1,000 Vと非常に大きいので、電圧制御に余裕を持たせるために、パルス数は3パルスとした。

(2) 直流出力電圧制御

直流出力の電圧変動範囲が±2%と厳しく抑えられていることに加え、72~80 Vまで調整可能であるという仕様に依じて、直流出力にも定電圧回路を設けた。電圧設定は可変抵抗によって行い、設定を誤まっても過電圧あるいは低電圧にならないように配慮した。

4.3 装置の構成と特長

図7.に装置の写真を示す。ヒューズと接触器以外はすべて内蔵している。箱内は密閉室と開放室に区分しており、電源ユニット、制御カードなどの回路部品は密閉室に、フィルタリアクトル、フィルタコンデンサ、変圧器などは開放室に配置し、海拔2,240 mの高地に対しても十分な冷却効果が得られる構造とした。

点検カバーは車体装着の関係から正面左半分と正面右半分下部は、はね上げ式ヒンジカバーとし、正面右半分上部と裏面はひっかけ式ボルト止めカバーとした。電源ユニット、制御カード、GTOユニットは正面左半分の最も点検しやすい部分に配置し、直流出力整流回路部品、

起動コンデンサ回路部品などは正面右半分下部のやや狭いスペースに配置している。裏面に配置しているフィルタリアクトル、変圧器の端子接続部はテーピングにより気密構造にして雨水、じんあいによる腐食、これに伴う接触不良の予防に努めている。

GTOユニットをはじめその他のサイリスタ、ダイオードなどのユニットは、主回路の結合とユニットの取付けを兼用した構造としたので、ユニットの着脱に際しては配線を外す必要がなく、保守の容易化と信頼性の向上を図っている。

重量面では、従来使用されていた装置が1,080 kgであったのに対して、この装置は840 kgであり約22%の軽量化が実現できた。

5. む す び

以上に述べたように、GTOをインバータ装置に適用することによる高効率、小形、軽量、低騒音などの特長を生かすとともに、回路方式、部品構成、構造についても検討を加え、車両用補助電源に適したGTOインバータ装置を完成させた。

単相インバータ装置の系列化は言うまでもなく、三相インバータ装置についても車両4両分の給電に十分な170 kVAまでの系列化を完成したので、広範囲の要望におこたえできるものと確信している。終わりに、GTOインバータ装置の開発、製作にあたり御指導、御協力をいただいた社内外の関係者各位に対し、深く感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

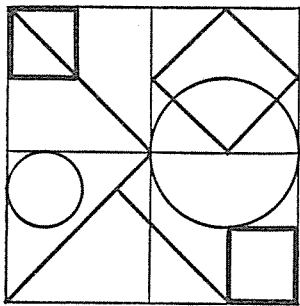
- (1) 宮内ほか：三菱電機技報，41，No. 2，P. 331 (昭42)
- (2) 太田ほか：三菱電機技報，55，No. 4，P. 10 (昭56)



当社の登録実用新案

登録番号	名 称	考 案 者	登録番号	名 称	考 案 者
1255465	冷凍装置の除霜装置におけるヒータの接続回路装置	高倉 誠 治	1256699	永久磁石式渦電流連結装置	車戸秀男・井上 馨
1255468	超音波加湿装置	{ 榑 道治・鳥山建夫 野口喜弘・堤 孝夫	1257805	電気 マッサージャー	増田三郎・川合輝一
1255469	灰かき出し装置	合田和夫・中村剛夫	1257806	陰極支持装置	小林弘男
1255473	端子箱	姫野道人・尾宮光昭	1257807	換気装置	吉野昌孝
1255474	空気調和機の運転制御装置	貝瀬俊明・知久道明	1257808	充電発電機制御装置	{ 平田 毅・荒金堅次郎 岩城良之・森下光晴
1255476	車両用砂撒き装置	森原健司・中嶋恒弥	1257817	電気こたつ	内田 武士
1255477	冷凍装置	作野 勤・有本豪実	1257855	霧化装置	{ 野口善弘・榑 道治 鳥山建夫・堤 孝夫
1255478	磁気連結装置	車戸秀男	1258984	立形回転電機の軸受装置	青山和明
1255896	オゾン 発生器の放電管	田畑則一・森 貢	1258985	引出し装置の逆入制御装置	中村嗣男
1255913	誘導灯	橋本武雄・三上清春	1258986	磁性粒子式連結装置	小林良治・堀 幸輝
1255931	プレーヤーキャビネット	宇佐見栄久・小沢保男	1258987	回転表示装置	東村秀国
1256656	電磁連結装置	小林良治	1258988	液体燃料燃焼式暖房装置の制御装置	浅田 実
1256658	注文表示装置	浅野哲正	1258992	天井扇	井口武夫
1256659	ビル 清掃装置	{ 梶野幸男・三田村隆輝 深沢和夫	1258994	開閉機構	貴志之保
1256660	端子台	田中陸宥	1258997	救命具投下台の緩衝装置	{ 木名瀬武男・樋口昭義 織井勝雄・猪熊 章
1256665	回転電機	森下 瞭	1258999	電動圧縮機	久山貴美雄
1256667	ローベルコントロールバルブ	大久保晴雄・永橋太吉	1259002	切換開閉器	福島助三・岩崎 猛
1256673	プラグ受け部を有する電気器具の外枠体	岡部 勇	1259004	電気車両の制御回路	綿谷晴司
1256674	管継手	金井正一・田山 勇	1259005	冷凍装置	辻 弘之
1256675	管継手	田山 勇・金井正一	1259006	空気調和機の凝縮装置	山崎輝久
1256676	密閉形電動圧縮機	河村 求	1259008	圧縮機	南 恒彦
1256677	交流ゼロクロススイッチ	杉本維平	1259010	電気接触子装置	箱田朝彦
1256678	交流ゼロクロススイッチ	杉本維平	1259011	シャドウマスク	藤村健男
1256680	ヘアードライヤー用アタッチメント	{ 長嶺 元・川合輝一 大竹 操	1259015	巻線	白井 満・高田弘道
1256681	ヘアードライヤー用アタッチメント	{ 長嶺 元・川合輝一 大竹 操	1259017	テレビジョン受信機の同期分離回路	河村博至・木村健治
1256682	ヘアードライヤー用アタッチメント	{ 長嶺 元・川合輝一 大竹 操	1259019	音量調整装置	田中武夫・山岡秀顕
1256683	密閉形電動圧縮機の圧縮機本体支持装置	竹田 茂・土屋邦彦	1259020	直流電動機の直並列抵抗制御装置	小山 滋
1256685	ガス絶縁開閉装置	春本容正・大沼昭栄	1259021	包装箱	吉村 勉・三輪美千子
1256686	強制冷却通電装置	{ 春本容正・今滝満政 倭 雅英	1259023	搬送装置	畑中靖通
1256687	強制冷却通電装置	春本容正・大沼昭栄	1259025	放射線検出装置の点検装置	池田 洋
1256688	強制冷却通電装置	春本容正・大沼昭栄	1259027	レベルコントロール 回路	竹田浩二
1256689	強制冷却通電装置	{ 春本容正・今滝満政 倭 雅英	1259029	電動機制御装置における故障検知装置	綿谷晴司
1256690	半導体素子の基板	下斗米将昭	1259030	整流 スタック	中原義昭
1256691	回転体の停止 センサー	{ 長谷川洋三・荒居 徹 村松和茂	1259031	電気車制御装置	太田幹雄・森原健司
1256692	機器等の取付装置	福原 充	1259032	クリップ	辻田吉広
1256693	半導体整流 スタック	山本 勇・山下信三	1259033	冷蔵庫の温度調節装置	永野幸信・丸山哲朗
1256696	半導体装置用基板	入江英之・山口哲司	1259034	密閉形電動圧縮機	石島孝次
			1259037	高速エレベータの整風装置	鈴木克彦
			1259038	散布物体用包装箱	大屋忠敬
			1259039	エレベータのつり合いおもり	瀬原田三郎・大蔵正篤
			1259040	溶接芯線送給装置	橋川 彪・須藤富弘
			1259041	ばね操作機構	沼田伸一

# 特許と新案



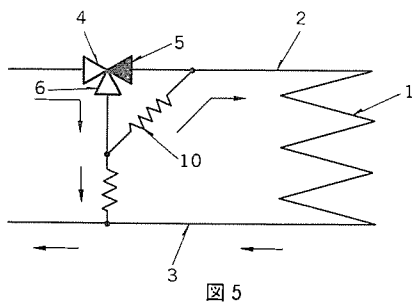
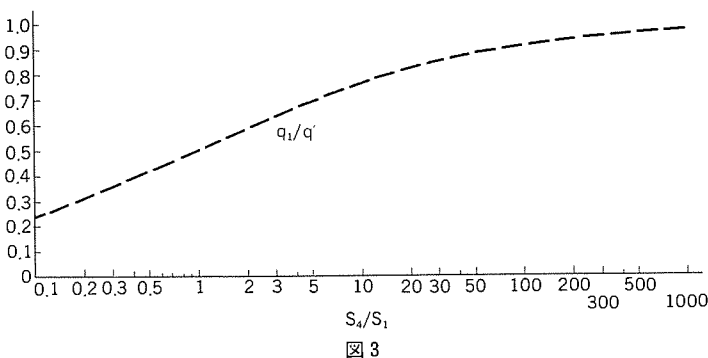
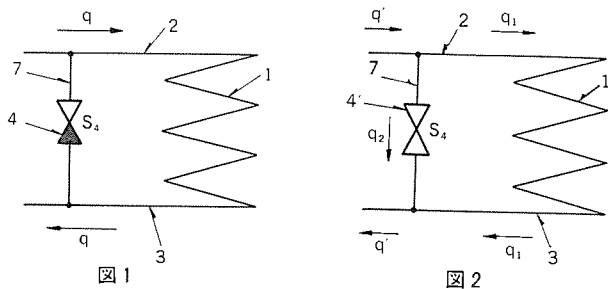
## 熱交換器の水量制御装置 (特許 第107776号)

発明者 徳永 龍

この発明は水を冷熱源とした水式熱交換器の水量制御装置に関するものである。

図1. 及び 図2. はこの装置の構成を示す概略説明図で、水式熱交換器(1)に給水管(2)及び排水管(3)を接続し、給水管(2)及び排水管(3)の途中を互いにバイパス管(7)で接続し、このバイパス管(7)途中に二方弁(4)を設けるものであった。

この場合二方弁(4)を閉じた状態では全水量 $q$ は給水管(2)を経て熱交換器(1)に流入し排水管(3)へと流出する。また二方弁(4)を開いた状態では全水量 $q$ のうち一部水量 $q'$ は給水管(2)を経て熱交換器(1)に流入し、残りの水量 $q_2$ はバイパス管(7)を経て排水管(3)へと流れ、上記熱交換器(1)より流出した一部水量 $q_1$ と合流し、2経路の水頭損失が等しくなる。これをグラフに表わせば図3. 破線曲線となり、二方弁の口径によってバイパス比が決まる。

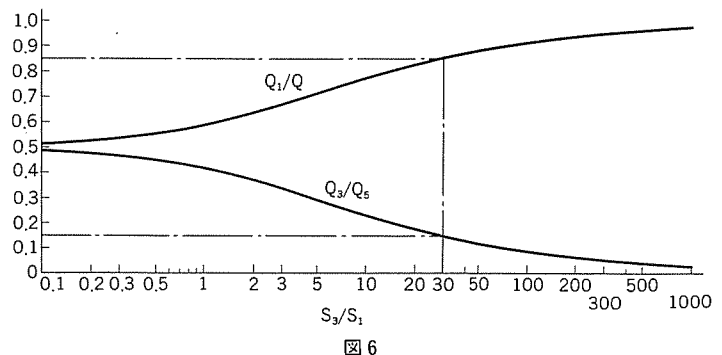
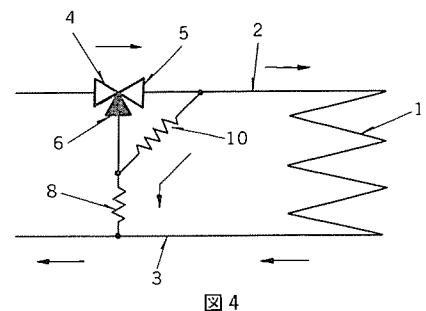


したがって、所定水量を得るために二方弁の口径を著しく大きくしたり、熱交換器の抵抗を大きくせねばならず実際には不可能で、しかも二方弁の開閉時に水頭損失が変わることは避けられず、給水ポンプの揚程により全水量が変化し、かつ水撃作用を生じる欠点があった。

この発明はこのような欠点を除去することを目的としてなされたものである。

その具体例である熱交換器の水量制御装置の概略説明を図4., 図5. に示し、かつ図4., 図5. に示す各状態の水量比率の曲線を図6. に示す。すなわち、水式熱交換器(1)に配管接続した給水管(2)途中に三方弁(4)を設け、この三方弁(4)の二つの出口(5), (6)の一方出口(6)と上記排水管(3)をバイパス管(8)で接続し、上記三方弁(4)の二つの出口(5), (6)間を所定流路抵抗係数を有する第2のバイパス管(10)で接続するようにしたものである。

このように構成することにより、小形で安価な三方弁と所定抵抗のバイパス管を組合せることにより、いかなる割合のバイパス比を容易に得ることができ、しかも三方弁の選定はバイパス比とは関係なく行うことができる。



# 特許と新案

## 冷蔵庫の野菜入れ (実用新案 第1200801号)

考案者 林 八郎・木 南 勤

この考案は、冷蔵庫の野菜入れの改良に関するものである。

図3., 図4. は従来の冷蔵庫の密閉式野菜入れを示すもので、底面(8)に凸部(21)またはリブ(22)を設け、底面(8)に溜る水が野菜に触れないようにされているが、これら凸部(21)やリブ(22)を設けるだけでは水が多く溜ると野菜に触れてこれらが腐るおそれがあり、またリブ(22)を設けたものは野菜に傷をつけたり、腐れを促進させるおそれがあった。

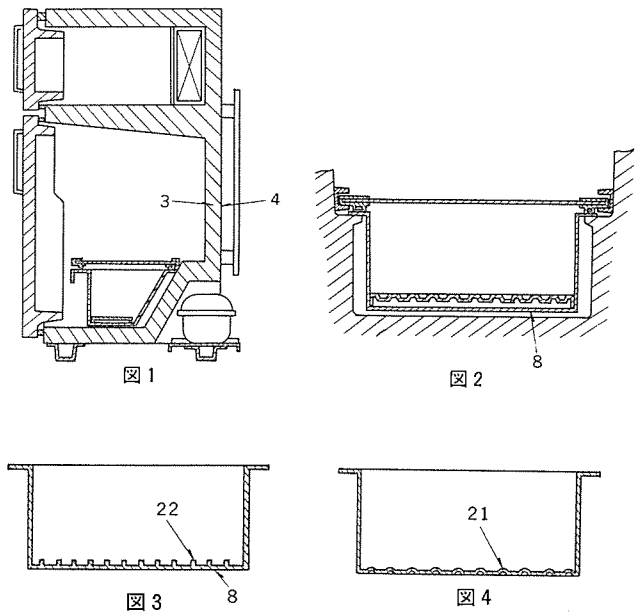
この考案は前述した従来の欠点を解消するためになされたもので野菜入れ本体の底面上の表面に水が溜らない構造の(すのこ)簀子を設置して野菜入れ本体の底部に水が溜ってもこの水が野菜に触れないようにしたものである。

その具体的一実施例の野菜入れを備えた冷蔵庫の縦断面図を図1. に示し、かつ、図1. のII-II線に沿う断面図を図2. に示す。

すなわち、梯形波状に凹凸部が形成され、その各凸部の頂部が平坦面とされ、また各凹部には多数の貫通穴が形成されるとともに外周端縁に上記凹部より下方に延びる脚部が形成された簀子を野菜入れ本体内部底部に設置し、簀子と野菜入れ本体の底面間に水溜用の空間部を形成するものである。

このようにすれば、簀子上に載せた野菜は水に浸漬されることがなく、水との接触時間も短かいので、腐ったりするおそれがなく、

しかも簀子の凸部は平坦であって野菜に傷をつけるおそれもなく、確実に従来の密閉式野菜入れの欠点を解消できるものである。



## 冷却貯蔵庫、温度検知装置 (実用新案 第1320365号)

考案者 藤 井 学

この考案は、冷蔵庫、ショーケース等の冷却貯蔵庫に用いる、庫内の品物の温度上昇の異常を検知して、遠隔点にて警報表示を行う温度検知装置に関するものである。

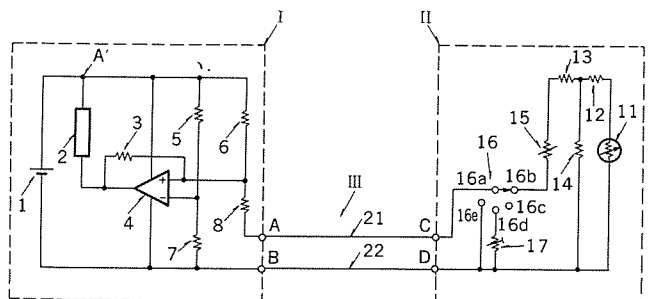
従来のこの種の装置は、切換スイッチがなく、また温度設定用可変抵抗が、表示ユニット側に設けられていた。

この考案は、この従来の装置にかえて図に示すように、コンパレータ(4)の電源端子の一端は直流電源(1)の正極A'に、他端は負極Bに接続される、コンパレータ(4)の出力点は表示器(2)を介して、前記正極A'に、また抵抗(3)を介して、非反転入力端子(+)に接続される、非反転入力端子(+)は抵抗(6)を介し正極A'に、抵抗(8)を介しAに接続される。一方、反転入力端子(-)は抵抗(5)、(7)を介し、それぞれA', Bに接続される、表示を行う表示ユニットIと切換スイッチ(16)の可動接点(16a)はCに、固定接点(16e)はDに、(16d)はインピーダンス素子(17)を介しDに、(16c)は開放、(16b)は温度設定用可変抵抗(15)、抵抗(13)、(14)を介しDに接続される、抵抗(12)、温度センサ(11)の直列回路が抵抗(14)に並列接続される、温度センサユニットIIとA, C間とB, D間を配線(21), (22)によっ

て結ぶ接続部IIIからなる。

したがって、この装置は従来のものと比較して次のような特長がある。

- (1) 温度センサユニット内若しくはその近傍に温度設定手段と温度センサ信号を短絡、開放、若しくはインピーダンス素子との切換えを可能とする。
- (2) 温度検知装置据付時の調整、温度設定、日常の点検、調整を容易にする。



# サウジアラビア向け海水ポンプ用同期電動機

加藤之敏\*・松谷恭司\*・松村喬二\*・河面英則\*・阪部茂一\*\*

## 1. ま え が き

1981年から1982年にかけて、ポンプメーカーである(株)西島製作所、(株)荏原製作所の御注文により、サウジアラビア王国のヤンプ及びジューベイル両工業地帯の工業用水ポンプ設備用として大形の立て形同期電動機24台を納入した。その内訳はヤンプ地区向けとして3,500kW 6台及び1,750kW 4台の総容量28,000kW、ジューベイル地区向けに1,400kW 14台の総容量19,600kWである。

今回のポンプ設備は、その総容量が今までに例のない大規模のものであり<sup>(1)</sup>、当社にとっても低速の大容量同期電動機を一度に多数製作納入したことになる。

ヤンプ及びジューベイルは、サウジアラビア王国が石油産出国から石油製品輸出国への転換を図るために、1977年から建設を進めている工業地帯で、それぞれサウジアラビア王国の紅海側とペルシャ湾側にある。

一般に、同期電動機をポンプ駆動用として採用する理由は、電力系統の力率改善が可能なこと、効率が高いこと、更には特に低速機において誘導電動機に比べて体格が小さく、経済的であることなどである<sup>(2)</sup>。

ここでは、この同期電動機の仕様・特長・製作に際しての技術的検討事項について概要を述べる。

## 2. 電動機の仕様と特色

主な仕様を表1.に示す。プラント全体のコンサルタント会社は米国系であり、規格はNEMAに準拠し、保護形式はWeather-protected Type I並びにIIとなっている。特性についてはNEMA、IECを採用している。

定格回転数は3,500kW機が200rpm、1,750kW及び1,400kW機はともに277rpmであり、同期電動機が最も得意とする大容量で低速の範囲に入っている。

励磁はすべてブラシレス方式とし、スリップリング及びブラシ回りの点検が不要で、かご形誘導電動機並の保守点検でよい。上部軸受はポンプの発生する強大なスラストを受け持つ必要があるために、ティルティングパッド形のスラスト軸受を採用している。

これら同期電動機の特徴は、次に述べるように始動時を含む非同期特性に厳しい要求を受けた。

- (1) 始動時の負荷トルクは定格トルクの約90%であり、通常のポンプに比べて大きな値である。
- (2) 電動機端子電圧が80%になった場合でも問題なく始動完了できること。
- (3) 母線切換時に同期外れを起こした場合でも自動再同期化し、運転を継続できること。

したがって、これらの要求を満足するために、通常の同期電動機にはない大きな非同期トルク(誘導電動機としてのトルク)をもつものとなっている。ポンプとの総合効率も高いレベルを保証する必要があるために、電動機そのものの効率を極力高くするように留意した。

表 1. 同期電動機の仕様

注 文 元	(株)西島製作所		(株)荏原製作所	
向 け 先	ヤンプ工業地帯		ジューベイル工業地帯	
出 力 (kW)	1,750	3,500	1,400	
台 数 (台)	4	6	14	
規 格	NEMA		NEMA, IEC	
保 護 形 式	Weather-protected Type I		Weather-protected Type II	
電 圧 (V)	4,000			
周 波 数 (Hz)	60			
極 数	26	36	26	
回 転 数 (rpm)	277	200	277	
絶 縁 の 種 類	B 種		F 種	
励 磁 方 式	ブラシレス			
スラスト軸受形式	ティルティングパッド			
ポンプスラスト (t)	最 大	32	64.6	61
	常 用	24.3	49	34

## 3. 電動機構造の特長

図1.に3,500kW、図2.に1,400kW同期電動機の外観写真を示す。図3.には3,500kW機の構造断面を示す。

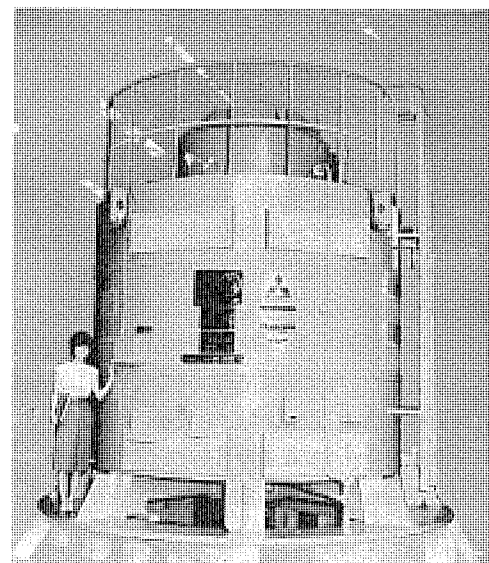


図 1. 3,500 kW 同期電動機外観

\* 長崎製作所 \*\* 中央研究所(工博)

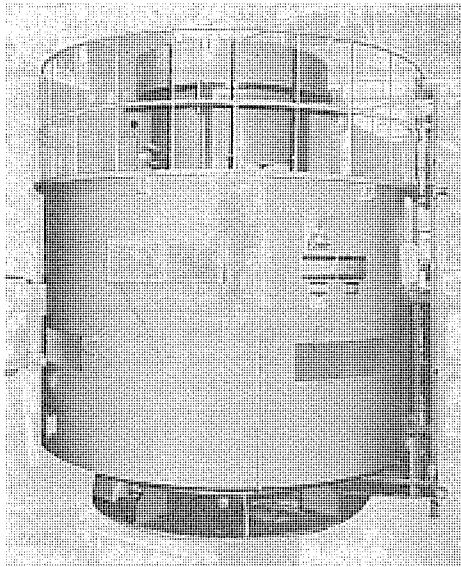


図 2. 1,400 kW 同期電動機外観

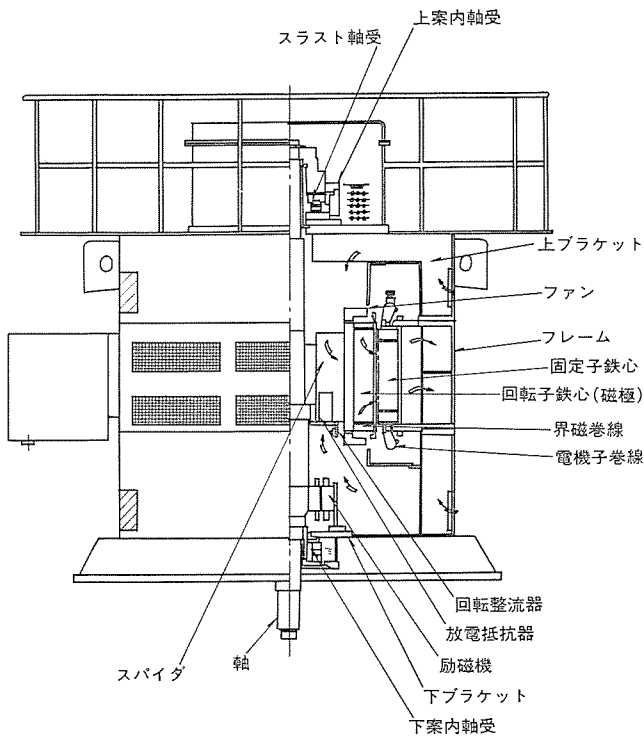


図 3. 3,500 kW 同期電動機の構造断面

電機子巻線・界磁巻線をバランスよく、かつ効果的に冷却するため、回転子にも通風ダクトを設けた。この結果、冷却効果が大きく改善されただけでなく、巻線の軸方向の温度分布が均一化し、鉄心の中央部と端部の温度差をかなり小さくすることができた。この回転子ダクトを設ける通風構造は、4.3節に述べる流れの可視化法を用いて十分に効果があることを事前に確認した上で採用したものである。

巻線の絶縁処理方法は、巻線を完了した後、固定子全体をエポキシ樹脂処理にする真空全含浸絶縁処理（《ダイエポキシ》絶縁）である。更に固定子全体を回転させながら重合・乾燥を行っており、一層高い信頼性をもっている。

保護形式が Weather-protected Type I のものは、フレーム内部に NEMA 規格の要求する通風路を形成しており、特別の通風カバー

はなく、シンプルでコンパクトな構造となっている。

交流励磁機や回転整流器などブラシレス励磁に必要な部品は、電動機の上部に設けるのが一般的であるが、スラスト軸受の点検がやりにくいこと、電動機の分解、組立のたびに本体とブラシレス励磁部品の電気回路の接続を切離す必要があることなど、保守の上で手数が多くかかるきらいがある。このため交流励磁機を下部のスペースを利用して本体の下ブラケットに取付けた。回転整流器及び放電抵抗器は本体のスパイダに取付け、電動機下部の人穴から容易に保守点検ができるようにした。またスラスト軸受は電動機の上部に設置しているため、電動機の組立、据付け及びスラスト軸受の点検が容易となった。

全体を以上のような構成としたので電動機の高さが低くなり、また構造もシンプルになって、外観上は一般の立て形のかご形誘導電動機と少しも変わらないものとなった。

その他付属品として、砂漠地帯特有の砂じん（塵）の吸込みを抑制するために、吸入口にエアフィルタ及びフィルタの目詰り検出装置を取付けている。また 3,500 kW 機、1,750 kW 機には逆回転検出装置、1,400 kW 機には逆回転防止装置を取付けている。

#### 4. 技術的課題とその解析による解決

これら電動機は今回のプラントの重要機器であり、単機容量が大きいため高い信頼性をとくに重要視された。このために電気系と機械系の連成による過渡現象発生時の軸強度の解析、電磁界解析手法を用いた電機子巻線端部の強度解析、流れの可視化法を用いた電動機内部の通風解析など最新の解析技術を駆使して十分な検討を行った。更に前章で述べた真空全含浸絶縁処理方式の採用によって一層信頼性を高めている。

また、今回の同期電動機は効率を 1.0 としたことによって同程度の低速の誘導電動機に比べて電動機内部の損失が少なく、高い効率をもっているが、更に電機子溝に磁性くさびを用いることによってより効率の向上を図った。磁性くさびの採用に当たっては、磁性くさび付近の磁界解析を行い、十分に損失の減少効果があることを確認した。なお、この損失減少効果を定量的に把握する解析は今回初めて行ったものである。

主な解析事項の相互の関連を図 4. に示す。以下にこれらの概要につき項目別に説明する。

##### 4.1 電気系・機械系連成による過渡現象解析

電動機によって駆動される軸系は、始動時、突発短絡時あるいは母線切換時に発生する過渡トルクによってねじ（振）り振動を受ける。この振り振動によるトルクが大きくなると軸の折損などにつながるおそれがあるから、設計に先立ち各現象の挙動並びに軸強度を検討しておく必要がある。

これらの現象の中には、始動時のトルクのようにトルクの値は小さいが、始動のたびに必ず繰返されるために繰返し疲労限度で制限されるものと、突発短絡事故のように機械の寿命のうち一度経験するかどうかかわからないほど頻度は少ないが、トルクの値が大きいため、応力の最大値で制限されるものがある。軸の強度は両者の見地から検討する必要がある。

よって、下記の項目についてポンプメーカーの御協力のもとに、文献(3)に示す電気系、機械系（振り振動系）を連成させた過渡現象のデジタルシミュレーションを行い、軸トルクの値を計算した。これらの計算結果に基づいて最大応力及び繰返し応力を考慮し、軸系が十分な強度をもつように設計した。

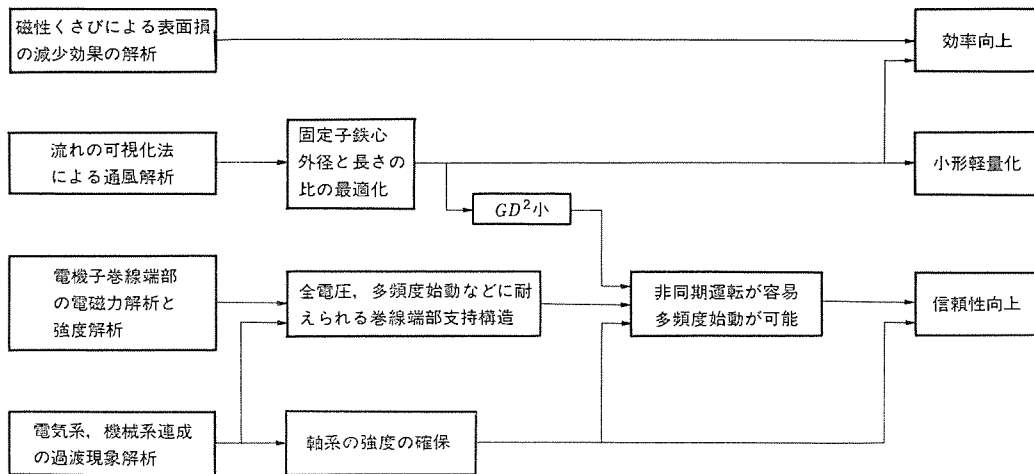
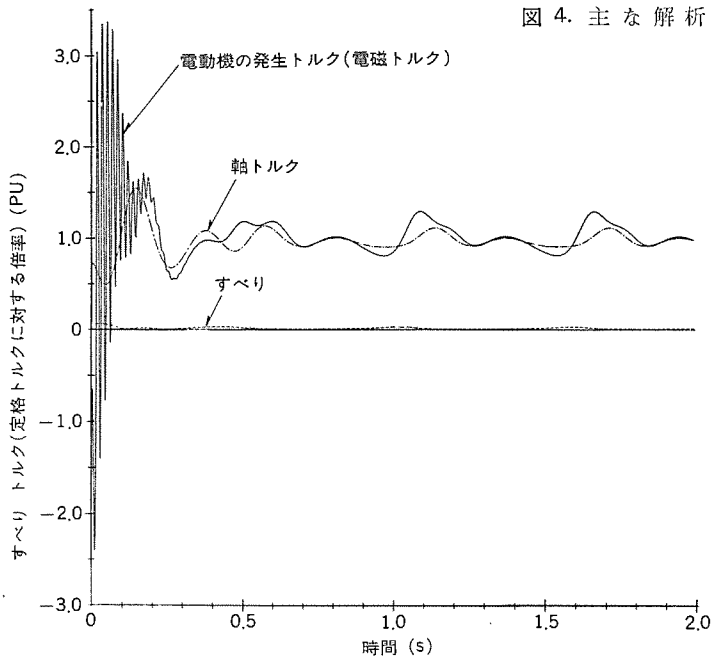
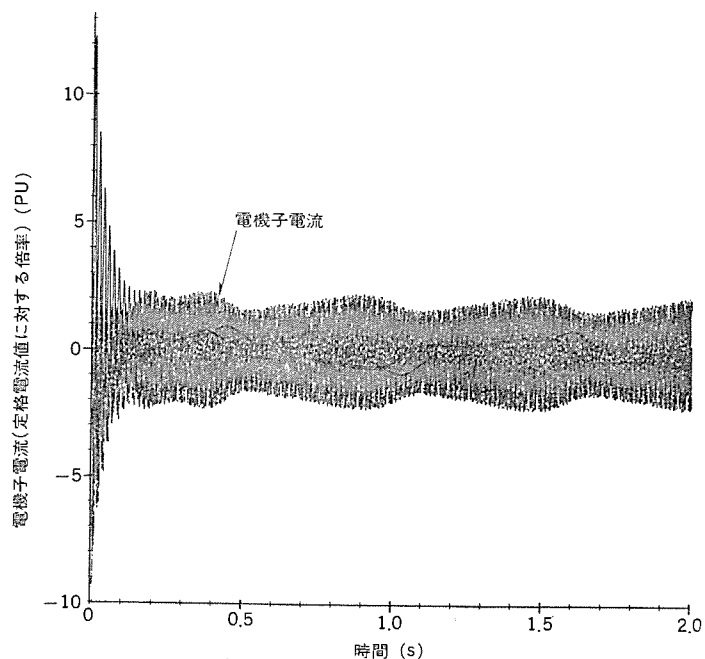


図 4. 主な解析の相互の関連



(a) トルクの変化



(b) 電機子電流の変化

図 5. 母線切換時のシミュレーション結果

- (1) 始動時の電源投入による応答
- (2) 加速途中の  $2Sf$  Hz で脈動する電磁トルクにより加振した場合の応答 ( $S$ : すべり,  $f$ : 電源周波数)
- (3) 同期引き入れ時の応答 (特に界磁投入位相が逆転した場合)
- (4) 三相突発短絡時の応答
- (5) 線間突発短絡時の応答
- (6) 母線切換による瞬時停電・再投入・再加速時の応答

シミュレーション例として、3,500 kW 機の母線切換による電源再投入時の応答を図 5. に示す。最大の軸トルクの値を示したものは母線切換による電源再投入時であり、定格トルクの 1.6 倍のトルクが発生している。電動機及びポンプの軸は、このようなトルクに対しても強度上十分耐えられるように設計している。始動のたびに繰返されるトルクの値も定格トルクの 1.2 倍と十分小さく、繰返し疲労強度上問題になる値ではない。

#### 4.2 電機子巻線端部の電磁力と強度との解析

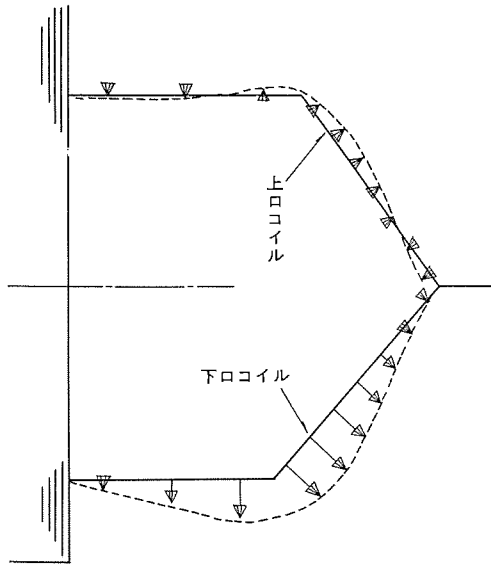
電動機の始動時には定格電流値の 5～6 倍の電機子電流が流れ、更に電源短絡時や母線切換時にはそれ以上の電流が流れることもある。このとき、電機子巻線端部には電機子電流の 2 乗に比例し、電源周波数の 2 倍の周波数をもつ非常に大きな電磁力が作用する。このため巻線端部の支持構造によっては巻線の絶縁破壊や巻線間のつなぎ線の断線事故を起こすおそれがある。

そこで当社は巻線端部の電磁力解析並びに振動解析用のプログラムを開発して巻線の信頼性を確認してきた<sup>(2)(4)</sup>。この電磁力解析プログラムは、コイル端部上の任意の点での半径方向及び接線方向の電磁力を解析するもので、更に前述の過渡現象解析プログラムと組合せて過渡時の電磁力も時系列的に解析できる。

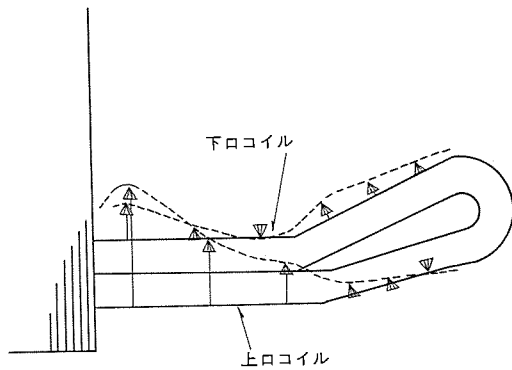
この電動機においてもこれらの解析結果を反映させて、電磁力に十分耐える巻線支持構造とした。図 6. は、3,500 kW 同期電動機について、始動時に 1 個のコイル端部に働く半径方向及び接線方向の電磁力分布を解析した結果である。半径方向の電磁力は電機子溝の出口付近が最大となり、また接線方向の電磁力は直線部からインポリュート部にかけて最大となることが分かる。

#### 4.3 流れの可視化法による通風解析

電動機には鉄損、機械損、銅損、漂流負荷損など種々の損失が発生する。一方、電機子(固定子)、界磁(回転子)の各巻線の温度は規格に定められた温度上昇限度以内に抑える必要がある。このためにいかに効果よく冷却を行い、巻線の温度を均一にして規定値以内



(a) 接線方向に働く力



(b) 半径方向に働く力

図 6. 電機子巻線端部の電磁力解析結果

に抑えるかが重要である。

当社は、長年の経験と技術の蓄積を背景に常により適切な通風方式を追求してきた。今回は、従来の技術に加えて新たに流れの可視化法を導入して、より一層の冷却効果の改善を実現し、信頼性を向上できた<sup>(9)(10)</sup>。流れの可視化法は、流れを目で見るといふ最も素

朴な願望を満たす実験手法であり、複雑な流れ現象解明のために最近多く利用されつつある。これは非圧縮性流体においてレイノルズ数を一致させれば流れは相似となることを利用したものである。壁面がアクリル樹脂性の水槽の中にアクリル樹脂性の透明の電動機モデルを入れて駆動用電動機でモデルを回し、水の流れをもって空気の流れを模擬する。水の中にはトレーサとしてポリスチレン粒子(比重:約1.04)を入れて流れを観察できるようにし、通風解析に役立つものである。

回転電気機械には固定子鉄心外径 $D$ と鉄心長 $L$ の比の経済面、特性面において有利な最適範囲があり<sup>(7)</sup>、同期電動機においても同様のことがいえる。従来、低速機では中央部の冷却を容易にするため、 $D$ に比べ $L$ が極端に小さい構造であった。この同期電動機では、回転子に通風ダクトを設けるなど冷却効果の改善を行うことにより $D$ と $L$ の比を最適にし、小形軽量化高効率化を図った。また電動機の $GD^2$ を低減することにより非同期運転が容易になった。

流れの可視化モデルとして2種類製作し、通風解析を行った。一つは1/3の全体縮尺モデルで、主として電動機内部の全体的な流れを観察し、他の一つは固定子鉄心のダクト部だけの実物大モデルでダクト内の流れを詳細に観察した。これらの流れの可視化実験によって回転子の通風ダクトにも十分な冷却風が流れることを確認した。また、その他の実験結果も実機に取り入れて、冷却効果のよい、信頼性の高い構造としている。図7.に流れの可視化モデルの構成図、図8.に1/3の縮尺モデルを示す。

#### 4.4 磁性くさびによる表面損減少効果解析

同期電動機の大きな特長の一つとして効率が高いことが上げられるが、更に電機子溝に磁性くさびを採用して一層の高効率化を図った。

電機子(固定子)には電機子巻線を納めるための電機子溝があるので、回転子である磁極の表面に磁束の粗密に起因する表面損と呼ばれる高周波の鉄損が発生する。この値は電機子溝の開口部幅 $b$ と空隙長 $g$ の比 $b/g$ の大きさによって左右され、 $b/g$ の値が大きいほど損失は大きくなる。特に低速機の場合は、高速機に比べて空げき(隙)長が小さいため、表面損が大きくなりやすい。

磁性くさびを電機子溝に用いると、等価的に溝の開口部幅が狭くなったことになり、表面損を減少させることができる。この解析の詳細については文献(8)、(9)に報告した。今回の3,500kW同期電動機を例にとれば、磁性くさびを用いることによって表面損の値を27%に減少させることができ、

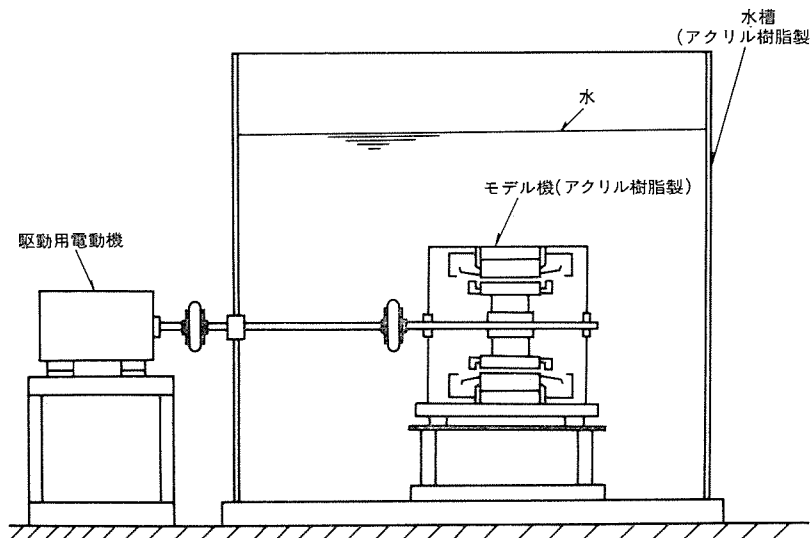


図 7. 流れの可視化モデル構成図

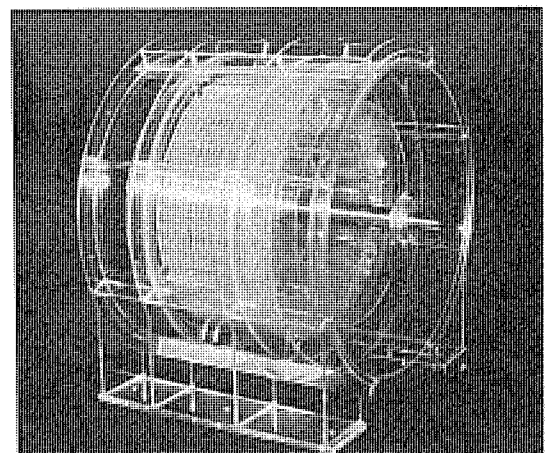


図 8. 流れの可視化モデル



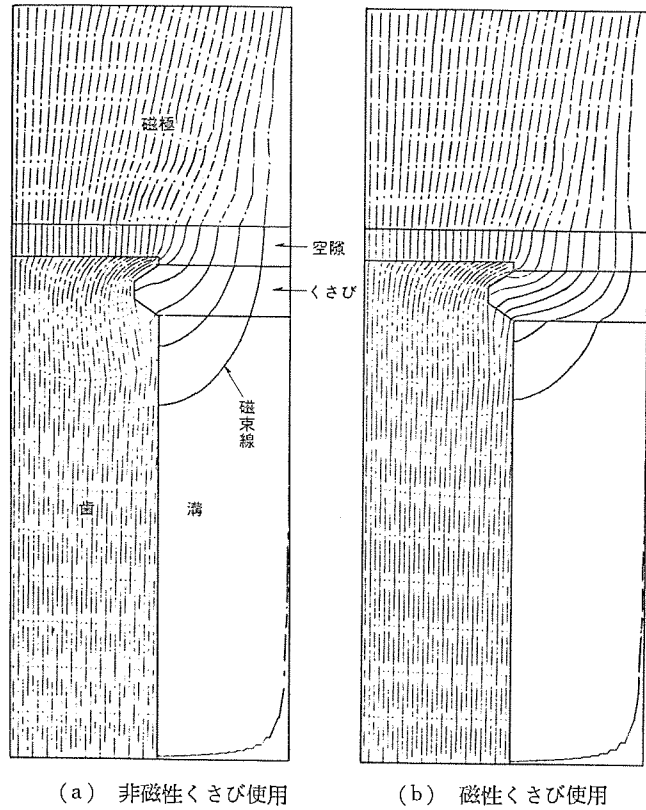


図 9. 空隙の磁束分布の比較

電動機の効率が約 0.3% 上昇した。図 9. に電機子溝に磁極が対向しているときの磁束の分布を、磁性くさび並びに非磁性くさびの両者について計算した例を示す。磁性くさびを用いることによって磁極表面の磁束の粗密が緩和されることがわかる。なお、当社の磁性くさびはエポキシガラス積層板の中に鉄粉を混入しているもので(当社特許)、10年以上の運転実証を経て信頼性が確認されており、磁気特性・機械強度特性・耐熱特性ともに優れたものである。

## 5. む す び

以上、サウジアラビア王国向けに納入したポンプ用立て形同期電動機の概要を紹介した。ここで述べた諸特性は工場試験によってすべて実証確認され、解析手法の有効性について自信を深めることができた。したがって、今回採用された新技術は、今後ますます需要増加が期待される同期電動機の信頼性向上、高効率化、運転保守の簡素化に寄与するものと確信する。

最後に本機的设计製作に当たって、終始適切な御指導をいただいた(株)西島製作所殿・(株)荏原製作所殿の関係各位に対し、深く感謝の意を表する。

## 参 考 文 献

- (1) 久慈：サウジアラビア・ヤブ工業都市向海水循環水ポンプ設備，産業機械，No. 5 (昭56)
- (2) 福本ほか：同期電動機の最近の動向，三菱電機技報，53，No. 8 (昭54)
- (3) 東覚ほか：同期電動機駆動軸系の過渡現象のデジタルシミュレーションによる解析，三菱電機技報，53，No. 3 (昭54)
- (4) 木藤良ほか：大形回転機のコイルエンドの電磁界及び振動応答，昭和54年度電気学会連合大会論文667
- (5) 阪部ほか：流れの可視化法とその回転電気機械通風解析への適用，三菱電機技報，55，No. 9 (昭56)
- (6) 小原ほか：電動機の水流通視化モデルによる通風解析，昭和56年度電気四学会九州支部大会論文223
- (7) 高橋ほか：新系列大形誘導電動機“F4ライン”，三菱電機技報，56，No. 2 (昭57)
- (8) 河面ほか：磁性楔を用いたときのカータ係数，昭和55年度電気四学会九州支部大会論文424
- (9) 加藤ほか：電機子溝高周波に起因する表面損の磁性楔による軽減効果について，電気学会回転機研究会論文RM-82-21，(昭57)

# 合成開口レーダの画像再生信号処理

小野 誠\*・田中宏和\*・葛岡成樹\*・松井保憲\*\*・桐本哲郎\*\*\*

## 1. ま え が き

合成開口レーダ(Synthetic Aperture Radar : SAR) はマイクロ波を用いる映像センサで、観測距離に関係なく極めて高い距離分解能が得られることが特長である。更に、センサ自体がパルス電波を放射するアクティブセンサであるので、昼夜・天候に影響されない観測が行えることも従来の光学センサに無い特長である。これまで、このような特長を生かして主として軍用高分解能レーダとして使用されていたが、1978年米国により打上げられたシーサット1号にLバンドのSARが搭載され、その映像がリモートセンシング関係者の注目を集めることとなった。ここでは膨大なデータ処理を必要とする合成開口レーダの画像再生信号処理に関し、当社が開発したデジタル処理ソフトウェアの概要とその特長を紹介する。

## 2. SAR システムの構成

衛星搭載のSARシステムは、図1. に示すような構成となっている。衛星に搭載したSARアンテナからパルス電波が放射され、地上の観測域に当たって反射した電波を再びSARアンテナが受信する。受信したデータをデータ受信局へ伝送し記録する。記録したデータは、記録速度よりも遅い速度で再生し、信号処理を経て画像データとして出力する。SARシステムを機能ブロック図で示すと図2. のように、RFレーダ系、位相検波器及び信号処理系から成る。信号処理系での処理は位相情報を用いて行うため、RFレーダ系及び位相検波は高安定の基準信号を原信号として使用する。また、同じ理由から軌道姿勢についても高精度なデータを使用する。従来の航空機搭載SARシ

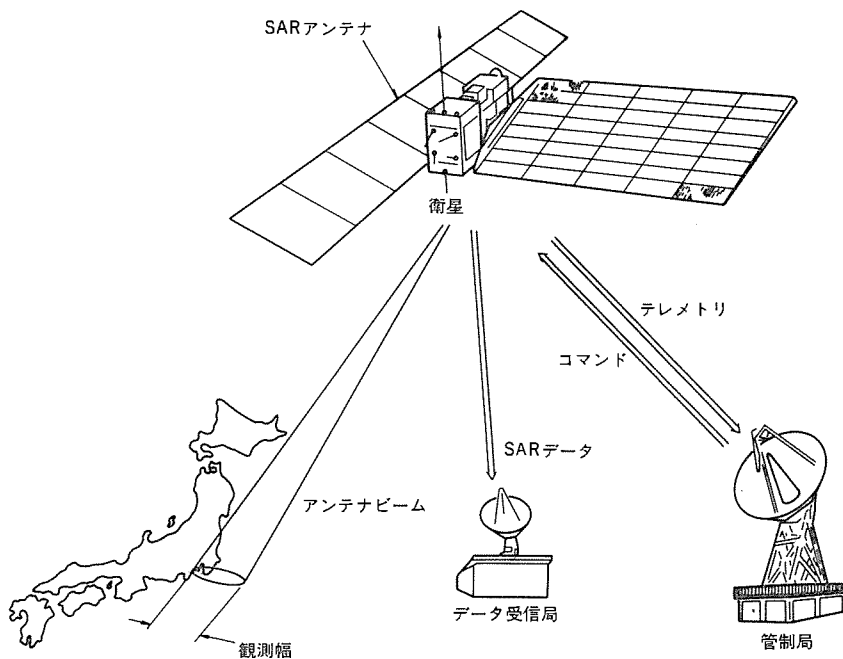


図1. 衛星搭載 SAR システム 構成図

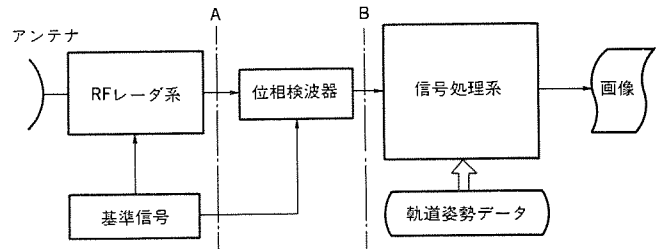


図2. SAR システムの機能ブロック図

ステムでは図2. のBまで航空機上でを行い、処理は地上で行っていたが、最新のものでは画像化までを機上で行うものも現れている。衛星搭載システムでは航空機搭載用に比べて処理データ量が極めて大きいため図2. のAあるいはBで信号を地上へ伝送する構成になっている。ちなみにシーサット1号ではAで地上へ伝送しており、スペースシャトルSAR(SIR-A)ではB点でシャトル内のレコーダに記録し、地上で処理する。

処理前のデータは、コヒーレント光を用いて得られるホログラムと同様のデータであって、観測対象を識別することはできない。

## 3. 信号処理の原理

### 3.1 光学処理

SARの動作原理はマイクロ波のホログラフィと同じであるので、信号処理の過程もホログラムから映像を得るのと同じ方法が用いられる。従来実用されていた処理方式は、SARの受信機で得たレーダ信号を適当なフォーマットで光学フィルムへ焼付けることにより電波から光へ

の変換を行い、これをホログラムとして用いるもので処理速度の点ではデジタル処理より高速である。しかし、この方法では光学フィルムの非直線性、ダイナミックレンジが小さいなどの問題がある。更に衛星搭載SARの場合、処理の光学系の設計が極めてクリティカルであるなどの問題もありシーサットの場合でも検索用データの作成に用いられている程度である。

### 3.2 デジタル処理

SARデータのデジタル信号処理は、光学処理のように2次元的に行わず1次元的な処理に分解する。そのデータ処理量は極めて大きくなり、例えばシーサットの場合75km四方の画像データを25m分解能で得るためには、 $10^{11}$  FLOPSもの演算量となり、汎用大形計算機でも数十時間の計算時間を必要とする。計算時間を減らすためのアルゴリズムの工夫が必要となる。

### 3.3 基本計算式

衛星の場合を例にとって説明すると、図3. に示すように搭載SARは衛星軌道上からパルス電波を

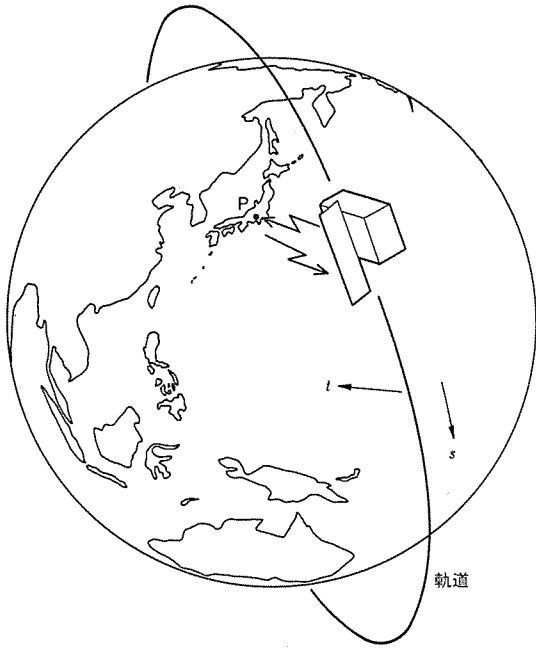


図 3. 座 標 系

放射し、地面からの反射波を受信して位相検波する。電波の速度は、衛星の速度に比べて非常に速いので、位相検波された信号は衛星の位置と時間の 2 変数の関数として次式で与えられる。

$$\text{受信信号} = \text{Sig}(s, t) \dots\dots\dots (1)$$

ここに  $s$  は衛星の軌道上での位置を表す座標、 $t$  はパルス電波の送信時刻を基準とする時間を表す。信号処理は、地上の任意の一点  $P$  に単一孤立点がある場合に予想される受信信号  $\text{Sig}_0(s, t)$  と式 (1) との相関係数を求めることがすべてで、次式で与えられることになる。

$$P(s_0, t_0) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \text{Sig}(s, t) \cdot \text{Sig}_0^* (s-s_0, t-t_0) dt \cdot ds \dots\dots\dots (2)$$

ここに  $P(s, t)$  は処理画像であり、 $*$  は複素共役を表す。高品質の画像を得るためには、 $\text{Sig}_0(s, t)$  を正確に求める必要があり、このためには衛星の軌道データの正確さが必要とされる。当社で開発したアルゴリズムでは、慣性座標系で与えられる衛星の軌道、姿勢データを地球に固定された座標系の値に変換し、これから  $\text{Sig}_0(s, t)$  を求めている。また  $t$  に関する相関は  $P$  の近傍のみをとるように、 $P$  を変化させると共に更新する。実際の信号処理では処理時間の短縮を図るため、 $\text{Sig}_0(s, t)$  を  $s$  に関して符号を反転させ相関演算をコンボリューション演算とし、FFT (高速フーリエ変換) を利用した高速信号処理を行う。

#### 4. 信号処理アルゴリズム

##### 4.1 ブロックシーケンス

より具体的な信号処理のシーケンスを図 4. に示す。処理の過程は大きく分けて、レンジ圧縮及びアジマス圧縮から成る。このうちアジマス圧縮が、3.3 節に述べた SAR の信号処理の基本部分である。次下に順を追って処理内容を説明する。

レンジ圧縮は、レーダの送信機から送信されるピーク電力を減らすためにリニア FM 変調された送信波 (チャープ信号) を使用するの、これによるレンジ分解能劣化を補正するための演算である。内容はレ

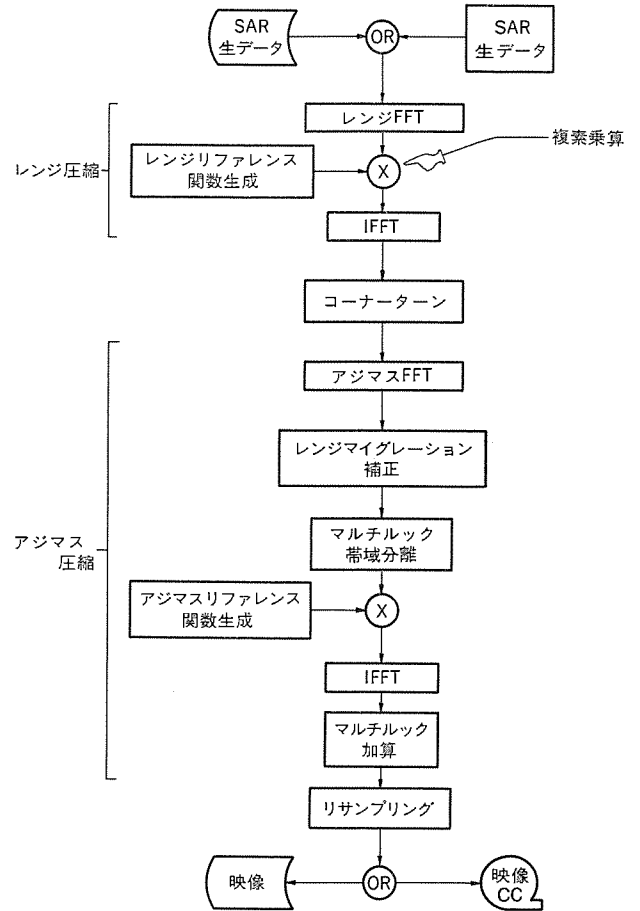


図 4. 信号処理のブロックシーケンス

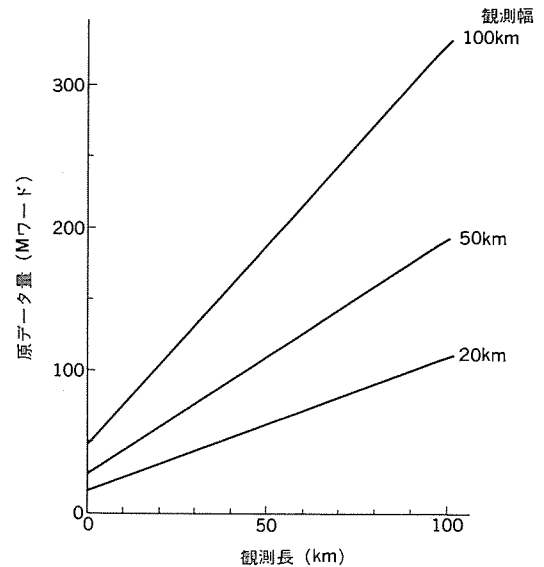


図 5. シーサット 1 号 SAR のデータ量

ーダ送信波によって一義的に定まるリファレンス関数と、信号波の式 (1) の変数  $t$  に関する相関を求めるもので、FFT を利用して高速化を図っている。

コーナーターンは、計算機の内部メモリとディスクメモリの間のデータの出入力を高速化するためのデータ並べ換えの処理である。

アジマス圧縮は原理的には 3.3 節に述べたとおりである。レンジマイグレーション補正は過去の報告でも個々のアルゴリズムの特長が最も現れる部分である。マルチルック帯域分離とマルチルック加算とは、SAR の画像に発生する雑音成分 (スパックル) を軽減するための処理である。

アジマス圧縮に用いられるリファレンス関数は、衛星の軌道データから直接計算するが、式(2)の積分の範囲などの決定は受信信号のスペクトルを解析して行う。

#### 4.2 高速化の工夫

SARのデジタル信号処理において最も問題となるのはデータ量が極めて多いことと演算量が多いことである。一例としてシーサットのデータについて、処理後のエリアサイズと入力データ量の関係を示すと図5.のようになる。演算量は前述のように $10^{11}$  FLOPS程度となる。

今回開発したソフトウェアでは、演算の高速化のために以下に示すような方法を用いた。

- (1) ハードウェアとしてCRAY-1を用いる。
- (2) CRAY-1のベクトル化演算に適合するように計算内容を変える。
- (3) 相関演算を周波数領域で実行する。
- (4) その他演算、ファイルアクセスの効率化

以上の方法により、従来の方式に比べ大幅に高速化されたSARの信号処理アルゴリズムを実現した。

### 5. 処 理 例

開発したソフトウェアを用いて実際にシーサット1号のSARデータを信号処理して得た画像を図6.及び図7.に示す。図6.はアルジェリアの乾燥地帯であり、上下41.6km、左右32.7kmの範囲を示している。出力像は12.5m間隔でリサンプリングされており、地球自転による画像ひずみ(歪)などは補正されている。図7.はスペインバルセロナ市であり、上下20.8km、左右16.9kmの範囲を示している。処理像には港湾部、船舶市街地などが認められ、SARが高分解能であることをよく示している。処理パラメータは次のとおりである。

- (1) 距離分解能 20 m(アジマス) × 25 m(レンジ)

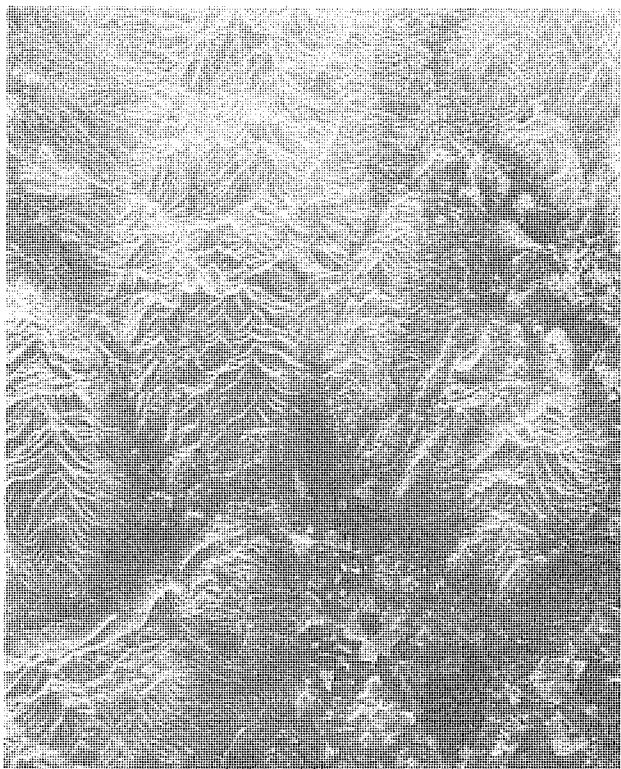


図6. 開発したソフトウェアによる処理例(アルジェリア)

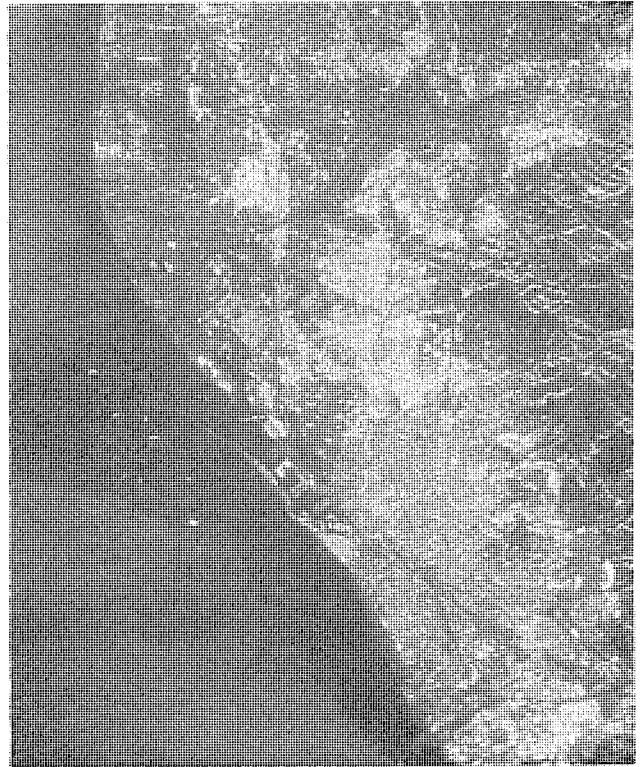


図7. 開発したソフトウェアによる処理例(バルセロナ)

表1. 処理時間(20.8 km × 16.9 km, シーサット1号)

ステップ	機 種		単位: s	
	S 370/168	CRAY-1	CPU	I/O
データ読み込み及び編集	372.6	116.3	22.55	15.36
レンジ圧縮	—	—	55.64	21.48
コーナターン	—	—	17.21	50.04
レンジマイグレーション補正アジマス圧縮及びマルチルック処理	—	—	169.16	44.62
小 計	372.6	116.3	264.56	131.50
	488.9		396.06	
合 計	884.9% (14.7min)			

- (2) マルチルック数 4(30% オーバラップ, テイラ分布)
- (3) 画像量子化 振幅, 8ビット

表1.はこの画像を得るのに要した処理時間で、ドイツのDFVLR、イギリスRAE、カナダのCRCなどから公表されている専用機による処理時間に比べ1けた(桁)以上高速化している。

なお、この処理時間は現在のCRAY-1の0.5μワードのメインメモリという制約の中で得られた値で、メインメモリサイズが大きくなると計算の大幅な効率化が可能となる。ちなみに、75km × 79kmの画像を得るのに要する時間を見積ったところ、約6分で処理可能であるという結果を得ている。

### 6. む す び

SARの画像再生信号処理ソフトウェアを開発し、現時点で世界最高の処理速度を有する計算アルゴリズムを完成した。今回の汎用スーパーコンピュータによる処理の結果を基に、専用高速処理装置の備えるべき機能が明らかになったので、今後、汎用機によるより一層の高速化及び専用機の開発の両面から検討を進める予定である。

# 制御用CRT画面作成支援システム“ピカソ”

白井澄夫\*・大原 彰\*・西村 宏\*・細谷裕美\*\*

## 1. ま え が き

近年、工業用計算機システムの規模と能力は急激に拡大の一途をたどっている。これは、工業用計算機システムが運転・監視・制御の対象とする各種の工業プラントが複雑化、大規模化するとともに、プラントの効率、安全性などに対する要求が強くなったこと、及びこれにこたえる計算機システム技術も目覚ましい進歩を遂げていることによるものである。このようにシステムが発展するにつれ、システムとオペレータあるいはエンジニアとのコミュニケーションを担うマンマシンインタフェース装置として優れた監視制御性能を持つCRTディスプレイの役割はますます重要なものとなっている。

図1. に工業用計算機システムにおけるCRT画面の例を示す。この例にも見られるように、画面には各種プラント状態の表示方法や視認性の向上を図ってさまざまな工夫が加えられている。

さて、このようにCRT表示が高性能化する一方で表示画面の枚

数も増加し、システムによっては数百枚に達するものも現れている。従来、CRT画面は、システムエンジニアが顧客と打合わせをしながら原図を作成し、これをコーディングして画面生成プロセッサにかけるという手順で作成されてきた。しかし、質・量ともに増大するCRT画面への需要にこたえるには、従来の方法ではまもなく限界に達すると考えられる。

本稿に述べる制御用CRT画面作成支援システム“ピカソ”(PICASSO: Picture Assemble Operating System)は、このような状況に対処してCRT画面の設計・作成作業を支援し、画面の品質を向上させるために開発された対話形のツールである。

## 2. “ピカソ”のねらいと特長

“ピカソ”は、工業用計算機システムのCRT表示画面を、ユーザーがCRTと対話しながら作成していくためのシステムである。“ピカソ”は、そのシステム構成から個々のオペレーションに至るまで一貫して、画面作成の作業改善、画面品質の向上を意図して開発された。以下に“ピカソ”の特長の一端を述べる。

### 2.1 操作性の追求

オペレータインタフェースを高機能かつ簡便なものとするため、“ピカソ”では、画面作成ステーションとして2台のCRTディスプレイとキーボード及びタブレット装置を組合せて次のように用いている。

#### (1) 作成画面の常時表示

一方のCRTには作成途上の画面が常時そのまま表示される。これにより、ユーザーは常に画面内容を確認しながら作成操作を進めることができ、作成後の画面表示テストは不要となる。また、顧客と打合わせをしながらその場で画面作成を進めることもできる。

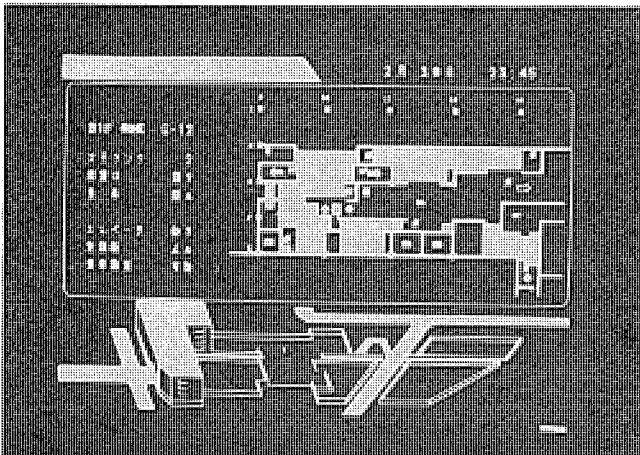
#### (2) メニューの表示

他方のCRT画面には、画面作成のための操作メニューを表示する。ユーザーはこの中から任意のオペレーションを選択する。選択に応じて更に詳細な操作ガイドが表示されるので、ユーザーはこれに従って操作を行えばよい。システムに対するコマンドは不要となり、ユーザーは操作手順に関する知識なしにCRTとの対話によって作業を進めることが可能となる。

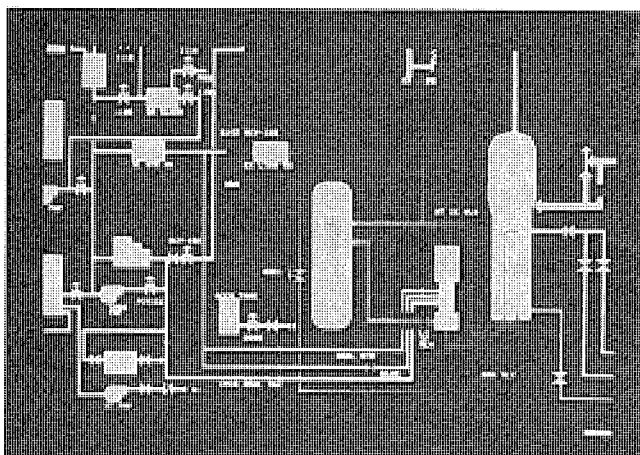
#### (3) タブレット装置による入力

メニュー選択や、作成画面に対する位置指定を容易かつ迅速なものとするため、タブレット装置を入力デバイスとした。タブレットは、約50cm四方の板状の本体と、スタイラスペンと呼ばれるボールペン状の入力装置で構成している。スタイラスペン先端を本体面上に接触させながら移動すると、タブレットと対になったCRT画面上のカーソルがこれに追従して移動する。スタイラスペンを適切な位置で押せばその時のカーソルの位置が入力され、メニューの選択などが行われる。タブレットは機能的にはライトペンに類似しているが、操作性、正確さ、分解能などではるかに優れている。

以上のように、1ステーションに2台のCRTを用いてメニュー画面と表示画面を分離したことにより、画面切替操作は不要となり、更に



(a) ビル管理用



(b) プラント制御用

図1. 制御用CRT画面

ほとんどの操作がタブレットのみによって行われるため、操作作業が理解しやすく画面作成が容易かつ迅速にでき正確さを増した。

## 2.2 画面の蓄積と流用

工業用計算機システムでは、対象プラントが類似している場合、用いられるCRT画面も似かよったものになることが多い。このため、過去に作成した画面を蓄積し、その全部又は一部を流用して再使用すれば、全体としての生産性、信頼性を大きく向上することができる。また、ポンプ、バルブを表すシンボルなどの図形も数多く常用されるから、これら常用図形も容易に使用できるようにしておくのが望ましい。“ピカソ”ではこれらを以下のような手段で可能にしている。

### (1) 画面の蓄積

“ピカソ”で作成した画面は、適用分野別、作成利用部門別などに分類した画面ファイルに蓄積することができる。ある画面を作成する際、このファイルに同一または類似の画面があれば容易に流用することができる。

### (2) マクロライブラリ

“ピカソ”で作成した画面の任意の一部分をマクロ図形として切り取り、これをマクロライブラリに保存することができる。ライブラリは分野別に用意し、常用される図形を格納しておく。また各分野にわたって共通な基礎図形は、共通マクロライブラリに格納される。

## 3. システム構成

### 3.1 ハードウェア構成

“ピカソ”システムのハードウェア構成を図2に示す。

(1) CPU：《MELCOM 350-50》計算機を用いる。オペレーティングシステムとしてTSOS (Time Sharing Operating System) を用い、TSS (Time Sharing System) 機能により複数の画面作成ステーションを動作させる。

(2) 画面作成ステーション (図3)：2台のM2398 CRTディスプレイ装置及び各CRTと対になったキーボードとタブレット装置より成る。

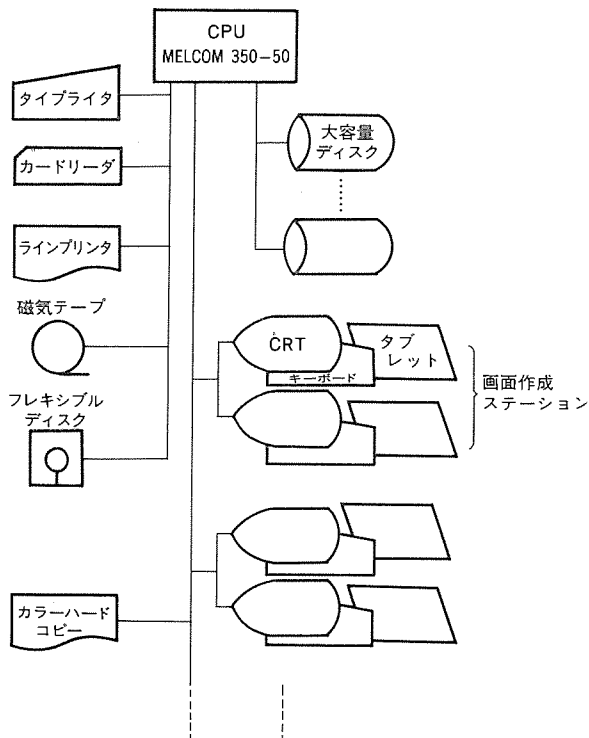


図2. ハードウェア構成

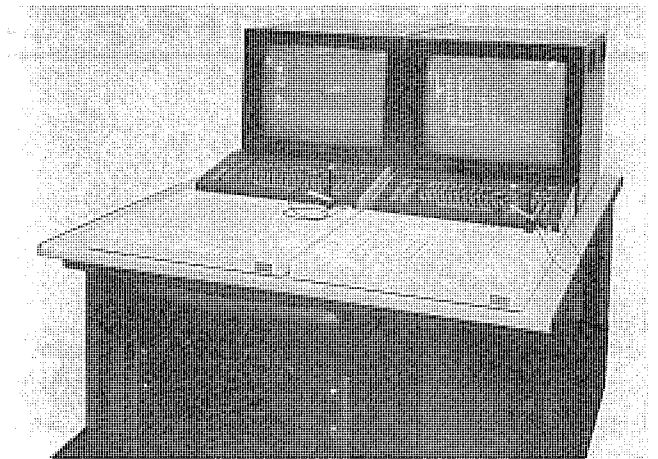


図3. 画面作成ステーション

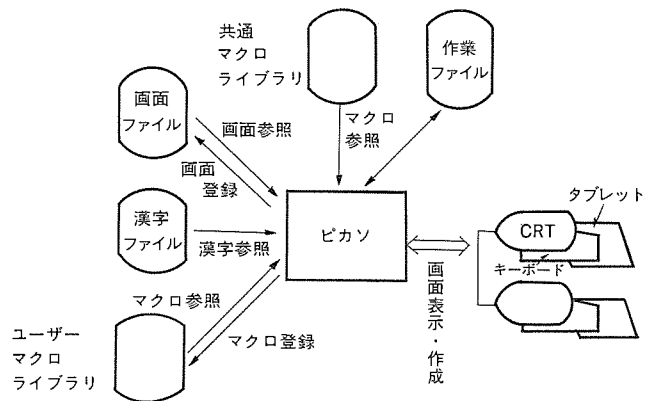


図4. 入出力ファイル

一方のCRTはメニュー画面表示用であり、他方は作成画面表示用である。このステーションは画面作成作業だけでなく、通常のTSS端末としてプログラム開発その他の作業を行うこともできる。

(3) 大容量ディスク：作成した画面を格納する。ユーザーごとに専用の領域を確保することができる。

(4) カラーハードコピー装置：作成した画面は、この装置により直ちにハードコピーを得ることができる。

(5) その他の周辺機器：カードリーダー、ラインプリンタ、磁気テープ装置、フレキシブルディスク装置がある。これらはいずれも各ステーションからアクセスできる。作成した画面リストの出力や画面モジュールの取出しはこれらの機器を用いて行う。

### 3.2 ファイル構成

“ピカソ”がアクセスする入出力ファイルを図4に示す。

(1) 画面ファイル：作成した画面を格納する。また、ファイル中の画面を表示する。

(2) 漢字ファイル：約2,000字用意している漢字のマスタセットから必要なものを選んで格納しておく。

(3) マクロ図形ライブラリ：ユーザーライブラリと共通ライブラリがある。

(4) 作業ファイル：画面作成中に使用するワーキングエリアである。

## 4. 機能

### 4.1 基本機能

“ピカソ”における画面作成操作は、CRTディスプレイ装置に表示されるメニューとインストラクションに従うことを基本としている。図5に

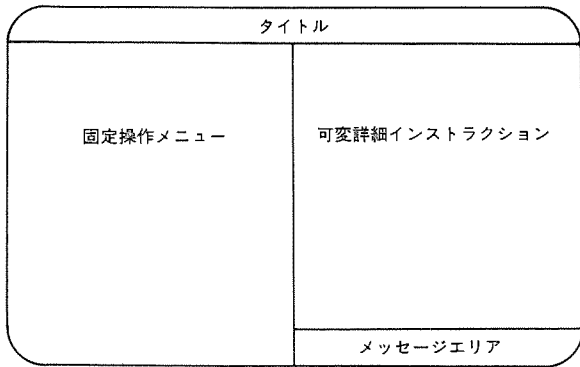


図 5. メニュー画面の画面分割方式

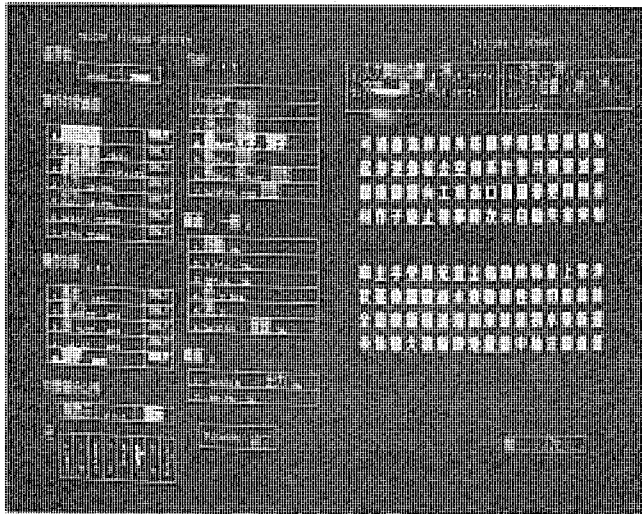


図 6. メニュー画面

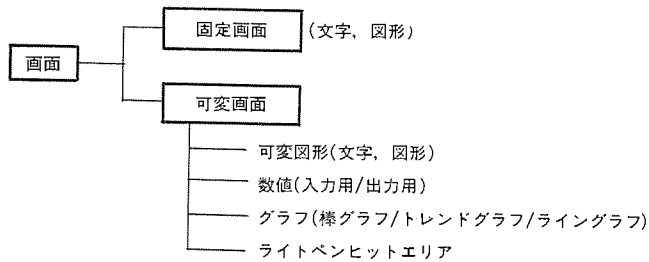


図 7. “ピカソ”システムの画面構成

メニュー画面の画面分割方式を示す。画面の左半部は固定メニューで常時表示されている。右半部はメニュー選択に応じた操作ガイドがそのつど表示される。右半部下端には、エラーメッセージ(赤)とウォーニングメッセージ(黄)が表示される。図 6. にメニュー画面の例を示す。この図では、メニューとして漢字を選択した場合の漢字表示のための操作ガイドが右半部上端に見られる。このガイドにより、容易に漢字表示を行うことができる。

また、“ピカソ”の操作は、基本的にタブレットのみによって行う。メニューの選択や作成画面での表示位置の決定は、タブレットのスタイラスペンと運動する CRT のカーソルを所定の箇所に移動してスタイラスペンを押すことによって行う。

#### 4.2 画面作成・修正機能

一般に、CRT の画面は、図 7. の構成をとっている。固定画面はシステムの状態によらず不変の部分であり、可変画面はシステムの状態とともに動的に変化する部分である。“ピカソ”を使用して画面を新規作成する場合の概略フローが図 8. である。次に各部分を説明す

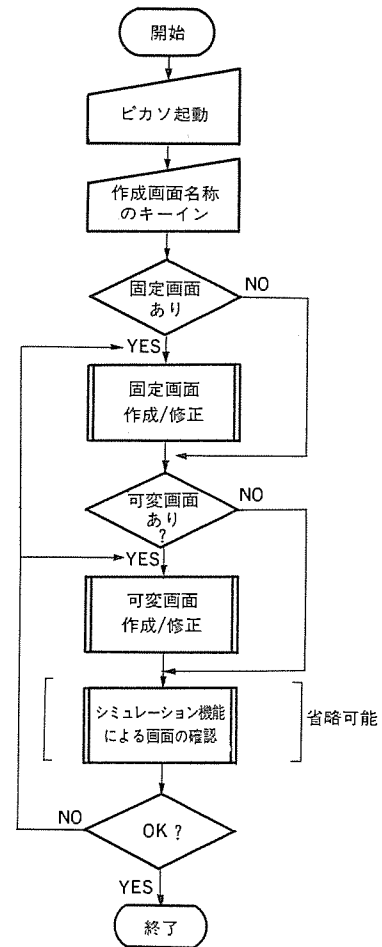


図 8. “ピカソ”の概略操作フロー

表 1. 図形要素

図形要素	仕様
ベクトル	点と点を写えてその間を直線で結ぶ
文字	128種の英数字, 特殊文字, カナ
図形画素	ディスプレイ装置保有の64種の図形
倍サイズ文字, 図形画素	128種の英数字, 特殊文字, カナ, 512種の図形
漢字	512種類の漢字
ユーザー定義図形画素	ユーザー定義可能な320種の図形
マクロ図形	上記図形要素の組合せ図形

る。

#### (1) 固定画面

固定画面を構成する図形要素を表 1. に示す。この表にある図形画素とは 1 画素分 (1 文字分にあたる) の大きさの図形であり、倍サイズ図形は 2×2 画素分の大きさの図形である。ユーザーは、“ピカソ”が記憶している文字・漢字・図形を自由に使用して固定画面の生成や修正を行うことができる。“ピカソ”の記憶にない図形や文字を使用したいときは、ユーザー定義図形画素 (新しい図形) を定義することができる。この例が図 9. で示すように対応するドットを輝点にするか暗点にするかを指定していくことによって、新しい図形を定義することができる。



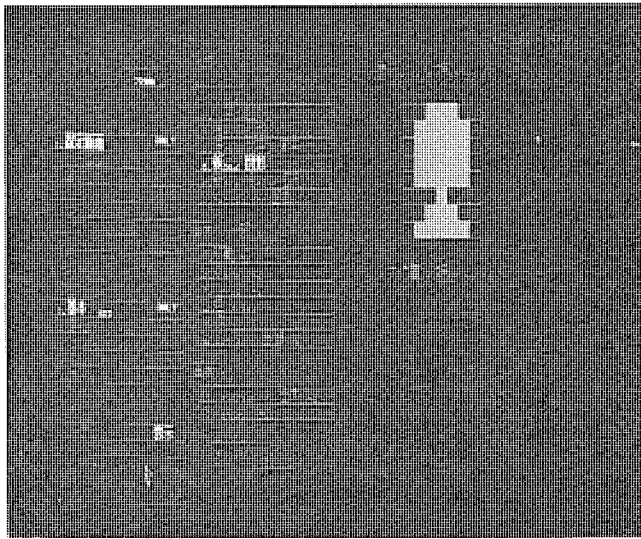


図 9. 新しい図形の定義

表 2. 図形操作

操 作	機 能
移 動	任意の矩形エリアにある図形要素群を移動する
コ ピ ー	任意の矩形エリアにある図形要素群をコピーする (移動と異なり元の図形は消えない)
リ ビ ー ト	任意の矩形エリアにある図形要素群を繰返す
色 変 え	任意の矩形エリアにある図形要素群の色を変える
消 去	任意の矩形エリアにある図形要素群を消去する。

また、以上のような図形要素や、これらの集合に対して、表 2. のような操作を行うことができる。操作対象である図形要素群 (移動やコピーの対象となる図形) は、操作時に作成画面中の任意の (矩) 形領域として指定することができる。以上のような機能を組合わせて使用することによって、固定画面の生成や修正をスムーズに行うことができる。

#### (2) 可変図形

プラントの状態に対応して、色変えやプリンキング及び交代図形との入換えを行うことのできる文字及び図形群を可変図形という。可変図形は固定画面とほぼ同様な操作によって生成と修正を行うことができる。

#### (3) 数値 (出力用/入力用)

アナログ入力した各計器の値などを表示したり、制御設定値を入力する部分である。位置はタブレットのスタイラスペンで指示し、フォーマットはキーボードよりキーインすることによって生成及び修正する。

#### (4) グラフ

グラフ表示は座標軸やスケールファクタによって定義される。“ピカソ”で

は下記のことをスタイラスペンやキーボードで指定する。

- (a) X, Y 軸の開始位置
- (b) X, Y 軸の各最大値・最小値
- (c) X, Y 軸の長さ

#### (5) ライトペンヒットエリア

2 点をスタイラスペンで指示することにより、この 2 点を対角線とした矩形エリアが、ライトペンヒットエリアとして定義される。

#### 4.3 シミュレーション機能

可変画面を“ピカソ”で定義 (生成) した後、この機能を使用して正しく可変画面が作られたかどうかを確認することができる。シミュレーション可能な可変画面は、可変図形と数値である。可変図形は、色変え、消去、交代図形との置換などを行って、正しく動作するかを確かめる。数値の場合は、キーボードより数値をキーインすることによって色や位置を確認できる。

#### 4.4 マクロ図形

頻繁に使用する図形をマクロ図形として登録することによって効率のよい画面生成が可能である。“ピカソ”システムには、共通マクロライブラリとユーザーマクロライブラリの二つのマクロライブラリが用意されている。共通マクロライブラリは、各分野間で共通に使用することのできる図形があらかじめ記憶されているもので、どのユーザーでも自由にこれを参照して画面生成を行うことができる。

一方、ユーザーマクロライブラリは、ユーザーサイドで使用頻度の高い図形をユーザーマクロとして定義し、各分野向きの画面生成を簡素化することのできる。ユーザーマクロ図形の定義は、複雑な手続きを必要とせず CRT 上に通常の画面作成方式で作画し任意の矩形領域を指定することによりこの範囲の図形をマクロ図形として登録できる。マクロ登録は、作画途中のいかなる時点にでも行える。また必要があれば、ユーザーマクロ図形を共通マクロ図形と変更することも簡単な手続き (運用的な手続き) で行うことができる。

## 5. む す び

“ピカソ”は運用開始して間もないが、既に種々の分野のユーザーに使用され、かなりの好評を得ている。ユーザーからは、①ターンアラウンド時間が短くなった。②図形と対話しながら操作できる。③客先の画面に対する希望をスムーズにとり入れられるようになった。などの声が聞かれる。

更に関連ソフトウェアとして下記のものを用意しているので、ユーザーはこれらのソフトウェアを有機的に使用し、よりよいシステムを構築することができる。

#### (1) オンサイトでの画面修正 ツール

オンサイトでの画面修正には、CRT 1 台とキーボードを使用する会話形ツール (VIPGMR) を利用できる。

#### (2) データベース操作 ツール

会話形で、アプリケーションのデータベースを生成、変更するツールとしてデータベースエディタがある。オンサイトにおけるプラント定数の変更などに柔軟に対処することができる。

# 機械構造設計のCAD/CAMシステム《MELCAD-MD》

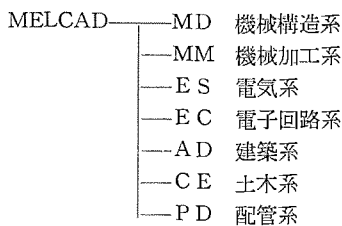
三井大三郎\*・山中 尚光\*・稲垣 洋光\*

## 1. ま え が き

三菱《MELCAD》システムは、設計技術者がより一層創造的な仕事に専念できるよう配慮された、コンピュータ高度利用の設計システムである。設計技術者を手作業による設計から解放し、設計者本来の創造性の発揮による企業活力の強化を基本思想に、豊富な機能と迅速な応答、手軽な操作など設計者の道具としての実用性を十分追求し、特に日本の設計技術者向けに開発したシステムである。

また設計から製造、試験にいたる業務の中での有効活用を図るため、CAD/CAM/CATをはじめ、既存のシステムとの接続を容易にするなど、一元化された思想のもとに構築し、省力化、合理化効果を一層高めたシステムである。

三菱《MELCAD》システムの体系は次のとおりである。



今回機械構造設計CAD/CAMシステムとして、三菱《MELCAD-MD》(Mechanical Design)システムを開発し、製品化し発売している。

三菱《MELCAD-MD》システムの開発の基本方針として、次のことに重点をおいている。

### (1) 32ビット計算機によるターナーシステム

メガミニ(《MELCOM 70》モデル150)から《MELCOM-COSMOシリーズ》(700II~900II)までの計算機システムにのり、グラフィックディスプレイ

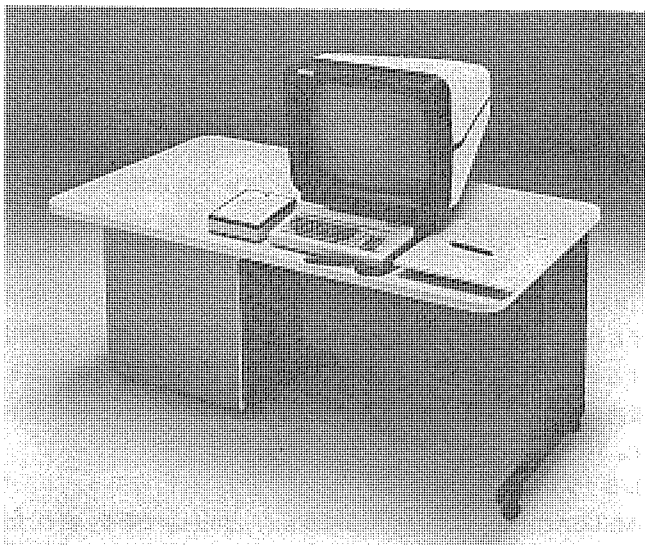


図 1. グラフィックディスプレイ装置

装置の増設や、CAD/CAM、生産管理ほか、システムの拡張性を考慮している。

### (2) 日本の設計者に合わせたCAD方式

製図方式はJISに準拠し、対話も日本語によるファンクションキー、メニューガイド方式を採用し、操作のしやすさに重点をおく。

### (3) ランダムスキャンリフレッシュタイプのディスプレイの採用

応答性、画面の見やすさなどを考慮し、設計生産性の向上を図る。これらの点を考慮した三菱《MELCAD-MD》システムを、設計業務に導入することにより、次の効果が期待できる。

- 設計期間の短縮
- 設計信頼性の向上
- 標準化の促進(製造・資材・管理コストの低減)
- 見やすい図面の作成
- 定形設計作業比率の低減

定量的な効果は一概には算出できないが、従来の手作業による設計製図作業の4倍以上の生産性の向上を目標としている。

## 2. 概 要

三菱《MELCAD-MD》システムは機械構造系設計のCAD/CAMシステムである。設計者が手作業で行っていた設計・製図業務を計算機システムとグラフィックディスプレイ装置により、対話形式で設計図面を作成し管理する(製品形状や加工法の情報を計算機にデータ化)新しい計算機システムである。

主な機能としては、図形・図面の作成、編集、プロッタへの図面出力、図形の解析、図面よりN/C加工情報の出力、図形の構造解析データの出力、図面の検索機能をもった管理などトータルなCAD/CAMシステムである(図2)。

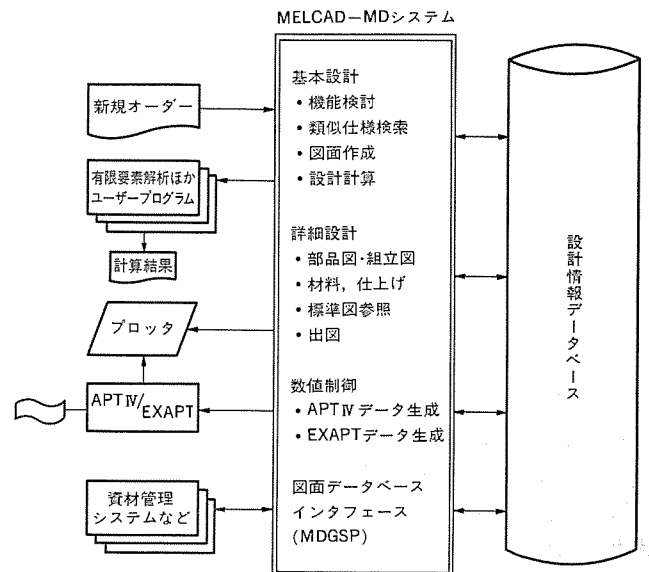


図 2. 《MELCAD-MD》システムの概要

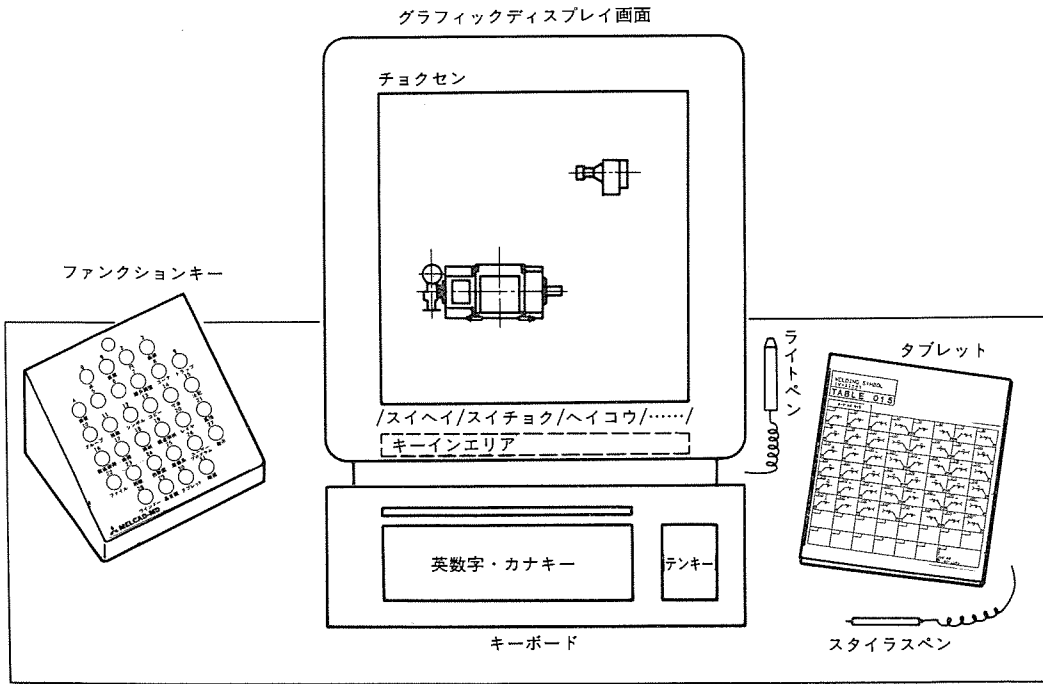


図 3. グラフィックディスプレイ装置

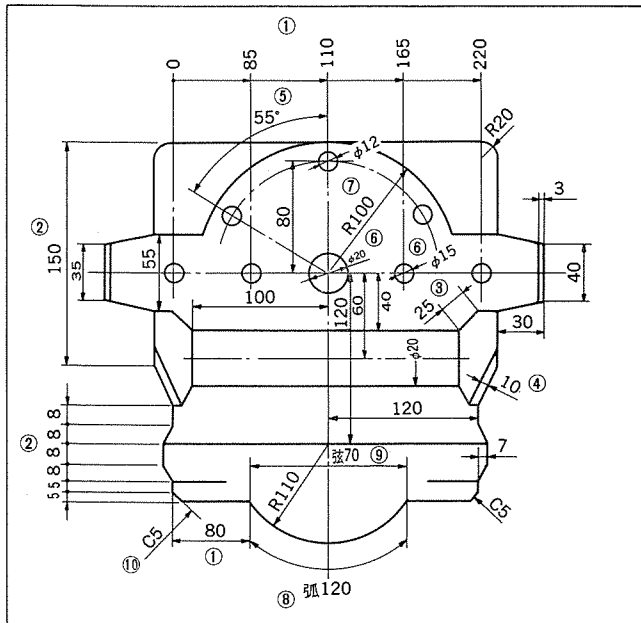


図 4. 寸法線記入例

## 2.1 特長

### (1) 対話による図面作成

製図板をグラフィックディスプレイ装置画面に、定規コンパスとして各種機能を持った 32 個のファンクションキー、鉛筆消ゴムとしてライトペンやキーボード又はタブレットのスタイラスペンを使用して対話形式で図面を作成する。次の操作はメニューガイドに日本語で示すため、設計者のだれでもが対話形式で操作できる(図 3.)。

### (2) 高速応答性

設計時間は次の式で表規される。

$$\text{設計時間} = \frac{\sum (\text{思考時間} + \text{操作時間} + \text{システム 応答時間})}{\text{操作回数}}$$

計算機システムでは上式のシステム応答時間をできるだけ少なくし操作回数が若干増えても全体として設計時間が少なくなるように、ソフトウェアを構築した。

(3) JIS に準拠した製図法図形の作成は、設計者が慣れ親しんできた従来の手法を対話形式で実現し、寸法線などを含めた製図法は JIS に準拠している。図 4. に寸法線記入例を示す。

(4) タブレットによる漢字入力  
図面内に多く使用される注記や品目欄の作成に、英数字・カナのほかに漢字をタブレット装置から入力することができる。

### (5) レイヤの概念を入れた図面管理

図面は主図と補助的な図形の集合であるグループで構成し、主図及びグループにそれぞれ 100 層のレイヤを持たせている。図面内の図形の移動も全レイヤを通して可能である。

### (6) 作図機能の単純化

32 個のファンクションキーに基本作図機能、編集機能、応用機能を持たせ、一つのキーが一つの機能群を持つよう、単純化させて操作をしやすくしている。

### (7) シンボル 図・標準図の参照機能の強化

シンボル図形や標準部品図などを、ユーザー共通のシステムシンボル又はシステムライブラリとして持つことが可能であり、使用者単位のユーザーシンボル、ユーザーライブラリと 2 段階に分けて管理し、図面に参照することができる。

### (8) 図面 データベース

図面を管理単位として磁気ディスク装置内にデータベースとして管理される。そのため図面の修正や流用設計、プロッタへの出図などに迅速に対処できる。図面データベースは《MELCAD-MD》システム以外のプログラムからアクセスすることが可能で、APT IV や FEM (有限要素法解析) のプログラム、生産管理などのシステムと接続を可能とした。

## 2.2 ハードウェア構成

三菱《MELCAD-MD》システムは《MELCOM-COSMO シリーズ》(モデル 700 II 以上)及びメガミニ《MELCOM 70/150》又は《MELCOM 70/250》を host 計算機として、グラフィックディスプレイ装置を接続して使用する。

host 計算機を三菱《MELCAD-MD》システムの専用機として使用することはもちろん、他の技術計算・事務計算などのシステムと併用することもできる。またグラフィックディスプレイ装置の接続台数により、最適な host 計算機を選ぶことができる。図 5. にシステム構成を示す。

## 2.3 ソフトウェア構成

《MELCAD-MD》は CAD/CAM のシステムプログラムであり、次のプログラムを構成している(図 6.)。

### (1) 《MELCAD-MD》プログラム

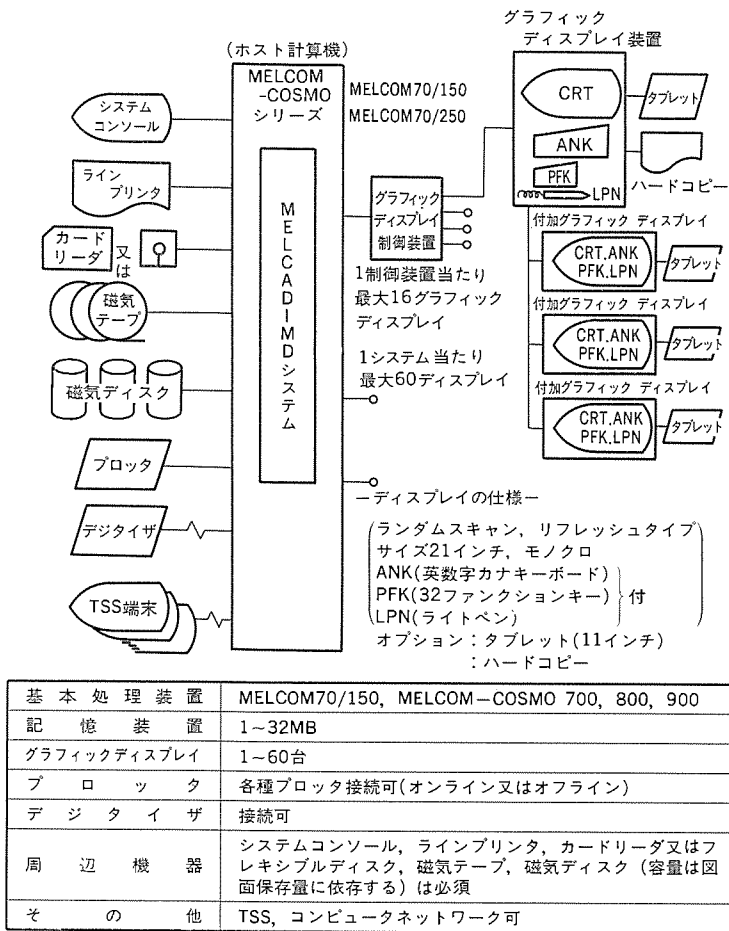


図 5. 《MELCAD-MD》のハードウェア構成

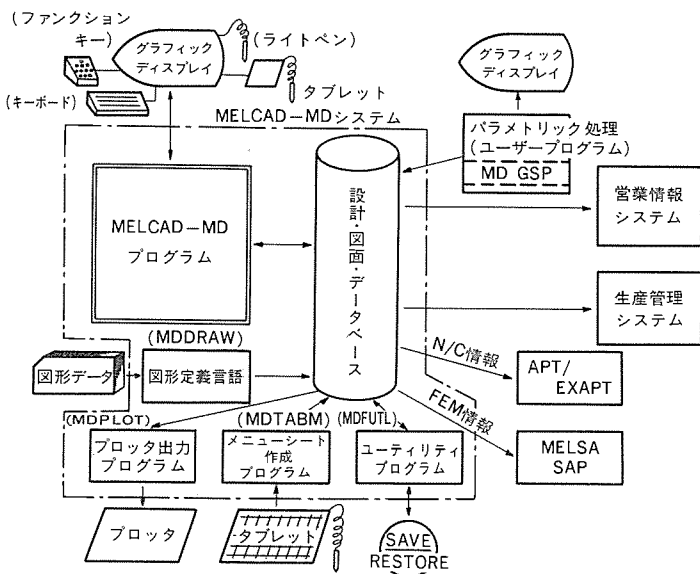


図 6. 《MELCAD-MD》のソフトウェア構成

対話形式で図面を作成・編集するプログラムで、2.4節に機能を示す。

(2) 図形定義言語 (MDDRAW)

シンボル図や標準図などのデータを与えるだけで、図面データベースに作成する。

(3) プロット出力プログラム (MDPLOT)

プロット出力の指定があった図面を、プロットに出図する。

(4) タブレットメニュー作成プログラム (MDTABM)

使用者が任意にタブレット上で使用するメニューシートを作成するプログラムである。

(5) ユーティリティプログラム (MDFUTL)

磁気ディスク上の図面を磁気テープへ保管したり、システムの使用上の登録など、図面管理と使用者管理を行うユーティリティプログラムである。

(6) グラフィックディスプレイ サブルーチン (MDGSP)

パラメトリック処理など、使用者がFORTRANプログラムを組んで、図面データベースやグラフィックディスプレイ装置を使用するためのサブルーチン群である。

2.4. 《MELCAD-MD》の機能

《MELCAD-MD》プログラムの機能には、2次元図形を扱う基本機能と、N/Cや3次元形状を扱う応用機能がある。応用機能は、メーカー側から提供するものもあれば、使用者が独自で作るものもある。

(1) 基本機能

基本機能は大きく次の三つに分類する。

- 図形・図面の作成機能
- 図形・図面の編集機能
- 図面の保管機能

これらの機能は図7.及び表1.に示す32個のファンクションキーにすべて対応して持っている。

(2) 応用機能

応用機能として次のものがある。

- 有限要素モデル情報の作成 (メーカー提供予定)
- N/C情報の作成 (メーカー提供予定)
- 3次元形状モデル処理 (メーカー提供予定)
- 生産管理システムとの接続
- 営業情報システムとの接続
- その他

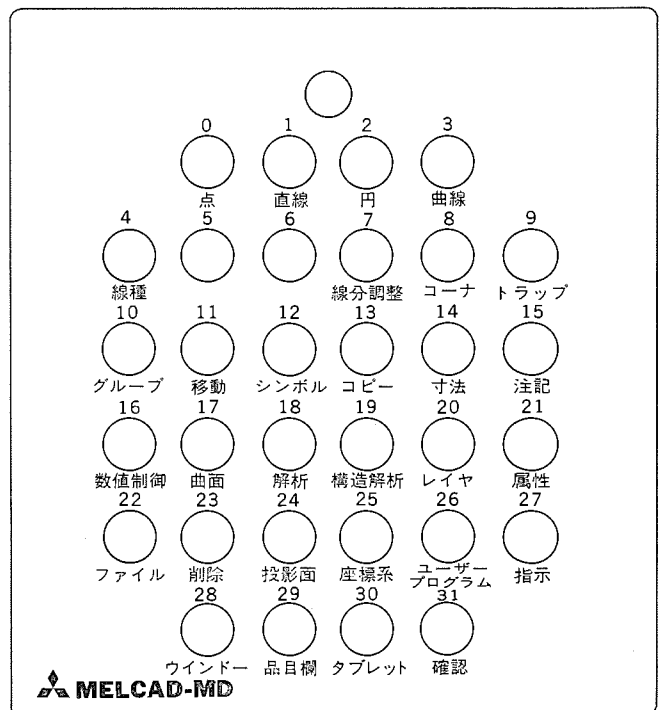


図 7. ファンクションキー

表 1. ファンクションキー 機能一覧

ファンクションキー	機 能
0	点 点を定義する。
1	直 線 直線（水平線、垂直線、平行線、法線、角度を持った線、2点間の直線）を定義する。
2	円 円、だ(楕)円を定義する。
3	曲 線 自由曲線（スプライン）を定義する。
4	線 種 図形要素（円、直線、楕円、曲線）の機種を変更する。
7	線 分 調 整 図形要素のトリミング、分割を行う。
8	コ ー ナ コーナー切り（角、R、面取り）を行う。
9	ト ラ ッ プ 図形要素を一時的にグループ化する。
10	グ ル ー プ 補助図を作成する。
11	移 動 鏡像作成、図形の移動、オフセット処理を行う。
12	シ ン ボ ル 記号化されたシンボルを配置する。
13	コ ピ ー 補助図（グループ）を図面に配置し、他の図面からコピーする機能。
14	寸 法 寸法線を描く。
15	注 記 注記を挿入する（英数字、カナ、漢字）。
16	数 値 制 御 N/C 情報を出力する。
17	曲 面 3次元曲面を処理する。
18	解 折 解析計算を行う。
19	構 造 解 折 有限要素法データを出力する。
20	レ イ ヤ レイヤを定義する。
21	属 性 図形要素に属性情報を追加する。
22	フ ェ イ ル 図面の登録、呼出し、プロッタ出力指示を行う。
23	削 除 図形要素の削除（永久消去）、一時消去、再現を行う。
24	投 影 面 投影面を定義する。
25	座 標 系 座標系（表示座標系）を定義する。
26	ユーザプログラム ユーザー作成プログラムを呼び出し、実行する。
27	指 示 画面の位置及び方向を指示する。
28	ウ イ ン ド ー 画面の制御（移動、拡大、縮小、グリッドの表示）を行う。
29	品 目 欄 品目欄を作成する。
30	タ ブ レ ッ ト タブレットで使用するメニューシートを定義する。
31	確 認 メッセージへの返答及び寸前操作の解除を行う。

2.5 操作

操作はすべてグラフィックディスプレイ装置上で対話操作により設計を行い、図面を作成する。グラフィックディスプレイ装置のファンクションキーを左手で、右手でキーボード又はライトペンを持ち、画面を見ながら操作を行う。

対話操作は、

- 直接データの作成  
（図形要素、記号、注記、寸法、属性データなどの作成）
- 補助図（グループ）データの作成と組込み（コピー）操作
- レイヤ、投影図、座標系の制御
- 作成編集操作
- 格納、検索操作
- その他の操作（装置使用開始、終了など）

の組合せで行い ファンクションキー と メニューガイド により作成する図面に  
に応じた操作手順を使用者が任意に決めることができる。

3. 適用業務

三菱《MELCAD-MD》システムは工作機械、電気機器、産業機械、輸送機器、精密機械などの分野で 設計から製造までの業務に適用できる。また製図業務については、電気、電子の回路図や建築・土木を含めた全業種に適用できる。図 8. に適用業務の一例を示す。

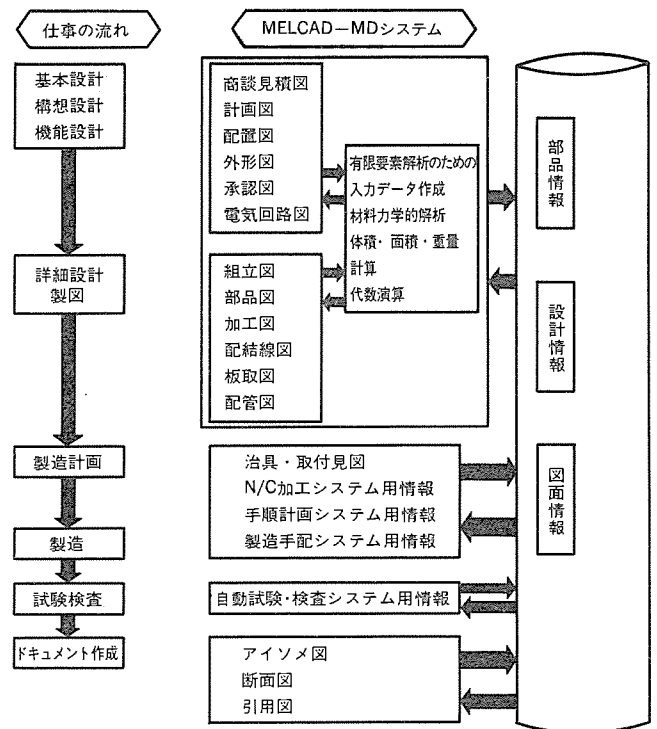


図 8. 《MELCAD-MD》システムの適用業務例

4. む す び

三菱《MELCAD-MD》システムは、今後の設計業務の生産性向上の道具として、また生産管理システムやOAとの有機的な接続により、企業の省力化や情報の一元化を図る中心的な計算機システムとして使用されることを期待している。このシステムの開発にあたっては、当社情報システム部、技術管理部及び各事業所設計部門などの社内の意見を十分に反映させており、今後更に使い込んでいくと共に《MELCAD-MD》システムの機能の強化を図り、より使用者にとって使い勝手のよい製品にして行く予定である。

# 大形空調用高効率圧縮機“JH-Eシリーズ”

大日方興信\*・平原卓穂\*

## 1. ま え が き

全密閉形冷媒圧縮機は、電動機と圧縮機構が一体に連結されて密閉容器に収納されているため、冷媒の漏えい(洩)の心配がなくメンテナンスフリーであるほか、軽量、低騒音といった特長を備えており冷凍空調機器に広く用いられている。当社では昭和40年より、5~10馬力クラスの空調用全密閉形圧縮機として、シリンダを星形に配置し、小形、軽量化及び低振動、低騒音化を図ったDシリーズの製造を開始し好評を博してきた。その後、大形空調機の主流が次第に水冷式から空冷式に移るのに伴い、より冷凍能力の向上をねらったJHシリーズの開発に着手し、昭和54年にはシリーズ化を完了させ、全面的にDシリーズからJHシリーズへ生産を移行させた。

更に、冷凍空調機器に対する省エネルギー化の要求は、石油ショックを契機に一段と強まっている。当社はこの社会的要請にこたえるべく、小形、中形空調用として、高性能ローリングピストン形ロータリ圧縮機KH、RH、NHの各シリーズを開発、製造する一方、冷蔵庫用としても世界初のローリングピストン形ロータリ圧縮機KLシリーズの量産化に成功している。この間に蓄積された基礎技術に基づき、大形空調用レシプロ圧縮機JHシリーズについても、大幅な高効率化をめざしてきたが、このたび従来のJHシリーズに対し、15%に達する省電力化を実現した“JH-Eシリーズ”の開発に成功したのでその概要を報告する。

## 2. レシプロ圧縮機の性能向上

“JH-Eシリーズ”は上部に電動機、下部に星形に配置したシリンダを有する圧縮機構を組合せ、基本的には従来構造を踏襲することによって、従来からの小形、軽量、低振動、低騒音といった長所を保持するとともに、下部圧縮機構には十分な給油を保証し、上部電動機へは冷媒ガスによる効果的な冷却を保証することにより、Dシリーズ以来培われてきた高度の信頼性を維持している。他方、性能に関与する各部分については、その度合いに応じた最も効果的な改善をすることによって、大幅な性能向上を図っている。本章では、まず全密閉形レシプロ圧縮機の基本構造を紹介し、続いて性能向上の要因を述べる。

### 2.1 レシプロ圧縮機の構造

密閉容器内に収納されたレシプロ圧縮機の構造例を、図1.に示す。密閉容器底部には潤滑油が貯えられており、その上方の空間は、吸入管から吸込まれた冷媒ガスが充填している。電動機の回転子はクランク軸と一体に連結されており、回転運動はピストン・コンロッド機構により往復運動に変換されて、圧縮室の体積を増減させる。冷媒ガスは、固定子、回転子間のすき(隙)間を通して電動機を冷却した後、圧縮室内に吸入圧縮され、高圧のガスとなって吐出管から凝縮器へ吐き出されていく。圧縮室シリンダの頭部には、冷媒ガスの吸入、吐出を制御するリング状の自動弁を装着している。また、容器底部の潤滑油はクランク軸にせん孔された遠心油ポンプによってしゅう(溜)

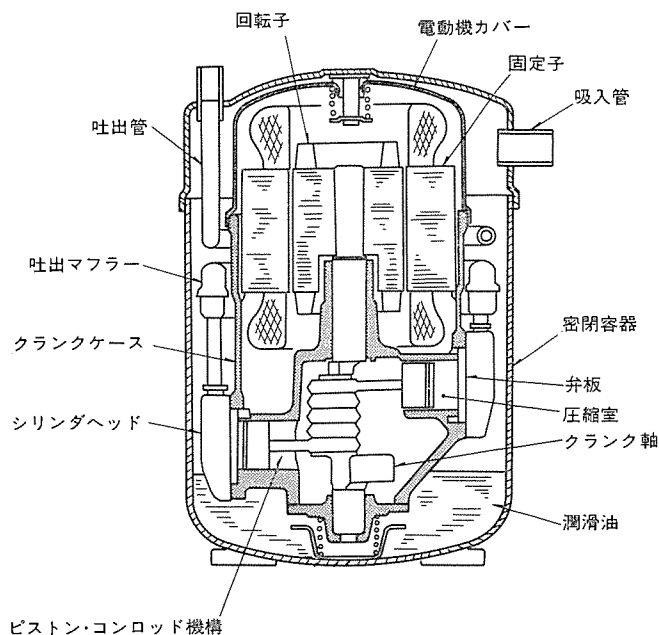


図1. 全密閉形レシプロ圧縮機の構造

動部分へ供給される。

### 2.2 性能向上の要因

圧縮機の性能を評価する値として成績係数(Coefficient of Performance: COP)がある。これは冷凍能力を、圧縮機を駆動するための電動機入力で除した値で、このCOPを向上させるため次の7つの改善を行った。

#### 2.2.1 吸入流路の圧力損失低減

吸入管から吸込まれた冷媒ガスは、いったん密閉容器内に広がった後、電動機カバー上部の穴より吸引され比較的狭い流路を経て吸入弁に至る。この間の流路抵抗が大きいと冷媒ガスの圧力降下も大きくなり、所要の高圧圧力まで冷媒を圧縮するのに要する動力も増大する。基本的には流路断面積の拡大が最も効果的であるが、弁部分で生じる騒音が著しく外部へ伝ば(播)されやすくなるほか、電動機の温度が相当に上昇してくる。このため、圧力損失、騒音、電動機温度の3点を最もバランスよく最適化を図るのが従来からの設計手法であった。“JH-Eシリーズ”は、吸入経路には従来の基本構造を踏襲し、流路各部分には材質、製造方法の改善により、出入口、曲がり部などにおける流路抵抗の軽減を図った。

#### 2.2.2 吸入冷媒の過熱防止

吸入冷媒ガスは吸入弁に至る経路でしだいに圧力降下するほか、かなりの温度上昇を受けて膨張する。この結果、圧縮機が1回転中に吸入する冷媒重量は減少し、冷媒循環量及び冷房能力が低下する。冷媒ガスの加熱源は三つあり、一つは吐出ガス冷媒の流れるシリンダヘッド、吐出マフラーなどの圧縮機高温部であり、他の一つは電動機である。電動機については前項同様、冷媒ガスによる冷却がその寿命と高度の信頼性を保証している関係上、冷媒の加熱を抑制すること

は難しい。他方、圧縮機高温部から吸入冷媒への熱伝達を防止する方法としては、冷媒ガスを直接電動機へ導びく構造が考えられてきた。しかしながら圧縮機に入る吸入冷媒ガスは、その吸入管での冷媒温度が蒸発温度をかなり上回っていても多少液冷媒の粒子を含んでいるし、また負荷の変動により過渡的に液冷媒を含んで戻ってくることもあって、圧縮機構は液圧縮するおそれも生じる。このため、従来は吸入冷媒ガスをいったん密閉容器内に広げるとともに、吐出冷媒ガスが流れるシリンダヘッド、吐出マフラーなどの高温部と接触させて熱交換し、吸入冷媒ガス内の液粒子を気化させていた。しかし、圧縮室に吸い込まれる冷媒ガスの状態が一定せず、ときにはそれが大幅な過熱状態となって圧縮室内に吸い込まれるので、冷媒循環量が減少し、冷凍能力が低下する原因ともなっていた。

これの対策として、冷媒ガスの圧縮機の高温度との接触を制御することにより、その熱伝達を抑制することとし、3章に詳述するように遮熱リングを設けた。これにより、冷凍能力及びCOPの向上を図る一方、従来通り液冷媒の気化機能を維持することにも成功した。

### 2.2.3 無効圧縮仕事の低減

吸入弁から圧縮室内に吸込まれた冷媒は、ピストンの上昇に伴って圧縮され、吐出弁を経てシリンダヘッド内へ吐き出される。ピストン背後の空間は密閉容器内に連通していて、ほぼ吸入圧力に等しいため、圧縮行程中に圧縮室内の高圧の冷媒ガスの一部がピストンリングの摺動部より漏れていくものもある。この漏れたガスを圧縮するのに要した仕事量は無効となり、また吸入弁、吐出弁の漏れも同様に無効仕事となる。これら無効仕事を最小にし、なお一層の性能を向上するよう、ピストンリング、吸入弁、吐出弁の見直しを総合的に行った。

一方、上死点に達したピストンと吸入弁、吐出弁を保持する弁板との間には、ピストンの熱膨張などを考慮してごくわずかの隙間(トップクリアランス)が設けられている。この隙間に残留した高圧ガスは引続くピストンの後退に伴って再膨張し、残留ガスに貯えられたエネルギーはピストン・コンロッド機構を介して駆動側へ還元される。これがレシプロ圧縮機の動力回収現象であるが、残留ガスの圧縮に要した仕事を100%回収することは不可能であり、かなりの部分は無効仕事となって最終的には熱に変化してしまう。

ところが、星形多気筒配置の圧縮機構では、この駆動側への還元エネルギーが直接次のシリンダの圧縮仕事に転用されるため、動力回収が極めて効果的に行われる。残留ガス分の圧縮にかかわる無効仕事は著しく小さな値と推定されるが、次節以降に述べる高性能弁機構などの採用を含めて、圧縮機構全体としての効率向上信頼性の両面から最適なトップクリアランスを見直した。

### 2.2.4 弁周りの圧力損失低減

冷媒ガスは吸入弁及び吐出弁を通過する際にその流速が最大となり、したがって大きな圧力損失を生じる。このため、吐出孔形状を含めた弁機構全体の設計が圧縮機の効率を大きく左右する。“JH-Eシリーズ”では吐出弁は完全なリング形状で、吐出行

程中はほぼその全周が一様にストップ近傍にまで変位し、大きな流路面積が確保される。

弁板吐出孔及び吐出弁の圧力損失軽減については3章に詳述する。一方吸入弁は、弁全体にわたって変位を抑制する構造のストップを設けることが不可能なため、一般にはリング形状の2箇所ないし4箇所を舌状に突き出し、この部分をシリンダに切欠いたストップに当てて過大な変位を押えている。したがって高流量運転時には吸入弁のたわみは著しく複雑となり、特定の箇所に過大な応力を生じやすい。こうした吸入弁の特殊な挙動を十分に解析し、吸入弁の信頼性を損なわないような設計をすることによって、圧力損失の軽減を図った。

### 2.2.5 吐出流路の圧力損失軽減

吸入流路と同様で、流路断面積の拡大がCOPを向上させるが、弁音が外部に伝播しやすくなるほか、圧力脈動が大きくなり凝縮器に悪影響を及ぼす。このため“JH-Eシリーズ”では主として吐出マフラーよりも上流側で、効果的な圧力損失対策を施した。

### 2.2.6 機械損失の低減

各部品の摺動箇所が生じる機械損失については、なお一層の低下をめざして、ピストンリング、クランク軸、軸受などの寸法・加工精度を見直しCOPの向上を図った。

### 2.2.7 電動機の効率改善

電動機はその損失の大部分が吸入冷媒の加熱に費やされて冷却され、一方吸入冷媒が適正な圧力、温度状態で圧縮室に吸い込まれれば、電動機の効率改善は冷凍能力の増大と入力減少という二重の効果をもたらす。COPの向上は倍加する。先に述べた吸入冷媒ガスの過熱防止対策によって、電動機を通過する冷媒ガスの温度が低下した結果、電動機の巻線温度も著しく下がり、電動機の効率向上という副次作用もたらされている。更に固定子、回転子の寸法見直しにより二次抵抗、漏れ磁束などの減少を図り、またCADによる最適設計を行って巻線仕様などを決定し、圧縮機構に最もマッチングした高効率電動機の搭載を実現した。

## 3. 高効率機構の紹介

### 3.1 吸入ガス過熱防止対策

シリンダヘッド、吐出マフラーなどの高温部から吸入冷媒ガスへの熱伝達

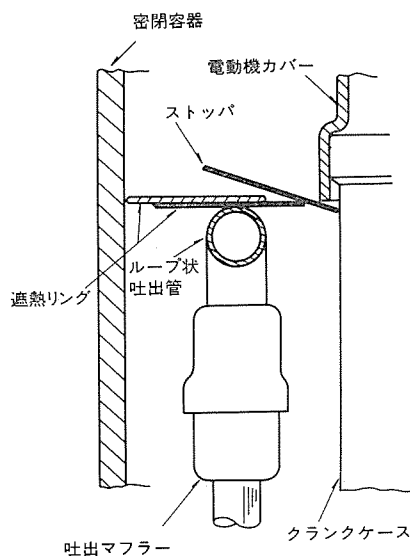


図2. 遮熱リング

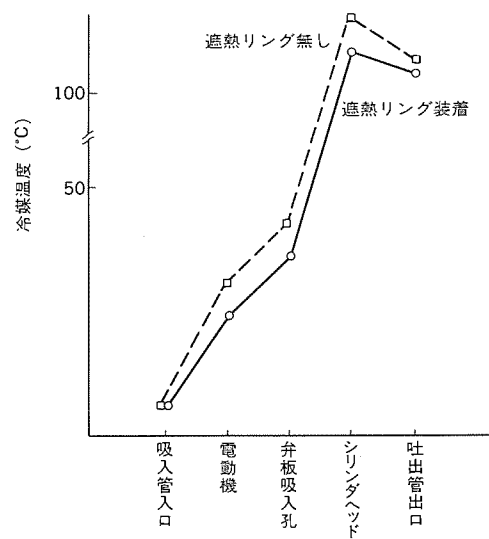


図3. 圧縮機内での冷媒温度変化



は、図 2. に示す遮熱リングによって防止される。遮熱リングは熱伝導、熱放射の低い材料で構成し、ループ状をなす吐出管の上側に設けている。防振用スプリングによって保持している圧縮機本体が、輸送中及び運転中に密閉容器内で動くのに対応して、遮熱リングは 2 枚重ねとなっており遮熱機能を損なうことのない構造となっている。この遮熱リングの上方に伸びる吐出管の貫通部には空隙を設けており、液冷媒が吸込まれた場合、液が自重により下方に落下し、圧縮機高温部と熱交換して容易に気化しうよう構成している。遮熱リングによる吸入ガス過熱度の改善状態を図 3. に示す。

電動機部分及び弁板吸入孔における吸入冷媒ガス温度は、従来シリーズに比べ大幅に低下しており、その効果は吸入冷媒を直接電動機カバー内に導いた場合とほぼ匹敵する。また吸入冷媒ガスによる吐出冷媒ガスの冷却効果が減少したにもかかわらずシリンダヘッド内、吐出管出口のいずれも新シリーズの方が冷媒温度が低下している。

### 3. 2 弁板吐出孔形状とピストン突起形状

シリンダ頭部に組付けられる弁板には吸入弁吐出弁が装着され、これに対する吸入孔吐出孔が設けられている。このうち吐出孔における流路抵抗の改善について新旧シリーズの構造比較を図 4. に示す。新シリーズでは圧力損失を改善するため吐出孔をテーパ状に形成しており、このテーパ角度は広範なモデル実験により最適値を選んでいる。図 5. は、弁板吐出孔形状改善前後のシリンダ圧力の実測値を比較したもので、著しい改善効果が確かめられる。

一方、吐出孔の拡大に伴うトップクリアランスの増加を避けるため、



図 4. 弁板吐出孔形状

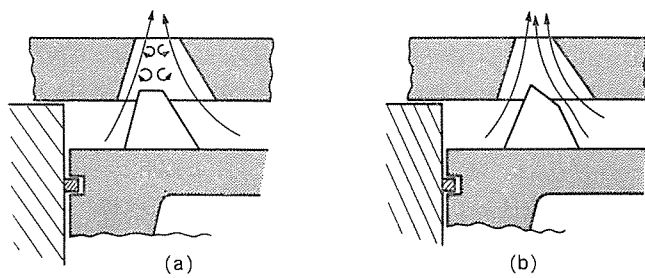


図 6. ピストン突起形状

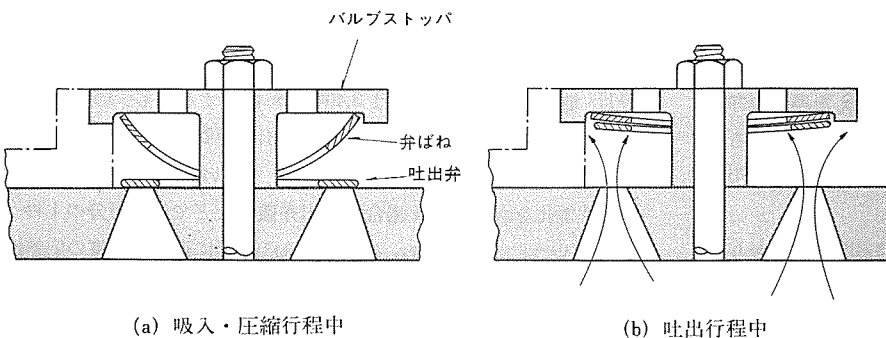


図 8. 吐出弁機構

一般にはピストントップ面に図 6. (a) に示す形状の突起が形成され、冷媒ガスは突起面及び吐出孔テーパ面の間から押し出される。図 7. は吐出孔を通過する冷媒流速の時間変化を特性曲線法のプログラムにより算出したものであるが、冷媒流速がピストン速度に比べ著しく大きいことが示されている。この結果、従来のレシプロ圧縮機で多用されてきた図 6. (a) の突起形状では突起頂部に激しい乱流が生じ、大きな動力損失の生じることが解明された。これを避けるため、新シリーズのピストン突起は三つのテーパ面から成る図 6. (b) の形状を採用し、冷媒ガスの流れを整え乱流の発生を防ぐフローガイドの機能をも果たすよう、突起テーパ面の角度、弁板テーパ部との隙間、部品加工精度及び熱膨張などを考慮した最適設計を行った。

### 3. 3 吐出弁機構

新シリーズの吐出弁はリング状のフラットバルブであり、これをほぼ同一形状の弓形にそった弁ばねによってバルブストップ内で保持しており、図 8. (a) に示す構成をしている。吐出行程中は、冷媒ガスの噴流力によって吐出弁が弁ばねを押し上げ、バルブストップ近傍にまで変位

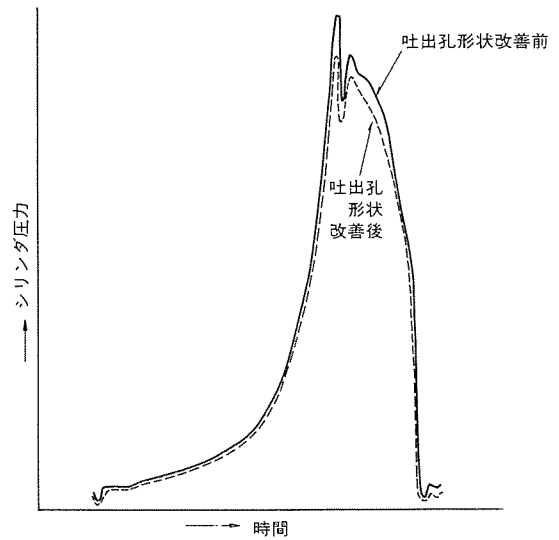


図 5. シリンダ圧力線図

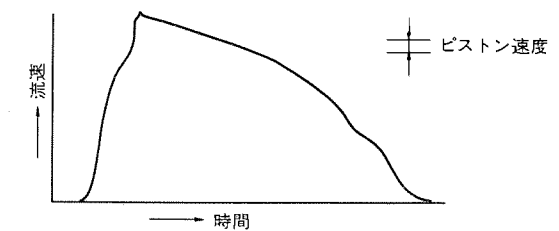


図 7. 吐出孔での冷媒流速の変化

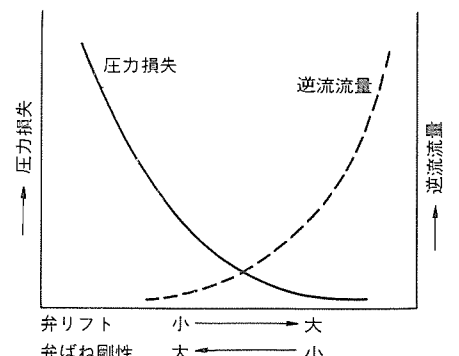


図 9. 弁リフト、弁ばね剛性と吐出性能

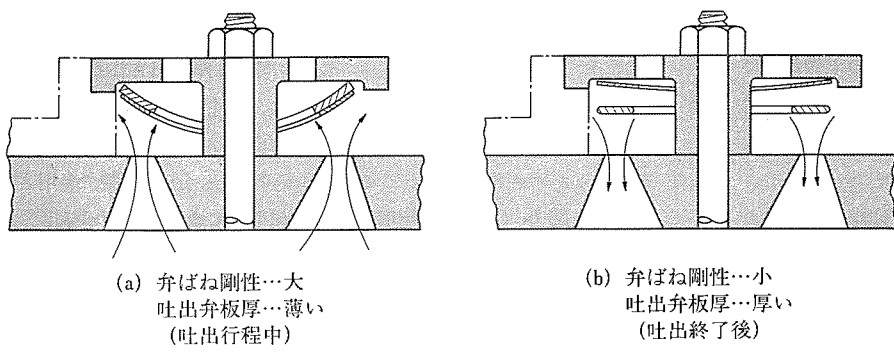


図 10. 弁ばね剛性と吐出弁機構の作動

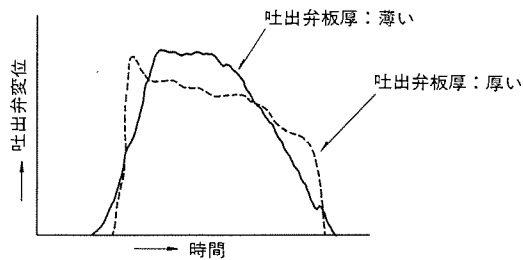


図 11. 吐出弁変位

して、図 8. (b) の状態となり、十分な流路面積がリング弁の全周にわたって確保できる構造となっている。一般に弁リフト(揚程)を大きくとれば流路抵抗は減少し圧力損失は少なくなるが、吐出弁の閉じ遅れが生じやすくなり、吐出した冷媒の逆流現象によって冷房能力が低下してしまう。弁ばねについても同様であって、ばね剛性が小さければ吐出弁は開きやすく圧力損失も少なくなるが、閉じ遅れが生じやすい。逆に剛性の大きい弁ばねでは吐出弁の開き遅れが生じる反面、閉じ遅れ及び逆流現象は避けられる。

以上をまとめれば図 9. の通りであって、最終的には実機試験により弁リフト、弁ばね剛性の最適値を確認する必要がある。一方、吐出弁の板厚は弁ばね剛性と相関性があり、板厚の薄い吐出弁が比較的剛性の大きな弁ばねを組合された場合には、吐出行程中図 10. (a) の状態となり、弁ばねはあまり変位しないが吐出弁は弁ばねに沿って弓形に変形する。

この結果、吐出流路面積が十分には確保されず圧力損失が増大するが、冷媒流速の低下に対し吐出弁は良好な追従性を示し、逆流現象を生じることなく弁の閉そく(塞)が完了する。板厚の厚い吐出弁が比較的剛性の小さな弁ばねと組合された場合には、吐出行程中、吐出弁は一樣にバルブストップ近傍にまで変位し、十分な流路面積が確保される。しかし、吐出弁の質量が大きい反面、吐出弁に反力を及ぼす弁ばねの剛性が小さい結果、吐出弁機構の動特性は劣化する。すなわち、吐出流速の低下に対し吐出弁の追従が著しく遅れ、ピストンが上死点を過ぎても吐出弁は開いたままのため逆流が生じ、図 10. (b) に示すように一時的に吐出弁が弁ばねから遊離する。図 11. は、同一の弁ばねを用いて吐出弁の板厚のみを変えた場合の弁変位の測定結果を示す。板厚の薄い場合には吐出弁が徐々に閉じるのに対し、板厚の厚い場合には急激な閉塞が生じ、明らかに逆流現象の発生したことが分かる。

吐出弁機構の性能は、以上のほかにも様々な要因が関与しており、しかも各因子が互いに影響を及ぼし合うため、高性能化の設計は容易ではない。しかし特性曲線法などによる過圧縮、吐出孔での冷媒流速、吐出弁変位の解析により最適設計領域を探り出し、この領域

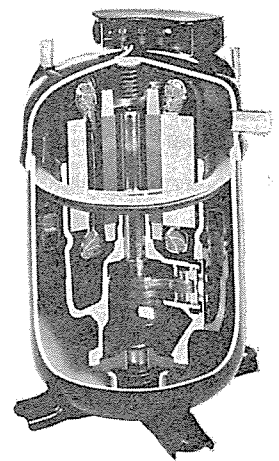


図 12. “JH-E シリーズ” カットモデル

表 1. “JH-E シリーズ” 一覧

形名	定格出力 (kW)	排容積 (cc/rev)	冷房能力 (kcal/h)		重量(油入り) (kg)
			200 V, 50 Hz	200 V, 60 Hz	
JH 516-E	4.5	120.6	15,300	17,600	49.0
JH 517-E	5.0	128.5	16,300	19,100	49.0
JH 521-E	6.0	160.8	19,900	23,300	54.5
JH 522-E	6.4	171.3	21,200	24,900	54.5
JH 527-E	7.5	201.0	25,500	29,600	74.5

測定条件 凝縮温度 54.4°C 蒸発温度 7.2°C 吸入ガス温度 35°C  
膨張弁前温度 46.1°C 周囲温度 35°C

内で実機試験により地道に改善を図ってきた。今回の開発により達成された COP の向上のうち、30% は吐出弁機構の改良によりもたらされたものである。

#### 4. シリーズ構成

“JH-E シリーズ” は、星形配置されるシリンダ数を 3, 4, 5 と変化させることにより、4.5 kW から 7.5 kW まで 5 機種がそろっている。したがってユニット設計者は、個々のシステムがねらう様々な設計目標に対し最適の圧縮機を任意に選択でき、最善のシステム設計が可能となる。シリーズの概要を表 1. に示す。当シリーズの用途はパッケージエアコンディショナー、車両冷房装置、チリングユニット、高温用クーリングユニットなど多岐にわたっている。図 12. は当シリーズ 4 シリンダ機のカットモデルの写真であり、中央部手前にルー状吐出管とその上に設置された遮熱リングが概観できる。

#### 5. むすび

現在当社で生産されている全密閉形冷媒圧縮機は、軽量、小形化を達成するため、すべて 2 極の誘導電動機によって駆動されており、60 Hz 地区での運転回転数は 3,400 rpm に達する。レシプロ圧縮機では、1 回転中に冷媒の吸入・圧縮・吐出・再膨張が行われるため、例えば吐出行程時間はわずか 3 ms にすぎない。したがって圧縮機の高性能化を図っていく場合、吐出弁機構などでは 1 万分の 1 秒オーダーという、機械システムとしてはほぼ限界に近い高速度の応答性、追従性が要求される。

今後共更に一層の省エネルギー化の要請にこたえ、機械システムとしての限界点を追求したより高度の改善に取り組む所存である。

# AE-S形低圧気中遮断器

石川 尊義\*・玄羽 康司\*・田丸 繁見\*・矢木 沢守\*・黒瀬 治\*

## 1. ま え が き

低圧電路の過電流保護機器として、低圧気中遮断器(以下 ACB と称する)及び配線用遮断器(通称 ノーヒューズ 遮断器)が広く使用される。前者が主幹線、後者が分岐回路に主として使用されるが、米国及び日本では配線用遮断器が比較的大きい通電容量の所に使用される傾向にある。しかし、欧州及びその影響を受けた国では 800 アンペアレベル程度を超えると ACB を使用する傾向にある。

ACB はその製品ライフとしては成熟している製品ではあるが、最近の エレクトロニクス 応用などにより、従来のものにならぬ新しい機能を付加された製品が現れつつある。つまり、引外し素子を半導体化することにより、広範囲でかつ精度よくその引外し動作を調整でき、保護協調を取りやすく動作に至る前に、ある定められた過負荷状態で警報を出したり、動作の原因を表示したりできる。

ここで紹介する AE-S 形 ACB は、このような特長のほか、ばね蓄勢によるストアードエネルギー式操作方式を採用し、使いやすさを追求するとともに、通電部の設計には電子計算機による熱解析を行い、エネルギー処理能力の高い消弧室と相まって、従来の ACB に比し約 30% 小形化するとともに、遮断容量を約 30% 増加させることに成功した。以下、その特長、仕様、性能について説明する。また、通電部分の設計に使用した熱解析についても述べる。

## 2. 特長と仕様

AE-S 形 ACB は、図 1. に示すとおり、正面及び側面は完全に金属フレームで覆い、トップフロントの構造になっているので、操作する人が危険な充電部や開閉機構部に触れるおそれがない。充電部はガラスポリエステル成形絶縁物で金属部とは厳重に隔離され、従来の ACB に比し極めてコンパクトになっている。

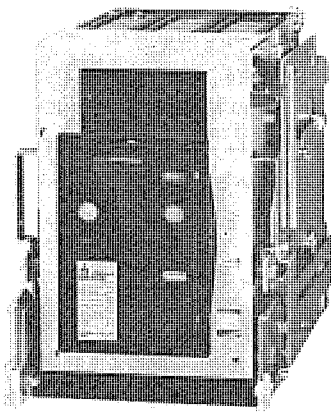


図 1. AE-S 形低圧気中遮断器 (ACB) 外観

また、引出し構造とすることができ、外形寸法を変えることなくばねチャージ、投入、開放など遠隔操作ができる。定格電流は 1,000 ~ 3,200A であり、使用電圧は AC 660 V まで適用できる。AE-S 形 ACB の主な特長は下記のとおりである。

### (1) 小形軽量

通電部は、後で述べる温度上昇の理論推定に基づき、最適な配置構造とし、通電部、接点部の成形絶縁物による隔離ユニット化によって従来の ACB の約 70% に小形化した。

### (2) ストアドエネルギー式操作機構

操作エネルギーを手動又は小形電動機により徐々にばねに貯え、それを一気に放出して投入操作を行ういわゆるばね蓄勢式の操作機構を採用したので、投入操作は押しボタン操作となり、投入速度が投入操作力に依存せずかつ速度が極めて速いので、同期投入などに使いやすいため、短絡電流を投入する能力に優れている。

### (3) 半導体引外しリレー

引外し装置は、素子を半導体化することにより引外し特性が広範囲に調整でき、その精度も従来のサーマル式並びにオイルダッシュポット式などに比較すると格段に向上している。これらにより過電流保護協調が取りやすく、選択遮断システムが適用できる。

### (4) 地絡保護及びプリファレンシャルアラーム

マーク地絡から電路及び負荷機器を守るために欠くことのできない

表 1. AE-S 形 ACB の主な仕様

形 名		AE1000-S	AE1600-S	AE2000-S	AE2500-S	AE3200-S						
フレームの大きさ (A)		1,000	1,600	2,000	2,500	3,200						
定格絶電圧 (V)		660	660	660	660	660						
定格使用電圧 (V)		660	660	660	660	660						
極 数		2,3   4	2,3   4	2,3   4	2,3   4	2,3   4						
定 格 電 流 (A)		1,000	1,600	2,000	2,500	3,200						
中性極の通電容量 (A)		1,000	1,600	1,600	1,600	1,600						
定格遮断電流 (kA, 対称実効値) / 定格投入電流 (kA, 瞬時値) 遮断責務 P-2(0-CO-CO)	IEC BS VDE	AC660V	30/ 63	42/ 88.2	42/ 88.2	42/ 88.2	50/105					
		AC600V	42/ 88.2	50/105	50/105	50/105	65/143					
		AC500V以下	50/105	65/143	65/143	65/143	85/195.5					
	NEMA ANSI	AC600V	42/ 96.6	50/115	50/115	50/115	65/149.5					
		AC480V以下	50/115	65/149.5	65/149.5	65/149.5	85/195.5					
		JIS JEC	AC550V	42/ 88.2	50/105	50/105	50/105	65/143				
AC460V以下	50/105	65/143	65/143	65/143	85/195.5							
最大全遮断時間 (s)		0.04	0.04	0.04	0.04	0.04						
投 入 時 間 (s)		0.05	0.05	0.05	0.05	0.05						
定 格 開 閉 回 数 (回)	通 電	1,500	1,500	1,500	1,500	300						
	無 通 電	8,500	3,500	3,500	3,500	3,700						
寸 法 (mm)	固 定	a	295	380	295	380	430	515	430	515	536	621
		b	424	424	424	424	424	424	424	424	424	424
		c	374	374	374	374	374	374	374	374	374	374
		d	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
	引 出	a	343	428	343	428	478	563	478	563	584	669
		b	459	459	459	459	459	459	459	459	459	459
		c	472	472	472	472	472	472	472	472	472	472
		d	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
配 量 (kg)	固 定	手 動 チ ャ ー ジ	57	65	58	66	75	83	76	84	85	93
		電 動 チ ャ ー ジ	60	68	61	69	78	86	79	87	88	96
	引 出	手 動 チ ャ ー ジ	77	90	78	91	100	123	101	124	120	133
		電 動 チ ャ ー ジ	80	93	81	94	103	126	104	127	123	136
投 入 機 構	手 動 チ ャ ー ジ	全機種標準装備										
	電 動 チ ャ ー ジ	全機種適用可										

\* 福山製作所

地絡保護機能を内蔵しているため、従来のように別途地絡保護リレーなどの装置を使用する必要がない。また、ACBの不意な動作は、幹線に使用されるだけに停電範囲も広く極めて好ましくない。これを防ぐために、負荷電流がある定められた値以上の過負荷状態になると接点出力が得られ、警報又は自動的に不要不急の分岐回路を断路することにより、全体のブラックアウトを防止できる。

(5) 標準化

1,000アンペアフレームから3,200アンペアフレームまでの部品の標準化を極力図り、外形寸法も幅のみが変化し、高さ及び奥行寸法は統一している。パネルカット及び取付寸法も統一しているため、盤構造の設計に便利である。また開閉機構部も全機種共通で、付属装置などもすべて共通化を図っている。

(6) トリップインジケータ

ACBの動作が、地絡保護動作か、過負荷動作か、短絡遮断動作かが表示及び接点出力で取らせるので、事故原因の究明に役立てることができる。

(7) 豊富な種類の付属装置

需要家からの要求に対して種々の付属装置を取り揃え対応できるようにしている。

(8) インタロックなど

誤操作に対するフェイルセーフを考慮し、できるだけインタロックを取っている。その他、簡便な携帯用テストでフィールドで引外し動作をチェックできる。また、引出しレールの内蔵や、端子部に着脱式の絶縁バリアを装着できるなど、細かい配慮をしている。AE-S形ACBの主な仕様は表1のとおりである。

3. 構造と動作

ばねチャージ用のハンドル、操作ボタン及び表示装置などは正面のエスカッションの部分に納めてあり、この部分を盤の表面に出す取付けとすることができる。引出し形にあっては、このような取付けでも、テスト位置及び断路位置で盤の扉が閉められる構造となっている(図1.参照)。

図2.に内部構造を示す。充電部は、各相独立してガラス繊維強化ポリエステル成形樹脂で保持し、開閉機構部との間も絶縁バリアで隔離している。操作機構は、ラッチ機構を持つカムをチャージハンドル又は小形のギヤードモータにより回転させ、それにより投入ばねを圧縮チャージする。

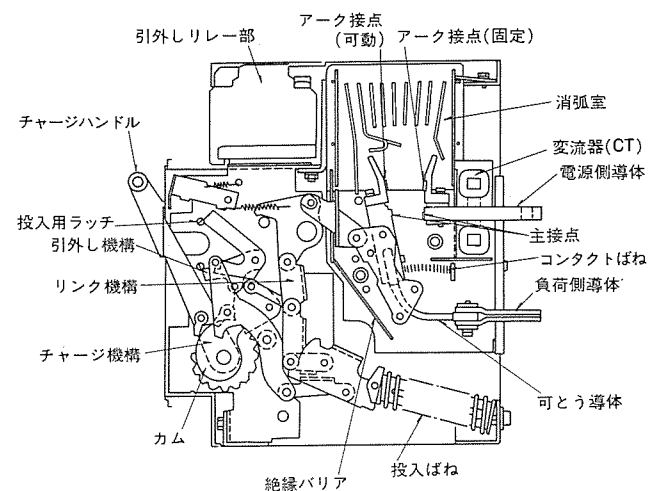
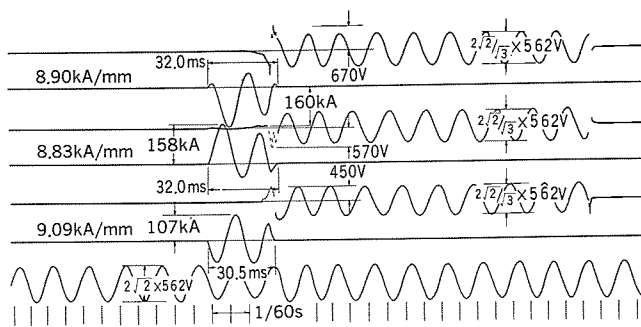
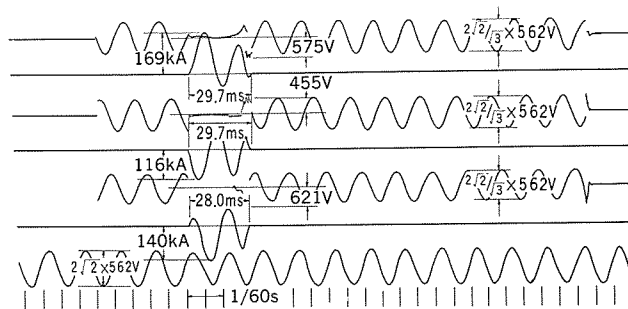


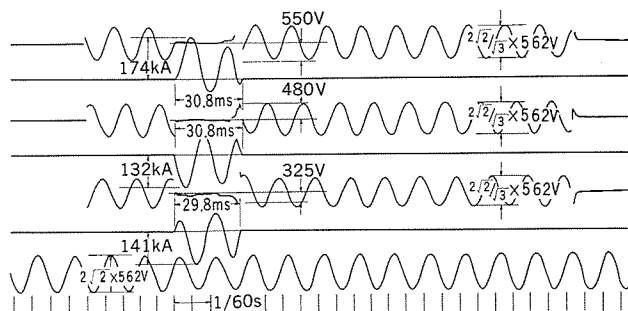
図2. ACB内部構造



(a) No. 5短絡試験「O」



(b) No. 5短絡試験1st「CO」



(c) No. 5短絡試験2nd「CO」

図3. AE2000-S形ACB遮断オシログラム

ジする。そして、このばねをいったん保持し、投入ボタンにより投入用ラッチを外してリンク機構を動作させ、各極の可動接点を高速で駆動する。

可動接点部分は、複数の分割接点でそれぞれ通電接点とアーク接点とを備え、通電時には通電接点のみが接触し、投入及び遮断時のみアーク接点が接触する構造となっている。したがって、通電とアーク発弧のそれぞれの役割が明確で、それぞれに最適な接点材料の使用が可能となり、従来のACBに比し通電能力、耐消耗性、耐溶着性の優れた接点構成となっている。

消弧室は、配線用遮断器での永年の実績と実験データに基づいて、グリッド形状、材質、板厚、グリッド間ギャップ、消弧室側板材料などを決定し、エネルギー処理能力を高めている。図3.にAC550V、65kA(Sym.)における遮断のオシログラムを示す。

4. 半導体引外しリレー部

4.1 引外しリレー部の構成と特性

AE-S形の引外し特性は半導体化したリレー部により制御される。引外しリレー部は産業プラント用と発電機保護用に大別され、長限時、短限時及び瞬時引外し特性を有している。

図4.に産業プラント用(地絡引外し及びトリップインジケータ付き)、

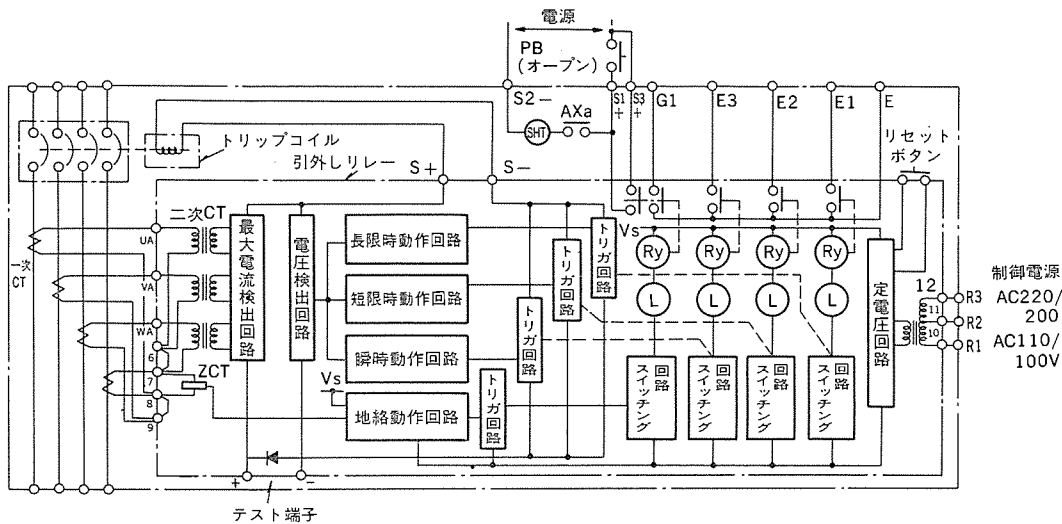


図 4. 産業プラント用ブロックダイヤグラム

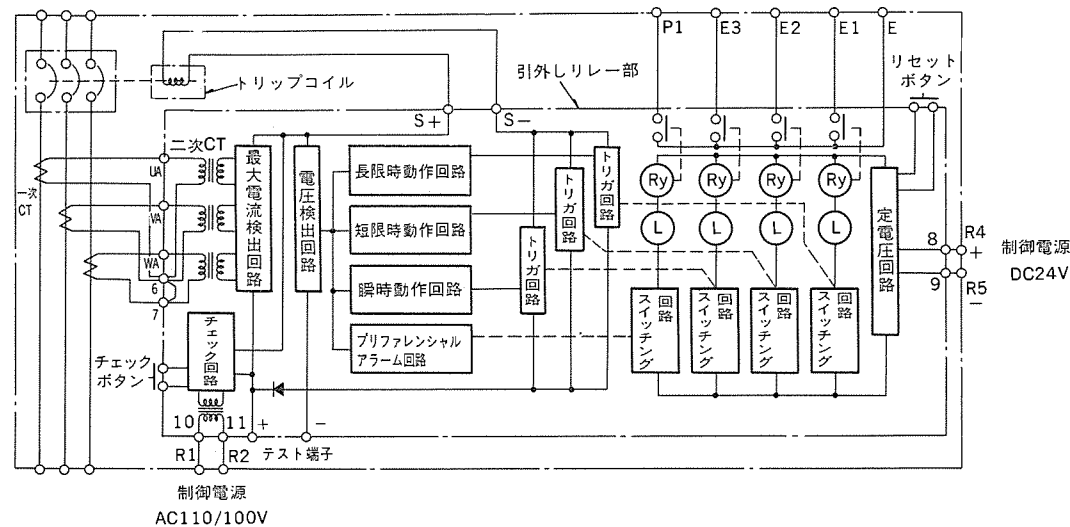


図 5. 発電機保護用ブロックダイヤグラム

図 5. に発電機保護用（プリファレンシャルアラーム及びトリップインジケータ付き）のブロックダイヤグラムを示す。図 4. において各相の電流は変流器により、その値に比例した小電流に変換されて最大電流検出回路に供給される。この各相の入力はここで整流されると同時に各相の電流のうちで最大の電流だけが常に取出され、その値に比例した電圧を電圧検出回路に発生させる。そして、その値の大きさに応じて長限時、短限時及び瞬時の各動作回路を動作させる。各動作回路はそれぞれ比較回路を持っており、入力電圧が各々の比較回路の定められた値以上になったときに各動作を開始する。なおこの比較電圧を変化することにより、保護に要求される引外し特性を任意に設定することができる。各動作回路が動作し、規定の時限の後トリガ回路を駆動すると、トリガ回路はトリップコイルの励磁回路を形成し、これによりトリップコイルは前記の最大電流検出回路からの電流によって励磁され、遮断器の開閉機構部を引き外す。

トリップインジケータは表示ランプと表示接点から構成され、遮断器がトリップしたときに各動作回路のいずれが動作したかを表示するもので、トリップ動作とともに内蔵接点により接点信号が出され、同時にリレー前面のパネルに取付けてある発光ダイオードにより表示する。

地絡動作回路は産業プラント用に装備され、CTの二次側の電流を

零相変流器（ZCT）によって地絡分の電流検出を行う。地絡動作回路は地絡電流の大きさと時間の判定を行い、規定以上の地絡電流が流れたときにトリガ回路を駆動して内蔵のリレーにより、SHT（電圧引外し装置）を動作させ、遮断器の開閉機構部を引き外す。

図 5. に示されているプリファレンシャルアラーム回路は発電機保護用に装備され、過負荷状態になったとき長限時動作回路がトリップする前に警報信号を出し、その信号で不用不急の負荷を切断することにより過負荷状態を消滅させ、遮断器のトリップを防止するものである。動作原理は前記の長限時動作回路と同様の動作を行い、トリップコイルを励磁するかわりに内蔵リレーを動作させ、外部に警報信号を出すとともに発光ダイオードにより表示する。また発電機保護用にはチェック回路が内蔵しており、AC 100 V の外部電源により変流器の二次出力電流と等価な直流電流をリレー回路に流入させ、瞬時動作回路のチェックを行うことができる。

産業プラント用の特性曲線を図 6. に、発電機保護用の特性曲線を図 7. に示す。図に示すように各設定電流には多段のノッチがついており、特性を任意に設定することができ次のような特長を有している。

(1) 高度な保護協調が可能  
動作特性の設定ダイヤルが多く、きめ細かい設定ができるため保護協調がとりやすく、選択遮断システムに最適である。

(2) 高精度、高信頼性  
可動部がなく、厳選された電子部品を使用しているため、高い信頼性が得られる。また特性のばらつきも少なく極めて安定した特性が得られる。

(3) 専用制御電源が不要  
遮断器内蔵の CT の二次電流で検出回路用電源を作るので、過電流引外しは外部制御電源が不要である。

(4) メンテナンスが容易  
チェック端子がリレー部前面にあり、チェック端子に微小電流を流すだけで引外し試験ができ、立合試験やメンテナンスチェックの省力化が

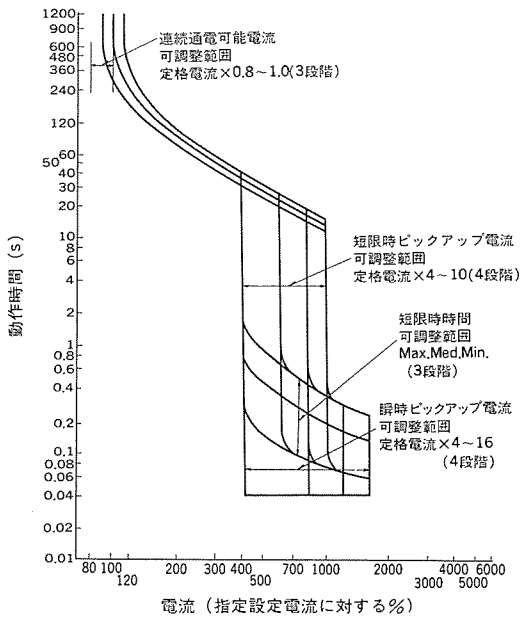


図 6. 産業プラント用動作特性曲線

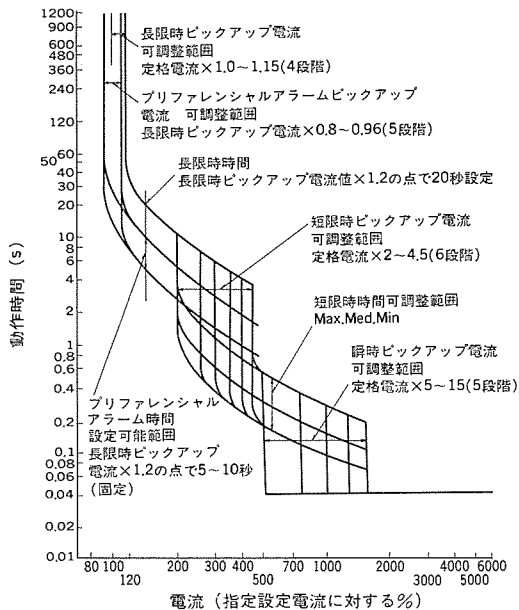


図 7. 発電機保護用動作特性曲線

る。

(5) 豊富なオプションが装備可能

事故遮断原因を表示し、接点出力も取出せるトリップインジケータをはじめ、地絡引外し装置（産業プラント用）、遮断動作以前に警報信号を出すプリファレンシャルアラームが発電機保護用に装備できる。

4.2 信頼性と品質管理

ACBは過負荷、短絡事故からの保護はもちろん、給電の連続性の面からも高度の信頼性が要求されるのは言うまでもない。このため、AE-S形ACBに使用している半導体リレーはそのためのいくつかの方策をとっている。

(1) 回路方式における考慮

4.1 節で述べたとおり、リレー回路の動作は変流器からの検出電流で動作しており、制御電圧は変流器からの入力電流に比例している。このことは通常の使用状態では、リレーへの入力レベルはピックアップ値以下であり、各素子は常時は非常に低い電圧しか印加されておらず、

極めてストレスの少ない状態で使用されている。

トランジスタを使用した能動回路はリニアな増幅回路を使用せず、すべてスイッチング動作となっているため、動作が極めて明確で特性の安定化が得られている。また設定部における切換スイッチや可変抵抗など接触部品にはすべて並列回路を設け、接触不良時にも動作不能に至らないよう最小設定又は最大設定となるよう設計している。

(2) 環境特性

ACBの設置される周囲環境はさまざまであり、かなりの悪環境でも正常に動作しなければならない。このためAE-S形リレー部に関しても電子回路部をコーティングしており、各環境試験において特性に影響のないことを確認している。

(3) 品質管理体制

半導体リレー部の電子部品は受入検査で十分な検査が行われ、組立完了後も高温におけるヒートラン試験をはじめとして各種の試験を行い、また自動試験機にて全数特性試験を入念に実施して高い信頼性を確保している。

5. 熱解析による通電部の設計

5.1 概要

大容量のACBにあっては、通電部材料は主に銅と銀であるが、このコスト比率が全体の約20%を占めているので、近年の銅や銀などの価格の高騰により省資源化が強く要求されている。

このような状況のもとで、規格で定められた各部の温度上昇を満足するために、従来は実機による試行錯誤的な方法によっていたため、その手間が極めて大きかった。

そこで電子計算機を使用した熱解析の手法をAE-S形ACBに適用し、各部の温度分布を推定し通電部の設計を行った。この熱解析の手法は熱回路網法であり、特に複雑な構造をした製品に対して非常に有効である。熱回路網法は構成部品を熱抵抗回路網に分割し、各ブロックの全熱容量を1点ノードに集中し、各ノード間に熱抵抗をつなぐもので、熱抵抗を電気抵抗、熱流束を電流に、温度を電圧に対応させ各ノードの温度をキルヒホッフの法則を用いて求めるものである。

熱設計上の具体的な問題としては、

- (1) ジャンクションの接触抵抗の影響によって、本体からブスバーへの熱流が妨げられているのではないか。
- (2) 接点部の接触抵抗の発熱に対する影響はどの程度であるか。
- (3) 1極の端子に取付けられている接点は複数であるので、各接点の電流値は異なる。そこで、各接点の発熱量及び温度差のばらつきはどの程度であるか。
- (4) ブスバーの配置を水平から垂直にした場合、対流などの効果により、どの程度の温度降下が期待できるか。ブスバー相互の距離、相対位置は最適であるか。
- (5) その他、各部品の配置、形状、材料などは温度上昇抑制のため改良すべき点がないか。

以上熱回路網法に基づき、電子計算機を用いて熱解析を行い温度上昇の問題点を究明し、温度上昇を一定値に抑えるためにどのような改良を加えるべきかを検討した。

5.2 熱回路網法による温度計算

(1) 熱回路網法の基礎方程式

熱回路網法による温度計算の基礎方程式には次式が使われている。固体中のノードに対し、次式が成立する。

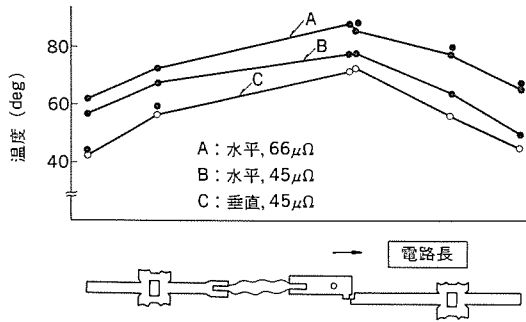


図 8. 温度上昇値

$$\sum_{j=1}^N \frac{1}{R_{ij}} \theta_j + \left( -\sum_{j=1}^N \frac{1}{R_{ij}} \right) \theta_i = -Q_i \dots\dots\dots (1)$$

(i=1, 2, ……N<sub>a</sub>)

流体中のノードに対し、次式が成立する。

$$\sum_{j=1}^N \frac{1}{R_{ij}} \theta_j + \sum_{l=1}^{l_n} C_l \gamma_l V_{li} \theta_l - \left( -\sum_{j=1}^N \frac{1}{R_{ij}} + \sum_{l=1}^{l_n} C_l \gamma_l V_{li} \right) \theta_i = -Q_i \dots\dots\dots (2)$$

(i=N<sub>a</sub>+1, N<sub>a</sub>+2, ……N<sub>a</sub>+N<sub>b</sub>)

ここに、θ：温度 (°C)

R：熱抵抗 (°C/W)

Q：発熱量 (W)

V<sub>li</sub>：体積流量 (l が i より上流側+) (m<sup>3</sup>/h)

C：比熱 (Wh/kg°C)

γ：比重量 (kg/m<sup>3</sup>)

i, j：ノード番号

N<sub>a</sub>：固体中のノード数

N<sub>b</sub>：流体中のノード数

N：ノード数

l<sub>1</sub>, l<sub>n</sub>：流体中のノード番号

(2) ノードの設定

(a) 多大な自己発熱があって、温度こう(勾)配が大きいところはノードを多く設定する。

例 接点, ジャンクション

(b) 多大な放熱効果があって、温度勾配が大きいところはノードを多く設定する。

例 ブスバーの遮断器本体に近い部分

(3) 発生熱量の算出

ジュールの法則により各ノードの発生熱量を算出した。接点における発生熱量は、接触抵抗及び電流の偏りによる各接点のジュール損の違いも考慮して算出した。

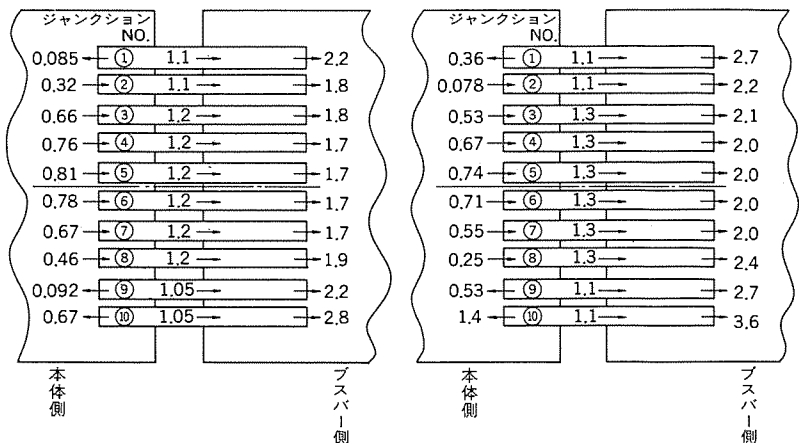
5.3 熱解析の適用

以下、AE-S 形 ACB の現在の熱設計上の問題について、熱解析を適用して検討を行った。

(1) ブスバーの配置の影響

ブスバーの配置を水平にした場合と、垂直にした場合の遮断器各部の温度分布を図 8. の B と C に示す。垂直位置の方が水平位置の場合より、接点部で約 7 (deg) 低いことが分かる。ブスバーの表面積は大であり、対流の効果は見逃せない。

(2) ジャンクションの接触抵抗の影響



(a) R<sub>JS</sub>=45 μΩ (b) R<sub>JS</sub>=66 μΩ

図 9. ジャンクション熱流値

表 2. ジャンクションの発熱量

ジャンクション No.	Q <sub>JN</sub> : ジャンクション1本当たりの発熱量 (W)	
	R <sub>JS</sub> =45 μΩ の場合	R <sub>JS</sub> =66 μΩ の場合
1	2.31	3.02
2	1.49	2.13
3	1.13	1.58
4	0.81	1.3
5	0.85	1.21
6	0.9	1.28
7	1.08	1.55
8	1.49	2.14
9	2.27	3.26
10	3.45	4.95

備考 at 約 100°C 例: 接点1個の発熱量約 2.4 W

熱解析による熱流の値及び発熱量の値により、ジャンクションの接触抵抗が大であることによる温度上昇への影響について調べた。結果を図 9. (a), (b) 及び表 2. に示す。

(a) 図 9. (a), (b) に示すように、遮断器本体の熱は、ブスバーに良好に伝わっていないことが分かる。また (a) と (b) を比較すると、熱流の大きさは接触抵抗により大きい影響を受けることが分かる。

(b) ジャンクションの発熱は、表 2. の結果より、接触抵抗による発熱量が 92~95% である。

(c) ジャンクションの接触抵抗は、ACB 本体の温度上昇にかなり影響を与える。図 8. A, B に示すように、接触抵抗を 66 (μΩ) から 45 (μΩ) に変えた場合、接点部の温度は、88 (deg) から 78 (deg) になっている。

(d) 表 2. に示すようにジャンクションは同一極であっても位置により、それぞれのジャンクションの発熱量は非常に異なる。

6. む す び

計算機による熱解析により、最適な構造設計が可能となり、従来の製品に比べ大幅な小形化軽量化されたものとする事ができた。そして、それに最近の引外し素子の半導化技術を結びつけ、従来の ACB にない特長を備えた製品と確信している、本稿が必要家の御参考になれば幸甚である。



## 三菱汎用シーケンサ 《MELSEC-KOJ》

三菱電機は、経済性・コンパクト・機能性でご好評いただいている三菱汎用シーケンサMELSEC-Kシリーズに、あらたに下位機種として《KOJ》を加え発売しました。このKOJは、Kシリーズの持つすぐれた機能及び周辺機器をそのまま継承し、更に小形・経済性を追求しました。入出力点数56点の基本ユニット、56点及び32点の増設ユニットを組み合わせることにより、56点から184点まで用途に合わせて広範囲に適用できます。また、高速処理タイマと各種応用命令を付備し、機能をいっそう充実させました。

### 特長

#### ●小形・経済性

DC24Vの入力回路とリレー出力回路のDC24V電源・端子台・入出力表示灯などを内蔵した小形製品で経済的です。

#### ●充分なプログラムメモリ容量

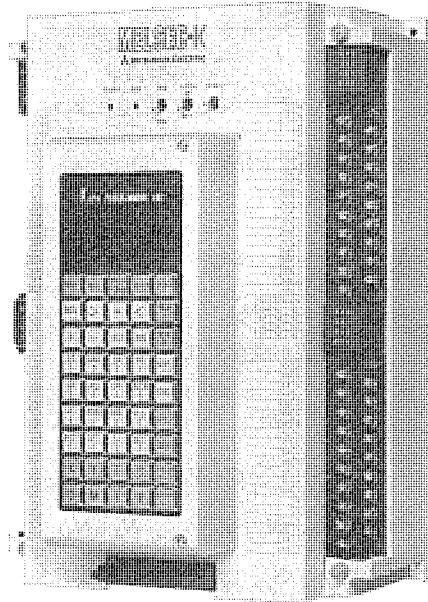
RAM/ROMのいずれでも使用でき、最大2048ステップまで使用できます。RAM運転の1024ステップのメモリは、内部に標準装備しています。

#### ●高機能

Kシリーズの持つシーケンス命令18種類、データ命令8種類の基本命令のほかに、論理和・論理積・一時記憶とデータレジスタの一括シフト命令・タイマ、カウンタ、データレジスタの関接指定命令など、13種類の応用命令があります。

#### ●高速処理タイマ内蔵・高速演算処理

従来の0.1秒タイマのほかに、0.01秒の高速処理タイマを32点内蔵。



また、高速演算処理機能の追加により、高速処理を要する入力信号に対し割込で処理できます。

#### ●最大184点まで増設可能

基本ユニット56点に、56点増設ユニット・32点増設ユニット・Kシリーズの増設ベースなど、多彩な組み合わせにより、最大184点まで拡張できます。

#### ●K1/K2の入出力ユニットの増設が可能

Kシリーズの増設ベースとの接続が可能です。K1/K2の豊富な入出力ユニットはもちろん、A/D・D/A・高速カウンタユニットなど、特殊ユニットが使用できます。

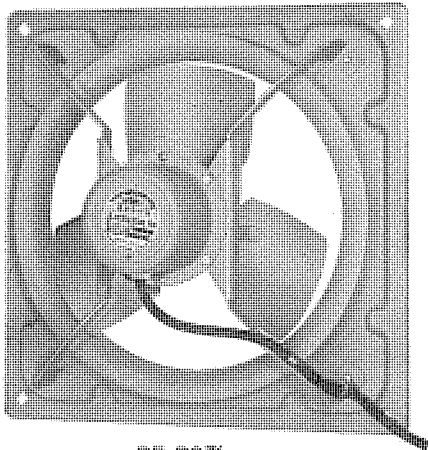
### 仕様

項目	仕様	
電源	AC100-110V .85-110% 単相 50/60Hz 1A	
使用周囲温度・湿度	0-55°C (保存-10-75°C)・10-90%RH・結露なきこと	
耐振動・衝撃	JISC0911 IIB3種 (16.7Hz 3mm2Hr)・JISC0912 (10g X、Y、Z)	
ノイズ耐量	ノイズ電圧1000Vp-p・ノイズ幅1μs、ノイズ周波数25-60Hzのノイズシミュレータによる	
制御方式	ストアードプログラム、繰り返し演算	
プログラム言語	シーケンス制御専用言語 (リレーシンボル式、ロジックシンボリック語併用)	
命令	命令数	26種類+応用命令
	主な命令	基本シーケンス命令に加え、マスターコントロール、シフト、コンディショナルジャンプパルス発生およびデータ命令としてMOV、>、<、=、+、-、BCD、BIN各種応用命令
	語長	16ビット (2バイト)/ステップ
プログラム容量	基本1024ステップ (RAMとして標準装備)、最大2048ステップ	
シーケンス命令実行時間	平均 30μs/ステップ	
プログラムメモリ	EP-ROM、またはIC-RAM (リチウム電池バックアップ付 300日間)	
入出力点数	最大184点	
一時記憶点数	254点(M0-253)、M254バッテリー異状でON、M255 自己診断結果の出力 RUNでON	
タイマ・カウンタ (内蔵)	使用可能点数	128点 (タイマカウンタ含むT・C0-127)
	タイマ仕様	T0-95 設定時間0.1-999.9sec 設定時間単位0.1sec オンディレタイマ T96-127 設定時間0.01-99.90sec 設定時間単位0.01sec オンディレタイマ
	カウンタ仕様	設定範囲1-9999 最高計算速度10c/s (1Kステップ時)
シフトレジスタ	使用可能点数	253ビット (M1-253)、ただし一時記憶使用分を除く
	仕様	1ビット単位の一時記憶を結合し最大253ビットまで可能 (データのシフトも可能)
データ	データレジスタ点数	96点 (D0-95)、1データ16ビット、4ビット単位で最大4桁まで扱える
	データ入出力	入出力4点で1桁を構成、プロセス入出力と混用可能、0-9999の10進1-4桁
一時記憶タイマカウンタ データレジスタの停電保持	M128-253、T・C64-111、D64-95は停電保持可能	
許容瞬停時間	20ms、20ms以上はイニシャルスタート	
自己診断機能	演算渋滞監視、異状シンコード検出、電源異状検出、RUN信号はプログラムにより外部出力	
外形寸法	210W×300H×100D 基本ユニット・増設ユニット(E56) 210W×210H×100D 増設ユニット(E32)	

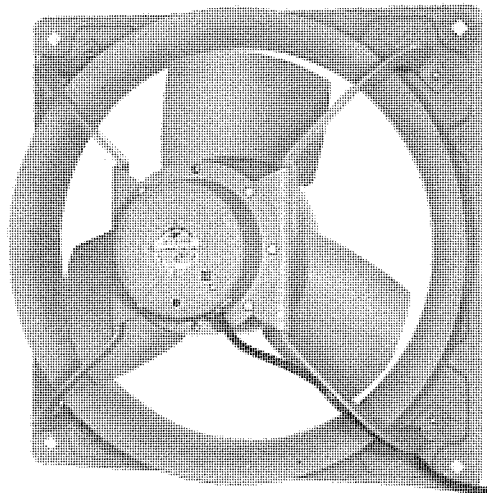
# スポットライト

20%省電カタイプ

## 三菱新形有圧換気扇“C形シリーズ”



PF・PG形



KF・KG形

このたび三菱電機では、高効率羽根、高効率ベルマウス、高効率モータの採用により、平均20%(当社従来形比)の大幅な省電力を実現した新形有圧換気扇“C形シリーズ”38機種を新発売しました。

省エネルギー及び維持費の軽減ということで、近年は電気設備機器の省電力化の推進が強く望まれています。なかでも有圧換気扇は、一台当りの所要電力量は小さいものの、数多く使われ産業分野での電力量とその維持費は、無視できない問題です。このような社会のニーズにこたえて、開発した新形有圧換気扇“C形シリーズ”は、風量・騒音特性を損なわずに、大幅な省電力化を実現。維持費の節減に大きな力を発揮します。有圧換気扇販売20年、200万台の業界随一の実績に裏づけられた「風の三菱」の自信作です。

### 仕様

羽根径：25cm～80cm

公称出力：25W～2.2kW

風量：20m<sup>3</sup>/min～450m<sup>3</sup>/min

機種：標準形26機種

低騒音形8機種

異電圧形4機種

の合計38機種

### 省電力効果一覧●フリーエア入力値

機種名	50Hz			60Hz		
	新形入力(W)	従来入力(W)	節電率(%)	新形入力(W)	従来入力(W)	節電率(%)
PF-25ASC	50	58	13.8	50	60	16.7
PF-25ATC	49	58	15.5	48	58	17.2
PF-30BSC	56	71	21.1	60	82	26.8
PF-30BTC	57	77	26.0	60	87	31.0
PF-35CSC	94	114	17.5	115	144	20.1
PF-35CTC	83	102	18.6	109	132	17.4
PG-40BSC	61	71	14.1	70	81	13.6
PG-40BTC	66	76	13.2	69	78	11.5
KG-40CSC	125	164	23.8	165	202	18.3
KG-40CTC	135	175	22.9	160	210	23.8
KF-40CSC	106	140	24.3	130	195	33.3
KF-40CTC	101	140	27.9	132	190	30.5
KF-40DSC	140	195	28.2	182	265	31.3
KF-40DTC	145	189	23.3	185	257	28.0
KF-40ETC	300	365	17.8	375	490	23.5
KG-45DSC	160	230	30.4	220	295	25.4
KG-45DTC	175	215	18.6	220	280	21.4
KG-50DTC	160	190	15.8	201	247	18.6
KG-50ETC	270	325	16.9	380	440	13.6
KF-50ESC	196	290	32.4	274	380	27.9
KF-50ETC	250	390	35.9	370	500	26.0
KF-50FTC	340	470	27.6	526	650	19.1
KG-60ETC	265	340	22.0	360	470	23.4
KG-60FTC	401	490	18.2	535	690	22.5
KG-70GTC	940	1140	17.5	1400	1650	15.2
KG-80HTC	1335	1640	18.6	2235	2460	9.1
QG-30ASC	42	51	17.6	47	57	17.5
QG-30ATC	44	51	13.7	39	44	11.4
QH-40BSC	78	83	6.0	85	105	19.0
QH-40BTC	58	65	10.8	63	72	12.5
QH-50CTC	91	120	24.2	103	135	23.7
QH-60DTC	170	205	17.1	200	245	18.4
QJ-70ETC	245	280	12.5	335	360	6.9
QJ-80FTC	360	380	5.3	515	530	2.8

### 特長

●省電力形です。

新開発の高効率C形羽根と高効率モータの採用により、平均20%(当社従来形比)の大幅な省電力を実現しました。しかも、大風量で、低騒音です。

●吸排両用に使用できます

羽根を逆に取り付け、モータの結線を入れ替えて逆回転させれば、機能をほとんど落とさずに吸気用(風方向逆)もできます。

●薄形です

全高寸法を平均30mm(当社従来比)薄くしましたので、機器組み込みのように、省スペースが求められる用途に有利です。

●周囲温度は、-30℃から+50℃まで、相対湿度常温において90%まで使えます。

全閉形でE種絶縁を採用し、耐熱、耐湿性のすぐれたワニスで処理しています。高級玉軸受には、広温度範囲長寿命グリスSRLを採用。低温から高温まで広い範囲で使用でき、耐湿性の高い長寿命設計です。

●防水性、防塵性にすぐれています。

●豊富な機種揃いです。

新形38機種に加え、幅広い用途に対応できる豊富な機種揃いです。

登録番号	名 称	考 案 者	登録番号	名 称	考 案 者
1259046	可動体の表面温度検出装置	横山昌弘	1263364	収塵装置付電気かみそり	熊田泰治
1259049	車両用暖房装置	{近藤正司・日比野浩一 市村伸男	1263365	収塵装置付電気かみそり	熊田泰治
1259053	車両用空調和装置	杉山 勲	1263367	電気かみそり	鶴谷嘉正・熊田泰治
1259058	密閉形電動圧縮機本体の支持装置	米田栄造・高橋和義	1263368	放電ギャップ付ブラウン管ソケット	才原勝也・赤羽正光
1259064	半導体装置	大島征一	1263369	送信管等の取付装置	大崎嘉彦
1259067	乾式変成器	長谷川逸史・村上貞利	1263370	モートル取付具	樋口芳則・桶 昭一
1260073	ガスの需給系統	守田 功・佐野善之助	1263372	複合半導体装置	米田良忠
1260074	けい光ランプの包装体	三森 貢・田辺文雄	1263375	タイムスイッチの周期表示装置	林 正之
1262244	全波整流装置	大原啓治・小泉静雄	1263376	二周期用タイムスイッチ	林 正之
1262763	地絡比例限時継電装置	{鈴木健治・畑田 稔 野沢輝夫	1263377	ガス燃焼装置	成木昭三・藤井忠承
1262764	熱風発生装置	福田興司	1263378	リード足矯正機装置	小林邦夫
1262766	発熱体	町原義太郎・近藤正司	1263380	直線運動する軸の軸端装置	加藤道明
1263353	冷蔵庫	林 八郎	1263381	電気かみそり	熊田泰治
1263357	巻取装置	{金沢 照・光森弘之 河上国彦	1263382	タイムスイッチ	林 正之
1263358	高圧安定化抵抗	石井宏和	1263383	電気かみそり	川合輝一・小池利男
1263359	電気かみそり	鶴谷嘉正・熊田泰治	1263384	挿入式試験端子	立石俊夫
1263362	陰極線管のスポットロッキング回路	今西 涉	1263385	反射式暖房器具	{高橋正晨・慶野長治 後藤完二
1263363	電気かみそり	{鶴谷嘉正・熊田泰治 宇佐見 忠	1263386	エレベータの位置表示装置	舟橋謙三
			1263387	コイル装置	鈴木英男
			1263388	電気かみそり	川合輝一・小池利男
			1263389	電気マッサージャー	川合輝一
			1263390	キュー信号録音装置	大塚洋俊・石井堂路

〈次号予定〉 三菱電機技報 Vol. 56 No. 9 オーディオ, ビデオ特集

特集論文

- デジタルオーディオの最近の動向
- 業務用デジタル録音システム
- コンパクトタイプたて形レコードプレーヤー LT-10 V 形
- 最新のスピーカー技術
- 一体構造形スピーカー
- オーディオ装置の電子制御用 IC
- ビデオプロジェクションテレビ
- VTR 用大規模信号系リニア IC

普通論文

- 高圧交流電動機固定子巻線絶縁の経年変化とその診断
- 240/300 kV 一点切り及び 550 kV 二点切りタンク形ガスレギュレーター
- 本州四国連絡橋公団大鳴門橋納めエレベーター
- 特注形乗用エレベーター《アクセルシリーズ》
- 高温用ヒートポンプ
- 三菱マイコンゴルフ練習器 GL-500 形

三菱電機技報編集委員		三菱電機技報 56 巻 8 号	
委員長	志岐守哉	委員長	野村兼八郎
副委員長	大谷秀雄		山内 敦
"	三浦 宏	"	柳下昌平
常任委員	佐藤文彦	"	立川清兵衛
"	峯松雅登	"	徳山 長
"	田中克介	"	柴山恭一
"	葛野信一	"	早瀬通明
"	井上 通	"	荒野 喆也
"	阿部 修	"	瀬辺国昭
"	吉田太郎	"	倉橋浩一郎
"	野畑昭夫	"	小原英一
"	的場 徹	幹 事	諸住康平
"	尾形善弘	"	足立健郎
		8号特集担当	石原喜夫
			昭和 57 年 8 月 22 日 印刷
		(無断転載を禁ず)	昭和 57 年 8 月 25 日 発行
編集兼発行人	諸住康平	印刷所	東京都新宿区市谷加賀町1丁目12番地 大日本印刷株式会社
発行所	東京都千代田区丸の内2丁目1番2号 (〒100) 三菱電機技報社	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
定 価	1部 500円送料別 (年間予約は送料共 6,700円)		Tel. (03) 233 局 0643(代), 振替口座東京 6-20018



家族だんらの必需品、コタツと座卓が一緒になって家具調コタツとして登場以来、人気は年々高まり今年はコタツ需要全体の35%を超えようとしています。

三菱電子温風家具調コタツは、今までのコタツのイメージをまったく変えた、ヒーターをボードの中に収納した電子温風式です。赤外線ランプ式のような出っぱりヒーターが無く、コタツの中はすっきり、広びろ。足も十分に伸ばせます。そして、春先からはヒーターをはずす手間もなく、そのまま座卓に早変わり、1台2役のオールシーズンタイプです。サイズもいろいろ、80cm角の小形正方形から120cm×80cmの大形長方形まで7機種を取り揃えました。

### 特長

- すみずみまで暖め、しかもスピード暖房
  - ・ まろやかな温風がすみずみまでゆきわたり、赤外線ランプのように肌をさすような熱さがなくマイルドな暖かき。
  - ・ スイッチを入れると、すぐ温風が飛びだし、早く暖まります。
  - ・ 温度調節幅も約40℃～70℃と広く、快適な温度が選べます。
- 電気代は20%もおとくです。
  - ・ 電子温風式は、まろやかな温風で効率よくコタツ内を循環させるので、電気代も赤外線に比べ20%も節電できます。(80cm角当社比)
- 高い安全性、赤熱しない半導体ヒーター採用
  - ・ 赤熱しない、過熱もしない半導体ヒーターを採用していますから、安全性が高くなっています。
  - ・ 万一に備えて、安全装置(温度ヒューズ)が取り付けられています。



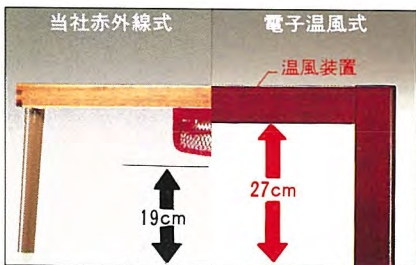
EK-90B



EK-105B



EK-120BD



### 仕様

タイプ	形名	セットサイズ(cm)	色調	仕様		安定時消費電力(W)	1時間当り電気代	専用上板柄				
								表柄		裏柄		
								楠(くす)	花梨(カリ)	リズミートーン	アブリック	アングレーム
小形正方形	EK-80B	80×80×高さ36	マホガニー	定格電圧	100V 50-60Hz	85	5円10銭	○		○		
	定格消費電力			最大495W 最小70W	○				○			
大形正方形	EK-90B	90×90×高さ36	マホガニー	温度調節	40～70℃	98	6円30銭	○		○		
	EK-90BK			コハク	風量			0.4m³/min	○		○	
小形長方形	EK-105B	105×75×高さ36.5	マホガニー	ヒーター	PTCサーミスタ	105	6円45銭	○		○		
	EK-105BK			コハク	モーター			くまとり形 2P	○		○	
大形長方形	EK-120B	120×80×高さ36.5	マホガニー	ファン	貫流形	115	7円5銭	○		○		
				温度調節	サーモダンパー式			○		○		
高級大形長方形	EK-120BD	120×80×高さ37.5	ワインレッド	安全装置	温度ヒューズ	130	7円35銭	○				○