

# MITSUBISHI DENKI GIHO

# 三菱電機技報



Vol.53 No.9

工作機械・産業設備用電機品特集



# 三菱電機技報

Vol. 53 No. 9 SEPTEMBER 1979

## 工作機械・産業設備用電機品特集

### 目次

#### 特集論文

工作機械用直流主軸駆動装置	松本圭二・三浦邦治	627
数値制御装置《MELDAS》シリーズ	宮幸助・相場琢二・富士本昭彦	632
数値制御装置《MELDAS》用パルス幅変調式トランジスタ増幅器	近藤昭雄・吉田敏三・風間務	637
W5形ワイヤカット放電加工機用制御装置	坂口恒夫・松本源二・飯田秀正・田中均	642
鉄鋼酸洗ライン用新形フラッシュ溶接機	川並高雄・森絨一・小松義正・馬場利彦・袖野恵嗣	647
三菱-BBC形加圧式自動注湯装置	安孫子博・広川利雄・松田勇・田中伸雄	652
最近の電磁クラッチ・ブレーキとその制御装置	西野広・小林良治・岡本清秀・井上宗明	656

#### 普通論文

内部絶縁樹脂封止形トライアック BCR16EM シリーズ	的場敏昭・森敏・山本悟	663
複モードホーンを用いた 20GHz 帯カセグレンアンテナ	向井正・岩本真・山前瑞穂・高松泰男・倉島徳幸	668
三菱逆極性ソフトブラズマアーク溶接法の開発と肉盛溶接及び溶接止端処理への応用	島田弥・星之内進・平本誠剛・鶴飼順	673
エレベータによって発生する居室騒音	太田和年・横田達	678
固定ヘッド式 PCM 録音機用誤り制御方式の能力評価	井上徹・杉山康夫・田中邦麿・大西健	682
レーザ方式ディスクシステム	久保高啓・岡田和夫・佐藤隆晴	687
鉄筋ガス圧接部専用簡易超音波探傷器	羽深嘉郎・佐藤春治	692
最近の電車総合試験システム	松田哲・吉村元由・石田隆朗・本多隆一・高橋知廣	695
特許と新案		661
グリース・保護継電装置・磁気円板・張力制御装置		703
当社の登録特許一覧		700
スポットライト		
三菱シューバー《SUPERB》・耐震形深夜電力利用温水器・ローパワーショットキ TTL M74LS00P シリーズ・立形リニアトラッキングプレーヤー (表紙-3)		

## FEATURING MACHINE TOOLS & INDUSTRIAL ELECTRIC EQUIPMENT

### CONTENTS

#### FEATURED PAPERS

DC Spindle Drives for Machine Tools	Keiji Matsumoto & Kuniharu Miura	627
The MELDAS Series of Numerical Control Equipment	Kosuke Miya et al.	632
A Pulse-Width Modulated Transistorized Amplifier for the MELDAS Series of NC Equipment	Akio Kondo et al.	637
A New Control Device for Wire-Cut EDM Systems	Tsunao Sakaguchi et al.	642
A New Type of Flash Welder for Continuous Pickling Lines in the Steel Industry	Takao Kawanami et al.	647
An Automatic Pressure-Pouring Device	Hiroshi Abiko et al.	652
Some Recently Developed Electromagnetic Clutches and Brakes, and Their Control Devices	Hiroshi Nishino et al.	656

#### GENERAL PAPERS

Series BCR16EM Inner-Isolated Triacs in a Molded Silicone-Plastic Package	Toshiaki Matoba et al.	663
A 20GHz-Band Cassegrain Antenna With Dual-Mode Horn	Tadashi Mukai et al.	668
A Reverse-Polarity Soft Plasma Arc Welding Process, and its Application to Overlaying and Toe Treatment	Wataru Shimada et al.	673
Room Noise Caused by Elevator Installations	Kazutoshi Ota & Satoru Yokota	678
Performans Evaluation for an Error-Control Scheme in a Stationary-Head PCM Digital Recording System	Toru Inoue et al.	682
A Laser-Disc Recording and Playback System	Takahiro Kubo et al.	687
The Type FD-52 Ultrasonic Flaw Detector for Gas-Pressure Welds in Steele Reinforcing Bars	Yoshio Habuka & Haruji Sato	692
Computer-Aided Train Testing Systems in Recent Years	Satoshi Matsuda et al.	695

### 表紙

#### 数値制御装置《MELDAS》シリーズ

当社の数値制御装置《MELDAS》シリーズは、過去 20 年間の豊富な経験と数多くの納入実績をもち、各方面から好評を得ている。

一方、最近の機械加工の自動化、省力化の普及及び高性能化と半導体技術の進歩は、数値制御装置に大きな影響を与え《MELDAS》シリーズも、これに伴って現在全機種マイクロプロセッサ CNC となっている。

写真は、その CNC を中心とした最近の《MELDAS》シリーズの設定表示部の一例を示したもので、マルチデータディスプレイの使用により操作性を大幅に改善している。

### COVER

#### The MELDAS Series of Numerical Control Equipment

Mitsubishi Electric's MELDAS Series has, over the past 20 years, built up an outstanding reputation based on broad experience and the large number of systems installed in all fields of industry.

Recent trends toward automation and labor-saving in the field of machining, and progress in semiconductor engineering and improved performance have had a major influence on numerical control technology, and in keeping with this, all models of the MELDAS Series provide computerized numerical control (CNC) through the use of microprocessors.

The cover shows a typical setting and display panel of one of the new CNC-centered MELDAS systems, in which the adoption of multi-data display has resulted in much greater ease of use.

## アブストラクト

### 工作機械用直流主軸駆動装置

松本圭二・三浦邦治

三菱電機技報 Vol.53・No.9・P627～631

工作機械主軸駆動装置の無段変速化が高進している現在、直流電動機による駆動がその主流となっている。直流主軸駆動が本格化し始めた1975ごろから今日まで、電動機、制御装置共に、主軸駆動に適するよう、種々改良が加えられてきた。これらの改良点と応用技術に関し述べながら、当社Zシリーズ主軸駆動装置を紹介する。

### 鉄鋼酸洗ライン用新形フラッシュ溶接機

川並高雄・森 紘一・小松義正・馬場利彦・袖野恵嗣

三菱電機技報 Vol.53・No.9・P647～651

新日本製鐵(株)及び三菱電機(株)は、共同研究によって高性能の新形フラッシュ溶接機を開発した。本機は矩形波電圧、コンピュータ制御による自動化及び品質管理の採用、端板処理機能、高温高速トリマ、フラッシュ吸引装置の内蔵等の新しい技術を導入し、鉄鋼プロセスラインの入側セクションにおけるダウンタイムの短縮及び省力化、溶接品質の信頼性向上、作業環境の改善を可能にした。本文ではその主要技術の内容及び成果について概要を紹介する。

### 数値制御装置《MELDAS》シリーズ

宮 幸助・相場琢二・富士本昭彦

三菱電機技報 Vol.53・No.9・P632～636

数値制御(NC)工作機械の最近の発展は、その制御中枢であるNC装置の進歩によるところが大きい。特に半導体技術—マイクロプロセッサのNCへの応用は、NC装置に一大変革をもたらしてきた。

本文は、このような流れの内、当社の数値制御装置《MELDAS》シリーズの最近の動向を、新しく開発製品化した《MELDAS》83、改良してレベルアップした《MELDAS》5000C、並びに最近納入したDNCシステムの例を中心に紹介したものである。

### 三菱—BBC形加圧式自動注湯装置

安孫子博・広川利雄・松田 勇・田中伸雄

三菱電機技報 Vol.53・No.9・P652～655

三菱—BBC形加圧式自動注湯装置の基本形、ストップ付き、傾動小容器付きの3種類について概要とその用途を紹介する。特に、ストップ付加圧式自動注湯装置は、BBC社のノズルストップ式自動注湯装置における豊富な経験を基にして実用化されたものであり、DISAMATIC造型機用として最適のものである。本文では、ほかに容量選定上の問題点と解決策、ダクタイル鋳鉄用の保持炉と自動注湯装置についても概要を説明する。

### 数値制御装置《MELDAS》用パルス幅変調式トランジスタ増幅器

近藤昭雄・吉田敬三・風間 務

三菱電機技報 Vol.53・No.9・P637～641

従来、数値制御工作機械の軸送りモータの駆動にはSCR増幅器が使われてきたが、最近のNC工作機械に要求される精度、速度の高度化に伴ってこの駆動方式では限界が出はじめてきている。

このような状況に対処するために、当社ではパルス幅変調方式によるトランジスタ増幅器の開発を進めてきたが、この度その製品化を完了したので、ここにその原理、性能、特長について述べる。

### 最近の電磁クラッチ・ブレーキとその制御装置

西野 広・小林良治・岡本清秀・井上宗明

三菱電機技報 Vol.53・No.9・P656～660

機械の始動・停止を始め位置停止、速度制御、張力制御などの目的で用いられる電磁クラッチ・ブレーキとその制御装置は、自動制御機器として極めて重要な役割を担っている。

しかし、最近の市場ニーズは、より廉価品とか専用化品、更に高級、高性能品と極めて多様化しているが、これらにマッチした新しい製品として、乾式クラッチ・ブレーキ、非接触クラッチと制御装置について紹介する。

### W5形ワイヤカット放電加工機用制御装置

坂口恒夫・松本源二・飯田秀正・田中 均

三菱電機技報 Vol.53・No.9・P642～646

近年の放電加工技術と制御技術の進歩に伴った、ワイヤカット放電加工機の急速な普及は、金型加工分野に画期的な技術革命を及ぼした。ここでは新形制御装置を開発し、ワイヤカット放電加工機の大幅な機能拡大を実現するとともに、操作性、保守性、信頼性を更に向上させることができたので、その内容を紹介する。

### 内部絶縁樹脂封止形トライアックBCR16EMシリーズ

的場敏昭・森 敏・山本 悟

三菱電機技報 Vol.53・No.9・P663～667

16A、500Vの内部絶縁樹脂封止形トライアックBCR16EM、FM、GMの開発を完了し量産を開始した。このBCR16EMシリーズは樹脂封止形トライアックとして我が国で最大容量のものであり、内部絶縁形となっているため使用しやすいという特長をもっている。その構造と製法、特性及び複写機、電子レンジ、ルームエアコンへの応用を述べる。

# Abstracts

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 53, No. 9, pp. 647~51 (1979)

## A New Type of Flash Welder for Continuous Pickling Lines in the Steel Industry

by Takao Kawanami, Hirokazu Mori, Yoshimasa Komatsu, Toshihiko Baba & Keishi Soden

In a joint research project, Nippon Steel and Mitsubishi Electric have developed a new type of high-performance flash welder. The welder features a number of technological firsts, including rectangular wave voltage, computer-controlled automation and quality control, a top- and tail-end cropping function, a high-temperature, high-speed trimmer, and a built-in lineflash suction chamber. These advances make possible reduced downtime and labor in the entry section of steel processing lines, improvement in weld quality and reliability, and a more agreeable working environment. The article gives a general description of the major technical innovations, and of the results obtained.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 53, No. 9, pp. 627~31 (1979)

## DC Spindle Drives for Machine Tools

by Keiji Matsumoto & Kuniharu Miura

With the rapid adoption of stepless spindle drives for machine tools, DC motors have come to occupy a major position. Since the trend toward DC spindle drives really got under way in 1975, many improvements have been made in both motors and control devices to better suit them to such applications. The article describes these improvements, discusses application technology, and introduces Mitsubishi Electric's Series Z spindle drives.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 53, No. 9, pp. 652~55 (1979)

## An Automatic Pressure-Pouring Device

by Hiroshi Abiko, Toshio Hirokawa, Isamu Matsuda & Nobuo Tanaka

The article introduces the three versions of an automatic pressure-pouring device manufactured by Mitsubishi Electric under license from Brown Boveri—a basic version, one with a stopper, and one with a tilting vessel—and describes their applications. The stopper-equipped version, which was developed on the basis of Brown Boveri's wealth of experience with their nozzle-stopper type device, is ideally suited for use with Disamatic molding machines. The article also presents problems involving the selection of furnace capacity and their solutions, along with a description of holding furnaces and automatic pouring devices for ductile cast iron.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 53, No. 9, pp. 632~36 (1979)

## The MELDAS Series of Numerical Control Equipment

by Kosuke Miya, Takuji Aiba & Akihito Fujimoto

The prime reason for the recent rapid development of modern machine tools is the progress made in the numerical control equipment on which they depend. In particular, the application of semiconductor technology and microprocessors to NC equipment has brought revolutionary changes. Against this background, the article discusses recent trends involving the MELDAS Series of NC equipment, providing as examples the newly developed MELDAS 83, the improved and upgraded MELDAS 5000C, and a recently installed digital NC (DNC) system.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 53, No. 9, pp. 656~60 (1979)

## Some Recently Developed Electromagnetic Clutches and Brakes, and Their Control Devices

by Hiroshi Nishino, Yoshiharu Kobayashi, Kiyohide Okamoto & Muneaki Inoue

Electromagnetic clutches and brakes, with their control devices, play an extremely important role not only in the starting and stopping of machinery, but also in position control, speed control, tension control, etc.

Recently, however, market needs have become increasingly diverse, calling for more economical products, as well as those that are more specialized and offer higher quality and performance. The article reports on new dry-type clutches and brakes and non-contacting clutches, along with their control devices, which were developed to fill these needs.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 53, No. 9, pp. 637~41 (1979)

## A Pulse-Width Modulated Transistorized Amplifier for the MELDAS Series of NC Equipment

by Akio Kondo, Keizo Yoshida & Tsutomu Kazama

Recent demands for greater precision and upgraded performance of NC machine tools have pushed the drive systems presently used for the spindle-feed motor, which use thyristor amplifiers, to the limits of their usefulness. To meet this situation, Mitsubishi Electric has marketed a transistor amplifier using pulse-width modulation. The article discusses the principles involved, as well as its performance and features.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 53, No. 9, pp. 663~67 (1979)

## Series BCR16EM Inner-Isolated Triacs in a Molded Silicon-Plastic Package

by Toshiaki Matoba, Satoshi Mori & Satoru Yamamoto

With completion of developmental work, production of the BCR16EM, FM and GM inner-isolated triacs has begun. This series, the largest-capacity molded plastic packaged triacs made in Japan, feature greater ease of use thanks to the inner-isolated construction. The article describes the method of manufacture, and the construction and characteristics of these triacs, as well as applications in copying machines, electronic ranges, and room air conditioners.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 53, No. 9, pp. 642~46 (1979)

## A New Control Device for Wire-Cut EDM Systemes

by Tsuneo Sakaguchi, Genji Matsumoto, Hidemasa Iida & Hiroshi Tanaka

With recent advances in electrical discharge machining and associated control technology, there has been a rapid increase in the number of wire cut EDM systems in use, bringing revolutionary changes to the field of metal machining. The development of a new type of control device has made possible a large-scale broadening of the functions of wire cut EDM systems, along with further upgrading of their operability, ease of servicing, and reliability. The article discusses these developments.

## アブストラクト

複モードホーンを用いた20GHz帯カセグレンアンテナ  
向井 正・岩本 真・山前瑞穂・高松泰男・倉島徳幸

三菱電機技報 Vol.53・No.9・P668～672

日本電信電話公社の20GHz帯デジタル無線中継方式に使用するカセグレンアンテナを開発した。このアンテナの1次放射器は、円錐ホーンに比べて交差偏波放射レベルの低い複モードホーンを使用しており、反射鏡は、その鏡面を修正している。本文では、複モードホーンを用いることによって交差偏波放射レベルを低減したアンテナの設計及び性能について述べている。

レーザ方式ディスクシステム

久保高啓・岡田和夫・佐藤隆晴

三菱電機技報 Vol.53・No.9・P687～691

ビデオディスクを目的としてレーザによるディスクの高密度記録再生技術を開発した。特に注目をあびている当社技術は次のようなものである。すなわち、プレーヤーを低価格にする超小形半導体レーザピックアップとガラス円盤上の金属膜にレーザ加工で記録する簡単な原盤製作法である。更に、この録再技術の新しい応用として発表(昭和52年8月)したPCMオーディオディスクは、新しい超Hi-Fiオーディオシステムとして大きな反響をまきおこした。

三菱逆極性ソフトプラズマアーク溶接法の開発と肉盛溶接及び溶接止端処理への応用

島田 弥・星之内進・平本誠剛・鶴飼 順

三菱電機技報 Vol.53・No.9・P673～677

シールドガス中に適量の活性ガスを混入することによりアーク力が適度に抑制された状態下で、そのエネルギー密度を任意に調整でき、しかも陰極清浄作用を備えた逆極性ソフトプラズマアーク溶接法を開発し、その特長を生かした高品質肉盛溶接法及び溶接継手の疲労強度向上を目的とした止端処理法を確立した。更にそれらを実現する三菱ソフトプラズマ溶接装置を製品化した。本稿では逆極性ソフトプラズマアーク溶接の概要とその特長を生かした溶接法について述べる。

鉄筋ガス圧接部専用簡易超音波探傷器

羽深嘉郎・佐藤春治

三菱電機技報 Vol.53・No.9・P692～694

鉄筋コンクリート建造物の鉄筋のガス圧接部を対象とした非破壊検査は、ガス圧接工法の信頼性向上のため欠かせない。特に近年、大形の建造物出現に伴い、太径の鉄筋が採用されるようになり非破壊検査が重要になってきた。FD-52形は超音波を利用した鉄筋のガス圧接部専用の超音波探傷器で「ガス圧接部の超音波探傷検査規程NAKS-0001-77」に準拠したもので、既に数多くの建設現場で実用に供されている。

エレベータによって発生する居室騒音

太田和年・横田 達

三菱電機技報 Vol.53・No.9・P678～681

ここでは、エレベータの機械室や昇降路に近接する居室における騒音について述べる。騒音源の主なもの、機械室機器とつり合おもりがレールを走行することによるものである。我々が調査を行った建物の振動・騒音の伝搬特性とエレベータ騒音源との関係等も併せて論じながら、エレベータによって発生する居室騒音の特性や2～3の低減技法の効果について概説する。

最近の電車総合試験システム

松田 哲・吉村元由・石田隆朗・本多隆一・高橋知廣

三菱電機技報 Vol.53・No.9・P695～699

コンピュータを利用した電車の総合試験システムは、ユーザの積極的な支援を受けて、順調な発展を遂げてきた。この実績をもとに最近では、情報管理分野への展開、トラブルシューティング機能の分離、ユーザオリエンテッドなソフトウェアの採用、操作の容易化の徹底、などより高い経済性と使いやすさを求めて動き始めている。

ここでは、最近当社が製作・納入した名古屋市及び東京都の電車総合試験システムを中心に、これらの新しい動きを紹介する。

固定ヘッド式PCM録音機用誤り制御方式の能力評価

井上 徹・杉山康夫・田中邦麿・大西 健

三菱電機技報 Vol.53・No.9・P682～686

固定ヘッド式PCM録音機には新しい誤り制御方式が用いられている。今回、この誤り制御方式の能力を評価するため数値計算と計算機シミュレーションを行った。発生する誤りのパターンはトラック方向のバースト誤りを仮定した。音楽再生音の劣化の尺度として内挿補正音及び復号誤りによる異音の発生ひん度を用いた結果、平均ビット誤り率 $10^{-4}$ 、平均バースト長100ビットの場合、前者は平均23時間に1回、後者は平均62年に1回という数値が得られた。

# Abstracts

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 53, No. 9, pp. 687~91 (1979)

## A Laser Disc Recording and Playback System

by Takahiro Kubo, Kazuo Okada & Takaharu Sato

High density disc recording/playback technology has been developed for video discs, and Mitsubishi Electric's efforts have been particularly noteworthy in its miniaturized semiconductor laser pickup that makes possible an ultra-low-priced player, and a simple mastering technique that enables recording to be effected by laser machining of a metal film applied to a glass disc. The PCM audio disc was announced in August 1977 as a further application of this recording-playback technology, and has created great interest for its unparalleled fidelity of reproduction.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 53, No. 9, pp. 668~72 (1979)

## A 20GHz-Band Cassegrain Antenna with Dual-Mode Horn

by Tadashi Mukai, Makoto Iwamoto, Mizuho Yamasaki, Yasuo Takamatsu & Noriyuki Kurashima

A Cassegrain antenna has been developed for the 20GHz digital radio-relay system of the Nippon Telegraph and Telephone Public Corp. The antenna uses a dual-mode horn as its primary radiator, which, in comparison with the conventional conical horn, has a lower level of cross-polarization and an improved reflector surface configuration. The article describes the dual-mode horn design which made possible the lower cross-polarization level, and describes antenna performance.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 53, No. 9, pp. 692~94 (1979)

## The Type FD-52 Ultrasonic Flaw Detector for Gas-Pressure Welds in Steel Reinforcing Bars

by Yoshio Habuka & Haruji Sato

Some method of nondestructive testing of the welds in steel bars used for reinforced concrete structures is essential to assure the reliability of the gas-pressure welding process, particularly now that larger buildings are being built, requiring the use of thicker bars. The Type FD-5Z conforms to standard NAKS-0001-77 for ultrasonic testing of gas-pressure welds, and has been put in service on a large number of construction sites.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 53, No. 9, pp. 673~77 (1979)

## A Reverse-Polarity Soft Plasma Arc Welding Process, and Its Application to Overlaying and Toe Treatment

by Wataru Shimada, Susumu Hoshinouchi, Seigo Hiramoto & Jun Ukai

A reverse-polarity soft plasma arc welding process has been developed in which it is possible to adjust energy density to any level desired and achieve suitable suppression of arc pressure through admixture of an appropriate amount of active gas in the shielding gas, without loss of cleaning action. The advantages of this process were then utilized to perfect a high-quality overlaying process and a method of toe treatment that results in increased fatigue strength of the welded joint. This has now culminated in the marketing of the Mitsubishi soft plasma arc welder. The article gives a general description of the new process, and of the welder in which it is applied.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 53, No. 9, pp. 695~99 (1979)

## Computer-Aided Train Testing Systems in Recent Years

by Satoshi Matsuda, Motoyoshi Yoshimura, Takaharu Ishida, Ryuichi Honda & Tomohiro Takahashi

With the active support of users, computer-aided systems for train testing have shown continuous development. Based on these results, recent activities have been directed toward the achievement of greater economy and ease of use through extensions into the field of information management, the distribution of troubleshooting functions, the adoption of user-oriented software, and simplification of operation.

The article discusses these recent trends, with emphasis on train-testing systems that Mitsubishi Electric has recently delivered to the transportation authorities of the Nagoya municipal and Tokyo metropolitan governments.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 53, No. 9, pp. 678~81 (1979)

## Room Noise Caused by Elevator Installations

by Kazutoshi Ota & Satoru Yokota

The article reports on investigations into the effect on occupied building space of noise from machine room equipment and from the motion of the counterweight along the hoistway rails. It reports on the vibration- and noise-transmission characteristics of the buildings studied, and on their relationship to noise sources, outlines the characteristics of elevator-caused room noise, and describes the results of several noise-reduction techniques.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 53, No. 9, pp. 682~86 (1979)

## Performance Evaluation for an Error-Control Scheme in a Stationary-Head PCM Digital Recording System

by Toru Inoue, Yasuo Sugiyama, Kunimaro Tanaka & Ken Onishi

A new error-control system is now in use in stationary-head PCM recorders, and numerical calculations and computer simulation have recently been carried out to evaluate its performance. It was assumed that errors occurred in the form of a burst error pattern in the track direction. Interpolated compensation on musical information, and the frequency of occurrence of incorrect sample values due to compound error provided a scale against which deterioration in playback sound quality could be judged. The result was that at an average bit-error rate of  $10^{-4}$ , and an average burst length of 100 bits, the former occurred once in 23 years, and the latter once in 62 years.



# 工作機械用直流主軸駆動装置

松本 圭二\*・三浦 邦治\*

## 1. ま え が き

10 数年前から工作機械の主軸駆動に無段変速機が使用され始めたが、当初は直流電動機による主軸駆動の変速性能の良さは、十分認識されながら高価で装置が大きくなるため、すぐには普及せず、主としてマシニングセンタに若干使用された程度であった。しかし、1975 年ごろから定周速制御の性能向上のため、比較的大形の旋盤から直流電動機の使用が進み、現在では 2～3 kW の小形機まで直流電動機による主軸駆動が主流となってきている。

これは直流電動機の使用量増加に伴って市場価格が大きく低下し、従前使用されてきた誘導電動機と多段ギヤによる変速機構の価格並になったこと、技術的にも電動機及び制御装置の小形軽量化、電動機のサイリスタ制御との適合化など、工作機械により適するように改良されたことによるものと考えられる。

本文では、上記のように現在主流となっている直流電動機による主軸駆動の性能及び応用技術について述べる。

## 2. 要求される機能<sup>(1)</sup>

主軸駆動装置に要求される主な機能として次の項目が挙げられる。

### (1) 基本的性能

- (a) 定出力制御範囲が広く、安定した速度特性が得られること。
- (b) 定常負荷変動及びインパクト負荷に対する速度変動が小さいこと。
- (c) 電動機の仕事精度が高く、振動及びトルクリップルが小さいこと。

### (2) 適用上の機能

- (a) 小形・軽量であること。
- (b) 機種が豊富で、機械にマッチした機種選定ができること。
- (c) 厳しい使用環境、電源事情に対し支障なく運転できること。
- (d) 広範な仕様に対し適用が容易であること。

(3) 信頼性が高い上に、保守・点検が容易なこと。

これらの要求機能に答えるように当社直流主軸駆動装置“Zシリーズ”<sup>(1)</sup>は、完全一体積層固定子鉄心及び補償巻線を採用した直流電動機と、その性能をフルに発揮させるサイリスタ制御装置とによって構成している。以下にそれらの基本的性能について説明する。

## 3. 基本的性能

### 3.1 速度特性の安定性

直流電動機を小形化し、高過負荷耐量化をはかればそれに伴って電機子反作用が大きくなり、速度の安定性を欠きやすい。特に弱め界磁領域（＝定出力領域）の広い場合、速度特性がしり上がりとなり、制御不能となる場合がある。これに対し、従来は空けき（隙）長を大きくしたり、安定直巻巻線を設け対処していたが<sup>(2)</sup>、電動機を可逆運転するため、直巻巻線の接続替え、ないしは図 2. (b-1) に示すように 2 重直巻とする必要があった。

Z 形直流電動機では、電機子反作用起磁力  $AT_a$  に対する補償巻線起磁力  $AT_c$  の関係が

$$AT_c \approx AT_a \cdot \gamma \quad \text{ただし } \gamma: \text{極弧率} \dots\dots\dots (1)$$

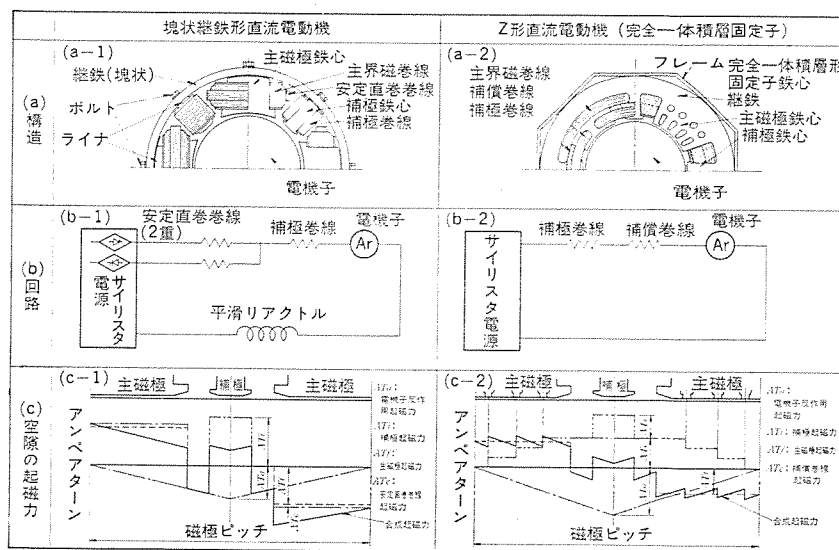


図 2. 直流電動機の構造比較

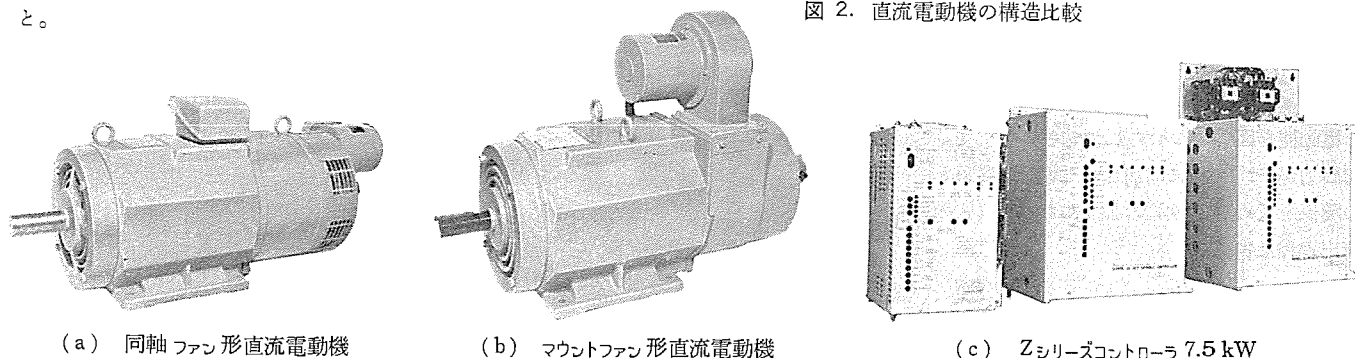


図 1. Zシリーズ主軸駆動装置

\* 名古屋製作所

となるように補償巻線を設け、合理的に配置したことにより、電機子反作用を正確に打消すことができ、定出力範囲が1:3の場合においても安定した速度垂下特性が得られ、直巻巻線は不要となった。図2.(c-1)図に補償コイルなし、(c-2)に補償コイル付きの原理を示す。後者は、負荷時の合成起磁力分布(実線で示す)が無負荷時の起磁力分布(破線で示す)に近似している。

### 3.2 負荷変動に対する速度制御精度

工作機械の主軸駆動では、従来から負荷変動に対する速度制御精度が直流電動機と制御装置の重要な組合せ性能であったため、種々の改良が行われてきた。現在では、P1制御方式速度制御アンプが開発され負荷変動に対する速度制御の定常精度が飛躍的に向上した。しかしながら、インパルト負荷が加わった場合、負荷の時間的变化に電機子電流が追従できないと速度変動が大きくなってしまふ。電動機が低速になる程影響が大きい。したがって、速度制御の過渡精度を向上させるには、負荷の要求するトルクに対応する電流に速やかに変化できる。すなわち電機子電流の変化率  $di/dt$  が高くとれる電動機であることが必要であり、電動機磁気回路の応答性が決め手となる。従来の電動機は磁気回路である継鉄が塊状であり、ダンパとなるライネがあったため、電流変化率を高くできなかったが、Z形電動機は固定子磁路を完全に一体化した積層鉄心として格段の改善が行われている。以下にその詳細を述べる。

#### (1) 磁気回路の応答性

電機子端子電圧、電機子電流及びその変化率の関係を示すと、下式のようなになる。

力行電流増加時

$$V = V_c + e + i \cdot R_a + L_a \cdot di/dt \quad \dots\dots\dots (2)$$

再生電流減少時

$$V = V_c - e - i \cdot R_a + L_a \cdot di/dt \quad \dots\dots\dots (3)$$

$V$ : 電動機端子電圧       $V_c$ : 電動機逆起電力

$e$ : 磁路のうず(渦)電流による遅れ磁束変化により発生する電圧 ( $di/dt$  の関数となり、 $i$  に対し遅れ角を有する)

$i$ : 電機子電流       $L_a$ : 電機子回路のインダクタンス

この式からも分かるように  $L_a$  及び  $e$  の大きな電動機では  $di/dt$  を大きくすると電動機の逆起電力  $V_c$  と電動機端子電圧  $V$  の差を、大きくせねばならなく、いきおい大電流の制御装置が必要となって経済性を損なう。Z形直流電動機では、補償巻線の効果で  $L_a$  を小さくし、更に完全一体積層固定子鉄心を採用して磁路の渦電流効果を大幅に軽減し磁束応答を高め、電機子電流変化  $di/dt$  に対するインダクタンス電圧  $L_a \cdot di/dt$  及び磁路の渦電流効果による発生電圧  $e$  を大幅に軽減した。

電機子回路電流変化により継鉄・ライネなどの磁路中に発生する渦電流の大小は磁束応答を大きく左右し、磁路の渦電流効果による発生電圧  $e$  の大きさに影響する。

電動機を図3.に示すようにモデル化して、起磁力がステップ状に印加された場合の磁束との関係を求めると次式のようなになる。(式の導出過程は省略)

$$\phi_r(t) = 4ab\mu_r \frac{N_f I_f}{l_r} \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} K_{mn} \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{t}{T'_{mn}}\right) \right\} \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$\text{ただし } \mu_r = \mu_r / \{1 + (2\mu_r g S_r / \mu_0 l_r S_g)\} \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$K_{mn} = 4 / \{(m+0.5)^2 (n+0.5)^2 \pi^4\} \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$T'_{mn} = \mu_r \sigma a^2 b^2 / \{a^2 (m+0.5)^2 \pi^2 + b^2 (n+0.5)^2 \pi^2\} \quad \dots\dots\dots (7)$$

$\mu_r$ : 継鉄の透磁率       $\mu_0$ : 空気の透磁率

$\sigma$ : 継鉄の導電率       $T'_{mn}$ : 磁気時定数

磁路の磁気時定数は、式(7)のようになる。この式により塊状継鉄機の磁気時定数を求めると約40msである。これに対し同寸法の積層継鉄機の磁気時定数を塊状継鉄機との比で求めると、

$$T'_{mn} L / T'_{mn} = \left( \frac{\omega}{2a} \right)^2 \frac{\mu_r L_r \sigma L}{\mu_r \sigma} \div \frac{1}{5700} \quad \dots\dots\dots (8)$$

ただし肩添字  $L$  は積層継鉄機を示し、 $\omega$  は積層鉄心の板厚を表す。となり、図4.に示した磁束応答でも分かるように積層継鉄機では、磁束応答に遅れがほとんどない。

次に図5.に両者の回生制動動作のときのデータを示す。塊状継鉄

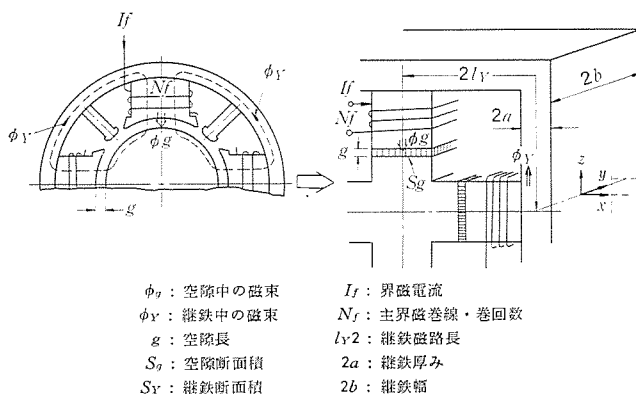


図3. 塊状継鉄形直流電動機の磁気回路モデル

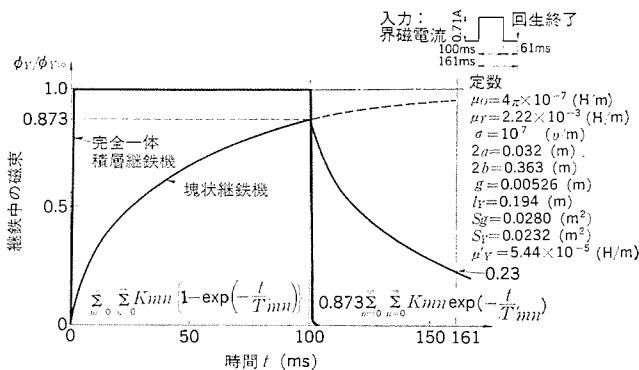


図4. 起磁力に対する継鉄中の磁束応答

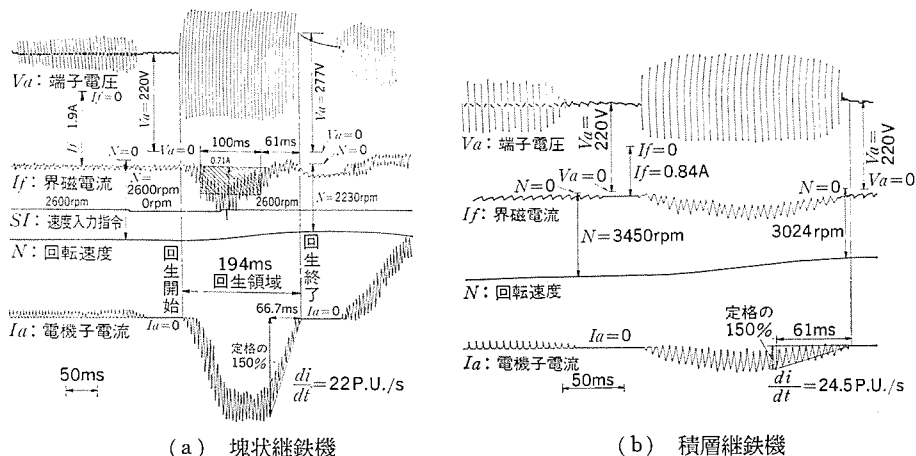
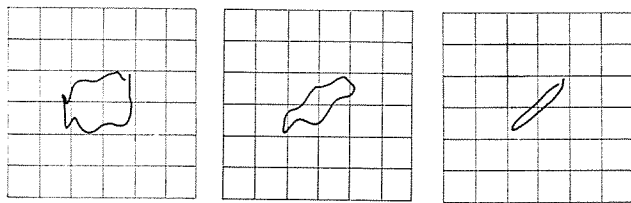


図5. 回生制動時の電機子電圧、電流波形





(a) 塊状継鉄機 (b) 部分積層継鉄機 (c) 完全積層継鉄機

図 6. リサージュ図形

機では、再生終了時に上記遅れ磁束による電圧  $e$  が重畳し、電動機端子電圧が大きく上昇(約 57 V)している。主回路の作る磁束は励磁巻線にも鎖交するため、電機子電流の変化により、界磁電流

も変化していることが分かる。これに対し一体積層継鉄の場合には、磁束遅れがないため、再生終了時に電動機端子電圧の上昇はほとんど生じていない。

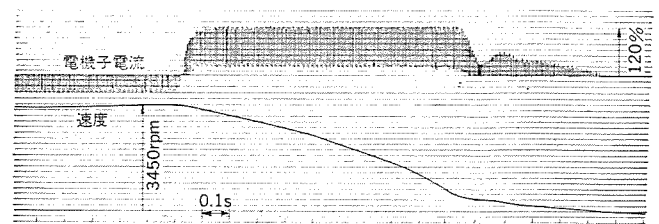
磁気回路の応答性の良否は、整流に関係する補極磁束の追従性にも大いに関係がある。電機子電流に対する補極磁束の追従性を、継鉄の構造が異なる 3 種類の直流電動機をサイリスタ電源で駆動し、縦軸に補極磁束を、横軸に電機子電流を入れて描かせた リサージュ図形で見ると図 6. に示すようになり、(a)の塊状継鉄機では、継鉄やライナ中の渦電流により磁束応答が悪いため、円形に近い楕円形を示しているが、(b)の継鉄の一部を積層したもの(ライナあり)では、細長い楕円となり、(c)の完全一体積層固定子鉄心では、ほぼ斜めの直線となって、磁束応答の遅れがないことを示している。

このように、Z形直流電動機は磁気回路応答性がよいため、再生終了時の端子電圧の上昇現象が解消されとともに、補極磁束の追従性改善による過渡整流能力の飛躍的向上が図られて、平滑リアクトルが無い状態で、電流変化率を 200 P. U./s (Per Unit Per Sec) 程度まであげることが可能となった。

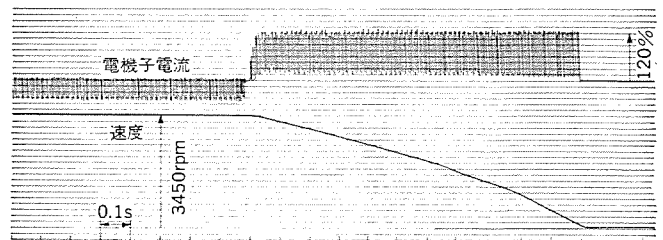
#### (2) 工作機適用における過渡速度精度

Z形直流電動機は、電流変化率を大きくとることができることを説明したが、これを工作機に適用した場合、主軸はパワーを伝達するため、一般にギヤ系のバックラッシュが大きいため電流変化率を 100 P. U./s 近くまで大きくすると変速時にギヤ鳴りが大きくなる場合があり、電流変化率を 30 P. U./s 程度で使用することもある。電流変化率 30 P. U./s の場合のインパクト負荷に対する応答を定格速度の 1/15 の速度で見ると図 7 のようになり、相当大きな瞬時速度変化が残る。これを電氣的に改善するためには、電流変化率を高くしてもギヤ鳴りを生じさせない制御がし得るかどうかにかかっており、例えば、変速時は応答が遅く、負荷変動に対しては応答の速い制御方式や、常時応答が速く、ギヤのバックラッシュを詰める方向に動作する時のみ電流立上りを遅くする方式などを研究中である。

図 8. (a) はその 1 例として、停止直前の電流変化率を緩やかにして停止時間を引き伸ばすことなく機械ショックを防止して停止させた場合であり、図 8. (b) は、機械ショックを考慮せずに速度応答を



(a) ショック防止回路つき



(b) ショック防止回路なし

図 8. 停止特性

速くした場合の停止例である。

#### 3. 3 振動及びトルクリップル

振動については各部の剛性の確保、合理的な鉄心形状の設計、高い工作精度により、運転速度の全域にわたり振動 V-10 級を保証している。トルクリップル発生を主要因として次のことが考えられる。

- (1) 電機子の偏心と鉄心の磁気方向性
- (2) 電機子溝
- (3) サイリスタ制御による電流脈動

(1) に対しては、磁氣的に不平衡が生じないように製造して対処し、(2) には、磁極の形状、溝数、固定子鉄心のスキューなどに設計上配慮して対処している。また、(3) については、周波数が高いのであまり問題にならないが、刃物台や主軸ワーク系など、加工精度を左右する重要な部分の共振周波数をこの周波数からはずすようにすることも必要である。

しかし、場合によっては仕上げ切削のとき、仕上げ粗さを損わない程度のしま(縞)目が切削面に発生する場合がある。このような場合には、機械側の減速比をわずかに変更したり、送り速度の組合せを変更することも縞目防止に有効である。

#### 3. 4 制御装置に要求される機能と対策

以上に述べたほか、特に留意した点は次の 2 点である。

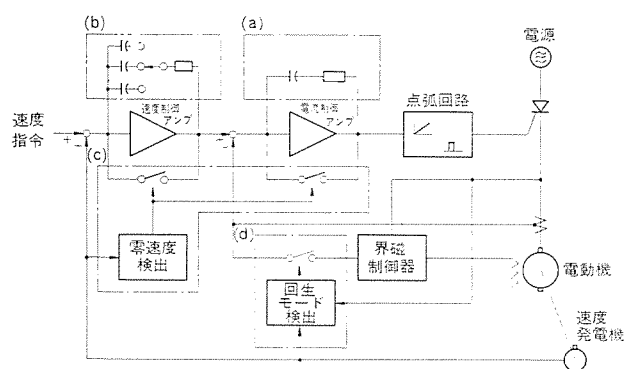
- (1) 類似仕様の各種機械に即応できる電機品とする。
- (2) 最終需要家での保守体制や電源事情が不明確である。

(1) の点に関しては、負荷の  $GD^2 \cdot \text{トルク}$  等機械的仕様のかなりの変化に対して、制御装置の再調整を不要として間接的な人手時間の損失を防ぐ必要がある。その対策として、制御ブロック図、図 9. (a)~(d) の部分に対し、表 1. に示すような改良を加え、制御の安定領域を広くしている。この(a), (b)部分の制御ループの補償概念を図 10. のボード線図に示す。

(2) について最終需要家での十分な保守が期待できないことも考えられ、制御プリント板の取替時無調整という考え方を徹底している。加えて、悪い電源事情に対処する必要がある。この場合、過大な電圧変動と波形ひずみ(歪)が問題になる。

特に、NC サーボ駆動など、他のサイリスタ装置が併用される際に、電源に現れるくさび状の電圧落ち込みは、サイリスタの点弧回路誤動作の要因となる。この対策としては、積分形の点弧パルス発生回路

項 目	改 良 内 容	効 果
(a) 電流マイナーループの高応答化。	電動機のリアクタンスが小さいことを生かし、電流マイナーループの応答を極力高くしている。	機械時定数より、電気時定数が1けた近く小さいので、速度安定性が向上する。
(b) 速度ループの応答性を切換スイッチにより変更。	スイッチ切替により、速度制御アンプの補償カーブは固定のまま、周波数領域を平行移動させる。	機械 $CD^2$ が非常に大きい場合オーバーシュートしても、1個のスイッチ切換えにより、容易に安定化できる。
(c) 零速度検出により制御ロック。	停止指令を出した場合、再生制御により減速し、零速度を検出した点で速度ループ、電流ループ共に動作停止する。	非常に零に近い速度で無制御とするので停止時間を長くすることなく停止時に、アンダシュートして逆転する危険性をなくす。
(d) 再生動作時のみ逆起電力制御する。	弱め界磁領域において、力行時は電動機端子電圧一定制御するが、再生時は逆起電力一定制御する。	電動機の内部抵抗に見合った微妙な調整せずに100%の力行出力を確保し、再生時の転流動作を安定にする。



を採用し、数100マイクロ秒程度の落ち込みでは誤動作しないものとしている。

これらの対策により、5,000 台の納入実績に対し、電源事情によるトラブルは無く、また、速度応答性の変更調整も機械メカによりほぼ 100% 容易に実施されている。

工作機主軸用として整備した Z シリーズ電機品の種類と、前記した諸機能以外で製品へ配慮した点について紹介する。表 2. に、Z シリーズ電機品の最も標準的な種類を示したので参照されたい。

項目	出力容量 (KW)	2.2	3.7	5.5	7.5	11	15	22	30	37	45	55	
共通仕様	周囲温度	モートル -10~40℃, コントローラ -5~50℃											
	出力定格	30分											
	定格電機子電圧	220V /DL-SCZ, 210V /DL-MAZ, DL-SBZ											
	過負荷耐量	150% 1分間, 120% 1分間											
	準拠規格	モートル JEM 1170, コントローラ IEC											
電動機仕様	形名	脚取付形 SDN-CFZ, 横フランジ形 SDN-CFZ-F, 立フランジ形 SDN-CFZ-VF											
	保護形式	防滴保護, 他力通風											
	絶縁級	F 種											
	回転速度	1,150 / 3,450 rpm										1,150 / 3,000rpm	
	わく番号	112M	132 L		160 L		180 L	200 L		225 L			
	振動	V 10 級											
	騒音 (dB(A))	75			80			83			85		
	重量 (kg)	68	90	105	105	180	180	265	370	370	420	490	
	GD <sup>2</sup> (kg・m <sup>2</sup> )	0.12	0.32	0.4	0.4	0.60	0.60	1.01	2.4	2.4	4.5	5.3	
	付属品	速度発電機 GTT 形 DC 30V /1,000 rpm 及びサーマルプロテクタ 2個固定子埋込											
コントローラ共通仕様	電源許容電圧変動	±10%											
	電源許容周波数変動	±3%											
	制御方式	自動弱め界磁制御											
	制御ループ	速度+電流											
	速度制御範囲	1:100 (定トルク+定出力)											
	速度変動率	最高速度の 0.2% (負荷変動 10~100% にて)											
	加減速方式	電流制限加速 (限時加速オプション追加可)											
	雰囲気	有害ガス、塵埃のないこと (耐環境性 JEM 1103 グレード C 適合)											
	ロードメータ信号	片振れ DC 1mA 計を接続。150% 負荷 (100~150% 可調) にてフルスケール。											
	スピードメータ信号	片振れ DC 1mA 計を接続。最高速にてフルスケール。											
個別仕様	零速度信号	モートルが 50±10 rpm 以下にて閉なる接点信号。											
	速度到達信号	設定速度の ±15% 以内に閉なる接点信号。											
	速度検出信号	モートルが 500 rpm (50~1,150 rpm 可調) 以下にて閉なる接点信号。											
	電流検出信号	電流制限値 (150% 標準設定) 近くの電流 (140% 標準設定) 以上に閉なる接点信号。											
	オーバーライド	50~120 可変。コントローラの端子 “DEF” 開により解除できる。											
	DLSBZ	形名 DL-SBZ-2	—	3.7K	5.5K	7.5K	11K	15K	22K	30K	37K	—	—
		電源電圧	200V 50/60 Hz, 210, 220, 230V 60 Hz										
電源容量 (kVA)		—	8.5	12	16	23	32	45	57	70	—	—	
重量 (kg)		—	24	24	24	25	25	25	35	35	—	—	
DLSMZ	形名 DL-SCZ	2.2K	3.7K	5.5K	7.5K	11K	15K	22K	30K	37K	45K	—	
	電源電圧	200, 210, 220, 230, 240, 380, 400, 415, 440, 460, 480V											
	電源容量 (kVA)	6	10	14	20	28	39	52	79	90	112	—	
	重量 (kg)	27	27	27	27	28	28	30	35	37	39	—	
DLMZ	形名 DL-MAZ-2	—	3.7K	5.5K	7.5K	11K	15K	22K	30K	37K	45K	55K	
	電源電圧	200V 50/60 Hz 210, 220V 60 Hz											
	電源容量 (kVA)	—	8.5	12	16	23	32	45	57	70	85	104	
	重量 (kg)	—	29	29	29	31	31	33	35	37	39	41	

112～225 の 6 フレームを保有し、IEC 規格に準拠した、脚取付形とフック取付形を標準化している。

広範囲の速度制御に対し、100%能力を発揮すべく他力通風冷却とし、その冷却ユニットは電動機設置上の選択の自由のため、径方向空間の節約できる同軸ファン方式と、軸方向空間を節約できるマウントファン方式を準備している（図1.(a)(b)）。

使用条件に対して、保守点検を容易にするため、十分に広いブラシ点検窓を設けるとともに、厳しい運転条件でも良好な整流能力を有するようにし、ブラシの長寿命化を実現している。また、F種絶縁を採用し、素線絶縁、絶縁組織、ウェス処理について十分吟味して信頼性、耐環境性の強化を図っている。

#### 4.2 制御装置

表2.に示すように、DL-SBZ形、DL-SCZ形、DL-MAZ形の3機種を用意し、あらゆる用途に最適の性能の装置を選択できるようにしている。図1.(c)にその外観を示す。

このシリーズは、次の特長をもっている。

- (1) 小形化・高集積化して信頼性が高い。
- (2) 十分な補助機能と付加オプションにより、使いやすい。
- (3) すべての部品が前面から容易に保守・点検できる構造である。

表3. Zシリーズコントローラ仕様比較

項 目	DL-SBZ 形	DL-SCZ 形	DL-MAZ 形	備 考
定 格	電 源 電 圧	200 V 50/60 Hz 210~230 V 60 Hz	200~480 V 50/60 Hz (世界各国に適合)	200 V 50/60 Hz 210~220 V 60 Hz
	電 源 容 量	200%	270%	200%
	電 機 子 電 圧	210 V DC	220 V DC	210 V DC
方 式	主 回 路 方 式	3 相全波 デュアルコンバータ	3 相半波 デュアルコンバータ	3 相全波純ブリッジ シングルコンバータ
	正 逆 転 及 び 制 動 方 式	サイリスタ無接 点切換 可逆・回生制動	同 左	コンタクタ自動 切換 可逆・回生制動
	正 逆 切 換 時 間	50 ms	20 ms	80 ms
仕 様	トルクリップル	300/360 Hz	150/180 Hz	300/360 Hz
	制御信号インタフェース	コネクタ接続	端子台接続	同 左
	別 置 部 品	ACリアクトル ファンモータブ レーカ メインコンタクタ	マルチタップ電 源トランス ファンモータブ レーカ	ACリアクトル ファンモータブ レーカ メインコンタクタ (30 kW 以上)
保 護	接 地 保 護	速断ヒューズ	サイリスタブ レーカと接地保護 ヒューズ	速断ヒューズ
	逆 相 保 護	逆相検知にてゲ ートシャ断	サイリスタブ レーカ	逆相検知にてゲ ートシャ断
	過 負 荷 保 護	サイリスタ温度 検出器	サーマルリレー	サーマルリレー
	瞬時過電流保護	速断ヒューズ、 ゲートシャ断	サイリスタブ レーカ、ゲート シャ断	速断ヒューズ、 ゲートシャ断
	モートル過熱保護	モートル内理込サーマルプロテクタ		
	界磁喪失保護	界磁電流喪失検出回路		
	過 速 度 保 護	最高速度の115%以上検出回路		
	断 風 保 護	サイリスタ冷却フィン温度検出器		
	速度発電機断線保護	断線・短絡検出回路		
	相 順 表 示	適正相順にてランプ点灯		
	欠相・不足電圧表示	異常時ランプ点灯		
	過 電 流 制 限	電機子電流制御アンプ入力制限		
	停止時暴走保護	制御アンプのリセット、主回路コンタクタ断		
	サイリスタ保護	サージ電圧、 $dv/dt$ 、 $di/dt$ 抑制保護		
用 途	200 V 級電源高 ひん度加減速用	輸出用	200 V 級電源 一般用	

備考 \*1 電動機出力に対するVA比。

\*2 電源電圧-10%にて性能保証できる値に選定。

\*3 電源周波数50/60Hzにより変わる。

(4) 機械  
対応の調整  
ボリューム及  
びスイッチを  
調整用プリ  
ント板に集中  
させ、主制  
御プリント板  
を交換して  
も調整の必  
要がなく、

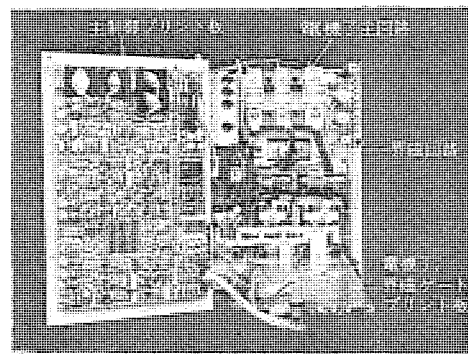


図11. Zシリーズコントローラの構成

保守が容易である。

(5) 保護回路を充実している。

(6) 運転状況、故障状況が一目で判別できる表示を前面に装備している。

DL-SBZ形は複合サイリスタを採用して小形化を図り、18.5kW以下は260W×420H×300Dとなっており、DL-SCZ形はマルチタップトランスを装備した3相整流方式で、多種の電源電圧に対応でき、輸出用仕込生産機械に適する。DL-MAZ形は、コンタクタ自動切換方式の回生制動及び可逆運転可能機で、比較的低ひん度の始動・停止又は変速に適する。3機種の詳細仕様は、表2.及び表3.に示し、図11.にDL-SBZ形の内部を示す。

3機種とも、電機子回路はサイリスタと保護用速断ヒューズとで構成し、界磁回路はサイリスタ、ダイオード及び電流検出回路を備え、電流制御により固定界磁及び自動界磁弱め制御のいずれにも、電動機の温度変化に影響されず常に安定な運転ができるよう構成している。制御回路は、IC採用で高集積化した主制御プリント板、機械対応に設定される調整プリント板、補助機能プリント板、及び電機子・界磁ゲートプリント板の4枚で構成し、交換が容易なよう互いにコネクタで接続している。調整プリント板以外は、プリント板交換の際調整不要なよう調整ボリュームはすべて工場で設定している。

この制御装置は、表2.の標準仕様に示すように十分な保護機能を標準装備しており、これに内蔵オプションカードを追加することにより機能の拡充ができ、広範囲の要求に対応できる。

## 5. む す び

以上、完全一体積層固定子鉄心構造としたZ形直流電動機の応答性について述べ、電動機とその駆動電源であるZ形制御装置に関し、工作機械の主軸駆動用として、仕様・性能・特長・適用などについて紹介した。今後も更に改善を進め、需要家各位に満足いただけるよい装置とするよう、また、期待にこたえられるよう努力する所存である。

本稿が、需要家各位の参考になり、多数のご批判をいただければ幸甚である。

## 参 考 文 献

- (1) 酒井, 山崎: 電気学会電力応用研究会資料, EPA-76-15 (昭51)
- (2) 松本, 片岡: 三菱電機技報, 49, No. 6, p. 429 (昭50)
- (3) 阪部, 野村, 岩本: 電気学会論文誌B, 52-B 34 (昭52)



1. ま え が き

数値制御 (NC) 工作機械が世の中にはじめて登場してから、既に 25 年近くになるが、この間に技術、価格、運用、生産等いずれの面においても長足の進歩をとげ、現在その存在はあらゆる機械製造工業の中心的な設備となってきた。このような発展の原動力としては種々の要因が考えられるが、その中で NC 装置自体の進歩が大きく貢献していることは言うまでもない。特にそのバックグラウンドである半導体技術の大幅な進歩 - マイクロプロセッサと半導体メモリの出現により、従来ハードウェアで実現してきた NC 機能をソフトウェア処理によって実現した CNC (COMPUTERIZED-NC) に置き換え可能としたことが、大きく効いている。

このような背景をもとに、当社が最近開発又は改良製品化した最新の CNC 及び DNC システムについて、その構成、機能、特長の概要を紹介する。

2. NC 装置の技術動向

NC 装置は、基本的には図 1. に示すように、入力情報の処理、演算、制御を行う演算制御部と、機械の動きを制御するサーボ系より構成している。なお最近の NC 装置では、このほかに工作機械の電気制御部全体をシステム化して一体化する機電一体形のものも多くなっており、このような場合、強電シーケンサ、主軸モータ制御装置、強電パワー回路、機械操作盤等を NC 装置に内蔵する傾向にあり、図 1. の点線は、これらの部分を示したものである。

このような NC 装置の構成の中で、特に進歩の著しい部分は前述の演算制御部で、この部分はその機能よりみて、マイクロプロセッサ化に最も適しているため、いち早くその応用がなされており、現在では大多数の NC 装置がマイクロプロセッサ CNC となってきた。

マイクロプロセッサ CNC の一般的特長としては、ハードウェアの単純化、信頼性の向上、小形化、高度な制御機能の実現、拡張性の向上、コンピュータによる自己診断機能の充実等があげられるが、最近の NC 装置に要求されている NC 機能は表 1. のように更に高度なものが多くなっているため、これらの実現のためには、より高度なマイクロプロセッサ応用技術の活用が必要となってきた。また、もう一方

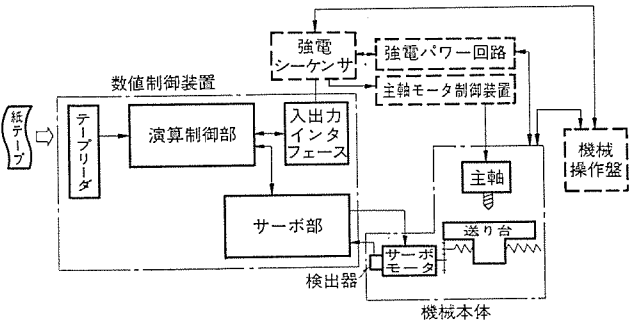


図 1. 数値制御装置機能ブロック図

表 1. 最近の NC 装置に要求されている NC 機能

項 目	内 容
1. テープストア、テープレス運転	ストア容量の増加 (テープ長さ 数 100 m)
2. 表 示 機 能	多文字化 (マルチデータディスプレイ、CRT の付加)
3. 機械リミットスイッチのソフトウェア処理	ソフトリミット (ストロークチェック) ソフトピッチエラー補正 加工領域チェック
4. プ ロ グ ラ ム 援 助 機 能	小数点プログラム 円弧の半径 R 指定 変数形固定サイクル又はユーザマクロ 各種プログラムフォーマットに対する互換性
5. 複 雑 形 状 切 削	スパイラル切削、可変ピッチねじ切り カム切削 (回転軸と直線軸による)
6. 座 標 系 処 理	座標変換、機械絶対座標系設定
7. 自 己 診 断 機 能	ON/OFF ラインチェック機能の充実 故障内容、箇所の明示化

の側面から NC 装置の技術動向をみると、

- (1) 機電一体化 (集合形と分散形) の促進
- (2) 高機能形と低価格専用形の 2 分化
- (3) 高速、高精度化の促進

といった工作機械側の要求に対応したものがある。

このような傾向は、更に今後も続くものと思われ、半導体技術の進歩による新素子の登場、超 LSI の出現と合わせて、NC 装置の今後の進歩の過程を注目していく必要がある。

3. 《MELDAS》シリーズの技術動向

当社は、1956 年 NC 装置の開発に着手して以来一貫して《MELDAS》シリーズとして、幾多のモデルチェンジを経ながら製品化を果たしてきた。そのなかで、マイクロプロセッサを応用した CNC は、1974 年から製品化しており、現在は全機種 CNC 化している。またサーボ系については、開発当初よりクローズドループ方式を採用し、現在は直流サーボモータによる電気駆動方式を標準化している。

この間、NC 機能は大幅に高度化し、そのハードウェアの規模は大幅に縮小、現在の CNC は、1960 年代のものに比べ 1/3~1/5 になっている。また機電一体化 NC についても、1975 年開発製品化した《MELDAS》5100 A、5000/5100 C より採用スタートし、機械メカから好評をはくしてきた。

このような実績をもとに、当社では最近更に最新の半導体技術、計算機技術を盛り込んだ新製品《MELDAS》83 を開発製品化し、また従来機《MELDAS》5000 C を大幅に改良レベルアップした。一方、機械加工のシステム化の最先端である DNC システムについても新システムの製品出荷を行ったので以下にその概要を紹介する。

4. 《MELDAS》83

《MELDAS》83 は、大阪機工(株)のフライス盤用に開発製品化した MDI (キースイッチなどによる手動データ入力) 方式の NC で、同時に

表 2. 《MELDAS》83 仕様構成一覧

区 分		機 能 概 要 及 び 項 目
標 準 仕 様	基本機能	制 御 軸 数 3 軸
		同時制御軸数 同時 2 軸
		入力設定単位 0.01/0.001 mm, 0.0001 in
	補 間 機 能	位置決め, 直線切削
		位置指令方式 増分, 絶対値併用
	指令入力方式	キースイッチによる手動データ入力及びその指令データによるメモリ運転方式 (メモリ容量 4K ch)
	送り速度指定	F 4 桁直接指定
	設定表示機能	64 ch プラズマディスプレイキーボード式
機	各 種 機 能	自動加減速, ドウエル, M 2 桁, 手動送り, バックラッシュ補正, シングルブロック, フィードホールド, ドライラン, マシンロック, インタロック, ミラーイメージ, オーバライド, 手動アプソリュート切換, ブロックデリート, ストアデータ修正機能, 手動原点復帰, メカハンド機能, 自己診断 (シーケンサ内蔵)
	付加仕様 その 1 (NC 用標準追加仕様)	テーブリーダ (巻取なし) バッファメモリ, EIA/RS 232C 自動判別
	付加仕様 その 2	円弧補間, 工具位置補正 (最大 48 組), T 2 桁, S 2 桁, S 4 桁アナログ出力, 指令値表示器, サブプログラム機能, メモリ容量追加 (最大 8K ch), テープパンチ, プリントアウト, プレイバック, テーブリーダ巻取装置, インチミリ切換, 手動パルス発生器, 自動原点復帰, 輸出対策 工具係補正 (予定)

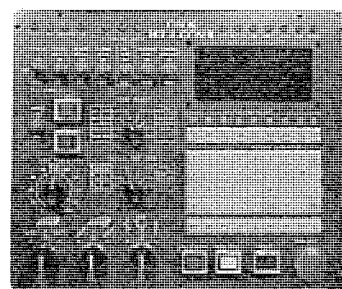


図 3. 《MELDAS》83 操作 ボード 外観

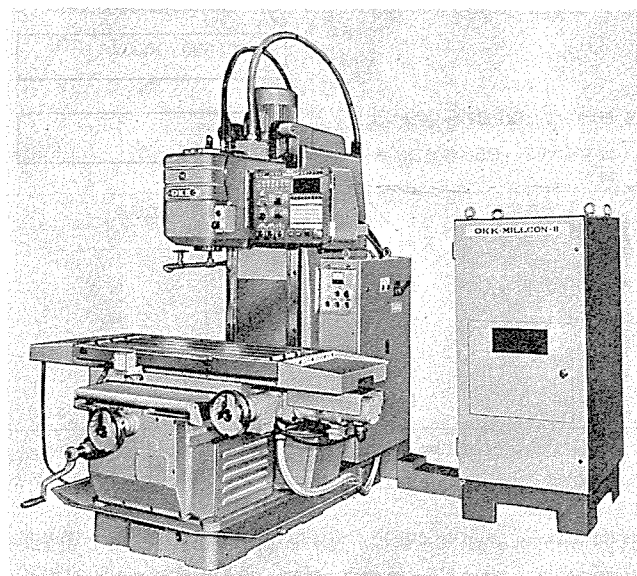


図 4. 機械と組合せた 《MELDAS》83 外観

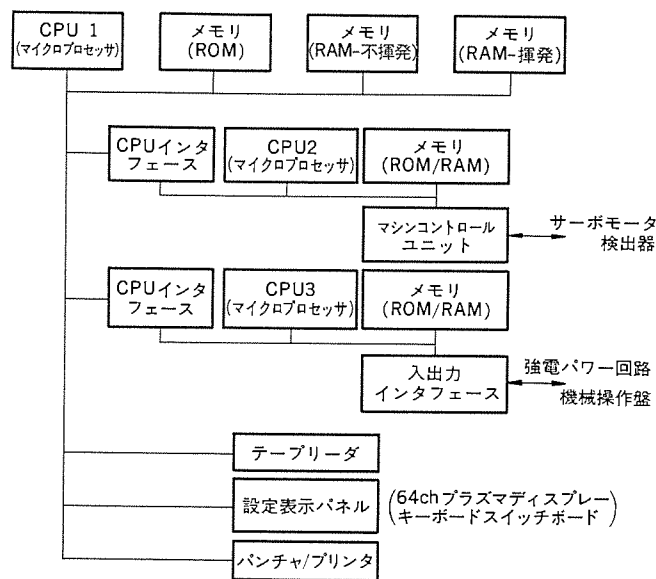


図 2. 《MELDAS》83 ハードウェア 構成図

テーブリーダを付加することにより通常の NC としても使用できる 3 軸同時 2 軸輪郭切削用数値制御装置である。その主な仕様構成を表 2. に示す。

そのハードウェア構成は、従来の CNC 技術を更に拡張させ、3 個のマイクロプロセッサよりなるマルチプロセッサ方式を採用し、またオペレータ用の表示パネルには 64 キャラクタプラズマディスプレイを使用している。図 2. はそのハードウェア構成図、図 3., 図 4. は、この CNC の操作ボードの外観、及び機械と組合せた外観を示したものである。このような構成をとることにより《MELDAS》83 は

(1) 個々のマイクロプロセッサの負担を減らし、全体として小形化と

同時に、機能の拡張性、柔軟性を大幅に向上させた。

(2) 64 キャラクタ同時表示のプラズマディスプレイとフルキースイッチの採用により、操作性を大幅に改善した。特に、MDI コントローラとして使用するとき、加工指令データの編集、内容チェックが非常に楽になり、また各種パラメータ、自己診断の表示内容のレベルアップにより保守性を大幅に向上させた。

などの特長を備えており、更に豊富なベーシック、オプション機能が可能で、また MDI-NC としてだけでなく、テーブリーダを付加することにより、通常の NC 装置としても使用でき、大幅なコストパフォーマンスの向上をはかっている。以下に、これらの機能のうち特長あるものについて、いくつか述べる。

#### 4. 1 プレイバック機能

プレイバック機能とは、加工図面に基づいてオペレータがサンプル加工を行いながら、同時にプログラムを作成していく運転機能で、MDI コントローラとして使用する場合、非常に便利な機能である。《MELDAS》83 のプレイバック機能は、

- (1) 手動 (MANUAL) 運転のいずれの送りでも可能。
- (2) 同時 2 軸運転によるプレイバックも可能。
- (3) プレイバックデータを記憶させるまでは、運転を何度繰り返してもよい。
- (4) 切削結果の確認のために前の位置でデータ記憶をさせることが不可能な場合、同一軸に移動がないとき次の位置まで移動後データ記憶操作を行うことができる。

以上の如くで、プレイバック機能の高度化を図っている。またこの運転

キー操作手順	ディスプレイ画面表示
1. 運転モードを「プレイバック」とする	
2. 手動運転によりP1→P2へ移動させる (移動量をX1000,Y-1500とする)	(手動運転中は現在値を表示している)
3. Functionスイッチを「EDIT」に選択する	カーソル位置 N0001
4. 移動させた軸に対する送りモード(G00, G01等)をキーインする (本例ではG00とする)	N0001 G00
5. 移動させた軸のアドレスをキーインする (本例では、XとY)	(Xキー-ON) N0001 G00 X 1000 (Xキー-ONと同時に移動量が表示される (Yキー-ON)) N0001 G00 X 1000 Y -1 500
6. EBキー又はINPUTキーをオンする 以下順次P2→P5へ移動及びキーインを 行う	N0002
加工順序	

図 5. プレイバック 操作手順

中 64 キャラクタ ディスプレー には、 サンプル 加工中の機械位置を常時表示させており、 更に データの変更、修正、追加を行うことも可能である。 図 5. は この機能を使用して プログラム していく操作手順の例を示したものである。

#### 4.2 メカハンドル (手ハンドル) 運転

メカハンドル 運転とは、 NC による自動・手動運転とは別に、 機械側に設けたハンドルによりオペレータが、 直接機械を移動操作する割込運転で、《MELDAS》83 では、

- (1) 各軸ごとに設けられたハンドル 選択信号を ON することにより、 いかなる NC 運転状態からでも割込みができる。
- (2) ハンドルの動きは、 NC 側でモニタし、 機械位置表示を行うとともに、 NC 内部に記憶している機械座標値の書きかえも行う。
- (3) ハンドルによるプレイバック機能が可能。

のように構成しており、 プレイバック 機能とともに MDI コントローラとして使用する場合、 最も特長ある機能の1つで、 操作性を一段と向上させている。

#### 4.3 サブプログラム機能

《MELDAS》83 は、 MDI、 紙テープによる NC 運転及びこれらの指令データによるメモリ運転いずれも可能であり、 このためプログラム援助機能として、 いろいろな機能をもっているが、 その1つに今回新たに付加できるようにしたものとしてサブプログラム機能がある。 この機能は大別して図 6. に示すようなメインプログラムとサブプログラムによる多重運転と、 移動量を変数値で指定できる変数形固定サイクルの2つよりなっている。

変数形固定サイクルは、 従来の NC で使用されてきた固定サイクル機能に対し、 各移動量を変数の形で指令でき、 しかもユーザが自由に必要な繰り返し動作をプログラムできるように柔軟性をもたせたプログラム援助機能で、 表 3. はその例を示したものである。

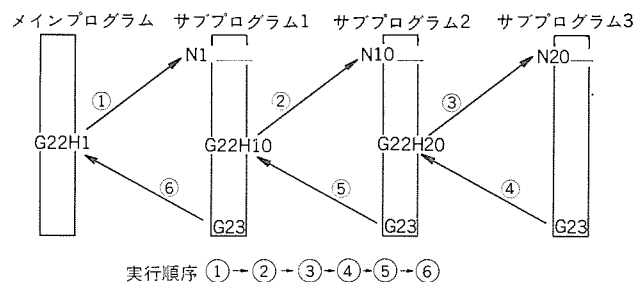


図 6. メインプログラムとサブプログラムによる多重運転

表 3. 変数形固定サイクルのプログラミング例

	メインプログラム (穴加工)	サブプログラム (穴加工詳細)
加工図例		
プログラム内容	<pre> N1 G91G0 Y1000* N2 G22H100 L1/1000 L2/500 L3/-2000 L4/2500 L5/100 P5* N3 G0G22X-5000 Y1000 H100 P5* (L1=1000, L2=500, L3=-2000, L4=2500, L5=100とした例) </pre>	<pre> N100 G91 GOXL1* ZL2* G1ZL3 FL5* GOZL4* G23* </pre>

表 3. の例では、 移動指令のアドレスに直接数値を与えるかわりに変数  $L_n$  ( $n=1\sim 20$ ) で指定し、 その変数の値をメインプログラムで指定したのち、 上記変数で指定したサブプログラムを呼出し実行できるようにしている。

この機能により、 ユーザが自由にプログラムした繰り返し運転サイクルをサブプログラムとしてあらかじめ登録しておくことにより、 プログラム作成が非常に簡略化でき、 またプログラムの柔軟性も同時に持たせることを可能としている。

### 5. 《MELDAS》5000 C

《MELDAS》5000 C は、 フライス、 マシニングセンタ用の4軸同時4軸まで可能な輪郭切削用 CNC で、 従来各機械メーカ、 ユーザより好評を得、 既に 500 台以上の累積出荷台数をもっているが、 最近、 実用上の機能を一層向上させるために大幅な改良とレベルアップを行った。 その主な内容は、 従来機と比べ

- (1) ソフトウェア関連機能の大幅レベルアップを図った。
- (2) オペレータとのマシンインタフェースとしてマルチデータディスプレイの付加と、 またその表示内容の大幅改良レベルアップを図った。
- (3) インダクトシン、 デュアルフィードバック方式の付加を可能とした。
- (4) 高さ 1,500 mm の密閉形小形箱体を採用し、 自立、 機械とう(搭)載いずれも可能な構造とした。

を行い、 フライス、 マシニングセンタ用 NC の決定版となっている。 図 7. は、 その本体外観、 図 8. はマルチデータディスプレイを使用した場合の操作ボードの外観を示したものである。 また表 4. は、 その主な仕様構成を示したものである。

以下に、 これらの機能のうち、 特長のあるものについて述べる。



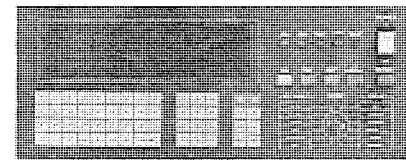
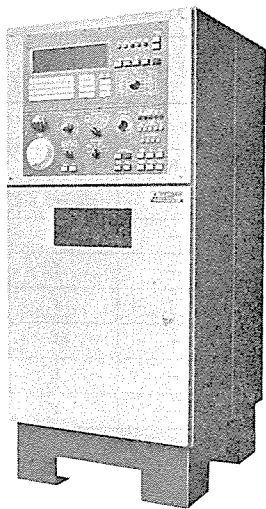


図 8. 《MELDAS》5000 C 操作ボード  
外観

図 7. 《MELDAS》5000 C 本体

表 4. 《MELDAS》5000 C II 仕様構成一覧

区 分		機 能 概 要 及 び 項 目
標 準 仕 様	基本機能	制 御 軸 数 3 軸
		同時制御軸数 同時 2 軸
		入力設定単位 0.01/0.001 mm, 0.001/0.0001 in
	補 間 機 能	位置決め, 各軸平行及び 45° 切削送り
	位置指令方式	増分, 絶対値併用
	テーブルリダ	光電式 200 ch/s, 巻取なし
	テーブルコード	EIA, IS φ
	送り速度指定	F 4/F 41 桁直接指定
	設定表示機能	フルキーボード, データディスプレイ方式
	各 種 機 能	自動加減速, ドウエル, 工具位置補正 (24 組), M 2 桁, S 2 桁, MDI, シーケンス NO サーチ, 原点復帰 (1), バックラッシュ補正, ピッチエラー補正, バッファメモリ, シングルブロック, フィードホールド, 手動送り, オーバライド, ドライラン, ミラーイメージ, マシンロック, インタロック, 外部減速, *Z 軸指令キャンセル, *補助機能ロック, セットゼロ, *軸選択出力, 自己診断
付 加 仕 様		付加 1 軸追加, 同時 2 軸直線円弧補間, 同時 3, 4 軸直線補間, *円切削, *ヘリカル切削, 工具径補正, T 2 桁, S 4 桁, T 5 桁, B 3 桁, S 4 アナログ出力, 固定サイクル, 手動パルス発生器, テーブルリダ巻取装置指令値表示器, インチミリ切換, *工具補正組数追加 (最大 108 組), テープ記憶編集, テープパンチ, メモリ式ピッチエラー補正, 工具長測定, *ストロークチェック, *早送りオーバライド, *ブロックリターン, *原点復帰 (2), *オートリスタート, 特別固定サイクル, *サブプログラム機能
特別付加仕様		コンピュータリンク, シーケンサ内蔵, 機械操作ボード内蔵, 操作ボード外部, *インダクトシン検出, *デュアルフィードバック

## 5.1 マルチデータ ディスプレー機能

NC 装置の機能向上に伴って, 最も注目されはじめたものの 1 つに, オペレータとのマンマシンインタフェースである設定表示機能がある。この機能は, 従来はユニバーサルディスプレイなどの切換式ワンアドレス表示方式のものが主流であったが, テープストア, 編集機能, 自己診断等の CNC 機能の付加に伴って, 従来方式ではこれらの CNC 機能を十分生かすことが困難なケースも生じていた。このため今回の改良では, この欠点を一掃に解決するため, 図 8. のようなマルチデータディスプレイの付加と, その表示内容の大幅レベルアップに重点を置いた。この表示機能のうち主なものを説明すると

### (1) 現在値, 指令値 (バッファ, アクティブデータ) の表示

表示内容は, 図 9. の例のように, ラベル番号, シーケンス番号, ブロック番号, 各軸の指令, 現在値, 補正番号, 補正量, 実行速度, 次実

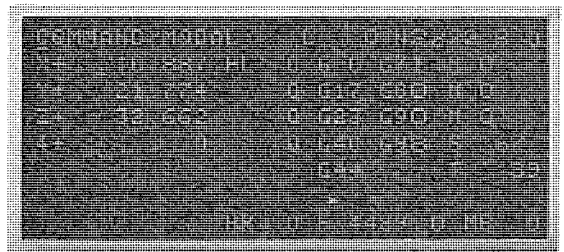


図 9. 指令値表示画面

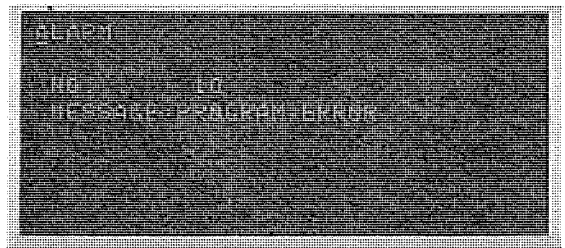


図 10. アラーム 内容表示画面



図 11. メイン EDIT 画面

行ブロック内容等を 1 画面で同時表示し, またバッファ, アクティブデータの同時表示等を別画面で表示することも可能としている。

### (2) アラーム 内容, 自己診断内容の表示

アラーム 内容, 自己診断内容の表示の場合, 図 10. の例のように, エラーメッセージを従来の “1”・“0” 表示から, 直接その内容を英字で示すようにしている。

### (3) 補正量の設定表示

この表示の場合, 1 度に 12 組の補正量を補正工具番号対応で表示でき, “NEXT” “BACK” キーにより順次画面をかえて全補正量を簡単にチェックすることが可能となっている。

### (4) EDIT (編集) 用画面

オペレータがテープ内容の編集を行う場合, 最も重要な点は編集を行うメモリにストアされた指令データの呼出し及びそのデータ及びそれに関連するデータの表示が簡単に, しかも間違いのない操作で行えることである。この機能に対し今回のレベルアップでは, メイン EDIT 画面, サブ LOAD 画面, メインメモリマップ画面, メインメモリ編集画面等の多種類の画面を簡単に選択表示することが可能となり, またカーソルガイドによるキー操作と合わせオペレータの負担を著しく軽減することを可能としている。図 11. はメイン EDIT 画面の 1 例を示したものである。

以上のほかに, MDI 設定表示, サーチ表示, パラメータ表示等も可能としており, 従来の NC 装置に比べ大幅な機能向上を図っている。

## 5.2 工具補正機能

工具補正機能は, NC 装置の機能として非常に重要なものの 1 つであるが, 最近この使用方法が工作機械の進歩, 特にマシニングセンタに

代表されるような工具自動交換，ワークのパレット自動交換機能の付加により，かなり複雑で，しかも高度な性能を要求されるようになっている。今回の《MELDAS》5000 C の改良では，新たにこのような傾向にマッチさせるよう，補正関係の機能として，

- (1) 補正組数を最大 106 組まで可能にした。
- (2) 最大補正量を  $\pm 9999.999$  mm まで可能にした。
- (3) 工具位置，長，径補正，いずれも可能である。
- (4) 工具長測定機能の付加が可能である。
- (5) 自動計測による寸法補正などのための外部工具位置補正インタフェースを追加可能とした。

とし全体的なレベルアップを行っている。上記中工具長測定機能とは，工具長補正量を，実際に機械を動かしながら補正量の測定を行うと同時にその値を設定できる簡単なプレイバック方式の補正機能で，マシンギンセンタなどには非常に有効な機能の 1 つである。

### 5.3 インダクトシン，デュアルフィードバック検出

従来は位置検出器としてレゾバのみしか使用できなかったが，レベルアップにより大形工作機械，高精度工作機械用として，インダクトシン，デュアルフィードバック検出方式，いずれも付加できるようにし，その適用範囲をひろげた。

デュアルフィードバック検出方式は，当社が既に開発，製品化しているレゾバとインダクトシンの両検出器を使用したサーボ方式で，剛性が低い機械でも安定でしかも高精度な性能を得ることができ，特に大形工作機械用に最適で数多くの実績を得ているものである。

## 6. DNC (群管理) システム

DNC (群管理) システムとは，複数台の NC 工作機械をコンピュータを使用することにより総合管理するシステムであるが，このシステムが一般的に発表された当初，かなりの脚光を浴び数多くのシステムが，試行採用された。しかし当初 NC に対する期待度が経済性の面に大きなウエイトがおかれていたこと，及び CNC の急激な普及などにより，DNC システムは期待されたほど伸びず，むしろ一時下火のままとになっていた。ところが，最近の自動化，省力化レベルの向上，加工プログラムの取扱いの改善（加工プログラムの蓄積量の膨大化に伴う），CAD/CAM の導入と将来動向などにより，DNC システムが再び脚光を浴びはじめている。

もちろん，この間に DNC システムの内容及び期待する役割などは，上述の流れに伴って変化してきており，より個性的でしかもシステム全体がより効率化してきている。

表 5. は，当社が昭和 53 年度に納入したシステムの構成，機能の例を示したもので，いずれもその中心部となる計算機としては，当社の《MELCOM》70 ミニコンピュータを使用，主メモリは，それぞれのシステムにより 16 KW～64 KW，結合している NC 台数は 5～7 台となっている。これらのシステムで，新しくとり入れた特長ある機能としては，

- (1) パネルディスプレイを介して機械オペレータと計算機との対話が可能（データの修正，追加等）—A 社向けシステム
- (2) DNC コンピュータと上位計算との階層制御—A 社向けシステム
- (3) バックグラウンドジョブと DNC 運転のパラランが可能—C 社向けシステム

のごとくでそれぞれに個性をもったシステムとなっている。また，既に当社の DNC システムとしては自動プログラミング機能を付加したシステムも納入（稼）動中であり，今後これらの各種の機能が更に効率

表 5. 最近の三菱 DNC システム 納入仕様例

仕 様 項 目		納 入 先	A 社 向 け	B 社 向 け	C 社 向 け
ハ 1 ド ス ウ テ エ 構 成	計 算 機 シ ス テ ム 構 成	中央処理装置 (CPU)	MELCOM 70/25	同 左	同 左
		主 メ モ リ	64 KW	16 KW	48 KW
		システムタイプライタ	—	1	—
		コンソールディスプレイ	1	—	1
		ハードコピー装置	1	—	1
		紙 テ ー プ リ ー ダ	1	1	1
		紙 テ ー プ パ ン チ	—	—	1
		カ ー ド リ ー ダ	—	—	1
		ラ イ ン プ リ ン タ	—	—	1
		X Y プ ロ ッ タ	—	—	1
		カートリッジディスク装置	1	2	1
		フレキシブルディスク装置	1	2	—
		パネルディスプレイ装置	7	—	—
		モ デ ム	1 対	—	—
		リモートマルチプレッサ	1	—	—
ソ フ ト ウ エ ア 機 能	そ の 他	DNC インタフェース	1	1	1
		結 合 NC 台 数	7	6	5
		設 定 表 示 盤	—	6	5
ソ フ ト ウ エ ア 機 能	機 能	DNC 連 絡 盤	7	—	—
		コンソール機能 (システムタイプライタ機能)	NC データの登録，編集，出力 上位計算機とのデータ伝送	NC データの登録，編集，出力 各種リストの印字 機は別稼働実績集計，印字	同 左
		パネルディスプレイ機能	シーケンスナンバサーチ，NC データ表示，モールド値表示，NC データコール，NC データ編集，製作情報表示	—	—
ソ フ ト ウ エ ア 機 能	機 能	設定表示盤機能	—	NC データコール，シーケンスナンバサーチ，稼働状況設定	NC データコール，稼働状況設定

的，有機的に結びついたシステムに進歩していくものと思われる。

## 7. む す び

以上，当社の最近開発製品化した《MELDAS》83，改良してレベルアップした《MELDAS》5000 C，及び新しい DNC システムの例について紹介したが，NC 装置の今後の進展は，半導体技術の進歩に大部分が依存しているといっても過言でなく，特に NC 装置の高性能化，小形化，低価格化実現のためにはマイクロプロセッサ，メモリ等の素子の進歩が最も大きな柱となるであろう。

また同時に小形化に伴って，工作機械本体，電気制御部，NC 装置を，全体としてよりシステム的にとらえ，最もコストパフォーマンスが高く，同時に保守性，操作性の面でも優れた機電一体化指化指向（従来言われている機電一体化より一段前進した機電一体形）の動きも，ますます盛んになり，今後の NC 装置にとって大きな課題の 1 つであると考えている。ユーザ各位，工作機械メーカー各位のご指導とご協力を得て，これらを実現したいと考えている。

# 数値制御装置《MELDAS》用パルス幅変調式トランジスタ増幅器

近藤 昭雄\*・吉田 敬三\*・風間 務\*

## 1. ま え が き

従来数値制御 (NC) 工作機械の送り モータの駆動には SCR 増幅器が用いられるのが一般的であった。ところが最近 NC 工作機械の要求精度、速度がますます高度なものとなるにつれて、従来の SCR 増幅器ではそのスイッチング周波数が比較的低い (3 相半波で 150~180 Hz) などの理由から、これらの要求に対応できないケースが出はじめています。

このような理由から、当社ではより高性能な駆動増幅器としてパルス幅変調方式によるトランジスタ増幅器のシリーズ化を進めてきたが、この度その中容量クラスを製品化 (形名 TRA 30) したので、以下にその原理、性能、特長について述べる。

## 2. パルス幅変調式トランジスタ増幅器の動作原理

### 2.1 システム構成

図 1. はトランジスタ増幅器 TRA 30 の概略ブロック図である。図で、3 相交流入力は絶縁トランス、整流器を介して全波整流され、p-n 間に直流電圧が発生する。また、Cs は電源の平滑と、モータからの回生エネルギーの蓄積の 2 つの作用をする大容量コンデンサ、Tr1~Tr4 は直流電源を ON・OFF してモータを制御する主トランジスタである。また、FD1~FD4 は片方のトランジスタが OFF してもモータの電流を連続的に流す、いわゆるフライホイール効果を生じさせるための経路と、モータの回転エネルギーを Cs に回生するための経路をつくるダイオードである。また B1~B4 はトランジスタのベース制御回路である。ここで主回路は制御系からホトカプラで絶縁されている。更に  $R_I$  は電流リミッタ及びモータの過負荷検出用サーマルリレーのための電流検出用抵抗、 $R_P$  は異常時のピーク電流検出用抵抗、 $R_D$  はモータのダイナミックブレーキ時の電流制限用抵抗、TRC はダイナミックブレーキ用のトライアックを示す。一方図中の制御回路には、速度ループ回路、パルス幅変調回路、電流リミッタ回路、及び各種の保護警報回路などが収められている。

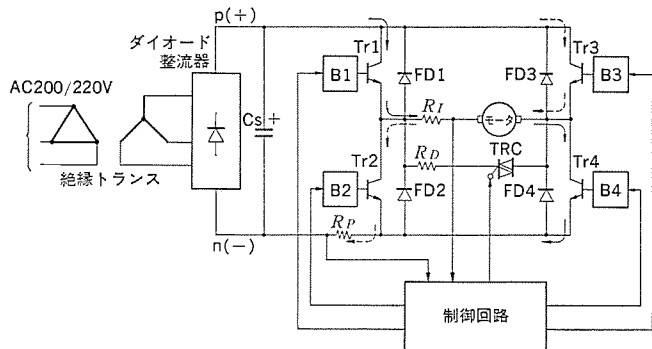
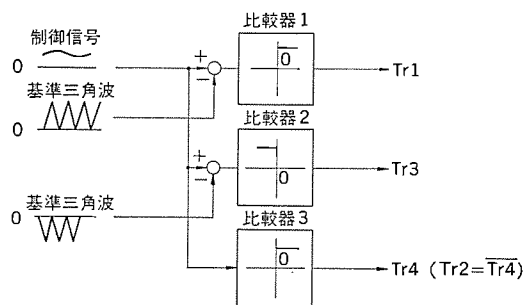


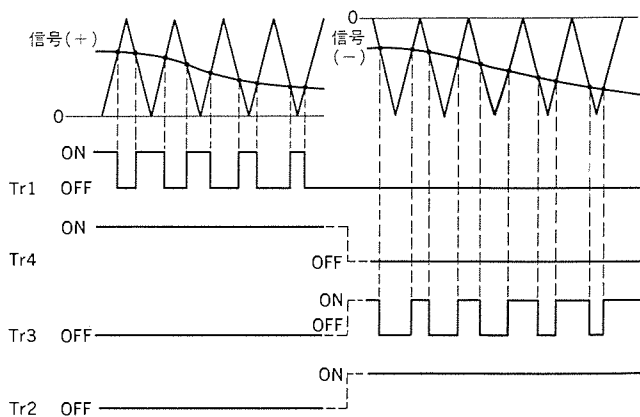
図 1. トランジスタ増幅器 TRA 30 のブロック図

### 2.2 パルス幅変調の動作原理

図 2. に今回採用したパルス幅変調の動作原理を示す。(a)はその回路、(b)はそのタイミング図である。図 2. (a) で、比較器 1 又は 2 はそれぞれモータの制御信号と基準三角波を比較し、両者の大小関係及び制御信号の極性に応じて主トランジスタ Tr1 又は Tr3 を ON・OFF する信号を発生する。この時の ON のパルス幅は制御信号の大きさに比例する (図 2. (b) の Tr1, Tr3)。また同時に比較器 3 は制御信号の極性だけを判別し、主トランジスタ Tr4 又は Tr2 を ON・OFF する信号を発生する (図 2. (b) の Tr4, Tr2)。各トランジスタはこのようにしてパルス幅変調された信号に従ってスイッチングするので、モータは制御信号に比例した速度で回転することになる。なおこの時 Tr4 又は Tr2 はパルス幅変調されず、制御信号の極性のみに従って単純な ON・OFF をするだけであるが、これは Tr1 又は Tr3 が OFF しても、前述したフライホイール効果によって電流が連続して流れるための経路をつくることにより、そのリップルを小さくするためである。なおこれだけでは完全な 4 象限動作が行われず、円滑な電流の制御ができないので実際には更に複雑な制御を行っている。



(a) パルス幅変調回路



(b) タイミング図

図 2. パルス幅変調の原理



### 3. 仕様, 構造

表 1. に今回開発したトランジスタ増幅器 TRA 30 の仕様, 図 3. にその外観を示す。主な仕様項目については 4 章でその特長と合わせて説明する。

#### 3.1 構造

トランジスタ増幅器は SCR 増幅器と比較して構成が複雑となるので小形化がむずかしいが, TRA 30 ではコンタクタ, サーマルリレー, ヒューズ等を別の電気回路で置き換えたことによって, 大部分の構成部品をプリント基板に載せる事ができたこと, その結果, 配線がほとんど不要

表 1. トランジスタ増幅器 TRA 30 の仕様

項 目	仕 様
交 流 入 力 電 源	3 相 200/220 V $\pm 10\%$ 50/60 Hz (絶縁トランス付き)
直 流 電 圧	3 相全波整流 150 V~200 V
直 流 出 力 電 圧	最大 200 V
直 流 出 力 電 流	連続使用範囲 0~30 A, 時間定格使用範囲 30~45 A
主 回 路	ブリッジ式可逆回路
方 式	パルス幅変調方式 (4 象限制御)
使用 ト ラ ン ジ ス タ	$V_{CEO(SUS)}$ 450 V, $I_c$ 50 A
ス イ ッ チ ン グ 周 波 数	3 kHz
(モータ)トルクリミッタ	有り (電圧制御によるトルクリミッタが可能)
電 流 制 限	リップル制御方式
制 動	回生制動方式
応 答 性 能	速度ループ帯域 DC~500 Hz
冷 却	ファンによる強制空冷方式
保 護・警 報 回 路	異常電流検出
	ピーク 50 A (抵抗検出) で動作
	増幅器過負荷検出
	サーモスタットによるフィン温度検出 (80°C) 方式
モータ過負荷検出	電気式サーマルリレー方式
	非常停止
	トライアックによるダイナミックブレーキ制動方式
外 形 寸 法	120(W)×160(H)×480(D)
周 囲 温 度	0~55°C

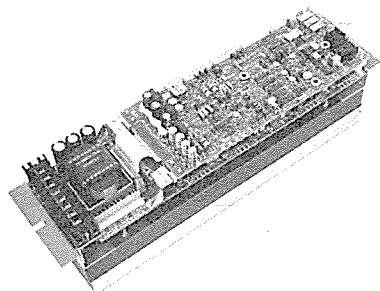


図 3. トランジスタ増幅器 TRA 30 の外観

となって構成が単純になったことなどから, 全体の大きさを従来の 3 相半波 SCR 増幅器のそれ以下とすることができた。また特に保守性をよくするために全体を 2 枚のプリント基板と放熱フィン の 3 つのブロックに分割し, 各ブロック間をワンタッチで着脱できるような構造とするとともに上部プリント基板をちょうつがいで開閉可能とした。その結果すべての部品の点検を容易に行うことができる。

また, NC が設置される場所はオイルミスト, 切粉, じんあい (塵埃) 等によりふんい気が非常に悪いので, コネクタの接触不良, 電気回路の絶縁不良などの事故が起こりやすい。そこで, 発熱部である放熱フィンを箱の外部に出して冷却することによって箱内の温度上昇を抑えると同時に, 制御部だけを完全密閉した防塵構造の箱に収めて装置を塵埃から保護することが可能のように構造上の工夫もしている。

#### 3.2 絶縁対策

直流モータではブラシの摩耗粉により電機子回路とフレーム間の絶縁劣化を起こす場合があり, これが漏電事故を起こす原因となる。このような理由から絶縁トランスを主回路にそう (挿) 入することにより, モータ電機子回路を交流側から完全に絶縁し, また通常制御系とモータフレームは同一点にアースされるので, 制御系と主回路間をホトカプで絶縁することによって制御系からも絶縁する方式を採用し, 安全対策にも万全をはかっている。

### 4. 性能及び特長

TRA 30 はスイッチング周波数を 3 kHz と高くしているため, 商用周波数をスイッチングする SCR 増幅器と比較して特にきわ立った特長がある。以下にその主なものを紹介する。

#### 4.1 電流波形

TRA 30 の最も大きな特長はその電流波形にあると言える。

図 4. は, TRA 30 の電流が流れる仕組みを示したもので, (a) はその電流波形, (b) 及び (c) はその経路である。図中, 区間  $T_1$  ではトランジスタ  $Tr_1, Tr_4$  が ON して電流は図 4. (b) の経路で電源側から供給されて増加し, 区間  $T_2$  では  $Tr_1$  が OFF して図 4. (c) のループ内で循環しながら減衰する。以後は同様な過程を交互に繰り返す。この間電流はモータの巻線のリアクタンスのために連続した波形となる。なお区間  $T_1, T_2$  の電流の増加, 減衰の速さはモータの電気的及び機械的時定数などで決定されるが, これらはいずれも数 ms から 10 数 ms であって, トランジスタのスイッチング周期 330  $\mu$ s と比較して十分に大きいため, 電流のリップルは非常に小さくなる。

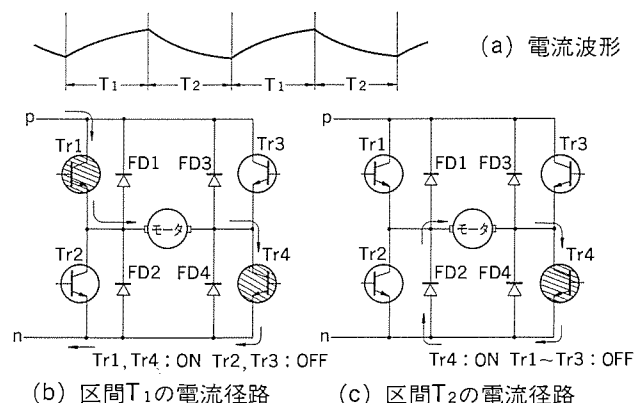


図 4. TRA 30 の電流の流れる仕組み

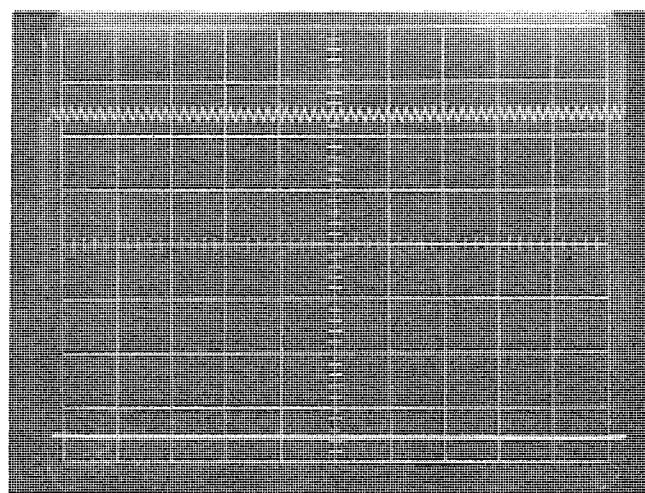
図 5., 図 6. は, TRA 30 と SCR 増幅器のそれぞれの実際の電流波形を, 同一時間スケール, 同一直流電流値で対比させて示したものである。図から明らかなように, TRA 30 の電流波形はリップルが非常に小さく (リップル率 5 % 以下), またリップル周波数も 3 kHz と高い。このように TRA 30 ではリップルが小さく, またその周波数も機械共振周波数に比べて十分に大きいため, 機械系に対する影響を軽減でき, 高精度, 高性能化に非常に有利となっている。

またこの電流の波形はモータの効率にも大きく影響する。一般にある波形に対して

$$k = \frac{I_{rms}}{I_{DC}} \quad (k \geq 1)$$

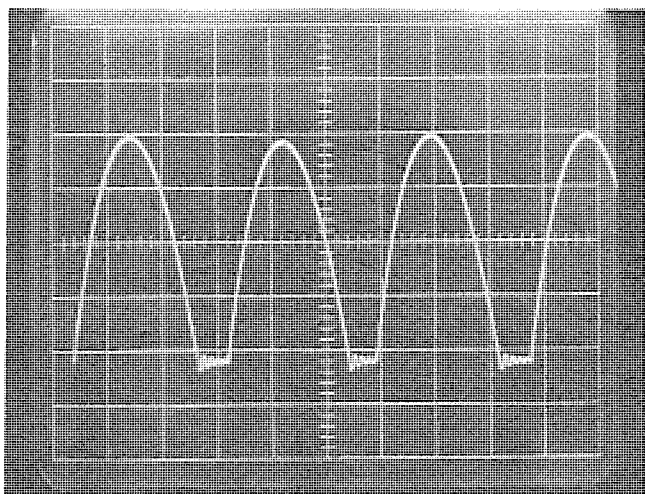
$I_{rms}$ : 波形の実効値  
 $I_{DC}$ : 波形の平均値

を波形率と称し,  $k$  が 1 に近いほどその波形が純直流に近いことを表す。モータにある波形の電流が流れた場合に, モータが発生する平



横軸 2 ms/div  
縦軸 5 A/div  
 $I_{DC} = 30$  A

図 5. TRA 30 の電流波形



横軸 2 ms/div  
縦軸 15 A/div  
通電角  $60^\circ$   
 $I_{DC} = 30$  A  
 $I_{peak} = 60$  A

図 6. SCR 増幅器 (3 相半波) の電流波形

均トルクは  $I_{DC}$  に, 発熱量は  $I_{rms}^2$  にそれぞれ比例するため, 純直流の場合に対して同一のトルクを発生する場合の発熱量は  $k^2$  倍大きくなる。一方, 図 5. から, トランジスタ増幅器の電流波形はほぼ純直流に近く,  $k \approx 1$  と見なせるのに対し, SCR 増幅器では半波, 全波, 相数, 通電角などによって変化するが, 通常  $k \approx 1.1 \sim 2.0$  程度である。このことから, TRA 30 の性能が極めて優れていることが明らかである。

#### 4.2 電流リミッタ

トランジスタは直流を容易に ON・OFF することができるため, 完全な電流制限を行うことが可能である。逆に過電流容量が小さいトランジスタには電流制限は必要不可欠な機能と言えよう。これに対して, SCR はいわゆる自己消弧能力が無いために完全な電流制限がむずかしく, その大きな過負荷耐量と主回路インピーダンスによる電流制限でこれをカバーしている。

図 7. は TRA 30 のリップル制御方式による電流リミッタの原理を示したもので, (a) はその制御回路, (b) はその電流波形, (c) 及び (d) はその電流経路である。

この方式では, モータ電流は電流制限値  $I$  より小さい間は通常モードで制御されるが, 電流制限値を越え上限値まで達した場合は全トランジスタを OFF させることによって (図 7. (d)), モータ電流はダイオード FD 2, FD 3 を通って電源の平滑コンデンサ  $C_s$  に回生されて減衰する (図 7. (b) の区間  $T_3$ , (d))。この時, モータ電流が下限値に達してもなおかつ制御信号がこれを増加させるような条件となっていれば, Tr 1, Tr 4 が ON するので電流は再び増加する (図 7. (b) の区間  $T_1$ , (c))。以後は上限値, 下限値の幅  $\Delta I$  の間を上記 2 つのモードを発振状に繰り返しながら流れるのみで, その増加指令にもかかわらず電流は上限値で完全に制限される。この時の電流リップルは図 7. (a) に示すヒステリシス特性で決定され, そのリップル周波数は  $\Delta I$ , モータの電氣的及び機械的時定数, モータ速度, コンデンサ  $C_s$ , 直流電圧などの複雑な要素で決定される。なおこのリップルを必要以上に小さくするとその周波数が高くなりすぎてトランジスタの使用限界を越えるので注意が必要である。

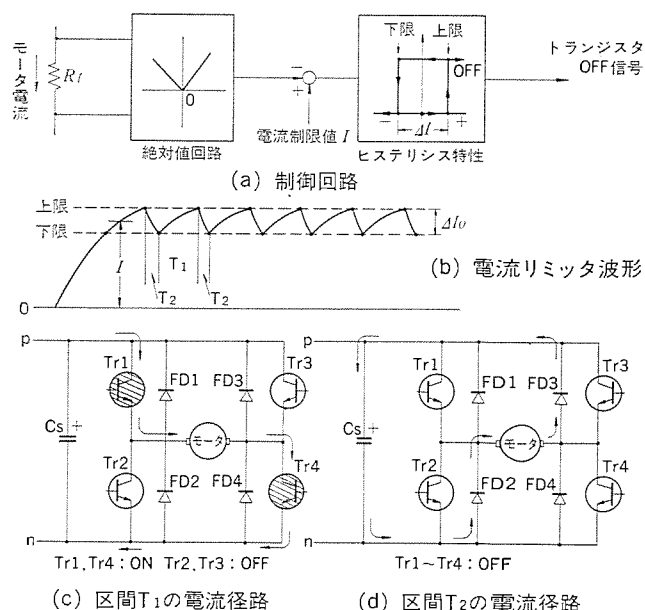


図 7. TRA 30 のリップル制御方式の原理

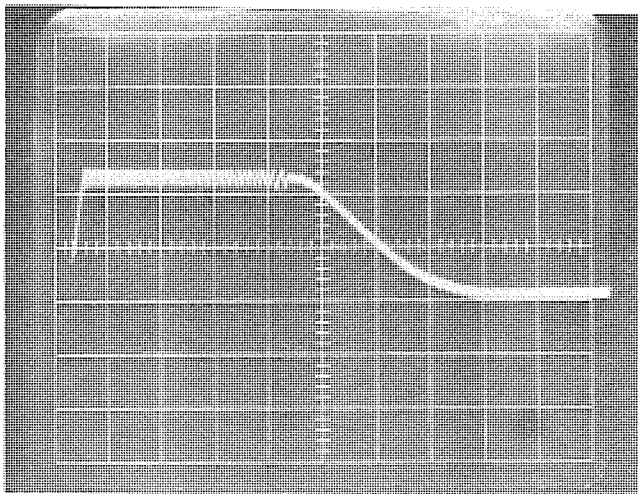


図 8. TRA 30 の電流リミッタ波形

図 8. は、TRA 30 の速度ループステップ指令に対する、モータ加速時の実際の電流波形である。図でモータ加速電流がその上限値で完全に制限されているのが分かる。なお電流リミッタ動作時のリップルは 10 % で通常モードと比較して約 2 倍と大きいのは、上述した理由からリップルの周波数の上限を 5 kHz に抑えたためと、電流の減衰するモードが異なるためである。また周波数が徐々に低くなっているのは、モータの加速につれてその逆起電圧が増加し、トランジスタ ON 時の電流増加が遅くなるためである。

このリップル制御による電流制限方式は通常のリニア形電流ループによる方式と比較して

- (1) ON・OFF 制御であるため、安定性の問題がなく、また速度ループ特性にも影響を与えない。
  - (2) 電流検出信号の処理が ON・OFF で済むため、その制御回路が簡単に上に主回路、制御系の絶縁が容易であり、高価なリニア形絶縁アンプ、あるいは特別な絶縁形電流検出器が不要である。
  - (3) 電流制限値を外から制御できるため、電圧制御、あるいはプログラム制御によるトルクリミッタが可能である。
- など性能、コスト、応用面に大きな利点がある。

#### 4.3 応答性

SCR 増幅器と比較して特に応答性が優れていることもこの増幅器の大きな特長で、性能、精度と高度化に対処するための重要な要素の 1 つと言えよう。

応答性の良さは通常速度ループの帯域  $\omega_c$  で表されるが(加減速の時定数  $\approx 1/\omega_c$ )、その大きさを両者で比較してみると、SCR 増幅器ではたかだか  $\omega_c \approx 100 \sim 200$  (rad/s) であるのに対し、TRA 30 では通常  $\omega_c \approx 500 \sim 1,000$ 、特に低リップルで高剛性のカップリング機構を使ったタコゼネレータを使用すれば  $\omega_c \approx 3,000$  も実現可能である。このように大きな差が生ずる理由は、

- (1) そのスイッチング周波数が高い。
  - (2) 電流波形が連続であって円滑な電流制御ができる。
  - (3) オープンループの応答性が低速から高速までほぼ均一であるため、全速度範囲にわたって安定した制御ができる。
- ことなどによる。

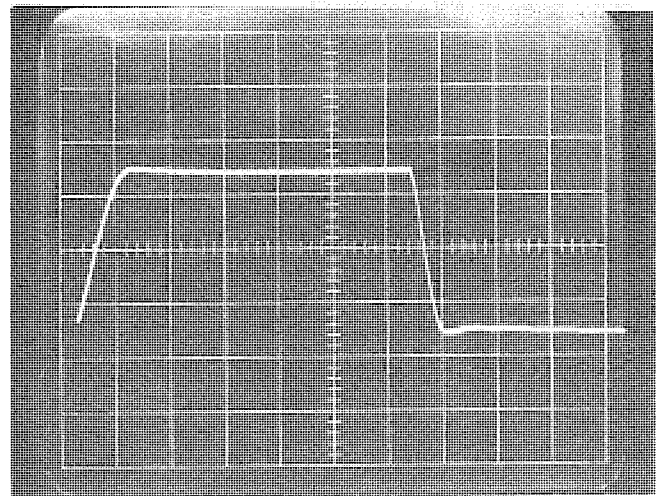


図 9. TRA 30 の速度ループステップ指令に対するモータ応答波形

図 9. は TRA 30 の速度ループステップ指令に対するモータの応答波形を示す。図では電流が飽和しないように低速で測定しているが  $\omega_c = 500$  rad/s が得られている。一方、この応答性の良さは加工物の切削面精度の向上にもつながる。一般にサーボ系に加わる外乱トルクと、これによって生じた位置ループ誤差の比をサーボ剛性と称し、外乱トルクに対するサーボの復元力の強さを表すが、これが大きいほどいわゆる“剛性の高いサーボ”と言うことができる。したがって、サーボ剛性が大きいほど外乱トルクに“強く”，切削面精度は良くなるということが言える。仮にこの切削外乱トルク  $T_L$  を

$$T_L = T_0 + \Delta T \sin \omega t \quad T_0: \text{切削トルク} \\ \Delta T: \text{切削トルクの脈動分}$$

とすると、上式の脈動分によって生ずる動的なサーボ誤差  $\Delta \theta$  は(一定の切削トルク  $T_0$  に対しては誤差が生じない)、通常の切削外乱トルクの周波数領域  $\omega < \omega_c$  なる範囲では概略

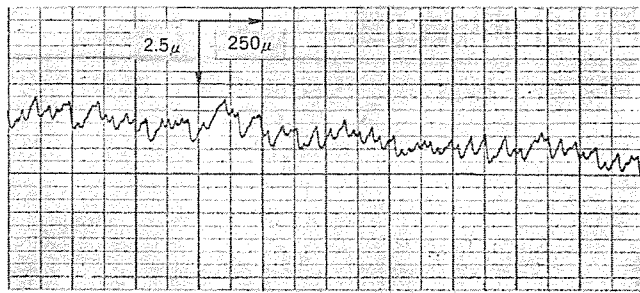
$$\Delta \theta \approx \Delta T \cdot \frac{T_m}{J} \cdot \frac{\omega}{\omega_p \times \omega_c} \cdot \sin(\omega t + \phi)$$

$J$ : 全イナーシャ、 $T_m$ : モータ機械的時定数、 $\omega_p$ : 位置ループ帯域と計算でき、したがってサーボ剛性  $\Delta T/\Delta \theta$  は上式から速度ループ帯域  $\omega_c$  に比例すると言うことができる。図 10. (a), (b) は TRA 30 での実機による切削データで、速度ループ帯域を 2 倍変化させた場合の比較を示す。

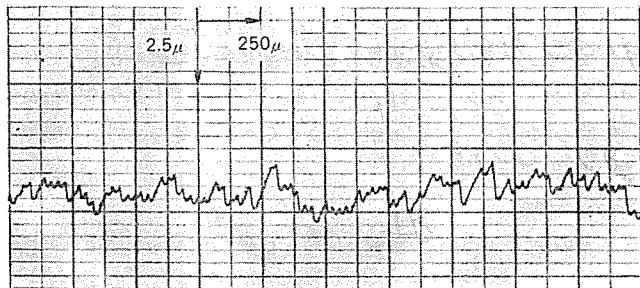
以上トランジスタ増幅器 TRA 30 の主な特長を述べたが、このほかに TRA 30 の保護機能として特長あるものを紹介しよう。

#### 4.4 非常停止

非常停止は通常コンタクトでモータ回路を短絡するダイナミックブレーキによるが、この方法では、コンタクトの動作遅れ時間によって惰走距離が長くなる欠点があった。これに対して TRA 30 では動作遅れが無いトライアックに置き換え、モータの減速能力を最大限有効に使うことによってこの欠点を解消し、合わせて無接点化による信頼性の向上、小形化も図ることができた。ちなみにその惰走距離を比較してみると、機械速度 10 m/min、モータ減速時定数 30 ms、コンタクト動作遅れ時間 100 ms とするとコンタクト方式では約 20 mm であるの対



主 軸 3,500 rpm  
送 り 100 mm/min  
テ ー パ 6°  
ワーク材値 アルミ  
機 械 旋 盤  
(a)  $\omega_c = 300 \text{ rad/s}$



主 軸 3,500 rpm  
送 り 100 mm/min  
テ ー パ 6°  
ワーク材値 アルミ  
機 械 旋 盤  
(b)  $\omega_c = 150 \text{ rad/s}$

図 10. TRA 30 の切削 データ の比較

し、トライアック方式ではわずか 5 mm と大幅に減少している。

#### 4.5 モータ過負荷検出

モータの過負荷検出には通常熱動式のサーマルリレーが使われるが、形状が大きく、特に熱時定数の大きい直流モータの過負荷特性に合ったものが無いなどの理由から今回電気式によるサーマルリレーを開発した。その原理は、モータの熱系を等価電気回路で模擬することによってモータ内部の温度上昇を間接的に検出するものである。この方式は、

- (1) モータの電流検出要素を電流リミッタ機能と共用できるため、電気回路だけのわずかな取付スペースで済む。
- (2) 定格電流値を 3 A から 40 A まで広範囲に設定できるので、

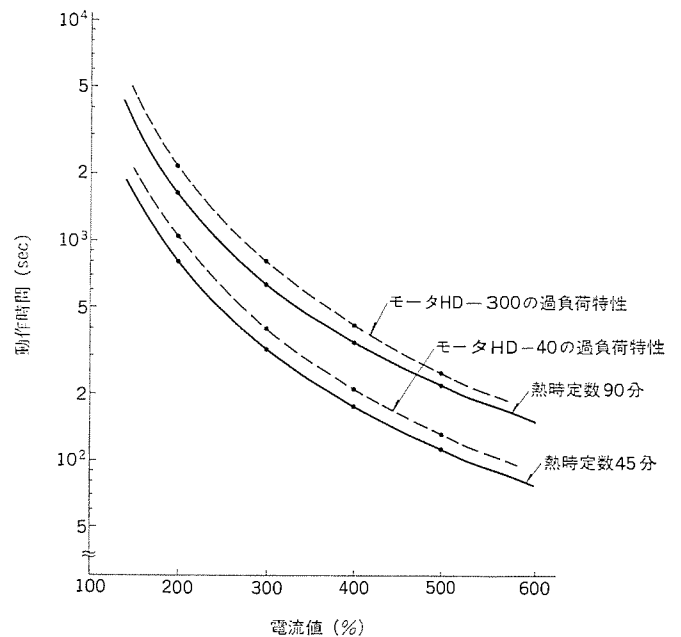


図 11. 電気式 サーマルリレー の過負荷検出特性

容量が異なるモータをすべてカバーできる。

(3) 熱時定数を 1 分から 120 分まで任意に設定できるため、各種のモータに合った最適な熱時定数を選択することができ、したがってモータの過負荷能力を最大限有効に引き出すことができる。などの優れた特長を持っている。

図 11. は、この電気式サーマルリレーの過負荷検出特性と 2 種類のモータの過負荷特性を比較して示したもので、熱時定数が異なるおのこのモータに対しても両者の特性がよく一致していることが分かる。

## 5. む す び

以上高速高精度化する NC 工作機械に対応するために、出力 2 kW 程度のサーボモータに使用できる高性能トランジスタ増幅器 TRA 30 の特性及びその特長の概要について述べた。

NC 工作機は特に速い加速及び減速時間を必要とするので、サーボモータは定格の 3～5 倍の加速及び減速トルクを必要とするため、比較的容量の大きな 3 kW 以上のサーボモータに適用できるトランジスタ増幅器の開発は大容量トランジスタ素子の関係で難しい問題を含んでいるが、今後とも一層の研究開発を進め、高度化するユーザ各位の要求、期待に十分添えるよう努力していく所存である。

(昭和 54-6-5 受付)

# W5形ワイヤカット放電加工機用制御装置

坂口 恒夫\*・松本 源二\*・飯田 秀正\*・田中 均\*

## 1. ま え が き

近年のワイヤカット放電加工技術と制御技術の進歩に伴ったワイヤカット放電加工機の急速な普及は目を見はるものがある。試用段階より普及段階に入ったワイヤカット放電加工機は、金型加工における重要な位置を占めるに至った。従来の放電加工に比し電極を作る必要がないことから複雑形状の加工が容易になったこと、加工テープによる制御装置運転と加工液として水を使うことにより無人加工が可能になったため、1か月400～600時間のか(稼)動が普通になり、金型製造設備の固定費減少とともに金型製作納期を1/2～1/4に短縮しうるなど金型製作に画期的技術進歩をもたらした。本文では、ワイヤカット放電加工機用制御装置として工作機械用数値制御装置の長所をとり入れ、これまでの機能に加えて新制御機能を大幅に付加し、操作性の向上、プログラム機能の拡大、精度向上を図るとともに信頼性の向上、保守性の向上を図りユーザの要求にマッチさせた新しい制御装置を開発したのでこれを紹介する。

## 2. システム構成

### 2.1 システム構成

ワイヤカット放電加工機のシステムは図1.に示すように、①機械本体、②加工電源、③制御装置、④テープ作成装置、から構成しており、その1例を図2.に示す。システムの組合せ構成は表1.に示すように、機械本体の2種、自動プログラム(MEDIAPT)の有無によって、4種類のシステム構成が可能である(表1.)。

### 2.2 制御装置(W5形)のハードウェア構成

W5形のハードウェア構成を図3.に示すが、制御装置は制御部と駆動部

動部とに分けている。制御部はカードを含む論理部モジュールを中心に各種ボード、テープリータ、入出インタフェースリレー盤、電源及びメモリバックアップ用バッテリーで構成している。駆動部はトランス、ブレーカのほかにXY軸駆動AMP及びテーパカットモジュールにより構成する。

### 2.3 制御装置(W5形)のソフトウェア構成

W5形の制御用プログラムは、ミニコン《MELCOM》70と共通の命令セット及びいくつかのCNC用特殊命令を用いている。制御プログラムは図4.に示すように構成しており、実行優先順位をつけられた各プログラムタスクがモニタの管理のもとで必要に従って次々と実行されていくタスクスイッチング方式を用いている。図4.に示すように実行優先順位はレベル番号の大きい順位となっている。各プログラムの簡単な説明を以下に行う。

#### ■モニタプログラム

W5形のモニタはマシンの制御と同時に自動プログラムミング(MEDIAPT)のオンライン処理を行うため高度の機能が必要であり、リアルタイムモニタ方式を採用している。同時にマシンコントロール用インタフェースなどの特殊なものを除き、テープリータ、システムタイプライタ等の入出力はマクロ命令を使用し、モニタのI/Oハンドラを通じて行うようにしている。このためプログラムタスク内で複雑な入出力機器の制御を行わないで済む

表 1. 総合名称と テープ作成装置名称

総合名称	2
DWC 80 - CNC	
機械本体	電源盤
80形	EP10HA
100形	CNC
	自動プログラム有無
	1: MEDIAPT無
	2: MEDIAPT有
テープ作成装置名称	
MEDIAPT70-1…オンライン(CNC2のミニコンと接続)	
MEDIAPT70-2…オフライン(ミニコン内蔵)	
MEDIAPT70-3…オフライン(ミニコン内蔵、FLD付)	

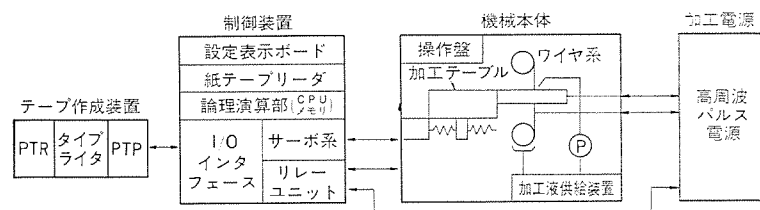


図 1. ワイヤカット放電加工機 システム

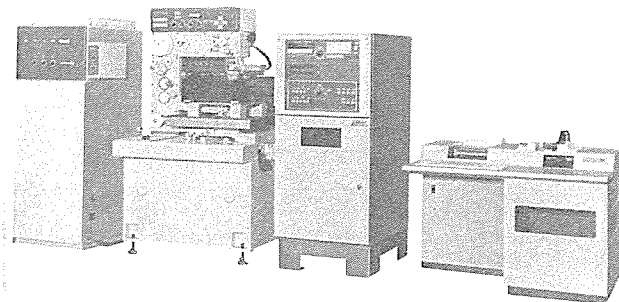


図 2. システム 構成例

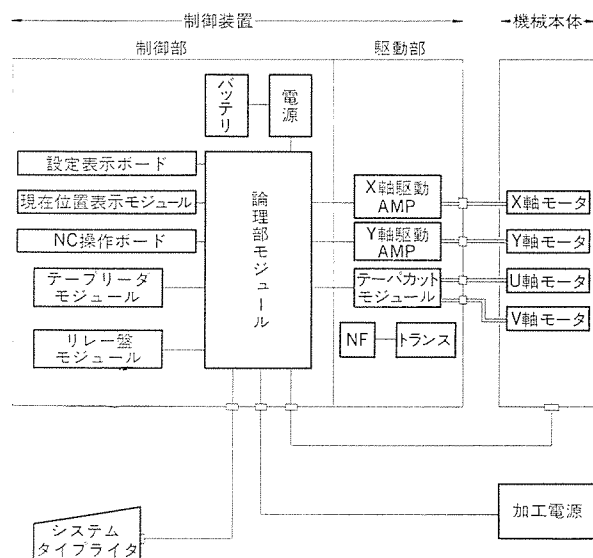


図 3. 制御装置のハードウェア 構成



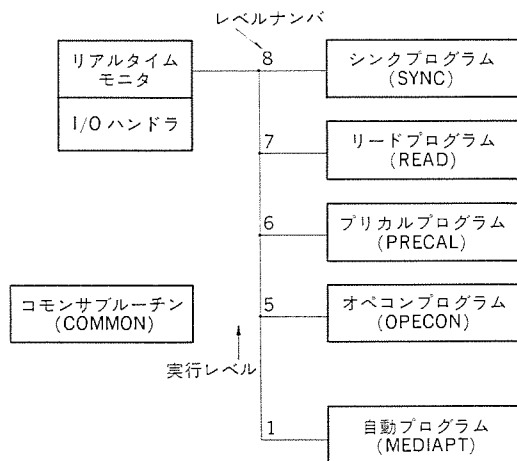


図 4. 制御プログラム構成

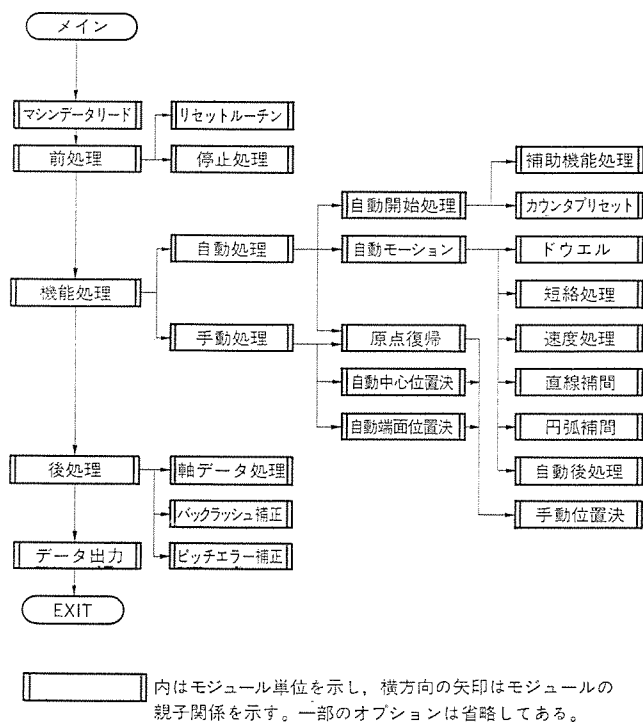


図 5. シンクプログラムの内部構成

ようになっている。

#### ■シンクプログラム

シンクプログラムは最も高い優先レベルを持つプログラムであり、タイマにより一定周期ごとに実行される。シンクプログラムは機械とインタフェースするプログラムであり、毎回機械側のスイッチや押しボタンなどの状態を読みとり、それに応じて機械側へ移動データや制御信号を送出する。機械の移動、停止などの動作は直接にこのプログラムが制御している。図 5. にこのプログラムの内部モジュール構成を見ることができ、プログラムのモジュール化により機能の分離を明確化しているのが分かる。

#### ■プリカルプログラム

プリカルプログラムは自動運転の際、指令テープあるいはあらかじめ加工指令がローディングされているメモリ領域より指令を受け取り、必要な前計算を行い、一定のフォーマットに変換してバッファを介してシンクプログラムに渡すためのプログラムで、指令 1 ブロックごとに 1 回実行する。加工指令の変換は数段階に分けて行いが、処理内容を分かりやすく

するため、前段部分、すなわち加工テープあるいはメモリより加工指令を読む部分をリードプログラムとして別のタスクにしている。

#### ■リードプログラム

リードプログラムはテープ又はメモリより加工指令を読み取り一定のフォーマットに変換してプリカルプログラムに渡すプログラムである。またメモリスイクル機能はこのプログラムで処理している。

#### ■オペコンプログラム

オペコンプログラムは NC の設定表示機能を処理するプログラムであり、シンクプログラムの終了後毎回起動され上位のタスクの空き時間に実行される。

#### ■MEDIAPT

自動プログラミング用プログラム MEDIAPT は NC 制御プログラムとは独立に最下位レベルで上位タスクの空き時間にバックグラウンドジョブとして実行される。

### 3. 仕様

W5 形はワイヤカット放電加工機の 1 コンポーネントとして構成するが、

表 2. 機械本体

形名	DWC 80	DWC 100
工作物寸法 (幅×奥行×高さ) (参考) (mm)	350×350×100	600×500×100
工作物最大重量 (kg)	100	300
テーブル面寸法 (幅×奥行) (mm)	420×420	680×650
テーブル移動距離 (左右×奥行き) (mm)	250×250	300×350
テーブル早送り速度 (mm/min)	200	250
使用ワイヤ径 φ (mm)	0.05~0.25	
ワイヤ張力 (g)	50~1,200	
ワイヤ最大送り速度 (mm/s)	45	
機械本体外形寸法 (幅×奥行×高さ) (mm)	950×575×1,603	1,400×1,030×1,750
機械本体重量 (kg)	約 800	約 2,400
加工液タンク容量 (l)	170	
加工液ろ過方式	カートリッジ式紙フィルタ	
ろ過精度 (μm)	3	
比抵抗自動制御	(2~20)×10 <sup>4</sup> Ωcm±5%	
純水器	イオン交換樹脂 [5L]	
外形寸法 (幅×奥行×高さ) (mm)	1,067×600×1,070	
重量 (kg)	160 (乾燥重量)	

表 3. 加工電源

形名	EP 10 HA
電源入力	AC 3 相 3.5 kVA 50/60 Hz 200/220 V・±10% AVR 内蔵
電源回路方式	トランジスタパルス回路
最大加工電流	10 A
加工条件切換	加工電圧切換 加工セッティング パルス幅 休止幅 コンデンサ (機械本体組込)
外形寸法 (幅×奥行×高さ)	600×702×1,632 mm
重量	280 kg

ここではシステムにおける各コンポーネントの仕様を説明する。

3.1 機械本体

高剛性かつ中心荷重方式の箱形構造、発熱の少ない DC サーボモータ、独特のテンション機構、加工液ノズル機構、クローズドループ制御等の採用

表 4. 制御装置仕様 ※印はオプション

入 力 方 式	紙テープ入力、テープコード ISO/EIA 切換可能
設 定 単 位	入出力共 0.001 mm
最 大 指 令 値	XY 軸 ±7,999.999 mm
補 間 機 能	直線、円弧
位 置 指 令 方 式	アブソリュート、インクリメンタル併用
ス ケ ー ル 倍 率	0.001~99.999
ワイヤオフセット	0~9.999 mm (0.001 mm 単位)
手 動 送 り	高速、中速、インテング (0.001 mm 0.005 mm) (スイッチ切換)
制 御 軸 数	2 軸 (X, Y) 同時、テーパー加工装置付のとき 4 軸 (X, Y, U, V) 同時
シ ー ケ ン ス 番 号	999
ミ ラ ー イ メ ー ジ	X 軸, Y 軸, 単独, 同時
最 適 送 り 制 御	極限状態により最適送り速度を自動選定
逆 軌 跡 追 従	短絡発生時に軌跡を逆にもどる
図 形 チ ェ ッ ク	ペン装着により図形を高速で作図
手 動 速 度 調 込	手動データ入力による調込により速度 F の変更可能
停 電 復 帰	加工中の停電時テープをもとの位置にサーチし再加工可能
手動データ入力 (MDI)	移動指令値、ワイヤオフセット値、スケール倍率、テープ送り速度等
表 示 機 能	現在位置、ワイヤオフセット値、指令値、モーター、手動データ入力表示等
ラ ン プ 表 示	プログラムエラー、プログラムストップ、プログラムエンド、サーボエラー等
各 種 制 御 機 能 (標準)	マシンロック、ブロックデリート、リファレンスブロック、シングルブロック、フィードホールド、ストロークエンド、CPU ダウン処理、ワイヤ断処理、送り 1 秒停止、30 秒短絡、円弧指令チェック
自 己 診 断 機 能	アラーム内容をコード番号で表示
インタフェースチェック	各信号の状態をコード番号で表示
テ ー プ リ ー ダ	200 文字/秒、テープ巻取装置*
システムタイプライタ*	MEDIAPT 70-1
各 種 制 御 機 能* (オプション)	テーパー加工装置、自動原点復帰、自動位置決め機能、軸交換、加工条件自動切換、メモリ運転、メモリサイクル、図形回転、テープ編集、手動ハンドル
外 形 寸 法	650×750×1,500 mm
重 量	350 kg

による高精度機械である (表 2.)。

3.2 加工電源

微細な加工条件の設定、定電圧装置の内蔵、加工条件自動切換機能 (オプション) 等による高能率高精度加工、更に SU 装置 (オプション) 取付けによる加工精度が飛躍的に向上している (表 3.)。

3.3 制御装置

W5 形は従来装置「MCPU」と CPU 体系を同一としているため多面で互換性を持ち、更に新たな機能を付加し集大成させたものである。詳細については 4 章で述べる (表 4.)。

3.4 自動テープ作成装置 (MEDIAPT)

日常語を用いたただでも使える覚えやすい対話方式で、複雑形状でも手計算不要であり、インホリユートテープ作成プログラム、他社工作機械用 APT 等付加できるものである。使いやすく拡張性のある自動プログラミングシステムである (表 5.)。

4. W5 形の特長

W5 形の特長は次のとおり。

(1) 操作性向上

自動原点復帰機能、自動位置決め機能、ワンタッチ式停電復帰機能の追加、長時間メモリバックアップの実現。

(2) 機能の拡大

微細設定可能なスケール倍率、インチメトリック切換機能、メモリ運転、テープ編集、周長計算、コンピュータリンク機能の追加。

(3) 信頼性の向上

部品点数の削減、ハードウェア・ソフトウェアのモジュール化、フェイルセーフ思想の徹底、モジュール自動試験、信頼性試験の充実。

(4) 保守性の向上

ハードウェアモジュールの小形・軽量化の徹底、自己診断機能の充実。ソフトウェアのモジュール化については 2.3 節で述べ、(1)(2)については次章で詳述するのでここでは(3)(4)について主に説明する。

4.1 信頼性の向上

W5 形は、ワイヤカット専用制御装置として、高い信頼度をもつよう設計、試験を行っている。MTBF 向上のため部品点数、カード枚数の縮小を図るとともにモジュール構造化、フェイルセーフ設計思想を徹底

表 5. テープ作成装置《MEDIAPT》

ソフトウェア					
入	力	経 路 定 義	・ 点への移動 ・ 直線に沿っての移動 ・ 円に沿っての移動 ・ コーナ円弧 ・ 同一パターンの繰り返し ・ 円弧上の同一パターンの繰り返し ・ 図形の回転 ・ 周長の計算 ・ 各種機械制御命令語		
出	力				
最 小 コ ー ナ					
図 形 定 義	・ 点 = P           7 種類 ・ 直線 = L       7 種類 ・ 円 = C           8 種類				
ハードウェア					
印 字 方 式	ボールペン印字方式	複 写 枚 数	3 枚	入 力 電 圧	単相 AC 100 V±10 %
印 字 速 度	平均 10 字／秒	入 出 力 カ ー ド	ISO	周 波 数 変 動	50/60 Hz±1 Hz
印 字 数	75 文字／行	使 用 シ ー ト	スプロケット付ロール紙	周 囲 温 度	5°C～35°C ※ 4
印 字 間 隔	2.5 mm	使 用 テ ー プ	8 単位紙テープ	周 囲 湿 度	40 %～80 %
印 字 行 間 隔	4.2 mm	読 取 速 度	最高 50 字／秒	制 御 軸 数	同時 2 軸 (X, Y)
文 字 大 き さ	2×3 mm	さ ん 孔 速 度	最高 20 字／秒	作 図 機 能	XY プロッタ兼用
外 形 寸 法 (幅×奥行×高さ)	1,165×695×855 mm	重 量	※1 130 kg    ※2 180 kg    ※3 210 kg	作 図 範 囲	190 mm

※1 MEDIAPT 70-1    ※2 MEDIAPT 70-2    ※3 MEDIAPT 70-3    ※4 MEDIAPT 70-3 は 15°C~35°C

した。カード関係では標準仕様として、CPU カード、メモリカード、最適送り用カード、リード制御用カード、サーボリアンプ用カード(2軸)、入出力インタフェースカード等、数枚のカードで構成する。また駆動増幅器、バッテリーチャージャ等、カードモジュールとして実装し交換が容易にできる。また電源、電池、ボード類も小形軽量化したものを採用した。これらの各モジュールは可能な限りの単体モジュール機能テスト及び信頼度テストを実行しており、システム全体の信頼度を向上させている。バックパネルの自動配線チェック、ボードの自動チェック等、モジュールの自動検査ラインを通して各モジュールは検査後に制御装置として組立てる。制御装置は更にノイズ・温度・電圧試験等きびしく対環境信頼度テストを行い、システム全体の信頼度を向上させている。また信頼性向上の方法として各種フェイルセーフ機能を設け、万一誤動作又は異常現象が発生した場合は加工電源断、ワイヤ送り停止、加工液停止が即座に行われ製品のミス加工を行わないようにしている。送り1秒停止、30秒短絡、ワイヤ断検出、CPUダウン検知、ストロークエンド処理等を代表的なフェイルセーフ機能として備えている。また防じん(塵)及び放熱などの考慮により信頼性の向上を図っていることは言うまでもない。

## 4.2 保守性の向上

W5は、システムの保守が簡便なように考慮している。例えば自己診断機能による各種警報のディスプレイ表示、機械本体及び加工電源とのインタフェースのディスプレイによるオンラインチェック、発光ダイオードによる各カード内の異常の表示などによって故障診断を容易にしている。特に機械本体及び加工電源と制御装置のインタフェースのチェック機能はシンクロスコープによる信号の授受のチェックを不用としている。保守の迅速、簡便化を図るためにモジュール交換を建前にしており、電源、電池、カード、ボード、サーボアンプはハンドキャリが可能なように設計している。したがってスペアパーツによるユーザでのモジュール交換も可能で保守には、スペシャリストが不要である。

## 4.3 4軸テーバ加工制御

テーバ加工を行った場合、4軸制御によるシャープエッジ加工が可能なため抜き型ではポンチとダイが同時に製作可能である。ワイヤ径が0.05~0.25mmと細いためクリアランスも適当にとれるようになっている。

## 4.4 オンライン機能

W5では放電加工制御(ワイヤパス制御及び最適制御等)と同時にワイヤカット用加工テープの自動作成(MEDIAPT)を行うことができる。

# 5. 新制御機能

W5形には新制御機能を付加しているが本章ではこれらの機能について説明する。

## 5.1 長時間メモリバックアップ

24時間運転を要求されるワイヤカット放電加工機にとって、停電事故は最も恐れられる問題である。万一の事故に対しても、長時間(約100時間)の加工軌跡の内容保持ができるため安心して使うことが可能となった。半導体可変形メモリの長時間バックアップの方式をリフレッシュタイミングの温度補償によって実現した(特許出願中)。

## 5.2 ワンタッチ式停電復帰

停電時の復元操作が煩雑であった従来装置に対してW5形ではシーケンスナブ、XY現在位置などの入力することなく押しボタンスイッチ「RECOVER」を押すだけで、再加工が可能である。紙テープ運転時は、紙テープを先頭にもどして「RECOVER」スイッチ(図6.制

御装置操作パネルに示す)を押すことにより復帰可能である(特許出願中)。

## 5.3 微細設定可能なスケール倍率

プラスチックモールド形などの金型製作には成形されたプラスチックの縮み代を考慮する必要がある、広範囲な加工を要求されるワイヤカット放電加工機には不可欠な機能である。従来装置は1/100単位であったがこの制御装置は1/1,000単位とし、より細かな寸法調整を必要とするユーザの要求にも応ずることが可能である。

## 5.4 自動原点復帰

従来の装置にはなかった新機能として、X軸及びY軸リミットスイッチと位置検出器のグリッド点により機械上のある1点に原点を設定し、スイッチを押すことによりテーブルを自動的に原点に移動させ停止させることができる。リミットスイッチは近点検出用として作用し、その後はレゾルバ(回転位置検出器)のグリッド点をとらえて止めるため、機械上のいかなる点からもミクロン代の精度で原点復帰が可能である(図7.)。

## 5.5 自動位置決め

「中心位置決め」と「端面位置決め」とがある。「中心位置決め」はX軸とY軸を交互に往復させ、ワイヤ通し穴の中心を自動的に計算(この位置にテーブルを位置決めする方式である。「端面位置決め」は文字通りワークの端面に接触したらテーブルを停止させる機能である。これらはいずれもテーブルを高速送りさせているためテーブルが停止する位置はワイヤが若干ワークに食い込んでいることになる。したがって実際の制御はテーブル停止後反対方向にテーブルを低速でバックさせワイヤとワークが離れた点で停止させているため高精度の位置決めが可能である。ただし高精度の位置決めを得たい場合は、ワーク端面及びワイヤホルダは鏡面仕上げを必要とする(図8.)。

## 5.6 周長計算

ワイヤカット放電加工機は微細ワイヤで放電加工するため機械加工法に比べると高精度加工ができる反面、加工速度が遅いため加工時間の

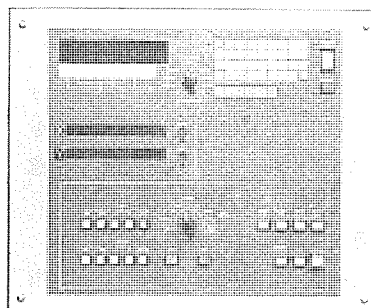


図 6. 制御装置操作パネル

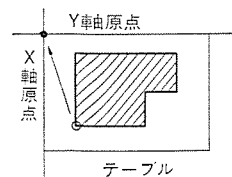


図 7. 自動原点復帰

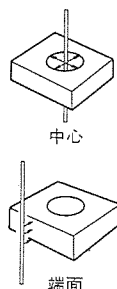


図 8. 自動位置決め

READY ERROR BATTERY					ALARM BUFFER EDIT				
0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
SETTING	TVON	ISO	INCH	X	Y				
	SET			MIRROR IMAGE					
ALARM	OT	SERVO	TH	TV					
D3									
D4									
D2									

図 9. 自己診断機能(パリティ H の例)

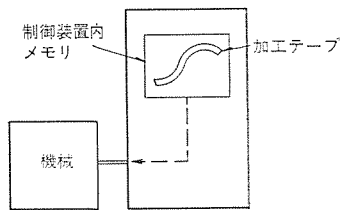


図 10. メモリ 運転

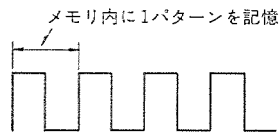


図 11. メモリサイクル

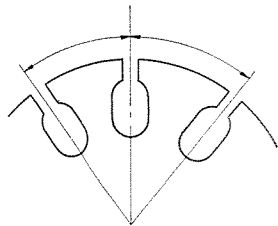


図 12. 図形回転

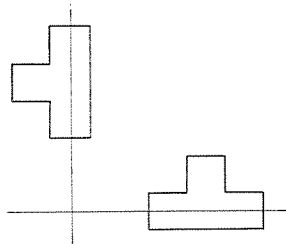


図 13. 座標回転

正確な予想のもとに工程計画を立てる必要がある。一般的にはこの機能は APT 側に用意されているが、ユーザの既存装置に付加されていない場合が多いため オプション として用意している。

#### 5.7 インチメトリック切換機能

アメリカをはじめとするインチ圏の輸出に対応して付加した機能で、パネルより インチメトリック の切換えの設定が可能である。当然のことながら、インチ入力に対しては APT 側の インチ対応の入出力機能を用意している。

#### 5.8 自己診断機能

信頼性について十分な配慮をしているが、万一の故障時のダウンタイムを最小に抑えるため事故内容が表示できるようになっている。アラーム内容はパリティチェック、不正文字使用など 26 種に分類してありユーザでも容易に対応できるようにしている (図 9.)。

#### 5.9 インタフェースチェック機能

コンピュータ、操作盤、加工電源からの指令の有無、機械本体内部スイッチの状態などが 66 項目にわたりチェックできるためユーザでのメンテナンスも容易になっている。

#### 5.10 メモリ運転、テープ編集

紙テープ加工プログラムをいったんメモリに記憶させ、加工時には紙テープを使わず、記憶内容をメモリから呼び出して機械を制御することができる。また、この記憶内容に修正がある場合、必要箇所を任意に呼び出し追加、削除、変更することが可能である (図 10.)。

#### 5.11 メモリサイクル、図形回転

メモリ内に所望の図形を記憶させ運転時は紙テープのメモリ呼び出し指令により直線上に繰り返し、あるいは円弧上に繰り返し回転させて加工することができる (図 11., 図 12.)。

#### 5.12 座標回転

ワークのセットがずれてしまった場合、ずれた量を指令することにより再セットなしで加工することができる。また、ある回転中心上の多数個取り加工をする場合には、回転角度の指令を与えることにより同一内容の図形と異なった位置で加工することができる (図 13.)。

#### 5.13 メモリ式ピッチ誤差補正

環境の変化、あるいは長年の使用による機械的摩耗などによる送り精度変化に対処するために用意している。XY 両軸を 99 ブロックに分割し 1 ミクロン単位で補正することができる。

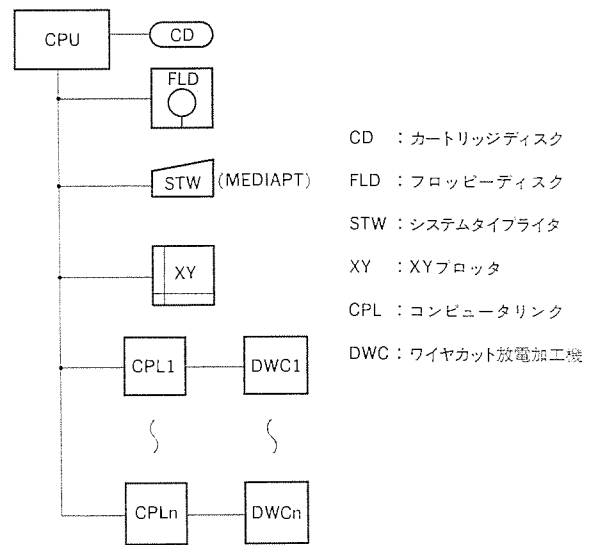


図 14. コンピュータリンク

#### 5.14 コンピュータリンク

BTR (Behind Tape Reader) 方式による DNC 群管理システムを構成することができる (図 14.)。オペレータが起動ボタンを押すと NC 装置は紙テープリーダーから加工データを読むかわりに、CPU (中央処理装置) に対してデータを要求する。CPU は MEDIAPT によりメモリ内に作成されたデータファイルから要求を受けたワイヤカット放電加工機に対応してデータを送出する。BTR 方式であるので CPU 故障時には、紙テープリーダーによるバックアップが可能である。このシステムは、時代とともに高まる自動化工場の要請に答えるものであり、今後大いに発展が予測される。

#### 6. む す び

以上、ワイヤカット放電加工機の新形制御装置について述べてきたが、この制御装置は、昭和 53 年の日本国際工作機械見本市に発表以来、好評を博し、既にユーザのもとで多数のシステムが安定に稼働している。

また輸出も好調で米国、東南アジアにも多数輸出し、好評を得ており、今後需要は更に増加する見込みであり、この需要に答えるべく生産、サービス体制の一層の強化を進めているのが現状である。今後の問題としては更に高度の機能、高信頼性を備えるとともに制御装置、電源の小形化を図っていく必要がある。そしてより高性能・高精度なワイヤカット放電加工機として市場の要求に答えるべく努力を続けていくつもりである。

#### 参 考 文 献

- (1) 鈴木、金坂：数値制御工作機械の拡張群管理システム、三菱電機技報、52, No. 8 (昭 52)
- (2) 小林、高鷲、大島、田中、弥富：ワイヤカット放電加工機における計算機制御技術、三菱電機技報、52, No. 9 (昭 52)
- (3) 小林、大丸、加藤、丸山、大島：対話形自動プログラム付ワイヤカット放電加工機、三菱電機技報、51, No. 7 (昭 51)
- (4) 桑田、米谷：マイクロプロセッサ CNC 《MELDAS》5000 C/5100 C三菱電機技報、51, No. 4 (昭 51)

# 鉄鋼酸洗ライン用新形フラッシュ溶接機

川並 高雄\*・森 紘一\*・小松 義正\*・馬場 利彦\*\*・袖野 恵嗣\*\*

## 1. ま え が き

フラッシュ溶接機は、広幅鋼帯の製造分野で、とりわけ接続部が冷間圧延されるホットコイルの接続手段として現在もっとも一般的に用いられている。それは、他のいかなる接続方法よりも接続強度の信頼度が高く、作業能率の面でも優れているからである。しかし、フラッシュ溶接機に対して上記の利点を更に改善した性能を要求するスチールメーカーが多い。その性能改善の具体的内容は、

### (1) コイルの接続時間の短縮

これは、単に溶接機単独の作動を早くするにとどまらず、先行コイルの尾端及び後行コイルの先端の精整からフラッシュトリミングまでの全接続工程時間の短縮を図り、より生産性が高く、よりコンパクトな酸洗設備及び冷間圧延設備の設置を指向していることを意味する。

### (2) 溶接機リプレイス計画

1960年代、及びそれ以前に設置されたフラッシュ溶接機が老朽化してきており、近い将来に作業の合理化計画に見合った高性能溶接機へのリプレイスが計画される。このリプレイス計画は、酸洗ラインに関するものが多い。

### (3) 新鋭設備への組込み

最近の新しい酸洗設備・冷間圧延設備には、電子自動制御装置の導入が目立っており、集中管理システムによる作業の連続化・高速化が計画されている。この要求に応ずるためには、コンピュータシステムとの連動による全自動フラッシュ溶接機の開発が必要である。

### (4) 特殊材質に対する溶接性の改善

従来の普通軟鋼の溶接のほか、近年、高張力鋼、クロム入り高級鋼板、ステンレス鋼板、及び高級電磁鋼板のフラッシュ溶接機による接続要求が強くなってきており、これらの特殊材質の溶接性を改善するために溶接後直ちに軟化焼鈍を行って溶接部の硬化を防ぐ必要がある。

以上のような要望内容に答えるため、2年間にわたり、新日本製鐵(株)名古屋製鉄所技術陣と三菱電機(株)技術陣とは、最新鋭のフラッシュ溶接機開発のプロジェクトチームを組織し、従来のフラッシュ溶接機を抜本的に改めた新形溶接機を研究開発し、1978年12月に第1号機を完成させた。この1号機は、メーカーである三菱電機(株)伊丹製作所において3,000回のテスト溶接を行い、その性能を確認した上、1979年

3月に新日本製鐵名古屋製鉄所のNo.3酸洗ラインにリプレイス設置された。このラインは、1968年にか(稼働した)広幅大形酸洗ラインであり、1976年に144,000tの月間生産レコードを持っている。今回の溶接機リプレイスを中心とする増強対策により、最終的に160,000t/月の能力が期待される。

## 2. 新形フラッシュ溶接機の概要と特徴

図1.に今回開発されたフラッシュ溶接機(以下、NMWと称す)の外観図を示すように、移動台と固定台との間隔が1.5m開閉でき、

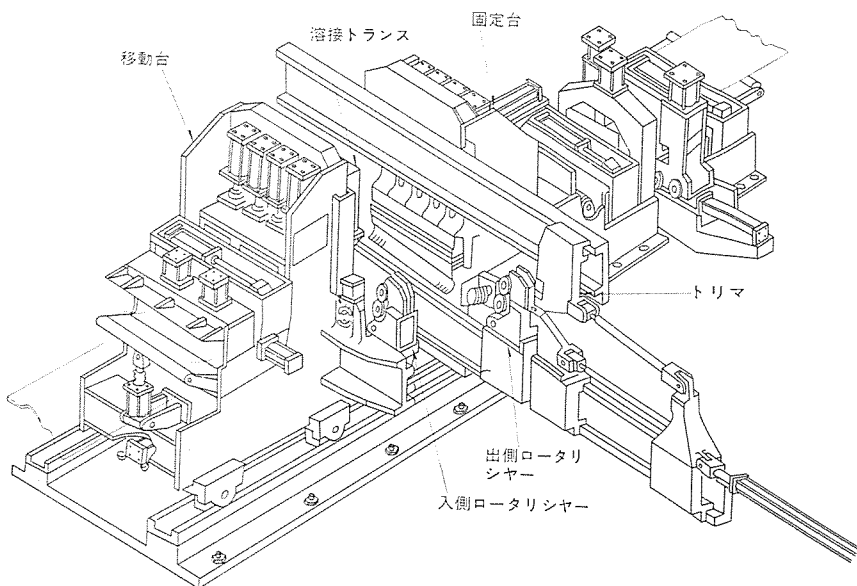


図1. 新形フラッシュ溶接機の外観図

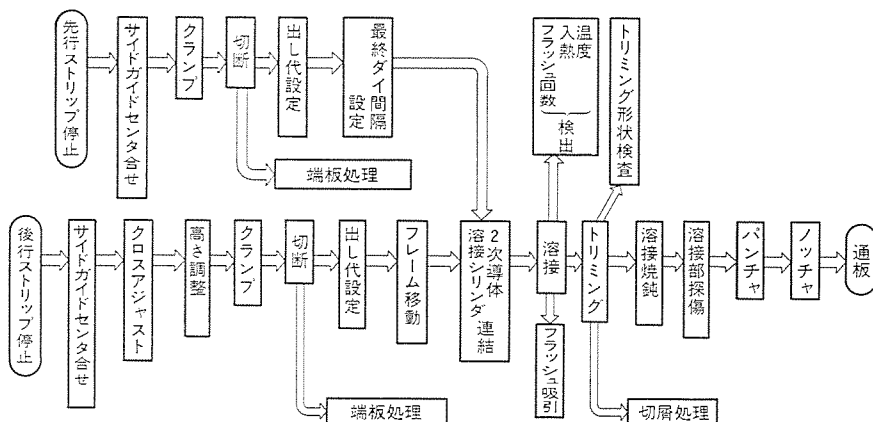


図2. 新形フラッシュ溶接機の機能フロー



その間に2個のダブルロータリヤー、トリマ、溶接トランス、給電導体、電極及びフラッシュ吸引装置等の主要装置が内蔵されている。そしてNMWは、図2.の機能フローにみるように、ストリップが溶接機内で停止後、切断から端板処理、位置決め、溶接及び溶接部の検査、トリミング、通板までの機能がすべて各種の電気制御装置と有機的に結合されて全自動で運転される。溶接は、インバータによって電極間に理想的なく(矩)形波電圧が印加され、フラッシュの中断する時間が極力短くなっているの、高品質・短時間の溶接が可能である。従来形の溶接機と比較してNMWは、次のような新しい性能と特徴とを有している。

#### (1) 設備のすえ(据)付スペース

NMW本体は、既設溶接機とのリプレースであり、比較的短期間のライン休止中に取替えて生産を開始する必要があった。これが可能であったのは、NMW本体の設置スペース及び重量が既設溶接機よりもそれほど大きくならなかったの、基礎工事、及びレイアウト変更に伴う設備の移設工事が最小限に抑えられたからである。

#### (2) 入側セクションのダウンタイムの短縮

従来形の溶接機を設置した酸洗設備の入側は、図3.に示すように、溶接機の入側に設置されたアップカットシャーで端板処理を行い、溶接位置に設けられたゲージバーでストリップの出し代を設定し、溶接後には別ステーションに設けられたトリマまで溶接部を移動して溶接ビードの切削を行う。つまり、最低3回のストリップの移動・位置決めを必要としていた。NMWでは、切断位置で溶接・トリミングを行うので、接続時間が大きく改善される。図4.の従来形とNMWとのダウンタイムの比較例に示すように、溶接時間の短縮とを合わせると、入側セクションのダウンタイムは、30秒短縮されることになる。

#### (3) 溶接品質

従来、使用されている正弦波電圧によるフラッシュ溶接では、極性反転時の前後の低電圧中には、溶接部が短絡状態になり、フラッシュの発生がとだえる。NMWでは、矩形波電圧によって微細フラッシュの発生が継続されて溶接品質の向上ができる。溶接中には、アプセット前の1秒間の短絡回数、入熱、温度等を計測し、更に溶接条件のブリセット値及び実測値をタイプアウトすることによって溶接品質の管理を行うことができる。溶接後には、溶接機に内蔵した超音波探傷装置によって溶接部の欠陥の有無が検査できる。

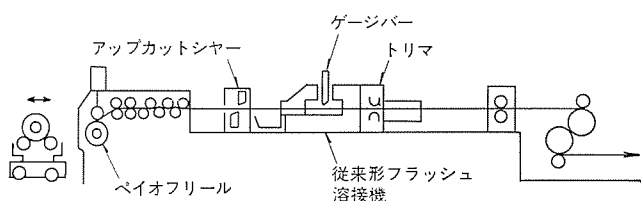


図3. 従来方式酸洗入側基本レイアウト

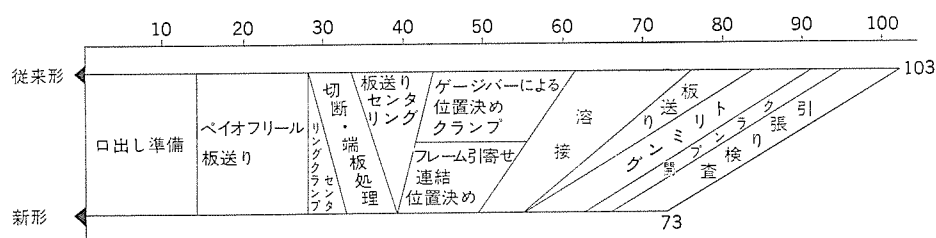


図4. 入側セクションのダウンタイムの比較

#### (4) 省エネルギー化

従来形の溶接機の場合、溶接トランスは他の装置に押しやられて必ずしも最善の位置に配置されなかった。つまり、溶接トランスは、保守性・環境の悪いパスラインの下方に設置され、電極までの距離も大きくなっていた。NMWでは、各種の装置を内蔵しているにもかかわらず、溶接トランスの位置は電極の真近で、保守性・環境のより良好なパスラインの上方である。これによって2次回路のインピーダンスは小さくなり、消費電力は、従来形の約1/2(当社比)になっている。

#### (5) 作業環境の改善

溶接部をチャンバでおおい、チャンバ内に溶接線方向へ空気の流れを作って1方向にフラッシュ金属を吸引している。吸引された金属粒は、屋外までダクト内を搬送され、そこに設置したバグフィルタで分離・収集される。バグフィルタから放出する空気は、環境規制値を確実に満たしている。フラッシュ金属が工場内へ飛散すると、オペレータの健康上の問題、装置の案内面の摩耗、電気機器への悪影響等が考えられるので、将来このようなシステムを採用したフラッシュ溶接機が徐々に増加するものと思われる。

#### (6) 自動化

鉄鋼プロセスラインのフラッシュ溶接機で、自動化の障壁になっていたのは、ストリップの先・後端の位置合わせシステム、溶接条件設定、トリマの切くず(屑)処理及び溶接線との位置合わせ、溶接部の検査等である。これらに対して各種の電子装置の導入と、新しいロータリヤー・トリマ等のメカニズムの採用により、オペレータは、機械から離れた操作室より一括操作でき、基本的にはオペレータの介入を必要としない全自動運転が可能になっている。

#### (7) 保守性

移動台と固定台とが大きく開くので、この間に設置される主要部品への接近性・保守性は良好である。

### 3. 新形溶接機の実機適用例

新日本製鐵名古屋製鉄所のNo.3酸洗設備にNMWを導入して能力増強を行う具体的事例について述べる。

酸洗設備の生産能力は、(1)入側セクションにおけるホットコイルの送り込み能力、(2)中央セクションにおける脱スケール能力、(3)出側セクションにおける製品巻取能力の3セクションのバランスによって決まる。つまり、これらの最小能力に律せられる。しかしながら、中央セクションにおける脱スケール能力は、一般に相当大きな余裕を持っており、酸洗設備全体としての能力に与える影響は小さく、名古屋製鉄所のNo.3酸洗設備の場合も、入側セクションと出側セクションとの能力バランスが問題である。入側セクションと出側セクションとの時間当たり生産能力(t/h)は、図5.をモデルにして次式によって計算される。

$$t/h = \frac{W}{L - \left( V_A \cdot \frac{T_A + T_D}{2} \right) \cdot \frac{1}{V_A} + T_A + T_D + T_H} \times 3,600$$

ただし、 $W$ :ホットコイル単重(t)、 $L$ :1個のコイル長さ(m)、 $V_A$ :平均通板スピード(m/s)、 $T_A$ :加速時間(s)、 $T_D$ :減速時間(s)、 $T_H$ :ダウンタイム(s)である。

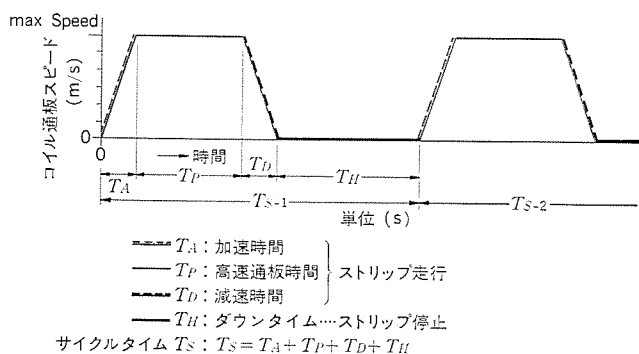


図 5. 生産能力計算 モデル 図

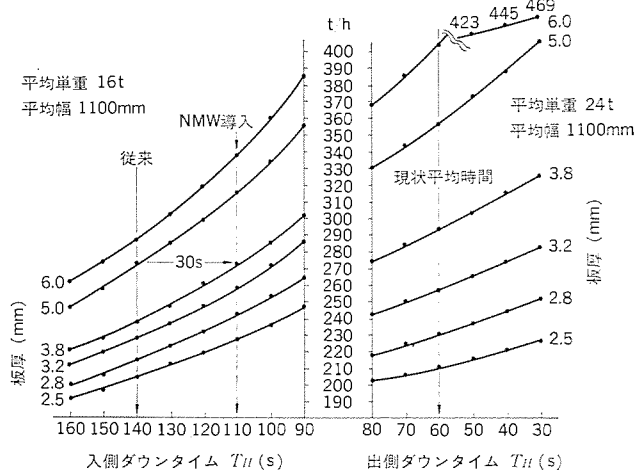


図 6. 板厚別の t/h と  $T_H$  との関係図

上式で計算した名古屋製鉄所の No. 3 酸洗設備の入側・出側 セクションのサイズ別 t/h と ダウンタイム ( $T_H$ ) との関係を図 6. に示す。これによっても分かるように、NMW 導入前の従来の能力は、全サイズにわたって入側セクションのホットコイルの送り込み能力によって律せられる。NMW を導入することによって入側セクションのダウンタイムを約 30 秒短縮することが可能であり、送り込み能力の増強が酸洗設備能力の増強につながる。しかし、図 6. から分かるように、約 30 秒の送り込み能力の増強は、サイズによっては出側能力に律せられることになり、新しい能力バランスを生じている。以上の結果、総合能力として約 10 %、15,000 t/月の増強になる。

#### 4. 矩形波電圧方式フラッシュ溶接の原理と特徴

矩形波電圧方式のフラッシュ溶接が大形の実用ラインに採用されたのは、世界で NMW が初めてである。以下にその原理・特徴を述べる。フラッシュは、局所的な短絡とアークとの繰り返り現象であり、それも 1 サイクルの間に 20~30 回もフラッシュの発生を繰り返す高速現象である。従来のフラッシュ溶接には単相交流電源が用いられていたが、この電源では溶接変圧器の 2 次端子電圧が正弦波的に時々刻々変化するもので、たまたま電圧の瞬時値が零になる付近で被溶接材間に局部短絡が生ずると、短絡電流が十分に流れない。このため、電圧が短絡を破るのに十分な値になるまで短絡状態を維持する。この間にも移動台は連続的に送られているので、短絡面積が増え、これを破るのにより大きな短絡電流が必要になる。その結果、荒いフラッシュが発生することになる。したがって、フラッシュ溶接用の電源と

しては電圧の瞬時値の変わらない直流が好ましいことになるが、大断面のものに直流電源方式を適用する場合には、大きな溶接電流が必要になり、2 次回路にそう (挿) 入される整流器にも大きなものが要求されるので、2 次回路のインピーダンスが増大する。インピーダンスが大きくなると、短絡した場合の電流の立ち上がり速度が抑えられてしまい、交流の場合と同様な不都合が生ずる。このような点を考慮して直流の利点を生かし、かつ 2 次回路のインピーダンスを抑える方法として考案されたのが矩形波電圧方式である。図 7. にこの方式のシステムダイアグラムを示す。この方式では、インバータによって発生した矩形波電圧を溶接トランスに印加して矩形波の 2 次電圧を与えているので、2 次回路のインピーダンスが大きくなり、しかも直流と同様に電極間には瞬時値の絶対値が一定の電圧が印加される。したがって、フラッシュの休止時間が短くなり、フラッシュ発生回数が、正弦波と比べて約 50 % 多くなる。この結果、溶接時間を大幅に短縮することができる。例えば、通板量の最も多い板厚 3.2 mm の軟鋼板の溶接条件が表 1. に示されているが、フラッシュ時間が 5 秒に従来の約 50 % (当社比) 短縮されている。

矩形波電圧方式の特徴として、電源からみた負荷の改善が挙げられる。インバータを使用することによって 3 相平衡負荷になるほか、入力低減、フリッカ防止などの溶接機特有の電源への悪影響が低減される。NMW では、溶接中のみ固定台と移動台との間の 2 次導体間を接続導体で閉じるような構造にすることにより、移動台のストロークにかかわらず、またトリムの走行時にも導体と干渉しないで溶接トランスを電極の真近に配置することができ、2 次回路のインピーダンスを下げることに成功した。これによって矩形波電圧方式の特徴が十分に発揮されることになり、きめ細かいフラッシュが継続して発生するために従来のよりも短時間で、省エネルギーで、品質の高い接合部が得られるようになった。

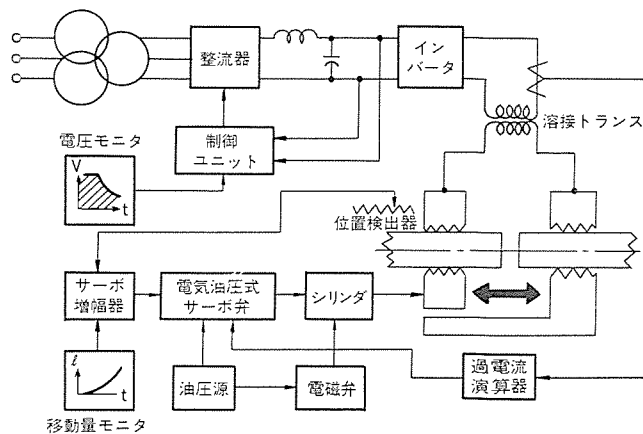


図 7. 矩形波電圧方式フラッシュ溶接機のシステムダイアグラム

表 1. 3.2 t 軟質鋼板の溶接条件

出し代 (mm)	最終ダイ 間 隔 (mm)	フラッ シュ代 シ ュ 代 (mm)	アブセ ット代 (mm)	フラッ シュ時 間 (s)	アブセ ット電 流 (kA)	アブセ ット時 間 (s)	2 次電 圧 (V)
34	17	13.5	3.5	5.0	110	0.4	10.9

## 5. ロータリシャーによる位置決め方式

NMW は、先行ストリップの後端部と、後行ストリップの先端部とをそれぞれ最大1.5 m まで切断できる ロータリシャーを溶接位置に内蔵しており、ダイセツととともに動作して切断出し代の設定が行われる。ダイセツは、主にライン 方向へ自由にコントロール されて動くことができる電極と、ストリップの停止から通板開始までストリップを固定しておく主クランプとから構成されている。ロータリシャーによる切断中は、図 8. のように、上部電極を下部 シャーブレードの上方へ突き出すことにより、切断線の真近を拘束しながら切断する。また、上部 シャーブレードと下部 シャーブレードとの回転中心が、図 9. のように、送り方向へオフセツされている。切断時の変形は、段違い溶接の原因になるので、繰り返し実験を行った結果、これらのメカニズムを採用することでギョテンシャーと同程度ないしそれ以下の変形量に抑えられることが分かった。切断後、電極は、電気的に制御されるウエッジによって出し代設定位置へ動き、更に溶接後、トリマバイトが電極間を通れる位置へ電極は後退する。電極が動く間もストリップは、主クランプで固定されているので、ストリップの曲がり・慣性などによる位置決めのずれは発生しない。

次に、切断時間について考察する。切断時間は、溶接に先立って溶接機の外へシャーヘッドを移動させる時間を含めて考えなければならない。ロータリシャーでは、シャーヘッドをドライブサイドからワークサイドへ移動させることによって切断工程が完遂できる。シャーヘッドは約 500 kg と軽量であり、切断速度は約 66 m/min と高速切断が可能である。一方、ギョテンシャーは、切断すること自体は早いが大形構造になるので、切断後に溶接機の外へ移動させる時間が長くなり、総合的

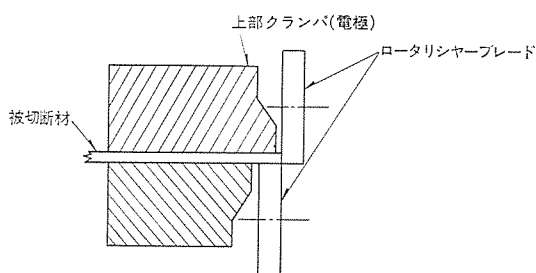


図 8. 上部クランプとロータリシャーブレードとの位置関係

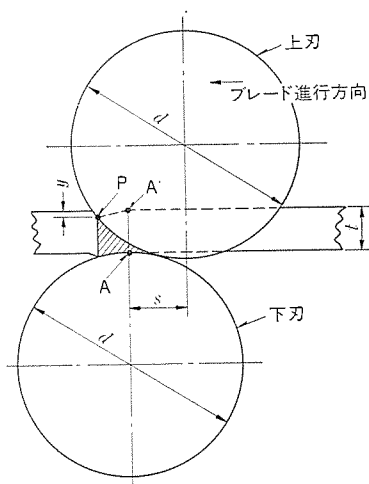


図 9. 上下ブレードの位置関係と切断中の変形

に切断時間が長くなると言える。

## 6. 新しいフラッシュトリミング技術

従来のフラッシュ溶接機のフラッシュトリミングは、溶接後、溶接部を別のステーションへ移動して上下 5 対程度の複数バイトによって切削する方法が普通であった。このためにストリップの移動と、溶接線のトリマバイトへの位置合わせにロスタイムが発生していた。この装置で採用されたフラッシュトリミングは、溶接完了後、溶接部が高温にある間ストリップを移動させずに溶接位置に組込まれたトリマで高速切削が行えるように設計されている。フラッシュ溶接の場合、溶接線の位置は被溶接材の板厚に応じて変化する。本機では、板厚 1.8 mm~6.6 mm の溶接が行われ、溶接線はトリマセンタから  $\pm 5$  mm の範囲で変化する。そこでバイトは、ライン 方向へ調整しなくても切削できるように、その先端形状が考慮されている。図 10. に、溶接後における板厚 2 mm の溶接部の冷却曲線を示す。この方式では、溶接完了後約 4.5 秒で、従来方式では約 9 秒で切削が開始されるから、その時の温度は前者で約 800°C、後者で約 600°C になる。このように、切削温度を上げることによって切削抵抗は約 1/2 になり、上下 1 対のバイトで滑らかに切削できる。バイトには超硬バイトを使用した。連続運転でバイトの寿命は  $3.2 \times 1,000$  mm 幅のストリップの場合で 300 回以上の好成績を示した。これで従来の切削方式（5 本バイト）と比較して取替えひん度で約 2 倍、バイトの再研摩比較で約 10 倍の耐久性の向上が図られた。切削技術のうちで、自動化を行うのに困難なのは切屑処理技術である。すなわち、従来方式では、切屑がバイト刃先に溶着したり、バイトに巻き付いて作業者が毎回手作業で取除いていた。NMW では、1 本のバイトによる高温切削により、連続した流れ形の切屑に成形することによって解決できる。すなわち、チップの先端形状にチップフォーマの機能を持たせ、かつカーウを取付けることによって切屑は、直径 120 mm 程度の連続したつる巻状になって確実に排出される。切屑圧縮比は、2.5~3.0 になるので、例えば板幅 1,600 mm のトリミングを行っても切屑長さは 640 mm~530 mm と相当短くなり切屑の処理が容易になる。切削の最終端では、カーウの押し曲げ力が切屑に働くので、バイトとの分離力になり、切屑とバイトの先端との溶着を防ぐ。上下各一塊になってバイトの前方へ排出された切屑は、固定台と移動台間を自然落下し、溶接機下部に設けられたスクラップバケットに収納される。このようにこの装置に採用した新しいトリミング技術は、ダウンタイムの短縮、仕上面の滑らかさ、切屑処理の容易さ、バイトの寿命、保守の容易さの点で優れている。

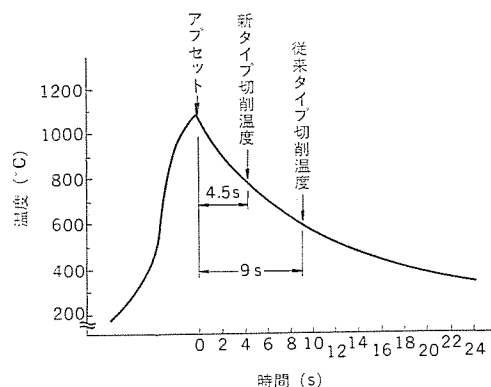


図 10. アプセツ後の温度と切削温度（被溶接材 2.0×920 mm）

## 7. フラッシュ吸引システムによる作業環境の改善

従来のフラッシュ溶接機には、溶接中に発生するフラッシュ金属・フラッシュヒュームを圧縮空気によってドライブサイドへ吹き飛ばす程度の対策しかとられていなかった。最近、工場環境の改善が叫ばれ、また重要な装置の案内面の保護、電気機器への悪影響を考えた場合、フラッシュ対策を十分に考える必要がある。今回、新しく実施したフラッシュ吸引システムは、溶接中に発生する飛散金属粒をその発生源で閉じ込めて吸引し、空気の流れによって搬送し、最終的に金属粉を分離して容器に集じんする方法である。図11.は、そのブロックダイアグラムを示す。構成は、ストリップの上下に開閉可能なシールド板と、左右の電極間で形成するチャンバ、そのチャンバのワークサイドに吸引フード、溶接機の下部に設置して粗じんを分離するセパレータ、屋外に設置して微じんを分離するバグフィルタ、空気の流れをつくるラジアルプレートファン、及びこれらの機器間を接続して飛散金属を搬送する径路をつくるダクトから成っている。試験の結果、チャンバ内の風速が20 m/s～40 m/sであれば、飛散金属をすべて集じんすることができ、かつ溶接品質への悪影響も全く認められなかった。

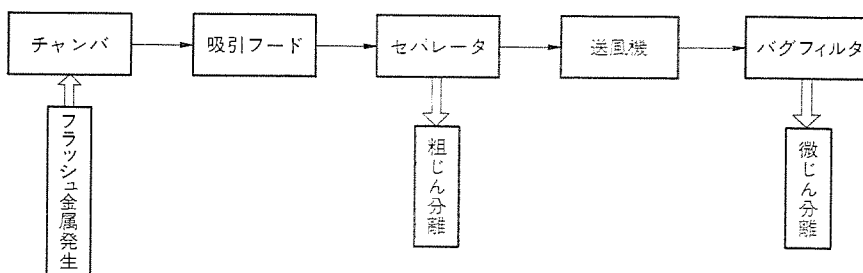


図 11. フラッシュ吸引システムのブロックダイアグラム

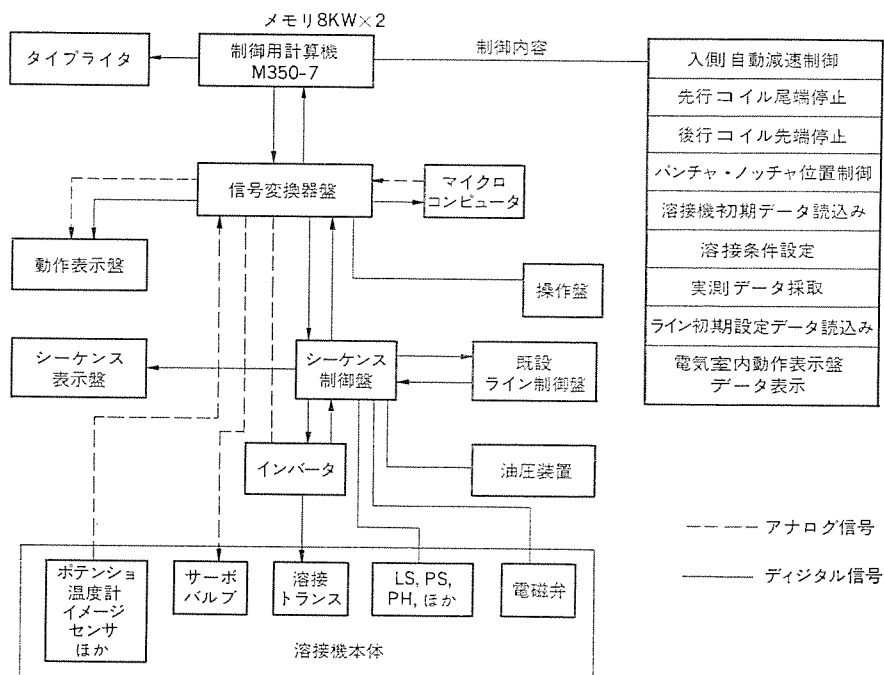


図 12. 電気制御系 ブロックダイアグラム

## 8. 電気制御系

NMW 全体の電気制御系のブロックダイアグラム

を図12.に示す。溶接機のシーケンス制御は、8ブロックから構成され、アニール・探傷・パンチング・ノッチングなどの有無を自由に選択でき、更に自動・手動を自由に組合せることができる。そして、シーケンス動作中の状態を監視できるようにシーケンス表示盤やITVをオペレータの近くに設置して操作や保守の便を図っている。溶接条件は、先行コイル・後行コイルの板厚・板幅・材質を入力すれば、計算機から自動的に設定される。なお、計算機に頼らない手設定の運転も可能である。その他、溶接ごとにタイプライタされるデータは、品質管理及び設備管理に利用できる。このように、NMWでは自動化が極限まで追求されている。

## 9. む す び

我々は、現在のスチールメカの要望に答える新形フラッシュ溶接機を一応、完成させて稼働を始めたが、今後に課せられた問題も少なくはない。例えば、溶接性能の完全保証と、設備信頼性の向上、予防保全技術の完成など稼働状態を通じてより改善した性能を発揮する溶接機にし、世界中のスチールメカの合理化に貢献する溶接機にすることである。今回は、紙面の都合で概要にとどまったが、次の機会に詳細を紹介したい。最後に、この溶接機を完成させるにあたり、いろいろ貴重な助言をいただいた関係者に深く感謝する次第である。

# 三菱-BBC形加圧式自動注湯装置

安孫子 博\*・広川 利雄\*・松田 勇\*・田中 伸雄\*

## 1. ま え が き

鑄造工場の省力化には、自動注湯装置が必ず(須)のものになりつつある。自動注湯装置固有の高速繰り返し性、定温・定速注湯、自動運転などの特長が、高く評価されているためである。

三菱-BBC形加圧式自動注湯装置は、数年間の開発と実機運転結果とを基にして製品化したもので、構造的・機能的に幾多の特長を持ち、多くの鑄造ラインに適合する自動注湯装置としてその発展が期待されている。当社は、昭和53年に第1号機を納入し、更に、新方式の第2号機も製作中である。本文では、三菱-BBC形加圧式自動注湯装置の紹介を兼ねてその概要、特長、か(稼)動例、その他の技術的事項について述べる。

## 2. 構造と動作原理

加圧式自動注湯装置は、一般によく知られている低周波みぞ(溝)形炉、特にサイホン式受・出湯口を持つ低周波溝形炉に圧力制御装置を備えた機器構成になっている。図1.は、三菱-BBC形加圧式自動

注湯装置に用いる基本的な圧力制御のブロック図である。

湯面検出ピンを出湯口に持ち、出湯口の湯面を常にピンIとピンIIとの間に維持するように、電子制御回路がモータ駆動圧力制御弁を調節する。注湯開始前には、湯面検出ピンをエアシリンダによって140mmだけ下降させ、そこに待機湯面を設定する。注湯開始とともに、湯面検出ピンを引き上げ注湯湯面まで溶湯が押し上がり、鑄型に注湯する。注湯終了時には、大口径排気弁と給気弁とが調整可能な短時間だけ開閉するとともに、モータ駆動圧力制御弁のモータを140mm鉄柱相当の圧力分だけ下降するように回転させる。したがって、次の注湯開始時には、待機湯面が自動的に得られている。受湯しつつ注湯するときには、小口径の排気弁が開いて緩速排気するとともに、前記の圧力制御弁のモータが、圧力設定を下げる方向に連続回転し、注湯湯面を一定に保つ。炉内の湯面は、圧力計で監視し、最高湯面・受湯可能・最低湯面を圧力スイッチで検出し、制御系に信号を与える。注湯ノズル摩耗に対し注湯湯面を変化させる必要が生じた場合ポテンシオメータの針を見ながら、モータによって湯面検出ピンを遠隔操作で上下させることができる。

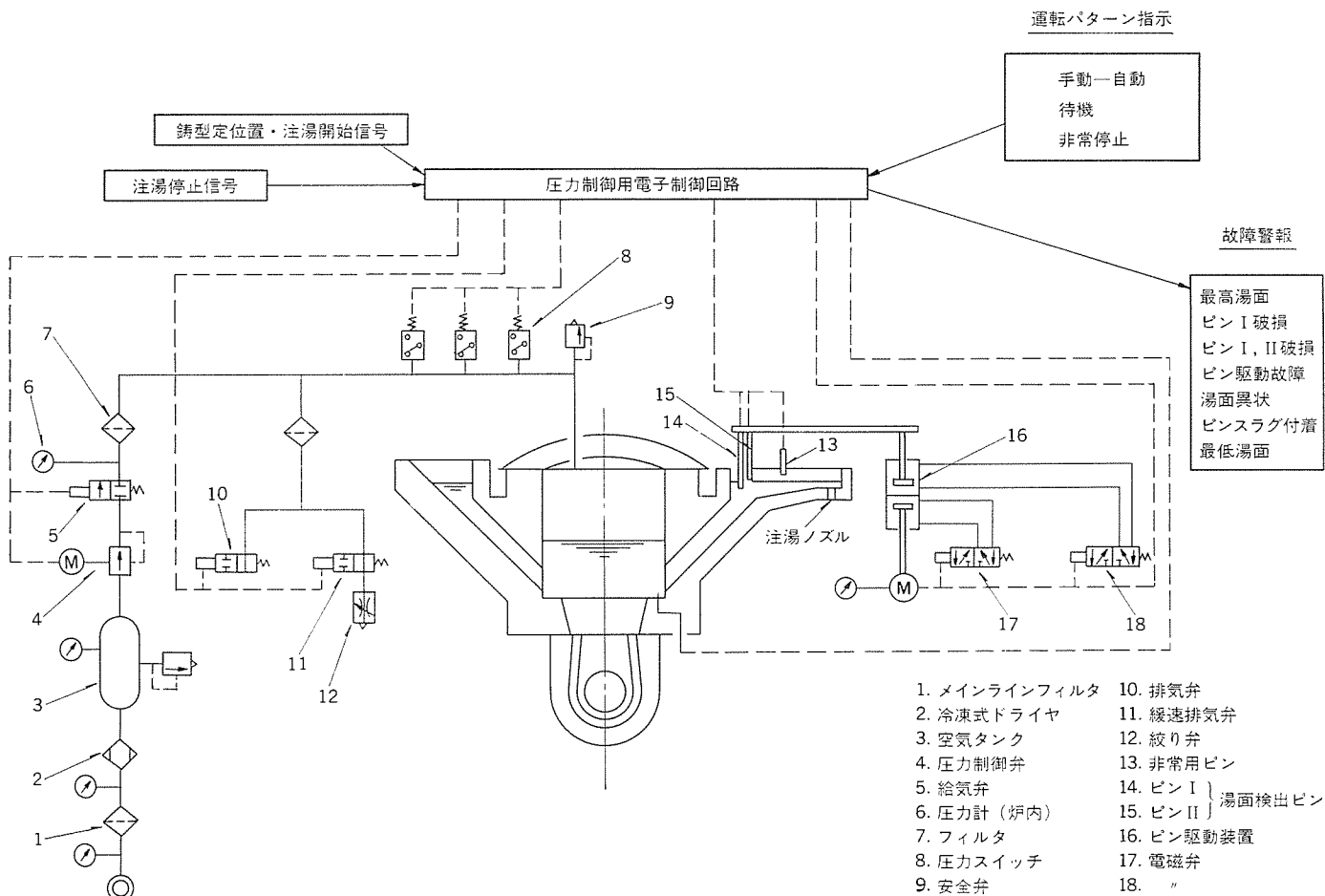


図1. 三菱-BBC形加圧式自動注湯装置の圧力制御システムのブロック図



以上が圧力制御系の動作原理であるが、注湯制御の方式によって以下の3種類の加圧式自動注湯装置がある。

### 2.1 基本形加圧式自動注湯装置

この装置には、図1.に示す注湯ノズルから流出した溶湯を赤外線検出器によって検出し、デジタルタイマを作動させ、設定注湯時間に注湯停止を行う注湯制御方式を持っており、一般にタイマ注湯方式と呼ばれる方式で注湯する。この装置は、60 kg以上の鑄込重量で、かつ注湯時間が15秒以上の鑄物の注湯に適している。注湯精度は、上記条件の鑄込みの場合に $\pm 3\%$ が得られる。

### 2.2 ストップ付加圧式自動注湯装置

この装置は、図1.に示す注湯ノズルを開閉するためのストップ駆動装置を備えたものである。図2.にストップ駆動装置を示す。このストップを用いると、図3.に示すような2段変速注湯が実施でき、しかも、図中の $Q_1$ 、 $Q_2$ 、 $T_1$ 、 $T_2$ は遠隔操作によって任意に変更できる。鑄込作業では、初期に大きな速度で、しかる後に低速で注湯したいという要求が多いが、この装置はこの要求を十分に満足するものである。2段注湯速度の変速比は、最大5倍まで実現できる。

この装置は、圧力制御により、炉内湯量に無関係に一定注湯湯面を維持し、注湯の開始はストップの上昇で、また注湯の終了信号はタイマ又は赤外線式揚がり検出器によって与えられ、ストップを下降させるための注湯開始遅れと注湯停止遅れとが実質的に零であるので、高速タクト注湯に最も適している。特に、DISAMATIC造型機（デンマークのDansk Industri Syndikat A/S社の高速タクト無わく式造型機）に対して最適の自動注湯装置である。もちろん、大重量の鑄

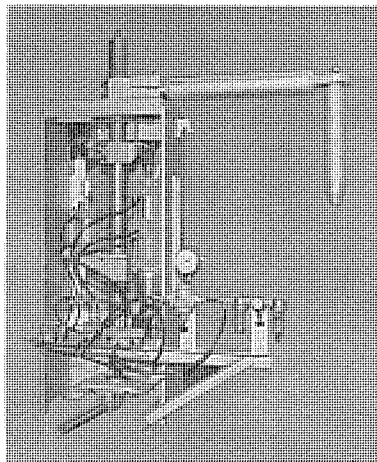


図2. ストップ駆動装置

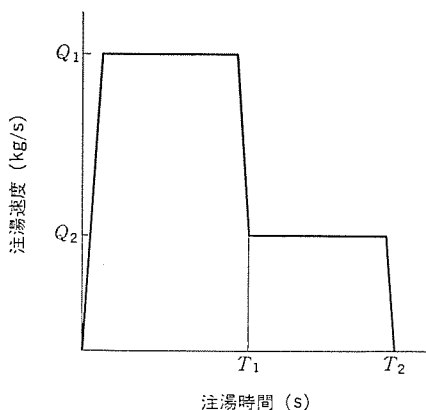


図3. 2段注湯パターン

物用にも注湯精度が要求される場合には適している。ストップの形状が工夫されているので、注湯速度は1 kg/sの低速から、20 kg/sの高速まで可能である。

### 2.3 傾動小容器付加圧式自動注湯装置

この装置は、図1.の注湯ノズルの下に傾動可能な小容器を設け、連続的に小容器に受湯しつつ、間欠的に小容器を傾動させて注湯する方式のものと、連続的に移動する造型機の場合に2台の小容器を鑄型と平行移動できるようにし、1台の小容器が受湯している間に、他の小容器が鑄型に傾動して注湯し、交互に2箇所の注湯位置を小容器が往復する方式のものとに分類できる。この方式の場合、小容器で接種（一般に結晶の核を作らせる物質を溶湯中に添加して材質を改善すること、鑄鉄溶湯にはFe-Si等が使われる。）できるので、接種の難しい鑄物用に適する。また、連続造型ラインには、この方式しか適用できない。この方式のものは、完全自動化が困難である。

## 3. 特 長

三菱-BBC形加圧式注湯装置の特長は、次のとおりである。

(1) ダクタイル鑄鉄用の自動注湯ができる。

ダクタイル鑄鉄用にも、加圧ガスを窒素にし、圧力制御弁に特殊な工夫を施すだけで使用できる。

(2) 出湯量の制御が精密にできる。

湯面を直接出湯口で検知し、炉内の状態の変化に無関係に圧力制御して出湯量を正確に制御できる。この方式は計重方式による間接測定と比べて正確であり、特にダクタイル鑄鉄のようにスラグ付着の多い溶湯では極めてメリットが大きい。また、その圧力制御はモータ駆動の圧力制御弁を使用しており、モータ制御はパルスカウンティング方式であり簡易かつ信頼度が高い。

(3) 湯面はステップレス制御ができる。

湯面検出ピンは、モータ駆動で位置決めをしており湯面の変更はステップレスに実施できる。

(4) 小量鑄物、高速タクトラインにも使用できる。

出湯口にノズルストップ装置を取付けることにより、従来の加圧式注湯装置で不可能であったことを可能にした。

(5) 2段変速注湯が可能である。

## 4. 稼 動 例

### 4.1 傾動小容器付加圧式自動注湯装置

この装置の稼動例としては、国内某社に1978年6月に納入したものが、現在まで順調に稼動している。以下に、この装置の概略仕様を紹介する。

容 量……………有効3t、総容量5.4t

インダクタ定格 ……250 kW

保温電力……………約1,000 kW (1,400°C)

溶 湯……………鑄鉄 FC25

造型機……………DISA

注湯量……………10~20 kg/わく、12秒タクト

受 湯……………1t取りなべ自動給湯装置により、取りなべを完全自動で水平に5m、垂直に2.8m動かし、傾動して給湯する。

小容器……………油圧傾動式、赤外線検出器と組合せた自動もどり。

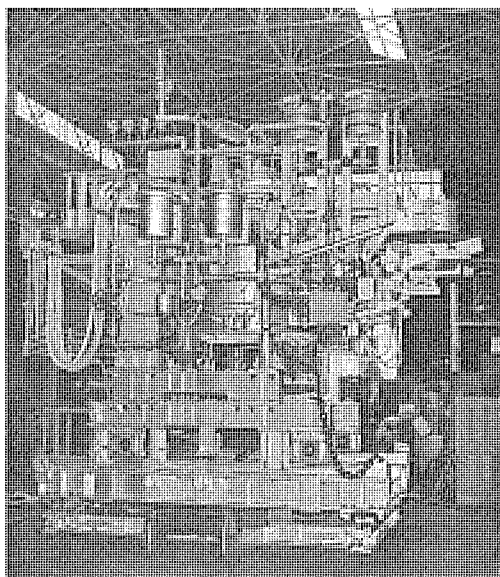


図 4. OCC-30 形傾動小容器付加圧式自動注湯装置

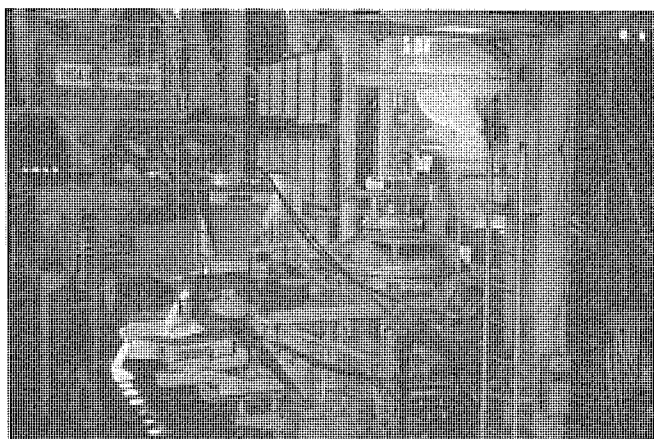


図 5. OCC-30 形加圧式自動注湯装置による注湯状況

接 種……………自動注湯装置の注湯  
ノズルから流出する  
溶湯へ連続的に粒状  
接種材を混入。

図 4. にこの装置の外観を示し、図 5. に  
注湯中の状態を示す。

#### 4. 2 ストップ付加圧式自動注湯装置

国内某社向けに昭和 54 年 9 月稼動予定  
で製作中である。以下に、この装置の概  
略仕様を紹介する。

容 量……………有効 1.5 t, 総容量  
3.25 t  
インダクタ 定格 ……120 kW  
保温電力……………約 80 kW (1,400°C)  
溶 湯……………FC 25  
注湯量……………10~30 kg/わく, 12  
秒 タクト  
注湯制御……………2 段変速 ストップ, 赤  
外線式揚がり検出装  
置又はタイマによる。

注湯精度…………… $\pm 0.2$  kg

受 湯……………溝形炉自動傾動とい(樋)による。

接 種……………ワイヤ 接種

造型機……………DISA

当社の提携先である BBC 社では、ダクタイル 鋳鉄用を含めて数台の  
納入実績を持っていることを参考までに付記する。

#### 5. 有効容量選定上の問題点と解決策

自動注湯装置の有効容量をいくらにすべきかについてよく論議され  
る。自動注湯装置は、本来、省人化のために設置されるのであるか  
ら、自動注湯装置によって注湯の無人化ができて、それへの給湯  
がひん繁に必要であれば、省人化は達成できない。したがって、で  
きるかぎり大容量の自動注湯装置がこの目的からは望まれるのであ  
るが、一方、次のような大容量自動注湯装置選定上の問題点を解決  
しなければならない。

##### (1) フェーディング 現象

接種をした溶湯を自動注湯装置で保持する場合、接種効果の持続す  
る期間内に溶湯を注湯しなければならない。この期間は約 15 分間  
程度と考えられているので、注湯量の 15 分間分の有効容量が限度  
になる。DISAMATIC 造型機用であると、15 分で 1.5 t 程度であ  
り、容量も 1.5 t ぐらいまでになってしまうが、逆の見方をすると、  
1 t 取りなべて給湯するとして 10 分に 1 回ずつ給湯しなければなら  
ず、給湯に専任者 1 名が必要になる。接種が Fe-Si の添加だけでよ  
い場合には、自動注湯装置から流出した溶湯に ワイヤ 接種を行うこ  
とによってこの問題を解決できる。すなわち、無接種の溶湯を保持  
することができるので、30 分~1 時間に 1 回の給湯でよいような炉  
容量を選定できる。マグネシウム 処理溶湯の場合には、Mg の消耗から  
考え、1 時間の出湯量に見合う程度の有効容量が適している。いず  
れにしても、溶湯材質が有効容量選定の 1 つの問題点である。

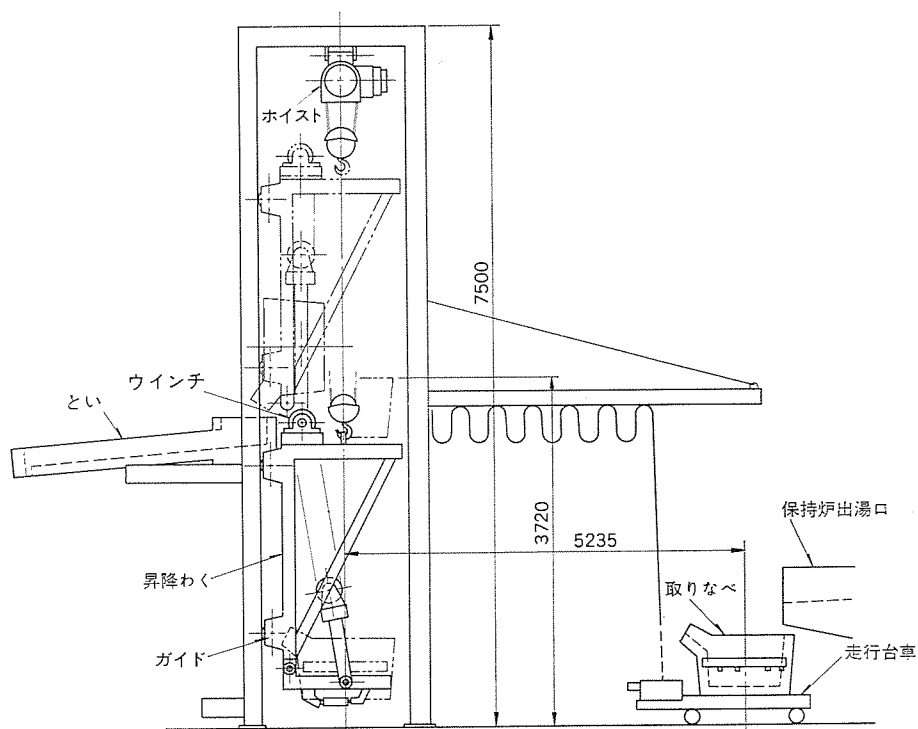


図 6. 自動給湯装置

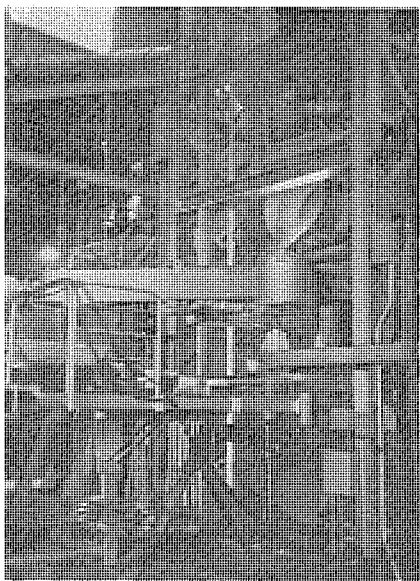


図 7. 給湯中の自動給湯装置

## (2) 保持炉との関係

鋳造工場内に 500 kg 程度の取りなべを使う手注ぎラインが多数あって、その取りなべへひんばんに給湯する必要があるために保持炉が設置されている場合がある。この場合、自動注湯装置の容量を大きくすると、外観上からも保持炉が 2 基ある状態になり、保温に要する電力代や再築炉費を考えると、経済的にデメリットが多い。このような問題の解決策として 2 通りの対策が考えられる。

1 つは、4. 1 節で紹介した加圧式自動注湯装置に付属して納入したような自動給湯装置を保持炉と自動注湯装置との間に設置することであり、これによって保持炉の溶湯を他のラインと共用しつつ人手をかけずに自動注湯装置に給湯でき、自動注湯装置を小形化できて省エネルギー化を果たせる。図 6.、図 7. にこの自動給湯装置を示す。

もう 1 つの方法は、自動注湯装置を保持炉にも使えるようにすることである。ストップ装置をもつ出湯口を 2 箇所に持ち、受湯口を別に持った加圧式注湯装置がこれである。他ラインの給湯は、自動注湯とは別のストップ、ノズルによって取りなべへ給湯されるので、自動注湯中も何ら差し支えなく実施できる。大容量の保持炉を改造してもよいし、大容量の自動注湯機を最初から兼用炉として造ってもよい。加圧式自動注湯装置にストップを設けるメリットは、ここにも生かせるのである。

## (3) 再築炉による休止

自動注湯装置も溝形炉の 1 種であるので、再築炉のために 1 年に 1 度から 1.5 年に 1 度は築炉を更新しなければならず、この期間、自動注湯は休止する。容量が大きくなると、この更新期間も長くなることは当然である。この観点から待望されるのは、乾式築炉法の実用化である。現在、アメリカでは、大形溝形炉に乾式築炉が採用されてきつつあり、その立上がり所要日数は大幅に短縮されている。まだコストの問題から一般に採用されるに至っていないが、場合によっては考慮してもよい問題であろう。

以上、有効容量選定上の考慮すべき点を指摘し、その解決策を提起したが、加圧式自動注湯装置は、大容量化しても圧力制御系は変わらないので、設備費・ランニングコスト共に有利であり、しかも (2) 頃に述べたような保持炉兼用装置もほとんど無視し得る設備費で実現できる点、大容量自動注湯装置に適していると考えられる。

## 6. ダクタイル鋳鉄用自動注湯装置と保持炉

この用途に対する要求は多いが、球状化处理溶湯中の球状黒鉛が大気中で時間経過に伴い減少していく現象があるので、この溶湯を保持するための溝形炉、注湯するための自動注湯装置は、1975 年以来、BBC 社製加圧式自動注湯炉で溶湯中の Mg の消耗割合が 0.003 ~ 0.004 %/h であることが実証され、かつインダクタ寿命も 1 年程度という使用実績を上げたので、BBC 社は、昭和 54 年の 1 年だけでもダクタイル鋳鉄用の加圧式注湯装置を 4 台納入する予定であり、いよいよダクタイル鋳鉄の自動注湯装置が実用期を迎えることになった。

また、ダクタイル鋳鉄用に多用されている DISAMATIC 造型機に組合せるのに最適のストップ付加圧式自動注湯装置の実用化とあいまって、この分野の発展が大いに期待される。

一方、自動注湯装置と同一の圧力制御方式を用いることにより、ダクタイル鋳鉄用保持炉が容易に製作できる。ダクタイル鋳鉄を扱う工場では溶湯の溶解側と鋳造側とのタイミングのアンバランス、溶解温度の上昇によって溶湯運搬過程における温度降下を補償せざるを得ないことなどが問題になっているが、ダクタイル鋳鉄用保持炉を採用すれば、一挙に解決できる。

ダクタイル鋳鉄用保持炉を設置すれば、次のような利点が得られる。

- (1) 造型プラントに対して連続的な出湯が保証できる。
- (2) 注湯する溶湯中のマグネシウム含有量が均等に分布する。
- (3) マグネシウムコンバータの稼動サイクルを短縮できる。
- (4) 均等で十分に高い温度が得られる。
- (5) マグネシウムの消費量を約 10 % 節約できる。
- (6) マグネシウム含有量と温度とが均等なので、や(治)金学的かつ鋳造技術的に優秀な品質の鋳物が得られる。このことは、ダクタイル鋳鉄のような高級鋳鉄においてこそ一層必要なことであろう。

ダクタイル鋳鉄の保持・注湯炉においては、特別なメンテナンスワークが必要であるが、適切なメンテナンスがなされれば、炉体ライニングは 1 年 ~ 1.5 年、インダクタは 6 箇月 ~ 1 年使えるという実績ができたことは、今後のこの分野への期待を抱かせるのに十分である。

## 7. む す び

以上、三菱-BBC 形加圧式自動注湯装置の概要を紹介するとともに、ダクタイル鋳鉄分野への適用について述べた。加圧式注湯装置は、構造が簡単で、鋳物屋さん好みであったが、レスポンスの悪さなどの欠点があって適用範囲が限定されていた。しかし、本文で紹介したストップ駆動装置を付加することにより、これらの欠点をすべて解消し、しかも 2 段注湯も、ダクタイル鋳鉄注湯も、高速タクト注湯もすべて可能な広範囲の特性を持つ自動注湯装置が実現した。今後、ユーザ各位の指導を得てますます改良を図るとともに、経済的で高性能な自動注湯装置の完成に精進する所存である。

# 最近の電磁クラッチ・ブレーキとその制御装置

西野 広\*・小林良治\*・岡本清秀\*・井上 宗明\*

## 1. ま え が き

電磁クラッチ・ブレーキが我が国で本格的に使用され始めてからおよそ20年になるが、この間ユーザとメーカーとの緊密な連携により、幾多の問題点を克服して、クラッチ技術水準の向上を図ってきた。そして現在では事務機・工作機械・紙工機械などのあらゆる産業分野で、機械の自動化・高速化・高能率化に極めて重要な役割を担っている。

また、機種内容も多様化したニーズにこたえるべく、当初の板式クラッチ以外にパウダ方式、ヒステリシス方式、更にインダクション方式と次々に開発されて豊富となり、一方これらをコントロールする制御装置も、単なるON・OFF制御からフィードバック制御方式へと常に最近の技術を駆使し、かつ総合電機メーカーとして電機一体となった製品を生み出してきた。

本文では最近の電磁クラッチ・ブレーキの動向と、それにマッチした数種の新製品について紹介する。

## 2. 最近の動向

機械の始動・停止を初め定位置停止・速度変換・クッションあるいは張力制御などの目的で用いられる電磁クラッチ・ブレーキは、今日のダイレクトドライブ志向の中で、依然図1.に見られるように拡大の傾向にある。この理由としては下記が考えられる。

- (1) ラッシュ電流がなく高ひん度使用に耐えられるので、機械の高能率化が図れる。
- (2) 慣性が小さいのでパワーレートを高くとれ、高速化が容易。
- (3) トルク調整が容易で制御性がよいので、高精度・最適制御化が図れる。
- (4) DCマグネットの使用により制御電力が少なく、よって制御装置のローコスト化が図れる。
- (5) トルクの割に小形・軽量であるので、機器のコンパクト化がで

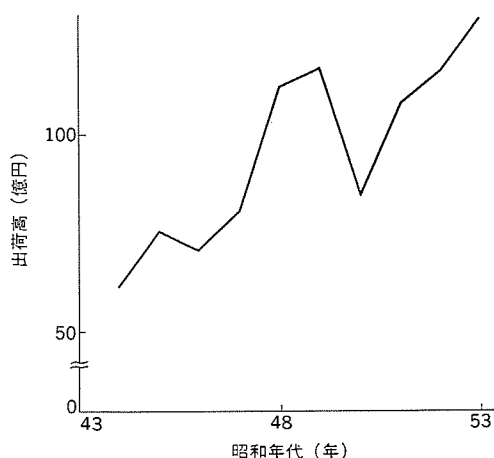


図1. 電磁クラッチ出荷高

る。

このような背景において最近の市場のニーズとして、

- (1) ローコスト化……機能のみを追求したもの、あるいは電源装置も併せてコストミニマムを図ったもので、例えば系電圧を80Vとしてトランスレスとし、かつ電源を本体にアドオンしたもの。
- (2) 専用化……用途に最もマッチしたオプティマム設計品で、例えばテープの巻取専用クラッチなど。
- (3) 高級・高性能化……マイクロコンピュータを導入し、従来の製品より上位機種としたもので、例えば印刷機の効率運転の要請にこたえ、よりシビアなコントロールを図ったもの。
- (4) 安全性の向上……安全に対する認識の増大と、それに対応可能な製品の要請にこたえた安全ブレーキなど。
- (5) 信頼性の向上……非接触クラッチ・ブレーキ（ヒステリシス・インダクション方式など）への需要移行と、それによるメンテナンスフリー化。などが求められているが、これらにマッチした製品として、新シリーズ乾式クラッチ・ブレーキ、インダクションクラッチ、ヒステリシス式ボビンクラッチ、及びその制御装置などについて述べる。

## 3. 乾式電磁クラッチ・ブレーキ「Sシリーズ」

クラッチ・ブレーキのトルク伝達方法として、スプライン駆動とピン駆動が主流を占めていたが、最近では経済性重視の要請から構造の簡易化を図った板ばね駆動方式へと移行しつつある。当社ではこれらにこたえるべく、次のような特長を折り込んだ新製品を開発した。

- (1) バックラッシュがないため異音もない。
- (2) しゅう(摺)動部分がなく高応答性が得られる。
- (3) 独特なばね形状により耐久性がある。
- (4) 正逆転はもちろん、立形・斜めなどの取付けが可能である。

### 3.1 構造と仕様

クラッチの構造を図2.に示す。コイルを付勢するとアーマチュアは板ばねの弾性力に抗してライニングに圧着され、同時にトルクが伝達される。消勢すると同じく板ばねによりアーマチュアは元の位置にもどり、トルクはしゃ断される。なおブレーキの構造もほぼ同一である。各種の一般的性能を表1.に示すが、これらはクラッチ・ブレーキ選定上の基本となるものである。

### 3.2 設計上の留意点

板ばね駆動方法は、ばねの形状、特性により性能、寿命が大きく左右される。当社ではこれらに対応するため独特の形状をしたダブルリングばねを開発した。これはトルク伝達するための強度は十分持ち合わせながら、ばね定数を低くし限界吸引ギャップの拡大を図り、しかもばねの耐久性は $10^7$ 回以上の繰り返し動作に耐えられることを確認している。同時にアーマチュアは適正なスリットを入れることにより、ライニングに間欠スリップを行わせ、耐摩耗性を向上させるよう考慮している。

制御装置としては、トランス・整流器を内蔵したZKF形に加え、最近ではクラッチ・ブレーキを90V系にして、半波整流、かつトランス

表 1. NEA-S, NEY-S 形 クラッチ・ブレーキ 標準仕様

(電圧 DC 24 V)

形 名	定格静摩擦 トルク (kg・m)	コイル (75°C)		アーマチュア 吸引時間 (s)	トルク立上り時間 (s)	トルク消滅時間 (s)	許容連結仕事量 (kg・m/min)	外 形 (mm)		重 量 (kg)
		電流(A)	電力(W)					外 径	幅	
NEA-1.2S クラッチ	1.2	0.55	13	0.020	0.045	0.020	260	φ 96	40.5	1.3
NEY-1.2S ブレーキ								φ 91	39.5	1.1
NEA-2.5S クラッチ	2.5	0.60	15	0.025	0.050	0.040	450	φ 120	44.0	2.3
NEY-2.5S ブレーキ								φ 113	42.0	1.6
NEA-5S クラッチ	5	0.90	22	0.030	0.070	0.050	800	φ 152	50.0	3.9
NEY-5S ブレーキ								φ 145	42.0	2.5
NEA-10S クラッチ	10	1.3	32	0.040	0.110	0.060	1,100	φ 190	59.1	8.0
NEY-10S ブレーキ								φ 197	48.1	4.4
NEA-20S クラッチ	20	1.6	39	0.050	0.150	0.080	1,650	φ 220	70.6	12.0
NEY-20S ブレーキ								φ 211	58.6	8.0

注 (1) 応答時間は一般的な代表値を示す。また初期ギャップ時とする。

(2) DC 90 V 系として“201”シリーズがある。(5 kg・m 以下)

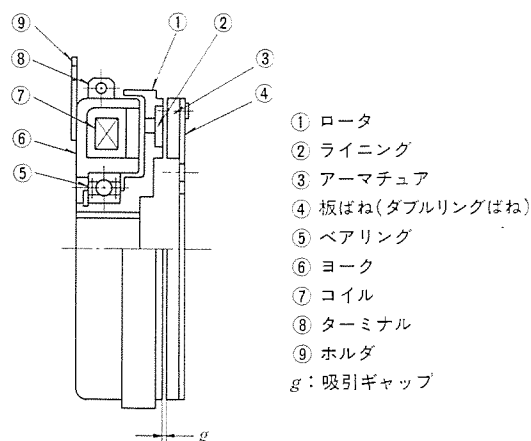


図 2. NEA-S 形電磁 クラッチ 構造図

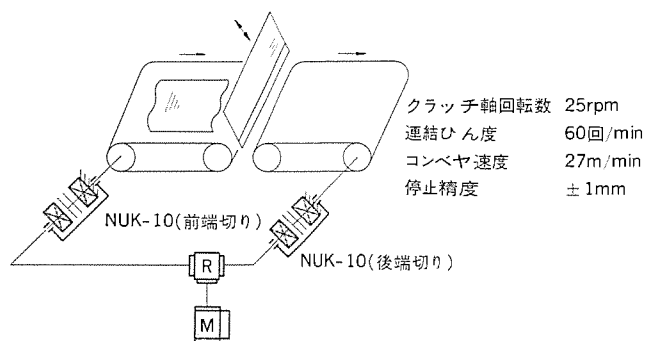


図 4. 合板機械に応用された例

各種産業機械から振動源のある漁船用まで用途は広範囲にわたっている。

図 3., 図 4. は合板機械に応用された例であるが、板ばね駆動方式を組込んだ NUK-10 クラッチ・ブレーキユニットが使用されている。不規則に形成されたコンベヤ上の木材を、所定位置で停止させて前端をカッティングし、更に次のコンベヤに移して後端をカッティングする目的のコンベヤの ON・OFF 用に使用されている。なお材料の歩留りと品質の点で、停止精度は極めて重要であるため無接点過励磁回路を採用した LP 形制御装置が用いられている。

#### 4. NJ 形無励磁作動形電磁ブレーキ

別名安全ブレーキともいわれる無励磁作動形ブレーキは機械を運転中、万一停電しても自動的に制動することができるため、回転物にはかかせないものとなっている。本品は機能を主体として開発したもので、合理的な構造で小形・軽量更に直流ブレーキとして優れた特性を備えている。更に超小形電源装置を内蔵しているため交流ブレーキと全く同じように簡単に使用でき、次のような特長がある。

- (1) 許容制動仕事量が大きく高ひん度使用も可能。
- (2) モールド化された超小形電源装置を内蔵しているため、交流ブレーキ並に使用できる。(NJ-5E 以下)
- (3) トルクの立上がり早く急速な制動ができる。
- (4) ブレーキモートルとしても取付けられるよう考慮しているため取付けが簡単である。
- (5) 停電時にも自動的に制動するため機械の惰走を防止できる。

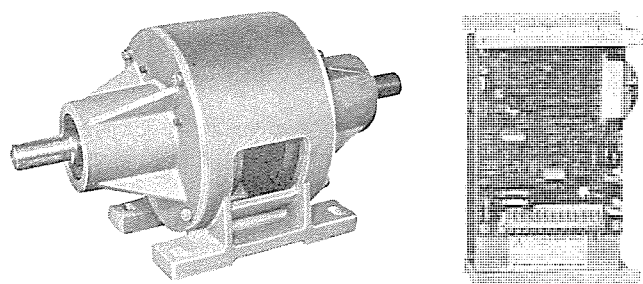


図 3. NUK 形電磁 クラッチ・ブレーキユニット (板ばね駆動内蔵) と LP 形制御装置

レスタイプの LL 形電源装置に移行する傾向にある。更に無接点方式の過励磁を採用した LP 形まで種々の形式を製作し、用途に最もマッチした使い分けができるようにしている。

#### 3.3 使用上の留意点

板ばね駆動方式では、他の駆動方法にないかずつの特長を有しているが、自動開けき(隙)調整装置を内蔵しないため、選定においては寿命を十分考慮する必要がある。一般的には軽負荷分野と言われる数 100 回転以下の使用で最大限の機能を発揮するものであるが、



表 2. NJ 形電磁 ブレーキ 標準仕様

形 名	定 格 磨 擦 ト ル ク (kg・m)	入 力 電 圧 (V)	コ イ ル (75°C)		アーマチュア 駆放時間 (s)		トルク立上り時間 (s)		許容制動仕事量 (kg・m/min)	外 形 (mm)		重 量 (kg)
			電 流 (A)	電 力 (W)	DC 切り	AC 切り	DC 切り	AC 切り		外 径	幅	
NJ-0.2 E	0.2	AC 200/200/220 50/60 60 Hz	0.1	9.1	0.025	0.25	0.030	0.255	200	φ 105	55.5	1.3
NJ-0.4 E	0.4										64.5	1.5
NJ-0.6 E	0.6		0.185	16.6	0.030	0.30	0.040	0.310	500	φ 120	64	2.2
NJ-1.2 E	1.2										77	2.4
NJ-2.5 E	2.5		0.284	25.5	0.080	0.80	0.090	0.850	750	φ 154	83.5	5.0
NJ-5 E	5	DC 90									99.5	5.6
NJ-10	10	DC 90	0.46	41.5	0.10	1.0	0.11	0.85	900	φ 188	92	13
NJ-20	20		0.59	53			0.13	1.05		φ 234	114	23
NJ-40	40		0.8	72			0.13	1.1		0.14	1.15	1,100

注 (1) 応答時間は一般的な代表値を示す。また初期ギャップ時とする。  
(2) 超小形電源装置内蔵は NJ-5 E 以下である。

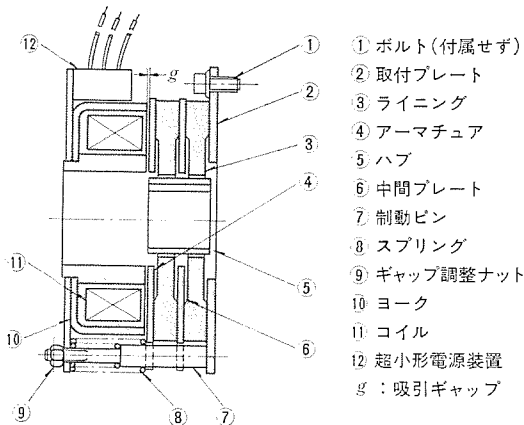


図 5. NJ 形電磁 ブレーキ 構造図

#### 4. 1 構造と仕様

ブレーキの構造を図 5. に示す。コイルを付勢するとアーマチュアはスプリングの弾性力に抗してヨークに吸引され、よってライニングは自由回転となり、負荷と一緒に回転される。消勢するとスプリングによりアーマチュアはライニングに押しつけられ制動力が働くものである。なお超小形電源装置は交流から直流に変換する機能を備え、ブレーキ本体に固定されているので取扱いやすくなっている。トルク的には 0.2~40 kg・m の 9 機種をシリーズ化しているが、その一般的な性能を表 2. に示す。

#### 4. 2 設計上の留意点

量産性をもたせた構造とするため、構成部品はすべてプレス加工により製作し機械加工は極力少なくしている。特に摩擦面においても平面度を得るため特殊プレス加工を行い冷間圧延材をそのまま利用している。またライニングは衝撃強度、曲げ強度の大きい材料を使用することにより角穴部の強度をもたせている。更に特殊ナットと 2 重スプリングにより吸引ギャップを確実に保持するとともに調整しやすいようにしている。特に注目すべき点は超小形電源装置で、素子はモールドにより完全に絶縁して小形化しながら信頼性を高め、かつ外部接続の方法により AC, DC 切りが簡単にできるよう考慮している。

#### 4. 3 選定上の留意点

回転物を急停止させる場合、惰行回転が十分許容値以内であるかどうかの検討が必要である。特に昇降関係に使用するとき、アーマチュア解放時間内に負荷がオーバーする可能性があり、これを見込ん

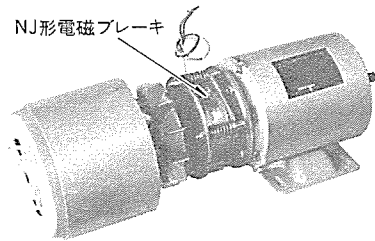


図 6. ブレーキモートルとして応用された例

で選定する必要がある。これらにより超小形電源装置の接続方法を AC, DC, のどちらで接続するか考慮すればよい。なお超小形電源装置内蔵により交流ブレーキ並に使用できる。したがってブレーキモートル用としても容易に取付けができ、簡単に使用できるようになっている。この取付例を図 6. に示す。

#### 5. 新形インダクションクラッチと速度制御装置

インダクションクラッチは電磁誘導作用を応用した非接触形クラッチで、その特性によりスリップサービス用として速度制御や巻取制御の分野に広く用いられている。今回非接触形クラッチのメリットを高めるために、新たにブラシレス化を図り、次のような特長を折り込んだ新シリーズ「ZT-SA 形」と、制御装置「LG-WS 形」を開発した(図 7. 参照)。

##### (1) 半永久的な寿命

ブラシレス化クラッチと無接点化制御装置のための、半永久的な寿命である。

##### (2) 高応答・高能率

うず(渦)電流式、コイル回転形と比べて低慣性、高トルクである。

##### (3) スムーズな運転・高範囲な速度比

クラッチはトルク制御性が良いので制御範囲 1:14 まで可能。

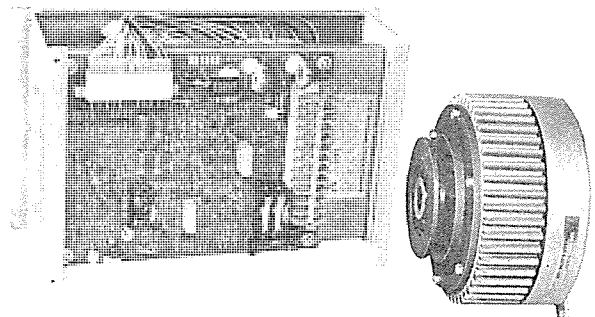


図 7. ZT 形 インダクションクラッチ と LG 形速度制御装置

## 5.1 構造と仕様

クラッチの構造は図8に示すとおり、ドライブメンバ ASSY（駆動側）、ドリブンメンバ ASSY（被駆動側）、コイル ASSY の3部品により構成されている。速度制御用の速度検出はスパイダと近接スイッチで行っている。コイルを励磁すると点線に示すように磁束が流れ、ドライブメンバ内周に埋め込んであるかご形導体に2次電流が発生する。この2次電流による磁界と、励磁磁界との電磁作用により吸引力すなわちトルクが発生する。そのトルクは電磁誘導作用と中抵抗特性により比較的平たんなスリップ特性となり、約500rpm付近でピークとなる。また励磁電流の1.5～2乗に比例したトルク特性となる。なお、定格トルク0.6～5kg・mの3機種をシリーズ化し、モータ容量で0.4～5.5kWに対応させている。表3.にこれの一般的性能を示す。

## 5.2 設計上の留意点

インダクションクラッチはスリップサーブス用として使用されることが多いので、特に熱容量とメンテナンスフリー及び制御性に留意して製品化した。クラッチ外周の冷却フィンを熱発生部であるかご形導体と一体に鋳造

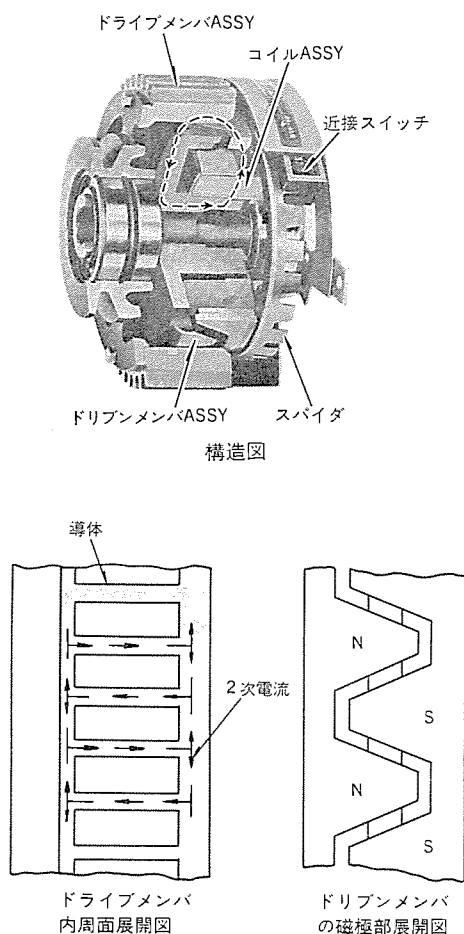


図8. ZT形 インダクションクラッチ 構造図

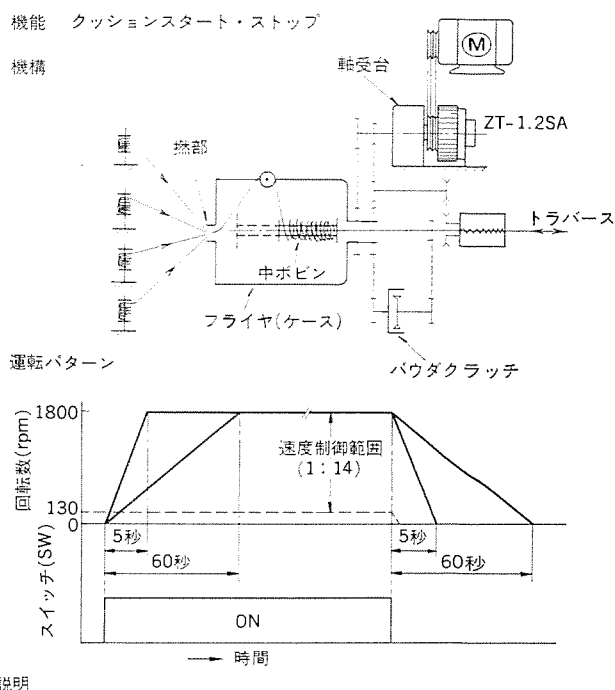
し熱放散効率を高め、かつF種絶縁・耐熱性グリースを採用して過酷な使用でも十分耐えるよう考慮している。また上述のとおり、かご形導体に中抵抗のアルミ合金を採用して平たんなスリップ特性を得て制御性を高めている。

速度制御装置はクラッチに内蔵した速度検出器により出力回転数を制御するもので、クラッチの諸特性をフルに活用するように、次の点を特に考慮して製品化した。

すなわち、多様化した要求に容易に使用できるように各負荷に適合したクッション始動・停止・インテグ・速度範囲及び入力電源などの調整機能を設け、また速度比も大きく1:14まで可能にしている。更に、これらの機能の割に小形・安価にまとめるために80V系を採用しトランスレス化を図っている。

## 5.3 応用

インダクションクラッチは簡易な電気式無段変速装置として繊維機械、金属加工機をはじめ各種産業分野で広く用いられているが、1例としてより(燃)線機のスピード設定とクッションスタート・ストップ用として使用された例を図9.に示す。



説明

・始動、停止時の時間調整はもちろん速度設定を急に変えてもショックを与えることなく運転できる。したがってコンベヤ、クレーン等の搬送機械、紙、糸、電線機械、その他加減速時にショックが加わると不具合が出る用途に適している。

図9. 熱線機に応用された例

表3. ZT形 インダクションクラッチ 標準仕様

(電圧 DC 80 V)

形 名	定格トルク (kg・m)	コ イ ル (75℃)		ス リ ッ プ 率 (W)		出力側 GD <sup>2</sup> (kg・m <sup>2</sup> )	許容回転数 (rpm)	外 形 (mm)		重 量 (kg)
		電 流 (A)	電 力 (W)	1,000(rpm)	1,800(rpm)			外 径	幅	
ZT-0.6 SA	0.6	0.70	56	500	800	0.020	3,600	φ 173	125	9
ZT-1.2 SA	1.2	0.92	74	1,100	1,600	0.045	3,600	φ 202	153	15
ZT-5 SA	5	1.42	114	2,500	4,500	0.423	3,000	φ 300	220	45

## 6. ZX 形ボビンクラッチ

ボビンクラッチは主として磁気テープ、コンデンサフィルムなどの極薄フィルムの多連巻取制御用に用いられる。この種のクラッチはスリッタ機の巻取軸とテープ巻取ボビンの間などに設け、かつ巻取軸に10～50個直列に取付けるため、内外径、全長ともに寸法制約が厳しい。このため従来は機械式スリップ機構の分野であったが、今回新たにインダクションクラッチとヒステリシスクラッチの技術をもとに新構造、新技術を採用してZX形ボビンクラッチを開発した。またその制御装置として巻取径を演算して張力を制御する「Dテンション張力制御装置」を新たに開発した。これらの製品は次の特長を有している。

- (1) 優れたトルク制御性と正確なトルク反復性　スリップ回転数に関係なく励磁電流に比例したトルクが得られる。
- (2) 小形軽量　磁気テープに多く用いられている。3インチNA Bハブが装着できる外形寸法である。
- (3) 高寿命、メンテナンスフリー　機械的接触がないため、摩擦式のように摩耗する部分がなく寿命は半永久的である。
- (4) Dテンション張力制御システムを併用すると、定張力から定トルク制御までフィルムの性状に合わせて張力を容易に制御できる。

### 6.1 構造と仕様

ZX形ボビンクラッチは図10.に示すとおり、コイルASSY（駆動側）、マグネットASSY（被駆動側）から構成している。コイルASSYは、異極子とこれに内蔵した励磁コイルからなり、巻取軸に固定する。マグネット組立てはトルク発生部であるヒステリシス材（マグネット）とハブ取付用アダプタからなり、ボビン（NABハブ）を装着する。ボビンクラッチの動作原理はヒステリシス損を応用しているもので、トルク特性、スリップ特性等の性能はヒステリシスクラッチと同様である。

### 6.2 設計上の留意点

ボビンクラッチは上述のとおり、極薄物フィルムの多連巻取用を想定した製品であるので、特に寸法制約、トルク特性に留意して開発した。外形寸法は内外径、幅とも厳しいので、ヒステリシス材の厚みを1mmとし、これに合わせて異極子の極数、厚みを最適値とするとともに、コイル絶縁、コイル引出部も新技術を採用し、かつ薄形ベアリングを採用して小形化している。また、特殊オイル潤滑を採用して極力空転トルクを小さくするとともに、各部主要寸法を極力押さえて、トルク特性の均一化を図っている。

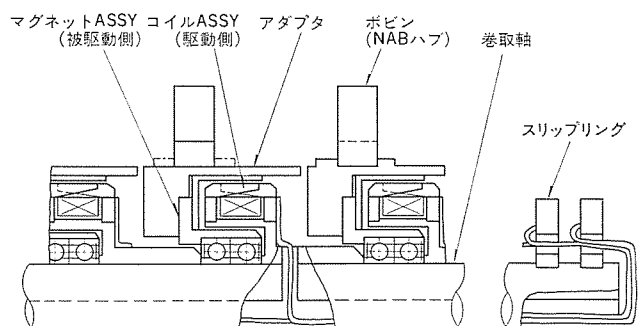


図 10. ボビンクラッチ 取付け参考図

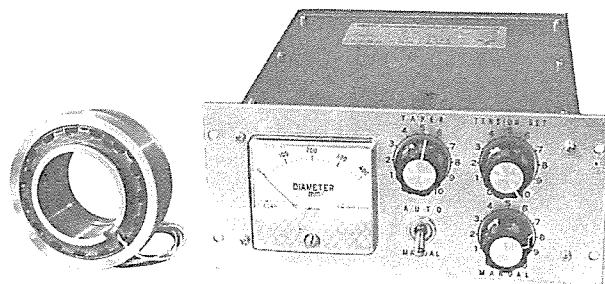


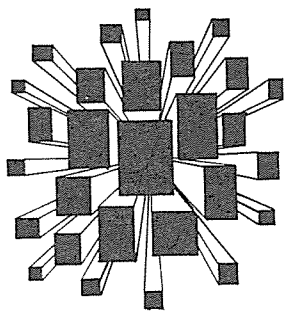
図 11. ボビンクラッチとDテンション張力制御装置

Dテンション張力制御システムは、巻取径指示計及び、張力設定、テープ設定、手動の各つまみを前面パネルに集中させて、操作性に留意した製品としている。（図11.参照）

## 7. む す び

以上最近のトピック的製品について、その概要を説明したが、現在の市場は価格に対する厳しい要求と、より高級・高性能製品の要請との2極分化の傾向にあり、また機電一体となったユニット化志向が強まる中で、これらに十分対応できる製品と考えている。

電磁クラッチ・ブレーキとその制御装置は、産業界の生産性向上には不可欠のものとの認識に立ち、更に多様化する市場のニーズに十分マッチした製品を生み出すべく努力し、一層の飛躍を図ってきたい。



# 特許と新案

グリース (特許 第 837085 号)

発明者 織田博靖・今村恒浩・菊地清秋・影山八郎・鈴木利郎

この発明はコロガリ軸受、又はしゅう(摺)動軸受等の動力伝達系に生じる静電気をアースに導くのに都合のよいグリースに関するものである。事務機器などの自動化機器において動力伝達系に合成繊維系のベルトが用いられている場合、ベルトとベアリング等との間に静電気が生じ、それが事務機器などの動作に悪影響を及ぼす。

すなわち、磁気ディスク記憶装置等においては静電気の放電によって生ずるノイズのためにデータの書込み、あるいは読出し誤りを起こす。そのためベアリングの内輪と外輪との間に導電性を有するグリースを潤滑剤として注入し、異質物間に生ずる静電気を導電性グリースを介してアースに導く必要がある。

ところで、一般に導電性潤滑油又は導電グリースの基油として知られているポリエテル、あるいはポリグリコール系潤滑油はごく短時間コロガリ軸受に使用した場合、数時間は導電性を有するが、潤滑性の

不良による温度上昇及び温度上昇に伴う潤滑剤の揮発及び劣化によって絶縁性を持ち急激に通電性を失い、同時に潤滑不能に陥る欠点がある。また、潤滑グリースに金属粉、黒鉛等の導電性の物質を適量添加したものは軸受音響を異常に高くするなどの欠点がある。

この発明のグリースはこのような従来のグリースの問題点を改善したもので、潤滑グリースに、 $C_8 \sim C_{20}$ の飽和脂肪酸及び上記飽和脂肪酸の銀石けん 0.01~1.0 wt % にて表面被覆した粒子径  $5 \mu$  以下のうろこ(鱗)状銀粉を 1~50 wt % と、金属不活性化剤 0.01~1.0 wt % と固体の分散維持剤として線状ポリオレフィン 0.5~10 wt % とを含有せしめたことを特徴とするもので、長時間にわたって導電性と潤滑性を保持する特性を有する。

なお、この特許は三菱電機(株)、協同油脂(株)、日本精工(株)の3社共有権利である。

## 保護継電装置 (特許 第 830001 号)

発明者 北浦孝一・鈴木健治

この発明は、故障時に無電流となる端子が存在する場合、内部故障時に微少な流出電流が生ずる場合、故障電流中に直流分が含まれている場合にも確実に系統を保護する位相比較保護継電装置を得ることを目的としている。

この発明では、電源端では正負両極性にスライスレベル  $I_H$  を設け、電流の瞬時値が正極性で  $I_H$  より大なとき周波数偏移を  $F_1$ 、その他の期間を  $F_2$ 、電流の瞬時値が負極性で絶対値が  $I_H$  より大のとき  $F_3$ 、その他の期間を  $F_4$  とする。非電源端又は可変電源端では正負

両極性にスライスレベル  $I_L$  ( $I_H > I_L$ ) を設け、電流の瞬時値が負極性でかつ絶対値が  $I_L$  より大のとき周波数偏移を  $F_2$ 、その他の期間を  $F_1$ 、電流の瞬時値が正で  $I_L$  より大のとき  $F_4$ 、その他の期間を  $F_3$  としている。両端の  $F_1$  同志又は  $F_3$  同志が重なるとトリップする。図 1. は外部故障、図 2. は両端流入の内部故障、図 3. は無電流端のある内部故障、図 4. は流出端のある内部故障、図 5. は直流分が含まれる場合についての波形図である。

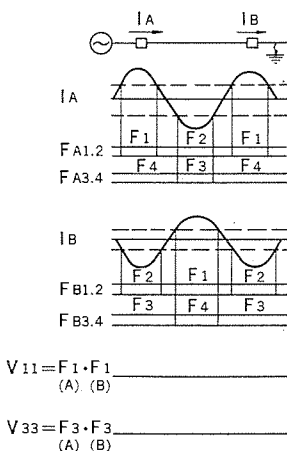


図 1

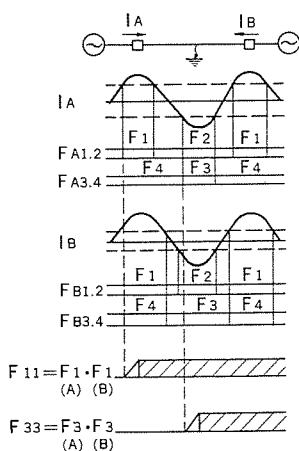


図 2

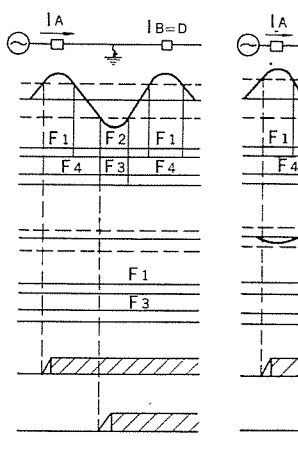


図 3

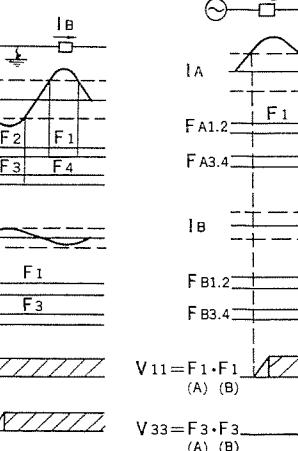


図 4

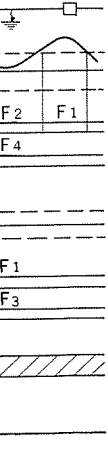


図 5

## 磁気円板 (実用新案 第1082489号)

考案者 織田博靖

この考案は磁気ディスク記憶装置の情報記録媒体である磁気円板に関するものである。磁気ディスク記憶装置において、情報を記録する円板のトラックの長さは円板上の半径によって異なり、そのため全トラックに同一の容量の情報を記録すると外周トラックと、内周トラックとでは円周方向の記録密度(ビット密度)が異なり、内周トラックのほうがビット密度が高くなる。

ところで、ビット密度が十分低い場合には、図1.の点線で示すような読出し波形が得られるが、ビット密度が高くなると図1.の実線で示すような読出し波形となり、読出しパルス相互間の干渉が起こる。そのため、ビット密度の高い内周トラックにおいては分解能を十分に上げて干渉の度合いを外周トラックとほぼ同じ程度にする必要がある。

一方、読出し波形のパルス半値幅  $P$  は次式によって与えられる。

$$P_{50} = [L^2 + 4(H+A)^2]^{1/2} \quad (1)$$

$$A \approx \frac{1}{4} \cdot \frac{BrT}{HC} \quad (2)$$

ここで  $A$  : 磁気円板自体の分解能を決める磁化反転幅

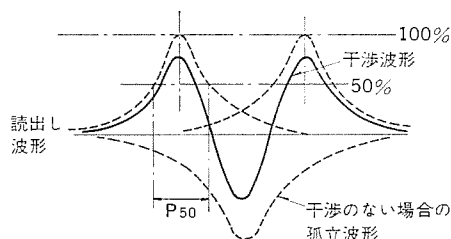


図1

- L : 磁気ヘッド先端ギャップ幅
- H : 磁気ヘッドと磁性膜厚中心との距離
- Br : 磁性膜の残留磁化
- HC : 磁性膜の保磁力
- T : 磁性膜の厚み

この考案は上記式(1)(2)に着目し、図2.に示す如く円板(4)を形成する基材(5)に設けた磁性膜(6)上に設ける保護膜(7)の厚さを外周部ほど厚くすることにより、磁気ヘッドと磁性膜厚中心との距離  $H$  を外周部ほど大きくしたもので、これによってパルス半値幅  $P_{50}$  は磁気円板の外周部ほど大きくなり、読出しパルスの相互干渉を防ぐことができる。

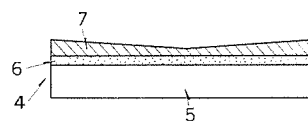


図2

## 張力制御装置 (特許 第868126号)

発明者 浅野哲正・柏原正信

この発明は、電磁粒子式クラッチあるいはブレーキなどの励磁電流にほぼ比例したトルクを発生する駆動機あるいは、制動機による長尺材の巻取り・巻出し張力制御装置、特に巻太りに伴って張力を減少し、あるいは巻細りに伴って張力を増加させるためのいわゆるテーパテンション制御装置に関するもので、駆動機又は制動機のトルク制御用励磁コイルの励磁電圧を正帰還させることにより、張力設定器を操作することなく、簡単な回路構成でテーパテンション制御装置を提供するものである。

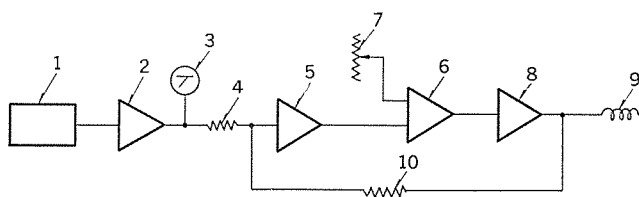
図において、(1)は張力検出器、(2)は増幅器、(3)は張力計、(4)は抵抗、(5)は加算増幅器、(6)は比較器、(7)は張力設定器、(8)は増幅器、(9)は駆動機又は制動機の励磁コイル、(10)は正帰還用抵抗であり、張力検出器(1)の増幅出力は張力計(3)に与えられるとともに抵抗(4)を介して加算器(5)に印加される。加算器(5)は増幅器(8)からの出力を加算の上、その出力は張力設定器(7)の出力と比較され、増幅器(8)を経て励磁コイル(9)が励磁される。

このように構成されたものにおいて巻径の増大に伴って増幅器(8)の出力が増加すると少ない張力検出値に対して比較器(6)の入力が等しくなるため張力は減少することになる。この関係は次式で示される。 $V_S = K_1 F + K_2 E \dots \dots \dots ①$  ここで、 $V_S$  = 張力設定器(7)

の設定電圧、 $F$  = 検出張力、 $K_1$  = 増幅器(2)・(5)の増幅率及び抵抗(4)によって定まる定数、 $E$  = 増幅器(8)の出力電圧、 $K_2$  = 抵抗(10)及び増幅器(5)の増幅率によって定まる定数である。また張力  $F$  は次の関係を有している。 $F = K_3 E / D \dots \dots \dots ②$ 、ここに、 $D$  = 巻径、 $K_3$  = 駆動機又は制動機の励磁電圧対発生トルク比例係数である。したがって、式①・②より張力  $F$  は次式で与えられる。

$$F = V_S / [K_1 + (K_2 / K_3) D] \dots \dots \dots ③$$

この発明は以上のように、式③から明らかとなり定数  $K_1$ 、 $K_2$  を適当に選択すれば一定の張力設定値に対して実際の張力は巻径増加に伴って減少し、その比率は張力設定値とは無関係に一定となり簡単な回路構成によりテーパテンションを得ることができる。



# 内部絶縁樹脂封止形トライアックBCR16EMシリーズ

敏昭\*・森 敏\*・山本 悟\*

## 1. ま え が き

最近、家庭電化製品を中心とする民生用機器、及び産業機器の電子化に伴い、中容量のトライアックの応用分野が拡大され、その需要が増大している。この需要の増大に伴い経済性、量産性のより優れた樹脂封止形のものが必要されるようになってきた。

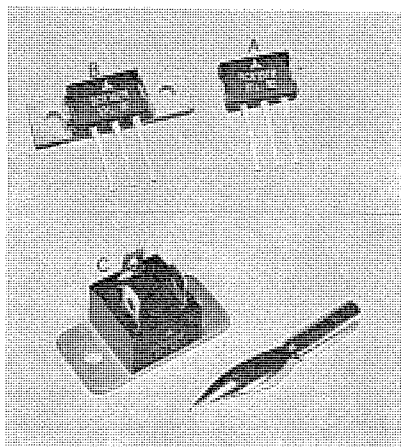
過去トライアックのモールド化は、小容量のクラスから順次進められてきており、現在までに市販されている樹脂封止形トライアックでは電流容量10 Aクラスのものが最大容量であった。

このたび樹脂封止形トライアックシリーズを拡大するため、電流容量16 Aクラスでしかも内部絶縁形で、特性、定格、信頼性等において従来のキャンタイプと同等の品質を有した樹脂封止形トライアックBCR16EMシリーズ(図1.)の開発、量産化に成功した。

このBCR16EMシリーズは、10 A以下のサイリスタやトライアックで既に豊富な実績を持つ、安定したガラスパッシベーション技術と、樹脂封止形素子の大電力化に伴い大きくなったパレットに対し加わる応力を軽減するための新しい組立技術などを駆使し、設計・製作した素子である。また、内部絶縁形となっているのでじんあい(塵埃)(金属粉)などの影響を受けにくく安定した絶縁耐力を保持することができ、信頼性の向上を図ることができた。素子の使用に際しても取付けが非常に簡単になり省力化が図れる。

なおBCR16EMは、はんだ付け形、BCR16FMは取付板付形、BCR16GMはファストン端子形となっており、用途に応じ使い分けることが可能となる。

本稿では、ガラスパッシベーション技術を採用した内部絶縁樹脂封止形トライアックBCR16EMシリーズの構造、製法及び製造技術上の諸問題、特に組立技術について述べ、更にBCR16EMシリーズの定格特性、信頼性及びその応用について述べる。



A : BCR 16 EM  
B : BCR 16 FM  
C : BCR 16 GM

図 1. 内部絶縁樹脂封止形トライアックBCR16EMシリーズ

## 2. BCR 16 EM の構造と製法

BCR16EMの構造の概略を図2.に示す。この素子の構造上の特長は図のようにプレートとベース間に絶縁板をはさみ、端子間距離を2.5 mmに保ちながら、かつ外装が小形化になるよう設計していることである。

プレートとベース間を樹脂内部で絶縁したため従来のキャンタイプに比し量産性に優れ、素子使用上においてもあらためて絶縁保護する必要がないので取扱いが容易になった。また図1.に示したBCR16GMは、各端子にファストン端子(187番)を使用し、またその端子間隔が3.5 mm以上になっているので配線作業の省力化が図れる。

BCR16EMのパレットを図3.に示す。まずn形シリコン基板にp形及びn形の不純物を拡散によって両面に形成しトライアックの基本構造を作る、その後ウエハの両面からみぞを形成し、そのみぞの内部にガラス膜を被着しパッシベーション処理を行う。

このパッシベーションに使用しているガラスは耐腐食性の強い鉛系ガラスのうち鉛含有量の大きいガラスを使い、かつ膜厚も厚くすることにより信頼度の高い素子をつくることができた。

次にパッシベーションの完了したパレットと、あらかじめベースと絶縁板をろう付けしたものと、プレート及びT<sub>1</sub>電極板、ゲート電極板とを1度にろう付けし図2.のようにする、その後樹脂封止を行ってBCR16EMの素子を製作する。

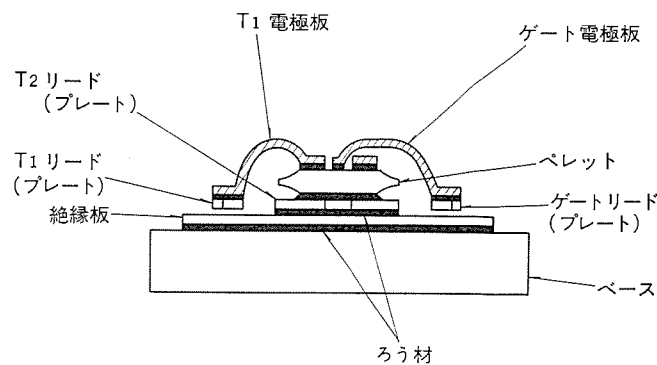


図 2. BCR 16 EM の素子構造

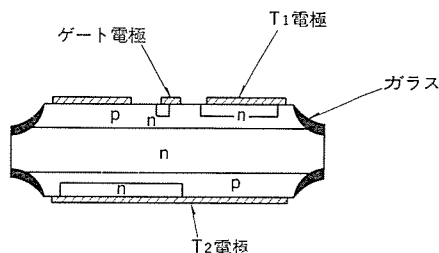


図 3. BCR 16 EM シリーズのパレット構造



### 3. 組立技術

樹脂封止形トライアックの大電力化に伴い、ペレットに加わる応力を少なくし、かつろう付けを完全に行う組立技術がとくに重要である。安定した特性を得るには、ペレットに対し応力がかかりにくい構造とする。そのためには、図2.において $T_1$ 電極板の形状に応じて、 $T_1$ 電極板とペレット間のろう材は十分な厚みにする必要がある。また絶縁板とベース及びプレート間のろう材が均一なものであって、かつ巣のないことが必要である。

図4.は $T_1$ 電極板とペレット間のろう材の厚みによって、断続通電試験に対する電気特性の安定性（不安定なものはオフ電流の増加となって現れる）に差のあることを示す。 $T_1$ 電極板のペレットと接触する面積を小さくすれば、ペレットに加わる応力は減少し、ペレットにクラックが発生する問題はなくなる。しかしサージ耐量が減少する問題が生ずる。この問題に対処するため、構造を変化させて安定性を調べたが、ペレットの表面処理（めっき）面積と $T_1$ 電極板の大きさの比率に関連してろう材の厚さを適切な値に設計する必要がある。図5.は絶縁板とベース及びプレート間のろう材の種類によって断続通電試験に対する電気特性の安定性（不安定なものはオン電圧の増加となって現れる）に差のあることを示す。絶縁板とのろう付けにおいて巣の発生しないろう付けを行うには、ベースとプレートの表面処理に適したろう材の選択が必要である。ベースとプレートは、

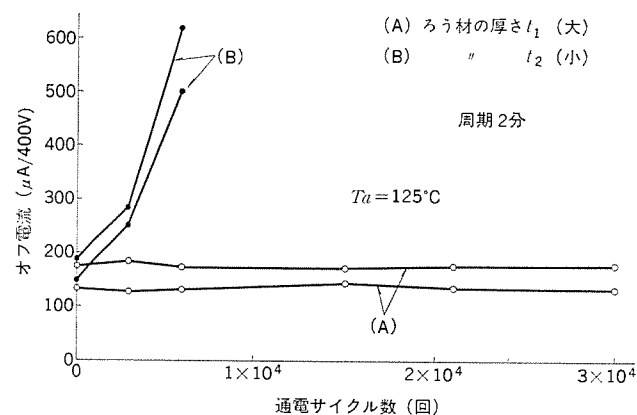


図4.  $T_1$ 電極板とプレート間のろう材の厚みによる断続通電試験結果

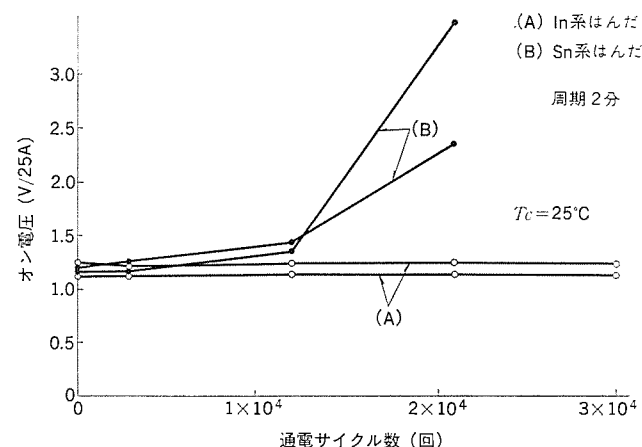


図5. ろう材の材質による断続通電試験結果

素子を使用する側での取付け及び電気配線を容易にするため、はんだウエット性のよい表面処理を行っている。そのために絶縁板とのろう付けに、流れのよいSn系はんだを用いると、ろう付周辺部にろう材が流れてしまい、不完全な巣のあるろう付けとなる。ろう材にIn系はんだを用いることにより、完全なろう付けが可能となり、断続通電試験に対する安定性を向上させることができるようになった。

以上のように $T_1$ 電極板とプレート間のろう材の十分な厚みと、ろう付部の表面処理にもっとも適したろう材を選ぶことにより、また、 $T_1$ 電極板の形状及び $T_1$ 電極板とプレートの接続方法を工夫して、電流容量16Aの内部絶縁形高信頼のトライアックを製作することができた。

### 4. 定格と特性

前章でも述べたように、このBCR 16 EMシリーズは、樹脂封止形でしかも内部絶縁を施したトライアックであるにもかかわらず、定格・特性については従来の16Aクラスのキャンタイプトライアックに相当する性能を有している。表1.にこの内部絶縁・樹脂封止形中電力トライアックBCR 16 EMシリーズの定格・特性を示し、以下にその内の主な定格及び特性について述べる。

#### 4.1 電圧定格

BCR 16 EMシリーズは、ガラスパッシベーション技術を導入したことにより、素子の高圧化が可能になるとともに、高温での安定性が良くなった。

表1. BCR 16 EMシリーズの主要定格と特性

項 目		記 号	耐 圧 ク ラ ス				単 位
			4	6	8	10	
定	ピーク繰返しオフ電圧	$V_{DRM}$	200	300	400	500	V
	ピーク非繰返しオフ電圧	$V_{DSM}$	300	400	600	700	V
格	実効オン電流	$I_T(\text{rms})$	16 ( $T_C=73^{\circ}\text{C}$ , 商用周波数, 正弦波 360 度連続通電)				A
	サージオン電流	$I_{TSM}$	170 (60 Hz, 正弦全波 1 サイクル波) 高値, 非繰返し				A
	電流 2 乗時間積	$I^2t$	121 (半波 1 サイクルサージオン電流 に対する値)				A <sup>2</sup> s
	接 合 温 度	$T_j$	-40~+125				°C
	保 存 温 度	$T_{stg}$	-40~+125				°C
	オ フ 電 流	$I_{DRM}$	3 ( $T_j=125^{\circ}\text{C}$ , $V_{DRM}$ 印加)				mA
特	オ ン 電 圧	$V_{TM}$	1.6 ( $T_C=25^{\circ}\text{C}$ , $I_{TM}=25\text{ A}$ , 瞬時 測定)				V
	ゲートトリガ電圧	I	$V_{FGT}$	I	1.5 ( $T_j=25^{\circ}\text{C}$ , $V_D=6\text{ V}$ , $R_L=6\Omega$ , $R_G=330\Omega$ )		V
		II	$V_{RGT}$	I	1.5 ( $T_j=25^{\circ}\text{C}$ , $V_D=6\text{ V}$ , $R_L=6\Omega$ , $R_G=330\Omega$ )		V
		III	$V_{RGT}$	III	1.5 ( $T_j=25^{\circ}\text{C}$ , $V_D=6\text{ V}$ , $R_L=6\Omega$ , $R_G=330\Omega$ )		V
	ゲート非トリガ電圧	$V_{GD}$	0.2 ( $T_j=125^{\circ}\text{C}$ , $V_D=1/2 V_{DRM}$ )				V
	ゲートトリガ電流	I	$I_{FGT}$	I	30 ( $T_j=25^{\circ}\text{C}$ , $V_D=6\text{ V}$ , $R_L=6\Omega$ , $R_G=330\Omega$ )		mA
II		$I_{RGT}$	I	30 ( $T_j=25^{\circ}\text{C}$ , $V_D=6\text{ V}$ , $R_L=6\Omega$ , $R_G=330\Omega$ )		mA	
III		$I_{RGT}$	III	30 ( $T_j=25^{\circ}\text{C}$ , $V_D=6\text{ V}$ , $R_L=6\Omega$ , $R_G=330\Omega$ )		mA	
性	転流時オフ電圧上昇率	$(dv/dt)_c$	$\frac{6}{(V_D=200\text{V}, (di/dt)_c=-8\text{A/ms}, T_j=125^{\circ}\text{C})} \left  \frac{10}{(V_D=400\text{V}, (di/dt)_c=-8\text{A/ms}, T_j=125^{\circ}\text{C})} \right $				V/ s
	熱 抵 抗	$R_{th(j-c)}$	2.4 (接合-ケース間)				°C/W
	絶 縁 耐 力	$V_{iso}$	1,500 ( $T_a=25^{\circ}\text{C}$ , AC, 1 分間, $T_2$ ) 端子-ベース間				V

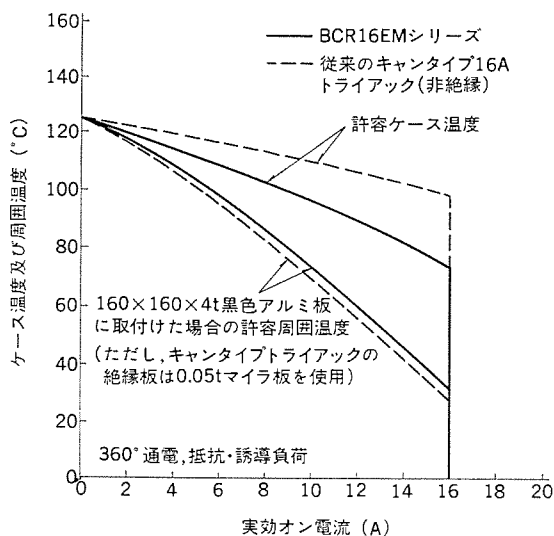


図 6. 実効 オン 電流の限界値

したがって、最高接合温度 125°C において、ピーク繰り返しオフ電圧 ( $V_{DRM}$ ) は最高 500 V まで保証しており、サージ電圧に対してもピーク非繰り返しオフ電圧 ( $V_{DSM}$ ) は最高 700 V まで保証している。したがって、BCR 16 EM シリーズの場合、交流電源において 240 V まで直接制御が可能である。

#### 4.2 電流定格

図 6. は、抵抗又は誘導負荷に商用周波数単相全波電流を通電する場合の許容ケース温度及び許容周囲温度と実効オン電流との関係を BCR 16 EM シリーズ及び、従来のキャンタイプトライアック（非絶縁形）について示したものである。同図において、まず許容ケース温度について比較した場合、実効オン電流 16 A に対し BCR 16 EM シリーズは内部絶縁形であるため 73°C と従来の非絶縁形キャンタイプトライアックの 99°C より 26°C 低い。しかし、次のような理由により、実使用においてはこの BCR 16 EM シリーズを使用したほうが、かえって熱放散が若干良くなり、許容周囲温度が高くなる。従来の非絶縁形トライアックの場合には素子内部で発生した熱が絶縁板を通して放熱板に放散されるのに対し、BCR 16 EM シリーズでは素子を直接放熱板に取付けることができるためこの間の接触熱抵抗の差だけわずかに熱放散が良くなる。例えば、同一の放熱板 (160□×4t 黒色塗装) に従来の非絶縁形キャンタイプトライアックを 0.05t のマイラ板で絶縁して取付け、実効オン電流 16 A を通電した場合の許容ケース温度は 29°C になるのに対し、BCR 16 EM シリーズをじか付けで取付けた場合は 31°C となる。

定格サージオン電流は 60 Hz、正弦全波 1 サイクル波高値、非繰り返し条件下で 170 A を保証しており、従来の 16 A キャンタイプのトライアックとまったく同一の定格値を保証できる。

#### 4.3 接合温度

BCR 16 EM シリーズの定格接合温度は、表 1. に示すとおり -40°C ~ +125°C を保証している。接合温度 125°C を保証することにより前述のとおり電流定格が有利になる。すなわち、定常電流通電時における許容ケース温度を高く設計できるだけでなく、ランプなどの突入電流による接合温度上昇についても設計に裕度が生ずる。このように接合温度 125°C を保証したトライアックは高い周囲温度で使用するほどその威力を発揮することができる。

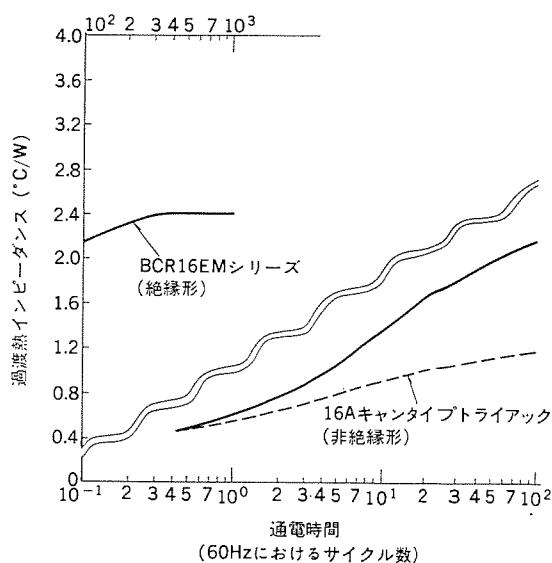


図 7. 最大過渡熱インピーダンス特性（接合ケース間）

#### 4.4 ゲートトリガ特性及び転流特性

BCR 16 EM シリーズは従来のキャンタイプのトライアック BCR 16 A シリーズと同様、I ( $T_2$ : +,  $G$ : +), II ( $T_2$ : +,  $G$ : -), III ( $T_2$ : -,  $G$ : -) の各トリガモードでゲートトリガ電流は 30 mA、ゲートトリガ電圧は 1.5 V と高感度である。さて一般的にゲートトリガ特性及び各モードでのトリガ感度の均一性と転流特性とは互いに相反する特性で、ゲート特性を良くすると転流特性が悪くなるという関係がある。しかし BCR 16 EM シリーズは前述のように、ゲートトリガ特性が高感度であるにもかかわらず良好な転流特性を有している。すなわち表 1. に示すような転流時オフ電圧上昇率 ( $dv/dt$ )<sub>e</sub> = 10 V/μs (8, 10 クラス), ( $dv/dt$ )<sub>e</sub> = 6 V/μs (4, 6 クラス) に耐えることができるため誘導負荷でも安心して使用できる。

#### 4.5 熱抵抗、過渡熱インピーダンス特性

図 7. に BCR 16 EM シリーズと 16 A キャンタイプトライアック（非絶縁形）の最大過渡熱インピーダンス特性を示す。BCR 16 EM シリーズは絶縁形であるため、シリコンパレットで発熱した熱は主にシリコン→ろう材→絶縁板→ろう材→ベース板の順に放散されるので過渡熱インピーダンスの飽和時間も遅く、その値も 2.4°C/W と大きい。しかし、3.2 節でも述べたように、非絶縁形トライアックと放熱フィンとの間にマイラ板などの絶縁板をはさんで使用した場合とを比較すると、BCR 16 EM のほうが若干熱抵抗が小さくなる。

#### 4.6 絶縁耐力及び絶縁抵抗

BCR 16 EM シリーズの絶縁耐力は、 $T_2$  端子-ベース板間で交流 1,500 V (1 分間印加) を保証している。また絶縁抵抗は DC 500 V メガで測定した結果 1,000 MΩ 以上であった。したがって電気用品取締法の規定（絶縁耐力 1,500 V、絶縁抵抗 1 MΩ）を十分満足することができる。

### 5. BCR 16 EM シリーズの信頼性

BCR 16 EM シリーズは構造上の工夫により長時間の寿命試験及び環境試験などの信頼性試験においても良好な結果を得ている。表 2. にこの素子の信頼性試験結果の一覧を示す。寿命試験、環境試験ともに JIS C 7021 に基づいて行ったものである。

以上の信頼性試験の結果は、ガラスパッシベーション技術や新しい組立

表 2. BCR 16 EM シリーズの信頼性試験結果

試験項目	条 件	試料数 ( <i>n</i> ) 個	不良数 ( <i>r</i> ) 個	準拠規格 JIS C 7021
連続通電	$I_T=16\text{ A (rms)}$ $T_J=125^\circ\text{C}$ $t=1,000\text{ h}$	40	0	B-16
高温電圧印加	$V_D=500\text{ V}$ (ピーク値) $T_a=125^\circ\text{C}$ $t=1,000\text{ h}$	40	0	B-20
断続通電	$I_T=16\text{ A (rms)}$ $T_J=50\sim 125^\circ\text{C}$ 30,000 回	40	0	B-18
低温保存	$T_a=-40^\circ\text{C}$ $t=1,000\text{ h}$	40	0	B-12
耐 湿 性	$T_a=60^\circ\text{C}$ 相対湿度 90 % $t=1,000\text{ h}$	40	0	B-11
温度サイクル	$T_a=25^\circ\text{C}$ , 10分 $\rightarrow -40^\circ\text{C}$ , 30分 $\rightarrow 25^\circ\text{C}$ , 10分 $\rightarrow 125^\circ\text{C}$ , 30分 $\rightarrow$ $25^\circ\text{C}$ , 10分を 50 回	40	0	A-4
熱 衝 撃	$0^\circ\text{C}$ の水 5分 $\rightarrow 100^\circ\text{C}$ の水 5分 20回	40	0	A-3
過 電 流	$I_{TSM}=170\text{ A}$ より破壊まで $T_J=25^\circ\text{C}$ スタート	20	0 極値離率による推定 (99 % 信頼 水準) 220 A	—

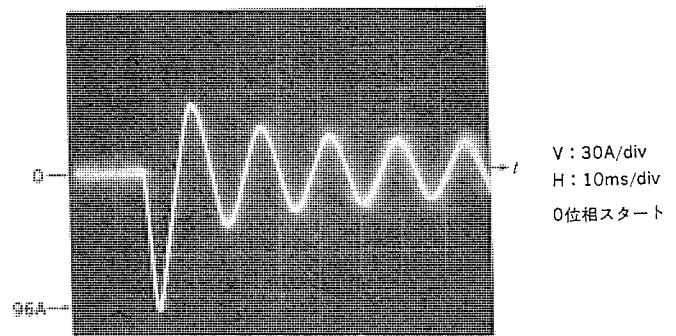
技術等の効果が顕著に発揮され、従来の キャンタイプトライアックに匹敵する信頼性水準であることを示している。

## 6. 応 用

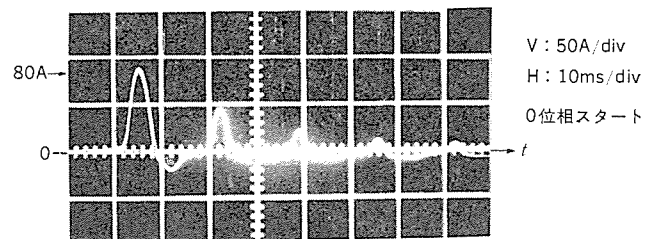
これまで 16 A クラスのトライアックのほとんどがキャンタイプであったため、外形や価格上の理由により広く民生機器の分野にまで浸透するには至らなかった。しかしこの内部絶縁、樹脂封止形トライアック BCR 16 EM シリーズは、上述のような制約条件を克服すべく設計・製作しているため、民生機器をはじめ各種電力制御への応用が期待される。一方、最近家庭電化製品をはじめとする各種電気応用製品にマイクロコンピュータが導入されるようになったため、従来のリレーに代わりトライアックが使用されつつある。とりわけ、BCR 16 EM シリーズの場合、ランプやトランス等の突入電流及びモータの始動電流に対して強いことや、前述のような経済性、装着における省力化などの特長を有するため、マイクロコンピュータを使用した機器の出力段として使用されることが期待されている。例えば家庭電化製品では電子レンジ、ルームエアコン、冷蔵庫等であり、その他、複写機や自動販売機等にも応用されその用途が拡大されつつある。BCR 16 EM シリーズの主な用

表 3. BCR 16 EM シリーズの主な用途

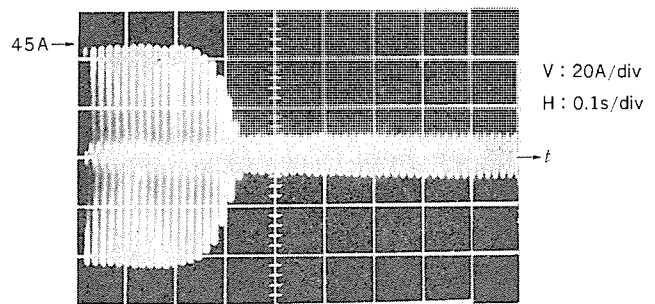
分 野	用 途	負 荷	制 御 方 式	備 考
家電製品	電 子 レ ン ジ	マグネトロン用トランス	オン・オフ制御	マイコン化
	ルームエアコン	コンプレッサモータ	オン・オフ制御	マイコン化
	冷 蔵 庫	コンプレッサモータ	オン・オフ制御	マイコン化
	電気床暖房	ヒータ	オン・オフ制御	
照明製品	調 光 装 置	白熱電球、けい光灯	位相制御	
事務機	複 写 機	ハロゲンランプ、ヒータ	オン・オフ制御	マイコン化
そ の 他	自 動 販 売 機	ヒータ、モータほか	オン・オフ制御、位相制御	マイコン化
	工 作 機 械	ヒータ、モータほか	オン・オフ制御、位相制御ほか	マイコン化
	S S リレー	ヒータ、モータほか	オン・オフ制御	



(a) 複写機 ハロゲンランプの突入電流 (800 W/110 V)



(b) 電子レンジの突入電流 (600 W/100 V)



(c) ルームエアコンのコンプレッサモータ始動電流 (760 W/100 V)

図 8. 複写機、電子レンジ、ルームエアコンの突入電流と始動電流

途を表 3. に示す。次に、これらの応用例の内、それぞれ特異な突入電流、始動電流が流れる、複写機、電子レンジ及びルームエアコンについて考察する。それぞれの突入電流及び始動電流波形を図 8. に示す。図において (a) は複写機のハロゲンランプに流れる突入電流、(b) は電子レンジにおけるトランスの 1 次側を流れる突入電流、(c) はルームエアコン用コンプレッサモータの始動電流である。

### 6.1 複写機のランプ制御

複写機には大別して湿式と乾式とがあるがそのランプは、前者では感光紙の乾燥用に、後者では光源用及び文字、図形の焼付けに使用されている。いずれもハロゲンランプが主で、タングステンをフィラメントとし、ハロゲンガスが封入された 30~50 cm の棒状のランプである。ハロゲンランプは普通 オン・オフ制御されるため、このランプの点灯時には定常電流の 10 倍程度の大きな突入電流が流れる。またハロゲンランプは数 10 cm もの長さがあるため普通の白熱電球に比べて熱時定数が大きく、図 8. (a) に示すように減衰がゆるやかで長いサイクルにわたって突入電流が流れる。

従来このハロゲンランプの制御には電磁接触器が使用されていたが、このように大きな突入電流が高頻度に流れるため、接点の消耗が著しく、また開閉時に騒音を出すなどの欠点があって、最近ではトライアックに置き換わっている。この場合設計上の注意点は、やはり突入電流の問題である。したがってトライアックの選定にあたっては、

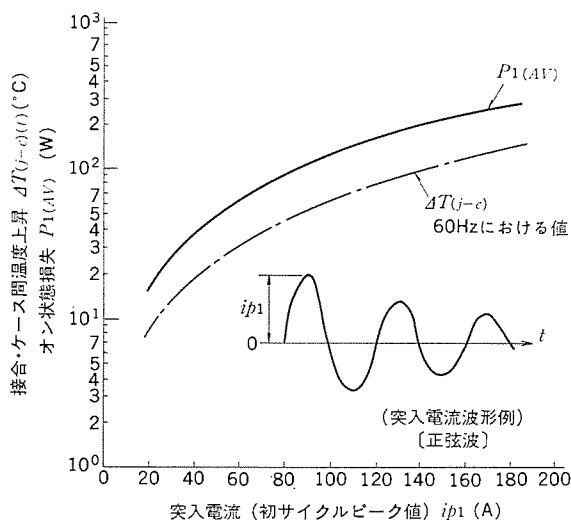


図 9. BCR 16 EM シリーズの突入電流による オン 状態損失及び接合・ケース間の温度上昇特性

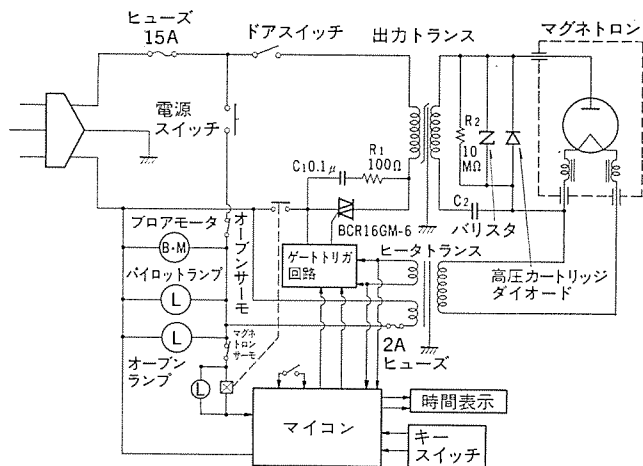


図 10. トライアックを用いた電子レンジ回路例

定格サージオン電流又は過負荷オン電流の大きな素子、定格最高接合温度の高い素子などが目安になる。以上のような条件を満たす BCR 16 EM シリーズはハロゲンランプの制御に適した素子であるといえる。例えば、図 8. (a) のような突入電流が流れた場合、その初サイクル終了時点での BCR 16 EM シリーズのオン状態損失と、接合・ケース間の温度上昇分との関係は図 9. のようになる。この図から 800 W ハロゲンランプの突入電流に対する温度上昇を求めると、初サイクルピーク値 96 A の突入電流の場合、オン状態損失は 125 W で温度上昇分は 60°C になる。したがって、周囲温度や放熱板の条件及び定常状態での温度上昇などを考慮すると BCR 16 EM シリーズの場合 800 W (100 V) 程度までの制御が可能である。

## 6.2 電子レンジへの応用

最近の電子レンジはマイコンの導入により、食品の温度や調理方法に応じた複雑な制御を簡単に操作できるようになった。図 10. にトライアックを用いた電子レンジの回路例を示す。同図のようにトランスの 1 次側をトライアックで制御したときトライアックには図 8. (b) のよう

な突入電流が流れる。この突入電流は負荷のマグネトロン容量が一定の場合でも電源投入位相や、電源トランスの容量によりその値が異なる。すなわち電源投入位相については位相が遅れるにつれて突入電流のピーク値は減少し、電源容量が大きいほど突入電流が大きくなる。また図 8. (b) の突入電流波形はひずんでおり、正弦波の場合のオン状態損失と比較するとはるかに小さい。以上のような項目についても配慮し実験した結果、600 W の電子レンジに BCR 16 EM を使用して電源容量 50 kVA 以下、投入位相 0° の条件で通電した場合突入電流（初サイクルピーク値）は 80 A であった。このひずみ波形電流のオン状態損失は正弦波の 62 % となるので、接合・ケース間の温度上昇は 33.6°C となる。したがって前節同様、定常電流、周囲温度等について考慮しても BCR 16 EM シリーズの最高接合温度を 125°C 以下にすることができるので、BCR 16 EM シリーズは十分使用できる。

## 6.3 ルームエアコンへの応用

最近のルームエアコンの動向の 1 つにマイコン化という動きがある。これはより快適な室温制御、操作の簡略化等という市場の要求にこたえたものであるが、一方、トライアックについても新分野を開拓したといえる。すなわち単相電源でエアコンを運転した場合、コンプレッサモータの始動トルクや圧力バランスの関係から、運転停止後 3 分以内に冷房運転を再開するとコンプレッサモータに過大な電流（ロック電流）が長時間流れるという現象があるため、これまでコンプレッサモータの制御にはトライアックは使用されなかった。ところがマイコンを導入することにより、コンプレッサが停止した後 3 分間の遅延タイマが自動的に働き、冷房運転が再開されないため、ロック電流が流れることはなく、この種のトライアックが使用できるようになった。トライアックを使用するには図 8. (c) に示すような始動電流と電源電圧低下時に発生するロック電流についてだけ考慮すればよいことになる。760 W (100 V) のルームエアコンについて実験した結果、始動電流は 45 A (ピーク値)、0.3 秒程度であり、電源電圧低下時のロック電流は 30 A (ピーク値) 30 秒程度であった。したがって接合・ケース間の温度上昇はそれぞれ 64°C、56°C となるため、この素子を室内機内に取付け適当な放熱板を使用すれば、マイコン制御のルームエアコンに BCR 16 EM シリーズが十分使用できる。

## 7. む す び

以上のようにガラスパッケージング技術や独自の組立技術を結集して、樹脂封止形トライアックのシリーズ化に挑戦することにより、従来のキャンタイプ 16 A トライアックと同等の定格・特性を有する内部絶縁、樹脂封止形トライアック BCR 16 EM シリーズの開発及び量産化に成功した。BCR 16 EM シリーズは樹脂封止形素子の持つ量産性と経済性、絶縁形成やファスト端子化による装着時の簡便さなどの特長が遺憾なく発揮され、今までのキャンタイプの素子にそのまま置き換えることが可能であるばかりでなく、まったく新しい用途にまで幅広く使用されることが期待できる。また、今後は更にこれらの技術を展開することにより、20 A～30 A クラス程度のトライアックが経済性、量産性に優れ、しかも高信頼度の樹脂封止形素子に移行するものと予想される。

# 複モードホーンを用いた20GHz帯カセグレンアンテナ

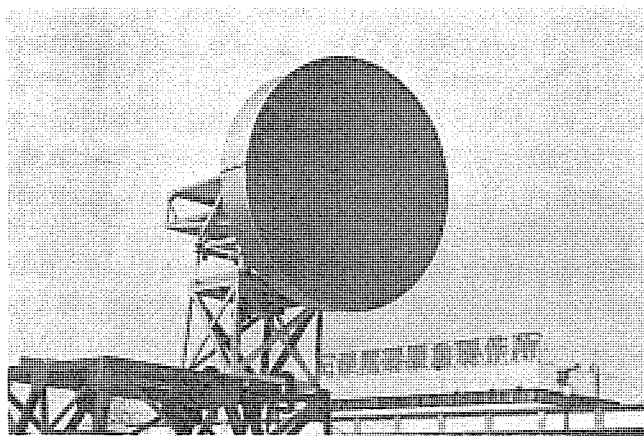
向井 正\*・岩本 真\*・山前 瑞穂\*\*・高松 泰男\*\*・倉島 徳幸\*\*

## 1. ま え が き

日本電信電話公社では、20 GHz 帯 デジタル 無線中継方式の開発<sup>(1)</sup>を進め、東京～横浜、大阪～神戸間で商用試験を行った。

この回線に使用したアンテナは、1次放射器に円錐(錐)ホーンを用い、反射鏡には鏡面修整を施した軸対称形のカセグレンアンテナを使用して、良好な結果が得<sup>(2)</sup>られた。しかしこのアンテナの製作上、及び取扱い上の余裕をとるために、その交さ偏波特性を更に改善する必要があった。

このアンテナの交さ偏波特性に関する性能を更に高めるため、1次放射器に複モードホーンを用いたアンテナを開発したので、本文ではその設計及び性能について述べる。



20 GHz 帯 カセグレンアンテナ

## 2. 電 気 設 計

### 2.1 概 要

アンテナの交さ偏波特性は、反射鏡の形状及び1次放射器の特性によって決まる。20 GHz 帯 カセグレンアンテナは、軸対称な反射鏡で構成されていて、しかも垂直偏波、水平偏波の直交2偏波を使用しているので、水平面内及び垂直面内の交さ偏波成分は理想鏡面の場合には、理論的には発生しない。しかしそれ以外の面内では1次放射器の放射する交さ偏波成分及び反射鏡から発生する交さ偏波成分が現れ、偏波面に対し45度面内ではその成分が最大となる。したがってこれらを改善することが必要である。

更に主反射鏡がひずんでいると、水平面内、垂直面内に交さ偏波成分が発生し、特に主ビーム方向の交さ偏波識別度が悪くなる。またその大きさは、反射鏡のひずみ(歪)の大きさ及びその方向と、アンテナが放射する交さ偏波成分の関係によって決まる。これを改善するには、反射鏡を高精度で製作すること、あるいはアンテナの交さ偏波成分を低減することなどがあるが、ここでは1次放射器に交さ偏波成分の低いものを使用して、アンテナの交さ偏波特性の低減を図り、

反射鏡がひずんでも交さ偏波識別度の劣化が小さくなるようにした。

交さ偏波成分の低い1次放射器には、コルゲートホーン<sup>(3)</sup>、誘電体集束ホーン<sup>(4)</sup>、複モードホーン<sup>(5)</sup>等があるが、ここでは17.7GHz～21.2GHzの比帯域約18%の周波数帯で使用する、及び経済性の面から複モードホーンを用いることにした。

### 2.2 交さ偏波識別度

アンテナの交さ偏波成分の発生について以下に示す諸式を用いて検討する。

図1.に示すように極座標系  $R, \Theta, \Phi$ 、及びアンテナ開口面上に円筒座標系  $\zeta, \rho$  を設ける。円形開口のアンテナから電波を放射する場合、その放射特性は、アンテナ開口上の電界分布によって決まる。ここではアンテナ開口上の正偏波成分の分布を  $E_{aM}$ 、交さ偏波成分の分布を  $E_{aC}$  として次式で与える。

$$\left. \begin{aligned} E_{aM} &= \gamma(\zeta) + \eta(\zeta) \cos 2\phi \\ E_{aC} &= \eta(\zeta) \sin 2\phi \\ \gamma(\zeta) &= J_0(\beta_1 \zeta) + A_1 e^{j\phi_1} J_0(\beta_2 \zeta) \\ \eta(\zeta) &= -J_2(\beta_1 \zeta) + A_1 e^{j\phi_1} J_2(\beta_2 \zeta) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

$$\zeta = \frac{a}{r}, \beta_1 = 1.841, \beta_2 = 3.832$$

$J_i(x)$  : 整数次  $i$  のベッセル関数  $i=0, 2$

$\beta_1, \beta_2$  : 円形導波管の  $TE_{11}, TM_{11}$  モードの特性方程式の根

ここで、 $\gamma(\zeta), \eta(\zeta)$  の第1項は開口上の分布が円形導波管の  $TE_{11}$  モードに相当する分布であり、第2項は  $TM_{11}$  モードに相当する分布である。

式(1)において  $A_1=0$  すなわち、 $TM_{11}$  モードのない場合が1次放射器として円錐ホーンを用いたときであり、 $A_1 \neq 0$  すなわち、第2項の  $TM_{11}$  モードの成分が  $TE_{11}$  モードに対し、 $A_1$  の電界比、 $\phi_1$  の位相で付加した場合が、いわゆる複モードホーンを用いたときである。

次にアンテナからの放射を考えると、式(1)で与えられる開口分布を用いて、十分遠方における正偏波成分  $E_{PM}$ 、交さ偏波成分  $E_{PC}$

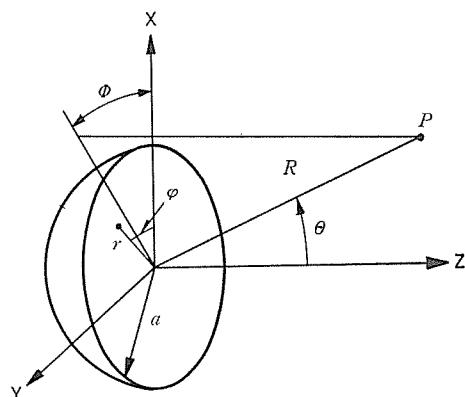


図1. 円形開口アンテナの座標系

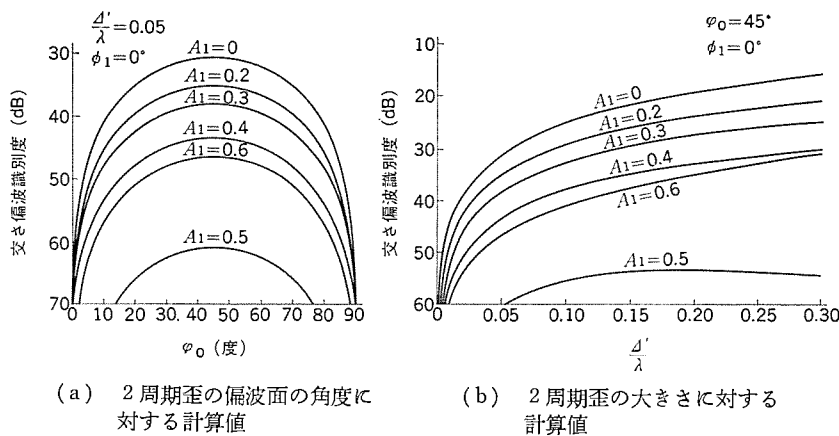


図 2. 反射鏡の歪による交差偏波識別度計算値

は、次式で与えられる。

$$E_{PM} = \frac{j e^{-jkR}}{\lambda R} \int_0^{2\pi} \int_0^1 [\gamma(\zeta) + \eta(\zeta) \cos 2\varphi] e^{j[U\zeta \cos(\varphi - \Phi) + \Delta(\zeta, \varphi)]} \zeta d\zeta d\varphi$$

$$E_{PC} = \frac{j e^{-jkR}}{\lambda R} \int_0^{2\pi} \int_0^1 \eta(\zeta) \sin 2\varphi e^{j[U\zeta \cos(\varphi - \Phi) + \Delta(\zeta, \varphi)]} \zeta d\zeta d\varphi$$

..... (2)

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}, \quad U = ka \sin \Theta, \quad \lambda : \text{波長}$$

アンテナの交差偏波識別度 (XPD) は、主ビーム方向における主偏波成分  $E_{PM}$  と交差偏波成分  $E_{PC}$  の比で表され、次式となる。

$$XPD = 20 \log \left( \frac{E_{PM}}{E_{PC}} \right)_{\Phi=0} \text{ (dB)} \quad \text{..... (3)}$$

この交差偏波識別度は、反射鏡が理想鏡面であれば  $\infty$  であるが、鏡面が理想鏡面からはずむと交差偏波成分が発生し XPD が悪くなる。

主反射鏡は、その円周方向に 2 周期をもつ周期歪が発生しやすくしかもその歪による交差偏波識別度はそのほかの周期歪と比べて<sup>(6)(7)</sup>最も影響が大きいので、反射鏡の歪が円周方向に正弦波状に波うつものとし、その偏波面に対する方向を  $\varphi_0$ 、その大きさを  $A'$  とし、半径方向には周辺部が最大となるように式 (2) の  $A(\zeta, \varphi)$  を次式で与える。

$$A(\zeta, \varphi) = 2\pi \frac{A'}{\lambda} \cos 2(\varphi - \varphi_0) \zeta^2 \quad \text{..... (4)}$$

図 2. に式 (1)～式 (4) を用いて計算した交差偏波識別度を示す。図中 (a) は 2 周期歪の偏波面に対する角度との関係を示している。この結果、歪の方向が偏波面に対し 45 度 ( $\varphi_0 = 45^\circ$ ) の場合に交差偏波識別度が最も悪くなる。(b) は歪の方向が偏波面に対し 45 度の場合に、その大きさを変えたときの特性を示している。なお図中で  $A_1 = 0$  のときは式 (1) から円錐ホーン分布となる。これらのことから円錐ホーンに比べ、複モードホーンは、その  $TM_{11}$  モードを  $TE_{11}$  モードに対し電界比で約 0.5 にし、その位相を同相にすれば、交差偏波識別度が大幅に改善できる。

### 2. 3 複モードホーン

#### 2. 3. 1 複モード円錐ホーンと高次モード発生量

複モードホーンは、前述したように  $TE_{11}$  モードのほか  $TM_{11}$  モードを付加するものであって、何らかの方法で  $TM_{11}$  モードを発生させてその発生量及び位相を適切に選ぶ必要がある。

$TM_{11}$  モードを発生させるには、円形導波管内でステップやアイリスを設ける方法、誘電体を装荷する方法、円錐導波管の開き角度を変化

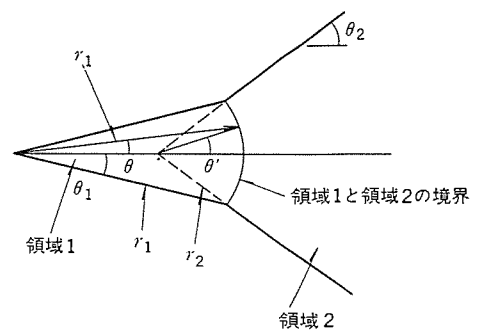


図 3. 高次モード発生部の構造

させる方法などがある。ここでは、円錐導波管の開き角度を変化させることによって  $TM_{11}$  モードを発生させ、しかもこうした変化部分を 2 か所設けることにより所要の  $TM_{11}$  モードが得られるようにし、その変化部分の長さを所要の長さにするによりその位相を決めるフレア角度変化形複モードホーンを用いることにした。この形の複モードホーンは断面形状が方形の場合には実施例<sup>(8)</sup>があるが、今回使用する円形の複モードホーンについては、その高次モード発生についてあまり明確ではなかった<sup>(9)(10)</sup>。したがってここでは円錐導波管内の波動を求めて、フレア角度変化部分で成立する境界条件を解いて高次モード発生量を求めた。この方法の詳細については別の機会に報告することにして、ここではその概要について述べる。

図 3. に示すように領域 1、領域 2 を定義し、領域 1 から電磁波が入射し、領域 2 へ透過する場合、おのおのの円錐導波管内で存在する電磁波は Maxwell の方程式を満足し、しかも図中の  $\theta = \theta_1$ 、 $\theta' = \theta_2$  の円錐導波管の壁面で電界の接線成分がゼロという条件を満たさなければならない。これらの条件を満足する電磁波は球座標を用いたベクトル波動関数<sup>(9)</sup>で表示することができ、しかも上記の条件に関しては、 $\theta$  方向の分布を与える関数が次の条件を満足すればよい。

$$TE \text{ モード} : \left[ \frac{d}{d\theta} P_\nu^1(\cos \theta) \right]_{\theta=\theta_1} = 0$$

$$TM \text{ モード} : \left[ \frac{1}{\sin \theta} P_\nu^1(\cos \theta) \right]_{\theta=\theta_2} = 0$$

..... (5)

上式で  $P_\nu^1(\cos \theta)$  は、実数  $\nu$  の添字をもつ第 1 種ばい(陪)ルジャール関数である。式 (5) を満足する  $\nu$  は、いわゆる固有値<sup>(10)</sup>と呼ばれるもので、ここでは Newton-Raphson 法によって求めた。

このようにすれば各領域内の電磁波が求まるので、これらの電磁波を用いて高次モード発生量を求めた。高次モード発生量は図 3. に示す  $r_1$ —一定の球面で成立する境界条件を満足する Maxwell の方程式を解けば求まる。領域 1 の入射電磁波、反射電磁波を  $(E^i, H^i)$ 、 $(E^r, H^r)$ 、領域 2 の透過電磁波を  $(E^t, H^t)$  とすれば、その境界面における接線成分が連続という下記の条件式が成立する。

$$[E^i]_{\tan} + [E^r]_{\tan} = [E^t]_{\tan}$$

$$[H^i]_{\tan} + [H^r]_{\tan} = [H^t]_{\tan}$$

..... (6)

ここでは、展開するモードを  $TE_{11}$ 、 $TM_{11}$ 、 $TM_{12}$ 、 $TE_{13}$  まで考慮して、式 (6) を最小自乗法により解いて高次モード発生量を求めた。

#### 2. 3. 2 複モードホーンの具体的な設計

複モードホーンの設計にあたって、その放射特性を決めるためには円錐導波管の中心軸における高次モードの基本モードに対する電界比と位相が必要である。図 4. は入射領域のフレア角度を 1 度として入射



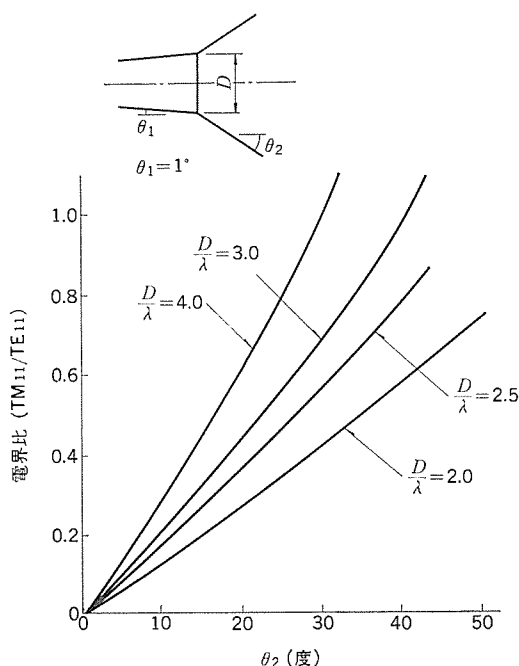


図 4. 高次モード発生量の計算値

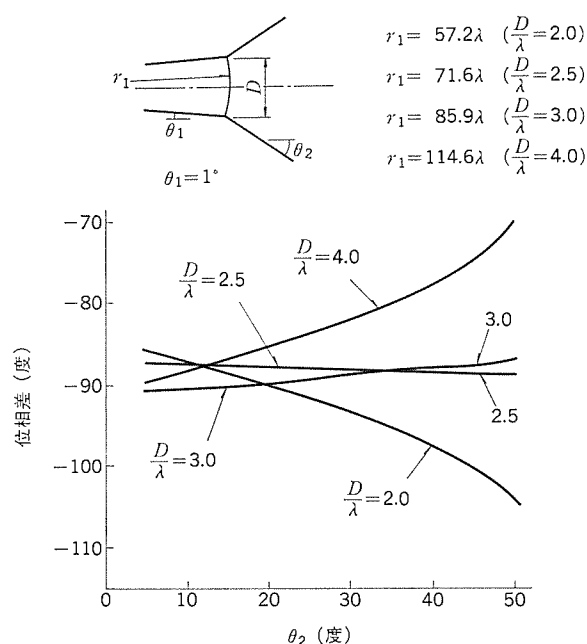


図 5. TM<sub>11</sub>モードのTE<sub>11</sub>モードに対する位相差の計算値

波が TE<sub>11</sub>モードだけで入射した場合の透過領域2の境界から10λ以上離れた位置の TM<sub>11</sub>モードの TE<sub>11</sub>モードに対する電界比を求めた結果である。角度変化部分の波長に対する直径が大きくなるに従って TM<sub>11</sub>モードの発生量が増加し、またθ<sub>2</sub>が大きくなるに従いその発生量が増加することがわかる。図5.は図4.と同じ場合の、境界面における中心軸上での TM<sub>11</sub>モードの TE<sub>11</sub>モードに対する位相差の計算値を示す。θ<sub>2</sub>が小さい範囲では、TM<sub>11</sub>モードは約-90度の位相差で発生<sup>(12)</sup>していて、θ<sub>2</sub>が大きくなるに従いその位相差は、-90度からずれてくることがわかる。

以上のこと及び2.2節の検討結果から、この複モードホーンの TM<sub>11</sub>モード発生量は、17.7 GHz～21.2 GHzの周波数帯でE面及びH面の放射パターンがよく一致し、交差偏波成分が少なくなるように、ホー

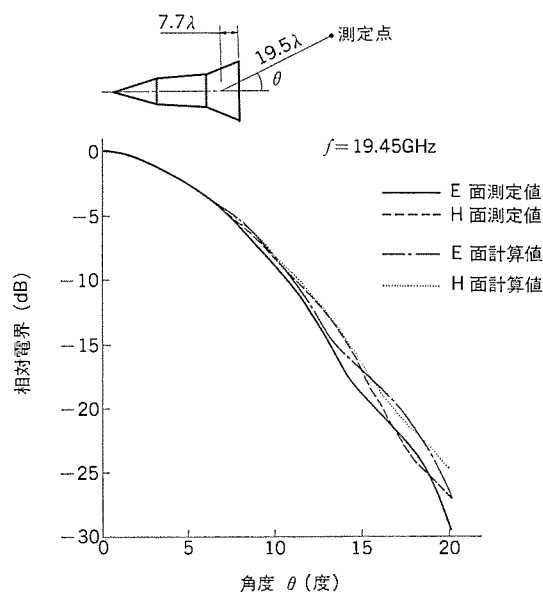


図 6. 複モードホーンの放射パターン

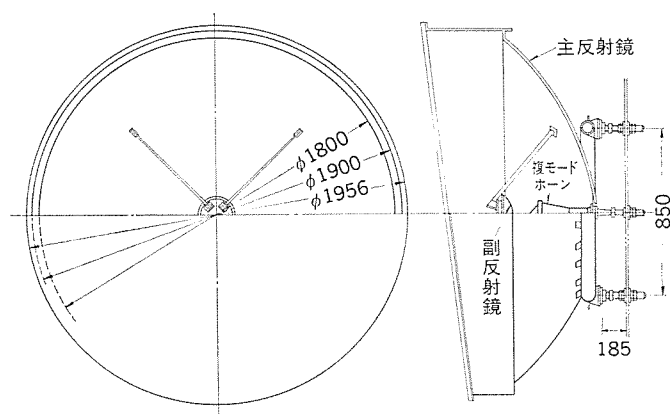


図 7. 1.8 mφカセグレンアンテナ(レドーム付き)の構造

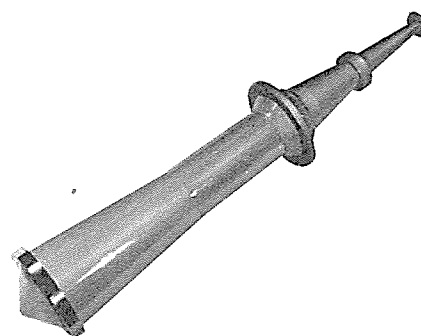


図 8. 複モードホーン

ン開口で TE<sub>11</sub>モードに対する電界比が約0.5、またその位相が同相となるように、開き角度の変化量及びその長さを決めた。また開口の大きさ及び開き角度は、このアンテナの副反射鏡周辺に照射するレベル、ホーンによるフロッピング等を考慮して決めた。

19.45 GHzにおける複モードホーンの放射パターン測定値を図6.に示す。測定距離はホーンの位相中心から副反射鏡周辺に至る距離に等しくした。E面及びH面の放射パターンはよく一致したものが得られた。なお図中には計算値も示していて、測定値と比較的によく一致している。

## 2.4 反射鏡, レドーム

今回開発したアンテナの主反射鏡の開口直径は、1.8 m、2.4 m、3.3 m であり、鏡面の形状は副反射鏡とともに、放物面及び双曲面から修整された鏡面修整カセグレンアンテナ<sup>(13)</sup>とした。1.8 mφカセグレンアンテナの概略構造を図 7. に示し、1 次ホーンとして用いた複モードホーンを図 8. に示す。ここでは鏡面の形状を円錐ホーンを用いたアンテナ<sup>(2)</sup>と同じにした。またアンテナの開口部には雨雪、じんあい等からアンテナを保護するためレドームを取付けた。更に副反射鏡の頂点には副反射鏡からの反射による入力 VSWR の劣化を補償するため頂点整合板<sup>(14)</sup>を取付けている。

## 3. 性能

このようにして設計した 20 GHz 帯カセグレンアンテナの各種性能について述べる。

### 3.1 利得

このアンテナの利得は、レドームをつけない状態で、19.45 GHz において 49.0 dB (能率 59%) で、円錐ホーンを用いたアンテナ<sup>(2)</sup>の利得 48.7 dB (能率 55%) に対し、0.3 dB 利得が高くなった。これは複モードホーンを用いることによって、主、副反射鏡からのスピルオーバーによる損失が少なくなったためである。図 9. にこのアンテナにレドームをつけた場合の利得測定値を示す。なおレドームの透過損失は 17.7 GHz ~ 21.2 GHz の周波数帯で約 0.7 dB である。

### 3.2 放射パターン

複モードホーンと円錐ホーンを用いたアンテナの近軸及び広角度の放射パターンの測定値を図 10、図 11. に示す。複モードホーンを用いたアンテナは円錐ホーンを用いたものに比べ E 面、H 面の一致度が良好である。

また広角度放射パターンでは、E 面に関して円錐ホーンより放射レベルが低くなっている。

### 3.3 交差偏波特性

図 10. には、水平面内の交差偏波成分の測定値も示してあるが、これは、主反射鏡の歪などで現れるものである。図 12. は、19.45 GHz における正偏波ピーク値に対する交差偏波放射レベルの測定値を等高線図の形で示したものである。(a) は円錐ホーン、(b) は複モードホーンを用いたアンテナである。正偏波ピーク値に対する交差偏波成分の最大値は円錐ホーンで -19.0 dB、複モードホーンで -31.5 dB であり、約 12.5 dB 改善された。また、17.7 GHz における交差偏波成分の最大値は、-30.0 dB、21.2 GHz で -32.0 dB であって、使用周波数帯で良好な結果

を得た。

次に主反射鏡に 2 周期歪が発生するように機械的にひずませて、交差偏波識別度の劣化を測定した。図 13. に 19.45 GHz における測定値を示す。主反射鏡外周近くの 2 周期歪の大きさは式 (4) で示す記号で、次の値である。

$$\text{状態 1 : } \frac{\Delta'}{\lambda} = 0.017, \quad \varphi_0 = 29.2^\circ$$

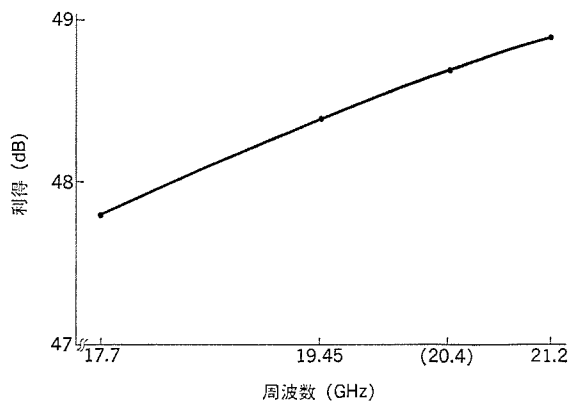


図 9. 複モードホーンを用いた 1.8 mφカセグレンアンテナの利得 (レドーム付き)

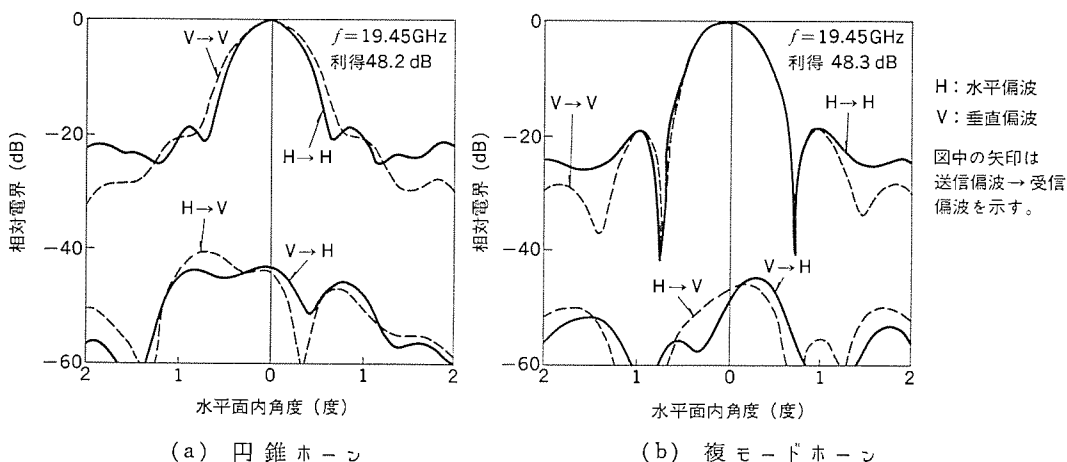


図 10. 1.8 mφカセグレンアンテナ (レドーム付き) 近軸放射パターン

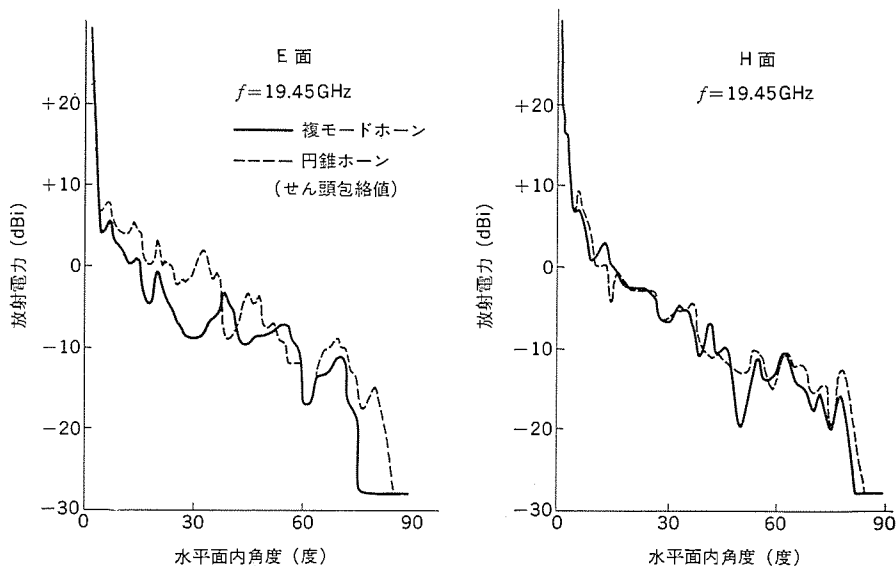
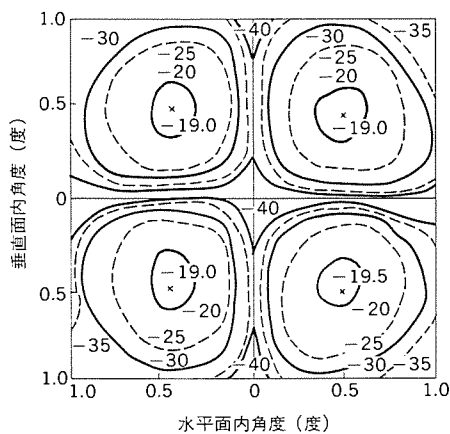
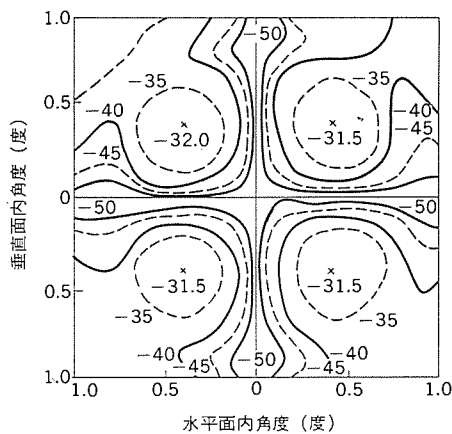


図 11. 1.8 mφカセグレンアンテナ (レドーム付き) 広角度放射パターン

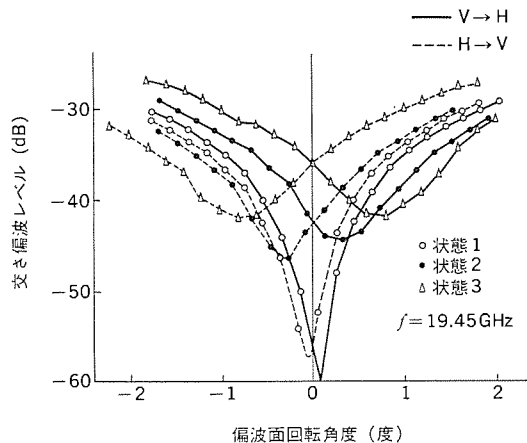


(a) 円錐ホーン

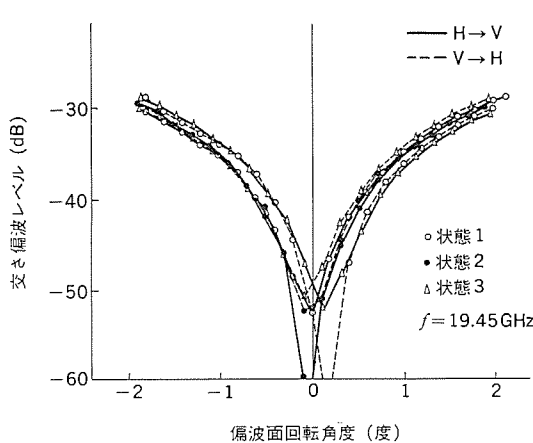


(b) 複モードホーン

図 12. 1.8 mφ カセグレンアンテナ 交差偏波立体パターン



(a) 円錐ホーン



(b) 複モードホーン

図 13. 1.8 mφ カセグレンアンテナの鏡面を歪ませた時の交差偏波特性

状態 2 :  $\frac{\Delta'}{\lambda} = 0.037$ ,  $\phi_0 = -3.9^\circ$

状態 3 :  $\frac{\Delta'}{\lambda} = 0.065$ ,  $\phi_0 = -8.8^\circ$

主反射鏡が最も大きくひずむ状態 3 のとき、その交差偏波識別度は、円錐ホーンで 33.0 dB、複モードホーンで 50.0 dB となり、このアンテナの交差偏波識別度が大幅に改善されていることがわかる。また  $\frac{\Delta'}{\lambda}$  の値が大きくなる 21.2 GHz では、状態 3 のとき、円錐ホーンで 34.0 dB、複モードホーンで 46.0 dB であり、使用周波数帯で交差偏波識別度が大幅に改善されている。

また垂直偏波、水平偏波において、偏波面回転角度に対する交差偏波成分の最小レベルの位置が逆になるのは、反射鏡の歪による交差偏波成分の発生方向が、おののの偏波で回転方向に対し逆方向に発生するためである。

#### 3. 4 入力 VSWR

このアンテナの入力 VSWR は 1.1 以下であり、円錐ホーンを用いたアンテナ<sup>(2)</sup>とほぼ同程度であった。

#### 4. む す び

日本電信電話社の 20 GHz 帯 デジタル 無線方式用として製作したカセグレンアンテナについて、1 次放射器を複モードホーンにすることによって交差偏波特性の改善を図ることができた。

終わりにこのアンテナの開発にあたり昭和 45 年以来有益な意見、ご指導を賜った日本電信電話公社技術局の関係各位、並びに横須賀

電気通信研究所電波研究室の関係各位に深謝いたします。

#### 参 考 文 献

- (1) 山本, 小樽山: 実験用 20 GHz デジタル無線中継器の構成と総合特性, 通研実報, 22, p. 1771 (昭 48)
- (2) 進士, 大友, 奈良, 高野: 20 G-400 M 方式用アンテナ・給電・分波系, 通研実報, 24, p. 2277 (昭 50)
- (3) 水沢, 武田, 別段: コルガート円錐ホーンアンテナ, 信学論(B), 56-B, 1, p. 14 (昭 48)
- (4) 高野, 片岡: 誘電体集束形一次放射器の特性, 信学会アンテナ・伝ぱん研資, A・P

73-34 (昭 48)

- (5) P. D. Potter: A new horn antenna with suppressed side lobes and equal beam width Microwave journal, 6, p. 71 (1963)
- (6) 高野, 進士: 開口面アンテナの交差偏波特性, 信学論(B), J59-B, 6, p. 341 (昭 51)
- (7) 高野, 倉島, 高松, 田中: 鏡面歪と交差偏波特性, 信学全大 No. 545 (昭 50)
- (8) S. B. Cohn: Flare angle changes in a horn as a means of Pattern Control, Microwave journal, 13, 10, p. 14 (1970)
- (9) J. A. Stratton: Electromagnetic Theory, chapter 7, McGraw-Hill Book Co. (1941)
- (10) M. S. Narashimham: Eigen values of a class of spherical wave functions, IEEE Trans. on A. P., AP-21, 1, p. 8 (1973)
- (11) K. Tomiyasu: Conversion of TE<sub>11</sub> mode by a large diameter conical junction, IEEE Trans. on M. T. T., MTT-17, 5, p. 277 (1969)
- (12) 倉島, 高松: 複モードホーンアンテナ, 信学会アンテナ・伝ぱん研資, A・P 77-37 (昭 52)
- (13) 水沢: 鏡面修正カセグレンアンテナの放射特性に及ぼす副反射鏡放射パターンの効果, 信学会(B), 52-B, p. 78 (昭 44)
- (14) 香川, 阿部: カセグレンアンテナの頂点整合板, 信学全大, No. 590 (昭 48)

# 三菱逆極性ソフトプラズマアーク溶接法の開発と肉盛溶接及び溶接止端処理への応用

島田 弥\*・星之内 進\*・平本 誠剛\*・鵜飼 順\*\*

## 1. ま え が き

近年、溶接技術の進歩はめざましく、とりわけエネルギー密度の高い熱源を応用した溶接法の研究に力が注がれており、電子ビーム溶接法やプラズマアーク溶接法などの実用化が進められている。

著者らは、数年来プラズマアーク溶接法の基礎的研究を進めた結果、エネルギー密度を目的にあわせて任意に制御でき、しかも陰極清浄作用を備えた逆極性ソフトプラズマアーク溶接法を開発しその装置化を完了した。更に、この溶接法の熱源特性を生かした高品質肉盛溶接法及び溶接継手の止端処理による疲労強度向上法を実用化したので、その概要をここに紹介する。

## 2. 三菱逆極性ソフトプラズマアーク溶接法の原理と特徴

三菱逆極性ソフトプラズマ溶接法<sup>(1)</sup>の原理を図1.に模式的に示す。陽極となる電極は水冷銅よりなる非消耗電極であり、保護ノズルにより保護されているのでスパッタやヒュームなどによる汚染・消耗はほとんどなく連続使用が可能である。またこの保護ノズルは、水冷銅電極と母材の間に発生する逆極性アークに適度の指向性並びに硬直性を与え、アークを安定化している。

この逆極性アークには、母材が陰極であるためアークによる陰極清浄作用（クリーニング作用）があり、そのため母材表面の酸化皮膜が除去され溶接金属のなじみが改善されるという特徴があるが、その安定性は母材の表面状況に大きく依存するため、母材表面上に形成される陰極点の挙動を何らかの手段により制御しないと実用に供せない。これに対して著者らは、陰極点が母材表面上の酸化物に形成さ

れやすいという性質に着目し、アルゴンガス（以下Aガスと略称）などの不活性ガスよりなるシールドガス中に酸素（ $O_2$ ）を適量添加することにより陰極点を制御した。

シールドガス中に $O_2$ を添加した場合の逆極性アークの挙動を図2.に模式的に示す。図において純Aシールドの場合（図2.（a））は、電極直下の酸化物がクリーニング作用により瞬時に除去され、その後 $O_2$ が供給されないため陰極点はアーク直下よりかなり離れた場所に形成され、母材表面上の酸化物を求めて走り回ることになる。したがって、この場合には非常にアークの幅が広がり、加熱面上のエネルギー密度は極めて小さいうえにアーク長が大きくなるためアークは不安定な状態となる。

これに対してシールドガス中に微量の $O_2$ ガスを添加すると、図2.（b）に示すように陰極点が形成される領域は $O_2$ 添加量に対応して縮小する。この場合には $O_2$ ガスによる酸化物形成速度とクリーニング作用による酸化物除去速度とが平衡した状態で母材上のアークの大きさが決定されると解釈されるが、陰極酸化物の存在による仕事関数の低下によりアーク電圧は（a）の場合に比べ減少する。

一方、 $O_2$ ガス添加量が一定量を越え（c）のように陰極点の形成される位置はアーク中心部に固定されてしまい、逆極性アークの特徴がほとんど消失し正極性アークと同等の形態をとるに至る。

以上のようにシールドガス中に $O_2$ ガスを微量添加することにより逆極性アークを安定に維持することができ、アークの分散度及びエネルギー密度を容易に制御できる。このように安定に制御された逆極性アークには、クリーニング作用のほかアーク力が適度に抑制されているため、（1）平滑でしかも母材とのなじみが良好なビードが得られる、（2）電極寿命が長く連続使用が可能となる、（3）ブローホールやスパッタの発生がほとんどないなど、従来法にはないかすかずの優れた特徴があり、肉盛溶接をはじめとする各種の高品質溶接に対して有効な溶接法であると判断される。なお、以上の説明ではシールドガスとしてA- $O_2$ 系の混合ガスを用いたが、A- $CO_2$ 系若しくはA- $CO_2$ - $O_2$ 系の混合ガスでも同じ効果が得られることを確認しており、対象物や目的にあわせてガス組成を選択することができる。

以下にこの溶接法の応用例として、肉盛溶接及び溶接止端処理による疲労強度向上法を取り上げ詳しく述べる。

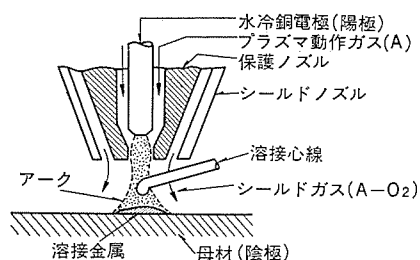


図1. 三菱逆極性ソフトプラズマ溶接法の原理

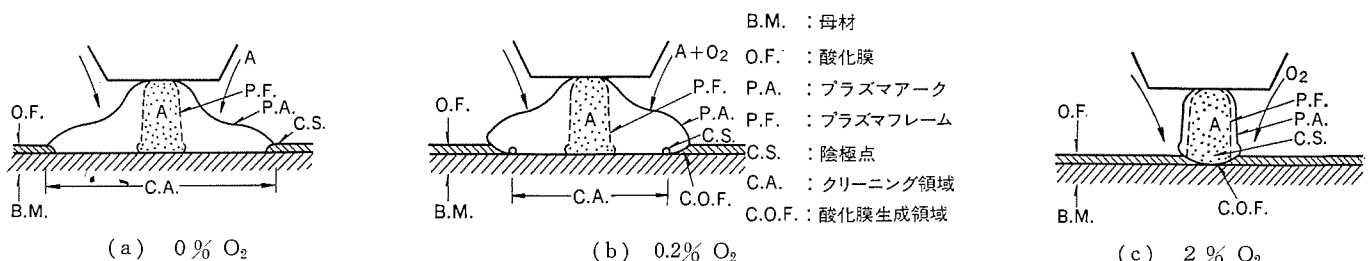


図2. シールドガス中に $O_2$ を添加した場合の逆極性アークの挙動

### 3. 逆極性ソフトプラズマアークによる高品質肉盛溶接法<sup>(2)</sup>

一般に肉盛溶接は、耐熱性・耐食性・耐摩耗性などの向上のため低級金属上に施されるものであるが、その目的上つぎのような特性が要求される。

- (1) 母材への溶込みが小さく、したがって希釈率（肉盛材合金成分が母材の金属でうすめられる割合を百分率で表したもので、肉盛層の性能を判断する目安となる数値）が小さいこと。
- (2) 肉盛ビードの接触角が小さく、ビードの継ぎ目に欠陥を生じないこと。
- (3) 溶込み線が均一であると同時に、肉盛表面が平滑で美しいこと。

このうち、母材への溶込みを制御

し希釈率を小さくすることは、肉盛溶接の高品質化を図る上で最も重要な要因である。逆極性ソフトプラズマアークは、アーク力が適度に制御された状態でそのエネルギー密度を任意に調整できるという特徴を有しているため、上記の高品質肉盛溶接を実現する上で最も適した熱源の1つと考えられる。

#### 3.1 逆極性ソフトプラズマ肉盛りの基本特性

逆極性アークを安定に維持すると同時に高品質肉盛りを実現する上で最適なシールドガス組成を見出すため、シールドガス中の $O_2$ 量が逆極性アークのクリーニング幅、肉盛ビード幅、接触角及び希釈率に及ぼす影響を検討した結果を図3.に示す。なお母材としてはSM 41 A (25 mm 厚) を、また肉盛材としてはSUS 308 L 溶接ワイヤを用い、ワイヤ送給速度を1.05 m/min に固定した。

図2.に詳しく述べた理由により、純A中で過度に分散していた逆極性アークは $O_2$ の添加により安定化され、クリーニング幅は $O_2$ の増加とともに単調減少するのに対して、肉盛ビード幅は $O_2$ 量増大に伴い、肉盛りに必要なエネルギー密度を有する領域が増大するので単調に増大し、0.2%  $O_2$  量付近で最大値を示した後単調減少する傾向を示し、1.0%  $O_2$  以上ではクリーニング幅とビード幅がほぼ一致し逆極性の特徴は消失する。接触角は0.2%  $O_2$  付近で最小となり、それ以下では急増してオーバラップ状のビード形状となる。一方希釈率については、0.2%  $O_2$  まで0.1% 程度の極めて小さい値を示し、この臨界値以上となるとマクロ的な希釈を示すようになる。

したがって、逆極性アークが安定に維持され、しかも希釈率、接触角共に小さくなる適正なシールドガス組成はA-0.2%  $O_2$  であり、以後の検討ではこのシールドガス組成に限定した。なおこの程度の微量の $O_2$  ガスは、その大部分が逆極性アークのクリーニング作用により除去されてしまうため、酸化をきらう肉盛材質の場合にも影響が極めて小さく、実質的には肉盛金属の性能に何ら悪影響を及ぼさない。

#### 3.2 従来肉盛法との肉盛特性の比較

逆極性ソフトプラズマによる肉盛りの特徴については前節で述べたが、

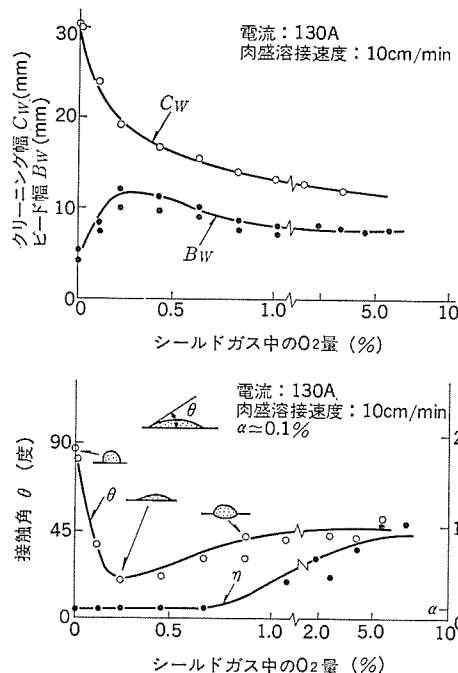


図3. 肉盛溶接現象に及ぼすシールドガス中の $O_2$  量の影響

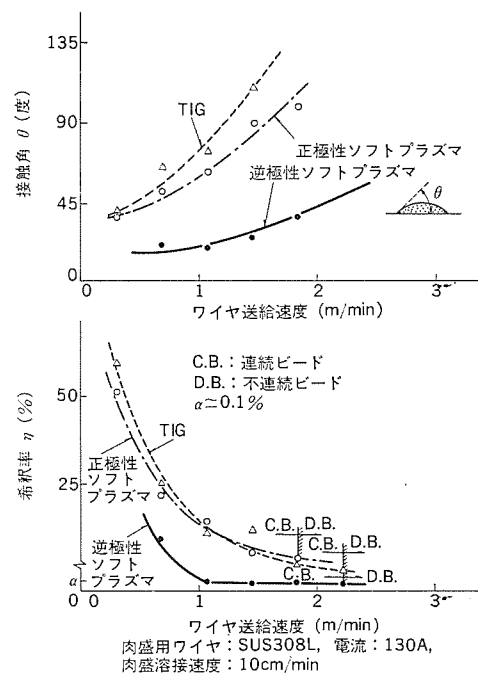
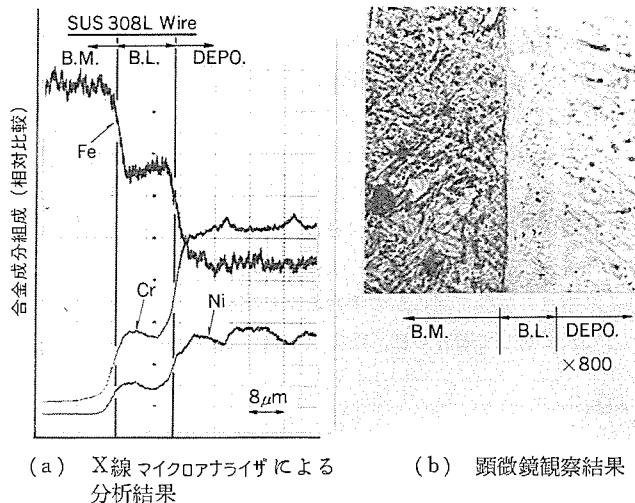


図4. 各種アーク肉盛りにおける肉盛特性の比較



(a) X線マイクロアナライザによる分析結果

(b) 顕微鏡観察結果

B. M.: 母材, B. L.: 境界層, DEPO.: 肉盛金属

図5. SUS 308 L 材肉盛接合部の微視的観察結果

この節では従来法としてTIGアークによる肉盛り及び正極性ソフトプラズマによる肉盛りをとりあげ、それら従来法との肉盛特性の差異について述べる。

図4. は各方法における接触角、希釈率とワイヤ送給速度との関係をSUS 308 L 材肉盛りの場合について表したものである。正極性プラズマ及びTIG肉盛りでは、希釈率を低下させるためにはワイヤ送給速度を増大させる必要があるが、その場合接触角が著しく大きくなるうえに不連続ビードも発生しやすく、いずれにせよ数%のマクロ的な希釈率は避けられないのに対して、逆極性ソフトプラズマ肉盛りでは、広い条件域にわたって接触角が小さく、希釈率も0.1% 程度の高品質肉盛りが可能である。

逆極性ソフトプラズマによるSUS 308 L 材肉盛接合部の顕微鏡組織及びX線マイクロアナライザによる解析結果を図5. に示す。接合部には

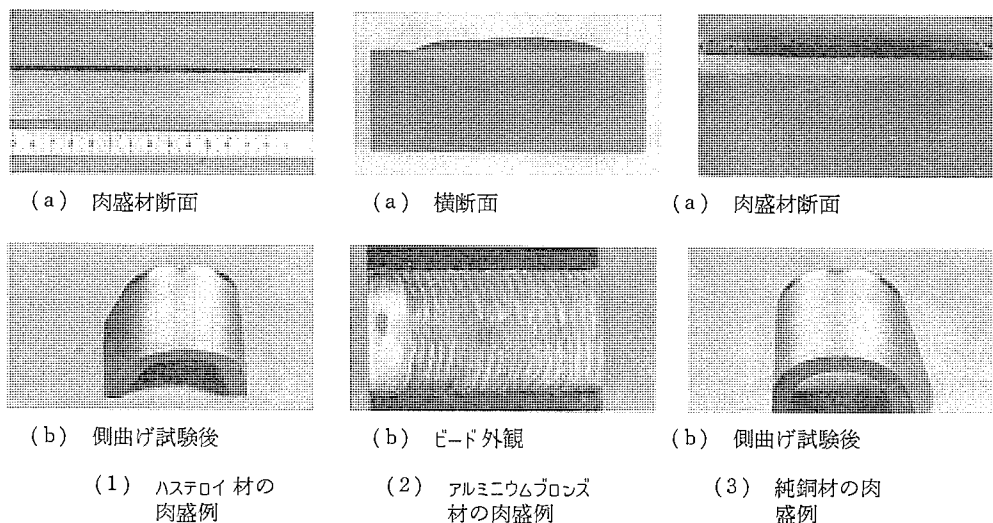


図 6. 逆極性ソフトプラズマ肉盛法の適用例

母材 (SM 41 A) と肉盛材 (SUS 308 L) の中間組成をもつ  $10\mu\text{m}$  程度のごく薄い境界層が存在し、肉盛金属組成そのものの母材組成による希釈は認められない。このことは通常の肉盛溶接において少なくとも  $50\sim 100\mu\text{m}$  以上の幅にわたって過渡的組成を有する中間層をもち、しかも肉盛金属組成そのものが母材により希釈されているのとは基本的に異なった接合現象であることを示唆している。

肉盛溶接時の溶融池の挙動及び肉盛ビードの縦断面の微視的観察から、逆極性ソフトプラズマによる肉盛溶接に対しては次のようなビード形成機構が考えられる。すなわち、クリーニング領域内の溶融池前面に母材がごくわずかに溶融し、ぬれ性が非常に良好な領域 (Sweating Area) が形成され、 $10\mu\text{m}$  程度のごく薄い境界層を形成する。その後、このあらかじめ形成された境界層の上に母材による希釈のない溶融肉盛金属が移行するので、従来法では得られない高品質肉盛りが達成できるものと考えられる。

### 3.3 逆極性ソフトプラズマ肉盛法の適用例

逆極性ソフトプラズマ肉盛りは、希釈率が極めて小さく、しかも平滑な肉盛ビードが得られることなど、その品質において極めて優れており、したがって軟鋼上への純銅の肉盛りなど従来肉盛溶接が困難とされている金属の組合せに対しても適用が可能となり、適用範囲が拡大されるとともに、例えば軟鋼上へのステンレス鋼、 Hastelloy、アルミニウムブロンズの肉盛りなど、従来肉盛金属の性能を維持するために多層盛りを余儀なくされていた肉盛溶接において、1層盛りで品質を確保できるなどの大きな経済上のメリットがある。

このような逆極性ソフトプラズマ肉盛りの特徴を応用して、実際に肉盛溶接を施工した結果を図 6. に示す。母材はいずれも SM 41 A であり、肉盛金属は Hastelloy C (用途：耐食性)、アルミニウムブロンズ (用途：耐食性) 及び 99.9% 純銅 (用途：導電性) などである。いずれの例においても希釈率は 0.1% 程度に保たれており、また接触角が小さいためビードの継ぎ目にも欠陥は発生していない。また SM 41 A 材上に耐摩耗性を向上させる目的でステライトを 1 層肉盛りした場合の硬度を TIG 肉盛りの場合と比較すると、TIG 肉盛りの場合には母材の希釈のためにビッカース硬さは Hv 400 程度であるのに対して、逆極性ソフトプラズマ肉盛りでは肉盛材そのものの硬さに近い Hv 700 を示すことを確認しており、このような肉盛金属の性能の顕著な差異にもこの肉盛溶接法の特徴がよく表れている。

## 4. 逆極性ソフトプラズママークによる溶接止端処理法<sup>(3)</sup>

溶接継手止端部の疲労強度は、余盛形状や止端部に存在するアンダカットによる応力集中のために平滑材の強度に比べて著しく小さいことが知られており、高い信頼性が要求される重電機回転構造物などの製造においては大きな技術課題となっている。そのため溶接継手止端部をグラインダ研磨などにより平滑に仕上げて止端部の応力集中を軽減し、疲労強度の向上を図る方法が採用されてきたが、この方法は施工能率が低く、粉じん(塵)

などの安全衛生上の問題があるうえ、疲労強度向上効果の安定性あるいは信頼性に乏しいという難点があった。

最近グラインダ研磨にかわる方法として TIG 成形処理による疲労強度向上法が検討され、経済的にもグラインダ処理に比べ有利であることが報告されている。しかしながら、この方法もタングステン電極の消耗・汚損が早く、しかもトーチのねらい位置に対し高精度が要求されるなどの欠点のために実溶接構造物への適用は著しく制約されている。

そこで、更に能率よく疲労強度を向上させる方法として、逆極性ソフトプラズマ溶接法による止端処理を取りあげ、その施工面の特徴、施工の安定性について検討するとともに、止端処理を施した溶接継手の疲労試験を実施し、疲労強度を他の強度向上法の場合と比較した。

### 4.1 逆極性ソフトプラズマによる止端処理法の原理と特徴

逆極性ソフトプラズママークによる止端処理の原理を図 7. に示す。炭酸ガス半自動溶接法などの通常の溶接法により形成された溶接継手の止端部に逆極性ソフトプラズママークを発生させ、止端部を再溶融し平滑に仕上げる方法である。この方法においてはシールドガスとして A と  $\text{CO}_2$  若しくは A と  $\text{O}_2$  の混合ガスが用いられ、Si, Mn などの脱酸材を含む溶接心線が溶融池に供給される。これらシールドガス中の  $\text{CO}_2$  若しくは  $\text{O}_2$  と溶接心線中の Si, Mn とのや(冶)金反応によりブロー

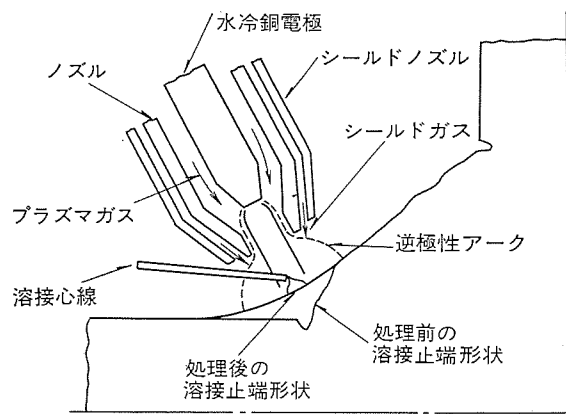


図 7. 逆極性ソフトプラズマによる溶接止端処理法の原理



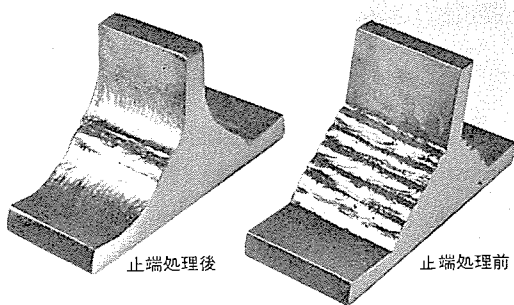


図 8. 処理前後の止端部形状の比較

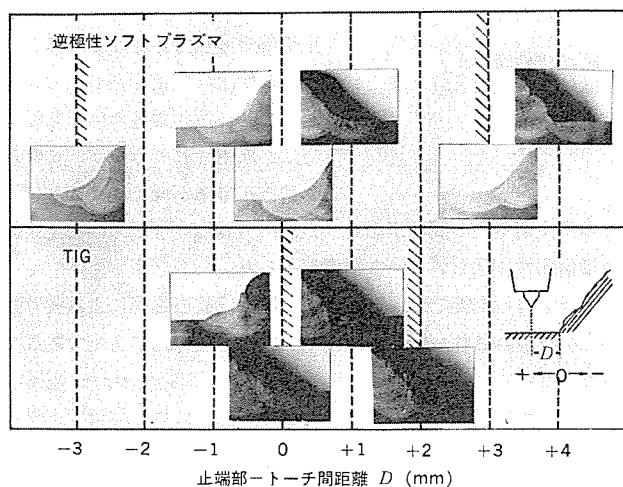


図 9. 止端部形状に及ぼすトーチねらい位置の影響

ホールのない溶着金属が得られる。更に逆極性アーク特有のクリーニング作用があり、これが溶融池先端におけるぬれ性の改善に大きく寄与するうえ、シールドガス組成を変化させることによりアーク力が適度に抑制された状態でそのエネルギー密度を任意に調整できるという特徴を有するため、この方法により得られるビード形状は非常に滑らかになり、グラインダ研磨などの後処理が不要となる。なお母材材質及び溶接止端部形状いかんによっては溶接心線を送給せずに処理することも可能である。

止端処理前後の止端部形状を図 8. に示す。未処理の場合と比較すると逆極性ソフトプラズマ処理を施した場合には極めて平滑な止端形状が得られており、本法適用の効果が明確にうかがえる。

実溶接構造物の疲労強度を向上する目的でアークにより止端部を平滑に処理する方法、例えば TIG 成形処理や逆極性ソフトプラズマ溶接法による止端処理法などを適用する場合、施工の安定性ひいては強度向上効果の信頼性が最も重要な必要条件となる。施工の安定性に影響を及ぼす要因の 1 つとして、図 9. に示す止端部とトーチ間の距離  $D$  をとりあげ、TIG 成形処理と逆極性ソフトプラズマ溶接による止端処理法におけるトーチねらいずれに対する施工裕度を比較した。図からわかるように、疲労強度向上の観点から判断した  $D$  の適正範囲は、TIG 成形処理の場合  $0 < D < 2 \text{ mm}$  であるのに対し、逆極性ソフトプラズマ処理の場合は  $-3 \text{ mm} < D < 3 \text{ mm}$  と著しく広い。これはソフトプラズマ処理では、逆極性のためアークの広がりが大きくなり、しかもアークの周辺部でのなじみが良好になるためと考えられる。

更に溶接継手止端部の疲労強度は止端部形状、そのうち特に止端半径  $\rho$  により決まることが知られているので、止端処理前後におけ

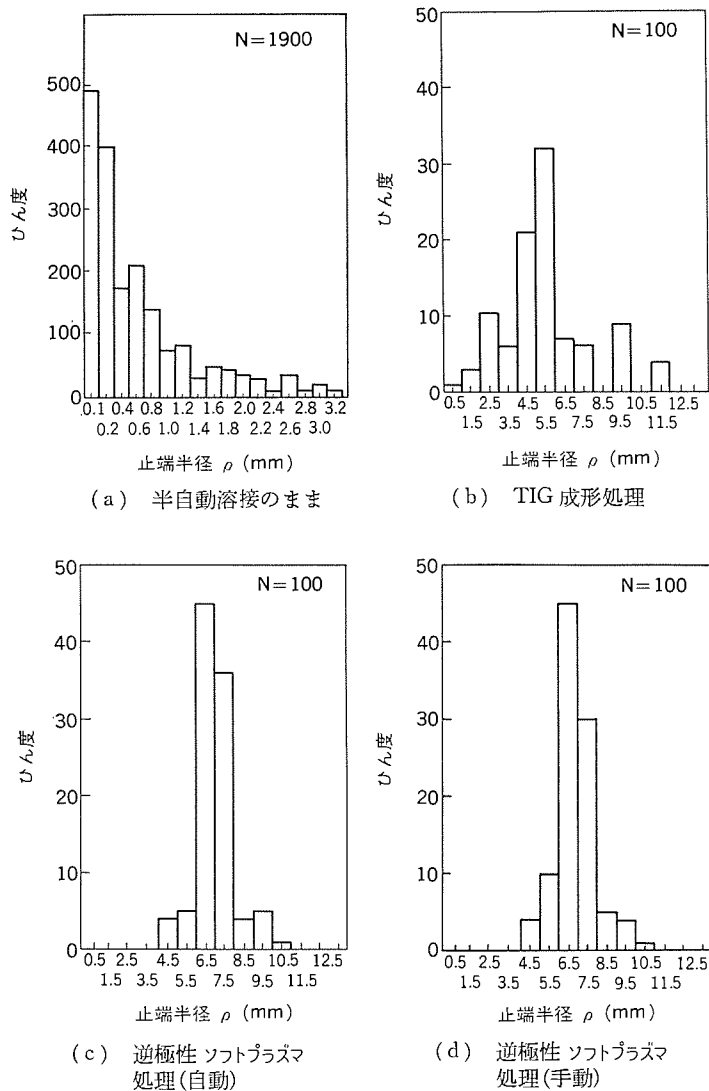


図 10. 処理前後における止端半径の分布

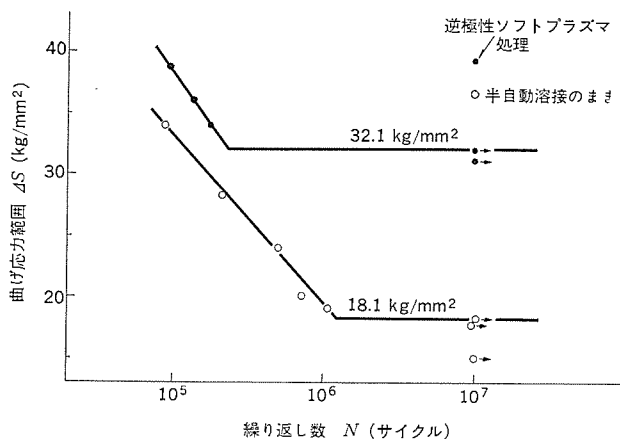


図 11. 継手の疲労強度に及ぼす止端処理の効果

る止端半径  $\rho$  の分布を測定した。図 10. に示すように逆極性ソフトプラズマにより止端処理した場合は、処理前の分布に比べ平均値において著しく改善されているうえに、特に小さい止端半径側へのばらつきが TIG 成形処理の場合に比べ著しく小さく、この点からも逆極性ソフトプラズマ処理の安定性及び高い信頼性が明らかである。なお図中には、逆極性ソフトプラズマ処理を自動で施工した場合と手動で施

工した場合の結果もあわせて示しているが、いずれの場合も同程度の効果が得られている。

#### 4.2 疲労強度向上効果の検証

逆極性ソフトプラズマによる止端処理の効果を検証するため、十字溶接継手を作成し、シェンク 万能試験機により片振 4 点曲げ疲労試験を実施した。使用した鋼材は 25 mm 厚の 60 kg/mm<sup>2</sup> 級高張力鋼である。試験結果を図 11. に示すが、10<sup>7</sup> 回における疲労強度（耐久限）を炭酸ガス半自動溶接による継手と逆極性ソフトプラズマ処理された継手で比較すると、止端処理により疲労強度は安定に約 1.8 倍に向上することが明らかである。なお TIG 成形処理された継手の疲労強度向上効果は 1.4 倍、グラインダ研磨された継手のそれは 1.3 倍であることを確認しており、しかもそれらは施工状態次第では大きなばらつきを呈するので、強度向上効果においても逆極性ソフトプラズマ処理の実際施工上の有効性が明らかである。

以上のように逆極性ソフトプラズマークを溶接継手の止端処理に応用した結果、施工の安定性、疲労強度向上効果の信頼性に優れた方法であることが明らかとなり、重電機回転構造物などへの適用が推進されている。

#### 5. 三菱逆極性ソフトプラズマ溶接装置の構成及び仕様

逆極性ソフトプラズマークは、肉盛溶接や止端処理などの溶接分野で大きな効果を発揮できることが明らかとなったので、三菱ソフトプラズマ溶接装置として製品化した。

図 12. は三菱ソフトプラズマ溶接装置の外観を示す。この溶接装置は下記の機器より構成している。

- (1) 溶接電源……サイリスタ方式のフィードバック制御システムを採用
- (2) 溶接トーチ……自動トーチ（主として肉盛り及び一般溶接用）と半自動トーチ（主として止端処理用）とがある。
- (3) 冷却水循環装置
- (4) ワイヤ若しくはロッド送給装置

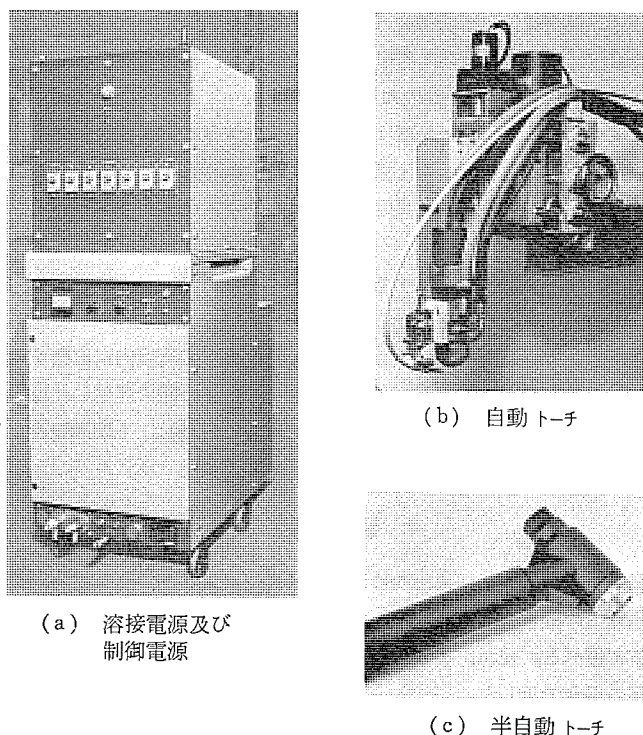


図 12. 三菱ソフトプラズマーク溶接装置外観

表 1. 三菱ソフトプラズマーク溶接装置の仕様

溶接電源	形 名	TB-350 HP		
	定 格 電 流 (A)	80～350		
	定 格 電 圧 (V)	45		
	使 用 率 (%)	100		
	極 性	正極性，逆極性共用可		
	整 流 方 式	サイリスタ方式による2重星形相間リアクトル方式		
溶接トーチ	形 名	CT-350 AZ(自動用)	CT-250 AR(半自動用)	
	定 格 電 流 (A)	正極性 300 逆極性 300	逆極性 250	トーチ重量 0.7 kg トーチ寸法 40φ×106 L
	使 用 率 (%)	100	100	
	冷 却 方 式	電極，チップ独立強制循環方式		
	装 冷却水循環装置	冷 却 水 容 量 (L)	20	
交 換 熱 量 (kcal/h)		8,000		
冷 却 水 圧 (kg/cm <sup>2</sup> )		10		
装 ワイヤ送給装置	送 給 速 度 (mm/min)	500～3,500		
	適応ワイヤ径 (mmφ)	1.2, 1.6		
	適応ワイヤ (スプール巻) (kg)	10～25		

#### (5) ワイヤ送給制御装置

この溶接装置の特徴としては、(1)サイリスタ方式のフィードバック制御システムにより、電源電圧、周囲温度、アーク長などが変化しても溶接電流は常に一定なため、均一な溶接結果が得られる、(2)ソフトアークスタート方式高周波発生装置により、アークスタートが遅れたりスタート時にピーク電流が流れることがなく、逆極性の場合でもアークスタートは良好である、などがあげられる。

それぞれの構成機器の標準仕様を表 1. に示す。なお電源及びトーチは軟鋼の溶接などへの転用を配慮し、部品交換により正極性用としても使用できるようになっている。

#### 6. む す び

以上のようにシールドガス中に適量の活性ガスを混入することにより、アーク力が適度に抑制された状態で、そのエネルギー密度を任意に調整できるという逆極性ソフトプラズマーク溶接法を開発し、その特徴を生かした高品質肉盛法及び溶接継手の止端処理法を確立するとともに、それらを実現する三菱ソフトプラズマ溶接装置を製品化した。

この溶接法は、肉盛溶接や止端処理への応用のほか、ガス組成の調整により軟鋼をはじめとしてアルミニウム、銅合金などの溶接に対しても無欠陥・長時間連続溶接が可能であり、しかもビード表面形状が滑らかであることから、仕上げ溶接などの高品質溶接法としても実用されるものと判断され、この溶接法が多方面へ適用拡大されることを望む次第である。

#### 参 考 文 献

- (1) 山本ほか：CO<sub>2</sub>ソフトプラズマ溶接法、溶接技術、昭 50 年 7 月号 p. 73~77
- (2) 島田ほか：逆極性ソフトプラズマークによる高品質肉盛溶接法、溶接技術、昭 53 年 4 月号 p. 63~69
- (3) 島田ほか：CO<sub>2</sub>ソフトプラズマ溶接法による止端処理効果の検討、溶接学会疲労強度委員会資料、FS-423-76 (昭 51)

# エレベータによって発生する居室騒音

太田 和年\*・横田 達\*

## 1. ま え が き

近年、エレベータは、高速・高揚程化が急速に進展しており、それだけ発生する振動・騒音の大きさは従来に比べて定性的に大きくなる傾向にある。また、この高速・高揚程化と並行して、エレベータの乗り心地などの制御性能の改良あるいは電力消費量節約の目的から、サイリスタによる制御がエレベータにも応用されるようになってきている。

このサイリスタによる制御は上記のような優れた点がある反面、従来のようなノッチ方式の制御に比べると、高調波成分の振動・騒音が発生しやすい傾向にあり、これを抑制することが実用面で重要である。

他方、エレベータが設置される建物に目を向けると、建物のレタブル比の向上、日影規制の関係などから、エレベータの昇降路に近接して居室が設けられる場合も多くなり、建物の軽量化傾向とも関連して、振動・騒音という観点からは好ましくない配置・構造・材料が採用されるケースが多くなってきていると言えよう。

このような中であって、我々は人間尊重の面から、住む人に静しゅくて快適な生活空間を提供すべく、建築側との協調のもとに、エレベータ技術の面から努力を続けている。

エレベータによって発生する振動・騒音の発生源の主なものは、電動機・制御盤等機械室に収納されている機器が運転の際に発生するものと、かごあるいはつり合おもりがレール上を走行する際に発生する走行音である。

これらの騒音のうち、受音点がエレベータのかご室である場合には、エレベータ製造者側で独自に騒音対策が可能であり、また、これまでも実施してきた。しかし、受音点が居室の場合には、その対策をエレベータ製造者のみで行うことには限界がある。例えば、発生源から受音点まで騒音が建物を伝達する途中の経路で騒音が拡大している場合が現実に見受けられる。

ここでは、これらのうち受音点が居室である場合に限定して、エレベータによって発生する騒音の実例及び効果的な対策方法を、我々が調査した建物の伝達特性の例を交えながら述べる。

## 2. 騒音の発生源

エレベータによって発生する騒音の発生源は大別して次の2つがある。

### (1) 機械室内機器

機械室内の機器のうち騒音を発生する機器としては、電動機・制御盤・巻上機・電動発電機（以下MGと記す）・起動盤・調速機等がある。これらのうち、騒音発生源として留意すべきものは電動機・制御盤・MGであり、これ以外の機器は発生騒音の大きさあるいは騒音の発生ひん度、継続時間からみて支配的な発生源ではない。

### (2) 昇降路内機器

昇降路内機器で騒音を発生するものとしては、エレベータのとびら（扉）、各種スイッチの動作音あるいは高速エレベータの場合のかごによ

る風切り音などがあるが、これらは居室騒音に対する寄与率は大きくない。昇降路内で最も問題となるのは、つり合おもりがレール上を走行する際に発生する振動が居室に伝達して居室内に騒音を拡散する場合である。

エレベータの速度が比較的低い場合には、つり合おもりにはスライディングガイドシューが使用されており、このスライディングガイドシューとレールとのしゅう（摺）動音、あるいはレールのつなぎ目でのパルス的な騒音が発生する。なお、この騒音は速度105m/分以下の規格形エレベータの領域においては、従来の建物構造では問題になることはほとんどない。

高速エレベータの領域においては、ローガイドシューが使用されており、この場合には、ローがレールを転動することによって転動音が発生し、また、ローに設けられているボールベアリングの回転音が発生する。すなわち、昇降路内機器のうち、居室騒音とかかわり合いの強いのは、中速エレベータでスライディングガイドシューが使用される場合と、中・高速エレベータでローガイドシューが使用される場合である。

なお、かご側ガイドシューのレール走行音は、居室から遠いので問題になることは少ない。

## 3. 騒音の伝搬

エレベータの騒音の発生源の主なものは、機械室機器が発生するものと、つり合おもりがレール上を走行することによって発生するものであるということは先にも述べたが、これらがどのような経路によって居室に伝搬して行くかを以下概述する。

### (1) 空間音として伝搬する場合

機械室に設置されている電動機などの騒音は、機械室の床にあいているロープ穴から昇降路内に漏えい（洩）し、これが昇降路と居室の隔壁を透過して居室に伝搬する。また、機械室の扉を透過した騒音は廊下を通過して居室の窓・扉のすき間などから居室内に伝搬する。

昇降路内機器の騒音は昇降路と居室の隔壁を透過して居室に伝搬する。

### (2) 固体音として伝搬する場合

機械室内で発生した振動は、機械室床・昇降路壁を通過して居室の壁・床・天井に伝搬し、この振動が騒音となって居室内に拡散する。また、昇降路内において、ガイドシューとレールとの間で発生した振動は、建物はり（梁）・昇降路壁を通過して居室に伝搬し、上記同様居室内に騒音が拡散する。

## 4. 騒音の測定例

騒音の発生源、及び建物内における騒音の伝搬状況、更には実際の居室での騒音を数多く測定してきているので、その代表的な例を以下に述べる。なお、ここでの測定例はすべて電源周波数が50Hz地区の場合で示した。

### 4.1 発生源の特性

一般に、発生源の特性を示す場合、純粋な意味でそれを測定し評価

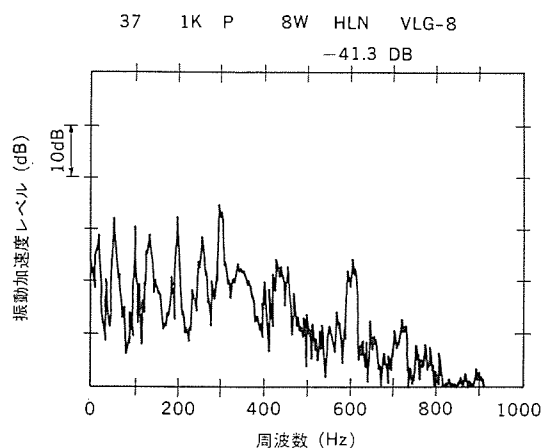


図 1. 巻上機の振動例

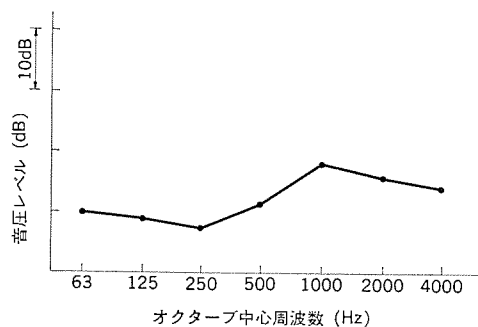


図 2. 機械室内の騒音例

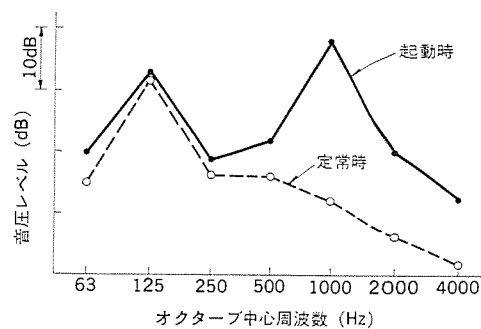


図 3. MG の騒音例

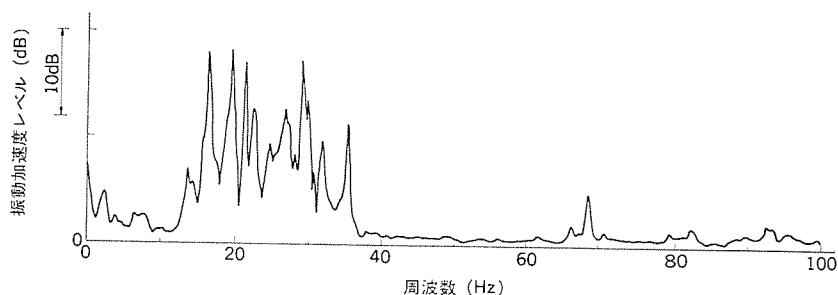


図 4. レールの振動例

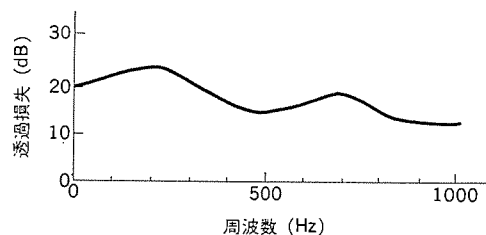


図 5. 機械室床の騒音透過損失例

することは不可能に近い。なぜならば、実際のエレベータ用機器で振動・騒音を測定した場合にも、それは機器の支持部材あるいは建物を含む機械システムの途中の応答を測定することになり、その測定結果は機械システムの周波数特性が含まれたものを示すことになるからである。

また、振動・騒音の特性は、エレベータの制御方式、速度、あるいはエレベータの加速・減速・定常速の別、更には加速中のいつの時点かによってもその特性は変化する。したがって、以下は代表例という意味で周波数特性を示すものである。

なお当社は、発生源の純粋な周波数特性を、例えば規格形エレベータの電動機の発生トルクについて電子計算機を使ってシミュレーションしては(把握し、後述する建物の伝搬特性との相性を考慮した居室騒音の低減に有効な制御方式を探究している。

#### (1) 巻上機の振動

図 1. は、電動機と結合されている巻上機の振動発生例を示す。この例はサイリスタ制御が行われている規格形エレベータの場合であり、電源周波数の高調波成分が 300 Hz 近辺までほぼ一様のレベルで表れる。

#### (2) 機械室内の騒音

図 2. は、図 1. と同様規格形エレベータの機械室内騒音を示す。測定は、機械室の広さ、機械室内壁の仕上げその他、平均的音場の機械室で行っており、電動機表面から 1 m の位置での測定例である。また、測定方法、測定計器等は JIS によっている。

図 3. は、中・高速エレベータ用に使用される、歯車なしエレベータの MG の騒音例である。この騒音データのうち、125 Hz 成分は巻線高調波の、また 1,000 Hz 成分は電動機のみぞ(溝)高調波の騒音

である。

(3) つり合おもりがレール上を走行する場合に発生する振動

図 4. は、速度が 240 m/分のエレベータにおいて、つり合おもりがレール上を走行する場合のレールの振動を示すものである。周波数の分析は SCIENTIFIC INSTR. 社製の周波数分析器を使用している。この図からも分かるとおり、レール自身の振動主成分は 40 Hz 以下であり、これはレールの固有振動数と一致している。

#### 4.2 伝搬経路の特性

(1) 機械室床の開口穴からの騒音の漏洩

図 5. は、穴のある機械室床の騒音透過損失を示すもので、機械室にスピーカーにてホワイトノイズを発生し、その音圧と、開口穴から 1 m 下の昇降路内の音圧との差を測定して求めている。

この測定例は開口穴は 150 mm 角の穴で、床の厚さ約 200 mm の場合である。開口穴の伝達特性は 50~1,000 Hz でほぼ平たんで 15~25 dB の減音特性をもっている。

(2) 機械室扉からの騒音の漏洩

図 6. は、機械室扉の騒音の透過損失測定例であり、通常の扉では 30 dB 程度の透過損失である。

(3) 昇降路壁の騒音の透過損失

図 7. は、厚さ 150 mm の場合の昇降路壁の透過損失の測定例である。

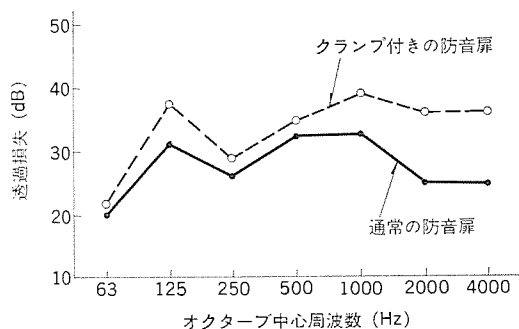


図 6. 機械室扉の騒音透過損失例

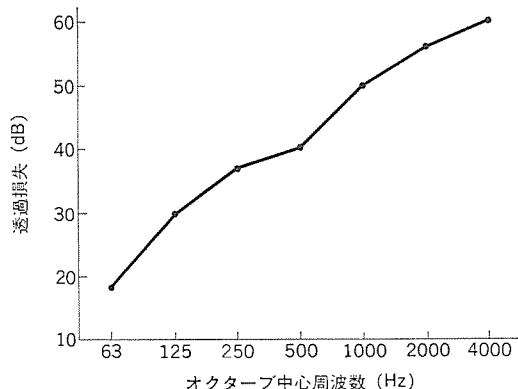


図 7. 昇降路壁の騒音透過損失例

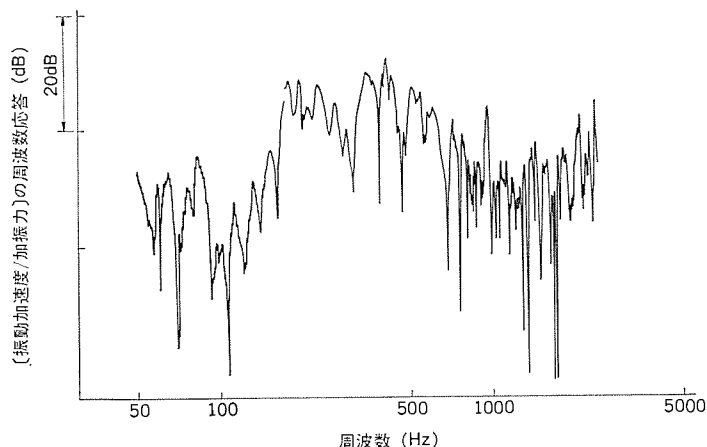


図 8. 建物の周波数応答例

#### (4) 建物の伝搬特性

図 8. は、SRC 構造（鉄骨、鉄筋コンクリート）の建物で、昇降路壁の厚さが 150 mm の場合における測定例である。測定は、機械室の床を加振器で正弦波加振し、居室床の振動応答を BAFCO 社製周波数応答自動測定装置で分析して行った。この例から分かるように、建物の伝搬特性にはピークやノッチ特性が数多く存在している。この場合、駆動点インピーダンスは、ほぼ平坦な特性であることを確かめてある。

図 9. は、図 8. の場合と同一の建物で、建物の階床差による振動・騒音の減衰を測定した例であり、減衰量は測定の都合で 3 階床当たりの数値で示している。

この図から分かるとおり、200 Hz から 400 Hz の間では減衰量が

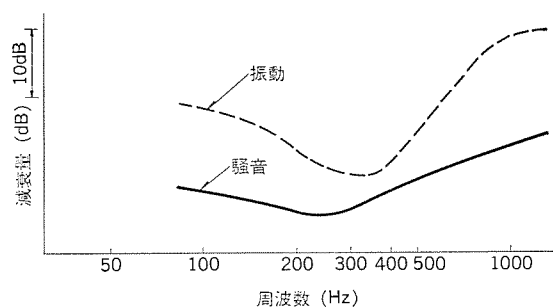


図 9. 建物の階床差による振動・騒音の減衰例

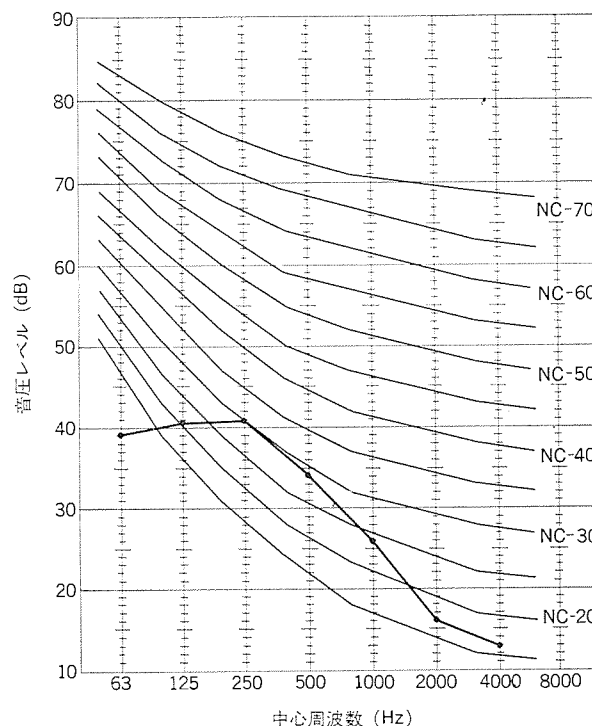


図 10. 建物の居室内騒音例

他の周波数帯域に比べて少ない。

#### 4.3 居室内騒音

図 10. は、規格形エレベータが設置されている建物において測定した居室内騒音の 1 測定例を示す。

### 5. 防音設計

これまで述べてきたとおり、居室の騒音は、エレベータが発生する振動・騒音の大きさと建物自身の伝搬特性とによって決定される。振動・騒音の対策上常に腐心することは大別して 2 つある。

その 1 つは、経済的で共通的な対策をいかに速く見つけ出すかということであり、あと 1 つは、建物構造や建築材料の多様化に対応できる対策、技術開発を確立することである。

後者の場合には、多大の費用を要するだけでなく、建築サイドの協力なしでは達成不能であり、十分なる配慮が願わしい。

#### 5.1 発生源の処理

##### (1) 電気的処置

先にも述べたが、サイリスタによる制御の場合には、そのままでは高調波成分が卓越するため、建物の一般的な伝搬特性を考慮し、伝搬しやすい周波数領域にできるだけ発生源をもち込まないように考慮

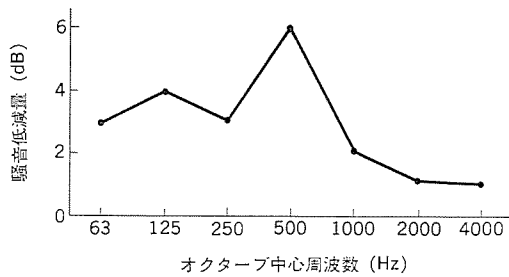


図 11. 巻上機 2 重防振による居室騒音低減例

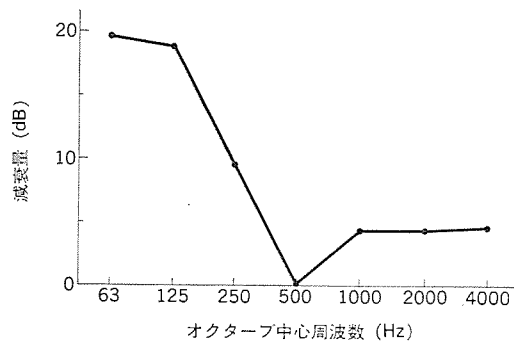


図 12. ガイドレール 柔支持による振動伝搬の低減例

している。また、物理的にやむを得ない場合には発生源の持ち上げを抑える処置を行なっている。

## (2) 機械的処置

電動機で発生した振動は、巻上機・防振ゴム・機械台を通して建物に伝搬し、建物を加振するが、この電動機から機械台までの間の各部位が、加振源～周波数と共振しないことが重要であり、我々はこれらを十分に吟味し非共振設計を有効な方法で実施している（特許申請中）。

図 11. は巻上機を 2 重に防振した場合の騒音低減効果を、現状の防振の場合と比較した例であるが、これによると、居室騒音が問題となる 125 Hz、250 Hz の周波数帯域での効果は 3～4 dB であり、費用をかける割には効果が少ないと言える。

また、機械的処置の他の例として、つり合おもりがレール上を走行する際に発生する振動を抑制する目的から、スライディングガイドシューの材質に改良を加えたものも開発し適用している。

## 5.2 伝達経路の処置

### (1) ガイドレールの柔構造支持

つり合おもりがレール上を走行する振動を伝搬経路で抑制する方法として、レールを従来のようにレールブラケットで建物に直接支持するのではなく、その中間に別の構造体をそう（挿）入することは効果がある。

図 12. は、構造体を挿入した場合とそうでない場合との減衰量の差を国内の 600 m/分のエレベータで測定した例である。

レールを防振ゴムで支持する方法も考えられるが、火災時や地震時の問題があるため防振ゴムの使用はできないが、上記構造体挿入は防振ゴムの代案としてその効果は大と言える（特許申請中）。

### (2) 機械室扉の処置

図 6. の実線で示したカーブは通常の機械室防音扉の透過損失を示し

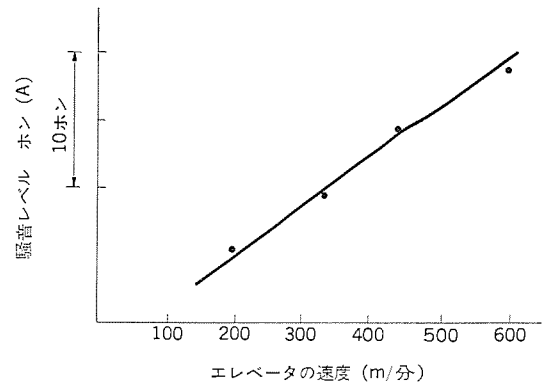


図 13. おもり走行音に及ぼす速度の影響例

ており、破線で示したカーブは、扉の扉わくへの取っ手部での押しつけ力を大きくした場合の透過損失を示している。

この 2 つのカーブから、クランプ付き扉を使用することは有効であって、更に 5 dB 前後の騒音低減効果が得られることが期待される。

## (3) 機械室床、昇降路壁の動的剛性強化

現在、我々は、同一機械、同一建物レイアウトで、機械室床の厚さを変えた場合、あるいは昇降路壁の厚さを変えた場合についてその効果を論じるための測定結果を持ち合わせていない。しかし、建物の伝搬特性が居室騒音に大きな影響を及ぼすことは、我々がこれまでにやってきた数多くの測定例から確かめられている。

その意味から、建物の中でも特に機械台支持部の 50～250 Hz の範囲での剛性強化をはじめ、機械室床、昇降路壁の厚さには十分な配慮が望ましい。

## 5.3 建物の高層化に伴う一般的配慮

これまで、エレベータ設備の近くに居室があることを前提に述べてきた。次に建物の高層化に伴う一般的配慮について述べる。この場合、エレベータの速度も当然大きくなる。

図 13. は、600 m/分のエレベータで、速度だけを変化させながらつり合おもり側レール背面の通路で測定した騒音の例を示す。超高層建物の昇降路のつり合おもり側背面の空間には、なるべく騒音が問題とならない、建物の設備機械室あるいは倉庫等を配置することが望ましい。

なお、超高層建物に限らずその他建物においても上記のような配置が願わしい。

## 6. む す び

以上、エレベータによって発生する居室騒音に関し、発生源、伝搬経路の特性、更には防音設計について述べた。

我々は発生源についての計算機シミュレーションを始め、実機でのデータを基礎に伝搬経路の特性の蓄積を図り、互いの相性を考慮した制御方式の開発、また、経済的で共通的な改善策の実施を行っている。

騒音低減の技術開発は今後も続け、より経済的な技法を提供すべく努力を重ねていくものである。

振動・騒音の対策は、一般に費用をかければその効果は大きいですが、居室騒音の問題はエレベータという設備機器による建物システム全体の問題であり、今後は機器・建物別々に対策を行うのではなく、両者をシステム的に改善していく配慮が望ましい。（昭和 54-5-2 受付）



# 固定ヘッド式PCM録音機用誤り制御方式の能力評価

井上 徹\*・杉山 康夫\*\*・田中 邦麿\*\*\*・大西 健\*\*\*

## 1. ま え が き

近年、オーディオ機器のHi-Fi化傾向は非常に強くなってきている。アナログ式録音機においては記録再生時のひずみ(歪)及び雑音、テープ走行系の回転むらによるつうフラッタ、ダビングによる劣化の累積等により再生音の高品質化に限界があると思われる。これらの限界を打ち破るものとして、デジタル方式で記録再生を行うPCM録音機が最近とみに注目を浴びている<sup>(1)</sup>。当社においても、マルチトラックのオープンデッキによる固定ヘッド式PCM録音機を試作した<sup>(1)</sup>。このPCM録音機の誤り制御方式はマルチトラックに適合した新しい方式<sup>(2)</sup>を用い、信号のドロップアウトによる音質の劣化対策に万全を期した。

この論文においては、この誤り制御方式の能力を定量的には(把)握した結果について報告する。誤りのパターンとしてはトラック方向のバースト誤りを仮定し、誤り発生モデルをGilbertのモデル<sup>(3)</sup>で模擬している。音楽再生音の劣化の尺度として内そう(挿)補正音、及び復号誤りによる異音の発生ひん度を用いることとし、これらを数値計算により求めた。更に計算機シミュレーションも行い、結果を確認した。テープにおける誤りの条件が平均ビット誤り率 $10^{-4}$ 、平均バースト長100ビットの場合、内挿補正音の発生ひん度は平均約23時間に1回、復号誤りによる異音の発生ひん度は平均約62年に1回という結果が得られた。

## 2. PCM録音の原理

PCM録音の特長はどのような記録系を使用しても、符号の復号誤りさえ起こらなければ信号の劣化はなく、記録系(伝送路)の質が基本的に標本化周波数と量子化ビット数によってのみ決まる点にある。図1.にPCM録音の記録再生過程の概念図を示す。楽音の信号のように振幅が時間とともに連続的に変化する信号をアナログ信号と呼ぶ(図1.(a))。これに対し時間、振幅ともに離散値で表現される信号をデジタル信号とよぶ。標本化とはアナログ信号の値を一定時間間隔で抽出する操作のことである(図1.(b))。標本化された信号の標本値を有限の離散値で表現することを量子化とよぶ(図1.(c))。2進Nビットでは $2^N$ 個の値が表現できる。この有限の離散値で表された各標本値のビットパターンを誤り制御符号で符号化し、その出力パターンを磁気テープに記録する(図1.(d))。

再生側で再生された信号は走行系のむらによりビット間隔がみだれ、また雑音によってそのビットパターンに誤りパターンが重畳されたものとして再生される(図1.(e))。前者はメモリ吸収により、後者は誤り訂正符号により取り除くことができる(図1.(f))。誤り訂正したのち、D/A変換により音楽情報を離散値で表した標本値を再生する(図1.(g))。再生された標本値はサンプルホールド回路、フィルタリング回路を通過して滑らかな波形として再生される(図1.(h))。

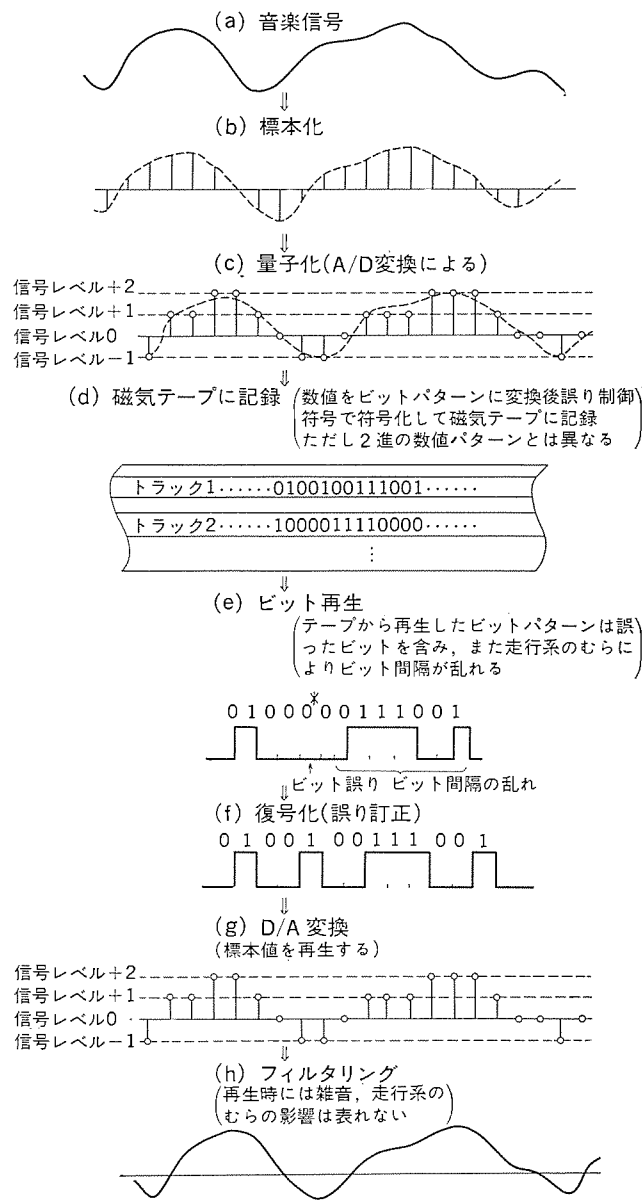


図1. PCM録音の記録再生過程の概念図

## 3. 誤り制御方式<sup>(2)</sup>

PCM録音機では磁気テープ媒体の傷などによるドロップアウトが誤りの主たる要因と考えられる。図2.に示されているようにドロップアウトによる誤りはトラック方向に起こるバースト誤りとなり、テープの幅方向にはランダム誤りと見なすことができる。したがって、図2.のように $n_2$ トラック $\times n_1$ ビットを1ブロックとする(矩)形の符号を考えるのが適当と思われる。

従来、矩形の符号として積符号<sup>(4)</sup>や連接符号<sup>(5)</sup>が知られていた。筆者らは矩形の符号としてこれら従来の符号を拡張した新しい符号を考案し、この符号を符号Xと名付けた<sup>(2)</sup>。

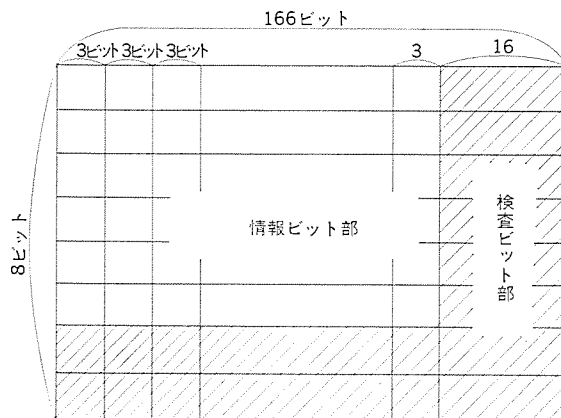
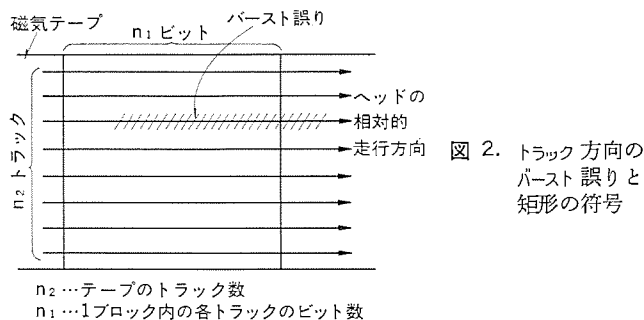


図 3. 符号パラメータ

### 3.1 符号の定義

8 トラックの磁気テープにおいてトラック方向に 166 ビットごとに区切ることによって矩形を得る。図 3. において、左上の  $6 \times 150$  の矩形に原情報が配置されているものとする。符号 X は GF(2) 上の線形 (166, 150) 符号 (以下符号  $C_1$  と呼ぶ) と、GF( $2^3$ ) 上の線形 (8, 6) 符号 (以下符号  $C_2$  と呼ぶ) を組合せて構成されている。ここで、 $(n, k)$  符号とは符号長  $n$ 、情報記数  $k$  の符号を意味する。また、GF(2) とは 2 個の元 0 と 1 をもつガロア体<sup>(6)</sup>で、GF( $2^3$ ) とは  $2^3 (=8)$  個の元をもつガロア体<sup>(6)</sup>のことである。符号  $C_1$  にはバースト誤り検出符号として知られている 16 ビットのチェックビットを有する CRC (Cyclic Redundancy Check) 符号を用いる。生成多項式が次式で与えられる。

$$G(X) = X^{10} + X^5 + 1 \pmod{2} \dots\dots\dots (1)$$

符号  $C_2$  には GF( $2^3$ ) 上のリード・ソロモン符号を用いる。符号  $C_2$  のパリティ検査シンボル  $a_7, a_8$  は次式で与えられる。

$$a_7 = \sum_{i=1}^6 a_i \alpha^i \dots\dots\dots (2)$$

$$a_8 = \sum_{i=1}^6 a_i + a_7 \dots\dots\dots (3)$$

ここで  $\alpha, \alpha^2, \dots, \alpha^6$  は 1 と 0 を除く GF( $2^3$ ) の元である。 $\alpha$  は GF( $2^3$ ) の原始元で次式を満足する。

$$\alpha^3 + \alpha + 1 = 0 \dots\dots\dots (4)$$

これらの式の演算は若干特殊なので詳細については付録に記載した。

### 3.2 符号化

トラック方向に 166 ビットごとに区切り、 $8 \times 166$  ビットの矩形の符号語を構成する。符号化アルゴリズムが以下に与えられる。

- (1)  $6 \times 150$  の原情報ビットは  $6 \times 3$  ビットごとに 50 個の矩形に区切られる。
- (2)  $6 \times 3$  ビットの矩形の中で、 $1 \times 3$  ビットの矩形が GF( $2^3$ ) の元に対応するシンボルとみなされ、リード・ソロモン符号の符号化アルゴリズム

に従って 2 個の検査シンボルが付加され 8 個のシンボルに符号化され  $8 \times 3$  ビットの矩形ができあがる。

(3) 上記(2)の操作を 50 回繰り返したのち、 $8 \times 150$  ビットの矩形が得られる。

(4) 次にトラック方向の 150 ビットが CRC の符号化アルゴリズムに従い 16 ビットの検査ビットが付加され 166 ビットに符号化される。

(5) 上記(4)の操作を 8 回繰り返したのち、符号 X の符号語として  $8 \times 166$  ビットの矩形が得られる。

### 3.3 復号化

復号化の方法としては CRC の復号化によって得られた誤り検出情報をリード・ソロモン符号の復号化に消失として用いる軟判定復号法を用いる。復号化アルゴリズムが以下に与えられる。

- (1) 磁気テープから再生された  $8 \times 166$  ビットが矩形に配置される。
- (2) CRC の復号によって、各トラックごとに式(1)の  $G(X)$  による除算が実行される。もし 166 ビット 1 トラック分が  $G(X)$  で割切れなかったら、そのトラックは誤ったトラックとして取扱われる。もしそのトラックが  $G(X)$  で割切れたら、そのトラックは正しいトラックとして見なされる。
- (3) 上記(2)の復号化が 8 回繰り返される。この結果誤ったトラックとして検出されたトラックすなわち消失として登録されたトラックの位置及び数がわかる。
- (4) 上記(3)の操作ののち、得られた  $8 \times 150$  ビットは  $8 \times 3$  ビットごとに 50 個の矩形に区切られる。
- (5) リード・ソロモン符号の復号器によってリード・ソロモン符号の各符号語に対応する矩形の  $8 \times 3$  ビットが  $6 \times 3$  ビットの矩形に復号される。この復号化の際リード・ソロモン符号の復号器は消失の数が 2 以下の時、CRC の復号の結果得られた消失の位置の情報を用いて、 $6 \times 3$  ビットの情報を復号する。消失の数が 3 以上の時はリード・ソロモン符号としての復号は行わず、隣接している前後のデータより内挿補正を行う。
- (6) 上記(5)のリード・ソロモン符号の復号化操作が 50 回繰り返され、最終的に  $6 \times 150$  ビットの原情報が復号される。

### 3.4 誤り訂正能力

符号 X の誤り訂正能力を定性的に述べる。

$u$  を実際にテープ上で誤ったトラックの数とする。 $s$  を誤りとして検出したトラックの数すなわち消失の数  $e (= u - s)$  を CRC が見逃した誤りのトラックの数とする。 $s$  と  $e$  のおのおのの値に対応するリード・ソロモン符号の復号器の動作が表 1. に示されている。実際にテー

表 1.  $s$  と  $e$  の値に対する復号器の動作

$u$	$s$	$e$	復号動作
0	0	0	—
1	1	0	正しい訂正
1	0	1	"
2	2	0	"
2	1	1	内挿補正
2	0	2	復号誤り
3	3	0	内挿補正
3	2 以下	$u - s$	復号誤り
$\vdots$			$\vdots$
$l$	3 以上	$u - s$	内挿補正
$l$	2 以下	$u - s$	復号誤り
$\vdots$			$\vdots$

ブ上で誤ったトラックの数  $u$  が 1 又は 2 の時を考える。

$u=1$  の時は  $s=0, e=1$  と  $s=1, e=0$  と 2 つの場合がある。どちらの場合も リード・ソロモン 符号の誤り訂正能力によって完全に訂正される。

$u=2$  の時は  $s=2, e=0$  と  $s=1, e=1$  と  $s=0, e=2$  の 3 つの場合がある。 $s=2, e=0$  の場合は 2 トラックに実際にバースト誤りが起こり、それらが正しく検出されたことを意味する。この場合は リード・ソロモン 符号の誤り訂正能力によって完全に訂正される。第 2 の場合、 $s=1, e=1$  の場合は 2 トラックにバースト誤りが起こり、そのうち 1 つを CRC の復号器が見逃した場合である。この場合はいったん、 $s=1, e=0$  として復号化を行うが CRC の復号化によって得られた消失の位置情報と、リード・ソロモン 符号の復号化によって計算された誤り位置情報が一致しないことを検出することによって、誤りの見逃しが含まれていることを知ることはできる。その結果、復号誤りになることは免れ、隣接する音楽情報による内挿補正を行わせることが可能となる。最後の場合、 $s=0, e=2$  はテープ上で 2 トラックにバースト誤りが起こり、CRC の復号化によってその両方とも見逃した場合である。この場合には リード・ソロモン 符号の復号化の際、復号誤りを起こすことがある。

#### 4. 数 値 計 算

符号  $X$  の誤り訂正能力を定量的に把握するため、数値計算を行う。

##### 4. 1 1 トラックの誤り検出確率及び誤り見逃し確率

バースト誤りの起こる通信路での CRC の誤り検出確率、誤り見逃し確率の計算式は既に求められている<sup>(7)</sup>。その計算式は Gilbert モデル<sup>(3)</sup>のパラメータを用いている。 $r$  次の生成多項式をもつ CRC の誤り検出能力は次のとおりである。

- (1) 2 ビットのランダム誤り及び奇数誤りは確率 1 で検出
  - (2)  $b \leq r$  の長さのバースト誤りは確率 1 で検出
  - (3)  $b = r + 1$  の長さのバースト誤りは確率  $1 - 2^{-r+1}$  で検出
  - (4)  $b > r + 1$  の長さのバースト誤りは確率  $1 - 2^{-r}$  で検出
- 1 トラックの誤り見逃し確率は次式より求めることができる<sup>(7)</sup>。

$$P_m = \frac{1}{2^r} \{1 - P(0^n) - P(1, n) - P_D' \cdot E'\} \dots\dots\dots (5)$$

1 トラックの誤り検出確率は次式で与えられる。

$$P_d = 1 - P(0^n) - P_m \dots\dots\dots (6)$$

$n$  ビット中誤りなしの確率  $P(0^n)$  は Gilbert より求められている<sup>(3)</sup>。ここで  $P(m, n)$  は  $n$  ビット中  $m$  ビット誤る確率で文献(8)に求められている。

$P_D'$  は

$$P_D' = \begin{bmatrix} R_1' \\ R_1' V' \\ \vdots \\ R_1' V'^{r-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P(1, n-1) & & 0 \\ & \ddots & \\ 0 & & P(1, n-r) \end{bmatrix} \dots\dots\dots (7)$$

で  $R_1', V'$  は文献(7)に求められている。

$E'$  は

$$E' = \underbrace{(1, 1, 1, \dots, 1, -1)}_{15 \text{ 個}} \dots\dots\dots (8)$$

##### 4. 2 1 ブロックの補正音の生起確率、及び異音の生起確率

トラック間に誤りの相間なしと仮定する。8 トラック 1 矩形 (すなわち 1 ブロック) の復号誤りによる異音の生起事象の確率 (以後単に異音の生起確率とよぶ) 及び内挿補正音の生起事象の確率 (以後単に補

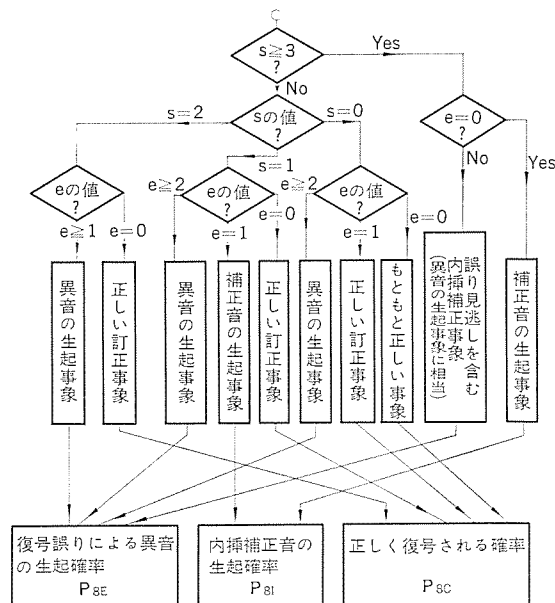


図 4. 確率計算のための復号動作 フローチャート

表 2. 消失の数によるブロックの事象の場合わけ

	$e=0$	$e=1$	$e \geq 2$
$s=0$	$P_c^8$ (もともと正しい事象)	$8 \cdot P_m \cdot P_c^7$ (正しい訂正事象)	$\sum_{i=2}^8 s C_i \cdot P_m^i \cdot P_c^{8-i}$ (異音の生起事象)
$s=1$	$8 \cdot P_d \cdot P_c^7$ (正しい訂正事象)	$8 \cdot P_d \cdot 7 \cdot P_m \cdot P_c^6$ (補正音の生起事象)	$8 \cdot P_d \cdot \{ \sum_{i=2}^7 s C_i \cdot P_m^i \cdot P_c^{7-i} \}$ (異音の生起事象)
$s=2$	$s C_2 \cdot P_d^2 \cdot P_c^6$ (正しい訂正事象)	$s C_2 \cdot P_d^2 \cdot \{ \sum_{i=1}^6 s C_i \cdot P_m^i \cdot P_c^{6-i} \}$ (異音の生起事象)	
$s \geq 3$	$\sum_{i=3}^8 s C_i \cdot P_d^i \cdot P_c^{8-i}$ (補正音の生起事象)	$\sum_{i=3}^8 s C_i \cdot P_d^i \cdot \{ (P_m + P_c)^{8-i} - P_c^{8-i} \}$ (誤り見逃しを含む内挿補正事象で異音の生起事象に相当する)	

正音の生起確率とよぶ) は 1 トラックの誤り検出確率  $P_d$ 、誤り見逃し確率  $P_m$  より求められる。表 1. 及び図 4. を用いて  $s, e$  の値に従って場合わけを行った結果を表 2. に示す。

8 トラック 1 ブロック全体の確率は以下ようになる。

- (1) 全体で正しく復号される確率  $P_{SC}$

$$P_{SC} = P_c^8 + 8 \cdot P_m \cdot P_c^7 + 8 \cdot P_d \cdot P_c^7 + s C_2 \cdot P_d^2 \cdot P_c^6 \dots\dots\dots (9)$$

- (2) 補正音の生起確率  $P_{SI}$

$$P_{SI} = 8 \cdot P_d \cdot 7 \cdot P_m \cdot P_c^6 + \sum_{i=3}^8 s C_i \cdot P_d^i \cdot P_c^{8-i} \dots\dots\dots (10)$$

- (3) 異音の生起確率  $P_{SE}$

$$P_{SE} = \sum_{i=2}^8 s C_i \cdot P_m^i \cdot P_c^{8-i} + 8 \cdot P_d \cdot \{ \sum_{i=2}^7 s C_i \cdot P_m^i \cdot P_c^{7-i} \} + s C_2 \cdot P_d^2 \cdot \sum_{i=1}^6 s C_i \cdot P_m^i \cdot P_c^{6-i} + \sum_{i=3}^8 s C_i \cdot P_d^i \cdot \{ (P_m + P_c)^{8-i} - P_c^{8-i} \} \dots\dots\dots (11)$$

## 5. シミュレーション

符号Xの能力評価のために数値計算と平行してシミュレーションプログラムを開発した。図5. にその実行フローチャートを示す。同プログラムはミニコンピュータ PDP-11/20 のアセンブラ言語で作られている。誤りを発生させ、それを入力として復号器の動作をシミュレートし、統計量を

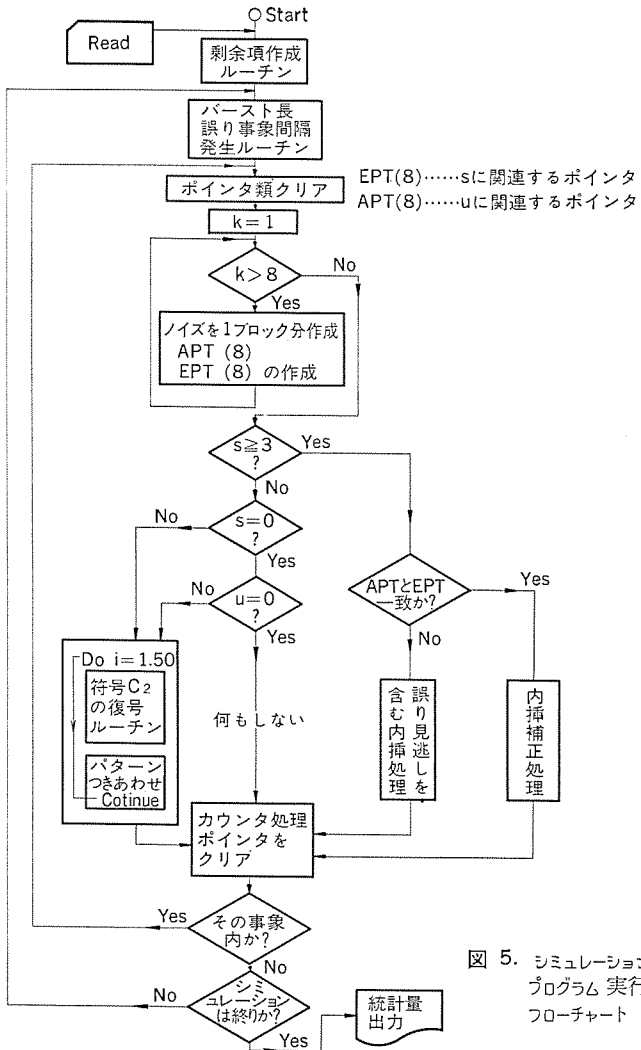


図5. シミュレーションプログラム実行フローチャート

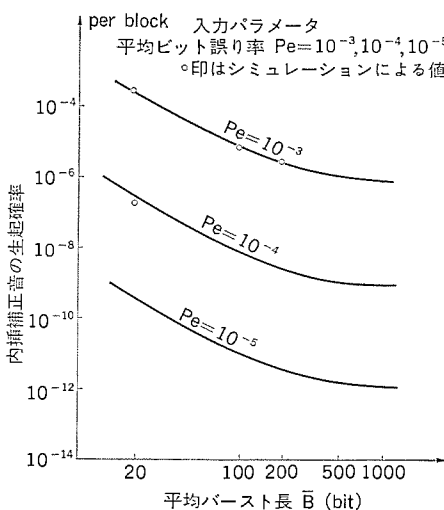


図6. (a) 平均バースト長に対する補正音の生起確率

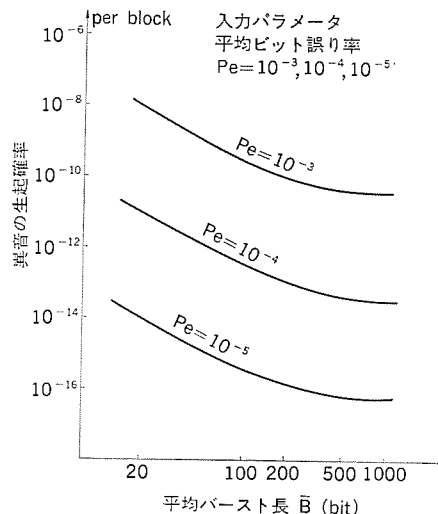


図6. (b) 平均バースト長に対する誤音の生起確率

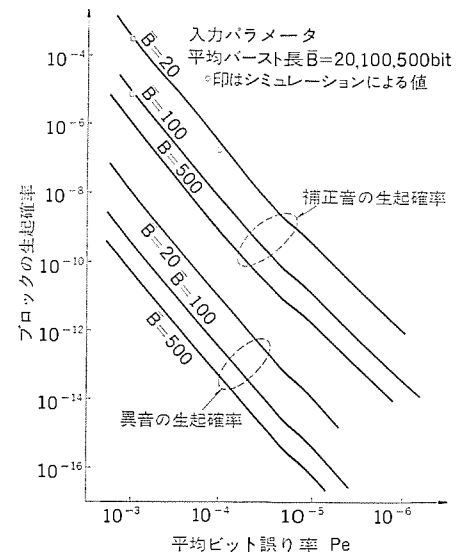


図7. 平均ビット誤り率に対する補正音の生起確率及び誤音の生起確率

出力する。

### 5.1 1トラックの誤り発生モデル

数値計算では誤り発生モデルに Gilbert モデルを仮定し、その Gilbert モデルのパラメータを用いた。そのため、バーストの連の分布、及び誤りなしの連の分布は幾何分布をなす。シミュレーションでは計算機の演算時間の都合上バーストの連の分布及び誤りなしの連の分布を指数分布で近似している<sup>(9)</sup>。バースト事象の中は PN 系列でうめられている<sup>(9)</sup>。

### 5.2 1ブロックの誤り発生モデル

トラック間の誤り事象は独立とする。各トラックのバーストの連及び誤

表3. 数値計算及びシミュレーション結果

Case	平均バースト長 $\bar{B}$	ビット誤り率 $P_e$	$C_1$ の符号長 $n$	$C_1$ の次数 $r$	内挿補正音の発生する平均発生時間間隔		復号誤りにより起こる誤音の平均発生時間間隔	
					数値計算	シミュレーション	数値計算	シミュレーション
1	1,000	$10^{-4}$	166	16	16日	—	$6.8 \times 10^2$ 年	—
2	500	$10^{-4}$	166	16	7.1日	—	$4.5 \times 10^2$ 年	—
3	200	$10^{-4}$	166	16	2.8日	—	$1.8 \times 10^2$ 年	—
4	100	$10^{-4}$	166	16	23時間	—	62年	—
5	20	$10^{-4}$	166	16	38分	1時間*	1.9年	—
6	20	$10^{-3}$	166	16	2.5秒	3.3秒*	18時間	—
7	100	$10^{-3}$	166	16	1.4分	1.5分*	23日	—
8	200	$10^{-3}$	166	16	4.3分	4.0分*	67日	—
9	100	$10^{-5}$	166	16	2.1年	—	$5.9 \times 10^4$ 年	—
10	100	$10^{-6}$	166	16	$7.2 \times 10^2$ 年	—	$4.3 \times 10^7$ 年	—
11	100	$10^{-4}$	200	16	16時間	—	3年	—
12	100	$10^{-4}$	100	16	54時間	—	$1.5 \times 10^2$ 年	—
13	100	$10^{-4}$	50	16	5.3日	—	$3.5 \times 10^2$ 年	—
14	100	$10^{-4}$	166	12	16時間	—	3.6年	—
15	100	$10^{-4}$	166	20	24時間	—	$1.0 \times 10^3$ 年	—

\* 統計量が少ないため正確な値ではない。

りなしの連を発生させる乱数の初期値は異なっており、それによってバースト長、及び誤りなしの連の発生は他トラックの誤り事象には無関係となる。

## 6. 結果と考察

表 3. 及び 図 6., 図 7. に数値計算とシミュレーション結果を示す。図 6. (a), (b) より テープ上の平均バースト長に対する能力の変化が示される。図 6. に テープ上の平均ビット誤り率に対する能力の変化が示される。

表 3. より テープ上で平均ビット誤り率  $10^{-4}$ , 平均バースト長 100 の場合、内挿補正音は平均して 23 時間に 1 回の割合で、また、復号誤りによる異音は 62 年に 1 回の割合で起こる、という結果が得られた。これは通常の使用条件で十分使用に耐えうるものと考えられる。

今後の課題としては、トラック間に誤りの相関があるモデルを検討していかなければならない。また、ヘッドの目づまりの問題も存在している。このヘッドの目づまりに対してもモデル化を検討する必要がある。定量的な把握は今後の課題であるが定性的には符号 X はこの問題にも対処できることが予想される。

最後にシミュレーションプログラムの作成に協力していただいた三菱総合研究所 下田泰才氏に深謝します。

## 参 考 文 献

- (1) K. Tanaka, T. Furukawa, K. Onishi, T. Inoue, S. Kunii,

and T. Sato : 2-Channel PCM Tape Recorder for Professional Use, preprint No. 1,408 (F-3), AES, 61-th Convention, New York, Nov. 3-6 (1978)

- (2) T. Inoue, Y. Sugiyama, K. Onishi, T. Kanai and K. Tanaka : A New Class of Burst-Error Correcting Codes and Its Application to PCM Tape Recording Systems, NTC '78, II, session 20, p. 20.6.1~20.6.5, Dec. 3-6 (1978)
- (3) E. N. Gilbert : Capacity of a Burst-Noise Channel, B. S. T. J., 39, 1,253~1,265, Sept. (1960)
- (4) P. Elias : Error-Free Coding, IEEE Trans-Information Theory, IT-4, 29-37, p. 391~399 (1954)
- (5) D. G. Forney : Concatenated Codes, MIT Press (1966)
- (6) 宮川, 岩垂, 今井 : 符号理論, p. 94, 昭見堂 (昭 48)
- (7) 大野, 藤原, 山内, 平沢, 井上 : バースト誤り回線における誤り制御方式の評価, 三菱電機技報, 46, No. 9, p. 1,028~1,034 (昭 47)
- (8) Vladimir Cuperman : An Upper Bounds for the Error Probability on the Gilbert Channel, IEEE Trans, Communication Technology COM-17, No. 5, p. 532~535, Oct. (1969)
- (9) 足立ほか : サイクリックリダンダンシチェック (CRC) 方式の誤り検出能力シミュレーション, FUJITSU, 21, No. 2, p. 117~127 (昭 45)

## 付 録

(ガロア体  $GF(2^3)$  上の演算の説明)

式 (2), (3), (4) の演算は通常の四則演算とは異なり, 2 を法としたガロア体  $GF(2^3)$  上の演算である。この体の上では  $-\alpha^i = \alpha^i$ ,  $2 \cdot \alpha^i = 0$  であるので式 (4) より  $\alpha^3 = \alpha + 1$  となる。これらの関係を用いて  $GF(2^3)$  の 8 個の元を  $\alpha$  の 2 次以下の項で表現できる。

0

1

$\alpha$

$\alpha^2$

$\alpha^3 = \alpha + 1$

$\alpha^4 = \alpha \cdot \alpha^3 = \alpha^2 + \alpha$

$\alpha^5 = \alpha^2 \cdot \alpha^3 = \alpha^2 \cdot (\alpha + 1) = \alpha^2 + \alpha + 1$

$\alpha^6 = (\alpha^3)^2 = (\alpha + 1)^2 = \alpha^2 + 1$

表 4. ガロア体  $GF(2^3)$  の元と 2 進符号の対応

元	2 進 符 号		
	$\alpha^2$	$\alpha^1$	$\alpha^0$
0	0	0	0
1	0	0	1
$\alpha$	0	1	0
$\alpha^2$	1	0	0
$\alpha^3$	0	1	1
$\alpha^4$	1	1	0
$\alpha^5$	1	1	1
$\alpha^6$	1	0	1

なお  $\alpha^7 = \alpha \cdot \alpha^6 = \alpha^3 + \alpha = \alpha + 1 + \alpha = 1$  である。この 8 個のガロア体の元の  $\alpha^2, \alpha, \alpha^0$  の係数をバイナリのパターンと見ると表 4. のようになる。

加算 : 今  $x = (011), y = (101)$  の和  $W (W = x + y)$  を考える。

$W = x + y = \alpha + 1 + \alpha^2 + 1 = \alpha^2 + \alpha$  となる。

故に  $W = (110)$ 。

乗算 :  $x = (101), y = (111)$  の場合, 積  $W (W = x \cdot y)$  を考える。表 4. より  $x = \alpha^6, y = \alpha^5$  で  $W = \alpha^6 \cdot \alpha^5 = \alpha^7 = \alpha^1 = \alpha$  である。

表 4. より  $W = (110)$  である。

次に式 (2) の演算を例示すると, 今第 1 トラックから第 6 トラックまでの 3 ビットのパターンがおのおの (000), (001), (110), (010), (111), (000) とする。表 4. より,  $a_1 = 0, a_2 = 1, a_3 = \alpha^4, a_4 = \alpha, a_5 = \alpha^5, a_6 = 0$  である。したがって 7 トラックの 3 ビットパターン  $a_7$  は

$$\begin{aligned} a_7 &= a_1 \alpha^1 + a_2 \alpha^2 + a_3 \alpha^3 + a_4 \alpha^4 + a_5 \alpha^5 + a_6 \alpha^6 \\ &= 0 \cdot \alpha + 1 \cdot \alpha^2 + \alpha^4 \cdot \alpha^3 + \alpha \cdot \alpha^4 + \alpha^5 \cdot \alpha^5 + 0 \cdot \alpha^6 \\ &= 0 + \alpha^2 + 1 + (\alpha^2 + \alpha + 1) + (\alpha + 1) + 0 \\ &= 1 \end{aligned}$$

したがって  $a_7 = (001)$  となる。

式 (3) の演算を示すと第 8 トラックの 3 ビットパターンは

$$\begin{aligned} a_8 &= a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_5 + a_6 + a_7 \\ &= 0 + 1 + \alpha^4 + \alpha + \alpha^5 + 0 + 1 \\ &= \alpha^3 \end{aligned}$$

したがって, 誤り訂正用の第 8 トラックの 3 ビットパターンは表 4. より (011) となる。

# レーザ方式ディスクシステム

久保 高啓\*・岡田 和夫\*・佐藤 隆晴\*\*

## 1. ま え が き

ビデオディスク<sup>(1)</sup>は、従来のオーディオレコードと同じような30cmφのプラスチック円盤の記録密度を大幅に上げ、音だけでなく画像も入れているものである。このための高密度ディスクシステムとしては、さまざまな方式<sup>(1)</sup>が提案されてきたが現在、実用的なものとして開発が強力に進められている代表的な方式の1つがレーザ方式ディスクである。

どのビデオディスクシステムにしてもユーザは、安価な工程で大量生産され、1枚1,000円～4,000円程度で市販されるであろうこのディスクを好みに応じて購入して見ることが出来る。これをディスクプレーヤにかけて再生した信号をテレビ受像機に入れば、30分～60分もの映画、音楽番組等、テレビで放送されているような内容の音つきカラー映像を楽しむことができる。特に、ここで述べようとしているレーザ方式ディスクは、レーザ光による非接触再生の特長を生かして静止画、遅送り、早送り、逆送り、ページ送り等の特殊再生が容易にできるので、ユーザはスポーツ録画などの決定的場面を繰り返し任意速度のスローモーションで見たり、静止させて見たりすることができるなど楽しみ方の幅が広がる。また、その特性を利用し、スポーツやおどりのコーチ、その他教養番組も数多く出るだろう。このようなディスクではビデオ信号が0～数MHzの帯域で30～60分（画像枚数で54,000～108,000）記録されているから、オーディオ信号が0～数10kHzの帯域で30分記録されている従来のレコードに対し100倍以上の高密度記録ディスクになっている。この高記録密度媒体は、ビデオ信号記録だけでなく、オーディオの長時間記録や音質の改善に利用することもできる。その1例がPCMオーディオディスクシステムである<sup>(2)</sup>。このデジタルオーディオディスクについては、その後、テレビ・音響機器メーカ各社の開発結果発表がきびすを接してなされており、目下、規格統一のための検討がなされつつある。

レーザ方式ビデオディスクは、1972年フィリップス社によってHe-Neレーザ信号再生をする最初的方式提案<sup>(3)</sup>がなされてから、その方式が持っている高い可能性が評価されている一方、レーザ発振器その他の光学部品からなるレーザピックアップが接触針方式より高価につくとか、ディスク製作に多額の設備投資を必要とするのではないかといった問題が提起されてきた。当社では、超小形半導体レーザピックアップ<sup>(4)</sup>、新しい原盤製作法<sup>(1)(5)</sup>等の開発によってそのような問題の解決をはかりつつ、前述のPCMオーディオディスクシステムのような新しい応用の提案もしてきた。ここでは、これらの技術をまとめて報告する。

## 2. 記録と再生の原理

記録装置のブロック図を図1に示す。表面に感光材料が着けられたガラス円盤を一定速度で回転し、それに対物レンズで1μmφ以下に集光したアルゴンレーザ光スポットを照射する。このレーザ光は、記録すべき電気信号に応じて強度変調してあるので感光面上に図2に示すような感光跡ができる。感光材料として金属薄膜を用いるなら光の照射された部分が蒸発、又は融解によって部分的に除去され、図

3. のようなビットが円周方向に連なったトラックができる（感光性樹脂を用いる場合は、露光後、現像すればこのようなトラックが得られる）。スパイラル状にトラックを作るためにはレーザ光スポットをディスクの半径方向に一定速度で移動させる。記録密度を上げるため対物レンズでレーザ光を小さなスポットに集光するが、ディスク面は振動などで絶えず上下動しているのでレンズの焦点が常にディスク面上にあるようオートフォーカサーボが組込んである。これは、ディスク面がレンズの焦点位置からずれていることを光学的に検出する機構と、スピーカ

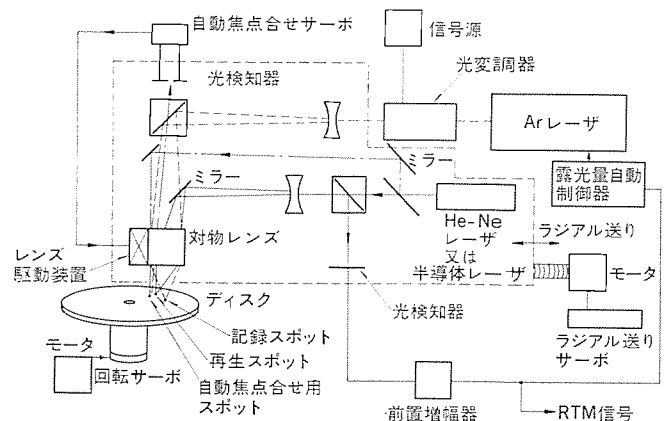


図1. 記録装置のブロック図

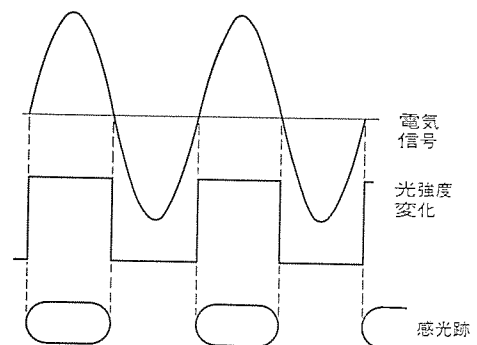


図2. 電気信号と感光跡

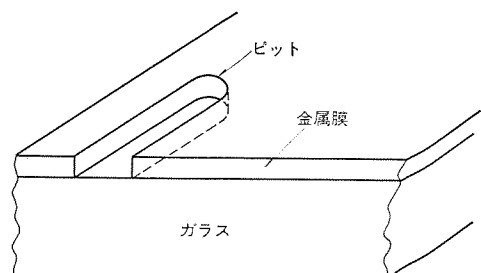


図3. 金属膜の部分的除去によってできたビット

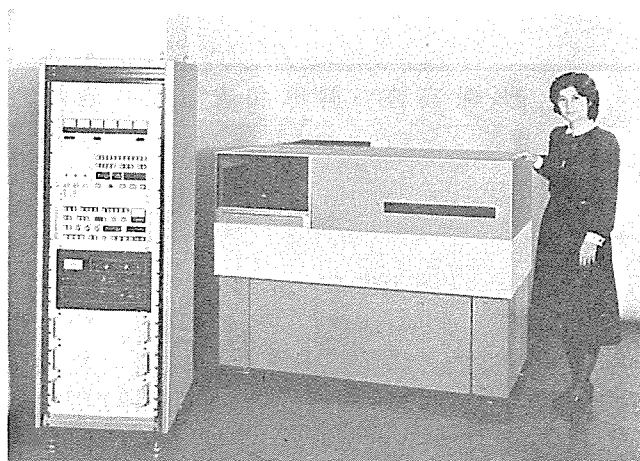


図 4. ディスク 記録装置 左：制御部，右：記録部

ーのボイスコイルと同じ原理によりその焦点位置からのずれ信号に応じてレンズを上下動させ、ずれをなくする機構から成り立っている。金属膜に記録する場合には、図 1. のような構成でパワーの大きい記録光スポットのすぐ後に同じ対物レンズで集光した He-Ne レーザや半導体レーザ等の小パワーの再生光スポットが位置するようにしてある。記録されたピットの有無で変わる再生光スポットの反射光強度を光検知器により電気信号に変換したものが再生信号である。この出力により、記録状態を監視 (Real Time Monitor, 以下 RTM と略す) し、記録条件の自動制御を行うことにより記録精度を上げることができる。試作した記録装置の例を図 4. に示す。

このような装置で記録したディスクは、オーディオレコードと同じ工程でプラスチックのレプリカディスクを作るための原盤として使用したりする。原盤製造法としては、一般に感光性樹脂を使用するもの<sup>(1)</sup>が用いられているが、その場合には、化学処理工程、暗室作業が必要となり、設備費がかかり、作業性も悪い。また、前述のような RTM の利用も難しい。ガラス円盤に蒸着した必要な厚さ  $d$  の金属膜にレーザ加工で信号を直接記録し、そのまま原盤に使用する方式<sup>(5)</sup>はそれらの問題を解決した極めて実用的な方法である。

レプリカディスクは材料、形状ともオーディオレコードと同じようなものであるが、図 5. に示したように表面に反射膜とプラスチックの保護膜が着けられている点が異なっている。再生光ビームはレプリカディスクの裏面から入射し、ピット上に焦点を結ぶ (図 5. 参照)。レプリカディスクの厚さが約 1 mm であるから光入射面では光ビームが広がっており、ディスク面上のほこりや傷が再生信号に影響を及ぼしにくいようになっている。再生光スポットは、ピットに照射されると、ピットの底からの反射光と、その周辺からの反射光との干渉によって対物レンズを通ってもどってくる反射光強度が減少するのでピットの有無が検出できる。

毎秒 30 回転しているガラス円盤上に蒸着した厚さ 400 Å の Al 膜に 6.5 MHz の電気信号を記録した場合のピット写真を図 6. に示す。0.5 μm 前後の幅のピットが記録できている。図 7. には同じディスクで記録の周波数特性を調べた結果を示す。10 MHz 以上の記録ができることが分かる。直径 30 cmφ のディスクの 11 cmφ から 29 cmφ までピッチ 1.6 μm でこのようなトラックを記録すれば 30 分の信号が

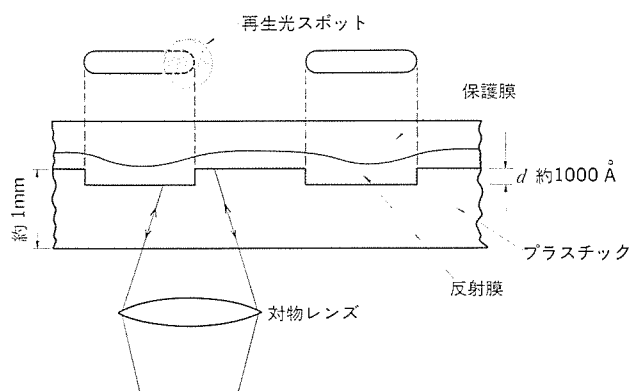


図 5. レプリカディスク 再生の原理説明図

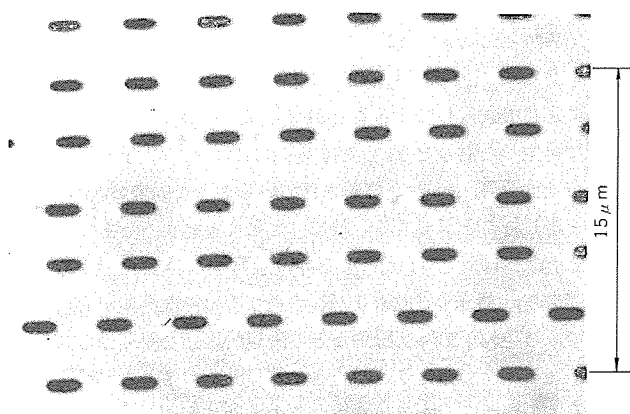


図 6. Al 薄膜に記録されたピットの写真  
記録周波数 6.5 MHz

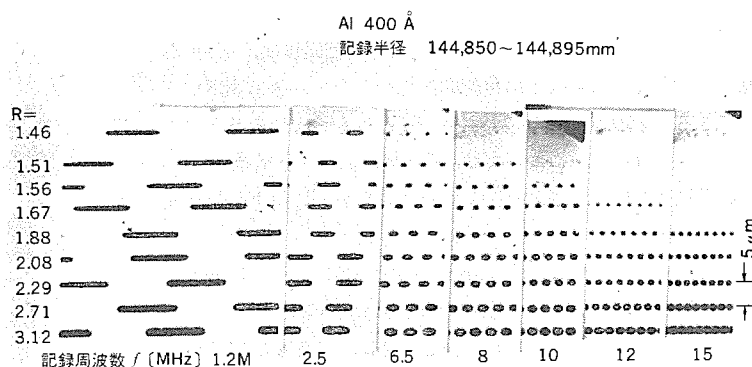


図 7. 記録の周波数特性  
R：記録 エネルギーの相対値

記録できる。

### 3. プレーヤーとピックアップ

プレーヤーは基本的には 2 章で述べた記録装置に含まれている再生機能だけを備えたものであり、ピットを光学的に読取るピックアップ、ディスク回転機構、ラジアル送り機構、信号復調回路等からなる。ここでは冒頭で触れた光学読取部の低コスト化と高信頼化を図るために開発した半導体レーザ超小形ピックアップについて詳述する。

#### 3.1 ピックアップの設計

ピックアップ光学系の設計に当たって次のような基本構想をたてた。



- (1) 対物レンズ、コリメートレンズ以外の光路の部品数を極力減らす。
- (2) 光路部品に位置ずれが生じてでも零点移動がないサーボセンサを導入する。
- (3) 光路調整の複雑さを最小にする。

ピックアップ光学系の小形、簡易化が高信頼化、低コスト化への最短距離であると考え、開発の力点をここにおいた。従来の光学系<sup>(3)</sup>では、光源とディスクの間の光路ビームスプリッタ、1/4波長板、サーボセンサ用各種光学部品のほか、フォーカシング及びトラッキング用アクチュエータが介在し光路を複雑にしていた。He-Neレーザが半導体レーザで仮に置換されたとしても、上述のアクチュエータがピックアップの中で相当の空間を占有するため、それだけでは必ずしもピックアップの小形化は実現できない。半導体レーザの持つ特長を生かした検知方式を導入して始めて小形化への道が開けるものと考え、各種検知方式を探索した結果、光自己結合効果<sup>(6)</sup>の適用が最も有効であるとの見通しを得た。光自己結合効果とは、半導体レーザの出力光をディスクの表面で反射させ再び元のpn接合部に帰還すると、帰還光の強度に対応して出力光が変化するという現象である。

この方法を使うとビームスプリッタ等が不要となるほか、ディスク上に焦点が合えば反射光は半導体レーザのpn接合部に自動的に帰還されるため光路調達が極めて簡単となり、前述の(1)、(3)の条件を満足させることができる。

零点移動が少なく条件(2)を満たすサーボセンサとして新しいウォブリング方式センサ<sup>(7)</sup>を開発した。これは光スポットをフォーカス方向に微小量ウォブリング振動させておき、半導体レーザのpn接合をピンホールとして機能させて変位を検出しようとするものである。トラッキングサーボ用にも同様のウォブリング方式センサを使用することにより、サーボセンサ用の光学部品が一切不安となり、光学系が1本の軽いアルミ鏡筒に収まるという設計が可能となった。この鏡筒をフォーカス、トラッキング両用の2軸アクチュエータにマウントすることによってHe-Ne光源タイプより格段に小さいピックアップを得ることができる。

### 3.2 ピックアップの構成

図8. は以上のような構成で設計したピックアップシステムの全系ブロック図である。半導体レーザを出射した光はコリメート用レンズにより平行光となり、対物レンズによって集光されてディスク上に光スポットとして投射する。ディスク上のピットにより変調された反射光は往路を逆行して元の半導体レーザにかえる。帰還された光の強度変化に対応して半導体レーザの後側光の強度が変化するので、これを高速の光検知器で検知する。検知されたRF(Radio Frequency)信号は復調器に送られオーディオ若しくは映像信号が得られる。サーボ信号はRF信号をエンベロープ変調する形で乗っているため、RF信号を検波した後フォーカシング、トラッキングそれぞれの位相検波器で位相検知することにより得られる。

光スポットを微小ウォブリングする方法は極めて簡単なものである。ピエゾ電気素子の小片を鏡筒先端部に張り付け、対物レンズを直接微小振動させた。ウォブリングの振動数は、両サーボのクロストークを避けるためフォーカス用としては約60kHz、トラッキング用としては30kHzに選定した。

用いた半導体レーザは、このピックアップのために特に設計したパッケージを持つTJS(Transverse Junction Stripe)形<sup>(8)</sup>で、後側光取出口の光ファイバを備えている。パッケージ内に高速光検知器を組込んで一体化したものも試作した。発振波長は0.8μm前後の近赤外であるが、可視化の開発も現在行われている。発振光のモードは縦・横

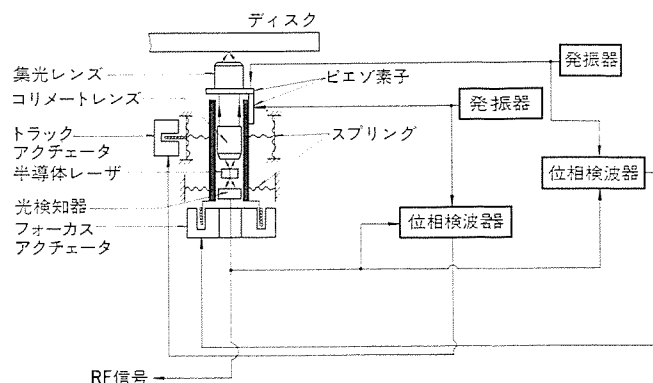


図8. 半導体レーザを用いた超小形ピックアップ構成図

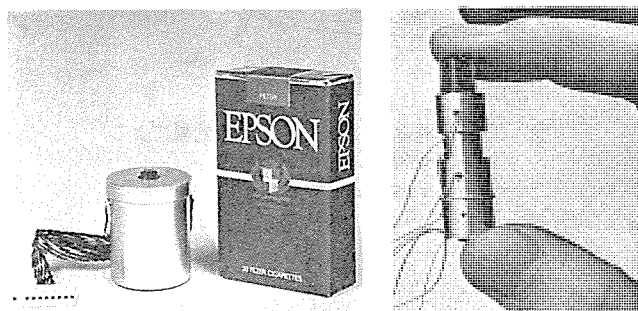


図9. ピックアップ光学系写真(右)とピックアップ全体写真(左)

ともシングルモードであり、寿命は連続動作で10万時間を超えており、ピックアップの光源として十分な性能を持っている。図9. は試作したピックアップの外観を示す写真である。

### 3.3 ピックアップの特性

図10. は光自己結合法の検知原理と特性を示すものであり、カーブAは帰還光なし、カーブBは帰還光ありの場合の出力対電流特性である。情報はディスクにピットの列(トラック)として記録されているので、光がトラックのピット部に当たったときは反射光強度が小さくカーブAに、ランド部に当たったときは反射光強度が大きくカーブBに相当する。両出力の差を信号出力として利用する。カーブCは、光帰還による出力の増加分を帰還光なしの出力値で除したものであり、検知の効率に相当するものである。発振スレッショルト付近で最も高い効率を得られることがわかる。このように低出力域で有効な検知が可能ということは、半導体レーザのヒートシンクの軽量化にとって好都合なファクタである。

図11. はフォーカシング、トラッキングともサーボをかけた場合における再生RF信号及びトラッキングサーボの残留エラー信号波形を示したものである。ピックアップのディスク径方向送りも停止させているので、トラッキングサーボはその追従範囲を繰り返しサーボ追跡している。数秒の追跡時間が安定に得られており、新開発のサーボ系が十分な利得(DCで約65dB)を持っていることを示している。

アクチュエータについては、2軸間のクロストーク(1軸の運動が他軸を励振する現象)が最大の問題であった。ばね部の運動状態の動的解析などからクロストークを最小にするばね構造を選択することができ、上述したように高いサーボゲインを得ることに成功した。

図12. は、このピックアップをとう(搭)載したPCMオーディオディスク

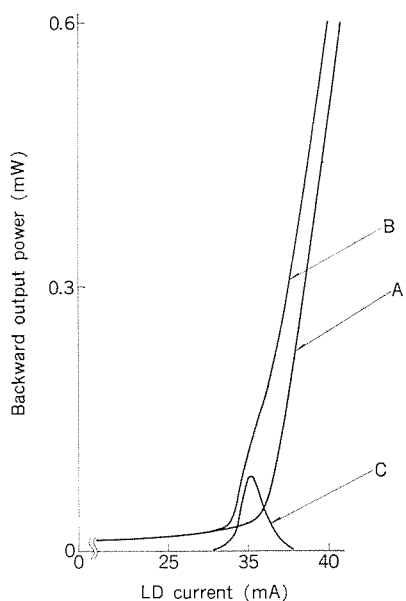


図 10. 半導体レーザーの光自己結合効果による情報読出し原理

A : 光帰還なし, B : 光帰還あり,

C :  $\frac{B-A}{A}$ ...縦軸は任意目盛り

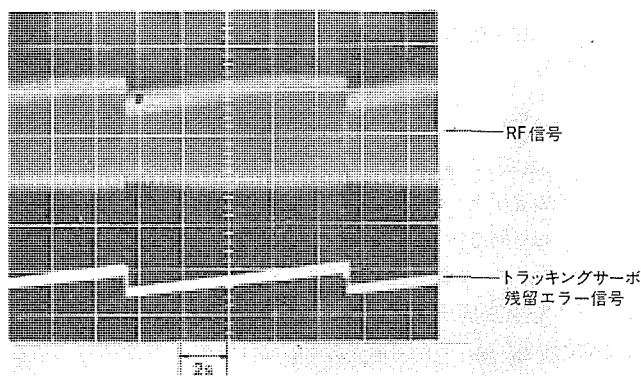


図 11. RF 信号及びトラッキングサーボ残留エラー信号



図 12. ビデオディスクプレーヤー(左)と PCM オーディオディスクプレーヤー(右) 点線円内は超小形半導体レーザーピックアップ

及びビデオディスクプレーヤーの外観写真である。また表 1. はオーディオディスクプレーヤーの概略仕様を示したものである。

これらプレーヤーは、第 27 回オーディオフェア及びエレクトロニクスショー(昭和 53 年東京晴海で開催)に出展して、参加者の多くの関心を集めた。

#### 4. 応用

このディスクシステムは、静止画再生などの特殊再生のできるビデオディスクとして開発し、前述のように記録信号帯域が広いので解像度の良い再生画を得ている。このディスクのトラック 1 周に 1 画面を記録し、かつ、トラックの各周に番地信号(検索コード)を記録しておけば任意の画面の検索や、動画の頭出しが簡単にできるので家庭用としてさまざまな楽しみ方ができるばかりでなく、業務用としても大容量情報ファイルなど広い応用の可能性を持っている。また、ディスクの回転速度を半分にし、60 分以上の長時間記録をすることもできる。このようなシステムの仕様例を表 3. に示す。大容量であるだけに検索速度を上げるには工夫が必要であるが、トラックのスポット駆動機構によって再生光スポットは隣りあう 100 以上のトラック間を 1 ms で移動できる特長を利用したり、磁気ディスクメモリに用いるような高速ヘッド駆動機構を利用したり、場合によってはピックアップを複数個組込んだりすることによって高速化が実現できる。

このディスクシステムの別の応用は、大容量のビット信号メモリである。マスメモリとしてのレーザー方式ディスクの仕様例を表 2. に示す。検索の高速化についての要求は画像ファイルの場合より厳しいと考えられるので一層の工夫が必要である。このようなビットメモリの効果的な応用例の 1 つは PCM オーディオディスクである。従来のレコードでは、オーディオのアナログ信号が音こう(溝)にそのままおうつ(凹凸)の形で記録されているが、PCM オーディオディスクではレーザー方式ディスクの記録容量が大きいのを利用し、このアナログ信号をデジタル信号化して記録してある。その結果として、次のような利点を生ずる。

- (1) 再生 S/N は媒体に依存せず、デジタル信号化の方式だけに依存する。
- (2) 媒体に生ずるドロップアウトによる信号の誤りの検出、訂正が可能である。
- (3) ディスク回転むらの影響を完全に吸収できる。
- (4) 周波数特性の平坦化が容易。
- (5) 検索信号など、音楽情報以外の付随的情報も容易に付け加えておくことができる。

その結果、例えば表 1. に示したように 30 cmφディスクで 2 時間の信号が記録されており、しかも、従来のオーディオレコードシステムでは考

表 1. PCM オーディオディスクプレーヤーの仕様

再生時間	120 分 (30 cm ディスク, 片面)
回転数	450 rpm
チャンネル数	2 ch (ステレオ)
周波数特性	DC~20 kHz (±0.5 dB)
ダイナミックレンジ	90 dB 以上
全高調波歪率	0.02% 以下
ワウ・フラッタ	水晶発振器精度
標準化周波数	44.0559 kHz
変調方式	MFM
ビット数	16 ビットスロット

表 2. マスメモリ としての レーザ 方式 ディスク 仕様例<sup>(9)</sup>

	大容量 (ギガバイト) Disc ROM	大量頒布用 Disc ROM	高速検索用 Disc ROM	小形 Disc ROM	超高信頼性 Disc ROM
情 報 量	1.6 GB ( $1.3 \times 10^{10}$ bit)	625 MB ( $5 \times 10^9$ bit)	100 MB ( $8 \times 10^8$ bit)	625 MB ( $5 \times 10^9$ bit)	200 MB ( $1.6 \times 10^9$ bit)
訂 正 後 の 誤 り 率	$10^{-10} \sim 10^{-12}$	$10^{-12}$	$10^{-12}$	$10^{-10}$	$< 10^{-15}$
検 索 時 間	100~250 ms	200~500 ms	10~20 ms	100 ms	100 ms
デ ィ ス ク 形 態	14' ガラス原盤 (片面)	12' プラスチックレプリカ (片面)	12'~14' 金属原盤 (片面)	8' ガラス原盤 (片面)	12'~14' ガラス原盤 (片面)
回 転 数	1,800 rpm	1,800 rpm	7,200 rpm	1,600~3,600 rpm	3,600 rpm
ト ラ ッ ク 密 度	19,500 tpi (1.3 $\mu$ m ピッチ)	15,800 tpi (1.6 $\mu$ m ピッチ)	2,500 tpi (10 $\mu$ m ピッチ)	19,500 tpi (1.3 $\mu$ m ピッチ)	8,500 tpi (3 $\mu$ m ピッチ)
読 出 し ヘ ッ ド	1~3	1	4~10 (Multi)	1	2~4 (Duplex)
エレメント誤り率 ( $P_e$ )	$10^{-5} \sim 10^{-6}$	$\sim 10^{-4}$	$\sim 10^{-6}$	$\sim 10^{-5}$	$10^{-5} \sim 10^{-6}$
訂 正 能 力	$\sim P_e^2$	$\sim P_e^3$	$\sim P_e^2$	$\sim P_e^2$	$\sim P_e^3$
訂 正 漏 れ 補 償		レプリカ再頒布			多重書込み

表 3. 大容量情報ファイルとしての レーザ 方式 ディスク 仕様例

	高品質動画ファイル 静止画ファイル	高速検索の 静止画ファイル	長時間記録の 動画ファイル
30 cm $\phi$ ディスクの 動画再生時間	30 分		60 分
同 画 面 数	54,000 枚 <sup>(4)</sup>	9,000 枚	108,000 枚
トラック1周あたりの 画 面 数	1 枚	1 枚	2 枚
ト ラ ッ ク 密 度	15,000 tpi <sup>(3)</sup>	2,500 tpi <sup>(3)</sup>	15,000 tpi <sup>(3)</sup>
デ ィ ス ク 回 転 数	1,800 rpm	1,800 rpm	900 rpm
画像のホワイトピーク 記 録 の 周 波 数	7 MHz	7 MHz	5.5 MHz
動画のスタート点 検 索 時 間	1~2 s <sup>(1)</sup> 50 ms <sup>(2)</sup>		1~2 s <sup>(1)</sup> 50 ms <sup>(2)</sup>
静止画検索時間	数 s <sup>(1)</sup> 250 ms <sup>(2)</sup>	30 ms <sup>(2)</sup>	

- (1) ビックアップをモータで送りしかるべきトラックをさがす低価格、小形送り方式  
(2) 磁気ディスク用ヘッドを高速で移動させる機構を利用し、複数個のビックアップを高速で移動させる方式  
(3) tpi (tracks per inch)  
(4) A5 版の漢字まじりの文章 350 ページの本の 80 冊分、体積比 1/5,000~1/10,000

えられない広いダイナミックレンジ、低ひずみ(歪)、低フウ・フラッタという特性を有している。無接触再生であるからディスクやピックアップの摩耗はないし、検索信号を入れておいて任意の曲の頭出しをすることができるのも当然である。

## 5. む す び

ディスクシステムは規格の統一がなされつつあるので、やがてプレーヤーとディスクの双方が十分に供給される体制が整い、家庭用に普及しはじめるであろう。レーザ方式ディスクは、無接触再生の特長を生かした特殊再生・検索が容易という利点を持っているので、家庭用のビデオディスク、PCM オーディオディスクとして高性能のシステムになるであろうが、ビデオディスクの業務用応用では特にその特長が生かされるし、

規格統一が必ずしも必要とされぬ場合もあるので家庭用より先に普及する可能性が大きい。近い将来、半導体レーザを使って書込み、再生、消去が自由自在にできるようになれば、VTR が持つ特長をも兼ね備えることになる。これはレーザ方式のみが持つ大きな特長の 1 つである。

## 参 考 文 献

- (1) 例えば下記文献参照  
伏木：日経エレクトロニクス，昭52年11月28日号 p. 81  
岩村：電気学会誌 98, 10, 39 (昭52)
- (2) 三菱電機，ティアック，東京電化：“PCM レーザサウンドディスク及びプレーヤー” 発表資料，昭52年8月31日  
S. Itoya, T. Nagai, M. Nakada and T. Kudo : IEEE Trans. Cons. Electr. CE-24, 3, 443, (1978)
- (3) K. Compain and P. Kramer : Philips tech. Rev. 33, 7, 178 (1972)
- (4) 三菱電機広報“超小形半導体レーザピックアップを用いたビデオディスクプレーヤーならびにPCMレーザサウンドディスクプレーヤー”(三菱電機KK, ティアックKK, 東京電化KK) 昭和53年10月4日  
K. Okada, W. Susaki, M. Kondo, K. Kime, K. Hirasawa, T. Miyazawa and T. Sato : 1978 Audio Engineering Society Preprint No. 1409 (D-4)  
宮沢，岡田，佐藤，浪崎：電子材料，p. 67, 昭53年2月号
- (5) 久保，渡辺，伊藤，小柴：テレビジョン学会第30回録画研究会資料，昭53年8月24日
- (6) 島田：電子通信学会誌，p. 19, 昭52年1月号
- (7) 近藤，岡田，木目，須崎：昭53年応用物理学会春季講演会 (27P-G-4)
- (8) N. Namizaki, H. Kan, M. Ishii and A. Ito : J. Appl. phys. 45, 2785 (1974)
- (9) 富川私信

# 鉄筋ガス圧接部専用簡易超音波探傷器

羽 深 嘉 郎\*・佐 藤 春 治\*

## 1. ま え が き

ガス圧接法は、我が国において、昭和27年(1972年)に実用化されて以来、鉄筋の接合方法として、簡便かつ安価な工法として広く用いられるようになってきた。

近年、大形建造物が鉄筋コンクリートで建造される傾向が顕著となり、これに伴って鉄筋ガス圧接部に対する品質管理の要求が高まってきた。

この要求に対し、ガス圧接工法の改良が加えられるとともに、現場で加工された鉄筋100本から5本の標本を抜き取り、破壊検査を行う方法がとられるようになった。しかしこの検査方法では、ごくわずかな標本の破壊検査により、全体の品質を推定すること、検査のため抜取った標本部分の補修、及び検査のために要する時間が長いなどの問題がある。このため、被検材の強度を推定しうる破壊試験結果との間に相関関係をもつ非破壊試験方法の開発が待たれていた。

非破壊試験の方法は、種々考案、使用されているが、建設現場で容易に使用できること、試験結果が短時間に得られること、試験員に何らの障害も与えないこと、試験に要する費用が低廉であること、そしてこの圧接部に存在する平面的欠陥に対する検出能が高くなければならないことなどの諸条件を勘案すれば、超音波探傷法がもっとも適した方法と言うことができる。

超音波探傷試験方法を、鉄筋ガス圧接部へ適用した場合、有害欠陥部からの反射エコーレベルと機械的強度との間に、良い相関関係が存在することが、多くの関係者の実験で確かめられた。

この事実に基づき、超音波を使用して簡便に鉄筋ガス圧接部に有害な欠陥が存在するか否かを試験する、FD-52形鉄筋ガス圧接部専用簡易探傷器の製作が可能となった。

## 2. 鉄筋ガス圧接部の超音波試験

鉄筋ガス圧接部に生ずる不完全接合部は、鉄筋軸に垂直な圧接面上にできるものが多く、圧接部の超音波探傷では、不完全部のうち機械的強度を低下させる不完全接合部が対象となる。

圧接部に鉄筋軸方向から超音波を入射させると、圧接面に不完全接合部が存在すれば入射超音波を反射し、存在しなければ通過して反射はない(図1.)。このとき、超音波の反射波の強さ(受信波の強さ)と引張り強さとの間の相関関係が存在することを裏付けるために、社団法人日本圧接協会では実験をすすめ、圧接棒標本1,000本以上もの現場圧接のデータ蓄積を行った。その結果、ガス圧接の不完全接合部のうち、引張り強さの低い接合部からの超音波反射が大きいことがわかり、超音波探傷で接合部の引張り強さに対応した検査ができることが分かった。

図2.は、鉄筋ガス圧接部の超音波探傷状態を示している。探傷法としては送信用・受信用探触子を用いた2探触子透過法によるK走査法を採用している。すべての異形鉄筋には、2本のリブが走っているの、K走査法はすべての異形鉄筋に適用できる。探触子の

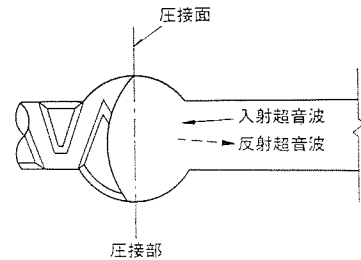


図 1. 超音波の圧接面での反射

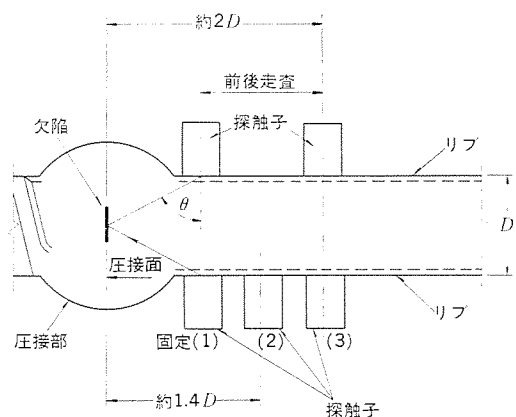


図 2. 鉄筋ガス圧接部の超音波探傷状態

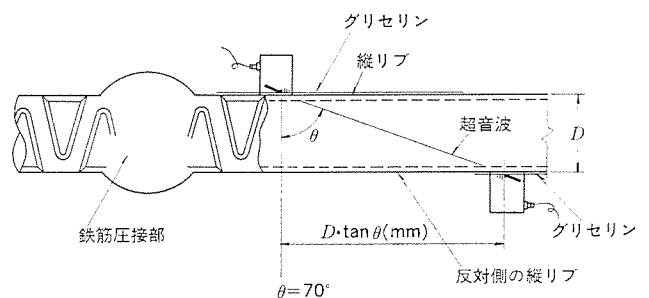


図 3. 基準エコーレベルの設定(原理図)

圧接部へ接近できる距離や不完全圧接部の方向の点から入射する超音波の屈折角は $70^\circ$ がよい。また、探触子の鉄筋接触面の長さは、リブのおうとつ(凹凸)の影響から、12mm以下が適当であることも実験の結果から分かった。このK走査に先だって、超音波の強さの基準として図3.に示すように鉄筋の圧接部付近の母材に超音波を透過させて、入射超音波の量を求めなければならない。これは、鉄筋の径や製造会社の違いによってリブの形状が異なるためで、径及び製造会社ごとに必要である。

図4.は、(社)日本圧接協会規準NAKS-0001より抜粋したもので、超音波検査をした圧接部の引張り試験結果を示しており、反射波の強さと引張り強さの関係をプロットしたものである。縦軸に引張り強さ(JIS規格引張り強さを1.0としている)を、横軸に反射波

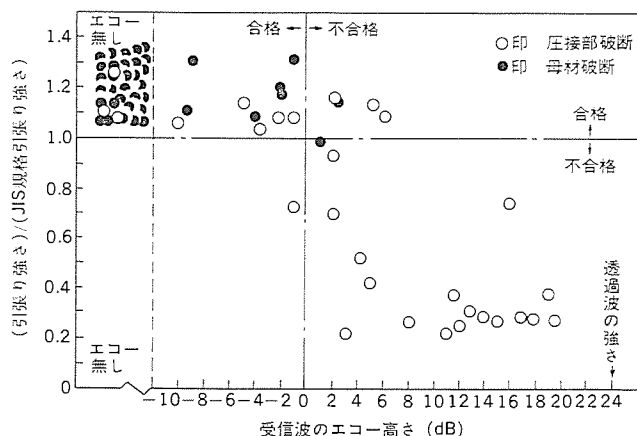


図 4. 鉄筋 ガス 圧接部における欠陥 エコーの強さと引張り強さの関係 (こぶ付き) NAKS 0001-77 より抜粋

の強さを dB 表示しており○印は圧接部での破断、●印は母材破断である。この図から、接合部からの反射波の強いものは圧接部で破断し、かつ、引張り強さも低い。また、接合部からの反射波が低いものは、母材破断若しくは圧接部で破断しても、引張り強さは大きいということがわかる。すなわち、鉄筋の母材を透過する超音波の強さに対して、反射波が 1/16 (24 dB 低いレベル) 以上あると、その圧接部は、JIS に規定されている引張り強さを満足しないことがわかる。

以上が鉄筋圧接部の超音波試験の原理である。

### 3. 三菱鉄筋ガス圧接部専用簡易超音波探傷器 FD-52 形

#### 3.1 FD-52 形の動作

図 5. に従って FD-52 形の動作を説明する。

送信用探触子で発生した超音波信号は、接触媒質を介してリブ面から鉄筋内に屈折角  $70^\circ$  の角度で入射する。圧接面内に欠陥が存在すると一部分が反射されて、反対側のリブにある受信用探触子で検出される。このときの鉄筋内の超音波信号のビーム路程は、鉄筋径で定まる一定値であるので、あらかじめ監視範囲すなわちゲートの位置と幅を決めておけば、欠陥信号を容易に検出でき、結果を発光ダイオード (LED) などで表示することができる。このため、探傷波形観測用ブラウン管を用いなくても、有害欠陥の検出が可能となる。すなわち、図 6. (a) に示すように、面欠陥  $F_1$  あるいは  $F_2$  が存在した場合には、それぞれ送信探触子が  $T_1, T_2$ 、受信探触子が  $R_1, R_2$  の位置で最大エコーが得られ、ビーム路程  $l_1, l_2$  は次式となる。

$$l_1 = T_1F_1 + F_1R_1 = T_1F_1 + F_1R_1'$$

$$D = l_1 \cos \theta$$

$$\therefore l_1 = D / \cos \theta \dots \dots \dots (1)$$

同様にして

$$l_2 = D / \cos \theta \dots \dots \dots (2)$$

したがって、任意の位置に対して  $l_1 = l_2$  が成立する。

ゲートは中心を  $D / \cos \theta$  とし、探触子屈折角の製作誤差、鉄筋径  $D$  の製作公差等を配慮してゲート幅を設定する (図 6. (b) 参照)。

なお、基準エコーレベルの設定を行う場合は、図 3. に示した位置に探触子を設置するので、図 6. (a) の  $T_1R_1'$ 、 $T_2R_2'$  のビーム路程と同じとなり、したがって測定時と等しくなる。

さて、欠陥で反射した超音波信号は受信用探触子で検出され、アッテネータ (0~20 dB, 1 dB ステップ) を通って受信増幅器で増幅される。

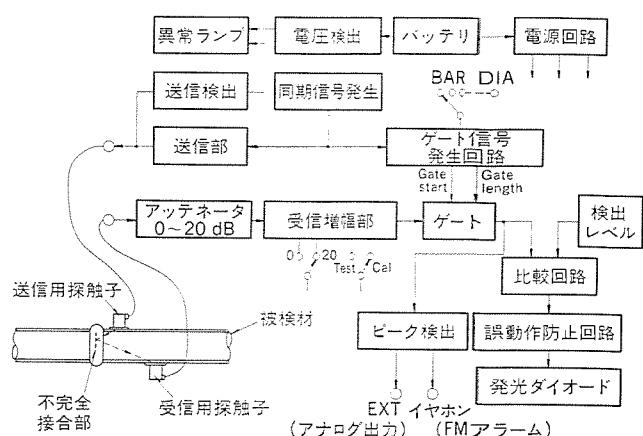
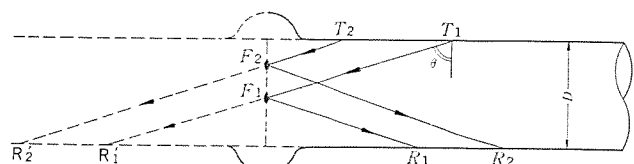
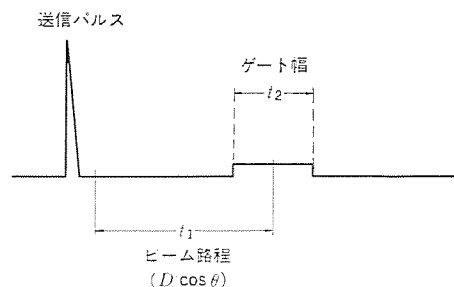


図 5. システム 系統図



(a) ビーム 路程



(b) ゲート 位置と ゲート 幅

図 6. ビーム 路程と ゲート

受信増幅器には 2 つのアッテネータ (20 dB, 1 ステップ) と Cal-Test 切換え (24 dB, 1 ステップ) があり、探傷感度の設定に使用される。

一方、前面パネルにある選択つまみで鉄筋径 (BAR DIA) を選択するとゲート信号発生回路によって送信パルスより所定の時間  $t_1$  だけ遅れ、所定の時間幅  $t_2$  をもったゲート信号が発生し、ゲート回路を制御する。受信増幅器で増幅された信号はゲート回路へ入り、ゲート時間幅  $t_2$  内に受信された信号だけがゲート回路出力として比較回路 (Comparator) へ入って、あらかじめ設定された検出レベルと比較され、更に、雑音による誤動作防止回路を経て発光ダイオードを点灯させる。

また、ゲート回路出力は、ピーク検出回路ピークで検出されて、受信波の強さに比例して音色の変化する FM (Frequency Modulated) アラーム信号を発生すると同時にアナログ記録用として出力される。作業者は、FM 信号をイヤホンにより聴くことができるので、探触子を走査することによる受信波強さの変化をとらえることができる。

以上が FD-52 形の主たる動作であるが、その他自己点検機能として電池電圧の検出と送信パルスの検出により異常を検知できるので、誤動作を防ぐことができる。

#### 3.2 FD-52 形の主要性能

FD-52 形は、(社)日本圧接協会制定の「鉄筋 ガス 圧接部の超音波

探傷検査規準，NAKS 0001-77」に適合するもので，建設現場，工事現場で用いられるので軽量であるとともに，1人で扱えるものであることに重点をおいて設計されている。FD-52 形の設計上の主な留意点は次のとおりである。

- (1) 欠陥の存在を音と光で明示し，作業者は探触子の走査に専念できるようにする。特に FM アラームの採用は音色でエコーの最大点をとらえることが可能となり，ブラウン管が無いにもかかわらず探傷操作を容易にしている。
- (2) 探触子を小形にし，鉄筋の密な場合も探傷が可能である。
- (3) 探触子のシューは鉄筋リブに近い円弧にし，音響カップリングが十分とれる。
- (4) 電池電圧の低下や送信出力の不能などによる検査ミスを防止するための回路を内蔵している。
- (5) 高度な探傷技術はなくても，多少の経験と訓練によって十分に使用できるものであること。
- (6) 小形軽量であるとともに，1次電源が電池であるので消費電力の少ない回路を使用する。

以上述べた FD-52 形の主要性能を表 1. に，外観を図 7. に示す。

3. 2 探傷作業

探傷作業は，大別して(1)探傷感度の設定，(2)探傷走査，の2段階に大別できる。前者はいわば準備操作であり，後者が実際の探傷操作である。

3. 3. 1 探傷感度の設定

探傷感度の設定は，(1)基準エコーレベルの設定，(2)合否判定レベルの設定，の2段階に分かれる。基準エコーレベルは，図 3. のように透過法により，これから探傷しようとする鉄筋の母材を用いて行う。

表 1. 主要性能

項 目	仕 様
1 用 途	鉄筋のうち熱間圧延異形棒鋼のガス圧接部の検査 (不完全接合部の検出)
2 対象鉄筋径	D19～D51
3 探 傷 方 式	2 探触子法 (K 走査)
4 試験周波数	5 MHz
5 探触子の形名	S Z 5×5 A 70
6 警 報 の 表 示	発光ダイオード及びイヤホン (イヤホン出力は FM アラーム)
7 記 録 出 力	ゲート内受信波最大値のアナログ出力
8 アッテネータ	64 dB (1 dB×20, 20 dB×1, 24 dB×1)
9 電 源	(a) アルカリ乾電池：AM 3×6 個 (約 8 h 連続使用可能) (b) DC -6 V 150 mA 以下
10 本体外形寸法	幅 150×高さ 70×奥行 130 mm
11 本 体 重 量	約 1.2 kg (電池とバンドを含む)

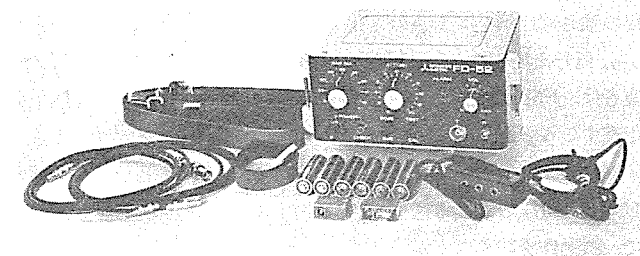


図 7. FD-52 形外観



図 8. 建設現場での検査状況

合否判定レベルは，Test-Cal スイッチを Test へ切換えることで設定される。

3. 3. 2 探傷方法

探傷感度設定後は，2 探触子を用いて図 2. に示すように探傷する。鉄筋のリブ上において一方の探触子を圧接部のふくらみに接近した位置(1)，圧接面より約 1.4 D の位置(2)及び約 2 D の位置(3)に置き，おのおの場合について，他方の探触子を圧接部のふくらみに接近する位置から約 2 D の位置まで前後走査を行う。探触子の送受の別を示していないのは，多くの実験例から探傷結果に差異の無いことが判明しているからである。

以上の操作によって，FD-52 形の アラームランプ (LED) が点灯しなければ，圧接部は正常である。また，イヤホンは，合否判定レベルの更に約 6 dB 低いレベルから FM アラームを発生させ圧接部内の欠陥を見おとすことのないよう配慮している。図 8. は，建設現場での検査状況を示す。

4. む す び

(社)日本圧接協会では昭和 53 年度より，鉄筋 ガス 圧接部の超音波探傷について講習会及び学科・実技試験を実施している。資格 A 種は，はん(汎)用超音波探傷器 (一般に ブラウン 管付き) と専用探傷器とを操作できる技量を有するもの，S 種は専用探傷器を操作する技量を有するものである。このいずれかの試験に合格した者が，専用探傷器 (FD-52 形又は相当品) を用いて探傷する資格が与えられている。

以上 FD-52 形について述べてきたが，今後の超音波探傷器の方向としては，FD-52 形のように専用器として各分野別に使いやすいものの需要が増大するものと思われる。

なお，鉄筋 ガス 圧接，又はその超音波探傷についての詳細については，(社)日本圧接協会発行の「鉄筋圧接部の超音波探傷検査」を参照されたい。

参 考 文 献

- (1) (社)日本圧接協会：鉄筋 ガス 圧接部の超音波探傷検査 (昭 53)

# 最近の電車総合試験システム

松田 哲\*・吉村 元由\*・石田 隆朗\*\*・本多 隆一\*・高橋 知廣\*

## 1. ま え が き

コンピュータを利用した電車総合試験システムが開発されて既に10余年が経過し、これまでに約20システムが全国各地で導入されている。この間に、電車総合試験システムは質・規模共に変ぼうを遂げてきたが、マクロな見方をすると、(1)情報管理面への展開、(2)トラブルシューティング機能の分離独立、(3)ユーザオリエンテッドなソフトウェアの採用、(4)操作の容易化の徹底、などが最近の目立った傾向である。

すなわち、車両の検査期日の管理、消耗部品の保守管理、主要部品の在庫管理、など車両保守に関連する情報管理にも試験用のコンピュータを応用しようとするのがその1、トラブルシューティングをより綿密に行いながら、同時に高い経済性を得るために、単体試験器を導入して総合試験システムからトラブルシューティング機能を分離独立させようとするのがその2、ユーザが自由に検査手順や出力フォーマットを変更できるよう開発されたユーザオリエンテッドなソフトウェアを採用しようとするのがその3、特に熟達した者でなくてもシステムを正確・容易に扱えるよう操作の容易化を徹底しようとするのがその4、である。

以下にこの最近の傾向を、当社が名古屋市交通局及び東京都交通局に納入した電車総合試験システムを紹介していただてみたい。

## 2. 名古屋市交通局納め電車総合試験システム

名古屋市交通局納め電車総合試験システムは、(1)編成試験システム、(2)情報管理システム、(3)単体試験システムの3つのサブシステムから成る。このうち編成試験と情報管理の両サブシステムは、1台のミニコンピュータを共用する一体システムとなっているのに対し、単体試験はハードウェア的には独立したサブシステムとなっている。以下に各サブシステムの概要を紹介する。

### 2.1 編成試験サブシステム (「列車検査装置」)<sup>(1)</sup>

当面4両、将来は8両編成の車両を2つのピットのいずれかで試験できるよう設備されている。システムのブロック構成を図1に示す。

試験項目は1か月、重要部、全般の3つの検査を通じて共通に使えるよう定められている。

試験の方法として、自動試験と手動試験の2つの方法がある。自動試験はプログラム化された手順に従って試験を行い、試験結果の良否を自動判断し、試験終了後ドットプリンタにより試験成績書を作成する。試験進行中に必要となる人為作業の内容は、自動メッセージ通報装置と無線電話とにより現場検査員に伝えられる。実行中の試験内容と結果は、CRTの画面上に表示される。

手動試験は、自動試験のバックアップとして使用するもので、コンピュータが定期保守などで使用できない場合に用いる。試験方法は、操作盤上の試験選択スイッチを操作すれば選択された項目のみ実行する。試験結果は操作盤上のデータ表示器に表示される。このときデータの良否の判定と記録は検査員が行う。

このシステムの特長は、後述の情報管理サブシステムの原始情報とし

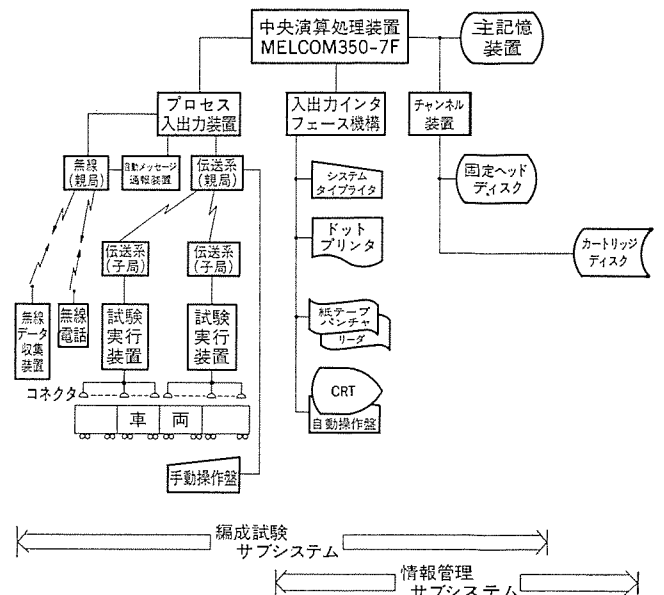


図1. 編成試験/情報管理システム構成

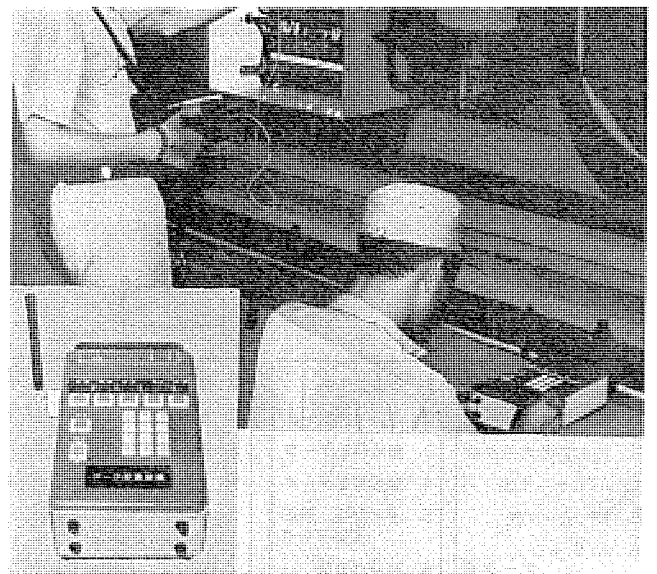


図2. 無線データ収集装置

て、自動試験結果データのほかに現場で発生するデータを広範に収集することで、このために図2に見るような無線データ収集装置を用意している。これは現場で発生したデータ(最大10けた)桁を無線系を介してコンピュータに送信し、コンピュータの判定結果を受信してランプ表示する機能を持っており、人為測定された絶縁抵抗値・車輪径・車体各部寸法などを現場から直接コンピュータにインプットするために用いられる。

このシステムのもう1つの特長は、次の3つのモードの自己チェック



機能を備えて、高い信頼度を保証していることである。

- (1) 自己チェック：試験開始前に装置自身をチェックする。
- (2) 常時チェック：試験中試験装置自身を常時チェックする。  
このチェックは、重要部に限定し行う。
- (3) 臨時チェック：試験結果が否となった場合のみ試験装置自身をチェックする。

## 2.2 情報管理サブシステム<sup>(2)</sup>

情報管理サブシステムは、検査データ管理、車歴管理、在庫管理の3つの管理機能を有している。

これら3つの管理機能の処理内容を図3.に示す。なお、この情報管理システム用の記述言語としては、はん(汎)用のCOBOLを採用し、使用者の便宜を図っている。

### 2.2.1 検査データ管理

検査データ管理は、次の2点を目的として実施している。

- (1) 全車両の検査結果を200余項目について管理する。
- (2) 機器・部品の性能の経年変化を製番単位で追跡する。

編成試験サブシステムに一時的に保管される各種の車両検査情報は、情報管理サブシステムでデータ処理される。このうち主要機器の検査データは、この検査データ管理により処理され、図3.に示すデータ表に分類して、機器製番ごとに管理されている。

### 2.2.2 車歴管理

各種の車両機器・部品の履歴データをCRTより入力して、必要なときに目的別にデータを検索し管理資料を出力するシステムである。実際には次の各管理を実施している。

- (1) 車両の検査施行日の実績の管理と、定期検査施行予定日の提案。
- (2) チョップ制御装置、ATC、ATS、誘導無線の各装置について、取替ブロックを単位とした部品の車両間移動履歴の管理。

- (3) 全車両の車輪のタイヤ径及び摩耗量の管理。

- (4) パンタスライダ、ブレーキシュー、主電動機ブラシの車両ごとと取付部位単位での取替履歴及び摩耗量の管理。

- (5) 編成ごとの車両組成履歴及び車両ごとの走行キロ管理。

### 2.2.3 在庫管理

在庫管理は、次の2点を目的として実施している。

- (1) 車両保守用品の在庫状況のは(把)握。
- (2) 車両保守用品の経費統計資料の作成。

随時発生するデータ(発生/受入れ/払出し伝票)を、CRTより入力して、在庫状況の問合わせと定期的(月次、3か月、年間累計)な品目管理、予算/決算管理資料を出力するシステムである。

在庫管理の出力帳票の種類を表1.に示す。

### 2.2.4 効果

情報管理サブシステムの導入効果として、次の3点が挙げられる。

- (1) 車両保守情報の一元的理由

従来ともすれば個別に管理されがちであった検査データ・車両履歴・在庫状況が、このシステムを通じてまとめて管理されるようになったので、業務担当者は即座に必要な情報を過去にさかのぼって入手できるようになったばかりでなく、必要な周辺情報をも入手できるようになった。

- (2) 経済性の改善

車両試験と情報管理とをタイムシェアリング的に実施できるので、従来の車両試験専用システムに比し、システムの利用率が高まり、投資効果が向上した。

### 2.3 単体試験サブシステム<sup>(3)(4)</sup>

前述の電車編成試験システムにより編成車両を一括試験した結果、不良が発見された場合、これまでの考え方ではひきつづき編成試験システムによりトラブルシューティングを行ったが、この方法によれば次のような問題がある。

- (1) 編成のどの車両で不良が発生しても対応できるよう、トラブルシューティングの可能な精密な試験実行装置群を、比較的高密度に配置し、それらを制御するソフトウェアを用意しなければならない。このために必要となる機器、すえ(据)付配線及びソフトウェアの費用は、一般に小さくない。

- (2) 故障車両の不良箇所を発見するためのトラブルシューティングを、編成試験システムを用いて行いたいときに、編成試験システムにかかっている定期検査中の車両があれば、これを復旧し排除しなければならない。この車両復旧作業及び車両入替作業の負担

が、現場では小さくない。

この種の問題を解決するために、最近当社では編成試験システムによるトラブルシューティングを車両/装置単位までに限定し、それよりも細かな機器/取替ブロック単位までのトラブルシューティングは、車載機器ごとに専用に製作された移動式単体試験器による方式を推奨している。この方式によれば、故障車両の在線位置まで試験器を移動させることができるので、編成車両数とは無関係に、1機種に対し1台の試験器を用意すればよく、また据付配線の費用は不要となる。

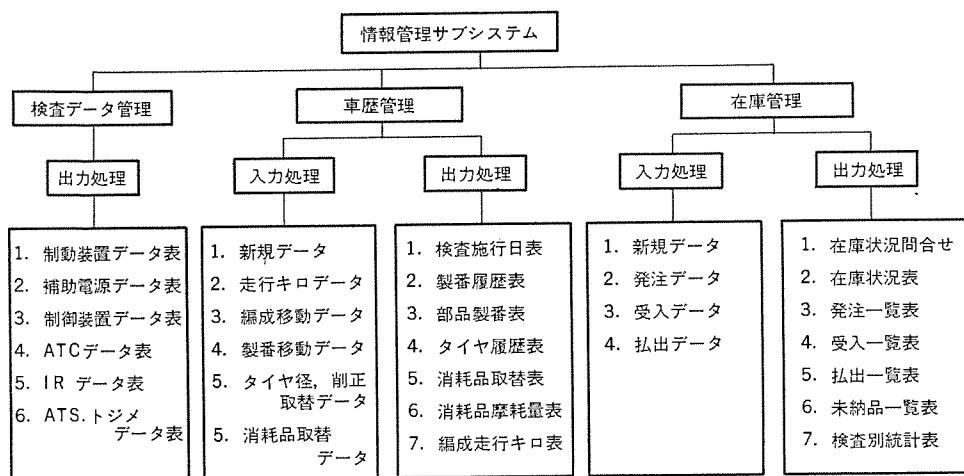


図3. 情報管理システムの処理内容

表1. 在庫管理の出力帳票の種類

帳票の種類	処理サイクル	内 容
在庫状況表	任意月次	装置、機器、部品、規格別の前月在庫及び現在在庫数量
発注、受入、払出、未納品一覧表	月次	装置、機器、部品規格別の数量及び金額
検査別統計表	3か月	編成、装置、機器、検査別の払出金額及び年間累計

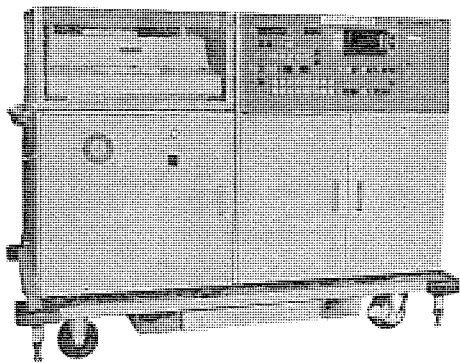


図 4. チョッパ単体試験器外観

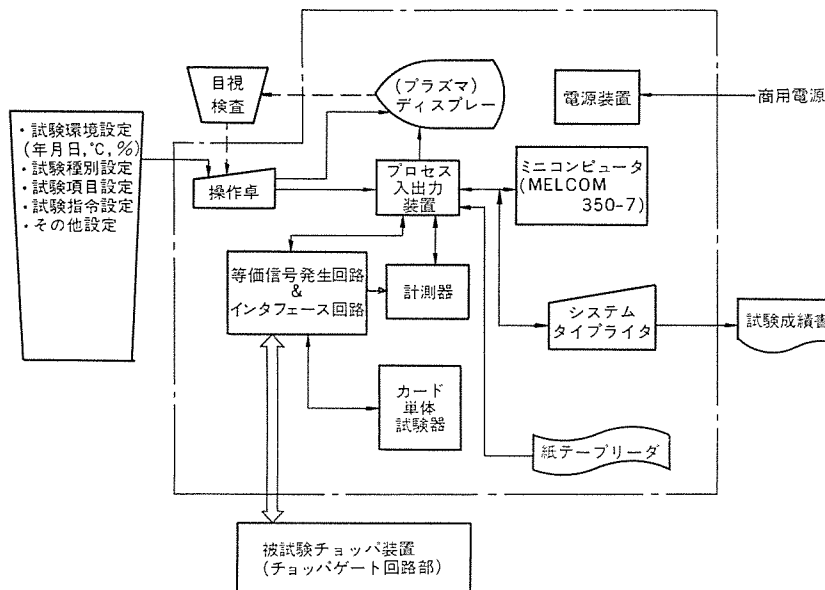


図 5. チョッパ単体試験器システム構成

表 2. チョッパ単体試験器試験内容

1	回路動作試験	制御電源電圧確認 限流値ボタン電圧確認 止めノッチボタン電圧確認 導通時間確認 ゲートパルス周波数確認 ゲートパルス幅確認 保護回路シーケンス確認 保護回路動作レベル確認
2	カード単体試験	カード単位の動作確認 カード内部の不良箇所追求
3	セルフチェック	コンピュータ動作チェック 試験用ケーブル導通チェック ディスプレイ・ランプ・ゾナー動作チェック

1 例として、以下にこの思想に基づいて製作されたチョッパ単体試験器の概要を紹介する。(図 4. 参照)

### 2. 3. 1 システム構成及び主要機能

システムは図 5. に示すような構成となっており、表 2. に見るとおりチョッパ装置のゲート制御部の動作状態のチェック及びカードごとのトラブルシューティングを行う。

回路動作試験は、150 項目以上にわたって機能回路ごとの特性を自動的にチェックし、1 項目でも不良が発見されると 17 枚の制御カードの中から不良のものを自動的に選別し、ディスプレイ装置上に表示する。

カード単体試験は、上述の回路動作試験で発見された不良カードの詳細なチェック、又はオーバホール後のチェック時に行われ、16 種 17 枚の制御カードに対し 300 余項目の試験を行う。

### 2. 3. 2 耐環境性

移動式であるため、周囲の環境への適応について十分配慮されており、振動は最大 0.1 g (運搬時 1 g)、湿度は最高 90%、周囲温度は 0~35°C (保存時 -5~40°C) に耐えるよう設計されている。

## 3. 東京都交通局納め電車総合試験システム

東京都交通局の車両検査には、編成試験サブシステムと単体試験サブシステムとが採用されている。以下に編成試験サブシステム(「電車総合試験装置」)の概要について述べる。

システムの機器構成を図 6. に示す。このシステムは、当面 1 か月検査に適用されるが、将来は全般・重要部検査にも適用できるようにチョッパ、ATC、ATS の試験実行装置は、2 つのビットのいずれでも使えるよう配慮されている。

試験項目は表 3. に示すとおりであるが、その選定にあたっては特に次の点に考慮を払った。

#### (1) 通常試験

通常試験とは通常の 1 か月検査で行う試験で、このシステムの試験所要時間は 1 時間程度である。

#### (2) 特別試験

これに対し特別試験は、通常試験よりも詳細に試験する必要が生じたときに行われるもので、システムの使用時間の制約はない。

このシステムの特長は、ユーザオリエンテッドなソフトウェアを採用したことと、操作の容易化を徹底したことにあるので、以下にこの 2 点について述べる。

### 3. 1 ユーザオリエンテッドなソフトウェア

これまで一部の例外を除いて、電車編成試験システムのコンピュータ言語にはアセンブラレベルの言語が採用されるのが通例であった。このためコンピュータのソフトウェアについて専門教育を受けた者でないと、プログラム作成や変更ができないうのが実情であった。これに対して、編成試験システムを使用する現場サイドには、常に次のような要求が潜在している。

(1) 試験手順は必要の都度自由に変更したい。

(2) CRT 表示画面の文字などのレイアウトは、検査員が自由に変更できることが望ましい。

(3) 同様に試験成績書フォーマットも、検査体制や外部条件の変動に応じて自由に変えたい。

従来から良否基準値の変更など特定のデータの変更は、専門教育を受けていない検査員にも自由に行えるよう配慮されていたが、プログラムの変更は専門要員でなければ困難であった。

このような現場サイドの潜在要求に答えるために、従来のシステムのソフトウェアを全面的に見直し、ユーザが直接に関与する部分とそう

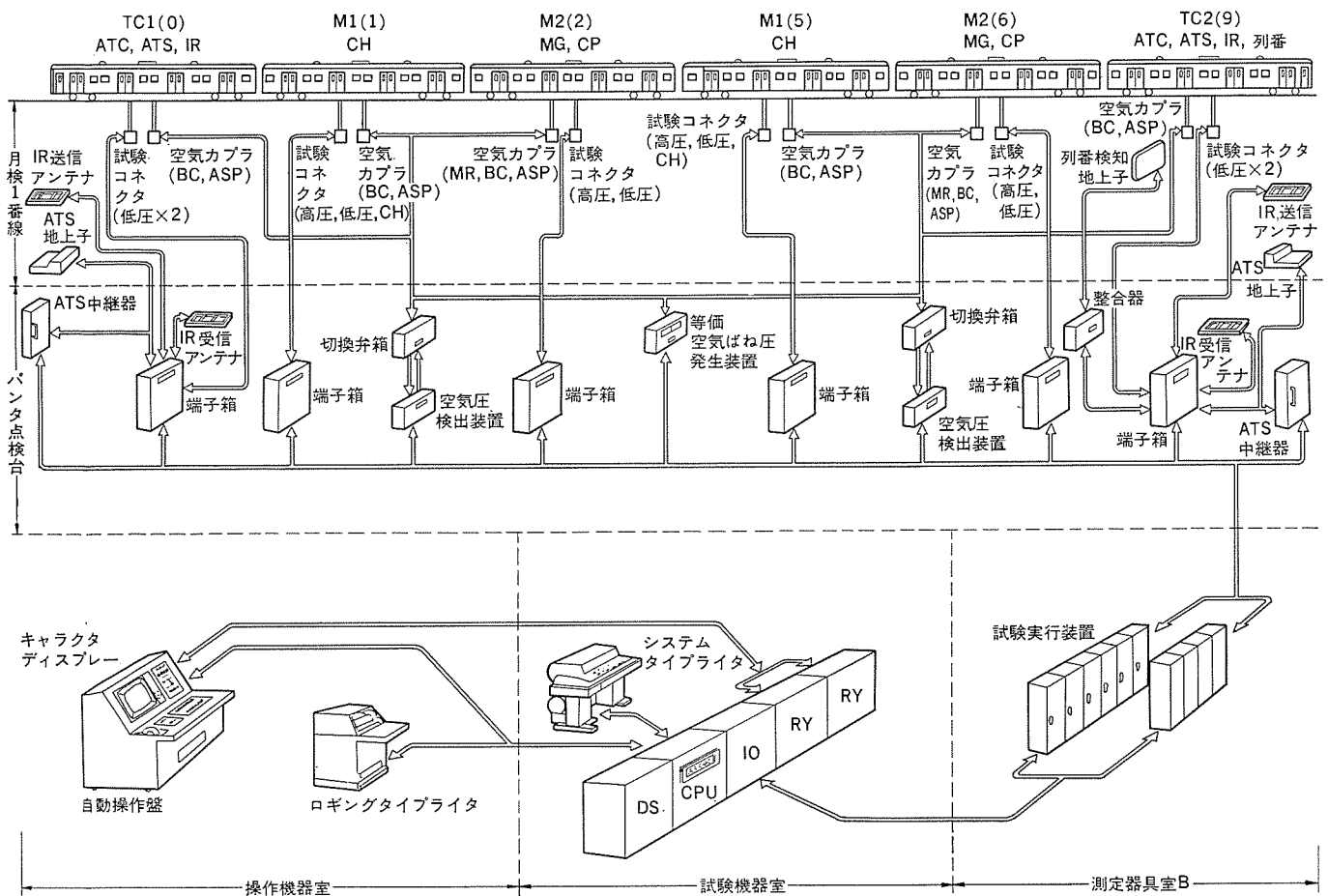


図 6. 編成試験システム機器配置

表 3. 編 成 試 験 項 目

対象機器	試験項目	通常	特別	対象機器	試験項目	通常	特別
配線関係	高圧回路絶縁抵抗	○	○	列車無線	通話送信	○	○
	低圧回路絶縁抵抗	○	○		非常送信	○	○
	高低圧回路間絶縁抵抗	○	○		受信	○	○
空気関係	ガバナ動作圧力	○	○		回生解放	○	○
	気圧スイッチ動作圧力	○	○		交互送信	○	○
	蓄積時間	○	○	ATS	受信部応動動作		○
	安全弁動作圧力	○	○		速度照査	○	○
	漏気	○	○		15 km/h 通閉	○	○
	自動排水弁動作	○	○		手動操作		○
	除湿装置動作		○	ATC	受信部最小動作		○
低圧電源	バッテリー電圧	○	○		受信部故障検知		○
	MG 出力電圧, 周波数	○	○		受信部時間特性		○
空制装置	常用ブレーキ(空, 満車)	○	○		速度照査	○	○
	非常ブレーキ(空, 満車)	○	○		ダウン検知	○	○
	回生ブレーキ(空, 満車)	○	○		5 km/h 検知	○	○
	保安ブレーキ	○	○		フォーク折れ検知	○	○
	手動操作		○		手動操作		○
チョッパ制御装置	前進力行(空車)	○	○	列車番号検知装置	動作	○	○
	力行ノッチオフ	○	○	戸閉装置	戸閉安全	○	○
	回生ブレーキ(空, 満車)	○	○		再開閉	○	○
	回生オフ	○	○		手動操作		○
	後進力行(満車)	○	○				
	保護装置動作	○	○				
	手動操作		○				

でない部分とを明確に区分した。前者についてはユーザが自由にソフトウェアを作成又は変更できるように、新しく専用言語体系を開発し、後者については安定した品質を保証すべくソフトウェアの標準化を進めた。この新しいソフトウェア体系は、図 7. に示すような構成になっており、下記のような特長を備えている。

(1) ユーザが直接関与する試験手順制御、CRT 画面表示制御及び試験成績書フォーマット制御、の 3 つの制御プログラムは、ユーザが自由に作成又は変更できるように、制御データにより記述できる方式を採用している。

ここで制御データとは、各語が制御の内容を表現するファンクション部と、その制御の対象を表すパラメータ部とから成っている電車編成試験システム専用の言語で、車両試験関係者が用いやすいように特に考慮して開発された言語である。

(2) トータルシステムなどの外部システムと、容易に接続できるよう工夫されている。

この新しいソフトウェア体系を持つ電車編成試験システムにおいては、試験は次のようなフローに従って実行される。

(a) 検査員が試験開始を要求すると、試験開始プログラムが起動されて、システムが運転状態に入る。

(b) 起動後は、ユーザが制御データを用いて規定した試験手順制御プログラムが順次読出され、試験条件設定プログラムと試験実行プログラムを介して、試験実行装置

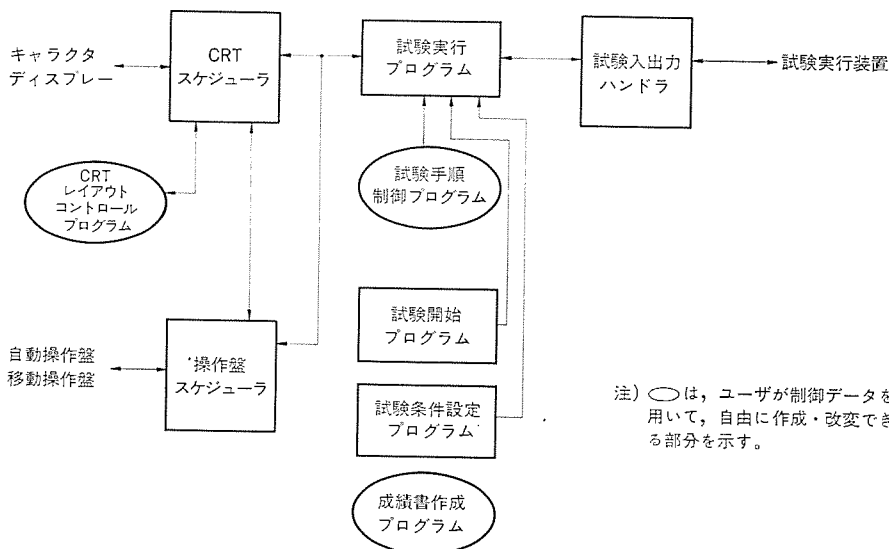


図 7. 編成試験 システム ソフトウェア 構成

が駆動される。これにより車両が自動的に試験される。

(c) 試験の途中経過や結果は、CRTの画面上に表示される。画面上の文字や記号などのレイアウトは、ユーザが制御データを用いて作成したCRTレイアウトコントロールプログラムの命ずるとおりに表示される。

(d) 試験結果は、メモリに記憶されており、検査員からの要求があれば成績書作成プログラムにより、制御データで指定されたフォーマットどおりにプリントアウトされる。

### 3.2 操作の容易化

操作を容易にするため、下記のように種々の配慮を加えた。

(1) 車両とシステムとをつなぐ試験コネクタは上方の回転アームでその重量を支持しているので、車両には容易に着脱できる。また、不使用時には壁面に格納して他の作業の邪魔にならないよう工夫されている。

(2) 定められたすべての機器の試験を一括して連続的に実行する総合試験と、特に必要な機器の試験だけをとり出して行う部分試験が、押しボタン操作で簡単に選択できる。この時前提となる試験条件は、自動的にセットされる。

(3) 検査員が車両の機器を扱う必要がある場合、人為作業の内容とそれに対応する車種とが、リストの形でCRTに表示されるので、作業もれが防止できる。

(4) 試験の実行を止めるモードに、次の3つのモードがあり、それぞれに対応して押しボタンが用意されている。

(a) 中断：一時的に試験が中断され、「再開」のボタンを押せば試験が継続される。

(b) 中止：実行中の試験項目が終了した時点で試験を終わらせる。残りの試験項目はキャンセルされる。

(c) 非常停止：瞬時に試験実行装置の電源がシャ断され、安全が確実に保たれる。

(5) 前回と前々回の試験データはコンピュータに記憶されており、必要に応じてタイプアウトさせることができる。

なお総合試験では、ATC時間特性試験と側扉再開閉試験とを並行して同時に行えるようにして、試験時間の短縮を図っている。

## 4. む す び

以上、当社が製作・納入した名古屋市と東京都の2つの電車総合試験システムを中心に最近のこの種システムの動向の一端を紹介し、(1)情報管理システム分野への展開、(2)トラブルシューティング機能の分離、(3)ユーザオリエンテッドなソフトウェアの採用、(4)操作の容易化の徹底、などが積極的に導入されていることを述べた。

マクロに見れば、上記(1)、(2)は電車総合試験システムの具備機能を再編成することによって、経済性を改善しようとするものであり、(3)、(4)はシステムのオペレーションの自由度を高めることによって、使いやすさを改善しようとするものであると言えよう。我々は、この新しい動向が今後とも広く受け入れられ、成長していくことを期待しており、ユーザ諸賢のご批判をお願いしたい。

終わりに当たり、貴重な機会を与えていただいた名古屋市交通局及び東京都交通局関係者の方々に、深謝の意を表する次第である。

### 参 考 文 献

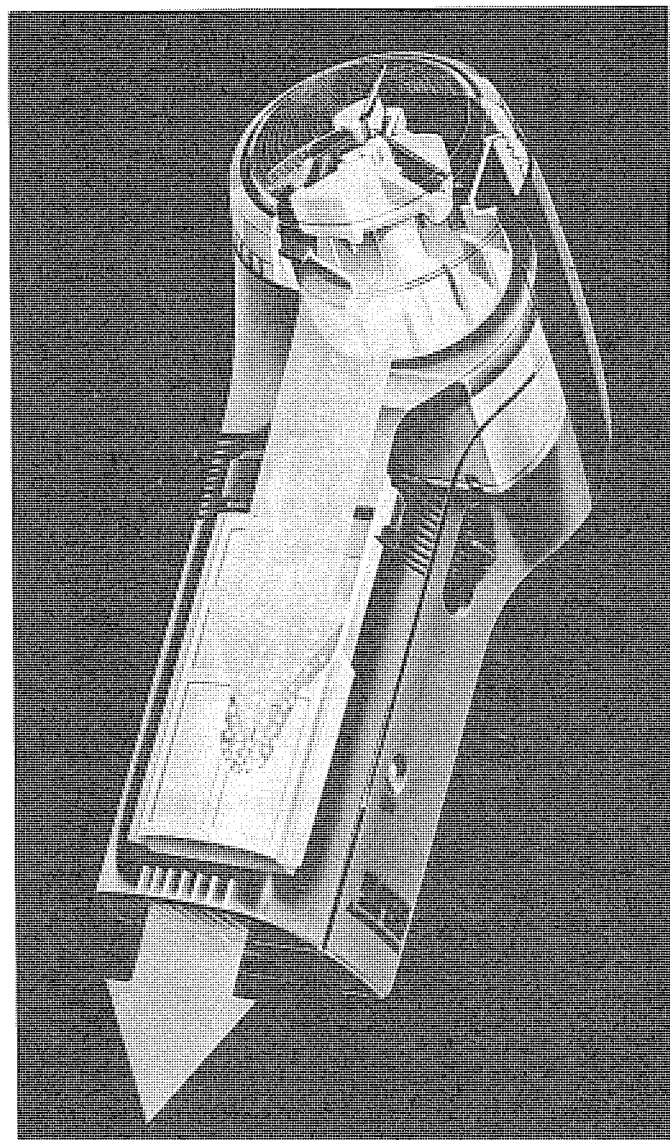
- (1) 大須賀、宇佐美ほか：第15回鉄道サイバネティクス利用論文集、515、列車検査無線装置、p. 417
- (2) 大須賀、足立、宇佐美ほか：第15回鉄道サイバネティクス利用論文集、507、列車検査装置の情報管理への応用、p. 378
- (3) 大野、田崎、森原ほか：昭和52年電気学会全国大会、1058、電車でチョッパ自動試験装置、p. 1387
- (4) 石本ほか：鉄道車両用電気品のミニコン化単体試験装置、三菱電機技報、52、No. 7 (昭53)



これまでシェーバーを使用している時、1回のヒゲ剃りで約2000ものヒゲくずが飛び散り、衣服はもとより目や鼻へ入ったり、時には目や鼻から体内に吸い込んでしまうということも起ります。そこで三菱電機ではより清潔なヒゲ剃りを実現するため、クリーナーの原理でヒゲくずを吸い込む独創のアイデアとメカを持つ《SUPERB》(スパーブ)を新発売いたしました。従来品(当社比)と比べて、ヒゲくず飛散量は約20分の1。まず外刃・内刃でカットしたヒゲを内刃の奥に設けたシロッコファン(1分間5000回転)によって吸い込み、下のダストケースへストックします。しかもダストケースは着脱式ですのでヒゲくずの処理も簡単です。爽快な剃り味に加えて、清潔さを追求した《SUPERB》は、まさにシェーバーの原点を見つめ直した新製品です。

### 仕様

項目	形名	SM-700	SM-800
種 類		充電式	充電式
充 電 時 間		8 時間	急速 1 時間
蓄 電 池		密閉形Ni-Cd蓄電池	密閉形Ni-Cd蓄電池
充 電 電 流		DC80~100mA	DC550mA
消 費 電 力		1 W	3 W
回転数(刃とファン)		5000rpm	5000rpm
刃とファンの駆動		小形直流モータ	小形直流モータ
外 刃		Ni電鍍法、放射状スリット刃、開口率48%	Ni電鍍法、放射状スリット刃、開口率48%
内 刃		ステンレス鋼、3枚刃	ステンレス鋼、3枚刃
ヒゲくず吸引方式		シロッコファン(羽根の外径28mm、羽根数12枚)	シロッコファン(羽根の外径28mm、羽根数12枚)
ヒゲくず収納方式		着脱式ダストケース(ナイロンメッシュフィルター内蔵)	着脱式ダストケース(ナイロンメッシュフィルター内蔵)
製 品 重 量		190g	180g
本 体 の 色		2色(メタリックシルバー、メタリックブラック)	1色(メタリックゴールド)
価 格		5,900円	7,200円



### 特長

#### ●ヒゲくず吸い込み方式採用

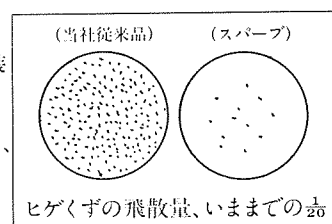
クリーナーの原理を応用、外刃・内刃でカットしたヒゲをシロッコファンで吸い込みダストケースに収納するので、ヒゲくず飛散量が従来の20分の1のクリーン・シェーバーになりました。

#### ●ヒゲくず捨てはワンタッチ

カットしたヒゲはダストケースに収納。このダストケースは下方にスライドするだけではずれますので、たったヒゲくず処理もワンタッチでOKです。

#### ●高級感あふれるメタリック塗装

SM-700はメタリックシルバーとメタリックブラックの2色、SM-800はメタリックゴールド1色を用意しました。



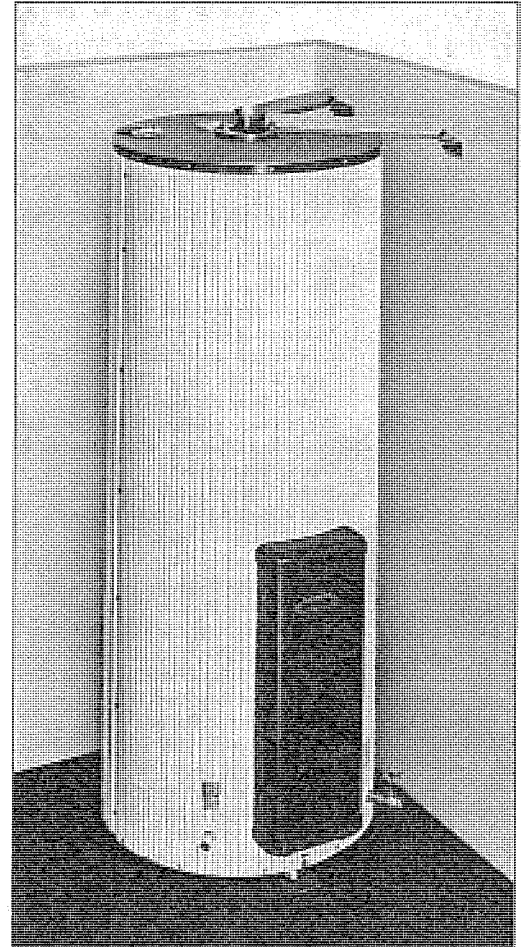
ヒゲくずの飛散量、いままでの約

昭和53年6月に発生した宮城県沖地震は、各地に大災害を引起了ました。セントラル給湯用の電気温水器においても被害を受け、高層集合住宅に納入したものが、一部に温水器本体が傾いたり、外装に損傷をうけました。電気温水器は安全性の高い衛生的な給湯器として、集合住宅での採用が今後ますます増加する傾向にあるので、地震などに対しても安全性の高い給湯器として、新たに耐震形電気温水器を開発いたしました。

### 仕様表

機種区分		標準タイプ			屋内・外兼用(防雨)タイプ		屋内・外兼用節電形(防雨)タイプ		配管内蔵屋外タイプ	
タンク容量		300ℓ	370ℓ	460ℓ	370ℓ	460ℓ	370ℓ	460ℓ	370ℓ	460ℓ
形名		GR-3036C	GR-3736C	GR-4636C	GR-3737B	GR-4637B	GR-3751	GR-4651	GRC-4651	GRC-4637
定格	電圧	単相 200V								
	消費電力	3.4kW	4.4kW	5.4kW	4.4kW	5.4kW	4.4kW (2.2kW)	5.4kW (2.7kW)	4.4kW	5.4kW
格	防食用電源	単相 100V 消費電力 約2W (常時通電)								
	沸き上り湯温	約85℃				約85℃/65℃		約85℃		
外形寸法 (cm)	高さ	150	173	176	179	179	179	179	185	185
	外径	φ68(75)	φ68(75)	φ76(83)	φ68(75)	φ76(83)	φ68(75)	φ76(83)	幅 68 奥行 76	幅 75 奥行 83
製品重量 (kg)	本体	98	111	135	112	136	112	136	141	169
	満水時	398	481	595	482	596	482	596	511	629
型式認可番号		▽81-6248	▽81-6248	▽81-6249	▽81-6248	▽81-6249	▽81-7691	▽81-7692	▽81-6248	▽81-6249

公的機関認許 日本水道協会型式合格品



### 耐震性能

想定設置場所	耐震力	設置方法	
		脚部	上部
地上(1階)	0.25G	製品脚部3ヵ所ボルト固定	固定せず
高層	1G	製品脚部ボルト止め(2ヵ所)とさし込み方式の併用	固定する

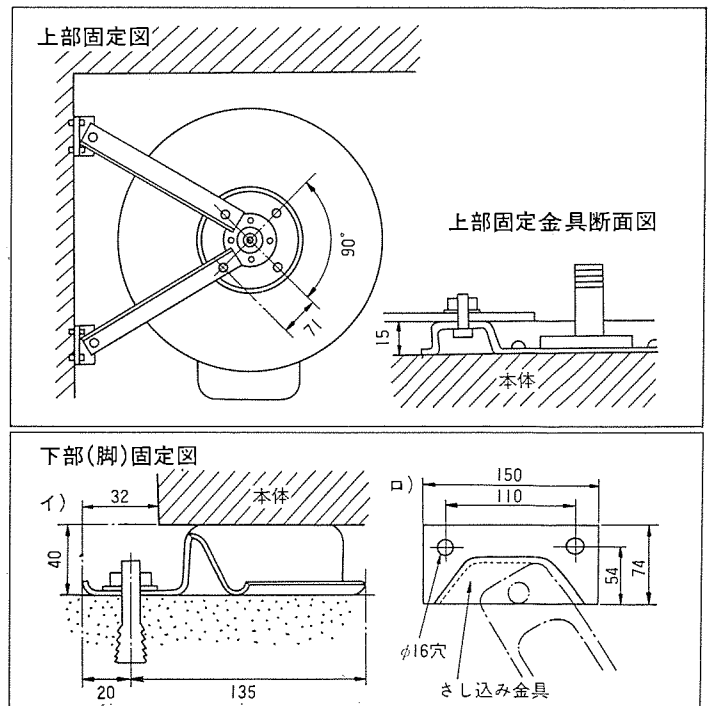
### 設置方法

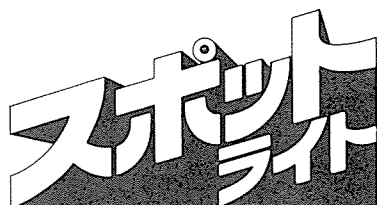
#### ●地上設置の場合(全機種導入)

3ヵ所の器体脚にボルトで固定できるように固定用の穴を設けてあり、アンカーボルト等を利用してコンクリートなどの床面に固定します。

#### ●高層階設置の場合(特別注文装備、標準タイプのみ)

脚部固定の他に、製品上部も壁に固定します。製品上部に用意された固定ボルトを利用して、2本の支持金具で壁面に固定します。なお設置スペースに制約がある場合には、後方脚部の固定に差し込み金具を併用すると固定が容易にできます。





# ローパワーショットキTTL M74LS00Pシリーズ

これまでローパワーショットキTTL M74LS00Pシリーズは90品種でしたが、今回新たに30品種を追加し、合計120品種となりました。豊富な品揃えて、需要家の皆さまのご要望に十分にお応えできます。

M74LS00Pシリーズ形名一覧表

形 名	機 能	形 名	機 能
M74LS00P	Quadruple 2-Input Positive NAND Gate	M74LS161P	Synchronous Presettable 4-Bit Binary Counter with Reset
M74LS02P	Quadruple 2-Input Positive NOR Gate	M74LS162P	Fully Synchronous Presettable Decade Counter
★M74LS03P	Quadruple 2-Input Positive NAND Gate with O.C. Output	M74LS163P	Fully Synchronous Presettable 4-Bit Binary Counter
M74LS04P	Hex Inverter	M74LS164P	8-Bit Serial-In Parallel-Out Shift Register
M74LS05P	Hex Inverter with O.C. Output	M74LS170P	4 By 4 Register File with O.C. Output
M74LS08P	Quadruple 2-Input Positive AND Gate	M74LS173P	4-Bit D-Type Flip Flop with 3-State Output
M74LS09P	Quadruple 2-Input Positive AND Gate with O.C. Output	M74LS174P	Hex D-Type Flip Flop with Reset
M74LS10P	Triple 3-Input Positive NAND Gate	M74LS175P	Quadruple D-Type Flip Flop with Reset
M74LS11P	Triple 3-Input positive AND Gate	M74LS183P	Dual Carry-Save Full Adder
M74LS12P	Triple 3-Input positive NAND Gate with O.C. Output	M74LS190P	Synchronous Presettable Up/Down Decade Counter
M74LS13P	Dual 4-Input Positive NAND Schmitt Trigger	M74LS191P	Synchronous Presettable Up/Down 4-Bit Binary Counter
M74LS14P	Hex Schmitt Trigger	M74LS192P	Synchronous Presettable Up/Down Decade Counter
★M74LS15P	Triple 3-Input Positive AND Gate with O.C. Output	M74LS193P	Synchronous Presettable Up/Down 4-Bit Binary Counter
M74LS20P	Dual 4-Input Positive NAND Gate	M74LS194AP	4-Bit Bidirectional Universal Shift Register
M74LS21P	Dual 4-Input Positive AND Gate	M74LS194AP	4-Bit Parallel Access Shift Register
★M74LS22P	Dual 4-Input Positive NAND Gate with O.C. Output	★M74LS196P	50MHz Presettable Decade Counter
M74LS27P	Triple 3-Input Positive NOR Gate	M74LS197P	50MHz Presettable 4-Bit Binary Counter
M74LS30P	Single 8-Input Positive NAND Gate	M74LS221P	Dual Monostable Multivibrator
M74LS32P	Quadruple 2-Input Positive OR Gate	M74LS240P	Octal Buffer with Inverted 3-State Output
M74LS37P	Quadruple 2-Input Positive NAND Buffer	M74LS241P	Octal Buffer with Noninverted 3-State Output
M74LS38P	Quadruple 2-Input Positive NAND Buffer with O.C. Output	★M74LS242P	Quadruple Bus Transceiver with Inverted 3-State Output
M74LS40P	Dual 4-Input Positive NAND Buffer	★M74LS243P	Quadruple Bus Transceiver with Noninverted 3-State Output
M74LS42P	BCD-to-Decimal Decoder	M74LS244P	Octal Buffer with Noninverted 3-State Output
M74LS47P	BCD-to-Seven Segment Decoder/Driver(Active" L" Output)	★M74LS245P	Octal Bus Transceiver with Noninverted 3-State Output
★M74LS48P	BCD-to-Seven Segment Decoder (Active" H" Output)	★M74LS247P	BCD-to-Seven Segment Decoder/Driver(Active" L" Output)
M74LS51P	Dual 2-Wide 2/3-Input AND-OR-Invert Gate	★M74LS248P	BCD-to-Seven Segment Decoder(Active" H" Output)
M74LS73AP	Dual J-K Negative Edge-Triggered Flip Flop with Reset	★M74LS251P	8-to-1 Line Data Selector/Multiplexer with 3-State Output
M74LS74P	Dual D-Type Positive Edge-Triggered Flip Flop	M74LS253P	Dual 4-to-1 Line Data Selector/Multiplexer with 3-State Output
M74LS75P	Quadruple Bistable Latch	M74LS257P	Quadruple 2-to-1 Line Data Selector/Multiplexer with Noninverted 3-State Output
★M74LS76AP	Dual J-K Negative Edge-Triggered Flip Flop with Set and Reset	★M74LS258P	Quadruple 2-to-1 Line Data Selector/Multiplexer with Inverted 3-State Output
M74LS83AP	4-Bit Binary Full Adder	M74LS259P	8-Bit Addressable Latch
M74LS85P	4-Bit Magnitude Comparator	M74LS273P	Octal D-Type Flip Flop
M74LS86P	Quadruple 2-Input Exclusive OR Gate	M74LS279P	Quadruple R-S Latch
M74LS90P	Decade Counter	M74LS280P	9-Bit Odd/Even Parity Generator/Checker
M74LS91P	8-Bit Shift Register	M74LS290P	Decade Counter
M74LS92P	Divide by Twelve Counter	M74LS293P	4-Bit Binary Counter
M74LS93P	4-Bit Binary Counter	M74LS295AP	4-Bit Shift Register with 3-State Output
M74LS95BP	4-Bit Right-Shift/Left-Shift Register	M74LS298P	Quadruple 2-Input Multiplexer with Storage
M74LS96P	5-Bit Shift Register	M74LS299P	8-Bit Bidirectional Shift/Storage Register
M74LS107AP	Dual J-K Negative Edge-Triggered Flip Flop with Reset	★M74LS323P	8-Bit Bidirectional Shift Register
M74LS109P	Dual J-K Positive Edge-Triggered Flip Flop with Set and Reset	★M74LS352P	Dual 4-to-1 Line Data Selector/Multiplexer with Strobe (Inverted)
M74LS112AP	Dual J-K Negative Edge-Triggered Flip Flop with Set and Reset	★M74LS353P	Dual 4-to-1 Line Data Selector/Multiplexer with 3-State Output (Inverted)
★M74LS113AP	Dual J-K Negative Edge-Triggered Flip Flop with Set	M74LS365P	Hex Bus Driver with Noninverted 3-State Output
★M74LS114AP	Dual J-K Negative Edge-Triggered Flip Flop with Set, Common Reset and Clock	M74LS366P	Hex Bus Driver with Inverted 3-State Output
M74LS123P	Dual Retriggerable Monostable Multivibrator	M74LS367P	Hex Bus Driver with Noninverted 3-State Output
★M74LS125P	Quadruple Bus Buffer Gate with 3-State Output	M74LS368P	Hex Bus Driver with Inverted 3-State Output
★M74LS126P	Quadruple Bus Buffer Gate with 3-State Output	M74LS373P	Octal D-Type Latch
M74LS132P	Quadruple 2-Input Positive NAND Schmitt Trigger	M74LS374P	Octal D-Type Flip Flop
★M74LS133P	Single 13-Input Positive NAND Gate	M74LS375P	4-Bit Bistable Latch
★M74LS136P	Quadruple 2-Input Exclusive OR Gate with O.C. Output	M74LS377P	Octal D-Type Flip Flop
M74LS138P	3-to-8 Line Decoder/Demultiplexer	M74LS390P	Dual Decade Counter
M74LS139P	Dual 2-to-4 Line Decoder/Demultiplexer	M74LS393P	Dual 4-Bit Binary Counter
M74LS145P	BCD-to-Decimal Decoder/Driver	★M74LS395P	4-Bit Cascadable Shift Register with 3-State Output
M74LS148P	8-to-3 Line Priority Encoder	★M74LS640P	Octal Bus Transceiver with Inverted 3-State Output
M74LS151P	8-to-1 Line Data Selector/Multiplexer	★M74LS641P	Octal Bus Transceiver with Noninverted O.C. Output
M74LS153P	Dual 4-to-1 Line Data Selector/Multiplexer	★M74LS642P	Octal Bus Transceiver with Inverted O.C. Output
M74LS155P	Dual 2-to-4 Line Decoder/Demultiplexer	★M74LS645P	Octal Bus Transceiver with Noninverted 3-State Output
★M74LS156P	Dual 2-to-4 Line Decoder/Demultiplexer with O.C. Output	★M74LS670P	4 By 4 Register File with 3-State Output
M74LS157P	Quadruple 2-to-1 Line Data Selector/Multiplexer(Noninvert)	★M74LS696P	Synchronous Up/Down Decade Counter/Register with Multiplexed 3-State Output
M74LS158P	Quadruple 2-to-1 Line Data Selector/Multiplexer(Invert)		
M74LS160P	Synchronous Presettable Decade Counter with Reset		

★印はこのたび追加した30品種です。



登録番号	名 称	発 明 者	登録番号	名 称	発 明 者
862940	回線選択継電装置用監視装置	寺 田 真・中 島 安 広	862981	多電子銃 カラ- 受像管	竹 延 真 哉・馬 場 修
862941	異相混触検出装置	高 田 信 治	862982	弛張発振回路	橋 本 春 夫・茂 木 充
862942	巻取り装置	大 場 宏 一	862983	織機のよこ入れ装置	小 倉 新 三・岸 本 健
862943	異相混触検出継電器	高 田 信 治	862984	エレベータの長行程運転装置	小 沢 靖 彦
862944	線形電子加速器	入 江 浩 一	862985	電気量割算装置	水 田 正 治
862945	高周波 インバータの制御方式	塚 本 昭 三・矢 野 禎 成	862986	反転機制御方式	石 雅 彦
862946	位相判別回路の点検装置	鈴 木 健 治	862987	半導体結晶の製造方法	大 坪 睦 之
862947	動力車の発電機の制御装置	平 尾 新 三	862988	磁気記憶装置	上 坂 達 生・奥 村 正 富
862948	継電方式	菅 井 英 介・下 迫 賀 生	862989	半導体装置の製作方法	中 田 仗 祐
862949	半導体装置	中 田 仗 祐	862990	直流 アーク式固定管円周溶接方法	鵜 飼 順・鉄 豊 造
862950	半導体装置の製造方法	中 田 仗 祐・山 本 武	862991	化合物半導体の拡散方法	林 吉 之
862951	保護継電器	{ 小谷源三郎・前 田 耕 二 山岡順太郎	862992	半導体装置	中 尾 佳 生
862952	同期式 タイマ	佐野善之助	862993	耐熱性樹脂の製造法	大 島 征 一
862953	半導体装置の製造法	西 海 宏・井 戸 上 貴	862994	不飽和 ポリエステル 樹脂組成物	不 可 三 晃・江 藤 昌 平
862954	半導体装置の製造法	西 海 宏・井 戸 上 貴	862995	浮動形磁気ヘッドおよびその製造方法	{ 森 脇 紀 元・中 島 博 行 広 田 潔
862955	荷電粒子線照射装置用走査電磁石	広 三 寿・朝 木 淳 夫	862996	半導体装置の製造方法	東 山 昇
862956	半導体装置の製造方法	西 海 宏・井 戸 上 貴	862997	半導体装置	{ 広 瀬 芳 彦・亘 善 彦 井 上 功・高 木 雄 啓
862957	積商変化率検出装置	北 浦 孝 一	862998	トライアックの点弧回路	加 藤 忠 雄・山 根 健 治
862958	遠隔自動検針方式	野村寿太郎	862999	視覚付 マニピュレータ	飯 田 隆 彦
862959	継電装置の試験装置	鈴 木 健 治	863000	視覚付 マニピュレータ	白 石 壱
862960	地絡過電圧継電器	畑 田 稔	863001	半導体素子の製造法	白 石 壱
862961	高周波抑制付 トランジスタ 継電器	畑 田 稔	863002	ガス 除去 フィルタの効率監視装置	伝 田 隆 治・松 藤 等
862962	自製式 インバータの並列運転装置	熊 野 昌 義	863003	半導体装置の製造方法	吾 妻 健 国
862963	自製式 インバータの並列運転装置	熊 野 昌 義	863004	電着用水分散 エポキシエステル の製造法	{ 植 松 滋 幸・中 尾 皖 治 奈 良 愛 一 郎・近 藤 久 雄
862964	自製式 インバータの並列運転装置	熊 野 昌 義	863005	耐熱 マイカ板用接着剤	{ 柴 山 恭 一・小 野 博 地 大 英 毅・藤 井 翼
862965	切換開閉器	堤 長 之	863006	円周自動溶接装置	{ 柴 山 恭 一・北 川 達 夫 五 島 浩 一
862966	パルス 発生装置	{ 大 屋 忠 敬・森 中 明 善 北 野 隆	863007	遅延回路	鵜 飼 順・中 谷 隆 男
862967	自動移送装置	{ 福 井 三 郎・田 中 克 男 磯 田 訓 幸	863008	拡散装置用の二重管壁式石英管装置	石 堂 道 治
862968	張力検出装置	浅 野 哲 正・福 永 武 尚	863009	半導体装置およびその製造方法	中 島 利 廣
862969	ネマチック 液晶組成物	柴 山 恭 一・小 野 博	863010	暖房装置	{ 植 松 滋 幸・奈 良 愛 一 郎 水 島 昌 俊・近 藤 久 雄
862970	スプリット 巻線変圧器	工 藤 淳	863011	垂下特性検出回路	田 中 修・松 尾 敏 治
862971	可変周波数レーダにおける混信波排除方式	{ 塚 本 俊 夫・河 村 孝 甲 野 克 洋	863012	熱硬化性樹脂組成物	中 西 武 三・林 紹 佳
862972	可変周波数レーダにおける混信波排除方式	{ 塚 本 俊 夫・河 村 孝 甲 野 克 洋	863013	出来高管理装置	{ 不 可 三 晃・森 脇 紀 元 山 本 泰・広 田 潔
862973	マンコンベヤの運転制御装置	釜 池 宏	863014	励磁装置	富 沢 研 三
862974	マンコンベヤの運転制御装置	釜 池 宏	863015	自動溶接装置	山 田 勉
862975	移動無線通信における送信電力制御方式	太 田 堯 久	863016	半導体装置の電極形成方法	{ 赤 枝 潤 二 郎・島 田 孝 治 堀 部 透・加 藤 弘 之
862976	自動包装装置	小 林 利 行			加 藤 忠 雄
862977	コンベア 自動仕分制御装置	水 野 公 元			
862978	乾式計器用変成器	村 上 貞 利・長 谷 川 逸 史			
862979	半導体制御装置	川 畑 隆 夫			
862980	チョップ 形標本化保持装置	北 村 春 夫			

登録番号	名 称	発 明 者	登録番号	名 称	発 明 者
863017	半導体装置の製造法	半 谷 公 弘・下斗米将昭	864427	単相交流変圧整流装置の多重制御方式	永 岡 栄
863018	電界緩和塗料組成物	{ 柴 山 恭 一・川 上 剛 五 島 浩 一・石 川 隆 敏	864428	マイクロ波半導体発振装置	三 井 茂・小谷三千男
863019	エポキシ樹脂組成物	坂 上 義 和・五 島 浩 一	864429	親子型電子線照射装置	上 田 和 宏
863020	絶縁電線	江 藤 昌 平・西崎俊一郎	864430	飛行体追跡方式	石 井 康 一・山 口 勝 弘
863021	絶縁電線	江 藤 昌 平・西崎俊一郎	864431	交流定電圧装置	太 田 幹 雄・加 我 敦
863022	けい光体の製造方法	大 谷 光 興・梅 田 三 郎	864432	オープン分解装置	前 田 満 雄・小 沢 建 樹
863023	固定管の円周自動溶接装置	富 永 勲	864433	放電灯用電極	竹 田 俊 幸・土 橋 理 博
863118	半導体装置の電極リード取出し方法	{ 坂 根 英 生・吉 田 美 義 大久保利美	864434	排気管を有しない耐圧用ランプ	{ 竹 田 俊 幸・三 上 龍 夫 橋 本 健 一・細 井 茂
864418	インバータ装置	{ 中 堀 一 郎・赤 松 昌 彦 熊 野 昌 義・寺 野 義 夫	864435	高速増殖炉用蒸気発生器	飯 田 昌 二
864419	インバータ制御回路	{ 中 堀 一 郎・熊 野 昌 義 寺 野 義 夫	864436	ビル清掃装置の電力及び信号伝送装置	{ 梶 野 幸 男・深 沢 和 夫 三 田 村 隆 輝
864420	封着用合金複合板	中 島 陽 三・田 中 次 雄	864437	電着用水分散フニスの製造法	{ 柴 山 恭 一・小 野 博 佐 伯 英 夫・地 大 英 毅
864421	故障点標定装置	古 谷 昭 雄			藤 井 翼
864422	位相判定形継電器	高 田 信 治			
864423	位相関係判定継電器	高 田 信 治	864438	厚膜電着用水分散フニスの製造法	{ 柴 山 恭 一・小 野 博 佐 伯 英 夫・地 大 英 毅
864424	通電加工による金型の製造方法	斎 藤 長 男・古 池 一 成			藤 井 翼
864425	多シリンダーロータリー圧縮機	忠 五 雄	864439	マイカボンド用樹脂組成物	{ 柴 山 恭 一・小 野 博 地 大 英 毅
864426	絶縁導体	{ 西崎俊一郎・寺 谷 宏 玉 置 明 信・辻 政 春			

〈次号予定〉 三菱電機技報 Vol. 53 No. 10 電力系統集中制御システム特集

特集論文

- これからの電力系統制御
- 最近の系統制御における基本応用ソフトウェア
- 最近の給電所におけるデータ処理装置
- 最近の LSI を用いた集中制御システム
- 最近の大規模集中監視制御システム
- 系統監視制御室のトータルデザイン

普通論文

- 805 MVA 水車発電機用サイリスタ励磁装置
- 工業用高速データウェイシステム
- 低温用冷凍圧縮機の信頼性の評価法の開発
- ホットガスデフロストシステム
- 新データ網接続端末のインタフェース及び試験装置
- 高速感熱ファクシミリ《MELFAS》510
- 縫製工程におけるマテハン自動化システム
- 九州電力(株)西九州変電所納め 500 kV ガス絶縁複合開閉装置 (GIS)

三菱電機技報編集委員

委員長	喜 連 川 隆	常任委員	久保田伸夫
副委員長	浦 徳 太 郎	"	斎 藤 春 雄
"	後 藤 正 之	委 員	徳 山 長
常任委員	佐々木二郎	"	樋 口 昭
"	増淵悦男	"	神 谷 友 清
"	葛 野 信 一	"	橋 爪 基
"	三 輪 進	"	秋 吉 俊 男
"	高 月 一	"	土 井 貞 春
"	瀬原田三郎	"	川 井 尚
"	高 橋 広 光	"	小 野 勝 啓
"	忍 足 博	幹 事	本 間 吉 夫
"	武 田 克 巳	"	足 立 健 郎
"	清 田 浩	9号特集担当	杉 山 昌 司
"	福 家 章		

三菱電機技報 53 巻 9 号

(無断転載を禁ず) 昭和 54 年 9 月 22 日 印刷  
昭和 54 年 9 月 25 日 発行

編集兼発行人 本 間 吉 夫  
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 東京都千代田区大手町 2 丁目 6 番 2 号 (〒 100)  
菱電エンジニアリング株式会社内  
「三菱電機技報社」Tel. (03) 243 局 1785  
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 オーム社書店  
Tel. (03) 233 局 0641, 振替口座 東京 20018  
定 価 1 部 400 円送料別 (年間予約は送料共 5,200 円)

三菱電機では、いち早く電子制御のフルオートプレーヤーを、開発発売して来ましたが、本年2月、さらにリニアトラッキング方式の電子制御方式のフルオートプレーヤーを新開発、これを搭載したユニークなオーディオシステム《たてコン》を発売いたしました。このたび、この《たてコン》で採用したリニアトラッキング方式のフルオートプレーヤーシステムの基本性能・操作性をさらに向上させ、デザイン面でも一新した、単品のたて形プレーヤーシステムLT-5V形を完成し、最近の多様化ニーズに合致させ、より新しいオーディオライフの創造を追求しました。



### 特長

#### 1. リニアトラッキングアーム搭載

- ステンレスパイプを使用した高性能・低慣性のアームを採用。分解能、音溝追従性(トラッカビリティ)を一段と向上させました。
- リニアトラッキングアームは従来形のトーンアームと比較して、トラッキングエラーが格段に少ないため、低歪率で定位の安定性がすぐれています。
- トーンアームは前後、左右、上下の重量バランスを重点に設計されており、確実に音溝をトレースし、外部からの振動に対しても安定しています。

#### 2. トラッキングサーボシステム

- トラッキングエラー角度を検出するセンサーは、光学式無接触方式を採用。わずか0.1°のトーンアームの傾きを敏感にキャッチします。
- 振動がトーンアームに伝わらないようにするため、トーンアーム駆動はステンレスワイヤ(直径0.05mm・49本ヨリ)を使用。SN比を向上させるとともに、耐久性、信頼性を十分に考慮しました。
- トーンアームが摺動するレールには、表面粗さ0.2μm以下に仕上げたステンレス棒を使用、アーム摺動時の振動発生を防いでいます。

#### 3. 電子制御のフルオートマチック機構

- 複雑な機能をロジックコントロールするための電子回路を1個の専用LSIに集約し、信頼性を高めています。
- 光学式無接触方式のレコードサイズ検知機構を装備し、演奏の開始・終了位置を自動的に設定するとともに、回転速度も自動設定。レコードがのっていない時は針を降下させません。
- 操作部は軽快なタッチのソフトプッシュスイッチを採用。またこの操作部には、トーンアームの動きや回転速度、トラッキングエラー等を表示するオプティカルディスプレイもついています。

#### 4. たて形コンストラクション

- ターンテーブルの駆動は、セット内部にフライホイールを設け、それをPLLサーボモータでベルトドライブしています。全体で2kgを越える重量級回転系で、ワウ・フラッターを減少させ、円滑な回転を得ています。
- たて形にすると床からの振動の方向がカートリッジの針先振動方向と直角になるため、ハウリングに対してきわめて強くなっています。
- レコード盤を保持するためにレコードホルダーを設けていますが、内蔵のスプリング力により、レコード盤を確実に保持するばかりでなく、レコード盤の不要振動をおさえるスタビライザーの役目も果しています。

### 定格

形 式		リニアトラッキング方式電子制御 フルオートプレーヤーシステム PLL制御DCサーボモータ
ター ン テ ー ブ ル 駆 動 部	モーター	
	ターンテーブル	外 径 304mm 重 量 1.3kg 慣性質量 300g・cm <sup>2</sup> 材 質 アルミ合金ダイカスト
	回 転 数	33⅓, 45RPM
	回 転 数 切 換	電子式(自動)
	回 転 数 微 調 範 囲	±3%
	ワウ・フラッター	0.045%(Wrms)
	S N 比	65dB(IEC-B) 76dB(DIN-B)
	形 式	スタティックバランス形 ユニバーサルストレートアーム
	全 長	223mm
	有 効 長	180mm
ト ー ン ア ー ム 部	トラッキングエラー	±0.1°以下
	針 圧 調 整 範 囲	0~2.5g
	電 源	AC100V, 50/60Hz
	消 費 電 力	8W
外 形 寸 法		466(W)×430(H)×200(D)mm