

# MITSUBISHI DENKI GIHO

# 三菱電機技報



Vol.57 No.3 ファクトリーオートメーション(FA)特集

# 三菱電機技報 Vol. 57 No. 3 1983

## ファクトリーオートメーション(FA)特集

### 目 次

#### 特集論文

ファクトリーオートメーション(FA)の現状と今後の動向..... 1

藤 和也・佐竹幸雄

FA、FMS専用の新しいコンピュータシステム《FACTORY LANDシリーズ》..... 5

長井 孝・竹崎智康・中野宣政・杉山 彰・菅 茂

三菱電機ロボット《MELFA》組立マテハンロボットRH・RLシリーズ..... 9

志賀康宣・稻荷隆彦・中野宣政・大富貞行

三菱電機ロボット《MELFA》溶接ロボットシリーズ..... 15

丸山寿一・小村宏次・古池一成・鶴飼 順・神田政典

炭酸ガスレーザ加工機..... 19

八木重典・吾妻健国・橋川 彪・丸山正彦・井上準一郎

金型加工における電気加工機..... 24

小林和彦・高鷲民生・荒横 淳・大丸隆正

新形数値制御装置《MELDAS-M2》..... 29

米谷光雄・飯田秀正・伊藤暢彦・吉田利夫

ファクトリーオートメーション(FA)応用システム..... 33

山田 進・野間 務・三輪登志彦・溝口昌宣

#### 普通論文

高速大容量二重重ね巻直流機の試作..... 40

高月 一・阪部茂一・中西悠二

キューピクル形ガス絶縁変電所..... 44

信崎泰秀・丹羽春美・寺田健次・笹森健次・太田照雄

キューピクル形ガス絶縁変電所用ガスしゃ断器..... 49

大沼昭栄・矢部 潔・吉光悦司

陸上掘削リグ用電機品..... 54

深田浩一・池見克二

MRT形負荷時タップ切換器..... 57

松本 進・古川一弥・吉田和夫・古川重芳・源川一志

南極昭和基地設置 計測処理システム..... 62

福西 浩・佐藤夏雄・藤井良一・荒川直人・中島大輔

衛星搭載フェーズドアレーアンテナ用小形ダイオード移相器..... 66

手代木 扶・小室英雄・青木 浩・松永 誠・折目晋啓

特許と新案..... 38,72

ボルトの固定方法

加工装置

コンベア自動仕分装置

#### スポットライト

クオリティライフ時代をとらえたクオリティリビング(QL)シリーズ..... 70

半導体保護用速動ヒューズ..... 71

FAコンピュータシステム《FACTORY LAND》..... (表3)

#### 表紙

組立用ロボットを採用したVTR生産

#### ライン

当社内FMS組立モデルラインの一つとして導入中の、京都製作所VTRデッキ組立ラインが稼働を開始した。

このラインは、当社製の水平多関節ロボット、5節リングロボット、及び専用的簡易ロボットの組立用ロボットを使って、VTRメカデッキの自動組立を行うものである。

写真は当社名古屋製作所組立ロボット(RH-211)により、VTRデッキの部品の挿入・組立、シリコングリース塗布を行っているステージである。



## アブストラクト

ファクトリーオートメーション(FA)の現状と今後の動向  
藪 和也・佐竹幸雄

三菱電機技報 Vol.57-No.3-P1~4

我が国の産業の重点は素材生産形の大形プラントから、比較的規模が小さいが、設計・製造の固有技術の集積度の高い、機械・機器の加工組立形産業に移行しつつある。

当社はこれらの産業分野に使われる、先端加工技術を応用した産業機械、ロボット及びこれらを制御するNC、PC、コンピュータなどのFA関連製品群を擁しており、これらをFA製品群としてシステムティックに製品戦略を展開している。

炭酸ガスレーザ加工機

八木重典・吾妻健国・橋川 彰・丸山正彦・井上準一郎

三菱電機技報 Vol.57-No.3-P19~23

2 kHzまでのパルス発振のできる炭酸ガスレーザ発振器と、Z軸倣い装置を備えたNC駆動光走査テーブル、及びCRT画面との対話形式のNCテープ作成装置から成る1~3 kW級レーザ加工機を商品化した。各構成機器は当社独自の特長を備えた新規開発品であり、金属・非金属材料の加工に広い用途をもっている。

本稿では、レーザ発振器、光走査テーブル、システム構成の特長を説明するとともに、板金加工や图形切断の実用例について述べる。

FA、FMS専用の新しいコンピュータシステム《FACTORY LANDシリーズ》

長井 孝・竹崎智康・中野宣政・杉山 彰・菅 茂

三菱電機技報 Vol.57-No.3-P5~8

最近の産業界、特に加工組立産業を中心とする製造業では、市場ニーズの多様化にフレキシブルに対応し、かつ高い生産性と省力化を実現する、いわゆるFMS(フレキシブル生産システム)やFA(ファクトリーオートメーション)の導入が盛んである。

当社ではこのような動向を踏まえて、FA、FMS専用コンピュータシステム《FACTORY LANDシリーズ》を開発したので、その概略を紹介する。

金型加工における電気加工機

小林和彦・高鷲民生・荒檍 淳・大丸隆正

三菱電機技報 Vol.57-No.3-P24~28

金型加工の自動化は、業界において最大の関心事である。一般的な工作機械においてもNC化が進み、今やマシニングセンターの導入などもそれほど珍しいことではない。電気加工機はこのような状況を背景に、自動化への要求が非常に強く、高度な技術的対応が必要になってきている。一方自動化を進めるにあたっては、長時間にわたる機械精度保持のための配慮が重要で、この点についても今回発表したシリーズは、十分な技術的な検討がされている。

三菱電機ロボット《MELFA》組立マテハンロボット  
RH・RLシリーズ

志賀康宣・稻荷隆彦・中野宣政・大富貞行

三菱電機技報 Vol.57-No.3-P9~14

ロボットの機能向上に伴い、応用分野が拡大している。今まで難しいとされていた組立工程への導入が始まった。このニーズに対応した製品として、水平関節形ロボット《MELFA-RH・RLシリーズ》を開発した。またニーズの高い知能ロボットの目として視覚センサ《MELFA》IS211を開発し、実験的に上記ロボットと結合し、実用化を図った。

本稿ではこれらの機能、特長について述べる。

新形数値制御装置《MELDAS-M2》

米谷光雄・飯田秀正・伊藤暢彦・吉田利夫

三菱電機技報 Vol.57-No.3-P29~32

新形マシニングセンター用数値制御装置《MELDAS-M2》は、16ビットマイクロプロセッサ4個のマルチプロセッサで構成する高性能なハードウェア上に、従来のNC機能に加え、三次元カラーグラフィック表示機能、自動プログラミング機能などの画期的な新機能を実現している。同時に、M2の基本システムは、ロボットコントローラなど産業メカトロニクス用コントローラに応用できる十分な性能を具備している。

三菱電機ロボット《MELFA》溶接ロボットシリーズ

丸山寿一・小村宏次・古池一成・鵜飼 順・神田政典

三菱電機技報 Vol.57-No.3-P15~18

当社が開発したアーク溶接ロボットの《MELFA》溶接ロボットシリーズにおける中形汎用、TIG溶接用及び大形構造物用のロボットを紹介する。更にロボットを知能化するためにビジョンセンサを備えたロボットの動作原理・機能の解説、ロボット用溶接電源として必要な機能の検討とロボット用溶接機として開発した《クリーンマグIII》の紹介、並びに高速溶接やアーカスタート性の改善などについて述べる。

ファクトリーオートメーション(FA)応用システム

山田 進・野間 務・三輪登志彦・溝口昌宣

三菱電機技報 Vol.57-No.3-P33~37

多品種中少量生産における生産性向上、すなわちコスト低減、製造期間の短縮、生産量の変動に対する柔軟性などへの対応策が現在の工場合理化の大きな課題であり、従来からの自動化技術を更に発展させた生産システムが要望されている。この担い手として登場したのがFMSであり、今後のファクトリーオートメーションの中心となろう。

本稿では、この新しい生産システムの考え方をとり入れた社内での具体例について紹介する。

## Abstracts

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 57, No. 3, pp. 19~23 (1983)

### Carbon-Dioxide Lasers for Material Processing

by Shigenori Yagi, Kenkoku Azuma, Takeshi Kitsukawa, Masahiko Maruyama & Jun'ichiro Inoue

A 1~3kW laser material-processing machines equipped with a CO<sub>2</sub> laser oscillator of up to 2kHz pulse, an NC moving-optics machine with a Z-axis travel control mechanism, and a conversational NC tape-programming unit have been successfully commercialized. All the components of this system were developed by Mitsubishi Electric and possess special features, which, in conjunction, enable the system to perform a wide range of metal- and nonmetal-processing applications.

As well as describing the laser oscillator, moving-optics machine, and system features, the article provides examples of steel-cutting and pattern-cutting applications.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 57, No. 3, pp. 24~28 (1983)

### Electrical Machining in Die Manufacturing

by Kazuhiko Kobayashi, Tamio Takawashi, Jun Aramaki & Takamasa Daimaru

Automation of die manufacturing has drawn worldwide interest. There has also been progress in the production of machine tools under numerical control, and the use of NC machining centers has become commonplace. Based on electrical-machining machines, the demand for automation has strengthened appreciably. Along with this requirement, long-term machining precision has also become a major concern. The series introduced in the article incorporates technological innovations in both of these areas.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 57, No. 3, pp. 1~4 (1983)

### The Present Technology and Future Course of Factory Automation

by Kazuya Yabu & Yukio Satake

The main emphasis in Japan is on moving from large-scale material production to relatively small-scale machinery and tool processing, and to assembly operations requiring highly specialized design and production technology. To systematize the numerical-control, process-control, and computer equipment used to control the machinery and robots required for advanced industrial processing, Mitsubishi Electric's Factory Automation Products group is planning an organic product-development strategy. The article describes this development strategy.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 57, No. 3, pp. 29~32 (1983)

### The New MELDAS-M2 Numerical Controller

by Mitsuo Yonetani, Hidemasa Iida, Nobuhiko Ito & Toshio Yoshida

The MELDAS-M2 numerical controller for use in new machining centers uses four 16-bit microprocessors in a high-performance multiprocessor hardware configuration. This arrangement allows the system to incorporate a three-dimensional color-graphic display, autoprogramming, and other innovative functions previously unavailable in NC systems. In addition, the basic M2 system possesses features enabling it to be used in industrial mechatronic applications such as robot controllers.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 57, No. 3, pp. 9~14 (1983)

### Mitsubishi Electric Series RH and RL MELFA Assembly and Material-Handling Robots

by Yasunobu Shiga, Takahiko Inari, Nobumasa Nakano & Sadayuki Otomi

Advances in robot technology have permitted robots to be used in an increasing variety of applications. Robots are now being introduced into assembly processes previously thought impossible for machines to perform. To meet the need for advanced robots, MELFA Series RH and RL horizontal-articulated robots have been developed. For applications requiring intelligent functions, the MELFA IS211 visual sensor has been developed and used successfully with the above robots at both the experimental and commercial levels. The article discusses the functions and features of the resulting system.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 57, No. 3, pp. 33~37 (1983)

### Examples of Factory Automation

by Susumu Yamada, Tsutomu Noma, Toshihiko Miwa & Masanobu Mizoguchi

How can productivity be increased to meet the needs for small-lot production of a diversified product lineup? What measures can be effected to cut costs, reduce processing time, and permit greater production flexibility? These have been the critical issues in current factory rationalization. There is therefore a large demand for production systems with higher levels of automation technology. The flexible manufacturing system (FMS) constitutes one such system, and the concepts behind it have become central to factory automation. The article treats these concepts through a discussion of examples taken from Mitsubishi Electric's own production facilities.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 57, No. 3, pp. 15~18 (1983)

### The MELFA Series of Mitsubishi Electric Welding Robots

by Hisaichi Maruyama, Hirotugu Komura, Kazushige Kuike, Jun Urai & Masanori Kanda

The article opens with an introduction to the MELFA series of arc-welding robots developed by Mitsubishi Electric. The series includes robots for medium-scale general-purpose, TIG welding, and large-scale construction operations. Described next are the operating principles and capabilities of these robots when used in conjunction with a visual sensor. The article concludes with a discussion of power-supply requirements for robot welders and introduces the CLEAN-MAG III power supply which improves welding speed and arc-starting performance.

## アブストラクト

### 高速大容量二重重ね巻直流機の試作

高月 一・阪部茂一・中西悠二

三菱電機技報 Vol.57 No.3 P40~43

直流機の限界出力は、熱的及び機械的制約よりも整流能力によって左右されるのが通例である。この整流能力を増す手段として1個の電機子に2組の一重重ね巻線を施す特殊な二重重ね巻方式を採用し、限界出力に近い3,000kW・1,800rpmの直流電動機を試作して二重重ね巻についての整流理論の妥当性を実証した。この試作機の容量と回転速度との積で示す整流条件の厳しさの目安値は、世界記録の一つである。本機の設計内容と試験及び解析結果を述べる。

### MRT形負荷時タップ切換器

松本 進・古川一弥・吉田和夫・古川重芳・源川一志

三菱電機技報 Vol.57 No.3 P57~61

西独Maschinenfabrik Reinhausen社との技術提携のもとに、MRT形大容量負荷時タップ切換器を開発した。プレス、モールド、精密鋳造などの成形技術の駆使及びしゃ断・通電能力向上のための新技術の採用により、従来器に比べて重量で半減、定格ステップ容量で倍増と性能が飛躍的に向上している。また変圧器への適用面においても、現系統電圧下の要求値をすべて包含しており、従来器では2台の適用を要するものもほとんど1台で済ませ得るほか、次期UHV系統への適用も可能である。

### キューピクル形ガス絶縁変電所

信崎泰秀・丹羽春美・寺田健次・笹森健次・太田照雄

三菱電機技報 Vol.57 No.3 P44~48

矩形容器に構成機器を一括収納し、内部に低圧力のSF<sub>6</sub>ガスを封入したキューピクル形ガス絶縁変電所を製品化するに当たり、定格ガス圧力の設定、矩形容器の強度設計、及び構成機器ごとに最適設計を行うことにより、受変電設備の大幅な縮小化が可能になるとともに、周辺機器と調和のとれた変電所が実現した。また、電動ばね操作装置を適用することにより一層の省力化を図った。

### 南極昭和基地設置 計測処理システム

福西 浩・佐藤夏雄・藤井良一・荒川直人・中島大輔

三菱電機技報 Vol.57 No.3 P62~65

南極昭和基地に設置された《MELCOM 70モデル25》計測処理システムについて、現地の特殊事情を考慮したシステム設計の方針を述べたものであり、併せて現地での作業もふれた。このシステムは、主として超高層物理、地震、ちょうせき(潮汐)観測分野で集められるデータを収集するもので、現在まで1年以上の稼働実績がある。

### キューピクル形ガス絶縁変電所用ガスしゃ断器

大沼昭栄・矢部 潔・吉光悦司

三菱電機技報 Vol.57 No.3 P49~53

キューピクル形ガス絶縁変電所(C-GIS)に使用するガスしゃ断器(GCB)を開発した。このGCBは、相分離タンク形で、ばね操作機構を採用し、C-GISの気中側に配置する。このため、保守が容易で信頼性の高いGCBとなっている。

また消弧室は、しゃ断現象の理論解析をすることにより最適設計をし小形化され、GCBとして総重量は、従来の同一定格のGCBに比べ半減した。

### 衛星搭載フェーズドアレーランテナ用小形ダイオード移相器

手代木 扶・小室英雄・青木 浩・松永 誠・折目晋啓

三菱電機技報 Vol.57 No.3 P66~69

データ中継衛星の多元接続回線の一方式として、マルチビームアレーランテナの開発が進められている。このアンテナは、受信系がマルチビームアレーランテナ、送信系がフェーズドアレーランテナで構成されており、今回開発した移相器は送信系のフェーズドアレーランテナに用いられる。この移相器はハイブリッド結合形PINダイオード移相器であり、低損失広帯域性能を有し、かつ大きさは従来のハイブリッド結合形移相器に比べ約1/2に小形化している。

### 陸上掘削リグ用電機品

深田浩一・池見克二

三菱電機技報 Vol.57 No.3 P54~56

陸上掘削リグ用電機品は、重要なエネルギー源である石油及び地熱エネルギーを陸上で掘削するための電機品である。石油及び地熱を国内各地で掘削するため、陸上掘削リグ用電機品は、移動が容易であるとともに、掘削場所の環境を考慮して設計、製作する必要がある。

本稿は耐環境性、移動の簡易さを中心に説明するとともに、陸上掘削リグ用電機品の全体システム及び主要電機品を紹介する。

## Abstracts

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 57, No. 3, pp. 57~61 (1983)

### The Type MRT On-Load Tap Changer

by Susumu Matsumoto, Kazuya Furukawa, Kazuo Yoshida, Shigeyoshi Furukawa & Kazushi Genkawa

Mitsubishi Electric has developed the Type MRT large-scale on-load tap-changer in technical cooperation with Maschinenfabrik Reinhausen of West Germany. Using sophisticated forming techniques, including drawing, molding, and investment casting to improve the switching and current-carrying ability, the on-load tap changer features dramatically better performance, including double the rated step capacity of conventional changers, despite being only half their weight. A single new Type MRT tap changer meeting all the requirements for current system voltages is comparable in performance with two conventional changers. The new tap changer is also suitable for the ultrahigh-voltage systems now being planned.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 57, No. 3, pp. 62~65 (1983)

### A Data-Acquisition and Processing System Installed at Showa Station

by Hiroshi Fukunishi, Natsuo Sato, Ryoichi Fujii, Naoto Arakawa & Daisuke Nakajima

The article introduces the design policy adopted for the MELCOM 70 Model 25 computer system installed at Japan's Showa Station in the Antarctic for processing measurement data, along with a brief description of the field work performed there. The system has already been in operation for over a year, gathering data on aurora physics, earthquakes, and the tides.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 57, No. 3, pp. 66~69 (1983)

### A Small-Scale Diode Phase Shifter for Satellite Phased-Array Antennas

by Tasuku Teshirogi, Hideo Komuro, Hiroshi Aoki, Makoto Matsunaga & Nobutake Orime

Multibeam phased-array antennas for multiaccess data-communications with relay satellites are under current development. These units are composed of a multibeam-array antenna for reception and a phased-array antenna for transmission. The diode phase shifter is used with the phased-array antenna for transmission. The new Mitsubishi phase shifter described in the article is a thyristor-coupled device that offers low loss and broadband characteristics, and is only about half the weight of conventional hybrid phase shifters.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 57, No. 3, pp. 40~43 (1983)

### A Prototype High-Speed Large-Capacity Double-Wound DC Machine

by Hajime Takatsuki, Shigekazu Sakabe & Yuji Nakanishi

The output capacity of DC machines is usually limited by commutation ability rather than thermal and mechanical considerations. As a means of overcoming this limitation, a DC motor has been constructed using an armature carrying two single-lap wound coils in a double-lap winding configuration. This arrangement has enabled the motor to produce an output of 3,000kW at 1,800rpm, close to the theoretical maximum, and substantiating the theoretical predictions for performance of the double-lap configuration. The motor's capacity and rotation speed indicate commutation conditions several times more severe than previously recorded, setting a new world record. The article discusses the motor design and the test and analysis results.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 57, No. 3, pp. 44~48 (1983)

### A Cubicle-Type Gas-Insulated Substation

by Yasuhide Shinozaki, Harumi Niwa, Kenji Terada, Kenji Sasamori & Teruo Ota

By redesigning substation components, it has become possible to enclose them in a specially designed high-strength cubicle enclosure filled with low-pressure SF<sub>6</sub> gas. This structure has permitted a large reduction in substation size and better integration with peripheral equipment. In addition, by incorporating a motor-driven spring mechanism, substantial manpower savings have been achieved.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 57, No. 3, pp. 49~53 (1983)

### A Gas Circuit Breaker for Cubicle-Type Gas-Insulated Substations

by Akiyoshi Onuma, Kiyoshi Yabe & Etsuji Yoshimitsu

Mitsubishi Electric has developed a gas circuit breaker (GCB) for cubicle-type gas-insulated substations (C-GIS) that features multiple enclosures, dead tanks, and a spring-operated mechanism. This GCB can be located on the air side of the C-GIS, thus facilitating maintenance and improving reliability. Another feature of the GCB lies in its compact arc-quenching chamber designed after a theoretical analysis of circuit-breaking phenomenon. This arc-quenching chamber has reduced the new GCB's total weight to approximately half that of conventional GCBs with similar specifications.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 57, No. 3, pp. 54~56 (1983)

### Electrical Equipment for Land Rigs

by Koichi Fukuda & Katsushi Ikemi

Land rigs using electrical equipment are widely applied to drilling for the crude oil and geothermal energy sources that are indispensable to modern life. The equipment must be designed and manufactured for easy movement and use, taking full account of the conditions likely to be encountered at the drilling site. The article deals with these issues and gives an overview of a land-rig system and the major items of electrical equipment used.

# ファクトリーオートメーション(FA)の現状と今後の動向

薮 和也\*・佐竹幸雄\*

## 1. まえがき

我が国の産業構造は、大規模な装置産業である素材産業から、加工組立産業に重点が移行しつつある。この加工組立産業は設計技術、製造技術を駆使して、製品の特異性・優秀性を發揮し、競合他社製品と差別化することによって生き残り、発展の機会をつかむことができ、素材産業に比べ規模の小さい企業群であるのが特徴である。このようないし(懲)烈な競争下においては、新製品又は多様化する製品をこれまで蓄積された製造技術を駆使して、柔軟に対応できる製造設備が不可欠となり、昨今けん(喧)伝されている Robotics を主役とする FMS、あるいはもっと広義にとらえ、コンピュータ情報システムも包含するファクトリーオートメーション(以下、FAと称す)が関心的となっている。

すなわち、今後の製造現場では、ますます製品のライフサイクルが短縮され、更に多様化する機種の多種少量を安定した品質を確保しつつ生産していくことが要求される。一方労働事情も熟練労働者の不足更には単純労働者すらも確保が困難とされている。このような情勢下において、有効な FA システム又は FMS とは柔軟に製品を製造できることは言うまでもないが、それを使うユーザーが企業として成功するために、その企業の保有する固有技術とノウハウをユーザーが自由に入れ込み、駆使できる製造システムを提供できるものでなければならない。

当社は、放電加工、電子ビーム、CO<sub>2</sub>ガスレーザ加工などの先端加工技術を応用した加工機及びロボットなどの産業メカトロニクス製品、それらを制御する NC、PC、コンピュータなど豊富な FA 関連製品群を擁している。更にこれらを実地に応用する加工、組立現場を多数持つており、ユーザーの立場から現場の使用ノウハウを製品に反映することもできる。

これらの FA 関連製品のより有機的な整合性をとり、FA システム製品群に磨きをかけるべく PUSH 戦略を展開している。すなわち図 1. に示すように、  
 P=Parts (NC, PC, センサなどの FA 部品)  
 U=Units (ロボット、加工機などの FA 機械)  
 S=System (U で構成される FA セルシステム)  
 H=Hierarchy (S を統合したコンピュータを含めた FA 階層システム)

当社では FA 関連の先端技術製品を豊富に保有しているが、従来はこれらの製品は FA システムとしての関連を、あまり意識しないでそれぞれの分野で製品化が進められてきた。そこで上述のように PUSH 戦略と称し、システムティックに製品をラインアップしようとしている。本稿では当社のこれらの FA 製品思想について述べる。

## 2. FA システムの技術要素とその動向

### 2. 1 製造工程と FA

製造工程をモデル化すると、図 2. に示すように複数の部品加工工程で構成するファーダショップと、そこで加工された部品を組立工程に同期して供給し組立を行うアセンブリショップと、それに続く試験工程からなる。

そこで行われる製造活動は、製品完成の日程に合わせて、素材がタイマリーに投入され、そのワークが遅滞なく加工工程、組立工程に搬送され、試験工程を経て製品完成に至る。一方、それぞれのワークに対し、工程設備では段取りとプロセスデータがタイミングよく配布され、的確に工程が実行されなければならない。このように物の流れと情報とが結合し、製造

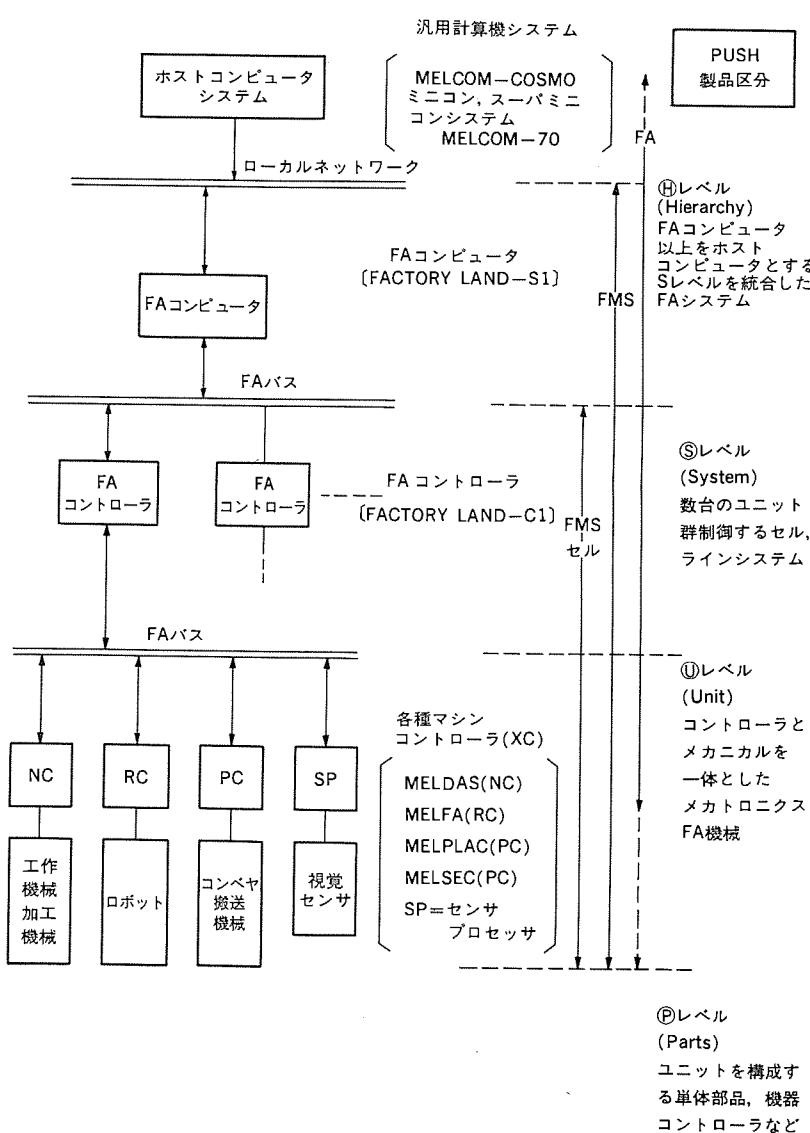


図 1. FA システム階層と PUSH 製品区分

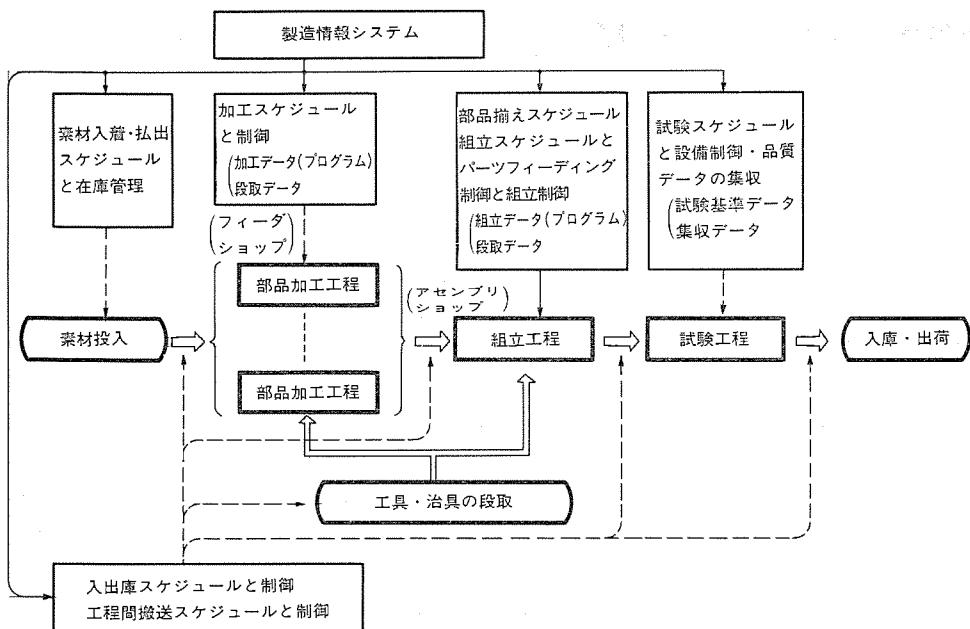


図 2. 製造工程とそれに必要な情報システム

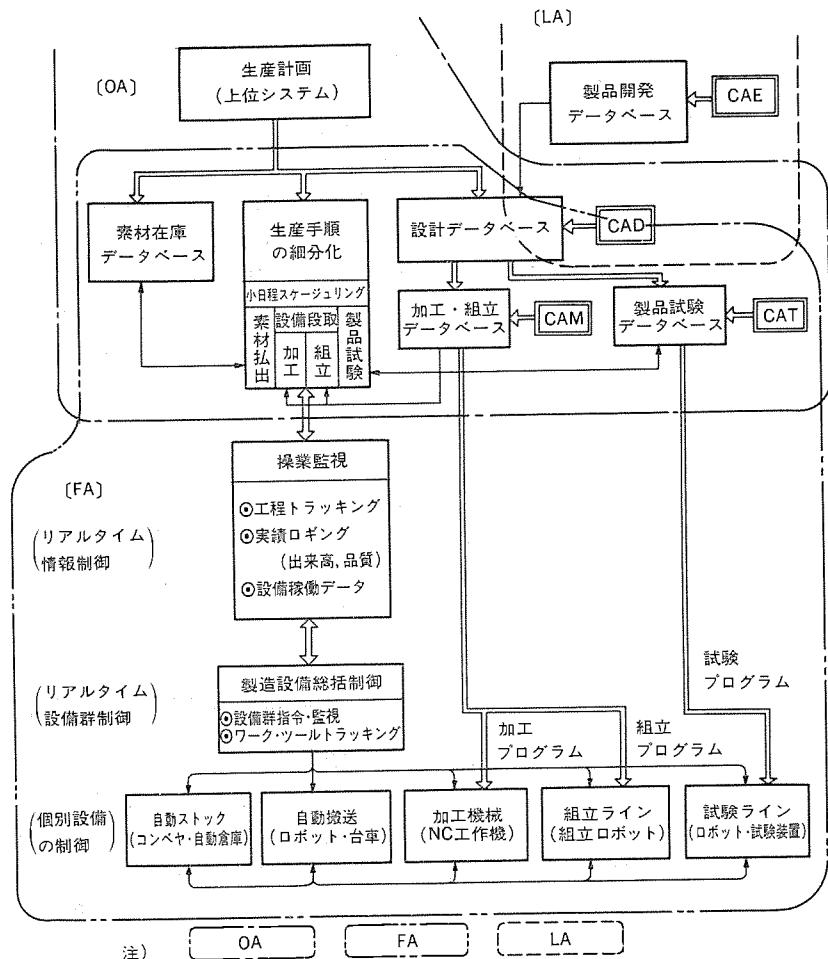


図 3. FA の機能と OA, LA との関連

活動が効率よく実行できるようにスケジューリングし、実行、監視を自動的にできるようにするのが FA の終局の目的である。しかし実態はこのモデルのように単純ではなく、複雑に入り組んでおり、手動、半自動、自動のレベルがあり、これらの製造活動を一貫して製造情

報システムが統制をとる必要がある。

図 3. に FA の機能を示す。すなわち末端の加工、組立、搬送などの機械設備をリアルタイムで協働するよう群制御する機能と、それらの制御に必要なデータの提供と収集を行うリアルタイムの情報制御の機能、及び前記の機能が効率よく作動するためのスケジューリングと加工・組立プログラムなどのデータ生成機能である。これらは日単位程度の小日程ベースでの機能であるが、更に上位には大中日程ベースでの生産計画システムが存在する。

ここで一般によく言われるオフィスオートメーション(OA)、ラボラトリオートメーション(LA)と FA との関連を記述すると、図 3. に示すように OA は一般事務、販売事務を中心展開されてきたが、生産計画、スケジューリングへの拡大が見られる。また LA は製品開発のツールとして特化した分枝であるが、設計データベースとの接合がみられる。しかるに、FA は工場現場の操業の遂行を主目的とするものであるが、上位システムとの連結が不可欠であり、OA、LA 領域とはデータベースが共通するところが多くなってきている。

すなわち、FA システムの構築に当たっては、OA、LA のシステムとの連携又は OA、LA のシステムコンポーネントを活用し、広範なシステムの中に位置づけられた FA システムを構築すべきであり、またこのような合理性の高いシステムの実現が可能になりつつある。

## 2.2 FA システム技術要素の動向

FA システムの要素技術は、コンピュータの情報処理技術から、機械の経験的な利用技術、ノウハウに至る広範な技術からなり、FA システムは、小規模ながらこれらの多岐にわたる技術のこん然一体となったシステム化であり、しかも投資可能な経済的制約のもとに実現できなければならない。

これらの要素技術の動向を概括すると、表 1. に示すような技術分野に分類でき、アイテム No. 1 より 6 までに分けることができる。次に各分野ごとの技術動向について述べる。

### (1) 生産管理の情報処理

情報処理分野では分散化と総合化の両面が、バランスよく進行している。分散化は 8 ビット、16 ビットマイクロプロセッサの普及により、端末又はシステムコンポーネントレベルでのインテリジェント化が実現可能になり、分散化を推進している。更に近い将来 32 ビットマイコンの導入も現実のものとなり、この傾向はますます加速されるであろう。

しかしながら、分散化するにつれ、全体としての情報のシステム化

表 1. FA 関連の技術動向と当社の FA 関連製品群

アイテム No.	FA 階層技術分野	要素技術動向	当社の FA 関連製品群		
			PUSH区分	製品名	技術指向
1	生産管理の情報処理	(1) 处理の分散化とデータ通信用ローカルネットワークのシステム化 (2) 現場でのプログラムの容易化 (簡易言語の普及により、工場担当者がプログラムを扱うことを可能にする。)	H (ハイアーティ)	汎用コンピュータシステム (MELCOM-COSMO)	広範情報処理システム (FA システムの大規模上位システム)
				分散オフィスコンピュータシステム (MELCOM80 (OFFICE LAND))	一般事務処理、商業情報処理から生産管理システムへの傾斜 (FA システムの中小規模上位システム)
				FA 専用コンピュータシステム (FACTORY LAND) (モデル—S1) (モデル—C1 と連結)	中小規模 FA に最適化するシステム (工程管理事務処理と設備オンライン制御とを兼ねる、工場現場に設置する FA コンピュータシステム)
2	加工データの生成	(1) CAD/CAM と製造システムとのオンライン化 (2) 個別用途に特化した小形高機能 CAD/CAM システム (3) NC に自動プロ機能を付加しテープレス化	H (セルレベル) U (ユニット)	スーパーミニコンシステム (MELCOM70/150) (MELCAD)	汎用大形コンピュータの CAD パッケージをスーパミニコンによる高性能汎用 CAD のスタンダード化
				金型専用 CAD/CAM (CADMS-1)	16ビットマイクロコンピュータによる金型専用 3 次元—CAD/CAM、コストパフォーマンス向上により普及をねらう。
				工作機械用数値制御装置用自動プロ (MELDAS-M 2)	14" カラーカRTにて 2+1/2 次元の対話式 NC プログラムの自動生成機能を付加し、NC スタンダード化システムの機能強化をねらう。
3	製造機械設備の群制御	(1) 制御単位のモジュール化 (セル、ライン単位のモジュール) (2) 分散制御システムの進行とデータ交信の標準化の必要性高まる。 (3) プログラマブル式のコントローラが主流となり、PC の機能が拡大している。	S	FA 専用コントロールシステム (FACTORY LAND) (モデル—C1) (モデル—S1 と連結)	NC 工作機・加工機、ロボットなどで構成される加工組立機械群のセル、ライン単位の群制御を行い、この FA コントローラ (C1) 群を FA コンピュータ (S1) が統括制御する。
				プラントコントローラ (MELPLAC-300)	シーケンス制御機能、データ処理機能を備えたプログラマブルコントローラでトランスマッシャンのような専用ラインの制御に対する大中規模汎用コントローラ。
4	加工機械	(1) 加工の高速化と高精度化 (2) 新先端加工技術の実用化 (3) システム化 CAD/CAM との結合 FMS コンポーネントの位置づけ	U	放電加工機 ワイヤカット放電加工機 (DIAx)	加工速度の向上、加工精度の向上を目指す加工技術の改善。 CAD/CAM との結合、システム化
				CO <sub>2</sub> ガスレーザ加工機 (メルレーザ) 切断、穴あけ、表面処理溶接、微少除去	発振器のパワーアップによる適用拡大 各種プロセスの利用技術開拓 CAD/CAM との結合、システム化
				溶接機 アーケット (クリーンマグ) 溶接 (クリーンティグ) 電子ビーム溶接	溶接仕上り品質の向上による仕上げ工程の除去 精密、微細溶接分野への適用拡大
5	ロボット	(1) 知能化の進行 ・ビジョンシステムとの結合 ・16ビットコントローラによる制御機能の向上 (2) プログラム操作の簡便化 (3) コストパフォーマンスの改善	U	組立、マテハンロボット (MELFA RH 形) RL 形 アーケット溶接ロボット (MELFA RW 形)	・16ビットマイクロコンピュータによる制御機能、プログラム操作機能の高度化 ・センサシステムとの結合による知能化 ・汎用機のコストパフォーマンスの追求
				数値制御装置 (MELDAS-M 2)	・操作性、プログラム機能の向上 ・FACTORY LAND C1 とのリンク機能 ・AC サーボの採用
6	マシンコントロール	(1) 単体コントロールからシステムコンポーネント機能の強化 (2) プログラマブル機能の拡大 (3) AC サーボの実用化普及 (4) サーボとプログラマブルシーケンサと結合などフレキシブルなコントロールコンポーネントを指向	P (バーツ)	シーケンサ (MELSEC-K, F)	・F シリーズは単体シーケンサとしてのコストパフォーマンスの追求 ・K シリーズは中小規模用途に合わせた高機能化及びシステム機能強化
				一軸サーボ (MELDAS-E 1, S 1)	・高性能サーボとシーケンスのプログラム機能を付加し、NC の一般機械への採用を容易にする。

が必要となる。システムコンポーネント間の情報交信は、それぞれがインテリジェント化しているので、比較的交信頻度は低いがデータ量が大きくなる傾向がある。これは OA の交信ネットワークと共に通性がでてきていている。汎用性の追求によりコスト低減が期待される OA ネットワークのデバイスの活用を図り、FA の交信ネットワークも安価に入手できるようになるであろう。

このように分散システムを構成しやすい道具だけが整いつつある状況下での今後の課題は、生産現場で操作しやすい、生産管理システムのソフトウェアないしは工程管理、FA 用の簡易言語の開発が重要である。この一つのアプローチとして OA、パソコンで開発されている簡易言語をベースに FA 用として強化する方法である。

#### (2) 加工データの生成

FA システムにおいて、設計データから製造設備、加工機械を動かすことができる加工データの生成が重要である。これまでの傾向として、末端機械の加工機械に自動プロセス機能を付加する方式が追求されてきた。すなわち NC 工作機のテープレス化による単体機械としての機能拡大である。また一方、上位システムに付属する大形コンピュータによる CAD/CAM の 2 極化であった。しかし今後の傾向として、セルレベルの階層で専用化した CAD/CAM をシステムに組込むことにより、前記の中間的なレベルのものがコストパフォーマンスよく入手できるようになるものと思われる。

#### (3) 製造機械設備の群制御

多様な機械群を制御することは、標準化が難しく、個別化していくため、システム構築上最もマンパワーの質と量を必要とする領域であり、FA 化の推進上ボトルネックになる分野と思われてきた。

しかしながら、システムの階層化による分散システムの構築が、経済的に実現可能になりつつあり、機能分担の標準化が進行している。すなわち、このレベルでは数台程度の機械群をセル又はラインの形で単位化し、この機械群を FA コントローラで統括制御する概念である。この FA コントローラの主な機能は、各機械への加工データのタイムリーナン送と機械群への指令と監視及び機械間の物流の制御とトラッキングなど、リアルタイムで制御するスーパーバイズ制御機能である。

生産現場では、たえず生産方法、機械の使い方などの合理化、改善が行われるものであり、この FA コントローラの制御内容は、それについて変更しやすいものでなければならない。すなわちユーザーとしては手軽にプログラムの変更が可能なものが必要である。コンピュータソフトウェアを知らない人でもプログラミングができる、プログラマブルコントローラ(PC)の手法を導入し、更に下位の U レベルのコントローラとの信号交信、上位の H レベルとの制御情報の交信方式を確立することにより、これまで煩雑とされていた領域を解決できる見通しがでてきている。

#### (4) 加工機械

従来の切削加工を中心とした工作機に加え、放電加工、レーザ加工、電子ビームなど先端加工技術の実用化が進んでいる。これらの加工技術を駆使する NC 制御技術と結合し、使いやすく、高速で高精度の加工機械の追求が行われている。

これらの機械は、単体としてのインテリジェント化される一方、FA システムのコンポーネントとしての機能の追求も行われる。また、FA は無人化が前提となるため、稼働状態の自己診断システム、ワークの仕上

り品質の自動検査システム、異常時の自己修復システムなど品質維持、保全システムの開発が FA の実現に重要なカギ(鍵)となる。これらは、現場での実用のノウハウの蓄積に裏付けられた地道な開発が必要である。

#### (5) ロボット

教えられたプログラムをそのままプレイバックするロボットの用途は、人手による労働コストとそれをロボットに代替した場合の設備コストにより決まるものであり、いわゆる汎用プレイバックロボットは価格低下によりその適用が拡大するが、飽和点に達することは明らかであり、現状ではややその傾向が見えてきている。

この状況を打ち破るのは、知能ロボットに依存するところが大であり、これは知能ロボットのみの需要拡大を促すだけではなく、前記の汎用ロボットの需要も促すものと思われる。すなわち、一つの作業を複数台のロボット群で構成するセルシステムとなる。その中ではロボットの協同作業が行われ、知能ロボットと単純作業の汎用ロボットとが作業分担する形となるであろう。また知能ロボットは、徐々に知能向上を図り、適用範囲を拡大していくが、現状で最も期待されるのはロボットに眼の機能をつけることである。すなわちビジョンシステムとの連携である。現在実用されているのは適用可能な領域が狭く、用途拡大には今一步であり開発が急がれる。

次にロボットの知能化のためには、触覚、圧覚などのセンサとそのセンシングを制御 フィードバックし、動作を巧ち(緻)化することである。ロボットをシステムツールとして確立していくためには、ロボットプログラミングの言語と生成システムが重要である。現状では、FA としての上位システム、CAD/CAM あるいはロボットの知能化などの条件整備がまだ開発途上にあり、ティーチングプレイバック方式で十分であるが、それらの条件が確立してくると、ロボット言語、ロボットプログラムの生成が必ず(須)の課題となることは明らかであり、ロボット言語仕様の追求とその実用化を推進しなければならない。

#### (6) マシンコントロール

(3) 項で述べたように、PC 化とシステムコンポーネントとしての機能付加が行われている。PC 機能はシーケンス機能ばかりではなく、データ処理、DDC 領域にも拡大しつつある。例えばプログラマブルサーバーの出現である。これはフレキシブルな機械を実現するのに有効であり、安価に入手できれば、機械保全のネックである有接点リミットスイッチを現場から追放するリミットスイッチレス化も夢でなくなるであろう。

### 3. むすび(当社の FA フィールドへの指向)

2.2 節の技術動向で述べたフィールドのニーズに合わせ、単体指向の製品群の強化から FA 関連製品のシステム化、すなわち冒頭に述べた PUSH 戦略を展開している。これは必ずしも、システムで販売することのみを目的としているのではなく、単体販売であっても関連製品がシステム化が容易なように構成することであり、FA システム化のニーズにこたえられることを指向しているのである。表 1. の右半分に、当社の製品群の個別の技術指向を示す。

加工・組立産業に焦点を合わせた FA システムは、システム化と現場ノウハウの反映及び投資可能なコストパフォーマンスの実現が最重点項目とし、FA 製品群に磨きをかけ FA の推進の一端を担っていきたいと考えている。

# FA,FMS専用の新しいコンピュータシステム 《FACTORY LANDシリーズ》

長井 孝\*・竹崎智康\*・中野宣政\*\*・杉山 彰\*\*・菅 茂\*\*\*

## 1. まえがき

最近の産業界は、ゼロ成長時代の中にあって市場ニーズの多様化、人件費の高騰、あるいは熟練労働者不足などの問題をかかえながら、国内外を問わず激しい競争を繰広げている。このような環境下にあって加工組立産業を中心とする製造業では、製品のモデルチェンジにフレキシブルに対応し、かつ高い生産性と省力化を可能とする、いわゆるFMS(フレキシブル生産システム)、あるいは工場全体の合理化・自動化を目指すFA(ファクトリーオートメーション)の導入が盛んである。

これは、一方で最近のマイクロエレクトロニクス技術、メカトロニクス技術などの目ざましい進歩によるNC工作機械、ロボットなど自動化機器の普及と、コンピュータの大幅な価格低減が大きな推進力となっていると考えられる。

当社では、このような動向を反映して、自社内の生産設備のFA、FMS化を積極的に推進していくと同時に、FA、FMSに関連するシステム、及びコンポーネントの開発・製品化と取組んでいるが、今般、FA、FMS専用の新しいコンピュータシステム《FACTORY LANDシリーズ》を開発し、昭和58年4月より工場出荷することになったので、以下にその概略を紹介する。

## 2. 《FACTORY LAND》の概要

《FACTORY LANDシリーズ》は、本格的なFA、FMS実現のために開発したコンピュータシステムであり、上位のFAコンピュータ“モデルS1”(図1.)と、下位のFAコントローラ“モデルC1”(図2.)による階層形分散構成を採用している。

### 2.1 《FACTORY LAND》の特長

《FACTORY LAND》は大別して、

- ・現場における生産設備の効率的運用
- ・現場における管理業務の自動化

の二つの役割を担っており、次の特長がある。

#### (1) 現場設置、24時間運転の現場専用コンピュータ

防じん(塵)きょう(筐)体、防塵・防滴シートキーボードなどにより、厳しい環境条件が要求される現場設置を可能とし、更に機器ごとに独立したキャスター付コンソール形筐体の採用により、据付け、移動が容易

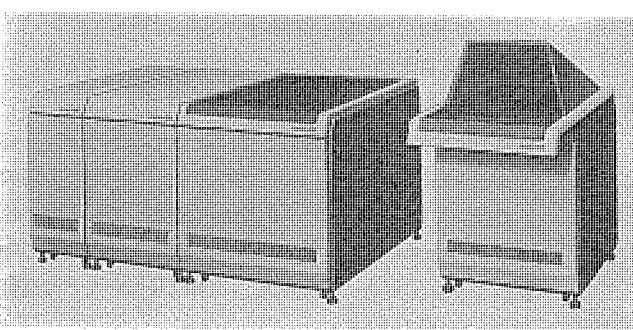


図 1. FA コンピュータ “モデル S1” 外観

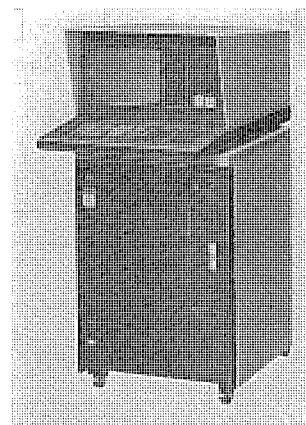


図 2. FA コントローラ “モデル C1” 外観

な構造としている。また、24時間連続運転を基本としているが、指定時刻に自動的に電源をオン/オフし、システムを自動起動/自動停止する機能も備えている。

#### (2) 操作が簡単、現場で扱えるコンピュータ

日本語による対話形式のオペレーション、簡易言語(プログレスII)の採用などにより、コンピュータの専門知識が無くとも現場レベルで扱うことができる使いやすいコンピュータである。

#### (3) 拡張性に富んだシステム構成

システムの増設・拡張が容易な分散構成の採用のほか、最大32台まで拡張できるマルチワークステーション構成、豊富なオプション機器など拡張性に富んだコンピュータである。まずセル若しくはラインレベルのFMS化からスタートし、最終的に工場全体のFA化にまで、段階的に拡張していくという方法にも適している。

#### (4) 1台でオフコン機能も実現

“モデルS1”は、当社のオフコン《MELCOM 80 OFFICE LAND》とソフトウェアに関して完全な互換性があり、オフコンとしても使えるコンピュータである。更に、日本語ワードプロセッサ機能、ビジネスグラフ機能を付加することもできる。

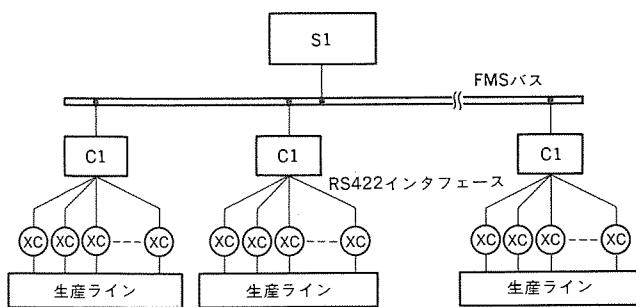
### 2.2 システム構成

《FACTORY LANDシリーズ》のシステム構成を図3.に示す。図において、“モデルS1”と“モデルC1”的間を結合するFMSバスは、FMS用として開発した高速の専用バスであり、最大8台の“モデルC1”を結合することができる。なお、特に高信頼性が要求される場合には、FMSバスに“モデルS1”を2台結合しデュプレックス構成とすることも可能である。

また、“モデルC1”には最大8台のマシンコントローラを接続でき、その間の結合はRS422インターフェースを標準としている。表1.及び表2.にFMSバス、及びRS422インターフェースの仕様を示す。

### 3. モデルS1

“モデルS1”は、《FACTORY LANDシリーズ》の上位コンピュータと



注 上図においてXCは、NC(数値制御装置)、RC(ロボット制御装置)などのマシンコントローラを表す。

図3. 全体システムの構成

表1. FMSバス主要仕様

項目	仕様
通信形態	N:N (Nは最大9局)
伝送方式	シリアル伝送
データ信号速度	500 Kb/s
伝送路	5C2V同軸ケーブル、又は光ファイバ(最大1km)
伝送フォーマット	HDLCに準拠
誤り制御方式	CRC、タイムオーバチェック

表2. RS422インターフェース主要仕様

項目	仕様
通信形態	1:N (Nは最大8台)
伝送方式	シリアル伝送
データ信号速度	最大19.2 Kb/s
伝送路	ツイストペアケーブル、又は光ファイバ(最大1km)
伝送フォーマット	BSC(サブセット)
誤り制御方式	CRC、タイムオーバチェック

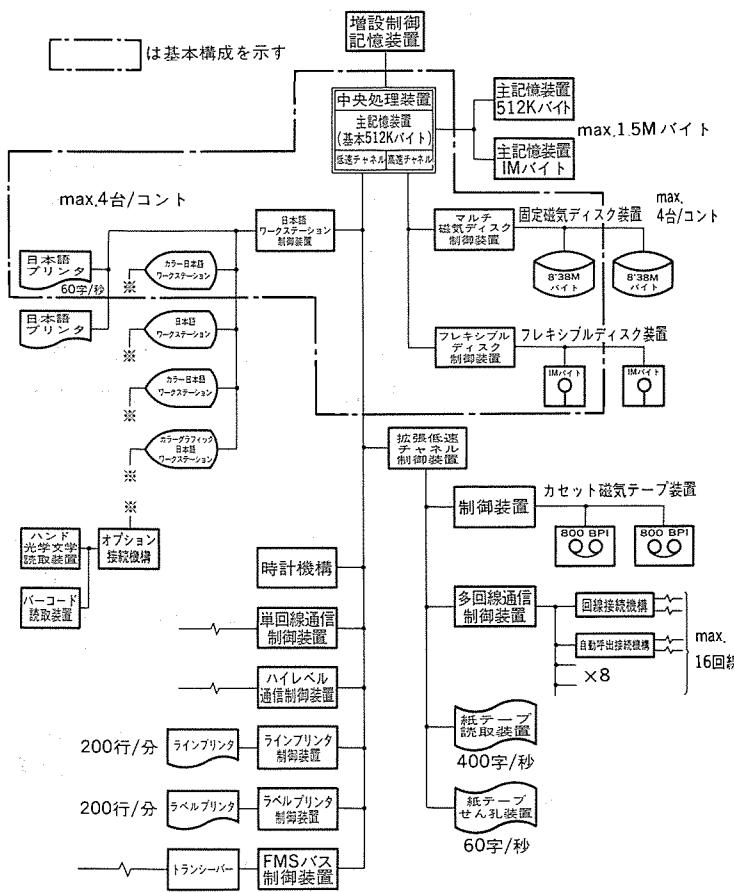


図4.“モデルS1”ハードウェアの構成

して位置付けられ，“モデルC1”経由現場機器、あるいはワークステーションなどのマシン機器を接続し、生産計画、作業指示、工程進捗、実績報告、あるいは各種の情報ファイル管理など現場における生産管理を分担している。

### 3.1 ハードウェアとその特長

“モデルS1”のハードウェアは、カスタムLSI、64 KRAMなどの最新技術を採用した基本部と豊富なオプション機器とによって構成する。図4に“モデルS1”的ハードウェア構成を示し、次にその特長を説明する。

#### (1) 高機能かつ余裕のある基本構成

基本部は、高機能の最新機器により十分に余裕のある構成としている。すなわち、

(a) 主メモリ512Kバイト、固定磁気ディスク装置38Mバイトと大容量メモリを実装し、余裕のある構成としている。

(b) マシン機器は、使いやすい日本語ワークステーション(7色カラーCRTを採用)、日本語プリンタ各1台を標準装備している。

#### (2) 高い拡張性と充実したオプション機器

(a) 主メモリは最大1.5Mバイト、ディスク装置は最大8台まで増設可能であり、またワークステーションは最大32台まで拡張することができる。

(b) ビジネスグラフ機能付ワークステーション、ラベルプリンタ、あるいはバーコードリーダなどの生産管理に適した機器を付加することができる。

#### (3) 強力なオンライン機能

上位コンピュータ、あるいはCAD/CAM用コンピュータなど他のシステムとの接続のために各種の通信制御装置を用意しており、最適な回線構成と伝送制御手順の選択を可能としている。

#### (4) 豊富なRAS機能

24時間運転を可能とする高信頼度のハードウェアに加えて、各種の自己診断機能、エラーログ機能、あるいは障害発生部分の代替処理など豊富なRAS機能を備えている。

#### (5) 自動運転機能

オプションとして、実時間時計機能、インターバルタイマ機能、自動電源オン/オフ機能を備えた自動運転機能を付加することができる。

### 3.2 ソフトウェアとその特長

“モデルS1”的ソフトウェアは、システム開発・操作の容易性を追求して開発しており、次に挙げる特長をもっている。

#### (1) 日本語処理による操作性の飛躍的向上

日本語データベース、日本語ユーティリティプログラムなど本格的な日本語処理機能を用意しており、日本語データを英数字データと同様に扱うことができる。日本語によるジョブ選択画面、操作指示ガイド、あるいは会話形オペレーションなどにより操作の簡略化を図っている。

#### 図5. に日本語によるジョブ選択画面の一例を示す。

#### (2) プログラム作成が容易

機能単位に分類した指示書と呼ばれる記入シートに、必要事項を順次記入していくことにより、プログラミングができる簡易言語プログレスIIを用意しており、これを用いれば、初心者でも数日の講習を受けるだけでプログラムの作成ができる。また、COBOL、FORTRANなどの高級言語も用意している。

#### (3) フレキシブルデータベース(FDBS)の採用

ジョブ選択メニュー	
(メニュー JS)	装置 ポリューム名 ライブ ラリ名
フロジ ヤ ライブ ラリ	FDOO @SYSV FLSYS *P
Lモジ ュール ライブ ラリ	FDOO @SYSV FLSYS *L
* 登録名 注釈 * ワンタッチ ガイダンス	登録名 注釈
F1.....\$RJPLN 加工計画入力/修正	F6.....\$RJKDO 稼働実績印字
F2.....\$SIMU 加工順序シミュレーション	F7.....DWNLOD ダウンロード
F3.....\$RJMST 基準情報問合せ	F8.....UPLOAD アップロード
F4.....\$RJHNZ 保全データ表示	F9.....\$RJBGD ビジネスグラフィック
F5.....\$RJSK 加工実績印字	F10.....\$RJWPM ワードプロセッサ
次のページ.....F11	
ファンクションキー (選択ジョブの確認/変更:必要=1/不要=2)	
ジョブコマンド	

注: ジョブコマンドの種類  
CALL, 登録名/PAGE, ページ番号/GCHNG(ユーザ～プロジェクト)@PL/@LL/SYSIN/OPIN

図 5. 日本語によるジョブ選択画面の一例

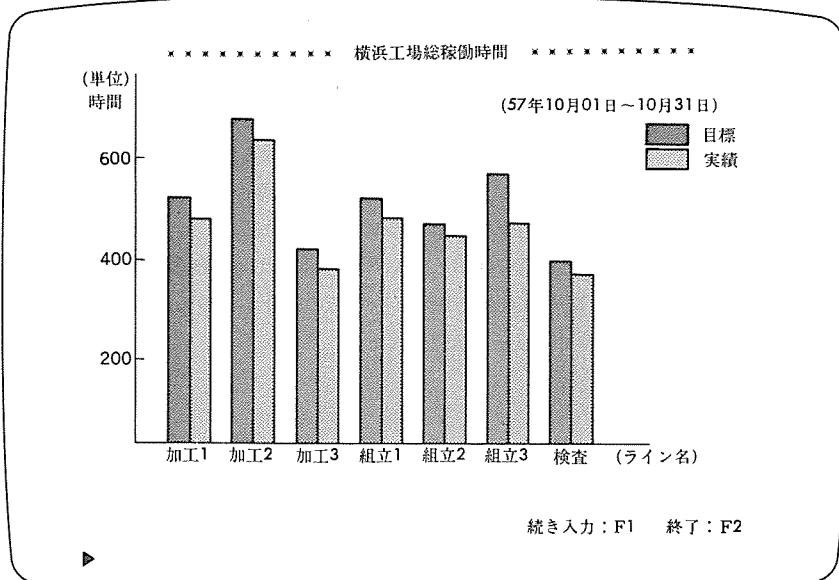


図 6. ビジネスグラフ表示例

データ構造が単純で、各種データの関連づけが自由なリレーションタイプのデータベースを標準として採用している。データの追加・削除・変更などのメンテナンスは、会話形式でワークステーションから行うことができ、更にデータ保護、ファイル回復機能などの充実したデータ管理機能を備えている。

#### (4) 強力なネットワークサポートソフトウェア

FMSバスを中心とするネットワークシステムをサポートするソフトウェアとして、機能レベルにより階層化した高水準のソフトウェアを用意しており、回線の増設や変更に柔軟に対応できると同時に、折返しテスト、自動再試行などのRAS機能も備えている。これにより、応用ソフトウェアでは簡単なプログラムによりデータの送受信を行うことができる。

#### (5) 充実したFA, FMS向けアプリケーションパッケージ

小日程計画作成、工程進捗管理、工具寿命管理、在庫管理、あるいは基準情報管理などFA, FMS向けに適した各種パッケージを利用することができる。

#### (6) 各種事務処理機能の付加

日本語を使用した各種グラフを会話形式で作成できるビジネスグラフ機

能、あるいは日本語文書の作成・修正を行うためワードプロセッサ機能などの付加が可能である。また、『MELCOM 80 OFFICE LAND』が保有する各種オフコンパッケージも利用することができる。ビジネスグラフの一例を図6に示す。

## 4. モデルC1

“モデルC1”は、機械加工や組立などのFMSライン、又はセルの総括監視・制御を目的とするFAコントローラであり、“モデルS1”と接続した階層構成のほか、単独でもシステムを構築することができる。

### 4.1 ハードウェアとその特長

“モデルC1”のハードウェアは、16ビットマイクロプロセッサを中心とするマルチCPU構成、主メモリの大容量化、バブルメモリの採用などにより、小形ながら高い処理能力を実現している。図7に“モデルC1”のハードウェア構成を示し、次にその特長を説明する。

#### (1) マルチCPU構成による高速処理

16ビットマイクロプロセッサによる主CPUを中心として、各入出力インターフェース装置、及びプログラマブルロジック処理装置に専用CPUを配置し、各CPUの並列処理によって高速処理を実現している。

#### (2) メモリの大容量化

主メモリは、256Kバイトを標準装備とし最大512Kバイトまで拡張可能である。また、補助メモリには耐環境性と保守性に優れたバブルメモリを採用しており、標準で0.5Mバイト、最大で1Mバイトまで実装することができる。

#### (3) 14インチカラーCRTの採用

マンマシン用機器としてカラーCRT(7色、2,000字)を標準装備しており、高品質で分かりやすい表示を提供している。また、拡大文字も表示

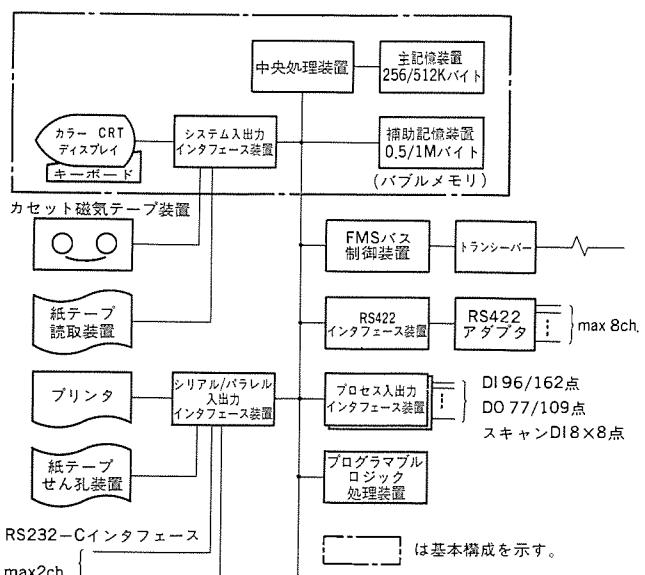


図 7. “モデルC1”ハードウェアの構成

可能である。

#### (4) プログラマブルロジック処理装置の付加

三菱汎用 シーケンサ 『MELSEC-K シリーズ』相当の プログラマブルロジック処理装置を内蔵可能であり、これにより シーケンスプログラム、カウンタ、タイマなど、いわゆる汎用 シーケンサ の機能を付加することができる。

#### (5) 豊富な入出力機器

カセット磁気テープ装置、紙テープ読取装置などの周辺機器のほか、ユーザー機器接続のために RS 232-C インタフェースが 2 チャネルを用意している。また、生産ラインに含まれる種々の機器の制御・監視のために、プロセス入出力インターフェース装置を用意しており、フレキシブルなシステム構築を可能としている。

### 4.2 ソフトウェアとその特長

“モデルC 1”のソフトウェアは、生産ラインの機械設備群を直接監視・制御するための基本パッケージ群とユーザー自身がアプリケーションソフトウェアを開発するためのソフトウェアとによって構成している。次にその主要機能を説明する。

#### (1) ネットワークサポート機能

これは、FMS バスなどの通信回線を介して接続する“モデル S 1”，他の“モデル C 1”，あるいは下位のマシンコントローラ群とのデータ送受信機能を総合的にサポートするソフトウェアである。更にネットワーク管理／オンライン診断機能により、ネットワークの運用・保守を容易に行うことができる。これを用いることにより、応用プログラムは単に 1 個のステートメントのみで、他の装置との交信が可能となる。また“モデル S 1”とマシンコントローラの直接交信を可能とするバススルーフ機能も備えている。

#### (2) プログラム管理機能

NC プログラムなどの機械指令用プログラムは、バブルメモリ上にファイル管理され、現場の作業進捗に従って該当するマシンコントローラに直接ロードされる。また、現場レベルで作成、あるいは修正されたプログラムを吸い上げて“モデル S 1”に転送するアップロード機能も備えている。これらの機械指令用プログラムは、“モデル S 1”，“モデル C 1”，及びマシンコントローラの間をオンラインで転送される形を基本としているが、“モデル C 1”に接続する周辺機器を利用して、磁気カセットテープ、あるいは紙テープの形で入出力することもできる。

#### (3) 機械設備モニタと実績データ収集機能

現場の機械設備の運転状況を監視し、逐次その結果を“モデル S 1”に報告する。また，“モデル C 1”でもその状況を表示、あるいは印字させることができる。

#### (4) 工業用リアルタイム BASIC 言語を採用

ユーザー言語としては、現在パソコン用として最も普及している BASIC を拡張した三菱工業用リアルタイム BASIC (M-IRTB) を用意しており，“モデル C 1”自身を用いてプログラム開発を行うことができる。

### 5. むすび

『FACTORY LAND シリーズ』は、パソコン、オフコン並みの使いやすさを実現することにより、生産現場に従事する人々がそのノウハウをいかし、自分自身の手でシステムの構築・改良ができるることを第一のねらいとしている。その成果は、今後実際に生産ラインへの適用を通して大きな力を発揮するものと期待される。

なお、『FACTORY LAND シリーズ』は、現在当社内の FMS 化ラインに順次導入されつつあり、その紹介がこの特集号に別掲されているので合わせて参照されたい。

# 三菱電機ロボット《MELFA》組立マテハンロボット RH・RLシリーズ

志賀 康宣\*・稻荷 隆彦\*\*・中野 宣政\*・大富 貞行\*\*\*

## 1. まえがき

産業用ロボットの必要性は、生産性の向上、熟練労働者の不足、作業環境問題などの要請により急速に増大しており、溶接（スポット及びアーチ）、塗装、マテハンなどの分野で着実に実績を作っている。マイクロコンピュータ応用の進歩に伴いロボットの機能は向上し、人間の融通性に頼ってきた組立作業分野への導入が始まっている。組立と一口に言っても作業はさまざまであるが、組立作業の70~80%は、空間座標点X、Y、Zへの位置決めとZ軸まわりの回転という4自由度の機能を有していれば可能であると言われている。このたび、当社ではこの条件を満たす経済的な水平関節形ロボット《MELFA-RH・RLシリーズ》を開発製品化した。

一方、ロボットを用い省力化、無人化するためには、部品の形状、位置、姿勢など周辺条件の整備が必要であるが、条件が満足しない場合もしばしばあり、自動化の大きな壁になっている。これらの環境条件を判定するために、人間の目に相当する視覚センサの要求がある。

今回《MELFA》RH、RL組立ロボットシリーズと、その知能化の一環として開発した視覚センサIS-211も合わせて、概要を紹介する。

## 2. ロボットシステムの構成

### 2.1 システム構成

このロボットシリーズは、全軸DCサーボモータ駆動であり、RHタイプは汎用タイプ（標準4軸）とモジュールタイプ（標準4軸、最大6軸）の2系統がある。RLタイプは、RHモジュールタイプと走行モジュールとを組合せた走行形ロボットである。図1.にRH汎用タイプの全体構成を示す。

### 2.2 特長

(1) 水平関節形ロボットでありながら、アーム全体の高さを自由に

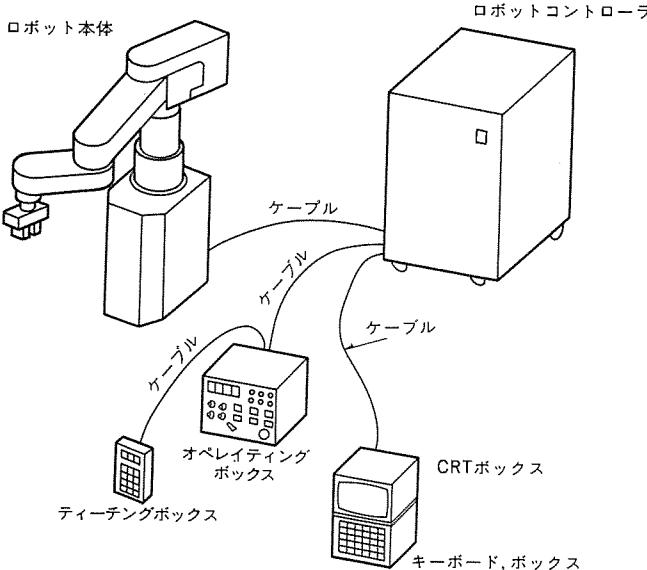


図1. RH汎用タイプの全体構成

変える上下軸があり、組立作業をやりやすくしている。特に先端のグリッパを回転させながら部品挿入を行うなど応用ができる。

- (2)  $\theta_1, \theta_2, \theta_3, Z$ 軸は同時4軸制御が可能で、常に関節補間（どの軸も同時に動き始め、同時に終わる）機能を有している。
- (3) 直線補間機能もあり、シール剤、グリースなどの塗布作業も可能である。
- (4) 高精度で高速位置決めができる。先端速度2m/sで、かつ±0.05mmの高精度な位置繰返し精度（RH-211の場合）を持っているため正確なめあい作業ができる。
- (5) 動作記述レベルのロボット言語、メニュー方式（CRT画面へ入れるデータの位置を表示する方式）などを採用し、よりプログラミング作業を容易にしている。
- (6) プレイバック方式とMDI（数値データ入力）方式の併用により、教示作業が容易となっている。
- (7) 座標系の選択ができる、ロボット本体系のほか、ワーク座標系、ツール座標系への変換もできる。
- (8) パレタイジングなどのユーザー・マクロ命令がある。
- (9) FAシステム（組立セル）との接続を考慮し、ユーザー解放のI/O以外にライン化用I/Oがある。
- (10) 視覚センサIS-211との接続も可能である。

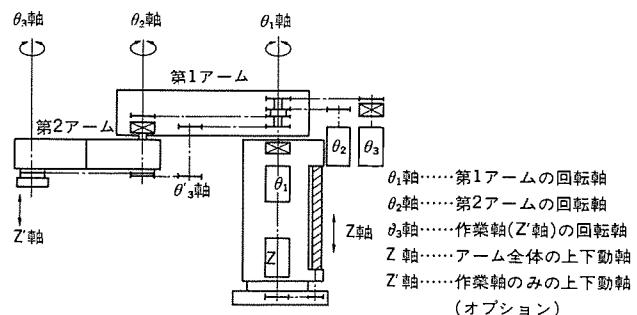
## 3. 機構

### 3.1 汎用タイプ

アーム可動部の重量を減らし応答を早くするため、駆動モータをアーム上でなく回転中心付近の固定側にコンパクトに配置し、シンプルな機構にした。モジュールタイプと異なり、組合せの変更はできないが比較的軽量である。図2.は概略構造、図3.はユニット構成、図4.はロボット本体外観を示す。

### 3.2 モジュールタイプ

ロボットをベース・関節・アーム・手首の構成要素ごとにモジュール化し、各種の組合せで多種多様なユーザー要求に対応可能とした。標準は4軸であるが、モジュールユニットを追加することで最大6軸までのロボットが構成できる。またモジュールユニット化しているので、品質確認が



(エアーシリンダなどによるON/OFF制御)

図2. RH汎用タイプの概略構造

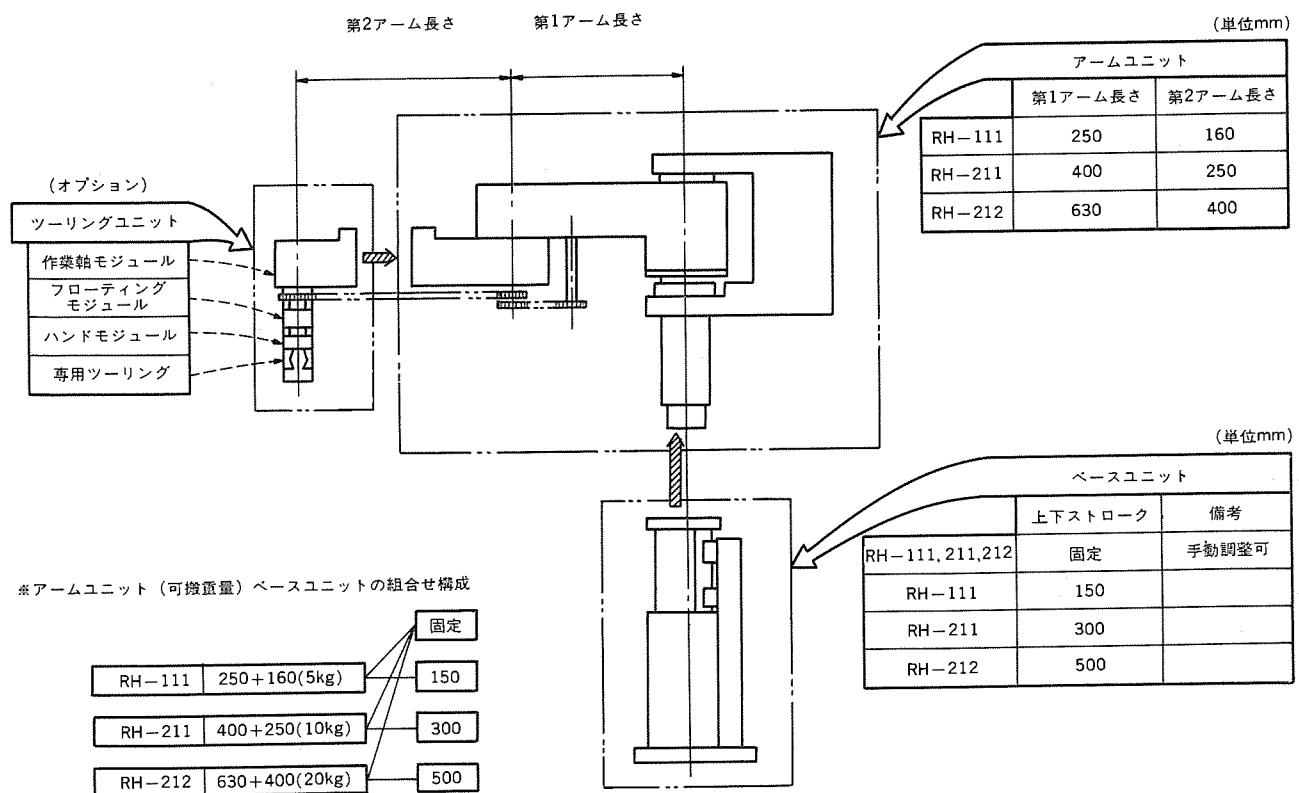


図3. RH汎用タイプのユニット構成

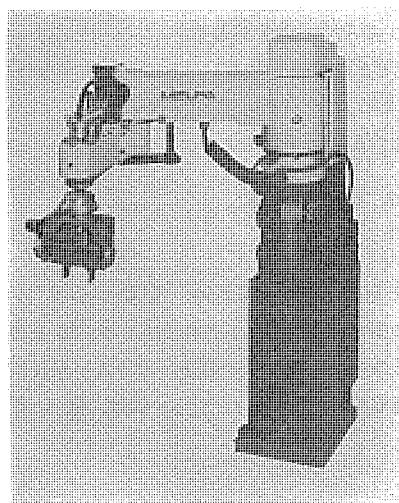


図4. RH汎用タイプの外観

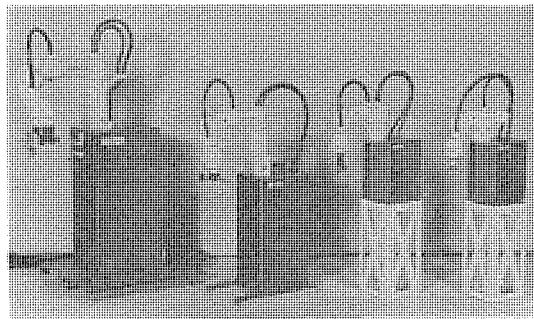


図6. RHモジュールタイプの外観

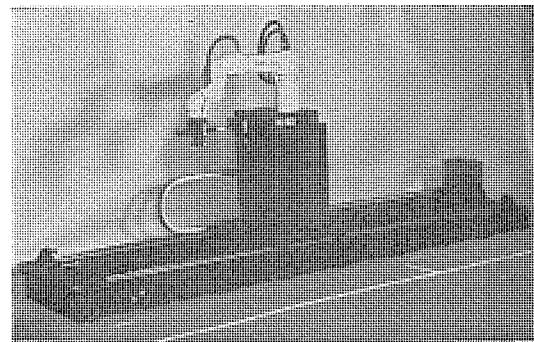
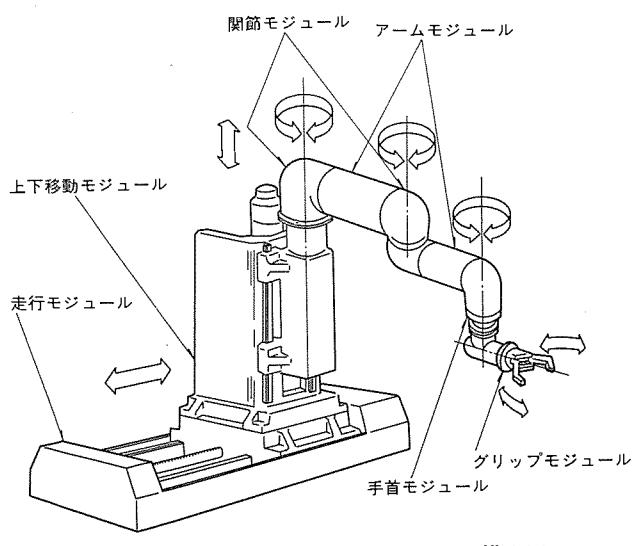


図7. ロコモートタイプの外観



容易であり、導入後の変更や保守のための交換も容易である。ロボットのアームは円形断面を基本として曲げ、ねじりに強い構造を採用している。

### 3.3 ロコモートタイプ

モジュールタイプロボットへ走行モジュールを付加することによりロコモートタイプになる。図5.は基本モジュールと構成例、図6.はモジュールタイプロボットの外観、図7.はロコモートタイプの外観を示す。ロボット本体の仕様は表1., 表2.に示す。

表 1. ロボット本体仕様 (汎用タイプ)

項目	形名	RH-111	RH-211	RH-212
腕の長さ $l_1 + l_2$ (mm)		250+160	400+250	630+400
動作範囲	上下ストローク Z (mm)	固定(手動調整可) 100 150	自 動 300	500
	旋 回 $\theta_1$			$\pm 135^\circ$
	旋 回 $\theta_2$			$\pm 135^\circ$
	ひねり $\theta_3$			$\pm 610^\circ$
駆動方式	DCモータによる電気サーボ駆動			
可搬重量 (グリップ重量を含む) (kg)		最大 5	最大 10	最大 20
最大速度	アーム先端 (mm/s)	1,300	2,000	2,500
	腰回転度 (度/s)			180
位置繰返し精度 (mm)		±0.05	±0.05	±0.1
本体重量(ツーリングユニットの重量は除く) (kg)		約 60	約 85	約 165
コントローラ	外部電源	AC 100/110V(+10%~-15%) 50/60Hz±1Hz		
	外形寸法 (mm)	650(W)×700(D)×1,300(H)		

表 2. ロボット本体仕様 (モジュールタイプ)

項目	形名	RH-121	RH-122	RH-221	RH-222	RH-223
腕の長さ $l_1 + l_2$ (mm)	160+160	250+160	400+250	400+250	630+400	
動作範囲	上下ストローク Z (mm)	200	200	300	500	500
	旋 回 $\theta_1$					$\pm 135^\circ$
	旋 回 $\theta_2$					$\pm 135^\circ$
	ひねり $\theta_3$					$\pm 270^\circ$
駆動方式	DCモータによる電気サーボ駆動					
可搬重量(グリップ重量を含む) (kg)		最大 3	最大 5	最大 10	最大 20	最大 20
最大速度	アーム先端 (mm/s)	1,800	1,900	2,500	1,000	1,000
	上 下 移 動 (mm/s)	400	400	250	300	300
	腰回転度 (度/s)	225	180	135	50	35
位置繰返し精度	$\theta_1, \theta_2, Z$ 軸 (mm)			±0.05		±0.1
	$\theta_3$ 軸 (度)			±0.02		±0.04
本体重量	(kg)	80	80	150	280	300
※コントローラ	外部電源	AC 200/220V(+10%~-15%) 50/60Hz±1Hz				
	外形寸法 (mm)	650(W)×700(D)×1,300(H)				

注※コントローラは CRT・キーボードユニットを分離した形を標準とするが一体形も製作できる。

走行モジュール仕様

項目	走行長(mm)	1,000	2,000	3,000
走行最大速度 (mm/s)	500	500	500	
位置繰返し精度 X 軸 (mm)	±0.1	±0.1	±0.1	
機構部重量 (kg)	240	370	500	

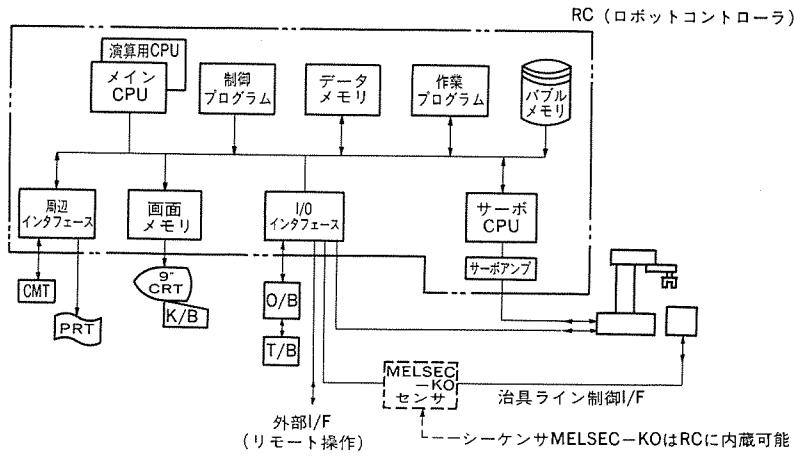


図 8. 制御装置のハードウェア構成

#### 4. 制御装置のハードウェア構成

ロボットの制御装置は、次の四つのユニットで構成している。

##### (1) 制御装置本体

16ビットマイクロプロセッサ、磁気バブルメモリ、完全密閉きょう(筐)体、など長年にわたり培われた数値制御を中心としたエレクトロニクス技術を駆使したロボットの頭脳である。

##### (2) オペレーティングボックス (O/B)

O/Bは、通常ロボットを操作するためのスイッチと表示ランプが配置

表 3. ロボット制御装置仕様

項目	仕様
教示方式	ティーチングブレイパック、MDI併用
制御方式	PTP教示、CP制御
制御軸数	2~6軸同時制御
位置制御	ソフトウェアサーボ
位置検出	バ尔斯エンコーダ
データメモリ	磁気バブルメモリ
動作モード	直交座標系
補間機能	直線補間
座標シフト機能	ツール座標系、ワーク座標系
ユーザマクロ命令	バレタイジング機能、ピック機能、プレース機能
記憶数	標準1,000点(最大6,000点)
ログラム数	最大40
外部入出力信号	入力16点、出力16点(最大各40点増設可能)
プログラミング	9インチ512キャラクタ、3倍拡大画面可能
ユニット	完全防滴・防塵形フラットタッチ、キーボード
自己診断機能	有り
ティーチングボックス	有り
オペレーティングボックス	有り
ドライブタロック	内蔵
周囲温度	0~45°C
構造	自立完全防塵密閉形
外部補助記憶	CMT、プリンタ
オプション	三菱シーケンサ(MELSEC-KO)内蔵可能
センサ制御	RS232C相当
	コンピュータリンク

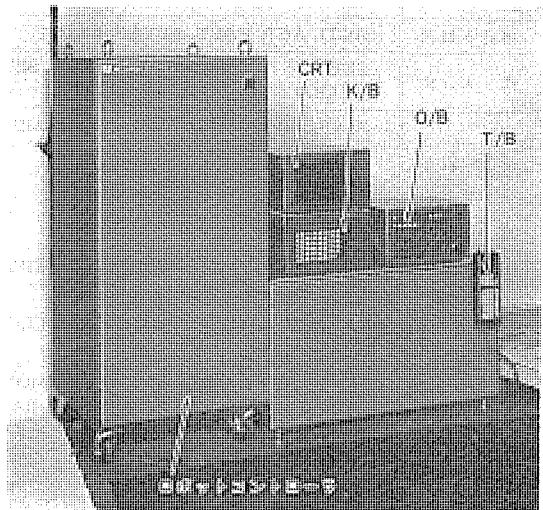


図 9. 制御装置の外観

しており、登録済みのプログラムの再生運転指示を行う。

### (3) テイーチングボックス (T/B)

T/B は教示プログラムを 1 ステップずつロボットを動かしながら確認したり、JOG 操作スイッチでロボットを動かす。

### (4) キーボード (K/B) と CRT ボックス

プログラムの作成、編集あるいは外部機器（オプション）である CMT, PRT の入出力制御を行う。使用しない時は取外しも可能である。

図 8. はハードウェア構成、図 9. は制御装置の外観、表 3. は制御装置の仕様を示す。

## 5. ソフトウェア

ロボットソフトウェアの開発の留意点と特長は次のとおりである。

(1) 『MELFA-RH・RLシリーズ』に限らず、機構が異なってもソフトウェアの一部モジュールを変えることにより、6 軸までのロボットであれば制御可能となるよう考えている。更に走行 2 軸も合わせると最大 8 軸対応のソフトウェアを用意している。

(2) 産業用ロボットが、人間と共存できるよう多く自己診断機能を設け、高い安全性と信頼性を考慮した。不具合発生時は、運転が直ちに中断され、CRT へエラー表示ができる。自己診断機能は約 250 個ある。

(3) ロボットが柔軟性の高い作業が行えるよう、動作記述レベルのロボット言語を採用した。現在、約 50 種、130 個の命令が利用可能である。表 4. はロボット言語一覧表である。

(4) ロボット言語の採用プログラムでの編集が必要となるが、操作誤りを防ぐため、数値や変数名のみ入力すれば、プログラムが完成できるように配慮している。CRT 画面は、切換えていろいろと表示可能である。例えば、現在値・入出力信号・プログラム編集・マクロ定義・データ管理・プログラムセレクト・プログラム外部同期・パラメータ設定などである。図 10. は CRT 画面の例を示す。

表 4. ロボット言語一覧

分類	命令
疑似命令	…NOP, NAME, STRTP, ENDP, ENDR STOP, PAUSE
リセット制御	…RSTIO, RSTFL, RST(I/V), RSTRGO
分岐命令	…JMP, JEO, JNE, JGT, JLT, JGE, JLE, JON, JOFF, CALL, RETN
スタック制御	…PUSH(I/V), PUSHL, PUSHF POP(I/V), POPL, POPF
割込み制御	…ACTI, ACT, DACT, RETAC, RETSK
代入文	…SETL, SETL:, SETI, SETI0, SETV, SETV0, SETIH HERE, LCMP, TOOL, NLTL, INV
演算命令	…ADDI, ADDI0, SUBI, SUBI0, MULI, MULI0, DIVI, DIVI0, CMPI, CMPI0 ADDV, ADDV0, SUBV, SUBV0 ADDL, SUBL, MULL, DIVL
論理演算	…AND, OR, ANDI, ORI
構造定義	…LEFT, RIGHT, ABOVE, BELOW, FLIP, NOFLI
I/O 制御	…WON, WOFF, DLAY, DLAY0 ON, OFF, OPEN, CLOSE, OPENQ, CLOSEQ READ, WRITE, UP, DOWN
軌跡制御	…MOVE, MOVS, (MOVR, CIRCLE), MOVSP APRO0, APROS, DPART, DPAR0, DRAW, DRIVE, TRAN
マクロ命令	…PICK, PLACE, PALLT, (PSENS)
その他	LABELI, :COMMENT

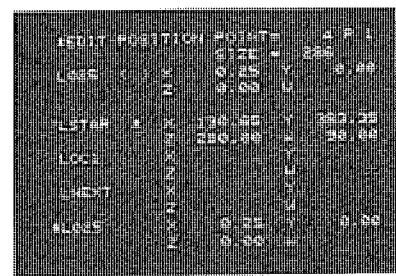


図 10. CRT の画面例

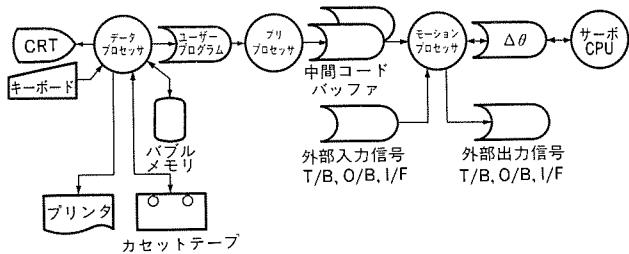


図 11. ソフトウェアのデータフロー

### (5) ソフトウェアの構成

このシステムは、データプロセッサ、プリプロセッサ、モーションプロセッサから成り立っている。データプロセッサは、エディタ、コンパイラ、逆コンパイラ、ファイル管理及び各種画面処理を、プリプロセッサはユーザープログラムを解釈し、中間コードに翻訳するなどの前処理を、モーションプロセッサはリアルタイムで、外部信号の入力、チェック、出力などとシステム全体の管理を行い、更に中間コードを実行しロボット機構の制御を行う。図 11. はソフトウェアのデータフローを示す。

## 6. 視覚センサ

### 6.1 概要

生産工程において、人間が何らかの作業を行う場合に、最も大きな役割を担っているのは、一般的には耳であり、対象物体の形状、位置、姿勢、色などは目によって容易に判断できる。このような目に代わり得る高性能な視覚センサは、センサの中でも特にニーズが多い。しかし、人間の目に近い機能を持たせることは、現在の技術では非常に難しい。したがって環境、機能を限定し、条件をよくして生産工程に供する必要がある。

組立を中心とした生産工程における作業を分類すると、

- (1) 部品の選別、配せん（贈）作業
- (2) 部品組立作業
- (3) 製品（部品）検査作業

となる。これらの作業を行うための機能を持ったロボット用視覚センサが、様々な処理方式によって実用化されつつある。

このたび開発したロボット用視覚センサ『MELFA』IS-211 は、グローバルな特徴抽出を基本とするバイナリースケールビジョンモジュールで、ITV カメラ、モニタ TV、ライトペン及び処理装置を基本構成とし、対象物体の識別、位置、方向の計測を迅速に行うことができる。IS-211 を組立、搬送ロボットと組合せることにより、今まで人手に頼っていた作業のロボット化を図ることができ、FA 化の推進に果たす役割は大きい。図 12. に IS-211 の外観を示し、IS-211 の特長、機能（仕様）、構成などについて次に述べる。

### 6.2 特長

IS-211 の特長は次のとおりである。

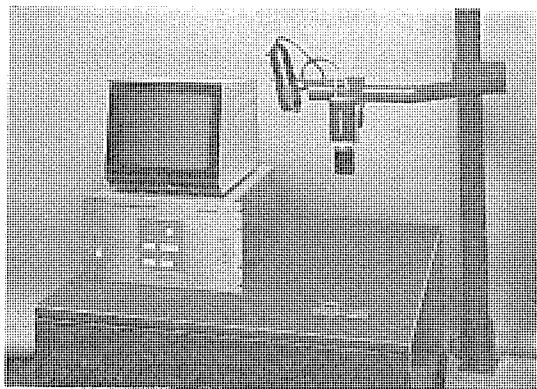


図 12. 視覚センサ IS-211 の外観

表 5. 視覚センサ仕様

タイプ	バイナリースケール
画像	二次元固定画像、既知ワーク、固形ワーク
データ	バイナリイメージデータ (256 ビット × 256 ビット × 8 ブレーン)
照明	反射照明又は透過照明
方式	二値化 固定/浮動二値化
	前処理 ハードウェア式孤立点除去
	GLOBAL FEATURE 抽出 <ul style="list-style-type: none"> <li>面積</li> <li>TOTAL エッジ長</li> <li>外周長</li> <li>コンパクトネス</li> <li>重心からの最大長</li> <li>最小長</li> <li>ホール数</li> <li>ホール全周長</li> </ul>
	特徴抽出
	位置、傾き 任意の 2 点位置の座標、二次モーメント最小軸の検出
教示	TRAINING BY SHOWING
	<ul style="list-style-type: none"> <li>対話的トレーニング</li> <li>バイナリ識別ツリーの自動生成</li> <li>任意の 2 点の教示</li> </ul>
処理速度	MAX 2 s
性能	1% FOV 以内

(1) マンマシンの対話機能を持つ

モニタ TV とライトペンにより、簡単にティーチングができる、ロボットの把み位置などをモニタ TV 上で任意に指定できる。

(2) 高速処理

16 ビットマイクロプロセッサと専用画像処理ハードウェアの組合せにより、画像処理の高速化を実現している。

(3) バイナリ識別ツリーの自動生成

対象物体を見せることにより、視覚センサは特徴パラメータを抽出し、バイナリ識別ツリーを自動生成しているため、ティーチングが非常に楽である。

(4) 色の識別が可能

カラーセンサとの組合せにより、黒を除いた 7 色の色の識別ができる。

(5) スケーリング機能を持つ

あらかじめ寸法のわかっている物体を見せることにより、画素あたりの長さを演算する機能を有し、カメラのレンズの交換などによる倍率の変化に素早く対処できる。

### 6.3 仕様

表 5. に IS-211 の主要性能仕様を示す。

### 6.4 ソフトウェア構成

ソフトウェアの構成は、基本的には次の 3 個のモジュールからなる。

(1) マンマシンインターフェースモジュール

モニタ画面制御、教示操作制御、操作パネル管理ほか、IS-211 全体を統括するモジュールである。図 13.、図 14. に教示モード、オンラインモ

```

*** TEACHING ***
* LEARNING *
( ) ITV SELECT      NO.
( ) WINDOW SET
( ) THRESHOLD
( ) OBJECT NAME NO.
( ) COLOR           NO.
( ) POINT
( ) MEASUREMENT
( ) ROTATE
      EXIT END
REGISTERED COLOR
1BLUE 2RED 3PINK 4GREEN
5CYAN 6YELLOW 7WHITE
123456789

```

図 13. 視覚センサ TEACHING MODE (表示)

```

*** ON LINE ***
OBJ ***
COL *
AREA
*****
COMPC
*****
EDGE
*****
PERIM
*****
R.MAX
*****
R.MIN
*****
HOLE
**
X = (*) Y = (*)

```

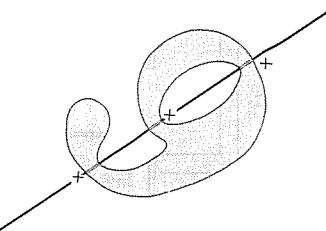


図 14. 視覚センサ ON LINE MODE (表示)

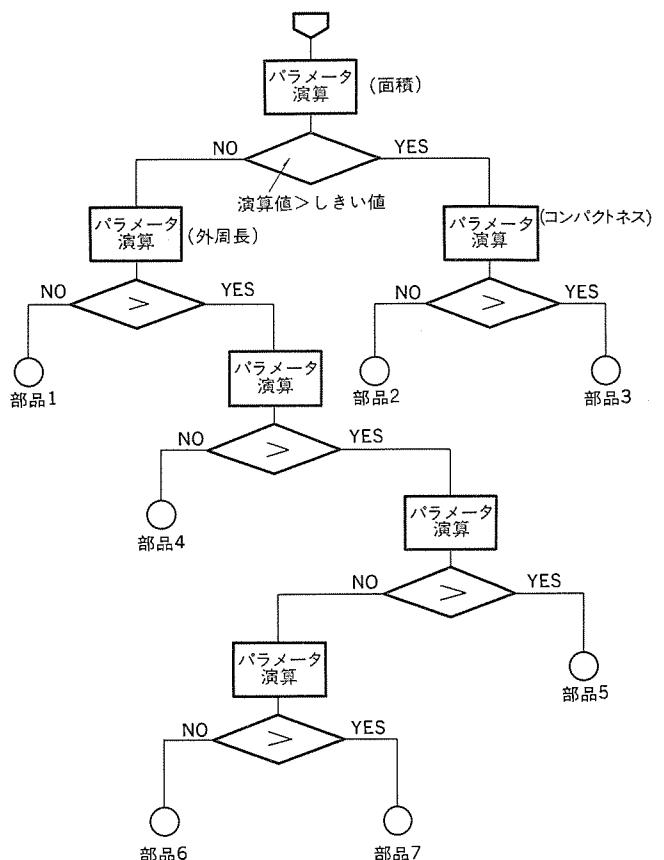


図 15. 視覚センサ 識別ツリー

ードにおけるモニタ画面を示す。

#### (2) 識別モジュール

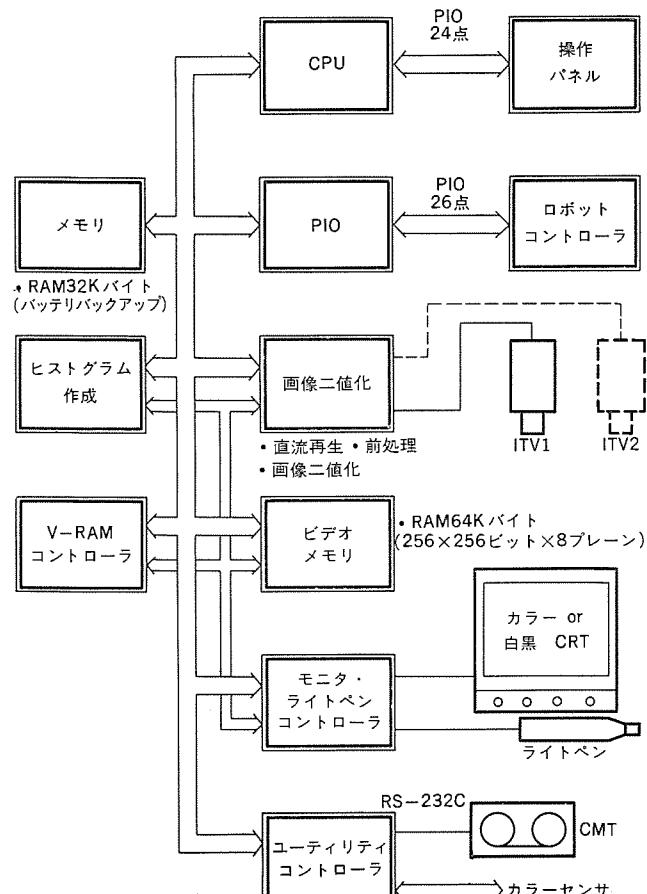
システムの中心をなすモジュールで、特徴パラメータの抽出、バイナリ識別ツリーの生成、対象物体の識別、位置、傾きの計測を行う。図15.に識別ツリーの例を示す。

#### (3) データ交信モジュール

ロボットからの計測指令を受け、マンマシンインターフェースモジュールに指令を渡したり、識別モジュールからの識別、計測結果をロボットに送る機能を持つ。

### 6.5 ハードウェア構成

図16.にIS-211のハードウェア構成を示す。



#### (1) 画像二値化

前処理、二値化部からなり、ティーチング時に設定されたスライスレベルで二値化する。

#### (2) ヒストグラム作成

CPUからの指令により、水平方向、垂直方向、重み付き水平方向のヒストグラムをハードウェアで作成し、RAMに格納する。

#### (3) ビデオメモリ

二値化されたイメージを書込むエリアで、 $256 \times 256$  のフレーン8枚で構成している。

#### (4) V-RAMコントローラ

ビデオメモリの読み出し、書き込み制御を行う。

#### (5) モニタ・ライトペンコントローラ

モニタ、ライトペンの制御を行う部分で、モノクロモニタ、カラーモニタ、いずれでも接続可能な構成となっている。

#### (6) ユーティリティコントローラ

RS-232Cポート及びカラーセンサI/Fから成っており、ティーチング結果の格納のためのカセットMT、及びカラーセンサを接続することができる。

### 6.6 ロボットとの結合

ロボットと視覚センサは、入出力各13点のパラレルI/Oで接続する。ロボットとの結合を行う上で最も重要な項目は、キャリブレーションである。ここで言うキャリブレーションとは、視覚センサ座標系のロボット座標系に対する位置ずれと傾きを、ロボットコントローラに知らせることである。

キャリブレーション操作終了によって、ロボットコントローラは視覚センサからの情報を利用可能な状態となる。視覚センサは、ロボットコントローラから2バイトで構成するコマンドを受取ると、内容を解読、実行し、対象物体が何であるか、また教示した2点の座標位置を10バイトデータとしてロボットコントローラに送信する。ロボットコントローラは、この情報を元に、位置ずれ、傾きを補正し、アームを移動させる。

### 7. むすび

水平関節形ロボット《MELFA-RH・RLシリーズ》は、動作記述レベルのロボット言語を持っているが、更に機能充実と機種拡大のため努力をしたい。視覚センサは、実験段階より実用段階に入りつつあり、今後は知能ロボットの目として機能向上のため開発に力をそそぎ、ユーザーの要求に応じられる製品にする所存である。

# 三菱電機ロボット《MELFA》溶接ロボットシリーズ

丸山寿一\*・小村宏次\*・古池一成\*\*・鵜飼順\*\*・神田政典\*\*\*

## 1. まえがき

今日、事務所では OA、工場では FA が強力に推進されており、ロボットは FA の一つの核として位置付けられている。アーカ溶接ロボットも昭和 55 年を「ロボット普及元年」とするロボットブームの波に乗り、急速に普及しつつある。当社は「溶接機・CNC 装置メーカーとしての技術」と「溶接機のユーザーとしてのノウハウ」を武器にして、アーカ溶接ロボットを製品化し、既に国内のみならず海外でも販売の実績を積みつつある。

従来より、アーカ溶接作業は次の理由により、自動化の要求が強かった。

(1) 嫌悪作業である。

アーカ光、熱、スパッタ、ヒューム及び騒音が著しい。

(2) 単調作業が多い。

自動車部品など数多く溶接する単純繰返し作業や、長尺物を長時間溶接する連続溶接作業などの作業が多い。

(3) 熟練を必要とする。

アーカ溶接自体には微妙なノウハウが必要であり熟練を必要とする。

更にオイルショック以降、多品種中量生産・ジャストインタイムの導入など柔軟性に富んだ自動化が必要になってきており、必然的にロボット化の方向に向かっている。しかしながら、「ワークの加工精度が悪い」、「ワークの置き誤差がある」、「ティーチングに時間がかかる」、「溶接中に熱ひずみ(歪)を生じる」などの理由により、ロボット化が阻まれている例も多く、更に知能化されたアーカ溶接ロボットの出現が待たれている。

本稿では、当社が開発したアーカ溶接ロボットの紹介を行うとともに、知能化のためにビジョンセンサ付ロボット及びロボットに最適なアーカ溶接機について述べる。

## 2. 当社のアーカ溶接ロボットシリーズ

当社では「溶接品質の向上」、「操作性及び稼働率の向上」、「信頼性・安全性及び保守性の向上」を徹底的に追求した各種のアーカ溶接ロボットを開発してきた。

### 2.1 中形汎用アーカ溶接ロボット RW-1 A

このロボットは当社にとって、ロボット市場に参入する第1弾となったティーチングプレイバック式のロボットである。各種治具と組合せて、小物ワークから大物ワークまで溶接可能である。

基本構成は図 1. に示すように、ロボット本体 RW-1 A、CNC 装置《MELDAS-R 1》及び溶接電源から成っている。ロボット本体は独特の平行四辺形リンク機構を採用した 5 自由度の垂直多関節ロボットである。このロボットの構造上の特長は、トーチ姿勢がアームの姿勢に関係なく一定に保たれ座標変換を高速に演算できる点にある。駆動部には直流サーボモータを採用し、アーム駆動の 3 軸のモータには非常用ブレーキを備え、非常時・電源断時の安全にも配慮している。トーチ把持部にはコンパクトな衝突検出装置がついており、トーチとワー-

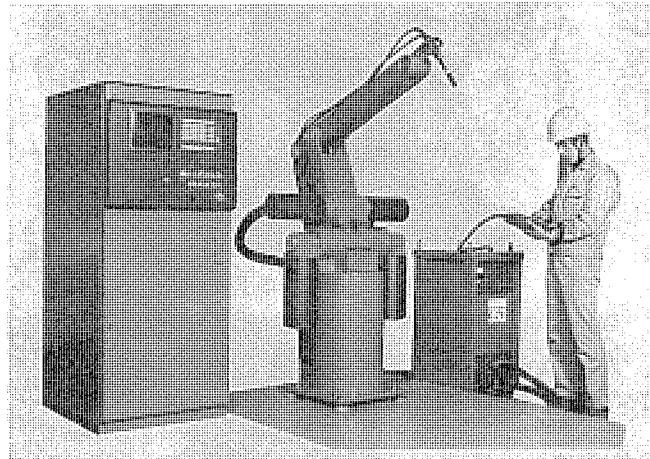


図 1. 中形汎用アーカ溶接ロボット RW-1 A

クの衝突に対する保護もしている。

CNC 装置は、CNC 装置本体・教示箱・操作箱からなる。CNC 装置本体は自立密閉構造を採用しており、制御部はマイクロプロセッサを三つ使っている。メイン CPU は 8 ビットマイクロプロセッサで数値演算器やバッテリバックアップ付 IC メモリを備えている。シーケンス制御用 CPU は外部機器を制御するために、外部機器とは電気的に絶縁され耐ノイズ性を高めている。残りの一つはサーボ制御用である。サーボ系はセミクローズドループを採用しており、位置検出器はブラシレスレギュラ、速度検出器はブラシレスタコゼネレータである。サーボ制御 CPU は位置ループの演算に使われ、精度の高い安定したサーボ系を構成している。操作・表示部としては、位置の表示に教示箱、溶接条件や外部治具の表示に CNC 本体の 9 インチ CRT やフラットキースイッチ、起動・停止などの機械操作は CNC 装置本体の機械操作部か又は操作箱が使われる。更に操作箱により、アーカを見ながら溶接条件のオンライン修正が可能である。主な仕様は、最大速度毎分 60 m、記憶数 1,000 点、プログラム数 20 点などである。

### 2.2 TIG 溶接ロボット RW-212

TIG 溶接は不活性ガス及び非消耗電極を使うため、適用範囲が広く(薄板、アルミ、ステンレス)、高品質溶接及びスパッタ発生なしなどのメリットがある反面、通常は溶接開始時に高周波・高電圧を発生すると言う欠点を有している。このため通常の CNC 装置では誤動作のおそれがあった。

この TIG 溶接ロボットでは、溶接電源内にあった高周波発生装置をロボット本体の前腕に乘せ、協力トーチに近づけて高周波の影響を低減し、制御回路及び電源回路に各種ノイズ対策を施している。更に高周波発生時には、各アームにブレーキをかけ安全性を高めている。主な仕様は最大速度毎分 60 m、記憶数 1,000 点、プログラム数 20 点である。

### 2.3 大形構造物用アーカ溶接ロボット RW-250 シリーズ

RW-250 シリーズは伸縮、回転、関節を含む 5~6 軸の腕をベースと

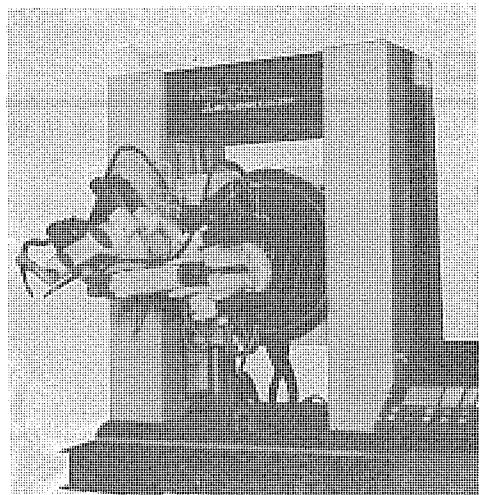


図 2. 2アーム 水平走行形 RW-251

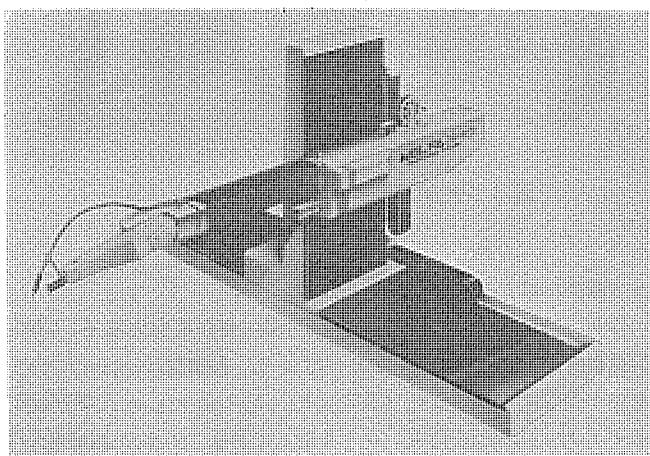


図 3. 1アーム 水平走行形 RW-252

し、昇降と走行の機能を有したシステムロボットである。特長としては狭い空間に侵入し、あらゆる溶接姿勢がとれ、ティーチングデータのワークに対するシステム編集ができるなど、汎用ロボットで手の届かない大形ワークシステム用に開発されたものである。

RW-251(図2.)は世界で初めての2アーム2トーチの溶接ロボットで、昇降、走行を含んで13軸からなり、2台のロボットコントローラを上位のラインスパバイザから協調制御している。これに続いて、1トーチ水平走行形のRW-252(図3.)及び1トーチ天つ(吊)り走行形のRW-253を開発、近日発売予定である。

RW-250シリーズの特長は次のとおりである。

#### (1) システムロボット

走行機能と多関節アームを有した大形ワーク対象のシステムロボットである。

#### (2) フレキシブルアーム

構造物の狭い空間に進入し、下向き、立て向き、上向きなどフレキシブルな溶接姿勢がとれる。手首3軸による角まき溶接も可能である。またアームは3~6軸まで、モジュール構成となっている。

#### (3) アームの取付方式がフレキシブルに対応

床置、水平、吊り下げ、壁掛けに対応できる。

#### (4) 14"カラーカRTによるシステム機能

ティーチングデータのシステム編集など。

#### (5) センサ機能

ワーク座標検出、溶接開始点、溶接線倣いなど。

#### (6) 溶接FMS指向のラインスパバイザ

生産管理、スケジューリング、ロボット群管理、ティーチングデータ編集など。

### 3. ビジョンセンサ付アーク溶接ロボット RW-213

このロボットは昭和57年メカトロニクスショーに参考出品したロボットであり、現在社内で評価中である。従来、アーク溶接ロボット用非接触式センサとしては、渦電流式磁気検出式、アークセンサ、光学式及び複合式などあるが、いずれも一長一短がある。当社で開発した光切断法によるビジョンセンサは非接触、小形軽量、高速検出可能、左右・上下方向の視野を有しており、薄板の検出も可能であるなど、オフラインセンサながら多くのメリットを持っている。

#### 3.1 動作原理

一般に、溶接線とはワークの溶接する部分を称しており、通常は金属と金属の突き合わせ部分を言う。このセンサで検出可能な代表的な溶接線を図4.(a)に示す。このセンサに用いられる光切断法とは、これら溶接線に線状の光ビームを投影し、その反射光を検出器(光電変換素子)で受けて、溶接線の断画像を得る方法である。図4.(a)で矢印から溶接線を見た場合の反射パターン(断画像)を図4.(b)に示す。

図5.は動作原理を示す。まず高出力赤外線発光ダイオードから出る赤外線は、外光の影響を防ぐために、10kHzで変調された点滅光になっており、耐ノイズ性を高めている。この光は平行化レンズにより平行光線となり、スキャン用ミラーで左右に振られた線状のビーム光となる。ロボットを移動させ、このビーム光を溶接線に照射し、反射光を光学レンズを通して検出器で二次元の像として求める。図6.はこの結果得られる検出信号波形であり、V字開先の例を示している。この波形からみてわかるように、このセンサにおいては、他の方式と異なり溶接線からの左右方向の偏差のみならず、上下方

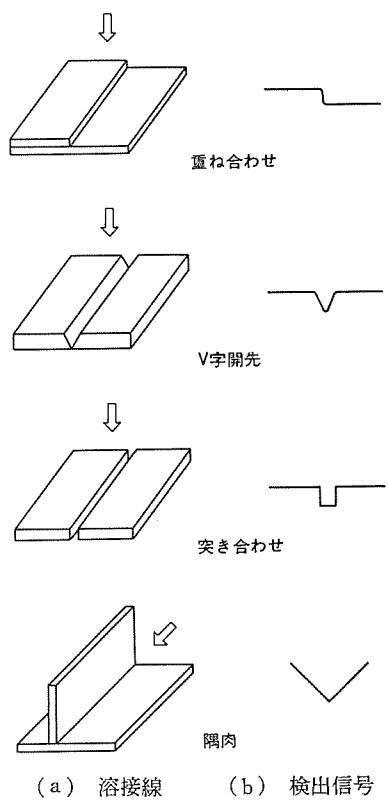


図 4. 溶接線の種類

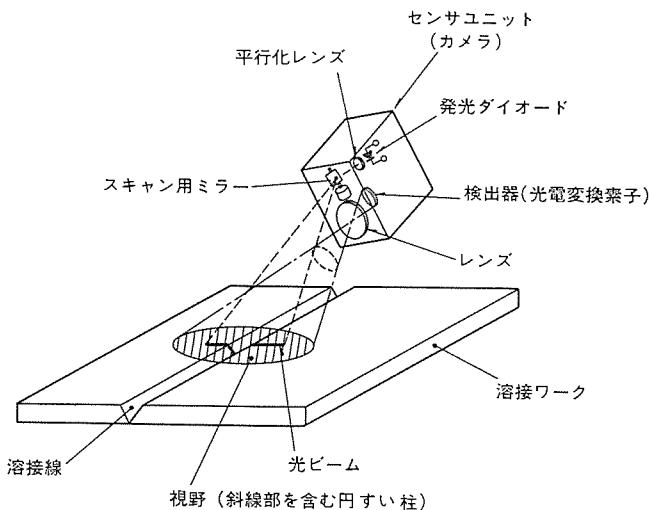


図5. 光切断法の原理

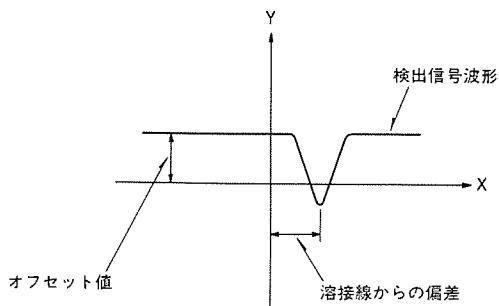


図6. 検出信号波形

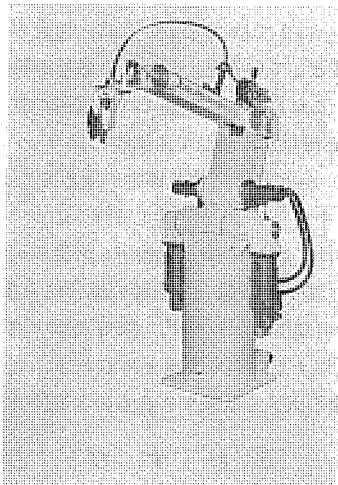


図7. ビジョンセンサ付ロボット本体 RW-213

向のオフセット値が得られることである。図7. はセンサユニットを取り付けたロボット本体の写真で、センサユニットがトーチ周りを回転可能な6軸ロボットである。

### 3.2 機能、仕様

#### (1) 自動位置決め機能(センサアプローチ)

視野内の溶接線に自動的にアプローチし、あらかじめ設定されたオフセット位置にきて停止する機能である。

#### (2) 自動追従機能(センサトレース)

視野内の溶接線を自動的に探し出し、検出した溶接線に沿って移動する機能である。

### (3) 自動経路補正機能(Automatic Path Correction: APC)

最初、ティーチングされた点から点へ移動しながら、ティーチ点と溶接線のズレを検出し、位置データを補正する。次いで補正されたデータに基づいて溶接する機能、オフラインの溶接センサに必要な機能、などを有する。

主な仕様は記憶数2,000点、プログラム数99点、センサ精度が±0.5mm、対象ワークは飼肉、重ね合わせ、V字開先などであり、黒皮、さび(錆)があっても検出可能である。

## 4. ロボット用アーク溶接機

### 4.1 ロボット用アーク溶接機に必要な機能

自動溶接専用機の場合もそうであるが、アーク溶接ロボットにおいても施工段階の最終評価は、用いる溶接機の機能や性能で決定されることが多い。一般にロボット用溶接機に限らず、すべてのアーク溶接機に望まれる性能としては、

- (1) 溶接速度が向上すること(溶接ビードが悪化しない状態で)。
- (2) スパッタの発生が少ないこと。
- (3) アークスタートが良好なこと。
- (4) 消耗品の寿命が長いこと。

が主なものとして挙げられる。

例えば溶接速度向上は、直接的に生産性向上につながるものであり、自動、半自動を問わず永遠に追及されるべきテーマである。しかしロボットの使われ方によっては、溶接速度向上よりも、むしろ(2)～(4)項が特に重視されることも少なくない。ロボットが量産ラインの一員として組込まれ、一定のサイクルタイムで稼働する場合には、仮りにロボット溶接の速度向上が可能であったとしても、他の前後の工程をも時間短縮できなければ無意味である。むしろ、このような量産ラインでは、いずれ発生するトラブルによるラインのストップ頻度を極力少なくすることが、現状では最も重要な課題となっており、この問題を解決することは、生産性向上に大きく貢献するものである。溶接工程において、溶接機が原因でラインがストップする代表的な例を挙げる。

- (1) ノズルへのスパッタ付着によるブローホールの発生
- (2) ワーク周囲の治具へのスパッタ付着による精度低下と、可動部への付着による損傷
- (3) チップの消耗によるチップ交換

チップ交換は始業時などに定期的に交換したり、最近では長寿命チップ(従来の3倍の寿命)(図8.)も開発しているので、大きなトラブルには発展しにくいが、スパッタ、特に治具や機械部へ付着したスパッタ

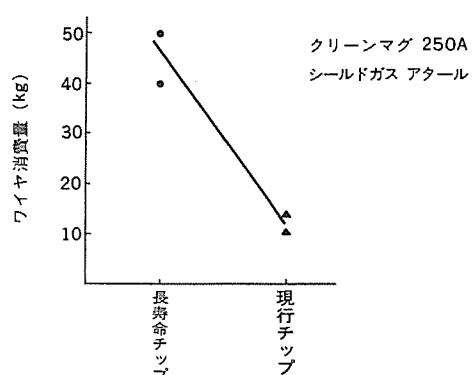


図8. 長寿命チップによるチップ1個あたりのワイヤ消費量の向上

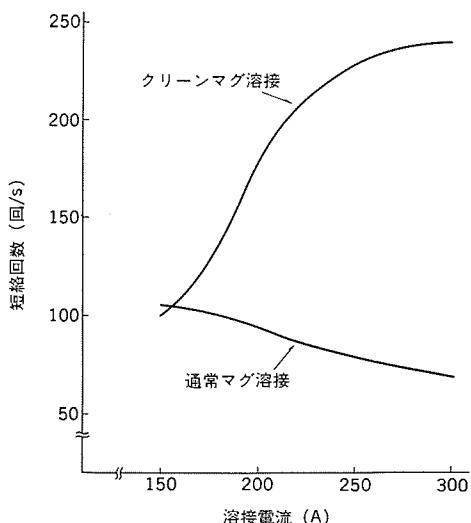


図 9. 《クリーンマグ》の最大短絡回数

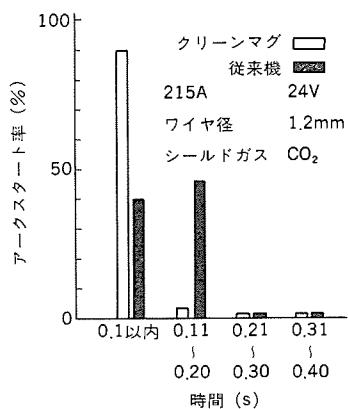


図 11. アークスタート率

タは、定期的に除去することはほとんど行われず、結果としてラインがストップするまで稼働させ続けることが多いようである。例えば自動車製造ラインのように、多くのラインが関連を持ちながら稼働する場合には、一つのラインの停止によって、他のラインへも影響を及ぼすこともあり、生産上の大きな損失となる。アーカスタート性もまたロボット溶接には重要である。量産を目的としたロボット溶接では、わずかのスタート不良でも短時間に大量の不良品を生産してしまう危険を常にはらんでいる。

アーカスタート性については、従来は定量的な評価があまり実施されていないようであるが、ロボット溶接を代表とする自動溶接では、瞬時スタート率の向上が今後重視されていくと考える。

#### 4.2 ロボット用溶接機《クリーンマグ III》

《クリーンマグ III》は、現在では半自動用としても、自動車、造船、鉄骨製造などの各方面で使用されているが、もともと当社のアーカ溶接ロボット用溶接機として開発されたものである。

《クリーンマグ》は、トランジスタ方式のパルスマグ溶接機であり、パルス電流とマグガスとの組合せにより、溶滴をスプレー移行させることによって、スパッタの発生を従来の炭酸ガス溶接機に比べ95~99%も減少できる画期的な溶接機であり、炭酸ガス溶接やパルスを用いないマグ溶接でスパッタの発生の多い中電流域(180~280A)の溶接に特に効果がある<sup>(1)(2)</sup>。《クリーンマグ》の原理については、既に本誌<sup>(1)</sup>に

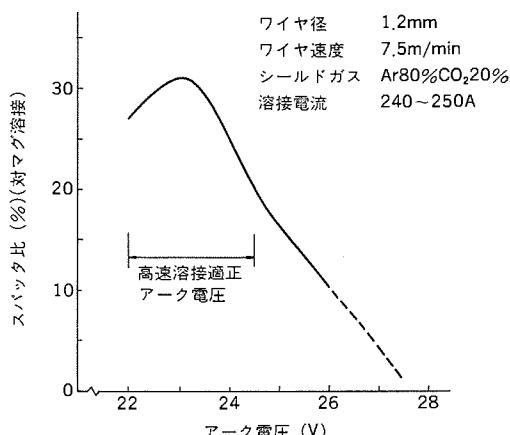


図 10. 《クリーンマグ》高速溶接時のスパッタの発生量  
(通常のマグ溶接を100とした場合)

掲載されているので説明は省略するが、ここでは、その他の特長である高速溶接化<sup>(3)</sup>とアーカスタート性の向上について簡単に紹介する。

#### 4.2.1 《クリーンマグ》の高速溶接

《クリーンマグ》は、もともとスパッタを激減させるために開発したものであり、スパッタを発生させながら溶接を行うことは、言わば《クリーンマグ》のタガとされてきた。

しかし、その後の研究成果では、中電流域で幾分アーカ電圧を下げて短絡移行的な溶接を行うと、ワイヤの短絡現象がパルス周波数と同

期し、図9.に示すように中電流域としては極めて高い短絡回数が実現できることが明確になってきた。その結果、2~3mm程度の薄板を1.5m/minの高速下で溶接しても、ハンピングビードやアンダカットの無い正常な溶接ビードが得られる。また、短絡移行溶接であるにもかかわらずスパッタの発生量は、図10.に示すように、従来のマグ溶接に比べても極めて少なく、高速化と低スパッタ化を同時に実現できる。実際にこの施工法は、自動車部品の溶接に実施され始め効果を発揮している。

#### 4.2.2 瞬時アーカスタート率の向上

《クリーンマグ III》のアーカスタート方式は、ワイヤが母材と接触した瞬間に、ワイヤ径によって定められた電流を一定時間流すホットスタート方式を採用している。従来機においても、この方式を採用しているものもあるが、クリーンマグではアーカスタート時の電流の立ち上がり速度を従来の5~6倍としているため、ワイヤと母材が接触後、瞬時にアーカへ移行する。これに対し従来機では、電流の立ち上がり速度が遅いため、ワイヤと母材が接触しても瞬時にはアーカは発生せず、完全に短絡したのちアーカに移行する確率が極めて大きいため、スタート時にアーカ切れやバーンバックが発生しやすい。

《クリーンマグ III》は、パルス溶接と炭酸ガス溶接が可能な兼用機であるが、このスタート方式は炭酸ガス溶接の場合にも採用しており、パルス電流の使用の有無にかかわらず、瞬時スタート率(通常は0.1秒以内)が約90%以上と大きく改善されており、スタートトラブルによって発生する不良を大きく低減できるものと期待される(図11.)。

## 5. むすび

アーカ溶接ロボット及び溶接電源の技術革新は激しく、外観に大きな変化は無くとも、機能は日進月歩で進歩している。ビジョンセンサ付ロボットについては、更に製品化を促進するとともに、ロボット及び溶接電源については、今後も顧客に満足していただける製品作りを目指していく所存である。

## 参考文献

- (1) 残栗ほか: 三菱電機技報, 55, No. 2, p. 17 (昭56)
- (2) 鶴飼ほか: 溶接技術(産報), No. 7, p. 34 (昭56)
- (3) 木谷ほか: 溶接技術(産報), No. 12, p. 57 (昭56)

# 炭酸ガスレーザ加工機

八木重典\*・吾妻健国\*\*・橘川 豊\*\*・丸山正彦\*\*・井上準一郎\*\*

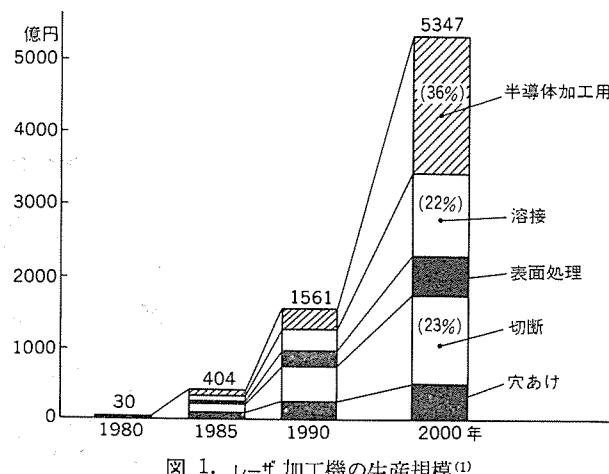
## 1. まえがき

レーザ加工機は、金属、非金属を問わず、各種材料の全く新しい非接触加工装置として産業界の脚光を浴び、欧米及び日本で急速に生産現場に導入されようとしている。生産規模の予測例<sup>(1)</sup>を図1.に引用した。主たる用途は、現在のところ金属切断、溶接、熱処理及び紙、ガラス、プラスチック類など非金属材料の切断であるが、今後半導体加工用その他の広い分野への応用が期待できる。

市販の炭酸ガスレーザは、数十Wから5kW以上の出力のものがあるが、レーザ出力が数百Wないし1kWの小出力機は、主として板厚が3mm前後以下の薄板板金及びプラスチックの切断用に、1~3kWの中出力機は、厚板切断及び金属の溶接用に使用されている。更に大出力のものは、鉄鋼の溶接又は焼入用などに用途開発が進められている。

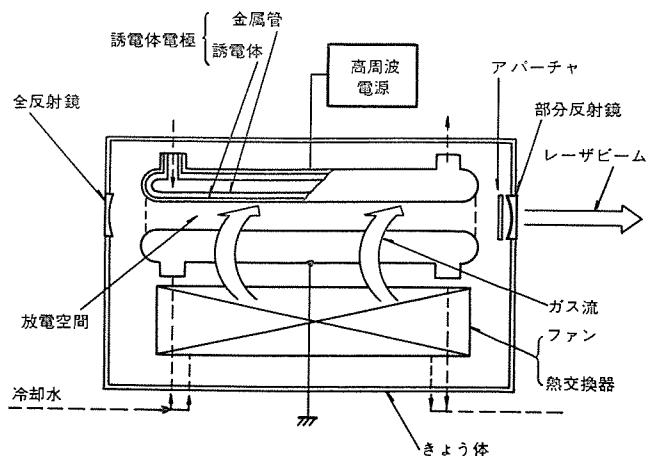
当社では、昭和42年に中央研究所で炭酸ガス(CO<sub>2</sub>)レーザの基礎的研究に着手して以来、独自の3軸直交形の高圧ガス封じ切り方式の開発を推進してきた。また、通商産業省工業技術院の大型プロジェクト“超高性能レーザ応用複合生産システム”的研究開発が、昭和53年にスタートすると同時に高出力レーザ発振器の開発メンバーとして参画し、国産炭酸ガスレーザ加工機の高出力化の研究を実施してきた。それらの成果を踏えて、当社は1kW級及び3kW級のSD(Silent Discharge)式レーザ加工機を製品化するとともにレーザによる先端加工技術の開発を展開している。

本稿では、当社のSD式レーザ加工機の概要を報告するとともに、加工テーブル及びNC制御を組合せたレーザ加工システム及び適用例について述べる。



## 2. SD式炭酸ガスレーザ発振器の特長

従来の炭酸ガスレーザ発振器は、バースト抵抗を接続した複数の金属電

図2. SD式CO<sub>2</sub>レーザの共振器構造

極間に直流グロー放電を発生させて、CO<sub>2</sub>分子を励起していた。しかしSD式炭酸ガスレーザ発振器では一対の誘電体電極の間に高周波無声放電を起こさせてCO<sub>2</sub>分子を励起する新方式を開発した。この際、誘電体のバースト効果によって、極めて均質で安定な放電領域が形成されるのでバースト抵抗が不要となる。また、放電電力の高速制御によって、レーザ出力の高速パルス化が可能となる<sup>(2)</sup>。SD式炭酸ガスレーザ発振器の共振器構造を図2.に示す。図において上下一対の誘電体電極に起る放電方向と、2枚の反射鏡の間で增幅されるレーザ光軸及び矢印方向に循環しているガス流方向は互いに直交し、いわゆる“3軸直交形”的構成をしている。

SD式レーザ発振器の電力投入は交流的であるが、レーザ上位準位レベルの寿命はガス圧150Torrで約60μs<sup>(2)</sup>で、5μsの100kHz放電間隔に比べて十分長いため、連続発振が可能となる。なお、断続的な連続発振を行うことにより、数kHzのパルス発振ができる。発振特性については、既に本誌<sup>(3)</sup>で報告したので省略する。

## 3. 1及び3kW級SD式レーザ加工機

### 3.1 発振器の概要

既にSD式を応用した1kW級レーザ発振器、形式ML-1Pを製品化しているが、今回新たにハイパルスの1kW級、形式ML-1PEと3kW級、形式ML-3Pレーザ発振器を開発製品化した。各機器の仕様を表1.に示す。

#### 3.1.1 1kW級ハイパルス発振器の特長

(1) 表1.に示すとおり従来の1kW級、ML-1Pに比べて、パルスレーザ出力特性が約2倍になっている。すなわちマルチモードにおいては、デューティ $\alpha_T$ が50%でレーザ出力2kW、シングルモードで1kWが得られている。同時にSD式の特長である高精度パルス発振を維持するため、放電電極の構造、高周波数電源及び高電圧高周波数変圧器などに種々工夫をしている。この結果、2kWまでの高精度高周波パルスが発振可能となっている。この結果、最大2kHzまでの

表 1. 炭酸ガスレーザ発振器仕様

形 式	ML-1 P	ML-1 PE	ML-3 P
共 通 仕 様	3軸直交形、無声放電励起式		
定格出力 CW (W)	マルチモード	1,000	1,000
	シングルモード (TEM00)	500	500
パルス出力 (W)	マルチモード	1,000	2,000
	シングルモード (TEM00)	500	1,000
パルス周波数 (kHz)	0~2	0~2	0~1
出力安定度 (%)	±5	±5	±5
ガス封じ切り時間 (h)	100	100	100

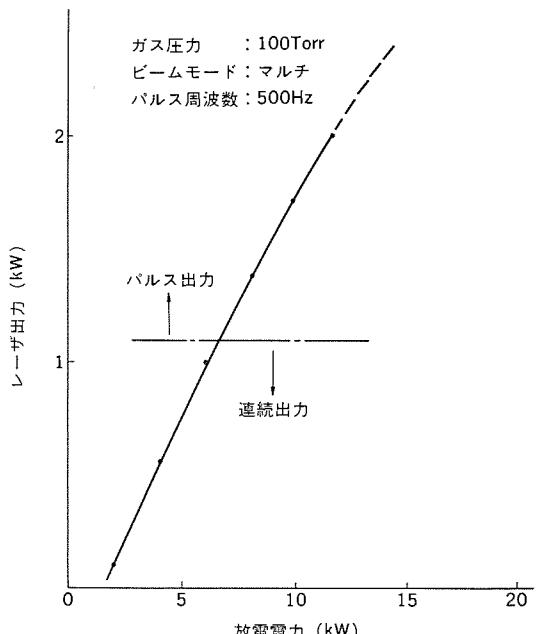


図 3. レーザ出力と放電電力特性

パルス発振が可能となり、図3.に示すようなレーザ出力と放電電力特性が得られている。高精度ハイパルス発振出力の特長を生かした用途として、金属の切断及び溶接の性能向上とともに、パルス周波数に同期して紙などの高速度穴明け加工などへ利用されている。

(2) 本機は構造的に従来の1kW級、ML-1 P形発振器の後部にハイパルス発振用電源を追加した外観となっており、全体としてコンパクトにまとめている。また、内部的には放電電極の電気絶縁の強化、発振特性改善の共振器機構を取り入れている。

### 3.1.2 3kW級発振器の特長

(1) 本機は1kW級、ML-1 P、ML-1 PE形発振器の上位機種として開発製品化しており、表1.に示すとおりレーザ出力がマルチモード連続で3kW、シングルモードで1.5kWが得られている。本機はSD式であるため、パルス発振が可能であり、パルス周波数1kHzで各モードの定格出力が得られている。

(2) 本機の構成はほぼ1kW級ML-1 P形と同一であり、共振器電源、プロワ及び排気装置などがレーザ出力容量に応じて大形化して

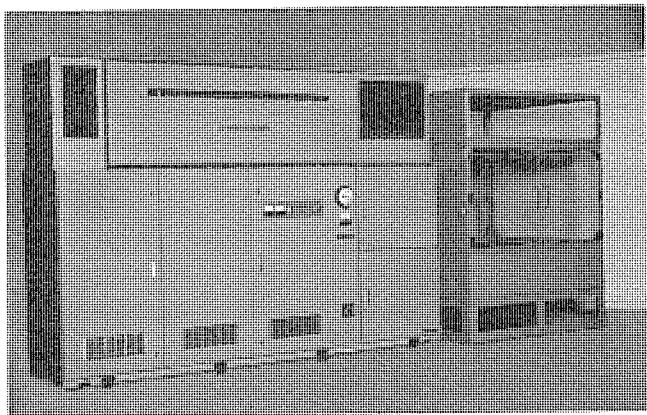


図 4. ML-3 P レーザ発振器

いる。特に放電電極本数はレーザ出力3kWにもかかわらず一対で構成している。図4.に示すように全体にコンパクト化、省スペース化が図られている。

### 3.2 加工装置

加工装置は、加工テーブルが移動するXYテーブル形と、加工ヘッドが移動する光走査テーブル形を基本としている。実用的には、被加工物の種類、形状、生産形態などを考慮して、被加工物の搬入搬出装置を付加するなどにより加工装置を形成している。

当社においては、既に加工範囲X軸650mm、Y軸500mm、2軸同時駆動のXYテーブル、形式6MXを製品化している。最近、レーザ加工技術の適用範囲が拡大し、より大きな寸法の被加工物から高速度、高能率に、多数の製品をレーザ加工する需要が高まっている。これら適用分野に対応して、光走査テーブル、形式25MHを開発、製品化した。以下、光走査テーブル25MHについて紹介する。

図5.に光走査テーブル、形式25MHと形式ML-1 P発振器の構成を示す。また、表2.に概略仕様を示す。レーザで材料を切断するには、材料表面にレーザの焦点を結び、その焦点を材料表面上で移動させる。これには焦点を動かす方法と、焦点はそのままで材料を動かす方法の二つがある。光走査テーブルは前者であり、次の利点がある。

- (1) ミラーとレンズを動かすので運動する機構の重量が軽いため、立ち上がり時間が短かくシャープな動作ができる。
- (2) 大きな材料を動かす必要がないので、フロアスペースが小さい。

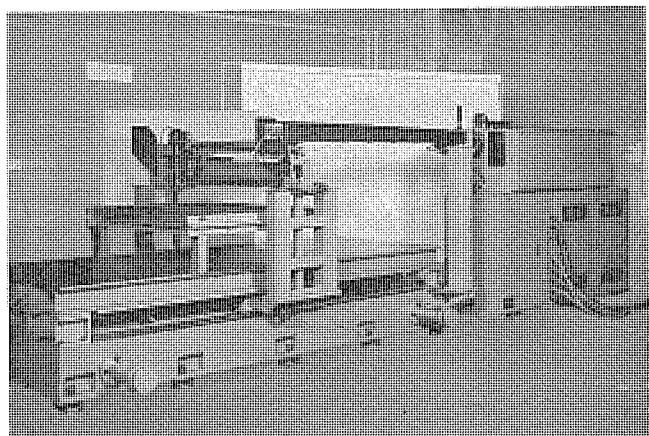


図 5. ML-1 P-25 MH 加工機

表 2. 光走査 テーブル 25 MH 仕様

光走査範囲 (mm)	X 軸	2,500
	Y 軸	1,300
テーブル寸法 (mm)	X 軸	3,500
	Y 軸	2,000
上下方向 (mm)	Z 軸	50
加工速度 (m/min)		10
早送り速度 (m/min)		15
位置決め精度 (mm)		±0.1/1,000

(3) 材料が重くても加工精度には影響しない。

このテーブルの光学系は、直交座標 3 軸 (X, Y, Z) の動作を行う。X, Y が水平面で Z 軸が垂直であり、X, Y 軸は NC 制御、Z 軸はアナログフィードバック制御である。レーザ光を動かす仕組は、動作する 2 枚のミラーと集光レンズである。1 枚のミラーが、X 軸上に放射されるレーザ光軸上を移動しながら X 軸に直角に、かつ水平にレーザ光を反射させる。この反射される光軸が Y 軸であり、この Y 軸上をもう一つのミラーがレーザ光を真下に反射させる。これが Z 軸となり、この Z 軸に集光レンズがあり被加工物の面に合わせて上下する。集光レンズの上下は、被加工物に接触するセンサによって制御される。レーザ加工機としての特別な問題は光の搬送にかかるもので、加工性能に大きな影響を与える。

25 MH の構造上の特長は次のとおりである。

#### (1) シンプルな加工テーブル

リニアガイドと加工ヘッド駆動用のボルトねじをテーブルの下に内蔵させ、加工テーブル面周辺からこれらメカニズムを除いた。

#### (2) 容易な被加工物の搬入搬出

(1)項の構造を採用するとともに、5 倍の伸縮比を有するテレスコープチューブを開発し、レーザ伝搬光路を覆ったため、加工が終了した後、加工ヘッドが X 軸の端部まで移動可能になり、被加工物の搬入搬出が全く自由自在である。

#### (3) 均一な加工精度

レーザ光の伝搬光路系に十分な配慮を施しており、加工テーブルの任意の位置において、均一な加工精度が得られている。

#### (4) 安全な加工作業

(a) 伸縮自在のテレスコープチューブ内にレーザ光を封じ込めている。

(b) レーザパワーモニタによる常時レーザ出力の監視を実施している。

(c) 操作盤による各種インタロックを考慮したシーケンス制御を実施している。

などにより加工作業における安全性の確保に努めている。光走査テーブルによるレーザ加工機の用途は、金属、非金属の切断加工、溶接など二次元平面の加工が基本であるが、Z 軸を NC 制御することにより、こう(勾)配のある被加工物の三次元曲面の加工も可能である。使用例としては、自動車ボディの溶接、航空機ボディの曲面切断加工、板金加工などであり、従来のプレス加工のように金型などを必要とせず NC テープにより任意形状の切断ができる特長があり、板金業界から注目されている。また、1 台の加工機で、治具の交換のみで切断と溶接加工が可能である。今後、自由曲面制御との組合せによる適用範囲の拡大が期待される。

### 3.3 システム構成

ML-1 PE 形 レーザ加工機の標準システム構成を図 6. に示す。また、システム構成の概要は次のとおりである。

(1) 加工装置と発振器の組合せは、任意機種間で可能である。また、特殊加工装置との組合せに対応した光学系各種装置をオプション化している。

(2) 加工テーブルと組合せる NC 装置には、レーザ加工機専用の操作ボードを内蔵し、レーザ加工に必要な各種加工条件の選定、X, Y, Z 軸の駆動などを行っている。レーザ発振に必要な混合ガスの制御、排気ガス制御、加工の入切などシステム制御を行う操作盤を有している。

(3) 高速度加工技術に特長のあるレーザ加工機では、NC 装置のテープ作成装置が不可欠である。自動テープ作成装置 ATP 及びディジタルなどをオプションとして準備している。

(4) 被加工物の搬入搬出装置と組合せる場合、装置間のインタロック、レーザ加工機からの加工動作入、切、完了信号などを、また搬入搬出装置から搬入出完了信号のインターフェースなどを NC 装置で容易に制御可能としている。

### 4. レーザ加工機の適用

レーザ加工機の生産ラインの導入は、あらゆる業界において急速に図られつつある。表 3. は、レーザ加工機の適用のねらいと、その分野を示す。

#### 4.1 切断

レーザ切断は金属の切断に広く使われている。最近、金属の切断においては、寸法精度、面精度に対して厳しい要求がなされる。寸法精度については、±0.05 以下を要求される場合もあるが、切断時の燃焼現象のばらつきにより限界がある。図 7. は、レーザ切断面の表面状態を示したものである。4.2 mm の SPC 材を、1.5 m/min の加工速度で切断したものである。切断面の上面 1/3 程度は、表面粗さ 7~8  $\mu$  であり、プレス切断では得られない良好な切断面である。レーザ切断面粗度の向上により、機械加工の代替としてのレーザ加工適用分野が、更に今後広がるであろう。複雑形状の板金加工には、レーザ切断は大きな威力を発揮する。しかし多量生産の場合には、金型によるプレス加工の方が有利となることが多い。レーザ加工により、簡易打抜金型を製作する方法

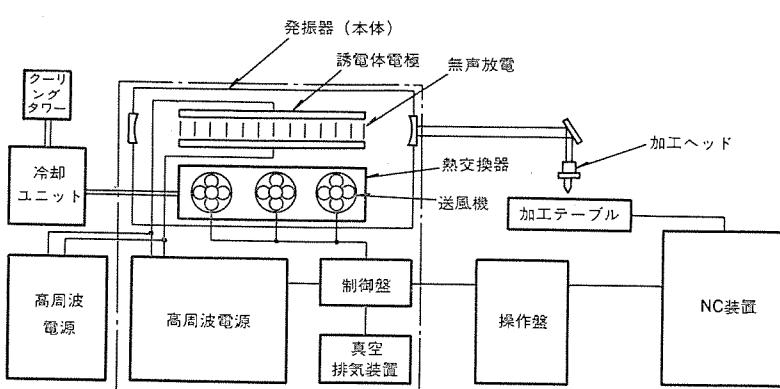


図 6. SD式 ML-1 PE形 CO2 レーザ加工機の標準システム

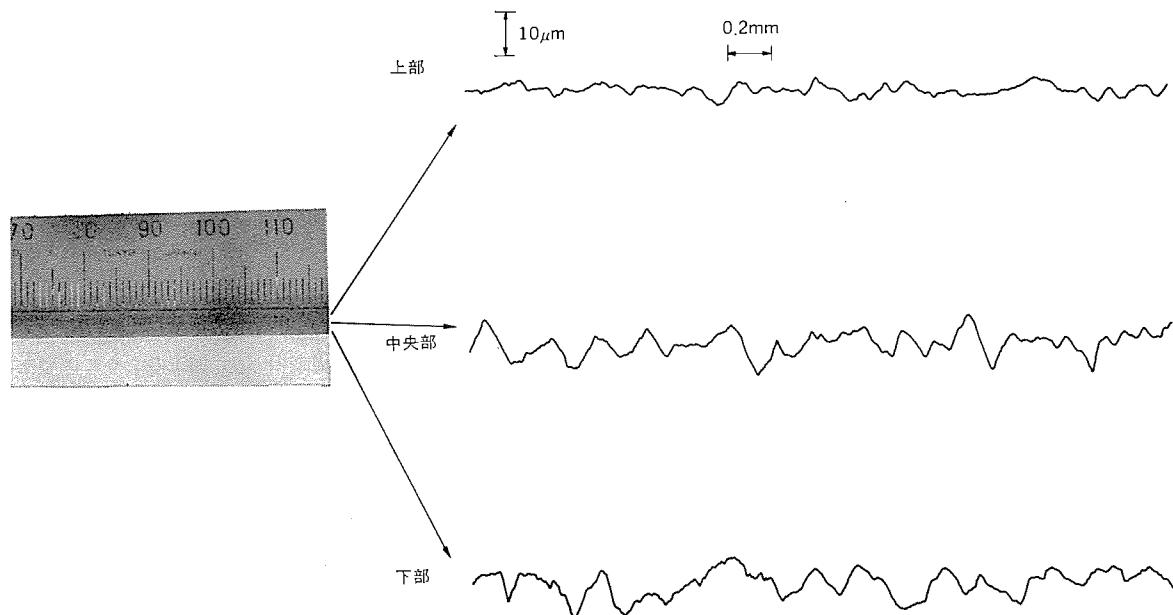


図 7. 切断面の状態

表 3. レーザ加工機の適用

適用のねらい	効 果	適 用
切 断	難切削材料の切断	<ul style="list-style-type: none"> <li>工具費の削減</li> <li>加工時間の短縮</li> <li>切断面品質の改善</li> </ul>
	新しい切断方法の導入 (非接触による熱加工)	<ul style="list-style-type: none"> <li>切断面品質の改善</li> <li>加工ラインの合理化</li> <li>作業環境の改善</li> </ul>
	プレス加工の出来ない小ロット板金加工	<ul style="list-style-type: none"> <li>特殊形状板金</li> <li>工具費の低減</li> <li>納期の短縮</li> <li>切断面精度の向上</li> </ul>
	機械加工の代替	<ul style="list-style-type: none"> <li>精密機械の板金部品 (SPC, ステンレス鋼など)</li> <li>試作部品, ブランク材</li> <li>機械構造部品 (歯切り, スリット, 穴開加工)</li> <li>簡易打抜金型の製作</li> </ul>
溶接	溶接歪の低減	<ul style="list-style-type: none"> <li>仕上工程の省略</li> <li>新製品に対応できる</li> </ul>
	溶着金属の加工特性が良い	<ul style="list-style-type: none"> <li>溶接部に対して曲げ, 絞り, 圧延などの加工が可能</li> </ul>
	高速溶接	<ul style="list-style-type: none"> <li>生産性の向上</li> <li>溶接ビード幅を小さくする</li> </ul>
	溶接部を小さくねらう	<ul style="list-style-type: none"> <li>特殊形状溶接</li> </ul>
	複合生産システムへの導入	<ul style="list-style-type: none"> <li>生産性の向上</li> </ul>
熱処理	熱処理加工のオンライン化	<ul style="list-style-type: none"> <li>生産工程の合理化</li> </ul>
	熱処理歪の低減	<ul style="list-style-type: none"> <li>歪取り・研磨時間の短縮</li> </ul>
	極部加熱	<ul style="list-style-type: none"> <li>高周波加熱の出来ない部分への加熱が可能</li> </ul>

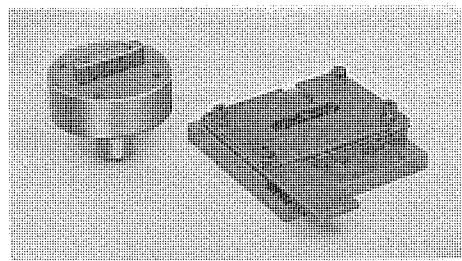


図 8. レーザ切断による簡易打抜金型

がある。

図 8. はレーザ切断による試作打抜用の金型である。従来のワイヤカットによる方法に比べて、刃部の切削加工時間は大幅に短縮される。レーザ切断面の焼入効果により、熱処理工程も省略できる。難切削材料もレーザ加工により、切断されるものが多い。複合材料、セラミックなどを目的に応じてユーザー側により、各種形状に切断して使用できる。難切削材料の切断には、熱変質層、割れなどの問題もあるが、加工技術の開発により、対応されるであろう。

また、3 kW 級のレーザ加工機による厚物切断については、マルチモードの場合、板厚 15 mm 程度まで適用できるが、スタートティングホールのガウジング対策などが必要となる。

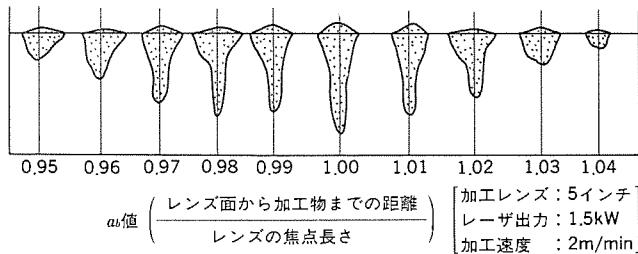
#### 4.2 溶接

溶接ひずみ(歪)の少ない溶接方法として、レーザ溶接が検討される場合が多い。電子ビーム溶接と同程度の歪とみてよい。レーザ溶接の P/W 比(溶込み深さ/溶接ビード幅)は最大 3~4 であるが、電子ビーム溶接に比べて、洗浄工程の簡略化・真空室を必要としないなどの利点により、自動車関連部品の溶接ラインへの導入の検討がされつつある。

レーザ溶接適用のもう一つのねらいとして、溶着金属部の加工特性が良好なことがあげられる。レーザ溶接は、熱影響部が極めて小さいために、溶着金属部に対してさまざまな加工を施すことができる。例えば、曲げ、絞り、圧延などの加工を、かなり自由に行える。従来は、加工を必要とする大物プレス品製作の場合、高級材料を全面に使用するが、レーザ溶接により高級材料と低級材料を接合して、一

表 4. レーザ加工条件の代表例

切 断				溶 接				熱 处 理			
材 質	板 厚 (mm)	出 力 (kW)	加工速度 (m/min)	材 質	板 厚 (mm)	出 力 (kW)	加工速度 (m/min)	材 質	硬 化 層 (mm)	出 力 (kW)	加工速度 (m/min)
SPC	0.5	0.45	8.0	SPC (突き合わせ)	1.0	0.85(マルチ)	2.5	FC 25	0.4	2.5	2.5
	1.0	0.32	1.5		2.3	3.0(マルチ)	3.5	〃 (チル化)	0.25	3.0	1.0
	3.0	0.45	1.3	SUS 304 (突き合わせ)	1.0	1.0	2.5	FCD 50	0.45	3.0	1.5
	9.0	2.5	1.3					SNCM 8	0.3	0.8	2.7
ア ク リ ル	2.0	0.1	4.0	SPC (重ね)	0.8	1.0	2.4				
セ ラ ミ ッ ク	0.8	0.1	0.5	SS+304	3.0	2.0	1.0				

図 9. 溶接溶込み形状と  $\alpha_b$  値との関係

枚板を作る方法に変更でき、材料費の低減が図れる。レーザ溶接は、低歪高速溶接が可能があるのでメリットは十分に出る。板厚の異なるもの同士の溶接もかなり対応できる。ただし、突き合わせ溶接を行う場合、ギャップは原則的に 0.1 mm 以下が望ましい。ギャップの大きいときはフライメタルが必要となる。被加工物とレンズ焦点面とのズレによる溶込み深さの変化は、図 9. に示すとおりとなる。5 インチ加工レンズ使用の場合、±2 mm 程度は許容される。

#### 4.3 熱処理

レーザ熱処理は冷却剤を要せず、また一般的に焼もどし工程も省略するので、オンライン化の検討がやりやすい。レーザ加工機の採用により、溶接と熱処理を結合した複合生産システムも考えられる。高周波焼入に代わって、広く適用される可能性を秘めているが、現状では、機械・自動車製造ラインにおいて検討段階である。特に、鋳鉄の付加価値向上のための熱処理にまず適用されるであろう。

#### 4.4 加工条件

レーザ加工を行うに当たっては、目的に応じた加工条件を選定しなければならない。表 4. にレーザ加工条件の代表例を示す。レーザ加工技術は、今後もレーザ加工機が市場に広まるにつれて飛躍的に向上するであろう。

#### 5. む す び

SD 式炭酸ガスレーザ加工機として、レーザ出力 3 kW まで、また SD 式の特長を生かしたハイパルスレーザも製品化した。加工装置として、光走査テーブルを製品化しレーザ加工機の適用範囲を拡大した。

一方、レーザ加工技術について、既に多数の実用例を得ており、SD 式炭酸ガスレーザ加工機が広く実用化されていることからわかる。今後、これまでの技術蓄積を基に、更に高性能レーザ加工機の開発と加工技術の研究をしてゆく所存である。

#### 参 考 文 献

- (1) 日経メカニカル: 始まった生産ラインへの導入 1980 年代の 10 年間で市場は 50 倍に, 8-30 (昭 57)
- (2) 八木, 田中, ほか: 無声放電励起 CO<sub>2</sub> レーザ, レーザ研究, 10, No. 5 (昭 57)
- (3) 田畠, 八木, ほか: 無声放電励起 (SD) 式炭酸ガスレーザ加工機, 三菱電機技報, 56, No. 5 (昭 57)
- (4) 中川, 鈴木: レーザ切断による抜型の製作, 生産研究, 32, No. 11

## 金型加工における電気加工機

小林 和彦\*・高 驚 民 生\*\*・荒 槙 淳\*\*・大 丸 隆 正\*\*

## 1. まえがき

日本経済の急速な成長の基盤となったのは、自動車、電気製品の大規模生産であったと考えられるが、この背景には、金型による量産技術のめざましい進歩があった。この傾向は今後余程の技術革新でもない限り続くものと思われる。しかし、現在のように低成長時代に入ると消費者も多様化指向になり、また企業間の競争も一段と激化し、商品開発のテンポが大幅に短縮され、その結果金型生産の短納期化に対する要求も強まってきた。

一方、製品価値を高めるとともに、製品の生産性を向上させるには金型の精度向上とコストダウンが重要課題となり、近年 NC 工作機械の導入が盛んになったのも、その理由をここに求めることができる。さて、NC 工作機械はマシニングセンターのように、同時に 3 軸から 5 軸制御になると、NC テープを作成する技術的困難性は急激に増加するので、計算機の支援なしにはほとんど不可能になる。ここに CAD/CAM の必要性が生じる。電気加工機（形影放電加工機、ワイヤカット放電加工機）は、それ自体で自動機械であり、省力化機械として金型加工に導入されてきた。最近の NC 放電加工機のように ATC 付属 4 軸同時制御機能も持つようになり、一段と高精度、高能率加工が可能になっている。本稿では、金型加工が抱える現状の問題点の分析と、これらを解決すべく開発された最新技術を盛り込んだ電気加工機について述べる。

## 2. 金型加工における現状と問題点

多量生産の最も有効な製作法は、塑性加工をおいてほかにない。プレス・ダイカスト・鍛造・铸造・プラスチックス・ゴム・ガラスなどで生産される自動車・家庭電器・通信機・カメラ・時計・コンピュータ部品も、金型があって初めて量産が可能となる。また統計資料によれば、金型生産は自動車、テレビの生産額にほぼ比例して成長していることからも金型の役割が推察できる。現在、未来の材料革命として、ニューセラミックスが話題を呼んでいるが、この材料の製品化も金型がなければ量産は不可能である。このように、今後ますます金型の重要性は増していくものと思われる。

ところが、数十万個、数百万個の部品を生産する金型も一品受注生産であるから、金型生産方式は以前とそれ程変わっていない。電気加工機や NC による自動化・無人化が現在進められているが、まだフライス盤などによる切削加工もかなり多く使われている。また、プラスチックモールド金型では加工面の磨き作業が入るため、特に精密・複雑な金型で鏡面を要求されるものでは、磨き作業が全工数の 30~50% に達するものもあると言われている。これに対し材料費は、平均して 20% 位であるから、残りの 80% が設計費も含めた人件費その他（賃料費、経費など）になり、人件費の占める割合がかなり大きい。この辺りに、NC 化、CAD/CAM 導入の利点があると考えられる。しかし問題は金型が一品受注生産だけに、NC 化、CAD/CAM 化がコストアップとなるか、コストダウンになるかは、これをど

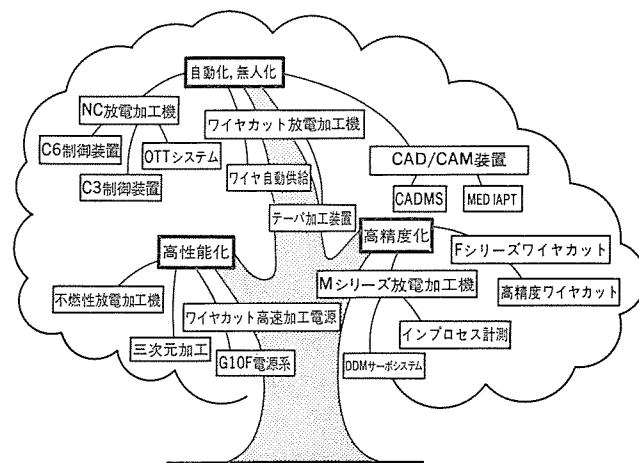


図 1. 金型加工における電気加工技術

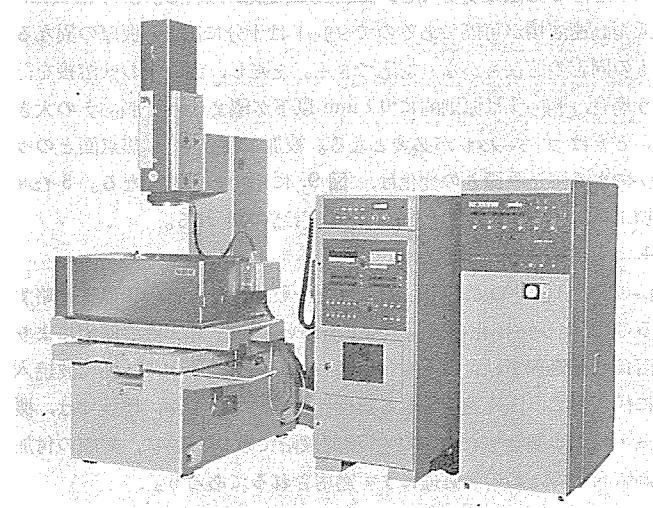


図 2. 不燃性放電加工機 M 35 W-G 60-C 5

れだけ効率よく稼働させ、生産性を向上することができるかにかかっていると思われる。図 1. に金型加工における電気加工技術を示す。

また、低成長時代に伴う商品開発サイクルの増加により、金型の納期の短縮が要求され、安全に夜間無人運転が可能なワイヤカット、不燃性放電加工機（図 2.）を用いて短納期化を図る必要がある。更に、高精度の金型は熟練した技能が必要であるが、最近は熟練技能者が不足しているため、テープさえ正しく作っておけば、熟練者以上の加工ができる加工ミスもほとんど生じない。NC 工作機械や NC 放電加工機（あるいはワイヤカット放電加工機）の導入が盛んになっているのもこのゆえんである。

以上のように、金型加工業界で現在問題となっていることは、金型加工のコストダウン、短納期、そして高精度化であると言えよう。これらを解決するためには NC 機械の導入と、これに付随して

検討される CAD/CAM が、今後金型加工においてどのように生かせるかが、企業にとって重要な関心事であろう。次に当社が上記問題点を解決すべく開発した NC 放電加工機、ワイヤカット放電加工機、NC テープ作成装置について述べる。

### 3. C 6, C 3, M シリーズ放電加工機

形態放電加工機は、従来より制御装置として C 5, C 2 シリーズ、機械本体として DK シリーズを発売してきたが、今回、放電加工機の本格的な NC 化時代に対応し、制御系を C 6, C 3 シリーズへ、また機械系を M シリーズへとそれぞれグレードアップした。

#### 3.1 C 6 シリーズ NC 放電加工機

C 6 シリーズは当社の最上位機種として、16 ビット CPU を 4 個使用したマルチ CPU 構成により、NC 放電加工機に求められる高度な機能を満足している。自動位置決め、自動計測、直線・円弧補間、ATC 機能などを備え、通常加工から輪郭加工、三次加工まで、幅広く対応可能な本格的な NC 放電加工機である。更に、それらの高度な機能を容易な操作で十分発揮できる自動プログラム的なソフトウェア“SDI”（シンプルデータインプット）をも備えている。C 6 シリーズの外観を図 3. に、またその主な仕様を表 1. に示す。

C 6 シリーズの主な機能及び特長は次のとおりである。

##### (1) 大形 14 インチカラー CRT の搭載

放電加工機としては、世界で初めて大形カラー CRT を採用し、操作性、視認性を大幅に向上した。14 インチの大きなスクリーンに、同時に

表 1. C 6 シリーズ 制御装置の仕様

入制御	御	軸	力	MDI/紙テープ/外部
補	軸	軸	数	4 軸同時
指	令	単	間	直線、円弧、ヘリカル
加	工	電	位	1 μ (2/1,000°)
表	示	装	源	一体組込み
メ	モ	設	置	14" カラー CRT
接	統	機	リ	IC メモリ・バブルメモリ
	統	機	器	紙テープパンチ
外制御	部	I/F	能	カセットテープ
	御	機		RS 232 C
制御方式	方	式		自動計測
				変数・演算機能
				ユーザー・マクロ
				ワーク座標系
				原点復帰（ドグ式、メモリ式）
				径補正（交点計算形）
				DC モータ、クローズドループ

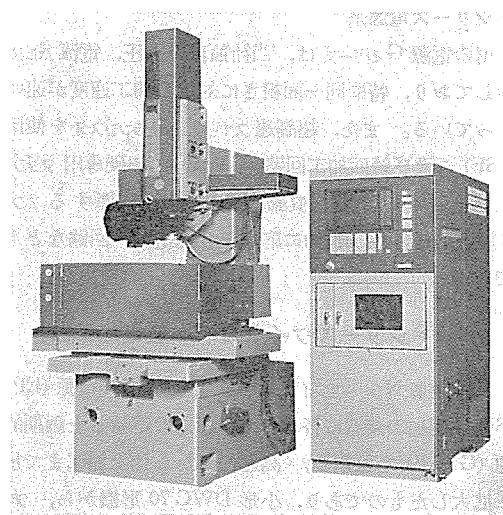


図 3. C 6 シリーズ NC 放電加工機 M 35 C 6+G 30 P

に見たいデータを一括して表示するとともに、注目すべき部分は赤、表題は緑、データは水色、入力データは黄色、などと使用色を区別することにより、大量の情報でも極めて見やすく設計されている。

##### (2) ソフトキー 使用の多機能操作パネル

カラー CRT の威力を十分に引き出すソフトキーを採用し、パネルをエレクトロニクス化した。これにより、従来の NC 操作パネルにありがちな複雑なイメージを一新し、極めてシンプルなパネルを実現した。スイッチに対する機能は、必要に応じてスイッチの横の CRT スクリーンに表示し、ほとんどの機能を CRT に集中して操作性の向上を実現し、併せて信頼性の向上も図った。

##### (3) 三次元形状 サーボによる加工性能の向上

サーボ専用に 16 ビット CPU を使用し、ダイレクトドライブ電動 CPU サーボを実現し、これにより X, Y, Z 軸をすべて等価にサーボできるようになり、特に任意方向の同時 3 軸サーボの加工性能が飛躍的に向上し、放電加工機による輪郭加工、三次元形状加工の可能性を一段と高めた。

またサーボ CPU は、時々刻々変化する極間を常に監視しており、このことによりソフトウェアによるきめの細かい適応制御が可能となり、同時に加工安定度、有効放電率、極間汚濁度など、数多くの加工状態モニタ表示が可能となっている。

##### (4) 制電一体型制御装置

従来、別々の筐体であった加工用電源と NC 装置を一体化し、専有床面積を減らして省スペース化を行った。

##### (5) 簡単な入力で複雑な加工が可能な“SDI”の装備

放電加工に必要な電極縮小しろ、最終面粗さ、使用電極数、振動加工パターンワークと電極の位置決め方法など、幾種類かの加工パラメータを入力するだけで、位置決めから電気条件の設定・変更、電極交換までの一連の工程を自動的に行う“SDI”を装備し、通常の加工パターンであれば NC プログラムの作成が不要となった。また、このパターンは代表的なものが標準で装備されるが、ユーザー側にて編集し、作成、登録することも可能である（テープ長で 100 m が標準装備）。

##### (6) 最新のエレクトロニクス技術による高い拡張性

(a) 512 K バイト (RAM) 実装により、ソフトウェア拡張・変更が極めて容易である。

(b) 最大 1 M バイトのバブルメモリが装備可能で、大量のユーザーデータの保存が可能である。

(c) DNC, FMS など FA (ファクトリーオートメーション) に必要なコンピューティングが、外部インターフェース (RS 232 C) により可能である。

(d) 外部機器として、パンチ、カセットテープ、プリンタなど、豊富な装置が接続可能である。

### 3.2 C 3 シリーズ NC 放電加工機

C 3 シリーズは、従来の手動タイプの簡便さを生かしつつ、更に NC 機としての特長を持たせた機種であり、最小限の操作で、NC 機の持つ高い機能と高度な自動化が実現できる。C 3 シリーズ制御装置の外観を図 4. に示す。

C 3 シリーズの主な機能及び特長は次のとおりである。

##### (1) CRT による加工指令入力 (CRT+FDI)

NC 機でありながら、NC 言語を一切使わず加工手順に沿った必要最小限のデータ、例えば X, Y, Z の座標値、電気条件のコード、振動半径などを入力するだけで NC 放電加工ができる。しかもデータの入力は、CRT に表示されたプロセシング上の必要な場所に、数値をキーインするだけの“FDI”（フレキシブルデータインプット）方式を採用して

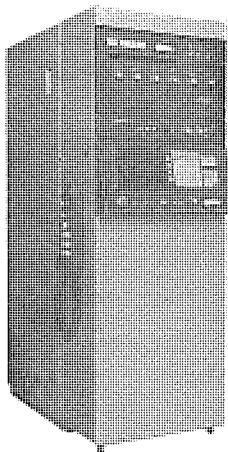


図 4. C3 シリーズ NC 放電加工機制御装置

** PROGRAM **					
N	01	02	03	04	05
X	+10000		-1000	-1100	-1180
Y	+10000				
Z					
C					
U					
V					
W					
B					
R					
D					
E					
F					
S					
T					
M					
P					
*					
					END

図 5. プログラム画面

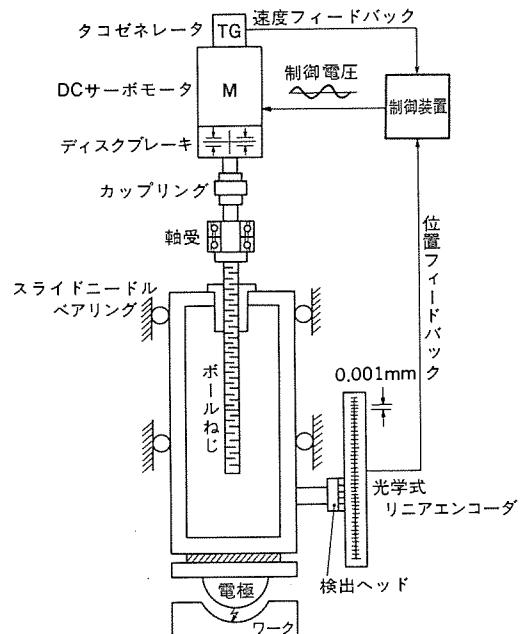


図 6. DDM サーボシステム

表 2. M シリーズ 機械系の仕様

No.	形名 諸元	M 25	M 35	M 55	M 75
1	加工槽内寸法 (幅×奥行×高) (mm)	620×480×310	800×550×330	1,000×650×430	1,300×830×500
2	最大工作物重量 (kg)	150	500	1,000	3,500
3	テーブル寸法 (幅×奥行) (mm)	500×250	700×500	800×600	1,000×700
4	テーブル左右移動 (mm) 行程	250	350	450	550
5	テーブル前後移動 (mm) 行程	200	250	350	400
6	主軸サーボ送り行程 (DC モータ) (mm)	250	250	250	450
7	電極取付面とテーブル面との距離 (mm)	430~180	500~250	600~350	930~480
8	最大電極重量 (kg)	30	75	200	500
9	機械本体寸法 (幅×奥行×高) (mm)	1,165×1,285×2,370	1,718×1,818×2,495	1,983×2,118×2,595	2,230×2,330×3,605
10	機械本体重量 (kg)	1,000	2,500	3,500	5,500
11	加工液供給装置容量 (l)	300	400	600	1,800
12	補機入力 (kVA)	1.5	3.5	3.5	4.5

注 機械本体寸法及び補機入力は C6 シリーズを示す。

### 3.4 G シリーズ電源系

放電加工用の電源 G シリーズは、当社独自の電圧、電流 パルス一定方式を採用しており、特に同一面粗さに対する加工速度が速いという特長を持っている。また、超高速スイッチングトランジスタを使用した仕上回路 (SF)，及び鏡面加工回路 (GM 10)，超硬専用アダプタ (SH)，超低消耗アダプタ (SL 3)，無噴流加工に威力を発揮するオプティマイザ (OP 3 M) など、加工目的に応じた各種電源、回路なども豊富に用意している。

### 4. F シリーズワイヤカット放電加工機

F シリーズは、従来 N シリーズワイヤカット放電加工機の電源 (EP 10 HB) 及び新 SU 高速加工装置に替わって、新たに開発した画期的な高速加工電源 (G 10 F) を採用し、高速加工から仕上加工まで加工範囲を大幅に拡大したものであり、小形 DWC 70 形機から、大形 DWC 200 形、及び高精度 DWC 90 P 形機まで、全 5 機種に適用した。

またこのシリーズは、数多くの新機構を採用し、しかも豊富な自動化、省力化機能のいくつかを標準装備するなど、より使いやすくなった高能率ワイヤカット放電加工機である。

図7はFシリーズ大形機 DWC 110 FCNC 1形の外観写真である。

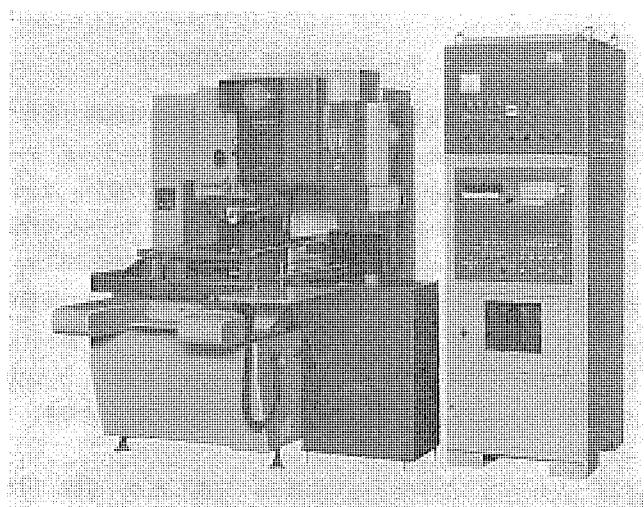


図7. 大形ワイヤカット放電加工機 DWC 110 F CNC 1形

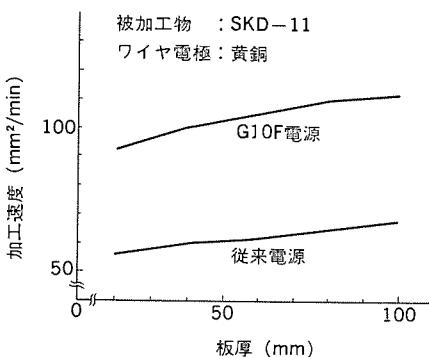


図8. 板厚対加工速度特性

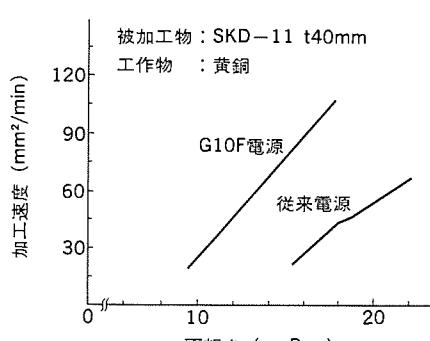


図9. 面粗さ対加工速度特性

#### 4.1 高速加工電源 (G10F) の特長

##### (1) 最大加工速度 $110 \text{ mm}^2/\text{min}$ の実現

独自の高速加工回路を採用し、放電効率を向上させることにより、高速加工が可能となった。この加工速度は、工作物材質が SKD-11、硬度 HRC 60 に焼入れした板厚 80 mm のダイス鋼で、 $\phi 0.25$  の黄銅ワイヤを使用しての形状加工における平均最大加工速度 ( $110 \text{ mm}^2/\text{min}$ ) である。図8. は工作物板厚に対する加工速度特性である。

(2) 面粗さ対加工速度が従来に比べ約 2 倍に向上 (当社比) 放電繰返し周波数を増大させることにより、同一加工面粗さに対する加工速度が大幅に向上した。図9. は面粗さ対加工速度特性である。

##### (3) 最良面粗さ $2 \mu\text{m R}_{\text{max}}$ の実現

G10F 電源には仕上加工回路を内蔵しており、微少電流加工領域を一段と拡大し、最良面粗さ  $2 \mu\text{m R}_{\text{max}}$  の加工が可能となった。これにより、仕上加工工程の短縮・削減ができると同時に、精度の高い加工が得られる。また、微少電流をきめ細かく制御できるため、細線ワイヤ電極 ( $\phi 0.05 \sim \phi 0.08 \text{ mm}$ ) による微細加工も、より安定して行うことができる。

##### (4) ワイヤ切れのない安定加工が可能

安定化回路の採用により、工作物材質、板厚、ワイヤ電極径に応じて最適の条件で加工ができる、短絡、ワイヤ切れなどを未然に防止するなど、安定した加工が可能である。

#### 4.2 Fシリーズ機械系の特長

従来シリーズの高い剛性、熱影響を考慮した機械本体をベースに、数々の高速・高精度化に対応した新機構を装備したもので、次のような特長がある。

(1) 放電加工区域への加工液供給部には、独特的の上下同軸噴流機構を採用し、加工チップの排出を効率よく行うことができるため、

表3. DWC Fシリーズ機械系の仕様

項目	DWC 70	DWC 90	DWC 110	DWC 200	DWC 90P
機械本体	最大工作物寸法 (幅×奥行×高さ) 参考 (mm)	350×350×100	350×400×100	550×600×150	650×750×200
	工作物最大重量 (kg)	100	100	400	700
	テーブル寸法 (mm)	420×365	420×470	600(左右)×600(前後) L形	600(左右)×800(前後) L形
	テーブルストローク (X-Y) (mm)	250×200	250×300	385(左右)×550(前後) L形	385(左右)×550(前後) L形
	テーブル早送り速度 (mm/min)	200	200	200	800
	使用ワイヤ径 $\phi$ (mm)	0.05~0.25	0.05~0.25	0.05~0.25	0.05~0.25
	最高ワイヤ送り速度 (mm/s)	180	180	180	180
	ワイヤ張力 (g)	200~2,000	200~2,000	200~2,000	200~2,000
	本体外形寸法(幅×奥行×高さ) (mm)	1,505×895×1,605	1,620×1,015×1,605	1,730×1,995×1,785	1,870×2,670×1,900
加工液供給装置	本体重量 (kg)	650	850	2,550	3,200
	据付面積 (幅×奥行) (mm) (除余裕)	CNC 1 2,660×2,200	CNC 2 3,660×2,200	2,450×3,350	3,300×3,750
加工液供給装置	加工液タンク容量 (l)			300	800
	外形寸法 (幅×奥行×高さ) (mm)			1,315×700×1,215	1,650×990×1,300
	ろ過流量 (l/mm)			20	20
	ろ過精度 ( $\mu$ )			3	3
	フィルタエレメント			カートリッジ式紙フィルタ	カートリッジ式紙フィルタ
	純水器			イオン交換樹脂 5l	イオン交換樹脂 10l
加工液比抵抗制御				$(0.5 \sim 100) \times 10^4 \Omega \text{ cm}$	$(0.5 \sim 100) \times 10^4 \Omega \text{ cm}$

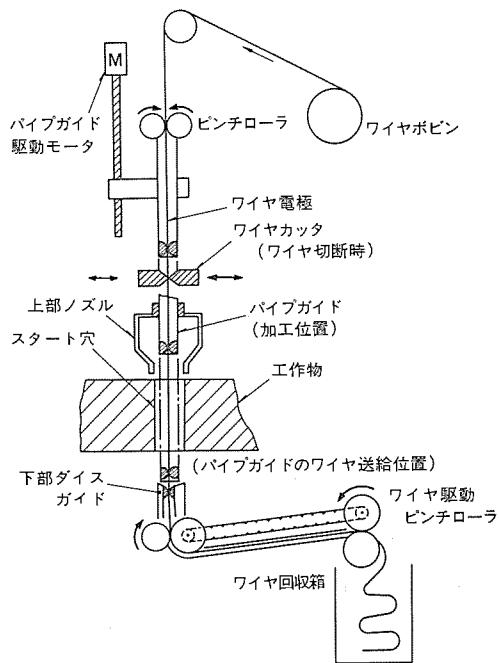


図 10. ワイヤ自動供給装置の概略機構

放電間隔(隙)精度を高め、高速、高精度加工が可能である。

(2) 加工液冷却用にファンクーラーを標準装備し、常に液温が室温と同一に保たれるので長時間にわたる高速加工も安定して、精度よく行うことができる。

(3) 高速・高精度加工に対応し、ろ過精度の高い新形高容量の加工液用紙フィルタを採用し、しかもデュアルで使用する方式としている。これにより、高速加工にもかかわらずフィルタ交換のインターバルは長く、保守が容易となっている。また使用ワイヤは、回収箱へ収納する方法を採用しているので、長時間のワイヤ回収が容易となっている。表3.にFシリーズの機械系仕様を示す。

#### 4. 3 ワイヤ自動供給装置

独特のパイプガイド方式による当社ワイヤ自動供給装置は、工作物の加工スタート穴にワイヤを自動的に通し、段取り時間の削減を図ったり、また順送型のような多数個取り加工などを人手を介すことなく連続的に行う装置で、高能率の自動化装置として従来より好評を得てきたが、今回、高速Fシリーズ化に伴い、数々の新機構を加え信頼性の向上とともに、仕様的にも大幅に向上させたもので、より使いやすくなった。この装置の概略機構を図10.に示す。

工作物のスタート穴がパイプ径よりも大きなものについては、パイプガイドを下部ダイスガイドまで駆動し、ワイヤを送給する。スタート穴がパイプ径より細い工作物については、パイプガイドを工作物上面まで駆動し、スタート穴を案内にして、ワイヤを下部ダイスガイドに送給する機構となっている。この装置の特長は次のとおりである。

(1) 多数個取り加工の自動化が可能である。ワイヤを自動的に切断・供給し、またワイヤが加工時に断線した場合の自動処理再加工が可能である。

(2) 細穴( $\phi 1\sim 2\text{ mm}$ スタート穴、板厚50mm以下)から、 $\phi 5\text{ mm}$ 以上の太いスタート穴(最大板厚100mm)までの広い領域でのワイヤ自動供給が可能となった。また、セカンドカットなどにおける工作物の側面で、ワイヤ自動供給も可能で、より広範囲の加工に適用できる大きな特長がある。

(3) テーパ加工装置を付加(オプション)すれば、テーパ加工を含んだワイヤ自動供給を行うことができる。テーパ加工仕様は標準機と同一である。

(4) パイプガイドから下部ダイスガイドへの挿入ワイヤのエラーを自動検出し、リカバリーするための再トライ機能を付属しているので、非常に信頼性の高いワイヤ自動供給が可能となっている。

#### 5. NC テープ作成装置《CADMS-I》

この装置は、従来の演算時間の約10倍(当社比)の処理能力を持つ専用コンピュータと、グラフィックディスプレイにキーボード、テープリーダ、テープパンチ、プリンタを組合せ一体化したコンパクトな操作性の良い、オンラインタイプのNCテープ作成装置である(図11.参照)。プログラムの作成は、会話形式の使いやすいMEDIAPART言語により正確なNCテープが迅速に作成でき、テープ作成時間が大幅に短縮される。この装置の主な特長を次に示す。

(1) 文字及び図形表示できるグラフィックディスプレイを備え、ディスプレイ(大形グラフィックディスプレイはオプション)上に高速で表示ができる、テープ作成が迅速にできる。

(2) 入力データ(パートプログラム)のほか、定義した点、直線、円などの座標値、NCデータの表示に加え、加工形状の図形表示が即座にできる(タブレット入力はオプション)。

(3) ディスプレイ上でデータ確認ができ、誤りの修正もキーボード上のファンクションキーなどにより極めて容易にできる。

(4) 修正後のデータはプリンタ、パンチに出力できる。またディスプレイ上の図形がそのままコピーでき、図面付データの保管ができる。

《CADMS-I》の機能について、今後は金型加工対応三次元処理などのソフトウェアを一層拡充し、より汎用性を持たせ、金型加工システムの核として発展させる予定である。

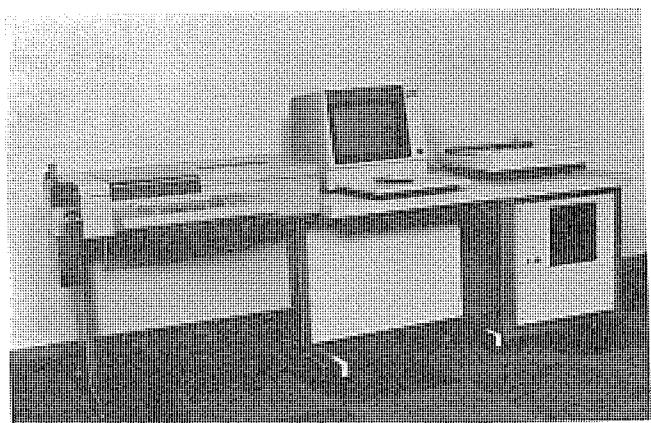


図 11. テープ作成装置《CADMS》

#### 6. む す び

本稿では金型加工業界での問題点の分析と、これらに対応すべく開発された最新の電気加工機の概要を述べた。

これから金型加工は、製品設計段階で創成した情報を、金型設計から製作まで一元化して利用することにより、生産性が向上するものと考えられる。したがって、金型加工システムにおける電気加工機の役割及び課題などについては、市場のニーズにこたえるべく、新技術の開発に努め信頼性の高い電気加工機を供給する所存である。

# 新形数値制御装置《MELDAS-M2》

米谷光雄\*・飯田秀正\*・伊藤暢彦\*・吉田利夫\*

## 1. まえがき

《MELDAS-M2》は、次期《MELDASシリーズ》としてM1及びL1に引き続き、マシニングセンター用として開発製品化したものである。

M2は従来の《MELDASシリーズ》に代わり、よりシステム化されたNCとして高度な機能拡張性と高信頼性を備えるとともに、コストパフォーマンスに優れた次世代のCNCとなることを目標とした。また、FA(ファクトリーオートメーション)化の急激な進展を予測し、それに総合的に対処できる多目的共通コントローラ、すなわちNC工作機械のみならずロボットなど各種FMS(フレキシブルマニュファクチャリングシステム)加工セル用制御装置の基本ハードウェア、及び基本ソフトウェアを提供しうるマーコントローラとしての役割を果たし、今後のメカトロニクス事業発展の一助となることを目標とし開発を進め完成した。

ここで、マシニングセンター用NC《MELDAS-M2》(以下、M2と称す)を具体例とし、M2のシステム・ハードウェア・ソフトウェアについてその概要を紹介する。

## 2. M2のシステムと特長

### 2.1 設計思想と特長

次世代CNCとしてのM2の設計思想とその特長を次に列記する。

#### (1) ハードウェアの設計思想と特長

- (a) 従来の各種工作機械、専用ハードウェアの統一化
- (b) コモンバスの概念を導入(マルチバス準拠)
- (c) 16ビット高速CPU及び高速演算素子によるマルチプロセッサシステム
- (d) カードアッポン方式による機能拡張性の実現
- (e) 新LSI素子大幅採用による小形高信頼性の実現
- (f) 大容量バブルメモリの標準採用

不揮発性外部メモリとして、高信頼性の大容量バブルメモリを標準採用し、従来の電池バックアップを廃止とした。バブルメモリは機械的可動部がないため、振動、じんあい(塵埃)に強く、使用温度もバブル単体で0~60°Cまで保証している。

#### (g) グラフィック機能付14インチカラーCRT標準装備

CNCでは世界で初めて三次元カラー図形表示を実現した。

#### (h) 拡張性・柔軟性のある制御軸数

マシニングセンター用としては、3軸を標準とするが5軸まで制御可能であり、6軸以上はM2を拡張した《MELDAS-60》を、またロボットに対しては8軸まで《MELDAS-60》を制御可能なコントローラを製品化した。

#### (i) 大規模システムの拡張性

コモンバス上でのマルチCPU構成拡張により、計測制御、ネットワーク制御などFMSのトータルコントローラとなりうる拡張性をもっている。

#### (2) ソフトウェアの開発思想と特長

ソフトウェアの機能的特長は4章に記載しているので、ここでは基本

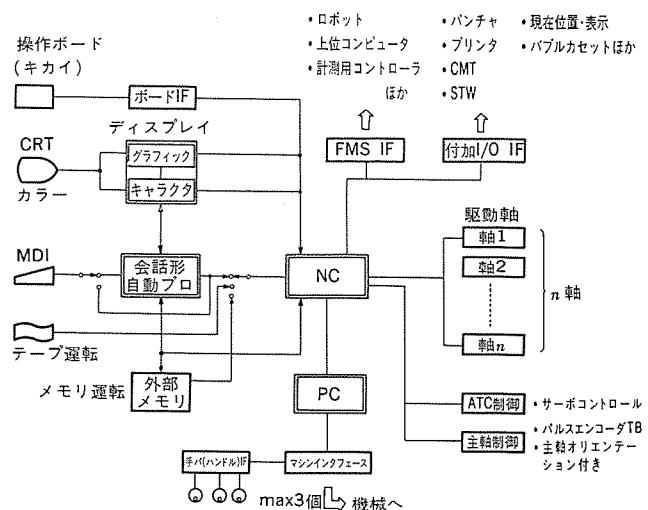


図1. マシニングセンター用M2システムブロック図

システム上の特長を列記する。

- (a) リアルタイムマルチタスク汎用オペレーティングシステム(M2 OS)の採用
- (b) ソフトウェア開発期間短縮のため、高位言語による開発
- (c) ユーザーでのソフトウェア開発を容易にするデバッガ装備
- (d) 高速・高性能プログラマブルコントローラ(PC)のユーザー開発ツールは好評を得ている汎用シーケンサ《MELSEC-Kシリーズ》と共に用化を図った。

### 2.2 マシニングセンター用M2システム

マシニングセンター用M2のシステムブロック図を図1に示す。このブロック図より明らかのように、従来のCNCに比べ大きく進歩した点は、従来のNC機能を中心として、それに寄り開放した高速PC、会話形自動プログラム処理、カラグラフィックディスプレイ処理、FMSインターフェース、付加入出力インターフェースなど高度な処理機能を一体としてシステム化、内蔵化したことにある。これにより従来にない高性能CNCが実現した。

特にマシニングセンター、フライス用三次元自動プログラム機能がCNCに組込まれたのはM2が初めてであり、CNCの新しい一つの流れを創成した。またFMSインターフェースは、新たに開発したFAコントローラ《FACTORY LANDシリーズ》とRS422あるいはローカルネットワークで接続可能であり、これもFMS時代のCNCとしての方向を示している。

## 3. M2のハードウェア

### 3.1 M2のハードウェア構成とその内容

M2のハードウェア構成を図2に示す。M2のハードウェアは大別して、①メイン制御ユニット、②操作ボード(CRT制御ユニット)に分けられる。メイン制御ユニットはマスタCPU(CPU1)を中心に、すべて16ビット

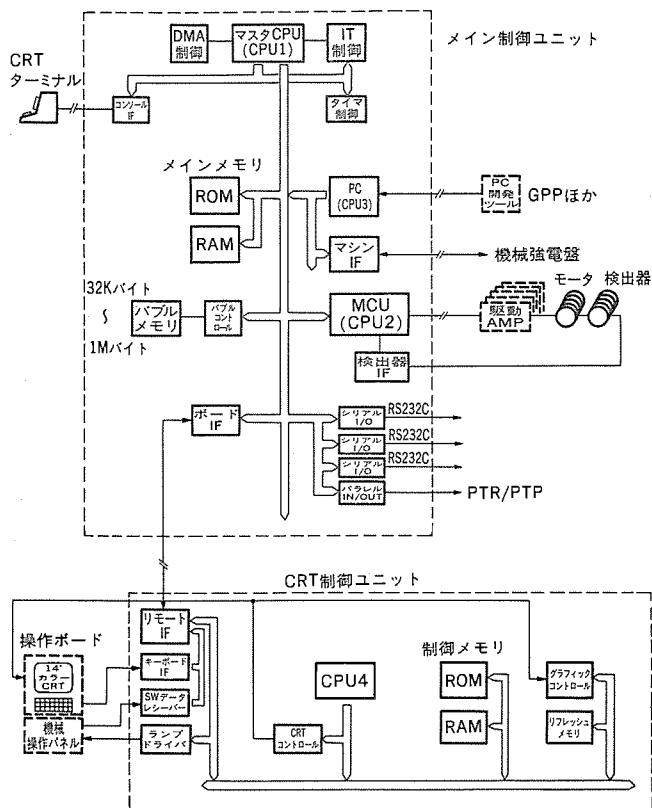


図 2. M2 ハードウェアの構成

高速マイクロプロセッサを用いた三ないし四つのCPUで構成するマルチプロセッサ方式を採用している。マスタCPU(CPU1)は、16ビットマイクロプロセッサに加え、高速演算用LSIを搭載しM2におけるスーパーバイザとしての役割を果たす。CPU1に付随する機能としては、DMA(ダイレクトメモリアクセス)制御、割込制御、タイマ機能がある。

メインメモリは、①ROM、RAM混成構成が標準であるが、代わりに用途に応じ、②バッテリバックアップ付オールRAM構成、も実装可能である。いずれも最大512Kバイトのメモリ容量を誇り、これが高速プロセッサの採用とともにNC機能の高度化に貢献している。更に、各CPU間あるいは入出力インターフェースとのデータ交換をコモンバス(システムバス)上で高速で行うために、別途コモンメモリを用意している。これによりマルチCPU方式において、CPU間のデータ転送に起因する処理能力低下を極力抑えている。

次に補助メモリとしてバブルメモリを用意している。これは加工プログラム用外部メモリとして用いられるほかに、各種パラメータのバックアップや自動プログラムのファイルとして用いられる。データの転送はCPU1の管理下で、DMAにてメインメモリと行う。メモリ容量は32Kバイトから1Mバイトまで各種用意しており、特に1Mビットのバブルチップを8個使用した1Mバイトモジュールは、NC装置として最大の外部メモリ容量(テープ長2,500m担当)であるとともにNC装置にファイルの概念を導入したのである。

MCU(マシンコントロールユニット)はCPU2を中心として、CPU1から渡されるデータをもとにモーションコントロールを行うもので、複数軸を1個のCPUで処理している。位置検出はブラシレスレギュラによるセミクローズドループを標準としているが、インダクション、マグネスケール、光学式リニアスケールによるクローズドループ制御も可能である。

プログラマブルコントローラ(PC)は、CPU3を中心として機械対応のシーケンス処理やデータ処理を行うもので、主な仕様は、

(1) 入力256点・出力174点最大、ほかにアナログ入出力可

(2) 処理ステップ数8,000最大、2.5μs/ステップ

であり、高速で多ステップの処理が可能である。また接点入出力インターフェースはVDE規格に基づく非絶縁タイプを標準としている。

次にM2操作ボードは、14インチカラーCRTモニタ、標準キーボード、機械操作パネル及びCRT制御ユニットで構成する。CRT制御ユニットはCPU4を中心に、制御メモリ、CRTコントロール、グラフィックコントロール、リフレッシュメモリ、キーボードインターフェースで構成するが、16ビット高速CPUと最大200Kバイトを実装できるコントロールメモリをベースに三次元カラーグラフィック機能を始め高度なターミナル処理が可能となっている。

カラーCRTの主な仕様は、8色、表示文字数80文字×25行、グラフィック画面640×450ドットであり、CRTコントロールの特長として、拡大文字2、3、4倍を全画面多重に指定可能である。また、グラフィック用リフレッシュメモリが色ごとに多重に用意しているため、ドットごとの色指定が可能で多彩な図形処理を容易にしている。

### 3.2 M2の構造上の特長

現場に設置されるコントローラの構造上の重要なポイントとして、コンパクト性、耐振動性、防塵密閉性があるが、M2では特に拡張性とコンパクト性を両立させるために各種の考慮を払った。その一つとして制御電源をワンボード化し、制御ユニットに他のカードと同様にさし込むようしている。また制御ユニット内部にファン埋込みを行い、制御ユニット自体が製品モジュールとなりうるようにした(M2メイン制御ユニットを図3に示す)。

また当然のことながらNCきょう(筐)体は完全密閉構造とし、操作ボード部は完全防塵形のフラットタッチキースイッチを採用した。表面シート、パッキン類も耐油性の強い材質のものを選択使用している。耐振動性は、モジュール単位での振動試験・評価を重ね、部品の改良、カード・モジュールの構造強化など十分な考慮を払っている。

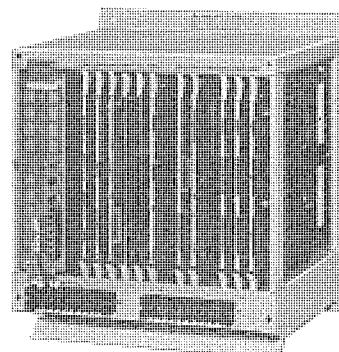


図3. メイン制御ユニット

### 4. M2のソフトウェア

#### 4.1 概要

M2は、新形マシニングセンター用CNCであり、前述の高性能なハードウェア上に、各種ソフトウェアを組むことにより豊富なCNC機能を実現している。このNC装置は、従来機種との互換性を保ちながら多くの新機能を附加しており、カナ文字表示、グラフィック表示機能、またマシニングセンター用自動プログラミング機能の装備など、を大きな特長としている。

#### 4.2 ソフトウェア構成

このNCのソフトウェアは、四つのCPUに対応して、メインソフト(CPU

1), MCU ソフト (CPU 2), PC ソフト (CPU 3), 及び ディスプレイソフト (CPU 4) で構成する。メインソフトでは、加工プログラムの読み取り、解析、直線補間、円弧補間などの各種の補間処理を行うとともに、各種データの設定、変更などを行う。MCU ソフトではメインソフトから、補間データを受取り、サーボコントロールを行っている。PC ソフトでは、機械操作盤からの入力及びメインソフトからの指示により、各種シーケンス処理を行っている。ディスプレイソフトは、オペレータのキー入力の内容をメインソフトに伝えるとともに、メインソフトから送られるデータにより、各種キャラクタ表示、グラフィック表示を行う。

以上、四つのソフトウェアの密接な連係動作により、CNC としての各種機能が実現されている (図 4.)。

#### 4.3 メインソフトウェア ((CPU 1))

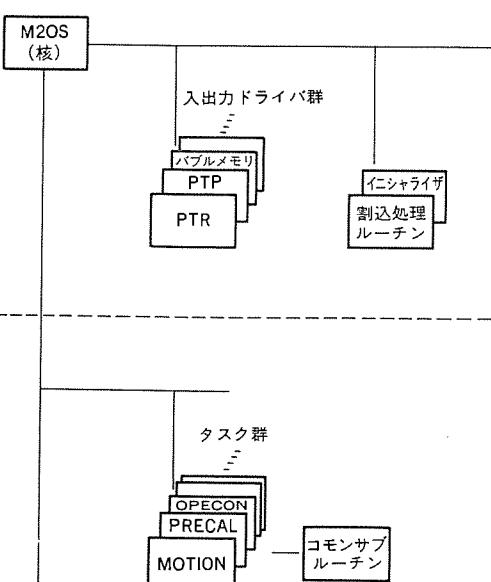
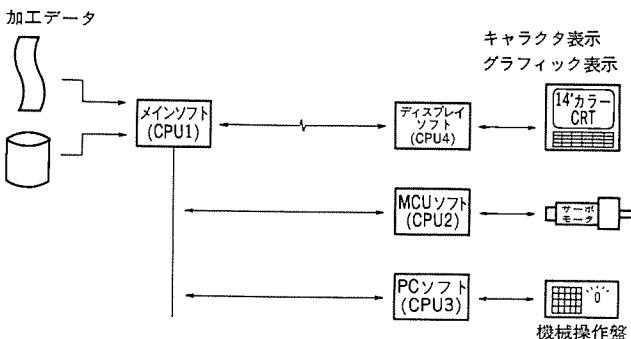
メインソフトの構成を図 5. に示す。M2 OS は、マルチタスクオペレーティングシステムであり、MOTION, PREPRO, OPECON などと呼ばれる各タスクの実行制御をつかさどるタスクスケジューラー、及び各種入出力装置をサポートする入出力ドライバ群などで構成する。メインソフトは八つのタスクで構成しているが、そのうち主なタスクの機能について説明する。

##### (1) MOTION

主に機械の移動制御を行うもので、MCU に必要なデータを作成し出力する。

##### (2) PREPRO

加工データの入力、解析を行い機械の移動軌跡の補正計算などを行い、上記の MOTION に必要なデータを出力する。



#### (3) OPECON

ディスプレイソフト (CPU 4) と密接な関係を持ち、キー入力データ処理及び 14" カラーカRT 上に表示すべきキャラクタ及びグラフィックデータを CPU 4 へ転送する。

以上のタスクのほかに、この NC の外部メモリとして使用するバブルメモリの入出力管理を行うタスク、オンラインデバッグのためのタスク (デバッガ) などが存在する。また図 5. のコモンサブルーチンは、各タスクで共通に使用される演算サブルーチン群である。以上のメインソフトは、この NC ソフトウェアの最も中心的な部分であり、各種 NC 機能を最も具体的に実現している部分である。

#### 4.4 MCU ソフトウェア (CPU 2)

この NC はいわゆるソフトウェアサーボを採用しており、MCU ソフトは主にサーボコントロールを行う。MCU ソフトはメインソフトの MOTION から、微小時間に動くべき各軸移動量を受取り、更にこのデータを細分化して、各軸の指令データを作成する。MCU ソフトのサーボ制御部分では、上記の指令データにより加減速処理、フィードバックとの位相差計算、サーボ誤差計算を行っている。

#### 4.5 PC ソフトウェア (CPU 3)

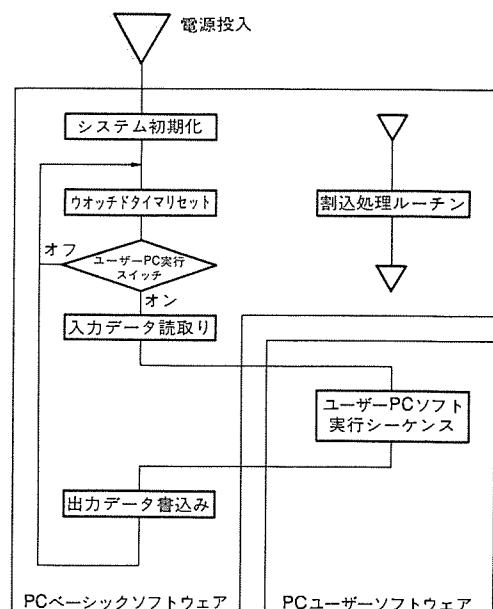
PC ソフトの構成を図 6. に示す。図のメイン処理部は、電源投入後、繰返し実行される。機械メーカーが作成したユーザー PC ソフト (シーケンス) を実行させるために、ベース PC は、ユーザー PC ソフトをサブルーチンコールしている。割込処理はタイマ処理のほかに、機械の緊急停止処理のために使用される。

#### 4.6 ディスプレイソフトウェア (CPU 4)

ディスプレイソフトの構成を図 7. が示す。メインソフトから、RS 232C によりシリアル転送されてくる表示データと、ディスプレイソフト側で持つ固定パターン表示データを合成して、1画面分の CRT 表示イメージを作成する。CRT 画面の表示は、英文字、カナ文字が 2,000 文字表示可能であり、2 倍・3 倍文字と合成することができる。その他にカラーグラフィック表示が可能である。図 8. にこの NC の操作ボードの一例を示す。

#### 4.7 グラフィック機能

この NC では、640×450 ドットの 8 色カラーグラフィック表示が可能であ



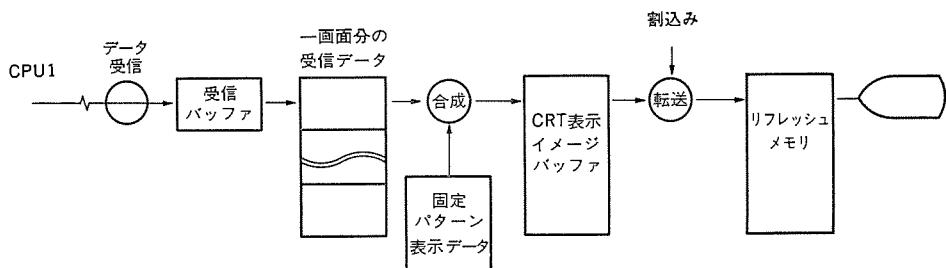


図 7. ディスプレイソフトウェアの構成

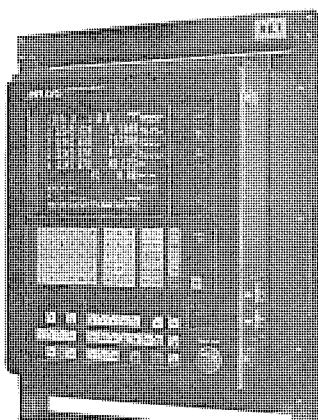


図 8. M2 操作ボード

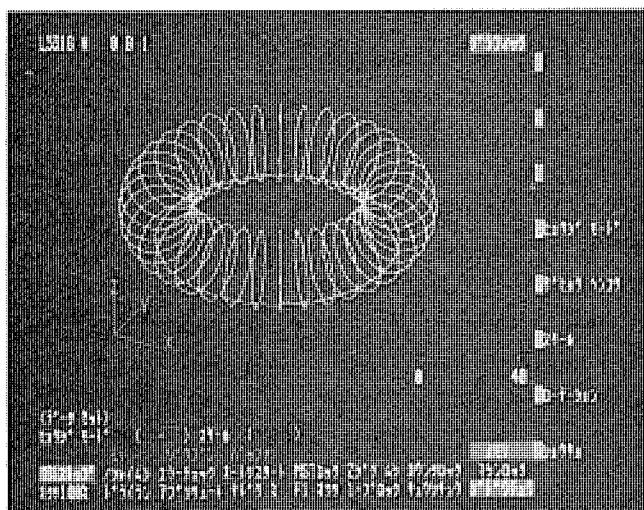


図 9. グラフィック画面例

り、図 9. に示すように、加工軌跡の描画機能をオプションとして装備している。この機能により、加工データのチェックが非常に容易に行える。X, Y 平面などの一平面表示、XY-XZ などの二平面表示

のほかに、図のような立体表示が可能でありキー入力により任意の視点での立体描画が可能である。またスケールの設定により、描画図形の拡大縮小が行える。

#### 4.8 自動プログラミング機能

この NC では、大きなメモリ空間、高速な演算プロセッサの装備により自動プログラミング機能の内蔵が可能とな

った。自動プログラミング機能は、OPECON タスクの一つのサブルーチンとして実現しているため、いずれも機械加工中に、同時に加工データの作成が可能となっている。自動プログラミングの方式は、いわゆる対話形方式であり、加工画面を見ながら、NC からの問合わせに穴埋め式に必要なデータをインプットして行けば、最終的な加工データが NC のバブルメモリ上に作成する。自動プログラミングで作成した加工データにより、すぐに NC 運転が可能であるが、前述の加工軌跡の描画機能により加工データのチェックを行い、もし修正が必要なら加工データの編集機能を使用して、加工データの修正を行うこともできる。自動プログラミング機能の内容は、一般に次のようなものである。

- (1) 加工プログラム番号の指定
- (2) 素材形状及び材質の定義
- (3) 穴明け、ミーリングなどの加工タイプの指定
- (4) 上記の各入力により、必要な工具が選択される。
- (5) 加工パターンの指定  
ボルトホールサークル、グリップ、ランダム点指定など。
- (6) (3)～(5)の繰返しによる複数の加工タイプの指定
- (7) 工具交換回数の最少化処理
- (8) 加工データの作成

以上の機能を実現させるため、バブルメモリ上には、工具ファイル、各種切削条件ファイルを持ち、自動プログラミングの中のファイル編集機能によりメインテナンスする。

以上に述べたように M2 は、カラーグラフィック表示の導入、自動プログラミング機能の装備をはじめ、一方工具寿命管理機能、自動計測機能、各種コンピュータリンク機能、などの FMS 指向の各機能を持つ最新鋭のマシニングセンター用 CNC である。

#### 5. むすび

以上、当社が開発製品化した《MELDAS-M2》について紹介したが、今後も産業メカトロニクス用コントローラの中心である NC 装置の一層の前進と多方面への応用展開をめざしていきたいと考えている。

## ファクトリーオートメーション(FA)応用システム

山田 進\*・野間 務\*\*・三輪登志彦\*\*・溝口昌宣\*\*

## 1. まえがき

昨今の機械組立産業界をとりまく環境は市場ニーズの変化、多様化とともに著しくその生産形態の変更(多量生産から多種中少量生産へ)をもたらしている。この多種中少量生産における合理化、生産性向上は、従来の自動化技術の蓄積、すなわち加工工程、検査(試験)工程、運搬工程、組立工程、などの単一作業の自動化では限界があり、これらの各工程を有機的に結合させると同時に、生産サイクルの短縮化及び多品種生産に伴う生産情報の大量化に対処する必要が生じてきている。このためには、ある一定の決まった動作を繰返す手足のみの自動化ではなく、計画を立て、各種情報を収集、判断し、ある程度の複雑な動作が出来る手足を動かしながら物を作つて行く自動化システムが必要である。

図1.は新しい生産システムを要求する環境条件をまとめたものである。次にこの新しい生産システムとして、今後の生産工場の合理化の先端となると考えられる大物部品機械加工システム及び板金加工システムの二例についてその概要を紹介する。

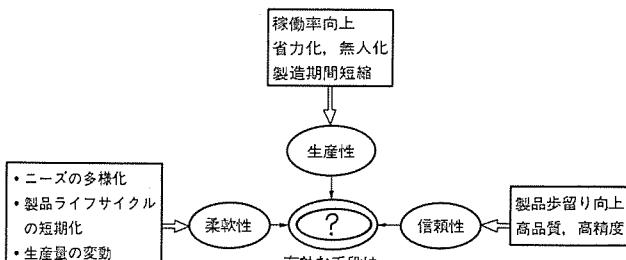


図1. 新しい生産システムを要求する環境

## 2. 大物部品機械加工FMSの例

## 2.1 このシステムのねらい

このシステムのねらいは、図2.に示すとおりで、その特長は、(1)階層形システムの採用によるシステム運営の柔軟性確保

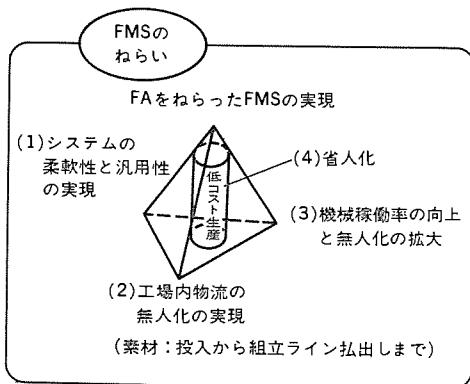


図2. このシステムのねらい

(2) 現有設備のFMS(フレキシブル生産システム)化と上位とのインターフェースの標準化

(3) マテハン設備の導入による物流の無人化

(4) FAコンピュータ(ファクトリーランドS1), FAコントローラ(ファクトリーランドC2)の導入による、

(a) DNC運転及びスケジュール運転

(b) 物と情報の一致を目指した生産管理と生産制御の結合

(c) ソフトウェア機能の充実

である。

## 2.2 全体システムの構成と情報の流れ

この機械加工システムは、工場全体生産管理システムの中に位置づけられ、生産情報の授受により毎日のきめ細かい管理、無人化を指向したショップの運営を目指している。

全体システムの構成は、大量データを扱うバッチ処理中心のホストコンピュータ、工場に密着したオンライン処理(進捗管理など)を行うファクトリーコンピュータ及び現場加工管理、機械の運転制御などダイレクトにショップを管理するFAコントローラからなっている。各々の機能、情報の流れを図3.に全体システム構成図として示す。

## 2.3 機械加工ライン設備の概要

表1.にこのラインの機械、設備の概要を示す。

## 2.4 物流の概要

図4.に物流の概要を示す。物流は自動ラックを基点とし、各機械間、

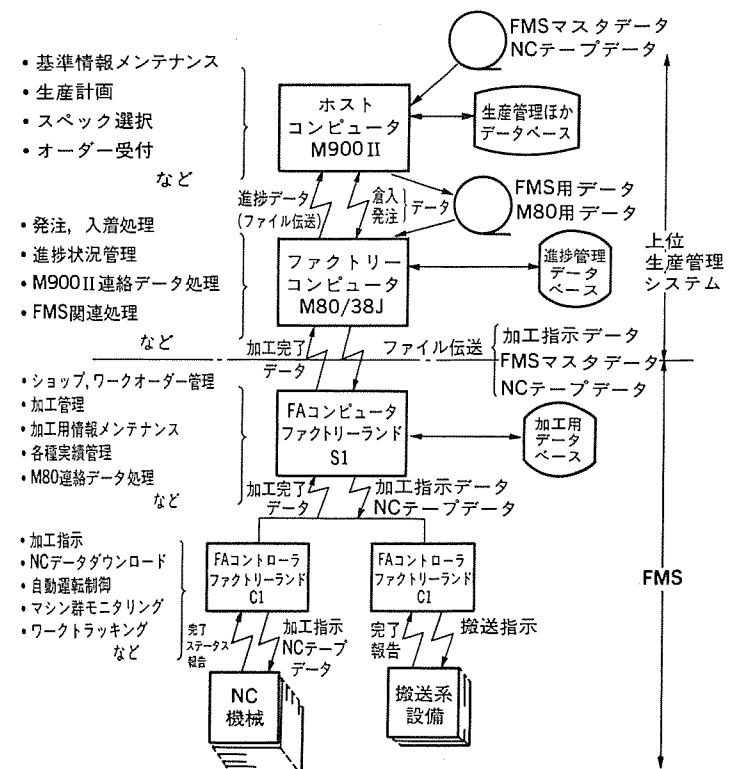


図3. 全体システム構成図

表 1. 機械設備一覧

機械設備	無人化機能
マシニングセンター	・上位コンピュータとのリンクによるDNC及びスケジュール運転 ・ATC, APC, 工具異常検出など
搬送機器(無人搬送車) (自動ラック)	・上位とのリンクによるスケジュール運転 ・在庫管理 ・NCパレット自動移載
検査用ロボット	・NCパレット上のワークの自動検査
FAコンピュータ	・機械加工ライン統括管理 FACTORY LAND モデル S1
FAコントローラ	・加工ライン内設備の自動運転制御 FACTORY LAND モデル C1

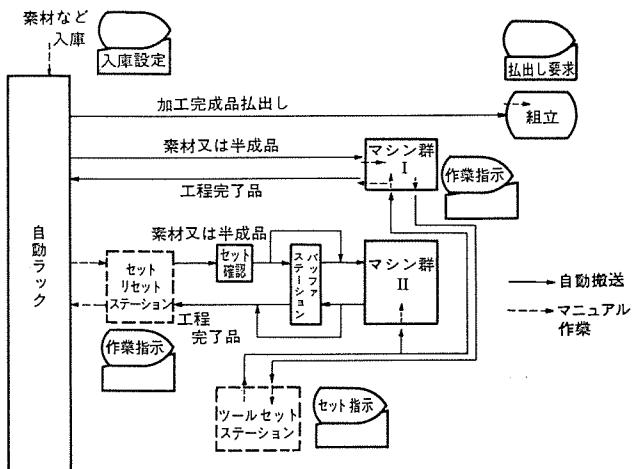


図 4. 物流概要図

ステーション間を無人搬送車が上位コントローラの指示に従って実行するようになっている。

## 2.5 システムハードウェア構成

システム機器の構成は、FAコンピュータ《ファクトリーランド S1》1台を中心、FAコントローラ《ファクトリーランド C1》2台、各端末機器よりなりそのハードウェア構成を図5.に示す。

## 2.6 システムソフトウェア機能

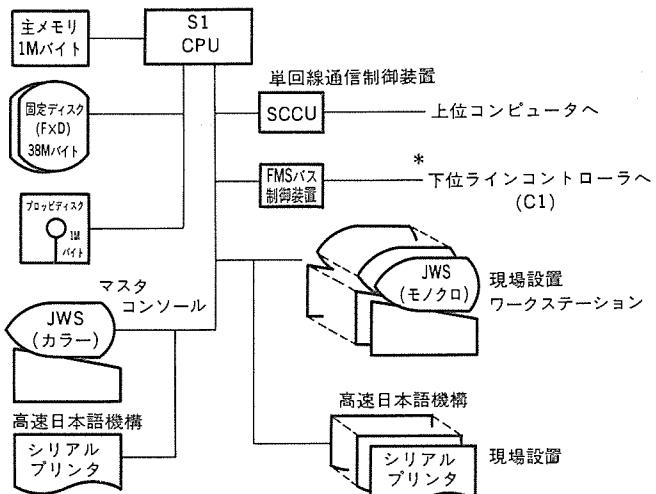
この機械加工システムは、上位生産管理システムより一括生産情報を受取り、当日分(1日分)の負荷を各機械ごとに割付けを行い、加工に要する各種基準データ(NC加工プログラム、ツールデータ、治具データ、部品情報、など)を管理、分配するととも、各機械の運転制御、加工管理(ダイナミックスケジューリング)を行う。また下位の機械の状態監視、完了報告による各種実績管理を行う。図6.にソフトウェア構成ブロック図を示す。

### 〔ダイナミックスケジュール〕

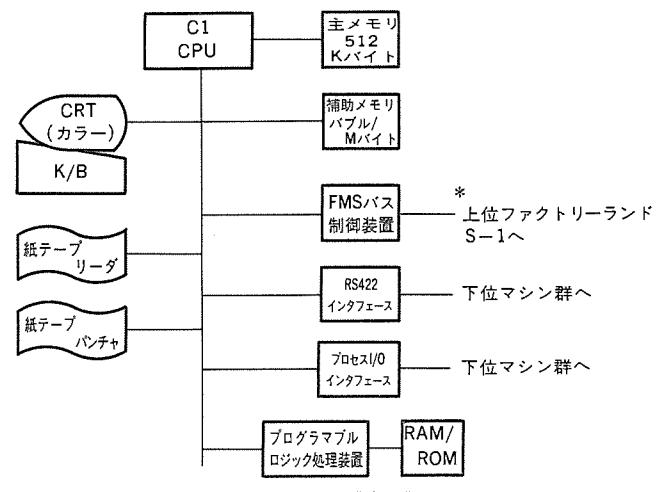
加工のプロセスにおいては、機械の故障、段取り時間や加工時間が予定から狂うなど、予想できないことが多く生ずる。このような場合でも機械稼働率や生産効率を上げるために、その時に応じた最適な加工割付けを行うことが重要である。そのため、最初からその日の加工順序を決めてしまうのではなく、機械が加工を完了した都度、最適ワークを割付け得るようにスケジューリングする。これをダイナミックスケジュールと呼んでいる。

## 2.7 むすび

以上、当社内における大物部品機械加工FMSの計画概要を述べたが、FAコンピュータシステムの開発もさることながら、より無人化を拡大するためには下位マシン群の機能をいかに充実させて行くかが大



ファクトリーランド S1 H/W構成



ファクトリーランド C1 H/W構成

図 5. システムハードウェア構成図

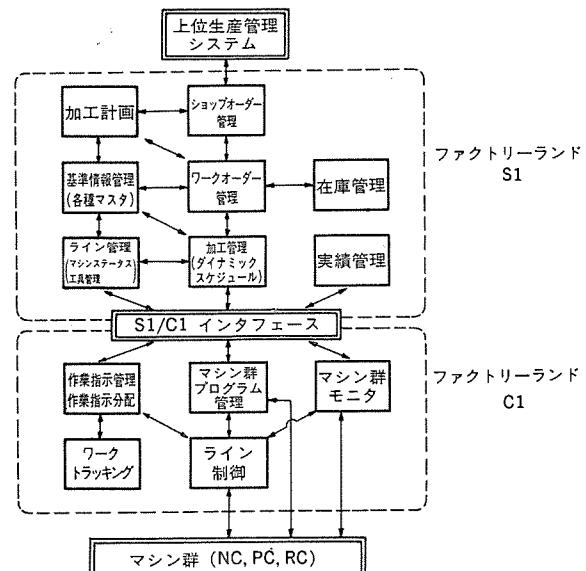


図 6. システムソフトウェア機能ブロック図

きな課題である。今後はこのマシンの無人化機能をより拡張させ、またFMSアプリケーションのノウハウの蓄積をしながら第2ステップとして他の機械加工のFMS化及び将来計画のFAへと結びつけて行く

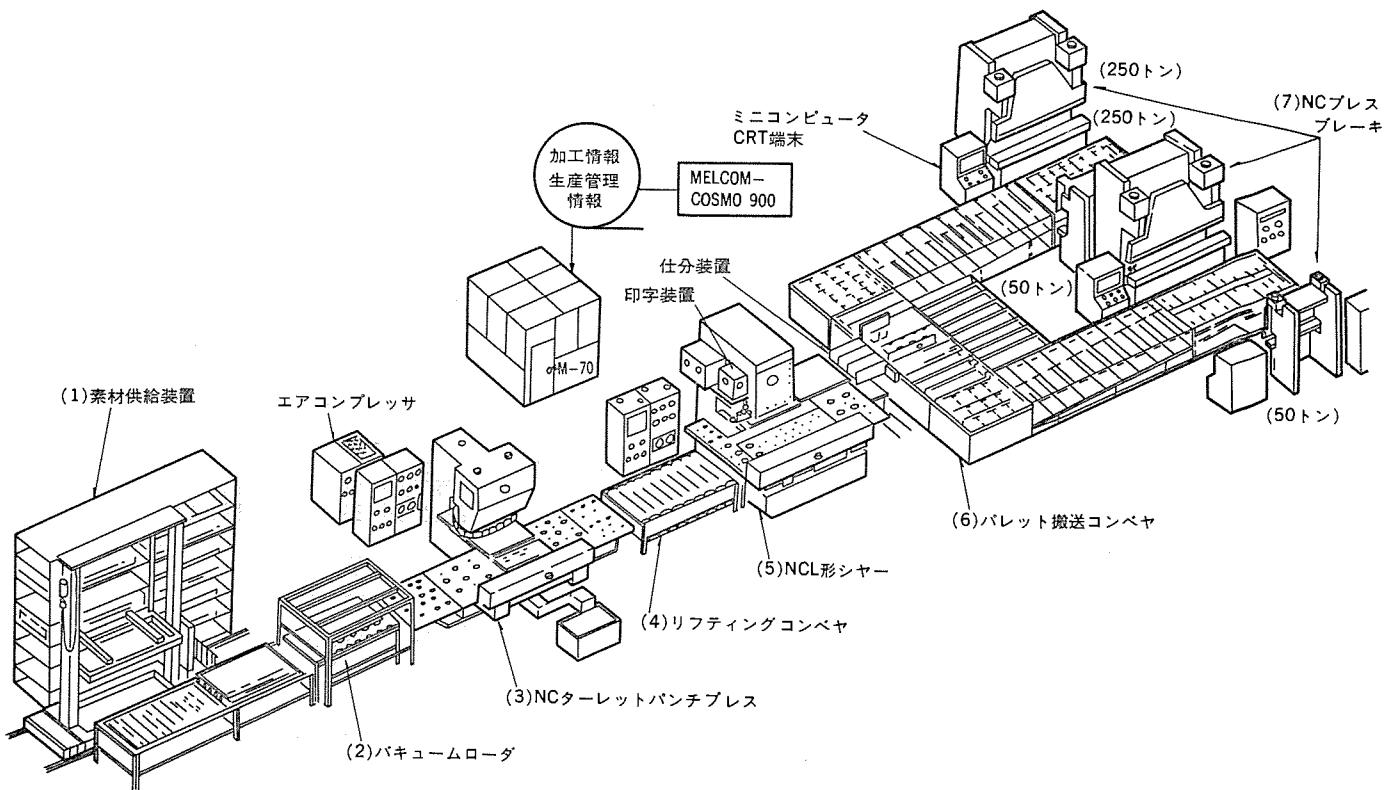


図 7. F ライン 概観図

考えである。

### 3. 板金加工 FMS の例

#### 3.1 まえがき

エレベーターの意匠品（扉・壁パネル・天井・出入口枠）は、あらかじめメーカーが用意した規格に従って生産する規格形エレベーターの意匠品と、多様な客先仕様によって一品一品仕様が異なる特注形エレベーターの意匠品の二つに大きく分類される。

当社稻沢製作所では昭和49年に規格形エレベーターの扉・壁パネル（130種、10,000枚／月）を生産する自動化ライン「Pライン」、昭和55年に規格形エレベーターの出入口枠（300種、3,000枚／月）を生産するライン「Jライン」を完成させてきた。

そしてこのたび、特注形エレベーターの扉・壁パネル・天井・出入口枠（4,000種・3,000枚／月）を生産する板金加工の無人化自動ライン「Fライン」を完成し、昭和57年6月に本格稼働したので、ここに概要を紹介する。

#### 3.2 ライン概要

##### 3.2.1 設備構成

ライン設備の構成は図7.に示すように、素材供給装置1台、NCターレットパンチプレス（NCTPP）1台、NCL形シヤー（NCLSH）1台、NCプレスブレーキ4台と、それらを結ぶ搬送装置からなり、それらを2台のコンピュータがコントロールするライン長40mのDNCラインとなっている。

素材から曲げまでの加工プロセスを、エレベーターの天井を例にとって図8.に示す。ライン全体の加工限界は、板厚が0.8～3.2mmの7種類、加工可能サイズが最大1,525mm×2,500mmである。

##### （1）素材供給装置

素材を格納するための59棚の立体ストッカーと、素材を入出庫する

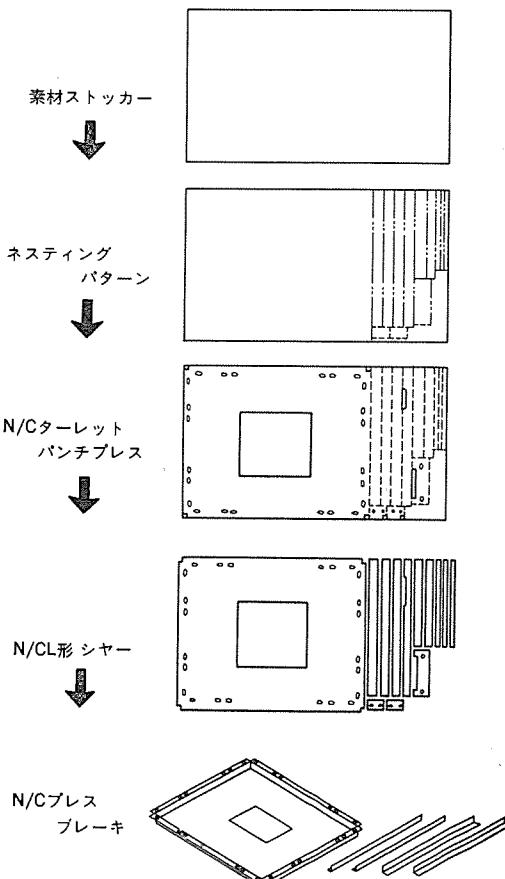


図 8. F ライン加工プロセス (エレベーターかご室天井の例)

スタッカークレーン、素材補充の入出庫指示を対話形で行うクレーン集中管理装置からなっている。この立体ストッカーには、2棚（1トン／1棚）

ずつ 20 数種のスケッチ材を格納し、1棚が空になったら補充するという 2ビン方式をとっている。

#### (2) バキュームローダ

素材供給装置から拡出された 1 パレットの素材から 1 シートずつ吸着してラインの拡出装置で、2枚板検出機構を有している。

#### (3) NC ターレットパンチプレス (NCTPP)

プレス能力 45 トン、ターレットステーション数 42 で穴明・切欠加工を行い、付帯設備としてマグネットローラによるローディング・アンローディング装置、自動原点位置決め・クランプ装置を有している。NC には当社製の『MELDAS-5000 P II』を使用し、DNC 運転のほかにメモリ運転、テープ運転が可能となっている。また、電源入イニシャル時の NC の自動原点復帰機能も有している。

#### (4) リフティングコンベヤ

NCTPP と NCLSH のラインアンバランスを吸収するための上下 2 段のバッファで、先入先出となっている。

#### (5) NCL 形シヤ (NCLSH)

油圧モータ 40 HP、X 軸刃長 1,676 mm、Y 軸刃長 1,270 mm の NCLSH 本体に、ラベル印字・てん(貼)付装置、仕分装置、及び NCTPP と同様の付帯設備・機能を有している。

加工手順は、クリアランス自動設定後、15 mm × 40 mm のラベルに OCR-B フォントの 8 けた(桁)の部品番号の印字、ラベルの貼付、シヤによる L 形切断、切断部品の仕分、以上の繰返しである。仕分装置は、切断材を製品とスクランプに分類し、製品のみを 1,500 mm × 2,500 mm のパレット内に大小に区分して投入する装置である。1 パレット内には、同一向先・同一品目の部品が平均 4 シート分投入される。

#### (6) パレット搬送コンベヤ

切断部品が投入されたパレットをプレスブレーキのワークステーションへ搬送し、プレスブレーキ加工完了後の空パレットを回収するために、上下 2 段の駆動ローラコンベヤとなっている。パレットの個数は 10 個で、NCLSH と二つのプレスブレーキワーカステーションの間を循環している。

#### (7) NC プレスブレーキ

250 斧 × 3,100 mm の 3 形 ATC (自動型交換) 機構付大形 NC プレスブレーキ 2 台と、50 斧 × 2,100 mm の小形 NC プレスブレーキ 2 台からなり、1 パレット内の部品を大からも小からもとり上げて、大小が一対となって加工を行う。

プレスブレーキサイドには各 1 台、計 4 台のハンディタイプの OCR (文字読取装置) と、計 4 台のミニコンピュータの CRT 端末を設置し、部品に貼付されたラベルの部品番号を、作業者が OCR によってミニコンピュータに入力することにより、ミニコンピュータから NC プレスブレーキに、バックゲージ寸法・ラムストローク寸法・型選択・バックスイング有無などの該当部品の全曲げ工程 NC データが一括して転送される。それと同時に CRT 端末には、曲げに必要な平面図・曲げ形状・曲げ順序・出来上り外形寸法・その他図番などの部品情報を表示し、作業者は図面を用いることなく、ハンドリングを行うので、曲げ作業を行うことができる。

### 3. 2. 2 システム構成

このラインのシステムは、ホストコンピュータ『MELCOM-COSMO 900』とミニコンピュータ『MELCOM 70』、マイクロコンピュータで構成した階層システムとなっている。

#### (1) ホストコンピュータ

当社稻沢製作所の生産管理システムとリンクし、F ラインで生産するオーダーの抜き出し、日程決定、自動ネスティング、TPP・LSH・プレスブ

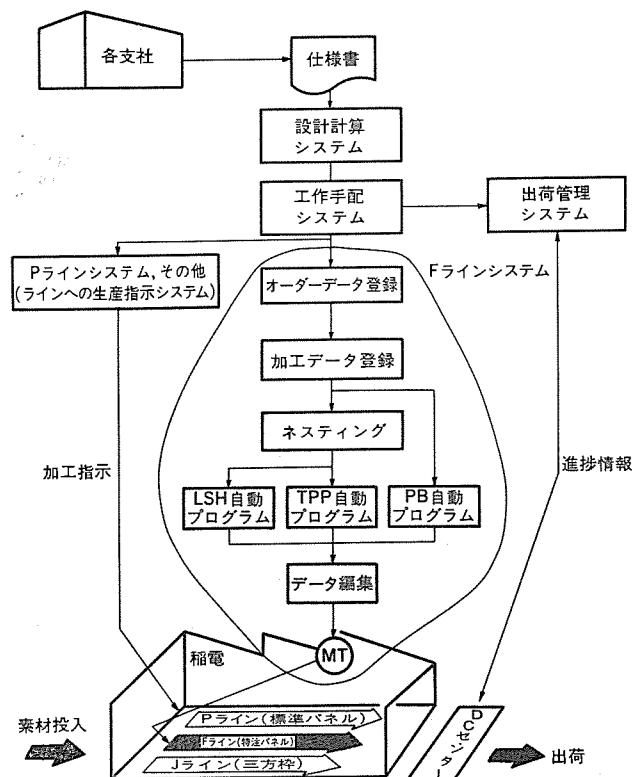


図 9. F ライン EDP システム

レーキの NC プログラム自動作成を行って、10 日に 3 回、マグネットテープ (MT) でミニコンピュータへデータを供給している。図 9. に示すように、従来からのビジネスシステムと F ラインシステムがリンクされているため、仕様書のインプット (受注処理) から F ライン用の MT 生成までが、一貫した EDP システムで処理できる。

#### (2) ミニコンピュータ

図 10. にミニコンピュータ (以下 M-70 と称す) とマイクロコンピュータ (以下, μ-COM と称す) のラインコントロールシステム構成を示す。M-70 では OS に UOS を用い、20 数本のリアルタイムタスクと十数本のバッチプログラムで構成し、大きく下記 7 項目の機能を有している。

##### (a) MT 登録及びスケジューリング

データファイルを生成するとともに、後工程の 3 本の溶接組立ラインの負荷バランスを考慮しながら、同一向先、同一品目を 1 単位として、同一着手日内のワークのスケジューリングを行う。

##### (b) スタッカーカレーンコントロール 及び素材ストッカー在庫管理

##### (c) 加工データの転送

μ-COM からの要求に合わせて、ライン段取データを μ-COM に、TPP, LSH 2 台の NC データを NC へ転送する。

##### (d) プレスブレーキ NC・CRT へのデータ転送

##### (e) 溶接組立ラインへの帳票出票

##### (f) ライン管理、生産管理

稼働状況・トラブル情報の記録・集計や出来高管理などを行う。

##### (g) トラブルシューティング

μ-COM より送られてきたトラブル番号に対応するトラブルシューティング表を CRT コンソールに表示する。トラブルシューティング表は経験が増すにつれ、隨時、項目を追加登録することができる。

#### (3) μ-COM

M-70 との信号授受を行なながら、バキュームローダからプレスブレーキパレット搬送コンベヤまでの搬送をコントロールする。具体的には機械本体及

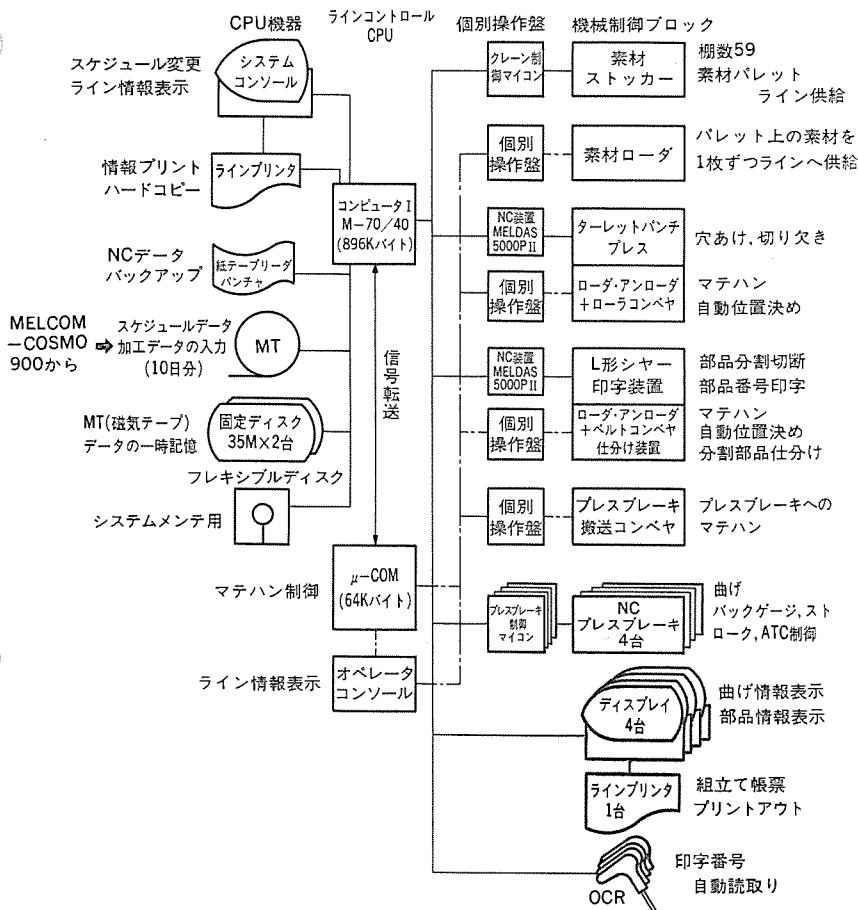


図 10. ラインコントロールシステム構成

表 2. F ライン 製造体質改善効果

項目	旧→新	備考
板厚の種類(種)	8→3	
材 料 歩 留(%)	平均 75→83	
生 産 方 式	1 句まと→オーダーメイド生産	対応生産
工 期 (日)	例 18→2	
ロ ッ ト 数(個/ロット)	平均 20→4	
マ テ ハン 回 数(回/個)	平均 12→2	
帳 票(千枚/年)	828→41	
床 面 積(m <sup>2</sup> )	1,500→700	
段 取 時 間(h/台)	例 1.0→0.0	
部品移動距離(m/部品)	312→40	天井 (人手を介する分)

#### (4) 擬似スイッチ

搬送系で故障内容が軽微な場合、あるいは完全な故障ではなく、今のエラー状況を脱すれば自然に直ってしまうような再現性のない故障に対処するため、μ-COM のすべての入出力信号に並列に擬似スイッチを設け、強制的に完了信号などを発生させて、オンラインモードを維持したまま、中断したシーケンスを継続実行させる。

#### 3.3 ラインの特長及びねらい

(1) ホストコンピュータにより、受注処理から MT 生成までの一貫した EDP システムを実現した。

(2) 素材から曲げ前工程までの無人化を指向し実現した。

(3) プレスブレーキまでをライン化し、現場図面なしで曲げ加工を実現した。

(4) 設計の標準化による板厚統一を実施し、更にスケッチ材の導入によって歩留を向上させながらネスティング、及びスケジューリング単位を同一向先・同一品目に限定することによって、素材から組立までのプラモデルキット式完全同期生産を実現した。

#### 3.4 ライン導入効果

このラインへの投資金額は、設備、ソフトウェア、開発費などを合わせて約3億円である。ラインを導入したことによる効果は、省力38人(44人→6人)をはじめとして、歩留向上、工期短縮など表2に示すとおりである。

#### 3.5 むすび

このラインのもう一つの特長は、システムのソフトウェア開発をユーザーであり現場を熟知している我々生産技術スタッフ、工作スタッフ自身の手で成し遂げたという点であり、更に現場に密着した使いやすいラインを実現すべく努力していくつもりである。

また今後の課題としては、プレスブレーキ作業・溶接組立ラインのロボット化及び CAD システムとの結合を図り、近い将来、板金工場の FA 化を実現させたいと考えている。

び搬送の起動・停止を指令するシーケンサ機能を有し、更にアクチュエータの1動作ごとにきめ細かくタイムアウトエラーを発生させ、M-70のトラブルシューティングに結びついている。

#### 3.2.3 システムのその他の機能

##### (1) 自動起動、自動終了(システム段取の無人化)

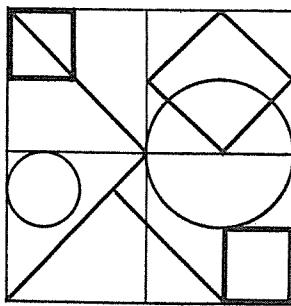
週間タイムに従って、ライン全体の電源入、M-70・μ-COM のスタート、各機械の原点復帰、ラインスタートまでがすべて無人のまま実行される。逆に1日の予定スケジュールが完了すれば、次の日のスケジューリング後、ライン全体の電源が自動的に遮断される。これによりラインを、会社始業前から任意にスタートさせることができ、プレスブレーキを除いて夜間無人運転も可能となった。

##### (2) 自動スケジュール変更

素材切発生時の該当ワークのスキップ、素材入荷時のスキップワークの再手配、トラブル発生時廃却ワークの再手配、登録された特急品の優先加工などのスケジュール変更をすべて自動的に行う。

##### (3) TPP・LSH の自動原点位置決めミス時の再トライ

素材のひずみ(歪)など何らかの原因でワーククランプ動作をミスした時に、オンライン運転を中断することなく、作業者の若干の介在で再クランプし運転を継続できる。



# 特許と新案 有償開放

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

## ボルトの固定方法 (特許 第 959358 号)

発明者 佐藤信也・森武志・西迫静隆

この発明は物体にボルトを固定する方法に関するものである。

従来よりボルト等を物体に固定させ、ねじ締め作業を容易に行なわせる方法として、ボルトを部材に溶接で固定したり、図1で示すような舌付座金を用いたりする方法があった。

しかしこの発明によれば舌付座金や溶接などという手段を全く用いずに、物体に対しボルトを回転方向並びに軸方向に固定できることとなる。以下この発明について簡単に紹介する。

物体(10)の所定位置に後述するボルト(11)の外径より僅かに大きい透孔(11a)をあける。この孔にボルト(11)を挿し込んで加圧ダイ(12)上に載せる(図2参照)。この状態で加圧ポンチ(13)でボルト(11)の頭部(11a)を強力に押圧すると、図3の拡大図で示すとおり、物体(10)の表面においてはボルト頭部が部材に喰い込むこととなり、頭部が六角形で代表される多角形であるから回転することができなくなる。また加圧ポンチによる押圧によって、物体(10)の素材を形成する分子が移動して、ボルト軸部(11b)のねじ部に喰い入ってボルト(11)が軸方向にも移動できない状態におかれ。従ってボルト(11)は物体(10)に対して完全に固定された状態となる。このように本発明を採用することによりボルトを物体に簡単にかつ容易に固定でき、部品点数の減少、工程の簡素化などに大きく寄与することができる。

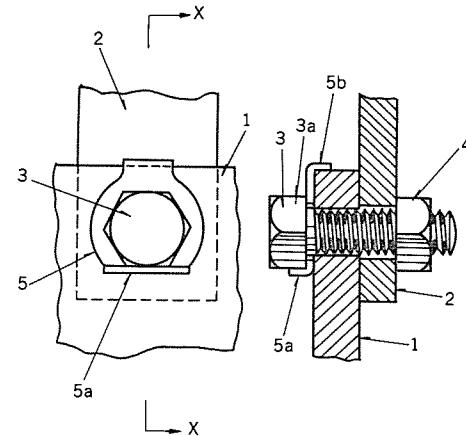


図1

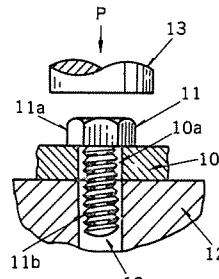


図2

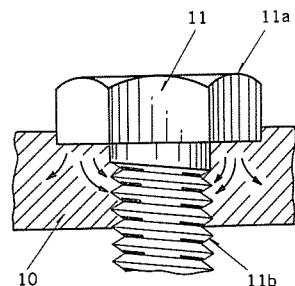


図3

## 加工装置 (実用新案 第 1142726 号)

考案者 服部孝敏・白井久仁次

この考案は、被加工物の供給、取出しを連続運転中に自動的に行なうこと可能な装置で、実施参考例として図1に示すようにロータリー研削盤によるマグネットスイッチの可動鉄心上面を研削加工する際の被加工物自動供給、取出し方法について説明する。

この装置の特徴は、図1、2に示すように連続的に矢印A方向へ移動するチャッキング装置(5)の内、反進行側にあるチャッキング治具(7)が移動側より被加工物挿入端が長く形成され、更にその下面に突出片(11)が装着されて支持台(2)の先端凹部(4)に挿入するため、この上面までプッシャー等で被加工物(3)を押し出せば板状第1カム装置(13)のカム面(15)の作用により滑って空所(9)内へ次第に挿入

され、最後にばね(14)によりストップ(10)まで押圧され位置決めされる。更に移動するチャッキング装置は被加工物(3)をチャッキング治具(6)、(7)により狭持し、研削盤位置を通過することにより被加工物(3)の上面が加工され、その後連続移動する中でチャッキング治具の狭持が解放されると図3に示すように第2のカム装置(16)のカム面(17)に被加工物(3)の上部が当たって、チャッキング装置の移動に伴ない取出口に送り出され加工工程を終了する。

このような構成のため回転移動に限らず直線移動方式でもチャッキング装置を停止させることなく、連続運転中に被加工物の供給、取出しが極めて容易に出来るため自動化ラインへ幅広く応用できる。

# 特許と新案 有償開放

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

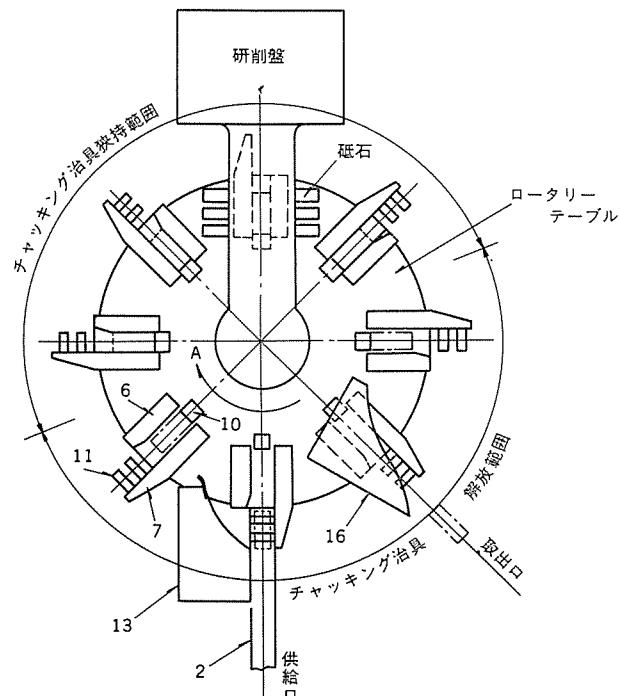


図 1

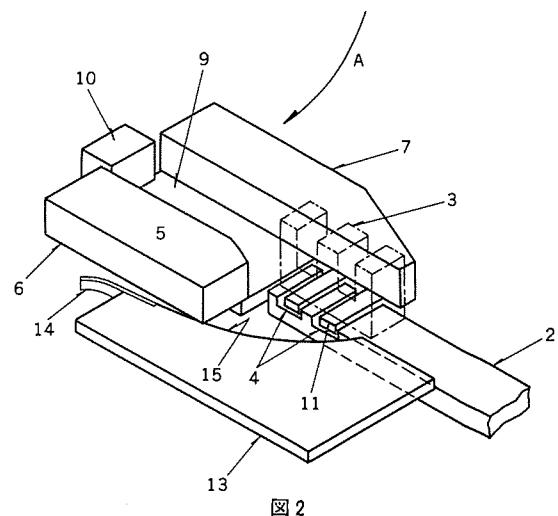


図 2

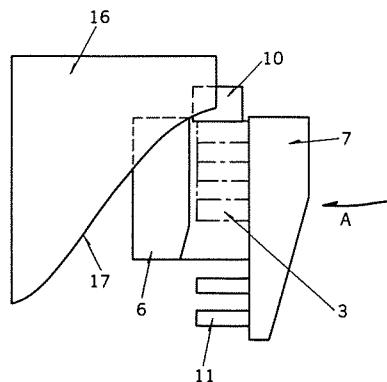


図 3

# 高速大容量二重重ね巻直流機の試作

高月 一\*・阪部茂一\*\*・中西悠二\*\*\*

## 1. まえがき

直流機には整流子とブラシがあり、整流という固有の問題がある。そして、直流機の限界出力は、熱的及び機械的条件よりも整流能力によって左右されるのが通例である。その限界値の目安は、出力  $P$  (kW) と回転速度  $N$  (rpm) の積  $PN$  で示され、従来は次の程度であるとされていた<sup>(1)</sup>。

一重重ね巻機:  $PN = 1.8 \times 10^6$  (kW · rpm)

二重重ね巻機:  $PN = 3.6 \times 10^6$  (kW · rpm)

この報告では二重重ね巻について十分に検討し、上記の目安値を超えて  $5.4 \times 10^6$  を達成した試作機について述べ、二重重ね巻直流機に関する新しい精密な解析理論による考察を与える。

## 2. 直流機の限界出力と二重重ね巻方式

### 2.1 直流機の限界出力と出力係数<sup>(2)</sup>

直流機の出力  $P$  (kW) は、損失を無視すると次式で表される。

$$P = EI \times 10^{-3} = (IZ/2a) (2p\Phi) (N/60) \times 10^{-3} \text{ (kW)} \quad \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 $E$ : 誘導起電力 (V),  $I$ : 電機子電流 (A),  $2a$ : 電機子並列回路数,  $Z$ : 電機子導体数,  $2p$ : 極数,  $\Phi$ : 每極磁束 (Wb),  $N$ : 回転速度 (rpm)

アンペア導体数を  $A_c$  (A/m), ギャップの磁束密度を  $B_g$  (T), 極弧比を  $\alpha$  (一般に  $\alpha$  は 0.6~0.7) とすると次式が成立する。

$$P = (\pi^2/60) \alpha A_c B_g D^2 L N \times 10^{-3} \text{ (kW)} \quad \dots \dots \dots (2)$$

ここで、 $D$ : 電機子直径 (m),  $L$ : 電機子鉄心長 (m)

一方、出力係数  $K$  は次式で示される。

$$K = P / (D^2 L N) \quad \dots \dots \dots (3)$$

式(2), (3)から  $K$  は、

$$K = (\pi^2/60) \alpha A_c B_g \times 10^{-3} \quad \dots \dots \dots (4)$$

となり、出力係数が電機子のアンペア導体数  $A_c$  (電気装荷ともいう) とギャップの磁束密度  $B_g$  (磁気装荷) との積に比例することが分かる。

次に、直流機では整流子片間電圧が高まるとフラッシュオーバーの危険性が増すので、これに対する厳しい制限がある。平均整流子片間電圧  $e_m$  は、次式で示される。ここで、 $v_a$ : 電機子の周速 (m/s)

$$e_m = (2p/a) \alpha B_g L v_a \text{ (V)} \quad \dots \dots \dots (5)$$

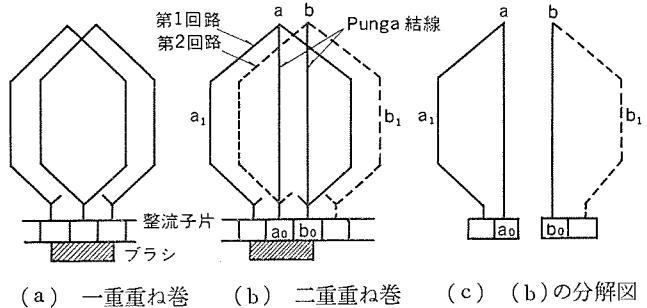
これを式(2), (4)に代入して整理すると次のようになる。

$$PN = 3 \times 10^{-2} (a/p) A_c v_a e_m \quad \dots \dots \dots (6)$$

直流機の  $A_c$  は主として温度上昇と整流時のリアクタンス電圧により  $5 \times 10^4$  A/m 程度に制限され、また  $v_a$  は構造上 60 m/s が限度になっている。 $e_m$  は一般に 20 V が限度値で、通常の一重重ね巻 ( $a/p=1$ ) の場合には、

$$PN = 1.8 \times 10^6 \text{ (kW · rpm)} \quad \dots \dots \dots (7)$$

となる。これが、直流機の限界出力の目安値といわれるもので、直流機の設計者はこの  $PN$  値と出力係数  $K$  の向上を努力目標の一つにしている。



(a) 一重重ね巻 (b) 二重重ね巻 (c) (b)の分解図

図 1. 一重重ね巻と二重重ね巻

### 2.2 二重重ね巻方式

上述の  $PN$  値を向上させる手段の一つとして二重重ね巻方式が考えられた。この方式は、1 個の電機子に普通の一重重ね巻を 2 組にして納める特殊な巻線方式である。普通の直流機は、1 個の電機子に 1 組の一重重ね巻を納めるものが多い。これらの概念を図 1. (a), (b) に示す。図 1. (b) の二重重ね巻で、第 1 回路のコイル端部の点  $a$  と第 2 回路の整流子片  $a_0$  とを結ぶ線の必要性を Punga 氏が提唱した<sup>(3)</sup>。この結線  $aa_0$  を Punga 結線と呼び、第 1 回路と第 2 回路の平衡を維持する均圧結線の一つとなっている。二重重ね巻にすると整流子片の数が増し、平均整流子片間電圧  $e_m$  を低くしやすくなるが、限界出力の向上を追求するときには二重重ね巻にしてその  $e_m$  を限度値一杯まで採用することになる。電流を同じとして、二重重ね巻なら一重重ね巻の端子電圧を 2 倍にできるから直流機の出力が 2 倍になる。

これが前節の式(6)で  $a/p=1$  の代わりに  $a/p=2$  となることを意味する。なお、二重重ね巻にすると同じ体格で出力が 2 倍になるというものではなく、式(3), (4)の出力係数に従って体格が決まる。

### 2.3 二重重ね巻機の問題点

上述のように二重重ね巻は、直流機の限界出力を向上させる手段として非常に魅力のあるものであるが、次の問題点を持っていた。

(1) 均圧結線: Punga 結線を含む均圧結線の正しい解釈とその具体的設計要領が不十分であったこと。

(2) 整流解析理論が未完成であったこと。

(3) 実施上の経験: Punga 結線にすると構造が複雑になり、また二重重ね巻機の運転経験では整流不良が多かったこと。

このような事情から、直流機の限界出力の壁を追求する試みは非常に少なかった。今回、筆者らは、二重重ね巻についてその整流解析理論を確立し<sup>(4)</sup>、後述の試作機についてその妥当性を検証した。

なお、Punga 結線の作用は、単に均圧結線だけでなく整流子片とブラシとの関係から電機子コイルの一部として動作するものであるという新しい解釈を与えた。これは、図 1. (b) から (c) に分解して示したように、 $a_1aa_0$ ,  $b_1bb_0$  がそれぞれ電機子コイルとして整流を分担していると見なせるからである。Punga 結線なしならば、整流

子とブラシは接触していても整流子片（例えば  $a_0$ ）は整流に寄与しない時があることになる。

このように、二重重ね巻ではブラシのカバリングなどの取扱いが面倒であるが、計算機を使って精密に解析した。

### 3. 試作機の仕様と設計

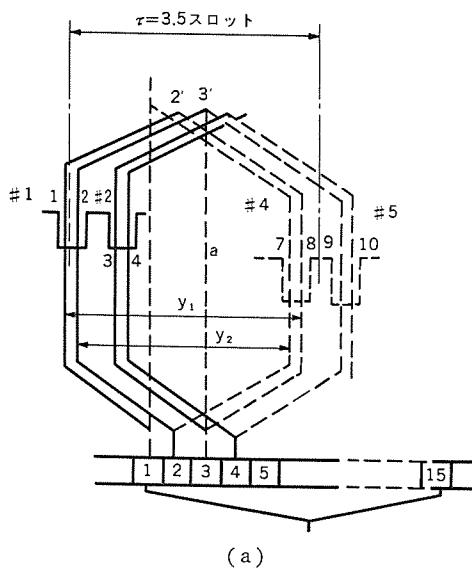
#### 3.1 仕様と設計定数

試作機には直流機の限界出力を向上するために Punga 結線付きの二重重ね巻方式を適用し、次の仕様を与えた。

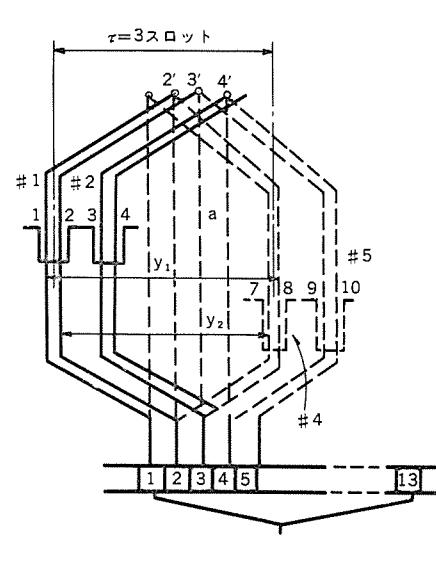
出力 2,250 kW 連続公称定格（設計目標 3,000 kW）、750 V, 1,800 rpm, 過負荷耐量 150 % 1 分間、他力通風形、F 種絶縁、  
温度上昇限度 85°C  $PN$  目標 =  $5.4 \times 10^6$  (kW · rpm)

当社の従来の記録機は、1,500 kW, 1,800 rpm で  $PN = 2.7 \times 10^6$  であった<sup>(5)</sup>。今回の試作機と旧記録機の設計内容を比較すると表 1. のとおりである。二重重ね巻という点が大きな差異で、その他は無理のない値を採用していることが分かる。

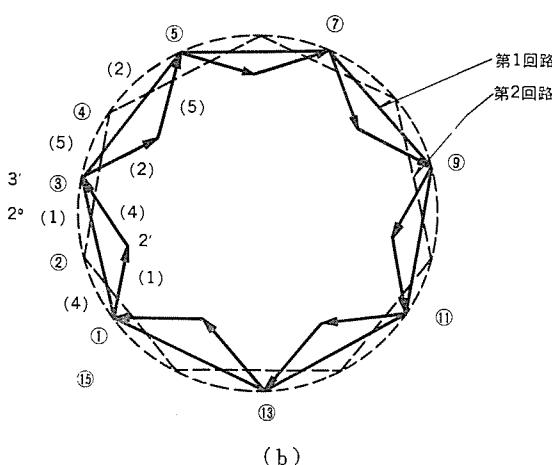
#### 3.2 設計の検討と巻線条件



(a)



(a)



(b)

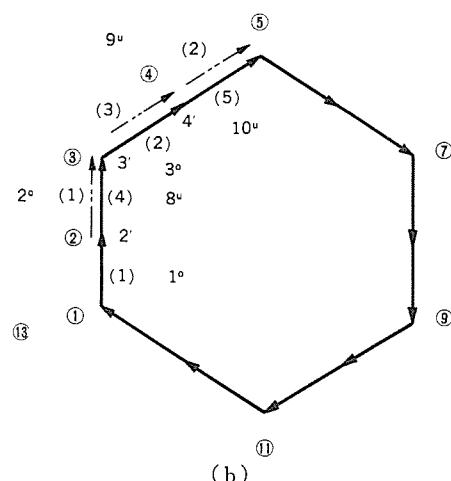
注 ( ) 内はスロット番号を示す。

○ 内は整流子片番号を示す。

凡例 2° : コイル辺2の上口 (ober)

9° : コイル辺9の下口 (unter)

図 2. 電圧ベクトル図 (案 I')



(b)

図 3. 電圧ベクトル図 (案 II')

表 1. 本試作機と旧記録機の設計定数の比較

	本 試 作 機	旧 記 録 機
出 力 (kW)	2,250 (3,000)	1,500
回 転 速 度 (rpm)	1,800	1,800
電 壓 (V)	750	600
電 流 (A)	3,200 (4,000)	2,520
極 数	8	6
電 機 子 卷 線 方 式	二重重ね巻	一重重ね巻
電機子スロット数	160	165
整 流 子 片 数	320	165
電 気 装 荷 (AC/cm)	408 (548)	516
整 流 子 片 間 電 壓 (V)	18.75	21.6

注 ( ) 内の数値は目標出力時の値を示す。

二重重ね巻方式は、一般に広く使用されているものではなく、特殊な機械に限られており、参考書などにも実例についての詳細な説明が少ないので巻線条件を含めて紹介する。二重重ね巻には次の 3 種類がある。

(1) 1 回帰非対称巻線

(2) 2 回帰非対称巻線

(3) 2 回帰対称巻線

$N_s$  = スロット数,  $u$  = スロット内コイル辺の数,  $N_k$  = 整流子片数、とすると、 $N_k = uN_s$  となる。 $N_s$ ,  $p$ ,  $u$  がそれぞれ偶数又は奇数となり、各種の組合せが成立するが、この試作機では(3)項の2回帰対称巻線を選んだ。しかも、 $N_s/p$  を偶数にして Punga 結線を全整流子片に取付けた。もし、 $N_s/p$  が奇数ならば寸法上では Punga 結線を全整流子片に取付けられるが、電気的には半数だけ取付ける必要がある。

本機でも  $N_s$  を 172 (案 I) か 160 (案 II) かの両案があり、160 を選定した。本機は 8 極で  $p=4$  であるから  $N_s/p=160/4=40$  (偶数) で、 $N_s=172$  ならば  $N_s/p=43$  (奇数) となる。この両案の検討には文献(6)及び(7)の作図法に従って電機子の電圧ベクトル図を書いてみるのがよい。作図を簡単にするために  $p=2$ ,  $u=2$  で  $N_s=14$  (案 I') と  $N_s=12$  (案 II') とした結果がそれぞれ図 2. 及び図 3. である。

図 2. (b) で整流子片③

は、スロット #1 のコイル辺 2 の上口  $2^u$  とスロット #5 の下口コイル  $9^u$  との交点すなわち  $3'$  と合致する。したがって ③ と  $3'$  とは Punga 結線で結ぶことができる。しかし、②は  $1^u$  と  $8^u$  の中間の  $2'$  と一致しない。②と  $2'$  とは電気的に結べない。図 3. の場合にはこれらの関係はすべて問題なく合致している。

また、2回帰対称巻線では階段巻にする必要があり、巻線ピッチ(整流子番号表示)  $y_1$  及び  $y_2$  を次のようにする。

$$y_1 = (N_k/2p) + 1, \quad y_2 = (N_k/2p) - 1 \quad \text{[図 3. (a) 参照]}$$

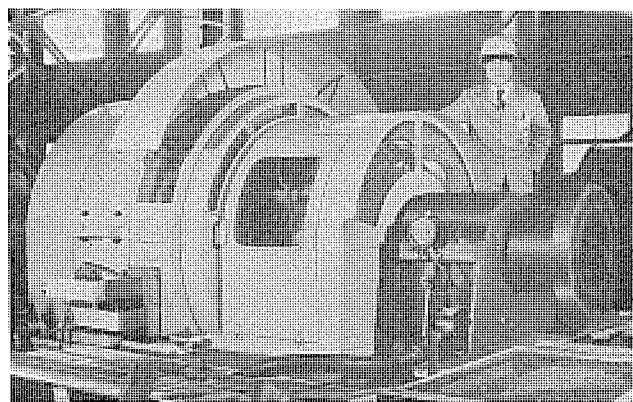


図 4. 試作機の外観

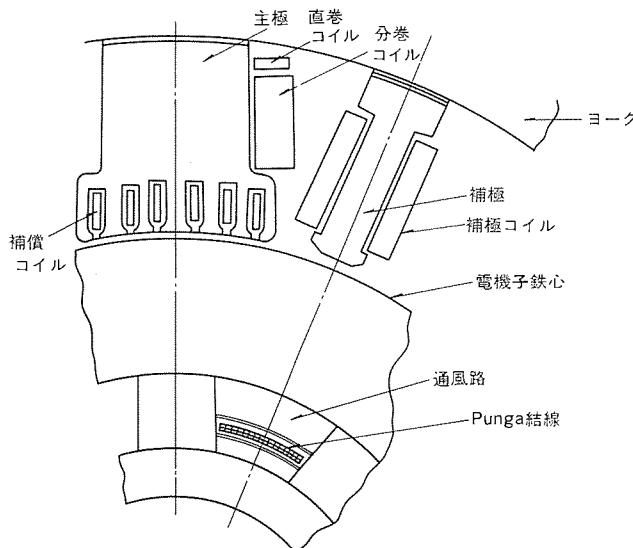


図 5. 部分断面図

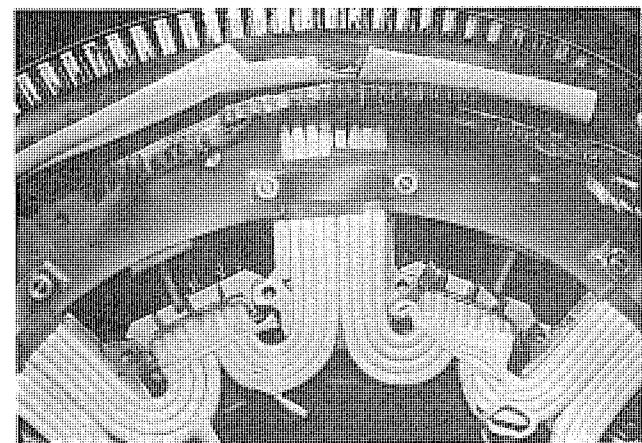


図 6. Punga 結線の取付け状況

このように、階段巻にし、 $N_s/p$  が偶数の  $u=2$  が二重重ね巻方式を適用するときの設計上の指針である。

### 3.3 設計結果の概要

高速機であるために整流子は シュリンクリング 形とし、電機子鉄心素材に広幅の電磁鋼板を使って鉄心を一円環構造とした。鉄心が一円環になったので内部が広くなり、Punga 結線の取付けと通風のため有効となった。図 4. に本機の外観写真を、図 5. に部分断面図を示す。図 6. は、Punga 結線の取付け状態で固定する以前の姿である。

## 4. 試験結果と考察

### 4.1 整流試験と考察

補極の添加励磁による無火花帯について、実測と計算のほぼ一致した結果を図 7. に示す。この計算は、筆者らの開発した解析プログラムの一つの成果である<sup>(6)</sup>。この図から本機は目標 3,000 kW に対して十分な整流能力を持っていることと、解析手法の妥当性とが実証された。

一方、補極下近くの磁束分布を知ることが整流解析上重要であり、精密な解析<sup>(7)</sup>によりその磁束分布を計算した結果が図 8. である。本機の補極先端幅が広く、したがって補極下の整流磁束分布が平坦になっているのが特徴的であり、その好成績の理由の一つになっていると考える。図 9. は リアクタンス 電圧と整流起電力の計算結果で、コイル 1, 2 が非常によく似た形状の出力を示し、整流条件がよく似ていることが分かる。

次に電機子電流の変化状況と ブラシ 接触電圧降下の変化状況を計

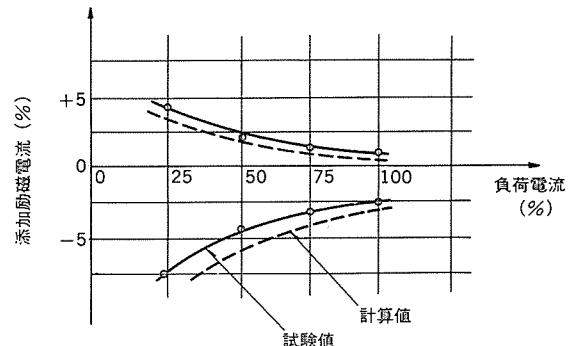


図 7. 無火花整流帶

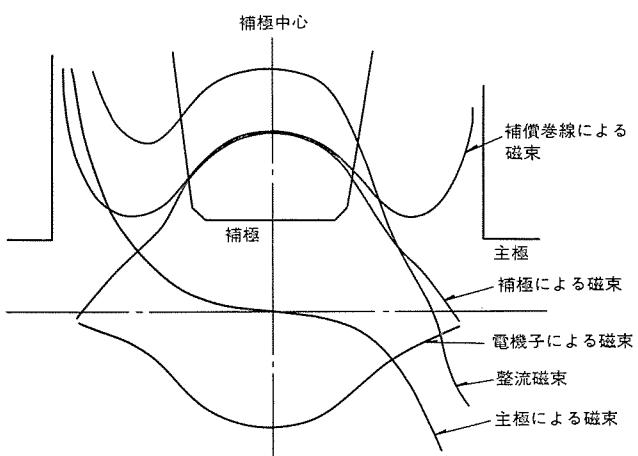


図 8. 磁束分布

表 2. 温度上昇試験値 (750 V, 1,800 rpm)

単位: °C

出力 (kW)	電流 (A)	界磁電流 (A)	電機子		整流子		分巻 コイル	補極 コイル	補償 コイル	直巻 コイル	ヨーク	給 気	排 気
			サーミスタ	アルコール	サーミスタ	アルコール							
3,000	4,240	19.25	71.5	60.5	65.5	53.5	33.5	26.5	39.5	36.5	12.5	22.5	18.5
2,250	3,200	20	43.5	35.5	57.5	45.5	27	19	27.5	26	8.5	21.5	13.5
1,500	2,200	20.65	31.5	27.5	48.5	40.5	19.5	11	16	17	4	22.5	7.5
無負荷		21.8	—	—	48.5	—	20	10	14.5	17.5	5	22	10

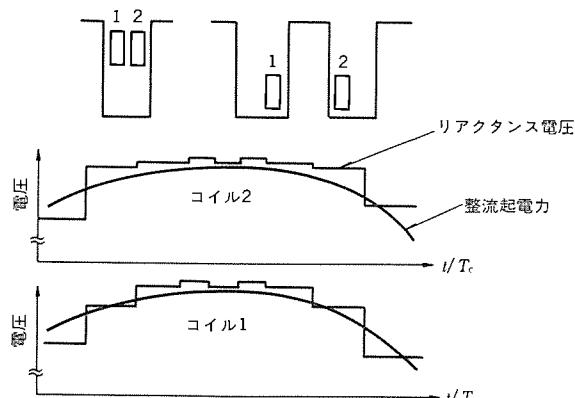
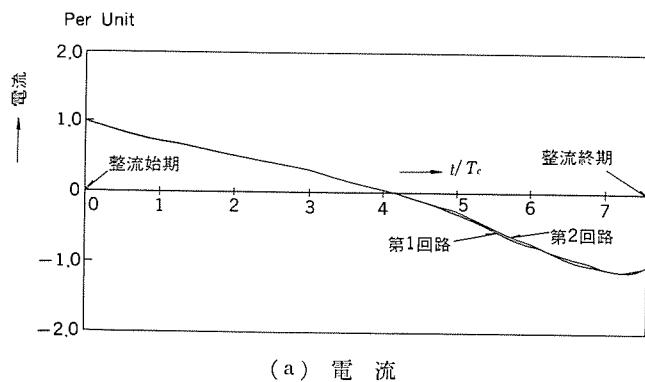
注 実測風量 合計  $795 \text{ m}^3/\text{min}$  (整流子に  $291 \text{ m}^3/\text{min}$ , 電機子・界磁に  $504 \text{ m}^3/\text{min}$ )

図 9. リアクタンス電圧と整流起電力



(a) 電流

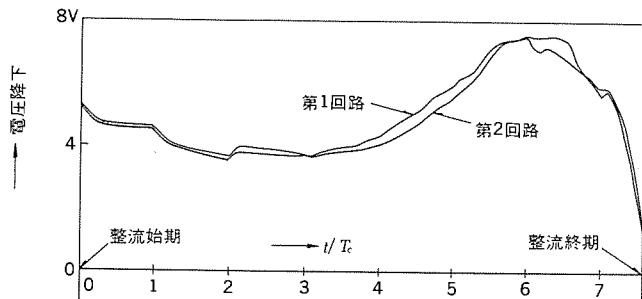


図 10. 電流とブラシ接触電圧降下

算した一例を図 10. に示す。これから分かることは、第1回路と第2回路の電流が非常によくそろって変化していることで、図 9. と同様の結果を表し、本機の整流条件がよいことを裏付けていると解釈できる。なお、図 10. の横軸は、整流周期を基準にした時間軸

である。

以上の解析のほかに、整流子片からスリッピングを経由して整流子電圧を取出して測定し、電圧が平衡していることと計算値とよく一致していることを確めた。

なお、本機の考えに沿って 5,000 kW 225/500 rpm の直流電動機を製作し、満足な試験結果を得た<sup>(10)</sup>。

#### 4. 2 温度上昇試験

強制通風時の温度上昇試験結果を表 2. にまとめ、本機が目標定格の 3,000 kW に対して所定の仕様を満足していることを示す。

#### 5. むすび

この試作機によって従来の出力限界の目安値である  $PN = 3.6 \times 10^6 \text{ kW} \cdot \text{rpm}$  を超える  $5.4 \times 10^6 \text{ kW} \cdot \text{rpm}$  を実現できた。更に、詳細な理論解析法で検討した結果の妥当性も実証した。

二重重ね巻を適用するときには、(極数  $2p$ )/ $a$  が偶数で階段巻を使って二重回帰対称巻線とし、全整流子片に Punga 結線を取付け、精密な整流解析により補極下の整流磁束分布を求めてブラシカバリングと補極先端幅や先端の角度などを検討するのがよいと考える。具体的には、極対数あたりのスロット数が偶数で、 $u=2$  として階段巻にし、ブラシカバリングと補極先端幅を広くする必要がある。

また、Punga 結線の動作について、均圧結線としてだけでなく電機子コイルの一部として整流を受け持つ作用があることが明らかになった。これは新しい見解として注目に値すると言える。

終わりにこの試作機の完成とその考察について多大の御支援をいただいた関係者各位に厚く感謝する次第である。

#### 参考文献

- 電気学会: 電気工学ハンドブック, p. 756 (昭 53)
- 電気学会: 電気工学ハンドブック, p. 753 (昭 53)
- F. Punga: ETZ-A, 77, H. 14, 490 (1956)
- 高月, ほか: 電気学会全国大会, No. 700 (昭 54)
- 萬谷, ほか: 三菱電機技報, 34, 2, p. 252 (昭 35)
- R. Richter: Lehrbuch der Wicklungen elektr. Masch., (1952) Braun
- H. Sequenz: Die Wicklungen elektr. Masch. II Band, (1952) Springer
- 阪部, 高月, ほか: 電気学会研究会資料 RM-80-20 (昭 55-10)
- 阪部, ほか: 三菱電機技報, 51, 10, p. 691 (昭 52)
- 三菱電機技報, 43, 8, p. 1144 (昭 44)

# キュービクル形ガス絶縁変電所

信崎 泰秀\*・丹羽 春美\*・寺田 健次\*・笹森 健次\*・太田 照雄\*

## 1. まえがき

ガス絶縁変電所（以下、GISと称す）は、電力設備の縮小化、大容量化、保守の省力化といった時代の要請に大きく貢献し、その卓越した信頼性と相まって急速な発展、普及を遂げている。GISは周知のとおり、構成機器をそれぞれ個別の円筒形タンクの中に比較的高圧のSF<sub>6</sub>ガスとともに収納し、それらの集合体として構成する。

一方、より一層の縮小化、環境調和を指向できるものとして、大気圧近傍のSF<sub>6</sub>ガスの封入された矩形容器の中に、構成機器を一括収納する方式すなわちキュービクル形GIS（以下、C-GISと称す）が近年注目されている。この発想は、当社がガス絶縁機器の研究に着手した昭和38年頃から既にあったものであるが、「信頼性の高い電力設備」というGISの幾多の実績と評価の結果、今ここに世の中に受け入れられ、実現される時期が到来したものと考えられる。

この背景を踏まえ、今までの豊富な技術をベースに、このたび当社では72/84kVのC-GISの製品化を完了し、昭和57年12月に公開試験を完了したので以下に報告する。

## 2. C-GISの概要と定格

図1にC-GISの外観及び内部構造の一例を示す。C-GISは図に示すとおりSF<sub>6</sub>ガスが充てん（填）された充電部と大気中で構成する制御部とからなり、充電部は矩形容器に構成機器を一括収納しており、制御部には接地タンク形のガスしゃ断器と構成機器の操作装置、及び監視制御装置を収納している。充電部の定格ガス圧は、1.2kgf/cm<sup>2</sup>(20°C)とした。また、ガスしゃ断器の定格ガス圧は従来通り、5kgf/cm<sup>2</sup>(20°C)とした。C-GISの各構成機器の定格仕様を表1.に示す。

## 3. 基本的な考え方

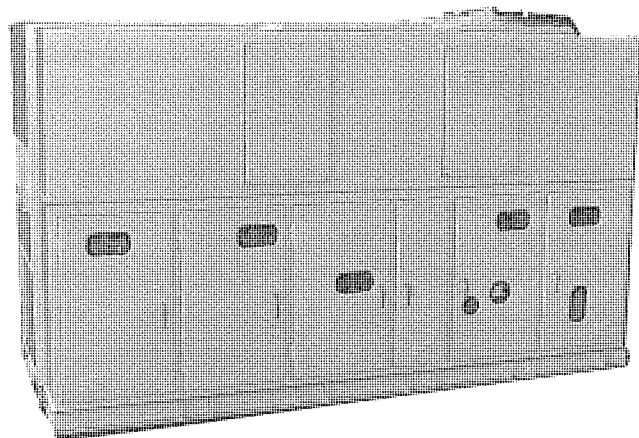
C-GISを開発するに当たり、従来のGISに対して次の事柄を念頭においていた。

- ・より縮小化を図ること。
- ・より信頼性の向上を図ること。
- ・より省力化を図り、無保守、無点検化を指向すること。
- ・より環境調和（周辺機器との協調）を図ること。
- ・より経済的なシステム機器であること。

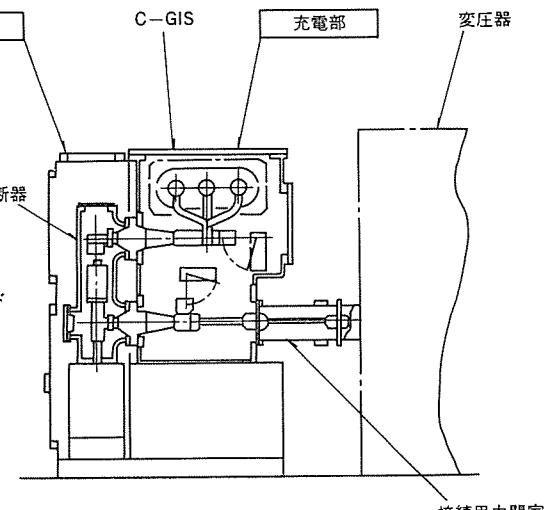
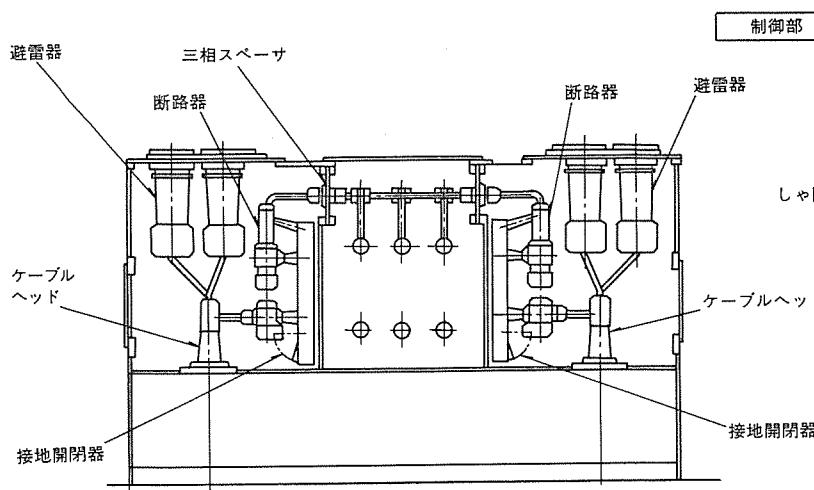
この結果、C-GISの基本構成は、次に示すことを最適と考えた。

- (1) 第2種圧力容器の規格の適用を受けない矩形容器を採用する。
- (2) 構成機器は、C-GIS容積の最小化を図ると同時に単体で組立、調整が可能なものとし、その後、矩形容器に取付けられること。具体的には次のようにする。

(a) しゃ断器は、単体で組立、調整、試験ができること、及び



(a) 外 観



(b) 内部構造図

図1. C-GISの外観及び内部構造（電力事業用配変例）

表 1. C-GIS 定格

C-GIS	定格電圧 (kV)	72, 84	接地開閉器	定格電圧 (kV)	72, 84
	定格電流 (A)	800, 1,200, 2,000		操作方式	ばね操作, 手動操作
	定格短時間電流 (kA)	25		形式	酸化亜鉛形
	総段階級 (号)	60, 70		定格電圧 (kV)	84, 98
	定格ガス圧 (kgf/cm <sup>2</sup> ) (20°C)	1.2		公称放電電流 (kA)	10
しゃ断器	定格電圧 (kV)	72, 84	避雷器	開閉サージ動作責務電容量 (μF)	25
	定格電流 (A)	800, 1,200		定格ガス圧 (kgf/cm <sup>2</sup> ) (20°C)	1.2
	定格しゃ断電流 (kA)	25		形式	SF <sub>6</sub> ガス絶縁形
	定格しゃ断時間 (サイクル)	3, 5		定格一次/二次/三次電圧	$\frac{66}{77} \text{kV} / 110 \text{V} / \frac{110}{3} \text{V}$
	操作方式	ばね操作		定格二次/三次負担 (VA)	500-200/200
断路器	定格ガス圧 (kgf/cm <sup>2</sup> ) (20°C)	5	計器用変圧器	誤差階級 (級)	1.0/3 G
	定格電圧 (kV)	72, 84		定格ガス圧 (kgf/cm <sup>2</sup> ) (20°C)	1.2
	定格電流 (A)	800, 1,200, 2,000		形式	貫通形, 分割貫通形
	操作方式	ばね操作, 手動操作		定格一次/二次電流	仕様による
	定格ガス圧 (kgf/cm <sup>2</sup> ) (20°C)	1.2		定格負担 (VA)	15, 25, 40, 60, 100

保守, 点検が容易であることを考慮し, 相分離タンク形のガスしゃ断器とし, C-GIS の容器外部に設置しブッシングにより C-GIS 本体と結合する。

(b) 断路器, 接地開閉器は, 三相共通ベース上に充電部がポストスペーサで支持する構造とし, 断路器は直線形, 接地開閉器は回転形とした。

(c) 避雷器は酸化亜鉛素子を絶縁筒内に設置し, そのガス圧は C-GIS 本体と同一とする。また, ケーブル DC 耐圧時の作業の簡素化を図るために, 回路切離し装置を設ける。

(d) 計器用変成器はガス絶縁形とし, 卷線及び鉄心などをそのまま C-GIS 容器内に設置する。

(e) 導体の支持は, 通常はポストスペーサ, ガス区分の必要な箇所は三相一括スペーサにて行う。

(3) 構成機器の操作装置は電動ばねとし, C-GIS の制御部に一括収納する。

以上の事柄を踏まえると, 従来の GIS との最も大きな相違点は, 定格ガス圧が低く矩形容器を採用することである。したがって, C-GIS を設計する上で重要な技術的検討事項は, 定格ガス圧の最適設定, 矩形容器の圧力強度設計, 及び低気圧の SF<sub>6</sub>ガス中の断路器, 接地開

閉器の電流しゃ断性能などである。その詳細説明は 5 章で行う。

また, 矩形容器を採用したのは, 以下に述べるように C-GIS の縮小化の条件として不可欠だからである。つまり, 従来の GIS は前に述べたとおり, 構成機器と円筒形タンクとがセットになったものの集合体であるため, その大きさは絶縁設計のみならず, 圧力容器としてのタンクの製作寸法及び組立上のスペースなどに依存される。これに対し C-GIS は, 構成機器を一括して矩形容器に収納することにより, それらの制約がなくなるため大幅な縮小化が可能となる。なお, 大形の円筒形タンクを使用することも考えられるが, スペースメリットを考えると矩形容器の方が勝っている。

## 4. 特長

### (1) 縮小化の進展

C-GIS は, 全三相一括形 GIS と比較すると, 1 ユニット当たりで据

単位: mm

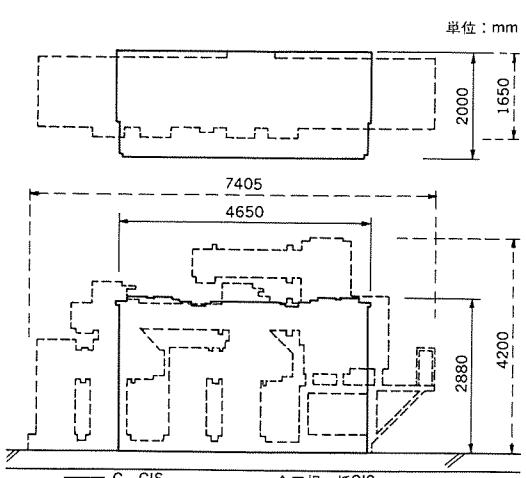


図 2. (a) 電力事業用配変構成

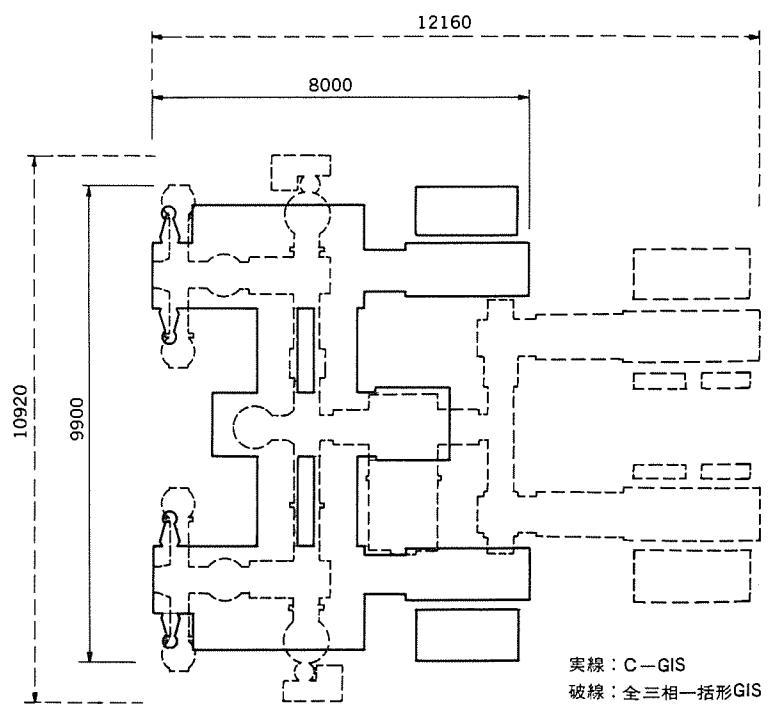


図 2. (b) 2回線受電2バンク配置構成

表 2. 寸法比較表

	図 2. (a)			図 2. (b)		
	三相一括形 GIS	キュービック ル形 GIS	縮小率 (%)	三相一括形 GIS	キュービック ル形 GIS	縮小率 (%)
据付面積 (m <sup>2</sup> )	12.2	9.3	76	132.8	79.2	60
体積 (m <sup>3</sup> )	51.3	26.8	52	411.7	229.7	56
重量 (t)	14	14	100	—	—	—

付面積で 70 %, 容積で 50 % に縮小され, 更に変電所全体 (2 回線受電 2 バンク) で据付面積, 容積とも 60 % 程度となる。その比較表を図 2. (a), 図 2. (b), 表 2. に示す。

#### (2) 保守の省力化の進展

電動ばね操作装置を用いることにより, 変電所のコンプレッサが不要となる。また, その操作装置を制御部に一括して設置することにより, 一面保守が可能となり保守の省力化が図れる。

#### (3) ガスシール箇所の低減

矩形容器を採用することにより, 全三相一括形 GIS に比べ, ガスシール箇所は約 30 % に低減できた。

#### (4) 環境調和

C-GIS は, 矩形の一体構造であることより, 変電所周辺の家屋, 建物と調和し, また変電所に不可欠な変圧器, 二次側メタクラッドなどと同様の外観をしている。

### 5. 技術的検討

#### 5.1 定格ガス圧の設定

定格ガス圧を決定するに当たって第一に考慮すべきことは, 定格ガス圧に対して所要の圧力差をもつ低圧警報圧が最低使用温度にても負圧とならないこと, また運転時の温度上昇による最高使用圧力が第2種圧力容器の法的規制 (2 kgf/cm<sup>2</sup>) を越えないことである。したがって定格ガス圧は, 0.5 kgf/cm<sup>2</sup> から 1.4 kgf/cm<sup>2</sup> までの間で選定されるべきである。

一方, SF<sub>6</sub> ガスの絶縁特性は, 周知のようにガス圧に比例して向上するので, 定格ガス圧は上記の選定範囲内で高目に設定した方が機器を縮小できる。また, 内部事故時の内圧上昇に対しては, 放圧装置にてガスを外部へ放出すれば内圧上昇を制限できるが, ガス放出による二次災害を避けること, 放圧装置の動作のばらつき, ガスリークなど放圧装置の信頼性及び GIS の事故確率は, 数多い使用実績より極めて低いことを考慮し, 放圧装置は設けないこととしたため, 容器は事故時の内圧上昇 (7 kgf/cm<sup>2</sup> 程度) に耐える必要がある。

したがって, 定格ガス圧を上記の選定範囲内のいずれを設定しても, 内圧上昇と比べると十分差があるため, 容器の強度設計には影響しない。

更に, C-GIS はガス絶縁変圧器との併用により, 近年注目されているオイルレス変電所の実現が可能であり, 当社のガス絶縁変圧器 (定格ガス圧 1.2 kgf/cm<sup>2</sup>) との協調により, 保守・管理の容易な変電所が実現する。

#### 5.2 容器の圧力強度

容器の圧力強度については, 実機による圧力試験を実施し, 構造解析プログラム (NASTRAN) を用いての強度解析も併せて行った。その結果, 容器の平板部分及び溶接部分の応力は, 弹性限界内の低い

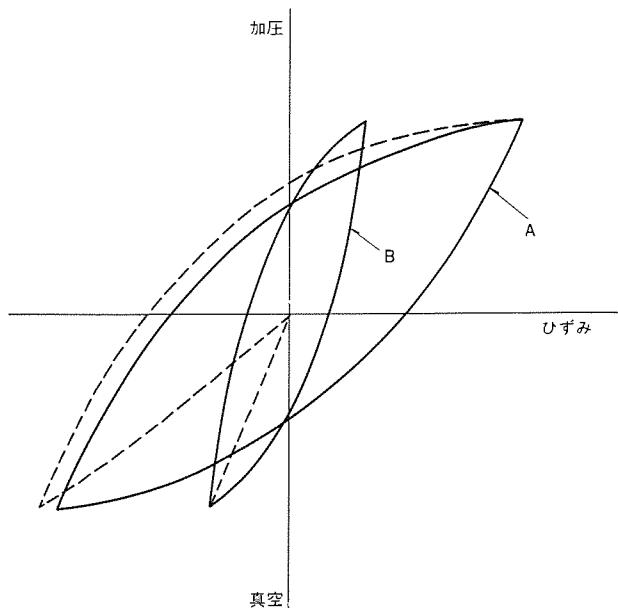


図 3. 圧力-ひずみ特性 (圧力サイクル試験時の矩形容器のヒステリシス曲線)

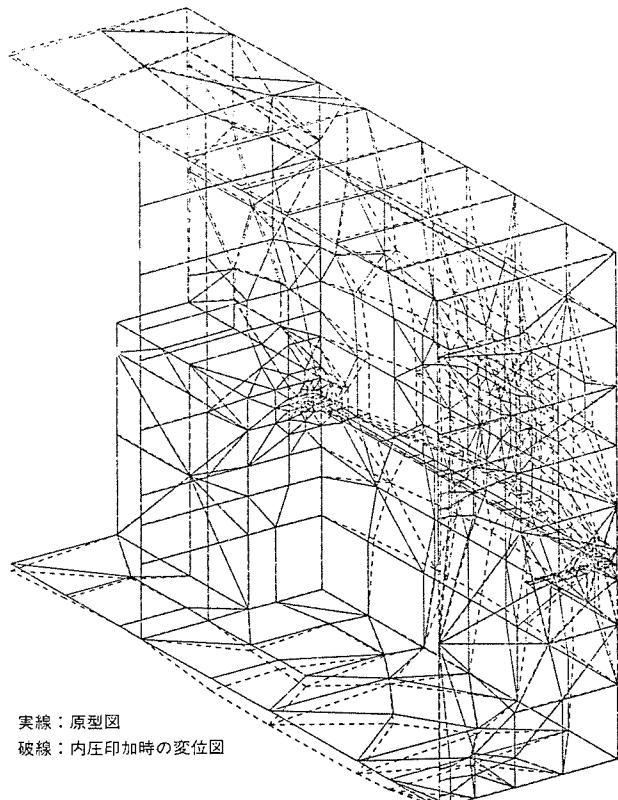


図 4. 矩形容器の変位図 (構造解析プログラム NASTRAN による)

値であったが, 補強と平板のつけ根, 及び容器のコーナ部などは応力の集中がみられた。この応力集中部は, 図 3. A のように一定圧力以上になると, 圧力とひずみの関係は曲線を描き残留ひずみが残るが, 繰返しの圧力サイクル試験 (加圧→真空) ではその特性はヒステリシス曲線を描き, 3 サイクル程度の繰返しで一定の曲線に落ちつく。また, 応力集中部に適当な補強を施すことによって, ヒステリシス曲線は, 図 3. B のように応力変動の小さなものになることがわかった。

一般に, 運転中起る容器内圧の微小変化に対して, ヒステリシス曲線上のひずみ (応力) 変動が容器を構成する部材の疲労限度を越え

なければ、容器は長期間の使用に耐えることが知られている。また初期応力をもつ鋼材の10<sup>7</sup>回の疲労限度は、初期応力をもたない鋼材のそれに対して7~8割程度となる。

したがって、容器内部の温度変化などによる内圧の変化は1.2±0.3 kgf/cm<sup>2</sup>程度であることから、これに対する応力変動が上述の疲労限度以下となるようすれば何ら問題ない。

図4.に構造解析プログラム(NASTRAN)による解析例を示す。解析の結果、ひずみ発生箇所及びひずみ値、たわみ共に実測結果とよく一致している。この手法は合理的な容器設計に欠くことのできないものである。

### 5.3. 断路器(DS), 接地開閉器(ES)の電流しゃ断能力

ここでは、低圧のSF<sub>6</sub>ガス中におけるDSのループ電流、進み電流しゃ断能力、及びESの誘導電流しゃ断能力について述べる。

図5.に、0.2 kgf/cm<sup>2</sup>と0.9 kgf/cm<sup>2</sup>のガス圧に対する各電流しゃ断時の開離度(消孤瞬時の接触子間距離/全開路時の接触子間距離)の関係を示す。これより、DS(直線動作)よりもES(回転動作)の方がしゃ断能力は優れており、両者とも0.2 kgf/cm<sup>2</sup>よりも0.9 kgf/cm<sup>2</sup>の方がループ電流、誘導電流しゃ断の開離度は小さく、しゃ断しやすいことがわかる。0.2 kgf/cm<sup>2</sup>でのDSによる1,500V, 300Aのループ電流しゃ断は、開離度が100%に近く能力不足であるが、1,000V, 200Aであれば、多数回のしゃ断能力を有していると考えられる。また、0.2 kgf/cm<sup>2</sup>での84 kV 1 A, 0.9 kgf/cm<sup>2</sup>で

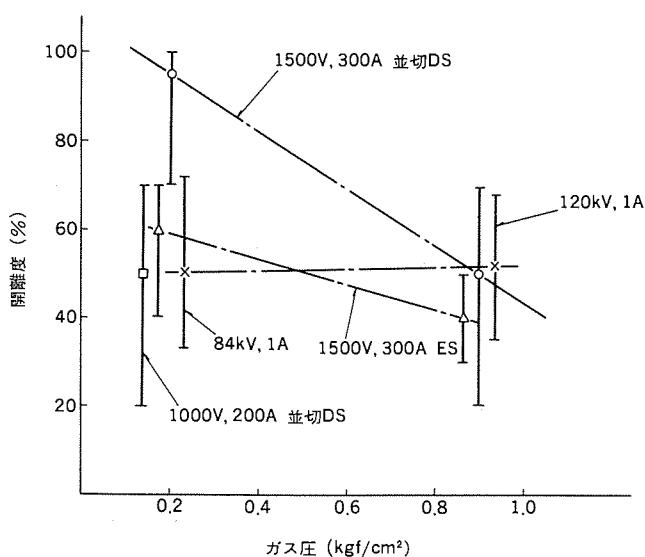


図5. 断路器、接地開閉器しゃ断能力(ガス圧-開離度)

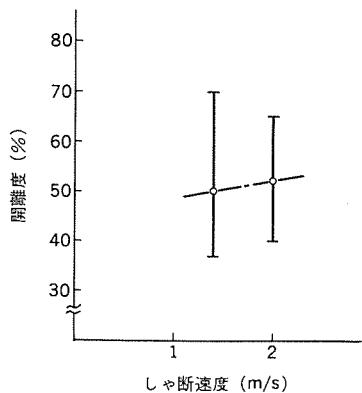


図6. 断路器しゃ断能力(しゃ断速度-開離度)

の120 kV 1 Aの進み小電流しゃ断を比較すると、両者とも同程度の開離度でしゃ断可能である。ガス圧が0.2 kgf/cm<sup>2</sup>から0.9 kgf/cm<sup>2</sup>に上ることによる絶縁性能の向上と電圧が84 kVから120 kVに上る割合はほぼ同程度であることより、しゃ断性能はしゃ断時のDS極間電界に大きく影響されることがわかった。

図6.に進み小電流しゃ断時のしゃ断速度と開離度の関係を示す。これより、しゃ断速度を上げると、しゃ断位置のばらつきは、小さくなり安定する傾向にあるが、開離度の平均値は同程度である。つまり、しゃ断するには、一定の開離距離が必要であることがわかった。

以上のしゃ断試験結果より、今回製品化したDS, ESは、66/77 kV系配電用変電所、及び一般受変電設備に要求される電流しゃ断能力を十分に有していると判断できる。

## 6. 構 造

各機器の構造の詳細を次に述べる。

### 6.1 しゃ断器

図7.にしゃ断器の構造を示す。しゃ断器は、単一圧力式パッファ形ガスしゃ断器であり、相分離接地タンク構造で、C-GISの制御部内に設置し、容器中とはブッシングを介して接続している。そのためしゃ断器のコンタクト類の保守・点検は、しゃ断器のみのガス処理でタンク上部より容易に行えるばかりでなく、しゃ断器単体で組立・調整が可能なため組立の合理化が図れ、将来、しゃ断器単体でのシリーズ化も可能である。またブッシングには、計器用変流器を取付けうる構造とした。操作装置にはばね操作機構を採用し、保守・点検の省力化を更に進展させた。またC-GISの制御部に収納したことにより、低騒音化が図れた。詳細は本誌別論文に報告しているのでここでは省略する。

### 6.2 断路器、接地開閉器

図8.に断路器及び接地開閉器の構造を示す。断路器は、導体の軸方向に可動接触子が移動する方式で、課電部を三相一例配置し、可動部及び固定部はポストスペーサにより支持する構造で、断路器単体で組立、調整後に容器内に収納する。操作は三極単投で、電動ばね操作方式のほか、手動操作方式の適用も考慮している。ばね操作の場合、母線の充電電流、無負荷変圧器の励磁電流開閉にも十分な開閉能力を有している。

接地開閉器の可動接触子は、C-GISの構成にマッチした回転形を採用し、所要スペースの縮小を図っている。接地側は、密封端子で各

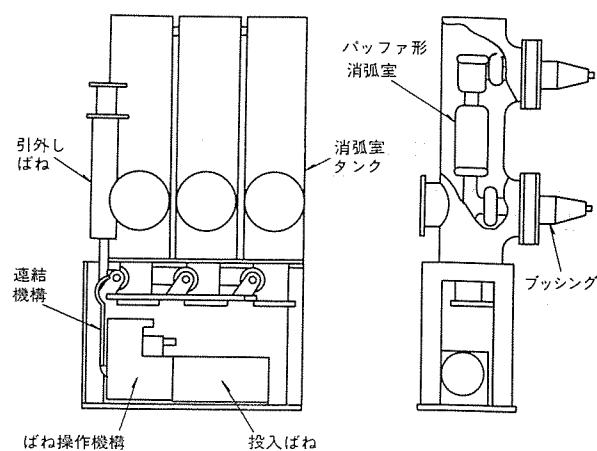


図7. ガスしゃ断器構造図

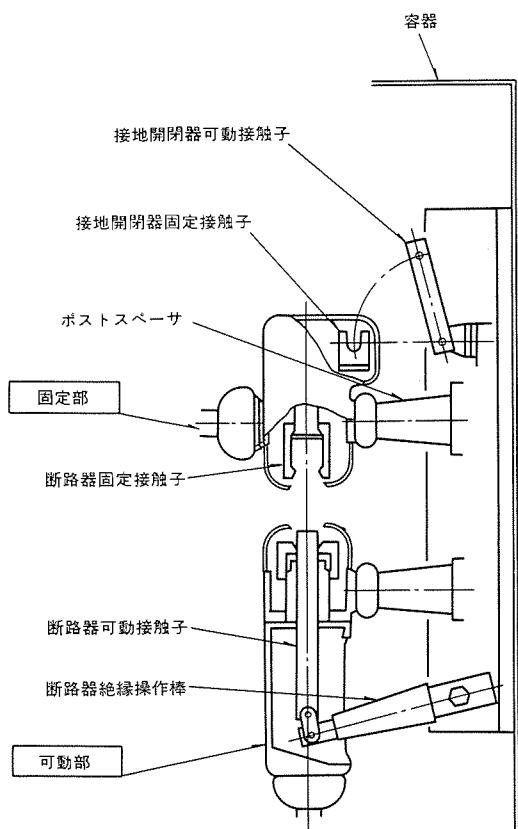


図 8. 断路器、接地開閉器構造図

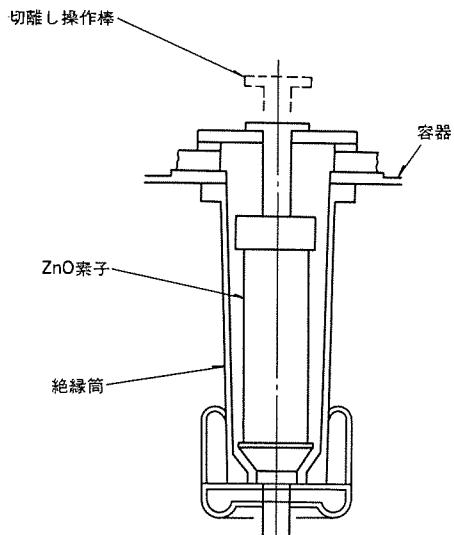


図 9. 避雷器構造図

相独立して制御部へ引き出し、制御部内で三相共通接地を行っている。したがって、三相共通接地を取り外せば各相の主回路抵抗測定及び絶縁抵抗測定などが容易に行える構造としている。

### 6.3 避雷器

図 9 に避雷器の構造を示す。避雷器は、従来の酸化亜鉛素子を更

に改良した新酸化亜鉛素子を採用し、各相ごとに絶縁筒に収納している。また酸化亜鉛素子を三角配置することで、高さの低減を図っている。避雷器内部の  $SF_6$  ガスは、常時 C-GIS と同一監視を行っているが、バルブ操作によりガス区分ができる構造としている。

更に素子部は避雷器内部のガスを抜くことなく、主回路より切離せる断路部を有しており、C-GIS の耐電圧試験及びケーブルの直流耐電圧試験などの試験のための組立作業を簡素化し、より信頼性の高い避雷器としている。

### 6.4 計器用変圧器

計器用変圧器は実績のあるガス絶縁形を採用し、ガス圧力  $1.2 \text{ kgf/cm}^2$  用を適用した。巻線、鉄心などをそのまま C-GIS 容器内に収納する構造でガス圧力監視の簡素化を図っている。

### 6.5 変圧器直結部

図 1. (b) の C-GIS 内部構造図に接続部の構造を示す。C-GIS と変圧器との接続部には、接続用中間室を設け、現地接続作業時の C-GIS のガス処理及び変圧器の油処理を不要とし、接続用中間室のみの油処理で接続が可能であり、現地作業の簡素化を図っている。

### 6.6 受電線との接続

受電線との接続は、架空線、地中線いずれの方式も可能としている。架空線の場合は C-GIS と同一ガス圧力のガスブッシングで接続する。地中線の場合のケーブルは、CV 又は CVT を使用しスリップオンタイプを採用し、現地接続作業の簡素化を図っている。

## 7. 検 証 試 験

各構成要素単体については、それぞれの規格に準じて厳密な試験を行ない、更に組合せた状態での耐電圧、温度上昇、短時間電流、耐震試験などを実施して基本的な性能を検証した。更に C-GIS として、矩形容器の耐圧力試験に重点をおき、数種の試作容器による強度の解析を行うとともに、構造解析プログラム (NASTRAN) による解析を実施した結果、十分な強度を確認した。

## 8. む す び

以上、C-GIS の概要について報告した。C-GIS は、その卓越した特長と経済性とで電力事業用配電用変電所及び特高受変電設備などへの適用はますます拡大するものと期待される。

また C-GIS は「タンクを含めた機器の複合一体化による GIS の合理化」という新しい命題への一つの挑戦であり、今後、高電圧、大容量化への展開が予想されるが、もちろん大形タンク製造技術、また経済性とのバランスなどを考慮し進められるべきものであり、今回の製品化はその大きな糧となるものと確信している。

なお、今回は  $72/84 \text{ kV}$  C-GIS について述べたが、 $120 \text{ kV}$  C-GIS の設計検討及び検証もほぼ完了しており、近々製品化に対応できる状態にある。

## 参 考 文 献

- (1) 左近ほか：三菱電機技報、52、No. 12, p. 920 (昭 53)

# キュービクル形ガス絶縁変電所用ガスしゃ断器

大沼昭栄\*・矢部潔\*・吉光悦司\*

## 1. まえがき

当社は、SF<sub>6</sub>ガスの優れた絶縁性能としゃ断性能とに、いち早く着目し、その研究、開発に着手し、昭和40年に我が国最初のガスしゃ断器（以下、GCBと称す）を納入した。このGCB技術は、変電設備の縮小化の要求にこたえるべく、ガス絶縁変電所（以下、GISと称す）技術へと発展し、現在のGCBやGISの急速な発展、普及には著しいものがある。

これらガス絶縁機器は、縮小化、高信頼度化、環境調和など種々の特長を有するものであるが、最近では、より一層の縮小化、無保守化、高信頼度化への要求が強まってきている。

この背景をふまえ、このたび当社では今までの豊富な技術をベースに、72/84 kVクラスの配変及び受変電設備を対象に、大気圧近傍の低圧ガスを使用した矩形容器のキュービクル形GIS（以下、C-GISと称す）の開発を完了し、昭和57年12月に公開試験を実施したので以下に報告する。C-GIS自体の報告は本誌別論文（p. 44）で行い、ここではGCBのみの報告を行う。

C-GIS用GCBは、その外観写真を図1に示すとおり、ばね操作方式による相分離タンク形の構造とし、C-GISの制御部（気中側）に配置されるものとした。C-GISとしての全体的な構成は別論文を参照されたい。

以下に、このC-GIS用GCBとしての技術的検討の要点も含め、その概要について述べる。

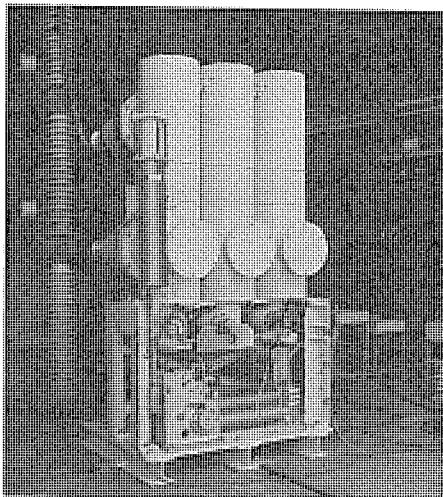


図1. C-GIS用GCB外観写真（しゃ断試験中）

## 2. C-GIS用GCBとしての基本的な考え方

C-GISは前にも述べたように、従来のGISに対しより一層の縮小化、無保守化、高信頼度化を図り、今後広く配変及び受変電設備への適用を考えたものである。したがって、C-GIS用GCBとしての基本的な考え方あるいは最適化の検討が重要となる。これらの検討

表1. C-GIS用GCBとしての基本的な考え方

項目	基本的な考え方	内容
定格事項	<ul style="list-style-type: none"><li>受変電設備用として必要な定格を満たす。</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>定格電圧 : 72/84 kV</li><li>定格電流 : 800, 1,200 A</li><li>定格しゃ断電流 : 20/25 kA</li></ul>
全体構造及び性能	<ul style="list-style-type: none"><li>無保守化を指向する。（エアレス化）</li><li>GCB単体で組立、調整、試験が可能のこと。</li><li>保守点検が容易なこと。</li><li>C-GIS容積のミニマム化。</li><li>CT取付けが可能なこと。</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>中小容量GCBとしては、ばね操作方式が適している。（しゃ断投入ともばね力による）</li><li>タンク形とし独立した形態となる。（C-GISの気中側に配置する）</li><li>相分離形とし、また消弧室を小形化し、タンク直径の縮小化を図る。</li><li>操作機構をタンクの下に配置する。</li><li>フッシングによりC-GIS本体と接続しこの部分に取付可能とする。</li></ul>

の要点を表1に示し、次にその概要を説明する。

### 2.1 定格事項

定格電圧72/84 kVの受変電設備用のGCBとして、定格電流800 A及び1,200 A、定格しゃ断電流20 kA及び25 kAが必要である。ただし定格電圧に対しては、将来120 kVクラスも含めたシリーズとしての考慮が必要である。

### 2.2 GCBの全体構造及び性能

GCBの外観的な全体構造としては、しゃ断部のみC-GISの低圧ガス側に配置するような構成も考えられるが、次の事項を基本的な考え方において検討を進めた。

- 無保守化を指向するものであること。
- GCB単体で組立、調整、試験が可能なこと。
- (1)項は考慮するが、保守点検は容易であること。
- C-GIS容積としてのミニマム化を図ること。
- 変流器(CT)取付が可能なこと。

この結果、C-GIS用GCBとして、

(a) 外観的な構造としては、相分離タンク形とし、C-GISの気中側に配置し、フッシングによりC-GIS本体と結合する方式とする。

(b) 72/84 kVクラスのGCBは、現在空気操作方式を採用している。コンプレッサを含む空気系は保守が必要であり、無保守化のためにエアレス化を考え、ばね操作方式を採用する。

との結論に至った。

技術的には、(b)項のばね操作方式に対する検討が必要であり、またこれに関連して消弧室に対する検討も必要となる。

### 3. ばね操作方式及び消弧室に対する検討

GCBの消弧方式としては種々あるが、この中でしゃ断時パッファシリンドを圧縮しアーカーに吹付けしゃ断するパッファ形GCBが、構造が簡単であり現在の主流となっている。このパッファ形GCBは比較的大きな操作力を必要とし、その操作力によりしゃ断性能も影響される。したがって、操作方式（操作機構）と消弧室とは密接な関係がある。

表 2. ばね操作機構に対する基本的な考え方

項目	基本的な考え方	内容
定格事項	C-GIS 用としての定格だけでなく一般 GCB 用への適用も考慮する。	○定格しゃ断時間 3 サイクルも可能のこと。 ○標準動作責務 R (O-θ-CO-1 分 CO, O: しゃ断, C: 投入) も可能のこと。
構造及び方式	引外し優先	投入はカムの回転による駆動により行い、投入の最終でカムがフリーとなり本体側と切離す方式とする。
	ポンピング防止	シンプルな構造とする。 機械的ポンピング防止も可能とする。
	ばねの蓄勢方式	標準動作責務 R を考慮する。
	ばねの構造	従来から実績のある構造とする。 しゃ断ばね、投入ばねともコイルばねとし、圧縮形とする。
性能	保守性	無保守化を指向する。
	信頼性	蓄積された技術の反映ができるだけ図る。 (構造、材質、硬度、部品公差、限界摩擦係数など)
		引外しラッチ機構 引外し電磁石 AM 形空気操作機構 投入ラッチ機構 投入電磁石 ポンピング防止機構
		AM 形空気操作機構と同一のものを使用する。

### 3.1 ばね操作機構に対する基本的な考え方

操作機構の信頼性は重要であり、GCB の信頼性は操作機構によって決まると言っても過言でない。したがって、ばね操作機構の開発にあたり、基本的な考え方は重要でありそれを表 2. に示す。

ばね操作機構は、C-GIS 用 GCB への適用のみならず、今後的一般 GCB 用としての発展も考慮する必要があり、また構造、方式の面や信頼性の面で従来から実績のある方式あるいは蓄積された技術を反映するという点に特に注意し、表 2. に示すように従来から標準としている AM 形空気操作機構の部品を基本的に活用した。これに更に、配置構成の見直し検討を加えたものとした。

この基本の考え方により、ばね操作機構自身としての適正な操作力が決定され、それは従来の同定格の空気操作方式のものの約 1/4 となった。したがって、この従来に比べると小さな操作力のもとでしゃ断を可能とするため、次節で述べる消弧室の改良（消弧室の小形化）の技術が重要となる。

### 3.2 消弧室の小形化

当社では早くからガス絶縁機器の開発に着手し、その絶縁技術、しゃ断技術の向上に努め、多くの実績をあげてきた。特にしゃ断技術の発展は著しく、最近では 240/300 kV 一点切り、550 kV 二点切りの 50 kA 単一圧力式タンク形 GCB の発表を行っている<sup>(1)</sup>。これは消弧室のユニット電圧の向上に対する技術であるが、今回の消弧室の小形化に際しても、この技術はそのまま生かされた。

#### (1) 消弧室小形化に関する基本的な考え方

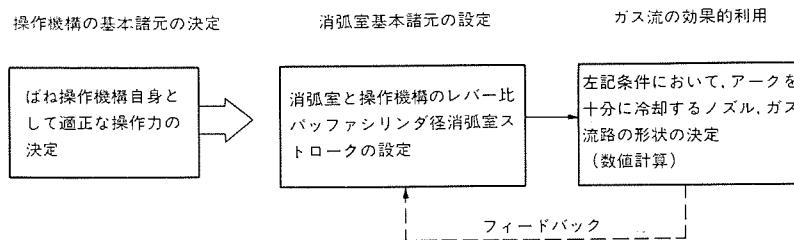


図 2. 消弧室の小形化

消弧室の小形化に関しては、しゃ断性能の向上のみならず、電界設計にも注意を払う必要があるが、従来このクラスの消弧室はしゃ断性能上基本寸法諸元が決定される所が多く、小形化に際し電界設計上は大きな問題点は有していない。

消弧室の小形化に関する基本的な考え方は、図 2. にも示すとおり、ばね操作機構自身としての適正な操作力を決定し、その条件のもとでバッファシリンダ径、ストロークなどの諸元を設定し、更にガス流の効果的利用を図るために、電算機により消弧室形状（ノズル形状、ガス流路の形状）の最適設計を行った。

#### (2) ガス流の効果的利用

消弧室を小形化し、従来と同等以上のしゃ断性能を確保するためには、アーケを消弧するガスの流れによる冷却を効率よく行うことが必要である。

消弧室のしゃ断性能は、消弧室の圧力に依存し、更にこの圧力はガス温度やその分布に依存している。またこれらは、結果的にはバッファシリンダ部の諸元やノズル形状に依存している。

当社では、GCB の実際のノズル形状などの諸元を与え、各種のアーケ電流に対し、ガスの圧力、温度などをシミュレートする数値計算プログラムを開発している。図 3. に今回開発した消弧室にて、25 kA の電流を 1 サイクルのアーケ時間でしゃ断した場合のバッファシリンダの動きとシリンダ圧力を示す。

このような計算により、バッファシリンダの大きさ、ストローク、ノズル形状などの最適化を図り、消弧室を小形化し、4 章で述べるとおり GCB としてもかなり縮小化された。

以下に、この GCB の特長、定格や構造、動作の説明及び試験結果の概要について述べる。

## 4. 特長

C-GIS 用 GCB は、優れたしゃ断性能、低い開閉サージといった GCB としての一般的な特長のほかに、次のような特長を有している。

#### (1) 小形、軽量

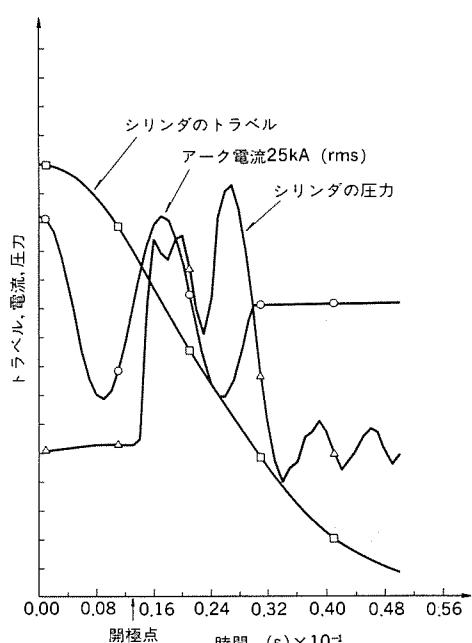


図 3. GCB トラベル 及び シリンダ圧力上昇の計算結果

消弧室の小形化により、従来の GIS 用 GCB に比べかなりの縮小化が得られた。同一定格の従来の GCB を 100 % すると、次のとおりとなる。

外形寸法 (容積) ……25 %

総重量 ……45 %

(2) 保守点検が容易

タンク形とし、C-GIS の気中側に配置する方式としたので、保守点検が容易である。

(3) 保守の省力化及び信頼性の向上

ばね操作機構を採用し、エアレス化することにより、保守面の省力化と信頼性の向上が得られた。

(4) 低騒音化

可動部重量の低減と操作力の低減により、操作時の騒音が低減された。

## 5. 定格、構造及び動作

### 5.1 定格

GCB の定格事項を表 3. に示す。

### 5.2 構造

(1) 全体構造及び外形寸法

GCB の全体構造及び外形寸法を図 4. に示す。図に示すとおり、外形容には相分離タンク形とし、ブッシングにより C-GIS 本体と結合する方式となっている。必要な場合、このブッシングの部分に変流器を配置することも可能である。また、ばね操作機構は消弧室タンクの下に配置し、大きな縮小化が達成されている。

ばね操作機構と消弧室との機械的連結は、各相消弧室タンクの下に配置する回転シャフトを介して行う。

(2) しゃ断部 (消弧室)

しゃ断部は单一圧力式 パッファ形で、図 5. にその消弧原理を示すとおり、SFMT 形 (二方向吹付方式) となっている。基本的には従来の当社の構造と同一であるが、小形化や形状を改良している。

(3) ばね操作機構

操作機構は、しゃ断、投入ともばね力で行う BM 形ばね操作機構を採用しており、これを図 6. に示す。図 6. (a) は GCB 投入状態を示し、図 6. (b) は GCB 引外し状態を示す。

BM 形ばね操作機構は、かけがね、トリガや電磁石などで構成する

表 3. 定格

定格事項	形 式	70-SFMT-25B
定格	電 壓 (kV)	72/84
	電 流 (A)	800, 1,200
	しゃ断電流 (kA)	20/25
	投 入 電 流 (kA)	50/63
	短 時 間 電 流 (kA)	20/25
	再 起 電 壓 (kV/μs)	0.75
	しゃ断時間 (サイクル)	3/5
	無負荷投入時間 (s)	0.15
	ガス圧力 (kg/cm <sup>2</sup> )	5
絶縁階級 (号)		60/70
標準動作責務		A/R
操作方 式		ばね操作
総 重 量 (kg)		1,400

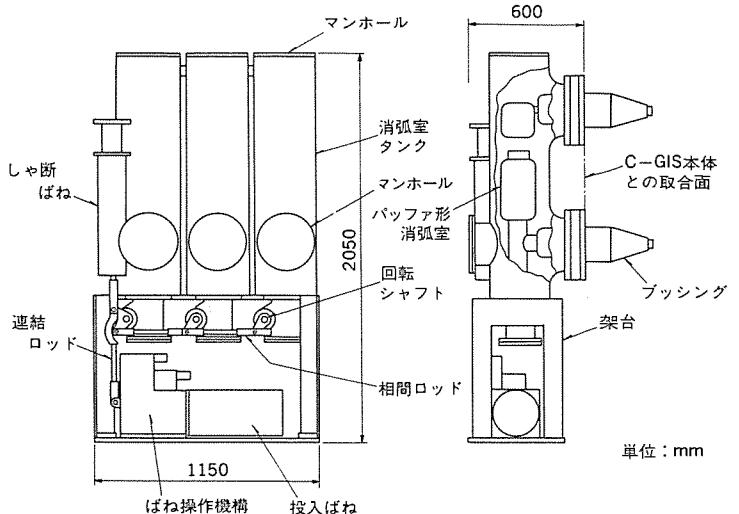


図 4. GCB の全体構造及び外形寸法

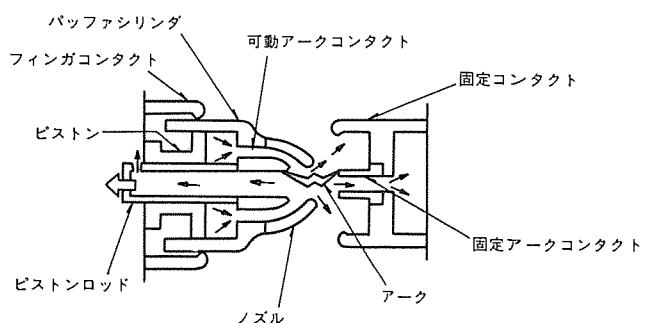


図 5. SFMT 形消弧原理図

引外し側と投入側の機構と、つめ、つめ車やモータなどで構成する蓄勢機構からなり、連結ロッドによりしゃ断ばね、投入ばねと結合している。

### 5.3 動作

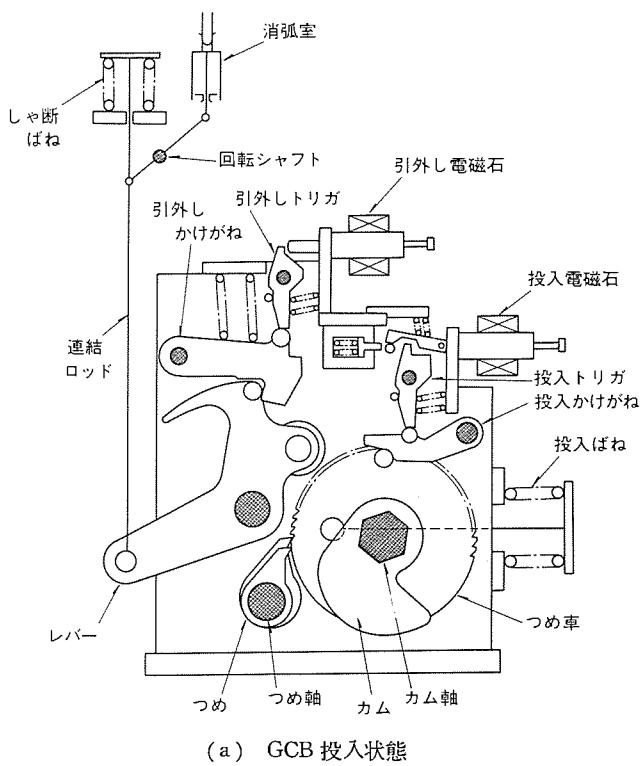
しゃ断器の動作を図 4. 及び図 6. にて説明する。

(1) 引外し動作

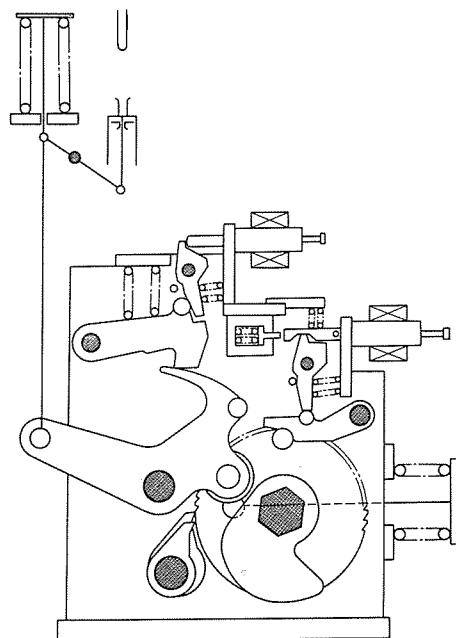
図 6. (a) において、レバーはしゃ断ばねにより常時時計方向の回転力を与えられており、その回転力を引外し側のかけがね及びトリガで保持している。したがって、この状態で引外し電磁石が励磁され、トリガが反時計方向に回転すると、かけがねが外れ、レバーは時計方向に回転し、図 4. における連結ロッドや相間ロッドが駆動され、各相に配置する回転シャフト (回転シャフトは、気中側とガス中側の機械的連結を行っている) は、それぞれ時計方向に回転し、消弧室はしゃ断方向 (下方) に駆動される。この動作完了状態が図 6. (b) である。

(2) 投入動作

図 6. (b) において、カム軸は投入ばねにより時計方向の回転力を与えられており、その回転力を投入側のかけがね及びトリガにて保持している。したがって、この状態にて投入電磁石が励磁され、トリガが反時計方向に回転するとかけがねが外れ、カム軸に固定されているカムは時計方向に回転し、レバーはしゃ断ばねを圧縮しながら、反時計方向に回転する。この動作により消弧室は投入方向に駆動する。投入動作の最終位置で引外し側のかけがね及びトリガが復帰し、カムとレバーの接合が外れ、しゃ断ばねによりレバーに加わる回転力



(a) GCB 投入状態



(b) GCB 引外し状態

図 6. BM 形ばね操作機構

が保持され、引外し側の機構は図 6. (a) の状態となる。

### (3) 蓄勢動作

投入の直後は、投入ばねは放勢状態にある。つめ軸は図示をしていないが、歯車を介してモータに結合している。投入ばねの放勢位置ではモータが起動し、つめ軸が回転して、二つのつめの揺動運動によりつめ車が時計方向に回転し投入ばねが蓄勢され、デッドポイントを越えた位置でカム軸は時計方向の回転力を与える。この回転力は、投入側のかけがね及びトリガで保持し、完全に図 6. (a) の状態と

なる。

## 6. 試験結果

試験は、交流しゃ断器規格 JEC-181 (1975) 及び電力規格 B-125 に規定された各種の項目について行った。今回の試験は 70-GLKB 形 C-GIS 用 GCB として、キュービクル内に収納した状態での試験を行ったものである。また、参考試験や実用性能面での検証項目についても実施し、これらすべての試験結果は十分満足すべきものであった。以下に、その代表的なものを報告する。

表 4. しゃ断試験結果

供試器形式	試験条件	ガス圧力 (kg·f/cm <sup>2</sup> )	給与電圧 (kV)	しゃ断電流 (kA)	動作責務	再起電圧		投入電流 (kA)	アーク時間 (サイクル)	しゃ断時間 (サイクル)	再点(発) 弧回数	開過電圧	備考
						上昇率 (kV/s)	波高値 (kV)						
70-SFMT-25 B	短絡 4号	*1 4.0	84	25	O'-θ-C'O -1分-C'O -3分-O	0.83	182	— 45.0 77.4 —	0.6 1.0 0.8 0.9	2.35 2.75 2.55 2.65	— —	— —	給与電圧は異相地絡を兼ねる。 $84\text{ kV} \times \sqrt{3}/\sqrt{3} = 84\text{ kV}$
	脱調	4.0	122	15	O-3分 -O-3分 -O	2.0	216	—	0.8 0.9 1.0	2.65 2.75 2.85	— —	— —	給与電圧： $84\text{ kV} \times 2.5/\sqrt{3} = 122\text{ kV}$ 電流は短絡3号を兼ねる $25\text{ kA} \times 0.6 = 15\text{ kA}$
	SLF 0.9I	4.0	73	22.5	O-3分 -O-3分 -O	*4 6.1	*4 19.5	—	0.8 0.9 1.0	2.65 2.75 2.85	— —	— —	給与電圧： $84\text{ kV} \times 1.5/\sqrt{3} = 73\text{ kV}$ サーボインピーダンス： $486\Omega$
	進み 小電流	4.0	84	19	O, 12回	1.3	210	—	0.05~0.5	1.9~2.35	0	1以下	給与電圧： 非有効接地系の1線地絡時の条件： $84\text{ kV} \times \sqrt{3}/\sqrt{3} = 84\text{ kV}$
	遅れ 小電流	*2 5.0	73	5.2		—	—	—	0.05~0.4	1.55~1.9	—	1.9以下	給与電圧： $84\text{ kV} \times 1.5/\sqrt{3} = 73\text{ kV}$
				82					0.05~0.5	1.55~2.0	—	1.25以下	

注 \*1 ロックガス圧力, \*2 定格ガス圧力, \*3 しゃ断位相  $2\pi/12$  ごとの位相制御, \*4 線路側再起電圧, \*5 給与電圧波高値に対する倍数で表示

## 6.1 温度試験

C-GIS に組込んだ状態で三相通電し、温度試験及び過負荷試験を実施した。試験結果は、いずれの部分の上昇値も規格値に対して十分余裕のあるものであった。更に短絡電流を多数回しや断した後の通電性能についても検証し、問題のないことを確認した。

## 6.2 耐電圧試験

C-GIS に組込んだ状態で連続開閉試験後、鎖錠ガス圧力の条件で、絶縁階級 70 号の条件（商用周波電圧 160 kV, 1 分間、雷インパルス電圧 400 kV, 正負各 3 回）の電圧を印加し、耐電圧性能が十分であることを検証した。また実用性能面における検証として、ガス圧力が万が一、大気圧まで低下した場合でも常規対地電圧に耐え得ることを確認した。この試験電圧は常規対地電圧の 1.3 倍で、印加時間は 10 分間とした。

また部分放電試験では、ERA 形測定器を用いしゃ断器内部の部分放電を測定したが、常規対地電圧の 1.3 倍の電圧で有害な内部放電は認められなかった。

## 6.3 しゃ断試験

しゃ断試験結果の代表例を表 4. に示す。

### (1) 大電流しゃ断試験

表 4. は大電流しゃ断試験のうち、定格しゃ断電流 100 % の短絡 4 号条件、定格しゃ断電流の 60 % の短絡 3 号で脱調しゃ断条件を兼ねた条件、定格しゃ断電流の 90 % における近距離線路故障 0.9 I 条件での試験結果を示している。

このほかに特殊試験として、三相同時に短絡電流を流して操作力に問題がないことや、20 回の累積しゃ断試験を実施し、十分な実用性能を備えていることも確認している。

### (2) 小電流しゃ断試験

進み小電流及び遅れ小電流しゃ断試験結果を表 4. に示す。進み小電流しゃ断試験では、非有効接地系での 1 線地絡時の健全相しゃ断条件を考慮した電圧で実施している。これらの結果は、進み小電流しゃ断で再点（発）弧は発生せず、遅れ電流しゃ断とともに異常な電圧は発生していない。

## 6.4 騒音試験

実用性能面の検証の一つとして、操作時の騒音特性について実測した結果、20 m 値で投入時 75 ホン、しゃ断時 67 ホンと低いレベルであった。

## 6.5 特殊実用性能検証試験

しゃ断器に要求される性能は、大別すると電気的性能と機械的性能とに分けられる。このうち実用性能上問題になるのは、機械的性能の中で特に操作機構部が主原因になっているものが多い。そこで、これまでの多くのフィールドにおける運転実績をもとに、操作機構の重要性に着目した下記の特殊実用性能検証試験を実施し問題のないことを確認した。

しゃ断器の責務の特異性を十分に考慮した操作機構の検証項目として、多数回動作と希頻度動作がある。多数回動作としては、複数個の供試器による寿命試験により動作特性の変化のないことを確認した。また希頻度動作については、室温だけでなく、高低温における動作試験を実施した。そのほか、部品公差、組立公差などを考慮した種々の動作試験、高速度カメラによる動作解析などによる信頼性の確認を行った。

以上の試験のほかに、しゃ断器に加わる外力としての地震及び輸送に対しても十分に耐振性能を有していることを確認した。

## 7. むすび

以上、72/84 kV C-GIS 用 GCB の概要を紹介した。この GCB は、当社の豊富なパッファ形 GCB のしゃ断器技術と GIS におけるガス絶縁技術の実績に基づくものであり、信頼性、保守性などの実用性能面でも優れたものである。また、ばね操作方式のこの GCB の完成により、今後単体 GCB などへの発展も期待される。

最後にこの GCB の開発にあたり、各電力会社をはじめ関係各位より御指導、御協力をいただいたことに謝意を表する次第である。

## 参考文献

- (1) 伊吹、ほか：三菱電機技報、56、No. 9, p. 680 (昭 57)

# 陸上掘削リグ用電機品

深田 浩一\*・池見 克二\*\*

## 1. まえがき

石油の需給関係は、ひっ迫したり、緩和したりしているが、エネルギー源としての石油の重要性には変わりはない。同時に、エネルギー源としての石油の依存度を減少させるために、石油以外の代替エネルギーの重要性も増してきている。代替エネルギーの中で、地熱エネルギーの供給量は、昭和 65 年度には、昭和 55 年度の 20 倍と計画されており、地熱開発は今後、ますます活発化していくものと期待される。

重要なエネルギー源である石油及び地熱エネルギーを、陸上で掘削するものが陸上掘削リグである。陸上掘削リグ用電機品は、大別すると、交流発電機、直流電動機、制御盤ハウツ（サイリスタ盤、発電機制御盤、コントロールセンターなどを収納）、各種操作盤で構成する。陸上での石油及び地熱掘削は、国内各地で行われるため、陸上掘削リグ用電機品の設計、製作においては、移動の容易性及び耐環境性に最も注意を払った。

以下、陸上リグ用電機品の新技術について述べる。

## 2. 陸上掘削装置の概要

陸上掘削リグの概略の構成を図 1 に示す。掘削作業及び各種掘削機械の概要を次に説明する。

### （1）掘削作業

現在一般に用いられているロータリ式掘削法は、長さ 9 m の掘管を多数ねじ込接続した先端にビットを取り付け、ロータリテーブルから掘管に回転を与えて掘って行くものである。

マッドポンプは、泥水（マッド）を掘管内に圧送し、ビットの先端から噴出させ、掘管の外側経由で地上に回収し循還させる。

この泥水の目的は、その適当な比重による油、ガス、及び蒸気の噴出防止、掘りくずの除去、ビットなどの冷却と潤滑、坑壁の保全などである。このようにして、掘管を順次つぎ足しながら掘進して行

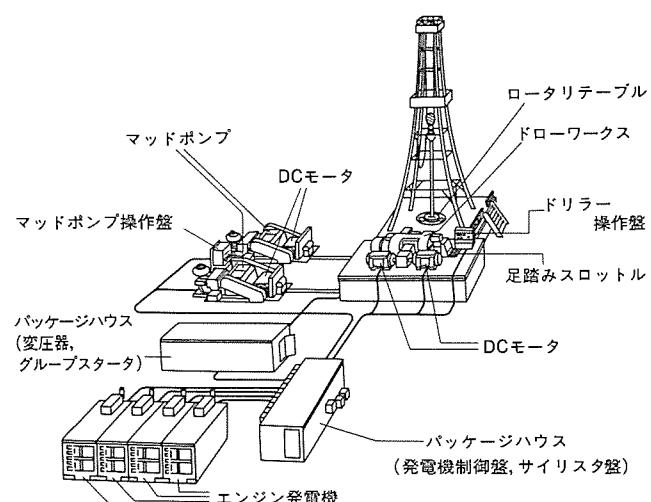


図 1. 電機品構成図

く。ビット交換などのために行う揚管（降管）は、掘管 3 本単位で切離し（接続し）ながら、順次引き揚げる（降下させる）作業である。この際の掘管系の巻上げ、巻下ろしはドローウェークスにより行う。セメントイングは、坑壁の崩壊防止のために挿入したケーシングパイプと坑壁との間にセメントを充てんする作業である。

以上の各作業が、掘削作業の主なものである。

### （2）ドローウェークス

ドローウェークスには掘管系とともに、計測器その他の巻下げを行うために、大小 2 個のドラムがあり、クラッチにより切換えて使用する。電動機は 370～750 kW のものを 2 台又は 3 台使用する。

ドローウェークスは、降管及び揚管時に特に頻繁な始動停止を繰り返す（1 分間に 1 回位）ので、速応性が必要である。

### （3）ロータリテーブル

ロータリテーブルは、掘管系に回転を与えるために用いられ、掘進中のビッドに掘削力を伝えるのが主目的であるほかに、揚管時には掘管のねじ込接続部を外すのにも用いられる。駆動系をドローウェークスと兼用としてクラッチで切換えて使用する場合と、専用の電動機を設ける場合がある。電動機は 370～750 kW 1 台である。

### （4）マッドポンプ

マッドポンプはピストン形で、通常 2 基設けられる。掘削深度の浅いときには、低圧大流量が必要なため 2 基とも運転し、深度が深くなると流量は小さくてよいが、高圧が必要なため 1 基だけ運転する。電動機は 370～750 kW を各 2 台使用する。

### （5）セメントイングポンプ

セメントイングポンプは、セメントイング作業時にセメントを圧送するポンプであり、使用する頻度は高くなく、また制御特性も余り高度のものは要求されない。

## 3. 陸上掘削リグ電機品に要求される仕様

陸上掘削リグは、海洋掘削リグと異なり、直接地上に機器を据付けて石油及び地熱の掘削を行う。電機品の構成は海洋掘削リグとほぼ同様であり、複数の交流発電機をディーゼルエンジンにより駆動して A C 600 V を発生し、サイリスタレオード方式でドローウェークス、ロータリテーブル、マッドポンプなどの掘削機を駆動する。商用電源受電可能であれば、エンジン発電機の代わりに商用受電を行うこともある。この方式ではエンジンが不要になるので、運転騒音が著しく軽減できる。

掘削機用の直流電動機の台数は、リグの最大掘削深度により変わる。深度 6,000 m 級の場合、750 kW の標準掘削用電動機を 6 台又は 7 台使用する。陸上掘削リグは、掘削地点の移動の度に機器を移設する必要があるので、発電機盤、サイリスタ盤、コントロールセンターなどを一括して屋外用のハウツに収納し、移動が簡単にできるようとする。したがって制御盤類はできるだけ小形で、メンテナンスのしやすい構造にする必要がある。

図 2 は陸上掘削リグの代表的な主回路の単線図であり、この例は 4,500 m 級のリグを示す。また、最近脚光を浴びている地熱発電

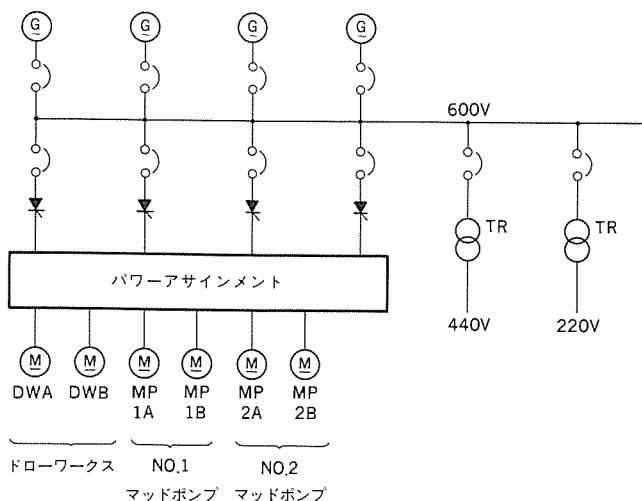


図 2. 主回路単線図

の地熱井戸掘削用 リグ でも全く同一の ドライバシステム が使われるが、 霧囲気中に硫化水素ガスが含まれるので、 電機品には特別の対策が必要になる。

#### 4. 交流発電機

リグ用発電機の負荷は、主としてサイリスタレオナードであり、高調波を発生する。このため交流発電機のダンパは、ダンパ巻線を回転子全周に均等に分布させ、端部を銅板にて短絡し、完全なかご形巻線とした当社独特の構造とした。

リグ用発電機は霧囲気の悪い環境に設置され、絶縁抵抗の低下を起こしやすいので、当社では、耐水耐湿性に優れ、絶縁抵抗の低下が少ない巻線とするために、コイルに二重ガラス巻銅線を用い、マイカテープなどの耐熱性材料を対地絶縁とし、エポキシワニスの真空含浸処理を行った。

#### 5. 掘削用電動機

掘削用電動機に要求される仕様は、陸上用、海上用共ほぼ同一である。時間あたりのコストが安く、作業性の良い経済的運転が要求される。また、掘削作業を開始すると、昼夜連続のフル操業が数か月間継続され、この間多少の環境（風、雨など）の悪化にも耐えて運転を継続する必要がある。したがって、これらの過酷な使用環境に耐えるよう頑丈で信頼性の高い構造であるとともに、低慣性、安定な負荷特性などの制御応答性の良い電動機が要求される。また、各種掘削機械はそれぞれ異なる負荷特性、保護構造、据付け要領などが必要で、掘削用電動機はこれらの異なる要求を満足するとともに相互に交換でき、不具合発生の際のアイドルタイムを最小限にする必要がある。

当社は、昭和43年国産初の掘削用直流電動機として、370 kW 7台を日本海洋掘削（株）「ふじ」に納入以来、昭和53年には従来品を大幅に性能向上させた MTB-800 形（600 kW）を開発し、日本海洋掘削「第6白龍」向けをはじめとし、陸上リグとしても、日本重化学工業（株）、九州電力（株）、石油資源開発（株）向けなどに多数納入した。昭和57年には MTB-800 形を更に性能向上した MTB-1000 形を開発した（図 3）。

MTB-1000 形掘削用電動機は、次の諸元と特長をもっている。

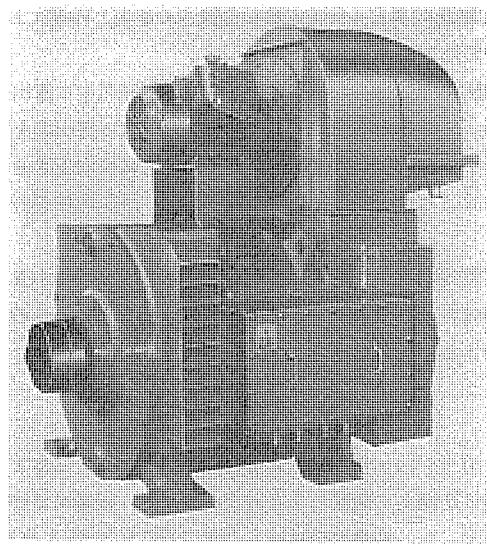


図 3. MTB-1000 形掘削用電動機

#### 5.1 仕様

出力	750 kW (1,000 HP) 連続、マッドポンプ、ロータリーテーブル負荷 975 kW (1,300 HP) 間けつ、ドローウェクス負荷
電圧	750 V, DC
回転速度	1,100 rpm
形 式	屋外防まつ(沫)、内圧防爆
冷 却	全閉管通風………基本形 電動送風機装荷………応用形
付属品	内圧検知器、スペースヒータ、コイル 温度検出器 電動送風機………7.5 kW、耐圧防爆形交流電動機付き

#### 5.2 特長

- (1) この電動機は、MTB-800 形と同一寸法重量でありながら、リグの大容量化のニーズに合わせ、出力（連続）を 25 % パワーアップしたもので、陸上用の場合、JIS, JEC, JEM の各規格に適合している。
- (2) ドローウェクスロータリーテーブルは、爆発性ガス発生のおそれがある掘削坑井に近いため、電動機は労働省産業安全研究所防爆指針に適合した内圧防爆構造である。運転中は常時清浄な空気を外部より供給し、電動機内の各部圧力を外気より高くして、圧力低下の場合には電動機に付属している防爆形圧力検知器により運転を中止する。また、防爆形スペースヒータを取り付け、結露を防止している。
- (3) 電動機軸端部及び電動送風機装荷形の吸排気開口部は、多重に設けた水切り構造により風・雨の条件のもとで、屋外設置が可能である。
- (4) 負荷側軸受は負荷容量の大きい NU 形（コロ）軸受を用い、高級軸材質を採用することにより大横引荷重に耐える構造とし、掘削機械との結合は直結及びチェーン駆動いずれも可能である。
- (5) 電動機巻線は、ノックスを主体とした H 種真空含浸絶縁方式を採用した。電動機の各導電部は、屋外使用時の湿気の多い霧囲気による吸湿、絶縁抵抗低下を防止するため真空含浸方式と合わせて、静電粉体塗装処理を行っている。
- (6) 電動機主極片形状は最適設計としたので、ほぼフラットな安定した負荷特性を得ており、低慣性と合わせ、制御性能を向上し、ド

ローワークス駆動の場合の頻度の高い加減速の繰返し作業において、作業時間の短縮を可能とした。

(7) 補極巻線は通常、裸銅帯を採用し、露囲気中に露出面を生じているが、この電動機ではすべて絶縁材料で覆い露出面を無くした構造としており、絶縁抵抗低下の抑止力を大幅に向上させた。

(8) 整流子ライザ部と電機子巻線の接続はTIG溶接を行い、強固な構造としており、耐振性能の高い電動機とした。

(9) 電動機のセンターハイト及び取付寸法は、現在稼働中及び製作中の掘削機械の大部分に対しても機械側の寸法・レイアウトの変更なしに使用できるようにした。

## 6. サイリスタ盤

陸上リグ用サイリスタ盤は、単変換接続の変換器3台又は4台を各直流電動機に切換えて駆動できる方式を採用し、操業における信頼性の向上を図った。変換器定格は入力電圧600Vで最大直流出力電圧750Vとし、点弧角を小さくして力率を良くしている。出力電流はリグの掘削能力（主としてドローワークスの出力）に応じて決められるが、例えば深度6,000m級のリグではサイリスタ盤の定格出力電流は2,300A以上となる。

サイリスタ盤は、パッケージハウスに収納するため極力小形化する必要があり、大出力の変換器ユニット、直流主回路切換ユニット及び制御ユニットを1面のサイリスタ盤内に、無駄なスペースをなくして合理的に配置した。

サイリスタ盤の小形化のためには、各パート、各ユニット単位での小形化も重要な要素である。このため、特に交換器ユニットの設計にあたっては、サイリスタ素子の冷却ファンの小形化、冷却風通風部分の最適設計、冷却ファンの小形化、及びサーボ吸収回路の合理的設計などによりユニット体積の大幅な縮小を図った。

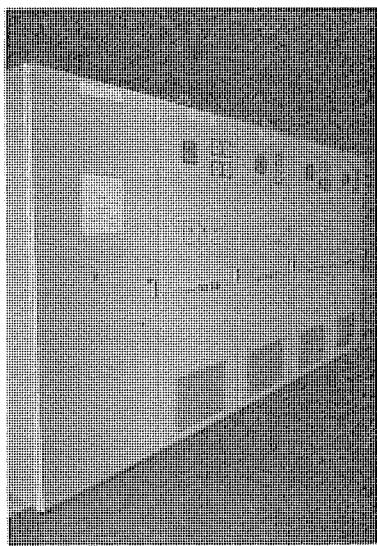


図4. サイリスタ盤

表1. コンバータ形式

深 度 (m)	コンバータ形名	出 力 電 流 (A)
4,500	10	1,700
6,000	15	2,300
7,500	25	3,400

図4.は2,300A級のサイリスタ盤であり、変換器は大容量素子の採用により1S×1P×6Aの素子構成として主回路の簡素化と信頼性向上を図った。更に、サイリスタ盤は900mm(幅)×2,300mm(高)×1,000mm(奥行)の寸法とし、主回路切換用として1,250A定格のDCコンタクタ8台を収納した高密度実装盤とした。

なお、現在陸上掘削リグ用としては表1の3形式のサイリスタ変換器にて対応しており、リグの掘削能力に応じた最適のものが選択できる。

## 7. 制御盤用ハウス

サイリスタ盤、交流発電機盤、モータコントロールセンターなどは、すべて移動形の屋外用全天候形ハウスに収納し、ハウス内の機器間相互の配線はすべて施工済みとした。陸上リグの掘削地点の移動頻度は非常に高く、その都度、機器の移設やケーブル工事を行うので、このハウス外の機器に接続されるケーブル用端子はほとんどコネクタ化し、着脱が確実かつ容易に行えるようにした。

ハウスの壁材は鋼板又はアルミ合金とし、断熱材を内部に挿入して直射日光による侵入熱を防いでいる。制御盤の重量を受けるベースはH形鋼で構成して強度を十分にとり、頻繁な移動による振動、衝撃に耐え得る構造にした。

ハウスの寸法については、トレーラによる輸送の寸法制限を考慮して、高さ2,640mm、奥行き2,500mmとしている。ハウスの長さは、収納される盤の数量により、種々のものを製作する。図5.はハウスをトレーラに搭載した状態を示す。ハウス内の通風は直接外気をとり込む方式、あるいはエアコンを設けて内部循環させる方式のいずれかを用途に合わせて選択する。

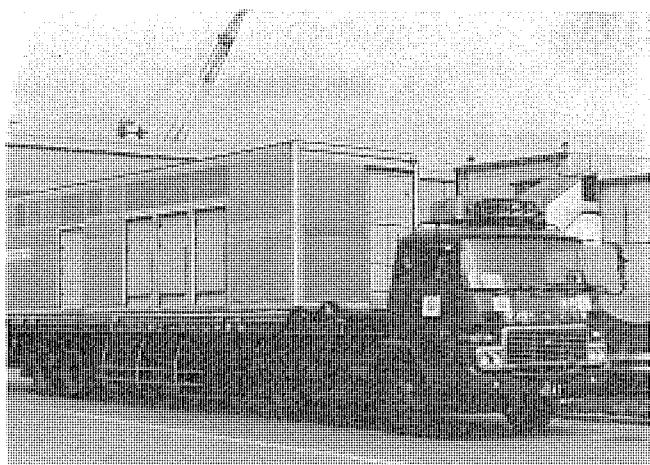


図5. 制御盤用ハウスをトレーラに搭載した状態

## 8. む す び

陸上掘削リグ用電機品は、掘削場所を変えるために、電機品の移動が容易にできるように、小形化、軽量化が求められている。石油掘削リグでは、掘削中の各種測定値（温度、深度、圧力など）のデータロギングの要求があり、陸上掘削リグにも、いずれ、その要求があるものと思われる。当社は、陸上掘削リグ用電機品の各種要求を実現するよう、鋭意努力している。

# MRT形負荷時タップ切換器

松本 進\*・古川一弥\*・吉田和夫\*・古川重芳\*・源川一志\*

## 1. まえがき

発・変電所用など、電力用変圧器の最近の傾向としては、第1に電力供給システムの効率的増強の一環として、高圧・大容量化がますます必要になってきたこと、第2に用地難対策及び省資源化の点から、小形化指向がますます強まりつつあること、第3に省力化時代を反映して、保守、点検に手がかかるないものが求められるようになってきていること、が挙げられる。この傾向は変圧器にとどまらず、電力用変圧器の付属機器として今や不可欠といえる。負荷時タップ切換器（以下、LTCと称す）においてもまったく同様であり、小形、高性能で保守に手のかからない新しいLTCの出現が望まれるようになってきた。

これら時代の要請にこたえるため、当社では、まず昭和53年に中容量変圧器用の新形LTCとしてMRM形LTCを開発、製品化したのに引き続き<sup>(1)</sup>、このたびその第2弾として、大容量変圧器用の新形MRT形LTCを開発、製品化した（図1）。このMRT形LTCは、先のMRM形LTCと同様に、以前よりの技術提携先である西独MR社（Maschinenfabrik Reinhausen）との技術提携のもとに、当社の設計・製造技術を駆使して完成したものである。同一シリーズとしてMRM形に思想統一して設計したこのLTCは、MRM形と同様小形軽量で保守・点検が容易という特長とともに、従来の大容量MRF形LTCをはるかにしのぐ性能を備えている。従来では、MRF形2台、あるいは1クラス上の超大形LTCであるMRG形1台の適用を要した大容量の変圧器に対しても、このLTC1台で済ませ得るようになること、近い将来実用化されるUHV変圧器への適用も可能であるなど、MRT形LTCによって得られる利点は大きい。

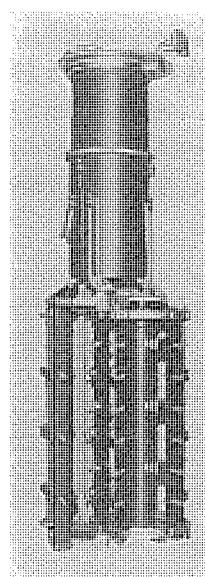


図1. MRT形負荷時タップ切換器

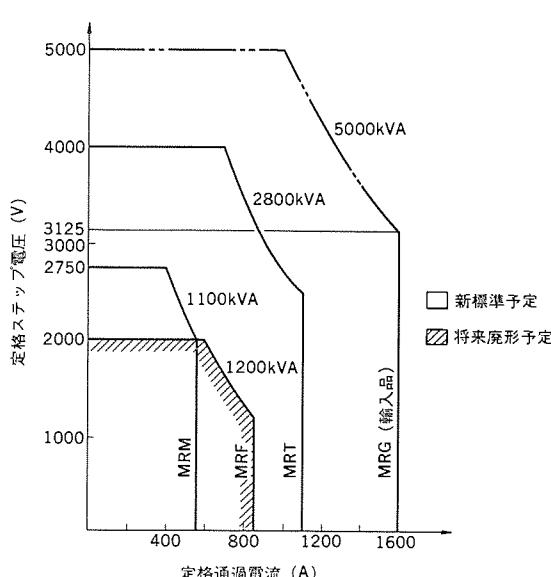


図2. 三菱負荷時タップ切換器の定格能力

以下、このMRT形LTCについて技術的概要を述べる。

## 2. 定格、仕様、適要

- |                |            |
|----------------|------------|
| (1) 最大定格ステップ電圧 | 4,000 V    |
| (2) 最大定格通過電流   | 1,120 A    |
| (3) 定格ステップ容量   | 2,800 kVA  |
| (4) 定格周波数      | 50/60 Hz   |
| (5) タップ点数      | 最大35点      |
| (6) 転換方式       | 極性又は転位切換え  |
| (7) 切換方式       | 4抵抗式       |
| (8) 過負荷切換能力    | 200%       |
| (9) 対地絶縁階級     | 最大200号     |
| (10) 電気的寿命     | 20万回以上     |
| (11) 機械的寿命     | 80万回以上     |
| (12) 切換時間      | 5s/1タップ切換え |

MRT形LTCと当社他機種の定格能力を図2.に対比して示した。従来器であるMRF形に比べ、MRT形はステップ電圧で2倍、通過電流で1.29倍、ステップ容量で2.33倍と大幅に向上した定格能力を有している。特にそのステップ電圧の高さは、将来実用化される

表1. 変圧器容量と適用負荷時タップ切換器

系統電圧 (kV)	変圧器容量 (MVA)	適用負荷時タップ切換器	
		MRT形導入前	MRT形導入後
500	1,500/3	F×3台/パンク	T×3台/パンク
	1,000/3	〃	〃
	750/3	〃	〃
275	450	F×2台又は G×1台	T×1台
	300	F×1台又は G×1台	〃
	200	F×1台	〃
220	300	G×1台	〃
	250	F×1台	〃
	200	〃	〃
187	150	〃	〃
	250	F×2台又は G×1台	〃
	200	F×1台又は G×1台	〃
154又は 147	150	F×1台	〃
	200	〃	〃
	250	F×2台又は G×1台	〃
110	60	F×1台又は M×1台	T×1台又は M×1台
	45	M×1台	M×1台
	30	〃	〃
77又は 66	20	〃	〃
	15	〃	〃

注 T=MRT形, M=MRM形, F=MRF形, G=MRG形

UHV 変圧器への適用をも可能とするものである。

また、MRT 形 LTC 導入後の変圧器容量と適用 LTC の関係を表 1. に示した。実用されるほとんどすべての容量の変圧器に対して、MRM 形と MRT 形という同一設計思想を有する唯 2 種類の LTC で対応できるようになる。また、従来 MRF 形 2 台の並列使用あるいは 1 クラス上の MRG 形 1 台で対応してきた大容量の変圧器に対しても MRT 形 LTC 1 台で対応できるようになる。

### 3. 全体構成

図 3. に示すように、独立油密室を形成する切換開閉器容器の内部に切換開閉器を収納し、外部下端にタップ選択器を設置するという全体構成については、従来と特に変わることはない。寸法的には以下に述べる新技术及び新工夫の採用により、高さ、外径とも、従来器である MRF 形よりも小さくなっている。重量的には MRF 形に比し総重量・切換開閉器重量とも半減している。切換開閉器のこの軽量化は、保守・点検を容易にするうえで大きな効果をもたらしている。

### 4. 切換開閉器

切換開閉器の外観を図 4. に示す。上方から、トップフレーム、対地絶縁サポート及び駆動軸、蓄勢機構、スイッチ部、限流抵抗器とレイアウトを MRM 形に合わせた。また、信頼性の高い圧縮ばね方式の蓄勢機構の採用、切換開閉器をつり出したあと固定接点パネルを取り外す

形名	A (mm)	B (mm)	C (mm)	総重量 (kg)	切換開閉器の重量 (kg)
MRT	3105	697	480	570	120
MRF	3250	752	630	1160	230
MRG	3200	926	810	1700	480

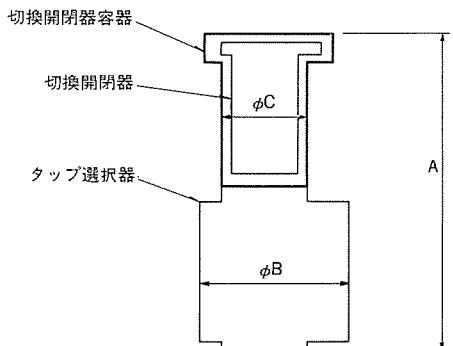


図 3. 構成と大きさ

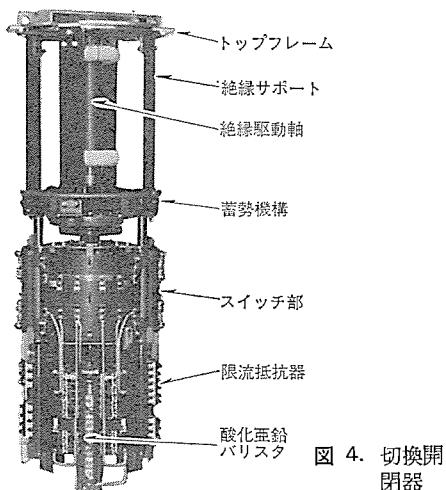


図 4. 切換開閉器

だけでスイッチ部の点検ができる各相固定接点パネル着脱方式の採用、そのまま直視点検ができるよう限流抵抗器の周囲を解放形とする方式の採用、精度の安定性で品質の向上に寄与するプレス、モールド、精密铸造部品の積極的採用など各部においても、MRM 形に思想を統一した設計を行った。これは、MRM 形で既に定評を得ている優れた構造をそのまま取入れるとともに、将来 MRT 形と MRM 形の時代を迎えたとき、保守・取扱面で思想の一元化が図れるようとの配慮によるものである。この設計により、信頼度が高く保守・取扱いが容易という MRM 形がもっている特長は、そのまま MRT 形に受けがれていますが、その詳細については既に報告済みである<sup>(1)</sup>。ここでは、MRT 形の開発にあたって新たに採用した技術的内容について述べる。

#### 4.1 4 抵抗式・直列 2 点しゃ断方式の採用

どのような切換方式を採用するかは、LTC の死命を制する。MRT 形 LTC のように、大きな切換容量と単純・小形化との両者を課題とする場合はなおさらのことである。

切換開閉器の切換能力を向上させるには、各アーカ接点のしゃ断責務を軽減させるか、各アーカ接点のアーカ損失を増大させるかのいずれかが必要である。各アーカ接点のしゃ断責務を軽減させる具体的方法としては、

- (a) 使用抵抗数を増して、多抵抗式にする方法
  - (b) 各アーカ接点を並列分割して、並列多点しゃ断させる方法
  - また、アーカ接点のアーカ損失を増大させる方法としては、
  - (c) 各アーカ接点の開極寸法を増してアーカ長を増大させる方法
  - (d) 各アーカ接点を直列しゃ断方式にして、回路に挿入されるアーカの実行長を増大させる方法
- などがあるが、いずれもその程度…(a)は抵抗数、(b)は並列数、(c)は開極寸法、(d)は直列点数…の増加に応じて、構造が複雑・大形化する不利を合わせもつて、これらの不利が実用的に問題とならぬ範囲内で、各方法を使いこなすことが肝要である。

MRT 形 LTC の開発にあたっては、特にこの点に留意して検討した結果、単独の方法に頼り過ぎて構造を複雑・大形化させるよりも、必要最小限の範囲に抑えた各方法のいくつかを組合せて、それらの相乗効果を期待するのが得策であり、均衡のとれたものができることが分かった。そして、種々の組合せの中で(a)の抵抗数を 4 にしたものと、(d)の直列点数を 2 にしたものとの組合せが、構造を複雑・大形化させないで所要の切換能力を得るベストな方法であるという結論に達し、4 抵抗式・直列 2 点しゃ断方式の採用となった。4 抵抗式による接点当たりの責務軽減と、直列 2 点しゃ断による接点当たりのアーカ損失の増大とが相まって、所期の高い切換性

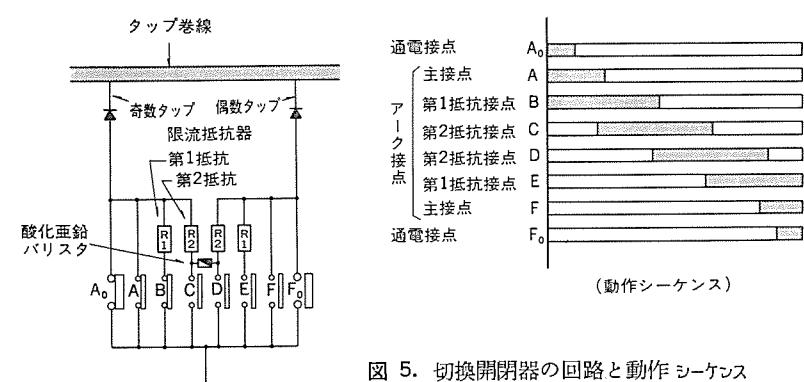


図 5. 切換開閉器の回路と動作シーケンス

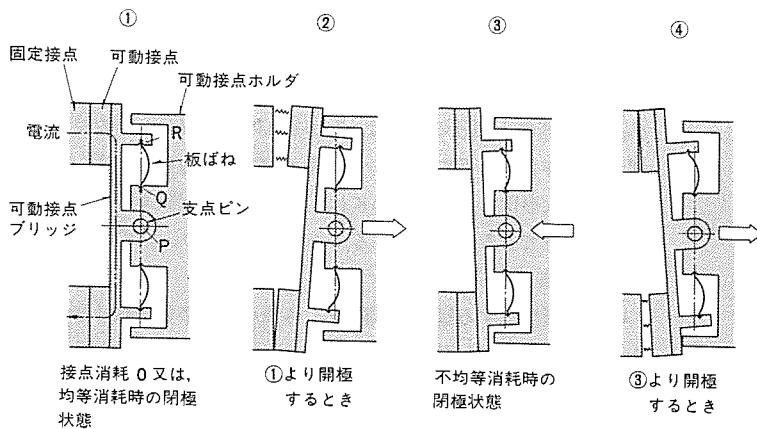


図 6. シーソー式可動アーカ接点

能を実現することができた。

図 5. に回路と動作シーケンスを示す。

#### 4.2 シーソー式可動アーカ接点の採用

切換能力に次いで重要な課題は接点寿命である。接点寿命を確保するには、接点体積を増すこともさることながら、それにも増して重要なのが、接点が全面にわたって均等に消耗していくように配慮することである。特に直列 2 点しゃ断の場合は、単に各接点をそれぞれの全面にわたって均等に消耗させなければならないという一般的な必要のほかに、二つのしゃ断点の接点消耗量を均等化させることが必要となる。直列多点しゃ断方式の接点においては、先行開極したしゃ断点の接点が、より長くアーカにさらされてより大きく消耗する、という特有の消耗パターンを示すので、消耗の均等化を図るには、消耗度の先行した接点がいつまでも先行開極を続けないように工夫することが必要である。

MRT 形 LTC では、この具体的方法として図 6. に示すシーソー式可動アーカ接点構造を採用した。すなわち、可動接点ブリッジを可動接点ホルダに支点ピンで取付けてシーソー運動できるようにしたうえ、ブリッジとホルダとの間に板ばねを張架したものである。板ばねの張架により、ブリッジと板ばねとホルダとの間には  $\overline{PQ}$ ,  $\overline{QR}$ ,  $\overline{RP}$  から成るトグル機構が形成されるから、ブリッジはこのトグル機構の死点位置（すなわち  $PQR$  が一直線上に並ぶ位置）から遠ざかろうとする回転力（以下、死点回避力と称す）を常に付与されている。

図 6. ①に新品接点、又は均等に消耗した接点の投入状態を示す。可動接点は投入力により、トグル機構の死点位置に保持されている。この状態よりホルダを後退させて開極しようとすると、ブリッジは死点回避力により時計又は反時計方向に回転を始める。例えば、②に示すように時計方向に回転すれば、上の接点が先に開き次に下の接点が開く。アーカの消滅は上下同時であるから、先に開いた上の接点がより長い間アーカにさらされてより大きく消耗する。次にこれを投入すると③に示すように、上の接点の消耗が大きいためにブリッジが死点位置より反時計方向に少しずれた状態で閉極する。次にこれを閉極すると、ブリッジは死点回避力により反時計方向に回転し、消耗の小さい下の接点が先に閉極してより大きく消耗する。

以上のように、この機構は常に上下の接点の消耗度の大小を判定し、消耗度の小さい側の接点に先行開極を強制して、上下接点の消耗不均等を修正するという、優れた機能を有する。この機構の採用により、接点の消耗許容部分の全量が、有効消耗代として最大限に利用できるようになったため、大幅な定格容量増にもかかわらず、

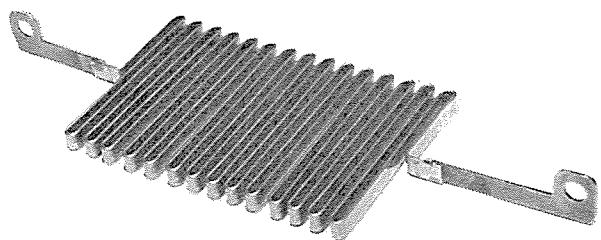


図 7. 限流抵抗器 エレメント

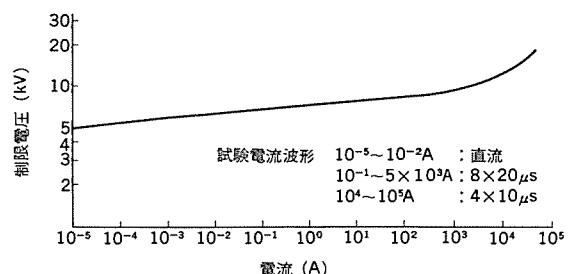


図 8. 酸化亜鉛バリスタ素子の特性

コンパクトな切換開閉器を実現することができた。

#### 4.3 コルゲート成形抵抗器の採用

定格容量の増加に伴う限流抵抗器の容量増は必然であるが、容量増に伴う大形化は必要最小限に抑えたい。このために、矩形断面をもつ抵抗帯をコルゲート状に曲げ成形し、これを上下に重ねて配置する方法を探った。図 7. に成形された 1 枚のエレメントを示す。矩形断面抵抗帯を使ったのは冷却表面積を増すためであり、これをコルゲート成形したのは、それが占積率最小のエレメントを得る方法だからである。また、エレメントを上下に重ねる配置にしたのは、油の対流を妨げない構造として冷却効率を高めるためである。この結果、大容量にもかかわらず、極めて小形の抵抗器を実現することができた。

#### 4.4 過電圧保護に酸化亜鉛バリスタを採用

切換開閉器の極間（奇数、偶数それぞれのタップにつながる電極と電極の間）が変圧器の線路端などから侵入したサージ電圧で絶縁破壊を起こすようなことがあれば、タップ間短絡となり重大事故に発展する可能性がある。これを防ぐために、従来は切換開閉器の極間にサージアブソーバとして、限流抵抗器を直列接続した放電ギャップあるいは SiC などから成る非直線抵抗体を挿入してきた。これらの実績は既に 25 年にも及び、十分に信頼できるものであるが、今般、MRT 形 LTC の開発にあたっては、更に高性能、高信頼度を志向して、避雷器での優秀な特性が確認されている酸化亜鉛バリスタを、この極間サージアブソーバとして採用した。

酸化亜鉛バリスタは、放電ギャップのように制限電圧が切換開閉器の油汚損状況に影響されることなく、またギャップの電極消耗により変化することもない。また従来の非直線抵抗に比べ、もれ電流が極めて低いという、切換開閉器の極間過電圧保護装置として最適の特性を備えている。また、将来 MRT 形 LTC が UHV 変圧器に適用された場合は、国内で経験のない高いステップ電圧となることを考えると、その極間サージアブソーバとして保護特性の優れた酸化亜鉛バリスタを採用したことは、極めて有意なことと考える。酸化亜鉛バリスタの取付状態を図 4. に、挿入位置を図 5. に、その素子の制限電圧特性を図 8. に示す。

## 5. タップ選択器

タップ選択器の外観を図 9. に示す。レイアウト、絶縁構造など基本設計を MRM 形に統一するとともに、特に MRT 形 LTC において、

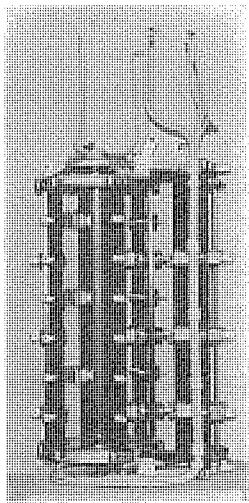
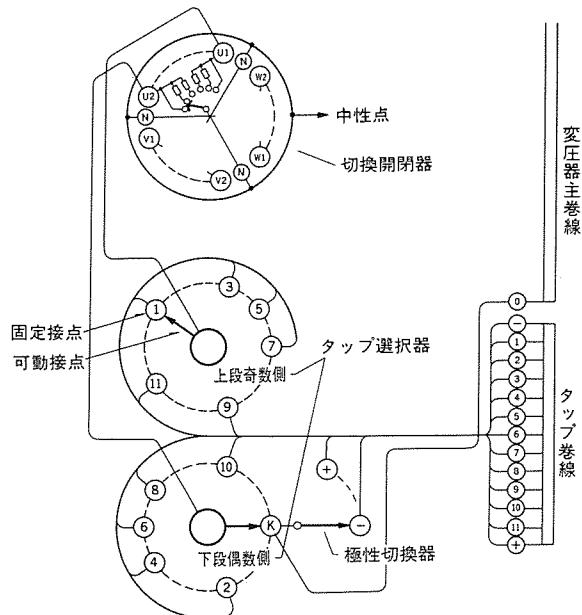


図 9. タップ選択器



タップ位置表示	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
タップ選択器コンタクト番号	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	K	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
極性切換器	P <sub>os.1</sub> → 23	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
P <sub>os.23</sub> → 1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

図 10. タップ接続図 (極性切換器付 (一次切換) 接続例)

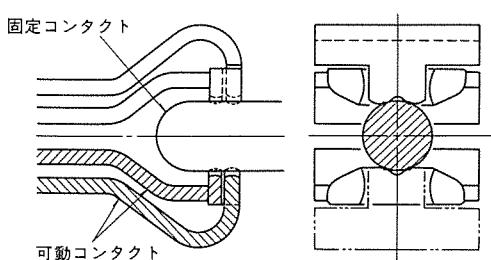


図 11. タップ選択器接点構造

新たな課題となった高圧・大容量化に対応するため、以下のような工夫をした。

### 5.1 不均等配置・奇偶半回転シフト配置の接点構造

タップ選択器の 1 相分の接点は、それぞれ円形配置した奇数接点群と偶数接点群とを上下に配置して構成する。高電圧化に対してタップ選択器を大形化させないためには、このように配置する各接点間の絶縁寸法をできるだけ縮小することが必要であり、このために次の 2 点を実施した。

- (1) 円形配置する接点の間隔を、各接点間の必要絶縁寸法に応じた不均等な間隔にした。つまり、要るところは広く、要らないところは狭く間隔をとることにより、円形配列の外径寸法を縮小した。
- (2) 上下に配列される奇数側接点群と偶数側接点群とを互いに半回転シフトして配置することにより、上下対応接点間の電圧責務を軽減して、上下接点群間の寸法を縮小した。

図 10. に具体例を示す。ステップ数の多い接点間は広く、少ない接点間は狭い、不均等な円形配置になっている。この固定接点配置に対する可動接点の駆動は、MRM 形で既に開発されている不均等割出角をもつて機械で支障なく達成される。また、奇数群・偶数群の上下対応接点間は最大 7 になっており、シフトしない場合 (1 と 2, 3 と 4, …, 11 と K が対応する) の 11 に比べて所要絶縁寸法が少なくて済む。

### 5.2 4 フィンガ 8 点接触形接点の採用

タップ選択器の接点の通電能力を向上させるには、可動・固定接点の接触部の接点数を増す必要がある。この接点数は MRT 形 LTC の通電容量の場合、8 点にすることが望まれた。これを満たすため、MRM 形で開発した 1 フィンガ当たり 2 点の接点数が得られる山形可動接点フィンガ 4 枚を図 11. に示すように、円柱形固定接点の上下に重ねて配置する構造を採った。この構造により、2 フィンガのときと実質的に変わらない占積率で、接点数を倍増させること、すなわち通電容量を倍増させることができた。

## 6. 試験

試験は 2 台の試作器による社内試験、次いで 1 台の量産器による公開形式試験の 2 段階にわたり、いずれも JEC-186 (1972) の規定に従って実施した。社内試験においては、機械的寿命試験回数を 120 万回 (JEC の規定は 80 万回) に設定するなど、性能の裕度確認もできるよう条件設定に配慮した。

これらの試験の結果、いずれの項目においても申し分のない性能を有していることが確認できた。以下にその概要を述べる。

### 6.1 耐電圧試験

対接地部及びタップ選択器の各充電電極間に、変圧器に適用された場合に発生すると予想される最大 AC 電圧及び最大インパルス電圧以上の電圧を印加したが、異常なく耐えた。

### 6.2 油密試験

機械的寿命試験の前後に、切換開閉器室に  $0.7 \text{ kg/cm}^2$  の油圧をかけ 72 時間放置したが、油漏れはなかった。

### 6.3 機械的寿命試験

途中、計 40 万回の電気的寿命試験を含む通算 120 万回の切換動作をさせ、その途中で動作シーケンス、駆動トルク、電動機電流の測定を行ったが異常なく、またその都度点検を行ったが不都合はなかった。JEC 規定の 80 万回を 40 万回も上回る動作に対しても、十分な耐久性のあることが確認された。

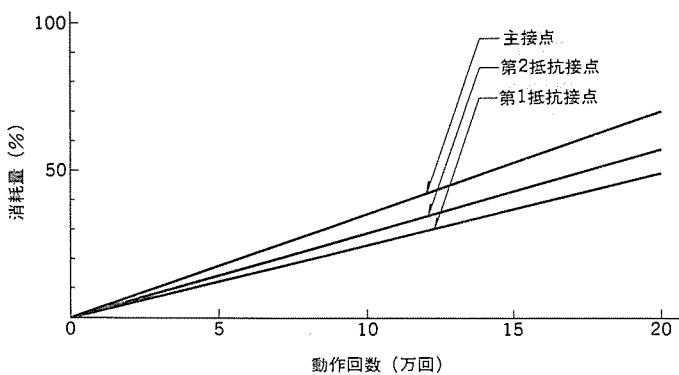


図 12. アーク接点消耗特性

#### 6.4 電気的寿命試験

機械的寿命試験の途中、次の2条件で各々20万回ずつの切換えを行わせた。

条件I：ステップ電圧2,500V、通過電流1,120A

条件II：ステップ電圧4,000V、通過電流700A

試験中、各接点のアーク時間を測定したが異常な変化は認められなかった。また、その都度点検を行ったが不都合はなかった。電流条件の厳しい条件Iでの接点消耗特性は図12. のとおりとなり、電気的寿命においても十分に余裕をもつことが確認された。

#### 6.5 切換試験

電気的寿命試験完了後の油汚損状態で、条件I及び条件IIの各々で22タップ連続切換えを行い、異常なく切換えられた。また、各々の条件において、2倍の過電流でそれぞれ10回ずつ…そのうちの3回は連続…の切換えを行ったが、すべて異常なく切換えることができた。それぞれの切換えにおける。各接点のしゃ断電流、回復電圧、アーク時間をオシログラフで観測したが、アーク時間の異常な増加もなく、優秀な切換能力を有していることが確認された。図13.に、条件Iの2倍の過電流切換えにおける切換状況の一例を示す。

#### 6.6 短絡電流通電試験

運転時に連続通電を行うすべての接点を直列接続し、最大定格通過電流の10倍を超える電流15,300Aを2秒間ずつ1分間隔で5回通電した。5回の通電電流のうちの1回は、その初期波高値を定格通過電流の25.5倍を超える29,000Aに設定したが、溶着、溶損、変形などの異常は認められなかった。

#### 6.7 温度試験

短絡電流通電試験と同様に、すべての接点を直列接続して最大定格通過電流の100%及び125%に当たる1,120A及び1,400Aを連続通電し、各接点の接触点近傍の温度上昇値を測定したが、すべて20°C以下であり、JEC規定(100%で20°C以下)に対し、十分に裕度のある通電能力を有していることが確認された。

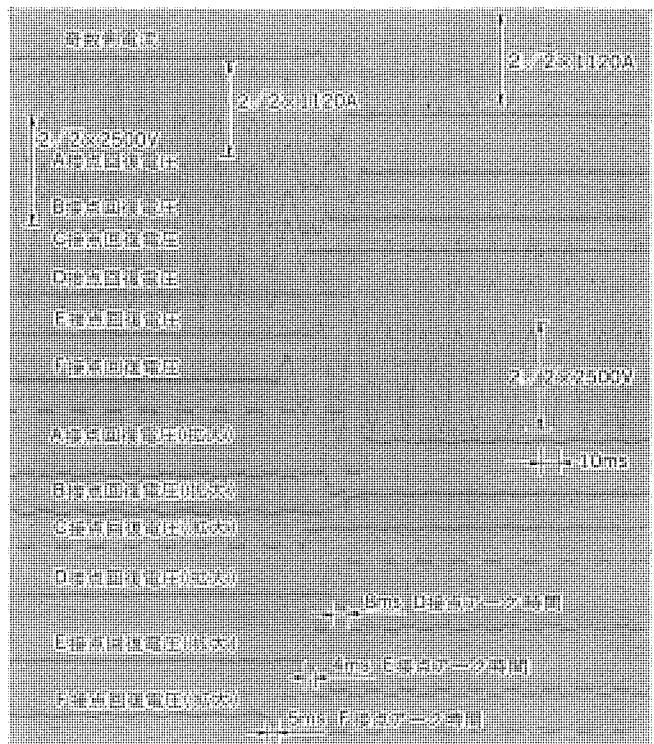


図 13. 条件I, 過電流切換試験結果

#### 7. むすび

小形・高性能・高信頼度・保守軽便なLTCシリーズの第1弾として、開発、製品化、既に定評を得ている中容量変圧器用MRM形LTCとの関連性に触れながら、同シリーズの第2弾として開発、製品化した大容量変圧器用MRT形LTCの概要について述べた。

MRT形LTCは、単に大容量タップ切換変圧器の小形・高性能化を図り得るだけでなく、それを導入することによって、中容量から大容量までほとんどすべてのタップ切換変圧器のLTCを、MRM形とMRT形という保守・取扱い性に優れた同一シリーズのLTCで統一できるという、これまでにない効果を提供し得ることから、一時代を画するLTCに成るものと確信している。また近い将来実用化されるUHV変圧器への適用も可能にしたことから、未来を開発したLTCであると自負している。

終わりに、開発、製品化にあたって終始御指導、御協力をいたいた関係各位に厚くお礼を申しあげる。

#### 参考文献

- (1) 松本ほか：MRM形負荷時タップ切換器、三菱電機技報、52, No. 3 (昭53)

# 南極昭和基地設置 計測処理システム

福西 浩\*・佐藤夏雄\*・藤井良一\*・荒川直人\*\*・中島大輔\*\*\*

## 1. まえがき

昭和55年3月に国立極地研究所に納入した《MELCOM 70 モデル 25》計測処理システムは、第22次南極地域観測隊（昭和56年2月～57年1月）により、昭和基地に設置された。このシステムは、次の機能を有するものである（図1.）。

- (1) 観測の自動化及び観測データの収集
- (2) 収録済み磁気テープの再生
- (3) 一般科学計算

これらの機能を持たせるべく、南極に設置するという特殊事情を考慮して、

- (1) 稼働率を上げること。
- (2) 操作・保守が容易であること。

という項目を重視してシステム設計を行った。

このシステムは、昭和56年3月30日に稼働し、以後順調にその機能を発揮した。翌年2月までに、磁気テープ（2,400フィート、1,600 BPI）92巻、ハードコピー約3,000枚のデータを取得し、日本へ持ち帰ることができた。

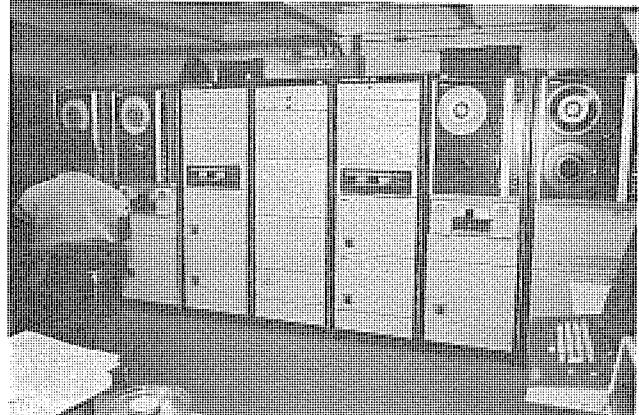


図1. 昭和基地に設置された計算機室内部

## 2. システム設計方針

昭和基地の特殊事情として、次のことを配慮する必要があった。

- (1) 昭和基地への輸送便は年1度だけであり、部品供給も年1度しか行われない。このため、次の輸送便までの間に予備品が無くなった場合にも、最低機能は維持できなければならない。計算機のオペレータは毎年交代し、研究観測を主な業務としているため、計算機に関する専門家が操作するとは限らない。このため、操作、保守などの日常業務は簡単かつ容易に行えること。
- (2) 環境条件が厳しい。電源電圧及び周波数の変動が大きく、計算機用電源としては不適である。使用電力には上限が定められており、現地の状況にみあった運用を行えること。

(3) 計算機の輸送期間が約4か月あり、積み替え回数が多い。昭和基地には計算機を搬入する建物が、まだ建っていないので、約1か月間-5°C程度の場所での保管に耐えられること。

### 2.1 特殊環境に対する対策

上記の特殊事情に対応するため、起きたり得る状況を想定した試験を実施し、これらの対策を検討した。

#### (1) 信頼性試験

計算機室の室温制御ができなくなった場合を想定して、温度動作試験を実施した。輸送途中に加わる振動・衝撃を想定して、振動試験を実施した。電源電圧・周波数変動試験、瞬停試験も実施し、放射電界強度の測定も実施した。オペレーティングシステムの検査・改良は、接続すべき計測器を想定し、シミュレータを作成し、計算機の内部タイムを5倍に速め、実質的に10か月分の検査を実施した。この間にシステムの初期不良を出し、日本での稼働実績をつくった。

#### (2) 環境条件の検討

##### (a) 電 源

計算機用電源として、90～110V、49～51Hz、瞬停0.5s以内の条件を満足させるため、CVCF付きのMGを採用した。計算機の電源ノイズが電源ラインを伝わり、観測データの質を低下させないようにとの配慮もある。

##### (b) 消費電力

通常5kVA以下の条件より、リアルタイム系動作時の消費電力は4.2kVAに抑え、バックアップ系はパワーオフすることにした。最大8kVA以下の条件より、系切換の消費電力は7.2kVAとした。

##### (c) 発熱量

平均2,700kcal/h、最大4,500kcal/h、及び室外の気象状況を考慮し、計算機室は10～30°C、45～70%RHを保つため、温度制御可能な暖房器、換気扇、加湿器を設置することにした。

##### (d) 静電気

昭和基地の冬期に顕著に発生する静電気対策として、床に導電性マットを敷き、人体から容易に電荷を逃がすようにした。

##### (e) 放射電界強度

放射電界強度の測定を実施し、観測器に影響を及ぼさないために建物外壁は鉄パネルで覆い、計算機室はシールドパネル（-60dB at 100MHz）で仕切ることにした。

##### (f) 接 地

岩盤にアース棒を埋める方法では、接地抵抗が冬期は600Ω程度まで上昇することがあり、良好な接地とはいえない。計算機の接地は、銅板を海中に沈めるという海中アース方式とし、専用の接地線を設けた。

#### (3) 梱包仕様

振動試験は、振動に対して最も弱い固定ヘッドディスク装置に対して実施したが、外部からの衝撃がこん（梱）包内部で0.5G以下に抑えれば問題ないことがわかった。船のハッチ内の漏水対策のために、装置は防水紙で包装することにした。梱包外形には制限があるため、

この規格に適合する木箱に緩衝材とともに真空梱包した装置を入れた。ケーブル、キャビネットは木枠とした。

## 2.2 稼働率を高めるための対策

観測データは連続性が要求されるので、システムは安定稼働することが必ず(須)である。このために、故障が発生しにくいこと、並びに想定される状況に対し事前に対策を講じておくことが必要である。

### (1) デュプレックスシステム構成

このシステムは同一機器構成の二つの系から成り、リアルタイム処理をしている系をリアルタイム系、予備として待機している系をバックアップ系と呼ぶ。リアルタイム系がシステムダウンした場合には、バックアップ系への処理の移行が行えるようにした。リアルタイム系の故障修理は、系の切換終了後に実施する。

### (2) 緩退モード

予備品がなくなり、両系とも最初の機器構成を保持できなくなると、それぞれ構成規模を小さくし、処理機能の一部を切離しそれぞれの系で動作させる。更に装置が故障し、それぞれの系では、その機能を果たせなくなると、片系の代替可能な部分を利用して一つの系を構成し、前述同様の機能を持たせる。更に装置が故障すると、このシステムで最も重要な観測データの収集機能だけを持たせて、システムを維持させる。このように4フェーズの緩退モードでの運用を可能とした。

### (3) デバイスの選定

システム構成品の選定にあたり、国内のフィールド稼働実績から故障率、MTBFを算出し、安定稼働する装置を選んだ。予備品について基本的に、基板又はユニット単位で持込むことにした。

### (4) 計測器接続インターフェース

インターフェース部は、1計測器に1枚の基板、一つのコネクタを割り当て、ピンアサインを統一し互換性をもたせた。これにより、インターフェース基板の予備がなくなった場合は、優先度の低い計測器を切り離し、ジョブカタログのチャネルアサインを変更することによって、優先度の高い計測器からのデータ収集を可能とした。

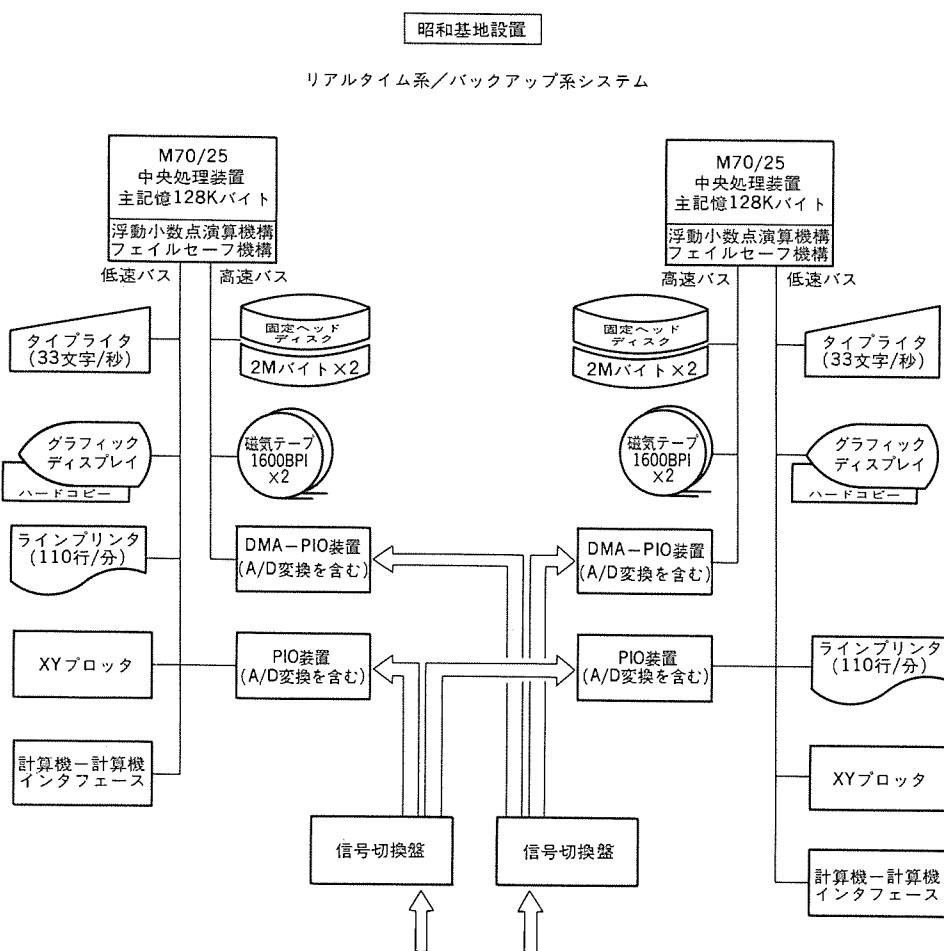


図2. ハードウェアブロック図

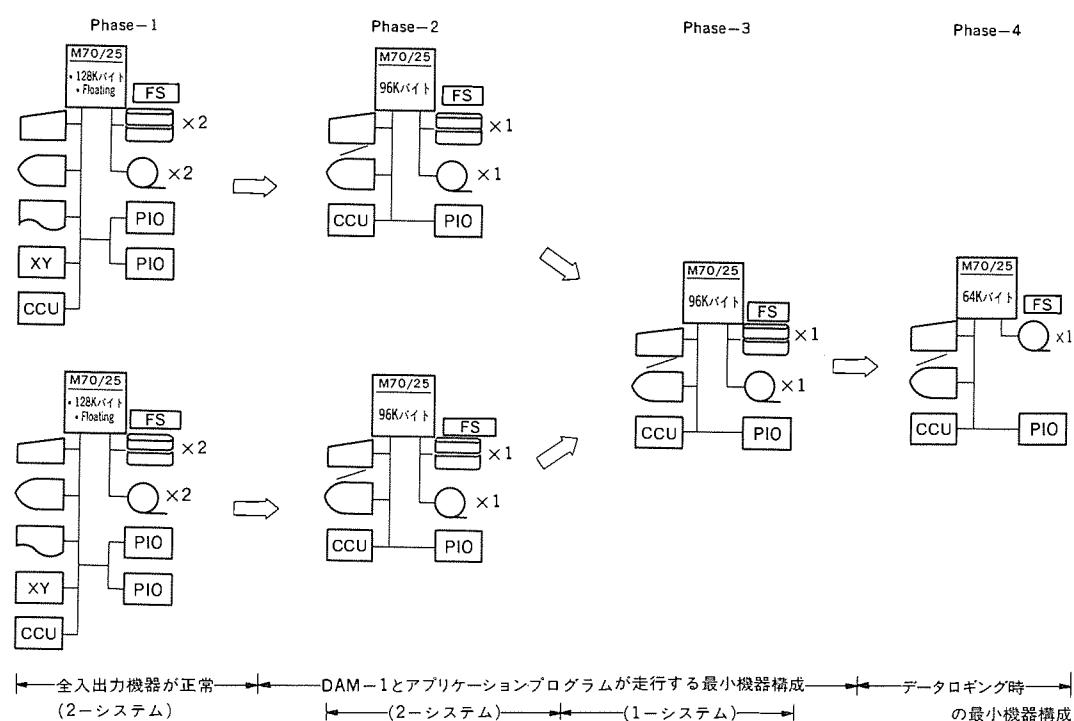
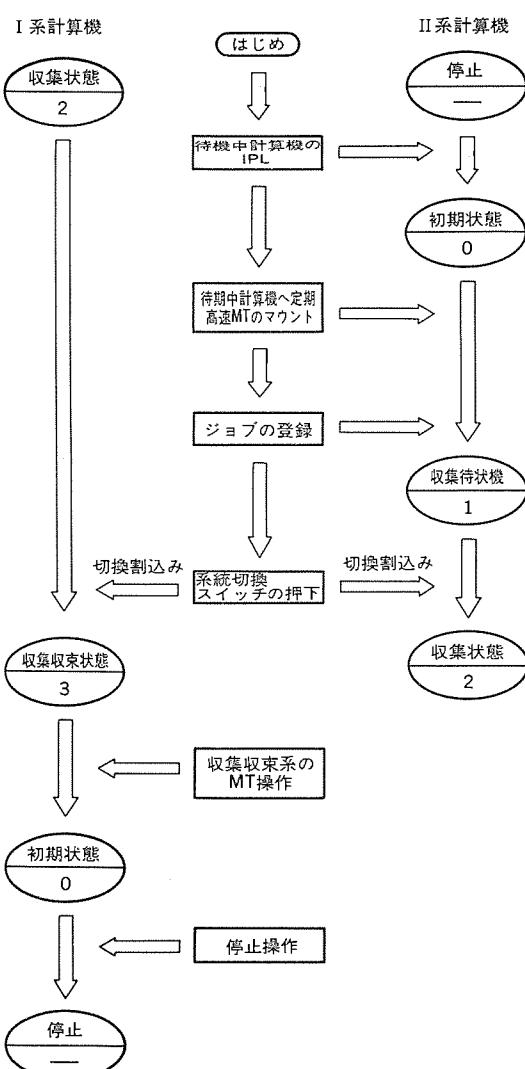
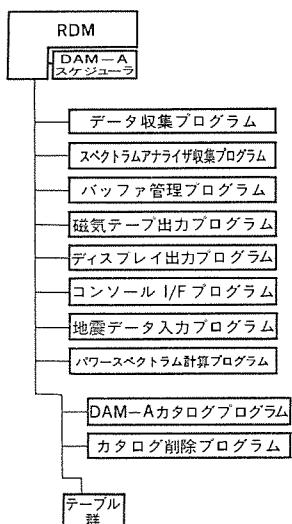


図3. 緩退モード

## 2.3 操作、保守

このシステムは、4週間に1度の割合で系を切換えて、リアルタイム系ではリアルタイム処理を、バックアップ系では予防保守を行う。消費電力の都合上、バックアップ系は通常パワーオフとするが、システムの長寿命化を図るという意味も含んでいる。

### (1) ソフトウェア構成



ソフトウェア体系は、

(a) フォアグラウンド領域でのリアルタイム処理及びバックグラウンド領域での一括処理を並行処理する機能

(b) ディスクベースのファイル処理機能

の機能を持ったRDOS (Real Time Disk Operating System) の配下に、

(a) DAM-A (Data Aquisition Monitor-A)

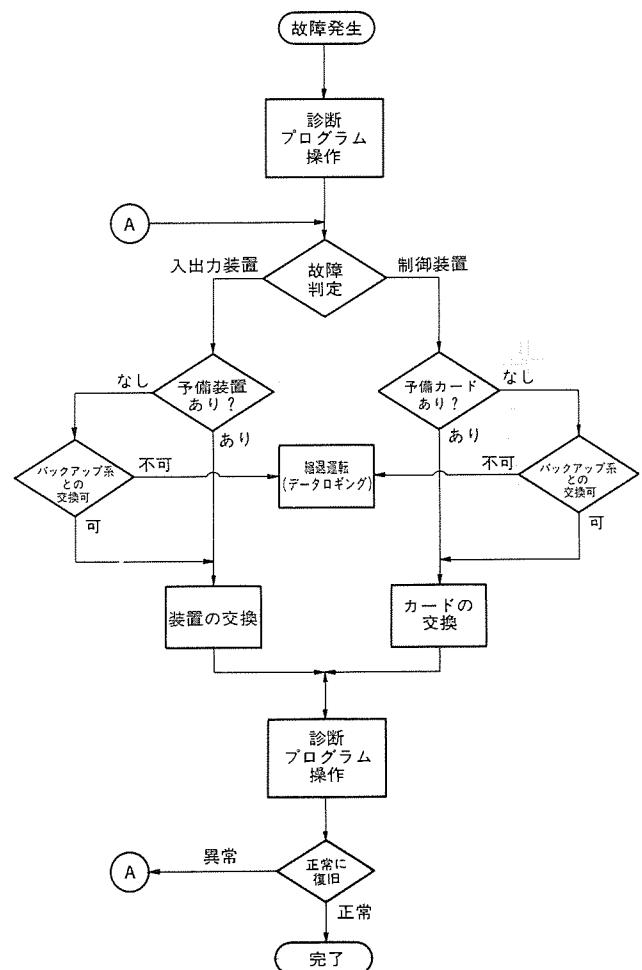
(b) 地震データ収集サブシステム

(c) バッチサブシステム

表1. 取得データ量

計測器名	データ量 (語/秒)	1時間合計 (語)	取込み形体
超高層物理総合観測	インダクション磁力計	1/0.5	7,200
	プロトン磁力計	2/1	7,200
	フラックスゲート磁力計	6/1	21,600
	VLF 狹帯域強度計	9/2	16,200
	インダクション磁力計	1/1	3,600
	リオメータ	1/1	3,600
PC1H 脈動			3,600
計			63,000

	データ量 (語/秒)	17時間合計 (語)	取込み形体
観測	オーロラ固定方位フォトメータ	3/1	183,600
	撮天フォトメータ	3/1	183,600
	角度エンコーダ	1/1	61,200
計			428,400



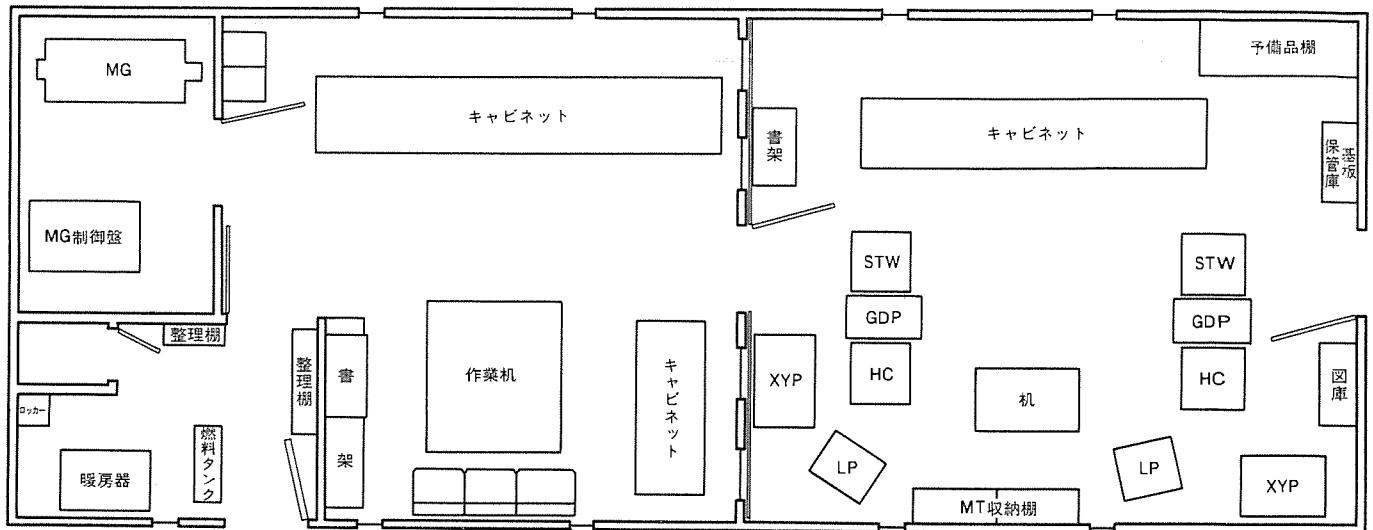


図 7. 情報処理棟床配置図

の三つのサブシステムで構成した。いずれも、容易な操作で運用できることを主眼として製作している。取得データの一覧は表1.のとおりである。

### (2) 操作

電源投入後、オペレーティングシステムの立ち上げ、データ収集の開始・終了、系の切換えに至るまで、キーボード操作やスイッチ操作により実施可能で、可能な限り簡単化してある。DAM-Aについては、デッキ上に磁気テープをマウントすることにより自動的にデータ収録の移行が行われる。データのモニタ表示のハードコピーも12時間ごとに、自動的に得られるようにした。

### (3) 保守

故障が発生しないための予防保守として、点検・調整・清掃・注油などの軽作業のみを実施する。

障害発生は、計算機監視パネルのブザー及びシステムタイプライトからのエラーメッセージにより知らせ、必要に応じて系の切換え操作を行う。故障診断としては、故障した装置の電源部・機械駆動部などの基本的チェックを行った後、診断プログラムを用いて故障箇所を見つける。見当がつけば、基板又はユニット単位で交換する。

## 3. 据付け

### 3.1 稼働以前

計算機を設置する建物が建ち、室内設備が整った後、梱包状態の計算機を搬入して昼夜放置後開梱した。全品結露なく、床配置図、キャビネットラックアップ図に従って設置し、配線した。海中アースの接地抵抗は46Ωであった。

### (1) ハードウェア試験

オフライン試験が可能な入出力装置についてはこれを実施し、調整の要する装置はこれを実施した。その後、診断プログラム及び診断ツールを用いて試験し、システム全体で3箇所に接触不良が認められた。いずれも清掃により復旧した。

### (2) ソフトウェアヒートラン

計測器と計算機を接続し、データの授受を確認した。計測器に合わせて、ジョブカタログの作成やモニタ表示用の係数変更を行い、システムとして稼働するに至った。

### 3.2 稼働後

点検、保守は、1週間・1ヶ月・3ヶ月・6ヶ月ごとにバックアップ系に対して実施した。全般的にたいしたトラブルもなく順調に稼働し、予備の基板・ユニットは使用するに至らなかった。

## 4. むすび

昭和52年5月以来、3年にわたってシステムの仕様検討・設計・製作・検査が行われたこのシステムは、設計方針どおりの機能を果たした。信頼性の高さについては、昭和基地での1年間の稼働実績によって十分裏づけられた。

最後に、このシステムの導入・運用などにお世話をなった吉田隊長殿をはじめ第22次南極地域観測隊、国立極地研究所平沢教授殿、神沼助教授殿並びに関係者各位に感謝の意を表す次第である。

## 衛星搭載フェーズドアレーアンテナ用小形ダイオード移相器

手代木 扶\*・小室 英雄\*\*・青木 浩\*\*\*・松永 誠+・折目晋啓\*\*\*

## 1. まえがき

衛星間データ中継は、今度増加の一途をたどると考えられている低中高度の科学衛星、気象衛星、陸域・海域観測衛星などからの多量の観測データ、及び地上からのコマンド情報を静止軌道上の衛星を使って中継し、リアルタイムでデータ伝送を行うシステムである<sup>(1)</sup>。現在、このデータ中継衛星の多元接続回線の一方式として、マルチビームアーチアンテナの開発が進められている。このアンテナは、受信系が19素子のマルチビームアーチアンテナ、送信系が12素子のフェーズドアーチアンテナで構成される。今回開発した移相器は、送信系のフェーズドアーチアンテナに用いられるものであり、ストリップ線路ハイブリッド結合形4ビットPINダイオード移相器である。

従来のストリップ線路ハイブリッド結合形のPINダイオード移相器では、単ビット移相器がバイアスブロック用3dBハイブリッド結合器で接続されていた。そのため移相器の軸長が長くなり大形化する欠点があったが、ここで報告する移相器は移相量を決定する反射係数変換回路を結合線路で構成して、隣接する単ビット移相器間のバイアスブロックを兼用することにより軸長を従来の約1/2とし小形軽量化を図った。

本稿では試作した移相器の諸特性、及び衛星搭載ということを考慮しての環境試験の結果について述べる<sup>(2)</sup>。

## 2. 多元接続データ中継システムの構成

現在検討されている多元接続データ中継システム全体の構成の概要を図1.に示す。このシステムは、素子アンテナ、RFモジュール、受信用BFN

(ビーム形成回路), 送信部, 移相器制御部などで構成される。受信系には 19 素子のマルチビームアーレーアンテナが使われる。科学衛星, 気象衛星などから送られてきた信号は, 素子アンテナで受信された後, 受信 フィルタを通過し低雜音増幅器で増幅され, ダウンコンバータで中間周波数に変換されてから BFN に導かれる。各素子アンテナからの信号により作り出された BFN の出力は, スイッチマトリクスで選択的に取出されドーム合成が行われ, 出力は フィーダリンクで地上に送られる。

送信系には 12 素子の フェーズドアーレーアンテナ が使われる。地上から送られてきた コマンド 信号は、 アップコンバータ で送信周波数に変換された後に電力増幅され RF モジュール に導かれる。信号は移相器によって適当な位相偏移を与えられた後に素子 アンテナ に供給される。移相器に与えられる制御信号は地上から送られ、 送信 ビーム が科学衛星、気象衛星などを指向するようにそれぞれの移相器を制御している<sup>(1)</sup>。

### 3. 移相器の構成

マイクロ波帯で用いられる電気的な可変移相器としては、大別してフェライト移相器とダイオード移相器の二つに分類される。また、ダイオード移相器は、基板構成法の違いからマイクロストリップ線路形式、トリプレート形ストリップ線路形式があり、回路構成法の違いからスイッチドライン形移相器、ローデッドドライン形移相器、ハイブリッド結合形移相器などに分類される。ここでは、

- (1) 衛星搭載用として小形軽量である。
  - (2) 耐電力性に優れている。
  - (3) 低損失である。
  - (4) 広帯域である。
  - (5) 工作性が優れている。
  - (6) 高速切換えが可能である。

などの条件を考慮してダイオード移相器を採用し、形式としてはトリプレート構造のストリップ線路ハイブリッド結合形移相器を選択した。

図 2(a) に従来方式のストリップ線路ハイブリッド結合形移相器<sup>(3)</sup>の構成を示す。隣接する単ビット移相器間、及びマイクロ波入出力端子との接続にはバイアスブロック用 3 dB ハイブリッド結合器を用いている。この方法はバイアスブロック用としてコンデンサなどを用いる方法に比べて低損失、広帯域の特長を有するが、移相器の軸長が長くなり大形になる難点がある。また、PIN ダイオードの反射位相を所望の移相量が得られるように変換する反射係数変換回路は、1/4 波長線路で構成されている。

次に、今回開発した移相器に使用した小形化方式のストリップ線路ハイブリッド結合形移相器<sup>(4)</sup>の構成を図2.(b)に示す。反射係数変換回路を1/4波長線路の替わりに1/4波長結合線路で構成している。そのためPINダイオードに加える直流バイアス電流は1/4波長結合線路で阻止され、バイアスブロック用3dBハイブリッド結合器は省略することができ、移相器の軸長を従来の約1/2にしている。今回試作した移相器の構成では、22.5°、45°、90°の各単ビット移相器の反射係数変換回路に上記1/4波長結合線路を用い、180°ビット移相器には1/4波

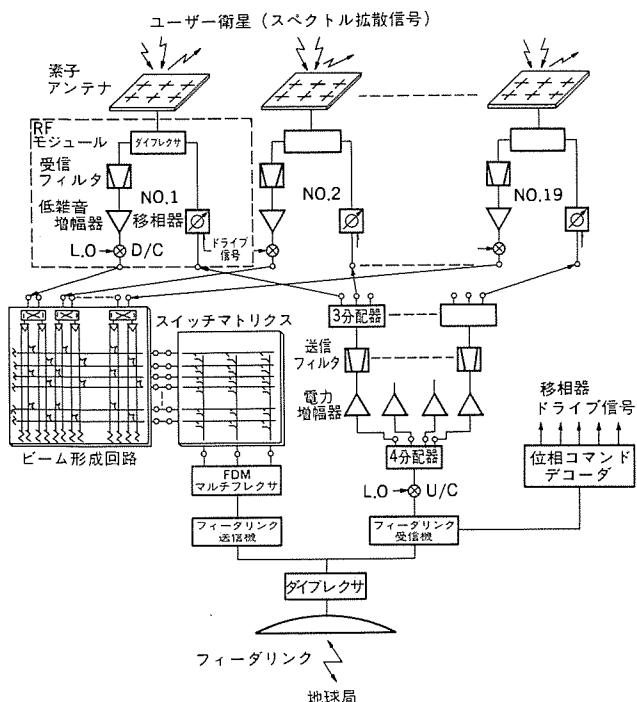
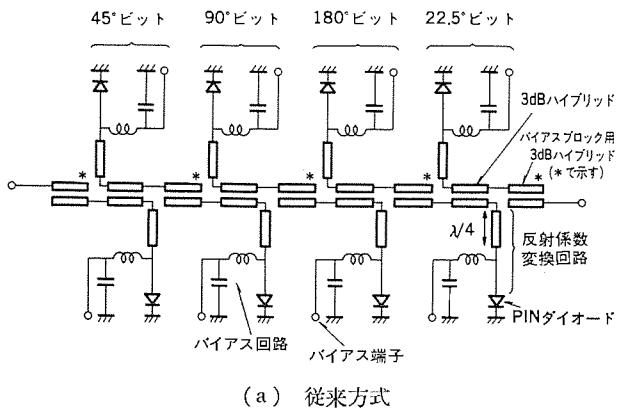
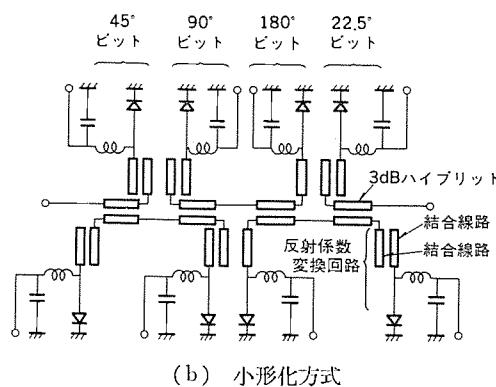


図 1. マルチビームアンテナ構成図



(a) 従来方式



(b) 小形化方式

図 2. 移相器構成

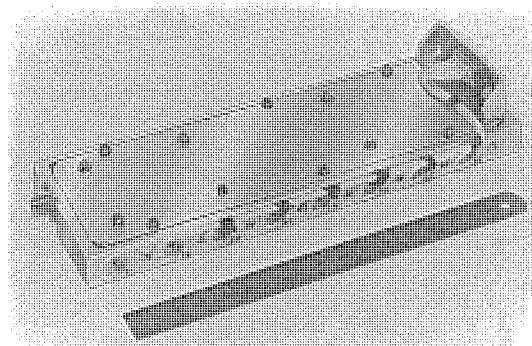


図 3. S 帯 4 ビット移相器外観

長線路を用いている。180°ビット移相器の両側に隣接する90°ビット移相器及び22.5°ビット移相器のバイアス電圧が主線路と分離されているので、180°ビット移相器は独立にバイアスを印加できる。

次に、移相器の構造について述べる。試作した4ビット移相器の外観写真を図3に示す。移相器のきょう(管)体は上下対称となっており、枠及び上下ふた(蓋)から構成されている。ストリップ線路を形成している誘電体基板は上下蓋で押えられている。また、PINダイオードを装着しているヒートシンク及びバイアス端子は枠の側面から挿入され、入出力の同軸コネクタは枠に固定されストリップ線路と接続されている。特に同軸一ストリップ線路変換部では、誘電体基板と金属筐体との膨張係数の違いによる形状変化、あるいは温度サイクル、熱衝撃、振動による接続箇所の疲労による形状変化などを考慮して、同軸コネクタストリップ線路の間を金リボンで接続する構造とした。

## 4. 試験結果

### 4.1 ダイオード定数測定

移相器の設計を行うには、ダイオード定数を知ることが必要になる。ダイオード定数はダイオードインピーダンスを構成する回路成分を意味しており、順バイアス時(ON状態)には金リボンのインダクタンス、順方向抵抗の直列回路、逆バイアス時(OFF状態)には金リボンのインダクタンス、逆方向抵抗、ダイオード接合容量 $c_j$ の直列回路となる。

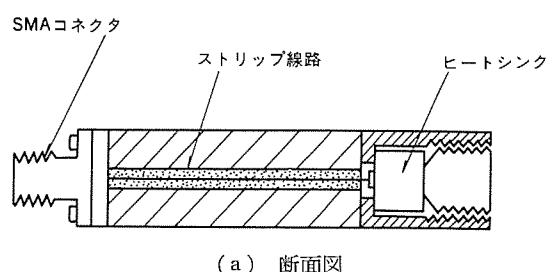
ダイオード接合容量 $c_j$ の測定は、ダイオードチップ単体で周波数1MHzで行い、移相器の試作にあたってはこのダイオード接合容量 $c_j$ をもとにPINダイオードを選定した。しかし、実際にマイクロ波帯で使用する場合には、図4.に示す構成で移相器にPINダイオードが装着される。図4.はマイクロ波帯におけるダイオード定数測定治具の構成図であり、PINダイオードの装着部は、移相器のダイオード装着部と同一構造になっている。ダイオード装着部が図4.に示す構成となっているため、PINダイオード自身の持つダイオード接合容量 $c_j$ のほかに、金リボン、ヒートシンク、及びPINダイオードの周囲の形状などによる浮遊容量が付加されたものが見かけ上の容量となり、この等価容量が移相器の設計に必要なダイオード定数となる。したがって、移相器として移相量精度の高い設計を行うには、移相器にPINダイオードを実装した時と同一状態で使用周波数での等価容量の評価が重要になってくる。

以上の点を踏まえて行ったダイオード容量の測定結果を図5.に示す。図において、⑦は1MHzでダイオードチップ単体で測定したダイオード接合容量 $c_j$ の値であり、①は使用周波数で移相器に実装した状態と同一状態で測定した等価容量の値である。これによると両者の傾向はよく一致しており、使用周波数での等価容量は1MHzでのダイオード接合容量 $c_j$ の値に0.07pF程度の浮遊容量が付加されている。

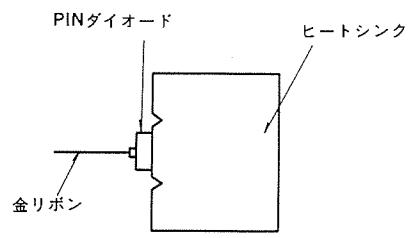
この測定結果より、移相器の設計に際してのダイオード定数としてのダイオード容量の値は、図5.①に示した使用周波数での等価容量の値を用いた。

### 4.2 4ビット移相器諸特性

試作したS帯4ビット移相器の諸特性を図6.に示す。図に示した斜



(a) 断面図



(b) ヒートシンク拡大図

図 4. マイクロ波帯測定治具

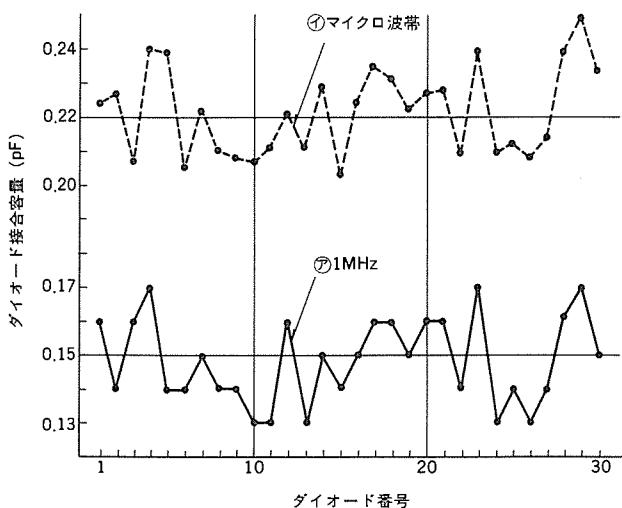


図 5. ダイオード接合容量測定結果

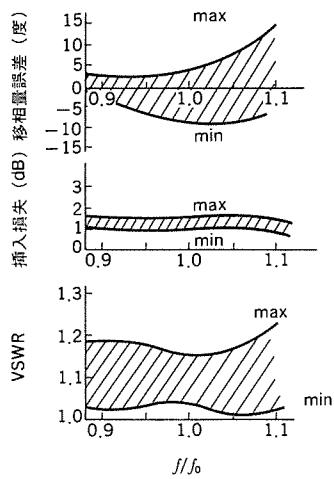


図 6. 移相器諸特性

線部は位相状態を変化させた時の特性の変動幅を示している。また、各々位相状態における移相量の周波数特性の計算値と測定値との比較を図 7. に示す。計算で用いたダイオード容量の値は図 5. ①の使用周波数での等価容量の値を用いている。中心周波数における計算値と測定値のずれは、2度程度でよく一致している。試作したS帯4ビット移相器は、比帶域15%において、移相量誤差±11.0度以下、挿入損失1.6dB以下、挿入損失変動幅0.7dB以下、VSWR 1.2以下、という特性が得られた。

#### 4.3 環境試験

試作したS帯4ビット移相器の環境変化による電気特性の変化を把握するために、各種環境試験を行った。表1.に実施した試験項目と試験条件を示す。以下、各々の試験結果について述べる。

##### (1) 温度試験

試験実施温度は、-58～+80°Cの間の6ポイント(-58°C, -30°C, 0°C, +25°C, +50°C, +80°C)で行った。中心周波数における温度変化による特性の変動は、移相量9度以下(温度こう(勾)配0.065度/°C以下)、透過位相7度以下、損失0.2dB以下、反射損失1.3dB以下であった。透過位相の温度特性を温度25°Cの時を基準として現したものと図8.に示す。

##### (2) ヒートサイクル試験

実施したヒートサイクル試験1回の温度変化チャートを図9.に示す。常

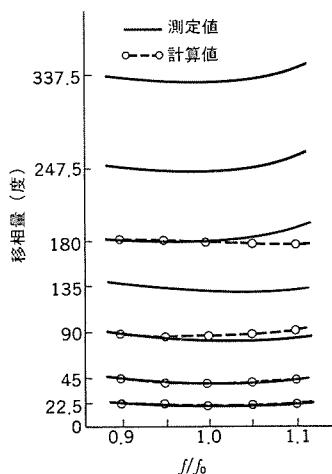


図 7. 移相量周波数特性

表 1. 環境試験項目と条件

項目	条件
温度試験	-58～+80°C
ヒートサイクル試験	-58～+80°Cを10回
ヒートショック試験	-30～+80°Cを連続10回
振動試験	平均加速度19.6Gのランダム振動(20～2,000Hz)

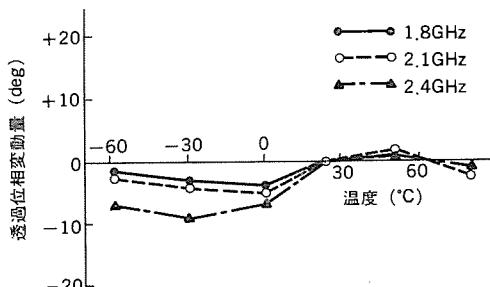


図 8. 透過位相温度特性

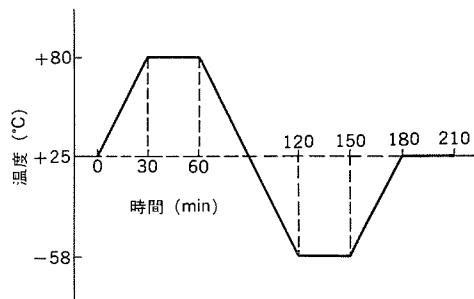


図 9. ヒートサイクル温度変化チャート

温(+25°C)から高温(+80°C)へ移行し30分間定常状態に置き、次に低温(-58°C)へ移行して30分間定常状態に置いた後に常温に戻している。今回の測定は1回のヒートサイクル試験が終了するごとに、電気特性試験を行い、これを10サイクル実施しヒートサイクル試験前後の電気特性の変動の様子を調べた。特性の変動は中心周波数で、移相量1.1度以下、挿入損失0.2dB以下、反射損失1.8dB以下であった。

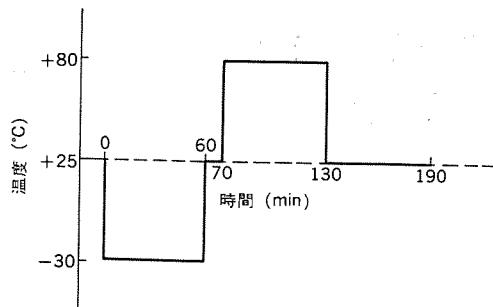


図 10. ヒートショック温度変化チャート

表 2. 環境試験結果 (中心周波数での測定値)

	温度試験	ヒートサイクル試験	ヒートショック試験	振動試験
挿入損失変動 (dB)	0.2 以下	0.2 以下	0.04 以下	0.1 以下
移相量変動 (度)	9 以下	1.1 以下	0.7 以下	0.7 以下
反射損失変動 (dB)	1.3 以下	1.8 以下	0.9 以下	0.9 以下

### (3) ヒートショック試験

ヒートショック試験は、低温槽、常温槽、高温槽の三つの恒温槽を用いて実施した。ヒートショック試験1回の温度変化チャートを図10.に示す。まず、常温槽(+25°C)から低温槽(-30°C)に移し60分間置く。次に常温槽に戻し10分間置いた後に高温槽(+80°C)に移し60分間置き、再び常温槽へ戻す。これをヒートショックの1サイクルとし、このヒートショックを連続10サイクル実施しヒートショック前後での電気特性の比較を行った。特性の変動は中心周波数で、移相量0.7度以下、挿入損失0.04dB以下、反射損失0.9dB以下であった。

### (4) 振動試験

振動試験は振動条件の一番厳しいランダム波振動を選び、平均加速

19.6 G、振動周波数20~2,000 Hzのランダム振動で行った。また、振動の加え方としては移相器のX軸、Y軸、Z軸の方向にそれぞれ加振し、各軸への加振が終了した段階で電気特性試験を行った。中心周波数における特性の変動は、移相量0.7度以下、挿入損失0.1dB以下、反射損失0.9dB以下であった。

以上試作したS帯4ビット移相器の環境試験結果について述べ表2.に示した。これらの結果から試作したS帯4ビット移相器の環境変化による特性変化の把握ができるとともに、3章で述べた同軸一ストリップ線路変換部は、誘電体基板と金属筐体との膨張係数の違いによるストレスをうまく吸収できる構造であることがわかった。

## 5. むすび

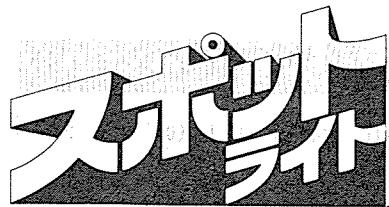
データ中継衛星の多元接続回線の一方式であるマルチビームアーランテナの送信系用として、S帯4ビットPINダイオード移相器の開発を行った。その結果、低損失で小形広帯域なPINダイオード移相器を得ることができた。なお、衛星搭載であることを考慮して、温度試験、ヒートサイクル試験、ヒートショック試験、及び振動試験を行い基礎データを得た。今後、上記データをベースとして軽量化、高信頼度化を図っていく必要がある。

終わりに、この移相器の開発にあたって、御尽力いただいた関係各位に深く感謝の意を表する次第である。

## 参考文献

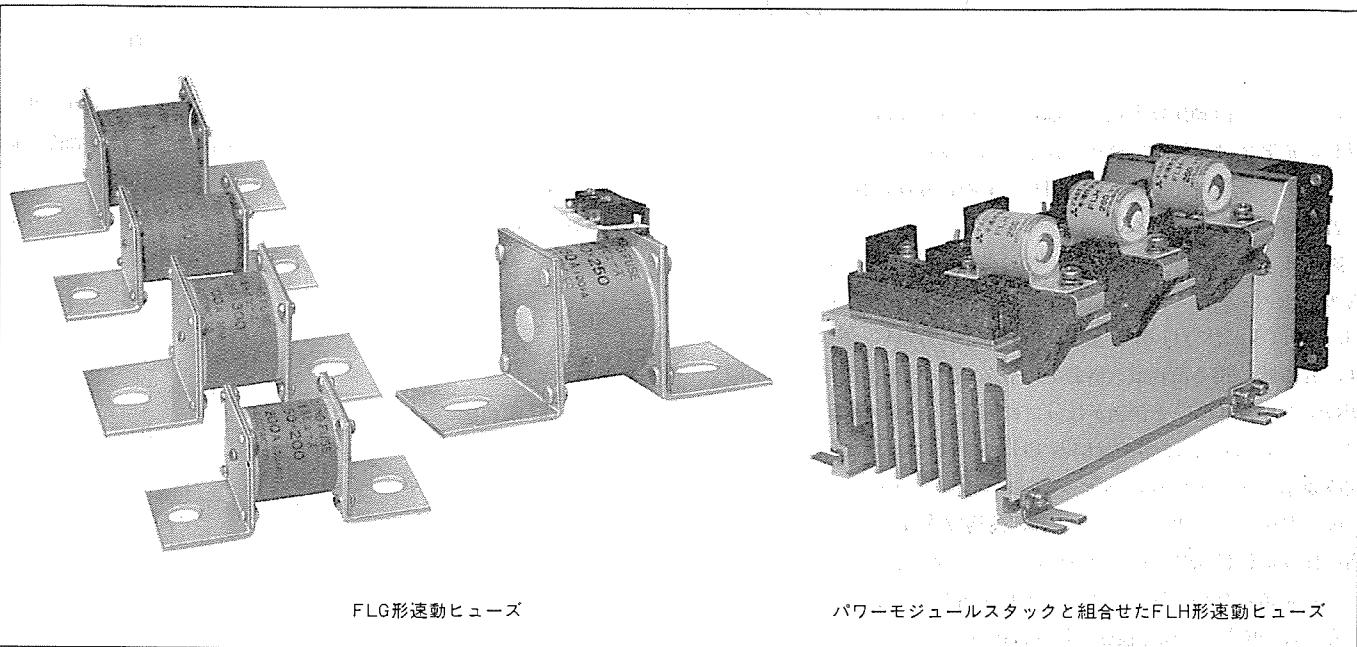
- (1) 手代木、中條、高橋：データ中継衛星用マルチビームアーランテナ、信学技報 AD 80-107 (昭 56-1)
- (2) 手代木ほか：マルチビームアーランテナ用小形広帯域ダイオード移相器、信学技報 MW 82-32
- (3) Microwave Associates Inc. Bulletin 7070
- (4) 松永、武田：ストリップ線路ハイブリッド結合形ダイオード移相器の小形化とその広帯域化、信学論 (B) J 65-B, No. 6, P. 710 (昭 57-6)





# 使い易さと性能を追求した 半導体保護用速動ヒューズ

FLGシリーズ  
FLHシリーズ



近年における半導体素子及び応用機器の進歩は、きわめて著しいものがあり、その応用分野が急速に拡大されています。半導体素子は、熱的及び過電圧に弱く、その保護には特別な配慮が必要です。このたび、三菱電機は、使い易さと性能を追求したFLGシリーズとFLHシリーズの速動ヒューズを新発売しました。

## FLGシリーズ特長

### ●動作表示装置付

動作表示装置付きですから、溶断した時に確認がすぐできなくて困るという不便さを解消しています。

### ●動作表示用マイクロスイッチ取付可能

動作表示用マイクロスイッチをヒューズ本体に取り付けられるようにしており、電気信号が取り出せます。

### ●小形・軽量タイプ

当社、従来シリーズ(FL形)に比べ、1/2の重量になっています。

### ●高性能

極めて優れた速動性、小さな遮断 $I^2t$ 、低い動作過電圧についていますので、半導体素子の保護に最適です。

## FLHシリーズ特長

### ●パワーモジュール専用

パワーモジュール専用として最適な形状と特性にしてあります。

### ●配線の簡略化、取付スペースの縮減

充電部が絶縁筒より横に出ないよう小さくし、パワーモジュールの端子に直接取り付けられるようにしました。配線の簡略化、取り付け上のスペースの縮減が可能となります。

### ●高性能

FLGシリーズと同様に、極めて優れた速動性、小さな遮断 $I^2t$ 、低い動作過電圧についていますのでパワーモジュールの保護に最適です。

## 仕様

### ●FLGシリーズ

#### 〈250Vシリーズ〉

#### 〈500Vシリーズ〉

形名	定格			形名	定格		
	電圧V	電流A	しゃ断量kA		電圧V	電流A	しゃ断量kA
FLG-250×40		40		FLG-500×30		30	
FLG-250×50		50		FLG-500×40		40	
FLG-250×60		60		FLG-500×50		50	
FLG-250×75		75		FLG-500×60		60	
FLG-250×100		100		FLG-500×75		75	
FLG-250×125		125		FLG-500×100		100	
FLG-250×150	250	150	100	FLG-500×125	500	125	100
FLG-250×200		200		FLG-500×150		150	
FLG-250×250		250		FLG-500×200		200	
FLG-250×300		300		FLG-500×250		250	
FLG-250×400		400		FLG-500×300		300	
FLG-250×500		500		FLG-500×400		400	
FLG-250×600		600		FLG-500×500		500	
				FLG-500×600		600	

### ●FLHシリーズ

#### 〈250Vシリーズ〉

#### 〈500Vシリーズ〉

形名	定格			形名	定格		
	電圧V	電流A	しゃ断量kA		電圧V	電流A	しゃ断量kA
FLH-250×40		40		FLH-500×30		30	
FLH-250×50		50		FLH-500×40		40	
FLH-250×60		60		FLH-500×50		50	
FLH-250×75	250	75	100	FLH-500×60	500	60	100
FLH-250×100		100		FLH-500×75		75	
FLH-250×125		125		FLH-500×100		100	
FLH-250×150		150		FLH-500×125		125	
FLH-250×200		200		FLH-500×150		150	

## 当社パワーモジュールと適用FLH形ヒューズ定格

当社パワーモジュール	適用FLH形ヒューズ定格		
形名	回路電圧110Vライン	回路電圧220Vライン	回路電圧440Vライン
TM25DZ-H	FLH-250×50	FLH-250×50	—
TM55DZ-H	FLH-250×100	FLH-250×100	—
TM90DZ-H	FLH-250×200	FLH-250×200	—
TM55DZ-2H	—	—	FLH-500×75
TM90DZ-2H	—	—	FLH-500×150

# 特許と新案 有償開放

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

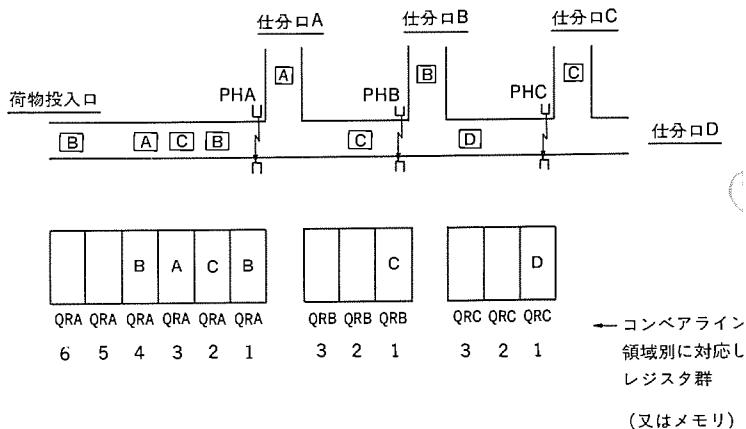
## コンベア自動仕分装置 (特許第723257号)

発明者 水野公元

コンパラインの自動仕分方式は大別して、仕分対象荷物に仕分先を記録した光学又は磁気的に読みとれるラベルを貼って行なう方式とレジスター や メモリー 等の記憶装置を応用したものに分けられる。本発明は後者に属するものである。

図1に本発明の原理図を示す。図は荷物投入口1箇所、仕分口4箇所のコンベアラインの例である。コンベアラインを荷物投入口と仕分口A間、仕分口Aと仕分口B間、及び仕分口Bと仕分口C間の3領域に分け、各領域に乘る荷物最大搭載数の仕分情報を記憶するレジスタ群QRA、QRB、QRCと荷物が仕分口に到着した事を検出する光電装置、又はリミットスイッチ等の検出器PHA、PHB、PHCが本発明の主構成要素となっている。各々の領域に対応したレジスタ群をQRA1～6、QRB1～3、QRC1～3とすれば荷物投入口から投入された荷物の仕分情報はQRA1～6の頭からレジスタの空番地につめられる。その時先頭の荷物が仕分口Aに到着した事を検出器PHAが感知したならばQRA1の仕分情報が仕分口にAであるか否かを判断し、Aであれば荷物を仕分口Aに振るい出し レジスタ情報はQRA2→QRA1、QRA3→QRA2……とシフトされる。またAでなければ仕分口

Aは通過し、QRB 1～3 の頭から空いているレジスタに、即ちQRA 1→QRB 2、QRA 2→QRA 1……とシフトされる。以上の動作を荷物投入口、仕分口で時分割動作させれば、いかなる複雑な仕分コンベアラインの制御も可能となる。また本発明の方式はマイコン等では簡単に実行できる。



次号予定 三菱電機技報 Vol. 57 No. 4 工業用計算機システム《MELCOM350-60》特集

特集論文

- 工業用計算機《MELCOM 350-60》モデル 500 のハードウェア  
アシス템
  - 工業用計算機《MELCOM 350-60》の基本ソフトウェア
  - 工業用計算機《MELCOM 350-60》のソフトウェア開発支援  
システム
  - 工業用データウェイシステム《MDWS-60》

普通論文

- ### ③原子炉核計装用高温核分裂計数管—電離箱の開発

- 韓国 KETRI (電気通信研究所) 納め大容量短絡試験設備
  - 韓国 KETRI (電気通信研究所) 納め 6,000 MVA 短絡発電機
  - 24 kV 及び 36 kV, 40 kA 大容量ガス遮断器と閉鎖配電盤
  - インバータ駆動時の電動機の機械的諸特性
  - 『MELCOM-COSMO 900Ⅱ』の高速ベクトル演算処理システム
  - 『MELCOM 80』ビジネスグラフシステム
  - ソフトウェア品質評価支援システム “SQUARE”
  - 高出力 GaAs FET のパルス動作特性
  - MASS 付カラーラジオ RX-240SY 形

三菱電機技報編集委員		三菱電機技報 57巻3号	
委員長	志岐守哉	委 員	野村兼八郎
副委員長	岸本駿二		山内 敦
"	三浦 宏		柳下昌平
委 員	峯松雅登		立川清兵衛
"	翠川 祐		徳山 長
"	佐藤文彦		柴山恭一
"	葛野信一		町野康男
"	井上 通		荒野皓也
"	阿部 修		瀬辺国昭
"	吉田太郎		倉橋浩一郎
"	野畑昭夫		小原英一
"	田中克介		尾形善弘
"	的場 徹	幹 事	諸住康平
		3号特集担当	赤枝潤二郎
		(無断転載を禁ず)	昭和58年3月22日 印刷
			昭和58年3月25日 発行
		編集兼発行人	諸住康平
		印 刷 所	東京都新宿区市谷加賀町1丁目12番地 大日本印刷株式会社
		発 行 所	東京都千代田区丸の内2丁目1番2号 (〒100) 菱電エンジニアリング株式会社内 「三菱電機技報社」Tel. (03) 218局2045
		発 売 元	東京都千代田区神田錦町3丁目1番地 (〒101) 株式会社 オーム社 Tel. (03) 233局0643(代), 振替口座東京6-20018
		定 價	1部 500円 送料別 (年間予約は送料共6,700円)



このたび三菱電機では、本格的なFA・FMSの実現をはかるため、生産効率の向上を実現する生産現場専用のコンピュータシステム《FACTORY LAND》を発売しました。

この《FACTORY LAND》は、FAコンピュータ（モデルS1）とFAコントローラ（モデルC1）及びこれらを結合する〈FMSバス〉で構成。機械加工、板金加工、各種組立などの分野における技術革新、モデルチェンジへの柔軟な対応、夜間無人運転、NCテープの一括管理及び、生産現場情報の即時集計などを可能とした、本格的なFA・FMSの頭脳となるFAコンピュータシステムです。

### 特長

#### ●NC工作機械、ロボットなど、最大64台まで接続可能

接続は高速（19.2キロビット／秒）で耐ノイズ性に優れたRS422インターフェースを標準とし、光ファイバ接続（オプション）も可能です。

#### ●階層分散システムにより柔軟なシステム構成が可能

セルレベルの小規模システムから工場全体の管理を含む大規模システムまで、フレキシブルにシステム構築することができます。

#### ●現場設置・24時間運転のFAコンピュータ

防滴形シートキーボードの採用など、防塵・防滴を考慮した現場専用設計なので、現場の苛酷な環境にも十分に耐えられます。現場フロアに設置して、24時間連続運転・夜間無人運転が可能です。

#### ●現場の事務合理化に強力な支援機能

日本語による対話形式の操作、簡易言語（プログレスII、工業用リアルタイムBASIC）とリレーショナルのデータベースの採用など、使い易さを徹底的に追求して開発されています。また、オプションとしてビジネスグラフ機能、日本語ワードプロセッサ機能も搭載可能です。

### 仕様

#### ●モデルS1

主記憶装置	64キロビットMOS LSI (サイクルタイム500ナノ秒) 容量0.5~1.5メガバイト
中央処理装置	5000ゲートカスタムLSI 命令数 標準125種、オプション14種
固定ディスク装置	平均アクセスタイム43ミリ秒、容量38メガバイト/1台 最大8台まで接続可
フレキシブルディスク装置	平均アクセスタイム215ミリ秒、容量1メガバイト/1台 最大2台まで接続可
日本語ワークステーション装置	漢字1000字、英数2000字表示/画面 14インチ、カラーグラフィック/カラー/モノクロの3機種あり 日本語プリンタと合せて最大32台まで接続可
通信制御装置	データ信号速度50~9600ビット/秒 単回線/多回線/ハイレベル通信制御装置の3種類あり
その他周辺・端末装置	日本語プリンタ、高速ラインプリンタ、ラベルプリンタ、カセット磁気テープ装置、光学文字読取装置、バーコードリーダなどの接続可

#### ●モデルC1

主記憶装置	64キロビットMOS IC (サイクルタイム1マイクロ秒) 容量256~512キロバイト
中央処理装置	16ビット2進並列演算、命令数 標準164種
磁気バブルメモリ装置	平均アクセスタイム5~20ミリ秒 容量512~1024キロバイト
CRT/キーボード装置	英数字2000字/画面 14インチカラー7色
通信制御装置	RS422インターフェース、最大8チャネル データ信号速度 最大19.2キロビット/秒 RS232Cインターフェース、最大2チャネル データ信号速度 最大19.2キロビット/秒
プロセス入出力インターフェース装置	デジタル入力160点、デジタル出力109点 スキャナ入力8×8点 (プログラマブルコントローラ内蔵)
その他周辺・端末装置	プリンタ、カセット磁気テープ装置、紙テープリーダ/パンチなどの接続可

#### ●FMSバス

同期方式	フレーム同期方式
通信形態	N:N
アクセス方式	トークンパッシング方式
データ信号速度	500キロバイト/秒
伝送路	同軸ケーブル又は光ファイバ、バス形態