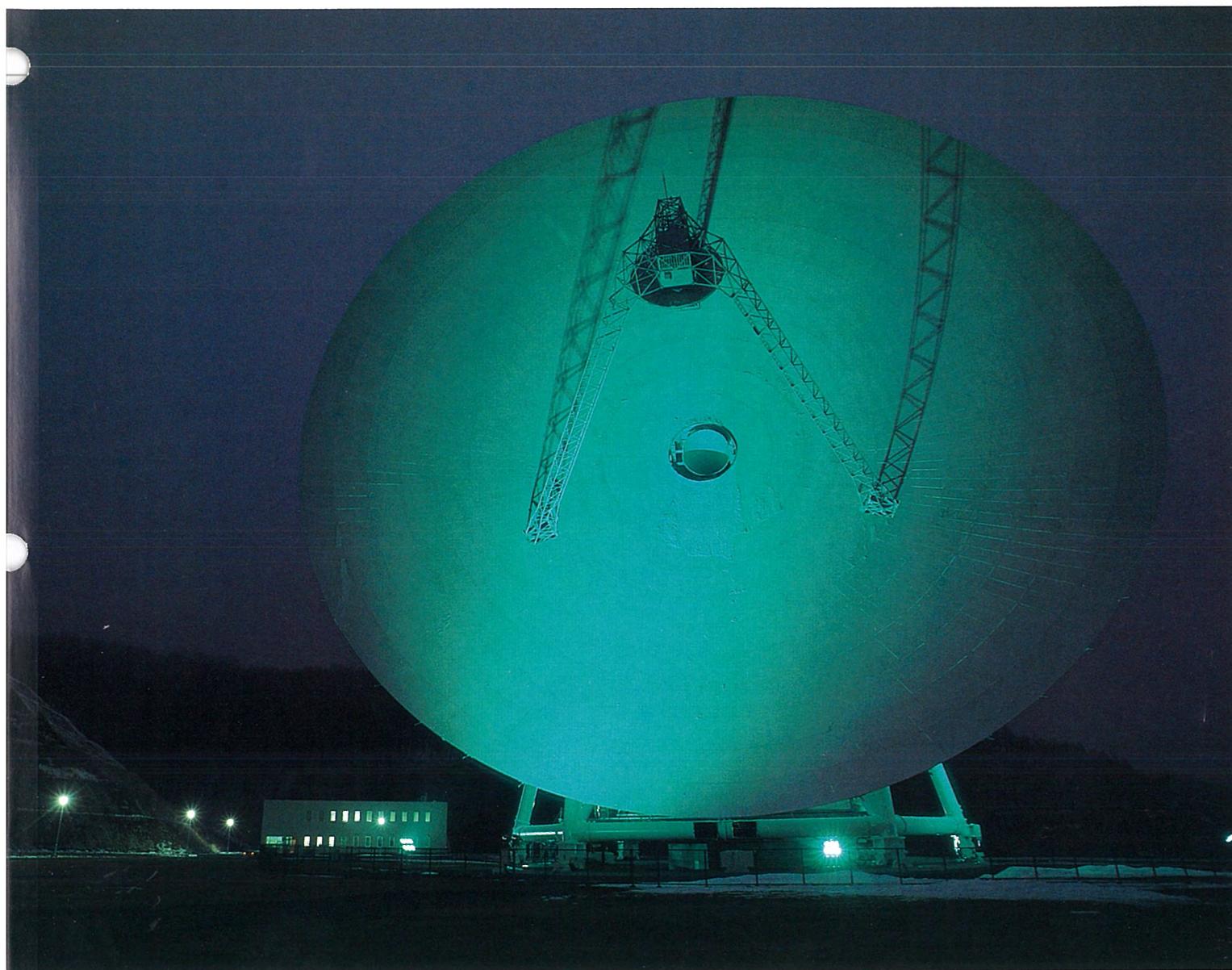


# MITSUBISHI 三菱電機技報

MITSUBISHI DENKI GIHO Vol.59 No.9

9  
1985

ハレー彗星観測機器特集



# 三菱電機技報

Vol. 59 No. 9 1985

## ハレー彗星観測機器特集

### 目 次

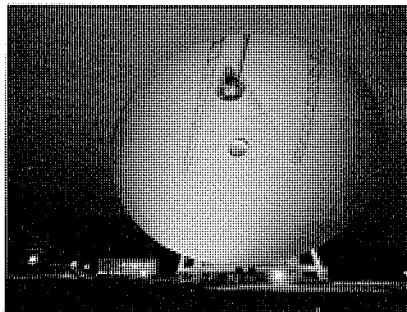
#### 特集論文

ハレー彗星観測機器特集号に寄せて	1
野村民也	
ハレー彗星探査と臼田大型アンテナ	2
林 友直	
深宇宙探査用大型アンテナ設備	4
林 友直・広沢春任・別段信一・倉藤 康・岡田東亞	
大型アンテナの設計	9
三浦公亮・市川 満・浦崎修治・佐藤 澄・松本 治	
大型アンテナの精密指向制御	15
広沢春任・市川 満・河村英四郎・榎原 修・伊藤富美夫	
大型アンテナの据付け工事	21
市川 満・小川伊弘・阪田日出雄・小笠原武二・渡辺泰夫	
ハレー彗星探査機PLANET-A構体	26
三浦公亮・長谷川 光・松原 薫・川上和夫	
普通論文	
三菱三次元レーザ加工機《MELCUT-3 DCM》	29
猪谷耕太郎・柴山耕三郎・服部晋一・池田 隆・北島利雄	
日本気象協会向け気象情報集配信システム	33
玉井玉勝・宇野孝雄・徳田昭彦・山田知満・平野弥寿雄・森 成昭・鳥村 浩	
新形定期券発行機《MELPAS-F》	38
清水圭司・甲破賢吉・内海 宏・井口俊秋・小林正孝	
自動縫製システム	42
藤田次朗・山根 巍	
新マイクロ波放電光源装置	47
大貫一志・正田 煉・児玉仁史・名取 茂・吉沢憲治	
《MELCOM DPシリーズ》向け意思決定支援システムDSS/1	51
和田雄次・立花昌和・金森卓郎・中村 晋・溝口徹夫	
高速大容量256KビットEPROM	56
山本 誠・平林一雄・張間寛一・中島盛義・酒井 務	
1メガビットMOSダイナミックRAM	60
熊野谷正樹・藤島一康・塚本克博・松川隆行・吉原 勉	
電磁調理器《クリーンレンジ》CS-150	64
勇内和秀・久保精二・本多 厚・宇高正晴・野田博司	
特許と新案	68
電気回路装置	
スポットライト	
MOS-1搭載用マイクロ波放射計	(表3)

#### 表紙

##### 深宇宙探査用大型アンテナ

1986年春、76年ぶりに太陽へ回帰してくるハレー彗星を観測するため、文部省宇宙科学研究所は1985年1月及び8月に、彗星探査機“さきがけ”及び“PLANET-A”を打上げた。この探査機の追尾、観測データ・テレメトリデータの受信及び探査機への指令等を行うために、直径64mの深宇宙探査用大型アンテナが準備され、1984年10月長野県臼田宇宙空間観測所に完成した。写真はその大型アンテナで、彗星探査機“さきがけ”、“PLANET-A”及びNASAの探査機“ICE”的追跡・管制に使用されている。このアンテナは最新の技術が種々用いられ世界最高の特性を有しており、深宇宙探査、VLBI、電波天文などでの活躍が期待されている。



## アブストラクト

### 深宇宙探査用大型アンテナ設備

林 友直・広沢春任・別段信一・倉藤 康・岡田東亞  
三菱電機技報 Vol.59-No.9-P 4~8

文部省宇宙科学研究所深宇宙探査用大型アンテナ設備が長野県佐久市白田町に1984年10月完成し、1985年1月に打ち上げられたハレー彗星探査用試験探査機MS-T5（さきかけ）の追跡・管制を始めた。引続き1985年8月打上げ予定の探査機PLANET-Aの追跡管制・通信が行われる予定であり、またその他米国探査機からのデータ受信も行われている。この論文はこの深宇宙探査用大型アンテナ設備の基本設計、構成及び主要性能諸元などをまとめ、設備全体を概説する。

### ハレー彗星探査機PLANET-A構体

三浦公亮・長谷川 光・松原 薫・川上和夫  
三菱電機技報 Vol.59-No.9-P 26~28

文部省宇宙科学研究所が1985年1月及び8月に打ち上げたハレー彗星探査機MS-T5とPLANET-Aの構体設計について述べる。

この構体の特長は主要部材に大幅に炭素繊維強化プラスチックス(CFRP)を採用したこと、従来の衛星構体設計と比べ、繊維配向設計などの新しい要素が加わり、CFRPにかかる各種の部材試験を実施した。その結果、従来の材料を使った場合よりも30~40%軽量で、各種条件を満足する構体を完成することができた。

### 大型アンテナの設計

三浦公亮・市川 満・浦崎修治・佐藤 澄・松本 治  
三菱電機技報 Vol.59-No.9-P 9 ~ 14

このアンテナ装置は、深宇宙探査用に開発されたもので、大口径かつ高能率・低雑音、高鏡面精度、高指向精度なものであり、現在進行中のハレー彗星探査、並びに将来の惑星探査計画、電波天文などに使用される装置である。この論文では、これらの用途において要求される諸特性を実現するために用いられた諸技術、すなわち、集束ビーム給電方式技術、鏡面修整技術、ホモロジー技術について報告するとともに、得られた特性を述べる。

### 三菱三次元レーザ加工機《MELCUT-3DCM》

猪谷耕太郎・柴山耕三郎・服部晋一・池田 隆・北島利雄  
三菱電機技報 Vol.59-No.9-P 29~32

複雑な凹凸のある立体形状の切断が可能な三次元レーザ加工機について、その特長、構造、構成、仕様について述べる。

この三次元レーザ加工機の主な特長は次のとおりである。

- (1)ソフトウェアに工夫をこらし、ティーチング時間の短縮化を実現。
- (2)ハイセンサを標準装備して、装置の信頼性、操作性を向上。
- (3)発振器から数値制御装置にいたるまで、同業他社の多くと異なり、すべて自社製品によるシステムである。

### 大型アンテナの精密指向制御

広沢春任・市川 満・河村英四郎・榎原 修・伊藤富美夫  
三菱電機技報 Vol.59-No.9-P 15~20

アンテナ制御装置は、8ビットマイコンを主体とした主反射鏡駆動制御架、コリメータ制御架、副反射鏡駆動制御架などのローカル制御装置、及びこれらを中央局舎のコンソールと局運用管制装置を介して遠隔制御するためのミニコン（M70/40）などから構成される。このミニコンは、2.2億km離れた深宇宙探査機の追尾が可能よう、アンテナのホモロジー補正及び鉛直度、直交度などアンテナ固有の器差を補正する機能をもっている。

### 日本気象協会向け気象情報集配信システム

玉井正勝・宇野孝雄・徳田昭彦・山田知満・平野弥寿雄・森 成昭  
鳥村 浩

三菱電機技報 Vol.59-No.9-P 33~37

報道機関、交通運輸、水資源・電力などへの気象情報の即時配信を目的とした、気象情報集配信システムをミニコンピュータ《MELCOM 70シリーズ》を用いて開発した。このシステムは、気象庁から各種気象情報(ADESS, AMeDAS, REDIS)を集信し、これらの気象情報をユーザーの利用目的に合わせて編集・選択し、DDXパケット交換、特定回線、公衆回線のうちの任意の回線を用いてユーザーへ即時伝達できる。

### 大型アンテナの据付け工事

市川 満・小川伊弘・阪田日出雄・小笠原武二・渡辺泰夫  
三菱電機技報 Vol.59-No.9-P 21~25

1983年4月から着工した深宇宙探査用大型アンテナ（直径64m、総重量1900トン）は国内最大のパラボラアンテナで、この現地据付け工事及び調整試験（資材輸送トラック及びトレーラ台数320台、工期19か月、延作業従事者数約8500人日）については数々の困難があったが、予定工事期間内で無事故で達成できた。ここにその工事計画、資材搬入、アンテナ機構部の据付け工事並びに試験調整の概略について述べる。

### 新形定期券発行機《MELPAS-F》

清水圭司・甲破賢吉・内海 宏・井口俊秋・小林正孝

三菱電機技報 Vol.59-No.9-P 38~41

新形定期券発行機《MELPAS-F》は、①券面様式の柔軟性、②券面の2色印刷、③券面イメージの表示、など顧客が導入当初から期待していた機能を実現した市場のニーズに十分適合する装置である。ここではハードウェア、ソフトウェアの開発の要点とその成果について述べる。

# Abstracts

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 59, No. 9, pp. 26 ~ 28 (1985)

## The Structure of Planet-A, a Halley's Comet Explorer

by Koryo Miura, Hikaru Hasegawa, Kaoru Matsubara & Kazuo Kawakami

The article describes the structure of the MS-T5 test probe and its successor, the Planet-A Halley's Comet explorer, launched in January 1985 and August 1985, respectively. The principal structural members of these space vehicles are made of carbon-fiber reinforced plastic (CFRP) with a new fiber-arrangement and lamination design. This design, coupled with individual testing of each type of CFRP member has reduced structural weight by 30~40% compared with conventional materials, while providing all necessary performance parameters.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 59, No. 9, pp. 29 ~ 32 (1985)

## MELCUT-3DCM, a Three-Dimensional Laser Cutting Machine

by Kotaro Itani, Kozaburo Shibayama, Shin'ichi Hattori, Takashi Ikeda & Toshio Kitajima

The article reports on the features, structure, and specifications of a new laser cutting machine capable of machining complicated three-dimensional convex and concave shapes. Its main features include: carefully developed software that reduces teaching time, a standard-equipment height sensor that improves reliability and operability, and an original system design developed by Mitsubishi Electric that employs in-house technologies for the oscillators, the numerical controllers, and other equipment, and differs markedly from other manufacturers' designs.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 59, No. 9, pp. 33 ~ 37 (1985)

## A System for Collection and Distribution of Weather Information for the Japan Weather Association

by Masakatsu Tamai, Takao Uno, Akihiko Tokuda, Tomomitsu Tamada, Yasuo Hirano, Nariaki Mori & Hiroshi Torimura

A weather-information collection and distribution system has been developed around a Mitsubishi MELCOM M70 series minicomputer to provide prompt reports to news agencies, transportation authorities, water-resources management agencies, and power companies. Data from the Meteorological Agency's automated data-editing and switching system, automated meteorological-data acquisition system, and radar-echo digital system is collected, edited, selected according to user requirements, and sent promptly over digital data-exchange packet-switching networks, dedicated-line networks, and public switched-telephone networks.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 59, No. 9, pp. 38 ~ 41 (1985)

## MELPAS-F, a New Type of Commuter-Pass Issuing Machine

by Keiji Shimizu, Kenkichi Koha, Hiroshi Utsumi, Toshiaki Iguchi & Masataka Kobayashi

The MELPAS-F commuter-pass issuing machine has achieved a number of new functional breakthroughs that meet market needs and satisfy demands that have persisted ever since ticket-issuing machines were first introduced. These breakthroughs include a flexible ticket-printing format, two-color printing, and display of the image of the pass. The article outlines the successful hardware and software development.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 59, No. 9, pp. 4 ~ 8 (1985)

## A 64m Antenna System for Deep-Space Projects

by Tomonao Hayashi, Haruto Hirosawa, Shin'ichi Betsudan, Yasushi Kurauchi & Harutsugu Okada

In October 1984, a large-scale antenna system was completed in Saku City, Nagano Prefecture, for the Ministry of Education's Institute of Space and Astronautical Science. In January 1985, the system began to track and control the MS-T5 *Sakigake* satellite. The satellite was launched as a test for the Planet-A deep-space probe, for which the new antenna system will handle tracking, control, and communications from the time of the probe's August 1985 launch to its rendezvous with Halley's Comet in 1986. The system is also receiving data from U.S. deep-space probes. The article introduces this system, describing its basic design, configuration, and principal performance specifications.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 59, No. 9, pp. 9 ~ 14 (1985)

## The Design of the 64m Antenna System for Deep-Space Projects

by Koryo Miura, Mitsuru Ichikawa, Shuuji Urusaki, Shigeru Sato & Osamu Matsumoto

This large-diameter antenna system has a high-efficiency, low-noise, high surface-accuracy, high-precision pointing-control design intended for deep-space research projects, such as the space-probe rendezvous with Halley's Comet, as well as for radio astronomy and other applications. The article describes the performance parameters required for these applications and discusses the beam-waveguide feed technique, shaped-reflector technique, homology design, and other technologies adopted to achieve this performance, and summarizes the system's features.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 59, No. 9, pp. 15 ~ 20 (1985)

## The Precision Pointing-Control System of the 64m Antenna System for Deep-Space Projects

by Haruto Hirosawa, Mitsuru Ichikawa, Eishiro Kawamura, Osamu Sakakibara & Fumio Ito

The pointing-control system for the 64m antenna employs dedicated 8-bit microcomputers to control the main reflector drive, the collimator, and the subreflector drive. These microcomputers are controlled by a Mitsubishi M70/40 minicomputer in the central building via the system's console and operation-control equipment. The minicomputer compensates for variations in the antenna's homology, perpendicularity, and orthogonality, enabling the antenna to track deep-space probes at distances up to 220 million kilometers. The article describes this pointing-control system and its operation.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 59, No. 9, pp. 21 ~ 25 (1985)

## The Installation and Inspection of the 64m Antenna for Deep-Space Projects

by Mitsuru Ichikawa, Yoshihiro Ogawa, Hideo Sakata, Takeshi Ogasawara & Yasuo Watanabe

The 64m, 1,900-ton dish antenna for deep-space projects is Japan's largest. Installation began in April 1983, requiring 19 months and 8,500 man-days until the final alignment and testing was completed. To transport the materials alone required 320 trucks and trailers. Despite a number of difficulties, the system was ready on schedule and without incident. The article describes the operations planning, materials transport, antenna construction, and the alignment and testing procedures employed in this complex task.

## アブストラクト

### 自動縫製システム

藤田次朗・山根 巍

三菱電機技報 Vol.59・No.9・P 42～46

このシステムは、電子ミシンと多目的シーケンスコントローラと、新しく開発した搬送モジュールを組み合わせて、アパレルオートメーションへのワンステップとしたFMS志向のもので、生産規模と縫製目的に合わせ各モジュールは、幾通りにも組み合わせてライン化できるとともに、搬送制御はもとより、故障検出、出来高表示、縫製パターンの自動切換などの機能をもっており、アパレル産業のトータルの合理化に貢献するよう開発したものである。

### 高速大容量256KビットEPROM

山本 誠・平林一雄・張間寛一・中島盛義・酒井 務

三菱電機技報 Vol.59・No.9・P 56～59

電気的に書き込みができる、紫外線照射によって消去可能なEPROMは、使いやすさ、市場実績をもとにますます使用数が増大しており、大容量化、高速化への要求が大きくなってきた。今回、筆者らは最先端の微細加工技術を用いて最大アクセス時間200nsの読み出し特性をもつNチャネル256KビットEPROMを開発したので、その製品概要、技術的特長、電気的特性、信頼性について紹介する。

### 新マイクロ波放電光源装置

大貫一志・正田 熱・児玉仁史・名取 茂・吉沢憲治

三菱電機技報 Vol.59・No.9・P 47～50

無電極ランプを包囲するマイクロ波空洞が、ほぼ全面にわたって金属メッシュで構成された新方式のマイクロ波放電光源装置を開発した。

この装置は、従来の装置が持つ瞬時点灯性や再始動時間が短かいなどの特長を生かしながら、一般のHIDランプ（高圧放電灯）並みに汎用性を高めたもので産業用から一般照明分野に至る様々な分野で使用可能なものである。ここに、この装置の原理、応用製品の構造、特性などについて述べる。

### 1メガビットMOSダイナミックRAM

熊野谷正樹・藤島一康・塚本克博・松川隆行・吉原 務

三菱電機技報 Vol.59・No.9・P 60～63

1.2μmのNチャネルシリコンゲートプロセスを用いて、次世代の超LSIメモリである1MビットダイナミックRAMを試作した。エピタキシャル基板と $\frac{1}{2}V_{cc}$ セルプレート方式の採用により、薄膜化されたメモリセルキャパシタにかかる電界を $\frac{1}{2}$ に減少させて長期的な信頼性を向上させ、また記憶容量増大に伴って大きな問題となるテスト時間を、従来にない新方式によって $\frac{1}{2}$ に短縮できるようにするなどの特長を持っている。

### 《MELCOM DPシリーズ》向け意思決定支援システム DSS/1

和田雄次・立花昌和・金森卓郎・中村 晋・溝口徹夫

三菱電機技報 Vol.59・No.9・P 51～55

分散処理コンピュータ《MELCOM DPシリーズ》向け意思決定支援システムDSS/1は、データベース検索、モデル作成・操作、シミュレーション、統計・時系列分析、報告書作成、グラフ作成を通して、企業の経営者や管理者が日常の業務遂行時において意思決定を効果的かつ容易に行えるように支援するソフトウェアパッケージである。DSS/1はOA、FA、LAなどの分野における非定型業務から定型業務まで幅広く適用できる。

### 電磁調理器《クリーンレンジ》CS-150

勇内和秀・久保精二・本多 厚・宇高正晴・野田博司

三菱電機技報 Vol.59・No.9・P 64～67

安全性、清潔性、高効率で新しい調理器として、注目されている電磁調理器のここ数年の市場伸長は著しいものとなっている。

当社は《クリーンレンジ》CS-140に加えて、このたびCS-150を発売した。トランジスタの小型化と電子技術の進歩により、小形、軽量、薄形化とともに、使いやすさと機能充実を図り、市場で好評を博している。今回は、特にCS-150を中心にして、構造、動作原理、特長を紹介する。

# Abstracts

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 59, No. 9, pp. 56 ~ 59 (1985)

## A High-Speed, High-Density 256K-Bit EPROM

by Makoto Yamamoto, Kazuo Hirabayashi, Hirokazu Harima,  
Moriyoshi Nakajima & Tsutomu Sakai

Electrically programmable, UV-erasable EPROMs are easy to use and have an excellent record in the marketplace. Use of these devices is growing, with a demand for greater speeds and higher memory capacities. The authors have employed the newest fine-processing technology to develop a 256K-bit n-channel EPROM with a maximum read-access time of 200ns. The article introduces this product, discussing its technical features, electrical characteristics, and reliability.

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 59, No. 9, pp. 60 ~ 63 (1985)

## A 1M-Bit MOS Dynamic RAM

by Masaki Kumanoya, Kazuyasu Fujishima, Katsuhiro  
Tsukamoto, Takayuki Matsukawa & Tsutomu Yoshihara

A 1M-bit dynamic RAM based on a 1.2nm n-channel silicon-gate process has gone into trial production. This new chip employs an epitaxial substrate with a  $1/2V_{cc}$  cell-plate design that reduces the electric field on the thin-film memory-cell capacitor by half, raising long-term reliability. In addition, the chip has been designed for a new testing procedure that takes one quarter the time of previous methods. The article reports on the design and production of this new memory.

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 59, No. 9, pp. 64 ~ 67 (1985)

## The CS-150 Clean Range Flameless Cooker

by Kazuhide Yuuchi, Seiji Kubo, Atsushi Honda, Masaharu Ueda & Hiroshi Noda

Flameless electromagnetic cookers have drawn wide attention for their safety, cleanliness, and efficiency, with sales growing markedly over the past several years. Mitsubishi Electric has recently added a new model, the CS-150 to its Clean Range line of flameless cookers that also includes the CS-140. The CS-150 employs smaller transistors and advanced electronics to achieve a slim, compact, and lightweight design that is easy to use and features an expanded range of functions. The article reports on the construction, operating principles, and features of this highly evaluated product.

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 59, No. 9, pp. 42 ~ 46 (1985)

## An Automatic Sewing System

by Jiro Fujita & Iwao Yamane

This automatic sewing system combines an electronic pattern-sewing machine, a multipurpose sequence controller, and a newly developed conveyor module, taking apparel-automation technology a step closer to flexible manufacturing systems. A variety of modules can be combined freely into manufacturing lines according to production scale and product objectives. In addition, the system has conveyor-control capabilities permitting fault detection, throughput display, and automatic pattern switching. Its development signals the move to fully rationalized apparel production.

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 59, No. 9, pp. 47 ~ 50 (1985)

## A New Type of Microwave-Discharge Lighting Equipment

by Kazushi Onuki, Isao Shoda, Hitoshi Kodama, Shigeru Natori & Kenji Yoshizawa

Microwave-discharge lighting equipment has been developed in which an electrodeless lamp bulb is almost entirely surrounded by a metal mesh. The new design provides the versatility of conventional HID lamps, while retaining the quick starting and restarting characteristics that are the hallmark of microwave-discharge equipment. This advance will expand applications from the industrial sector into general-purpose illumination. The article discusses the operating principles of this equipment and describes the structure and features of products incorporating it.

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 59, No. 9, pp. 51 ~ 55 (1985)

## The DSS/1 Decision-Support System for the MELCOM DP Series of Computers

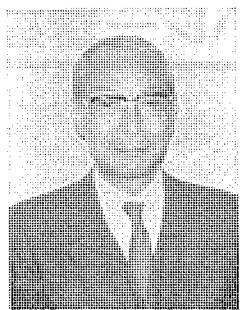
by Yuji Wada, Masakazu Tachibana, Takura Kanamori, Susumu  
Nakamura & Tetsuo Mizoguchi

The DSS/1 decision-support system is a powerful, easy-to-use software package for the MELCOM DP series of computers designed to assist the daily activities of management- and supervisory-level staff. It performs database searches, model generation and operation, simulations, and statistical and time-series analysis, and generates documents and graphics. These capabilities are well-suited for a wide range of structured and unstructured tasks in automated office, factory, laboratory, and other environments.

## ハレー彗星観測機器特集に寄せて

文部省 宇宙科学研究所教授 工学博士

野 村 民 也



長野県臼田町に、直径 64 m の深宇宙探査機追跡用 パラボラアンテナが完成した。十数年前、惑星探査ミッションの調査のために米国ジェット推進研究所を訪れた際、ゴールドストーン局に案内され、出来たばかりの 64 mφ アンテナを見学する機会があった。当時我が国は、ようやく科学衛星計画に取り掛かったばかりであったが、いつの日にかこのような施設を持ち、深宇宙探査ミッションに挑んでみたいと夢みたものであった。それが今や現実のものとなって、臼田のアンテナがハレー彗星を目指す探査機「さきがけ」の追跡・データ取得に活躍している姿を眼のあたりにして、深い感動を覚えるとともに、将来の発展への希望に胸の膨らむ思いしきりである。

我が国における高性能の大口径 パラボラアンテナの開発は、国際電信電話株式会社が茨城県高萩市に建設した直径 20 m のアンテナと、東京大学が内之浦の鹿児島宇宙空間観測所に建設した直径 18 m のアンテナが最初であるといつてよい。両者はほとんど同じ時期に計画され、製作・設置を担当した三菱電機の技術陣の人々を混え、手探りの設計検討を始めたのが、昭和 35 年頃のことであった。

主反射鏡の構造設計を指導されたのは、当時東京大学生産技術研究所の建築工学の教授であられた坪井善勝先生であった。先生は、非対称応力場の構造解析を手掛けてみたいと思っておられたので、「パラボラアンテナは、仰角によって非対称に力が働くうってつけの題材だ」といわれて、進んで参画されたのであった。

先生のご指導に応え実際の作業に当たったのが、現在の森川常務を先頭とする三菱電機の機械系技術者の方々であった。森川さんは、坪井先生の厳しいご指導に、素晴らしい対応をされたのである。先生が、「三菱には、良い技術者が揃っていますね」と洩らしておられたのを、今でもありありと思い出す。

もう一つ思い出すことがある。前記設計検討が進んでいた折、現宇宙開発委員会委員の斎藤成文先生から一通の手紙が舞い込んだ。当時先生は、三菱電機の喜連川さんと一緒に米国旅行中であった。この間の、斎藤先生に伺った喜連川さんに係わる逸話の多くは、今は語る余裕がない。手紙の内容は、たまたまジェット推進研究所で、次なるアンテナにはカセグレンフィードを採用するとの話を同所の Dr. Renzetti から聞かれ、その採用を奨められたものであった。こうして国際電々のアンテナも内之浦のアンテナも、いずれもそれまでの設計を改めて、カセグレンフィードを採用することになったのであった。

今日我が国は、INTELSAT 地上局の 60 % を越えるシェアを占めているといわれるが、私たちの必要がその技術基礎を培う一助になりましたことを、大変嬉しく、また誇らしく思う次第である。

内之浦の 18 mφ アンテナに先立って、高性能のロケット追尾用レーダ

の建設が行われた。開発を三菱電機が担当された。直径 4 m のパラボラアンテナを持つ L-band のこのレーダは、油圧駆動で、恐らく、我が国最初の本格的な自動追尾レーダであったと思う。この成果は、昭和 40 年頃に始まった精測レーダの開発に活かされた。C-band のこのレーダは、アンテナ部分の製作を三菱電機、送受信機の製作を日本電気が担当した。その性能は、後日、宇宙開発事業団の種子島宇宙センター建設に助言した米国企業の人達が、内之浦の精測レーダの実績を見て、「レーダは米国から導入の必要はない」との報告を出した程、優れたものであった。その基本は、何といっても三菱電機の担当されたアンテナ部分の優秀さにあったと思っている。

精測レーダの建設に当たっての私たちの危惧は、三菱電機、日本電気という名だたる大企業の作業分担が、果たして円滑に行くものであろうかということにあった。幸いにして、当時の責任者の方々、日本電気は故原島さん、三菱電機は権本さんの絶大なご理解で両社間の協調は円滑に進み、この日本の記録に留めるに足る開発は成功した。今回の臼田深宇宙局の建設も、アンテナとその駆動部分は三菱電機、送受信設備は日本電気という分担に加えて、管制システムの一部を富士通が担当するという強力布陣で、このような立派な設備を整えることができた次第である。皆様のご協力には、感謝の言葉もないくらいである。

先頃、「宇宙へのロマン 三菱電機技術者たちの挑戦」と題する本を頂いた。そこには臼田アンテナ建設の過程における三菱電機の関係の方々の、私達の知らなかつた大変なご苦労の数々が記されている。こうして完成した臼田アンテナの性能の高さには、NASA 深宇宙追跡網関係者達も高い評価を与えている。

臼田アンテナに対する宇宙研究者の期待は、日本のみならず、世界においても極めて高い。既に米国 NASA は、その ICE 衛星の追跡・データ取得のためにこれを利用しているし、1989 年に予定されているボエイジャー 2 号の海王星会合の際のデータ取得にも協力して欲しい意向を示している。また ESA もその将来のミッションのために、臼田アンテナが利用できることを望んでいる。こうして今や臼田アンテナは、世界の宇宙科学のための共通財産という地位を占めるに至った。差し当たっての目標は、本年 8 月に打ち上げられる予定の我が国 2 番目の深宇宙探査機 PLANET-A の追跡にあるが、引き続いで多彩な活躍を果たすよう、その活用に努力してゆきたい。

臼田のアンテナは、野辺山の 45 mφ ミリ波宇宙電波望遠鏡とともに、我が国のアンテナ技術水準の高さを世界に示したものといえる。それぞれの製作を担当された三菱電機の関係の方々に、深い感謝とともに、心からなる敬意を表する次第である。

## 1. まえがき

宇宙科学研究所がその前身の東京大学宇宙航空研究所であった昭和50年頃すでに探査機を地球重力圈から脱出させて太陽周回軌道に投入する可能性についての議論が始まり、さらにその探査機による惑星間空間の探査計画が検討されていた。昭和53・54年には76年の周期で昭和61年に回帰するハレー彗星の観測に目標を置いて各種の開発を進めるという計画が立てられるに至った。

ハレー彗星は秦の始皇帝の時代（紀元前240年）の観測記録以来ほぼ76年の周期で太陽への回帰が毎度確認されている大型の彗星で、前回の明治43年（1910年）の回帰に際しても多くのエピソードを残している。この彗星に探査機を近付けて、原始太陽系の謎を秘めていると言われる彗星を間近に観測する上に有効な探査機の規模とその軌道条件はどのようなものか、またこれを実現するために必要なロケットの性能とその打上げ方式はどうあるべきかという研究が精力

表 1. 探査機諸元

	MS-T 5「さきがけ」	PLANET-A
形 状	円筒（直径140 cm、高さ70 cm） 上部：デスパン高利得アンテナ 下部：低利得アンテナ、中利得アンテナ	同 左
重 量	138 kg	140 kg
電力（太陽電池出力）	100 W	100 W
姿 势	黄道面垂直軸周りスピニ定、ヒドラジンによる軸方向及びスピニ制御	同 左
搭載観測機器	（1）太陽風イオン観測器 （2）プラズマ波動観測器 （3）磁場観測器	（1）太陽風観測器 （2）真空紫外撮像装置

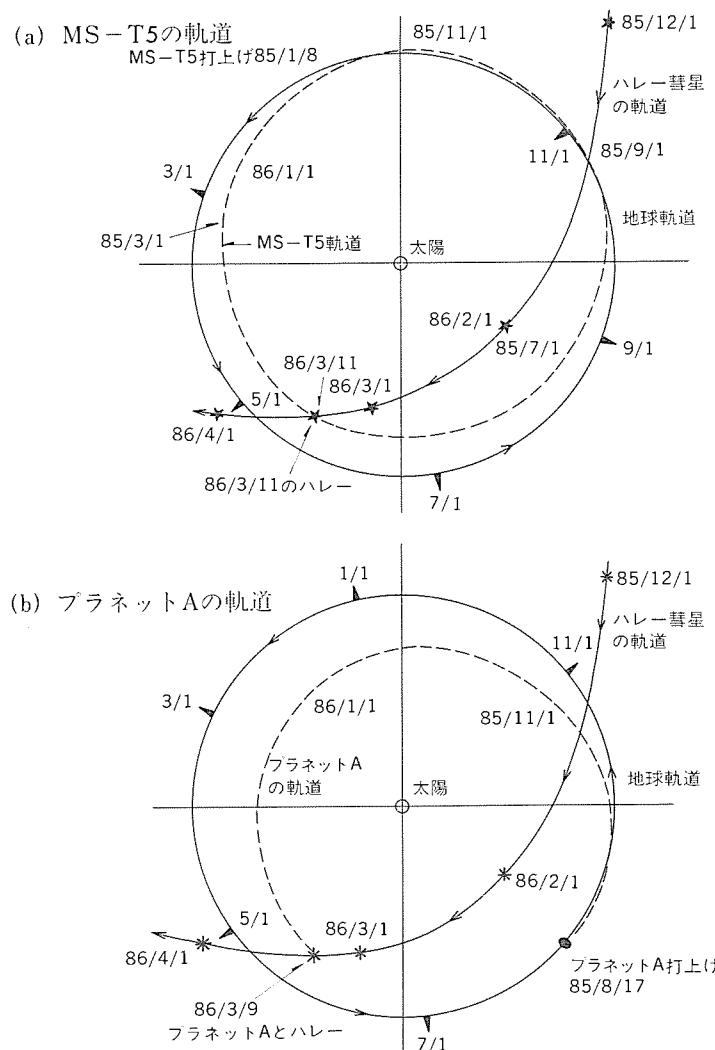


図 2. MS-T 5, PLANET-A の軌道

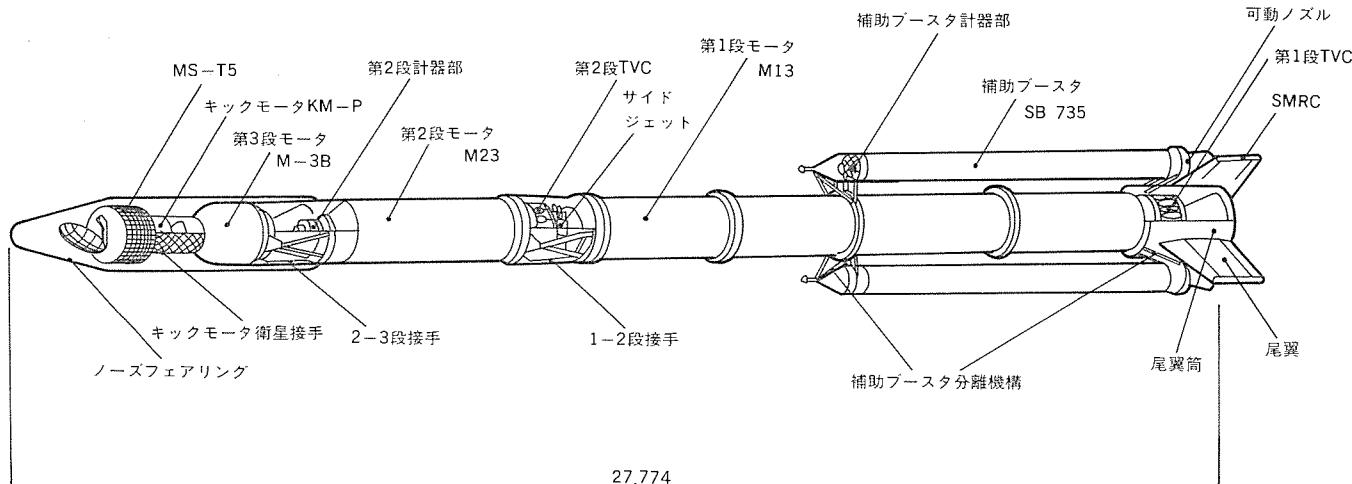


図 1. M-3S II 型 ロケット

的に進められた。その結果図1.に示すようなM-3SII型ロケットを開発し、その1号機によって試験探査機MS-T5を、また2号機によって科学探査機PLANET-Aをそれぞれ昭和60年1月と8月に打ち上げ、いずれも昭和61年3月上旬、ハレー彗星が黄道面を通り抜ける頃合いに接近して観測しようという計画ができた。これら探査機は図2.に示すような軌道をとり、ハレー彗星との会合の時点では地球から約1億7,000万kmの距離にある。

MS-T5とPLANET-Aの諸元は表1.に示すとおりで到底大電力の送信は望めない状況にあり、探査機との間で超遠距離通信を達成するために大型アンテナは不可欠であることが明らかとなった。

## 2. 大型アンテナ建設の経緯

昭和55年から56年にかけて内外の大型アンテナに関する調査を行うと共に、設置場所選定のための基礎調査が実施された。

なんぶん予想される受信電力は極めて微弱になることから、アンテナの設置場所としては山に取り囲まれて都市雑音が少なく、航空路や公共通信回線からも隔離されており、地元の協力が得られ、しかもデータ伝送の面から東京に近いといふのはだいへんな条件である。幾つかの候補地の中からこれをまず10か所に絞り実地調査を行った末、長野県南佐久郡白田町大曲国有林第106林班に最適の地を見出しそれに關しては林野庁、長野営林局等から、また電波環境に関しては郵政省電波管理局、日本電信電話株式会社、国際電信電話株式会社などから格別の御協力を受けつつ具体的な作業手順の検討に入った。

昭和57年8月敷地造成起工式においては今は亡き森大吉郎宇宙研究所長の鍬入れが行われ、また長野県、白田町をはじめとする地元の方々の絶大な御支援のもとに必要な道路の拡幅工事も着手された。昭和58年4月にはアンテナ部の建設工事が開始され、昭和59年に入って研究棟の建設に引き続き受信復調装置、データ伝送装置、局運用管制装置、八柱山観測塔など諸装置の据付けと調整が行われ、昭和59年10月31日にはアンテナ台地において開所式が催され、白田宇宙空間観測所が誕生した。

## 3. 白田宇宙空間観測所の活動

大型アンテナを中心とする白田局は、図3.に示すように駒場や内之浦等の各局とデータ伝送ラインで結合されている。開所式に先立つ試運転の期間にNASAが先に打ち上げ金星の衛星として周回中のパイオニア・ビーナス・オービタの電波を2億kmの距離をへだてて受信し、さらに自動追尾機能の正常な作動を確認することもできた。

昭和60年1月8日午前4時26分鹿児島県内之浦の観測所から打ち上げたMS-T5「さきがけ」の第一パスの電波を1月8日午前10時00分受信し、それ以来、測距、テレメータ受信、コマンド送信などの作業が続けられ、測距データに基づいて駒場局で計算し、データ伝送ラインで送られる軌道情報に従って追跡管制作業が連日行われている。

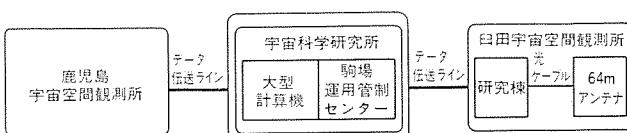


図3. 追跡管制システム

昭和60年5月には米国のハレー彗星探査機ICEと「さきがけ」との共同観測研究のため米国のジェット推進研究所からは2GHzマーザー低雑音増幅器を含む受信復調設備を白田局に持ち込んで観測が行われている。

## 4. 今後の計画と展望

ハレー彗星探査機PLANET-Aは、神奈川県相模原市にある宇宙科学研究所の環境試験棟で飛行前の諸試験が行われている。

打上げロケットであるM-3SII-2号機に関わる準備も着実に進められており、既に相模原における搭載共通機器の飛行前環境試験をおこして去る昭和60年5月には鹿児島宇宙空間観測所において総合オペレーション試験を実施した。7月中旬の組立オペレーション試験をおえると8月初めからいよいよ8月中旬の打上げを目指してフライトオペレーション作業に入る予定である。この打上げは表2.に示すように、ハレー彗星観測のために計画されている各国の探査機打上げのしんがりをつとめるもので、その成功に向けて関係者一同の努力が傾注されている。

白田の大型アンテナによる「さきがけ」とPLANET-Aの追跡とデータ取得は、昭和61年3月のハレー彗星との会合の後も数か月に亘って続けられる予定である。

宇宙科学研究所においては現在月の重力を利用して衛星軌道を変更制御する技術の修得を目的とした宇宙工学実験衛星MUSESの設計が開始されており、さらにこの技術の適用を前提としたGEO TAIL衛星計画をも推進しようとしている。これは地球磁気圏が太陽風によって生ずる尾部構造とその地球周辺の電磁気現象との関わりを解明するための日米の共同研究の一つであって、どちらの衛星も遠地点が遠いことから白田局の支援は不可欠である。

なお白田とその他の幾つかのアンテナを組み合わせたVLBI(超長基線干渉計)による観測や、さらにそのうちの一つのアンテナを軌道上の宇宙探査機の上に置くスペースVLBI計画なども検討されており、宇宙探査のための夢を広げる大切な要素として大きな期待が寄せられている。

表2. 各国のハレー彗星探査機

探査機	国(機関)	打上げ	ハレーとの会合	核までの距離
ヴェガ1	ソ連(インター コスモス)	1984. 12	1986. 3. 6	10,000 km
ヴェガ2	ソ連(インター コスモス)	1984. 12	1986. 3. 9	3,000 km
ジオット	ヨーロッパ(ESA)	1985. 7	1986. 3. 13	500~1,000 km
MS-T5	日本(宇宙研)	1985. 1	1986. 3. 8	700万 km
プラネットA	日本(宇宙研)	1985. 8	1986. 3. 8	100万 km
アイス	アメリカ(NASA)	1978. 8	1986. 3. 28	3,200万 km

## 5. むすび

世界の諸アンテナに亘してひけをとらない大型のアンテナ設備が企画から竣工まで、極めて短時間の間に、しかも標高1,450mにおける厳しい冬期の作業も交えて、工事が順調に、かつ無事故で進行し所期の性能を発揮したことは特筆に値する。関係各位の御努力に対し深甚の敬意を表し、厚く御礼申し上げる次第である。

# 深宇宙探査用大型アンテナ設備

林 友直\*・廣沢 春任\*・別段 信一\*\*・倉藤 康\*\*\*・岡田 東亞\*\*\*

## 1. まえがき

1986年初頭に76年ぶりに太陽へ回帰してくるハレー彗星の観測を契機として我が国では初めての人工惑星による深宇宙探査が始まった。文部省宇宙科学研究所(ISAS)では、深宇宙探査計画の第1回目としてPLANET-A計画を策定し、既に1985年1月8日試験探査機MS-T5を鹿児島県内の浦から打ち上げた。“さきがけ”と名付けられたこの試験用探査機は現在太陽を3/4周して順調に航行を続けている。

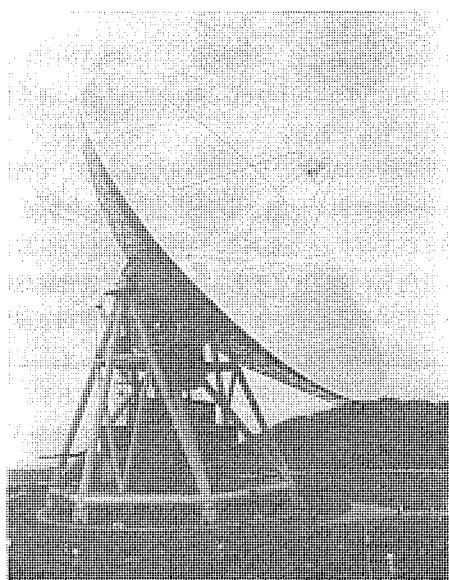


図 1. 探宇宙探査用大型アンテナ設備

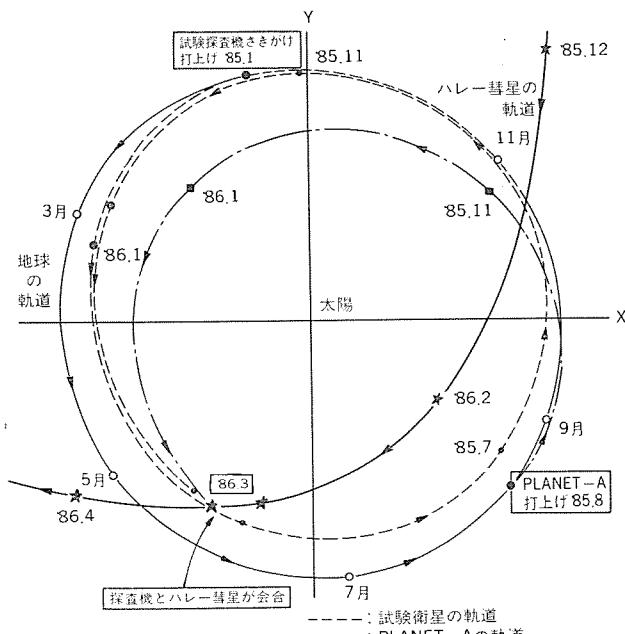


図 2. さきがけ及び PLANET-A の軌道

“さきがけ”は日本が打ち上げた探査機／衛星として初めて地球の重力圏を脱出したもので、この探査機から送信される電波受信及び追尾、テレメトリデータの受信、探査機への指令などを行っているのが、図1.の深宇宙探査用大型アンテナ設備である。同設備は1984年10月に臼田宇宙空間観測所（長野県南佐久郡臼田町）に完成した。引き続き1985年8月中旬に、ハレー彗星探査機PLANET-Aも打ち上げられる、図2.に示すような軌道を通ってハレー彗星に接近し、“さきがけ”とともに観測を行うことを計画している。

このような目的に使用され、超遠距離にわたる通信（通常の衛星通信の約5,000倍の距離）を行うために、この大型アンテナ設備は次のような要求を満たす必要がある。

- (1) 超微弱電波（通常の衛星通信の受信電波の約10億分の1）を受信するため、大口径かつ高能率、低雑音、高い鏡面精度及び高い指向精度のアンテナをもち、地上回線との電波干渉が少ないこと。
- (2) 大電力送信を行うため、大電力の伝送に耐え、かつ地上回線などに電波障害を与えないこと。
- (3) 送信・受信の電力比が $10^{22} \sim 10^{25}$ と極めて大きいため、送信信号の受信機への漏れ込みを十分におさえること。
- (4) 将来の惑星探査計画や国内外の協力に対応できるようにするために、Sバンド及びXバンドの周波数帯域の共用が可能で、更に他の周波数帯の切換使用が可能のこと。
- (5) 他機関への協力に対応するため、フレキシブルな構成が実現できること。

以上のような諸条件を満たすために、このアンテナ設備では、①高い鏡面精度の得やすいホモロジー設計法と高指向精度の得やすい剛構造設計法の調和、②広帯域性と低雑音性の得やすく、また電子機器の設置及び拡張の容易な集束ビーム伝送系の採用、③高指向精度を実現するマスタコリメータの採用、④高い利得と低雑音を実現するための、主・副反射鏡の鏡面修整の採用及び一次放射器としてのコルゲート円すいホーンの採用、などを行っている。以下この論文では設備の概要を述べることとする。また、併載の論文「大型アンテナの設計」(p.9)及び「大型アンテナの精密指向制御」(p.15)にはこれらの詳細が述べられている。

## 2. 設計の基本方針

深宇宙探査用地球局は地球から数億km離れた軌道上で宇宙観測を行う探査機を追跡し、探査機からの超微弱な電波を受信するとともに、探査機へ向けて指令電波を大電力送信して探査機との間に通信回線を確立し、観測データの取得と探査機の運用・管制を行うものである。この設備は当面の課題であるハレー彗星探査プロジェクト終了後には、引続き深宇宙探査計画のほか、VLBI、電波天文などの多方面の研究に供される予定である。

ハレー彗星探査機PLANET-A及び試験探査機“さきがけ”は地球から1~1.5AU(1天文単位の長さ: 地球と太陽との平均距離1.496

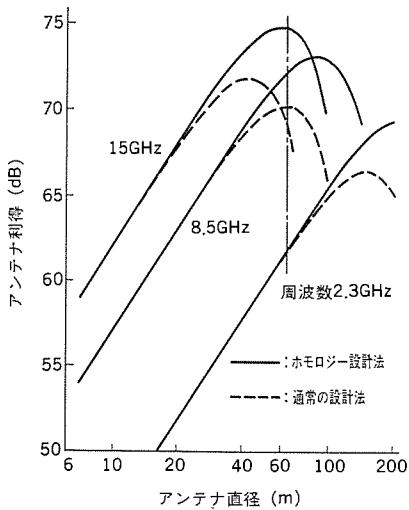


図 3. アンテナ 直径と利得

億 km) すなわち 1.5~2.25 億 km の遠方に達する。探査機の重量・電力などの制限から探査機の送信電力は約 5 W となっているので地球上に到達する信号は  $1 \text{ m}^2$  当り  $10^{-22} \text{ W}$  程度となる。この微弱信号を受信するにはアンテナ 利得を可能な限り高くし、またアンテナ を低雑音化するとともに冷却形 メーザ や パラメトリック 増幅器を用いて受信系 システム 雜音を可及的に少なくする必要がある。

アンテナ の利得を高くするには、アンテナ 開口径 (直径) を大きくすればよいが、その際 アンテナ の主反射鏡面を所定の形状に保つ、すなわち鏡面精度を所定の値以下に抑えることが重要なポイントとなってくる。鏡面精度 ( $\epsilon$ ) を考慮した アンテナ の利得 ( $G$ ) は、一般に次式で与えられる。

$$G = 10 \log_{10} \left[ \frac{\eta}{L_f} \left( \frac{\pi D}{\lambda} \right)^2 \exp \left\{ -\frac{4\pi\epsilon^2}{\lambda} \right\} \right] \quad (\text{dB})$$

ここで、 $D$  : アンテナ 開口径(m),  $\lambda$  : 自由空間波長(m)

$\eta$  : アンテナ 開口能率,  $L_f$  : 給電系損失

また、アンテナ 直径と鏡面精度との間には、次の近似式が成り立つと考えられている<sup>(1)</sup>。

$$\epsilon \approx \alpha / \sqrt{D^3}$$

近年製作された衛星通信地球局 アンテナ の実績から上式の係数  $\alpha$  を割り出し、アンテナ 利得を求めるところが図 3. の破線のようになる。

他方、アンテナ の鏡面精度を向上するために、アンテナ が自重変形しても変形後の形状がパラボラ曲面を保つようにする ホモロジー 構造の設計法が開発されている<sup>(2)</sup>。この手法を用い、風による指向精度が所定値に保てるように剛性を高めた場合に、実現可能な鏡面精度を用いてアンテナ 利得を求めるところが図 3. の実線のようになる。これらの結果と将来使用される周波数帯とを勘案して、アンテナ 直径を 64 m に決定した。

アンテナ 方式としては、運用の利便、柔軟性及び将来の周波数帯への拡張などを考慮し、多数の反射板を用いた集束ビーム 給電方式を採用した。なお、NASA の深宇宙探査用 アンテナ では円すい ホーン 給電方式を用いている。集束ビーム 給電系を超広帯域 設計 (1.4~15 GHz) とし、使用周波数に対応して給電 ホーン をそれぞれ配置できるようにしてミッショ 切換を容易にした。低雑音受信機や大電力送信機はアンテナ に直結しながら、アンテナ の仰角回転を受けない機器室に設置されるので、運用性・操作性が向上している。

更に、高能率・低雑音特性を得るために、主・副反射鏡を高能率

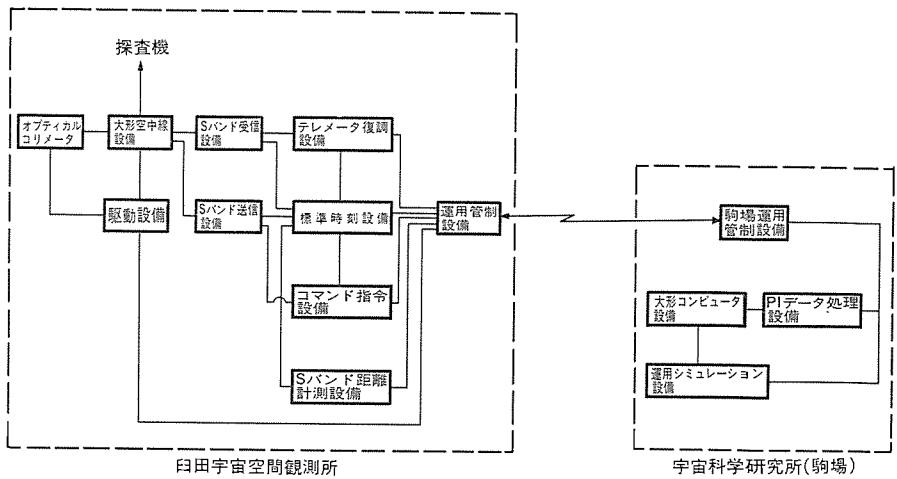


図 4. 設備総合 ブロック 図

表 1. PLANET-A の回線設計例

項 目	アップリンク	ダウンリンク	備 考
1-1 信号名称	コマンド	レメトリ	
1-2 RF 周波数	2,112.29 MHz	2,293.89 MHz	
1-3 变調形式	PCM-PSK-PM	PCM-PSK-PM	
1-4 ビットレート	16 bps	64 bps コンボリューションコード (レート 1/2, 拘束長 7)	bps : ビット／秒 近距離時のデータ伝送用 2,048 bps も搭載されている。
2-1 送信電力*1	(40 kW) 74.9 dBm ± 1 dB	(5 W) 33.5 dBm ± 1 dB	*1 接続線損失含む
送信アンテナ利得	61.1	22.5	*2 衛星高利得アントナ HGA の場合
送信 EIRP	136 dBm	56.0 dBm*2	
自由空間ロス*3	242.5 dB	263.2 dB	
偏波ロス	0.2 dB	0.2 dB	*3 1A・U=1.5×
レインロス	0.2 dB	0.2 dB	10 <sup>8</sup> km の場合を示す。
ポインティングロス	0.2 dB	0.2 dB*4	
電束密度	-106.5 dBm/m <sup>2</sup>	-187.9 dBm/m <sup>2</sup>	*4 PLANET-A アンテナのポイティング精度
受信アンテナ利得	21.5 dB	61.9 dB	
受信アンテナ出力レベル	-105.6 dBm	-145.9 dBm	
G/T	-6.5 dB/K	45 dB/K	≤ 1.5°
C/N <sub>0</sub>	65 dB/Hz	35.8 dB/Hz	
変調ロス	9.2 dB	5.6 dB	PM 变調度
E <sub>b</sub> /N <sub>0</sub> *5	10.6 dB	5.0 dB*6	0.5/0.8 rad
ビットレート	12.0 dB	18.1 dB	*5 BER ≥ 10 <sup>-5</sup>
所要 C/N <sub>0</sub>	31.8 dB/K	28.7 dB/K	*6 ピアビリティ
マージン	33.2 dB	7.1 dB	(R=1/2, K=7)

形鏡面修整し、主反射鏡開口分布をほぼ一様分布で周縁で急峻な テーパ を付けた分布とともに副反射鏡 エッジレベル を可及的に小さくした。これによって、CCIR 勘告値に準じた広角放射パターンを得、地上回線などとの電波干渉を軽減した。

追尾精度の劣化はアンテナ の実効的利得低下になるので、この設備には精密追尾機能を備えている。探査機の動きは地球に近い領域では非常に速いので自動追尾方式を採用し、地球から数 100 万 km 以上の領域では探査機の動きは非常に遅く地球の自転速度 (4 分の 7 度／秒) に近くなるのでスキヤン 方式を採用した。自動追尾方式としては、目標物のずれ角度に比例して給電 ホーン 内に励振される高次

モードを検出するモノパルス方式を採用し、スキャン方式には、5点スキャンを行い各受信レベルをガウスフィットして目標物方向を見い出す方式を採用した。角度検出には、アンテナの回転軸構造部の変形（自重変形、熱変形など）の影響を受けないマスタコリメータ方式を採用し、アンテナ主反射鏡の指向方向を直接検出することにより高精度角度検出系を実現している。また、高い追尾精度と滑らかな駆動特性を得るために、方位(Az)回転に関しては6台の台車のうち2台の台車に55kWの直流モータを装備し、仰角(EL)回転に関しては、2枚のセクタギヤにそれぞれ35kWの直流モータ2台（計4台）を装備して、それらをいすれもアンチバックラッシュ駆動している。

この設備の設置場所としては、

- (1) 航空路から外れていること。
- (2) 都市雑音から遮へいされ、広い可視範囲が得られること。
- (3) 地上無線回線との電波干渉が少ないとこと。
- (4) 地元の協力が得られ、東京から比較的近いこと。

などの立地条件から、長野県南佐久郡白田町の国有林を選定した。

図4.にこの地球局設備のブロック図を、表1.に回線設計例を示す。上述のアンテナ設備に40kW大電力送信機と雑音温度10K程度の低雑音受信機を装着することにより、数dBのスレショルドマージンをもって、探査機PLANET-Aとの通信回線が構築できる<sup>(3)</sup>。

### 3. 設備の構成と主要性能

大型アンテナ設備は、①大型アンテナ装置、②S帯給電装置、③アンテナ駆動御装置、④付帯設備の装置・設備から構成されている。設備の構成を図5.に、また主要性能諸元を表2.に示す。以下に各装置・設備の概要を述べる。

#### 3.1 大型アンテナ装置

大型アンテナ装置は、直径64mの主反射鏡、直径6mの副反射鏡及び5回反射集束ビーム給電系をもつ鏡面修整カセグレンアンテナであり、

高い鏡面精度を得るためにホモジイー設計法が応用されている。またこの装置には装置とともにAz回転する3階建てのアンテナ機器室が設けられており、1階にはS帯給電部、低雑音受信機、高出力送信機が、2階には駆動制御装置が収納されている。

主反射鏡は1,152枚の鏡面パネル、48セットの反射鏡骨組、直径20mのセンターリングなどから構成されており、S帯の集束ビーム給電系の採用、全体の剛性などを考慮して剛構造設計とホモジイー設計のバランスをとったものとなっている。副反射鏡は直径3mの中央部と12枚の台形パネルから構成されており、主反射鏡の重力変形に対応して最適位置へ移動できるよう、鏡軸方向及び天地方向への移動、天地方内での回転のための副反射鏡駆動機構をもっている。また副反射鏡支柱は、反射鏡骨組の重力変形の影響からのがれるため、剛性の高いセンターリングから直接支持される構造となっている。なお、この装置の耐積雪性を向上させるため、副反射鏡背面には温風式融雪装置が設けられており、特に積雪による電気性能低下を生じやすい副反射鏡部を保護している。

この装置に採用されている集束ビーム給電系は、通常の4回反射形に更に1枚の集束反射鏡を追加した5回反射形のもので、図6.(a), (b)に示すような構成となっている。5枚の集束反射鏡のうち第4番目のものは第3、第4集束反射鏡を結ぶ軸まわりに回転可能となっており、第4集束反射鏡を現状から90°回転させることにより、通常の4回反射形と同様に第4集束反射鏡の下に給電装置を置き使用できる。この位置に現在は米国探査機ICE用受信系を装備している。

高い指向精度を達成するために、この装置では光学的マスタコリメータをAz-EL軸交点に設置し、主反射鏡の指向方向を検出している。マスタコリメータを支持するマスタコリメタタワーは、大型アンテナ装置の回転に伴う振動の影響を受けぬよう、大型アンテナ装置とは独立の基礎から支持をされており、また日射と風圧を防ぐカバーの中に設置されている。大型アンテナ装置からの振動、日射、風圧などの影響を受

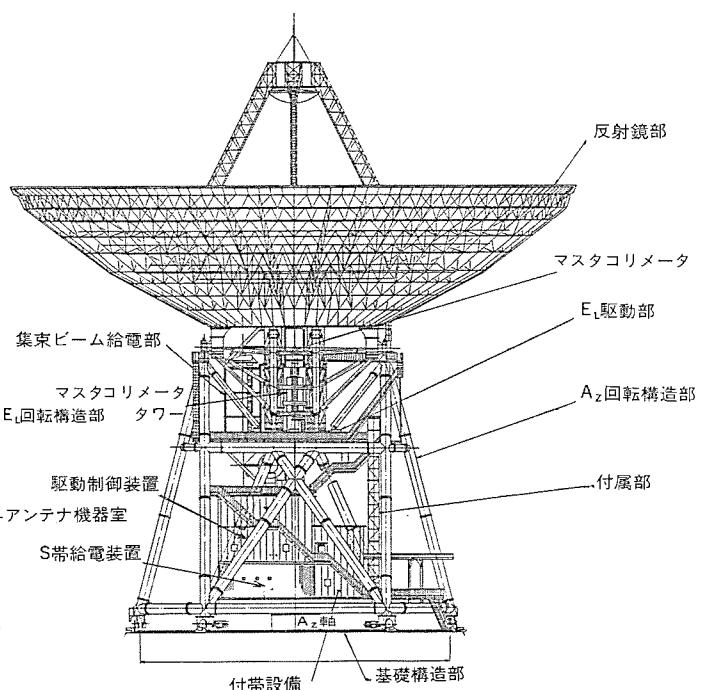
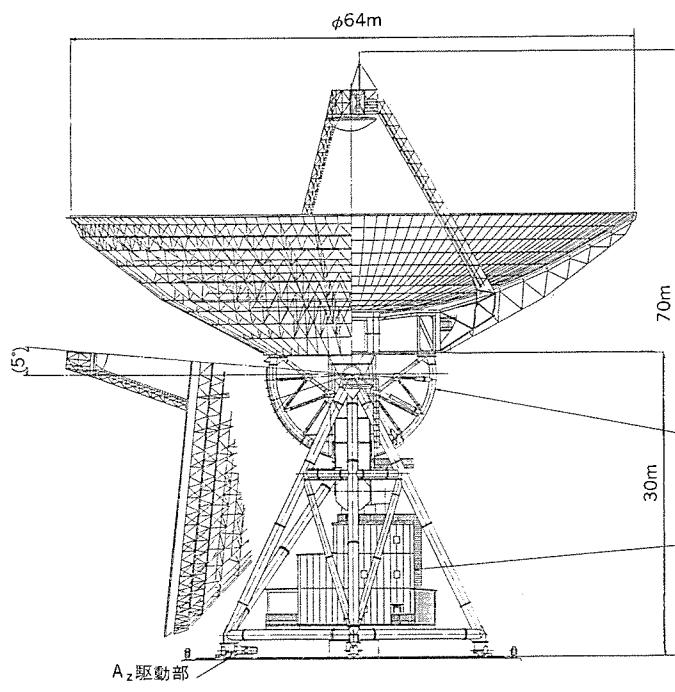


図5. 大型アンテナ設備の概観構造

表 2. 大型アンテナ設備の性能諸元

項目		性能・諸元	備考
ア ン テ ナ  テ ナ  総 合		アンテナ形式	鏡面修整カセグレンアンテナ
		アンテナ開口径	64 m
		給電方式	反射型集束ビーム給電
		マウント方式	Az-ELマウント
		駆動方式	Az: レール車輪アンチバックラッシュ形 EL: 2セクタギヤ・4ビニオンアンチバックラッシュ形
		追尾方式	・プログラム(含スレーブ) ・プログラムスキャン ・マニュアル ・モノパルス自動追尾
		アンテナ機器室広さ	1 F: 215 m <sup>2</sup> 2 F: 215 m <sup>2</sup> 3 F: 91 m <sup>2</sup> ヘリウムコンプレッサ室(24m <sup>2</sup> )及びHPA熱交換器ペランダ(63m <sup>2</sup> )は除く。
		アンテナ全高	運用時: 66 m 格納時: 70 m
		レール直径	36 m
		重量	EL軸上: 1,100 t Azレール上: 1,900 t
電 気  性 能		Sバンド	送信: 2,110~2,120 MHz 受信: 2,290~2,300 MHz
		Xバンド	送信: 7,100~7,200 MHz 受信: 8,400~8,500 MHz
		偏波(Sバンド)	右旋円偏波/左旋円偏波
		利得	切換選択
		アンテナ音温(Sバンド)	送信: 61.2+20logf/2.1 dB以上 受信: 62.0+20logf/2.3 dB以上
		耐電力(Sバンド)	32 K以下(25 K目標)
		機械的性能	天頂指向時、給電損含む
電 氣 ・ 機 械 的 性 能		主反射鏡鏡面精度	1.5 mm rms(実測値)
		主反射鏡駆動範囲	Az: ±270°(南中心) EL: 5~92°
		指向精度(再現性)	静止精度: 0.01° rms以下(ただしX帯は0.03° rms以下) 運動精度: C <sub>1</sub> θ+C <sub>2</sub> φ, C <sub>1</sub> ≈0, C <sub>2</sub> =1.4以下
		駆動最大速度	0.5°/s以上
環 境 条 件		駆動最大加速度	0.5°/s <sup>2</sup> 以上
		角度検出精度	0.001° rms以上
		屋内機器	運用時: 非運用時
		・温度	20±10°C
		・湿度	35~80% RH
		屋外機器	-25~+40°C+直射日光 35~100% RH
		・耐風性	精度規定風速 追尾可能風速 駆動可能風速 非破壊風速
・耐積雪性 ・耐降雨性 ・耐積水性 ・耐震性		瞬間最大風速	3 m/s以上
		・	20 m/s以上
		・	30 m/s以上
		・	65 m/s以上
・EL 900において		鏡面の全部又は1部に30cm (比重0.2)	
		100 mm/h	
		屋外機器の全部又は1部に5cm	
・水平0.2G, 垂直0.1G(地盤震度)		水平0.2G, 垂直0.1G(地盤震度)	
		有害な永久変形を起さないこと。	

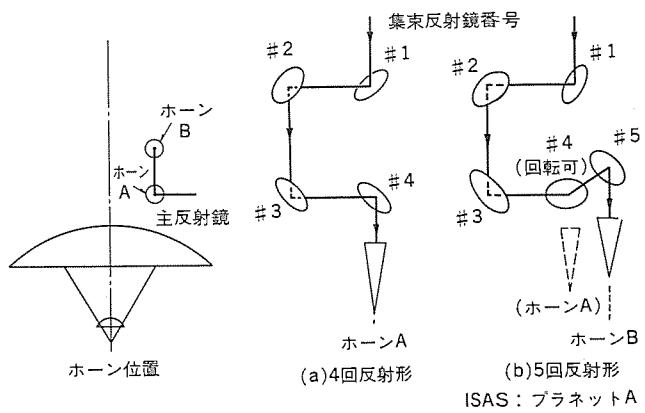


図 6. 集束ビーム給電系の構成例

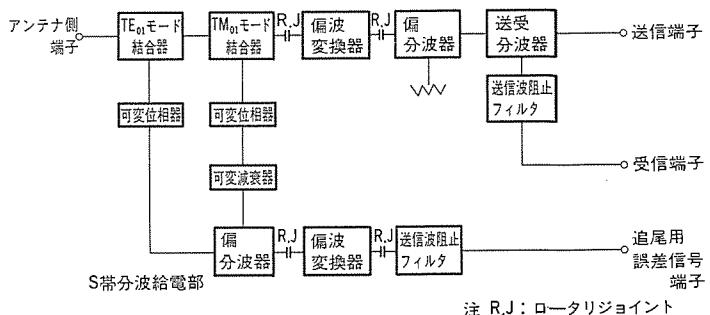


図 7. S 帯給電装置ブロック図

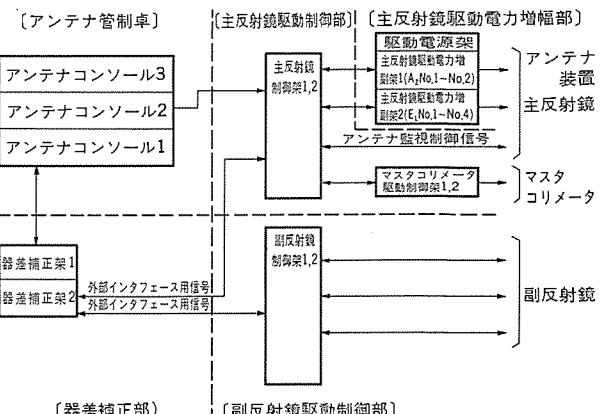


図 8. 駆動制御装置・機能ブロック図

けることなく、正確に主反射鏡の指向方向を検出できる。

### 3.2 S 帯給電装置

この装置は送受同軸の円偏波用 S 帯給電装置であり(図 7. に S 帯給電装置構成図を示す), 送信機からの信号を低損失伝送し、かつ受信側に漏えいすることなく探査機の偏波に適合させて集束ビーム給電系へ送出すると同時に、また逆に探査機から集束ビーム給電系を通ってきた受信波を受信雑音温度を抑えて低雑音受信機に供給するためのものである。またこの装置は大型アンテナ装置に励起される高次モード成分を自己追尾のため誤差信号として検出し、追尾受信機に供給する機能も持っている。なお詳細はこの論文と併載の「大型アンテナの設計」(p. 9)に記述されている。

### 3.3 駆動制御装置

この装置は大型アンテナ装置の駆動制御を行うものであり、主反射鏡

系、マスタコリメータ系の3系統から構成される（機能ブロック図を図8に示す）。主反射鏡系は大型アンテナ装置のAz及びEL軸の駆動制御を行うもので、特にELは2系統のセクタギヤを相互に進み遅れが生じぬよう4個のモータを制御する能力を持っている。副反射鏡系は主反射鏡の重力変形に応じて副反射鏡の位置及び姿勢を最適化するものであり、鏡軸方向移動及び天地面内回転のためのZ<sub>1</sub>とZ<sub>2</sub>軸及び天地方向移動のためのX軸の駆動制御を行う。マスタコリメータ系はマスタコリメータのAz及びEL軸の駆動制御を行う。

アンテナ管制卓は、これだけが研究棟機器室に設置され、主・副反射鏡、マスタコリメータのほか、アンテナの駆動制御に関する項目の集中監視制御を行う。また器差補正部は運用管制装置から入力されるAz、EL角度情報によりアンテナ駆動制御を行うための指令角度の生成を行うほか、アンテナ指向角度に対し再現性のあるアンテナ機械系に起因する誤差補正（器差補正）を行う。

この装置は駆動制御モードとして次の四つをもっている。すなわち、運用管制装置からの指令信号によりプログラム制御を行うプログラムモード、またこの指令信号を中心にアンテナを掃引駆動するプログラムスキャンモード、マニュアルモード、及び追尾受信装置からの自動追尾誤差によるオートモードである。

### 3.4 拡張性

この大型アンテナ設備は当初S帯で使用されるが、深宇宙用の周波数帯にS帯のみならずX帯、Ku帯も割当てがあり、S帯給電装置を除きX帯での使用も考慮した設計となっている。また集束ビーム給電系と広いアンテナ機器室の採用により、図6に示すような多目的の運用が可能で、現運用を妨げることなく他計画の機器が配置できる特長をもっている。現に1985年春には、“さきがけ”の運用を行なながら、国際協力の一環として米国NASAのICEという探査機追尾のための追加工事（第4集束反射鏡の下にホーン、給電装置、メーザなどを据付け）を短日時で完了させており、拡張の容易さを実証した。機器室のスペースも3階の全体と1、2階の一部が増設スペースとして残されており、今後の深宇宙探査、VLBI、電波天文、国際協力などに柔軟に対応できるように配慮してある。

## 4. 測定結果

アンテナ設備の特性に関しては、単体データの確認後、総合性能の確認を行った。アンテナ放射特性は約4.5km離れた八柱山頂のコリメーション装置を用い、近距離補正を行い測定した。アンテナ利得は電波量（Cas-A、Tan-A）を用い測定し、雑音温度はラジオメータ法で測定した。指向精度の確認は、S帯で電波源（3C454.3、CTA21及び3C119）を追尾して検証を行った。これらの結果を表3に示す。

表3. 特性測定結果

(i) アンテナ利得 送信 2.1GHz 受信 2.3GHz	61.8 dB 62.4 dB
(ii) アンテナ耐電力	40kW (CW) 以上
(iii) アンテナ広角放射特性	CCIR勧告レベル以下
(iv) 雜音温度	22.5K 以下（天頂時）
S帯LNAとのインタフェース点	S帯LNAとのインタフェース点
(v) 総合指向精度（S帯）	0.0027 deg rms
(vi) 総合追尾精度（S帯）	0.0064 deg rms (時間最大風速10m/s時)
(vii) 角度検出精度 Az (補正後残差) EL	0.0009° rms 0.0006° rms
(viii) 鏡面精度（全仰角）	1.5 mm rms 以下 (風、熱などによる変形含む)

す。設計目標をすべて満たしており、世界第一級の性能が確認された。

## 5. むすび

以上我が国で初の深宇宙探査設備として、文部省宇宙科学研究所臼田宇宙空間観測所（UDSC）に建設された深宇宙探査用大型アンテナ設備の概要について述べた。この設備は1984年10月に完成し、1985年1月に打ち上げられた試験探査機“さきがけ”を順調に追跡すると同時に、国際協力の一環として米国NASAの探査機ICEの追尾・データ受信も順調に行っており、“さきがけ”及び探査機PLANET-A（1985年8月打上げ予定）によるハレー彗星の観測に対する運用も無事行われるものと期待される。

この設備の開発・設計・製作に当って数々の有益な御指導をいたいた宇宙科学研究所野村教授及び東京大学生産技術研究所浜崎教授、宇宙科学研究所の関係各位、この設備の製作に御協力いたいたいた関係各位に深く感謝の意を表す。

## 参考文献

- D. L. Pope : Parametric Representation of Ground Antennas for Communication Systems Studies, BSTJ, p. 2145, (1968-12)
- 森本ほか：大型アンテナのホモロジー設計、三菱電機技報、56, No. 7, p. 17 (昭57-7)
- 宇宙科学研究所：Planet-A Status Report-Third Edition (1984-4)

## 1. まえがき

深宇宙探査用大型アンテナ装置は、ハレー彗星探査用PLANET-A衛星の追尾及び通信に使用されるが、将来は惑星探査や電波天文観測などにも用いられる。この装置の主要部分は1.4~15GHzまでの周波数帯で使用可能なように設計されているが、給電装置としてはPLANET-A探査機用のSバンド送・受信用給電装置と米国ICE探

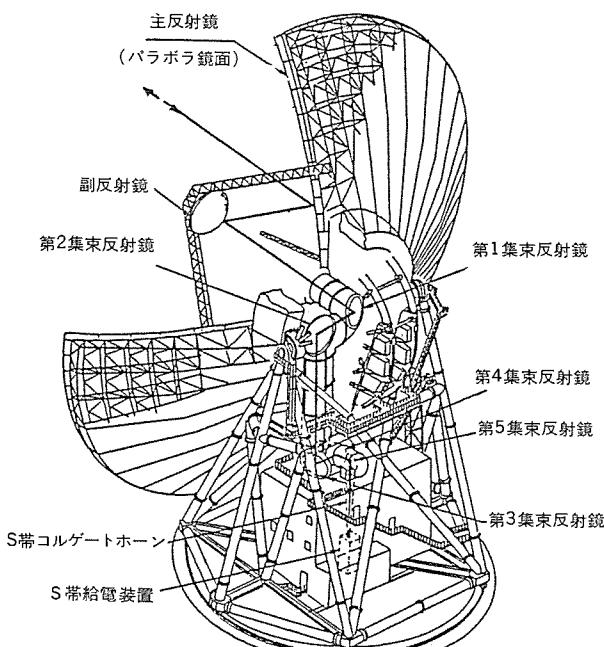


図1. 大型アンテナ外観図

査機用のSバンド受信系用給電装置を装備している。

このアンテナの設計・製作に当り、超広帯域ビーム給電系の設計にビームモード展開法による設計法<sup>(1)</sup>を採用し、ホロジー設計理論<sup>(2)</sup>と高能率鏡面修整法を主・副反射鏡系に適用し、低損失・大電力伝送が可能な給電装置の開発を行った。これらによって要求条件を十分に満たす大型アンテナ装置を実現した(図1.)。

この装置の要概については、併載の論文「深宇宙探査用大型アンテナ設備」(p.4)で述べているので、ここでは装置の設計及び性能について述べる。

## 2. 放射給電系の設計

## 2.1 集束ビーム給電系

アンテナ放射系の設計に当っては、このアンテナ装置が深宇宙探査用衛星の追尾及び通信を行う大型アンテナであるために、次のような条件が要求された。

- (1) 高能率・低雜音特性をもつこと ( $G/T$  が高いこと)。
- (2) 地上回線などとの電波干渉が少ないとこと。
- (3) 良好的な交差偏波特性をもつこと (円偏波使用時良好なビームアライメント特性)。
- (4) 将来多目的運用に供するため、S/Xバンド共用化などが図れること。
- (5) 保守・運用が容易で将来の拡張に対処しうること。

これらの条件からこのアンテナ装置の一次放射系として集束ビーム給電方式を採用した。

この集束ビーム給電系は、4回反射形集束ビーム給電系を基本構成とし、図2.に示すように必要に応じて順次集束反射鏡を追加できるように設計されている。PLANET-A計画用集束ビーム給電系と

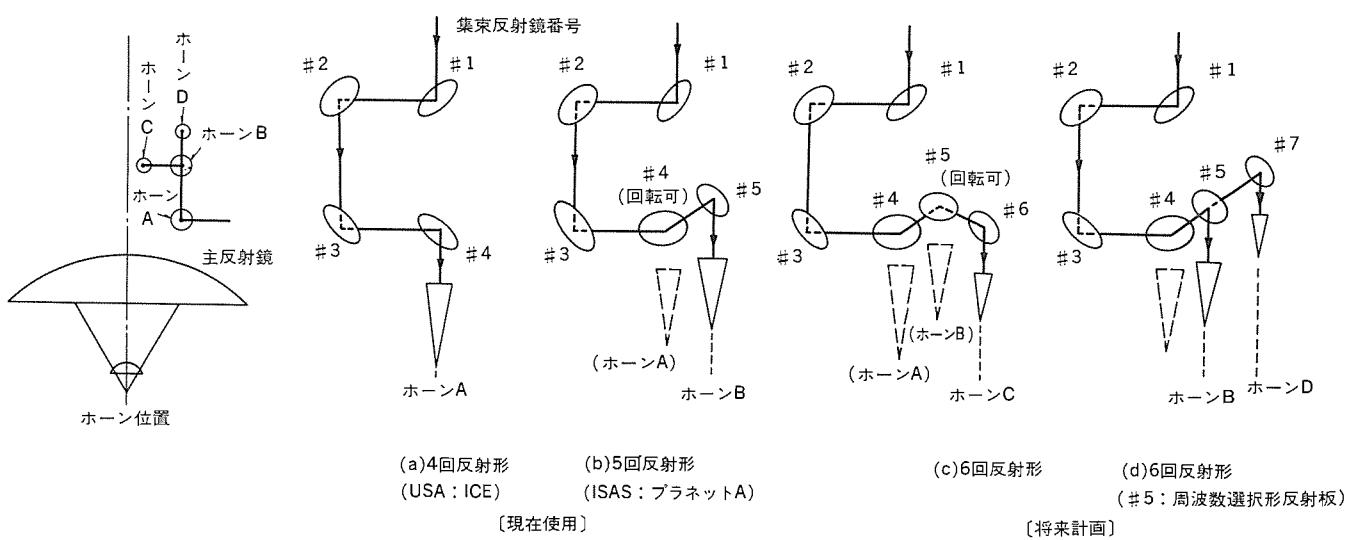


図2. 集束ビーム給電系の構成例

\* 文部省宇宙科学研究所(工博) \*\* 同 宇宙科学研究所 \*\*\* 三菱電機(株)情報電子研究所  
† 同 通信機製作所(工博) †† 同 通信機製作所

しては第5集束反射鏡を追加した5回反射形集束ビーム給電系で構成している。この4回反射形集束ビーム給電系の設計においては、機械構造上の制約を考慮しながらビームモード展開法<sup>(1)</sup>を用いて、図3.に示すように集束ビーム給電系の非対称鏡面で発生する交差偏波特性と集束ビーム給電系内のスピルオーバ電力の最小化を行うとともに、図4.に示すように超広帯域伝送特性が得られるように設計した。その結果、1.4~15GHzまでの伝送が可能であり、図4.(a)にこの集束ビーム給電系の伝送特性として副反射鏡位置における放射パターンの計算例を示す。この4回反射形集束ビーム給電系は、超広帯域かつ低維音特性をもつ系であるので将来の多目的の使用に供することが可能である。

PLANET-A計画用の5回反射形集束ビーム給電系は、Sバンド専用(送信及び受信をもっている)である点を考慮し、既に決定され

ている4回反射形集束ビーム給電系の副反射鏡位置におけるビーム形状及び波面形状が、ほぼ同じになるように第5番目の集束反射鏡形状を設計した。図4.(b)にSバンド専用5回反射形ビーム給電系の副反射鏡位置における放射パターンの計算値を示す。

また、集束ビーム給電系のホーンとして、4回反射形集束ビーム給電系では各使用周波数帯域に応じてホーンのど(喉)元の複モード発生器を交換して1.4~15GHzまで対応できるデュアルモードホーンを使用し、5回反射形集束ビーム給電系ではSバンド帯で交差偏波特性が良好で、かつ低サイドローブ、軸対称ビーム特性をもつコルゲート円すいホーンを使用している。更にこの装置は、現在4回反射形集束ビーム給電系を用いて、米国NASAのICE計画に対応できるようになっており、この場合第4集束反射鏡を回転切換機構によって5回反射系と4回反射系とを切換使用できるように設計している。

## 2.2 主・副反射鏡系

主・副反射鏡系は、アンテナ利得が高いことと同時に、低サイドローブ特性が要求される。これらの要求を実現するために、主反射鏡開口面上で、開口の主要部は一様で周縁部では急しゆん(峻)に低下する開口分布を実現するような鏡面修整を主・副反射鏡系に採用している。また、主・副反射鏡系の設計においては、Az軸とEl軸の交点上にマスタコリメータが位置するため、集束ビーム給電系の一次焦点(主・副反射鏡系の一次焦点)は、アンテナ軸からオフセットするために、副反射鏡は原理的にはアンテナ軸に対して非回転対称な鏡面となる。一方、主・副反射鏡系に鏡面修整を行っているので、非回転対称な副反射鏡は非常に複雑な鏡面となり製作し難くなる。これを解決するために光線追跡法を採用して非回転対称形副反射鏡にベストフィットする回転対称な鏡面で置きかえ、鏡面の残留鏡面誤差を鏡面精度以内に抑える設計を行って回転対称な鏡面を実現した。

## 3. 機械構造系の設計

一般にアンテナ主反射鏡の鏡面精度は、鏡面を形成する鏡面パネルの

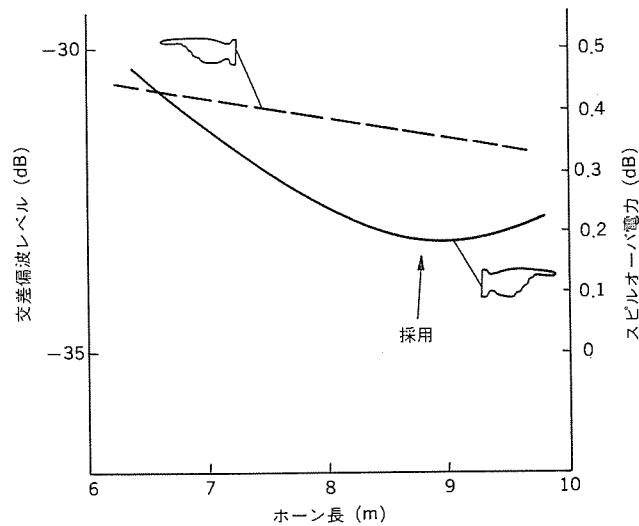
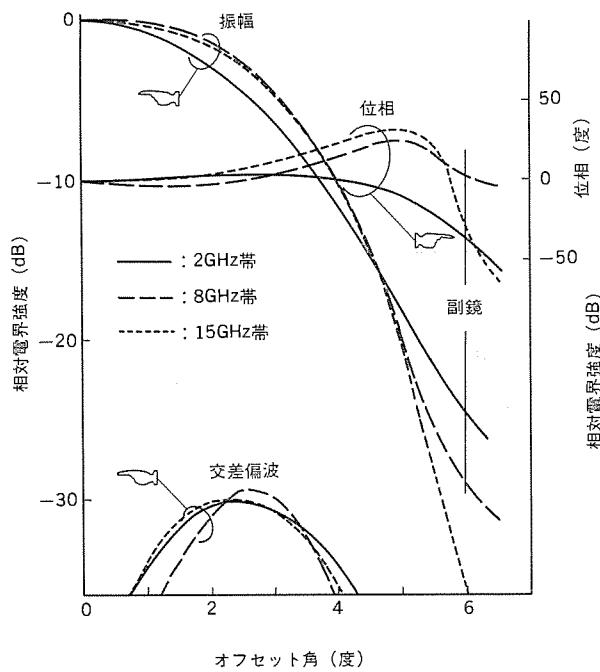
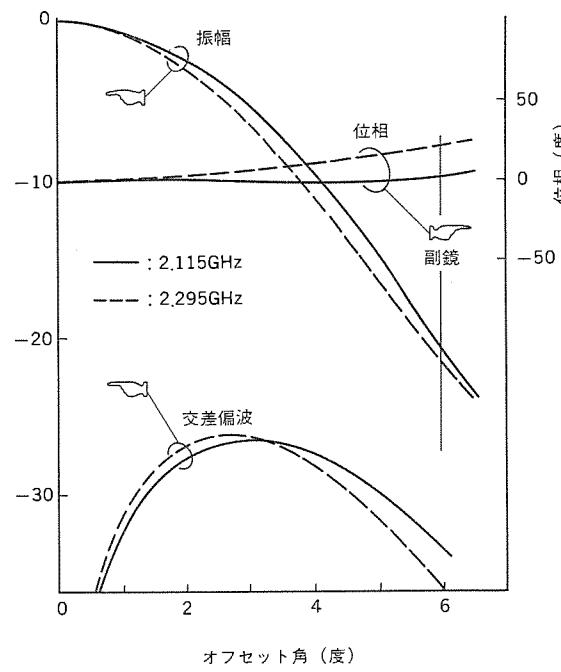


図3. 交差偏波レベル及びスピルオーバ電力



(a) 4回反射形集束ビーム給電系

図4. 集束ビーム給電系一次放射パターン(計算値)



(b) 5回反射形集束ビーム給電系

製作・設定・測定などの誤差及び自重・風・熱などによる弾性変形誤差から決まるが、特に全天指向形の大型アンテナでは、自重による弾性変形誤差が最も大きく、これをいかに小さくするかが、広い仰角範囲で高い鏡面精度を持ったアンテナを実現するキーポイントとなる。表1.にこのアンテナの鏡面精度の配分値及び測定・計算結果を示す。

大型アンテナの鏡面設計に、従来のアンテナの設計手法である自重変形の絶対量をできる限り小さくする方法を用いても、自重変形の絶対量を小さくするには限度があり高い鏡面精度の実現がむずかしい。したがって、自重変形の絶対量が比較的大きくても、変形後の鏡面が所定鏡面にできる限り近づけるように設計するホモロジー設計法を採用することにより、大型アンテナにおいても高い鏡面精度のアンテナ鏡面が実現できる。

現在、大型アンテナでホモロジー設計法により設計され、高い鏡面精度が得られている鏡面の代表的な構造には、二つの方式がある。その一つは、東京天文台45m電波望遠鏡の構造<sup>(3)</sup>で、主反射鏡の中央部に小さくかつ剛な中心構造(センターリング：主反射鏡の約15%にあたる)を設け、この部分を直接支持する中心支持構造方式であり、もう一つは、西独のボン100m電波望遠鏡<sup>(4)</sup>に見られる主反射鏡全体を柔らかく支える全体支持構造方式である。

これに対し、この大型アンテナの設計では、電波望遠鏡とは異なった運用条件(ある程度高い風速においても運用する必要があるなど)及び直径約4mもある集束ビーム給電系との整合性を考慮して、主反射鏡中心部にはある程度大きくかつ剛な中心構造(センターリング：主反射鏡の約31%にあたる)を設け、この部分をバランスよく支持する構造とした。

以上の設計方針に基づき、ホモロジー設計法により、主反射鏡構造の構成・座標・部材形状・剛性・強度などを繰り返し検討し、主反射鏡鏡面誤差が最少になるように、鏡面パネルを支持する構造を解析した。解析した代表的な4ケースの自重変形による鏡面誤差の計算結果を図5.に示す。図において、計算モデルNo.1～No.3はある特定の仰角における自重変形誤差を無くした場合である。このアンテナのように全天指向形アンテナにおいては、仰角の駆動範囲(仰角7°～90°)内で一様に誤差を小さくする必要があるため、主反射鏡の各変形モードごとに誤差が小さくなるようにした結果が計算モデルNo.4であり、このときの主反射鏡最適パラボラ鏡面からの誤差量及び放射パターンを図6.に示す。図の計算結果から分かるように、残留変形誤差が電気性能に与える影響は十分小さいことが確認されたので、この設計を採用し主反射鏡の鏡面パネル(1,152枚)の設定・調整を行った。

なお、このアンテナ主反射鏡の風荷重による変形を図7.に示す。

ここで風速は、地上高35m(E<sub>L</sub>回転軸高さ)を基準風速としこのアンテナ装置が森林地帯にあることを考慮し地上高の1/4乗則の風速分

表1. 主反射鏡鏡面精度

(単位:mm rms)

誤差要因	配分値	測定・計算結果			
鏡面パネル製作誤差	0.35	0.31			
測定誤差	0.35	(0.35)			
鏡面パネル設定誤差	0.60	E <sub>L</sub> 10°	E <sub>L</sub> 30°	E <sub>L</sub> 60°	E <sub>L</sub> 90°
自重変形による変形誤差	1.55	1.01	0.49	1.08	1.41
風荷重による変形誤差	いずれか一方	(0.7)		(0.33)	
太陽などによる熱変形誤差	1.00	(0.7)		(0.7)	
総合(rss)	2.00	E <sub>L</sub> 10°	E <sub>L</sub> 30°	E <sub>L</sub> 60°	E <sub>L</sub> 90°
		1.31	0.97	1.37	1.64

注( )：計算値

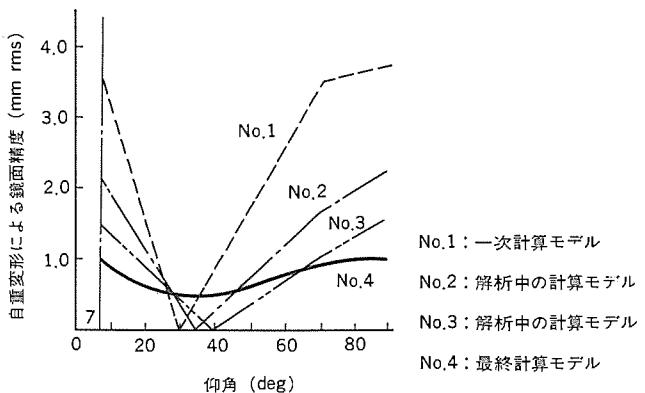


図5. 自重変形による変形誤差

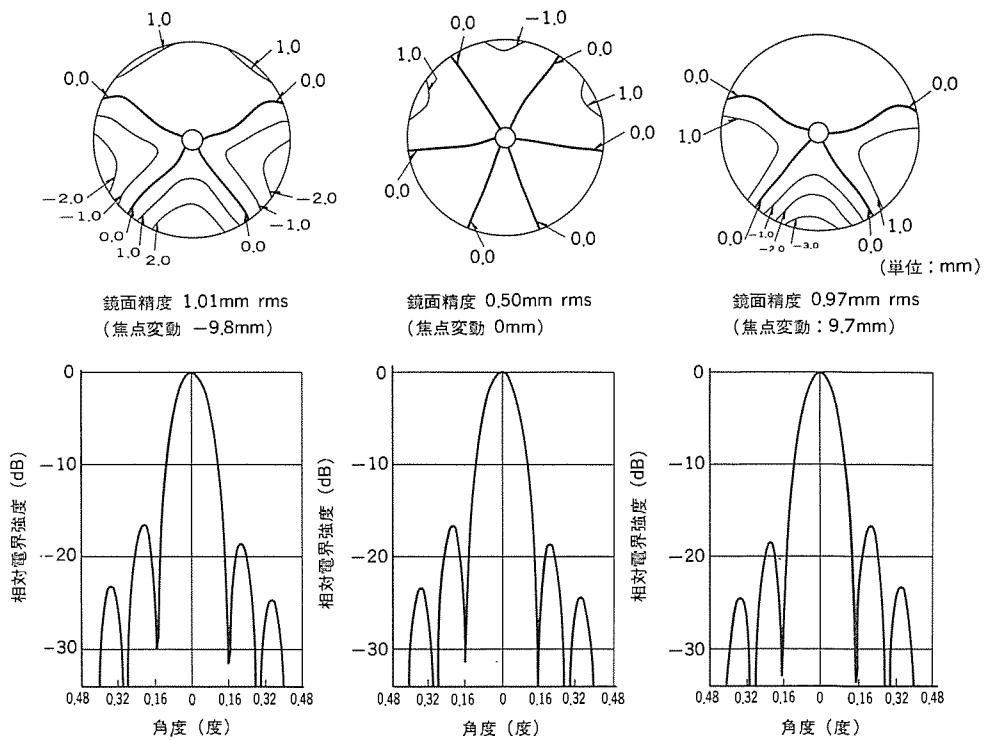


図6. 鏡面誤差及び放射パターン

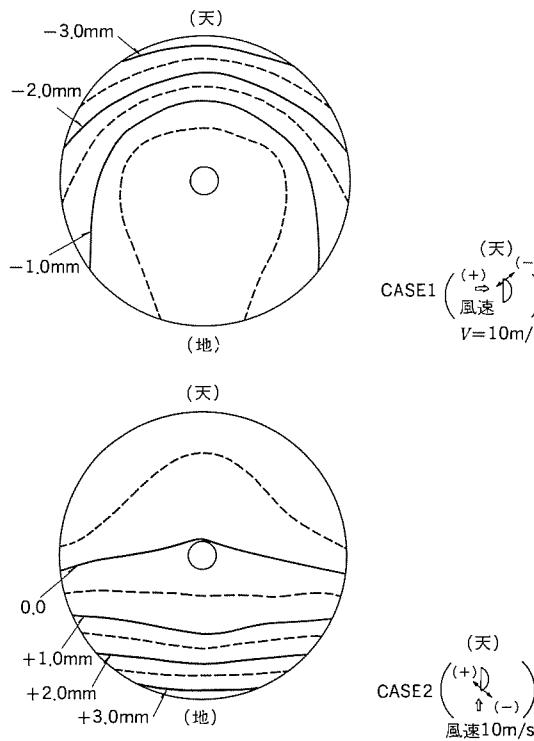


図 7. 風荷重による主反射鏡の変形量

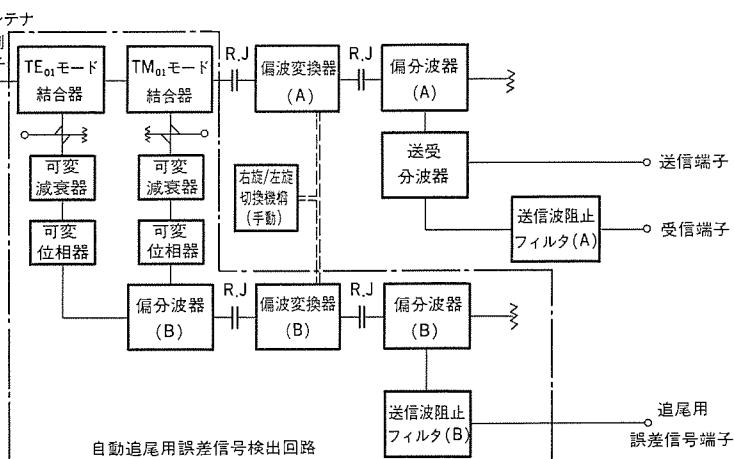


図 8. 給電装置の構成 (PLANET-A 用)

表 2. 給電装置の主要性能・諸元

(a) PLANET-A 用

項 目	設 計 値	実 測 値
1. 周波数帯域		
(1) 送 信	2,110~2,120 MHz	2,095~2,120 MHz
(2) 受 信	2,290~2,300 MHz	2,270~2,300 MHz
2. 損 失		
(1) 送 信	0.21 dB 以下	0.20 dB 以下
(2) 受 信	0.25 dB 以下	0.16 dB 以下
3. VSWR		
送受信とも	1.2 以下	1.12 以下
4. 偏 波	送受同軸の円偏波 RHCP/LHCP	同 左
5. ダ円偏波率	送受信とも 1.5 dB 以下	0.8 dB 以下
6. 最大許容電力	40 kW	40 kW 以上
7. 送信波の受信 端子への漏れい量	100 dB 以上	110 dB 以上
8. 高次モード結合器の 結合度	TE <sub>01</sub> モードと TM <sub>01</sub> モー ドに対し各々 -8 dB 以上 TM <sub>01</sub> モード -5.4 dB 以上	TE <sub>01</sub> モード -7.7 dB 以上 TM <sub>01</sub> モード -5.4 dB 以上

(b) NASA-ICE 用

項 目	設 計 値	実 測 値
1. 周波数帯域	2,250~2,300 MHz	2,250~2,300 MHz
2. 損 失	0.03 dB 以下	0.01 dB 以下
3. VSWR	1.1 以下	1.05 以下
4. ダ円偏波率	(RHCP) 0.5 dB 以下	(RHCP) 0.16 dB 以下

(1) フィルタが送信波に対する耐電力に優れるとともに、40 kW 送信時でも、冷却装置を必要とせずに送受分波ができる、送信機からの受信帯域近傍のスプリアス波を出来るだけ受信端子に漏らさないとこと。

(2) 受信波の損失が、受信端子に漏れいする送信波のレベルを -24 dBm 以下 (100 dB アイソレーション) とするために、送受分波器の受信端子に追加設置する送信波阻止フィルタと送受分波器の合計値

布に従うものと仮定している。

また、このアンテナ主反射鏡の熱変形に対しては、熱変形誤差を小さくするために自重変形誤差が大きくならないよう配慮し、鏡面パネル（材料はアルミニウム合金）と支持構造（材料は鉄鋼）の間の支持金具を工夫し、鏡面パネルの熱変形が鏡面内に逃げる構造を採用した。主反射鏡を出来るだけ軽量な構造とするとともに、日射による温度上昇を出来る限り小さくするために白色塗装とした。なお熱変形誤差は、主反射鏡を球殻構造で近似し、環境温度を -25~+40°C (基準温度は日射を考慮し 10°C とした)、地上高による温度差約 2°C、日射による温度上昇約 8°C として計算した結果、最大約 0.7 mm rms である。

#### 4. 給電装置

給電装置は、送信設備からの送信波を受信設備側にほとんど漏えいさせることなくアンテナ放射系に伝送するとともに、アンテナ放射系で受信した信号を低損失で受信設備に伝送する機能、及び探査機を自動追尾するための一次放射器に発生する高次モードを検出する機能をもっている。この装置は、同一偏波の送・受信波に対処でき、偏波変換器を回転することによって、右旋あるいは左旋円偏波のいずれにも対処可能である。図 8. に給電装置の構成を、表 2. に主要諸元を示す。

送受分波器と送信波阻止フィルタは、40 kW の送信波電力に対する耐電力性能と受信波帯での低損失特性とを実現する最も重要な部品である。送信波と受信波はそれぞれ、2.1 GHz 帯及び 2.3 GHz 帯と周波数が異なるので、フィルタと 3 dB ハイブリッドを組み合わせることにより送受分波器を実現している。ハイブリッドとしては、マジック T とショートスロット形方向性結合器を考えられるが、ここでは耐電力性と小形化の点で優れるショートスロット形を用いた。またフィルタは幾つかの必要条件のうち、次の条件を重視した。

としてできるだけ小さい値になること。

(3) できるだけ小形であるとともに、低雑音増幅装置との接続の導波管損失が最小であり、かつ低雑音増幅装置が運用・保守の容易な位置に設置できる分波器の構造であること。

以上の検討の結果、送受分波器用フィルタとしては、受信帯波を通過させるバンドパスフィルタを採用した。このバンドパスフィルタは周波数微調用ビスなどを用いず無調整とし、空洞共振器の無負荷Q値が大きくなる加工法を採用し、受信波に対する損失を小さくする設計とした。以上の設計により製作した送受分波器の性能として、損失が送信で0.03dB、受信で0.07dBの値を得た。また、送信波阻止フィルタとしては、外部空洞形バンドストップフィルタを採用し、0.013dBの受信波損失を実現した。

偏波変換器としては、円形導波管に耐熱性に優れ低損失な誘電体板を装荷した構造を採用した。円形導波管は不要高次モードが発生しない径を選定し、送受信帯にわたり0.8dB以下のだ円偏波率を実現した。

自動追尾用誤差信号検出回路は、大型アンテナが探査機などを自動追尾する機能をもつためのもので、ここで得た追尾用誤差信号を追尾用基準信号（受信端子に分波される）で信号処理し、大型アンテナの駆動装置と組み合わせて自動追尾を行っている。この検出回路としては、図8.に示すように、TE<sub>01</sub>モード結合器とTM<sub>01</sub>モード結合器を用い、これらのモード結合で得た追尾誤差信号を偏波変換器と偏分波器で偏波合成する方式<sup>(5)</sup>を採用し、探査機などからの信号が任意のだ円偏波であっても追尾が可能のように設計した。両モード結合器には、送受信波も通過するため、送信波への耐電力性と受信波への低損失性が必要であり、多孔方向性結合器形を用い、0.02dB以下の損失を実現した。

また2.1節で述べた4回反射形集束ビーム給電系を用いた米国NASA計画のICE用給電装置は、Sバンド受信専用で低損失化を要求されるため、偏波変換器及び偏分波器のみの簡単な構成としている。偏波変換器は、受信専用で耐電力性が問題とならないことを考慮して、円形導波管に誘導性のねじを挿入して実現する方法を採用している。表2.に主要性能・諸元を示す。

## 5. 測定結果

以上の設計により製作したアンテナの主要性能の測定結果を以下に

示す。アンテナ主反射鏡の鏡面精度は、Range-Angle法で測定し、計算機処理した。その結果を図9.に示す。アンテナ放射パターン、だ円偏波率、ビームアライメントは、約4.5km離れた八柱山山頂に設置したコリメーション装置を用いて測定した。このテストレンジでは、ニヤフィールドによる被測定アンテナ開口面上での位相誤差が、Sバンド帶で約240度あ

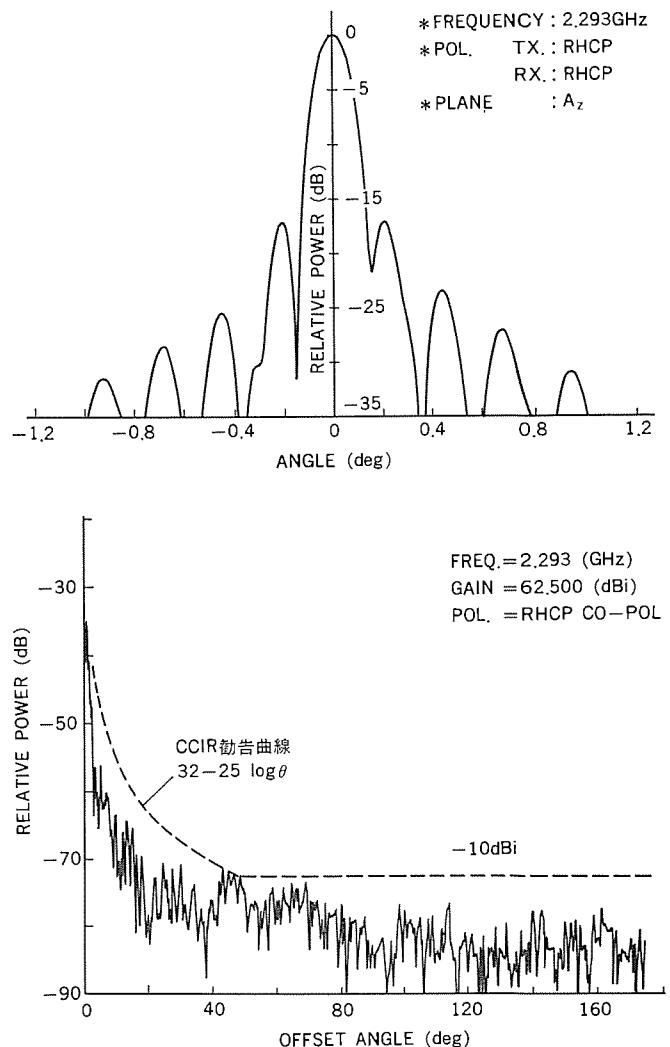


図10. アンテナ放射パターン（実測値）

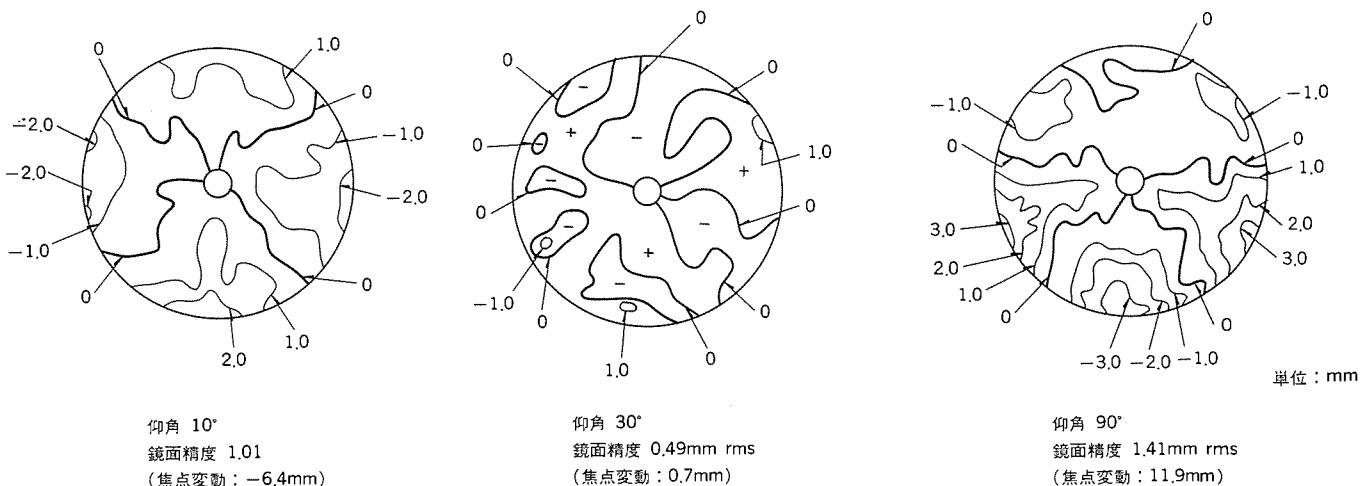


図9. 主反射鏡鏡面精度（自重変形誤差及び設定誤差：実測値）

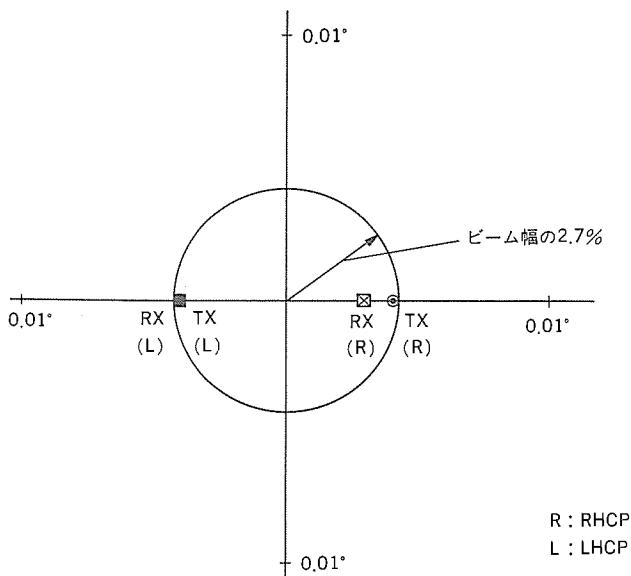


図 11. ビームアライメント（実測値）

表 3. アンテナ 利得（ホーン入出力端での実測値）

(単位: dB)

電波星	5回反射形 PLANET-A 対応		4回反射形 ICE 対応
	2,293 MHz	2,111 MHz	2,270 MHz
CAS-A RHCP	62.5	61.9	62.7
CAS-A LHCP	62.5	62.0	—
TAU-A RHCP	62.5	61.9	62.5

り、この位相誤差を副反射鏡をアンテナ軸方向に移動することによって補正している。図 10. に近軸放射パターン及び広角放射パターン、図 11. にビームアライメントの実測値を示す。予想通りの値が得られている。アンテナ利得は、電波星、Cas-A、Tau-A を用いて 5 点スキャン法による自動測定を行い、表 3. の実測結果を得た。図 12. にラジオメータ法で測定したアンテナ雑音温度（給電装置出力端）の実測値を示す。

以上の測定結果から、すべての特性が設計目標値を満たしており、ここで述べた大型アンテナの設計法の妥当性が確認された。

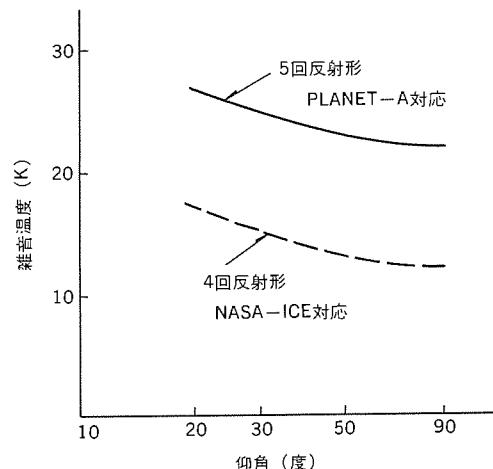


図 12. アンテナ 雜音温度（給電装置出力端での実測値）

## 6. む す び

大型アンテナ 装置の設計上の特長及び特性試験結果の概要について述べた。この大型アンテナ 装置の現地総合調整試験は、1984年10月未に完了し、現在、試験探査機“さきがけ”衛星(1985年1月打上げ)を順調に追尾し、衛星との通信を行っており、1985年8月打上げたハレー彗星探査機 PLANET-A との通信・追跡に備えている。

この大型アンテナ 装置の開発・設計製作にあたって有益な御指導をいただいた、文部省宇宙科学研究所 野村教授、林教授、東京大学生産技術研究所 浜崎教授及び宇宙科学研究所の関係各位、並びに、この装置の製作に御協力いただいた関係各位に深く感謝の意を表する。

## 参 考 文 献

- (1) 別段ほか：4回反射鏡形集束ビーム給電系の設計法、信学会論文誌、J 67-B, No. 6, p. 622~629 (1984)
- (2) S. Heorner : Homologous defomation of tiltable telescope, J. of the Structural Division ASCE, 90, No. ST 5, p. 461 ~485 (1967)
- (3) 森本ほか：大型アンテナのホモロジー設計、三菱電機技報, 56, No. 7, p. 17 (昭 57)
- (4) O. HACHENBERG : Sky and Teles Cope, 40, No. 6 (1970-12)
- (5) 佐藤ほか：山口 TTC & M/IOT 用地球局アンテナ、三菱電機技報, 55, No. 12, p. 38 (昭 56)

# 大型アンテナの精密指向制御

広沢 春任\*・市川 満\*\*・河村英四郎\*\*\*・榎原 修\*\*\*・伊藤富美夫\*\*\*

## 1. まえがき

直径 64 m の主反射鏡をもつ大型アンテナ設備は、深宇宙を航行する探査機を精密に追尾指向することが必要であり、S バンドにおける指向精度は 0.01 deg rms、また将来 X バンド導入時における指向精度は 0.003 deg rms が実現できるよう設計されている。指向精度に影響を与える主な誤差要因として、鉛直度、直交度などの機械的設定誤差、角度検出誤差及び風圧による変形誤差などがあるが、高精度を得るために次のような手法を採用している。

- (1) 再現性のある機械的誤差は補正（器差補正）を行う。
- (2) 主反射鏡の自重変形はホモロジー補正し、副反射鏡駆動によりピント合わせを行う。
- (3) アンテナ指向方向はその代表点を光学測定器で測定することにより角度検出を行い、また、これを指向基準とするマスタコリメータ方式によりアンテナを指向させる。
- (4) マスタコリメータには軸直結のマルチポールレバーラを使用して角度検出を行う。
- (5) 機械構造系の剛性を高め、サーボ帯域を広くとる。

ここでは、主にマスタコリメータ方式による機械構造系と駆動制御系の設計について述べる。

## 2. 駆動制御系の設計

大型アンテナの駆動制御系は、図 1. に示すように、主反射鏡駆動制御部、マスタコリメータ駆動制御部、副反射鏡駆動制御部、器差補正部及びアンテナ管制卓などで構成される。各駆動制御部及び器差補正部はローカルサイトのアンテナ機器室に設置され、アンテナ管制卓（図 2.）はリモートの中央局舎に設置されている。通常の運用は、駒場の文部省宇宙科学研究所より局運用管制装置を介して計算機制御を行う遠隔操作となっている。局運用管制装置とのインターフェースは器差補正部のミニコンピュータが行い、その間は高速で、耐雷、耐ノイズ特性の高い光ファイバリンクによるデータ伝送が行われている。また、器差補正部及び各駆動制御部間のデータ伝送は、図 1. に示すとおり、すべてシリアル伝送とし、機器間の接続ケーブル数を減らし、ハードウェアの共通化を図っている。

大型アンテナは、衛星や探査機の追尾モードとして、高次モードを用いた自動追尾モード、軌道データを用いたプログラム追尾モード及

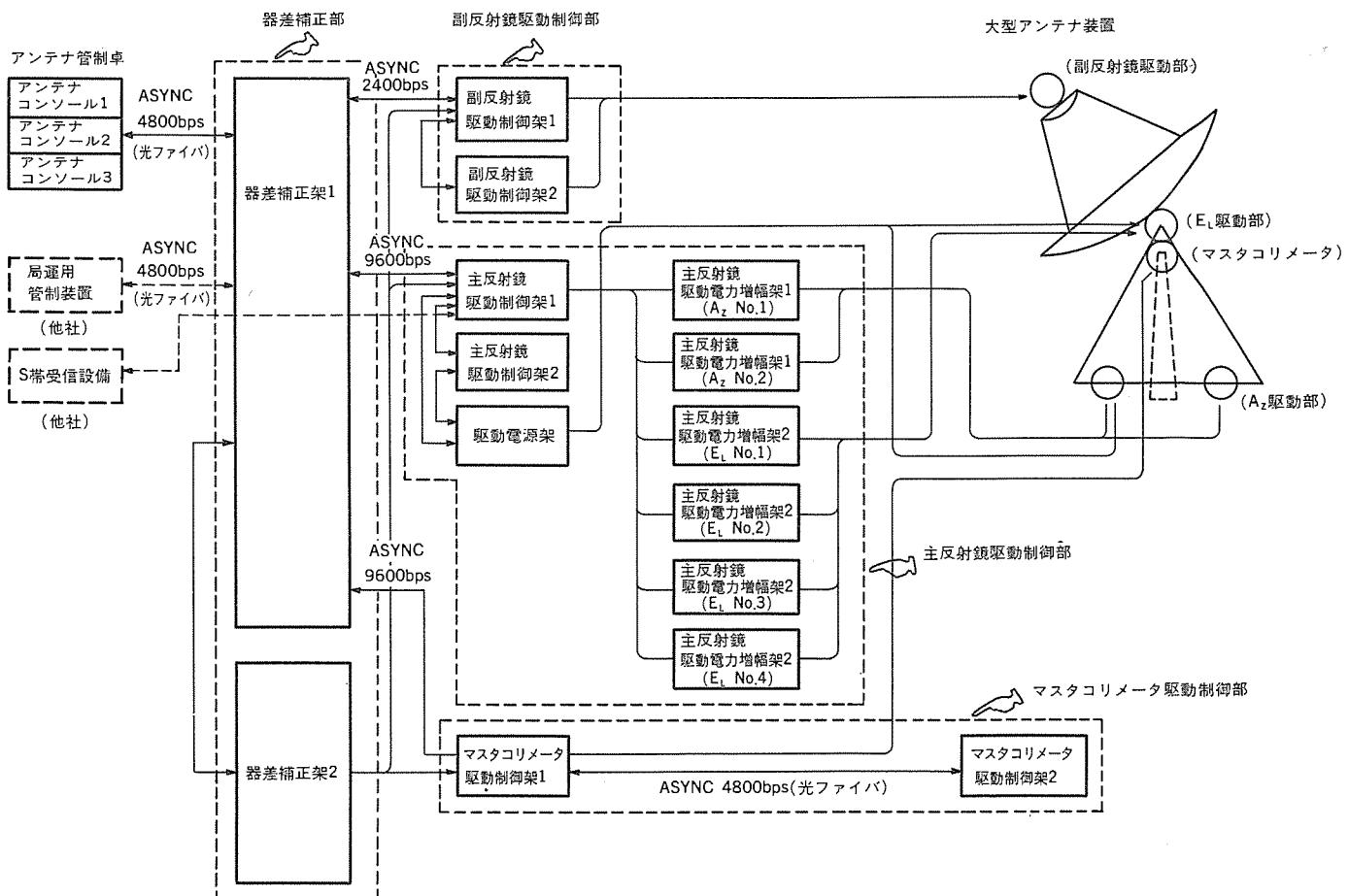


図 1. 主鏡制御系架 ブロック 図

表 1. ISAS 大型 アンテナ 指向誤差配分表

誤差要因	誤差 ( $\times 10^{-3}$ deg)		備考	
	A <sub>z</sub>	E <sub>L</sub>		
1. サーボ系の誤差 (1) 角度ドリフト (2) 角度不感域	0.5 Neg	0.5 Neg		
2. 角度検出誤差 (1) マスタコリメータ 検出誤差	1.0	1.0		
3. 器差補正残差 (1) ホモロジー補正誤 差 (2) ポアサイト設定誤 差 (3) マスタコリメータ 鉛直度誤差 (4) マスタコリメータ 両軸直交度誤差	7.0 (1.7)	7.0 (1.7)	2GHz Radio Star 追尾 により補正した場合  (8GHz Radio Star 追 尾により補正した場合)	
4. 風による変形誤差 (1) 風圧による変形誤 差 (バイアス分) (2) 風のガストによる 変形誤差 (3) 風のガストによる サーボ系誤差	— — — — — — — — —	(1) 0.4 (2) 2.0 (3) 8.8 (1) 0.2 (2) 1.3 (3) 5.7 (1) 0.1 (2) 1.2 (3) 5.0	(1) 0.4 (2) 2.0 (3) 8.8 (1) 0.2 (2) 1.3 (3) 5.7 (1) 0.1 (2) 1.2 (3) 5.0	誤差が最大となる条件で は、A <sub>z</sub> と E <sub>L</sub> の誤差は同 時に発生しない。 (アンテナ E <sub>L</sub> 角度 = 50°) 風速条件 (1) 平均風速 3 m/s (夜 間) (2) 瞬間最大風速 10 m/s (3) " 20 m/s (但しガストファクター = 1.5)
5. 動的誤差	$C_1 \dot{\theta} + C_2 \ddot{\theta}$ = 1.4 $\ddot{\theta}$	$C_1 \dot{\theta} + C_2 \ddot{\theta}$ = 1.4 $\ddot{\theta}$	$\dot{\theta}$ ...目標物角速度 $\ddot{\theta}$ ...角加速度	
総合指向誤差 (1の値)		(1) 0.46 (2) 2.70 (3) 11.6		
		(1) 10.0 (2.92) (2) 10.4 (3.95) (3) 15.4 (12.0)	( ) 内は 8GHz Radio Star 追尾により補正した 場合を示す。	

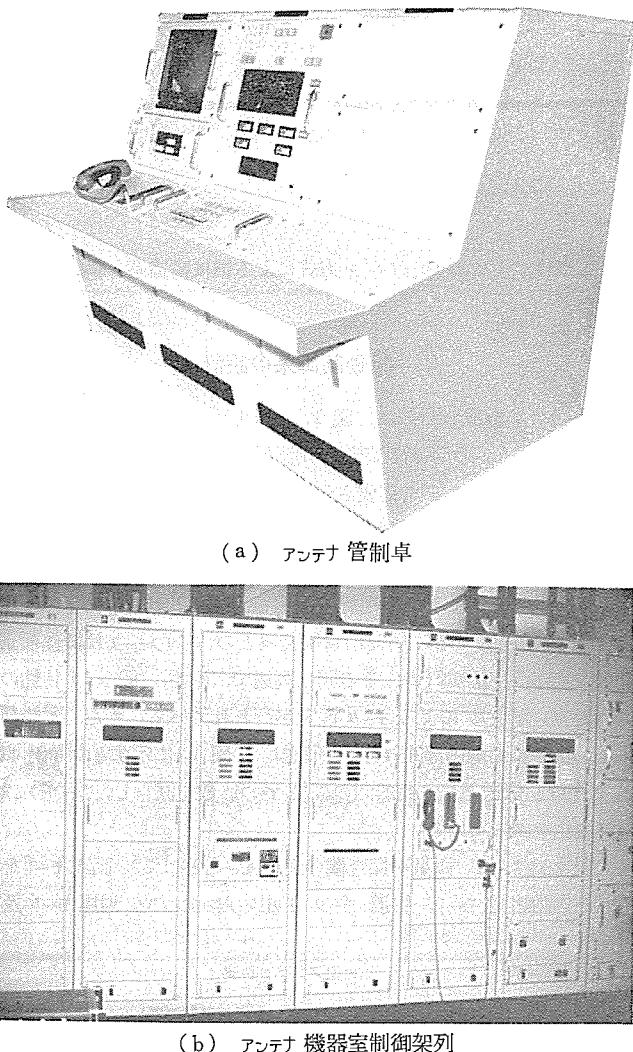


図 2. アンテナ管制卓及びアンテナ機器室制御架列

び他局アンテナの追尾データを用いたスレーブ追尾モードをもっており、近距離から 2.2 億 km の深宇宙まで、精密な追尾が可能である。指向誤差配分表を表 1. に示す。以下に各駆動制御部について述べる。

## 2.1 主反射鏡駆動制御部

主反射鏡の方位角 (A<sub>z</sub>) 及び仰角 (E<sub>L</sub>) を駆動制御するもので、図 3. に示すように、自動追尾モードにおいては受信機からの追尾誤差信号を駆動サーボ系に入力して駆動制御する。プログラム追尾モード及びスレーブ追尾モードにおいては、器差補正部からの駆動指令角度にマスタコリメータが駆動され、主反射鏡指向角度とマスタコリメータ指向角度との光学誤差を追尾誤差信号として主反射鏡を駆動制御する。A<sub>z</sub> は 55 kW の直流モータ 2 台によりアンチバックラッシュ駆動しており、E<sub>L</sub> は 2 枚のセクタギヤにそれぞれ 35 kW の直流モータ 2 台ずつ、合計 4 台のモータでバランスのよいアンチバックラッシュ駆動を行っている。駆動電力増幅装置として、A<sub>z</sub> は 2 台、E<sub>L</sub> は 4 台のサイリストレオナード装置を採用し、各モータを独立に駆動制御できる構成としている。

大型アンテナの駆動において、機械構造系に振動を与えないようデジタルフィルタによりソフトスタートストップを行っている。主反射鏡の粗角度検出としては、1× / 128× の複速シンクロを使用し、マスタコリメータのバックアップを行っている。制御用には、各駆動制御部に対して共通化したマイクロコンピュータを使用し、ハードウェアの互換性を高め、操作法の統一化を図っている。

## 2.2 マスタコリメータ駆動制御部

これは主反射鏡の A<sub>z</sub> 軸及び E<sub>L</sub> 軸の指向角度を検出するため、アンテナと独立したタワー上に設置した A<sub>z</sub> / E<sub>L</sub> マウントのマスタコリメータを駆動制御するものである。図 4. に示すように自動追尾モードにおいては、ビーム伝送系第 1 反射鏡裏面に光学反射鏡を設置し、コリメータから送出する光の反射光を検出し、この光学誤差を零とするようにコリメータの A<sub>z</sub> / E<sub>L</sub> 軸を駆動する。コリメータの角度検出器としては軸直結形のマルチポールレジルバを採用し、歯車伝達機構に起因する誤差をなくしている。マルチポールレジルバは、ドーナツ形のステータに 1×と 64× の 2 系統の巻線を挿入し、電気的に増速した複速構成の多極レジルバで、高精度の角度検出を行っている。更にレジルバの電気的及び機械的誤差のうち再現性のあるものは、レジルバ信号をデジタル変換したあと、ROM 補正を施すことにより精度向上を図り、マルチポールレジルバの総合検出精度として 0.001° p-p を実現している。

コリメータの駆動歯車は、定速で円滑な駆動を得るために歯車誤差の小さいものを選択し、2 台の直流モータによるアンチバックラッシュ駆動を行っている。モータはフリクション及びトルクリップルが小さく低速性能の良いタイプのモータを、また、タコゼネレータはリップルが小さく直線性の優れたタイプを使用している。

プログラム追尾モード及びスレーブ追尾モードにおいては、主反射鏡駆

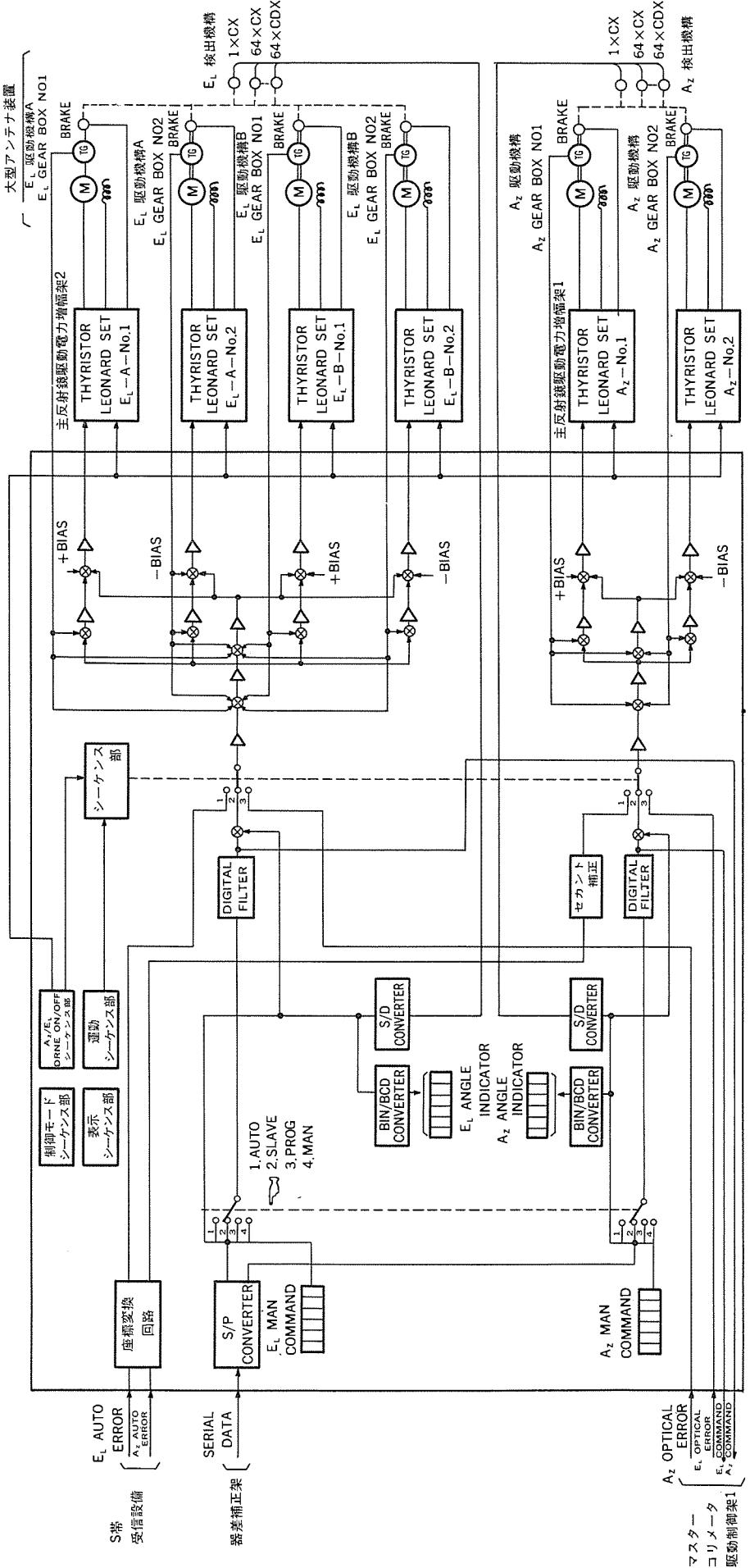


図3. 主鏡制御系 (MAIN Drive) ブロック図

動制御部からのアンテナ指向角度を指令値とし、マルチポールレジルバによる21ビットの検出角度を実角度としてフィードバックし、コリメータの指向制御を行う。この時の光学誤差は主反射鏡駆動制御に伝送され、高精度で主反射鏡を駆動制御する。

### 2.3 副反射鏡駆動制御部

主反射鏡はモノジオ構造となっており、仰角の変化に対応して焦点が移動するため、これに追従してピント合わせができるよう副反射鏡を駆動するものである。副反射鏡の駆動は、天地面内の平行移動(X)、回転( $\phi$ )、及び鏡軸方向の移動(Z)ができるようになっており、器差補正部より計算機制御される。

X軸の駆動は1本のジャッキにより行い、200Wの直流モータにより位置制御を行っている。駆動電力増幅器としては、応答特性の速いトランジスタチャップ増幅器を採用している。 $\phi$ 軸及びZ軸の駆動は2本のジャッキにより行い、これらを同方向に駆動すると鏡軸方向のZ軸移動となり、逆方向に駆動すると天地面内の $\phi$ 回軸となる。50Wの直流モータにより、各ジャッキの位置制御を行っている。

角度検出は、 $1 \times /32 \times$ の複速シンクロにより行い、位置検出精度は、X軸、 $\phi$ 軸、Z軸とも $\pm 0.1$ mm以下である。副反射鏡は常に主反射鏡に追従して駆動制御されるよう、器差補正部のミニコンピュータによりコントロールされている。

### 2.4 器差補正部

器差補正部は、M70-40のCPUを主体としたハードウェア構成で、その主たる機能は次のとおりである。図5. ICブロック図を示す。

- (1) 局運用管制装置及び各駆動制御部とのデータ伝送機能
- (2) アンテナ固有の再現性のある機械的誤差を補正する器差補正機能

$A_z/E_L$ マウントのアンテナで考えられる器差要因としては、 $A_z$ 軸の鉛直度、 $A_z$ 軸と $E_L$ 軸の直交度、 $E_L$ 軸とビーム軸方向の直交度、自重変形、基準角度のずれなどがあ

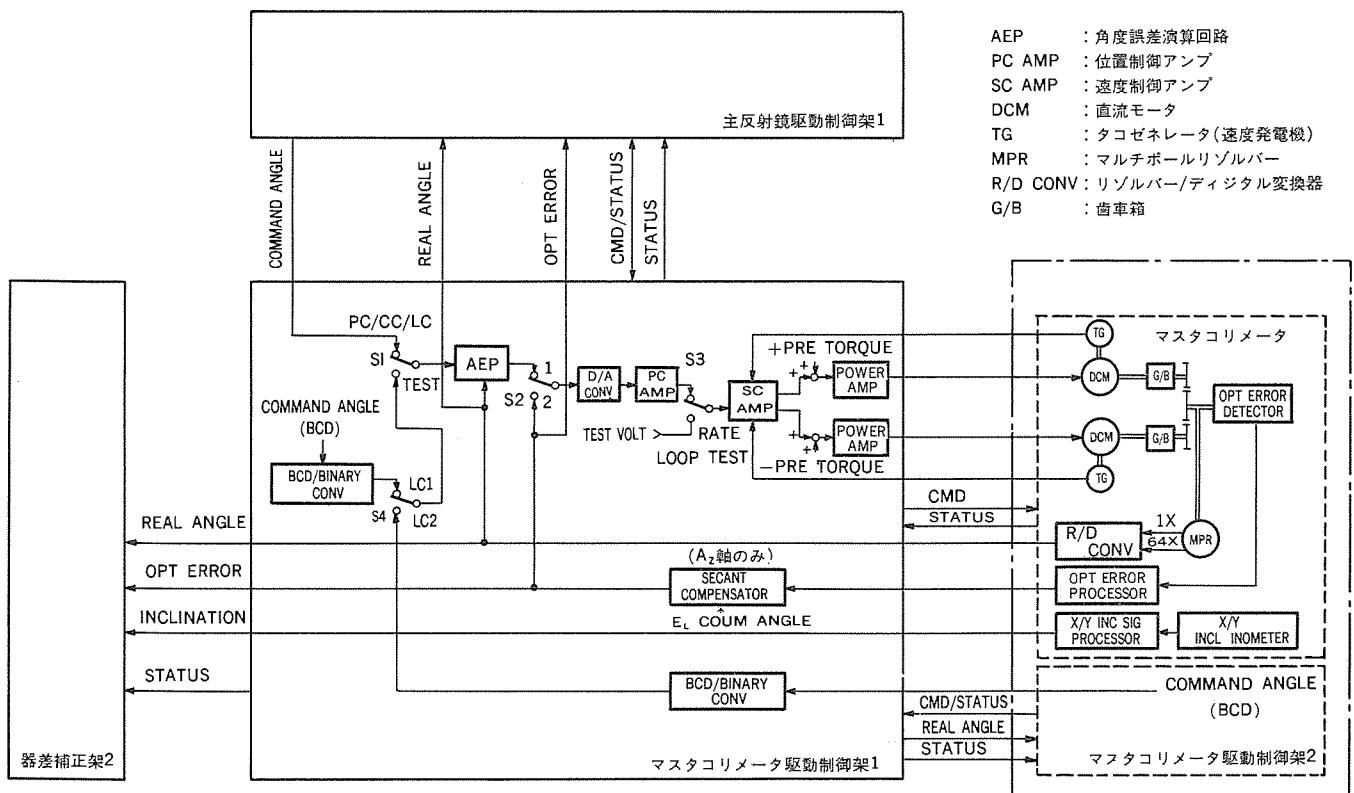


図 4. コリメータ制御系ブロック図（一軸分）

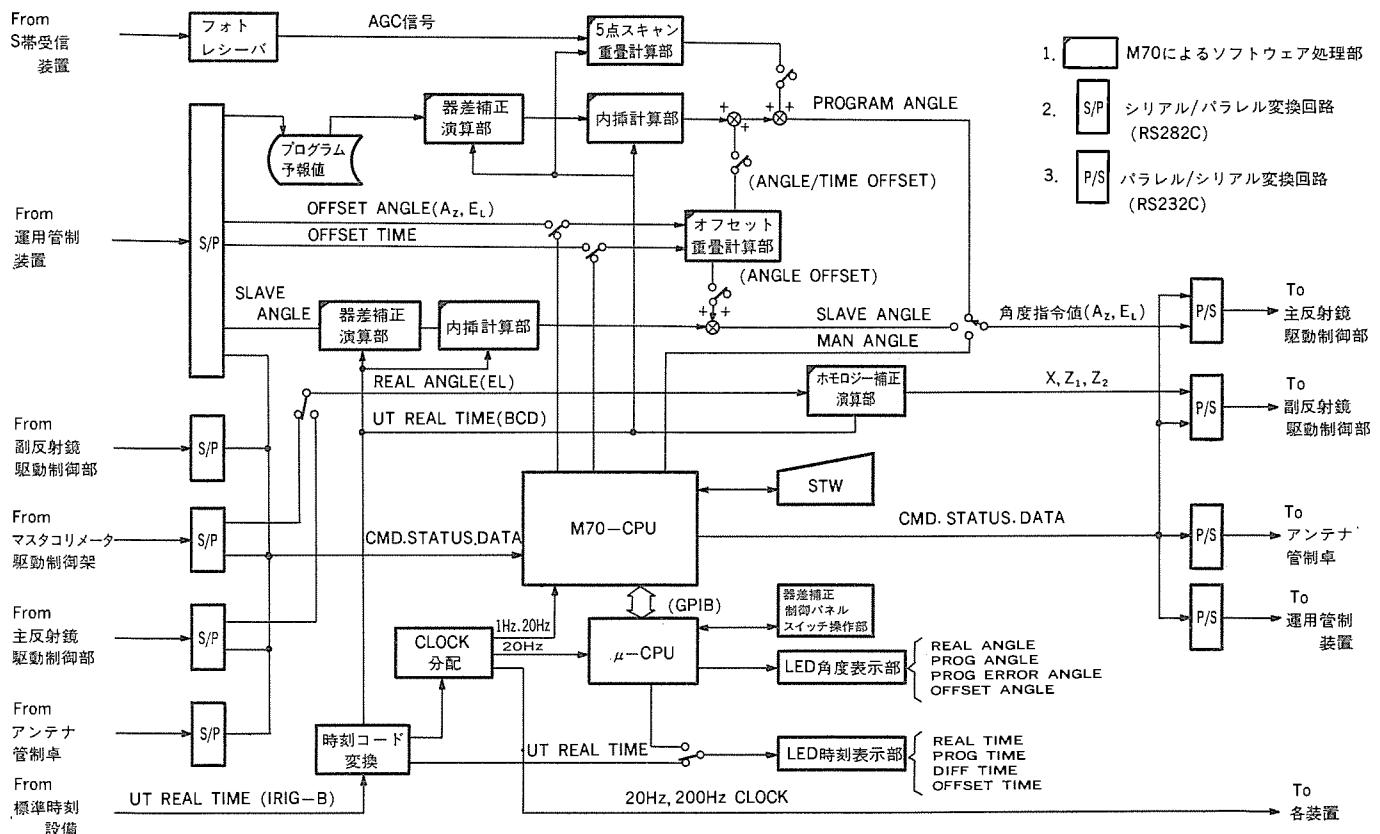


図 5. 器差補正部機能ブロック図

り、これらの補正計算を行い<sup>(1)</sup>、プログラム追尾及びスレーブ追尾時、追尾指令データに補正量を重畳して駆動制御部に指令値として送出している。器差補正值はラジオソース追尾により求めている。

(3) 主反射鏡のホモロジー変形補正機能  
副反射鏡補正駆動位置は、 $E_L$ 角度の関数として表すことができ、 $X$ 軸のジャッキ位置と、 $\phi$ 、 $Z$ 軸の2本のジャッキ位置を計算により求

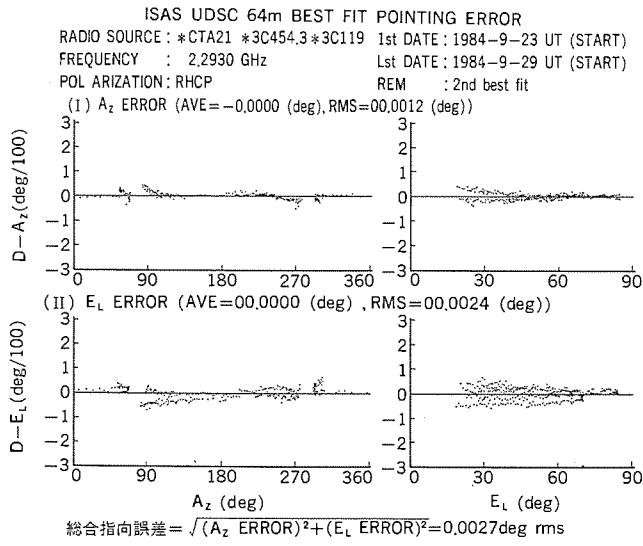


図 6. 総合指向誤差

めて、副反射鏡駆動制御部に指令値として送出している。

#### (4) 5点スキャン機能

目標物からの受信信号を用いて、プログラム 指令角度と目標物方向との角度誤差を求める機能で、指令値を中心として  $A_z$  軸及び  $E_L$  軸に順次 オフセット を与え、全部で 5 点の スキャンポジション における各受信信号 レベル をガウスパターンフィット させてビーム 中心を算出する方式を とっている。

S バンドのラジオソースとして、3C 454.3, CTA 21 及び 3C 119 を追尾して測定した総合指令誤差は、図 6. に示すとおり 0.0027 deg rms であり、指向精度 0.01 deg rms (2 GHz 帯) の仕様値を十分満足していることが確認された。

### 3. 角度検出系の設計

角度検出装置は図7.に示すように、アンテナの $A_z/E_L$ 各軸端に取り付けた粗角度検出装置と、アンテナの $A_z/E_L$ 軸交点に設置されたマスタコリメータ装置から構成されている。従来のアンテナでは、前述した粗角度検出装置のみでアンテナの指向方向を検出している。アンテナの指向方向は主反射鏡の鏡軸方向によりほぼ定まるが、 $A_z/E_L$ 各軸端に角度検出器を付けた検出方式では、主反射鏡と角度検出器の間に多くの構造体が介在し、この構造体の弾性変形や熱変形により、主反射鏡の回転角と角度検出器位置での回転角との間に差異を生ずる。したがって、角度検出器自体の精度をいくら上げてもアンテナの指向方向を精度良く検出することが困難になる。特に大型アンテナでは構造体が大型になるためこの誤差の影響が大きい。マスタコリメータ方式は主反射鏡構造のかなめであるセンターリングの回転角を測定し、より直接的に主反射鏡の回転角を測定することによりアンテナの指向方向を精度良く検出する方式である。今回64m大型アンテナ用にマスタコリメータを開発したので以下に概要を説明する。

### 3.1 マスタコリメータ

マスタコリメータはコリメータワーと呼ばれるタワー上に設置され、アンテナのA<sub>Z</sub>/E<sub>L</sub>軸交点に設置される。このコリメータワーはアンテナの基礎とは独立な基礎上に立てられた円筒構造であり、全長にわたって防熱カバーで覆われ、風や日射により変形しない構造としている。また、マスタコリメータ及び制御器は空調されたカバー内に設置されている。マスタコリメータの外観図を図8.に示す。マスタコリメータは、基本的

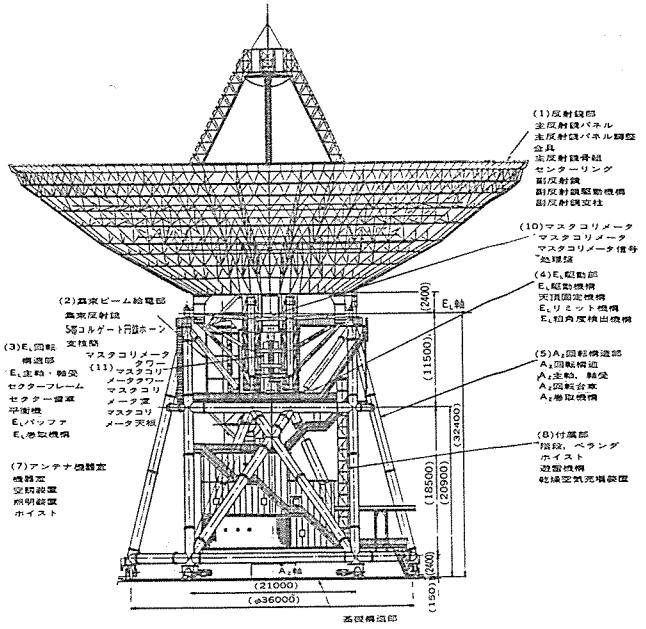


図 7. 大型 アンテナ 外観図

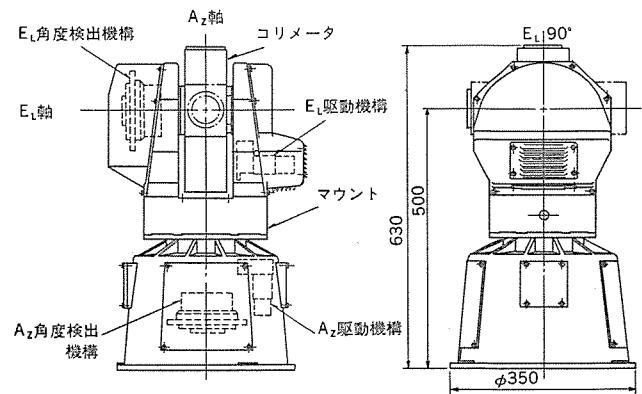


図 8. マスタコリメータ 外観図

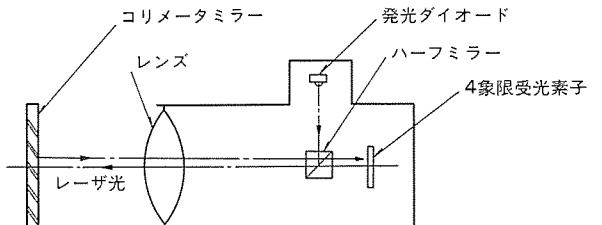


図 9. コリメータの原理図

には、ミラーの面の傾きを光学的に測定するコリメータを高精度の  $A_z$  /  $E_L$  マウントで支持した精密測定器である。次にコリメータの原理について簡単に説明する。

コリメータの原理を図9.に示す。コリメータから照射されたレーザ光はコリメータミラーで反射され、反射光はコリメータ内の4象限に分割された受光素子に受光される。レーザ光とミラーが直交している場合には受光素子に均等に受光されるが、レーザ光とミラーが直交していない場合には各受光素子での受光量に差が生じ、各受光素子からの電気出力が変化する。この電気出力の変化が零になるようにコリメータを  $A_z/E_L$  軸まわりに回転させ、この時の回転角を各軸端に取付けた  $1 \times /64 \times$  マルチポールレグルバにより検出することによりミラーの傾き、すなわちセンターリングの回転角が測定できる。また軸の真円度、

表 2. マスタコリメータの主要性能諸元

項目	性能・諸元
1. 角度検出精度	$1^\circ / 1,000 \text{ rms}$ 以上 (Az, El 共)
2. 角度分解能	$360^\circ / 2^{21}$
3. 応答性	$15 \text{ rad/s}$ 以上
4. マウント方式	Azimuth over elevation マウント
5. 角度検出範囲	Az $\pm 270^\circ$ El $0^\circ \sim 180^\circ$ (水平: $0^\circ$ , 垂直: $90^\circ$ ) $1^\circ / 2,400 \sim 0.5 \text{ deg/s}$
6. 回転速度	
7. コリメータ	オートコリメーション方式 GaAs 発光ダイオード 10 kHz $\pm 0.3^\circ$ 以上 $\pm 1''$ 以内 ( $\pm 1^\circ$ の範囲) 運用時 温度 $20 \sim 30^\circ \text{C} \pm 2^\circ \text{C}$ 湿度 90% RH 以下 非運用時 温度 $-25 \sim 40^\circ \text{C}$ 湿度 90% RH 以下
8. 環境条件	約 90 kg
9. 重量	

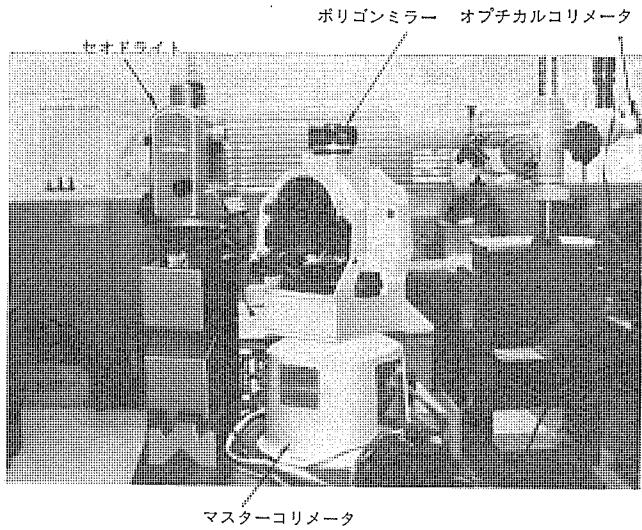


図 10. セオドライトによる精度検定

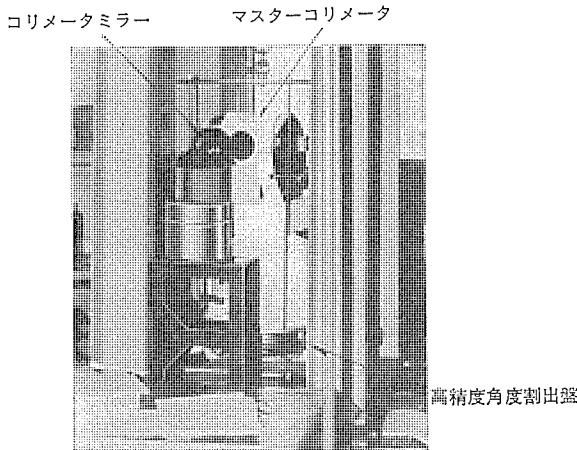


図 11. 高精度角度割出盤による精度検定

表 3. マスタコリメータの精度検定結果

	Az 角度	El 角度
セオドライトによる精度検定結果	$0.9^\circ / 1,000 \text{ rms}$	$0.6^\circ / 1,000 \text{ rms}$
高精度角度割出盤による精度検定結果	$0.8^\circ / 1,000 \text{ rms}$	—

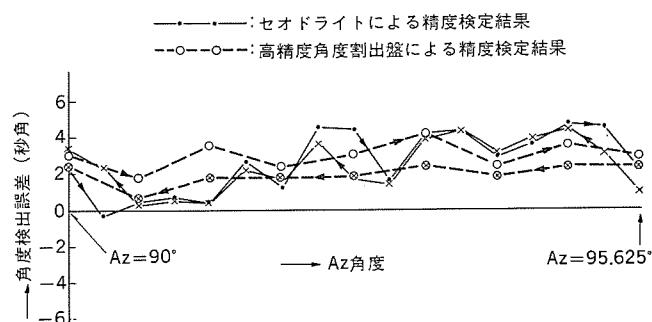


図 12. マスタコリメータ 検出誤差

同心度などがある。これらの誤差や角度検出誤差換算で 1 秒角以下になるよう、高精度の軸受け（ラジアル振れ  $1 \mu\text{m}$  以下）を使用し、軸の加工には超精密研磨加工を施している。マスタコリメータの主要性能諸元を表 2. に示す。

### 3.2 マスタコリメータの精度検査

マスタコリメータに要求されている精度は、現存する精密測定器の精度と同程度であり、一つの方法での精密検定では信頼性に乏しい。そこで、マスタコリメータの精密検定は図 10., 図 11. に示す二つの方法により行った。図 10. に示す方法は軸端にポリゴンミラーを取り付けセオドライトを使ってポリゴンミラーの傾きを測定し、マスタコリメータからの角度出力と比較することによりマスタコリメータの精度を測定する方法である。図 11. に示す方法は高精度の角度割出し盤の上にマスタコリメータを取り付け、固定されたコリメータミラーに対向するようにマスタコリメータを回転させた時の角度出力と、角度割出し盤の回転角を比較することによりマスタコリメータの精度を測定する方法である。

以上の二つの方法によるマスタコリメータの精度検定結果を表 3. に示す。また、マスタコリメータの角度検出誤差の一例を図 12. に示す。

### 4. むすび

この設備は 1984 年 10 月末に完成し、1985 年 1 月 8 日に打ち上げられた試験用探査機“さきがけ”を第 1 周回目で順調に捕そくした。また、1986 年 3 月には探査機“さきがけ”ならびに PLANET-A から送られてくる貴重な観測データを受信し得るものと期待している。

この設備の開発・製作に当り、御指導を賜った宇宙科学研究所林教授並びに関係各位に深謝する次第である。

### 参考文献

- (1) Meeks, M. L. et al. : The Pointing Calibration of the Haystack Antenna, IEEE Transaction, Ap-16, No. 6, Nov. 1968.

# 大型アンテナの据付け工事

市川 満\*・小川伊弘\*\*・阪田日出雄\*\*・小笠原武二\*\*・渡辺泰夫\*\*

## 1. まえがき

1963年に衛星通信大型アンテナを初めて建設し、その後、性能、機能、精度などの面において改良を加え、国内、海外で数多くの大型の地球局アンテナの建設を実施してきた。1981年には、東京天文台向け電波望遠鏡を建設し、アンテナ直径を45mまで拡大した。

1983年4月に着工した文部省宇宙科学研究所の宇宙探査用大型アンテナの建設は、下記の点において特長があった。

- (1) アンテナ直径64m、重量1,900トンの日本最大のアンテナ建設工事である。
- (2) アンテナ主反射鏡鏡面精度1.5mm rmsなどの高精度の諸要求を達成した。
- (3) 輸送は大形車両で320台を越す規模であったが、搬入工程計画書によりタイマリーに実施できた。
- (4) 輸送容積を超える大形構造部品は、現場に組立工場を設けて現地製作した。
- (5) 積雪、凍結、豪雨、濃霧、強風、落雷など、悪い気象条件下での屋外作業が主体の、延べ作業従事者数約8,500人日の大規模な現地工事にもかかわらず、組立、測定並びに調整作業は、スケジュール管理に留意した結果、19ヶ月の計画通りで達成できた。
- (6) 安全管理については、きめ細かく繰り返し指導し、部外専門者を加え定期的安全パトロールを実施するなど、特に留意し無災害を達成できた。

以下に長野県臼田町の現地建設工事の概要を紹介する。

## 2. 現地環境及び気象条件

建設現場は、長野県南佐久郡臼田町大曲国有林のから松林に囲まれた標高1,456mの高地にあり、町の中心部から農道及び林道を13km走った山中にある。山腹を約20,000m<sup>2</sup>切り開いた台地である



図1. アンテナ組立現場全景

が、アンテナ組立用地としては余地のない広さであった。しかも、高地の山腹にあるため、春は強風の日が多く、夏は雷雲の発生が多かった。また豪雨、大雨のため搬入路の崩壊が発生することもあった。12月下旬から2月末までの冬期は、気温が日中で-5°C、夜間作業中で-15°Cまで下がり、積雪と凍結のため高所作業は不可能であった。図1.にアンテナ組立現場の冬期の状況写真を示す。

## 3. 工程計画及び工程進捗

ハレー彗星の探査を第一目的として建設されるこのアンテナは、探査機の打上げなどとともに、ハレー彗星の76年の周期に合わせて計画されたプロジェクトの一環であり、そのため現地工程進捗は、工場製作から輸送を含め、遅延をおこさぬよう綿密な計画と、万一遅延を生じた場合、ばん回策を考えておく一方、遅延の発生を早期に予知する情勢判断を必要とした。そのため全工期にわたり、工程計画立案者と現地工程進捗管理者は、密接な情報交換を行ながら常にスケジュールを監察し、作業員の投入、夜間作業、並行作業などの適切な計画変更を実施するなどして、工程の確保に努めた。以下にその具体策を示す。

- (1) 19か月間、全工程にわたりマイルストーンを設置し、きめ細かにチェックアンドアクションを実施し、早い段階での工程回復策と対処が行えるように配慮した。
- (2) 投員人員と工程進捗状況がビジュアルに評価できるよう“工程進捗一マンパワー”的グラフ表示を使用した。
- (3) 工程に影響を与える気象条件についての対策は、昨年度の現地気象データをもとに予想し、悪天候の場合の休日の振替えや、早朝勤務を考慮するほか、本作業と雨天時などの予備作業の二段構えで計画し、雨天による工程遅延を防止した。
- (4) 資材置場レイアウトプランと搬入工程計画書により、現場スペースの状態を1か月ごとに計画して、スペースの有効活用を図り、また、搬入物の混乱と現場内における資材の横持ち移動ロス作業を防止した。
- (5) 進捗促進に有効な場合は、電気工事作業の一部を優先させるなど多くの並行作業を取り入れた。

表1. 現地建設工事スケジュール

項目	年月	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2
アンテナ基礎工事の技術協力	→																									
アンテナ機構部の据付け工事																										
大形クレーン使用期間 35t 45t 60t 200t																										
部品組立(現地工場)																										
電子機器の据付け工事																										
アンテナ機構部の試験調整	-																									
電子機器の試験調整																										
	説明会																									
	安全祈願祭																									
	A:回転機組立完了																									
	電話開通																									
	初雪																									
	主反射鏡組立完了																									
	パネル組立完了																									
	商用電源投入																									
	開所式からの傳令																									
	試験開始																									

(6) アンテナ構造部の組立は、手戻りを生じさせぬよう一工程ごとに調整と測定を行い、施行品質の確認を行った上で次の工程へと進めた。

このための測定データは、延点数10万点に及ぶが、これを三菱電機製《MULTI 16》で即日処理して、測定及び調整作業時間を大幅に短縮した。表1.に現地建設工事のスケジュールを示す。

#### 4. 機材輸送

トレーラ及びトラックを延べ320台以上使用して行ったアンテナ機材の輸送であるが、地元住民に迷惑をかけないよう、また工程進捗にタイムリーに搬入できるよう、アンテナ機材搬入単位の重量、数量及び姿図をすべて分析し、大形トラックやトレーラの車種を決定し、尼崎の工場から現場までの全輸送路についての調査を行い、道路整備を含めた搬入計画書を作成するなど万全を期した。以下にその具体策を示す。

(1) 機材輸送用道路の確保にあたり、白田町役場、営林署、警察署、住民自治会の絶大な協力のもと、農道を工事用トラックの専用道路にしていただき、これを補強して用いることにより、一般道路の交通緩和及び交通事故の危険を避けた。

(2) 工事専用車であることと関連車両のすべてに明示するとともに、各輸送会社のトラック運転手に対し、マナーを含めて、住民に迷惑がかからぬよう強力な指導を行った。

(3) 工事専用道路には種々の案内及び諸注意の標識をたてた。

(4) 豪雨による搬入道路の崩壊もあり、大形車両の通過時には路肩に特に留意した。

(5) 積雪8cm以上の場合には、搬入専用道路の除雪作業を早朝に実施するなどして、道路の安全確保に留意した。

(6) 現地の進捗状況、天候状況を検討して、場合によっては一日刻みの搬入計画で現地工事に即応させた。

これらは限られた組立スペースを有効に使用し、現場内の横持ち移動をなくすために効果的であった。1年以上に及ぶ機材輸送も無災害で完遂した。

#### 5. 現地体制

建設工事現場には高所作業、地上組立、重機械運転、機械検査、現地工場、電気配線工事、電子機器試験調整、品質管理、安全、庶務などの十指に余る関係者が参加したが、現場代理人を総指揮者として一本にまとまり、スムーズに現地工事を遂行できる現地体制とするため下記の対策をとった。

(1) 建設工事にかかるすべての人に、自分の担当作業と他チームの作業の関連を明確にするため、朝礼時、各作業責任者から当日実施作業と完了予定並びに作業に対する注意事項を発表させるなど、横同志の連絡を徹底させた。また、その日の作業終了後、各作業責任者によるミーティングを実施し、建設現場での諸情報が現場代理人のもとに一元化できるものとした。

(2) 建設にかかる種々の対処を迅速にかつ正確に行うため、ファクシミリを設け、工場との連絡や指示系統を明確なものとした。

(3) 大形構造物の中でも、輸送制限上問題となる中心リング(図8.)と反射鏡骨組(図7.)の地上組立については、現地に簡易コンクリート基礎を設置し、反射鏡骨組と中心リングを組み合わせて、所要の溶接とボルト締め作業を行うことにした。このことにより、現地工事で計画した作業員や重機類を最大限に活用でき、また、その

作業も現地工事の進捗に合わせ、雨天時など本工事が中断となった時の従属作業として、アイドルなく進めることができた。

(4) 機械組立は、工場側品質管理部門へ測定データを送り、現地と工場とで相互チェックを行い、調整作業が完了した時点で、初めて次の工程へと進める方式をとった。

(5) 寒冷地のため冬期に入つてからは、寒風吹きすさぶ中の高所作業となり、士気にも影響するものであったが、現地でのヒューマンリレーションズを重視して作業員の一人一人が目的を明確に把握できるように、このアンテナの利用目的の重要性を説明するなど、こまやかな配慮に努めた。

#### 6. 仮設工事

建設現場が山中にあるため、仮設設備及び仮設工事としては、以下のように準備した。

(1) 現場事務所は、衛星通信アンテナ30mクラス建設時の2.5倍の132m<sup>2</sup>のものを設け、ピーク時は50名の作業員の収容にあてるほか、救急時あるいは報道関係者やその他多くの来訪者時にに対する有効活用を図った。

(2) 電話回線は7月に開設したが、それまでは白田町に仮設事務所を設け、現場との連絡に簡易無線を使用した。

(3) 電源は、現場事務所などの照明、暖房用に20kVA、工事用に45kVAの各1基の寒冷地用ディーゼル発電機を設置した。

(4) 避雷対策として、組立中のアンテナ基礎部と大形クレーンに各ケーブルをつけ低抵抗の接地をほどこす一方、雷探知機と警報装置を現場事務所に設置し、早期に雷雲の発生をキャッチした。

(5) 強風による吊り上げ作業の中止指示の判断基準とするため、風向風速計を設置した。

(6) クレーン走行部には砂利を約20cm敷き、転圧で地盤を固めた。

(7) 塗装工事水洗用などの工事用水は、適合する水が近くにないため白田町からタンクローリーで運び込んだ。

(8) 安全標識や安全柵を設置し、作業員や来訪者の安全に留意した。

(9) 高所作業用仮設足場は、安全作業と施行品質確保のため、あらかじめ地上で構造物に取り付けるなど、作業性の良い仮設足場とした。

(10) 高所作業用足場板は、構造物のたわみへの影響、雨中時、凍結時の安全を考慮して、スリップ止付きアルミ足場板を使用した。

(11) 単管足場(20m高)は、組立時アンテナ回転に支障をきたさぬよう組み上げた状態で簡単に移動できることを考慮して、作業能率の向上を図った。

#### 7. 組立工法

##### 7.1 クレーン

大形構造物を安全に短期間に建設する要素の一つは、重機類の選定に負うところが大きく、この建設工事においても多方面からの検討を行った結果、日本でも最大級の大形クレーンを使用することとなった。アンテナ構造部の建設は、初期の段階から組立工法を検討の上行っており、構造物の分割単位は構造部の剛性、究極的には完成時重量に大きな影響を与えることとなる。

このため、クレーンの選定は幾つもの段階で検討を行い、より具体的に、より安全に、より合理的なものとして、吊り上げ最大能力200トンのクローラクレーン1基、同80トン及び35トン、機械式ブームトラッ

- クレーン及び油圧45トンクレーン1基を用途に応じて使用した。クレーン選定の要因は以下のとおりである。
- (1) 吊り上げ単体重量の最大は図2.に示すE<sub>L</sub>主軸35トンであった。
  - (2) 作業半径が最長で、最大重量は図3.に示す中心リングの中央

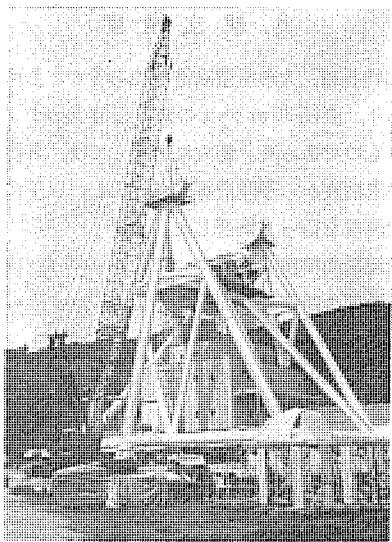


図2. E<sub>L</sub>主軸の組立

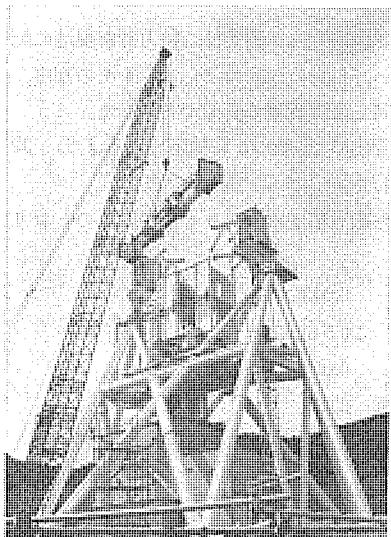


図3. 中心リング中央部ユニットの組立

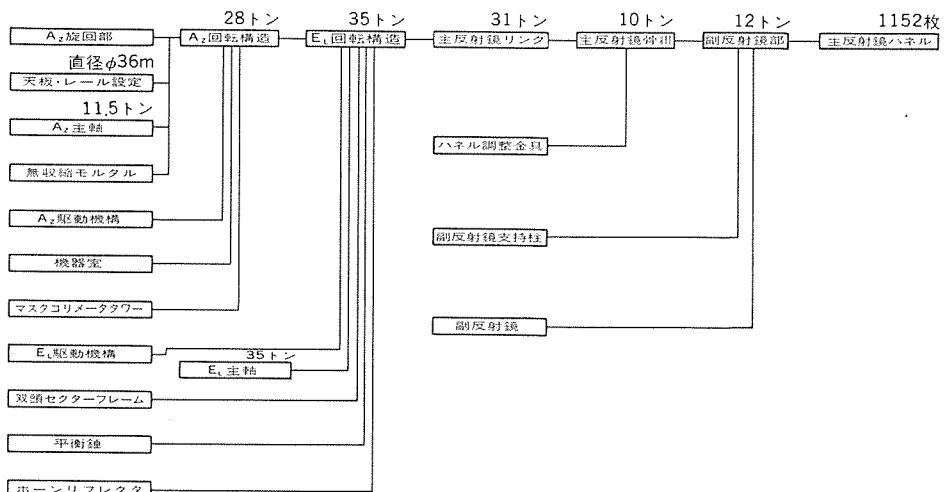


図5. 据付けフローチャート

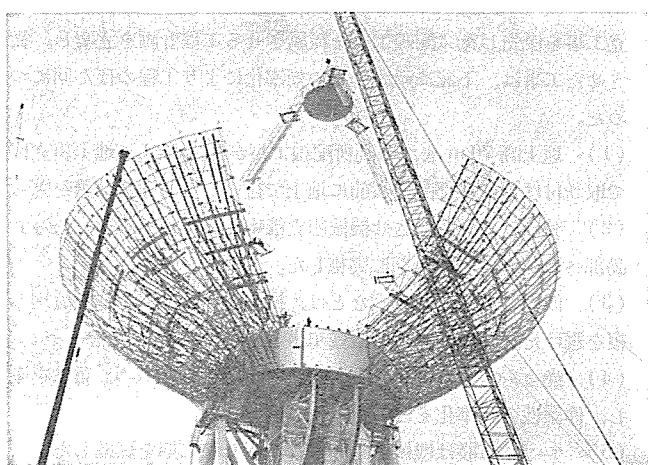


図4. 副反射鏡部の組立

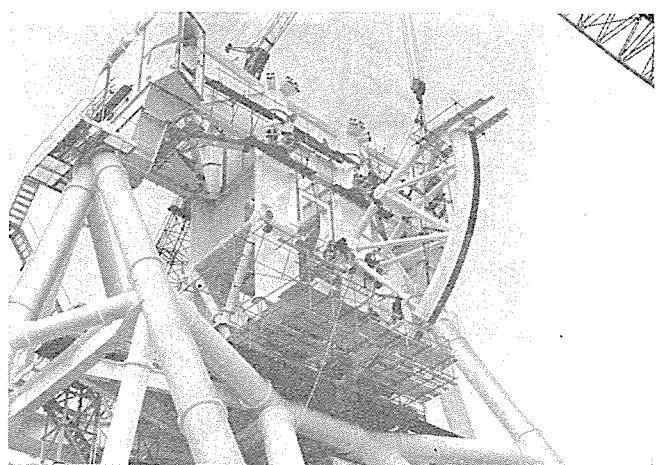


図6. 双頭セクターフレームの組立

部ユニットで31トンであった。

(3) 最高吊り上げ高さは図4.に示す副反射鏡の12トン、高さ70mであった。

表1.に各クレーンの使用期間を示す。

## 7.2 組立要領

このアンテナ工事は、大形重量物を扱い、そのうえ輸送制限や製作上の問題により分割が多く、しかも組立作業がすべて高所で行われるため、工事の手戻り防止と安全を考慮して、パート手法による組立手順、クレーン容量作業性などを考慮した吊り上げ方法の検討を行い組立工法要領書を作成し、工事に着手した。

特に注意した点は下記のとおりである。

- (1) 吊り上げ主作業以外の、分割して搬入された多くのユニットの地上組立や、アンテナ装置中央部のA<sub>z</sub>/E<sub>L</sub>角度検出用のコリメータタワー並びにA<sub>z</sub>回転構造部内の3階建機器室など従属作業の組立手順及び組立工法の検討が、上下作業の安全性や作業効率の向上に重要なポイントであったので、図5.に示すフローチャートをつくって管理した。
- (2) クレーン吊り上げ能力上、分割組立途中の状態における回転アンバランスが最小になるよう、また、分割部のボルト締め作業状態ができるだけ安全作業となるよう、組立手順、治工具の準備に工夫をした。

図6.にこの組立作業中最も慎重を要した双頭セクターフレーム(200トン)の組立状況を示す。

次に大型アンテナ組立工事に共通する規模の大きさに伴う特徴を以下に示す。

(1) 作業の手戻りや再調整が許されないため、組立工法は設計段階から計画立案し各段階ごとに検討を重ねた。また、現地状況から発生する工夫の改善は、工場及び現地双方のスタッフの確認のもと迅速に処理した。

(2) 組立要領は組立チームのリーダーを参加させ、1週間ごとに概要を、詳細は前日に説明し、ディスカッションを行い徹底を図った。

(3)  $A_z$  回転構造や主反射鏡骨組などの長尺物の組立は、一度の吊り込みでトラス構造にできないため、計算値に基づくたわみ量を見込んだ組立工法をとった。

(4) 分割部の高力ボルトは総数5万本あり、ラフ締め、本締め、増し締めの3回締めを行うので、クレーン容量の可能な限り地上組立を実施し、高所におけるボルト締め作業を減じた。図7.に反射鏡骨組みの地上組立を示す。

(5) セクターフレーム、中心リングの組立作業は、 $E_L$  軸回りのバランスに留意し、1ブロックずつ対称に組み立て、安全かつ確実に実施した。図8.に中心リングの組立を示す。

(6)  $A_z/E_L$  駆動部に早期に工事用仮設モータを取り付け、アンテナ装置を回転させ、クレーンの移動を極力減らす工夫をとり効率化を図った。

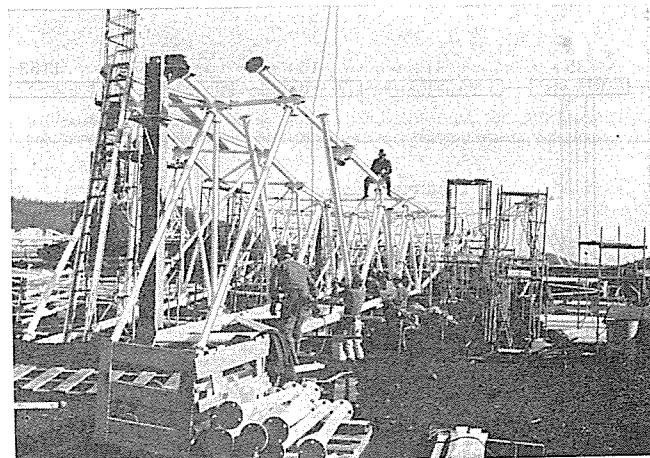


図7. 反射鏡骨組の地上組立



図8. 中心リングの組立

(7) 初冬を迎えて始まった主反射鏡の組立は、強風と寒さとの闘いで、その上危険を最も伴う作業であるため、始業前、工事監督と安全責任者による事前安全点検を実施するなど、特に安全対策の強化を図るとともに作業効率やコミュニケーションが十分行き届くチームの編成を行い目標を作業員全員に明確にするなど、士気を高める工夫をした。

## 8. 組立精度

このアンテナの特長は、大形重量構造物であるとともに、その組立精度の高さにあり、直径30mクラスの衛星通信アンテナより1けた以上も精度の高いものであった。組立にあたっては、各段階での精度を完成状態の要求精度から予測計算で割り出し、以下に示すとおり工程ごとに測定調査を行って確認した。

(1) 主反射鏡鏡面精度測定において、12,000点の測定データの入力とその計算処理は特殊測定器を使用し、パソコンとのオンラインにより自動化をした。

(2)  $-15^{\circ}\text{C}$  の夜間においても測定できるよう測定器及び周囲条件の改善をした。

(3) 測定対象物及び測定器の温度差による変化を予測計算し、測定の精度アップにつなげた。

(4) 高所での測定及び調整作業の効率を上げるため、副反射鏡パネル調整金具、並びに中心リングは、地上組立時、粗調整を実施した。

(5) 総数5万本の高力ボルトのトルク測定は、軸力計を現地に配置し、摩擦係数の確認を行い、トルクレンチの“トルグ”をその都度、補正をかけるなど、工場と同じ品質管理の要領で実施した。

(6) 測定は組立工程の変化にフレキシブルに対応できるよう、測定と評価方法を幅広く準備した。

このようにして得られた組立精度の主要なものは以下のとおりである。

- レール水平度  $0.003^{\circ}$
- $A_z/E_L$  軸の一一致度  $0.5 \text{ mm}$
- $E_L$  軸の直交度  $0.003^{\circ}$
- 集束反射鏡の設定精度  $0.03^{\circ}$
- 反射鏡パネル設定精度  $1.5 \text{ mm rms}$  (全姿勢において)

## 9. 電気配線工事

電気配線工事を行う上で配慮した点は、アンテナ機構部組立との工程上のふくそう(幅較)であった。特に、気象条件で影響の大きい組立工事を優先し電気配線工事を従属させる工程計画を立案し、従属させた工事は、下記に示す作業の効率化により工程のばん回につとめた。

(1) 地上高70mまでの高所配線工事があったが、地上組立段階で取り付けられる部品は事前に地上で行い、作業性の改善を図った。

(2) アンテナを仮駆動させ機械組立能率をあげるために、アンテナ駆動部への配線工事は早期に実施した。

(3) 仮設足場、安全設備などは、機械組立工事のものを流用し重複を避けた。そのため常に機械工事との調和に留意した。

(4) 光ファイバケーブルを導入し、ケーブル数、及びケーブル重量を削減し、作業性の効率化を図った。

(5) ケーブル布設は機械力を十分に活用して工期を短縮した。

## 10. 現地試験

客先立会検査は、1984年10月末日までにすべて終了し、客先へ無事引渡しが行われた。この間、地球から約12,000万kmの距離にあった米国惑星探査機「バイオニア12号」のシグナルキャッチに成功し、初期の性能、機能を確認することもできた。以下に現地試験の特長を示す。

- (1) 機械系試験は、組立工事の1工程ごとの測定をもって行った。
- (2) 電気系試験では、前述のとおり入念に精度良く組み立てられたことを裏付ける良好なデータが得られた。主要な設備総合特性の実測値は以下のとおりである。

### (a) 利得

送信帯(2,111 MHzにて)  
61.8 dB

受信帯(2,293 MHzにて)  
62.4 dB

### (b) アンテナ雑音温度

(天頂指向時) 25.2 K

### (c) 指向精度

全天に対し、器差補正残  
差 0.0027° rms

(3) 利得と指向精度の測定、指向角度器差補正值の決定及び空中線仰角の姿勢変化による主反射鏡変形、副反射鏡変位を補正する副反射鏡の位置微調整(ピント合わせ)などの異種類の調整・測定項目と汎用デスクトップコンピュータを使用し、一連の自動測定とし、測定精度の向上、効率化、省力化を図った。特に主ビーム形状をガウス分布と仮定して、利得、指向精度の測定を完全に自動化できたことが省力化に寄与している。このようにして得られた成果の一例を図9., 図10. に示す。

## 11. むすび

この建設工事は、45 m電波望遠のデータをもとに、64 mアンテナの建設に必要な独自の新しい技術を創意工夫して加えて実施したものであるが、設計、計画、現地工事のすべての面で、過去の貴重なデータが活用された。

一方、現地の環境の厳しさは特筆に値するものであり、長雨、濃霧、雷雲の発生などによって工事を中断されたり、-10°Cを下回

## \* ANTENNA GAIN (ISAS-64M ANTENNA) \*

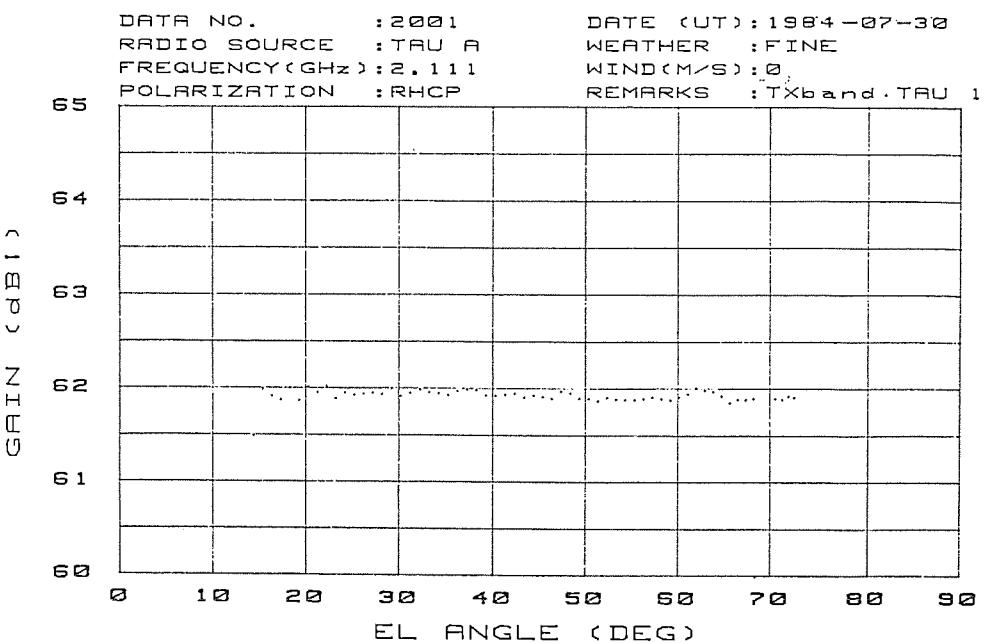


図 9. 利得の自動測定結果の一例

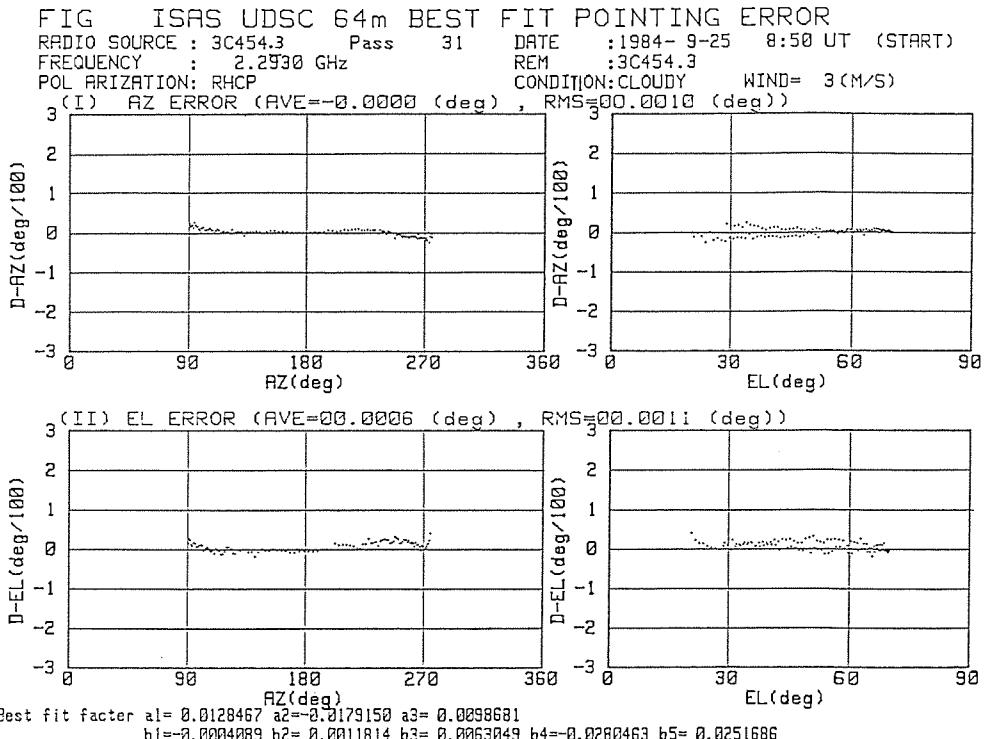


図 10. 指向精度の自動測定結果の一例

る寒冷下で作業を進めながらも、予定の工期内に無災害で完成できたことは、ハレー彗星探査機の地上基地に携わった人々が、目的を見極め一致団結して努力した熱意に負うところが大きかったと思う。また、この建設工事遂行にあたって、多くの御支援と御指導をいたいた文部省宇宙科学研究所、長野県臼田町役場、臼田警察署、並びに臼田町地元の関係各位に対し、心から感謝を申し上げる。

# ハレー彗星探査機PLANET-A構体

三浦 公亮\*・長谷川 光\*\*・松原 薫\*\*・川上 和夫\*\*\*

## 1. まえがき

日本で初めて地球の重力圈を脱出して人工惑星となったハレー彗星探査機 MS-T 5 (さきがけ) と PLANET-A 構体の特長は、アルミニウム合金を主に用いた従来の人工衛星構体に比べ、大幅に炭素繊維強化プラスチックス (以下、CFRP と呼ぶ) を採用して軽量化を図ったことである。CFRP はアルミニウム合金などと比べ比重に対する剛性比が高い、あるいは熱変形の少ない構造をつくれるなどの優れた特長をもち、我が国の人工衛星においてもアンテナリフレクタなどに用いられた実績がある。

しかし、この構体の開発を開始した当時はスラストチューブのような主荷重伝達部材に CFRP を用いるのは国内開発の宇宙飛行体として初の試みであった。そのため、各種の開発試験を実施し、所定の剛性、強度をもち、軽量化した構体を完成することができた。完成して台の上に設置した PLANET-A 構体を図 1. に示す。ここではハレー彗星探査機構体開発について述べる。PLANET-A と MS-T 5 構体は基本的に同一と考えられるので、以下特に断らない限り PLANET-A 構体で代表させる。

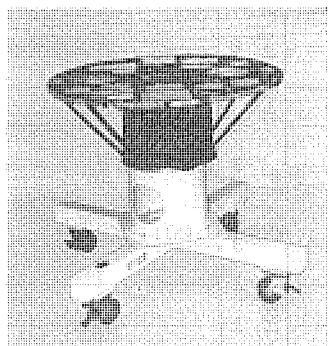


図 1. PLANET-A 構体

## 2. 開発スケジュール

1980 年度に探査機の開発が開始され、三菱電機(株)は構体の製造を担当することになった。初年度に宇宙科学研究所を中心にシステム検討が行われ、構体基本形状が決定された。それを受け 1981 年度に基本設計及び構造モデルの製作を行い、同時に CFRP を主とする材料・部材試験を実施した。1982 年度に構造モデル試験を行い、その結果を反映して設計、製作した MS-T 5, PLANET-A 構体をそれぞれ 1983 年 8 月、1984 年 2 月にシステム側へ引き渡した。

## 3. 構体の概要

PLANET-A 主構体の概要を図 2. に示す。主構体は直径 1,340 mm の機器搭載 プラットフォーム、内径 495 mm、高さ 467 mm のスラストチューブと プラットフォーム外周を支える 8 本のストラットから構成されている。スラストチューブは CFRP 製で公称肉厚 1.3 mm に CFRP を積層し、上

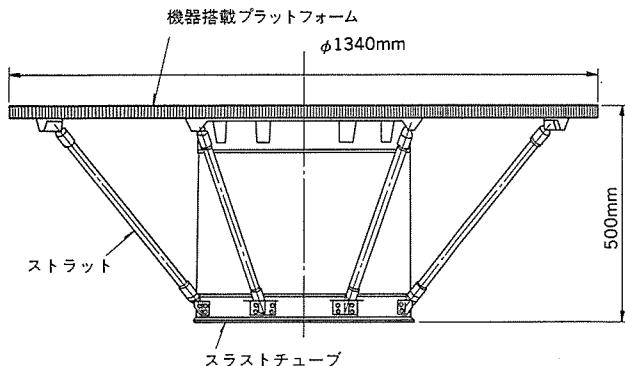


図 2. PLANET-A 主構体の概要

下端は 2.5 mm から 3 mm の厚さに補強している。機器搭載 プラットフォームとスラストチューブの結合は 12 本のボルトで行っている。スラストチューブ下端はロケット継手とのインターフェース部となり、V バンドクランプで結合される。爆発ボルトを作動させて V バンドクランプを解放することにより、軌道上で探査機とロケットを分離させる。ストラットは両端にアルミニウム合金のエンドフィッティングを接着した CFRP 製のチューブである。また、スラストチューブ側のストラットブラケット、スラストチューブ内側に接着した補強、及びセンサ取付用の 2 本のリングも CFRP で製作した。機器搭載 プラットフォームにはアルミニウムハニカムサンドイッチを用いている。

## 4. 設計条件

PLANET-A 構体は宇宙科学研究所で開発した M-3SII 型ロケットの打上げ時の定常加速度、振動環境、あるいは地上での取扱い環境を考慮して設計されている。これらの設計条件を以下に説明する。

### (1) 荷重条件

表 1. に低い周波数の振動成分も含む打上げ時の加速度荷重、表 2. に衝撃環境条件、表 3. に正弦波振動環境条件、表 4. にランダム振動環境条件を示す。表 2.～表 4. は探査機／ロケット継手結合面で規定された値である。

### (2) 強度要求

PLANET-A 構体は表 1.～表 4. の 1.25 倍厳しい環境に対しても、材料の永久変形や破壊が生じないような強度が必要である。

表 1. 打上げ加速度荷重

	機軸方向 (G)	横 方 向 (G)
發 射 時	8.0	7.0
キックモータ燃焼時	18.0	—

表 2. 衝撃環境条件

機軸 方 向	圧 縮 方 向	25 G 半正弦波 10 ms
	引 張 方 向	10 G *
横 方 向		5 G *

表 3. 正弦波振動環境条件

機軸方向		横方向	
周波数 (Hz)	振幅	周波数 (Hz)	振幅
10~12	0.69 mm o·p	10~12	0.23 mm o·p
12~15	2.2 mm o·p	12~15	2.76 mm o·p
15~30	0.69 mm o·p	15~30	0.23 mm o·p
30~80	2.5 G	30~80	0.83 G
80~500	1.0 G	80~500	0.5 G
500~2,000	5.0 G	500~2,000	1.67 G
掃引速度 1 oct/min.		掃引速度 1 oct/min.	

表 4. ランダム 振動環境条件

機軸方向		横方向	
周波数 (Hz)	PSD(G²/Hz)	周波数 (Hz)	PSD(G²/Hz)
10~40	0.05	10~60	0.01
40~80	-12 dB/oct	60~80	-12 dB/oct
80~337	0.003	80~2,000	0.003
337~600	12 dB/oct		
600~1,500	0.03		
1,500~2,000	-12 dB/oct		
60 秒 6.5 G rms		60 秒 2.5 G rms	

### (3) 剛性基準

PLANET-A 構体はロケットとの連成を避けるため、ロケット継手結合面固定の条件で機軸、横方向とも最低剛性基準を満たしながら最も軽量化できるように部材形状、寸法を決定した。更に最終的に決まった構体の振動、衝撃環境に対する応答の予測を行った。

## 5. 構造解析

有限要素法コンピュータプログラムを用いて応力、内荷重分布解析、振動解析を行い、強度要求、剛性基準を満たしながら最も軽量化できるように部材形状、寸法を決定した。更に最終的に決まった構体の振動、衝撃環境に対する応答の予測を行った。

### (1) 有限要素モデル

解析に用いた有限要素モデルを図 3. に示す。このモデルは総自由度約 2,500 で、平板要素約 380、はり(梁)要素約 80 を用いて各構造部材の剛性を模擬している。機器搭載プラットフォーム上部中央に搭載される高利得アンテナは等価剛性梁と節点集中質量で模擬している。搭載機器の質量は集中質量としてプラットフォーム上の各節点に分配している。このモデルを用いて探査機全体の振動解析と内荷重分布解析を行ったが、プラットフォームの切欠き部付近やスラストチューブの荷重集中部は別に詳細なモデルを作成して応力解析を行った。

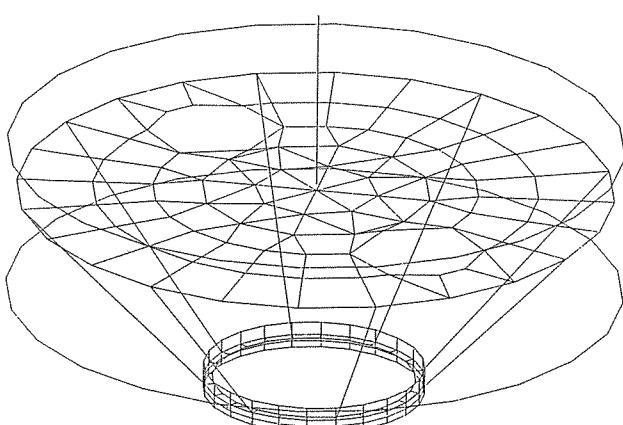


図 3. PLANET-A 構体有限要素モデル

表 5. 構体内荷重分布

		スラストチューブ			ストラット
		上端軸荷重 (kg)	上端横荷重 (kg)	下端モーメント (kg·mm)	
正弦波振動	X	—	1,610	$9.3 \times 10^5$	120
	Y	—	1,700	$9.8 \times 10^5$	110
	Z	920	—	—	190
衝撃	X	—	1,110	$6.0 \times 10^5$	120
	Y	—	1,150	$6.2 \times 10^5$	90
	Z	2,610	—	—	590
加速度	X	690	1,200	$6.0 \times 10^5$	130
	Y	690	1,210	$6.0 \times 10^5$	130
	Z	2,600	—	—	450

注 X, Y: 横軸 Z: 機軸方向

### (2) 固有振動解析

ロケット継手との結合面固定の条件での PLANET-A 構体の固有振動解析を行い、4 章(3)項の剛性基準を満たしていることの確認を行った。このとき求めた 120 Hz 以下の 10 次までの弾性振動モードは 5 章(3), (4)項の動的応答解析に用いられた。

### (3) 正弦波振動応答解析

正弦波振動環境に対する構体各部の応答を求めるため、ロケット継手結合面で表 3. の加速度が生じている状態を模擬した解析を行った。減衰係数比は周波数、モードにかかわらず 2.5% と仮定した。

### (4) 衝撃応答解析

衝撃環境に対する構体各部の応答を求めるため、ロケット継手結合面で表 2. の加速度が生じた状態を模擬した解析を行った。結合面で衝撃加速度が生じているのは 1/100 秒の間であるが、解析では衝撃開始から 2/100 秒後までの構体の応答を求めた。減衰係数比は 5 章(3)項と同じく 2.5% を仮定した。

### (5) 内荷重分布解析

表 1. の加速度が探査機に一様に加わっているものとしたときの構体内荷重分布を求めた。このときの結果と、5 章(3), (4)項の解析の結果得られた内荷重分布を表 5. にまとめる。ただし、表 5. の値は 4 章(2)項に従い、各解析の結果を 1.25 倍したものである。これらの荷重に対して各部材の安全余裕 (Margin of Safety) がすべて 0 以上の値になるように設計を行った。安全余裕は次式で定義される。

$$\text{安全余裕} = \frac{\text{材料許容応力}}{\text{材料に生ずる応力}} - 1$$

あるいは、

$$\text{安全余裕} = \frac{\text{部材強度}}{\text{部材に加わる荷重}} - 1$$

## 6. 構体開発試験

### 6.1 部材試験

部材の強度、剛性を確認し、設計データを得るために各種の部材試験を行った。部材試験として、プラットフォーム用のアルミニウムハニカムパネルの強度、剛性試験と図 4. に示す CFRP 部材の試験を実施した。特にスラストチューブは表 5. に示すように軸圧縮力、曲げモーメント、横方向荷重が組合せ荷重として加わり、このときの座屈強度が設計支配条件となる。そのため、10 種類以上の積層数及び繊維配向の組合せを考え、座屈強度を解析的に評価する一方、約 1/2.5 のモデルの

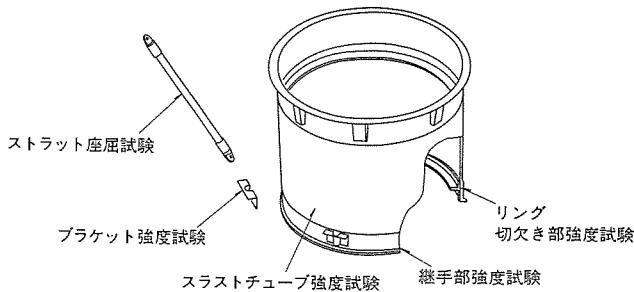


図 4. CFRP 部材試験

荷重試験による検討を行い、必要な強度をもち、しかも最も積層数が少なくて軽量化できる積層を決定した。更に実寸大のスラストチューブを製作し、油圧ジャッキで荷重を加えて強度を確認した。荷重条件は表 5. の中で最大横荷重、最大軸圧縮荷重、最大組合せ荷重ということから、それぞれ、横方向正弦波振動環境、軸圧縮方向衝撃条件、発射時加速度の 3 種類を試験した。

## 6.2 構造モデル静荷重試験

今まで述べた解析、開発試験の結果を反映して構造モデルを作成した。構造モデルは実際に打ち上げるフライモデルを考えているのと同じ構成、材料、製造方法でつくられている。スラストチューブ静荷重試験と同じ 3 種類の環境条件の内荷重分布を模擬するように最大 6 本の油圧ジャッキを用いて機器搭載プラットフォームに横方向と機軸方向荷重を同時に加えた。荷重増加及び除荷中の構体各部の変位、ひずみデータの線形性とひずみの最大値から構体が必要な強度をもっていることを確認した。

## 6.3 構造モデル振動試験

振動試験供試体は構造モデルに搭載機器の重量、重心位置を模擬したダミーと通信用アンテナ、太陽電池サブストレートなどのエンジニアリングモデルを取り付けたもので、PLANET-A の打上げ時の総重量と一致させている。動電形振動試験機により構体底部から機軸及び横軸方向の加振入力を加えた。最初に各軸それぞれについて 5 ~ 2,000 Hz の低レベル (0.5 G) 正弦波掃引によるモードルサーバイを実施し、構体の応答特性、クリティカル部分のひずみのチェックを行った。続いて表 3., 表 4. のレベルの正弦波振動試験、ランダム振動試験を実施した。試験の結果、構体に異常は認められず、構体の耐振動性が確認された。また、最低固有振動数は機軸方向が 80 Hz、横方向が 36 Hz で剛性基準の 25 Hz を上回っていることが確認された。各搭載機器位置で測定した応答加速度は一般に解析による予測値より低く、仮定した減衰係数比を含め、安全側の設計となっていたことがわかった。

## 6.4 構造モデル衝撃試験

表 2. の機軸圧縮方向衝撃を模擬する衝撃試験を行った。供試体は振動試験に用いたのと同じコンフィグレーションの構造モデルである。構造モデルを落下衝撃試験機上に固定し、落下高さなどを調整することにより、構体下端部で 25 G、10 ms の半正弦波状加速度が生ずるようにした。試験の結果構体に異常はなく、構体の耐衝撃性が確認された。試験データの例として機器搭載プラットフォーム上の応答加速度を図 5. に示す。

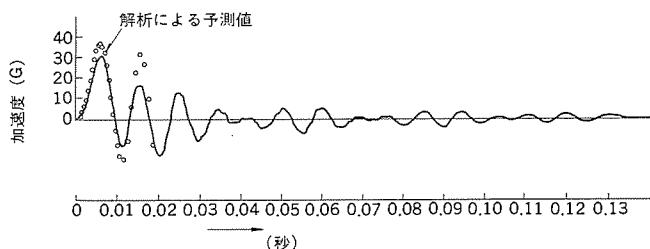


図 5. 衝撃試験時の応答加速度 (プラットフォーム中央機軸方向)

## 7. MS-T 5 と PLANET-A フライト用構体

### 7.1 重量

構造モデルを使った試験により、構体設計の妥当性が確認されたが試験データに基づき、金属部品を中心に更に軽量化を図り、構体の当初の重量目標 15.7 kg に対し、MS-T 5 フライト用構体で 13.9 kg、PLANET-A フライト用構体で 13.4 kg にすることができた。MS-T 5 と PLANET-A 構体重量の違いは主に搭載機器の違いによるプラットフォーム上の取付金具の差異によるものである。

### 7.2 構体組立精度

MS-T 5 と PLANET-A 構体には姿勢制御用センサや高利得アンテナなどの取付精度の要求される機器が搭載されるため、構体自身にも高い組立精度が必要で、ロケット縫手結合面を基準とした機器搭載プラットフォームの同心度、位相ずれ、平行度などが要求された。構造モデル製作時に部材の加工精度、組立時の精度測定、調整方法を検討し、その結果を MS-T 5, PLANET-A 構体へ反映させることにより、高精度の構体を完成することができた。

### 7.3 熱的インタフェース

探査機は軌道飛行中、厳しい熱環境条件にさらされるので、電子機器を中心とする搭載機器の温度を一定範囲内に収めるため、各種の熱制御対策がとられている。MS-T 5 と PLANET-A 構体は熱制御要求から機器搭載プラットフォーム上面を黒色塗装、下面を研磨金属面とし、プラットフォーム上的一部搭載機器取付位置にはアルミニウム板をダブルとして接着して熱放散を良くしている。

### 7.4 製造確認及び機械環境試験

MS-T 5, PLANET-A 構体とも、ストラット、スラストチューブに設計値までの荷重を加え、CFRP 及び接着部の製造確認を行った。両探査機構体ともシステム側へ引き渡されてから搭載機器の実装が行われ、振動、衝撃試験による確認が行われてから打ち上げられた。

## 8. むすび

MS-T 5, PLANET-A 構体は国産の宇宙飛翔体としては、初めて主要構造部材に CFRP を採り入れた構体として開発が開始され、強度、剛性、重量など所期の目標を達成し、現在順調に飛行を続けている。この間にもより大きく、形状の異なる衛星構体への CFRP の採用が進められており、将来は大形宇宙構造物の開発に CFRP を採り入れ、軽量、高剛性化を図り、熱的安定性を高めることが考えられる。

最後に、この構体の製作において設計当初から種々の助言と御指導をいただいた、宇宙科学研究所の小野田助教授、酒巻助手をはじめとする関係者に厚く御礼を申し上げる。

# 三菱三次元レーザ加工機《MELCUT-3DCM》

猪谷耕太郎\*・柴山耕三郎\*・服部晋一\*・池田 隆\*・北島利雄\*

## 1. まえがき

多品種少量生産時代に入り、レーザ加工機を用いたFAシステムの構築が随所で見られるようになった。これはレーザ加工の最大の特長である

- (1) 適用の柔軟性(プログラム一つで対象ワークの変化に容易に対応出来る)
  - (2) 非接触加工である(機械加工のように刃先の磨耗がない)
  - (3) 熟練したオペレータが不要
- などの工作機械としての有用性が広く産業界で認識されたためである。

このような背景のもと、平板用二次元レーザ加工機はより精密により速い加工を目指して技術の進展が行われているが、同時に従来の平板加工機では不可能であった三次元立体形状物の加工が可能な三次元5軸レーザ加工機も市場に現われ始めた。ここでは、当社が開発し販売している、三次元5軸レーザ加工機《MELCUT-3DCM》につき、その概要及び特長、構成などを述べる。

## 2. システム概要

図1.に三次元レーザ加工機《MELCUT-3DCM》の外観写真を示す。三菱三次元レーザ加工機《MELCUT-3DCM》は直交3軸(X, Y, Z)旋回、首振り2軸( $\theta_1, \theta_2$ )の合計5軸の軸構成をもち、被加工面が立体的な形状をしていても被加工面と光軸とはいつも垂直になるように、レーザヘッド姿勢の設定が可能である。

加工機本体はワークを載せるテーブルと、ガントリー形の5軸光走査機構部とから成っている。光走査方式でワーク固定だから、ワークを移動させる方法と比べて、

- (1) 設置スペースが1/2~1/4となる
- (2) ワークが固定なのでティーチングがやりやすい
- (3) 薄板の絞り部品でも、固定状態で切断を行うので、クランプの

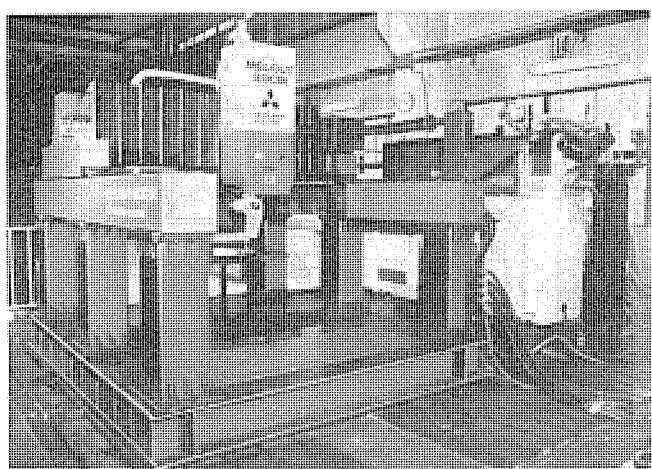


図1. 三菱三次元レーザ加工機《MELCUT-3DCM》の外観

必要がない

などの特長をもっている。

また、光走査機構部に大形の三次元測定機などで採用されることの多いガントリー形の構造を用いているので、機械系の剛性及び精度が高く、高品質の加工が可能となっている。

一般に、三次元レーザ加工機ではコントローラに二次元レーザ加工機で通常用いられている紙テープ入力のNCを採用せず、むしろ、ロボットで用いられているティーチングプレイバック方式を採用している。これは、三次元5軸になるとNCの場合の主な入力手段である紙テープの作成が極めて煩雑になり現実的でないからである。ただし、《MELCUT-3DCM》の場合オプションとして、ティーチングプレイバック以外にもCAD/CAMからの5軸NCデータを基に、RS232Cインターフェースを用いてDNC運転を行うことも可能である。

## 3. 特長

表1.に今までに開発され発売されている三次元レーザ加工機の形式比較を示す。大きく分けると、従来の二次元平板加工機の加工ヘッド部の形を三次元用に変化させたタイプ、すなわち門形加工機に旋回及び首振りヘッドを設けたものと、多関節ロボットを搭載したフレキシブルビームガイド方式と呼ばれるタイプとに二分される。表1.にも示しているように多関節ロボット搭載形の短所は、他のタイプに比べて剛性不足で高精度の加工に適さない点であるが、その反面廉価で操作性が良いという長所がある。また、レーザビームは指向性が強く、極めて高いエネルギーを持っているので、加工ヘッドが真横を向く可能性がある三次元レーザ加工機の場合、安全に対する特別の配慮が必要である。3.2節で詳細に触れるが、当社の三次元レーザ加工機《MELCUT-3DCM》では、対象ワークと加工ヘッドノズルとの距離が一定限度以上離れたら、自動的にレーザ発振が停止するような誤照射防止センサが標準装備され、安全性を強く意識した製品となっている。

以下に《MELCUT-3DCM》の特長を述べる。

### 3.1 ティーチング時間の短縮化

現在、三次元レーザ加工機を運転する上で最大の難関はティーチングに時間がかかり過ぎることである。当然ながら、将来方向としてはティーチングレス、すなわち、けがき線などを自動的にセンサが値ってティーチングをしてしまうというようなことや、既に述べたようなCAD/CAMの5軸NCデータを用いて、伝送によりDNC運転を行うことになるであろう。ただし、現状ではCAD/CAMのあるユーザーは少数の上に、ティーチングレス化も不可能であるから、ティーチングを簡単に行えるような方法を考える必要がある。このため、ティーチングボックスに次の三つのティーチング用モードを設け、ティーチング時間の短縮化を図っている。

- (1) 関節モード：5軸各軸の単独操作用
- (2) 回転モード：ヘッド先端位置を固定したまま加工ヘッドの姿勢を変えたり、旋回するためのもの

表 1. 三次元レーザ加工機各種形式比較表

方 式	5軸光走査	5軸光走査	1軸(X軸)テーブル移動 4軸光走査	2軸(X, Y軸)テーブル移動 3軸光走査	フレキシブルビームガイド
形 式	門 形	片持ち	門 形	門 形	多関節ロボット 搭載形
制 御 軸 数	同時 5 軸	同時 5 軸	同時 5 軸	同時 5 軸	多軸同時
特 長	①設置スペース最小。 ②ワーク固定なので、ティーチングがやりやすい。 ③繰返し精度良。	①設置スペース最小。 ②ワーク固定なので、ティーチングがやりやすい。 ③片持ちなので、精度面で不利。	①設置スペース、5軸光走査の2倍。 ②ワークが移動するので、ティーチングが難しくなる。	①設置スペース、5軸光走査の4倍。 ②ワークが移動するので、ティーチングが難しくなる。 ③光軸の安定性は同一。	①繰返し精度が、他方式より1けた以上悪い。 ②安全上、特に格別の配慮がいる。誤照射防止センサetc。
用 途	立体部品の切断、溶接	同 左	同 左	同 左	同 左
備 考	MELCO.	—	—	—	—

(3) ツールモード： ヘッドの姿勢は変えずに、ヘッド軸方向の移動を可能とするためのもの

上記(2), (3)のモードを用いることにより、加工点位置のねらいをはずすことなく加工ヘッドをワークに対して垂直にしたり、垂直のままギャップ長のみを変化させることができとなり、大幅なティーチング時間の節約が可能となっている。

### 3.2 ハイトセンサの標準装備

対象ワークが平板の二次元レーザ加工機の場合、板のそりを補正する装置としてメカ接触式の倣いセンサが一般的である。ところが、対象が複雑な凹凸をもつ三次元立体ワークとなると、メカ接触式のセンサではセンサ自身の形状が大き過ぎて使えない。この欠点を解消するものとして、半導体レーザを用いた非接触式のハイトセンサを装備し

て下記の機能をもたらせている。

まず、ティーチング時の機能として、

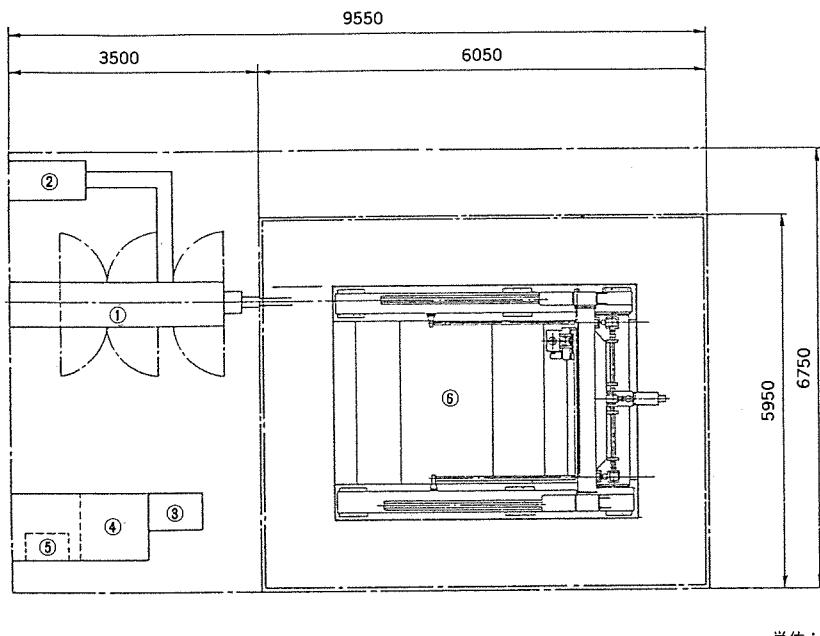
(1) 距離の設定： 加工ヘッドとワーク面との距離をデジタル表示して、レーザ加工において一番肝要なヘッドワーク間距離のティーチングを容易にする。

(2) 姿勢の設定： 従来、目分量でしか判別出来なかった加工ヘッドと被加工面とのなす角度を、半導体レーザ光量の変化として検知することにより、加工ヘッドの姿勢をほぼ垂直に設定できる。

また、オンラインすなわち実加工時の機能として、

(3) 距離の一定制御： 加工ヘッドとワーク間距離を  $\pm 0.5 \text{ mm}$  の精度で一定に制御する。

(4) 誤照射防止： 加工ヘッドが真横を向いても安全なように、ヘ



品番	名 称
①	レーザ発振器
②	発振器冷却ユニット
③	発振器操作盤
④	NC装置(本体)
⑤	同上(CRT)
⑥	加工テーブル

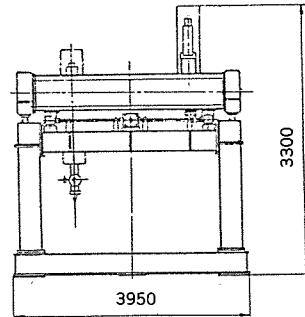


図 2. 三次元レーザ加工機《MELCUT-3 DCM》の標準機器配置図

ッドとワーク間距離がある一定値を越えると自動的にレーザ発振が停止する。  
などがある。

以上詳述したとおり、ハイセンサの装備により、装置の信頼性、安全性、操作性の向上を図っている。

#### 4. 機器構成

三次元レーザ加工機《MELCUT-3 DCM》の主要機器構成は次のとおりである。

- (1) 炭酸ガスレーザ発振器
- (2) 三次元加工機本体

表 2. レーザ発振器仕様

形名	ML10E	ML15E
形式	三軸直交形 SD式(無声放電起)	
電源容量	18 kVA	55 kVA
ビームモード	シングルモード(TEM <sub>00</sub> 主成分)	
定格出力	500 W(TEM <sub>00</sub> )	1,500 W(TEM <sub>00</sub> )
パルス機能	100~3,000 Hz	100~1,000 Hz
出力ビーム径	約Φ13	約Φ21
ビーム発散角	3 mm rad以下(全角)	
出力安定度	±2%以下(出力フィードバック制御時)	
レーザガス消費量	50 l/24 h	100 l/24 h
発振器ミラー	全反射鏡 材質 ZnSe 部分反射鏡 材質 ZnSe	
加工対象		
金属	0.5~3 t	0.5~6 t
非金属	10 t以下	25 t以下

注 金屬:SPH, SPC, チタン etc.

非金属:FRP, CFRP, 树脂 etc.

表 3. 加工機標準仕様

(1) 加工機寸法	X = 3,950 mm Y = 4,050 mm
(2) 各軸移動距離	X = 2,000 mm Y = 2,500 mm Z = 500 mm $\theta_1$ (旋回) = ±270° $\theta_2$ (首振り) = ±90°
(3) 標返し位置決め精度	X, Y 軸 ±0.035 mm Z 軸 ±0.035 mm $\theta_1$ ±0.02° $\theta_2$ ±0.02°
(4) 加工速度	0~10 m/分
早送り速度	0~10 m/分
(5) 加工ヘッド集光レンズ	材質 ZnSe 直 径 Φ2 インチ 焦点距離 7.5 インチ

表 4. コントローラ標準仕様

形 式	銅板製自立タイプ
形 名	MELDAS-R2
制御軸数	同時 5 軸制御(X, Y, Z, $\theta_1$ , $\theta_2$ )
制御方式	PTP 表示, CP 制御
表示方法	ティーチングプレイバック
位置制御方式	ソフトウェアサーボ
位置検出方式	レゾルバ
位置順序記憶	パブルメモリ
記憶容量	6,000 点(max)
プログラム数	256 個
速度制御方式	先端線速一定制御
表示	14" カラー CRT
外形寸法(mm)	1,500(W) × 1,800(H) × 540(D)
機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>・補助機能 直線, 円弧, ステップ</li> <li>・空間シフト機能</li> <li>・ミラーイメージ機能</li> <li>・ティーチングデータの編集機能</li> <li>・アラーム表示機能</li> <li>・センサ機能 ハイトセンサ制御, 他</li> </ul>

#### (3) コントローラ

各機器の仕様を表 2., 表 3. 及び表 4. に、標準の機器配置を図 2. に示す。

炭酸ガスレーザ発振器は定評ある SD(無声放電)励起方式三軸直交形を採用しており、連続 24 時間以上のガス封じ切り運転が可能である。また、次章で詳述するように、加工機本体は門形ガントリー構造なので、剛性が極めて高く高速高精度加工に適している。

コントローラは 16 ビットマイクロコンピュータ 8086, 8087 を主 CPU として構成され、ティーチングデータ格納には 0.5 MB のバブルメモリが用意されている。また、マンマシンインターフェースとしては 14 インチカラー CRT とキーボードがあり、外部メモリとしてはカセットデッキ(CMT)が標準である。

#### 5. 構造解析

レーザ加工機による加工製品の品質に大きな影響を与える要因の一つに、駆動メカニズムを含めた全体機械構造の静剛性ならびに動剛性がある。前者はソフトウェアの直線補間、円弧補間機能による切断加工品の真直度、真円度と関連し、後者は高速切断時に加減速時の機械構造の追従性能を決定する。

静剛性に関して重要な問題は、はり構造体の自重変形である。一方、動剛性を決定する因子は、

- (1) 加減速時の慣性力に関する静剛性
- (2) 固有振動数と固有モード
- (3) 機械の減衰能

であり、これらの要因により高速切断時の、特に加減速における過渡振動特性が決定される。指數関数形インパルス入力としての慣性

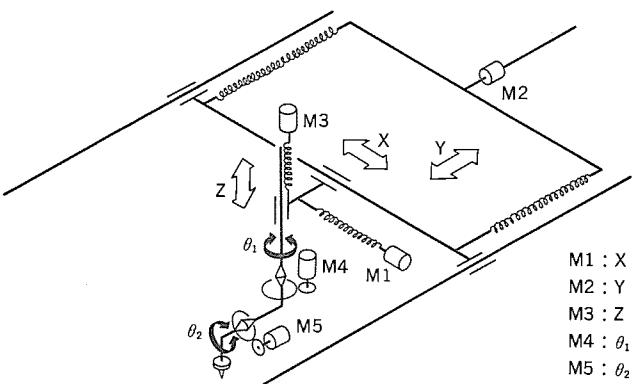


図 3. 三次元レーザ加工機《MELCUT-3 DCM》の軸構成図

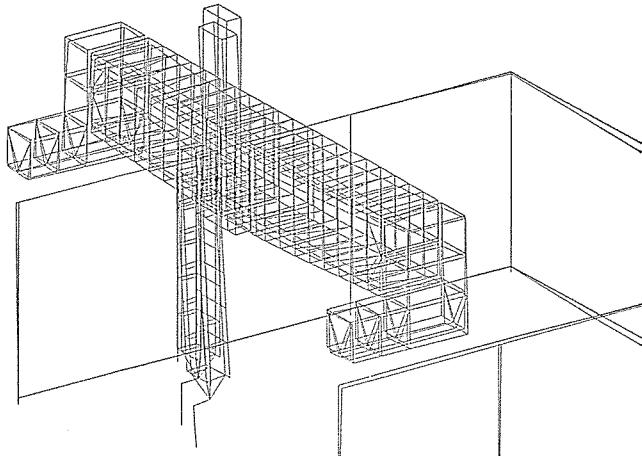


図 4. 三次元レーザ加工機《MELCUT-3 DCM》構造解析の一例

力に対する変位の応答量は、切断面に波うちとして現れるため、この最大応答量を可能な限り小さくする必要がある。

三次元レーザ加工機《MELCUT-3 DCM》の構造解析の一例として、ガントリー形の軸構成を図3.に、有限要素法による構造解析結果を図4.に示す。

図3.はX, Y, Z直交3軸、 $\theta_1$ ,  $\theta_2$ 回転2軸の軸構成をもつ5軸同時制御の軸構成を表す。X, Y 2軸によってガントリー本体は構成され、加工ヘッド及びZ軸コラムはX軸にオーバハンジする形で取り付けられている。

図4.はこのレーザ加工機のサーボモータに対し、5軸同時に最大の加減速度を加えた場合の変位の最大応答量を示したものである。図から明らかなように、Z軸に取り付けられている加工ヘッドノズル先端はかなりの応答変位量を示しているが、ガントリー形の場合、その構造的堅ろうさから設計基準の一つとして、応答の最大変位量を10  $\mu\text{m}$ 以下に抑え込むことが可能であり、レーザ切断の特長を最大限に発揮しうる精密切断が可能である。

## 6. 三次元立体形状物の加工例

三次元レーザ加工機《MELCUT-3 DCM》は既に述べたように、加工ヘッドの旋回及び真横までの首振りが可能なので、複雑な凹凸を

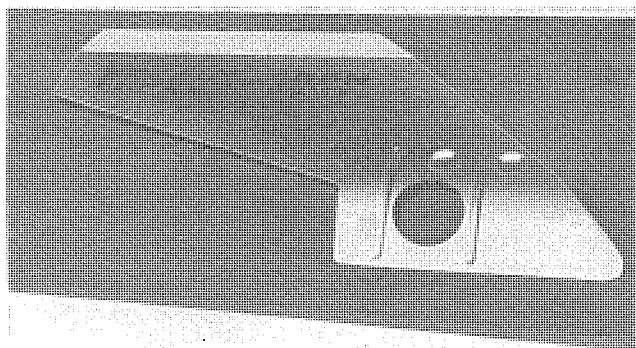


図 5. 三次元レーザ加工機《MELCUT-3 DCM》によるサンプル加工の一例

表 5. 三次元レーザ加工条件

	外周切断	図形切断
発振器	レーザ出力	375 W
	出力形態	cw
	ビーエク出力	—
	デューティ	—
	周波数	—
加工機	加工速度	3.0 m/分
	アシストガス	O <sub>2</sub>
	レンズ	ZnSe, f=7.5インチ
	焦点a b値	f±0
制御装置	ティーチングポイント数	225
	ティーチング時間	約1.0時間

もつ三次元立体形状物のほとんどが加工できる。図5.に示すのはSPC 1.0 mm厚の三次元絞り成型品の外周切削及び円弧と文字切削を行った例である。切削面にはドロスはほとんど見られず、切削面粗度は10  $\mu\text{m}$ 以下である。このときのティーチングポイント及びティーチング時間を含めた加工条件は表5.に示すとおりである。

## 7. むすび

三菱三次元レーザ加工機《MELCUT-3 DCM》の概要、特長、機器構成、構造解析結果などについて述べ、併せてその適用としてのサンプル切削例を示した。三次元レーザ加工機は平板加工のみならず、複雑な凹凸をもつ三次元立体形状品の低ひずみ加工が可能なこれから加工機である。歴史的にみても、三次元レーザ加工機が市場に現れ始めたのはまだほんの2、3年前からであり、これからの発展が大きく期待されている。今後は、ソフトウェアの充実を図ることにより、より使いやすい装置にしてゆく所存である。

# 日本気象協会向け気象情報集配信システム

玉井正勝\*・宇野孝雄\*\*・徳田昭彦\*\*\*・山田知満\*\*\*・平野弥寿雄\*\*\*・森成昭\*\*・鳥村浩+

## 1. まえがき

近年、気象庁の観測体制の充実と通信システムの整備によって、多様な気象データが迅速に入手できるようになったため、そのデータを日常生活、経営戦略、異常気象対策、災害防止などに活用しようという動きが活発になってきた。気象庁の気象データといえば、テレビ、新聞の天気予報で有名になった AMeDAS (地域気象観測網)によるもの、ADESS(自動気象資料編集中継装置)によるもの、REDIS(気象レーダデジタル化システム)によるものなど多種多様である。

これらの気象情報の収集、蓄積、加工、提供のためのシステムとして《MELCOM 70》を利用して MICOS LAN\* (日本気象協会のシステム名称)を開発し日本気象協会に納入した。MICOS LAN を構成する主力コンピュータは、東京センターが《MELCOM 70 モデル 50》，新潟及び北陸サブセンターが《MELCOM 70 モデル 30C》で共に通常運転系(以下、主機と称す)とバックアップ系(以下、副機と称す)のデュプレックスシステムとなっている(図 1.)。通信回線としては、東京センターとサブセンター間の伝送には DDX パケット交換を、またユーザーへの配信には DDX パケット交換、特定回線及び公衆回線を使用し

ている。

## 2. システム設計の基本思想

MICOS LAN の主目的は各種気象情報を集信し、利用目的に合わせて編集・選択し、即時にユーザーへ配信することである。この目的を実現させるために、このシステムは次の点に重点をおいて設計した。

### (1) 高速で確実なデータ配信

気象情報の中には津波や地震情報、警報や注意報などの緊急を要する電文があり、この種の電文は即時にかつ正確にユーザーへ配信されなければならない。

### (2) 分散処理

ローカルな地域の気象情報に対してきめ細かいサポートを可能にするため、東京の解説予報部をセンターとし、新潟及び北陸をサブセンターとする分散処理方式とする。

### (3) 操作の容易性

データ集信から配信まで自動運転を行い、通常はオペレータの介入を必要としないようにする。配信メニューの更新時や新規ユーザー登録時に必要な各種パラメータの設定は、オペレータがシステム運転中に容易に

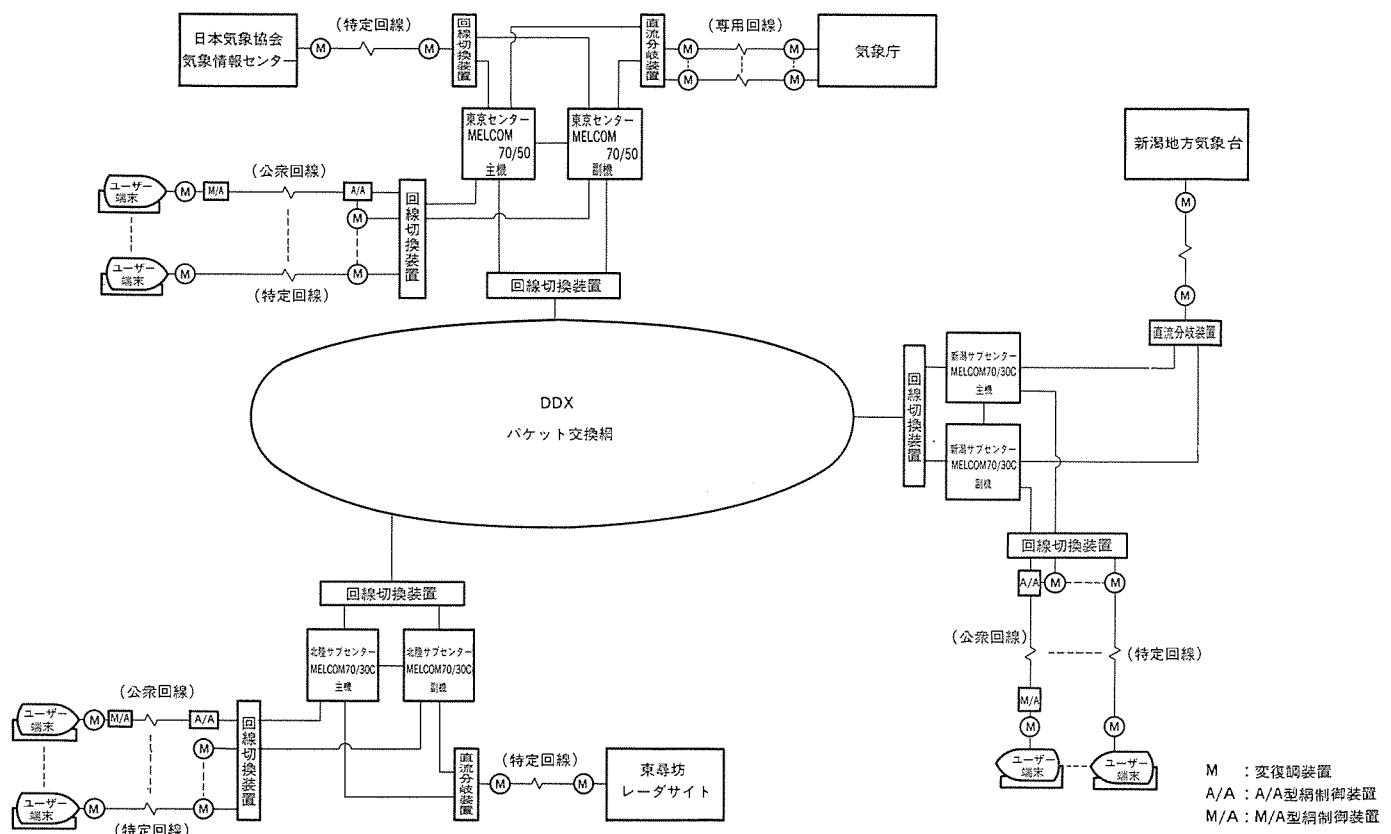


図 1. システム構成図

\* 日本気象協会 \*\* 三菱電機(株)コンピュータシステム製作所  
\*\*\* 三菱電機関西コンピュータシステム(株) + 三菱電機(株)関西支社

変更できるように工夫する。

#### (4) システムの拡張性

システムの稼働後に多数のユーザー端末を接続する必要があり、また扱うデータ量も増加すると予想される。このためこのシステムでは、必要なハードウェアの増設のみで容易に対応できるように、拡張性を特に重視してソフトウェアを構築する。

#### (5) 集信データの活用

集信したデータは、ユーザーへの配信と同時にセンターやサブセンターでの部内処理（天気予報や解説業務など）としても利用する。このため、あとで過去照会や統計処理が容易に行えるように分類し、一定期間保存する。

#### (6) 障害対策

気象情報の集配信処理は昼夜休みなく行われる。緊急を要する非常電文がいつ集信されるか予想できない。このため障害発生時でもシステムの運転を停止することは許されない。そこで障害に対して特に以下の点に留意して設計した。

- (a) 誤操作などによるシステムの障害を未然に防ぐためにキー操作ができるだけ少なくし、また入力されたパラメータのチェックを厳重に行う。
- (b) 軽度の障害発生時にはオペレータに通知し、事前の防止策がとれるようにする。
- (c) 重障害発生時には、副機のシステムに自動的に切り換えて集配信処理を続行するようとする。主機への復帰は、オペレータの簡単なコマンド操作により短時間に容易に行えるようとする。
- (d) 通信回線やユーザー端末側に発生した障害により正常にデータが配信できなかった場合オペレータに通知する。データの再送は簡単な操作により容易に行えるようとする。
- (e) 集信ログ、配信ログ及びコンソールログを一定期間保存し、障害が発生した場合の原因究明に役立てる。

### 3. 集配信データ

このシステムで扱う気象情報には以下のものがある。図2.にデータの流れ図を示す。

#### (1) AMeDAS

日本国内約1,300地点で自動観測された降水量、風向、風速、気温、日照、積雪深の数値データである。

#### (2) ADESS

国内外の気象官署で観測したデータや、各地方気象台から発表されたデータであり、約130種の多種多様な電文である。これらの気象情報は、観測された実況データとこのデータを処理した予報や警報などに分けることができる。主なものについて紹介する。

##### (a) 実況データ

地上実況として国内約160地点で観測された風向、風速、気温、湿度、雨量、気圧、天気、雲量、雲形、視程などの数値データがある。これらのデータは3時間ごとに観測される。その他、海上実況や高層実況、航空実況などがある。

地震や津波、火山の噴火などが発生するとその都度観測データが報告される。また台風が発生し接近すると臨時観測が行われる。その他、季節の初霜、初雪、初氷、ひょう、雷などの特殊気象についての情報がある。

##### (b) 地方気象台発表データ

天気予報は約70の気象官署で1日5回発表されるカナ文字の電

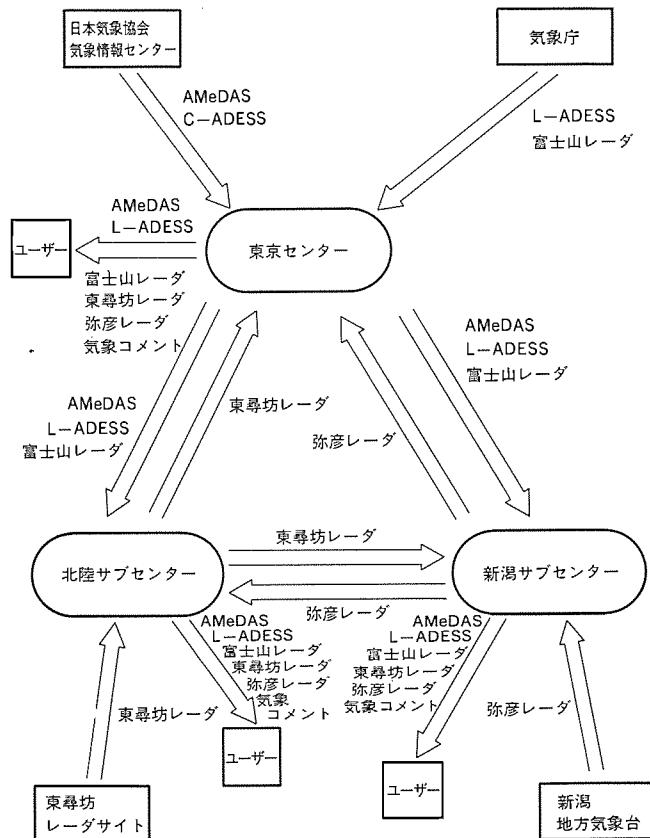


図2. データの流れ図

文である。この中には降水確率、最高気温、最低気温の予想も含まれている。注意報や警報はその都度臨時に発表される電文であり、地域コードと注警報の種類コード及びカナ文字からなっている。

#### (3) REDIS

各地のレーダーサイト（富士山、弥彦、東尋坊）で観測されたレーダー画像データ（エコー強度図、エコー頂高度図、1時間積算強度図）であり、1画面当たり約20Kバイトのバイナリデータである。

#### (4) 気象コメント

日本気象協会で独自に編集、加工してユーザーに配信する電文を気象コメントと称している。全国のAMeDASデータで雨量が多い地点を選択したもの、地上実況データで地点コードにより選択したもの、及びローカル端末で作成した漢字まじりの電文などがある。

### 4. システム構成

センターとサブセンターは、データ処理量の違いから中央処理装置の種類が異なるほかはほぼ同一の構成である。東京センターのハードウェア構成を図3.に示す。この構成の主な特長は次のとおりである。

#### (1) 複数回線の収容

気象情報の集信は構内回線、特定回線、DDXパケット交換により行う。それぞれ回線速度や伝送手順、伝送フォーマットが異なる。気象情報の配信は通常主機が回線切換装置を経由して、DDXパケット交換、特定回線、公衆回線により行う。

#### (2) システム監視装置

気象情報の監視とデュプレックスシステム運用のためにMICOS LAN専用のシステム監視装置を開発した。装置の外観を図4.に示す。気象情報の中で特に重要な電文を集信した場合、ランプ点灯とブザー音によりオペレータに通知する。システム監視装置のパネルは、集配信した

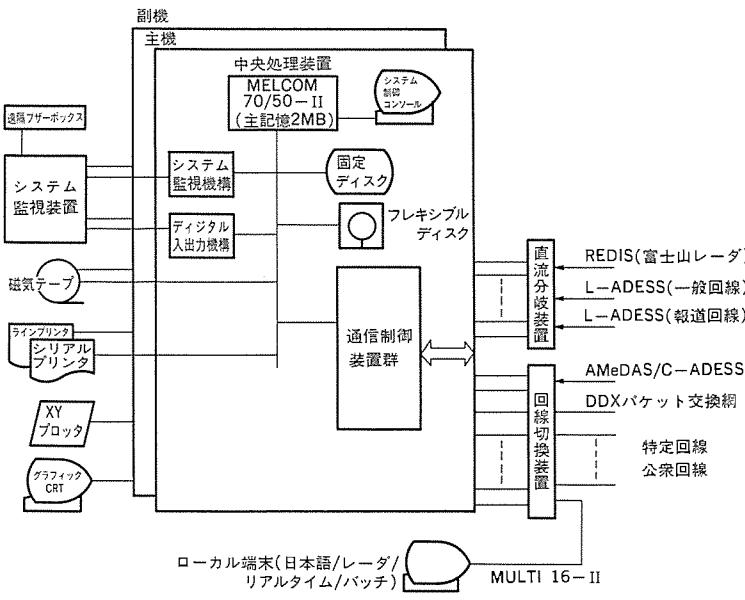


図 3. 東京センターのハードウェア構成図

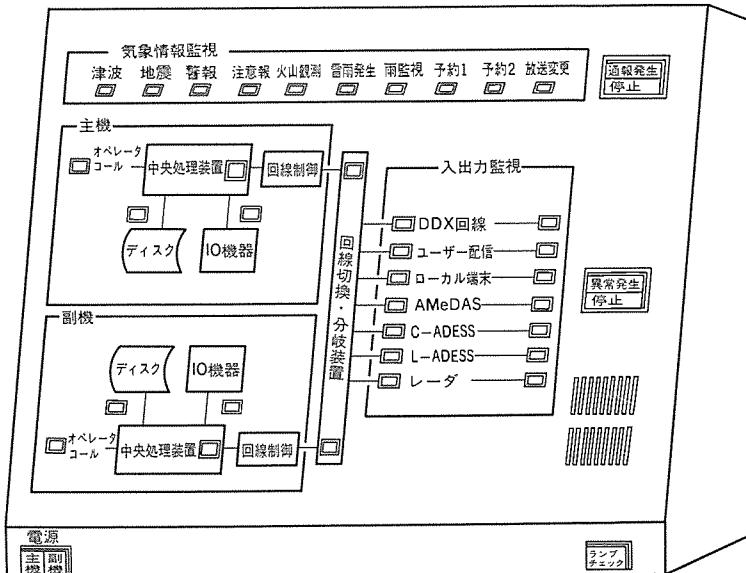


図 4. システム監視装置

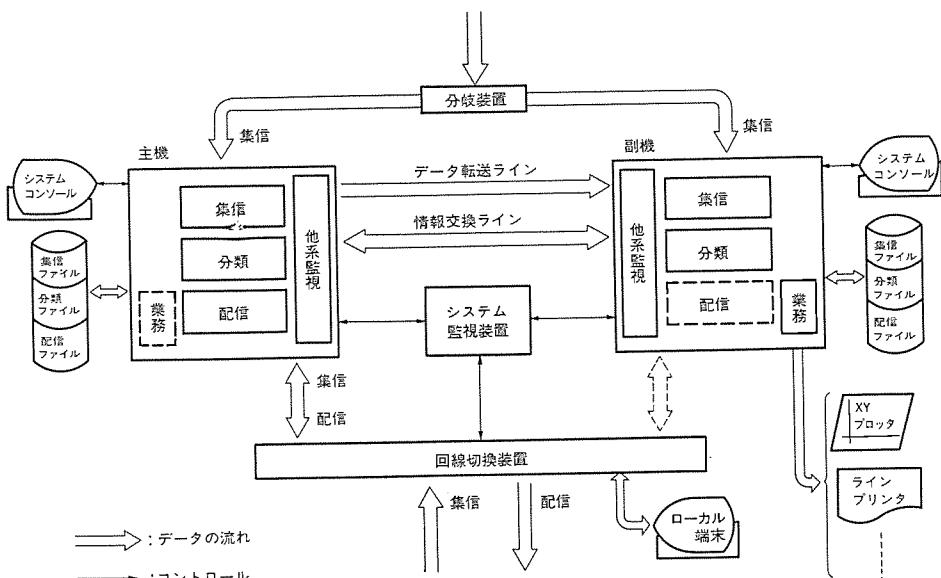


図 5. 二重系のシステム制御概念図

データの種類や主機・副機の運転状態及び回線の障害の有無が一見して判別できるように工夫してある。

#### (3) パーソナルコンピュータとの接続

センター やサブセンター のローカル端末として、またユーザー端末として多数のパーソナルコンピュータ《MULTI 16-II》を使用している。これらの端末にはデジタルライザ やカラーハードコピー、日本語シリアルプリンタなどを接続して、きめ細かなデータの加工や表示を行う。

#### (4) 複数ジョブの並行処理

《MELCOM 70》は、オペレーティングシステム UOS を使用しリアルタイムジョブ、TSS ジョブ、バッチジョブ、システムジョブの並行処理を実現している。端末の《MULTI 16-II》は、日本語 CP/M-86 及び日本語コンカレント CP/M-86 を使用している。データの受信と解析及び表示が並行して処理できるように設計してある。

## 5. 二重系のシステム制御

このシステムは24時間稼働のシステムであり、システム障害などによる気象情報の欠落、遅延は許されない。このため主機と副機による二重系のシステム構成をとり、集配信業務が円滑に運用できるように管理している(図 5.)。

#### (1) 両系間でのデータ転送

無手順の回線からのデータ集信は分歧装置により両系同時に投入するが、伝送手順のある回線からのデータ集信は片系で投入し他系へデータを転送する方式をとっている。

#### (2) 両系間での情報交換

両系間ではデータ転送とは別に次のような情報を常時交換しており、両系間のフェーズ合せとソフトウェアチェックを行っている。

(a) 現在時刻

(b) 主機/副機の識別コード

(c) 配信完了ログ (データ種別、配信先コード、シーケンスNo.)

(d) 回線サポート状態

(e) その他 (CPU状態、系切換要求など)

#### (3) ハードウェアチェックと回線の自動切換

主機と副機は、お互いに相手のハードウェア状態と回線切換装置の状態をデジタル信号により常時監視している。回線の自動切換は、副機が主機の次のようないエラーを検知したときに行う。

(a) 中央処理装置のハードウェアエラー

(b) ディスクの入出力エラー

(c) 通信制御装置の重障害

#### (4) 主機復帰時の手順

主機の故障が復帰したとき次の手順により正常時の状態に戻す。

- (a) 主機の イニシアルプログラムロード  
 (b) 主機から副機へ割込みを出すことにより、主機と副機の通信を再開し、副機の持つ配信スケジュールポイント、注警報フラグなどを主機へ転送する。  
 (c) 主機の コンソール から回線の切換を指示する。

## 6. 集配信業務内容

気象情報の集配信業務の中で主要な機能と処理内容は次のとおりである。

### 6.1 ユーザー配信

気象情報を多数のユーザー端末へ同時に配信するため次のような機能がある。

#### (1) ユーザーごとの配信メニューによる管理

ユーザーが必要としている気象情報は、ユーザーごとに異なり多種多様である。また季節などによって変わる場合もある。このためユーザーごとに配信メニューのテーブルを作成して管理している。この配信メニューは、オペレータがTSS端末のスクリーンエディタを用いて容易に更新することが可能であり、ユーザーの電話番号、配信時刻の範囲、曜日や祝日の指定、配信データの種類、データの冒頭符や官署名、地点コードなどを任意に選択できる。

#### (2) 配信データの優先順位

配信データは、非常電文(ADESSの津波や地震情報、警報など)と一般電文(その他のADESS、AMeDAS、気象コメント)及びレーダデータに区別される。配信用のファイルはそれぞれ別々に作成しており、非常電文は最優先で配信する。

#### (3) 伝送制御手順による高信頼化

ユーザー端末はパソコンクラス以上の計算機を想定している。DDXパケット交換は遠距離ユーザー向きであり、パケット多重化機能により複数ユーザーへ同時配信ができる。1電文ごとに相手局の発呼と呼の切替を行うVC(バーチャルコール)の方式を採用している。

特定回線と公衆回線は、BSCコンテナション手順に統一して配信を行う。特定回線は、近距離で多量の情報を必要としているユーザー向きであり、公衆回線は、少量の情報を必要とするユーザー向きである。

#### (4) レーダ画像データの圧縮

レーダ画像データは、1画素が4ビットからなる4万個の画素で構成されており、集信するデータの中で最もデータ量が多い。そこで1電文当たり約20Kバイトの画像データを入力すると同時に主記憶上でデータの圧縮を行い、平均1/5程度の量にしてファイリング及びユーザー配信を行っている。データの圧縮は、同一の画素が8個以上連続する場合、圧縮指示符と圧縮データ及び連続個数に置き換える方式をとっている(図6.)。この圧縮方法は、MICOS LANで独自に開発したものである。レーダ画像データの圧縮は、システムの負荷軽減、配信時間の短縮、回線の伝送効率向上に、また DDXパケット交換や公衆回線での料金対策上も大変有効となっている。

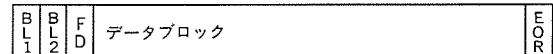
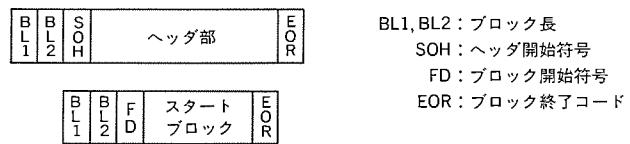
#### (5) 地上実況データの編集と配信

3時間ごとに集信されるADESSの地上実況データは、あとで訂正電文が入る場合がある。このためMICOS LANではそのまま配信せず一時蓄積し、訂正文が入れば内容を更新し、毎時20分と40分に最新情報として必要な地点のデータのみをユーザーへ配信する。

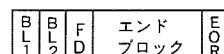
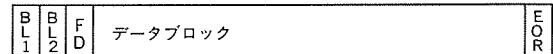
#### (6) AMeDASの一括配信と統計処理

AMeDASは、毎時間、府県単位を1電文として全部で63電文集信する。DDXパケット交換や時定回線で接続のユーザーへは1電文ご

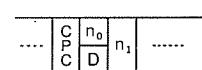
レーダデータフォーマット(DDXパケット網の場合)



⋮



データ圧縮フォーマット



CPC : 圧縮指示符 FC<sub>16</sub>  
 D : 圧縮データ 4ビット単位  
 n<sub>0</sub>, n<sub>1</sub> : 連続個数 2~2048の範囲

データ圧縮例

1	2	2	2	2	2	2	2	2
2	2	2	2	2	2	2	2	0

1	F	0	0	2
2	C	2	7	0

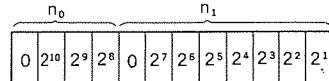


図 6. レーダ画像データの圧縮

とに配信する。しかし公衆回線ユーザーではダイヤル発呼に時間がかかるので、1電文ごとに配信すると効率が悪い。このため公衆回線ユーザーへは、全電文を集信後ユーザーが必要とする府県データを集め一度に配信する方式をとっている。センターでは、毎時間分類したAMeDASデータから全国雨量上位20地点及び関東雨量上位20地点を自動的に求めており、必要とするユーザーへ配信することが可能である。

#### (7) ローカル端末で作成したデータの配信

センターやサブセンターのローカル端末で作成したデータは、独自の冒頭符を附加することにより、一般電文としてユーザーへ配信することができる。データとしては、キャラクタのほか、漢字まじりの文章やデジタイザで作成した天気図などのバイナリデータがあり、データフォーマットが自由に変更できるように工夫してある。

### 6.2 データの分類と部内処理

センターやサブセンターで集信したデータは、電文の種類、集信時刻や電文の中にある冒頭符、観測時刻、官署名、地点コードなどにより分類しており、原則として2日間保存する、ADESSの分類ファイルを図7.に示す。これらの分類ファイルは、帳表出力やXYプロッタによる天気図作成などの部内処理に利用している。集信、分類したデータは、ローカル端末の《MULTI 16-II》へ自動又はオペレータの指示により転送し、加工して表示する。レーダモニタ端末で表示した富士山レーダ画像を図8.に示す。

### 6.3 気象電文の自動カナ漢字変換

ADESSの予報電文はカナ文字であり、そのままでは一般ユーザーにとって読みにくい情報である。このためMICOS LANでは、《MULTI 16-II》上でカナ電文を自動的に漢字まじりの文章に変換

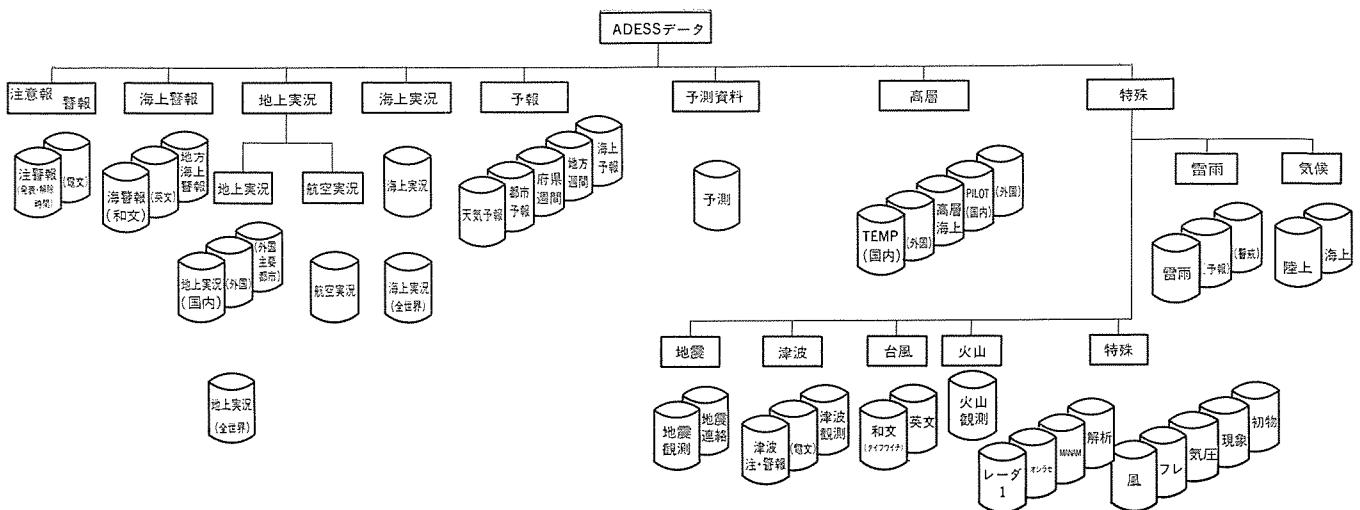


図 7. ADESS の分類ファイル

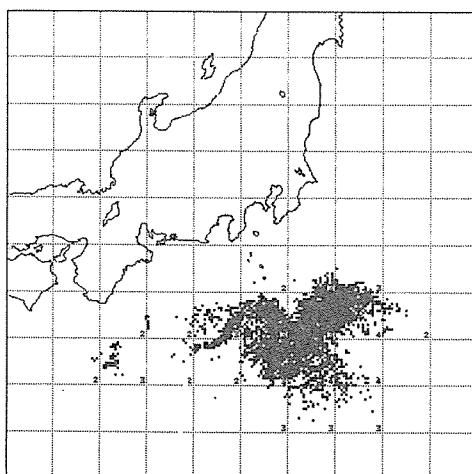


図 8. 富士山のレーダー画像

するプログラムを開発した。このプログラムは、気象用語と地名からなる辞書ファイルを高速で検索する部分と、同音異義語等に対して判断をする部分からなっている。1電文当りの変換時間は数秒以内である。予報電文の変換例を図9.に示す。

## 7. む す び

以上《MELCOM 70》を利用した MICOS LAN システムの概要を報告した。このシステムは昭和59年6月からユーザー配信を開始し、現在順調に稼働している。MICOS LAN では、パーソナルコンピュータやミニコンピュータを使用したユーザー端末が順次接続されつつあり、現在ユーザー端末側での各種アプリケーションプログラムの開発を積極的に行っていている。

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

TKBA 359 TUTK 22074933  
 ヨホウ ツ テイセイ  
 ミエクン 22ヒ18シ  
 ホクチウフウ  
 コンハ ホクセイノカセ"ツヨク クモリ トコロニヨリイチシ"ユキ (200)  
 アスハ ホクセイノカセ"ツヨク クモリノチキド"キハレ トコロニヨリイチシ"ユキ (210)  
 アサツハ ホクセイノカセ"ツヨク ハレトキド"キクモリヤマソ"イ トコロニヨリニカユキ (101)  
 ユミ  
 コンハ ナミタカイ  
 アスハ ナミタカイ  
 アサツハ ナミタカイ  
 ナン"イ  
 コンハ ホクセイノカセ"ツヨク クモリノチキド"キハレ トコロニヨリイチシ"ユキ (210)  
 アスハ ホクセイノカセ"ツヨク ハレトキド"キクモリ (101)  
 アサツハ ホクセイノカセ"ヤツヨク ハレトキド"キクモリ (101)  
 ユミ  
 ホクチウフウ"トオナシ"  
 キオン アスノサイテイ 1ト"ツ" 1ト"オワセ"  
 アスノサイコウ 1ト"ツ" 8ト"オワセ"  
 コウスイカクリツ ユキ  
 (09-21) 010=

(a) もとの電文

TKBA 359 TUTK 22074933  
 予報 津 訂正  
 三重県 2日18時  
 北中部  
 今夜は 北西の風強く 曇り 所により一時雪 (200)  
 明日は 北西の風強く 曇りのち時々晴れ 所により一時雪 (210)  
 明後日は 北西の風強く 晴れ時々曇り山沿い 所によりわか雪 (101)  
 海  
 今夜 波高い  
 明日は 波高い  
 明後日は 波高い  
 南部  
 今夜は 北西の風強く 曇りのち時々晴れ 所により一時雪 (210)  
 明日は 北西の風強く 晴れ時々曇り (101)  
 明後日は 北西の風やや強く 晴れ時々曇り (101)  
 海  
 北中部と同じ  
 気温 明日の最低 1度 (津) 1度 (尾鷲)  
 明日の最高 7度 (津) 8度 (尾鷲)  
 降水確率 雪  
 (09-21) 010=

(b) 変換後の電文

図 9. 予報電文の自動カナ漢字変換出力例

# 新形定期券発行機《MELPAS-F》

清水 圭司\*・甲破 賢吉\*・内海 宏\*\*・井口 俊秋\*\*・小林 正孝\*\*

## 1. まえがき

昭和47年に定期券発行機の初号機を納入以来、10年以上の歳月が流れ、その間の技術革新は目を見張るものがある。出札機器は機械にその先端技術を駆使して種々の改良が行われている。印刷方式は、印版式、電子写真式（湿式）、電子光学式（乾式）を経て感熱式へと変遷してきた。処理装置は、半導体技術の進展に伴ってミニコンピュータ、マイクロコンピュータ、ワンボードマイクロコンピュータへと変遷した。更に記憶装置も、小型固定ヘッドディスクから超小形固定ディスクへと記憶容量が3倍とも増加したうえ、大きさは1/4となった。このような技術に支えられ、当初、制御機と窓口機の2きょう（筐）体構成であったものが、今では1筐体ですんでいる。

今回開発した定期券発行機《MELPAS-F》（図1.）は、顧客の導入当初からの夢であった、①券面の2色印刷、②購入情報の定期券

への磁気記録、③券面イメージの表示などを実現し、取り扱いやすい機械となっている。また、発売データの処理も通信回線を介してデータ処理計算機に直接送信することができ、発売及び電算機室係員の負荷が軽減されている。特に券面の2色印刷は目視改札へのメリットが大きく、バス路線適用のニーズにも十分対応できる機械となった。

## 2. 装置概要

### 2.1 特長

新形定期券発行機《MELPAS-F》は次の特長をもっており、市場のニーズに十分こたえられる機械となっている。

#### (1) 券面様式の柔軟性

縦形券、横形券を自由に選ぶことができるうえ、特殊券のデザイン画を印刷することもできる（図2.）。

#### (2) 券面の2色印刷

目視改札が行いやすいように、赤と黒の2色の印刷ができる。

#### (3) 券面イメージ表示

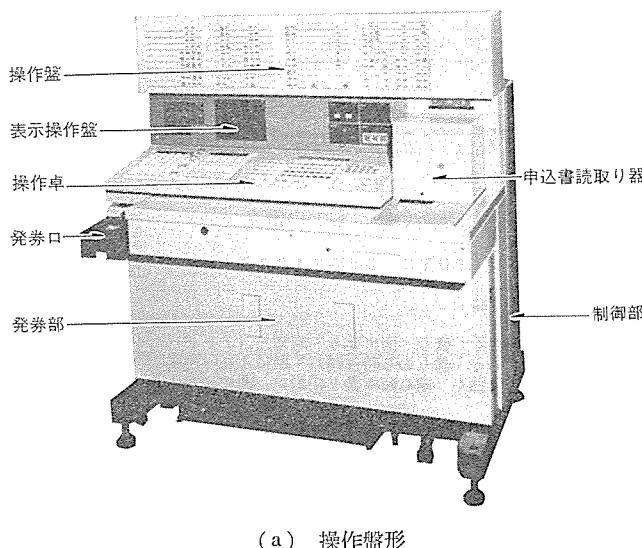
操作内容を券面イメージで漢字表示できる。

#### (4) 発券操作の簡易化

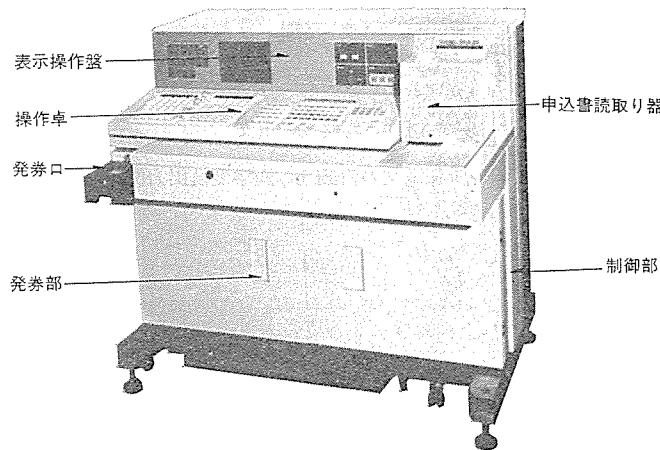
定期券購入情報を読み取ることにより、操作の簡易化が図れる。

#### (5) 発券操作の容易化

ページ式押しボタンを採用して、操作部の小型化及び補充入力を卓上化することにより、操作の容易化を実現した。



(a) 操作盤形



(b) 操作卓形

図1. 定期券発行機《MELPAS-F》の外観



図2. 券面印刷見本

## (6) 無効券の機械内処理

不要となる定期券に穴をあけ、自動改札機を通過できなくなる。

## (7) オンライン対応

発売データの収集、運賃改定データなどの改造データのセンターからのダウンロードなど拡張性のあるオンライン構成がとれる。

## 2.2 仕様

定期券発行機《MELPAS-F》の仕様は次のとおりである。

### (1) ボタン数

取扱う口座数規模に応じた最適構成が組めるよう配慮した。

- (a) 駅設定用 : ブロック式は LED 点灯の 96 ボタン又は 100 ボタンがあり各々 1 ~ 4 台の選択ができる。  
ページ式にはブック式 (810 ボタン相当, LED 点灯可) とスクリーン式 (3,200 ボタン相当) がある。
- (b) 条件設定用 : 92 ボタン (LED 点灯可) (ブック式のとき)  
94 ボタン (LED 点灯可) (スクリーン式のとき)
- (c) その他 : 電源入, 電源切, 締切, 中間締切及び係員キースイッチ

### (2) 表示

明視性が高く、薄形のエレクトロルミネッセンス (EL) ディスプレイを採用した。これにより設定項目を定期券のフォーマットどおりに表示し、操作性の向上を図った。

- (a) 文字表示器 : 横 320 ドット × 縦 240 ドット 黄とう (橙) 色  
漢字, 英字, 数字, カナ文字, ひらがな文字
- (b) 状態表示 : 16 個 (LED 表示)

### (3) 印刷

印刷は感熱転写方式による黒・赤色の 2 色印刷を実現した。

- (a) 印刷方式 : 感熱転写方式 黒単色, 黒・赤 2 色印刷可能
- (b) 分解能 : 6 ドット / mm
- (c) 転写リボン : ロール状連続リボン

### (4) 券用紙

裏面に注意文が印刷されたロール紙をオートカットできる機構とした。

カード紙、ロール紙の併用も可能である。

- (a) カード紙 : ポリエチレンシート 又は普通紙  
カセットホップ式給紙 (1,000 枚収容)
- (b) ロール紙 : 普通紙 (裏面印刷可能)  
オートカッタ式給紙 (3,000 枚収容)

- (c) 券寸法 : 鉄道 サイバネ 規格準拠 (57.5 mm × 85 mm)
- (5) 磁気情報

自動改札用のほかに定期券情報を高密度で空トラックに記録し、この情報を本機で読み取り、ボタン操作を最小にした発行ができる。

- (a) 自動改札用 : 鉄道 サイバネ 規格準拠 (19 BPI)
- (b) 継続発行など : 鉄道 サイバネ 規格準拠 (高密度 286 BPI)

### (6) 発券速度

- (a) 単色印刷 : 約 9 秒 (スタートボタン押下後)
- (b) 2 色印刷 : 約 14 秒 (スタートボタン押下後)

### (7) その他

- (a) 電源 : AC 100 V ± 10%, 50/60 ± 0.5 Hz
- (b) 消費電力 : 待機時 1 kVA 以下 (2 kVA max)
- (c) 外形寸法 : (W) 1,100 mm × (D) 820 mm × (H) 1,250 mm  
(max)
- (d) 環境 : 10 ~ 35°C, 40 ~ 80% (RH)

## 3. ハードウェア

### 3.1 ハードウェアの開発目標

ハードウェアの開発においては、ユニットの組合せによってすべての顧客に対応できることを目標とした。

定期券発行機を導入される顧客は、発売範囲、改札機器の設備などで地域的に差があるため、それぞれの顧客に対して最適なハードウェアを提供することが必要である。このためハードウェアの開発方針を次のように設定した。

#### (1) 機能のユニット化

顧客によって可変となる操作盤、操作卓、申込書読取り器、発券部内部の機能ユニットは選択又は取付けを可能とする。

#### (2) 機能の向上

顧客から期待されている次の機能を開発する。

- (a) 券面印刷の 2 色化
- (b) 定期券購入情報の券裏面への磁気記録
- (c) 無効券の機械内処理
- (d) 注意書き記載のロール用紙の使用
- (e) 申込用紙への券番号と金額の印字
- (f) 操作内容の一元化表示

#### (3) 操作性の向上

- (a) 操作を手元で完結できるようにページ式ボタンを採用
- (b) 操作の簡便化のために券裏面の定期券購入情報の読み取り
- (c) 操作面の小形化
- (d) 発券口は従来どおりカウンタ側

### 3.2 ハードウェアの構成

定期券発行機《MELPAS-F》の基本機器、選択機器、オプション機器の関係を含めたブロック構成図を図 3. に示す。定期券発行機は、操作制御部と発券部の機器で構成されており、操作制御部には、制御部、操作部、記録部 (プリンタ装置を除く) が組み込まれている。

#### 3.2.1 制御部

ワンボードの中央処理装置 (主記憶部を含む)、補助記憶部 (ウインチスラ型固定ディスク装置)、各部制御回路から構成され、各種の演算及び各部の制御を行う。

#### 3.2.2 操作部

表示操作盤、操作卓、操作盤、申込書読取り器、手動定着器から構成され、発券条件の設定及び設定内容の表示などを行う。

##### (1) 表示操作盤

表示器に EL ディスプレイパネルを使用し、設定内容が券面イメージで漢字表示できる。また、黄橙色発光のうえ表示制御が画素ごとの表示の「ちらつき」が無く、操作員の疲労を最小にことができる。

##### (2) 操作卓

ブック式又はスクリーン式のページ式キーボードを採用することにより、駆又は停留所の収容能力が向上し、発券条件がすべてボタン設定が可能で、かつ手元操作ができる。

#### 3.2.3 記録部

発券記録用としてフレキシブルディスク装置、プリンタ装置及びセンターの計算機などと回線接続する通信回線制御機器があり、これらの機器から選べるようになっている。発券記録用として申込書印字機構があり、発券ごとに券番号と金額を印字することができる。

#### 3.2.4 発券部

給紙機構、印刷機構、定着機構、磁気機構、廃券処理機構から構成

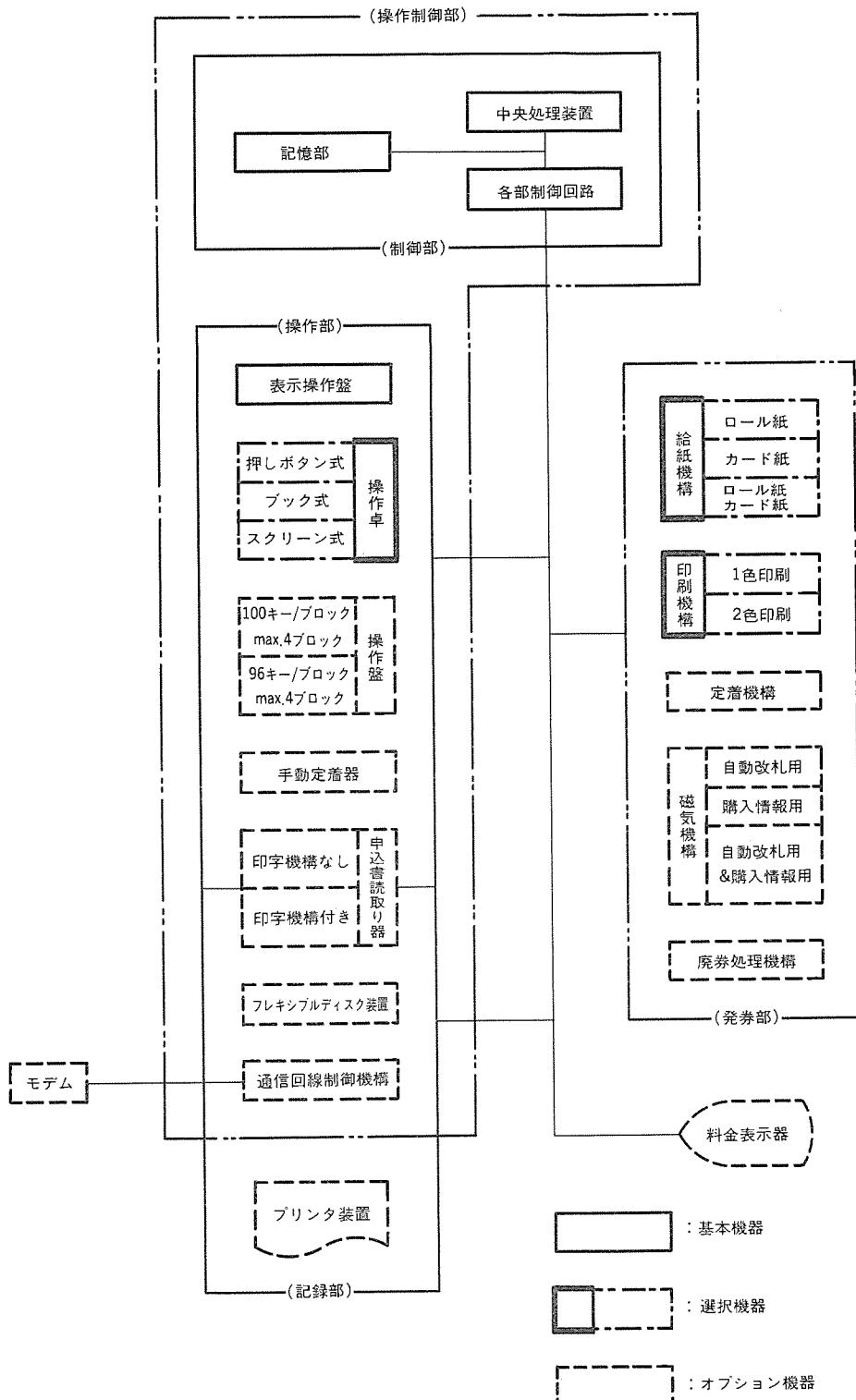


図3. ハードウェア構成図

され、所定用紙に券面印刷及び磁気記録をして定期券を発券する。

#### (1) 給紙機構

注意書き記載のロール紙に対しては、注意書きが真中にくるように位置調整してカットすることができる。

#### (2) 印刷機構

2色印刷は、赤・黒のしま(縞)文様の転写リボンを用いて2度刷りにより行う。

#### (3) 磁気機構

定期券購入情報は、286 BPIの鉄道サイバネ規格案に準拠したアフターワードのチェック機能を有効に利用して、使用済定期券からの定期券購

入情報を読み取ることもでき、使用済定期券の読み取り器を別設置する必要がない。

#### (4) 廃券処理機構

不要になった定期券に対し、パンチ穴をあけることにより、目視及び自動改札機での再使用が防止できる。

## 4. ソフトウェア

### 4.1 ソフトウェアの開発目標

定期券発行機《MELPAS-F》のソフトウェア開発においては、ソフトウェアの標準化を主要目標とした。定期券発行機は、全国各地の顧客

に導入されるので、顧客の営業規則などの相違により機能仕様が異なりがちであり、その結果、業務プログラムも顧客対応に開発する要素が多くなる。また、納入機種の使用年数も長く、その間に機能変更、機能追加などの改造作業も発生する。定期券発行機のこのような特性を考えると、ソフトウェアの標準化は、生産性向上、保守性向上のために必要不可欠といえる。

そこで、上記目的に即したソフトウェアを開発するための基本的設計方針を次のように定めた。

#### (1) モジュール化の推進

ソフトウェアを機能単位のモジュールに分割し、ソフトウェアの流用性を高める。モジュール分割に当っては、モジュールが結合度の低いパラメータ結合、又は共通データ結合となるようにする。また、モジュールの流用性度合により、モジュールを汎用モジュール、準汎用モジュール、非汎用モジュールの3種類に分類整理する。

#### (2) モジュールスケジューラの採用

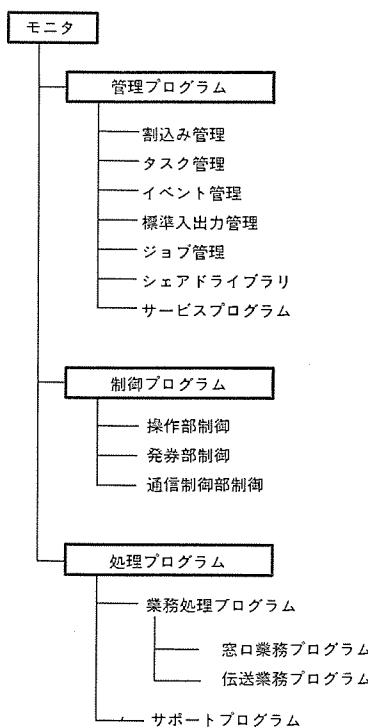
分割したモジュールを処理手順に従って、順次実行制御するプログラムとしてモジュールスケジューラを開発する。これにより、いもづる式にモジュールを呼び出さなくてもよくなり、モジュール全体の流れが容易に見渡せるようになる。また、モジュールは必要なときに主メモリにロードインできるようにし、主メモリの使用効率を高めることができるようになる。

### 4.2 ソフトウェアの構成

ソフトウェアは、大きく次の三つから構成される(図4.)。

#### (1) 管理プログラム

ソフトウェアの核となる部分であり、リアルタイムディスクオペレーティングシステムと呼ばれる。管理プログラムは、割込み管理、タイマ管理、タスク管理、イベント管理、標準入出力管理、ジョブ管理、シェアドライブラリ、サービスプログラムからなっている。イベント管理では、モジュールスケジューリングを実現している。すなわち、スケジュールされるべきモジュールをイベントと呼び、同期を取りながらモジュール間の実行を制御できるようにして



いる。

標準入出力管理では、16Mバイト固定ディスク装置、両面倍密度フレキシブルディスク装置、シリアルタイプライタ装置及び高速プリンタ装置をサポートしている。ジョブ管理では、コマンドインタプリタの下で、各種サービスプログラムをバックグラウンドで動作させることができる機能を提供している。

サービスプログラムとしては、ファイルの定義・登録・削除などができるファイルメンテナンスプログラム、主メモリやディスクの内容を表示・変更できるユーティリティ、及びソフトウェアの保守に必要な媒体変換ユーティリティなどがある。

#### (2) 制御プログラム

定期券発行機のハードウェアを制御するプログラムであり、操作部制御、発券部制御、通信制御部制御の各機能がある。これらの各制御部は、独自のプロセッサ(サブプロセッサ)とメモリを持っており、システム起動時にメインプロセッサからファームウェアを、ダウンロードする方式をとっている。また、各制御部は、メインプロセッサとは独立して動作可能であり、メインプロセッサの負荷軽減を図るとともに、ターンアラウンドタイムの縮小を実現している。

メインプロセッサと各制御部の交信は、コマンド(メインプロセッサから各制御部へ)とレスポンス(各制御部からメインプロセッサへ)というインターフェースデータを交換することによって実現している。操作部制御機能としては、スイッチ入力制御・ランプ点消灯制御・ELディスプレイ表示制御があり、発券部制御機能としては、申込書読取り制御・券供給制御・印刷制御・エンコード制御・券搬送制御がある。また、通信制御部制御機能としては、回線接続制御・テキスト入出力制御・回線切断制御がある。

#### (3) 処理プログラム

定期券発行機の各種業務機能を実現するためのプログラムであり、業務処理プログラムとサポートプログラムがある。業務処理プログラムには、窓口業務プログラムと伝送業務プログラムがある。窓口業務プログラムには、スイッチ解析処理・旧券読取り解析処理・駅ボタン処理・発売条件チェック処理・日付判定処理・経由判定処理・運賃計算処理・券番号処理・券面編集処理・記録処理・エラー処理がある。伝送業務プログラムには、発売データ送信処理・運賃データ受信処理・伝送機能テスト処理がある。窓口業務プログラムと伝送業務プログラムには別々のタスクが割り当てられ、互いに同時動作可能である。

サポートプログラムは、主に業務処理プログラムで利用する各種ファイルを管理するプログラムからなり、バックグラウンドジョブとして動作する。これには、券面印刷用文字を管理するプログラム、ELディスプレイ用文字を管理するプログラム、定期券発行機稼働中のエラー情報を管理するプログラム、運賃データや経路データなどを生成するプログラムがある。

## 5. むすび

今回開発した新形定期券発行機《MELPAS-F》は、ハードウェア及びソフトウェアにフレキシビリティがあるので、いかなるニーズにもこたえられ、出札業務の機械化に大いに寄与できるものと期待できる。

しかし、技術革新はますますスピードを増し、市場のニーズもそれに呼応して多様化していくものと思われる所以、今後も市場ニーズを先取りした多機能・高性能かつ経済性を目指した製品の開発に努めて行く所存である。

(昭60-1-25受付)

# 自動縫製システム

藤田次朗\*・山根巖\*

## 1. まえがき

最近のアパレル産業は、ファッションの多様化、短期サイクル化の波をかぶって多品種少量生産、短期サイクル生産を余儀なくされている。このような生産方式においては、生産効率の低下や工期短縮のしわよせで生産コストは高まる一方であり、加えて衣料品は飽和状態で購買力の停滞のため価格は上げられず、したがってコストを抑えてしまかも効率の良い生産システムの開発が急務となってきている。

本稿では、このようなアパレル産業の最近の動向と、これに対する縫製機械メーカーである当社の状況を述べ、特に今回開発した縫製工場のトータルの生産効率の向上に寄与するアパレルオートメーション志向の自動縫製システムについて述べる。

## 2. アパレル産業の動向と当社の状況

図1.にアパレル産業の中でも最も自動化、省力化の進んでいる衣服の生産工程を示したが、衣服はまず試作工程である商品企画、デザイン、サンプルパターン作り、サンプル作りを終えて、量産準備工程であるパターンメーキング（新しくデザインされた衣服を縫製するための基本となる型紙を作る工程）と、グレーディング（マスターパターンを用いてデザイン上の特徴やシルエットをくずさず種々のサイズの人の着用に適した量産用パターンを作成する工程）と、マーキング（パターンを使用する生地の幅、長さ、方向性、柄などを勘案して、効率よく配置する工程）に分けられるが、これらの分野については、既にコンピュータ化（CADシステム）が進み業界にも浸透しつつある。次の量産工程中の裁断についても、CADシステムとリンクしたナイフエッジによる多重式裁断機と、当社でも開発を行って大手縫製工場に納入したレーザ高速裁断機が業界に普及しつつあるように、この分野におけるコンピュータ導入による自動化、省力化も急速に進んでいる。

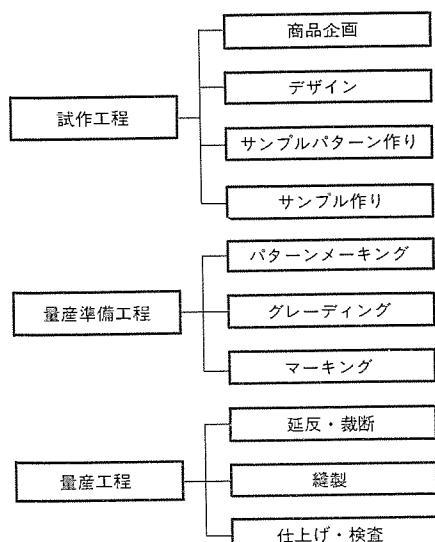


図1. 衣服の生産工程

一方、次の縫製の分野ではミシン自体の自動化、省力化として、自動糸切りミシンなどが急速に発展しつつあり、これらミシン自体の開発の方向については、アタッチメント類の充実による専門工程化、単機能化と、電子技術の応用を軸とする高度な自動化、汎用機化の二つに分けられる。後者の電子技術を応用した自動機は、量産効率のアップもさることながら、多品種少量生産の場合にも脱技能と製品の均一化の面でメリットの大きいもので、当社でも既に縫製パターンを電子メモリ（PROM）に記憶させるのみで、パターン縫製が自動的に簡単に実行できる各種電子ミシンを“PLKシリーズ”として開発、販売し顧客のニーズを先取りして対応している。

しかしながら縫製の自動化は、加工物が柔軟素材であることと加工工程が進むにつれて、立体形状に加工されるという宿命のもとで、工作機械など他の分野のこと数年の著しい進歩に比べるとまだまだ遅れている。昭和57年度から64年度にわたり通産省工業技術院の大型プロジェクト「自動縫製システムの研究開発」をテーマに、当社もこの中の縫製準備加工技術の裁断分野に参画し官民一体の研究開発が進められている。

一方、縫製工場における全生産工程中のミシンの実稼働時間は、全体の10~30%である場合が大半であり、残りは手作業時間に費やされており、最近この合理化に着目して生産現場におけるミシンとミシンの間の被縫製物の搬送を行うハンガーシステムを各社競って開発している。当社でもかばん（鞄）、シューズなど比較的小物部品を対象とした自動搬送システムを開発し、大手縫製工場に納入し生産効率の向上に寄与している。更に今回、この自動搬送システムを開発した無人による搬送と縫製を行う自動縫製システムを開発し、国際アパレルマシンショー（JIAM '84 NAGOYA）に出演し、内外のアパレル業界に大きなインパクトを与えた。図2.はその自動縫製システムの全景である。

上記のように当社ではアパレル産業の動向を見極めながら、総合電機メーカーの長所を生かして製品開発を推進している。今回は当社開発品の中からアパレルオートメーション志向の自動縫製システムを取り上げて説明する。

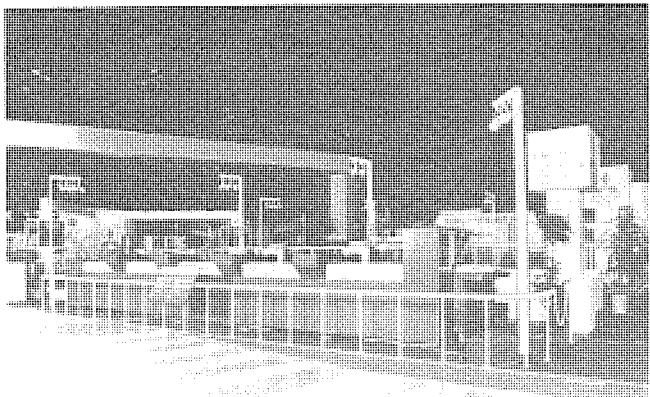


図2. 国際アパレルマシンショーに出演した三菱自動縫製システム

### 3. 自動縫製システム

#### 3.1 システム構成

このシステムは被縫製物（鞄、シューズなどの縫製素材）を挟持した多数のカセットを投入ユニットに積載して、操作盤上の起動スイッチを操作するのみで自動的にカセットが搬送装置群と、被縫製物の縫製工程に見合って配置された電子ミシン群を経由して、多工程の縫製及び搬送が行える。更に、多目的シーケンスコントローラ《MELSEC-KGPC》により、上記搬送制御はもとより縫製物の出来高表示やラインの監視などの生産管理も行えるものである。以下、図3.に示すこのシステムの構成について述べる。

##### 3.1.1 搬送装置群

搬送装置群は、カセットの投入ユニット、取出ユニット、飾りラベル供給ユニット、完了ユニット各1台と搬送ユニット4台から構成されている。以下、これらのユニットについて説明する。

##### (1) 投入ユニット

カセットの両側縁を保持する保持溝がラック状に複数組形成され、この各組の保持溝に1個ずつカセットを挿入するカセット収容部は、後述するカセット取出ユニットの取出片により1個のカセットを取り出すと、1カセット分のみ下降して次に取り出されるまで停止する構造になっている。

##### (2) 取出ユニット

このユニットは、カセットを搬送するコンベヤ部と、前記投入ユニットからカセットをコンベヤ上に移送する取出部と、カセットをコンベヤの最終

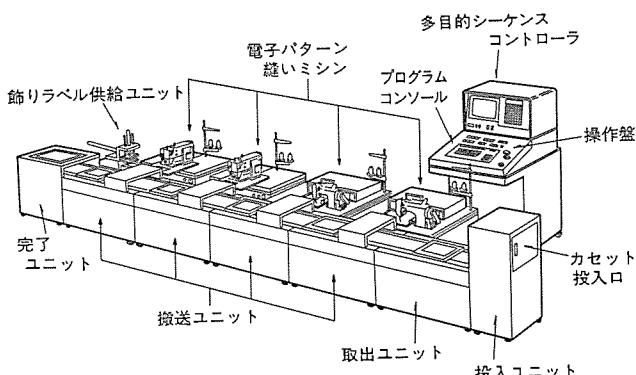


図3. システムの全体構成図

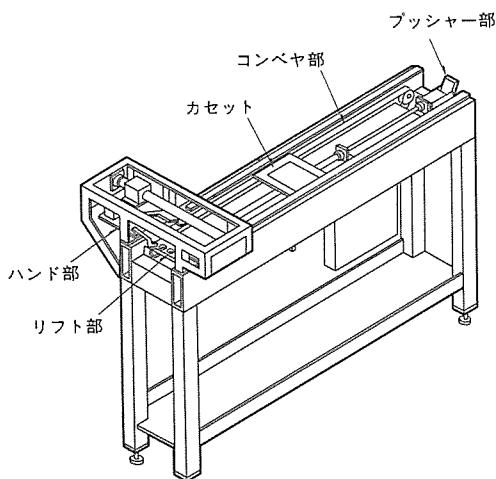


図4. 搬送ユニット

端まで搬送してから次の搬送ユニットに移送するプッシャー部とから構成されている。

##### (3) 搬送ユニット

このユニットは、図4.に示すように、カセットを搬送するコンベヤ部と、カセットの表又は裏を判別する2個の近接スイッチが取り付けられ、カセットをコンベヤから浮上させるリフト部と、このリフト部により浮上されたカセットを挟持して、電子ミシンと受渡しを行うハンド部と、電子ミシンで縫製加工された縫製物を挟持したカセットを次の工程の搬送ユニットに移送するプッシャー部から構成されている。

##### (4) 飾りラベル供給ユニット

このユニットは、多数の飾りラベルを積載する上下動可能なラベル積載部と、このラベル積載部から飾りラベルを1枚ずつ取り出し、前記搬送ユニット上に保持されたカセットに投入するラベル供給部から構成されている。このラベル供給部は、飾りラベルを吸着又は排出する吸排出部と、この吸排出部をラベル積載部からカセットまで移送するラベル移送部から構成されている。

##### (5) 完了ユニット

このユニットは、カセット受取部とカセット収容部から構成されている。カセット受取部は、最後の搬送ユニットから移送されたカセットをいったん保持する保持体と、この保持体を解放させる一対のエアシリンダから構成されている。カセット収容部は、カセット受取部の真下に位置し、上下に移動可能なカセット受皿と、このカセット受皿がカセットを1個ずつ受取り最下位に達したときに、カセットの全数を取出可能にするパレットから構成されている。

##### (6) カセット

図5.に前述した各ユニットと、後述する電子ミシンの間で自動的に受渡し搬送される鞄の表縫製用カセットを示す。被縫製物は、上抑え板と下押え板で挟持される。この両板には、電子ミシンにプログラムされた縫製パターンの軌跡どおりの針の上下運動により、縫目を形成するために必要な切欠穴が加工されている。鞄の自動縫製では、縫製加工する鞄の表と裏では縫製パターンの一部が異なるので、この切欠穴の位置が異なっている。また表縫製用カセットは、ラベル挿入穴とこの飾りラベルを正確に挿入するための2個のガイド穴が加工されているが、裏縫製用カセットは、これらの穴は加工されておらず、別の縫製パターンのための切欠穴が加工されている。

更に両板には、表又は裏縫製用カセットを判別するため、各々異なる位置に検出用穴が加工されている。更に上押え板上面には、搬送ユニット及び電子ミシンで保持するための対向する二対のピンが立てられている。

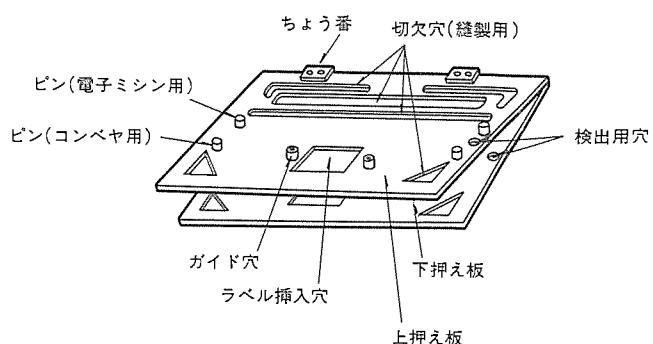


図5. 被縫製物を挟持するカセット

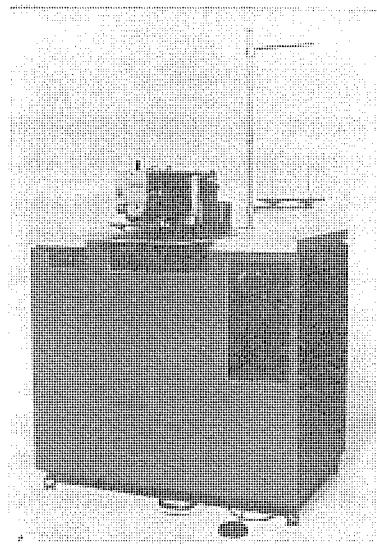


図 6. 電子パターン縫いミシン“PLK-1210”

### 3. 1. 2 電子ミシン群

電子ミシン群は、当社で既に販売中の電子パターン縫いミシンに、今回のシステム化のために新しい機能をもたせた4台が、搬送装置群に対向して設置されている。第1工程と第2工程は、電子パターン縫いミシン“PLK-2520”を設置し、第1工程では鞄の表又は裏の縫製パターンとして、異なる模様を縫製するため、自動パターン選択装置が新たに附加されている。第3工程と第4工程は、電子パターン縫いミシン“PLK-1210”(図6.)が設置され、第4工程では、飾りラベルの全周を自動縫製するために自動反転装置がセットされている。これら4台の電子ミシンには、すべてカセットの自動保持装置が設けられている。ここでは、これら新たに附加された幾つかの機能のうち、自動パターン選択装置とカセット自動保持装置の二つについて述べる。

#### (1) 自動パターン選択装置

現在の電子ミシンでは、入力装置で所望の数種類の縫製パターンを、ある限られた針数の範囲内で PROM やフロッピディスクなどに入力し、それを電子ミシンにセットして、作業者はそのパターンデータのうち一つを選択ダイヤルなどで選択して所望の縫製を行っている。今回開発した装置は、自動的にパターンの選択が行えるもので、前述したカセットの表と裏で異なる位置に加工された検出用穴と、前記搬送ユニットのリフト部に設けられた近接スイッチと、この近接スイッチからの信号に対応した縫製パターンナンバーを電子ミシンの制御部に出力する制御手段が設けられている。

#### (2) カセット自動保持装置

現在の電子ミシンはあらかじめ入力された縫製パターンに基づき、XY方向に平面上を可動する可動台に入手によりカセットをセットして、起動スイッチを操作して縫製作業を行うのが普通である。この装置は、カセットの電子ミシンへのセットを自動的に行えるようにするために、電子ミシンの可動台に固定された固定爪(爪)と、エアシリンダにより作動される可動爪と、カセットの存在を検知するセンサを設け、カセットが搬送ユニットのハンド部により電子ミシンに移送されたことをセンサで検知すると可動爪が作動して、固定爪とによりカセットの一対のピンに係合して保持されるよう構成されている。

#### 3. 1. 3 制御装置

このシステムの全体制御は、三菱多目的シーケンスコントローラ《MELSEC-KGPC》により行っている。図7.に制御システム構成図を示した

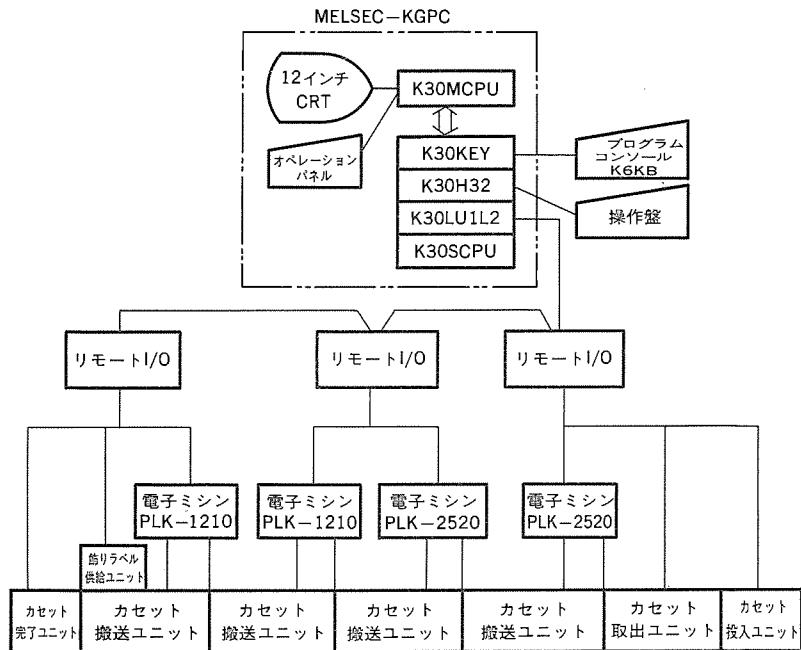


図 7. 制御システム構成図

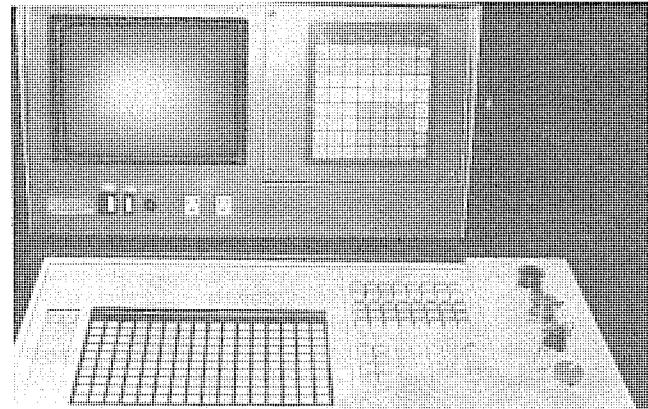


図 8. 操作部の外観

が、カセットの搬送制御は、SCPU(シーケンサCPUユニット)で行い、リモートI/Oを通して出力する。MCPU(モニタCPUユニット)は、SCPUが各機器から受け取ったデータによりその作動状態を監視し、CRT画面上にディスプレイする。CRTは12インチカラー8色で漢字、ひらがな、カタカナ、英数字、グラフィックモードで表示する。この多目的シーケンスコントローラを搭載した制御箱の上面には、ほかに起動ボタン、サイクル停止ボタン、テスト/自動切換ダイヤル、非常停止ボタンが設けられた操作盤と、MCPUとシーケンサのプログラム入力用のプログラムコンソールK6KBが設置されている。

図8.はこれら操作部の外観である。図9.は、このシステムのSCPUとMCPUの概略フローチャートである。

#### 3. 2 システムの動作

ここでは一例として、鞄の自動縫製について、図10.の縫製工程図を参照しながらシステムの動作について述べる。まず人手により表及び裏縫製用カセットに被縫製物をセットして投入ユニットに多数投入するとともに、飾りラベル供給ユニットのラベル積載部に飾りラベルをロードしておく。プログラムコンソールによって生産日時、予定生産高をキーインする。以上の運転準備を終えて起動スイッチを操作すれば、投入された数だけのカセットの全工程の縫製が連続して自動的に行

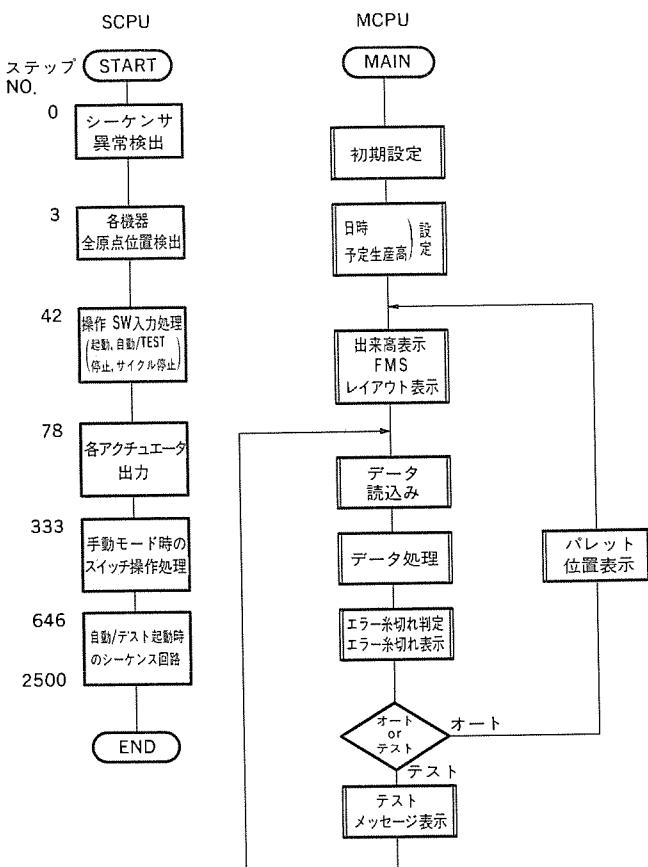


図 9. システムの概略フローチャート

工程番号	1	2	3	4
表生地工程	○	○	×	○
裏生地工程	○	○	○	×
電子ミシン	電子パターン縫いミシン PLK-2520	電子パターン縫いミシン PLK-2520	電子パターン縫いミシン PLK-1210	電子パターン縫いミシン PLK-1210
表生地	縫製	縫製	縫製	縫製(飾りラベル)
裏生地	縫製	縫製	JIAM 縫製	JIAM
備考	電子ミシンの縫製パターン表、裏生地で自動変換	電子ミシンの縫製パターン表、裏生地同一	裏生地のみ縫製	表生地のみ飾りラベル自動供給後縫製

注 図中破線は縫製パターンを示す。

図 10. 鞄の自動縫製工程図

える。次にこの一連の動作について述べる。

上記起動スイッチをONすると、投入ユニットから一つのカセットが取出ユニットに取り出され、コンベヤとプッシュヤー部により搬送ユニットに移送される。このカセットは、搬送ユニットのリフト部によって持ち上げられてからハンド部の可動爪が作動して固定爪とで保持され、ハンド部の近接スイッチとカセットの検出用穴により、表又は裏縫製用カセットかを判別して、この信号をシーケンサを通して工程1の電子ミシ

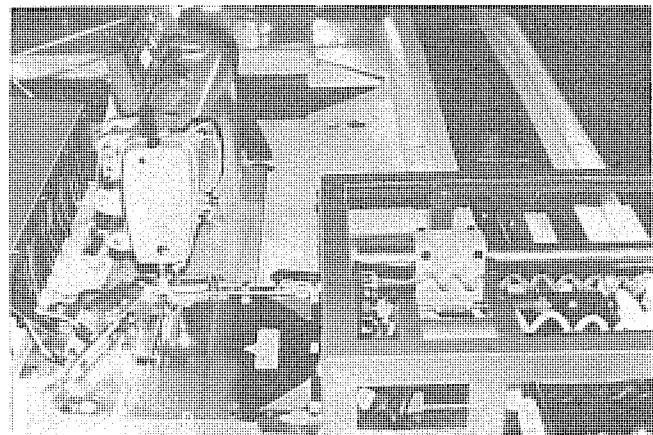


図 11. 搬送ユニットのハンド部がカセットを電子ミシンに移送した状態

ンに出力して自動的に縫製パターンの選択が行われる。続いてハンド部は、カセットを保持した状態で電子ミシン側へ前進し、カセットの係合が解除されると、電子ミシン側の可動爪が作動して固定爪とでカセットは保持され、ハンド部が後退してから電子ミシンが運転されて縫製が自動的に行われる。

縫製終了後は、再度ハンド部が前進しカセットを搬送ユニットに移送すると、係合が解除されコンベヤとプッシュヤー部により第2工程の搬送ユニットに移送される。図11.は、ハンド部がカセットを電子ミシンに移送した状態図である。

以下、第2、3、4工程におけるカセットの搬送は同様に行われる。第2工程では、鞄の表と裏が同じ縫製パターンなので、カセットの表、裏の信号はシーケンサには出力されるが電子ミシン側には出力されず、表、裏縫製用カセットの如何にかかわらず同じパターン縫製が行われる。第3工程では裏縫製用、第4工程では表縫製用カセットのみが電子ミシン側に移送され縫製される。移送されない表、裏縫製用カセットは、他の工程での縫製が終了し搬送ユニットのコンベヤ上に移送されるまで待機している。

第4工程のラベル供給ユニットは、第3工程で表縫製用カセットを判別すると、ラベル移送部が下降して、ラベル吸排出部の3ポート弁でラベル積載部から1枚の飾りラベルを真空吸着して上昇して待機しており、第4工程で表縫製用カセットがハンド部で係合保持されると、水平にカセットの上方に移動した後、下降し、2個のガイドピンがカセットの2個のガイド穴に係合位置決めされてから、ラベル挿入穴に飾りラベルを挿入する。3ポート弁の切換により、弁内に圧縮空気を吹き込んで飾りラベルを強制的に離脱させ、セットしてからラベル移送部は上記と反対の動作により、もとの位置に復帰する。図12.は、飾りラベルをカセットに挿入してラベル移送部が上昇した状態図である。

第4工程で縫製が完了したカセットは、投入ユニットの受取部に移送されると、受取部は互いに反対方向に動作してカセットをカセット受皿に置く。カセット受皿は、カセット1個分に相当するストロークのみ下降し、次のカセットの受入れに備える。なお各搬送ユニットのコンベ

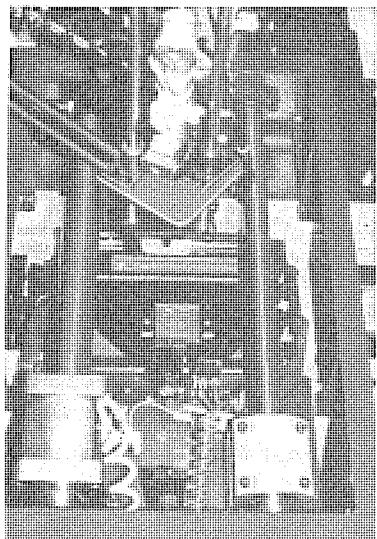


図 12. 鞄の飾りラベルを搬送ユニット上のカセットに挿入した状態

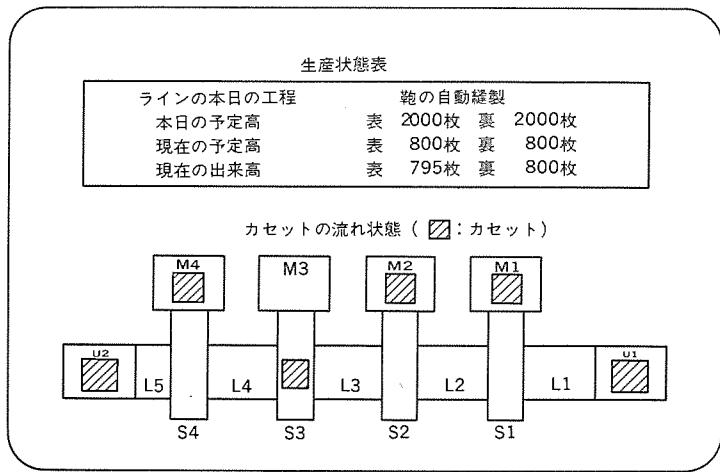


図 13. CRT 画面上へのディスプレイ例

ヤの駆動は、4工程中で最も長い縫製時間のカセットの縫製を終了し、コンベヤに載置されてから同時に行われるよう制御されている。

このように投入ユニットから自動的に連続して、多数のカセットが各工程を経由して最終の完了ユニットに投入されると、CRT画面上にシステムの完了がディスプレイされ、すべての動作が停止する。作業者は完了ユニットからパレットを取り出し、多数のカセットから1枚ずつ縫製が終了した鞄の表、裏生地を取り出して、パイピング、肩ひも付けなどの組立縫製を行って、鞄が完成される。

なお、システムの稼働中に発生する各種の異常は、次のように対応している。例えば、ミシンの糸切れが発生した場合には、ミシンの糸切れ検知装置が働いてミシンは即時に針上死点で停止し、CRT画面上に異常発生工程番号と発生現象がディスプレイされるので、作業者はCRT画面を見て異常処置を迅速に行える。また搬送途中におけるカセットの搬送不具合が生じた場合にも、タイムオーバーにより各種搬送ユニットの動作が停止し、同様な処置を行う。出来高の管理は図13.に示すように、その日の生産高とその時間の予定高がCRT画面上にディスプレイされる。

### 3.3 特長

(1) 作業者が、前もって多数の被縫製物をカセットにセットして投入ユニットに投入すれば、多工程の異なる縫製と搬送が連続して自動的に行なえるため、縫製の省力化、能率の向上、仕掛りの管理と減少が図れ、縫製工場のトータルの生産性が向上する。

(2) このシステムは、生産規模と縫製目的に合わせて、各ユニットをモジュール化したので、幾通りにもフレキシブルなライン構成が可能である。

(3) 多目的シーケンスコントローラにより、搬送制御はもとより、ラインの監視、故障検知、縫製物の出来高がCRT画面上にディスプレイされるので、生産管理がビジュアルに行える。

## 4. むすび

以上述べたように今回開発したFMS志向の自動縫製システムは、アパレル業界に浸透しつつあるミシンの自動化、電子化のみならず、縫製工場のトータル生産効率の向上を目指したものであり、搬送から縫製にわたるすべてを自動化、省力化するとともに生産管理を徹底して行えるようにした点で、今後のアパレル産業の一つの方向を示唆したものといえる。更に今回のシステムの中に新機能として取り入れた各種装置は、すでに当社で販売中の各種電子ミシン“PLKシリーズ”的機能アップとして取り入れられるものである。

一方、本稿でも述べたように縫製の自動化は、柔軟素材を扱うという点で困難な問題が多い。当社では、これらアパレル産業の現状の分析と将来の予測を行って、総合電機メーカーの長所をもって研究開発に取り組み、ミシンのみならず総合的なアパレルのビジネスを開花させ、ひいてはアパレル業界の繁栄に貢献する努力が必要であると考えている。

# 新マイクロ波放電光源装置

大貫一志\*・正田 熱\*・児玉仁史\*・名取 茂\*・吉沢憲治\*\*

## 1. まえがき

マイクロ波放電光源装置とは、電極を持たない放電ランプ（無電極ランプ）にマイクロ波エネルギーを注入して放電発光を行わせる装置のことである。かねてから我々は有電極放電ランプの電極に起因する、①点滅寿命が短かい、②放射熱が多く発光効率が低い、③封入物に制限があり発光スペクトルの選択範囲が狭い、④光出力の経時劣化が大きい、⑤瞬時点灯ができない、などの問題を一挙に解決する方法として放電ランプの無電極化を試みてきた。

マイクロ波放電光源装置の原理・構成は、電子レンジとその中に置かれた被調理物の関係に類似している。すなわち被調理物の代りに無電極ランプが置かれたものと考えればよい。しかし工業的にこの装置が光源装置として認められるためには放電発光が効率良く行われ、かつその光が有効に利用できるものでなくてはならない。このマイクロ波放電光源装置は、「直径がわずか30mmという小形球形の無電極ランプにいかにして効率良くマイクロ波エネルギーを注入し、放電発光を行わせるか、そしてこの光出力をどのようにして取り出し利用するか」という技術的課題に対する一つの解答である。

この装置は1983年に明室プリンタという印刷工業分野における露光用光源装置として1号機が出荷され、以来この分野での有力な光源装置となっている。そのときの装置の構成は、2章で詳しく述べるが、先の技術的課題である、①効率良くマイクロ波エネルギーを無電極ランプに注入し、放電発光を行わせる機能と、②光出力をどのようにして外部に取り出すかという機能が、全く同一の部材により構成されているという特長があった。すなわち前面に光に対しては透過性、マイクロ波に対しては不透過性となる開口率の優れた金属メッシュを配し、その後方に、マイクロ波に対しては強い電磁界を作るための空洞共振器であり、光に対しては出て行く方向を制御するための反射板となるような二つの条件を満たす金属の壁面を設けたものであった。この構成はある特定の使用目的に対しては機能が集約され、効率が高く製造にも便利なものであったといえる。

今回開発した新マイクロ波放電光源装置は、空洞共振器と反射板という二つの要件を、1個の部品で満たしていなければならない従来装置の制約を解消したもので、いろいろな用途への対応が可能となり、マイクロ波放電光源装置が数々の光源開発の歴史の中に確固たる足跡を残してゆくための第一歩となるものである。

今回の報告は、新マイクロ波放電光源装置の原理、構成を従来タイプと比較しながら述べるとともに、その応用製品の概略と各々の特性を述べることとする。

## 2. マイクロ波放電光源装置の構成と動作原理

従来の装置に関する本誌(Vol. 57, No. 2)での報告と若干重複するが、新・従来両タイプの比較に力点をおいてマイクロ波放電光源装置の構成と動作原理について述べる。

マイクロ波放電光源装置の基本構成は、次の3~4のブロックに分け

て考えることができる。

### (1) 新マイクロ波放電光源装置

- (a) 高圧回路系
- (b) マイクロ波回路系
- (c) 光学制御系
- (d) 制御回路系

### (2) 従来のマイクロ波放電光源装置

- (a) 高圧回路系
- (b) マイクロ波回路系(兼光学制御系)
- (c) 制御回路系

## 2.1 高圧回路系

マイクロ波発生源であるマグネットロンを駆動するための高圧直流を作り出す回路で、昇圧トランジスタ、コンデンサ、ダイオードなどにより構成されている。

## 2.2 マイクロ波回路系

ここでの最も大きな特長は、少なくとも光を取り出そうとする面に金属メッシュ(線径が0.1mmでピッチ1.5mmの格子状メッシュ)で光学的には開口率が90%ぐらいである。しかしながらマイクロ波はほとんど透過させない性質を持つ)の光とマイクロ波に対して各々性質の異なる材料を用いて、共振空洞という強いマイクロ波電磁界を作る空間を設け、この電磁界内に無電極ランプを置いてマイクロ波エネルギーを光エネルギーに変換していることである。無電極ランプを含めたマイクロ波空洞共振器のマイクロ波のインピーダンスは、ランプの始動から定常放電に達するまでの数秒間にランプの放電変化に伴い変化するが、空洞共振器は定常放電状態でマイクロ波伝送回路インピーダンスとの整合が良好となり、無電極ランプにエネルギーが最大吸収されるよう設計されている。

新・従来両タイプのマイクロ波放電光源装置のマイクロ波回路系を図1., 図2.に示し、各々の機能を以下に説明する。

### (1) マグネットロン

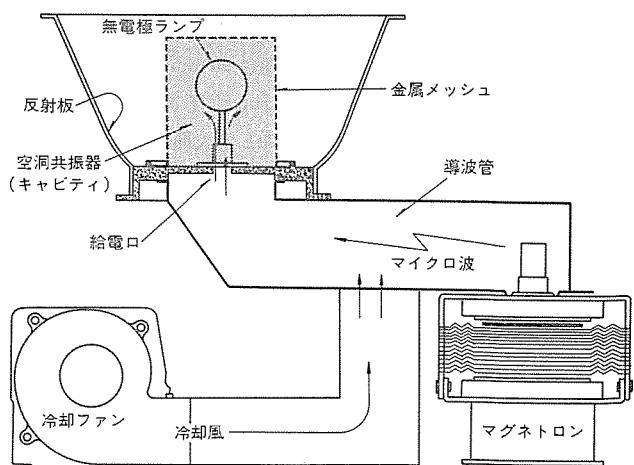


図1. 新マイクロ波放電光源装置のマイクロ波回路系の構成

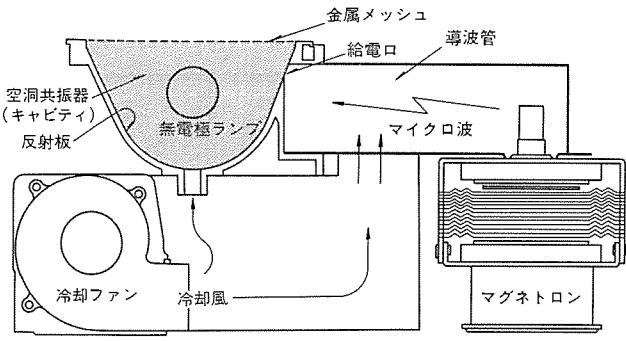


図 2. 従来装置のマイクロ波回路系の構成

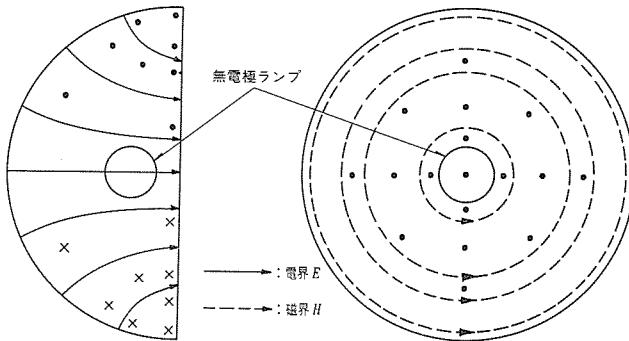


図 4. 従来タイプのキャビティ内電磁界分布例

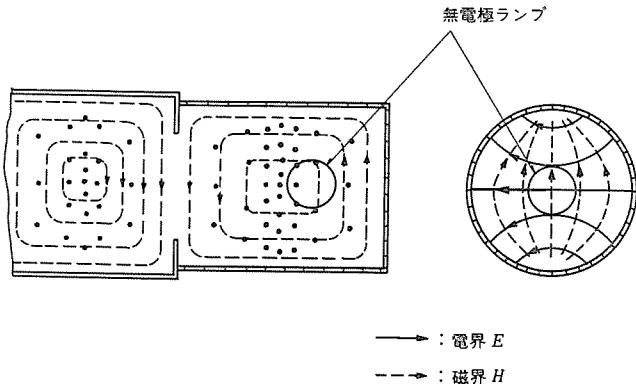


図 3. 新タイプキャビティ内電磁界分布例

周波数 2,450 MHz のマイクロ波を発振するマイクロ波発生源である。

#### (2) 導波管

マグネットロンで発振されたマイクロ波を伝搬する機能をもっているもので、電気回路における電線の役目をする部分である。

#### (3) 給電口

空洞共振器を構成する金属壁面と導波管の接合部に設けられた開口部で、マグネットロン側からはマイクロ波を放射するアンテナ、空洞共振器側からはマイクロ波の入射口（給電口）となる部分である。

#### (4) 空洞共振器（キャビティ）

##### (a) 新タイプ

今回開発したマイクロ波放電光源装置のキャビティは、空洞壁の大部分を金属メッシュで構成した。そしてこの外側に様々な配光の反射板を付加して装置の多用化が図れるよう、できるだけ小さなキャビティとし、最低次の共振電磁界モード（図 3）を用いた。このキャビティの大きさは直径が 80 mm、高さ 90 mm の円筒形であり、キャビティ底面から 65 mm の所に置かれた直径 30 mm の球形の無電極ランプが放電発光し、メッシュを通して大部分の方向に光を発するようにした。

##### (b) 従来タイプ

従来タイプキャビティは、前面だけが金属メッシュで構成されたものである。メッシュ以外の空洞壁面は共振器としての機能と、光反射板としての配光制御機能を兼ねる形状、寸法で構成されている。このキャビティの共振電磁界モードを図 4 に示す。

#### (5) 無電極ランプ

ランプ中には放電によって励起、発光する金属とこれらの金属の蒸気圧を高めるためのハロゲン及び水銀が封入されている。管壁が低温のときには、封入物は管壁に付着しており、管壁温度の上昇とともに

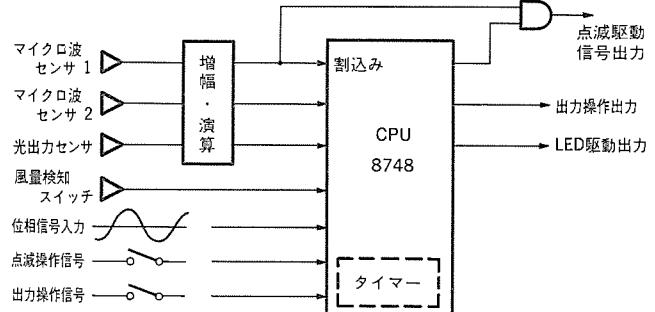


図 5. 制御系の主構成

に蒸発して、希ガス主体の放電から、金属蒸気の放電へと移行し封入金属に応じたスペクトルで発光する。

#### 2.3 制御回路系

図 5 に示すワンチップマイコンを中心とする制御回路は、装置 1 台ごとに組み込まれ、安全性、信頼性を維持するため以下のようないくつかの機能をもっている。

##### (1) 各種センサからの信号検知と出力制御

光出力検出、漏えいマイクロ波検出（レベル 1 及び レベル 2）、冷却風量検出を行い異常時の装置停止を行う。

##### (2) タイマー制御

電源を投入してから、マグネットロンのヒーターや冷却ファンが定常状態に達するまで数秒間必要であり、この間の点灯操作をロックする。また点灯時間に応じランプの冷却時間を設定して、この間の点灯操作もロックする機能をもっている。

##### (3) 点滅回数の計数機能

点滅の激しい露光用などの場合には、点滅 5 万回の交換寿命がきたことを使用者に知らせるため、バッテリでバックアップされたメモリで点滅回数がカウントされ、その状況を LED 点滅信号で出力する。

##### (4) 点滅操作入力と出力制御

単に点滅操作に応じた出力側（マグネットリレー）を制御するだけでなく、位相信号を取り込み電位が 0 V に近いところで高圧部の開閉を行なう制御をしている。

##### (5) マイクロ波の漏えい検出と割込み処理

マイクロ波漏えいに対する安全性、信頼性を確保するため、マイクロ波の検出は 2 回路で行っている。このうち 1 回路はマイコン動作に関係なく出力側が制御可能な回路構成となっているが、同時にマイコンの割込みにも接続し、いずれかの部分で故障が生じた場合でも対応

できる構成とした。

### 3. 製品展開と性能評価

反射板を除いたマイクロ波放電光源装置の灯体部の形状は図6.に示すとおりで、円筒形キャビティの周囲に用途に応じた様々な形状の反射板を附加して、所望の配光が得られるようにしたものである。表1.に示すように、従来の露光用光源装置を含め幾つかの用途に対応して反射板(図7.)を製作し、性能評価を行ったのでその結果について述べる。

#### (1) 露光用反射板 RF-01

明室プリンタやプリント基板のパターン露光用として、一般に長方形の被照射面に均一に紫外線を照射することが要求されている。この場合、ランプは図8.に分光特性を示すように紫外線を多く発するものを用いる。そして、反射面は均齊度の優れた紫外線強度分布とできるだけ強い紫外線強度を得るために、半拡散状の細かい凹凸を持つ素材を曲線状に成形し、これを4面組み合わせ、表面にはアルミニウム

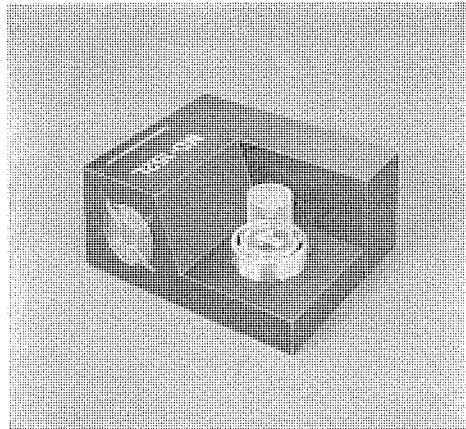


図5. 新マイクロ波放電光源装置の灯体部

の真空蒸着被膜を施した。この反射板を用いた装置の紫外線強度、分布特性は図9.のとおりであるが、従来装置と比較し、無駄な所への照射が少なく抑えられ、紫外線強度は20%以上高くすることができます。

#### (2) 塗料硬化用反射板 RF-02, 03

塗料硬化用光源装置としての応用展開を図るために、小面積に強い紫外線を集中させる反射板(RF-02)と、ベルトコンベヤ上に被照射物が流れる場合を想定して、帯状に均齊度が良く、強い紫外線を照射する反射板(RF-03)の開発を行った。

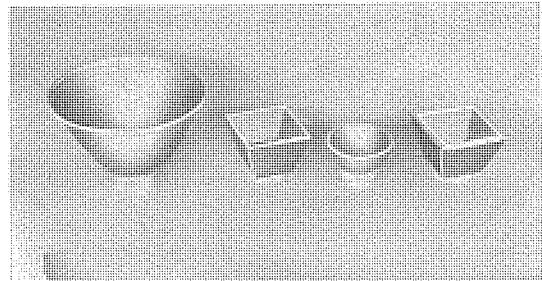


図7. 各種の反射板

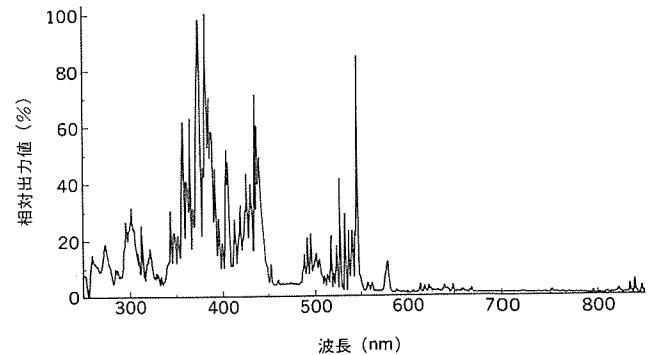


図8. 紫外線用無電極ランプの分光分布特性

表1. 応用分野と製品展開

製品展開			仕様例			応用分野
光源装置	使用反射板	使用ランプ	配光	光強度	寿命	
1.5kW 光源装置	RF-01 広域面均一照射用	M15UR 点滅点灯用 紫外線ランプ	(イ) 750 mm (ロ) 1,000×1,000 mm (ハ) 70%以上	1.5 mW/cm <sup>2</sup> 以上	点滅5万回	明室プリンタ用光源
			(イ) 400 mm (ロ) 500×500 mm (ハ) 80%以上			プリント基板バターン焼付け用光源
	RF-02 狭域面均一照射用	M15UC 連続点灯用 紫外線ランプ	(イ) 200 mm (ロ) φ150 mm (ハ) 80%以上	100 mW/cm <sup>2</sup> 以上	連続3千時間	紫外線塗料硬化用光源
	RF-03 帯状照射用		(イ) 300 mm (ロ) 300×150 mm (ハ) 80%以上			投光器(スポットライト)
	RF-04 狭配光用	M15WC 連続点灯用 白色ランプ	1/10ビーム角 14度	145万cd(最大値)		

注 (1) 表中配光欄の(イ)～(ハ)の意味は、(イ)光源からの照射距離、(ロ)被照射面寸法、(ハ)光強度分布を表す。

(2) (ハ)における光強度分布(%)は、(ロ)に示す被照射面内での【最小強度値/最大強度値】を表す。

(3) 光強度(紫外線強度)はオーケー社製 M-01・UV-35により測定したものである。(図9.、図10.、図11.も同じ)

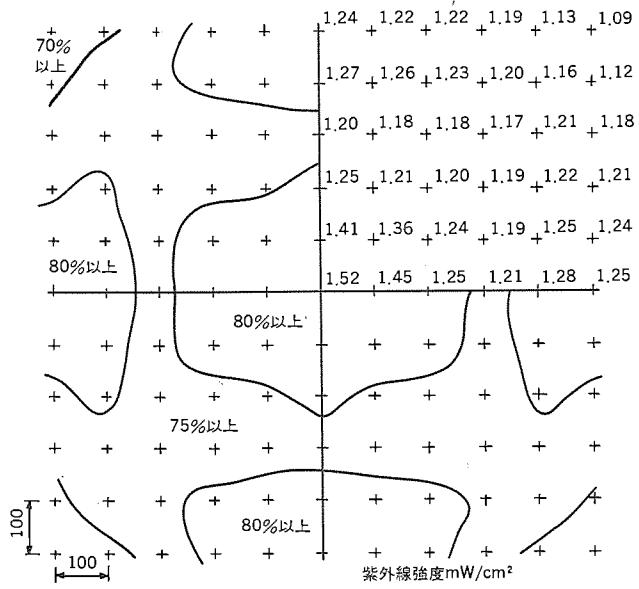


図 9. RF-01 の紫外線強度分布特性

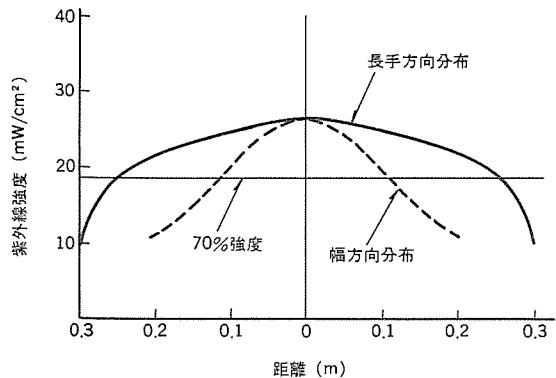


図 10. RF-03 の紫外線強度分布特性

RF-02 はだ円の一方の焦点上にランプが置かれるよう設定したので、他方の焦点の 30 mm 後方で  $105 \text{ mW/cm}^2$  という強い紫外線強度が得られた。また RF-03 は対向する 2 面を放物線で構成したもので、この面に平行な中心線上では図 10. に示す高い均一性の分布を得ることができた。

### (3) 投光器用反射板 RF-04

ランプが小形であることの特長を生かすべく、長距離照射用の投光器（スポットライト）の開発を試みた。ランプは従来からの紫外線発光ランプに代り、図 11. に示す分光分布の白色光のものを開発した。この反射板の配光特性は図 12. に示す  $1/10$  ピーク角  $14^\circ$ 、中心光度  $145$  万 cd であった。

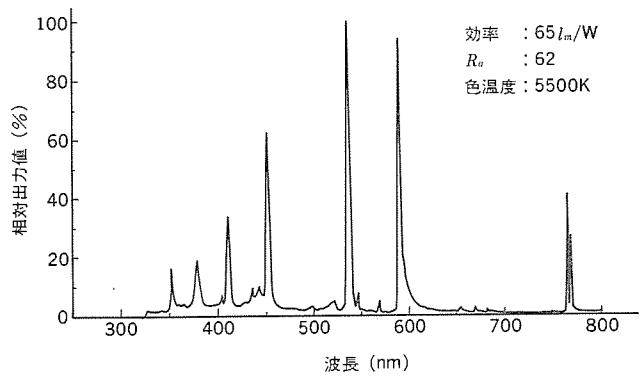


図 11. 白色光無電極ランプの分光分布特性

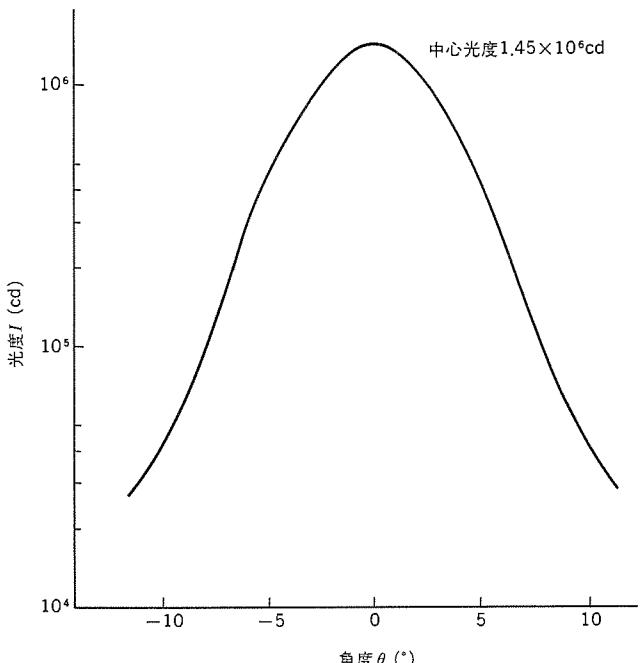


図 12. RF-04 の配光特性

## 4. むすび

数種類の反射板を製作し、新マイクロ波放電光源装置の多用途目的化に対して、実用上十分な特性が得られることができた。今後灯体部分では一層の標準化と高効率化、反射板部分では CAD 化を含む設計の迅速化、更にランプ部分では発光効率、発光スペクトル面での新光源の開発を推進することにより、更に用途が拡大されてゆくものと期待できる。

# 《MELCOM DPシリーズ》向け 意思決定支援システムDSS/1

和田 雄次\*・立花 昌和\*\*・金森 卓郎\*・中村 晋\*\*\*・溝口 徹夫+

## 1. まえがき

企業のオフィスや現場にいる計算機のエンドユーザーは、計算機を日常の業務に今まで以上に有効に活用し、業務の生産性を向上させたいという要望を強く持っている。更に、こうした要望の増加とともにパソコンやワープロなどに代表されるコンピュータ機器が数多くエンドユーザーの周辺に提供されている。しかしながら、こうした多岐にわたる環境にあるエンドユーザーの多種多様な要求のすべてを、計算機ユーザーのEDP部門や計算機メーカーのSE部門だけで実現することは非常に困難である。

こうした背景からエンドユーザー自身による業務用プログラム開発の必要性が生じてきた。これが、データベース操作、データ処理、モデル操作、シミュレーション、報告書作成、ビジネスグラフ作成などの機能を統合化して提供する意思決定支援システムDSS(Decision Support System)への期待が高まってきたゆえんである。当社においても、以上のようなエンドユーザーの要求に対応するために、分散処理コンピュータ《MELCOM DPシリーズ》向けにパソコン《MULTI 16》を用いた意思決定支援システムDSS/1を開発した。

## 2. 研究開発の目的

本章は、DSS/1の開発に先立ち、意思決定の支援に求められるコンピュータソフトウェア機能を考察する。

### 2.1 意思決定の過程と問題点

人間が意思決定する問題は、構造的な問題と非構造的な問題の二つに分類される<sup>(1)</sup>。前者は問題の本質と構造が明確であり、かつその解決手法も明確になっている意思決定であり、例えば在庫管理、予算分析などがある。一方、後者は問題の本質と構造がわかりにくく複雑であり、従来の問題解決手法では対処できない意思決定であり、例えば新製品計画、販売生産計画などがある。DSSは前者の問題を対象とするシステムではなく、後者の問題の意思決定を支援することのみを目的とするシステムである。

人間の意思決定は、発見過程、設計過程、選択過程から構成されると考えられている<sup>(2)</sup>。発見過程は問題の発見と解決に有用な情報の収集過程である。設計過程は問題解決策の代替案を設計する過程である。選択過程は複数の代替案の中から一つを選択する過程である。DSSの対象とする非構造的な問題はこの3過程が複雑に絡み合っているため、明確に区別できないが、この問題を比較的単純な構造的小問題に分解できれば問題は解決できると考えられている。しかしながら、こうした構造的小問題への分解手法は現在のところ確立していないため、意思決定の実際場面では、意思決定者、例えば企業の経営者や管理者が過去の経験や直観に頼って、試行錯誤的に非構造的な問題を解決していることが多い。したがって、意思決定者の試行錯誤的な問題解決作業を計算機で支援することが可能になれば、意思決定者は煩雑な小問題への分解作業から解放され、創造的有意思決定に専念できることになる。ここにDSSが出現した

理由と意義がある。

### 2.2 意思決定支援に求められる機能

DSSは、非構造的な問題から構造的な小問題への試行錯誤的な分解作業を支援するために、計算機の最も得意とするデータ処理能力を利用するわけであるが、DSSが意思決定を支援するため求められる具体的な機能として次の機能が考えられている。

- (1) データベースからのデータ収集とデータ加工
- (2) データの統計的分析と予測
- (3) 業務上の問題に対する解決案や代替案のモデル化
- (4) 解決モデル上での評価(シミュレーション)
- (5) 評価結果や分析結果のグラフ作成、作表、報告書作成

DSSが管理者や経営者などを支援し、十分な効果を上げるために、上記の機能に加えて次の点も重要である。

- (1) 初心者でも熟練者でも操作しやすいようなユーザーインターフェース
- (2) 使用頻度の高い処理やコマンドなどの登録管理と履歴管理(非定型業務と定型業務の両面対応)
- (3) 利用者の環境に柔軟に適応できるようなシステム導入性

## 3. 構成と機能

本章は、当社の分散処理コンピュータ《MELCOM DPシリーズ》向けに開発した意思決定支援システムDSS/1について記述する。

### 3.1 システム構成

#### 3.1.1 ハードウェア構成

DSS/1は、図1に示すようにホスト計算機とオンラインTSS端末装置から成る集中形システム上で動作する。ホスト計算機としては、《MELCOM DPシリーズ50/60/70》、《MELCOM-COSMOシリーズ700/800/900》、メガミニシリーズM70/150、250が使用できる。一方、TSS端末装置としては、日本語ワークステーションM4378、オフィスターミナルM5000

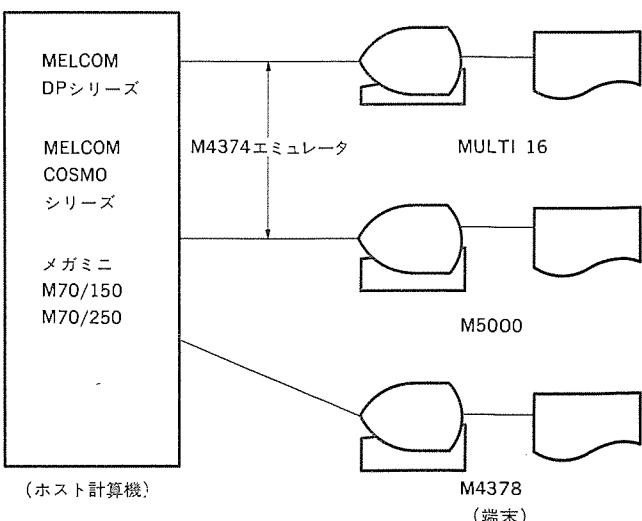


図1. DSS/1のハードウェア構成

\* 三菱電機(株)情報電子研究所 \*\* 三菱電機東部コンピュータシステム(株)

\*\*\* 三菱電機(株)コンピュータシステム製作所 + 三菱電機(株)情報電子研究所(工博)

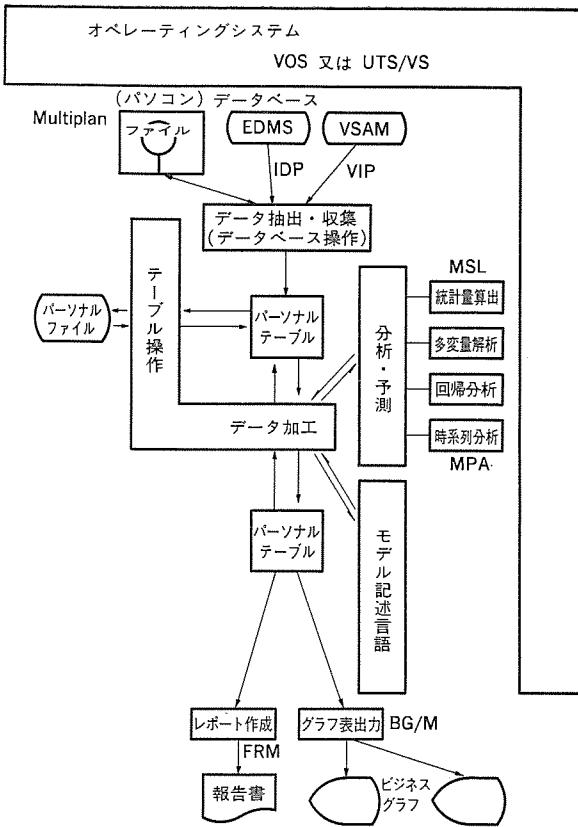
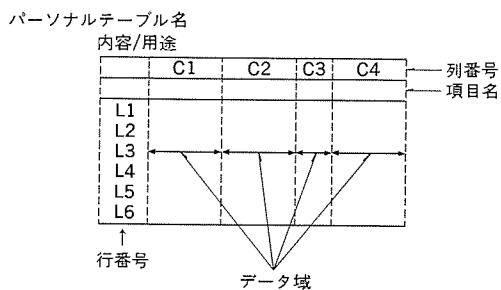


図 2. DSS/1 のソフトウェア構成



- ①パーソナルテーブル名：テーブル全体の名称
- ②内容/用途：テーブルが持っているデータの意味を簡潔に表現したもの
- ③項目名：テーブルを構成している同一性質からなるデータ名
- ④行データ：ファイルのレコードに対応
- ⑤列データ：同じ性質をもつ値の集合
- ⑥列番号、行番号：演算、検索、更新などで変数として使用する

図 3. パーソナルテーブルの形式

オフィスター M 5000 もオペレーティングシステム 日本語 MP/M 86 のもとで日本語ワークステーションのエミュレータ M 4374 E を用いて、DSS/1 が起動できる。

### 3.2 機能

#### 3.2.1 特長

DSS/1 が提供する主要な機能とその特長は次のとおりである。

##### (1) ネットワーク形データベースと VSAM ファイルからのデータ検索

DSS/1 は、『MELCOM DP シリーズ』や COSMO シリーズなどのホスト計算機を用いて構築したネットワーク形データベース EDMS や VSAM ファイルに蓄積されているデータを抽出し、加工することができる。そのデータ抽出方法は EDMS や VSAM のエンドユーザー言語 IDP や VIP と同じであるため、DSS/1 のユーザーは何ら新しい操作方法を修得することなく従来どおりにデータを検索できる利点がある。

##### (2) 表データ操作

EDMS データベースや VSAM ファイルから抽出したデータは、DSS/1 利用者の個人用ファイルであるパーソナルテーブルと呼ぶ表形式のデータ構造に変換される。DSS/1 の全機能は、このパーソナルテーブルという統一的なユーザーインターフェースに対して提供されている点が特長である。パーソナルテーブルは図 3. に示すように二次元の表データ構造をしているため、利用者にとって非常にわかりやすい上に、その構造の定義や変更は、パーソナルテーブルを使用しているプロセッサは簡単に実施できる利点がある。

パーソナルテーブルに対するデータ操作は、表データの内容表示、表データ形式の定義と変更、表データ間の四則演算、表データの選択、表の結合、表の併合、表の分解、表データの射影、表データの書換え、表データ項目の交換などを提供している。こうした表データ操作はすべて対話形式で動的に実行できる利点がある。

##### (3) モデル操作とシミュレーション

DSS/1 はオフィスの業務をモデル化し、その業務モデルに対して種々のモデル操作を実施することができる。モデルを作成するための言語がモデル記述言語である。DSS/1 のモデル記述言語は、パーソナルテーブルからのデータ入力記述、モデル式の登録、日本語変数名の記述、スケール因子（例えば、千円、百万円など）の設定、統計予測分析から得られた統計予測式（例えば、回帰式）の参照、モデル上でのシミュレーション結果のパーソナルテーブル出力記述などが特長である。モデル操作は、単純シミュレーション、代替案分析（what if）、目的探索（goal seeking）、感度分析を提供している。

ナル M 5000、パソコン『MULTI 16』が使用できる。

#### 3.1.2 ソフトウェア構成

##### (1) ホスト側ソフトウェア

DSS/1 は、図 2. に示すようにオペレーティングシステム VOS や UTS/VS のもとで動作する。データベースとしては、ネットワーク形データベース EDMS<sup>(3)</sup> や VSAM ファイル<sup>(4)</sup> が利用できる。DSS/1 からの EDMS データベースの利用は、そのエンドユーザー向けデータベース問合せ言語 IDP<sup>(5)</sup> を動的に起動することにより実現している。一方、DSS/1 からの VSAM ファイルの利用も、そのエンドユーザー言語 VIP<sup>(6)</sup> を動的に起動することにより実現している。

DSS/1 は、上記のデータベース検索のほかに、表データ操作、分析・予測、モデル記述言語処理、報告書作成、グラフ作成、データエンタリなどのモジュールから構成されている。表データ操作モジュールは関係演算処理、集合演算処理、初等統計演算処理のサブモジュールから成る。分析・予測モジュールは、当社の統計プログラムパッケージ MSL<sup>(7)</sup> シリーズや時系列分析による需要予測プログラムパッケージ MPA<sup>(8)</sup> から成る。報告書作成モジュールは当社の対話形報告書作成ツール FRM<sup>(9)</sup> を動的に起動することにより実現している。

##### (2) 端末側ソフトウェア

パソコン『MULTI 16』はオペレーティングシステム 日本語 CP/M 86 のもとで、日本語ワークステーション M 4378 エミュレータ M 4374 E を動作させ、この TSS 端末モードのときには DSS/1 が起動できる。DSS/1 のグラフ作成モジュールは、ファイル転送ユーティリティ PCLM 2 を用いてホスト計算機からパソコンへデータを転送した後、パソコンのビジネスグラフ作成パッケージ BG/M でグラフ作成する方式を採用している。また、データエンタリは TSS 端末モードで実施する方式のほかに、パソコンの作表パッケージ Multiplan を用いて実施する方式も採用している。一方、

#### (4) 統計予測

DSS/1 の統計予測は、初等統計、統計分析、多変量解析、時系列予測、投資効果分析などを提供している。統計分析には相関分析と順位相関分析を提供している。多変量解析には判別分析、主成分分析、因子分析、クラスタ分析を提供している。時系列予測には傾向曲線当てはめ、指数平滑法、EPA 法を提供している。投資効果分析には キャッシュフロー 分析を提供している。統計予測分析に使用するデータは、パーソナルテーブルから入力し、その分析結果もまたパーソナルテーブルとして出力する点が特長である。

#### (5) グラフ作成

DSS/1 のビジネスグラフ作成機能は、ホスト計算機側とは独立にパソコン側で実施する分散処理が特長である。ホスト計算機に構築したパーソナルテーブルをパソコン側へファイル転送し、パソコン上のビジネスグラフ作成パッケージ BG/M を用いて作成する。すなわち、グラフ作成時のパソコンは TSS 端末モードではなく、スタンダードモードで動作する方式を探っている。ビジネスグラフには棒グラフ、折れ線グラフ、円グラフ、レーダチャート、ステレオグラム、ガントチャート、ファンチャート、帶グラフ、面グラフなどを提供している。

#### (6) 報告書作成

DSS/1 の報告書作成機能は、パーソナルテーブル内に蓄積されているデータを入力し、ホスト計算機上に提供されている対話形報告書作成ツール FRM を用いて、報告書の形式に整理し直して、ホスト側プリンタやパソコン側プリンタに出力することができる。

#### (7) アプリケーションプロジェクトの登録

DSS/1 は非定型業務に対応するだけではなく、定型化された業務にも対応できるように、DSS/1 の利用形態をプロジェクトとして登録し、またその登録したプロジェクトを呼び出し利用することもできる。プロジェクトとして登録できる内容は、DSS/1 の操作コマンドだけではなく、COBOL や C 言語などのプログラミング言語で作成したアプリケーションプログラムでもよい。こうしたアプリケーションプログラムは、DSS/1 の表データ操作コマンドで作成したパーソナルテーブルを利用できる点が特長である。

#### (8) 端末からのデータエントリ

DSS/1 は、端末からパーソナルテーブルへ直接データエントリすることができる。これに加えて、パソコンの作表プログラムパッケージ Multiplan で作成したデータもパーソナルテーブルとして取り込んだり、逆に DSS/1 の表データ操作コマンドで作成したパーソナルテーブルのデータを Multiplan で加工できる点も特長である。

### 3.2.2 操作コマンド

DSS/1 のユーザーインターフェースは、コマンドを中心としたメニュー選択方式を採用している。表 1. に操作コマンドの一覧を示す。

#### (1) データベース検索

EDMS データベース検索には CPEDM コマンド、VSAM ファイル検索には CPVSA コマンドを用いる。

#### (2) 表データ操作

パーソナルテーブルの内容表示には PTDIS コマンド、内容書き換えや項目交換には PTEDT コマンド、四則演算には CALCU コマンド、内容選択には SELEC コマンド、射影には PROJE コマンド、結合には JOIN コマンド、併合には PTUNI コマンドを用いる。

#### (3) モデル操作とシミュレーション

モデルプログラムの作成編集は MPEDT コマンド、その表示には MPDIS コマンドを用いる。モデル式の作成登録は MEEDT コマンド、その表示に

表 1. 操作コマンド

コマンド名	機能	コマンド名	機能
CPEDM	データベース検索	WHTIF	代替案分析
CPVSA	USAM ファイル検索	GOALS	目標探索
		SENSI	感度分析
PTLIS	パーソナルテーブル一覧表	FITLIN	傾向曲線当てはめ
PTDIS	パーソナルテーブル内容表示	CORRE	相関分析
PTATR	パーソナルテーブル属性表示	ORDCO	順位相関分析
PTDEL	パーソナルテーブル削除	ELSTA	初等統計
PTCRT	パーソナルテーブル作成	STAND	標準化行列
PTEDT	パーソナルテーブル編集	DSCRI	判別分析
PTUNI	パーソナルテーブル併合	PRINC	主成分分析
PTSEP	パーソナルテーブル分離	FACTO	因子分析
SELEC	パーソナルテーブル内容選択	CLUST	クラスター分析
CALCU	パーソナルテーブル四則演算	EXPSM	指数平滑法
PROJE	パーソナルテーブル射影	EPAADD	EPA 法の季節調整
JOIN	パーソナルテーブル結合	CASHF	キャッシュフロー分析
SORT	パーソナルテーブル分類	REPOR	報告書作成
PTSUM	パーソナルテーブル合計	GRAPH	グラフ作成
TOSUM	パーソナルテーブル総計	TRNGRA	グラフファイル変換
RATIO	パーソナルテーブル割合		
AVERA	パーソナルテーブル平均		
MPCRT	モデルプログラム作成	APCRT	プロジェクト登録
MPEDT	モデルプログラム編集	APLIS	プロジェクト名一覧
MPDIS	モデルプログラム表示	APDEL	プロジェクト削除
MPLIS	モデルプログラム一覧	APEXE	プロジェクト起動
MPDEL	モデルプログラム削除	HELP	操作支援
MECRT	モデル式作成		
MEEDT	モデル式編集		
MELIS	モデル式一覧	TRNSLK	シルクファイル変換
MEDEL	モデル式削除	SLKTRN	シルクファイル逆変換
SIMUL	単純シミュレーション		

は MELIS コマンドを用いる。モデルの単純シミュレーションには SIMUL コマンド、代替案分析には WHTIF コマンド、目標探索には GOALS コマンド、感度分析には SENSII コマンドを用いる。

#### (4) 統計予測

初等統計には STAND コマンド、傾向曲線当てはめには FITLIN コマンド、相関分析には CORRE コマンドを用いる。判別分析には DSCRI コマンド、主成分分析には PRINC コマンド、因子分析には FACTO コマンド、クラスター分析には CLUST コマンドを用いる。指数平滑法は EXPSM コマンド、EPA 法には EPAADD コマンド、キャッシュフロー分析には CASHF コマンドを用いる。

#### (5) グラフ作成

グラフ作成には GRAPH コマンドを用いる。

#### (6) 報告書作成

報告書作成には REPOR コマンドを用いる。

#### (7) アプリケーションプロジェクトの登録

アプリケーションプロジェクトの登録には APCRT コマンド、アプリケーションプロジェクト名の一覧表示には PTLIS コマンド、アプリケーションプロジェクトの起動には APEXE コマンドを用いる。

#### (8) 端末からのデータエントリ

データエントリには PTCRT コマンドを用いる。

### 4. 適用事例

#### 4.1 表データ操作

PTDIS コマンドを用いたパーソナルテーブルの内容表示の例が図 4. である。C1 から C4 の 4 項目と L1 から L8 の 8 行から成る。CALCU コマンドを用いて、パーソナルテーブル SETU 1 の達成率を売上実績と売上目標の割合から算出する例を図 5. に示す。SELEC コマンドを用いてパーソナルテーブル SETU 1 から商品 A が 30 万より多く、かつ商品

Bが20万より多いデータを選択した例を図6.に示す。PROJEコマンドを用いてパーソナルテーブルSETU1から支店名、売上実績、売上目標、達成率を射影した例を図7.に示す。

#### 4.2 モデル操作とシミュレーション

図8.はパーソナルテーブルURIAGEから各年度ごとの仕入量、仕入単

DIS パーソナル・テーブルの内容を表示。

【使用例】  
> DIS

	C1	C2	C3	C4
支店名	商品A	商品B	商品C	
L1 北海道	￥325,600	231,300	347590	
L2 東京	￥433,200	198,800	342200	
L3 四国	￥664,200	453,600	356700	
L4 北陸	￥453,200	231,100	432800	
L5 中部	￥339,500	179,900	232300	
L6 関西	￥231,200	343,200	126700	
L7 中國	￥167,700	120,900	432900	
L8 四国	￥121,200	114,500	231400	

図4. パーソナルテーブルの内容表示

CAL 項目(レコード)間の検索。

【使用例】

\* \* 対象選択

パーソナル・テーブル名=SETU1

C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
支店名	商品A	商品B	商品C	商品D	売上実績	売上目標	達成率
L1 北海道	325600	231300	347590	234100	1138590	1025800	0.00
L2 東京	433200	188800	342200	263200	1237400	1135200	0.00
L3 四国	664200	453600	356700	352200	1826700	1773500	0.00
L4 北陸	453200	231100	432800	321100	1438200	1208600	0.00
L5 中部	339500	179500	232300	238600	990300	1031600	0.00
L6 関西	231200	343200	126700	342100	1043200	1051500	0.00
L7 中國	167700	120500	432900	298700	1020200	1121100	0.00
L8 四国	121200	114500	231400	198790	665890	708400	0.00
L9 九州	563900	347700	425100	342100	1688800	1351000	0.00

-C8=C6/C7

C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
支店名	商品A	商品B	商品C	商品D	売上実績	売上目標	達成率
L1 北海道	325600	231300	347590	234100	1138590	1025800	0.11
L2 東京	433200	188800	342200	263200	1237400	1135200	0.09
L3 四国	664200	453600	356700	352200	1826700	1773500	0.03
L4 北陸	453200	231100	432800	321100	1438200	1208600	0.13
L5 中部	339500	179500	232300	238600	990300	1031600	0.00
L6 関西	231200	343200	126700	342100	1043200	1051500	0.07
L7 中國	167700	120500	432900	298700	1020200	1121100	0.81
L8 四国	121200	114500	231400	198790	665890	708400	0.94
L9 九州	563900	347700	425100	342100	1688800	1351000	0.25

図5. パーソナルテーブルの四則演算

SEL レコードの選択。

【使用例】

>SEL SETU1

\* \* 選択

パーソナル・テーブル名=SETU1

C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
支店名	商品A	商品B	商品C	商品D	売上実績	売上目標	達成率
L1 北海道	325600	231300	347590	234100	1138590	1025800	0.11
L2 東京	433200	188800	342200	263200	1237400	1135200	0.09
L3 四国	664200	453600	356700	352200	1826700	1773500	0.03
L4 北陸	453200	231100	432800	321100	1438200	1208600	0.13
L5 中部	339500	179500	232300	238600	990300	1031600	0.00
L6 関西	231200	343200	126700	342100	1043200	1051500	0.07
L7 中國	167700	120500	432900	298700	1020200	1121100	0.81
L8 四国	121200	114500	231400	198790	665890	708400	0.94
L9 九州	563900	347700	425100	342100	1688800	1351000	0.25

選択条件を入力して下さい。

- (C2>300000) AND (C3>200000)

C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
支店名	商品A	商品B	商品C	商品D	売上実績	売上目標	達成率
L1 北海道	325600	231300	347590	234100	1138590	1025800	0.11
L2 東京	433200	188800	342200	263200	1237400	1135200	0.09
L3 四国	664200	453600	356700	352200	1826700	1773500	0.03
L4 北陸	453200	231100	432800	321100	1438200	1208600	0.13
L5 中部	339500	179500	232300	238600	990300	1031600	0.00
L6 関西	231200	343200	126700	342100	1043200	1051500	0.07
L7 中國	167700	120500	432900	298700	1020200	1121100	0.81
L8 四国	121200	114500	231400	198790	665890	708400	0.94
L9 九州	563900	347700	425100	342100	1688800	1351000	0.25

図6. パーソナルテーブルの内容選択

価、販売量、販売単価のデータを読み込んで、売上高利益率、純利益、税金などの目標変数を算出、分析するためのモデルプログラムの例である。このモデルプログラムに対して、SIMULコマンドを用いて固定費、仕入量、仕入単価、販売量、販売単価、税率の政策変数の初期値に対する目標変数の値を調べることができる。図9.にその一部を例示する。WHTIFコマンドを用いて、政策変数の中の一つ、例えば固定費の値を変更したときの目標変数の変化を調べることができる。SENSIコマンドを用いて、政策変数の変動に最も影響を受ける目標変数を調べることができる。GOALSコマンドを用いて、あらかじめ設定してある目標変数の値が実現できるための政策変数の値を調

PRO プロジェクトの選択(射影)。

【使用例】

\* \* 射影

パーソナル・テーブル名=SETU1

C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
支店名	商品A	商品B	商品C	商品D	売上実績	売上目標	達成率
L1 北海道	325600	231300	347590	234100	1138590	1025800	0.11
L2 東京	433200	188800	342200	263200	1237400	1135200	0.09
L3 四国	664200	453600	356700	352200	1826700	1773500	0.03
L4 北陸	453200	231100	432800	321100	1438200	1208600	0.13
L5 中部	339500	179500	232300	238600	990300	1031600	0.00
L6 関西	231200	343200	126700	342100	1043200	1051500	0.07
L7 中國	167700	120500	432900	298700	1020200	1121100	0.81
L8 四国	121200	114500	231400	198790	665890	708400	0.94
L9 九州	563900	347700	425100	342100	1688800	1351000	0.25

射影対象項目を入力して下さい。

-C1-C6-C7-C8

パーソナル・テーブル名=SETU1

C1	C2	C3	C4
支店名	売上実績	売上目標	達成率
L1 北海道	1138590	1025800	0.11
L2 東京	1237400	1135200	0.09
L3 四国	1735000	1121100	0.03
L4 北陸	1438200	1208600	0.13
L5 中部	1090000	1031600	0.00
L6 関西	1043200	1051500	0.07
L7 中國	1668800	1351000	0.25

図7. パーソナルテーブルの射影

基本データから目標変数を求めるモデル式を作成する。

パーソナル・テーブル名 URIAGE

固定費 = 100000	仕入量 = URIAGE.C2
仕入量 = URIAGE.C2	販売量 = URIAGE.C4
販売量 = URIAGE.C4	仕入量 = 仕入量 * 仕入単価
仕入量 = 仕入量 * 仕入単価	仕入量 = 販売量 * 販売単価
販売量 = 販売量 * 販売単価	販売量 = 売上高 * 0.05 + 固定費
一括引前利益 = 売上高 - 一括引前管理費	一括引前利益 = 売上高 - 仕入費
税金 = 調引前利益 * 税率	税金 = 調引前利益 * 税率
税金 = 調引前利益 * 税率	税金 = 調引前利益 * 税率
売上高利益率 = 利益 / 売上高 * 100	売上高利益率 = 利益 / 売上高 * 100

モード・プログラム 内容表示 YOSAN

固定費 -- 固定  
仕入量 -- パーソナル・テーブルより入力  
仕入単価 -- タ  
販売量 -- タ  
販売単価 -- タ

図8. モデルプログラム

政策変数を変化させて目標変数がどのようになるか調べたり、逆に目標値を設定して政策変数を求めるなどのシミュレーションをする。

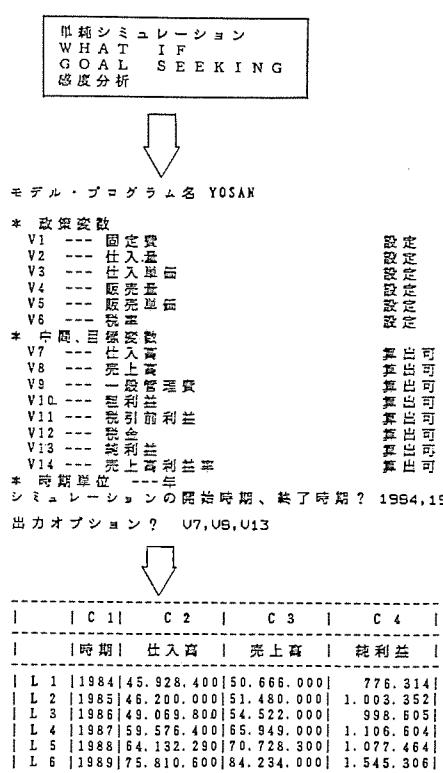


図 9. モデルのシミュレーション

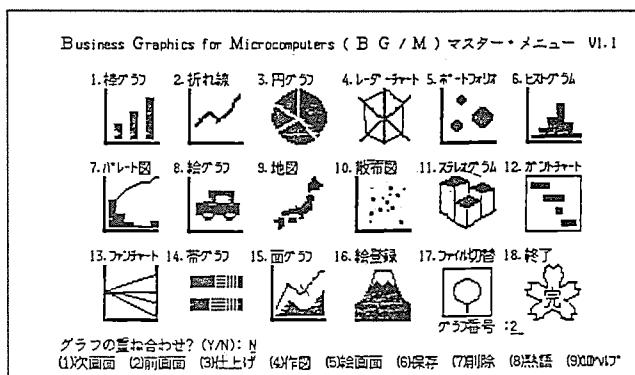


図 10. ビジネスグラフのメニュー

べることもできる。

#### 4.3 グラフ作成

図 10. が BG/M で作成できるビジネスグラフのメニューである。図 11. が円グラフ、図 12. が棒グラフの一例である。

#### 5. むすび

MELCOM DP シリーズ、COSMO シリーズ、メガミニシリーズ 向けに開発した意思決定支援システム DSS/1 について紹介した。DSS/1 は、データベース検索、表データ操作、モデル作成・シミュレーション、統計予測分

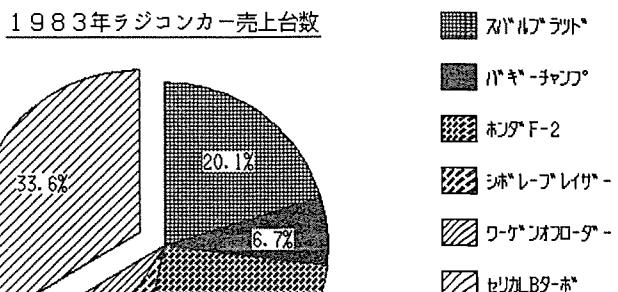


図 11. 円グラフ

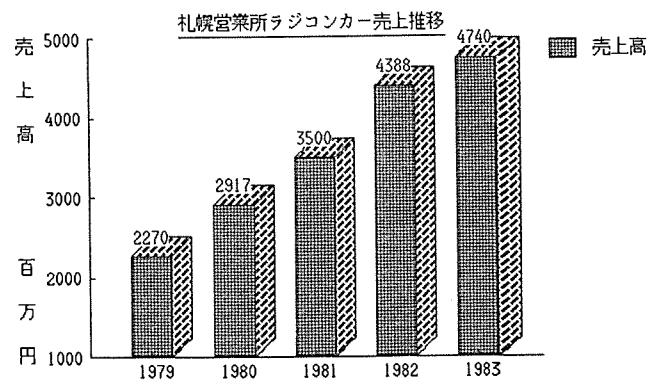


図 12. 棒グラフ

析、ビジネスグラフ作成、報告書作成、アプリケーションプロジェクト登録、データエントリなどの機能から成るビジネスソフトウェアツールであるので、OAの分野だけではなく、FAやLAなどの分野にも充分適用できる汎用ソフトウェアパッケージである。

最後に、意思決定支援システムが今後多くの分野で幅広い利用者に使用されることを期待して止まない。

#### 参考文献

- 和田・溝口：意思決定支援システム、OA学会誌、p. 153 (昭60)
- 広内・小坂：意思決定支援システム DSS 構築の方法論、竹内書店、p. 219 (昭58)
- 三菱電機：データベース使用手引書
- 三菱電機：UTS/VS VSAM マクロ文法説明書
- 三菱電機：IDP 説明書
- 三菱電機：VIP 使用手引書
- 三菱電機：MSL シリーズ 1, 2, 3 説明書
- 三菱電機：MPA 説明書
- 三菱電機：FRM 説明書

# 高速大容量256KビットEPROM

山本 誠\*・平林一雄\*・張間寛一\*・中島盛義\*・酒井務\*

## 1. まえがき

EPROM (Erasable and Programmable Read Only Memory) は、電気的に書き込みができる、紫外線照射により消去可能な不揮発性メモリであり、当初プログラムデバッグ用として開発されたが、信頼性の向上とともに短いターンアラウンドタイムという利点を生かし、幅広くマイクロプロセッサシステムに応用され、その消費量は急激に増加してきている。当社においても、2 Kビットに始まり、8 K、16 K<sup>(1)</sup>、32 K<sup>(2)</sup>、64 K<sup>(3)</sup>、128 K<sup>(4)</sup>ビットの容量を持つEPROMを1~2年で容量2倍というスピードで開発・製品化しており、かなりの生産実績を得ている。

今回、筆者らは、最先端の微細加工技術を用いて最大アクセスタイム200 ns の読み出し特性をもつNチャネル256 KビットEPROM M5L 27256 Kを開発した。また、256 KビットEPROMは、64 K、128 KビットEPROMと読み出し時ピン互換性を持たせており、マイクロプロセッサシステムの機能をより一層向上することが可能となった。

ここでは、高速大容量256 KビットEPROM M5L 27256 Kの製品概要・技術的特長・電気的特性・信頼性について紹介する。

## 2. 製品概要

今回開発したNチャネル256 KビットEPROM M5L 27256 Kの主な特長は次のとおりである。

(1) 大容量256 Kビット : 32,768ワード×8ビット構成

(2) 高速アクセスタイム : 最大200 ns

(3) 低消費電力 : 動作時最大 551 mW

待機時最大 236 mW

(4) 低書き込み電圧 : 12.5 V

(5) 高速書き込み方式採用

(6) CEとOEの2ラインコントロール信号でOR接続が容易

(7) 全入出力端子はTTLコンパチブル

(8) 標準28ピンDIL (Dual in Line) パッケージ

256 KビットEPROM M5L 27256 Kのピン接続図を図1.に示す。128 KビットEPROMと比較して27ピンのPGMがA<sub>14</sub>となり、PGMの機能はCEが兼ね備えており、読み出し時128 KビットEPROMの上位互換性が考慮されている。

256 KビットEPROMのブロック図を図2.に示す。256 Kビットは32,768ワード×8ビットで構成されており、データ入出力は8ビット(D<sub>0</sub>~D<sub>7</sub>)からなる。32 Kワードの選択には15本のアドレス入力(A<sub>0</sub>~A<sub>14</sub>)を必要とし、アドレス信号の下位6本(A<sub>0</sub>~A<sub>5</sub>)はYアドレス、上位9本(A<sub>6</sub>~A<sub>14</sub>)はXアドレスに振り分けられている。制御信号は、チップの選択・パワーダウンを制御するチップインペーブル信号(CE), 出力回路を制御するアウトプットインペーブル信号(OE)の2本からなり、読み出し時CE・OEの2ラインコントロールによりバス競合をさけることが可能である。書き込み時V<sub>PP</sub>に書き込み電圧を加えると、V<sub>PP</sub>高電圧検出回路によりCEはプログラミング回路を制御するプログラム信号とし

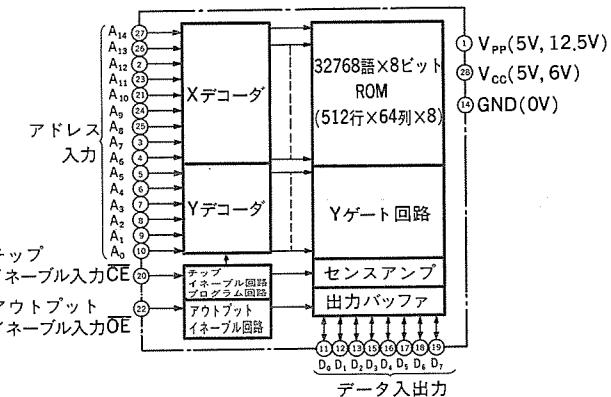
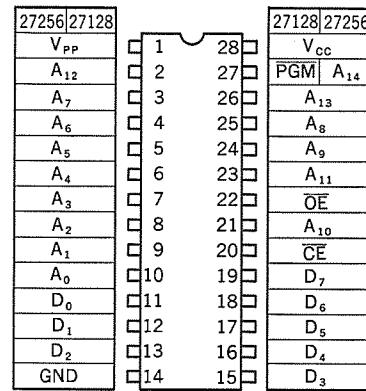


図2. M5L 27256 Kのブロック図

て動作する。書き込み時6 VのV<sub>cc</sub>電源と12.5 VのV<sub>PP</sub>電源で動作し、読み出し時は5 V単一電源で動作する。

## 3. 技術的特長

### 3.1 高集積化技術

256 KビットEPROMは、縮小投影露光・異方性ドライエッティングなどの最先端微細加工技術を用いており、2 μmルールで設計されている。EPROMのメモリセルは、1ビット当たり一つのFAMOS形(Floating Gate Avalanche Injection Metal oxide Semiconductor)不揮発性メモリで構成されているので、メモリのセルサイズは6 × 6 μm<sup>2</sup>と極めて小さい。更に、ゲート酸化膜厚は350 Åと従来の1/2に薄膜化しており、これら横方向及び縦方向の微細化により64 K・128 KビットEPROMの場合21 Vであった書き込み電圧を、12.5 Vと低電圧化している。また、EPROMは他のメモリと異なり書き込み時に高電圧を加えるため、微細化する場合特にMOSトランジスタの高耐圧化という問題がある。筆者らは、高電圧が加わるMOSトランジスタの構造を検討し、約20 Vの高電圧に耐えられるような工夫を行っている。

図3.に、256 KビットEPROM M5L 27256 Kのチップ写真を示す。チップサイズは、4.76 × 4.80 mm<sup>2</sup>であり、256 Kビットの容量を持

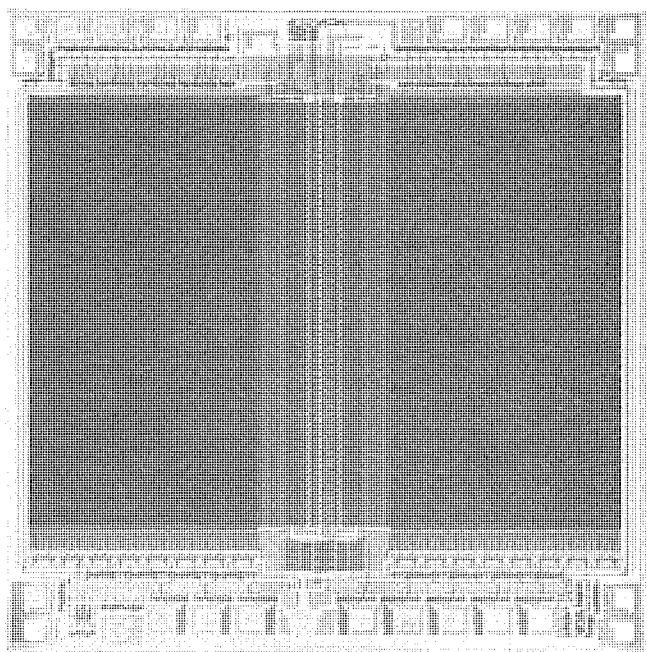


図 3. 256 Kビット EEPROM M5L27256 K のチップ写真

ちながら面積において当社の 128 Kビット EEPROM の約 3/4, 64 Kビット EEPROM とほぼ同程度の大きさに集積されている。

### 3.2 回路技術

256 Kビット EEPROM は、異なるしきい値電圧をもつ 5種類のトランジスタを使用しており、高速動作かつ低消費電力化を達成している。

低消費電力化として、しきい値電圧がほぼ 0 V に近い  $0V_{th}$ トランジスタを各周辺回路に用いており、アドレス信号及びチップイネーブル信号を組み合わせることにより無駄に消費される電流を減少させ、読み出し動作時 ( $I_{cc2}$ )、待機時 ( $I_{cc1}$ ) 共に少ない電源電流となっている。

高速化として、一つは大きな負荷容量を持つ回路にブーストストラップ回路を用いている。ブーストストラップ回路は、容量結合により電源電圧 ( $V_{cc}$ ) 以上の電圧を発生させるため、この電圧をロードトランジスタのゲートに加えることにより充電能力が増し応答が高速になる。もう一つは、高速化に最も影響の大きいセンスアンプ回路であり、図 4. のような差動形センスアンプ回路を採用している。このセンスアンプ回路は、メモリセルと結合したビット線の動作点を 1 V 程度の低い電圧に設定しており、選択されたメモリセルの消去された導通状態、書き込まれた非導通状態に基づくビット線の微小な電圧変化を検出するので、メモリ容量の増加とともにビット線の負荷容量が増加しても高速で動作することができる。消去された状態と書き込まれた状態のしきい値は、基準電圧回路の出力電圧で決定され、この基準電圧より低ければ消去状態となり、高ければ書き込み状態とみなされる。したがって、基準電圧回路の出力電圧は、書き込み時間にも影響を与えるため、読み出し及び書き込みの高速化という両面から検討しセンスアンプ回路を最適化している。

以上の高集積化技術及び回路技術のポイントをまとめると表 1. のようになる。

## 4. 電気的特性

### 4.1 DC 特性

動作時及び待機時の電源電流 ( $I_{cc2}$ ,  $I_{cc1}$ ) の電源電圧依存性を図

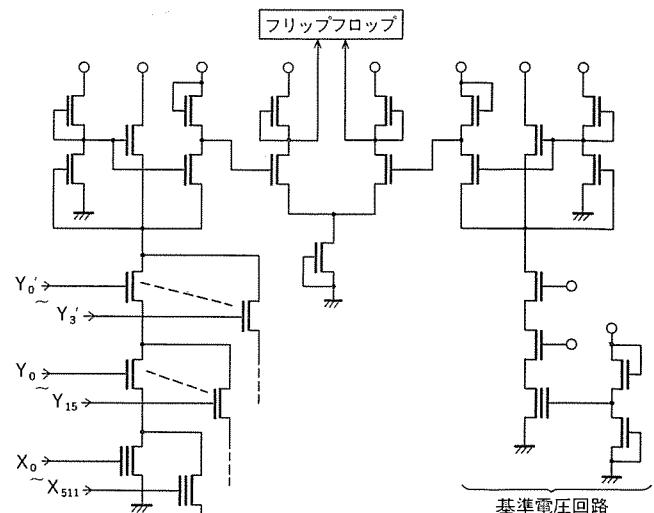


図 4. センスアンプの回路

表 1. 技術的ポイント

- ・ひ素のイオン注入及び縮小投影露光によるソース・ドレインの形成  $\Rightarrow L=2 \mu m$
- ・薄膜化  $\Rightarrow T_{ox}=350 \text{ Å}$
- ・MOSトランジスタの高効率化  $\Rightarrow$  駆動電圧 20 V 以上
- ・0 V<sub>th</sub>トランジスタ  $\Rightarrow$  低消費電力
- ・ブーストストラップ回路  $\Rightarrow$  高速動作
- ・差動センスアンプ  $\Rightarrow$  高速かつ広い動作範囲

5. に、温度依存性を図 6. に示す。標準条件 ( $V_{cc}=5 \text{ V}$ ,  $T_a=25^\circ\text{C}$ ) での動作時及び待機時の電源電流はそれぞれ 35 mA, 10 mA であり、待機時の電源電流は動作時の 1/3 以下にパワーカットされている。また、動作時・待機時共に N チャネル EEPROM としては極めて小さい電流値となっている。

出力電圧 ( $V_{OH}$ ,  $V_{OL}$ ) の出力電流 ( $I_{OH}$ ,  $I_{OL}$ ) 依存性を図 7. に示す。出力電圧及び出力電流は、規格上 1 TTL コンパチブルであるが、十分な出力電圧と電流駆動能力をもっている。

### 4.2 AC 特性

アクセスタイムはアドレス・ $\overline{CE}$ ・ $\overline{OE}$  アクセスタイムの 3種類有り、図 8. に各アクセスタイムの電源電圧 ( $V_{cc}$ ) 依存性を示す。標準条件におけるア

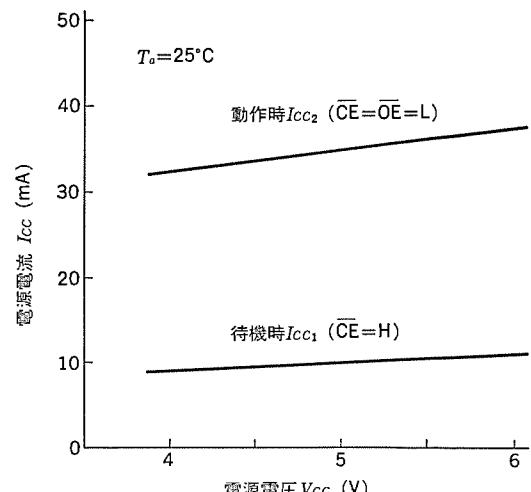


図 5. 電源電流（動作時及び待機時）の電源電圧依存性

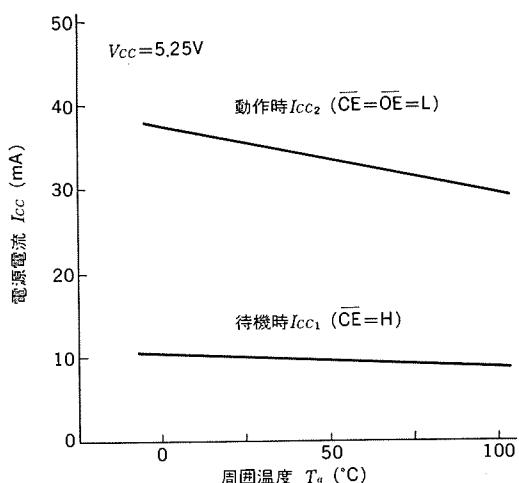


図 6. 電源電流（動作時及び待機時）の周囲温度依存性

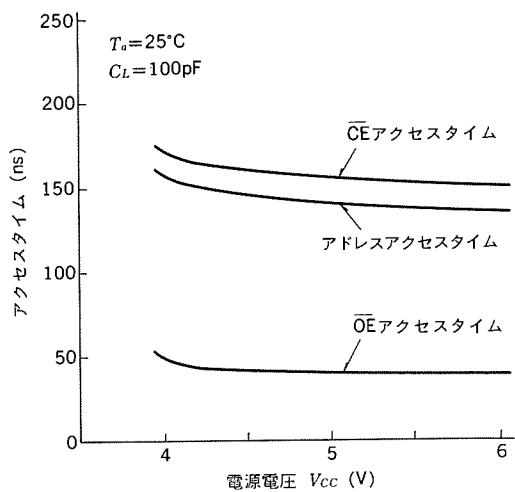


図 8. アクセスタイムの電源電圧依存性

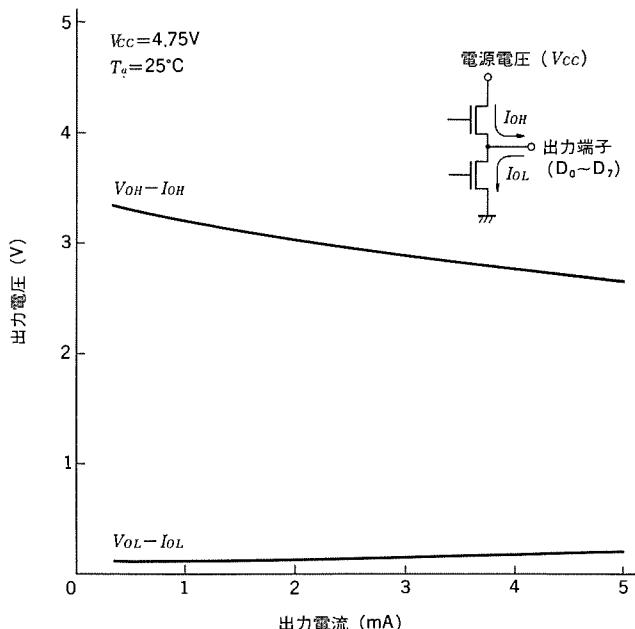


図 7. 出力電圧 ( $V_{oh}$ ,  $V_{ol}$ ) の出力電流 ( $I_{oh}$ ,  $I_{ol}$ ) 依存性

アドレスアクセスタイムは 140 ns,  $\overline{CE}$  アクセスタイムは 155 ns,  $\overline{OE}$  アクセスタイムは 40 ns といずれも高速である。アクセスタイムの周囲温度依存性を図 9. に示す。アクセスタイムの温度変化量は、アドレスと  $\overline{CE}$  アクセスタイムが  $0.4 \text{ ns}/1^\circ\text{C}$ ,  $\overline{OE}$  アクセスタイムが  $0.1 \text{ ns}/1^\circ\text{C}$  と高温ほど遅くなる。

#### 4.3 書込み特性

書込みとは、ブランク (Blank) 状態のメモリに電荷を蓄え、出力データ “1” を “0” にすることであり、 $V_{cc}$  電源を 6 V,  $V_{pp}$  電源を 12.5 V,  $\overline{OE}$  を “H” に設定し、 $\overline{CE}$  を “L” にすることで行われる。 $\overline{CE}$  の内部回路は、書き込み時 プログラム回路に切り換わる。書き込み方式は、高速書き込み方式を採用しており、フローチャートを図 10. に示す。高速書き込みアルゴリズムは、128 K ビット EPROM の場合<sup>(4)</sup> とほぼ同一であるが、追加プログラムパルスが 128 K ビット EPROM では 4 倍 ( $4 \times X \text{ ms}$ ) であったものが 256 K ビット EPROM では 3 倍 ( $3 \times X \text{ ms}$ ) となっている。これにより、256 K ビット EPROM のメモリ容量は 128 K ビット EPROM の 2 倍でありながら、1 個当たりの書き込み時間は 1.6 倍に短縮されている。

図 11. に 256 K ビット EPROM の書き込み特性を示す。 $V_{cc \text{ Max}}$  は、

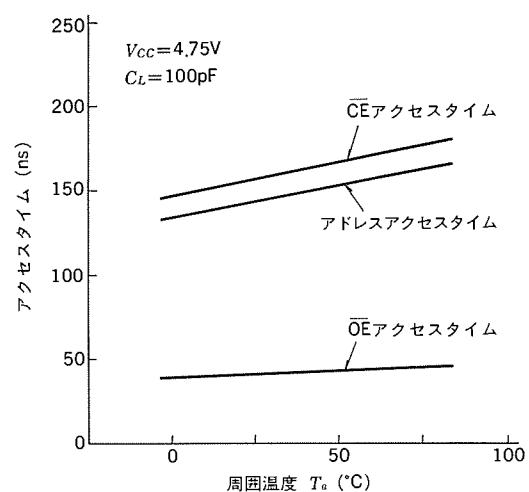


図 9. アクセスタイムの周囲温度依存性

電源電圧 ( $V_{cc}$ ) における読み出し動作範囲の上限を表しており、書き込まれたビットにより制限される。書き込み時間が長くなるほど、また、書き込み電圧 ( $V_{pp}$ ) が大きくなるほど読み出し動作範囲が広くなる。12.2 V 以上の書き込み電圧であれば、1 ms の書き込み時間で十分な読み出し動作範囲を得ることができる。

市販の EPROM プログラマを用いて 256 K ビット EPROM の書き込みを行うと、3 ~ 4 分程度で全ビット書き込みを行うことができる。

#### 4.4 消去特性

消去とは、書き込みによってメモリに蓄えられた電荷を波長 2,537 Å の紫外線を照射して放出することであり、消去されると出力データはすべて “1” (ブランク状態) になる。紫外線の照射エネルギー量は  $15 \text{ W}\cdot\text{s}/\text{cm}^2$  である。図 12. に、256 K ビット EPROM の消去特性を示す。 $V_{cc \text{ Min}}$  は、電源電圧 ( $V_{cc}$ ) における読み出し動作範囲の下限を表しており、消去されるビットにより制限される。約 3 分程度で全ビット消去されるが、消去後の再書き込み及び読み出し動作の安定を図るために、 $12,000 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  の光強度で 20 分程度の十分な消去が必要である。

### 5. 信頼性

EPROM 特有の信頼性は記憶保持である。筆者らは、長年にわたる EPROM の開発において、微細化しながらも問題点を克服し、長時

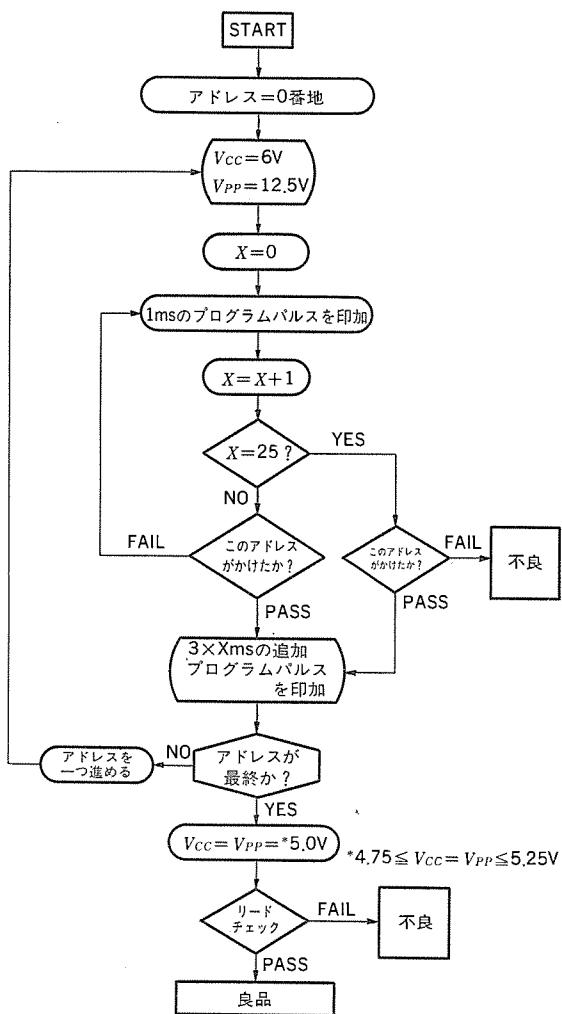


図 10. 高速書き込み方式のフローチャート

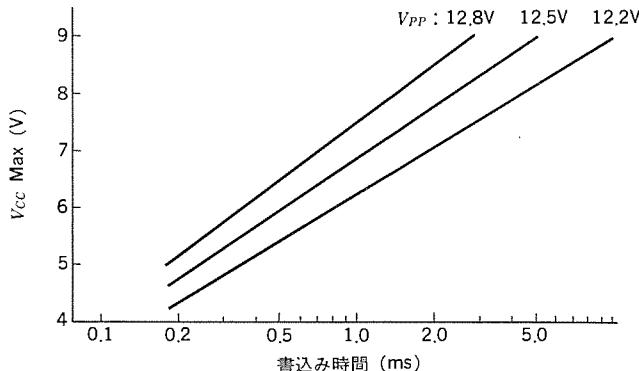


図 11. 書込み特性

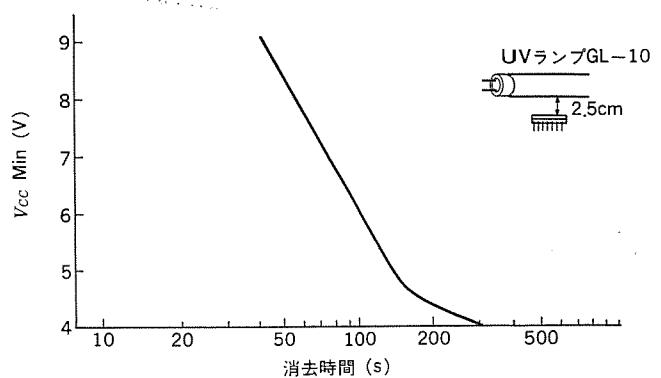


図 12. 消去特性

間の記憶保持特性を維持してきている。128 K ビット EPROM から更に微細化された 256 K ビット EPROM においても同様であり、実使用上全く問題なく 100 年以上の記憶保持が期待できる。また、書き込み後の EPROM を太陽光や蛍光灯光の下に放置すると、それらの光の中に含まれている紫外線により、不意に消去される可能性がある。通常使用時には紫外線をカットするシールでガラス窓を覆う必要がある。

## 6. むすび

今回開発した N チャネル 256 K ビット EPROM M5L27256K は、128 K ビット EPROM の上位互換性が考慮されており、最先端の微細加工技術をもとに従来の高信頼性を維持しながら、低消費電力・高速読み出し動作・高速書き込み動作などの高性能な特性が得られている。したがって、マイクロプロセッサシステムの高速化、プログラムメモリ容量の増大といったユーザーのニーズに十分対応できる製品となっている。

今後も、EPROM の大容量化は急ピッチで進められ、512 K ビット更に 1 M ビット EPROM の製品化もやがて行われるであろう。また、マイクロプロセッサシステムの構成上 EPROM の CMOS 化の要求も増加してきており、現在 128 K ビット CMOS EPROM<sup>(5)</sup> を製品化しているが、CMOS EPROM の大容量化も N チャネル EPROM と平行して開発されていくであろう。

## 参考文献

- (1) 張間ほか：三菱電機技報，53, No. 7, p. 487 (昭 54)
- (2) 上田ほか：三菱電機技報，54, No. 2, p. 167 (昭 55)
- (3) 外山ほか：三菱電機技報，56, No. 4, p. 276 (昭 57)
- (4) 外山ほか：三菱電機技報，57, No. 11, p. 795 (昭 58)
- (5) 豊本ほか：三菱電機技報，59, No. 3, p. 263 (昭 60)

# 1メガビットMOSダイナミックRAM

熊野谷正樹\*・藤島一康\*・塙本克博\*\*・松川隆行\*\*・吉原務\*\*

## 1. まえがき

ダイナミックRAMは超LSIデバイスのビット密度を向上するうえで主要な役割を果してきた。現在量産化されている256KビットMOSダイナミックRAM(256KDRAM)<sup>(1)(2)</sup>は本格的な超LSIデバイスの代表的製品であるが、早くも次世代の1メガビットMOSダイナミックRAM(1MDRAM)が登場しつつある。当社では従来技術に比較的近いプロセス技術を用いて信頼性の高い5V単一電源の1MDRAMの開発を進めているが、ここでは今回試作した1MDRAMの特長を述べるとともにその電気的性能の紹介を行う。

## 2. 1MDRAMの開発指針

1MDRAMはピン数の関係から4Kから256Kまで使用されてきた幅300ミルの16ピンのデュアルインラインパッケージ(DIP)には収容できず18ピンDIPにする必要がある。そこでパッケージの幅及びピン配置についてしばらく議論がなされたが、最近ではJEDEC(Joint Electron Device Engineering Council)による標準仕様もほぼ固まった。図1に256KDRAMと1MDRAMのピン配置を示す。このようにピン配置は256KDRAMとはかなり異なったものとなっている。また4番ピンは基本的には空きピンであるが、当社の1MDRAMにおいてはこの空きピンを利用して新しい機能を実現している。

また、幅300ミルのDIPに収容しながら動作マージンの確保、及びアルファ線によるソフトエラー率の抑制を行うためには、メモリセルの蓄積電荷量をいかに確保するかが鍵となる。これに対して、メモリセル内に溝を掘るあるいは積層構造で実効的な面積を増加させるなどの方法が考えられるが、今回の試作では、従来のセル構造でどこまで信頼性の高いメモリセルが実現できるかに注目をおいて、次のような指針を立て設計に着手した。

- (1) 蓄積キャパシタ酸化膜にかかる電界を緩和する構造により、信頼性の高いメモリセルを実現する。
- (2) 二組の折返し形ビット線対を一つのセンサアンプで共有するシェアドセンサアンプの採用により、読み出し信号を確保する。

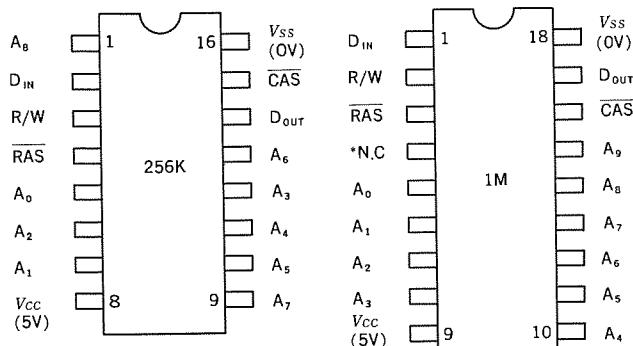


図1. 256KDRAMと1MDRAMのピン配置

(3) テスト時間短縮のための新奇なテストモード機能を開発、搭載する。

(4) ページモード、ニブルモード機能のほかに、新たに連続ニブルモード機能を可能にする。

(5) 効果的な冗長回路の採用により、レーザトリミング時の許容誤差範囲を広げる。

## 3. プロセス・デバイス技術

### 3.1 微細加工

1.2μmの微細加工実現のために、高解像度の縮小投影露光装置を使用するが、高解像力レンズの性能を十分に引き出すためには露光面の平坦さが不可欠である。そのため、凹凸の大きな工程のパターニングには、新たに開発した三層レジスト法を用いた。すなわち、下層レジストによって下地の凹凸を平坦にした後、中間安定化層、上層感光レジスト層を塗布して、露光・現像は上層レジストに対してのみ行う。中、下層は、その上層パターンをマスクにして、反応性イオンエッチング

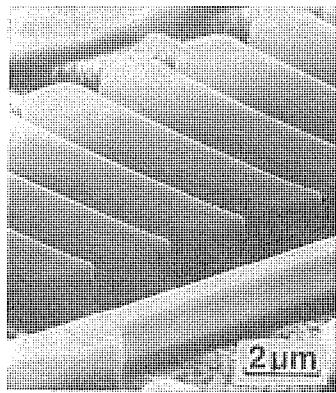


図2. パターニング直後の三層レジストパターン

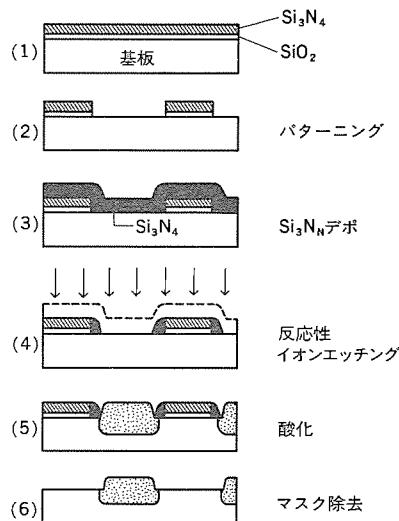


図3. 変形LOCOSのプロセスフロー

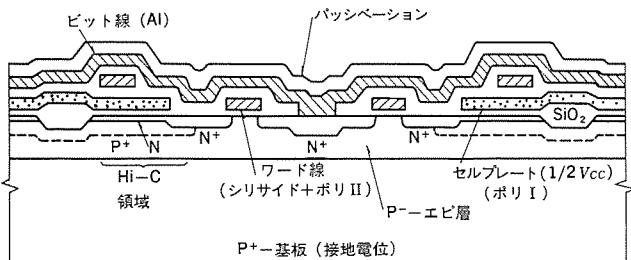


図 4. メモリセルの断面図

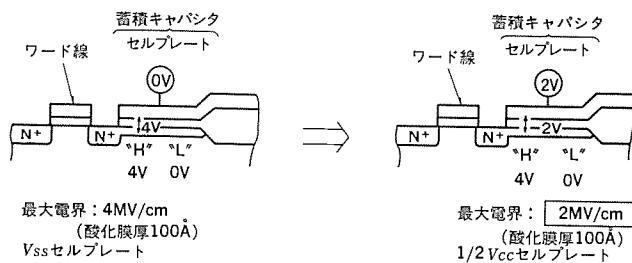


図 5. 1/2 V<sub>cc</sub> セルプレート構造の概念図

でパターニングする。図 2. に、パターニング直後の三層レジストパターンの写真を示す。

### 3.2 分離パターンの形成

上記開発指針に述べたように、今回の試作では従来形のプレーナ形メモリセルで 1 MDRAM を実現することを主眼としているが、そのためには分離用 LOCOS (LOCal Oxidation for Silicon) のバースピークと呼ばれる無駄な領域を、ぎりぎりまで縮小することが必要になる。そのため、この試作では、図 3. に示すようなプロセスフローで  $\text{Si}_3\text{N}_4$  の枠を利用した変形 LOCOS 法を採用した。異方性エッティングで形成した  $\text{Si}_3\text{N}_4$  の枠の効果で、選択酸化後のバースピークは大幅に縮小され、セルの有効面積が従来 LOCOS に比べて 20 % 以上向上することを確認している。また同時に、分離酸化膜に要求される諸特性(耐圧、リーク電流など)も、従来の LOCOS と全く変わらない。

### 3.3 メモリセルの構成

図 4. に、メモリセルの断面構造を示す。基本的には、二層ポリシリコン、一層 Al 配線という従来の 256 KDRAM と同じプロセス方式を採用しているが、1 MDRAM としての性能を満足させるために、次のような点で新しい技術を取り入れている。

- (1) 上述のように、枠付けの変形 LOCOS を用いて、バースピークを低減した。
- (2) ワード線遅延を小さくするために、低抵抗のチタンシリサイドを用いたポリサイド構造を使用した。
- (3) 縦構造のスケーリングのため、ソース・ドレイン形成後の熱処理を低温化した。その結果、ソース・ドレイン拡散層深さは、 $0.15 \mu\text{m}$  に抑えられている。

また、実用的な 1 MDRAM を実現する上で最も重要な点の一つに信頼性が上げられる。縮小されたメモリセル面積の範囲内で適度の蓄積容量を得るために、キャパシタの酸化膜を薄くする必要がある。しかし、薄膜化するに従って酸化膜の両端にかかる電界が増加するので、膜の信頼性が問題となってくる。そこで、キャパシタのセルプレート(対向電極)の電圧を電源電圧( $V_{cc}$ )の半分にするという  $1/2 V_{cc}$  セルプレート構造を用いて、信頼性の高いメモリセルを実現した。

図 5. に  $1/2 V_{cc}$  セルプレート構造の概念図を示す。図のように従来の

$V_{cc}$  あるいは  $V_{ss}$  (接地電圧) セルプレート構造では、酸化膜の厚さが  $100 \text{ \AA}$  のとき膜にかかる電界は約  $4 \text{ MV/cm}$  になるが、 $1/2 V_{cc}$  セルプレートのときには  $2 \text{ MV/cm}$  にしかならない。すなわち、酸化膜にかかる電界は従来の 2 分の 1 に減少する。酸化膜破壊に関する実験結果<sup>(3)</sup>によれば、膜の寿命は電界が半分になれば 1,000 倍伸びることになる。

このセルプレート電圧( $1/2 V_{cc}$ )は、基本的に高インピーダンスの抵抗素子を通じて供給されているので基板電圧の変動を受けやすい。そこで基板電圧を  $V_{ss}$  にして変動を抑えた。更に、これにより入力ピンや周辺回路から少数キャリヤが注入されるのを防止するために、エピタキシャル基板を採用した。

更に、メモリセルの容量を増加させ、ソフトエラーを抑制するために、64 KDRAM 以来標準プロセスとして確立している HiC (High Capacitance) セル構造<sup>(4)</sup>を採用し、また上述のように変形 LOCOS プロセスにより、バースピークを減少させ容量の確保を図っている。

## 4. 設計

### 4.1 チップの構成

図 6. は開発した 1 MDRAM の顕微鏡写真で、その構成図を図 7. に示す。メモリセルは  $1.2 \mu\text{m}$  ルール、周辺回路は  $2 \mu\text{m}$  ルールで設計されており、チップサイズは  $5 \times 13 \text{ mm}^2$ 、ソフトエラー対策として  $100 \text{ \AA}$  の薄い酸化膜と  $35.72 \mu\text{m}^2$  の比較的大きいメモリセルを採用している。メモリセルアレーは、128 K ピットの 8 個のブロックに分割され、ワード線の信号遅延を低減するために、行デコーダがチップの中央に配置されている。各 128 K ピットのメモリブロックの中央には、シェアドセンスアンプが 256 個並んでおり、一組のピット線対には 128 ピットのメモリセルが接続されている。また、四組の I/O バス線が行デコーダに沿って走り、四つのブリアンプに接続されてニブルモードの 4 ピットを構成している。

### 4.2 シェアドセンスアンプ

DRAM における読み出し動作は、基本的にはメモリセルに蓄積された電荷をピット線に転送して、ピット線電位の微小な変化をセンスアンプで增幅して I/O バス線につなぐというものである。すなわち、ピット線の電位変化はメモリセル容量  $C_s$  とピット線容量  $C_b$  の比によって決まる。

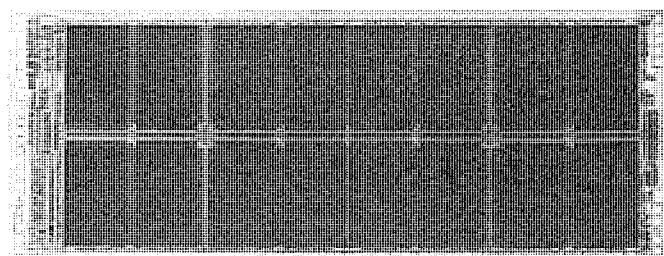


図 6. 1 MDRAM の顕微鏡写真

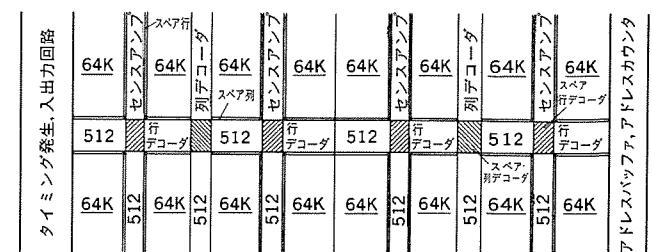


図 7. 1 MDRAM のチップ構成

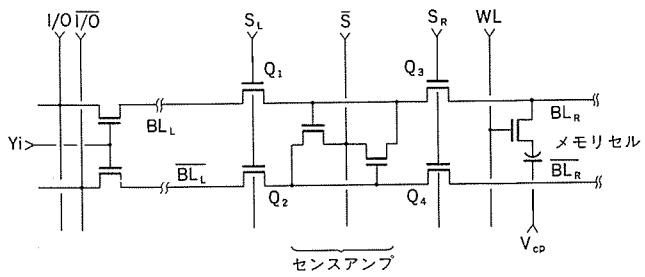


図 8. シェアドセンスアンプ

○空きピン→TE(テストイネーブル)

書き込み→4ビット同時

読み出し→"AND"出力をD<sub>out</sub>へ



テスト時間 1/4

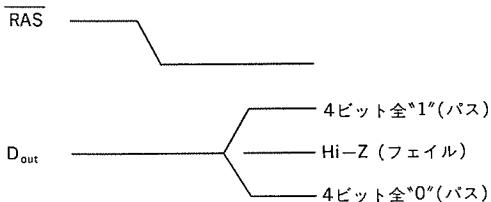


図 9. マルチビットテストモードの概念

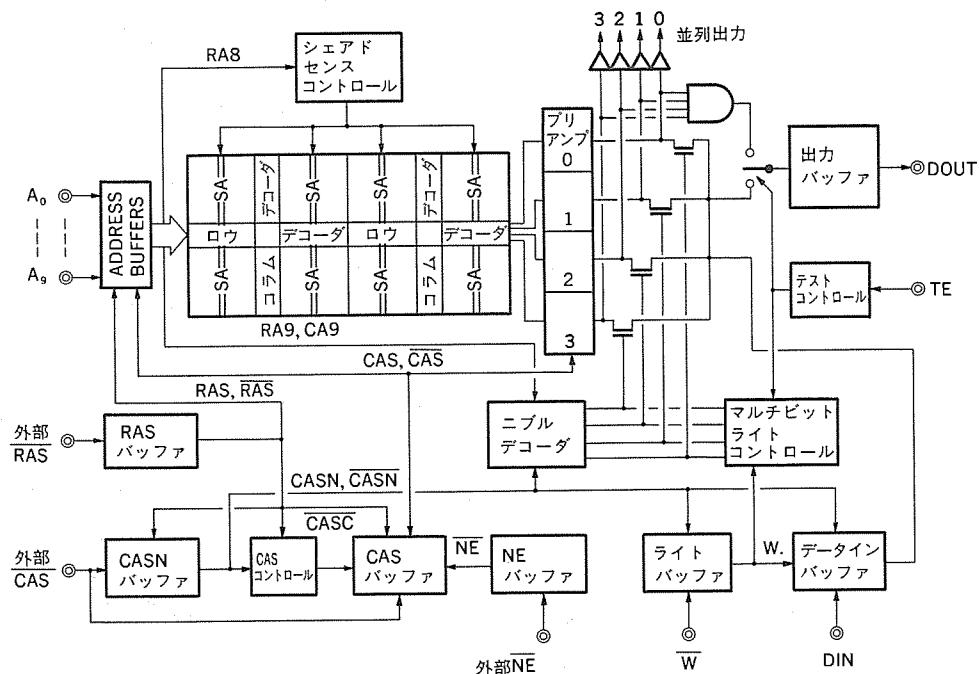


図 10. ブロック図

M のテスト時間は 256 KDRAM の 4 倍以上になる。これはわれわれメーカーだけの問題ではなく、ユーザーにとっても受け入れ検査時間の増大という問題を生じることになる。当社の 1 MDRAM はテスト時間短縮のための新奇な回路を搭載している。前述の空きピン（4 番ピン； TE と呼ぶ）を高レベルにすると、この回路によってマルチビットテストモード（MBT モード）という新機能が可能となる。図 9. に示すように、書き込み時には四つの異なるビットに同一のデータが同時に書き込まれる。そして読み出し時にはこれらのデータの "AND" 出力が出力ピンに現れる。すなわち 4 ビットのデータがすべて等しい場合（バス）、出力ピンにはその値に応じて "H" あるいは "L" 出力が現れる。一方少なくとも 1 ビットが異なる場合（フェイル）、出力は Hi-Z となる。このようにして MBT モードを用いれば、1 MDRAM をあたかも 256 KDRAM としてテストできることになる。更にウェーハテスト時には 4 個の追加パッドにより 4 個の並列出力を読み出すことができる。冗長試験時に不良ビットのアドレスを特定することもできる。すなわち、MBT モードによりテスト時間は通常の場合のほぼ 4 分の 1 に短縮される。なお、TE を低レベルにすれば通常の 1 MDRAM と全く同等に扱うことができる。言うまでもない。

#### 4.4 連続ニブルモード

当社の 1 MDRAM は空きピンを利用した新しい機能として、もう一つ別の機能が可能なように設計されている。それは、空きピンをページモードとニブルモードの切換制御に使う（NE と呼ぶ）というものである。図 10. はこの 1 MDR

AM のブロック図であるが、この図に示すように 2 つの CAS バッファ（CASN と CAS）を有している。CASN バッファは全 CAS サイクル動作するが、列アドレスを取り込むための CAS バッファは NE が低レベルの時には動作しないようになっている。それで NE ピンを低レベルにすればニブルモードが可能となり、高レベルあるいはオープンのままにしておけばページモードが可能となる。更にこのピンにクロックを与えることにより連続ニブルモードが可能となる。すなわち、ニブルの 4 ビットの先頭アドレスをページモードでアクセスするというものである。表 1. に各動作モードの所要時間に対する試算結果を示す。

表 1. 各動作モードの所要時間（試算）

モード	1 Mb リード	相対比
通常	278 ms	2.22
ページ	160 ms	1.28
ニブル	125 ms	1
連続ニブル	96 ms	0.77

条件: T<sub>c</sub>(通常)=260 ns, T<sub>c</sub>(ページ)=150 ns, T<sub>c</sub>(ニブル)=70 ns  
バーストリフレッシュ (8 ms 間隔)

るので、C<sub>b</sub> が小さいほど大きな読み出し信号が得られることになる。それで、ビット線容量を減少させるために、図 8. に示すようなシェアドセンスアンプ（共有センスアンプ）を採用した。これは、二組の折返し形ビット線対を一つのセンスアンプで共有するもので、実効的なビット線容量を 2 分の 1 に減少させることができる。更に、駆動信号（図中の SL, SR）を改善することによって、高速動作が容易に行えるようになった。

#### 4.3 マルチビットテスト (MBT) モード

テスト時間は基本的に集積度に比例して増加するので、1 MDR

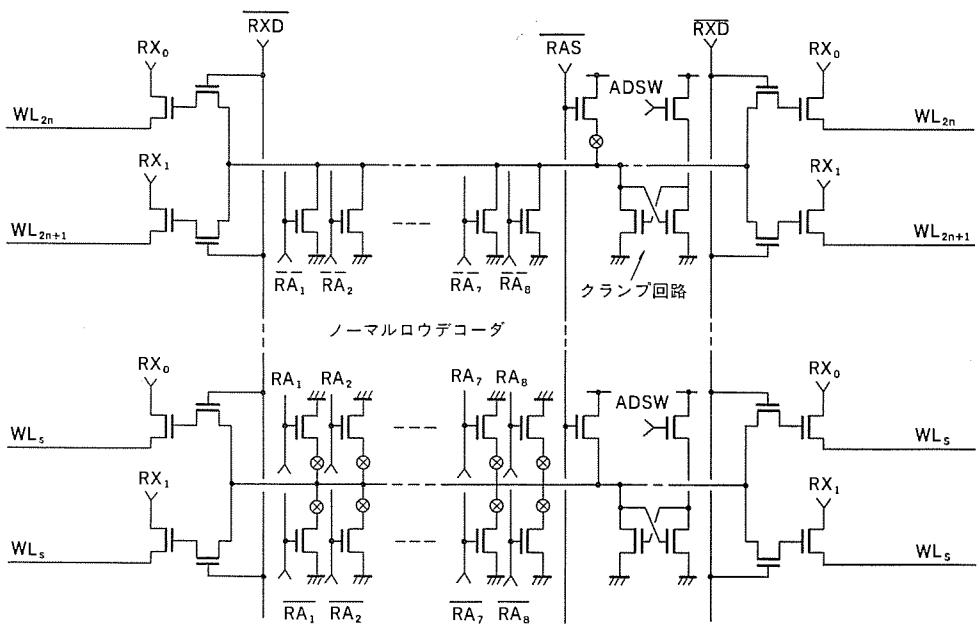


図 11. 行 デコーダ と スペア 行 デコーダ

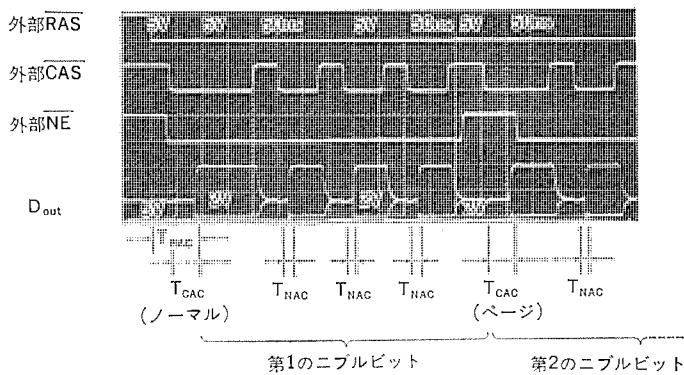


図 12. 連続 ニブルモード における出力波形

表 2. 1 MDRAM の性能一覧

セル サイズ	$3.8 \mu\text{m} \times 9.4 \mu\text{m} = 35.72 \mu\text{m}^2$
チップ サイズ	$5.00 \text{ mm} \times 13.00 \text{ mm} = 65.00 \text{ mm}^2$
アクセス タイム	(RAS/CAS) 90 ns/50 ns (5 V, 25°C)
動作/スタンバイ 電流	70 mA/3 mA (5 V, 25°C, 260 ns)
リフレッシュ	512 サイクル/8 ms
リダンダシー	8 行 4 列
機能	CAS ピフ $\times$ RAS リフレッシュ, ページ, ニブル, 連続ニブル, MBT (マルチビットテスト)
パッケージ	18 ピン, 300 ミル DIP

このように連続ニブルモードを用いれば、所要時間は通常のニブルモードよりも更に 20 パーセント短縮される。

また空きピンの機能として MBT モードを使うか連続ニブルモードを使うかは、ワイヤボンドにより選択可能である。なお、空きピン機能

を利用しない場合には、ワイヤボンドによりページモード品とニブルモード品の切換ができるよう設計されている。

#### 4.5 冗長回路構成

ウェーハプロセスの歩留りを向上させるための冗長回路は、256 K DRAM で実用化しているレーザプログラム方式を採用している。

図 7. に示すように、メモリは 4 個の 256 K ビットブロック（左、中左、中右、右）からなっており、それぞれがセンサアンプの両側に 1 本ずつ計 2 本のスペア行と各 1 本のスペア列をもっており、全体で 8 行 4 列の冗長ビットとなっている。スペア行デコーダは行デコーダとセンサアンプの交差点

に、スペア列デコーダは行と列のデコーダの交差点に、それぞれコンパクトにレイアウトされている。

256 KDRAM では、不良の行を非選択にするのに、各ワード線に配置された ポリサイドのリンク（ヒューズ）をレーザで溶断していたが、1 MDRAM ではワード線の間隔が狭くなるので、この方法ではリンクのピッチが狭くなり、レーザのアライメントずれに対するマージンが小さくなる。そこで今回開発した 1 MDRAM では、図 11. に示すようにリンクを各ワード線に配置するのではなく、行デコーダのプリチャージパスに配置することによりリンクのピッチをほぼ 256 KDRAM 並に保つことができた。

#### 5. 1 MDRAM の特性

図 12. に  $V_{CC}=5 \text{ V}$ , 周囲温度 25°C における連続ニブルモード時の出力波形を RAS, CAS, NE の波形とともに示す。RAS アクセス時間 (TRAC) 90 ns, CAS アクセス時間 (TCAC) 50 ns, ニブルモードアクセス時間 (TNAC) 20 ns で動作している。

表 2. に 1 MDRAM の性能一覧を示す。

#### 6. む す び

以上、従来技術に比較的近いプロセス技術を用いた信頼性の高い 1 MDRAM の紹介を行った。当社では今回の試作結果をもとに改良を加え、実用化を目指す。

#### 参 考 文 献

- (1) 藤島ほか：三菱電機技報, 58, No. 2, p. 184 (昭 59)
- (2) 山田ほか：三菱電機技報, 58, No. 8, p. 535 (昭 59)
- (3) T. Matsukawa et al. : in IEEE International Electron Device Meeting Tech. Dig., p. 647 (1984)
- (4) M. Yamada et al. : in IEEE International Electron Device Meeting Tech. Dig., p. 578 (1980)

# 電磁調理器《クリーンレンジ》CS-150

勇内和秀\*・久保精二\*・本多厚\*・宇高正晴\*\*・野田博司\*\*

## 1. まえがき

安全、清潔、経済的（高い熱効率）などの長所を持った火のない調理器である電磁調理器は、軽量化、薄形化、低価格化が行われている。これは、電力半導体を中心としたエレクトロニクス部品の小型化、低価格化によるところが大である。当社は電磁調理器として既にCS-140を発売しているが、CS-140より一層の薄形化を行うとともに、加熱、天ぷら（フライ）、保温の各機能、上板の温度が高いことを知らせる上板温度サイン機能、タイマー機能などを持つ高級形電磁調理器《クリーンレンジ》CS-150を発売したので、特長、原理などを紹介する。

## 2. CS-150の仕様及び特長

CS-150の仕様を表1.に、外観写真を図1.に示す。電磁調理器は一般に次のような特長を持っている。

(1) 安全：炎がないので、ガスのように吹きこぼれなどによる炎の立ち消え、他への引火を起こす心配がない。また、不完全燃焼や酸欠の心配もない。

表 1. CS-140, CS-150 の仕様及び特長

形名 項目	CS-150	CS-140（既発売）
電源	AC 100V 50/60Hz	同 左
消費電力	1,300W	同 左
電力調節範囲	約150~1,300W連続可変	約185~1,300W連続可変
コードの長さ	2m（脱着プラグ式）	同 左
外形寸法（mm）	幅306×奥行き332×高さ55	幅310×奥行き324×高さ58
重量（kg）	3.8	3.8
保護機能	・異常温度上昇防止機能 ・回路保護サーモ ・小物発熱防止機能 ・20Aヒューズ	同 左
特長	・保温機能（50~100°C連続可変） ・天ぷら機能（150~220°C） ・タイマー機能 (1~99分設定可能、ディジタルタイマー) ・上板温度サイン (形状記憶合金使用) ・鍋なし、小物警報 (電子音アラーム)	・保温機能（50~100°C連続可変） ・天ぷら機能（150~220°C） ・鍋なし、小物警報 (LED点滅)

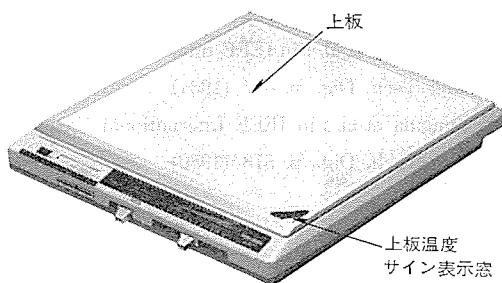


図 1. CS-150 の外観

(2) 清潔：上部の上板は凹凸がなく手入れが簡単であり、また炎がないためなべ（鍋）底に「すす」がつかず、鍋もきれいに保つことができる。更に部屋の空気を汚すこともない。

(3) 経済的：鍋底自身を加熱するしくみなので、電気、ガスコンロのように周囲に熱が逃げることなく、熱効率は約83%と高い。

以上のような一般的な特長に加えて、CS-150は更に次のような特長を持つ。

### (1) 上板温度サイン

通電加熱により鍋の上板は直接加熱されないが、鍋からの熱が上板に伝わり、上板の温度は上昇している。この上板の温度上昇を示すため、形状記憶合金（SMA : Shape Memory Alloy）を使用し、上板の中央部の温度を検知し、手前操作部右隅に表示するようにしている（図2. 参照）。

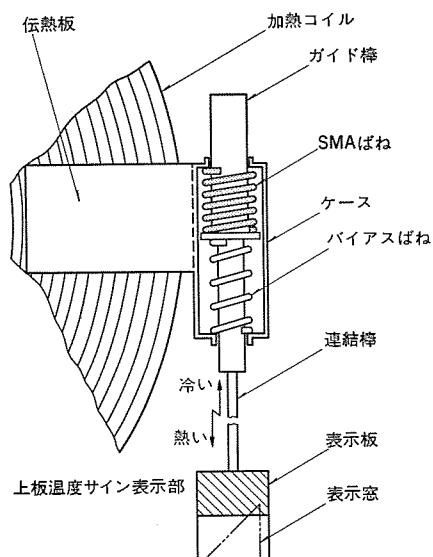


図 2. (a) 上板中央部の温度検知機構

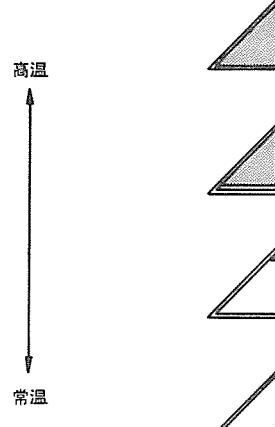


図 2. (b) 上板温度サイン表示例

## (2) タイマー／アラーム 音

1~99分まで外部で1分ごとに任意に設定可能なオフ・タイマーを内蔵しており、0分表示となると加熱を停止するとともに、使用者に加熱終了を報知するアラーム音機能(15回報知、音量調整不可)を持つ。上板に鍋が乗っていないときや小物が上板に乗っているとき、加熱できないことを使用者に報知するためにアラーム音が鳴るが、この場合は音量調整を可能としている。

## (3) 加熱、保温、てんぶら(フライ)機能

従来の電気、ガスコンロと同じ火力(鍋に入る入力電力)調整機能である加熱機能だけでなく、入力を一定にし、主トランジスタのオン・オフ制御により鍋の温度を任意の設定温度に保つ機能も持っている。すなわち、煮物などの長時間保温用に50~100°Cまでの外部設定温度に対し、鍋をその温度に保持する保温機能、油料理時には150~220°Cの範囲で設定温度を保持するてんぶら(フライ)機能を持つ。

## (4) 脱着プラグ

電磁調理器は台所だけでなく、居間などでテーブルクッキングに使用される場合が多いと考えられるので、電源コードが体にふれて調理中の料理がこぼれることがないように、電源コードと電磁調理器本体に一定圧力がかかると、電源コードは電磁調理器から外れるように考慮している。

## (5) 無段階出力調節

加熱機能時、火力調整つまみを動かすだけで150(微弱)~1,300Wまで、無段階で微妙な調節を可能としている。

## (6) 凸式操作マーク

火力調整つまみの上の針式出力表示の近くに、凸式操作マークを入れ、指の感触で出力位置がわかるようにして、目の不自由な人の便宜を図っている。

## (7) 使用鍋の拡大

次の3章でも述べるように、電磁調理器は鉄鍋及び磁性ステンレス鍋を加熱するのに適しているが、非磁性ステンレス鍋についても使用可能としている。

### 3. 動作原理

図3.の如く、加熱コイルと金属(鍋)を配置して、加熱コイルに高周波電流を流すと、発生した磁力線により金属(鍋)中に渦電流が流れ、これが加熱する。

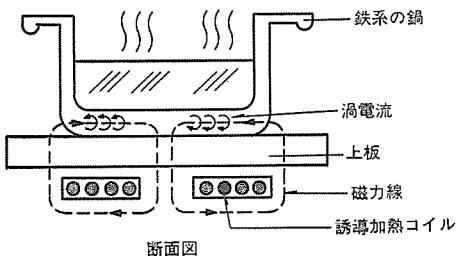


図3. 加熱原理

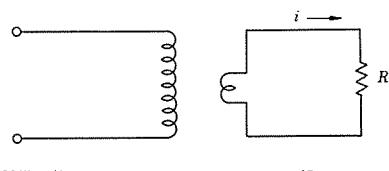


図4. 加熱コイル-鍋の等価回路

が流れる(電磁誘導作用)。この電流と金属のもつ電気抵抗によってジュール熱が生じ、金属(鍋)が加熱される。ジュール熱による加熱という意味では、従来のニクロムヒーターの加熱と変わることはないが、電磁調理器では、被加熱物(鍋)自身がニクロム線の代わりに発熱する。等価的には、図4.の如く、鍋の底が二次コイルと負荷抵抗Rであるトランスとして表される。

原理的には、電流が流れ電気抵抗を持つものであれば加熱できるが、現実には渦電流が流れても、電気抵抗、透磁率、インバータ周波数などにより、加熱に適するものと適さないものがある。いま図5.に示すように、コイルの中に金属棒を置き、コイルに高周波電流を流して加熱する場合を想定する。

高周波電流の表皮効果により、金属棒内には、表面から深さPまで渦電流が流れる。この深さPは

$$P = 5.03 \sqrt{\rho / \mu \cdot f} \quad (\text{cm}) \quad \dots \dots \dots \quad (1)$$

で表される(図6.)。また、この実効抵抗rは

$$r = \frac{\rho}{P} = \frac{1}{5.03} \sqrt{\rho \cdot \mu \cdot f} \quad \dots \dots \dots \quad (2)$$

となる。

電磁誘導加熱による渦電流損は  $K_1 \times r \times (n \times I)^2$  で表されるから、直径d(cm)の金属棒の単位表面積当たりの電力密度  $P_a$  は  $d/P \geq 14$  のとき、近似的に次式となる。

$$P_a = 0.199 K^2 (nI)^2 \sqrt{\rho \mu f} \times 10^{-6} (\text{W/cm}^2) \quad \dots \dots \dots \quad (3)$$

$K$ : コイルと円柱の結合係数

$n$ : コイルの金属棒の長さ方向 1 cm 当りの巻数

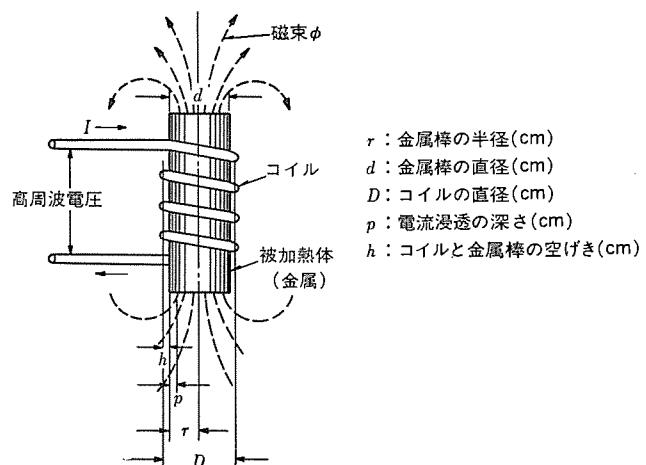


図5. 誘導加熱モデル

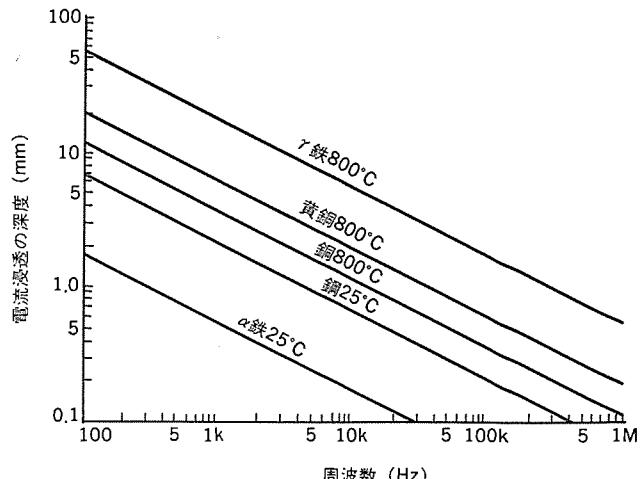


図6. 数種の金属の周波数と電流浸透の深さ

$I$ : コイル電流(A)  
 $\rho$ : 抵抗率 ( $\mu\Omega \cdot \text{cm}$ )  
 $\mu$ : 比透磁率  
 $f$ : 周波数 (Hz)

式(3)により、金属鍋に入る入力電力  $P_a$  はコイルのアンペアーン ( $nI$ ) の2乗に比例し、金属の抵抗率、透磁率、周波数の平方根に比例する。つまり誘導加熱に適した金属は、抵抗率が大きく、比透磁率が高い磁性材料が適していることがわかる。

銅、アルミニウムの抵抗率はそれぞれ、 $1.7 \times 10^{-6}(\Omega \cdot \text{cm})$ 、 $2.7 \times 10^{-6}(\Omega \cdot \text{cm})$  であり、鉄の抵抗率  $9.8 \times 10^{-6}(\Omega \cdot \text{cm})$  に比べて小さい。比透磁率も銅、アルミニウムが1に対し、鉄は100である。これらの特性データにより、銅やアルミニウムは誘導加熱用の鍋の材質として適していないことがわかる。このような材質の金属鍋を加熱するためには、使用周波数を高くするとともに、加熱コイルのアンペアーン数を増加させる必要がある。

#### 4. 回路構成

##### 4.1 インバータ

図7.にCS-150全体の構成を示す。また図8.にインバータ部の構成を示す。インバータの構成は、加熱コイルと直列に出力トランジスタ  $T_1$  を接続し、加熱コイルと並列に共振コンデンサ  $C_2$  を接続した半波形インバータである。

動作は図9.に示すように次の3モードからなっている。

###### (1) モードI

出力トランジスタ  $T_1$  がオンし、トランジスタ電流  $I_{Tr}$  が流れる。

###### (2) モードII

出力トランジスタ  $T_1$  のベース電位がH→Lとなると出力トランジスタ  $T_1$  がオフする。トランジスタ電流  $I_{Tr}$  は流れなくなるが、共振コンデンサ  $C_2$ への充電電流  $I_1$  がトランジスタ電流  $I_{Tr}$  と同方向に流れ。ある時間経過後、共振キャパシタの放電電流  $I_2$  が逆向きに流れ。

###### (3) モードIII

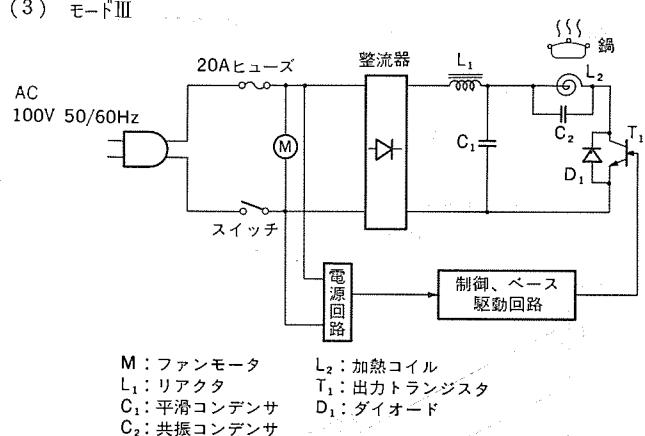


図7. CS-150のブロック図

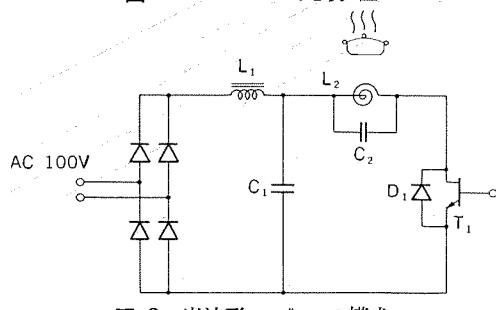


図8. 半波形インバータの構成

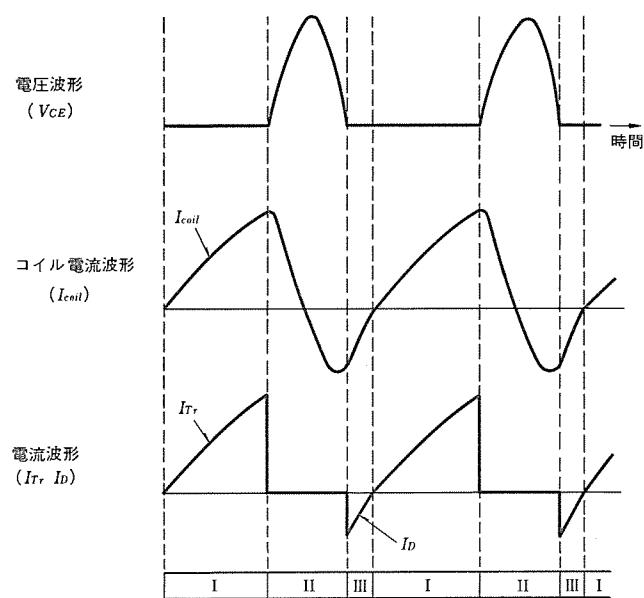
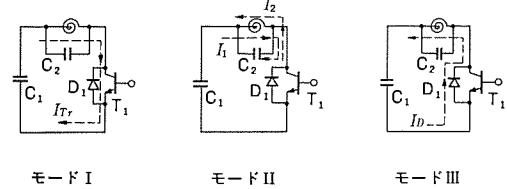


図9. (a) 半波形インバータの動作原理

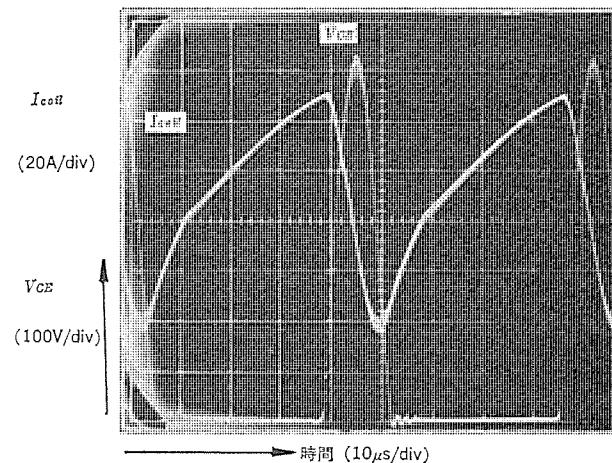


図9. (b) 出力トランジスタのコイル電流とコレクターエミッタ間電圧の観測波形

共振コンデンサ  $C_2$  の放電電流  $I_2$  が流れ終わると、ダイオード  $D_1$  を通してダイオード電流  $I_D$  が流れれる。

一定の入力電力では、ある周波数で、上記モードI, II, IIIが繰り返される。

次に鍋に入る入力電力を変えたい場合、出力トランジスタの導通期間(上記モードI)を変更すればよい。すなわちインバータ周波数を高くすることによって、入力を減少させることが可能であり、CS-150では150~1,300Wの無段階調節が可能である。

#### 4.2 制御、ベース駆動回路

この電磁調理器のブロック図を図7.に示す。特長は以下のとおりで

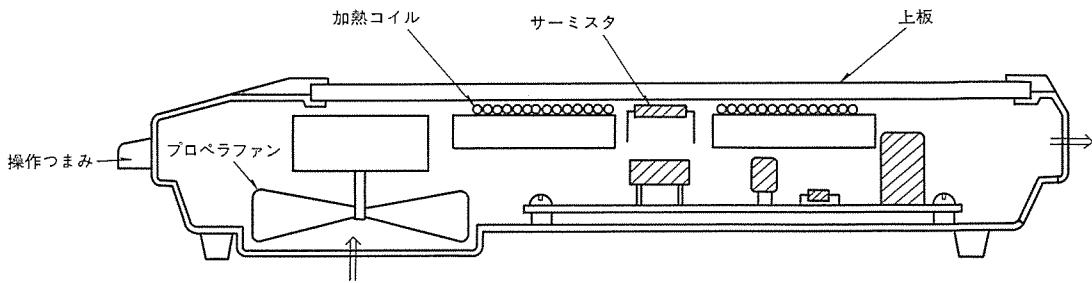


図 10. 電磁調理器の構造 (CS-150)

表 2 ダーリントン トランジスタ モジュール QMS-OHE-H の仕様

項 目	記 号	仕 様 ( $h_{FE}$ 以 外は最 大定格)	備 考
コレクターベース電圧	$V_{CBO}$	900 V	
コレクターエミッタ電圧	$V_{CEX}$	900 V	$V_{BE} = -2 \text{ V}$
エミッターベース電圧	$V_{EBO}$	10 V	コレクタ開放
コレクタ電流	$I_C$	50 A	
コレクタ損失	$P_C$	300 W	$T_c = 25^\circ\text{C}$
ベース電流	$I_B$	3 A	
ダイオード部順電流	$-I_{C(DC)}$	50 A	
直流電流増幅率	$h_{FE}$	75	$I_C = 50 \text{ A } V_{CE} = 2 \text{ V}$
		100	$I_C = 50 \text{ A } V_{CE} = 5 \text{ V}$
ターンオン時間	$t_{ON}$	1.5 $\mu\text{s}$	
蓄積時間	$t_s$	12 $\mu\text{s}$	
下降時間	$t_f$	3 $\mu\text{s}$	

ある。

#### (1) 異常温度上昇防止回路

この電磁調理器では図 10. に示すように、上板の中央直下にサーミスタを設置しており、鍋底温度を監視している。鍋の空焼きなどで鍋底が異常な高温となった場合、その温度を検知し加熱を停止する。

#### (2) 最小・最大入力制御

前節(1)のモード I の導通時間幅 ( $T_{ON}$ ) の制御を行い、最適なタイミングで出力トランジスタ  $T_1$  を動作させるとともに、 $T_{ON}$  の時間により入力制御を行っている。

#### (3) 出力トランジスタ

図 8. に示した出力トランジスタ  $T_1$  として、ダイオードを内蔵した、ダーリントントランジスタモジュール QM 50 HE-H を使用している。このトランジ

スタを使用することにより、ベース駆動回路の簡略化、部品点数、占有面積の減少が可能となっている。QM 50 HE-H の仕様を表 2. に示す。

## 5. 構 造

この電磁調理器の構造を図 10. に示す。電磁調理器では、インバータ回路を構成する出力トランジスタ、その他の発熱、及び被加熱物である鍋からの熱伝導による加熱コイルの温度上昇の抑制、並びにこれらの熱源からの回路部品の保護のための冷却機構が重要である。CS-150 では、プロペラファンにより製品の下部から周辺の空気を吸い込み、製品の後方へ排気することにより、上記部品の空冷を行っている。

#### (1) 薄形化、小形化

モータの薄形化、大形電気部品の配置の見直しにより、CS-150 は CS-140 に比べ、高さで 5% 薄く、容積比では 4% 小形化を行っている。

#### (2) 上板温度 サイン

電磁調理器を使用した後はしばらく上板が熱いが、これを電源を使用しないで表示するため、形状記憶合金 (SMA) を使用し、上板が熱い間は上板温度 サインが現われ、上板の温度が常温近くまで下ると サインが消えるようにしている。

## 6. む す び

通常の加熱モード、保温モード、天ぷら（フライ）モードをもつ多機能な、高級形電磁調理器 CS-150 の開発を行った。開発にあたり考慮した点は以下の点である。

(1) 使用者からの安全性向上の声にこたえて、使用後上板が熱くなっていることを表示する上板温度 サインを設けた。またテーブルクリッキング中に、電源コードを足などでひっかけても、電源コードが製品から外れる着脱コードを採用した。

(2) 持ったり、運びやすいように、薄形化・小形化を行った。

今後も市場ニーズにこたえるため、薄形化、小形化、軽量化を図るとともに、ソフト・ハード両面での検討により、機能の充実を図っていきたい。

## 参 考 文 献

- 吉村：高周波加熱用電子管発振装置の設計と調整、誠文堂新光社

# 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

## 電気回路装置 (実用新案 第1409452号)

考案者 鎌田 勉

本考案は中空ケース内に所定の電気回路を構成する半導体素子、及び他の電気回路部品を収容し、これを充填材で封止した電気回路装置の改良に関するものである。

従来のこの種の電気回路装置の一例を図1に示す。(1)は上下開放の中空ケースであり、その下端部においてトランスマールドなどにより冷却フィン(2)と一体に形成され、有底容器を形成している。(3)は冷却フィン(2)に接着された半導体素子、(4)は抵抗、コンデンサ、端子などが取り付けられたプリント基板であり、中空ケース(1)内に装着され樹脂(8)を充填後、蓋(9)で覆蓋して電気回路装置としていた。

ところで従来のこの種の電気回路装置は、中空ケース(1)と冷却フィン(2)とを一体成形した時、両者の材料の熱膨張率の違いにより、両者の接合部にわずかな隙間が生じる場合があり、充填樹脂(8)が流出すること、冷却フィン(2)が湾曲する為に半導体素子(3)が特性劣化する等の欠点があった。

本考案は図2に示すとく、中空ケース(1)の下端部近傍内壁に係接着部(1a)を形成し、適切な熱膨張率を有する接着部材(10)を介して水密接着することにより簡単かつ確実に有底容器を形成し得る

ことができ、前記欠点を除去するとともに製造容易で安価な電気回路装置を得ることが出来る。

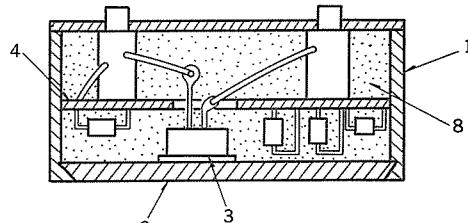


図1

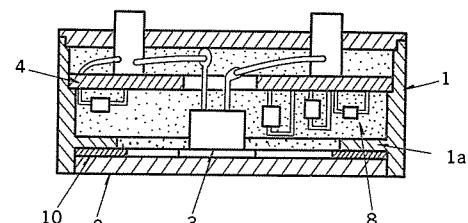


図2

〈次号予定〉 三菱電機技報 Vol. 59 No. 10 産業用ロボット特集

### 特集論文

- FAにおける産業ロボットの現状と今後の課題
- 産業用ロボットコントローラ『MELFA-RA』とその応用
- 中・小形組立マテハンドロボットシリーズとその応用
- クリーンルーム用搬送機器
- オンライン視覚付きアーク溶接ロボット
- 原子炉格納容器の遠隔点検ロボット
- 山積みされたクラシックシャフトの認識
- 力覚ハンドを適用したピンピッキングロボット

### 普通論文

- 気象情報システム
- NR形Hシリーズ負荷時タップ切換器
- プロセスオートメーションにおけるマンマシンシステム  
『MACTUS 620』
- 『MELCOM MX/3000』内蔵形科学技術計算プロセッサSP
- 球レンズ付きInGaAsP/InP 1.3 μm LED
- 漢字キャラクタ ジェネレータ用大容量マスク ROM

### 三菱電機技報編集委員

委員長 村上卓彌  
委員 峯松雅登  
" 翠川祐  
" 三道弘明  
" 高橋宏次  
" 藤井学  
" 三輪進  
" 郷鉄夫  
" 的場徹  
" 杉岡八十一  
" 木戸一之  
幹事 岡田俊介  
9号特集担当 別段信一

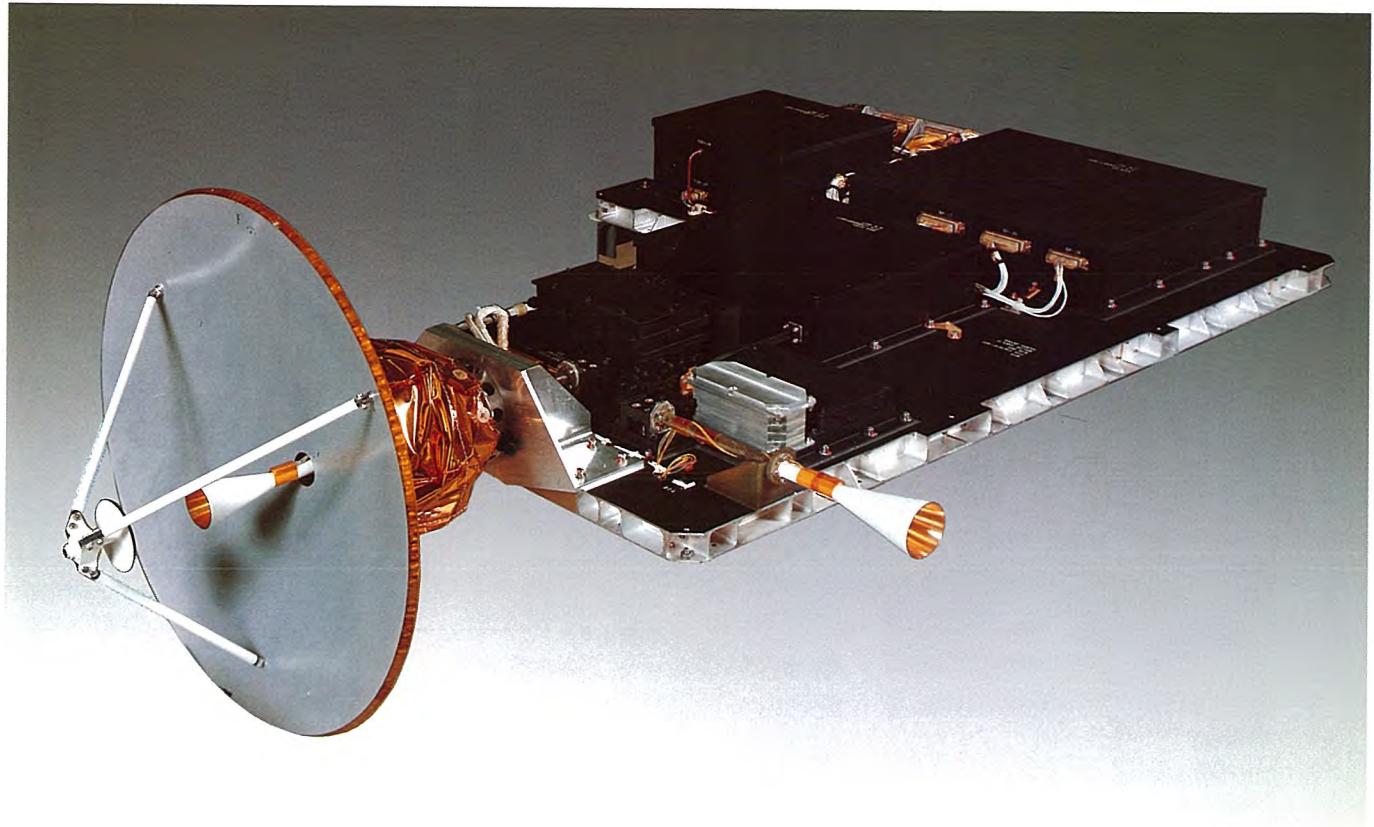
### 三菱電機技報 59巻9号

(無断転載を禁ず)

昭和60年9月22日 印刷

昭和60年9月25日 発行

編集兼発行人 岡田俊介  
印 刷 所 東京都新宿区桜町7  
大日本印刷株式会社  
発 行 所 東京都千代田区大手町2丁目6番2号 (〒100)  
三菱エンジニアリング株式会社内  
「三菱電機技報社」Tel.(03) 243-1767  
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) 233-0641(代), 振替口座東京6-20018  
定 価 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海洋観測衛星1号(MOS-1)に搭載されるマイクロ波放射計フライットモデルの製作を完了し、宇宙開発事業団殿に納入いたしました。海洋観測衛星1号の打上げは昭和61年8月の予定ですが、この衛星の打上げにより我国のリモートセンシングも国産衛星による全体システムをもつ時代を迎えようとしています。

マイクロ波放射計は地面や海面から放射されるマイクロ波の熱雑音を高感度受信機で捕えるものです。熱雑音は低周波から赤外域まで広範囲に分布しており、観測周波数によって土壤水分の観測、海面温度の分布、大気の組成の検出や海上の風速の観測などさまざまな情報収集に利用できます。今回のマイクロ波放射計では、マイクロ波領域の23GHzと31GHzの2周波数帯での観測が行えるよう設計されており、20km程度の距離分解能で大気中の水蒸気量の分布や海水の分布、海面温度分布、積雪量の分布などを観測することができるので気象予測、農林漁業への応用、防災など幅広い分野での利用が期待されます。

なお、三菱電機は海洋観測衛星1号で観測されたデータを処理する設備も受注して開発中です。

### 特長

- 高周波系の損失を小さくして高感度の受信が行えるカセグレンアンテナ方式の採用。
- 衛星の姿勢制御に与える影響を少なくする円錐ビーム走査方式の採用。
- 回転するアンテナ部にアルミハニカムサンドイッチ構造のカーボン繊維強化プラスチックを用いた超軽量化設計の採用。
- 校正及び比較雑音源にスカイホーンと常温ダミーロードを用いたディッケ型高感度受信機の採用。
- 高精度観測を行うための広帯域低雑音受信機の開発。

### 仕様

観測周波数帯	$23.8 \pm 0.2\text{GHz}$ 及び $31.4 \pm 0.25\text{GHz}$
受信感度	23GHz帯及び31GHz帯共1K以下(目標)
絶対精度	23GHz帯及び31GHz帯共2K以下(目標)
測定温度範囲	30~330K
アンテナ形式	オフセットカセグレンアンテナ
ビーム幅(半値幅公称値)	23GHz帯(1.89°)、31GHz帯(1.31°)
走査方式	コニカル連続走査、円すい角 $20^\circ \pm 5\%$ 回転速度 約18.75rpm(3.2s/1回転)
データサンプリング数	積分時間10msが128点/1走査 積分時間47msが32点/1走査
出力信号	バイフェーズ レベル シリアル
符号形式	1フレーム/3.2s
フレームレート	2,000ビット/s
ピットレート	640ワード/フレーム
フレーム長	10ビット/ワード
ワード長	