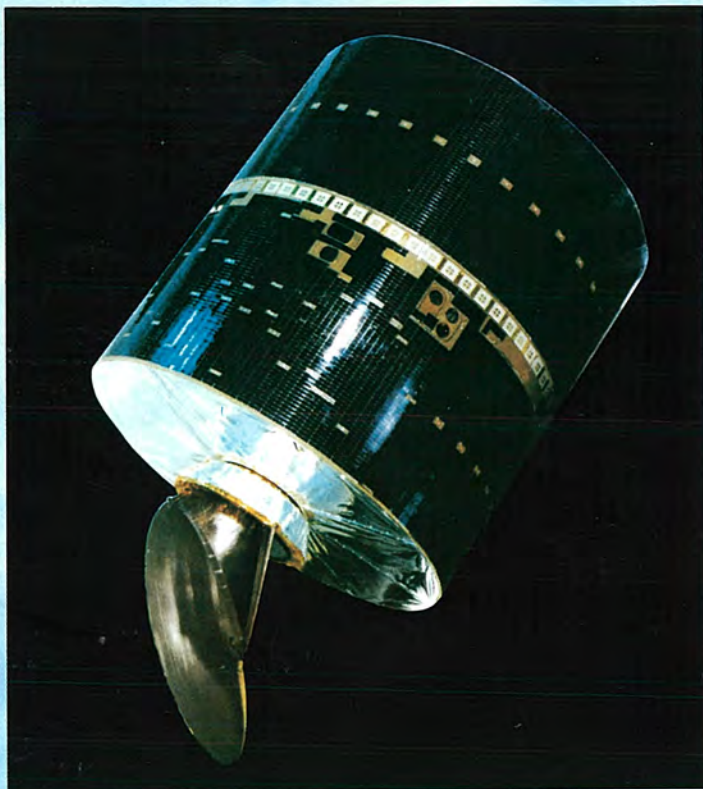



# MITSUBISHI DENKI GIHO

# 三菱電機技報



Vol.52 No.12

人工衛星と地上設備特集

 未来を開発する  
三菱電機

12  
1978

# 三菱電機技報

Vol. 52 No. 12 DECEMBER 1978

## 人工衛星と地上設備特集

### 目次

#### 特集論文

人工衛星と関連機器	吉田武彦・尾形陸奥男	857
電離層観測衛星「うめ2号」	田畑浄治・高比良昭・箕輪盛好・新田晃道・東野義夫	860
実験用中容量静止通信衛星 (CS)	栗原芳高・岡本裕允・木戸敬久・尾形陸奥男・山田武	864
CS 主固定局兼運用管制局及び BS 主局アンテナ	塚本賢一・梶川実・石井康一・望月純夫・岡野晃	870
準ミリ波専用地球局カセグレンアンテナ	進士昌明・高野忠・立川清兵衛・水沢丕雄・別段信一	875
実験用中型放送衛星用地上関連設備	小西良弘・保科盛・高橋道清・西村昭三・天野旭	879
ホイールを利用した人工衛星の三軸姿勢制御	土屋和雄・萩原史朗・若杉登	884

#### 普通論文

加工用大出力炭酸ガスレーザ	永井昭夫・永井治彦・森一平・丸山正彦・高木茂	891
関西電力中央給電指令所納め給電指令台の人間工学的考察及びデザイン	藤田恒久・山口博章・田中圭介・室田慎・須山勉	896
回転ヘッド形 PCM 方式磁気録音機	坂井誠・石田雅之・西精基・富川直博・石田禎宣	901
低雑音及び高出力 GaAs-FET	三井茂・石井孝・大坪睦之・中谷正昭	905
硬化エポキシ樹脂分析法の開発	狩野勇・今村孝・榎本順三	910
大容量変圧器における流動帯電現象	菅寿郎・三浦良和・渡辺次男・石井敏次・新田東平	915
全3相一括形ガス絶縁変電所 (GIS)	左近一郎・竹内義治・田中久雄・丸谷朋弘・丹羽春美	920
特許と新案		889
イミド環含有エポキシ樹脂の製造法・ネットワークプロテクタ・電気装置の制御方式		
当社の登録特許一覧		888・927・928
スポットライト		925
加入電話回線利用テレメータ・マイコン搭載冷凍冷蔵庫・ビル管理システムのシリーズ化 (表紙-3)		
年間総目次 (昭和53年第52巻)		929

## FEATURING ARTIFICIAL SATELLITES & EARTH-STATION TERMINALS

### CONTENTS

#### FEATURED PAPERS

Artificial Satellites and Their Associated Systems	Takehiko Yoshida & Mutsuo Ogata	857
The Ume-2 Ionosphere-Sounding Satellite	Joji Tabata et al.	860
A Medium-Capacity Communications Satellite for Experimental Purposes	Yoshitaka Kurihara et al.	864
The Main Fixed Earth Station for a Communications Satellite, and the Antenna for the Main Station of a Broadcasting Satellite	Ken'ichi Tsukamoto et al.	870
The Cassegrain Antenna for a 20/30GHz-Band Communications System	Masaaki Shinji et al.	875
Earth-Station Terminals for an Experimental, Medium-Capacity Broadcasting Satellite	Yoshihiro Konishi et al.	879
A Three-Axis Satellite-Attitude-Control System Using Wheels	Kazuo Tsuchiya et al.	884

#### GENERAL PAPERS

A High-Power CO <sub>2</sub> Laser for Material Processing	Akio Nagai et al.	891
The Human-Engineering and Design Considerations in Equipment for a Utility Load-Dispatching Center	Tsunehisa Fujita et al.	896
A PCM Recorder with a Rotating Head Employing Home VTR Hardware	Makoto Sakai et al.	905
Low-Noise and High-Power GaAs FETs	Shigeru Mitsui et al.	901
The Development of a Method for Analyzing Cured Epoxy Resin	Isamu Karino et al.	910
Static Electrification of Liquids in Large Power Transformers	Hisao Kan et al.	915
Three-Phase-Enclosure Gas-Insulated Substations	Ichiro Sakon et al.	920

### 表紙

#### 実験用中容量静止通信衛星と主固定局兼運用管制局

実験用中容量静止通信衛星「CS」計画は、昭和47年度郵政省が計画し宇宙開発委員会によって設定された衛星計画である。

表紙は宇宙開発事業団によって開発された衛星（軌道上の想像写真）と、郵政省電波研究所鹿島支所の主固定局兼運用管制局（CS主局）である。昭和53年5月から電波研究所及び日本電信電話公社横須賀電気通信研究所によって各種実験が行われている。

### COVER

#### A Medium-Capacity Experimental Geostationary Communications Satellite and Its Main Fixed Earth Station

This medium-capacity experimental geostationary communications satellite project was conceived in 1972 by Japan's Ministry of Posts and Telecommunications and was put into effect by the Space Activities Commission.

The cover shows an artist's representation of the satellite, developed by the National Space Development Agency of Japan, as it would appear in orbit, and the main fixed earth station, which combines an operation and control capability, located at the Kashima Branch of the Ministry's Radio Research Laboratories. Tests have been in progress since May 1978, by the Ministry's Radio Research Laboratories and the Yokosuka Electrical Communication Laboratory of the Nippon Telegraph and Telephone Public Corporation.



## アブストラクト

### 人工衛星と関連機器

吉田武彦・尾形陸奥男

三菱電機技報 Vol.52・No.12・857～859

昭和52年度に相次いで打上げられた衛星及びこれに関連する諸設備について概説した。人工衛星、追跡管制及び衛星通信地球局の分野における当社の過去の実績を顧みるとともに、現状について要約した。更に、国際的な動向及び我が国の宇宙開発計画の概要に触れ、これに参加する我々の技術的着眼点を述べた。なお、本文は以下の特集論文の序論的性格をもっている。

### 実験用中型放送衛星用地上関連設備

小西良弘・保科 盛・高橋道清・西村昭三・天野 旭

三菱電機技報 Vol.52・No.12・P879～883

我が国最初の実験用放送衛星は、昭和53年4月に打上げられ、順調に軌道上で動作している。一方、地上施設については、カラーテレビ信号の伝送に関する実験のための各種の地上局の開発整備を終わり、14/12GHz帯における放送衛星システムの実用化を目ざして、既に各種の実験が行われている。

これらの配備された設備のうち、三菱電機が製作を担当した実験用中型放送衛星用地上局を中心に実験システムの概要を紹介する。

### 電離層観測衛星「うめ2号」

田畑浄治・高比良昭・箕輪盛好・新田晃道・東野義夫

三菱電機技報 Vol.52・No.12・P860～863

去る昭和51年に打上げられ1か月後に地上との交信を絶った「うめ」の予備機である「うめ2号」は、昭和53年2月16日に打上げられ順調に作動している。「うめ」のフライトデータに基づいた改善内容の概要とその成果について、システム設計を中心としてまとめ、評価した。国産中高度軌道衛星の1つの典型として、今後の国産人工衛星のシステム設計・試験・運用の参考となれば幸いである。

### ホイールを利用した人工衛星の三軸姿勢制御

土屋和雄・萩原史朗・若杉 登

三菱電機技報 Vol.52・No.12・P884～887

ホイールシステムを利用した三軸姿勢制御方式について考察した。数多く考えられるホイールの構成を、力学的な性質に基づいて4つのグループに大別し、その動特性の解析、シミュレーションによる検討を行い、それぞれのホイールシステムによる姿勢制御方式の制御特性を明らかにした。更に、代表的なホイールアンローディング方式について、その原理、特徴について論じた。

### 実験用中容量静止通信衛星(CS)

栗原芳高・岡本裕允・木戸敬久・尾形陸奥男・山田 武

三菱電機技報 Vol.52・No.12・P864～869

実験用中容量静止通信衛星(CS; 打上げ後「さくら」と命名)は世界に先駆けて準ミリ波帯のトランスポンダを搭載した我が国最初の静止通信衛星である。この衛星プロジェクトの特長は技術的に高度な通信ミッション機器を搭載したこと、開発及び打上げに米国を含む多くの関連機関が直接参加したことである。本文では衛星本体の開発経過、衛星の構成、射場準備作業のほか打上げ後のマヌーバ及びそれを支援する運用管制ソフトウェアについて述べる。

### 加工用大出力炭酸ガスレーザ

永井昭夫・永井治彦・森 一平・丸山正彦・高木 茂

三菱電機技報 Vol.52・No.12・P891～895

加工用のレーザとして、1kW以上の大出力CO<sub>2</sub>レーザの出現が待たれていたが、高ガス圧力、ガス封じ切り方式を採用して、従来のガラス管形レーザとは全く構造の異なった1.5kWの加工用レーザを開発、製品化した。

本稿ではその特長、構造、性能について述べるとともに、切断、溶接、表面熱処理などへ適用する手がかりを述べた。

### CS主固定局兼運用管理制局及びBS主局アンテナ

塚本賢一・梶川 実・石井康一・望月純夫・岡野 晃

三菱電機技報 Vol.52・No.12・870～874

昭和52年度に打上げられたCS及びBSを対象とするCS主局及びBS主局アンテナは既に定常運用されている。これらは準ミリ波帯による衛星通信／衛星放送という新しい分野の開拓を指向したものであり、またCS主局はすべての衛星運用管制に必要な設備を整えたものである。CSの初期段階で得られた総合特性の結果、諸設備は所期の機能性能を満足するものであることが実証された。

### 関西電力中央給電指令所納め給電指令台の人間工学的考察及びデザイン

藤田恒久・山口博章・田中圭介・室田 慎・須山 勉

三菱電機技報 Vol.52・No.12・P896～900

給電指令電話、一斉指令電話等による給電指令業務、自動給電システム(ELD)の運用、運転基準値指令制御装置の運用、自動交換機を利用した給電情報サービス、気象観測装置の運用、系統監視盤、各種計器盤の操作等、中央給電指令所の業務を円滑に行うためのシステムであり、主に人間工学的考察とデザインについて、その概要を述べる。

### 準ミリ波専用地球局カセグレンアンテナ

進士昌明・高野 忠・立川清兵衛・水沢丕雄・別段信一

三菱電機技報 Vol.52・No.12・P875～878

中容量国内衛星通信方式の研究の一環として、開発・試作された準ミリ波専用地球局カセグレンアンテナの設計上考慮した諸条件を述べるとともに、このアンテナの設計上の特長、試作結果の概要及び特性試験の結果を述べている。特性試験結果から所期の性能が実現されている。特に、都市の電話局等の屋上に設置可能なアンテナを開発し、準ミリ波帯でCCIR勧告をほぼ満足する広角指向性を有するアンテナを実現し得た。

### 回転ヘッド形PCM方式磁気録音機

坂井 誠・石田雅之・西 精基・富川直博・石田禎宣

三菱電機技報 Vol.52・No.12・P901～904

従来の家庭用VTRを利用したPCM磁気録音機では、VTRの連続した信号の誤り対策として平均値補間や前値ホールド等の方式が用いられていた。しかしこれらの補正方式だけでは、周波数の高い信号の場合には補正ノイズとなり耳ざわりである。これに対し今回の試作機では、信号の誤りを検出しそれを正しい値に訂正する方式を用いて好結果を得た。この論文では、家庭用VTRの符号誤り訂正の検討結果と、本機の構成並びに測定結果について報告する。

# Abstracts

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 52, No. 12, pp. 879~83 (1978)  
**Earth-Station Terminals for an Experimental Medium-Capacity Broadcasting Satellite**  
 by Yoshihiro Konishi, Sakari Hoshina, Michiyo Takahashi, Shozo Nishimura & Akira Amano

Japan's first experimental broadcasting satellite was launched in April 1978 and is operating satisfactorily in orbit. Development and installation of earth-station terminals for experiments in color TV transmission have also been completed. A testing program is now being carried out aimed at commercialization of a system for satellite broadcasting using the 14/12GHz band.

The article describes the prototype system, focusing on the earth-station terminals, for which Mitsubishi Electric is responsible.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 52, No. 12, pp. 857~59 (1978)

## Artificial Satellites and Their Associated Systems

by Takehiko Yoshida & Mutsuo Ogata

The article presents an outline of the many Japanese satellites launched during fiscal 1977, along with various associated systems. It reviews Mitsubishi Electric's past record in the areas of satellites, tracking and control, and earth stations for satellite communications, and summarizes the situation at present.

Mention is also made of international trends, of Japan's planning in space development, and of noteworthy aspects of Mitsubishi Electric's technological participation, in order to provide an introduction to the other featured papers in this issue.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 52, No. 12, pp. 884~87 (1978)

## A Three-Axis Satellite-Attitude-Control System Using Wheels

by Kazuo Tsuchiya, Shiro Hagihara & Noboru Wakasugi

In considering three-axis attitude-control systems that make use of systems of wheels, the various possible wheel configurations were classified into four groups on the basis of their mechanical properties. The control characteristics of each configuration were then clarified by means of analysis and simulation of their dynamic characteristics. The article also describes the principle and features of a typical system—that for wheel unloading.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 52, No. 12, pp. 860~63 (1978)

## The *Ume-2* Ionosphere-Sounding Satellite

by Joji Tabata, Akira Takahira, Moriyoshi Minowa, Kodo Nitta & Yoshio Higashino

As a backup to the *Ume* satellite, which broke off communication with the earth a month after its launch in 1976, the *Ume-2* was launched on Feb. 16, 1978 and is operating satisfactorily. The article describes and evaluates the improvements made on the basis of flight data from the *Ume*, with emphasis on system design. It is hoped that this information on Japan's first practical medium-to-high-altitude satellite will be useful in the design, testing and operation of subsequent satellites.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 52, No. 12, pp. 891~95 (1978)

## A High-Power CO<sub>2</sub> Laser for Material Processing

by Akio Nagai, Haruhiko Nagai, Kazuhira Mori, Masahiko Maruyama & Shigeru Takagi

There has been a need in material processing for a CO<sub>2</sub> laser device having an output of 1kW or more. Now a 1.5 kW laser has been developed and commercialized, which, in a complete departure from conventional glass-tube construction, applies the high-gas-pressure, hermetically sealed method.

The article describes the features, construction and performance of the new laser, and presents a guide to its applications in cutting, welding and surface heat-treatment.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 52, No. 12, pp. 864~69 (1978)

## A Medium-Capacity Communications Satellite for Experimental Purposes

by Yoshitaka Kurihara, Hiranobu Okamoto, Yoshihisa Kido, Mutsuo Ogata & Takeshi Yamada

The medium-capacity experimental *Sakura*, Japan's first geostationary communications satellite, has scored a world first in carrying a transponder. This project is distinguished by the high technological sophistication of the mission equipment carried, as well as by the large numbers of organizations, including those from the U.S.A., that participated directly. The article discusses the process of developing the satellite itself, its composition and launch base tasks, as well as postlaunch maneuvers and the operation and control software that supported them.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 52, No. 12, pp. 896~900 (1978)

## The Human-Engineering and Design Considerations in Equipment for a Utility Load-Dispatching Center

by Tsunehisa Fujita, Hiroaki Yamaguchi, Keisuke Tanaka, Shin Murota & Tsutomu Suyama

This system for the Kansai Electric Power Co., is capable of carrying out all the operational functions of a load-dispatching center, including dispatching by load-dispatching and multidirective telephones, automatic operation of the automatic load-dispatching system, operation of controllers for the setting of power output operational referents, operation of load-information services and meteorological observation equipment utilizing an automatic telephone exchange, and operation of various types of metering panels. The article outlines the system, emphasizing human-engineering and design considerations.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 52, No. 12, pp. 870~74 (1978)

## The Main Fixed Earth Station for a Communications Satellite, and the Antenna for the Main Station of a Broadcasting Satellite

by Ken'ichi Tsukamoto, Makoto Kajikawa, Koichi Ishii, Sumio Mochizuki & Akira Okano

The main station for a communications satellite (CS), and the main station antenna for a broadcasting satellite, both launched during fiscal 1977, are in normal operation with the objective of developing the new area of satellite communications and broadcasting in the 20~30GHz band. The CS main station also incorporates all equipment necessary for satellite operation and control. Performance obtained during the initial stages of CS operation has shown that all equipment meets the relevant specifications.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 52, No. 12, pp. 901~04 (1978)

## A PCM Recorder with a Rotating Head, Employing Home VTR Hardware

by Makoto Sakai, Masayuki Ishida, Seiki Nishi, Naohiro Tomikawa & Yoshinobu Ishida

Pulse-code-modulation stereo tape recorders using home-use video-tape recorder hardware have conventionally used a method such as average-value interpolation or prior-value holding to counter errors in the continuous VTR signal. Reliance on these measures alone, however, gives rise to distracting correction noise when signals are of high frequency. To remedy this, an experimental recorder has been developed that achieves excellent results using a method in which signal errors are detected and corrected. The article reports on the results of considerations of code-error correction in home VTRs, and describes the structure of, and the results of measurements obtained from, the prototype recorder.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 52, No. 12, pp. 875~78 (1978)

## The Cassegrain Antenna for a 20/30GHz-Band Communications System

by Masaaki Shinji, Tadashi Takano, Seibei Tachikawa, Moto'o Mizusawa & Shin'ichi Betsudan

The article describes the conditions to be considered in the design of a Cassegrain antenna for a 20/30GHz earth station, developed as part of a study for a medium-capacity domestic satellite communications system for Japan. The design features, the results of the manufacture of a prototype, and the results of performance tests are also presented. It has been possible to develop an antenna suitable for installation on the roof of city terminal buildings, and with a wide-angle radiation-pattern directionality that largely satisfies CCIR recommendations for these frequencies.

アブストラクト

<p>低雑音及び高出力GaAs FET</p> <p>三井 茂・石井 孝・大坪陸之・中谷正昭</p> <p>三菱電機技報 Vol.52・No.12・P905～909</p> <p>この論文は、当社で開発・製品化を進めてきたGaAs低雑音TET，中・高出力FETの特長，諸特性，信頼性について紹介する．</p> <p>低雑音FETは4GHzで<math>NF\leq 1\text{ dB}</math>，<math>Ga\geq 13\text{ dB}</math>，中出力FETは12GHzで<math>P_{1\text{ dB}}\geq 200\text{ mW}</math>，<math>G\geq 8\text{ dB}</math>，高出力FETは6 GHz，8 GHz，10.5GHzでそれぞれ出力<math>P_{\text{sat}}\geq 7\text{ W}</math>，5 W，3 Wの優れた特性を有する素子を実現した．信頼性については，フィールドで故障率400fit以下の実績が得られた．</p>	<p>大容量変圧器における流動帯電現象</p> <p>菅 寿郎・三浦良和・渡辺次男・石井敏次・新田東平</p> <p>三菱電機技報 Vol.52・No.12・P915～919</p> <p>高電圧大容量変圧器の信頼性向上のための努力を積重ねてきた結果，送油式変圧器においては，絶縁上の問題として流動帯電現象を検討しておく必要があることが分かった．この現象は，変圧器内部で油が流動することにより，絶縁紙が負に，油が正に帯電するために生じるものであるが，変圧器においては新しい問題なので，この論文で流動帯電の特長，現象を支配する主な要因，及び流動帯電の機構について述べる．</p>
<p>硬化エポキシ樹脂分析法の開発</p> <p>狩野 勇・今村 孝・榎本順三</p> <p>三菱電機技報 Vol.52・No.12・P910～914</p> <p>電気機器の絶縁材料として広く用いられている硬化エポキシ樹脂は，3次元高分子であるために不溶不融である．したがって，完全に組成を明らかにすることは極めて困難とされている．ここでは，組成分析の中で特に困難であった，変性剤，脂環式エポキシ樹脂，及びイミダゾール系硬化剤などの種類について，熱分解ガスクロマトグラフ法を応用し，従来の分析法と併用することによって，硬化エポキシ樹脂の組成分析法を確立したことについて述べる．</p>	<p>全3相一括形ガス絶縁変電所(GIS)</p> <p>左近一郎・竹内義治・田中久雄・丸谷朋弘・丹羽春美</p> <p>三菱電機技報 Vol.52・No.12・P920～924</p> <p>ガス絶縁変電所（GIS）は，昭和43年に第1号設備を納入して以来10年を経過し，最近では受変電設備の計画に当たってごく汎用的に採用されるまでに普及してきた．このたび，従来のGISの特長に加えて更にシステムのより縮小化・信頼性の向上を図った72～204KV全3相一括形GISのシリーズ化を完成したので，その概要を報告する．従来の相分離形と比較し，縮小率は60%になっており，今後この電圧階級では3相一括形が主流になるであろう．</p>

# Abstracts

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 52, No. 12, pp. 915~19 (1978)

## Static Electrification of Liquids in Large Power Transformers

by Hisao Kan, Yoshikazu Miura, Tsugio Watanabe, Toshitsugu Ishii & Tohei Nitta

As a result of concentrated efforts toward improvement in the reliability of large, high-voltage power transformers, it has become clear that there is a necessity to study the static electrification of liquids as one of the problems associated with insulation. The phenomenon of static electrification occurs through the flow of oil inside the transformer, the insulating paper taking a negative, and the oil a positive, charge. This is a new problem in transformers, and the article discusses the features, the main causative factors, and the mechanism of this phenomenon.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 52, No. 12, pp. 905~09 (1978)

## Low-Noise and High-Power GaAs FETs

by Shigeru Mitsui, Takashi Ishii, Mutsuyuki Otsubo & Masaaki Nakatani

The article introduces GaAs low-noise, and medium- and high-power FETs that have been developed and commercialized by Mitsubishi Electric. Among the outstanding characteristics of these devices are: a noise figure  $\leq 1\text{dB}$  and associated gain ( $G_a$ )  $\geq 13\text{dB}$  at 4GHz for the low-noise FET; ( $P_{\text{IDB}}$ )  $\geq 200\text{mW}$  and gain  $\geq 8\text{dB}$  at 12GHz for the medium-power FET; and a saturation power ( $P_{\text{sat}}$ ) of 7W at 6GHz, 5W at 8GHz, and 3W at 10.5GHz for the high-power FET. Field performance shows a reliability of 400Fit or better.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 25, No. 12, pp. 920~24 (1978)

## Three-Phase-Enclosure Gas-Insulated Substations

by Ichiro Sakon, Yoshiharu Takeuchi, Hisao Tanaka, Tomohiro Marutani & Harumi Niwa

In the 10 years since the first installation of gas-insulated substations the GIS has become an everyday feature of substation planning and design. Now, in an effort to combine the features of the tried-and-true GIS with even better system compactness and reliability, Mitsubishi Electric has developed a series of three-phase GISs in a single enclosure, rated from 72 to 204kV. The article describes this apparatus. Since the new apparatus represents a 60% saving in installation space over the earlier single-phase-enclosure (isolated-phase) type, it is expected to form the mainstream in these voltage classes.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 52, No. 12, pp. 910~14 (1978)

## The Development of a Method for Analyzing Cured Epoxy Resin

by Isamu Karino, Takashi Imamura & Junzo Enomoto

Cured epoxy resin, widely used as an insulating material for electrical apparatus, is a three-dimensional high polymer, and hence insoluble and infusible. It has therefore been extremely difficult to obtain a clear picture of its composition.

The article describes the development of a method of analyzing the composition of cured epoxy resin through a combination of pyrolysis gas chromatography and conventional analytical techniques, applied to such substances as modifiers, cycloaliphatic resins and imidazole curing agents, which have been particularly resistant to compositional analysis.

## 1. ま え が き

昭和52年2月23日、技術試験衛星Ⅱ型が宇宙開発事業団種子島宇宙センターから打上げられ、我が国初の静止衛星「きく2号」が誕生した。続いて52年7月に静止気象衛星「ひまわり」、同年12月に実験用中容量静止通信衛星「さくら」、更に53年4月に実験用中型放送衛星「ゆり」の打上げが相次いで成功し、我が国の静止衛星時代は華やかに幕が明けられた<sup>(1)</sup>。また、国産人工衛星技術の粋を結集した電離層観測衛星「うめ2号」が53年2月に打上げられ、周回軌道上の観測衛星の一典型として貴重なデータを提供しつつある。

これらの人工衛星の開発及びそれに関連する設備・機器・技術は次のように大別できる。

- (1) 人工衛星及びとう(搭)載機器(ロケット搭載機器を含む)
- (2) 打上げロケット及び誘導システム
- (3) 追跡管制及び運用(地上局設備及びソフトウェアを含む)
- (4) 衛星通信地球局

本文では、当社が直接参加している(1)、(3)及び(4)について最近の実績を中心とし、併せて技術的背景及び将来への展望を述べる。

## 2. 当社における人工衛星の開発

当社の宇宙開発への参加は昭和35年の観測ロケット機器及び地上関連装置の製作にほう(萌)芽を見ることができ、人工衛星の開発は、昭和39～42年の人工衛星計装、構造に関する委託研究、インテルサットⅢ号系衛星への機器の供給、小型衛星開発モデルの担当等に始まる。これらの開発は当社として人工衛星設計への初めての挑戦であり、宇宙開発特有の技術、特にシステム技術を学ぶ意味で極めて有意義な経験であった。ロケット搭載機器の製作、人工衛星打上げ用ロケットの誘導制御及び衛星に関するシステム研究並びに衛星搭載用アンテナ及びトランスポンダの試作等、この時期の開発研究は広範囲にわたって行われた。そして、これらの成果は昭和44年郵政省において企画された我が国初の本格的な人工衛星である電離層観測衛星の開発に結実するに至る<sup>(2)</sup>。

電離層観測衛星(ISS)の開発は、その後宇宙開発事業団に引き継がれ、日本電気(株)、東京芝浦電気(株)、(株)日立製作所、松下通信工業(株)、富士通(株)、沖電気工業(株)各社の協力を得て当社が主契約者となって開発を進めた。衛星第1号機は昭和50年度に打上げられ「うめ」と命名されたが打上げ約1か月後に地上との交信を絶ったため予備衛星の打上げが決定された。

「うめ2号」は、「うめ」での貴重な経験を反映して種々の改良が施された後、昭和52年度に打上げられた。53年4月から郵政省電波研究所による定常観測に入り、電離層の観測のほか電波雑音、プラズマの観測等が行われている。

技術試験衛星Ⅱ型(ETS-II)<sup>(3)</sup>は宇宙開発事業団が自らの手で実用衛星を打上げるための、いわゆるN計画の第3番目の衛星であり、同期軌道への投入を目指して昭和49年に本格的開発が開始された。この衛星は特に今後の実用静止衛星の打上げ追跡管制及び姿勢・軌道制御技術の体得を目指したものであったがその成果は予想以上の高精度で静止衛星軌道に投入され、我が国の上記各技術を誇示することができた。この衛星の製作技術は、昭和50年に開発開始の実験用静止通信衛星(ECS)に引き継がれ、新たにミリ波等の周波数帯における通信実験及び電波伝搬等のミッションが付加された。

実験用中容量静止通信衛星(CS)は昭和48年開発に入ることが決定され、宇宙開発事業団がこの決定を受けて関係業務を郵政省から引き継いで開発された。通信系は6/4GHzのほか、30/20GHzの世界に前例のない準ミリ波帯が計8系統搭載された国内通信衛星であり、アンテナ及びトランスポンダには日本電信電話公社の開発成果が盛り込まれた。衛星は昭和53年5月に機能点検を終わって定常段階に移行し、利用機関による実験が行われている。

上記、ISS、ETS-II、ECS、CSが当社にとっての第1段階とすれば、次に述べるETS-IV等の開発はいわば第2段階といえよう。

表1. これらの衛星の主要事項をまとめた。

技術試験衛星Ⅳ型(ETS-IV)は、「うめ」「きく」を打上げたNロケットを大型化したN-IIロケットの初めてのパイロットとして計画された。当社は宇宙開発事業団からの委託により、国産初のCS級(350kg)大型衛星の開発に取組んでいる。この開発によって搭載電子機器だけでなく、大型構体及び推進系の自主技術が確立されることが期待される。

衛星開発の技術の進歩はスピン安定型衛星にとどまらず、三軸制御衛星の開発に進展しつつあり、特にその基幹技術である姿勢制御方式<sup>(4)</sup>及び太陽電池パドル展開機構の開発が進められている。一方、当社と提携関係にある米国フォードエアロスペースアンドコミュニケーションズ

表 1. 衛星の主要事項

衛 星 名 称	電離層観測衛星	技術試験衛星Ⅱ型	実験用静止通信衛星	実験用中容量静止通信衛星	技術試験衛星Ⅳ型
同 略 称	ISS-b	ETS-II	ECS	CS	ETS-IV
打 上 げ 後 の 名 称	うめ2号	きく2号		さくら	
打 上 げ 年 月 (昭和)	53/2	52/2	54/1～2 (予定)	52/12	56/1～2 (予定)
打 上 げ ロ ケ ッ ト	N-I ロケット	N-I ロケット	N-I ロケット	デルタ 2914	N-II ロケット
衛 星 軌 道	円 (傾斜角 70 度)	静止 (130°E)	静止 (145°E)	静止 (135°E)	長楕円
打 上 げ 時 重 量 (kg)	141	254	260	676	638
打 上 げ 時 直 径、長 さ (m)	0.9 φ, 0.8	1.4 φ, 1.6	1.4 φ, 1.6	2.2 φ, 3.5	2.1 φ, 2.8
衛 星 設 計 寿 命 (年)	1.5	1 (実験機器: 0.5)	1	3	0.25

\* 本社 \*\* 鎌倉製作所

(FACC) 社が受注した最新かつ最大の通信衛星（三軸制御型）インテルサットV号系衛星<sup>(5)</sup>において、当社は欧州諸国とともにチームメンバーとしてこれに参画している。また、同じく三軸制御型衛星である技術試験衛星Ⅲ型の開発にも参加して電子機器のほかイオンエンジン、能動式熱制御装置等を供給している。

衛星システムの製造面では、いわゆるインテグレーション技術による総合設計及び組立て、システム試験による評価が厳密に要求される。当社はこれにこたえて鎌倉製作所内に人工衛星総合組立試験工場を新たに建設し、昭和51年夏から（稼）動中で更に拡張中である。工場内部には高天井のシステム試験室があり、衛星を中心としてチェックアウト装置が配置されて衛星のインテグレーション及び試験が行われている。また、同工場には大型電波暗室が設置されて衛星搭載アンテナの試験あるいは電磁適合性の試験に利用されている。これらの設備のほかに、機械的試験装置及び電子機器生産設備が必要に応じて着実に整備されつつある。インテルサットV号系衛星を例にとると、その機器製作数量は1機種15台に及び衛星搭載機器としては多量の生産であり、これによって当社の生産技術も飛躍的に向上している。

### 3. 打上げ準備、追跡管制及び運用

人工衛星開発における他の必ず（須）のアイテムとして、信頼性管理<sup>(6)</sup>、品質保証活動、安全管理、コンフィギュレーション管理、工程管理、データ及び文書管理等のプログラム管理技術及び契約・調達・調整・原価管理等を総合したプログラムマネジメントがあるが別稿に譲る。ここでは衛星の打上げ前後において特に重要な、打上げ準備作業、追跡管制及び運用についてその概要を述べる。

射場における打上げ準備は衛星の最終点検、フライトバッテリーの搭載のほか、2次推進系の燃料であるヒドラジンの充てん（填）及びアポモータの取付けが主作業となる。有毒なヒドラジンの取扱い、あるいは大量の固体燃料をもつアポモータの取扱いには極めて周到な準備と実行が要求される。また、射場における作業は打上げ期日を目前にして工程の余裕がなく手もどりが許されぬため強度の緊張の連続となる。当社は従来の種子島宇宙センターでの経験に加えて、今回CS打上げを通して米国東部射場（ケプカナバル）での体験を積むことができた。彼我の施設の差異、作業・管理形態等の特徴をは（把）握し得たのは今後のために極めて貴重であったと考える。

衛星打上げ直後のいわゆるロケットフェーズ（約25分間）を越えたすべての作業が、追跡管制及び運用と呼ばれる。

追跡管制・運用の中核をなすものは、追跡管制地上局設備（電子計算機を含むハードウェア）及び運用管制ソフトウェアである。当社は早くから誘導レーダ及び計算機システムの製作・据付けを行ってきた<sup>(2)</sup>。昭和48年に降本格化した地上追跡管制設備の拡充に対しては、宇宙開発事業団の種子島、増田追跡管制所を始め勝浦及び沖縄追跡管制所にその主要機器及びソフトウェアを供給してきた<sup>(7)</sup>。また、ISS及びCS管制設備を郵政省電波研究所鹿島支所に納入し、前者では我が国初の局運用省力化のための計算機制御技術を導入し、後者では大型電算機《MELCOM》7700と運用管制ソフトウェアによる高度の運用性、信頼性の向上を可能にした。

人工衛星の追跡管制システムは、宇宙開発事業団の筑波宇宙センター中央追跡管制所、上記の増田、勝浦、沖縄追跡管制所及びダウンレンジ局のほかに米国航空宇宙局のゴダード宇宙飛行センター、サンチャゴ（チリ）等の追跡局にまたがっている。したがって、地理的に遠く離れ、組織、設備、経験及び言語の異なる機関の調整が極めて重要となる。

もちろん、この追跡管制システムの中核をなすものは、上述の追跡管制地上局設備及び運用管制ソフトウェアであり、これらはあらかじめ定められた衛星運用要求に応じて製作・準備が行われる。しかし、これらのハードウェア・ソフトウェアを有機的に結合してしかも運用要員が一条乱れず行動するためには、更に膨大な文書による思想、方法、手順の統一が必要となりまた実運用に対する熟練が要求される。特に打上げ段階及びトランスファ軌道では、昼夜を問わず刻々と変化する衛星状態を監視しながらそのデータを計算機に入力し、その出力によって姿勢軌道を予測しながら的確なコマンドを打って衛星を制御することが必須であり、その間に機械及び人間の誤りの介入が許されずかつ即刻の判断と行動が要求される厳しい状態におかれる。「きく2号」、「さくら」の場合それぞれの意味で初めてのケースであったので、これらの準備に打上げ前6か月間以上を要した。しかし、打上げ後約90日間の初期運用段階において種々の検証が行われまた問題点も明らかになったので、次回以降においてははるかに円滑な運用が行われることが期待される。

更に、今後三軸制御型衛星あるいは極軌道を含む多種でしかも高ひん度の打上げに対応して、我が国の地理的条件を考慮した独自の追跡管制・運用システムが整備されるであろう。

### 4. 衛星通信地球局の進展

国際通信の分野で主役の地位を占めるに至った衛星通信は更に地域／国内通信の分野でも広く発展しつつある。これに伴い使用される地球局も多様化の傾向にある。すなわち国際電気通信衛星機構（インテルサット）が設定する衛星システムに用いられる6/4 GHz帯地球局としては、従来の標準A局（G/T比で40.7 dB/Kの局）のほかに、標準B局（G/T比で31.7 dB/Kの局でSCPC/PSKによる運用が義務づけられている）が定められている。またV号系衛星から採用される14/11 GHz帯用の標準C局が定められている。これらに各国が既に設定あるいは計画している地域／国内衛星通信システム用の地球局を加えると多種多様の形態が生じてくる。

地球局は用途に適した機能、性能をもつべきことは当然であるが、共通して言えることは衛星を含めた総合システムとしての経済性、保守／運用性、信頼性の向上である。特に増大する通信量と国内伝送路のデジタル化に対処するため周波数分割多元接続（FDMA）から時分割多元接続（TDMA）へと移行する方向にあり、例えば単一通話路方式（SCPC/PSK）、TDMA/DSI方式等のデジタル方式が実用化段階に入っている。一方、電波の有効利用を図るため、高エネルギー変調方式の開発のほかに、アンテナビーム間の分離度や偏波の識別度を利用した周波数再利用が効果的であり、V号系から本格的に導入されることとなっている。更に宇宙局、地球局の飛躍的増加が招く電波干渉を避けるため、地球局アンテナに対してより良い広角度放射特性が要求されている。

当社は昭和38年以来、日本国内、アフリカ、中近東、東南アジア、豪州、中南米、欧州向けに多くの標準A局を製作納入してきた。この間、高エネルギー、低雑音で、かつ広角度放射特性が良好な上、全電子機器が地上固定部に設置可能なビーム給電方式のアンテナを世界に先駆けて実用化し、これと車輪レール方式とを構造的に適合させることにより経済的で保守運用性の良い方式の確立に成功した。

昭和52年度当社は、V号系用として世界最初のアンテナを英国通信省向けに製作し、給電装置、1次ホーン、ビーム給電系に改良を加えた結果、6/4 GHz全帯域にわたってだ（楕）円偏波率0.5 dB以下



のものが実現された<sup>(8)</sup>。

地上通信装置 (GCE) に関する最近の要求の 1 つは、周波数及びチャンネル数変更に対する柔軟性で、このための周波数シンセサイザを用いた周波数変換器が既に運用に供されている。また高密度実装による小型化も進んでおり地球局設計に大きく貢献している。

TDMA 装置に関しては、当社は早くからビットレート 60 Mb/s の開発製作を進めていたが、その成果を基盤として現在 120 Mb/s を開発中で、インテルサットとの研究開発契約に基づいてテストミナル 3 局を 53 年度中に完成する予定である。

標準 B 局あるいは地域/国内衛星通信システムに用いられる小型地球局は、その性格上低価格、短納期が要求される。当社の製作する小型地球局は分解組立可能なシェルタに電子機器を收容したままで輸送できること、及びアンテナの現地組立てが容易にできること、を配慮しているので極めて短期間で現地据付けが可能である<sup>(9)</sup>。

当社がノルウェー本土と北海油田基地間の通信用として製作した小型地球局は、厳しい環境条件を克服して建設されたものであり、S CPC-ΔM/PSK の採用、計算機制御による監視制御機能等多数の特長をもっている。今後この種のシステムの発展が期待される。

## 5. 将来への展望

人工衛星の利用分野は今や極めて多岐にわたっている。国際通信を目的として発展した固定地点間通信は、国際間の通信だけでなく国内あるいは特定地域を対象とした分野に進展している。また、1:n 地点間の通信形態として放送、逆に n:1 の形態としてデータ収集用に適用されている。更に、固定地点間だけでなく船舶、航空機、自動車等の移動体へのサービスに拡大しつつある。観測の分野では、電波環境、気象の観測のほか、地球表面あるいは資源探査等幾多の業務が実用化されまた新たな計画がなされている。一方、科学研究の分野では種々の先駆者の計画が実現され促進されている。

これらの人工衛星の軌道は低中高度から深宇宙までさまざまある。高度約 36,000 km の静止衛星軌道に打上げられている衛星に注目すると、1964 年東京五輪を中継したシンコム III 号衛星以来 60 個以上の静止衛星が打上げられており、このままで推移すると 1980 年までに 110 個の静止衛星で赤道上の静止衛星軌道は満杯になると言われている<sup>(10)</sup>。事実、我が国の静止衛星だけでも東経 110 度、130 度、135 度、140 度に打上げられ、更に 145 度にも打上げが予定されている。一方、これらの人工衛星は、通信衛星に限らず、すべて何らかの電波を使用している。衛星管制用には少なくとも指令・監視用の周波数が必須であり、各衛星のミッション達成のためにはそれに応じた周波数割当てがなされている。

上記の静止衛星軌道及び電波は、共に地球上の人類共有の貴重な財産であるが故に、これの占有に関する条件はますます厳しくなってくることは必定である。したがって衛星利用の需要に対応する場合、これらの制約：赤道上の静止軌道のちょう密化及び限られた電波の有効利用を十分に考慮した綿密な対応策が必要となる。

更に打上げ機の経済化も図らなければならない。近年、米国では衛星を宇宙空間の所期の軌道へ乗せるための輸送手段としてスペースシャトルの開発が精力的に進められており、第 1 号機が 1979 年 9 月に打上げられると言う。また、インテルサット V 号系衛星のうち後半の衛星はシャトルでの打上げが検討されている。輸送系におけるこの新たな可能性は、人工衛星の開発に対しても新たな刺激を与えることとなる。

更に加えて衛星・地上間にとどまらず、衛星間通信が実用化の気運にある。この技術は、追跡管制を容易にする、低中高度の移動衛星の自由度を増やす、国際通信のルートを短縮する、電波の地上での錯そを軽減する等幾多の利点をもたらすことが期待される。一方、衛星間通信に関連して、より高い周波数の開拓が推進されている。

このように宇宙開発は、地球上の共有資源の有効利用を図りながら絶えず進展しつつあり、太陽発電衛星計画、宇宙工場等その界限を知らないかのごとくであり今後とも拡張が続くであろう。

## 6. むすび

宇宙開発の夢を描くことは比較的やさしい。我々は国あるいは地域的な活動とともに国際的相互依存関係の深化という両面の動きを含みながら人類の新たな可能性を見い出してゆくべきであろう。我が国の宇宙開発は、宇宙開発委員会において策定された大綱に従って進められている。すなわち、通信の分野では：

- 移動体通信技術衛星 シリーズ
- 固定通信衛星 シリーズ 及び放送衛星 シリーズ
- 移動体通信・航行衛星 シリーズ

が進められ、観測の分野では：

- 天文系科学観測 シリーズ 及び地球周辺科学観測 シリーズ
- 海域及び陸域観測衛星 シリーズ
- 電磁圏及び固体地球観測衛星 シリーズ
- 気象衛星 シリーズ
- 月・惑星探査 シリーズ

が計画されている。また宇宙実験の分野では、材料実験 シリーズ、ライフサイエンス 実験 シリーズがある。更に人工衛星系共通技術の分野として、衛星基礎技術、スペースプラットフォーム、シャトル搭載実験機及び有人サポート技術が採り上げられ、輸送系共通技術の分野では N 系ロケットのほか小型ミッション用 M ロケット、大型衛星用 H-I ロケット；軌道変換・回収・ランデブッキング技術等の諸活動が、当面 15 年間の実施計画として打出されている。

我々は、製作メカとして早急に自主技術を確立してこれらの国の指針にこたえ得るよう更に努力してゆきたいと考える。

終わりに、常にご指導を賜っている科学技術庁、郵政省、気象庁、宇宙開発事業団、日本電信電話公社、国際電信電話(株)、日本放送協会並びにご協力いただいている関係各位に深謝申し上げる。

## 参 考 文 献

- (1) 栗原：わが国の静止衛星、情報管理、21, 2 (昭 53)
- (2) 香取ほか：三菱電機技報、47, No. 3 (昭 48)
- (3) 田畑ほか：三菱電機技報、51, No. 9 (昭 52)
- (4) 鈴木ほか：三菱電機技報、52, No. 9 (昭 53)
- (5) C. F. Hoeber: INTELSAT V System Design, WESCON (1977)
- (6) 福島ほか：三菱電機技報、49, No. 2 (昭 50)
- (7) 田畑ほか：三菱電機技報、50, No. 10 (昭 51)
- (8) 竹内ほか：三菱電機技報、52, No. 6 (昭 53)
- (9) 石井ほか：三菱電機技報、52, No. 2 (昭 53)
- (10) B. I. Edelson, et al.: Orbital Antenna Farms, Astronautics and Aeronautics, Sept. (1977)

# 電離層観測衛星「うめ2号」

田畑 浄治\*・高比良 昭\*・箕輪 盛好\*・新田 晃道\*・東野 義夫\*\*

## 1. ま え が き

電離層観測衛星「うめ2号」は、電離層の臨界周波数の世界的分布の観測、電波雑音源の世界的分布の観測、電離層上部の領域におけるプラズマ特性及び正イオン素成の測定を行うため、昭和53年2月16日午後1時に種子島宇宙センターから高度約1,000 km、軌道傾斜角約70度の円軌道に打上げられた。この衛星は、直径94 cm、高さ82 cmの円筒形で重量は約141 kgのスピンの衛星である。完成外観写真を図1に示す。(太陽電池パネル No. 3を外した状態)。軌道上で観測用センサを装着したブーム2本を展開し、その後更に観測用アンテナ4本を伸展して約14 rpmで衛星分離面から見て反時計方向にスピンしながら飛行している。この衛星は昭和51年2月29日に打上げられ約1か月後に地上との交信を絶った「うめ」の予備衛星で基本的にはこれと同一の設計・製造方法によるものであるが、「うめ」での貴重な経験を十分に反映して改善がなされている。

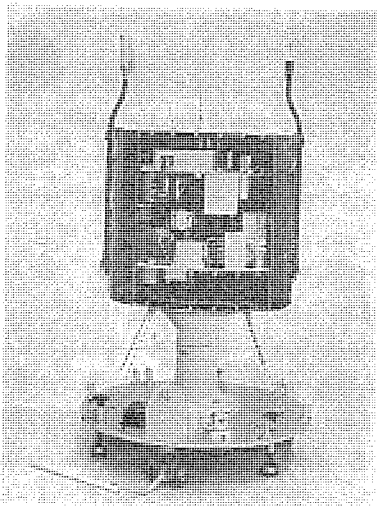


図1. 「うめ2号」外観

## 2. 概 要

「うめ」と比較しての主な改善点は以下のとおりである。

### (1) システム設計(熱・電力等)の見直し

「うめ」のフライトデータに基づき、熱設計・電力設計・信頼性設計等の厳しい見直しと、ハードウェアへの反映が実施され、その他のシステム設計についてもこれらに関連して全面的に見直しが行われた。特に電源系については、バッテリーのセル・シャシ間の熱抵抗の低下をはかるため、セルの底面とシャシ間のわずかな間隙(隙)に熱伝導性シリコン接着剤を充てん(填)した。更に具体的熱抵抗の測定、各充放電状態でのバッテリーの吸発熱量の測定及び温度・充放電電流をパラメータとした端子電圧の変化特性データの測定が行われた。これらの諸特性を考慮してバッテリーの充電制御レベルと熱制御方法が見直され改

善された。

### (2) フライトモデル受入試験の方法

品質保証の面での見直しがなされ、規格内であれば合格とする試験から1歩進めて、性能についての微小な変化、取扱い上の問題点、文書上の問題点等をすべて記録し、重大なものはMR(再審処理票)により、軽微なものは問題点指摘表(スコークシート)によりクローズする方法が取り入れられた。またシステム熱真空試験については、軌道上で起こりうる主なケースについて、衛星の性能を十分確認するため筑波宇宙センターの大型スペースチャンバを用いた本格的な確認試験が実施された。また試験規格、試験手順書の作成、試験の実施についても各担当責任部門を明確にし、それらをQAグループが確認しながら進めるという品質管理の基本を忠実に守った。

技術的問題点については、重点的な試験を行い十分なデータの取得に努めた。続く射場点検作業でも全く同様に実施され、合計約400件の問題点等が指摘され解決された。

### (3) 運用関係文書の整備

「うめ」では必ずしも十分ではなかった「不具合防止対策手順書」と「緊急時対策手順書」の見直しが行われ、緊急の場合でも第1次処置が簡単に行えるようにした。また運用予測のためのソフトウェアも整備され温度と電力データが約1か月先まで予報できるようになった。更にデータ処理プログラムも改善され、観測データが図示できるようになり運用者の負担が軽くなって衛星状態の判断に十分時間がかけられるようになった。

これらの改善点のうち、システム設計の見直しについて次の章で質量特性及び構造設計、軌道及び姿勢解析、電力、熱制御系に分けて詳述する。

## 3. システム設計

### 3.1 質量特性及び構造設計

「うめ2号」の機械的特性は「うめ」とほぼ同一であるが、「うめ」の受入試験、射場作業及び軌道上での運用で発生した問題点を改善するため一部と(搭)載機器の改良改修により重量は約1.9 kg増加することになった。この結果衛星質量特性の維持のため一部機器の配置を変更した。この変更の際には「うめ」の機器配置の手法と同様に次の点に留意した。

- (1) 慣性モーメント比の向上。
- (2) 各搭載機器間あるいはワイヤハーネスと各機器間のクリアランス。
- (3) 外部伸展機器(観測用アンテナ)取付位置と、太陽電池パネルの切りかき穴の位置関係。
- (4) 電磁干渉。
- (5) 組立作業性。

この結果表1に示す地上試験データが得られ、十分に仕様を満足していることが分かった。打上げ後軌道上でのブーム展開、観測用アンテナ伸展においても質量特性上予期どおりの結果が得られている。

構造設計については「うめ」と基本的には同一であるが、上記搭

表 1. 質量特性

構造体フェーズ	重量 (kg)	重心位置 (mm)	慣性モーメント $I_x$ (kg・m <sup>2</sup> )	慣性モーメント $I_y$ (kg・m <sup>2</sup> )	慣性モーメント $I_z$ (kg・m <sup>2</sup> )	慣性モーメント比 $I_z/I_x$	慣性モーメント比 $I_z/I_y$
う め	139.03	441.4	1.613	1.557	1.581	1.036	1.020
うめ・2号	140.94	453.9	1.665	1.616	1.599	1.030	1.042

注)  $I_z$  : スピン軸回り慣性モーメント  
 $I_x/I_y$  : 横軸回り慣性モーメント

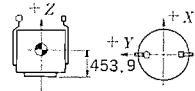


表 2. 構造動特性

構造体フェーズ	機軸方向1次固有振動数		横方向1次固有振動数	
	正弦波振動試験	動 解 析	正弦波振動試験	動 解 析
う め	50~65 Hz	47 Hz	23.4 Hz	25 Hz
うめ 2 号	60 Hz	68 Hz	23.4 Hz	27 Hz

注) 動解析は衛星分離部を剛結合としている。一方試験は分離部をVバンドクランプ結合としている。

表 3. 軌道決定値

軌 道 要 素 項 目	第 3 段 衛 星 分 離 時
基 準 時 刻 (JST)	2月16日 13時18分53秒
軌 道 長 半 径 $a$ (km)	7,480.15
離 心 率 $e$	0.016907
軌 道 傾 斜 $i$ (度)	69.43
昇 交 点 赤 経 $\Omega$ (度)	186.95
近 地 点 引 数 $\omega$ (度)	204.07
平 均 近 点 離 角 $M$ (度)	338.00
遠 地 点 高 度 $H_a$ (km)	1,228.47
近 地 点 高 度 $H_p$ (km)	975.54
周 期 $P$ (分)	107.31

載機器取付穴位置、太陽電池パネルの観測用アンテナ窓の形状を一部変更した。また各搭載機器の重量はわずかずつではあるが変更があるため、「うめ」と同様な構造動特性解析、荷重解析、応力解析を再度実施した。この結果応力的には各構造部材の最小余裕安全率は正となり、「うめ2号」の構造体は打上げから定常軌道に至るすべての予測される荷重に対して有害な弾性変形及び塑性変形を生じないことが確認された。また受入試験及び実際の飛行においても、異常は認められずその目的は達成された。表 2. に構造動特性を示す。

### 3. 2 軌道及び姿勢解析

「うめ2号」の軌道は、電離層観測ミッション要求から高度約1,000 km、軌道傾斜角約70°としてシステム設計に関する軌道解析が行われた。軌道に関する主な解析は「うめ」と同様ロケットの安全性等から決められる打上げ時間帯に対し、軌道投入から定常段階における衛星の発生電力及び熱への影響について姿勢解析を含めて計算点検し衛星側の条件を出すこと、運用のための地上局可視時間帯、遅延コマンドを含めた観測条件及び回線設計のための衛星ルックアングル等を求めることであった。

上記の結果設定された時間帯内である2月16日午後1時に打上げが行われ、投入された軌道要素は表 3. のとおりで軌道解析の前提としたものとほぼ同一のものであった。

「うめ2」号の姿勢に関してシステム設計上考慮を払う必要があるのは以下の項目であり「うめ」と同様の検討を行った。

(a) 初期段階でのニューテーション発生等を伴うブーム展開、観測用アンテナ伸展を含む衛星の姿勢が安定であること。

(b) 定常運用段階における宇宙外乱によるサンスピン角（衛星スピン軸と太陽光方向とのなす角度、図 3. 参照）のドリフトが、1日当たり4回の正規観測を行うというミッション要求を満たすための発生電力を賄う範囲内であること。また受動型熱制御の条件を満たす範囲内にあること。

(c) スピン率がミッション期間中10%以上減衰しないこと。

以上の3項目の検討と結果について述べる。

#### (1) 姿勢安定性解析

「うめ2号」は、すべてのフェーズにおいて最大慣性モーメント軸回りにスピンし慣性モーメント比（スピン軸回りの慣性モーメント/スピン軸と直交する軸回りの慣性モーメント）は、ロケット・衛星分離時の要求条件1.02以上を満足するよう設計されており、実測値は1.035であった。なおこの実測値より計算するとブーム展開後及び観測用アンテナ伸展後の慣性モーメント比はそれぞれ1.123、1.773と推定されスピン安定条件を満足する。

外乱によって生じるニューテーション運動を減衰するためのエネルギー消散機構については、可とう(撓)性アンテナは一種のエネルギー消散機構として作用することが確認されているので、観測用アンテナ伸展後はこの性質を利用することとし、伸展前の期間に対するエネルギー消散機構としてシリコンオイル封入のリングダンパを設計した。リングダンパのニューテーション減衰時定数は3時間以下である。観測用アンテナは長短2対で構成され、長アンテナはそれぞれ約17 m、短アンテナはそれぞれ約5 m伸展される。各アンテナの伸展速度に差を生じた場合、アンパランスにより衛星のワブル運動とニューテーション運動が発生し、その結果観測用アンテナに曲げモーメントが作用する。この曲げモーメントの解析を行い観測用アンテナの許容最大曲げモーメントを越えないように運用計画を立案し、実運用に適用した。

#### (2) スピン軸ドリフト及びスピン率変化解析

受動型姿勢安定制御方式を採用している「うめ2号」が打上げ後、1.5年間にわたって要求されるミッションを遂行するには、サンスピン角が45°から135°の間に保持されることが必要であった。設計段階におけるシミュレーションプログラムによる計算結果からスピン軸ドリフトに関しては以下の結論が得られた。

(a) 高度1,000 kmの「うめ2号」では、衛星のスピン軸ドリフトには、重力傾度トルク（地球の重力場の影響）と残留磁気トルク（衛星残留磁気と地磁気の相互作用）が支配的である。

(b) 残留磁気トルクを小さくするために、衛星の残留磁気モーメントのスピン軸方向成分をできるだけ小さくするように調整すること。

(c) ミッション要求上許容されるサンスピン角を考慮した打上げ時間帯は2月打上げの場合13時(JST)前後である。

「うめ2号」の軌道投入時のスピン軸姿勢は、赤経104.86°、赤緯69.15°、サンスピン角116.9°、スピン率95.36 rpm（観測用アンテナ伸展後13.7 rpm）であった。得られた軌道データを用いて観測用アンテナ伸展後のサンスピン角ドリフト解析を行いフライトデータと比較した結果、残留磁気モーメントの大きさが地上での実測値 $-0.1 \mu \text{wb-m}$ に対して $-0.7 \mu \text{wb-m}$ （スピン軸ベクトルと逆方向）とした場合フライト姿勢決定履歴（図 2.）のドリフトと比較的よく合致した。

残留磁気モーメントを $-0.7 \mu \text{wb-m}$ として6月以降ミッション期間中の姿勢ドリフト予測解析によるサンスピン角及び日陰率の変化予測を

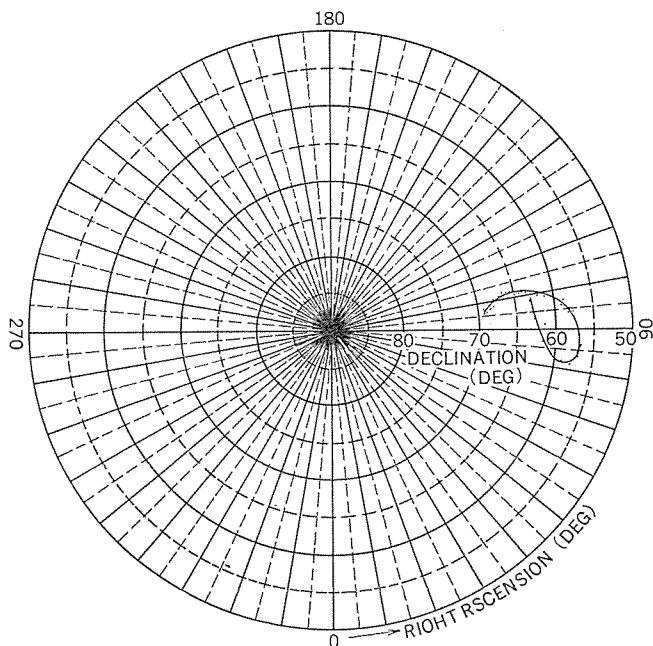


図 2. 姿勢決定履歴

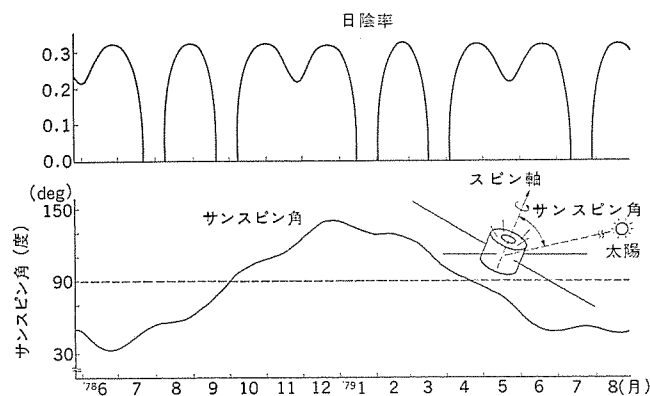


図 3. サンスピン角及び日陰率の変化予測

図 3. に示す。

### (3) スピン率変化

スピン率は、主にうず電流と太陽ふく(幅)射圧によって減衰し、その減衰時定数は「うめ2号」では最悪 12,000 日と解析されており、ミッション寿命 1.5 年間のスピン率変化の減衰は約 4.5 % で要求を満足する。打上げ後約 100 日間のスピン率の減衰は認められなかった。

### 3.3 電力

「うめ」のフライトデータに基づき、次の点の改善と見直しを行った。

- (a) バッテリー充電及び放電システム
- (b) バッテリーリコンディショニング手順
- (c) 電力収支解析

(a), (b)については、基礎となるバッテリー(古河電池製、5 AH Ni Cd 蓄電池)の充放電特性を再調査し、検討した。

そのデータに基づき、軌道上で起こりうるすべてのケースについて解析し、制御回路の設計を行った。また、高温状態でのバッテリーのサイクル充放電試験を実施し、その結果に基づきバッテリーリコンディショニングの手順をより明確なものに改めた。

(c)については、従来使用していたシミュレーションプログラムの充電時のバッテリー端子電圧を主に、もう 1 度見直しを行った。それとともに

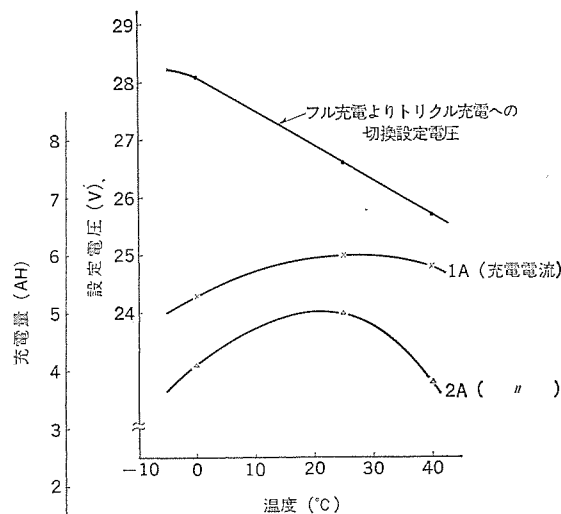


図 4. 電圧による充電制御ロジックの動作点設定電圧とその時の充電量

に蓄積されたバッテリー特性データを取り入れて、電源系シミュレーションプログラム(電力予測プログラム)を完成し、運用に使用した。主としてバッテリーの充電容量を予測し、運用計画の目安とする目的であるが、その内容として太陽電池の発生電力、運用計画による消費電力プロフィール、シャント(余剰)電力、バッテリー充電、放電電力等の総合的なシミュレーション計算をしている。具体的なハードウェアの改善点としては、バッテリー充電制御回路、バッテリートリクル充電電流の半減、バッテリーオン/オフ回路の追加及びバッテリー充電ロジックモニタ回路の追加がある。

これらの結果については打上げ後、次のようにほぼ満足すべきデータが得られている。

#### (1) バッテリーの充放電制御

フル/トリクル各充電の切換えは、設計、試験で確認した設定電圧(バッテリー温度の関数)とほぼ 0.3 V の精度で一致しており、それによるバッテリーの充電容量も図 4. に示す容量まで充電された後、トリクル充電されている。この充電容量については、電力予測プログラムの予測データとの一致や、放電電気量の約 120 % 充電で、フル充電状態からトリクル充電状態に切替わっていることにより確かめられている。

#### (2) 太陽電池発生電力

太陽電池の発生電力については、シミュレーションプログラムを使用し、観測用アンテナ・ボーム等の影の影響、放射線被曝による劣化等を入れて予測したが、地球からのアルベド(反射光)による電力増加が予想外に強く、かつ種々変化するものであることが改めて明らかになった。日陰脱出時のアルベド量最小での発生電力については、影の影響を多めに見積った予測値とほぼ一致している。

#### (3) 消費電力

チェックモード運用時の消費電力は約 23.5 W であり、DC/DC コンバータの効率、負荷条件から求めた設計、試験データと極めて近い値である。その他の運用モードでも消費電力プロフィールは予測通りであるといえる。

#### (4) DC/DC コンバータ出力、シャント特性

バス機器用及びミッション機器用の両 DC/DC コンバータの 2 次出力電圧は  $12.2 \pm 0.2$  V,  $12.1 \pm 0.1$  V と安定化されており良好である。デジタル制御型パーシャルシャント方式のシャント回路は、バス電圧の上限電圧を約 27 から 30 V の間に制御している。地上試験での結果とほぼ一致するシャント電力であり、シャント部の温度予測と実測はアルベドに



表 4. 軌道環境条件の模擬方法

	太陽光直射	アルベド及び地球赤外放射	放射ヒートシンク	超 高 真 空
太陽電池パネル	キセノンランプ (平行光)	赤外線ランプ列 (側面用)	スペースチェンバ バシュラウドを 液体窒素で 100 K に冷却	ヘリウムボンブ を中心とする排 気システムによ り、試験時真空 度を $10^{-6}$ ~ $10^{-8}$ torr に維持
上部カバー		赤外線ランプ列 (上部カバー用)		
下部カバー	赤外線ランプ列 (下部カバー用)	赤外線ランプ列 (下部カバー用)		
分離機構	分離機構温度を軌道上での予測 温度にヒータで制御			

表 5. 試験条件

	サンスピン角 (度)	太陽光強度 (kW/m <sup>2</sup> )	日 陰 率	特 徴
高温モード 1	90	1.40	0.0	最大電力発生時における 高温条件
低温モード 1	90	1.31	0.333	最大電力発生時における 低温条件
高温モード 2	110	1.40	0.0	第 2 フラットデッキ最高 温度条件
低温モード 2	45	1.31	0.333	1 日 4 回の正規観測が実 行可能なサンスピン角限 界
低温モード 3	30	1.31	0.333	第 2 フラットデッキ最低 温度条件
低温モード 4	150	1.31	0.333	第 1 フラットデッキ最低 温度条件
高温モード 3	70	1.40	0.0	第 1 フラットデッキ最高 温度条件

よる電力増加も考慮して約 2°C 以内で合致している。

### 3.4 熱制御系

「うめ 2 号」の熱制御系は、受動式熱制御すなわち機器配置、表面コーティング、セパレータ、スーパーインシュレータの組合せによって構成されている。

衛星は、宇宙空間において太陽直射、地球アルベド及び地球赤外放射を受けるが、これらの熱入射が軌道の摂動及びスピン軸のドリフトによってミッション期間中に大きく変化することがこの衛星固有の特徴である。これらの熱環境変動に対して衛星温度を許容範囲内に保つために「うめ」と同様、以下の設計を行った。

- (a) 熱入射の変化が大きい衛星外被端面は、温度変動幅が過大にならないように太陽光吸収率及び赤外放射率が共に小さいコーティングを採用した。
- (b) 外被と内部構体の熱伝導はセパレータによって弱い結合とし、内部で発生する熱は放射によって衛星外被に伝達した。
- (c) 内部機器と構体との熱結合を調整するために、放射率では表面コーティングを、また伝導抵抗ではフィラー、直接、セパレータなどの取付方法を使いわけた。

「うめ」は全日照軌道において、バッテリーの過充電に伴う発熱のためにバッテリーセル温度が異常に上昇した。「うめ 2 号」の設計見直しでは、バッテリー単体並びに予備機のバッテリーを用いて発熱量の測定及び熱抵抗の測定を行った。これらの試験結果に基づき、バッテリーの熱設計

を以下のように改善した。

- (1) バッテリーセルとシャーシ間を伝導特性の良好なコンパウンドで接着し、シャーシのコーティングは黒色ペイントと金めっきのまだら塗装とすることによって、バッテリーセルからの放熱を適正化した。
- (2) バッテリー充電制御回路を一部変更して、トリクル充電電流を約半分とした。

宇宙環境における衛星の動作機能及び熱制御系の機能を確認するために、宇宙開発事業団筑波宇宙センター大型スペースチェンバを用いて、擬似太陽光照射試験を実施した。試験は、宇宙空間の高真空、放射ヒートシンク及び熱入射を表 4. に示す方法で模擬して行い、表 5. に示すような宇宙空間で予想される熱的最悪条件において衛星の基本機能が良好に動作することを確認した。

「うめ 2」号は、打上げ後の初期運用期間において全日照状態を経験し、熱制御系が正常に機能していることが確認された。

## 4. む す び

「うめ 2 号」は、打上げ後約 60 日間の初期運用を終えてユーザである郵政省電波研究所による定常運用が行われている。

初期運用期間中の主要な結果は以下のとおりである。

- (1) バッテリー等の熱制御はほぼ設計どおりの結果であり、全日照状態で +38°C を経験した。
- (2) 姿勢の変動率が予測より大きかった。
- (3) 電源系、テレメトリ系及びコマンド系についてはほぼ設計どおりの結果が得られているが、アルベドによる発生電力の増加やコマンドアンサーバックのリセット等が発生している。

なお、観測機器については TOP-A のデータのうち混信検出の動作確率が大幅に変化する現象のほかは良好に動作している。

「うめ 2 号」は電離層観測衛星の開発着手以降長年間にわたる幾多の関係者の熱意と努力の成果として、今日軌道上における定常観測を続け貴重なデータを送り続けているが、この開発期間中ご指導、ご支援をいただいた郵政省電波研究所の関係各位、開発にご協力いただいた関連各社の関係各位、宇宙開発事業団の関連部門の関係各位及び三菱電機(株)の関連部門の関係各位に謝意を表する。

最後に「うめ」の不具合の改善途中でご逝去された内倉主任開発部員のご努力に対し衷心より敬意を表し霊の安からんことを祈ります。

## 参 考 文 献

- (1) NASD SP-8018 : Space Vehicle Design Criteria, Spacecraft Magnetic Torque (1969)
- (2) 高比良ほか : ISS システム, 宇宙・航行エレクトロニクス研究会 (昭 48)
- (3) 萩原ほか : ISS の開発, 宇宙・航行エレクトロニクス研究会 (昭 48)
- (4) 藤田ほか : ISS の熱設計及び構造設計, 宇宙・航行エレクトロニクス研究会 (昭 48)
- (5) 平井ほか : 電離層観測衛星の姿勢解析, 航空宇宙学会講演集 (昭 46)
- (6) 宇田ほか : 電離層観測衛星のアンテナ系, 第 16 回宇宙科学技術連合講演会 (昭 47)

# 実験用中容量静止通信衛星(CS)

栗原芳高\*・岡本裕允\*・木戸敬久\*\*・尾形陸奥男\*\*\*・山田 武\*\*\*

## 1. ま え が き

実験用中容量静止通信衛星 CS「さくら」は昭和 52 年 12 月 15 日(日本標準時:以下同様)に米国東部打上げ射場(ETR)から打上げられ、12 月 24 日に静止衛星軌道に達した。その後軌道上機能点検を実施し、各種の実験に供せられている。

49 年 2 月から始まったこの CS 開発は技術的、プログラム管理的に次の特徴を持っている。

- (1) 世界に先駆けて準ミリ波帯のトランスポンダを開発しとう(搭)載した。
- (2) 準ミリ波帯及びマイクロ波帯を共用する成形ビームホーンリフレクタアンテナを搭載した。
- (3) 打上げを米国(NASA)に依頼したことによる複雑な調整及び打上げ実施作業を行った。
- (4) 関連する追跡局が米国、日本国内と多岐にわたり、広範囲なインタフェース調整を行った。
- (5) 外国技術の一時的な導入ではなく、高度な技術的、品質的要求の実現に対し、習慣の異なる米国メーカーとの間でリアルタイムの折衝を実施した。

CS は、将来の増大する通信需要に対処するため必要な大容量通信衛星の打上げに至る過程として、衛星システムを用いた準ミリ波帯等の周波数における通信実験を行うこと、衛星通信システムの運用技術の確立を図ること等を目的として開発された。今回の CS の打上げが実現したことは、我が国の通信衛星開発だけでなく今後の国内衛星通信システムの発展に大きな意義を持つものと考えられる。

## 2. CS システム

CS のミッションは次のとおりである。

- (1) 衛星通信システムとしての伝送実験
  - (2) 衛星通信システムとしての運用技術の確立
  - (3) 通信衛星管制技術の確立
- これらのミッションを実行するため及び CS の定常運用を行うための総合システムは次のセグメントから構

成されている。

- ・実験用中容量静止通信衛星(CS)
- ・運用管制及び実験のための地上施設

なお現在行われている CS 実験システムを図 1 に示す。

CS 計画は、昭和 47 年度郵政省が計画し、宇宙開発委員会によって設定された衛星計画である。宇宙開発事業団はこの決定を受けて、関係業務を郵政省から引継いで衛星の開発を進めた。昭和 48 年郵政省が日本電信電話公社の協力のもとに実施した予備設計に基づき、宇宙開発事業団によって開発が着手された<sup>(1)~(5)</sup>。衛星の開発と打上げ追跡管制は宇宙開発事業団(NASDA)によって行われ、53 年 5 月 15 日利用実験等のため運用業務が郵政省に引渡され、定常段階としての各種通信実験が郵政省電波研究所並びに日本電信電話公社横須賀電気通信研究所によって実施されている<sup>(6)~(7)</sup>。

三菱電機(株)は主契約者として 49 年 2 月から衛星の開発を担当し、また打上げ追跡管制を支援した。この間、米国のフォード・エアロスペース & コミュニケーションズ社(FACC)が副契約者としてこれを全面

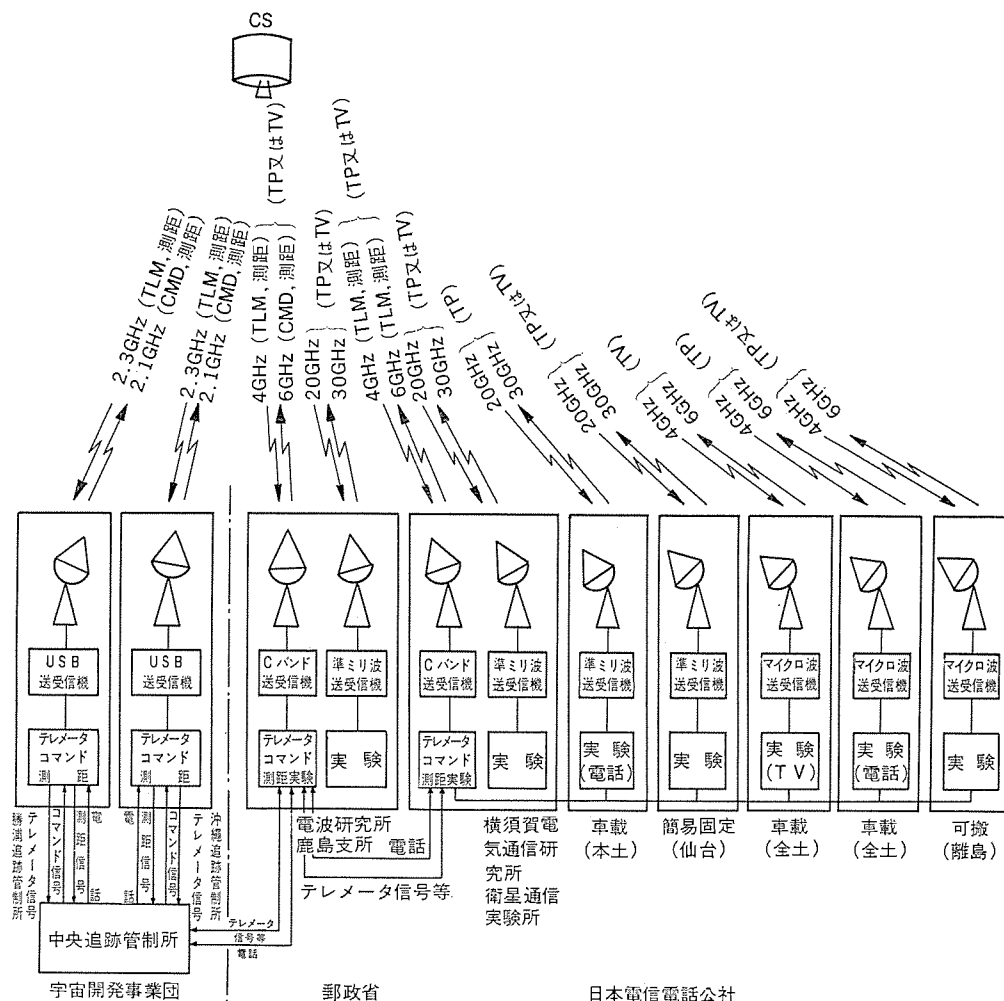


図 1. CS 実験システムの構成

的に支援した。また、準ミリ波帯 (K バンド) 及びマイクロ波帯 (C バンド) 各 1 系統の国産トランスポンダの開発は日本電気(株)が担当した。

CS システムの開発は、前述の各セグメントすなわち CS 衛星、運用管制地上施設のほか実験用の地球局にまで関連しており、上記のほか数多くの関係機関及びメーカーが参加している。特に打上げ追跡管制に際しては、NASDA 筑波宇宙センター内の中央追跡管制所 (TACC) を中心として勝浦、沖縄の各追跡管制所 (勝浦局、沖縄局、総称して TACS) のほか、米国航空宇宙局 (NASA) ゴダード宇宙飛行センター、ジョン・F・ケネディ宇宙センター、衛星追跡データ取得ネットワーク (STDN) 等が参加して実施された。

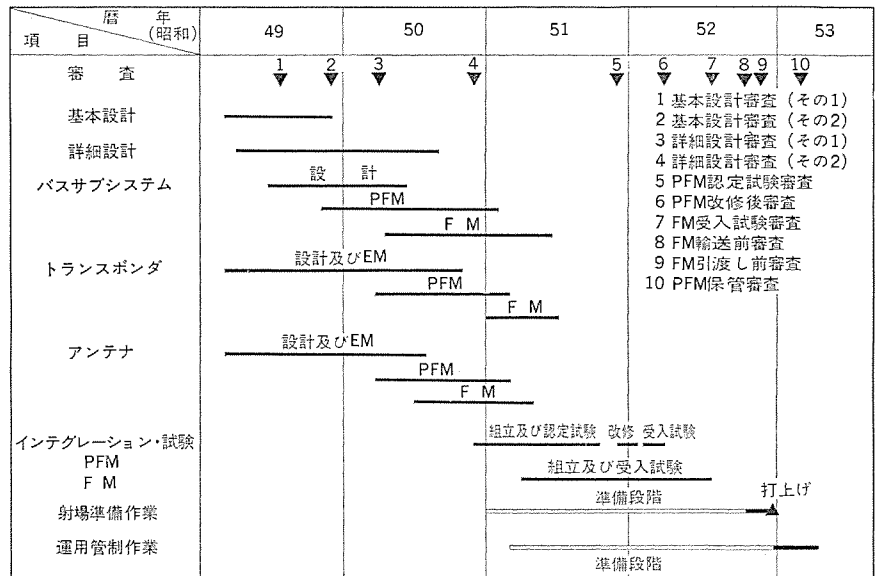


図 2. CS の開発経過

### 3. 開発経過とプログラム管理

#### 3.1 開発経過

図 2. に CS 本体及び関連作業の開発経過を示す。

基本設計段階では衛星システムの具体的設計に当たり、特に通信系国産トランスポンダ、地上管制施設とのインタフェース設計に力が注がれた。通信用アンテナ、トランスポンダから成るミッション機器には新規開発部分が多いこともあり、エンジニアリングモデル (EM) 等による開発試験を実施して慎重に設計確認を行ったため、その詳細設計は約 20 か月を要した。プロトフライトモデル (PFM) とフライトモデル (FM) のインテグレーション・試験は当初の開発工期を確保するためほぼ並行して行われ、PFM は認定試験後改修されて受入試験を実施し、地上系予備として待機した。(図 3.)

射場準備作業、打上げ支援作業は共にその現場作業の期間は短いですが、その前に約 2 年間の事前準備段階がある。安全を要求され、かつ失敗を許されない衛星打上げ作業の特徴である。

#### 3.2 設計要求と性能立証

CS に対する技術的要求条件が設計に確実に反映され、最終的にフライトクオリティ (Flight Quality) を持ったハードウェアとして実現するためには、その開発過程においてコンフィギュレーション管理、信頼性管理、品質管理などが極めて重要な作業となる。

NASDA 「CS 仕様書」は CS の第 1 のベースライン文書であり、これに基づいて基本設計を行った。関係機関とのインタフェース調整もこの時期の重要な業務であった。この期間に行われた設計が基本要件に合致することを確認するため 2 回に分けて基本設計審査を実施した。基本設計の結果は「CS 設計仕様書」及び 3 種類の「インタフェース仕様書」として文書化され、その後のコンフィギュレーション管理のベースラインとなった。(図 4. 参照)

CS に対する要求条件は詳細設計の段階で更にブレークダウンされ、「サブシステム仕様書」、「コンポーネント仕様書」として文書化され、これらに基づいて個々のハードウェアの設計が行われた。詳細設計審査はバス系機器と通信系機器とに分けて実施され、詳細設計の内容が技術的要求事項を実現できるものであることが確

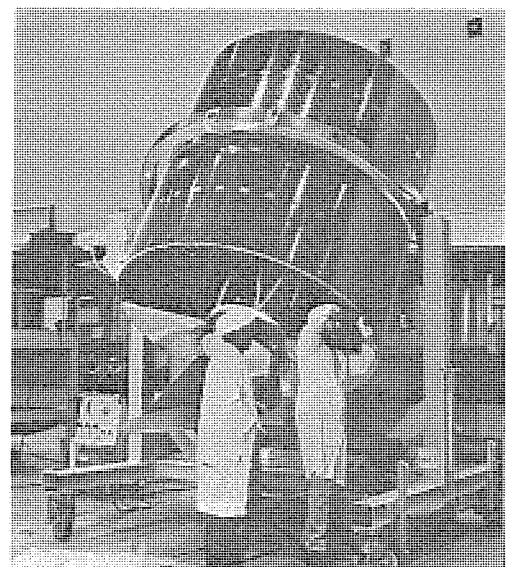


図 3. 最終組立中の CS

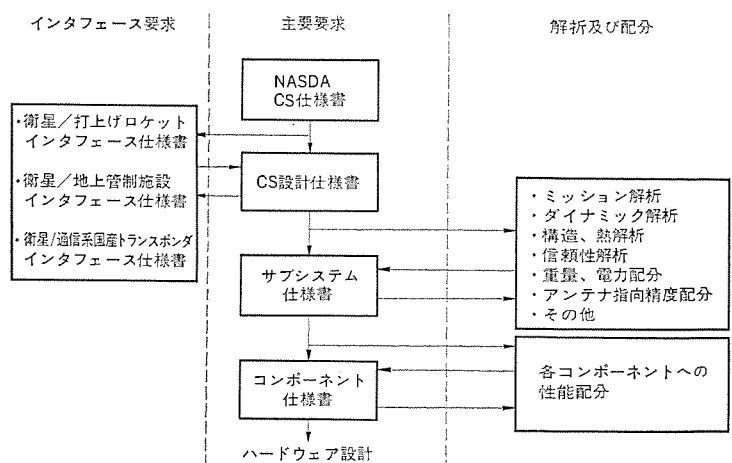


図 4. 設計管理フロー

かめられた。設計図面とハードウェアとの照合は Configuration Identification List (CIL) により明確なリストの形で、開発の最終段階

に至るまで継続して管理された。

衛星ハードウェアが要求条件を満足していることの立証は大部分がシステムレベル及びサブシステムレベル以下の試験によって行われるが、宇宙空間という特殊な環境で動作する衛星の場合はそれが難しい場合がある。このような項目に対しては、部分的な試験結果の組合せ、あるいは解析・設計によって実証する方法がとられた。Performance Verification Matrix (PVM) は、ペーサイン文書のすべての要求事項がどのように検証されるかを明確にした文書で性能検証のガイドラインとして使用された。

CS のシステムレベルの試験としては、PFM の認定試験、改修後の受入試験、FM の受入試験及び射場 (ETR) における機能確認試験が行われた。これらの試験はあらかじめ設定された試験手順書に従って実施され、その結果の技術的判定を行った。一方この期間のすべてにわたり、試験への立会い、不具合発生時の再審査委員会 (MRB) への参加を通して、継続的に品質管理活動を実施した。また各イベントの終了後に総合的にレビューする場として、6回の審査を実施した。(図2. 参照)

### 3.3 インタフェース管理

CS 打上げ用ロケットデルタ2914はNASA/NASDA間の契約により、マクダネル・ダグラス航空宇宙会社が製作したものである。衛星と打上げロケットとのインタフェースは、開発初期にはハードウェア面の、後期には打上げ射場面の調整が主となった。このため関係機関が集まってSVCN (Spacecraft Vehicle Coordination Meeting) の制度を設け、米国又は日本において定期的に打合せを行った。

地上施設とのインタフェースは、追跡管制系と通信系に分けることができるが、前者については衛星の運用方式が、後者については実験計画がかかり合ってくるので、ハードウェアの面だけでなく総合システムの面からの検討が必要になった。この目的で開発の中期から衛星運用を主体としてSOWG (Spacecraft Operation Working Group) という調整会議を設け、関連機関が参加してインタフェースを討議したが、後にNASAも含め公式にNOWG (Network Operation Working Group) を設立し、NASAネットワークを含めた総合的な運用管制についての調整を行って衛星の打上げに備えた。

通信系国産トランスポンダとのインタフェース調整は基本設計段階で最も時間を費やした分野である。これはトランスポンダが衛星の内部に組込まれ、衛星全体の一部として有機的に統合される必要があるため、本体との電氣的、機械的、熱的なインタフェースを非常に細かくまた厳密に調整する必要があったためである。調整の初期には本体と国産トランスポンダとの設計思想のくい違いなどからその調整は困難を極めたが、電電公社をはじめとする関係機関の努力により、総合的な解決を図ることができた。

## 4. CS の 構 成

CS は機械的デスパンアンテナを搭載したスピン安定型衛星で、軌道上で回転する円筒形の本体と、常に地球を指向して静止するホーンリフレクタ形通信用アンテナから成り、アンテナ反射鏡以外のすべての搭載機器は本体側に組込まれている。(図5. 参照)

CS は、通信系、テレメトリトラッキング及びコマンド (TT&C)、姿勢及びアンテナ制御 (AACS)、電源 (EPS)、リアクションコントロール (RCE)、アポジキックモータ (AKM) 構体、熱制御のサブシステムから構成され、表1. に示す主要諸元を有している。また各サブシステムの構成を含むシステムの系統を図6. に示す。

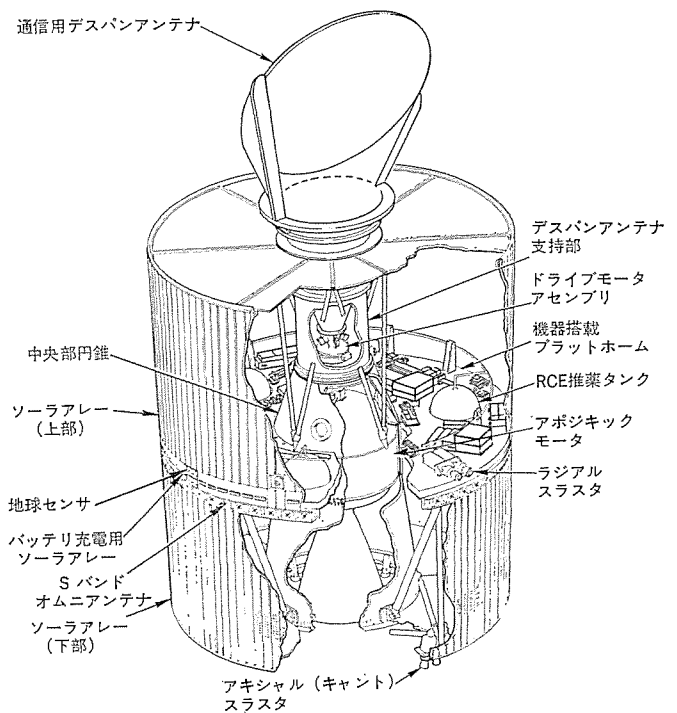
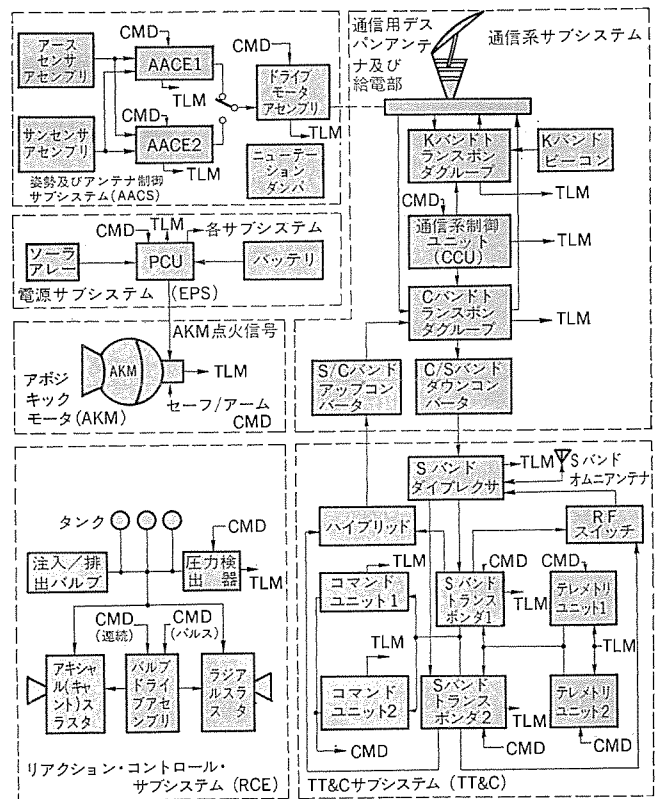


図 5. CS の構成



注) CMD: コマンド TLM: テレメトリ

図 6. CS のシステム系統図

CS の主要ミッションを達成する通信系サブシステムは6系統のKバンドトランスポンダ (うち国産トランスポンダ1系統), 2系統のCバンドトランスポンダ (うち国産トランスポンダ1系統), デスパンアンテナ等から構成されている。通信系デスパンアンテナについてはすでに紹介されている<sup>(8)</sup>ので、ここでは通信系サブシステムの系統図及び周波数配列を示すにとどめる。(図7. 参照)



表 1. CS の主要諸元

項 目	機 能	性 能
形 状	・デルタ 2914 のフェアリングに適合	・直径 218 cm, 高さ 222 cm の円筒形。通信用アンテナを含む高さは 348 cm
重 量	・デルタ 2914 の打上げ重量に適合	・打上げ時 676 kg ・静止衛星軌道上初期 約 350 kg
安 定 方 式	・スピン安定方式 ・トランスファ軌道を含む全ミッション期間中安定	・スピン率 90±9 rpm ・慣性モーメント比 1.05 以上
通 信 系	・多周波数共用フィード方式デスパンアンテナ ・Kバンド6系統 ・Cバンド2系統 ・Kバンドビーコン ・Kバンド上り/下り回線周波数 ・Cバンド上り/下り回線周波数 ・アンテナ利得	出力帯域 (dBm) (MHz) Kバンド 34 200 Cバンド 34.5 200  ・30/20 GHz 帯 ・6/4 GHz 帯 ・Kバンド 33 dB 以上 (日本本土) ・Cバンド 25 dB 以上 (日本本土)
テレメトリ トラッキング 及びコマンド (TT&C)	・Sバンド (STDN に適合するトランスポンダ)  ・Cバンド (S/C, C/S バンドコンバータを通してSバンド TT & C と接続)  ・レンジングシステム  ・テレメトリデータ  ・コマンドデータ	・送信出力 1.3 W ・受信周波数 2.1 GHz ・送信周波数 2.3 GHz ・Sバンドオムニアンテナ使用 ・送信出力 40 mW ・受信周波数 6 GHz ・送信周波数 4 GHz ・デスパンアンテナ使用 ・ノンコヒーレント、サイドトーンレンジング方式 ・64テレメトリワード/メインフレーム ・128 ビット/秒
姿勢及びアン テナ制御 (AACS)	・地球視野角、太陽角及びスピン率による姿勢決定情報、冗長性ある地球センサ、太陽センサ使用 ・デスピンモータ及び制御エレクトロニクス ・受動形ニューテーションダンパ	・アンテナオフセット ±4° 調整範囲 (東西方向) ・減衰時定数 15分以下
電 源 (EPS)	・上下2分割された円筒形ソーラアレー、独立したバッテリー充電制御アレー ・NiCd バッテリー1個 ・シャントレギュレータ安定化主バス電圧	・必要最大負荷電力 380 W に対する十分なマージン  ・容量 20 AH ・バス電圧 29.4±0.2 VDC
リアクション コントロール (RCE)	・ヒドラジンモノプロペラント方式 ・姿勢制御及び軌道制御用 5 lb スラスタ (冗長)	・推奨タンク容量 38.6 kg  ・90 ms パルスモード又は 60 s 連続噴射モード
アポジック モータ (AKM)	・SVM-6 固体モータ	・設備推力 9.3×10 <sup>5</sup> Ns
構 体	・単一水平機器搭載プラットフォームと中央円筒支持構造体を有する筒型構体 ・DMA にケーシング機構採用	
熱 制 御	・受動形、一部ヒータ使用	・バッテリー, RCE, AKM, フライモータアセンブリにヒータ使用

## 5. 運用管制ソフトウェア

運用管制ソフトウェアは、CS を運用管制するための計算機プログラムによる支援システムの一構成要素であり、次の計算機に実装されて使用される。

- ・勝浦局、沖縄局及び TACC の ミニ コンピュータ (YHP 21 MX)
- ・TACC の中型計算機 (FACOM 230-38)
- ・TACC の大型計算機 (FACOM 230-75)

ミニ コンピュータ に実装された アプリケーション プログラム は、CS テレメトリ データ 取得、コマンド 送信にかかわる処理 プログラム であり、オンライン 系と呼ぶ。

中型計算機に実装された アプリケーション プログラム は、取得後の ファイリングされたテレメトリや送信済みのコマンドファイルを処理対象としたもので、衛星利用機関とのデータ伝送制御機能を除いて、オフライン処理プログラム (SMACS) と呼ぶ。

大型計算機に実装された アプリケーション プログラム は、衛星の軌道・姿勢の決定や制御計画にかかわる他の衛星にも可及的共通なプログラムと、CS の RCE 系の噴射コマンドを作成するプログラムとから成り、後者を CS 固有ソフトウェア (CS/SSS) と呼ぶ。これらの中型、大型計算機に実装された CS 固有運用管制プログラムをオフライン系と総称している。

## 5.1 オンライン系 (オンラインソフトウェア)

運用管制ソフトウェアオンライン系は、TACC、勝浦局及び沖縄局に設置された追跡管制ハードウェアとともに動作し、衛星の運用管制の手段となる。図 8. に TACC, TACS の系統図を示す。

TACS にはミニコンピュータ1台を中心に PCM 復調装置、コマンド発生装置などが接続されており、衛星と直接交信リンクを確立し、データ送受信を行う。勝浦局又は沖縄局は TACC と通信回線で接続され、両者で同期を取りつつ動作する。TACC にはミニコンピュータ1台に衛星状態表示板、ペルコーダなどが接続されており、通信回線経由伝送されるテレメトリ、コマンドデータを磁気テープに蓄積するとともに、衛星の状況及びコマンド運用状況の表示を主とした機能をもつ。オンラインソフトウェアは TACC 及び TACS の 2 系統があり、それぞれのミニコンピュータにより実行される。その機能は次のとおりである。

## (1) テレメトリデータ処理

衛星から伝送されるテレメトリデータを TACS の PCM 復調装置経由

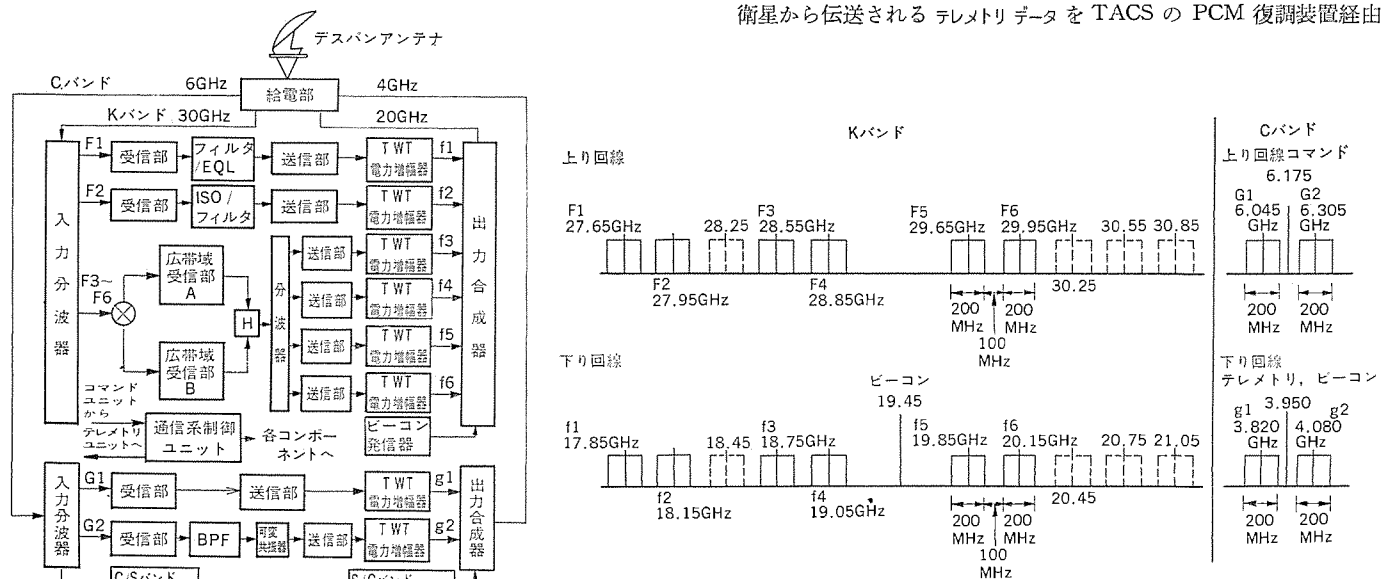


図 7. 通信系サブシステム系統図及び周波数配列

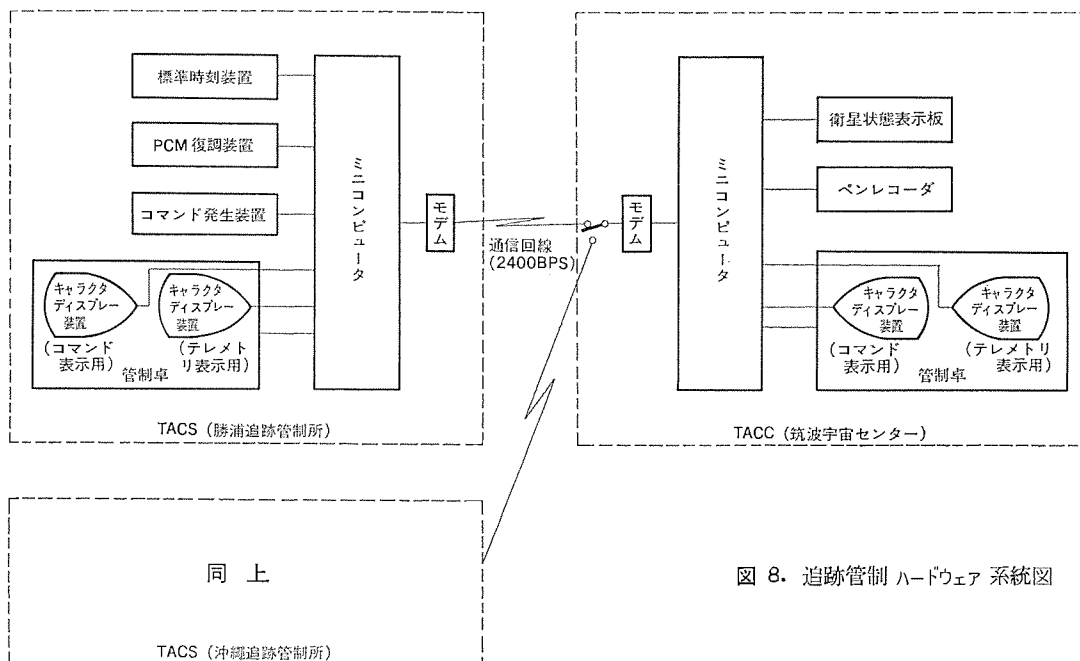


図 8. 追跡管制 ハードウェア システム図

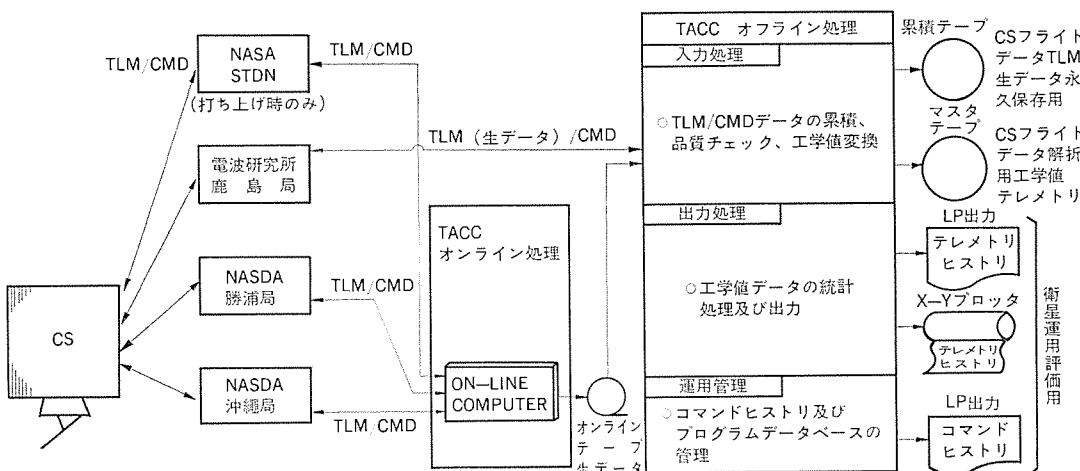


図 9. CS オフライン 処理 プログラム インタフェース

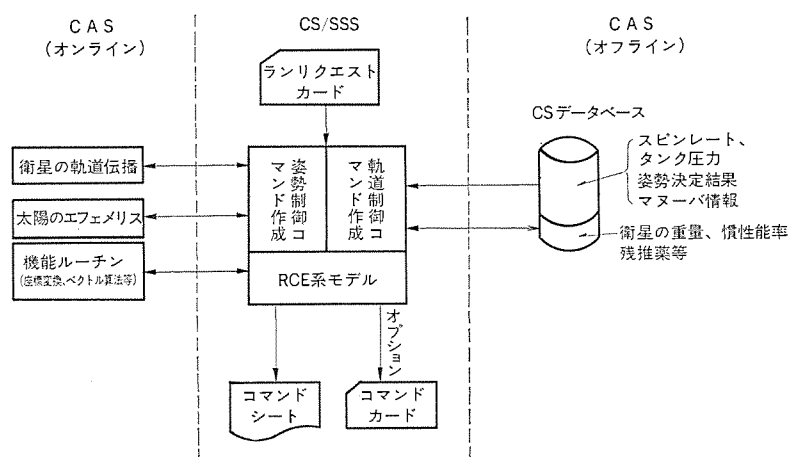


図 10. CS 固有ソフトウェアの構成

入力し、アナログデータを工学単位の値に変換して表示する。またディジタルデータの解説も行。更にこれらの結果を衛星のサブシステムごとにまとめて、キャラクタディスプレイ装置に表示する。テレメトリデータは通信回線経由 TACC 側に入力され、同様の処理が施される。TACC では更に衛星搭載機器の動作状況をまとめ、衛星状態表示板に表示

するとともにテレメトリデータを磁気テープに記録する。

(2) コマンド出力制御  
衛星を制御するためのコマンド計画(コマンド列及び各コマンドの出力予定時刻)は TACC で衛星運用者によって決定される。これに基づいたコマンド出力方法には半自動モード、手動モードの 2 種類があり、いずれのモードでも出力コマンドが衛星に正確に受信されたことをテレメトリデータにより確認することができる。このコマンド送信操作は TACS で行われるが、この情報は通信回線経由 TACC に伝送、表示され、TACC でもコマンド送信状況を監視することができる。またコマンド情報もすべて磁気テープに記録される。

## 5.2 オフライン系

### 5.2.1 オフライン処理プログラム (SMACS)

CS SMACS はオンラインソフトウェアによって得られた衛星のテレメトリデータ

を効率よく処理し、適切なフォーマットに編集して衛星運用者に提供するプログラムである。

このプログラムのインタフェースを図 9. に示す。各管制局で受信したテレメトリデータは TACC のミニコンピュータに伝送され、前節で述べたように磁気テープに記録される。CS SMACS はこの生テープを入力とし、TACC の中型計算機を用いて処理され、衛星の状態履歴としてラインプリンタ及び X-Y プロッタに出力する。

### 5.2.2 CS 固有ソフトウェア (CS/SSS)

CS に送信するコマンドの内、RCE 系については CS 固有ソフトウェアによって、噴射コマンドシーケンスの作成がなされており、打上げ時から静止衛星軌道保持期間に至るまで使用されている。

姿勢変更/保持、静止衛星軌道の獲得/保持のためのマヌバ計画は、他の衛星にも共通な計算機能としての Common Application Software (CAS) によってなされ、CS/SSS は最下位ルーチンとして、RCE 系の噴射コマンドシーケンスの出力と、噴射に付随した衛星状態量の変化を予測する機能を受持っている。図 10. は CS 固有ソフトウェアの全体構成を示す。このプログラムは姿勢制御コマンド作成と軌道制御コマンド作成とからなり、CAS とのデ

ータインタフェースはデータベースを介して行えるようになっている。

## 6. 打上げ及び運用管制

### 6.1 打上げ

52年10月15日に航空機でETRに輸送されたCSは、直ちに衛星試験施設(ビルディングAO)に搬入された。ここで衛星チェックアウト装置を用いて衛星機能確認試験を実施し、CSの電気性能が過去のデータと有意差がなく正常であることを確認した。CSは電源系がオフの状態では打上げられるので、この時点で衛星の電氣的コンフィギュレーションを所定の打上げ時の組合せに設定した。

防爆作業施設(ESA-60A)に移動したCSは確認試験が完了しているAKMと結合され、RCE推進の充てん(填)及び加圧作業が実施された。更にRCE系リーク試験、ボンディングチェック及び最終組立作業を行い、最後に衛星重量が測定された。この後デルタ2914の3段目ロケットと結合され、射点17Bに運搬された。

射点での衛星作業は、バッテリー充電モニタ及びRCE系圧力モニタなどの定常24時間作業のほかRCEリークチェック及びAKMセーフ/アーム装置の点検を行った。打上げ当日は打上げ30分前にバッテリーの充電を停止し、AKMをアームとし、衛星の状態を確認後、世界時12月15日0時47分03秒に打上げられた。CS打上げロケットはデルタ2914第137号機であった。

### 6.2 運用管制

CSの運用管制作業は打上げ前の事前準備作業と打上げ後の実運用作業に分けることができ、これらを総称してMission Operation Support System(MOSS)と呼んでいる。

事前準備作業はCSの運用管制に必要なソフトウェア、ハードウェア、STDNを含む地上ネットワーク、手順書類、要員、運用管理体制の準備など広範囲にわたっている。衛星側からみた運用管制作業へのインタフェース条件はまずOperation Control Requirements(OCR)によって文書化され、これを基準として上に述べた個々の分野の検討を行った。CSの打上げシーケンスの中でも、特に打上げからAKM噴射までのトランスファ軌道の段階は、衛星状態の変化が激しく、また姿勢制御のためのコマンド送信も多い。したがって打上げ前の準備段階においても不測の事態を予想しながらこの期間の作業の準備に重点が置かれ、CSと運用ネットワークの適合性確認、実運用手順の設定、要員のトレーニング、打上げリハーサル等の作業が実施された。特に衛星の運用に関しては、標準コマンドシーケンス、コマンド送信前、中、後の衛星状態のチェック項目などを詳細に規定したオペレーションモードリストを作成し、コマンド誤操作の防止、衛星の安全な運用を期した。

ETRから打上げられたCSは、約25分後にロケット3段目から分離され、周期約10.5時間の長楕円(楕)トランスファ軌道に投入された。トランスファ軌道では勝浦局、沖縄局、NASA STDNからの追跡データによる軌道決定結果と、衛星の地球センサ、太陽センサのテレメトリデータからのスピン軸姿勢決定結果とに基づき、総合的な姿勢・軌道制御(マヌバ)計画を立てた。最初のマヌバはAKM噴射(A

MF)のための姿勢制御で2回に分けて実施した。AMFは予定どおり第3遠地点(東経138.8度)で行い、静止衛星軌道に近いドリフト軌道へ投入した。

ドリフト軌道上ではまずスピン軸を軌道面に逆垂直(通信アンテナを南側)にする姿勢制御を2回にわけて実施した後、東経135度の目標位置へ静止化させるための計画を立てた。静止化はドリフト方向反転を含む経度方向ドリフト調整用の軌道制御を5回実施し、打上げから約9日間の短期間で実現された。

静止後の衛星は主として地球の扁平のために経度方向に、また太陽と月の引力により緯度方向に移動する。また太陽からのふく(輻)射圧により衛星のスピン軸も動くので、RCE系を使用した姿勢及び軌道制御を定期的に行っている。

## 7. む す び

CS本体は膨大なCS全体プロジェクトの中核ではあるが、それに関連する広範囲の地上ハードウェア、ソフトウェア、運用管理体制によって支えられている。またCS本体の開発、打上げだけをとってみても実に多数の関係者の努力によって達成されたことは言うまでもない。このようにして開発されたCSを用いた実験により、今後更に衛星通信の利用分野が広がることを切望している。

最後に、CS開発に当たり貴重な指導、ご助言を賜った郵政省、NASA、更にアンテナ技術開示をいただいた日本電信電話公社に深く感謝致します。

## 参 考 文 献

- (1) M. Hirai et al.: Development of Medium-Capacity Communications Satellite for Experimental Purpose, PROCEEDINGS OF THE ELEVENTH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SPACE TECHNOLOGY AND SCIENCE, TOKYO (1975)
- (2) T. Ishida et al.: Program of Medium-Capacity Communications Satellite for Experimental Purpose, AIAA PAPER No. 76-244 (1976)
- (3) 塚本: CS計画の概要と実験計画, 第52回電波研究所研究発表会(昭52)
- (4) 横山: CS・BS主局の衛星通信実験システム, 第52回電波研究所研究発表会(昭52)
- (5) 橋本: CS・BS主局の衛星運用管制システム, 第52回電波研究所研究発表会(昭52)
- (6) H. Kaneda et al.: Experiments in the Japanese CS Program, AIAA PAPER No. 78-616 (1978)
- (7) 岡本: “さくら”の開発と打上げ, 第78回郵政省, 日本ITU協会講演会予稿(昭53)
- (8) M. Kudo et al.: Design of the CS Communications Antenna, AIAA PAPER No. 76-252 (1976)

# CS主固定局兼運用管制局及びBS主局アンテナ

塚本 賢一\*・梶川 実\*・石井 康一\*\*・望月 純夫\*\*\*・岡野 晃+

## 1. ま え が き

CS 計画及び BS 計画に基づいて開発された実験用中容量静止通信衛星 (CS) 及び実験用中型放送衛星 (BS) は、それぞれ昭和 52 年 12 月及び昭和 53 年 4 月に打ち上げられた。これらの衛星を対象として、各種実験を行うための地上施設は既に定常運用され、将来の実用化に必要なデータが得られ始めている。

CS 計画及び BS 計画は、将来の大型実用衛星を用いた衛星システムの導入に備えて必要な技術基準を確立し、併せて技術開発を行うために昭和 47 年度郵政省が計画し、推進しているものである<sup>(1)(2)</sup>。CS は打上げ後、電波研究所の支援のもとに、宇宙開発事業団が初期段階の機能、性能を確認するため衛星の初期チェックが行われた<sup>(3)</sup>。また同時に、このチェックを通じて地上施設の動作が確認された。

本文では、これら地上施設のうち CS 計画による実験の中核として活躍している CS 主固定局兼運用管制局 (以下「CS 主局」という) の概要及び、CS 主局 K バンドアンテナと同じ設計思想によって製作された BS 主送受信局兼運用管制局 (BS 主局) アンテナについて述べるとともに、CS システムの総合特性試験の一部として初期チェックの結果を示す。

## 2. CS 主局設備<sup>(4)</sup>

### 2.1 CS 主局の構成及び主要性能諸元

CS 主局は、6 GHz/4 GHz 帯 (C バンド) を用いた衛星の運用管制実験及び、30 GHz/20 GHz 帯 (K バンド) 及び C バンドによる衛星通信実験を目的とし、かつ各種実験に対処しやすいものをできるだけ簡単な設備構成で実現するように考慮した結果、図 1. の系統図に示すようなものとした。この構成上の特長は、

- (1) IF 信号接続装置により、各種実験用端末局設備と K バンド及び C バンドの衛星中継器との組合せの選択が容易にかつフレキシブルに行い得る
- (2) 通信用とコマンド測距用の送信系が切替可能であり、緊急コマンドの送信に対して冗長構成であること
- (3) 運用、実験上の操作が隣接した管制室、通信実験室、計算機室で行い得る
- (4) BS 主局と併設 (実験局舎と一体化) することにより、TV 系等の端末機器の共用が可能であることである。

CS 主局の主要性能諸元を表 1. に示す。  
システム性能 (特に K バンド系) が仕様値 ( $G/T: 41.5 \text{ dB}$ ,  $\text{EIRP}: 90 \text{ dBW}$ ) に比べて顕著に良好な結果となっている

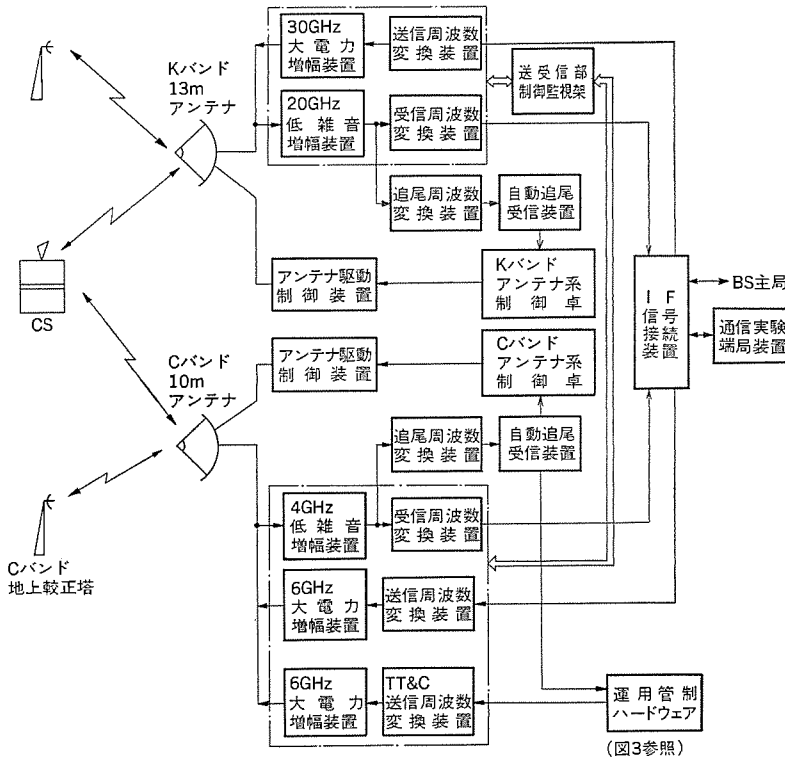


図 1. CS 主局系統図

表 1. CS 主局主要性能諸元

項 目	K バ ン ド 系	C バ ン ド 系
システム性能		
・ G/T (50° EL, 晴天)	44.3 dB/K (20 GHz)	32.5 dB/K (4 GHz)
・ 送信最大 EIRP	91.2 dBW (1 波送信)	74.2 dBW (通信系) 65.3 dBW (TT&C 系)
アンテナ系		
・ 主反射鏡直径	13 m	10 m
・ 方 式	Az-El マウント, 4 回反射集束 ビーム給電鏡面修整カセグレン	Az-El マウント, 鏡面修整カ セグレン
・ 使用周波数 送 信	27.5~31.0 GHz	5.925~6.425 GHz
・ 受 信	17.7~21.2 GHz	3.7~4.2 GHz
・ 利 得	69.2 dB (29.25 GHz) 66.2 dB (19.45 GHz)	53.4 dB (6 GHz) 51.3 dB (4 GHz)
・ アンテナ雑音温度 (50° EL, 晴天)	65 K (20 GHz)	25 K 以下 (4 GHz)
・ 逆旋偏波発生量	-26.8 dB (19.45 GHz)	—
・ 追尾精度	0.007° rms	0.04° rms
・ 追尾方式	高次モード検出モノパルス方式	ステップ追尾方式
送 信 系		
・ 構 成	TWT 2 系統	TWT 3 系統
・ 同時送信可能搬送波数	2 波	通信系 2 波及び TT&C 系 1 波
・ 送信管飽和出力	500 W/ch	300 W/ch (通信系) 20 W/ch (TT&C 系)
受 信 系		
・ 構 成	ヘリウムガス冷却パラメトリック 増幅器 1 系統	常温パラメトリック増幅器 現用 1, 予備 1
・ 同時受信可能搬送波数	通信系 3 波 ビーコン 1 波	通信系 2 波 TT&C 系 1 波
・ 受信系雑音温度	80 K 以下	53 K 以下



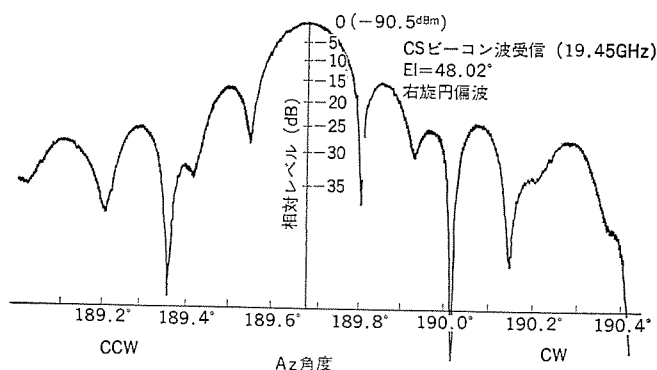


図 2. K バンドアンテナ放射パターン (衛星にて測定)

るが、これはアンテナをはじめ送受信系の各構成品の性能が、それぞれの仕様を上回るものとなった結果である。

## 2.2 K バンドアンテナ系

K バンドアンテナは使用周波数が高いことより、鏡面精度及び追尾精度を高くすることに配慮して設計製作した。アンテナ方式としては近年国際衛星通信標準 A 局の主流となった、4 枚反射集束ビーム給電方式<sup>(6)</sup>を採用し、給電損失の低減による等価利得の向上並びに雑音温度の低減をはかるとともに送受信系の保守性を良好にした。集束ビーム給電系は非対称成分を相殺する構成とし、図 2. に示す放射特性を得ている。また、反射鏡系は後述の BS 主局アンテナと同一にして広帯域設計を行った結果、経済的なアンテナが得られると同時に、将来コルゲートホーン及び給電導波管系を変更することにより、他の周波数帯における使用が容易に実現し得るものとなった。

主反射鏡鏡面は高精度 ストレッチ 整形 パネル (単体精度 0.1 mm rms 以下) 54 枚から成り、各種の誤差要素を含む総合鏡面精度 0.23 mm rms を実現し、利得の向上を通して前述のシステム性能向上に大きく寄与した。

追尾方式としては高次モード検出モノパルス方式と合わせて、完全単一チャンネル追尾受信機<sup>(6)</sup>を用い、各軸 2 つの駆動モータを用いたアンチバックラッシュ方式や剛性の高いアンテナ構造と合わせて、高追尾精度を実現し、高利得の鋭いビーム (半値幅約 0.05 度/30 GHz) を有効に利用している。また実験上の必要性により、交差偏波成分の検出を行っている。

## 2.3 通信実験設備

通信実験設備は K バンド及び C バンド送受信系諸装置並びにこれらの端局としての各種通信実験装置から構成され、この部分は C バンドアンテナと合わせて日本電気(株)が製作を担当し、これらを他設備とともに主局としてまとめることを三菱電機(株)が担当した。

### 2.3.1 K バンド送受信系

K バンド送信系の大電力増幅装置には、30 GHz 帯における空冷としては最大級の 500 W 進行波管を使用し、これを 2 系列備えて同時 2 波送受信が可能な構成とした。

一方 K バンド受信系は、ヘリウムガス

冷却パラメトリック増幅器を広帯域の低雑音増幅装置として使用し、この出力を分波して 3 台の周波数変換装置に接続することにより、3 波同時受信ができる構成である。

なお衛星中継器 6 波分のいずれに対しても送受信可能なように、周波数変換装置は送受信とも 6 波の選択能力をもつ。

これらの送受信系の主要機器はすべてアンテナ直下の送受信機室 (3 階) に設置され、中間周波 (1.7 GHz) にて通信実験室 (1 階) の IF 信号接続装置を通して、各種通信実験装置に接続される。

### 2.3.2 C バンド系

C バンド系の機器は、ほとんどすべて実用に供せられているものであり、重点を局の簡素化において次のようにした。

- (1) 限定駆動形アンテナ (Az: 20 度, El: 80 度) の採用。
- (2) ステップ追尾方式の採用とビーコン受信機の運用管制兼用。
- (3) 送受信系機器のシェルト収容。

なお、運用管制系用として、送受各 1 系統を有し、緊急時には通信実験用送受信系による代替が可能な構成とした。

### 2.3.3 通信実験装置群

通信実験として、広帯域 FDM/FM, PCM/PSK (2 相, 4 相, 8 相; TV 及び電話), PCM/PSK-TDMA, デジタル多重 SSRA, ΔM-SCPC などの諸通信方式の伝送実験のほか、各種伝搬実験に必要な装置を備えるとともに、これらの実験のデータ収集記録装置を有し、データの収集に万全を期することによって、CS 実験の成果の効果的活用が可能となるようにした。

### 2.4 運用管制ハードウェア

運用管制ハードウェアは、CS の運用管制用としてテレメトリ信号の復調、復号、記録、コマンド信号の発生、符号化、変調、及びサイドトーン信号を用いた測距などの、いわゆる TT&C の機能を有するものであり、図 3. に系統図を示す。

運用管制ハードウェアの中で特長を有するものの 1 つは測距装置である。この装置は純国産技術により設計製作したもので、従来のスタートストップ方式の代わりにデジタル PLL 方式<sup>(7)</sup>を用いた連続測距方式を採用して、データのスムージングによる高精度化を可能とした。更に捕捉シーケンス制御にマイクロプロセッサを導入するなどの新機軸を折り込んでデータの信頼性を高めている。

もう 1 つの特長は、運用管制計算機 (MELCOM 7700) と衛星管

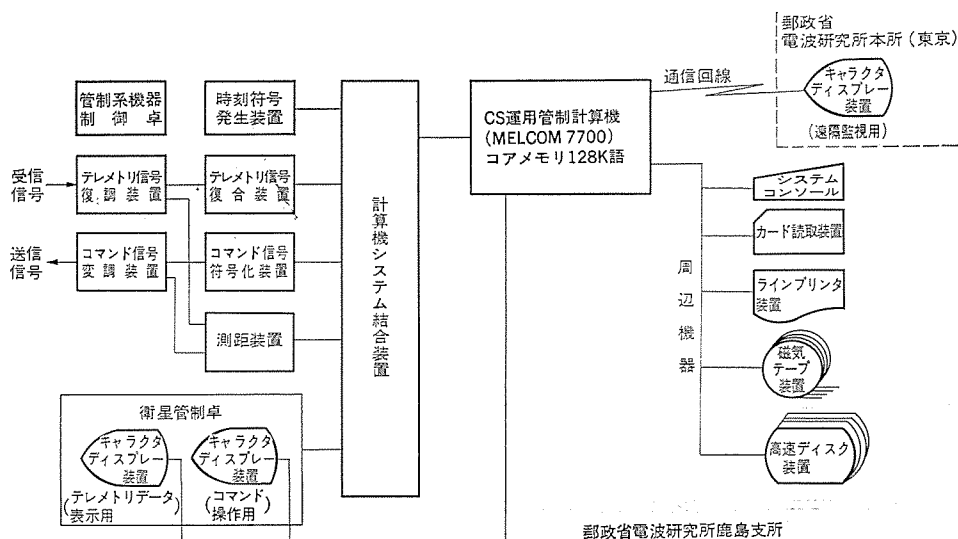


図 3. CS 運用管制ハードウェア系統図

制卓及び次章で述べるプログラムの有機的な結合により、優れたクリティカルリアルタイムシステムを実現し、オンライン、オフラインの同時処理を含むすべての運用管制業務の遂行に十分な適応性を有するとともに、運用管制計算機の保守あるいは障害による休止期間においても、システム結合ロジック装置(SIL)によってバックアップ機能を有するなど、信頼性と操作性の優れたシステムとしたことである。

### 3. CS 運用管制プログラム

#### 3.1 概要

CS 運用管制計算機により実行される運用管制プログラムは、CS の静止軌道投入後の運用管制を主目的とした次の機能を有している。

- (1) 衛星テレメトリデータをもとにした、衛星のヘルスチェック及びトレンドログ解析。
- (2) 測距データをもとにした、衛星の軌道計算。
- (3) 衛星コマンドを送信することによる衛星状態の制御。

同プログラムを設計するにあたり特に次の点に留意した。すなわち、衛星テレメトリデータを解析した結果得られる衛星情報の詳細な実時間表示、コマンド出力操作の自動化、2種類のコマンド出力モード(手動・半自動)によるコマンド運用の柔軟性、衛星パラメータ及びソフトウェア運用パラメータの蓄積をデータベース構造化したことによるパラメータ管理の柔軟性、テレメトリ及び測距データの磁気テープによる再生機能等である。

CS 運用管制プログラムは、オンライン系及びオフライン系各プログラムより構成されている。計算機主メモリ上の応用ソフトウェア領域は、オンライン系プログラム領域とオフライン系プログラム領域に分割されており、各プログラムはそれぞれの領域に独立にロードされ、同時に並行処理される。以下各プログラムの機能について記述する。

#### 3.2 オンライン系プログラムの機能(図4.参照)

オンライン系プログラムは、前述の運用管制ハードウェアを介して衛星と通信し、データの送受信及び処理をリアルタイムで行う実時間処理プログラムであり、次の機能を有する。

##### (1) テレメトリデータ処理

衛星のテレメトリデータは、アナログデータ(各部の温度、圧力、電圧、レベルなど)とデジタルデータ(動作状態、動作モード、冗長系機器の選択状態などの接点ないしそれと同等の情報)とに大別される。アナログデータは衛星内でA/D変換されて、デジタルデータと合わせてデジタルビットストリームとして地上で受信される。オンライン系プログラムではこれを解読し、アナログデータの工学単位への変換、許容値との比較

による衛星の正常/異常の判定を行うとともに、デジタルデータを含めて理解しやすいメッセージとして出力する。

これらの処理結果を、衛星のサブシステムごとの画面にまとめてキャラクターディスプレイ装置に表示するとともに、特に重要な衛星状態については衛星管制卓上にランプ表示する。

なお、電波研究所本所(東京)にも遠隔監視用キャラクターディスプレイ装置を設け、ここでも実時間表示を行っている。

##### (2) コマンド出力制御

衛星とう(搭)載機器の動作/非動作制御、動作モードの選択、軌道や姿勢の制御などは、CS主局より送信するコマンドによって行う。例えば衛星実験に際して、軌道あるいは姿勢の修正ないし変更が必要な場合、あらかじめ所要の動作の実現に必要なコマンド列及び各コマンドの出力予定時刻を定めておき、衛星管制卓上の操作によりコマンド出力状況を確認しつつ、確実にコマンド送信を行うようにしている。この送信の方法として、半自動モードと手動モードの2つがある。

##### (a) 半自動モード

コマンド計画データをあらかじめ磁気ディスクに蓄積する。オンライン系プログラムは、時刻符号発生装置より与えられる実時刻に基づきコマンド計画データの時刻管理を行い、コマンド出力予定時刻に近づいたことを、警報によってオペレータに通告すると同時に、コマンド計画データを衛星管制卓上に表示する。オペレータは表示に従い、コマンド出力予定時刻に合わせてボタン操作することによって計画通りのコマンドを衛星に与えることができる。衛星が受信したコマンドコードはテレメトリデータとしてCS主局に送られ、これと既送信コマンドを照合してその結果をコマンド履歴として衛星管制卓上に表示し、確認する。

なお、コマンドの衛星における実行により、所期の動作が実現されたか否かは、テレメトリ処理結果の表示画面により確認し得る。

##### (b) 手動モード

衛星管制卓上の操作により、任意の時間に任意のコマンドを設定し出力するモードであり、コマンド出力後の動作は半自動モードと同一である。

##### (3) 測距データの処理

測距装置で連続的に得られる測距データを指定された時間間隔で収集し、直ちに距離データに変換するとともに、これを衛星管制卓のキャラクターディスプレイに表示し、また磁気ディスクに蓄積することによりオフライン処理用のデータとする。

#### 3.3 オフライン系プログラムの機能(図4.参照)

オフライン系プログラムは、オンライン系プログラムによって磁気ディスクに蓄積された衛星情報をまとめて一括処理を施すバッチ処理プログラムであり、次の機能をもつ。

##### (1) テレメトリデータ処理

磁気ディスクに蓄積されたテレメトリデータに統計的処理、トレンド解析を行い、データの長期的傾向のは(把握)、衛星状態の正常異常の診断、搭載機器の計測データの分析を行う。

テレメトリ中の姿勢センサのデータは最小自乗法によって処理し、センサデータ計測時点

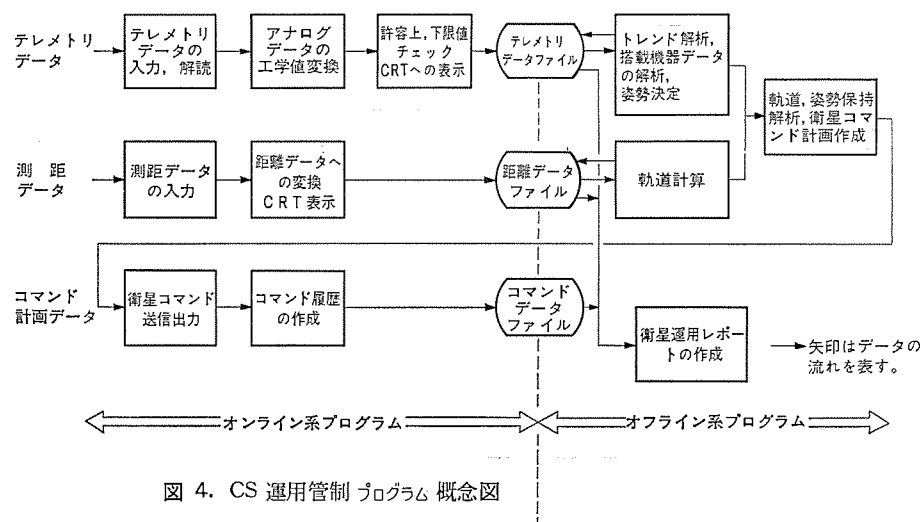


図4. CS 運用管制プログラム 概念図

における姿勢を推定し、この値と CS の姿勢保持要求とを比較して、必要ならば姿勢修正のための 2 次推進系噴射 コマンド シートを作成する。また、姿勢 センサデータの処理対象区間の選定と、アンテナの指向基準用地球 センサのマニュアル選択のために、センサの月や太陽による干渉状況を予測する。

#### (2) 軌道計算及び軌道制御

磁気ディスクに蓄積されているデータのうち、仰角や距離データに大気屈折効果等の補正を施し、更に N シグマの編集やデータの圧縮を施して再度磁気ディスクに蓄積する。これを最小自乗法により処理して軌道を決定する。この軌道決定値に基づき軌道の伝ぱん(播)を行い、将来の軌道イベント(近地点/遠地点通過、昇交点通過、しょく(蝕)など)の予報を行い、運用計画の基準データとする。

また、軌道保持要求条件を侵す時期を予測し、必要な軌道変更のための 2 次推進系の噴射 コマンド シートを作成する。

#### (3) 衛星運用レポートの作成

前項までの機能により収集される衛星に関する諸データをまとめて衛星運用レポートを作成する。その主な内容は運用履歴、コマンド履歴、テレメトリデータの異常値項目表、衛星状態、軌道姿勢情報、テレメトリデータの統計処理結果、軌道姿勢修正コマンド実行結果、蝕情報などである。

### 4. BS 主局アンテナ

BS 主局アンテナは 2.2 節記載のように、外観はもちろん集束ビーム給電系にいたるまで、CS 主局 K バンドアンテナと同一設計とした。この結果、この周波数帯(14/12 GHz 帯)としては優れた性能を有するものとなっている。

給電導波管系は、直線偏波の偏波面自動追尾と高次モード(TE<sub>01</sub>/TM<sub>01</sub> 組合せ)検出モノパルス角度自動追尾とを行うことのできる構成にし、かつ大電力送信(TV: 2 kW×2 など)に耐えるために、回路損失が小さくまた放熱特性のよい構成とした。更に送受同一面偏波でかつ受信系初段に低雑音周波数変換器を使用することにより

表 2. BS 主局 アンテナ 主要性能諸元

項 目	性 能 諸 元
主反射鏡直径 方 式	13 m Az-El マウント、4 回反射集束ビーム給電・鏡面修整カセグレン
使用周波数	14.0~14.5 GHz
送 信	11.95~12.2 GHz (TV)
受 信	11.7125±0.5 MHz (TT&C)
利 得	63.1 dB (14.25 GHz)
送 信	61.9 dB (11.95 GHz, TV)
受 信	61.2 dB (11.7125 GHz, TT&C)
アンテナ雑音温度 (40° EL, 晴天)	52 K (TV) 84 K (TT&C)
誤差信号出力感度	3.0 V/V/deg (方向誤差) 0.016 V/V/deg (偏波誤差)
偏 波	送受平行直線偏波
交差偏波成分発生量	-33dB 以下(11.7125GHz 及び 12.126GHz)
送受減結合量	-132 dB (TV) -130 dB (TT&C)
駆 動 方 式	各軸 2 モータによるアンチバックラッシュ方式
最大駆動角速度	0.5°/s
追尾方式	高次モード検出モノパルス方式 (偏波の自動追尾可能)
追尾精度	0.01° rms

要求される送受減結合量の低損失回路による実現などの特長を有する。表 2. に主要性能諸元を示す。

### 5. CS 初期運用総合特性

CS の打上げ後の初期段階において、衛星の通信系アンテナ及び中継器の初期チェックアウトが、CS 主局通信系設備を用いて実施された。この結果、CS の通信系アンテナ及び中継器は、K バンド中継器 2 系統( $F_0/f_0$ ,  $F_0/f_0$  チャンネル)を除き、図 5. 及び表 3. に示すように、すべての点検項目にわたり地上における受入れ試験データとほぼ一致した特性を有していることが確認された。図 5. に示したアンテナパターンは、地上からのコマンドによる衛星アンテナバイアス制御機能を利用して、衛星アンテナ指向主軸を Az 方向に変化させ、CS 主局の RF 受信レベルを測定し求めたものである。衛星アンテナ利得は、RF

表 3. CS 通信系中継器初期 チェックアウト 結果

項 目 チャンネル		出力電力 (dBm)	入出力特性 (dB)	周波数変換特性 (kHz)	振幅周波数特性 $f_0 \pm 70$ MHz (dB)	遅延時間特性 $f_0 \pm 50$ MHz (ns)	スプリアス (dB)	消費電力 (W)	
C バンド	$G_1/g_1$	35.01 (34.8)	0.0 (0.0)	2,224,999 (2,225,000)	-0.2, -0.2 (+0.05, +0.12)	+0.2, +1.4 (+2.1, +3.0)	なし (なし)	27 (22)	
	$G_4/g_2$	35.4 (35.2)	※ 35.3 (35.39)	2,224,998 (2,224,998)	-0.1, 0 (-0.4, +0.15)	+0.2, +2.7 (+0.6, +0.6)	なし (なし)	35 (33)	
K バンド	$F_1/f_1$	AGC ON	34.3 (34.5)	0.6 (0.8)	9,800,003 (9,800,014)	0, -0.05 (+0.05, -0.3)	+2.0, -0.7 (+0.5, +1.0)	なし (なし)	30 (32)
		AGC OFF	34.3 (34.1)	※ 34.3 (34.1)	— —	-0.2, -0.6 (+0.05, -0.12)	+2.2, -0.7 (+0.5, +1.0)	なし (なし)	同 上
	$F_3/f_3$	RCVR A	35.2 (34.4)	0.8 (0.8)	9,800,035 (9,800,010)	-0.3, -0.1 (-0.56, -0.05)	+1.6, +1.3 (+1.6, +1.5)	なし (なし)	30 (31)
		B	35.2 (34.8)	0.4 (0.8)	9,800,050 (9,800,010)	-0.1, -0.3 (-0.55, -0.25)	+2.2, +1.7 (+1.6, +1.5)	なし (なし)	30 (31)
	$F_4/f_4$	A	34.4 (34.2)	0.4 (0.4)	9,800,027 (9,799,993)	+0.25, -0.05 (0, +0.03)	+1.8, +1.6 (+1.4, +0.8)	なし (なし)	30 (34)
		B	34.4 (34.2)	0.4 (0.4)	9,800,050 (9,799,996)	+0.5, -0.5 (0, 0)	+1.4, +1.4 (+1.4, +1.1)	なし (なし)	35 (34)
	$F_5/f_5$	A	34.6 (34.2)	0.4 (0.4)	9,800,003 (9,799,971)	0, -0.35 (-0.10, -0.12)	+2.2, +1.0 (+2.2, +2.2)	なし (なし)	35 (33)
		B	34.6 (34.2)	0.4 (0.4)	9,800,025 (9,799,975)	-0.3, -0.5 (-0.12, -0.12)	+1.8, +0.8 (+1.8, +1.3)	なし (なし)	35 (33)

測定日 S. 53. 1. 19~31, ( ) 内は地上受入れ試験データ

※ 1 dB 利得抑圧点出力レベル

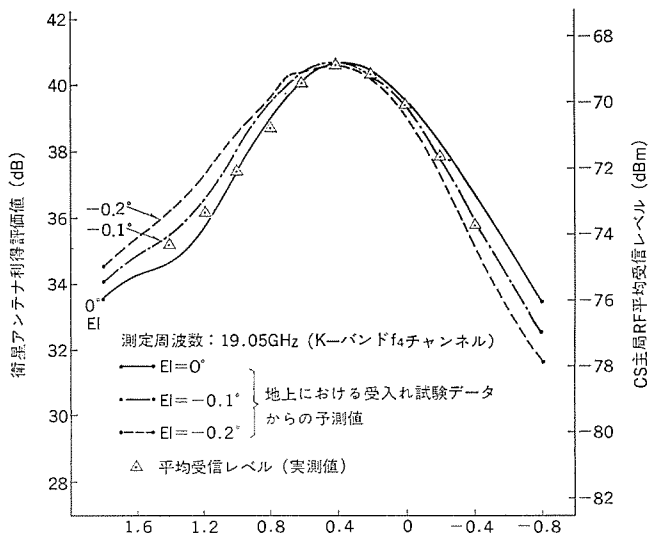


図 5. CS 通信系 アンテナパターン

表 4. 通信回線総合特性

上り回線 COMMチャンネル 回線パラメータ	K バ ン ド				C バ ン ド	
	$F_1$ AGC ON	$F_3$	$F_4$	$F_5$	$G_1$	$G_2$
地球局 EIRP (dBm)	118.8	119.3	119.5	119.7	103.6	104.1
伝搬損失 (dB)	213.2	213.5	213.6	213.8	199.7	200.0
衛星アンテナ利得 (dB)	40.6	39.7	39.4	39.0	32.8	33.2
衛星受信レベル						
予 測 値 (dBm)	-53.8	-54.5	-54.7	-55.1	-63.3	-62.7
実 測 値 (dBm)	-54.8	-54.9	-54.9	-55.1	-62.5	-
偏 差 (dB)	-1.0	-0.4	-0.2	0.0	0.8	-

下り回線 COMMチャンネル 回線パラメータ	K バ ン ド				C バ ン ド	
	$f_1$ AGC ON	$f_3$	$f_4$	$f_5$	$g_1$	$g_2$
衛星 EIRP (dBm)	74.4	75.0	74.7	74.9	64.1	65.6
伝搬損失 (dB)	209.4	209.8	210.0	210.3	195.7	196.3
地球局アンテナ利得 (dB)	65.5	65.9	66.1	66.4	50.9	51.5
地球局受信レベル						
予 測 値 (dBm)	-69.5	-68.9	-69.2	-69.0	-80.7	-79.2
実 測 値 (dBm)	-69.4	-69.0	-69.0	-69.6	-81.6	-79.2
偏 差 (dB)	0.1	-0.1	0.2	-0.6	-0.9	0.0

受信レベルを伝搬損失及び地球局アンテナ利得等の回線諸元を用いて変換し評価される。

CS 主局と衛星とを組合せた通信回線総合特性についても表 4. に示すように、地上における衛星受入れ試験データから求めた予測値と実測値がほぼ一致しており、今後予定されている通信実験 (K-バンド日本本土内、C-バンド日本全土内) に対し、所要の性能を満足したものといえる。

C バンド TT&C 系の初期チェックアウトも CS 主局の衛星運用管制システムを用いて、通信系ミッション機器チェックアウトに先立って実施された。この結果、C バンド TT&C 系は、CS 主局の衛星運用管制システムを含めて、当初予定された所要の性能を満足していることが確認された。初期チェックアウト結果から評価した C バンド TT&C 回線総合特性を表 5. に示す。

CS 通信系ミッション機器初期チェックアウト期間中、CS 主局の衛星運用管制システムは実際の CS 運用管制に使用され、ミッション機器の運用及びハウスキーピングデータ処理を遂行した。

表 5. C バンド TTC 回線評価

コマンド及び測距 上り回線		テレメトリ及び測距 下り回線	
周波数	6.175GHz	周波数	3.950GHz
地球局 EIRP	94.7dBm	衛星 EIRP (ビーム中心)	45.6dBm
伝搬損失 <sup>(1)</sup>	-200.7dB	伝搬損失 <sup>(1)</sup>	-196.5dB
衛星アンテナ利得 (ビーム中心)	33.0dB	地球局アンテナ利得 <sup>(2)</sup>	51.2dB
C-S 変換損失	-14.6dB	地球局受信機入力電力	
S バンド受信機入力電力		実測値	-98.5dBm
実測値	-86.3dBm	計算値	-99.7dBm
計算値	-87.6dBm	偏差	1.2dB
偏差	1.3dB		
注)		注)	
(1) スラントレンジ 37,145km (実測値)		(1) スラントレンジ 37,145km (実測値)	
大気損失 (0.5dB), 偏波損失 (0.5dB) 含む		大気損失 (0.4dB), 偏波損失 (0.3dB) 含む	
(2) 受信機 1 の値, 受信機 2 の実測値 -84.5dBm (テレメトリデータによる測定値)		(2) 給電系損失含む	
		(3) S バンド送信機 1 の値, S バンド送信機 2 に対する実測値 -99.0dBm	

コマンド性能	テレメトリ性能	測距性能
変調方式 PCM/FSK-AM/PM	変調方式 PCM/PSK/PM	変調方式 複合トーン/PM
コマンドトーン 1° 8.6KHz	テレメトリサブキャリア 256KHz	測距方式 サイドトーンの位相変化量による
変調指数 0.4rad	変調指数 0.85rad (実測値)	測距トーン 100KHz, 20KHz, 4KHz, 800Hz, 160Hz, 40Hz, 10Hz, の各トーンをシーケンス複合送出
コマンド スレシホールドレベル -120.0dBm <sup>(1)</sup>	テレメトリ スレシホールドレベル -117dBm <sup>(2)</sup>	変調指数 0.56rad
ノミナル S バンド受信機 -86.7dBm <sup>(1)</sup>	ノミナル地球局受信機 -98.5dBm	測距分解能 300 256m (約 1.17m)
入力搬送電力 (実測)	入力電力 (実測)	測距スレシホールドレベル <sup>(1)</sup> -122dBm
コマンドマージン 33.3dB	テレメトリマージン 18.5dB	ノミナル地球局受信機 入力電力 (実測) -98.5dBm
注)	注)	注)
(1) S バンド受信機 1 の値, S バンド受信機 2 の実測値は -119.2dBm (テレメトリデータによる測定値)	(1) S バンド送信機 1 の値, S バンド送信機 2 に対する実測値は 0.83rad	(1) 測距装置 LOCK, OFF レベル
	(2) PCM DEM LOCK OFF レベル	

## 6. む す び

以上述べたように、CS 主局、BS 主局 アンテナは郵政省電波研究所鹿島支所において定常運用段階にあり、いずれも所期の機能及び性能を満足するものであることが実証された。これらの地上施設の設計製作を通して蓄積された技術及びこれらを用いた実験によって得られる諸データが、将来の実用衛星通信/衛星放送システムの実現に役立つことを願うものである。

これらの地上施設の実現に対して、つねにご指導いただいた郵政省電波研究所 石田享衛星研究部長をはじめ、ご協力いただいた郵政省電波研究所、東京芝浦電気(株)、日本電気(株)、及び三菱電機(株)の関係各位に厚くお礼申し上げます。

## 参 考 文 献

- (1) 塚本：CS 計画の概要と実験計画，第 52 回電波研究所研究発表会 (昭 52)
- (2) 梶川：BS 計画の概要と実験計画，第 52 回電波研究所研究発表会 (昭 52)
- (3) 塚本，更田，岡本：CS「さくら」の開発と実験について，No. 186 電四連大 (昭 53)
- (4) K. Tsukamoto et al. : Main Fixed Earth Station of CS Program, 12th International Symposium on Space Technology and Science, Tokyo (1977)
- (5) Mizusawa, Kitsuregawa : A Beam-Waveguide Feed Having a Symmetric Beam for Cassegrain Antennas, IEEE Trans. AP-21, No. 6, p. 884-886 November (1973)
- (6) 糸原，巻田，野村：地球局アンテナの衛星自己追尾装置の一簡易化方式，信学大全，1,214 (昭 44)
- (7) 遠藤，稲宮：DPLL による位相測定，宇宙航行エレクトロニクス研究会，SANE-69-19 (昭 44-12)



# 準ミリ波専用地球局カセグレンアンテナ

進士昌明\*・高野 忠\*\*・立川清兵衛\*\*\*・水沢丕雄<sup>+</sup>・別段信一<sup>++</sup>

## 1. ま え が き

日本電信電話公社が計画している静止衛星を用いた中容量国内衛星方式<sup>(1)(2)</sup>では、日本本土内相互間の通信に 20 GHz, 30 GHz の準ミリ波帯を用い、かつ、主要都市の回線網への接続を経済的に行うために、都市内の電話局などの局舎屋上に地球局を設置することが考えられている。この条件は従来の国際商用衛星通信地球局の場合と著しく異なり、方式に適合した地球局アンテナの開発が必要である。

この地球局アンテナに対する要求条件としては、(1)都市内の局舎屋上に容易に設置、移設が可能なこと、(2)風圧荷重等を可及的に軽減し局舎への荷重を軽くすること、(3)地上方式との電波干渉を軽減すること、(4)準ミリ波の広帯域にわたり、高性能化すること、(5)局舎内、屋上シェルタ内の電子機器への接続が容易なこと、(6)準ミリ波帯に必要な高い機械的精度を有すること、などがある<sup>(3)</sup>。相反することの多いこれらの要因を極力最適設計する必要がある。

ここで開発・試作した地上局アンテナは直径 11.5 m の軸対称カセグレンアンテナで、3枚反射鏡を用いた集束ビーム給電系を1次放射系とし、その支持構造をX-Yマウントとし、アンテナの駆動のために2本のリードスクリューを用いた限定駆動形アンテナである。構造部品のユニット化を行い、最大ユニット重量を2.8トン以下に抑え、組立て・移設作業の簡易化を行っている。また、電気的性能の高性能化を図るため、主・副反射鏡系に鏡面修整<sup>(5)</sup>を施し高能率とし、集束ビーム給電系のロンチャとしてコルゲートホーン<sup>(6)</sup>を採用し、各反射鏡のエッジレベルを可及的に低くし広角サイドローブを低減している。準ミリ波帯で使用するため、鏡面精度の向上、駆動系・角度検出系を高精度化し衛星追尾精度を向上させるとともに、X-Yマウントと3枚の集束反射鏡を組合せることにより給電装置を水平方向及び垂直方向のいずれにも固定できるなど局舎への設置条件に柔軟性をもたせている。

このアンテナは昭和51年3月に工場製作を終え、52年3月まで日本電信電話公社横須賀電気通信研究所で各種特性試験を行い、横須賀電気通信研究所衛星通信実験所に設置され、52年12月から実験用中容量静止通信衛星を用いた実験に供されている。

## 2. 装置の概要

開発・試作した準ミリ波専用地球局アンテナの外観を図1.に、その構造を図2.に示す。このアンテナは送・受信共用アンテナであり、送・受信とも3.5 GHzの広い帯域で使用可能であり、更に20 GHz帯で高次モードを利用した自動追尾機能を有している。準ミリ波専用であるが、高鏡面精度により約70%の開口能率を有し、広角パターンもCCIR勧告レベルを満足している。また、変形X-Yマウントと2本のリードスクリューとを組合せて駆動系を構成し、角度検出精度0.005°、瞬間風速50 m/sにおいても駆動可能のように設計されており、瞬間風速70 m/sにおいても有害な永久変形を生じぬように設計されている。構成部品の軽量化・ユニット化を行うとともに、局舎

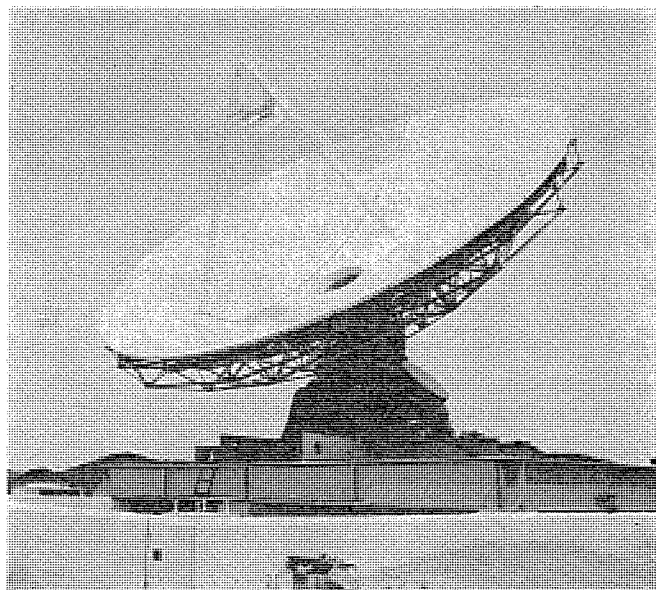


図1. 準ミリ波専用地球局カセグレンアンテナ

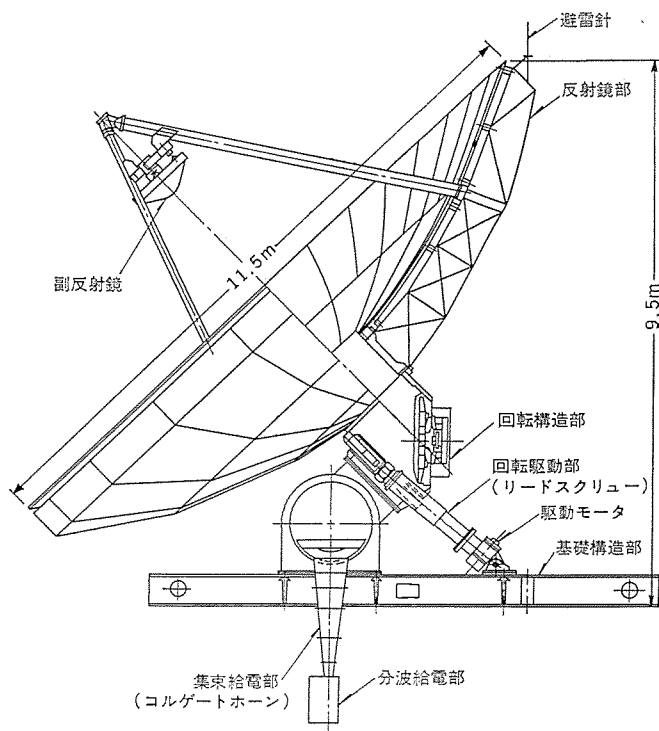


図2. 準ミリ波専用地球局カセグレンアンテナの構造

屋上等に設置移設した後の電気的特性を再現させるために、各接合部ははめ合い構造や組立用ピン穴などを設け、機械的設定だけで電気的特性の実現できるように配慮されている。種々の形式の局舎に設置するために、基礎構造部を設け、局舎とのインタフェース条件を簡単にし、特殊な工事を要しないように配慮されている。

\* 日本電信電話公社 \*\* 日本電信電話公社(工博)

\*\*\* 三菱電機(株)通信機製作所(工博) + 同本社(工博) ++ 同通信機製作所

表 1. 準 ミリ 波専用地球局 カセグレンアンテナ 主要性能・諸元

1. 一 般		3. 電気的性能			
		性 能		送 信	受 信
ア ン テ ナ 形 式	高能率形鏡面修整カセグレンアンテナ	使 用 周 波 数		27.5~31.0 GHz	17.7~21.2 GHz
給 電 形 式	3回反射集束ビーム給電方式	偏 波		左旋円偏波	右旋円偏波
マ ウ ン ト 形 式	変形 X-Y 形 (限定指向形)	利 得 (コルゲートホーン入出力端)		29.25 GHz 68.7 dB (仕様値) 29.5 GHz 69.3 dB (実測値)	19.45 GHz 65.8 dB (仕様値) 19.5 GHz 66.0 dB (実測値)
駆 動 方 式	サイリスタ制御直流電動機によるリードスクリュウ駆動	利 得 (分波給電部損失含む)		29.25 GHz 68.3 dB (仕様値) 29.5 GHz 69.0 dB (実測値)	19.45 GHz 65.2 dB (仕様値) 19.5 GHz 65.6 dB (実測値)
追 尾 方 式	高次モード検出自動追尾	指 向 特 性			
2. 機械構造, 駆動系		第 1 サイドロープレベル		-14dB(仕様値), -16dB(実測値)	-14dB(仕様値), -15dB(実測値)
主 反 射 鏡	直径 11.5 m, F/D=0.38	広 角 指 向 性 $1^\circ \leq \theta < 48^\circ$		32-25 log $\theta$ , dBi 以下 (仕様値, 実測値共)	32-25 log $\theta$ , dBi 以下 (仕様値, 実測値共)
副 反 射 鏡	直径 1.2 m	(尖頭包絡値の 3 dB 低下値で規定, 等方性波源基準) $\theta \geq 48^\circ$		-10 dBi 以下 (仕様値, 実測値共)	-10 dBi 以下 (仕様値, 実測値共)
集 束 給 電 部	直径 1.1 m 反射鏡, コルゲートホーン	雑音温度(コルゲートホーン出力端)		—	25 K (目標値), 15 K (実測値)
	主 反 射 鏡	(分波給電部出力端)		—	65 K (目標値), 43 K (実測値)
	副 反 射 鏡	分 波 給 電 部		槽 円 偏 波 率	1.7 dB 以下 (仕様値), 0.6 dB (実測値)
鏡面精度	0.3 mm/rms (仕様値), 0.17 mm/rms (実測値)	V S W R		1.2 以下 (仕様値), 1.15 (実測値)	1.15 以下 (仕様値), 1.13 (実測値)
	0.1 mm/rms (仕様値), 0.03 mm/rms (実測値)	損 失		0.36 dB 以下 (仕様値), 0.32 dB 以下 (実測値)	0.64 dB 以下 (仕様値), 0.52 dB 以下 (実測値)
	0.1 mm/rms (仕様値), 0.02 mm/rms 以下 (実測値)	追 尾 系 損 失		—	1.2 dB 以下 (仕様値), 8.8 dB 以下 (実測値)
最 大 駆 動 速 度	0.05°/s 以上 (X, Y 軸共)	送 受 減 結 合		80 dB 以上 (仕様値)	85 dB 以上 (実測値)
駆 動 範 囲	X 軸 47°±8°, Y 軸 0°±12°	耐 電 力		2.4 kW (CW)	—
角度検出精度(再現性)	±0.005°				
追尾誤差検出感度	3 V/V/deg				
耐 風 性	追尾可能 (精度 0.011° rms): 平均風速 20 m/s 駆動可能: 瞬間風速 50 m/s 非破壊: 瞬間風速 70 m/s				
重 量	25 トン (仕様値), 24 トン (実測値)				

このアンテナの主要性能・諸元を表 1. に示す。

### 3. 設 計

このアンテナは前述の要求条件に基づき設計されており, 主な特長を以下に述べる。

(1) アンテナ形式: 局舎屋上へ容易に設置可能なことと高利得・低雑音特性を実現するために, 3 枚反射鏡集束ビーム給電形カセグレンアンテナとした。マウントは変形 X-Y マウントにし, 集束ビーム給電系と組合せてコンパクト化し, 構成部品を極力少なくできる構成とした。また, アンテナ地上高を極力低くし, 都市の局舎設置に適するように設計した。

(2) 開口径及び開口角の選定: アンテナ利得は開口径のほぼ 2 乗に比例して大きくなるが, 風圧荷重などによる局舎に対する荷重条件も増大するので, システム上必要な利得と高能率形設計で実現可能な開口能率とを考慮して開口径(アンテナ直径)を 11.5 m とした。また, 開口角は広角指向性改善の点からは 180° が良いが, 風圧荷重が大きくなること, アンテナ重量が増えることなどから 130° に選定した。

(3) 鏡面形式: 準ミリ波帯以上の周波数帯では, 主反射鏡の鏡面精度がアンテナの能率低下に対して大きな要因となり, 広角指向性劣化の要因にもなる。このため, 主反射鏡は中心リング(主反射鏡の中心にあり, 集束ビーム給電部の一部)から放射線状に広がり, 回転対称な支持となるような骨組に設計し, 鏡面精度改善を行った。パネル分割はパネル単体の鏡面精度とパネル設定精度とのかね合いから, 半径方向 2 分割, 周方向 18 分割(内側), 36 分割(外側)とし, 54 枚のパネルで構成した。反射鏡鏡面形状は半径方向 9 割までを一様分布とし, 主反射鏡周縁の照射電界強度が無指向性波源に比べ, -10 dB 以下となるように鏡面修整した修整回転放物面に設計し, アンテナ利得を高くするとともに, 広角指向性を改善するようにした。

(4) 鏡面精度: 主反射鏡の鏡面精度はパネル単体精度, パネル設定精度(自重変形などを含む)及び測定誤差の影響の主要素を考え, この 3 要素がほぼ同じになるように誤差配分するとともに, 構造設計, 測定技術開発を行った。特にこのアンテナは限定駆動形であり, アンテナ仰角が約 45° 近傍の運用仰角で精度測定が可能ないように測定方法を考え, 測定誤差 0.08 mm/rms 以下とし, パネル単体精度 0.09 mm/rms 以下, パネル設定精度 0.12 mm/rms, 3 者の rss による鏡面精度 0.16 mm の結果を得た。

(5) 回転構造部: 国内衛星通信方式で計画されている衛星位置は赤道軌道上の限られた範囲であり, 日本本土から見た衛星方向は実用上わずかな角度範囲となるので, 経済的でコンパクトな構造にできる限定駆動形とし, 衛星方向と局舎との方位角度の相違は, 局舎屋上に設ける局舎ビームとアンテナ本体の基礎構造部との接合に柔軟性を持たせることで吸収することとした。マウント形式として変形 X-Y 形を採用し, 回転構造部と集束ビーム給電系の支持構造とを一体として, 構成部品の削減を行うとともにアンテナの背丈を低くした。回転構造部には約 1.3 m のベアリングを使用し, その内側に電波を通す構造とし, 集束ビーム給電系のコルゲートホーンがアンテナ駆動軸(Y 軸)の左右どちら側にも取付可能な構造とし, 局舎への設置条件に柔軟性をもたせた。

(6) 駆動部: アンテナの駆動は 2 本のリードスクリュウにより行い, リードスクリュウを同一方向に伸縮させることにより X 軸まわり回転(主として俯仰角回転)を, 互いに逆方向に伸縮させることにより Y 軸まわり回転(主として方位角回転)を行うように設計した。リードスクリュウは電気駆動形とし, ボール軸受は潤滑油膜による摩耗防止策が講じられている。

なお, このアンテナは東経 140°±10°の静止衛星を対象としており, これに対応した駆動範囲を X 軸 47°±8°, Y 軸 0°±12°とし, Y 軸 0°の方向は基礎構造部のすえ(据)付方向を調整することにより衛星方向にすることができる。

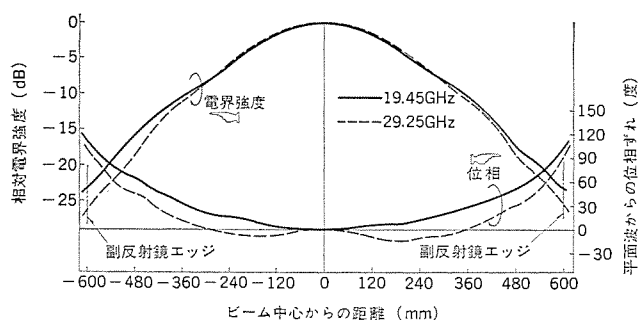


図 3. 副反射鏡位置の電界分布 (実測値)

(7) 集束給電部： 集束給電部 (集束ビーム給電系) は 2 枚の平面鏡、1 枚の曲面鏡及び大口径コルゲートホーンから構成されており、送受信機からの電波を低損失で伝送するものである。コルゲートホーンから放射された拡散する電波を曲面鏡でほぼ平行に進む電波に変換し、副反射鏡を 17.7～31 GHz の広帯域にわたり同じ電界分布で照射するように設計されている。集束給電部の各反射鏡の周縁照射レベルは -25～-35 dB に抑え、伝送損失を少なくし、追尾誤差信号用 TM<sub>01</sub> モードの乱れを防ぐとともに、広角指向性の劣化も防いでいる。また、副反射鏡の照度分布は図 3. の実測値から分かるように回転対称なガウス分布とし、周縁照射レベルをほぼ -25 dB として、副反射鏡からのスピロオーバー電力による利得低下、広角指向性の劣化を小さくしている。コルゲートホーンのモード変換器にはリング装荷コルゲート<sup>7)</sup>を使用し、17.7～31 GHz の広帯域にわたり低サイドローブで回転対称な放射パターンを得、VSWR を 1.06 以下に抑えている。

(8) 分波給電部： 分波給電部は送・受信波の分波、偏波変換、追尾誤差信号の検出を行うもので、TM<sub>01</sub> モード結合器、円偏波発生器、偏分波器及び 30 GHz 帯阻止器で構成されている。TM<sub>01</sub> モード結合器は多数の結合孔を有した方向性結合器形モード結合器で、TM<sub>01</sub> モード波の結合量は約 9 dB、モード識別度は 30 dB 以上である。円偏波発生器は円形導波管に多数の穴を設け、その穴のサセプタンスによる位相推移を利用したもので、20、30 GHz 帯の (楕) 円偏波率はそれぞれ 0.6 dB、1.3 dB で、大電力伝送に耐え、経年変形が少ない設計としてある。30 GHz 帯阻止器はいわゆる変形コルゲート形阻止器<sup>8)</sup>で、通過帯域の損失 0.15 dB 以下、阻止帯域の減衰量 55 dB 以上に設計されている。

#### 4. 電気性能

このアンテナは限定駆動形で、主ビームを指向できる範囲に限られる

ために、日本電信電話公社横須賀衛星通信実験所内に設置された大形アンテナ回転台を用いて電気性能の測定が行われた。測定用の送信源は 5.5 km 離れた山上に設置されたので、近距離効果の補正のため、副反射鏡をアンテナ軸方向に移動して測定を行った。

(1) 利得： 利得測定は標準角すい(錐)ホーンとの比較により行い、20 GHz 帯での実測値は図 4. であり、19.5 GHz で 66.0 dB、29.5 GHz で 69.3 dB である。また、利得の設計値は表 2. であり、実測値とよく一致している。開口率率は 20 GHz 帯全域で約 72 %、29.5 GHz で 67 %であり、準ミリ波帯アンテナの高効率設計の妥当性が確認された。なお、分波給電部の損失を含めたアンテナ利得は 19.5 GHz で 65.6 dB、29.5 GHz で 69.0 dB である。

(2) 指向性： このアンテナの円偏波に対する近軸パターンの測定結果を図 5. 及び図 6. に示す。これらの結果から分かるように、第 1 サイドローレベルは 19.5 GHz、29.5 GHz でそれぞれ -15 dB 以下、-16 dB 以下であり、ビーム幅は 0.08°, 0.05° である。

また、円偏波で測定した広角指向性を図 7., 図 8. に示す。20、30 GHz 帯ともサイドローブで CCIR 勧告レベルの  $32-25 \log \theta$ , dBi ( $1 \leq \theta < 48^\circ$ ), -10 dBi ( $\theta \geq 48^\circ$ ) をほぼ満足している。ここで  $\theta$  はアンテナ主ビーム中心からの角度(度), dBi は無指向性波源を基準とした dB である。しかし、直線偏波で測定した広角指向性には

表 2. 利得及び開口率 (計算値)

周波数		19.45 (GHz)	29.25 (GHz)
項目	ホーン	0.11	0.16
	ホーンカバー	0.03	0.09
スピロオーバーによる低下	集束反射鏡	0.09	0.04
	副反射鏡	0.08	0.04
	主反射鏡	0.03	0.02
ブロッキングによる低下	副反射鏡	0.05	0.05
	支柱	0.17	0.17
鏡面精度による低下	集束反射鏡	0.01	0.01
	副反射鏡	0.01	0.01
	主反射鏡	0.08	0.19
開口分布による低下	振幅・位相	0.32	0.60
	非対称	0.02	0.02
	交差偏波	0.02	0.02
	不照射面積	0.22	0.22
利得低下量 (dB)		1.24	1.64
開口率 (%)		75	69
利得 (dB)		66.1	69.3

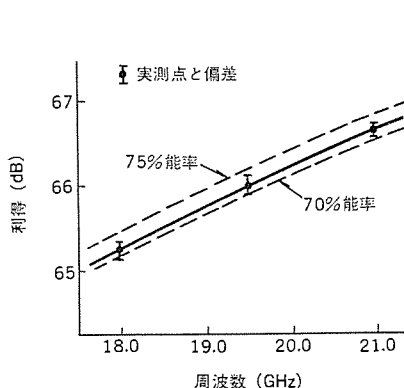


図 4. 利得の周波数特性 (実測値)

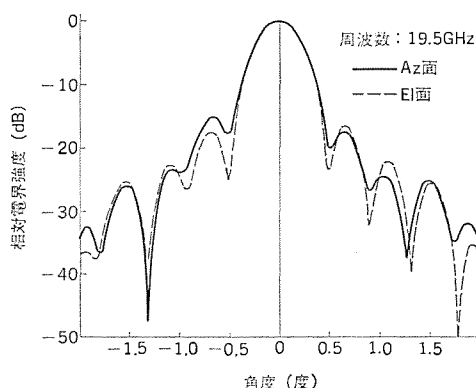


図 5. 受信帯近軸パターン (実測値)

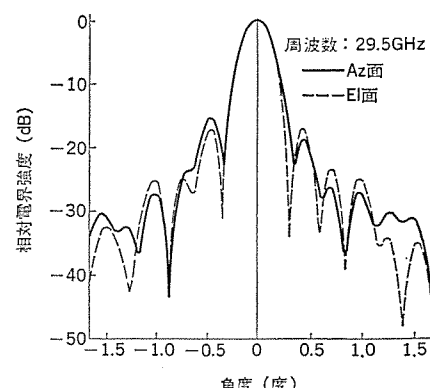


図 6. 送信帯近軸パターン (実測値)

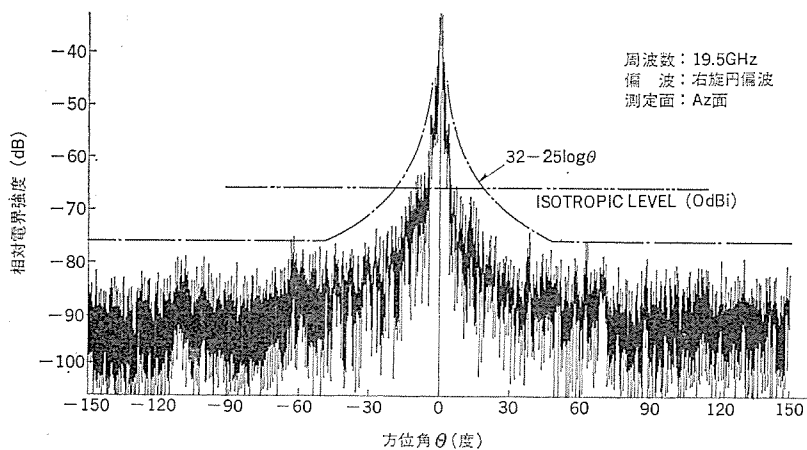


図 7. 受信帯広角指向性 (実測値)

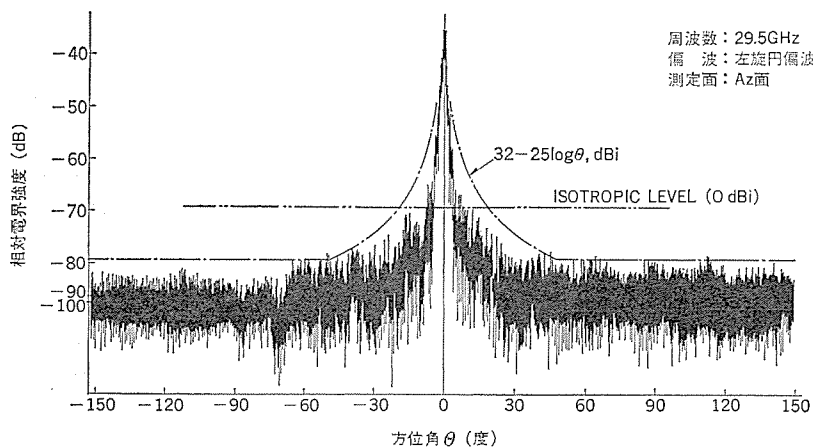


図 8. 送信帯広角指向性 (実測値)

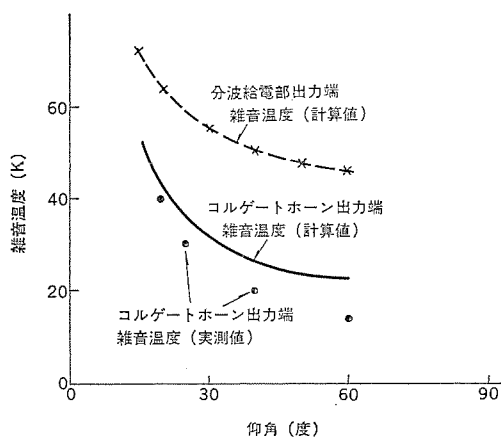


図 9. アンテナ 雑音温度

約 62° 付近に支持柱から散乱波による鋭いピークが存在し、主反射鏡からのスピロバ電力によるピークがほぼ -10 dBi 程度のレベルで 115° 付近に現れている<sup>(3)</sup>。これらのピークは円偏波では逆旋となるため図 7、図 8. には現れないと考えられる。

(3) 雑音温度: 準ミリ波帯のアンテナ雑音温度は大気の状態によって大幅に変わるが、CCIR Report 390-2 に記述された標準大気の減衰量を用いて計算した結果を図 9. に示す。同図中に、18.75 GHz で冬季、夜間、晴天時に測定した結果を黒点で示してある。

実測値が計算値より良いのは、大気の状態が良好であったこと及び広角指向性が良好であったことによるものと思われる。

## 5. む す び

中容量国内衛星通信方式用地球局アンテナとして試作した準ミリ波専用カセグレンアンテナの設計上の特長、及び特性試験結果について述べた。このアンテナは既述のように、準ミリ波帯を用いた国内衛星通信方式の構成に必要な諸条件を考慮し、特に、都市の電話局などの局舎屋上に設置することを前提として、電気及び機械設計を行ったもので、集束ビーム給電系と回転構造とを同一にした変形 X-Y マウント形式は新しい試みであり、所期の設計目標を達成し得たと考えられる。今後は、更に地上回線等との電波干渉軽減、荷重などによる局舎への荷重軽減を行い得るアンテナの開発を進める必要がある。

この装置の開発・試作にあたって有益なご意見、ご指導を賜った重井芳治東北大学教授 (もと日本電信電話公社横須賀電気通信研究所基幹伝送研究部長)、渡辺正信 日本無線(株)参与 (もと日本電信電話公社横須賀電気通信研究所複合伝送研究部長)、日本電信電話公社横須賀電気通信研究所榛葉実総括調査役、同更田博昭室長並びに日本電信電話公社技術局室谷正芳調査役、同石田則明調査役に深謝する。また、この装置の設計試作にあたり、ご討論、ご協力いただいた日本電信電話公社関連部局各位及び三菱電機(株)関係各位に深謝する。

## 参 考 文 献

- (1) 進士: 国内衛星通信方式の一考察, 信学会, 通方研資 CS 71-132 (昭 47-2)
- (2) 初田, 更田: 国内衛星通信方式諸元に関する一考察, 信学会, 通方研資 CS 72-142 (昭 48-2)
- (3) 小川ほか: 準ミリ波専用地球局カセグレンアンテナ, 信学会, ア伝研資 AP 76-50 (昭 51-8)
- (4) 別段ほか: 集束ビーム給電カセグレンアンテナの放射特性, 信学会, ア伝研資 AP 73-29 (昭 48-6)
- (5) 喜連川, 水沢: カセグレンアンテナの高能率化, 信学会, ア伝研資 AP 67-33 (昭 42-9)
- (6) 水沢ほか: コルゲート円すいホーンアンテナの放射特性, 信学誌, 56-B, No. 1, p. 14 (昭 48)
- (7) F. Takeda and T. Hashimoto: Broadbanding of Corrugated Conical Horns by means of the Ring Loaded Corrugated Waveguide Structure, IEEE Trans. AP.24, No. 6, p. 786, Nov. (昭 51)
- (8) 武田ほか: 変形コルゲート形ろ波器, 信学会, マイクロ波研資 MW 76-49 (昭 51-7)

# 実験用中型放送衛星用地上関連設備

小西良弘\*・保科 盛\*\*・高橋道清\*\*・西村昭三\*\*\*・天野 旭\*\*\*

## 1. ま え が き

我が国最初の実験用放送衛星は東経 110 度の静止衛星軌道上に 53 年 4 月に打上げられ、放送衛星業務用として割当てられた 12 GHz (ダウンリンク) 及び送信側は 14 GHz (アップリンク) 帯を使用して本格的な放送衛星によるカラーテレビ信号伝送の諸実験が行われつつある。

放送衛星実験システム用地上局としては、主送受信局 (郵政省電波研究所鹿島支所)、可搬 A 形送受信局 (組立式)、可搬 B 形送受信局 (移動式)、各種の受信専門局、及び簡易受信装置が含まれる。これらは、実験目的に沿った最適装置としての研究開発が行われ、日本各地に設置されている。

放送衛星用地上局設備に共通して研究開発された技術には、14/12 GHz 帯における高周波回路、とりわけ立体平面回路<sup>(1)</sup>による低雑音コンパタ、大出力送信機、空中線装置、及び FM TV 信号の簡易受信装置などがある。これらの新技術を導入した実験用中型放送衛星用関連設備のうち、ここでは三菱電機(株)が日本放送協会(NHK)と共同研究開発を行い、その製作を担当した可搬 A 形送受信局、移動形受信専門局、及び簡易形受信装置の構成と性能を報告し、あわせて放送衛星実験システムの概要について述べる。

## 2. 放送衛星実験システムの概要

14/12 GHz 帯を利用した放送衛星実験システム<sup>(2)</sup>は表 1. に示す伝送諸元の FM 変調方式を採用し、図 1. に示す各種の実験用地上設備<sup>(3)</sup>と中型放送衛星とで構成されている。実験の目的は日本本土、日本全土 (離島を含む) それぞれに設置された送受信局からのテレビ放送番組を、衛星を介して中継する際の基本性能を確認すること、また各種の受信専門局、及び簡易受信装置での受信画質が、時間率 99% 以上で放送基準品質を満たす回線の構成が行えることを確認することなどである。すなわち、FM 変調方式によるテレビジョン信

号 (FM-TV 方式) の受信画質を、上記時間率以上で評価  $S/N$  比 45 dB を確保する回線を設定したとき、受信者の大半が TASSO グレード 1 (Excellent) と評価する画質とするために必要な技術基準の確立、運用操作の研究、地上局設備の新技術の開拓、並びに日本全土での 14/12 GHz 帯における伝搬データ収集を行うことである。

放送衛星のリンク周波数配列は図 2. に示すように、A チャンネル、B チャンネル、の 2 個のトランスポンダを使用し、それぞれのチャンネル内を A 1、A 2、及び B 1、B 2、B 3 の 5 波に分割して実験目的に応じて割当てている。また地上局側は A、B 両チャンネル全体として

表 1. 放送衛星伝送諸元

1. テレビ映像信号	
周波数帯域	: 60 Hz~4.18 MHz
周波数偏移	: 12 MHz P-P
エンファシス	: CCIR Rec. 405-1 (525/60)
変調極性	: 正
エネルギー拡散	: 600 kHz P-P (垂直ブラッキング周波数に同期した対称三角波)
送信 AFC	: 平均値/キード AFC
2. 音声信号	
周波数帯域	: 50 Hz~15 kHz
サブキャリア周波数	: 4.5 MHz
サブキャリア周波数偏移	: $\pm 25$ kHz
サブキャリアの主キャリア周波数偏移	: $\pm 1$ MHz
エンファシス	: 75 $\mu$ s
3. RF 通過帯域幅	
TV 信号通過帯域幅	: 23 MHz
4. 打合せ回線 (OW) 信号	
周波数帯域幅	: 0.3~3.4 kHz
周波数偏移	: $\pm 6.8$ kHz
占有帯域幅	: 20 kHz

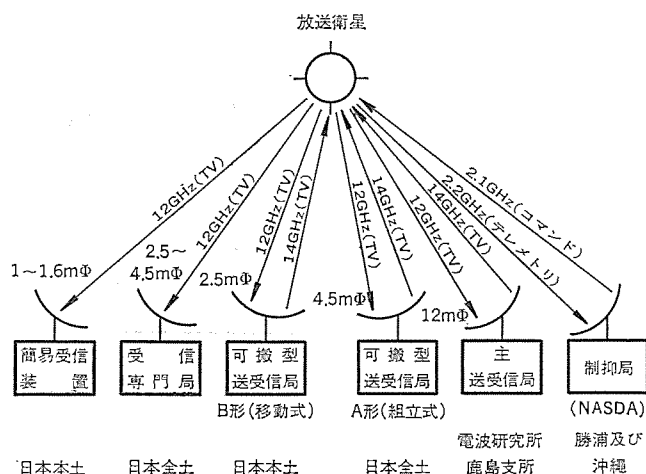


図 1. 放送衛星のシステム構成

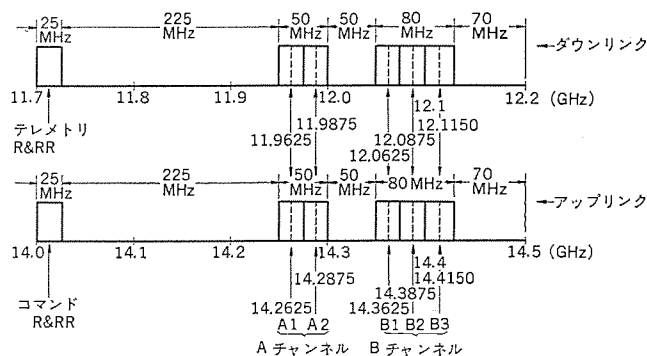


図 2. 放送衛星システム周波数配列

表 2. 放送衛星標準回線設計例

アップリンク

1. 地球局	可搬A局(本土)	可搬A局(離島)
空中線直径	: 4.5 mφ	4.5 mφ
EIRP (99.9%)	: 81 dBw/84 dBw	81 dBw/84 dBw
2. 伝播路/衛星受信		
伝播損失	: 207.3 dB	206.9 dB
降雨減衰/(99.9%)	: 0 dB/3 dB	0 dB/3 dB
衛星受信空中線利得	: 37.0 dB	30.0 dB
指向誤差	: 1.0 dB	3.0 dB
フィーダ損失	: 0.5 dB	0.5 dB
システム雑音温度	: 32.6 dBK	32.6 dBK
アップリンク CN 比	: 31.5 dB	22.9 dB

ダウンリンク

1. 地球局	可搬A局(本土)	受信専門局(本土)	受信専門局(離島)
空中線直径	: 4.5 mφ	1.6 mφ	4.5 mφ
システム雑音温度	: 910 K	660 K	660 K
地球局 G/T	: 22.9 dB/K	14.8 dB/K	24.3 dB/K
2. 衛星送信/伝播路			
衛星 EIRP	: 55.5 dBw	55.5 dBw	46.5 dBw
指向誤差	: 1.0 dB	1.0 dB	1.0 dB
伝播損失	: 205.8 dB	205.8 dB	205.4 dB
降雨減衰/(99.9%)	: 1 dB/7 dB	1 dB/7 dB	1 dB/7 dB
受信空中線指向誤差	: —	0.5 dB	2.0 dB
ダウンリンク CN 比	: 25.5 dB/18.5 dB	16.9 dB/9.9 dB	16.3 dB/9.3 dB
受信入力レベル	: -69.6 dBm/ -76.6 dBm	-79.3 dBm/ -86.3 dBm	-80.4 dBm/ -87.4 dBm

総 合

総合 CN 比			
(本土送信)	: 24.5 dB/18.3 dB	16.7 dB/9.9 dB	16.2 dB/9.3 dB
(離島送信)	: 23.6 dB/17.2 dB	15.9 dB/9.7 dB	15.4 dB/9.1 dB

180 MHz 帯域をカバーすることを前提に設計されている。衛星回線設計の基準としては、日本本土内で直径 1.6 m のアンテナとシステム雑音温度 660K の受信装置を有する局において、評価  $S/N$  比 45dB が得られる諸元としている。また FM-TV 方式信号の特性配分は、基本的には地上システムの場合と同様に受信側の負担を極力軽減させることを原則に配分されている。衛星トランスポンダを含む固定的な群遅延特性はすべて送信局にて等化する方式となっている。表 2. に代表的な回線設計例を示す。

### 3. 可搬 A 形送受信局 (組立式)<sup>(4)</sup>

可搬 A 形送受信局 (以下可搬 A 局と略す) に対する基本的要求条件は、

(1) A 1, A 2 及び B 1, B 2, B 3 の 5 チャンネルのうちの 1 波を選択してテレビ放送電波の送信が可能なこと。

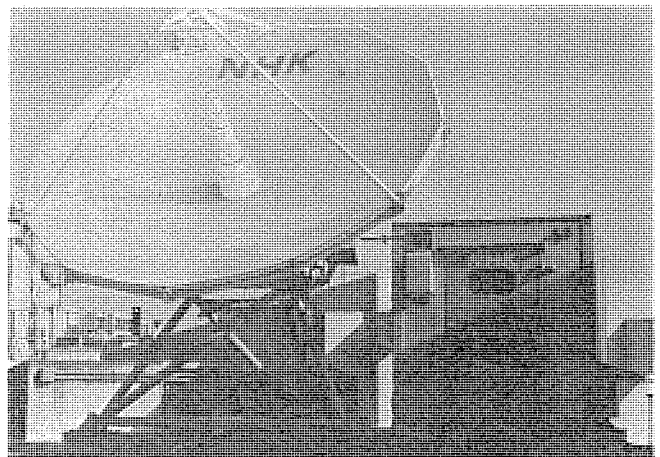


図 3. 可搬 A 形送受信局外観

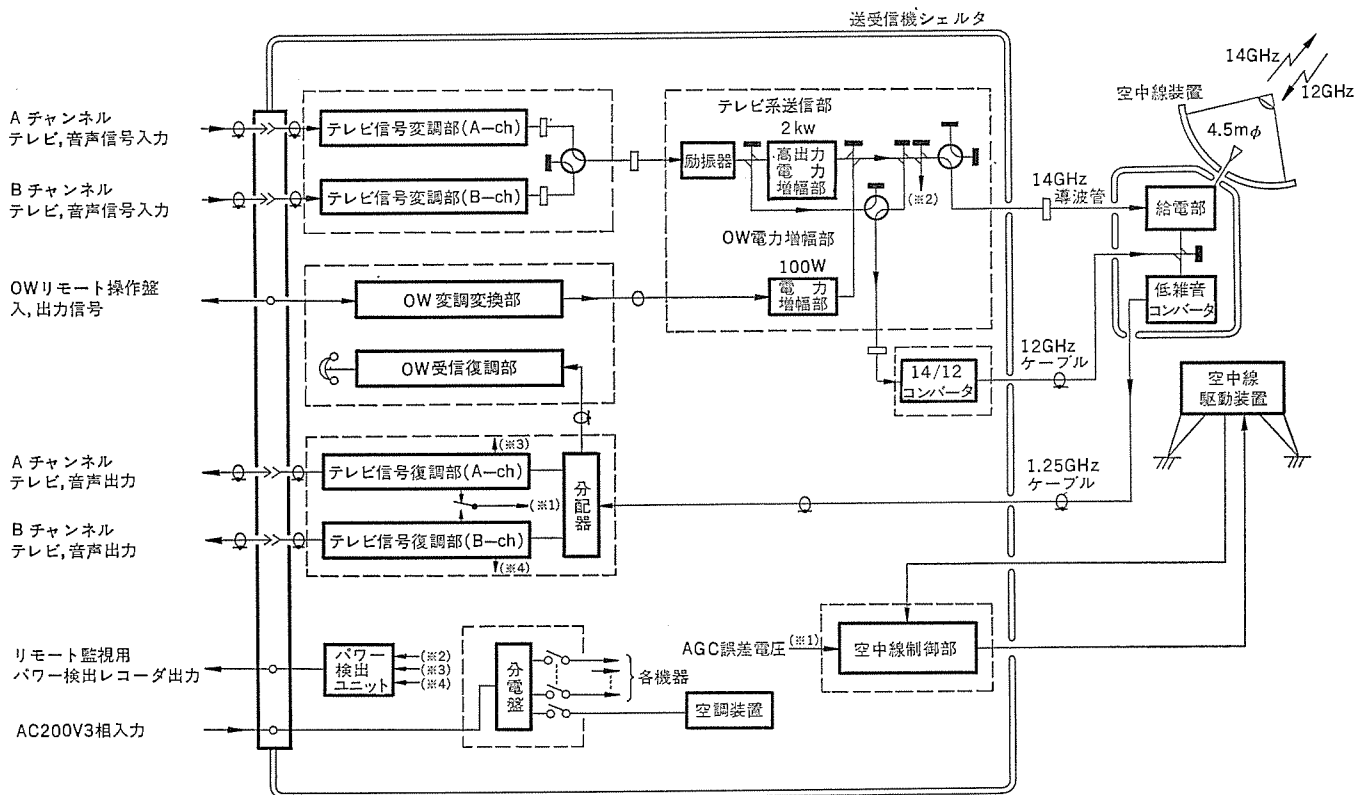


図 4. 可搬 A 形送受信局の総合統図



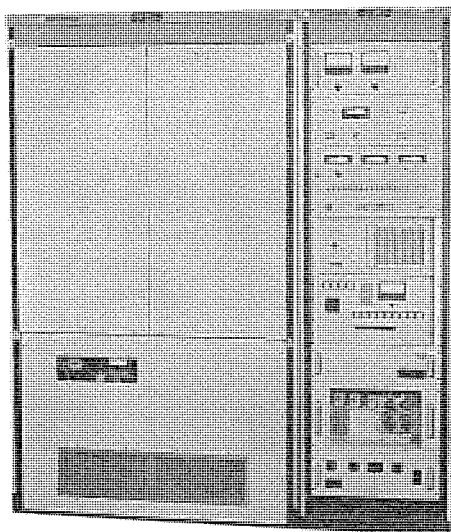


図 5. 高出力電力増幅部 (HPA)

(2) 衛星からの A, B チャンネル 内各 1 波のテレビ放送電波の同時受信が可能なこと。

(3) 主送受信局を含む他の送受信局と B 3 チャンネル内の OW チャンネルを経由して音声及びデータの送受信が可能なこと。

(4) 短期間の組立て、撤収並びに輸送が容易で、小型軽量であること。また 1 度すえ(据)付けた後は長期間にわたって安定に使用できること。

である。

以上の要求条件から開発設計された可搬 A 局の外観を 図 3. に、また総合系統図を図 4. に示す。

図に示すように、局は大別して直径 4.5 m の空中線装置と機器用シェルトから構成され、低雑音コンバータを除くすべての送受信装置及び空中線制御装置はシェルトに収容されている。

高出力電力増幅部 (HPA) は 2 kW の飽和出力を有する 5 空洞のクライストロンを用い、3 段階のプリセットチューニング機構により A, B チャンネル合わせて 180 MHz 帯域をカバーする。HPA の外観を図 5. に示す。シェルトを輸送する際はクライストロンと OW-HPA の進行波管を取外すだけでよい。

空中線装置は X-Y マウント型式カセグレンアンテナで、日本全土に移動運用することを想定しいずれの場所においても衛星方向に設定が簡単に行えるよう配慮されている。またステップ追尾システムにより  $\pm 5^\circ$  の衛星自動追尾機能をもつ。空中線の広角サイドローブ特性は、この種の小口径空中線で大電力送信を行う場合、地上の他回線への干渉・衛星軌道の有効利用などから極めて重要であるため、コルゲートホーンを採用/主・副反射鏡の直径比の最適化と鏡面修正/副反射鏡支柱による不要散乱の軽減などの諸対策を講じて、良好な特性を得ている。この特性は 1976 年 5 月の CCIR(SG-4) <sup>(5)</sup> で報告されている。

受信部のフロントエンドは、立体平面回路で構成された低雑音コンバータ <sup>(6)</sup> を採用し、受信信号を 1.25 GHz 帯に変換・増幅した後、各受信チャンネル系列に分配する方式としている。このコンバータにより所定のシステム雑音温度以下の受信性能を実現すると同時に 180 MHz の広帯域性を得ている。

テレビ信号変復調部は IF 周波数を 140 MHz とし、送信系列はアップコンバータにより 14 GHz 帯の信号に、受信系列は 1.25 GHz 帯の

表 3. 可搬 A 形送受信局の性能

1. 使用周波数	
送信	: 14 GHz 帯, TV 信号 A <sub>1</sub> , A <sub>2</sub> 及び B <sub>1</sub> , B <sub>2</sub> , B <sub>3</sub> のうち 1 波, OW ch 1~4
受信	: 12 GHz 帯, TV 信号 A <sub>1</sub> , A <sub>2</sub> のうち 1 波及び B <sub>1</sub> , B <sub>2</sub> , B <sub>3</sub> のうち 1 波, OW ch 1~4
2. 送信出力 (EIRP)	
TV 送信	: 81 dBW (+3~-10 dB 可変)
OW	: 56 dBW/ch (0~-10 dB 可変)
3. システム雑音温度	
	: 910 K 以下 (降雨減衰 1 dB のとき)
4. 送信安定度	
出力 (EIRP)	: 0.5 dB/日以下
周波数	: $1 \times 10^{-5}$ 以下
5. 送受総合性能	
(1) TV 映像特性	
周波数特性	: $\pm 0.5$ dB 以内/60 Hz~4.18 MHz
群遅延特性	: $\pm 30$ ns 以内/3.58 MHz
S/N 比	: (ハム雑音) 50 dB 以上 (p-p/p-p) (白色雑音) 60 dB 以上 (p-p/rms)
DG, DP	: 3% 以下, $2^\circ$ 以下
波形ひずみ	: (線周波波形) $\pm 1\%$ 以内 (低周波波形) $\pm 1\%$ 以内 ( $2T \sin^2$ 波) $K \leq 1$
(2) 音声特性	
周波数特性	: $\pm 0.5$ dB 以内/50 Hz~13 kHz
S/N 比	: 60 dB 以上
異種変調雑音	: 55 dB 以上 (rms/rms)
ひずみ	: 1% 以下
(3) OW 回線	
周波数特性	: $\pm 1$ dB 以内/300 Hz~3.4 kHz
S/N 比	: 45 dB 以上
ひずみ	: 5% 以下
6. 空中線性能	
利得	: (送信) $(54.0 + 20 \log f(\text{GHz}) / 14.25)$ dB 以上 (受信) $(52.5 + 20 \log f(\text{GHz}) / 11.95)$ dB 以上
サイドローブ	: (第 1 サイドローブ) -14 dB 以下 ( $1^\circ \sim 48^\circ$ ) $(32 - 25 \log \theta)$ dBi 以下 ( $48^\circ \sim 180^\circ$ ) -10 dBi 以下
雑音温度	: 70 K 以下 (EI: 40°)
偏波	: 送受平行直線偏波
追尾方式	: ステップ追尾, 精度 $\pm 0.05^\circ$ 以下

信号をダウンコンバータにより、それぞれ周波数変換している。

OW 変復調部も 140 MHz 帯 IF 周波数で、[送受各 4 チャンネルの FM-SCPC 信号の変復調を行っている。復調部は  $\pm 150$  kHz の引込み特性を有する PLL 復調器を採用し、スレシホールド特性の改善を図っている。

以上の各装置で構成される可搬 A 局の総合性能を表 3. に示す。

#### 4. 移動形受信専門局 <sup>(7)</sup>

移動形受信専門局 (以下受専 C 局と略す) は、主として日本本土内の各地を移動し、各種の受信専門局で得られたデータの補完、伝送特性の測定、及び受信画質評価を行う目的で開発設計したもので、特に移動形としての機動力を発揮してデータ収集を行うため受電界線の測定機能が重視されている。

受専 C 局の構成は 1.6 m の 4 分割組立式空中線、低雑音コンバータ、

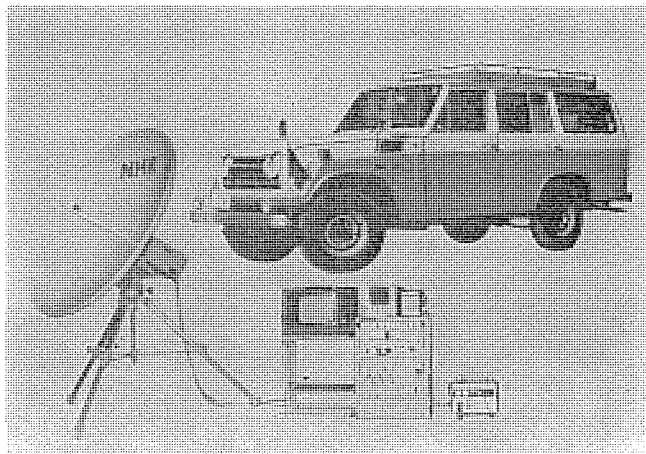


図 6. 移動形受信専門局外観

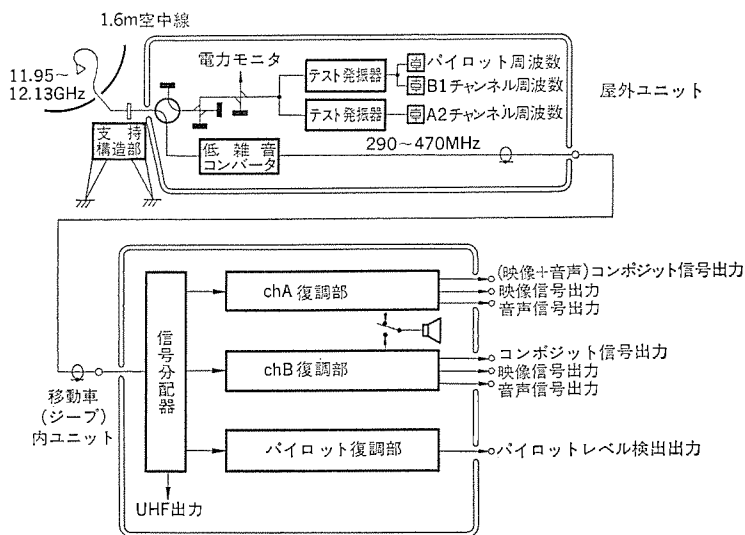


図 7. 移動形受信専門局総合系統図

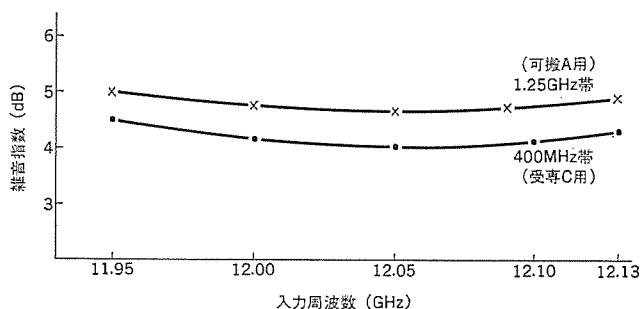


図 8. 低雑音コンバータの雑音指数

表 4. 低雑音コンバータの性能

	可搬 A 形局用	移動形受信専門局/簡易受信装置用
入力周波数	11.95~12.13 GHz	11.95~12.13 GHz
出力周波数	1.16~1.34 GHz	290~470 MHz
局発周波数	10.79 GHz	11.66 GHz
雑音指数	5.0 dB 以下	4.5 dB 以下
変換利得	40 dB 以上	50 dB 以上
局発安定度	$\pm 1 \times 10^{-8}$ 以内 (水晶通倍)	$\pm 2.6 \times 10^{-5}$ 以内(受信専門局) $\pm 4.2 \times 10^{-5}$ 以内(簡易受信装置) (高安定ガン発振器)
環境条件	-20°~+40°C 100%	-20°~+40°C 45~90%

表 5. 移動形受信専門局の性能

項 目	性 能
空中線装置	
入 力 周 波 数	11.95~12.13 GHz
利 得	43 dB 以上
サイ ド ロ ー プ 特 性	$10.5 + 25 \log \phi/\phi_0$ 又は $10 \log G_0(\phi_0$ : 半値角, $G_0$ ; 中心における利得)
雑 音 温 度	50 K 以下 (仰角 40°)
受信装置	
入 力 周 波 数	11.95~12.13 GHz
入 力 レ ベ ル	-85~-65 dBm
雑 音 指 数	4.5 dB 以下
出 力 レ ベ ル	映 像 1 Vp-p/75Ω 不平衡 正極性 音 声 0 dBm/600Ω 平衡
中 間 周 波 帯 域 幅	27 MHz/ch
S/N	映 像 31 dBp-p/rms (無評価値) 音 声 50 dB rms/rms 以上

及び NHK 各局配備の保守用 ジープ に取付け可能な受信本体装置となっており、全装置 1 式を ジープ に積載して任意の場所に移動して容易に各種の測定が行える構造となっている。この外観構成を図 6. に、総合系統図を図 7. に示す。

空中線は三脚を含む支持構造部に 4 分割された フロントフィード方式の パラボラアンテナ をマウントし、手動で仰角・方位角が容易に調整できる機構を有しており、組立てによる利得再現性は 0.3 dB 以内となっている。

低雑音 コンバータ は可搬 A 局同様立体平面回路 コンバータであるが、IF 周波数帯は 290~470 MHz となっている。図 8. と表 4. に低雑音 コンバータ の性能を示す。

受信本体装置は チャンネル 分波器, FM 復調部, 及び パイロット 信号受信部で構成され、A, B チャンネル の各 テレビ 放送信号の各 1 チャンネル (2 チャンネル) の同時受信と パイロット 信号受信電界測定の機能をもつ。

受専 C 局には、以上のほか既設のテレビ中継放送機の IF 段に衛星からの受信信号を送出して中継するための VSB-AM 簡易変調器、放送番組送出中でも測定できる ランダムノイズ 測定器、波形 モニタ、カラー映像 モニタ、記録計なども組込まれている。

以上の装置で構成される受専 C 局の性能を表 5. に示す。

## 5. 簡易受信装置<sup>(8)</sup>

簡易受信装置は、衛星放送番組を共同受信あるいは各家庭で受信する際のモデルとして開発設計された受信機で、直径 1 m 程度の空中線と、その背面に取付けられる屋外ユニット (低雑音 コンバータ 部) と従来の テレビジョンセット と組合せて使用される屋内ユニット とから構成される。図 9. と図 10. に屋内外 ユニットの 外観をそれぞれ示す。

この装置は屋外ユニットで衛星からの 12 GHz 帯信号を 400 MHz 帯の信号に変換し、屋内ユニットに設けられた A 1~A 2, B 1~B 3 までの合計 5 チャンネルの選択ボタンでチャンネル選択を行い、屋内ユニットに内蔵されている FM 復調器で信号を復調し、映像、音声信号として出力すると同時に、内蔵の VSB-AM 変調器を経由してテレビの第 1, あるいは第 2 チャンネルの通常の地上放送周波数に変換して信号を取り出す機能を持っている。したがって、この出力

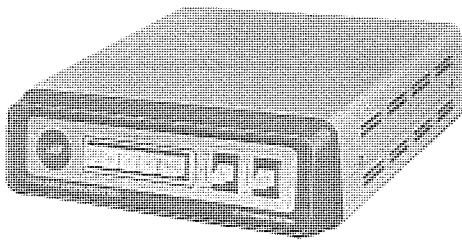


図 9. 簡易受信装置の屋内ユニット

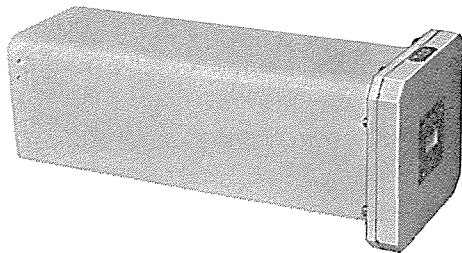


図 10. 簡易受信装置の屋外ユニット

表 6. 簡易受信装置の性能

項 目	性 能 及 び 特 徴
入 力 周 波 数	11.95~12.13 GHz
第 1 中 間 周 波 数	290~470 MHz
第 2 中 間 周 波 数	130 MHz
第 1 局発周波数安定度	$\pm 4.2 \times 10^{-5}$ ( $\pm 500$ kHz) 以内 / $-20^{\circ} \sim +40^{\circ} \text{C}$
信 号 形 式	FM (映像) FM-FM (音声)
雑 音 指 数	4.5 dB 以下
中 間 周 波 帯 域 幅	27 MHz/ch
スレシホールドレベル	-85 dBm
AGC 特 性	RF 入力 $-90 \sim -60$ dBm の範囲内で IF レベル変動 1 dB 以内
映 像 出 力	1 V <sub>P-P</sub> /75 $\Omega$ 不平衡 正極性
音 声 出 力	0 dBm/600 $\Omega$ 平衡
VHF AM 出 力	80 dB $\mu$ V 以上, 91.25 MHz 又は 97.25 MHz
電 源 電 圧	AC 100 V
消 費 電 力	40 VA
寸 法・重 量	屋外ユニット 98(W)×98(H)×240(D)(mm) 1.5kg 屋内ユニット 280(W)×85(H)×240(D)(mm) 3.9kg

を直接家庭用テレビジョンセットに接続すれば衛星放送番組の直接受信が可能となるので、装置の性能は簡略化したものとなっている。開

発設計された簡易受信装置の性能を表 6. に示す。なお、この装置は放送衛星実験に先行してアメリカ、カナダにおける CTS 受信実験<sup>(10)</sup>に使用され、その鮮明な画像が各国の注目をあびた。

## 6. む す び

以上、我が国最初の放送衛星を利用した放送衛星実験システムの概要と、関連地上局設備について述べたが、既にこれらの設備を用いた本格的実験が53年7月から開始されている。ここで得られるデータは、14/12 GHz 帯を利用した放送衛星システムのハードウェア技術面、及びマルチアクセス等<sup>(8)</sup>を導入した運用技術面からも実用化段階への重要な基準を与えることとなろう。また飛躍的に伸びつつある新しい半導体素子の導入などによって、一層小形で低コストかつ高い技術水準の実用化設備の実現が期待され、将来の放送衛星システム確立に大きく貢献するものと信じる。

最後に、以上の装置・設備の開発にあたり、NHK 総合技術研究所、技術本部並びに三菱電機(株)内関係各位からの助言と協力に感謝する。

## 参 考 文 献

- (1) 小西：立体平面回路，NHK 技研月報，16，No. 4 (昭48)
- (2) 石田：実験用通信衛星 (CS)，同放送衛星 (BS) 計画の概要，電波時報，No. 5 (昭 50)
- (3) 保科，林田，高橋，倉掛：放送衛星実験の地上施設，NHK 技研月報，19，No. 11 (昭 51)
- (4) 保科，高橋，浜崎，西村：14/12 GHz TV 用可搬形地球局，テレビジョン学会無線技術研究会，No. RE 76-19 (昭 51-6)
- (5) CCIR Study Groups, Doc. 4/34-E, 20 JAN. 1976 : Radiation Diagrams of Antennae for Transportable Earth Station in the Broadcasting Satellite Service for Use in 14 GHz Up-Path
- (6) 小西：放送用 SHF 受信機 の 設計，電子科学シリーズ (56)，K.K 産報刊 (昭 49)
- (7) BSS 仕様 26-6412
- (8) 小西：衛星放送用受信機，NHK 技研月報，16，No. 6 (昭 48)
- (9) 田辺，上田，吉田：マルチアクセス 制御 システム NHK 技研月報，20，No. 5 (昭 52)
- (10) 小西，長町，保科，倉掛：CTS 直接受信実験，NHK 技研月報，20，No. 5 (昭 52)

# ホイールを利用した人工衛星の三軸姿勢制御

土屋和雄\*・萩原史朗\*\*・若杉 登\*\*\*

## 1. ま え が き

人工衛星の運動は、質量中心の並進運動と質量中心回りの回転運動とに分離される。前者は軌道運動とよばれ、後者は姿勢運動とよばれる。姿勢運動は衛星のミッションによって適切に制御する必要がある。例えば、地球観測衛星では観測機器が常に地球を向くように制御しなければならない。従来、姿勢制御方式としてはスピン安定化方式が多く使われてきた。しかし近年、ミッション機器からの姿勢制御精度に対する要求は厳しくなり、また一方、大電力を得るため太陽追尾型の太陽電池パドルをとう(搭)載した衛星が要請されている。これらの要求を満足するため三軸姿勢制御方式が注目され、現在精力的に研究が行われている。

三軸姿勢制御方式は、ホイールを使用するもの及びホイールを使用しないものに大別される。後者にはジェットや、重力場、地磁場、太陽ふく(幅)射圧を利用するもの等が含まれる。現在、三軸姿勢制御方式としてはホイールを使用する方式が主流となっている。従来、ホイールを使用した方式はバイアスモーメント法とゼロモーメント法に大別してその特徴が論じられてきた<sup>(1)</sup>。しかし現在、多くのホイールの構成が考案されており、それぞれのホイール系は異なった力学的特性を有している。それ故、従来の分類法から1歩進んで、系の力学的性質に基づいたより詳細な分類を行って各ホイール系の特徴を整理しておくことが有用と思われる。すなわちこの論文の目的は、多様なホイール構成をその力学的性質に基づいて分類し、その特質を明らかにすることにある。

ホイールの構成は、原理的に次の4つに分類される。

- (1) 1モーメントホイール方式(1MW方式)(図2.)。
  - (2) 1モーメントホイール+1リアクションホイール方式(1MW+1RW方式)及び1自由度ジンバル付モーメントホイール方式(1DOFGMW方式)(図4.)。
  - (3) 1モーメントホイール+2リアクションホイール方式(1MW+2RW方式)及び2自由度ジンバル付モーメントホイール方式(2DOFGMW方式)(図6.)。
  - (4) 3リアクションホイール方式(3RW方式)及び1自由度コントロールモーメントジャイロ系方式(1DOFCMG系方式)(図8.)。
- さてホイールによる姿勢制御系では、ホイールのみによっては制御できない誤差の制御、ホイールに蓄積された角運動量の放出のため補助的な制御系を併用する。この補助系は、いずれも衛星と外部環境との間で角運動量の交換を行うものであり、ここではこの系を角運動量制御系と呼ぶ。代表的な角運動量制御系には次のものがある。

- (1) ジェット方式
- (2) 重力傾度トルク方式
- (3) 磁気トルク方式

4章において、これら角運動量制御系の原理、特徴について簡単に論ずる。

## 2. 座標系の定義、記号の説明

まず、以下に使用する座標系について説明する。衛星の基準姿勢を与える座標系として、軌道座標( $X_0, Y_0, Z_0$ )を導入する(図1.)。この座標系は、座標原点を衛星の質量中心にとり、 $Y_0$ 軸を軌道面ベクトルと逆方向、 $Z_0$ 軸を地心方向にとった右手座標系である。衛星に固定された基準軸ロール、ピッチ、ヨー軸がそれぞれ $X_0, Y_0, Z_0$ 軸に一致した状態を基準姿勢と定義する。基準姿勢からの衛星の姿勢の微小なずれをロール、ピッチ、ヨー軸回りの微小回転角で表し、ロール誤差、ピッチ誤差、ヨー誤差と呼ぶ。

次に、以下の解析で使用使用する記号をまとめて表1.に示す。

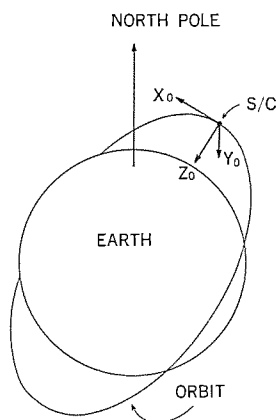


図1. 座標系の定義

表1. 記号の説明

$I_x$	衛星のロール軸回りの慣性モーメント
$I_y$	衛星のピッチ軸回りの慣性モーメント
$I_z$	衛星のヨー軸回りの慣性モーメント
$\phi$	ロール角誤差
$\theta$	ピッチ角誤差
$\psi$	ヨー角誤差
$h_i$	リアクションホイール <i>i</i> の角運動量
$h_p$	モーメントホイールの角運動量
$N_x$	ロール軸回りの外乱トルク
$N_z$	ヨー軸回りの外乱トルク
$T_i$	リアクションホイール <i>i</i> の制御トルク
$\omega_0$	軌道角速度

## 3. ホイールによる姿勢制御系の制御特性

前述したホイール系による姿勢制御方式(1)~(4)について、ホイール系の構成、基礎方程式、動特性解析及びシミュレーション結果を検討し、各方式の制御特性を明らかにする。なお、ピッチ軸回りの衛星の運動は、すべての方式に関し同一であるので、ここではロール/ヨー軸回りの制御のみに着目して検討する。また、シミュレーションの条件は、初期条件としてヨー角速度0.01°/s、外乱トルクとして慣性空間に対し一定( $5 \times 10^{-5}$  Nm)のトルクを使用する。

### 3.1 1MW方式

#### 3.1.1 ホイールの構成(図2.)

この方式は通常バイアスモーメント方式と呼ばれるものであり、ピッチ軸に平行な回転軸を持つモーメントホイールから構成される。

#### 3.1.2 基礎方程式

この方式の基礎方程式は、次のとおりである。

$$I_x \ddot{\phi} - [h_p + (I_x + I_z - I_y) \omega_0] \dot{\psi} - \omega_0 [h_p + (I_z - I_y) \omega_0] \phi = N_x \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$I_z \ddot{\psi} + [h_p + (I_x + I_z - I_y) \omega_0] \dot{\phi} - \omega_0 [h_p + (I_x - I_y) \omega_0] \psi = N_z \quad \dots \dots \dots (2)$$

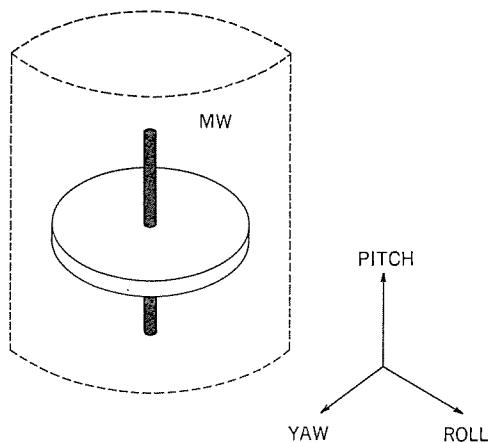
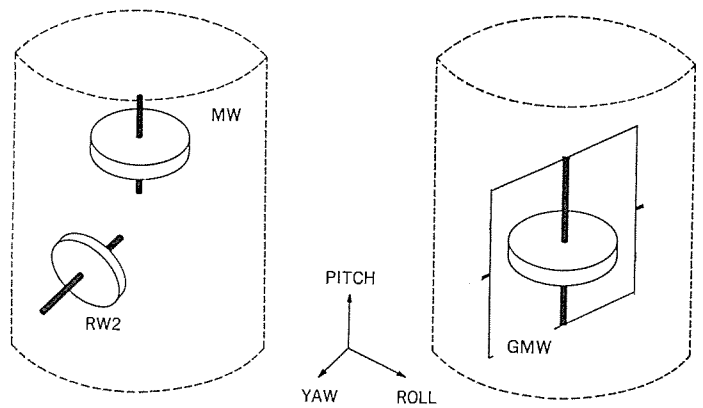


図 2. ホイール構成 (1MW 方式)



(a) 1MW+1RW 方式 (b) 1DOFGMW 方式

図 4. ホイール構成

方程式(1)，(2)からこの方式は次のような力学的特性を持つ。すなわち、ロール／ヨー運動は強く連成した2次振動系をなしている。短周期振動モードは、モーメントムホイールの角運動量によるジャイロカップリングによるものでニュートン運動と呼ばれる。長周期振動モードはモーメントムホイールの角運動量のもつジャイロ剛性と衛星の軌道運動のカップリングによるものでロール／ヨー変換と呼ばれる。

### 3.1.3 制御特性

動特性解析結果，シミュレーション結果を表2.及び図3.に示す。これらの結果から導かれるこの方式の特徴は次のとおりである。

- (a) 短周期振動，長周期振動ともホイールによって減衰させることはできない。
- (b) 長周期振動は外乱トルクの影響で徐々に増大する。しかし，モーメントムホイールの持つジャイロ剛性によって急激に増大することはない。

この方式を使って姿勢制御系を構成する場合，短周期振動，長周期振動を減衰できる機能を持つ角運動量制御系を併用しなければならない。このときロール／ヨー運動は強く連成しているから，ロール角及びロール角速度信号の検出だけで長周期及び短周期振動を減衰できる。

表 2. 動特性まとめ (1MW 方式)

運動モード	角速度	減衰率
短周期振動	$h_p/\sqrt{I_x I_z}$	0
長周期振動	$\omega_0$	0

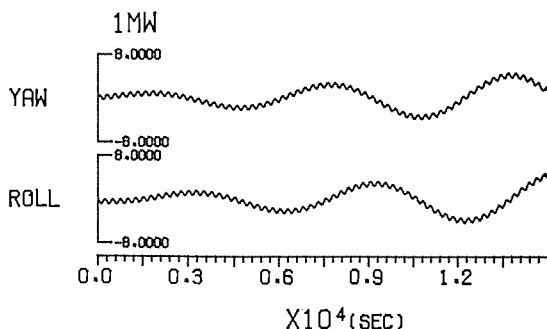


図 3. シミュレーション結果 (1MW 方式)

### 3.2 1MW+1RW 方式及び 1DOFGMW 方式

#### 3.2.1 ホイールの構成 (図4.)

##### (1) 1MW+1RW 方式

ピッチ軸に平行な回転軸を持つモーメントムホイールとヨー軸方向に回転軸を持つリアクションホイールから構成される。

##### (2) 1DOFGMW 方式

ヨー軸方向に回転軸を持つジンバルと基準状態においてピッチ軸に平行な回転軸を持つモーメントムホイールから構成される。

#### 3.2.2 基礎方程式

1MW+1RW方式の基礎方程式は次のとおりである。なお1DOFGMW方式に対しても同型の方程式が導かれる。

$$I_x \ddot{\phi} - [h_p + (I_x + I_z - I_y) \dot{\psi} - \omega_0 [h_p + (I_x - I_y) \omega_0] \phi - h_2 \omega_0] = N_x \quad \dots \dots \dots (3)$$

$$I_z \ddot{\psi} + [h_p + (I_x + I_z - I_y) \omega_0] \dot{\phi} - \omega_0 [h_p + (I_x - I_y) \omega_0] \psi + h_2 = N_z \quad \dots \dots \dots (4)$$

$$\dot{h}_2 = T_2 \quad \dots \dots \dots (5)$$

この方式も，ニュートン運動及びロール／ヨー変換によって，ロール／ヨー運動の強く連成された系である。よって，ロール／ヨー運動の制御はロール信号のみで行うことが可能と考えられる。ホイール制御

表 3. 動特性まとめ (1MW+1RW 方式)

運動モード	角速度	減衰率
短周期振動	$h_p/\sqrt{I_x I_z}$	$-K_2/2I_x$
長周期振動	$\omega_0$	0

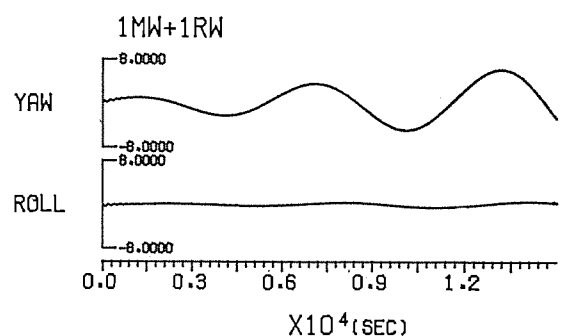


図 5. シミュレーション結果 (1MW+1RW 方式)

トルク  $T_2$  を次のように仮定する。

$$T_2 = K_1 \phi + K_2 \dot{\phi} \dots\dots\dots (6)$$

### 3. 2. 3 制御特性

動特性解析結果、シミュレーション結果を表 3. 及び図 5. に示す。これらの結果から導かれるこの方式の特徴は次のとおりである。

- (a) 短周期振動は、リアクションホイールによって減衰される。
- (b) 長周期振動は、ホイール系によっては減衰できない。外乱トルクの影響により、その振幅が徐々に増大していく。ただし、ロール成分はヨー軸方向に取付けられたリアクションホイールに吸収され、その増加は小さく抑えられている。

この方式を使って姿勢制御系を構成する場合、長周期振動の減衰機能、及びリアクションホイールのアンローディング機能を持つ角運動量制御方式を併用することが必要である。このとき、ロール/ヨー変換によるロール/ヨー運動の連成のため、長周期振動の減衰にはロール信号だけで十分である。

### 3. 3 1 MW+2 RW 方式及び 2 DOFGMW 方式

#### 3. 3. 1 ホイールの構成 (図 6.)

##### (1) 1 MW+2 RW 方式

ピッチ軸に平行な回転軸を持つモーメントホイールと、ロール、ヨー軸に回転軸を持つ 2 個のリアクションホイールから構成される。

##### (2) 2 DOFGMW 方式

ロール、ヨー軸回りにそれぞれ回転できる 2 個のジンバルと、基準状態においてピッチ軸と平行な回転軸を持つモーメントホイールから構成される。

#### 3. 3. 2 基礎方程式

1 MW+2 RW 方式の基礎方程式は次のように与えられる。なお、2 DOFGMW 方式に対しても同型の方程式が導かれる。

$$I_x \ddot{\phi} - [h_p + (I_x + I_z - I_y) \omega_0] \dot{\phi} - \omega_0 [h_p + (I_z - I_y) \omega_0] \phi + \dot{h}_1 - h_2 \omega_0 = N_x \dots\dots\dots (7)$$

$$I_z \ddot{\psi} + [h_p + (I_x + I_z - I_y) \omega_0] \dot{\psi} - \omega_0 [h_p + (I_x - I_y) \omega_0] \psi + \dot{h}_2 + h_1 \omega_0 = N_z \dots\dots\dots (8)$$

$$\dot{h}_1 = T_1, \dot{h}_2 = T_2 \dots\dots\dots (9), (10)$$

この方式も、ロール/ヨー運動の強く連成された系であり、ロール/ヨー運動を、ロール信号だけで制御可能と考えられる。同時に、ピッチ面内 (ロール/ヨー平面) にある 2 個のリアクションホイールによって、長周期振動を吸収可能と考えられる。ホイール制御トルクを次のように仮定する。

表 4. 動特性まとめ (1 MW+2 RW 方式)

運動モード	角速度	減衰率
短周期振動	$h_p / \sqrt{I_x I_z}$	$0.5(-K_2/I_x + \kappa_1/h_p)$
長周期振動	$\omega_0$	$0.5(K_2 \omega_0 - \kappa_1)/h_p$

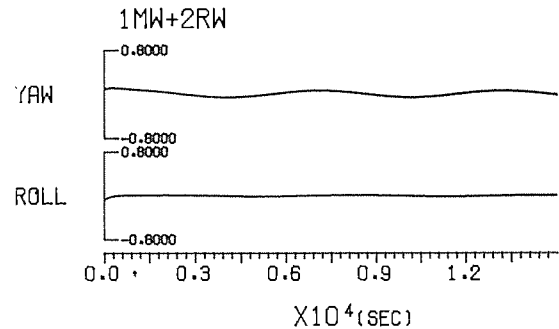


図 7. シミュレーション結果 (1 MW+2 RW 方式)

$$T_1 = \kappa_1 \phi + \kappa_2 \dot{\phi} - \omega_0 h_2 \dots\dots\dots (11)$$

$$T_2 = K_1 \phi + K_2 \dot{\phi} + \omega_0 h_1 \dots\dots\dots (12)$$

#### 3. 3. 3 制御特性

動特性解析結果、シミュレーション結果を表 4. 及び図 7. に示す。これらの結果から導かれるこの方式の特徴は次のとおりである。

- (a) 短周期振動、長周期振動ともリアクションホイールによって減衰される。
- (b) 衛星に加わる外乱トルクは、リアクションホイールに吸収される。

この方式によって姿勢制御システムを構成する場合、ホイールアンローディング機能を持つ角運動量制御システムを併用することが必要となる。

### 3. 4 3 RW 方式及び 1 DOFCMG 系方式

#### 3. 4. 1 ホイールの構成 (図 8.)

##### (1) 3 RW 方式

この方式は通常ゼロモーメント方式と呼ばれる方式でありロール、ピッチ、ヨー軸方向に、それぞれ回転軸を持つ 3 個のリアクションホイールから構成される。

##### (2) 1 DOFCMG 系方式

ロール、ピッチ、ヨー軸上に取付けられた、連動して作動する 2 個 1 組の 1 自由度 CMG から構成される。

#### 3. 4. 2 基礎方程式

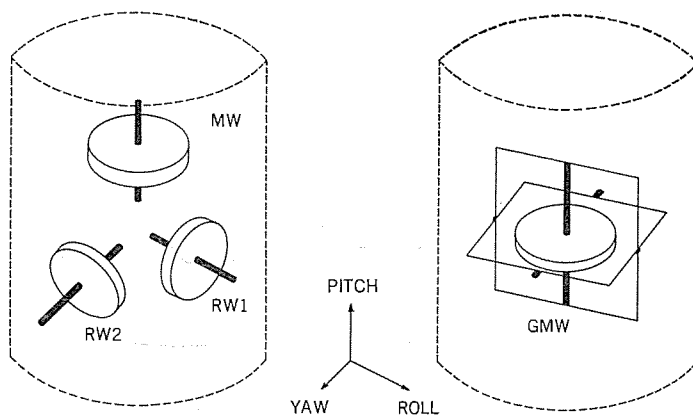
3 RW 方式の基礎方程式は次のとおりである。なお、1 DOFCMG 系方式に対しても同型の方程式が導かれる。

$$I_x \ddot{\phi} - (I_x + I_z - I_y) \omega_0 \dot{\psi} - (I_z - I_y) \omega_0^2 \phi + \dot{h}_1 - h_2 \omega_0 = N_x \dots\dots\dots (13)$$

$$I_z \ddot{\psi} + (I_x + I_z - I_y) \omega_0 \dot{\phi} - (I_x - I_y) \omega_0^2 \psi + \dot{h}_2 + h_1 \omega_0 = N_z \dots\dots\dots (14)$$

$$\dot{h}_1 = T_1, \dot{h}_2 = T_2 \dots\dots\dots (15), (16)$$

この方式においては、ロール/ヨー系の結合は弱く、ロール/ヨー系はほぼ独立な運動を行う。また、各系はそれぞれ弱い 2 次振動系となっている。それ故、系の動的ふるまひは制御系の構成に大きく依存する。すなわち、この方式は制御系の構成が極めて重要である。特にロール/ヨー運動のカップリングが存在しないため、ヨー誤差の検出が必要となる。更に、いかに“きれいな”ヨー信号を得るかがこの方式の 1 つのポイントになる。



(a) 1 MW+2 RW 方式 (b) 2 DOFGMW 方式

図 6. ホイール構成



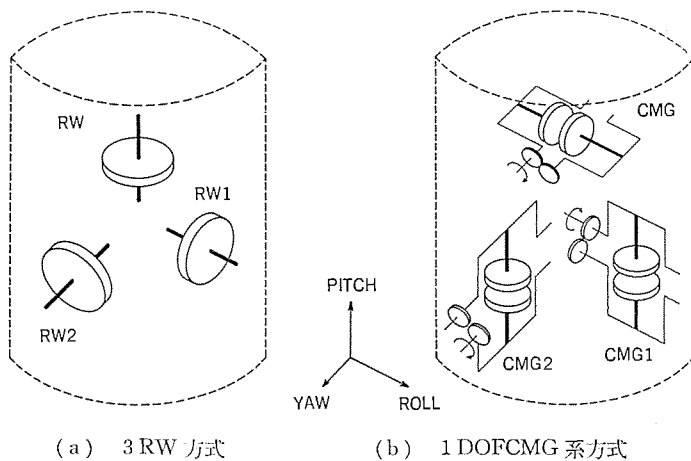


図 8. ホイル構成

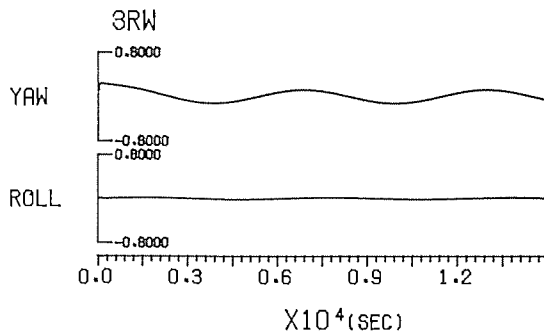


図 9. シミュレーション結果 (3 RW 方式)

### 3.4.3 制御特性

ここでは、ヨーセンサとしてジャイロコンパスを使用した場合の系のシミュレーションの1例を図9に示す。ヨーセンサから“きれいな”信号が得られる場合、この方式は良好な制御特性を示す。この方式によって姿勢制御システムを構成する場合、ホイールアンローディング機構を持つ角運動量制御システムの併用が必要であるとともに、適切なヨーセンサの使用が重要である。

## 4. 角運動量制御システム

前章でみたとおり、ホイールによる姿勢制御方式においては、制御精度の向上、ホイールアンローディングのために外界と角運動量の交換を行う機構が必要である。本章において、代表的な角運動量制御方式についてその原理及び特徴を述べる。

### 4.1 ジット方式

この方式は、衛星に搭載したスラスタをパルス状に噴射して、その反作用で衛星に制御トルクを加える方式である。比較的大きなトルクを発生させることが可能であるので、軌道修正中の姿勢制御のような大きな外乱の働く場合の制御に適した方式である。しかし、トルクレベルが大きいため発生角速度誤差が大きく、許容角速度誤差の小さい衛星への適用には種々の配慮を必要とする。

### 4.2 重力傾度トルク方式

地球重力によって衛星には次のようなトルクが働く。

$$\text{ロール軸回り} \quad 3\omega_0^2(I_y - I_z)\phi \quad \dots\dots\dots (17)$$

$$\text{ピッチ軸回り} \quad 3\omega_0^2(I_x - I_z)\theta \quad \dots\dots\dots (18)$$

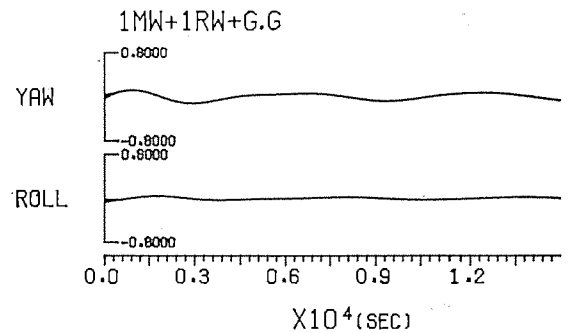


図 10. シミュレーション結果 (1 RW + 1 MW + 重力傾度トルク方式)

これらのトルクを利用して姿勢制御、アンローディングを行うのが重力傾度トルク方式である。この方式は、初期に衛星の質量特性を適切に設定することによって、姿勢制御、アンローディングが可能な完全な受動的な方式である。この方式の一適用例として、1 MW + 1 RW 方式とこの方式とを組合せた制御システムの動特性の1例を図10に示す。動力傾度トルク方式を加えることにより、ホイールシステムでは減衰されなかった長周期振動が減衰していくことが分かる。最近この方式に対し、姿勢誤差を検出し、能動的に衛星の質量特性を変化させ性能の向上を図る試みも行われている<sup>(2)</sup>。

### 4.3 磁気トルク方式

衛星上に磁気ダイポールモーメントが存在すると、地磁場と相互作用を行って衛星にトルクを与える。衛星上の磁気ダイポールモーメントの大きさを制御して衛星に必要なトルクを加え、角運動量制御を行うのが磁気トルク方式である。この方式は、燃料の消費もなく、可動部分も存在しないことから長寿命、高信頼度のシステムを構成することができる。従来は、磁気ダイポールモーメントの大きさを地上コマンドで変更する開ループ方式が広く利用されてきたが、最近、地磁場を連続測定し、閉ループで連続的に磁気制御を行うことも試みられてきているようである<sup>(3)</sup>。今後の発展性を持った方式と思われる。

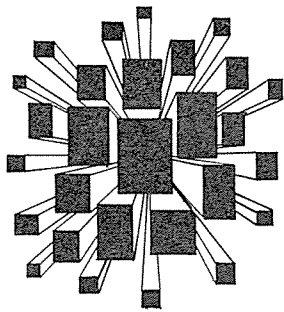
## 5. むすび

ホイールシステムを利用した、三軸姿勢制御方式について考察した。ホイールの構成に関しては数多くの形式が存在するが、それらを力学的な性質をもとに分類し、その特性及び姿勢制御系を構成する上での要点を述べた。更にホイールシステムと併用される角運動量制御方式について、その原理、特徴について簡単に言及した。実際の姿勢制御系の設計においては、衛星のミッションに適合したホイール系、角運動量制御系の組合せをこれら原理的考察をふまえて選択することが望ましい。

## 参考文献

- (1) 村上：人工衛星の3軸姿勢制御について、日本航空宇宙学会誌，24，No. 266，114 (昭51)
- (2) W. W. Hooker et al. : Reaction Boom Attitude Control System, Journal of Spacecraft and Rockets, 7, No. 11, 1337 (1970)
- (3) R. Weiss et al. : SEASAT-A Attitude Control System, AIAA paper 77-1057 (1977)

登録番号	名 称	発 明 者	登録番号	名 称	発 明 者
828023	サーキュレータ	{喜連川隆・白幡 潔 武富大児	837080	パルス発生装置	茂木 充
828320	タイムスイッチ	武田克己・林 正之	837081	音響再生装置	矢島幹夫
829316	搬送保護継電装置	高田信治	837082	分波回路	橋本 勉・武田文雄
829318	電磁 ポンプ	近藤博通・岸本 浩	837083	方位探知装置	{沢田道弘・友久健三 北野 隆
829319	遠方監視制御装置	流郷忠彦	837084	ブレーキ 制御装置	釜池 宏
829320	保護継電装置	北浦孝一	837085	グリース	{織田博靖・今村恒浩 菊地清秋・影山八郎 鈴木利郎
829322	回路しゃ断器	{宮本紀男・森貞次郎 原文吾	837086	電子レンジの半導体制御装置	古屋芳明・高瀬明生
829323	文字打刻装置	斎藤 豊	837087	電子レンジの保護装置	古屋芳明
829324	刻印装置	{田中陸務・山田光昭 石井 明	837088	往復駆動装置	安岡博敏・永橋太吉
829325	アーク 溶接装置	鶴飼 順・水野孝治	837089	交流電動機の駆動回路	{梶野幸男・中村久仁輔 長南克彦
829326	マイクロ波固体発振器のパルス発振における周波数安定化方式	三井 茂	837090	コンデンサ 開閉装置	細野 勇
829327	着掃装置	丸山正彦・林 行蔵	837091	高電圧定電圧電源	竹内三郎
829328	レーザ 装置	樋口隆一	837092	多重化保護装置	高田信治・小谷源三郎
829329	回転電機用鉄心の製造方法	{篠原芳男・前原利昭 小川 務	837093	直流電動機の制御装置	{酒井靖夫・堀田秀夫 石川嘉夫
829330	電気車のチョップ式再生制動保護装置	北岡 隆・白庄司昭	837094	相対的位置差検出装置	大野宣男
829492	非金属介在物除去装置	近藤博通	837095	ファクシミリ 装置	泉 信行
829493	仕上り温度制御圧延方式	{小林健三・浜崎芳治 久保田伸夫	837096	自動負荷調整装置	山田 勉
829494	研削盤の切込送り制御装置	山崎宣典	837097	環境試験装置	山本 勇
829495	シーケンス 制御装置	{山中彪生・松本直巳 吉田日出夫	837098	線材巻取装置	浜田茂治・佐藤寿一
829996	真空しゃ断器	{竹内宏一・岡田武夫 青木伸一・丹羽 健	837099	エポキシ 樹脂組成物	{西崎俊一郎・寺谷 宏 高木樟二
829997	保護継電装置	北浦孝一・鈴木健治	837100	電解浮上分離槽	{棚尾 涉・加藤 強 久慈陽一
829998	搬送保護継電装置	鈴木健治・中村勝巳	837101	粉体塗装用樹脂組成物	{江藤昌平・中島博行 不可三晃・山本 泰
829999	搬送保護継電装置	鈴木健治・中村勝巳	837102	粉体塗装用樹脂組成物	{江藤昌平・中島博行 不可三晃・山本 泰
830000	搬送保護継電装置	{古谷昭雄・中村勝巳 坂本昌一	837103	不飽和ポリエステル樹脂の製造方法	江藤昌平・西崎俊一郎 中村立春・小柳晴市
830001	保護継電装置	北浦孝一・鈴木健治	837104	不飽和ポリエステル樹脂の製法	{江藤昌平・西崎俊一郎 中村立春・小柳晴市
830002	搬送保護継電装置	{古谷昭雄・中村勝巳 鷺見幸次	837105	一液性 エポキシ 樹脂組成物	{寺谷 宏・西崎俊一郎 藤沢 修・若林信克
830003	伝送線路監視装置	高田信治・下迫賀生	837106	電力変換制御装置	赤松昌彦
830004	半導体制御整流器の製造方法	行本善則	837919	酸化亜鉛膜の地下電極	{戸村光一・大西 勝 吉沢達夫・伊吹順章
830005	パイロット 継電装置	鈴木健治	837920	金属棒の突き合せ接合方法	浅名義久
830006	パルス 発生装置	林 正之・山根満徳	837921	織機のよこ入れ装置	小倉新三・岸本 健
830007	搬送保護継電装置	古谷昭雄・中村勝巳	837922	ビル 清掃装置	{梶野幸男・三田村隆輝 深沢和夫
830008	半導体制御整流装置	須川嘉幸	838228	時限保持 スイッチ	才田敏和
830009	故障発生順位判定装置	山崎英蔵・西 健一	838229	コルゲート 円形導波管	橋本 勉・武田文雄
830010	遠隔計量装置	林 正之	838230	連続圧延機の制御方式	久保田伸夫
830011	遠隔計量装置	林 正之			
830012	張力制御装置	福永武尚			
830013	変位及び勾配の検出装置	安東 滋			

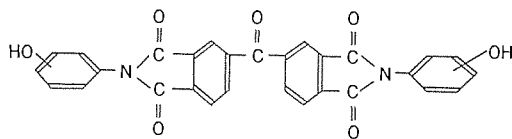


# 特許と新案

## イミド環含有エポキシ樹脂の製造法 (特許 第 779033 号)

発明者 西崎俊一郎・不可三晃・江藤昌平・森脇紀元・中島博行

この発明はイミド環含有エポキシ樹脂の製造法に関するものであり、一般式



(式中、OH 置換基は o-, p-, m- 位置をあらわす)

で示されるイミド基を有するビスフェノールの水酸基 1 個に対して、1 分子中に少なくとも 2 個のエポキシ基を有するエポキシ化合物の数が 2.0 ないし 20 の割合で反応させることを特徴とするものである。

この発明の製造法によって得られるエポキシ樹脂は熱安定性にすぐれたものであり、しかも芳香族複素環の導入にもかかわらず、通常知られている硬化剤とよく相溶し、容易に硬化性組成物を得る点に特長がある。イミド環をもつ誘導体は一般的に難溶性であり、従来エポキシ樹脂にイミド基を導入することは困難とされてきたが、この発明によるときは、上記一般式で示される特定のイミド誘導体を用いることにより従来の問題点が解消され、しかも耐熱性、機械的性質の点において著しくすぐれた硬化物を得ることができる。

この発明の製造法によって得られるイミド環含有エポキシ樹脂は注形用、積層用、塗料用等の用途に適しており、耐熱性の要求される材料として極めて有用なものである。

## ネットワークプロテクタ (特許 第 907444 号)

発明者 梅本隆司

従来、図 1 に示すネットワーク給電線において、電源側の事故などでプロテクタ(8)を介してネットワーク母線(11)側から電源側へ逆電流が流れると、上記プロテクタ(8)がしゃ断するようにその操作回路が組まれている(逆電流しゃ断)。しかし、ネットワーク母線(11)に接続された負荷(14)にエレベータモータ等、回生制動する負荷が存在していると、プロテクタ(8)は負荷(14)の回生制動電力によっても逆電流しゃ断してしまうことがある。

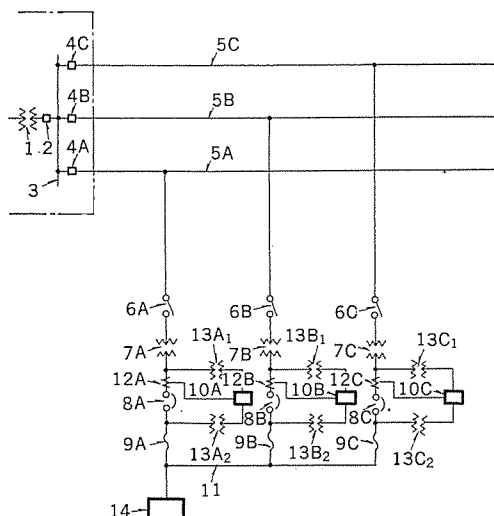


図 1

図 2 は、プロテクタ(8)を操作するこの発明の操作回路図であり、(17)は図 1 のネットワークリレー(10)が逆電流を検出したとき閉路する接点、(18)はプロテクタ(8)を通過する電流が正方向のとき閉路する接点、(21)はプロテクタ(8)のトリップ回路である。

プロテクタ(8)の逆電流しゃ断時のトリップ条件をプロテクタ(8A)に着目して述べると、次のようになる。

- (1) プロテクタ(8A)の通過電流が逆向き(母線(11)→電源側)である。………接点(17A)が閉路。
- (2) 他のプロテクタ(8B), (8C)の少なくとも 1 台の通過電流が正方向(電源側→母線(11))である。………接点(18B), (18C)の少なくとも 1 つが閉路。

したがって、負荷(14)にエレベータモータのように回生制動をするものが存在していて、回生制動時の逆電流がプロテクタ(8)に流れたとしても、上記条件(2)が満足されないためプロテクタ(8)は閉路状態を保つ。

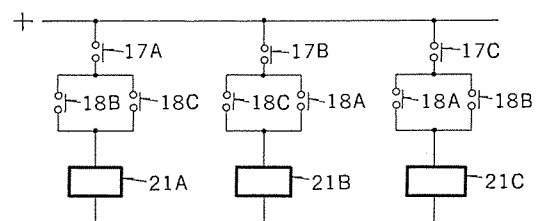


図 2

つぎに、図1において、給電線(5)が(5A)、(5B)の2つだけの場合を考える。

無負荷状態でしゃ断器(4A)が点検等のため開放すると、逆電流を検出してネットワークリレー(10A)が動作し、プロテクタ(8A)を逆電流しゃ断しなければならない。しかし、このときの逆電流は、変圧器(7A)の逆励磁電流と、給電線(5A)の逆充電電流とで微小なものであるため、リレー(10A)の経年劣化などがあれば不動作の場合もあり得る。

この状態で負荷(14)のエレベータモータが再生制動し、プロテクタ(8B)に逆電流が流れても上記条件(2)を満足しないため、すなわち自己のプロテクタ(8B)を通過する電流は逆電流であるが、他のプロテクタ(8A)を通過する電流が正方向でないため、トリップには至らない。

以上のようにこの発明によれば、プロテクタ(8)の不要な逆電流しゃ断が阻止でき、円滑な運用が可能となる。

## 電 気 装 置 の 制 御 方 式 (特許 第788929号)

発 明 者 上 田 敦・石 井 光 明

この発明は、例えば車両等に用いられる複数個の電気装置を時分割方式により多重制御する制御系において、電気装置の断線による故障を迅速に検出し、安全性を向上できる電気装置の制御装置を提供するものである。

図において、電気装置(1A)が停止状態で、他の(1B)～(1D)が駆動状態として説明する。送信器(2)では、基準時限発生回路(3)で発生された基準時限パルス $t_0$ を計数回路(4)が計数し、この計数回路(4)は、制御入力スイッチ(6A)～(6D)と電気装置(1A)～(1D)に対応して時分割された並列コード信号 $b_1$ ～ $b_3$ を発生する。デコーダ(5)は、コード信号 $b_1$ ～ $b_3$ をデコードし、その出力は、各制御スイッチ(6A)～(6D)に対応したコード信号が発生した時に、 $c_1$ ～ $c_4$ に示す出力パルス $t_1$ ～ $t_4$ が制御入力スイッチ(6A)～(6D)に対応する。制御信号発生回路(7)は制御入力スイッチ(6A)～(6D)の状態に応じてデコーダ出力パルス $t_1$ ～ $t_4$ の発生する時刻に対応して制御信号送信線(9)にパルスを送出するので、制御入力スイッチ(6B)～(6D)のみが駆動されている状態では、dで示す制御信号パルスを発生する。次に、受信器(10B)で説明すると、デコーダ(11B)は、電気装置(1B)に対応したコード信号が発生した時に出力パルス $t_2$ を発生する。AND回路(12B)はデコーダ(11B)と制御信号送信線(9)からの信号で動作し、デコーダ(11B)に出力パルス $t_2$ が発生した時間内において制御信号送信線(9)に制御信号パルスが存在するか否かを検出するので、AND回路(12B)はeに示すパルスを発生し、駆動信号発生回路(13B)が動作して駆動信号fを発生する。この信号fは更に駆動回路(15B)に与えられて電気装置(1B)を駆動する。一方、チェックパルス発生回路(14B)は、デコーダ出力パルス $t_2$ が発生した瞬間にgに示すチェックパルス $t_5$ を発生する。駆動回路(15B)では、NOT回路(21)とAND回路(22)でトランジスタ(25)がhで示すように制御され、電気装置(1B)の駆動電流はパルス $t_5$ が発生する時間だけ断れる。チェック回路(16B)はその時の点pの電位を検出し、電気装置(1B)が断線していなければ、例えば電源装置(1A)のように駆動されていない状態においても電圧が生じるので、それをチェック出力信号iとして出力する。他のチェック系も同様に動作するためチェック信号線(17)には信号jが入力される。断線表示装置(18)はその信号jをデコーダ(5)の出力信号と比較して各電気装置(1A)～(1D)に対応したチェックパルスの有無を検出し、チェック信号パルスが存在しない時に断線の表示をおこなう。

この発明は、電気装置が駆動されている状態であっても、駆動されていない状態であっても、たえず電気装置の断線をチェックしているので、電気装置の断線を迅速に検出でき、安全運転に絶大な効果をもたらすものである。

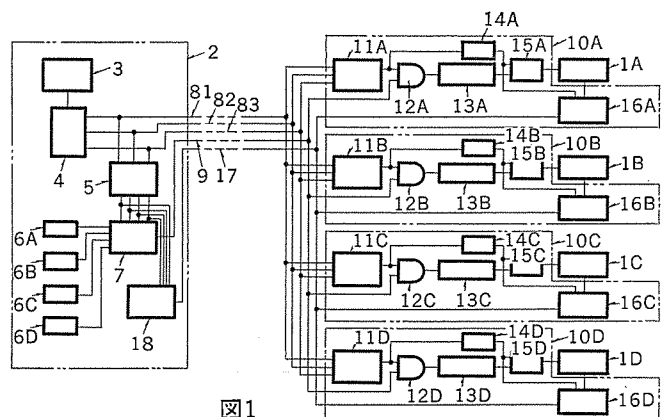


図1

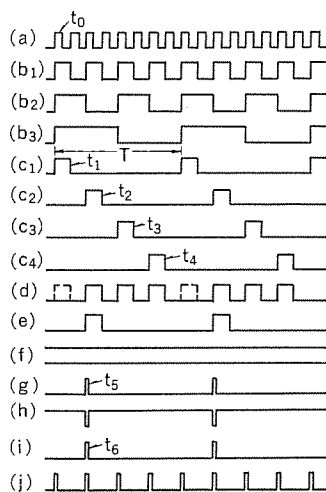


図2

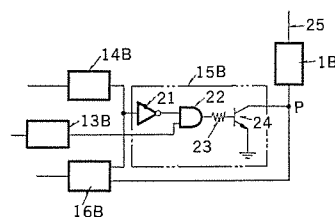


図3

# 加工用大出力炭酸ガスレーザー

永井昭夫\*・永井治彦\*\*・森 一平\*\*\*・丸山正彦\*\*\*・高木 茂\*\*\*

## 1. ま え が き

CO<sub>2</sub> レーザは、他のガスレーザーや固体レーザーと比べて効率がが高く大出力を発生できる特長がある。また、波長は 10.6 μm の遠赤外域にあり大気中の減衰が小さく、指向性も良いのでエネルギーの伝搬、輸送、集束に適しており、プラスチック、ガラス、木材、ゴム、金属などの切断、及び金属材料の溶接、表面熱処理などの加工へ適用され始めている。

これまで我が国には出力 500 W 以下の CO<sub>2</sub> レーザしかなく、金属材料のような表面での反射が大きい材料の加工にはエネルギーが不足であり、工業用として使用できる 1 kW 以上の大出力 CO<sub>2</sub> レーザの出現が待たれていた。生産工程で使用される加工用の CO<sub>2</sub> レーザには、小形で大出力、高い信頼性、高効率、良好な操作性、長寿命などの要求があり、これらの点を改善することにより生産現場への導入がさらに容易になる。

米国ではすでに 10~15 kW での加工基礎データが報告されているが、必ずしも上述の加工用レーザーとしての必要事項を満足しているとは言えず、実用機として改善されるべき余地が多い。

当社は、これらの要求に応ずべく従来のガラス管形とは全く異なる高ガス圧力、ガス封じ切り方式の 1.5 kW の加工用 CO<sub>2</sub> レーザを開発製品化した。ここにその概要を紹介する。

## 2. CO<sub>2</sub> レーザの原理

CO<sub>2</sub> は直線上の 3 原子分子である。振動に関して 3 つの自由度があり、3 種の基本モード、すなわち対称伸縮振動モード (ν<sub>1</sub> モード)、屈曲振動モード (ν<sub>2</sub> モード)、非対称伸縮振動モード (ν<sub>3</sub> モード) を持つ。これらの振動モードに対応した CO<sub>2</sub> レーザの振動エネルギー準位を図 1. に示す。

これらの振動準位はさらに微細な回転準位に分かれており、大出力 CO<sub>2</sub> レーザは (0 0<sup>0</sup> 1) — (1 0<sup>0</sup> 0) 間の多数の振動回転遷移のうち、通常波長 10.6 μm の遷移で発振されている。

基底準位の CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> は放電プラズマ中の電子との衝突により、上

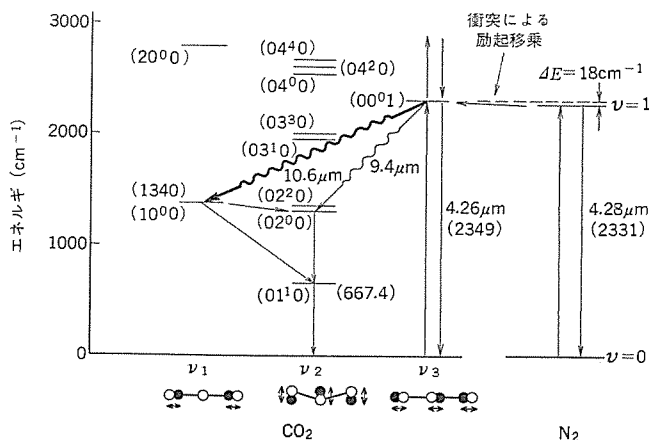
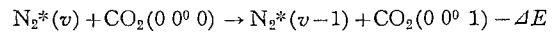
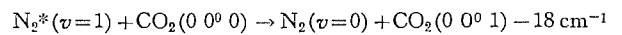


図 1. CO<sub>2</sub> レーザの振動エネルギー準位

位の振動準位へ励起されるが、レーザー遷移の上位準位 (0 0<sup>0</sup> 1) への励起は、次式に示すように基底準位の CO<sub>2</sub> と励起された N<sub>2</sub> との衝突によるエネルギー移乗に負うところが支配的である。



これは、N<sub>2</sub> の v=1 振動準位がレーザー遷移の上位準位 (0 0<sup>0</sup> 1) に近接したエネルギーを持ち、かつ寿命の長い準安定準位であること、更に、CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> とともに振動準位がほぼ等間隔で配列されていることによる。このような励起にふさわしい電子エネルギー分布を持つ放電形態には、グロー放電が最適である<sup>(1)</sup>。

CO<sub>2</sub> レーザ放電の混合ガスには、CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> の外に多量の He、及び少量の CO が含まれている。レーザー遷移の下位準位 (1 0<sup>0</sup> 0) には、上位準位 (0 0<sup>0</sup> 1) から誘導放出を経て滞留する分子が存在するが、これらの分子は (0 1<sup>1</sup> 0) 準位を経て基底準位へ緩和される。しかし、(0 1<sup>1</sup> 0) 準位は低いエネルギー準位であるので、ガスの温度が上昇すると基底準位の CO<sub>2</sub> が容易に (0 1<sup>1</sup> 0) 準位に励起され、下位準位の CO<sub>2</sub> の緩和を妨げる。この (0 1<sup>1</sup> 0) 準位にある CO<sub>2</sub> の緩和に He は極めて有効であり、またこの準位への熱励起を防止するため、ガスの高速循環が行われ、送風機と熱交換器が必要となる。

図 2. に示すように、一方が全反射鏡、他方が部分反射鏡から成る構成の共振器の場合、レーザー出力 P は次に示す近似式で表される<sup>(2)</sup>。

$$P = 0.5 t_1 I_s A (a_2 \sqrt{1 - a_1 - t_1} + a_1 + t_1)^{-1} \{ 2 g_0 l + \ln[1 - (a_1 + a_2) - t_1] \}.$$

ただし、a<sub>1</sub>, a<sub>2</sub> はそれぞれ部分反射鏡、全反射鏡に起因した共振器損失、t<sub>1</sub> は部分反射鏡の透過率、I<sub>s</sub> は飽和パラメータ、A はビームの断面積、g<sub>0</sub> は不飽和利得、l は有効放電長である。上式から分かるように、P は I<sub>s</sub>, A に比例し、g<sub>0</sub>, l にほぼ比例するため大出力化を図るためには、飽和パラメータ、放電断面積、不飽和利得、放電長のいずれか、又はその幾つかを増大させることが必要である。内外の放電励起形大出力 CO<sub>2</sub> レーザはいずれもこれらの方法に基づいて大出力化を図っている<sup>(3)</sup>が、この論文の高ガス圧力レーザーは I<sub>s</sub> を増大させた代表例である。飽和パラメータ I<sub>s</sub> はほぼガス圧力の 2 乗に比例し、不飽和利得 g<sub>0</sub> はガス圧力にほぼ反比例するため、レーザー出力 P はほぼガス圧力に比例して増大する。また、ガス圧力が増大す

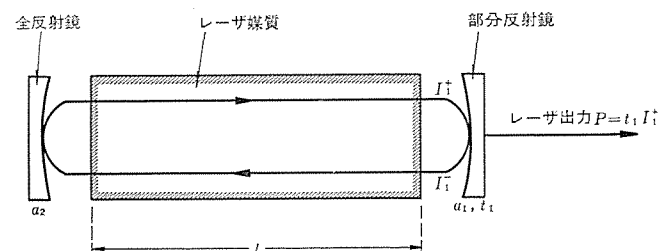


図 2. レーザ共振器の構成

ると放電部の質量流量が増すのでガスの温度上昇が低く抑えられ、低ガス流速用の小形送風機の使用が可能になる。このように高ガス圧力はレーザ装置の小形・大出力化に適している。

### 3. 特 長

レーザの大出力化を図るには、2章で述べたように放電長、放電断面積、不飽和利得、飽和パラメータを増大させる方法がある。

従来のガラス管形レーザでは、20～40 torr と低いガス圧力で放電励起させており、1 kW の出力を得るのに放電長を 15 m 以上にする必要があった<sup>(4)</sup>。放電長を長くすることは発振器の小形化に反するだけでなく、共振器の精度のよいアライメントがむずかしいなどの問題点が多い。

2章で説明したように、レーザ出力はガス圧力にほぼ比例して増大するので、ガス圧力を高くすることは同一放電空間の体積でもより大きなレーザ出力を取り出すことができ、発振器の小形化が可能となる。更に高ガス圧力はガス封じ切りに適している、分子のスペクトル線の幅が広がり<sup>(5)</sup>共振器長の変化に対しても出力変動が少ないなどの特長がある。しかし圧力を高くすると、グロー放電の安定維持が困難になる、出力取り出し用部分反射鏡が損傷されやすいなどの難点がある。

当社のレーザは、高ガス圧化のこれらの難点をレーザビーム、放電、ガス流の3方向が互いに直交した構成とし、電極の形状、材質、配置及び部分反射鏡の冷却法などに特別の工夫をこらして解決した約 200 torr のガス圧で安定に動作できるガス循環形レーザであり、次のような特長を有している。

- (1) 共振器長は 2 m と短く、スペクトル線の幅が広い高ガス圧を使用しているので、温度変化などに対して出力変動が少ない。
- (2) 共振器は全反射鏡と部分反射鏡各 1 枚のみの簡単な構造で、発振器の調整が簡単である。
- (3) ガスは封じ切りで使用でき(約 100 h) 運転中に常時補給する必要がない。
- (4) 出力フィードバック機能が設けられており、長時間にわたりドリフトのない安定な出力が得られる。
- (5) 出力の低周波パルス制御が可能である。
- (6) ガス自動交換シーケンスやレーザ光軸確認用可視光レーザが組込まれており、操作が容易である。

### 4. 構造及び仕様

CO<sub>2</sub>レーザはレーザ発振器、ガス交換装置、冷却装置、及び電源で構成する。図 3. に外観を、図 4. にブロック図を、表 1. に仕様を示す。

#### 4. 1 レーザ発振器

図 5. にレーザ発振器の構造を示す。発振器内部には陽極板と、それに対向した多数の陰極ピンを光軸方向に配列し、それぞれ安定化抵抗に接続している。陰極ピンと陽極板の間には混合ガス(He : N<sub>2</sub> : CO<sub>2</sub> : CO = 32 : 6 : 2 : 1) が 30 m/s の速さで流されている。この状態で直流高電圧を陽極板と陰極ピンの間に加えグロー放電を発生させると CO<sub>2</sub> が上位準位に励起され光増幅作用を持つようになる。この増幅率すなわち不飽和利得  $g_0$  の測定結果を図 6. に示す。 $g_0$  はガスの流れの方向に分布しており、 $g_0$  が最大となる光軸上に 2 枚の反射鏡を向かい合わせて配置している。この 2 枚の反射鏡はいずれもおう面鏡で、透過形安定共振器を構成しており、一方は全反

表 1. 1.5 kW CO<sub>2</sub> レーザ仕様

項 目	仕 様
定 格 出 力 (W)	CW, 1,500 マルチモード CW, 800 シングルモード
出 力 調 整 範 囲 (W)	200～1,750 (連続可変)
出 力 安 定 度 (%)	±3 (10 時間)
共 振 器 長 (m)	2
共 振 器 構 成	透過形安定共振器
励 起 方 式	DC グロー放電
レ ー ザ 媒 質	180 torr の He, N <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> , CO の 4 種混合ガス
封 じ 切 り 時 間 (h)	100
入 力 電 源 (kVA)	電源 23 (200 V, 3 相) 冷却電力 10 (200 V, 3 相)
冷 却 水	クーリングタワーによる
発振器の大きさ (m)	1.3 H × 0.7 W × 2.1 L

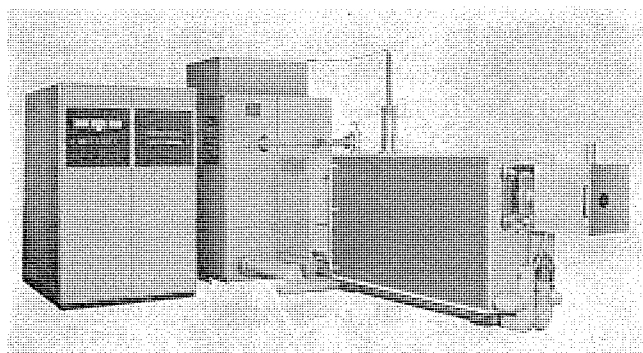


図 3. 1.5 kW CO<sub>2</sub> レーザ

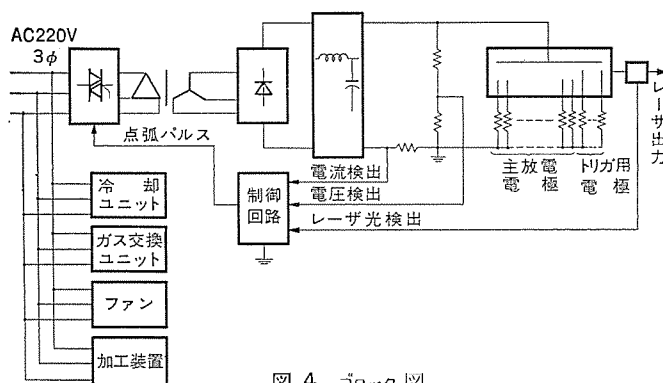


図 4. ブロック図

射鏡、他方は部分反射鏡であり、この部分反射鏡からレーザビームを取り出す。

部分反射鏡はレーザビームを取り出すために、裏面からの水冷ができないので、大出力化の場合、レーザビームの熱による劣化が問題となるが、これを防止するために発振器の内側から冷却ガスを吹きつけて冷却している。

放電部で励起と誘導放出を行った媒質ガスは熱交換器で冷却され再びフィルタを通して放電部に送られる。このガスの循環は、熱交換



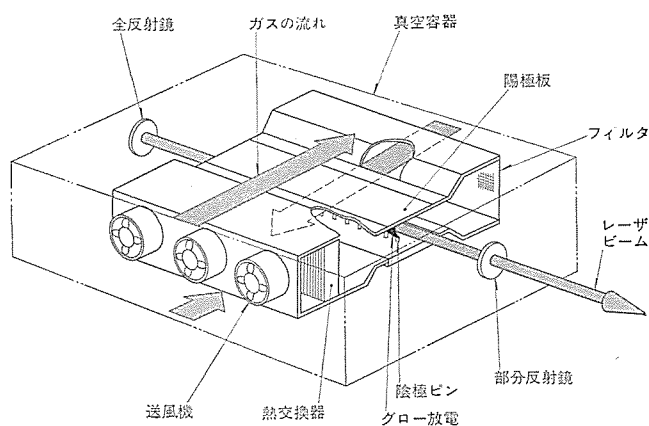
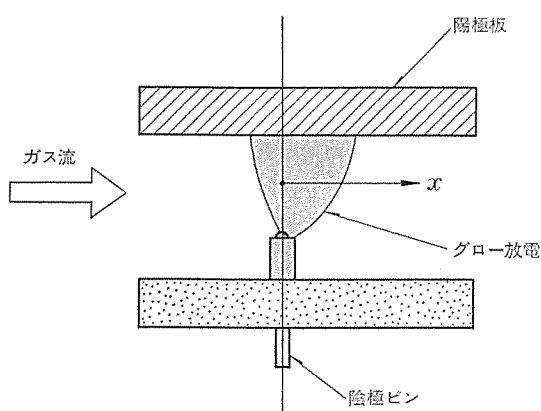
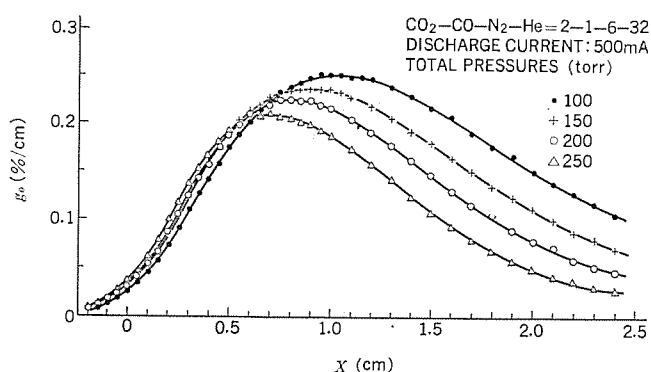


図 5. 発振器の構造



(a) 放電部断面



(b) 不飽和利得空間分布

図 6. 放電部不飽和利得空間分布

器の下流に設置された軸流送風機によって行われる。この構造はフィルタ、放電部、熱交換器、及び軸流送風機を一直線に配置し、これをコンパクトな発振器本体に収納したままで媒質ガスを循環するようにしたので発振器を小形にすることができた。

#### 4.2 ガス交換装置、冷却装置

ガス交換装置は発振器のガスを交換する装置で、古くなったガスを排出し内部を真空にする真空ポンプと、新しいガスを供給する自動ガス供給装置とからなり、押しボタン操作でガスを交換することができる。ガスは混合ガスを1本のボンベが充てん(填)して交換時の操作を簡単にした。

冷却装置は発振器内の熱交換器を冷却するもので、熱交換器に $-5^{\circ}\text{C}$ の冷媒を循環させる。この冷媒はエチレングリコールを主体にした不凍液と水の混合物である。

#### 4.3 電源装置及び制御回路

図 4. に電源装置のブロック図を示す。

この電源装置は高電圧の直流電源装置である。制御特性は、電流をフィードバックすることにより出力電流を一定に保つ定電流制御、あるいはレーザ出力をフィードバックすることによりレーザ出力を一定に保つ定出力制御が切換え可能となっている。また、いずれの場合もフィードバック量が設定値に達しない間は、内部設定値に追従する形で定電圧制御が行われる。

電圧・電流の制御は、昇圧トランスの1次側での位相制御により行っている。これはトランスの2次側は高電圧になり制御が極めて困難になるためである。昇圧トランスの出力を整流し、フィルタによってリップル電流が $\pm 1\%$ 以下になるように平滑する。

一方、各陰極にはそれぞれ電流がバランスするように電流安定化抵抗を接続している。またグロー放電の開始を容易にするためのトリガ用電極を少数設けている。

前述の定出力制御はレーザガスの組成あるいは温度、その他種々の要因によるレーザ出力の変動を取り出されたレーザビームの一部を直接フィードバックし、レーザ出力を安定化するためのものである。その結果レーザ出力の変動幅は $\pm 3\%$ 以内となり、この装置の特長である長時間の封じ切りを実現可能にしている。

#### 4.4 安全

レーザビームは高密度エネルギーのため特に安全対策が必要であり、このためレーザビームの発生を示す回転灯、ビーム光路のシャヘイ筒その他各種のインタロックなどで安全を図っている。

### 5. 性能

#### 5.1 効率

出力特性を図 7. に示す。図から分かるように放電エネルギーが光エネルギーに変換されるとき効率は出力1kWのときに約13%となる。なお出力は電流値が約1.2Aまで発生しないが、これは共振器の損失、及び放電空間の光増幅率によって決まるしきい値である。

#### 5.2 出力安定度

このレーザ装置の特長の1つとして出力フィードバック制御があり、この特長のために外には見られない出力安定度が得られている。一般に、安定度をよくする方法はガスの温度、成分、圧力、入力電流などを制御することであるが、当社の場合は出力の一部を検出し、これをフィードバックして制御を行っているため $\pm 3\%$ の安定度が得られている。この出力データを図 8. に示す。

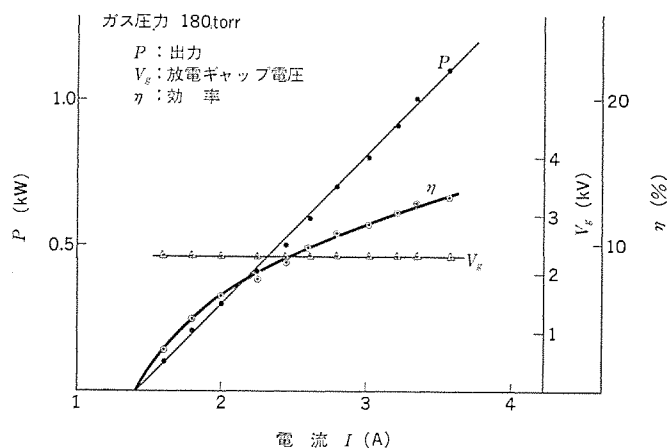


図 7. 出力特性

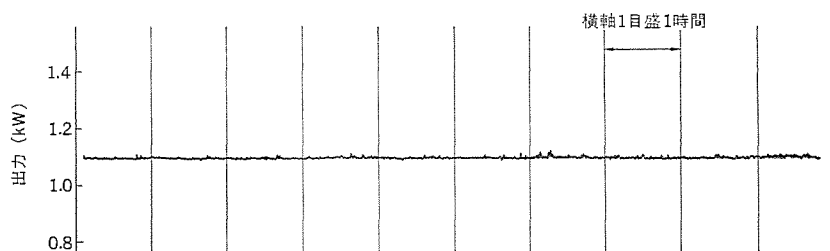
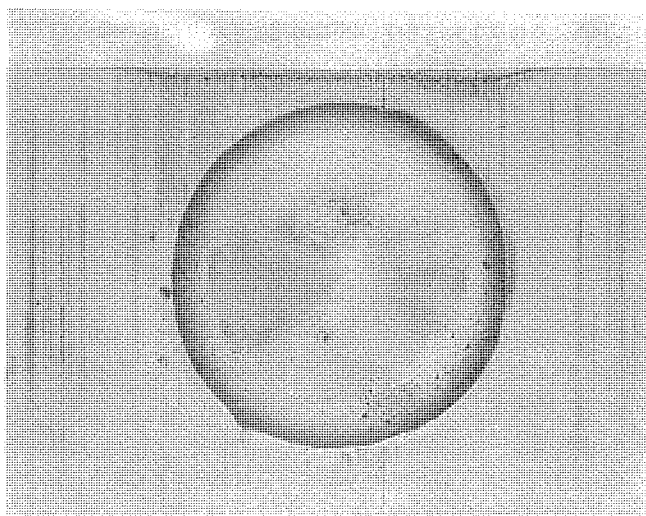
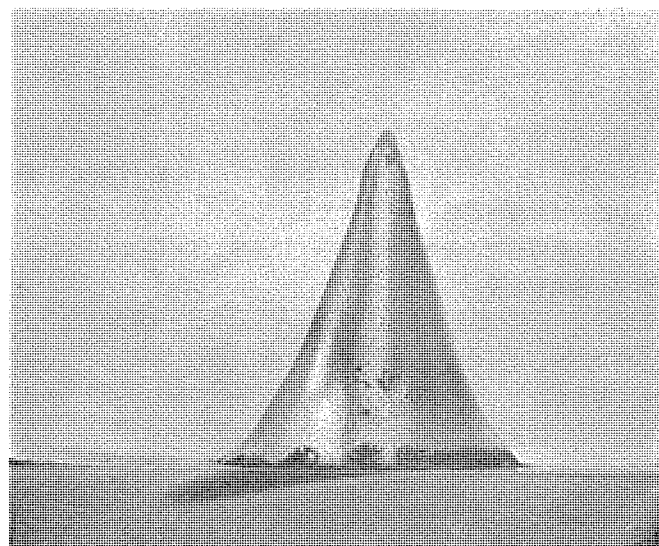


図 8. 出力安定度



照 射 面



側 面

図 9. シングルモード 照射例

### 5.3 シングルモード

断面が円形であるレーザービームをシングルモードと呼び  $TEM_{00}$  の記号で表す。この発振器では共振器内に円形のアパーチャを取付けることによって 800 W までの出力に対してシングルモードを得ることができる。このシングルモードのレーザービームをアクリルに照射したものを図 9. に示す。

## 6. レーザ加工

この章ではレーザー加工の原理、1.5 kW 連続出力で加工可能な範囲、従来の加工法と比較した特長、代表的な実用例などについて説明する。

### 6.1 レーザ加工の原理

レーザー光の広がり角は共振器構成に依存する。すなわち、2枚の反射鏡間隔が長いほど、反射鏡の曲率半径が大きいほど広がり角は小さくなるが、一般に光の回折理論による限界値に近い値となる。広がり角  $\theta$  のレーザー光を焦点距離  $f$  のレンズや反射鏡で集光すると、焦点面でのスポットの直径  $d$  は次式で与えられる。

$$d = \theta f \approx 2.44 (\lambda/D) f$$

例えば、波長  $\lambda = 10.6 \mu\text{m}$ 、ビームの直径  $D = 10 \text{ mm}$ 、 $f = 50 \text{ mm}$  とすると、 $\theta \approx 2.6 \text{ mrad}$ 、 $d \approx 0.13 \text{ mm}$  となり、レーザー出力 1 kW の時、焦点面でのエネルギー密度は  $7.5 \times 10^6 \text{ W/cm}^2$  となる。

連続出力のレーザービームによる主な加工法は、切断、溶接、表面熱処理などである。切断は除去加工であるので、材料を蒸発させるか、あるいは溶融させた状態を  $\text{O}_2$ 、 $\text{N}_2$ 、 $\text{Ar}$  などのガスで吹きとばす加工法である。 $\text{O}_2$  の場合燃焼熱が加わるので切断能力が著しく向上する。溶接は溶接部の温度を溶融点まで上げ、沸点までは達しないように注意しなければならない。しかし深溶けこみの場合、せん(穿)孔内の蒸気圧により溶けこみが進行するといわれている。表面熱処理では、焼入れの場合は表面温度を溶融点以下に抑えねばならないが、合金層形成の際は表層部を溶融させる必要がある。いずれの場合も、表面でのエネルギー密度、材料の吸収率が重要な要素となる。

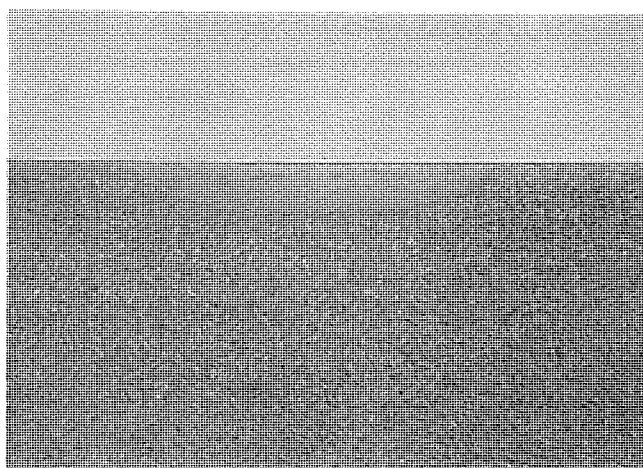
### 6.2 切 断

アクリル、ゴム、セラミックなどの大部分の非金属材料は、 $10.6 \mu\text{m}$  のレーザー光の吸収率が高く、500 W 以下の小出力でもよく切れる。非接触、

表 2.  $\text{CO}_2$  レーザによる各種材料の加工条件

材 料 名	板 厚 (mm)	加工速度 (mm/min)	加工幅 (mm)	レーザ 出 力 (W)	使 用 ガ ス	参 考 文 献
切	鉄	1.0	3,000	0.1	250	$\text{O}_2$ (6)
		3.0	600	0.2	250	(6)
		5.0	2,000	1,000		
	ステンレス鋼	1.0	1,500	0.1	250	$\text{O}_2$ (6)
		2.0	4,000	0.2	900	"
		6.0	1,300	0.25	2,000	"
	チタン合金	10.0	2,000	1.5	250	$\text{O}_2$ (6)
		40.0	500	3.5	250	" (6)
	チタン板	3.0	4,000	0.25	400	$\text{O}_2$
		18.0	350	0.7	400	$\text{N}_2$ (7)
		18.0	500		500	"
		3.2	1,500		250	$\text{Ar}$ (6)
断		6.0	1,700	0.25	400	
	プラスチック	4.0	4,500	0.25	400	※
	ポリプロピレン	5.5	700	0.5	250	$\text{N}_2$ (6)
	ポリエステルカーペット	10.0	2,600	0.5	250	$\text{N}_2$ (6)
	石英ガラス	1.9	600	0.2	300	(6)
	アルミナセラミック	0.6	2,300		500	
溶	チタン	1.0	5,000		1,500	$\text{Ar}$ (8)
		2.0	2,500		1,500	" (8)
	鉄	0.25	7,000		375	(7)
		0.8	500	1.1	600	$\text{Ar}$
	ステンレス	0.4	760		1,500	$\text{Ar}$
		1.0	380		600	" ※

※ Culham Lab. Data



材 料 : S 55 C 直径 55 mm 長さ 100 mm  
焼入条件 : 650 W 35 cm/min

図 10. レーザ 焼入れ断面

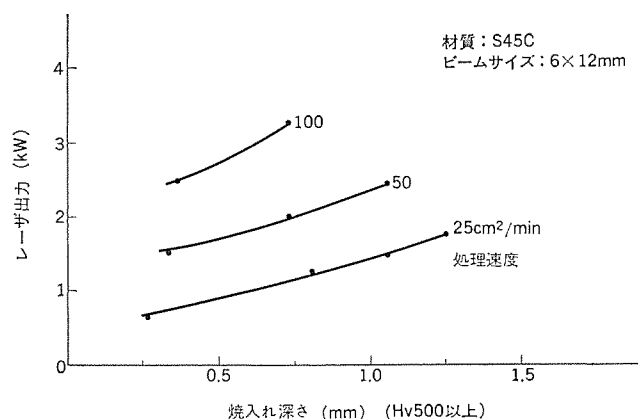
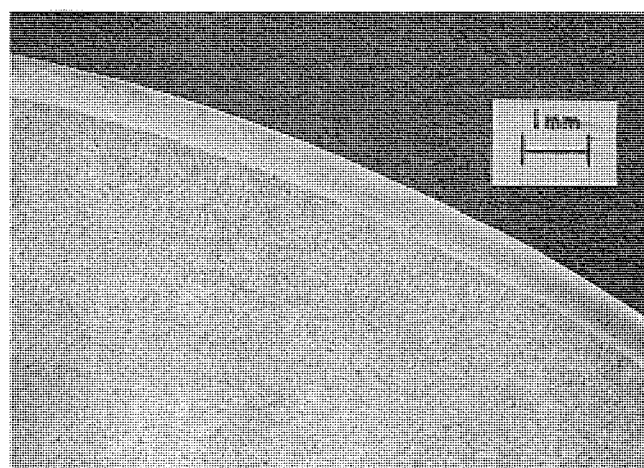


図 11. 焼入れ深さと レーザ 出力の関係

高速度、高精度に加工ができるので、N/C の位置決め装置との組合せで、複雑な形の切断に利用されている。しかしこれらの材料の加工には有害な ガス を発生するものが多く、排 ガス 処理が必要となる。

レーザ 切断の加工条件は、使用する アシストガス 流量、集光されたビーム径、表面からの集光ビーム位置、切断された断面形状などにより変化するが代表的な例を表 2. に示す。なお金、銀、銅、アルミ、黄銅などは反射率が高く、加工対象として適さない。

### 6.3 溶 接

1.5 kW 出力では 1 mm 以下の板厚が対象となる。

制御性が良い、電磁場の影響をうけない、大気中で熱影響の少ない溶接ができるなどの特長があり、薄板の連続溶接、マイクロ 部品の溶接に適用できる。薄板の溶接には板と板のすき間をできるだけ小さくする必要があり、板厚の 15 % 以下にするのが好ましい。

### 6.4 表面熱処理

図 10. に当社のレーザ により、シャフト の円周上に部分焼入れした例を示す。中心軸に平行及び直角な断面を示しており、均一な焼入れ深さが得られている。

図 11. にレーザ による処理能力を示すが、1.5 kW 出力のレーザでは、部品の必要な一部だけをひずみの発生を小さく熱処理したいような対象物に効果がある。レーザ による熱処理は、被加工物への総入熱が少なくひずみの発生が少ない、小さな穴の内面でも反射鏡を使って部分焼入れできる、2 mm 程度の幅の狭い線状の部分焼入れが可能、パッチ 処理に変わって オンライン の生産ができる、セルフクエンチング で水や化学物質を使用しないので作業環境の改善が図られるなどの特長がある。

米国ではこれらの特長を生かして、自動車用の ギヤ ハウジング や シリンダ の部分焼入れに数 10 台のレーザ が稼働している。

## 7. む す び

ユニーク な特長をもつ加工熱源として、大出力 CO<sub>2</sub> レーザ に着目した小形で使いやすく、かつ経済的な CO<sub>2</sub> レーザ の開発は、レーザ 媒質ガス の高圧化、ガス の封じ切り、フィードバック 制御による出力安定化、コンパクト な構造、反射鏡の冷却方法などによって達成された。

最近、航空機、自動車、製鉄、その他の産業でレーザ 加工の利点が注目され、各種の加工への応用が試みられている。

CO<sub>2</sub> レーザ の加工機としての応用は、加工対象と加工技術の研究に大きく依存しており、今後はこれらの分野と連携して他の加工法に比べメリット のある加工 システム として完成させる予定である。

## 参 考 文 献

- (1) 秋葉ほか：レーザ 研究, 4, 30 (昭 51)
- (2) W. Rigrod : Appl. Phys, 34, 2,602 (1963)
- (3) 秋葉ほか：応用物理, 47, 578 (昭 53)
- (4) C. Wick : Manuf. Eng, 1, 36 (1976)
- (5) 清水：応用物理, 45, No. 1, 19 (昭 51)
- (6) H. Herbrich : Int. Symp. JPN Weld. Soc. No. 2, 134 (1975)
- (7) L. I. A : Guide for material processing by Laser 8-25 (1977)
- (8) S. L. Engel : Technical Paper, MR 76-873 (1976)

# 関西電力(株)中央給電指令所納め給電指令台の人間工学的考察及びデザイン

藤田 恒久\*・山口 博章\*・田中 圭介\*・室田 慎\*\*・須山 勉\*\*\*

## 1. ま え が き

中央給電指令所が給電指令業務や系統運用業務を遂行するうえで、給電指令台システムと系統監視盤がマンマシンインタフェースの中心の座を占めることは、現在及び将来にわたって変わることはない。また、中央給電指令所に専用の大形計算機がとり入れられたために、指令員と計算機との対話という新しい局面がマンマシンインタフェースの重要な役割としてもちあがってきた。ライトペン付CRTを群使用する給電指令台システムがそれである。一般の人々になじみの少ない「電力系統運用制御システム」というものを、更に分かりやすくするために「良質の電気を、いつでもお客様にお届けする」という電力会社の重要な使命」というように言いかえて人々に説明し、納得してもらう役割も中央給電指令室が負わされている。給電システムの、ひいては電力会社の「顔」といわれる理由である。一方、人間性を尊重する思想は時代のすう勢であり、今後ますます重要となるが、電力系統運用制御システム、更には、電力会社の企業活動そのものがこの思想にうらづけられたものであることを一般の人々に語りかけるためにも、中央給電指令室を人間優先のデザインポリシーで作りあげる必要がある。

このような背景を考慮して関西電力(株)中央給電指令所給電指令台システムの計画と製作を行ったので、人間工学的考察について概要を報告する。

## 2. 給電指令台の概要

この給電指令台は、関西電力(株)の事業運営上きわめて重要な中央給電指令所の給電指令業務、系統運用業務等、次の業務を円滑に行うためのものである。

- (1) 給電指令電話、一斉指令電話等による給電指令業務
- (2) 自動給電システム(ELD)の運用
- (3) 運転基準値指令制御装置の運用
- (4) 自動交換機を利用する給電情報サービス
- (5) 気象観測装置の運用
- (6) 系統監視盤、各種計器盤の操作

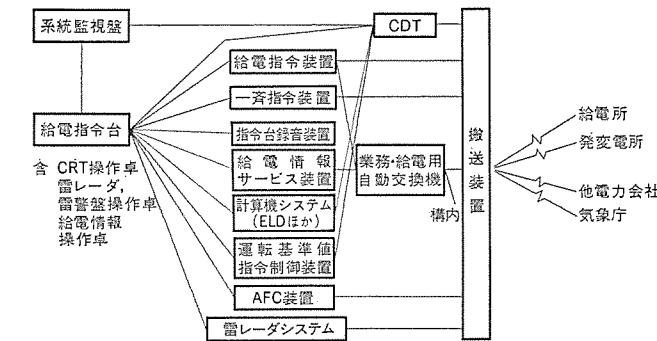


図 1. 給電指令台を中心としたシステム構成

給電指令台を中心としたシステム構成を図 1. に示す。

なお、三菱電機(株)が製作・納入した機器は次のとおりである。

- |                 |     |
|-----------------|-----|
| (1) 給電指令台       | 7 卓 |
| (2) CRT 操作卓     | 5 卓 |
| (3) 雷レーダ、雷警盤操作卓 | 1 卓 |
| (4) 給電情報操作卓     | 1 卓 |
| (5) 給電指令電話制御装置  | 1 式 |
| (6) 一斉指令電話制御装置  | 1 式 |
| (7) 指令台録音装置     | 1 式 |
| (8) 給電情報サービス装置  | 1 式 |
| (9) 雷警盤制御装置     | 1 式 |

## 3. マンマシンインタフェースとしてとらえた給電指令台システム

監視制御システムにたとえ計算機が導入されようと、その中心の座は人間が占めるべきであり、快適な作業性と居住性が保障された「中央給電指令室」としての場を操作に従事する人間に提供すべきである。また、許容される限度内で個性を表現し、監視制御システムとしての独自の「格(キャラクタ)」を語りかけるべきである。この個性の中に落ち着きと格調を感じさせ、しかも疲労の軽減、安全性の向上、作業意欲の向上、情緒の安定等を可能にすべきである。具体的には、系統盤、指令卓、室内デザイン、照明等がデザインのテーマによって統合されるときはじめて可能になる。

このような背景を考慮して、給電指令台システムの計画と製作にあたっては、人間工学とデザインの協調関係が大きな要因になると判断し、以下のアプローチを行った。

### 3.1 デザインフィロソフィー

デザインフィロソフィーとして、次の4項目を掲げた。

- (1) 人間工学の徹底したアプローチを行い、マンマシンインタフェースを最高の状態に維持して運用の効率と信頼性を高め、この結果、制御システムの総合効率を最大にすること。
- (2) 人間工学とデザインの協調関係から「制御の中核」にふさわしい信頼感、精度感をあらわすと同時に、指令員が装置及び環境から物理的、生理的、心理的を問わず、いかなる強制をも受けることなく納得した作業を続けられること。
- (3) 指令室が施設(電力系統)の機能と社会に対する役割とを象徴的に語りかけ、たずさわる人々に対して知的満足感を与える場であること。
- (4) 給電指令台のシステムと室内デザインの総合によって、指令室の格調ある「個性」が表現されていること。

### 3.2 システム設計の段階で検討した項目

ハードウェアの設計を具体化する以前のステージで、マンマシンインタフェースの立場から次の諸点のチェックとみきわめが不可欠の条件となるが、今回は関係者の打合せの場が多く持たれて理想的に進展した。

- (1) 人間の特性と、機械の持つ特性とを十分理解し、それぞれの

能力の限界を超えた使用がなされないよう チェック すること。

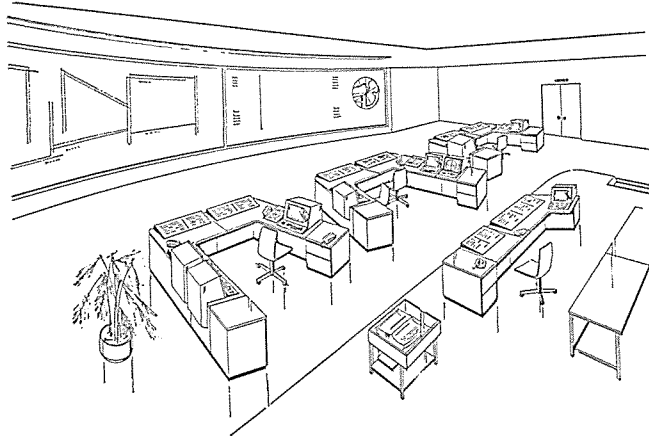
#### (2) システム の機能配分

人間と機械でシステムを構成するにあたり、システム の機能をいかに人間と機械に割りつけるか。これは自動化技術の投入の適否を判断する段階で特に重要である。

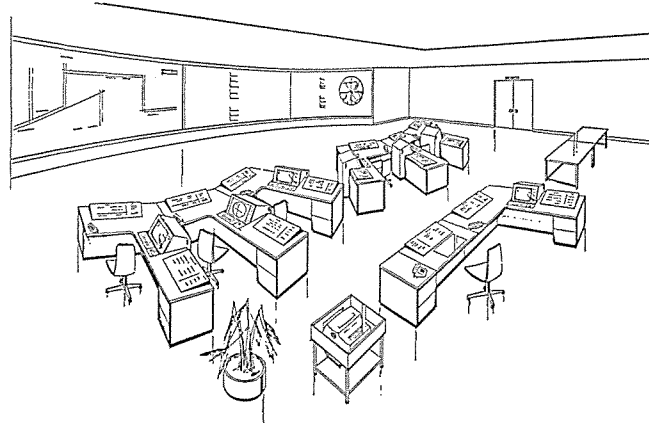
#### (3) 人間の受けもつ情報に対する感覚器官の選択

情報の処理加工にあたって、人間の受持ちとなる部分については、人間の受入れ体制、すなわち、作業の競合状態、視覚、聴覚の受入れ余裕等を考え、好ましい情報の伝達方法、適合した表示機器の採用を考えねばならない。

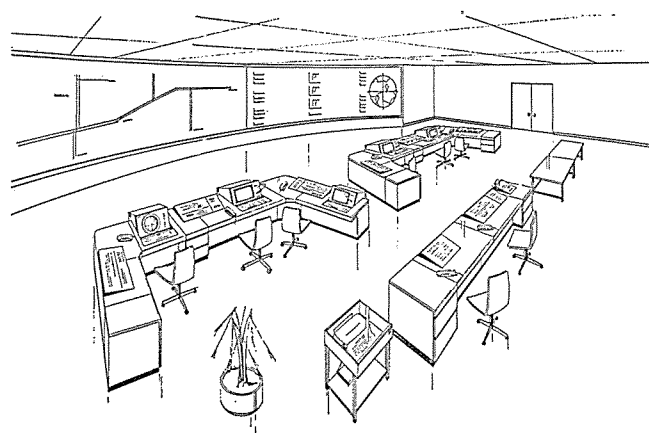
(4) 操作する指令員の数、勤務の体制、その職能、管理の体制は適切かどうか。



(a) デュエット形 (ロイヤルボックス 形)



(b) ソロ形



(c) トリオ形

図 2. アイデアスケッチ による イメージ の発展

(5) 操作機器と監視機器との関連や、操作の方法と監視の方法に一貫した考え方がなされているか。

#### 4. 指令台システムの新しい方式の模索

中央給電指令台 システム の計画段階で、これまでになかった新しいイメージを模索しようとした。その理由は次のとおりである。

(1) 新しいビル の建築と、計算機との対話による給電システムが誕生しつつあり、これを象徴的に表現する指令室とすること。

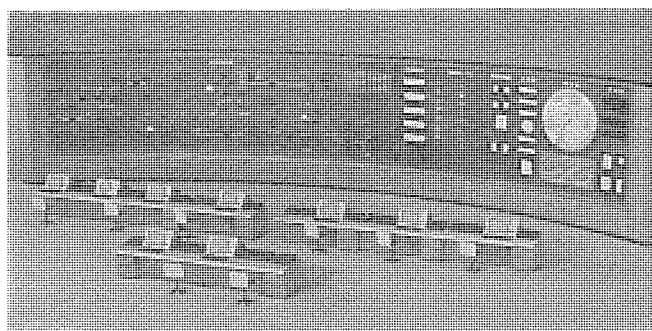
(2) ライトペン操作の 20 インチ CRT と、系統監視盤の同時使用を可能とするため、人間工学上の見地からも従来の指令機のくり返しでは問題点が生じる。

(3) ヨーロッパ での調査資料によれば、機能性と象徴性の両面において、独創的で新鮮なイメージを持つ給電指令室が誕生している。

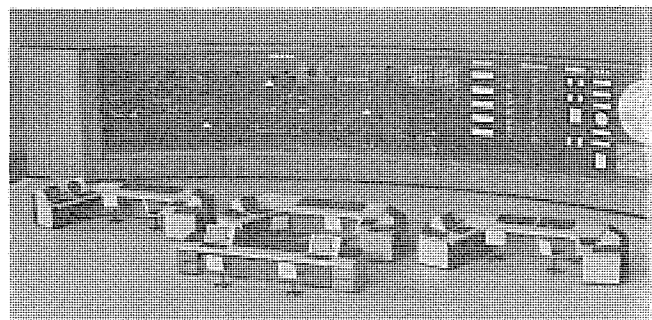
##### 4.1 デザインの方法を用いたアイデアの展開

(1) 計画段階では、比較的自由的な発想をもとに、新しい指令台 システム のアイデア を発展させた。

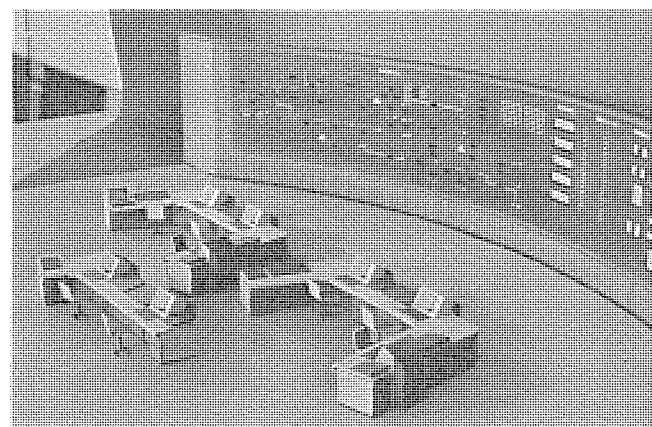
(2) 指令台の配置、形態、色彩等の発想を アイデアスケッチ というデ



案 1 直線配列形



案 2 ロイヤルボックス 形


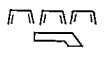



案 3 トリオ 形

図 3. スケールモデル を利用した イメージ の定着



表 1. 新しく計画した指令台 システム の得失

案 1	計 画 の 意 図	人間工学上のチェック	デ ザ イ ン	得 失
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・単純・明快なレイアウトにより精度感・近代感を出す。</li> <li>・操作時の融通性があり、操作者に強制を与えない。</li> <li>・見習者への指導効果が大い。</li> <li>・日本人に好まれる融通性あり。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・CRT卓のH=10とすることで系統盤の視認は可能。</li> <li>・ボタン操作が座位で満たされる。</li> <li>・ライトペンの操作性にやや問題が残る。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・同一パターンの横列による単純・明快さによる統一の美。</li> <li>・ベース色を明るいグレー(5Y 7.5/1)、フレームを暗黄(5Y 3/1)色、アクセント色をブルー(10B 5/8)色として近代感と落着きをめざす。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・引出しは指令卓と補助卓に設けた。</li> <li>・卓の増設にスペース上の限界がある。</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・個室タイプ→責任感を強調。</li> <li>・正面視(グラフィックパネルとの対話)を最優先する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・CRT卓のH=1154とし、側面に配置したのでグラパネの視認は不可であるが、ライトペンの操作性は優れる。</li> <li>・ボタン操作で立位を強制する場合が生ずる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・個室タイプだが、開き角度(各15°)をもたせ自由度を高めた。</li> <li>・コーナ卓にRをもたせた。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・中央卓のベアが需給と超高压にまたがり、情報の交換に問題が生じよう。</li> <li>・増設に際して横方向の増加がおさえられる。</li> <li>・コーナ卓が6コありこれらがデッドスペースとなり得る。</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・コントロール卓からコマンド卓を指向。</li> <li>・運用班ごとのグループ中心卓となる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・CRT卓をH=1060とする。</li> <li>・重要操作部を常に卓正面側に配置し、2次的機能部分は両翼部に配置する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・案1に次ぐ室内のまとまりを示す。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・増設の場合、卓の中央及び卓の両翼がともに可能となる。</li> <li>・コーナ卓が4コとなり、これがデッドスペースとなる。</li> </ul>

ザインの手法を用いて具体的なイメージとし、検討の機会を重ねた。

(3) 代表的なアイデアを図2.に掲げる。

#### 4. 2 スケールモデルを利用したイメージの定着

(1) 1/20, スケールモデルを作成し、指令台システム及び指令室内全体のイメージをさらに発展させた。

(2) イメージを具体的な姿で定着することができて、当時勤務中の中給指令員との検討会を持つことも可能となり、評価の精度が一段と高められた。

(3) 代表的なイメージを図3.に掲げる。

(4) 上述のプレゼンテーション(掲示)手段を用いて行った案のうち代表的なものの得失を検討した。表1.にこれらの計画意図とその得失を掲げる。

(5) 検討を重ねていくうちに、従来の中給指令機のイメージを大きく変更させない方向が優先され、案1に決定した。

#### 5. 人間工学のアプローチによる指令室内及び操作卓のデザインの検討

このシステムの特長は、20インチCRTディスプレイの群使用と同時に系統盤を使用することである。また、前章のように指令台システムの室内イメージは既に決定しているが、これによるとCRTが系統監視盤の視認を妨害する位置関係にあると言

わざるを得ない。これを人間工学的に解決する必要があった。

##### 5.1 生体計測値によるアプローチ

(1) 日本人成人男子の身体計測値の50パーセンタイル値をもとにして装置類の相互干渉と視野の妨害を生じないハードウェアの設計を行った。

(2) 通常の作業は座位姿勢で、緊急時の立位姿勢にも満足する寸法とするため、卓面の高さを700mmとした。

(3) CRT球面の傾斜は、正常視線に垂直で、かつライトペン操作が容易に行えること。CRTの全面が、操作者の最大作業域内に位置すること。また、天井照明光線がCRTの球面で反射しない位置関係にあること。

(4) 系統盤は、マンマシンインタフェースのうえからは操作卓のあらゆる

る位置からその全体が視認できることが望ましい。特に系統盤の下面がみえかくれする位置関係は極力避けねばならない。

(5) 以上の条件を満足するCRT卓とするため各種のシミュレーションを試みた結果、卓の前縁とCRT下端の距離を450mm以下とすること。CRT球面の傾斜角度は、15°、20°、30°の可変量とすること。以上の結論を得た。

(6) これらの結論と同時に

に、後述するデザイン上の諸要求とを総合して検討を加えた結果、CRT操作卓図4., 指令卓図5.を設計した。

(7) 指令台の人間工学的最終チェックを行うために、現寸模型を製作し、当時勤務中の中給指令員を含めて、操作性、デザイン等の最終確認を行い、貴重なデータを収集できた。この結果を反映させた最終的方法を与えて設計を完了した。この現寸模型を図6.に掲げる。

##### 5.2 視覚作業域及び視方向を中心とする計測値によるアプローチ

(1) 通常時の操作位置において、系統盤の全域近くが指令員の視覚作業域内(左右に60°, 合計120°)にあることが望ましい。また、系統盤の主要部分が標準視野内(25°の仰角と35°のふ(俯)角から成る60°)にあることが望ましい。

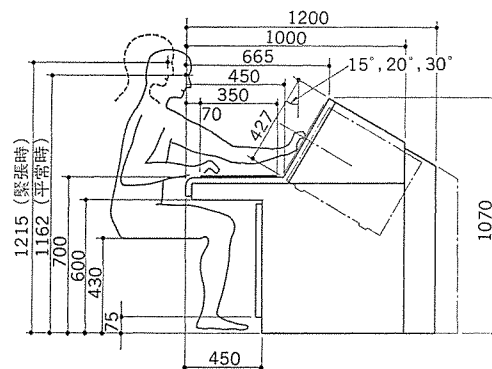


図 4. CRT 操作卓の外形図

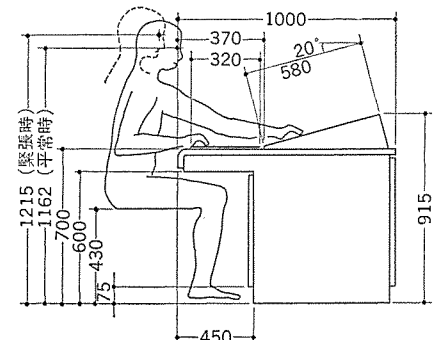


図 5. 指令卓の外形図

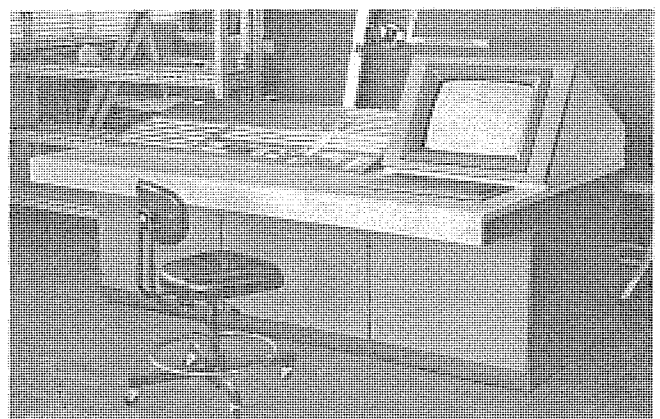


図 6. 検討用の現寸大模型



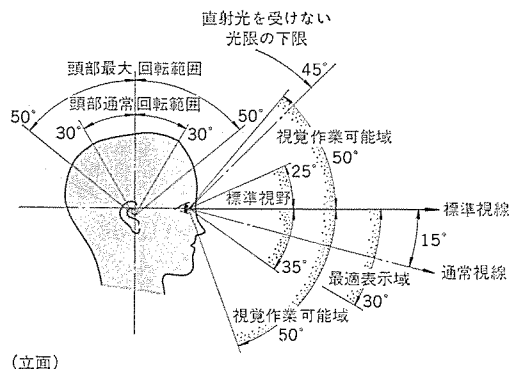
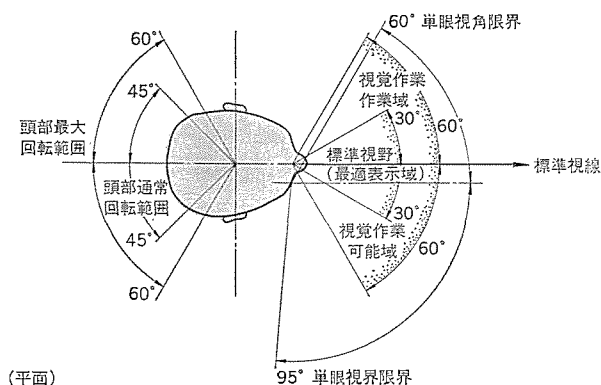


図 7. 視覚作業域

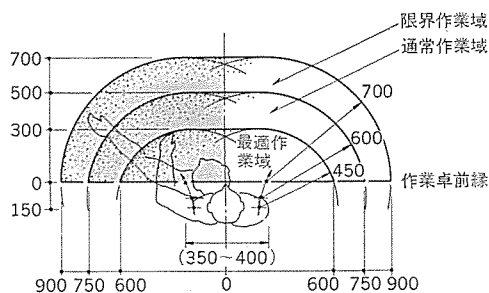


図 8. 作業域の一般的データ

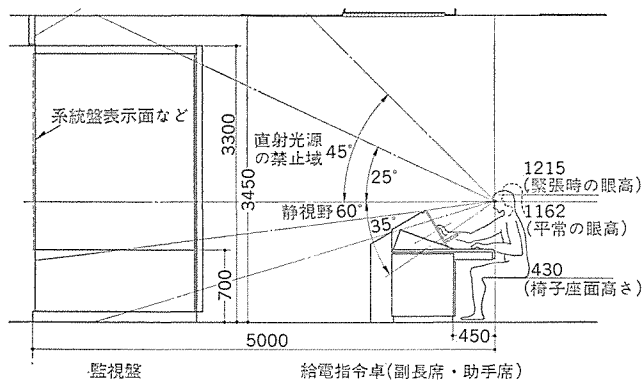


図 9. 機器相互間の人間工学的検討図

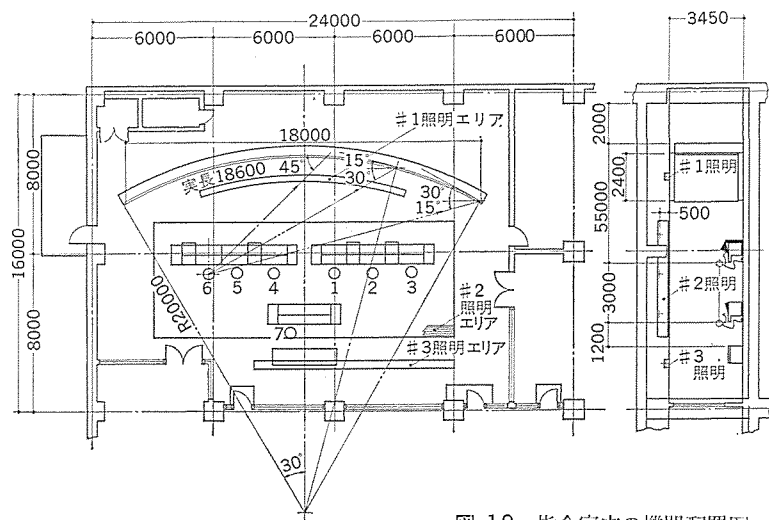


図 10. 指令室内の機器配置図

図 7. に視覚作業域のデータを示す。

(2) 操作員の視線と系統盤の盤面とのなす角(視方角と称す)が 90°~60° の範囲にあることが望ましい。視方角が 45° 以下になると、

系統盤に表示される情報の誤読率が急増する。

(3) 指令卓において、操作ひん度の高い給電指令電話操作パネルを最適作業域近くに配置して、誤操作の極少化を意図した。

作業域の一般的データを図 8. に掲げる。

(4) 視方角を大きくすること、及びデザイン上の要請から、全長 18,600 の系統監視盤その他を、20,000 R の曲率を持つ円弧状配列とした。

(5) 以上の検討で得られた結果から、機器相互間の人間工学的検討図を図 9. 及び、指令室内の機器配置図を図 10. に掲げる内容を実施した。

## 6. 中央指令室の照明条件

このシステムを構成するハードウェアの特長として、CRT の群使用と系統盤の同時使用があげられる。また、CRT の操作性の向上のために球面を 15°~30° の範囲内で後傾させることを検討した。

また照明が単に明るさの提供という機能面だけでなく、指令室のデザインとも大きく関係することも無視できない。

### 6.1 グッドライティングのためのデザインチェック

#### (1) よい照明

よい照明とは、「その場に適した量と質との両面を満足し、環境に調和した設備で、活気性があり、しかも経済的な照明」といえる。

作業本位の場所では特に照明の質についての考慮が必要である。

#### (2) 照明の質

照明の質として取りあげられるものに、まぶしさ・対比・むら・かげ・光の質などがある。指令室などにおける作業本位のよい質の照明を

表 2. に示す。

#### (3) 明るさ

照度は高いほどよいとされているが、明るくなるにしたがって見え方の向上の度合が少なくなり、一方同じ光源の場合、照度と照明費はほぼ比例するので、

照明の重要性などにより所要照度の目安を定めなくてはならない。特に表示ラップ、CRT などの監視対象物は、その

表 2. 作業本位のよい照明の条件

1	作業面に十分な明るさが必要
2	むらのない明るさ
3	まぶしさのないこと
4	かげが適当
5	光源の演色性がよいこと
6	デザインがよいこと
7	落ち着いた心理的效果
8	経済的であること

表 3. 推奨照度の値

指令室の平均照度	800~1,000 lx
系統監視盤の鉛直面照度	500~800 lx

点灯確認を妨げるような計画であってはならない。推奨照度を表 3. に示す。

#### (4) グレア (まぶしさ)

グレアの大小は次の 4 つの要素によって決まる。

- ・周囲が暗いほどグレアは著しい。
- ・輝度 (発光面積あたりの強さ) が高いほどグレアが著しい。
- ・光源が視線の近くにあるほどグレアは著しい。
- ・光源の見かけの大きさや数によっても左右される。

日本人の視野は、左右に約  $100^\circ$  上下に約  $50\sim 70^\circ$  の広がりをもっている。特に視線を中心として  $30^\circ$  の範囲はグレア帯域といわれ、光源などの輝度の高いものがないようにすること、視線からできるだけ遠くにあるよう計画することが推奨されている。望ましい位置関係を図 11. に掲げる。

#### (5) 反 射

監視を主体とする中央給電指令室の場合、設置機器、特に表示ラック、メータ、CRT など、光源が機器表面で反射することは、指令員にとってコントロール機能を低下させる要素となるので特に避けなければならない。

今回の計画では、省電力化かつ環境調和の意味から、従来のルーバ天井方式に代えて、原則的に特殊深形けい光灯  $110\text{ W}\times 2$  を採用し、器具形状に光学的变化 (高低のバリエーション) をつけた。また系統監視盤面に対する照明方式は、器具反射等を防ぐため、特殊斜光ルーバ方式による特別器具の採用を考慮した。

(6) 電力系統の監視制御要員にとって“太陽による時刻”の実感が必要である。したがって系統盤、CRT 等に屋外光線が入射しない配慮をしたうえで自然光を指令室の一部にとり入れた。

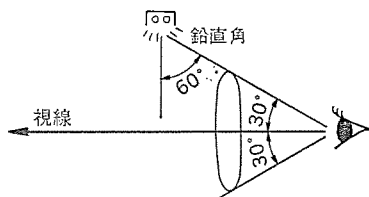


図 11. グレア帯域

## 7. 指令台の色彩

中給指令室でのマンマシンシステムの効率を増加させ、同時に色彩し(嗜)好の高い普通性を持つ色彩として次の 3 色を使用した。その理由を次に述べる。

- ・基調色：シェルグレー (マンセル値 5 Y 7/1)
- ・監視操作部：ビーバーグレー (マンセル値 5 Y 3/1)
- ・アクセントパネル：コンピュータブルー (マンセル値 10 B 5/8)

(1) 監視パネルの暗い盤面に明るい図柄を配置することで、視認性が高められ、指令員の疲労が低下する。

- ・暗い盤面の場合が明るい盤面に比べて視認距離が 10 % 程度増す。
- ・図柄の監視が明順応となり、逆の暗順応よりも応答時間が短くなる。
- ・ランプ (赤・緑・青等) が判読しやすく、低い輝度で作動可能となり、ハレーションが少なくなる。

(2) 多くの人々に好まれる色彩である。

- ・配電盤等の盤面色の歴史的変化は、黒 (～1946) → 寒色 (～1975) → 低彩度の暖色 (～現在～) となり、シェルグレーとビーバーグレーはこの傾向に合致する。
- ・暖色系で色彩調和のとれた中給指令室をデザインできる。これは現在の多くの人々の色彩嗜好にマッチする。

・アクセントパネルは指令台全体の印象を鮮明にし、同時に指令室のイメージ作りに大きな影響を与える。この部分には、情報処理機器などに用いられることの多いブルーを使用した。この結果、指令室らしい近代感とさわやかな緊張感を演出することになった。

(3) CRT 画面と操作パネルの盤面とが統一した印象を与える。

・CRT 操作の重要度は今後も増加するが、色彩そのものと、明暗の調子において、CRT と監視・操作パネルの盤面が統一した印象を与えやすく、制御の機能を高める。

## 8. 最終デザイン

デザインの検討結果、最終の段階でまとめた完成予想図を図 12. に、また完成写真を図 13. に示す。

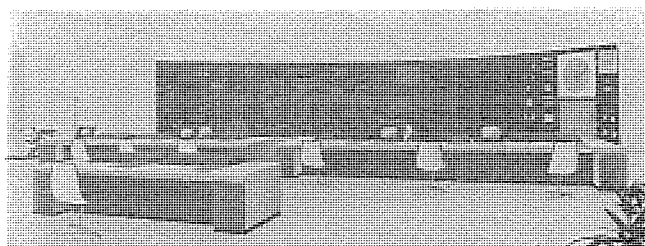


図 12. デザインの最終段階での完成予想図

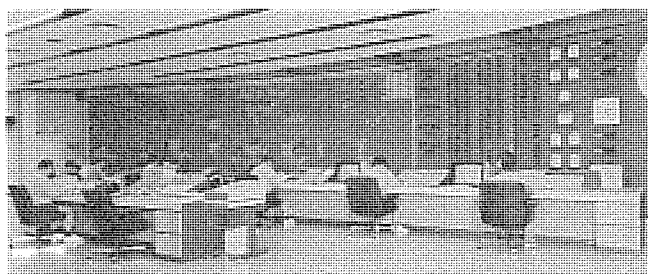


図 13. 中央給電指令所給電指令室

## 9. む す び

以上、中央給電指令室における給電指令台の人間工学的考察についてその概要を述べた。監視制御システムに、たとえば計算機などが導入されようとその中心の座は人間が占めるべきであり、操作に従事する人間の物理的、生理的、心理的に快適な作業性と居住性を保障し、作業意欲の向上、情緒の安定等を可能とする場を提供すべきである。

新しい中央給電指令室により、電力事業の主目的である安定した電力の供給と、合理的かつ効率のよい運営が更に向上することを念じる次第である。

## 参 考 文 献

- (1) 飯田：監視制御デザインマニュアル，三菱電機 (昭 52)
- (2) 近藤ほか訳：人間工学 データブック，コロナ社 (昭 47)
- (3) 飯山，柳川ほか：システム開発と人間工学，鉄道労働科学研究所 (昭 48)
- (4) 和田，今井ほか：心理学ハンドブック (感覚+知覚)，誠心書店，(昭 44)

# 回転ヘッド形PCM方式磁気録音機

坂井 誠\*・石田雅之\*・西 精基\*\*・富川直博\*\*・石田 禎宣\*\*

## 1. ま え が き

近年、オーディオ市場のHiFi化傾向は非常に強くなってきている。これに答える1つの方向として、PCM (Pulse Code Modulation) 録音方式の適用があり、レーザディスクシステムを利用したPCMレーザサウンドプレーヤー<sup>(1)</sup>や磁気記録を用いたPCM磁気録音機<sup>(2)</sup>の導入が検討されている。

現在のアナログ式磁気録音機ではテープとヘッドとの間で生じる伝送時のひずみや雑音、またテープ走行系の回転むらなどによって生じるワウフラッタが、そのまま再生時の音質劣化の原因となる。

そこで、これらのアナログ式録音機の欠点を取り除くものとして以下の特長を持つPCM録音機が注目を浴びている。

- (1) 磁気テープなどの記録媒体のS/N比が伝送帯域のダイナミックレンジに影響しないため、高いS/N比と大きなダイナミックレンジが得られる。
- (2) 広帯域でフラットな周波数特性が得られ、特に直流の記録も可能である。
- (3) クロストークがない。
- (4) テープが重ねて巻かれていることによる磁化の転写がない。
- (5) 時間軸エラーの補正が容易であり、ワウフラッタを除去できる。
- (6) 記録テープのコピーによる信号劣化がない。

しかし、アナログ信号のPCM化によって周波数帯域が広がるため、録音機として広帯域なものがようになる。また、記録密度が高くなるため記録媒体のきずなどによる信号の欠落や誤りの影響が、アナログ式の場合より大きい。広帯域な記録機としてはVTRやマルチトラックのオープンデッキ、ビデオディスクが利用できる。そこで、信号誤りに対する有効な処理方法の開発がPCM録音機の実用化への決め手となる。

今回PCM録音機を試作するにあたり、特に誤り制御方式の検討を十分に行い、従来の民生用PCM録音機では達し得なかった超HiFiな音楽再生を目標とした。VTRを利用した家庭用PCM録音機の製作には、PCM信号処理回路とVTRを一体とした方式<sup>(3)</sup>と分離させたアダプタ方式<sup>(4)</sup>とがあるが、今回は前者の方式につき記述する。

## 2. PCM方式録音機の原理

PCMとはアナログ信号をパルス符号に変換して伝送し、伝送路でのひずみやノイズの影響を受けにくくする信号の変調方式である。

### 2.1 標本化

入力のアナログ信号を一定時間間隔でサンプリングし、それを保持する回路(サンプルホールド回路)によりPAM(Pulse Amplitude Modulation)パルス振幅変調波に変換する。これを標本化と言い、標本化についてはシャノンの標本化定理により次のことが知られている。すなわち、伝送する信号の最高周波数の2倍以上の周波数で標本化すれば、復調時には完全に元のアナログ信号を再現することができる。

### 2.2 量子化

標本化により一定時間ホールドされた信号は、そのホールド時間内にA/D (Analog to Digital Converter) により量子化がなされる。アナログ信号が連続であったのに対して、量子化されたデジタル信号は離散的でありもとのアナログ信号との間に、最小量子化レベル以内のまるめ誤差を生じる。この誤差を量子化ノイズと言い、最小量子化レベルを小さくすれば少なくなる。すなわち、量子化ビット数を増やせば量子化ノイズはいくらでも少なくすることができ、大きなダイナミックレンジが得られる。ダイナミックレンジDと量子化ビット数Nの関係は $D=6 \times N + 1.8$  (dB) で表される。いま必要とするダイナミックレンジを90 dB以上とすると、その時の必要ビット数は15ビットとなる。しかしビット数が増えることは変換器のコストアップにつながり、民生用PCM録音機を対象とした場合にはあまり実用的でないとと言える。そこで、少ないビット数で広いダイナミックレンジを得る手法として、非線形量子化(Non-Linear Quantization)があり、この方法によればローコストで広いダイナミックレンジを得ることが可能となる。オーディオ信号が広いダイナミックレンジを必要とするのに対して、S/N比をそれほど必要としない特長を持っていることから有効な手法であると言える。

### 3. PCM信号の擬似TV信号化<sup>(5)</sup>

PCM録音機としてVTRを利用する場合は、他のTV機器との共用などを考えてその信号形式をNTSC(日米標準テレビ信号方式)の映像信号形式に準拠させるのが有利である。TV信号は、映像信号のほかに垂直同期信号や水平同期信号を含み、その同期信号の周波数は規格で決められている。そのため、PCM信号をTV信号化するためにはサンプリング周波数を自由に選ぶことができず、ある程度の制約を受ける。以上のことや、信号構成の容易さを考え合わせてサンプリング周波数 $f_s$ を次式により決定する。

$$f_s = M \cdot f_H \frac{525 - x}{525} \dots \dots \dots (1)$$

$$= M \cdot f_H \frac{n}{m}$$

$f_s$ : サンプリング周波数

$f_H$ : 水平同期周波数 (15.73426 kHz)

$M$ : 1水平同期区間(1H)のサンプル数 ( $M=3$ )

$x$ : 1フレーム中で信号の記録できないHの数

$m, n$ : 整数

ここで $x$ は、垂直同期信号の区間(V-Blanking)とヘッドの切換え時のスイッチングノイズ(VTRによって垂直同期信号の何H前にあるかは決められている)に対する余裕をみて $x=35$ が適当と思われる。このとき $m, n$ はそれぞれ $m=15, n=14$ となりサンプリング周波数 $f_s$ は

$$f_s = 44.0559 \text{ kHz}$$

と決定される。

## 4. 誤り制御方式

### 4.1 符号の分散配列 (インタリーブ)

VTR を利用する PCM 録音機では、その記録媒体として磁気テープを使用している。磁気テープは、テープのベースに磁粉を塗布するという性質上、磁粉の塗布むらがあつたり塗布面に傷がつきやすい。そのため、磁気テープに記録された信号の欠落 (ドロップアウト) は連続して発生することが多い。この連続した信号の誤りをバーストと呼ぶ。このバースト誤りを分散させる方法としてインタリーブがある。連続した信号をインタリーブによって一定区間離して配列し記録する。再生するときはその分散した信号をデインタリーブによって記録前のデータ配列に復元する。この復元されたときに隣り合った信号が同時に誤る確率は、インタリーブの長さを適当に選ぶことによって十分に低くでき、そのため以下に述べる符号の訂正効率を高くすることができる。

### 4.2 CRC (Cyclic Redundancy Check) 方式

信号の誤り検出の方法として、パリティ方式や CRC 方式がある。ここでは、バースト的な誤りに対して検出能力の高い CRC による検出方式を採用した。

ADC で符号化された入力信号を多項式  $P(x)$  とし、それを CRC 多項式  $G(x)$  で割る。その剰余  $R(x)$  をチェックビットとして入力信号の後に付加して伝送すると、伝送路に誤りがなければ再生された信号多項式  $F(x)$  を  $G(x)$  で割った時の剰余は 0 になる。

この方式によると、用いる CRC 多項式の次数以下のバースト誤りはすべて検出することができ、更にそれ以上のバースト誤りについても極めて高い確率で検出できる。本機では、家庭用 VTR の磁気テープにおける誤り特性を綿密に検討した結果、CRC 多項式は CCITT V.41 を採用した。その生成多項式は次のとおりである。

$$G(x) = x^{16} + x^{12} + x^5 + 1 \quad \dots\dots\dots (2)$$

### 4.3 訂正方式<sup>(6)(7)</sup>

最も簡単な訂正方式に時分割多重による 2 重書き方式がある。この方式によれば、記録されている信号の一方が誤っても他方の信号が正しければ完全に正しく訂正することができる。このとき 2 重書きされた 2 つの信号はインタリーブによって離れて記録されているならば、同時に誤る確率は非常に低い。しかし、この方式では同じ信号を 2 重に記録するために、冗長度が大きくなり伝送ビットレートが高くなる。

そこで本機では、上記の方式よりも伝送ビットレートの低い次の方式を採用した。Lch と Rch の信号からパリティを作り、Lch 又は Rch の誤った信号を、誤っていない他の信号とパリティから復号する。

いま 1 例として、Lch の信号を {1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1}、Rch の信号を {0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0} とすると、パリティ  $P$  は mod 2 の加算により次のようになる。

$$\begin{aligned} \text{方式 A} \quad P &= L \oplus R \quad \text{mod } 2 \quad \dots\dots\dots (3) \\ &= 1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \end{aligned}$$

同じようにパリティを設ける方式として、上記以外に一般に  $n$  個の信号から 1 個のパリティを作り、それを  $n$  個の信号に付加する方式が考えられる。しかし信号が  $1H$  の中で完結するように構成すれば、 $n$  は任意に選ぶことはできない。本機では  $1H$  内のサンプル数を Lch, Rch 各 3 個の 6 サンプルとしているため、 $n$  のとり得る値は  $n=2$ ,  $n=3$ ,  $n=6$  の 3 つに限られる。そこで  $n=3$ ,  $n=6$  とし

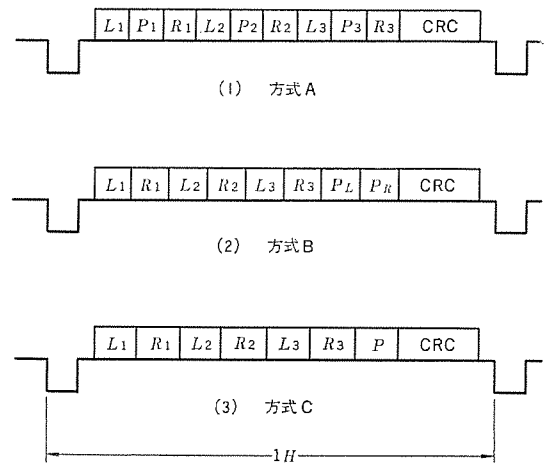


図 1.  $1H$  の符号構成例

た場合の式を以下に示す。

$$\begin{aligned} \text{方式 B} \quad \begin{cases} P_L = L_1 \oplus L_2 \oplus L_3 \\ P_R = R_1 \oplus R_2 \oplus R_3 \end{cases} \quad \text{mod } 2 \quad \dots\dots\dots (4) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{方式 C} \quad P &= L_1 \oplus L_2 \oplus L_3 \oplus \\ &\quad R_1 \oplus R_2 \oplus R_3 \quad \text{mod } 2 \quad \dots\dots\dots (6) \end{aligned}$$

上述した 3 つの方式をそれぞれ A, B, C と呼ぶことにし、各方式の  $1H$  内の信号構成を図 1. に示す。

3 つの方式の特性を比較すると、一定のサンプル誤り率に対する訂正不能の発生確率は方式 A が最小である。しかし、方式 A の冗長度は他方式 B, C に比べて大きく、伝送ビットレートも高くなる。一方、伝送ビットレートとサンプル誤り率は相互関係にあって、記録媒体の伝送帯域ぎりぎりで使用する場合などは帯域の広い方式 A が必ずしも有利とはいえない。そこで、方式 A, B, C のいずれを採用するかは媒体の最高記録周波数と誤り特性とから決定されるべきである。本機では方式 A を採用している。

### 4.4 補正方式

パリティによる訂正方式により、1 サンプルの誤りを訂正することができるが、2 サンプル以上の誤りの発生に対しては補正によらねばならない。その代表的な方法に次のものがある<sup>(8)</sup>。

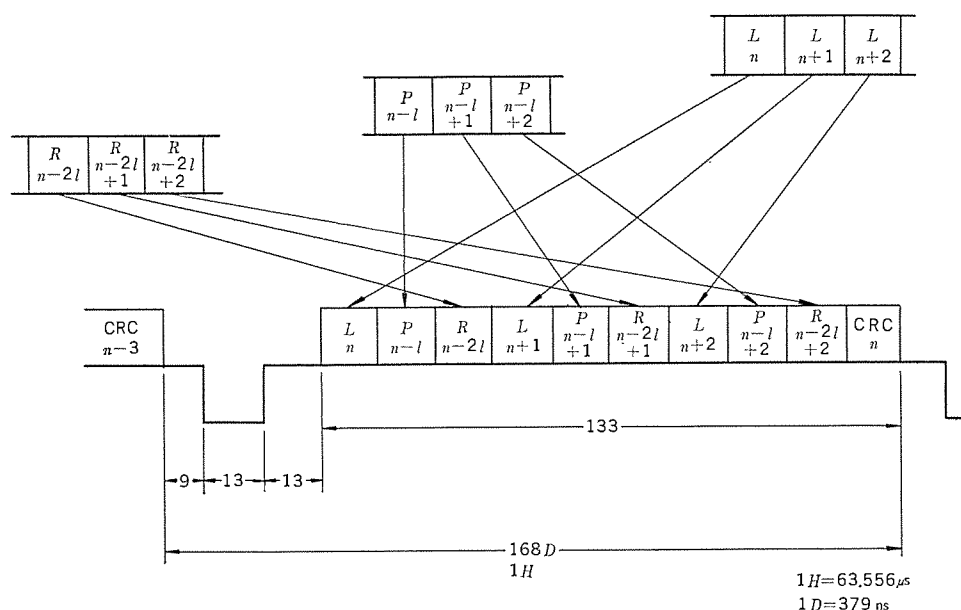
- (1) 信号の誤りが検出されたとき、その前後の信号の平均値をとり、これを誤った信号と置きかえる平均値内そう (挿) 法。
- (2) 誤った信号の前の値を、誤った信号と置きかえる前値保持法。
- (3) 誤った信号を消去する ミューティング 法。

低周波領域では平均値内挿法と前値保持法が、高周波領域ではミューティング法がそれぞれ優れているが、全可聴帯域を補正する方式としては前者が有効である。この場合、平均値内挿法と前値保持法のどちらを採用するかは、コストと性能の対比から決定すればよい。

## 5. 信号の構成

Lch, Rch の各 1 サンプルからパリティ  $P$  を発生させ、パリティ  $P$  及び Rch の信号を Lch の信号に対して、それぞれ  $l$  サンプル、 $2l$  サンプル単純遅延させる。このようにインタリーブされた信号によって構成された 3 サンプル  $\{L_n, P_{n-l}, R_{n-2l}\}$  を 1 ブロックとし、連続した 3 つのブロックに対して 16 ビットの CRC を付加したものを 1 ワードとする。この 1 ワードが  $1H$  のデータとなる。ところでその伝送クロック  $f_c$  は次式を満足しなければならない。

$$f_c = N \cdot f_H \quad \dots\dots\dots (7)$$


$$= \frac{N}{3} \frac{n}{m} f_s \dots\dots\dots (8)$$
 $N:1H$  内の全 デジット 数

1Hのうち水平ブランキング部を16%程度にとり  $f_c$  が低くなる最適組合せは、

 $f_c = 2.643$  MBPS

$N=168$  ヒット

となる。この信号の構成を図 2. に示す。

## 6. 本機の構成

本機の簡単なブロック図を図 3. に示す。

入力された  $Lch$ ,  $Rch$  の信号はローパスフィルタにより 20 kHz 以上を除去される。これは図 4. に示すように、信号周波数がサンプリング周波数  $f_s$  の 1/2 以上になると、 $f_s$  の側帯波が信号帯域内に入り込んでビートを起こすこと（折り返し雑音）を防ぐためである。ローパスフィルタを通った信号は、サンプルホールド回路で PAM 波に変換され、その後アナログスイッチによって  $Lch$  と  $Rch$  が 1 つの信号に合成される。合成された信号は、非線形量子化のためコンパレータによって 1/8 FS より大きい信号は 1/8 に圧縮され、それより小さい信号はそのまま A/D に入力される。この回路のブロック図を図 5. に示

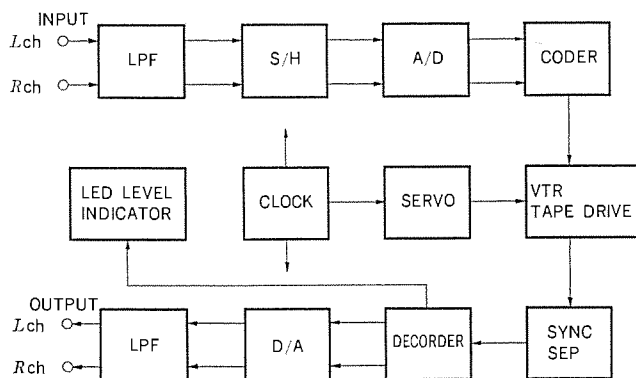


図 3. 本機 ブロック 図

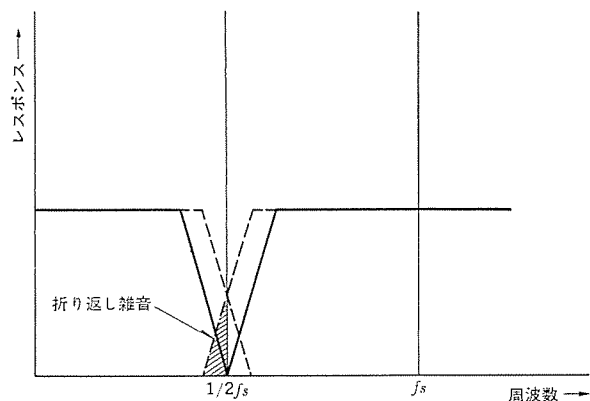


図 4. 折り返し雑音

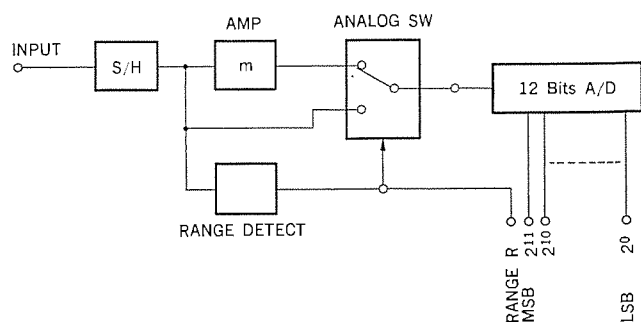


图 5. 压伸回路

す。

A/D によって符号化された信号はメモリに蓄えられる。メモリ回路では垂直同期信号などにより信号の記録できないところがあるため、時間軸圧縮をして記録している。更に、パリティ付加、インタリーブ、CRC 符号付加、同期信号の合成を行った後に VTR 部のビデオ回路により FM 変調が行われて、テープに記録される。

再生系では、テープに記録されている信号を FM 復調してもとの擬似 TV 信号にもどし、PCM 信号と同期信号に分離する。同期信号から PLL (Phase Locked Loop) 回路によって信号の抜取りを行い、再生メモリに蓄える。この再生メモリからの読出しクロックとして、

書き込み時と同じクロックを用いているので記録・再生時のフワフラッ  
タを完全に除去できる。読出された信号は誤り制御回路で、誤りがある  
場合には訂正や補間が行われる。

その後 D/A (Digital to Analog Converter) によって PAM 波にもどされ、更に圧縮されていた部分の伸長が行われる。次に  $L$ ,  $R$  の分離のための サンプルホールド 回路及び補間周波のための ローパスフィルタを通して連続な信号に復元される。再生された信号は アパーチャ 効果 (サンプリングパルスが有限な幅を持っているために、高域において利

得が下がる) に対する補償のためにローパスフィルタの後のアンプで高域ブーストを行っている。

また録音機においては、その録音レベルを設定するために高精度のレベルメータが必要である。本機では応答速度の速い LED ピークメータを採用し、ピークから -60 dB までを 2 dB ステップで表示している。特にピークの表示に対しては、PCM 方式のクリップが一般のアナログ的なクリップに比べて急激であるため、ピークの監視が容易なようにホールド時間を長くしている。

## 7. 性 能

今回開発した PCM 録音機の周波数特性と入力対ひずみ特性を図 6. に定格を表 1. に示す。いずれも従来のアナログ式録音機の特性をはるかに超えるものである。なお、図 7. に本機の外観を示す。

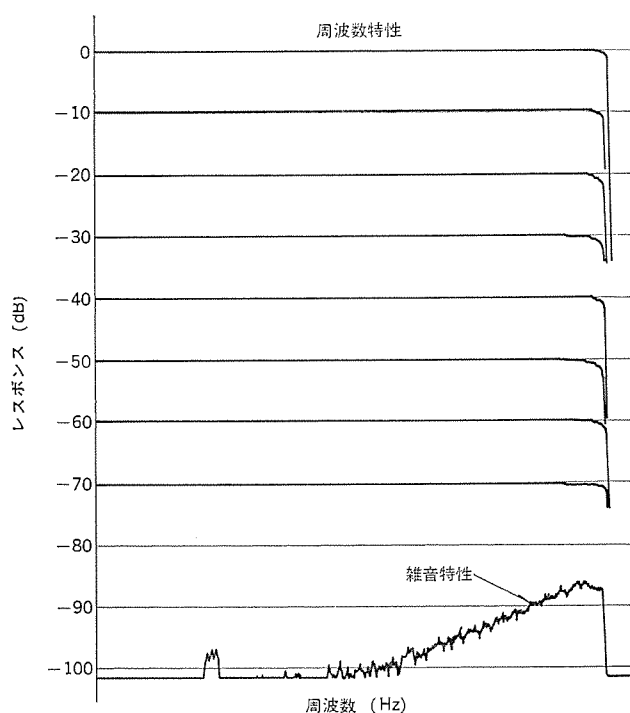


図 6. (a) 周波数特性と雑音特性

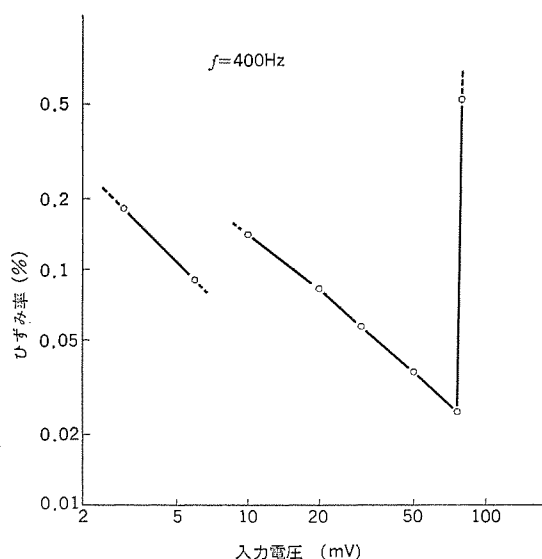


図 6. (b) 入力電圧対ひずみ特性

表 1. 本機の定格

チャンネル数	2 ch (バイアス L 録音用 1 ch)
周波数帯域	20~20 kHz ( $\pm 0.5$ dB)
ダイナミックレンジ	90 dB 以上
ひずみ率	0.04 % 以下
ワウフラッタ	水晶発振精度
サンプリング周波数	44.0559 kHz
符号化	13 ビット 論理正伸
訂正方式	CRC 及びパリティ
信号形式	NTSC 標準 TV 信号

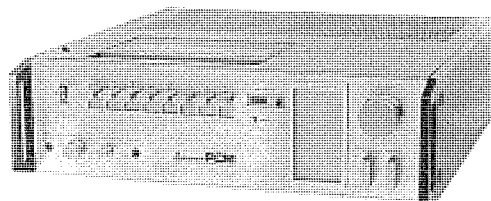


図 7. PCM 方式磁気録音機

## 8. む す び

今回の開発の最大のポイントは誤り訂正方式による PCM 録音機の製作であった。従来の家庭用 PCM 録音機の場合は、誤りを検出し補間などによって誤り補正をしていたものが多い。しかし、これらの補正だけでは信号の劣化を防ぐことはできず、ダビングなどによって更に劣化が進む。しかも高い周波数での補正ノイズは聴感上無視できないものがあつた。

今回の訂正方式による PCM 録音機は、高い訂正能力を持つ方式の採用によって訂正不能な誤り発生は 30 分に数個以下という結果を得ているため、従来の補正方式による PCM 録音機との比較試験でもはっきりと差が出ている。このように訂正方式による家庭用 PCM 録音機の完成によって、デジタルオーディオがより一般的なものになり今後ますます発展するであろう。(昭和 53-8-7 受付)

## 参 考 文 献

- (1) T. Iwasawa, T. Sato, A. Ogawa : Development of The PCM Laser Sound Disc and Player, AES 58 th Conv. M-7 (1977-11)
- (2) K. Tanaka, K. Uetake : A Stereo PCM Tape Deck Employing Stationary Head, AES 57 th Conv. A-3 (1977-5)
- (3) 石田ほか : 回転ヘッド式カセット PCM 録音機の試作, 昭 53 年通信学会全国大会, 70
- (4) 伊賀ほか : 家庭用 VTR に接続する民生用 PCM オーディオユニット, 昭 52 年音響学会論文集 3-2-9
- (5) 土井ほか : PCM 信号を標準映像信号に変換する方式における規格について, 昭 52 年音響学会論文集 3-2-9
- (6) F. Bellis and M. Brookhart : An Error Correcting System for a Multichannel Digital Audio Recorder, 58 th AES Conv. M-2 (1977-11)
- (7) 富川ほか : 家庭用 VTR を利用した PCM 録音機に於ける誤り訂正方式の検討, 昭 53 年 TV 学会全国大会
- (8) 石田ほか : オーディオ PCM 録音機の誤り検出と雑音補正方式, 昭 51 年電気関係学会 S 13-6

# 低雑音及び高出力GaAsFET

三井 茂\*・石井 孝\*\*・大坪陸之\*・中谷正昭\*\*

## 1. ま え が き

マイクロ波機器の全固体化は、昭和40年代にはガンダイオードとインパットダイオードによって進められた。昭和50年代に入るとこれに代わるGaAs FETの開発が急速に展開され、マイクロ波機器能動部のGaAs FET化が着々と進められてきた。

GaAs FETはSiトランジスタやガンダイオード、インパットダイオード等の従来のマイクロ波素子と比べ、極めて低雑音でかつ高効率動作をするほか、入出力分離が容易な素子であり、最終本命のマイクロ波能動素子であると考えられる。

この論文では、当社で開発・製品化を進めてきた図1.に示す低雑音FET、中・高出力FETの特長、諸特性、信頼性について紹介し、ユーザの便に供したい。

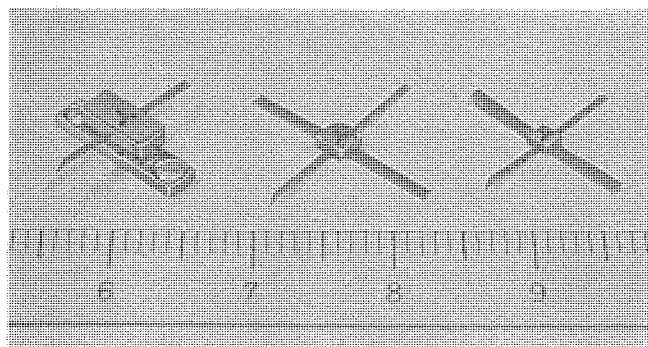


図1. 三菱GaAs FETの概観  
左から高出力FET (MGF-2000シリーズ)、中出力FET (MGF-1800)、低雑音FET (MGF-1400シリーズ)

## 2. 低雑音 GaAs FET (MGF-1400 シリーズ)

### 2.1 構造上的特長

低雑音GaAs FETはマイクロ波帯で低雑音、高利得であるため、低雑音増幅器、小電力増幅器あるいは発振器として幅広い用途を有し、現在最も実用化が進んでいる。

これらの目的に使用されるGaAs FETとして当社ではMGF-1400シリーズ3機種を標準化し、用途に応じて選択、使い分けている。その低雑音化、高利得化のために、設計・製作上、寄生抵抗、寄生容量をできるだけ低減する配慮、すなわち結晶的にはGaAs結晶基板の選定に始まるエピタキシャル結晶のキャリア密度と分布の最適化、構造的にはソース抵抗、ゲート抵抗、寄生容量低減のための素子構造、パッケージ構造の最適化を図っている。

特にゲート長のサブミクロン化はFETの高性能化に必ず(須)のアプローチであるが<sup>(1)</sup>、従来サブミクロンゲートを歩留りよく、かつ再現性よく形成することは相当困難で、素子は高価にならざるを得なかった。これを克服するために当社では1μゲート用マスクでサブミクロンゲートを形成する技術、及びゲート金属を厚く形成する技術の双方を同時

に矛盾なく満足させる独自の素子技術を開発した<sup>(2)</sup>。

この結果、低雑音、高利得のGaAs FET、MGF-1400-2が歩留りよく生産でき、安価にユーザへ供給できるようになった。

### 2.2 動作特性

表1.にMGF-1400シリーズの代表的電気的特性を示す。図2.、図3.にMGF-1400-2の代表的なSパラメータとRF性能指数の周波数特性を示す。図4.は最小雑音指数及びその時の付随利得の周波数依存性を示したものである。低雑音の要請の強い通信帯域での受信機には、MGF-1400-2を用いることによって4GHz帯で1dB、7GHz帯で1.7dBの最小雑音指数がおおの付随利得13dB、11dBで得ることができる。

図5.はMGF-1400-1を用いた増幅電力特性の1例を示したものである。ドレイン飽和電流 $I_{DSS}$ が40mA以上の素子では、8GHzでの1dB利得圧縮点出力 $P_{1dB}$ 30mW以上が小信号線形利得 $G_2$ (~MAG)12dBで再現性よく得られ、小電力増幅用途に適していることが分かる。

### 2.3 特性ドリフトの防止

低雑音GaAs FETは雑音整合条件、すなわちドレイン電流が10~15mA程度の厳しい条件の下で使用される場合が多い。このような場合いわゆるドリフトと呼ばれる長時間に渡る直流特性、高周波特性

表1. MGF-1400シリーズの8GHzにおける代表的な電気的特性

パラメータ	記号	代 表 値			単位	条 件	参 照
		MGF-1400	MGF-1400-1	MGF-1400-2			
ドレイン飽和電流	$I_{DSS}$	50			mA	$V_{DS}=3V$ $V_{GS}=0V$	
ピンチオフ電圧	$V_P$	3.0			V	$V_{DS}=3V$ $I_{DS}=10\mu A$	
相互コンダクタンス	$g_m$	30			ms	$V_{DS}=3V$ $I_{DS}=30mA$	
最小雑音指数	NF	3.0	2.5	2.0	dB	$V_{DS}=3V$ $I_{DS}=15mA Typ$ $f=8GHz$	図2.
付 随 利 得	$G_a$	7	8	9	dB	$V_{DS}=3V$ $at(NF)_{min}$ $f=8GHz$	
最大有能電力利得	MAG	11	12	13	dB	$V_{DS}=3V$ $I_{DS}=30mA$ $f=8GHz$	図3.
最大発振周波数	$f_{max}$	50	50	70	GHz	$V_{DS}=3V$ $I_{DS}=30mA$	

\* 本社(工博) \*\* 本社



の緩やかな変化があり<sup>(3)</sup>、実用機器では大きな問題となる。  
 ドリフトの原因としては従来 (1) GaAs 結晶中の深いトラップによ

る説<sup>(4)</sup>と、(2) 表面現象による説<sup>(3)</sup>があって結論を得ていないが、  
 ドリフトがゲートバイアス条件に強く依存することから、ゲート直下及び  
 その近傍の結晶表面状態が支配的であるとの推論を得た。  
 この結果に基づき GaAs 結晶の表面に適当な表面処理を施し、ゲート  
 を安定化することによって当社 GaAs FET では  
 図 6. の例に示すように、ドリフトを完全に駆逐することに  
 成功した<sup>(5)</sup>。

### 3. 中出力 GaAs FET (MGF-1800)

出力 100~200 mW 程度の中出力 FET は、低雑音 FET と  
 高出力 FET とをつなぐ素子として、また小・中出力発振  
 器構成用素子として広く用いられている<sup>(6)</sup>。当社の中出力  
 FET はトレイン飽和電流を上記低雑音 FET の 1.5~2.0 倍  
 程度に高めたもの 2 チップを 1 つのパッケージに封入したもの

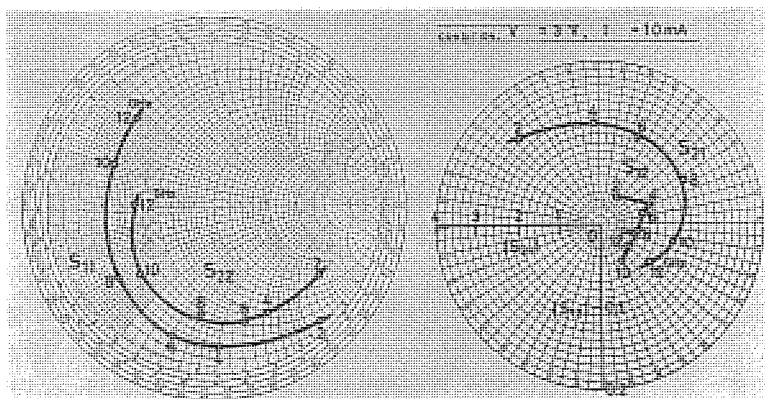


図 2. MGF-1400-2 の代表的な S パラメータ

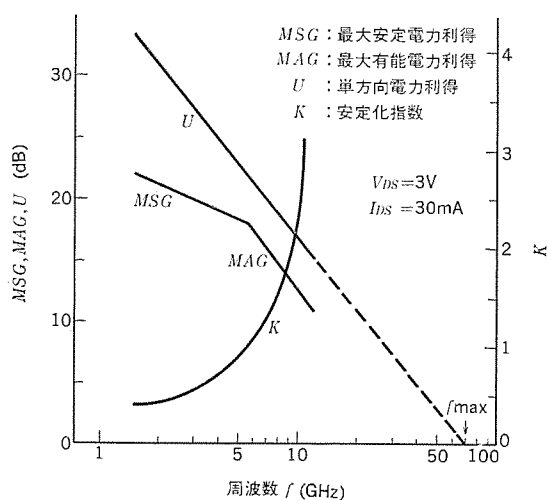


図 3. MGF-1400-2 の代表的な周波数-RF性能指数の対応

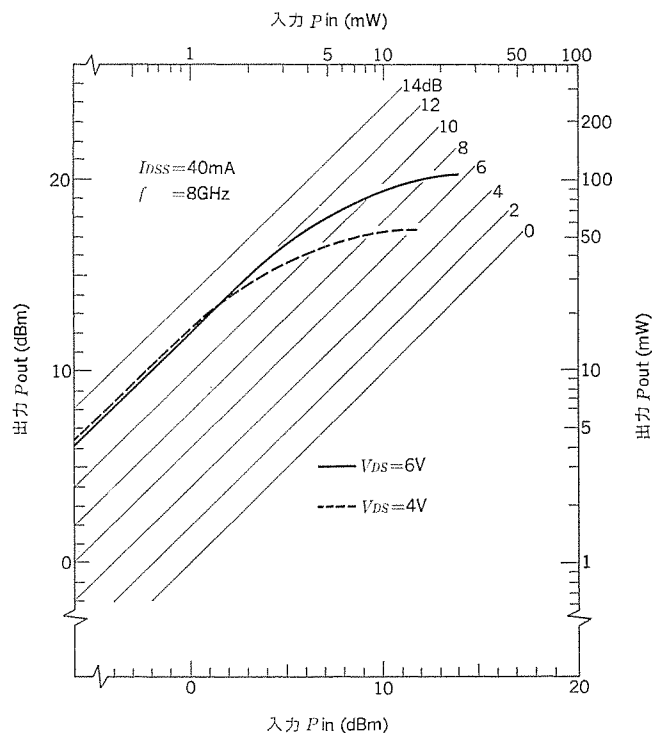


図 5. 低雑音 GaAs FET の小電力増幅特性

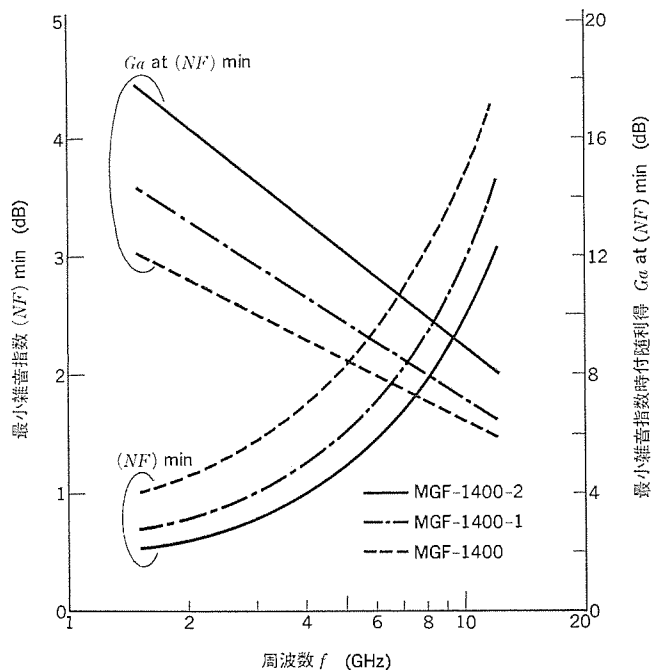


図 4. 低雑音 GaAs FET の最小雑音指数及び付随利得の周波数依存性

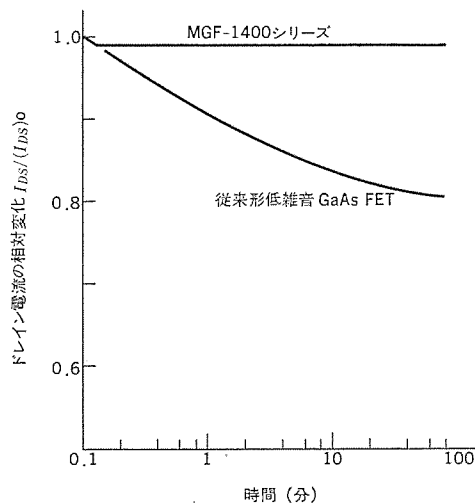


図 6. 低雑音 GaAs FET の電流ドリフト

で、200 mW 前後の出力を高利得で得ることができる。表 2. 及び図 7. に示すように、入出力の直線性がよくかつ高利得であることが特長である。12 GHz における利得は 8 dB 以上ある。表 2. 及び図 7. には、低雑音 FET (MGF-1400-1) を中出力用として用いたときの入出力特性を示した。

#### 4. 高出力 GaAs FET (MGF-2000 シリーズ)

##### 4.1 構造上的特長

高出力 GaAs FET は基本的には単位 FET を多数並列に接続した構造である。高性能の高出力 FET を実現するポイントは、(1)大電流化、(2)高耐圧化、及び(3)多数の単位小信号 FET を高周波特性を損なうことなく効率よく並列接続することである。ところが、大電流化と高耐圧化は相反する要求であって、これらを同時に達成することは通常極めて困難である。当社では高出力 FET の動作層内のキャリア密度分布を表面付近で低く、界面付近で高いという 2 段構成にすることによりこの要求を解決した<sup>(7)</sup>。ちなみに、ドレイン電流はゲート幅 1 mm 当たり約 350 mA まで制御可能である。一方、

表 2. 中出力 GaAs FET の 12 GHz における代表的な電気的特性

項 目	形 名 シンボル (単位)	MGF-1400-1	MGF-1800
1 dB 利得圧縮時の出力	$P_{1dB}$ (mW)	100	800
線形電力利得	$G_L$ (dB)	8.5	8.0
ドレイン負荷効率	$\eta_{add}$ (%)	27	22
テ ス ト 条 件		$f: 12\text{ GHz}$ $V_{DS}: 6\text{ V}, I_{DS}: 50\text{ mA}$	$f: 12\text{ GHz}$ $V_{DS}: 6\text{ V}, I_{DS}: 120\text{ mA}$
ドレイン飽和電流	$I_{DSS}$ (mA)	90	180
ピンチオフ電圧	$V_P$ (V)	4	4
相互コンダクタンス	$g_m$ (ms)	50	100
最大発振周波数	$f_{max}$ (GHz)	50	40

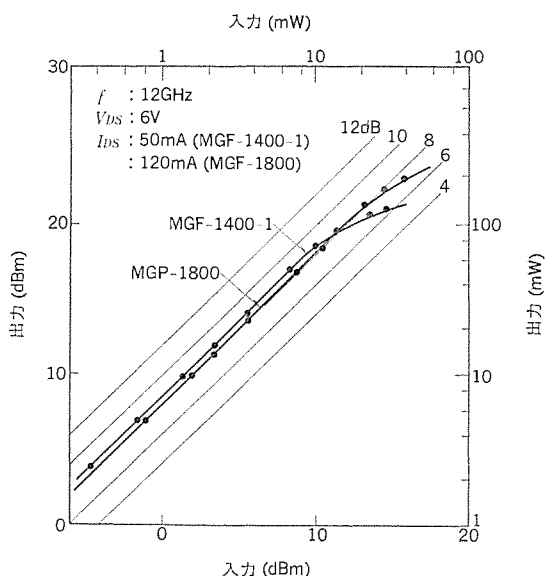


図 7. 中出力 GaAs FET の 12 GHz における代表的な入出力特性

ゲート耐圧、ドレイン耐圧の高耐圧化は、上述したキャリア密度分布の改良の外に、絶縁性フィルムを用いた掘込みリフトオフによるゲート形成法の開発<sup>(8)</sup>などによって達成している。図 8. に示すように、ソースゲート間耐圧はほぼ理論限界に近い値を得ている<sup>(7)</sup>。更に、多数の FET を並列接続してかつ高利得化を達成するには、寄生パラメータをいかにして低減するかが重要なポイントになる。この観点から当社では、多数の単位 FET を並列接続するのに金線あるいは金リボンを用いて行ういわゆる空間配線構造を採用している<sup>(8)</sup>。この方法は、従来の絶縁膜を介して並列接続するクロスオーバー構造に比べ、製作プロセスが簡単であり、寄生抵抗、寄生リアクタンスが小さいことから、高利得・高効率の高出力 FET を実現するのに極めて有効である。また、より一層の高利得化を達成するため、各電極パッドには図 9. に示すように、Au の厚めっきを施して寄生抵抗の低減も図っている。

##### 4.2 動作特性

表 3. 及び図 10. は、当社の高出力 FET、MGF-2000 シリーズの 6 GHz における入出力特性をまとめて示したものである。これらの高出力 FET はゲート長  $1\text{ }\mu\text{m}$ 、ゲート幅  $1,600\text{ }\mu\text{m}$  を基準とするチップを 1 個 (MGF-2016) あるいは 2 個 (MGF-2032) ボンディングしたもので、1 dB 利得圧縮点出力  $P_{1dB}$  が 0.6~2.0 W、線形電力利得  $G_L$  が 8.0~7.0 dB 前後と高いのが特長である。

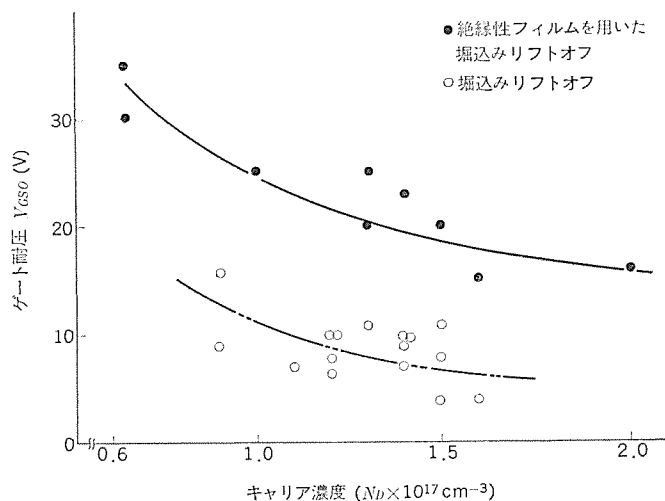


図 8. ソースゲート間耐圧のキャリア密度依存性

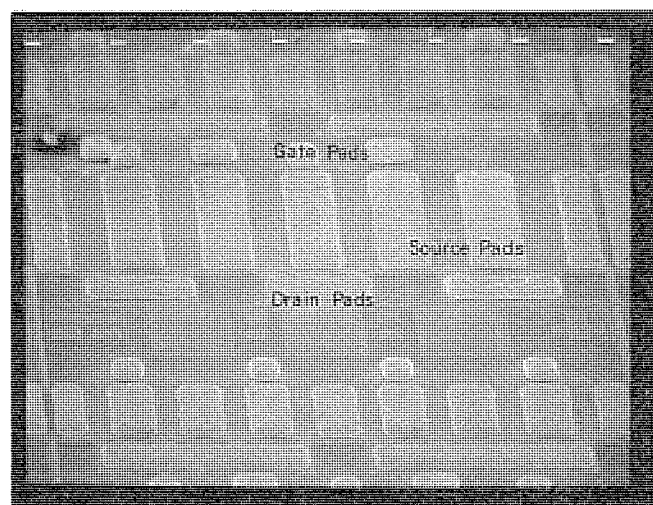


図 9. 高出力 GaAs FET のチップ表面写真

表 3. 高出力 GaAs FET の 6 GHz における代表的な電気的特性

項目	形名 シンボル (単位)	MGF-2016	MGF-2017	MGF-2032	MGF-2033
1 dB 利得圧縮点出力	$P_{1dB}$ (W)	0.6	1.0	1.5	2.0
線形電力利得	$G_L$ (dB)	8	7.5	7.0	7.0
ドレイン効率	$\eta_D$ (%)	40	35	35	30
テスト条件	$f: 6\text{ GHz}$ $V_{DS}: 8\text{ V}$ $V_{GS}: -1.5\text{ V}$	同左	同左	同左	同左
ドレイン飽和電流	$I_{DSS}$ (mA)	400	600	800	1,200
ピンチオフ電圧	$V_P$ (V)	5	6	5	7
相互コンダクタンス	$g_m$ (ms)	140	130	260	240
最大発振周波数	$f_{max}$ (GHz)	35	35	25	25

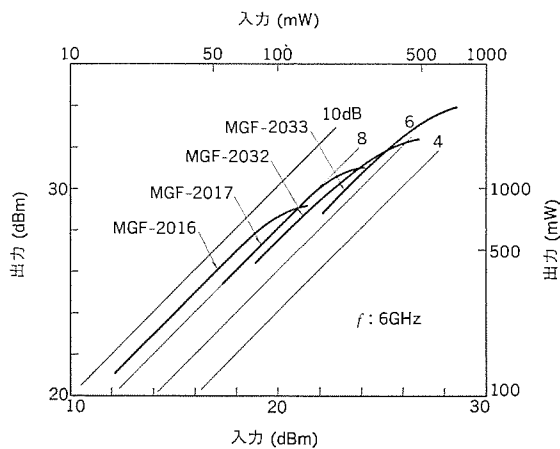


図 10. 高出力 GaAs FET の 6 GHz における入出力特性例

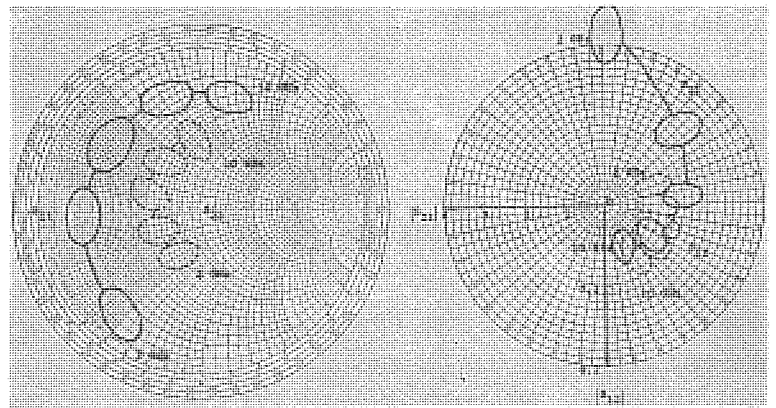
図 11. は MGF-2016 及び MGF-2032 の小信号 S パラメータのばらつき範囲を示したもので、これより計算される最大発振周波数はそれぞれ 35 GHz 及び 25 GHz である。

複数個のチップを高出力用パッケージに実装した素子による多チップ化出力合成の結果として、6 GHz で 7.0 W ( $G_L \sim 5.5\text{ dB}$ ), 8 GHz で 5.0 W ( $G_L \sim 5.0\text{ dB}$ ), 10.5 GHz で 3.0 W ( $G_L \sim 4.0\text{ dB}$ ) の飽和出力を得ている。

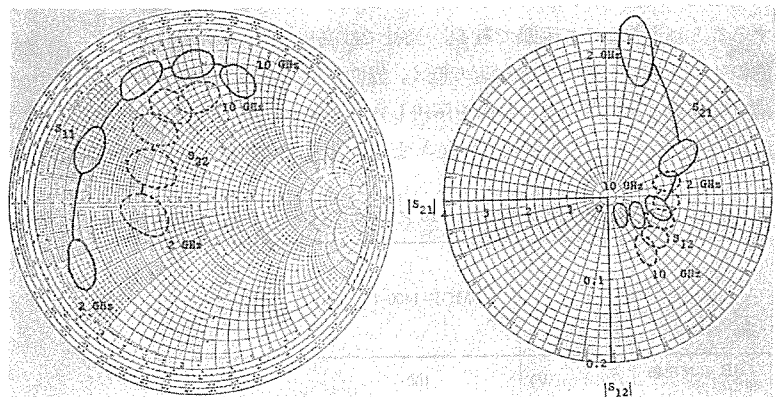
当社の高出力 FET により得られた最高出力を、昭和 53 年 7 月現在発表されているデータ<sup>(7)</sup>と比較して図 12. に示す。

## 5. 信頼性

当社の GaAs FET は組立て完了後、高温保管、温度サイクル、リークテスト、直流通電等を含むエージング、スクリーニング工程を経て最終検査の後実用に供せられるが、これらの工程中直流通電によるゲートの安定化が特に重要であることが分かっている<sup>(10)</sup>。図 13. は直流通電によるゲート耐圧  $V_{GSO}$  の安定化の状況を示したものである。図 (a) では直流通電前のゲート耐圧初期値 ( $V_{GSO}$ )<sub>0</sub> と直流通電により安定化した後のゲート耐圧 ( $V_{GSO}$ )<sub>1</sub> の比較を示しているが、ゲート耐圧の大幅変動が見られる。一方、図 (b) では、直流通電により安定



(a) MGF-2016 の 2, 4, 6, 8, 10 GHz における S パラメータのばらつき



(b) MGF-2032 の 2, 4, 6, 8, 10 GHz における S パラメータ

図 11. 高出力 GaAs FET の小信号 S パラメータ

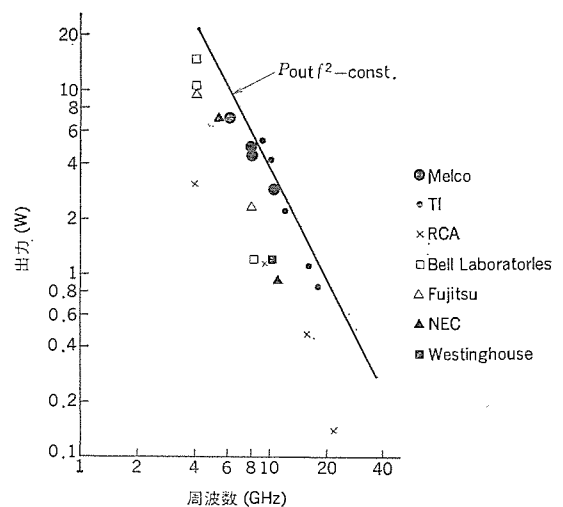


図 12. 高出力 GaAs FET における出力の周波数依存性

化した後のゲート耐圧 ( $V_{GSO}$ )<sub>1</sub> を更に直流通電を続行した場合のゲート耐圧 ( $V_{GSO}$ )<sub>2</sub> と比較しているが、有意差は認められない。このような直流通電によるアニール効果は通常ゲート耐圧のみに観察され、他の直流特性、高周波特性では顕著でない。

GaAs FET の実用化の歴史は比較的浅く、これまでその信頼度は専ら加速寿命試験のデータから推定してきた。過去に行った温度を加速条件とした加速寿命試験の結果から、実用温度条件における推定故障率として 100 fit 以下が予測されているが、実際の使用時には温度以外のストレスも複合的に印加されるため、フィールドデータを知ることが強く要求されている。

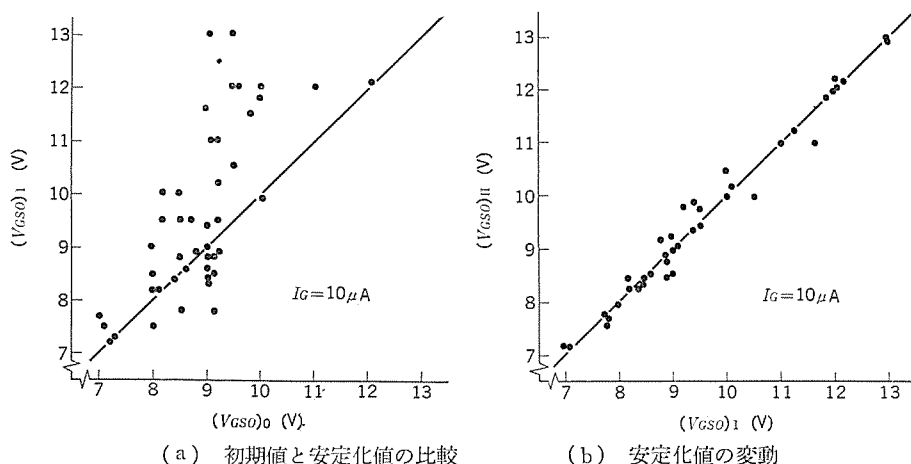


図 13. 直流通電によるゲート耐圧の安定化

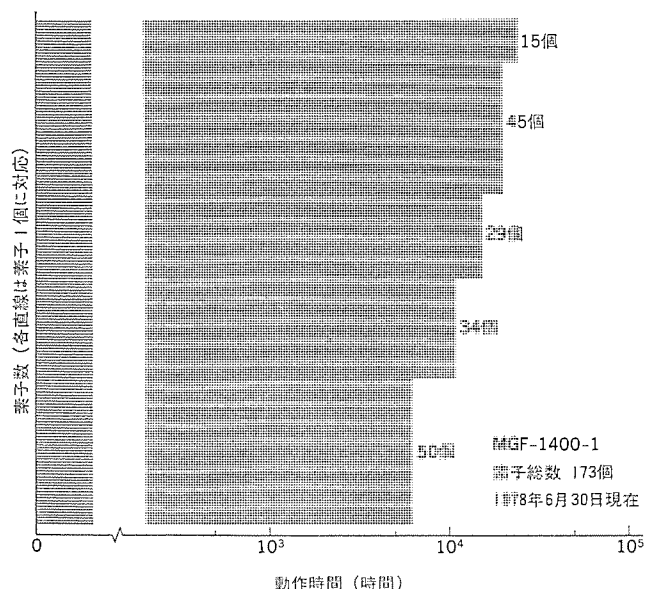


図 14. 低雑音 GaAs FET のフィールド動作結果

現在当社では、直流通電等を実施した GaAs FET を実際のマイクロ波機器に組み込み動作状況を克明に追跡している。図 14. はこのフィールド実績である。素子は主に 4 GHz 及び 7 GHz 帯の低雑音増幅器、小電力増幅器に使用され、バイアス条件はおおむね前者では雑音整合条件 ( $V_{DS} \sim 3$  V,  $I_{DS} \sim 15$  mA), 後者では利得整合条件 ( $V_{DS} \sim 3$  V,  $I_{DS} \sim 30$  mA) である。総数 173 個の素子が既に最長 23,000 時間動作しているがまだ無故障で、動作実績 228 万コンポーネント時間に達している。このフィールドデータから現時点で故障率は 400 fit 以下になるので<sup>(10)</sup>、今後時間の経過とともに故障率は更に低くなることが予測され、加速寿命試験の結果から推定された故障率 100 fit 以下も近い将来実現可能であると期待している。

## 6. む す び

以上に、当社で開発・実用化を進めてきた GaAs FET について紹介したが、それをまとめると、

- (1) 低雑音 FET では、素子構造と製作プロセスの最適化を図り、

1  $\mu$ m 幅のマスクで実質的にサブミクロンゲートを実現し、4 GHz における NF 1 dB の低雑音性を有し、特性ドリフトのない素子を開発し、MGF-1400 シリーズとして実用化した。

(2) 中出力 FET としては 12 GHz において利得 8 dB、出力 200 mW が得られる優れた性能を有する MGF-1800 を開発し実用化した。

(3) 高出力 FET では結晶特性を改善し、空間配線構造の FET を開発して 6 GHz で 7 W, 8 GHz で 5 W, 10.5 GHz で 3 W を実現し、MGF-2000 シリーズとして、6 GHz における利得が 8 dB 前後と高い、出力 1 ~ 2 W の素子を実用化した。

(4) 信頼性に関しては、低雑音 FET がフィールド実績として故障率 400 fit 以下が実現している。

今日 GaAs FET は以上に紹介したように、マイクロ波帯で十分高性能は低雑音増幅、高利得増幅を実現しているが、出力レベルにおいてもガンダイオードを追い越し、インパットダイオードにせまる高出力特性が得られるようになった。これらの事実は、今後 GaAs FET が従来の素子に代わってマイクロ波通信、放送機器、レーダなどに全面的に用いられていくことを証明するものである。更に、GaAs FET の民生用マイクロ波機器への応用も急速に展開されていくであろう。

今後の課題としては、(1) 高出力 FET の信頼性を確立すること、(2) ミリ波帯まで使用できる GaAs FET を開発すること、(3) 低コスト化などが残されている。

## 参 考 文 献

- (1) H. F. Kooke : Microwave J., 21, 43 (1978)
- (2) 鈴木, 畠山, 石井, 三井 : 信全大光電波部門, No. 158 (昭 53)
- (3) D. R. Che'n, H. F. Kooke and J. N. Wholey : Microwave J., 18, 60 (1972)
- (4) S. Asai, S. Ishioka, H. Kurono, S. Takahashi and H. Kodera : Proc. 4th Conf. Solid State Device Tokyo, 71 (1972)
- (5) 大坪, 門脇, 三井 : 信学会電子デバイス研究会資料, ED 77-83 (昭 53)
- (6) Y. Mitsui, M. Nakatani and S. Mitsui : IEEE Trans. MT T-25, 981 (1977)
- (7) 三井, 渡瀬, 小引, 大坪, 三井 : 信学会電子デバイス研究会, ED 78-44 (昭 53)
- (8) 三井, 中谷, 渡瀬, 小引, 高宮, 三井 : 信学会マイクロ波研究会資料, MW 77-120 (昭 53)
- (9) W. R. Wisseman : Intern. Electron Device Meeting Technical Digest No. 16.1, 326 (1977)
- (10) 鈴木, 畠山, 石井, 三井 : 信全大光電波部門, No. 159 (昭 53)

# 硬化エポキシ樹脂分析法の開発

狩野 勇\*・今村 孝\*・榎本 順三\*

## 1. ま え が き

エポキシ樹脂は、絶縁材料として最も幅広く利用されているものの1つである。これは、エポキシ樹脂のもつ優れた電氣的性質のほかに、優れた機械的性質及び熱的性質を有するためである。また、多種類のエポキシ樹脂、硬化剤、変性剤、硬化促進剤、無機充填剤(填)剤など、これらを適宜選択し、組合せることによって、種々の電気機器に応用できることも、その要因の1つである。これらの構成成分を正確に分析することは、品質管理や新製品を開発する上において重要であり、組成と実用性能との関連を研究する上においても必要欠くべからざるものである。

エポキシ樹脂は硬化すると、3次元網状構造をとり、不溶不融となる。従来、硬化エポキシ樹脂の組成分析をする場合、試料を粉末にしKBr錠剤で赤外吸収スペクトルを測定する方法、又は試料を熱分解させて、熱分解生成物の赤外吸収スペクトルから組成を推定する方法が用いられている<sup>(1)(2)(3)</sup>。しかしながら、この方法では一部のものしか分析することができない。そこで筆者らは、硬化エポキシ樹脂の全組成分析法について検討を重ねてきた結果、エポキシ樹脂、硬化剤、変性剤、無機充填剤などほぼ全成分について分析する方法を見出した。

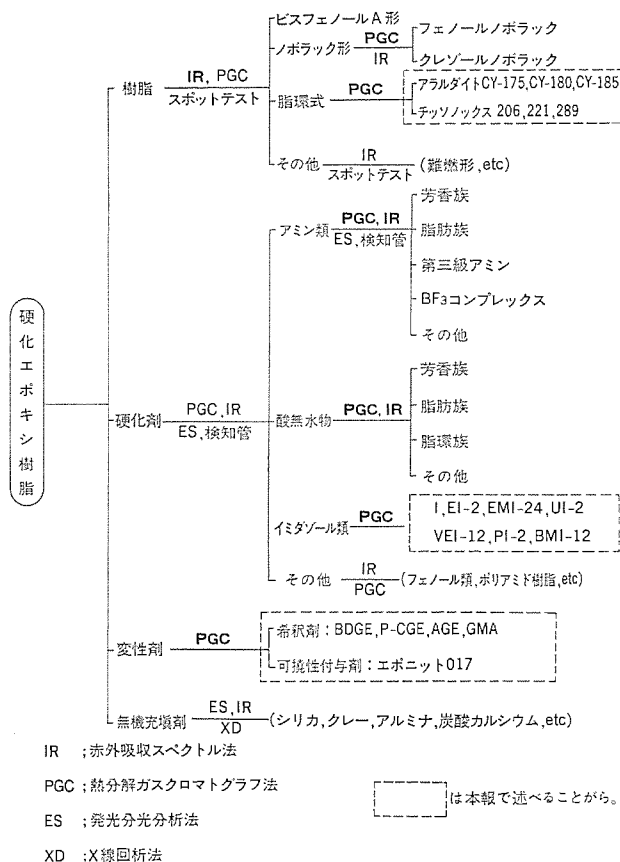
本報では、熱分解ガスクロマトグラフ法によって、硬化エポキシ樹脂中のイミダゾール系硬化剤、変性剤、及び脂環式エポキシ樹脂を分析する方法と、実材料への応用例について述べる。

## 2. 硬化エポキシ樹脂の分析法

電気絶縁材料として使用されるエポキシ樹脂は(1)ビスフェノールA形エポキシ、(2)脂環式エポキシ、(3)フェノールノボラック形エポキシ、(4)クレゾールノボラック形エポキシ、(5)難燃形エポキシ、(6)その他、などがあるが、一般に最も広く使用されているのはビスフェノールA形エポキシである。硬化剤としては(1)アミン類、(2)酸無水物、(3)イミダゾール類、(4)ポリアミド樹脂、(5)フェノール類、(6)その他、と非常に多い。変性剤は大きく希釈剤と可とう(撈)性付与剤に分けられる。その他に、無機充填剤や硬化促進剤などもある。

硬化エポキシ樹脂中には、上に述べたようないろいろなものが配合されているため、これらを分析する場合1つの分析法だけでは完全に組成を明らかにすることは難しい。そこで、硬化エポキシ樹脂の組成分析を行う場合、筆者らは図1.に示すような種々の分析法の組合せによって実施している。

硬化エポキシ樹脂中の樹脂ベース、硬化剤、及び変性剤などを分析する場合、図1.から明らかなように、熱分解ガスクロマトグラフ法(以下PGCと略す)と赤外吸収スペクトル法が有効である。特に前者は、組成分析(定性と定量)も可能であり、非常に応用範囲の広い分析手法である。このPGCは、ガスクロマトグラフ(GC)と熱分解装置(Ryolyser)を組合せたものであり、原理は、数100 $\mu$ g～数mgの試料を高温(通常500～700 $^{\circ}$ C)で熱分解させ、熱分解生成物をガ



スクロマトグラフで測定し、得られたクロマトグラム(パイログラムに呼ぶ)から解析しようとするものである。この方法は、不溶不融の高分子化合物の分析における有効な分析手段である。高分子分析への主な応用としては、定性及び組成分析であるが、これら以外に立体規則性、重合度、分子量分布、共重合体の連鎖分布といったような微細構造解析などもある<sup>(4)</sup>。一方、PGCから得られるパイログラムには、熱分解生成物によるピークが非常に多く現れるが、これらのピークを同定するには質量分析計(MS)が必要である。そして、PGCとMSを組合せて熱分解生成物を同定することによって、高分子の熱分解機構を調べることもできる。

そこで筆者らは、硬化エポキシ樹脂の組成分析にPGCを応用するにあたり、GC条件や熱分解条件について検討し、樹脂ベース、硬化剤、及び変性剤を分析するための最適条件を見出した。

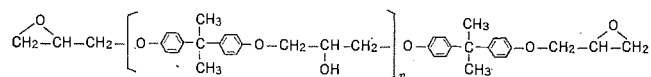
## 3. PGCによる硬化エポキシ樹脂の分析

先に述べたように、PGCは高分子分析において非常に威力を発揮する分析方法である。しかしながら、PGCを硬化エポキシ樹脂組成分析に応用する場合、硬化エポキシ樹脂中には種々の物質が配合されているため、適切な分析条件を見つけ出すことが大きな課題である。

ここでは、硬化剤としてイミダゾール類、エポキシ樹脂として脂環式エポキシ樹脂、変性剤として希釈剤、及び可撓性付与剤などの分析方法を検討した。

### 3.1 イミダゾール系硬化剤の分析法

イミダゾール系硬化剤の分析に対して用いたエポキシ樹脂は、最も多く使用されているビスフェノールA形エポキシ樹脂Epon 828(シェル社、エポキシ当量185~192)である。このエポキシ樹脂は下記のような構造を有している。



エポキシ樹脂を硬化するのに用いたイミダゾール系硬化剤の種類と配合量を表1に示す。なお、それぞれの硬化条件(温度及び硬化時間)は標準的な条件で行った。

前述のように、硬化エポキシ樹脂の組成分析において、PGCが最も有効な分析法ではあるが、組成分析を成功させるにはガスクロマトグラフ条件と熱分解条件が重要である。前者は、分離カラムの選択、キャリアガス流量、恒温そう(槽)温度、そして後者は、熱分解温度・ふんい気、試料量などが重要な因子である。これらの諸条件は、硬化エポキシ樹脂中のいかなる成分を対象に分析を行うかによって変わってくる。このようなことを考慮した結果、下に示すような分析条件が適切であることが分かった。

#### ガスクロマトグラフ条件

カラム	Porapak Q 30~60メッシュ
	ガラス製 外径 4mmφ 長さ 2.25 m
温度	80°C 2分間保持
	80°C→250°C昇温 昇温速度 8°C/分
検出器	熱電導形検出器(TCD)
キャリアガス	ヘリウム 流量 15 ml/分

#### 熱分解条件

分解温度	600°C
試料量	2 mg (粒度 80~100メッシュ)
ふんい気	ヘリウムフロー (10 ml/分)

以上述べたような試料及び分析条件によって分析した時に得られたパイログラムの1例を図2に示す。これらのパイログラムから硬化剤

の種類によって、硬化剤に基づく熱分解生成物のピークが異なったり、あるいはピークの強度比が大きく変わったりしていることが分かる。このようなピークに着目することにより、イミダゾール硬化樹脂中の硬化剤の分析が可能である。パイログラム上のそれぞれのピークをMSによって同定した結果を表2に示す。なお、表中の数字は図2のピークに付した番号に相当する。

筆者らはイミダゾール硬化樹脂を熱分解すれば、イミダゾール環の開裂が起こり、揮発性の窒素原子を含む化合物が生成するものと予想したが、上記のような分析条件では、パイログラム上に窒素化合物に基づくようなピークが現れなかった。しかしながら、パイログラムはイミダゾールの種類によって異なり、それによってイミダゾール系硬化剤を

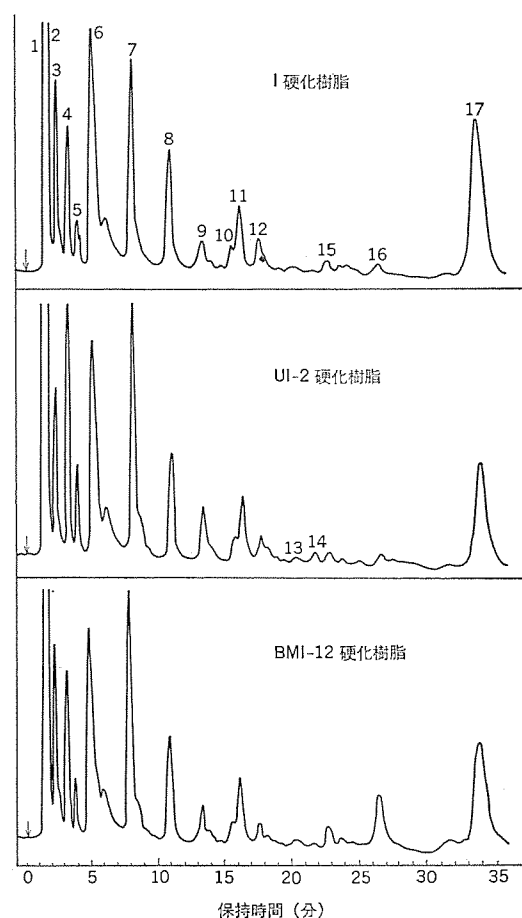


図2. イミダゾール硬化樹脂のパイログラム

表1. イミダゾール系硬化剤の種類と配合量

種類	略称	化学式	配合量 <sup>a</sup> (phr)
イミダゾール	I	$\begin{array}{c} \text{N} \\ \text{H} \end{array} \begin{array}{c} \text{N} \\ \text{H} \end{array} \text{CH}$	4
2-エチルイミダゾール	EI-2	$\begin{array}{c} \text{N} \\ \text{H} \end{array} \begin{array}{c} \text{N} \\ \text{H} \end{array} \text{C}-\text{C}_2\text{H}_5$	4
2-エチル-4-メチルイミダゾール	EMI-24	$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C} \\ \text{N} \\ \text{H} \end{array} \begin{array}{c} \text{N} \\ \text{H} \end{array} \text{C}-\text{C}_2\text{H}_5$	4
2-ウンデシルイミダゾール	UI-2	$\begin{array}{c} \text{N} \\ \text{H} \end{array} \begin{array}{c} \text{N} \\ \text{H} \end{array} \text{C}-\text{C}_{11}\text{H}_{23}$	6
1-ビニル-2-メチルイミダゾール	VEI-12	$\begin{array}{c} \text{N} \\ \text{H} \end{array} \begin{array}{c} \text{N} \\ \text{H} \end{array} \text{C}-\text{C}_2\text{H}_5$ $\text{CH}=\text{CH}_2$	4
2-フェニルイミダゾール	PI-2	$\begin{array}{c} \text{N} \\ \text{H} \end{array} \begin{array}{c} \text{N} \\ \text{H} \end{array} \text{C}-\text{C}_6\text{H}_5$	5
1-ベンジル-2-メチルイミダゾール	BMI-12	$\begin{array}{c} \text{N} \\ \text{H} \end{array} \begin{array}{c} \text{N} \\ \text{H} \end{array} \text{C}-\text{CH}_3$ $\text{H}_2\text{C}-\text{C}_6\text{H}_5$	5

※ phr: エポキシ樹脂100重量部に対する割合

表2. イミダゾール硬化樹脂の熱分解生成物

図2. のパイログラム上の番号	m/e	化合物
1	16	メタン
2	28	一酸化炭素
3	44	炭酸ガス
4	28	エチレン
5	30	エタン
6	18	水
7	42	プロピレン
8	44	アセトアルデヒド
9	56	1-ブテン
10	56	アクロレイン
11	58	アセトン
12	70	2-メチル-2-ブテン
13	86	2-メチルブチルアルデヒド
14	70	ペンテン
15	78	ベンゼン
16	92	トルエン
17	94	フェノール

表 3. 変性剤の分類及び種類<sup>(5)</sup>

変性剤	反応性のもの	エポキシ基を含有するもの	フェニルグリシジルエーテル P-クレジルグリシジルエーテル グリシジルメタアクリレート ブタンジホルジグリシジルエーテル etc.
		エポキシ基以外の反応基を含むもの	ポリオール、ジアリルフタレート ε-カプロラクタム、ブチロラクトン etc.
	非反応性のもの	ジブチルフタレート グリコールのエーテル-エステル フェノール類, etc.	
		可撓性付与剤	
可撓性付与剤	反応性のもの	長鎖のモノエポキシ化合物, 長鎖のアルキルフェノール 長鎖のジアミン, ダイマー酸, etc.	
	非反応性のもの	フタル酸エステル 塩化ジフェニル, etc.	

表 4. 変性剤の種類と配合量

種類	略称	化学式	配合量 (phr)	硬化樹脂中の重量率 (%)
ブタンジオール ジグリシジルエーテル	BDGE		5	2.5
			10	5.2
			25	10.2
p-クレジル グリシジルエーテル	p-CGE		25	10.6
			65	21.5
			150	32.8
アリル グリシジルエーテル	AGE		25	10.4
			65	19.7
			150	28.2
グリシジル メタアクリレート	GMA		5	2.5
			10	5.2
			25	10.7
エポニット017	—	—	65	20.8
			25	11.2
			150	35.3

$$\text{重量率 (\%)} = \frac{\text{変性剤}}{\text{変性剤} + \text{硬化剤} + \text{樹脂} + \text{触媒}} \times 100$$

表4. に示すような変性剤配合硬化樹脂を作成した。なお、エポキシ樹脂は Epon 828, 硬化剤は メチルテトラヒドロ 無水フタル酸(メチル-THPA), 触媒に オクチル 酸亜鉛を用いた。それぞれの硬化条件は標準的な条件で行った。

一般に、電気機器の注型用 エポキシ樹脂に変性剤を配合する場合には、変性剤の効果を高めるためにかなり多量に使用する。したがって、赤外吸収 スペクトルを測定することにより、一部の變性剤については配合の有無、あるいは種類の推測も可能である。しかしながら、硬化樹脂中にシリカとかクレーなどの無機充填剤が多量に配合されている場合(通常は数 10 phr~200 phr) は、変性剤に基づく特性吸収が、充填剤に妨害されて検出できない。これらの無機充填剤が多い場合、あるいは変性剤の配合量が少ない硬化樹脂中の変性剤の分析については、PGC が非常に有効な分析手段である。PGC で行う場合の分析条件を検討した結果、下に示すような分析条件が最も良いことが分かった。

ガスクロマトグラフ 条件

カラム	Porapak Q 30~60 ムッシュュ
	ガラス製 外径 4 mmφ 長さ 1.5 m
温度	80°C→250°C 昇温 昇温速度 8°C/分
キャリアガス	ヘリウム 流量 40 ml/分
熱分解条件	
分解温度	500°C
試料量	1 mg (粒度 80~100 ムッシュュ)

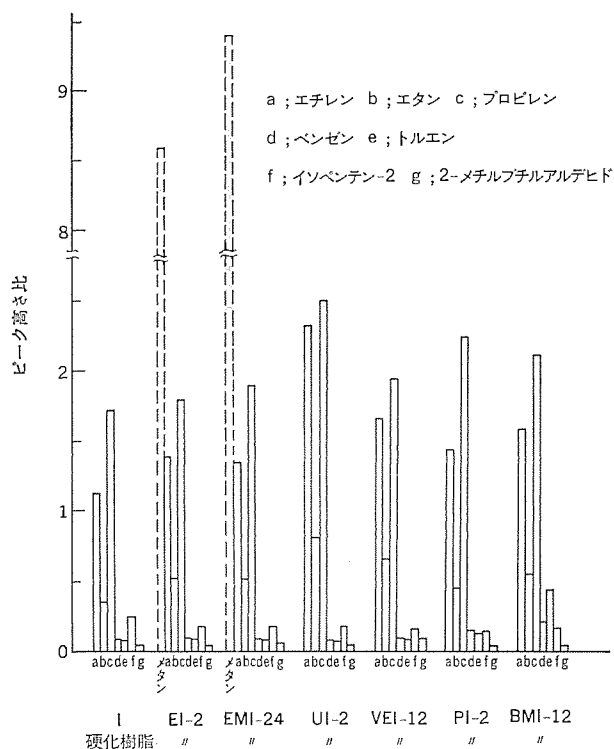


図 3. イミダゾール 硬化樹脂熱分解生成物の アセトアルデヒド基準におけるピーク高さ比

同定することができる。これは、パイログラム上の特性ピークがイミダゾールの置換基と大きな相関があるからである。例えば、PI-2 硬化樹脂ならばベンゼン、BMI-12 硬化樹脂ならばトルエン、UI-2 ならば鎖状炭化水素の生成が多いことなどである。なお、試料を天びんでしょう(秤)量するときに生じる誤差を除くため、エポキシ樹脂(Epon 828)に基づく熱分解生成物であるフェノール、アセトン、及びアセトアルデヒドでパイログラム上の主ピークを規格化し、ヒストグラム化すれば同定が容易になるものと思われる。図 3. にアセトアルデヒドの生成量を基準にして作成した例を示す。この図において、黒塗りで示した熱分解生成物が、イミダゾール系硬化剤を判別するのに有効である。この中で、EI-2 硬化樹脂と EMI-24 硬化樹脂間の区別がやや困難であるが、後者は、前者に比べてメタン<sup>(a)</sup>の生成量が多いので推定は可能である。なお、パイログラムに及ぼす熱分解温度の影響は、±20°C 以内であれば無視できる。

### 3. 2 変性剤の分析法

エポキシ樹脂の変性剤には粘度を下げるために用いる希釈剤と硬化物に可撓性を与えるために用いる可撓性付与剤がある。希釈剤は、主としてエポキシ樹脂混合物の粘度を下げ、作業性を良くするが、それによって硬化物の熱変形温度、耐薬品性、電気的性質、耐衝撃性等の物理的性質を変える。また、可撓性付与剤は、エポキシ樹脂硬化物のぜい(脆)弱性を改善し、弾性と強じん(韌)性を付与するために配合するもので、耐衝撃性を良くし、フィルムなどの可撓性を増す。表 3. に変性剤の分類と種類を示す。この表に示すような変性剤は、用途によっていろいろ使い分けることができるが、通常、非反応性の変性剤は余り使用されない。また、たとえ使用されたとしても、硬化樹脂中より適当な溶剤によって抽出することができるので、比較的容易に分析できる。一方、反応性の変性剤は硬化剤と反応し、溶剤で分離することができなく、分析は非常に困難である。したがって本報では、反応性の変性剤についての分析法を確立する目的で、



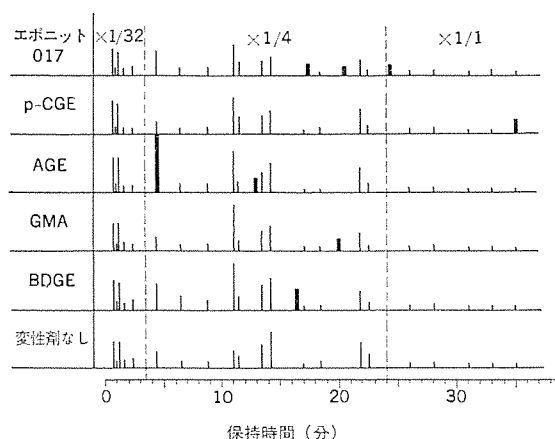


図 4. 変性剤配合硬化樹脂熱分解生成物のフィンガプリント

表 5. 変性剤配合硬化樹脂中の変性剤からの熱分解生成物

変性剤の種類	パイログラム上の保持時間(分)	m/e	熱分解生成物
BDGE	16.3	72	テトラヒドロフラン <chem>OCH2CH2CH2CH2</chem>
p-CGE	35.2	108	p-クレゾール <chem>H3C-C6H4-OH</chem>
AGE	13.0	58	アリルアルコール <chem>CH2=CHCH2OH</chem>
GMA	20.0	86	メタアクリル酸 <chem>CH2=C(CH3)COOH</chem>
エポキシ017	17.2 20.5 24.2	84 98 112	1-ヘキセン <chem>CH2=CH(CH2)3CH3</chem> 1-ヘプテン <chem>CH2=CH(CH2)4CH3</chem> 1-オクテン <chem>CH2=CH(CH2)5CH3</chem>

ふんい気 ヘリウムフロー (40 ml/分)

上記の分析条件で得られたパイログラムをフィンガプリントにしたものが図 4. である。この図において、太い線で示したものが変性剤に基づく熱分解生成物である。これらの化合物名と化学式などを表 5. に示す。それぞれの変性剤に基づく熱分解生成物を、元の変性剤の構造式と比べてみると興味深い。すなわち、p-CGE は p-クレゾール、AGE は アリルアルコール、そして GMA は メタアクリル酸が生成しているが、これらの熱分解生成物はいずれも、それぞれの変性剤を製造するときに使用する原料に相当する。

変性剤に基づく熱分解生成物の生成量 (パイログラム上のピーク高さ) を調べることににより、硬化樹脂中の変性剤量を定量することができる。このためには分析対象にする熱分解生成物を再現性よく得ることが大切である。最も重要な因子は熱分解温度と思われるが、筆者らが行った実験によると、500°C の熱分解温度が最適であった。なお、700°C で熱分解を行うと変性剤に基づく熱分解生成物はほとんど生成しなかった。

### 3.3 硬化脂環式エポキシ樹脂の分析法

ビスフェノール形エポキシ樹脂は機械的性質、電気的性質などが優れているが、耐候性が不十分といわれている。これは、分子内のベンゼン環が紫外線、酸化ふんい気、アークなどに対して弱いためである。これらの欠点を改良する目的で、屋外用電気材料には脂環式エポキシ樹脂が使われている。ここでは、2社 (チバ社とチッソ社) の脂環式エポキシ樹脂 6 種類を選び、硬化剤にヘキサヒドロ無水フタル酸 (HHPA)、触媒としてベンジルジメチルアミン (BDMA) を用いて硬化樹脂を作成し、脂環式エポキシ樹脂の分析法について検討した。表 6. に対象とした脂環式エポキシ樹脂の種類と硬化剤の配合量を示す。なお、硬化条

表 6. 脂環式エポキシ樹脂の種類と硬化剤の配合量

種類	化学式	硬化剤配合量 (phr)
アララダイト CY-175	<chem>O=C1C=CC(=O)O1</chem>	85
CY-180	<chem>O=C1C=CC(=O)O1</chem>	80
CY-185	(CY-180をポリプロピレングリコールで変性したもの)	73
チッソノックス 206	<chem>O=C1C=CC(=O)O1</chem>	172
221	<chem>O=C1C=CC(=O)O1</chem>	116
289	<chem>O=C1C=CC(=O)O1</chem>	60

硬化剤 HHPA O=C1C=CC(=O)O1 触媒 BDMA Cc1ccc(cc1)CN(C)C 0.5phr

件は標準的な条件で行った。

前述のような配合で硬化した樹脂を KBr 錠剤で赤外吸収スペクトルを測定し、脂環式エポキシ樹脂の同定を試みた。しかしながら、それぞれの硬化樹脂の赤外吸収スペクトルには、脂環式エポキシ樹脂に基づく顕著な特性吸収が現れないため、樹脂を同定することができなかった。一方、硬化樹脂を 1~2g 試験管内に採取し、バーナで加熱して熱分解を行い、でてきた留出物をセル板にはさんで赤外吸収スペクトルを測定した。いずれの硬化樹脂とも、KBr 錠剤で測定したスペクトルとはかなり異なっていたが、吸収のほとんどは硬化剤 (HHPA) に基づくものであった。したがって、酸無水物硬化の脂環式エポキシ樹脂中の硬化剤は、赤外吸収スペクトルによって容易に分析できるけれども、樹脂ベースは困難である。

以上のことより、脂環式エポキシ樹脂の分析においても、PGC を検討しなければ分析が困難ではないかと予想されたので、イミダゾール系硬化剤や変性剤の分析の場合と同様に、PGC のガスクロマトグラフ条件や熱分解条件について検討した。その結果、下に示すような分析条件を選ぶことによって、表 6. に示した脂環式エポキシ樹脂を同定することができた。

ガスクロマトグラフ条件

カラム	PEG 20 M (担体: Celite 545)
	ステンレス製 外径 4mmφ 長さ 1.5 m
温度	80°C→250°C 昇温 昇温速度 12°C/分
検出器	水素炎形検出器 (FID)
キャリアガス	ヘリウム 流量 30 ml/分
熱分解条件	
分解温度	600°C
分解時間	10 秒
試料量	1 mg (粒度 80~100 メッシュ)
ふんい気	ヘリウム (静止)

上記の分析条件で得られたパイログラムをフィンガプリントにしたものが図 5. である。図において、太い線で示したものが、脂環式エポキシ樹脂の種類を判定するのに有効な熱分解生成物である。それぞれの脂環式エポキシ樹脂に特有な熱分解生成物を表 7. に示す。興味あることに、脂環式エポキシ樹脂を同定するのに用いる熱分解生成物は、いずれも芳香族系化合物である。これは熱分解過程で、シクロ環の脱水素反応が起こるためと思われる。また、アララダイトの 3 種類は、ベンツアルデヒドが多量に生成するのに対して、チッソノックスは全く生成し

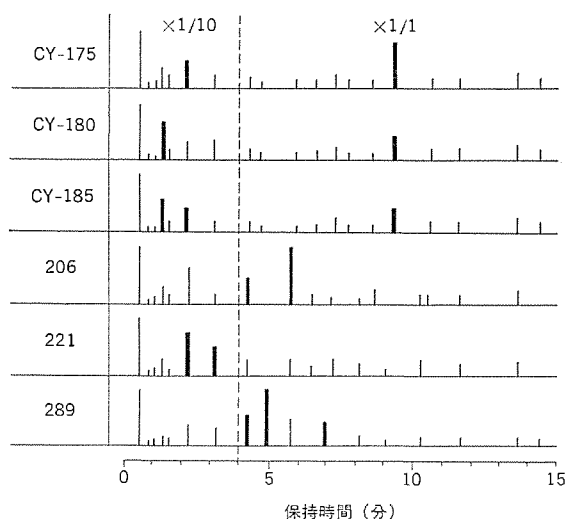


図 5. 硬化脂環式エポキシ樹脂熱分解生成物のフィンガプリント

表 7. 硬化脂環式エポキシ樹脂の同定に用いる熱分解生成物

種 類		熱 分 解 生 成 物
アラ ル ダ イト	CY-175	ベンツアルデヒド, ベンゼン
	CY-180	ベンツアルデヒド, シクロヘキセン
	CY-185	ベンツアルデヒド, ベンゼン, シクロヘキセン
チ ッ ソ ノ ッ ク ス	206	スチレン, m. p-キシレン
	221	ベンゼン, トルエン
	289	o-キシレン, m. p-キシレン

ない。これは、脂環式エポキシ樹脂の製造において、前者は、シクロヘキセンカルビノールと $\alpha$ ,  $\beta$ -不飽和アルデヒドとを反応させるのに対して、後者は、主としてラジエンと $\alpha$ ,  $\beta$ -不飽和アルデヒドとを反応させるためと思われる<sup>(6)</sup>。

#### 4. 注型絶縁材料への応用

エポキシ樹脂は非常に多くの電気機器に使用されており、注型絶縁材料もその1つである。通常、このような注型用樹脂にはエポキシ樹脂、硬化剤、変性剤、無機充填剤、硬化促進剤などが配合されている。A, B, C 3種の注型樹脂を入手する機会を得たので、本報で述べたような分析方法を主体にして組成分析を試みた。

まず、試料をめのう乳鉢、あるいはミキサミルで粉砕し、KBr錠剤によって赤外吸収スペクトルを測定した。それぞれの赤外吸収スペクトルについて解析したところ、3種とも多量にシリカ系の無機充填剤が含まれていることが分かった。そして、シリカ系の無機充填剤はエポキシ樹脂、硬化剤、及び変性剤などに基づく吸収を妨害しているために、著しくスペクトルの解析が困難であった。そこで、試料をふっ化水素酸(HF 46%)に、約1時間ほど浸し(漬)しておき、無機充填剤を溶解させて除くことを試みた。ふっ化水素酸処理後、再びKBr錠剤で赤外吸収スペクトルを測定したところ、都合のよいことに、無機充填剤に基づくと推定された吸収がほとんど消滅し、スペクトルの解析は容易になった。解析した結果、3種ともに、エポキシ樹脂はビスフェノールA形エポキシで、硬化剤は酸無水物系であることが推定できた。しかし、変性剤についての知見は全く得られなかった。

次に、酸無水物系硬化剤を同定する目的で、試料を1~2g試験

表 8. 変成器注型エポキシ樹脂の組成分析結果

試 料	エポキシ樹脂	硬 化 剤	変 性 剤	無機充填剤
A	ビスフェノールA形	HHPA	ポリオール	シリカ (約60 wt %)
B	ビスフェノールA形	HHPA	(不明)	シリカ (約60 wt %)
C	ビスフェノールA形	THPA PA	ポリオール	シリカ (約60 wt %)

管内に採取し、バーナで加熱して熱分解させ、でてきた留出物の赤外吸収スペクトルを測定した。その結果、AとBは、ヘキサヒドロ無水フタル酸(HHPA)とほぼ断定できたが、Cについては、テトラヒドロ無水フタル酸(THPA)単独なのか、あるいはTHPAと無水フタル酸(PA)の混合物であるのかははっきりしなかった。いずれであるかを明らかにするため、CについてPGCを試みた。分析条件は3.3節で述べたものと全く同じとし、標準試料として、Epon 828+THPAとEpon 828+PAを作成した。それぞれの硬化樹脂のパイログラムを測定し、比較、検討した結果、Cの硬化剤は、THPAとPAの混合物であることが判明した。

赤外吸収スペクトルからは、変性剤についての知見が全く得られなかったもので、PGCによって変性剤の分析を試みた。なお、分析方法は3.2節で述べた方法と同じである。この方法は、硬化剤の相違による影響はないことが分かっているため、図4.のデータを使うことができる。3種の試料についてパイログラムを測定し、図4.のフィンガプリントと照合した結果、AとCは、エポニット017のようなポリオールのモノエポキシサイド系可撓性付与剤が配合されていることが判明した。しかしBは、一部パイログラムに特性ピークらしいものが確認できたが、それが変性剤によるものかどうかは判別できなかった。3種の注型樹脂の組成分析結果を表8.に示す。

#### 5. む す び

以上、熱分解ガスクロマトグラフを使った硬化エポキシ樹脂の組成分析について述べた。これにより従来、赤外スペクトル法だけでは分析できなかった変性剤やある種の硬化剤、樹脂成分の分析も可能となり、硬化エポキシ樹脂の全組成分析ができるようになった。一方、電気機器に使用する硬化エポキシ樹脂に対する要求は、ますます厳しくなり、新しい系の樹脂が次々と開発されている。これらの適用化にあたり、新しく出現する諸問題に対処するための一手段として活用させていきたい。また、高分子材料の劣化解析、微細構造解析といった面への利用も大いに期待される。

#### 参 考 文 献

- (1) T. Sugita, M. Ito : Bull. Chem. Soci. Japan, 38, No. 10, 1620 (1965)
- (2) 森本, 榎本, 小西 : 高分子化学, 29, No. 328, 582 (昭47)
- (3) 狩野, 井上, 小林, 今村 : 三菱電機技報, 46, No. 6, 713 (昭47)
- (4) 武内, 柘植 : 高分子の熱分解ガスクロマトグラフィ, 化学同人
- (5) 垣内 : エポキシ樹脂, 昭晃堂

# 大容量変圧器における流動帯電現象

菅 寿郎\*・三浦良和\*・渡辺次男\*・石井敏次\*\*・新田東平\*\*\*

## 1. ま え が き

大容量変圧器の信頼性を確保するため、設計・製作上は（汎）な努力がはらわれている。例えば、絶縁性能を向上させるため絶縁物の乾燥処理、油の処理技術、現地すえ（掘）付時の水分管理などの改善、冷却効率を向上させるための冷却ダクト構造の改良などである<sup>(1)</sup>。

ところが、電力用変圧器の信頼度向上のためのこのような技術的改善の結果、従来の変圧器ではほとんど問題とされなかった油流による流動帯電現象を、絶縁上の問題として検討しておく必要がでてきた。この現象は、変圧器内部で油が流動することにより絶縁紙が負に、油が正に帯電するために生じるものであり、変圧器に使用する油及び絶縁物の処理技術が向上した結果、高い固有抵抗の油が良く乾燥された紙絶縁物上を流れるとき顕著に現れる。この現象により発生した静電気が変圧器内部にあるレベル以上蓄積されると、静電気による空間電荷電界が油の破壊電界を超え、絶縁破壊を引き起こすことが考えられる。

当社では、送油式変圧器における流動帯電現象について既に数年以上にわたり、基礎解析、実器における検討、材料面の研究など種々の角度から広範な研究を進めてきた。この結果、現象の詳細がほぼ明らかとなり、実器製作にその成果を反映させている。

ここでは、送油式変圧器の流動帯電現象と、その変圧器絶縁におよぼす影響などについて概要を報告する。

## 2. 変圧器における流動帯電

液体での流動帯電の現象は、主に石油化学の分野で送油時に発生する静電気による爆発事故を防止する観点から長い間研究が進められてきた<sup>(2)(3)(4)</sup>。この流動帯電は、通常金属製パイプ内面と液体との界面で生じ、帯電した油がタンク内に流入し蓄積された電荷によりタンク内の液面で気中放電を生じる現象である。

一方変圧器における流動帯電は、送油式変圧器において絶縁油が変圧器内部を循環する際に、絶縁物と油との界面で生じ、タンク内部や絶縁物表面に蓄積された電荷により油中や絶縁物表面で放電を生ずる現象で、最近新しく問題となってきたものである<sup>(5)</sup>。変圧器における流動帯電の概念を図1に示す。

変圧器内の冷却ダクトを絶縁油が通過する際、一般に絶縁油と油浸紙の界面では油中の負電荷は正電荷よりも油浸紙に吸着されやすいため、絶縁油は正に帯電し、油浸紙表面は負に帯電する。（電荷分離）また電荷分離した正、負の電荷は接地金属に向かい徐々に消滅していく。（電荷緩和）

これらの電荷の動きは接地金属への漏れ電流として観測される。なお接地金属はコイル、タンク、冷却器系、鉄心及び各種のシールド類等の金属物体で構成される。これら各電極への漏れ電流は金属物体で囲まれた内部の現象であるので、その総和は零となる。そしてこの漏れ電流の分布を詳細に測定することにより、変圧器内の静電気

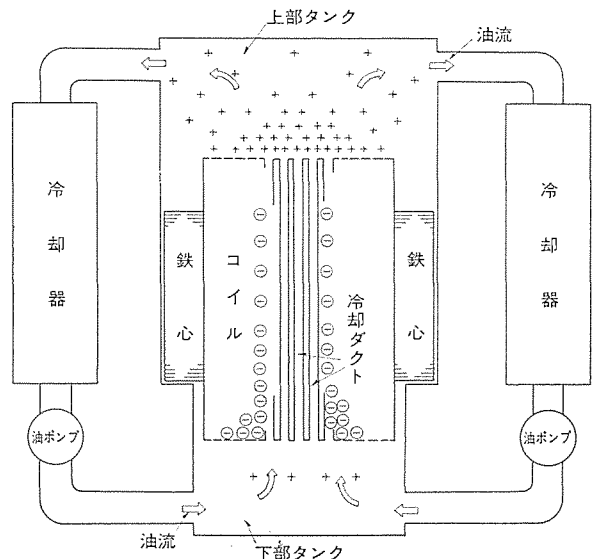


図1. 送油式変圧器における流動帯電の概念図

発生の分布をは（把）握することができる。

なお、コイルは通常変圧器内のほぼ中央部に位置し、かつ油ダクトの近傍にあるという点から、コイルへの漏れ電流を測定することによって変圧器内の静電気発生量の概略値を知ることができる。

変圧器内の電荷分布は次のように考えられる。絶縁油が流路下流側に流動するに伴い油中正電荷密度は増加する。流路形状が一様な油ダクトの場合、油中正電荷の油浸紙面への緩和によって油浸紙表面の負電荷は流路入口部で最大値を示し、油流方向に向かって減少する分布を示す。流路入口部での負電荷の蓄積によってこの部分の電位は上昇するが、この電位は電荷分離による負電荷の発生割合と負電荷の接地物への漏れの割合との平衡によって決定される。負電荷の大地への漏れは漏れ抵抗の大きさに依存することから、帯電部の電位はその部分と接地物との漏れ抵抗の影響を受けることになる。

油中の正電荷は上部タンク内に流入し蓄積する。上部タンク内には帯電量の異なる油が流入し混ざり合っている。そして、油中の正電荷はタンク壁に向かって緩和する。その結果、流路出口部で最も高い正電荷密度を示し、タンク壁に向かい減少する分布を示す。この電荷分布に起因する電界強度は流路出口部では特に高くなる。また、この電界強度は油中の全電荷量の影響を受けるので、油空間の大きさが大きい程高くなる。

電荷分離が顕著でかつ電荷緩和が起こりにくい場合、油浸紙表面（特に流路入口近傍）には負電荷が、また上部タンク内には正電荷が多量に蓄積される。この結果、流路入口部の負電荷による電界強度が油浸紙表面の沿面放電を、また流路出口部の正電荷による電界強度が油中放電を発生するに十分なものとなり得る可能性がある。

なお、上部タンクから流出する油は幾分かの正電荷をもち、冷却

器と油ポンプを流れるが、ここでも若干の電荷分離と電荷緩和が起こる。したがって、変圧器における静電気の分布は油の循環系内各部の電荷分離と電荷緩和の平衡条件によって決まることになる。

### 3. 変圧器における流動帯電の特性

流動帯電によって、変圧器のコイルから流れる漏れ電流は、油流による流動帯電の大きさを示す目安となり、変圧器において最も簡単にしかも精度よく測定できる静電気量である。もちろん変圧器のタンクや鉄心へ直接流れ込む漏れ電流も存在するので、コイル漏れ電流は全静電気発生量の一部分であることに注意を要する。しかしこの割合はほぼ一定と見なせるので、変圧器の流動帯電の特性をコイル漏れ電流である程度まで論ずることができる。コイル漏れ電流は通常負極性で油流速、油温、交流印加電圧の影響を受ける。

なお、油流速がきわめて高い条件では静電気の発生が顕著となつて、静電気による放電が発生する可能性がある。これらの諸特性に

ついてモデル変圧器等で試験した結果を述べる。

#### 3.1 モデル変圧器及び測定回路

変圧器における流動帯電の特性を調べるために 500 kV 1,000/3 MVA モデル変圧器を使用した。図 2. にモデル変圧器を、図 3. にその測定回路を示す。変圧器は油及びプラスチックとも高度に乾燥処理されている。また流量は定格の約 3 倍にまで変えられるようにしている。油温はスチームによる熱交換器で変え、交流励磁の状態でもコイル漏れ電流が測定できるように CR フィルタを設けている。更に油の導電率を測定できるプローブ、及び静電気による放電が発生したときに、放電パルスと同期した放電音の計測ができる装置を備えていることなどの特長を有している。

#### 3.2 コイル漏れ電流の油温依存性及び交流印加電圧の影響

静電気の発生及び緩和に関与するいくつかの物性値は油温によって変化する。例えば、油及び油浸紙の固有抵抗は油温の上昇とともに指数関数的に減少し、油の粘度も小さくなる。したがって漏れ電流は油温によって変化する。漏れ電流の基本特性を調べるために図 4. に示す単一ダクトモデルにより測定した漏れ電流と油温の関係を図 5. に示す。漏れ電流は低温域では油温の上昇とともに増加し、ある温度でピークを示したあと、それ以上の高温域では単調減少する。また、図に示すように流速が増加するにつれてピーク値は増加し、またピークを示す温度は高くなる。なお油の導電率が小さい場合は電荷の緩和が起こりにくくなるので、コイル漏れ電流がピークを示す油温は高温域へ移動する。

図 6. は一定流量における変圧器のコイル漏れ電流と油温の関係を印加電圧をパラメータとして示したものである。いずれの場合もコイル漏れ電流は油温の上昇とともに低温域では増加し、ある温度でピークを示したのち高温域では減少している。

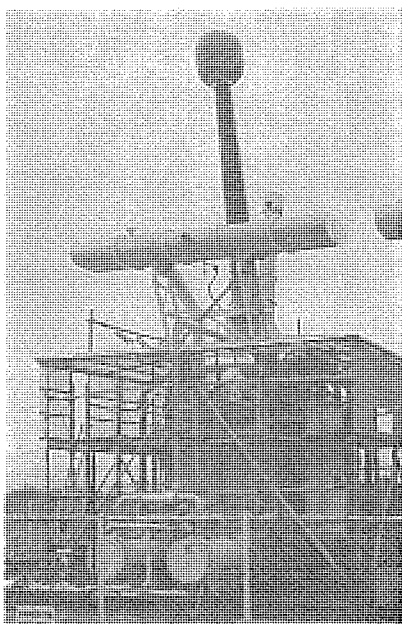


図 2. 実測中のモデル変圧器

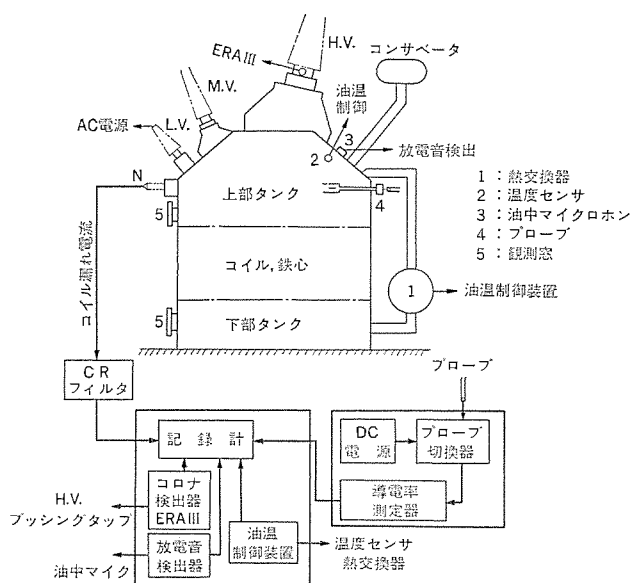


図 3. モデル変圧器の測定回路

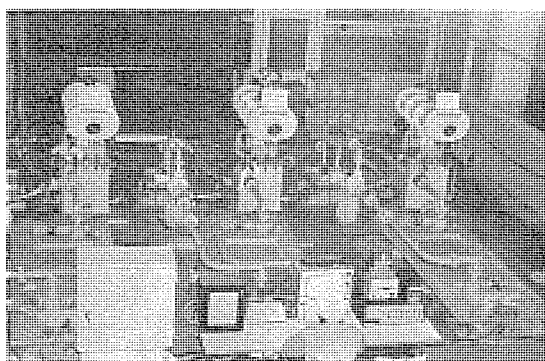


図 4. 試験中の単一ダクトモデル

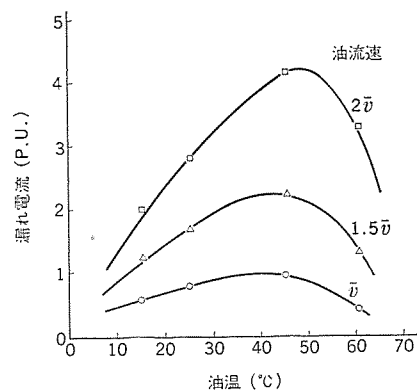


図 5. 漏れ電流の油温依存性

変圧器のコイル漏れ電流は印加電圧の影響を受け、図 6. に見られるように印加電圧が高くなるほど増加している。この増加の割合は油の導電率の高くなる高温域で顕著となるので、コイル漏れ電流がピークを示す油温はより高温域へ移動する。

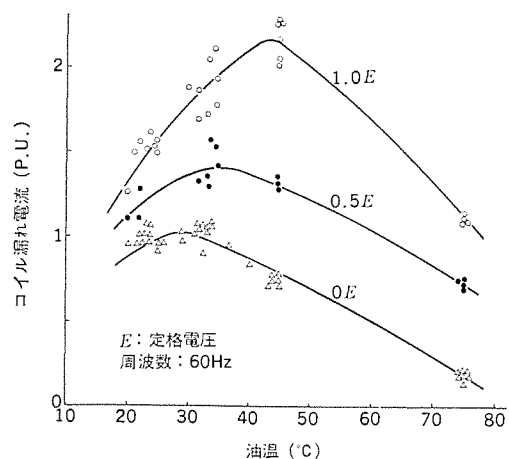


図 6. コイル 漏れ電流の油温依存性及び交流印加電圧の影響

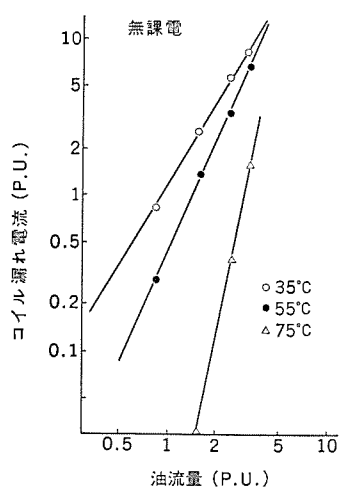


図 8. コイル 漏れ電流の油流量依存性

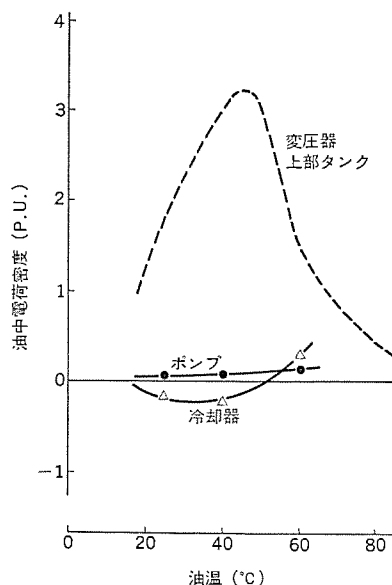


図 10. 冷却装置における油の帯電量

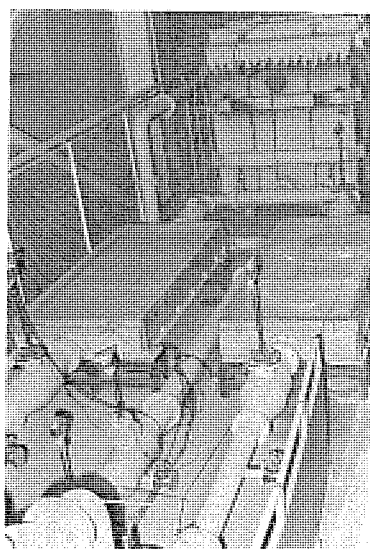


図 9. 冷却器での実測状況

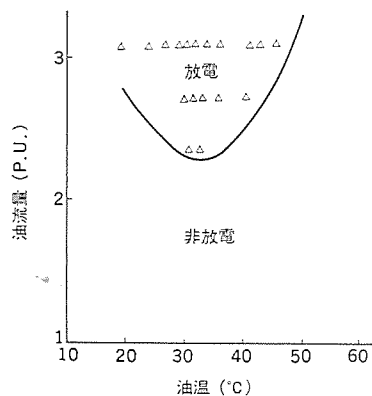


図 11. 交流電圧印加時の静電気放電の発生域

### 3.3 コイル漏れ電流の流量依存性

油流による静電気の発生は油の流速が速くなるほど大きくなり、層流領域では油流速の1乗に比例する。一方、漏れ電流は発生と緩和によって決まるので、油流速と流路長によって変化する。

図 7. は単一ダクトの流路方向に分割した電極を設けたモデルで、漏れ電流  $I_L$  と流路長の関係を油流速をパラメータとして調べた結果である。 $I_L$  は流路入口部からの距離が長くなるにつれて減少していること、流路入口部では  $I_L$  は流速にほぼ比例して大きくなっていることが分かる。

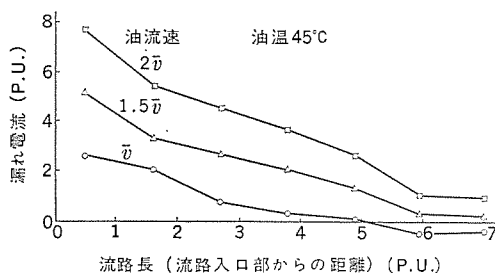


図 7. 漏れ電流の流路方向の分布

図 8. はモデル変圧器のコイル漏れ電流と油流量の関係を示す。コイル漏れ電流は油温の低いところでは流量の1～2乗に比例するが、油温が高くなるとこの依存性は3～4乗にもなる。この理由は高温域では油の導電率が高いうえ、低流量になればなるほど油中正電荷の油浸紙面への緩和が顕著となって、負極性のコイル漏れ電流が小さくなるため

である。

### 3.4 冷却装置における流動帯電

流動電流は、冷却装置でも発生する。流動帯電の冷却器及び油ポンプにおける実測状況を図 9. に示し、測定した油中電荷密度の1例を図 10. に示す。これら冷却装置における油の帯電量は変圧器本体の流動帯電の特性を大きく変えるほどのものではないと考えられる。

### 3.5 流動帯電による放電の発生

油流量のきわめて高い試験条件では静電気の発生及び蓄積が顕著となって、変圧器本体内で静電気放電を生じることがある。この静電気放電の発生域は図 11. に示すように、油流量及び油温の特性図において放電限界域が“V”字形で示され、この限界よりも高流量になるほど放電の大きさとその発生頻度が増す。

油流量を増加し、かつ交流電圧等によって静電気の発生を増加させても放電が発生するまでには相当の時間おくれがあること、また静電気放電が生じているときに課電を中断して静電気発生を減少させても、しばらくのあいだ放電が続くことがある。これらの特性から考えて静電気放電は油中の正電荷又はプラスボード表面の負電荷の蓄積があるレベル以上となったときに生じるものと考

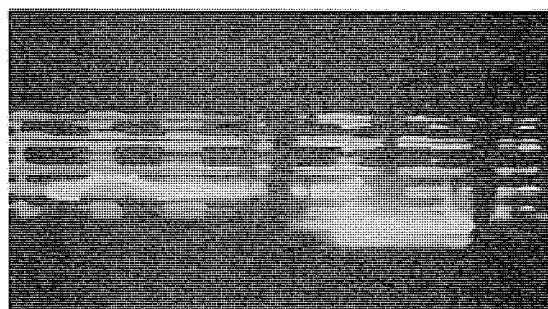


図 12. 油流路モデルで観測された沿面放電の例

えられる。また油温が高い領域では交流電圧の影響によって静電気発生が増加しても、油及びプラスチックの導電率が急激に増加するため、上記の電荷の蓄積が減少するので放電は起こらなくなる。

図 12. に油流路のモデルを製作し、非常に速い油流速で試験したときに観測された沿面放電の 1 例を示す。

#### 4. 流動帯電の機構

前章において流動帯電の基本的な特性を紹介したので、ここではこれらの結果をふまえて静電気の発生及び蓄積について述べる。

図 13. は油浸紙表面近傍において定常的に流動帯電が生じている状況を示したものである。

油中の正イオンの分布  $q(z, x)$  はイオンの濃度こう配による熱拡散電流と油中静電界による導電電流の平衡から次式で与えられる<sup>(4)(6)</sup>。

$$q(z, x) = \frac{Q(z)}{\delta} \cdot \exp\left(-\frac{x}{\delta}\right) \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで  $x$  は油浸紙表面より油中に向かう距離、 $Q(z)$  は入口より  $z$  の点での油中正電荷による電束密度である。 $\delta$  は デバイ 長でイオンの熱拡散係数を  $D$ 、油の導電率を  $\kappa$  とすれば次式で与えられる。

$$\delta = \sqrt{D \cdot \epsilon / \kappa} \quad \dots\dots\dots (2)$$

通常の変圧器の油流路においてはレイノルズ数は層流域における数値をもつので、油流速分布  $v(x)$  は扁平な油けき(隙)  $h$  の平行ダクトを考えれば、平均流速を  $\bar{v}$  とし次式で示される。

$$v(x) = \frac{6\bar{v}}{h^2} x(h-x) \quad \dots\dots\dots (3)$$

無帯電油の流動によって油浸紙表面と油の界面において油側に発生する静電気の電流密度を  $i_a$  とすれば、界面における電流の連続性から次の式が成立する。ただしダクトの周長を  $W$  とし、 $\delta \ll h$  とする。

$$i_a - \frac{\kappa}{\epsilon} \int_0^h q(z, x) dx = \frac{1}{W} \frac{dI_s(z)}{dz} \\ = \frac{d}{dz} \left\{ \int_0^h q(z, x) \cdot v(x) dx \right\} \quad \dots\dots\dots (4)$$

ここで

$$i_a \approx A \bar{v} \kappa \frac{1}{\mu} \quad \dots\dots\dots (5)$$

ただし、 $A$  は油の種類、油浸紙表面の形状と性質に依存する係数であり、 $\mu$  は移動度である<sup>(7)</sup>。式(5)について少し詳しく述べる。

油の導電率は油中イオン濃度に比例する。電荷の発生も油中イオン濃度と関係することが予測されるので、導電率とも密接な関係のあることが考えられる。

なお流動帯電現象に関する種々の特性を検討する場合、直流電圧

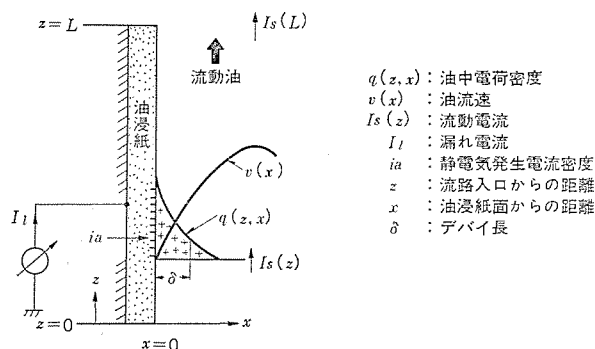


図 13. 油浸紙面における流動帯電の概念図

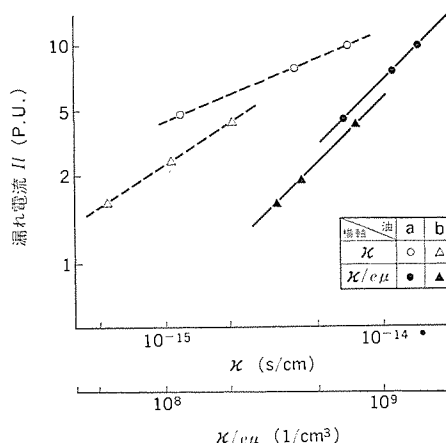


図 14. 油温を変えて測った時の  $I_l$  の  $\kappa$  依存性と  $\kappa/\epsilon\mu$  依存性

を印加した直後の導電率<sup>(8)</sup>を用いるとうまく整理される場合が多いので、この論文ではすべて、この状態の導電率  $\kappa$  を用いている。

さて、流路長が短く油流の速い、いわゆる緩和のあまり生じない装置を使用して幾種類かの油に対し温度を変えることにより、 $\kappa$  を変えて漏れ電流  $I_l$  を測定した。この結果の代表例を図 14. の点線で示す。この場合  $I_l$  は導電率  $\kappa$  の 0.4~0.7 乗程度に比例するが、同じ測定値を  $\kappa/\epsilon\mu$  で整理すると実線で示すように  $I_l$  は  $\kappa/\epsilon\mu$  のほぼ 1 乗に比例する。ここで  $e$  は素電荷量であり、 $\mu$  は移動度である。

また、温度及び  $\mu$  を一定にしておき、イオン性添加剤を加えて  $\kappa$  を変化させた場合の  $I_l$  も  $\kappa$  のほぼ 1 乗に比例する。

以上の結果より、電荷の発生  $i_a$  と  $\kappa$  との間には式(5)の関係が得られる。

次に式(4)に式(1)、式(3)及び式(5)を代入することにより  $I_s(z)$  を求めると式(6)のようになる。

$$I_s(z) \approx A \cdot W \cdot Z_e \cdot \bar{v} \cdot \kappa \cdot \frac{1}{\mu} \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{Z}{Z_e}\right) \right\} \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$Z_e = \frac{6\sqrt{D} \left(\frac{\epsilon}{\kappa}\right)^{3/2} \cdot \bar{v}}{h} \quad \dots\dots\dots (7)$$

ここで  $Z_e$  は電荷緩和の長さである。

図 15. は  $I_s(z)$  が流路に沿ってどのように増加してゆくかを油の導電率  $\kappa$  をパラメータとして示したもので、流路出口  $Z=L$  での流動電流  $I_s(L)$  は定常状態では油浸紙から接地金属へ流れ出る負の漏れ電流  $I_l$  に等しい。また図 16. は  $I_s(L)$  の  $\kappa$  依存性を  $L$  をパラメータとして示したものである。すなわち油流速  $\bar{v}$  を一定として考えたときに次のようなことがいえる。

(1) 油の  $\kappa$  が大きい場合には油中正電荷が油浸紙面へ速く緩和し

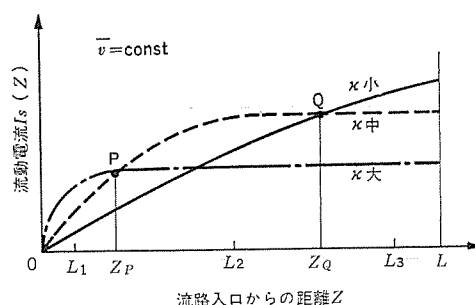


図 15. 流動電流  $I_s(Z)$  の増加特性

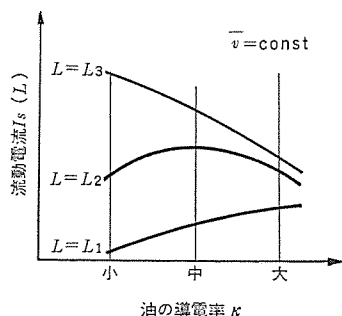


図 16. 流動電流  $I_s(L)$  の  $\kappa$  依存性

てしまうので式(7)に見るように電荷緩和長が短く、したがって  $I_s(z)$  は図 15. の 1 点鎖線で示すように低いレベルで飽和に至る。

(2) 逆に  $\kappa$  が小さい場合には上記油中正電荷の緩和長が長くなるので、 $I_s(z)$  は実線で示されるようにほぼ直線的に増加し、 $Z=\infty$  における飽和値は高いレベルに至る。

(3)  $\kappa$  が中間的な値の場合には電荷緩和長も  $I_s(z)$  の飽和値も中間的な値をとるため、破線で示すように上記 2 ケースのカーブとそれぞれ P 点及び Q 点で交差することになる。

したがって  $L \leq Z_P$  なる流路長  $L_1$  のような場合、 $I_s(L)$  は図 16. に示されるように  $\kappa$  に対して単調増加し、また  $L \geq Z_Q$  なる流路長  $L_3$  のような場合、 $I_s(L)$  は単調減少する。そして  $Z_P < L < Z_Q$  なる流路長  $L_2$  のような場合、 $I_s(L)$  は中間的な  $\kappa$  でピークを示すような特性となる。

油流速  $\bar{v}$  を変化した場合にも上記油中正電荷の緩和効果が変わり油流速が低い場合にはこの緩和効果が顕著となるので、 $I_s$  がピークを示す油の導電率、したがって油温も低いほうに移動する。図 5. はこの特性をよく示している。また漏れ電流の油流速依存性において油温が高い場合、油中正電荷の緩和効果が油流速の低下とともに顕著となるため、低油温の場合と比較してその油流速依存性の傾斜が大きくなることも容易に推定できる。図 7. に示した漏れ電流の分布で油流速の低いとき、流路出口部近傍で電流が極性反転している特性も、このような油中正電荷の緩和効果で説明することができる。

交流電圧によって静電気発生が増加する現象は図 13. に示される油中正イオンの分布のひろがりであるデバイ長  $\delta$  が、交流電界によって実効的に長くなると考えれば説明できる。この  $\delta$  の変化分  $\Delta\delta$  の  $I_s$  におよぼす程度は式(2)及び式(6)から分かるように、無課電時の  $\delta$  が小さいほど、すなわち油の導電率が高いほど大きい。

流動帯電が定常的に生じているとき、油中の静電荷密度は流路入口部でほぼ零であり、流路出口部では油流速、油温及び流路長等に対応した値をもって上部油スペースに流出する。この油中正電荷密度は 2 章で述べたように流路出口部近傍で高く、タンク壁に向かって減衰する分布を示すが、この電荷密度分布によってきまる流路出口部付近での電界強度あるいは電位は油中電荷密度の大きさが同じであっても油スペースの大きさが大きいほど高い値になる。

一方、油浸紙面に蓄積する負の電荷密度は流路入口部で高い値をもつので、この部分での負電位も高くなる。この負電位は負電荷による漏れ電流が流路入口部での電荷分離の割合と平衡するまで上昇する。したがって流路入口部分における漏れ抵抗が大きいほどこの

部分の電位は高くなる。

変圧器で生じ得る静電気放電は上記した電荷蓄積の多い高電位の部分で発生しやすく、したがってその発生パターンとしては流路の出口部近傍の上部タンク側の油中放電、及び流路入口部のプレスボード表面での下部タンク側の沿面放電に大別できる。第 1 の放電は流路出口部近傍の油中正電荷によりもたらされる上記の電界が油中絶縁破壊電界強度を超えるときに生ずる。またこのタイプの放電では上部タンクの大きさが関係する。第 2 の放電はプレスボード表面の高密度の負電荷に起因する局所的な高電界によって生じる沿面放電であり、上記したように流路入口部での流動帯電の大きさと接地金属への漏れ抵抗の影響を受ける。

## 5. む す び

送油式変圧器では、絶縁上の問題として流動帯電現象について検討しておく必要があることが明らかとなった。変圧器においてこの現象は新しい問題であるので、この論文では変圧器の流動帯電現象の特徴、現象を支配する主要因と流動帯電の機構についてその概略を紹介した。

従来、送油式変圧器の油流速は熱的条件により決定され、流速の上限は冷却効果の飽和、補機損の増大、油流の乱れなどによって制約されてきたが、これらの研究により流動帯電も流速の上限を定める要因となることが明らかとなった。更に、流動帯電による放電発生領域は油温によって変わるため、放電発生の防止対策として、冷却器の運転台数を油温度によって制御することが有効であることが分かった。なお、流動帯電の大きさは油によって異なるので、油の特性について十分な検討が必要である。

流動帯電現象は大形変圧器設計上の重要な技術の 1 つであり、最も早くこの研究に着手した当社は現象を分明し、その結果を製品に適用し、信頼性向上に資していることは申すまでもない。

新製品開発、内部絶縁及び冷却構造の改良、あるいは UHV 変圧器の開発に対して電磁界、漂遊損、機械力などの広汎分野の技術開発と平衡して一層の研さんを約したい。

最後に、この研究にあたりご指導ご協力いただいた各電力会社はじめ関係各位に謝意を表する次第である。(昭和 53-8-23 受付)

## 参 考 文 献

- (1) 電気協同研究, 31, 3 号, 大容量変圧器現地作業基準
- (2) 静電気ハンドブック, 高分子学会
- (3) A. Klinkenberg, J. L. Minne: Electrostatics in the petroleum industry, Elsevier Pub. Co., Amsterdam (1958)
- (4) 増田: 新しい静電気工学の発展 [I], [II], 電子通信学会誌, 58-6 (昭 48)
- (5) 高木ほか: Reliability improvement of 500 kV large capacity power transformer, 1978 CIGRE SC-12 Committee Report No. 12-02
- (6) 北原, 渡辺: 界面電気現象, 共立出版
- (7) 宮本, 土江: 電気絶縁油におけるイオン伝導, 電学誌, 98, p. 17 (昭 53)
- (8) 田中, 嘉本, 新田: 絶縁油の導電特性, 昭 52 電気学会関西支部連合大会



# 全3相一括形ガス絶縁変電所(GIS)

左 近 一 郎\*・竹 内 義 治\*・田 中 久 雄\*・丸 谷 朋 弘\*・丹 羽 春 美\*

## 1. ま え が き

変電機器の高信頼性化・縮小化・無保守化を主眼にして開発された「ガス絶縁変電所 (GIS)」は、その卓越した特長と経済性により、現在では受変電設備の計画に当たってごくはん(汎)用的に採用されるまでに普及してきた。

昭和 38 年に研究を開始した三菱 GIS については、昭和 48 年に 550 kV GIS を製品化し、72~550 kV の広範囲のシリーズ化を完成しているが、更に縮小化の進展と信頼性の向上とともに使いやすさを主眼に適用技術と製造技術の検討を行い、種々の開発・改良を行っている。使いやすくするための応用機器開発例としてガス絶縁母線・酸化亜鉛式避雷器とともに、開閉器(断路器・接他開閉器)の電流開閉機能付加や保護・監視装置・保守器具などがあるが、縮小化を進展させるものとして絶縁設計の改善とともに3相一括化が課題になっていた。



図 1. 全3相一括形 GIS の例

























定格電圧(kV)	72	84	120	168	204	240	300	550
構成方式								
相分離形	 S.43年	 S.44年	 S.46年	 S.48年	 S.51年	 S.53年	 S.55年	 S.58年
主母線3相一括形	 S.44年	 S.45年	 S.46年	 S.48年	 S.51年	 S.53年	 S.55年	 S.58年
全3相一括形	 S.51年	 S.53年	 S.55年	 S.58年	 S.61年	 S.63年	 S.65年	 S.68年

図 2. 三菱ガス絶縁変電所 (GIS) シリーズ一覧

三菱 GIS は、図 2. に示すように製品の初期段階 (昭和 44 年) で主母線の 3 相一括化をいち早く達成し、多くの運転実績を有しているが、更に大幅な縮小化を達成させるために昭和 51 年に 84/72 kV 全 3 相一括形 GIS、昭和 53 年 4 月に 204/168/120 kV 全 3 相一括形 GIS を製品化し、72~204 kV 全 3 相一括形 GIS のシリーズ化を完成した。

今回のシリーズ化に当たり、相分離形 GIS の豊富な実績に裏付けられた技術を反映させるとともに、避雷器技術には酸化亜鉛式避雷器を 3 相一括形構造で製品化し、更に変成器技術の発展として 120 kV 級までの実績を有するガス絶縁計器用変圧器を 204/168 kV まで 3 相一括形で構成し、開閉器技術だけでなく、変成器技術・避雷器技術などの全三菱変電機器技術を集大成して完成したものである。

以下に三菱全 3 相一括形 GIS の概要を報告する。

## 2. 特 長

### (1) 新技術の適用

すべての機器を 3 相一括化して縮小化するため、計器用変圧器については、従来のコンデンサ形計器用変圧器より高信頼性と高性能を有し、小形化が可能であるガス絶縁計器用変圧器を開発・製品化した。また、避雷器も従来のガスギャップ方式から酸化亜鉛方式を採用して一層の小形化・高性能化を達成している。

変圧器直結部についても、ダブルフランジ方式のガス・油プッシングを開発・製品化して信頼性向上・小形化を図っている。

### (2) 縮小化

計器用変圧器・避雷器・変圧器直結部の小形化だけでなく、システムとして従来の相分離形と比べてすべ(据)付面積・ユニット間隔・容積などを 60 % 程度にまで縮小化している。

### (3) 完全密閉化

高圧充電部の密閉化に加え、機構部の密閉化を図り、駆動部を完全密閉することで耐環境性を著しく向上させ、積雪地域やじんあい地区などに使用できる多用途の機能を有している。

### (4) 工期短縮

ユニット間隔が縮小されたので、2 回線分のユニットが工場組立状態で一括輸送が可能であり、相分離形と比べて現地における据付作業が短縮・簡素化されている。

### (5) 環境調和

3 相一括化されてタンク本数が減り、部品数が減少するとともに、相間の連結ロッドが露出しなくなり、外観の簡素化と、完全密閉化とともに一層の環境調和が可能になった。

## 3. 定格及び構造

各構成要素の定格を表 1. に、2 重母線方式のフィードユニ

表 1. 三菱全 3 相一括形 GIS 定格

定 格 電 圧			(kV)	72	84	120	168	204
定 格 電 流			(A)	1200, 2000, 3000				
定 格 短 時 間 電 流			(kA)	25, 31.5		31.5, 40		
絶 縁 階 級			(号)	60	70	100	140	
定 格 ガ ス 圧			(kg/cm <sup>2</sup> ・20℃)	4				
し ゃ 断 器	定 格 電 圧		(kV)	72	84	120	168	204
	定 格 電 流		(A)	1200, 2000, 3000				
	定 格 し ゃ 断 電 流		(kA)	25, 31.5		31.5, 40		
	定 格 し ゃ 断 時 間		(サイクル)	3, 5			3	
	操 作 方 式			投入…ばね し ゃ断…空気(15kg/cm <sup>2</sup> )				
	定 格 ガ ス 圧		(kg/cm <sup>2</sup> ・20℃)	5				
断 路 器	定 格 電 圧		(kV)	72	84	120	168	204
	定 格 電 流		(A)	1200, 2000, 3000				
	操 作 方 式			空気又は手動				
	定 格 ガ ス 圧		(kg/cm <sup>2</sup> ・20℃)	4				
接 地 開 閉 器	定 格 電 圧		(kV)	72	84	120	168	204
	操 作 方 式			手動又は空気				
母 線	定 格 電 圧		(kV)	72	84	120	168	204
	定 格 電 流		(A)	1200, 2000, 3000				
	定 格 ガ ス 圧		(kg/cm <sup>2</sup> ・20℃)	4				
避 雷 器	形 式			SF <sub>6</sub> ガス絶縁式(酸化亜鉛方式)				
	定 格 電 圧		(kV)	84	98	140	196	182
	公 称 放 電 々 流		(kA)	10				
	開閉サージ動作負荷静電容量		(μF)	25, 50			50	
	定 格 ガ ス 圧		(kg/cm <sup>2</sup> ・20℃)	4				
計 器 用 変 圧 器	形 式			SF <sub>6</sub> ガス絶縁式				
	定 格 1 次 / 2 次 / 3 次 電 圧		(kV/V/V)	66/110/110/3	77/110/110/3	110/110/110/3	154/110/110/3	187/110
	定 格 2 次 / 3 次 負 担		(VA/VA)	200, 500, 1000/50, 100, 200				
	誤 差 階 級		(級)	1.0/3G				1.0
	定 格 ガ ス 圧		(kg/cm <sup>2</sup> ・20℃)	4				
計 器 用 変 流 器	形 式			貫通形(内蔵式又は外装式)				
	電 流			1次電流…仕様による 2次電流…1A, 5A				
	定 格 負 担		(VA)	15, 25, 40, 60, 100				

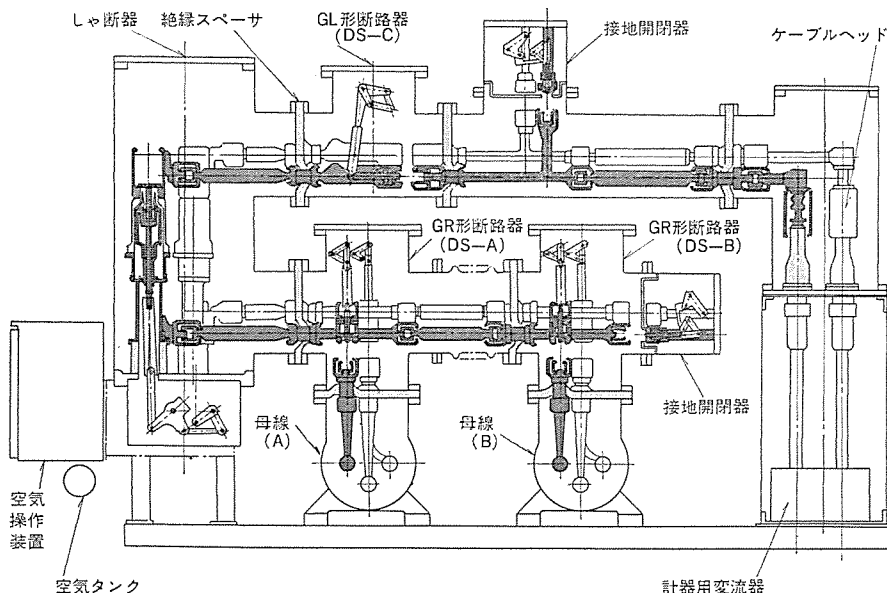


図 3. 三菱全 3 相一括形 GIS 内部構造図

ット内部構造の1例を図3.に示す。

し ゃ 断 器・断路器・接地開閉器・母線・ケーブルヘッドなどの各機器は、接地された金属容器内に絶縁 スペーサ・絶縁支持台によって支持

されている。絶縁 スペーサは、内部導体を支持するとともに ガス 区分を行う機能を持ち、据付点検時の ガス 充・排気時間の短縮や、異なる定格 ガス 圧力の封入が可能になるように考慮されている。

#### 4. 全 3 相一括形 GIS の設計思想

GIS は卓越した絶縁性能を有し、化学的にも不活性な SF<sub>6</sub> ガス で高圧充電部を絶縁して接地金属容器内に密封したものを基本構造にしており、縮小化・高信頼性化・省力化などの GIS 固有の特長は、すべてこの構造に由来している。

今回のシリーズ化ではトータルシステムを指向し、GIS 固有の特長を最大限に生かすべく、表 2. に示すように、GIS に要求される機能を分析して設計に反映させるとともに、相分離形 GIS で確立された信頼性をそのまま受け継が

せながら縮小化と使いやすさを追求して製品化した。

##### 4. 1 縮小化・高信頼性化・省力化に対する対応

###### (1) ガス 絶縁計器用変圧器 (PT) の採用

表 2. 全3相一括形 GIS の機能分析

GISに要求される機能	対 応 策
縮 小 化	全3相一括化
高 信 頼 性	実績の反映
安全性	2ユニット全装可搬形
無公害性	据付工期の短縮
耐環境性	現地作業の簡素化
省 力 化	新技術の適用
構成の自由度	ガス絶縁計器用変圧器
故障復旧対策	酸化亜鉛式避雷器
経 済 性	ガス・油ダブルフランジブッシング
	機構部の完全密閉化
	合理的なガス監視方式
	構成要素(機器)のカートリッジ化
	カートリッジ構成部品の互換性
	故障予知技術の確立
	故障復旧対策の検討
	トータルシステムへの指向

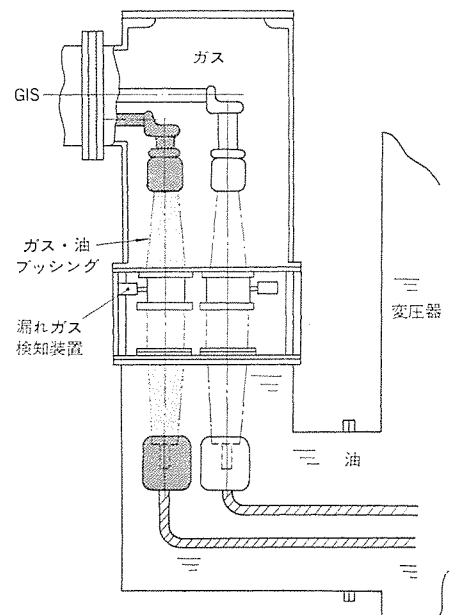


図 4. GIS-変圧器直結部構造  
(ダブルフランジ ブッシング の場合)

従来の GIS 用計器用変圧器には、120 kV までのエポキシレジン絶縁 PT を SF<sub>6</sub> ガスに封入した計器用変圧器とコンデンサ形計器用変圧器との2系列があったが、3相一括化・高電圧化・小形化・不燃化の見地から、ガス絶縁変圧器技術と GIS 技術とを組合せたガス絶縁計器用変圧器を開発・製品化した。内部構造は、プラスチックフィルムによる巻線層間絶縁と、SF<sub>6</sub> ガスによる対地及び相間絶縁方式とを採用したもので、簡素で高電圧に適した構造にしていること、副2次巻線と電圧差動継電器とを組合せて2次短絡・断線保護が可能なこと及びコンデンサ形計器用変圧器と同等の高負担のシリーズを有していることなどの多くの特長がある。

このガス絶縁計器用変圧器を採用したことにより、従来のコンデンサ形計器用変圧器を使用した GIS と比べて

- 寸法及び重量の大幅な縮小・軽減が可能になった。
- オイルレス化によって火災の恐れがなくなった。
- 現地耐電圧試験時に計器用変圧器を接続したまま試験が可能になり、現地試験が簡便になった。
- 構造が簡素になった。

などの改善ができ、全3相一括形 GIS の縮小化・高信頼性化・省力化に大きく貢献した GIS 用計器用変圧器である。

## (2) 酸化亜鉛式避雷器の採用

従来の GIS 用避雷器には、避雷器素子として直列ギャップと特性要素(sicを主材にした焼結素子)とを直列接続した弁形避雷器を使用していたが、全3相一括形 GIS の製品化に当たり、大幅な小形化と高性能化とが可能な酸化亜鉛式避雷器(MOA: Metal Oxide surge Arrester)を採用した。この避雷器は電力回路用の避雷装置として開発されたもので、酸化亜鉛を主材とする高温焼結素子を特性要素にしており、

- 避雷器の大幅な小形化が可能になった。
- 直列ギャップがないので、急しゅん(峻)過電圧に対する応答が速くなり、また放電開始電圧のばらつきが無視できるようになった。
- 無続流である。
- SF<sub>6</sub> ガスを対地及び相間絶縁だけに使用することになり、GIS と同じガス圧力・ガス監視方式を採用できる。

などの特長を有する。

## (3) ダブルフランジ方式のガス・油 ブッシングの採用

GIS と変圧器との接続方式には、気中接続・ケーブル接続・直接接続の3方式があり、直接接続方式は、GIS-変圧器間に接続アダプタ(油室)を設け、GIS 側にはガス・油ブッシング、変圧器側には油・油ブッシングを使用して接続する方式が一般的であったが、最近ではこの接続方式の機能を損なわないう経済性と縮小化とを図るため、図4.に示すダブルフランジ方式のガス・油ブッシングが実用化されている。このブッシングには内部へ万一、ガスが漏れても検知できるように漏れガス検知装置を取付けることができる構造にしてあり、縮小化・高信頼性化・省力化を図っている。

## 4.2 構成の自由度

GIS は、電力事業用・一般需要家などのあらゆる受変電設備に使用されており、設備の立地条件、スケルトン、負荷の形態などが極めて多岐にわたっている。

このように幅広い仕様に対処するため、全3相一括形 GIS をシリーズ化するに当たり、GIS を基準にして変電所構成を計画する従来の考えから発想を転換し、計画されたスペース内に GIS を構成できるように体制を整備した。具体的には、ユニットを構成するしゃ断器・断路器・接地開閉器・計器用変成器・母線などの構成要素に標準化のレベルを置き、需要家計画のスケルトン・仕様・据付スペースに適応した構成要素を選択して GIS を構成する方式であり、構成の自由度を格段に向上させている。

更に、部品レベルで標準化を図り、互換性のある部品で各要素を構成し、部品製造レベルにおける信頼性を向上するように努めている。

## 4.3 故障復旧対策

GIS は、電力の長期安定供給に対応できる極めて信頼性の高いものであるが、GIS が広範囲に使用されるにつれ、予防保全の考えから故障予知技術も急速に進歩しており、また、GIS の構造設計の面でも故障時の復旧対策として移動用ケーブルの接続可能な構造、及び構成要素の解体・取外しが可能な構造にしてある。

移動用ケーブルには、端末構造の簡単な CV ケーブルが使用され、GIS とカートリッジ式に結合される。図5.に移動用ケーブルの接続状

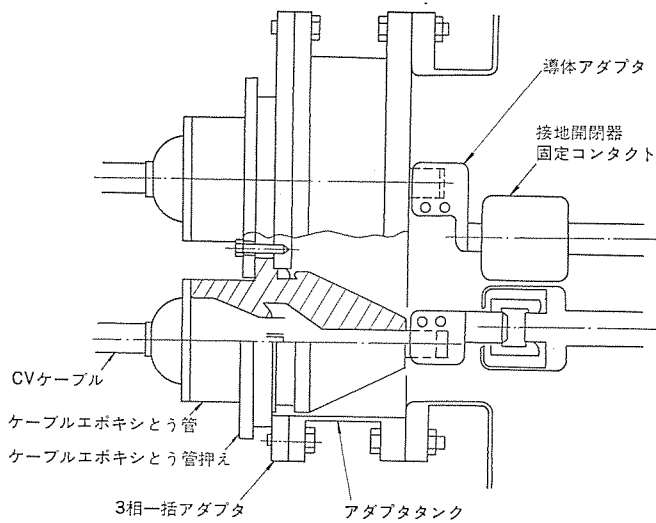


図 5. 移動用ケーブル接続図

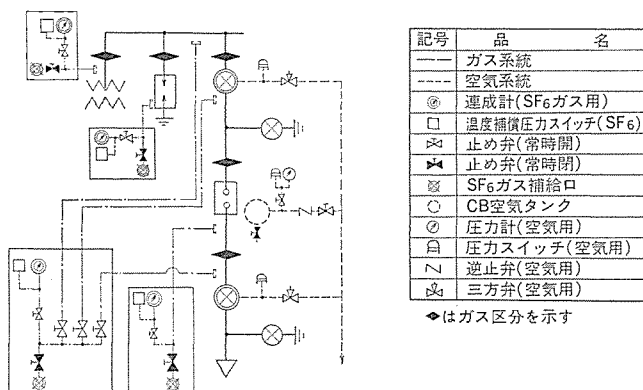


図 6. ガス 系統及び空気系統図

態を示すが、あらかじめ考慮して設計すれば、GISの任意の部分にこの結合部を設けることができるが、一般にはGISの接地開閉器を取外して接続される。

故障時の構成要素の解体・取外しについては、特に2重母線方式のGISの場合、故障ユニット停止・片母線停止だけの条件で解体・取外しが行えるように配慮してある。

図3.は、2重母線ユニットの内部構造の1例であるが、このユニットを構成する全構成要素の解体・取外しが行える構造的な配慮を行い、最も作業困難な母線側断路器(DS-A)について実器を使用して解体・取外しができることを確認した。

#### 4.4 合理的なガス監視方式の採用

ガス監視方式については相分離形GISの運転実績を反映して保守・点検を容易にするものにした。

ガス圧監視には、圧力計による目視と、温度補償圧力スイッチによって監視する方式との2方式を併用している。図6.にガス系統の1例を示すが、ガス区分は各機器ごとに絶縁スペーサで仕切られており、ガスしゃ断器・計器用変圧器・避雷器にはそれぞれに圧力計・温度補償圧力スイッチ・ガス補給口がある。断路器・母線については、常時一括して監視するシステムで、バルブ操作によって各機器が独立したガス区分になるように点検時・増設時などを配慮したガス区分にしてある。

#### 4.5 経済性

GISそのものの設備費用は、在来形の変電設備と比べて高価であるが、全3相一括化による大幅な縮小化と省力化とは土地購入費用・

建築費用、更には維持費の低減などの変電所のトータルコストで評価すれば、他方式の受変電設備と比べても経済的にその色はなく、高信頼性・安全性などのGIS固有の特長をも評価すれば、今後の変電所形式にはGISが最も適していると言える。

### 5. 3相一括化への技術的検討

全3相一括形GISの基本構造は、従来の相分離形GISで確立された信頼性をそのまま生かしながら縮小化と完全密閉化とを押し進めたものであり、通電機能や機械的寿命・しゃ断性能などの基本的特性は従来形の実績をそのまま踏襲した構造で、相分離形の各相を同一タンク内に収納したという構造的な特長を考慮して設計しており、これに伴う検討事項は絶縁性能・短絡容量・通電容量・しゃ断アークなどが主なものである。

#### 5.1 絶縁性能

絶縁性能については、常規運転状態及び雷サージについて検討する必要がある。常規運転状態では、通常の絶縁設計のほかにGISの絶縁のなめである絶縁物の寿命に対しても考慮を払う必要があり、対地間・相間共に適正な電界計算を行うと同時に、電圧加速による検証試験も行っている。

送電線の雷サージは分波現象によって大地波・線間波に分かれて発変電所に侵入する。大地波は線間波と比べて伝ば(播)速度が遅いので、雷撃点がある程度以上離れると、相間電圧は大地電圧より上昇する。

技術研究報告(電中研S39-9、発変電所耐雷設計基準要綱#64019)には、これに基づいて「気中母線の相間最小絶縁間げき(隙)として雷インパルス耐電圧値の150%を50%せん(閃)絡電圧値とする棒間隙長の間隙値を採用した」とされており、一般の母線はこれに準拠して設計されているのが通例であるが、GISの場合には、より信頼性を向上する目的で雷インパルス耐電圧値の150%に相間が耐えることを基準に設計している。

#### 5.2 短絡容量及び通電容量

短絡容量については、従来の3相共通母線についての実績・経験をもとに、各機器の3相一括化による特質を考慮し、通電容量並びに機械的強度などに十分な信頼性が得られるように設計を行った。また、各機器が1タンク内に3相分収納されるので、他相の影響などによる熱的な問題にも注意を払い、通電容量の増大に関する問題、過負荷容量なども併せて検討・検証を行っている。

#### 5.3 しゃ断時の他相に及ぼすアークの影響

しゃ断器については、しゃ断時の他相とのアークを分離する目的で消弧室を耐アーク性の絶縁物で包囲することにより、他相の影響をなくしている。

### 6. 性能検証試験

全3相一括形GISの性能検証に当たり、表3.に示す従来の相分離形GISの性能検証の外に、3相一括形GISの構造的な特徴に対処するため、送電線遠方雷の分波現象などを考慮した相間絶縁強度の検証や、更に多重雷撃に対する実証としてしゃ断過程における耐電圧試験など、表4.に示す検証試験をも実施している。

### 7. 構成と配置

図7.に全体配置の1例を示すが、GISはしゃ断器・断路器・計器用変成器などの個々の機器の集合体であり、スケルトン・仕様が同じ

表 3. GIS の主要試験項目

試 験 項 目	組 合 せ	しゃ断器	断路器	接 地 開閉器	避雷器	計器用 変圧器
1. 構造検査	○	○	○	○	○	○
2. 開閉試験	○	○	○	○		
3. 温度試験	○	○	○			○
4. 商用周波耐電圧試験	○	○	○	○	○	
5. 雷インパルス耐電圧試験	○	○	○	○	○	○
6. 短時間電流試験	○	○	○	○		
7. 0 気圧耐電圧試験	○	○	○	○		○
8. 進み小電流しゃ断試験		○				
9. 遅れ小電流しゃ断試験		○				
10. 短絡試験		○				
11. 近距離線路故障しゃ断試験		○				
12. 異相地絡しゃ断試験		○				
13. 脱調しゃ断試験		○				
14. しゃ断試験後の耐電圧試験		○				
15. 漏れ電流試験					○	
16. 制限電圧特性試験					○	
17. 雷サージ動作責務試験					○	
18. 開閉サージ動作責務試験					○	
19. 放電耐量試験					○	
20. 商用周波始動電圧試験					○	
21. 極性試験						○
22. 交流耐電圧試験						○
23. 誘導耐電圧試験						○
24. 誤差試験						○
25. 残留電圧試験						○
26. 継電器組合せ動作試験						○
27. 耐震試験	○	○	○	○	○	○
28. 輸送試験	○	○	○	○	○	○
29. 長期曝電試験	○	○	○	○	○	○
30. 10,000 回連続開閉試験		○	○	○		
31. 騒音試験	○	○				

表 4. 全 3 相一括形 GIS の特殊検証試験

試 験 項 目	試 験 方 法	目 的
雷インパルス耐電圧相間試験	$BIL+BIL \times 50\%$	分波現象による相間電位上昇値の耐電圧の検証
しゃ断過程の耐雷試験	しゃ断電流(2 相): 定格短時間電流値 雷インパルス(外 1 相): 雷インパルス耐電圧値 印加タイミング: しゃ断中の過渡条件	相間の実証
0 気圧耐電圧試験	相間: 定格電圧 $\times 1.3$	対地間の試験に加えて相間も行う
しゃ断時の再起電圧・回復電圧に耐する耐電圧	3 相短絡 (Weil 合成試験 1 相) (低減電圧直接試験 2 相)	しゃ断性能の検証のほかに再起電圧, 回復電圧性能も併せて検証する
しゃ断後の耐電圧	定格電圧 $\times 1.1$ (印加時間: 10 分)	通常, 極間及び対地間に定格電圧の 1.1 倍の電圧で 10 分間印加するが, 相間にも行う

でも構成機器間を接続する母線形状を変えることにより, 設備の敷

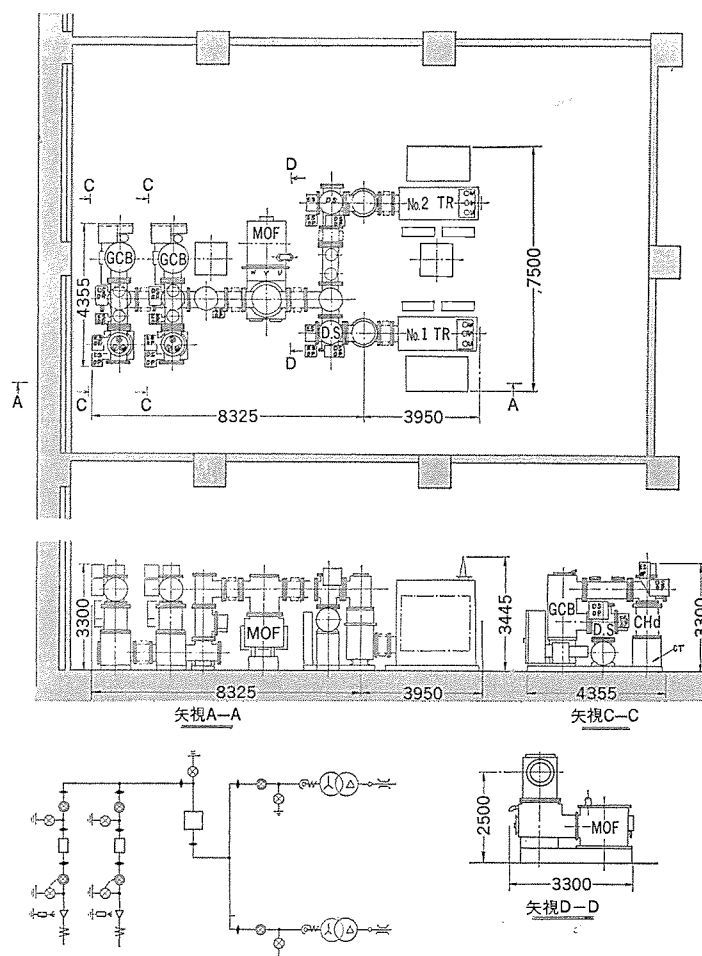


図 7. 72 kV GIS (一般需要家) の例

地条件に最適のレイアウトを行うことが可能な極めてフレキシブルな受変電設備であるが, 在来の受変電設備との大きな相違点は, 構成機器間を接続する母線も技術的な面から言えば構成機器とみなす必要があり, 経済的には母線部分をいかに最短に設計するかが GIS レイアウト 決定上のポイントである。

## 8. む す び

以上, 全 3 相一括形 GIS の概要について報告した。全 3 相一括形 GIS は, その卓越した特長と経済性として今後ますます需要が増大するものと期待される。

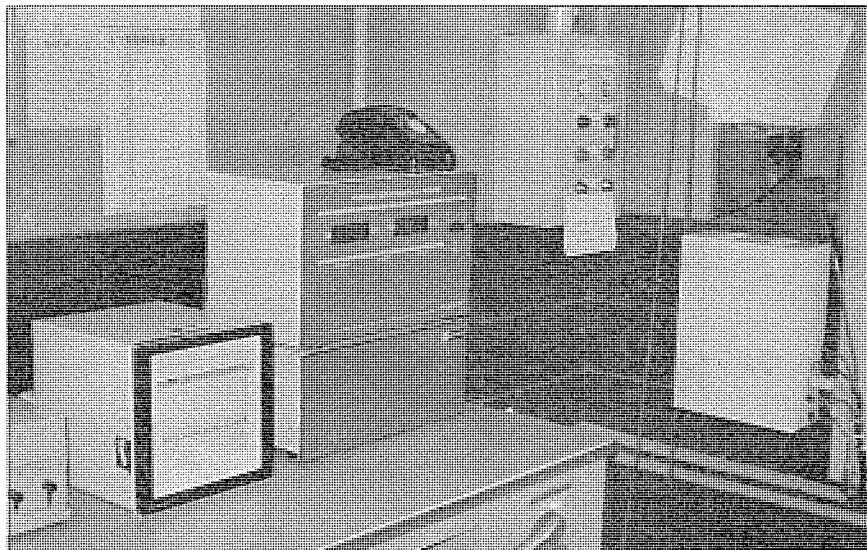
今後, 3 相一括化を進展させるには, 高電圧化・大容量化が課題であり, しゃ断器技術・注型絶縁物技術・タンク製造技術とともに経済性とのバランスを考慮して研究を続けていく考えである。

## 参 考 文 献

- (1) 田辺ほか: 三菱電機技報, 52, No. 5, p. 345 (昭 53)
- (2) 富永ほか: 三菱電機技報, 52, No. 5, p. 350 (昭 53)
- (3) 林ほか: 三菱電機技報, 52, No. 5, p. 355 (昭 53)
- (4) 富永ほか: 三菱電機技報, 52, No. 5, p. 369 (昭 53)
- (5) 林: 三菱電機技報, 47, No. 9, p. 967 (昭 48)

## 三菱加入電話回線利用テレメータ

三菱電機は、加入電話回線を利用したテレメータシステムを製品系列化し販売を開始しました。このテレメータは全国に広く張りめぐらされている加入電話回線に網制御装置(NCU)を接続して、各種施設の監視や定時データ収集を行なうものです。電話のあるところならどこでも設置でき、しかも度数料金制ですから経済的なシステム構成ができます。とくに専用線と異なり、広域にわたるデータ収集や頻度の少ないデータ収集に最適です。



千葉県手賀沼土地改良施設テレメータ

### 特長

- 専用線がいりません。電話同様、広域にわたり手軽に設置できます。
- 電話網に接続しますので、柔軟なシステム構成ができます。
- オプションで、テレコントロール機能も簡単に付加できます。
- 低消費電力です。

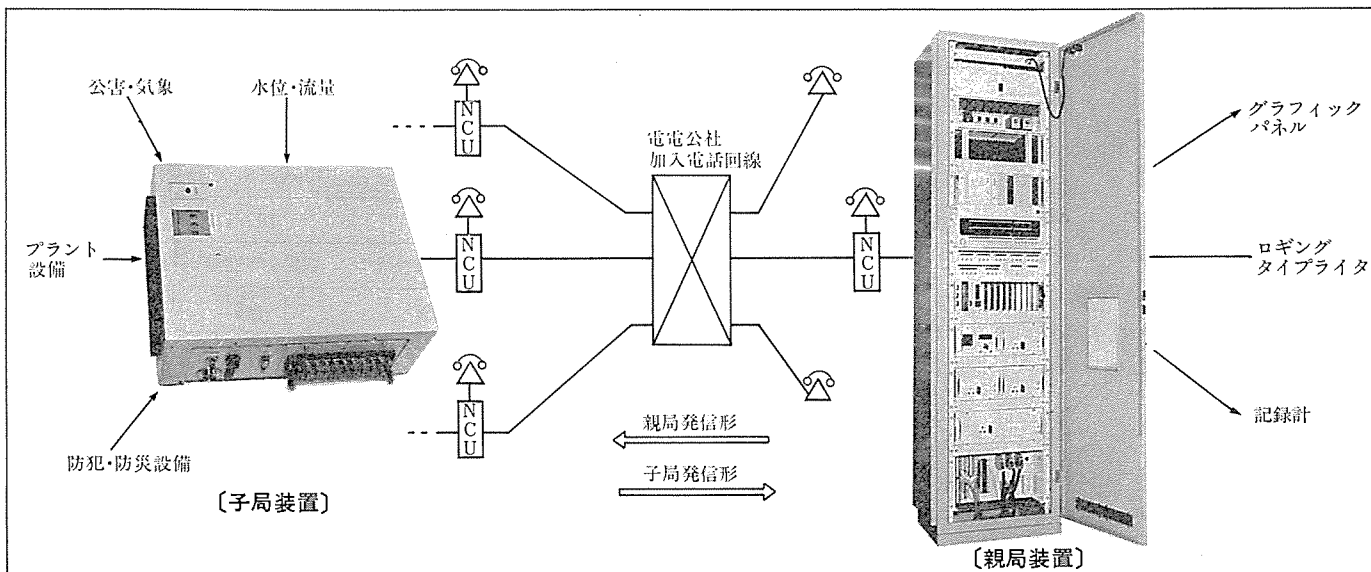
### 用途

- ポンプ場・取水場・浄水場の遠方監視制御
- 大気汚染・水質汚濁等の公害監視
- ビル、オフィスの防犯・防災監視
- その他、各種プラントの遠方監視制御

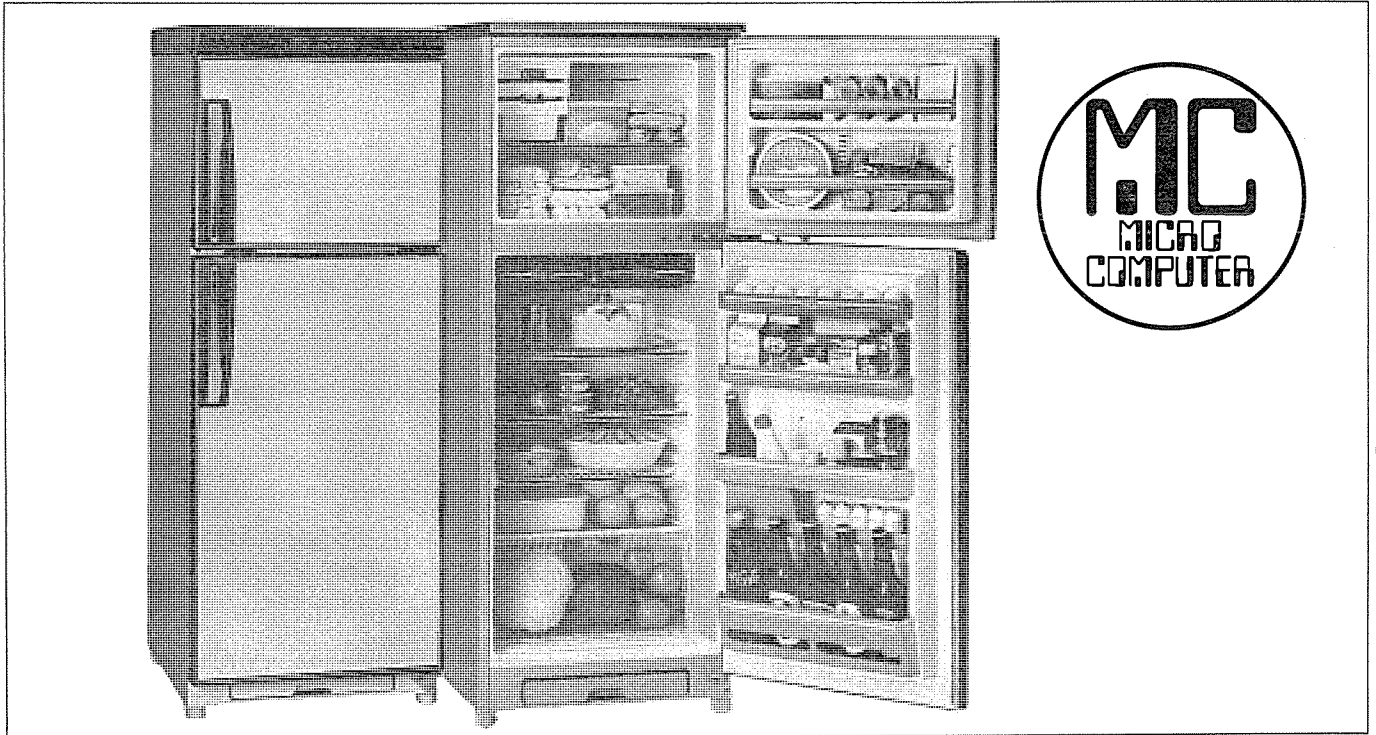
### 仕様

項目	仕様
伝送回線	電電公社 加入電話回線
伝送方式	FS変調 200bps
システム構成	1:N方式
呼出親局発信形	定時自動呼出および任意呼出
出子局発信形	状態変化検出時
再発信回数	最大2回
入力データ	接点入力、ディジタル入力 アナログ入力、セルシン入力 積算入力
電話機能	一般電話としてもご使用になれます
温度	-10~40℃
湿度	40~85%
供給電源	AC 100V(無停電化可能)

### システム系統図







三菱電機は、これからの消費者ニーズに応える新しい冷蔵庫の実現を目的として、操作性・信頼性の向上をはかり、加えて庫外からの温度調節および温度表示機能を実現した、マイクロコンピュータ搭載の冷凍冷蔵庫を開発しました。

### 特長

1. 温度調節が扉をあけずに庫外のキー操作でできます。
2. 庫内温度および設定温度を庫外のパネルにグリーンのランプで表示します。
3. 急冷機能つきです。庫外のキーでセットでき、セット後1時間間で自動的に元の運転状態に復帰します。
4. 調理のときなどに外部タイマとして使用する、クックタイマつきです。最高99分までセットできます。
5. ドアアラームつきです。扉のしめ忘れや子供のいたずらによる扉の無駄な開放をブザーで知らせます。
6. 操作が簡単です。マイコン採用に伴う特有の操作のわずらわしさをなくすため、セットとキャンセルが同一の操作キーでできるようにしました。
7. パネルロックスイッチおよび表示入切キーつきです。
8. 電源周波数自動検知機能により、地域別の手動切替はいりません。
9. 庫内を大きく使えるくふうがされています。  
ジャンボポケット、ワンツースリー棚、2つの低温ケース、全周パッキンつきの17.5ℓ大形野菜ケースつきです。
10. 外装は好評をいただいているアーモンドカラーです。



コントロールパネル

### 仕様

有効内容積(ℓ)		233
フリーザー		55
冷蔵室		178
外形寸法(mm)		
高さ		1486
幅		560
奥行		635
定格電圧・周波数		100V・50/60Hz共用
電動機定格消費電力(W)50/60Hz		109/118
霜取り	霜取方式	強制(マイコンによる時間制御・自動ヒーター)
	操作	開始 自動
		終了 自動
	排水の処理	自動蒸発
温度調節	フリーザー	サーミスター→マイコンによる自動温度調節
	冷蔵室	サーミスター→マイコン→ダンパーによる自動温度調節
冷凍室の性能		スリースター



登録番号	名 称	発 明 者	登録番号	名 称	発 明 者
838231	自動選字装置	斎 藤 豊	840603	エレベータの運転制御装置	{ 石 嶋 進・中 田 稔 原 田 輝 夫
838232	数値制御における位置決め方式	{ 俵 口 久 元・金 森 剛 明 佐 藤 毅・永 田 和 人	840604	エレベータの観察装置	{ 樋 口 成 弘・堀 大 成 原 田 輝 夫
838233	空中線装置	細 原 義 明	840605	通信方式	阿 部 修・山 口 哲 夫
838234	映像信号 リミッタ 回路	三 村 和 洋	840606	アーク 溶接方法	山 本 利 雄・島 田 弥
838235	超電導 コイルの絶縁法	{ 蓬 萊 勝・島 幸 弘 佐 藤 隆・平 田 郁 之	840681	熱硬化性樹脂塗料	{ 中 村 立 春・小 柳 晴 市 西 崎 俊 一 郎・江 藤 昌 平
838236	$\sin \theta$ 導出装置	前 田 耕 二	840682	アルキッド 樹脂塗料	{ 中 村 立 春・小 柳 晴 市 西 崎 俊 一 郎・江 藤 昌 平
838237	有害 ガス 吸収装置	草 川 英 昭・小 巻 仁	841424	符号伝送方式	太 田 堯 久
838238	測長装置	金 田 明	841425	符号伝送方式	太 田 堯 久
838850	映像情報再生装置	{ 倉 橋 浩 一 郎・中 田 正 矩 里 治 則・西 村 晃 一 阿 部 正 昭	841426	遅延 パルス 発生回路	平 子 征 佳
838850	切換装置	津 田 元 裕	841427	巻き取られた帯状物品の位置製 御装置	{ 兵 頭 太 郎・山 下 弘 雄 松 尾 元 幸
838851	真空開閉装置	杉 中 輝 明	841428	タービンブレード 電解加工用治具	斎 藤 長 男・葉 石 雄 一 郎
838852	インバータ 装置	中 堀 一 郎	841429	パルス 発生装置	池 田 和 郎
838853	インバータ 装置	民 井 精 三	841430	回転切換 スイッチ 装置	元 木 義 明
838854	インバータ 制御方式	中 堀 一 郎・赤 松 昌 彦	841431	電動機速度指令装置	森 岡 邦 雄
838855	インバータ 装置	赤 松 昌 彦・寺 野 義 夫	841432	ローラーテーブル用 リニアモータ 制御方 式	石 雅 彦
838856	真空しゃ断器	加 藤 勝	841433	直流結合形分周回路	杉 本 維 平・加 藤 昌 弘
838857	自動検針端末装置	永 田 良 茂	841434	クロムマスクの反射率低下法	豊 田 裕 康
838858	真空遮断装置	加 藤 勝	841435	冷凍装置	本 多 敏 一
838859	電力用しゃ断器	紀 井 正 美・田 辺 俊 雄	841968	位相制御回路	太 田 幹 雄・赤 松 昌 彦
838860	照明兼用平面 テレビジョン	{ 馬 場 文 夫・伊 吹 順 章 池 端 重 樹	841969	アレイアンテナ 方式	渡 部 優・伊 藤 信 一
838861	電光表示装置	{ 倉 橋 浩 一 郎・池 端 重 樹 高 田 真 蔵	841970	エレベータ のかご指定演算方式	壺 井 芳 昭・成 川 武 文
838862	ガス 吹付しゃ断器	松 田 節 之	841971	エレベータ 乗場管理装置	原 田 輝 夫
838863	高周波電波加熱装置の電波漏洩 防止材	田 嶋 尚 志・伊 藤 喜 代 之	841972	エレベータ 方式における制御回路 方式	壺 井 芳 昭・成 川 武 文
838864	液晶表示装置	柴 山 恭 一・小 野 博	841973	パターン 発生器	金 子 弘 美・豊 田 武 人
838865	空転検出感度補正法	森 原 健 司	841974	電気車両の静止型制御方式	六 藤 孝 雄
838866	自動列車制御装置	六 藤 孝 雄	841975	真空度判定方法	白 井 義 博
838867	自動位置決め溶接装置	{ 森 一 平・田 中 憲 杉 田 一 男	841976	カラー 受像管の 螢光体 モザイク等 焼付け方法	{ 藤 村 健 男・中 村 浩 二 早 川 和 彦
838868	電子線硬化用樹脂組成物	鈴 木 康 弘	841977	リミットスイッチ 装置	瀬 津 豈 良・青 井 保
838869	沸騰冷却装置	福 島 満・小 倉 新 三	843038	方向距離継電装置	北 浦 孝 一
839805	位相比較継電装置	{ 北 浦 孝 一・鈴 木 健 治 小 林 茂	843039	電気機器	安 田 正 行・永 田 秀 次
840594	アンチスキッド 制御装置	内 藤 靖 雄	843040	機関点火時期調整装置	才 田 敏 和
840595	半導体装置とその製法	三 井 茂	843041	信号伝達装置	松 本 直 巳
840596	位相変調器	佐 野 善 之 助	843042	多相 インバータ 装置	{ 白 庄 司 昭・太 田 幹 雄 赤 松 昌 彦
840597	位相変調器	佐 野 善 之 助	843043	飛しょう体用無指向性 アンテナ	中 村 雅 澄
840598	エレベータの戸じめ制御装置	中 田 稔・石 嶋 進	843044	逆電力検出装置	天 野 恒・松 本 忠 士
840599	半導体装置	阿 部 東 彦・中 尾 院 治	843045	並列運転同期発電機の過電流保 護方式	久 松 章 三
840600	半導体装置	植 松 滋 幸・阿 部 東 彦	843046	並列運転同期発電機の過電流保 護方式	久 松 章 三
840601	半導体装置の製造方法	阿 部 東 彦			
840602	エレベータの故障自動通報装置	三 矢 周 夫・寺 山 佳 佑			

登録番号	名 称	発 明 者	登録番号	名 称	発 明 者
843047	エレベータ用階床選択器	小沢 靖彦	844123	限流装置	{井上武男・白沢 宗 岡本五郎・伊藤利朗
843048	エレベータ用階床選択器	小沢 靖彦			
843049	分波装置	{橋本 勉・武田文雄 島田 禎吾・小山正樹	844124	電着用水分散型耐熱ウエスの製造方法	{柴山恭一・小野 博 地大英毅・藤井 翼
843050	液晶光学装置	上田文夫・新居宏壬	844125	回転電機の集電環装置	藤山辰之
843051	液晶表示装置	柴山恭一・小野 博	844126	ラジアル・ゲート開度検出装置	{今泉 選・荒木義朝 古賀信勝
843052	発電所の出力制御方式	樺山資嗣	844127	静止形継電装置	古谷昭雄
843053	伝送線監視装置	下迫賀生	844128	半導体装置の製造方法	梶原康也・伝田隆治
843054	搬送装置のストップ機構	浅沼 博	844129	交流発電機の励磁装置	米沢英憲
843055	相補形 MOS トランジスタの製造方法	藤川恭一郎	844130	ミキサー	服部信道・野口善弘
843056	移動目標表示方式	田中安敏	844131	エレベータの速度制御装置	{高村 明・安西伸夫 渡辺英紀
843057	変調器	{松田英昭・近藤紘一 杉江清和	844132	エレベータ用階床選択器	小沢 靖彦
843058	二次レーダ信号処理方式	山内信治・柴田信之	844133	小片の選別装置	高瀬達夫・山本 勇
843059	溶接トーチの位置補正機構	津田英一・金野隆範	844134	プログラム制御装置	森本義信
843060	交流速度発電機	野口昌介	844135	固定子コイル成形機	{穂積策太郎・児玉美喜雄 服部孝敏
843061	アーク溶接方法	山本利雄・島田 弥			
843062	熱硬化性樹脂積層物の成形方法	{平林庄司・農守熊太郎 酒井国人	844136	半導体装置	{三宅新一・酒井一成 亘 善彦・分島範三
843063	複合トランジスタの製造方法	加藤忠雄	844137	回転電機	野村達衛・谷 功
843094	航空機用スロットアンテナ	{毛利 宏・山口良成 武市吉博・浜口道雄 内田吉則	844138	水分散性の改善された電着用ポリエステル系樹脂の製造法	{柴山恭一・小野 博 地大英毅・佐伯英夫
844121	位相弁別装置	高田信治・重松章之	844139	信号受信回路	{高松輝明・梅木亮介 山中彪生・金井三男
844122	ローラケージの製作方法	砂川元秀	844140	厚膜電着用耐水性水分散ウエスの製造法	{柴山恭一・小野 博 地大英毅・藤井 翼 佐伯英夫

〈次号予定〉 三菱電機技報 Vol. 53 No. 1 技術の進歩特集

- 研 究
- 電 力
- 産業用電機品と環境保全設備
- 汎用電機品と計測
- 通信と電子応用

- 半導体素子と集積回路
- 電子計算機
- 建築設備と冷凍・空調
- 交 通
- 家庭関連機器

三菱電機技報編集委員				三菱電機技報 52 巻 12 号			
委員長	榎本俊弥	常任委員	久保田伸夫				
副委員長	浦徳太郎	“	平林庄司				
“	後藤正之	委 員	遠藤裕男				
常任委員	佐々木二郎	“	村上卓弥				
“	荒川信雄	“	神谷友清				
“	葛野信一	“	橋爪 基				
“	武藤 正	“	吉田 太郎				
“	奈川敏雄	“	土井貞春				
“	瀬原田三郎	“	貴志清志				
“	高橋広光	“	小野勝啓				
“	忍足 博	幹 事	本間吉夫				
“	武田克己	“	足立健郎				
“	清田 浩	12号特集担当	尾形陸奥男				
“	福家 章						
				昭和53年12月22日 印刷 昭和53年12月25日 発行			
				(無断転載を禁ず)			
				編集兼発行人	本 間 吉 夫		
				印 刷 所	東京都新宿区市谷加賀町1丁目12番地 大日本印刷株式会社		
				発 行 所	東京都千代田区大手町2丁目6番2号 (〒100) 菱電エンジニアリング株式会社内 「三菱電機技報社」Tel. (03) 243 局 1785		
				発 売 元	東京都千代田区神田錦町3丁目1番地 (〒101) 株式会社 オーム社書店 Tel. (03) 233 局 0641, 振替口座 東京 20018		
				定 価	1 部 400 円送料別 (年間予約は送料共 5,200 円)		

# 三菱電機技報 (昭和53年 第52巻) 総目次

1号 技術の進歩特集	7号 交通特集
2号 データ伝送特集	8号 端末システム特集
3号 コンピュータ特集	9号 工業用計算機応用特集
4号 半導体特集	10号 照明特集
5号 ガス絶縁変電所特集	11号 研究・マイコン応用家電機器特集
6号 冷凍・空調特集	12号 人工衛星と地上設備

## 《技術の進歩特集》

号	ページ	号	ページ
1. 研究編	1... 6	6. 半導体素子と集積回路	1... 72
2. 電力編	1...18	7. 電子計算機	1... 79
3. 産業用電機品と環境保全設備	1...32	8. 建築設備と冷凍	1... 90
4. 汎用電機品と計測	1...49	9. 交通	1...101
5. 通信と電子応用	1...58	10. 家電関連機器	1...110

## 特集論文

### 《データ伝送》

1. 新遠方監視制御システム《MELFLEX》	室田 慎・山内才胤・小村 明・岡村 繁・村田尚生	2...125
2. 分散形制御システムにおけるデータウエー	的 場 徹・山内才胤・松本正弘・池田健夫・中島邦男	2...130
3. 水道用情報伝送処理システム	藤原謙一・柳沢 忍・田中 智	2...135
4. 都市ガス供給用情報伝送装置	長町恒資・山中彪生・赤塚和禰・吉良広文	2...140
5. コンピュータネットワークにおけるパケット通信処理装置	松永 宏・水野忠則・梶原 誠・桜井俊一	2...144

### 《コンピュータ》

1. 《MELCOM-COSMO》500 システム	田淵謹也・清尾克彦・山本正勝・平山正治	3...197
2. 《MELCOM-COSMO》500 販売管理システム	吉村慶嗣・片岡信弘・大島 治・藤平孝行・桐淵信男	3...202
3. 《MELCOM-COSMO》500 計測システム	森田 右・川村暢明・河井直毅・平間 豊・松井稔樹	3...206
4. 《MELCOM-COSMO》500 生産管理システム	藤原勝彦・河嶋道生・河野俊彦・宮本直記・山崎誠一	3...210
5. 《MELCOM》350-50 工業用計算機システム	米沢克昌・武藤達也・長沢一嘉・朱雀二郎・下間芳樹	3...214
6. 《MELCOM》350-50 工業用計算機高位言語システム	春原 猛・居原田邦男・太細 孝・竹田栄作・小林 博	3...219
7. ソフトウェア生産性と《MELCOM》350-50 ソフトウェアシステム	紺田茂實・波多野侃・大井房武	3...223

### 《半導体》

1. 大容量 MOS RAM	市山寿雄・田中 正・谷口 真・飛田洋一・有田 豊	4...269
2. 4ビットワンチップマイクロコンピュータ	松尾和義・藤田紘一・山田関裕・磯田勝房・畑田昭良	4...273
3. インテグレート インジェクション ロジック	内田晶久・登坂高夫・榎本裕三・宮本和俊	4...278
4. 高信頼度樹脂封止形トリアック BCR 10 AM	市村隆彦・山本 武・森 敏	4...282
5. 800 MHz 帯移動無線用高利得トランジスタシリーズ	亘 善彦・草野裕次・小山正治・山内真英・赤坂洋一	4...286
6. 高速 DSA MOS メモリ	下西和博・大倉五佐雄・中野隆生	4...290
7. 光・電波とセンサデバイス	須崎 渉・三井 茂・中田仗裕	4...295

### 《ガス絶縁変電所》

1. ガス絶縁変電所 (GIS) 特集号に寄せる	宮地 巖	5...341
2. ガス絶縁変電所 (GIS) の現状と将来展望	阿澄一興	5...342
3. ガス絶縁変電所 (GIS) の適用と構成	田辺俊雄・稲村彰一・左近一郎・金谷正和・藤井 勲	5...345
4. ガス絶縁変電所 (GIS) の基礎技術	富永正太郎・桑原 宏・松田節之・丸谷朋弘	5...350
5. ガス絶縁変電所 (GIS) の製造技術	林 幸平・稲村 実・松野輝男・合志宏道・富田信哉	5...355
6. ガス絶縁変電所 (GIS) の信頼性向上と運転実績	阿澄一興・瀬渡卓三・八代稜穂・笹本 栄・小川敦道	5...360

### 《冷凍・空調》

1. AFS 形空冷式冷凍クーリングユニット	佐々木芳雄	6...415
------------------------	-------	---------

2. 寒冷地向け空気熱源ヒートポンプパッケージエアコン.....	貝瀬俊朗・佐藤康夫	6...420
3. PAT 形空冷式パッケージエアコン——年間空調及びオールフレッシュ—— .....	佐藤康夫・倉橋健三・江崎光信	6...424
4. 店舗用パッケージエアコン《ミスタースリム》 .....	木ノ内達夫・丸山 忍	6...428
5. 冷蔵多段オープンショーケースの熱系動作シミュレーション.....	山崎起助・瀬下 裕・清水 誠・桜井正志・松本 徹	6...433
6. 太陽冷暖房・給湯システムのシミュレーションによる評価・選択.....	大坪道夫	6...438
7. CAH-D 形空気熱源ヒートポンプチラーユニット.....	岩崎善彦・浜 宏明	6...443
《交 通》		
1. 自冷式沸騰冷却チョッパ装置.....	太田幹雄・三金敏雄・栗野敏昭・室田 仁・藤井雅雄	7...487
2. マイクロコンピュータを使用した車載自動運転装置とその試験装置.....	六藤孝雄・平野文弥	7...492
3. 近畿日本鉄道(株)納め変電所集中管理システム.....	塚本順一郎・安居院憲彰・川原健志・阿藤隆英・土井 弘	7...497
4. 鉄道車両用電気品のミニコン化単体試験装置.....	石本正明・豊田武人・六藤孝雄・森原健司・松田 哲	7...502
5. 新しい操作卓による鉄道車両試験装置.....	石田隆朗・得能 泰・尾崎 晃	7...507
6. 高速道路交通流の統計的性質と事故検出手法.....	中崎勝一・中堀一郎	7...511
《端末システム》		
1. 分散処理端末システム——M 2350 インテリジェントターミナルシステム—— .....	山崎英蔵・出口博章・野津工ア・三井浩康・古形 昌	8...559
2. 漢字情報処理システム.....	小畑 甫	8...564
3. 広域オンラインシステム——《PENTA-NET》システム—— .....	小泉寿男・高橋文平	8...568
4. リモートバッチ端末システム.....	由留部政則・大江信宏・斉藤不二夫	8...572
5. ディスプレー端末装置.....	志賀正明・三井浩康・小田勇介・小川 勇	8...576
6. 端末システム用磁気記憶装置.....	角田正俊・小野岡靖・浜 敬三	8...581
7. 工業分野における端末システム.....	篠原宇一・香取和之・前花芳夫・西出政司	8...585
《工業用計算機応用》		
1. 最近の工業用計算機システム.....	室賀 淳	9...633
2. 発電分野における計算機システムの現状と今後の動向.....	松本直己・松宮正幸・花村泰助・小田橋正寿・小野勝弘	9...634
3. 鉄鋼業分野における工業用計算機システム.....	渡辺 聡・今道周雄・川崎宗男・稲本 淳・芥川哲雄	9...639
4. 産業分野における工業用計算機システム.....	龍田直紀・伊藤卓治・能登四郎・岡 治樹	9...644
5. 公共事業分野における工業用計算機システム.....	嶋田政代士・中堀一郎・吉原秀樹・伊藤卓治・中谷貴壽	9...649
6. 交通事業分野における工業用計算機システム.....	佐藤 真・高根宏士・多田 淳・鈴木敏明・村川亮三	9...654
7. 工業用計算機における品質管理と保守.....	藤井貞雄・新宅三喜男・松本孝郎	9...659
《照 明》		
1. 新しい三菱高演色性けい光ランプ——「色評価用」,「ハイデラックス白色」及び「デラックス白色」—— .....	村上勝男・安西良矩・伊藤 弘・土井貞春・栗津健三	10...701
2. 省電力けい光ランプ《ネオルミスーパーII》 .....	土井貞春・伊藤 弘・安西良矩・野田昭吉・坂山幸平	10...706
3. 工場環境改善用照明器具《パワー lumi》の開発.....	石井重行・武田輝明	10...711
4. 昼光利用照明システム.....	明 道成・森本俊一・狩野雅夫	10...716
5. HID ランプ用新電子放射物質の開発 .....	渡部勁二・斉藤正人・福山敬二・土橋理博	10...721
6. 高圧ナトリウムランプ点灯条件の諸特性への影響.....	田中紀彦・山ノ下真理・鈴木 量・大谷勝也・山本広二	10...725
《研究・マイコン応用家電機器》		
1. 6 MVA 超電導発電機の試作研究 .....	岩井雅民・荻野 治・野村達衛・佐藤 隆・福本紀久男	11...779
2. 回転機用新ブリュレグ絶縁.....	浅見辰巳・平林庄司・林 修・美藤 亘・藤原健三	11...784
3. 自動ゴースト除去回路.....	倉橋浩一郎・中島義郎・水谷芳樹・岩村清志郎	11...789
4. トランスバースジャンクションストライプ形レーザダイオード .....	須崎 渉・石井 恂・高宮三郎・池田健志・浪崎博文	11...794
5. LiNbD <sub>3</sub> を基板とした光集積回路.....	中山 高・野村良徳・内藤初彦	11...798
6. DSA MOS マスタースライス LSI .....	田中千代治・中野隆生	11...802
7. 大形計算機を利用した汎用マイクロプログラムサポートシステム.....	上田尚純・井上貞夫・津滝文雄	11...807
8. M 58840 P 用バックマシン——4ビット1チップマイコンサポートシステム—— .....	磯貝文彦・本城雅則・壺井芳昭・正田茂雄・田中禎一	11...812

9. マイコン内蔵電子レンジ	小畑哲男・高瀬明生・堤孝夫・塚原宏明・田浦賢一	11...819
10. TV用プログラプタイマーへのマイコン応用	正田茂雄・大川雄敬・江藤英隆	11...824
11. ルームエアコンへのマイコン応用	本田嘉之・高橋修・大塚洋俣・安藤正俊・新間充	11...827
12. 石油温風暖房機《クリーンヒーター》へのマイコン応用	壺井芳昭・正田茂雄・下島明彦・近藤潤一	11...832

#### 《人工衛星と地上設備》

1. 人工衛星と関連機器	吉田武彦・尾形陸奥男	12...857
2. 電離層観測衛星「うめ2号」	田畑浄治・高比良昭・箕輪盛好・新田晃道・東野義夫	12...860
3. 実験用中容量静止通信衛星 (CS)	栗原芳高・岡本裕允・木戸敬久・尾形陸奥男・山田武	12...864
4. CS主固定局兼運用管制局及びBS主局アンテナ	塚本賢一・梶川実・石井康一・望月純夫・岡野晃	12...870
5. 準ミリ波専用地球局カセグレンアンテナ	進士昌明・高野忠・立川清兵衛・水沢丕雄・別段信一	12...875
6. 実験用中型放送衛星用地上関連設備	小西良弘・保科盛・高橋道清・西村昭三・天野旭	12...879
7. ホイールを利用した人工衛星の三軸姿勢制御	土屋和雄・萩原史朗・若杉登	12...884

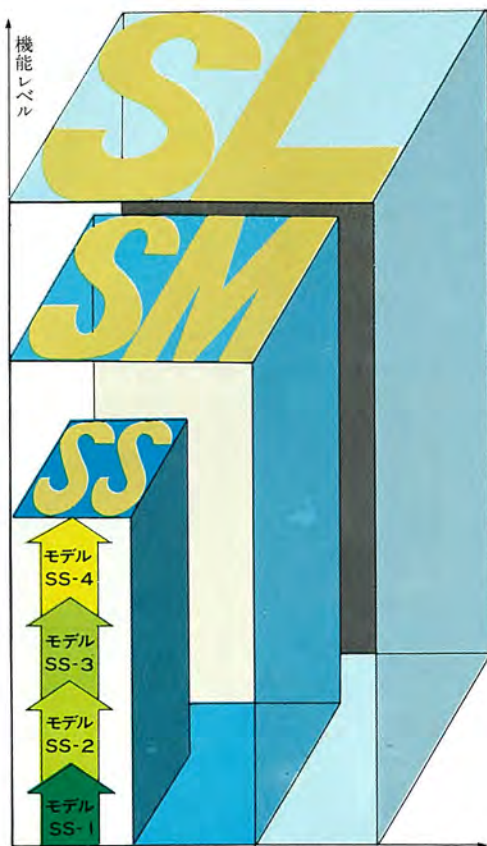
#### 普通論文

1. 冷凍サイクルにおける冷媒と冷凍機油の化学的評価法	榎本順三・塩野悟・今村孝・嶋村光助・時田祐佐	2...151
2. モールド変圧器	鶴田敬二・伊奈照夫・村上靖武・篠倉俊介・日野孝一	2...155
3. 衛星通信用小形地球局	石井康一・中西道雄	2...159
4. 運転免許証発行システム	小畑甫・由留部政則・小川勇・山田吉彦	2...164
5. 最近の大容量ディーゼル発電機	阿野忠美・小西和成	2...169
6. サイリスタモータ系の特性解析プログラム	熊野昌義・寺野義夫	2...174
7. ホットメルト接着剤の適用評価	島本幸三・宮尾国彦・檜垣孝志・原賀康介	2...179
8. 新形NBプレーキモートル	松谷英治・井藤博・池田洋一	2...184
9. ミシンの新形布押さえ装置	井上登志夫・成田正夫・堀本耕一	2...188
10. MRM形負荷時タップ切換器	松本進・外賀俊彦・今井満夫・成瀬知晴	3...231
11. 新スタックガスモニタの開発	森雅英・小田稔・幸丸正樹・沢山徹・北川英夫	3...236
12. 車載用CBトランスバの技術制向	瀬辺国昭・池田益稔	3...240
13. 新形ASモートルと制御装置	鎌倉孝幸・東秀樹・松本圭二・多田英明・野村達衛	3...245
14. 小形直流高速度しゃ断器	石田秀樹・古林昇	3...250
15. 転炉副原料合金鉄輸送投入設備への《MELPLAC》50の適用	石雅彦・加賀宏明・鶴長浩一・小竹秀次郎	3...255
16. COBOL変換の新ツール (ASSYST)	守正倫・本成幸	3...260
17. 関西電力(株)大飯原子力発電所納め3相500kV 1,240MVA変圧器	菅寿郎・渡辺次男・但馬常夫・山田雄治・玉置栄一	4...303
18. 輸送中の落下衝撃	高山臣旦・飯島康司・中野孝三	4...308
19. 移動無線用テレプリンタシステムMDS-31	伊藤博方・太田堯久・石川新助・畑中靖通	4...313
20. カセットテープレコーダのワウ・フラッタ解析	川地正男・村山悦朗	4...318
21. 規格形エレベータ《エレベット》の制御方式	小沢靖彦・田辺富男・鈴木茂彦	4...322
22. 制御用双方向光伝送システム	橋本勉・竹居敏夫・須崎涉・三井茂・新谷健	4...326
23. 論理回路図自動作画システム (LODAS)	伊藤重治・西村芳朗・井上真典・加藤礼二・中塚久世	4...330
24. 酸化亜鉛式避雷器	富永正太郎・永井信夫・新田東平・今滝満政・板倉文一郎	5...369
25. 温風暖房機の熱交換器の高温強度	土方明躬・宮崎政行・小川仁・斉藤辰夫	5...373
26. POSストアコントローラ	村山昇・津波勝一・芋生信一	5...377
27. 高圧酸化プロセス	坪内夏朗・西本章・阿部東彦・榎本龍弥	5...382
28. 加圧水型原子炉用可動形炉心内中性子検出器	友田利正・川島克彦・田中広二・三富至道・山下進一	5...386
29. 高速ファクシミリ《メルファス》FA-300	三井田六蔵・上村勝・上野裕・中沢啓二・渡辺公司	5...390
30. 細径深井戸用水中モートル	柳内芳彦・深谷邦夫	5...395
31. 電磁接触器の作動特性の評価法	二川曉美・村松直樹・柴宮正・長尾良章	5...399
32. 低圧進相用コンデンサ回路へのヒューズしゃ断器・真空電磁接触器の適用	山本啓一・中山豊・実森俊夫・岡戸弘行・杉浦洋	5...404
33. 電磁ポンプ式自動注湯装置	細川鉦二郎・広川利雄・矢田史朗・井上義博・松田勇	6...449

34. カラーブラウン管用多段集束電子銃	野阪英荘・鷺野翔一	6...453
35. ブラジル向け 500 kV 分路リアクトル	菅 寿郎・武智盛明・三浦良和・塩野克己	6...457
36. 「サンシャイン 60」ビル向け 600 m/min 世界最高速エレベータ	蟹江暎二・石井敏昭・吉川 博・中田 稔	6...461
37. インテルサット V 号系用地球局アンテナ	竹内政和・別段信一・青木克比古・水沢丕雄・武田文雄	6...466
38. フェイズドアレイレーダ用デュアルモード移相器	紅林秀都司・溝淵哲史・望月俊美	6...471
39. タービン発電機回転子軸材の品質評価	山屋恵章	6...476
40. 高圧コンビネーションパネル〈新 HC シリーズ〉	加来政博・清水文隆・徳永光彦	7...519
41. 省エネルギーのための電力管理用機器	西岡隆文・水原博久	7...523
42. 大容量かご形ポールチェンジ荷役ウインチ用電機品	前田文生・鎗水律夫・木戸正克	7...527
43. 4,000 V 2,500 A 高耐圧大容量サイリスタの特性	多田昭晴・川上 明・岩本英雄・三原潔彦	7...532
44. 72~204 kV タンク形 GCB 新シリーズ	佐藤邦彦・大沼昭栄・懸山 弘・細見 守	7...536
45. 耐力点検出法電気レンチ	瀧谷博司・大西 力	7...541
46. DA-501 形三菱ダスト濃度計	竹内秀夫・福寿幸男・坪田勝司・佐藤敏博	7...545
47. 東京電力(株)袖ヶ浦発電所 4 号 1,000 MW クロスコンパウンドタービン発電機	速水 和夫・伊藤裕之・松本敬之・植松 豊・松尾義博	7...550
48. 酸素リサイクルオゾン発生装置	難波敬典・八木重典・田畑則一・臼井 明・井上誠治	8...591
49. 数値制御工作機の拡張群管理システム	鈴木悦郎・金坂武彦	8...596
50. G 形コントロールセンタ用グリップ	佐藤 清・杉村 徹・吉田陸夫	8...600
51. 松島炭鉱(株)池島鉱業所納め抗内集中監視システム	加来政博・堤好一郎・故島利美	8...605
52. 多工程針数プログラム縫いミシン	小野健一・重田勝則・大庭耕一・本田嘉之	8...610
53. 4 K ビット C MOS RAM	西面宗男・村山慶一・舟越也寿宏・鍋谷 弘・広藤利夫	8...614
54. ヒートパイプ式熱交換器利用の EPS 冷却装置	藁科公彦・大串哲朗・村上政則	8...619
55. 中速ファクシミリ《メルファス》FA-80	徳川文武・立木武彦・遠藤正和・厚東信尚・吉田 全	8...623
56. ワイヤカット放電加工機における計算機制御技術	小林和彦・高鷺民生・大島道隆・田中 豊・弥富 剛	9...665
57. 矩形波電圧方式フラッシュ溶接機	奥田滝夫・稲田幹夫・馬場利彦・原 且則	9...670
58. ガス温風暖房機《クリーンヒーター》	野間口有・斉藤辰夫・下島明彦・中村 進	9...674
59. 電子式温風循環やぐらこたつ	服部信道・岩田尚之・竹谷康生・吉田義雄	9...679
60. 《ロスナイ》全熱交換器の新しい展開	吉野昌孝・橋本芳樹	9...683
61. 三軸制御衛星シミュレーションプログラム	鈴木崇弘・安斉孝男・奥田一実・松浦卓丈・今度史昭	9...688
62. 大阪府水道部村野浄水場納め送水系運用システム	坂口 功・宮武 努・中堀一郎・高橋正夫・小沢純一郎	9...693
63. 《MELCOM》医療情報システム	入口憲人・中山静男・大森昭彦	10...733
64. 電子機器実装のための定常熱解析シミュレータ “STAC”	木村育雄・吉岡 猛・大串哲朗・福島 満	10...738
65. サイリスタレオナード方式《サイリストグライド》ギャレスエレベータ	渡辺英紀・石井敏昭	10...743
66. プレス監視装置《プレスダイモニタ》	丸山寿一・松本康司・青木正夫	10...747
67. 気中形沸騰冷却整流器	鈴木敏夫・米畑 譲・笠原 清	10...752
68. 《MELCOM》80/38 シリーズデータベースマネジメントシステム	溝口徹夫・魚田勝臣・小碓暉雄・山崎洋美	10...757
69. 新給排油構造電動機	田中 勝・吉田正治・中野 修・前原利昭・川崎勝行	10...762
70. 農業用水集中管理システム	小林 茂・羽子岡蕃・竹野宏平・牧本健二	10...768
71. ダム河川管理用テレメータ, 放流警報装置	北原貞守・小寺恒男・吉崎 守	11...839
72. 《MELSYS》による学内事務処理システム	中村 晋・水沢勝治	11...844
73. 基板コンピュータ《MELCS》8/2 の自動製造装置への応用	杉本維平・川口克二・大谷雅樹・石井康熙	11...849
74. 加工用大出力炭酸ガスレーザ	永井昭夫・永井治彦・森 一平・丸山正彦・高木 茂	12...891
75. 関西電力(株)中央給電指令所納め給電指令台の人間工学的考察及びデザイン	藤田恒久・山口博章・田中圭介・室田 慎・須山 勉	12...896
76. 回転ヘッド形 PCM 方式磁気録音機	坂井 誠・石田雅之・西 精基・富川直博・石田禎宣	12...901
77. 低雑音及び高出力 GaAs FET	三井 茂・石田 孝・大坪陸之・中谷正昭	12...905
78. 硬化エポキシ樹脂分析法の開発	狩野 勇・今村 孝・榎本順三	12...910
79. 大容量変圧器における流動帯電現象	菅 寿郎・三浦良和・渡辺次男・石井敏次・新田東平	12...915
80. 全 3 相一括形ガス絶縁変電所 (GIS)	左近 一郎・竹内義治・田中久雄・丸谷朋弘・丹波春美	12...920

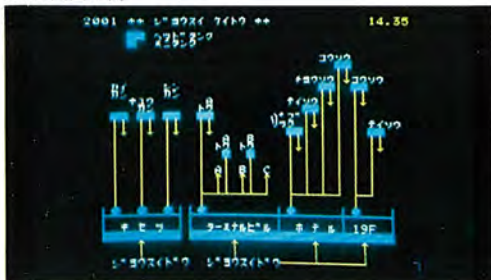


## 三菱ビル管理システム MELBAS 6系列をシリーズ化



小規模ビル 中規模ビル 大規模ビル ビルの規模  
単館ビル管理用MELBASシリーズの機能レベルと対象ビルの規模

CRT画面の例



三菱電機は、ビル内の各種設備の監視、記録、制御等をコンピュータを利用して行う、三菱ビル管理システム〈MELBAS〉をビルの規模と用途にあわせて6系列にシリーズ化し、9月22日から販売開始しました。

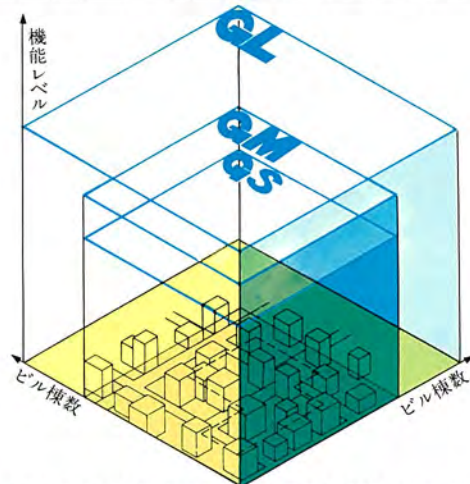
とくに今回のシリーズ化は、これまでの納入実績にうらづけられた技術の蓄積を基に、もっとも潜在需要の多い小規模ビルを対象とした〈MELBAS-SS〉を4つのモデル(SS-1~SS-4)に規格化し、低価格化をはかり、ユーザの導入を容易にしたことが大きな特長です。

### SSシリーズの特長

- 低価格です。
- 誤動作・誤操作を防止します。
- 拡張性に富んでいます。
- あらゆる設備機器との接続が可能です。
- 省スペースがはかれます。
- 停電対策も十分しています。
- 設計時間が短縮できます。
- 配線工事が簡単です。

### 各モデルの機能

モデル	最大監視制御ポイント数	監視	遠方操作	記録	小規模な制御	制御	防災
SS-1	320	○	○	○			
SS-2	500	○	○	○	○		
SS-3	1,000	○	○	○	○	○	
SS-4	1,500	○	○	○	○	○	○



ビル群管理用MELBASシリーズの機能と対象ビルの規模



モデルSS-4オペレーターズコンソール