

MITSUBISHI DENKI GIHO

三菱電機技報



Vol.55 No.12

衛星とその地上局特集

衛星とその地上局特集

目 次

特集論文

技術試験衛星IV型「きく3号」	1
市川 洋・小原 基・松下 正・東野義夫・小林督智	
インテルサットV 6/4GHz帯直交偏波共用ホーンアンテナ	5
近藤五郎・川端俊一郎・小林右治・赤尾 洋・片木 孝	
大電力衛星用電源サブシステムの開発	9
小林基宏・津屋直紀・後藤正芳・岩本邦雄・大村勝敏	
スペースラブを利用するSEPAC計画用機器の開発	13
大林辰蔵・栗木恭一・長友信人・伊地智幸一・吉田 敬	
衛星利用コンピュータネットワーク実験システム	17
— I. システム構成とネットワーク制御方式 —	
高橋寛子・松永 宏・松田主税・鹿間敏弘・飯田 登	
衛星利用コンピュータネットワーク実験システム	22
— II. パケット伝送制御装置 —	
高橋寛子・前田良雄・伊藤久明・岩橋 努・本田 茂	
国内衛星通信用Kバンド小形地球局	27
中西道雄・矢部正行	
USB追跡管制設備	32
東 吉夫・山崎 孝・尾形良征・岡田東亞・原 泰司	
ドップラ追跡/衛星テレメータ受信設備	35
鈴木 充・尾形良征・高山 威	
山口TTC&M/IOT用地球局アンテナ	38
佐藤敏雄・藤本忠助・大沢 武・別段信一・吉川義彦	
山口衛星通信所第2アンテナ	44
遠藤静夫・松中直人・石井康一・青木克比古・岡田東亞	
衛星通信地球局用送信機の切換え及び出力安定化装置	47
入江浩一・佐竹正章・大場達博	

普通論文

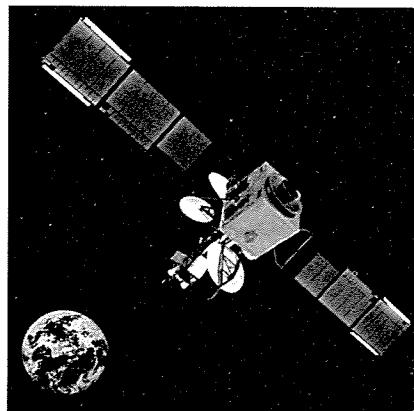
音声合成用LSI	55
山田憲正・鈴木 誠・中尾佳生・日比野昌弘	
4極タービン発電機の新系列	60
森 要・舟橋仁人・峰 俊治	
高速大容量316MVA/320MW発電電動機	63
— 四国電力(株)本川発電所納め —	
森 与志彦・沢谷賢二・佐野賢三	
アラミッド繊維強化プラスチックスを用いたハニカム振動板	67
田中準一・小野利夫・矢島幹夫・島本幸三・児玉峯一	
特許と新案	53
位置測定装置	
車両の制御装置	
当社の登録実用新案一覧	52, 74
スポットライト	
三菱電気ホイストTHY-Aシリーズ	72
三菱耐久試験専用直流電気動力計	73
三菱電気クッキングヒーター	(表3)
三菱電機技報55巻総目次	75

表紙

インテルサットV号系国際通信衛星
(国際通信衛星機構—インテルサット
向け)

1980年12月、インテルサットV号系の1号機が米国ケーブル・カナベラルから成功裏に打上げられ、現在、15号機までの製造が進行中である。

この衛星は、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社を主契約者に、日、独、仏、伊、英のメーカーからなる国際コンソーシアムが受注した世界最大のかつ最新鋭の国際通信衛星である。我が国からは、当社が参画し、6/4GHzアースカバレッジアンテナ、テレメトリエンコーダ、コマンドデコーダ、電力制御器を担当している。



アブストラクト

技術試験衛星IV型「きく3号」

市川 洋・小原 基・松下 正・東野義夫・小林督智
三菱電機技報 Vol.55-No.12-P1~4

昭和56年2月11日にN-IIロケット1号機により打上げられた技術試験衛星IV型「きく3号」は我が国初の国産大型衛星であり、N-IIロケットの遷移軌道投入能力の確認などのすべてのミッションを達成し、3か月間のミッション運用を成功裏に終了した。

本文では、「きく3号」の開発経緯、衛星システム、衛星運用概要及び代表的なフライトデータについて述べる。

衛星利用コンピュータネットワーク実験システム

一.I.システム構成とネットワーク制御方式
高橋寛子・松永 宏・松田主税・鹿間敏弘・飯田 登
三菱電機技報 Vol.55-No.12-P17~21

衛星を利用したコンピュータネットワーク技術の確立を目的とする実験用中容量静止通信衛星(CS)を用いたコンピュータネットワーク実験システムの開発が郵政省電波研究所指導で進め、昭和55年12月基本システムが完成し、か(稼)働中である。新規開発の地上局設備は、パケット伝送制御装置と《MELCOM 70/40》によるネットワーク制御プロセッサにより構成され、全国3箇所の地上局より、各種アクセス方式やHDLC手順の実験が行われる。

インテルサットV 6/4GHz帯直交偏波共用ホーンアンテナ

近藤五郎・川端俊一郎・小林右治・赤尾 洋・片木 孝
三菱電機技報 Vol.55-No.12-P5~8

インテルサットVは既に昭和55年12月に初号機が打上げられ、現在順調に動作中である。この論文はこれにう載されている6/4GHz帯直交偏波共用ホーンアンテナについて述べている。このアンテナは当社の開発した高能率複モードホーンアンテナを採用し、だ(精)円偏波率0.3dBという小さな値を実現している。このアンテナは4号機までは単一偏波で用いられ、5号機から海事衛星にも使用されるため直交偏波共用の構成に変更した。

衛星利用コンピュータネットワーク実験システム 一 II.パケット伝送制御装置

高橋寛子・前田良雄・伊藤久明・岩橋 努・本田 茂
三菱電機技報 Vol.55-No.12-P22~26

各種データを統一的に扱うパケット交換網への衛星回線の利用が検討されている。この場合、衛星回線をスロット(パケット長に相当)に分割し、多数の局が任意スロットにアクセスできるDA-TDMA(可変割当時分割通信)方式が適している。このたび、64Kb/s 4相PSK変復調器、レート3/4 畳み込み符号復号器、同期制御部を含み、HDLC伝送制御手順のフレームフォーマット処理などを行うパケット伝送制御装置を開発したので、その概要を報告する。

大電力衛星用電源サブシステムの開発

小林基宏・津屋直紀・後藤正芳・岩本邦雄・大村勝敏
三菱電機技報 Vol.55-No.12-P9~12

我が国の人工衛星も昭和55年代には1~3kWの大電力を必要とする計画が立案されており、かつ国産化の要求も必要条件となっている。これにこたえるため、3年計画で大電力衛星用電源サブシステムとその構成コンポーネントを開発してきたので、その概要と開発成果、今後の見通しなどについて報告する。太陽光発電・制御技術として、人工衛星のみならず太陽エネルギー利用技術としての応用も考えられる。

国内衛星通信用Kバンド小形地球局

中西道雄・矢部正行

三菱電機技報 Vol.55-No.12-P27~31

日本の通信衛星(通称CS)を利用した可搬形Kバンド小形地球局を開発した。この地球局は主として非常災害用としての適用を第1とし、小形トラックやはん用ヘリコプタで、全地球局設備を分解せずに運搬できる構造を特色としており、軽量小形化、低電力化を主眼に設計されている。また、設備は小容量回線用地球局として長期的固定運用に耐える機能の充実化を図っている。

本文では今回開発したKバンド小形地球局の各設備の概要を紹介する。

スペースラブを利用するSEPAC計画用機器の開発

大林辰蔵・栗木恭一・長友信人・伊地智幸一・吉田 敬
三菱電機技報 Vol.55-No.12-P13~16

宇宙科学研究所は、スペースラブ1号を利用してSEPAC(粒子加速器を用いた宇宙実験)計画を進めている。

この論文ではこの計画の概要、機器の構成及び各機器の動作などについて述べ、更に三菱電機(株)が開発を担当しているプラズマ加速器及び充電器について説明する。また、スペースラブ実験機器開発の管理体制についても簡単な解説を行う。なお、SEPACシステムの全フライトモデルは完成し、米国搬入を待っている。

USB追跡管制設備

東 吉夫・山崎 孝・尾形良征・岡田東亞・原 泰司

三菱電機技報 Vol.55-No.12-P32~34

宇宙開発事業団増田追跡管制所に、静止気象衛星GMS-2号等のUSB追跡管制設備が、整備され運用に供されている。増田追跡管制所は、種子島宇宙センター大崎射場近くにあり、打ち上げ段階から、静止軌道投入後以降までにわたって、衛星の追跡・管制を実施するものであり、空中線の迅速な応答、高い追尾精度、受信系の低雑音化、及び高精度な距離計測精度などの技術的問題点を解決し、昭和56年8月静止気象衛星GMS-2号打ち上げに使用され、その性能が確認された。

Abstracts

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 55, No. 12, pp. 17~21 (1981)

An Experimental Computer-Network System Using a Communications Satellite: Part I—The System Configuration and Network Control Scheme

by Hiroko Takahashi, Hiroshi Matsunaga, Chikara Matsuda, Toshihiro Shikama & Noboru Iida

A computer-network experimental system for use in the Medium-Capacity Communication Satellite for Experimental Purposes is being produced by the Radio Research Laboratory of the Ministry of Post and Telecommunications. The objective of this satellite is to upgrade computer-network technology for satellite applications. The basic system was completed in December 1980, and is now in operation. Newly developed earth-station installations have been equipped with packet-transmission controllers and with network-control processors based on the MELCOM 70 Model 40. Experiments are being carried out at three different earth-station locations in Japan on access schemes and HDLC procedures.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 55, No. 12, pp. 22~26 (1981)

An Experimental Computer-Network System Using a Communications Satellite: Part 2—Packet-Transmission Controller

by Hiroko Takahashi, Yoshio Maeda, Hisaaki Ito, Tsutomu Iwashita & Shigeru Honda

Investigations are being carried out into the use of packet-switching networks in satellite circuits, in order to provide unified handling of various types of data. The satellite circuits are divided into slots for this purpose, with each slot corresponding in length to a packet, and the DA-TDMA (Demand-Assignment Time-Division Multiple Access) technique is employed to allow the access of a number of earth stations to any arbitrary slot. The paper reports on the development of packet-transmission-control equipment for performing frame-format processing of the high-level data-link control protocol, including 64Kbps four-phase PSK (phase-shift keying) modulator/demodulators, 3/4-rate folded encoders/decoders, and synchronous controllers.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 55, No. 12, pp. 27~31 (1981)

A K-Band Small-Scale Earth-Station Terminal for Domestic Satellite-Communications Systems

by Michio Nakanishi & Masayuki Yabe

A K-band small-scale earth-station terminal for satellite communications has been developed for use with Japan's communications satellites. The primary objective of this earth-station terminal is emergency use. The station terminal has been designed to be compact and light in weight to have a low level of power consumption, and to be transportable in a small truck or by helicopter without requiring disassembly. It is also designed to be capable of functioning as a fixed earth-station terminal on a long-term basis, to provide small-capacity communications. The paper gives a general description of the equipment forming this small-scale earth-station terminal.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 55, No. 12, pp. 32~34 (1981)

USB Tracking, Telemetry, and Command System

by Yoshiro Azuma, Takashi Yamazaki, Yoshiyuki Ogata, Harutsugu Okada & Yasushi Hara

A USB Tracking, Telemetry, and Command system has been installed and put into operation at the Masuda Tracking-Data Acquisition Station of the National Space Development Agency of Japan, for use with geostationary meteorological satellite GMS-2, etc. The Masuda Tracking-Data Acquisition Station is at the Tanegashima Space Center, near the Osaki launch site. This system performs tracking and telemetry of a satellite from the launch stage through injection into geostationary orbit. All of the technical problems relating to the high speed of response required with space flight, tracking accuracy, receiver-system noise level and with making the system's measurement accuracy high enough have been overcome. The performance of the system was confirmed when it was used during the launching of the GMS-2 satellite in August 1981.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 55, No. 12, pp. 1~4 (1981)

The Kiku-3 Engineering Test Satellite IV

by Yo Ichikawa, Motoi Ohara, Tadashi Matsushita, Yoshio Higashino & Masanori Kobayashi

The Kiku-3 Engineering Test Satellite IV, which was launched by an N-II vehicle on February 11, 1981, is the first large-scale satellite to be produced in Japan. All of the mission objectives were successfully achieved, including confirmation of the transfer orbit injection capability of the N-II vehicle, and a mission of 3-month's duration was successfully completed. The article describes the latitude and longitude of the position established for Kiku-3, the satellite system, and satellite operation and control, and also provides some typical flight data.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 55, No. 12, pp. 5~8 (1981)

INTELSAT-V 6/4GHz-Band Dual-Polarized Horn Antennas

by Goro Kondo, Shun'ichiro Kawabata, Yuji Kobayashi, Hiroshi Akao & Takashi Katagi

INTELSAT-V was launched in December 1980, and is functioning normally at the present time. The paper describes the 6/4GHz-band dual-polarized horn antennas mounted on the INTELSAT-V. These high-efficiency dual-mode horn antennas were developed by Mitsubishi Electric and have a very low axial ratio (0.3dB). A single-polarized configuration is used for a set of up to four of these antennas, while the dual-polarized configuration used in the Maritime Communications Subsystem is employed for five or more antennas.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 55, No. 12, pp. 9~12 (1981)

The Development of an Electric-Power Subsystem for High-Power Satellites

by Motohiro Kobayashi, Naoki Tsuya, Masayoshi Goto, Kunio Iwamoto & Masatoshi Omura

Plans were established in 1980 for a Japanese earth satellite that will require a high level of electrical power, of the order of 1~3kW. It is an essential requirement that the satellite be manufactured in Japan. To meet these requirements, a three-year project has been set up to develop an electric-power subsystem for a high-power satellite, and the components of that subsystem. The article gives an outline of the subsystem, a description of development progress, and predictions of future developments. Consideration is also given to the application of technology for control of solar-power generation to general solar-energy utilization, not only to satellite applications.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 55, No. 12, pp. 13~16 (1981)

The Development of SEPAC Experiments on Spacelab-1

by Tatsuzo Obayashi, Kyoichi Kuriki, Makoto Nagatomo, Koichi Ijichi & Takashi Yoshida

The Space Science Laboratory is drawing up plans for SEPAC (Space Experiment with Particle Accelerators), which will utilize Spacelab-1. The article gives a general description of these plans, together with descriptions of equipment construction and the operation of equipment units. The paper also describes a plasma accelerator and charger, whose development are being undertaken by Mitsubishi Electric. A brief discussion is also given of the management structure used for the development of Spacelab experimental equipment. Construction of the complete flight model of the SEPAC system has finished, and it is awaiting shipment to the U.S.A.

アブストラクト

ドップラ追跡/衛星テレメータ受信設備

鈴木 充・尾形良征・高山 威

三菱電機技報 Vol.55-No.12-P35~37

宇宙開発事業団が、今後増加する衛星の追跡管制業務の多様化に伴い、運用の柔軟性を図るため、同勝浦追跡管制所に衛星テレメータ受信設備(ドップラ追跡設備を含む)を整備し、既設設備と合わせ、3リンクの同時運用の実現を図った。この設備は、ETS-IV以降の追跡管制に使用され、またドップラデータ取得に順調に動作中であり、機能性能は満足する結果であった。

音声合成用LSI

山田憲正・鈴木 誠・中尾佳生・日比野昌弘

三菱電機技報 Vol.55-No.12-P55~59

人間と機械の対話を実現する手段として音声合成が注目され、各社より音声合成用LSIの発表が続いている。当社では、PARCOR方式の音声合成LSIを開発し現在量産中である。

ここでは、このLSIの概要及びその応用について報告し、あわせて今後の技術動向について述べる。

山口TTC&M/IOT用地球局アンテナ

佐藤敏雄・藤本忠助・大沢 武・別段信一・吉川義彦

三菱電機技報 Vol.55-No.12-P38~43

インテルサット衛星のTTC&M/IOT業務を行う地球局を国際電信電話(株)が受注し、三菱電機(株)がアンテナ設備を製作納入した。このアンテナは通常の地球局と異なり、衛星の軌道上試験を含む各種監視・指令及び通信システム監視業務を行うため、非常に高性能(全使用帯域で軸比が0.2dB以内、CCIR勧告値を満たすアンテナパターンなど)と、任意偏波での自動追尾、追尾周波数の瞬時切換などの機能が要求され、これらの諸条件を満たし、昭和55年1月運用を開始した。

4極タービン発電機の新系列

森 要・舟橋仁人・峰 俊治

三菱電機技報 Vol.55-No.12-P60~62

従来の当社の4極タービン発電機は、10MVAまでを標準化していたが、今回突板形磁極に新構造を採用して20MVAまでの新系列を完成した。これは経済性・高効率・低騒音などの性能の向上とともに、製作日程の短縮・一体で輸送及びすえ(据)付けできる構造・オーバハンジング形ブラシレス励磁機採用などの特長を持つ。機械損と鉄損が従来の2極機よりも減り、部分負荷時の効率向上が顕著であり、2極の従来機と併せて多様化した客先要望にこたえることができる。

山口衛星通信所第2アンテナ

遠藤静夫・松中直人・石井康一・青木克比古・岡田東亞

三菱電機技報 Vol.55-No.12-P44~46

国際電信電話(株)は、山口衛星通信所にインテルサットV号系を対象とした地球局アンテナを建設し、昭和55年10月から運用に供している。このアンテナは、直径34mの集束ビーム給電形カセグレンアンテナで瞬間風速53m/sまで運用し得る耐風性、10度以下の低仰角における直交2偏波運用、正偏波と交差偏波双方においてCCIR勧告を満足する広角放射特性、将来に備えた広帯域性の考慮、高運用か(稼)働率などの技術的問題点を解決して完成したものである。

高速大容量316MVA/320MW発電電動機

一四国電力(株)本川発電所納め一

森 与志彦・沢谷賢二・佐野賢三

三菱電機技報 Vol.55-No.12-P63~66

昭和56年1月に四国電力(株)本川発電所向け出力316MVA/320MW、400rpmという世界有数の高速大容量発電電動機を工場完成し、立会試験を好成績で終了し出荷した。本機には高出力係数の採用、リムダクト通風方式の採用による別置電動送風機の省略、直接水冷スラスト軸受の採用など高度の新技術による高信頼度化、高効率化及び運転保守の簡素化が図られているので、その概要を紹介する。

衛星通信地球局用送信機の切換え及び出力安定化装置

入江浩一・佐竹正章・大場達博

三菱電機技報 Vol.55-No.12-P47~51

近年、通信容量の増大による直交偏波方式の採用、各地球局における送信搬送波の増加などにより、衛星通信地球局用送信機システムとして、従来の1:1冗長構成に代わり、1:N冗長構成を採用する傾向にある。当社は、後者の冗長構成に必要とされる、回線の重要度に応じた優先制御方式の送信機切換制御装置をマイクロプロセッサを用いて実現し、更に送信機切換後の送信出力変動を防止する出力安定化装置を製作したので、ここに両装置の概要を報告する。

アラミッド繊維強化プラスチックスを用いたハニカム振動板

田中準一・小野利夫・矢島幹夫・島本幸三・児玉峯一

三菱電機技報 Vol.55-No.12-P67~71

アラミッドハニカム振動板は、比弾性率 E/ρ が高く大きな曲げ剛性が得られるハニカム構造の特長に加え、更に適度な内部損失を兼ね備えている。

この論文では、このアラミッドハニカム振動板のスピーカーへ応用という観点から、特長、振動板材料としての物性、並びにスピーカーに用いた場合の音響特性や音質などについて述べる。

Abstracts

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 55, No. 12, pp. 55~59 (1981)

Speech Synthesis LSIs

by Norimasa Yamada, Makoto Suzuki, Yoshio Nakao & Masahiro Hibino

Various companies are engaged in the development of speech synthesis LSIs, in view of the importance of speech synthesis in the area of man-machine communication. Mitsubishi Electric has developed and is manufacturing a Parcor method speech synthesis LSI. The article gives a general description of this LSI and of its applications, and discusses future technological trends in this field.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 55, No. 12, pp. 35~37 (1981)

A Doppler-Tracking and Satellite-Telemetry Receiving System

by Mitsuru Suzuki, Yoshiyuki Ogata & Takeshi Takayama

To provide sufficient flexibility of operation to handle the various types of data acquisition which will be necessitated by the growing number of satellites, the National Space Development Agency of Japan has installed a doppler-tracking and telemetry-receiving subsystem at the Katsura Tracking and Data-Acquisition Station, and has designed the overall system to provide three-link simultaneous operation. This system will be used for tracking operations with satellites from the ETS-IV onwards. The system is performing satisfactory doppler-data acquisition and excellent results have been achieved.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 55, No. 12, pp. 60~62 (1981)

A New Series of 4-Pole Turbine Generators

by Kaname Mori, Kimito Funabashi & Toshihiro Mine

Previously, the standard series of turbine generators produced by Mitsubishi Electric consisted of 4-pole turbine generators rated up to 10MVA. A new series has now been developed, consisting of salient-pole types and ranging up to 20MVA in output. In addition to providing greater economy of operation, higher efficiency, and lower noise levels, the manufacturing time required for these new turbine generators has been shortened and they can be transported and installed as integral units. The new turbine generators employ overhung-type brushless excitors. Mechanical losses and iron losses are reduced by comparison with conventional 2-pole generators, and the generators provide increased efficiency when operated under partial load. Used in conjunction with conventional 2-pole turbine generators, these new turbine generators can meet many new application requirements.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 55, No. 12, pp. 38~43 (1981)

The Yamaguchi TTC&M/IOT Earth-Station Antenna for INTELSAT Satellites

by Toshio Sato, Tadasuke Fujimoto, Takeshi Osawa, Shinichi Betsudan & Yoshihiko Yoshikawa

KDD has received an order for an earth station to perform tracking, telemetry, command, monitoring, and in-orbit test operations for the INTELSAT satellite, and Mitsubishi Electric has manufactured the antenna installation at this station. This antenna differs from conventional earth-station antennas in having a very high performance (an axial ratio of less than 0.2dB over all of the bands used, and a radiation pattern that meets CCIR recommendations). The antenna also meets important requirements such as a capability for automatic tracking with arbitrary polarization and instant switching of the automatic tracking frequency. It was put into operation in January 1980.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 55, No. 12, pp. 63~66 (1981)

The 316MVA/320MW Generator-Motor for Shikoku Electric Power's Hongawa Power Station

by Yoshihiko Mori, Kenji Sawatani & Kenzo Sano

The world's foremost high-speed large-capacity generator-motor, with an output of 316MVA/320MW at 400rpm, was installed at the Hongawa Power Station of Shikoku Electric Power Co., in January 1981. After completing its attendance test, with excellent results, the motor-generator was put on-load. It provides a high output coefficient, and rim-duct ventilation is employed, so that use of separate electrically driven forced-ventilation equipment is eliminated. This, together with incorporation of other technically advanced features, such as direct water-cooled thrust bearings, ensures high reliability, high efficiency, and ease of operation and maintenance. The article gives a general description of the generator-motor.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 55, No. 12, pp. 44~46 (1981)

The 2nd Earth-Station Antenna for the Yamaguchi Satellite-Communications Center

by Shizuo Endo, Naoto Matsunaka, Koichi Ishii, Katsuhiko Aoki & Harutsugu Okada

KDD has installed an earth-station antenna at the Yamaguchi Satellite-Communications Center, for use with the INTELSAT-V system, and the antenna was put into operation in October 1980. This is a beam-waveguide feed cassegrain antenna, with a diameter of 34m, which can operate under wind velocities of up to 53m/sec. The wide-angle radiation pattern of the antenna meets the CCIR recommendations for dual-polarization operation down to angles of less than 10°, copolarization and cross-polarization, and is designed to meet future requirements for wide-band operating characteristics and to ensure high operational availability.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 55, No. 12, pp. 67~71 (1981)

A Honeycomb Diaphragm Using Aramid-Fiber-Reinforced Plastics

by Jun'ichi Tanaka, Toshio Ono, Mikio Yajima, Kozo Shimamoto & Mineichi Kodama

An aramid honeycomb diaphragm provides a high specific elasticity (E/ρ) and a high degree of bending stiffness. In addition to these characteristics, the aramid honeycomb construction ensures a moderate loss factor. The paper describes the aramid honeycomb diaphragm from the point of view of its application to loudspeakers, and details its characteristics, its properties when used as a diaphragm material, and the acoustic response and sound quality obtained when used in loudspeakers.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 55, No. 12, pp. 47~51 (1981)

Switching-Control and Level-Control Equipment for the 1:n Redundant HPA System of Satellite-Communications Earth Stations

by Koichi Irie, Masaaki Satake & Tatsuhiro Oba

In recent years, the dual-polarization technique has come into use as a result of the expanding number of satellites and the increasing number of transmissions from earth stations. To deal with this, there is an increasing trend toward using a 1:n factor of equipment redundancy, rather than the 1:1 redundancy factor used hitherto. Mitsubishi Electric has developed transmission switching-control equipment incorporating a microprocessor, for the priority control system, which designates circuits in accordance with their degree of importance. Such a priority control system is necessary in order to implement 1:n equipment redundancy. The Corporation has also developed output-level stabilizing equipment for preventing fluctuations in the level of transmission outputs from the transmission-switching equipment. The article provides a general description of both these types of equipment.

技術試験衛星IV型「きく3号」

市川 洋*・小原 基*・松下 正**・東野 義夫***・小林 睦智***

1. まえがき

技術試験衛星IV型(打上げ後「きく3号」と命名)は昭和56年2月11日に宇宙開発事業団種子島宇宙センターからN-IIロケット1号機により打上げられた。

「きく3号」は、宇宙開発事業団との契約に基づき三菱電機(株)において設計、製造及び試験を行った国産初の大型衛星である。打上げ段階の打上げ環境データの取得及び所定の遷移軌道投入の確認によりN-IIロケットの性能が確認されるとともに、3か月にわたる衛星基本機器の性能確認並びにとう載実験機器の機能確認及び各種実験が行われ、「きく3号」はそのミッション運用を成功裏に終了した。

本文では、「きく3号」の開発経緯、衛星システム、打上げ後の衛星運用及びその結果得られたフライデータについて述べる。

2. 開 発 経 緯

2.1 開発の特徴

「きく3号」の開発の特徴の第1は、これまでに蓄積してきた技術及び既存設備・装置を可能な限り活用することにより、大型衛星を国産自主技術で開発したことである。「きく3号」の開発に当たっては、国外からの新たな技術導入を一切行わず、国内で調達できない一部の高信頼度部品及びデバイスレベルのハードウェアを輸入した以外はすべて国産開発を行った。特に、コンポーネントレベル以上については完全自主開発を実施した。また、部品レベルについても宇宙開発事業団認定の国産部品を最大限に使用している⁽¹⁾。

第2の特徴は衛星の規模が飛躍的に大きくなり、かつ自主開発し

たにもかかわらず、これまでの国産衛星に比べて、短期間で開発したことである。

2.2 開発経過

衛星本体及び関連作業の開発経過を表1.に示す。

昭和52年9月に開始した基本設計段階では、衛星システムの具体的設計を行い、「サブシステム及びコンポーネント仕様を明らかにするとともに、新規開発コンポーネントの開発モデル、姿勢制御モデル、静荷重モデル及び熱構造モデルを設計した。また、各とう載実験機器とのインターフェース調整作業を実施し、この段階で主要インターフェース設計を完了した。

詳細設計段階では、開発モデルによる開発試験、静荷重試験、構造試験、熱平衡試験などにより我が国初めての大型衛星設計に必要なデータを取得し、プロトタイプモデル(PM)の設計を実施した。

PMのシステムインテグレーション及び認定試験はフライモデル(FM)と一部スケジュールが並行したが、PMで生じた問題点を確実にFMに反映することにより、当初の予定どおり昭和55年10月にFMを完成することができた。

射場整備作業に関しては、昭和55年夏にN-IIロケットの地上試験用ロケット(GTV)及び衛星PMによる打上げ準備作業リハーサルを実施し、射場の大型衛星打上げの新規施設・設備との適合性及び作業手順を確認した。この作業経験により、FMの射場整備作業を順調に進めることができた。

3. 衛星システム

3.1 衛星ミッション

「きく3号」のミッションは次の4項目である。

(1) N-IIロケットの遷移軌道投入能力の確認

(2) N-IIロケットの打上げ環境条件の取得

(3) 大型衛星の製作・取扱技術の習得

(4) とう載機器の宇宙環境下での機能試験

これらのミッションを遂行するための衛星の具体的設計内容は、それぞれ次のとおりである。

(1) 「きく3号」の軌道は、静止衛星の遷移軌道に相当する長大(梢)円軌道であり、この軌道への投入を確認するためSバンドトランスポンダをとう載し、距離及び距離変化率測定機能を有している。

(2) 打上げ時の振動、衝撃及び定常加速度データを取得するため、打上げ環境測定装置をとう載し、副搬送波変

表1. 「きく3号」の開発経過

項目	暦年 (昭和)	52	53	54	55	56
審査			▲ PDR	▲ CDR1	▲ CDR2	▲ PQR ▲ PSR
基本設計		■				
詳細設計		■	■			
開発モデル・姿勢制御モデル		■	■			
静荷重モデル・熱構造モデル		■	■			
部品材料調達		■	■			
プロトタイプモデル(PM)			■	■	■	
フライモデル(FM)				■	■	
射場整備作業・打上げ					■ 準備段階 PM FM △ 打上げ	
運用準備・運用			■		■	

表 2. 「きく3号」のとう載実験機器

項目	開発担当	実験内容	備考
1. テープレコーダー (TMR)	宇宙開発事業団	宇宙環境下での動作を確認する。	記録時間 40分 重量 12.2 kg 消費電力 5.7 W
2. ガリウムヒ素電界効果トランジスタ增幅器 (FETA)	日本電信電話公社 横須賀電気通信研究所	宇宙放射線環境下での動作を確認する。	重量 5.9 kg 消費電力 10.2 W
3. パルス形プラズマエンジン (PPE)	通商産業省工業技術院 電子技術総合研究所	宇宙環境下での動作を確認する。	推進剤 テフロン 重量 21.0 kg 消費電力 19.9 W
4. スキャン形地球センサ (HOST)	宇宙開発事業団 科学技術庁 航空宇宙技術研究所	三軸衛星とう載用のセンサの宇宙環境における動作を確認する。	重量 15.6 kg 消費電力 10.4 W

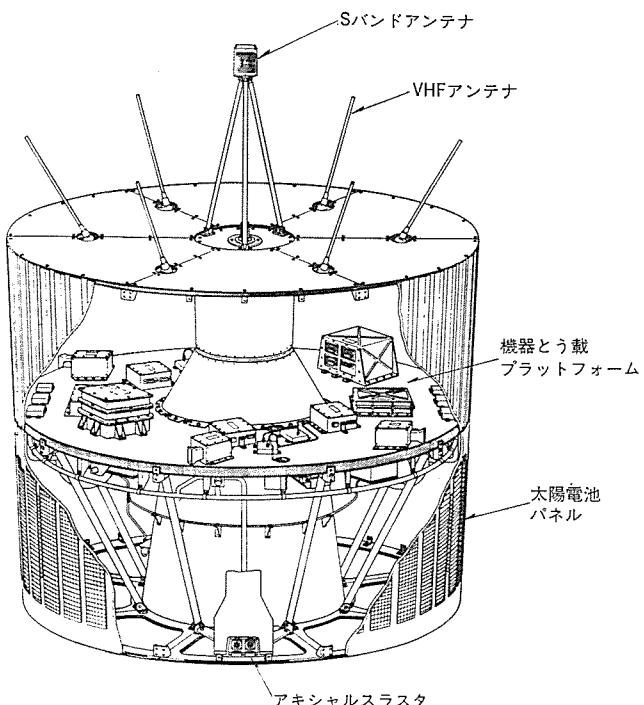


図 1. 「きく3号」の構成

調器及び衛星分離部近傍 IC 取付けた 6 個の加速度ピックアップにより DC~1,000 Hz の打上げ環境データを取得する。

(3) 「きく3号」は、打上げ時重量約 638 kg のこれまでに我が国で製造された最大の衛星である。今後の大型衛星開発のベースとなるように、設計・製造上の考慮を払い、インテグレーション・試験時の地上支援装置 (AGE) を含む大型衛星取扱いについても安全性、作業性などの検討を行った。

(4) 「きく3号」は衛星寿命 3か月の期間に宇宙環境下での性能試験を行うため、将来衛星とう載を予定して関係各機関が開発したとう載実験機器をとう載している (表 2. 参照)。

3.2 衛星の構成

衛星の形状は N-II ロケットフェアリングとの適合性を考慮し、直径 2.1 m、高さ 2.8 m の円筒形であり、姿勢安定方式はスピニ安定方式である。衛星上部に取付けた S バンドアンテナ及び VHF アンテナを除き、各とう載機器は衛星本体中央部の機器とう載プラットフォーム (アルミニウムハニカムサンドイッチ構造) に取付けられている (図 1. 参照)。プラットフォームの上面にはとう載実験機器を、下面には基本機器をそれぞれ配置し、今後のミッションが異なる衛星

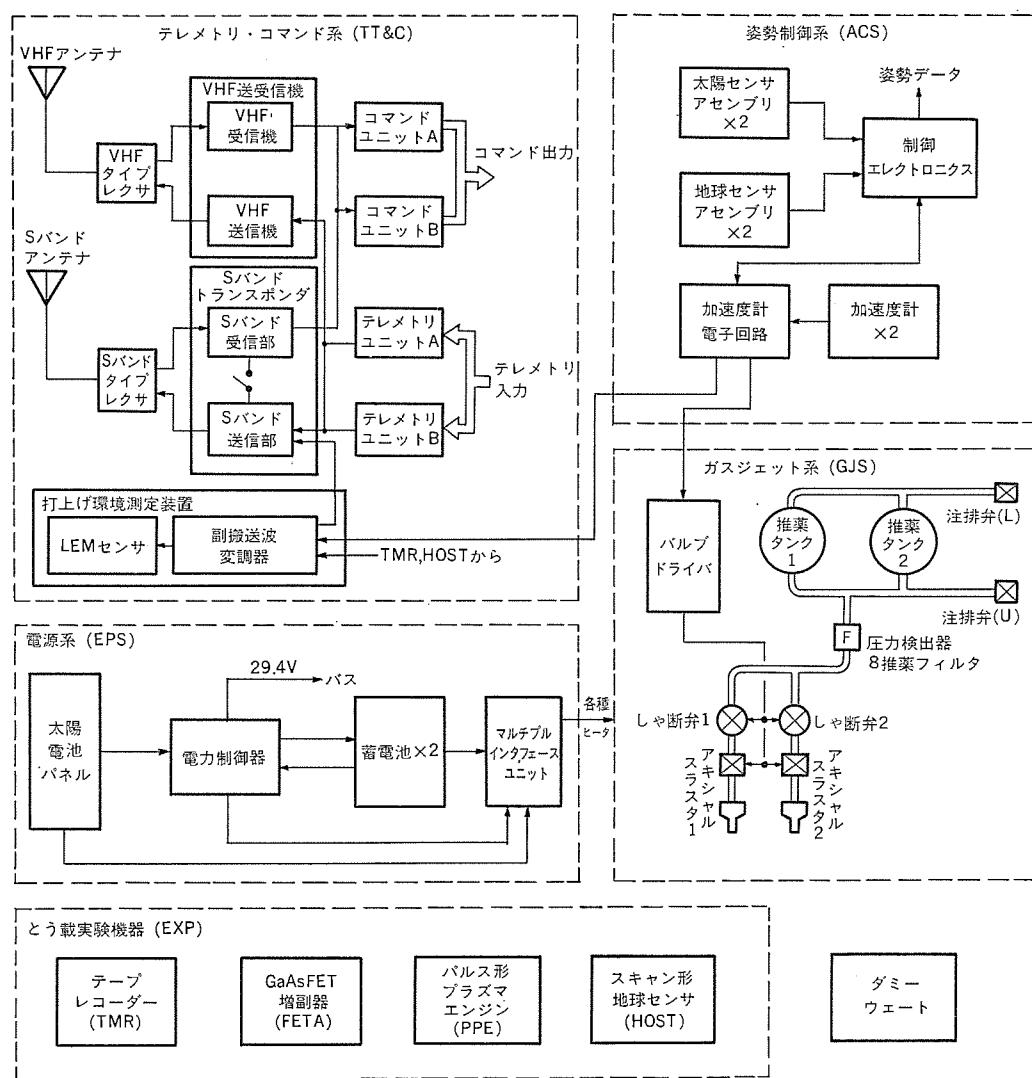


図 2. 「きく3号」のシステムブロック図

表 3. 「きく3号」の主要諸元

項目	諸元	備考
形状	円筒形 直径 約 2.1 m 高さ 約 2.8 m	N-IIロケットに適合する。
姿勢安定	スピンドル方式 スピンドル率 60±6 rpm 慣性モーメント比=1.19	
重量	打上げ時 約 638 kg 寿命末期 約 625 kg	
軌道	近地点高度 約 225 km 遠地点高度 約 35,976 km 軌道傾斜角 約 28.5 度	長軸円軌道 ミッション期間中静止軌道投入のための遷移軌道を飛行する。
ミッション期間	3か月	
電源系 (EPS)	バス電圧 29.4±0.2 VDC 太陽電池出力 約 134 W(BOL) 蓄電池容量 6 Ah(1個あたり) 蓄電池個数 2個	マルチブルインタフェースユニット 太陽電池劣化モニタ 蓄電池電圧モニタ 蓄電池温度モニタ
テレメトリ・コマンド系 (TT&C)	コマンドデータ 128 b/s テレメトリデータ 64 ワード VHF 送信出力 約 1.5 W Sバンド送信出力 約 2 W 副搬送波変調器チャネル 6 LEM センサ 6個	VHF 6素子モノポールアンテナ Sバンド4素子スパイラルアンテナ 伝送周波数 DC~1 kHz 最大測定加速度 ±20 G
姿勢制御系 (ACS)	太陽センサ視野角 +75~-75度 水平線検知方式 地球センサ 加速度計 最小検地加速度 $10^{-4} G$ 能動ニューション制御機能 姿勢データエンコーディング機能	センサ2個のアセンブリ センサ2個のアセンブリ センサ2個のアセンブリ 太陽角, スピンドル, 地球幅
ガスジェット系 (GJS)	1波式ヒドランジ推薦 推薦とう戻重量 約 12.8 kg アキシャルスラスター 2個 スラスター推力 約 1.8 kg(公称値)	スラスター噴射の地上コマンドを受け て衛星姿勢修正, 及び能動ニューション制御を行なう。
熱制御系 (TCS)	受動形: 推薦タンク, 蓄電池等部分的にヒートを用いる。	外部との熱伝達は主として衛星外周面で行なう。
構体 (STR)	第1次固有振動数 横方向 16.5 Hz 軸方向 51.0 Hz	モノコックシェル構造
ダミーウエート (DMY)	アポジモータの代わりにダミーウエートをとう戻す。 重量約 340 kg	ダミーウエートは実推進薦充填構造とし, 衛星落下の際に燃焼などにより消滅する。

に対しても、プラットフォーム上面の機器を置き換えることにより対応できるようなバス/モジュール化思想をとっている⁽²⁾。

衛星は基本機器ととう戻実験機器から構成され、基本機器は更にテレメトリ・コマンド系 (TT&C), 電源系 (EPS), 姿勢制御系 (ACS), ガスジェット系 (GJS), 構体系 (STR), 熱制御系 (TCS) 及びダミーウエートで構成されている(図2. 参照)。

衛星及び各サブシステムの主要諸元を表3.に示すが、これまでの衛星と特に異なる点を以下に述べる。

6波の副搬送波発振器で構成される副搬送波変調器は打上げ段階で6チャネルの打上げ環境データを、軌道上ではニューションデータ又はとう戻実験機器 (TMR又はHOST) のアナログデータ1チャネルをFM変調し、Sバンドトランスポンダ経由で伝送する。

「きく3号」は遷移軌道を周回するので放射線による太陽電池の劣化特性をモニタするため、劣化防止用カバーガラスの厚さが異なる2種及びカバーガラスのないもの1種、計3種の特性モニタ

セルを太陽電池パネルに装着し、太陽電池の主要性能である短絡電流、最大電力点近傍電流及び開放電圧をモニタしている。

また、姿勢制御系の加速度計及び加速度計電子回路並びにガスジェット系と能動形ニューション減衰システムを構成している。ニューションに基づく加速度を加速度計で検知し、加速度計電子回路からのニューション制御用タイミングパルスにより、GJSのスラスター噴射させニューションを減衰させる。ニューション制御のしきい(閾)値は2段階に、スラスター噴射時間は3段階に選択可能である。

4. 衛星運用

4.1 衛星運用概要

「きく3号」のミッション期間3か月間の運用概要は、次のとおりである⁽³⁾。

(1) 打上げ段階

この段階では、宇宙開発事業団の増田及び勝浦追跡管制所並びにクリスマス移動追跡所で打上げ環境データを取得した。打上げ環境測定装置により測定されたデータは、計画以上の時間帯にわたって良好に取得できた。また、第2周回の測距データに基づき衛星の軌道が決定され、計画値に近い遷移軌道(近地点高度 223.4 km, 遠地点高度 36,011 km)に投入されたことが確認された。

(2) 初期段階(打上げ段階終了後から約1か月間)

「きく3号」はアポジモータをとう戻していないが、今後の静止衛星の運用に備え、アポジモータ噴射(AMF)を想定したAMF姿勢制御及び最終姿勢である赤道面垂直姿勢確立のための姿勢制御を実施した。衛星の姿勢制御系及びガスジェット系は正常に動作し、所定の制御精度で各姿勢制御が実施できることにより、目標の最終姿勢が確立された。また、この段階では事前に準備した衛星チェックアウト手順書に従って基本機器の点検を実施し、ほぼ予測どおりの結果を得た⁽⁴⁾。

(3) 定常段階(初期段階終了後からミッション期間終了まで)

この段階でも運用データに基づき引き続き基本機器の点検を実施し、計画されていたすべての点検を完了した。この結果、各基本機器が宇宙環境下で正常に機能していることが確認できた。とう戻実験機器に関しては、初期段階での機能試験に引き続き、関係各機関からの要求に基づき実施した宇宙環境下における性能試験の結果、各とう戻実験機器が良好に機能していることが確認された。

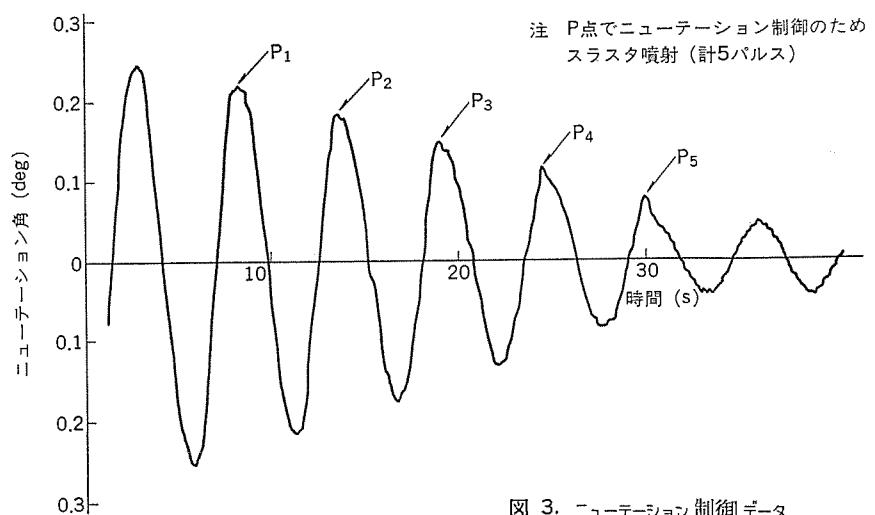


図 3. ニューション制御データ

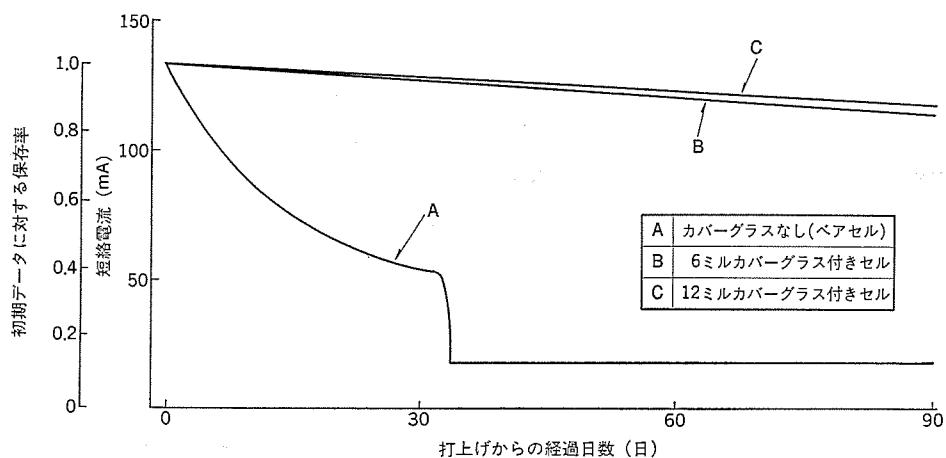


図4. 太陽電池劣化特性

表 4. 「きく3号」の温度サマリ

とう載機器名		温 度 (°C)						
		-100	-60	-30	0	30	60	
基本機器	太陽電池パネル							
	バッテリ							
	電力制御器							
	VHF送受信機							
	Sバンドトランスポンダ							
	推薦タンク							
	推薦ライン							
実験機器	テープレコーダー							
	GaAsFET増幅器							
	PPEパワーコンディショナ							
	HOST電子回路部							
	HOST回転ヘッド部1							
	HOST回転ヘッド部2							

4.2 フライトデータ

ミッショ n 期間中に取得した フライトデータ のうち、「きく 3 号」に特有な
代表的データを次に示す。

(1) ニューテーション制御データ

図3. は能動形 ニューテーション 制御 システム により制御を行ったときの ニューテーション の データ である。制御前に 0.25 度 あつた ニューテーション 角 が、 90 ms 幅 の パルス を 5 パルス 噴射 すること により、 0.04 度 に 減衰 した。このときの 制御効率 は 約 95% であり、 この システム が 不安定 型 の スピン 衛星 及び 三軸 安定 衛星 の スピンフェーズ での ニューテーション 制御 に 使用 可能 である こ と が 確認 でき た⁽⁵⁾。

(2) 太陽電池の劣化特性

図4.は標準状態(太陽角:0度, 太陽光強度:135.3mW/cm², セル温度:28°C)に補正した太陽電池特性モニタセルの短絡電流の3か月間データトレンドである。カーボグラスなしのペアセルの劣化は、カーボグラス付きセルの劣化に比べて非常に大きく、約1か月で出力が消失した。

カバーガラス付きセルの劣化は、予測よりも小さく、かつカバーガラスの厚さの違いによる影響も小さい。これらのライトデータから遷移軌道を周回中に受ける放射線被ばく(曝)量が明らかとなり、今後の太陽電池パネル設計に反映することができる⁽⁶⁾。

(3) 温度データ

「きく3号」のミッション期間3か月間の実測温度を予測温度及び許容温度とともに表4に示す。HOST回転ヘッド1の温度が低下しているが、これは定常段階で実施したスラスタ2の評価のための姿勢制御による一時的な温度低下である。こう載機器の実測温度は、打上げ前予測温度に5°C程度の精度内で一致し、余裕をもって許容温度を確保していることから衛星の熱設計が妥当であることが確認できた⁽⁷⁾。

5. む す び

国産開発による初の大型衛星「きく3号」はその開発段階及び打上げ後3か月間のミッション期間において、すべての開発目的を達成した。開発段階及び射場整備作業で習得した大型衛星の製作・取扱技術及び「きく3号」で得られたN-IIロケット打上げ環境データを初めとする種々のフライターデータが、今後の大型衛星開発に大きく役立つものと考える。

最後に、「きく3号」の開発・打上げ・運用に当たり御指導及び御支援いただいた関係者各位及び御協力いただいたとう載実験機器開発担当機関の関係者各位に深く感謝する次第である。

参 考 文 献

- (1) 市川ほか：技術試験衛星IV型(ETS-IV)の開発について、宇宙航行エレクトロニクス研究会、SANE 78-30(昭54-1)
 - (2) 松下ほか：技術試験衛星IV型のシステム、第22回宇宙科学技術連合講演会(昭53)
 - (3) 高田ほか：技術試験衛星IV型(ETS-IV)の打上げ及び運用について、宇宙航行エレクトロニクス研究会、SANE 81-20(昭56-8)
 - (4) 中丸ほか：きく3号(技術試験衛星IV型)基本機器の軌道上チェックアウト、第25回宇宙科学技術連合講演会(昭56)
 - (5) 池内ほか：「きく3号」搭載能動的ニューテーション減衰システムの飛翔結果、第25回宇宙科学技術連合講演会(昭56)
 - (6) 高田ほか：きく3号(技術試験衛星IV型)太陽電池の劣化特性、第25回宇宙科学技術連合講演会(昭56)
 - (7) 金森ほか：きく3号(技術試験衛星IV型)の熱制御系フライティーデータ評価、第25回宇宙科学技術連合講演会(昭56)

○ インテルサットV 6/4GHz帯直交偏波共用ホーンアンテナ

近藤 五郎*・川端俊一郎*・小林 右治*・赤尾 洋*・片木 孝**

1. まえがき

インテルサットVは国際電気通信衛星機構 (INTELSAT) との契約のもとに製作された通信衛星であり、米国の Ford Aerospace & Communications Corporationを主契約者とし、合計6か国による国際協力のもとに開発され当社もその一部を担当した。この衛星の初号機は昭和55年12月に打上げられた。

この衛星は従来のスピニ安定型に代わって、INTELSATとして初の三軸制御安定型となっている。図1.に示すように約2m立方の衛星本体の地球に面した側の高さ約4.5mのタワーに、4枚の反射鏡アンテナと3個のホーンアンテナ及びオムニアンテナをとう載している。また、衛星本体両翼の太陽電池アレーを含めた全長15.6m、衛星ドライ重量約800kgの大型通信衛星である。

当社は前記アンテナのうち、図2.に示す6/4GHz帯の地球全域を照射するアースカバレッジアンテナも担当した⁽¹⁾。インテルサットVでは図1.に示すヘミ／ゾーンアンテナで直交偏波共用による周波数有効利用を行

っているため、地球局には低だ(梢)円偏波率が要求される。アースカバレッジアンテナは、この地球局アンテナの梢円偏波率の評価の基準として用いるため、特に低い梢円偏波率が要求された。このため種々のアンテナ方式を比較検討し、衛星とう載用として優れた構造、性能を有するフレアアリス形複モードホーンアンテナ⁽³⁾を採用し、ビームカバレッジ全域で0.4dB以下の低い梢円偏波率を達成した。

このアースカバレッジアンテナは、インテルサットVに途中から追加された海事通信ミッションにも用いるため直交偏波共用の必要が生じ、5号機分から偏波器を共用形にした。なお、偏波器以外については変更を行うことなく、海事通信ミッションの要求を満足できた。

機械的性能については、このアンテナはタワーの先端に取付けられるため、タワーに対する荷重を軽減する必要があり、軽量化設計を行った。また、タワーの先端の振動加速度は、衛星本体の部分に比べて大きくなるため、通常の衛星とう載機器に比較して厳しい、30Gという高いレベルに耐える高剛性、高強度なアンテナを設計した。設計、製作したアンテナについて認定試験を行い、このアンテナがインテルサットVとう載用アンテナとしての電気的、機械的要件を満足する性能であることを確認した。

2. アンテナの設計

2.1 要求条件

アンテナの設計に要求される主な電気的、機械的要件を表1.に示す。表中に海事通信設計条件とあるのは、5号機から追加された直交偏波に対する要求条件である。また、表中で4GHzと6GHz

表1. 設計要件

	インテルサットV設計条件		海事通信設計条件	
	4GHz	6GHz	4GHz	6GHz
周 波 数 带 (MHz)	3,955～4,200	6,180～6,425	4,192.5～4,200.5	6,417.5 ～6,425.5
偏 波	右 旋 円 偏 波	左 旋 円 偏 波	左 旋 円 偏 波	右 旋 円 偏 波
ビームカバレッジ	18° 円形	22° 円形	18° 円形	22° 円形
梢円偏波率 (dB)	0.4 以下	0.4 以下	0.4 以下	0.4 以下
利得 (dBi)	16.5 以上	14.8 以上	16.5 以上	14.8 以上
0.4°の弦の範囲 での利得傾斜 (dB)	1.2 以下	同 左	1.2 以下	同 左
VSWR	1.15 以下	同 左	1.15 以下	同 左
寸 法 (mm)	350×350×1,140 以下	250×250×750 以下	350×350×1,140 以下	250×250×750 以下
重 量 (kg)	2.3 以下	1.1 以下	2.3 以下	1.1 以下
固 有 振 動 数 (Hz)	100 以上	同 左	100 以上	同 左
耐 電 力 (W)	33.7 以上	—	33.7 以上	—
正弦波振動 ランダム波振動 温 度 范 围	30G 最大 22.6G RMS -180～+75°C	同 左	30G 最大 22.6G RMS -180～+75°C	同 左

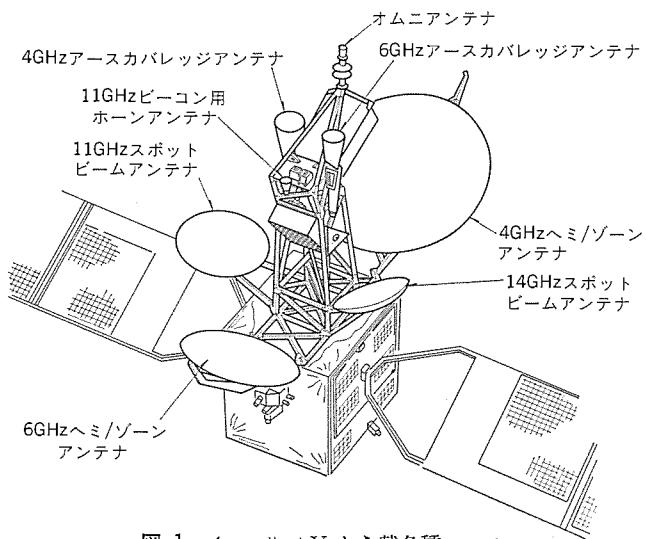


図1. インテルサットV とう載各種アンテナ

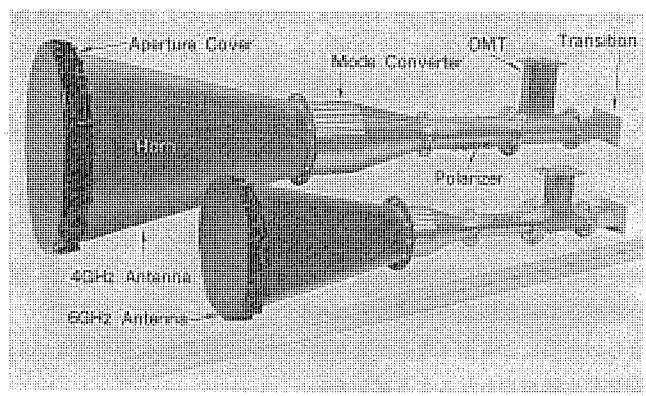


図2. 6/4GHz帯アースカバレッジアンテナ外観

のビームカバレッジが18度と22度と異なっているのは、衛星が静止軌道上で東西方向に2度向きを変えることがある。その折4GHzのアンテナはそれを補償する向きにアンテナを駆動するのに対し、6GHzのアンテナは駆動機構がないため、あらかじめビームカバレッジを広くしているためである。表1において、設計上特に配慮すべき点は次の3点である。

- (1) 低橿円偏波率を得ること
- (2) 軽量化を図ること
- (3) 温度依存性の小さいこと

このほか、人工衛星とう載用アンテナの設計に必要な高利得、低損失、低VSWR、小形、高強度、高剛性、高信頼性などに対する配慮も行った。

2.2 アンテナの方式及び構成

今回のアンテナは、要求ビーム幅から考えるとホーンアンテナの形式となるが、要求されている周波数帯域からみて、通常の円すい(錐)ホーンを用いたものでは、ビームカバレッジ全域にわたって0.4dB以下という低い橿円偏波率を得ることはできない。このため、従来よりハイブリッドモードを用いたコルゲートホーンアンテナ⁽⁴⁾や、ホーンの内壁に薄い誘電体の帯を装荷した誘電体装荷ホーンアンテナ⁽⁵⁾、あるいはホーンの基部にステップ状のモード変換器を設けたステップ形複モードホーンアンテナ⁽⁶⁾などが知られている。しかし、コルゲートホーンは構造が複雑で軽量化上不利であり、誘電体装荷ホーンは誘電体の温度依存性なども含めて考えると、橿円偏波率を十分小さく設計することは難しい。ステップ形複モードホーンアンテナは、周波数特性が大きく好ましくない。

このため、これらのものに比べて構造が簡単で金属のみで構成され、かつ要求された周波数帯域にわたって低い橿円偏波率が得られることに着目して、テープ導波管と2枚のアイリスを組合せたTM₁₁モード発生機構を有するフレアアイリス形複モードホーンアンテナ⁽⁷⁾を設計した。この結果アンテナの認定モデルを用いて測定したアンテナ全体の性能は、表2に示すとおり、予測値⁽⁷⁾0.28dBに対し、0.26dBとよく一致しており、また当社で開発した要因別橿円偏波率測定法⁽⁸⁾により測定した各要因も予測通りの値が得られた。

以上述べた方式により構成したアンテナは、図3に示すように次の6つの構成品からなっている。

表2. 橿円偏波率の各要因

要因	4GHzアンテナ	6GHzアンテナ
アンテナ全体の測定値	0.25dB	0.26dB
アンテナの対称分(Q_0)	0.14	0.17
アンテナの非対称分(Q_1)	0.05	0.06
円偏波発生器	0.07	0.04
周囲から反射	0.09	0.04
測定誤差	0.05	0.04

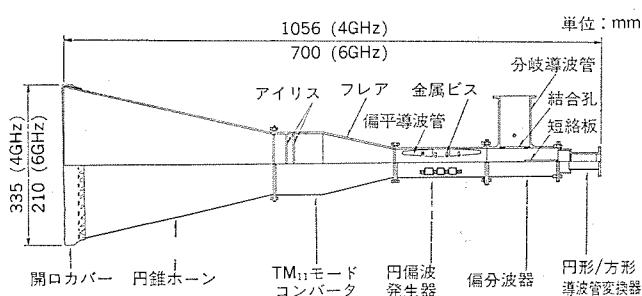


図3. アンテナの構成

- (1) 開口カバー
- (2) 円錐ホーン
- (3) TM₁₁モードコンバータ
- (4) 円偏波発生器
- (5) 偏波器
- (6) 円形/方形導波管変換器

2.3 構成品の設計

以下、各構成品について述べる。

- (1) 開口カバー

開口カバーはアンテナの熱設計上必要となったもので、太陽光線が、特に春秋分時にホーン開口から奥深く入り、モードコンバータと円偏波発生器の温度を上昇させ、そのときの熱ひずみ(歪)により橿円偏波率を劣化させるのを防ぐ。一方、開口カバーによる反射波は橿円偏波率の劣化を生じ、また打上げ時の気圧変化に耐える強度も必要である。種々の材料について、厚さ、強度及び誘電率を検討し、橿円偏波率の劣化の少ないカプトン/テドラはり合わせの誘電体カバーを用いることにした。

- (2) 円錐ホーン

円錐ホーンは寸法が大きいため、アンテナ全体の重量を軽減するにはこのホーンを軽量化する必要がある。また、直接宇宙環境にさらされるため、熱変形の小さいことも必要である。そこで密度がアルミニウムの約半分であるCFRP(Carbon Fiber Reinforced Plastics)を採用することとし、CFRP表皮のハニカムサンディング板構造やCFRP積層構造の円錐ホーンについて、寸法精度と加工性の点から比較検討し最終的にCFRP積層構造とした。CFRP積層品の線膨脹係数はアルミニウムの約1/10と小さく、熱変形による橿円偏波率の変化は無視できる。

また、ホーン根元部の寸法と電気電導度はTM₁₁モード発生量に微妙な影響を与えるため、ホーン内面は根元のフランジ面も含めて、アルミニウムの真空蒸着を施し、特性の安定化を図った。以上述べた設計により、ホーンの重量は4GHzが450g、6GHzが200gに収まり、アンテナ全体の重量の要求を満足し得た。

- (3) TM₁₁モードコンバータ

TM₁₁モードコンバータは、図3に示すように、フレアと2枚のアイリスから構成されており、低橿円偏波率を維持するため寸法精度の向上と熱変形の低減を中心に材料、加工方法などについて検討し、最終的に線膨脹係数がアルミニウムの約1/3と小さいチタニウムを用い、一体加工により高い寸法精度のモードコンバータが得られるようにした。

- (4) 円偏波発生器

円偏波発生器は橿円偏波率の特性に直接影響を与えるため、1/4波長板を用いたもの、金属ビスを用いたものなど種々のものを比較検討した。アンテナ寸法の要求から長さの制限があり、最終的に図3に示すように上下を偏平に絞った円形導波管と金属ビスとを組合せ、両者の移相量の周波数特性が逆の傾向であることを利用し、総合の移相量の周波数特性を平坦にしたもので、橿円偏波率0.08dB以下という小さな値を得た。この性能を維持するため、寸法精度の向上、熱変形の低減及び試験調整方法の改善を中心に材料、加工方法、偏波器との組立誤差の低減などについて検討し、チタニウムを用い、ならい旋盤による加工などにより高い寸法精度で熱変形の少ない円偏波発生器が得られるようにした。

- (5) 偏波器

偏分波器は直交偏波共用の分波回路として VSWR, 交差偏波識別度の優れた性能が必要である。このため、図 3. に示したように、円形導波管の中央にそう(挿)入された水平偏波短絡板とそれに直交して設けられた分岐アームに結合する結合孔を設けた構造を採用した。偏分波器は、ホーンに比べて使用温度範囲が狭く、温度依存性は低い。このため、短絡板の位置及び結合孔の寸法精度向上、軽量化を中心に検討し、アルミニウムを用い、放電加工により短絡板も含めた一体加工で高い寸法精度が得られるようにした。この結果、VSWR 1.05 以下、交差偏波識別度 60 dB を得た。なお、海事通信ミッションが追加されたことにより、当初分岐導波管に挿入されていた電波吸収体を除去し、ここを海事通信ミッションの入出力端子とした。

(6) 円形／方形導波管変換器

この変換器は偏分波器と同様、性能の温度依存性は低いので、小形軽量化及び低 VSWR を中心に検討し、図 3. に示すステップ形とし、VSWR の調整は金属ビスとアイリスにより行う設計とした。アルミニウムの放電加工と電子ビーム溶接により、高い寸法精度が得られるようにした。VSWR は 1.04 以下を得た。

3. 試験結果

これまで述べたような低い梢円偏波率を有するアンテナが、人工衛星にうとう載され、打上げ時の振動環境や静止軌道上での熱環境に耐え、要求性能を満足することを確認する必要がある。このため、実際に打上げられるアンテナと同一の設計であることはもちろんのこと、使用材料、加工方法、組立、試験調整などに至るまで同一条件で製作した認定モデル (QM: Qualification Model) を用いて、認定試験を実施した。図 4. は認定試験のフローチャートを示したもので、(1)から(11)までの計 11 段階に分かれ、各段階で測定する項目を並記してある。図 4. において、(4)と(6)は打上げ時の振動環境の試験であり、(8)は静止軌道上での熱環境の試験である。(2)と(10)は、これらの環境試験の前後で電気性能の変化がないことを確認するために実施した。(1)と(11)は同じく環境試験の前後で外観、寸法に

(1) 初期検査	・外観、寸法、重量、重心、慣性能率
(2) 初期電気性能試験	・放射パターン、利得、利得傾斜、梢円偏波率、VSWR
(3) 振動試験前検査	・外観、寸法
(4) 正弦波振動試験	・モーダルサーベイ 正弦波振動(最大30g)
(5) 正弦波振動後検査	・外観、寸法
(6) ランダム波振動試験	・ランダム波振動(22.6G RMS)
(7) ランダム波振動後検査	・外観、寸法
(8) 热真空試験	・热真空試験(VSWRモニタ) -180~+75°C
(9) 热真空後検査	・外観、寸法
(10) 最終電気性能試験	・放射パターン、利得、利得傾斜、梢円偏波率、VSWR
(11) 最終検査	・外観、寸法

図 4. 認定試験 フローチャート

変化がないことを確認するために実施した。なお、(1)で行っている重量、重心、慣性能率は環境試験での変化が無視できるため(11)では省略している。

(1)で実施した重量検査の結果、4 GHz は 2.3 kg 以下に対し 2.1 kg、6 GHz は 1.1 kg 以下に対し 1.0 kg となり、要求を満足した。

(2)の電気性能試験は、事前に測定環境を評価し、測定誤差が許容値を満足していることを確認した上で電波無反射室にて行った。このアンテナでは、利得と梢円偏波率については静止軌道から見た地上の各地点に対応する 136 点で測定することが要求されており、その各点について周波数 スイープ測定を行った。図 5. に 1 例として梢円偏波率の測定プロック図を示す。図 6. はその生データの 1 例であり、最悪値は 4 GHz が 0.34 dB、6 GHz が 0.32 dB であった。

このデータは、図 4. において供試アンテナを測定方向に向け、直線偏波送信アンテナを高速回転させながら周波数をスイープし、受信レベルを記録したものでリップルの振幅が梢円偏波率を示している。このようにして各 136 点について得られた梢円偏波率の帯域内最悪値の分布を等高線で示したのが図 7.、図 8. でそれぞれ 4 GHz、6 GHz に応する。図中円内がビームカバレッジの範囲である。これらの図から大部分の地域を 0.2 dB 以下の梢円偏波率で覆っていることが分かる。また、利得は 4 GHz が 17.1 dBi、6 GHz が 15.6 dBi、VSWR は 4 GHz が 1.11、6 GHz が 1.02 といずれも要求値を十分満足している。

図 4. (4), (6)の振動試験では、最初にモーダルサーベイを実施し、アンテナの固有振動数を測定するとともに、十分な強度を有していることを確認した。

(8) の熱真空試験では、アンテナを高真空中のチャンバ内に入れ、かつアンテナに -180°C から +75°C の範囲の温度サイクルを加えながら、VSWR をモニタし、温度変化が十分小さいことを確認した。

(10)では、先に述べた一連の環境試験により性能が変化したかどうかを調べるため、(2)で実施した試験と同一条件で、各項目の試験を実施した。その結果、いづれも測定誤差以内で完全にデータを再現しており、環境試験の前後で性能の変化が認められなかった。

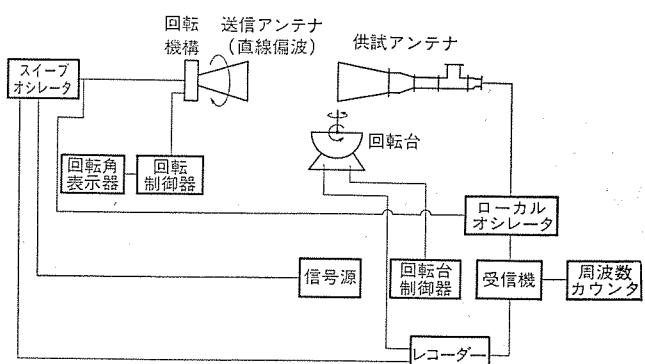


図 5. 梢円偏波率測定 ブロック図

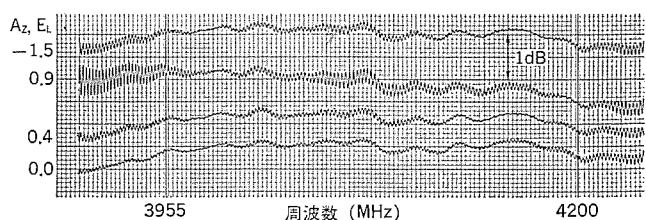


図 6. 梢円偏波率測定 データ

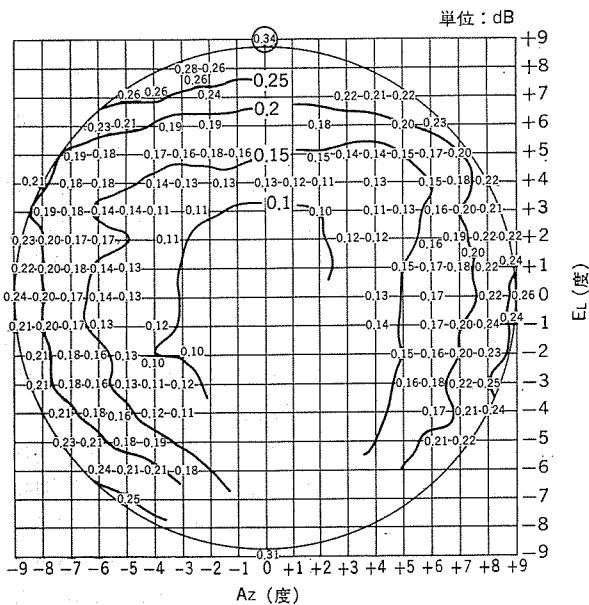


図 7. 楕円偏波率の分布 (4 GHz)

したがってこのアンテナは認定され、以後この認定モデルと同一条件で製作されるアンテナは、ワークマンシップの確認を中心とした受入試験(ライトモデルに適用される試験の名称で、Acceptance Testと呼ばれている)を実施し、それに合格すれば打上げ用に供せられる。受入試験は図4.に示す認定試験のうち、(8)と(9)を除いた残りの試験を実施している。現在までに8号機までの受入試験が完了しており、今後15号機までの試験が予定されている。今までのところ、データのはらつきは極めて小さい。

4. む す び

通信衛星とう載用6/4 GHz帯直交偏波共用ホーンアンテナとして、フレアイリス形円偏波複モードホーンアンテナが電気的、機械的に優れていることを示した。

このアンテナは、高剛性なCFRP積層ホーン、線膨脹係数の比較的小さいチタニウム製TM₁₁モードコンバータと円偏波発生器などの採用を特徴とし、性能の温度依存性を低くおさえている。また、これらの材料を用いることにより、重量は4 GHz用が約2.1 kg、6 GHz用が約1 kgと軽量化が図られている。このアンテナの椭円偏波率は、認定試験の結果0.4 dB以下の小さな値が得られ、今後の衛星通信のすう勢である直交偏波共用による周波数有効利用の見地から極めて有用であることが分かった。

なお、この論文で示したアンテナの測定値は、すべて当社鎌倉製作所で行った納入試験時に得られたものである。

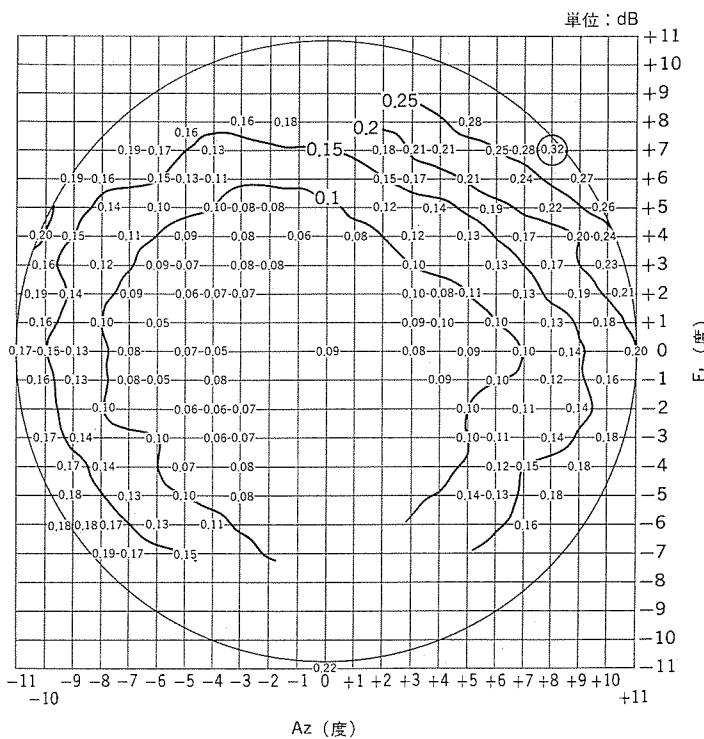


図 8. 楕円偏波率の分布 (6 GHz)

参 考 文 献

- (1) Takeichi, Y. et al : "INTELSAT V 4 & 6 GHz Earth Coverage Antennas" 1978 ISAP Japan Digest B-3 (August 29-31, 1978)
- (2) Rush, R. J. et al : "INTELSAT V Spacecraft Design" 27th International Astronautical Congress, Anaheim, California, U. S. A. (Oct. 10-17, 1976)
- (3) Ebisui, T. Katagi, T. and Mizusawa, M : "Aircircularly Polarized Dual-Mode Horn Antenna For Communications Satellite" 1977 IEEE/AP-S International Symposium, Session 11, 0940, Tuesday, June 21
- (4) Gruner, R. W. et al ; "A. C. P. reference standard antenna system for satellite or earth station applications" IEEE AP-S, Digest P. 228 (June, 1975)
- (5) 佐藤：誘電体装荷ホーンアンテナの交さ偏波特性、電子通信学会誌(B), 57-B, 10, P. 617 (昭49-10)
- (6) Potter, P. D : "A new horn antenna with suppressed side lobes and equal beam widths" The Microwave Journal, P. 71 (June, 1961)
- (7) 蛭子井, 片木, 水沢 : フレアイリス形円偏波複モードホーンアンテナ、電子通信学会論文誌(B), 62-B, 12, P. 1,109 (昭54-10)
- (8) 蛭子井, 片木 : 円錐ホーンアンテナの椭円偏波率の要因別測定、電子通信学会論文誌(B), 採録決定

大電力衛星用電源サブシステムの開発

小林 基 宏*・津屋 直 紀*・後藤 正 芳*・岩本 邦 雄*・大村 勝 敏*

1. まえがき

人工衛星が出現して以来、約20数年たち、打上げもロケットからスペースシャトルによる大型・大量輸送が可能な時代となりつつある。我が国でも通信・気象・地球観測などの実用衛星が本格的に利用されるようになり、国産大型衛星が強く望まれる時代となっている。特に、衛星の電源サブシステムは、ミッションの大形化・多様化に対し、従来の数10~数100Wクラスから、昭和55(‘80)年代には1kW以上が普通となってきている(図1. 参照)。

これらの動向に対し、これまでの実用衛星の電源系製造・開発経験を生かし、大型衛星の標準的な電源系を3年計画で開発してきたので、その開発成果などにつき報告する。なお、欧米においても、各社が独自の電源サブシステムの開発をきそって進めている。

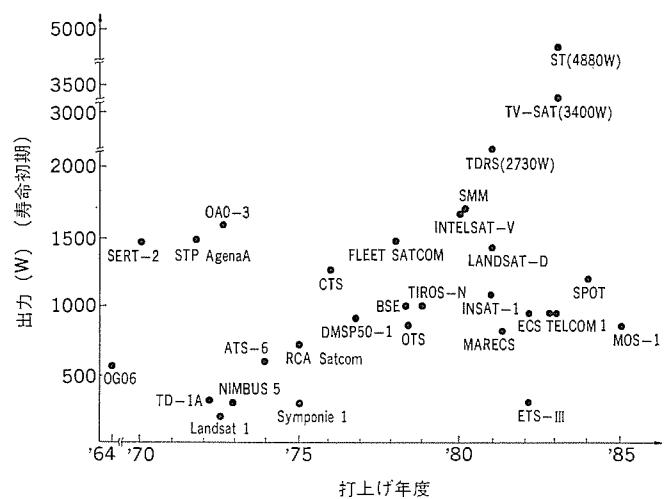


図1. 三軸衛星と太陽電池パドル発生電力の進歩

2. 人工衛星電源サブシステムの構成

人工衛星の電源サブシステムに要求される基本的な機能は、電力を発生、貯蔵(日陰に備えて)し、所定の特性で各機器に供給することである。電源サブシステムの多くは、通常図2. のような構成をとり、各機器へは電源母線(バスライン)から20~50V程度の直流電圧で電力が供給される。

主電力源には通常太陽電池が、また2次電池にはNiCdバッテリ又はNiH₂バッテリが用いられる。電源バスラインの電圧(バス電圧)は、電力制御器により制御されるが、制御の方式には大別して常時バス電圧を一定値に保つ安定化方式と、軌道周期に依存してある範囲内で変動するフローティング方式とがある。

安定化方式では、主電源の発生電力がない日陰中に2次電池電圧を昇圧・安定化するブーストコンバータが必要である。いずれの方式においても、バス電圧の上限リミッタが必要であり、通常シャントレギュレータが用いられる。大電力が必要になるに従い、効率・重量などの有利

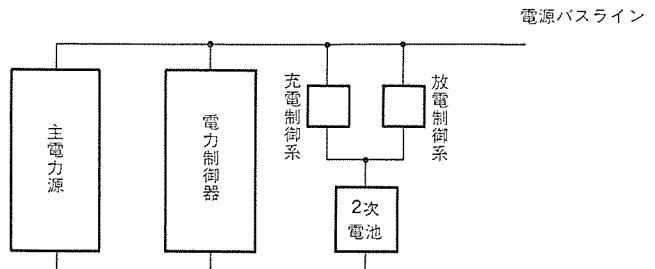
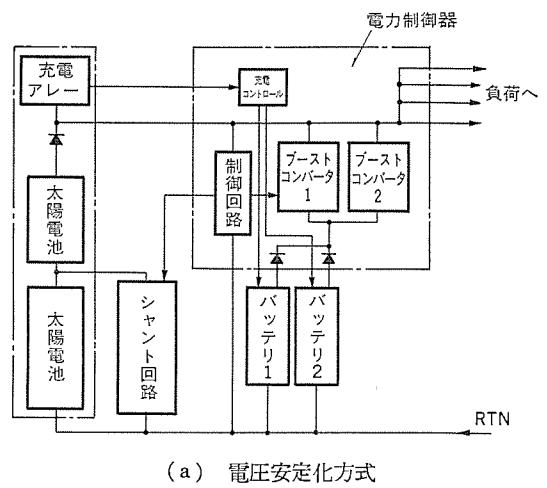
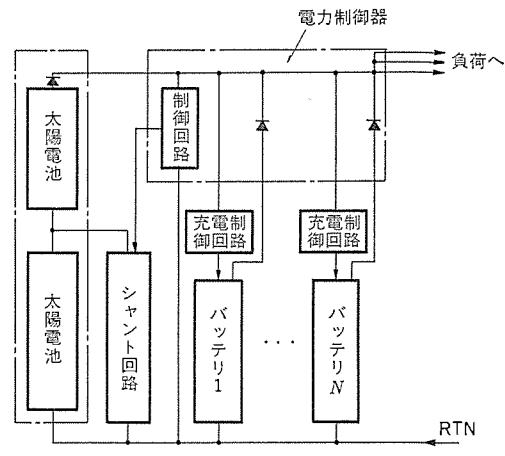


図2. 電源サブシステムの構成



(a) 電圧安定化方式



(b) フローティング方式

図3. 安定化方式とフローティング方式

からフローティング方式が多く用いられるようになった。また、各機器で必要な電圧を集中形のDC/DCコンバータで作り分配する方式と、各機器内に内蔵したDC/DCコンバータでまかう方式があり、一長一短があるが、DC/DCコンバータの進歩により、分散方式が一般化している。これら的方式は、衛星設計メーカーで独自の経験と設計思想に基づき、各種の特徴のあるものが開発使用されて

いる。図3. IC, 電圧安定化方式とフローティング方式の構成例を示した。

電源サブシステムの他の機能としては、静止衛星のアポジブーストモータの点火や、固定されたデスパンアンテナあるいは太陽電池パドルなどの開放・展開用爆管(火工品)の制御、過負荷分離や過電流制限などの負荷制御、サブシステム内の動作の制御(コマンド)及び状態のモニタ(テレメトリ)、2次電池の充電管理・保護などがあり、これらの制御機能は通常電力制御器に収められる。

3. 開発計画と開発状況

3.1 大電力化とその問題点

人工衛星電源の大電力化の影響、問題点としては次のような項目があげられるが、これらに対する解決策を含めて説明する。

(1) 余剰電力の処理

シャントレギュレータは、原理的に太陽電池の余剰電力を熱に変え、バス電圧を制限する。したがって、大電力化に伴いその重量が大きくなるばかりか、大きな発熱により衛星システムの熱設計を困難にする。

この問題を解決するのがシーケンシャルシャント方式であり、太陽電池パネルを数10のグループに分割し、負荷電力に応じて余剰電力発生部分のシャント回路を短絡させ、必要な部分のみ動作させることにより、シャント部での発熱を通常のシャント方式に比べて数10分の1に減らそうとするものである。更に、シャント発熱量を減少させるには、デジタルシャント方式も考えられている。これは太陽電池パネルの分割が十分にできなくてもシャント発熱量を小さくするため、単純なオン/オフ制御を行うよう改良したものである。

(2) バス電圧の選定

現在までのところでは、衛星バス電圧として航空機用電源のバス電圧に近い28V前後が大半の衛星で用いられてきたが、大電力化に伴い電力分配ラインでの損失低減、スリップリング寸法の小形化、2次電池の総合設計上の利点などのため、バス電圧を高くする傾向がある。例えば、35V, 42V, 50V, 60Vなどが知られているが、欧米でも統一化する動きはまだない。

(3) 2次電池の充電方式

2次電池の充電電流は衛星軌道の日陰率(日陰時間の軌道周期にたいする比率)で大幅に異なり、静止衛星(日陰率最大5%)ではバッテリ容量の1/20~1/30A、中高度衛星(日陰率最大約33%)では同じく1/2~1/5A程度の充電電流が必要となる。特に、中高度衛星では数A~数10Aの充電電流を、複数個のバッテリにバランス良く与えねばならぬため、専用の充電制御回路を設けるのが一般化している。この方式として、充電アレー方式、シリーズレギュレータ方式及びスイッチング方式があるが、大電力用にはスイッチング方式が適している。

(4) 並列運転とバランス

大電力化に伴い、標準回路や2次電池の並列運転が必要となるが、各要素間のバランスと協調が問題となる。2次電池であるNiCdバッテリは、温度依存性、経年劣化特性のためアンバランスが容易やすく、また熱暴走や劣化集中に至る故障モードを持つため特に注意が必要であり、更にシャントレギュレータ、ブーストコンバータなどのバランス、協調も大切となる。このため、共通の制御信号による集中制御と、各バッテリごとに充電完了レベルを別々に持つようにするなどのバランス制御を行う方法がよい。

(5) 高効率化・長寿命化

大電力用太陽電池パネルは、大変大きなものになり、打上げの際の

ロケットフェアリング内へ収納、軌道上での展開、太陽追尾駆動は難しい技術の1つとなる。また、衛星の大電力化と共に、長寿命化(静止通信衛星で要求寿命が3年から7~10年となっている)も進んでおり、使用素子の改良が著しい。前者では、大形軽量太陽電池パネルの開発が進められており、後者ではシリコン高効率太陽電池、GaAs太陽電池、NiH₂バッテリなどが盛んに開発されている。また、太陽電池パネルの最大電力点を常に保持することによって、太陽電池パネルの利用効率をあげる方式(ピークパワートラッカー方式)も実用化されている。

3.2 開発項目

昭和54年度から次の項目について開発を進めてきた。

(1) ブレッドボードモデル(BBM)

BBMとして、シーケンシャルシャント、充電制御器、電力制御器(ブーストコンバータ部及び制御信号発生部)を開発し、共通制御信号による総合動作試験を行った。

(2) 実装モデル(プレエンジニアリングモデル)

シーケンシャルシャントをハイブリッドICを専用に開発して実装モデル化した。充電制御器を、シリーズ方式、スイッチング方式の2方式で実装モデル化した。電力制御器をコードウッドモジュールなど高密度実装により実装モデル化した。

(3) 新素子の開発・利用

シリコン高効率太陽電池(ブラックセルなど)、GaAs太陽電池セルの実装法の開発、NiH₂バッテリの利用法の検討など行った。

(4) 各種電源サブシステムの比較検討

ピークパワートラッカー方式、スイッチングレギュレータ方式などとの比較を行った。

(5) シーケンシャルシャント、DC/DCコンバータの改良

デジタルシャント方式の開発、入力電圧範囲のより広いDC/DCコンバータ、より高効率小形軽量なDC/DCコンバータの開発などを進めている。

3.3 開発状況

(1) シーケンシャルシャント

開発したシーケンシャルシャント装置の主要性能を表1.に示す。シーケンシャルシャント装置は、構成上太陽電池パネルに取付けられるために、小形・軽量でかつ薄くする必要がある。このため、シャント回路のハイブリッドIC(HIC)化を図った。HICはシャント出力回路とシャントドライバ回路の2種類を開発し、特にシャント出力回路のHIC化はトランジスタのジャンクションからベースプレートまでの熱抵抗を極力小さくし、シャント能力の割には高温動作を可能とした。

シャント装置の内部構造を図4.に示した。バス電圧の安定度を図

表1. シーケンシャルシャントの主要性能

名 称	性 能	構 造
シーケンシャルシャント回路(SSU)	<ul style="list-style-type: none">構成: 10段構成シャント電流: 0~15Aモニタ: 最大消費電力: 340W以上容量: 最大発生熱量: 34W以下動作温度範囲: -50~+70°C	<ul style="list-style-type: none">シャーシ: アルミニウムシャーシ(ヒートシンクを兼ねる)型状寸法: 300×200×35mm重量: 1.6kg以下外部コネクタ: Dサブ-50pin 6個

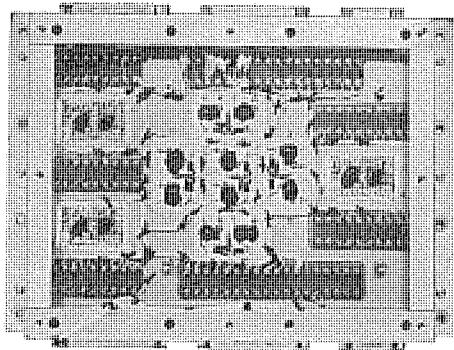


図 4. シャント装置の内部構造

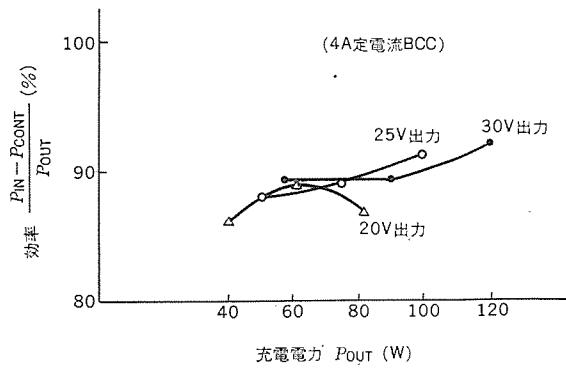


図 6. 電力変換効率

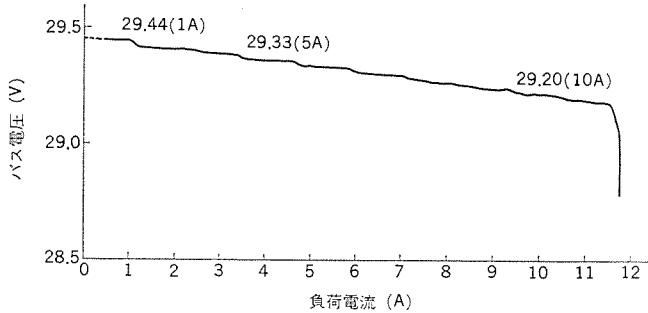


図 5. 模似太陽電池電源発生電力 340 W

表 2. 充電制御器の主要性能

名 称	性 能	構 造
バッテリ・充電制御器 (BCC)	<ul style="list-style-type: none"> 制御方式: スイッチングレギュレータ方式 スイッチング周波数: 50 kHz 定電流充電電流: フル: 4.0 A_{max} トリクル: 250 mA 充電電流安定度: 約 5% 充電完了制御: V-T カーブ(4本) 上限温度制御: サーモスタット 効率率: 約 90% (ノミナル) 入力電圧: 29V_{dc} 最大出力: 120 W 	<ul style="list-style-type: none"> シャーシ: アルミニウムシャーシ 形状寸法: 箱形 2段構造 150×100×50mm 重量: 1kg 以下 外部コネクタ: D サブ-25 ピン 4個

5. に示す。負荷電流を 0 A から 11.5 A まで変化させた時のバス電圧の変動は、29.18 V～29.45 V であり、設計どおりのバス電圧安定度が得られた。バス電圧のリップルは最大 5 mV_{pp} と十分小さい。また、負荷電力を 200 W 変動させたときのトランジション電圧変化は、0.2 V 程度で 0.5 秒以内に収束している。

(2) バッテリ充電制御器

開発したバッテリ充電制御器の主要性能を表 2. に示す。バッテリ充電制御器は、バッテリと一体化できるように NiCd バッテリの寸法に合わせて設計した。シリーズレギュレータ方式及びスイッチングレギュレータ方式により、定電流充電がバッテリの端子電圧によらず可能なようにしており、また充電完了の検出カーブを 4 本設け、温度変化・経年変化に対応させている。この検出カーブは、バッテリの個性に合わせて設定できるようにしている。充電効率及び充電可能電圧がそれぞれ高いことにより、スイッチング方式が大電流用には適している。

表 3. 電力制御器の主要性能

項 目	性 能
寸 法	300×400×80(H) mm
重 量	10.6 kg
消 費 電 力	12 W
動 作 溫 度	-23.3～+55°C -40～+65°C (非動作)
振 動	19.6 g rms
レギュレーション	29.4±0.2 V シャント 30～450 W ブーストコンバータ 30～450 W (2冗長) 出力インピーダンス 0.5 Ω リップル 250 mV _{p-p} トランジション ±1 V _{p-p}
爆 管 系	ABM 点火, DMA アンケージ 各 2 (冗長)
蓄 電 池 制 御	充 電 5 分 タイマ オーバーテンプ 21/24°C ヒータ サーモスタット 3/7°C UVC 1 V/cell リコンディション
ス ラ ス タ タ イ マ	60 s
テ レ メ ト リ	アナログ 12, デジタル 8
コ マ ン ド	36

性能の 1 例として、充電電力の変換効率を図 6. に示した。バッテリの端子電圧が低いと効率はやや下るが、充電に従って電圧は上がってゆくので、総合的には 90% 以上の変換効率が達成できる。

(3) 電力制御器

開発した電力制御器の主要性能を表 3. に示す。きょう(筐)体は 4 cm の高さのものを 2 段に重ねておらず、下部はバッテリ制御、テレメトリ・コマンド、爆管制御、バス電圧制御などの各回路を収め、上部は 2 系統のブーストコンバータ及び出力フィルタなどを収めている。重量は 11 kg 弱であり、米国などの類似コンポーネントに比べて同等かやや軽い。各回路は、高密度実装のためコードウッドモジュール化しており、合計 41 個のコードウッドモジュールが収納されている。

図 7. に下部筐体の内部構造を示した。上部筐体のブーストコンバータは、発振周波数 40 kHz のパルス幅制御スイッチングレギュレータである。回路形式は 2 重フォワード形で、オートトランジンバータによりバッテリ電圧とバス電圧の差分をバッテリ電圧に加算している。性能の 1 例として電力変換効率とバス電圧の安定度を図 8.、図 9. に示した。

(4) GaAs 太陽電池パネル

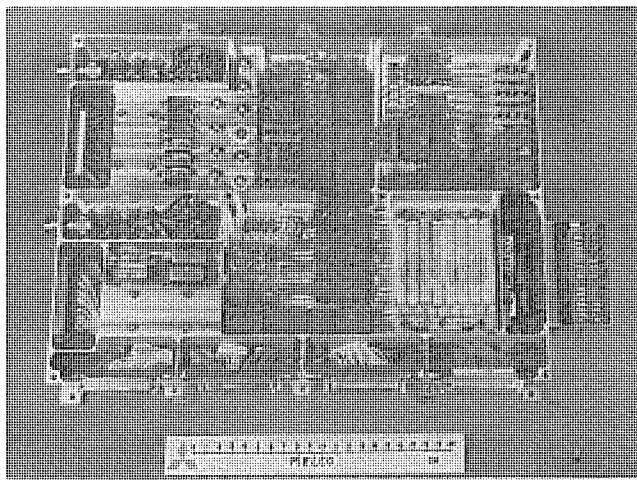


図 7. 電力制御器（下部 ユニット）

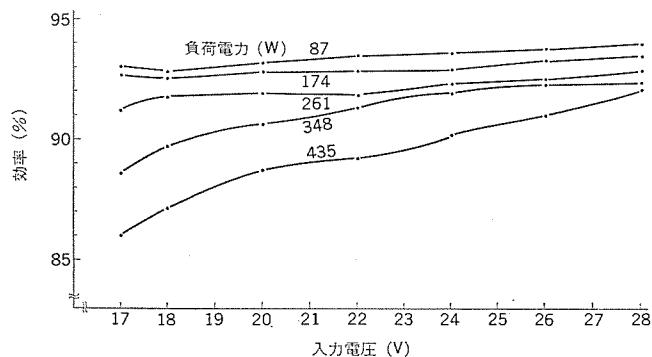


図 8. BC 電力変換効率

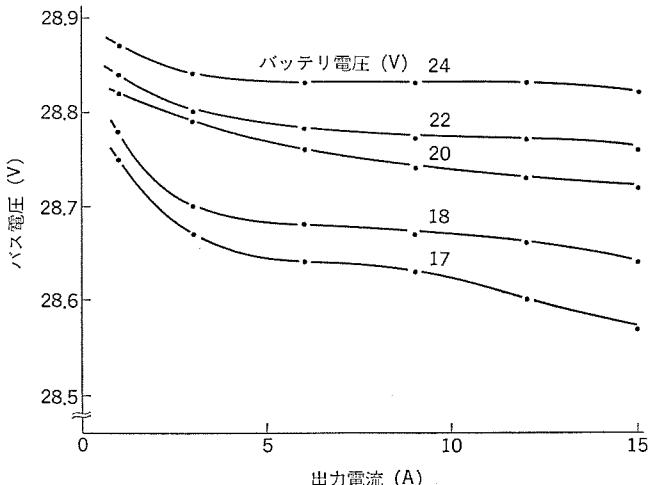


図 9. BC レギュレーション

当社の LSI 研究所で開発した $2 \times 2 \text{ cm}^2$ の宇宙用 GaAs 太陽電池セルを 2 並列 \times 3 直列のミニモジュールに構成し、CFRP のハニカムパネル

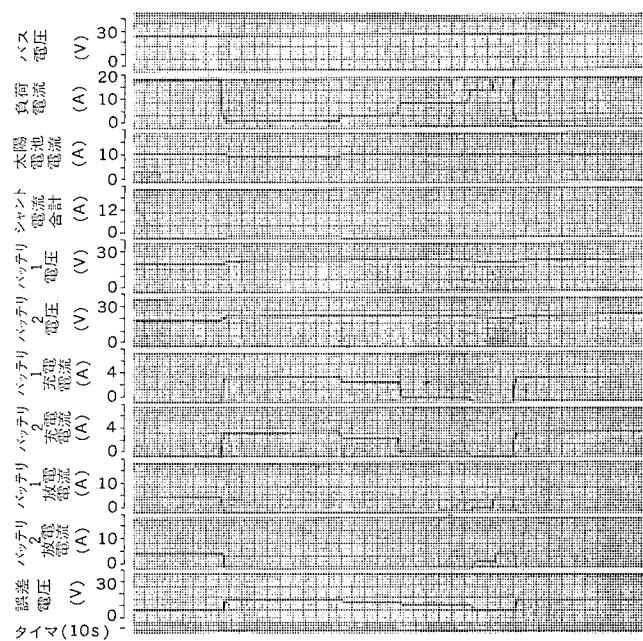


図 10. 総合動作試験 データ

に実装して $-150 \sim +100^\circ\text{C}$ の温度サイクル試験を実施した。また、同様のモジュールを軽量太陽電池パネルのシートに接着し、振動試験を実施した。とともに良好な結果が得られており、宇宙用 GaAs 太陽電池パネルの実現の見通しを得た。

(5) その他

NiH₂ バッテリについて調査を進めた。また、NiCd バッテリの長寿命化のため、熱制御系・充電制御系と一体化した計装法についても検討した。更に、上記各開発コンポーネントを総合的に組み合わせて、総合動作試験を実施し、図 10. に示すようなデータを取得している。また、これらの構成コンポーネント以外の電源サブシステムとして、太陽電池パドル、バッテリ、DC/DC コンバータなどがあるが、これまでの衛星開発において既に開発を完了しているか、別途開発中であり十分利用できる。

4. む す び

宇宙開発委員会で計画されている今後の国産大型衛星、通信衛星、地球観測衛星、(大型科学衛星など)に一般的に適用でき、更に国際商用通信衛星インテルサット VI などの大型衛星の設計・製造にも応用できる技術が開発できた。この技術は、太陽光発電・制御技術として人工衛星だけではなく、地上の太陽エネルギー利用技術としても応用できる要素を含んでいる。今後は、衛星の細部仕様に合わせて実機設計を進めてゆく。

スペースラブを利用するSEPAC計画用機器の開発

大林辰蔵*・栗木恭一**・長友信人**・伊地智幸一***・吉田 敏⁺

1. まえがき

宇宙連絡船 スペースシャトルが運行を開始し、宇宙利用も実用の時代となつた。このスペースシャトルを利用する計画の1つに、米国航空宇宙局 (NASA) と欧州宇宙機構 (ESA) が共同で開発しているスペースラブがある。スペースラブは様々な実験機器をとう載し、宇宙空間の無重力及び高真空中で実験を行い、また地上からでは大気の影響で十分に行えない太陽や天体の観測を行う計画である。

スペースラブは、図1.に示すように、ペイロードクルー (PC : Payload Crew) が地上と同じ大気圧のもとで実験が行えるスペースラブモジュール (Module) と宇宙空間に露出させる実験機器をとう載するスペースラブパレット (Pallet) より構成され、スペースシャトルにより最大7日間程度の宇宙空間での実験が可能である。図1.にスペースラブ1号の例を示した。ModuleとPalletの組合せはその他の目的に合わせていろいろと可能であり、実験期間も最大30日程度まで延長することが検討されている。

宇宙科学研究所が進めているSEPAC (Space Experiments with Particle Accelerators : 粒子加速器を用いた宇宙実験) 計画は、一般公募による37にも及ぶNASA及びESAの実験機器とともに、スペースラブ1号にとう載され、1983年6月に打上げが予定されている。

この論文においてはこの計画の概要、機器の構成及び各機器の動作などについて述べ、更に三菱電機(株)が開発を担当しているプラズマ加速器及び充電器について説明を行う。また、スペースラブ1号とう載の実験機器開発の管理体制についても簡単な解説を行う。

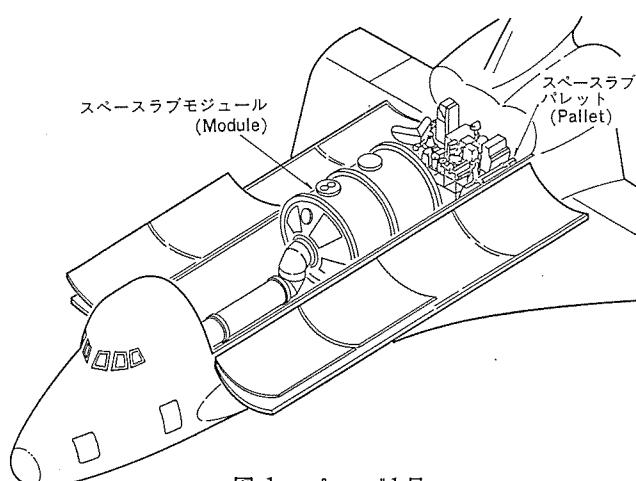


図1. スペースラブ1号

2. SEPAC 計画

SEPAC計画とはその名のとおり、粒子加速器を用いて荷電粒子を地球近傍の宇宙空間に放出し、その振舞いを調べる実験である。主

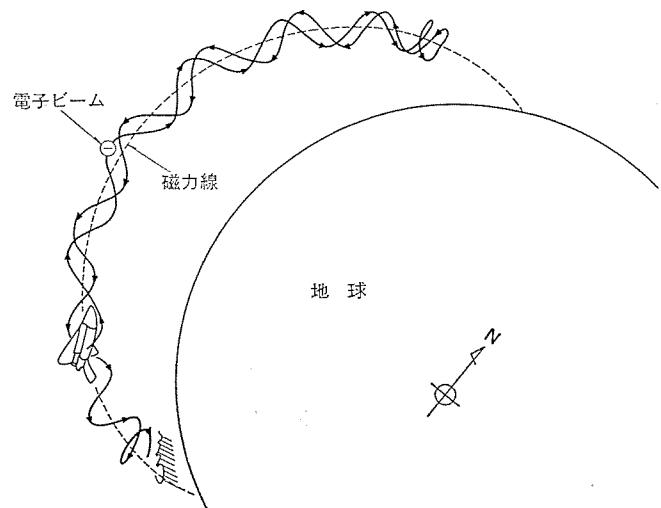


図2. 電子ビームエコー実験

な実験項目は、

- (1) 宇宙空間へ電子ビームを放出した時のスペースシャトルの帶電現象及びその帶電を抑える中和対策の研究
- (2) 電子ビームやプラズマビームと地球の大気との相互作用によるオーロラや大気光励起実験
- (3) 電子ビームやプラズマビームと宇宙プラズマの相互作用による波動励起実験
- (4) 電子ビームが磁力線に沿って伝搬し、反射されてくる電子エコーによる磁気圏の磁場や電場の遠隔探査実験

である。図2.に(4)項の実験の様子を示す。すなわち、磁力線に沿ってスペースラブより放出した電子ビームは極付近で反射し、反対の極付近の大気上層部を発光させる。それをモニタテレビなどの計測装置により観測し、地球磁場や電場の研究を行う。

SEPAC実験機器は、上記の実験を行うため大きく分けて加速器観測装置及び制御装置より構成されている。構成機器の内訳及び機能は次のとおりである。()内は略称を示す。

2. 1 加速器 (AL)

(1) 電子加速器 (EBA)

電子ビームを最大加速電圧7.5kV、電流1.6Aで加速して宇宙空間へ放出する機能を持ち、電子銃、電子銃電源及び高圧電源より構成される。

(2) プラズマ加速器 (MPD)

アルゴンガスをパルス状の大電流放電(2kJ)によりプラズマ化し、更にその大電流による磁界により自ら加速して1回に 10^{10} 個のプラズマを宇宙空間に放出する機能を持ち、ガス貯蔵部や放電ヘッドからなるMPDアーキュート部、アーキ放電のためのエネルギーを一時蓄えるコンデンサバンク部及び中性ガス雲を発生する中性ガス発生装置より構成される。

(3) 電源装置 (PWR)

* 宇宙科学研究所(理博) ** 同研究所(工博)
*** 三菱電機(株)鎌倉製作所(工博) + 同製作所

EBA に電子ビーム加速のための電力を供給する 4 A・h の NiCd 電池を 320 セル直列接続にした バッテリ (BAT) 及び BAT と MPD のコンデンサバンクを充電する充電器 (CHG) より構成されている。

2.2 観測装置 (DGP)

(1) 計測装置 (DGP)

ホトメータ、プラズマプローブ、プラズマ波動プローブ、電子エネルギー分析器及びそれらに電源を供給する電源装置より構成され、AL から放出した荷電粒子により引き起こされた物理現象を計測する。

(2) テレビカメラ (MTV)

AL による荷電粒子と大気上層部との衝突による人工オーロラや AL のビームの状態などをモニタする MTV である。

2.3 制御装置 (CD)

(1) コントロールパネル (CP)

スペースラブモジュール内に設置される制御用のパネルであり、乗員が SEPAC 各機器の電源投入や BAT の充電制御を行うための装置である。

(2) 制御用計算機 (DEP)

表 1. SEPAC 実験機器構成

No.	ID	機器名	重量 (kg)
1	CP	コントロールパネル	2.5
2	DEP	専用計算機	15.1
3	IU	インターフェースユニット	10.0
4	DGP	計測装置	30.4
5	MTV	テレビカメラ	28.5
6	EBA	電子加速器	33.4
7	HVC	電子銃高圧電源	48.0
8	PWR	電源装置	112.4
9	MPD	プラズマ加速器	64.4
		ケーブルその他	28.1
合計			372.8

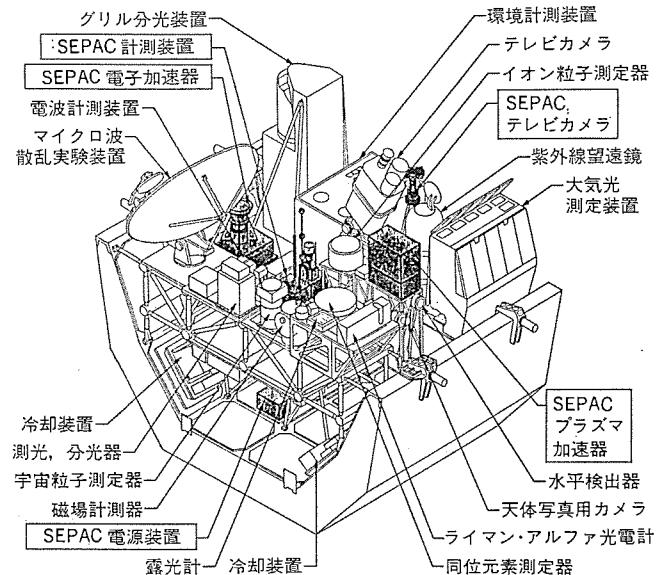


図 3. スペースラブ1号パレットとう載実験機器

SEPAC の各機器をあらかじめ決められたプログラムに従って動作させる SEPAC 専用の計算機である。

(3) インタフェースユニット (IU)

SEPAC 各機器とスペースラブ 実験用計算機間を取持つ装置である。

SEPAC の各機器の重量を表 1. にまとめる。SEPAC 全機器の合計重量は 372.8 kg となり、スペースラブ 1 号では最大の実験機器となっている。図 3. にスペースラブ 1 号のパレットへの実験機器とう載の概要を示す。SEPAC の各機器はパレット上に分散して取付けられている。

SEPAC の実験機器の開発は、宇宙科学研究所と NASA マーシャル宇宙飛行センター (Marshall Space Flight Center) との共同作業で行われ、日本側が加速器と観測装置、米国側が制御装置とソフトウェアの開発を分担した。

実験機器の開発は、1976 年度から開始され、開発モデルの製作・試験、プロトタイプモデルの製造・認定試験、フライモデルの製造受入試験、SEPAC システム確認試験及び宇宙開発事業団筑波宇宙センターの大形スペースチャレンジを使用してのスペースシミュレーション試験を 1981 年内に完了する。1982 年初頭には米国ケネディスペースセンターでのスペースラブ 1 号としてのインテグレーションを行う予定である。

3. プラズマ加速器 (MPD)

MPD とは Magneto-Plasma-Dynamic Arcjet の略で、アーカ放電により生成したプラズマを磁界により加速して放出する装置であり、本来は電気推進器として研究開発が進められてきたものである。MPD の構成を図 4. のブロック図に示す。ガス貯蔵部 (MPD-GS) の作動ガス (Ar) は 2 気圧又は 3 気圧に調圧され、更に高速電磁弁 (MPD-FAV) により数ミリ秒のパルス状のガスの形態で放電電極 (MPD-HD) に供給される。コンデンサバンク (CAP) に蓄えられている 2 kJ のエネルギーは、ガスの供給のタイミングと合わせて MPD-HD に印加され、240 V, 8 kA, 約 1 ms のアーカ放電を発生し、プラズマを宇宙空間へ放出する。MPD インタフェースユニット (MPD-IU) は CD と MPD 各部の間をとりもつ装置である。中性ガス雲発生装置 (NGP) は、ガス貯蔵部と制御エレクトロニクス部 (NGP-MN) により構成され、N₂ガスをノズルより放出する。NGP は MPD に組込まれているが、単独でも使用できる設計となっている。

CAP は図 5. に示すように、主放電エネルギー貯蔵とパルス整形を兼ねたパルス整形回路 (PFN)，高速電磁弁駆動回路 (FAV Driver) 及びトリガ放電のためのトリガ放電駆動回路 (TRG Driver) より構成される。

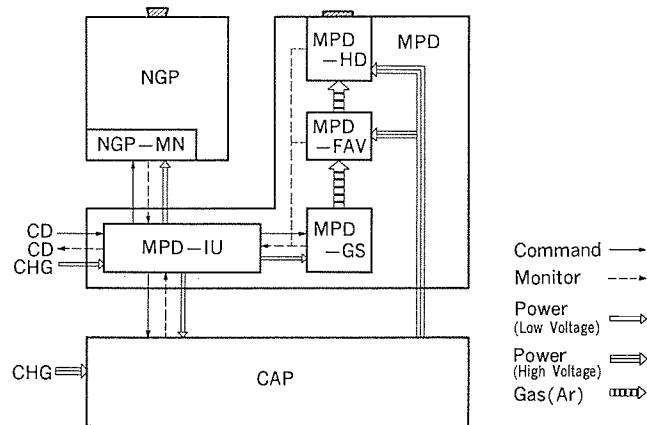


図 4. プラズマ加速器の構成

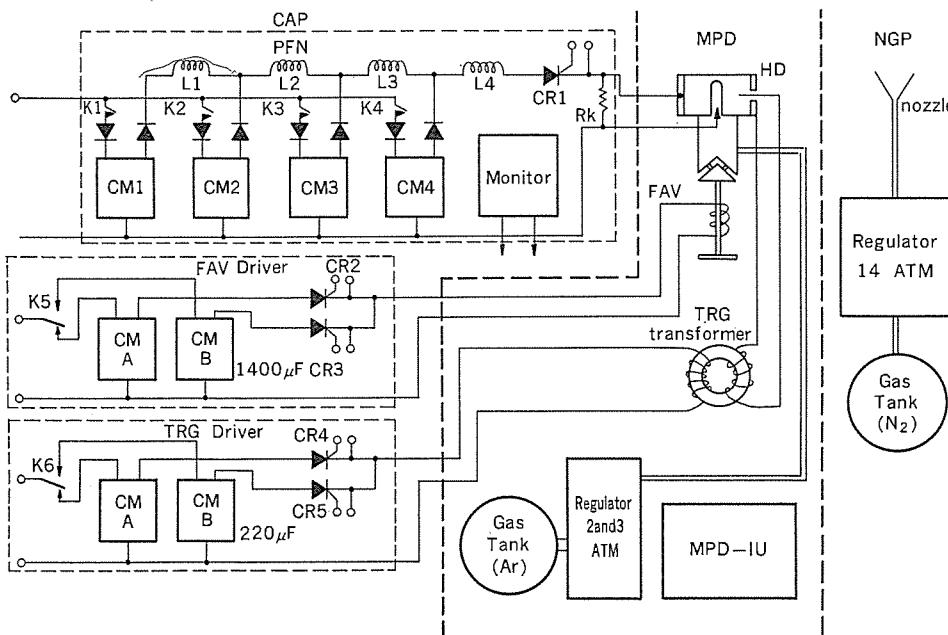


図 5. プラズマ 加速器の機能 ブロック 図

成されている。PFN は $1,400 \mu\text{F}$ の電解コンデンサ 3 個を 1 段とし、4 段で構成され、特性インピーダンス $30\text{m}\Omega$ として設計されている。各モジュールの充電及び放電ラインはダイオードにより分離され、更に個々のコンデンサの充電ラインにはヒューズがそう(挿)入されており、コンデンサが故障しても分離できるようになっている。

FAV Driver 及び TRG Driver はそれぞれ $1,400 \mu\text{F}$ と $220 \mu\text{F}$ のコンデンサとサイリスタスイッチより構成されており、それぞれ 2 組の同一機能のモジュールによる待機冗長設計となっている。CAP は電解コンデンサを使用しているため、1 気圧の密閉容器に収納されており、更にコンデンサ破裂故障に備えて安全弁を持ち、かつ様々なコンデンサの破壊を想定した試験を行い、スペースラブの他の機器や乗員に危害を与えないことを確認した。

MPD-GS 及び NGP のガスタンクはチタン合金製で、NASA の標準に従って設計・製作及び試験が実施された。MPD-FAV はうず(渦)電流の反発力を利用し、非常に高速の開閉を行うバルブである。MPD-HD はタンクステンのアノードとカソードを持つ同軸形の放電電極であり、ガス供給口及びトリガ放電電極を持つ。

図 6. に MPD の外観を示す。上部は MPD のアーカ放電が近くの金属により影響されるおそれがあるため、テフロン系の絶縁材料により覆われている。CAP から MPD への高圧放電ラインは、電磁干渉を防ぐために、ホットとリターンを各 16 本のラインに分割し、かつ遠方から見た場合には等価的に電流が零となるようにより合せて束ねている。更に、銅テープで覆い、大電流パルスにより発生する電磁界の漏れを防止した。MPD の下部の金属の部分はフライ時ではサーマルブランケットで覆われ、CAP 底面 (MPD 最下部) はスペースラブのコールドプレートにより $15\text{~}40^\circ\text{C}$ に保たれる。

4. 充電器 (CHG)

CHG は、BAT とともに PWR を構成し、MPD 及び HVC に粒子加速用のエネルギーを供給する。図 7. に PWR のブロック図を示す。CHG は、スペースラブのバスラインより 28V の 1 次電力を得て、それを高圧 DC/DC コンバータにより最大 480V 、 1A の 2 次電力に変換し、

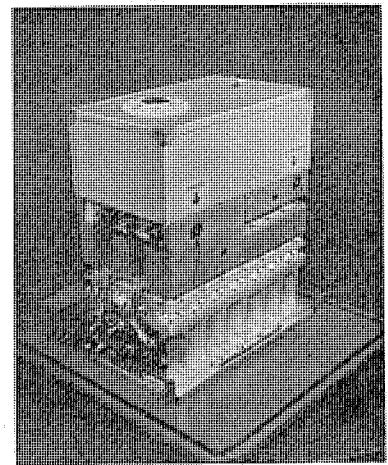


図 6. プラズマ 加速器 (MPD)

BAT 及び CAP を充電する。更に、CHG は MPD に低圧の 2 次電力も供給する。BAT の充電は、CP を乗員がマニュアル操作することによって行われるが、CAP の充電はプラズマ放射のシーケンスに合わせて DEP によって自動的に行われる。BAT の温度やセル電圧は、CHG によりモニタされ CD へ送られる。

図 8. に CHG の構成を示す。高圧電源は、2 個の定電流出力高圧 DC/DC コンバータより構成され、片方が故障した場合は充電時間が 2 倍となるが、実験は続行できる設計である。電流値は切換えることができ、CAP 充電モードでは 1A 、BAT 充電モードでは 0.2A

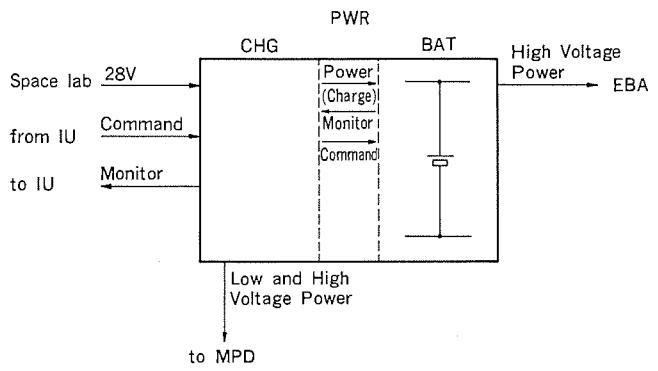


図 7. 電源装置機能概要

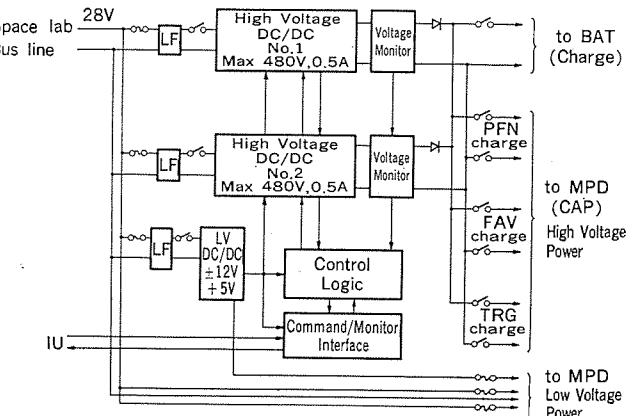


図 8. 充電器機能 ブロック 図

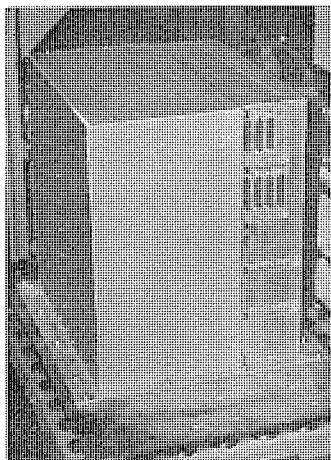


図 9. 電源装置 (PWR)

である。定電流制御は PWM 方式で行い、更に電圧が上昇するに従ってスイッチング周波数を 1 kHz, 5.5 kHz, 11 kHz 及び 22 kHz と切換えて 0 V から 480 V までの広い範囲での定電流充電を実現している。また、コマンドによるセルチェック機能を持つ。

図 9. に PWR の外観図を示す。右側の部分が CHG で、他の機器への電磁干渉を少なくするため、内部を 4 つの部分に区切り、更に入力フィルタ部には独立のキャビティを設け、DC/DC コンバータの雑音がバスラインへ漏れるのを防いでいる。CHG のカバーを取付けるねじのピッチは、電磁適合性を考慮し 24 mm 間隔とした。左側の部分は BAT であり、直列接続されたセル、セル温度と電圧のモニタ回路及びセル分離リレーが内蔵されている。セル分離リレーは、セルを 8 モジュールに分割して打上げ及び帰還を行い、放電事故を起こすことを防ぐためのものである。

5. スペースラブ 1 号実験機器開発のステップ

スペースラブ 1 号計画のスタートから打上げまでの実験機器開発審査のステップ、及び実験機器開発に係る深い文書について簡単に説明する。

1976 年 3 月にスペースラブ 1 号とう載実験項目の NASA-ESA よりの一般公募 (AO : Anounce of Oportunity) があり、それに対してプロポーザルを作成応募し、選考の結果、概念検討 (Definition Study) への参加が認められ、これが 1 年間続いた。この間、実験要求書 (ERD : Experiment Requirement Document) を NASA のフォームに従って作成した。これは実験の内容及び実験機器の概要について記したもので、その後要求審査 (RR : Requirement Review) が 1977 年 8 月に行われた。

次に実験機器設計を進め、実験内容についても検討が加えられ 1978 年 2 月及び 5 月に初期設計評価 (IDE : Initial Design Evaluation) が行われた。そして最終設計運用審査 (FDOR : Final Design and Operation Review) が 1979 年 12 月に実施された。この間にスペースラブと SEPAC 間のインターフェースについて IIA⁽¹⁾ (Instrument Interface Agreement) が調印されている。これは実験機器設計・製作に関するガイドライン⁽²⁾ やスペースラブの利用方法や制約条件⁽³⁾ を規

定する文書に追加された形となる。IIA の規定以外のスペースラブペイロード計画局 (SPPO : Spacelab Payload Project Office) より SEPAC 側への要求の主なものは、安全に関するもの⁽⁴⁾であり、この中には電磁適合性に関する要求⁽⁵⁾が含まれる。実験機器のベリファイケーションに関する要求⁽⁶⁾はこれらに対応している。

IIA の調印後 SEPAC より SPPO に提出されコントロールを受ける文書は SEPAC 性能仕様書⁽⁷⁾、SEPAC 実験計画書⁽⁸⁾、SEPAC 試験仕様書⁽⁹⁾、SEPAC マニュアル⁽¹⁰⁾及び受入試験報告書⁽¹¹⁾などである。受入試験報告書は SPPO のベリファイケーション要求に対応するものである。その他重要なものとして安全に関する要求に基づきペイロード危険事項報告書⁽¹²⁾を提出する必要がある。

実験機器側よりの情報をもとに SPPO が作成する文書で重要なものとしてインテグレーション時の要求をまとめたもの⁽¹³⁾、インテグレートされたスペースラブの状態をまとめたもの⁽¹⁴⁾及び飛行中の実験機器のオペレーションの要求をまとめたもの⁽¹⁵⁾があり、それらは実験機器側がチェックしている。

6. む す び

SEPAC の機器は今後米国でのレベル IV～I のインテグレーションを経て打上げられ、7 日間の実験を行った後帰還する。そして必要な改修を行った後、再び使用されることになっている。

SEPAC 計画によりスペースラブ及びスペースシャトルの利用についての経験が得られ、特に今後の国際協力による宇宙開発の重要なステップとなる。また、MPD の宇宙環境における動作が確認できるため、電気推進器の開発においても重要なステップである。

参 考 文 献

- (1) JA-020, Spacelab Mission One Instrument Interface Agreement for INS 002 SEPAC
- (2) Spacelab-1 Payload Design Guideline
- (3) SLP/2104, Spacelab Payload Accommodation Handbook
- (4) NHB 1700.7, Safety Policy and Requirements for Payloads Using the Space Transportation System (STS), NASA
- (5) MSFC-SPEC-521, Electromagnetic Compatibility Requirements on Spacelab Payload Equipment
- (6) JA-061, Spacelab Payload Mission Manager Verification Requirements for Instruments, Facilities, MPE and ECE.
- (7) SE-11, SEPAC Instrument System Performance Definition
- (8) SE-21, SEPAC Experiment Implementation Plan
- (9) SE-31, SEPAC Test Program
- (10) SE-41, SEPAC Manual
- (11) SEPAC Acceptance Data Package
- (12) SEPAC Hazard Report
- (13) JA-025, Spacelab Mission One Ground Integration Requirements Document (GIRD)
- (14) JA-010, Spacelab Mission One Integrated Payload Requirements Document (IPRD)
- (15) Spacelab-1 Mission Operation Requirements Document

衛星利用コンピュータネットワーク実験システム

—I. システム構成とネットワーク制御方式—

高橋 寛子*・松永 宏**・松田 主税**・鹿間 敏弘**・飯田 登***

1. まえがき

最近、通信衛星をコンピュータやファクシミリなどのデータ通信に利用する機運が高まっており、例えは米国における SBS (Satellite Business Systems) 社では衛星回線の広域性を活用して高速の文書配布サービスなどを提供している。また、SATNET では衛星通信をパケット交換に利用する実験が大西洋地域において行われつつある。我が国においても、実験用中容量静止通信衛星 (CS) を用いて、種々の実験プログラムが実施されている。

この論文で述べる「衛星利用コンピュータネットワーク実験システム」は、郵政省電波研究所が衛星利用のパケット交換ネットワーク技術の基礎データを収集する目的で構築するものであり、次の特徴を持っている。

- (1) 多数の低トラヒックのユーザー局が1つのセンター局と衛星のKバンド (30/20 GHz) を用いて通信する。
- (2) 多数のユーザー局が衛星回線を共用するアクセス方式を3種類採り上げ、種々の条件の下でその性能評価ができる。
- (3) 上記のアクセス方式で通信中の2地球局間の伝送制御は、ハイレベルデータリンク制御手順 (HDLC) を採用し、それに対する衛星回線固有の伝搬遅延時間の影響の評価、及びスループット向上のための誤り制御方式の性能が評価できる。
- (4) 衛星回線のビット誤り率を始めとする種々の送受信特性の測定を自動的に行うことができる。

三菱電機(株)は、このような特徴のある実験システムを郵政省電波研究所の指導で昭和54年～55年にかけて開発した。この論文では、次の諸点に主眼を置いて、実験システムの概要を述べる。

- システムの構成と地上局の機器構成の概要。
- 地上局の構成機器の1つであるネットワーク制御プロセッサ (NCP) のS/W及びH/W構成(なお、地上局のもう1つの構成機器であるパケット伝送制御装置 (PTC) については、本誌別掲論文 (P. 22) に発表されている)。
- 実験対象となっている通信制御方式、すなわち3種のアクセス方式とデータリンク制御方式の特徴。
- この実験システムを従来の衛星通信システムと比較したとき、その特長及び実用化への課題。

この実験システムは昭和55年12月から基礎データの収集を開始し、所期の目的を達成しつつある。

2. システムの概要

2.1 ネットワークモデル

この実験システムは図1.に示すように、各地に分散した多数の低トラヒック端末ユーザーが衛星回線を利用してセンターコンピュータを共同使用する「単一集中形」モデルを対象としている。ここで、センター局には大規模地球局、ユーザー局には簡易地球局を設置する。通信は、衛星パケット交換機により、データを一定長以下に区切ったパケットと呼ぶ単位で行い、センター局は1つのSCPC (Single Channel Per Carrier)

回線(衛星回線B)を単独で使用し、複数あるユーザー局はアクセス方式により他のSCPC回線(衛星回線A)を共用する。

2.2 システム構成

この実験システムは、図2.に示すようにセンター局を鹿島、ユーザー局を国分寺と山川に設置して、3局で構成されている。各地球局のアンテナは鹿島局が直径13m、国分寺局と山川局が直径2m又は1mで、ユーザー局はSCPC用の小型地球局となっている。使用する衛星

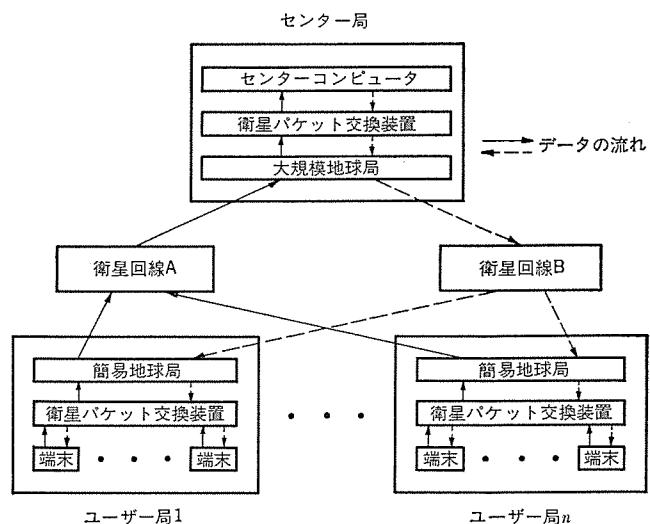


図1. 単一集中形ネットワークモデル

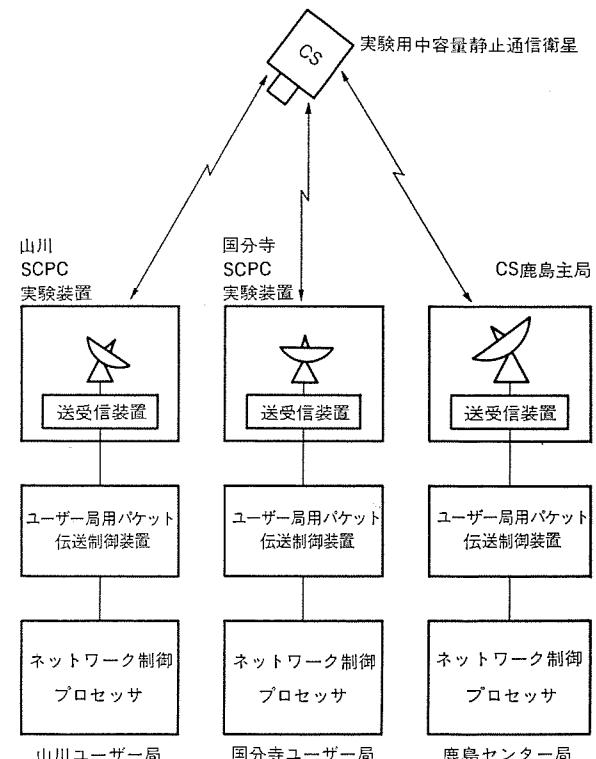


図2. 実験システムの構成概念図

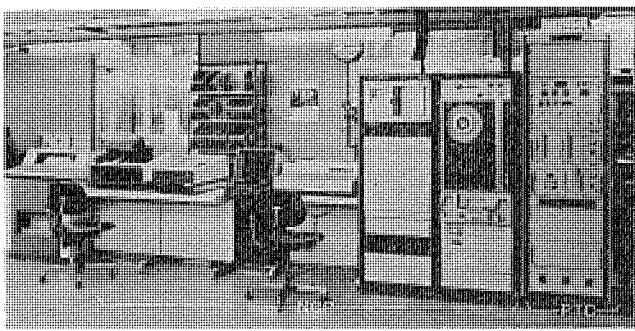


図 3. NCP と PTC の外観

は昭和 52 年 12 月に打上げられた実験用中容量静止通信衛星 (CS) 「さくら」で、その K バンドの SCPC 回線を用いる。

この回線は、衛星回線の帯域を周波数分割多重して利用するもので、1回線で 64 Kb/s(キロビット/秒) に符号化された音声又はデータを送ることのできる容量を有している。センター局及びユーザー局は地球局、PTC、NCP から構成される。地球局は電波の送信と受信を行い、PTC は変復調、誤り訂正、HDLC フレーム制御、スロット同期制御などを行う。NCP は 3 章に述べる通信制御や送受信特性の測定及び実験管理を行い、更にユーザー局の NCP は 15 局までの擬似ユーザー局をエミュレートして、全体でユーザー局が 30 局ある場合の実験を可能としている。図 3. に PTC と NCP の外観を示す。NCP にはミニコン《MELCOM 70》モデル 40 が使用されている。

3. 通信制御方式

3.1 階層構成

この実験システムではアクセス方式と伝送制御手順の諸データを得る目的で、下位2階層について次のような通信プロトコル（通信規約）を設定した。

- (1) リンクレベルプロトコル
 - (2) バーストレベルプロトコル

リンクレベルプロトコルはユーザー局とセンター局間の伝送制御を規定したプロトコル

ロトコル、そしてバーストレベルプロトコルは、アクセス方式を規定したプロトコルである。このバーストレベルは、従来の地上網の階層構成にはないこの実験システム特有の機能階層である。

3.2 データの流れ

この実験システムのデータの流れを図4.1に示す。NCPにはリンクレベルプロトコルとバーストレベルプロトコル及び通信実験を行うためのトラヒックを発生させるトラヒックゼネレータがプログラムとして実現されている。ユーザー局からセンター局への通信を例にとり、以下にデータの流れを説明する。

- (1) ユーザー局のトラヒックゼネレータがメッセージを生成し、更にそれを一定長以下のパケットに分解してリンクレベルに送る。
 - (2) リンクレベルは、パケットに送信シーケンス番号などの情報を含むフレームヘッダとトレイラを付けてフレームを作り、リンクレベルプロトコルに従ってバーストレベルに送る。
 - (3) バーストレベルはフレームにて先局アドレスなどの情報を含むバーストヘッダを付けてバーストを作り、バーストレベルプロトコルに従って、これをPTCに送る。
 - (4) PTCは、衛星回線の周期をとり、バーストに誤り訂正符号を付与し、キャリアを変調し地球局に送る。
 - (5) 地球局は、Kバンドの電波にバーストを変換し、衛星に向けて送信する。
 - (6) 衛星は、電波を受信し、周波数変換(30 GHz→20 GHz)及び增幅して地上に送り返す。
 - (7) センター局の地球局は、電波を受信してPTCに送る。
 - (8) PTC及びNCPは、上記(2)～(4)の過程を逆にたどってパケットを再生し、トラヒックゼネレータへ送る。
 - (9) トラヒックゼネレータは、パケットをメッセージに組立てた後、廃棄する。

以上が ユーザー 局から センター 局への データの流れで、 センター 局から ユーザー 局への通信も 同様に行われる。

3.3 バーストレベルプロトコル

この実験システムでは SCPC 回線を約 35 ms の スロットに分割し、このスロットの中に 1 パケット分の バーストを送信することにより通信を

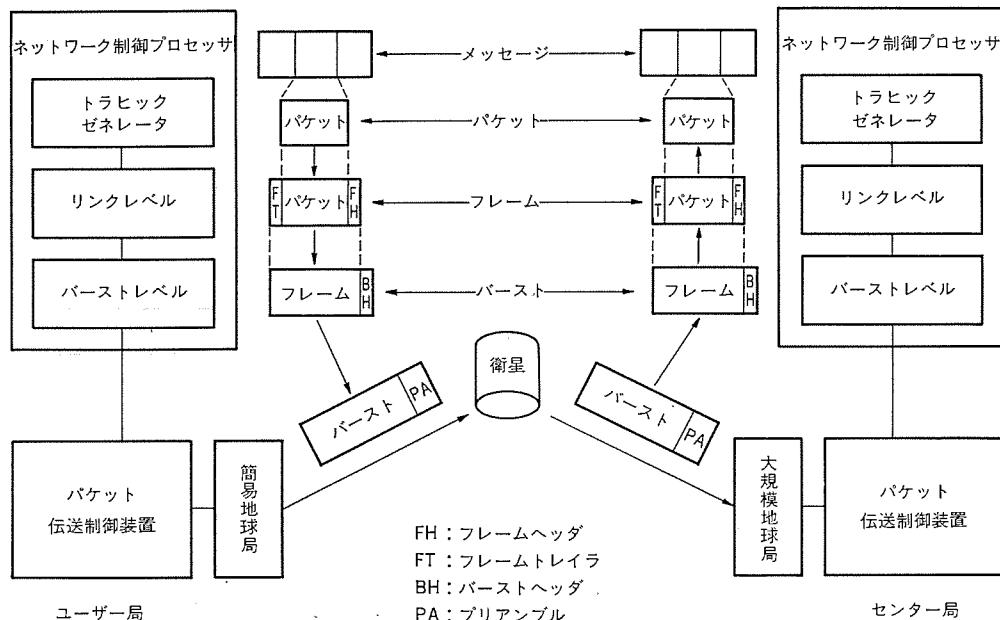


図 4. データの流れ

行う。衛星回線Aは複数のユーザー局で共用するが、同一スロットに2局以上が送信すると、衛星上でバーストが衝突し、地球局は正しく受信できなくなる。この衝突による通信の効率低下は、バーストレベルプロトコルにより防がれる。この実験システムでは、スロット付きアロハ方式、予約方式、複合方式の3種類のアクセス方式に対応したバーストレベルプロトコルの実験を行う。

(1) スロット付きアロハ方式

スロット付きアロハ方式の概念図を図5に示す。この方式では各ユーザー局がランダムにスロットを選んで送信する。各ユーザー局が独立にランダムに送信するため、衝突する場合もあるが、トラヒックが小さければ衝突は少なく、通信が可能となる（最大約38%のスロットが利用できる）。衝突した場合はリンクレベルプロトコルにより検出され、ランダムにスロットを選んで再送が行われる。この方式は遅延時間が比較的短いが、トラヒックが大きくなるとふくそく（輻輳）状態になる可能性がある。そこで、再送回数法又はCLC法を用いてトラヒック制御を行っている。

(2) 予約方式

予約方式の概念図を図6に示す。この方式は、ユーザー局があらかじめ必要な数のスロットを予約してからバーストを送信する方式である。このため、連続した一定数のスロットでサイクルを作り、更に

サイクルを予約領域とデータ領域に分ける。予約領域ではスロットを更に細い小スロットに分割し、予約情報は短いのでこの小スロットで送信する。ユーザー局は1サイクルに1回、予約領域で前期スロット付きアロハ方式により予約をセンター局に送る。センター局は受けた予約に対しスロットの割当てを行い、次のサイクルについてスロット割当情報をユーザー局に毎サイクル送信する。ユーザー局はこの情報に従つ

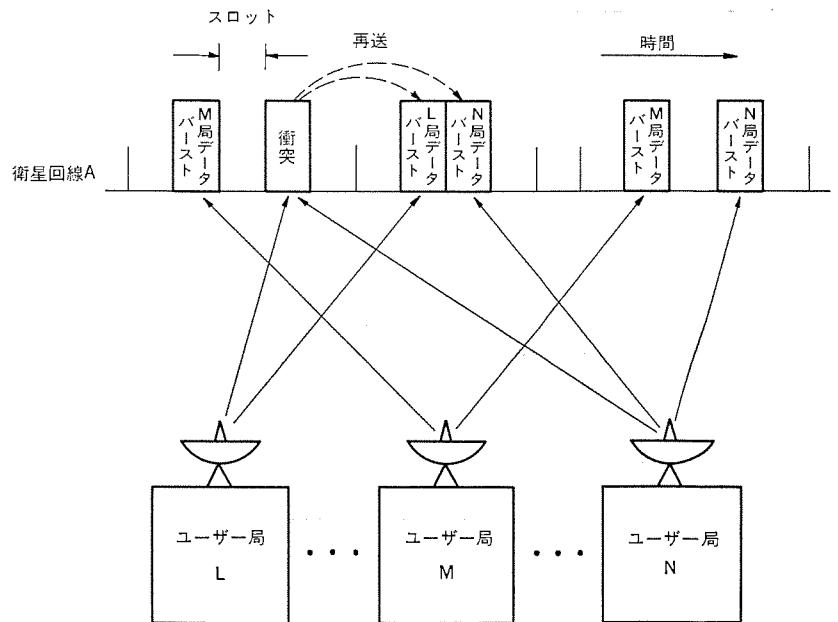


図5. スロット付きアロハ方式の概念図

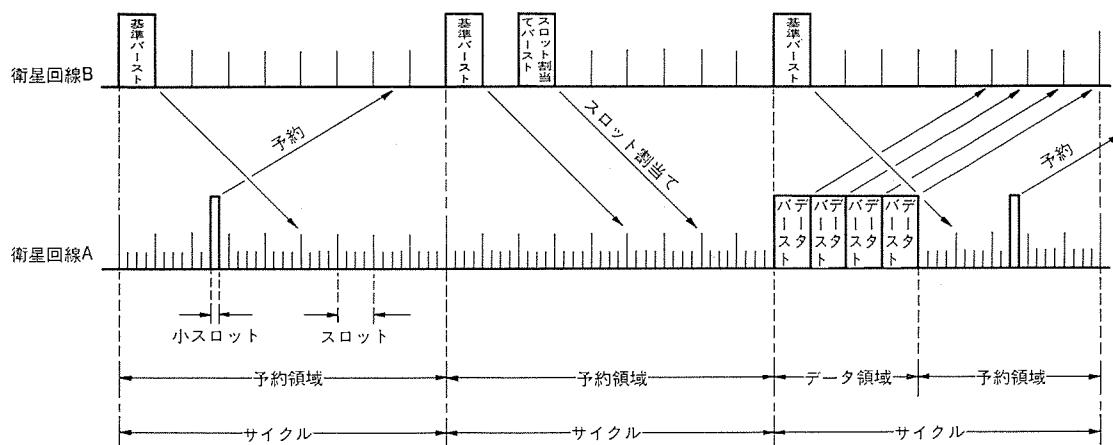


図6. 予約方式の概念図

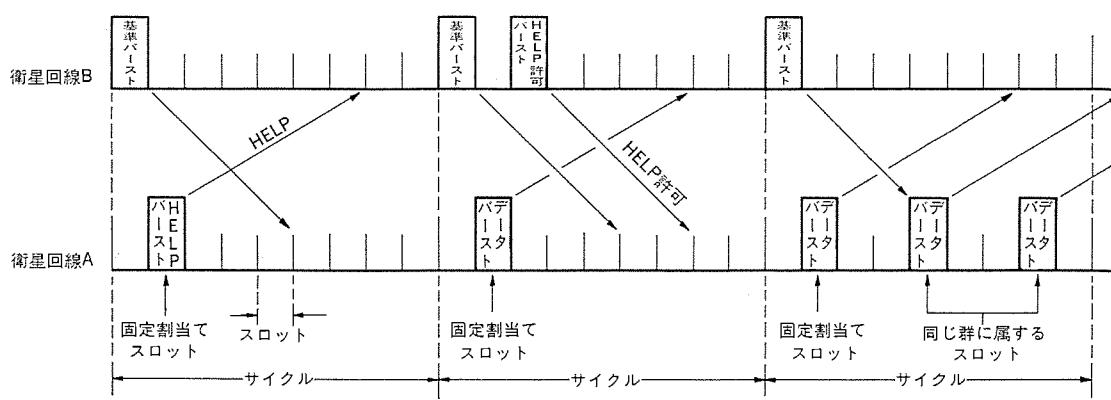


図7. 複合方式の概念図

フラグ	アドレス部	制御部	情報部	FCS	フラグ
01111110	8ビット	16ビット	1064ビット	16ビット	01111110

図 8. フレーム構成

表 1. 使用するコマンドとレスポンス

コマンド/レスポンス	機能
I	情報(フレーム)の送信
RR	情報フレームの受信応答, ビジー状態解除
RNR	情報フレームの受信応答, ビジー状態通知
REJ	N(R)で示す情報フレーム以降の再送要求通知
SREJ	N(R)で示す情報フレームのみ再送要求通知
SABME	ABME モードへの設定要求
DISC	切断モードへの設定要求
UA	モード設定コマンドに対する受諾応答
DM	自局が切断モード中であることを通知
FRMR	受信フレーム不正を通知

て自局に割当てられたスロットで送信する。1サイクルのスロットのうち、センター局の割当てたスロットがデータ領域となり、残りのスロットが予約領域となる。

(3) 複合方式

複合方式の概念図を図 7. に示す。この方式では、1サイクルのスロット数をユーザー局数と同一にとり、各スロットを固定的にユーザー局に割当て、更にユーザー局を複数の群に分けておく。通常、各ユーザー局は固定的に割当てられたスロットで送信するが、あるユーザー局で送信待ちのバースト数が大きくなると「HELP」と呼ぶバーストを送信する。センター局は、「HELP」を受付けると「HELP許可」を送信する。「HELP許可」を受けたユーザー局は、その属する群の他のユーザー局に割当てられたスロットを1サイクルに限り使用して送信できる。同じ群に属する他のユーザー局は、そのサイクルで送信を停止する。

3.4 リンクレベルプロトコル

リンクレベルプロトコルは、ユーザー局とセンター局の間で誤り制御などの伝送制御を規定したプロトコルで、この実験システムでは、JIS制定の非同期平衡モード拡張形式(ABME)に準拠したHDLC手順を採用している。図8.にフレーム構成、表1.に使用するコマンドとレスポンスを示す。衛星回線を使用すること、及びバーストレルが下位にあることのために、次の点を考慮してスループットの改善が図られている。

- (1) 衛星を経由することによる遅延が大きいので、シーケンス番号のモジュラスを128として、ウインドーサイズを大きくとれるようにしている。
- (2) 誤り回復方式としてREJ方式とREJ/SREJ併用方式をパラメータにより選択できる。

- (3) 誤り回復が速やかに行われるため、監視フレームや再送フレームをバーストレルで優先転送している。
- (4) (3)の優先転送の影響やバーストレルでの遅延による影響を無くすために、リンクレベルプロトコルのフレーミング機能及びタイマ機能をバーストレルで分担させている。

4. ネットワーク制御プロセッサ(NCP)

4.1 ハードウェア構成

図9.にミニコン《MELCOM 70》モデル40による国分寺局NCPのハードウェア構成を示す。

4.2 ソフトウェア構成

ユーザー局のソフトウェア構成を図10.に示す。これらのソフトウェアは、UOS(Universal Operating System)の下で動作する。ここで、トラヒックゼネレータ、リンクレベルプログラム、バーストレルプログラムはユーザー局内でエミュレートされる複数の擬似ユーザー局数分の処理が行われる。

(1) トラヒックゼネレータ

メッセージを生成し、パケットに分解してリンクレベルプログラムに送る。また、リンクレベルプログラムより受取ったパケットをメッセージに組立てた後、廃棄する。

(2) リンクレベルプログラム

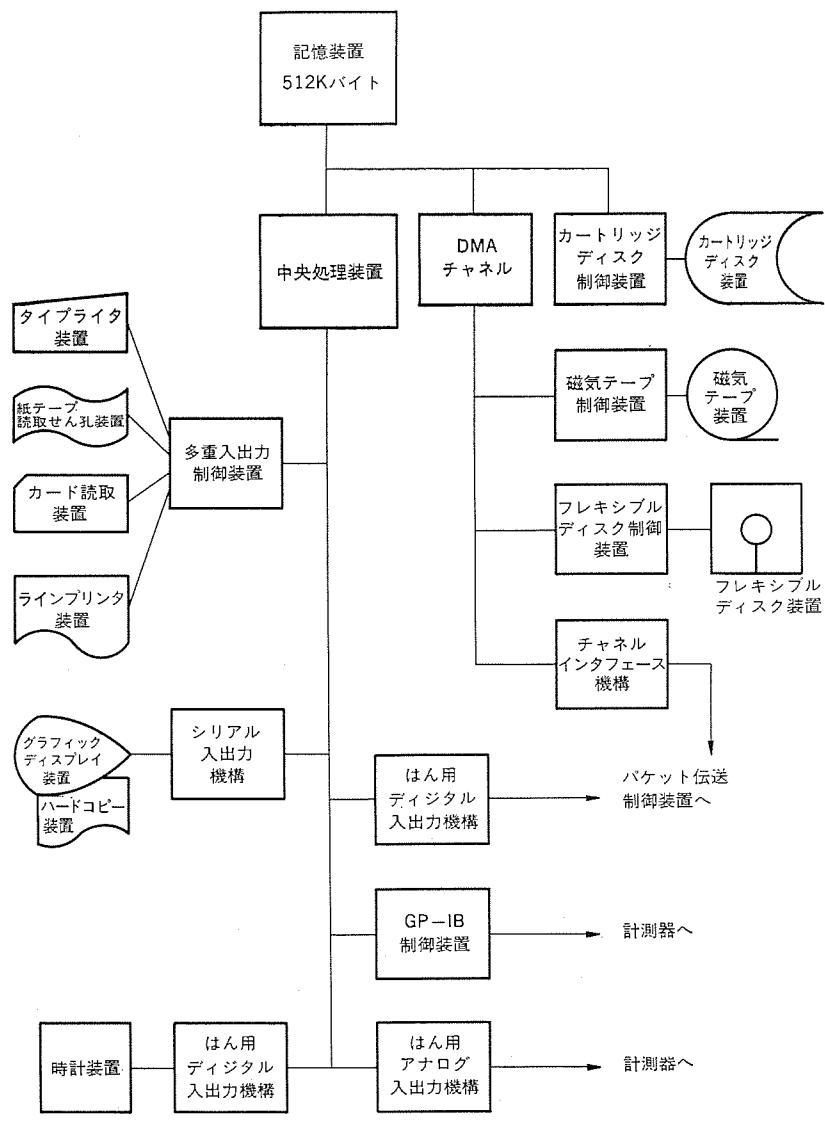


図 9. NCP のハードウェア構成

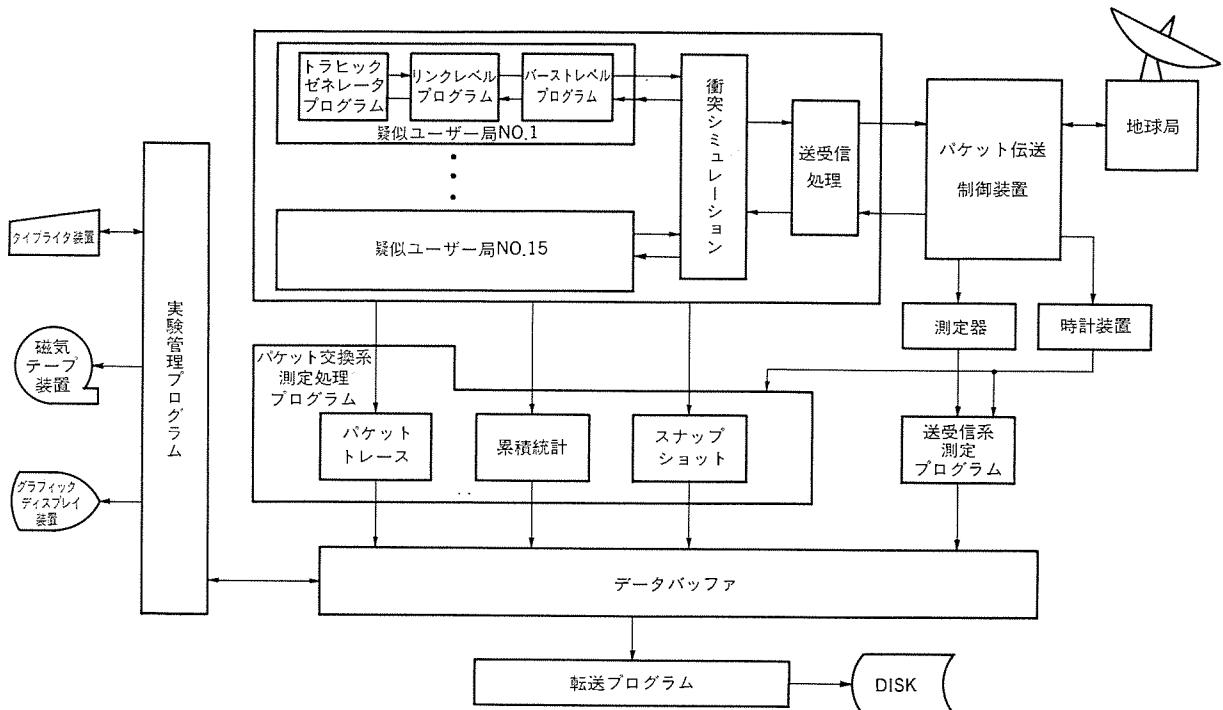


図 10. NCP のソフトウェア構成概念図

地上局間で HDLC 手順に従って、誤り制御などの伝送制御を行う。

(3) バーストレベルプログラム

衛星回線のアクセス制御を行う。

(4) 衝突シミュレーションプログラム

ユーザー局内の複数の擬似ユーザー局で同一スロットに送信がある場合の衝突をシミュレートする。

(5) 送受信処理プログラム

PTC とのバーストの受け渡しの処理を行う。

(6) パケット交換系測定処理プログラム

パケットトレース、累積統計、スナップショットの方法により、プロトコル評価のデータを収集する。

(7) 送受信系測定処理プログラム

バースト信号の伝送特性をは(把)握るために、ビット誤り率特性やバースト誤り率特性などの測定を行う。

(8) 実験管理プログラム

実験の開始・進行・終了の管理を行う。

5. 評価

この実験システムは、ユーザー局に 2 m クラスの小形地球局を用いるため、従来の大形アンテナを用いる衛星通信システムよりもユーザー局の設置が容易で、また経済的にシステムを構築できる特長がある。更に、従来の衛星通信システムではユーザーに衛星回線が接続されると、そのユーザーが切断するまで衛星回線が保留されるのに対して、この実験システムではパケットの単位で衛星回線をアクセスしてダイナミックに共用するため、衛星回線が極めて効率的に使用される。したがって、小数の小容量衛星回線(SCPC 回線)で多数のユーザーを収容でき、衛星回線の経費についても経済的となる特長がある。また、この実

験システムを通信制御の面から見ると、スロット付きアロハ方式などのアクセス方式の上位に HDLC 手順を用いたシステムは他に例がなく、今後このような衛星利用コンピュータネットワークを実用化するうえで貴重なデータが得られるものと考えられる。

6. むすび

以上、郵政省電波研究所と三菱電機(株)の共同で開発した衛星利用コンピュータネットワーク実験システムの概要を述べた。

我が国における当分野の技術開発は、緒についたばかりであり、今後予測される高度かつ多様な情報化社会における適用分野のニーズ、分散処理、ネットワーク構築技術の動向などを反映しながら、真に衛星通信の特長を活用できる形で技術の確立を図る必要がある。個々の技術開発では、ネットワークの運用・管理方式、既存ネットワークリソースとの整合、セキュリティ/インテグリティなどが当面の重要な課題と思われる。

今後も、前記背景及びこのシステムにより得られる基礎データをふまえ、実用化のための諸技術開発を進める予定である。

終わりにあたり、このシステム開発に際して終始御指導、御協力をいただいた郵政省電波研究所関係各位に深く感謝する次第である。

参考文献

- (1) 高橋ほか：CS 利用コンピュータネットワーク実験システムの概要、昭和 55 年電子通信学会全国大会 No. 529 ほか
- (2) H. Takahashi et al : Experimental System for Satellite Computer Network Via CS, Proc. 5th ICCC, pp. 451～456 (1980-10)

衛星利用コンピュータネットワーク実験システム

—II. パケット伝送制御装置—

高橋 寛子*・前田 良雄**・伊藤 久明***・岩橋 努***・本田 茂**

1. まえがき

衛星通信システムの一利用形態として、衛星パケット交換システムの研究開発が進められてきた。

衛星通信では、種々のアクセス（多元接続）方式と回線割当て方式との組合せにより様々な通信方式が実現されてきた。多元接続方式は、周波数分割多元接続（FDMA：Frequency Division Multiple Access）方式と時分割多元接続（TDMA：Time Division Multiple Access）に、また回線割当て方式は、固定割当て（PA：Pre-assignment）方式と要求割当て（DA：Demand Assignment）方式に大別される。一方、パケットによるデータ伝送は、送信データを一度蓄積することにより高速処理が可能であり、また本来、データの発生はバースト的であることが特徴である。更に、衛星の中継器内での混変調雑音と衛星回線の利用効率を考慮した場合、衛星回線をパケット長に相当するスロットで時分割し、多数の地上局が任意のスロットに同期をとってバースト送信を行うDA-TDMA方式が、衛星パケット交換システムに適している。

このたび、SCPC（Single Channel Per Carrier）回線にDA-TDMA方式を適用したCS利用コンピュータネットワーク実験システムの開発を進め、パケット交換処理を行うネットワーク制御プロセッサ（NCP）との間でデータ及び制御信号の送受を行い、これにSCPC回線を使用して伝送を行うために必要な処理を行うパケット伝送制御装置（PTC）の設計・開発を完了した。

この装置の特長を次に示す。

- (1) インテルサットの規格（PSK：Phase Shift Keying/SCPCシステム）に適合し、更にバーストモードによるデータ伝送及びKバンドで予想される諸特性を考慮した64 Kb/s(±ビット/秒)4相PSK変復調器。
- (2) 各地上局の衛星伝搬遅延に対する補正值の初期設定により同期精度を向上させたオーフループ方式によるバースト同期制御。
- (3) マイクロプロセッサによる蓄積プログラム制御下でのNCP-PTC間のデータの送受及びハイレベルデータリンク制御（HDLC）フレーム処理などの監視制御。
- (4) NCPからの送信データに付与された送信スロット番号を用いた送信制御による、各種アクセス方式（スロット付アロハ方式1/2チャネル予約方式及び複合方式）への対処。

以下に、パケット伝送制御装置の詳細について述べる。

2. パケット伝送制御装置の構成

図1にパケット伝送制御装置の外観を、図2にその構成図を示す。

パケット伝送制御装置は、大別すると64 Kb/s 4相PSK変復調器とレート3/4畳み込み符号器、復号器を含む送受信部、パケットの伝送をスロットに同期させる同期制御部、NCPと送受信データの送受及びHDLCフレーム処理を行うインターフェース部の3つの機能部分より構成される。ただしセンタ局用とユーザー局用とでは一部機能が異なる（センタ局用では、基準バーストの送出を行う）。

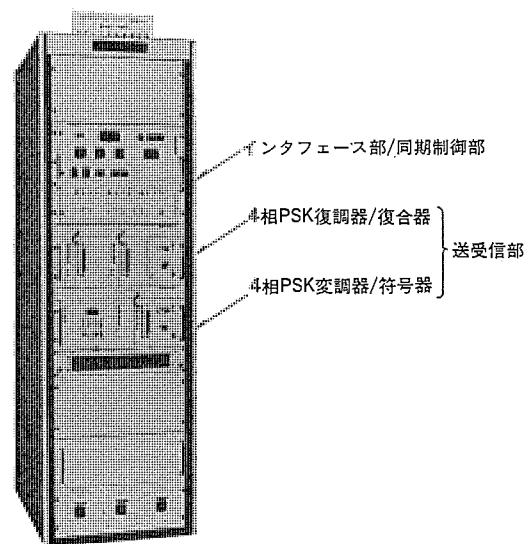


図1. パケット伝送制御装置外観（センター局）

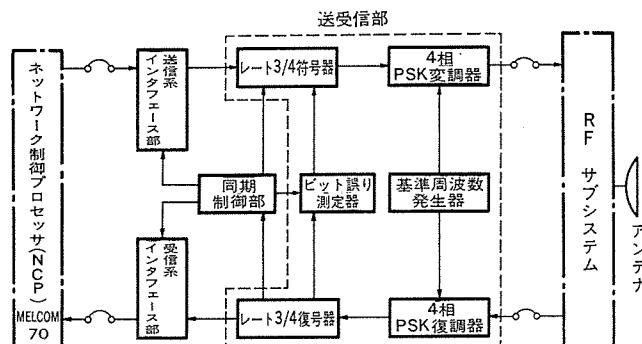


図2. パケット伝送制御装置構成図

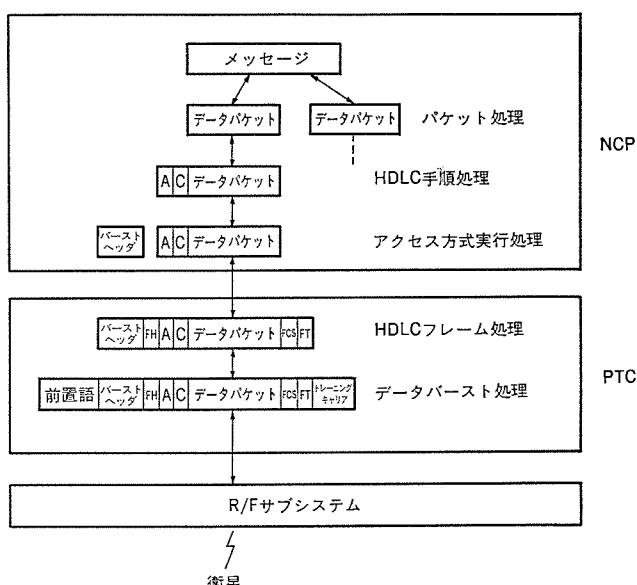


図3. データの流れ図

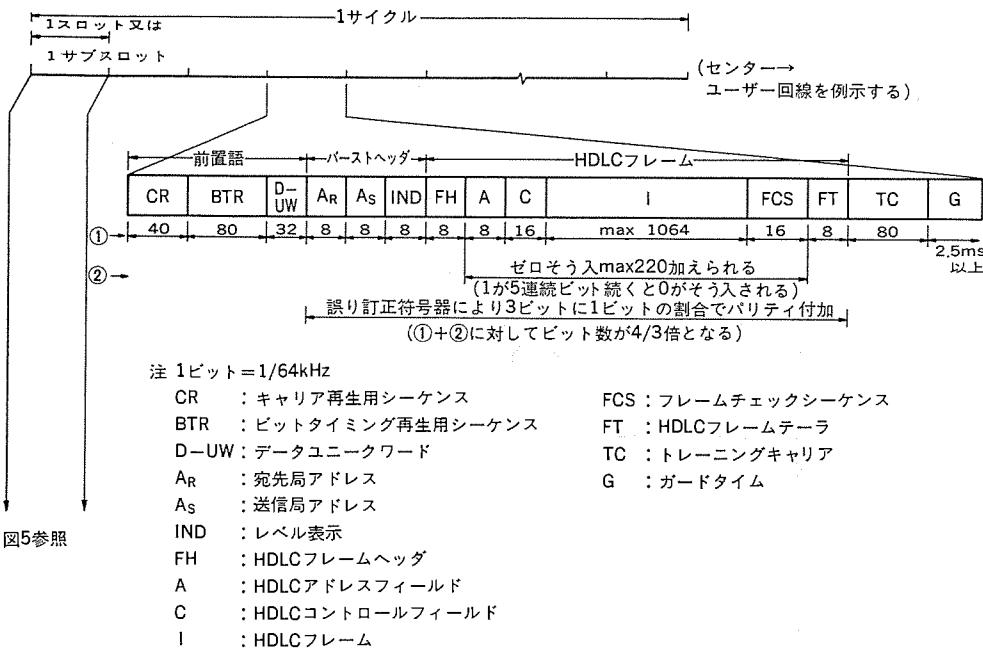


図 4. データバーストフォーマット

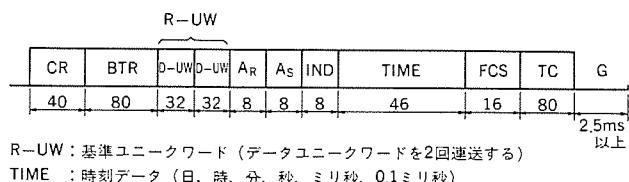


図 5. 基準バーストフォーマット

図 3. IC データの流れ図を、図 4. 及び図 5. IC データバーストフォーマットと基準バーストフォーマットを示す。

インターフェース部では、NCP の負荷軽減のために、HDLC フレーム処理とバーストヘッダによる自局あてデータのみの選択受信を行う。更に送受信部では、SCPC/PSK 方式に適合した符号化・復号化や変復調処理を行う。衛星回線は図 4. に示したように 1 パケット伝送時間に相当するスロットで時分割され、アクセス方式によっては 1 パケット長より十分短いアクセス制御信号の送信が必要なため、スロットは更に幾つかのサブスロットに分割されている。また、全局のスロット時間軸とスロット番号を衛星上で一致させる目的で、センター局は複数スロット間隔で基準バーストを送信するが、この周期をサイクルと呼ぶ。これら送受信タイミングを発生させるのが同期制御部である。図 5. IC に示した基準バーストは、上記目的のためには R-UW までで十分であるが、この実験システムではパケット伝送遅延時間などの測定を行うため、全局の絶対時間をも一致させる目的で、基準バースト IC センター局時計装置の時刻データを付加している。

3. 送受信部

送受信部は、次に示す 6 つの回路から構成されている。

(1) 送信系

● レート 3/4 符号器

● 4 相 PSK 変調器

(2) 受信系

● レート 3/4 復号器

● 4 相 PSK 復調器

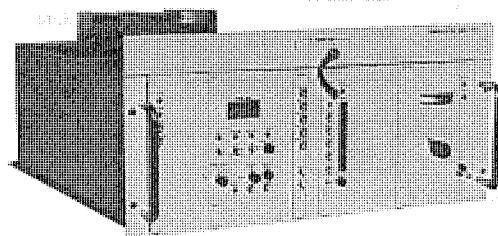
(3) 共通系

● 基準周波数発生器

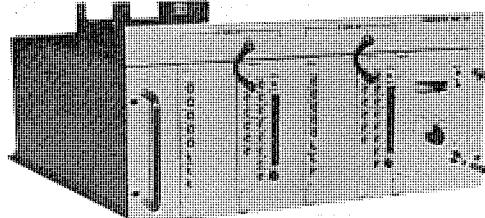
● ビット誤り測定器

センター局では、送信系は 1 系列、受信系は 2 系列、ユーザー局では送信系は 2 系列、受信系は 1 系列実装されている。図 6. IC、センター局の送受信部の外観を示す。

送受信部の方式諸元を表 1. IC に示す。主要諸元は、インテルサット (国際商業衛星通信機構) により規定された PSK/SCPC システムに基づいているが、更にバーストモードによるデータ伝送及び K バンドにおいて予想される受信信号の大幅な変動に対する要求など、このシステムに特有の諸元が含まれている。



(a) 送信部外観 (共通部を含む)



(b) 受信部外観

図 6. センター局用送受信部外観

表 1. 送受信部の主要方式諸元

項目	方式諸元
・動作モード	バースト
・バーストフォーマット	図 4., 図 5. に示す
・変調方式	4 相絶対位相変調
・伝送速度 (衛星回線)	64 Kb/s
・送受信可能チャネル数	800
・チャネル周波数間隔	45 kHz
・送受信周波数範囲	52~88 MHz (チャネル 1 = 52.0225 MHz)
・バースト間最小ガードタイム	2 ms
・スクランブル	CCITT V.35 準拠、バーストごとにリセット
・誤り訂正	レート 3/4 署み込み符号、拘束長 80、誤り訂正能力 2 ビット
・復調方式	4 相同期検波
・バースト間許容レベル偏差	25 dB
・復調信号の位相不確定除去	ユニークワード検出及び誤り訂正復号器におけるシンドローム計数による
・受信入力許容周波数偏差	規定値より ±1 kHz
・ビット誤り率特性	$E/N_0 = 11.2 \text{ dB}$ のとき 10^{-4} 以下 (誤り訂正あり、スクランブルなし) $E/N_0 = 11.2 \text{ dB}$ のとき 10^{-7} 以下 (誤り訂正あり、スクランブルなし)

3.1 送信系

(1) レート 3/4 符号器

本器の構成図を図 7. に示す。前置語の発生は、データを送信すべきスロット又はサブスロットの先頭でインターフェース部から供給されるバースト送信開始パルスを受けて行われる。前置語終了時点において、インターフェース部などに対してデータ送信開始パルスが出力され、これによってインターフェース部などより 48 Kb/s データ送信が開始される。

なお、基準バースト送信時には、センター局では、時計装置から時刻情報がデータとして供給される。このように入力されたデータは、CCITT(国際電信電話諮詢委員会) V. 35 に規定されたスクランブルを受けた後、誤り訂正符号器によりパリティ付加が行われる。48 Kb/s の入力データは、3ビットに1ビットの割合でパリティビットが付加され、32 Kb/s × 2 系列の出力データに変換される。搬送波制御信号は、上述のバースト送信開始パルスでオンとなり、データ送信終了時にインターフェース部などから供給される終了パルスによりオフとなる。

(2) 4相 PSK 変調器

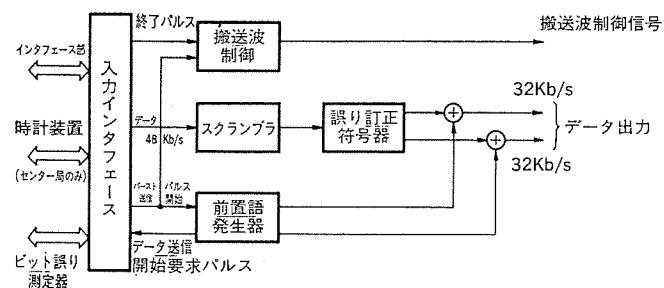


図 7. レート 3/4 符号器構成図

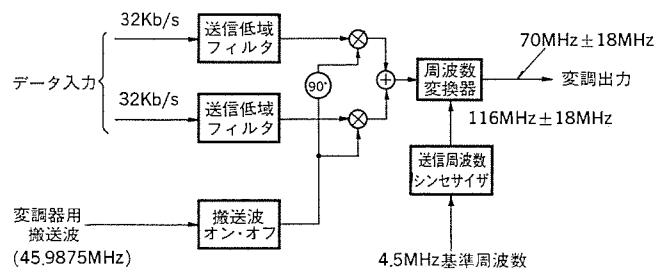


図 8. 4相 PSK 変調器構成図

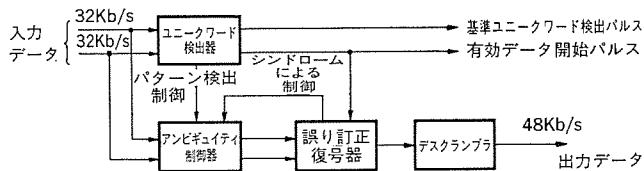
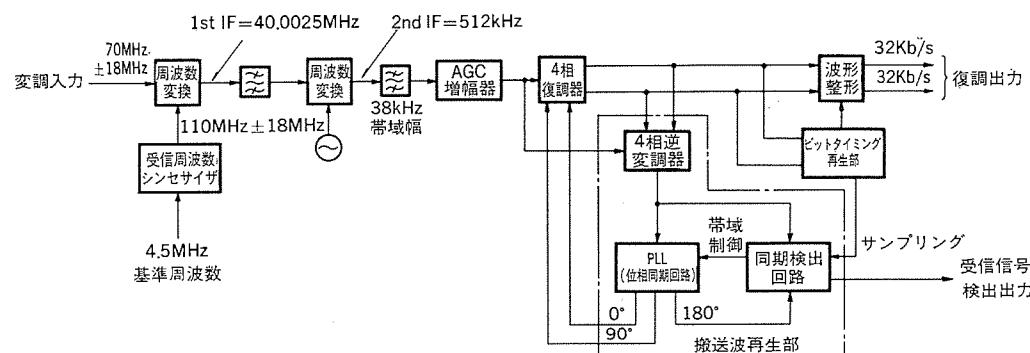


図 9. レート 3/4 復号器構成図



4相 PSK 変調器は、図 8. に示すように、低域フィルタ、変調器、搬送波オンオフ回路、送信周波数シンセサイザなどから成る。低域フィルタは、帯域幅 17.6 kHz の4段バタース形で、帯域外不要電力を抑え、かつ波形の劣化を小さくしている。搬送波のオンオフは、基準周波数発生器から供給される 45.9875 MHz 搬送波を ECL ゲートによってオンオフしている。2個のリング変調器により4相位相変調された信号は、送信周波数シンセサイザから供給される 98.01~133.965 MHz の信号により 70 MHz 帯の1波に周波数変換される。このシンセサイザのチャネル設定は、手動又は NCP から自動で行うことができる。

3.2 受信系

(1) レート 3/4 復号器

図 9. に、レート 3/4 復号器の構成を示す。ユニーコード検出器は、バーストの存在を判定するもので、基準バーストとデータバーストに対して同一のハードウェアを共用している。アンビギュイティ制御器は、ユニーコード検出パターン及び誤り訂正復号器のシンドローム検出により4相 PSK 復調器における再生搬送波の位相不確定を除去する。

誤り訂正復号器は、受信符号系列から作成したパリティビットと、受信されたパリティビットを比較することによって得られるシンドロームパルスを処理し、しきい値法によって誤り訂正パルスを生成する。これにより衛星回線の誤り率が 10^{-4} の時、 10^{-7} 以下に改善することが可能である。デスクランブルは、スクランブルと逆の動作を行い、これにより正しいデータが再生される。ユニーコード検出パルスは、有効データの開始を示すパルスとしてインターフェース部などへ出力される。また、基準バーストのユニーコード検出パルスは、同期制御部へ送られ送信サイクルの同期を保つために使用される。

(2) 4相 PSK 復調器

4相 PSK 復調器の構成を図 10. に示す。受信周波数シンセサイザは、送信周波数シンセサイザと同一のハードウェアを使用しているが、出力周波数範囲は 92.025~127.98 MHz である。AGC (Automatic Gain Control) 回路は、K バンドにおける大きな降雨減衰とバースト間のレベル偏差を吸収するため、バーストごとに応答できる 25 dB 以上のダイナミックレンジを有している。受信雑音帯域幅の制限は、2nd IF 帯で 38 kHz 幅としている。

搬送波再生部は、逆変調方式によって搬送波成分の抽出を行い PLL (Phase Lock Loop) 方式により C/N 比の良好な再生搬送波を得ている。PLL の引き込み速度を速めるため、引き込み時には PLL の帯域を広げておき引き込み後徐々に帯域を狭める方式を採用した。PLL の引き込み判定及び入力信号の存在判定には、同期検出法と再生クロックによるサンプル及びヒステリシスを有する判定回路を用いて、搬送波のオンオフ検出速度を共に速め、かつ偽検出を防止することが

できた。ビットタイミング再生部は、データのゼロクロッキングを検出し、これを利用したデジタル PLL 方式を用いている。

3.3 共通系

(1) 基準周波数発生器

4相 PSK 変調器用搬送波発生器 (45.9875 MHz) 及びシンセサイザ用基準周波数発生器 (4.5 MHz) を含んでいる。いずれも高安定水晶発振器であり、SCPC 搬送波の長期周波

数変動を ± 50 Hz 以内に保つ。

(2) ビット誤り測定器

バーストモード及び連続モード動作に 対して、ビット誤り率 (BER) の評価を行いうるものである。レート $3/4$ 符号器及び復号器と接続することにより、変復調器を含めた BER (Bit Error Rate) の測定が行える。

4. 同期制御部

同期制御部は、全局のスロット時間軸とスロット番号を衛星上で一致させるように送信及び受信タイミングの発生を行うもので、同期方法はオーブンループ予測同期法を採用している。図 11. にその概念図を示す。センター局はサイクルの第 1 スロットで基準バーストを送信し、ユーザー局では基準ユニークワード検出を起点に受信スロットタイミングを生成する。ユーザー局の送信スロットタイミングは、各ユーザー局の送信サイクルが衛星中継器上においてあらかじめ定められた許容偏差（ガードタイム）内で一致するようにタイミング補正して生成する。この補正值（タイミングオフセット値）は、各局の受信サイクルと送信サイクルの位相差を示すもので、図 11. に示したようにサイクル長と自局の伝搬遅延時間の予測値から決定される。

センター局は、自局バースト受信チャネルを持っていないため、自局が送信した基準バーストを受信できないが、各ユーザー局からのデータバーストが正しくセンター局受信スロットの中に受信されるように、基準ユニコード検出予想時点を起点に受信スロットタイミングを生成し、送信スロットタイミングとの間にタイミングオフセット値を設けている。

実験の結果、タイムオフセット精度は 0.2 ms 以内であることが判明したが、これを吸収する ガードタイム (図 4. 参照) は、余裕を見て 0.5

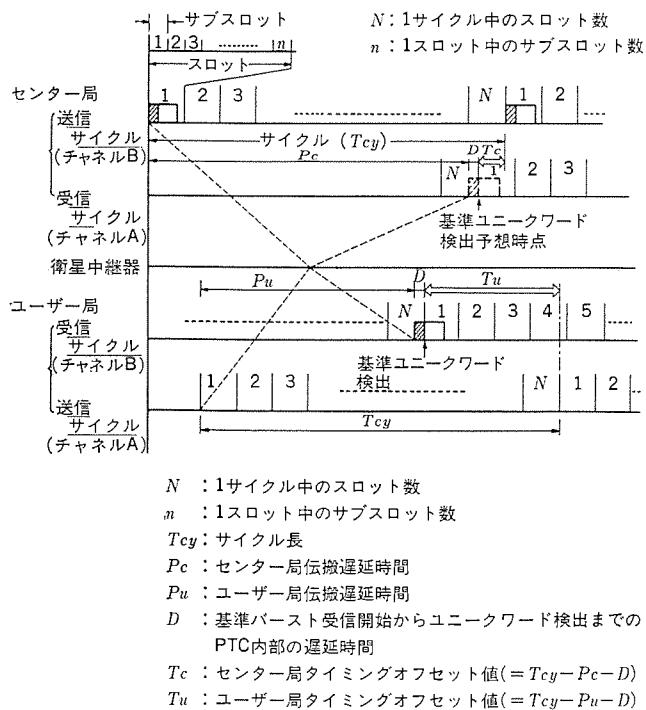


図 11. オープンループ 予測同期方式の概念図

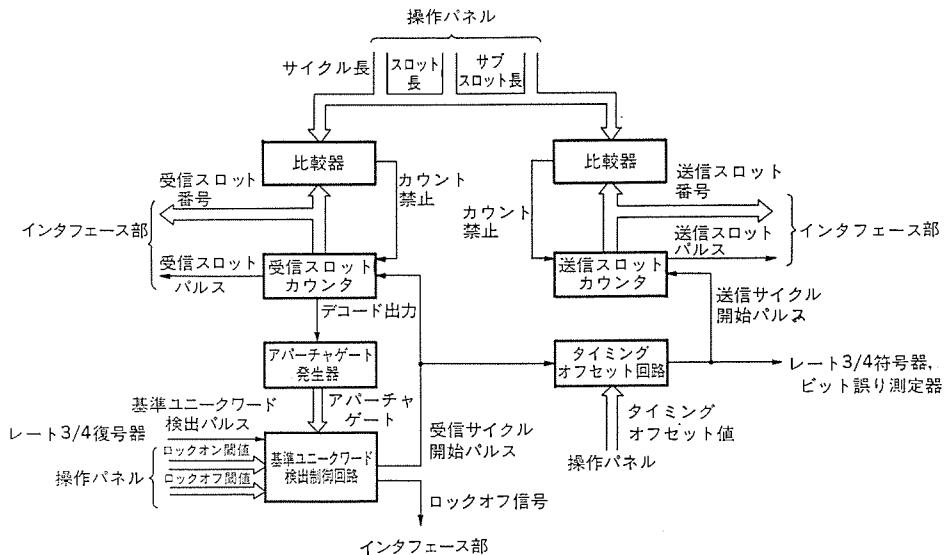


図 12. 同期制御部構成図

表 2. 同期制御部の主要性能諸元

項 目	性 能 諸 元
・同期方法	オープループ予測同期法
・サイクルフォーマット	図 11. に示す
・サブスロットの長さ	12~999 シンボル可変 (1 シンボル = 31.25 μ s)
・1 スロット中のサブスロット数	1~99 可変
・1 サイクル中のスロット数	1~99 可変
・受信及び送信サイクル間のオフセット	1~999999 シンボル又は (サイクル長より小さい範囲) のいずれか小さい方まで可変
・クロック周波数	32 kHz
・基準ユニーカード検出*	連続 N サイクルにわたり基準ユニーカードが検出できること。 N は 1~9 可変
ロックオン	連続 n サイクルにわたり基準ユニーカードが検出されないこと。 n は 1~9 可変
・基準ユニーカード検出*	32 kHz 及び 48 kHz
ロックオフ	±1.5 × 10 ⁻⁶ / 月 (周囲温度一定)
・局クロック出力周波数	
・局クロック周波数安定度	

注 * 印の項目は、センター局には備えられていない機能である。

ms とし、これに 4 相 PSK 復調器の動作に必要な 2 ms のバースト間最小ガードタイムを加えて 2.5 ms としている。同期制御部の構成図を図 12. に、主要性能諸元を表 2. に示す。

アーチャゲート発生器は、基準ユニクワードの受信予想時間にゲート（アーチャ）を開け、不要の符号を除去するもので、これにより基準ユニクワードの誤り検出確率を抑えている。また、基準ユニクワードの検出に失敗した場合、基準ユニクワード検出制御回路は、検出予測時点に疑似検出パルスを出力する。センター局では、検出予測時点に常に基準ユニクワードの疑似検出パルスが送出されることになるが、回路はユーザー局のものと同一である。サイクルの同期に関しては、前方及び後方保護機構が設けられている。すなわちユーザー局では、連続して n 回検出に失敗すれば、ロックオフ状態となり送信を自動停止する。逆に連続して N 回検出に成功すれば、ロックオン状態となり、ロックオフ状態になるまでアーチャ制御を続ける。タイミングオフセット回路は、受信サイクルと送信サイクルの基準点をオフセットする遅延回路である。

これら タイミングオフセット 値、 ロックオン／オフ しきい値や サイクル 長、
スロット 長、 サブスロット 長などの 設定は、 操作 パネル から 手動で 行う。

5. インタフェース部

インターフェース部の外観及び構成を図 13., 図 14. に示す。

インターフェース部は、パケット伝送制御装置内にあって、B6431はん用インターフェース機構を介してNCPとインターフェースする部分で、機能的には送信系と受信系に分けられるが、ハードウェアは一部を除き同一構成である。また、インターフェース部のマイクロプロセッサは、メモリに格納されたプログラム（約4Kバイト）に従ってインターフェース部を監視制御する。プログラムは、モニタと初期設定プログラム及び割込み起動の実行プログラムより構成されている。インターフェース部の起動／停止は、NCPからの命令によって行われる。

送信系インターフェース部では、送信スロットタイミングに先立ってNCPへ送信割込みを行い、送信データの転送をうながす。送信データがあれば、NCPはB6431を介してPTCの切換バッファへデータをDMA(Direct Memory Access)転送(800 Kb/s以上)する。DMA転送が完了すると、PTCは反対側のバッファに送信データが残っていなければ切換バッファを切換え、DMA転送時のパリティチェック及びデータに付随して送られてくる送信スロット番号やデータ長などを検査する。転送されてきたデータフォーマットに異状がなければ、送信スロット番号を同期制御部へ知らせるとともに、HDLCコントローラ及びDMAコントローラの送信準備を行う。現在の送信スロット番号が送信データに付随してきたスロット番号に一致すると、同期制御部よりの送信開始信号により、まずバーストヘッダ(AR, AS, L.IND)が送出され、それに続いて、バッファからHDLCコントローラへDMA転送されてきたデータが、開始／終了フラグ及びFCS(Frame Check Sequence)などの付加、ゼロ(挿入)などのHDLC送信フレーム処理を受け、送信部へ48 Kb/sの速度で送出される。

以上の一連の送信動作の過程で発生したエラー及びPTCのステータスは、フォーマット化され、NCPへの送信割込みの際に、NCPによって読み取られる。

受信系インターフェース部では、受信部より送られてきたバーストヘッダに含まれている受信局アドレスを検査し、自局でない場合は後続するHDLCフレームを無視する。自局での場合、HDLCコントローラで開始／終了フラグ、ゼロ挿入ビット及びCRC(Cyclic Redundancy

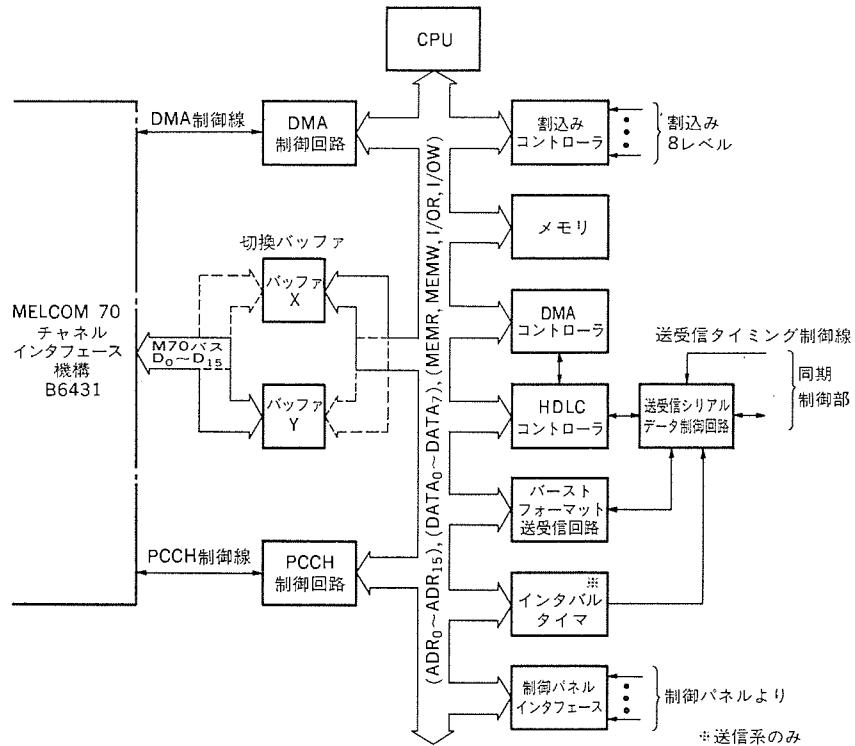


図14. 送受信系インターフェース部構成図

Check)検定後のFCSの除去などのHDLC受信フレーム処理を受けた後、データ部は受信バッファへDMA転送される。このようにして受信バッファに蓄積された受信データは、次のスロットの初めに切換えバッファを切換え、DMA転送の準備した後でNCPへDMA転送される。NCPへのDMA転送完了時に、以上の一連の受信動作の過程で発生したエラー及びPTCのステータスはコード化されNCPに読み取られる。

6. む す び

今回開発したパケット伝送制御装置は、既設のSCPC無線装置の利用によるシステム構成を前提としたもので、48 Kb/sのデータ回線1本又は2本を用い、時分割で通信を行うものである。今後、更に高速の時分割回線を用いた場合のパケット伝送制御装置の開発を予定している。

また一般に、地上パケット交換システムでは、伝送制御手順としてHDLC手順が採用されており、衛星リンク上においても、HDLC手順を適用している例が多いが伝送フォーマットに関しては、前置語の付加やビット誤り率の改善を目的とした誤り訂正符号の導入など、衛星リンクに特有のフォーマット変換が必要である。更に、衛星リンク上では、データの先頭識別のためユニークワードが付与されていることを考慮すると、HDLCフレームの先頭と終了の識別のためのフラグ及びデータの透過性を保証するためのゼロ挿入などは、衛星リンク上では必ず(須)のものではなく、これらの削除によって有効なデータ長の増大が期待できるなど、今後、衛星リンク上での伝送フォーマットに関して検討が必要と思われる。

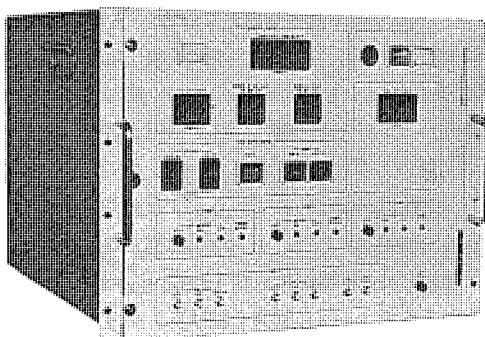


図13. インターフェース部外観(センター局)

1. まえがき

昭和52年12月に打上げられた我が国最初の実験用中容量静止通信衛星(CS)は、2個のCバンド中継器(トランスポンダ)に加え世界に先駆け30/20GHz帯のKバンド中継器6個をとう載し、日本国内通信用としてKバンド帯を用いた場合の実用性に関する各種の通信実験が行われてきた。

これらの実験段階を経て、本格的実用化通信衛星(CS-2号)の打上げが計画決定されるに伴い、いよいよ我が国のKバンド帯を利用した衛星通信システムは本格的な実用化期を迎えようとしている。

特に、地上回線網との干渉の少ないKバンド帯は日本本土内の市街地間を衛星を介して結ぶ通信システム用として利用分野が広く、今まで世界の各方面から実用化システムとして注目されている。

我が国の衛星通信利用分野は公衆通信、非常災害用通信、移動通信及び広帯域テレビ通信の利用に加え、最近のデータ通信の発展に呼応して高速のファクシミリ、画像伝送、コンピュータデータなどのデータ通信への利用分野に脚光を浴びている。また広域通信、同報通信の通信メディアとしての応用分野、及びオフィスオートメーション化に伴う新規通信サービスとしての役割が期待されている。

Kバンド帯を利用した地球局は、小形のアンテナで十分な性能が期待でき、特に小容量回線用として設備全体が小形化しやすく、また最近の半導体の目覚しい発展により送受信機も全固体化方式で実現されつつあり、簡易なシステムで衛星を利用した通信システムが実現できている。

このような動向に対して、今回小容量回線用として小形で簡易な方式を用いたKバンド小形地球局を開発したので、ここにその内容を紹介する。

2. 目的及び特長

Kバンド小形地球局は、次の適用分野を対象としてこれに適合することを基本条件として開発した。

- (1) 可搬移動運用を前提とした小容量回線用地球局。
- (2) CS及び将来のCS-2号以降の通信衛星システムにも対応可能のこと。
- (3) 長期的固定運用にも耐える安定性能、機能充実を図り、設置場所の特別な制約なしで置局が行えること。
- (4) 音声電話通信、低速ファクシミリ通信、及び中速度データ通信用としての適用性を有すること。
- (5) 取扱いが簡単で運用が容易であること。

上記(1)に関しては、主として公衆回線、自営回線での小容量システム適合を目的とし、基本実装チャネルは2チャネル、将来相手局、通信方式に応じて4チャネル程度の拡張を考慮した。また、可搬移動の機動性を得るために、通信回線設計上の制約と合わせてアンテナの直径は2m相当を前提に検討を進めた。一方、送受信機は、小形化及び信頼度の面より全固体化方式とし、最大限GaAsFET素子

を用いた回路構成を用いることとした。

(2)については、将来の運用の柔軟性を得るためにアンテナ、送受信機の広帯域化に着目し、当面現在のCS及びCS-2号の3トランスポンダ全周波数帯をカバーする性能を前提とした。また、衛星のアンテナビーム照射エッジ地域において衛星で生じるスピン軸の揺らぎ及びワブルなどの劣化を考慮した回線設計を前提に、所要受信G/T比を設定し、これを実現することを開発諸元とした。

(3)に関しては、音声電話、低速ファクシミリ伝送用にはSCPC(Single Channel Per Carrier)―FM方式を、中速度データ伝送にはSCPC-PCM(Pulse Code Modulation)／PSK(Phase Shift Keying)(64Kb/s(キロビット/秒)方式)の2種の端末装置を使い分けることにより対処することとした。この地球局の開発基準は以上のはか、熟練を要しない運用者で局全体を設置し短時間に運用開始ができるよう運用上の具備機能に重点をおき、更に長期間の固定運用に耐えるよう、電子機器の放熱方式、気密防滴構造及びアンテナ系の構造検討に重点をおいた。

以上の基本的開発条件、及び構成に基づいて開発された地球局は次の特長を有している。

(1) 全地球局設備の重量が450kg以下と軽量、小形化が図られており、非常災害時の移動運用に必要な機動性を実現している。

(2) 直径2m相当の横長だ(梢)円開口のアンテナを用いることにより、運搬時に分解、組立が不要で、しかも小形トラックの荷台やはん用ヘリコプタのキャビンに分解せずに収容が可能である。更に、アンテナの梢円ビーム特性が衛星の軌道上の変動の特性に合っているため、衛星追尾が容易である。

(3) GaAsFET素子を数多く用いて小形化、低電力化を図り、全固体化システムにして高信頼性を実現している。特に、受信系低雑音増幅器は常温動作のFET増幅器を用い、また送信系には励振段までFET化した増幅器を用いて、上記の目的を達成している。

(4) 通信端末装置として音声電話やファクシミリ信号伝送用にはSCPC-FM端末装置を、また中速度のデータ信号伝送用にはSCPC-PCM／PSK端末装置を用いることにより、各種の通信システムの要求に適応できる。

(5) 保守運用の容易さを実現している。特に、アンテナの放射給電部にはホーンリフレクタ形式給電システムを採用し、雨滴対策を行い、また放熱システムにはヒートパイプを利用し、設備の中を無回転構造として長期間の無保守運用を可能としている。

3. 総合システム

開発したKバンド小形地球局の総合系統図を図1に、また局全体の外観を図2に示す。

この地球局は、直径2m相当の梢円開口カセグレンアンテナ、20GHz帯常温動作のFET低雑音増幅器、30GHz帯2Wインパット電力増幅器、2重周波数変換形送受信周波数変換器、SCPC共通部、直流電源、及び室内設置形通信端末装置から構成されている。

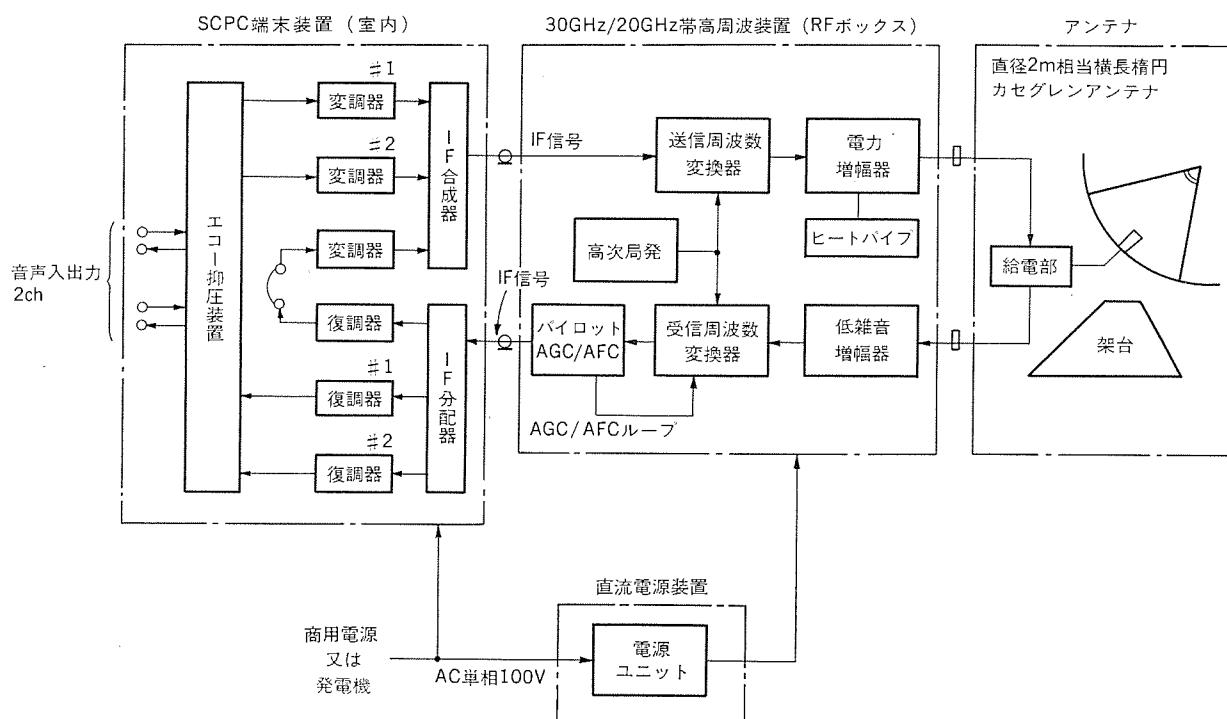


図 1. K バンド 小形地球局総合系統図

表 1. K バンド 小形地球局総合性能

1. 周波数範囲	
送 信	: 27.5~31.0 GHz 帯域のうち任意の 500 MHz
受 信	: 17.7~21.2 GHz 帯域のうち任意の 500 MHz
2. 実効輻射電力 (EIRP)	: 51.1 dBW/ch 以上
3. 受信 G/T (仰角 30°)	: 22 dB/K 以上
4. アンテナ駆動範囲	
Az	: 設定角度 ±7°
El	: 33~53°
5. アンテナ追尾方式	: 手動追尾
6. 通信方式	: SCPC-FM 方式, 又は SCPC-PCM/PSK 方式
7. 送信周波数安定度	: ±1×10 ⁻⁸ /日以内
8. 標準音声 S/N	: 30 dB 以上 (SCPC-FM 方式のコンパンダなし)
9. 標準 BER	: 10 ⁻⁴ 以下 (SCPC-PCM/PSK 方式の FEC なし)
10. 設備全重量	
アンテナ/高周波部	: 280 kg 以下
電源装置	: 35 kg 以下
SCPC 端末装置	: 35 kg 以下
発動発電機	: 40 kg 以下
11. 全消費電力	: 300 VA 以下
12. 耐風速性能	
運用風速	: 30 m/s 以下 (瞬間)
非破壊風速	: 60 m/s 以下 (×)

この地球局はビルの屋上や、空地にアンテナを設置し対向する地球局との間で2回線の音声電話回線を構築することが可能で、音声電話信号以外に2.4 Kb/s~9.6 Kb/s(キロビット/秒)のファクシミリ信号などの低速静止画像の伝送に用いることができる。また、コンピュータ端末装置の近くに地球局を設置し、他のコンピュータや大形のホストコンピュータとのコンピュータネットワーク用として手軽に設置して用いることができる。

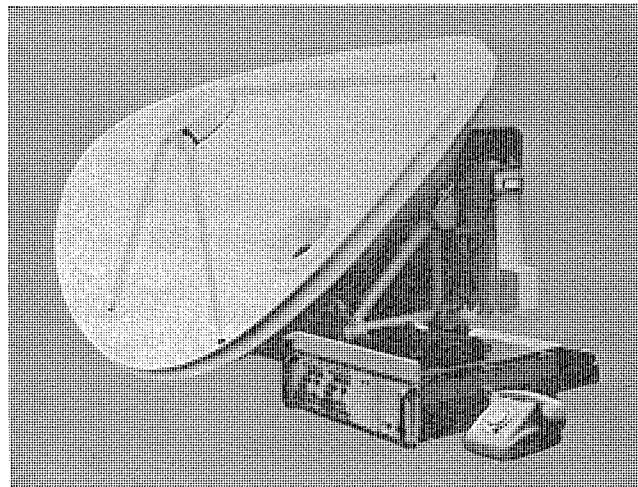


図 2. K バンド 小形地球局外観

この地球局の総合性能を表 1. に示す。

4. 構成機器

4. 1 アンテナ

小容量小形地球局用として可搬性、機動性を重視し、直径2m相当の横長楕円開口カセグレンアンテナを開発した。このアンテナの特長は次のとおりである。

- (1) 横長楕円開口形式とすることにより、移動の際に分解、組立せずにそのまま小形トラックの荷台やヘリコプタ(ベル 212 形相当)のキャビンにう載して可搬移動することを可能としている。
- (2) 南向きに設置した場合、南北方向に長い楕円形放射パターン特性が得られるため、衛星追尾機能を不要としている。また、軌道面内アンテナ放射パターンが改良されているので、隣接衛星との干渉が

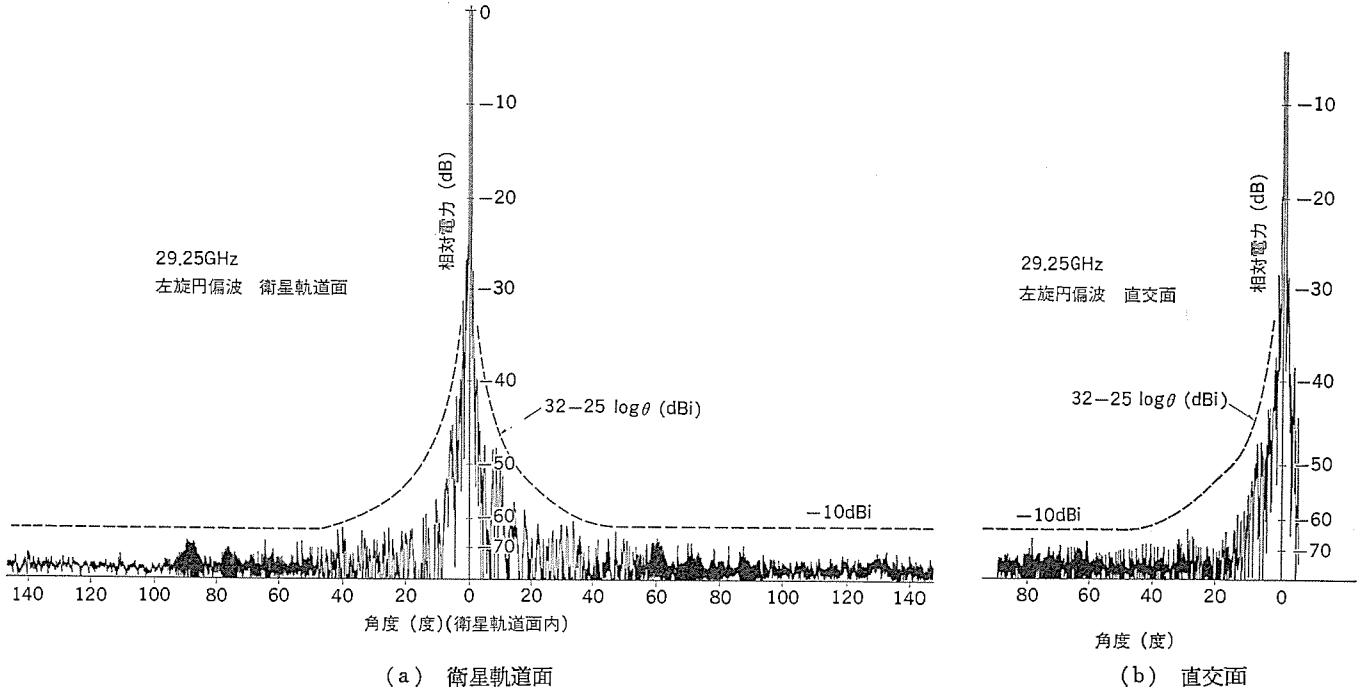


図 3. アンテナ広角放射特性

表 2. アンテナ主要性能

1. アンテナ開口径	: 1.7 m × 2.4 m 横長梢円
2. 運用可能風速	: 20 m/s 以下
3. 駆動範囲	: 初期設定角度 ±10°
4. ビーム幅	
送信	: 衛星軌道面 0.27° 直交面 0.36°
受信	: 衛星軌道面 0.40° 直交面 0.56°
5. 耐風速	: 脈動最大風速 60 m/s
6. 偏波	
送信	: 左旋円偏波
受信	: 右旋円偏波
7. アンテナ利得	
送信	: 29.25 GHz で 53.1 dB
受信	: 19.45 GHz で 50.2 dB
8. サイドローブ	: 32-25 log θ , dBi パターン (90% 値) $(1^\circ \leq \theta \leq 48^\circ)$ -10 dB (48° < 0)
9. 追尾方式	: 手動追尾

低減される。

(3) ホーンリフレクタ給電方式により、ホーンカバーに直接雨滴が付着することを防止し、水滴による減衰を防いでいる。

(4) 1次放射器にコルゲートホーンを用いて、利得、雑音温度広角放射特性及び交さ偏波特性を改善している。

(5) マウント形式は Az-E_L 形式で手動にて衛星方向への角度の微調整が容易にできる構造を有している。

表 2 にこのアンテナの主要性能を、図 3. に広角放射特性を示す。

4.2 低雑音増幅器

常温動作の 5 段 FET 増幅器を用い、雑音温度 630 K 以下、利得 26 dB を得ている。増幅器本体は、MIC (Microwave Integrate Circuit) で構成し、これに当社製 FET MGFC-1403 (チップ形) を使用している。入出力端子にはプローブ形の MIC—導波管変換器を用いて、広帯域特性を得ている。増幅器本体は、長期間の信頼性を確保するために、乾燥窒素ガスを充てん (填) した気密構造となっている。図 4. に低雑音増幅器の外観を、図 5. に利得・雑音指数特性を示す。

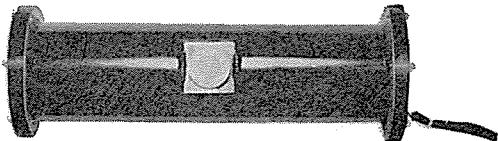


図 4. 低雑音増幅器

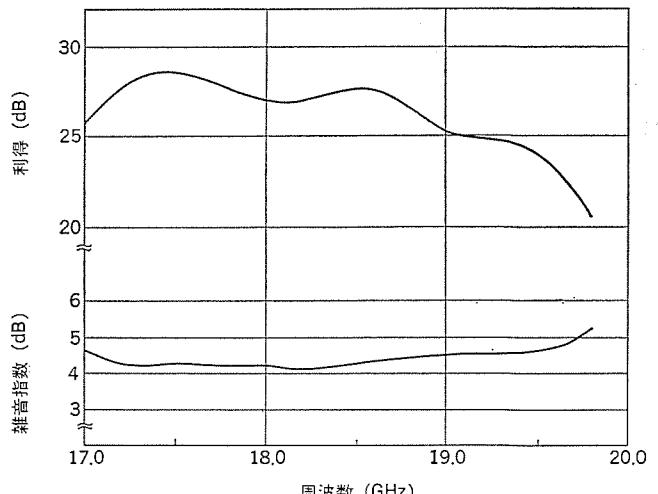


図 5. 低雑音増幅器 利得・雑音指数特性

4.3 電力増幅器

飽和出力 2 W の電力増幅器を用いている。10 mW までの励振段は 4 段構成の FET 増幅器、それ以後の出力段には 6 段構成のインパット増幅器で構成している。最終出力段にはハイブリッドによる電力合成回路を用いて、2 W の飽和出力を得ている。励振段の FET 増幅器には当社研究所で開発した高出力用チップ形 FET を用いており、増幅器全体は気密構造になっている。インパット増幅器は小信号利得 24 dB の利得を得ており、またこの段で発生する発熱は増幅器取付け面に埋込まれたヒートパイプにより RF ボックス上面に熱を移し、放熱を行っている。図 6. に電力増幅器の外観を、表 3. に主要性能を

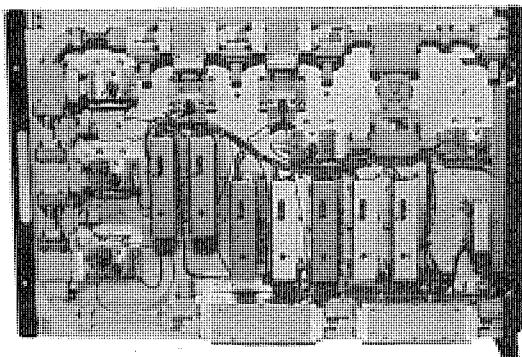


図 6. 電力増幅器

表 3. 電力増幅器主要性能

1. 増幅器形式	： 励振段 4段 FET 増幅器 出力段 6段インパット増幅器
2. 周波数範囲	： 27.5~28.15 GHz
3. 最大出力	： 2 W
4. 利得	： 38 dB
5. 入出力 VSWR	： 1.2 以下
6. 消費電力	： 75 W 以下

示す。

4.4 送受信周波数変換器

送信及び受信用周波数変換器は2重周波数変換方式を採用し、周波数変更を容易にしており、また送受信用の高次局発部を共用し、小形、装置の簡略化を図っている。いずれの周波数変換器も40 MHzの瞬時帯域幅を有し、アクセスしている周波数の変更は単に高次局発部の水晶発振器を交換し、局発部の11 GHz帯位相同期発振器のキャビティの再同調で最大500 MHzの帯域をカバーする。

図7. に送受信周波数変換器の系統を示す。この周波数変換器では、送信側は70 MHzのIF信号を5 GHz帯に変換し、更に11 GHz

の信号を2倍倍した25 GHzの高次局発信号と混合し、上側波帯で30 GHz帯の信号を得ている。一方、受信側は20 GHz帯信号と25 GHz帯の高次局発信号を混合し、5 GHz帯に変換後、更に70 MHz IF信号に変換している。

受信周波数変換器の第2局発部にはVCXO(電圧制御水晶発振器)を用いて第2局発部の信号出力周波数を微調できる機能を有しており、SCPC共通部で検出されるパイロット周波数の誤差信号を用いて第2局発部周波数を制御するAFC(自動周波数制御回路)の機能の一部として用いている。図8.に送受信周波数変換器の外観を示す。

4.5 SCPC共通部

SCPC共通部はSCPC通信システムのパイロット信号を受信する狭帯域のパイロット受信部、送信帯域ろ波器、受信帯域ろ波器、及びIF AGC回路/AFC増幅器から構成されている。SCPCパイロット受信部は、SCPCシステム用のパイロット信号を位相同期帰還ループを用いて受信し、受信周波数の誤差信号に比例した直流誤差信号とパイロット信号の受信電界を検出して動作するパイロットAGC制御の機能を行う。SCPC共通部は、以上の機能のほか、SCPCシステムパイロットを自局から送信できるようなパイロット信号発生器も内蔵している。

4.6 SCPC端末装置

SCPC端末装置は使用目的に応じて使い分けし、SCPC-FM端末装置とSCPC-PCM/PSK端末装置の2種類用意している。音声電話信号や低速ファクシミリ信号伝送用にはSCPC-FM方式が装置の経済性、保守性及びチャネル当たりの衛星のEIRP(実効輻射電力)が他の方式に比べて一番少なくてすむなどの利点を有している。図9.にSCPC-FM端末装置の外観を示す。

SCPC-FM端末装置は19インチラックマウント形シェルフ(たな)に2チャネルの送受信ユニットと基準信号発生器(TFU)及び必要な直流電源を収容し、小形化されている。

一方、中速データ信号(～48 Kb/s程度)伝送用にはSCPC-PCM/PSK方式を用いており、高品質データ伝送が行える。この方式は

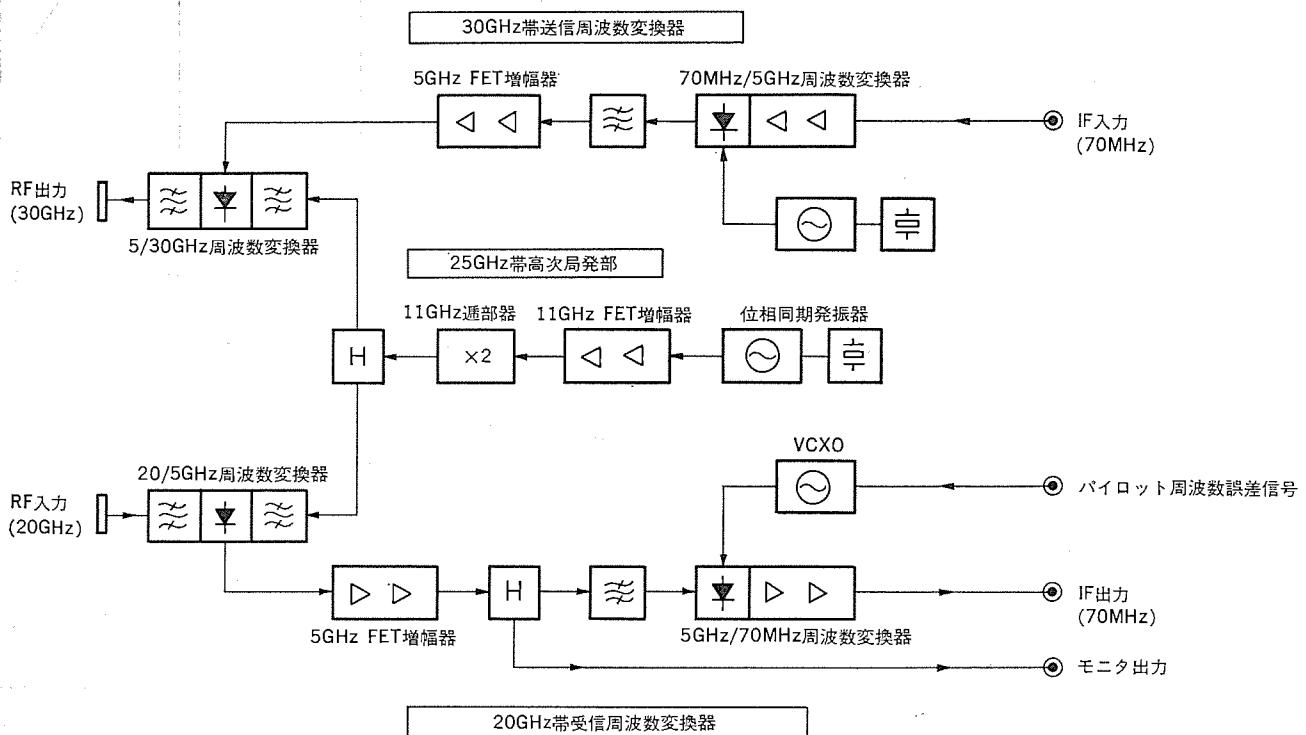


図7. 送受信周波数変換器系統図

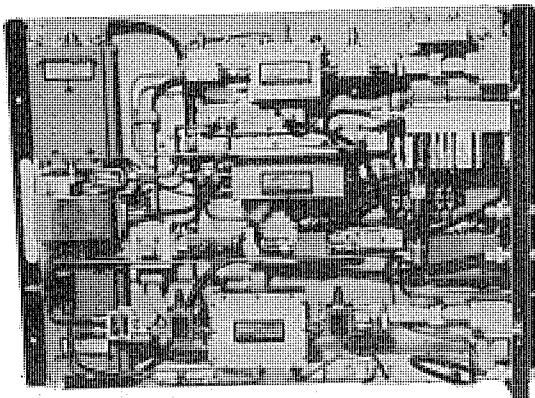


図 8. 送受信周波数変換器

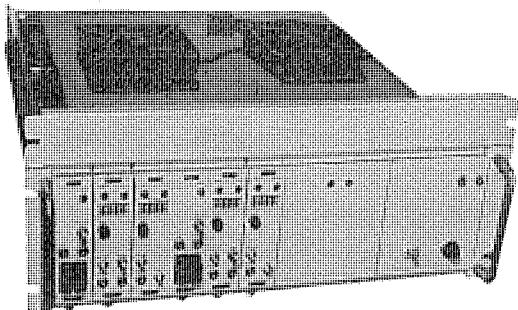


図 9. SCPC-FM 端末装置

4相のPSK変調方式でデジタル信号を直接伝送する方式で、レート3/4の折りたたみ符号によるFEC(誤り訂正符号復号器)を用いてビット誤り特性を2~3けた(桁)改善することができる利点がある。このSCPC-PCM/PSK方式を用いて音声電話を伝送することも可能で、この場合は8kHzサンプリング音声信号を7ビットA法則圧伸による量子化を行い、56kb/sの音声デジタル信号に同期語を付加して都合64kb/sの信号に変換して伝送することができる。ただし、SCPC-FM方式と同等程度の音声SNR(信号対雑音比)や明瞭度を得るために衛星のEIRPを高く設定する必要があり、音声伝送には使用条件の上で不利となる。しかし、コンピュータデータ伝送のような完全デジタル信号の伝送には適しており、上記2通信方式は通信目的によって使い分ける必要がある。図10.にSCPC-PCM/PSK端末装置の外観を示す。

4.7 RFボックス/直流電源装置

RFボックスはアンテナの主反射鏡背面に取付けられており、送信機の高周波装置、周波数変換器、SCPC共通部などのSCPC端末装置以外の必要電子機器を収容している。このRFボックスはアンテナと一体構造となっているため、アンテナの角度調整の際にはアンテナと共に動く。また、このボックスには電子機器で発生する熱放散のためのヒートパイプが埋込まれており、上部に熱交換器が設けられている。

直流電源装置は、RFボックスに実装される電子機器の直流電源を供給する目的で設置され完全防滴構造となっていて、RFボックス(ア

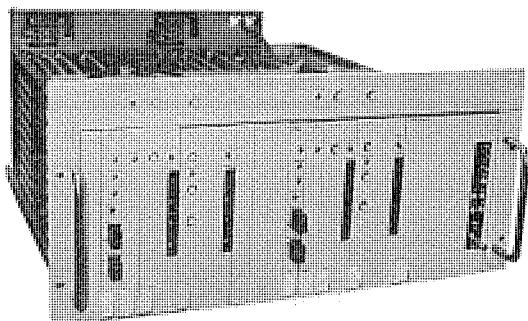


図 10. SCPC-PCM/PSK 端末装置

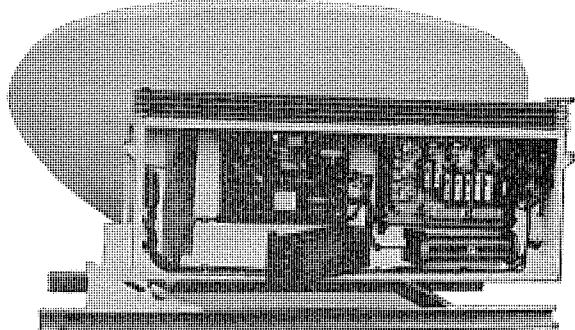


図 11. RFボックスの内部構造

ンテナ)の近くに設置して用いる。図11.にRFボックスの内部構造を示す。

5. むすび

以上、今回開発したKバンド小形地球局の特長、構成、性能を中心に紹介した。我が国の国内衛星通信は、CS-2号の打上げや現在のCSを用いた30/20GHz帯の電波伝搬特性の研究の進展に伴い、いよいよ実用化に入ろうとしている。今回の開発はこれらの動向に合わせて、従来の常識を打破した地球局システムの小形化、簡略化が主目的であった。今後共、今回の開発を通じて得られた成果をベースに、更に一層の改良に努め、半導体素子の開発、改良と合わせて設備の経済性も含めて検討し、時代の要求に合ったシステム作りを行ってゆきたいと考えている。

参考文献

- (1) 昭和52年度電波技術審議会答申「固定地点間通信への通信衛星の利用技術」
- (2) 宮 編著:衛星通信工学, ラティス社
- (3) 未来工学研究所:国内衛星通信システムの未来形態の研究, (昭54-3)
- (4) 宇宙開発事業団:通信衛星2号システム開発仕様書, (昭54-1)
- (5) 中谷ほか:30GHz帯GaAsFET, 電子通信学会マイクロ波研究会資料MW80-85
- (6) K. Shirahata: A 30GHz 100mW GaAs FET, IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest P. 325~327 (1981)

USB追跡管制設備

東 吉夫*・山崎 孝*・尾形良征**・岡田東亞**・原 泰司**

1. まえがき

宇宙開発事業団が、鹿児島県種子島の増田追跡管制所に開発整備を行った USB (Unified S-Band) 追跡管制設備は、種子島宇宙センター大崎射場よりの打上げ段階から、静止軌道投入以降にわたって衛星の追跡管制に用いられるものであり、昭和 56 年 8 月静止気象衛星 GMS-2 号の打上げに際しその性能が十分発揮された。我が国の衛星打上げひん(頻)度は、今後更に増加することが予想され、特に増田追跡管制所は、打上げ時よりのデータ取得が可能であることから重要な追跡管制任務をおびており高信頼性、高精度が要求されている。今回、これまでの宇宙開発事業団における衛星・ロケット追跡地上局の豊富な経験を生かして、いくつかの開発・改善を行った。ここに、空中線系、受信系及び測距系の各装置の技術改善の効果及び、実現された性能について述べる。

2. USB 追跡管制システムの概要

現在宇宙開発事業団では、各追跡管制所において衛星の追跡管制業務としての、衛星 テレメータデータの取得、衛星の角度、距離・距離変化率の測定及び衛星へのコマンド指令信号の送信を行っている。

増田追跡管制所には、既に VHF 帯、S 帯及び C 帯の設備が整備されていたが、更に USB 設備が今回整備された。図 1. に増田追跡管制所 USB 追跡管制設備 ブロック図を示す。テレメータ伝送/コマンド指令設備において、筑波中央管制所(以下 TACC と呼ぶ)よりのコマンド指令計画に基づきコマンド信号を発生し、これを位相変調する。衛星一地上局間の距離計測時は、測距設備よりの測距用信号が位相変調される。次にこの信号は、USB 送信設備へ送られ、2.1 GHz 帯への周波数変換、電力增幅後、USB 空中線より、衛星に向け送出される。一方、衛星からのテレメータデータ及び測距用信号は、2.2 GHz

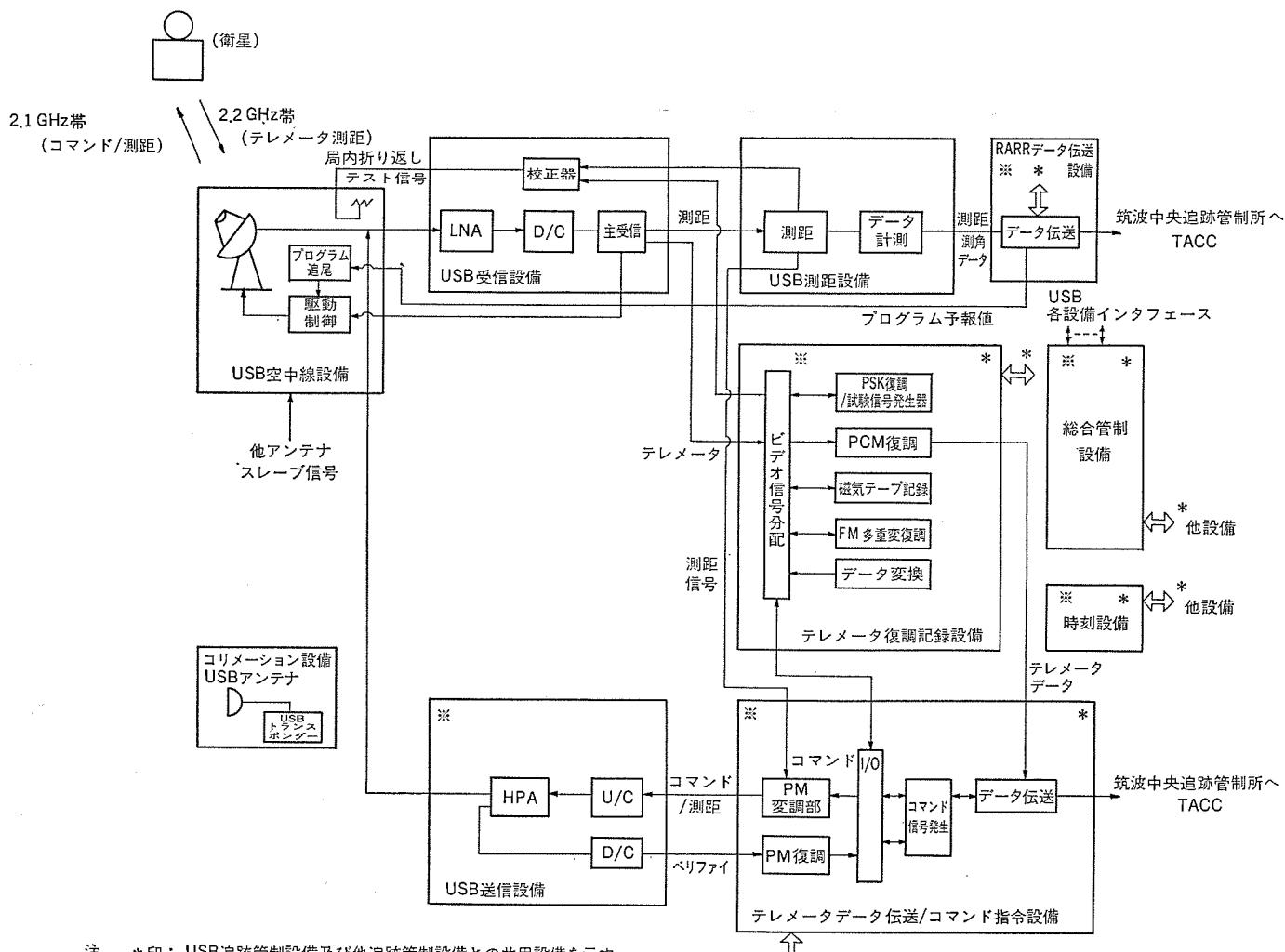


図 1. 増田追跡管制所 USB 追跡管制設備 ブロック図

表 1. 増田 USB 追跡管制設備主要性能諸元

(1) 総合性能		(3) 送信系(他社)	
自動追尾精度	0.035° RMS 以下	送信出力	10 kW / 1 kW / 100 W
条件	・瞬間最大風速 15 m/s ・搬送波入力レベル -125 dBm (低雑音増幅器入力端にて)	送信周波数	2,110.8 MHz
指向精度	0.05° RMS 以下	送信周波数帯域	約 10 MHz
条件	・瞬間最大風速 15 m/s 以下	送信管	空冷クライストロン
レンジ計測精度	5 m RMS 以下	(4) 受信系	
条件	・入力レベル -125 dBm	LNA 入力周波数範囲	2,200~2,300 MHz
測定可能最大レンジ	75,000 km 以上	LNA 雑音温度	55 K 以下
(2) 空中線系		受信信号変調形式	レンジング トーン-PM テレメータ PCM-PSK-PM 及び FM-PM
アンテナ形式	モノホーンカセグレンアンテナ	入力レベル (LNA 入力換算)	-70~-140 dBm
主反射鏡開口径	18 m ϕ	(5) 測距系	
周波数帯	送信 2,100~2,120 MHz 受信 2,200~2,300 MHz	測定可能最大レンジ	75,000 km 以上
空中線利得	送信 48.5 dB 以上 受信 49.0 dB 以上	レンジトーン	100 kHz, 20 kHz
偏波	円(右, 左)偏波及び 任意直線偏波	アンビギュイティトーン	20 kHz, 4 kHz, 800 Hz 160 Hz, 40 Hz, 10 Hz, 8 Hz
最大駆動速度	A _z , E _l 共 2.5°/s	受信入力トーン変調範囲	0.2~1.5 rad
最大駆動加速度	A _z , E _l 共 2.5°/s ²		

帶にて、地上局にて受信される。この信号は、USB 受信設備にて、PM 復調後 USB 測距設備及びテレメータ復調記録設備へ送出される。測距信号は、USB 測距設備にて計測され、アンテナ指向角度及び時刻信号などとともに TACC へ送られる。また、受信テレメータ信号は、テレメータ復調設備で復調され、テレメータデータ伝送設備経由 TACC へ送られる。TACC から送られてくる衛星予報値は、プログラム追尾装置へ送られ、アンテナのプログラム追尾用信号として用いられる。また、増田追跡管制所内の他アンテナ角度信号は、スレーブ装置にて切換え後、スレーブ角度信号として用いられる(表 1.)。

3. 空中線系

空中線装置放射給電系は、低サイドローブでかつ軸対称のビームを放射

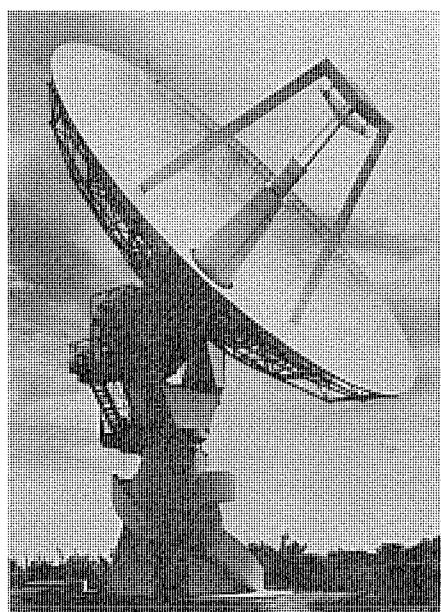


図 2. USB 空中線装置

するコルゲートホーンを 1 次放射器とし、主・副反射鏡系に鏡面修整を施すことにより、高能率化を図り、かつ良好な広角指向特性の実現をめざした(図 2.)。その結果、図 3. に示すように 18 m ϕ USB アンテナとして、第 1 サイドローブレベル -16 dB 以下、1 度以上の角度範囲にわたるサイドローブ特性は、CCIR の勧告値 (32-25 log θ dB, $1 \leq \theta \leq 48^\circ$, -10 dBi $48^\circ \leq \theta$) を満足した。また給電系には TE₀₁ と TM₀₁ の 2 つの直交する高次モードを用いて、円偏波(右旋, 左旋)及び任意直線偏波に対し自動追尾を行い、かつ同じ偏波による送受信を可能とすることにより、今後の衛星に対しても適用可能なよう配慮されている。

空中線機械系は、主反射鏡直径 18 m ϕ で受信機用背面小室を有する構造となっているが、駆動機構その他をコンパクトにし軽量化を図り、かつ追尾測角機能を十分達成できる剛性を保った。特に、機械系の保守性・信頼性の向上に配慮を払い、主要な構造物は溶融亜鉛めっき処理を施し防錆性の向上を図った。

空中線制御系は、マイクロコンピュータ(μ-CPU)の利用を推進し、角

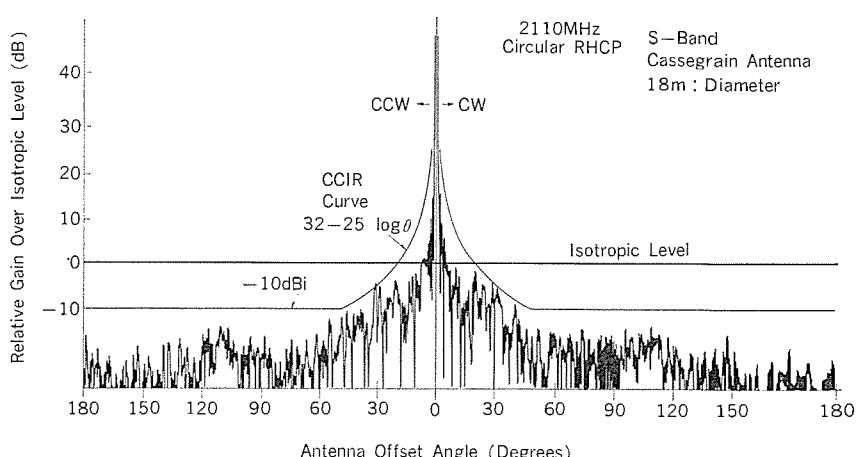


図 3. 広角指向特性測定例

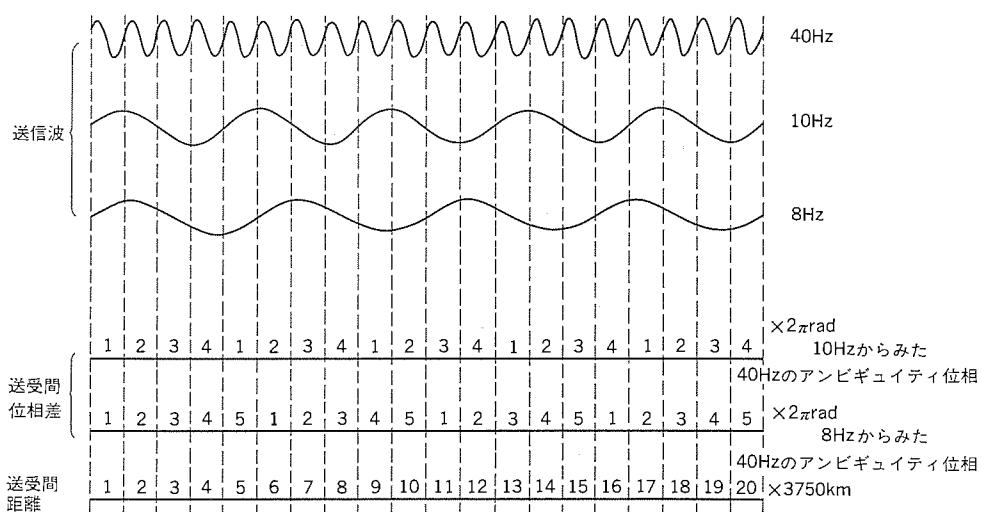


図 4. 10 Hz, 8 Hz トーンによるアンビギュイティ除去

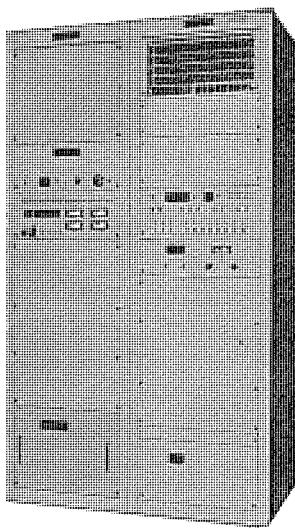


図 5. 測距装置

度誤差演算, シーケンス制御などは, ソフトウェアによる演算・制御とした。その結果, リレー個数, ディジタルIC個数が減り, 制御系体の信頼性を高めると共に, 操作性の改善を図った。

なお, 受信系と空中線系と組合せて, 高性能指數(G/T)を得るため受信低雑音増幅器として, 55 K以下の常温パラメトリック増幅器を用いた。その結果システムG/Tは, 仰角5°にて28.7 dB/K, 仰角40°にて29.5 dB/Kが達成された。

4. 測 距 系

衛星と地上局間の距離を測るためにサイドトーンを用いたトーン方式が採用されている。これは, 数個の周波数の異なる正弦波(トーン)を使用し, 衛星折返しの伝搬遅延位相量を高精度で測定するものである。同システムはこれまで, 宇宙開発事業団勝浦追跡管制所及び沖縄追跡管制所などで, 既に開発・整備されているが, 今回特に次の項目につき改善を図った。

(1) 最大計測距離の拡大

今まで測距に使用したトーン周波数は, 100 kHz, 20 kHz, 4 kHz, 800 kHz, 160 Hz, 40 Hz, 10 Hzの7波であった。10 Hzを利用して, 折返しの最大計測範囲は, 15,000 kmである。今回, これに8 Hzを追加し, 8 Hzと10 Hzの組合せにより, 最大75,000 kmまで, あやまることなく(あいまいさの除去)計測可能とした(図3.)。

(2) 距離計測精度の向上

従来, 地上系距離計測誤差は, 10 m RMS以下(100 kHzレンジトーン時)であったのを今回5, 5 m RMS以下(100 kHzレンジトーン使用時)とした。これは, 地上局を構成する各装置の改善にもよるが, 特に測距装置での改善が著しい。測距装置では, 送信トーンと受信トーンとの位相差を高速のクロックで計測する。従来128 MHzクロックで計測して分解能約1.17 mであったが, 今回より低いクロック8 MHzで, 分解能約0.3 m以下を達成した。これは, 8 MHzクロック位相を

$2\pi/N (N=64)$ 単位に精度よく, 位相制御可能な回路を開発したことによる。このことにより, 128 MHzで動作する超高速のカウンタが普通の速度の8 MHzカウンタで構成でき, ハードウェアが著しく簡単化でき, 製作が容易となり, かつ精度が向上した。

(3) はん用化

宇宙開発事業団では, 種々な衛星の追跡管制を行っている。対応する衛星ごとに異なる, 局システム遅延量補正, ROM(Read Only Memory)の値により衛星名コード指定により自動的に補正可能とした。また, 変調度の違いによる受信トーンレベルは, トーンAGCループ付加した。このことにより, トーンによる距離計測を行うCS, BS及びGMS-2号などの衛星に容易にアクセス可能とした(図4.)。

5. む す び

この設備は, 昭和55年3月に完成し, その後, 同年8月打上げの静止気象衛星GMS-2号の追跡管制に使用され, その性能を十分に発揮した。この設備は, 衛星打上げ時の, やり直しが許されないという使用条件, その後の定常的な衛星の追跡管制任務及び対象とする衛星がいくつもあり, はん用的なハードウェア性能などが要求されていること, 等に対して, 本稿に述べた技術改善を実現した。これを将来の追跡管制運用への一里塚とし, 更に信頼性の高い操作性のよい設備の完成に向かって今後も努力を重ねたい。

この設備の開発設計にあたって, 御指導いただいた宇宙開発事業団地上装置開発グループ, 同追跡管制部, 同増田追跡管制所の関係各位, 並びに御協力いただいた日本電気(株)の関係各位に深謝する次第である。

参 考 文 献

- (1) 遠藤, 稲宮: DIGITAL PHASE LOCK LOOP (DPLL)-DPLLによる位相測定, 宇宙航行エレクトロニクス, SANE 69-19

D ドップラ追跡/衛星テレメータ受信設備

鈴木 充*・尾形良征**・高山 威**

1. まえがき

宇宙開発事業団が勝浦追跡管制所に 136 MHz 帯 テレメータデータ取得機能を付加し、あわせて既設 ドップラ追跡設備を更新した衛星 テレメータ受信設備（ドップラ追跡設備を含む）は、

- (1) 既設 USB/136 MHz 帯共用空中線の運用制約の軽減を図り、USB 使用の CS, BS, 静止気象衛星 GMS-2 号などの衛星。
- (2) S バンド/VHF 帯使用の ETS シリーズ, GMS-1/2 号などの衛星。

の同時運用を可能とし、更に、

- (3) 136/400 MHz 帯による ドップラデータ取得。

を目的として整備し、ETS-IV（技術試験衛星 - IV 型）以降の追跡管制及び、ドップラデータ取得に順調に動作中である。以下本文では、三菱電機（株）が、設計製作を分担した空中線系、受信系の設備について概要を述べる。

2. 設備概要

宇宙開発事業団勝浦追跡管制所には、各衛星の追跡管制業務を行うために、各周波数帯の設備が整備されているが、今回 136/400 MHz 帯空中線を新設することにより、同時に 3 リンク (V/UHF 帯, S 帯, USB) の運用が可能となり、運用の柔軟性が実現された。この設備のブロック図、性能を図 1., 及び表 1. に示す。

衛星からの テレメータデータは、地上局にて偏波 ダイバシティ 受信を行

い 136 MHz 受信設備にてビデオ信号に変換後、テレメータ復調記録設備へ送出、復調され、テレメータデータ伝送設備経由にて中央追跡管制所へ送られる。一方 ドップラデータは、136/400 MHz 受信設備にてドップラ周波数を抽出後、計測設備にて周波数計測を行い、空中線の指向角度とともに時刻符号を付加しフォーマット変換後 RARR データ伝送設備で中央追跡管制所へ送られる。

この設備を構成する 136/400 MHz 帯空中線装置は X-Y マウント形式が採用され、衛星の局真上通過時のデータ取得を可能としており、将来の極軌道衛星に対応できるよう整備された（図 2.）。

3. 空中線

空中線は、増田追跡管制所に整備されている 136/400 MHz 帯空中線装置をベースとし、将来の移動衛星 (MOS 等) に対応する S 帯 (USB) に変更可能をめざした。設計方針として、

- (1) 主反射鏡鏡面精度は S 帯に対応できる 3 mm RMS 以下とする。
- (2) S/VHF 帯共架となった場合を想定し、鏡面修整は グレゴリアン形式にて設定する。S 帯専用の場合も鏡面修正ができるようにする。
- (3) 変更点は、ステイ、副反射鏡、カウンタウエート調整などとし、極力少なくする。

を考慮し、主反射鏡面は S 帯を中心としたものであるため、鏡面修整による VHF 帯への影響を 1 次放射器（クロスダイポール）の設定位置を最適に選定することにより、利得換算で 0.1 dB 以下とし、性能は

表 1. 性能諸元

設備総合			空中線系		受信系	
	136 MHz 帯	400 MHz 帯	(1) 空中線機械系		136 MHz 帯	400 MHz 帯
(1) ドップラ周波数計測精度	—	0.1mRMS/s 以下	・主反射鏡 直径 18 m ϕ 3 mm RMS ・鏡面精度 X-Y 方式 (Y over X) X: 天頂中心 ± 90° 以上 Y: " ± 86° 以上 ・可動範囲 X, Y 共 2°/s ・駆動角速度		(1) 受信周波数 136~138 MHz (2) 受信電波形式 AM, PM, FM (CW 含む)	400~402 MHz AM, PM (CW 含む)
(2) 自動追尾停止精度	0.5° rms 以下	0.2° RMS 以下	(2) 空中線電気系 ・周波数範囲 136 ± 2 MHz 400 ± 2 MHz ・利得 21.0 dB 以上 30.5 dB 以上 ・VSWR(和信号) 1.5 以下 ・第 1 サイドローブレベル -15 dB 以下 -15 dB 以下 ・F/B 比 27 dB 以上 38 dB 以上	136 MHz 帯 400 MHz 帯	(3) 雑音指数 4 dB 以下 (4) 入力信号レベル -140~-70 dBm (5) 不要電波受信感度 -60 dB 以下 (6) ドップラ追尾可能範囲 ± 5.5 kHz 以上 ± 16 kHz 以上 (7) ドップラ変化追尾可能範囲 ± 20 kHz 以上 ± 200 Hz/s 以上 (8) ドップラ検出用 VCO 出力 -12 dBm ± 2 dB (10 MHz) (9) ドップラ周波数計測範囲 10 MHz ± 333 Hz 位相同期検波方式 と非同期方式の切換	-140~-70 dBm -60 dB 以下 ± 20 kHz 以上 ± 16 kHz 以上 -12 dBm ± 2 dB (10 MHz) 10 MHz ± 333 Hz — (400 MHz 系は追尾のみ)
			(3) 空中線駆動制御系 ・空中線角度表示 ・スレーブ機能 ・プログラム追尾 ・入力媒体	切換スイッチによる X-Y 又は Az-Ez も表示既設 USB/136 MHz 帯空中線、 S 帯空中線とのスレーブが 可能 オンラインデータ LSO 8 単位		

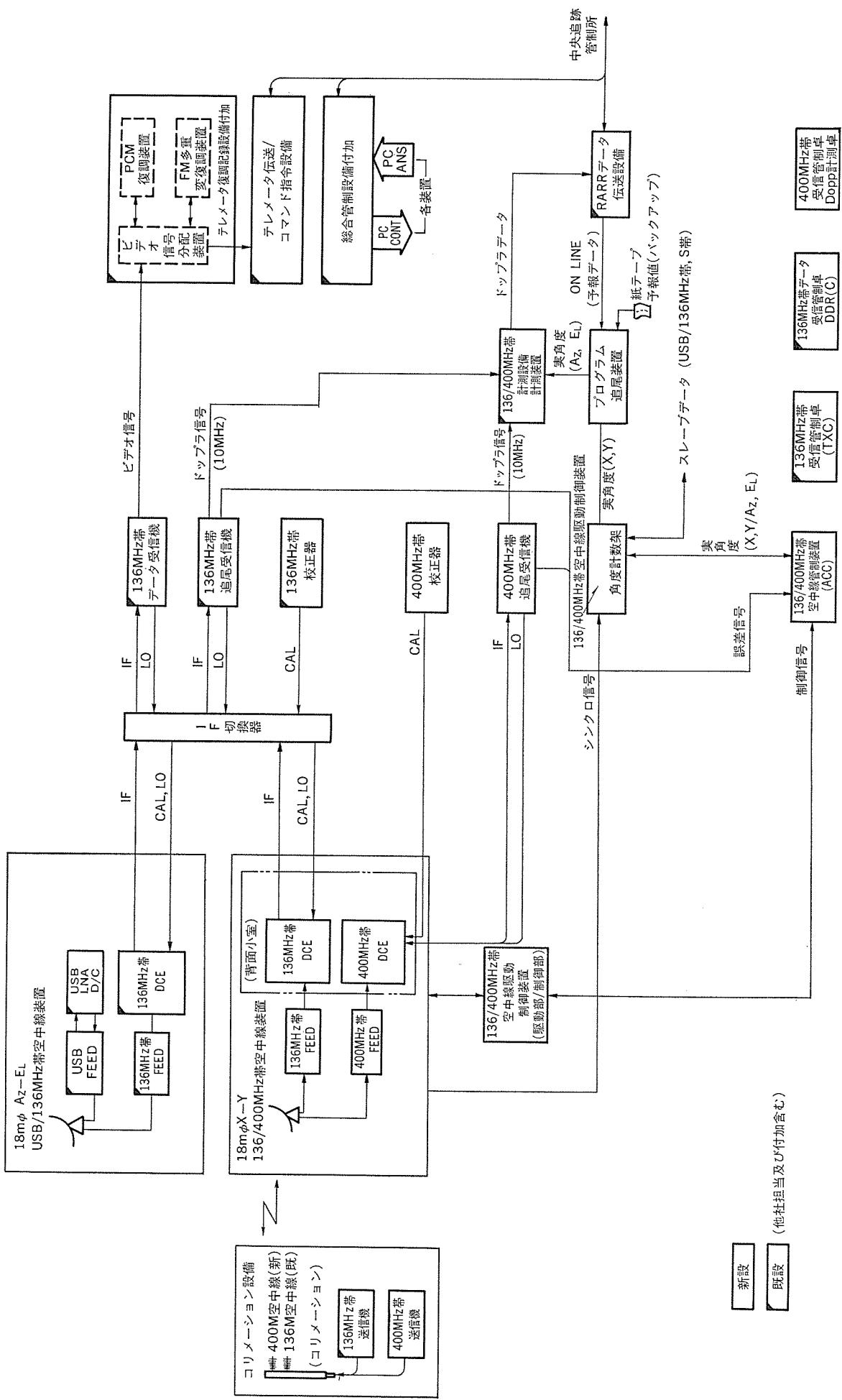


図1. 衛星データ受信設備ブロック図

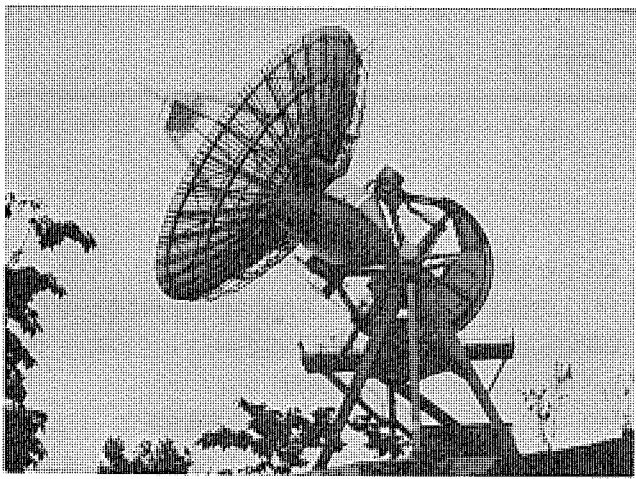


図 2. 136/400 MHz 帯空中線装置外観

増田局と同等以上を実現した。

また給電部の偏波切換器は、低レベル受信（-140 dB~-70 dBm）でより高い信頼性を得るために、従来の機械的接点を用いた切換器よりダイオードスイッチに変更した。機械系は、マウント形式が A_z-E_L 形式より、X-Y マウント形式に変更となったが、過去の経験を生かし、追尾、測再機能を十分達成できる剛性を保ち、保守性、信頼性の向上を配慮し、主要構造物は溶融亜鉛めっき処理を施し、防じょう（錆）性の向上を図った。

一方制御系は、運用者の負担の軽減、バックアップ体制がとれるよう考慮し、

- (1) 既設空中線のマウント形式が A_z-E_L 形式であるため、運用者の操作性を考え、空中線実角度表示は、X-Y \leftrightarrow A_z-E_L 変換機能をもたらせた。
- (2) 既設空中線との相互スレーブ機能を付加し、各空中線との連携動作を可能とした。
- (3) RARR データ伝送設備で中央追跡管制所から送られてくる軌道予報データとのオンライン化を図り、従来の紙ベースの運用から操作の少ないリアルタイム運用化を図った。

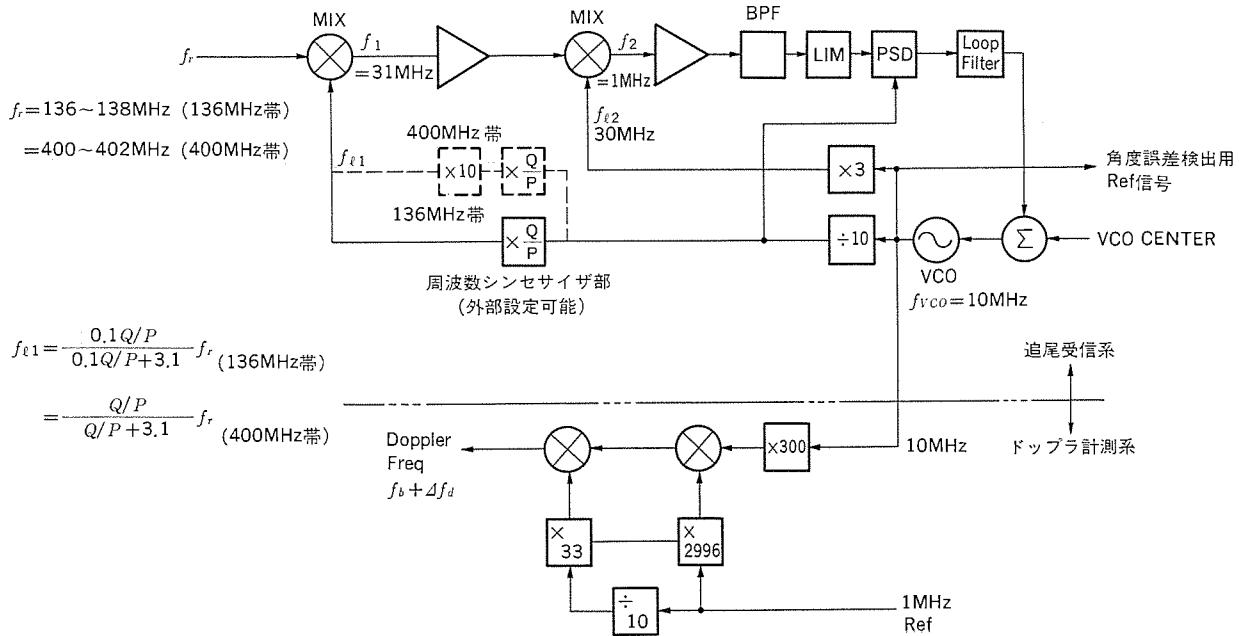


図 3. 追尾受信系ブロック図

4. 受信系

136 MHz 帯受信系は、追尾、ドップラ抽出及びテレメータ受信、400 MHz 帯受信系は、追尾、ドップラ抽出機能を有している。

ドップラ抽出は、実績のある増田追跡管制所に整備されている方式と同じ方式を採用し、受信入力周波数が多数の異なる値をとる場合でも常に入力周波数を一定の中心周波数を有する可変周波数に置換することを特徴とし、衛星の速度を V としたとき、刻々の受信周波数に対するドップラ周波数偏移は、電圧制御発振器 (VCO) に置換でき、周波数変化は、 V が同じであれば常に同一の値をとることになり、VCO の出力を計数することにより、ドップラデータ（距離変化率）を得ている（図 3）。この受信系のうち 136 MHz 系は既設の流用を図り、400 MHz 系は、自動周波数制御回路 (AFC) の採用による即時自動引込み、位相調整用にデジタル移相器を用い、調整のしやすさ、マイコン制御による受信レベルのデジタル表示採用など、ハードウェア面での見直しを行い、運用、保守面の充実を図りかつドップラ計測精度（総合特性）0.1 m RMS/s 以下の実現を図った。

テレメータ受信では、136/400 MHz 帯空中線よりの信号で処理されるが、空中線系、受信周波数変換に不具合が生じた場合、IF レベルの切換器を設け、既設 USB/136 MHz 系からの受信処理を出来るようにし、データ欠落を最少限にして運用面のバックアップ体制を実現し、受信周波数変換は既設と同一設計を行い、切換によるデータの差が生じないよう配慮した。

5. むすび

以上、衛星テレメータ受信設備（ドップラ追跡設備を含む）の概要について述べたが、過去に設計製作した経験を踏まえ、衛星の追跡管制の複雑さに対応できるようにしたのである。

現在この設備は順調に稼働中であり、設計製作で得た経験を更に発展させ、追跡管制業務において更に役に立ちたいと考えている。

最後に設計製作にあたって、宇宙開発事業団追跡管制部、同勝浦追跡管制所の関係各位、設計製作を分担された日本電気（株）の関係各位に深謝する次第である。

1. まえがき

インテルサットでは、増大する国際通信の需要に対応するため、直交偏波による周波数再利用方式などを導入したV号系衛星を1980年度から打上げを開始し、この衛星の追跡管制・監視・試験用地球局として、国際電信電話株がインテルサットから山口TTC&M/IOT局⁽¹⁾を受注、三菱電機(株)がアンテナ設備を製作納入した。

この地球局アンテナの仕様条件は極めて厳しい要素をもっており、標準A地球局⁽²⁾のG/T比などの諸特性に加え、だ(横)円偏波率0.2 dB以下、任意偏波・任意周波数での自動追尾、追尾周波数などの瞬時切換など局特有の性能・機能が要求された。これらの高性能を有するアンテナ装置の設計・製作のみならず、その性能を精度よく測定し、これを確認する測定技術及び測定装置の開発も必要であった。このため、高精度コリメーション装置、偏波基準アンテナ装置を準備し、横円偏波率測定のために位相振幅法⁽³⁾を開発し、衛星対向試験で正確に横円偏波率を測定する手法を確立した。

このアンテナ装置は運用・保守の便を図るとともに、超広帯域にわたり良好な特性を得るために、集束ビーム給電カセグレンアンテナ形式を採用し、コルゲートホーンを特殊設計し任意偏波追尾を可能とするとともに、機械的設計でも全面的にバイオ構造を採用し、防じよう(錆)・保全効果の向上を行った。以下にその主要な特性などを述べる。

2. 装置の概要

このアンテナ装置は、TTC&M/IOT用地球局としての技術的要件を十分に満足するように設計している。特に、

(1) 左右両旋円偏波の同時送受信が可能で、横円偏波率が主ビームの0.2 dB落ちのビーム範囲内で0.2 dB以下、また主ビームの1 dB落ちのビーム範囲内で0.55 dB以下であること。

(2) 3,700 MHzから4,200 MHzの範囲の任意偏波の信号に対する自動追尾が可能であること。

(3) 送信帯においては、すべてのアンテナサイドローブのピークがCCIR(国際無線通信諮問委員会)勧告⁽⁴⁾を、また受信帯においては90%以上のピークがCCIR勧告を満足すること。

などの標準地球局よりも厳しい条件を満たし、更にインテルサット標準A地球局への転用も可能なように、G/T ≥ 40.7 dBも満たすように設計している。次に主な特徴を挙げる。

(a) 主・副反射鏡系に鏡面修整を施し、高能率とともに、主副反射鏡の周縁の照射レベルを十分低く抑えて、低雑音特性と良好な広角指向特性を得るように設計した。

(b) カセグレンアンテナの1次放射系として、広帯域にわたり軸対称・低サイドローブ特性と良好な交き偏波特性を得るために、コルゲートホーンと3枚の曲面鏡と1枚の平面鏡とで構成した4回反射形集束ビーム給電系を採用した。

(c) 地球局総合で0.2 dB以下の横円偏波率を満足するため、給電装置には、横円偏波率が0.1 dB以下の高性能偏波変換器を開発

し、これを採用した。

(d) 任意偏波で3.7~4.2 GHzの任意の周波数の信号に対して自動追尾を可能とするため、追尾用誤差信号としてTM₀₁とTE₀₁モードを用いる高次モード方式を採用した。

(e) 更に、Pre-set方式の自動位相調整機能を設け、任意周波数に対し、無調整で自動追尾ができるように設計した。

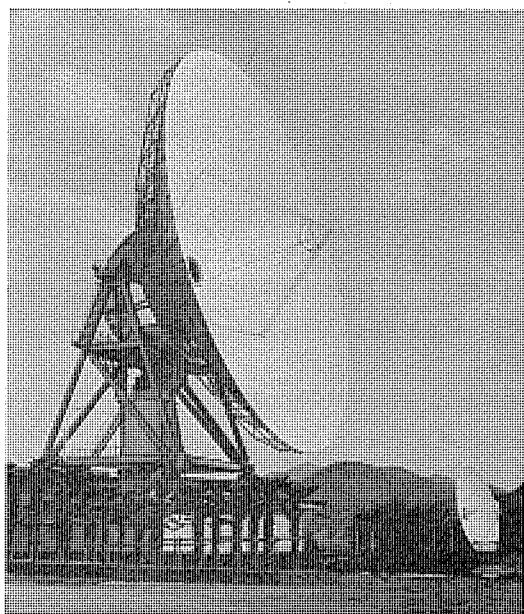


図1. 山口TTC&M/IOTアンテナ
(右下: 8m偏波基準アンテナ)

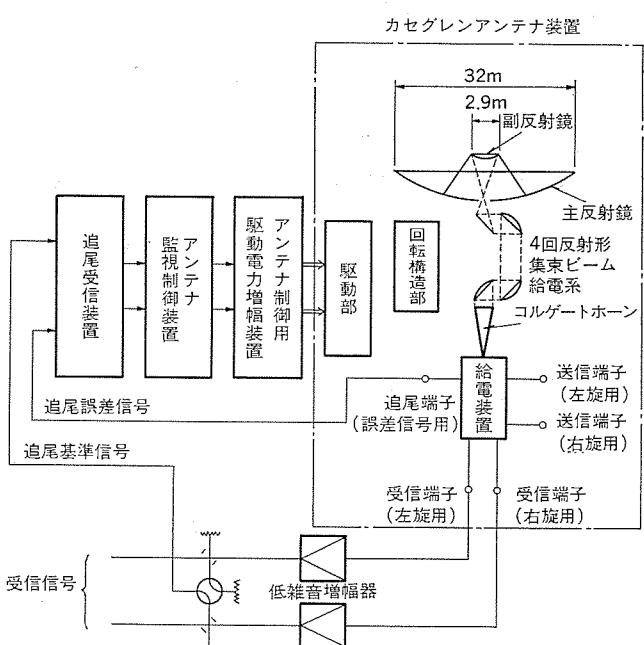


図2. 山口TTC&M/IOTアンテナ設備の構成

表 1. TTC&M/IOT アンテナの主要性能・諸元

1. 一般		3. 電気的性能 (実測値)		
		諸元	帯域	送信帯
アンテナ形式		4回反射集束ビーム給電カセグレンアンテナ		60.9 dB(3.7 GHz) $\eta=80.0\%$ (\times)
アンテナマウント		Az-EL形レール車輪方式		64.9 dB(5.925 GHz) $\eta=78.3\%$ (\times)
駆動		電気駆動, 全天指向		47.5 K(EL 5°)
偏波		左旋及び右旋円偏波		(給電損失 0.2 dB 含む)
使用周波数		送信	5.925~6.425 GHz	0.17 dB 以下
		受信	3.7~4.2 GHz	0.3 dB 以下
2. 機械構造・駆動系				
主反射鏡		直径 32 m, F/D=0.28	レザイドローブ	第 1 サイドローブ
		開口角 160°, 修整放物面	広角	CCIR REC 465-3 を満足
副反射鏡		直径 2.9 m, 修整双曲面		すべてのピーク 3.8 GHz 以下, 97%・ピーク
鏡面精度		主反射鏡 0.75 mm RMS (EL 5°)		3.8 GHz 以上, 100%・ピーク
		副反射鏡 0.086 mm RMS	VSWR	1.10 以下(90% 帯域内)
最大駆動速度		0.42°/s	直交分歧間波結合量	23 dB 以上
駆動角度範囲		Az ±270°, EL 0°~92°	送受間波結合量	50 dB 以上
耐風性		運用可能 22 m/s (平均)	ピーム一致度	0.002° 以下 (送受各 500 MHz 及び両偏波ビームの最悪値)
		格納時 70 m/s (瞬間)	追尾信号 Null Depth	50 dB 以上
(*) 送受信機を接続して測定した両偏波及び 500 MHz 帯域内の最悪値を示す。				

(f) アンテナ 総合で 0.2 dB という微少な楕円偏波率を精度よく測定するために位相振幅法を開発し、この測定法を採用した。

(g) アンテナ構造部材は、従来の H 形鋼や L 形部材に代え、同等以上のパイプ材を使用し、防錆・保全効果を上げた。

(h) 駆動減速機としては、従来の平歯車機構を廃し、同等の剛性とすれば小形となる遊星歯車機構を採用し、所要の機械共振周波数を実現した。

上記により設計製作したアンテナの外観を図 1. に、概略構成を図 2. に示す。アンテナは 32 m 直径の主反射鏡を有し、4 回反射集束

ビーム給電形式のカセグレンアンテナであり、マウントはレール車輪方式を採用した Az-EL 形マウントである。このアンテナの主要性能・諸元を表 1. に示す。

3. 装置の設計

主・副反射鏡及び 1 次放射系の設計は、利得・雑音温度とともに広角放射特性についても留意した。とくにコルゲートホーンは、自動追尾の点から、TM₀₁ モード以外に TE₀₁ モードも伝送可能とする必要がある。このため、コルゲートホーンの入力端内径を 109 mm とした。この

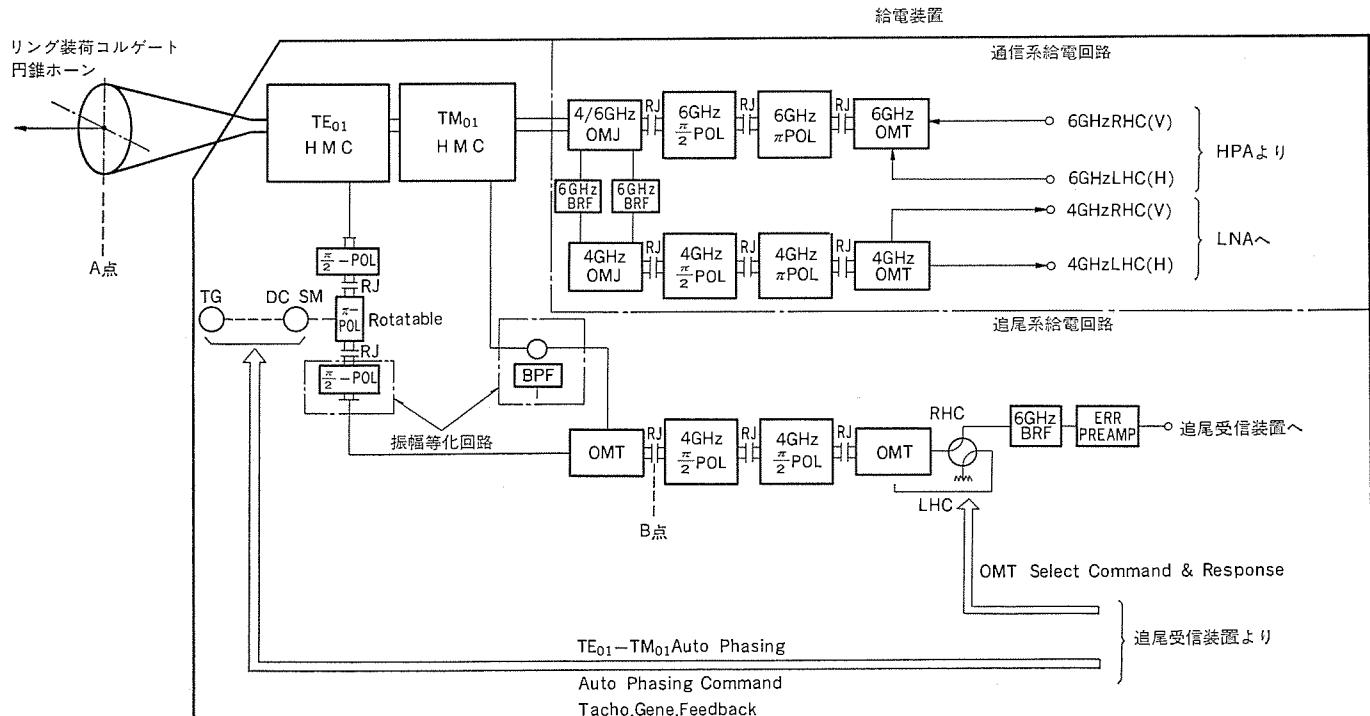


図 3. 給電装置の構成図

内径は送信帯に対して TE₀₂ モードまで伝送可能領域となるようなオーバーサイズであるが、コルゲートホーンと通常導波管との変換部分を リング装荷形⁽⁵⁾にするとともに、不要高次モード発生を極力抑える形状を選定することにより、送受信帯にわたって軸対称で低サイドローブ、かつ優れた交さ偏波特性をもつコルゲートホーンを開発した。

給電装置は、図3.に示すように、送信信号と受信信号の低損失分波と偏波変換を行う通信系給電回路と、追尾用誤差信号の分波を行なう追尾系給電回路から構成している。通信系給電回路はOMJ(Ortha Mode Junction)で送信と受信の信号を分波することにより、各々の信号に最適設計をした偏波変換器($\pi/2$ POL及び π POL)と偏分波器が使用できる構成としている。各構成部品は、損失、インピーダンス及び交き偏波特性に十分留意した設計としている。とくに $\pi/2$ POLは、アンテナの梢円偏波率を決定する主要部品であり、円形導波管に誘電体板を装荷した構造を採用し、送信帶用で0.06 dB以下、受信帶用で0.08 dB以下の梢円偏波率を得た。

追尾系給電回路は、 TM_{01} と TE_{01} モード結合器及びこの両モードの信号を合成する偏分波器から成る誤差信号検出器、及び偏波変換器、導波管切換器などから構成されている。誤差信号検出器には、 TM_{01} と TE_{01} モード間の位相を調整するための可変位相器と、両モード間の振幅を調整するための振幅等価回路を設けている。可変位相器は追尾受信装置の周波数選択スイッチと連動して自動的に Pre-set 位置に設定できる機能をもっている。振幅等価回路は、3.7~4.2 GHz にわたり両モード間の振幅（誤差感度）が一様になるように、事前に調整されている。導波管スイッチは、追尾信号の偏波選択用であり、追尾受信装置の偏波選択スイッチと連動する。

機械構造面からは、このアンテナに特に2つの取組みがなされている。

第1は、耐錆性向上のための鋼パイプ溶接構造の採用である。アンテナは、その形状からして自然風、回転駆動むらなどの外乱を受けやすい構造になっている。そのための必要条件として、剛性をあげかつ同時にイナーシャを下げる努力がなされている。この結果薄肉の構造部材が使われることになるが、連続運用が要求されるアンテナとしては、耐錆性の高いことが必要である。従来はH形鋼材、山形鋼材など開き断面の部材がA_z回転構造部、反射鏡部に使用されてきたが、今回大幅にそれらのパイプ鋼材への置換を行った。この置換は設計技術、加工技術の進展に裏づけられている。

第2は、 E_L 、 A_Z 駆動機構としてモータ軸に近い減速段に遊星歯車機構を採用したことである。遊星歯車は従来から減速機として通常の平行軸歯車減速機に比較し小形化できることはわかっていたが、等配機構など剛性値に寄与するメカニズムも機能し、所定の設計値を満足させる結果を得たので、採用に踏みきった。

これら 2 つの取組みは、山口衛星通信所第 2 アンテナ 設備のほか、海外の アンテナ 設備にも採用され、運用されている。

アンテナの駆動制御は、アンチバックラッシュ方式を用いたサイリスタレオナード電気駆動方式であり、駆動角速度は0.4°/s以上、角加速度は0.4°/s²以上とし、遷移軌道上の衛星を高精度で追尾できる性能とした。また制御モードは、自動追尾、プログラム追尾、手動位置制御及び手動速度制御の4つを設け、TTC&M/IOT作業におけるスムーズなアンテナ制御を可能にした。

自動追尾は、図4.に示すように、給電装置で検出した基準信号と誤差信号を追尾受信装置で位相振幅比較して、 A_z と E_L 方向のアンテナ指向誤差電圧を作成する2チャネル追尾方式を採用し、追尾用信号が、任意に変調されても自動追尾が可能とした。更に、次のような設計により任意偏波・任意周波数に対する自動追尾を実現

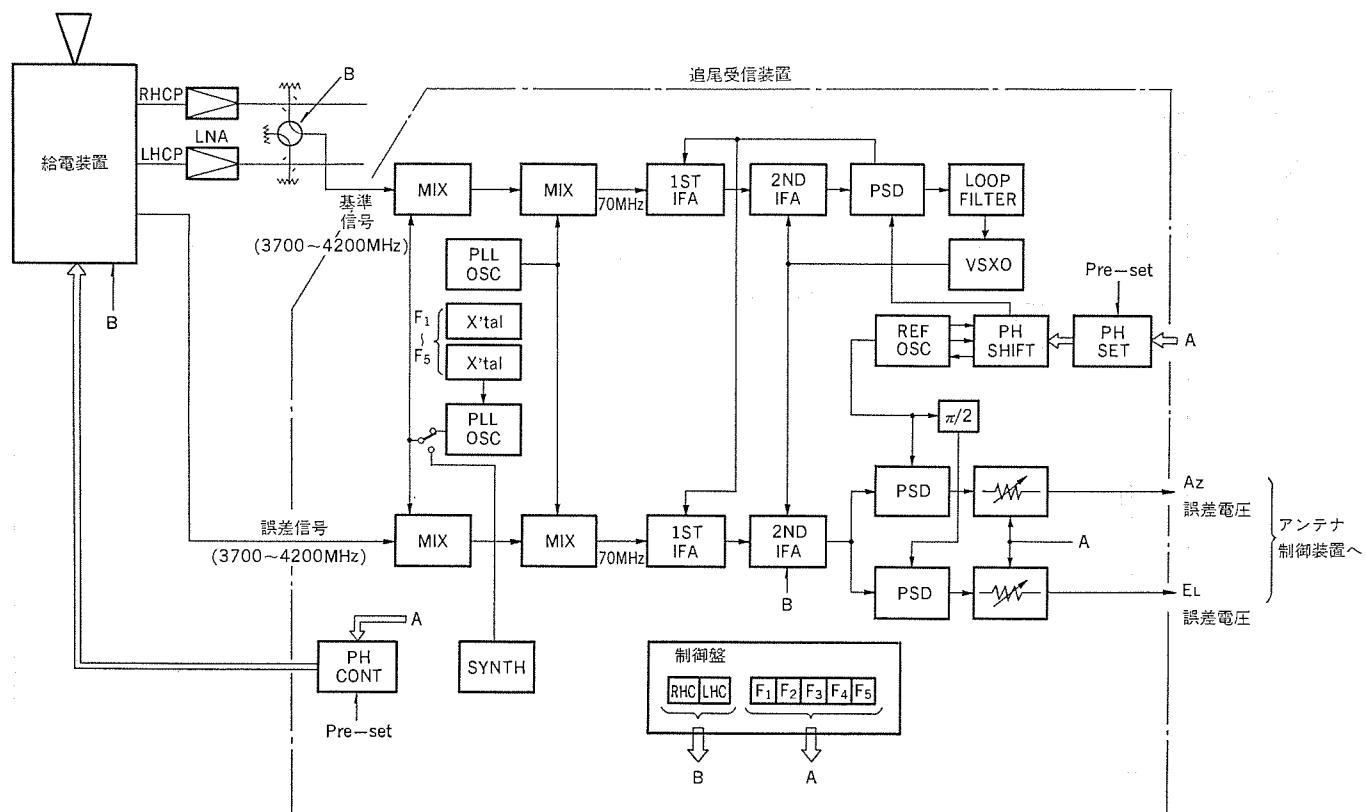


図 4. 自動追尾の系統図

した⁽⁶⁾。

- (1) 図3の構成の給電装置のA点とB点間の TM_{01} と TE_{01} モード信号の電気長を等しく調整し、各モードの追尾誤差感度も等しく調整することにより、追尾受信装置出力として表2に示す偏波に影響されない A_Z と E_L 用の誤差電圧を得る。
- (2) この電気長の調整は給電装置内の可変位相器を、また基準信号と誤差信号間の位相調整は追尾受信装置内のデジタル位相器をPre-set位置に設定する。
- (3) 基準信号と誤差信号間の振幅は、給電装置及びブリアンプの周波数特性が極力小さい設計とともに、追尾受信機内に誤差感度微調のPre-set回路を設け、これにより調整する。
- (4) これらのPre-set位置への設定は追尾受信装置の周波数選択スイッチと連動させることにより、周波数の変更や偏波の変更に対し瞬時に対応できる自動追尾系とした。

地球局総合の梢円偏波率が0.2 dBという要求は、装置の設計とと

表2. 自動追尾用信号の誤差電圧と損失

使用信号出力端子	正規化誤差電圧 (V/V)		信号の損失		備考
	基準信号	誤差信号	A_Z 用 (同相成分)	E_L 用 (直交成分)	
① 右旋端子	$G_d \cdot \frac{D}{\lambda} \cdot k \cdot \theta \cos \phi$	$G_d \cdot \frac{D}{\lambda} \cdot k \cdot \theta \sin \phi$	$\frac{1+R}{\sqrt{2(1+R^2)}}$	$\frac{1+R}{k \sqrt{2(1+R^2)}}$	右旋及び直線偏波のビーコン時に使用
② 左旋端子	$G_d \cdot \frac{2d}{\lambda} \cdot k \cdot \theta \cos \phi$	$-G_d \cdot \frac{2d}{\lambda} \cdot k \cdot \theta \sin \phi$	$\frac{1-R}{\sqrt{2(1+R^2)}}$	$\frac{1-R}{k \sqrt{2(1+R^2)}}$	左旋偏波のビーコン時に使用

G_d : 基準信号のアンテナ利得

D : アンテナ直径

G_d : 誤差信号のアンテナ利得

λ : 波長

k : 給電系の損失

R : ビーコン波の梢円偏波率

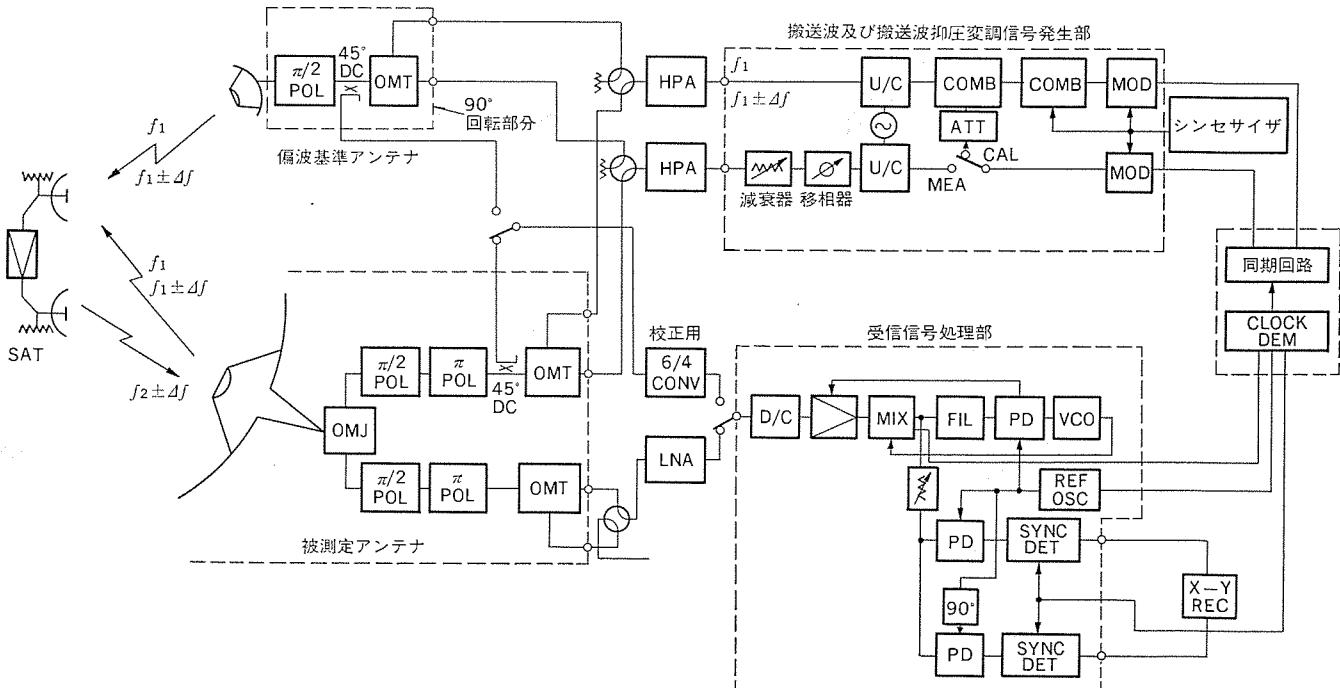
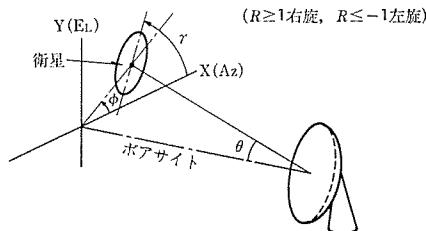


図5. 送信帯梢円偏波率測定系統図 (位相振幅法)

もに、この値が実現されていることを確認する精度のよい測定技術及び測定装置を必要とした。従来、地球局アンテナの梢円偏波率の測定は、信号源として衛星を用いる直接法(Direct Isolation Method)⁽⁷⁾が広く用いられている。この方法は、地球局アンテナの偏波特性が、実際の運用角度状態で、かつfar-fieldで比較的容易に測定できる利点がある。しかし、衛星を用いる直接法は、地球局アンテナの偏波特性と衛星の偏波特性のベクトル和が測定される。現在打上げられている良好な偏波の衛星でも梢円偏波率が0.3 dB程度であるので、直接法は TTC&M/IOTアンテナの場合には使用できない。このため、梢円偏波率が0.12 dB以下でかつ偏波の長軸面が回転できるコリメーション装置を準備し、上述直接法の精度を高めた測定を行うとともに、地球局アンテナ偏波特性が衛星対向で精度よく測定できる位相振幅法を開発した。この測定法を用いて TTC&M/IOTアンテナの梢円偏波率を測定するため、直径8 mの偏波基準アンテナ、低雜音パラメトリック増幅装置、位相振幅検出受信装置並びに搬送波抑圧変調信号発生装置などを準備した。

位相振幅法は、衛星と地球局アンテナの偏波特性の和の値をベクトル(位相と振幅)で測定するとともに、偏波の長軸面を回転できる偏波基準アンテナを用いて衛星の偏波特性もベクトルで測定し、2つのベクトル差を計算することにより地球局の偏波特性を測定する方法である。図5.は、送信帯の位相振幅法による梢円偏波率測定の系統図である。

4. アンテナの実測性能

以上の考えのもとに、設計製作したアンテナ設備の主要な実測性能を述べる。図6.は、電波星を用いラジオメータで測定したアンテナ利得を示す。測定精度を高めるとともに、電波星を用いた利得測定の諸定数の検討のために、測定は CasA, TauA 及び CygA の各々について低仰角から高仰角にわ

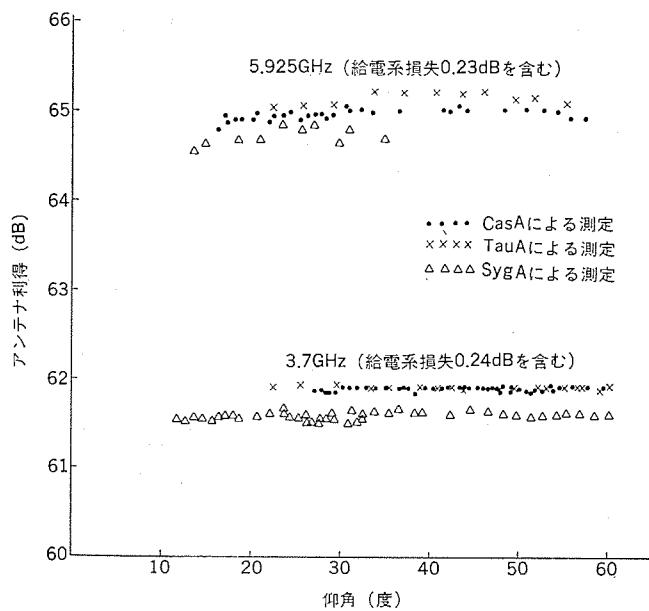
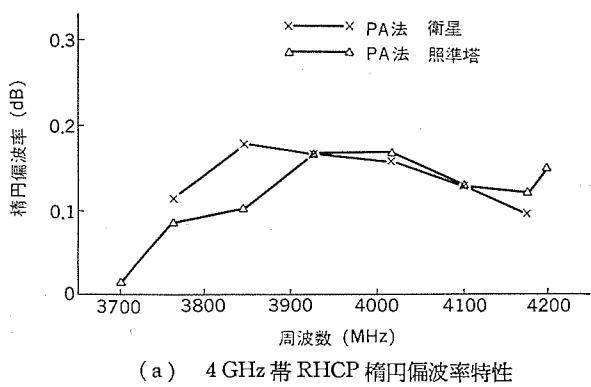


図 6. アンテナの利得 (実測値)



(a) 4 GHz 带 RHCP 楕円偏波率特性

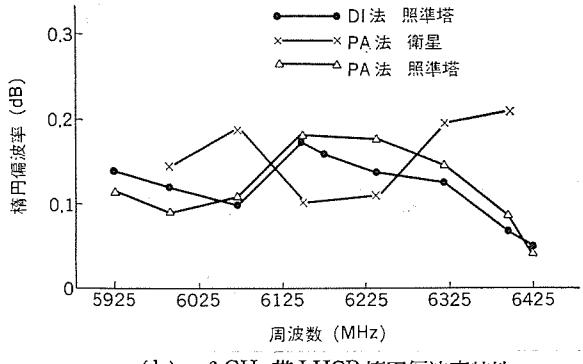


図 7. 地球局総合椭円偏波率特性の実測値
(PA 法: 振幅位相法, DI 法: 直接法)

たり測定回数を多く実施した。図 6. の利得は、電波星定数として CCIR Rep. 390-3 を使用、CasA の広がり補正是 B 曲線によった。

アンテナの主要性能測定結果として、給電装置の損失を含む利得が 3.7 GHz で 60.9 dB, 5.925 GHz で 64.9 dB, ホーン開口からみた開口能率は 80% 以上, $5^\circ E_L$ での給電装置を含む雑音温度が 47.5 K, アンテナサイドーブは送信帯ではすべてのピーク値が、受信帯では 97% 以上のピークが CCIR 勧告を満足する。 $5^\circ E_L$ での主反射鏡鏡面精度が 0.75 mm RMS などの値を得ている。

図 7. は、アンテナに送受信装置を接続した状態での地球局総合の

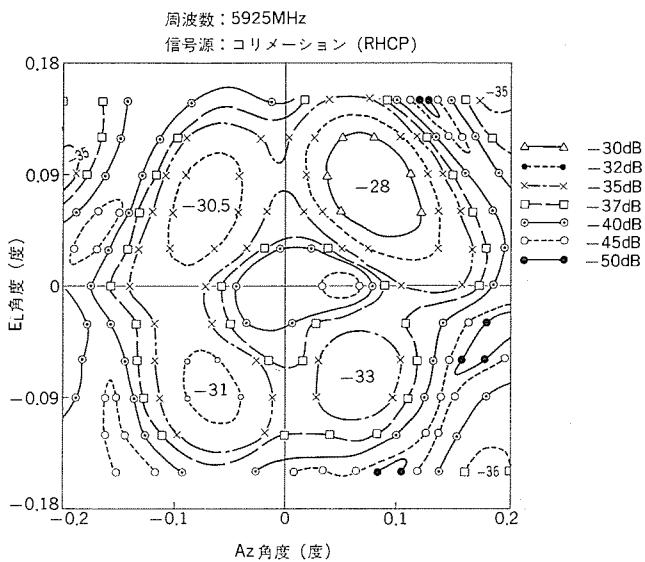


図 8. アンテナ交さ偏波特性 (実測値)

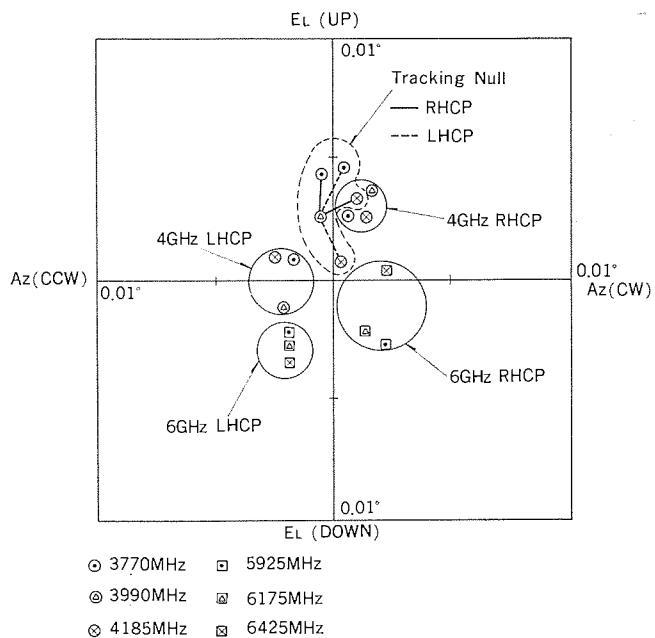


図 9. 送信・受信ビーム一致度及び追尾 ヌルシフト特性
(コリメーションを用いた実測値)

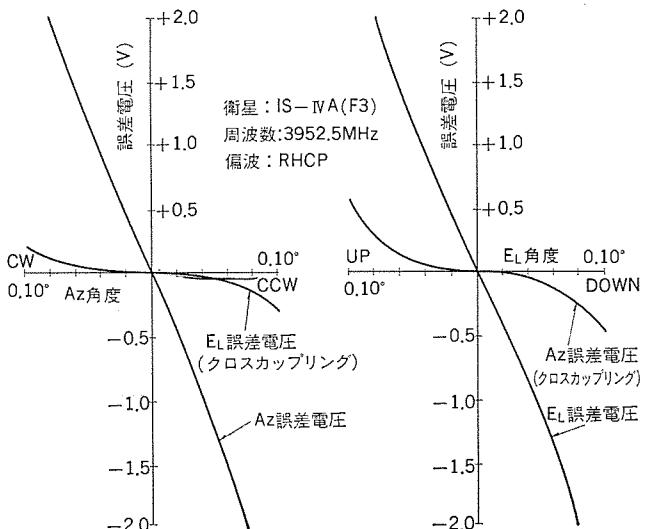


図 10. 誤差電圧と クロスカップリング

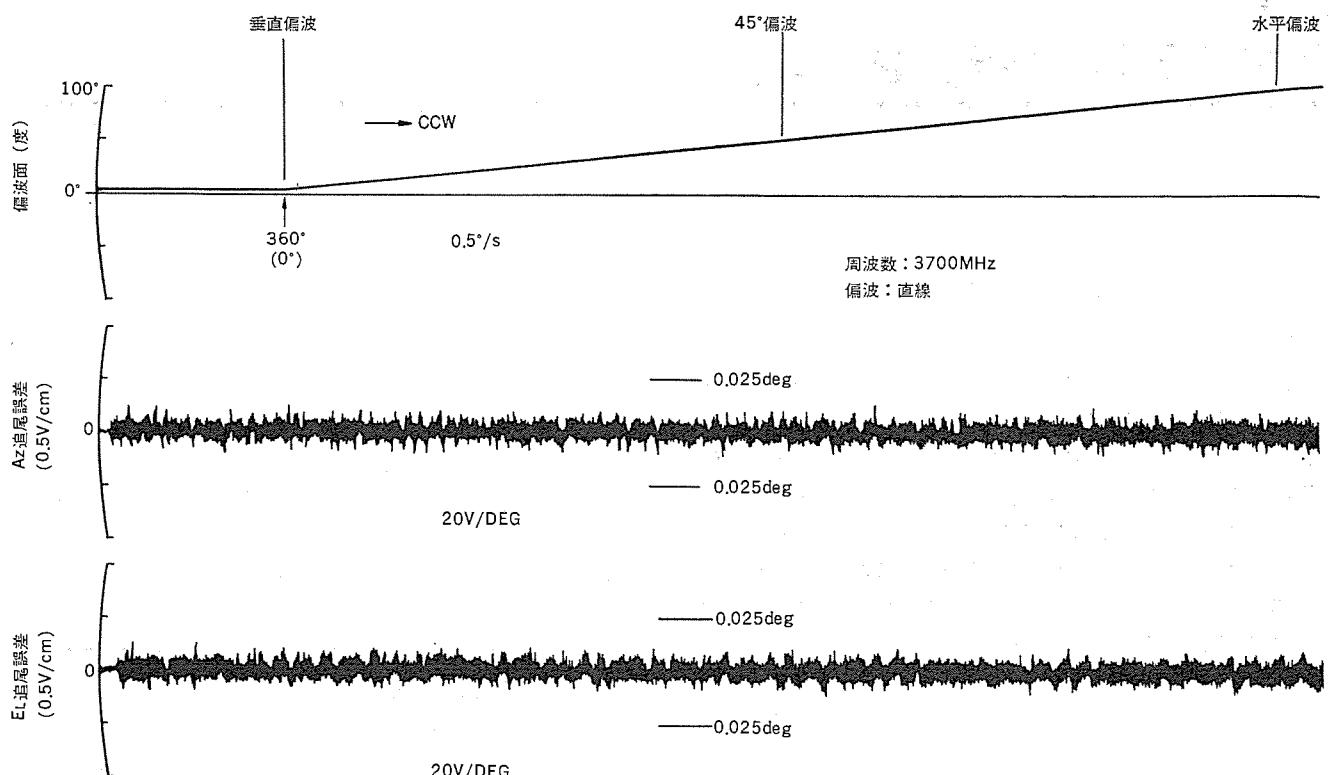


図 11. 直線偏波の偏波面変化に対する自動追尾特性

橿円偏波率の実測値を示す。橿円偏波率の測定は、衛星及びコリメーションを用いた位相振幅法と、コリメーションを用いた直接法（ただし、コリメーションの偏波特性は補正している）により行い、いずれも 0.2 dB 以下の値を得た。図 8. は、コリメーションを用いて測定したアンテナの交さ偏波特性を示す。図 7. と図 8. は、このアンテナが正面方向では 0.2 dB 以下の橿円偏波率を有するとともに、正面以外の領域においても優れた交さ偏波レベルであることを示す。送受信の左右橿円偏波の 4 つのビーム一致度、及び追尾 ルシフトの実測値を図 9. に示す。4 つのビームは 0.004° 以内に一致しており、追尾 ル点も上記 4 つのビームと良い一致度を示している。

衛星のビーコン波を受信して測定したアンテナ追尾系の誤差電圧とクロスカッピングを図 10. に示す。また、任意偏波に対する自動追尾の確認のために、コリメーションから直線偏波を放射し、この偏波面を垂直偏波から水平偏波まで連続変化したときの自動追尾の誤差電圧を測定した。図 11. はこの結果であり、偏波の変動に対し良好な自動追尾性能をもつことが確認できた。その他、アンテナの性能実測結果は表 1. に示している。

5. む す び

インテルサット V 号系衛星用 TTC&M/IOT 局アンテナとして厳しい要求条件を満たし、特に、6/4 GHz 帯各 500 MHz 帯域にわたり橿円偏波率 0.2 dB 以下の特性を実現し、追跡管制・監視・試験に必要な諸機能を満たしたアンテナ装置を完成した。このアンテナ装置は昭和 54 年 10 月末に国際電信電話（株）の検収試験に合格、同年 11 月 インテル

サットの受領検査を経て、昭和 55 年 1 月より TTC & M/IOT 局として運用開始された。

このアンテナ装置の開発・設計製作にあたって、有益な御意見、御指導をいたいた国際電信電話（株）宮副社長殿、織間元伝送施設部長殿に深甚の謝意を表す。また、この装置の設計・製作・すえ（据）付・調整にあたり、御討論、御甚力いたいた国際電信電話（株）殿の関係各位に深謝する次第である。

参 考 文 献

- 佐藤ほか：山口 TTC&M/IOT 用地球局の建設、国際通信の研究、No. 104, P. 107~162 (昭 55-4)
- 竹内ほか：インテルサット V 号系用地球局 アンテナ 三菱電機技報、52, No. 6, P. 466 (昭 53)
- 佐藤ほか：地球局 アンテナ 偏波特性の高精度測定方法、電子通信学会 アンテナ、伝播研究会資料、AP. 79-25 (昭 53)
- CCIR Rec. 465-1, Vol. IV, Kyoto (1978)
- F. Takeda and T. Hashimoto : Broading of Corrugated Conical Horns by means of the Ring-Loaded Corrugated Waveguide Structure, IEEE Trans., Vol. AP-24, No. 6 (1976-11)
- F. Makita et al. : AUTO-TRACKING OF TTC & M/IOT ANTENNA, IAF '80, IAF-80-D-163 (1980-9)
- Intelsat "2 nd EARTH STATION TECHNOLOGY SEMINAR" ESS-2-4 A/10/77, PP. 2~8, (Athens), (1977)

山口衛星通信所第2アンテナ

遠藤 静夫*・松中直人*・石井康一**・青木克比古**・岡田東亞**

1. まえがき

国際電信電話(株)は、山口衛星通信所に、昭和56年度中にインド洋上に打上げが予定されているインテルサットV号衛星にアクセスするための標準地球局Aを建設し、昭和55年10月からインテルサットIV-A衛星を対象に運用を開始している。この地球局施設(山口衛星通信所第2施設)⁽¹⁾のうち、アンテナ設備の設計製作を三菱電機(株)が担当したが、この設備には、国際電信電話(株)の衛星通信分野において培われてきた技術、運用経験及び三菱電機(株)がこの分野で培ってきた優れた設計製作技術を基に、衛星通信分野における将来動向を勘案した漸新な技術が織り込まれている⁽²⁾。

以下に、このアンテナの設計に当たっての基本的考え方、その設備の特徴及び技術的問題がいかに解決されたかについて述べる。

2. 設計の基本方針

このアンテナに対する基本的要件は、①低仰角運用(山口衛星通信所の場合の運用仰角は9°以下である)において生じるシンチレーションなどによる電波の減衰への対処、②インテルサットV号系衛星で採用される直交2偏波運用への対処、③静止衛星軌道の利用効率を高めるためのサイドローブレベルの低減、④将来予想される広帯域化、⑤耐風性の向上、⑥追尾、制御系の高信頼度化、などである。これを具体化するために以下の基本的考え方を採った。

(1) 低運用仰角において十分高いG/T比(41 dB/K以上)を確保し、かつ異方性減衰による交差偏波識別度の劣化を補償するための干渉波相殺回路増設時においても、十分な実効放射電力を確保できるような高い送信利得(65 dB以上)を確保するために主反射鏡直径を34 mとする。

(2) 低仰角において直交2偏波運用を可能とするために、アンテナ

軸比を1.035(だ円偏波率0.3 dB)以下とするとともに、降雨時の交差偏波識別度の劣化の補償を行うようにする。

(3) 正偏波のみならず交差偏波においても送受信周波数帯におけるサイドローブレベルがCCIR(国際無線通信諮問委員会)勧告値を満足するようにする。

(4) 将来の衛星システムにおける周波数拡張を考慮し、1次放射器系(集束ビーム給電系を含む)を含む放射系を可能な限り広帯域化した設計とする。

(5) 運用可能風速を高くし、強風時に格納位置(天頂)に指向す

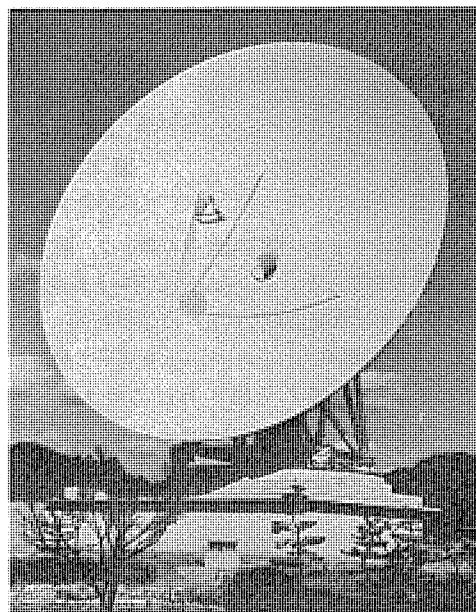


図1. 山口衛星通信所第2アンテナ

表1. 山口衛星通信所第2アンテナ主要性能諸元

1. 一般		3. 電気的性能		
アンテナ形式	4回反射集束ビーム給電カセグレンアンテナ	諸元	帯域	送信帯
マウント形式	Az-E _L マウント(Azはレール車輪方式)	利得	65.6 dB(6 GHz)	61.9 dB(4 GHz)
駆動方式	サイリスタ制御直流電動機によるアンチパックラッシュ駆動	(給電装置損失を含む)	—	50 K以下(E _L 5°)
追尾方式	高次モード駆出自己追尾、プログラム追尾	雑音温度	—	42.1 dB(4 GHz)
偏波	左旋及び右旋円偏波(送受共)	(給電装置損失を含む)	—	—
使用周波数	送信: 5.925~6.425 GHz 受信: 3.7~4.2 GHz	G/T(E _L 5°)	—	—
		総合だ円偏波率	0.25 dB以下	0.28 dB以下
		・自己追尾時	0.43 dB以下	0.46 dB以下
		・-1 dB範囲内	—	—
2. 機械構造、駆動系		サイドローブレベル	-14.9 dB以下	-15.8 dB以下
主反射鏡	直径34 m, F/D=0.26, 修整放物面	・第1サイドローブレベル	CCIR REC 465-3を満足	CCIR REC 465-3を満足
副反射鏡	直径2.9 m, 修整双曲面	・広角指向特性	(正偏波・交差偏波とも)	(正偏波・交差偏波とも)
鏡面精度	主反射鏡 0.52 mm RMS(E _L 9°) 副反射鏡 0.05 mm RMS	耐電力	(すべてのビーカー)	(90%ビーカー)
最大駆動速度	0.3°/s以上(A _z , E _L とも)	・単一偏波各10 kW以上	—	—
駆動角度範囲	A _z : ±180° E _L : 0.5°~90°	・直交2偏波両ポートの総電力 16 kW以上	—	—
角度検出精度	±0.0045°			
耐風性	自己追尾可能 平均23 m/s 固定運用可能 時間53 m/s 格納時非破壊 時間70 m/s			
回転部分総重量	約430 t			

ることによって生じる回線断時間の短縮を図る。このため、瞬間風速 53 m/s まで運用可能とするよう十分な剛性を有する構造を(1)の直径大形化と合わせて実現する。

(6) 追尾制御系は運用の便を考慮するとともに、運用か(稼)働率を高めるために、重要な部分を冗長構成とし、かつ異常の早期発見により、アンテナの指向方向がずれるのを未然に防ぎ、回線断を防止する機能を備える。

3. 設備の主要性能諸元

図 1. にこのアンテナの外観を、また表 1. にその主要性能諸元を示す。

4. 技術的問題点とその解決

4.1 主反射鏡大形化と耐風性向上の両立

機械構造設計は山口 TTC&M/IOT アンテナ⁽³⁾の設計を基本としたが、大形化にともなう鏡面精度の劣化を防ぐことと風荷重の増大に対処すると同時に運用可能風速の向上に対して、十分の指向精度を保つために必要な剛性を有するように設計した。

まず、主反射鏡中心リング構造の継手効率を向上させるとともに、主反射鏡背骨構造部材の断面積を大きくして、主反射鏡鏡面精度の重力変形による劣化を小さくした。これに加えて、運用仰角である仰角 10 度以下で最良の鏡面精度となるように鏡面設定を行うことによって、使用周波数帯における利得劣化がほとんど無視できる、0.52 mm RMS という鏡面精度を実現し、80% 以上の開口能率を得た。

回転構造部についても、重量配分の適正化を考慮しつつ継手形状の剛性化と部材断面積を増加させ、全体の剛性を高めて所要の指向精度を得る設計を行った結果、重量は全体で 430 トン（直径 32 m の標準 A 局アンテナの 60% 増）となったにもかかわらず、固有振動数は 2.5 Hz 以上を満足することができ、このアンテナの剛性の高さが実証された。更に、荷重の集中するレール部分については、レール面の硬度を上げるとともに、コンクリート部への荷重分散のよい特殊レールを採用した。

4.2 低仰角における直交 2 偏波運用

山口 TTC&M/IOT アンテナと同様な高性能の 90° と 180° 移相器からなる偏波変換器を送受信帯それぞれ専用に設ける給電装置構成により、給電装置単体としての軸比として、6/4 GHz 帯にてそれぞれ 0.13 dB 以下及び 0.14 dB 以下を得た。更に、交差偏波特性の優れたコルゲートホーンと集束ビーム給電系の構成により、アンテナ全体としても自己追尾精度範囲内の軸比がそれぞれ 0.25 dB 及び 0.28 dB を得た。このようなアンテナ本体の良好な軸比により降雨時において

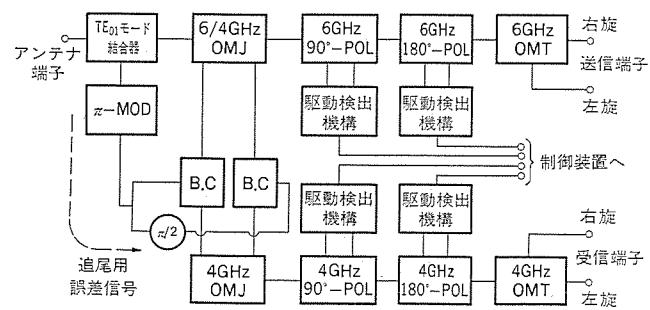


図 2. 給電装置系統図

も上記の偏波変換器を制御する交差偏波補償装置を導入⁽⁴⁾することによって交差偏波識別度を良好に保ち、インテルサット V 号系以降の低仰角における直交偏波運用を可能にした。

更に図 2. に示すように、追尾用誤差信号を位相変調したのち、偏波変換器前の OMJ 部に設けたビーコン重畳器 (BC) にて追尾用基準信号と重畳し、交差偏波補償時の偏波変換器制御によって、追尾用基準信号と誤差信号との間に位相差の生じない構成とした。これによって、交差偏波補償動作の有無に関係なく安定な自己追尾ができるようにした⁽⁵⁾。

4.3 交差偏波における広角放射特性の改善⁽⁶⁾

通常のカセグレン形式のアンテナでは、副反射鏡支柱による散乱波によって特定方向の交差偏波成分の放射レベルが高まり現行の正偏波に対する CCIR 勘告値 ($32 - 25 \log \theta$ dB : $1^\circ \leq \theta \leq 48^\circ$, -10 dB : $\theta > 48^\circ$) を満足できなかった（図 3.）。この交差偏波広角放射特性を満足させるために、その散乱波をビーム中心に近い方向に向け、特定方向への集中を避けるため、図 4. に示すような 2 段ひれ副反射鏡支柱を採用した。その結果、図 5. に示すように 6 GHz 帯全偏波全方向で CCIR 勘告値を満足する良好な広角放射特性を実現することができた。また、4 GHz 帯においてもサイドローブビームの 90% 値で同勘告値を満たすことができた。

4.4 将来のための周波数帯域の拡張

衛星通信の伝送容量を増大させるため、1979 年世界無線通信主管庁会議にて、現在使用されている 6/4 GHz 帯各 500 MHz を拡張し

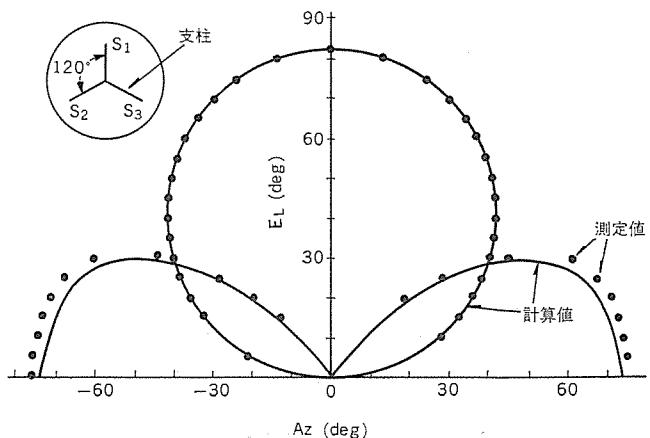


図 3. 副反射鏡支柱による散乱波の放射方向

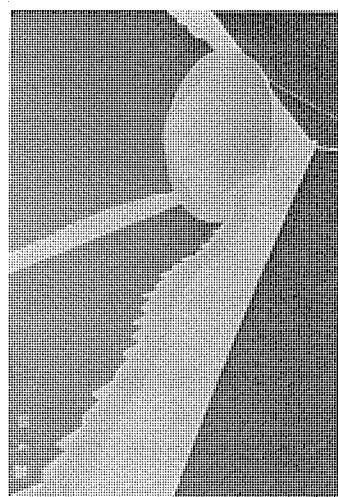
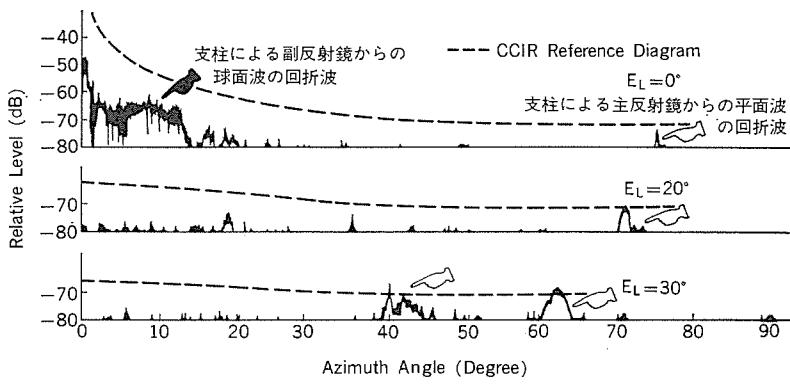
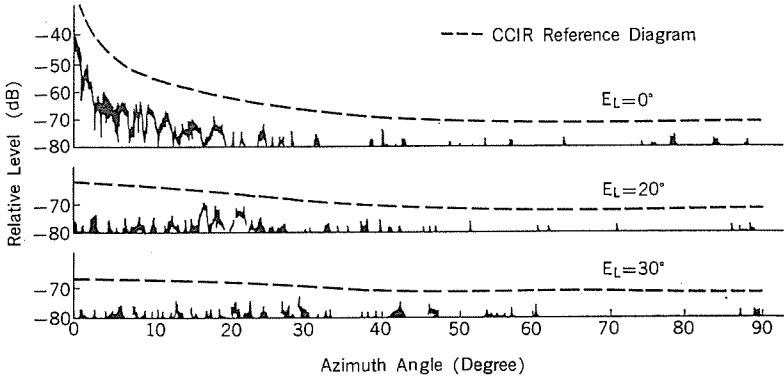


図 4. 2 段ひれ付副反射鏡支柱



(a) 従来形支柱による広角放射特性(交差偏波成分)



(b) 改良形支柱による広角放射特性(交差偏波成分)

図 5. 広角放射特性の改善

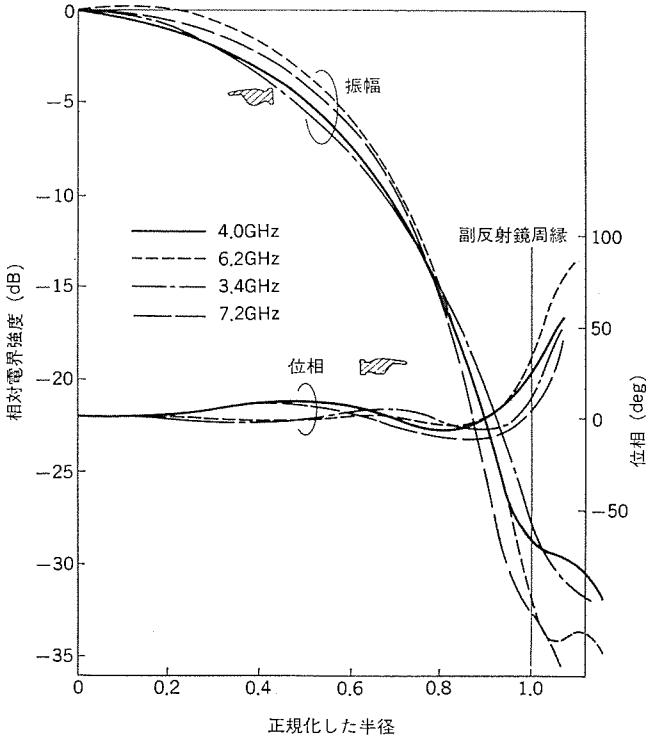


図 6. 副反射鏡位置における1次放射パターン

た新しい周波数帯域が固定衛星業務に割当てられた。このアンテナでは、この周波数帯域の拡張を考慮し、1次放射器として用いるコルゲートホーンと集束ビーム給電を行う4枚の反射板の構成に広帯域設計を取り入れた結果、リング装荷コルゲートホーンと広帯域集束ビーム給電

系構成によって、3.4~7.1 GHzというオクターブバンドを越える広帯域において図 6. に示すような良好な1次放射パターンを得ることができた。これによって、今後の給電装置の広帯域化の開発により、周波数帯域拡張の見通しが期待できることとなった。

4.5 高い運用稼働率の確保

衛星通信が国際通信の主流となった現状では、サービスの高信頼性は欠くことのできないものであり、このアンテナは稼働率 99.998% を目標としている。このために、自己追尾装置、アンテナ制御増幅装置、角度装置などを冗長構成として、MTTR(平均修理時間)を小さくすると同時に、対象が静止軌道衛星であることを活用して、アンテナの駆動制御系の異常を検出し、回線断を生じる前にアンテナ駆動を停止する機能を備えた。異常の検出は、駆動速度及び角度誤差に対して行っている。また、追尾手段として自己追尾のほかにプログラム追尾機能を有し、駆動系の補助手段として各軸に低速駆動可能な補助駆動モータを備えるなど稼働率向上のためのバックアップ機能を備えている。4.1節に述べた運用可能風速の向上もこの稼働率向上を目的としたものである。更に、積雪による運用停止あるいは回線品質の劣化を防ぐために、主反射鏡鏡面などに電熱ヒータによる融雪装置を設けた。

5. むすび

このアンテナは昭和 55 年 8 月完成後、インド洋衛星を対象として運用に供せられている。このアンテナの設計に当たっては本文に述べたようにいくつかの解決すべき技術上の問題点があったが、現地すえ(据)付後の諸性能の測定の結果、所期の性能を満足するものであることが確認された。衛星通信技術がますます高度化しつつある現状において、これらの問題点解決によって得られた技術が衛星通信の将来への発展にわずかでも寄与することができれば幸いである。

このアンテナの開発・設計製作に当たって、有益な御意見・御指導をいただいたい国際電信電話(株)織間・池田両元伝送施設部長殿に深謝する。また、この設備の設計・製作・据付・調整にあたり、御討論・御尽力いただいたい国際電信電話(株)の関係各位に深謝する次第である。

参考文献

- 佐藤・遠藤ほか：インテルサットV号用山口地球局の概要、電子通信学会全国大会（昭 56）
- 遠藤・石井ほか：インテルサットV号用地球局アンテナの構成とその放射特性、電子通信学会全国大会（昭 56）
- 佐藤・藤本・大沢ほか：山口 TTC&M/IOT 用地球局アンテナ、三菱電機技報、55, No. 12 (昭 56)
- 遠藤・武田ほか：インテルサットV号用地球局の交さ偏波補償装置、電子通信学会全国大会（昭 56）
- 遠藤・吉川ほか：直交偏波共用型地球局アンテナの給電装置、電子通信学会全国大会（昭 56）
- 佐藤・別段ほか：二段ひれ付支柱の採用による地球局アンテナ放射特性の改善、電子通信学会全国大会（昭 56）

衛星通信地球局用送信機の切換え及び出力安定化装置

入江 浩一*・佐竹 正章**・大場 達博**

1. まえがき

衛星通信地球局用の送信機 (HPA) システムは従来、現用予備機各 1 台ずつのいわゆる 1:1 冗長構成が標準であったが、近年、直交偏波方式の採用、各地球局における送信搬送波の増加、将来の搬送波増設に備えた現用送信機の準備、更に予備機の数の削減による省電力化及び省コスト化などの観点から、インテルサット標準 A 局などにおいて、現用機を 2~5 台と共通予備機を 1 台備えた、いわゆる 1:N 冗長構成を採用するケースが増えている。

この 1:N 冗長構成では、どの現用機が故障しても共通予備機がバックアップできるよう、同軸又は導波管切換スイッチなどでシステム RF 切換回路を構成し、送信機切換制御装置が各 HPA の状態に応じてこれら切換スイッチを自動的に制御している。当社は、1:N 冗長構成の場合、各送信経路間にその重要性の度合に応じた優先度を割当てることにより、HPA の多重故障の際に、重要性の高い搬送波を優先して送信できることに注目し、この各送信経路間の優先度指定を可変とすることにより、実用上はん用性に富む送信機切換制御装置をマイクロプロセッサを用いて実現した。

更にこのような優先切換制御の場合、搬送波が特定の HPA にて送信されないため、各 HPA 間の利得周波数特性の差、及び搬送波の通過するシステム RF 切換回路の経路間損失の差により、HPA の

切換後、地球局より衛星に向けて放射される送信電力 (EIRP) が大幅に変動し、衛星回線に悪影響を及ぼすおそれがあった。当社は、この送信出力の変動をフィードバック制御を用いて解決し、更に HPA 切換直後の送信出力の過渡変動をも防止した送信出力安定化装置を製作した。ここに両装置の概要について報告する。

2. 送信機切換制御装置

2.1 1:N 冗長構成 HPA システム

1:N 冗長構成の 1 例として、当社がサウジアラビアに納入した 1:4 冗長構成の HPA システムのブロック図を図 1. に示す (図 2. はその外観である)。各 HPA には、6 GHz 帯にて飽和出力 3 kW、空冷形の進行波管 (TWT) を使用している。HPA-1~4 は現用機、HPA-5 は共通予備機、S1~5 は各 HPA 保守用の導波管スイッチ、S6~15 は現用予備切換用の導波管スイッチ、S14~15 は電力合成器である。周波数変換装置から HPA システムに至る経路 A~D には、通常搬送波 1~2 波が割当てられる。これら HPA はアンテナ局舎に収納されているが、約 200 m 離れた中央局舎より各 HPA 単体、送信機切換え、及び送信出力の遠隔監視制御が可能である。また、HPA の主冷却用送風機を別室にすえ (据) 付けるなど、サウジアラビアの気候条件、送風機の騒音軽減、局舎内エアコンの熱負荷軽減などを考慮した冷却システムとしている。

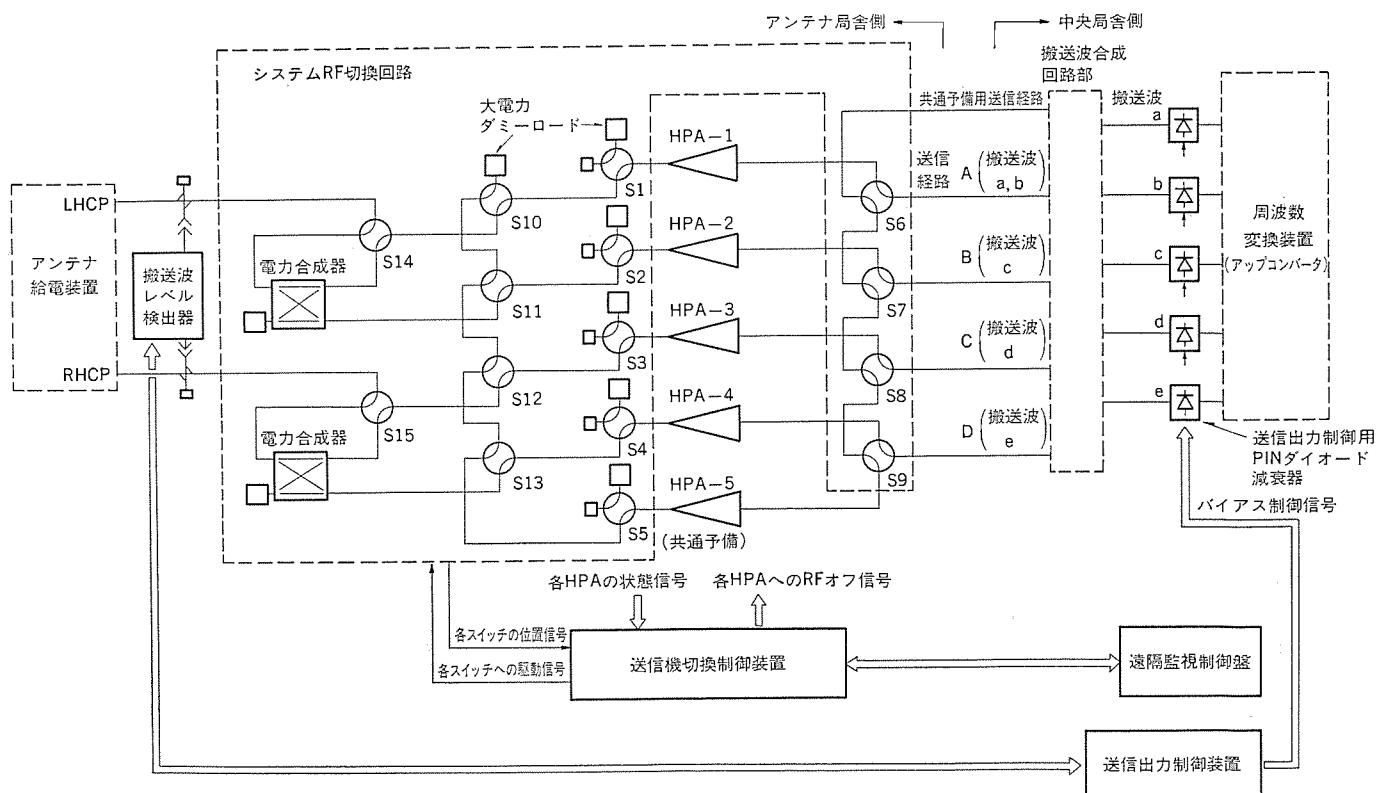


図 1. 1:4 冗長構成 HPA システムのブロック図

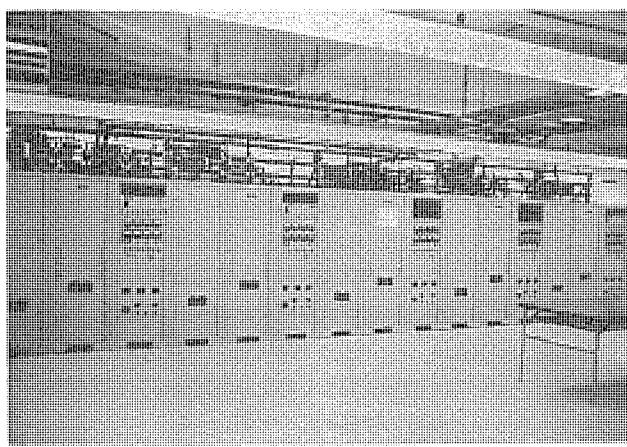


図 2. 1:4冗長構成 HPA システム

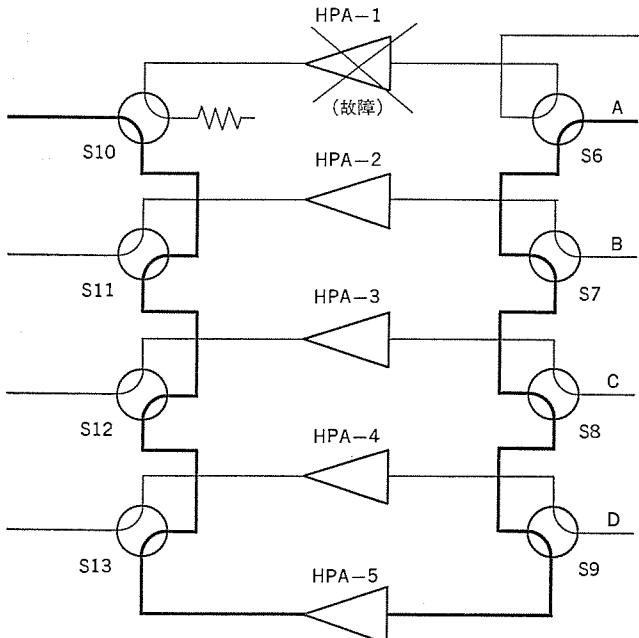


図 3. HPA-1 故障時の HPA-5 による バックアップ

2.2 1:N冗長システムの優先切換え

1:N冗長構成での送信機の切換制御は、基本的にはN台の現用機の中の1台が故障した場合、共通予備機がこれに代わり送信を継続するようバックアップ動作を行う。これは当該故障HPAの入出力切換スイッチを同時に切換えることにより実施される(図3.にその1例を示す)。ところが、現実には下記のようなケースも想定され、衛星回線の高い稼働率要求(通常99.9%以上)を満足するには上記のような単純な切換制御では不十分である。

- (1) 共通予備機の故障
- (2) 現用機2台以上の多重故障
- (3) 現用及び共通予備機の多重故障

このようなケースに対する最適解は、現用機1台に予備機1台を備えた1:1冗長構成を採ることであるが、送信搬送波が多い場合には予備機の数も多くなり、また近年送信機の信頼性が向上している点から見ても実際的でない。図1.に示す1:4冗長構成に注目すると、図4.に示すように各送信経路(搬送波1~2波が通る)A~Dは、各々2台以上のHPAにより送信可能であり(ただし、切換スイッチの構成によりすべての組合せは同時に成立しない)、送信

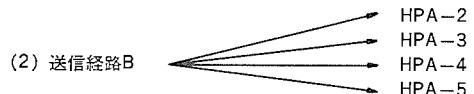
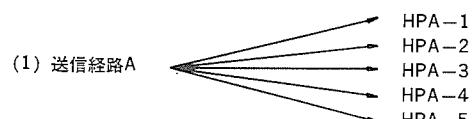


図 4. 1:4冗長構成における搬送波送信

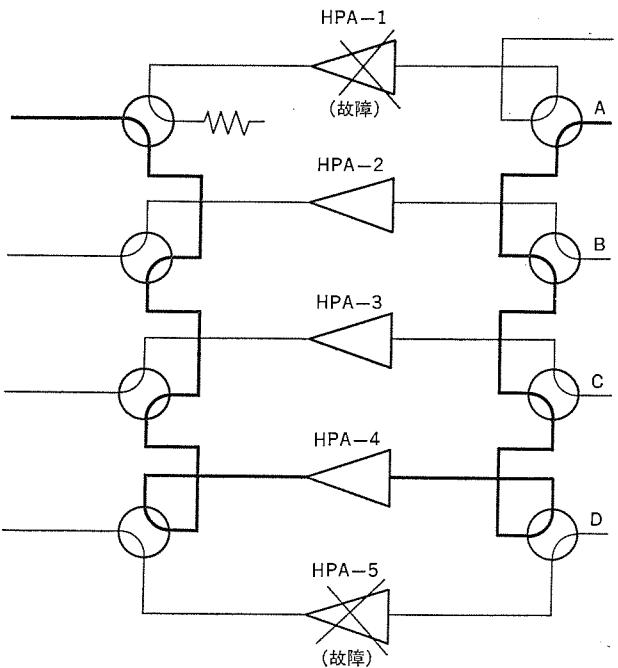


図 5. 優先制御による HPA 切換え

経路AからDの順に、バックアップできるHPAの数が少なくなる。すなわち、優先度の高い順に搬送波を送信経路A~Dに割当ると、HPAの多重故障の際に、最悪優先度の低い搬送波の送信を停止して優先度の高い搬送波の送信を継続することが可能である。図5.にこの優先度方式による切換制御の1例を示す。この例においては現用機HPA-1及び共通予備機HPA-5が故障した場合、優先度の高い送信経路Aを、もともと送信経路D用であったHPA-4を使用して送信し、優先度の低い送信経路Dの送信を停止している。

2.3 この送信機切換制御装置の特長

今回サウジアラビアに納入した送信機切換制御装置は、以上の考え方に基づき設計されたもので、次のような特長を有する(制御盤の外観を図6.に示す)。

- (1) 送信経路A~Dへの優先度指定が制御盤上のサムホイールスイッチにより自由に設定でき、将来の搬送波増設の際、優先度の指定変更が容易である。

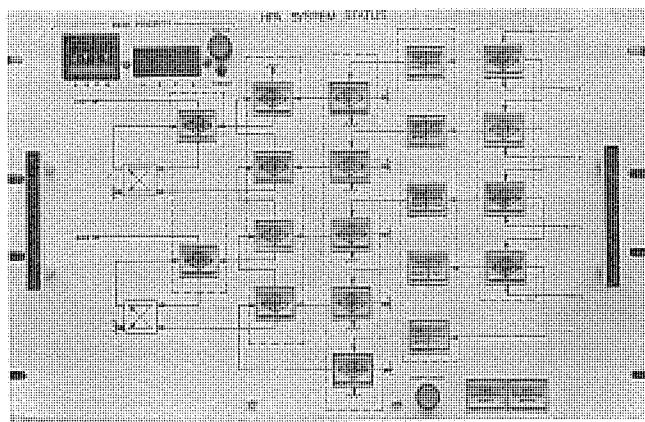


図 6. 送信機切換制御盤

- (2) 異なる送信経路に同一の優先度を指定した場合、エラー表示がなされる。
- (3) 切換制御に自動及び手動の両モードがあり、自動モード選択時には指定優先度及び各HPAの状態に応じた自動切換えを実施し、手動モード時には制御盤前面から押しボタンスイッチにより各切換スイッチを、指定優先度に関係なく任意に制御できる。
- (4) 各HPAの状態を、運用中／待機中／保守中／故障中の4モードにて表示しており、運用状態を容易に確認できる。
- (5) 各切換スイッチの状態をすべて表示しており、制御動作を容易に確認できる。
- (6) 各HPAには3回以内の瞬時故障に対する自動復帰機能があるので、この特長を生かすため、毎時の瞬時故障による煩雑な切換

動作を防止し、かつHPAが正常状態に復帰した場合には直ちに切換制御に最大の自由度を持たせる機能がある。

(7) 地球局電源システムの停電復旧時に、各HPAが同時に復帰して突入電流による電源システムへの過負荷を及ぼさぬよう、この装置より各HPAの高圧投入を連続的に行わせる機能がある。

(8) 遠隔からの送信機切換制御及び監視が可能である。

(9) マイクロプロセッサを使用しているため、ハードウェア構成が簡単となり、1:N冗長系切換制御装置のはん用化が実現できた。

3. 送信出力安定化装置

3.1 性能

このたび製作した送信出力安定化装置用監視制御盤の外観を図7に示す。この装置は6GHz帯におけるFDM-FM搬送波の監視制御用であり、標準性能を表1に、ブロック図を図8に示す。

3.2 特長

この装置の特長は次のとおりである。

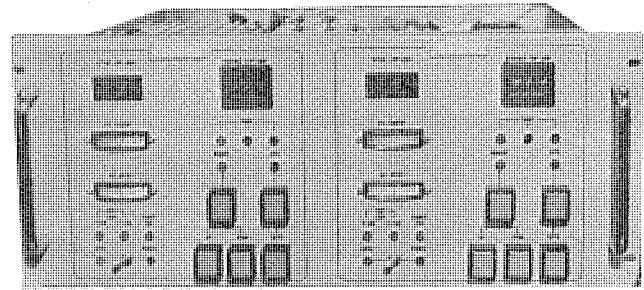


図 7. 送信出力安定化監視制御盤

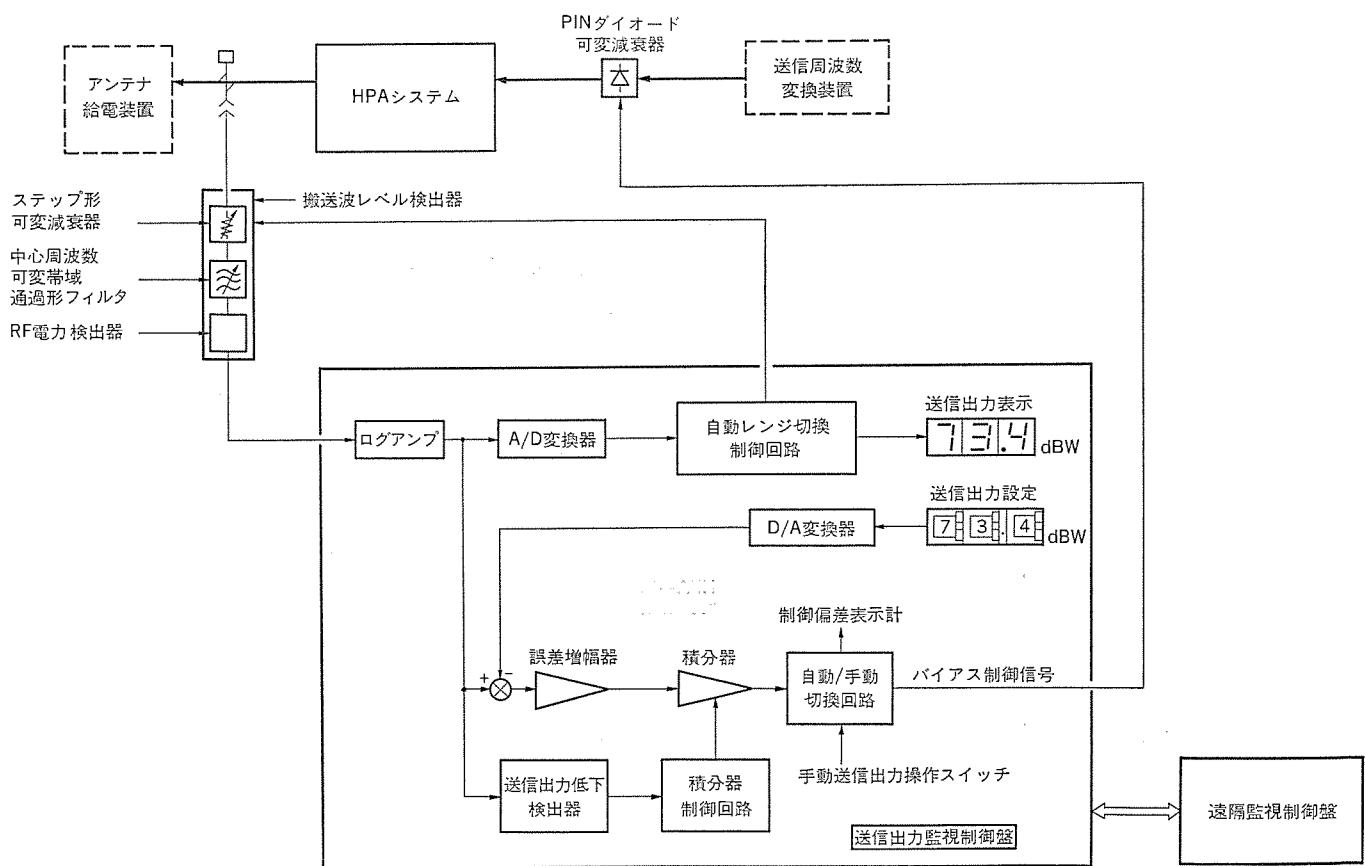


図 8. 送信出力安定化装置ブロック図

表 1. 送信出力安定化装置の標準性能

項目	性能	備考
送信電力検出・表示範囲	標準 68.0~98.0 dBW	32m ϕ アンテナ出力換算
送信電力表示形式	XY. Z dBW (BCD 3 柄)	0.1 dB の分解能
検出精度	0.1 dB 以下	方向性結合器の校正誤差を除く
検出安定度 (+10~40°C)	0.2 dB 以下	—
送信電力設定範囲	標準 68.0~98.0 dBW	32m ϕ アンテナ出力換算, 開閉両ループ時
送信電力設定精度	0.1 dB 以下	—
閉ループ時の送信電力設定	サムホイールスイッチによる BCD 3 柄	XY. Z dBW
閉ループ時の送信電力安定度 (常温)	0.1 dB 以下	アンテナ給電装置入力端において

(1) 広い送信出力検出範囲と読み取りやすい出力表示

送信出力の検出範囲が 30 dB 以上と広く、インテルサット標準 A 局の FDM-FM 搬送波の送信電力設定値を十分カバーしている。しかも、送信出力がアンテナ利得を含めた値で、dBW 単位にて、デジタル表示されるので、送信出力の読み取りが容易であり、送信出力変更の際に敏捷に対応できる。従来は、大半の局でアナログ式メータで送信出力を WATT 単位で表示しており、読み取りにくく、またアンテナ出力端での送信出力値を得る必要性のある度に、メータ表示値を dBW に換算し、かつアンテナ利得やアンテナ給電装置入力端と送信出力検出点間の損失を計算に入れる必要があり、不便であった。

(2) 高い検出安定度

送信電力の検出範囲を搬送波レベル検出器内の可変減衰器による自動レンジ切換えでカバーしているため、広い検出範囲にもかかわらず検出の安定度が良好である（自動レンジ切換えは、手動切換えに比べ、特に HPA 切換後の送信出力安定化にその効果を發揮する）。

(3) 自動・手動両モードの具備

自動・手動両制御モードが選択可能であり、自動モード時にはフィードバック制御による送信出力の安定化が行われる。手動モード時には、ループを開き、押しボタンスイッチ（あるいはポテンショメータ）による送信出力の増減が可能である。

(4) 自動モードにおける正確な出力設定

自動モード選択時の出力電力設定は、サムホイールスイッチによる直接プリセット方式にて行われ、その設定精度は通常 0.1 dB 以下であり、送信出力の変更に速応できる。

(5) 自動モードにおける高い送信出力安定度

自動モード時の送信出力の安定度は、アンテナ給電装置入力端で、常温にて通常 ± 0.1 dB 以内である。

(6) 手動から自動へのスムーズな変更

手動の時には、自動制御回路出力は手動制御出力に追随しており、手動から自動への切換時には、送信出力は急変することなく、自動モードでの設定値までスムーズに到達する。

(7) 自動制御偏差指示計の具備

制御偏差指示計を備えており、自動制御時における手動制御設定点からのずれ、すなわち送信周波数変換装置出力の変動値と送信機の利得変動の和を読み取ることができる。また自動制御時に、この偏差が零となるよう、手動制御動作点の調整が可能であり、自動から手動への切換えを、送信出力の変動なく実施できる。

(8) HPA 切換時の送信出力変動の防止

この装置の大きな特長は、HPA 切換時の送信出力変動を防止する機能である。この特長により、地球局より衛星に向け放送する過大な電力を防止でき、かつ HPA 内に使用している高価な送信管を過大な RF 入力より保護できる。

3.3 HPA 切換時の送信出力安定化

図 1. に示す冗長構成システムにおいて、送信出力の設定を手動のみで行うと、下記原因により HPA の切換後、アンテナ給電装置入力端における各搬送波レベルが規定値を大幅に上まわる（あるいは下まわる）可能性がある（図 9.）。

(1) 各 HPA の利得対周波数特性に差があり、たとえある搬送波の周波数にて HPA の切換後に送信出力変動がなくなるよう各 HPA の利得を調整しても、他の周波数では各 HPA 利得が異なるため他の搬送波の送信出力変動が起こる。特に、3 kW クラスの TWT はその遅波回路が Coupled Cavity 形であり、500 MHz 送信帯域内の利得変動が 5~6 dB あり、しかも管球間でその周波数特性が異なる。

(2) 1:N 冗長構成ではシステム RF 切換回路が複雑となり、搬送波をどの HPA で送信するかにより、搬送波通過経路の回路損失が異なる。

インテルサット標準 A 局の規定は、地球局より衛星に向け放送する送信電力 (EIRP と称される) が、悪天候時を除き、規定値 ± 0.5 dB 以内に維持するよう要求している。この許容変動幅は、HPA 出力での送信レベル変動、アンテナビームのポインティングエラーなどを含んだ値であり、通常は HPA 出力での変動として ± 0.3 dB 程度が割当られる。この許容値以上に変動させた場合、衛星中継器の動作点が最適点より外れ、中継器内の混変調レベルの増加、受信局での S/N 比の劣化など通信回線に悪影響を及ぼす。図 9. の例では、HPA 切換後 3~5 dB も変動するため、送信出力の安定化装置が必要となる。

この出力安定化装置は基本的には、送信出力レベルを検出し、これを誤差増幅器にて基準値と比較し、この増幅器出力を HPA の RF 入力側に設けた可変減衰器にフィードバックし、送信出力を安定化させるもので従来より使用されているが、この従来装置をそのまま 1:N

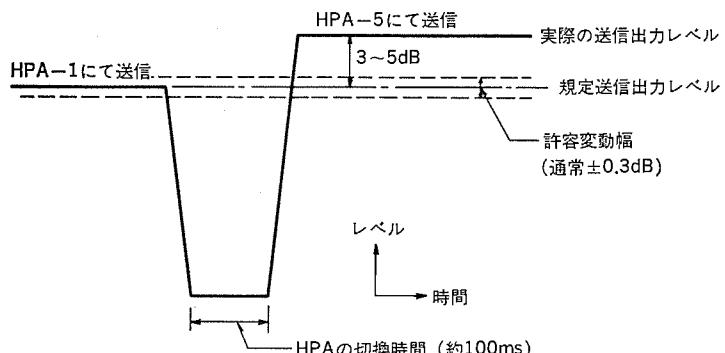


図 9. 手動制御時の HPA 切換後の送信出力変動

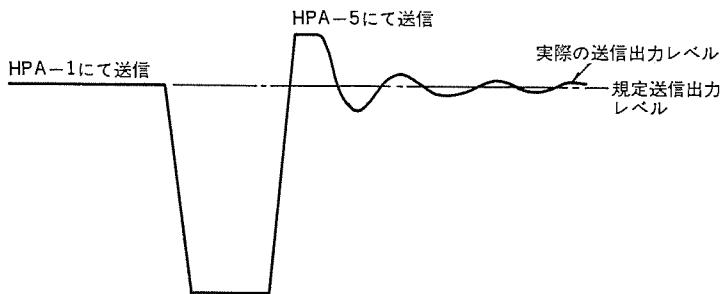


図 10. 従来の出力安定化装置による HPA 切換後の送信出力変動

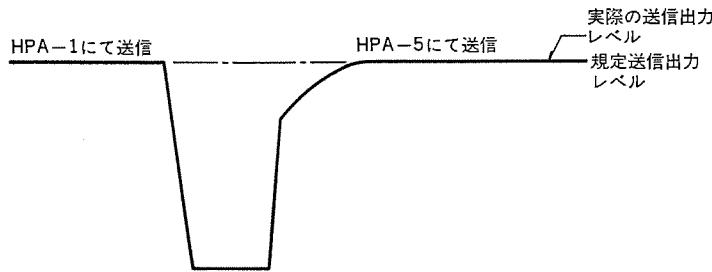


図 11. 今回の出力安定化装置による HPA 切換後の送信出力変動

冗長 HPA システムの出力安定化用いいると、次のような問題点がある。すなわち、送信出力検出点がシステム切換用導波管スイッチの後にあり、HPA 切換中は送信出力がしゃ断される。この間、安定化装置内の誤差増幅器が送信出力を上げるよう可変減衰器を制御するので、切換後の HPA 利得が切換前の HPA 利得より大きいと、送信出力が許容変動範囲を大幅に越える過渡変動を伴い、その後規定値に落ち着くという欠点がある(図 10.)。

今回製作した安定化装置は、図 8. に示すように、この欠点を除

くべく、特に次のような回路を備えている。

- (1) 送信出力低下検出器
- (2) 誤差増幅器の後段の積分器
- (3) 積分器制御回路

HPA 切換時、この装置は次のように動作する。

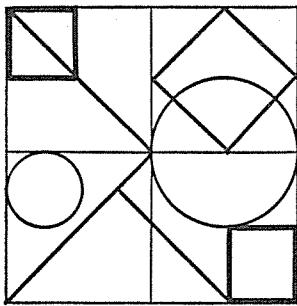
- (a) HPA 切換動作開始直後の送信出力低下を上記検出器が検出する。
- (b) この検出信号が積分器制御回路を介して積分器をリセットし、フィードバックループを切断する。この場合、可変減衰器の動作点は、積分器後段の動作点設定器により、どの HPA にて送信しても規定値を越えることのない減衰量に設定される。
- (c) HPA 切換後、フィードバックループが再接続され、送信出力は規定値まで徐々に上昇する。積分器の作用により、送信出力値は最終的に規定値 ± 0.1 dB の範囲内に収まる(図 11.)。

以上の機能により、HPA 切換時はもとより、アップコンバータの現用予備切換時、更に地球局電源システムの停電復旧時、いずれの場合にもオペレータによる送信出力の再調整の必要がなくなり、地球局の無人運転化に寄与するとともに、過大な送信出力による通信回線への悪影響を取除き、更に HPA 内の高価な送信管を過大 RF 入力より保護することが可能となった。

4. む す び

以上、1 : N 冗長構成の送信機システムに必要な送信機切換制御装置及び送信出力安定化装置の概要について紹介した。両装置は、現在サウジアラビアで順調に稼働中であるが、アルゼンチン標準 A 局にもこの経験を生かした同種装置を納入する予定である。

登録番号	名 称	考 案 者	登録番号	名 称	考 案 者
1239657	位相角変換器	赤松建三	1242326	スパイラルシュータ	木名瀬武男・樋口昭義
1239659	電圧スイッチング回路	重田勝則	1242330	半導体製造装置	猪熊 章
1239660	ガス燃焼装置	中島倉男	1242341	配電箱内の接触器取付装置	伊藤道弘
1239661	回転体の停止 センサー	(荒居 徹・猫塚正道 山田幸慶	1242342	両開き扉の防塵装置	佐藤清・磯村時茂
1239665	引き違い戸の施錠装置	今井純英	1242357	炊飯器	大脇至・大谷信義
1239667	半導体装置	山本 勇・米田良忠	1242368	シーリングローザット	(高橋正晨・大沢和夫 石井寛夫・宇佐見忠
1239672	緩衝スプロケット	鎌田和明	1242374	電気機器の接続装置	塩山正
1239679	強制燃焼装置	柘植 恵	1242377	管路形導体の接続装置	(林幸平・丹羽春美 丸谷朋弘
1239686	サイクロトロンの高周波カップリング装置	長田大三郎・小嶋良昌	1242379	吊下形照明器具	稻村彰一・大沼昭栄
1239687	サイクロトロンのデフレクタ装置の出入装置	長田大三郎	1242388	白熱灯器具	松尾治
1239691	放熱器	瀬戸信二	1242390	電動工具	(松尾治・保田智行 柱秀年
1239696	熱交換器	杉山徹雄・曾根靖雄	1242407	変流器の保護装置	渋谷博司
1239700	クラッチモートル	横山昌弘	1242409	遠隔自動検針装置	佐藤辰夫・森下彦三
1239703	定寸駆動制御装置	浅野哲正	1242416	電気機器の冷却装置	野村寿太郎
1241976	無電圧タップ切換器	提長之・古川一弥	1242421	落下試験装置	小林凱・鹿野義郎
1241985	断熱箱体	堀嘉七	1242425	漏電検出装置	西村征治・小林邦夫
1242090	冷凍装置	河原隆夫	1242427	電動圧縮機の熱動継電器保持装置	石井弘道・神本明輝
1242105	オゾン発生器	竹内実・柴田美夫	1242431	半導体整流装置	池田文雄
1242111	端子装置	甲正美	1242433	配電箱	細野勇
1242122	半導体装置	蒲生浩・宮嶋辰夫	1242438	照明器具用吊具	佐藤清・安藤英夫
1242261	光検出増幅器	朝日照夫・松尾勇	1242440	溶接用面覆い	井上員成・松尾治
1242263	暖房装置	(奥田文一・野畠昭夫 慶野長治	1242443	溶接用面覆い	桜田武
1242264	ガス暖房機	(斎藤辰夫・中村進 高木滋	1242452	溶接芯線送給装置	桜田武
1242265	空気調和機用化粧パネルの着脱装置	海野賢	1242482	エレベータ用張り車装置	赤枝潤二郎
1242271	コントロールセンタの垂直母線の支持装置	高橋勝	1242483	モールド変成器	駒場章雄
1242276	可調整カム装置	松本巖	1242500	タイマーのスイッチ動作用カム装置	川上剛・本城守
1242278	地絡検出回路	(山本晴美・藤井洋三 佐藤勇	1242503	蒸気暖房装置	山根満徳・山本茂之
1242284	コントロールセンタ	木村隆信・中西伝一	1242517	巻胴	渡辺隆
1242287	スリップリング装置	高瀬英雄・吉川義彦	1242519	単相電動機	八代勝雄・吉田整司
1242296	液相成長用ポート	三井茂・西畠幹夫	1242524	テレビジョン受信機の同期分離回路	古賀和幸・市川鉄三郎
1242298	回路しや断器等のひき出し装置	長谷川清博・田中正幸	1242529	電子レンジ	横山昌弘
1242299	回路しや断器等のひき出し装置	長谷川清博・田中正幸	1242531	エレベータの敷居	河村博至・木村健治
1242303	軸孔間との漏洩を防止したたわみ継手装置	高田正志	1242532	直流電動機の制御装置	慶野長治
1242306	吸排気筒の抜け止め装置	勝股文則	1242533	エレベータかご枠の筋かい装置	加藤博士・山本和美
1242309	温度制御回路	(藤井学・富山勝巳 曾根原邦明	1242537	アーク溶接装置	曾我高明・綿谷晴司
1242318	溶接機用変圧器	田尻浩巳	1242544	マンコンペキの非常停止装置	篠田昌孝・伊藤拓三
1242320	機関異常回転防止装置	大西正義	1242560	進相コンデンサ付Y-△始動装置	鵜飼順・中谷隆男
			1242561	缶圧縮機	石田松彦
			1242567	テープ巻付け装置	毛利幹生
			1242579	電流表示付力率	(藤井貞雄・丸山泰 森田清司
					河原泰裕
					寄森正樹・赤松建三



特許と新案

位置測定装置 (特許 第 877931 号)

発明者 稲荷 隆彦・林 敏和・伊東 尚

この発明は、光源が設置された平面と、標的が設置された平面の相対的な位置関係を測定するための位置測定装置に関する。

従来の位置測定方法である三角測定法を図 1. に示す。三角測定法においては、測定点 A, B, C が位置する平面と、標的 P の存在する平面との位置関係を明らかにするためには、少なくとも 3 個の標的 P, Q, R について測定を行わなければならない。

この場合必要とされる測定値は、線分 \overline{AB} , \overline{BC} , \overline{CA} の長さに関する 3 個の測定値と、点 P, Q, R 各々と点 A, B, C を結ぶ直線が線分 \overline{AB} , \overline{BC} , \overline{CA} となす角度に関する 18 個の測定値である。

この発明は、必要な測定値を 6 個に限ることを目的とするもので、そのため、被測定面上に相互の間隔が明らかになった 3 個の標的を固定し、測定点を原点としてこれらの標的を極座標で表して極角と方位角を測定するものである。

図 2. はこの発明の原理説明図で、O は測定面上より高さ z_0 の位置に固定された座標原点で光源(1)の回転中心、 $P_i (i=1, 2, 3)$ は被測定面上に固定され、相互間の距離があらかじめ明らかにされた 3 個の標的である。光源(1)の光束の中心が標的 P_i の中心に一致した場合の極角を θ_i 、方位角を φ_i 、線分 $\overline{OP_i}$ の長さを r_i とすれば、標的 P_i の直交座標は式(1)で表される。

$$\left. \begin{array}{l} x_i = r_i \cdot \sin \theta_i \cdot \cos \varphi_i \\ y_i = r_i \cdot \sin \theta_i \cdot \sin \varphi_i \\ z_i = r_i \cdot \cos \theta_i \end{array} \right\} \quad \dots \dots \dots \quad (1)$$

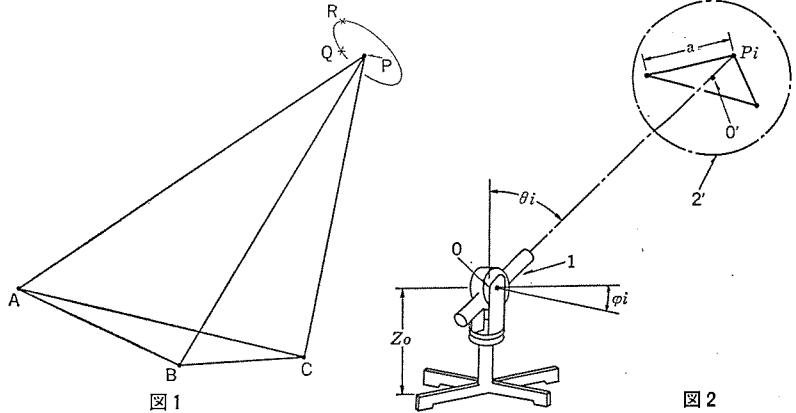
この式を変形すれば次式が得られる。

$$x_i/l_i = y_i/m_i = z_i/n_i \quad \dots \dots \dots \quad (2)$$

$$\left. \begin{array}{l} l_i = \sin \theta_i \cdot \cos \varphi_i \\ m_i = \sin \theta_i \cdot \sin \varphi_i \\ n_i = \cos \theta_i \end{array} \right\} \quad \dots \dots \dots \quad (3)$$

また、図 2. の P_i 以外の標的を P_j とし、標的 P_i , P_j 間の距離を a とすると式(4)が成立する。

$$(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 + (z_i - z_j)^2 = a^2 \quad \dots \dots \dots \quad (4)$$



3 個の標的 P_i について極角 θ_i 、方位角 φ_i を測定すれば、9 個の未知数 x_i, y_i, z_i について、式(2), (4)から 9 個の関係式が得られるので、これから x_i, y_i, z_i が求められる。

三角形の中心 O' と原点 O 間の距離は式(5)で表される。

$$\overline{OO'} = \frac{1}{3} \{ (x_1 + x_2 + x_3)^2 + (y_1 + y_2 + y_3)^2 + (z_1 + z_2 + z_3)^2 \} \quad \dots \dots \dots \quad (5)$$

標的 P_i の設置された平面は式(6)で表される。

$$\left| \begin{array}{cccc} x & y & z & l \\ x_1 & y_1 & z_1 & l \\ x_2 & y_2 & z_2 & l \\ x_3 & y_3 & z_3 & l \end{array} \right| = O \quad \dots \dots \dots \quad (6)$$

式(6)を展開すれば式(7)となる。

$$A_x + B_y + C_z = D \quad \dots \dots \dots \quad (7)$$

標的 P_i の設置された面と光源(1)の設置された面の交角 ϕ は次式により求められる。

$$\cos \phi = \frac{C}{(A^2 + B^2 + C^2)^{\frac{1}{2}}} \quad \dots \dots \dots \quad (8)$$

実際の測定装置においては、光源(1)はレーザとし、標的 P_i の位置に光検知器を設け、光検知器の出力を受けて作動するサーボ機構により光源を標的の中心に指向させようとしている。

車両の制御装置 (実用新案 第 1339240 号)

考案者 芦谷 正裕・龜田 康幸

この考案は、車両の荷重及び車速に応じて駆動力及び制動力を最適な値に調節するための制御装置に関するものである。

一般に車両の力行時の駆動力並びにブレーキ時の制動力は、車両の車輪とレール間の粘着状態を良好に保つため、図 1. のように、車速

特許と新案

及び荷重条件に応じて変化させることが行われる。ここで、満車時と空車時の駆動力あるいは制動力の比率は車速変化に対しても一定に保つ必要がある。

図2. はこのような条件を満足させることができる指令信号を示しており、車重分は同図(a)のごとく $E_1 \sin \theta$ で表される電圧波形、荷重分は同図(b)のごとく $E_2 \sin \theta$ で表される電圧波形のものを用い、車速に応じて位相角 θ を変化させる。また、荷重分については荷重に応じて波高値 E_2 を図3. のように変化させる。したがって、満車時には図2. (c) のごとく車重分と荷重分を加えた波形のものが得られ、これらを平均化して平滑すれば図2. (d) で表される V_{DC1} 、 V_{DC2} のごとくなる。

ここで、図2. の場合における満車時の平均電圧 E_{av} (満)と空車時の平均電圧 E_{av} (空)の比は、車速0の時も車速 V_{max} の時も共に $\frac{E_1+E_2}{E_1}$ となり、車速により変化する位相角 θ の値にかかわらず、満車時と空車時の比は一定であり、図1. の特性を満足させることができる。

図4. はこの考案の1実施例を示す回路図で、磁気増幅器(4)の入力巻線(4A)に速度発電機(1)、周波数一直流電圧変換器(2)を介して車速に比例した電圧を印加し、また交流電源(11)の出力を整

流装置(7)で整流し出力巻線(4D)と負荷抵抗(19)を直列接続したものに印加することによって、図2. (a)の車速に応じた位相で立上る車重分に相当した指令出力電圧 V_1 を得ることができる。

他方、交流電源(12)に接続され荷重に応じて変圧比が変化するスライダックス又は誘導電圧調整器などの荷重検出装置(16)の出力を整流装置(17)で整流し、且つ指令出力電圧 V_1 の立上りに同期してトランジスタ(15)を導通させることによって、図2. (b)の荷重分に相当した指令出力電圧 V_2 を得ることができる。

したがって、負荷抵抗(19)の両端には、指令出力電圧 V_1 、 V_2 の加算値を平滑用チョークコイル(13)及びコンデンサ(14)にて平滑したものが現われ図5. に示す特性の指令出力電圧が得られ、満車のパターン電圧は車速に関係なく一定に保たれる。

このように、この考案によれば、指令信号の特性が図1. と同じ形状になるので、粘着限界を保ちながら駆動力、制動力を最適に制御することができる。

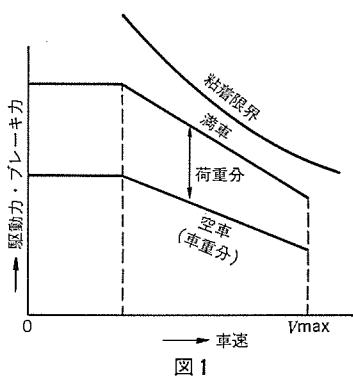


図1

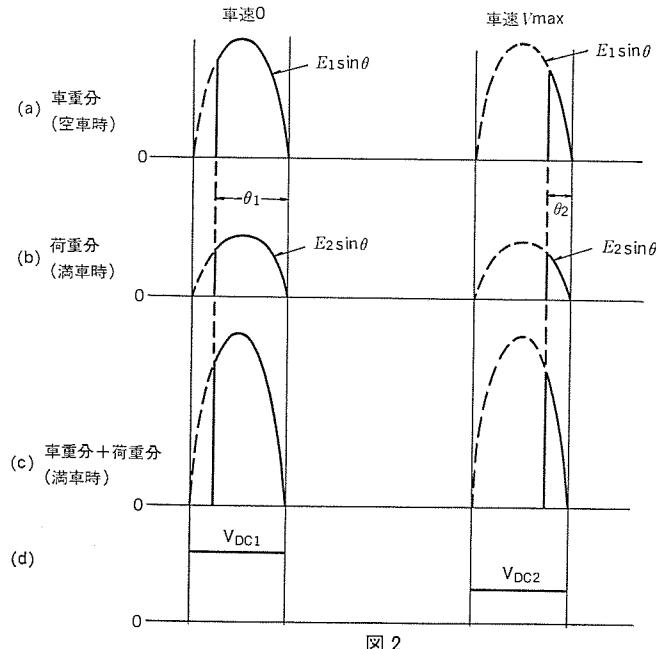


図2

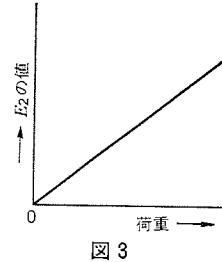


図3

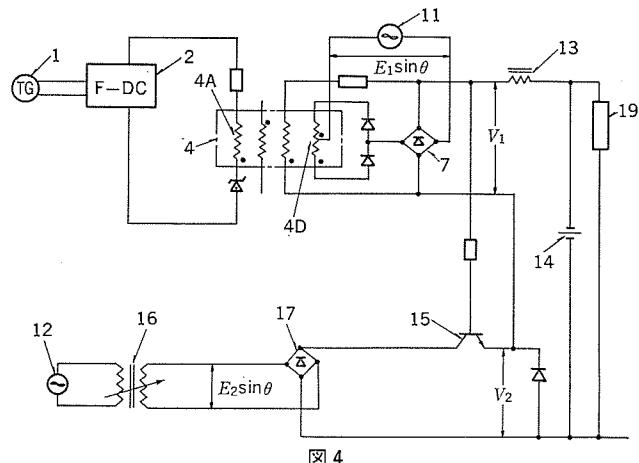


図4

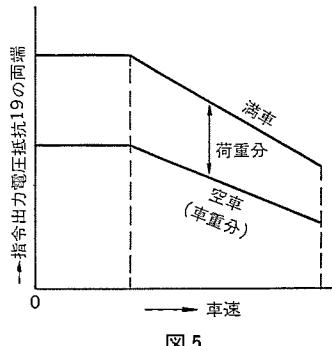


図5

1. まえがき

音声合成に関する歴史は古く、電気回路を用いた音声合成器は1939年に始まる⁽¹⁾。以降研究が重ねられ、1969年には日本電信電話公社武蔵野電気通信研究所によりPARCOR (Partial Auto-Correlation⁽²⁾)と呼ばれる優れた音声分析合成方式が開発され、1970年にはこれによる合成器の試作がなされた。その後、半導体集積回路(LSI)技術の急速な進歩と集積回路化に適した音声分析合成アルゴリズムの開発により、民生分野に応用される音声合成器が実現してきた。この口火となつたのが1978年に発表されたテキサスインスツルメント(TI)社のLSIによる英単語学習器“Speak & Spell”である⁽³⁾。以降、国内外の半導体メーカーで音声合成用LSIの開発が活発化し、多方面に応用され始めている。

当社では1980年にPARCOR方式の音声合成用LSIの開発を完了し、同時に音声分析処理センターを当社北伊丹製作所に開設し、応用を内外に求める体制を確立した。

ここでは、この音声合成用LSIの概要及びLSI応用製品について述べ、あわせて今後の動向についてもふれる。

2. 音声合成の方式

ここでは、各種音声合成方式の比較とその中で特にPARCOR方式の原理について述べる。

2.1 各種音声合成方式

今まで提案あるいは開発された音声合成方式は、

- (1) 録音編集方式
- (2) パラメータ編集合成方式
- (3) 法則合成方式

の3つの方に分類することができる。録音編集方式は、音声波形をメモリに直接記憶させておき、合成時に必要な音声波形を編集して出力させる方法である。音声波形は例えばPCM (Pulse Code Modulation) 符号などでデジタル符号化して記憶する。この方式は一般に音質は優れ、音声合成器の回路構成は簡単であるが、ビットレート(1秒間の音声を合成するのに要する情報量)が高く、そのためデジタル符号を記憶するために要するメモリ費用が高いのが難点である。最近はADPCM(Adaptive Differential PCM), APC(Adaptive Predictive Coding)などの、よりビットレートを低減させる方式の開発が進められている。

パラメータ編集合成方式は、音声波形を直接記憶するかわりに、音声の特徴パラメータを分析抽出して記憶し、合成時に読み出した特徴パラメータから音声合成器を使って音声を再生する方式である。音声は声帯の振動によって生ずるパルス的な音源波形が声道を通過することによって発生される。音声が有声音(母音など)の場合、音源波形はピッチと呼ばれる周期があり、無声音(発音記号で、s, kなど)の場合は周期性が見られない。声道は口や鼻の一部からなる1種の共振器とみることができる。音声合成器は、以上に述べた音声生成

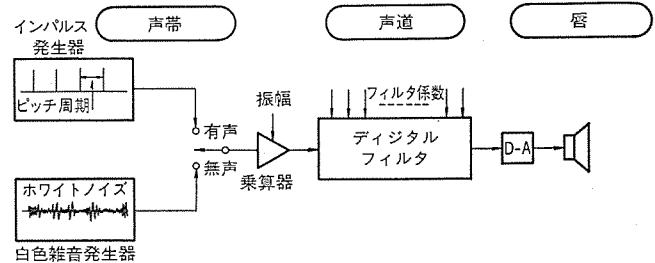


図1. 音声合成器の基本構成

モデルを電気的に模擬して実現させたものである。つまり図1.に示すように、有聲音源を模擬するインパルス発生器、無聲音源を模擬する白色雑音発生器、有声/無声切換スイッチ及び振幅乗算器により音源信号を作り、声道の共振特性を模擬する可変共振特性をもつデジタルフィルタに通すことによって音声が再生される。特長としてビットレートを2~4Kb/s(キロビット/秒)程度に下げても実用的な音質が得られる。この方式の範囲に含まれる合成方式の中で代表的なものはLPC (Linear Predictive Coding), PARCOR, LSP (Line Spectrum Pair)であり、これらの違いは声道共振特性の表し方とデジタルフィルタの回路形式にある。

法則合成方式は、単語より小さな音声単位(例えば発音記号)に基づいた法則を用いて連続した音声を実現するものである。文字情報から直接音声を出力でき、任意の文書を音声で出力できる特長がある。現状では音質上の問題があり、開発途上にあるが、ごく最近には実用化例もある。今後の有力な合成方式と言える。

2.2 PARCOR方式の原理⁽⁴⁾

当社がLSI化にあたり採用したPARCOR方式はLPC方式の1種であり、この原理について簡単に説明する。

音声波形をナキスト間隔でサンプリングすると、近接のサンプリング値には強い相関がある。ある時点 t のサンプル値 S_t は、それまでの P 個のサンプル値から予測される。 S_t の予測値 \hat{S}_t は、

$$\hat{S}_t = \sum_{i=1}^P \alpha_i \cdot S_{t-i}$$

と表せる。

ここで、予測系数 α_i は実際のサンプル値 S_t と予測値 \hat{S}_t の誤差の2乗平均値が最少になるように選ぶ。この α_i は α 元連立1次方程式を解くことにより求まる。こうして求められた α_i は、声道の共振特性を表す情報となっており、合成用デジタルフィルタのパラメータとして用いることができ、 α パラメータと呼ばれる。しかし、 α_i の量子化誤差がフィルタを不安定にしやすく、音声合成器としての実用化例は少ない。

フィルタの安定性を保ち、フィルタ系の量子化精度を落とすための手法としてPARCOR方式があり、フィルタの系数としてPARCOR系数 k_t が用いられる。 k_t は、音声信号の近接した2個のサンプル値 S_t, S_{t-i} にはさまれた $(i-1)$ 個のサンプル値による間接的な影響を

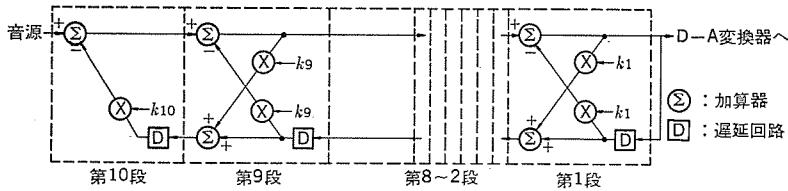


図 2. PARCOR 形合成 フィルタ の構成例

最小 2 乗線形予測の手法によって除去したのちの相関係数と定義される。すなわち、サンプリングされた音声信号を $S_{t-1}, S_{t-(t-1)}, \dots, S_{t-1}, S_t, \dots$ とすれば、PARCOR 系数 k_t は次式で与えられる。

$$k_t = \frac{E\{(S_t - \hat{S}_t^{(t-1)}) (S_{t-t} - \hat{S}_{t-t}^{(t-1)})\}}{[E\{(S_t - \hat{S}_t^{(t-1)})^2\} E\{(S_{t-t} - \hat{S}_{t-t}^{(t-1)})^2\}]^{1/2}}$$

ただし、 E は期待値を示し、 $\hat{S}_t^{(t-1)}$ 、 $\hat{S}_{t-i}^{(t-1)}$ はそれぞれ S_{t-1} 、 S_{t-2} 、 \dots 、 $S_{t-(i-1)}$ からの S_t 、 S_{t-i} の最小 2 乗予測値である。

PARCOR 形合成 フィルタの構成例を図 2. に示す。合成 フィルタが安定であるための必要十分条件は $|k_i| < 1$ であり、 k_i がこの条件を満たすように量子化すれば フィルタの安定性が保証される。

図 2. の格子形 フィルタは、物理的には声道を断面積の異なる音響管 10 個を継続接続したもので、近似した時の等価回路とみることができ。各音響管の接続部でおきる音響インピーダンスの不整合から生じる反射系数が PARCOR 系数 k_i にあたることが確かめられている。

3. 三菱音声合成用 LSI の概要

3. 1 システム構成

音声合成システムは、図3.に示すように、①M 58817 AP (スピーチシンセサイザ), ②M 58818- $\times \times \times$ P (128KビットフレーズROM), ③コントローラ (マイコン) の3チップのLSIで構成される。

3. 2 什様の特長

仕様の特長は次に記すように

- (1) PARCOR 音声合成方式の採用
 - (2) 男声・女声及び効果音が合成可能
 - (3) ピットレートの切換えが可能 (1.96 Kb/s 及び 3.92 Kb/s)

- (4) コントローラとして、はん用マイコンが使用可能
- (5) 最大16個のフレーズROMが接続可能
- (6) スピーカー駆動回路内蔵
- (7) -10V単一電源動作

3. 3 各 LSI の機能

(1) M 58817 AP スポーチシンヤサイザ

M 58817 AP の ブロック 図を図 4. に示す。各 ブロック の 機能を 以下 に 説明する。マイコン インタフェース 部は、マイコン から の 命令 を デコード し、 データ の 転送 を 行う。ROM インタフェース 部は、M 58818- \times × P へ の アドレス 転送、ROM データ 読出し を 行う。パラメータ RAM は 1 フレーム (低 ビットレート では 25 ms、高 ビットレート では 12.5 ms) 分 の 音声 特徴 パラメータ を 一時 記憶 する。音声 特徴 パラメータ の ビット 配分 は、振幅に 4 ビット、ピッチに 5 ビット、 k_1 、 k_2 に 各 5 ビット、 k_3 ～ k_7 に 各 4 ビット、 k_8 ～ k_{10} に 各 3 ビット である。1 フレーム の 情報 量 は、フレーム 間 で k パラメータ が 大きく 変ら ない 場合、情報量 の 圧縮 を 図る ため に 用いる 制御用 リピート ビット と 前記 音声 特徴 パラメータ 48 ビット と 合わせ て 計 49 ビット である。デコーディング ROM は、パラメータ RAM 内 の コード 化 され た 特徴 パラメータ を 10 ビット に 復号 化 する デコーダ である。補間 回路 は、 1 フレーム 間 に 3.25 ms ごと に 疑似 線形 補間 を 行う。音源 発生 回路 は、

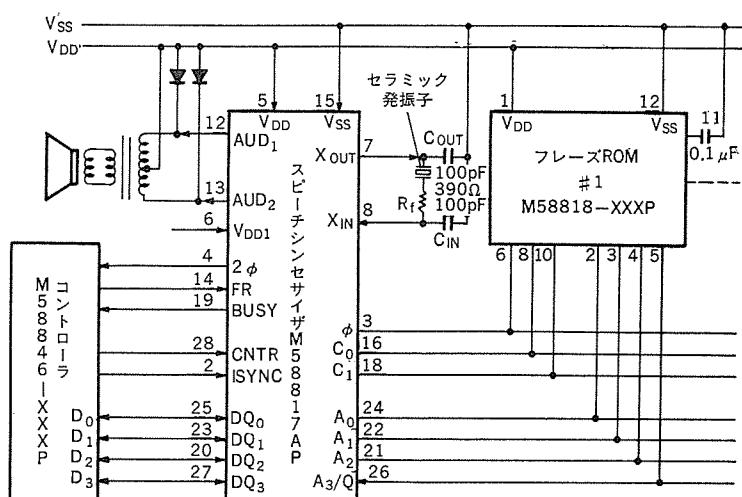


図 3. 音声合成システム

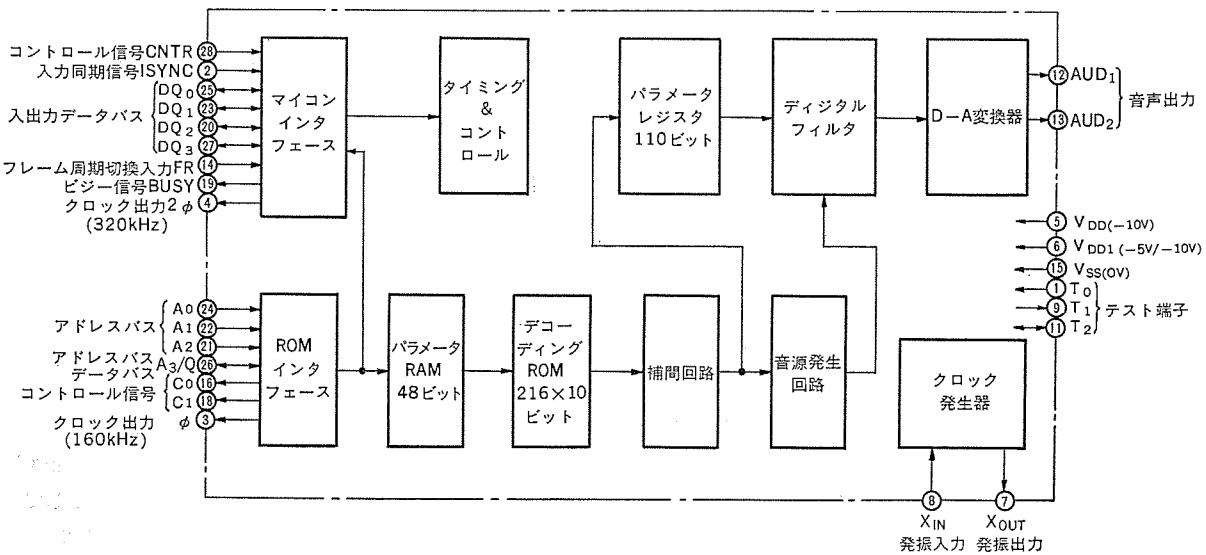


図 4. M 58817 AP ブロック図

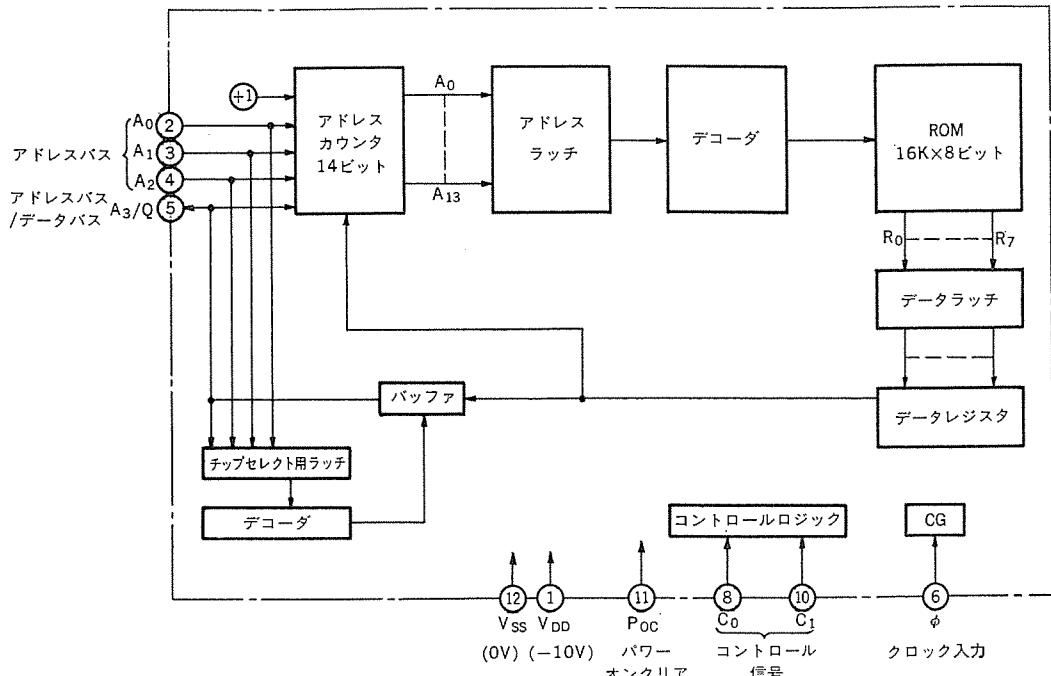


図 5. M 58818-×××P ブロック図

有声音に対してはピッチに対応したインパルスを発生し、無声音に対してはホワイトノイズを発生する。パラメータレジスタは、補間された音声特徴パラメータを記憶し、デジタルフィルタを制御する。デジタルフィルタは2次のベースのアルゴリズムを用いたパイプライン乗算器、加減算器及び遅延回路で構成される10段の格子形デジタルフィルタであり、演算精度は14ビットである。D/A変換器は±7ビット精度の電流出力形であり、D/A変換周波数は8kHzである。クロック発生器は640kHzのセラミック発振子により160kHzのシステムクロックを発生する。

以下このLSIの動作を順を追って説明する。コントローラがアドレス設定命令によってフレーズROMの先頭アドレスを設定し、スピーカ命令を発生すると、M 58817 APは1フレームごとに音声特徴パラメータを取込む。デコーディングROMにより復号され、更に補間回路において前フレームの音声特徴パラメータと3.25msごとに線形補間され(12.5msフレームの場合は1フレームに4回、25msの場合は8回行われる)、音声特徴パラメータのフレームごとの離散的变化に対する平滑化が行われる。音声特徴パラメータ中のピッチパラメータは音源発生回路を制御し、*k*パラメータ及び振幅パラメータはデジタルフィルタを制御することによって音声合成演算を実行する。音声特徴パラメータは8kHzでサンプリングされた音声信号から分析抽出されているので、合成演算は125μsごとに20回の乗算と、20回の加減算により実行される。この演算によって得られた音声信号は、D/A変換器によりアナログ化され、外部スピーカーを駆動することによって音声を発生する。4ビットの振幅パラメータの1つの状態を音声発声終了を示す制御コードに利用しており、これを検出すると自動的に発声を終了する。

(2) M 58818-×××P フレーズROM

M 58818-×××Pのブロック図を図5に示す。16K×8ビットのROMのほかに、14ビットアドレスカウンタ、4ビットのチップセレクト用ラッチ及びコントロールロジックで構成される。ROM容量は128Kビットであり、1.96Kb/sのビットレートの場合には約60~100秒の音声を出力できる。このM 58818-×××Pは最大16個までM 58817 APに接続でき、この場合約15分の音声が出力できる。

表 1. 命令コード一覧

命令	データバスライン DQ				内容
	DQ ₃	DQ ₂	DQ ₁	DQ ₀	
ストップ	0	0	0	—	スピーカの中止を指令
アドレス設定	0	0	1	—	フレーズROMのアドレスを設定
データ転送	0	1	0	—	4ビットシフトバッファの内容を出力
女声スピーカ	0	1	1	—	女声スピーカの開始を指令
ピットリード	1	0	0	—	フレーズROMの1ビットを読み込む
男声スピーカ	1	0	1	—	男声スピーカの開始を指令
間接アドレス	1	1	0	—	フレーズROMのアドレスを間接的に設定
テストトーク	1	1	1	—	スピーカ終了をテストする

少量生産品やプロトタイプでの開発評価時に、M 58818-×××Pの代わりにEPROMを使用する場合のために、EPROMインターフェース用LSI M 58819 Sが用意されている。

(3) マイコン

マイコンは音声合成システムを制御するもので、表1に示す8種類の命令コードをM 58817 APに送ることによって制御する。このマイコンには、M 58846-×××Pなどの4ビットマイコンを始めとし、はん用8ビットマイコンが使える。

4. 音声分析処理とLSI応用製品

4.1 分析処理の概要

PARCOR方式による音声分析処理を、図6のフローチャートに従って説明する。原音の録音には次の3つの条件が必要である。

(1) S/Nが40dB以上あるスタジオを使用すること。

(2) 明りょう度のあるナレータを選ぶこと。

(3) 編集用音声は平坦に発声すること。

S/Nが悪いと特徴パラメータ抽出段階において、ノイズが無声音と判断され音質劣化をまねく原因となる。明りょう度についても特徴パラメータ抽出エラーに関係する。特に、無声音の振幅レベルは小さいので、

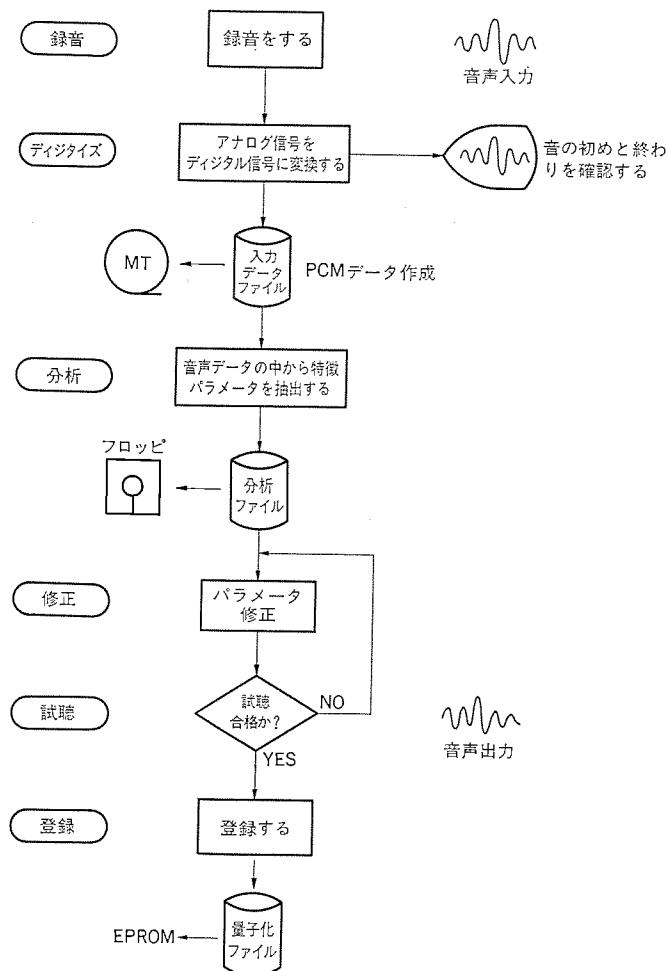


図 6. 音声分析処理フローチャート

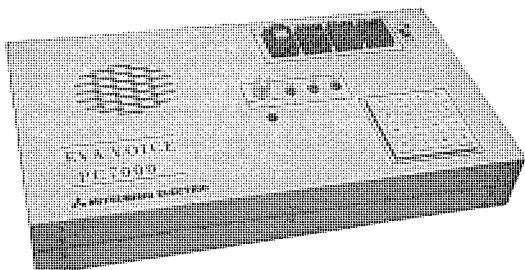


図 7. PC 7000 (音声評価装置)

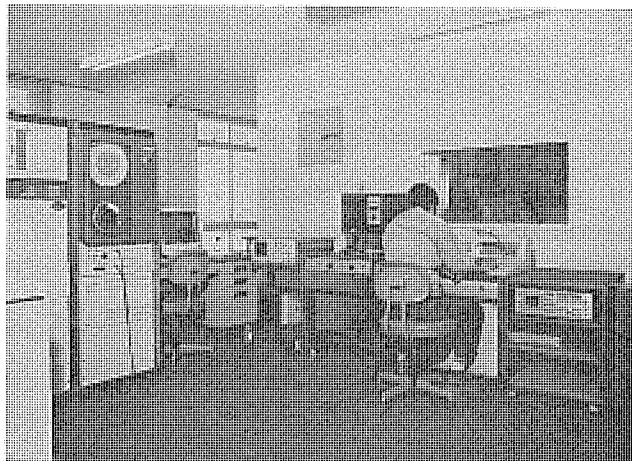


図 8. 音声処理センター

はっきりと発声された音声が必要である。編集用音声については、つながりをなめらかにするために平坦な発声が特に必要である。

ナレータ選定には、オーディションテープによる試験的な分析の結果を利用するのも一方法である。当社においてはあらかじめ選定されている何人かのナレータを準備しているので、それを利用することもできる。

録音後 A/D 変換器により音声波形を 8 kHz サンプリングの 12 ビット PCM データに変換する。これを デジタル化 と呼ぶ。このとき明りょう度を上げたり、分析 エラー を減少させるために、高域周波数成分を プリエンファシス することがある。プリエンファシス のかけ方は一定でなく、ナレータに合わせて調節される。

分析段階では フレーム ごとに特徴 パラメータ を抽出する。特徴 パラメータ には振幅 パラメータ、ピッチ パラメータ 及び k パラメータ がある。各 パラメータ は実数値で求められ、分析 ファイル に格納される。

各 パラメータ に抽出 エラー が生じたときには修正を行う。当社では独自に開発した修正 プログラム により、迅速に処理する手法を取っている。修正項目は主として無声／有声判定、ピッチ、振幅である。

修正が完了した特徴 パラメータ は、量子化され試聴装置に転送される。試聴の結果合格となった特徴 パラメータ は、量子化 ファイル に登録される。不合格のときは再度修正が行われる。

合成音の音質評価は主観的な要素が多く、ユーザーとメーカーの間でよく問題となるところである。当社では、基本的にユーザーとメーカーで音を聴く装置は同一装置でなければ正しい音質評価はできないと考え、携帯用音声評価装置 PC 7000 を開発した (図 7.)。この装置には、EPROM 用 ソケット が実装されており、音声評価用 EPROM を装着して、音声を試聴できるようになっている。

4.2 音声処理センター

当社では、音声合成用 LSI の開発と同時に音声処理 センター を設立した。この センター は録音、試聴を行うための防音室と分析処理を行う計算機室から構成され、原音の録音から合成音の試聴まで一貫して処理することができる。図 8. に音声処理 センター を示す。主な設備は、録音室、録音装置、ミニコンピュータ 《MELCOM 70/40》，音声評価装置である。録音室と計算機室はオンライン 接続されており、分析結果をただちに録音室にある音声評価装置で試聴できる。

4.3 音声出力基板 PCA 7002

PCA 7002 は、125×145 mm の基板上にコントローラ、音声合成用 LSI、音声 データメモリ、アンプなどを実装した音声出力基板である。ブロック図を図 9. に示す。外部にスピーカー、電源、スイッチを接続するだけで簡単に音声合成出力装置を構成できる。コントローラ は 8 ビットワンチップマイコン M 5 L 8049-005 P を使用しているが、M 5 L 8048- $\times \times$ P, M 5 L 8748 S なども使用できる。音声 データメモリ として、EPROM M 5 L 2732 K, M 5 L 2716 K を最大 4 個まで実装できる。M 5 L 2732 K を 4 個実装した場合、約 60~100 秒の発声が可能である。外部接続スイッチに対応して、最大 18 種類の文章が発声できる。

4.4 音声ライブラリ

音声 ライブラリ は、各種応用分野で標準的に使用される語 (彙) をあらかじめ当社が分析し準備したものである。これはユーザーの分析費用の低減と開発期間の短縮を図ることを目的としている。現在使用できる音声 ライブラリ は、表 2. に示すように 16 分野、約 300 語が準備されている。音声はすべて同一の女声である。これらの音声 ライブラリ の中から必要なものだけを編集し、EPROM M 5 L 2732 K に格納して利用することができる。

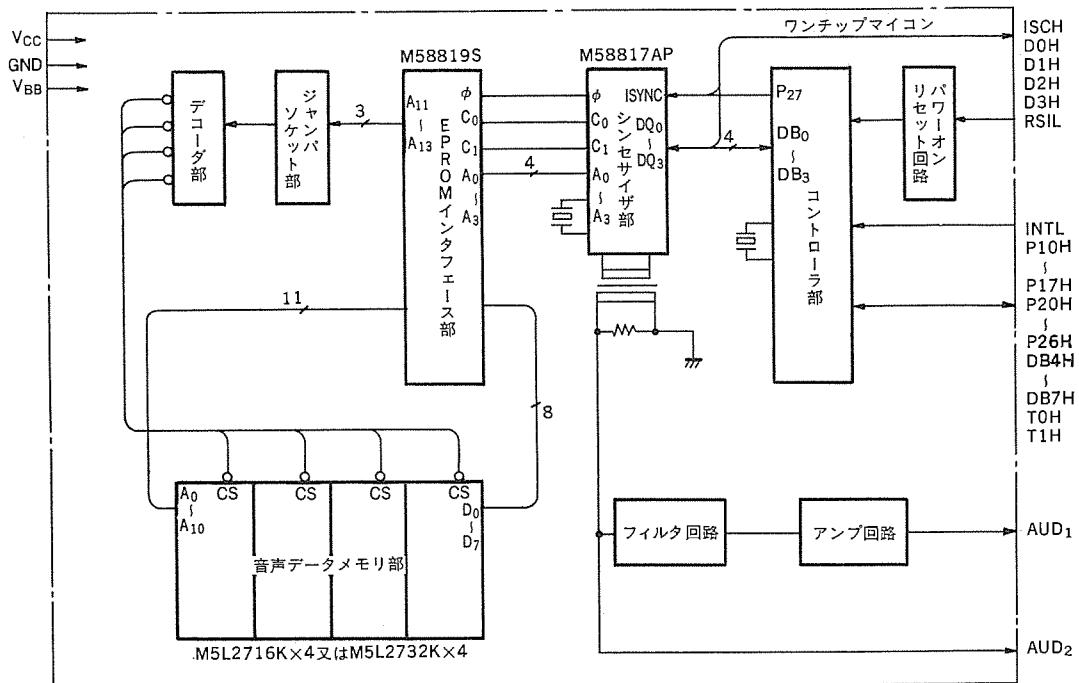


図 9. PCA 7002 ブロック図

表 2. 音声ライブラリ

コード	用途 分類
SV 00	デモンストレーション用
SV 01	数字, アルファベット
SV 02	演算子
SV 03	単位
SV 04	制御, 計測器用
SV 05	あいさつ
SV 06	時計用
SV 07	インターホン用
SV 08	コピーマシン用
SV 09	自動販売機用
SV 10	バスアナウンシエータ用
SV 11	機内放送用
SV 12	自動車用
SV 13	擬音
SV 14	エレベーター用
SV 15	火災警報機用

5. むすび

以上、当社の音声合成用LSIの概要及びLSI応用製品について述べた。

数年前までは民生用に無縁とみられた音声合成装置が、半導体の

進歩により急速に実用化され始めており、近い将来爆発的に普及する可能性を秘めていると思われる。このためには、音声合成方式、音声合成用LSI及びその応用に対して、より一層の技術的改善が必要であろう。音声合成方式については音声分析が不要で任意の言葉をユーザーが発生できる法則合成方式の実用化が課題である。音声合成用LSIについては、低価格化、高音質化、低消費電力化が当面の課題である。応用については、マンマシンインターフェースとしての利点を活用し、付加価値の高い商品を企画することが急がれる。

一方、音声認識装置の民生用への適用を目指す研究開発は盛んであり、そのLSI化が達成されるのも間近いと思われる、実用的な音声認識用LSIの実現のあかつきには音声合成用LSIはより大きな需要が期待できよう。当社ではこうした動向に沿ってより一層の努力を傾けていくつもりである。

参考文献

- (1) H. Dudley : The Carrier Nature of Speech, Bell Syst. Tech. J., 19 (1940)
- (2) 板倉, 斎藤 : 偏自己相関係数による音声合分析合成系, 日本音響学会研究発表, 2-2-6 (1969)
- (3) R. Wiggins & L. Brartingham : Three-chip system synthesizes human speech, Electronics, Aug. 31 (1978)
- (4) 中田 : 音声, コロナ (昭 52)

4極タービン発電機の新系列

森 要*・舟橋仁人*・峰 俊治*

1. まえがき

当社では、1908年に我が国における第1号のタービン発電機を完成して以来、今日まで約750台の2極空気冷却タービン発電機を製作し、その合計出力は1,500万kVAに達し、各需要家から好評を得ている。

更に当社では、この2極機の蓄積された技術に大容量高速突極形同期電動機の技術を取り入れ、今回4極突極形タービン発電機の新系列を完成した。

これは最近のタービンの小形化、高速化の動向に適した経済的で効率の高い発電機である。すなわち、タービンを約6,000 rpm以上の高速にすることにより小形化し、これを減速歯車で1,800 rpm又は1,500 rpmに回転数を落とし、発電機は4極機として、経済性・高効率・低騒音などをねらったものである。

従来、当社の4極空気冷却タービン発電機は、回転子を円筒積層鉄心形で設計し、10 MVA程度までを標準化していたが、減速歯車の技術的進歩と経済性向上並びに発電機の絶縁や冷却方式の改善、応力解析技術などの進展により、突極形で20 MVAまでの新系列を完成したのでその概要を紹介する。

なお、2極空気冷却タービン発電機の新系列については既に報告した⁽¹⁾。

2. 新系列発電機の概要

2.1 新系列機の特長

従来からの当社の空気冷却タービン発電機の特長である高信頼性、運転及び保守点検の容易なことに、更に下記のような利点を加えることができた。図1は10 MWの新系列機の外観を示す。

(1) 高効率

回転数低下に伴い、従来の2極機に比較して機械損が減少し、発電機効率を向上できた。例として、15 MW 60 Hz 機の従来の2極機との発電機効率の比較(当社比)を図2に示す。

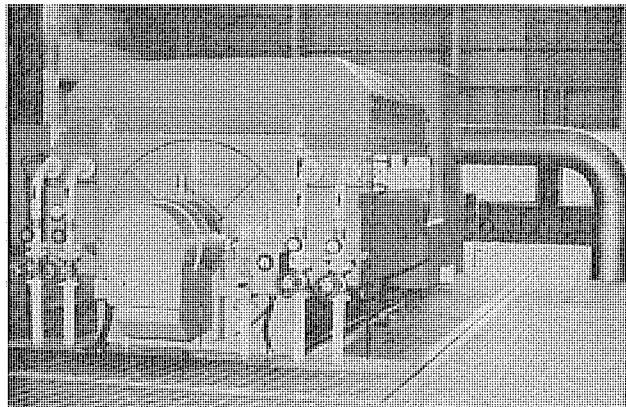


図1. 10 MW, 4極タービン発電機の外観

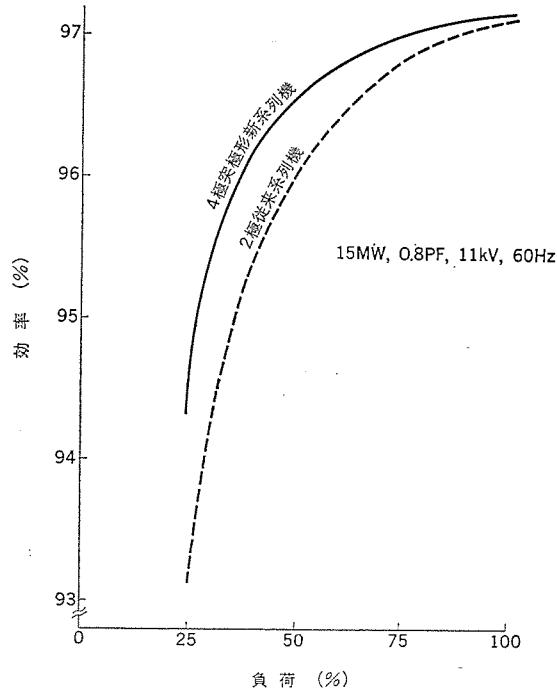


図2. 発電機の効率比較

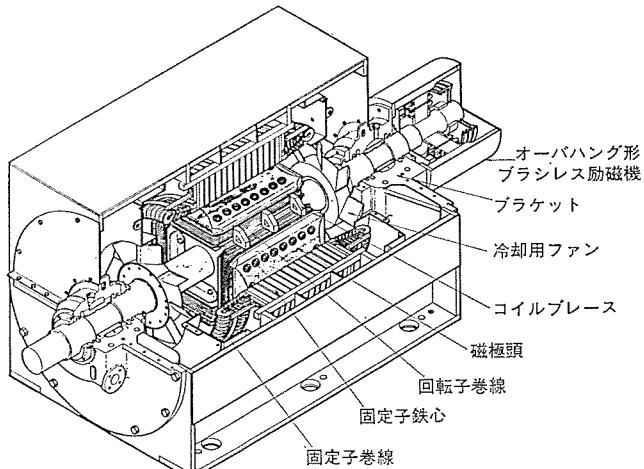


図3. 4極突極形タービン発電機見取図

(2) 低騒音

回転数を下げるにより、発電機・励磁機の騒音が2極機に比較して(当社比)機側1mの位置で平均3dB低下した。

(3) 構造の単純化(図3. 参照)

回転数が低いため、2極機よりも回転子直径を約50%大きくし、固定子鉄心長さを30%以上短く設計することができ、固定子の冷却方式の単純化も含めて固定子全体の構造が単純になった。つまり、2極機では固定子鉄心長さが長いため、固定子鉄心を軸方向に数個に区分して冷却風を両端からだけでなく鉄心背後からも押し込むい

わゆる複式放射通風方式を採用しているが、この系列機では冷却風はすべて固定子と回転子との空げき(隙)を通り、固定子鉄心間の通風孔(溝)から外周方向に出るいわゆる単式放射通風方式を採用した。

(4) 製作日程の短縮

従来の当社のタービン発電機は2極・4極機とも円筒界磁形であったので、回転子関係は軸材機械加工、円筒形鉄心積み(2極機ではこの構造を同一軸材から削り出す)、回転子巻線入れ、回転子巻線成形など主要工程が直列になっていた。しかし、この系列機では前述の主要工程を並列して行い、最後に一括して軸に回転子巻線を取付け、その上から磁極頭を軸にボルト締めして回転子巻線を保持する突極形構造を採用したため、製作日程が大幅に短縮できた。

(5) 高い初期過渡 リアクタンス

冷却効果の向上による電気装荷の増加、突極形塊状磁極の採用、固定子鉄心内径の拡大及び固定子鉄心長さの縮小などの設計ができたので、初期過渡 リアクタンスの値を2極従来機の約1.4倍に大きくすることができた。これは発電機出力回路のしゃ(遮)断器選定に有利である。

2.2 設計上の留意点

2.2.1 高信頼性

新系列機には次に示すような考慮を十分に払い、信頼性の向上を図った。

(1) 回転子

実規模モデル(15 MW級)を製作し、磁極頭及び磁極頭締付用ボルトにひずみ検出素子をは(貼)り、回転中の応力分布を実測、解析した。回転子巻線内部には熱電対を埋込み、温度分布を測定した。また、現寸大モデルにて磁極頭及び締付ボルトの疲労試験を行って、信頼性を十分確認した。

軸受間距離をできるだけ短くし、発電機の1次危険速度を定格回転速度(1,800 rpm又は1,500 rpm)の20%以上高くなるよう設計しているので、始動又は減速途中で危険速度を通過することが無く、振動に対する信頼性が向上した。図4.は危険速度解析の1例である。

(2) 固定子

固定子巻線には高圧用として豊富な実績をもつ当社独自の《ダイヤラステック》エポキシ絶縁(F種)を施している。また、回転子巻線及びブラシレス励磁機の絶縁もF種を採用し、全体の協調を取っている。

ブラケット部は2極機(3,600 rpm又は3,000 rpm)の設計思想を引きいでおり、振動・潤滑に対しても信頼性の高い設計になっている。

(3) ブラシレス励磁機

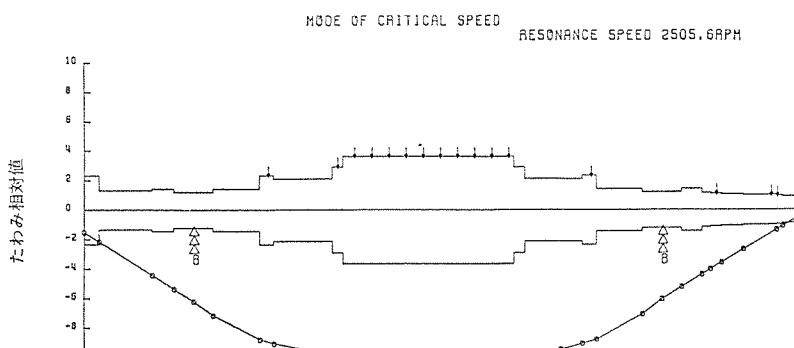


図4. 軸振動解析例

当社では2極タービン発電機を含め、ブラシレス励磁方式を標準として採用しており、その実績は260台を超えており。更に、オーバハンジ形ブラシレス励磁機を開発し、2極タービン発電機の標準として既に50台以上の実績がある。それに続き、新系列機にもオーバハンジ形ブラシレス励磁機を採用した。図5.はその外観を示す。

これにより励磁機専用の軸受が不要となり、励磁機部分のアライメント作業が不要となり、すえ(据)付けが容易でかつ信頼性の高いものとなっている。また、励磁機は発電機本体と一体で輸送及び据付けができる。

2.2.2 高効率化

新系列機では2極従来機に比較して大幅に機械損を低くしている。機械損は回転子の体格に大きく影響される。このため、機械損を更に減らすよう回転子冷却効果の向上を図り、回転子の体格をより小さくした。すなわち、回転子巻線の全周に冷却用 フィンを設けて冷却効果を大きくした。

また、前述のように励磁機には専用の軸受が無いことも機械損減少の一助となっている。更に、回転子の磁極表面に円周方向に小さな溝を多数設けて、回転子表面に発生するうず電流損を減少させた。また、固定子鉄心重量はF種絶縁の採用並びに固定子冷却効果の改善により従来の2極B種絶縁機よりも約30%軽くなり、鉄損が低減できた。

この結果、機械損に鉄損を加えた発電機の固定損が軽減されたため、効率の高い発電機となり、特に部分負荷時の効率が大きく改善された(図2. 参照)。

2.3 標準仕様

形式	横軸突極回転界磁形
通風冷却方式	全閉内冷形、空気冷却器横抱き形
軸受方式	両 ブラケット形
出力	5~20 MVA
5 MVA以下の4極機に対しては、別系列の三菱CFC形(円筒積層鉄心形回転子)を適用する。	
絶縁	F種、《ダイヤラステック》エポキシ絶縁
適用規格	JEC-114(1979)
外国規格にもオプションとして対応できる。	
短絡比	約0.5
励磁方式	オーバハンジ形ブラシレス
過速度耐量	定格回転数の120%

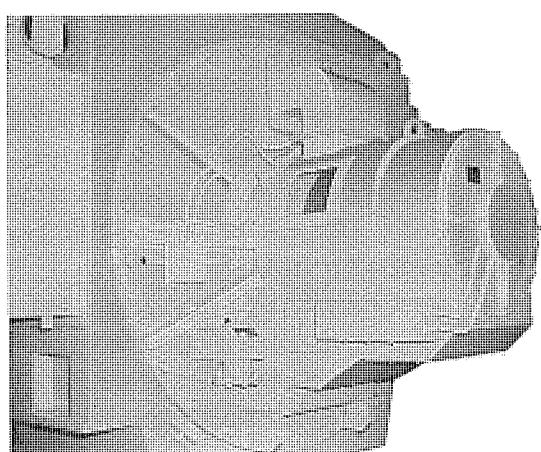
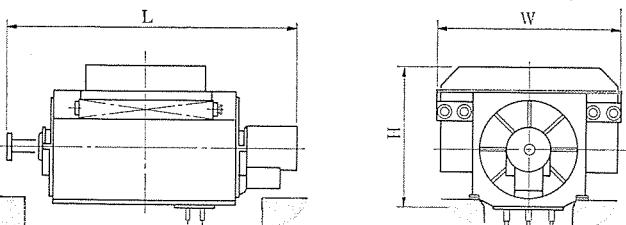


図5. オーバハンジ形ブラシレス励磁機

表 1. 4 極突極形 タービン発電機外形寸法重量



出 力		主 要 寸 法 (m)			全 重 量
MVA	MW	W	H	L	(トン)
6.25	5	3.1	2.3	4.5	24
7.5	6	3.1	2.3	4.7	26
8.75	7	3.1	2.3	4.8	28
10.0	8	3.6	2.8	5.3	39
11.25	9	3.6	2.8	5.4	40
12.50	10	3.6	2.8	5.5	41
15.0	12	3.6	2.8	5.7	45
18.75	15	4.1	3.2	6.2	57

出 力		主 要 寸 法 (m)			全 重 量
MVA	MW	W	H	L	(トン)
6.25	5	2.8	2.0	4.2	19
7.5	6	2.8	2.0	4.4	21
8.75	7	3.1	2.3	4.7	26
10.0	8	3.1	2.3	4.8	28
11.25	9	3.1	2.3	4.9	29
12.50	10	3.6	2.8	5.3	39
15.0	12	3.6	2.8	5.4	40
18.75	15	3.6	2.8	5.7	45

外形寸法重量……………表 1. に 0.8 PF の場合を示す。

3. 構造上の特長

3. 1 固定子

固定子わく(枠)は小形軽量化と強度の増加を図るため、鋼板溶接式を採用している(図 6.)。

固定子巻線はフルコイルを採用し、巻線端部の接続箇所の数を少なくし、巻線内の漂遊負荷損を低減している。

3. 2 回転子

軸は単一鍛造品の炭素鋼から磁極胴を削り出す方式を採用している。回転子巻線は平角銅線をエッジワイズ曲げをして製作し、単体で強大な遠心力に耐えるように十分高い圧力で素線間絶縁・主絶縁を焼付成形を行っている。上記の磁極胴に回転子巻線をはめ込み、磁極頭を磁極胴にボルト締めすることにより、回転子巻線を軸から飛び出さぬよう保持している。

また、各巻線相互間にはコイルブレースを設け、回転子巻線の変形を防いでいる。更に、軸材・磁極頭・締付ボルト・コイルブレースなどの回転子の材料は、高速回転機として十分な信頼性を得るために入念な非破壊検査を行い、十分な品質管理を行っている(図 7.)。

3. 3 回転子支持方式(軸受)

回転子支持方式は両 ブラケット形を採用し、輸送、据付けを簡単にしている。軸受と ブラケットとの当たり面は、軸の湾曲・据付けの誤差が仮に生じても軸が不当な応力を受けることがないように、球面になっている。また、軸受は強制給油方式のスリーブ軸受を採用している。

軸電流防止のため、軸受と ブラケットの間を絶縁している。油切り

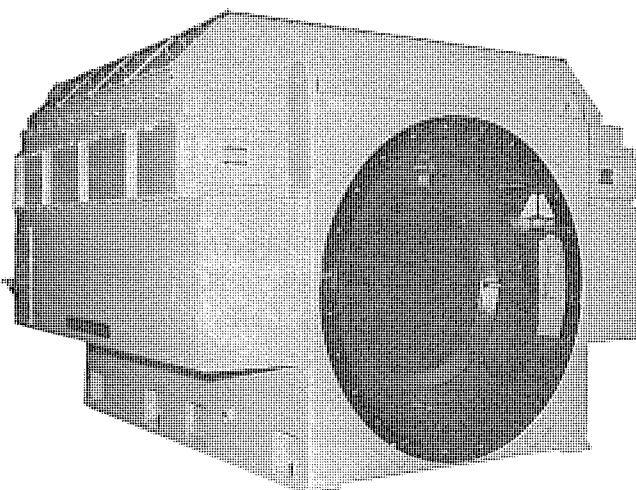


図 6. 固定子(空気冷却器が固定枠の両側肩部に配置されている)

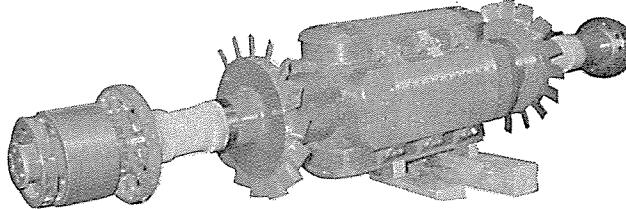


図 7. 回転子

部には発電機本体から加圧された空気を導くエアシール方式を採用し、油漏れ防止に万全を期している。

発電機の軸振動監視用として、 ブラケットには軸受台振動検出器のほかに軸振動を直接検出する接触形又は非接触形軸振動計も取付けられるようにしている。

また、 ブラケットの剛性については、各種類ごとに加振試験による実証を行い、十分な剛性を確認した。

3. 4 空気冷却器の配置

新系列機の空気冷却器配置は、発電機固定子枠の両側肩部に配置した横抱き形とした。この結果、空気冷却器に取付く通風ダクトを含めて発電機と励磁機を一体で輸送ができる、更に現地据付工事も極めて容易となった。

4. むすび

以上 4 極突極形 タービン発電機の新系列について特長、構造などの概要を述べた。この新系列機は、従来の 2 極機と同等又はそれ以上の電気的特性、運転保守の容易性を目標としており、所期の目標を満足し、特に効率向上、低騒音が確認された。また、外形寸法重量も 2 極機と大差の無いものとなった。これらにより、従来の 2 極空気冷却タービン発電機の系列に加えて、需要家各位に更に多様化した発電機を供給できるものと自負している。

なお、20 MVA を超えるものについては、市場需要を見て将来この系列を広げる所存である。

参考文献

- (1) 森崎、舟橋、村井：2 極空気冷却タービン発電機の新シリーズ、三菱電機技報、54, No. 12 (昭 55)
- (2) 福本、加藤、松野、小西：同期電動機の最近の動向、三菱電機技報、53, No. 8 (昭 54)

高速大容量316MVA/320MW発電電動機 —四国電力(株)本川発電所納め—

森 与志彦*・沢谷 賢二*・佐野 賢三*

1. まえがき

四国電力(株)本川発電所は、日本最高の揚程576mを誇る揚水発電所である。ここに納入される発電電動機は、高速(400 rpm)、大容量(316 MVA)機として、国内はもとより世界でも有数の記録品である。また、単に高速大容量の記録品であるだけでなく、次に示すとおり数々の技術的特長をもつ画期的な製品である。

- (1) 約9.5という高い出力係数(固定子内径単位体積当たりの出力)の設計を採用し、全体がコンパクトな構造になっている。
- (2) 通風冷却は、回転子リムダクト通風による自力通風方式である。これまでこの種の発電電動機にほとんど例外なく採用した他力通風用の別置電動送風機⁽¹⁾を省略して、運転保守を簡素化するとともに、その動力損の分だけ省エネルギー化を図った。
- (3) 定格運転時の最大スラスト軸受荷重約1,440トンを支持する可逆回転用スラスト軸受には、軸受パッド内に冷却水を通す直接水冷スラスト軸受を採用し、信頼性の向上と小形化による軸受損失の低減を図っている。

以上のほかにも後述のとおり多くの特長のある画期的な製品であり、設計製作に先立ち開発及び検証をかねた技術試験を実施して新技術を確立した。工場における四国電力(株)の立会試験は、昭和56年1月に好成績をもって終了し、現在すえ(据)付中である。以下に本機の概要を紹介する。

2. 仕様と定格

2.1 発電電動機

形	式	立軸準かさ(爺)形全閉空気冷却式3相交流同期発電電動機(空気冷却器6個付き)
定格出力	316 MVA	320 MW
定格電圧	13.2 kV	13.2 kV
定格電流	13,821 A	14,478 A
力率	0.95 遅れ	0.99 進み
周波数	60 Hz	
回転速度	400 rpm	
極数	18	
台数	2台	
はづみ車効果(GD ²)	7,500 t-m ²	以上
短絡比	0.8以上	
励磁方式	純ブリッジサイリスタ励磁	
励磁容量	528 kW, 330 V, 1,600 A	

2.2 始動装置

形	式	サイリスタ始動
出力		23,000 kW
定格電圧	13.8 kV (DC側)	
定格電流	1,670 A (DC側)	

素子と構成 “FT 1500 DV-80”, 16 S, 1 P, 6 A, 2 G
冷却方式 強制風冷2次水冷方式
同期方式 高圧同期

3. 基本設計上の特長

3.1 通風冷却

回転子リムに設けられたダクトのファン作用を利用したリムダクト通風方式は、固定子鉄心積厚方向の冷却風量の分布を均一化できるとともに、通風損失を低減するための総風量の制御が構造上設計しやすいなどの特長がある。この方式が高速大容量の発電電動機にも採用できれば、まえがきにも述べたとおり大きな利点が得られる。しかし、高速機では一般に、回転子リム内周側の通風路が構造上広くとれない制約があり、したがって通風抵抗も大きくなつて所要の冷却風量を確保することが困難であった。これに対して、通風抵抗を減らす構造上の工夫を施し、計算機による通風解析や静止リムダクトモデルによる通風試験、及びリムダクト1段のみの回転リムダクトモデルによる詳細な通風試験を行つて、この通風方式の採用を決定した。更に実機の1/5縮尺の通風モデルも製作して、通風特性の確認を行つた。図1.に通風モデルの外観を示す。この通風モデルの作動流体は、空気である。図2.は、工場試験における実測値と計算値の比較である。両者はよく一致しており、通風モデルで確認されていたとおり、実機のリムダクト通風特性が鉄心長方向に平坦で良好な冷却風量分布になっていることが実証された。

機械の大きさに対する出力の割合を示す指数に出力係数がある⁽²⁾。これは定格出力kVAを、固定子鉄心内径(m)の自乗、鉄心積厚(m)及び回転速度(rpm)で除したものである。本機は、リムダクト通風による均一な冷却の確立や、6mm固定子冷却ダクトの多数配置及び回転子コイルの外側及び内側冷却方式の採用による冷却能力の向上により、その出力係数は約9.5とした。この値は、当社実績のなかで最大級の値であり、極めてコンパクトな機械となっている。

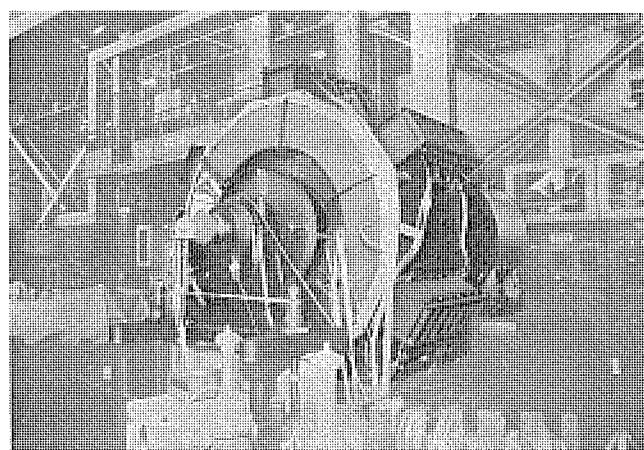


図1. 316 MVA/320 MW発電電動機1/5縮尺通風モデル

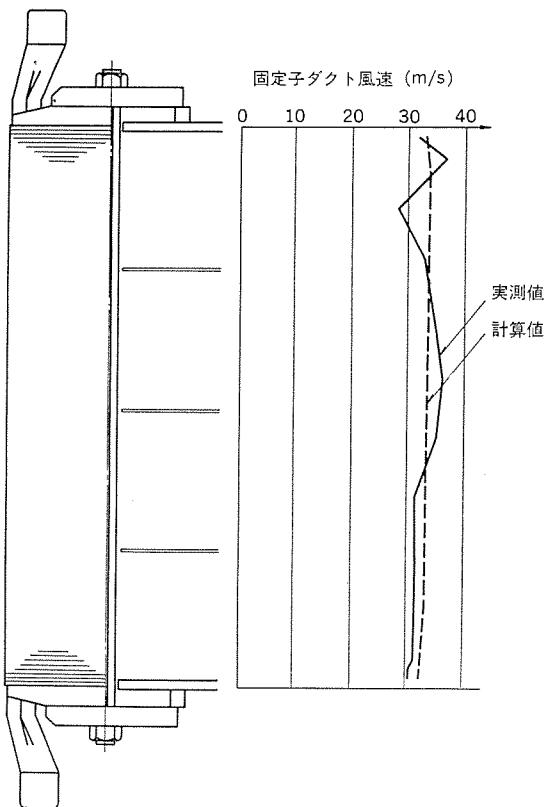


図 2. 固定子ダクト風速の積厚方向分布

3.2 直接水冷スラスト軸受

高速大容量機のスラスト軸受は高荷重・高周速となるので、軸受潤滑上非常にかこく(苛酷)な負荷条件となる。軸受としての高い信頼性を確保するためには、軸受しゅう(摺)動面の油膜最高温度を低く設定して油膜の厚さを十分に確保することが必要である。一方軸受損失をできるだけ少なくして、効率を向上するためには、軸受の小形化が有効である。当社では、3,000トンスラスト軸受試験装置⁽³⁾によるデータを多数保有しており、本機の運転条件に合った試験結果を詳細に検討した結果、直接水冷軸受を最も適した方式として採用することとした。その主な特長は、次のとおりである。

- (1) 軸受パッドの過大熱変形による軸受性能の低下を防止できる。
- (2) 軸受摺動面油膜温度の過大上昇による油膜厚みの減少を防止できる。

(3) 軸受の小形化による軸受損失の低減が図れる。

当社の直接水冷スラスト軸受は、14.5 MVA実機で約10年の運転実績をもっており、構造面でも十分な裏付けをもっているが、万一軸受冷却水が断水しても所要の軸受性能を保持できるように信頼性の確保のために万全の注意を払った。

3.3 上プラケットの直接建屋基礎支持

発電電動機の振動抑制のためには、ポンプ水車を含めた軸系及び軸受支持系の剛性の確保が必要不可欠である。軸受支持系については、更に機械側と建屋基礎側との協調が必要である。上ガイド軸受に作用する荷重を直接建屋基礎に伝達し、必要な軸受支持部剛性を確保するため、上プラケットの脚を直接建屋基礎に取付ける構造を採用した。

3.4 電気制動

主機の停止時に使用する制動方式として、電気制動を採用した。電気制動の操作は、発電機解列後1度無励磁とし、ポンプ水車及び発

電電動機の空転損失で減速する間に発電機線路側を短絡し、約20%速度まで速度が低下した時に再励磁して定格電機子電流相当の電流を流して制動する方式とした。なお、通常の空気式機械ブレーキも併設した。

4. 構造上の特長

図3に発電電動機の組立断面図を示す。以下に主な構造上の特長を紹介する。

4.1 固定子

工場で完成した固定子の全景を図4に示す。

固定子は、輸送上の寸法制限により6分割構造とした。また、固定子コイルは、ワントーンハーフコイルの重ね巻構造とした。絶縁はエボキシ樹脂系の新《ダイヤレジン》である。この新《ダイヤレジン》絶縁方式は、高温における機械的・電気的諸特性にすぐれF種としても使用可能なもので、発電電動機のひん繁な始動停止による苛酷なヒートサイクル

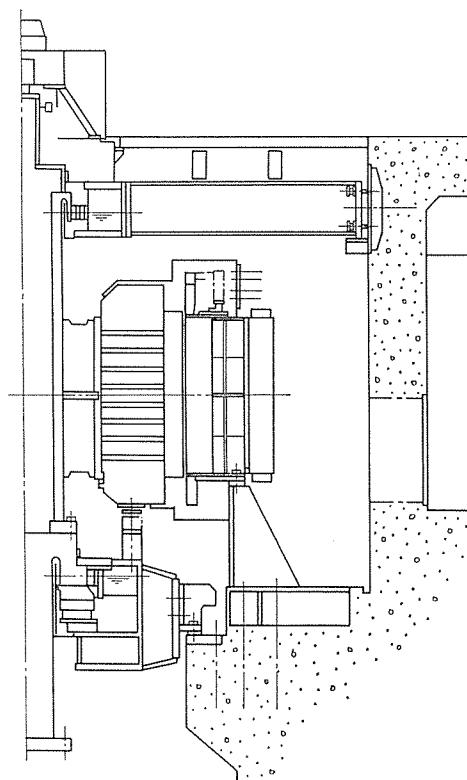


図3. 316 MVA/320 MW 発電電動機組立断面図

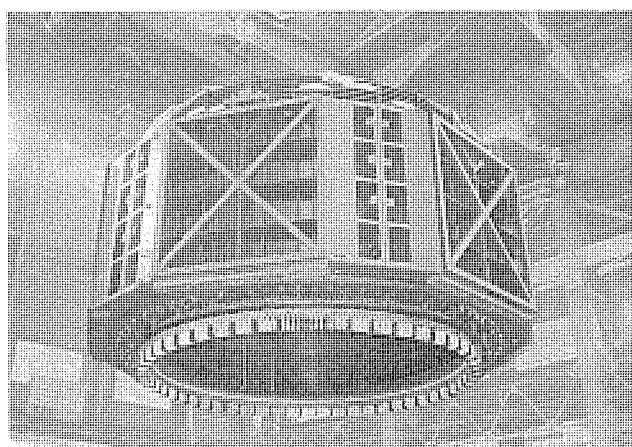


図4. 固定子

のもとでも長年月にわたって安定した性能を発揮できる⁽⁴⁾。ハーフコイルの端部接続は、銀ろうによる一括ろう接法を採用した。

本機の固定子の大きな特長は、特に鉄心の波打ち防止をかね、上ブラケットを直接建屋基礎に支持する構造とし、固定子わく(枠)と上ブラケットとの縁を切り、固定子の熱伸びを拘束しない構造としたことである。この構造は、準傘形機においては本機が最初である。更に、ベースブロックと固定子枠との接続は、半径方向に滑りやすい構造としており、鉄心の波打ち防止に万全を期している。

4.2 回転子

工場完成した回転子を図5.に示す。本機の回転子は、定格速度時毎秒約116mという記録的な高周速であるため、強度には特別な配慮を払い十分な検討のもとに設計を行った。

回転子リムは、高降伏点の厚鋼板製のリング状板を積層して構成したリングリム構造を採用している。通風用のリムダクトは、前述のように高速大容量機に対して最適になるように確立された設計手法に基づいて、固定子鉄心部に対応して軸方向に8か所設けてあり、固定子と回転子の両巻線及び両鉄心を効果的に冷却するようになっている。必要なはずみ車効果(GD²)を確保するために、回転子リムの上下には鉄心長部分からオーバハンプさせて、フライホイール相当部分を設けている。回転子リムの輸送は、重量制限のため5分割にして行った。

鋼板溶接製のスピアボスから回転子リムへのトルク伝達は、センタードライブ構造とした。この構造は、トルク伝達が合理的であるばかり

でなく、通風上からも回転子リム内周側への空気流入速度を下げ、通風抵抗を低減でき、合理的である。ローターバランスの観点からも、定格速度において回転子リムがスピアボスからフロートしないことが必要である。このため、回転子リムとスピアボスの間には、半径方向キーのほか接線方向のキーも設置した。このほか、スピアボスの円筒部分を延長して、準傘形機の上部軸と一体構造としたのも大きな特長である。上ガイド軸受カラーとスピアボスは、ボルト結合とした。

4.3 軸受

スラスト軸受は、最大設計荷重1,440トン、常時運転設計荷重1,190トンである。直接水冷パッドの採用により、軸受平均面圧を約42kg/cm²と高くして軸受の小形化を図った。この結果、従来設計の平均面圧35kg/cm²の場合と比較して、約15%の軸受摩擦損失の低減ができた。図6.に工場組立中の直接水冷スラスト軸受を示す。直接水冷パッドの構造は、鋼板製台金の上にトルクキー及びボルトで保持された厚鋼板製のパッドをおき、この鋼板製パッドの中に直接冷却水を通してパッドを冷却するものである。この鋼板パッドの摺動面側には、バビットメタルが鋳込まれている。パッドの直接冷却の効果により、スラスト軸受の荷重・周速-温度特性は大幅に改善されている。なお、前述のとおり、本機のスラスト軸受はその軸受平均面圧、外周すべり速度からみて直接冷却水なしでも、安全に運転できるようにしておらず、十分余裕のある設計となっている。なお、直接水冷パッドより取去られる熱は、全スラスト軸受及び上、下ガイド軸受発生損失の一部であって、残りは通常のセルフポンプによる油循環外部設置油冷却器により取去られる。

上、下ガイド軸受は、セグメントタイプ軸受を採用し、軸系の振動抑制の観点からその油膜ばね定数を大きくするため、セグメント1個の大きさを当社従来機よりも、約25%大きくした。下ガイド軸受は従来と同様、スラスト軸受と同一油槽(槽)内に設置され、外部設置の油冷却器で冷却された潤滑油により軸受の冷却を行っている。また、上ガイド軸受については、油槽内に冷却管を設置せず、スラスト軸受カラー自身のポンプ効果を利用して、外部設置の油冷却器からの冷油の一部を上部にくみあげて軸受の冷却を行う方式を採用している。くみあげられた油は軸受を冷却した後、オーバーフロー管からスラスト軸受油槽にもどされる構造となっている。この方式の採用により、上軸受油槽高さが低くなり、上下軸受間スパンが短縮されて、軸系の振動抑制に役立った。また、上軸受用油冷却器を省略し、保守の簡素化も図った。

5. 工場試験の結果

工場試験を昭和56年1月に実施し、本機の諸特性が所期のとおり高性能であることを確認した。代表的な試験結果を下記に示す。

図7.は工場完成した全景写真である。

(1) 短絡比	0.90
(2) 効率	
316 MVA, 力率0.95 発電機運転	98.2%
320 MVA, 力率0.99 電動機運転	98.3%
(3) リアクタンス	
直軸同期 リアクタンス	1.11 PU
直軸過渡 リアクタンス	0.221 PU
直軸初期過渡 リアクタンス	0.162 PU
横軸初期過渡 リアクタンス	0.186 PU
逆相 リアクタンス	0.174 PU

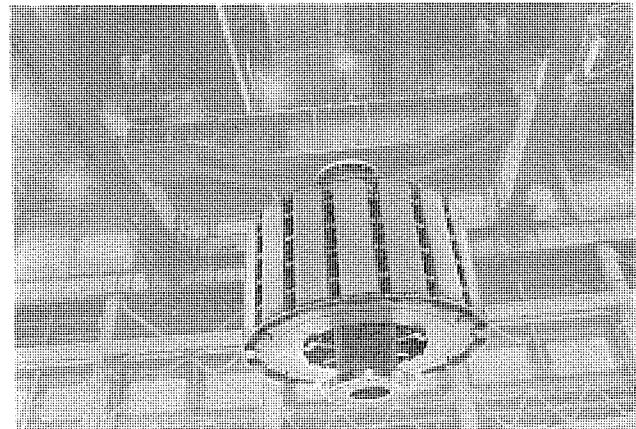


図5.回転子

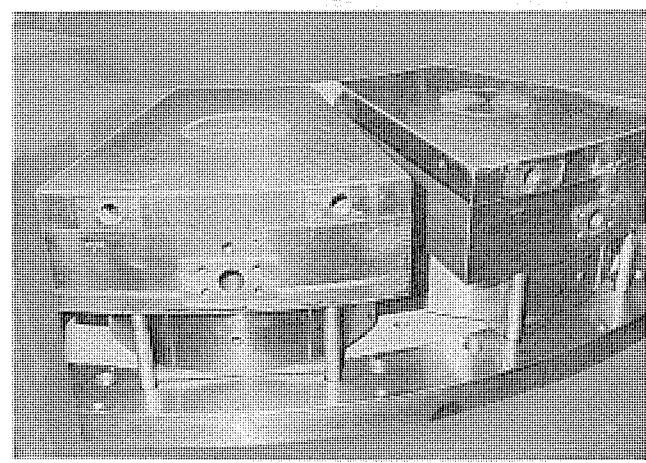


図6.直接水冷スラスト軸受

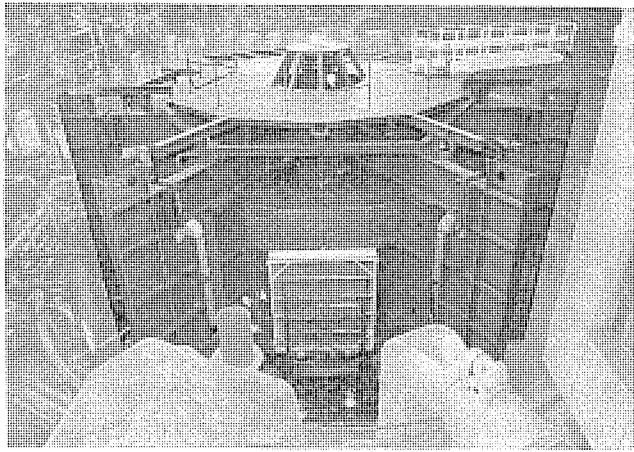


図 7. 工場完成した 316 MVA/320 MW 発電電動機

零相 リアクタンス	0.141 PU
(4) 波形歪み率 (線間電圧)	2.4%
(相 電 壓)	6.0%
(5) はすみ車効果 (GD ²)	7,734 t-m ²
(6) 等価温度試験法による定格出力時の推定温度上昇	
固定子巻線	64 deg
回転子巻線	50 deg
(7) 軸受温度	
水温 11°C における軸受温度は下記のとおり。	
上部 ガイド 軸受温度	50°C
下部 ガイド 軸受温度	43°C
スラスト 軸受温度	53°C

6. 揚水始動方式

図 8 の単線結線図に示すように、この発電所の主機 2 台を揚水始動するため、1 組のサイリスタ始動装置を備えている。特に高圧同期の主回路接続方式にサイリスタ始動装置を適用するのは、この発電所が世界で初めてであり、プラント全体の経済性を図っている。装置の高信頼性を得るために、制御部は完全 2 重化を採用し、始動開始前に模擬回路による始動チェックを自動的に行っている。また、サイリスタ素子に高圧試験電圧を印加して、始動前に素子のチェックが出来るようになっている。防災の面でもサイリスタは風冷、リクトル類は SF₆ガス封入として地下発電所の安全を図り、保守の容易な構造としている。

工場試験で発電電動機と組合せ始動試験を実施したが、その詳細は別途発表の予定である。

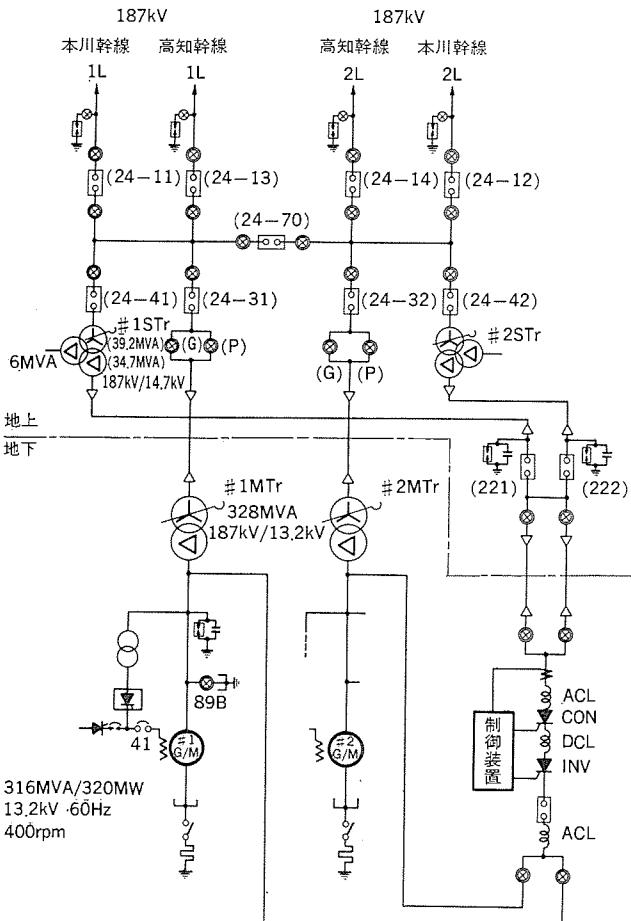


図 8. 単線結線図

7. むすび

以上、記録的な高速大容量機である四国電力(株)本川発電所向け発電電動機の概要を紹介した。ここに採用された新技術は、今後ますます高揚程化、大容量化する揚水発電所向け発電電動機の信頼性向上、高効率化及び運転保守の簡素化に寄与できるものと確信する。本機の設計製作に先立って行われた四国電力(株)殿との共同研究を含め、終始適切な御指導をいたいた四国電力(株)技術担当各位に對し、深く感謝の意を表する。

参考文献

- (1) 曽野ほか：三菱電機技報, 49, No. 9, P. 616 (昭 50)
- (2) 森ほか：三菱電機技報, 49, No. 9, P. 598 (昭 50)
- (3) 田附ほか：三菱電機技報, 43, No. 9, P. 1,223 (昭 44)
- (4) 柴山ほか：三菱電機技報, 48, No. 3, P. 291 (昭 49)

アラミッド繊維強化プラスチックスを用いたハニカム振動板

田中 準一*・小野 利夫**・矢島 幹夫***・島本 幸三*・児玉 峰一+

1. まえがき

Rice-Kellogg によりコーン形スピーカーが発明され、おおよそ 60 年になろうとしている。この間、材料面や構造に関する検討が進み、スピーカー自身の性能は格段に改善されてきている。

材料の中で、特に振動板材料に注目すると、長い期間にわたり天然パルプを抄紙したコーン紙の検討がなされてきており、現在でもこれが多く使われている。このことは、コーン紙がスピーカー振動板材料として比較的高い比弾性率（ヤング率 E/ρ ）と適度の内部損失を有するほか、何よりも低コストで、任意形状に容易に成形出来るためと考えられる。

コーン紙のほかにも、比弾性率の高いアルミニウムやチタンなどの金属材料、織布に樹脂を含浸させたものなどが検討されている。また、最近では、ベリリウム、ボロン及びカーボングラファイトなどの比弾性率の極めて高い新材料や更に大きな曲げ剛性が同時に得られるカーボン又はガラス繊維強化プラスチックス（CFRP, GFRP）を表皮材としたハニカム振動板が出現している⁽¹⁾⁽²⁾。

これらの高性能振動板材料が相次いで出現した背景として、まず振動板材料の飛躍的な進歩があげられる。更に、有限要素法を用いた解析技術、並びにコンピュータを用いた測定技術などの発達により振動板の役割が一層明確になったこと⁽³⁾⁽⁴⁾、及び PCM レコーダー オーディオディスクなどの DAD 時代を直前にし、スピーカーにも更に高性能化が要求されてきたことなどがあげられる。

この論文では、最新の高性能振動板材料の中でも、スピーカーの性能改善に大きな役割を果たす高い比弾性率と大きな曲げ剛性、更に適度の内部損失を兼ね備えているアラミッド繊維で強化したプラスチックスを表皮材としたハニカム振動板（以下アラミッドハニカム振動板と呼ぶ）のスピーカーへの応用について述べる。

2. 振動板材料としての条件

スピーカー振動板材料に必要な特性として、

- (1) 広い再生帯域を得るために音速、すなわち材料の有する比弾性率 E/ρ の平方根が大きであること。
- (2) 不要な共振を押えるため、適度な内部損失 η を有すること。
- (3) 能率を高くするために密度 ρ が小さいこと。

などがある。

更に、振動板の振動解析、モーダル解析などの結果から、スピーカーの低、中音域での高調波ひずみの低減や、再生帯域の拡大を図るうえで、

- (4) 曲げ剛性が大きであること。

が、(1)～(3)と並んで重要なことがわかった⁽³⁾⁽⁴⁾。また、一般的な特性としては、

- (5) 吸湿性が少なく、温度に対して安定で日光による変色がないなどの耐環境性に優れていること。
- (6) 密閉形やアコースティックエアサスペンション方式のキャビネットに取付

けられるスピーカーでは、低音再生の点で振動板に気密性が要求される。

などがある。

以下の章では、アラミッドハニカム振動板がこれらの振動板材料に必要な特性をどのように備えているかを具体的に述べる。

3. アラミッドハニカム構造の特性

3.1 アラミッド繊維

アラミッド繊維は芳香族ポリアミド系の有機繊維で、高弾性、低密度 ($\rho=1.45 \text{ g/cm}^3$) の特性、更にカーボンやガラス繊維などの無機繊維に比べ内部損失が大きいなどの特長を有しており、航空機の構造部材、アンテナなどの航空宇宙関係やポート、スポーツ用品などの新材料として注目されている。表 1. は、各種強化繊維の定数を比較したもので、アラミッド繊維は、一般的に広く使われているガラス繊維に比べて比弾性率で約 2.5 倍の高い値を有しているほか、カーボン繊維より約 30% 軽くなっている⁽⁵⁾。

表 1. 各種強化繊維の特性⁽⁵⁾

強化繊維	引張強度 (kg/mm ²)	引張弾性率 E (kg/mm ²)	比重 ρ (g/cm ³)	比弾性率 E/ρ (cm ² /s ²)
アラミッド繊維	280	13,300	1.45	9.2×10 ¹¹
カーボン繊維(高弾性)	200～250	35,000～38,000	1.95	19.0×10 ¹¹
ガラス繊維	350～490	8,400～9,000	2.48	3.6×10 ¹¹
ボロン繊維	300～450	38,000～42,000	2.62	16.0×10 ¹¹

3.2 アラミッドハニカムの構成

アラミッドハニカム振動板は、アラミッド繊維を強化材とし、エポキシ樹脂をマトリクスとした FRP を表皮材に用い、2 つの表皮材の間にアルミニウムハニカムコアをサンドイッチした構造をとっている。なお、アラミッド繊維には、意匠及び耐候性を考慮した着色並びにエポキシ樹脂との接着性を良くするために特殊界面処理を行っている。更に、繊維自身の大きな内部損失を生かすため、樹脂にも内部損失の高い可とう(撓)性樹脂を配合している。

3.3 アラミッドハニカムの物性

ハニカム構造における基本的な物性、例えばコアの厚さ、表皮材の厚さなどを変化させたときの E/ρ や η に関しては、ガラス繊維を強化材とした場合について既に報告した⁽¹⁾。ここでは 2 章に述べた各項目を中心にアラミッドハニカムの物性を述べる。

3.3.1 比弾性率 E/ρ と内部損失 η

E/ρ , η の測定用試料は、長さ 20 cm, 幅 3 cm, 厚さ 3.2 mm とした。表皮材は厚さ 0.1 mm のアラミッド繊維強化プラスチックス（アラミッド繊維のクロスを用い、樹脂はエポキシ系とした）、コアのセルサイズは 3/16 インチ（約 4.8 mm）、材質はジュラルミン、はく（箔）厚は 0.018 mm とした。

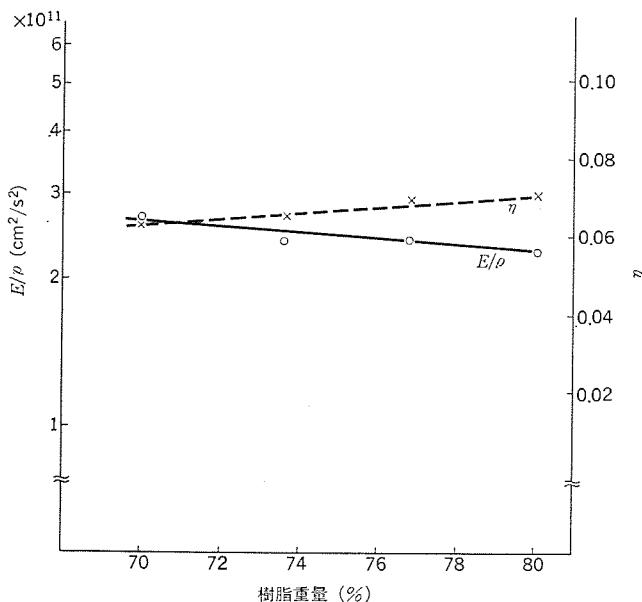


図 1. 樹脂量と $E/\rho \cdot \eta$

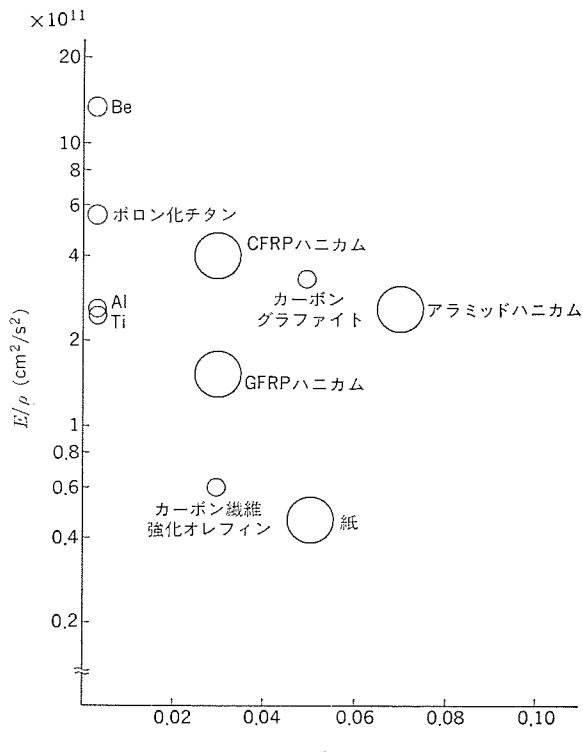


図 3. 各種振動板材料の $E/\rho \cdot \eta$

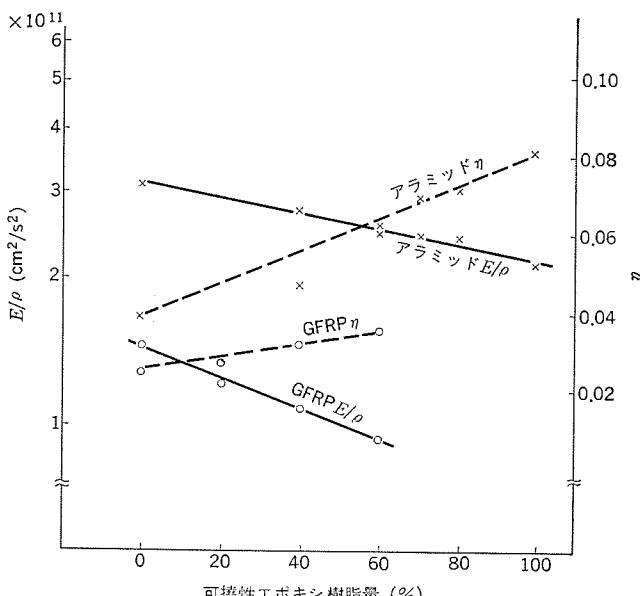


図 2. 可撓性樹脂量と $E/\rho \cdot \eta$

試料の弾性率は振動リード法を用い、繊維方向での値を測定した。

図 1. は、アラミッド繊維に付着するエポキシ樹脂の量（重量 %）を変えたときのハニカム構造の E/ρ 、 η である。 E/ρ は樹脂量を増していくと低下し、 η は逆に増加していくことがわかる。この結果は、連続繊維を用いた一方向性強化材における弾性係数の複合則、式 (1) からも予測できることである。

$$E_c = E_f V_f + E_m (1 - V_f) \quad \dots \dots \dots (1)$$

ここに E_c 、 E_f 、 E_m : 強化材、繊維、樹脂それぞれのヤング率

V_f : 繊維の体積含有率

となる⁽⁶⁾。複合則と比較すると、ハニカム構造及びクロス繊維を用いていることなど測定条件が異なるが、同様の傾向を示している。また、強化繊維のヤング率は樹脂に比べて極めて大きいので、樹脂量を増したときの E/ρ の低下は比較的少ない。

図 2. は、アラミッド繊維及びガラス繊維に付着するエポキシ樹脂に可

撓性エポキシを配合したときのハニカム構造の E/ρ 、 η である。図から、アラミッドハニカムは E/ρ が GFRP ハニカムの約 2 倍あり、しかも η も大きなこと、更にアラミッドハニカムでは、可撓性樹脂量を増したときの E/ρ の低下が GFRP ハニカムに比べ少なく、逆に η は大きく増加している。

これらの原因として、

- (1) アラミッド繊維に特殊界面処理を行ったことにより、エポキシ樹脂との接着性が大幅に改善されている。
 - (2) アラミッド繊維の E/ρ がガラス繊維の 2.5 倍あり、樹脂配合による E/ρ の変化が少ない。
 - (3) アラミッド繊維の η がガラス繊維に比べ大きい。
- などが考えられる。

以上の結果から、アラミッドハニカムの代表的な値として $E/\rho = 2.5 \times 10^{11} (\text{cm}^2/\text{s}^2)$ 、 $\eta = 0.07$ とし、他の振動板材料の定数と比較したのが図 3 である。図で、ベリリウム、ボロンなどは金属材料の中でも極めて高い E/ρ を有しているが、 η は小さく、しかも大形状での成形がむずかしいため主に高音用振動板として使われている。アラミッドハニカムは E/ρ が大きく、しかも η は図中の振動板材料の中で最も高い値となっている。

3.3.2 曲げ剛性

アラミッドハニカムを含むハニカム構造は空気層を 90% 前後も含むハニカムコアを用いており、大きな厚みが得られている。また、アラミッド繊維のヤング率 E が大きいため、曲げ剛性 D も極めて大きな値となる。ここで、厚みを h 、ポアソン比を ν とすると、曲げ剛性 D は、

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)} \quad \dots \dots \dots (2)$$

であらわされる。曲げ剛性が大きい振動板は、節直径の生じる非軸対称分割振動が起きにくく、この振動に起因するひずみを低減できるほか、キャビネット内の定在波などで振動板が部分的に変形するこ

表 2. 各種振動板材料の曲げ剛性

振動板材料	密度 ρ (g/cm ³)	ヤング率 E (dyne/cm ²)	音速 $\sqrt{E/\rho}$ (cm/s)	内部損失 η	曲げ剛性 (dyne · cm)
アラミッドハニカム	0.10	3.0×10^{10}	5.5×10^5	0.07	3.95×10^5 (厚さ 0.52 cm)
紙	0.5	2.0×10^{10}	2.0×10^5	0.05	2.3×10^5 (厚さ 0.05 cm)
アルミニウム	2.7	7.2×10^{10}	7.2×10^5	0.001	0.7×10^5 (厚さ 0.01 cm)
アルミスキンハニカム	0.15	2.5×10^{10}	4.1×10^5	0.02	3.295×10^5 (厚さ 0.52 cm)

表 3. ウェザーメータによる紫外線照射と色差 (ΔE)
(220 h の照射で約 1 年間の屋外ばく露に相当)

サンプル	照射時間 (h)	250	500
アラミッドハニカム (繊維着色)	0.5	0.7	
アラミッドハニカム (着色なし)	9.5	11.5	
アラミッドハニカム (着色なし, 紫外線防止剤入)	8.8	10.2	
アラミッド繊維 (着色なし)	11.5	11.7	

とも防げるなどの利点をもつ。表 2. は、同一重量になるような厚さにしたときの各種振動板の曲げ剛性を比較したもので、アラミッドハニカムは紙に比べ 1,000 倍以上の大きな値を得ている。

3.3.3 耐候性

アラミッドハニカムは FRP を表皮材として用いているため、吸湿がほとんどなく、したがって屋外での使用も可能である。一方、アラミッド繊維は紫外線により変色の可能性がある。ここでは、アラミッドハニカムの耐候性について述べる。表 3. に示す 4 種類のサンプルを選び、ウェザーメータにて 250 h 及び 500 h 試験を行った前後の色差 ΔE を求めた。なお、 ΔE と肉眼観察との概略相関は次のとおりである。

$\Delta E = 1.0$ 以下……ほとんど変化なし

$\Delta E = 1.1 \sim 3.0$ ……わずかに変色

$\Delta E = 3.1$ 以上……著しく変色

ウェザーメータによる耐候性試験の結果を表 3. に示すが、アラミッド繊維に着色したものは変色がほとんどなく、その他は同様の変色を生じた。

3.3.4 透気度

透気度並びにその測定法は、JIS P 8117 に示すとおり、645 mm² の面積の紙を空気 100 ml が通過するのに要する平均秒数を透気度と呼んでいる。透気度が低いと気密性が悪くなり、スピーカーの性能としては、能率の低下やひずみの増大、更に密閉箱などでは低音再生の劣化を起こすことになる。アラミッドハニカムは FRP スキンを用いているため、気密性が高く、透気度は樹脂量の少ないもので 2,600 s となった。一方、コーン紙は 2~10 s であり、アラミッドハニカムが極めて高い気密性を有している。

以上述べてきたように、アラミッドハニカムは E/ρ 、 η 、曲げ剛性、耐候性、透気度など振動板材料として必要な性質のほとんどが優れていることが明らかとなった。

4. アラミッドハニカム振動板

ここでは、アラミッドハニカムの振動板としての特長を計算結果や測定結果を用いて明らかにする。

4.1 振動板形状

コーン形状の振動板の 1 次共振周波数は、図 4. の形状を用いると、式(3)のようにあらわされる⁽³⁾。

$$f_1 = \frac{\sin \alpha}{2\pi R_a} \cdot \sqrt{\frac{E}{\rho(1-\nu^2)}} \cdot \frac{R_l(R_l^2 - 6 \cdot R_l + 10.7)}{4.823} \cdot \cot \alpha \quad (3)$$

ここで、口径 32 cm のウーファーの定数として、 $R_a = 12$ cm、 $R_b = 3$ cm とし、アラミッドハニカム及び紙コーンの E/ρ をそれぞれ式(3)に代入し、頂角 α を変化したときの f_1 の結果を表 4. に示す。表からわかるように、 f_1 として高い値を得るために紙コーンではかなり深い形状となるが、アラミッドハニカムでは E/ρ が大きいため深い形状でもよい(実際のスピーカーではエッジによる f_1 の低下がある)。

一方、コーン形状では、振動板前面の空気室の影響で、振動板がピストン振動していても音圧-周波数特性に乱れを生じる⁽⁷⁾。この前室効果の影響を少なくするには、コーン形状をなるべく浅くすることが望ましいが、浅くすると、表 4. での計算結果のように振動板の分割共振周波数が低下することになる。

次に、この前室効果の影響を調べるために、 $R_a = 12$ cm、 $R_b = 3$ cm とし、頂角を変化したときの音場計算を行い、その結果を図 5. に示す。この計算は振動板に同一形状のキャップをつけ、振動板がピストン振動している条件で行ったが、コーンが深い 45° の頂角の場合、音圧-周波数特性が大きく乱れることがわかる。

このように、アラミッドハニカム振動板は E/ρ が大きくコーン形状を浅

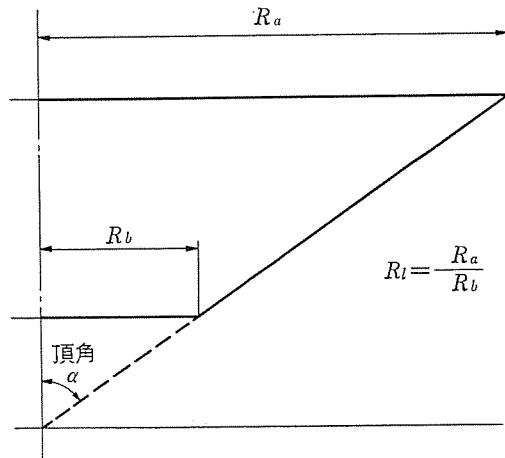


図 4. コーン形状

表 4. 頂角 α と 1 次分割共振周波数 f_1

振動板	頂角 α (°)	R_a (cm)	R_b (cm)	比弾性率 E/ρ (cm ² /s ²)	ボマソン比 ν	f_1 (Hz)
アラミッドハニカム	45	12	3	2.5×10^{11}	0.33	4,968.72
	55	12	3	2.5×10^{11}	0.33	4,034.02
	60	12	3	2.5×10^{11}	0.33	3,849.34
紙コーン	45	12	3	5×10^{10}	0.33	2,222.08
	55	12	3	5×10^{10}	0.33	1,804.07
	60	12	3	5×10^{10}	0.33	1,721.48

くできるため、前室効果の影響の少ない平坦な音圧-周波数特性を得ることができる。

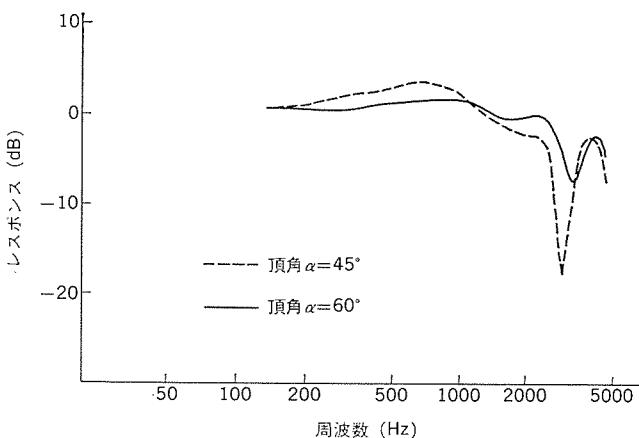


図 5. コーン形スピーカーの音場計算結果
(口径 32 cm, 振動板はピストン振動とした)

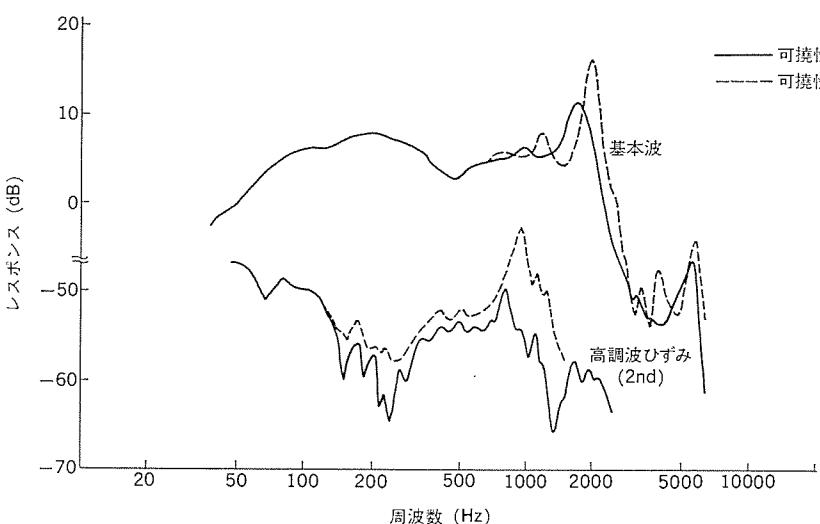
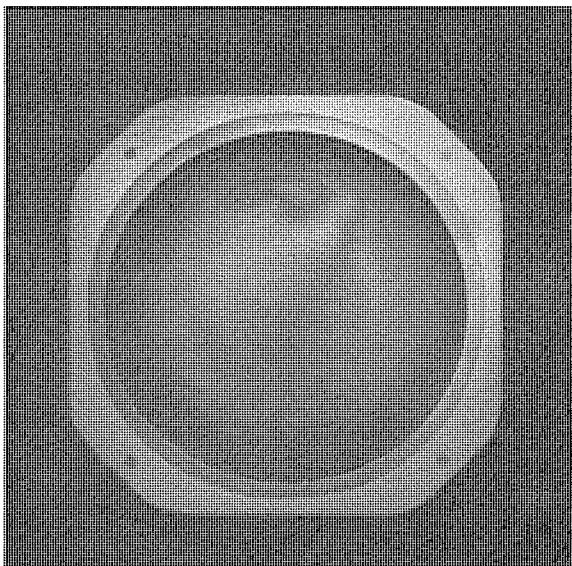
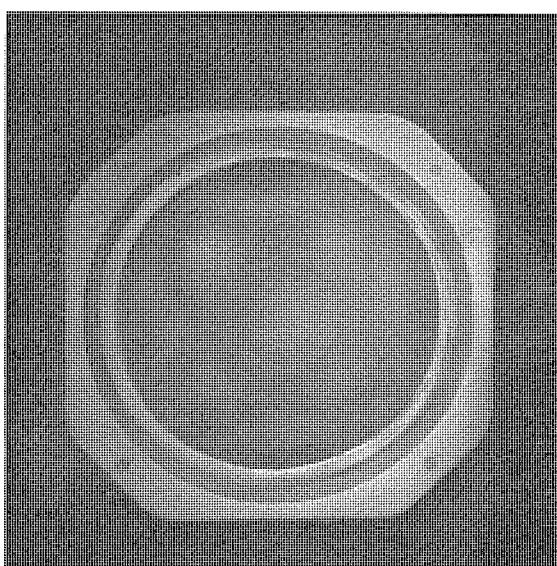


図 6. アラミッドハニカムを用いたウーファーの音圧(高調波ひずみ)一一周波数特性(口径 32 cm, JIS 箱)



(a) 紙コーン (270 Hz)



(b) アラミッドハニカムコーン (1,400 Hz)

図 7. 非軸対称振動モード(口径 25 cm ウーファー)

4.2 内部損失と特性

図 2 で、可撓性樹脂の配合を変えたときのアラミッドハニカムの E/p , η を示した。口径 32 cm のアラミッドハニカム振動板を用いたウーファーで、実際にこの影響を調べたのが図 6 である。可撓性エポキシの配合の多いものでは、高域のピークが抑えられ、高調波ひずみも低減されていることがわかる。金属や他の内部損失の少ない振動板では、ピークの低減や音質向上のために制振材をは(貼)ことが多いが、アラミッドハニカム振動板は適度な内部損失を有するためこの処理は行っていない。

4.3 振動モード

アラミッドハニカムを含めたハニカム構造は曲げ剛性が大きいことを既に述べたが、具体的にホログラフィで振動モードを測定し、その効果を調べた。図 7 は、口径 25 cm のウーファーで、振動板をアラミッドハニカムと紙コーンにかえたときの非軸対称モードを測定したものである。紙コーンでは、270 Hz 付近からこのモードが起きているが、曲げ剛性と E/p の大きなアラミッドハニカムでは、1,400 Hz 付近に最初のモードが起きている。このように実測においても、アラミッドハニカム振動板が優れていることがわかる。

5. アラミッドハニカム振動板を用いたスピーカーシステム

これまで述べてきたアラミッドハニカム振動板は、《ダイヤトーン》スピーカーシステム DS-505 形のウーファー(口径 32 cm), ミッドバス(口径 16 cm)の振動板及びダストキャップに採用されている。このシステムでは、アラミッドハニカム振動板のほか、ボロン化振動板、一体構造形ダイヤフラム、そして低ひずみ化した磁気回路やネットワークなどの新材料、新技術を用い、平坦で広い再生帯域及び低ひずみ化、更に良好な過渡特性などで原音に忠実な再生音が得られている。

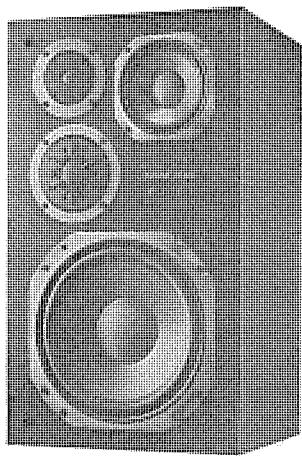


図 8. DS-505 スピーカーシステム

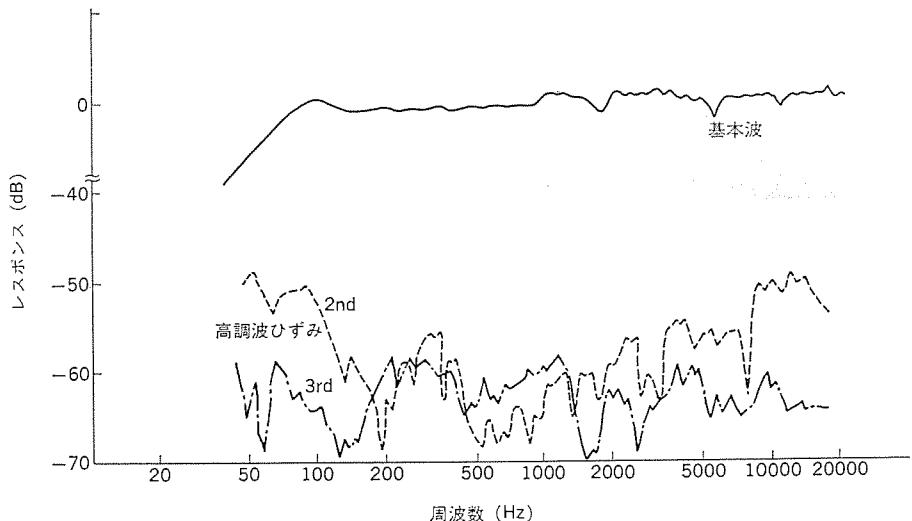


図 9. DS-505 システム 音圧 (高調波ひずみ)一周波数特性

5.1 特 性

DS-505形(図8.)は、4ウェイ構成で、図9.に示す音圧、高調波ひずみ-周波数特性を有している。これらのうち、口径32cmのウーファーは、ハイカットピーク1.7kHzに対し、使用上限周波数は350Hz、ミッドバスは同じく4.5kHzに対し、1.5kHzと十分余裕のある使い方をしているが、これは比弾性率の大きな振動板によるところが大きい。また、ハイカットピークに対応した高調波ひずみが使用帯域内にほとんど入ってこないため、低ひずみ磁気回路の採用とあわせて、低・中音域での高調波ひずみが0.1% (1W入力時)と大幅に低減されている。

5.2 音 質

アラミッドハニカム振動板の採用によりピストン振動領域が拡大され、しかも適度の内部損失を有していること、更にボロン化振動板や低ひずみ磁気回路などを用いているため、システムとして過渡特性に優れ、透明感ある再生音が得られている。また、アコースティックエアサスペンション方式を採用しているが、振動板の気密性が極めて高いため力強い低音が得られている。

6. む す び

以上、アラミッド繊維強化プラスチックスを用いた振動板のスピーカーへの応用について述べた。その中で、アラミッドハニカムは、ハニカム構造の持つ大きな曲げ剛性に加え、高い音速と適度の内部損失を兼ね備えていること、気密性や耐環境性などに優れていることを明らかにした。今後は、更にハニカム構造の物性を明らかにしながら、より優れた振動板の開発に取組む計画である。

参 考 文 献

- (1) 田中ほか：三菱電機技報, 53, No. 3, P. 233 (昭54)
- (2) 塚越ほか：日本音響学会誌, 36, No. 7 (昭55)
- (3) 八嶋ほか：電子通信学会技術研究報告, EA 77-63 (昭53)
- (4) 八嶋ほか：ラジオ技術 (昭53)
- (5) 古田：工業材料, 22, No. 1 (昭49)
- (6) 林：日本機械学会誌, 71, No. 593 (昭43)
- (7) 大家ほか：電子通信学会研究会, EA 77-26 (昭52)



無接点制御方式採用の 三菱電気ホイストTHY-Aシリーズ^(1~3) (トン)

三菱電機ではこのたび、電気ホイストの制御部分をオール半導体素子化した無接点制御のホイスト「THY-Aシリーズ」を新発売しました。自動車工場などの生産ラインで使用されるホイストは、近年使用頻度が大幅に増加し、そのため電気ホイストの制御器は開閉頻度が激しくそのメンテナンス費用が増大する傾向にあります。そこで制御器を半導体素子化した無接点制御ホイストを開発し、長寿命化・低騒音化・耐衝撃性の向上を図ることで、メンテナンス作業の大幅な省力化を実現しました。

特長

●信頼性が向上

高頻度ホイストとして実績あるHY-A形を母体として、制御を半導体化しましたので、高性能・高信頼性がさらに向上しました。

●長寿命

主回路の半導体化により長寿命となり、制御部については定期点検のみでよく、保守は不要です。

●耐衝撃性が向上

電磁接触器のように可動部分がないので、衝撃による相間短絡の可能性がありません。

●安全性が向上

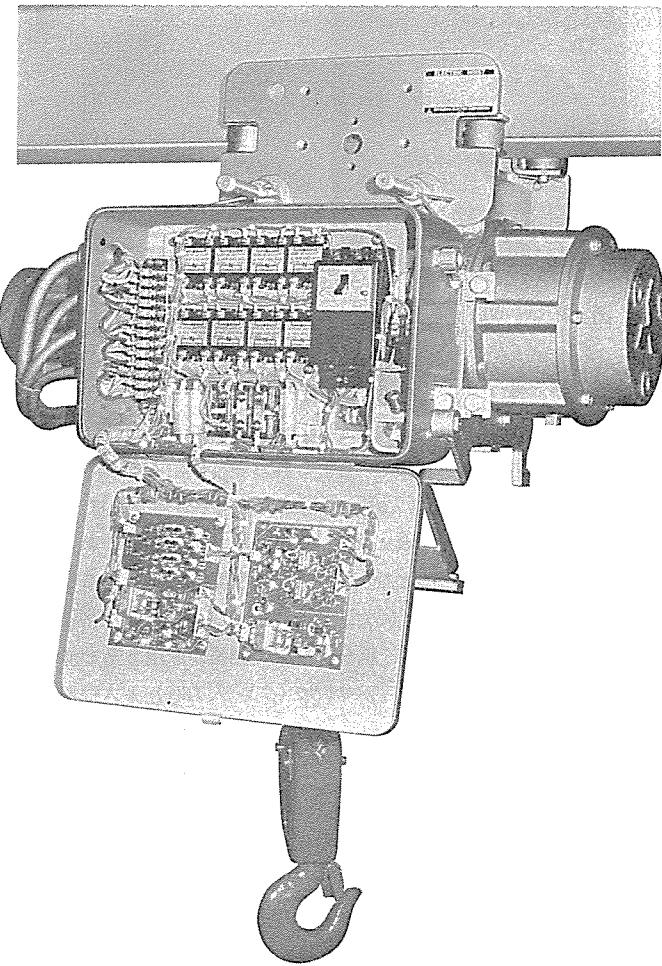
操作部電圧の低圧化により、感電事故のおそれがありません。

●自冷式を採用

THY-Aシリーズの冷却方法は自冷式ですので、冷却ファンの故障やゴミの付着による信頼性の低下がありません。

●暴走防止機能

万一、操作信号がないのに暴走した場合は、NFBで電源しゃ断し、ホイストを停止させます。



●低衝撃音化

電気ホイスト衝撃音の2大発生源は電磁ブレーキと電磁接触器でした。THY-Aシリーズなら、電磁接触器の音が消えました。

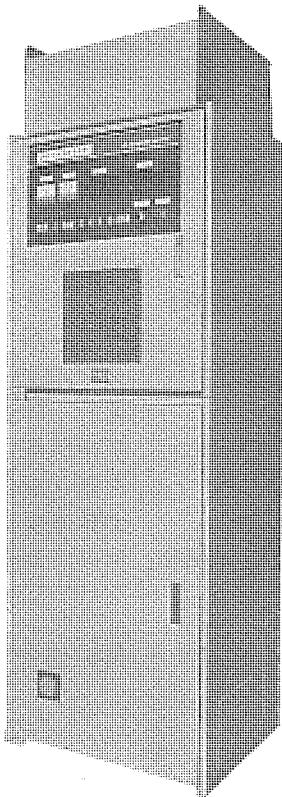
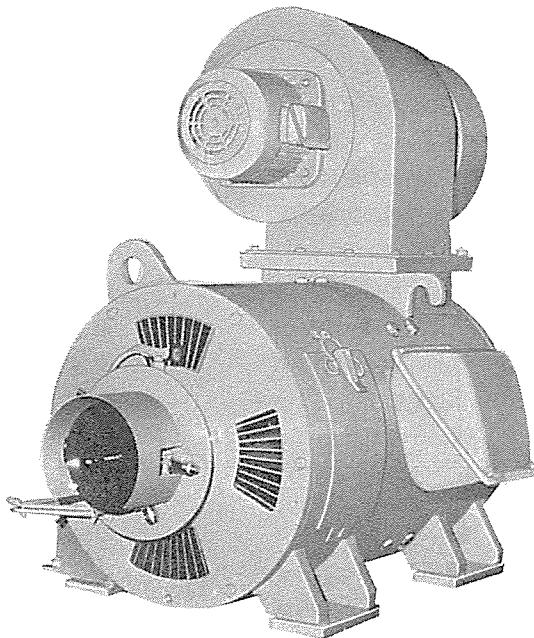
標準仕様

形 名	容 量 (t)	揚 程 (m)		ワイヤロープ		卷 上						横 行							
				普通形 2本吊	構成	速 度 (m/min)		モ ー ト ル				速 度 (m/min)	モ ー ト ル						
		低揚程	高揚程			50Hz	60Hz	50Hz	60Hz	50Hz	60Hz		50Hz	60Hz	50Hz	60Hz			
THY-A	1	6	12	φ 8	6×Fi (29) B種 JISG 3525 13号	11	13	2.0	2.4	11	12.5	4	21	25	0.22	0.26	1.5	1.4	
	2	6	12	φ 10		7.5	9	2.7	3.2	15.3	15.8				0.37	0.46	2.4	2.2	
	2.8	6	12	φ12.5		7.5	9	3.9	4.7	20	23				0.55	0.66	3.3	3.1	
	3	6	12	φ12.5		7.5	9	4.2	5.0	21	24.5				0.55	0.66	3.3	3.1	
電 源		三相200V 50/60Hz (220V 60Hzも使用できます)																	
操 作 方 式		床上押ボタン操作・防水形4点押ボタン(表示:上・下・右・左)																	
制 御 方 式		BCR又はSCR逆並列接続による半導体無接点駆動(ゼロクロス点弧方式)																	
定 格		JIS C9620による30分定格																	
給 電 方 式		トロリ給電、ケーブル給電共に使用可能																	
保 護 構 造		屋内形(全閉構造)																	
周 囲 温 度		-5°C ~ +40°C (結露しないこと)																	
準 拠 規 格		JIS C9620電気ホイスト、クレーン構造規格																	
塗 装 色		本体: メタリックグレー、フックブロック: マンセル7.5YR7/4																	

スポットライト 電力回生式で小形・低価格な 三菱耐久試験専用直流電気動力計

各種エンジンの開発試験を行う際に必要な負荷装置として、従来は水冷式うず電流動力計や直流電気動力計が使用されていました。1台のエンジンの全試験時間中に発生するエネルギーの総価格は、特に耐久連続テスト等では莫大なものが、うず電流動力計ではエネルギーを低温水として捨てざるを得ないため、大変不経済であり、また直流電気動力計では電気エネルギーとして回収可能ですが、その反面、装置価格

が高く、経済回収期間が長くなるため、エネルギー回収目的よりも複雑高度な性能測定試験目的(概してエネルギー発生量が少ない)のみに使用されているのが現状でした。そこで、エネルギー回収が可能で、安価な動力計が求められていましたが、三菱電機では、特に回収エネルギー量が高く、試験運転モードがやや単純な耐久運転試験専用として、シンプルな機能で小形・低価格の直流電気動力計を開発しました。



特長

- 従来2つに分かれていた操作盤と電源制御盤とが一体化しており、しかも制御盤の大きさは従来形の半分です。
- 耐久運転専用機として、支障のない精度や機能を低下することにより、小形化・低価格化を実現しました。
- トルク計測は、馬力(電力)計測方式として実績が豊富なMATO形トルク計測方式です。
- 吸收運転専用機ですが、エンジンスタートとしても使用できます。
- 特別の高圧受電を行う必要がなく、回収エネルギーを消費すべき工場設備に並列接続すれば、運転が可能です。

標準仕様

- 動力計外形寸法
長さ1,220×幅800×高さ1,000mm 1台
- 操作制御盤外形寸法
幅700×奥行550×高さ2,190mm 1面
- 直流リアクトル外形寸法
幅570×奥行460×高さ700mm 1台

耐久試験専用直流電気動力計定格表

形名	馬力	定速トルク	速度	スタートとしてのトルク	制御モード	回収電力	回生電圧
直流動力計	112PS (90kW)	29.2kgm	400~8000rpm	(MAX) 30kgm	ASR(±0.3%) ATR(±1.0%)	80kW	400/440V

当社の登録実用新案

登録番号	名 称	考 案 者	登録番号	名 称	考 案 者
1242582	加湿器	{目崎道夫・上原幹夫 近藤正司	1242723	テレビジョン選局装置	丸山明男・徳井一雄
1242584	ブラシレス励磁機	田中三郎	1246393	電気装置の冷却構造	横畠洋志・笠原清
1242586	燃料給送ポンプ装置	藤原弘之	1247018	ミシンの糸立棒装置	堂脇恭三
1242587	加湿器	{目崎道夫・上原幹夫 近藤正司	1247019	回転電機	高田憲一・水野喜代一
1242590	耐振形電線貫通金物	伏屋良一	1247020	回転電機	高田憲一・水野喜代一
1242608	高周波加熱器	熊田泰治・田村邦夫	1247021	回転電機	白川博之
1242610	燃料給送制御装置	藤原弘之	1247022	全閉外扇形電動機	酒向潔・小林孝生
1242612	電気あんか	加太義武・有我仁一	1247023	内燃機関点火用信号発生装置	藤本光宏
1242623	ジュースミキサー	丸山泰・杉田信	1247027	制御信号の二重照合装置	{山中彪生・松本直己 吉田日出夫
1242629	燃料給送ポンプ装置	{藤原弘之・香西文男 河添孝・鈴木裕三	1247028	蓄熱暖房器	須田洋・藤田喜助
1242634	車輌用暖房装置	{近藤正司・日比野浩一 市村伸男	1247029	電気かみそり	{増田三郎・丸山泰 鶴谷嘉正・熊田泰治
1242635	換気扇用コード	林悦二	1247030	電気かみそり	熊田泰治
1242637	飾り枠の取り付け装置	{高橋正晨・大沢和夫 小池利男	1247032	誘導加熱装置	松尾茂
1242639	内燃機関搭載車用の冷房装置または冷蔵庫	明石克寛・田中修 福島満	1247034	送風装置	鈴木太八郎
1242655	線形荷電粒子加速装置	{美濃和芳文・沢田進 塙田勝・田中常稔	1247035	電気かみそり	服部信道・熊田泰治
1242680	コネクタを有する引出形機器	鹿嶽茂樹	1247036	ヘーカーラー 加熱器	鳥山建夫
1242689	空気調和機等の取付け装置	吉田裕	1247037	遮断器の取付装置	佐藤清・恒川正男
1242710	クラッチモートル	小林孝生	1247039	操作軸の防塵装置	立石俊夫
1242717	オゾン発生器の内側電極支持装置	杉山英彦	1247041	送風機	富樫健二
			1247043	ヘーカーラー 加熱器	鶴谷嘉正・鳥山建夫
			1247044	浮動磁気ヘッド	東山昇・佐々木勝
			1247046	カートリッジ着脱装置	橋本公佑
			1247047	送風機	松鶴那夫

〈次号予定〉 三菱電機技報 Vol. 56 No. 1 技術の進歩特集

- 研究
- 電力・エネルギー
- 産業用システム機器
- 汎用電機品
- 通信・伝送と宇宙機器

- 情報処理とオフィスシステム
- 集積回路と半導体素子
- 建築関連設備
- 交通
- 家電関連機器

三菱電機技報編集委員		三菱電機技報 55巻12号	
委員長	志岐守哉	委員	柴田謙三
副委員長	大谷秀雄	"	樋口昭
"	横浜博	"	柳下昌平
常任委員	三輪進	"	立川清兵衛
"	唐仁原孝之	"	徳山長
"	木内孝	"	柴山恭一
"	葛野信一	"	早瀬通明
"	三浦宏	"	荒野皓也
"	阿部修	"	瀬辺国昭
"	桐生悠一	"	倉橋浩一郎
"	野畑昭夫	"	竹内守久
"	的場徹	幹事	諸住康平
"	尾形善弘	"	足立健郎
12号特集担当		定 価	1部 500円 送料別 (年間予約は送料共 6,700円)
木下親郎		(無断転載を禁ず)	昭和56年12月22日 印刷 昭和56年12月25日 発行
		編集兼発行人	諸住康平
		印刷所	東京都新宿区市谷加賀町1丁目12番地 大日本印刷株式会社
		発行所	東京都千代田区丸の内2丁目1番2号 (〒100) 菱電エンジニアリング株式会社内 「三菱電機技報社」 Tel. (03) 218局2045
		発売元	東京都千代田区神田錦町3丁目1番地 (〒101) 株式会社 オーム社 Tel. (03) 233局0643(代)、振替口座東京 6-20018

三菱電機技報 (昭和56年) 総目次

1号 技術の進歩特集	5号 三菱電機技報600号記念特集	9号 はん用電機品特集
2号 産業機特集	6号 冷凍と空調特集	10号 上下水道向けシステム特集
3号 光伝送特集	7号 新・省エネルギー特集	11号 工業用計算機と応用特集
4号 交通特集	8号 情報処理機器特集	12号 衛星とその地上局特集

〈技術の進歩特集〉

	号	ページ	号	ページ	
1. 研究	1	6	6. 集積回路と半導体素子	1	60
2. 電力	1	18	7. 電子計算機	1	67
3. 産業用電機品、計測・制御と環境	1	30	8. 建築関連設備	1	75
4. 汎用電機品	1	41	9. 交通	1	84
5. 通信と電子応用	1	48	10. 家電関連機器	1	94

特集論文

〈産業機〉

1. 産業機の展望	片岡高示・北浦孝一・斎藤長男	2...105
2. 摆動運動をもつNC放電加工機	高橋義博・伊東哲朗・大泉敏郎・中山建夫	2...107
3. ワイヤカット放電加工機の技術進歩	坂口恒夫・倉橋安則・高鷲民生・吉田公生・大丸隆正	2...112
4. 数値制御装置《MELDASシリーズ》	黒田泰次・米谷光雄・今西一夫	2...117
5. 三菱トランジスタパルスマグ溶接機《クリーンマグ》	殖栗成夫・田畠要一郎・平本誠剛・水野孝治・木谷基	2...121
6. 炭酸ガスレーザ加工	島田弥・森一平・星之内進・小林実・安藤隆	2...126
7. 量産部品用電子ビーム溶接機	安永政司・佐々木茂雄・大峯恩・原且則・大野義隆	2...130
8. 誘導加熱応用機器	新見明彦・岩佐康彦	2...135

〈光伝送〉

1. 光ファイバ伝送用部品の製品化	近藤澄夫・渡辺弘光・竹居敏夫・布下正宏	3...175
2. ディジタル光送受信器MF-DSシリーズ	北山忠義・手島邦夫・岡本正弘・瀬上広一・伊東克能	3...180
3. 光ファイバ通信システム	手島邦夫・文字正樹・関川一彦・岡本正弘・伊東克能	3...185
4. 光ファイバ伝送の計算機システムへの応用	斎藤幸夫・江口真行	3...190
5. 1.3 μm 帯レーザダイオードを用いたアナログ光送受信器	藤田暁・菅野典夫・伊東克能・大深輝孝・岡本正弘	3...195
6. ビデオ信号とディジタル信号との光波長多重伝送系	竹居敏夫・三宅良雄・斎藤正光・菅沼ルミ子・足立明宏	3...200

〈交通〉

1. 東北・上越新幹線向け200系電車用電機品	植田幸雄・遠藤道忠・米畑謙・藤沢秀光・平松義治	4...243
2. 東北・上越新幹線向け変電所連動システム	村川亮三・玉田猛・中川秀人・片桐哲朗	4...248
3. 車両用大容量3相インバータ	太田幹雄・田原先・三金敏雄・松浦清・湯屋俊一	4...252
4. インバータによる車両用無整流子電動機駆動システム	太田幹雄・田原先・加我敦・宗行満男・小尾秀夫	4...255
5. 路面電車用高性能な主電動機と制御装置	三橋英一・宗行満男・田原先・栗野敏昭	4...261
6. 福岡市高速鉄道建設局納め事故電流波形伝送装置	中須輝雄・赤塚和禎・矢野哲雄・有村慎一	4...265
7. 地下鉄車両用冷房装置	浜崎信義	4...271

〈三菱電機技報600号記念〉

1. 日本の理想と技術者への期待(工学技術こそ文化国家日本の守り)	川上正光	5...316
2. 再びブームを迎えた技術革新	牧野昇	5...317
3. 将来技術の展望		5...318
4. 跳進する当社事業		5...340
5. 三菱電機技報 通巻600号小史		5...356

〈冷凍と空調〉

1. 小形空調機における蒸発器の動作特性	松岡文雄・飯島等・山崎起助・上妻親司	6...397
2. 2線式制御パッケージエアコン《ミスタースリム》	本田嘉之・上村一穂・佐久間清・佐藤康夫・福嶋章雄	6...401
3. マルチセントラル空調用集中制御システム	江崎光信・藤井学・浜口真理雄・佐藤康夫・堤広宣	6...405
4. 電子計算機室用パッケージエアコン	玉山敦・吉村晃・大原広幸	6...408

5. 冷房専用ルームエアコン MS-1814 R形	安藤正俊・小林豊博・富樫健二・高橋 修	6…413
6. 住宅用セントラル冷暖房機	浜 宏明・人見不二夫・今西正美	6…418
7. 冷凍冷蔵クリーニングユニット	佐々木芳男・木下 実	6…422
〈新・省エネルギー〉		
1. エネルギー技術開発の動向	高月 一・岸田公治	7…465
2. 太陽熱利用冷暖房・給湯システム	小原英一・井上信吾・大坪道夫・柏村和生	7…466
3. ダリウス形風力発電装置	高月 一・武藤 浄・市川 晃・堀江将人・鳥谷隆夫	7…471
4. りん酸形燃料電池発電システム	岸田公治・西山 梢・平田郁之・水本洋一・平林俊彦	7…475
5. 三菱加圧水型原子力発電所の最近の動向	小倉成美・井上 通	7…480
6. 三菱複合サイクル発電プラントの最近の動向	玉井幸久・森 義孝・岩田清光・井上 通・久保博和	7…484
7. 系統電力貯蔵におけるフライホイールの応用	小貝一夫・河野 廣・堀江将人・矢野昌雄・朝枝健明	7…490
8. 電車線電力貯蔵におけるフライホイールの応用	丸山信昭・浅越泰男・河村寿三・木村好男・菅波拓也	7…494
9. 超電導発電機	岩本雅民・大石紀夫	7…497
10. 核融合における超電導マグネットシステム	森川鉄也・佐藤 隆・荻野 治・山田忠利・橋本康男	7…501
〈情報処理機器〉		
1. 色彩図形認識システム	中島英雄・秋田興一郎・辻 秀一・深田陽司・久家秀樹	8…537
2. MILESTONE コンピュータ利用の教育システム	木村捨雄・吉江森男・島野佳幸・小笠原光孝・吉田見岳	8…542
3. 新形光学文字読取装置 (M 2483-N)	上田秀敏・下田安貴郎・峯田照雄・安藤純一・前田陽二	8…547
4. イメージデータ処理システム	苅田正雄・加藤眞名井・田中久之・太刀掛伸一	8…551
5. 音声応答システム	望月純夫・斎藤幸夫	8…555
6. CAD 用分散形図形処理システム	由留部政則・福岡正憲・遠藤 晃	8…559
7. 《MELCOM-COSMO シリーズ》による集中形高性能データエントリシステム	渡辺 透・鈴木 清・中村俊彦・小笠原光孝・中村 晋	8…564
〈はん用電機品〉		
1. データ演算機能付シーケンサ 《MELSEC-K》の応用	青木正夫	9…607
2. ワンボードシーケンサと周辺機器	淡野光章・柏原正信・内海 晓・岡田高明	9…612
3. 分電盤用ノーヒューズしや断器	前田信吾・田中正幸・飯尾 司・寺地淳一	9…616
4. 熱解析によるノーヒューズしや断器の温度分布シミュレーション	望月義範・有信一郎・矢木澤守・黒瀬 治	9…620
5. 新形はん用トランジスタインバータ	山崎宣典・小嶋鈴夫・赤松昌彦・宮崎 治	9…624
6. 流れの可視化法とその回転電気機械通風解析への適用	阪部茂一・木藤良善久・片岡正博・柳沢公人	9…629
7. 水中電動機の水潤滑スラスト軸受	山本作衛・徳光清典・菅波拓也・増田隆広	9…634
〈上下水道向けシステム〉		
1. 水、水問題と水システム	西川禪一	10…679
2. 上下水道における監視・制御システムの動向	荒木義朝・中島敏博・前田満雄・松谷勝己・渡辺一弘	10…681
3. 净水場の監視・制御システム	砂山洋治・井上省三・小沢純一郎・山田晃男・小林敏昭	10…685
4. 下水処理場の監視・制御システム	田中孝浩・盛口全太・中堀一郎・長田俊二・長東晴弘	10…690
5. 送配水系統の監視・制御システム	広瀬政次・中村苗起・柳沢 忍・津吉信夫・福田豊生	10…695
6. 農林水産省納め阿賀野川用水集中管理システム	澤柳宣裕・小林 茂・大石将之・牧本健二・城島登士治	10…699
7. 上下水道へのオゾン応用機器の適用	吾妻健国・竹山 哲・中山繁樹・松永正征	10…704
〈工業用計算機と応用〉		
1. 工業用計算機システムの動向—分散制御システム—	成田誠之助	11…747
2. 《MELCOM 350-50》工業用計算機における分散システムの構成技術	村木克己・松本正弘・岩佐 寛	11…748
3. 火力・原子力発電における工業用計算機システムの動向	加藤彰朗・近藤章比呂・山上進太郎・明石秀人	11…752
4. 電力系統分野における分散処理システム	浅野勝弘・宮西洋太郎・得能 泰・中井幸夫・上口雅典	11…756
5. 鉄鋼における分散処理	今道周雄・荒牧 熊・大瀬幸二	11…759
6. 水処理分野における分散制御システム	盛口全太・長東晴弘・北村英久・坂口正孝	11…763
7. 鉄道における分散処理システム	菅 茂・村木一己・石田隆朗・高橋啓一	11…766
8. ビル管理用分散形プロセス入出力システム	湯川健二・中尾好宏・伊藤隆夫	11…770
9. 分散化されたソフトウェア生産システム	大井房武・仲摩 寿・臼井澄夫・芥川哲雄	11…774
10. 分散処理システムにおける CRT マンマシンインターフェース	香取和之・西出政司・渡部明洋	11…778

11. 工業用計算機システムにおけるモダニゼーション……………今道周雄・稻本 悟・芥川哲雄・黒田健児・高木正博 (衛星とその地上局)	11…782
1. 技術試験衛星IV型「きく3号」……………市川 洋・小原 基・松下 正・東野義夫・小林督智	12…821
2. インテルサット V 6/4GHz帯直交偏波共用ホーンアンテナ……………近藤五郎・川端俊一郎・小林右治・赤尾 洋・片木 孝	12…825
3. 大電力衛星用電源サブシステムの開発……………小林基宏・津屋直紀・後藤正芳・岩本邦雄・大村勝敏	12…829
4. スペースラブを利用する SEPAC計画用機器の開発……………大林辰蔵・栗木恭一・長友信人・伊地智幸一・吉田 敬	12…833
5. 衛星利用コンピュータネットワーク実験システム—I. システム構成とネットワーク制御方式— ……………高橋寛子・松永 宏・松田主税・鹿間敏弘・飯田 登	12…837
6. 衛星利用コンピュータネットワーク実験システム—II. パケット伝送制御装置— ……………高橋寛子・前田良雄・伊藤久明・岩橋 努・本田 茂	12…842
7. 国内衛星通信用Kバンド小形地球局……………中西道雄・矢部正行	12…847
8. USB追跡管制設備……………東 吉夫・山崎 孝・尾形良征・岡田東亞・原 泰司	12…852
9. ドップラ追跡/衛星テレメータ受信設備……………鈴木 充・尾形良征・高山 威	12…855
10. 山口 TTC&M/IOT用地球局アンテナ……………佐藤敏雄・藤本忠助・大沢 武・別段信一・吉川義彦	12…858
11. 山口衛星通信所第2アンテナ……………遠藤静夫・松中直人・石井康一・青木克比古・岡田東亞	12…864
12. 衛星通信地球局用送信機の切換え及び出力安定化装置……………入江浩一・佐竹正章・大場達博	12…867

普通論文

1. GaAsFET の故障解析と信頼性改善……………鈴木 武・石井 孝・三井 茂	2…143
2. 食品店舗の省エネルギーントローラ《MELTIC》とその応用……………藤井 保・西岡隆文	2…148
3. 一般電子機器用プリント基板 CAD システム……………藤井孝知・吉田和幸・伴野 保・濱村正夫・坂本 茂	2…153
4. 壁掛けヒートポンブルームエアコン MSH-2510 R……………富樫健二	2…158
5. ヒートポンプ式チーリングユニット制御へのマイコン応用……………飯尾幸司・阿川正憲・志賀隆司・太田 誠・高橋 修	2…162
6. 大容量変圧器の計測データ処理システム……………青木俊之・池田五郎・渡邊次男・篠原秀雄・仁田周一	2…167
7. コンピュータリレーに適した電力系統保護方式の開発……………山越幸成・坂口敏明・西田正吾	3…205
8. 立形電動機の振動解析……………菅波拓也・富沢正雄・東覚里志・中村俊文・横田正勝	3…210
9. 《MELCOM 70 シリーズ》用対話形データベース プロセッサ (IDP-70)……………田口和男・森田 亮	3…214
10. 最近のしゃ断器の短絡試験技術……………吉永 淳・佐久間秀一・伊吹恒二・細見 守・田中正治	3…218
11. ブラシレス交流発電機の界磁テレメータ……………谷口良輔・福吉拓雄・一ノ瀬与三郎	3…223
12. 酸化亜鉛形避雷器用漏れ電流検出器……………宇治田克・夏井恵史・井田芳明・今村長義	3…228
13. 新しい常温短時間硬化接着剤とその金属構造・補強接着への適用 ……………原賀康介・山田 祥・榎原邦夫・服部勝利・小林 功	3…232
14. カラーブラウン管の新形ネック磁石……………上坂達生・菅原 宏・藤村健男	3…237
15. 乗車券印刷発行機《MELPAS-I》……………村戸健一・大倉忠廣・鈴木英次・小林正孝	4…277
16. 日本郵船(株)向け《MELCOM 70》コンテナターミナル コントロールシステム……………石原正勝・間仁田俟行・鈴木宗樹	4…282
17. 住友金属工業(株)製鋼所向けエネルギー管理用《MELCOM 350-50/A 2300》計算機制御システム ……………永田治雄・田原章博・杉原弘章・小宮啓介	4…287
18. Lバンドレトロディレクティブアレー アンテナの試作……………太田堯久・水沢丕雄・小野 誠・手塚雅之・沼崎 正	4…292
19. 大形電力機器のエアペアリングによる新しい現地据付搬送……………篠塚和男・中本栄一・水上 徹・森田精貞・片岡武司	4…297
20. 電子ビーム露光技術……………加藤忠雄・渡邉弥一郎・加藤高秋・中田秀文・柏木 忠	4…302
21. 高速リングバスを利用した計算機ネットワークシステム……………池田克夫・海老原義彦・沢井善彦・新沢 誠・瀬戸秀輝	4…307
22. 高性能リングバスによる異幾種複合システムのネットワーク管理ソフトウェア ……………池田克夫・海老原義彦・市村 洋・西川正文・伊藤光一	5…363
23. 64Kビットダイナミック MOS RAM……………谷口 真・山田通裕・吉原 務	5…368
24. 東京電力(株)新高瀬川揚水発電所納め電力用プラントコントローラ (DCN-70) ……………池田孝蔵・石川和彦・合田啓治・芥 和弘・岡崎勝広	5…372
25. 船用新形2極交流発電機シリーズ……………高橋良治・波多野庸三・岡 元 均・鷗田邦宏	5…377
26. 基幹系統変電所向け縮小形監視制御システム……………芝本政幸・上田 広・矢野恒雄	5…382
27. 火力発電所における系統単独検出装置へのシーケンスコントローラの適用 ……………石川幸雄・前原史彦・赤木一夫・大沢国雄・土手内 巧	5…386

28. 《MELCOM-COSMO 900Ⅱ》マルチプロセッサシステム	田淵謙也・森 伯郎・野地 保・小柳 隆・西山 昇	5…389
29. 瞬間・貯湯式給湯機 CB-1200 形	井上信吾・小川 仁・小木曾明男・桑沢宏康・知久隆雄	6…429
30. IC スタータ《ルミクイック》組込み家庭用けい光灯器具	井上貞成・安達宏美	6…434
31. 分散処理指向のオペレーティングシステム—《MELCOM 70 シリーズ》UOS—		
32. ワンチップマイコン用開発支援システム	吉村康徳・由留部政則・北原拓也・峰崎秀生・武田浩良	6…439
33. 金属ポスト形円偏波発生器	杉本正樹・山内直樹・正田茂雄・土橋宏二	6…444
34. エレベーター巻上機用ウォームギヤの改良	武田文雄・石田修己・蟹谷正二郎・吉川義彦	6…448
35. ガス絶縁母線の寒冷地と直接埋設に関する研究	島村勇志・菊地和郎・桑原 宏・但田昭司・大塚敬彦	6…452
36. 《MELCOM-COSMO 800Ⅲ/800S》の素子実装技術	今村貞良・有賀幾夫・吉岡 猛・尾形友博・岩撫秀雄	7…509
37. 《MELCOM-COSMO 800Ⅲ/800S》のハードウェア	今村貞良・杉本満信・金子 昭・田中立夫・朝比奈保	7…513
38. SF ₆ ガスしゃ断器国内第1号機の15年間10,000回操作運転実績		
39. カーラジオにおける受信局自動切換システム	土屋喜英・中西 弘・合志宏道・村上正昇・松岡勝己	7…518
40. ディジタル式超音波探傷装置FD-7000	平田誠一郎・白谷優次・友広 良・田浦賢一	7…523
41. 北欧自動車電話システム用基地局装置	中村泰而・羽深嘉郎・山本征二・須賀哲弥・迎里信夫	7…527
42. 電気ホイスト用の過負荷検出装置	白幡邦彦・山本高征・小坂益規	8…571
43. 最近の真空スイッチ負荷時タップ切換器の動向とその適用	松本 進・古川一弥・吉田和夫・伊藤克明・坂本雅弘	8…575
44. 店舗内売上情報処理システム《MELPOS》SDP システム	草野徳正	8…580
45. 最近の棒鋼線材圧延設備用制御システム	大場宏一・新野修平・倉本 了・森本和摩・佐々木道雄	8…584
46. 水平・鉛直2方向同時加振による耐震試験	高橋康英・奥津尚宏・本吉健郎・河野正幸・宮本龍男	8…588
47. 最近の大容量ディーゼル発電機	福本紀久男・猪谷耕太郎・鶴野秀之・森 尚弘	8…593
48. ガラスハウス環境制御へのマイクロコンピュータの応用	柳下紀久次・岡富士郎・山崎 悟	8…598
49. 高精度アナログウォッチ用C MOS LSI	諸川 滋・高橋直樹・小松武生・舟越也寿宏	9…641
50. FM電流差動キャリアリレー装置	鈴木健治・畠田 稔・鈴木 愿・東 信一・野口好朗	9…646
51. 三菱パランサ	野田祐久・国友善雄・奥 直樹・吉田忠弘・三村宗彦	9…650
52. 冷延鋼板の形状測定と制御	上住好章・下田道雄・白石 勇・浜崎芳治・渡辺文夫	9…655
53. 耐震G形コントロールセンター	藤本隆一・佐藤 清・杉村 徹	9…660
54. 静止形無効電力補償装置の電力系統への応用	土井 淳・藤原良一・阿部 茂	9…665
55. 配電線を利用した搬送方式の開発	三好明好・小林照朋・諏沢俊二・吉原孝夫	9…670
56. 三菱高周波オゾナイザ	橘川 彰・梶田 熟・今泉 一・田中正明	10…711
57. 全日本空輸(株)向けとう乗載情報システム	村上雄一・林 博之・金子弘美・秋山 始・宮田文雄	10…715
58. 国際規格G 3適合高速感熱ファクシミリ《MELFAS 550》	加藤雅敏・木野茂徳・今中良史・永田良浩・大原 彰	10…724
59. リアルタイム高エネルギーX線検査システムの開発	鈴木敏允・藤内武徳・小田 稔・馬殿進路	10…729
60. 大出力炭酸ガスレーザ	永井治彦・吉田寿夫・菱井正夫・若林国久・名井康人	10…733
61. サイリスタ式電鉄用セクションストップ装置	鈴木敏夫・米畑 譲・青山正和・佐野博司・大塚義規	10…738
62. 最近の移動用変電所の動向—三菱スーパー・モービル変電所—	池田達朗・俵谷武男・川村福蔵・朝倉正勝・吉岡重明	11…742
63. 新形500kV直列コンデンサ保護装置の開発	春本容正・川越英二・田辺俊雄・今瀧満政・小西直行	11…746
64. 河川・道路管理用機能分散形テレメータ	松村征三・吉崎 守・内藤明彦	11…750
65. 船舶の主機換装用電機品における省エネルギーと省力	田崎昭憲・山崎 寛	11…754
66. 圧延用直流多相式サイリスタモータ 1,950 kW	矢野昌雄・朝枝健明・富永善治・永石勝之・菊田 広	11…768
67. 水封式水中電動機の絶縁特性	平林庄司・美藤 壱・和田義彦・稻垣禪彦・藤田宏一郎	11…773
68. 音声合成用LSI	山田憲正・鈴木 誠・中尾佳生・日比野昌弘	12…875
69. 4極タービン発電機の新系列	森 要・舟橋仁人・峰 俊治	12…880
70. 高速大容量 316 MVA/320 MW 発電電動機—四国電力(株)本川発電所納め—	森与志彦・沢谷賢二・佐野賢三	12…883
71. アラミド繊維強化プラスチックスを用いたハニカム振動板	田中準一・小野利夫・矢島幹夫・島本幸三・児玉峯一	12…887

スオーツ ライト

マイコンタッチコントロール式 三菱電気クッキングヒーター

近年、「全電化」「厨房電化」のマンションが急増しており、この需要増に応えるため、三菱電機では業界で初めて、操作をすべて「タッチキー」で行えるマイコン搭載の本格的な電気クッキングヒーターを新発売しました。電気熱源ならではの安全性・供給の安定性・無公害性が大きなメリットで、しかも気になる維持費は、上面を平面状に特殊成形した耐食・耐熱性のシーズヒーターを採用し、鍋底面との接触面積を大きくして熱効率70%以上とし、プロパンガス並みの低維持費を実現。各ヒーターとも10段階の比例制御ができるため、「弱」から「強」まできめ細かな熱量調節ができる、しかもその時の火力をインジケータに表示して、一目で火力が確認できるユニークな設計です。さらに操作性のよい引出し式ワイドグリルやグリル空焼防止装置、誤動作や火力が固定できるパネルロックスイッチなどが装備されており、安全面にも充分配慮された新しい調理器です。

特長

●操作しやすいマイコンタッチコントロール式

ヒーターの「入→切」や「熱量調節」は、すべて前面パネルのタッチキーに触れるだけのマイコン搭載タイプ。前面にダイヤルやスイッチ類の凹凸がなく、清掃も簡単です。

●一目で火力がわかるインジケータ表示

すべてのヒーターの火力は、10段階に熱量調節ができる、その時の火力は前面パネル上部のインジケータにランプ表示されます。

●数々の安全装置を搭載

ヒーター「キー」で「入→切」ができるほか、ガスの元栓に相当する電源スイッチ付。誤動作や子供のいたずら防止のため火力を固定できるパネルロックスイッチや、グリルを異常過熱から守る温度過昇防止も付いています。

●使いやすい引出し式ワイドグリル

ガスコンロなどの縦長のグリルに比べ、横幅を広くして魚を横に並べられ、魚全体の焼け具合が外から見えます。さらに、引出し式ですから、魚の反転・取り出しがとても便利です。

CR-7300形



CR-7200形



標準仕様

形名(タイプ)	CR-7200形(2口、キャビネットタイプ)	CR-7300形(3口、キャビネットタイプ)
電源電圧	単相、200V	
消費電力	3.5kw	4.5kw
ヒーター個数	トップヒーター(2個)+グリル	トップヒーター(3個)+グリル
ヒーター形式	左ヒーター 湧巻き形シーズヒーター、直徑165m/m、2kw 右ヒーター 湧巻き形シーズヒーター、直徑150m/m、1.5kw	
および消費電力	中ヒーター —	渦巻き形シーズヒーター 直徑150m/m、1kw
グリルヒーター	山形シーズヒーター、1kw	
方式	マイコン、タッチコントロール式(「入→切」及び10段比例制御)	
熱量調節の範囲	左ヒーター 200w~2kw 右ヒーター 150w~1.5kw 中ヒーター —	100w~1kw、温度過昇防止器付き
ヒーター切換え	右ヒーターとグリルヒーターは切換え使用 (同時使用不可)	中ヒーターとグリルヒーターは切換え使用 (同時使用不可)
電源コード	クロロブレン平形コード 3芯、2.0mm ² 、長さ0.6m	クロロブレンキャンプ [®] タイヤコード 3芯、3.5mm ² 、長さ0.6m
差込みプラグ	250V、20A、3極(1極接地用)④	250V、30A、3極(1極接地用)④
大きさ	外形寸法 (mm)	幅600×奥行き550×高さ250(パックガード高さ90を含む)
グリル内寸法	引出し式、幅280×奥行き225×高さ95	
重量(kg)	約12	約14

火力と維持費の比較

	火 力	湯沸かし時 間	熱効 率	単位当り発熱量	単 価	消費熱量／月	維持費／月
電気クッキングヒーター	2kw(左)	4分14秒	約70%	860kcal/kwh	30円/kwh	75kwh	2,250円
	1.5kw(右)	5分38秒				136.7kwh	4,101円
裸線電気コンロ(標準タイプ)	0.8kw	15分26秒	約48%				
白 灯 油	2,300kcal/h	3分52秒	約57%	8,300kcal/ℓ	80円/ℓ	9.55ℓ	1,176円
都市ガス(13A)	2,300kaal/h	5分32秒	約40%	11,000kcal/m ³	従量料金154.72円/m ³ (基本料金690円)	10.26m ³	1,587円 (基本料金含まず)
プロパンガス				12,000kcal/kg	247円/kg	9.41kg	2,324円

※湯沸かし時間の比較=水1ℓ(15℃→100℃)アルミ製手鍋20cm径使用。

※消費熱量は標準家族4人(大人2人、小人2人)に基づいた目安。

※白灯油の維持費は予熱、モーターなどの電気代を含む。

※単価は56年4月現在関東地区。