

# MITSUBISHI DENKI GIHO 三菱電機技報

Vol.47 March 1973

衛星通信と宇宙開発特集

# 3

エクアドル納入衛星通信地球局



未来を開発する







## 衛星通信と宇宙開発特集

### 目次

#### 《特集論文》

巻頭言	251
茨城衛星通信所 第3 アンテナ設備	
松本義治・糸原志津夫・森川 洋・大賀浩三・竹内政和・石井康一	
大沢 武・別段信一・水沢丕雄	252
エクアドル納入 衛星通信地球局	森川 洋・尾形陸奥男・石井康一・佐藤安彦・長嶺公修・金沢 照
261	
ETS-1・ISS チェックアウト装置	
錦織 清・小泉深吉・萩原 毅・嶋村和也・近藤五郎・井上幸美・磯谷 厚	276
電離層観測衛星管制施設	
船川謙司・中橋信弘・梶川 実・渡部 優・遠藤義昭・角谷桂一・岡田東亜	
河上国彦・別段信一	281
ロケットとう載電子機器 (LSC-6)	
小泉深吉・柴藤羊二・十亀英司・渡辺篤太郎・山本 哲・近藤五郎・小林督智・橋本 功	292
中距離追尾レーダ装置	菅野和平・三浦雅男・遠藤義昭・尾形良征・倉田真喜夫
296	
精測レーダー角度追尾系への要求とその解決	
齊藤成文・浜崎衷二・野村民也・渡部 優	
遠藤義昭・中司浩生・篠原英男・三好一雄・尾形良征	300
衛星とう(搭)載用アンテナの開発	武市吉博
310	
航行衛星用狭帯域トランスポンダ	木村小一・安藤 清・笠井鯉太郎・山本健次・水崎勝生
313	

#### 《普通論文》

サイリスタ高性能転流法とその応用	赤松昌彦・熊野昌義・矢野禎成・川畑隆夫・加我 敦・長南克彦
321	
パターン情報処理の研究開発	伊藤貴康・成川武文・房岡 璋
328	

#### 《新製品紹介》

日本毛織(株)納入オゾン染色排水処理システム・排煙用モートル	335
--------------------------------	-----

#### 《ニュースフラッシュ》

超高速での磁気浮上実験に成功・小形、高出力の加工用 CO <sub>2</sub> レーザの開発	337
--	-----

#### 《特許と新案》

超電導マグネット・デジタル演算装置・永久磁石式操作装置・ネットワークプロテクタ・自動車用方向指示器の末復帰警報装置	317
---	-----

#### 《表紙》

##### 表紙1 エクアドル納入衛星通信地球局

南米エクアドルの首都キト市郊外に建設された衛星通信地球局の全景写真である。当社はこの地球局を地上マイクロウェーブリンクおよび土木工事を含めてターンキーにて全局設備を受注し、9カ月の短納期でこの工事を完了した。本地球局は1972年8月開局し、大西洋上のインテルサットIV号衛星にアクセスして、アメリカ・スペイン等5カ国との間の国際商業通信に使用され、同国の国際通信の近代化に大きな貢献をしている。

写真中央は105フィートの集束ビーム給電方式アンテナであり、アンテナ基礎部は通信機器室を兼ねている。右側にみえるのは7GHz地上マイクロウェーブリンク、前面は当社が製作した500kVA受電設備である。

表紙2 三菱ディジレックスシリーズ

表紙3 三菱半導体ハンドブック

表紙4 電離層観測衛星





## SPECIAL EDITION FOR SATELLITE COMMUNICATION AND SPACE DEVELOPMENT

### CONTENTS

#### SPECIALLY COLLECTED PAPERS

##### The Third Antenna at Ibaragi Earth Station in Japan

.....Y. Matsumoto • S. Itoharu • H. Morikawa • K. Ooga • M. Takeuchi • K. Ishii  
 .....T. Oosawa • S. Betsudan • M. Mizusawa...252

##### Satellite Communications Earth Station of the Ecuadorian Government

.....H. Morikawa • M. Ogata • K. Ishii • Y. Sato • K. Nagamine • H. Kanazawa...261

##### Outlines of ETS-1 and ISS Checkout Equipment

.....K. Nishikori • S. Koizumi • T. Hagiwara • K. Shimamura • G. Kondo • Y. Inoue • A. Isogai...276

##### Ground Control Facilities for Ionosphere Sounding Satellites

.....K. Funakawa • N. Nakahashi • M. Kajikawa • M. Watanabe • Y. Endo • K. Kakutani  
 .....H. Okada • K. Kawakami • S. Betsudan...281

##### Rocket-borne Electronic Apparatus (LSC-6)

.....S. Koizumi • Y. Shibato • E. Sogame • A. Watanabe • S. Yamamoto • G. Kondo • M. Kobayashi  
 .....I. Hashimoto...292

##### Medium Range Tracking Radar.....W. Sugano • M. Miura • Y. Endo • Y. Ogata • M. Kurata...296

##### Precision Tracking Radar —Requirements for Angle Tracking and Its Solution—

.....S. Saito • J. Hamasaki • T. Nomura • M. Watanabe • Y. Endo • K. Nakatsuka • H. Shinohara  
 .....K. Miyoshi • Y. Ogata...300

##### Development of Satellite Antennas.....Y. Takeichi...310

##### Narrow Band Transponders for Navigation Satellites

.....K. Kimura • K. Ando • R. Kasai • K. Yamamoto • M. Mizusaki...313

#### TECHNICAL PAPERS

##### High Performance Thyristor Commutation Method and Its Application

.....M. Akamatsu • M. Kumano • S. Yano • T. Kawabata • A. Kaga • K. Chonan...321

##### Research and Development of Pattern Information Processing.....T. Ito • T. Narikawa • A. Fusaoka...328

#### NEW PRODUCTS.....335

#### NEWS FLASH.....337

#### PATENT AND UTILITY MODEL.....317

### COVER :

#### Satellite Communications Earth Station of the Ecuadorian Government

A satellite communications earth station has been constructed in the suburb of Quito, the capital of Ecuador in South America. The photo above shows its front view.

Mitsubishi was awarded the prime contract for construction and delivery of the entire earth station, including the microwave link and civil works, on a turnkey basis. It completed this project in a short period of nine months.

This earth station was officially opened in August 1972 and made access to the Intelsat IV satellite positioned in a stationary orbit above the Atlantic Ocean. It has been maintaining international commercial communication with five countries including the U. S. A. and Spain. It has contributed greatly to the modernization of the Ecuador's international telecommunication system.

In the center of the view are seen a 105-ft antenna with a focused-beam feed and its foundation structure which also serves as a communication equipment room. At the right is seen a 7 GHz ground microwave link, and in the foreground, a 500 kVA power substation built by Mitsubishi.



UDC 621.396.946:621.396.677

## 茨城衛星通信所第3アンテナ設備

松本義治・糸原志津夫・森川 洋・大賀浩三・竹内政和  
水沢正雄・石井康一・大沢 武・別段信一

三菱電機技報 Vol.47・No.3・P252～260

このアンテナ設備は国際電信電話がインテルサットⅣ号系衛星にアクセスすることを目的として、茨城衛星通信所第3施設に準備した衛星通信用大口経アンテナであり、当社が製作・建設を行なった。この設備は昭和46年8月に完成し、同年12月に運用を開始し、現在太平洋地域IS-Ⅳ号F-4衛星を対象として活躍している。技術上の最大の特長は、4枚の反射板による集束ビーム給電方式の採用により、電気的性能を損なうことなく、送受信機などアンテナ給電点に近接する必要のある装置を地上の固定室に設置可能としたことである。したがって、保守が容易となり機器設計上の自由度の増加が図られた。また方位回転構造にレーザ車輪駆動を使用し、アンテナ回転部重量として従来の同種アンテナに比べ約30%の軽減がなされた。

UDC 533.655:621.396.934

## ロケットどう載電子機器 (LSC-6)

小泉深吉・柴藤幸二・十亀英司・渡辺篤太郎・山本 哲  
近藤五郎・小林督智・橋本 功

三菱電機技報 Vol.47・No.3・P292～295

当社のロケットどう(搭)載電子機器は、昭和35年開発に着手して以来数多くの試みを経て、中でも宇宙開発事業団のLSCロケットシリーズではすでに7号機まで続いている。そして現在、これらの技術をもとに実用衛星打上用大形ロケットどう載電子機器を製作中である。本文では、昭和47年9月、種子島宇宙センターから打上げられたLSC-6号機どう載のLバンドトランスポンダ装置・VHF応急停止受信装置・PAM-FM-PM方式Pバンドテレメータ送信装置についてその構成と主要性能とを述べる。

UDC 621.396.946

## エクアドル納入衛星通信地球局

森川 洋・尾形陸奥男・石井康一・佐藤安彦・長嶺公修・金沢 熙

三菱電機技報 Vol.47・No.3・P261～275

南米エクアドルの首都キト市郊外に建設された衛星通信地球局の概要を述べる。当社は、この地上局を地上マイクロウェーブリンク、TVケーブルリンク、および土木工事を含めてターンキーにて全局設備を受注し、9ヵ月の短納期でこの工事を完了した。エクアドル地球局は1972年8月開局し、大西洋上のインテルサットⅣ号衛星にアクセスして、アメリカ・スペイン等5ヵ国との間の国際商用通信に使用され、同国の国際通信の近代化に大きな貢献をしている。

この地球局は、105フィートの集束ビーム給電方式アンテナおよび非冷却低雑音増幅器など最新の設備を有している。本文では施設の概要、システム設計、主要性能および施設の特徴について述べる。

UDC 621.396.96:656.76.086

## 中距離追尾レーダ装置

菅野和平・三浦雅男・遠藤義昭・尾形良征・倉田真喜夫

三菱電機技報 Vol.47・No.3・P296～299

昭和50年度に宇宙開発事業団が打上げの大形3段式Nロケットの電波誘導の主役を果す誘導レーダが製作段階に入っているが、この誘導レーダに先立って誘導レーダの初期捕捉や、バックアップの目的で、中距離追尾レーダが開発された。

このレーダの特長は、角度精度が0.03degでコンカルスキャン方式としては、最高水準のものであること、測距方式として全電子式デジタルレンジングを採用したこと、またロケットの初期捕捉追尾用と、精密追尾用の二つのアンテナを同一マウント上に配置し、捕捉から精密追尾への切換えを安全確実に行なえるようにしたこと等である。

UDC 629.783.017/018

## ETS-1・ISSチェックアウト装置

錦織 清・小泉深吉・萩原 毅・嶋村和也・近藤五郎  
井上幸美・磯谷 厚

三菱電機技報 Vol.47・No.3・P276～280

「ETS-1・ISSチェックアウト装置」は衛星の総合試験装置であり、宇宙開発事業団小平分室実験庁舎に設置され、昭和50年を目標に開発がすすめられているETS-1衛星およびISS衛星の認定試験と受入試験に使用される。

本装置は衛星サブシステムである電源系、コマンド系、テレメータ系およびミッション系の各試験装置や測定器、またこれらの装置を結合して総合的に動作させるデータ処理装置(MELCOM-7500システム)より構成される。

本文ではハードウェア、ソフトウェアと運用操作にわけ、簡単にアウトラインを紹介する。

UDC 621.396.96:656.76.086

## 精測レーダ —— 角度追尾系への要求とその解決 ——

齊藤成文・野村民也・浜崎義二・渡部 優・遠藤義昭・中司浩生  
篠原英男・三好一雄・尾形良征

三菱電機技報 Vol.47・No.3・P300～309

精測レーダは、東京大学宇宙航空研究所を中心に進められているM形ロケットによる人工衛星打上げの地上装備計画の一環として製作され、主目的は、ロケットの軌道に関するきわめて正確なデータ、ロケット最終段を人工衛星にするために必要ないくつかのデータを提供することである。特長は、1)測角精度が0.1mil rms (1/10,000ラジアン)、距離精度5m rmsと非常に高い。2)1MWの大電力送信機、4mφ高利得アンテナ、パラメトリック増幅器を有し遠距離性能がすぐれている。3)一次レーダ、二次レーダとしても使用できる。などその性能は、世界的レベルのものである。三菱電機は空中線系・高周波受信系・サーボ系を製作担当した。

UDC 656.76.086:629.783:551.510.535

## 電離層観測衛星管制施設

船川謙司・中橋信弘・梶川 実・渡部 優・遠藤義昭  
角谷桂一・岡田東亜・河上国彦・別段信一

三菱電機技報 Vol.47・No.3・P281～291

わが国最初の実用衛星である電離層観測衛星およびカナダ電離層研究衛星による、電離層観測データの収集および衛星への制御指令を地上にて行なう衛星地上管制施設が、郵政省電波研究所 鹿島支所に設置された。

この施設は、現在カナダ電離層研究衛星ALOUETTE/ISISを対象として順調に活躍中であるが、わが国初の実用衛星を対象とした本格的地上管制施設であり、施設全系統の操作校正の計算機制御、136MHz・400MHz 共用XYマウント大形受信アンテナ、偏波ダイバーシティ受信方式の採用等、種々の特長を有する世界的水準のものである。

UDC 621.396.67:629.783

## 衛星どう載用アンテナの開発

武市吉博

三菱電機技報 Vol.47・No.3・P310～312

衛星どう(搭)載用アンテナについて技術課題を電気性能面から論じるとともに、それらの課題に対する最近の研究開発状況を報告してある。例として、電離層観測衛星の観測用アンテナおよびテレメータコマンドアンテナ、モノポールアレイ形電気的デスパンアンテナ、ホーンアレイ形電気的デスパンアンテナ、航行衛星用機械的デスパンアンテナのモデル、国内通信衛星用成形ビーム機械的デスパンアンテナの電気モデルなどを示してある。

UDC 621.396.934: 629.783

## 航行衛星用狭帯域トランスポンダ

木村小一・安藤 清・笠井鯉太郎・山本健次・水崎勝生

三菱電機技報 Vol.47・No.3・P313～315

航行衛星の衛星・利用者回線に使用し、狭帯域FM音声、測位用の測距信号、およびPCMデータ信号を中継する衛星とう(搭)載用Lバンド狭帯域トランスポンダのエンジニアリングモデルについて、その概要を述べている。

このトランスポンダは、位相同期ループによるトラッキングフィルタを付加したコヒーレントトランスポンダであり、受信周波数1647.3MHz、送信周波数1548.7MHz、総合雑音指数5.8dB、送信電力2.2W、帯域幅27kHz、キャリアアクイジションスレシホールド-130dBm、アクイジション時間1秒の性能を持っている。



UDC 62.314.5

## サイリスタ高性能転流法とその応用

赤松昌彦・熊野昌義・矢野禎成・川畑隆夫・加我 敦・長南克彦

三菱電機技報 Vol.47・No.3・P321～327

このたび、当社で開発した新しいサイリスタ高性能転流法について、その原理、これを用いたインバータ基本回路の詳細な動作解析および実験結果との比較、さらに幾つかの実用例について述べている。

この転流法は、転流用変流器を用いて負荷電流経路とコンデンサ放電経路を磁気結合し、負荷電流の大きさに応じてコンデンサ放電電流を制御するもので、必要以上の余分な電流を抑制し、コンデンサ電荷を100%活用する。このため従来に比べ大幅に逆バイアス時間が延長される。言い換えれば、同一逆バイアス時間を得るに必要なコンデンサ容量は数分の一ですみ、それだけ転流損失が小さく、従来実用上困難であった2kHz以上の転流動作も可能である。



UDC 681.327.2: 518.6

## パターン情報処理の研究開発

伊藤貴康・成川武文・房岡 璋

三菱電機技報 Vol.47・No.3・P328～334

パターン情報処理の研究開発は、計算機を用いた新しい情報処理技術の確立という意味から、国内外において脚光をあびる研究テーマになっていることは周知のことであろう。しかしパターン情報処理の問題はきわめて多様な側面を含んでいるために、必ずしも一般に十分な理解がなされていない面がある。本文では三菱電機中央研究所において進められている、パターン情報処理の研究開発の基本的な考え方と、開発中のシステムの概要の紹介も含めて行なう。





## 衛星通信と宇宙開発特集号によせて

取締役 電子事業部長 香 取 由 之

1957年10月4日、ソ連が打上げに成功した人工衛星スプートニク1号により、世界の人工衛星による利用、宇宙開発の幕は切っておとされた。以来米国はじめ、欧州諸国において研究実験が進められてきている。

わが国における宇宙開発も、1950年代後期に東京大学宇宙航空研究所によって開始され、ペンシルロケットを皮切りにカッパ、ラムダ、それにミューロケットによる人工衛星の打ち上げ成功へと、着実な歩みをたどってきた。また科学技術庁も宇宙開発推進本部を設置し、実用衛星打ち上げへの第一歩をふみ出した。さらに、1969年10月1日には宇宙開発事業団が発足するにいたり、1975年中期における技術実験衛星I形(ETS-1)から、1978年の実験用静止通信衛星(EC S)に至る一連の衛星の打ち上げ計画(通称N計画)を決定し、これに基づいて国内実用衛星の開発が続けられている。

当社は上記宇宙開発計画に従い、下記に示すような広範な技術分野で国内宇宙開発研究に貢献している。

### 1. ロケット用および人工衛星用地上設備

東京大学宇宙航空研究所 鹿兒島宇宙空間観測所(内之浦)には、ロケット用精測レーダのほか科学衛星テレメータ用の18mアンテナを納入している。郵政省電波研究所鹿島支所には、わが国初のX-Yマウント方式の電離層観測衛星地上管制施設を納入している。また宇宙開発事業団種子島射場には、すでにテレメータ受信設備・中距離レーダを納入したほか、目下、誘導レーダを製作中である。

### 2. ロケット用電子機器

LS-Cロケット用電子機器を手がけて以来、試験用(Q)ロケット・Nロケットの電子機器の開発を行なっている。

### 3. 人工衛星

昭和44年3月、郵政省電波研究所より、わが国初の実用衛星である「電離層観測衛星」を主契約者として受注(その後昭和45年宇宙開発事業団に移管)したが、このプロトタイプモデルは近く完成する。

その他、電離層観測衛星/技術実験衛星I形用チェックアウト装置を

製作中であり、また、各種衛星とう(搭)載用アンテナ、トランスポンダ等のサブシステムも開発を続けている。

一方、人工衛星技術の本格的実用化は国際通信用通信衛星の形で表われた。1964年世界各国政府間で設立されたINTELSAT(国際商業衛星通信機構)は、1965年大西洋に打上げたINTELSAT-I号(Early Bird)以来、INTELSAT-II号系、III号系、IV号系と静止軌道上に展開させ、全世界を結ぶ商業衛星通信系確立までに発展された。すでにIntelsatに加盟した国は80数カ国におよび、ますます通信の拡大化が見込まれ、それに伴う大容量の通信衛星、通信技術の開発が要求される。

上記、衛星による通信網を構成する地球局は、Intelsat加盟国において建設され、年々その数の増加をみせている。本地球局建設にたずさわる当社は、昭和38年、国際電信電話株式会社により行なわれた中高度通信衛星テルスターを使用する衛星通信実験用として、直径20mの大形アンテナおよび制御装置を納入した。以来同社の茨城衛星通信所の第2および第3アンテナ、山口衛星通信所のアンテナならびに電々公社用実験局を引き続き納入し、さらには昭和43年のメキシコより最近のエクアドルに至るまで、INTELSAT加盟国の地球局建設に寄与してきた。人工衛星の利用は、1976年に世界的規模で開始される世界大気研究計画(CARP)に参加することをめざして、気象衛星を開発することが内定し、さらに7月には郵政省から、51年度に通信衛星および放送衛星を打ち上げる要求も提出されている。

将来の衛星通信には、限られた周波数帯におけるスペクトラムの有効利用、高い周波数帯の実用化、船舶・航空機等移動体を含む新しい通信サービスの拡大等が見込まれ、さらに新しい高度の技術開発が要求される。

当社は、衛星通信・宇宙開発の歴史の進展とともに、時代の要求に応じ、今後とも技術の開発・研さん(鑽)に努力し、社会発展に貢献する所存である。

## 茨城衛星通信所 第3 アンテナ設備

松本 義治\*・糸原志津夫\*  
 森川 洋\*\*・大賀浩三\*\*・竹内政和\*\*  
 石井康一\*\*・大沢 武\*\*・別段信一\*\*  
 水沢 丕雄\*\*\*

## The Third Antenna at Ibaragi Earth Station in Japan

Kokusai Denshin Denwa Co., Ltd. Yoshiharu MATSUMOTO・Shizuo ITOHARA  
 Mitsubishi Electric Corp., Communication Equipment Works Hiroshi MORIKAWA・Kôzô OOGA  
 Masakazu TAKEUCHI・Koichi ISHII  
 Takeshi OOSAWA・Shinichi BETSUDAN  
 Mitsubishi Electric Corp., Kamakura Works Motoo MIZUSAWA

The antenna system using the Intelsat-IV Satellite has been constructed by the Mitsubishi Electric Corporation at KDD Ibaragi Satellite communication Center in Ibaragi Prefecture under the guidance of KDD. Since its completion in August 1971, and opening in December of the same year, this station has been operating in full swing in effecting international tele-communication with various countries via the Intelsat-IV satellite in the Pacific Ocean.

The principal features of the system are as follows.

(1) The use of a four-reflector beam waveguide has made it possible to install various systems, namely high power amplifier, low noise receiver, etc., Which formerly had to be install near the feed point of antenna, in a stationary room on the ground level without suffering increase of feeder loss. This arrangement of equipments has made their maintenance easier and permitted a greater latitude respecting various conditions affecting the antenna design.

(2) By use of the Wheel-on-track mount for the antenna rotating system, the weight of the antenna could be reduced by one third of that of the conventional antennas.

## 1. ま え が き

年々増加の一路をたどる国際通信の需要に対応して、インテルサットではこれまでのⅢ号系衛星の約4倍強の回線容量を持つⅣ号系衛星の一連の打上げを推進中であり、すでに大西洋上には1971年1月26日、および12月20日にそれぞれF-2号・F-3号を打上げ、太平洋上には1972年1月23日にF-4号を打上げいずれも運用中である<sup>(1)</sup>。

一方、国際電信電話(株)では昭和45年に世界に先がけてⅣ号系衛星向標準地球局の建設に着手し、昭和46年8月同社茨城衛星通信所第3施設としてこれを完成し、同年12月からⅢ号系衛星に向け当初の運用を開始、昭和47年2月に太平洋上Ⅳ号系衛星にアクセスして現在国際電話・国際テレビ中継等の国際通信にか(稼)動中である。

三菱電機は上記茨城衛星通信所第3施設のアンテナ設備を担当し、国際電信電話(株)とともに総力を結集して設計・製作に当たり、昭和46年8月これを完成したので、ここにその概要を紹介する。

最近の衛星通信地球局用アンテナに望まれている条件は、その経済性(設備投資額の低減と運用経費の軽減等)および整備保守の向上に重点がおかれる傾向にあるが、本アンテナもこの主旨にそって、Az回転構造部にレール車輪方式を採用し従来の同種アンテナに比して約30%の重量軽減を図り、同時にこれまでAz回転機構部上に設置されていた送受信装置を、すべて地上固定部(ベデスタル内)に設置可能な新放射系を採用して、システム全系としての信頼性、設備保守を向上せしめた。

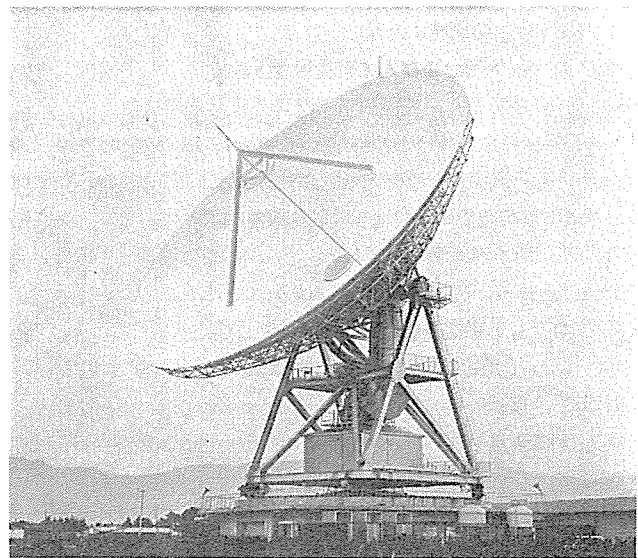


図 1.1 茨城衛星通信所 第3 施設 アンテナ 全景  
Third antenna at Ibaragi earth station.

図 1.1 に本アンテナの全景を示す。

以下本文において、これらの概要を紹介する。

## 2. 設計の基本方針

このアンテナは、インテルサットⅣ号系衛星にアクセスするように設計したが、インテルサットⅢ号系衛星にも使用でき、かつ将来の衛星に対しても拡張性をもたせるよう考慮した。

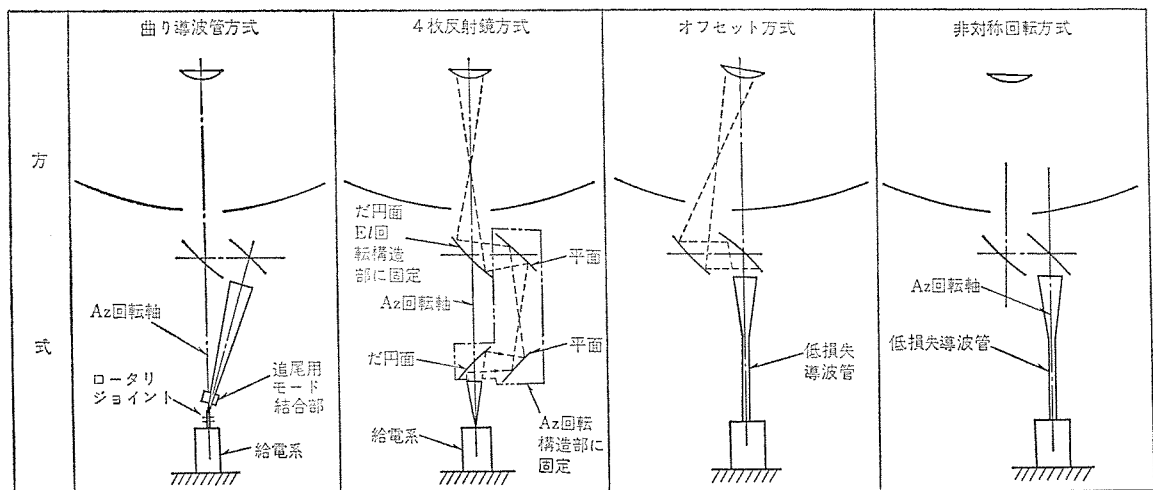


図 2.1 送受信機 固定方式のアンテナ構成  
Various configurations of antennas permitting ground-level installation of communication equipment.

そして、ICSC (Interim Communications Satellite Committee) が定めた標準地球局の具備すべき条件を十分満足するように設計した。

本アンテナは、過去茨城・山口両地球局アンテナの経験を取り入れ、最新の構成としたが、おもな特長を列挙すると次のとおりである。

(1) 低雑音受信機および大電力送信機が給電系の近傍で、しかも地上に固定して回転を受けない位置に設置できるようにした。

茨城第2アンテナおよび山口局アンテナは、標準形カセグレンアンテナが全盛の時代に新たにホーンリフレクタ給電カセグレンアンテナを開発して採用し、低雑音受信機や給電系などを収納する通信機室を設けた。これによって低雑音受信機がE<sub>l</sub>軸回転を受けない構造となり、保守・調整が容易となった。しかし両アンテナとも通信機室へのアクセスには階段が必要であり、また大電力送信機を給電系近傍に設置するのは困難であった。そこで本アンテナではさらにこの点を改善すべく、当時からの技術の進歩と経験をおりこんで、送・受信機をすべて地上に固定できるよう、図2.1に示す四つの方式について種々検討を行なった。

#### (a) 曲り導波管方式

Az回転軸を主反射鏡に関して対称な位置に設けるために円すい(錐)ホーンを斜めに設け、円形曲り導波管を介してAz回転軸上に円形導波管を接続する方式である。この系で問題となるのは高次モードが発生することで、しかも偏波方向によって発生量が異なる。

#### (b) 4枚反射鏡方式

円すいホーンを主反射鏡に対し対称の位置にある方位回転軸上に設置するために4枚の集束反射鏡を用いる方式で、伝送損失は非対称回転方式に比べ多少増加するが、給電端を地上まで下すために接続する導波管の損失を考慮すれば、その性能は大差ない。

#### (c) オフセット方式

Az回転軸を主反射鏡に関し対称な位置に設けるために、一次放射系から副反射鏡への吹付角をオフセットした方式である。この系では一次放射系によるブロッカージが生じ、副反射鏡々面が非回転対称となるなどの欠点がある。

#### (d) 非対称回転方式

Az回転軸を主反射鏡の対称軸からずらした方式で、2枚の反射鏡と円すいホーンとで構成されたものが、日本電信電話公社衛星通信実験所アンテナに採用されている<sup>(2)</sup>。しかし、機械的にAz軸に対して非対称で、レール車輪方式の場合は摩擦駆動がむずかしく、30m

級の大口徑アンテナには得策でない。

以上の方式比較から給電用低損失導波管も含めた能率、 $G/T$  (利得対雑音温度) 比、機械構造系の性能・経済性などを考慮し、本アンテナは4枚反射鏡方式とした。

これにより送信機出力端と給電系との間隔を著しく短くすることができ伝送損失も少なくなった。これは等価的に送信機出力が小さくてよいことを意味する。

#### (2) レール車輪方式の採用

マウント方式として茨城第2・山口両アンテナで用いられたベアリング方式に代わり、レール車輪方式を採用した。これで回転部重量が軽減され、さらにペデスタル内に容易に広い面積のへやを設けることができたので、送受信機室として有効に使用できる。

なお、E<sub>l</sub>・Azとも全天回転 (Fully Steerable) である。

#### (3) サイリスタ制御の電気モータ駆動

茨城第2・山口両アンテナは油圧駆動であったが、駆動制御特性が良好である反面、保守がめんどうであった。近年サイリスタなどの固体素子が急速に発達し、高性能の大電力電子制御装置が一般的となってきたので<sup>(3)</sup>、本アンテナはサイリスタ制御による電気モータ駆動を採用した。これにより機器の簡略化と保守の容易性をはかった。

#### (4) 単一チャネルの自己追尾方式

自己追尾系の信頼性をより向上させ、保守の容易性をはかるため高次モード検出法で受信機を単一チャネルとする方式を採用した。これは給電系で検出された差信号を低周波で双極性位相変調し、再び和信号に加えて通信信号とともに低雑音受信機で共通増幅するもので、増幅後、復調分離する。したがって追尾受信機用のマイクロ波部分のハードウェアが従来のものに比べ簡略化され、信頼性も改善されている。

#### (5) 反射鏡に除雪装置を内蔵

積雪による通信障害を防ぐために、反射鏡裏面に特殊ヒータを取付け、これを室内から制御できるようにした。

### 3. 設備の概要

建設後行なわれた幾多の性能試験結果から、ICSCの規定する標準地球局として具備すべき性能を十分満たしていることが確認された。

#### 3.1 設備の構成

第3アンテナ設備は、アンテナ部およびアンテナ制御機器部から構成さ



表 3.1 アンテナ設備構成  
Equipment list.

区 分	装 置 名	略 号	数 量	設 置 場 所	備 考
アンテナ部	AD-3 形カセグレンアンテナ装置	AD-3 CAS ANT-E	1 基	アンテナサイト	
	反 射 鏡 部	AD-3 REF			
	一 次 放 射 器 部	AD-3 PRI RAD			
	回 転 構 造 部	AD-3 ROT STR			
アンテナ部	駆 動 部	AD-3 DRIVE	1 基	アンテナサイト	
	角 度 検 出 機 構 部	AD-3 ANG PO			
	ペデスタル部	AD-3 PEDESTAL			
	付 属 設 備 部	AD-3 MISC			
アンテナ部	AY-1 形 給電装置	AY-1 FEED-E	1 式	送受信機室	
	UZ-2 形 乾燥空気充てん装置	UZ-2 DEHYD-E	1 架	送受信機室	
	空 調 装 置	AIR CON-E	2 式	送受信機室	
アンテナ制御機器部	RB-3 形アンテナ制御装置	RB-3 ANT CONT-E	1 式	通 信 機 室	
	制 御 増 幅 架	RB-3 SERVO ELEC-B	1 架		
	制 御 補 助 架	RB-3 CONT LOGIC-B	1 架	送 受 信 機 室	
	ロ ー カ ル 制 御 架	RB-3 LOCAL CONT-B	1 架		
	サイリスタ制御架	RB-3 THY CONT-B	4 架		
	固 定 制 御 架	RB-3 HOLD CONT-B	1 架		
	RB-3 形アンテナ監視制御装置	RB-3 ACU-E	1 架	管 制 室	
	RB-3 形デジタル角度装置	RB-3 ANG ENCODE-E	2 架	送受信機室	冗 長 構 成
	UR-3 形 追尾受信装置	UR-3 TRACK R-E	2 架	通 信 機 室	冗 長 構 成
	MU-1 形 ビーコン発振器	MU-1 BEAC OSC	3 台	可 搬 形	
	RB-1 形 除雪制御装置	RB-1 DEICE CONT-E	1 架	送受信機室	
	PK-33 形 1 号中間電流供給盤	PK-33-1 IBS	1 架	巻 取 室	
	RB-3 形 プログラム制御装置	RB-3 PROG CONT-E	1 式	通 信 機 室	3 架 構 成
	RB-3 形 時刻装置	RB-3 STD TIME-E	1 架	通 信 機 室	
共通部	EG-14 形 1 号中間配線盤 (巻取室)	EG-14-1 IDF CAWRAP	1 架	巻 取 室	
	PK-33 形 1 号中間電流供給盤	PK-33-1 IBS-1 PK-33-1 IBS-2	1 架 1 架	送 受 信 機 室	

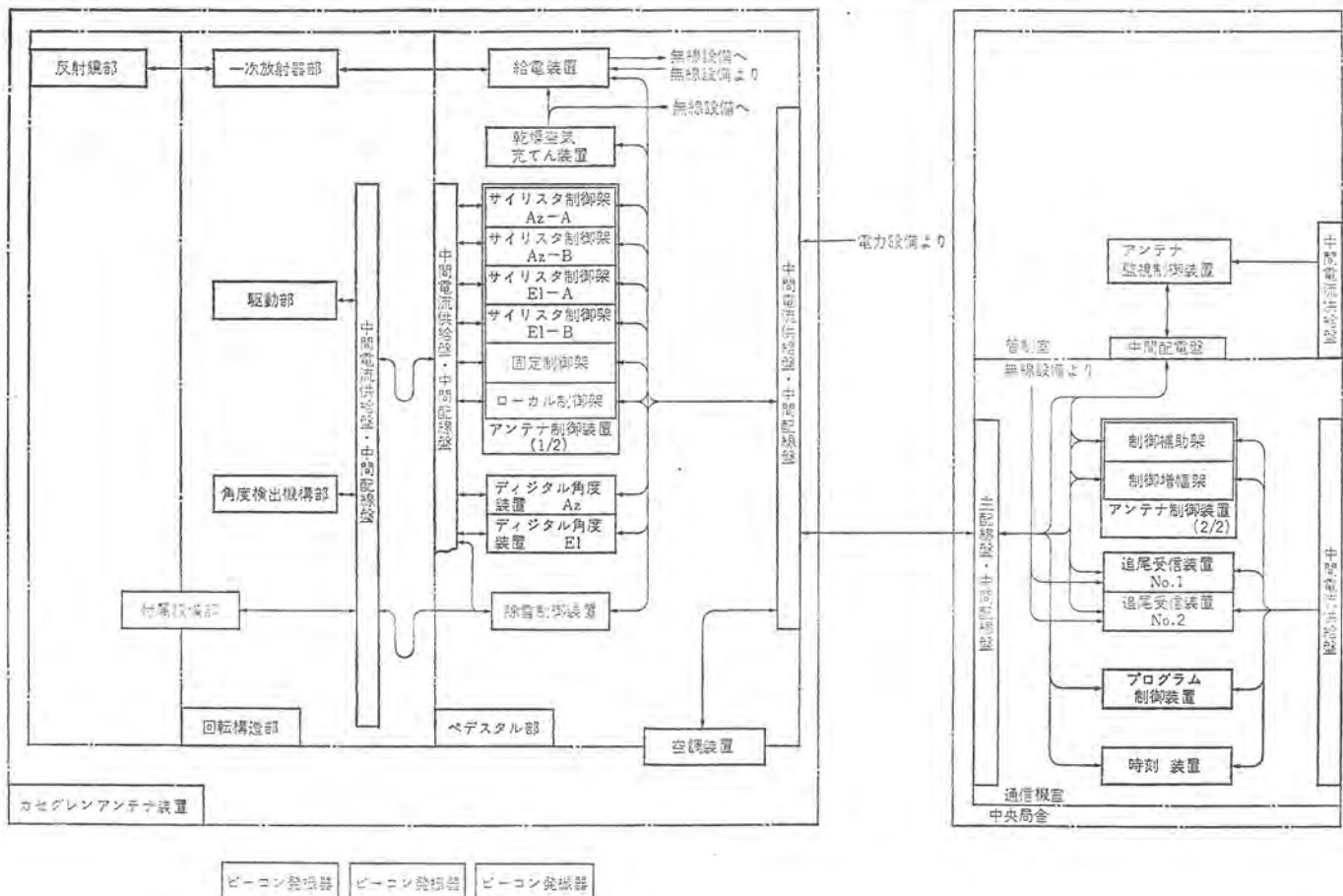


図 3.1 アンテナ設備系統図  
Block diagram of antenna system.

れており、これらの構成を表 3.1 に、全系の系統図を図 3.1 に示す。

### 3.2 主要性能、諸元

第 3 アンテナの主要な性能・諸元は下記のとおりである。

#### (1) 一 般

対象とする衛星： Intelsat IV および III  
 マウント形式： El-Az マウント形式による全天指向性  
 駆動方式： 電気駆動方式  
 (2) 機械・駆動系諸元  
 主反射鏡： 直径 29.6 m  
 鏡面精度： 0.76 mm rms ( $El=35^\circ$  において)  
 最大駆動角速度：  $0.3^\circ/s$   
 駆動角度範囲(自己追尾モードのとき)：  
 Az 真南中心に  $\pm 180^\circ$   
 El  $2^\circ \sim 90^\circ$

耐風性：  
 運用追尾可能風速 33 m/s (瞬間風速)  
 Drive to stow 可能風速 45 m/s (瞬間風速)  
 格納時耐風性能 60 m/s (瞬間風速)

### (3) アンテナ系電気性能

#### (a) 受信系

周波数範囲： 3,700 MHz ~ 4,200 MHz  
 利得(受信機入力点での利得)： 60.0 dB (4.0 GHz)  
 雑音温度(含む給電系)：  $43^\circ K$  ( $El=5^\circ$  のとき)  
 システム  $G/T$  比：  
 $El=5^\circ$  42.0 dB  
 $El=35^\circ$  43.6 dB

主ビーム電力半値幅：  $0.15^\circ$   
 第一サイドローレベル：  $-14.8$  dB  
 VSWR： 1.12 (帯域内最大値)  
 だ円偏波率： 1.4 dB (帯域内最大値)

#### (b) 送信系

周波数範囲： 5,925 MHz ~ 6,425 MHz  
 利得(給電装置入力端にて)： 63.4 dB (6.2 GHz)  
 主ビーム電力半値幅：  $0.10^\circ$   
 第一サイドローレベル：  $-14.1$  dB  
 VSWR： 1.06 (帯域内最大値)  
 だ円偏波率： 0.9 dB (帯域内最大値)

#### (c) 給電系

送受間減衰量： 35 dB  
 最大許容送信電力： 6 kW CW

#### (d) 自己追尾系

スレッショルドレベル(ホーン入力換算)：  $-141$  dBm  
 ロックオン引込角度(入力レベル 105 dBm のとき)：  $0.1^\circ$   
 衛星追尾角度誤差(平均風速 20 m/s まで)：  $0.009^\circ$

## 4. アンテナ部

### 4.1 反射鏡部および一次放射器部

2章で述べた設計の基本方針にもとづき、4枚の反射鏡とコルゲートホーンとで構成した集束ビーム一次放射系を採用し、主および副反射鏡はメキシコ向けアンテナ<sup>(3)</sup>・山口局アンテナ<sup>(4)</sup>などで実績のある波動論的に考慮した鏡面修正カセグレンアンテナ方式を採用することとした。概略構成を図4.1に示す。

#### 4.1.1 一次放射器部

集束ビーム方式の特長は、伝送すべき電波を伝送軸上に集束させながら低損失で伝送できることであり、次の条件が必要である<sup>(6)(7)</sup>。

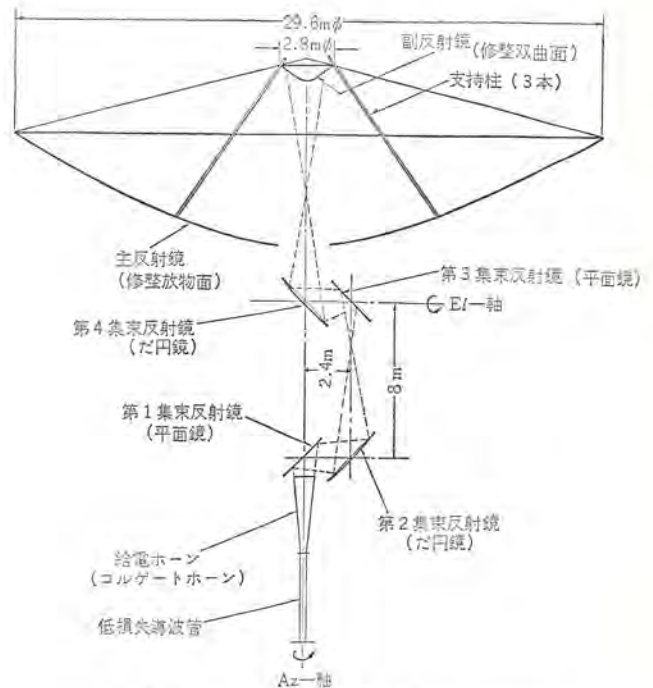


図 4.1 アンテナ反射鏡部および一次放射器部  
Configuration of antenna feed.

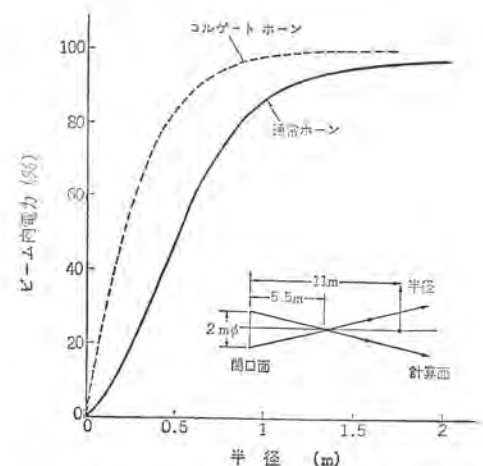


図 4.2 ビーム内電力の計算例 (4 GHz)  
Power ratio in the beam.

(a) 伝送すべき電波の電界分布が集束伝送に適していること、すなわち、集束伝送の集束体の直径 ( $D$ ) を与えたとき、伝送モードの振幅分布が  $E=E_0 \exp(-a\rho^2)$  に近似できること。ここで、 $E_0$ ,  $a$  は定数、 $\rho$  は集束体開口の半径である。

(b) 相対する集束反射鏡が互いに近接領域にあること、すなわち、 $\phi=D_1^2/\lambda L_1$  なるフレネル数が大きいこと。ここで、 $D_1$  は実効開口径、 $\lambda$  は波長、 $L_1$  は反射鏡間距離である。

この伝送系では、伝送すべき波の振幅分布は、ランチャとしてのホーンの振幅パターンによってほとんど決定される。条件(a)のような分布をもつホーンとして、コルゲートホーンがあり<sup>(7)</sup>、このホーンは広帯域にわたり回転対称なビームをもち、振幅パターンも要求の分布に近い。伝送能率は非常に良くなる。通常の円すいホーンでは、E, H面のビーム幅および形状が異なり、E面のビームは条件(a)とかなり異なるため、伝送能率はかなり悪くなる。図4.2に、これらのホーンを用いた場合の反射鏡に当たる電力(ビーム内電力)の計算例を示す。半径を 1.25 m とした場合、コルゲートホーンと通常ホーンとのビ



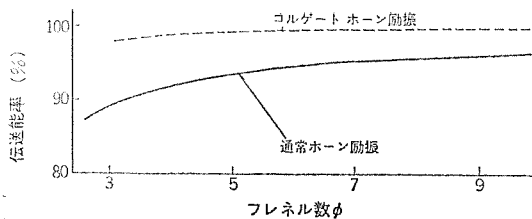


図 4.3 伝送効率

Transmission efficiency of beam waveguide.

表 4.1 集束ビーム給電形式の性能比較  
Performance of focused-beam feed.

集束反射鏡		4 枚		2 枚	
ホーン		コルゲート	通常	コルゲート	通常
4 GHz	伝送効率	95.8%	79.2%	97.5%	87.8%
	雑音温度への寄与	5.3 °K	27.0 °K	3.3 °K	15.7 °K
6 GHz	伝送効率	94.3%	82.7%	96.7%	89.7%

注) ここで伝送率はホーン開口より出た電力に対する副反射鏡に向かう電力を示す。またこの伝送率には鏡面のおうつ(凹凸)による分を含む。

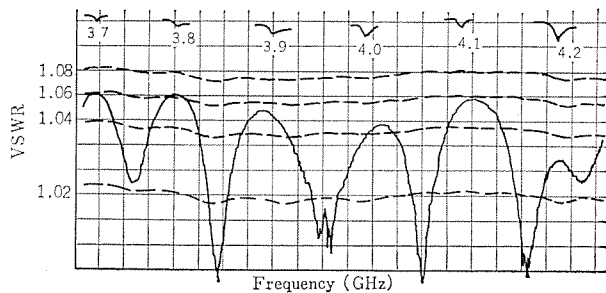


図 4.4 コルゲートホーンの VSWR  
VSWR of corrugated horn.

ーム内電力は、それぞれ 99%, 93% となる。また、条件(b)のフレネル数  $\phi$  に対する伝送率を計算した結果を図 4.3 に示す。この計算では、送受の反射鏡が同じで、中間で焦点を持つ系を考えている。

集束ビーム一次放射系の構成方式としては、反射鏡の数および曲面形状によって種々の方式が考えられ、集束反射鏡を 2 枚と 4 枚を使用した方式について系全体の伝送率・雑音温度への寄与を検討した一例を表 4.1 に示す。

#### 4.1.2 給電ホーン

給電ホーンは、ホーン内壁に軸対称にコルゲートを施したもので、そのホーンをコルゲート導波管のモードで励振したものである。コルゲートの深さを容量性に選ぶことによってホーン内を速波である  $EH_{11}$  モード波を伝送させることができる。

このモードはその断面の電界分布が次式で与えられる<sup>(7)</sup>。

$$E_x = \frac{E_0}{1-\gamma} [J_0(k_0\rho) + \gamma J_2(k_0\rho) \cos 2\phi] \dots \text{主偏波成分}$$

$$E_y = \frac{E_0}{1-\gamma} \gamma J_2(k_0\rho) \sin 2\phi \dots \text{交差偏波成分}$$

ここで

$$k_0^2 = \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)^2 - \left(\frac{2\pi}{\lambda_g}\right)^2$$

$$\gamma = J_0(k_0a) / J_2(k_0a)$$

$\lambda, \lambda_g$ : 自由空間波長および管内波長

$E_0$ : 定数

この式で、 $J_0(k_0a) = 0$  となるとき、 $\gamma = 0$  となって、電界分布は回転対称となり、Far-Field における放射パターンは  $\phi$  に関係なく、

$$E_{Px} = K J_0(ka \sin \theta) / \left[ 1 - \left( \frac{ka \sin \theta}{k_0a} \right)^2 \right]$$

で与えられる。電界分布の式からわかるように、 $J_0(k_0a)$  がほぼ零に近い場合は、回転対称であると同時に、ホーン開口の周辺部分( $\rho \approx a$ )では電界が小さくなる。したがって、ホーン開口の回折効果も小さく、サイドロブも低くなる。また、コルゲート導波管の損失は、コルゲートの形状・寸法の選択によって、理論的には通常の円形導波管よりも小さくできる<sup>(8)</sup>。

円形導波管とコルゲート導波管との接続は、モード整合を行なうための変換器を付ける必要があり、特殊な変換器を用いれば、VSWR を 1.06 程度に押え得る<sup>(9)</sup>。図 4.4 にコルゲートホーンの VSWR の実測値を示す。

#### 4.1.3 設計概要と主要性能

4 枚反射鏡方式の集束ビーム一次放射系の設計は、伝送率・周波数特性・機械構造上の条件から、図 4.1 に示した構成とした。各集束反射鏡の周縁レベルを  $-26$  dB 以下に押え、伝送率 96.8% (4 GHz), 98.6% (6 GHz) を目指し、その外側を金属でおおうことにより、危険防止と雑音温度特性の向上を図るとともに防じん・防雪を配慮した。

主および副反射鏡には鏡面修正カセグレン方式を採用し、副反射鏡の周辺レベルを  $-22$  dB (4 GHz),  $-25$  dB (6 GHz) とし、スプilloーパ電力を小さく押え、主反射鏡開口分布をほぼ一様分布とし、周辺レベルを開口率・雑音温度から、完全無指向性に比べ、4 GHz で  $-3$  dB, 6 GHz で  $-5$  dB とした。なお、これらの設計は、集束ビーム一次放射系の模型実験結果で、理論計算値を修正しながら実施した。このアンテナの設計予測値を表 4.2, 4.3 に示す。また、副反射鏡位置における一次放射パターンの実測例を図 4.5 に、6 GHz 帯の全周パターンを図 4.6 に示す。

表 4.2 開口率, 利得の予想値  
Expected gain and aperture efficiency.

周波数		4 GHz	6 GHz
コルゲートホーンの損失		-0.01 dB	-0.01 dB
ホーンカバーの損失		-0.01 dB	-0.02 dB
ビーム導波管の伝送率		-0.13 dB	-0.21 dB
照射率		-0.60 dB	-0.75 dB
主反射鏡からのもれ		-0.05 dB	-0.04 dB
副反射鏡からのもれ		-0.05 dB	-0.04 dB
副反射鏡および支持柱のブロッキング		-0.22 dB	-0.19 dB
鏡面精度による損失		-0.19 dB	-0.42 dB
開口率	dB	-1.26 dB	-1.68 dB
	%	75 %	68 %
アンテナ開口利得		60.6 dB	63.7 dB

表 4.3 アンテナ雑音温度と  $G/T$  の予測値  
Expected value of antenna noise temperature and  $G/T$  ratio.

仰角	アンテナ雑音温度(放射系)	$G/T^*$
5°	38.5 °K	41.9 dB
10°	26.7 °K	42.7 dB
20°	18.3 °K	43.3 dB
30°	14.5 °K	43.7 dB
50°	12.2 °K	43.9 dB
90°	11.4 °K	43.9 dB

\* 印: LNA などの受信系の雑音温度を 23°K と仮定してある。

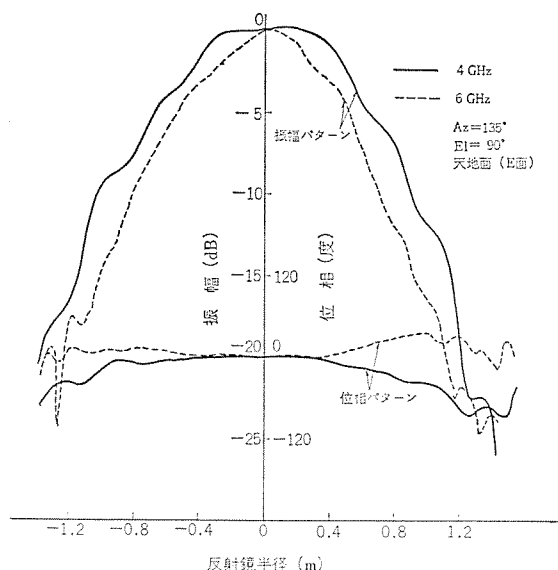


図 4.5 副反射鏡位置における一次放射パターン  
Primary pattern at sub-reflector plane.

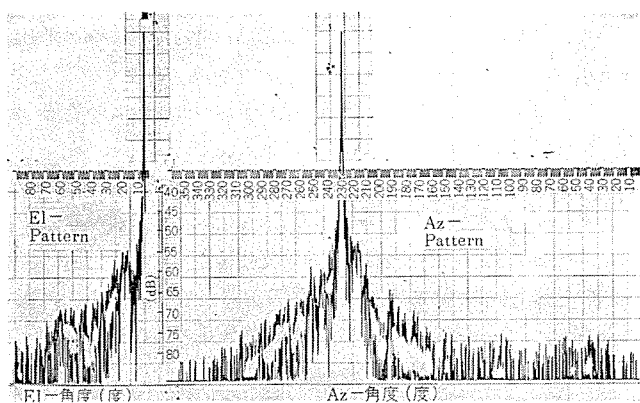


図 4.6 6 GHz 帯全周パターン (円偏波)  
Wide-angle radiation pattern at 4 GHz (circular).

## 4.2 給電装置

給電装置は、図 4.7 のブロック図に示すように、通信用送・受信信号を偏波変換し、分波するとともに、衛星追尾のための誤差信号を取り出し、変調し、追尾用基準信号とともに、低雑音増幅器を送り込むように設計されている。追尾誤差信号を取り出す回路は多孔形  $TM_{01}$  モード結合器で、原理的には円形導波管の中を伝搬するモードの位相速度の差と側壁電流の方向の差により、モード識別を行なう回路であり、広帯域特性が得られる。誤差信号重畳器は、変調された追尾用誤差信号を、追尾用基準信号に重畳させるもので、通信信号回路にそう入している。そのため高い  $Q$  の BPF を使用し、通信波の漏込みなどを最小に抑え、さらに、周囲温度の変化に伴う誤差信号の透過位相量変動を抑えるための温度補償機構、ピーコン周波数の変化に対処するための周波数可変機構などを付けてある。

上記の主回路部品以外に、追尾受信系の試験・調整のための信号シャ断器、テスト信号入力回路、可変移相器、可変減衰器などが付けられている。本装置の主要性能を表 4.4 に示す。

## 4.3 機械構造系

機械構造系は反射鏡部・一次放射器部・回転構造部・ペダスタル部・付属設備部より構成される。

### 4.3.1 反射鏡部

反射鏡部は直径 29.6 m の主反射鏡とその支持構造、直径 2.8 m の

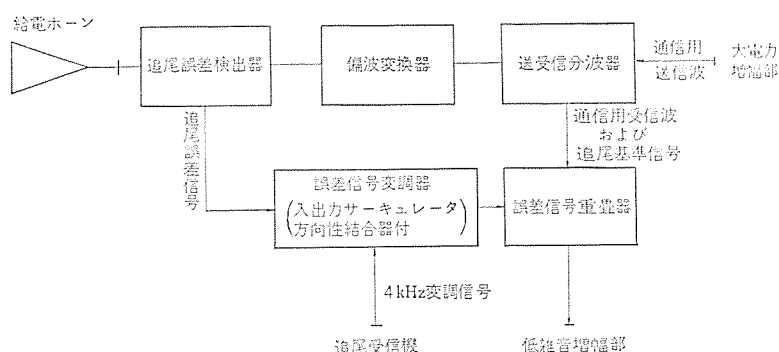


図 4.7 給電装置のブロック図  
Block diagram of feed assembly.

表 4.4 給電装置の主要性能  
Performance of feed assembly.

項目		設計予測値	実測値
そう入損失	4 GHz 帯	0.14 dB	0.13 dB
	6 GHz 帯	0.13 dB	0.10 dB
VSWR	4 GHz 帯	1.15	1.08
	6 GHz 帯	1.08	1.05
だ円偏波率	4 GHz 帯	1.5 dB	1.4 dB
	6 GHz 帯	1.5 dB	0.9 dB
送受信端子間減結合量		40 dB	44 dB
耐電力 (6 GHz 帯)		6 kW CW	6 kW CW

副反射鏡とその支持支柱よりなり、基本的には従来のアンテナに多少の改良を加えた構造である。

修正回転放物面を形成する主反射鏡面はアルミニウム製で、ストレッチフォーム加工し裏面に位置調整機能を備えた 360 枚のパネルからなりたっている。また主反射鏡の支持鋼構造はその性格上、長期にわたり変形しないことが要求されるが、半径方向のリップについては溶接構造とし、円周方向のリングについては、締付けトルクを管理できる摩擦接合ボルトによるボルト結合構造とするとともに高次の不静定トラス構造を採用した。

副反射鏡はアルミニウム製であり、支柱は電波のブロッキングおよび散乱を少なくするために近似長円断面の 3 本足構造を採用した。

反射面への積雪・着氷による通信性能低下をさけるため、すべての反射鏡パネルにシートヒータを取付け、1 部 (14 枚) のパネルに取付けられたサーモスタットと温度計により、鏡面温度状態を検出するとともに自動的に電源の ON-OFF ができる方式にした。副反射鏡にも同様な方式が組込まれているが、通信中にアクセスできないことを考え完全予備をもたせた。

### 4.3.2 一次放射器部

図 4.1 に示すように 4 枚の反射鏡とコルゲートホーンよりなり、2 枚の反射鏡は El 軸線上に設置され、その 1 枚はアンテナの El 回転とともに回転する。すべての反射鏡はアンテナの Az 回転とともに回転するがホーンは地上に固定されている。

反射鏡の相対位置を高精度に設定するために各反射鏡は裏面に位置調整機能をもたせた。積雪や結氷をさけるため 4 枚の反射鏡のうち上向きの 2 枚にはシートヒータを取付けた。またコルゲートホーン先端部はテフロンをコーティングしたガラス強化ポリエチレン製のフィードームで密封し、フィードーム上に水滴・ほこり等の付着するのを防ぐため、ブローアを備えた。



### 4.3.3 回転構造部

EI 軸受は内径 0.4 m の複列円すいコロ軸受と内径 0.4 m の球面コロ軸受であり、軸受間隔約 12 m をもって反射鏡部を支持している。EI 軸まわりの不平衡トルクを小さくするため約 50 t の重りがとりつけられている。EI 終段歯車はピッチ円直径 11 m のセクタ歯車であり弧の合計は約 110°である。

4 個の台車は直径 16.4 m のレール上を回転するように設置され、回転運動中レールと車輪の間ですべりが生じないよう車輪にテーパーをつけ、さらに設置時傾き誤差があっても片あたりしないようにわずかにクラウニング加工を施した。車輪直径は 1 m であり転動面には熱処理を行なった。

Az 軸受は内径 1.4 m の円筒コロ軸受であり、極圧添加剤入りの潤滑油による油浴潤滑を行なっている。

### 4.3.4 ベDESTAL 部

アンテナの基礎であるベDESTAL 部は鉄筋コンクリート構造であり、直径 1 m、長さ約 20 m のアースドリルくい(杭)を 16 本打ち込んだ。地上部分は 8 本の柱とそれをつなぐ大はり(梁)により正方形の電子機器収容室となっている。

### 4.3.5 付属設備部

EI 軸・Az 軸のおおのについて、90°、±200°の回転角度範囲で安全にケーブルを巻き取り、巻き戻すための巻取装置、アンテナおよびそれに付帯する機器や、人体に対し落雷による危険防止のための避雷設備を設けた。

### 4.4 駆動系

駆動系は Az および EI 駆動機構、固定装置、天頂ロック装置、角度検出機構部からなる。

#### 4.4.1 Az および EI 駆動機構

Az および EI 駆動機構は、サイリスタで制御された直流電動機(定格出力 7.5 kW) およびこの動力を伝達する歯車減速機構からなり、それぞれ同等な 2 系列の平歯車系をもつアンチバックラッシ駆動機構であり、Az 駆動についてはその終段でレールと車輪による摩擦駆動を採用している。

また Az、EI 駆動機構とも人力による駆動のためのハンドルをもっている。

#### 4.4.2 固定装置

強風時任意の Az 角度でアンテナを固定する装置であり、レールを回転側から保持し、車輪に摩擦ブレーキをかけることによりアンテナを固定する。操作は中央局舎から遠隔制御できる。

#### 4.4.3 天頂ロック装置

天頂ロック装置は強風時アンテナを天頂において固定し格納するためのもので、中央局舎から遠隔制御できる。

#### 4.4.4 角度検出機構部

アンテナ軸からの高精度の歯車を介して Az、EI の角度検出を行なう方式で、両機構ともデジタル角度検出用としてシンクロ(36X と 1X)が、アナログ角度検出用兼手動制御用としてシンクロ(1X と 36X)が取付けられ、各歯車にはバックラッシ防止および主軸受のガタ検出歯車の偏心などによる角度検出誤差が生じない機構が組込まれている。

## 5. アンテナ制御機器部

### 5.1 自己追尾系

アンテナを衛星の方向に指向させる方式として衛星よりのビーコン電

波を受信して衛星方向を検知し、この方向にアンテナを向ける自己追尾方式と、あらかじめ与えられた軌道データに基づいて、アンテナを駆動するプログラム制御追尾方式との双方を備えているが、通常は前者が後者に比べて指向精度がすぐれているので、優先的に使用されている。

自己追尾方式では、給電装置で衛星方向とアンテナの指向方向との角度誤差信号を検出することが必要であるが、この検出には 4.2 節に述べたように高次モード(TM<sub>01</sub>モード)を用いている。またこの角度誤差信号と、基本モード(TE<sub>11</sub>モード)より得られる和信号とを処理して、アンテナ各軸に対応する角度誤差電圧を得るには、山口局・メキシコ局などで採用されている単一チャネル方式の追尾受信機<sup>(10)</sup>を、さらに効果的に改良した完全単一チャネル方式<sup>(11)</sup>を採用している。すなわち前者では、給電装置内で角度誤差信号と和信号とを通信信号から分離してそれぞれ取出し角度誤差信号を変調したのち和信号と合成して、追尾用単一チャネル信号を得ていたのに比べ、後者では、給電装置内で角度誤差信号を検出し、これを変調したのち通信信号と和信号とが伝送されている回路に再び重畳させている。これによって次のような利点を得られている。

(1) 低雑音増幅器および局舎間伝送路を通信用のものと共用できる。

(2) 追尾受信装置は、周波数変換部を含めてすべての能動回路を 1 個所にまとめて設置することができる。

さらに追尾受信装置を大幅に IC 化することにより、コンパクトなものとなることができた。また上記(2)項によって冗長性が与えやすくなったため、追尾受信装置を完全に冗長構成として自己追尾系の信頼性の向上をはかっている。図 5.1 に自己追尾系のブロック図、図 5.2 に追尾受信装置の外観を、また表 5.1 に自己追尾系ならびに追尾受信装置の主要性能を示す。

### 5.2 アンテナ制御系

#### 5.2.1 アンテナ制御装置

アンテナ制御装置はアンテナ駆動制御の機能をもつもので、自己追尾、プログラム制御、および手動制御の各制御モードで与えられる角度誤差電圧を増幅して、アンテナ駆動用モータに駆動電力を供給するいわゆるサーボ増幅器としての機能がおもなものである。茨城第 2 施設や山口局で用いていた油圧駆動方式に代わって、保守が容易なサイリスタレオナードと直流モータとの組合せによる電気駆動方式を採用し、電

表 5.1 追尾受信装置の性能諸元  
Major performance of tracking receiver.

項 目	性 能 諸 元
追 尾 受 信 周 波 数	3,700~4,200 MHz 内の定められた周波数
追 尾 可 能 入 力 レ ベ ル	$f_0 \pm 0.15 \text{ MHz}$ -53~-108 dBm (ホーン入力にて-80~-127 dBm をカバーする)
機 合 感 度	20 V/deg
雑 音 指 数	11 dB 以下
第 1 中 間 周 波 数	70 MHz
第 2 中 間 周 波 数	1.4 MHz
A G C 特 性	上記入力レベルに対して出力偏差±0.5 dB 以内
位相同期回路の等価雑音帯域幅	スレショールドレベルにて 100 Hz 大入力レベルにて 250 Hz
本装置に起因する Null Shift	±0.001° 以下
寸 法	260 mm(幅)×225 mm(奥行)×1,800 mm(高さ)
重 量	約 100 kg





制室に設置されている。図に示すように各機器装置の関連性をわかりやすくするために一部をグラフィック化した。

### 5.2.3 デジタル角度装置

アンテナ角度をデジタル量で読取るための装置で各軸当たり2系列の冗長構成とした。アンテナ各軸には精および粗のシンクロレゾルバを結合し、その出力に得られる信号の移相量を計数して、角度のデジタル量を得る方式を用いている<sup>(12)</sup>。出力は10進6けたで制御盤に表示すると同時に、プログラム制御などのために2進化10進コードで他の装置に伝送している。

### 5.3 除雪制御装置

4.3.1項および4.3.2項で述べたように、このアンテナでは冬の反射鏡面への積雪によって運用に支障を生じないようにするため、主反射鏡パネルなどに除雪用ヒータを備えている。除雪制御装置はこれら各部への電力の供給の制御および供給電力ならびに各部の温度の監視を行なうものである。

## 6. む す び

以上述べた国際電々茨城衛星通信所第3施設アンテナ設備は、昭和46年12月に運用を開始し、現在はインテルサットIV号太平洋地域衛星を対象に国際通信業務に活躍中である。この最新の構想をもつアンテナ形式は、衛星通信地球局の一つの典型として世界の衛星通信関係者の関心を集めており、その後三菱電機が受注建設中のニカラグア、エクアドル、ユーゴスラビア等の諸外国向地球局用アンテナもすべて本アンテナを標準として製作されたものである。

本文では記述できなかったが現地における据付工事および各種の試験業務は、当初から地質の問題、天候の問題等多くの障害に遭遇しながら、一人の犠牲者もなく完成することができたのは、国際電電関係各位の適切なご指導、ご協力と三菱電機関係各位のご努力によるものであり、ここに厚く御礼を申し上げる。

筆をおくにあたり、このアンテナの設計・建設のすべてにわたり、終始ご指導・ご指揮いただいた国際電々(株)宮取締役、当時の富田衛星通信課長、茨城衛星通信所立木所長、村岡次長、および三菱電機榎本取締役、喜連川北伊丹製作所長、丸浜通信機製作所副所長、

ならびに国際電々および三菱電機の関係各位に厚く謝意を表する次第である。

## 参 考 文 献

- (1) 富田ほか：茨城衛星通信所第3施設の概要，国際通信の研究，No. 72，1（昭47）
- (2) 島田ほか：多周波数帯 共用集束 ビームカセグレン アンテナ，信学会ア・伝研資（昭47-2）
- (3) 丸浜ほか：メキシコ 納め衛星通信用大口径 アンテナ，三菱電機技報，43，No. 2，245（昭44）
- (4) 糸原，水沢：衛星通信地球局アンテナの性能向上について，信学会ア・伝研資（昭45-2）
- (5) 副島：近接領域におけるアンテナの諸問題，信学誌，48，564（昭40-4）
- (6) T. Kitsuregawa, M. Mizusawa : Design of the Beam-Waveguide Primary Radiators of the Cassegrain Antennas for Satellite Communications, 1970 IEEE G-AP Symp. Digest, 400, Sept. 1970
- (7) 水沢，武田，別段：コルゲート円錐ホーンアンテナの放射特性，信学会ア・伝研資（昭47-2）
- (8) Clarricoats, P. J. B., and Saha, P. K. : Attenuation in Corrugated Circular Waveguide, Electronics Letters, 6, No. 12, 370 (1970-6)
- (9) 武田，橋本，武市：リング装荷コルゲート円形導波管，信学会マイクロ波研資（昭46-11）
- (10) 糸原，笹田，山田：衛星通信地球局用単一チャンネル追尾受信機の一方式，信学研資，宇宙航行エレクトロニクス研究会（昭44-5）
- (11) 糸原，巻田，野村：地球局アンテナの衛星自己追尾装置の一簡易化方式，信学全大，1,214（昭44）
- (12) 山内，松村，山本：衛星追尾用指令制御システム，三菱電機技報，43，No. 11（昭44）

## エクアドル納入 衛星通信地球局

森 川 洋\*・尾形陸奥男\*・石井 康一\*  
佐藤 安彦\*・長嶺 公修\*・金 沢 熙\*

Satellite Communications Earth Station  
of the Ecuadorian Government

Communication Equipment Works Hiroshi MORIKAWA・Mutsuo OGATA・Koichi ISHII  
Yasuhiko SATO・Kimitada NAGAMINE・Hiroshi KANAZAWA

The satellite communications earth station outlined below was constructed in the suburb of Quito, Ecuador, in South America.

Mitsubishi was awarded the contract for the construction of the entire earth station, including the terrestrial microwave link, TV cable link, and civil works for delivery on turnkey basis. And it completed this project in a short period of nine months.

The earth station was officially opened in August 1972, and by making access to the Intelsat IV satellite, it has been maintaining commercial communication with five countries including the U. S. A. and Spain. Its establishment represents a great contribution on the modernization of Ecuador's international communication system.

The station is equipped with the most up-to-date facilities and equipments, such as the 105-ft antenna with a four-reflector focused-beam feed, non-cryogenic low-noise receiver, etc.

The outline of the facilities, system design, essential performance characteristics, and special features of the earth station will now be described.

## 1. ま え が き

当社は南米 エクアドル に衛星通信地球局を建設し、同国公共事業通信省に納入した。

当社は1971年にこの工事を土木工事を含めたターンキーベースにて受注し、9か月というきわめて短納期でこれを完成した。途中2,600 mの高地における現地工事派遣者の疲労や、雨期による工期の遅れ等幾多の障害に遭遇したが、当社の多年にわたる工事経験<sup>(1)(2)(3)(4)</sup>を生かし、これらの障害を克服した。この地球局は1972年8月に商用運用を開始し、同国の国際通信の近代化に大いに貢献している。この地球局は大西洋上のインテルサット IV 号衛星にアクセスし、アメリカ、アルゼンチン、パナマ、ペルーおよびスペインと通信を行なっている。(1973年にはイタリアとの通信も予定されている。)

この地球局は集束ビーム給電方式の105フィートアンテナおよび電子冷却低雑音増幅装置などの ぎん(斬)新な装置を備え、かつすべての通信機器を一つの通信機器室に収容するなど、保守運用上きわめて大きな特長および利点を有している。

以下この施設の構成・方式およびサブシステムについて概要と特長を述べる。なおほぼ同時期に当社が建設したニカラグア衛星通信地球局は1971年12月に商用運用を開始した。アンテナ・低雑音増幅装置および電力増幅装置はエクアドル地球局と同じである。

## 2. 施設の概要

## 2.1 施設の配置

エクアドル 衛星通信地上施設は次の三つの施設に大別される。

- (a) 衛星通信地球局
- (b) 地上マイクロウェーブルリンク
- (c) TV ケーブルリンク

地球局はキト市の南約7kmの西経78°28', 南緯16', 標高2,560

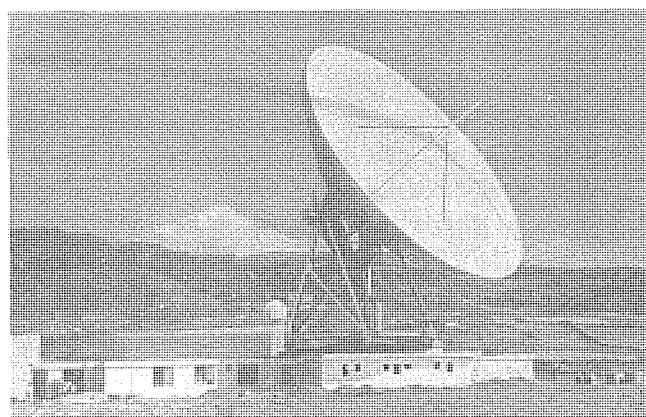


図 2.1 エクアドル地球局全景  
Ecuadorian earth station.

m に位置する。大西洋上のインテルサット IV 号系衛星にアクセスし、アンテナの運用仰角は約27.5°である。

図2.1に地球局の全景を、図2.2に地球局の配置を示す。局舎はアンテナ基礎部と通信機器室とを兼ねるアンテナビルディング、ならびにこれに接続する電源舎・オフィスビルディング・居住部および講堂から成る一つの連続した建物である。アンテナビルディングは通信機器室・事務室・作業室とから成る。電源舎はディーゼル発電機器室・無停電電源室・倉庫とから成る。通信機器室を図2.3に示す。

地上マイクロウェーブルリンクは地球局とキト市のITC(国際保守センタ)との間を結び、回線の長さは約7.6kmである。中間にパッシブ中継局がある。

TVケーブルリンクは、ITCと国際TVセンタとの間のTV伝送のために設けられたもので回線の長さは約1.5kmである。

## 2.2 施設の構成および機能

衛星通信地上施設の構成を図2.4に示す。地球局設備は次のサ



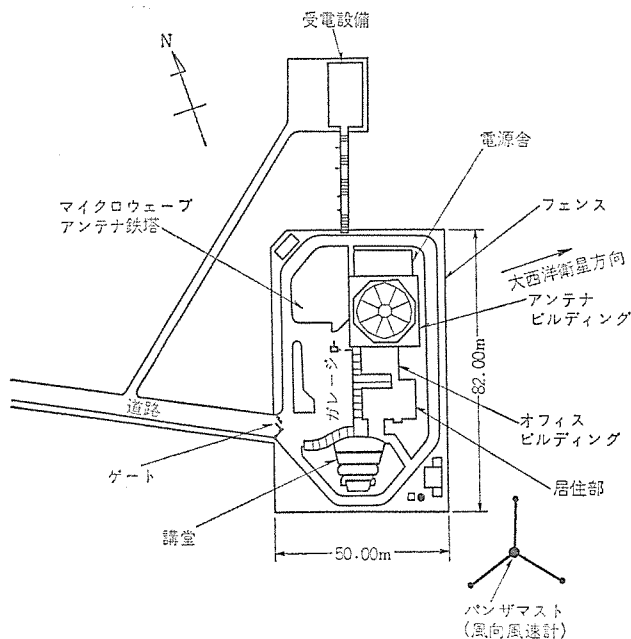


図 2.2 地球局施設配置図  
Site layout of Ecuadorian earth station

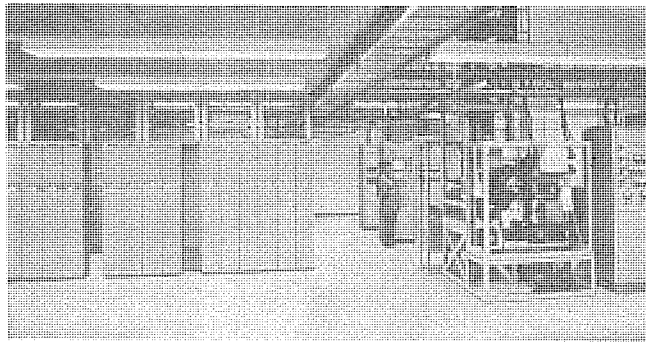


図 2.3 地球局通信機器室内部  
Communication equipment room.

システムにより構成されている。

- (a) アンテナ
- (b) 低雑音増幅装置
- (c) GCE (Ground Communication Equipment, 搬送波周波数変換装置および変復調装置など)
- (d) 電力増幅装置
- (e) 端局装置
- (f) 制御・監視・試験系
- (g) 電源設備
- (h) 地上マイクロウェーブリンク機器
- (i) 土木建築設備および付帯設備

以下システム上特筆すべきサブシステムの特長をあげる。

#### (1) アンテナ

アンテナは105フィートのカセグレン形であり、4枚反射板による集束ビーム給電方式、およびレール車輪による方位角駆動が採用された。これにより給電系導波管を地上に固定することが可能となり、すべての通信系電子機器をアンテナビルディング内の一つの通信機器室に収容することが可能となり、局の運用保守がきわめて容易になり、かつ通信系機器の設計に対する制約が緩和された。従来の地球局にあるいわゆるウェーブガイドラン、ロータリジョイントおよびIFL (Inter Facility Link) も、これにより一掃され、低雑音増幅装置および電力増幅装置を共に給電系に直接接続することが可能となった。さらに広いアンテナビルディングの中に将来の機器の増設に必要な十分な空きスペースが得られた。

#### (2) 低雑音増幅装置 (LNR)

従来地球局には、気体ヘリウム冷却パラメトリック増幅器が用いられてきたが、この地球局には電子冷却の低雑音増幅器 (現用予備) が採用された。直径105フィートのアンテナと組合せて、ICSC標準地球局に要求される  $G/T$  規格<sup>(5)</sup> 40.7 dB/K が達成されることが確認され、これにより電子冷却 LNR の常時商用運用が可能となった。し

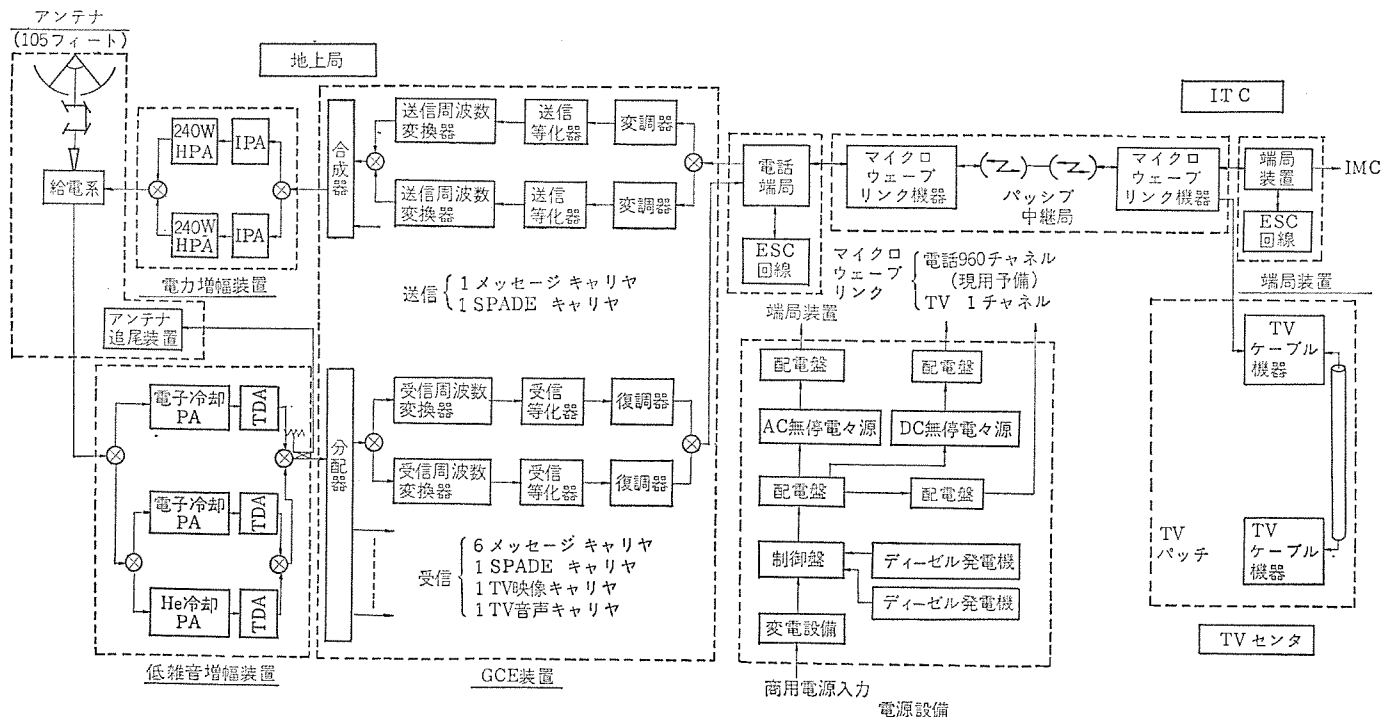


図 2.4 衛星通信地上施設の構成図  
Block diagram of satellite communications terrestrial system.

たがってヘリウム冷却機器に要した3,000時間および6,000時間の保守も不要となり、保守が簡便となり、信頼度も増大し、かつ地球局の消費電力の低減にも貢献している。

### (3) GCE 装置

グローバル衛星通信は、多元接続であるためキャリア周波数・チャンネル容量の変更が要求される。これに対処するためにGCE装置にダブルコンバージョン方式周波数変換装置、およびフリーラン方式局部発振器を採用して柔軟性をもたせた。かつこれにより米国以外の受信キャリアに対してGCEを共通予備方式とした。また受信キャリア分岐回路の出力端子数に余裕をもたせキャリア数の増加に備えている。将来のスペードキャリアの送受信に必要な送受信周波数変換装置も設備されている。将来のTV送信機能の追加も考慮されている。

インテルサットIV号衛星系においては、III号系よりよりきびしい振幅・遅ひずみ特性が要求されているが、新規製作のIFフィルタによりこれに対処した。

### (4) 電力増幅装置 (HPA)

給電系と電力増幅装置を同一室に収容できたことにより、両者を結合する導波管回路の長さがきわめて短くなり、回路損失が減少し、電話送信キャリア(初期36チャンネル、将来60チャンネルに増大予定)とスペードキャリア(12チャンネル)との同時送信を考慮しても、電話キャリアのHPA出力は約20Wであることが確認された。空冷方式の240WのTWT増幅器が採用されたので、スペードキャリアの同時送信を考慮しても電話キャリアのサイズは96チャンネルまで増大可能である。強制空冷のTWTの採用によりHPAの保守運用が簡便になり、キャリア周波数の変更も容易である。

送信系は電源系の安定化をはかり、APC(自動電力制御回路)なしに所要の実効放射電力(EIRP)安定度 $\pm 0.5$  dB/日(HPA単体で $\pm 0.3$  dB/日)を達成できた。

給電系入力端とHPA出力端の間には電力結合器を設け、将来のTV送信機能の追加の際3kWのクライストロン増幅器が、電話回線に影響を与えずに追加できるようになっている。

### (5) 端局装置

多元接続におけるチャンネル割当の変更およびチャンネル数・キャリア数の増加に対処するため、端局装置はサブラック方式になっており、あきサブラックにユニットをそう入したり、架にサブラックを増設することにより容易に変更増設可能である。972チャンネルの容量をもつ米国のキャリアに対しても、チャンネル割当の変更に対応できるよう予備のユニットを備えている。

打合せ回線(Engineering Service Circuit)の電信電話交換に全電子交換装置を採用して、機器の小形化・高信頼化ならびに柔軟性を達成した。なお打合せ回線は地球局構内電話系ともどもマイクロウェーブリンクによりITCへ延長されている。さらにITC構内電話は地球局へ延長されている。

### (6) 制御・監視・試験系

すべての通信機器を一室に収容できたことにより、地球局の制御・監視・試験系を大幅に簡略化することが可能となった。これにより保守運用が容易になり信頼度も増大した。

フェイルセーフモニタにより自局送信波を衛星折近しで監視し、アンテナ追尾系の誤操作・誤動作による障害を防止した。

IF/4GHzおよび6GHz/IF試験周波数変換装置にダブルコンバージョン方式を採用し、かつIF/4GHz変換装置に周波数シンセサイザ方式の局部発振器を採用したことにより試験系の簡便を計った。

地球局およびITCにおけるおもな警報を相互にマイクロウェーブリンクにより遠方監視することが可能であり、かつ地球局のEIRPをITCにおいてリモートコントロールすることを可能にした。これにより将来の地球局の夜間無人運用が可能となった。

### (7) 電源設備

商用電源の受電設備として500kVAの変電設備を設けた。これは将来設置される第2地球局の電力をもまかなう容量をもっている。

ディーゼル発電機および無停電電源装置などの出力容量は、将来の

表 2.1 総合性能(測定値)  
Measured overall performance.

項 目	測 定 結 果
1. システム G/T 冷却形 低雑音増幅器 使用時 常温形 低雑音増幅器 使用時	44.4 dB (4 GHz, 仰角 5°) 41.6 dB (4 GHz, 仰角 27.5°)
2. アンテナサイドローブ 第1サイドローブ 1°以上のサイドローブ	16.8 dB (6 GHz) 36.3 dB (6 GHz)
3. アンテナ回転角	EI 5.54°~92.05° Az -191.99°~+174.58°
4. アンテナ追尾モード	自動追尾および手動
5. 給電系帯域幅	受信 3,700~4,200 MHz 送信 5,925~6,425 MHz
6. 給電系偏波面	円偏波および直線偏波
7. 受信設備帯域幅	3,700~4,200 MHz
8. 送信設備帯域幅	5,925~6,425 MHz
9. EIRP 電話用キャリア送信動作レベル 連続可変範囲 最大送信出力レベル SPADE キャリア送信動作レベル 連続可変範囲	75.9 dBW 10 dB 以上 86.7 dBW 72.6 dBW 標準値 $\pm 5$ dB $\pm 0.5$ dB/日
10. EIRP 安定度	
11. 送信キャリア中心周波数安定度 電話用キャリア SPADE 用キャリア	$\pm 30$ kHz/月 $\pm 60$ Hz/月
12. RF 帯域外電力ふく(幅)射	-7 dBW/4 kHz
13. 送信振幅特性 電話用キャリア SPADE 用キャリア	図 2.5 のとおり 図 2.6 のとおり
14. 送信遅延特性 電話用キャリア SPADE 用キャリア	図 2.5 のとおり 図 2.6 のとおり
15. 残留 AM	-65 dB 以下 (ベースバンド周波数 156 kHz において)
16. 電話用キャリアベースバンド	ICSC/45-13 E とおり
17. エネルギー拡散信号 信号周波数 コントロール	55 Hz $\pm$ 1 Hz 以内 帯域内最大電力密度の変動が等価雑音負荷時の 2 dB 以内
18. エンファシス特性	CCIR 275-1 とおり
19. 打ち合せ回線方式	ICSC/45-13 E とおり
20. TV 映像極性	正

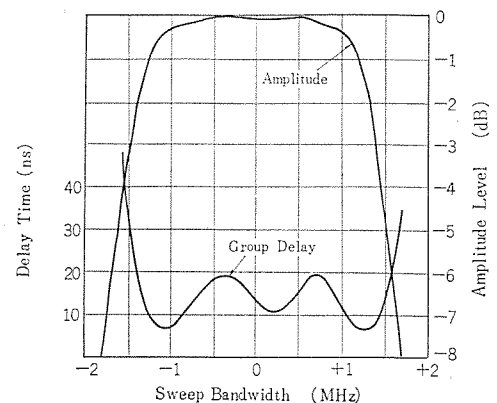


図 2.5 電話キャリア(2.5 MHz 36 CH)送信振幅遅延特性  
Transmitting amplitude delay distortion (Message carrier, 2.5 MHz/36 channel).

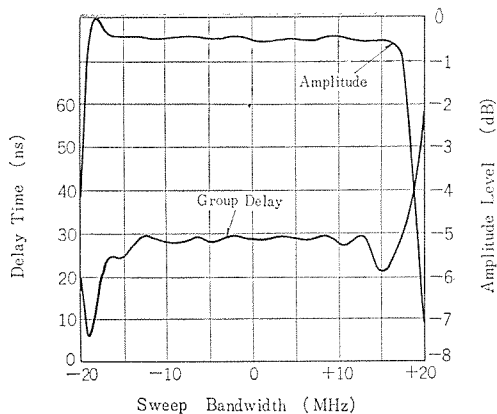


図 2.6 36 MHz キャリア 送信振幅遅延特性  
Transmitting amplitude delay distortion (36 MHz carrier).

表 2.2 送受信系折返し総合特性 (地上局-ITC 間)  
Performance characteristics of earth station-ITC loop back test.

項	目	規	格
電 話	周波数特性	CCITT 規格の 1/5 以内	
	信号対雑音比	50 dB 以上 (運用 C/T 評価値で)	
話	漏話減衰量	-60 dBm 0 以下	
	スプリアスレベル	-60 dBm 0 以下	
レ ビ デ オ	レベル安定度	±0.2 dB/日	
	遅延特性	50 Hz~4.2 MHz ±0.3 dB	
レ ビ デ オ	遅延特性	100 kHz~3 MHz ±20 ns 以内	
	遅延特性	3 MHz~4 MHz ±36 ns	
レ ビ デ オ	波形ひずみ	フィールドタイム波形ひずみ 2% 以下	
	波形ひずみ	ラインタイム波形ひずみ ±1.0% 以下	
レ ビ デ オ	レベル安定度	±0.2 dB/日以内	
	D G, D P	5% 以下, ±2° 以下	
レ ビ デ オ	信号対雑音比 (SP-R/Nrms)	残留熱雑音 55 dB 以上	
	信号対雑音比 (SP-R/Nrms)	周期性雑音 1 kHz 以下 50 dB 以上	
レ ビ デ オ	信号対雑音比 (SP-R/Nrms)	1 kHz~4.2 MHz 55 dB 以上	
	信号対雑音比 (SP-R/Nrms)	1 kHz~4.2 MHz 55 dB 以上	

表 2.3 送受信系 振幅周波数特性  
Transmit and receive equipment gain/frequency characteristics.

Carrier Size (MHz)	A (MHz)	B (MHz)	C (MHz)	D (MHz)	a (dB)	b (dB)	c (dB)	d (dB)	e (dB)
2.5	1.8	2.25	2.75	8.0	0.7	1.5	2.5	25	0
5	3.6	4.5	5.25	13.0	0.5	2.0	3.0	25	0
7.5	5.4	6.75	7.75	17.0	0.4	2.5	4.0	25	0
10	7.2	9.0	10.25	19.0	0.3	2.5	5.0	25	0.1
15	10.8	13.5	15.5	25.0	0.3	2.5	5.5	25	0.1
17.5	12.6	15.75	18	26.5	0.3	2.5	6.5	25	0.1
20	14.4	18.0	20.5	28.0	0.3	2.5	7.5	25	0.1
25	18.0	22.5	25.75	34.0	0.3	2.5	8.0	25	0.2
36.0	28.8	36.0	45.25	60.0	0.6	2.5	10.0	25	0.3
Video	24.0	30.0	—*	—*	0.5	2.5	—*	—*	0.3

\* There is no out-of-band filtering requirement at the transmit earth station.

通信系の増設に備えて容量に 20% の余裕をもたせてある。

すべての電源機器は 2,600 m の高地で所要の性能を発揮するように設計上の注意が施されている。

### 2.3 総合性能

エクアドル 地球局の総合性能を表 2.1 および図 2.5, 2.6 に示す。各性能は、インテルサット IV 号系衛星通信地球局の標準規格<sup>(5)</sup>を十分満足している。

表 2.2 に、電話および TV 映像の送受信系折返し総合特性 (地球局-ITC 間) を示す。

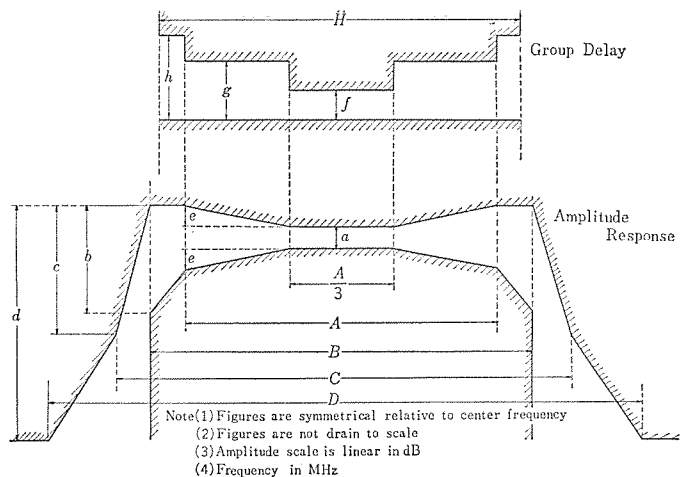


図 2.7 送受信系 振幅遅延ひずみ特性  
Transmitting and receiving equipment gain/frequency and group delay figure.

表 2.4 送受信系 遅延ひずみ特性  
Transmit and receive equipment group delay characteristics.

Carrier Size (MHz)	A (MHz)	H (MHz)	f (ns)	g (ns)	h (ns)
2.5	1.8	2.1	16	16	20
5	3.6	4.1	12	12	20
7.5	5.4	6.2	12	12	20
10	7.2	8.3	9	9	18
15	10.8	12.4	6	6	15
17.5	12.6	14.2	7	7	15
20	14.4	16.6	4	5	15
25	18.0	20.7	3	5	15
36	28.8	33.1	3	5	15
Video	24.0	30.0	5	5	15

表 2.5 送受信 キャリアのチャネル容量  
Channel capacity of transmit receive carriers.

	対 地 国	チャネル数 (チャネル)	バンド幅 (MHz)
送信キャリア			
メッセージ		36 (Expanded)	2.5
SPADE		12	
受信キャリア			
メッセージ No. 1	米 国	972 (Standard)	35
メッセージ No. 2	ス ペ イ ン	96 (Expanded)	5.0
メッセージ No. 3	ペ ル ー	96 (Standard)	7.5
メッセージ No. 4	パ ナ マ	72 (Expanded)	5.0
メッセージ No. 5	イ タ リ ア	132 (Expanded)	7.5
メッセージ No. 6	アルゼンチン	132 (Expanded)	7.5
SPADE/共通予備		12	
TV 映像			30
TV 音声			2.5

図 2.7 および表 2.3, 2.4 に送受信系総合振幅・遅延ひずみ特性を示す。

表 2.5 に送受信キャリアのチャネル容量を示す。

### 3. システムおよびサブシステム機器

この地球局の設計上特に考慮した点を下記に示す。

(a) インテルサット IV 号系衛星にアクセスするために、ICSC (通信衛星暫定委員会) が規定している地球局の規格<sup>(5)</sup> (ICSC 45-13 E) を満たすこと。

(b) インテルサット III 号系衛星にもアクセス可能なこと。

(c) 施設のか(稼)動率 99.9% を目標とすること。

(d) 将来の設備の変更および増加に対し柔軟性をもつこと。



表 3.1 エクアドル 地球局のグローバルビーム 電話回線設計値  
Telephone transmission parameters for Ecuadorian earth station (global beam)

容 (チャンネル数)	量 ベースバンド 最高周波数	衛星内割当帯域幅	占有帯域幅	0dBm0 周波数	試験音 偶移	マルチ周波数偏移	総合キャリア対 雑音温度比 (標準地球局)	総合キャリア対 雑音温度比 (エクアドル地球局)	10°E1 の地球局の 標準 EIRP
	$f_m$	$b_a$	$b_o$	$f_r$		$f_{mc}$	[C/T] Total	[C/T] Total	
チャンネル	kHz	MHz	MHz	kHz		kHz	dB/°K	dBW/°K	dBW
24 (STD)	108	2.5	2.00	164		275	-153.0	-151.5	73.7
36 (EXP)	156	2.5	2.25	168		307	-150.0	-148.9	76.7
60 (STD)	252	5.0	4.00	270		546	-149.9	-148.7	76.8
72 (EXP)	300	5.0	4.50	294		616	-149.1	-148.4	77.6
96 (STD)	408	7.5	5.90	360		799	-148.2	-146.9	78.5
132 (EXP)	552	7.5	6.75	376		891	-145.9	-144.6	81.2
132 (STD)	552	10.0	7.50	430		1,020	-147.1	-146.7	79.6
252 (STD)	1,052	15.0	12.40	577		1,627	-144.1	-142.8	81.8
432 (STD)	1,796	25.0	20.7	729		2,688	-141.1	-139.8	84.1
972 (STD)	4,028	36.0	36.0	802		4,417	-135.2	-133.5	89.1

備考：地球局  $G/T=41.6$  dB アンテナ仰角=27.5 度

(e) 運用保守が容易なこと。

上記の要求を実現するために設計された各サブシステムの機器の特長は、2.2 節に述べたとおりである。

以下に、通信系のシステム設計および各サブシステム機器の概要を述べる。

### 3.1 通信系システム設計

#### 3.1.1 回線系システム設計

インテルサット系衛星の回線系システム設計は基本的には類似した考え方であるが、それぞれの衛星によっていくつかの特長を有している。インテルサット IV 号衛星システムの場合もいくつかの新しい考え方が、従来のインテルサット III 号衛星システムに加えて採用されている。すなわち大きなシステム上の特長は、

(1) 衛星自体の容量が大きくなったことにより、マルチトランスポンダ方式が採用され、通信用に 12 個のそれぞれ 36 MHz のトランスポンダをとう(搭)載し、おのおのが従来の衛星と同等以上の EIRP を有している。これにより飛躍的に衛星全体の伝送通信容量が増大している。

(2) 従来のマルチプルアクセス方式の運用に加えて、いくつかのトランスポンダにシングルキャリア方式を採用し、1 波当たりの通信容量の大形化に対応している。

(3) SPADE 方式によるデマンドアサイメント方式、さらには PCM /PSK 等の採用、試みが一部でなされている。などがあり、これらに対応できるよう回線システム構成、および地球局設備に対する要求も変化してきている。

インテルサット IV 号系衛星のシステムパラメータを用いてエクアドル地球局の回線設計した例を表 3.1, 3.2 に示す。

ICSC による衛星回線設計の基本的な考え方は、標準地球局<sup>(5)</sup> ( $G/T \geq 40.7$  dB, 仰角 5 度の局) が衛星にすべてアクセスする場合を標準とし、アップおよびダウンリンクの熱雑音および衛星のトランスポンダの IM 干渉雑音の合計が 7,500 PWP 割り当て、これらの 3 要素の雑音配分が最適となるよう地球局の送信出力、衛星内のトランスポンダの利得、1 波当たりの衛星の EIRP を決定している。したがって、地球局の立地条件、地球局の性能指数  $G/T$  の値が ICSC の規定より良い場合、当然それぞれの伝送波のキャリア対雑音温度比  $[C/T(\text{dBW/°K})]$  が変わってくる。

一方、衛星内トランスポンダで発生する IM 干渉雑音(一般にこの種

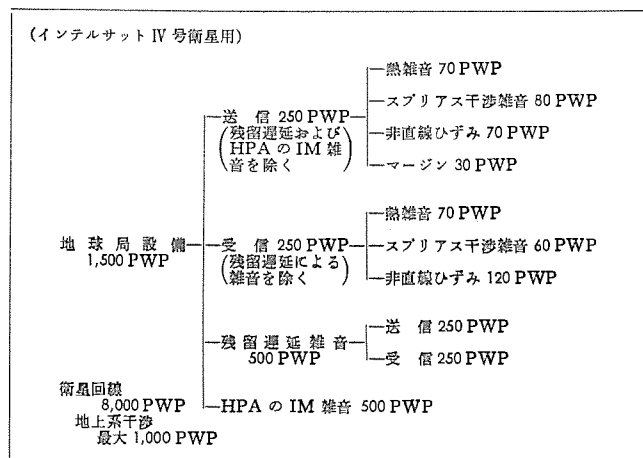
表 3.2 TV 回線伝送パラメータ  
TV transmission parameters.

1. TV 標準方式	525/60
2. ビデオ最高周波数	4.2 MHz
3. プリエンファシス	CCIR 405-1
4. 周波数偏移	4.2 MHz (15 kHz において)
5. 送信 EIRP	87.0 dBW
6. 衛星の EIRP	22.5 dBW
7. 衛星の出力バックオフ	1.3 dB
8. ダウンリンク $C/T$	-133.0 dBW/°K
9. 受信総合 $C/T$	-135.2 dBW/°K
10. 受信帯域	30 MHz
11. 受信 S/N	56.3 dB
12. 回線のドロップアウト マージン	8.7 dB
13. 衛星区間 DG 配分値	5 %
14. 衛星区間 DP 配分値	±2°

の雑音をキャリア対雑音温度比  $(C/T)_I$  で表わす) は、マルチプルアクセス方式での回線システムではさけられず、ダウンリンクでの  $(C/T)_D$  とのかねあいで、動作点を前述のように最適に選べるよう 8 段階のトランスポンダ自身の利得設定が可能となっており、一般的に通常のグローバルビームでは、利得ステップ 2 で飽和入力レベルを下げ、スポットビームでは、利得ステップ 4 で飽和入力レベルを上げて、それぞれアップリンクの熱雑音の影響をコントロールしている。これに対し、最近衛星利用国の増大と通信容量の増大化に対し、実際のトランスポンダのフライトモデルの特性に多少の余裕があるため、標準キャリアに対しエキスパンドキャリアと称し、トランスポンダの EIRP の余裕分を 1 波当たりに割り当て、ダウンリンクの雑音に対するアップリンク、トランスポンダの IM 干渉雑音の配分を変えて、狭い伝送帯域で余分のチャンネルを伝送する方式も実際の回線状況を監視しながら試みられている。

衛星回線のフェーディングは主として、伝ば(播)路の降雨・雲によるもので受信側に所要のドロップアウトマージンをとることが要求されている。これは、時間率定義に基づく回線の保持率 99.8 % を実現するための、フェーディングによる一般的時間率 0.03 % に相当するとされ、衛星回線ではこのときの評価チャンネル雑音として 50,000 PWP と規定している。この値の実現のために、地球局の  $G/T$  を 40.7 dB 以上にすると同時にグローバルビームにおける運用に対しては、一般的に高感度受信機の設置が必要で、エクアドル地球局の場合、グローバルビームの電話伝送容量 24 チャンネルから 432 チャンネルのものについては、FMFB 形高感度復調器を用いるとして、ICSC 規格を十分に上まわるマージンを地球局にもたせている。

表 3.3 エクアドル 地球局通信 システム 雑音配分  
Noise budget of Ecuadorian earth station.



### 3.1.2 雑音配分

地球局の通信設備のシステム設計はエクアドル地球局の場合、インテルサット III、IV 号の違った 2 種の衛星に対応可能であることが基本的条件である。

インテルサット III 号衛星に対しては、地球局雑音配分は 1,000 PWP、IV 号衛星に対しては 1,500 PWP を ICSC では推奨している。これは、

(1) インテルサット IV 号衛星のトランスポンダ伝送帯域が III に比べて 36 MHz と狭く、トランスポンダでの遅延特性を送信側で補正しきれない残留遅延特性の割り当てを考慮している。

(2) キャリア当たりの伝送容量が、III 号系の最大 132 チャンネルに対し、IV 号系グローバルビームでは 972 チャンネルに増大したことの考慮をしている。

(3) 地球局の送信系の IM 干渉雑音を考慮している。  
などによるシステム上の違いを 500 PWP の雑音増加分として許容していることに基づいている。

表 3.3 に、エクアドル地球局の通信システムの雑音配分値を示す。

特に通信設備のインテグレーション上の問題として、インテルサット IV 号系の場合、

(1) 衛星の EIRP の増加、およびスポットビームの運用によって生ずる入力電界の上昇に伴う共通増幅器の IM 干渉雑音。

(2) 隣接波干渉を防止するためのシャープカットオフの、ろ波器の遅延ひずみ特性補償後の残留遅延特性による雑音。

(3) 広帯域伝送時における、AM/PM 変換による非了解性干渉雑音の影響度の増加。

などがあり、インテルサット III 号系用設備に比べて、低雑音増幅器など受信側の共通増幅器の動作点、および入出力特性の非直線性への考慮を十分に行なう必要がある。

実際のエクアドル地球局の場合、送信系の IM 干渉雑音は TV 送信が建設当初は含まれていないのと、地球局の立地条件がスポットビームエリアでないことなどで、実際の配分値より十分マージンをもっているが、今後の追加工事を見込みそれぞれ配分しており、今後それぞれ追加工事実施時点で評価を行なう必要がある。

### 3.2 サブシステムの概要

前節および ICSC 報告を基に 2 章に述べた構成に従って、各サブシステムを設計した。以下各サブシステムの概要を述べる。

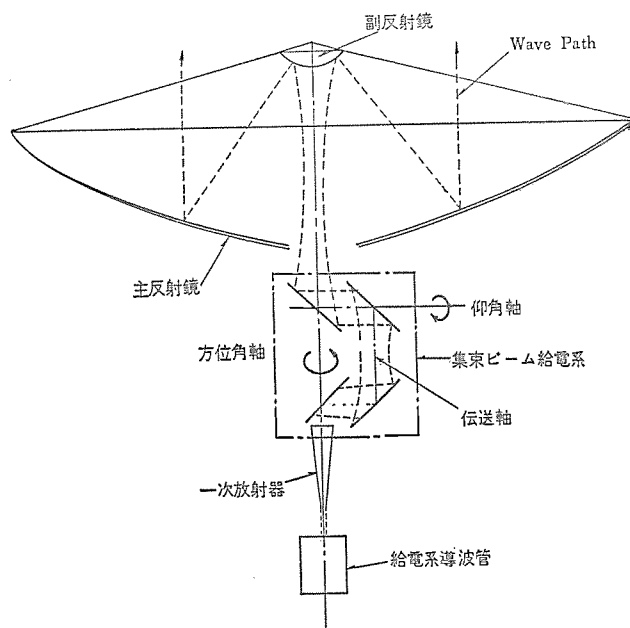


図 3.1 集束ビーム給電アンテナの概念  
Operation concept of reflector system.

#### 3.2.1 アンテナ

このアンテナは、カセグレンアンテナではあるが、副反射鏡と地上に固定した一次放射器との間は 4 枚の反射鏡を用いて、電波ビームを伝送する（集束ビーム給電）という新しい構成になっている。最初に国際電信電話(株)茨城通信所の第 3 アンテナ<sup>(4)(6)(7)</sup>として建設され、この方式の卓越性が実証されたのである。詳細は本号の別題「茨城衛星通信所第 3 アンテナ設備」に記述されているが、エクアドルおよびニカラグアのアンテナも、これと基本的には同形である。

アンテナの放射系の概念は図 3.1 に示すとおりで、集束ビーム給電 (Focused-beam Feed) を行なう 4 枚の反射鏡のうち、副反射鏡に一番近い 1 枚が主反射鏡や副反射鏡とともに仰角に回転し、4 枚の反射鏡全部が方位角とともに回転する構造になっている。

一次放射器と給電系導波管部分は地上に固定しているので、これに接続される受信機（低雑音増幅器）や送信機（電力増幅器）も地上に固定して設置できる。アンテナの方位角回転と仰角回転に対して信号線路のロータリジョイントは不要であり、さらに 4 枚の反射鏡による集束ビーム給電での伝送損失は、通常の導波管とロータリジョイントを使った場合の伝送損失の 10 分の 1 以下にできるうえに、送信機出力端と給電系導波管との間隔を著しく短くすることができるから、送信機の出力を最小の損失でアンテナ主反射鏡に照射できるのである。これは所望の EIRP を得るのに、小さな送信機出力でよいことを意味する。もちろん、アンテナの送信利得能率・受信利得能率・雑音温度とも、通常のカセグレンアンテナのそれらに比べまきとも劣らぬ性能である。

この画期的アンテナを実現するには、当社の長年にわたる大形アンテナ製作の経験<sup>(1)(2)(3)(4)</sup>に加え、集束ビーム給電を実用化するための数多くの設計検討と模型実験がくり返されたのであるが、一次放射器・4 枚反射鏡・レール車輪マウント等には、それらの結晶がにじみ出ているといえよう。

一次放射器にはコルゲートホーンが使われ、電界面と磁界面の放射パターンを等しくして、軸対称の放射ビームを作りだしており、ホーンの開口部は誘電体膜でおおわれていて、給電系導波管部分に乾燥空気を充てん(填)できるようにしている。

4枚の反射鏡系は、その曲面や寸法が綿密に検討されているが、電波の伝送路にそって金属円筒のシールドが設けられ、雨やほこりを防いでいる。このシールドはまた、集束ビームが空間に散乱するのを防いで、雑音温度特性を良好に保つ働きもしている。

方位軸回転にはレール車輪方式を採用しているため、重量が低減され、ペDESTAL内に広い面積のへやを設けることができた。ここに通信用の電子機器を固定して収納しているから、保守・点検が非常に容易である。円周レール上を4個の台車が回転するが、回転運動中レールと車輪との間ですべりが生じぬように車輪にテーパーをつけ、さらに設置時に傾き誤差があっても片あたりしないよう、わずかにクラウニングされている。方位角の回転中心には円筒コロ軸受があり、この軸から方位角度検出を行なっている。

もちろん、仰角・方位角とも全天回転 (Fully Steerable) で、将来いかなる方向の衛星にもアクセスできる。

アンテナ制御モードは、自己追尾・手動位置制御・手動速度制御の3種類があり、通常の運用は自己追尾にて行なう。

アンテナの駆動は、サイリスタレオナードによる直流分巻電動機の制御を用いている。各軸あたり2系統のサイリスタレオナードおよび電動機を配して、アンティバックラッシュ駆動を行なわせている。最近の衛星の軌道にかんがみ、最大速度を従来の0.3度/秒から、0.1度/秒に下げて、機器の簡略化・小形化とともに消費電力の低減をはかった。

上記に加えて、非常用の駆動のために、単一モータ駆動・補助モータ駆動・ハンドル駆動などを備え、アンテナのか動率向上をはかっている。

アンテナの角度検出には、アナログ検出用シンクロとデジタル検出用シンクロとを別個に設けることにより、角度情報の信頼性が高い構成とした。このうちデジタル角度検出には新しく開発したシンクロディジタル (DISYREX) を用いて、検出系を小形化した。

自己追尾は、衛星方向とアンテナの指向方向との角度誤差を一次放射器に誘起される高次モード (TM<sub>01</sub>モード) を検出することによって行なわれる。この角度誤差信号と基本モード (TE<sub>01</sub>モード) より得られる和信号とを処理して、アンテナ各軸に対応する角度誤差電圧を得るには、完全単一チャンネル方式を採用している。これは、給電系導波管部で検出した誤差に比例する高次モード成分を低周波で双極性位相変調し、ふたたび和信号に加えて通信信号とともに低雑音増幅器で共通増幅して復調するので、低雑音増幅器が通信用のものと共用でき、追尾受信装置は周波数変換部を含めて、すべての能動回路を1カ所にまとめて設置できる利点をもっている。この点でも信頼性が向上し、保守が容易となった。

このアンテナの主要性能を表3.4に示す。受信系の利得対雑音温度比 (G/T比) は電波量 Tau Aを用いて、Y-Factor法で測定したもので、その測定に用いたFlux Densityなどの諸パラメータにはICSC/T 23-16 EのAttachment No. 1, Annex No. 1に記載された値を採用した。図3.2に、G/T比の仰角特性の実測結果を示してある。受信系アンテナ利得は、G/T比測定時に同時に測定したシステム雑音温度とG/T比から算出したものであり、送信系アンテナ利得は照準塔を用いて測定したものである。またアンテナ雑音温度は、N<sub>2</sub>ダミで校正された冷却ダミを用いて測定したもので、図3.3にその仰角特性を示す。このアンテナは海拔約2,600mの高地に設置されているため、アンテナ雑音温度が著しく良好である。参考のために、同一設計・製作されたニカラグア地球局アンテナ (海拔約60m) の雑音温度を同図に示してある。この雑音温度には給電装置の損失も含ん

表 3.4 アンテナの主要性能 (実測値)  
Major performance of antenna system (Measured).

項 目		性 能	
機械系の主要性能	主 反 射 鏡 鏡 面 精 度	1.20 mm rms (E1=30°)	
	Az 軸 の 垂 直 度	0.007°	
	Az 軸 ・ E1 軸 の 直 交 度	0.009°	
	最 大 駆 動 角 速 度	0.1°/s	
電 気 系 の 主 要 性 能	周 波 数	4 GHz	6 GHz
	利 得 (送受信機との境界点での値)	61.2 dB	64.2 dB
	サイドローブレベル	第1サイドローブ	14.5 dB
		1°以上のサイドローブ	33.8 dB
	アンテナ雑音温度 (含む給電系)	E1 5°	31°K
		E1 10°	25°K
		E1 30°	20°K
	給 電 系 損 失	0.11 dB	0.14 dB
	入力インピーダンス (VSWR) 帯域内最悪	1.13	1.08
	送 受 結 合 量	38.3 dB	
	円 偏 波 系	円 偏 波 系	1.24 dB
		直 線 偏 波 系	17.0 dB
	G/T 比	冷 却 LNA (E1=5°)	44.4 dB
		常 温 LNA (E1=27.5°)	41.7 dB
	ビームアライメント	0.005° 以内	

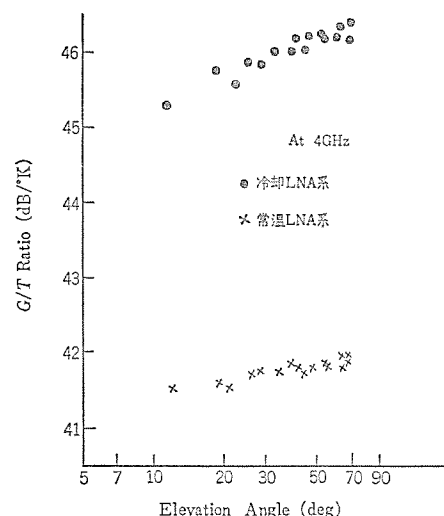


図 3.2 G/T 比の仰角特性 (実測値)  
G/T ratio vs. El angle (Measured)

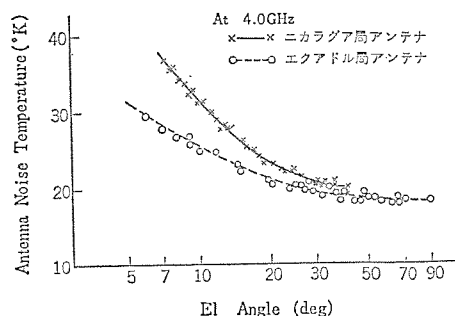


図 3.3 アンテナ雑音温度 (実測値)  
Antenna noise temperature (Measured).

でいるが、これを除去し、サイドローブによる雑音温度を両アンテナ同等しいと考え、主ビームによる雑音温度がアンテナの設置されている場所の気圧の一次関数として近似できる。このアンテナのビームアライメントを照準塔で測定した結果、送受信ピーク方向、追尾差パター



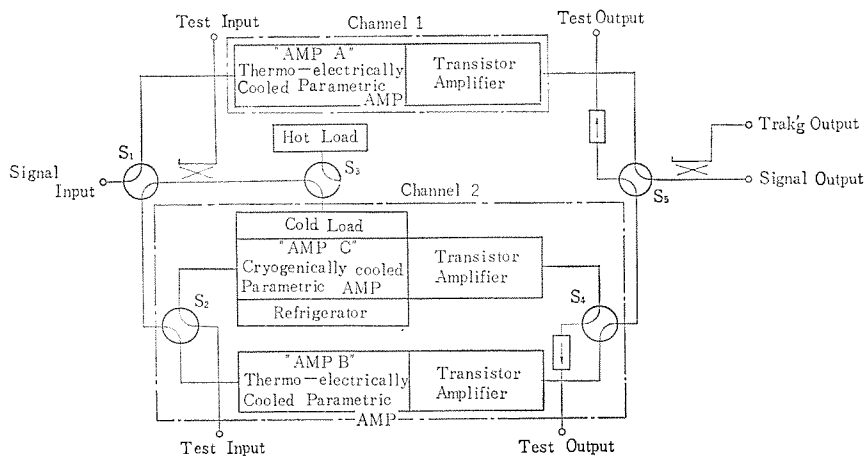


図 3.4 低雑音増幅装置 ブロック図  
Block diagram of low noise receiver.

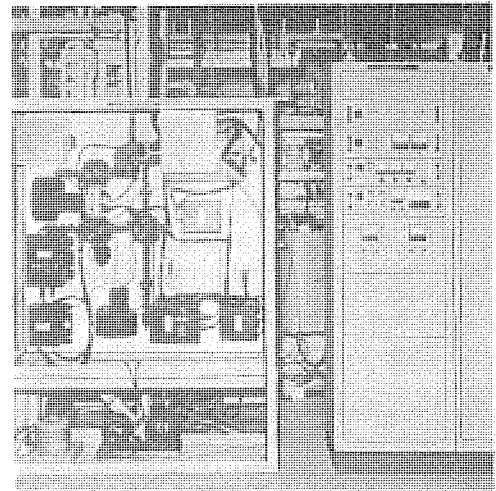


図 3.5 低雑音増幅装置  
Low noise receiver.

の Null 方向の差はすべて  $\pm 0.005^\circ$  以内である。

### 3.2.2 低雑音増幅装置

#### (1) 構成・特長

低雑音増幅装置 (LNR) には、熱電冷却素子を用いた電子冷却パラメトリック増幅器 2 台およびヘリウム冷却パラメトリック増幅器 1 台が含まれており、これらの RF ユニットおよび電源を収容する LNR 本体架、コントロールユニットを収容する LNR 制御架およびヘリウム冷却機用コンプレッサからなる。ブロックダイアグラムおよび外観を図 3.4 および図 3.5 に示す。常時は 2 台の電子冷却パラメトリック増幅器 (チャネル 1 および 2) を使用し、うち 1 台は予備機であり、現用機に障害発生時にはチャネル 1, 2 の間で自動的に予備機に切換えられる。ヘリウム冷却パラメトリック増幅器 (チャネル 3) は常時は Cold Stand-by であり、必要に応じて手動によりチャネル 2 の増幅器として使用される。本 LNR の特長を以下にのべる。

(a) 電子冷却パラメトリック増幅器を用いており、本局に採用されている高能率低雑音の 4 枚反射集束ビーム給電アンテナと組合せて、アンテナ仰角  $27.5^\circ$  の動作角度で  $G/T$  比  $41.7\text{ dB}$  を実現している。これは ICSC で規定されている標準地球局の具備すべき基本的条件である、アンテナ仰角  $5^\circ$  における  $G/T$  比  $40.7\text{ dB}$  を十分満たすものである。なお、本システムではヘリウム冷却パラメトリック増幅器も 1 台使用されているが、これは電子冷却パラメトリック増幅器を使用したときよりも、さらに高い  $G/T$  比を必要とする場合の使用および第 2 の予備機としての使用を目的とし、ヘリウム冷却パラメトリック増幅器を使用した場合仰角  $5^\circ$  における  $G/T$  比は  $44.4\text{ dB}$  にも達している。

(b) 電子冷却パラメトリック増幅器は、従来のヘリウム冷却パラメトリック増幅器に比べ本来的に定期保守を必要とする部品はなく、保守が簡単容易かつ保守費も安い。さらに 4 枚反射形のアンテナの採用により、低雑音増幅装置も雑音温度を犠牲にすることなく地上の固定したへやに据付けられており、きわめて保守性のよいシステムを実現している。

(c) 後段増幅器として飽和レベルの高いトランジスタ増幅器を使用していること、4 枚反射形アンテナの採用により GCE 機器も LNR に近接して設置されており、LNR—GCE 間の伝送損失が少ないので、LNR の利得は  $55\text{ dB}$  程度で十分であることなどのために、第三次混変調積のきわめて低いシステムとなっている。

(d) ポンプ源は、ガン発振器を用い熱電素子により温度調節を施

して周波数・電力とも安定した出力をパラメトリック増幅器に供給している。

(e) 障害の検出は RF パイロット方式を用いず、パラメトリック増幅器の動作環境温度およびポンプ電力の異常を検出しており、きわめて実用的かつ確実である。

(f) RF 部・電源などユニット化されており、コンパクトで保守も容易。

#### (2) 電子冷却パラメトリック増幅器

パラメトリック増幅器 (PA) 2 段+トランジスタ増幅器 (TRA) の構成で、合計  $55\text{ dB}$  の利得を得ている。シャ断周波数の高いダイオードを用いて PA 1 段あたり  $13\text{ dB}$  の利得を得て、PA の段数を減らし全体を小形化するとともに後段 TRA の雑音温度の寄与を十分小さくしている。ポンプ源は、Xバンドガン発振器出力を 3 倍 (通) 倍して所要ポンプ周波数  $32\text{ GHz}$  の出力を得ており、2 分岐して各 PA に供給している。これらの PA, TRA, ポンプ回路はコンパクトにまとめて完全密閉形の容器に収容され、容器の内部は熱電冷却素子により冷却恒温そう (槽) となっていて雑音温度の低減、利得の安定化が計られている。

#### (3) ヘリウム冷却パラメトリック増幅器

PA 3 段+TRA の構成で利得は  $55\text{ dB}$  である。PA は 1 段あたり利得  $10\text{ dB}$  で、構造的には電子冷却 PA と同じであり、3 段とも冷却真空そうの中に収められ冷却されている。PA はきわめて小形軽量で熱容量が小さいために、室温からの冷却所要時間は約 2 時間と短く、冷却温度も約  $17^\circ\text{K}$  に達している。冷却装置は CTI の MODEL 350 である。真空そうもこれに応じて小さく、また漏れもきわめて少ないため真空ポンプは動作開始時ロータリポンプで引くだけで、あとは冷却機のクライオポンピング作用で十分高真空を保つことができる。したがってイオンポンプ・油拡散ポンプなどは用いていない。ポンプ源は、電子冷却 PA と同じで約  $32\text{ GHz}$  の出力を 3 分岐して各 PA に供給されており、同様に熱電冷却素子により温度調節を施して、出力の安定化をはかるとともに発振ダイオードの寿命をそこうことなく安定に大出力を得ている。

以上簡単に本 LNR の概要と特長を述べたが、インテルサット標準地球局として、室温近辺で動作する電子冷却 PA が採用されたのはエクスアド地球局が最初の局であり、今後とも高能率低雑音アンテナと組合せて、保守の容易な電子冷却 PA が採用されてゆくものと考えられる。

表 3.5 低雑音増幅装置の性能  
Performance characteristics of LNR.

項 目	性 能
1. 雑音温度	20°K 以下 (ヘリウム冷却) 85°K 以下 (電子冷却)
2. ダイナミックレンジ	1.0 dB 利得を抑圧する 入力レベル: -50 dBm
3. 利 得	55 dB
4. 利得安定度	±0.1 dB/10 分 ±0.5 dB/24 時間 ±0.6 dB/週
5. 振幅特性	±0.3 dB/10 MHz
6. 遅延特性	一 次: 0.1 ns/MHz 二 次: 0.5 ns/MHz <sup>2</sup> リップル: 0.5 ns p-p (36 MHz 帯域幅にて)
7. AM-PM 変換	0.5°/dB

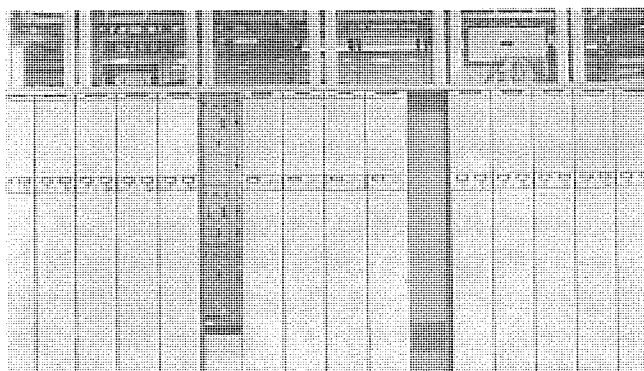


図 3.6 GCE 装置  
Ground communication equipment.

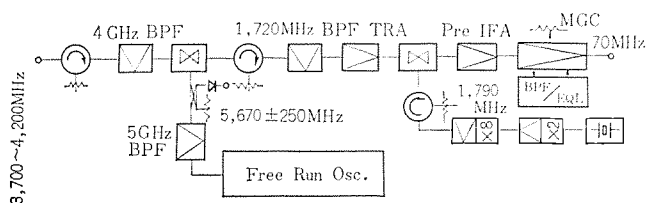


図 3.8 受信周波数変換装置系統図  
Block diagram of down-converter.

表 3.5 に低雑音増幅装置の性能を示す。

### 3.2.3 GCE 装置

今回設置した GCE 装置の特長として、次の項目があげられる。

- (1) ICSC 45-13 E (インテルサット IV 号用), ICSC 37-38 E (インテルサット III 号用) のいずれの規格も満足し得る。
- (2) 周波数変換架に、ダブルコンバージョン方式を用いて、周波数変更を容易にしている。
- (3) IF/4GHz 変換架の局部発振器として、ミセサイザを使って、受信系試験ループを容易にできるようにしている。
- (4) 架を図 3.6 に示すように、バックツウバックに設置して (写真裏側が送信系架, 表側が受信系架), 通信系機器室を効率よく利用し, 保守をしやすくしている。
- (5) コンポーネントはすべて同軸化して, また IC 技術を用いてユニットをコンパクトにして, 1 架 (260×225×1,800) に 2 チェーン収容している。
- (6) 可変形振幅および遅延ひずみイコライザを設けて, 伝送ひずみによる雑音を少なくしている。

GCE の系統図を図 3.7 に示す。

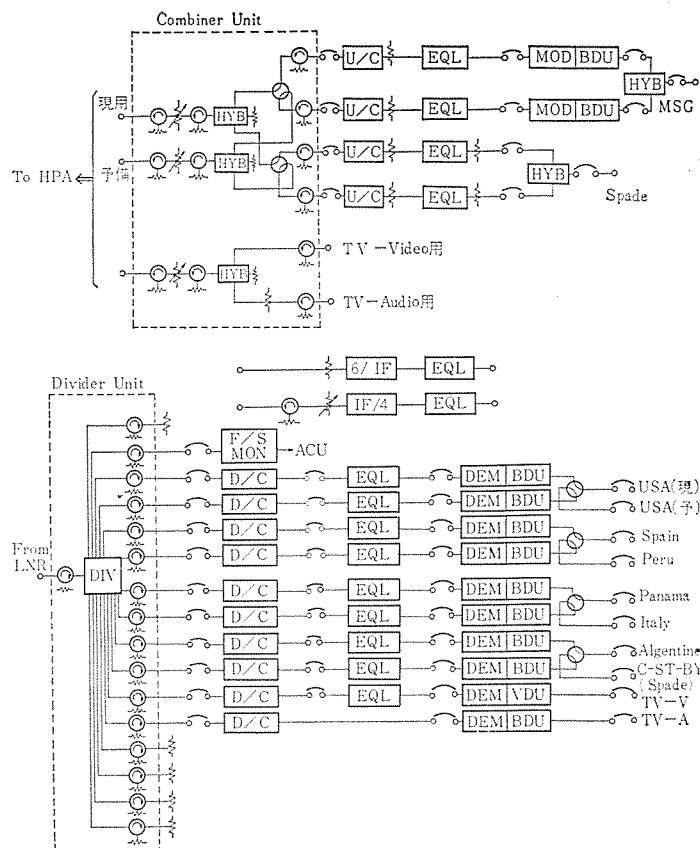


図 3.7 GCE 系統図  
Block diagram of GCE

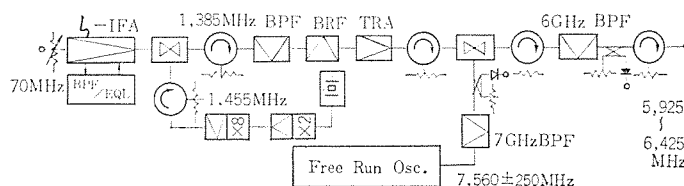


図 3.9 送信周波数変換装置系統図  
Block diagram of up-converter.

また今回新たに製作納入した IF フィルタ (送受信周波数変換架に含まれる) は、図 2.7 および表 2.3, 2.4 に示される ICSC の標準地球局の振幅遅延ひずみの規格を満足している。また遅延ひずみに関しても、補償用ユニットを内蔵しているので、同様に上記の規格を満足している。

周波数変換架においては、図 3.8 および図 3.9 に示すように X バンド 局部発振器として、全固体のフリーランオシレータを用いて、送受信帯域幅 500 MHz をカバーしている。フリーラン発振器は、L バンドの電圧制御発振器出力 (100 MHz 帯の水晶発振器の高調波でフェーズロックしたもの) を、ステップリカバリダイオードを用いて、4 てい倍あるいは 5 てい倍したもので、周波数安定度  $5 \times 10^{-8}$  以下、FM 雑音 10 PWP 以下の性能を得ている。

現在運用中のものは、送信系 MSG (36 CH エキスパンデッドキャリア) 1 波と、受信系 MSG (米国, スペイン, パナマ, ペルー および アルゼンチン) 5 波と、TV-VIDEO, AUDIO の受信系である。あと受信系として将来商用にはいる MSG (イタリア) と共通予備のラインがある。

室内はエアコンディションにて、 $22^\circ \pm 1^\circ \text{C}$  に室温が保たれていて、電気的性能も非常に安定しており、MSG 送信周波数・レベル安定度については、それぞれ  $\pm 15 \text{ kHz}$ ,  $\pm 0.2 \text{ dB}$  以下となっている。

またアメリカ(チャンネル容量 972 CH)の受信復調系には、STD 復調ユニットを使用しており、変復調ループで雑音配分値 300 PWP 以下の性能を得ている。

将来 TV の送信系の設置も容易にできるようになっており、また SPADE 通信が可能のように SPADE 通信用の周波数変換架・イコライザ架も設置している。

GCE の性能(測定値)を表 3. 6 に示す。

表 3. 6 GCE の性能(測定値)  
Performance characteristics of GCE (Measured)

Item	Spec.	Result
1. Transmitter for MSG (36 CH)		
1. 1 output level	-10.9 dBm $\pm$ 1 dB	-10.9 dBm
1. 2 frequency tolerance	$\pm$ 80 kHz 以内	$\pm$ 40 kHz 以内
1. 3 base band input level	-36 dBm/CH	-36 dBm/CH
1. 4 amplitude non-linearity	1.5 % 以下	0.8 % 以下
1. 5 noise band stop filter characteristics	ICSC-45-13 E	good
1. 6 pre-emphasis characteristics	CCIR Rec 275	good
1. 7 carrier selectivity	ICSC-45-13 E	good
1. 8 gain frequency response	ICSC-45-13 E	good
1. 9 group delay distortion	ICSC-45-13 E	good
1. 10 residual A, M.	ICSC-45-13 E	good
2. Transmitter for SPADE (12 CH)		
2. 1 output level	-14.2 dBm $\pm$ 1 dB	-14.2 dBm/ 12 CH
2. 2 frequency tolerance (LO freq.)	$\pm$ 100 Hz 以下	$\pm$ 80 Hz 以下
2. 3 gain frequency tolerance	$\pm$ 0.5 dB P-P 以下	$\pm$ 0.2 dB 以下
3. Receiver for MSG and T. V.		
3. 1 noise figure	16 dB 以下	15.5 dB 以下
3. 2 carrier selectivity	ICSC-45-13 E	good
3. 3 IF amplifier AGC characteristics	$\pm$ 1 dB/入力 D.R. 20 dB 以下	$\pm$ 0.6 dB/入力 D.R. 20 dB 以下
3. 4 threshold extension for example 972 CH	ICSC-45-13 E 50,000 PWP (-43 dBm OP) 以下 at C/T= -140.2 dBW/°K	good -45 dBm OP 以下
3. 5 base band spurious	-60 dBm 0 以下	-60 dBm 0 以下
3. 6 de-emphasis characteristics	CCIR Rec 275	good
3. 7 base band output level MSG VIDEO	-23 dBm/CH 1.0 V P-P	-23 dBm/CH 1.0 V P-P
3. 8 image rejection	-50 dB 以下	-80 dB 以下
3. 9 LO frequency stability	$1 \times 10^{-5}$ 以下	$1 \times 10^{-6}$ 以下
3. 10 gain frequency response	ICSC-45-13 E	good
3. 11 group delay distortion	ICSC-45-13 E	good
4. Receiver for SPADE		
4. 1 noise figure	16 dB 以下	15.7 dB 以下
4. 2 image rejection	-50 dB 以下	-85 dB 以下
4. 3 LO frequency stability	$\pm 1 \times 10^{-7}$ 以下	$1 \times 10^{-7}$ 以下
4. 4 gain frequency response	$\pm$ 0.5 dB P-P 以下	$\pm$ 0.2 dB P-P 以下
5. Loop test		
5. 1 base band NPR(MODEM Loop)	300 PWP/3.1 kHz B.W. 以下	250 PWP 以下
5. 2 video weighted SNR	ICSC-45-13 E	good
5. 3 base band amplitude freq. response	ICSC-45-13 E	good
5. 4 video amplitude freq. response	ICSC-45-13 E	good
5. 5 differential gain	10 % 以下 (525/60)	$\pm$ 2 % 以下
5. 6 differential phase	$\pm 5^\circ$ 以下 (525/60)	$\pm 0.3^\circ$ 以下
5. 7 field time distortion	$\pm 1 \%$ 以下 (525/60)	$\pm 0.5 \%$ 以下
5. 8 line time distortion	$\pm 1 \%$ 以下 (525/60)	+0.5 % 以下 -1.0 % 以下
5. 9 group delay distortion	ICSC-45-13 E	good
5. 10 gain frequency response	ICSC-45-13 E	good

### 3. 2. 4 電力増幅器

この装置は、GCE からの 6 GHz 帯の全送信キャリアを必要レベルまで共通増幅するもので、励振増幅器・終段増幅器の 2 段で構成され、図 3. 10 のように 2 架の中に現用機と予備機の 2 機を備えている。

励振増幅器は、終段増幅器の前増幅部で増幅管として空冷 20 W の TWT, RW-81 を使用している。終段増幅器は、全送信キャリアの最終増幅部で増幅管として空冷 300 W の TWT, VTC-6360 A4 を使用している。これらの TWT の電源は、図 3. 11 のブロック図に示すように、AC 115 V 単相 60 Hz 入力をいったん整流した後、定電圧安定化回路を経て、約 100 V の定電圧直流電圧とし、さらにトランジスタで 1.5 kHz の交流に換えて昇圧整流して高圧の直流電圧を得ている。TWT のボディカソード間電圧は、送信レベルの安定化を図るため特に高精度の安定化が必要なので、上述の高圧直流電圧をさらに高精度の安定化回路を通し、2 段の安定化回路によりその目的を達している。TWT の保護上この高圧の投入およびシャ断は高速度動作を要求されるが、この高速度シャ断および投入は、従来のアノードカソード間短絡方式と異なり、前段の安定化回路に無接点スイッチング回路を備え、これによりその動作を行なわせている。またクロウバ回路を備えていることで異常電圧・発振・フラッシュ等の装置の故障のときに電源入力を瞬時にシャ断し、TWT や回路の破壊を防いでいる。このようにこの電源は、高圧整流・高圧安定化回路を含め全固体化されたこと、インバータ方式の採用によりフィルタ回路が小形化されたこと等により、従来になく小形軽量となっている。

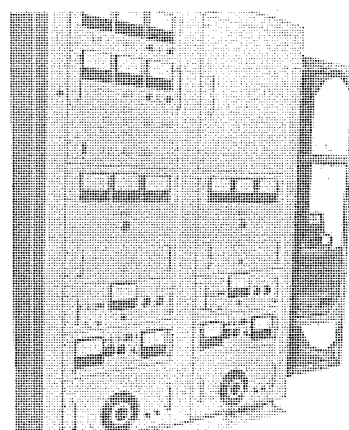


図 3. 10 電力増幅器  
High power amplifier.

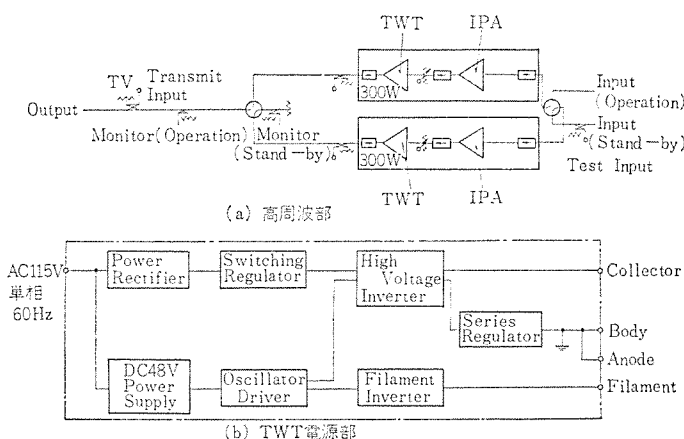


図 3. 11 電力増幅装置ブロック図  
Block diagram of HPA.



表 3.7 電力増幅器の性能  
Performance characteristics of high power amplifier.

項 目	性 能	備 考
1. 最大出力	24 dBW	
2. 出力安定度	$\pm 0.3$ dB/day	
3. 帯域幅	500 MHz 以上 (5,925~6,425 GHz)	
4. 利 得	69 dB 以上	
5. AM-PM 変換	4°/dB	
6. 振幅特性	一 次: $\pm 0.05$ dB/MHz 二 次: $\pm 0.012$ dB/MHz <sup>2</sup> リップル: 1.0 dB P-P	(36 MHz 幅において)
7. 遅延特性	一 次: 0.04 ns/MHz 二 次: 0.01 ns/MHz <sup>2</sup> リップル: 1.0 ns P-P	(36 MHz 幅において)
8. 相互変調	-20dB 以下 (35W の 2 波に対して)	

GCE からの送信キャリアは、入力側の導波管切換器を経て現用予備 2 台の電力増幅器にはいる。これらの出力は、出力側の導波管切換器を経て現用出力はアンテナ給電系へ、予備出力は架内の空冷ダミーロードへ導かれる。この導波管切換器による現用・予備の切換は、現用側増幅器の故障を自動的に検知することにより完全に自動で行なわれる。

以上述べた特長のほかに、付属装置としての警報・保護回路・モニタ装置・表示装置はいずれも固体化無接点化され、また過熱検知器の設置、架全体および高温化しやすい部品に対する強制空冷化等により、動作の安定化を図っている。

なお電力増幅器とアンテナ給電系との間には、7.5 dB のカップラがそう入されており、将来テレビのキャリアを送信する場合、増設予定の 3 kW クライストロン増幅器の出力が、上述の増幅器を休止せずに接続できるようになっている。

表 3.7 に電力増幅器の性能を示す。

### 3.2.5 搬送端局装置

エクアドル地球局搬送端局装置の外観および系統図を図 3.12 および図 3.13 に示す。搬送端局装置は次の三つの部分に大別される。

- (a) 電話端局部 (TV 音声搬送装置を含む)
- (b) 打合せ回線部 (打合せ回線交換装置を含む)
- (c) 端末装置その他 (電信端局を含む)

電話端局部は、地上無線回線を含む国内伝送設備と無線設備のベースバンド装置の間であって、搬送電話番号と TV 音声回線信号とを国内伝送路から衛星ベースバンド信号へ、また衛星用ベースバンド信号から国内伝送路へ変換する機能、および伝送路監視等の機能を有している。

打合せ回線部は地球局相互間、ITC その他運用保守上必要な局との連絡、および局内打合せが相互にできる機能を有する。

4 線接続を基本とし、音声回線と国内回線および交換設備に接続される装置として、TG-24 電信端局装置、重信 (電話 1 チャンネル + 電信 5 チャンネル) 端局装置、衛星回線による反響を防ぐ反響阻止装置、および電話回線接続交換に用いられる 2,600 Hz 信号装置などの設備がある。

多重電話用端局装置の容量はエクアドルの無線キャリア数に応じて、最大送信 3 波、受信 7 波 (送受とも TV 音声 1、送信予備 1 を含む) である。

実装数量は、将来のトラフィック増にも十分適応できるよう考慮されている。

衛星通信用の端局としては、無線回線の構成がプリアサインドの多元接続方式であるから、送受信のキャリア数、チャネル容量が合わない構成となる。また、インテルサット IV 号系ではベースバンド周波数配列が 11 種類もあり、チャネル容量変更、ベースバンド内配置割当位置の変更に容易に追従できる装置構成が実施されている。

#### (1) 電話端局部

従来の衛星通信用搬送電話端局との大きな相違点は、キャリア当たりのベースバンドの最大回線容量が、III 号衛星時代の 132 チャンネルから 1,872 チャンネルへと大幅に増大したことである。

本 FDM 端局装置は、最大 972 チャンネルのベースバンドに対し必要なチャネルが、どこに割り当てられても送受信可能な設計となっている。

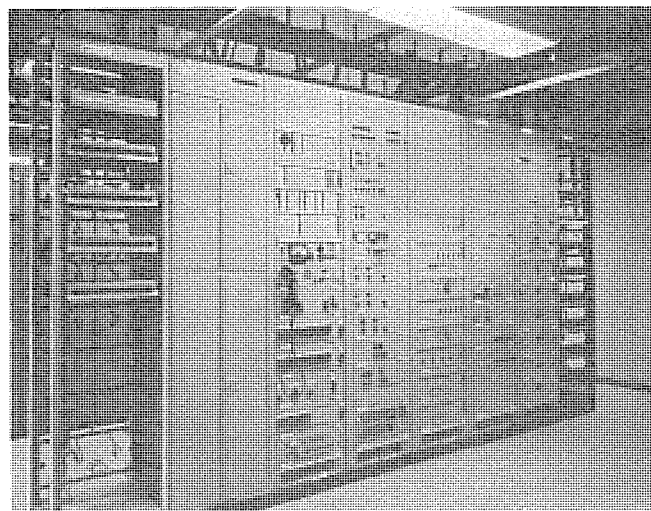


図 3.12 搬送端局装置  
Multiplex-demultiplex equipment.

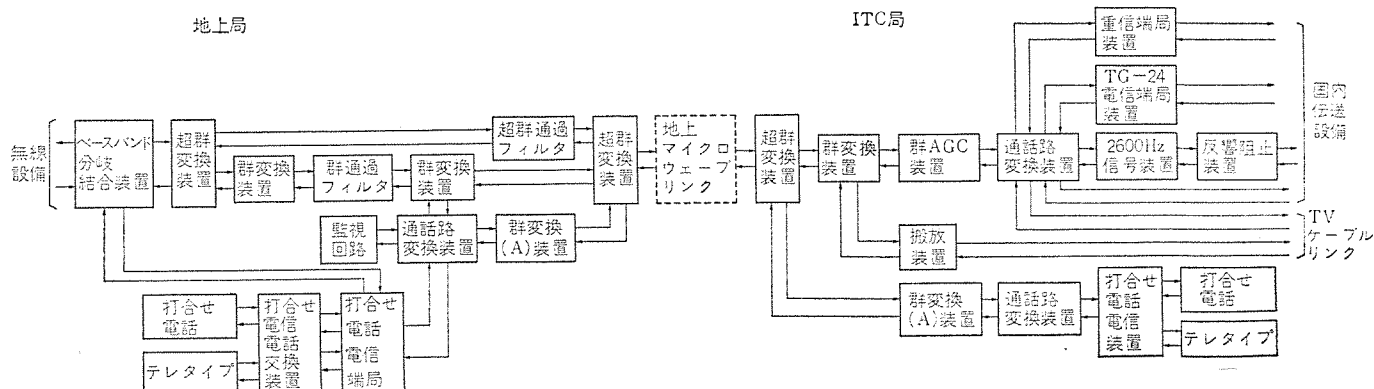


図 3.13 搬送端局部系統図  
Block diagram of multiplex-demultiplex equipment.

多重電話用搬送端局装置は、単側帯波送出・搬送波阻止・周波数分割・多重搬送方式であり、通話路変換装置・群変換装置・群 AGC 装置・群通過フィルタ装置・超群変換装置・超群通過フィルタ装置・ベースバンド分岐結合装置、試験および監視装置、および各変換装置への搬送波電流供給装置より構成されている。

テレビ音声用搬送放送装置は、テレビ音声を基礎群Bの帯域へならべて送受信するための装置で、搬送装置・同上用搬送電流供給装置・測定回路などより構成されている。なお本装置は、衛星方向に電話信号を送信する Up Link と衛星より電話信号を受信する Down Link 装置とに区別されている。

#### (a) Up Link 装置

Up Link 装置の電話信号は、FM 変調器・電力増幅器・大口徑アンテナなどを経て衛星へ送出される。電話信号は、ITC 局音声分配架から発し変調および変換過程を経て地球局のベースバンド分配架に接続される。超群パイロット 547.92 kHz が使用されていない場合は、群基準パイロット 104.08 kHz は通話路変換装置の一つの基準にそう入される。国内伝送設備との接続方法は、群接続および超群接続を原則としている。地球局送信用搬送電話端局装置は予備を持った完全二重回線として動作する。

#### (b) Down Link 装置

衛星を中継して送信されてきたベースバンド信号は、大口徑アンテナ・低雑音増幅器・FM 復調器などを経てベースバンド分配架に接続される。信号は Up Link 装置の逆の変換過程を経て、ITC 局の音声分配架に接続される。60 kHz ラインパイロットは、地球局からマイクロウェーブ回線を通して ITC に送られている。群パイロット 104.08 kHz を用いた群 AGC 回路を設けている。

前述したとおり、インテルサット IV 号は、多元接続方式を採用していることから複数局と通信している場合には、搬送端局装置は一つの送信搬送端局装置と複数の受信用搬送端局装置から構成されている。

#### (2) 打合せ回線部

打合せ回線は、電話 1 回線および電信 5 回線を重信回線として 4 ~ 12 kHz のサブベースバンドで伝送される。打合せ回線方式は、インテルサット III 号系衛星で使用されているものと同じであり、電話が帯域内信号方式を用いたダイヤルオムニバス方式、電信は 2 符号の繰返しによる符号呼出し方式で、運用上交換装置を必要とする。打合せ回線部は、打合せ回線用搬送端局装置および交換装置より構成される。従来の交換装置は、符号識別回路の IC 化を除いてワイヤスプリングリレーを用いていたために装置の架数が多かった。今回は小形高信頼化をねらったミニコンピュータによる Stored Program Control を用いた完全自動化・完全固体化の電子交換装置を採用した。

#### (3) 端末装置その他

電話端局部の通話路変換装置を経て ITC 局の音声分配架で終端された電話信号は、2,600 Hz 信号装置を経て信号搬送時間の長い衛星回線で発生した反響を除くために、反響阻止装置などを経由して国際交換台へ接続される。一方音声帯域の電信あるいは重信信号は、TG 24 電信端局装置あるいは重信端局装置を経て交換台・TTY あるいは送受話器などに接続される。また、一部の電話回線は、音声分配架から 4 線音声接続で直接国内マイクロウェーブ回線にも接続される。

### 3. 2. 6 制御・監視・試験系

地球局制御・監視・試験系の一部を図 3. 14 に示す。地球局各機器のステータス表示、TV モニタ、レコーダ出力、ベースバンド接続切換え用

のベースバンドパッチ、送信出力制御およびリレー盤などから成り、制御・監視・試験を集中的にできるように配慮している。

各架のステータス表示は、4 態表示（オペレーション：グリーン、スタンバイ：ホワイト、フォールト：レッド、メンテナンス：アンパ）をとり、警報はメジャーアラーム（通信回線断となる状態）に対してはベル、マイナーアラームに対してはブザーを使用しており、アラーム発生時にはフォールトランプがフリッカし、ストップボタンを押すと点灯する。

またフェイルセーフモニタ架を設け、自局の送信出力を衛星経由でモニタし、アンテナ追尾系・PA 等の故障により受信信号がおちた場合、アンテナがサイドローブにロックしたり動き出したりしないように、受信信号を検波してアンテナドライブオフになるようにしている。

送信出力制御については、マニュアルで操作しており、地球局側はもちろん ITC 側からも地上マイクロ回線（リピータ含む）を通して、遠隔制御できるようになっている。また地球局側でのステータス表示は、すべて ITC 側でもモニタでき、夜間の地球局無人運転も可能な設計となっている。

インテルサットに加入している全地球局は、標準地球局として ICSC 規定の要求条件を満足しなければならず、そのため通信試験部を設置する目的として、下記の項目があげられる。



図 3. 14 制御、監視機器の一部  
Control and monitor equipment.

表 3. 8 基本試験ループとその機能  
Test loop and its function.

番号	試験ループ名	記 事
1	変復調ループ(送受信系)	地球局通信系変復調架の特性試験用ループ
2	GCE 送信総合ループ	地球局 GCE 送信系の特性試験用ループ： (1)の結果と比較することにより送信周波数 変換架の特性評価も可能
3	GCE 受信総合ループ	地球局 GCE 受信系の特性試験用ループ： (1)の結果と比較することにより受信周波数 変換架の特性評価も可能
4	GCE 送受信総合ループ	地球局 GCE の送受信対向総合試験用ループ
5	送信系総合ループ	地球局送信系総合の特性試験用ループ： (2)の結果と比較することにより大電力増幅 部の特性評価も可能
6	受信系総合ループ	地球局受信系総合の特性試験用ループ： (3)の結果と比較することにより低雑音増幅 部の特性評価も可能
7	局内総合ループ	地球局通信系 送受信対向総合特性試験ループ

- (1) 現用回線の監視
- (2) 自局単独での総合性能評価判定
- (3) 障害時の異常機器の判別

これらの試験用機器として、試験用変調架・6 GHz/IF 変換架・IF/4 GHz 変換架・試験用イコライザを設置してある。基本試験ループとその機能を表 3. 8 にあげる。

また試験系については、できるだけ簡素化を考慮し、RF 接続はパッチでおこなっている。

### 3. 2. 7 電源設備

電源設備は、受電設備・非常用電源・無停電電源および配分電盤より構成され、地球局の機器、施設全体にその機能に応じた電源を供給するものである。

受電設備は高圧送電線 (22 kV, 将来 46 kV に昇圧) より、電力を分岐し、これを低圧に変換するもので、将来第 2 地球局の増設分を含めて、500 kVA の容量を持っている。

非常用電源としては、現地の電力事情を考慮して、ディーゼル発電機 2 台を備えており、万一 1 台が起動不能となった場合にも他方が自動的に起動しうるようにした。また商用復帰の際に自動的に商用への切換えが行なわれるようにし、将来の夜間無人化を考慮した設計にした。

無停電電源は、交流 15 kVA 1 台、交流 25 kVA 1 台、直流 5 kW 1 台とし、交流無停電電源は主として低雑音増幅器および電力増幅器に電力を供給するもので、整流器・電池・サイリスタインバータより構成され、入力電源断に際しても電池により出力を無停電に保つ。万一の故障に備えて、入力電源を直接負荷に与えるためのバイパス回路を持っている。一方直流無停電電源は -24 V の電圧を主として地上通信装置 (GCE) および端局装置に供給するもので、5 kW 容量の整流充電器 2 台と共通電池一式より構成され、一方の整流充電器の故障に際しても、他方より連続して直流電力を供給しうるようにした。

電源設備について特に今回留意したことは、

- (1) 高地という環境条件からくる耐圧低下

- (2) 同じく冷却能率の低下
- (3) 設備の信頼性の向上

であり、3,000 m 近い高度において全機器が所要の性能を満足して運用されている。

### 3. 2. 8 地上マイクロウェーブリンク

地上マイクロウェーブリンクは 6.5 GHz 帯を使用し、二つの端局と一つの空中線背面接続を利用した無給電中継局より構成され、地球局とキトー市の ITC 局を連結している。

無線回線は、電話回線用として周波数ダイバーシティを利用した予備回線付双方間伝送通信装置、TV ビデオ回線用として ES 局より ITC 局間の一方向伝送通信装置、TV ビデオ回線用として ES 局より ITC 局間の一方向伝送通信装置より成る。

無線装置は、600 チャンネル電話信号およびカラーテレビ信号 1 チャンネル伝送可能である。

主要性能は次のとおりである。

周波数:	5,430~7,110 MHz (CCIR, Rec 384)
変調方式:	周波数変調 200 kHz rms/CH 電話信号 8 MHz P-P / 1 V P-P TV 信号
送信出力:	8.0 W
雑音指数:	8.0 dB
伝送容量:	電話 600 チャンネル + 打合回線 または TV 1 チャンネル (NTSC 525/60 カラー)
伝送周波数:	300 Hz~6 MHz 電話信号 50 Hz~6 MHz TV 信号
送受周波数間隔:	340 MHz
電 源:	-24 V

### 3. 2. 9 TV ケーブルリンク

エクアドル地球局の TV 伝送設備容量は、ビデオ用受信 1 キャリヤ・音声用受信 1 キャリヤ分が実装されている。衛星回線の TV ビデオおよび音声受信信号は、地球局より地上マイクロリンクを通り ITC に伝送され、ここから TV ケーブルリンクを経て TV センタに中継される。

TV ケーブルリンクの構成は、図 3. 15 に示すようにビデオおよび音

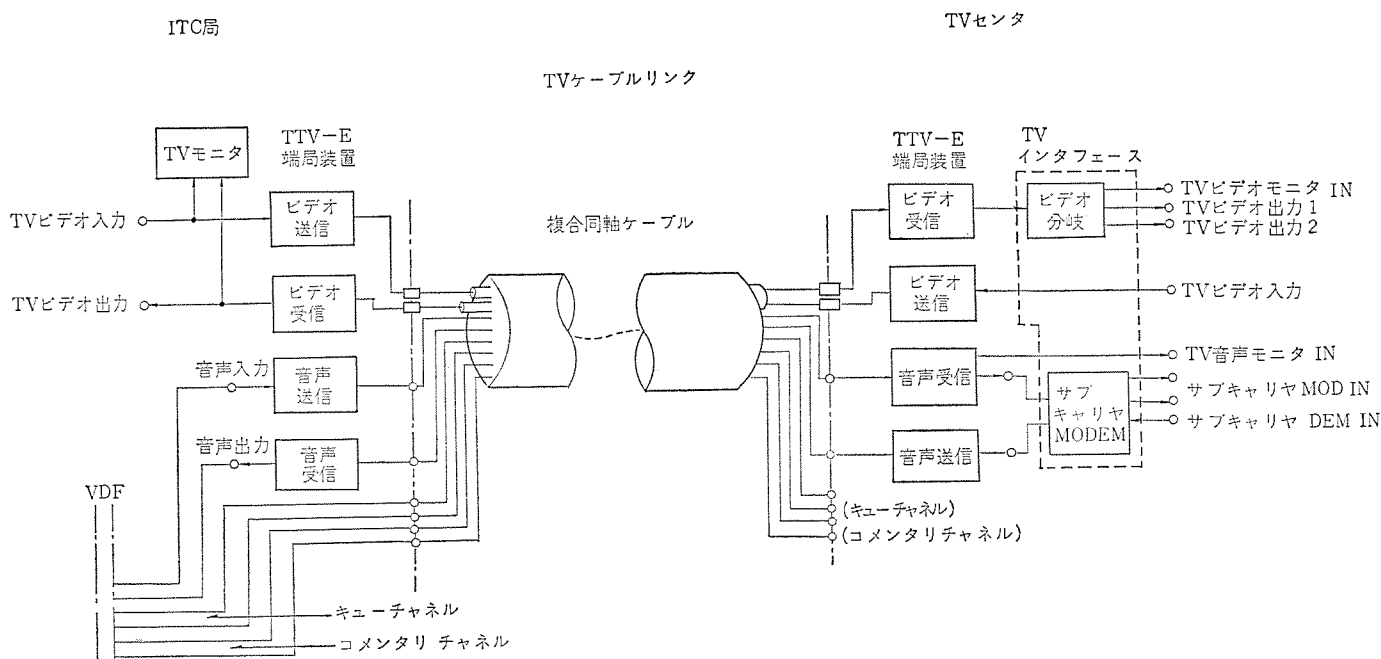


図 3. 15 TV ビデオ および音声伝送 システム 系統図  
Block diagram of TV cable link.



声とも双方向回線である。本設備は、TTV-Eビデオ 端局装置・TV モニタ装置および既設地上 マイクロリンク に接続上必要となったTV インタフェース 装置より構成される。

主要性能は次のとおりである。

(a) ビデオ (NTSC 525/60 カラー TV)

そう入利得:	$\pm 0.2$ dB
微分利得:	$\pm 5$ %
微分位相:	$\pm 2^\circ$
Group Delay:	4 MHz にて $\pm 20$ ns
振幅周波数特性:	4 MHz にて $\pm 1$ dB
信号対雑音比:	連続 ランダム 雑音 56 dB
	周期性雑音 50 dB

(b) 音 声

回線雑音レベル:	-65 dBm 0
周波数特性:	$\pm 0.5$ dB (50 Hz~10 kHz)
回線ひずみ率:	-45 dB 以下 (S: +6 dBm~800 Hz)

これら TV 信号は、国内 マイクロ 回線を通して主要都市に中継されるとともに、TV 放送施設を通して一般に放送される。

また TV スタジオ 間の連絡回線として、キュー 1 チャンネル および コメント リ 2 チャンネル の伝送が可能である。

3. 2. 10 建築設備

敷地の地ならし、道路、フェンスの建設、建物およびその付帯設備など、地球局設備に必要なすべての設備が、その計画・設計から建設まですべて当社によって行なわれた。

この施設は広々とした丘陵地帯のなかに建設されており、将来の第2アンテナ 設置に対しても十分なる敷地を有している。

建築設備の構成とその特長を以下に述べる。

(1) 建 物

建物の特長は、

(a) アンテナ 基礎をかねた大きな機器室を中心に、隣接して電源舎と オフィス ビルディング を配置して、運用保守の効率化をはかっている。

(b) 20 人収容できる食堂、リビングルーム、寝室および台所などの居住部を充実させている。

(c) 60 人収容できる講堂 (Auditorium) をそなえている。などであり、以下にその構成と概要を示す。

(i) 機器室

建築設備の最大の特長はこの機器室にある。新形アンテナの採用で、すべての電子機器が地上に設置可能となり、アンテナ 基礎をかねたこの機器室内に収容されている。床面積が 17 m $\times$ 17 m と広く、将来の増設に対するスペース も十分あり、現在はこの室内に運転保守要員室・作業室も設けられている。

(ii) 電源舎

ディーゼル 発電機・無停電電源設備が収容されており、機器室に近いので、機器室への振動・騒音のシャ断に特に考慮がはらわれている。

(iii) 講 堂

60 人収容可能な講堂でステージ と映写室もそなえており、会議・式典・講習などに使用される。

(iv) オフィス および居住部

事務室 (所長室および秘書室)、リビングルーム、寝室 (3 へや)、食堂および台所などから成る。

(2) 建築付帯設備

建物の付帯設備として次のものがある。

- (i) 屋内、屋外およびアンテナ 照明設備
- (ii) 火災報知器、消火せん(栓)および消火器
- (iii) 水道、給湯設備
- (iv) 電話、インタコム および局内放送装置
- (v) エア コンディショナ (機器室用) および換気扇
- (3) その他

建設設備として次のものをそなえている。

- (i) 道 路
- (ii) フェンス
- (iii) 井戸、水処理設備および水そう (防火用水そうをかねる)
- (iv) 排水および汚水処理設備
- (v) 守衛室
- (vi) 気象観測設備 (風向、風速、気温および雨量の測定)

4. 現 地 工 事

地球局建設の場合、機器の据付調整のほかに道路や建物など土木建築工事を伴うため、現地工事が全体の工期に占める割合が大きく、納期確保のうえでのキポイントとなっている。この施設は、運用開始まで9ヵ月と、今までに例をみないきわめて短い工期であり、現地工事の規模も比較的大きなものであったが、当社の多年にわたる現地工事の経験を存分に生かすことにより、さらに三菱商事キトー支店の全面的な協力をえて、幾多の障害や難関を克服して、予定どおりの工期内に全工事を完了することができた。

以下、現地工事の概要と問題点および特筆すべき部分について述べる。

今回実施された現地工事は、

- (1) 土木建築工事
- (2) 据付工事
  - (a) アンテナ 据付
  - (b) 電子機器およびTV ケーブル 据付
  - (c) 変電設備据付
  - (d) ディーゼル 発電機および制御盤据付
- (3) 機器調整工事

であり、これら工事に付随する下請業者の選定および契約、機材の通関輸送や現地調達品の購入なども、現地での主要業務であった。

現地工事の計画段階で特に考慮したことは、

- (1) 土木建築工事の早期着工と建築資材の確保
- (2) 機材の通関、輸送期間の短縮
- (3) 据付機材、特に大形 クレーン の確保
- (4) 据付業者の技術 レベル と工事体制
- (5) 現地調達品 (すべて輸入品) の期限内入手

であった。

土木工事は、アンテナ 基礎の設計を除きすべて現地建築業者により、据付工事は、日本人技術者の指導のもとに客先の技能者 (電子機器据付) と現地業者により、また機器調整工事は、日本人技術者によって行なわれた。

5. む す び

エクアドル に建設された地球局の概要を述べた。ざん新にして合理的な衛星通信地球局を完成したものと確信する。これは 1971 年に

建設された国際電信電話(株)の茨城衛星通信所第3施設<sup>(6)</sup>において実証された,新形アンテナに負うところが大きい。

末筆ながらご指導を賜った国際電信電話(株)に深謝申上げる。また搬送端局・マイクロウェーブリックなどのサブシステム機器の製作とりまとめにあたられた富士通(株),種々の装置の制作にあたられた各関係会社,ならびに三菱商事・当社他場所に感謝する。

インテルサットIV号系衛星によるグローバル衛星通信は確立したが,衛星通信技術の進歩はめざましい。われわれも今後いっそうの努力をし,この分野において貢献する所存である。最後に今後ともなおいっそうの大方のご指導をお願い申上げる次第である。

#### 参 考 文 献

(1) 西田,喜連川ほか:茨城衛星通信所第2アンテナ,三菱電機技

報,43, No. 2 (昭44)

(2) 丸浜,森川ほか:メキシコ納め衛星通信用大口径アンテナ,三菱電機技報,43, No. 2 (昭44)

(3) 上村,西山ほか:マレーシア納入衛星通信地球局,三菱電機技報,45, No. 2 (昭46)

(4) 松本,糸原,森川ほか:茨城衛星通信所第3アンテナ設備,三菱電機技報,47, No. 3

(5) 宮ほか:衛星通信工学,ラティス(昭47)

(6) 富田ほか:茨城衛星通信所第三施設の概要,国際通信の研究, No. 72 (昭47)

(7) T. Kitsuregawa, M. Mizusawa: A Beam-Waveguide Feed Having a Symmetric Beam for Cassegrain Antennas, 1972 International IEEE/G-AP Symposium Digest (Dec. 1972)

## ETS-1・ISS チェックアウト装置

錦 織 清\*・小泉 深吉\*

萩 原 毅\*\*・嶋 村 和 也\*\*

近藤 五郎\*\*・井 上 幸 美\*\*・磯 谷 厚\*\*

## Outlines of ETS-1 and ISS Checkout Equipment

National Space Development Agency of Japan Kiyoshi NISHIKORI・Shinkichi KOIZUMI

Mitsubishi Electric Corp., Kamakura Works Takeshi HAGIWARA・Kazuya SHIMAMURA

Goro KONDÔ・Yukiyoshi INOUE・Atsushi ISOGAI

ETS-1 and ISS checkout equipment is a integrated system test device of satellites set up in the facility of Kodaira Branch of the National Space Development Agency with an aim of working on the qualification test and the acceptance test of the ETS-1 and ISS satellite which are scheduled to be launched in 1975. This device consists of testing apparatus and measuring instruments on satellite systems such as a power supply sub-system, a command sub-system, a telemetry sub-system and a mission experiment sub-system or data processing equipment (MELCOM-7500 system) to combine them for the sake of synthetic operation.

This article introduces outlines of them under the classification according to the operation of hardware and software

## 1. ま え が き

人工衛星の開発・製造を行なう場合、その信頼性および品質保証のため、プロトタイプモデル (PM) に対して認定試験を行ない、フライトタイプモデル (FM) に対して受入試験を行なう。これらの試験では、振動試験・熱真空試験・疑似太陽光照射試験などの種々の環境試験を行ない、この環境試験ごとに、衛星の性能や機能を調べる電気性能試験 (EPT) を行なう。

このような衛星の一連の試験を行なうためには、かなり長い期間と多人数の労力が必要となる。

このため、衛星の性能および機能を正確かつ効率的に測定する試験装置、すなわちチェックアウト装置が必要である。

このような目的のために製作された「ETS-1・ISS チェックアウト装置」(以下 EICE と略す。)の概要について、ここで紹介する。

「EICE」は宇宙開発事業団により開発が行なわれている「技術試験衛星-1 形 (ETS-1)」, および「電離層観測衛星 (ISS)」の両方の衛星の試験を行なうことを目的とし、三菱電機(株)を主契約者とし、日本電気(株)と共同で製作がすすめられた。

本装置の製作は衛星部門、計算機部門およびソフトウェア部門の多数の担当部門にまたがっており、プロジェクト組織により開発が進められた。このためコンフィギュレーション管理プログラムを実施している。

また本装置は地上装置であるが、衛星を試験するため、要求事項にもとずき信頼性および品質管理プログラムを実施した。

## 2. 「EICE」の概要

「EICE」は ETS-1 および ISS の認定試験および受入試験を行なうための試験装置であり、宇宙開発事業団の小平分室実験庁舎に設置され、そこにすでに設置してあるスペースチェンパや振動試験機等環境試験装置とともに、衛星の試験に使用される。

この装置は、大形計算機 (MELCOM-7500 システム) を使用し、衛星の複雑な機能や性能を測定する操作と試験後のデータ整理を、試験者にかかわって行なうことができ、また従来の試験装置と異なり、

だれがオペレートしても簡単にしかも正確に、衛星の諸特性をチェックすることができることを目的に設計・製作された。

本装置は次のような主要機能をもっている。

## 2. 1 「EICE」の主要機能

(1) 衛星の太陽電池パネルのかわりに、外部より疑似太陽電池電源を供給し、衛星を動作させる。

(2) 衛星にたいし、手動あるいは計算機の制御によりコマンドの発生を行なう。

(3) 衛星のテレメータデータ (キャリア周波数は 136 MHz または 400 MHz) を受信し、復調して得た PCM データをデータ中央処理部に読み込み、試験者が判断しやすいように、データ変換、データチェックなどの処理を行ない、これらを表示する。

(4) ETS-1 および ISS のとう (搭) 載機器にたいし、疑似信号の発生を行ない、これらの動作と機能をチェックする。

(5) 各種計測器を計算機により制御し、衛星サブシステムの性能を自動的に測定する。

(6) 環境試験データをとりこみ、衛星に与えた環境条件をモニターする。

(7) 衛星のテストコネクタを通して、衛星の内部動作をモニターする。

(8) 磁気テープに、衛星試験時に得られたデータを収録し、試験後のデータ整理を行なう。

## 2. 2 「EICE」の構成

「EICE」は上記の機能を備えており、次の各サブシステムより構成される。

- (1) 入出力信号切換部
- (2) RF 系信号処理部
- (3) テストコンソール部
- (4) データ中央処理部およびデジタル周辺機器部
- (5) アナログ信号処理部および記録部
- (6) 時刻装置部
- (7) 電源系試験部

- (8) ISS との載電子装置 シミュレータ 部
- (9) ETS-1 との載電子装置 シミュレータ 部
- (10) 姿勢系試験部
- (11) HK 校正器

以上の装置以外に計算機 プログラム がある。

また「EICE」のブロック 図および配置図を、それぞれ図 2. 1 および図 2. 2 に示す。

### 3. 各部の概要

#### 3. 1 入出力信号切換部

入出力信号切換部は、「EICE」の各装置間の信号と ETS-1 あるいは ISS との信号の授受を行なうものである。

計算機と他の装置の信号のやりとりを行なう計算機信号箱、衛星と「EICE」と信号をやりとりする接せん(栓)箱や接せん架、各装

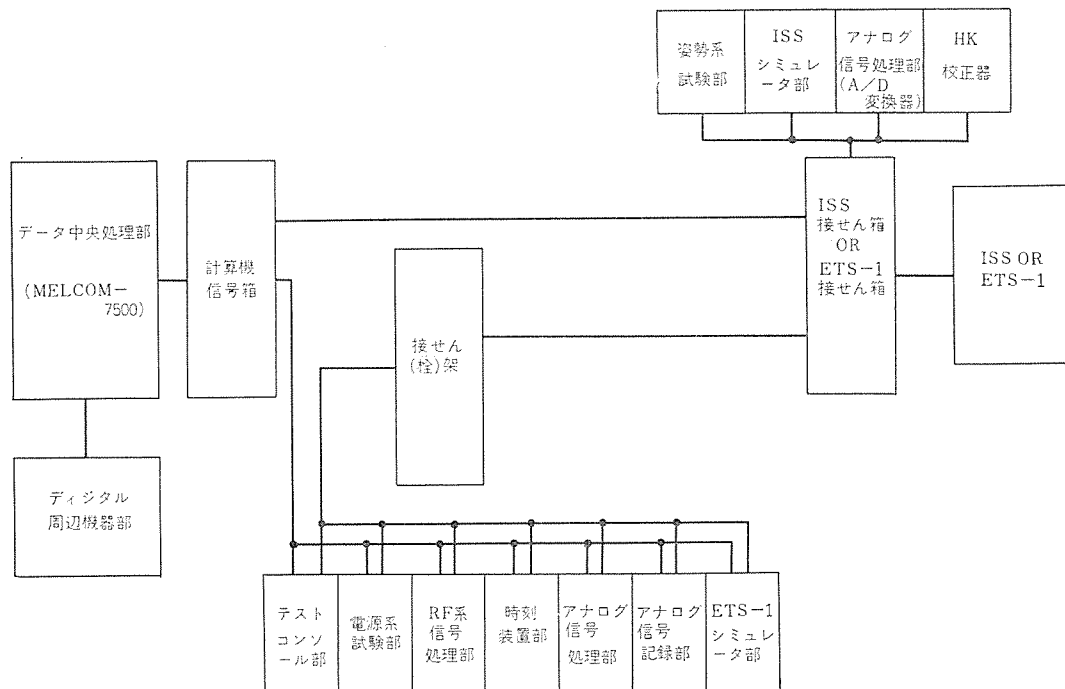


図 2. 1 「EICE」ブロック 図  
Block diagram of 「EICE」.

ISS-CB  
CSB  
SIB  
RF-TM  
RF-CM  
RF-TS  
TCC  
M-7500  
TW  
LP  
CR  
CRT  
MT  
ADP  
ADR  
ADR-X-Y  
ADR-PEN  
DR  
TIM  
PST-CONS  
PST-PS  
PST-PEN  
TOP-SIM  
PIC-SIM  
RAN-SIM  
RPT-SIM  
FM-SIM  
R&RR-SIM  
R&RR-TS  
ASM-SIM  
ASE/S-SIM  
HK-CAL

ISS接せん箱  
計算機信号箱  
接せん架  
テレメータ受信架  
コマンド送信架  
RF試験架  
テストコンソール  
データ中央処理部  
タイプライタ  
ラインプリンタ  
カード読取装置  
遠隔キャラクタディスプレイ  
磁気テープ装置  
アナログ信号処理部  
アナログ信号記録部  
X-Yレコーダ  
ペンレコーダ  
データレコーダ  
時刻装置部  
電源卓  
電源架  
電源系試験部  
ペンレコーダ  
TOP試験装置  
PIC試験装置  
RAN試験装置  
RPT試験装置  
FM復調架  
R&RR送受信架  
R&RR計測架  
ASM試験器  
ASE/ASS試験器  
HK校正器

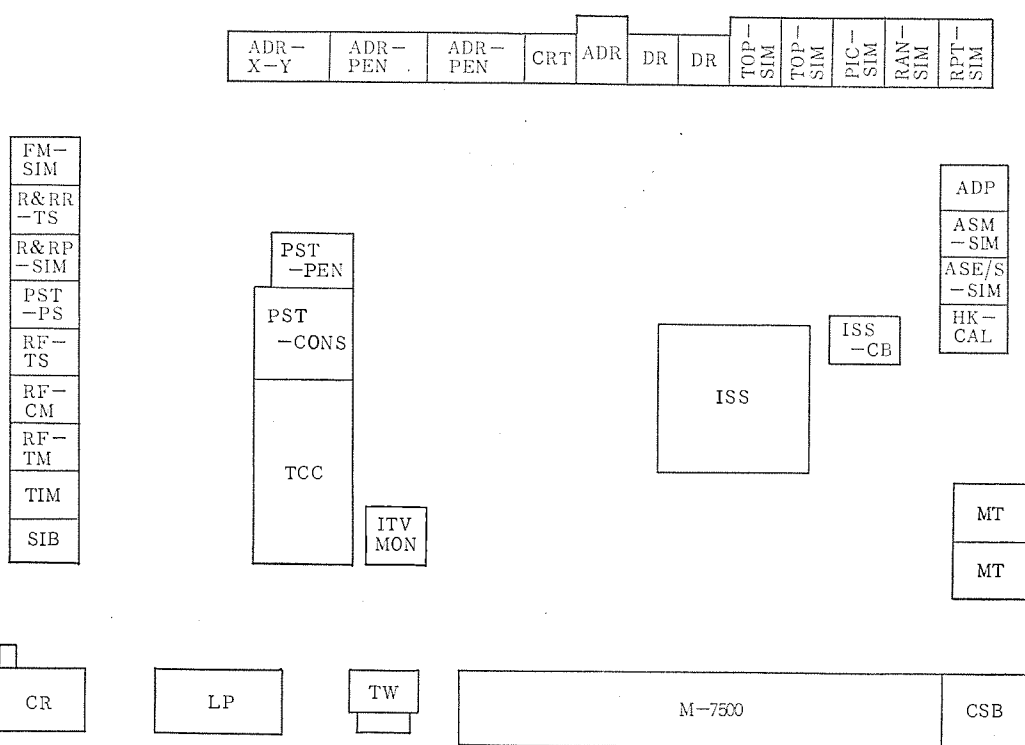


図 2. 2 「EICE」のレイアウト  
Layout of 「EICE」.



置間を結合するケーブルおよび熱真空試験や振動試験のときでも、試験を行なうことができる約150 mと50 mの2種類のケーブル群とこのケーブルの端末をつないだ接せん盤から構成される。

### 3.2 RF 系信号処理部

RF 系信号処理部は、衛星のコマンド系およびテレメータ系の信号の送信と受信を行ない、これらの性能を測定する。

136 MHz および 400 MHz のキャリア周波数で送信されるテレメータ信号を受信し、復調するテレメータ受信機および復調して得た PCM 信号をフォーマット化する PCM 復調器を含むテレメータ受信機、テストコンソール部からの制御信号により衛星のコマンド信号(キャリア周波数は148, 270 MHz でトーンバーストの振幅変調を行なった信号)を発生するコマンド送信機、およびテレメータ系やコマンド系の性能測定を行なう RF 試験架より構成される。

復調された PCM データは計算機内にとり入れられ、データ処理される。また RF 試験架にある周波数カウンタ、デジタル電力計や自動ひずみ率計などは計算機に制御され、データを計算機に読み込むプログラム測定を行なう。

### 3.3 テストコンソール部

テストコンソール部は、衛星の試験を行なうオペレータが必要な事項をモニタ、チェックすることができる機能を備えており、「EICE」全体の運用操作をテストコンソールで行なう。

オペレータは衛星の状態表示ランプにより、衛星の内部状態をモニタすることができ、パネル上のスイッチにより ETS-1 または ISS のとう載電子装置シミュレータの動作モードの設定を行ない、またブレイクポイントスイッチ(BPS)により計算機プログラムのうちの必要なサブプログラムを選択し、データをモニタすることができる。

### 3.4 データ中央処理部およびデジタル周辺機器部

本装置は「EICE」の中核となる装置であり、MELCOM-7500 システムを使用している。このシステムは大形データ処理装置であり、バッチ処理、リアルタイム処理、タイムシェアリングおよび遠隔バッチ処理などの豊富な機能を備えており、「EICE」では、衛星のデータをオンラインで処理するリアルタイム処理機能、および試験中に得られたデータを後から解析するバッチ処理機能を使用している。

本装置は命令を解釈し、演算を行なう中央処理装置、32 kW の記憶容量を持つ記憶装置、入出力制御装置と記憶装置間のデータ転送を行なう入出力制御装置、および多数の入出力機器を制御する入出力制御装置があり、また周辺機器では、3 M バイトの記憶容量を持つシステムディスク装置(RAD)、磁気テープ装置(MT) 2 台、ラインプリンタ(LP)、タイプライタ(TTY)、データ表示を行なう遠隔キャラクタディスプレイ装置(CRT)などの入出力機器があり、さらに「EICE」各装置との間のデジタルデータ(点数にして約700点)の入出力を行なうシステムインタフェースユニット(SIU)がある。

その他浮動小数点演算機構や記憶保護機構などのオプションを付加している。図 3.1 に MELCOM-7500 の外観を示す。

### 3.5 アナログ信号処理部および記録部

アナログ信号処理部は、衛星や試験装置から得られるアナログデータおよび環境試験で得られるデータを計算機内にとりこむため、アナログデータをデジタルデータに変換する A/D 変換器、計算機出力のデジタルデータをアナログ信号に変換する D/A 変換器、およびアナログ信号を増幅しアナログ記録部に記録するための増幅器がある。

またアナログ記録部ではペンレコーダ、X-Y レコーダ、データレコーダおよび撮影装置がある。

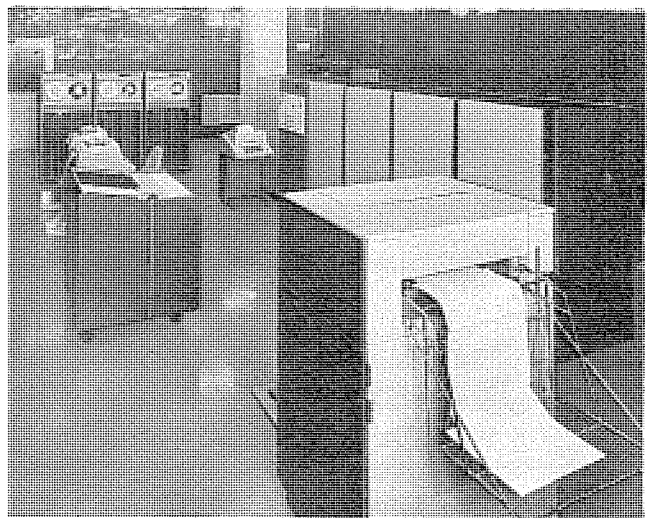


図 3.1 MELCOM-7500 外観  
Photograph of MELCOM-7500 system.

これらの装置により、試験中に発生するアナログデータの処理を行ない、データのモニタ、チェックを行ないあるいはデータ整理のため記録することができる。

### 3.6 時刻装置部

時刻装置は「EICE」全体に基準時刻を供給し、各試験場所での時刻の表示、収録したデータの日時が識別できるような時刻データの発生、あるいは周波数や時間を正確に測定するための基準信号の発生などの機能をもつ。

この装置には、標準時間に合わせるための JJY 受信装置や無停電電源装置などを有している。

### 3.7 電源系試験部

本装置は電源架と電源卓より構成されている。

電源架には、ETS-1 および ISS の太陽電池パネルの電源のかわりに衛星に電源を供給する疑似太陽電池電源、衛星とう載の蓄電池は充放電サイクルに限界があるためこのかわりに使用する外部蓄電池、試験中の緊急事態にそなえたフェイルセーフ機構などから構成される。

また衛星が軌道に入った場合を想定した日照・日陰のシミュレーションをタイマにより行なうことができる。

電源卓はテストコンソールの横に設置されており、「EICE」を運用するための中心となる。電源架の疑似太陽電池電源を制御する運用操作盤、衛星内部の電源を操作する有線コマンド盤および衛星の内部電源を常時監視するモニタ盤などがある。

疑似太陽電源電圧と電流および衛星の内部の電圧や電流は衛星を操作するためには重要なデータとなるため、デジタルデータに変換して計算機内に読み込むと同時にペンレコーダに記録される。

### 3.8 ISS とう載電子装置シミュレータ部

本装置は ISS とう載機器である電離層観測装置(TOP)、電波雑音観測装置(RAN)、プラズマ測定器(RPT)およびイオン質量測定器(PIC)におのおの疑似信号を与える装置であり、TOP 試験装置、RAN 試験装置、RPT 試験装置および PIC 試験装置より構成される。

TOP 試験装置では、疑似エコー発生器により疑似エコーを TOP 送信機に同期して与え、TOP の動作をチェックする。

RAN 試験装置では、RAN の受信周波数である 2.5, 5.0, 10, 25 MHz の信号の入力レベルを -125 dBm より 60 dB 可変して与え、RAN の入出力特性をチェックする。

RPT 試験装置では、直流、925 Hz および 1850 Hz の微小電流を与え、RPT の動作チェックをする。

PIC 試験装置では、センサ出力を擬した電気信号をパルスで PIC に与え、動作チェックを行なう。

これらの試験装置から発生する疑似信号は、テストコンソールまたは計算機からの制御信号により、ある決められた設定値をとるように制御される。

### 3.9 ETS-1 とウ載電子装置シミュレータ部

本装置は ETS-1 とウ載機器である距離および距離変化率測定装置 (RRM), および打上げ時の環境測定装置 (LEM) の試験を行なう。

RARR (レンジアンドレンジレート) 送受信機により、2.1 GHz 信号を送信し、1.7 GHz 信号を受信する。復調した信号は RARR 計測架に与え、群遅延特性を測定し、このデータは計算機内に読込まれその変動を計算する。

FM 復調架より LEM の信号を再生し、その動作をチェックする。

### 3.10 姿勢系試験部

姿勢系試験部は、衛星にウ載した地磁気検出器 (ASM), 地球方向検出器 (ASE) および太陽方向検出器 (ASS) を試験するための装置である。(ETS-1 は ASM と ASS のみからなる)。

本装置では ASM を試験する ASM 試験器, ASE を試験する ASE 試験器および ASS を試験する ASS 試験器より構成される。

ASM 試験器はヘルムホルツコイルにより、衛星にウ載した磁気センサに X 軸、Y 軸および Z 軸の 3 軸にある強さの磁界を与えることにより ASM の動作をチェックする。

ASE 試験器は、一定のピーク波長にコントロールされた赤外線を一定の周期で断続的に衛星の赤外線センサに与え動作チェックする。また電気的信号を与えチェックすることもできる。

ASS 試験器についても ASE と同様である。

これらの試験装置はテストコンソールまたは計算機からの制御信号に

より、所定の値に設定される。

### 3.11 HK 校正器

HK 校正器は ETS-1 および ISS にウ載した環境測定器 (HK) を校正するものである。

HK の信号の内容は電圧、電流および温度などのアナログデータと動作モニタを表わすデジタルデータがある。このうちアナログデータについては測定範囲にたいして所定の値を数点校正用信号として与え校正する。

## 4. 計算機プログラム

いままで「EICE」各装置のハードウェアの概要を紹介したが、これらのハードウェアを有機的かつ総合的に結びつけ動作するのが計算機プログラムであり、ETS-1 および ISS の試験で得られるデータの処理および「EICE」の各装置間のデータのやりとりと制御を行なう。

機能的にはつぎの五つに大別される。

- (1) 実時間モニタシステムプログラム (RBM)
- (2) 入出力制御プログラム
- (3) オンラインデータ処理プログラム
- (4) オンラインサポートプログラム
- (5) オフライン処理プログラム

これらのプログラムの関連を図 4.1 に示す。

### 4.1 RBM

RBM はディスクを利用したモニタであり、リアルタイム処理を効率的に行なう機能を有し、また同時にバッチ処理をリアルタイム処理と平行して行なう機能を有す。これらの処理を円滑にするため、入出力をコントロールする機能、タイプライタキーを処理する機能、プログラムをロードまたはリスタートする機能、およびリアルタイムプログラムの優先順位を管理する機能をもつ。

このほかにジョブコントロールプロセッサ・RAD エディタ・オーバレイオーダ・MACROSYMBOL アセンブラ、および FORTRAN コンパイラなどを含んでいる。

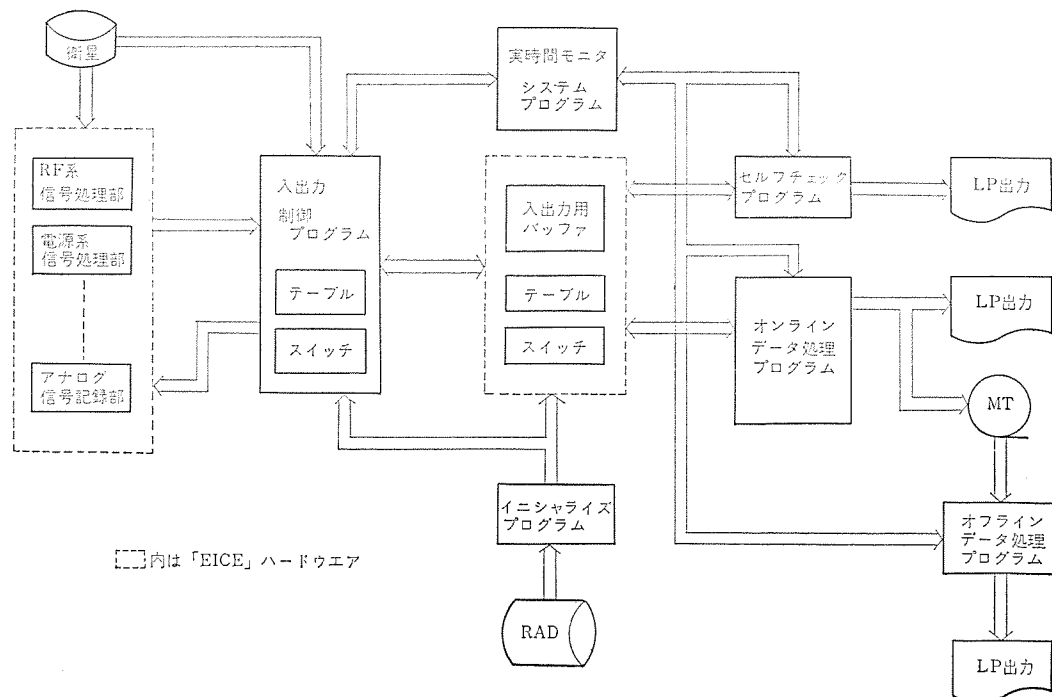


図 4.1 計算機プログラムのブロック図  
Generalized block diagram of computer program.

## 4.2 実時間入出力ルーチン

実時間入出力ルーチンは「EICE」および衛星との間のデータの入出力を行なうルーチンである。ハードウェアデータをロジカルデータに変換し、次のオンラインデータ処理プログラムやオンラインサポートプログラムにデータをひきわたす。

PCMデータを取り入れるPCM入力ルーチン、RF試験架の計測データを読み込み処理するルーチン、デジタルデータに変換されたアナログデータを読み込むアナログ入力ルーチン、計算機メモリにあるデータを変換してアナログ量として出力するアナログ出力ルーチン、電源系試験部データを取り入れる電源モニタ入力ルーチン、時刻データ入力ルーチン、PCMシミュレーションデータ出力ルーチン、コマンド/アクチュエーション処理ルーチンなど多数のデータ入出力ルーチンから構成されている。

## 4.3 オンラインデータ処理プログラム

オンラインデータ処理プログラムは実時間入出力ルーチンで得た各種データを編集し、変換して、LPやCRTへ出力するルーチンである。

ETS-1およびISSのおおのの衛星にたいして、このプログラムは用意されており、以下はISSの場合について紹介する。

メインスケジューラルーチンにより、オンラインデータ処理プログラムの中の個々のサブルーチンの実行と制御が行なわれる。

この制御は、データレディネスフラグやクイックルックリクエストフラグなどのテーブルをサーチして、各サブルーチンにタイムシェアリングで引きわたす。これらのフラグはテストコンソールにあるブレイクポイントスイッチで設定される。

衛星とう載サブシステムに対応して、数十のサブルーチンからなり、試験者が判断しやすいようなデータ表示を行なう。

またこのプログラムでは、オフライン処理プログラムのために、データを磁気テープにストアする。

## 4.4 オンラインサポートプログラム

オンラインサポートプログラムは、「EICE」の各装置を自動的にチェックするセルフチェックプログラム、および4.3節のオンラインデータ処理プログラムに入らない特殊な処理を行なうルーチンより構成される。

## 4.5 オフラインデータ処理プログラム

オフラインデータ処理プログラムはオンラインと処理プログラムで作成された磁気テープファイルを処理するプログラムであり、試験後のデータ整理とチェックを行なうために使用したり、また長期間の試験データを収録して、性能のドリフトなどを調べる。

このプログラムは、衛星とう載サブシステムに対応して多数のサブルーチンより構成される。

## 5. 「EICE」の運用と操作

いままで「EICE」のハードウェアとソフトウェアについて概略説明を行なったが、ここで「EICE」を用いて衛星の試験を行なう場合について述べる。

「EICE」を用いて、衛星の試験を行なう前に、「EICE」自身の動作が正常であるかどうかの確認を行なう。この確認では、各装置をマニュアルでチェックあるいは調整するセルフチェックと4.4節で述べたオンラインサポートプログラムにより、セルフチェックがある。

このいずれかの方法により「EICE」に異常のないことを確認した後、はじめて衛星へ電源を投入し、試験を開始する。電源卓から衛星の電流モードを設定し、衛星の電源系の動作・性能をモニタする。テストコンソールからはEICE各部を集中制御し、衛星にたいするコマンドと疑似入力を選択設定する。衛星とう載機器の性能の良否はテストコンソールのCRT上に出るデータを見て判断される。このように衛星の試験はテストコンソールを中心に行なわれる。衛星の試験についてはEPT-A、EPT-BおよびEPT-Cの3段階にわけて考える。(図2.1のフローではEPT(A)およびEPT(B)の2種類であるが)。

EPT-Aは衛星の電源系、コマンド系およびテレメタ系の共通サブシステムの基本動作のみについて行なう試験であり、EPT-Bは衛星とう載機器も含めた機能や性能を総合的に測定する試験であり、EPT-Cはあるサブシステムを対象とした機能や性能を多方面から総合的に測定する試験である。

これらの試験に対応して計算機プログラムが用意されており、「EICE」はこの考えにもとづいて、衛星の試験を行なう。

## 6. む す び

本文にETS-1・ISSチェックアウト装置の概要を紹介した。本装置は昭和48年3月に現地据付工事を完了し、以後昭和50年度打上げを目標に開発がすすめられているETS-1およびISSの中高々度衛星の開発試験に使用される。

本装置により、これらの衛星の試験を効率的かつ正確に行なうことができ、衛星にたいして、より高い信頼性と品質の認識が得られれば、この設計を担当した者として幸いである。

最後に、この装置の設計・製造・試験にあたり、宇宙開発事業団のかたがた、その他の関係者各位に深く謝意を表わすものであり、またこの仕事を共同で製作した日本電気(株)のかたがたのご協力にたいし深く感謝の意を表します。

## 電離層観測衛星管制施設

船川 謙司\*・中橋 信弘\*・梶 川 実\*\*  
 渡 部 優+・遠藤 義昭\*\*・角谷 桂一\*\*  
 岡田 東亜\*\*・河上 国彦\*\*・別段 信一\*\*

## Ground Control Facilities for Ionosphere Sounding Satellites

Radio Research Laboratories, Ministry of Posts and Telecommunications

Kenji FUNAKAWA・Nobuhiro NAKAHASHI  
Minoru KAJIKAWA

Mitsubishi Electric Corp., Communication Equipment Works

Masaru WATANABE・Yoshiaki ENDO  
Keiichi KAKUTANI・Harutsugu OKADA  
Kunihiko KAWAKAMI・Shinichi BETSUDAN

Ground control facilities for ionosphere sounding have been installed in Kashima Branch of the Radio Research Laboratory of the Ministry of Posts and Telecommunication with the object of gathering ionosphere sounding data and of control command to the satellite through the first, practical ionosphere sounding satellite in Japan and the Canadian satellite of the same purpose. The facilities referred to are in successful operation by making the Canadian satellite ALOUETTE/ISIS an object of observation. They operate as a regular ground control station to aim at the sounding of the first satellite of practical use in this country, and have numerical features such as computer control of operation and calibration of the whole system of the setup, an XY mount large receiving antenna of combined use for 136 MHz and 400 MHz, and employment of polarization diversity receiving system so as to be on the world level.

## 1. ま え が き

昭和50年度に宇宙開発事業団が打上げることになっている電離層観測衛星<sup>(1)</sup>を追跡管制するための、地上施設が郵政省電波研究所鹿島支所に設置され、現在カナダの ALOUETTE/ISIS を対象として順調に動作中である。

この施設の特長は

- (1) 施設全系の操作校正の計算機制御が可能
- (2) 空中線は X-Y マウント方式による全天回転形
- (3) 受信系は偏波ダイバーシティ受信方式を採用
- (4) コマンド送信装置の出力は 300 W と 5 kW の切換え可能

であり、以下本文で、計算機制御および受信用空中線を中心としてその概要をのべる。

## 2. 設計の基本方針

本施設は電離層観測衛星を追跡管制するためのものであるが、運用の省力化・自動化をおこない、電離層観測衛星以外の同じ周波数帯の衛星に対しても、コマンドしたり、テレメータ信号を受けたりできるように考慮されている。

これらの条件を満足させるための設計方針の具体的事項は、つぎのとおりである。

- (1) 施設全系の操作校正の計算機制御

人手の少ない施設では、運用の自動化・省力化はぜひとも必要であり、施設全系の操作校正を計算機制御できるようにする。

- (2) アンテナは X-Y マウント形式

高度 1,000 km、傾斜 70° の電離層観測衛星が真上通過時でも受信を中断することなく、連続に追尾しながらテレメータデータ取得が可能のために、アンテナは X-Y マウント形式とし、最大駆動角速度は 2°/s とする。

また、運用状態における風速条件は、年間可動率 99.9 % 以上を目標として設定する。

- (4) 偏波ダイバーシティ受信方式

テレメータ受信系は直交する二つの直線偏波または右旋・左旋円偏波を組とする偏波ダイバーシティ受信方式にするとともに、受信用空中線では 136 MHz 帯および 400 MHz 帯の共用化をはかる。

- (5) コマンド出力の切換え

コマンド送信系の送信出力（搬送波出力）は、対象とする衛星の距離に応じて、300 W と 5 kW の 2 段切換えをおこなう。

## 3. 施設の構成と性能諸元

## 3.1 構 成

本施設は、施設全系を自動的に操作校正するための計算機制御系、テレメータ信号受信のためのテレメータ受信系、コマンド信号を送出するためのコマンド送信系などから構成されており、施設を図 3. 1、全系の系統図を図 3. 2 に示す。

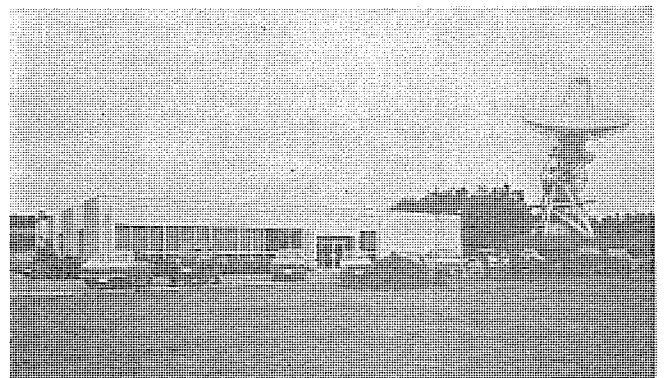


図 3. 1 管制センター  
Control center building.

\* 郵政省電波研究所(工博) \*\* 郵政省電波研究所  
 + 三菱電機(株)通信機製作所(工博) \*\* 三菱電機(株)通信機製作所



表 3.1 主要性能諸元  
Principal performance.

1. 計算機制御系		2.2 テレメータ受信装置	136 MHz 帯	400 MHz 帯
1.1 状態制御コンソールおよびデジタル装置 (1) 処理制御本体 ・演算方式  ・記憶装置  (2) 状態制御関係 ・対象機器   (3) プログラム追尾関係 ・プログラム指令精度 ・オフセット時刻範囲 ・オフセット角度範囲	2進16ビット十パリティ並列演算命令27種 磁気フェライトコア 8,192 語 割込レベル 64 レベル 64 点	・受信周波数 ・電波形式  ・雑音指数 ・入力信号レベル ・影像信号抑圧比 ・ドップラ追尾可能範囲 ・ドップラ変化追尾可能範囲 ・復調方式  ・復調出力	136~138 MHz AM, PM および FM (CW を含む) 4 dB 以下 -130~-70 dBm 60 dB 以上 ±5.5 kHz 以上 ±200 Hz/s 以上 位相同期検波方式と非同期方式の切換え 3 V±1 V (P-P) (10 kΩ 負荷にて)	400~402 MHz 左に同じ 5 dB 以下 -130~-70 dBm 60 dB 以上 ±16 kHz 以上 ±600 Hz/s 以上 左に同じ 3 V±1 V (P-P) (10 kΩ 負荷にて)
	受信用空中線装置 テレメータ受信装置 追尾受信装置 送信用空中線装置 コマンド送信装置 磁気テープ記録装置 チャートレコーダ			
	0.01° (X 軸, Y 軸とも) -19 時~+19 時 -19.99°~+19.99° (X 軸, Y 軸とも)			
1.2 時計装置 (1) 水晶発振器 ・出力周波数 ・周波数安定度 (2) 日付, 時刻信号出力 ・並列日付, 時刻信号  ・直列日付, 時刻信号  (3) 1 秒時計駆動信号 ・出力形式 ・最大負荷	5 MHz, 1 MHz, 100 kHz $5 \times 10^{-10}/\text{day}$ (90 日動作後)  日付: 365, 366 日制 時刻: 24 時刻 (時, 分, 秒) NASA 36 Bit 時刻信号 チャートレコーダ用時刻信号  1 秒 3 線式 20 個	3. コマンド送信系 3.1 送信用空中線 (1) 機械構造駆動系 ・空中線形式 ・アンテナ可回転性 ・駆動方式 ・最大駆動角度範囲  ・耐風性 追尾可能状態にて Drive to Stow 格納時 (2) 電気性能 ・周波数範囲 ・利 得 ・主ビーム電力半値幅 ・第1サイドローブレベル ・F/B 比 ・VSWR ・だ円偏波率	直交八木アンテナ (8 素子) 9 本 X-Y マウント方式による全天回転 電気駆動 X: 天頂中心に ±90° Y: 天頂中心に ±95°  最大瞬間風速 20 m/s 最大瞬間風速 25 m/s 最大瞬間風速 60 m/s  146~156 MHz 20.4 dB 約 19° -12.0 dB 13 dB 1.4 以下 2.0 dB 以下	
2. テレメータ受信系		3.2 コマンド送信装置	A 9 148~150 MHz 148.255 MHz, 148.270 MHz $2 \times 10^{-6}$ 以内 300 W および 5 kW -90 dB 以下	
2.1 受信用空中線 (1) 機械構造駆動系 ・主反射鏡  ・一次放射器  ・鏡面精度 ・アンテナ可回転性 ・駆動方式 ・最大駆動角度範囲  ・耐風性 精密追尾状態にて 追尾可能状態にて Drive to Stow 格納時	直 径: 18 m    F/D: 0.34 開口角: 120° 直交ダブレット 4 素子アレイ (2.4 m×2.4 m の反射板付き) 2.4 mm rms X-Y マウント方式による全天回転 電気駆動 X: 天頂中心に ±90° Y: 天頂中心に ±95°  最大瞬間風速 15 m/s 最大瞬間風速 20 m/s 最大瞬間風速 25 m/s 最大瞬間風速 60 m/s	(2) 電気性能 ・周波数範囲 ・利 得 ・主ビーム電力半値幅 ・第1サイドローブレベル ・F/B 比 ・VSWR ・だ円偏波率 ・追尾誤差系 null depth ・偏波面変動における null shift	136 MHz 帯 134~140 MHz 23.1 dB (137 MHz にて) 約 16° (137 MHz にて) -17 dB 27.5 dB 1.48 以下 2.0 dB 33 dB 以上 0.15° (137 MHz にて)	400 MHz 帯 395~405 MHz 35.3 dB (400 MHz にて) 約 6° (400 MHz にて) -15.5 dB 48 dB 1.44 以下 1.1 dB 33 dB 以上 0.03° (400 MHz にて)
		4. 空中線制御系		
		4.1 受信用空中線関係	2°/s (X, Y とも) 1°/s <sup>2</sup> 以上 (X, Y とも) 0.01°/s (X, Y とも) 0.01° (X, Y とも) 自動追尾, プログラム追尾, 手動制御 0.1° rms 以下 0.1° rms 以下 (最大瞬間風速 15 m/s)	
		4.2 送信用空中線関係	2.5°/s (X, Y とも) 1°/s <sup>2</sup> 以上 (X, Y とも) 0.01°/s (X, Y とも) 0.05° (X, Y とも) 追従モード, プログラム追尾, 手動制御 ±0.1° 以下 (サーボ誤差) 0.5° rms 以下 (最大瞬間風速 15 m/s)	

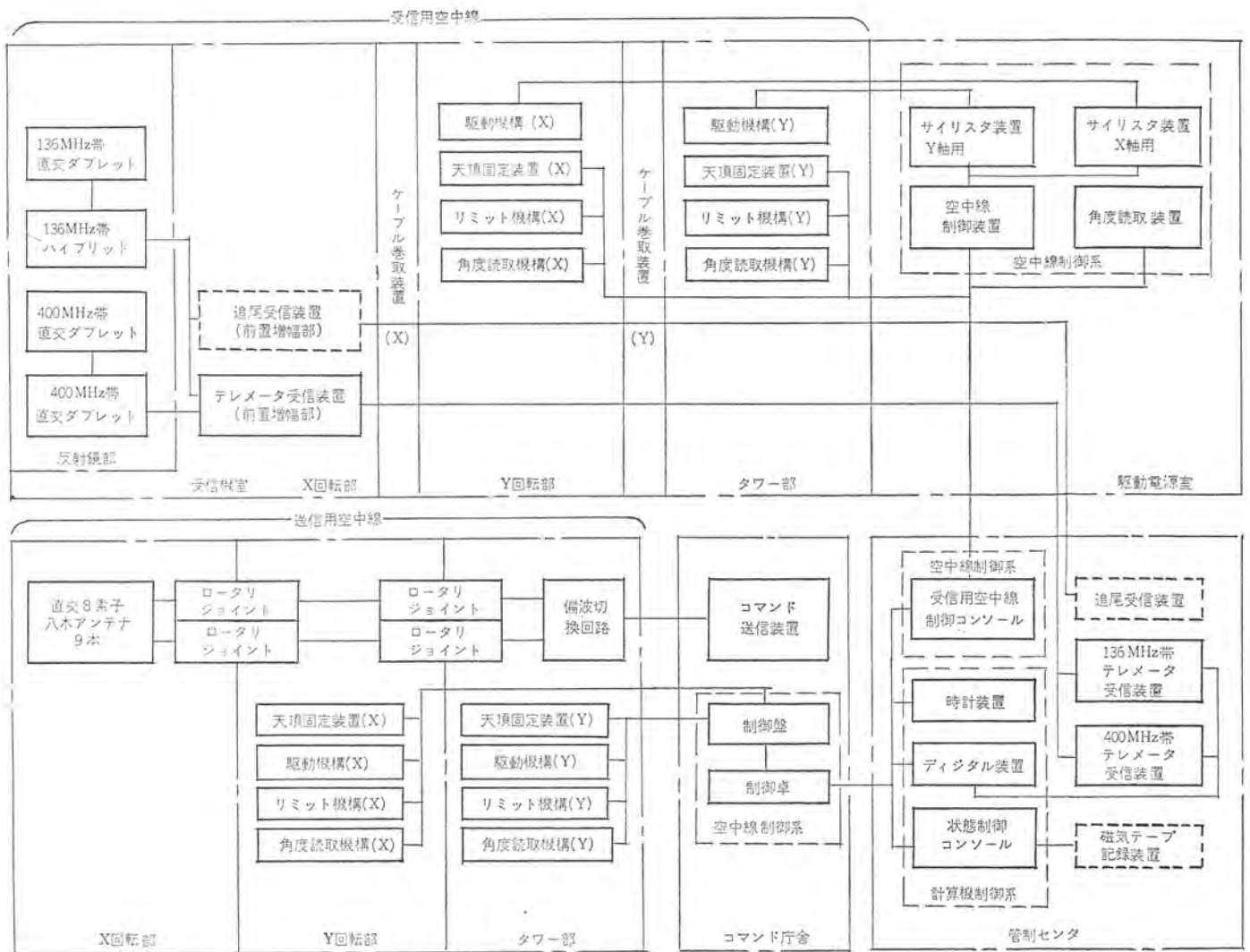


図 3.2 管制施設系統図 Block diagram of ground control facilities.

### 3.2 主要な性能諸元

表 3.1 に、本施設の主要な性能諸元を示す。

### 4. 計算機制御系

#### 4.1 概要

本施設の自動化・省力化のため小形電子計算機を用いて計算機制

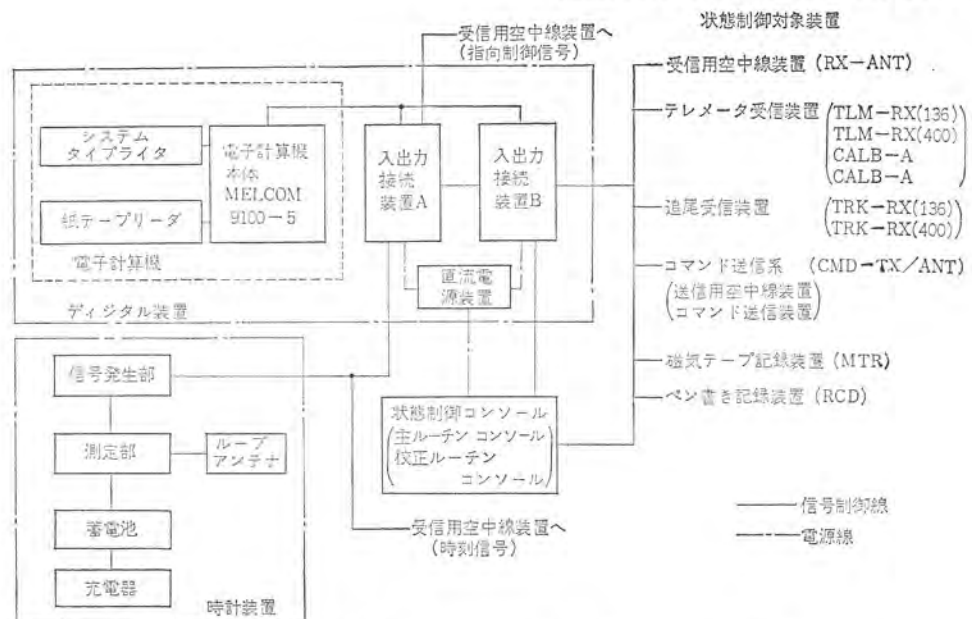


図 4.1 計算機制御系統図 Block diagram of computer control system.



図 4.2 状態制御 コンソール と デジタル 装置  
Status control console and digital equipment.

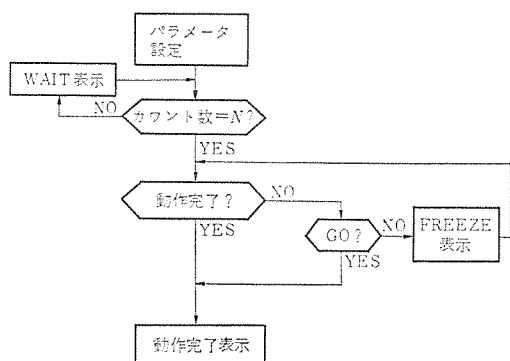


図 4.3 シーケンス 判定 フローチャート  
Flow chart for judgement of sequence.

御をおこなう。

リアルタイム 処理機能としては、観測機器の状態の判断および操作校正を行なう状態制御 プログラム、空中線で衛星追尾するための指向制御 プログラム、ならびにこれらの プログラム の管理をおこなう管理 プログラム がある。

一方、非リアルタイム 処理機能として、衛星の軌道を軌道6要素から計算し、その結果を決められた時間間隔でテープ出力する軌道計算 プログラム を有し、得られた軌道 テープ は指向制御のために用いられる。

これらのことを行なうための計算機制御系の構成を図4.1に、外観を図4.2に示す。

## 4.2 状態制御

状態制御は図4.1に示す対象装置の状態の判断および操作校正を主目的とし、追尾受信装置、テレメータ受信装置の入力レベル校正は、状態制御 コンソール からの命令で自動/手動いずれかを選択でき、手動校正は操作者により、また自動校正はあらかじめ紙テープまたは入出力接続装置Aのスイッチ信号によって、選択された周波数およびレベルにおける校正が行なわれる。

計算機制御におけるシーケンスの進行は図4.3のフローチャートによる判定にしたがう。この一連の判定が完了すれば、動作完了したことが状態制御 コンソール に表示されると同時に次のシーケンスへ移行し、もし途中で異常があれば、シーケンスの進行は停止するが、後のシーケンスの進行に不具合がないと操作者が判定した場合、状態制御 コンソールの「GO」スイッチを押すことによりシーケンスを進めることができる。

また、状態制御 シーケンス の進行中に、被制御装置の異常が生じた場合、シーケンス の進行は一時中断し、異常発生時刻、異常装置名がシステムタイプライタにタイプアウトされ、状態制御 コンソール には異常表示がでる。

その後の全システム動作に影響がないと操作者が判定した場合は、状態制御 コンソール で「GO」スイッチを押すことにより、シーケンス は再び進行するが、異常が発生した装置については、その後すべての命令は実行されない。

上記したシーケンス 進行における信号の授受は、すべて入出力接続装置Bを介しておこなわれる。

## 4.3 指向制御

### (1) 指向制御 プログラム<sup>(2)</sup>

空中線の指向制御をおこなうため、位置指令値と空中線実角度との差を計算して空中線制御系へ送るためのプログラムであり、大別すると、次の三つのレベルのプログラムから構成されている。

- (a) 軌道データ読み込みプログラム
- (b) 時刻一致プログラム(1秒割り込み)
- (c) 内そう(挿)計算プログラム(50ミリ秒割り込み)

軌道データ読み込みプログラムは、データ更新要求により、紙テープからデータ時刻およびX、Y空中線指向角度データを読み込み、フォーマット変換を行なう。

時刻一致プログラムは、時計装置からの1秒クロックパルスで割り込みがかけられ、プログラムがスタートするが、時刻の読み込み、サーチパターンの計算、オフセット角度およびオフセット時間の読み込み、データ時刻と実時刻との比較によるデータ読み込み判定、予測角度および予測角度誤差の表示、ならびにX・Y→Az・El変換を行なう。

内そう計算プログラムは、時計装置からの50ミリ秒クロック割り込みパルスにより開始され、データ間の直線近似による内そう計算および予測角度と実角度との差を計算し、位置誤差として受信空中線制御コンソールへ送出し、空中線を制御する。

### (2) 軌道計算 プログラム<sup>(3)</sup>

軌道6要素から軌道計算を行ない、決められた時間間隔(1分、30秒、20秒任意選択)で可視部分のみ紙テープを出力する。

このテープは、指向制御プログラムにおいて用いられ、摂動補正は軌道6要素のうち近接点引数 $\omega$ 、昇交点赤経 $\Omega$ および周期 $T$ に対して行ない、衛星の位置計算はケプラーの方程式をNewton-Raphson法で解くことによって行ない、軌道テープの中には、空中線を格納位置から待ち受け角に、またパスインド後には格納位置に自動的に誘導するためのデータが含まれている。

## 5. テレメータ受信系

### 5.1 概要

テレメータ受信系は受信用空中線およびテレメータ受信装置から構成されている。

受信用空中線はフロントフィード形パラボラアンテナであり、136 MHz帯・400 MHz帯の両周波数帯で同時に、しかも任意の偏波でテレメータ受信信号および追尾誤差信号を得ることができるよう、偏波ダイバーシティ可能な一次放射給電系となっており、機械構造上は、衛星が真上通過時でも連続して追尾できるようX-Yマウント方式を採用している。

また、テレメータ受信装置は、直交関係の2偏波信号を中間周波においてコヒーレントに最適比で合成し、スレッショルドレベルと出力の信号対雑音比の改善をはかり、また電子計算機による自動校正が可能なように考慮されている。

### 5.2 受信用空中線の電気性能

本空中線は136 MHz・400 MHzの両周波数帯で、同時ロービング

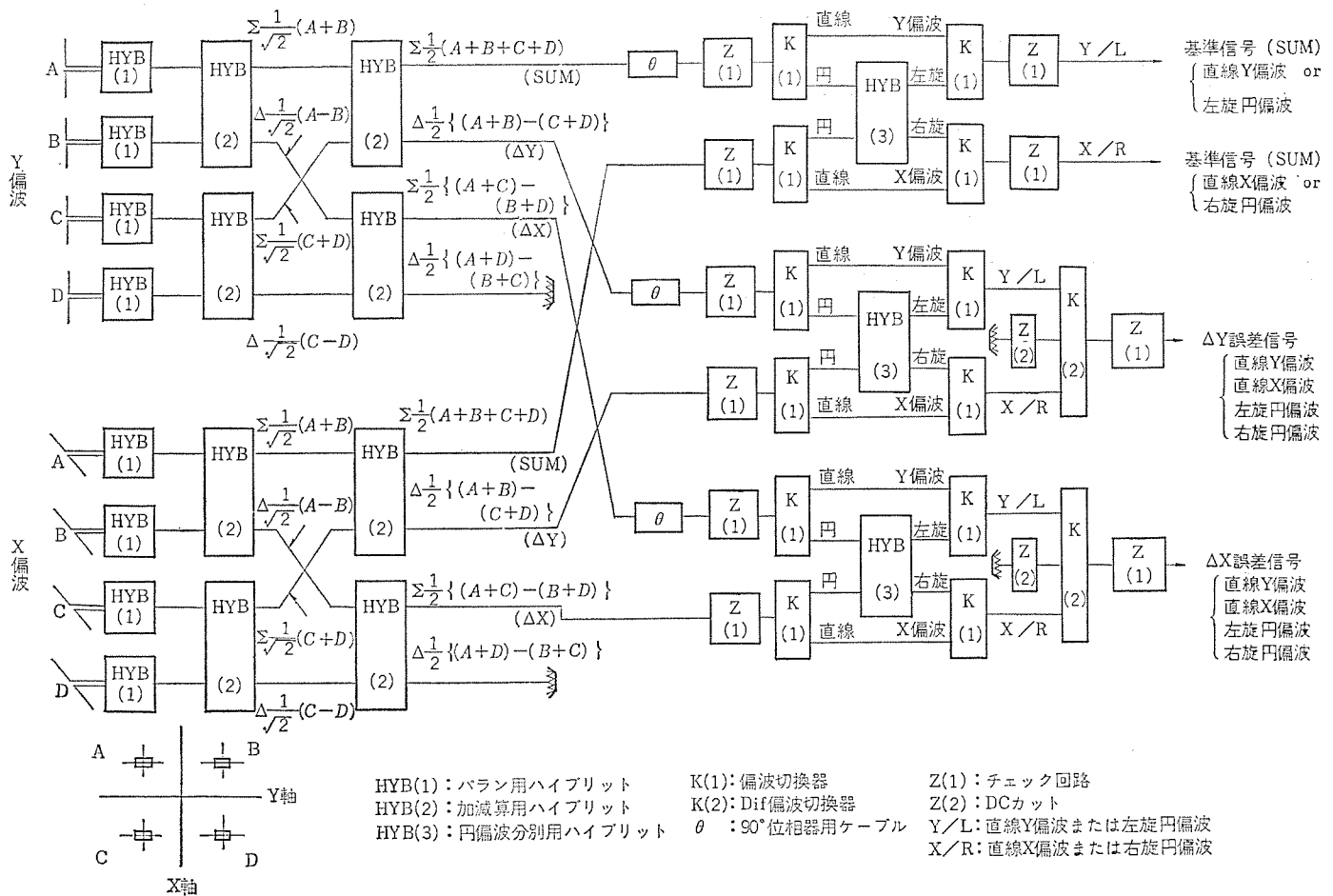


図 5.1 給電系統図

Block diagram of feed system.

による自己追尾が可能であり、直交する二つの直線偏波信号または左旋・左旋円偏波を同時に受信し、テレメータ信号として供給するとともに、直線偏波・円偏波の切換え、追尾誤差信号の偏波選択が中央局舎から遠隔操作で行なえるなどの特性を有している。

これらの特性を実現するために、アンテナ形式をフロントフィード形パラボラアンテナとし、136 MHz・400 MHzの相互干渉、開口能率、追尾誤差感度とX-Yマウント方式に起因する機械的条件を考慮して、開口角を120度としてある。

一次放射器には、任意の偏波を受信でき、しかも直交する二つの偏波信号を同時受信できるように、さらに、両周波数帯で自己追尾信号が得られるようにするため、136 MHz・400 MHzのそれぞれの帯域で動作する反射板付直交ダブルットの4個のアレー方式を採用するとともに、給電装置として、図 5.1 に示すハイブリット回路・スイッチ・移相器を組合せた装置を採用している。

一次放射器の設計・製作に際しては、136 MHz 帯・400 MHz 帯共用化のため、ダブルット間の相互結合・干渉を考慮し、それらの偏波特性をも考慮して、和信号・差信号系の入力インピーダンス特性や、開口能率・追尾特性を最適にするための諸パラメータ決定に多大の実験と理論計算を用なった。

ここで用いたダイポールは、2本の変形ユニポールをハイブリットで励振するもので、ユニポールの給電位置、アレー間隔、反射板との相対位置およびユニポールの長さをパラメータとして選定できる。

給電装置の設計に際しては、周波数特性を良くするために一次放射器に隣接させる必要があり、他方、X-Yマウント形式では一次放射器の重量が全体の重さにかなり影響するので、軽量化を図る必要

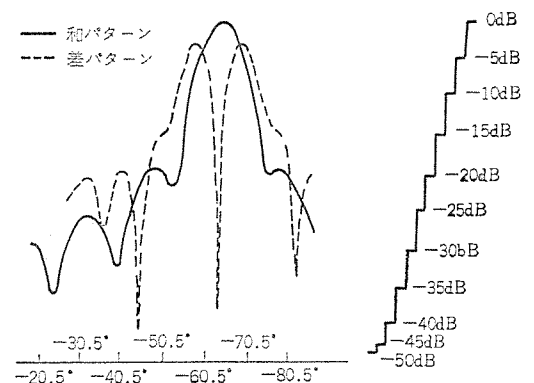


図 5.2 137 MHz パターン  
Pattern at 137 MHz.

があることなどから、多数使用する136 MHz用ハイブリッドを集中定数形に、400 MHz用ハイブリッドを平面回路化している。また、自己追尾特性を良くするため、ハイブリッドなどの個々の部品の損失、パワーバランスを0.05 dB以内に押え、透過位相量のばらつきを2度以内に押え、アイソレーションを35 dB以上にしている。そして、追尾系のクロスカップリング、ヌルシフトを最小にするため、各ダイポールのVSWRのばらつき、構成部品のVSWR、透過位相量のばらつきを十分小さくしてある。

このアンテナの和パターンおよび差パターンの実測値のうちの一つを図 5.2、5.3 に示す。なお、利得・パターンなどの測定は、本空線から約236 m離れた高さ約50 mの鉄塔を用いて行なった。



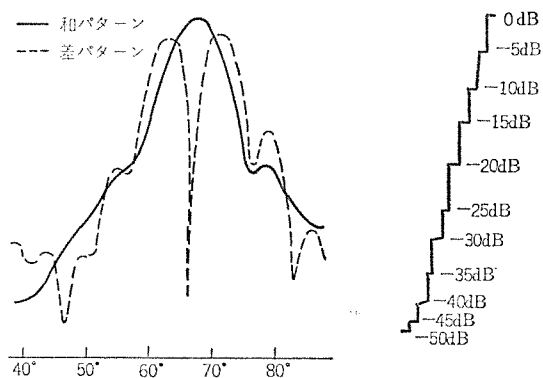


図 5.3 400 MHz パターン  
Pattern at 400 MHz.

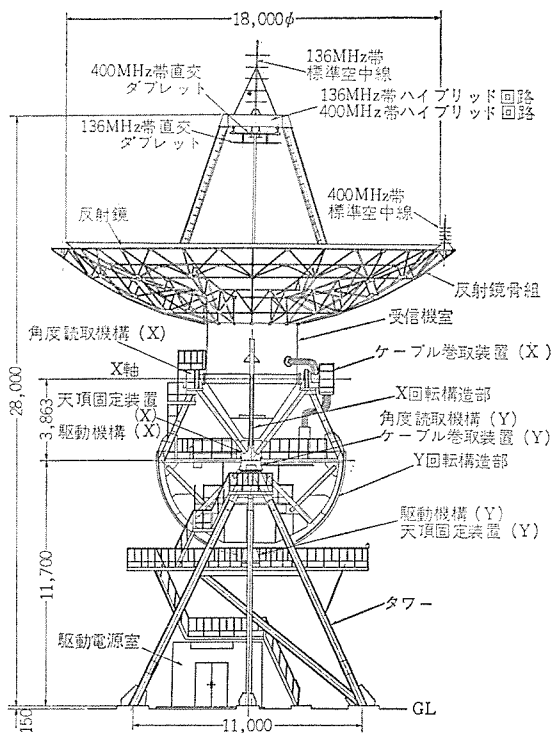


図 5.4 アンテナ構造  
Outline drawing of antenna.

### 5.3 受信用空中線の機械構造

#### 5.3.1 大形 X-Y マウントアンテナの構造設計

大形アンテナの構造設計をおこなう際に、種々の電気性能・指向精度等からの機械的要求性能を満足させることに同時に、いかに効率よく軽量化を図るかという命題がある。

とくに、X-Y マウントの場合、Y 軸をささえるタワー部の構造空間が一定と仮定したとき、アンテナの可動範囲が増大すれば、タワーから反射鏡までの間隔を伸ばす必要があり、重量が増加してバランスウエイトも増大する。

このアンテナでは可動範囲が X 軸 $\pm 90^\circ$ 、Y 軸 $\pm 95^\circ$ と米国アポロ計画で製作されたアンテナの $\pm 70^\circ$ に比較して大きく、いかにして軽量化するかが重要となる。

タワー部の構造設計では、アンテナの固有振動数から要求されるコンプライアンスを満たすと同時に、その構造空間を最小におさえるべく図 5.4 のように 6 本の H 形鋼を主体とした独立の骨組構造とした。

また、このアンテナの設計に際しては、種々のモデルを想定し、各構造部の剛性・強度計算をおこないその最適値を求めた結果、 balan

スウエイトの重量は、X マウント約 30 ton、Y マウント約 85 ton となり当初の計画値よりかなり減少した。

次に各構造部の特長について簡単に述べる。

#### 5.3.2 反射鏡部

設計の主眼を軽量化におき、鏡面を構成する鏡面パネルを 81 分割とし、分割点で重複する補強材の数を減らすとともに、表面材に穴明率 50% のパンチングメタルを使用し、また、鏡面パネルを支持する骨組はその分割を可能なかぎり減らし 16 分割とするとともに、効率のよいパイプトラuss 構造とするなど極力重量の軽減を図った。

しかし、これらの骨組をささえる中心部リングを受信機室外壁と兼ね、剛性の高い補強薄板構造の円筒体としたため、回転による反射鏡の変形はほとんどなく好結果を得た。

また、反射鏡面精度は、当面の 136 MHz 帯・400 MHz 帯ばかりでなく、将来計画中の 2,000 MHz 帯まで使用できるよう、総合で 2.4 mm rms に製作調整した。

#### 5.3.3 X マウント部

直径 4.3 m の円筒と底面を共有する高さ 2.7 m の逆円すい(錐)台の形状をした薄板補強構造であり、円筒部内部は受信機室として使用するため、断面が四角形をした内壁を有し、逆円すい台は X 軸回転用セクタギアの支持構造部としての機能を有するとともに、バランスウエイトを収容している。

これらの板構造の変形に関しては、有限要素法による立体板構造解析プログラムを使用し、厳密にその解析をおこない、軽量化を図るとともに反射鏡の変位量を設計段階でかなり正確に予想できた。

この計算モデルを図 5.5 に示し、得られた変位図を図 5.6 に示す。

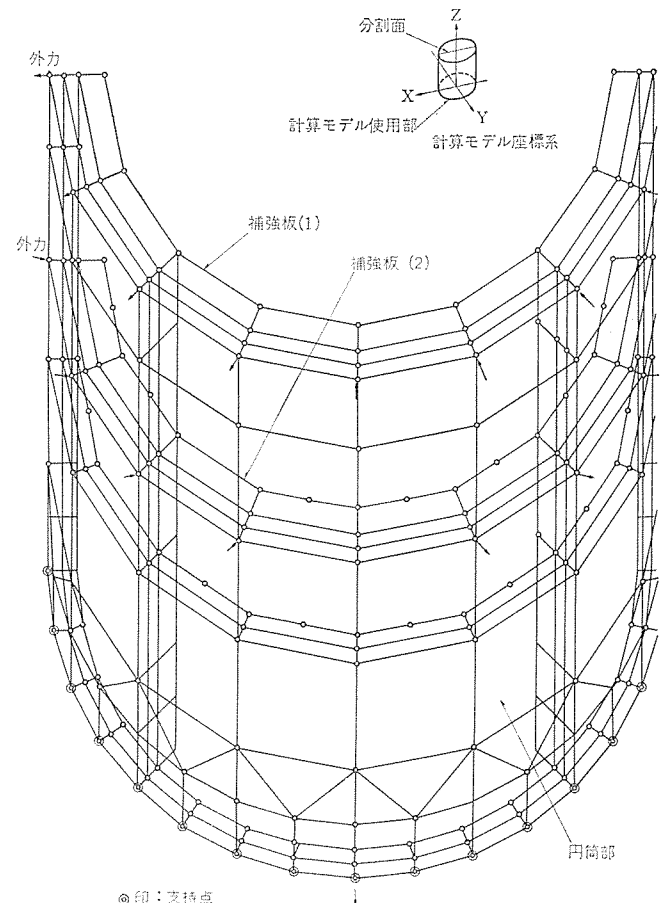


図 5.5 円筒部の計算モデル  
Calculation model of cylinder.

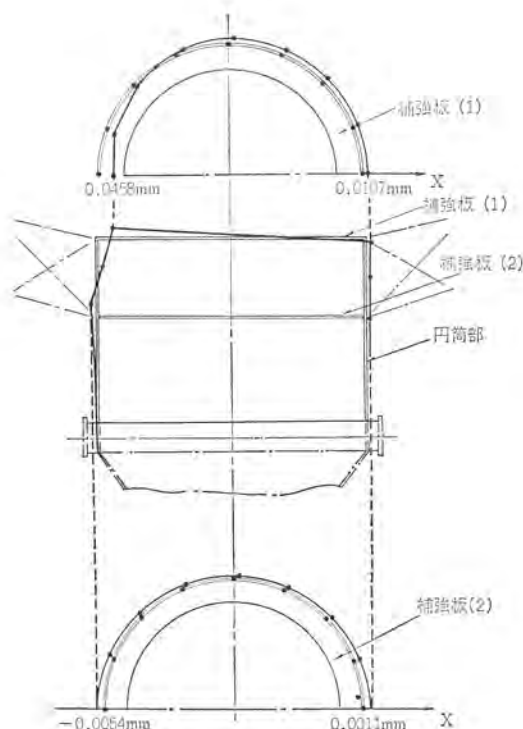


図 5.6 Xマウントの変位図 (風速 20 m/s)  
Deviated diagram of X mount (wind speed 20 m/s).

また、前述した円筒部の二重壁構造は、受信機室空冷のための強制空気循環経路としても利用され、円筒部上面には4個の有圧換気扇を設け、外壁と内壁の空間へ連続的に外気を取り入れ、室内で電子機器が発生する熱を室外に発散させるとともに、直射日光を白色塗装された外壁で遮断し、室内温度の上昇を防ぎ夏期に有効である。

#### 5.3.4 Yマウント部およびタワー部

受信機室のアクセスおよび軽量化を考え、大形のH形鋼を主部材として使用し、極力単純な骨組構造となるよう考慮するとともに、立体骨組解析プログラムを使用し、反射鏡の回転範囲を大きくとり、受信機室へのアクセスは、天頂固定時およびY=90°、X=0°の2姿勢の場合に可能な構造となっている。

また受信機室内のホストでY=90°、X=45°のとき、搬入物を地上から直接受信機室につり込むことができる。

#### 5.3.5 基礎

四つのフーチング基礎からできており、おのおのは十文字および菱形の形状に配した継ぎはり(梁)で連結され、フーチングに加わる横荷重を受けもち、フーチングの転倒を防止している。このアンテナのある敷地付近の地質は地下10mぐらいまでN値が比較的高い細砂であるため、底面の十分広いフーチング基礎とした。

#### 5.3.6 アンテナの固有振動数

このアンテナではX軸・Y軸を中心に3質点系の振動モデルを想定した。一般に3質点系の振動方程式は次式で表わせる。

$$\begin{bmatrix} (k_1 + k_2 - \omega^2 J_1) & -k_2 & 0 \\ -k_2 & (k_1 + k_3 + \omega^2 J_2) & -k_3 \\ 0 & -k_3 & (k_3 - \omega^2 J_3) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varphi_1 \\ \varphi_2 \\ \varphi_3 \end{bmatrix} = 0$$

ここで、 $k_{n=1\sim3}$ : 各質点のばね定数

$J_{n=1\sim3}$ : 各質点の慣性モーメント

$\varphi_{n=1\sim3}$ : 各質点のねじり角度(また曲げ角度)

$\omega$ : 円振動数

そして、このモデルによってX軸・Y軸の回転角度の代表的なものについて解析をおこなった結果、Y軸が90°回転したときのX軸まわりの固有振動数が最も低く約1.7Hzであり、この値は現地での実測値1.7Hzとよく一致した。

#### 5.4 駆動機構とその他の付属装置

X-Yマウントアンテナの実現には、Az-Elマウントアンテナにくらべ、反射鏡部その他が複雑な回転をおこなうために、駆動機構そのほかに、種々の改良工夫がなされている。

##### 5.4.1 駆動機構

###### (1) 駆動装置

電気駆動方式を採用し、その減速機には大形アンテナで初めてハーモニック減速機を使用し、小形軽量化を図るとともに、ハーモニック減速機を過負荷から保護するための機械的ヒューズを使用し、万一きれた場合にも簡単に取換えができるように考慮してある。

###### (2) 歯車減速機潤滑装置

Xマウント駆動のためのハーモニック減速機はYマウント床部に設置されており、Yマウントの回転にともなう減速機内の潤滑油位置が移動し歯車部の潤滑機能を果たさなくなる場合が起こるため、常に減速機内の歯車部を潤滑できるように、強制循環給油方式を採用した。

##### 5.4.2 天頂固定装置

通常アンテナに設置されている固定装置は、回転部の一部にある穴にピンを差し込むタイプのものが多いが、本アンテナでは、回転するマウントのセクタわくの両側に取付けられた、くさびブロックを固定側のくさびシリンダではさみ込み、固定するタイプのものを開発した。外観を図5.7に示す。

このタイプの固定装置の最大のメリットは、ピンタイプのものに比較し、固定位置制御にあまり高い精度を必要とせず、±2mmの位置ずれが生じていてもアンテナを問題なく固定でき、瞬間最大風速60m/sの風荷重に対し十分な固定能力をもつ。

##### 5.4.3 ケーブル巻取装置

反射鏡背面にある受信機室より地上設備までの配線にはX軸・Y軸の回転部分を必ず通過させねばならず、+90°〜-90°の回転範囲を有するX軸用と+95°〜-95°の回転範囲を有するY軸用のケーブル巻取装置が必要である。

X軸用ケーブル巻取装置はYマウントのX軸受部にあり、Yマウントの回転にともなう傾くため、大形のうず巻きばねの伸縮性を利用し、いかなる位置でもその機能をそこなわないように伸縮方向以外は動けないような処置を施してある。

Y巻取装置は自重によりたれ下がったケーブルを軸の回転によって巻き上げたり、降したりする簡単な装置である。

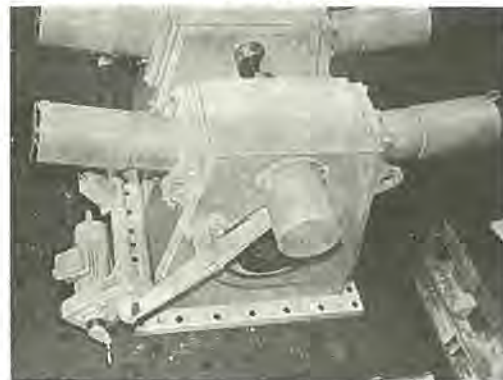


図 5.7 天頂固定装置 (実用新案出願中)  
Stow lock devices.

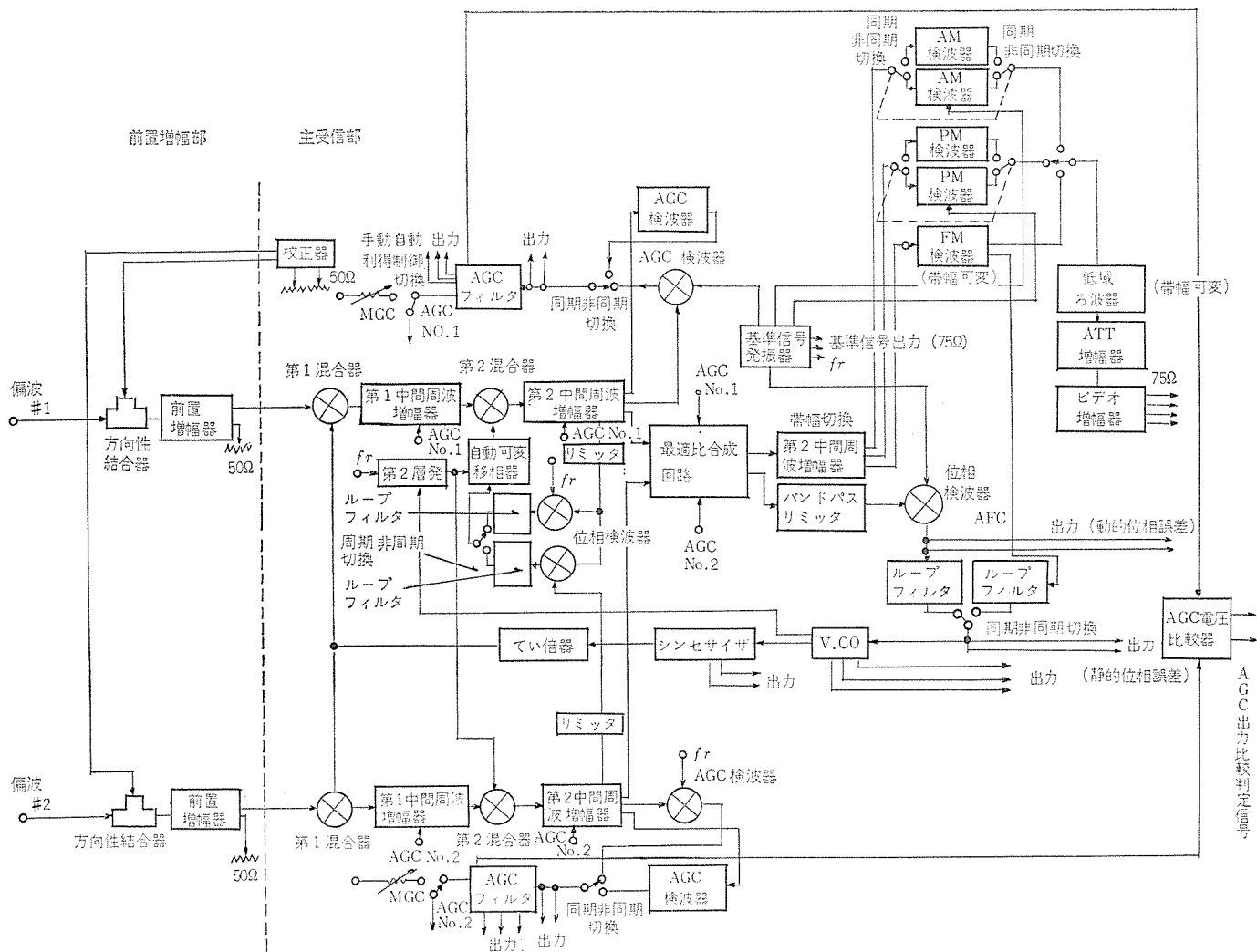


図 5.8 テレメータ受信装置信号系統図

Signal block diagram of telemetry receivers.

## 5.5 テレメータ受信装置<sup>(4)</sup>

本テレメータ受信装置は電離層による偏波性フェージング現象や衛星姿勢による取得データの損失を救うために、偏波ダイバーシティ受信方式とし、第2中間周波帯におけるコヒーレントな最適比合成をおこなって、コンパナ出力の信号対雑音比を最良な状態にし、受信復調している。

すなわち、図5.8に示すようにAGCループ系は各チャネルごとに独立に第1中間周波帯で構成し、第1中間周波増幅器にはdB直線形の利得可変機能をもたせるとともに、自動可変移相器によりコンパナ入力の両チャネルの位相を常に同位相とした後、この両者を前記の両チャネルのAGC電圧で合成比率が制御されるコンパナにより、合成後の信号対雑音比が最大となるように合成される。

自動可変移相器としては、周波数安定化VCO方式を採用している。

また、運用上の省力化のために、本受信装置専用の校正器を設け136 MHz帯および400 MHz帯のそれぞれにおいて、5種類の周波数の選択、-70 dBm~-150 dBmの範囲で5 dBステップの出力レベル選択、ならびにテレメータ受信装置におけるVCO自動掃引などを計算機制御系からの指令で行ない、テレメータ受信装置の出力を記録装置に記録し自動校正をすることができる。

## 6. コマンド送信系

### 6.1 概要

コマンド送信系は電離層観測衛星を追尾し、衛星を制御するための各種のコマンド信号を送信するためのものであり、送信用空中線装置およびコマンド送信装置から構成されている。送信用空中線の外観を図6.1に示す。

送信用空中線装置は直交八木を素子とする方形・アレイ形空中線で、 $151 \pm 5$  MHzの周波数範囲において最大搬送波出力5 kWを送信できる。そのマウント形式は受信用空中線と同様にX-Yマウント方式を採用しており、送信偏波面は南北および東西方向の直線偏波と、左旋および右旋の円偏波の四つを選択切換えて使用できる。

また、コマンド送信装置の出力は衛星の距離に応じ、300 Wおよび5 kW (いずれも搬送波出力)の2段切換が一挙動で行なわれるとともに、送信のON・OFFが計算機制御でできるように考慮されている。

なお、当面の設定周波数は、電離層観測衛星用として148.270 MHz, ALOUETT/ISIS用として148.255 MHzとなっている。

### 6.2 送信用空中線の電気性能

本空中線は直交8素子八木アンテナ9本が方形の架台に取付けられた構造で、前面後面比を良くするため、円形の反射器を使用している。9本の素子は図6.2に示すように配列されており、アンテナ素

子をX形にして送信出力を各アームに分配給電し、給電路の耐電力特性からのサイズアップをさせている。

すなわち、図6.3の系統図のように、コマンド送信装置より送られてきた送信信号をT分岐により2分し、同軸切換器で偏波選択した後、X軸およびY軸のロータリジョイントを通し、ふたたびT分岐により2分配し、さらにおのおの9分岐により分配する。直交する累

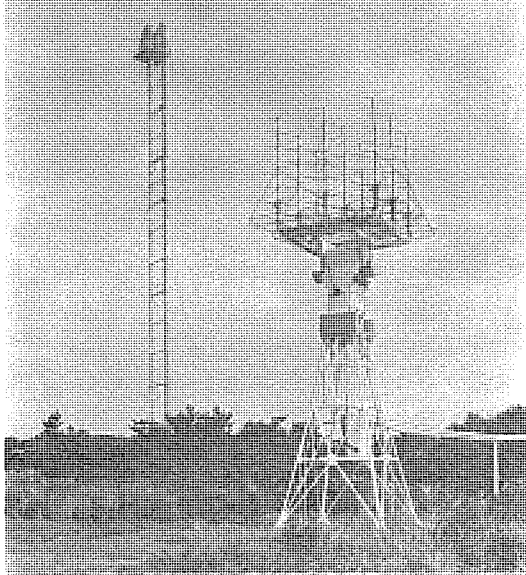


図 6.1 送信用空中線  
Command antenna.

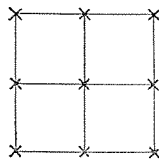


図 6.2 アンテナアレー配列  
Arrangements of antenna array.

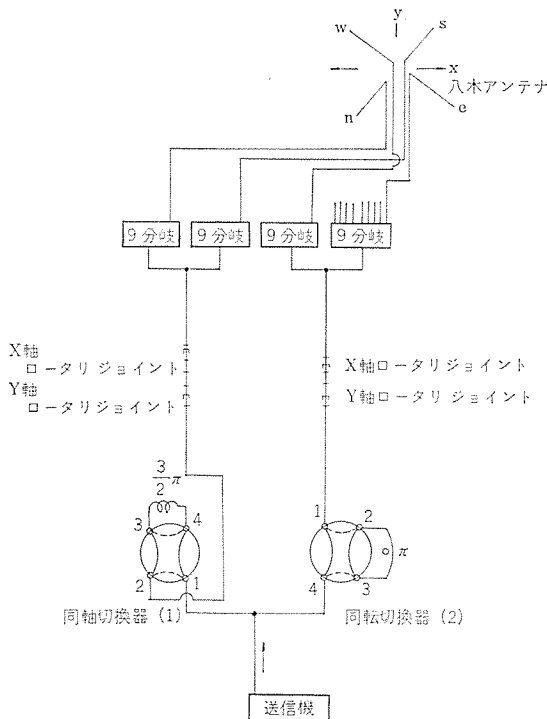


図 6.3 給電系系統図  
Block diagram of feed system.

子から発射された電波は空間で重畳され、目的とする偏波を持つことになる。このように、コマンド送信装置からの大出力は最初に2分されるので、ロータリジョイントの発生熱は全出力を通すのにくらべて半分になるとともに、各素子の受け持つ電界も、X軸およびY軸にそれぞれ平行に配置したのに比べて  $\frac{1}{\sqrt{2}}$  となる。

したがって、給電路は小形化され、大出力に対する信頼性も増加した。

また、コマンド送信装置への反射電力が極力小さくなるように、V SWR を 1.5 以下にしている。

### 6.3 送信用空中線の機械構造

X-Yマウント方式の空中線においては、バランスウエイトの大きさおよび構造が、アンテナの可動範囲と密接な関係があり、図6.1に示すような構造によって、可動範囲およびバランスを満足させている。

また、軽量化はバランスウエイトを小形にし、可動範囲を大きくするためにぜひとも必要であり、このために駆動部はできるだけ小形化する必要があるが、この駆動部の中に5kWの電力を通すロータリジョイントが含まれているため、ギヤ系は、このロータリジョイントを中心として構成され、コの字形の配列を採用した。

### 6.4 コマンド送信装置

コマンド送信装置の信号系統を図6.4に示す。

この装置は対象とする衛星に応じ、周波数および出力を切換えて使用することができるようになっている。

すなわち、周波数切換えは図6.4のA水晶発振器を換えることによって行なわれ、当面は、電離層観測衛星用に148.270 MHz、ALOUETTE/ISIS用に148.255 MHzを発射できるようになっている。

また、出力も2段1挙動切換えであり、300 W および5 kW (搬送波出力) に切換えられる。

300 W 時は7 F 41 R キャビティを終段とし、5 kW 時は8 F 67 R キャビティを終段とする。

そして、振幅変調するときには、出力に応じ300 W 用の変調器と5 kW 用の変調器が切換え使用される。

図6.5に周波数特性を示す。これは1971年、ジュネーブで開かれた宇宙通信のための世界無線主管庁会議で定められたコマンド用の周波数148.0~149.9 MHz に対するものである。

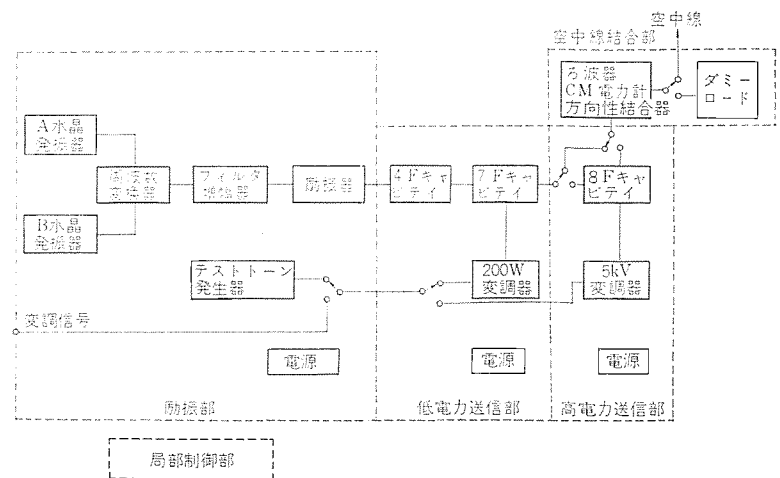


図 6.4 コマンド送信装置系統  
Block diagram of command transmitters.



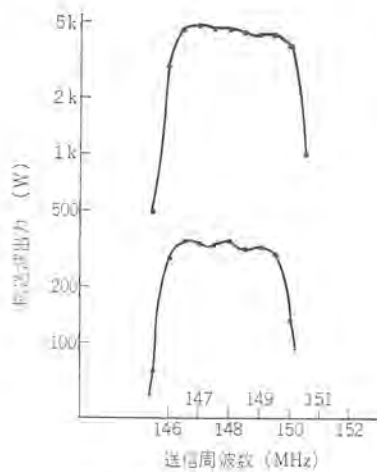


図 6.5 周波数特性  
Frequency characteristics.

## 7. 空中線制御系

### 7.1 概要

空中線制御系は受信用空中線の駆動制御系と送信用空中線の駆動制御系から構成され、通常、送信用空中線は受信用空中線に追従するようになっており、その系統図を図 7.1 に示す。

受信用空中線の駆動制御系の駆動方式は電気駆動であり、その制御モードには自動追尾、プログラム追尾、および手動（速度制御と位置制御）があり、自動追尾およびプログラム追尾は計算機制御により自動的に選択することができる。

また、送信用空中線の駆動制御系の駆動方式も電気駆動であり、その制御モードには追従モード、プログラム追尾および手動（速度制御と位置制御）があり、追従モードを選択しているときに限り、計算機制御により空中線を駆動するための電源の ON・OFF、ならびにコマンド送信のための搬送波出力の ON・OFF を自動的におこなうことができる。

### 7.2 受信用空中線の制御

衛星からのテレメータ信号を正常に受信するために受信用空中線を常に衛星の方向に向けておく必要があり、このために受信用空中線は自動追尾・プログラム追尾・手動の各モードで駆動制御できるようになっている。各モードにおける機能を以下に示す。

#### (1) 自動追尾モード

このモードは衛星を自動的に追尾するためのものであり、追尾誤差を検出するのにモノパルス方式を採用している。

追尾電波（ビーコン波）は、136 MHz 帯あるいは 400 MHz 帯のいずれでも追尾でき、衛星が両周波帯のビーコン波を有する場合には、136 MHz 帯では促した後自動的に 400 MHz 帯に移行し精度のよい追尾ができる。

また、衛星の運動による定常速度誤差をなくすために、2 形のサーボを形成しているが、2 形サーボのままでは促時の追尾誤差が大きい場合にオーバーシュートが大きくなるため、誤差レベルに応じて 1 形と 2 形の系を切換えて、オーバーシュートの少なくかつ定常速度誤差がない系としている。また、追尾信号の信号対雑音比に応じて 3 段階のサーボ帯域幅が選択できる。

#### (2) プログラム追尾モード

このモードでは計算機制御系から送られてくる誤差信号、すなわち軌道テープの指令値と空中線の実角度との差を増幅し空中線を駆

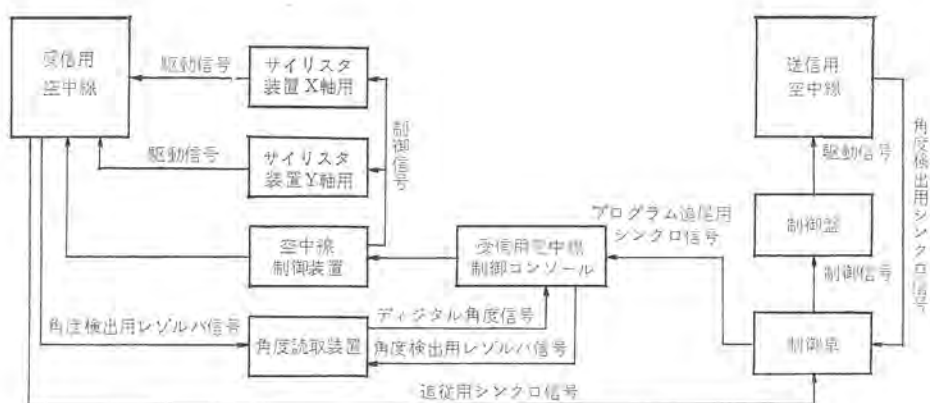


図 7.1 空中線制御系系統図  
Block diagram of antenna control system.

動して、軌道テープの指令値に一致するように空中線を指向させる。

また、衛星をできるだけ早く捕捉するためにサーチモードを持っており、軌道テープの誤差を修正するために時刻オフセット、角度オフセットなどが加えられるようになっている。

#### (3) 手動モード

手動モードには位置制御モードと速度制御モードとがあり、位置制御モードでは手動シンクロに直接指向させるべき角度を手動にて与え、速度制御モードではポテンシオメータによって速度指令が与えられる。

制御ループ内には駆動電動機の電流制限回路が含まれ、駆動用電動機の出力トルクを制限して、駆動部に過大トルクが加わらないように考慮されている。

速度制御範囲は  $0.01^\circ/\text{s} \sim 2^\circ/\text{s}$  の広範囲にわたってなめらかに制御できる。

### 7.3 送信用空中線の制御

衛星にコマンド信号を送るためには、送信用空中線を衛星の方向に向けておかねばならない。

このために、送信用空中線は通常衛星を追尾している受信用空中線に追従するようになっており、このほかに、単独に送信用空中線を駆動制御するために、プログラム追尾および手動のモードがある。各モードにおける機能を以下に示す。

#### (1) 追従モード

送信用空中線の制御モードには自動追尾モードの代わりにこのモードが存在し、受信用空中線からシンクロ発振機信号として送られてきた信号をシンクロ制御変圧器で受け、その誤差を増幅し、駆動用電動機を駆動し、送信用空中線を常に受信用空中線に追従させるモードであり、サーボ系の追従誤差は  $0.1^\circ$  以下である。

#### (2) プログラム追尾モード

受信用空中線のプログラム追尾モードと同じであるが、現在送信用空中線装置にはデジタル角度信号を送出する装置がないため、受信用空中線装置で一度フォローし、角度読取装置を使用し、送信用空中線のデジタル角度信号を送出するようになっている。

#### (3) 手動モード

手動モードには位置制御モードと速度制御モードとがあり、位置制御モードは追従モードのシンクロ発振機の代わりに、手動シンクロ発振機から角度信号が与えられるようになっている。

また、速度制御モードはポテンシオメータによって速度指令が与えられ、駆動部に過大トルクが加わらないように考慮され、 $0.01^\circ/\text{s} \sim 2.5^\circ/\text{s}$  の範囲にわたってなめらかに制御できる。

## 8. む す び

以上、電離層観測衛星管制施設の概要について述べたが、本施設はわが国における初の実用衛星を対象とした本格的衛星管制施設であり、種々の分野にわたる広範な技術を集結してわれわれ独自に開発完成した世界的水準のものである。

現在、本施設はカナダ電離層研究衛星を用いた電離層観測に参加し、順調に作動中であるが、本プロジェクトを通じて開発された技術、経験をさらに発展させ、いよいよ本格的段階を迎えるわが国実用衛星計画において役に立ちたいと考える。

最後に、つねに適切なご指導をいただいた、郵政省電波研究所川上衛星研究部長・同鹿島支所石田支所長をはじめとする電波研究所関係各位、設計・製作にご協力いただいた日本電気(株)・東京芝浦

電気(株)の関係各位、ならびに三菱電機(株)鎌倉製作所電子機器研究部武市主任研究員・水沢主任研究員ほか関係各位に深謝の意を表します。

## 参 考 文 献

- (1) 平井ほか：電離層開発衛星の開発，三菱電機技報，47，No. 3 (昭48-3)
- (2) 山内ほか：衛星追尾用指令制御システム，三菱電機技報，43，No. 11 (昭44-11)
- (3) 上田ほか：宇宙通信特集号，電波研究所季報，10，No. 12，PP 220～237 (昭39-11)
- (4) 船川ほか：電離層観測衛星テレメータ受信装置，日本電気技報，No. 103，PP 121～128 (昭47-5)

# ロケットとう(搭)載電子機器 (LSC-6)

小泉 深吉\*・柴藤 羊二\*・十亀 英司\*

渡辺 篤太郎\*・山本 哲\*

近藤 五郎\*\*・小林 督智\*\*・橋本 功\*\*

## Rocket-borne Electronic Apparatus (LSC-6)

National Space Development Agency of Japan Shinkichi KOIZUMI・Yoji SHIBATO・Eiji SOGAME

Atsutaro WATANABE・Satoru YAMAMOTO

Mitsubishi Electric Corp., Kamakura Works Goro KONDO・Masanori KOBAYASHI・Isao HASHIMOTO

Mitsubishi has had a good many achievements in the development of rocket-borne electronic apparatus since the outset of project in 1960. Among them conspicuous is the LSC rocket series built for the National Space Development Agency, in which up to the seventh unit has been turned out in succession. At present based on the experience accumulated and the technique polished up so far a large rocket-borne unit is under construction with the intention of working on a rocket for launching a satellite for practical purposes.

This article describes the configuration and the performance of a L band transponder, a VHF emergency stop receiver and a PAM-FM-PM P band telemeter transmitter borne by a LSC-6 unit launched in September, 1972 at the Tanegashima Space Center.

### 1. ま え が き

昭和35年、科学技術庁委託研究としてスタートしたロケットとう(搭)載電子機器は、幾多の変遷を経て宇宙開発事業団のLSC-7号機へと発展した。そして現在、実用衛星打上用大形ロケットのとう載電子機器としての開発が進行中である。本文では、ロケットとう載電子機器として最も基本形となるLSC-6号機について説明する。LSC-6号機は、昭和47年9月25日、宇宙開発事業団種子島宇宙センタから打上げられたものである。

LSC-6号機のとう載電子機器はトランスポンダ装置、応急停止受信装置およびテレメータ送信装置から構成される。各機器はアンテナ系をのぞき、図1.1に示すような円すい(錐)状のフレームに装着され、ロケットノーズコーン内に収納される。アンテナ系は2段目前部胴周に装着されている。

トランスポンダ装置は地上レーダ装置と組合せて、ロケットの飛しょう径路の計測に使用される。応急停止受信装置はロケット飛しょう径路に異常が生じた場合、ロケットの燃料のシャ断等応急指令を受信する。テレメータ送信装置はロケットの飛しょう状態の計測および各機器の作動状態のモニタ等を行なう。テレメータ送信装置は、テレメータ項目が多数のため、2系統とう載し、伝送容量の増大を計っている。

### 2. トランスポンダ装置

トランスポンダの機能ブロック図を図2.1に、外観を図2.2に示す。

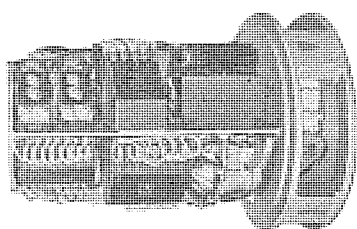


図 1.1 LSC-6 とう載電子装置  
LSC-6 rocket-borne electronic device.

アンテナは、送信用4素子、受信用4素子で構成され、ロケット2段目サステナの前部胴に埋込まれる。このアンテナの放射体は、ガラスエポキシの両面パターンプリント基板による頂部装荷モノポールアンテナを採用している。ロケットのスピンの軸に直角な面に対して切込みの少ない放射パターンを得るため、ロケットの外周上にリング状に4素子配列している。

受信部は、ミキサおよび局部発振器から構成され、ミキサには、1N416F、局部発振器には、ペンシル管5794Gを使用している。5794Gは、ロケットの機械的環境条件に十分耐えるようその保持方法は、特に考慮した設計になっている。IFは26MHzである。

IFおよび検波、ビデオ増幅部では、単一同調回路4段で帯域幅3

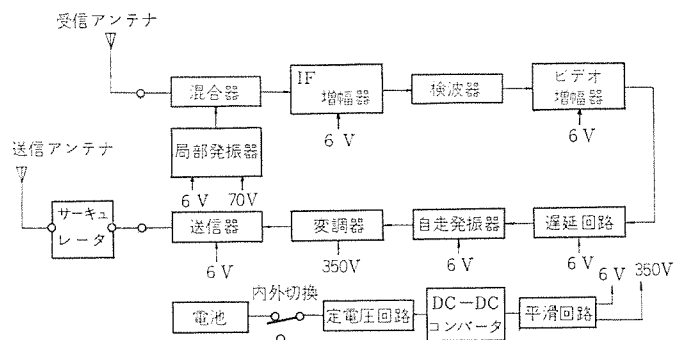


図 2.1 トランスポンダ装置機能ブロック図  
Transponder function block diagram.

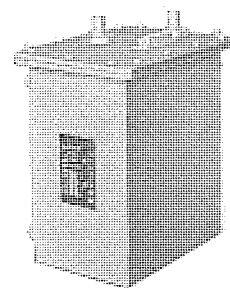


図 2.2 Lバンドトランスポンダ装置  
L band transponder.

表 2.1 トランスポンダ 装置主要性能  
Transponder main performance.

諸 元	性 能
受 信 周 波 数	1,673±2 MHz
送 信 周 波 数	1,687±2 MHz
送 信 パ ル ス 幅	約 2 μs
変 調 方 式	PAM 方式
パ ル ス 繰 返 周 波 数	500 PPS (フリーラン時, 約400 PPS)
送 信 電 力	約 100 W (Peak)
最 小 ト リ ガ レ ベ ル	-70 dBm 以下

MHz, 利得 約 71 dB で増幅後, ダイオードによる振幅検波を行ない, ビデオ増幅部で約 24 dB 増幅して, 受信パルス信号を出力する。

受信パルス信号は, 地上レーダの最小トラッキングレンジ 2 km を考慮して, 約 15 μs の遅延を行ない, 自走発振器をトリガする。自走発振器は非安定ブロッキングオシレータで構成され, 受信信号のないときは, 約 400 PPS で発振し, 受信時には受信信号に同期する。

変調部では, パルス波形を整形し, 送信管のパルス電力約 1,000 V P-P を発生する。線路形パルス変調器を用いている。

送信部は, 変調部の高圧パルスを受けて, 1,678 MHz の高周波出力を発振する送信管および空洞共振器から構成されている。送信管には, ペンシル管 5893 を用いて, せん(尖)頭出力 約 100 W を出力する。高周波出力は, その周波数の変動を防止するため, サーキュレータをアイソレータとして使用し送信アンテナに給電される。

電源部は, アルカリ二次電池による電池と, 定電圧回路, DC-DC コンバータ等から構成され, 各部に必要な電力を発生する。電池はトランスポンダ単体として装備し, 他の機器とは共用しない。また地上試験時には外部電源から電力供給ができるよう, 内部電源・外部電源切換機能をもっている。

トランスポンダ装置の主要性能を表 2.1 に示す。

### 3. 応急停止受信装置

応急停止受信装置の機能ブロック図を図 3.1 に, 外観を図 3.2 に示す。

アンテナは, フック形式であり, ロケット2段目の前部胴に2個対向して装着して, 各素子は互いに逆位相給電されている。このアンテナは機体によって生じるイメージアンテナと一種のダイポールアンテナを形成し, 両素子が逆位相給電されているため全体としては同相のアンテナアレーになっている。放射特性は, ほぼ無指向性である。アンテナ素子は, 機体に対して突起しているため, 飛しょう中の摩擦熱・風圧等に十分耐えるよう, その材質・機構的な強度に対して十分な考慮がなされている。

受信部は, プリセクタ・RF増幅器・ミキサ・局部発振器・IF増幅器・弁別器・トーンフィルタ・トーン検波器等から構成される。局部発振器は水晶制御発振器により, またミキサは, IC (M 57204-1 H) を使用して中間周波数 10.7 MHz を出力する。IF 段は, IC (M 5133 T) による2段増幅とし, 帯域制限は, クリスタルフィルタによっている。リミッタは IC (M 5133 T) を使用し, 周波数弁別器は, 水晶によっている。弁別器で得られた低周波信号はパッファアンプを通した後, 帯域の非常にせまいトーンフィルタを通し, 3 kHz と 4.5 kHz の弁別を行ない, 増幅した後, ダイオードによる振幅検波を行ない, 端局部への制御信号を出力する。

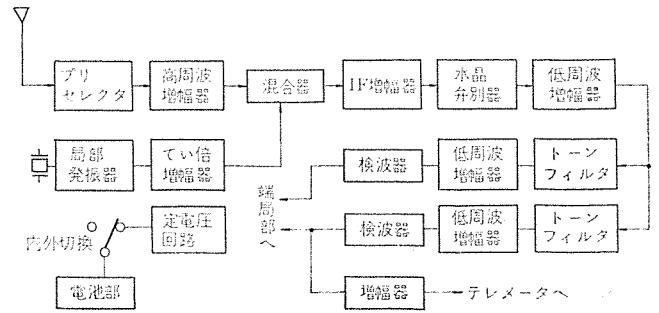


図 3.1 応急停止受信装置 機能ブロック図  
Emergency stop receiver function block diagram

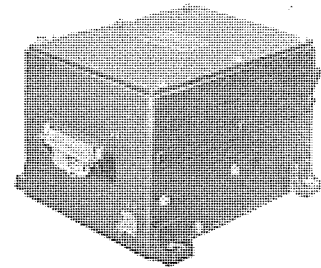


図 3.2 応急停止受信装置  
Emergency stop receiver.

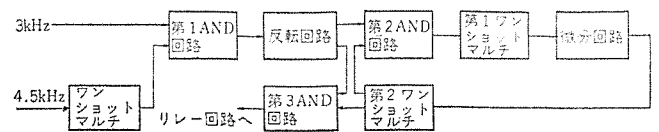


図 3.3 受信端局部 機能ブロック図  
Receiving end station function block diagram.

端局部は, 受信制御信号によって, スwitching 回路を駆動し, リレー回路を動作させて応急停止用爆管に信号を出力するためのものである。端局部の機能ブロック図を図 3.3 に示す。3 kHz と 4.5 kHz の入力相互に反転した形のダブルパルスになっており, 一方をゲートにして同時に反転させ両者を第 1 AND 回路に入れる。次に反転回路を通して第 2 AND 回路に入るが, ここでは 2 発目のパルスを消去するための入力との AND になっている。ダブルパルスの 1 発目は次段の第 1 ワンショットマルチをたたく。このマルチの出力パルスの立下り部分は微分回路を通して第 2 ワンショットマルチをトリガする。第 2 ワンショットマルチの出力は第 2 AND 回路へも導かれており, これでダブルパルスの 2 発目が第 1 ワンショットをトリガするのを防いでいる。第 2 ワンショットマルチと第 1 AND 回路の出力は, 第 3 AND 回路に入りこの出力はシングルパルスとなる。リレー回路では, ステップカウンタにより約 11 発のパルスが続いて入るとリレーが動作するようになっており, 爆管部へ信号を送る。

電源部は, アルカリ二次電池・電圧安定化回路から成り, 各部に必要な電力を供給する。電池は応急停止受信機用として単独に使用している。また, 地上試験時には, ロケット外部から, 外部電源によって動作できるよう, 内部電源・外部電源切換機能をもっている。

応急停止受信装置の主要性能を表 3.1 に示した。

### 4. テレメータ送信装置

テレメータ送信装置は 2 系統の回線から構成されており, その機能ブロック図を図 4.1 に示す。各系統の構成は, プリアンプ群・PAM コミュテータ・校正器・副搬送波変調器・送信機・電源・アンテナ系から成り, アンテナ系は両系統共用である。多重化方式および変調方式は,

表 3.1 応急停止受信装置主要性能

諸 元	性 能
受 信 周 波 数	170 MHz 帯
受 信 信 号 変 調 方 式	PCM-FS-FM 方式
信 号 形 式	ダブルパルス方式      パルス幅    2 ms パルス間隔   16 ms パルス繰返周期   64 ms
F M 最 大 偏 移	FSK 方式    3 kHz および 4.5 kHz
受 信 感 度	12 kHz -85 dBm 以下
作 動 時 間	約 0.7 s

各系統とも、PAM-FM-PM (FM-PM のチャネルもある) 方式によっている。伝送容量は両系統で92チャネルである。テレメータ系の主要性能は表4.1のとおりである。

(1) アンテナ系

このアンテナは1/4波長折返し形を変形したもので、2素子から構成されロケット2段目の前部胴に対向して埋込まれる。各素子の給電は逆相給電である。対向している1組のアンテナは機体によって生じるイメージアンテナのアーリーと考えることができ、放射パターンは全方向ほぼ均一である。2系統の送信電力はサークュレータおよびパワーデバイダから構成される整合器によって1組のアンテナに給電される。

## (2) 送信機

原発振には水晶振動子を使用して周波数の安定化を計り約 8.2 MHz で発振する。この原発振器の出力を変容量 ダイオード を用いて位相変調し、36 倍 (通) 倍して、所定の位相偏移と送信周波数とを得ている。これは、変調入力信号としての副搬送波複合信号 (960 Hz ~ 70 kHz) に対して、低ひずみ (歪) 率で大きな位相偏移を与えるための考慮である。終段電力増幅部には、低電圧で高能率に動作する 500 MHz 用 トランジスタ を使用して消費電力の減少を計っている。

### (3) 副搬送波変調器

14 個の電圧制御形発振器 (VCO) から構成される。制御方式は、入力信号対発振周波数の直線性、周波数安定度を考慮して、無安定マルチバイブレータのベース電圧を入力信号で制御する方法をとっている。温度変化に対する周波数ドリフトの補償はセミスタを使用している。発振波形は方形波であるから、その高調波成分が他チャネルに混入して漏話するため、帯域フィルタを使用して各チャネルともひずみ率を 1 % 以下に抑えている。外形を図 4. 2 に示す。

#### (4) PAM コミュテータ

30 CH の アナログマルチプレクサであり、PAM 多重化信号を発生する。PAM 波形は、75 PPS, RZ の IRIG 標準によっている。アナログスイッチは MOS 形 LSI を使用して、小形軽量化を計っている。

(5) プリアンプ 群および校正器

機体の加速度、各部の温度、推進系の モニタ、姿勢制御系の モニタ等から出力される各種物理量を、PAM コミュテータおよび副搬送変調器の入力レベルに適する電圧信号コンディショニングする機能をもつ。校正器は、副搬送変調器入力以降のテレメータ系の校正を行なうためのものであり、打上前のタイムスケジュール中に機体外から制御され、階段状の基準電圧を発生する。

## (6) 電 源

電池はアルカル二次電池を使用し、地上試験時には機体外部からの外部電源に作動できるよう内部・外部電源切換機能が付加している。

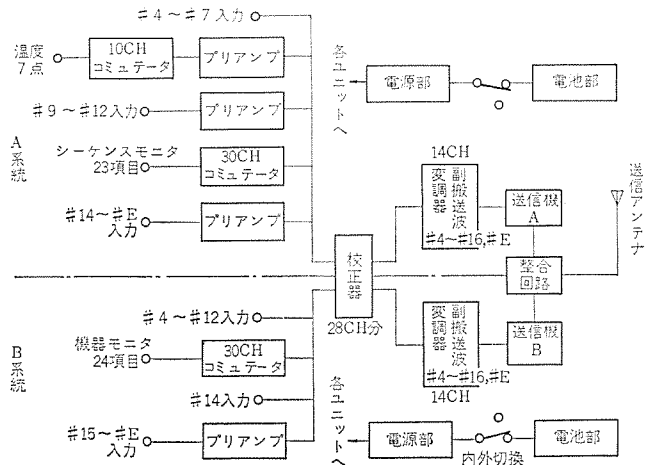


図 4.1 テレメータ送信装置機能ブロック図  
Telemeter transmitter function block diagram.

表 4.1 テレメータ送信装置主要性能  
Telemeter transmitter main performance.

諸	元	性	能
主 搬 送 波 周 波 数		295.0 MHz (A 系統)	
		295.6 MHz (B 系統)	
主搬送波最大周波数偏移		$\pm 120 \text{ kHz } \left( \pm 0.30\% \right)$	
送 信 出 力		0.8W $\left( \begin{smallmatrix} +20 \\ -50 \end{smallmatrix} \% \right)$ 以内	
ス プ リ ア ス		基本波レベルに対し -30 dB 以下	
副搬送波チャネル数		14 個 (A, B 共)	
副搬送波中心周波数		IRIG, STD #4~#16, #E	
副搬送波最大周波数偏移		各中心周波数の $\pm 7.5\%$	
		E チャネルは $\pm 15\%$	
副搬送波入力信号電圧		0~+5 V (+2.5 V 中心)	
電 池 出 力 電 圧		17.5 V $\pm 2.5$ V	
電 池 容 量		3.0 AH 以上	
校正信号出力波形		11 段階 (0~+5 V の間を 0.5 V おき)	
校正信号精度		フルスケールの $\pm 1\%$ 以下	
ブリアンプ適合センサ		120 $\Omega$ , 350 $\Omega$ ストレンゲージ	
		サーミスタまたは熱電対圧電センサ	
ブリアンプ出力信号レベル		0~+5 V (最大計測値)	
電 源 入 力 電 圧		17.5 V $\pm 2.5$ V	
電 源 出 力 電 圧		$\pm 12 \text{ V} \pm 1 \text{ V}$	
		4 V $\pm 0.1 \text{ V}$ (ゲージ用)	
30 CH コミュテータ波形		IRIG, STD, RZ 波形	
30 CH 出 力 電 圧		データ最大値 } 5 V	
		同期信号 } 同	
		データ最小値 1 V	
		ゼロレベル 0 V	
30 CH フレームレート		2.5 フレーム/秒	
10 CH コミュテータ波形		NRZ 波形 10 チャネル	
10 CH フレームレート		1 フレーム/秒	
10 CH データチャネル		7 チャネル	

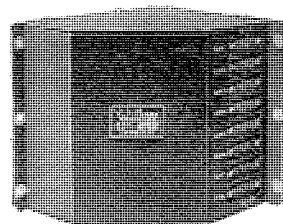


図 4.2 副搬送波変調部  
Sub-carrier wave modulator.



## 5. む す び

以上 ロケット とう 載電子機器の最も基本形としての LSC-6 号機の各構成品について述べた。これらの基礎技術をもとにして、現在、実用衛星打上げ用大形ロケットのとう載機器としての高信頼度化、耐環境性の強化、保全性の強化等を考慮した機器の開発および試作を

行なっている。すでに試作した機器は、S バンド テレメータ 送信機・P CM テレメータ エンコーダ・C バンド トランスポンダ・L バンド 応急停止受信機、またこれらの アンテナシステム 系等がある。これらについては別の機会に紹介したい。

終わりに、開発および試作、製作にご協力いただいた関係者各位に深甚の謝意を表します。

## 中距離追尾レーダ装置

菅野 和平\*・三浦 雅男\*  
遠藤 義昭\*\*・尾形 良征\*\*・倉田真喜夫\*\*

## Medium Range Tracking Radar

National Space Development Agency of Japan Wahei SUGANO・Masao MIURA  
Mitsubishi Electric Corp., Communication Equipment Works Yoshiaki ENDO・Yoshiyuki OGATA・Makio KURATA

The guidance radar playing the principal part of leading a large three stage N rocket to be launched by the National Space Development Agency in 1975 has entered into production. In connection with the project a medium range tracking radar has been developed ahead of the guidance radar for the purpose of acquisition of the flying object and of back up. The distinctive features of this radars are as follows. Its angular accuracy is 0.03 deg that is in the highest level as a conical scanning system. It employs all electronic digital ranging for its range measurement system. Also it has two antennas arranged on the same mount for initial catching and tracking of the rocket to effect safe and secure change over from acquisition to fine tracking.

## 1. ま え が き

昭和50年に打上げられる大形多段ロケットの開発の一環として、ロケットの電波誘導を行なうための誘導レーダが計画されているが、誘導レーダの初期捕捉の支援ならびに射場安全に供するようにと、誘導レーダに先行してCバンドのレーダとして中距離追尾レーダの開発が計画され製作された。

本レーダの性能は最大追尾可能距離1,400 km、角度追尾精度0.03 deg rms、でコニカルスキャン方式としては最高水準のものであり、また距離追尾方式としては全電子式デジタルレンジングを採用し、距離精度10 m rmsで高精度である。

ここでは三菱電機が製作担当した、アンテナ・受信装置・管制装置、等を含む角度追尾系を中心にして、その概要を報告する。

## 2. 装置の構成と性能

## 2.1 構成と主要機能

本レーダの主要構成とブロック図を図2.1に示す。角度追尾系をなすものは空中線装置・空中線制御装置・受信装置・管制装置などである。

空中線装置は、直径4 mφの精密追尾用精アンテナと直径0.8 mφのロケット捕捉および初期追尾用粗アンテナで構成される。ともに同一のアジマス-エレベーション駆動機構にマウントされている。空中線装置の外観を図2.2に示す。

粗アンテナは精アンテナの右端にとりつけられ、精粗アンテナ反射鏡はともにパンチドメタルのパラボロイドである。

両アンテナともにコニカルスキャンによる角度追尾方式で、コニカルスキャン

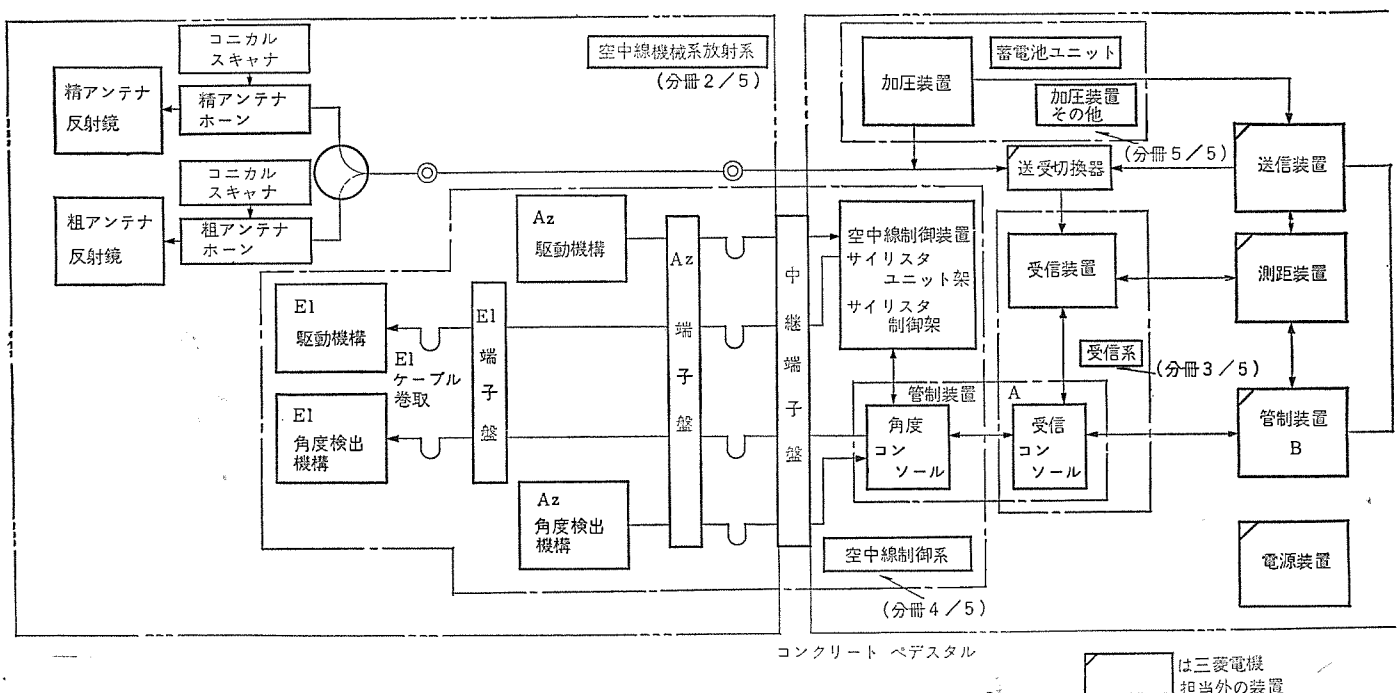


図 2.1 中距離追尾レーダの構成とブロック図  
Blockdiagram of the medium range tracking radar.

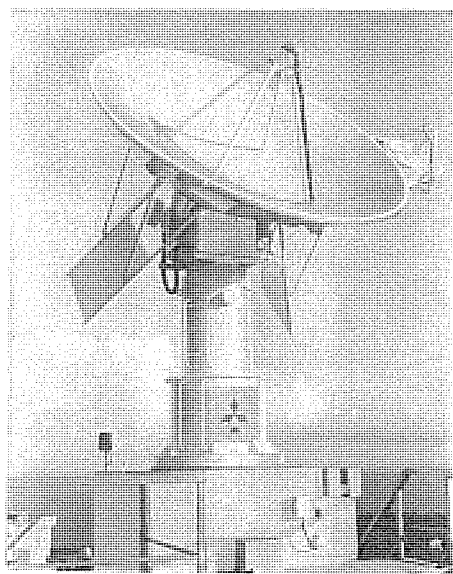


図 2.2 空中線装置  
Antenna of the medium range  
tracking radar.

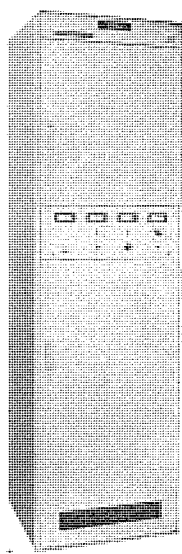


図 2.3 受信装置  
Tracking receiver  
Equipment.

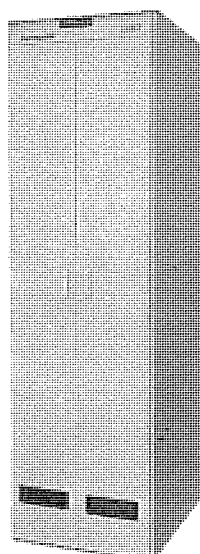


図 2.4 空中線制御装置 (同一架2架で構成される)  
Antenna control Equipment.

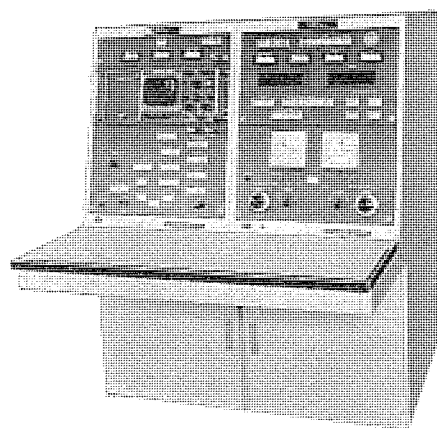


図 2.5 管制装置  
Monitor and control consoles.

ナと基準電圧発生機を有し、フロントフィードによる給電方式をとっている。

粗アンテナは約 $5^\circ$ の広いビーム幅を有し、ロケットの初期捕捉のために用いられ、捕捉後は精度の高いビーム幅約 $1^\circ$ の精アンテナの追尾系へ切換えられる。切換えは導性管切換器で行なっている。

コニカスキャンにより振幅変調された受信パルス(一次レーダモードのときはロケットからの反射性、二次レーダモードのときはロケットとう(塔)載トランスポンダからの返信パルス)は送受切換器、スプリスアス受信を抑圧するバンドパスフィルタを通り、パラメトリック増幅器により低雑音増幅されたのち、スーパーヘテロダイン検波増幅され、角度追尾系と距離追尾系のビデオパルスとなる。図 2.3 に受信装置の外観を示す。

角度追尾のために受信パルスは、ボックスカーあるいはストレッチ回路でもって連続信号に変換され空中線制御装置へ送られる。図 2.4 に空中線制御装置外観を示す。

空中線制御装置では、コニカスキャンと同軸上にとりつけられた基準信号発生器より発生する 30 Hz の互いに直交する基準信号でもって上記の連続信号をサンプリングし、その出力を各サンプリングの1期間ごとに積分しホールドする同期検波を行なっている。この同期検波された出力はアジマス、エレベーションの角度誤差電圧となり、サーボ増幅回路にて補償・演算・増幅されたのち電力増幅され、アジマス、エレベーションの直流電動機を駆動し、アンテナ電波軸中心(合成回転パターン)のナルポイント方向)をロケットの方向と一致させ角度追尾系の閉ループが達成される。

アンテナの指向角度の検出はアジマス軸、エレベーション軸にとりつけられた1 X、64 X の複速度シンクロ発信器の出力信号をデジタル信号に変換するシンクロデジタル変換器を用いて行なっている。

管制装置ではレーダの集中監視・制御操作が行なえるように配慮され、特に初期捕捉をやりやすくすることに重点が置かれた設計となっている。図 2.5 に管制装置の外観を示す。

## 2.2 性能

### 2.2.1 総合性能

(a) 下記のトランスポンダとう載のロケットを  $S/N=6$  dB 以上で、1,400 km まで追尾可能

トランスポンダ性能諸元

空中線利得(フィーダ損失を含む): -15 dB  
空中線偏波: 直線  
トランスポンダせん(尖)頭出力: 300 W  
送信パルス幅: 0.5  $\mu$ s  
トリガ可能最小入力: -70 dBm

### (b) 追尾精度

$S/N=20$  dB 以上、瞬間最大風速 15 m/s 以下において、  
距離: 10 m rms

アジマス、エレベーションとも: 0.03 deg rms 以下

ただし、これには追尾目標による誤差(たとえばロケット回転による偏波面変動による誤差)、電波伝ば(播)による誤差は含まれていない。

### (c) 追尾可能最大速度、最大加速度

距離: 15 km/s, 10 km/s<sup>2</sup>

アジマス、エレベーションとも: 10 deg/s, 20 deg/s<sup>2</sup>

### (d) 動的誤差

ロケットの運動による誤差(ただしロケットのスピン運動、およびレーダトランスポンダによる誤差は除く)は、

距離: 8 km/s, 0.08 km/s<sup>2</sup> において 15 m 以下

角度: ロケットをみるレーダの角速度、角加速度がそれぞれ 2 deg/s, 0.2 deg/s<sup>2</sup> にて 0.03 deg 以下

## 2.2.2 各装置の主要性能

### (1) 空中線装置

反射鏡形式、直径: 精アンテナ 4 mφ パラボロイド  
粗アンテナ 0.8 mφ パラボロイド  
鏡面精度: 精アンテナ 1.5 mm rms  
周波数: 一次レーダ 5,636 MHz  
二次レーダ 送信 5,586 MHz  
受信 5,636 MHz

角度追尾方式: 精、粗両アンテナともコニカスキャン方式、スキャン周波数 約 30 Hz

利得: 精アンテナ 43 dB, 粗アンテナ 28.5 dB

クロスオーバーロス: 精、粗アンテナとも 約 2 dB

偏波: 精アンテナ 直線、円偏波選択切換え



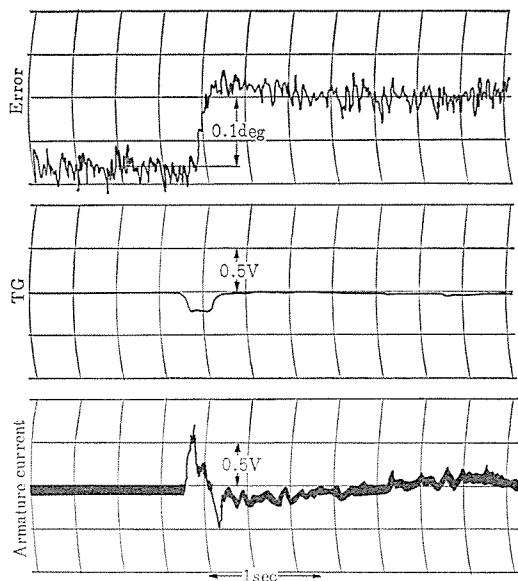


図 3.2 角度追尾系ステップ応答  
(CCW 0.1° オフセット gated モード)  
Step response of the angle tracking loop.

に影響をおよぼさない応答とし、また系が過渡的に飽和しても応答が長びかないような工夫がなされている。図 3.3 に AGC の応答波形を示す。(3) の AFC 系は、制御ループをデジタル化し安定

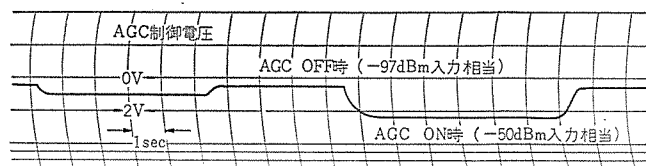


図 3.3 AGC 応答波形  
Step response of the automatic gain control.

な記憶追尾を可能とした。

#### 4. む す び

本レーダは、系の簡単さ、保守のしやすさ、経済性の面で特にすぐれているコニカルスキャン方式を採用し、しかもこの方式としては最高の性能を有するもので、種々の特長を備えたレーダであり、この開発製作にあたっては幾多の技術的困難さがあったが、我々の技術を結集して、それらの解決をはかった。

このレーダは、昭和47年8月、宇宙開発事業団種ヶ島宇宙センタ野木観測所に据付けられ、所期の性能が確認された。今後のロケット追尾にその威力を発揮することが期待される。

最後に、このレーダの設計・製作にあたり種々ご指導とご助言をいただいた宇宙開発事業団のかたがた、共同製作の任にあたられ多大のご協力をいただいた日本電気(株)のご担当部門、および三菱電機内関係各位に深謝の意を表す。



# 精 測 レーダ

## —角度追尾系への要求とその解決—

斉藤 成文\*・浜崎 襄二\*・野村 民也\*\*  
渡 部 優+・遠藤 義昭++・中司 浩生\*\*  
篠原 英男++・三好 一雄++・尾形 良征++

### Precision Tracking Radar

#### —Requirements for Angle Tracking and Its Solution—

University of Tokyo Institute of Industrial Science    Sigebumi SAITO・Joji HAMASAKI  
University of Tokyo Institute of Space and Aeronautical Science    Tamiya NOMURA  
Mitsubishi Electric Corp.,    Masaru WATANABE・Yoshiaki ENDO・Koki NAKATSUKA  
Communication Equipment Works    Hideo SHINOHARA・Kazuo MIYOSHI・Yoshiyuki OGATA

The precision tracking radar was the one built to form a part of programs for providing ground facilities in connection with the launching of a satellite by means of type M rocket developed by the Institute of Space and Aeronautical Science, University of Tokyo as the center of the activity. The chief object of it was to supply extremely precise data concerning the orbit of rocket and many necessary data orbiting a satellite loaded in the last stage of rocket. This radar has the following features that: (1) the accuracy of angle measurement is 0.1 mil rms (1/10,000 radians), distance accuracy is so high as 5 m rms, (2) a 1 MW high power transmitter, a 4 mφ high gain antenna and a parametric amplifier are equipped to assure excellent remote distance performance, (3) it can be used for both a primary radar and a secondary one. Thus the performance is not only the highest in Japan but also on the world level. Mitsubishi was in charge of constructing the antenna, a high frequency receiver and a servo.

#### 1. ま え が き

ここに紹介する精測レーダは、現在、東京大学宇宙航空研究所鹿児島宇宙空間観測所において、ロケット発射実験、および科学衛星打上げに活躍しており、わが国において最高の精度を有するばかりでなく、世界的水準の追尾レーダである。

すなわち、このレーダはロケットを最大 8,000 km 以上の遠距離まで、角度精度 1/10,000 ラジアン、距離精度 5 m の高精度で自動追尾し、ロケットに向かってパルスコードのコマンド信号を送信して、ロケットの制御を行なうものである。

ここでは、三菱電機が主として製作担当した角度追尾系を中心に、それらに対する要求条件とその解決について報告する。

#### 2. システムに対する要求仕様

上述の目的をもつ精測レーダシステムの仕様の大要は次のとおりである。

- (1) 最大追尾可能距離： 8,000 km 以上  
ただし、トランスポンダ 送信電力    1 kW  
トランスポンダ 最小トリガレベル    -70 dBm  
トランスポンダ 空中線利得    0 dB  
トランスポンダ 空中線偏波    直線または円偏波
- (2) 最小追尾可能距離： 1 km 以下
- (3) 自動追尾測角精度： 0.1 mil rms 以下  
ただし、1 mil=1/1,000 ラジアン
- (4) 自動追尾距離精度： 5 m rms
- (5) 自動追尾可能最大速度・加速度： 方位(以下 Az と記す)、

仰角(以下 El と記す)、ともに 15°/s, 10°/s<sup>2</sup>; 距離 15 km/s, 20 km/s<sup>2</sup>

#### 3. 角度追尾系への要求とその解決

測角精度 0.1 mil rms という要求は従来の追尾レーダの誤差の約 1/10 で非常にきびしいものであったが、各装置が現在の技術の最高レベルに達し得る性能を目標とし、それに基づいて誤差の配分を行なった。まず追尾方式の決定を述べ、次に追尾誤差の問題と各装置に振り分けられた誤差に対して、いかにして要求仕様を満足したかを述べる。

##### 3.1 追尾方式の決定

自動追尾レーダの角度誤差検出方式には大別して円すい走査方式(Conical Scanning System)、同時ローピング方式(Simultaneous Lobeing System)および高次モードを用いる方式(Vernier Auto Tracking System)がある。円すい走査方式は、東京大学生産技術研究所納入の GTR-1 形観測用ロケット追尾レーダ<sup>(1)</sup>に採用している追尾方式であるが、この方式の欠点は目標体の姿勢変化に伴い、目標からの到来波の振幅が変動し、この変動により角度誤差を生じるので本レーダの要求精度を保つことはきわめて困難である。また高次モードを用いる方式は衛星通信アンテナに広く採用<sup>(2)</sup>されている追尾方式である。

これは同時ローピング方式の一種であり、目標体の姿勢変化による到来波の振幅変動により角度誤差が生じない点、また Single Horn 方式であるため本質的には目標が直線偏波であっても、その姿勢変化による偏波面変動により Boresight Error はない。しかし目標体よりの到来電波が直線偏波または円偏波である本システムの場合は、

立体回路がきわめて複雑となるのが欠点である。

複数のホーンを用いた同時ローピング方式は、当社において製作した郵政省電波研究所納入のGTR-3形追尾レーダ<sup>(3)</sup>、国際電信電話社茨城衛星通信所納入のGTR-4形追尾アンテナ<sup>(4)</sup>、および東京大学生産技術研究所納入のGTR-5形テレメータ用追尾アンテナ<sup>(5)</sup>等に採用している。この方式は複数のホーンを用いるために目標が直線偏波である場合を含む本システムの場合には、目標の姿勢が変化し偏波面が変わった場合各ホーン間の偏波特性の相違によるBoresight Errorが追尾誤差のうち相当大きな比率をしめるが、到来波の振幅変動によっては本質的に角度誤差を生じないのでConical Scan方式よりすぐれ、したがって給電系の各チャンネルの偏波特性を仕様を満足する値までそろえるという方向でこの方式を採用した。

## 3.2 追尾誤差の問題

### 3.2.1 概要

追尾誤差を大別すると次の4種に分けられる。

- (1) レーダに依存する追尾誤差
- (2) レーダに依存するデータ変換誤差
- (3) 目標に依存する追尾誤差
- (4) 伝ば(播)による誤差

これらの誤差がさらに表3.1のように細分化される。細分化された誤差について簡単に説明する。

#### (a) ポアサイト設定誤差

アンテナの電気軸と機械軸との設定誤差をいう。

#### (b) 角度誤差検波器不平衡誤差

受信装置の角度誤差検波器の温度等によるドリフトをいう。

#### (c) モノパルスカップラ不平衡誤差

モノパルスカップラの周波数特性の振幅不平衡による誤差をいう。

#### (d) 位相ずれによる誤差

モノパルスカップラ以前の位相差と、モノパルスカップラ以後の位相差による角度誤差をいうが、総合誤差に対してかなりの比率をしめる。これに関しては3.5.1項に詳述する。

#### (e) アンテナ不平衡誤差

アンテナの重量の不平衡による角度誤差

#### (f) 熱雑音誤差

受信系の熱雑音にサーボ系が応答することによりおこる角度誤差

表3.1 角度誤差分析表  
Inventory of angle error components.

誤差の項目	直流分誤差	雑音分誤差
(1) レーダに依存する追尾誤差	(1) ポアサイト設定誤差 (2) 角度誤差検波器不平衡誤差 (3) モノパルスカップラ不平衡誤差 (4) 位相ずれによる誤差 (5) アンテナ不平衡誤差 (6) アンテナ角度ドリフト (7) アンテナ角度不感域	(1) 熱雑音誤差 (2) 風の乱れによる誤差
(2) レーダに依存する角度変換誤差	(1) 方位軸垂直度誤差 (2) 真北の設定誤差 (3) 両軸直交度 (4) 弾性変形誤差 (5) 角度検出系による誤差 (6) 太陽熱による変形誤差	(1) ベアリングがたによる誤差
(3) 目標に依存する誤差	(1) 定常速度誤差 (2) 定常加速度誤差	(1) 偏波面変動による誤差 (2) スピン変調による誤差
(4) 電波伝ば(播)による誤差	(1) 大気屈折による誤差 (2) 電離層屈折による誤差	(1) 大気屈折誤差変動誤差 (2) 多経路伝ば誤差

をいう。この誤差はかなりの値を示すので3.3.1項に詳述する。

#### (g) アンテナ角度ドリフトおよびアンテナ角度不感域

アンテナ駆動サーボ系のドリフトおよび不感域のためにおこる角度誤差をいう。

#### (h) 風の乱れによる誤差

レドームがついていないアンテナが受ける風の乱れによっておこる角度誤差で、この検討は3.6.3項に述べる。

#### (i) 方位軸垂直度誤差

方位軸が鉛直軸よりずれることにより起こる角度誤差。

#### (j) 真北の設定誤差

方位軸を基準方向(真北)に完全に合わせえないために起こる角度誤差。

#### (k) 両軸直交度

方位・俯(仰)軸の直交度の誤差に起因する角度誤差。

#### (l) 弾性変形誤差

自重・風荷重および加速度トルクによりアンテナ支持部が変形することにより起こる角度誤差。

#### (m) ベアリングがたによる誤差

ベアリングの回転にともなうがたによる誤差。

#### (n) 角度検出系による誤差

角度検出装置の取り付けおよび検出装置の精度に起因する角度誤差。

#### (o) 太陽熱による変形誤差

太陽熱によるアンテナ支持部およびミラー等の熱変形による角度誤差。

#### (p) 定常速度・加速度誤差

飛しょう体を追尾するときの追従遅れ誤差。これらによる誤差 $\theta_e$ は $\theta_e = C_1\dot{\theta} + C_2\ddot{\theta}$ で示される。 $C_1$ 、 $C_2$ は定常速度および加速度誤差定数である。

#### (q) 偏波面変動による誤差

ロケットとう載のトランスポンダが直線偏波でロケットの姿勢変化とともに、偏波面が変わり、アンテナホーンへの受信電界が不平衡になることによる角度誤差。3.4.4項に詳述する。

#### (r) スピン変調による誤差

ロケットのスピンにより、受信レベルが変動する。同時ローピング方式では受信レベルにより本質的に誤差は発生しないが、動的誤差が存在する場合には、その動的誤差が受信レベル変動により変動する。

#### (s) 大気屈折による誤差

大気屈折については、低い仰角では総合角度誤差に比して非常に大きい、計算機によって補正し、補正残差が誤差となる。

#### (t) 多経路伝ば誤差

直接波のほかに地上および海上からの反射波によって、アンテナが飛しょう体よりずれた方向に指向することにより起こる角度誤差。

3.4.4項に詳述する。

## 3.3 追尾誤差の検討

### 3.3.1 レーダに依存する追尾誤差

レーダに依存する追尾誤差として大きな値を示すものは、受信機熱雑音と、風圧外乱によるものである。風圧外乱によるものは後述するとして、受信機熱雑音による誤差について述べる。受信系のS/Nと雑音による角度誤差の関係は式(3.1)のようになる<sup>(7)</sup>。

$$\sigma_t = \frac{\theta}{\sqrt{2} \frac{S}{N} \frac{f_r}{B_n}} \text{ (mils rms)} \quad \dots\dots\dots (3.1)$$

$\sigma_t$  : 角度誤差

$\theta$  : ビーム幅

$f_r$  : パルス繰返し周波数

$B_n$  : サーボ系の等価雑音帯域幅

本レーダでは  $B_n$  を 2, 0.7, 0.2 Hz を採用し、トランスポンダの性能を 2 章に述べたものとする、距離 7,000 km, El 角  $0^\circ$  の場合  $S/N=12$  dB

となる。

角度追尾系サーボの最も狭い帯域幅  $B_n=0.2$  Hz として、熱雑音による誤差  $\sigma_t$  は  $\sigma_t=0.08$  mils rms となる。

$B_n$  を本レーダの広帯域 2 Hz, 狭帯域 0.7 Hz の各値を取り、 $S/N$  と  $\sigma_t$  との関係を求めると、図 3. 1 のごとくなる。これらのグラフの上に受信機熱雑音による角度誤差が 0.08 mils rms となる直距離とサーボ帯域との関係を描くと点線のごとくなる。すなわち  $R=700$  km 以下の角速度・角加速度の比較的大きい領域では、 $B_n=2$  Hz を使用し、直距離  $=700 \sim 3,600$  km では、 $B_n=0.7$  Hz を、 $3,600$  km  $\sim 8,000$  km では  $B_n=0.2$  Hz を、それぞれ SERVO BAND WIDE, MEDIUM, NARROW と切換えることによって、熱雑音による角度誤差を 0.08 mils rms に押えることができる。ほかに、レーダに依存するものとしてサーボおよびアンテナのアンプランスがあるが後述する。

### 3. 3. 2 レーダに依存するデータ変換誤差

機械的ながたとか太陽熱等による変形による誤差に対する要求仕様と問題解決は、3. 4 節アンテナ機構部に述べる。

### 3. 3. 3 目標に依存する追尾誤差

動的な遅れに対してはアンテナの機械共振周波数を十分高くし、時間遅れの小さな駆動回路・駆動モータを選定し、さらに積分補償を行なって、いわゆる 2 形のサーボを構成することにより仕様を達成することができる。シンチレーション(ビーム信号変動)による誤差は、サーボ系に追従誤差があるときのみこの追従誤差が変動させられるために起こるものである。すなわち、追従誤差の大きさと受信装置の AGC バンド幅の広さに依存する。サーボ系速度定数は、サーボ帯域 WIDE, MEDIUM, NARROW につき表 3. 3 のようにそれぞれ

240, 70, 24 に設計されているため、仮りにシンチレーションが 4 c/s, 10 dB 変動し、ロケット速度が  $1^\circ/s$  である場合、シンチレーションによる角度誤差を解析すると  $10^{-3}$  mil 以下となり問題とならない。

### 3. 3. 4 大気屈折による誤差

下層大気中にある中性気体はその層内を通過する電波に対して屈折効果を与え、その層外および層内にある飛しょう体よりの電波をレーダが受信する場合、みかけの仰角は真の仰角よりも増加する。

成層圏内における屈折率はほぼ 1 に等しく問題にならないが、対流圏、特に入射波の仰角が低い場合は問題となる。そこで本レーダでは、標準大気屈折による修正式を用いて補正を行なった。

屈折率は一般に季節・日・時間・天候などによりかなりの変動を示すので、補正残差が誤差となる。

## 3. 4 アンテナマイクロ波部の要求とその解決

### 3. 4. 1 要求性能

#### (1) 使用周波数

二次レーダのとき	受信	$5,636 \pm 5$ MHz
	送信	$5,586 \pm 5$ MHz
一次レーダのとき	受信	$5,636 \pm 5$ MHz
	送信	$5,636 \pm 5$ MHz

#### (2) 偏波

直線偏波 ( $45^\circ$  偏波) および右円偏波 : 切換可能

#### (3) 利得 : 42 dB 以上

#### (4) ビーム幅 : 約 $1.2^\circ$

#### (5) 第 1 サイドローベル : -18 dB 以下

#### (6) Null Depth : -30 dB 以下

#### (7) だ円偏波率 : 2 dB 以下

#### (8) 送受和パターンの共軸性 : $0.2^\circ$ 以下

#### (9) 送信耐力 : せん(尖)頭 1 MW, 平均 1 kW

#### (10) 入力インピーダンス : 1.3 以下

#### (11) 偏波面回転による Boresight Error : 0.1 mil rms 以下

#### (12) 周波数変動による Boresight Error : 0.03 mil rms 以下

#### (13) 多経路伝ば誤差 : 0.03 mil rms 以下 (El $> 10^\circ$ )

#### (14) 加圧耐力 : 30 psi

#### (15) 主反射鏡直径 : 4 m

### 3. 4. 2 アンテナ形式の決定

追尾用レーダアンテナ形式には、主として Front Feed 方式と副反射鏡を必要とする Cassegrain Feed 方式とがある。Front Feed 方式および Cassegrain Feed 方式の両者について検討を行なった結果、Cassegrain Feed 方式を採用することに決定した。以下その理由を述べる。

### 3. 4. 3 Front Feed 方式の問題点

田の字形に配列された 4 個のホーンの間隔は後述するようにアンテナ利得を決定する Sum Pattern, 追尾の誤差感度を決定する Difference Pattern に対する要求より決定される。Front Feed の場合このホーン開口寸法は、通常の導波管寸法の約  $1/2$  程度に絞らねばならない。したがってホーン開口部でカットオフとなり、電波が伝ばできないため開口部に誘電体板を充てんする等工夫が必要である。そのために要求性能のうち偏波面回転による Boresight Error・アンテナ利得・だ円偏波率・耐電力等を同時に満足させることは非常に困難であった。具体的に以下の事項が試験の結果より明らかとなった。

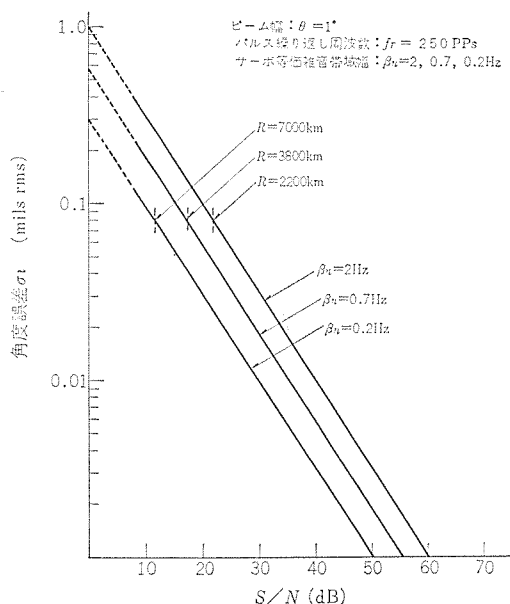


図 3. 1  $S/N$  比と受信機雑音による角度誤差との関係  
Theoretical angle noise vs.  $S/N$  ratio.

### (1) 偏波面回転による Boresight Error

要求性能を満足するためには、各チャネルのだ円偏波率のばらつきは、0.15 dB 以下にしなければならない。円偏波発生器によるだ円偏波率  $e_p$  のばらつき調整残差を考慮すれば、ホーン自体によるだ円偏波率のばらつきの劣化を小さくするためには、ホーンおよび充てん誘導体の寸法のばらつきを通常得られる工作精度の限界に近い値まで、押えなければならないことが判明した。これらの性能を満足したホーンおよび円偏波発生器の開発に成功したが、このうち特にホーンは現地のきびしい自然環境条件でも、この精度を維持することには難点があった。

### (2) アンテナ利得

ホーン開口を絞ったことにより電流がホーンの外面にも流れ、ホーンの等価的アレー間隔は幾何学的に決定されるアレー間隔よりも広くなり、一次の Sum Pattern が狭くなる。

この結果、アンテナ利得を 42 dB 以上とするためにはホーンのアレー間隔は、幾何学的に決まるアレー間隔の約 90 % 程度にする必要がある。このため先に述べた偏波面回転による Boresight Error の要求よりホーンの寸法精度に対する要求はさらにきびしくなり、工作技術上より実現は不可能に近くなることが明らかとなった。

### (3) だ円偏波率

一次放射器の総合のだ円偏波率は、ホーンによる劣化により決まり要求性能の 2 dB 以下にすることはきわめて困難であった。

### (4) 耐電力

一次放射器の耐電力はホーン開口部で決まり、清潔に保った状態でせん頭電力 1 MW が限界であった。

### 3. 4. 4 Cassegrain Feed 方式による問題点の解決

(1) Cassegrain Feed 方式の場合には、副反射鏡のレンズ効果によりホーン開口は、Front Feed 方式の場合に比して数倍に広げられ、誘電体充てんの必要がないので、各チャネルのだ円偏波率もほぼ円偏波発生器自体の性能で決まる。また耐電力性も大幅に改善される。さらにアンテナ利得が要求性能を満足するように 4 個のホーン間隔を決定した場合、Front Feed 方式で問題となった偏波面回転による Boresight Error に対する要求よりホーン自体の寸法精度も過度にきびしくする必要はなくなった。

(2) ホーンのアレー間隔の決定： 4 個のホーンを用いた Simultaneous Lobing 方式では、4 個のホーンを図 3. 2 (a) (b) に示す

ごとく「田」の字形に配列し、各素子パターンを各 Lobe のピークより 1 ~ 3 dB 下ったところで Overlap させて、Sum および Difference パターンを得ている。一般にパターンの Crossover point は、追尾レーダ方位精度を左右するものの一つであるが、角度検出感度と利得が両立した最適値は 0.3 ~ 0.4 である<sup>(8)</sup>。また先に述べたように偏波面回転による Boresight Error および多径路伝ば誤差を少なくするためには、Crossover Point はできるだけ大きくする方がよい。しかし、Crossover Point を大きく、すなわちホーン間隔を大きくしていくと、一次の Sum パターンが狭くなり、かつサイドローブがメインローブに近づいてくる。したがってサイドローブが副反射鏡に放射されないためには、ホーン間隔の上限、つまり Crossover Point には上限がある。以上の観点から Crossover Point を最適値に選定した。図 3. 3 にアンテナ二次放射パターンを示す。

(3) 試験結果： Front Feed 方式と Cassegrain Feed 方式についての、おもな試験結果を表 3. 2 に示す。

### 3. 4. 5 アンテナマイクロ波部に起因する角度誤差

前述のごとくアンテナマイクロ波部に起因する角度誤差としては、主として偏波面回転による Boresight Error、周波数変動による Boresight Error および多径路伝ば誤差の三つある。このうち周波数変動による Boresight Error は、一次放射器の各構成素子の周波数特性（主として Balance）によるものであり、実測結果より 1.1°/1,000 rms 以下と小さいため、ここでは他の二つの Boresight Error について述べる。なお、これらの Boresight Error の定量的検討の詳細は文献(9)を参照されたい。

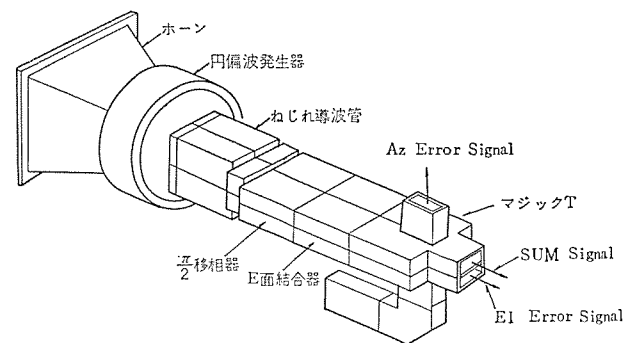


図 3. 2(a) 一次放射器外観図  
(a) Primary feeder.

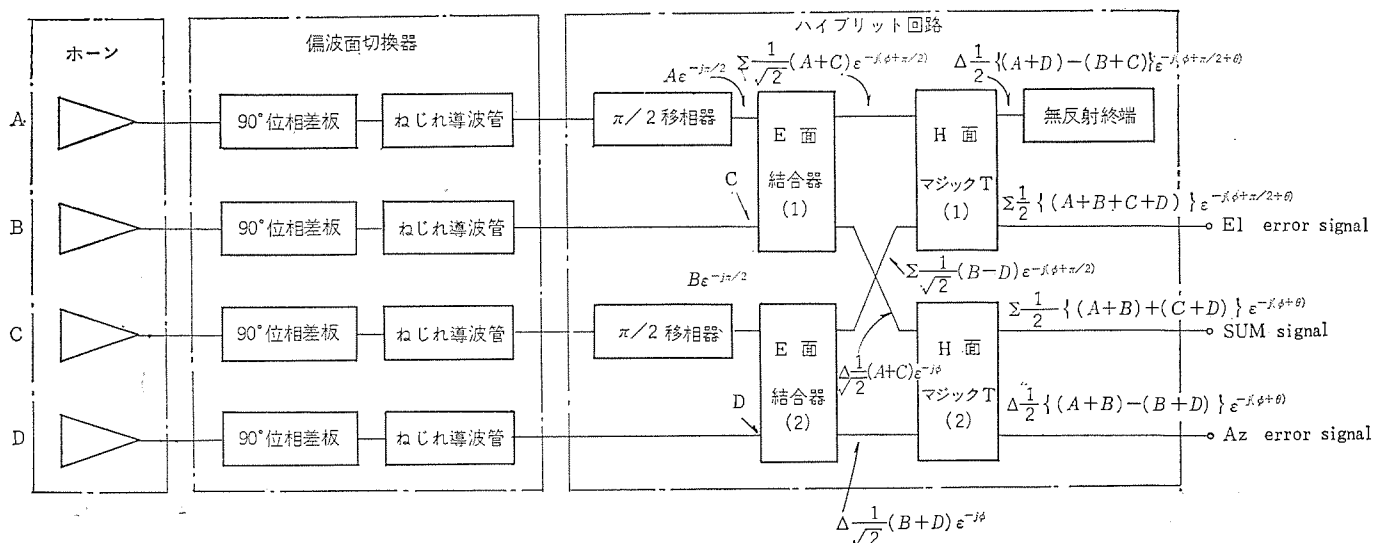


図 3. 2(b) 一次放射器系統図 (b) Signal flow diagram of primary feeder.

(1) 偏波面回転による Boresight Error

図 3. 4 にホーンよりの入射電界が平衡している場合と、していない場合のアンテナパターンを示す。図 3. 4 は平衡状態、図 3. 4' は不平衡状態を示す。Crossover Point は図 3. 4・B の交点であるから、図 3. 5 に示すように図 3. 4 が受信偏波面の回転に伴い利得が変動し、図 3. 4' になった場合、この Point は P→P' に移り  $\sigma_P$  の Boresight Error が生じる。このとき変動量  $h$  が小さいとき、 $\sigma_P$  は次式で与えられる<sup>(10)</sup>。

$$\sigma_P = \frac{h}{|A| + |B|} \dots\dots\dots (3. 2)$$

$h$  : 絶対利得変動量

$|A|$ ,  $|B|$  : Crossover Point における図 3. 4, B のこう配  
Boresight Error  $\sigma_P$  は結果のみ示せば、

$$\sigma_P = \frac{Ka\theta_s}{2\pi}(h'-1)\cot\left(\frac{\theta_s}{\theta_e}\frac{\pi}{a}\right)(P-P) \dots\dots\dots (3. 3)$$

ここで  $\theta_s$  : Squint Angle

$\theta_e$  : 素子の二次パターン 3 dB 幅

$$h' : \text{相対利得変動} = \frac{H+h}{H}$$

$$a : \frac{\theta_{0e}}{\theta_e}$$

$\theta_{0e}$  : 素子の 1st Null 幅

$K$  : 補正係数

$\sigma_P$  を小さくするためには、Beam Squint Angle( $\theta_s/\theta_e$ ) を大きく、すなわち、ホーン間隔を大きくし、相対利得変動( $h'$ ) を小さく、すなわち、各チャネルだ円偏波率のばらつきを小さくしなければならないが、ホーン間隔を大きくすることは、利得の点から制限され、だ円偏波率のばらつきは工作精度のうえから制限される。

(2) 多経路伝ば誤差

多経路伝ば誤差の発生機構について述べる。図 3. 6 (a) に示すようにアンテナは、直接波のほかに地面あるいは海面等よりの反射波をも受信する。

反射波の影響を受けてアンテナは、垂直面内では目標よりずれた方

向を指向することになり、この差が多経路伝ば誤差である。

基準信号系に対しては、直接波に対して反射波のレベルがきわめて小さいため影響はほとんどないが、誤差信号系に対しては、直接波(正常の場合はほとんど 0)に対して反射波のレベルが無視できないため、図 3. 6 (b'), (c'), (d) に示すように反射波成分  $E_1 \cos \phi$  により  $\theta_m$  の誤差を生じることになる。

rms 多経路伝ば誤差は、式 (3. 4) のように示される<sup>(7)</sup>。

表 3. 2 アンテナ電気性能比較(Front Feed, Cassegrain Feed)  
Comparison of antenna electric characteristics in each feed types.

項目	要求性能	Cassegrain Feed	Front Feed	備考
Beam 幅 $\theta$	約 1.2°	0.9°	1.1°	
Sum と Diff の Peak のレベル差	—	約 6dB	4dB~6dB	
Null Depth	-30dB以下	5,636MHz 円-37dB 直-32dB	5,636MHz 円-34dB	
1st Side lobe	—	5,636MHz-22~-25dB 5,586MHz-18~-21dB	5,636MHz -22dB	
送受和パターンの共軸性	0.2°以下	0.04°以下	—	
だ円偏波率	2dB以下	5,636MHz 0.8dB	5,636MHz 6.0dB	
利 得	42dB以上	5,636MHz(受信) G=42.1dB 5,586MHz(送信) G=42.0dB	5,636MHz(受信) G=41.0dB 5,586MHz(送信) G=40.8dB	比較法による
偏波面変動による Null Shift	0.1 mil rms = 5.7°rms以下 1,000	5,636MHz 4.2° ~ 5.4°rms 1,000	5,636MHz 5.0° ~ 6.5°rms 1,000	
周波数変動による Null Shift	0.03mil rms = 1.7°rms以下 1,000	0.019mil rms = 1.1°rms 1,000	0.019mil rms	
多経路伝ば誤差	地面反射係数 0.35 E1=10°以上 0.03mil rms 以下	5,636MHz E1=10° 以上にて 0.1mil rms 以下 E1=20°以上にて 0.03mil 以下	5,636MHz E1=10° 以上にて 0.05 mil rms 以下 E1=15°以上で 0.03mil 以下	
空 中 線 入 力 vswr	1.3以下	5,581~5,641MHz $\sigma < 1.16$	—	
耐 電 力	絶対3気圧加圧 状態で1MW (平均1kW)	せん(尖)頭 1MW 平均 1kW	Horn開口がClear Condition で 1MW30分に耐えた	

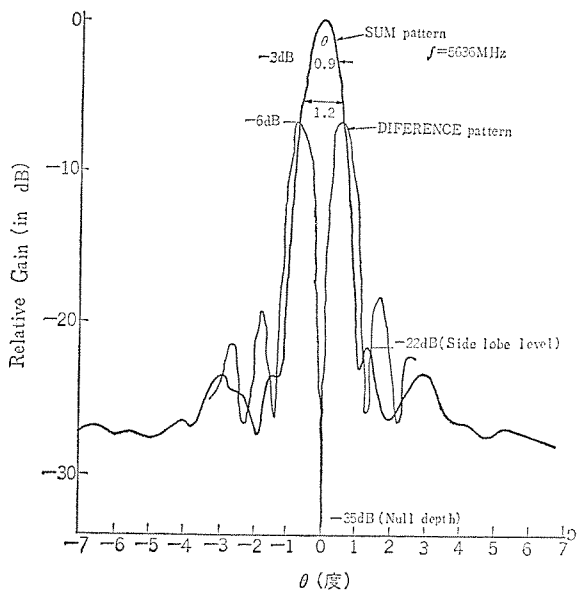


図 3. 3 精測 レーダアンテナ 二次放射パターン  
Secondary antenna pattern

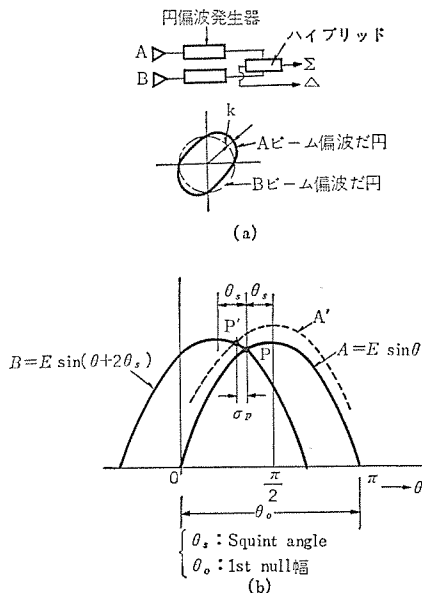


図 3. 4 Boresight error の発生機構  
Illustrative Drawing of Boresight error generation.

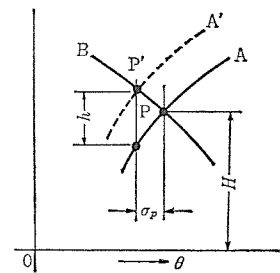


図 3. 5 Crossover 部拡大図  
Expanded drawing of antenna crossover area.



$$\theta_m = \frac{\theta_e \cdot \rho}{K_m \sqrt{4(G_{se})_{\text{peak}}}} \text{rms} \dots\dots\dots (3.4)$$

ただし、 $\theta_e$  : El 面内のビーム幅

$\rho$  : 地面の反射係数

$K_m$  : Error Slope

$G_{se}$  : 反射波入射方向のサイドローレベル

これゆえに  $\theta_m$  を小さくするためには、誤差パターンの広角度放射特性を良くすることが必要となる。この点から、一次放射器の照射分布を差パターンの広角度特性を良好にするよう設計された。

### 3.5 高周波受信部

#### 3.5.1 要求性能

角度精度に影響する要素は種々あるが、高周波系で、主として考慮しなければならないことは、ロケット追尾中に変動もしくは、その可能性のある外的条件(たとえば受信周波数・入力レベル・温度)によって、チャンネル間の相対的位相関係がくずれないようにすることである。今空中線のモノパルスカプア以前の位相差  $\tau$ 、モノパルスカプア以後の位相差を  $\phi$  とすると、これらの位相差によって生ずる角度誤差  $\theta$  は  $\tau$  が十分小さい場合には、

$$\theta \approx \frac{1}{K} \cdot \frac{\tau \tan \phi}{2} \dots\dots\dots (3.5)$$

で表わすことができる。ここで、 $\tau$  は空中線パターンの Null Depth から逆算して求めることができるが、実績から Null Depth は  $-30 \sim -35$  dB となることが予想され、したがって、 $3.7^\circ$  程度になるも

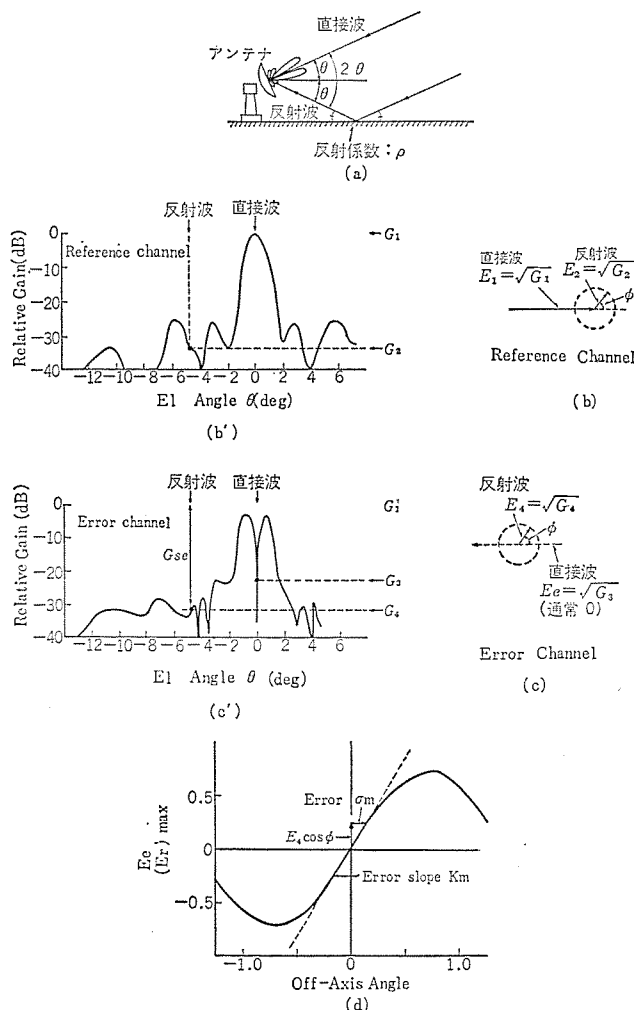


図 3.6 多経路伝ば(播)誤差の関係  
Multipath error.

のと考えられた。一方誤差配分の結果、 $\theta$  は  $0.05$  mil rms 以下に押えることが要求された。そこで空中線パターンとホーンの位置によって定まる定数  $K$  を、近似的に  $1/\theta_0$  ( $\theta_0$  は空中線ビーム幅)とおき、上記の値を用いてモノパルスカプア以後に許容しうる位相誤差  $\phi$  を計算すると、 $5^\circ$  rms 以下となったが、さらにこれは、モノパルスカプア以後の系を構成する高周波装置と受信装置に、それぞれ  $4^\circ$  rms 以下、 $3^\circ$  rms 以下と配分された。次に受信系の総合雑音指数は、最大探知距離・最小ロックオンレベル・雑音の角度誤差などを考慮して、システム上、 $5$  dB 以下であることが要求された。このようにして、高周波系に対して要求された主要性能を列挙すると、次のようになる。

- (1) 受信回路周波数帯域 :  $5,636 \pm 5$  MHz 以上
- (2) 送信回路周波数帯域 :  $5,586 \pm 5$  MHz 以上  
または  $5,636 \pm 5$  MHz 以上
- (3) ろ波器通過帯域幅(平均値) :  $5,636 \pm 25$  MHz
- (4) 相対位相誤差 :  $4^\circ$  rms 以下
- (5) 相対利得偏差 :  $\pm 1$  dB 以下
- (6) 雑音指数 :  $5$  dB 以下 (受信装置を含めた総合)
- (7) 送信回路耐電力 : せん(尖)頭  $1$  MW
- (8) 送信回路加圧耐力 : 相対  $2$  kg/cm $^2$
- (9) 最大入力レベル :  $-20$  dBm 以下
- (10) チャンネル間アイソレーション :  $-40$  dB 以下

#### 3.5.2 回路構成

3.5.1 項の要求性能を満たすために、図 3.7 のように回路を構成した。角度精度に影響を与えるのは高周波系の中でも、受信回路の特性であるが、トランスポンダの周波数が  $\pm 5$  MHz 程度変動する可能性があるということから、この受信回路の特性は、 $\pm 5$  MHz の周波数変化に対して変化が無視できるか、または、各チャンネルが同様な変化をすることが要求される。そこで回路を構成するうえでは、比較的広帯域の部品を用い、また、信号および局部発振回路の導波管長は、3チャンネルともほぼ同じ長さにそろえるなどの配慮をした。

図中電源部は、空中線ベズスタの下へ置かれているが、他はすべて高周波装置きょう(筐)体の中に収容され、空中線反射鏡の背面に取付けられている。そして電源 ON/OFF ほか各種制御は、レーダ局舎側から行なうことができるようになっている。図 3.7 でまず、クリスタル保護管は、大電力サーキュレータとともに送受信切替回路を構成するもので、長寿命・低損失のガス放電管である。方向性結合器は高周波系の受信回路の点検を容易にするために設けたもので、これから、試験信号を受信回路に入れることができる。バンドパスフィルタは、不要信号を抑圧する目的でそう入されたものであるが、共振器の性質として、周波数変化に伴う位相変化が他の回路部品に比較して大きく、設計・製作の際には、特性を極力そろえるなどの特別な配慮をした。

プログラム減衰器は、ロケットが近接しているとき、トランスポンダからの過大入力信号によって、パラメトリック増幅器が飽和するのを防止する目的でそう入されており、ロケットが遠ざかり、適当なレベルに入力信号が低下した時点で、減衰量が 0 になるように設定されている。パラメトリック増幅器は、受信系の総合雑音指数  $5$  dB 以下という要求を満足させるために必要とされたが、このレーダではその使用目的から特に動作が安定で、保守が容易であることに重点を置いて設計・製作した。このパラメトリック増幅器は図 3.8 に示すように、モノパルスレーダ用として 3 チャンネルの増幅回路をもつもので、周波数の変動に基づく位相変化を相殺するために一つのポンプ電源(ポンプ電源ク

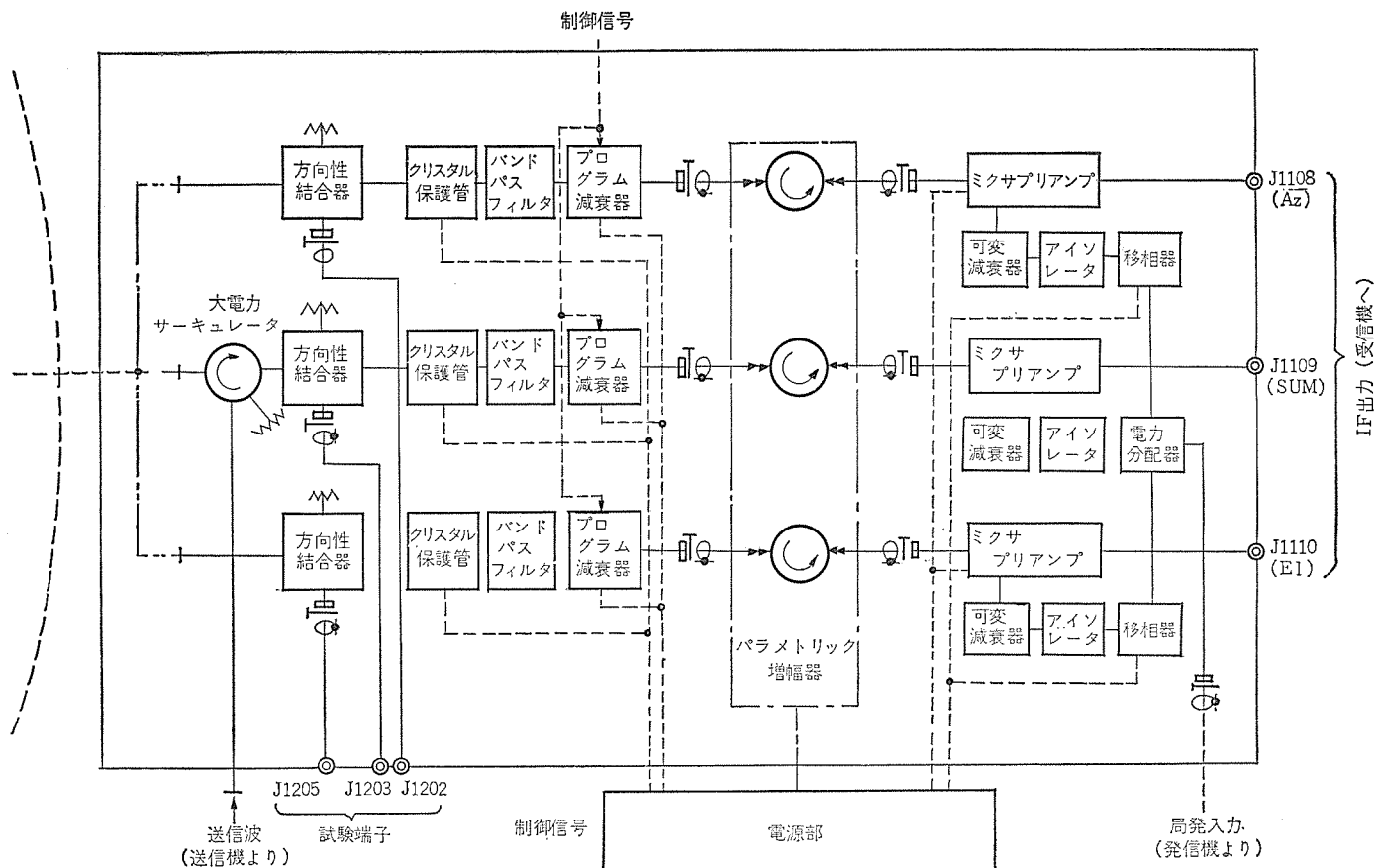


図 3.7 高周波装置ブロック図 Block diagram of RF amplifier and down converter.

ライストロン VA 240 A) から分岐給電している。

また回路には、ポンプ周波数モニタ用空胴共振器とポンプ電力モニタ用電力計を備えており、これからの直流出力電流をレーダ局舎に送り、そこでこれら周波数と電力を監視し、パラメトリック増幅器の動作状態をチェックできるようにしている。また万一これら周波数や電力が変動したときは、いずれも遠隔操作によって、復帰できるようにしてある。増幅空洞は、機械的安定性を考慮してブロック構造とし、これに低損失で温度特性の良い5端子サーキュレータを装着して構成した。パラクタダイオードは、当社製のMV-8203Aを使用している。なお保守性安定性を考慮しポンプ電源回路と増幅空洞とは、まとめて一つのきょう体に収容し、高周波装置きょう体から容易に取りはずしができるようにした。電気的には、信号周波数・ポンプ周波数の変動や、周囲温度の変化によって、チャンネル間に位相差が生じないように、3チャンネル共増幅特性を極力そろえてある。図3.9にパラメトリック増幅器の外観図を示す。ミキサプリアンプは、バランスミキサに、利得25dB、増幅帯域幅12MCのプリアンプを直結したもので、パラメトリック増幅器の出力信号をここで30MHzの中間周波数信号に変換増幅し、その出力を巻取りケーブルを通してレーダ局舎内の受信装置に送っている。

局部発信回路では、レーダ局舎内送信装置より送られてきた局部発信電力を、電力分配器で三つのチャンネルに分配しているが、受信信号が局部発信回路を通して、他チャンネルに漏えい(洩)し、チャンネル間アイソレーションを劣化させるのを防ぐために、各チャンネルにはアイソレータをそう入した。移相器は、局部発振電力の位相を和チャンネルを基準とし、差チャンネルでそう入するためにそう入したもので、これにより中間周波出力信号のチャンネル間位相差を補正することができるようにした。

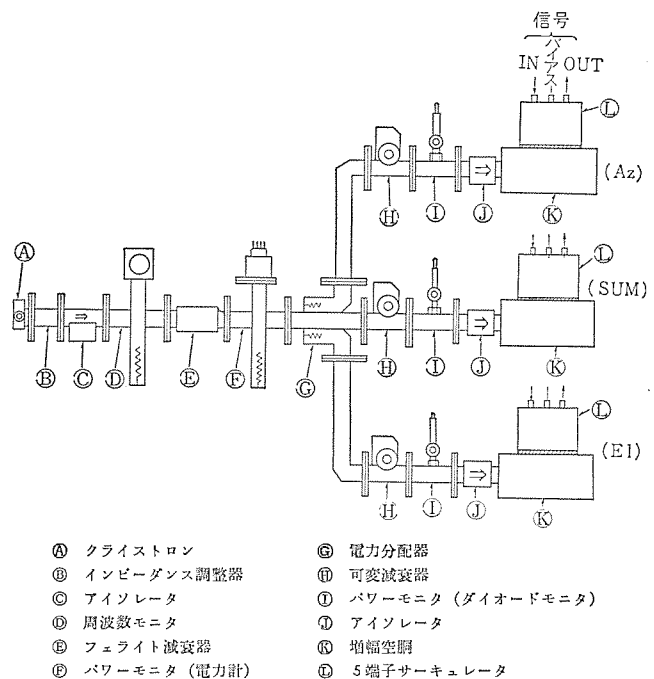


図 3.8 パラメトリック増幅器の構成 Configuration of parametric amplifier

### 3.6 アンテナ機構部に対する要求とその解決

#### 3.6.1 要求性能

表3.3に示す。

#### 3.6.2 アンテナ機構部のみに起因する角度誤差

アンテナの機械的弾性変形、軸の直交度、熱変形およびベアリングのたが等が角度誤差に影響を与える。アンテナマウントは図3.10に示すごとくAz(水平)—El(仰角)方式である。反射鏡や支持部・軸受

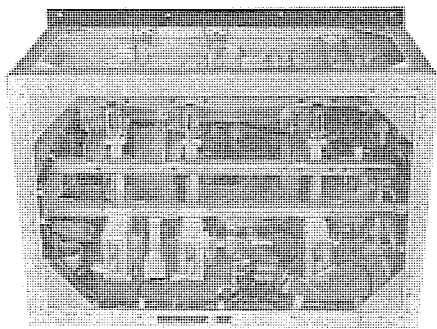


図 3.9 パラメトリック増幅器  
Parametric amplifier.

等は自重や風圧等の外力による弾性変形を極力小さくするように設計し、また太陽熱による熱変形に対しては、アンテナ構造部の外面はすべてアルミ製の防熱カバーでおおい、白色塗装を施した。両軸直交度の精度を得るうえで最も難点は軸受部である。Az および El の軸受を図 3.11, 3.12 に示す。Az 旋回軸受には 30-う形の複合軸受を使って所期の性能を満足した。これは軸が不要であるためアンテナの構造が比較的簡単にでき、軸受の弾性変形が小さく高精度のものが得られるからである。このためベアリングのがたによる角度誤差は、0.05 mil rms 以下となり無視できうるものとなった。El 軸受にはラジアル荷重用として、円筒コ軸受、スラスト荷重用として 4 点接触形玉軸受を使用している。ラジアル方向の回転精度はそのままアンテナの角度精度に影響するため、精度が高く弾性変形量の小さい円筒コ軸受をラジアル荷重用として使用している。なお両軸直交度の精度測定のために El 回転角を  $-2^\circ \sim +180^\circ$  まで可能とした。このため上記精密測定のみならず総合の角度分析に大いに寄与するところがあった。次に角度検出装置による角度誤差の低減は、Az・El 両軸に高分解能 (0.012 mil) を有するエンコーダを直結することにより角度伝達誤差を少なくした。方位軸垂直度による角度誤差は、Az 回転部に高性能水準器を、またアンテナの基礎にレベルブロックを取りつけてレベル出しを行なうことによって、容易に所期の誤差内に収めることができた。真北の設定誤差はエンコーダに角度オフセットを与え補正することができるようになっている。

### 3.7 アンテナサーボおよび駆動部に対する要求とその解決

#### 3.7.1 要求性能

- (1) 最大速度： Az・El ともに  $15^\circ/\text{s}$
- (2) 最大加速度： Az・El ともに  $10^\circ/\text{s}^2$
- (3) 表 3.4 に角度誤差配分を示す。

#### 3.7.2 最大速度、加速度の解決

レーダーよりロケットを見た方位、仰角の角速度、角加速度は  $15^\circ/\text{s}$ 、 $10^\circ/\text{s}^2$  を要し、またロケットが遠距離に達すると Az, El の角速度は、 $0.01^\circ/\text{s}$  以下になり、アンテナは高速度で回転すると同時に低速度でもなめらかに動く必要があった。このような高い速応性と、良好な低速性を得るため、また後述する理由を含めて油圧サーボの選定となった。油圧発生装置の油圧ポンプより高圧 ( $140 \text{ kg}/\text{cm}^2$ ) を発生させサーボバルブで制御して 2 個のサーボモータを駆動している。低速度でのなめらかな回転はアンテナ軸付近の摩擦トルクが大きく影響するが、モータ単体の低速度回転特性も大きく影響する。モータおよびサーボバルブの厳選とサーボバルブの非線形補償を施すことによって、 $1/100^\circ/\text{s}$  までなめらかに回転し得た。図 3.13 に  $1/100^\circ/\text{s}$  の応答を示す。

#### 3.7.3 風の乱れによる追尾誤差

このアンテナはレドームを持たないために不規則な風の乱れによる

表 3.3 アンテナ機械部における角度誤差の配分  
Angle error budget of antenna mechanism.

単位：mil rms

角度誤差成分	Az	El
方位軸垂直度誤差	—	0.02
真北の設定誤差	0.02	—
両軸直交度	0.02	—
弾性変形誤差	neg	0.03
ベアリングのがたによる誤差	—	0.02
角度検出系による誤差	0.01	0.01
太陽熱による変形誤差	0.04	0.06

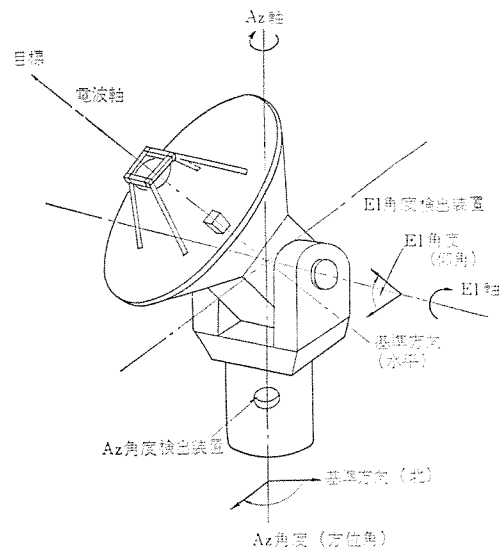


図 3.10 アンテナ回転軸と角度 Coordinate of antenna mount.

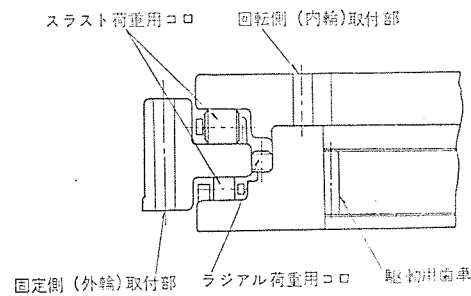


図 3.11 Az 旋回軸受 Azimuth bearing.

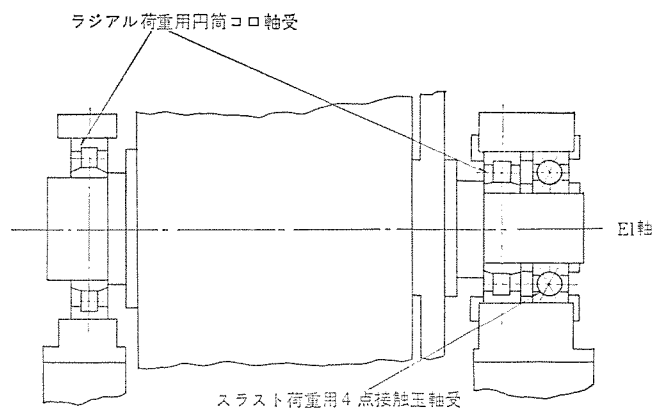


図 3.12 El 軸受 Elevation bearing.

動的誤差を生ずる。このような強制誤差は、速度およびポジションラにおけるゲイン交点角周波数  $\omega_{cr}$ ,  $\omega_c$  をできるだけ大きくとることによって、また積分補償をすることによって小さくしうる。 $\omega_{cr}$ ,  $\omega_c$  はアンテナおよび駆動系の機械的共振による安定性によって制限され

表 3.4 アンテナ駆動サーボ系における角度誤差の配分  
Angle error budget of antenna drive servo.

単位: mil rms

角度誤差成分※1	定常分誤差	雑音分誤差
風圧外乱によるもの	0.01	0.01
追従遅れ	※2 $C_1\dot{\theta}$ ( $C_1=0.004/s$ ) $C_2\ddot{\theta}$ ( $C_2=0.08/s$ )	—
角度ドリフト	0.02	—

※1) Az, Elとも

※2)  $C_1$ : 定常速度誤差定数  
 $C_2$ : 定常加速度誤差定数

るため、アンテナの機械共振角周波数を  $5 \times \omega_c$  程度まで高くする必要があり、駆動機構のコンプライアンスを小さくし、また慣性能率に対するトルクの比の大きい油圧サーボを選定した。駆動機構を含めたサーボ系のブロック線図およびボード線図を図 3.14 に示す。歯車系のバックラッシによる角度リミットサイクルの発生と、バックラッシが存在しかつ風圧外乱を受けた場合に発生する角度誤差を減少させるために、図 3.15 に示すようなアンチバックラッシ機構を用いている。このアンチバックラッシ機構では一つのサーボ弁によって制御されるまったく同等な2系列の油圧モータおよび歯車から成り、各歯車箱の最終ピニオンは一つの終段歯車にかみ合っている。一方各歯車箱の入力軸は、プ

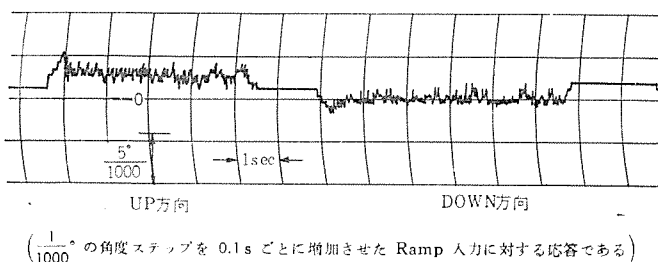
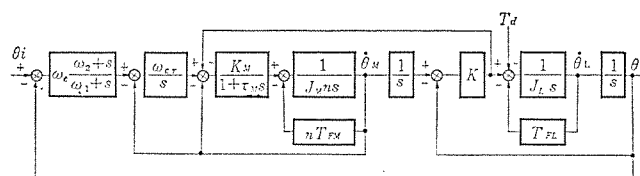


図 3.13 Digital Control による  $\frac{1}{100}/s$  の応答  
 $\frac{1}{100}/s$  ramp response in digital control mode.



$\theta_i$ : 入力角度  
 $\theta_L$ : 負荷角度  
 $K_m$ : モータトルク定数  
 $\tau_m$ : モータ時定数  
 $J_M$ : モータ慣性  
 $J_L$ : 負荷慣性  
 $n$ : ギヤ比  
 $\theta_M$ : モータ速度  
 $\theta_L$ : 負荷速度  
 $T_{FM}$ : モータ軸まわりの摩擦トルク  
 $T_{FL}$ : 負荷軸まわりの摩擦トルク  
 $K$ : 負荷軸コンプライアンス

図 3.14(a) 駆動サーボ系ブロック図  
(a) Block diagram of drive servo.

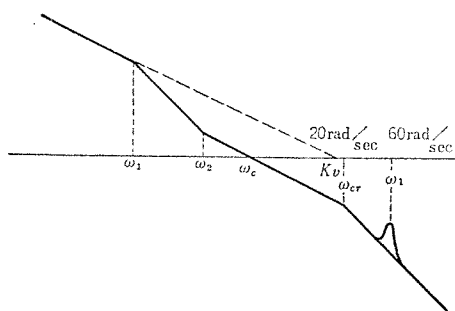
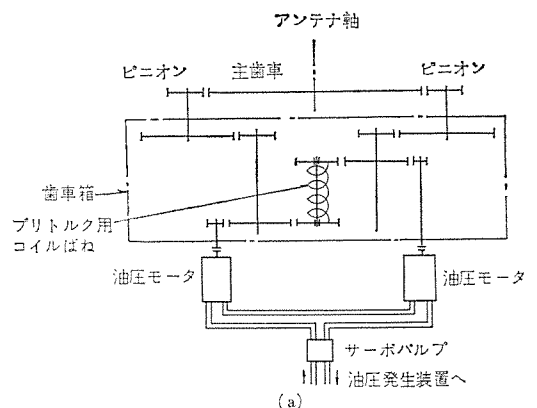


図 3.14(b) 駆動サーボ系開ループボード線図  
Open loop Bode diagram of drive servo.

ロード用ばねで連結され、このばねのトルクによって、二つの歯車列には互いにトルクがかけられているのでサーボ弁の入力信号に関係なく、各歯車は互いにかみ合いバックラッシを除去している。この場合サーボ弁の入力信号によって負荷軸への駆動トルクは、いずれか一方



$T_d$ : 駆動トルク  
 $T_p$ : ばねによるプリトルク  
回転方向

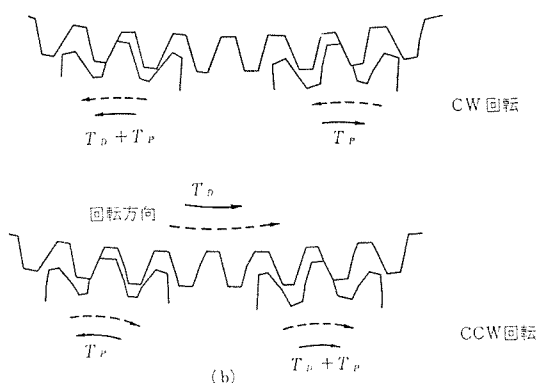


図 3.15 アンチバックラッシ機構  
Antibacklash mechanism.

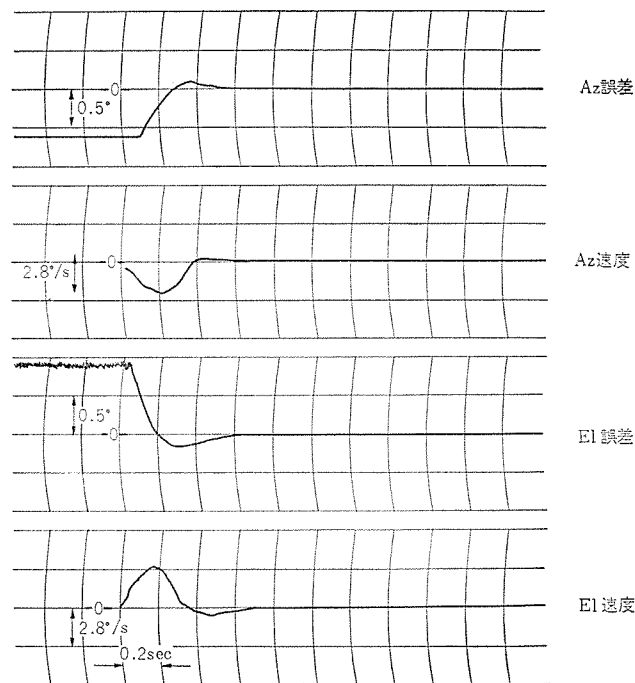


図 3.16 Az 0.6°CW オフセット, El 0.6°DOWN オフセット  
したときの応答 (Servo band wide)  
0.6° step response in azimuth and elevation (Servo band wide).

表 3.5 Servo Band による各定数変化  
Servo parameter in each bandwidth.

SERVO BAND	等価雑音 帯域幅	$\omega_c$	$\omega_1$	$\omega_2$	$K_v$
WIDE	2 Hz	6	0.05	2	240
MEDIUM	0.7 Hz	2	0.02	0.7	70
NARROW	0.2 Hz	0.6	0.005	0.2	24

の油圧モータ歯車列によって伝達され、他方の油圧モータ歯車列を通して駆動側のモータより駆動され、かつプリロード用のばねによってプリトルクが与えられているので、各歯車は噛み合ったままで回転する。したがって回転方向が逆転すれば、直ちに他の側の油圧モータ歯車列からトルクが伝達され、動作上バックラッシュ0とみなすことができる。

さて図 3.13 に示す  $\omega_{cr}$  は機械共振周波数の  $1/2$ 、 $\omega_c$  は  $\omega_{cr}$  の  $1/3$  以下の系が良好な応答を示すことが知られており、このサーボ系では  $\omega_1$ 、 $\omega_2$  を含めて表 3.5 の定数を選定した。この系の風の乱れによる角度追尾誤差  $\sigma_W$  は平均風速 10 m/s、 $\omega_c=6$  rad/s のとき、0.02 mil rms 以下である<sup>(11)</sup>。このサーボ系の自動追尾モードのステップ応答を図 3.16 に示す。

#### 3.7.4 追尾角度ドリフトの問題

角度ドリフトに起因するものとしては、前述の角度誤差検波器不平衡誤差とサーボ系のドリフトがある。前者のそれは直流分誤差 0.0014 mil および雑音分 0.007 mil rms であった。サーボ系としては空中線制御装置の演算増幅器のドリフトが主であるが、MOS FET をチョッパとして用いた高性能演算増幅器を開発し、ドリフトを直流分 0.012 mil、雑音分 0.006 mil rms に押えることができた。なお空中線装置を図 3.17 に示す。

### 4. む す び

以上でこの精測レーダのアンテナ系・角度追尾系に関する要求条件、その問題点とそれらをいかにして解決していったかについての紹介を行なった。

本レーダは追尾精度、その他の性能において世界的レベルの追尾レーダであり、開発製作にあたってはいくつかの技術的困難を克服してはじめて完成されたもので、現在までに数度のわが国の科学衛星打上げに使用され、その威力を発揮している。

なおこの精測レーダの開発に当っては、東京大学宇宙航空研究所、生産技術研究所の関係者、日本電気(株)の担当部門、および三菱電機関係各位の緊密な協力をいただいた。

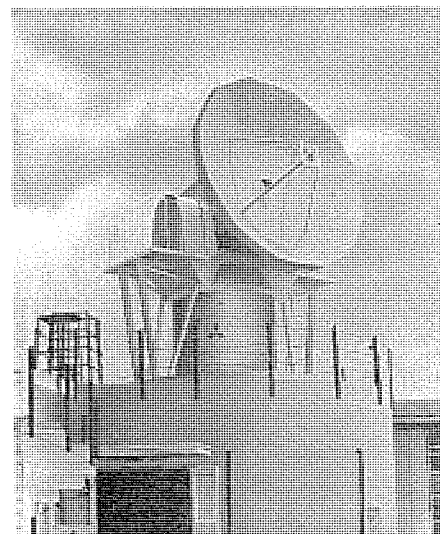


図 3.17 空中線装置  
Antenna.

ここにこれらご協力いただいた関係各位に厚くお礼申しあげる。

#### 参 考 文 献

- (1) 榎本ほか：三菱電機技報，36，No. 5，62（昭37）
- (2) 西田，糸原，西村：茨城衛星通信所第2アンテナの性能，アンテナ伝播研究会資料，AP 68-6（昭42）
- (3) 榎本，渡部，竹内：三菱電機技報，37，No. 6，63（昭38）
- (4) 榎本ほか：三菱電機技報，38，No. 7，64（昭39）
- (5) 榎本ほか：三菱電機技報，39，No. 3，65（昭40）
- (6) Tore Fgallbrant：A Comparison Between the Sensivities of Radar Monopulse and Conicalscan Systems, Ericsson tech 63, P 228~P 250
- (7) Barton：Radar System Analysis, Prentice-Hallinc (1964)
- (8) 榎本，渡部，若田：追尾レーダー・ピンングの最適クロスオーバー点について，昭36関西支部連合大会，20-9（昭36-10）
- (9) 渡部，竹内，篠原ほか：三菱電機技報，44，No. 12，70（昭45）
- (10) William Cohn & C. Martin Steinmetz：Amplitude and phase Sensing Monopulse System Parameters, Microwave Journal (Oct. 1959)
- (11) 西村：三菱電機技報，40，No. 6，66（昭41）
- (12) 丸浜，渡部，遠藤：追尾レーダの計測精度，宇宙・航行エレクトロニクス研究会資料，SANE，68-18（昭43-12）



## 衛星とう (搭) 載用アンテナの開発

武市 吉博\*

## Development of Satellite Antennas

Kamakura Works

Yoshihiro TAKEICHI

Herein is a discussion on technical problems of satellite antennas viewed from electrical performance and also a report on the latest research and development concerning the problems. For examples, quoted in this paper are models of antennas for ionosphere sounding and cosmic noise measurement, antennas for telemetry and command, monopole array type electronically despun antennas, horn array type electronically despun antennas, mechanically despun antennas for navigation, and electrical models of shaped beam mechanically despun antennas for domestic communication.

## 1. ま え が き

衛星とう (搭) 載用 アンテナ について、衛星の ミッション・軌道・姿勢・環境などからきまる必要条件および制約条件のもとに提起される技術課題を電気性能面から論じるとともに、それらの課題に対する最近の研究開発状況を報告する。なお衛星とう載用アンテナの方式および特性は衛星寸法と使用波長との関係によって大きく変わるので、以下その関係に注目して述べる。

## 2. 衛星寸法よりはるかに長い波長領域のアンテナ

MF および HF の電離層観測などに用いる電波の波長は、一般の衛星の寸法にくらべてはるかに長い。このような波長領域においては、ミッションがどのようなものであっても、衛星の寸法・重量・姿勢などの制約から、電氣的に十分な大きさのアンテナを用いることは困難であり、したがって電氣的に小さい、すなわち波長にくらべてかなり小さいダイポール形・ループ形などのアンテナを目的に応じて用いることになる。

一般に電氣的に小さいアンテナの給電点インピーダンスは、通常の給電線の特性インピーダンスに対する不整合が著しいので、アンテナにおける無線周波電力の反射損が大きく、また給電回路で整合をとったとしてもその回路における吸収損が大きい。すなわちこの種のアンテナにおいては、給電回路をも含めたアンテナの能率  $\eta = \eta_r \cdot \eta_a$  を大きくすることが重要な課題である。ここで  $\eta_r$  はインピーダンス不整合による反射損できまる能率、 $\eta_a$  は吸収損できまる能率である。

わが国の電離層観測衛星には 0.5~15 MHz の電離層観測と 2.5, 5, 10, 25 MHz の電波雑音観測とに兼用するダイポールアンテナをとう載する計画で、衛星の姿勢、アンテナの能率および放射指向特性などの条件を考慮して、長さ 36.8 m および 11.4 m のダイポールアンテナを直交して用いる予定である<sup>(1)~(4)</sup>。これらのアンテナは図 2. 1 のように衛星内部に巻込まれた形で収納されていて、衛星打上げ後所定軌道上で展伸されるようになっている。各アンテナの周波数範囲は 0.5~約 8.5 MHz, 約 8.5~25 MHz であり、両アンテナは並列給電されていて、分波は給電回路の特性によっている。このように大きい比帯域において能率  $\eta_r$  を大きくするためには一般に多数の整合回路素子を必要とし、そのため必然的に能率  $\eta_a$  の低下を招く。そこで電離層観測衛星では整合回路なしで能率  $\eta_r$  を最大にするために、送信機の出力インピーダンス  $Z_0$  (純抵抗) を最適に選ぶ方法をとって

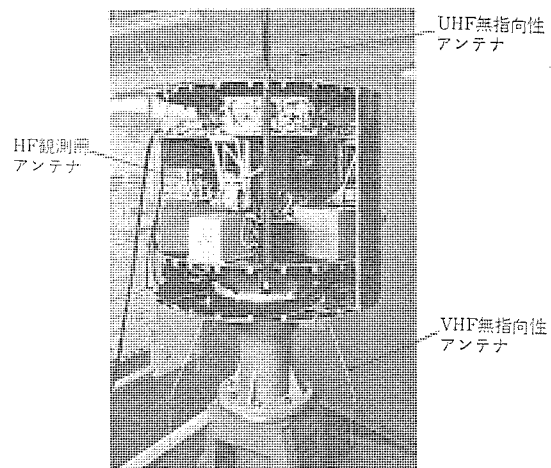


図 2. 1 電離層観測衛星のアンテナ (エンジニアリングモデル)  
Antennas of the ionospheric sounding satellite  
(engineering model).

て、これはアンテナの給電点インピーダンス  $Z$  を  $Z_0$  に接続した場合の能率  $\eta_r$  が最大になるのは、 $Z_0 = |Z|$  のときである<sup>(2)</sup>ことに基づいている。使用周波数範囲において種々の  $Z_0$  について  $\eta_r$  を計算し<sup>(2)</sup>、 $Z_0 = 300 \Omega$  とした結果、主要周波数範囲で能率  $\eta = \eta_r \cdot \eta_a$  が約 -10 dB 以上の測定結果を得ている<sup>(3)</sup>。

## 3. 衛星寸法と同程度の波長領域のアンテナ

VHF および UHF のテレメータおよびコマンドに用いられる電波の波長は、一般の衛星の寸法と同程度である。これらの用途には全立体角無指向性アンテナが必要とされる。ここではこの種のアンテナについて述べる。全立体角無指向性は本来仮定の点波源がもつ放射指向特性であり、衛星用としてここでいう全立体角無指向性とは、全立体角にわたってほぼ均一に放射し、放射のない方向が存在しないという意味である。放射パターンに谷をもつ実際のアンテナを用いて谷がない放射パターンを得るには、谷の方向をずらせた 2 個の素子アンテナをそれらの放射の位相中心を一致させて配置し、それぞれを異なる位相の電流で励振すればよい。このようなアンテナは一般にだ (槽) 円偏波を放射し、特定の方向で円偏波あるいは直線偏波となる。ターンスタイルアンテナはその代表的なものであり、また傾斜ターンスタイルアンテナあるいはその変形が多く用いられる。

この波長領域においては、アンテナの寸法を電氣的に十分な大きさ

とすることができるので、一般には能率は大きな問題ではないが、衛星本体の放射指向特性に及ぼす影響を無視することができない<sup>(6)</sup>。衛星本体上の電流をむしろ利用するねらいで、衛星の中心軸から離して1個のモノポールアンテナを設け、それによって衛星本体に対称モードと逆対称モードとの両電流を励振して、全立体角無指向性を得る方法<sup>(6)</sup>も得られている。

電離層観測衛星にはテレメータ・コマンド用VHFアンテナとテレメータ用UHFアンテナとが用いられる。前掲図2.1のように、そのVHFアンテナは変形傾斜ターンスタイル形で、またUHFアンテナは上述のような衛星中心軸から離して設けた偏位モノポール形であり、ともに全立体角無指向性が得られている<sup>(4)</sup>。

#### 4. 衛星寸法よりはるかに短い波長領域のアンテナ

UHFの上限近傍、SHFおよびEHFのテレメータ、コマンド、通信、放送、航法などに用いられる電波の波長は、一般の衛星の寸法よりはるかに短い。したがってこの波長領域では、波長にくらべて十分大きい寸法の高利得アンテナなどを採用しうるのであるが、一方衛星本体の影響は放射波に対して影を作るなどの形で現われる。

##### 4.1 衛星赤道面内無指向性アンテナ

スピン安定衛星のテレメータ、コマンドなどには衛星赤道面内無指向性アンテナが必要とされる。これに対しては電気ダイポール形あるいはそのアレイ、磁気ダイポール形あるいはそのアレイ、ホーンアレイ形、ラジアル線路形などが可能であり、衛星システムに適合した形式を選定することになる。後述の図4.1のアンテナシステムではラジアル線路形を用い<sup>(7)</sup>、また後述の図4.4のシステムではスロットアレイ形を用いている<sup>(8)</sup>。

##### 4.2 電氣的デスパンアンテナ

通信・放送・航法などに用いられるアンテナにおいては、軌道上から地球全体あるいは地球上の所要地域を高利得で照射して実効放射電力を大きくすることが必要とされる。そこでスピン安定衛星では高利得アンテナのビームに逆スピンを与えて、ビームをつねに所要方向に向けるデスパンアンテナが用いられる。

電氣的デスパンアンテナはビームの逆スピンを電氣的方法によって与えるものであって、その方法としては放射素子切替、放射素子給電位相制御、および両方式併用が考えられる。この種のアンテナにおいては利得およびそのスピンの伴う変動が問題で、これらに関して放射素子の配列直径と素子数との最適化が重要である。図4.1および図4.2はともに切替え・位相制御併用の電氣的デスパンアンテナであって、前者は1.5GHz帯および4GHz帯のモノポールアレイ励振ラジアル線路形<sup>(7)(9)</sup>であり、後者は11GHz帯のホーンアレイ形<sup>(10)</sup>である。なお図4.1のシステムの最上段には6GHz帯無指向性アンテナを取付けてある。

##### 4.3 機械的デスパンアンテナ

機械的デスパンアンテナはビームの逆スピンを機械的方法によって与えるものである。衛星とう載用として寸法および重量の制限のもとに利得を高くするためには開口能率の高いことが必要で、また衛星および周波数の効果的利用をはかるためには、多周波数帯共用および偏波共用がそれぞれ望ましい。このような条件に合うものに円すいホーンリフレクタ形がある。円すいホーンリフレクタアンテナの開口能率<sup>(11)</sup>は約80%である。また静止衛星から地球上の限定された地域だけを照射しようとする場合には、ホーン軸とリフレクタ軸とが直交していない円すいホーンリフレクタアンテナ<sup>(12)</sup>を用いる。なお開口能率の高い他の

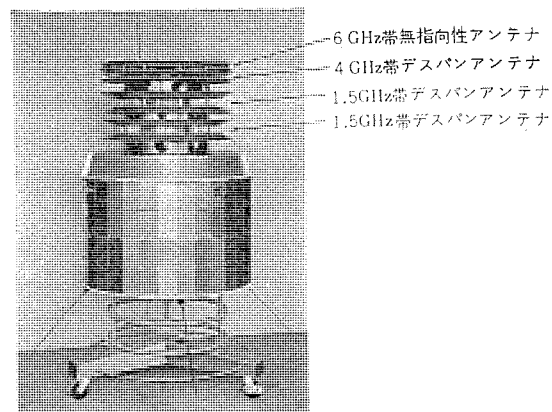


図 4.1 モノポールアレイ励振ラジアル線路形電氣的デスパンアンテナ  
Electronically despun antennas of radial line type excited with monopole array.

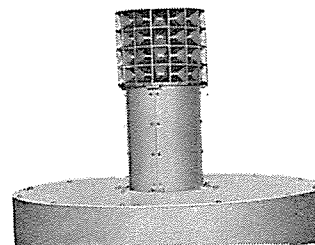


図 4.2 ホーンアレイ形電氣的デスパンアンテナ  
Electronically despun antenna of horn array type

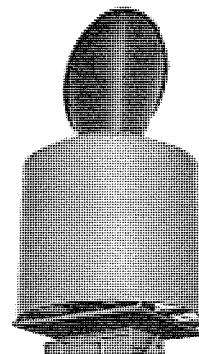


図 4.3 航行衛星用機械的デスパンアンテナのモデル  
Experimental model of mechanically despun antenna for the navigation satellite.

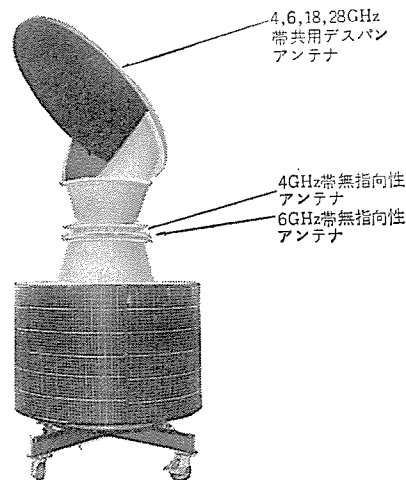


図 4.4 国内通信衛星用多周波数帯共用成形ビームホーンリフレクタ形機械的デスパンアンテナの電氣モデル  
Experimental model of mechanically despun antenna of shaped-beam horn-reflector type for the domestic communication satellite.

形式として、オフセット形 鏡面修整反射鏡 アンテナ<sup>(13)</sup>がある。

図 4.3 は上述の円すい ホーンリフレクタ 形を航行衛星とう載用として採用した 1,600 MHz 帯機械的 デスパンアンテナ のモデル<sup>(11)</sup>である。開口径は 560 mm, 円すい ホーンの開き角は 40° であって、偏波共用小形給電装置によって左右両旋回偏波が放射される。レードーム および給電装置の損失を含めた利得の測定値は 16.7 dB である。

図 4.4 は 国内通信衛星用 多周波数帯共用成形 ビームホーン リフレクタ 形機械的 デスパンアンテナ の電気モデル<sup>(8)</sup>であって、これについては次に述べる。

#### 4.4 成形ビームアンテナ

静止衛星とう載 アンテナ のビーム が地球上の対象とする地域をちょうどおおうには、ビーム 断面が地域の形に合った成形ビーム をもつアンテナ が必要である。そのようなアンテナ として、成形ビームホーンリフレクタアンテナ の理論<sup>(15)</sup>が得られている。これはアンテナ の開口における波面の形状を希望するビーム の形に応じてきめ、その波面から鏡面の形をきめる方法である。

図 4.4 はこの理論に基づく成形ビームホーンリフレクタアンテナ<sup>(8)</sup>であって、国内通信衛星用としてつぎのような特長をもっている。

- (1) 4 周波数帯 (4, 6, 18, 28 GHz 帯) を共用しうる給電部をもつ。
- (2) 準ミリ波帯 (18, 28 GHz 帯) で日本本土を効率よくおおう成形ビームをもつ。
- (3) マイクロ波帯 (4, 6 GHz 帯) で離島をもおおうビームをもつ。
- (4) 機械的 デスパン方式で円偏波を使用する。

このアンテナ は開口径 1 m の成形リフレクタ と開き角 40° の円すいホーン とから成り、小形多周波数帯共用分波装置<sup>(16)</sup>によって給電されるものであり、分波装置の損失を含んだアンテナ の利得は、上記 (2) および (3) のサービスエリアに対して、4 GHz 帯 25.5 dB 以上、6 GHz 帯 26.5 dB 以上、18 GHz 帯 34.0 dB 以上、28 GHz 帯 35.0 dB 以上という設計上の目標値を満たす実測値が得られている。なお円すいホーン 部の外側に無指向性アンテナ を設けてある。

#### 4.5 マルチビーム、偏波共用、およびアダプティブアンテナ

静止衛星と地球上の複数の地域あるいは局との間を独立のビームで結ぶマルチビームアンテナ としては、反射鏡形・レンズ形・アレイ形、およびそれらの複合形が可能で、高利得広帯域性を得るには反射鏡形が有利で、球面反射鏡・小収差反射鏡などが適している。

偏波共用には交差偏波放射レベルの低いアンテナ が必要で、反射鏡アンテナ の一次放射器としてコルゲートホーン<sup>(17)</sup>を用いるのが効果的である。

アンテナ のビーム 幅が細いとビーム 指向精度が大きな問題となるので、

アダプティブアンテナ などの工夫が必要となる。

### 5. む す び

衛星のアンテナ は、打上げ ロケット および衛星そのものから課せられる制約のもとに、通信などのシステムから定まる電氣的必要条件を満たさなければならない。そこに生じる問題点に関する研究開発を主としてその概要を述べた。

衛星とう載用アンテナ の研究開発に当たりつねにご指導いただいている郵政省電波研究所、運輸省電子航法研究所、宇宙開発事業団、日本電信電話公社、日本放送協会の関係各位に深く謝意を表する。(昭和 47-12-29 受付)

### 参 考 文 献

- (1) 錦織, 宇田, 信岡, 武市: 昭 45 連大, 1259
- (2) 宇田, 武市, 小野, 中村: 昭 45 連大, 1260
- (3) 宇田, 石沢, 武市, 小野, 中村: 1971 Internatl. Symp. on Antennas and Propagation, 2-II C 3 (Sept. 1971)
- (4) 宇田, 石沢, 武市, 小野, 中村: 第 16 回 宇宙科学技術連合講演会, A-2-6 (昭 47-11)
- (5) 喜連川, 武市, 小野: 昭 42 連大, 1323
- (6) 宇田, 石沢, 信岡, 中村: 昭 46 信学全大, 470
- (7) 宇田, 石沢, 信岡, 武市, 小野: 信学会 アンテナ, 伝播研資 A, P 70-28 (昭 45-06)
- (8) 進士, 島田, 片木, 武市, 近藤: 信学会 アンテナ, 伝播研資 A, P 72-67 (昭 47-11)
- (9) 宇田, 小室, 信岡, 武市: 昭 44 連大, 1438
- (10) 井上, 熊沢, 立川, 根本: 信学論 (B), 53-B, P 389 (昭 45-07)
- (11) 喜連川, 武市, 水沢, 片木: 1966 IEEE Internatl. Conv. Rec., Pt. 5, P 252 (Mar. 1966)
- (12) 武市, 片木: 昭 43 信学全大, 411
- (13) 水沢, 田中, 牛込: 昭 45 連大, 1252
- (14) 木村, 信岡, 片木, 水崎: 昭 46 信学全大, 485
- (15) 武市, 片木: 信学会 アンテナ, 伝播研資 A, P 70-74 (昭 46-02)
- (16) 島田, 小山, 武市, 橋本, 武田, 多田: 信学会 マイクロ波研資 MW 72-72 (昭 47-09)
- (17) 水沢, 武田, 別段: 信学会 アンテナ, 伝播研資 A, P 71-77 (昭 47-03)

## 航行衛星用狭帯域トランスポンダ

木村 小一\*・安藤 清\*  
笠井鯉太郎\*\*・山本 健次\*\*・水崎 勝生\*\*

## Narrow Band Transponders for Navigation Satellites

Electronic Navigation Laboratory, Ministry of Transport Koichi KIMURA・Kiyoshi ANDO  
Mitsubishi Electric Corp., Kamakura Works Ritaro KASAI・Kenji YAMAMOTO・Masao MIZUSAKI

This article describes the outlines of engineering models of L band type narrow band transponders carried aboard satellites which, by using users' channels of navigation satellites, relay narrow band FM voice, distance measurement signals of position determination and PCM data signals.

These are coherent transponders equipped with tracking filters by means of phase locked loops. The transponder has the following performance of various items that the receiving frequency 1647.3 MHz, the transmitting frequency 1548.7 MHz, the overall noise figure 5.8 dB, the transmitting power 2.2 W, the bandwidth 27 kHz, the carrier acquisition threshold  $-130$  dBm and the acquisition time 1 sec.

## 1. ま え が き

航行衛星は航空機、船舶との通信の中継、監視ならびに測位を行なうものであり、太平洋・大西洋上の静止軌道に各2個ずつ打ち上げることににより、GLOBAL SYSTEM そして気象・遭難通信を含む交通管制通信と監視および会社との業務上の通信などを行なうことが考えられている<sup>(1)</sup>。この実用システムの必要時期は1980年代初期と考えられ、1975年末ごろには航空用のものが実験評価の段階に入るべく、世界各国でシステム研究、構成機器の試作実験などが進められている<sup>(2)</sup>。航行衛星の周波数割当は、衛星—利用者回線にLバンド(UP-LINKに1645—1660 MHz, DOWN-LINKに1543.5—1558.5 MHz<sup>(2)</sup>)が使用されるので、Lバンドにおけるトランスポンダの性能確認のため、狭帯域FM音声、PCMなどのデータ信号および測位用の測距信号を中継する衛星とう載用狭帯域トランスポンダのエンジニアリングモデルを設計製作したので、ここにその概要を報告する。

このトランスポンダのおもな特長は次のようである。

(1) 位相同期技術によるトラッキングフィルタを具備し、衛星—移動体間のドップラ効果で生じる周波数偏移、トランスポンダ内の局部発振器ドリフトおよび送信側の周波数ドリフトによる受信周波数偏移を相殺し、測位の最大誤差源となる群遅延時間変動を小さくするとともに通過情報帯域幅を必要最小限に絞りC/Nの向上を計っている。

(2) 送受信周波数の関係をコヒーレントにすることによりTWO-WAY DOPPLER 計測が行なえる。

(3) 低雑音増幅器(NF 4.4 dB)を具備し、キャリアアクイジションスレシホールド、 $-130$  dBm, アクイジション範囲、 $\pm 40$  kHz, アクイジション時間、1秒の性能を有する。

なお、この装置の設計製作開始後 WARC-ST (1971年)において、この目的の地上局—衛星回線にはCバンド(5.0—5.25 GHz)が使用されることになったので、本技術をもとにCバンド/Lバンド変換トランスポンダの検討も進めている。

## 2. 装置の概要

このトランスポンダ装置はキャリアアクイジションスレシホールド、 $-130$  dBm, 信号通過帯域幅、27 kHz, 送信電力、2.2 Wの性能を有するLバンド

狭帯域形のものであり、重量配分の関係上送信部と受信部の2きょう体に分割され、1F系、ローカル系のそれぞれを同軸ケーブルで接続することにより構成される。

図2.1, 2.2にそれぞれ航行衛星用狭帯域トランスポンダ装置受信部・送信部の外観を、図2.3にブロック図を示す。

受信部はプリセレクタ・低雑音増幅器・第1ミキサ・第1中間周波増幅器・第2ミキサ・第2中間周波増幅器・位相同期ループで構成されたトラッキングフィルタ付きダブルスーパーヘテロダイン受信部で、送信部は第1アップコンバータ・第2アップコンバータ・Lバンド電力増幅器・バンドパスフィルタで構成された周波数変換形送信部である。これの動作としてはまず搬送周波数1647.294 MHz $\pm 40$  kHz, 入力電力レベル $-130$  dBm以上の無変調搬送波を受信し、1秒以内にこの搬送波に自動的にアクイジションすることにより位相同期ループが同期状態になり、トラッキングフィルタとしての動作が確立する。これに続いてたとえば測位・

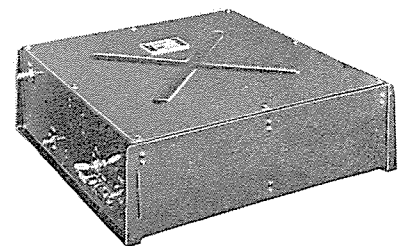


図 2.1 航行衛星用狭帯域トランスポンダ 受信部  
Receiver section of narrow band transponder for navigation satellite.

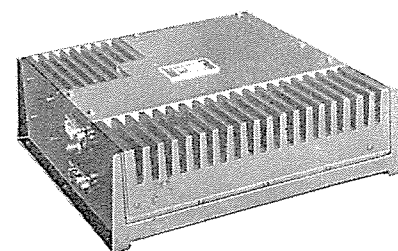


図 2.2 航行衛星用狭帯域トランスポンダ 送信部  
Transmitter section of narrow band transponder for navigation satellite.

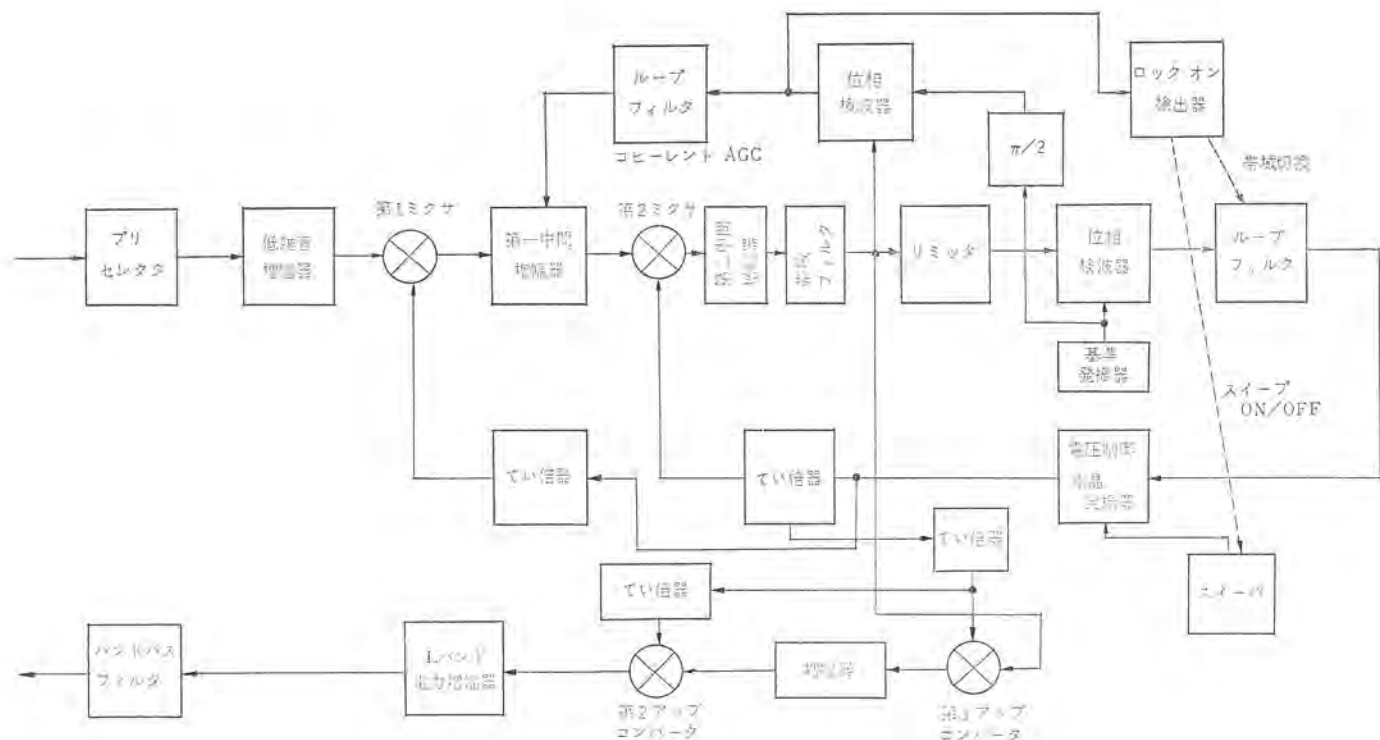


図 2.3 航行衛星用狭帯域トランスポンダ  
Block diagram of narrow band transponder for navigation satellite.

データ信号 (9.6 kb/s の PCM 信号) によって位相変調 ( $0 \sim \pi/2$  の PSK<sup>(3)</sup>), または音声信号によって周波数変調 (変調指数 1) された搬送波を受信し, 1548.7 MHz に周波数変換した後 2.2 W まで電力増幅して送信される。トランスポンダ内の各ローカル系は, 電圧制御水晶発振器出力を一連のてい倍器群で合成して作っている。送受信周波数の関係は式 (2.1) に示すようにコヒーレントとなり TWO-WAY DOPPLER 計測が行なえる。

$$f_T = \frac{78}{83} f_R + \frac{5}{83} f_{REF} \quad (2.1)$$

ここで,

$f_T$ : 送信周波数

$f_R$ : 受信周波数

$f_{REF}$ : 基準発振器の周波数

このトランスポンダ装置の主要性能は次のようである。

受信周波数:	1647.294 MHz $\pm$ 40 kHz
送信周波数:	1548.704 MHz $\pm$ 40 kHz
総合雑音指数:	5.8 dB
送信電力:	2.2 W
スプリアス ふく (幅) 射:	-40 dB 以下
入出力の VSWR:	1.5 以下
帯域幅:	27 kHz
AGC レンジ:	60 dB
キャリア アクイジション スレシホールド:	-130 dBm
キャリア アクイジション タイム:	1 秒
同期引込幅:	$\pm$ 40 kHz
等価雑音帯域幅	
アクイジション モード:	850 Hz
トラッキング モード:	103 Hz
消費電力:	20 W

動作温度範囲:	0 $\sim$ 40 $^{\circ}$ C
寸 法	
受信部:	250 $\times$ 250 $\times$ 80 mm
送信部:	224 $\times$ 210 $\times$ 70 mm
重 量	
受信部:	3.15 kg
送信部:	2.72 kg
使用電源:	+12 V, -12 V, +20 V

## 2.1 受信部

RF フロントエンド部はそう (挿) 入損失 0.5 dB, 帯域幅 20 MHz, 1,550 MHz における減衰度 70 dB の性能を持つ 4 段 キャビティ 形 プリセクタ, 雑音指数 4.4 dB, 電力利得 24.6 dB の性能を持つ 3 段 トランジスタ 低雑音増幅器 (初段 V 578, 2 $\sim$ 3 段 2 SC 987 A), および雑音指数 8 dB の性能を持つ バランス 形 ミキサ (V 672 B) で構成されており, プリセクタ以外はすべてセラミック基板上に MIC 化されている。

第 1 $\cdot$ 第 2 中間周波増幅器は, それぞれ中心周波数 69.854 MHz, 10.700 MHz, 電力利得 65 dB, 60 dB, 帯域幅 3 MHz, 27 kHz の性能を持ち, IC (M 1590 G, M 1550 G) 回路で構成され, 第 1 中間周波増幅段には, 60 dB のダイナミックレンジに対して利得変動量が 1 dB 以下のコヒーレント AGC が付加されている。

トラッキングフィルタ用位相同期ループは 2 V<sub>REF</sub> に振幅制限するリミッタ, 1 V/rad の検波感度を持つ レシオ 検波方式の位相検波器, 電力利得 20 dB の Lead-Lag 形 ループフィルタ (アクイジション時の時定数  $\tau_1$  は 2.5 s,  $\tau_2$  は 1 ms, トラッキング時のそれは  $\tau_1=250$  s,  $\tau_2=100$  ms), 自走周波数 19.7180 MHz, 変調感度 1.5 kHz/V $\cdot$ s, 安定度  $1 \times 10^{-5}$  の性能を持つ コルピッツ 形電圧制御水晶発振器, 3 てい倍器, 80 てい倍器 (トランジスタによる 2 てい倍回路 3 段と ステップリカバリ ダイオード HP 5802-0300 による 10 てい倍回路で構成されている) および  $5 \times 10^{-6}$  の安定度を持つ水晶基準発振器で構成され, 3 てい倍器出力, 80 てい倍器出力, 2.2 W の電力で送信される。



い倍器出力をそれぞれ第2・第1ミキサに注入することによりループが構成される。このループは $\pm 40$  kHzのトラッキング範囲にわたって Static Phase Error を0.1 rad以下にするため、 $2.5 \times 10^6$ の Velocity Gainを持っている。また $\pm 40$  kHzの範囲にわたって1秒以下で自動的にアタックさせるために、三角波発生器からなるスレープで電圧制御水晶発振器を強制的にスレープし、かつループフィルタの時定数の切換えを行なう。

このスレープ ON/OFF、帯域切換は基準発振器出力を L、C 集中定数回路で作った  $90^\circ$  移相器で位相推移したものと信号を位相検波器で同期検波し、ローパスフィルタとシュミット回路からなるロックオン検出器で同期・非同期を識別し、ループフィルタ、スレープ内にあるリレーを駆動して行なわれる。

## 2.2 送信部

第二中間周波増幅器で分岐した IF 系と、2てい倍器出力で分岐したローカル系がこの送信部と同軸ケーブルで接続され、第一アップコンバータで 129.008 MHz に周波数変換される。

第二アップコンバータはバラクタダイオード (MVE 6005)、集中形ローパスフィルタおよび出力キャビティからなるマルコン方式であり、129.008 MHz、+12 dBm の IF 信号と 709.848 MHz、+30 dBm のポンピング電力により 1548.704 MHz、+19~+20 dBm の出力を得る。

Lバンド電力増幅器は、グラスファイバ積層板によるマイクロストリップライン上に 2N 5715, MSC 2001, MSC 2005 を配備した3段トランジスタで構成され、約 19 dB の電力利得を持っている。また初段はエミッ

タ接地、後2段はベース接地としてC級動作により、電源電圧 20 V を使用して 38 % の効率をもっている。この電力増幅器で増幅された信号はそう入損失 0.8 dB、帯域幅 20 MHz の4段キャビティ形バンドパスフィルタを経て送信されるとともに、ここでスプリアスふく射が基本波に対して -40 dB 以下となるよう十分なる減衰度をとっている。

## 3. む す び

衛星—利用者回線に使用する航行衛星用狭帯域トランスポンダ装置のエンジニアリングモデルについて、その概要を述べた。今後は測位、データおよび音声信号によって変調された実際の信号をこのトランスポンダで中継し、疑似ロック、群遅延時間変動量および総合 S/N 評価など総合動作についての実験を予定している。終わりに当初の設計に協力された第一管区海上保安本部 田中鉄一氏および三菱電機鎌倉製作所関係者に感謝する。(昭和 47-12-29 受付)

## 参 考 文 献

- (1) 木村, 西, 安藤: 航行衛星システムの技術的問題点, 昭 46 宇宙航行の力学シンポジウム, P. 17
- (2) 米本, 久木田: 航空衛星システムの技術的問題点, 宇宙航行エレクトロニクス研資, SANE 72-7 (昭 47-6)
- (3) 木村, 安藤, 藤田: 航行衛星用デジタルトーン測距について, 昭 47 信学全大 S 6-3

登録番号	名 称	発 明 者	登録番号	名 称	発 明 者
621876	渡し板装置	{三矢周夫・加藤淳治 篠田昌孝	624397	電解加工装置	斉藤長男・古池一成
621888	電気スイッチ	渡辺陸夫	624405	限時継電器	杉浦博・奥村昭光
622919	脱調保護継電方式	三上一郎	623798	圧力緩衝装置	江本浩徳
622929	交流発電電圧変化分導出装置	鈴木健治・野沢輝夫	626494	原料輸送制御装置	石 雅彦
621879	電磁引外し装置	{広瀬 薫・松浦 清 河野教人	626500	溶接機	{馬場利彦・越智紀明 田尻浩巳
622921	電圧量遠隔計量装置	林 正之	624394	絶縁被覆電気導体	西崎俊一郎
621881	内燃機関点火装置	三木隆雄	624396	プラス電子銃の起動装置	利岡勝司・小倉新三
621885	内燃機関点火装置	大西正義	624398	電気絶縁塗料	柴山恭一・児玉峯一
621886	内燃機関点火装置	岡上公彦	624401	稀土類元素をドーパした II <sup>VI</sup> 族化合物結晶製法	小宮啓義・大村 寛
621887	内燃機関点火装置	岡上公彦	624399	直流電力制御装置	赤松昌彦
622922	通電加工用電極の製法	斉藤長男・片寄文隆	624403	電磁流体発電装置の電極	{森川鉄也・村井 裕 小林幸人
622923	通電加工用電極の製法	荒井伸治・古池一成	624408	定尺試験器	土屋英司・鈴木 裕
620797	製氷機	酒井誠記	626496	変圧器の模擬装置	荒木忠夫
620799	製氷機	酒井誠記	626499	多相磁束発生装置	近藤博通
620800	製氷機	酒井誠記	624412	安定器用鉄心の製造方法	添田 稔
620801	冷凍装置の制御回路	原 明	626498	ストリップラインサーキュレータ	中原昭次郎・折目 晋啓
622928	液体供給装置付製氷機	船橋靖幸	623797	半導体発振装置	奥 泰二・三井 茂
621877	輸送装置	白石和男	624406	半導体のリード線テイル除去方法 および装置	吉田 常夫
622916	制御装置	木内 修	624407	半導体装置	山本 勲
622918	電流検出装置	九里英輔	624409	トランジスタ定電圧回路	吉富正夫・石田博一
620798	冷凍機用圧縮機の起動方式	森光幸次・三浦 喬	626497	半導体装置の製造方法	池川秀彰・北村博信
621874	弁装置	佐藤邦彦	624400	可撓状感動電熱線	東 邦弘・松倉俊輔
622917	遠隔制御方式	山崎英蔵・六藤孝雄	624395	移相変調器	中川幹雄・岡野 晃
620796	パネルディスプレイ装置	吉沢達夫・伊吹順章	624410	移動目標表示方式	玉真哲雄
621872	無整流子電動機制御装置	赤松昌彦	624411	移動目標表示方式	{渡辺 優・田中安敏 玉真哲雄
621873	電気絶縁材料	伊藤公男・岡橋和郎	624441	移動目標表示方式	{坂本新太郎・柴田信之 玉真哲雄
621878	熱硬化性樹脂の製造法	西崎俊一郎・不可三晃	626849	相手端しゃ断器の検出方式	山田郁夫・仁科重雄
621880	電磁流体発電装置	森川鉄也・村井 裕	626503	リードスイッチ制御装置	大西正義
621882	機関点火時期測定装置	{槽谷一郎・青木正夫 岡本弘之	626845	走行車用内燃機関の制御装置	柴垣匡男・三木隆雄
621883	電磁流体発電装置	{森川鉄也・村井 裕 柳瀬正人	626851	手押車の制御装置	森川席男
622924	ポンプ等における圧力タンクへの 給気装置	渡辺光人	628528	微小体の放電加工法	斉藤長男・荒井伸治
622925	定電流回路	荒木忠夫	628529	放電加工装置	{斉藤長男・荒井伸治 安井大樹
622926	交流電力制御装置	赤松昌彦	629178	放電加工装置	{斉藤長男・田中利夫 加藤 強
622927	電力線保護装置	{河合 正・前田良雄 立川清兵衛	628526	ジグザグミシンのボタン穴縫成装置	貴志征吾
621884	半導体装置	船川 繁・大社 昂	628527	ジグザグミシンのボタン穴縫成装置	山田正和・藤田次朗
621875	電気掃除機の排気装置	武井久夫	629176	自動揃速装置	宇野克己・森永義次
622920	電気掃除機	武井久夫・加藤 悟	626504	信号選択装置	佐藤昌樹・日下俊一
620802	レーダ装置	近藤輝夫・御法川秀夫	626501	多相抵抗溶機の位相制御装置	越智紀明
620803	レーダ装置	御法川秀夫	626502	ビーム取出窓	中田省三・上田 敏
624404	自動搬出装置付運搬装置	徳田泰弘	626846	電気絶縁材料	{伊藤公男・福島二郎 藤沢 修
624402	ネットワークプロテクタ	梅本隆司・宮田泰之			
626495	負荷制限方式	梅本隆司・宮田泰之			





# 特許と新案

## 超電導マグネット

発明者 荻野 治・森口 哲雄

この発明は、くら(鞍)形超電導マグネットに関するもので、特にマグネットに作用する電磁反発力を冷却そう(槽)の外側から拘束し、冷却液の量および熱侵入量の軽減を図ったものである。

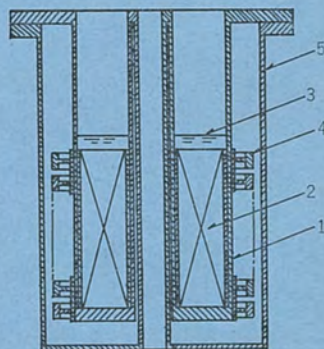
図はこの発明のくら形超電導マグネットを示し、(1)は冷却そうで、くら形超電導コイル(2)をその内壁面に密着させて収納している。(3)は冷却そう(1)内に注入され、超電導コイル(2)を冷却する液体ヘリウム等の冷却液である。(4)は冷却そう(1)の外壁面に取付けられたガーダで、超電導マグネット(2)の大きな電磁反発力を、冷却そう(1)の壁を介して拘束するためのものである。(5)はガーダ(4)と冷却そう(1)を包囲する真空の断熱そうである。

この発明は、特に超電導コイル(2)と冷却そう(1)の内壁面とを密着させ、冷却そう(1)の外側からガーダ(4)を取付け、これを断熱そう(5)に納めるように構成したものである。

このように構成すると、従来、くら形超電導マグネットとそのガーダとの2要素を冷却そうの内部に収納し、2要素をともに冷却してい

たものと比較して、冷却そう(1)の容積および外形が小さくなり、それだけ冷却液の量および熱侵入量の軽減が図れ、きわめて実用的効果の高いものとなる。

(特許第594315号) (早川記)



## ディジタル演算装置

発明者 山下 弘雄

この発明は、パルス数  $P$  で表わされる数  $P$  の2乗すなわち  $P^2$  の演算をディジタル回路を用いて演算するディジタル演算装置に関するものである。

図1において(1)はパルス数  $P$  を出すパルス発生器、(3)はゲート回路、(4)は  $P$  を  $2P$  にてい(通)倍するとともにそれを交互に分配するてい倍分配器、(5)は  $2P$  を加算する2進計数器、(13)はてい倍分配器(4)からの  $2P$  の一方、たとえば奇数番目のパルスを所定時

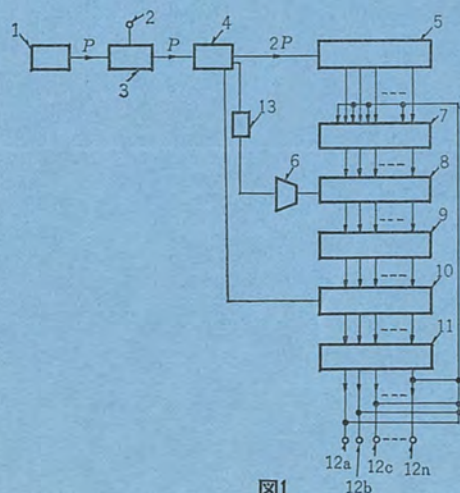


図1

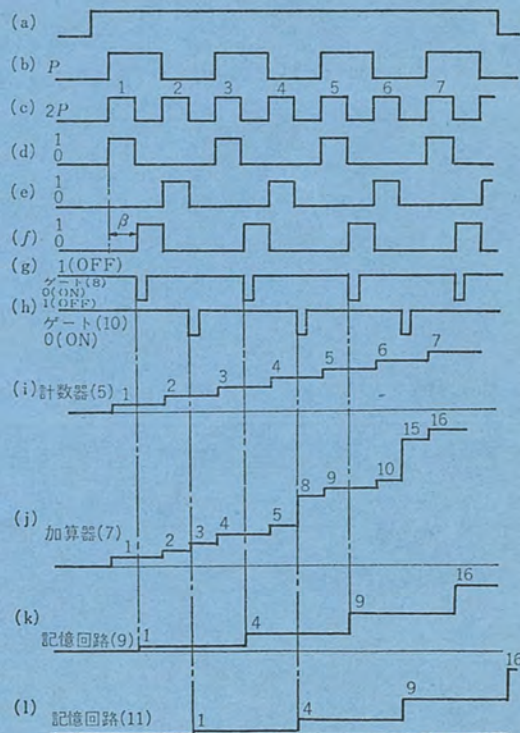


図2



間遅延させる遅延回路、(6)はノア素子、(7)は計数器(5)の出力と後述の出力値とを加算する2進加算器、(8)はノア素子(6)の0出力により付勢されるゲート回路、(9)はゲート回路(8)の付勢時に加算器(7)の出力を記憶する記憶回路、(10)はてい倍分配器(4)の0出力により付勢されるゲート回路、(11)はゲート回路(10)の付勢時に記憶回路(9)の記憶値を記憶し、それを加算器(7)に伝達する記憶回路、(12a)……(12n)は出力端子である。

ゲート端子(2)に図2(a)のゲート信号が印加されると、ゲート(3)は $P$ の通過を許し、てい倍分配器(4)で $2P$ に変換され計数器(5)で加算される。この状態を図2(b)、(c)、(i)に示す。一方 $2P$ は図2(d)、(e)に示すように交互に分配され、その一方は(f)に示すように、遅延回路(13)で $\beta$ 遅延された後ノア素子(6)を介してゲート(8)に、他方はゲート(10)に供給される。この両ゲートの状態を図2(g)、(h)に示す。いまてい倍分配器(4)から1番目のパルスが出ると、計数器(5)の計数値は1となる。この場合ノア素子(6)

の出力は0であるから、この計数値1は、加算器(7)およびゲート(8)を経て記憶回路(9)に記憶される。2番目のパルスが出ると、ゲート(10)が付勢され記憶回路(9)の記憶1は記憶回路(11)に移される。一方2番目のパルスの発生により計数器(5)の計数値は2となり、加算器(7)において計数器(5)の計数値2と記憶回路(11)の記憶値1とを加算して、加算器7の内容は3となる。次に3番目のパルスが発生すると、計数器(5)の計数値は3となり、加算器(7)はその値が計数されて内容は前述の3に1が加算され4となる。この計数値4はこの場合ノア素子(6)の出力が0でゲート(8)が開いているから記憶回路(9)に移される。続いて4番目のパルスが出ると、ゲート(10)が開いて記憶回路(9)の計数値4は記憶回路(11)に移され、一方加算器(7)は、計数値4と4番目のパルスを加算したものと記憶回路(11)の増加分内容とが加算されて8となる。このようにして出力端子(12a)、(12b)……(12n)には、図2(1)に示すようにパルス数 $P$ の2乗値に等しい出力が発生する。(特許第611814号)(太田記)

## 永久磁石式操作装置

発明者 伊藤利朗・大倉敏幹

この発明は、たとえばシャ断器の開閉切り換え、ならびに開放状態あるいは閉成状態に保持することができる永久磁石式操作装置に関するものである。

図1は、この発明の永久磁石式操作装置を示す断面で、シャ断器のフラッグ形の電磁石に適用したものである。(1)はシャ断器(図示せず)に連動された可動鉄心で、永久磁石(5)側へ吸引されたときは、シャ断器が投入された場合であり、永久磁石(6)側へ吸引されたときは、シャ断器がシャ断された場合である。(2)は固定鉄心、(3)および(4)はそれぞれ投入用コイルおよびシャ断用コイル、(5)および(6)はそれぞれ投入用永久磁石およびシャ断用永久磁石である。

図2は、永久磁石(5)、(6)の磁化状態を示したもので、実線は投入用永久磁石(5)の磁化状態、点線はシャ断用永久磁石(6)の磁化状態を示す。

投入用永久磁石(5)が磁化と無磁化の状態を交互に繰り返すと、可動鉄心(1)を投入用永久磁石(5)に交互に吸引開放することができる。シャ断用永久磁石(6)についてもまったく同様であるが、投入用永久磁石(5)とシャ断用永久磁石(6)との磁化状態はまったく逆の関係になり、シャ断器を投入する場合は、投入用永久磁石(5)の残留磁束密度が $B_r$ になるような磁界の強さと方向 $H_1$ を投入用コイル(3)に与え、同時にシャ断用永久磁石(6)の残留磁束密度がゼロになるような磁界の強さと方向 $H_4$ をシャ断コイル(4)に与える。よって可動鉄心(1)は、シャ断用永久磁石(6)から開放され投入用永久磁石(5)に吸引され、可動鉄心(1)に直結されているシャ断器は投入され、この投入状態を保持する。またシャ断を行なう場合は、投入操作とまったく逆の操作を行なえばよい。

この発明は、非常に簡単な構造でシャ断器等の開放閉成を制御で

き、かつその状態を保持することができるものである。

(特許第595821号)(早川記)

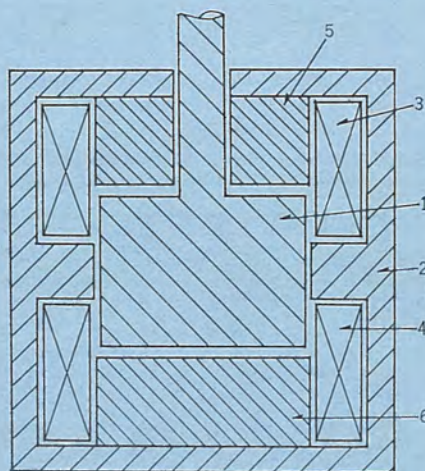


図1

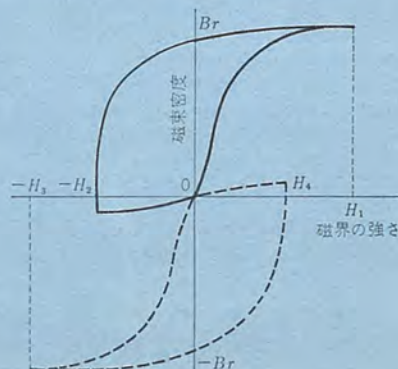


図2



# 特許と新案

## ネットワークプロテクタ

発明者 梅本隆司・宮田泰之

この発明は、高信頼度の配電を行ないうるネットワーク配電システムに用いられるネットワークプロテクタに関するものである。

ネットワーク配電とは、格子状をなす低圧配電網に複数の高圧配電線から、それぞれネットワーク変圧器を介して給電する方式である。この方式ではいずれの高圧配電線に故障が生じて、変圧器を介して低圧配電網からその故障点に電流が逆流しないよう、ネットワーク変圧器の二次側にネットワークプロテクタが設置され、電流の逆流により高圧側の故障を検出して、その高圧側故障系統を低圧配電網から切り離すようになっている。これは逆電流シャ断と呼ばれている。

ところで配電線においては、電灯および動力負荷を1本化するため、ネットワーク変圧器の中間タップを、共通幹線として使用する図1のようなV接続三相4線式とされる場合がよくある。この方式によれば、電灯(92)に100V、動力負荷(91)に200Vを一つの配電システムにより一括供給することができて便利である。しかしこのV接続三相4線式の場合、従来のネットワークプロテクタをそのまま用いたのでは、上記の逆電流シャ断が実現できない。以下その理由を説明する。

図1においてab相間の変圧器鉄心を通る磁束を $\phi$ 、anおよびnb相間の巻数を $n_0$ 、変圧器端子電圧を $e_{an}$ 、 $e_{nb}$ 、電流を $i_a$ 、 $i_b$ とすると

$$e_{an} = n_0 \cdot d\phi/dt = e_{nb} \quad (1)$$

ただし

$$\phi = n_0 \cdot i_a + n_0 \cdot i_b \quad (2)$$

が常に成立する。また $i_a$ 、 $i_b$ には式(2)以外にはなんらの制約条件もないから、 $i_a$ 、 $i_b$ は励磁電流 $I_{aex}$ 、 $I_{bex}$ と、これとは別のある仮定電流(平衡化電流と呼ぶ) $I_{bl}$ との和で表わされ

$$i_a = I_{bl} + I_{aex} \quad (3)$$

$$i_b = -I_{bl} + I_{bex} \quad (4)$$

となる。ところでこの平衡化電流 $I_{bl}$ はan相間とnb相間の負荷が等しくないとき、すなわち $e_{an} \neq e_{nb}$ であるにもかかわらず、式(1)による $e_{an} = e_{nb}$ の関係を満足しようとして流れる電流である。

さて、一次開閉器DSの開放された変圧器の回路は図2のように表わされ、a、b、c各相の相電流を $I_a$ 、 $I_b$ 、 $I_c$ 、ab相間およびcb相間の変圧器を流れる励磁電流を $I_{aex}$ 、 $I_{cex}$ 、an相間およびnb相間の変圧器を流れる平衡化電流を $I_{abl}$ 、 $I_{bbl}$ とすると、各電流の関係は上記図1における説明から明かなように、次式のように表わされる。

$$I_a = I_{aex} + I_{abl} \quad (5)$$

$$I_b = -(I_{aex} + I_{cex}) + I_{bbl} \quad (6)$$

$$I_c = I_{cex} \quad (7)$$

$$I_n = -(I_{abl} + I_{bbl}) = -2I_{bl} \quad (8)$$

ところで一般にネットワークプロテクタは、逆電流シャ断の動作力を変圧器二次電圧、電流およびその両者間の位相差により得ているから、もし式(5)、(6)にあって平衡化電流が励磁電流によるプロテクタの動作力を打消す方向に流れると(図2でいえばb相がこの状態である)、変圧器を低圧側から励磁するにもかかわらず、ネットワークプロテ

クタは動作力が得られず逆電流シャ断できないことになる。

この不都合の原因は一にかかって平衡化電流の発生にあり、したがってもしこれを消去するか、あるいはこれの影響を回避することができれば、正常な動作を期待できるはずである。

まずその第一の解決策(特許第624402号)は、式(5)~(8)において、n相電流 $I_n$ の $\frac{1}{2}$ をa相電流 $I_a$ 、b相電流 $I_b$ に加えれば $I_a$ 、 $I_b$ から平衡化電流 $I_{bl}$ を消去できることに着目した。すなわち図3に示すように、a相およびb相のネットワーク継電器CNMの電流コイル(8)に、それぞれn相電流の $\frac{1}{2}$ を加算するものとした。

ところでこの第一の解決策では中性相nの電流 $I_n$ を導出することが必須の条件となるが、系統構成のいかんによっては $I_n$ を導出できない系統がある。

そこで第二の解決策(特許第601416号)は、各相電流の組み合わせにより $I_n$ に相当する電流を導出し、これにより平衡化電流を消去し励磁電流のみを導出するものとした。すなわち式(5)~(8)から

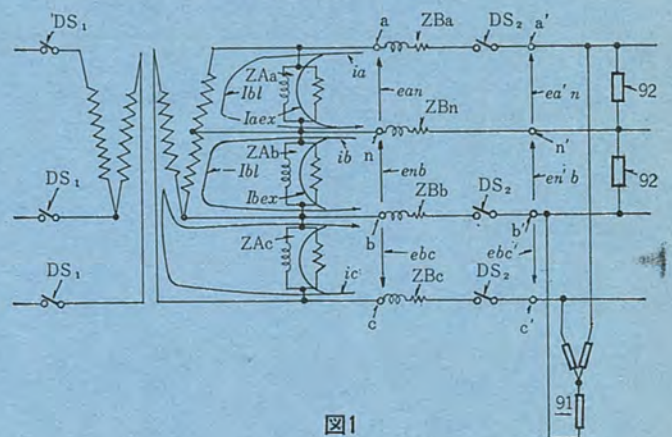


図1

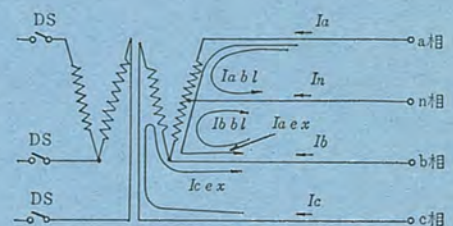


図2

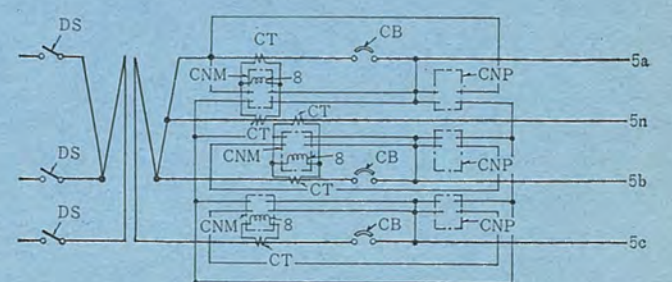


図3



各相励磁電流は

$$I_{aex} = \frac{1}{2}(I_a - I_b - I_c) \dots\dots\dots (9)$$

$$-(I_{aex} + I_{cex}) = -\frac{1}{2}(I_a - I_b - I_c) \dots\dots\dots (10)$$

$$I_{cex} = I_c \dots\dots\dots (11)$$

となる。したがって図4に示すように各相CTを式(9)~(11)が成立するように接続すれば、 $I_n$ を用いることなく平衡化電流を消去することができる。

第三の解決策(特許第601417号)は、上記二例のように平衡化電流を消去する方向でなく、むしろこれを動作力の一助にしようとするものである。いま図2を観察すると、平衡化電流 $I_{bl}$ はb相では励磁電流と逆向きになって動作力を打消そうとするが、a相では励磁電流と同方向になって動作力を助長する。したがって平衡化電流をむしろ意識的に作り出し、そしてb相をプロテクタの動作要素から除去し、そのかわりにa相をb相分とあわせて2個分設置するものとする。平衡化電流を作るには上記したようにnb相間とan相間の負荷を不平衡に、つまりnb相間の負荷をan相間の負荷よりも大きくして、an相間の電圧をnb相間の電圧よりも大きくすればよい。しかし需要家につながる負荷をこの目的のために用いるのは得策でない。そこで図5に示すようにnb相間にダミーロード(10)をそう入して各相に流れる平衡化電流を増し、そしてネットワーク継電器CNMとしてはb相用を取りのぞき、そのかわりにa相用のCNM

に2倍の駆動力を発生させるようにしたのである。

(特許第624402号, 同601416号, 同601417号)(太田記)

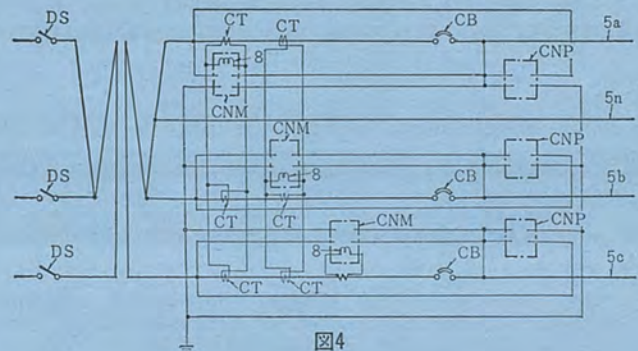


図4

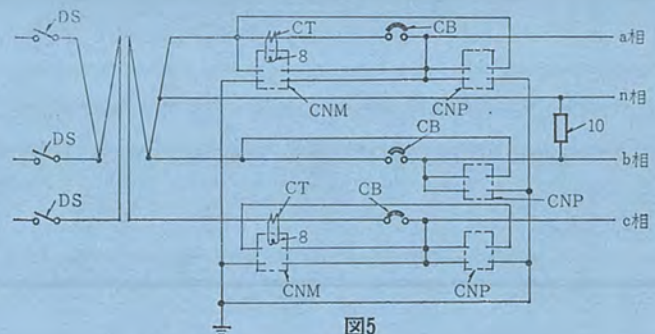


図5

## 自動車用方向指示器の未復帰警報装置

考案者 坂本敏之

この考案は方向指示器が操作スイッチのもし忘れ等によって、一定時間連続して作動した場合に警音器が吹鳴するごとくした自動車用方向指示器の未復帰警報装置に関するものである。

従来、2輪自動車等においては、3輪・4輪自動車に設けられている操作スイッチの自動復帰装置や方向指示器が、作動時に動作音を発する装置等がなく、直進しているにもかかわらず長時間方向指示器を作動させて走行していることがあり、他の自動車や歩行者の判断を錯誤させ、交通事故の大きな潜在的原因となっている。

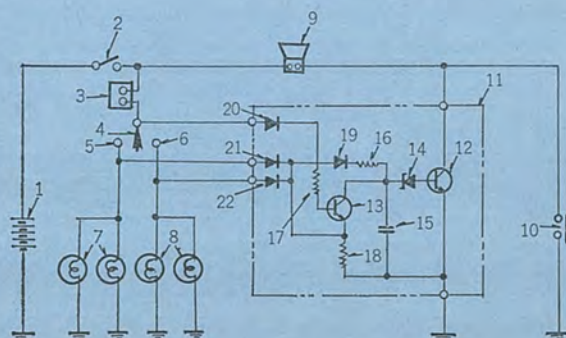
この考案は上記にかんが(鑑)み、既存の方向指示装置を変更することなく、方向指示器のもし忘れを防止しようとするもので、たとえば自動車の左折時に方向指示作動用スイッチ(4)を接点(5)に接触させて、左側方向指示ランプ(7)をリレーユニット(3)により点滅させるとともに、電源(1)からコンデンサ(15)を充電し、その充電電圧が充電開始より一定時間後にゼナーダイオード(14)の動作電圧まで上昇したときに、NPN形トランジスタ(12)を断続的に導通させ、警音器(9)により左側方向指示ランプ(7)と同期して警音を吹鳴させるようにしたものである。

なお方向指示作動用スイッチ(4)が図示のように中立位置に復帰すれば吹鳴は止まり、同時にNPN形トランジスタ(13)が導通してコンデ

ンサ(15)は瞬時に放電されて充電待機状態となり、また遅延ユニット(11)がいかなる状態にあるときでも、警音器スイッチ(10)の操作による警音器(9)本来の動作はまったくそこなわれることはない。

以上のようにこの考案は、方向指示器が一定時間以上継続して作動した場合に、遅延ユニットにより警音器を吹鳴させるようにしたので、たとえば外部騒音の大きい2輪自動車等においても、方向指示器作動用スイッチのもし忘れ等による方向指示器の誤使用を、確実に運転者に報知できるすぐれた効果を有するものである。

(実用新案第936284号)(古沢記)



## サイリスタ高性能転流法とその応用

赤松 昌彦\*・熊野 昌義\*・矢野 禎成\*  
川畑 隆夫\*\*・加我 敦\*\*・長南 克彦\*\*\*

High Performance Thyristor Commutation Method  
and Its Application

Central Research Laboratory Masahiko AKAMATSU・Masayoshi KUMANO・Sadanari YANO  
Itami Works Takao KAWABATA・Atsushi KAGA  
Nagoya Works Katsuhiko CHONAN

A high performance thyristor commutation method has been newly developed by Mitsubishi. Descriptions are made about its working principle, detailed operation analysis of inverter basic circuit using it, comparison with test results and several practical examples. This commutation method employs a commutating current transformer for the operation so as to have magnetic coupling of a load current path and a capacitor discharge path, controlling the capacitor discharge current in response to the value of the load current. Thus the device is able to control excess current and to utilize the charge of the capacitor at full rate. Because of this operation the reverse bias time is prolonged a great deal compared with the conventional device. In another word, a necessary capacity value needed for obtaining the same reverse bias time can be reduced to the fraction of the old value. This helps decrease the commutation current and realizes the commutation of more than 2 kHz that was practically impossible.

## 1. ま え が き

サイリスタが開発されて早10余年、この間にすぐれたスイッチング素子として応用分野は急速に拡大され、各方面で実用化されている。

サイリスタはその特性上、一般に点弧エネルギーは非常に少なくすむが、消弧のために要するエネルギーはこれに比べ、非常に多くを必要とする。このためインバータやチョップなど強制転流を行なうサイリスタ回路においては、その効率・寸法・価格・動作周波数限界などの性能は転流回路の特性いかんにかかっているといえる。

従来この種のコンデンサを用いた強制転流回路には、マクマレ・ベッドフォード回路<sup>(1)</sup>、AC側分配回路<sup>(2)</sup>、マクマレ補助インパルス回路<sup>(3)</sup>をはじめ、多くの回路が考案実用化されている<sup>(4)~(6)</sup>。一方、転流回路に変流器を用いる試みは、モルガン<sup>(7)</sup>、マクマレ<sup>(8)</sup>などによりチョップにおけるON—OFF時間制御の目的で行なわれている。これらを大別すると、表1.1に示すごとく「電圧逆バイアス形」と「電流逆バイアス形」に分類できる。しかし、これらはいずれも、そのコンデンサ

電流はL—Cによる振動電流となり、転流に必要な電流値以上流出する。このため転流回路の持つ電荷を100%活用しているといえない。さらに電圧形ではその性質上逆バイアス時間は、コンデンサ電荷充放電期間の半分に低下するので、それだけコンデンサを余分に必要とする。

本報告は、これらコンデンサ電荷の十分な活用を計る目的で開発した転流用変流器を用いた新しい高性能転流法の原理と、この転流法を用いたインバータの構成および動作を示すとともに、動作の定量的解析と実験結果の比較について記述し、さらにいくつかの実用例についてその概略を紹介したものである。

## 2. 転流法の原理と動作

図2.1は、転流用変流器を用いた高性能転流法(Transfer Current Commutation, 略してTC転流法と称す)の原理図である。図においてCTは転流用変流器で、巻数比1+nなる二次巻線には負荷電流 $I_0$ が供給されている。

表 1.1 サイリスタ強制転流法の等価回路に基づく分類  
Classification of thyristor force commutation methods  
conform to the equivalent circuit.

	電圧逆バイアス形		電流逆バイアス形	
	並列負荷形	直列負荷形	振動形	抑制形
転流等価回路				
波形				
逆バイアス時間	$\frac{t_c}{\sqrt{LC}} = \sin^{-1} \frac{1}{\sqrt{1+Y}} + \sin^{-1} \frac{1}{2\sqrt{1+Y}}$	$\frac{t_c}{\sqrt{LC}} = \tan^{-1} \frac{1}{Y}$	$\frac{t_c}{\sqrt{LC}} = 2\omega_s^{-1} Y$	$\frac{t_c}{\sqrt{LC}} \approx \frac{2}{Y}$
代表例	マクマレ・ベッドフォード回路(1)	AC側分配回路(2)	マクマレ補助インパルス回路(3)	高性能転流回路

$$ただし Y = \frac{I_0}{E} \sqrt{\frac{L}{C}}$$

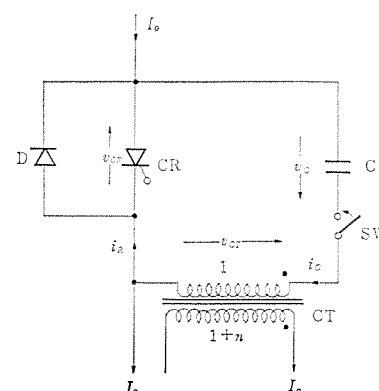


図 2.1 TC 転流法の原理図  
Fundamental circuit of transfer current commutation.



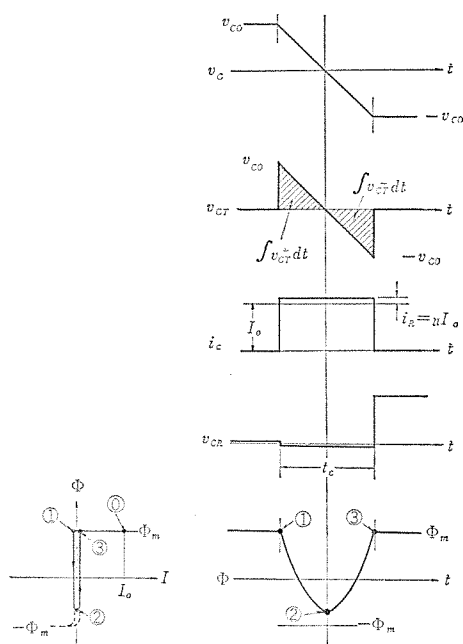


図 2.2 各部の動作波形  
Operation waveforms at each point.

図 2.2 は転流時の各部の動作波形を示したもので、CT の電流—磁束特性において、転流直前時刻①では、磁束は飽和値  $\Phi_m$  の値を有する。このときコンデンサ電圧  $v_c$  は  $v_{co}$  の値に充電されている。

今、時刻②においてスイッチ SW を閉じると C—CT—D なる閉ループが形成され、コンデンサはループ電流  $i_R$  と負荷電流  $I_0$  を放出する。このとき CT の磁束は不飽和域にあるため変流器作用により、コンデンサ電流  $i_c$  は次式の値に制限される。

$$i_c = i_R + I_0 = (1+n)I_0 \quad (2.1)$$

ここで  $n \ll 1$  とすれば  $i_c \approx I_0$  となる。よって、コンデンサ電圧  $v_c$  は直線的に放電し、磁束は負の方向に移動する。このときサイリスタには、ダイオード電圧降下分だけ逆電圧が印加される。

時刻③において  $v_c = 0$  となり磁束は負の最大レベルに達し、その後  $v_c < 0$  となれば、磁束は逆に正方向へ移動する。

時刻④において  $v_c = -v_{co}$ 、 $i_c = 0$  となり、磁束も初期の飽和レベル  $\Phi_m$  に達し変流器作用を失うため、 $i_R = 0$  となって転流は完了する。

サイリスタには時刻②～④の全転流期間中逆バイアスされ、その値  $t_c$  は等面積条件  $\int v_{cr} dt = \int v_{cr} dt$  より

$$t_c = \frac{2v_{co}C}{(1+n)I_0} \quad (2.2)$$

となる。

すなわち、この転流法は負荷電流経路と磁気結合された転流用変流器の働きにより、図 2.2 に示すごとく転流電流  $i_c$  を負荷電流  $I_0$  にほぼ等しい値に制御するため、従来の転流法のごとく転流コンデンサより余分な電流の流出を必要とせず、転流コンデンサ電荷の利用効率を理想的な値にまで向上できる点が特長である。

なおこのことは、表 1.1 の転流法の分類において、コンデンサ放出電荷に対して、斜線を施した転流に必要な電荷量の占める割合が、非常に増大していることから明白である。

### 3. TC 転流インバータの動作解析

2 章で述べた高性能 TC 転流法を用いたインバータやチョッパには、

多くの具体的回路が考えられるが、一例としてこの原理による基本的なインバータ回路を取り上げ、転流時における詳細な動作解析を行なう。

#### 3.1 基本回路

図 3.1 は、この TC 転流法によるインバータ基本回路（一相分）とサイリスタのゲート信号波形を示す。図は、図 2.1 に示す原理図における CT を可飽和単巻形変流器としたものである。また、RCR は逆方向にダイオード特性を有する逆導通サイリスタ、CR は転流用サイリスタである。ここで RCR<sub>1</sub> が導通し誘導性負荷へ  $I_0$  なる電流を供給しており、コンデンサは図の極性に  $v_{co}$  なる値に充電されている場合を考える。

以下、解析を容易にするために次の仮定を設ける。

- (1) CT の特性は、図 3.3 のごとくヒステリシスを持たず不飽和インダクタンスは無限、飽和インダクタンスは  $L$  の直線近似とする。
- (2) サイリスタ、ダイオードは理想スイッチとする。
- (3) 転流期間中、負荷電流は変化しないものとする。
- (4) 主サイリスタのゲート信号遅れ時間  $t_d$  は、転流期間に比べて十分大きいものとする。

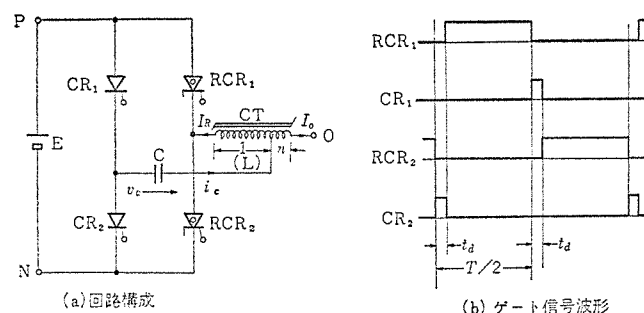


図 3.1 TC 転流法を用いたインバータ基本回路構成  
Fundamental inverter circuit construction using TC commutation.

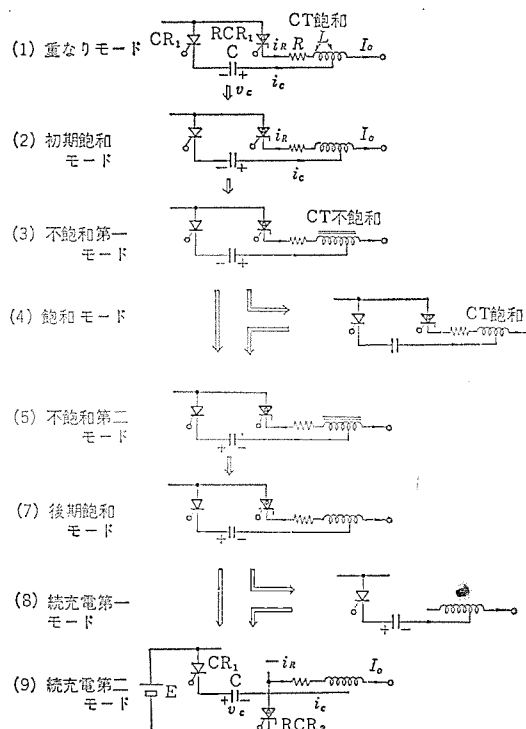


図 3.2 転流時における等価回路の遷移  
Equivalent circuit's flow during the commutation.

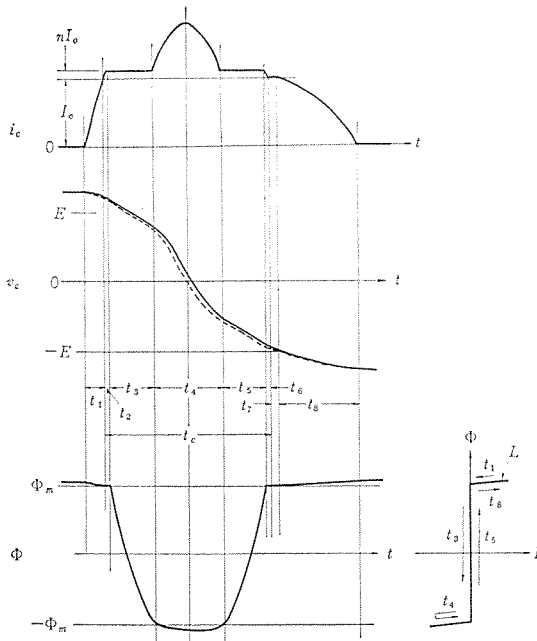


図 3.3 転流時の動作波形  
Details of operation waveforms.

### 3.2 動作モード

転流は  $CR_1$  の点弧によって開始され、2 章に示した動作に従うのであるが、CT の飽和インダクタンス  $L$  により転流重なりモードや、軽負荷時の飽和モードや、さらに転流後負荷電流によるコンデンサの続充電モードなどが追加される。図 3.2 は各モードの遷移状態とそれぞれの電流の流れを、図 3.3 はこのときの動作波形を示したものである。以下、図 3.2, 3.3 を用いて各モードの働きを示す。

#### (a) 転流重なりモード ( $t_1$ )

$CR_1$  を点弧しても、CT の飽和インダクタンスのために  $RCR_1$  の電流は瞬時に負になり得ず、両者が導通するモードが存在する。

#### (b) 初期飽和モード ( $t_2$ )

重なりモードに引続き  $i_c$  が  $I_0$  を越え、CT を不飽和領域に引戻すまでの期間で、 $n$  が小さいときには無視できる。

#### (c) 不飽和第一モード ( $t_3$ )

この転流法の特長である変流器作用により、コンデンサ電流が制限され、電圧が直線的に減少する。このモードの終わりにおいて、磁束は飽和レベル  $\Phi_m$  に達し、飽和モードに移行するか、または  $v_{cr} = 0$  となり不飽和第二モードに移る。

#### (d) 飽和モード ( $t_4$ )

CT は飽和し、 $L-C$  の振動電流が流れる。

#### (e) 不飽和第二モード ( $t_5$ )

CT に負の電圧が印加され、再び不飽和域で磁束が  $-\Phi_m$  より  $\Phi_m$  に向かうモードである。

#### (f) 後期飽和モード ( $t_6$ )

CT が飽和し、 $i_c$  が  $(1+n)I_0$  より  $I_0$  に減衰するまでの期間である。このモードの終わりに  $RCR_1$  は不導通となり逆バイアス期間は終わる。

#### (g) 続充電第一モード ( $t_7$ )

上記モードの終了時  $v_c > -E$  ならば、負荷電流により定電流充電され、 $v_c = -E$  になって次のモードに移る。

#### (h) 続充電第二モード ( $t_8$ )

$RCR_2$  が逆方向に導通し負荷電流の分担を開始するため、コンデン

サ電流は減少して転流動作を完了する。このモードのため、転流動作終了時のコンデンサ電圧は必ず電源電圧より過充電される。

### 3.3 回路方程式

転流重なりモードについて、その回路方程式は図 3.2 の等価回路より次のようになる。

$$\begin{cases} i_c = -C \frac{dv_c}{dt} \\ v_c = L \frac{di_R}{dt} + Ri_R \\ i_c - i_R = I_0 \end{cases} \quad \text{初期値} \quad \begin{cases} v_c(0) = v_{c0} \\ i_c(0) = 0 \end{cases} \quad (3.1)$$

ここで簡単化のために電流・電圧・時間を、それぞれ負荷電流・電源電圧・ $L-C$  の固有周期で無次元化し、次の記号を用いることにする。

$$\begin{cases} V = v_c/E & I = i_c/I_0 & \tau = t/\sqrt{LC} \\ Q = \frac{1}{R}\sqrt{\frac{L}{C}} & Y = \frac{I_0}{E}\sqrt{\frac{L}{C}} & A = \frac{N\Phi_m}{E\sqrt{LC}} \end{cases} \quad (3.2)$$

なお、式 (3.2) の  $Y$  は負荷アドミッタンスを転流回路のアドミッタンスで無次元化したもの、 $A$  は変流器の全磁束鎖交数を電源電圧・飽和固有周期積で無次元化したもので、空心磁束に対するコア磁束の比を表わす。

式 (3.2) の関係を用いて整理すれば、式 (3.1) は次のようになる。

$$\begin{cases} \frac{dV}{d\tau} = -YI \\ \frac{dI}{d\tau} = \frac{V}{Y} - \frac{1}{Q}(I-1) \end{cases} \quad \text{初期値} \quad \begin{cases} V = V_0 \\ I = 0 \end{cases} \quad (3.3)$$

したがって式 (3.3) の解は次のように求められる。

$$\begin{cases} V = \left(V_0 + \frac{Y}{Q}\right)e^{-\frac{\tau}{2Q}} \left(\frac{1}{2Q} \sin \tau + \cos \tau\right) - \frac{Y}{Q} \\ I = \left(\frac{V_0}{Y} + \frac{1}{Q}\right) \left(1 + \frac{1}{4Q^2}\right)e^{-\frac{\tau}{2Q}} \sin \tau \end{cases} \quad (3.4)$$

重なりモードの継続時間を  $t_1$  とすれば、このモードの終了時、 $i_c = I_0$  であるから、 $t_1$  すなわち  $\tau_1$  は次式より求められる。

$$1 = \left(\frac{V_0}{Y} + \frac{1}{Q}\right) \left(1 + \frac{1}{4Q^2}\right)e^{-\frac{\tau_1}{2Q}} \sin \tau_1 \quad (3.5)$$

式 (3.5) は  $\tau_1$  を陰関数的に表現しているため、ニュートン・ラフソン法を用いて数値解を求める。この結果得られた  $\tau_1$  を式 (3.4) に代入すれば、 $v_c$  および  $i_c$  の重なりモードにおける最終値を、無次元化した  $V_1, I_1$  を得ることができる。

次の初期飽和モードにおいては、この  $V_1, I_1$  を初期値とした回路方程式が成立し、同様にして解くことができる。このように各モードは表 3.1 に示すごとく、先のモードの最終値を初期値とした方程式が成立し、これをモード終了条件のもとで解き、順次シミュレーションを行なう。なおインバータにおいては  $RCR_1$  と  $RCR_2$  の転流現象は対称であるから、転流現象終了時のコンデンサ電圧を逆転し、これを新しく  $v_{c0}$  と置いて何サイクルもシミュレーションを繰返すことにより、定常値を求めることができる。

この結果、逆バイアス時間  $t_c$  は、モード 2 より 8 までの和であるから

$$t_c = \sqrt{LC} \sum_{i=2}^8 \tau_i \quad (3.6)$$

で求められる。

表 3.1 各モードの回路方程式  
Circuit equations of each mode.

名 称	関 係 式	モード終了条件	求解項目
1 転流 重なり	$\begin{cases} \frac{dV}{d\tau} = -YI \\ \frac{dI}{d\tau} = \frac{V}{Y} - \frac{1}{Q}(I-1) \end{cases}$ 初期値 $\begin{cases} V=V_0 \\ I=0 \end{cases}$	$I_1=1$	$\tau_1, V_1$
2 初 期 飽 和	$\begin{cases} \frac{dV}{d\tau} = -YI \\ \frac{dI}{d\tau} = \frac{V}{Y} - \frac{1}{Q}(I-1) \end{cases}$ 初期値 $\begin{cases} V=V_1 \\ I=1 \end{cases}$	$I_2=1+n$	$\tau_2, V_2$
3 不飽和 第 一	$\begin{cases} V_2 - V = (1+n)Y\tau \\ \Phi = 1 - \frac{V_2 + V - 2nY}{2A}\tau \end{cases}$	$\begin{cases} \Phi_3 = -1 \\ \text{ただし} \\ V_2 \geq \sqrt{(1+n)AY} - nY \\ V_3 = nY \\ \text{ただし} \\ V_2 \leq \sqrt{(1+n)AY} + nY \end{cases}$ (モード 5へ)	$\tau_3, V_3$ $\tau_3, \Phi_3$
4 飽 和	$\begin{cases} \frac{dV}{d\tau} = -YI \\ \frac{dI}{d\tau} = \frac{V}{Y} - \frac{1}{Q}(I-1) \end{cases}$ 初期値 $\begin{cases} V=V_3 \\ I=1+n \end{cases}$	$I_4=1+n$	$\tau_4, V_4$
5 不飽和 第 二	$\begin{cases} V_4 - V = (1+n)Y\tau \\ \Phi = \Phi_3 - \frac{V_4 + V - 2nY}{2A}\tau \end{cases}$	$\Phi_5=1$	$\tau_5, V_5$
6 後 期 飽 和	$\begin{cases} \frac{dV}{d\tau} = -YI \\ \frac{dI}{d\tau} = \frac{V}{Y} - \frac{1}{Q}(I-1) \end{cases}$ 初期値 $\begin{cases} V=V_5 \\ I=1+n \end{cases}$	$I_6=1$	$\tau_6, V_6$
7 統充電 第 一	$V = V_6 - Y\tau$ ただし $V_6 > -1$	$V_7 = -1$	$\tau_7$
8 統充電 第 二	$\begin{cases} \frac{dV}{d\tau} = -YI \\ \frac{dI}{d\tau} = \frac{1}{Y}(V+1) - \frac{1}{Q}(I-1) \end{cases}$ 初期値 $\begin{cases} V=V_7 \\ I=1 \end{cases}$	$I_8=0$	$\tau_8, V_8$

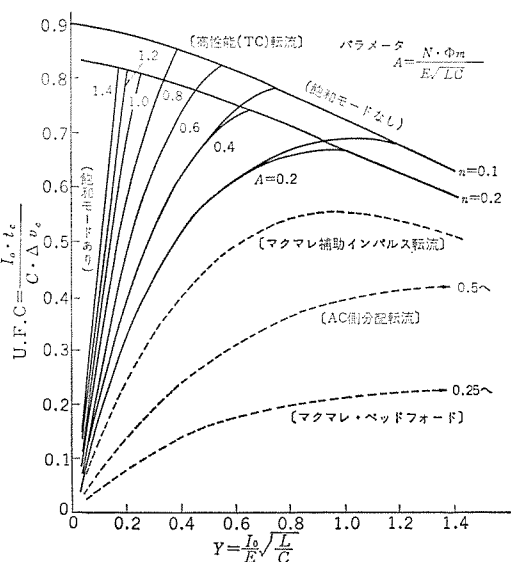


図 3.4 コンデンサ電荷利用率  
Utilization factor of capacitor charge.

### 3.4 電荷利用率

次にこの転流法の評価基準として転流コンデンサの電荷利用率を考える。一般にサイリスタの転流に必要な最小の電荷は、負荷電流とターンオフタイムの積であるから、コンデンサ放出電荷をこの値で基準化す

れば、

$$\text{電荷利用率} = \frac{I_0 \cdot t_c}{C \cdot \Delta v_c} = \frac{Y \cdot \tau_c}{2V_0} \dots\dots\dots (3.7)$$

で与えられる。ここで  $\Delta v_c$  は転流期間中におけるコンデンサ電圧の変化量である。

図 3.4 は  $A$  をパラメータとし、この電荷利用率と  $Y$  の関係を示したものである。図において電荷利用率は  $Y$  の増加とともに右上りの曲線にて増加するが、途中より右下りの曲線に移行し、転流重なりモードのため徐々に減少する。そしてこの二つの曲線はそれぞれ飽和モードの有無に対応する。なお、この転流原理の理想的な場合には、2章からも明らかなように電荷利用率の最大値は1に近づく。

図 3.4 を用いれば、電荷利用率が最大となる  $Y$  の値を設計基準として選ぶことができる。この結果  $L, C$  の値など回路定数は式(3.2), (3.6)より求めることができる。なお図 3.4 には参考までに従来の代表的な転流法の特長も付記している。これより明らかにこの転流法においては、コンデンサ電荷利用率が向上している。

### 4. 実験結果とその比較検討

実験回路は、図 3.1 の基本回路を各相とした三相インバータで回路定数は表 4.1 のとおりである。

(a) 逆バイアス特性

図 4.1 は先に求めた理論特性上に実験結果を付記したものである。図において逆バイアス時間は  $Y$  にほぼ逆比例する曲線で表われるが、 $Y$  が小さくなれば飽和モードの働きにより逆バイアス時間も飽

表 4.1 試験に用いた回路定数  
Parameter constant of experimental circuit.

ケース	直流電圧 $E$	コンデンサ $C$	変流器 CT	巻数	磁心形状	材質	飽和磁束 $\Phi_m$
No.1	200V	5 $\mu$ F	トロイダル形	5T : 1T	トイダル形	ソフトフェライト	3.37 $\times 10^4$ Wb
No.2	200V	5 $\mu$ F	トロイダル形	5T : 1T	トイダル形	ソフトフェライト	1.88 $\times 10^4$ Wb
No.3	200V	5 $\mu$ F	トロイダル形	5T : 1T	トイダル形	ソフトフェライト	1.00 $\times 10^4$ Wb
No.4	200V	8 $\mu$ F	トロイダル形	10T : 1T	トイダル形	ソフトフェライト	1.05 $\times 10^4$ Wb
No.5	200V	5 $\mu$ F	トロイダル形	5T : 1T	U形	ソフトフェライト	1.35 $\times 10^4$ Wb

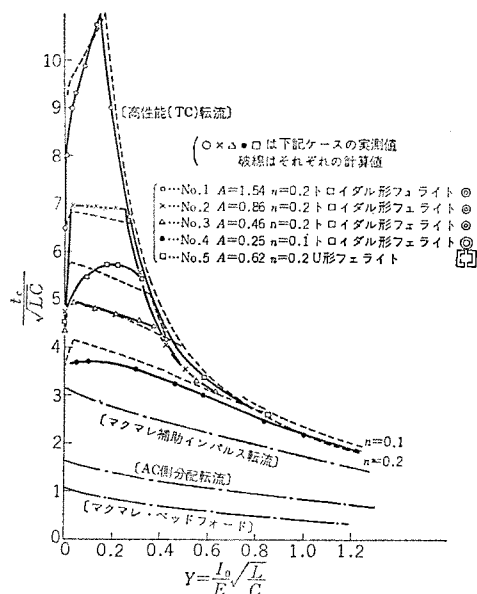
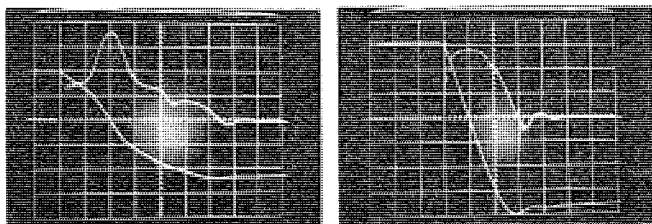


図 4.1 逆バイアス時間特性 (計算値と実測値の比較)  
Characteristics of reverse bias time vs. load current.





(a) 軽負荷時 100 V/div  
20 A/div 20 μs/div

(b) 重負荷時 100 V/div  
50 A/div 20 μs/div

図 4.2 コンデンサ電圧電流波形  
Waveforms of capacitor voltage and current.

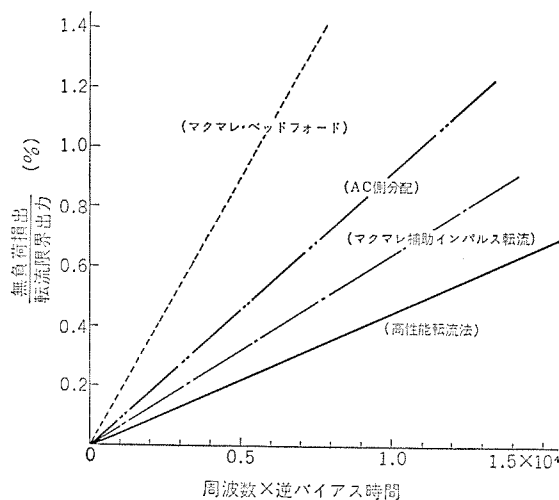


図 4.3 転流損失の周波数特性 (各種転流法の比較)  
Characteristics of commutation loss vs. operating frequency.

和する。また、その移行点はパラメータ  $A$  が大きいほど逆バイアス時間は大きくなり、先の図 3.4 に示す電荷利用率最大となる  $Y$  の値とほぼ一致している。このためこの  $Y$  の値を設計基準に選べば、負荷電流の変化にかかわらずほぼ一定で、参考に付記した他の転流法に比べても格段と大きな逆バイアス時間を得ることができる。

図 4.1 のケース No. 1～No. 5 の実験結果において、トイダル形コアを使用した No. 1～No. 3 は計算値と比較的よく一致しているが、No. 4 および U 形コアの No. 5 は誤差が大きい。これはおもにコア長が大きいことや空けき (隙) 磁束による励磁インダクタンスが原因である。

#### (b) 動作波形

図 4.2 にコア No. 4 を用いて各負荷状態におけるコンデンサ電流・電圧波形を示したもので、重負荷時コンデンサ電流が平たんになるモードや、負荷が軽くなると飽和するモードが表われている。

#### (c) 転流損失

図 4.3 は転流損失として無負荷損失の周波数特性を示すもので、実験のように  $t_{off}=15\mu s$  の素子を用いれば、1 kHz の転流動作においてもその損失は 1 % 以下である。従来の転流法に比べ 70～30 % 程度と大幅に減少している。

### 5. 応 用 例

以上、この高性能 TC 転流法に関し、その原理・動作解析による基本的な特性の記述、さらに実験による確認を通じて、非常にすぐれた特性を有することを明らかにした。この高性能転流法は、これらすぐれた特性を有するがゆえに、従来のインバータの使用分野はもとより、従来実用化が困難とされていた高周波化・小形化の分野に

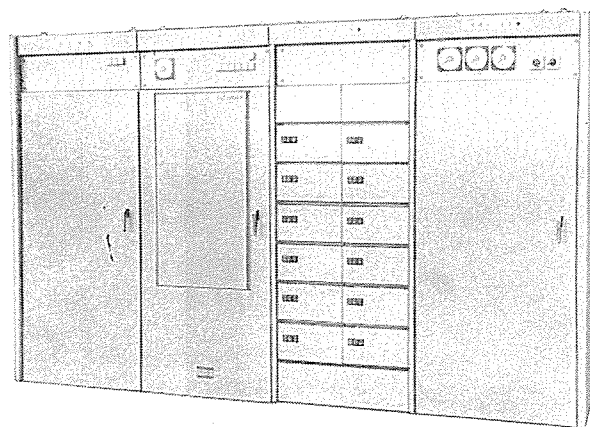


図 5.1 400 Hz 75 kVA CVCF 装置の外観  
Exterior view of 400 Hz 75 kVA CVCF apparatus.

表 5.1 400 Hz CVCF 装置のおもな仕様  
Main specification of 400 Hz CVCF apparatus.

出力電圧	三相 208 V rms
出力容量	67 kW, 75 kVA
周波数調整範囲	390 Hz～470 Hz
出力電圧変動率	±2 % 以下
出力電圧変動率	0.5 % 以下
出力相間電圧不平衡率	0.5 % 以下
出力電圧波形歪率	5 % 以下

適用され、その限界を破りつつある。ここでは、この高性能転流法を適用し、開発された二、三の実例について概略を紹介する。

#### 5.1 400 Hz 定電圧定周波 (CVCF) 電源

計算機用安定化電源、ビル等の非常用無停電電源として急速な発展を遂げたサイリスタ定電圧定周波電源は、従来はおもに 50 Hz・60 Hz 用のものであった。しかし近年、計算機の急速な発展に伴い、周波数特性等の面から 400 Hz 電源の需要が高まっている。

このたび、先に述べた高性能転流法を適用して、図 5.1 に示すような 400 Hz CVCF 電源装置を開発した。装置のおもな仕様は表 5.1 のとおりである。

主回路は、位相をずらした単相インバータユニットを出力トランスにて多段に重ねた多重インバータ方式で、波形ひずみが少なく、各ユニットは、保守の簡易化を考慮してプラグイン式トレイ (引出し式) 構造を採用、さらに制御回路部もプラグインカード方式を用いている。このほかおもな特長は、

(1) 高効率である： 高性能転流新方式インバータの採用により、400 Hz 出力にもかかわらず従来の商用周波のもの以上の効率が得られる。

(2) 小形・軽量である： きびしい相間電圧不平衡率・波形歪率などの仕様にかかわらず、最も小形・軽量といわれた従来の CVCF 装置と同等以下である。

などがあげられる。

#### 5.2 高周波可変周波数インバータ (以下 VVVF と呼ぶ)

従来 VVVF インバータは紡糸機等、交流電動機速度制御に利用されてきた。最近高速性への要求が高まり、インバータの最大周波数の向上が望まれていた。

今回高速度スイッチング素子を利用し、高性能転流新方式インバータを採用することにより、図 5.2 に示す 1 kHz の VVVF インバータを完成した。装置の仕様は表 5.2 のとおりである。

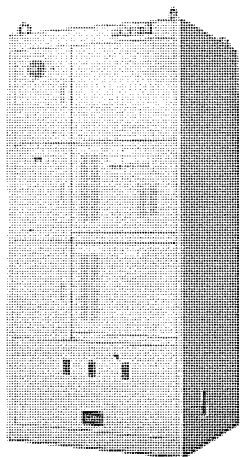


図 5.2 1 kHz 25 kVA VVVF 装置の外観  
Exterior view of 1 kHz 25 kVA VVVF apparatus.

表 5.2 高周波 VVVF 装置のおもな仕様  
Main specification of high frequency VVVF apparatus.

出力容量	25 kVA
定格	100%—連続 150%—1分間
周波数制御範囲	30 Hz~1,000 Hz
出力電圧制御範囲	20 V~200 V rms
制動方式	回生制動

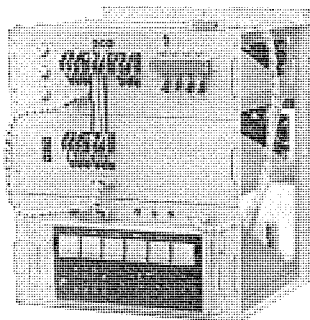


図 5.3 200 Hz 12.5 kVA VVVF 装置の外観  
Exterior view of 200 Hz 12.5 kVA VVVF apparatus.

表 5.3 超小形 VVVF 装置のおもな仕様  
Main specification of mini-size VVVF apparatus.

入力電源	三相 200/220 V $\pm 10\%$ 50/60 Hz
瞬時電圧降下	補償あり 50%—1秒間
しゃ断容量	7,500 A rms
定格出力	12.5 kVA
出力電圧	三相 200 V rms
出力電流	37 A rms
過負荷耐量	200%—1分間
転流能力	300%
出力周波数	10~200 Hz
周波数精度	0.1% (周囲温度 25°C $\pm 10^\circ$ C)
使用温度範囲	0~40°C
外形寸法	700(幅)×650(奥行)×820(高さ) mm

主回路は一つのプラグイン式トレイ構造で、レオナードトレイ（電圧制御部）とインバータトレイ（周波数制御部）からなり、制御回路部は、保守の簡易化を考慮にプラグインカード方式としそれぞれ各トレイの側面に収められている。

### 5.3 超小形 VVVF インバータ

高性能転流法の採用による第2の効果は装置の小形化である。

このたび、繊維機械用として開発した VVVF インバータは、図 5.3 に示すように外形寸法が、従来の同一出力容量のものに比べ 1/2 以下（当社比較）となり、装置の超小形化に成功した。表 5.3 はそのおもな仕様である。

本インバータは、装置が小形化されていて、軽量であるほか、ユニット機構になっているため、前面からだけで内部の保守・点検が可能である。このように、本インバータは構造的にみて、多々利点を備えているが、性能的にみて、高性能転流方式を採用することにより、電圧形インバータとして最高をきわめている。

以下に、本インバータのおもな特長を列記する。

(1) 高性能： 転流回路には高性能転流法および補助充電方式を採用しているため、高効率、かつ転流能力は主回路電圧を下げても低下することなく一定である。周波数精度は  $\pm 0.1\%$  であるので、高精度の速度制御に使用できる。

(2) 超小形： 整流器部・インバータ部・制御回路および制御電源部の三つにユニット化されており、極力小形・軽量化が計られている。

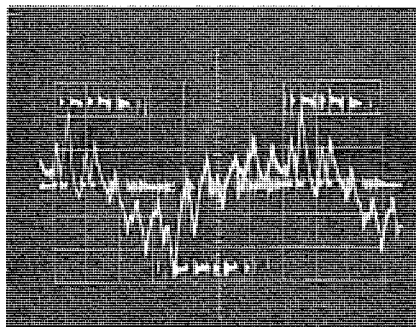
(3) 保守が簡単： ユニット化されているので、前面からだけで、内部の保守・点検が可能である。またユニット内は一相分ずつまとめられており、保守を容易にしている。万一故障の場合は、ユニットとしての交換も容易であるため、ダウンタイムが短く、か（稼）動率が高い。

### 5.4 高周波パルス幅変調式インバータ

高周波出力インバータとともに高周波の転流動作が要求されるものに、高周波パルス幅変調式インバータがある。この方式はインバータ自身にて、比較的波形ひずみが少なく広範囲の電圧制御ができるもので、従来から注目されてきたが、これに耐えうる転流法が完成されていなかった。

表 5.4 高周波パルス幅変調式 VVVF 装置のおもな仕様  
Main specification of HF PWM VVVF apparatus.

入力電源	DC 250 V バッテリ
定格出力	33 kVA (15 kW 誘導電動機)
出力電圧	20 V (3 Hz)~200 V (60 Hz→120 Hz)
出力波形	3 Hz~60 Hz にて高周波パルス幅変調波 60 Hz~120 Hz にて 180° 通流く形波
主回路構成	三相ブリッジ結線
構造	基礎試験形



電圧 100 V/div  
電流 20 A/div  
時間 5 ms/div

図 5.4 インバータ出力電圧電流波形（低速時）  
Waveforms of inverter output voltage and current

このたび公害問題の重大化に伴い、ガソリンエンジンに換わる無公害自動車開発の一環として、通産省大形プロジェクトによるVVVFインバータ制御による誘導電動機駆動の試験を行なった。これはVVVF特性を高周波パルス幅変調法によって得ようとするため、インバータの転流動作は5kHz相当前後まで必要で、同時に全体の効率を低下させぬように、転流損失が小さいことが要求される。この要求を満足するインバータとして、高性能転流方式が最も適しているという結論から、これを用いて表5.4に示す仕様のインバータを試作した。

図5.4は、誘導電動機駆動時におけるインバータ出力電圧・電流波形の一例を示したものである。

この装置のおもな特長は、

(1) 高周波パルス幅変調<sup>(9)</sup>の採用により、変調時の高調波の影響を抑え、電動機の起動・停止をはじめ広範囲にわたってなめらかに制御できる。

(2) インバータ効率は高周波変調方式を採用しているにもかかわらず、従来のインバータよりも良い結果が得られた。

## 6. む す び

以上詳述したように、この転流用変流器を用いた高性能TC転流法は、負荷電流経路と転流コンデンサ放電経路が転流用変流器で磁気結合され、コンデンサ電流が、負荷電流により制御されることが特長である。この結果、転流に必要な以上の余分な電流を極力抑え、転流コンデンサが持つ電荷の有効利用を計る。このためこの方式は、従来の転流法に比べ、同一コンデンサにてより多くの逆バイアス時間を得ることができる。また、別の見方をすれば、同一逆バイアス時間を得るに必要な転流コンデンサ容量は、数分の一で済み、それだけ損失が小

さくなる。そして小形・軽量化を計るとともに、従来実用上困難とされていた2kHz以上もの転流動作が可能となるなど、非常にすぐれた特長を有し、性能上最高といわれるマクサレインパルス的一段上をいくものである。

この報告においては、上記高性能TC転流法の原理を示すとともに、特長を明確にするため、コンデンサ電荷利用率による評価を導入し、この転流法によるインバータの転流動作解析と実験結果の比較を行ない、両者は比較的良好に一致した。

さらにこの転流法を用いた400HzCVCF・1kHzVVVF・超小形VVVF・高周波パルス幅変調インバータなどの実用例について、概略を紹介することにより、この転流法の優秀性を実証している。そして今後共一段と理想スイッチとして、各方面に発展することが期待される。最後に実用化に当たりご協力いただいた関係各位に感謝します。(昭和47-10-23受付)

## 参 考 文 献

- (1) W. McMurray, D. P. Shattuck : AIEE trans. CE-80, 531 (1961)
- (2) D. A. Bradley, etc. : PEE, 111, 1833 (1964-11)
- (3) W. McMurray : Inter. Conf., 4-1 (1964)
- (4) 佐藤 : 電学誌, 84-5, 789 (昭39)
- (5) 宮入, 常広 : 電学誌, 86-4, 665 (昭41)
- (6) 野中, 岡田 : 電学誌, 86-7, 1150 (昭41)
- (7) R. E. Morgan : AIEE trans., CE-80, 152 (1961)
- (8) W. McMurray : IEEE trans., CE-83, 198 (1963)
- (9) 熊野, 赤松, 加我, 三村 : 電気学会全国大会, 544 (昭47)

## パターン情報処理の研究開発

伊藤 貴康\*・成川 武文\*\*・房岡 璋\*\*

## Research and Development of Pattern Information Processing

Central Research Laboratory

Takayasu ITO・Takefumi NARIKAWA・Akira FUSAOKA

It is the well-known fact that the research and development of the pattern information processing is a theme of study now in the limelight at home and abroad, because it means the establishment of new computer utility technique. This problem, however, involves multifarious phases which are hardly understood in full by public.

This article introduces the basic consideration on the research and development of the pattern information processing now under way in the Mitsubishi Electric Corporation, Central Research Laboratory. It also includes the description of the outlines of our system now being worked out.

## 1. ま え が き

パターン情報処理の研究開発は、計算機を用いた新しい情報処理技術の確立という意味から、国内外において脚光を浴びる研究テーマになっていることは周知のことであろう。しかしパターン情報処理の問題はきわめて多様な側面を含んでいるために、必ずしも一般に十分な理解がなされていない面がある。本文では三菱電機中央研究所において進められている、パターン情報処理の研究開発の基本的な考え方と、開発中のシステムの概要の紹介も含めて行なう。

## 2. パターン情報処理の基本的問題点

一般にパターン情報処理におけるパターン情報といったときには、図形・文字・音声・言語のような具体的な対象を指している。パターン情報処理においては、このようなパターンを認識処理していくことが研究の目的となる。このような機能は人間においては、視覚情報処理系や言語処理能力にみられるように、きわめてうまく構成されているわけであるが、これを工学的に実現することはきわめて困難な仕事であることがわかっている。そのために種々のモデルを考えて、理論的にも実際的にもうまく動くようなシステム構成を考えるのであるが、ここではわれわれが、パターン情報処理の研究に関してとっている基本的な考え方について概説しよう。

## 2.1 パターン情報処理の関連分野

パターン情報処理の研究は、上述したようなパターン情報の認識処理や記述・表示等を行なうことに関する理論や、システムに関する研究が中心となり、計算機技術の一環として進められているが、次のような事柄が、関連分野として具体的にこの研究をサポートする形になっている。

## (a) 人工知能の研究

数学的・哲学的・心理学的立場も含めたパターン認識メカニズムを解明するため、サポートを必要とする。

## (b) 生物物理の研究

生理学的な立場も含めた生体情報処理のメカニズムを、解明する立場からのサポートを必要とする。

## (c) 計算機科学

(a)(b)で明らかにされる研究を計算機を用いて具体化するため、

ソフトウェア、ハードウェアのサポートを必要とする。

## (d) 入出力機器

パターン情報を計算機へ入出力するための機器の研究開発、たとえば、オプトエレクトロニクスや材料科学などのサポートを必要とする。

## 2.2 数学的モデルとしてのパターン情報

数学的モデルとしてとらえたときのパターン情報は、次のように分類できよう。

## (a) 位相空間上でのパターン

## (b) 確率空間上でのパターン

## (c) 記号系列としてのパターン（シンタックスを扱う）

## (d) 言語情報としてのパターン（言語学やセマンティクスを扱う）

(e) 抽象的機能パターン（人間の思考過程・心理学・論理学を扱う）

## 2.3 計算機処理を行なううえでの問題点

パターン情報を計算機処理していくうえで、計算機技術の立場から解決していかなければならない問題点を、列挙してみよう。

(1) パターンの有する意味情報や多次元構造のは（把握などのため

## (a) 並列計算方式（並列計算機）の開発

## (b) 高次機能（高次言語の直接実行など）をもつ

## (c) 推論機能を有する

ような新しい計算方式メカニズムの解明を要する。

## (2) パターン情報を計算機へ入出力するため

(a) 図形情報に対しては、色彩などの高次の情報を入出力できる

## (b) 高速・高分解能・高安定度をもち、扱いやすい機能を持つ

## (c) 計算機との接続が容易な構成である

ような入出力装置の開発を要する。

## (3) パターン情報の多様性に対処するためのシステムとして

## (a) 大形計算機の設置

## (b) 機能に応じて計算機間の階層構造を持つ

(c) パターンの局所的処理のため、ミニコンピュータのネットワークを構成する

ような計算機ネットワークの開発を必要とする。

## (4) パターン情報および問題解決法を計算機にマップするため



- (a) ソフトウェアの自動作成
- (b) 高次機能言語の開発
- (c) パターン 情報処理用言語の開発

といったソフトウェアシステムを必要とする。

以上は計算機技術の立場からの問題点について述べたが、パターン情報処理の理論的取扱いについての問題点についても述べよう。

パターン 情報処理の数学的 モデルとしては、2.2 節のようになるが、数学的にはこれらの多次元空間での関数関係を、パターンの構造に注目しながら取扱うことが望まれる。現実には多次元となり、その取扱いがきわめて困難なため、近似構成法がおもな問題となってくる。

2.2 節で述べたような空間での近似構成として、たとえば

- (i) 関数空間における近似理論
- (ii) 確率空間における統計的処理
- (iii) オートマトンによる記号系列認識
- (iv) 文法的推論および言語解析
- (v) プログラムあるいはアルゴリズムの近似理論による論理的メカニズムの推論

などが現在考えられており、これらの考えが、多様なパターンの構造的処理を行なううえでの技術的指針となる。文字の認識や図形、音声の局所的処理は(1)(2)を基本として行なわれたり、音声とか図形の構成要素が言語的に記述されているような場合、(3)(4)が基本となっている場合が多いようである。パターンあるいはパターン間の関係を表わす複雑な機能解析には(5)が基本となろう。以上のようにパターン情報といわれるものの背景、計算機処理を行なっていく場合の問題点、理論的な取扱いについての方法および問題点について概説したが、このような問題点に対して当研究室の考え方や、具体的な実施内容についての一部を次に紹介する。

### 3. パターン処理への試み(I)

われわれはパターン情報として色彩濃淡図形をとりあげ、特に色彩線図形を計算機との会話形で処理していくことを当面の課題としている。このためのソフトウェア方式として

- (a) 図形の局所的処理は統計的接近法を用いる。
- (b) 構造解析に対しては、オートマトンによる認識および文法的推論を行なう。
- (c) 記号処理言語としては、はん(汎)用的取扱いを目的とした二次元構造を扱えることと、図形の特定の性質を見つけたすといった局所的機能を、効率良く果たすことの2点を満足するように開発を進めていく。

計算機システムとしては、MELCOM-7500のような大形計算機によりパターンの大局的処理を行ない、ミニコンネットワークでデータの収集や局所的な処理を行なう。システムソフトは会話形の拡張形言語を用いて、システムとして柔軟性をもった使いやすいものにする。以上のようなシステム開発の目標のもとで現在具体的に適用しているものを示す。

まず局所的な処理として、

- (i) 統計的処理の適用

これにはいろいろな理論があるが、とくに認識別率を小さくするという具体的目標をもった理論(たとえば $Q_n$ 関数)<sup>(1)</sup>を適用している。

- (ii) 直交展開の使用

2進変数関数の一般的な直交展開<sup>(2)</sup>を用いている。

- (iii) 反復的誤り減少法<sup>(3)</sup>

反復回数を増加させるに従い誤り率が減少していくような構成法のもとで、文字の識別に適用している<sup>(4)</sup>。

- (iv) 特定オペレータの局所的適用

濃淡図形からわれわれの処理対象とする線図形への変換として、輪郭線抽出の微分オペレータ、細線化するための細線化オペレータなどを適用している。

図形の構造解析を行なうために

- (a) オートマトンによる記号列の認識を行なっている
- (b) 文法的推論の適用

これはパターンのサンプルセットから、サンプルセットをアクセプトするオートマトンまたは文法を作り出すということで研究を行なっている。

図形変換として

- (a) 図形の2進化(Walsh)変換<sup>(5)</sup>を行なっている。
- (b) 二次元構造をもった図形を操作する記号処理言語のもとで、画像変換を試みている。

#### 3.1 ソフトウェアシステムの試み

パターン 情報処理システムに対する言語システムは、従来の計算センタで行なわれているPL/I, FORTRAN, LISP等を中心とした言語システムでは不十分であり、次の特徴を備ええる必要がある。

(1) きわめて多岐にわたる問題領域に適合できる多言語システムであること。したがって既存の言語間の整合をとるためのメタ言語的機能、および新しい問題に対処するための言語生成能力が必要である。

(2) かなり性質の異なった計算機や、周辺装置を含むシステムに適応できること。またシステムの拡張や変動に適応できることが必要である。

(3) 複雑なプログラムの作成を容易にするため、また発見的な機能を計算にとり入れるために会話形言語が必要である。またこれらのかかなり発展した形として、自動プログラミングシステムが考えられる。

以上の観点からわれわれは、

- (a) 拡張形言語処理システムの開発
- (b) 会話形言語の開発
- (c) 自動プログラムシステムの研究

を言語システムの中心的課題としている。

##### 3.1.1 拡張形言語

拡張形言語は基底言語と拡張能力を与えておき、基底言語を核とする拡張系列によって言語システムを作り出すものである。次のような言語を現在開発中である。

- (a) 基底言語

基底言語は比較的単純な文法構造(ポーランド記法程度)をもち、直接実行も可能である。

- (b) 拡張能力

拡張能力としては、プログラマに新しいプログラムの表現法を与える文法的拡張、新たなデータ構造とそのうえでの演算を与える意味的拡張、計算順序などの流れを定義するための制御的拡張が考えられる。当システムでは

(i) 動的シンタックス等も含むBNF(Bacus Normal Form), および文法的マクロによる文法的拡張

(ii) 帰納的な形の定義なども含むほぼ完全なデータ構成の定義能力

を含んでいる。また制御的拡張については並列計算の導入を考えて

いる。この言語はメタ言語としても使用できる。

### 3.1.2 会話形言語

会話形言語がもつべき機能として、従来考えられているものは、

(a) オンラインでの編集

(b) オンラインでのデバッグ

である。さらにシンタックスチェックやデータ型の整合をとる。

(c) 部分評価

が文法的拡張や意味的拡張との関連で必要である。また特定のデータ集合に対して、プログラムの特定部分が正しいか否かをチェックするための

(d) 局所評価

がオンラインでのデバッグやプログラムの近似との関係で重要である。

現在以上の機能をもつ会話形記号処理言語を開発中である。

### 3.1.3 自動プログラミング

上で述べたような拡張言語や会話形言語機能を究極に押し進めたものとして、自動プログラミングがある。自動プログラミングはプログラム理論<sup>(6)</sup>の直接の応用である。すなわち

(a) プログラムの正当性の理論<sup>(7)</sup>によるデバッグの自動化

(b) プログラムの同値性の理論によるプログラムの単純化

(c) 述語論理による問題の記述を与えることにより、解を得る手続きを自動的に生成する

ことが考えられる。これらの計算はいわゆる定理の証明を含み複雑であるから、データに依存する人間の判断が計算過程に反映される必要がある。そのため、MITで開発されたPLANNER<sup>(8)</sup>等を発展させたシステムを、現在開発中の拡張形言語や、会話形記号処理言語を利用して構成することを研究している。

### 3.2 計算機ネットワークシステムの試み<sup>(9)(10)</sup>

パターン情報処理を対象として、ミニコンを入出力装置の制御または局所処理装置として、次に示すサブシステムが現時点で作動している。

(a) タブレットを用いた自由作画システムとソフトライタ<sup>(11)</sup>

(b) 色彩図形入力と前処理システム

(c) タブレットを用いた手書き数字の認識システム

(d) FSS (Flying Spot Scanner) による文字・図形入力システム

(e) 簡単な定理の証明を行なえる推論形プログラムシステム

このような個々のサブシステムのハード・ソフト両面での機能の拡張を計り、あるいは複雑なパターン情報に対して総合システムとして効率の良い機能を果たし、ハードウェアの経済面でのオーバーヘッドを少なくするため、パターン処理用計算機ネットワーク(ネットとも呼ぶ)を開発する必要がある。一般に計算機ネットの構成方法はいろいろ考えられるが、基本構成の代表例について考えてみよう。計算機ネットはこれらの基本構成のいくつかが組み合わさったものである。

タイプ1: 図3.1(a)に示すように大形コンピュータのいくつかのデータチャネルに、パターン処理用入出力装置がつながれ、大形計算機のOS(TSSも含む)のもとで処理を行なう。

タイプ2: 図3.1(b)に示すように、パターン処理専用の入出力装置の制御や前処理、特徴抽出といった局所処理を行なうプロセッサ(ミニコン)をもち、大局的処理は大形計算機で行なう。この場合には計算機間で階層構造をもつ。

タイプ3: 図3.1(c)に示すように、パターン入出力装置の制御や特定機能を果たす専用プロセッサ(ミニコン)と、大容量の共通ファイルをもち、共通データファイルのデータベースを通じて、機能の分担や並

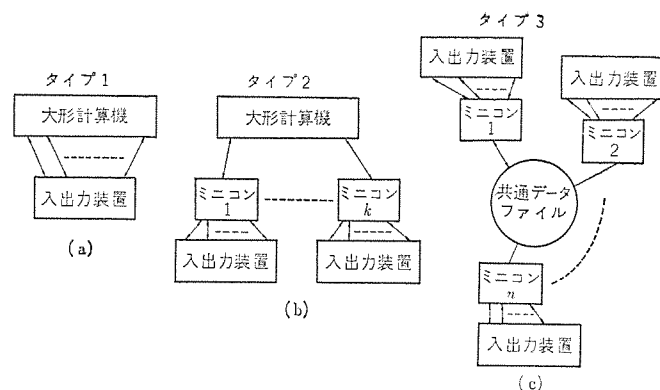


図 3.1 計算機ネットの基本構成  
Fundamental system of computer network.

列処理のもとでパターン処理を行なう。

三つの異なるタイプの基本構成は、扱う対象により特徴を持つが、一般的な見方として、タイプ1では図形入力から認識などの大局的処理まで、あらゆるレベルのプログラムを常駐させる必要があるため<sup>(14)</sup>、大形計算機のもつ本来の機能を十分に発揮されにくい。TSSの場合には画像のような大きなデータ集合に対しても、超リアル性が求められるといった欠点を持つが、タイプ2では計算機の階層に応じた処理ができる。一方タイプ2, 3では一般に異種の計算機が混在するため、ソフトの互換性に問題をもつ。タイプ3ではミニコン間のメッセージコントロールが他に必要とし、共通ファイルが大きくなればなるほど、ファイルへのアクセス時間がきわめて長くなり、致命的になりかねない。またミニコンのみでの処理は、ミニコン本来のもつ処理能力の限界にも依存する。タイプ2ではシステムの柔軟性を一番もつだろうが、大形計算機のOSがかなり複雑なものとなろう。一般にマンマシン部分がミニコンであるほうが、きめの細かい操作ができよう。以下ではコンピュータネットの実例について述べ、当研究室の計算機ネットについて述べる。

(a) ARPA(Advanced Research Project Agency)ネット<sup>(12)</sup>

米国に設置されている全国的規模の計算機ネットでは、プログラムあるいはデータのリソースシェアリングを目的としている。このネットの特徴は、種々異なるホスト計算機およびIMP(Interface Message Processor)と呼ばれる通信部から構成されていて、IMPは伝達経路の制御、転送用の言語変換を行なう。ホスト計算機は、PDP 11からILLIAC IVに至るまで現在23個で構成されている。

(b) EPICS<sup>(13)</sup> (Experimental Pattern Information Community Service)

電子総合研究所が、パターン情報処理の研究施設として建設しようとしているネットでは、この構想では頭初中央に大容量ファイルをもった1台の大形計算機をもち、これをTSS・パッチで共同利用を計り、各パターン対象に応じた観測装置をもつサブシステム群をオンラインで接続しようとする情報処理ネットワークであって、将来電子総研だけでなく、大学や民間企業などとの共同体制で展開していく大規模ネットである。

この二つの例では、パターン情報をも含めたはん用計算機ネットワークであるが、小規模パターン処理専用ネットワークとして、京大坂井研究室の例があげられる。

(c) 京大坂井研究室における計算機ネット<sup>(14)</sup>

このシステムは、中形はん用計算機NEAC 2200/200、ミニコンMAC 7/F、FSS、グラフペンなどが、GIRLSと呼ぶ計算機間の接続に対してははん用性をもつインタフェースを介して接続されている。このシ

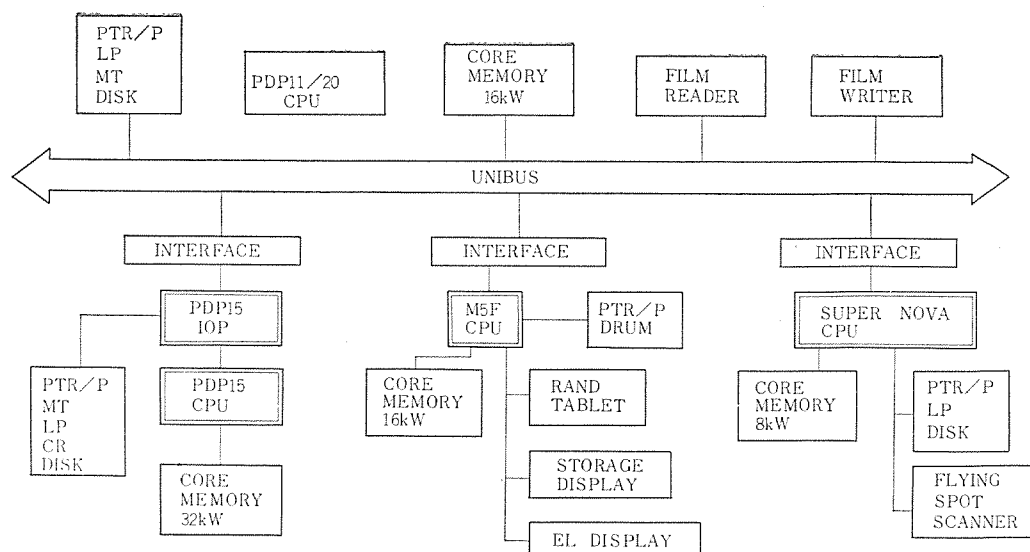


図 3.2 パターン処理用計算機ネットワークシステム  
Computer network system for pattern information processing.

システムではきめの細かい制御や前処理、特徴抽出などをミニコンで行ない、このとき FSS の走査領域や走査法、前処理の種類などの大まかな指示や全体的な画像処理は、マスメモリを有する NEAC 2200/200 で行なわれている。

このシステムはタイプ2に属し、パターン処理として注目すべきシステムといえよう。

われわれのところでは、現在 PDP 11/20 の共通バス（ユニバスと呼ぶ）を利用したミニコンネットの開発を行なっている<sup>(9)(10)</sup>。ユニバスは通常の計算機のメモリバス・I/Oバス・DMAバスを統一したもので、次のようなハードウェアとしての特徴をもっている。

(i) 内部母線および外部とのインタフェース線でもあって、すべての入出力装置はバスアドレスをもち、コアメモリと同様の方法でアクセスできる。

(ii) ユニバスは Read/Write の両方に使用可能である。

(iii) 非同期で動作するため、速度の異なるメモリ、入出力装置などでの Read/Write は容易に行なえる。

ユニバスを用いることの特徴として

(i) ユニバスを制御する PDP 11/20 は、計算機ネットのメッセージスイッチとして適している。

(ii) データの転送はワード単位で時分割されるので、一本のユニバスで並列転送が可能である。

(iii) ユニバスは原理的には、いくつでも装置の接続が可能であり拡張性に富んでいる。

(iv) ソフト・ハードの両面からインタフェースの統一がとれる。

しかし欠点として

(i) データの転送がひんぱん(頻繁)に行なわれるときは、PDP 11/20 はメッセージスイッチとして動作するため、PDP 11/20 パターン処理用そのものに用いられる率は減る。

(ii) データチャネルを並列にもつものに比べてデータの転送能力は、ユニバスおよび PDP 11/20 により制限される。

(iii) CPU と主メモリ間の母線が延長された形であるから、信頼性の点で問題がある。

ユニバスを用いた当所のパターン処理用計算機ネットワークシステムを図 3.2 に示す。このシステムに大型計算機 MELCOM-7500 の設置が予定されており、この計算機はユニバスにつながれ本格的なパターン処

理用計算機ネットが構成される。

#### 4. パターン処理への試み(II)

3.2 節で現在作動中のサブシステムの例を示したが、ここでは 3.2 節の(b)について簡単に述べてみる。

##### 4.1 色彩情報の意義

一般の計算機による図形処理において、ごく簡単な色彩を有しない濃淡図形の認識さえも十分に行なえていない現状で、より情報量の多い色彩濃淡図形を処理するにはきわめて困難なことが予想される。これは一般図形としての色彩をも含む情報処理技術の確立を目指したものであり、この反面色彩情報を有効に利用する立場もある。ここでは後者の立場について述べる。

色彩情報を有効に利用するということは、

(1) 画像の前処理段階で色彩情報の活用を計ることにより、画像のセグメンテーションが容易になることが多い。

(2) 識別過程でも色彩の配列や組み合わせなどから、意味情報の抽出が可能な場合がある。

といった情報処理としての意義があり、さらにデータの入力や表示についても、色彩情報はきわめて自然で人にも理解しやすいことや、衣服のデザインのように、図形として色彩そのものを扱わなければならない分野も多く存在する。このような観点から色彩を有効に利用する立場で研究を行なっていく意義は大きい。

##### 4.2 パターン認識に対する一般の接近法<sup>(15)</sup>

パターン認識問題を扱うのに、現在ごく一般に行なわれている次のような二つの方法について概説してみる。

###### (a) 統計的識別法

この方法はパターンから特徴セットをみつけ、特徴空間から決定問題へと結びつける方法である。この方法が適用されてきた対象の例としては、文字認識・医療診断・作物の分類などがあげられる。しかし複雑な風景の記述や解析、画像処理に対しては、特徴の数や記述が膨大なものとなって、クラスの定義を行なうのには効果的でない場合が多い。この方法における決定機構は、確率空間でのベイズ解を得ることによりなされるが、一般には多変数に対するベイズ解は簡単に得られないので、ベイズ解の近似式が導入される。誤識別率を最小に評価することから Charnof Bound, Equivocation, Bhattacharyya

charyya Bound,  $Q_n$  関数がこれらを代表するものである<sup>(16)</sup>。

#### (b) 言語的記述法

この方法はパターンの構造を記述するのに提案された方法で、パターンの構造と言語のシンタックスとの類似性を考えた認識に対する接近法である。画像と言語との対応関係を一例として示せば

画像: Primitive $\longleftrightarrow$ Structure $\longleftrightarrow$ Picture

言語: Character $\longleftrightarrow$ Sentence $\longleftrightarrow$ Paragraph

となろう。この方法ではパターンの Primitive (=Character) を選択し、パターンの構造を文法のセットで記述しておき、識別はシンタックス解析 (Parsing) によりパターンを記述する言語を解析することにより行なわれる。この方法が有効に適用されてきた例としては、あわ(泡)箱解析・音声解析・幾何学図形処理・ディジタルディスプレイ表記などである。この方法が形式言語理論に立脚していることは明らかである。

二つの代表的な識別に関する接近法についての対応関係を表4.1に示す。これらの一般的な接近法に関しては、特徴抽出あるいは Primitive の抽出はきわめて重要な要因である。次に特徴抽出あるいは Primitive の抽出についての、一般の現状における一つの考え方について例示しよう<sup>(17)</sup>。議論を簡単にするため個々のパターンをパターンベクトル  $P_i$  と名づけ、パターンベクトルのセットをパターンセット  $P$  と呼ぶことにする。

$$P = \{P_1, P_2, P_3, \dots, P_M\}$$

$m \leq M$  なるすべての  $m$  について  $P_m = \sum_{k \in K(m)} F_k$ ,  $K(m) \subseteq \{1, 2, \dots, K\}$  なるセット  $K(m)$  が存在するならば,  $F = \{F_1, F_2, \dots, F_K\}$  を特徴セットと呼び,  $P$  の特徴ベクトルセットと呼ぶ。 $F$  が  $P$  の特徴セットであるための必要十分条件は,  $P = FR$  なるベクトルセット  $R$  が存在することである<sup>(20)</sup>。このような関係を満足する最小の  $K$  がみつければ, 特徴空間上で  $F$  は最も有効な特徴セットといえよう。したがって画像ベクトルのセット  $\{P_n\}$  が与えられると,  $P_n$  の成分を  $P_{nm}$  とすれば,

$$P_{nm} = \sum_{k=1}^K f_{nk} r_{km} (f_{nk} \in F_n, r_{km} \in R_m)$$

を満足する  $f_{nk}$ ,  $r_{km}$  を次々にみつめていくことが原理的には可能であるが, 容易に判断できるように  $M=N=50$ ,  $K=8$  の典型的な例を取っても  $2^{2500}$  回以上の計算回数を要し, 実際的ではない(簡単な図形に対してなら  $K$  が最小とはならないが, 実用的な回数で処理できるアルゴリズムもある)。このような観点から一般の実例としては, 特徴セットの選択は生体の分析や経験に基づき, 抽出や記述の容易さも考慮して行なわれることが多い。一例として画像の周囲・角・曲率・直線性・形状・連結性(数)・幾何学位置関係・骨格・きめ・面積・長さなどが列挙できよう。われわれの場合は, このような特徴セットの抽出も, 単に経験的にのみ依存するのではなく, 数学的な意味での完全性が保存されるような方式を考えており, 一つの試みとしては確率空間上で, 識別に対する誤り率が最小になるように特徴セットの抽出を行なう。

#### 4.3 線図形抽出の試み

3章で述べたように色彩線図形の処理を行なっていくことから, 色彩濃淡図形から線図形化を計らねばならない。ここでは3章の(iv)で示した特定オペレータの局所的適用例として, 輪郭線抽出の微分オペレータ・細線化オペレータの実例と, 色彩によるセグメンテーションを行なった例を示す。

表 4.1 統計的識別法と言語的記述法の比較  
Comparison between decision theoretic approach and syntactic (linguistic) approach.

統計的識別法	言語的記述法
特徴抽出	Primitive 抽出
特徴空間の生起確率密度	パターン構造(文法)
識別機構	シンタックス解析
学習	文法的推論
数値情報	文字情報
ノイズに比較的強い	階層構造のとり扱いが基本

#### (a) 輪郭線抽出オペレータ

輪郭線抽出に関しては一次微分・二次微分(ラプラシアン)<sup>(18)</sup>オペレータを用いて, 各絵素の値  $(\phi_{x,y})$  を計算し, これにしきい(閾)値  $(\theta)$  操作を行なうことにより, 対応する絵素  $(\phi_{x,y})$  を2値化している。

$$\text{一次微分: } \phi_{x,y} = \begin{cases} 1: |\phi_{x+\Delta x, y+\Delta y} - \phi_{x,y}| \geq \theta \\ 0: \text{others} \end{cases}$$

$$\text{二次微分: } \phi_{x,y} = \begin{cases} 1: \sum_{y-\Delta y}^{y+\Delta y} \sum_{x-\Delta x}^{x+\Delta x} \nabla_{3 \times 3}^2 \phi_{x,y} - \theta \geq \theta^{(18)} \\ 0: \text{others} \end{cases}$$

$\Delta x, \Delta y$  はともに1または3が選ばれる。

二次微分は演算時間が長くなるが, 濃淡変化に鋭敏に影響を受けるため, 画質により微分オペレータを使いわけている。

#### (b) 細線化オペレータ<sup>(19)</sup>

(a)で得られた2値図形において, “1”の部分の細線化を計り線図形を得るためのオペレータである。絵素  $\phi_{x,y}$  を中心として細線化を行なう方向により, 左側(L)・右側(R)・上側(U)・下側(D)の四つのオペレータがある。Lの場合についてのみ述べるが, 他の場合

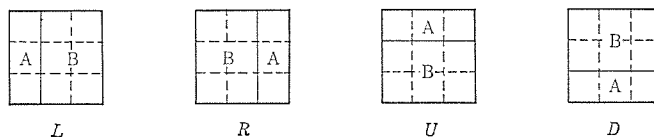


図 4.1 四つのオペレータに対する領域の区分  
Each operational area for four directional thinning operators.

図 4.2 色彩図形入力と前処理システム  
Color information input and pre-processing system

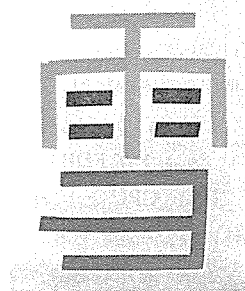
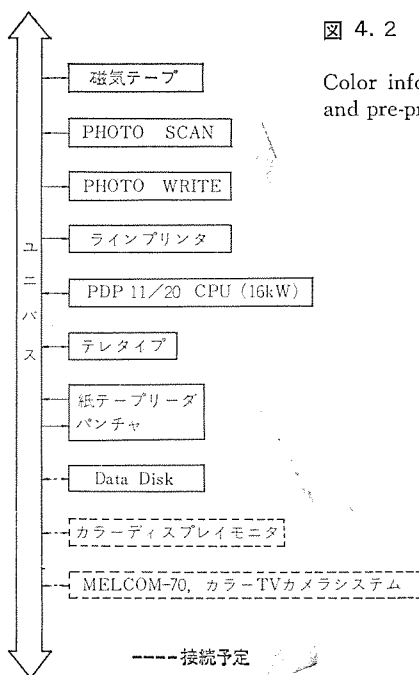


図 4.3 色彩原図形  
Color picture.



も同様である。

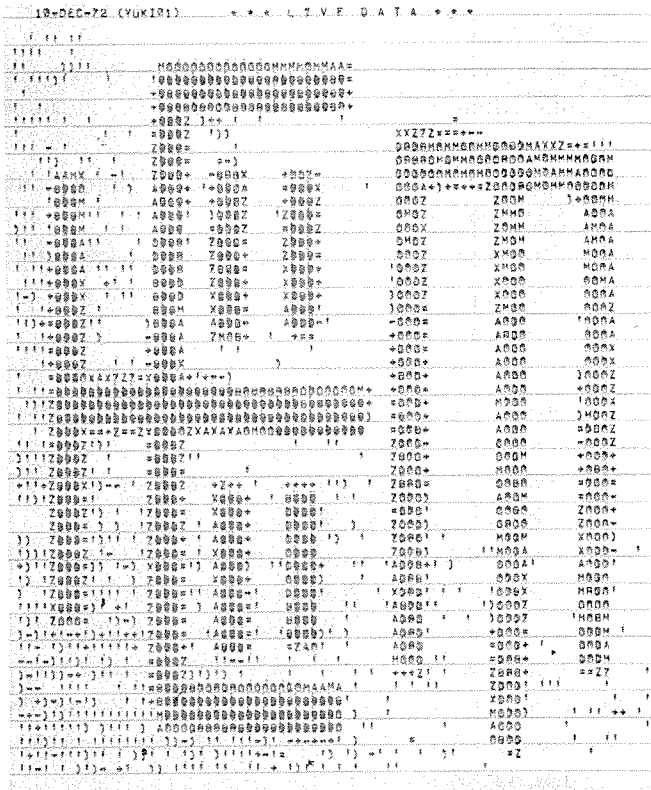
$$L'(\phi_{x,y}) = \begin{cases} 0: \sum_A \phi_{x-1,y} \leq 1 \text{ かつ } \sum_B \phi_{x,y} \geq 4 \\ 1: \text{others} \end{cases}$$

$$\text{ただし } \sum_A \equiv \sum_{y=1}^{y+1}, \sum_B \equiv \sum_{y=1}^{y+1} \sum_x^{x+1}$$

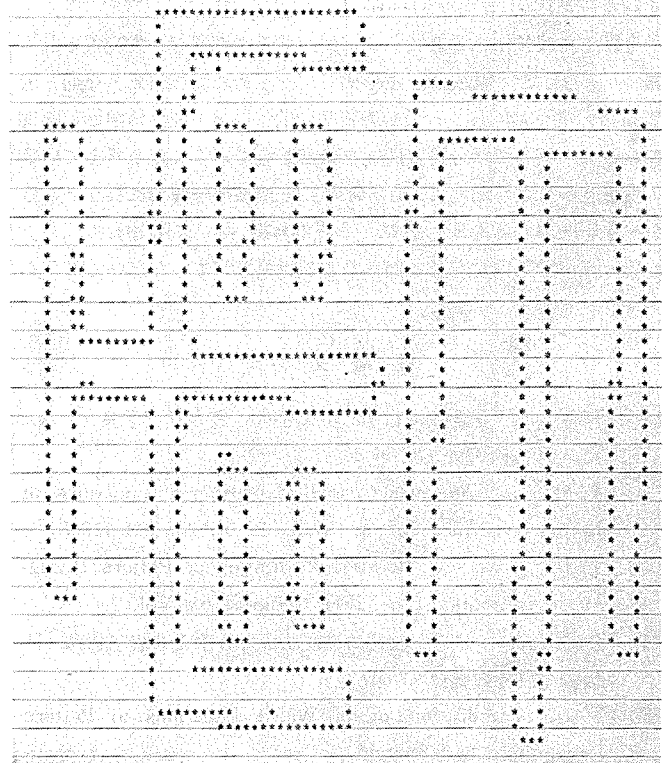
他の場合についての領域 A, B を図 4. 1 に示す。

$$L(\phi_{x,y}) = L'(\phi_{x,y}) \phi_{x,y}$$

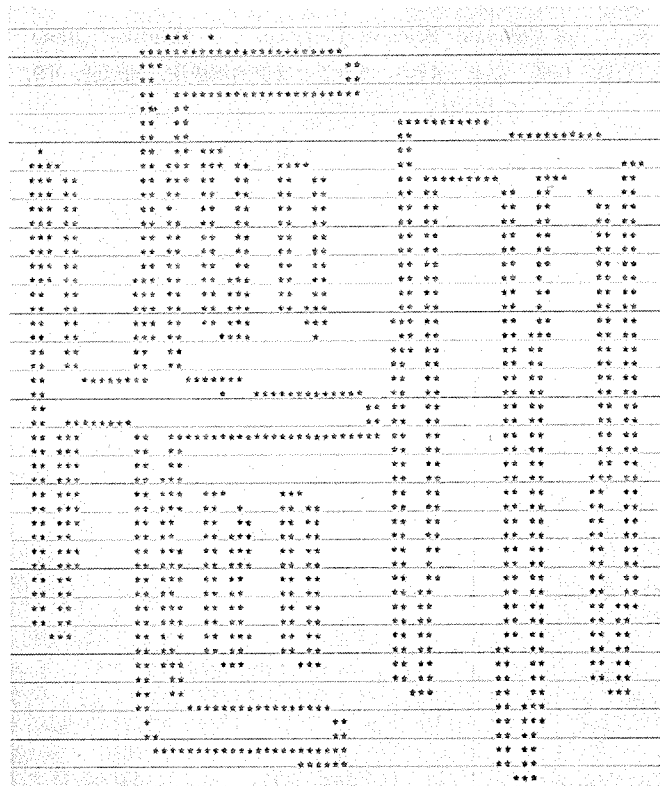
ここでは  $\phi_{x,y}$  に  $L \rightarrow R \rightarrow U \rightarrow D \rightarrow L \rightarrow R \rightarrow \dots$  の順で細線化を行っている。図 4. 2 は色彩図形入力と前処理システムを表わし、図 4. 3 は色彩原図形、図 4. 4 (a)~(d) は処理図形を示す。



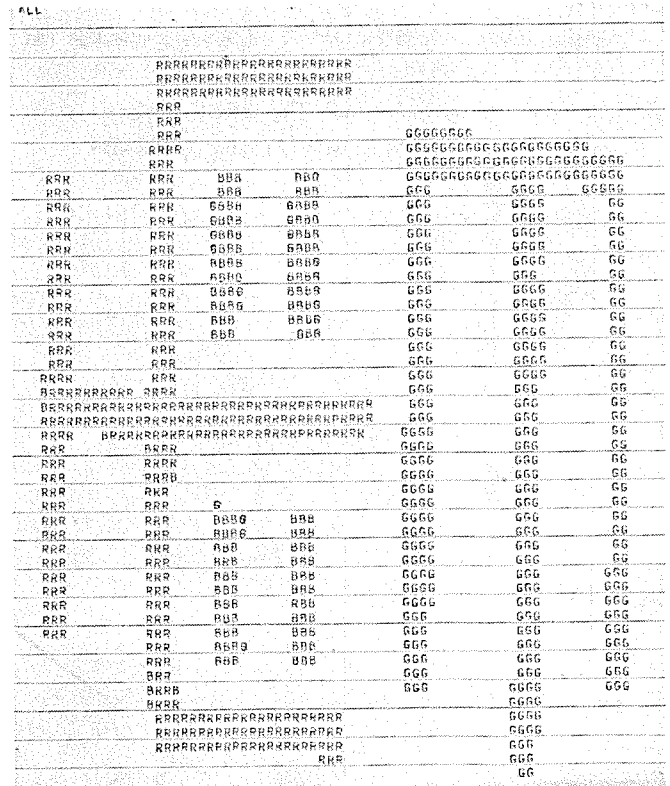
(a) 濃淡図形



(b) 線図形



(c) 輪郭線図形



(d) 色彩による領域分離図形

図 4. 4 処理図形

Figures processed by computer.

## 5. む す び

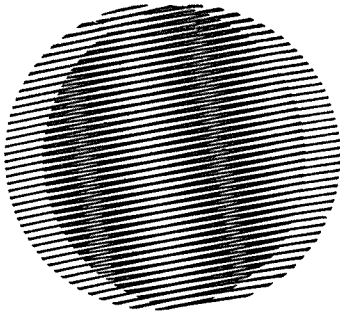
当研究室におけるパターン情報処理の基本的な考え方とパターン情報を扱っていくうえでのソフトウェアシステム、および計算機ネットとしてのハードウェアシステムについて述べた。特に色彩線図形処理を行なうために、具体的な例として色彩図形の入力と前処理の一部の紹介を行なった。

今後ますます拡大されていくパターン情報の処理は、大規模な計算機ネットとして情報システムを形成し、たとえば海洋開発・交通・医療システム等への応用を行ないながら、生命科学・社会科学との関連において、情報科学分野の研究を進展させていくことを考えている。

本研究の推進に対して、第5研究部長 馬場準一博士に負うところが大きく感謝の意を表します。また計算機ネットに関連して、井上 驍氏・坂口敏明氏に有益な助言および討論をしていただいたことを感謝いたします。

## 参 考 文 献

- (1) 伊藤：パターン認識における誤識別率，電子通信学会 インホメーション理論研究会（昭46-4）
- (2) T. Ito : A Note on a General Expansion of Functions of Binary Variables, Inf. & Contr., 12, PP 206-211 (1968)
- (3) T. Ito, et al. : An Iterative Realization of Pattern Recognition Networks, Proc. IFIP Congress 65, Vol. 2
- (4) 伊藤，坂口，ほか：反復的構成法による手書き数字認識，情報研究会発表資料（昭47）
- (5) T. Ito : Applications of the Walsh Functions to Pattern Recognition and Switching Theory, Proceeding of Symposium on Applications of Walsh Functions (1970)
- (6) 伊藤：プログラムの理論，情報処理誌，10（昭45）
- (7) 伊藤：プログラムの正当性について，電気4学会連合大会（昭45）
- (8) C. Hewitt : Description and Theoretical Analysis (using shemata) of PLANNER, MIT AI lab., AI TR-258
- (9) 伊藤，井上，成川：三菱電機 中研におけるミニコンネットワークの試み，ミニコンソフトとネットワークシンポジウム（昭47-7）
- (10) 伊藤，井上，成川，坂口：パターン処理に対するミニコンシステムの応用，エレクトロニクスダイジェスト（昭47-10）
- (11) 伊藤，井上，坂口，福島，伊東：パターン処理システム（I）パターン処理用ミニコンとディスプレイシステム，三菱電機技報，46，No. 4（昭47）
- (12) F. E. Heart, et al. : The Interface Message Processor for the ARPA Computer Network, S. J. C. C., PP 551-567 (1970)
- (13) 桜井，淵：パターン情報処理の研究について，情報処理，13，No. 4, PP 203-209（昭47）
- (14) 坂井，長尾，金出：「ミニコン制御下の画像入力装置と汎用計算機との結合システム」，電子通信学会オートマトンと言語，パターン認識と学習研究会資料（昭47-7）
- (15) K. S. Fu, : Syntactic Pattern Recognition, JITA International Symposium on Information Processing System (1972)
- (16) 伊藤：誤識別率に対する近似式，通信学会 インホメーション理論研究会，No. IT 71-42（昭46）
- (17) S. K. Abdali : Introduction to the Special Issue on Feature Extractions, Pattern Recognition, 3, PP 1-21 (1971)
- (18) 坂井，長尾，木戸出：電子計算機による濃淡図形の処理-顔写真の場合，信学論 54-C, No. 6, PP 445-452（昭46-6）
- (19) P. Saraga : The Design of Operators for Pattern Processing, I. E. E. N. P. L. Conf. on Pattern Recognition, July, PP 106-116 (1968)
- (20) S. K. Abdali : An Algorithm for Feature Extraction and Application to Hand-printed Character Recognition, Report of Computer Sciences Dep., Univ. of Montreal (1968)
- (21) 伊藤，福永：パターン認識系の反復的構成法，通信誌，49，No. 10（昭41）



# 新製品紹介

## 日本毛織（株）納入 オゾン染色排水処理システム

濃厚染色排水の処理は染色関連業界にとって、水質汚濁防止のうえから、現在、最重要課題となっている。その処理技術として、従来から凝集沈殿法、加圧浮上法などが一部に採用されてきているが、十分なものではなく、薬剤を多量に消費し、さらに多量のスラッジが生じ、この処理に困難をきたしている。染料の性質によって、特に親水性染料は凝集効果が悪く、十分な脱色効果が得られないなどの欠点がある。また、活性汚泥処理も試みられた例もあるが染料の脱色は十分行なわれていない。

今回、日本毛織（株）と当社は共同で オゾン 処理と活性汚泥処理とを組合せた染色排水処理システムを開発し、従来の諸技術の欠点を克服した脱色処理に成功した。

濃厚染色排水 → オゾン処理 → 活性汚泥処理

脱色処理能力 200 トン/日

### ■ 特 長

- (1) スラッジが発生しない
- (2) 原料は空気のみで、薬品は不要である
- (3) 電力供給のみなどで、24 時間完全無人運転ができる

処理前後の水質（オゾン処理のみ）

	pH	COD (ppm)	SS (ppm)	透 過 率 (590 mμ)
処 理 前	4.7	150	23	18 %
処 理 後	5.2	61	1 以下	75 %

これを、さらに活性汚泥処理することにより、COD、BOD の減少が得られます。

オゾナイザ仕様

オゾン発生量 1 kg/h、高周波方式

[名古屋製作所]

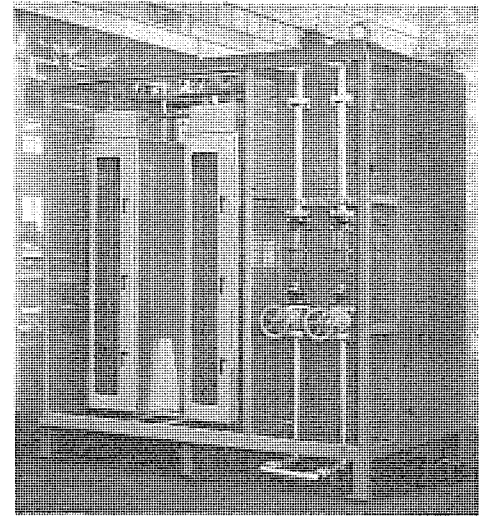


図 1 オゾナイザ (1 kg O<sub>3</sub>/h)

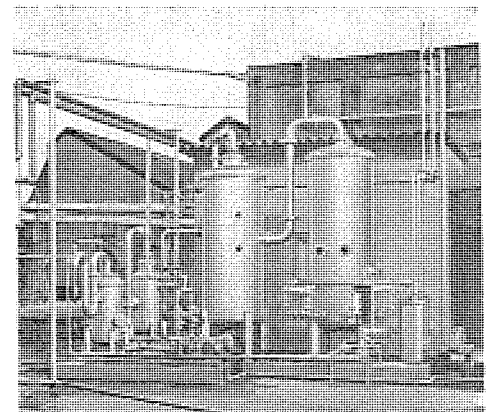


図 2 オゾン染色排水処理装置

## 排煙用モートル

最近のビル火災による人身事故の 8 割位までは有毒ガスを含有した煙に起因している。このため新築ビル等では人間が避難および生存可能な 30 分間に、煙を外部に排出する機能を有する排煙設備の取付けが建築基準法および消防法により義務づけられ、人命尊重を図ろうとする気運がある。このたび開発した排煙用モートルは、これらの目的を十分満足する性能をもたせた画期的な排煙用耐高温モートルである。

### ■ 特 長

- (1) 260°C のふんい気で 30 分運転可能である
- (2) 常時 (80°C 以下) は換気扇用として連続運転が可能
- (3) フレームサイズは当社標準モートルと同一枠番号である
- (4) 熱による強度の減少、熱ひずみ、熱膨張を考慮した構造

■ 排煙設備取付基準・指定場所

- (1) 劇場，ボ－リング 場等公衆利用施設において，延べ面積が 500 m<sup>2</sup> 以上の建築物
- (2) 階数 3 以上の建築物で延べ面積が 500 m<sup>2</sup> 以上
- (3) 一般住宅等で延べ面積が 1,000 m<sup>2</sup> 以上
- (4) 建設大臣の指定する建築物

■ 種類および特性

立形取付，水平取付等の電動機種類をそろえている。  
その一例は図 1 に示す。

標準排煙用電動機の種類と代表特性値

出力 (kW)	項 目 極 数	枠 番	電 圧 V	周 波 数 Hz	無負荷電流 A	全負荷電流 A	拘束電流 A	回 転 数 rpm
0.75	6	90 L	200	50	2.5	4.0	14.3	920
			200	60	2.0	3.8	12.6	1,110
			220	60	2.2	3.5	13.9	1,120
1.5	6	100 L	200	50	3.4	7.0	26	920
			200	60	2.7	6.8	23	1,100
			220	60	3.0	6.4	25	1,120
2.2	6	112 M	200	50	4.8	10	36	920
			200	60	3.9	9.7	32	1,100
			220	60	4.3	9.0	35	1,100
2.2	8	132 S	200	50	7.2	12.0	40	700
			200	60	5.6	11.0	35	830
			220	60	6.4	10.5	38	840
2.2	10	132 M	200	50	9.4	14.6	53	550
			200	60	8.8	13.0	49	655
			220	60	8.1	12.8	45	670

(注) 定格：周囲温度 40～80℃ の場合連続，周囲温度 260℃ の場合，30 分寿命

[名古屋製作所]

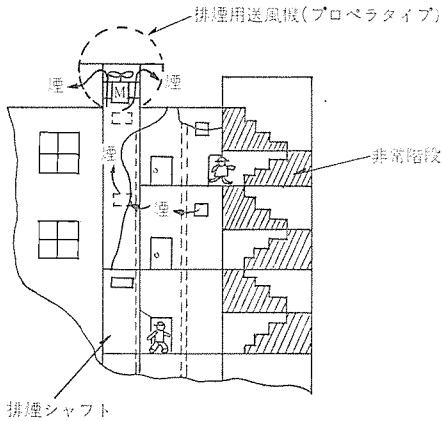


図 1 排煙用 モートル 取付例

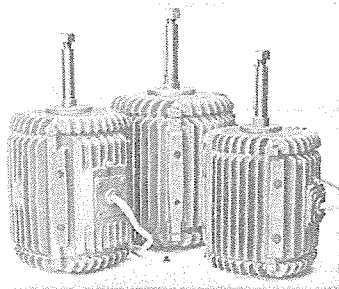
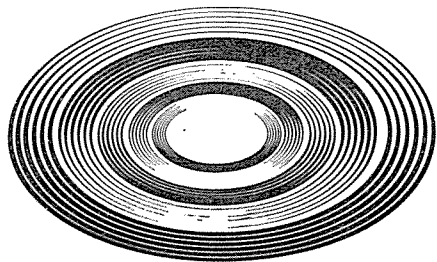


図 2 SE-EV 形 排煙用 モートル



## 超高速での磁気浮上実験に成功

—東京～大阪間 1時間の夢 さらに近づく—

当社は、つぎの超高速新幹線をめざした超電導 磁気浮上動特性 試験装置を完成し、このたび 220 km/h での高速浮上 モデル 実験に成功した。これにより 東京～大阪間 1 時間の夢はさらに一步実現に近づいた。(なお、本装置は昭和 47 年度 運輸省補助金の対象となっているものである)。

### 開発した磁気浮上 実験装置の特長

#### (1) 超高速域での浮上特性の実証

国内・国外を通じて従来の 100 km/h ほどにとどまっていたものを、世界最高の 360 km/h までの高速浮上試験を可能にした画期的なものである。

#### (2) 小形で強力な超電導磁石

磁気浮上の心臓ともいえる超電導磁石 (SCM : Super Conducting Magnet) には、新しくエポキシ 含浸による高電流密度 コイル を開発し、さらに独得の超断熱支持材の採用による小形軽量化を実施し、自重の 28 倍という大きな浮上力の発生に成功した。

これにより動特性の解明など、超電導 磁気浮上の実用化に際しての重要課題の解決に有効な武器となる。

### 開発した装置のおもな仕様

回転ドラム	直 径 1,200 mm 幅 400 mm
浮上力発生用導体	アルミシート および短絡 コイル
最高速度 (周速)	360 km/h (最大)
浮上用超電導 マグネット	
起磁力	150 KAT (最大)
重 量	23.5 kg
コイル 寸法	150×150 mm
平均電流密度	300 A/mm <sup>2</sup>
浮上力	650 kg (144 KAT)
浮上高さ	50 mm

### 超高速鉄道への応用

超高速鉄道の実現に浮上とともに重要な要因となる推進についても、当社ではすでに長崎製作所でリニア誘導 モータの大形回転試験機を完成し、世界にさきがけて最高 460 km/h までの超高速域での試験を完成している。今回の装置を加えたことにより、今後超電導磁石を利用したリニア同期 モータについても特性解明を進めることが可能となり、超高速鉄道実現への努力を、さらに強力におし進めていく方針である。

### 特 許 出願約 60 件

### 解 説

#### (1) 超電導磁石 (SCM)

Sn, Pb, Nb などの金属や Ti-Nb, Ti-Nb-Ta 等の合金や, Nb<sub>3</sub>Sn のような金属間化合物を極低温に冷却すると、その電気抵抗がゼロになる現象を超電導という。

この現象を利用した超電導線を用いて、損失がゼロで大電流を流

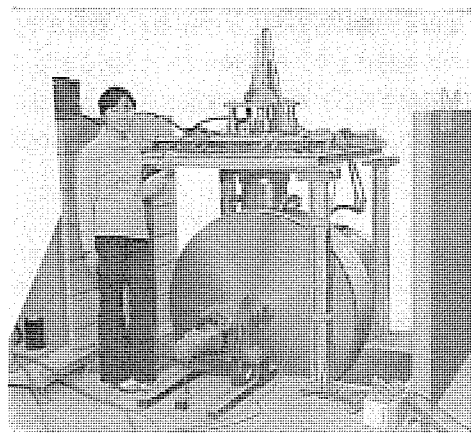


図 1 超電導磁気浮上動特性試験装置

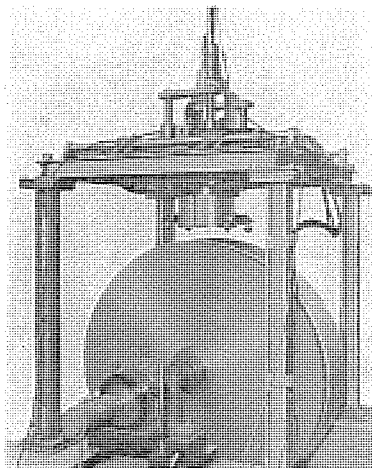


図 2 超電導磁気浮上動特性試験装置による浮上実験

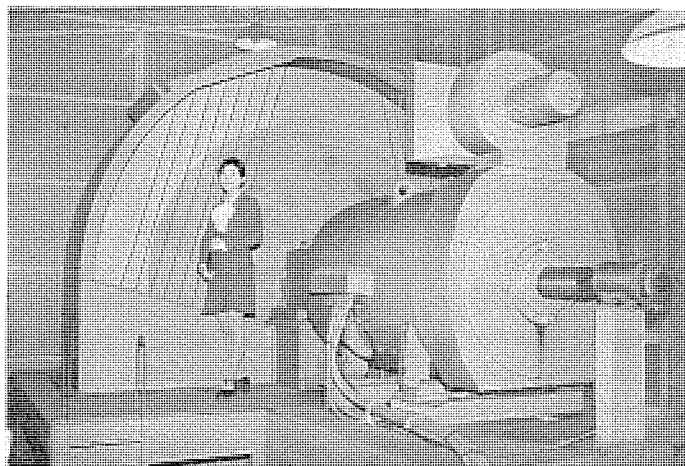


図 3 リニア誘導 モータの大形回転試験装置



することができ、強力な電磁石が作られる。冷却にはふっ点が最も低い液体 ヘリウム ( $-269^{\circ}\text{C}$ ) が用いられる。

## (2) 超電導磁気浮上

車両に超電導磁石をとう(搭)載し、軌道には短絡 コイル または アルミ シート を布設する。車両の走行により、軌道側の導体に交わる超電導磁石からの磁束が変化するため、うず電流が誘起される。このうず電流と車両の超電導磁石の間に電磁反発力が生じ車両が浮上するもので、騒音のない非接触軌道として超高速鉄道への応用を目ざして研究が続けられている。

## (3) リニア モータ

浮上した列車に推力を与えるのが、リニア モータ でこれにはリニア 同期 モータ (LSM: Linear Synchronous Motor) と リニア 誘導 モータ (LIM: Linear Induction Motor) がある。LSM では磁気浮上の場合と同様、車両の超電導磁石と軌道側に設けた一次 コイル により、同期 モータ の原理で推力を発生する。LIM の場合は超電導磁石のかわりに、アルミ シート をもちい、これに流れる うず電流により誘導 モータ の原理で推力を生じる。

[中央研究所]

## 小形、高出力の加工用 $\text{CO}_2$ レーザの開発 —従来品の 10 倍以上の高出力—

当社ではこのたび国内でははじめて放電部 1 m 当たりの連続出力が 800 W 以上という、従来のこの種のレーザの 1 m 当たり 50~70 W の出力に比べて 10 倍以上の小形高出力の発振に成功し、木材・プラスチック・金属等の裁断・加工へのレーザ利用の道を開いた。

### ■ 開発した小形高出力 $\text{CO}_2$ レーザの特長

#### (1) 小形で高出力

放電部 1 m 当たりの連続出力 800 W 以上

#### (2) 出力密度の飛躍的増大 (図面参照)

従来の  $\text{CO}_2$  レーザは混合ガス流・放電・レーザビームの 3 方向が同軸であったが、今回開発したものは 3 方向が互いに直角になっており、混合ガスを毎秒 60 m の速度で循環冷却させることにより、出力密度を飛躍的に増大させることに成功した。

#### (3) 高出力で安定した放電

小形高出力化の問題点は、電気入力上げてレーザ出力を増大させる場合に、放電がグロー放電から効率の低いアーク放電へと移行し、所期のレーザ出力が得られなくなることであったが、陰極の構造、冷却方法の改良および陰極材料の選択等によりこの問題を解決した。(特許出願 3 件)

### ■ 小形高出力 $\text{CO}_2$ レーザの応用

当社中央研究所では開発したレーザを利用して、木材・プラスチック・金属等の裁断・加工

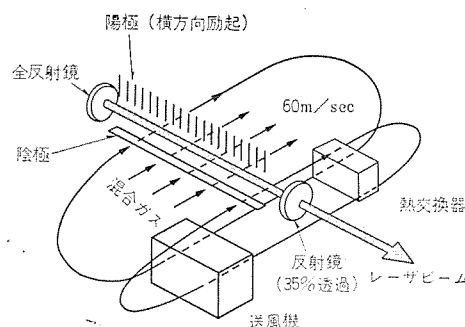


図 1 今回開発した気体循環横方向励起形  $\text{CO}_2$  レーザ

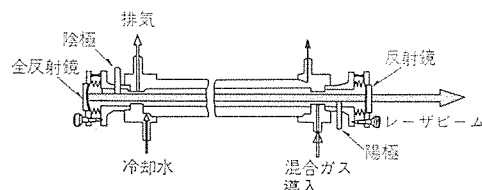


図 2 従来形の  $\text{CO}_2$  レーザ

の実験を行なっているが、すぐれた加工特性を持っているので、さらに装置の改善を加え新しい加工装置としての製品化を進めていく方針である。

#### ■ 装置のおもな仕様

レーザ 発振波長	10.6 $\mu$
混合 ガス 流速	60 m/s
放電電圧	約 900 V
放電電気入力	最 大 12.5 kW
レーザ 出力	最 大 約 1 kW
	定 常 700 W

#### ■ 解 説

##### (1) CO<sub>2</sub>レーザ解説について

レーザとは光の誘導放出現象による発振を起こして、コヒーレントな光を発生させる装置として今世紀最大の発明の一つといわれる。コヒーレントということは、光の波動が時間的にも空間的にも規則正しいことをいい、エネルギーの集中特性、変復調の精度にすぐれ、このために従来の光では考えられなかった応用の可能性が、加工・計測・情報処理・通信・医療その他あらゆる分野でひらけつつある。

CO<sub>2</sub>レーザから出る光はレーザ光の中では比較的長い波長(10.6  $\mu$ )の赤外線であり、CO<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>、Heの混合ガス流の中の放電によって発振させ、出力をとり出すものである。このときのエネルギー変換効率(電気入力に対するレーザ出力の割合)は、5~10%とレーザの中では最も高く、したがって最大級の連続出力が得られ、加工のようなエネルギーの形で利用する応用に適している。

##### (2) CO<sub>2</sub>レーザビームによる裁断、加工の動向

CO<sub>2</sub>レーザによると高出力の赤外線ビームを赤外線用レンズで集めんとすると、微小なスポット(たとえば直径0.1 mm以下)に全エネルギーを集中できるので、木材・プラスチック・金属の加工が高精度・高能率で可能という点で注目を集めつつある。

一例をあげると、500 WのCO<sub>2</sub>レーザビームにより厚さ1 mmのステンレス鋼板を切断する場合、切りしろは0.1~0.2 mm、切断速度は毎分3~4 mにも達する。このような切断の特長としては、切りしろが小さいので加工精度が高いことのほかに、数値制御技術などの併用により任意の曲線、図形の裁断が能率よく行なえる点に期待がもたれ、“夢の加工法”といわれている。

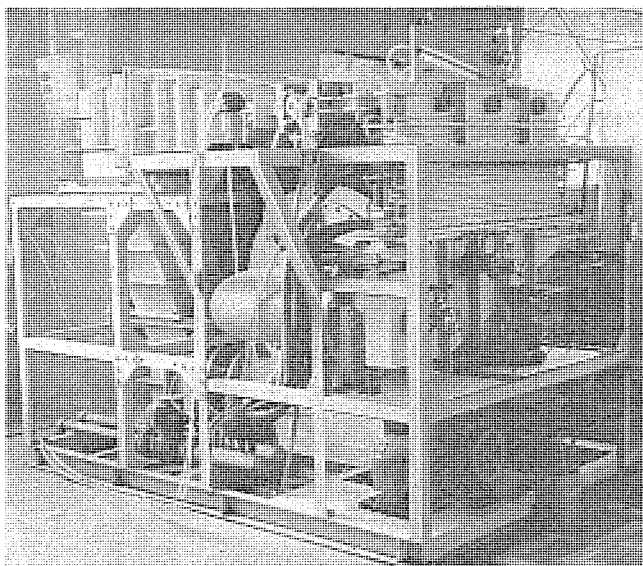


図 3 小形高出力 CO<sub>2</sub>レーザ発振装置

[中央研究所]

登録番号	名 称	考 案 者	登録番号	名 称	考 案 者
948746	保護継電装置	中 島 安 宏	951824	冷蔵庫の箱体	林 八 郎
948749	たて軸回転電機	柴 崎 和 則	951825	冷蔵庫の内	川 瀬 潔・小長谷辰雄
949506	継電器回路	西 山 卓	951827	冷蔵庫の箱体	林 八 郎
948753	光電式自動点滅器の遮光カバー	元 木 義 明	950745	操作つまみ取付装置	佐 内 幸 治
948748	回転機の軸受装置	梶 谷 定 之・目 黒 友 夫	951809	電圧掃引回路	奥 村 修
948750	電動機回路における制御整流素子	梶 谷 定 之・目 黒 友 夫	950753	脈流電流測定装置	今 村 長 義・小 西 直 行
949508	断熱管	松 尾 清	951811	スタンド支柱取付装置	保 田 智 行・今 井 将
949509	断熱管	松 尾 清	951812	スタンド支柱取付装置	保 田 智 行・松 沢 久 行
949510	断熱管	松 尾 清	951819	殺菌灯付衣類乾燥機	長 沢 重 雄
948743	電源装置	谷 瀬 敏 之	951816	半導体の取付装置	茂 木 充
948745	電動機回路における制御整流素子の保護装置	加 賀 宏 明・大 屋 英 雄	951815	プレス	田 中 克 房
948747	冷蔵庫	中 島 勇	950742	コードバンド	関 根 文 男・宇 佐 見 忠
948751	二温度式冷蔵庫	織 田 隆 嗣	950743	電気掃除機	長 嶺 元・相 河 富 雄
948754	冷蔵庫	荒 野 喆 也・辻 幹 夫	950744	電動掃除機のコード自動巻取装置	加 藤 悟・南 日 国 伸
948755	冷蔵庫の塞ぎ板装置	木 村 善 昭	950751	温水器の凍結防止装置	鶴 谷 嘉 正
948756	冷蔵庫の温度調節器	田 中 毅・吉 田 匡 一	951807	ミキサー	武 井 久 夫・服 部 信 道
949511	冷蔵庫	駒 形 栄 一	951813	トースター	長 尾 吉 彦・原 崎 実
949512	冷蔵庫の塞ぎ板装置	斉 藤 宏	950748	吸収式冷暖房装置の蒸発器	大 場 健 司・笠 置 紘
948752	線形	小笠原信雄・大月長彦	950749	フィン付熱交換器	山 崎 起 助
949507	観測窓	上 田 敏・金 川 勝	951798	パルス発生装置	武 藤 正・氷 室 昌 美
949513	圧力式炊飯器	小 川 昇・大 沢 和 夫	951808	温度制御装置	遠 藤 吉 隆・中 村 新 一
949514	圧力式炊飯器	小 川 昇・大 沢 和 夫	952798	懐中電灯	{ 伊 藤 一 夫・田 中 博 安 達 栄 作
948742	扇風機	佐 藤 秀 昭	952784	回路開閉装置	竹 内 孝 治・古 茂 田 勇
951802	衣類乾燥機	鶴 谷 嘉 正・藤 田 勲	952789	台所セットの換気装置	入 沢 淳 三
951820	乾燥機用保護装置	木 名 瀬 武 男	952782	たわみ軸接手	有 田 久 利
951805	瞬時停電自動再投入装置	久 松 章 三・紅 谷 宏	952797	圧縮式空気調和装置の熱交換器	野 田 富 士 夫
950754	遠隔積算用流量メータ	三 好 明 好	952791	変流器	長 野 光 佑
951799	最大需用電力計	相 田 利 光	952785	電気掃除機	{ 武 井 久 夫・加 藤 悟 南 日 国 伸
951814	抽出形計器	寄 森 正 樹	952786	電気掃除機	{ 武 井 久 夫・加 藤 悟 南 日 国 伸
951800	扇風機の羽根車取付装置	市 岡 洋・金 井 孝 素	952787	電気掃除機	{ 武 井 久 夫・加 藤 悟 南 日 国 伸
951801	羽根車の取付装置	市 岡 洋・金 井 孝 素	952788	電気煮炊器の浸水防止装置	岡 部 勇
951803	扇風機の羽根車着脱装置	糸 魚 川 佐 富	952790	蓄熱型ヘアカーラーのカールボビン	{ 野 畑 昭 夫・森 本 敏 夫 鳥 山 建 夫
951804	車輛のエアーカーテン用送風装置	藤 井 学	952792	ボンネット型ヘアドライヤー	川 合 輝 一・橋 本 一
950746	除霜装置	作 野 勤	952793	ボンネット型ヘアドライヤー	川 合 輝 一・橋 本 一
951817	凝縮機	角 正 明	952794	ヘアドライヤーのボンネット	川 合 輝 一・橋 本 一
950741	測温体	西 久 保 直 彦	952795	ヘアドライヤー	川 合 輝 一・橋 本 一
950752	軸封装置	村 岡 正 隆	952796	吸収式冷暖房装置の発生器	笠 置 紘・大 槻 昭 義
951806	過負荷保護装置	中 野 大 典・深 川 吉 則	952799	パネル着脱式トースタ	小 川 昇・岡 部 勇
951821	電磁装置	脇 山 嘉 之	952800	ヘアドライヤー	福 田 興 司・小 池 利 男
950750	走行装置	田 中 政 和・峰 松 吉 彦	952801	トースターのパン位置保持装置	{ 篠 崎 功 三・新 井 勝 紀 宇 佐 見 忠
951818	レーダ装置	近 藤 輝 夫・岩 部 昭			
951826	テレビ装置等の曇り止め装置	本 谷 昇 一			
950747	冷凍装置	田 中 満			
951810	コンデンサの締付けバンド	高 田 弘 明・木 南 勤			
951822	冷蔵庫用蝶番装置	戸 塚 次 郎			
951823	冷蔵庫扉	名 倉 利 男・杉 山 悦 朗			

# 本社・営業所・研究所・製作所・工場所在地

本 社 東京都千代田区丸の内2丁目2番3号(三菱電機ビル) (電) 100) (電) 東京 (03) 218局2111番

大阪営業所	大阪市北区梅田町8番地(西阪神ビル) (電) 530)	(電) 大阪 (06)	343局1231番
名古屋営業所	名古屋市中村区広井町3丁目88番地(大名古屋ビル) (電) 450)	(電) 名古屋 (052)	565局3111番
静岡出張所	静岡市伝馬町16の3番地(明治生命静岡支社) (電) 420)	(電) 静岡 (0542)	54局4681番
福岡営業所	福岡市中央区天神2丁目12番1号(天神ビル) (電) 810)	(電) 福岡 (092)	72局2111番
長崎出張所	長崎市丸尾町7番8号(長崎底曳会館) (電) 852)	(電) 長崎 (0958)	61局6101番
札幌営業所	札幌市中央区北2条西4丁目1番地(北海道ビル) (電) 060-91)	(電) 札幌 (011)	261局9111番
仙台営業所	仙台市大町1丁目1番30号(新仙台ビル) (電) 980)	(電) 仙台 (0222)	21局1211番
富山営業所	富山市桜木町1番29号 (電) 930)	(電) 富山 (0764)	31局8211番
広島営業所	広島市中町7番32号(日本生命ビル) (電) 730)	(電) 広島 (0822)	48局5311番
岡山出張所	岡山市駅前町1丁目9番地(明治生命館) (電) 700)	(電) 岡山 (0862)	25局5171番
高松営業所	高松市鶴屋町2番1号 (電) 760)	(電) 高松 (0878)	51局0001番
新潟営業所	新潟市東大通1丁目2番地23号(北陸ビル) (電) 950)	(電) 新潟 (0252)	45局2151番
東京商品営業所	東京都千代田区丸の内2丁目2番3号(三菱電機ビル) (電) 100)	(電) 東京 (03)	218局2111番
関東商品営業所	大宮市大成町4丁目298番地(三菱電機大宮ビル) (電) 330)	(電) 大宮 (0486)	65局3211番
大阪商品営業所	大阪市北区堂島北町8番地の1 (電) 530)	(電) 大阪 (06)	344局1231番
名古屋商品営業所	名古屋市中村区広井町3丁目88番地(大名古屋ビル) (電) 450)	(電) 名古屋 (052)	565局3111番
静岡機器営業所	静岡市小島2丁目1番22号 (電) 420)	(電) 静岡 (0542)	82局2061番
浜松機器営業所	浜松市海老塚町479の1 (電) 430)	(電) 浜松 (0534)	54局4121番
福岡商品営業所	福岡市中央区天神2丁目12番1号(天神ビル) (電) 810)	(電) 福岡 (092)	72局2111番
札幌商品営業所	札幌市中央区北2条西4丁目1番地(北海道ビル) (電) 060-91)	(電) 札幌 (011)	261局9111番
仙台商品営業所	仙台市大町1丁目1番30号(新仙台ビル) (電) 980)	(電) 仙台 (0222)	21局1211番
北陸商品営業所	金沢市小坂町西97番地 (電) 920)	(電) 金沢 (0762)	52局1151番
広島商品営業所	広島市中町7番32号(日本生命ビル) (電) 730)	(電) 広島 (0822)	48局5311番
高松商品営業所	高松市鶴屋町2番1号 (電) 760)	(電) 高松 (0878)	51局0001番
東京機器営業所	東京都港区北青山1丁目2番3号(青山ビル) (電) 107)	(電) 東京 (03)	404局0336番
大阪機器営業所	大阪市北区堂島北町8番地の1 (電) 530)	(電) 大阪 (06)	344局1231番
中央研究所	尼崎市南清水字中野80番地 (電) 661)	(電) 大阪 (06)	491局8021番
生産技術研究所	尼崎市南清水字中野80番地 (電) 661)	(電) 大阪 (06)	491局8021番
商品研究所	鎌倉市大船2丁目14番40号 (電) 247)	(電) 鎌倉 (0467)	44局6111番
神戸製作所	神戸市兵庫区和田崎町3丁目10番地の1 (電) 652)	(電) 神戸 (078)	67局5041番
伊丹製作所	尼崎市南清水字中野80番地 (電) 661)	(電) 大阪 (06)	491局8021番
三田工場	三田市三輪町父々部85番地 (電) 669-13)	(電) 三田 (07956)	3局4371番
赤穂工場	赤穂市天和651番地 (電) 678-02)	(電) 赤穂 (07914)	3局2221番
長崎製作所	長崎市丸尾町6番14号 (電) 850-91)	(電) 長崎 (0958)	61局6211番
稲沢製作所	稲沢市菱町1番地 (電) 492)	(電) 稲沢 (0587)	32局8111番
和歌山製作所	和歌山市岡町91番地 (電) 640-91)	(電) 和歌山 (0734)	36局2111番
鎌倉製作所	鎌倉市上町屋325番地 (電) 247)	(電) 鎌倉 (0467)	44局1111番
通信機製作所	尼崎市南清水字中野80番地 (電) 661)	(電) 大阪 (06)	491局8021番
北伊丹製作所	伊丹市瑞原4丁目1番地 (電) 664)	(電) 伊丹 (0727)	82局5131番
熊本第一工場	熊本市竜田町弓削720番地 (電) 862)	(電) 熊本 (0963)	38局7211番
熊本第二工場	熊本県菊池郡西合志町御代志997 (電) 861-11)	(電) 熊本 (09624)	2局0151番
名古屋製作所	名古屋市中区矢田町18丁目1番地 (電) 461)	(電) 名古屋 (052)	721局2111番
旭工場	尾張旭市下井町下井 (電) 488)	(電) 尾張旭 (05615)	3局5101番
福岡製作所	福岡市西区今宿青木690番地 (電) 819-01)	(電) 福岡今宿 (09295)	6局0431番
福山製作所	福山市緑町1番8号 (電) 720)	(電) 福山 (0849)	21局3211番
相模製作所	相模原市宮下1丁目1番57号 (電) 229)	(電) 相模原 (0427)	72局5131番
姫路製作所	姫路市千代田町840番地 (電) 670)	(電) 姫路 (0792)	23局1251番
静岡製作所	静岡市小島3丁目18番1号 (電) 420)	(電) 静岡 (0542)	85局1111番
中津川製作所	中津川市駒場町1番3号 (電) 508)	(電) 中津川 (05736)	6局2111番
大船製作所	鎌倉市大船5丁目1番1号 (電) 247)	(電) 鎌倉 (0467)	44局6111番
郡山製作所	郡山市栄町2番25号 (電) 963)	(電) 郡山 (0249)	32局1220番
群馬製作所	群馬県新田郡尾島町大字岩松800番地 (電) 370-04)	(電) 尾島 (02765)	2局1111番
藤岡工場	静岡市本郷字別所1173番地 (電) 375)	(電) 藤岡 (02742)	2局1185番
京都製作所	京都府乙訓郡長岡町大字馬場小字図所1番地 (電) 617)	(電) 京都 (075)	921局4111番
長野工場	長野市大字南長池字村前 (電) 380)	(電) 長野 (0262)	43局1101番
札幌営業所	札幌市中央区北2条東12丁目98番地 (電) 060)	(電) 札幌 (011)	231局5544番

家庭環境機器特集

《特集論文》

- 大気汚染と空気清浄機
- 家庭用オールシーズン形 ルームエアコン
- 住宅用セントラルエアコン
- クリーンヒータとクリーンヒータエアコン
- ウインドファン
- ロスナイ（透過式全熱交換器）の現状と将来の展望
- 最近の換気扇
- 排気形石油温風ヒータ（HEAT 66）の開発
- 深夜電力利用機器
- セントラルクリーナ

○ 住宅用システム化照明器具

— ルミテリアシリーズ —

○ ヒートポンプエアコンのシミュレーション

○ 住宅の冷暖房負荷の解析

《普通論文》

○ 自動はんだ付け工程における信頼性向上に関する研究

○ AQ モートル — 永久磁石式同期電動機 —

○ 密閉形冷凍圧縮機の中づりばねの応力

○ パターン処理システム（Ⅱ）— 数字識別方式 —

○ 新形単相誘導電動機

三菱電機技報編集委員会

委員長	正 木 茂 雄
副委員長	神 崎 邇
常任委員	上 田 重 夫
"	宇 佐 見 重 夫
"	北 川 和 人
"	古 賀 亨
"	外 野 範 吾
"	塚 本 信 雄
"	福 家 章
"	堀 謙 二 郎
"	牧 野 六 彦

常任委員	湊 武 雄
"	武 藤 正
"	吉 松 誠 一
委 員	北 垣 成 一
"	武 田 忠 夫
"	田 附 和 夫
"	中 尾 致 一
"	南 日 達 郎
"	林 昇 寿
"	待 鳥 正

（以上 50 音順）

昭和 48 年 3 月 22 日印刷 昭和 48 年 3 月 25 日発行「禁無断転載」定価 1 部 金 200 円（送料別）

編集兼発行人

東京都千代田区丸の内 2 丁目 2 番 3 号

正 木 茂 雄

印刷所

東京都新宿区市谷加賀町 1 丁目 12 番地  
（郵便番号 162）

大日本印刷株式会社

印刷者

東京都新宿区市谷加賀町 1 丁目 12 番地

高 橋 武 夫

発行所

東京都千代田区丸の内 2 丁目 2 番 3 号（郵便番号 100）

三菱電機株式会社内

「三菱電機技報社」

（電話）（03）218 局 2323 番

発売元

東京都千代田区神田錦町 3 丁目 1 番地（郵便番号 101）

株式会社 オーム社書店

（電話）（03）291 局 0912 番 振替口座 東京 20018 番