

宇宙科学研究所報告

第 123 号

鹿児島宇宙空間観測所 34 m アンテナ科学衛星追跡局

廣澤春任・市川 満・山本善一・井上浩三郎・横山幸嗣
豊留法文・日高正規・斎藤 宏・伊藤富美夫・佐藤 巧
松本操一・佐藤裕之・柿沼孝樹・大橋清一・山田明宏
佐川一美・吉川志郎・杉浦正典・新屋貴嗣

2003年3月

宇宙科学研究所

この報告書は宇宙科学研究所が、研究成果を公表するために発行する
不定期継続刊行物です。

本報告についてのお問い合わせは下記にご連絡下さい。

宇宙科学研究所 管理部庶務課法規・出版係

鹿児島宇宙空間観測所 34 m アンテナ科学衛星追跡局

廣澤春任*・市川 満†・山本善一*・井上浩三郎*
横山幸嗣††・豊留法文*・日高正規*・斎藤 宏*
伊藤富美夫**・佐藤 巧**・松本操一**・佐藤裕之**
柿沼孝樹**・大橋清一***・山田明宏***・佐川一美***
吉川志郎***・杉浦正典***・新屋貴嗣***

(2003年1月27日受理)

The Satellite Tracking Station with a 34m Diameter Antenna at the Kagoshima Space Center

By

Haruto HIROSAWA*, Mitsuru ICHIKAWA†, Zen-ichi YAMAMOTO*, Kouzaburo INOUE*,
Koji YOKOYAMA††, Norifumi TOYODOME*, Masaki HIDAHA*, Hiroshi SAITO*,
Fumio ITO**, Takumi SATO**, Soichi MATSUMOTO**, Hiroyuki SATO**,
Takaki KAKINUMA**, Seiichi OHASHI***, Akihiro YAMADA***, Kazumi SAGAWA***,
Sirotu YOSHIKAWA***, Masanori SUGIURA***, Takashi ATARASHIYA***

Abstract : This paper describes the satellite tracking station with a 34m diameter antenna that the Institute of Space and Astronautical Science (ISAS) has built at its Kagoshima Space Center for tracking of Earth-orbiting scientific satellites and deep space probes of ISAS. The features of the new tracking station are: a large antenna with high efficiency at S and X bands, reception of high bit-rate telemetry, polarization-diversity RF signal reception followed by a signal combiner, digital receivers, a new PN ranging system, an acquisition antennas system with transmit/receive capability, efficient station operation and satellite operatoin controls, and a Ka-band reception capability of the main antenna. Since the completion in 1998, the station has been operated for the

* 宇宙科学研究所 Institute of Space and Astronautical Science (ISAS)

† 元宇宙科学研究所 Formerly with ISAS

†† 元宇宙科学研究所 (現在千葉工業大学) Formerly with ISAS (Presently with Chiba Institute of Technology)

** 三菱電機株式会社 Mitsubishi Electric Corporation

*** 日本電気株式会社 (現在 NEC東芝スペースシステム株式会社) NEC Corporation (Presently with NEC TOSHIBA Space Systems, Ltd.)

tracking of the Mars explorer NOZOMI in support of the Usuda deep space station of ISAS and for the operations of the scientific satellites YOHKO, GEOTAIL, HALCA, and others.

要 旨

鹿児島宇宙空間観測所の34 mアンテナ科学衛星追跡局は、近地球科学衛星の追跡運用と臼田64 mアンテナ局のバックアップとして深宇宙探査機の追跡運用を行うものとして建設された。アンテナの大型化と高能率化、高速テレメトリデータの受信、偏波ダイバーシティ合成受信、新方式による高精度の距離計測、受信設備のデジタル化とそれによる低スレショルド化・高精度化、捕捉アンテナ系の充実、局運用管制・衛星管制の効率化、アンテナのKaバンド受信機能付加など、同局では多くの機能の充実と性能の向上が図られている。同局の完成により、ASTRO-F、ASTRO-E、等々と続く近地球科学衛星運用への備えが出来上がるとともに、深宇宙探査機追跡に関しては、火星探査機「のぞみ」において、臼田局を支援する地上局として欠かせない役割を果たしてきている。

重要語：衛星追跡局，地上局，大型アンテナ，科学衛星，深宇宙探査，衛星運用管制

1. はじめに

鹿児島宇宙空間観測所（KSC）の34 mアンテナ科学衛星追跡局（以後「KSC 34 mアンテナ局」と呼ぶ）は、同観測所における科学衛星の追跡を既存の20 mアンテナ局と合わせて二局体制にし、また、併せて、深宇宙ミッション用の臼田64 mアンテナ局〔1, 2〕のバックアップともする、という構想のもとに建設された。鹿児島宇宙空間観測所における科学衛星の追跡は、以前から、20 mアンテナ局と10 mアンテナ局とを用いて行ってきたが、後者は老朽化が甚だしい上に機能が限られ（衛星「あけぼの」の運用のみに使用）、「ようこう」や「あすか」などの天文衛星の追跡運用は20 mアンテナ局〔3, 4〕によって、実質的にバックアップの無い一局体制のもとでなされていた。鹿児島宇宙空間観測所における科学衛星の追跡管制の万全を期し、また、ASTRO-Eから計画された高データレートのXバンドテレメトリを実現するために、機能を高めた新たな地上局の建設が必須であった。さらに、PLANET-B（1998年7月に打ち上げられ「のぞみ」と命名）に始まる深宇宙探査ミッション本格化の時を迎えて、新設地上局のアンテナをできるだけ大口径にし、新設局が臼田64 mアンテナ局のバックアップの役目も可能な範囲で担えるようにすることが併せて考えられた。

KSC 34 mアンテナ局設置に関する経緯、ならびにその後の設備充実の経過は次の通りである。新精測レーダ〔5〕の建設開始と並行する形で、1993年から新地上局の必要性と設備内容に関する所内検討が始まり、それをもとに、1995年度に「KSC科学衛星追跡管制設備」の事項名称で概算要求がなされた。要求は認められ、1996年からの3年国債で同設備の製作・建設が始まった。新地上局は1998年度に完成した。設置位置はテレメータ台地、18 mアンテナ〔6, 7〕が建てられていた場所で、設置工事に当たって18 mアンテナを撤去した（付録参照）。その後、2000年度（1999年度補正予算の繰り越しで実行）に、臼田64 mアンテナ局のXバンドアップリンク設備整備の一環として、このKSC 34 mアンテナ局にもXバンド送信関連の装置が増設された。また、同じく臼田64 mアンテナ局用に開発されたXバンドの冷却低雑音増幅器〔8〕が、1999年に、KSC 34 mアンテナ局のXバンド受信系にも付加された。

KSC 34 mアンテナ局は、2000年2月、ASTRO-E衛星の打ち上げオペレーションにおいて使用され（打ち上げロケットの不具合により衛星自身は軌道に投入されるに到らなかったが）、新局がASTRO-E衛星の運用に必要なオ

ペレーション上の機能を満たしていることを確認した。1998年にM-V型ロケットの3号機によって打ち上げられた火星探査機「のぞみ」においては、重要な軌道制御の際や、臼田64 mアンテナ局のXバンドアップリンク系増設工事の際、ならびに、臼田局に起こった不測の不具合の際などに、バックアップとしての役目を果たしてきた。また、「ようこう」、「ジオテイル」、「あすか」、「はるか」等の科学衛星の運用にも使われ、追跡局としての機能を果たしてきている。

本稿は、KSC 34 mアンテナ局について、その全体を紹介するとともに、設計・開発において重点を置いた技術的事柄に関して詳述するものである。はじめに2章において地上局全体の構成と概要を述べる。3章ではアンテナ設備について述べる。4章では送受信運用管制設備の全体構成と概要を述べ、5章から8章まで、同設備に関する各論として、送受信設備、距離及び距離変化率計測設備、ベースバンド設備、運用管制系について順に述べる。9章は結びである。付録に18 mアンテナの撤去について記す。

2. 地上局の概要と構成

KSC 34 mアンテナ局は地球周回科学衛星の追跡運用と臼田64 mアンテナ局のバックアップとしての深宇宙探査機の追跡運用を行うことを目的とする。運用可能な周波数帯は

- ・ Sバンド 送信 2025～2120 MHz, 受信 2200～2300 MHz
- ・ Xバンド 送信 7145～7235 MHz, 受信 8400～8500 MHz
- ・ Kaバンド 受信 17200～17300 MHz

で、この内Kaバンドは将来に備えてアンテナ装置のみを用意したものである。34 mアンテナ局の全体構成を図1に示す。局は、大型アンテナ設備ならびにその駆動制御設備、S帯受信設備、S帯送信設備、X帯受信設備、X帯高速データ受信設備、X帯送信設備、捕捉用送受信設備、距離・距離変化率計測設備、ベースバンド設備、局運用管制設備、衛星管制設備、伝送系（運用ネットワーク、データ分配・蓄積装置、ほか）、電源設備、その他（標準時刻設備、通話系、など）からなっており、局運用管制設備と衛星管制設備の遠隔対応部分が相模原管制センター（SSOC）に置かれている。

KSC 34 mアンテナ局の詳細は以下本稿で詳しく述べられていくが、ここに同局を特徴付ける事柄を挙げておく

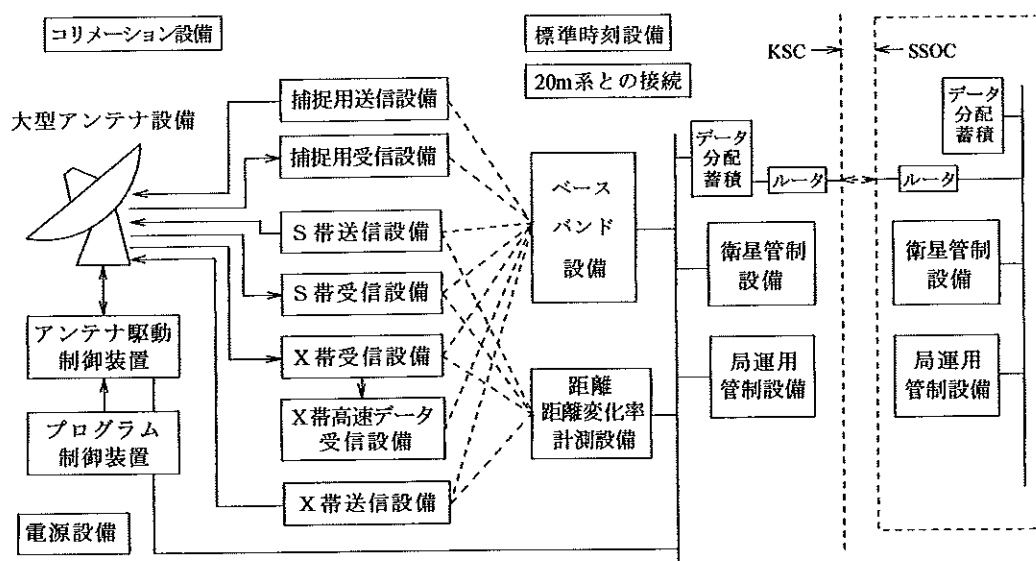


図1 KSC34mアンテナ局の構成

と、およそ次の通りである。

- (1) アンテナの大型化と高能率化
- (2) 高速テレメトリデータの受信
- (3) 深宇宙ミッションへの対応
- (4) 偏波ダイバーシティ合成受信
- (5) 受信設備等のデジタル化とそれによる低スレシールド化・高精度化
- (6) 新方式による高精度距離計測
- (7) 捕捉アンテナ系の充実による確実な衛星捕捉
- (8) 低高度衛星に対応するためのアンテナの高速追尾
- (9) 局運用管制・衛星運用管制の自動化・効率化
- (10) アンテナのKaバンド対応

科学衛星の地上運用システムに関しては、「のぞみ」およびそれ以降の科学衛星（LUNAR-A、ASTRO-E、ASTRO-F、等々）に向けて大幅な刷新が図られ、本地上局建設に先立って、新たなシステムが、臼田64 mアンテナ局やKSC 20 mアンテナ局、相模原管制センター等に既に導入されていた（LUNAR-A/PLANET-B衛星運用システムの名前で開発された）、新衛星運用システムは、従来のミニコンピュータを中心とする衛星運用システム（1997年に打ち上げられた科学衛星「はるか」までその従来のシステムによって運用されている）からワークステーション（WS）を中心とするシステムへと転換したものであった。34 mアンテナ局においても、ベースバンド設備、局運用管制設備、衛星管制設備等は、新衛星運用システムに基づいて製作されている。

34 mアンテナ局を運用するための電源設備については、以後触れないので、ここに簡単に内容を記しておく。設備は商用電力受電部と非常用電源からなる。前者は三相6600 Vの商用電力を受電し、AC 440 V、AC 200 V、AC 100 Vの低圧に変圧して負荷へ供給する。後者は出力350 kVAのガスタービン発電装置と出力容量150 kVAの無停電電源装置（バックアップ時間10分）とからなる。

3. 大型アンテナ設備

3.1. 機能と構成

既に述べてきたように、本地上局の建設に当たっては、地球周回の科学衛星を主対象とするが、併せて、深宇宙探査機に対しても、可能な限り臼田局のバックアップとして働くようにすることが目指された。アンテナに関しては、直径を34 mと大型化し、Sバンドと共に、今後深宇宙探査機運用の中心的な周波数帯となるXバンドに対して、高能率化を図った。

地球周回衛星の追跡の観点からは、まず初期捕捉を確実にするために、捕捉アンテナ系の充実を図った。捕捉系には、初めての試みとして、送信機能を持たせた。また、アンテナ大型化のもとで低高度の衛星の追跡に支障を来さないように、アンテナ駆動の高速化を図った。

給電系に関しては、S/X帯共用のコルゲートホーンを用い、任意の偏波の受信信号のもとで高精度の追跡ができるシステムを構成した。また、大電力送信が可能のように、Sバンドで20 kW、Xバンドで7 kWの送信耐電力性を持たせた。

さらに、アンテナには、将来の広帯域テレメトリの必要性に備えて、17 GHz帯（Ka帯）の受信機能を持たせた。

図2は建設された34 mアンテナの写真である。右手後方に見えるのは従来から使用してきている20 mアンテナである。二つのアンテナはほぼ北東に向かう線上にある。図3に34 m大型アンテナ主系の構成を示す。形式はカセグレン型で、直径34 mの主反射鏡、直径3.6 mの副反射鏡、ビーム伝送系（集束ビーム給電系）、S/X帯とKa帯の一次放射器および給電装置などからなり、S/X帯とKa帯は周波数選択鏡面（FSR）によって分波され

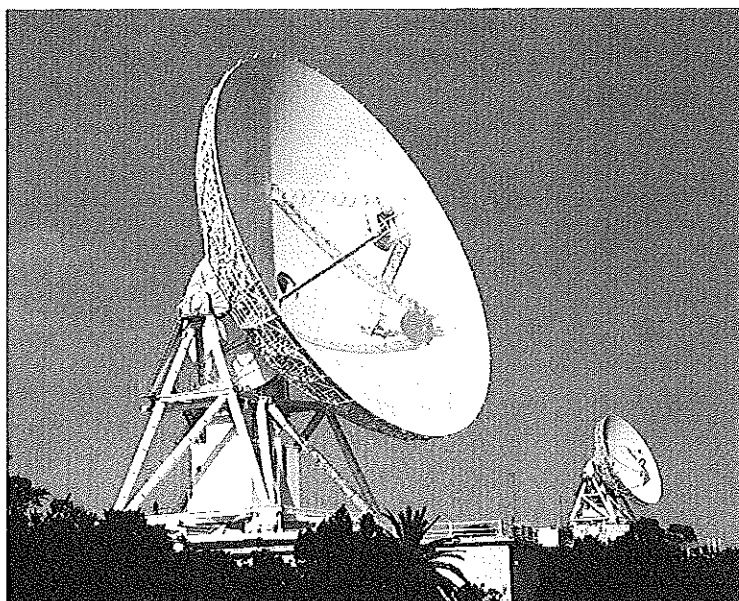


図2 KSC34mアンテナの外観。右手遠方に見えるのは20mアンテナ

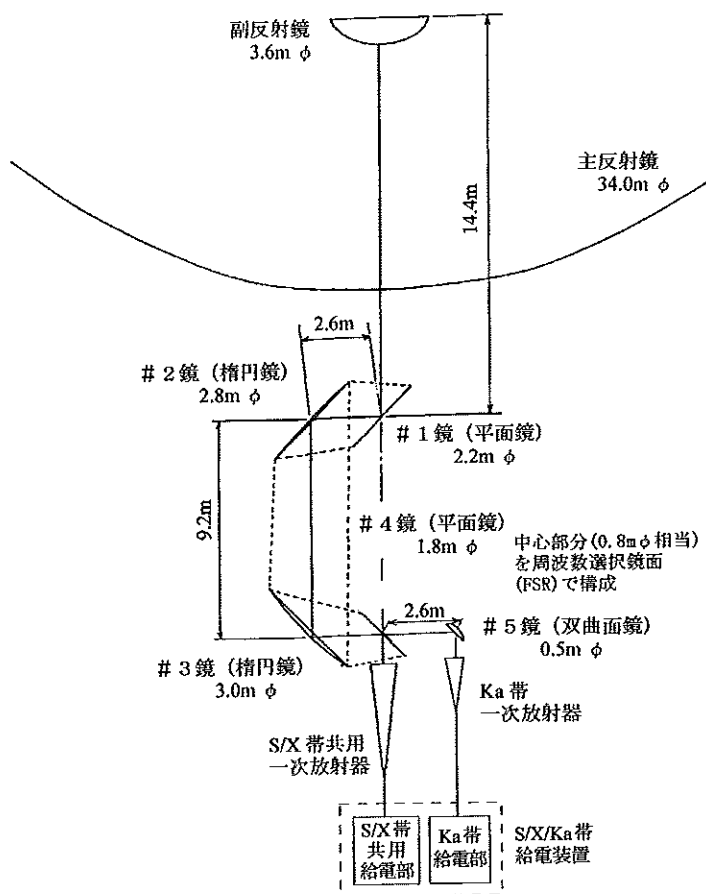


図3 34m大型アンテナの構成

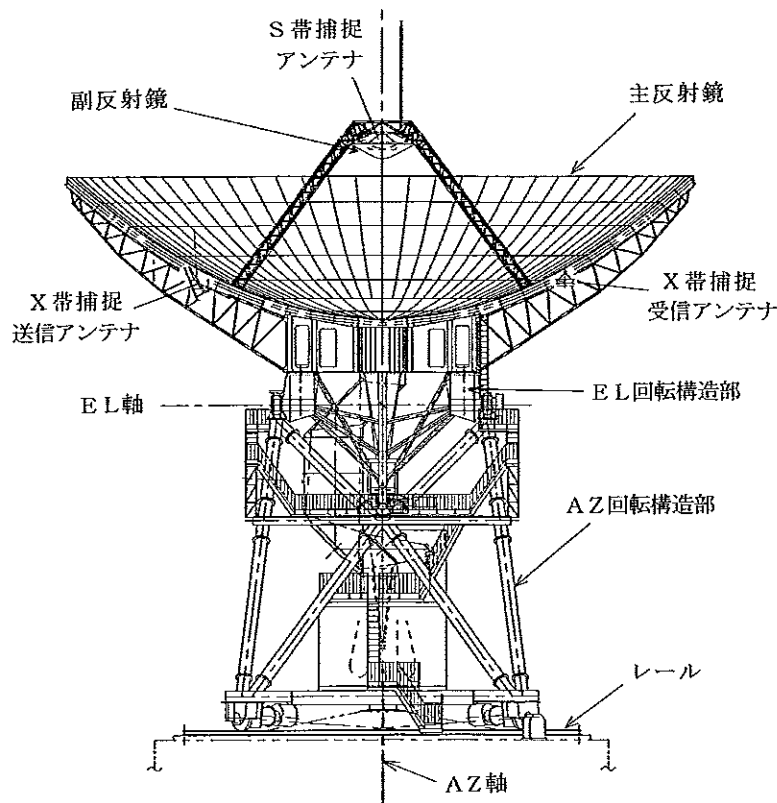


図4 34mアンテナの外観図

る。主反射鏡、副反射鏡には鏡面修整を施してある。図4はアンテナの外観図である。図には捕捉アンテナの位置も示してある。アンテナの主構造体は床面約42m×30mのペDESTALの上に乗っており、ペDESTAL内部には給電装置、アンテナ駆動電源系、アンテナ運用管制卓、送受信設備、局運用管制ならびに衛星管制設備など、34m局関連の全設備が収容されている。アンテナの運用操作については集中化と自動化を図っており、局運用管制装置からの遠隔操作による運用が可能である。

3.2. 主要性能

アンテナの利得、開口能率、雑音温度、軸比、追尾精度、指向精度、駆動速度などを、まとめて表1に示す。アンテナ利得は、Sバンドについては電波星Cas-Aを、Xバンドについては電波星Cyg-Aを用いて測定したものである。開口能率は給電ホーンの入力端換算で、Sバンド送信帯で75%、同受信帯で79%、Xバンド送信帯で68%、同受信帯で61%、という高い値を得ている。軸比は9km離れた位置にあるコリメーション設備を用いて測定したものである。同じくコリメーション設備を用いて測定した広角の放射パターンを、Sバンド(受信帯)について図5に、Xバンド(受信帯)について図6に示す。なお、コリメーション設備については、本アンテナ建設の付帯工事として、Xバンド用装置の増設を行った。アンテナの給電系はSバンドで20kW、Xバンドで7kWの耐電力性を持つ。

鹿兒島宇宙空間観測所に設置されるアンテナは十分な耐風性能を持つことが要求される。このアンテナでも、最大瞬間風速20m/sまで正常に動作し、30m/sでもビーム内追尾が可能、35m/sにおいて固定位置へ駆動してブレーキで固定することが可能、90m/sまで有害な永久変形を生じない、という20mアンテナや新精測レーダの場合と同様の条件で設計している。設計に当たっては、20mアンテナの建設の際に行った風洞実験[4]の結果を活用した。なお、20mアンテナは内之浦町(市街地)で最大風速72m/sを記録した台風13号(1994年)に耐えた実績を持つものである。

表1 アンテナの主要性能

周波数帯 周波数 (GHz)	Sバンド		Xバンド		Kaバンド
	送信 2.025-2.12	受信 2.20-2.30	送信 7.145-7.235	受信 8.40-8.50	受信 17.2-17.3
利得 (*1, *3)	56.0dB (2.11GHz)	56.9dB (2.29GHz)	66.0dB (7.145GHz)	67.0dB (8.40GHz)	70.8dB (*5) (17.20GHz)
雑音温度 (*1)	31.3K		44.6K		34.9K
軸比 (*1)	0.9dB		1.2dB		1.4dB
偏波	RHCP/LHCP		RHCP/LHCP		RHCP/LHCP
給電損失	<0.26dB	<0.33dB	<0.42dB	<0.39dB	<0.08dB
開口能率 (*2)	74.8%	78.9%	67.8%	61.2%	34% (*4)
追尾精度	<0.04deg rms		<0.007deg rms		—
指向精度	<0.02deg rms		<0.01deg rms		—
駆動速度 駆動加速度	AZ 5度/s, EL 2.5度/s (最大瞬間風速20m/sにて) AZ 2.5度/s ² , EL 2.5度/s ² (最大瞬間風速20m/sにて)				

*1: 給電装置出力端にて (給電損失を含む), *2: ホーンの入力端にて (利得から給電損失を除外), *3: 括弧内は測定周波数, *4: 直径34mの開口に対して, *5: 反射鏡鏡面精度および給電装置挿入損失の測定値を用いた計算値.

3.3. 34 m アンテナ

アンテナ部の構成は先の図3に示した通りで、主反射鏡は修整回転放物面、副反射鏡は修整双曲面である。ビーム伝送系は4枚の集束反射鏡から成り、第1反射鏡から順に、平面鏡、楕円鏡、楕円鏡、平面鏡、となっている。第4反射鏡の中央部は周波数選択鏡面 (FSR) としてあり、S/X帯とKa帯を分波している。Ka帯用の第5反射鏡は双曲面鏡である。

主反射鏡の鏡面精度は0.61 mm rmsで、自重変形の寄与がその主なものである。機械系の固有振動数は、EL軸まわり2.7 Hz、AZ軸まわり3.2 Hzである。駆動特性については3.5に述べる。

ビーム伝送系の設計では、ビームシフトを抑えるために、交叉偏波の発生を極力少なくしている。交叉偏波発生量をX帯で-24.9 dB以下、S帯で-25.8 dB以下としたが、完成後の実測において、円偏波使用時のビームシフトは、X帯でビーム幅の3.5%、S帯で3.4%であった。

第4反射鏡に用いているFSRは矩形の穴を周期的に設けた金属板を二層に配置した構造で、7 GHz帯および8 GHz帯での反射損失は0.1 dB以下、17 GHz帯の透過損失は0.2 dB以下である。第4反射鏡のFSR部分の径は800 mmで、これにより決まるKaバンドに対するアンテナの実効径は25 mである。Ka帯は、将来、X帯での自動追尾のもとで運用されることになると考えられるが、その際のKa帯の利得低下 (ポインティング損失) の予測値は、3 σ 値で1.0 dB、1 σ 値で0.11 dBである。

鹿児島宇宙空間観測所では塩害や酸性風、亜硫酸ガスなどによる防食の対策に十分な注意を払う必要がある。このアンテナでも、主構造部材などの塗装に、これらに対する耐性の強いフッ素系塗装を用いている。この塗装は、20 mアンテナの副反射鏡支持柱 (CFRP) や新精測レーダの主鏡面骨組み (CFRP) などに施して、実績のあるものである。

3.4. S/X/Ka帯給電系

S/X帯の給電系はS/X帯共用コルゲートホーンとS/X帯共用給電装置からなる。図7はそれらの配置外

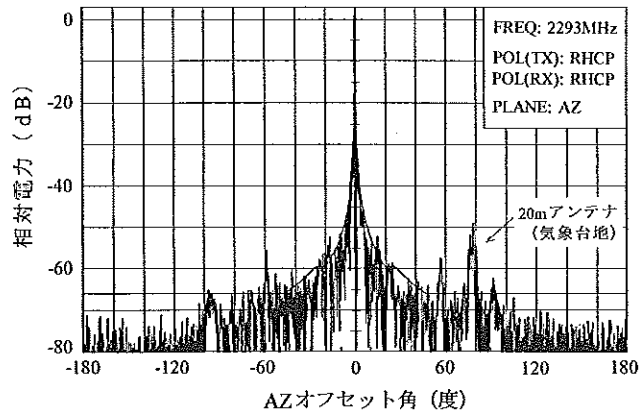


図5 広角の放射パターン—Sバンド

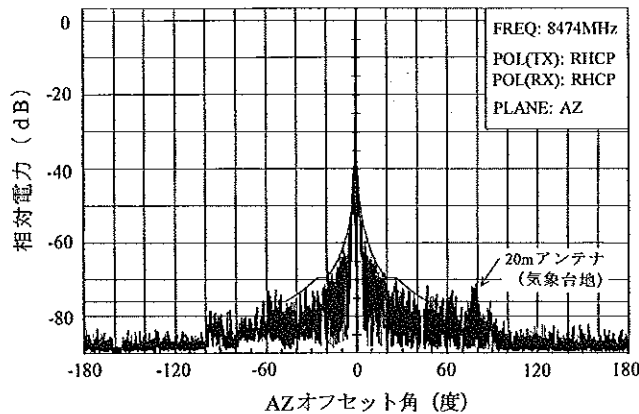


図6 広角の放射パターン—Xバンド

観図である。

アンテナの追尾方式はいわゆるモノパルストラッキングで、任意の到来偏波を追尾できるように、二つの直交する高次モードを用いている。すなわち、Sバンドでは直交する二つの TE_{21} モードを、Xバンドでは TM_{01} モードと TE_{01} モードを用いる。この方式は20mアンテナでも用いているものであり[4]、前者は、集中結合型のモード結合器を用いて、低損失で、かつX帯の高次モードの発生を抑えた回路構成にできるという利点を持ち、後者は、ビーム伝送系による影響が無いという特徴を持つ。コルゲートホーンはSとXの二つのバンドに対して動作する広帯域のもので、構造上の理由から長大なもの(長さ約9m)となっている。

コルゲートホーンと給電装置との結合部の構成を図8に示す。S帯用の高次モード検出器を設けるためには、ホーンの喉元をX帯に対して約5波長以上のオーバーサイズにする必要があり、そのために、X帯の不要な高次モード(大半は HE_{12} モードで、これは円形導波管の TM_{11} モードに相当する)を発生しやすくなる。そこで、 TM_{11} モード補償の機能をもつダブルフレア型アイリス付き複モードホーンをコルゲートホーンの根元の部分に挿入してある。これによってホーンで発生する不要の高次モードを打ち消し、Xバンドの放射特性(交叉偏波特性や放射パターンの軸対称性など)が損なわれないようにしている(注。上述の機構は送信周波数7GHz帯に対してはシングルフレアとなっている)。

給電回路部の構成の説明は省くが、機能としては、偏波ダイバーシティを取れるように、右旋円偏波と左旋円偏波の同時入出力が可能な端子構成としてある。また、送信波が受信装置に悪影響を与えないように、両バンドそれぞれ、受信端子と誤差信号端子に帯域阻止フィルタを設け、S帯で110dB以上、X帯で105dB以上の送受

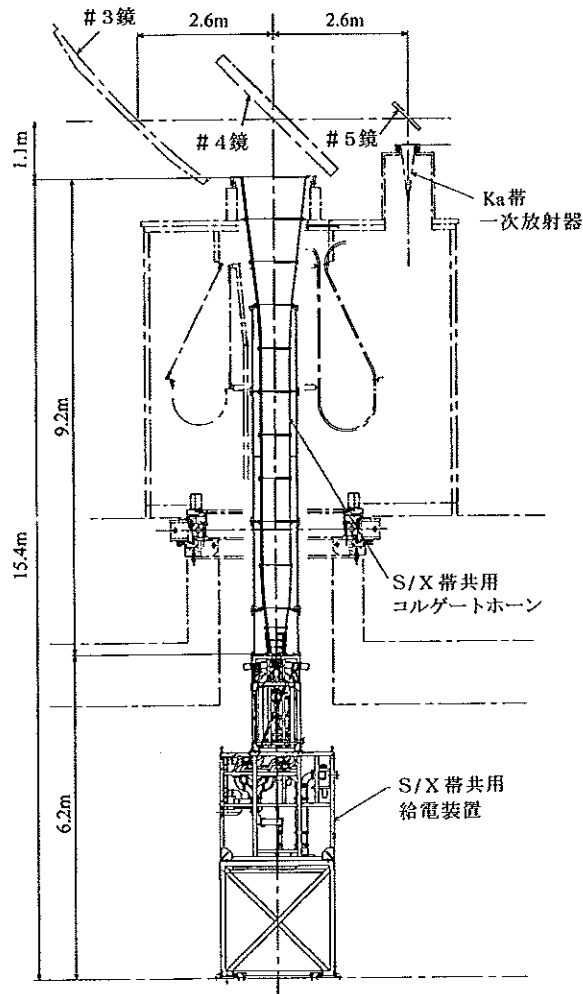


図7 給電系

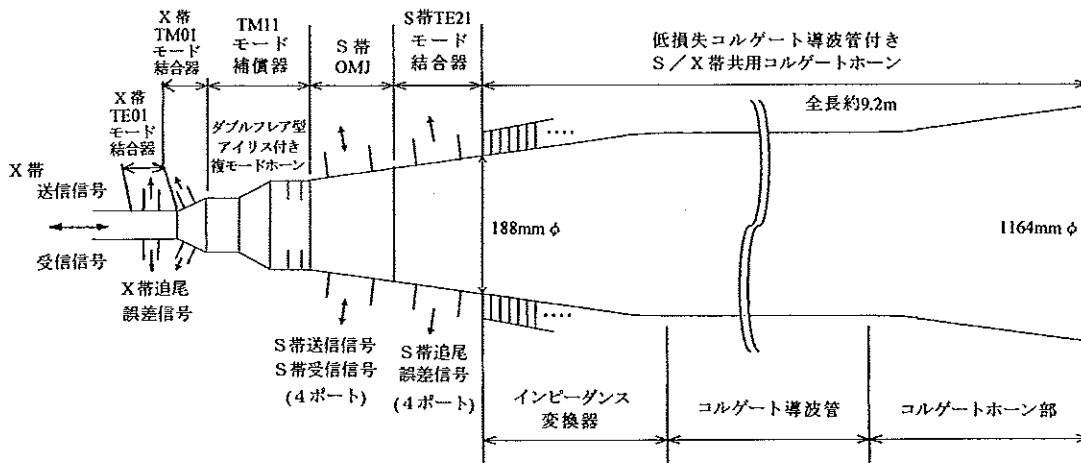


図8 コルゲートホーンと給電装置の結合部分の構成

減結合を実現している。耐電力性については3.1に述べた通りである。

アンテナのビームシフトとヌルシフトに関する実測性能を表2にまとめて示す。X帯におけるヌルシフトは0.0027度（ビーム幅の3.5%）という低いレベルに抑えられている。

Ka帯の一次放射器は通常の複モードホーンである。給電装置は偏波変換器と偏分波器を備え、右旋円偏波、左旋円偏波の両偏波信号を出力する。

3.5. アンテナ駆動制御

高速の衛星追尾と、強風下での運用が可能ないように、アンテナ構造体については剛性を高め、AZ回転には4輪駆動方式を採用している。AZ駆動のモータ（アンチバックラッシュ）は4台で、一台の容量は90kWである。AZ回転機構には浮き上がり防止装置を設けてある。EL回転はセクター歯車によるアンチバックラッシュ駆動であり、モータは2台、一台の容量は同じく90kWである。駆動速度は、表1にも示したが、AZ回転5度/s、EL回転2.5度/sであり、駆動加速度はAZ回転2.5度/s²、EL回転2.5度/s²である（以上最大瞬間風速20m/sにて）。制御はデジタルサーボ方式である。日射の指向精度への影響を避けるために、副反射鏡支柱とAZ回転構造部の主要部材には日除けカバーを取り付けてある。追尾性能は、同じく表1に示したように、自動追尾誤差：Xバンドで0.007度rms、Sバンドで0.04度rms、アンテナ指向誤差（追尾精度）：Xバンドで0.01度rms、Sバンドで0.02度rmsである（以上同じく最大瞬間風速20m/sにて）。アンテナ機械構造系は姿勢によって変形するが、それによって生じるビーム指向角の誤差の補正、すなわち器差補正を行うことは、臼田宇宙空間観測所の64mアンテナと同様である。

アンテナ駆動モードとしては、(1) オート、(2) プログラム、(3) オート・プログラム（プログラムモードと同様にプログラム制御装置からの予報角データで駆動するが、オートエラー信号が小さくなるように予報角データを修正しながら駆動する）、(4) スレープ、(5) オート・コースト（AUTO COAST、オートモード中、ロックオフしたときに直前のアンテナ動作状態に基づいて駆動を継続する）、(6) プログラム・コースト（PROG COAST、プログラム制御装置からの指令角度の連続性を調べて、異常となった時、直前の速度で駆動を継続する）、(7) マニュアル、(8) スリュー（SLEW、押しボタンスイッチにより指示される方向に駆動する）、の8種類を備えている。

3.6. 捕捉アンテナ

捕捉アンテナの形式、設置位置、主な性能をまとめて表3に示す。捕捉アンテナにコマンド送信機能を持たせてあるのが一つの特徴である。耐電力性はS、Xバンドともに100Wである。

衛星の追尾に当たっては、捕捉アンテナから主アンテナへの移行が確実になされなければならない。そのために、特にXバンドでの共軸性の実現が課題であった。捕捉アンテナのビーム幅としては、捕捉を優先して、S帯4.5度、X帯2.5度と広く取った。そのため、主アンテナのビーム幅に対する倍率は、S帯で約15倍、X帯では約30倍に達している。共軸性の確保のために、捕捉アンテナを、構造系の変位解析などに基づいて、主反射鏡

表2 ビームシフト（ボアサイト設定誤差）とヌルシフトの実測値

	Sバンド	Xバンド
ビームシフト（送信・受信・右旋・左旋4ビーム中心のアライメント）	0.0081° (3.4%)	0.0026° (3.5%)
ヌルシフト（コルゲートホーン・給電装置、ビーム給電系、およびFSRの三つが主な要因）	0.017° (7.0%)	0.0027° (3.6%)

注。%はビーム幅に対する割合。ビーム幅はS帯0.24度、X帯0.075度。

部の固有の振動および風の影響を受けにくい場所に配置した。また副反射鏡の支持柱をトラス構造にしてその変形を抑えた。こうして、S帯で0.20度以下、X帯で0.06度以下の共軸性を実現している。

3.7. アンテナペDESTAL

アンテナペDESTALの基礎構造には、地盤に対する評価および敷地条件などを検討の上、杭基礎を採った。これはケーシング・ドリル工法（CD工法）と呼ぶ施工方法によって、コンクリート杭の基礎を形成するものである。図9にコンクリート杭の配置を示す。アンテナの荷重を支持する部分に、杭径150 cmφのコンクリート杭を16本配置してある。そのほか、建物を支持する部分には径100 cmφのコンクリート杭を19本配置している。

表3 捕捉アンテナ

	Sバンド		Xバンド	
	送信	受信	送信	受信
形式・寸法	2 mφ 軸対称パラボラ (送受共用)		1 mφ 軸対称 パラボラ	0.8 mφ ホーン リフレクタ
設置位置	副反射鏡の裏面		副反射鏡支持柱の プロッキング領域	同左
偏波	右旋左旋切替え	右旋左旋同時	右旋左旋切替え	右旋左旋同時
電力半値幅	4.5度		2.5度	2.5度
利得 (*1)	26.7dB (2.11GHz)	27.2dB (2.29GHz)	33.2dB (7.145GHz)	32.2dB (8.4GHz)

*1: 括弧内は測定周波数

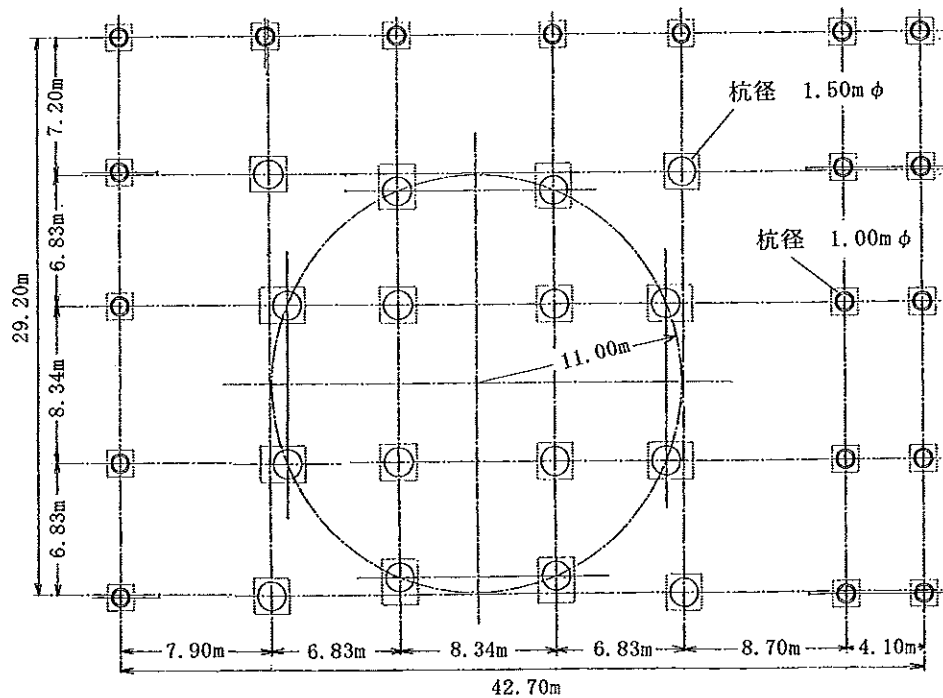


図9 アンテナペDESTAL基礎

ペDESTALの建物全体の床面積は1295 m²で、建物内部の内訳は、管制室196 m²、機器室334 m²、送信機室80 m²、電源室190 m²、CVCF室80 m²、その他415 m²、である。アンテナを乗せるレールは直径21.8 mのリングで、水平度±0.002度以下に保たれている。

4. 送受信運用管制設備の概要

4.1. 機能と構成

図10に送受信運用管制設備のシステム系統図を示す。本設備の持つ主な機能は次の通りである。

- (1) 科学衛星および深宇宙探査機へのコマンドの送信、および距離・距離変化率計測を行うために必要なアップリンク信号の発生 (Sバンド/Xバンド)、
- (2) 科学衛星および深宇宙探査機から送られてくるダウンリンク信号の受信・復調 (Sバンド/Xバンド)、
- (3) 送信信号と受信復調信号との比較による距離・距離変化率の計測、
- (4) 観測データのPCM復調・記録、
- (5) 相模原管制センター (SSOC) への観測データ及び局運用データの伝送、
- (6) 相模原からアンテナ予報値、周波数予報値を受信し、それらを必要とする設備へ分配する機能、
- (7) 捕捉アンテナと主アンテナの受信レベル差をもとに、アンテナサイドロープでの誤捕捉を防止する機能、
- (8) パス中にルックアングルが大きく変動する近地球科学衛星からの電波を安定に受信するための偏波ダイバーシティ合成、
- (9) 34 mアンテナの自動追尾を行うための誤差信号をアンテナ設備に供給する機能、
- (11) GPS受信機とスーパーチューブ内蔵セシウム発振器による時刻・周波数基準信号の供給、
- (12) 高速QPSK信号の受信復調、
- (13) ワークステーション (WS) による送受信装置パラメータの自動設定、
- (14) 科学衛星及び深宇宙探査機の監視・制御、
- (15) 擬似信号の局内折り返しによるセルフチェック。

本送受信運用管制設備の大きな特徴は、深宇宙探査機の追跡を考慮に入れて、受信系装置の徹底的な低スレシヨルド化と高精度化を図ったことである。デジタル受信機を始めとして、中間周波数 (IF) 段以降にデジタル信号処理技術を大規模に導入し、従来のアナログ技術では回避できなかった劣化要因 (DCオフセットや温度ドリフト等) を極力排除することによってそれを実現した。これはKSC 20 mアンテナ局に比較して大きな性能向上が図られた点である。

白田64 mアンテナ局の送受信運用管制設備との大きな違いは、近地球科学衛星対応のための偏波ダイバーシティ合成受信ができることである。また本設備で開発したシーケンシャルPNレンジング方式は、後述のように、白田64 m局で従来採用していたレンジング方式よりかなり特性が優れることが判明した。そのため、2000年度、白田64 m局にXup/Xdown 距離/距離変化率計測装置を新規導入するに当たって、本設備で開発した方式を採用するに到っている。

4.2. 主な性能

34 mアンテナ局送受信運用管制設備の主な性能を表4-1および4-2にまとめて示す。以下、5章から8章までは、主要構成設備について、機能の新たな点、特徴などを論ずるものである。

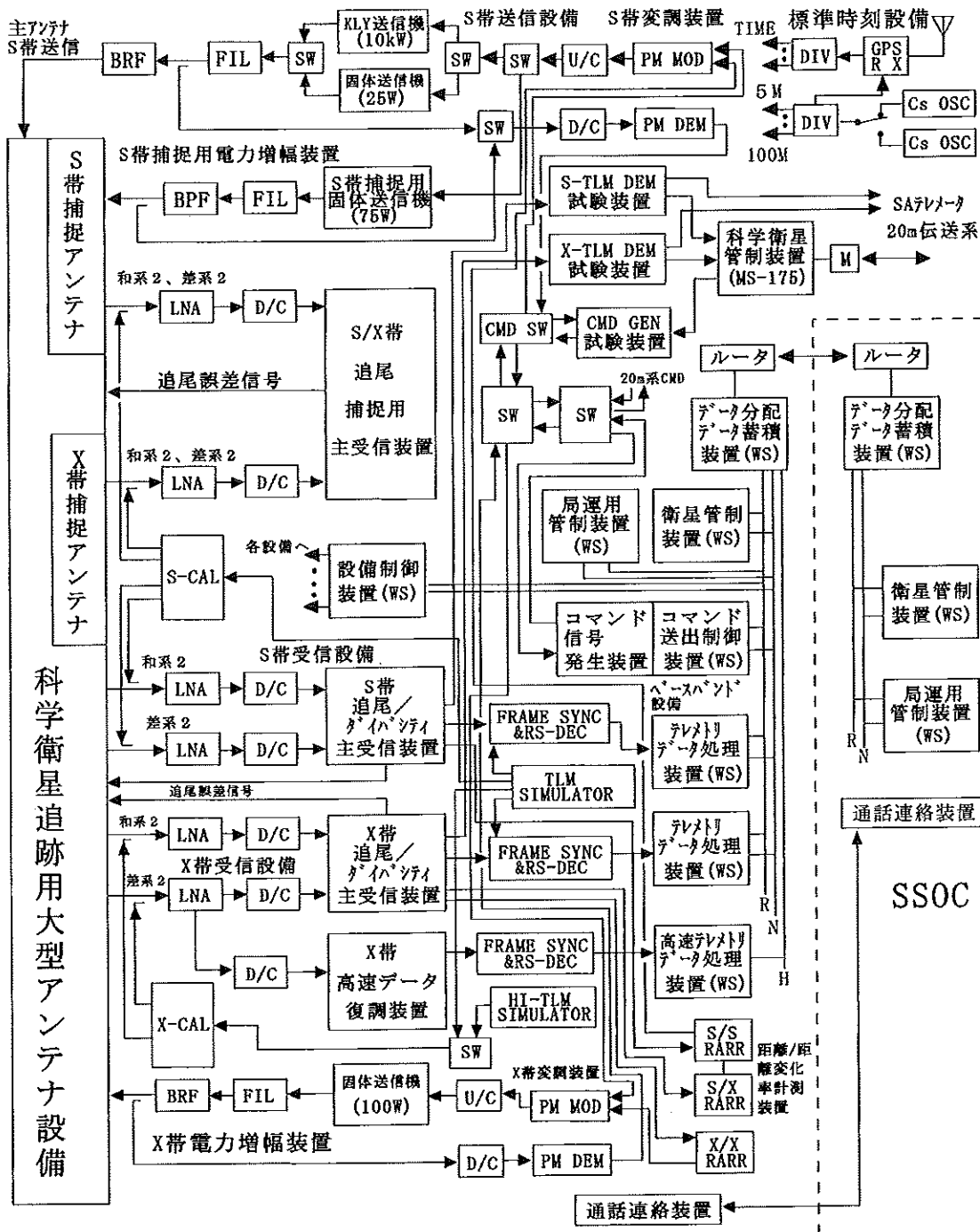


図10 送受信運用管制設備のシステム系統図

5. S/X帯送受信設備

5.1. S帯送信設備

S帯送信設備は、近地球科学衛星へのS帯アップリンク信号（2025-2110 MHz）及び深宇宙探査機へのS帯アップリンク信号（2110-2120 MHz）を発生するための設備である。相模原管制センター（SSOC）のワーク

表4-1 送受信運用管制設備の主要性能 (その1)

S/X帯送信設備	
・送信周波数範囲：	Sバンド 2025-2120 MHz (1Hzステップ) Xバンド 7145-7235 MHz (1Hzステップ)
・送信出力：	10kW/1kW/100W (クライストロン、主アンテナ系Sバンド) 100W (SSPA、主アンテナ系Xバンド) 75W (SSPA、捕捉系アンテナSバンド) 25W (SSPA、主アンテナ系Sバンド)
・送信スプリアス：	-55 dBc以下
・キャリア周波数掃引特性：	最大掃引レート ±30kHz/sec (位相連続な掃引が可能) 最大掃引幅 ±300kHz
・変調特性：	変調方式 PM (位相変調) 変調入力信号 コマンドベースバンド信号 及び測距トーン信号 変調指数範囲 0-2.0 rad (0.05radステップ) 変調帯域幅 50Hz-200kHz (コマンド) 1kHz-2.5MHz (測距)
S/X帯受信設備	
・受信周波数範囲：	2200-2300 MHz (Sバンド) 8400-8500 MHz (Xバンド)
・入力信号レベル：	-50~-170 dBm
・対応信号形式：	PCM-PSK-PM or PCM-PM (テレメトリ) PRN-PSK-PM (測距)
・周波数捕捉追尾範囲：	±200kHz以上
・受信方式：	偏波ダイバーシティ合成方式
・コンバイナ方式：	最大値比率による重み付け方式
・PLLループバンド：	1kHz/300Hz/100Hz/30Hz/10Hz/3Hz/1Hz
・AGC応答特性：	100Hz/30Hz/10Hz/3Hz/1Hz/0.3Hz
X帯高速テレメトリ受信設備	
・受信周波数範囲：	8400-8500 MHz (Xバンド)
・入力信号レベル：	-50~-115 dBm
・対応信号形式：	QPSK
・周波数捕捉追尾範囲：	±300kHz以上
・受信方式：	単一偏波受信方式 (RHCP or LHCP)
・PCM形式：	NRZ
・シンボルレート範囲：	1Msps-10Msps

ステーション (WS) から送出されるコマンド信号は、ルータ及び専用回線を通じて 34 m アンテナ局舎内のデータ分配/蓄積WSに伝送される。信号は、そこからコマンド送出制御WSに入り、コマンド信号発生装置を通じてベースバンドのコマンド変調信号となり、S帯送信設備に入力される。S帯送信設備では上記変調入力信号に

表4-2 送受信運用管制設備の主要性能 (その2)

<u>距離計測設備</u>	
・計測ルート:	Sup/Sdown、Sup/Xdown、Xup/Xdown
・計測方式:	シーケンシャルPNレンジング方式 (深宇宙モード) 複合PNレンジング方式 (近地球モード)
・トーン周波数:	$f_s = f_{up} / 2^n$ (f_{up} : アップリンク周波数、 $n=11\sim 14$)
・PNチップレート:	$f_s / 4$ cps
・アンビギュイティ除去能力:	75,000km@ $f_s=1$ MHz 150,000km@ $f_s=500$ kHz (近地球モード時) 300,000km@ $f_s=250$ kHz (近地球モード時) 600,000km@ $f_s=125$ kHz (近地球モード時) 1.5 AU (深宇宙モード時)
・最大積分時間:	3,000 sec
・計測分解能:	1 nsec
・計測レート:	1-60 data/min (近地球モード)
・計測精度:	1.0 m RSS@ $f_s=500$ kHz、 $S/N_0=+38.8$ dBHz (近地球モード) 2.0 m RSS@ $f_s=500$ kHz、 $S/N_0=+9.0$ dBHz (深宇宙モード、積分時間250秒)
・動作スレシヨルド:	$S/N_0=+27$ dB·Hz以下 (近地球モード) $S/N_0=0$ dB·Hz以下 (深宇宙モード)
<u>距離変化率計測設備</u>	
・計測方式:	インテグレートッド・ドップラー計測方式
・計測範囲:	±30km/sec以上
・計測分解能:	360/4096 deg
・計測レート:	1-60 data/min
・計測精度:	1.0 cm/sec RSS以下 (S/S) 0.3 cm/sec RSS以下 (S/X) 0.3 cm/sec RSS以下 (X/X)
<u>ベースバンド復調設備</u>	
・シンボルレート範囲:	5sps-2Msps (低速) 1 Msps-10 Msps (高速QPSK)
・フレーム同期:	ワード長 8ビット フレーム長 2-1999ワード 同期パターン 8/16/24/32ビット
・CCSDS互換性:	CCSDS Advance Orbiting System 準拠 サービスグレード=Grade2 インターリーブ深さ=1~5、短縮型にも対応 ディランダムイズ ON/OFF可

より 80 MHz IF で位相変調が行われ、信号は S 帯送信周波数変換装置 (アップコンバータ) を通じて出力およそ 2 W の S バンド高周波変調信号に変換される。S バンドの同信号はクライストロン送信機ないし固体化送信機 (SSPA) によって大電力 (前者 10 kW、後者 25 W) に増幅され、アンテナから、衛星に向けてアップリンク信号

として送出される。クライストロン送信機の出力は出力切り替えルートにより1 kWまたは100 Wに減衰させることが可能で、用途に応じて適切な出力を選択できる。固体化送信機は、軌道高度550 km前後の低軌道衛星の運用においては、一般に25 W程度の送信電力であっても必要な回線マージンが得られることから用意したものである。

34 mアンテナ局に特有の機能として、S帯捕捉送信アンテナからのワイドビームによる送信がある。S帯捕捉送信アンテナはビーム幅を4.5度としてあり、衛星の第1可視等の軌道の不確定性の高い場合においてもコマンドを確実に動作させることを目指している。捕捉アンテナからの送信のためのSSPA（出力75 W）はアンテナセンターリングの外壁に装着してある。屋外での過酷な環境を想定し、厳しい防水対策等を施した装置を新たに製作した。

コマンド変調が34 mアンテナ局から正しく送信されたかどうかをリアルタイムでセルフチェックできることは20 mアンテナ局等と同様である。S帯送信設備内でアップコンバート/ダウンコンバートに使用するローカル信号は、セシウム原子時計からの超高安定周波数リファレンス信号を利用し、S帯ローカル信号発生装置において生成される。

5.2. S帯受信設備

S帯受信設備は、近地球科学衛星及び深宇宙探査機からのS帯ダウンリンク信号をアンテナ設備から受け取り、受信・復調するためのものである。本設備はベースバンド設備にPCM復調データを送ると共に、S/S帯距離・距離変化率（RARR）計測装置に測定のためのレンジ復調信号及びドップラー抽出信号を供給する。設備としての特長は、深宇宙から近地球までの広い周波数、大きなダイナミックレンジに対応し、なおかつ深宇宙および近地球の双方に対応する幅広い機能を持つことである。

近地球科学衛星の運用では、それに特有の現象として、1パス中に搭載送信アンテナのルックアングルが大きく変化することが挙げられる。これは、近年の近地球科学衛星の大半が天文衛星であり、これらはほとんど慣性空間固定の姿勢、即ち搭載望遠鏡を観測天体に向けた状態を保持しながら地球を周回することに起因する。一つの搭載アンテナに着目すると、入感時と消感時で地上局からの見え方がほぼ正反対になる。アンテナカバレッジ確保のために、複数の搭載アンテナをパス中に切り替えることも頻繁に行われる。衛星は固定偏波（通常は右旋円偏波）で送信するので、このような状況では、地上局が単一の偏波で受信したのでは受信・復調が安定しない。本設備では、対策として、ダイバーシティ合成受信方式を採用している。主アンテナの右旋円偏波、左旋円偏波の両出力ポートそれぞれに独立した低雑音増幅器（LNA）を配し、同一仕様の2式の周波数変換系を介してそれぞれ70 MHzの中間周波数（IF）に変換し、その後、両者をSN比に応じた重み付けをして合成している。これにより、パス中にダウンリンク信号の偏波が大きく変化しても常に最適な受信が保証される。

また、軌道高度600 km程度の近地球科学衛星では、1パスの可視時間が10分前後しかなく、信号入感と同時に受信機が捕捉しないとスムーズな運用が行えない。単純に高速スイープをかけただけでは受信機が残留ラインスペクトルに擬似ロックする恐れもある。そのため、本設備では、デジタル受信機を採用し、内部でFFT処理を行って、スペクトルの対称性を判断して確実にキャリア捕捉を行う工夫をしている。この機能は以前からKSC 20 mアンテナ局の受信設備にSPD（Spectrum Position Detector）として追加整備されたものを基本としており、受信機全体がデジタル化された利点を活かし、更に高速の捕捉動作を可能にしたものである。

深宇宙探査機からの電波の受信については、他方、伝搬損失が近地球科学衛星の場合に比べ約100 dBも増大することから、きわめて低いレベルの信号を取り扱わなければならない。そのため、徹底的な雑音の低減を図る必要がある。低雑音増幅器の性能追求も有意義ではあるが、キャリア捕捉に関して特に有効なのは、位相同期ループ（PLL）のループバンドを絞ることである。白田64 m局の従来のアナログ受信機ではループバンドは3 Hzが限界であったが、本設備のデジタル受信機では、試験的にループバンド1 Hzのモードを導入した。これによってキャリア捕捉後のロック維持のスレシールドが約5 dB改善されることが確認された。但し、その際、捕捉の性能自体は3 Hzモード時から改善されることが判明したため、2001年度に改修を加え、それにより、捕捉性能も

約 5 dB 改善することができた。

深宇宙探査機の追跡では、このように、3 Hz、さらには 1 Hz までループバンドを絞ることが有効となる。一方、その際、地球と探査機との相対運動によって生ずるドップラー効果により受信周波数が動くと、PLL ループが捕捉、追従できなくなるおそれがある。そこで、その対策として、位相連続で周波数コントロールが可能なシンセサイザを導入し、軌道予報値から算出したドップラー変化を受信系のローカル周波数に加えることによってダウンコンバートされる信号の動きを止め、上記のような狭帯域ループの動作を可能にしている。

一般に、衛星追跡中のトラブル発生時には、原因が衛星側にあるのか地上局側にあるのかを即時に判別する必要がある。そのために、本設備では、シミュレータによって発生した疑似テレメトリ信号を S 帯までアップコンバートし、それを局内で折り返して、受信系が正常に動作しているかどうかを判断するセルフチェック機能を備えている。

5.3. X 帯受信設備

X 帯受信設備は近地球科学衛星及び深宇宙探査機からの X 帯ダウンリンク信号をアンテナ設備から受け取り、受信・復調するためのものである。設備は低速データ受信復調設備と高速データ受信復調設備の 2 系統からなっている。低速データ受信復調設備は深宇宙探査機からの X 帯ダウンリンク受信、並びに近地球科学衛星からダウンリンクされる X 帯低レート信号の受信に用いる。設備の内容については 5.2 節の S 帯受信設備に準ずるのでここでは省略する。

X 帯の高速データ受信復調設備は本 34 m 局において新たに導入したものである。近年の近地球科学衛星では、撮像望遠鏡等の高性能化に伴い、観測データのデータ量が増大する傾向にある。そのため KSC 20 m 局の S/X 系の受信設備では、蓄積された観測データを短い可視時間内に地上局に降ろすのが困難になっていた。そこで、ASTRO-E 以降の近地球科学衛星において、高速のデータ伝送のために新たに QPSK 変調方式を採用することとなり、地上局側の対応として、この 34 m アンテナ局に高速データ受信復調設備が導入された。この設備は X 帯でシンボルレート 10 Msps までの高速データの伝送に対応することができる。

X 帯受信設備には、S 帯受信設備と同様、トラブル発生時に原因が衛星側か地上局側か即時に判別できるようにシミュレータからの疑似信号をアップコンバートして折り返し、セルフチェックする機能を備えている。なお、高速データの受信系では、信号処理速度の観点からダイバーシティ合成は行っていない。

X 帯受信設備では、また、低雑音増幅器としてヘリウム冷却 HEMT 増幅器 [8] を導入している。同低雑音増幅器は右旋円偏波用と左旋円偏波用に 2 式装備されている。同装置の導入により、アンテナ設置当初の電子冷却低雑音増幅器使用時に比べ、単体で約 4.4 dB、アンテナを含めた総合システム雑音温度で約 2 dB の性能改善を実現している。

5.4. X 帯送信設備

X 帯送信設備は、MUSES-C 以降の深宇宙ミッションのために、2000 年度に導入整備したものである。KSC 34 m アンテナ局設計時にはまだ未定のことであったが、次世代携帯電話サービス (IMT-2000) に深宇宙探査機が使用している S 帯アップリンク周波数の帯域を優先的に割り当てることが、近年、国際電気通信連合 (ITU) において、そしてわが国では総務省によって決定された。MUSES-C 以降の深宇宙探査機において S 帯アップリンクを実質的に使用できなくなり、そのため、深宇宙探査機の打ち上げに当たって、射場でのオペレーションおよび打ち上げ後の初期段階において使用する KSC 34 m アンテナ局において、X 帯のアップリンク送信機能を設ける必要が出てきた。

設備整備に当たっては、当面、初期運用のみを対象とすることとして、送信電力 100 W の固体化増幅器 (SSPA) を導入した。KSC 34 m アンテナ局を MUSES-C 運用の正式のバックアップ局として整備するためには、5 kW 級の大電力増幅器 (給電装置の耐電力の関係で 7 kW 程度までが限界) が必要であり、その緊急な整備が望まれる。なお、この X 帯送信機能の導入に当たっては、電力増幅器の他に、変調装置、送信周波数変換装置、ローカル信号

発生装置, X/X距離・距離変化率計測装置などを新たに導入した。

5.5. S/X帯捕捉用受信設備

S/X帯捕捉用受信設備は34 mアンテナに装備されたS帯及びX帯捕捉アンテナを用いて自動追尾を行うためのものである。データの復調は行わず、アンテナが衛星を自動追尾するための誤差信号をアンテナ制御装置に供給する。34 m主鏡のビーム幅はS帯で0.2度, X帯では0.07度程度と狭く, 特に衛星の第1可視のように, 軌道予報値の分散が大きな場合には, これらの狭いビームの引き込み範囲に衛星を捕らえることは極めて難しい。捕捉受信アンテナのビーム幅は, S帯で4.5度, X帯で2.5度あるため, 初期捕捉を容易, かつより確かなものに行うことができる。また, 捕捉アンテナから主アンテナへの追尾の受け渡しを円滑に行えるように, 先に3.6で述べたように, 両アンテナの共軸性には十分な配慮を払ってある。

主鏡への引き込みに関しては, 引き込みの際の誤捕捉を防止するための仕組みを, 新たに局運用管制設備ソフトウェアに装備した。主鏡での受信レベルと捕捉アンテナでの受信レベルの差を常時監視し, その値が双方のアンテナの利得差(S帯で約29 dB, X帯で約35 dB)相当であれば, 主鏡のメインローブに衛星を捕らえていると判断し, 主鏡による自動追尾モードに移行させる。逆に上記の値ほどレベル差が無いならば, 主鏡はサイドローブで捕らえていると判断し, 捕捉受信系による自動追尾を続行して様子を見る。「ようこう」等の衛星を用いてこのアルゴリズムによる引き込みの試験を行い, 取り込みデータの時間遅れ等を考慮した改良を加えて, 安定に機能するものを確立した。

6. 距離及び距離変化率計測設備

6.1. 距離計測の方式と距離計測系の構成

距離計測系は深宇宙探査機及び近地球科学衛星の軌道推定に必要な距離(レンジ)を計測するもので, 基本的

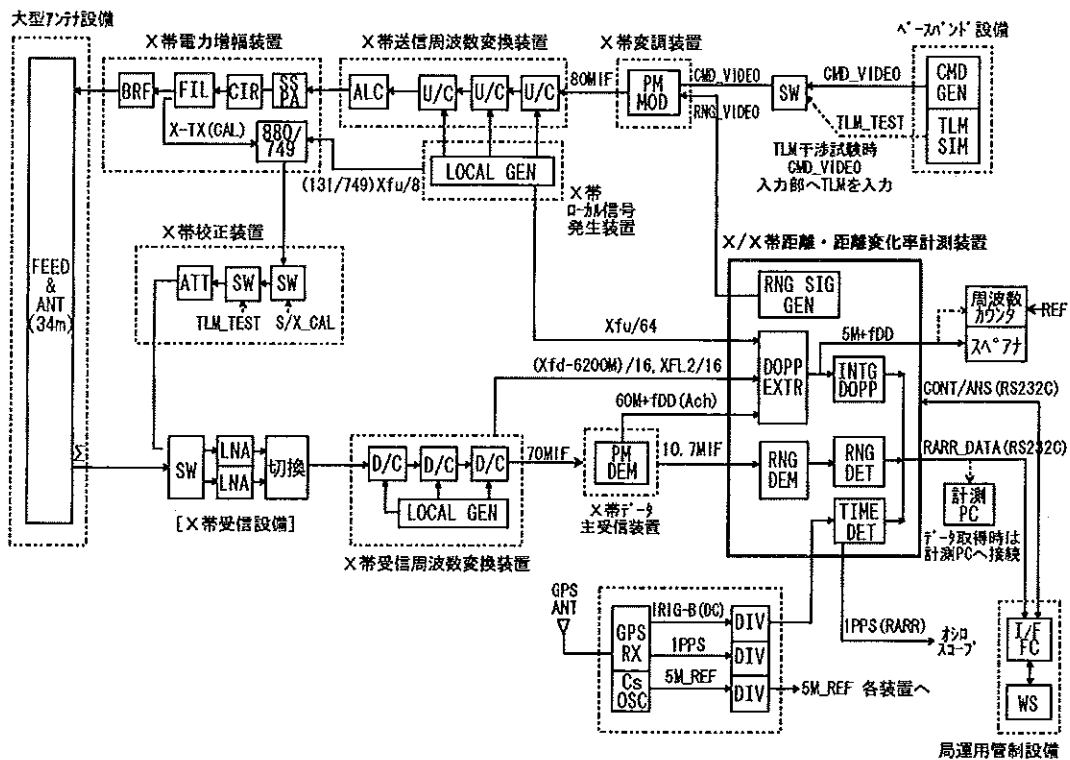


図11 距離・距離変化率測定系の構成

には地上局から送信された電波が探査機/衛星を經由して折り返され、再度地上局に戻るまでの往復伝搬遅延時間を計測する。距離測定（レンジング）は、図11に示すように、地上局の各種装置と連携して行われる。

距離測定においては、一般に、アンビギュイティ除去（相関検出において得られる複数の解から正しいものを選ぶ）の仕方の異なる二つの方式、PN（擬似ランダム）コードを用いる方式と複数トーン信号を用いる方式とが用いられる。後者はシーケンシャルトーンレンジング（sequential tone ranging）方式と呼ばれるもので、低い周波数のトーンどうしの相関を取っておおよその遅延時間を決め、次いで、順次、倍々の周波数のトーンによってより正確な位置をシーケンシャルに決めていき、最後の最も高い周波数のトーンによって最終精度が決まるといものである。実際にはレンジングサブキャリア周波数を移動させる代わりに、レンジングサブキャリアにアンビギュイティコードでチョッピングをかけ、それにより変調パターンをシーケンシャルに変えていく方式〔9〕が深宇宙では多く採用されている。白田64 m局のS/S及びS/Xのレンジング装置はこの方式を用いている。この方式を用いる場合、占有帯域幅が広くなり、例えばMUSES-Cにおける中利得アンテナ（MGA）を經由するような低S/N回線では、探査機搭載トランスポンダでダウンリンクに変調をかける際、雑音によって本来の信号成分が大きく抑圧され、大きな損失を生じるという問題が起こる。また、アンビギュイティ除去処理にアンビギュイティコードの積分時間のコード数倍だけの時間を要するため、1計測に必要とする時間が低S/N条件下では極めて大きくなる。更にまた、効率追求のため矩形波で変調をかけると無数の線スペクトルが広範囲に立ち、レンジングとテレメトリの信号が干渉して、レンジングとテレメトリを同時に伝送することが事実上困難になる。

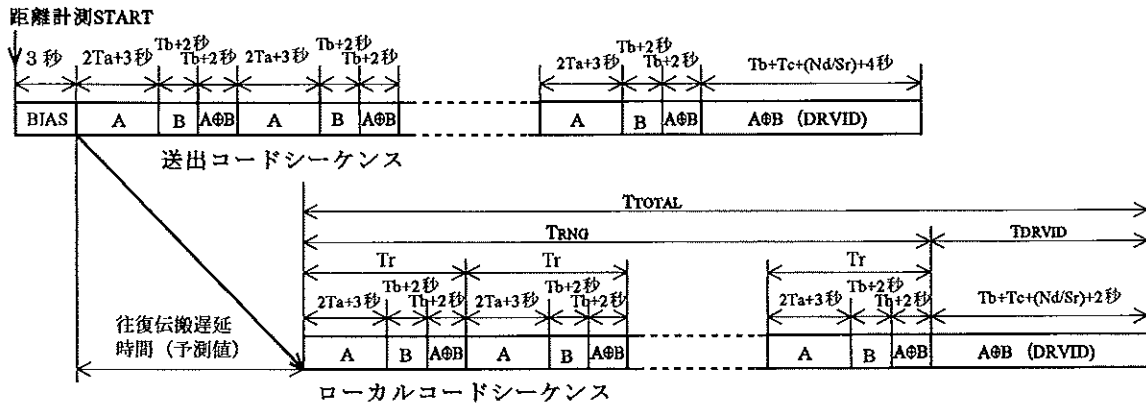
本装置では、帯域利用効率の高い近地球用のPNレンジング方式を更に改良し、深宇宙計測に耐えられるよう強力なアンビギュイティ除去機能をもたせるとともに、サブキャリアの相関積分により従来の深宇宙探査機測距方式と同一のS/N特性を持たせた「シーケンシャルPNレンジング方式」と名付ける新しい方式を開発・採用している〔10〕。

通常のPNレンジング方式では、アンビギュイティ除去可能距離を伸ばすためには、帯域幅の拡大は必要なく、PNコードの長さを増せば良いが、その場合、PNコード相関処理に要する時間が膨大になる、という欠点があった。KSC 20 mアンテナではジェット推進研究所（JPL）提唱の組み合わせPNコード方式（A∩Bコード方式）〔11〕を採用し、相関処理時間の短縮を図っていたが、使用されているPNコンポーネントが短いと、相関がいくつも立ち、判定に時間がかかる、また各コードの相関検出時のエネルギー損失が大きく、深宇宙ではそちらが先に破綻を来してしまう、という弱点があった。動作スレシールドが深宇宙探査機追跡に用いるには30 dBほど不足していた（ただしKSC 20 mアンテナが対象とする近地球衛星ではS/Nが十分高いため破綻を来すことはない）。

「シーケンシャルPNレンジング方式」はこのような欠点を克服するものである。同方式の測定シーケンスを図12に示す。まず基本PNコード（Aコード）は長さ511のM系列とし、これを計算機シミュレーションにより探して決定した。相関処理では、レンジサブキャリアの1/4に設定されたチップクロック周波数でAコード位相の同時探索を行い、探索された相関ピーク位置でレンジサブキャリアの複素相関値を算出する。それから位相角が求められる。ただし、このままではAコードの長さ分しかアンビギュイティ除去を行えず、深宇宙には適さない。Aコードに位相同期した長さ255のM系列（Bコード）を組み合わせ、〔511×255×チップ幅〕秒のアンビギュイティ除去能力を持たせた。相関処理にあたっては、精度を決めるAコードは確実性を上げるために2倍の長さにわたって積分するようにしている。この方式が実行可能となるように、相関処理に関しては大きな高速化を図った。

6.2. 距離計測系の性能

「シーケンシャルPNレンジング方式」では、AコードもBコードもM系列のためもともと相関サイドローブの発生はなく、相関検出の特性に優れている。また、これらをシーケンシャルに送信するため、JPL方式に見られるようなPN分配損も発生せず、それによる相関検出の大きな劣化も生じない。通常、アンビギュイティ計測積分時間（ T_b ）は精位相計測積分時間（ T_a ）の半分程度に設定するが、その場合、本方式のレンジデータ1個あたり



- A : CARRIER + SUBCARRIER + Aコード
- B : CARRIER + SUBCARRIER + Bコード
- C : CARRIER + SUBCARRIER + A⊕Bコード

- BIAS : 計測開始準備時間
- Ta : 精位相計測積分時間 (IF位相検波+Aコード捕捉+サブキャリア位相角計測)
- Tb : アンビギュイティ計測積分時間 (Bコード捕捉 or A⊕Bコード捕捉)
- Tc : DRVID積分時間
- Sr : 計測データサンプリングレート (= 1/1, 1/2, 1/10, 1/20, 1/60 data/sec)
- Nd : DRVIDデータ取得個数
- Tr : レンジ1個あたりの計測時間 (= 2(Ta+Tb)+7)
- TRNG : レンジ計測時間 (= Tr × NRM, NRM: レンジ計測回数)
- TDRVID: DRVID計測時間 (= Tc+(Nd/Sr)+2)
- TOTAL: 総合計測時間 (= TRNG+TDRVID)

図12 シーケンシャルPNレンジング方式の測定シーケンス

の計測時間は、図12より、

$$Tr = 3Ta + 7 \text{ (秒)} \tag{1}$$

となる。これに対して、シーケンシャルトーンレンジング方式で同じアンビギュイティ除去能力を持たせようとすると、周波数をサブキャリアから半々に落としてゆくアンビギュイティ除去用コードを19個シーケンシャルに送り、更にメジャートーンの積分も行う必要があるので、レンジ1個あたりの計測時間は、

$$Tt = 11.5Ta + 67 \text{ (秒)} \tag{2}$$

である(臼田の場合で、メジャートーンの積分を二回行っている)。例えばMUSES-Cのレンジ回線では積分時間(Ta)は250秒にもなり、その場合、式(2)から従来方式では1計測に約50分を要するが、新方式では、式(1)より、約13分と、約1/4で済むことが分かる。実際の時間差はTaの値が大きくなればさらに開く。

図13にシーケンシャルPNレンジング方式の場合のベースバンド変調スペクトラムの一例を示す(サブキャリア周波数=438kHz)。これは従来方式においてサブキャリア周波数500kHzと称していたモードに相当するが、その場合、従来方式では1.5MHzのトランスポンダ中継帯域幅が必要であった(図14参照)。これに対し、本方式では750kHz程度の中継帯域幅があれば十分である。MUSES-CのMGA回線のように探査機受信S/N比自体がマ

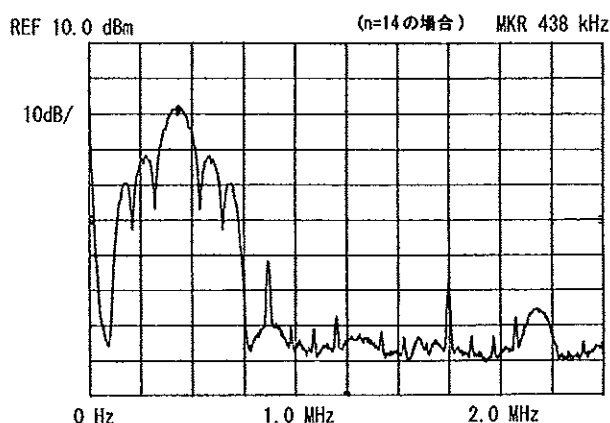


図13 シーケンシャルP Nレンジング変調スペクトラム波形

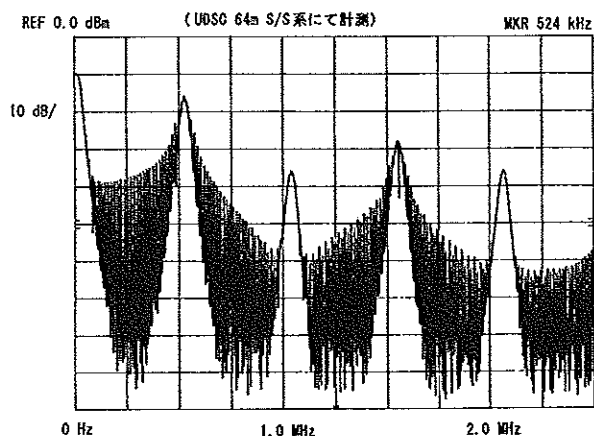


図14 シーケンシャルトーンレンジング変調スペクトラムの一例

イナスになるような場合には、これにより回線マージンが約3 dBも改善される。たとえ1 dBの改善のためであっても、あらゆる努力を惜しまず投入する必要がある深宇宙ミッションの回線では、このメリットはきわめて大きい。

図15にKSC 34 m局シーケンシャルP Nレンジング装置の性能を示す。同図は、局内折り返しによって計測したもので、「S/No対距離計測精度特性」と呼ぶものである。図から、 $S/No = -1 \text{ dB}\cdot\text{Hz}$ までほぼ理論値通りの精度が出ていることが分かる。シーケンシャルトーンレンジング方式でも最終精度はレンジサブキャリア周波数の位相計測精度で決まるので、精度的には全く同一である。なお、 $S/No = -3 \text{ dB}\cdot\text{Hz}$ でも誤捕捉は20回の計測中僅か1回であったので、軌道決定ソフトウェア側で不良と判断されるデータを除去するようにすれば、更にスレシールドは延びる可能性がある。ちなみに臼田のシーケンシャルトーンレンジング装置では、電源ハム、スプリアス等、様々な要因が重なったこともあり、装置の動作スレシールドは $S/No = +4.6 \text{ dB}\cdot\text{Hz}$ が限界であった(それより S/No の値が下がるとアンビギュイティコードの解釈が一斉に誤り、意味のない乱れた値しか出力されなくなる)。なお、2000年度に臼田64 mアンテナ局にXバンドアップリンク系を整備した際、KSC 34 mアンテナ局と同様の方式を採用し、その結果Xup/Xdownレンジ計測系スレシールドは $S/No = 0 \text{ dB}\cdot\text{Hz}$ まで改善された。その意味でもKSC 34 mアンテナ局の距離・距離変化率計測設備が果たした役割は大きい。

6.3. 距離変化率計測の方式

距離および距離変化率計測では、同一の装置内でレンジとレンジレート(距離変化率)を計測する。従って、

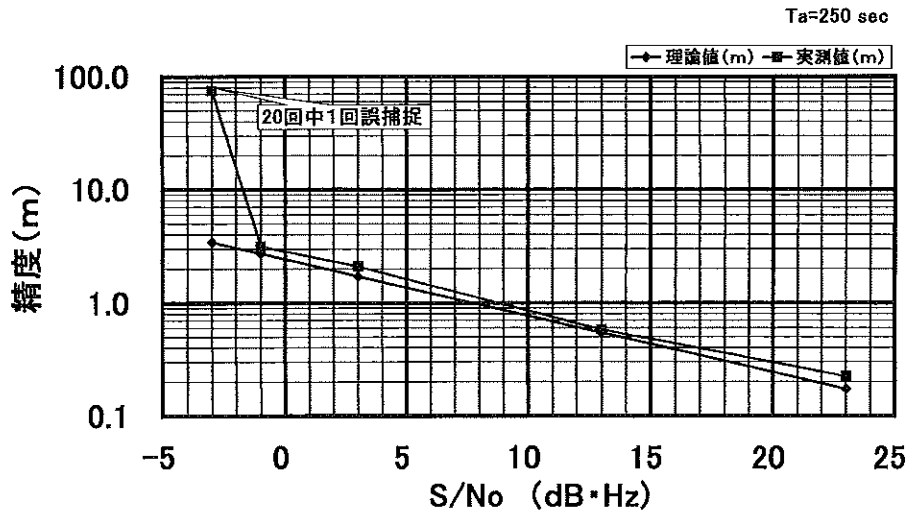


図15 シーケンシャルPNレンジング装置の性能

計測系の構成は図11の一部に含まれる。方式自体は、深宇宙探査機のドップラー計測に最も適したインテグレートド・ドップラー計測方式と称するもので、受信系キャリア再生位相同期ループにより再生された周波数に60 MHzのバイアスを加え、それをドップラーカウンタで連続的に計測して行くものである。バイアスを持たせる事で、マイナスのドップラーでも計測できるようになっている。インテグレートド・ドップラー方式特有のメリットとして、軌道推定プログラム側で処理する際、データ間隔を間引くことによって、等価的に積分時間を延ばし、精度を改善できることが挙げられる。

6.4. 距離変化率計測系の性能

局内折り返しで測定した2-wayモード（双方向コヒーレント折り返しモード）時のドップラー計測系の長時間位相変動特性を図16に、C/No対ドップラー計測精度の特性を図17にそれぞれ示す。位相変動はドップラー抽出系のローカル周波数の温度ドリフト等によってもたらされるが、図16を見る限りXバンド換算で1時間に20 deg程度しか変動していないことが分かる。本設備のドップラー計測系では、ドップラー抽出時に必要となる複雑

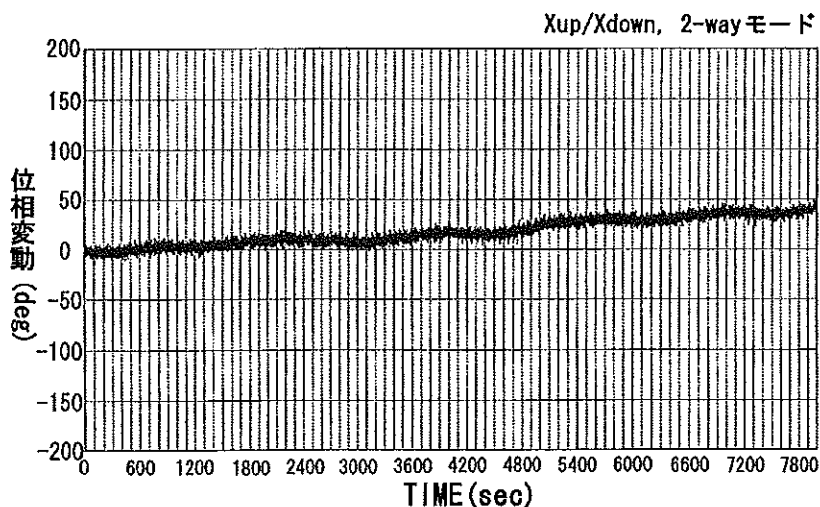


図16 ドップラー計測系長時間位相変動特性

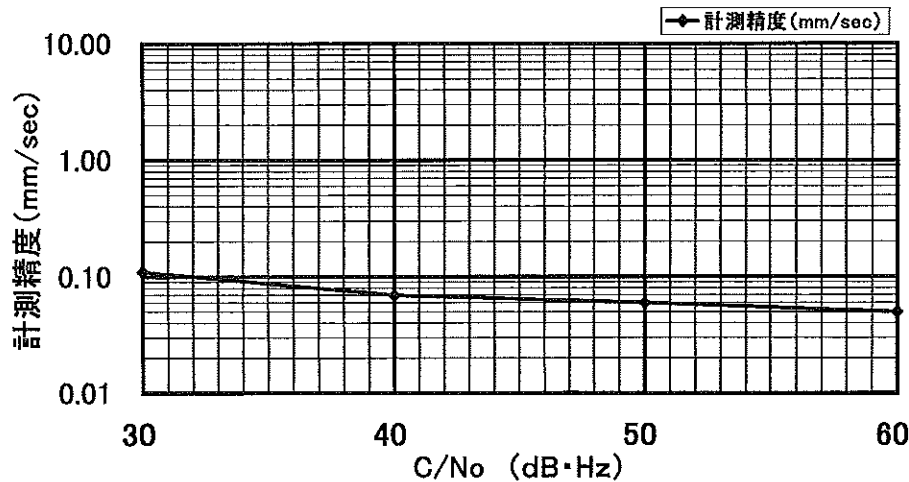


図17 ドップラー計測精度

な周波数の発生にDDS（ダイレクト・デジタル・シンセサイザ）を用いており、臼田64m局の既設系（S_{up}/S_{down}, S_{up}/X_{down}）に見られたような大きな位相ドリフトを排除することができている。ちなみに臼田64m局のX_{up}/X_{down}計測系でも、ドップラー抽出系の構成を大幅に見直し、デジタル受信機も含めてKSC 34m局と同様の方式を導入（2000年）した結果、位相変動は大きく減少した。ドップラーの計測精度自体もC/No=30 dB·Hzにおいて約0.1 mm/secに達しており、実用上十分な精度が確保されている。

7. ベースバンド設備

7.1. テレメトリ設備

テレメトリ設備はコマンド系設備（7.2に述べる）とともにベースバンド設備を構成する。34mアンテナ局のテレメトリ設備は主に次のことを行う。

- (1) S帯受信設備およびX帯受信設備それぞれから出力される周波数10 MHzのテレメトリIF信号を復調、復号する。
- (2) X帯高速データ受信設備において受信され、復調されたテレメトリ信号をビデオ信号として受け、それを復号する。
- (3) 3つの独立した計算機（ワークステーション）を持ち、復調・復号された3系統のテレメトリデータをそれぞれ計算機に取り込み、計算機内に一時蓄積するとともに必要な設備や装置に分配する。

これらのほかに、テレメトリ設備は、各系統において、テレメトリ信号処理系の機能試験と動作確認のための擬似テレメトリ信号発生機能を持ち、設備内折り返し試験あるいは受信系を含めたテレメトリ系の試験を行うことができる。

S帯受信設備およびX帯受信設備から出力されるテレメトリ信号は近地球科学衛星からの場合と深宇宙探査機からの場合とがあり、復調・復号に関して幅広いパラメータ設定ができるようになっている。両設備につながるテレメトリ復調装置は、ともに、PSK/PM復調器、シンボル同期器、コンボリユーション符号の復号器、フレーム同期器、デランダムマイザ、リードソロモン符号の復号器、サブフレーム同期器、フォーマッタ、分配器、ワードデータ表示器、等から構成され、それぞれの出力は対応するテレメトリデータ処理装置と名付ける計算機に入力される。PSK復調/シンボル同期部については、特に深宇宙探査機対応の低シンボルレート範囲（5 sps～200

ksp) において、ハードウェア損失の低減を図っている。

X帯高速テレメトリ信号の復号では、QPSK復調が行われたあとの信号が入力となり、装置はフレーム同期部、リードソロモン符号の復号器、サブフレーム同期器、フォーマッタ、ワードデータ表示器、などから構成される。出力は同様にテレメトリデータ処理装置に入力される。

上述3系統における復号においては、機能を共通化し、装置がパッケージレベルで互換性を持つようにしてある。そのほか、3系統ともに、受信信号の同期パターンを用いてビットエラーを計測する、という新しい機能を持つ。

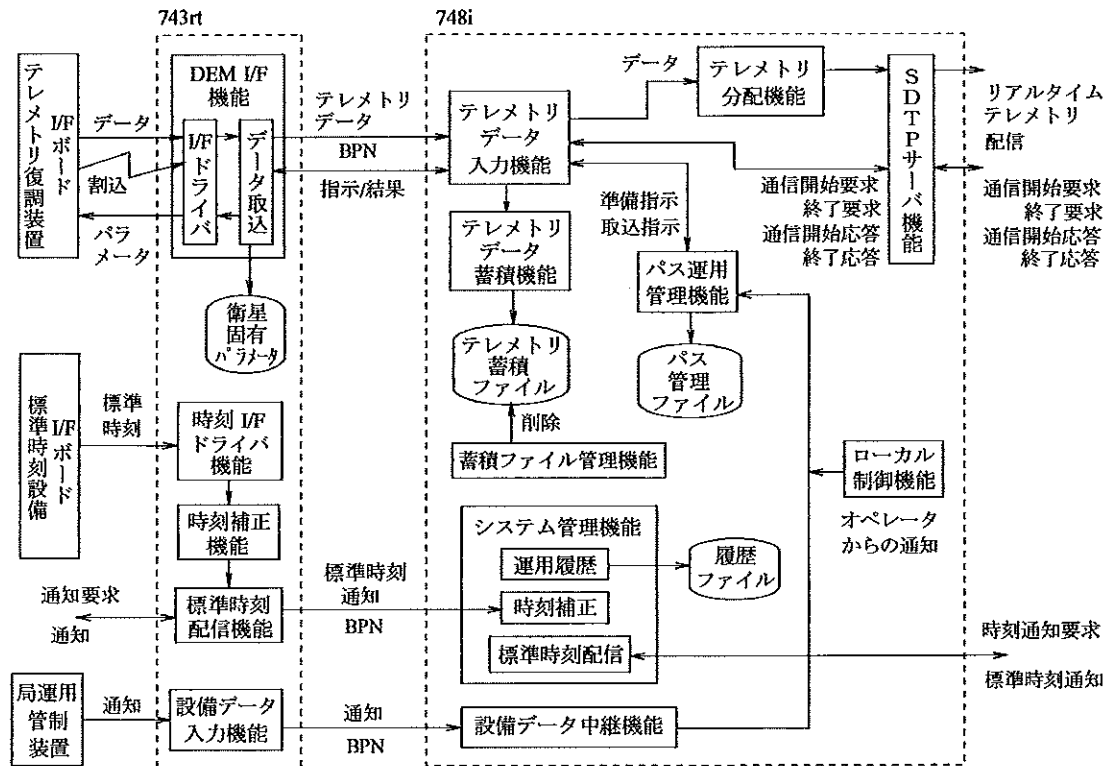
テレメータデータ処理装置はワークステーション (HP 9000 748i/100) とインターフェースのための1ボードコンピュータからなる。装置の主な機能は、テレメトリデータの蓄積およびリアルタイムでの分配、蓄積したデータの再送、時刻データの配信、衛星管制装置および局内関連設備とのデータ授受、パス運用管理、管制設備からの遠隔制御による運用操作、運用履歴管理などで、3系統ともに機能は同一である。図18にテレメータデータ処理装置のソフトウェアの機能構成を示す。

テレメトリ設備は「のぞみ」以降の科学衛星に向けて開発された新衛星運用システム (2章参照) をベースにして製作されている。使用するワークステーションやソフトウェアは20 mアンテナ局に設置したものと互換性を持っている。「のぞみ」以前の既存衛星 (「はるか」, 「ジオテイル」など) の運用に関しては、コマンド運用、衛星管制等を含めて、8.4に述べる。

7.2. コマンド設備

コマンド設備は次の機能を持つ。

- (1) 衛星管制装置 (8.2に述べる) からコマンド情報やコマンド送出指令を受け、コマンドコードへの変



略語 SDTP: Space Data Transfer Protocol, DEM: Demodulator, BPN: Back plane network

図18 テレメトリデータ処理装置のソフトウェア機能構成

換とコマンド送出制御を行う。

(2) 送信系から折り返されてくるコマンドエコー信号を復調する。

(3) 復調されたコマンドエコーを、送出したコマンドと照合する。

これらはコマンド設備の機能として基本的なもので、KSC 20 m アンテナ局等と同一である。設備はコマンド発生装置とコマンド送出制御装置（ワークステーション、HP 9000 748 i/100、と1ボードコンピュータで構成）からなり、テレメトリ設備と同様、使用するワークステーションや運用ソフトウェアは新衛星運用システムをベースとしている。

8. 運用管制系

8.1. 局運用管制設備

局運用管制設備はKSC 34 m アンテナ局の設備・装置の監視と制御を行うものである。設備は次の四つの要素から構成される。

- (1) 各設備／装置に実装された装置制御用パーソナルコンピュータ、
- (2) 各種装置の制御をとりまとめる設備制御装置（ワークステーション、HP 9000 748 i/100）、
- (3) 装置制御用パーソナルコンピュータと設備制御装置の間で情報の伝送を行う局運用管制設備LAN、
- (4) 8.3に述べる衛星運用ネットワークを介して設備制御装置と情報の交換を行い、運用担当者に局内設備状態などの運用情報を提供し、また運用者担当者から運用指令を受ける局運用管制装置（ワークステーション、HP 9000 C 200）。

図19に局運用管制設備のKSC局内系統図を示す。図には、次節8.2に述べる衛星管制設備の構成・系統も合わせて示してある。局運用管制装置は相模原衛星管制センター（SSOC）にも設置しており、KSC、SSOC両局から同等の操作を行うことができる。

局運用管制設備の主な機能は次の通りである。

- (1) SSOCから伝送される衛星追跡予報データ（アンテナ予報値、距離・距離変化率の予報値、等）を入力し、衛星追跡用の局運用計画を立案・登録。
- (2) 上記（1）項の局運用計画に基づき、自動運用により衛星を追跡。
- (3) 衛星自動捕捉アルゴリズムを持つ。
- (4) 打ち上げ／初期運用時の手動による衛星捕捉制御。
- (5) 各設備・装置の制御・監視。
- (6) 各設備・装置の特性の補正。
- (7) 衛星追跡運用終了後の運用履歴、追跡データ、運用日誌などの作成、蓄積、管理。
- (8) SSOCの局運用管制装置からの遠隔操作による運用。

図20にこれらを実行するための局運用ソフトウェアの機能関連図を示した。局運用ソフトウェアは設備制御装置に搭載されている。局運用管制設備で使用しているワークステーションは新衛星運用システムで採用している計算機と互換性を持たせてある。ソフトウェアについては臼田64 m アンテナ局の運用管制システムで開発された運用プログラムを土台としている。

34 m アンテナ局は近地球科学衛星と深宇宙探査機をともに追跡する。この両者に対応するために、運用ソフトウェアは複数の運用手順を備えており、局内機器の設定や衛星捕捉に必要な情報、測距に関わる情報など、衛星の種類によって異なるパラメータを、データベースに登録できるようにしてある。

上記設備構成にも記したように、各局内装置に制御用パーソナルコンピュータを配置したが、これによって制御処理の分散、並列処理が可能となり、設備全体の処理の高速化を図ることができている [12]。例えば、運用準

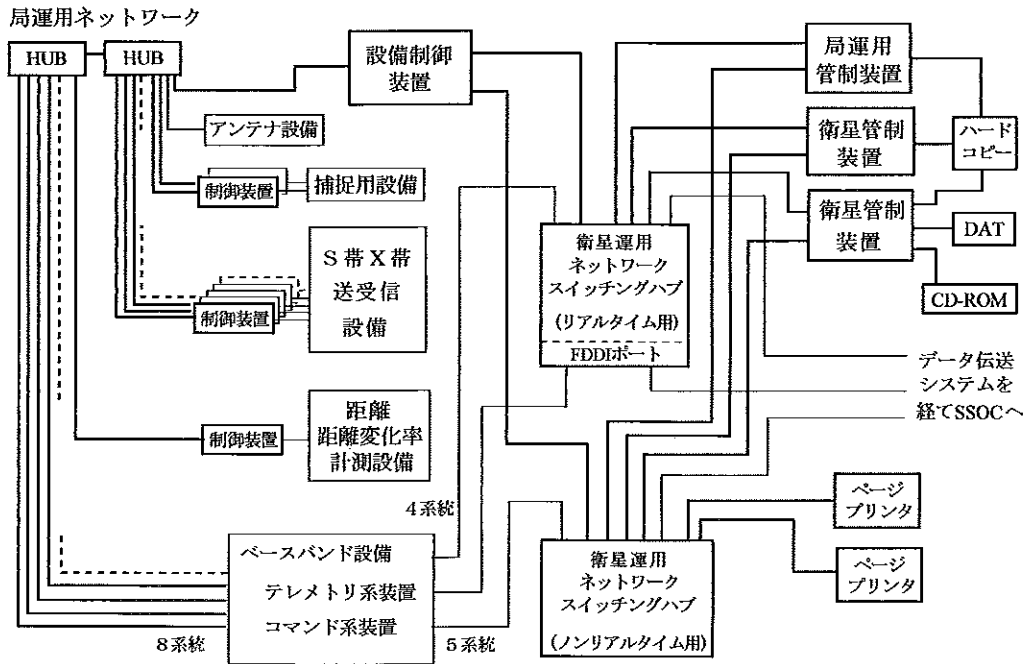


図19 局運用管制設備および衛星管制設備のKSC内系統図

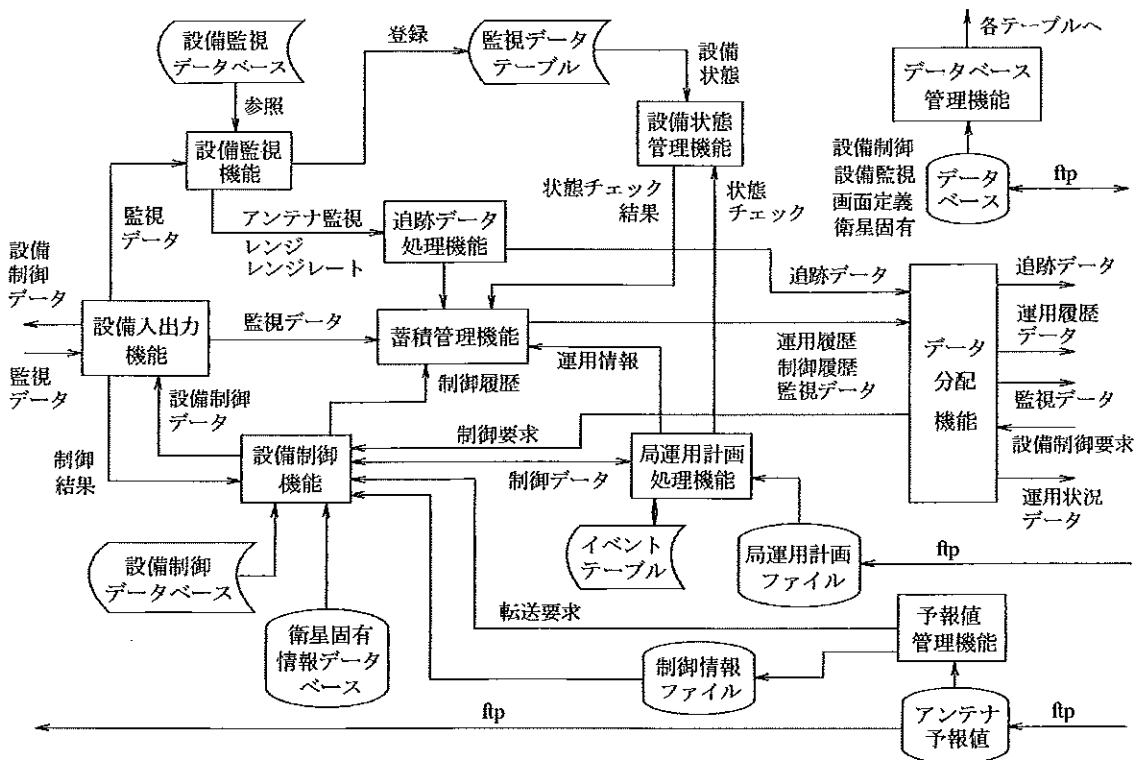


図20 局運用ソフトウェアの機能関連図

備のための設備の初期設定に、KSC 20 m アンテナ局では 10 ~ 15 分を要しているが、34 m アンテナ局ではそれを約 5 分に短縮できている。そのほか、各設備の校正診断も能率良く行えるようになっている。

天文衛星のような近地球科学衛星では 1 パスの可視時間が短く、捕捉を含めて、可視時間中に効率よく運用することが重要である。そこで 34 m 局設備では、次の各種運用操作を自動化している [12]。

- (1) アンテナ待ち受け角指向 - 運用開始前に AZ/EL ドライブを ON、アンテナ受信ルートを設定、プログラム追尾モードを設定。
- (2) 捕捉アンテナと捕捉受信機による追跡と、プログラム追尾から自動追尾への切り換え - 捕捉系によって衛星を初期捕捉し、捕捉受信機がロックオン (lock on) したら、アンテナの駆動モードを自動追尾に切り換える。
- (3) 主受信機による疑似捕捉判定 - 5.5 節に既述
- (4) 2 way リンクの確立 - アップリンク送信可能条件を確認しオペレータへ通知、送信周波数の掃引、深宇宙探査機の場合の受信ロックオフ (lock off) 時間の予測、など。

局運用管制装置

設備状態▼ 運用計画 診断▼ 予報値▼ グラフ▼ 運用制御▼ 運用日誌 設備記録▼ ネットワーク 鹿児島

追尾状況

AZ(deg)	EL(deg)	ROUTE	X_MAIN
DRIVE	ON	MODE	PROG
REAL	149.682	SERVE	-----
ERRDR	0.002	STOW	RELEASE
OFFSET	0.000		
-TIME	+00:00		

RF-OUT OFF SWEEP W 10.000Hz
RF-POWER MAIN-10kW --- R 100Hz/s
LOAD(MAIN) ANT RNG-MOD 1.20 OFF
(ACG) DURPHY CMD-MOD 0.80 OFF

FREQ 7,112,210364MHz
RF-OUT OFF SWEEP W 0Hz
RF-POWER 10w R 0Hz/s
RNG-MOD 0.00 OFF
CMD-MOD 0.00 OFF

CALOFF Fup/2 12 RNG 0.0Km
[2WAY] DEEP 1/10 O-C 0.0Km
STOP COH(240) S/N****dBHz

TX -- ACQ --- RR 0.0m/s
CNLAch 2,112,2204M O-C 0.0m/s

CALOFF Fup/2 12 RNG 0.0Km
[2WAY] DEEP 1/10 O-C 0.0Km
STOP COH(880) S/N****dBHz

TX -- ACQ --- RR 0.0m/s
CNLAch 2,112,2204M O-C 0.0m/s

CALOFF Fup/2 13 RNG 0.0Km
[1WAY] NEAR 1/1 O-C 0.0Km
STOP COH(880) S/N****dBHz

TX -- ACQ --- RR 0.0m/s
CNLAch 7,162,3125M O-C 0.0m/s

終了時刻

運用状況

092 21:30:12(UTC)

ACQ/MAIN判定 ON 天頂監視 ON

捕捉自動 PROG

LOCK判定 判定中

疑似捕捉

衛星名称 PLANET-B
計画番号 020402-0100
運用状況 衛星捕捉(1WAY)

制御開始時刻 2002-04-02 21:25:00(UTC)
運用開始時刻 2002-04-02 21:30:00(UTC)
運用終了時刻 2002-04-03 02:30:00(UTC)
運用終了まで 4:59:49
時刻オフセット 00:00
EL5 通過時刻 2002-04-03 04:03:14(UTC)
EL5 まで 6:33:03

-予報値- TIME(UTC) AZ(deg) EL(deg)
ADS 2002-04-02 18:00:05 111.4315 0.6003
LOS 2002-04-03 04:27:25 248.6225 0.6259
MAX 2002-04-02 23:13:50 180.0293 40.5973
VISIBLE 18:27:21

LOCK OFF Beh PLLBW 10Hz
AGC -163.0dBm -160.9dBm FFT ON
RECV 8,411.246505MHz DS/NE DEEP
ERR AZ-0.4885V EL-0.7979V AID ON

D/C ATT [0dB] 127.999sps REJECT

LOCK OFF CARBW NARROW
AGC -108.5dBm AGCBW NARROW
RECV 8,459.060000MHz BIT6W NARROW
BIT RATE 4000kbps AID OFF

LOW SCR BIT VIT FRM
64bps 64bps OFF OFF OFF OFF
64bps 64bps OFF OFF OFF OFF
***** 4000000bps OFF -- ON
PLANET-B

FC EXIT [ブロック図]

予報値 (ADS)
実測値
SKYLINE
RF-TRIP

制御履歴

04-02 21:30:01 c0 (16986) [予報値情報] TIME:092 21:30:01 UP R: 229448440.13Kw RR:-11426.920m/s

04-02 21:30:01 c0 (16986) [予報値情報] TIME:092 21:30:01 DOWN R: 229465931.45Kw RR:-11426.674m/s

04-02 21:30:01 c0 (20384) [S/S帯追跡データ処理機能]:パス開始:追跡データ蓄積ファイル名[SS.PLANET-B_020402-0100.trk]

04-02 21:30:02 c0 (20384) [S/X帯追跡データ処理機能]:パス開始:追跡データ蓄積ファイル名[SX.PLANET-B_020402-0100.trk]

04-02 21:30:04 c0 (20775) [衛星捕捉]:S-TX RF POWER ON 条件が整いました。RF POWER ON を実施してください。

運用履歴

設備状態履歴

04-02 21:25:36 c0 (31122) [設備状態監視]: REMOTE/LOCAL: [ANT.CONTROL.MODE]が[PC]から[CC]に変化しました。

図21 局運用管制装置画面 (部分) の例

(5) 天頂通過時の対応 - 指定EL角度で自動追尾を解除し、プログラム追尾へ、天頂通過明けの角度で待ち受け、再捕捉。

(6) 運用終了段階 - アップリンクOFF警告メッセージ表示、アンテナ自動追尾OFF、終了時間延長、など。なお、以上の運用操作において、必要な時には操作者が介入できるようにしてある。

図21に運用中の局運用管制装置の画面の例を示す。

8.2. 衛星管制設備

衛星管制設備は科学衛星の監視と制御を行う。科学衛星の運用システムに関しては、2章に述べたように、「のぞみ」およびそれ以降の科学衛星に向けた新たなシステムが臼田64 mアンテナ局やKSC 20 mアンテナ局に既に導入されていた。34 mアンテナ局の衛星管制設備もその新衛星運用システムに基づいて開発、製作してある。装置のハードウェアは20 mアンテナ局等と互換性を持ち、ソフトウェアも、新衛星運用システムで開発されたものがそのまま動作するように作られている。

衛星管制設備の主な機能は、コマンド運用（コマンド計画の編集、コマンドの送出、照合、履歴表示、保管など）、衛星管制用テレメトリ管理（データの取り込み、保管、クイックルックなど）、衛星内メモリデータの管理（メモリ照合、メモリ書き込みにおけるデータの入力・保管など）、衛星管制用基本データ管理、データ再送、等で、これらは従来からのものと基本的に同一である。設備は二台の衛星管制装置（ワークステーション、HP 9000 C 200）と関連装置から構成され、ワークステーションの一台はコマンド運用端末として、もう一台は衛星状態監視端末として使われる。二台の管制装置の間では、大部分の機能と扱うファイル等を共有させ、コマンド運用端末に障害が発生したときに、衛星状態監視端末からコマンド運用が行えるようにしてある。テレメトリに関し

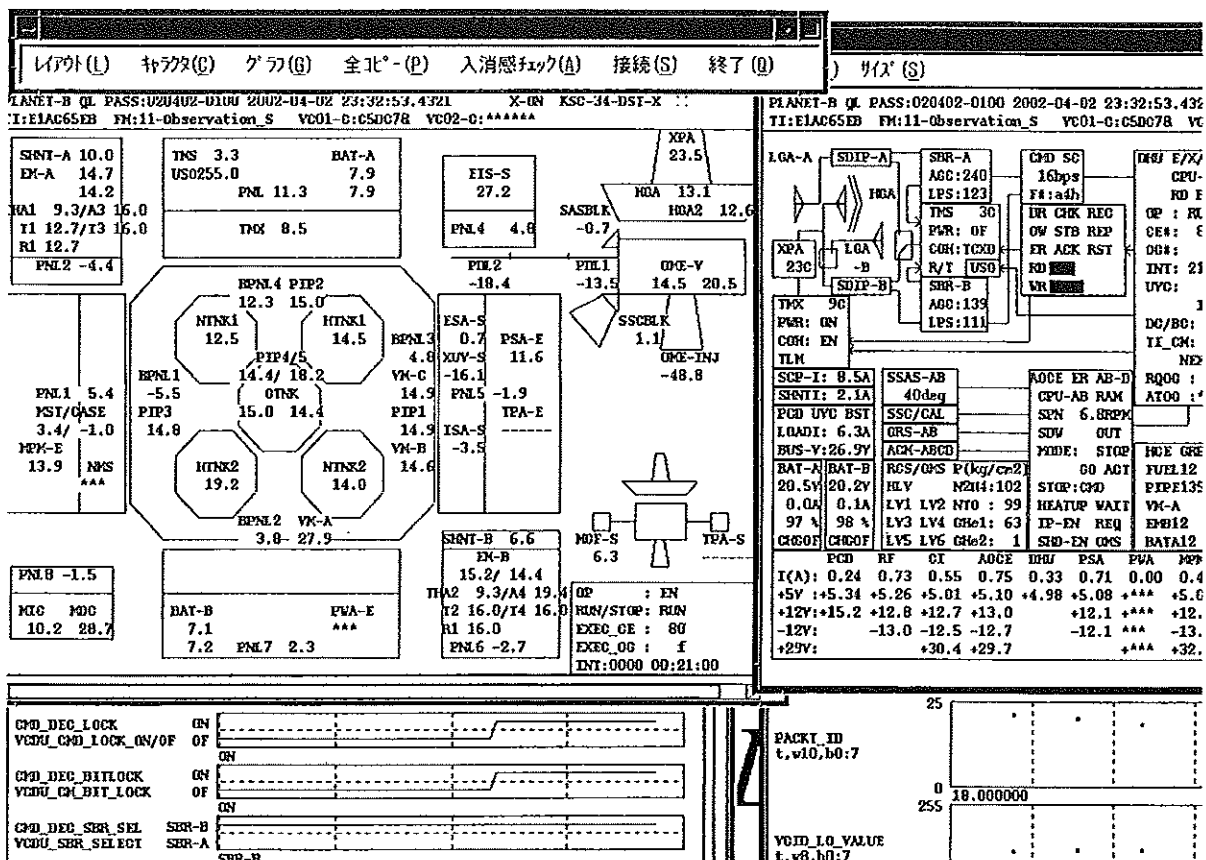


図22 衛星状態監視画面（部分）の例

ては、高速テレメトリに対応する機能をもつことが 34 m アンテナ局の衛星管制装置の新たな点である。衛星管制装置は同一構成ものが KSC と SSOC に置かれている。前出の図 19 には、KSC 局に関して、局運用管制設備と衛星管制設備を合わせた系統図を示した。二台の衛星管制装置は、ベースバンド設備のテレメトリ系機器とコマンド系機器、ならびに局運用管制設備と、衛星運用ネットワークによって接続されている。

衛星管制設備は、34 m アンテナ局完成後、火星探査機「のぞみ」の多数回におよぶ臼田局バックアップ追跡運用において、十分に機能を果たしてきている。また、2000年2月のASTRO-E衛星の打ち上げにおいては、衛星打ち上げオペレーションに関わる機能を確認している [13]。図 22 は運用時の衛星状態監視画面の例である。新衛星運用システムのもとでは、新設の KSC 34 m アンテナ局、既設の KSC 20 m アンテナ局、臼田 64 m アンテナ局、それに相模原管制センター、相模原 C 棟の衛星チェックアウト設備などを相互に接続することが可能で、衛星の運用・試験（「のぞみ」以降の科学衛星に関して）を高い自由度をもって行うことができるようになっている。既存衛星の運用については、節を改めて、8.4 に述べる。

8.3. データ伝送系

局内各機器を連結し、衛星の運用管制、データの伝送などを行うための「衛星運用ネットワーク」が KSC 34 m アンテナ局に形成されており、それはまた、相模原管制センター（SSOC）内の運用ネットワークと DMIX (Digital Multimedia Information multipleXer) 回線を通して接続されている。衛星運用ネットワークの構成を図 23 に示す。34 m アンテナ局舎に対しては、衛星テレメータセンターの旧 PI 室から新たに光ファイバーケーブルが敷設された。衛星運用ネットワークはリアル、ノンリアル、高速リアル of 3 種類の回線から構成されており、局内の各ワークステーションは図 23 に示したように LAN 接続されている。また、衛星運用ネットワークは、8.1 に述べたように、局運用管制設備 LAN と接続されている。

S バンドおよび X バンドのテレメトリデータは、データ分配装置を経て共通クイックルック (QL) 装置へ送られ、また同時に SSOC にも送られる。データはバックアップやディレイルック (DL) 表示のためにデータ蓄積装置に一定期間保存される。

X 帯高速テレメトリデータの伝送に関しては、ASTRO-E 衛星において、次のような準備をした。高速テレメトリ入力装置で編集されたデータを、高速 LAN を経て、KSC 衛星ミッション管制室のデータ蓄積装置に一旦蓄積する。そのデータを、運用パス終了後、KSC と相模原間のデータ伝送路の伝送量が減った時間帯に、一括あるいは分割してファイル転送する。相模原ではデータ蓄積装置に蓄積の後、衛星ミッション側で用意するデータサーバ装置に再転送し、データの解析に供する。この方法は 2004 年打ち上げ予定の ASTRO-F 衛星から実際に実行されることとなる。

その他、軌道系のデータ（レンジデータとドップラーデータ）については、8.1 に述べた設備制御装置において編集された後、データ分配装置を経て、KSC 34 m 局と SSOC のデータ蓄積装置に送られる。それらのデータは、地球周回衛星については、SSOC のデータ分配装置から軌道ゲートウェイ装置を介して、宇宙開発事業団に定期的に送られる。宇宙開発事業団においてはそのデータをもとに軌道計算を行い、そこで算出したアンテナ予報値のファイルを逆ルートで SSOC へ伝送する。予報値ファイルは最終的に KSC 34 m アンテナ局のデータ蓄積装置に蓄積される。深宇宙探査機に関しては、軌道決定、アンテナ予報値の作製等は本研究所内で行われる。

データ伝送系を構成する上述のデータ分配装置とデータ蓄積装置は、34 m 局、20 m 局、臼田 64 m 局、SSOC など、各サイト毎に設置されている共通器である。データ分配装置は、テレメトリ入力装置から受信したテレメトリデータを、データ蓄積装置、共通 QL 装置、各衛星ミッションの観測データ処理装置等からの要求のもとに、それらの要求に従ったフォーマット（トランスファーフレーム、パケット等）でリアルタイムに配信する。データ分配装置、データ蓄積装置はともに、装置間のインターフェースを取る機能（SDTP による）とデ・パケット処理の機能を持ち、データ蓄積装置は、さらに、データ集積の機能とレートバッファの機能を持つ。なお、SDTP (Space Data Transfer Protocol) は宇宙科学研究所と関係メーカーが共同で開発し、策定した衛星運用地上系専用

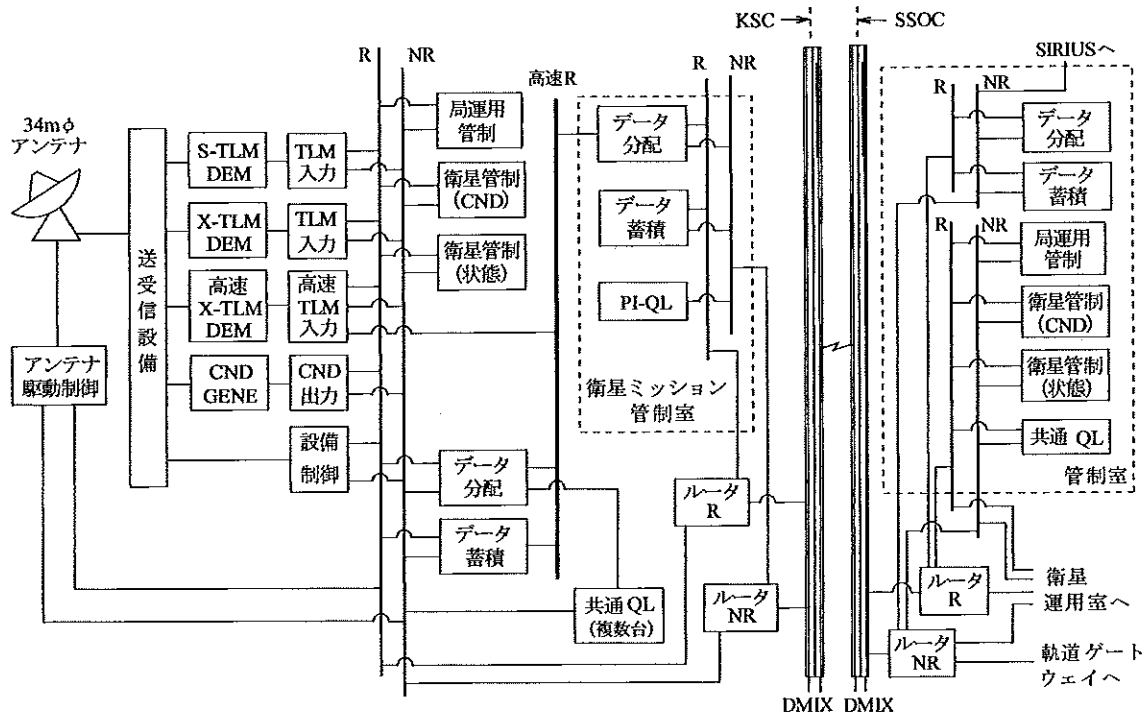


図23 衛星運用ネットワークの構成

の protocol である。送信元から受信先までの転送フォーマットと制御方法を規定するもので、衛星運用系各ワークステーションの間のインターフェースはすべてこのSDTPに基づいている。

8. 4. 既存衛星の運用

34 m アンテナ局の衛星運用管制系やベースバンド設備は「のぞみ」以前の科学衛星、すなわち、「ようこう」、「ジオテイル」、「はるか」などにはそのまま適合しない。34 m アンテナ局はASTRO-E、「のぞみ」以降の科学衛星を対象として新衛星運用管制システムのもとに整備したものであったが、過渡期として、「ようこう」等の既存衛星を34 m アンテナを使用して運用できることが望ましい。そこで、従来、相模原において使用していた衛星試験装置を活用して、整備を行った。図24は既存衛星運用系の系統図である。衛星試験装置であったベースバンド装置（復調装置）とコマンド出力装置、および衛星管制装置（ミニコンピュータ MS-175）を34 m アンテナ局舎に移設した。20 m アンテナ局のテレメータデータインターフェース装置（STIU）の入力には、34 m 局と20 m 局のデータを切り替える装置を付加した。また移設した衛星管制設備用のモデムと20 m 系衛星管制設備（MS-175 計算機）用モデムとをDMIX接続している部分を（手動で）切り替えることにより、SSOCの20 m アンテナ局対向管制設備（MS-175）と接続できるようにした。なお、追跡データやアンテナ予報値などは、図にも示したように、34 m アンテナ局の正規の経路を使って伝送している。

上述の系統によって三つの衛星、「ようこう」、「はるか」、「GEOTAIL」を運用することが可能となっており、20 m アンテナ設備の保守や不具合時などに有効に機能している。

9. む す び

宇宙科学研究所（前身の東京大学宇宙航空研究所当時を含めて）の衛星追跡地上局はこれまで科学衛星計画の発展と歩を合わせて開発・建設されてきた。当初ロケットの追跡用であったKSCの18 m アンテナ局（1962-63

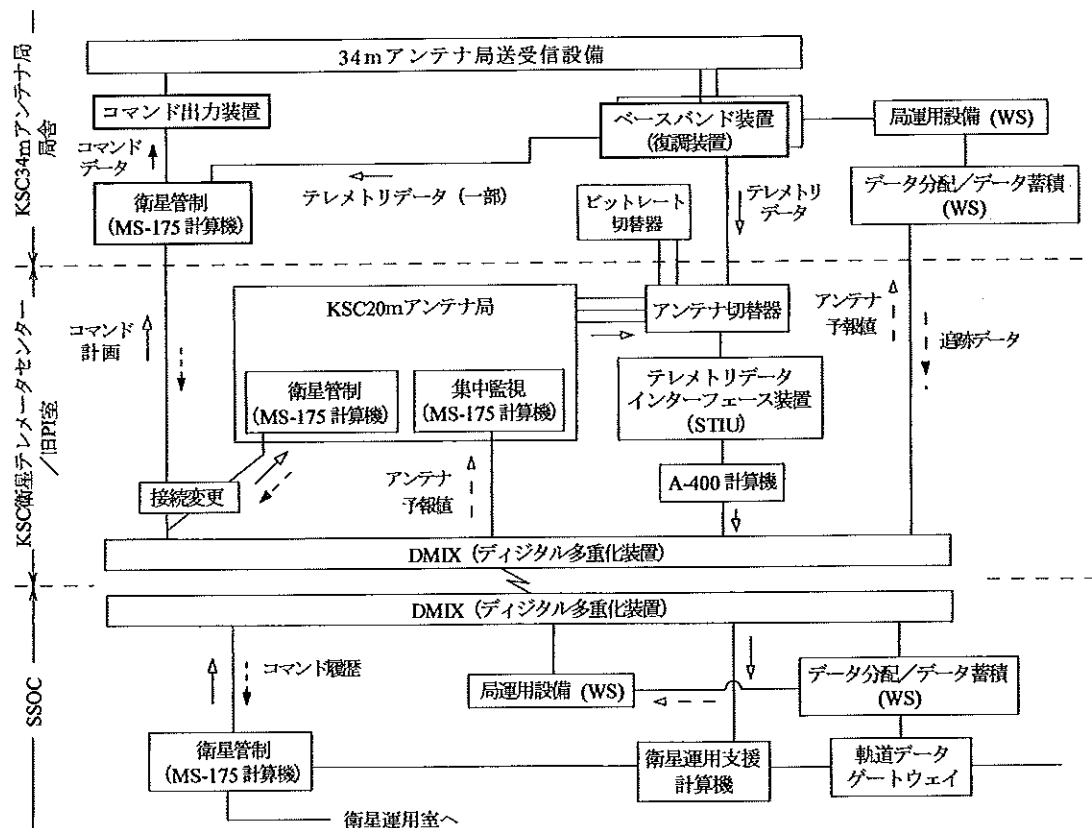


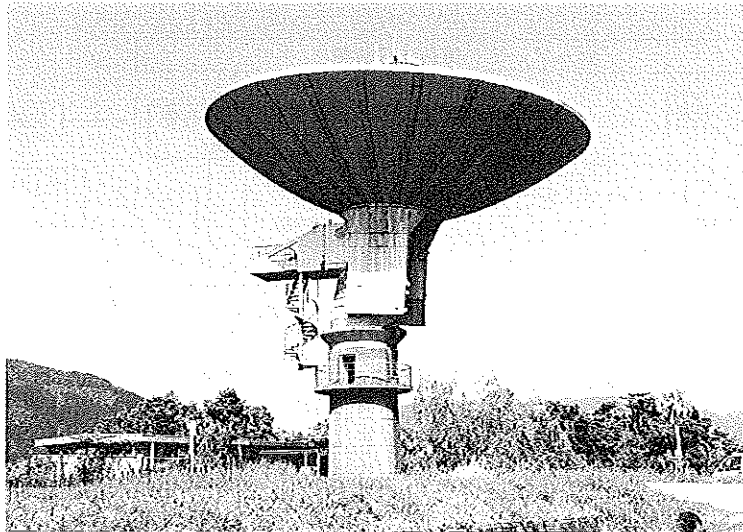
図24 既存衛星運用系の系統図

年，生産技術研究所時代の建設）[6，7]に始まり，KSC 10 m アンテナ局（1978-79 年建設）[14]，白田の 64 m アンテナ局（1984 年完成）[1]，そして KSC の 20 m アンテナ局（1989 年完成）[3，4]が，本論に述べた 34 m アンテナ局の前に連なるものである。これらの地上局の建設では，またその後の改造・機能付加を含めて，いずれにおいても，多くの新たな試みがなされ，多くの新たな技術の開発がなされた。それらは代々の科学衛星ミッションを支え，その可能性を拓げることに繋がってきた。本 34 m アンテナ局の建設も同じ軌道の上にあるものである。

34 m アンテナ局は，2000 年の ASTRO-E 衛星の打ち上げオペレーションにおいて，そのオペレーション上の機能を満足することを確認した。1998 年に M-V 型ロケット 3 号機によって打ち上げられた火星探査機「のぞみ」においては，白田 64 m アンテナ局の X バンドアップリンク系増設工事の際，ミッションにおけるクリティカルなイベントの際，白田局に起こった不具合の際などに，バックアップとしての役目を果たした。また，「ようこう」，「ジオテイル」，「あすか」，「はるか」等の科学衛星の運用に使用され，地上局としての機能を果たしてきた。

本地上局は近地球科学衛星用として基本的に完成しているが，深宇宙探査機追跡に関しては，今後アップリンクの周波数が X バンド以上に制限されることから，大電力の X バンド送信機能を備えることが緊急の課題として残っている。また，鹿児島宇宙空間観測所における近地球科学衛星の追跡運用を 2 局体制として確立するという基本方針からは，20 m アンテナ局の機能を 34 m アンテナ局と同等にする，特に高速テレメータデータの受信機能を持たせることが早急に実行されるべき課題である。

終わりに当たり，本 34 m アンテナ局の設計，製作，試験，運用などに関わってこられた三菱電機株式会社，日本電気株式会社（当時）の多数の方々に深く感謝の意を表します。また，データ伝送系を中心とする整備，試験，運用等に関わられた富士通株式会社の多くの方々に，ここで，深く感謝を申し上げます。



付図1 解体直前の18 mアンテナ

付録 18 mアンテナの撤去

34 mアンテナの建設に当たって、18 mアンテナを撤去した。テレメータ台地の18 mアンテナの位置が新アンテナの建設に最も適切であったためである。18 mアンテナ自体、役目を終えて10数年の年月が経ち、台風等による崩壊が危惧される状態にあった。

18 mアンテナは1962～63年に開発、建設された。わが国における大型パラボラアンテナ開発の先駆となった歴史的なものである[15, 16]。建設は観測ロケットの東京大学生産技術研究所時代の終わりの頃であった。そのためか、「生産研究」(生産技術研究所報)の観測ロケット特集号には、このアンテナについての技術報告はコンクリート支塔の設計に関するもの以外無く、その最終号(生産研究、第16巻、第11号、1964年11月)の巻頭、鹿児島宇宙空間観測所を紹介する写真ページに、建造当初のアンテナの写真だけが載っている。「18 mトラッキング、テレメータ・アンテナ」と題してある。観測ロケット事業が宇宙航空研究所に移ってからは、「宇宙航空研究所報告」にロケットの特集号が組まれるようになるが、そこに18 mアンテナが詳しく述べられるのは第一次の改造がなされたときで、1969年である[7]。18 mアンテナは、1984年2月打ち上げの科学衛星「おぞら」(EXOS-C)まで、衛星の追跡運用に使用された。

34 mアンテナ建設に当たっての18 mアンテナ解体工事は1997年7月から8月にかけて行われた。付図1に解体直前の18 mアンテナの写真を示す。解体撤去に当たっては、アンテナ本体とともに数多くの関連機器を廃棄している。また、周辺にあった油圧室やポンプ室、貯水ポンプ室等も撤去した。撤去・廃棄された機器の品名とそれらの(銘板上に見られた)製造年月を記すと、18 mφトラッキングテレメータアンテナ：1962年12月、自動電圧調整器：1962年12月、角度指示発信装置：1966年5月、同発信装置付加：1969年12月、アンテナフォロー装置：1971年8月、受信コンソール、角度コンソール、制御リレー架：1973年12月、駆動増幅架、駆動制御架、制御リレー架付加：1984年9月、となっている。製造年月の年次の拡がりは18 mアンテナ装置が多次にわたって改修・改造されたことを示すものである。

34 mアンテナのための敷地造成に当たっては、18 mアンテナの撤去と併せて、同アンテナの北西側にあった森記念公園が、所内了解の上に、閉鎖された。その際、公園内にあった記念碑等は観測所内の適切な位置に移設されている。

参 考 文 献

- [1] T. Nomura, T. Hayashi, T. Nishimura, H. Hirosawa and M. Ichikawa: "Usuda deep space station with 64-meter-diameter antenna," *Acta Astronautica*, Vol. 14, pp. 97-103, 1986.
- [2] T. Hayashi, T. Nishimura, H. Hirosawa, M. Ichikawa and Z. Yamamoto: "X-band Capability of Usuda DSN Station and its Application to Future Missions," *the 42nd Congress of the IAF*, Paper No. 919451, 6p., Montoreal, October 1991.
- [3] 林 友直, 広沢春任, 横山幸嗣, 市川 満, 井上浩三郎, 周東晃四郎, 三浦 明, 稲田 隆, 大橋清一, 藤沢政行, 斎藤 勲, 長尾利彦, 佐川一美, 横溝俊男, 星野範康: 「科学衛星追跡用S/X帯送受信管制設備」, NEC技報, Vol. 43, No. 11, pp. 43-58, 1990.
- [4] 広沢春任, 市川 満, 横山幸嗣, 別段信一, 尾市友紀, 島脇 豊, 村瀬文義: 「科学衛星追跡用S/X帯共用20mアンテナ」, 三菱電機技報, Vol. 66, No. 4, pp. 392-400, 1992.
- [5] 廣澤春任, 市川 満, 鎌田幸男, 佐川一美, 大橋清一, 松本操一, 佐藤 巧, 山本善一, 斎藤宏文, 木野貴秀: 「新精測レーダ」, 宇宙科学研究所報告, 第122号, 42p., 宇宙科学研究所, 2003年3月.
- [6] 「生産研究」(東京大学生産技術研究所報) Vol. 16, No. 11 (観測ロケット特集号, 1964年11月)の巻頭, 鹿児島宇宙空間観測所紹介の写真ページにアンテナの写真が載っている. 野村民也: 「最近の観測ロケット用エレクトロニクス」, 東京大学宇宙航空研究所報告, 第2巻, 第1号(A), pp. 212-225, 1966年1月, には既設のものとして記述されている.
- [7] 斎藤成文, 野村民也: 「18mφパラボラ空中線装置の改造」, 東京大学宇宙航空研究所報告, 第5巻, 第2号(B), pp. 366-380, 1969年7月.
- [8] 市川 満, 阿部安宏, 井口和美, 城田俊哉, 廣澤春任: 「臼田宇宙空間観測所用Xバンド冷却低雑音増幅器」, 宇宙科学研究所報告, 第111号, 14p., 宇宙科学研究所, 2000年10月.
- [9] "Sequential Ranging," prepared by R. W. Sniffin, in *DSMS Telecommunications Link Design Handbook*, DSN Document 810-005, Rev. E, 2000 ed., Jet Propulsion Laboratory.
- [10] 山本善一, 佐川一美: 「シーケンシャルPNレンジング方式」, 投稿準備中.
- [11] J. B. Berner, J. M. Layland, P. W. Kinman, J. R. Smith: "Regenerative Pseudo-Noise Ranging for Deep-Space Applications," *TMO Progress Report*, 42-137, 18p., Jet Propulsion Laboratory, May 1999.
- [12] 大橋清一, 杉浦正典, 荒谷誠一郎, 欠野昌邦: 「鹿児島34m局向け科学衛星追跡用S/X帯追跡管制設備局運用管制設備の開発」, NAS (日本電気航空宇宙システム) 技報, No. 12, pp. 34-39, 2001年.
- [13] 栗山裕一, 久保雅嗣, 島村敬之, 江川 宏, 春木和寿: 「X線天文衛星ASTRO-E対応衛星管制システムの開発」, NAS (日本電気航空宇宙システム) 技報, No. 12, pp. 40-45, 2001年.
- [14] 林 友直, 井上浩三郎, 橋本正之, 富田秀徳, 高橋 武, 横山茂士: 「データ取得の現状」, 科学衛星シンポジウム講演集, 東京大学宇宙航空研究所, pp. 156-167, 1978年5月. 10mアンテナ局の初運用は1980年2月打ち上げの試験衛星「たんせい4号」(MST4)においてで, そこではSバンドテレメータ実験が行われた.
- [15] 野村民也: 「18mアンテナの撤去に寄せて」, ISASニュース, No. 195, p. 6, 宇宙科学研究所, 1997年6月.
- [16] 斎藤成文: 「宇宙開発30年の思い出」, 軌跡—宇宙空間観測30年記念随想集—, pp. 8-17, 宇宙科学研究所, 1986年9月.

既 刊 行 物

- 第105号 (1999年10月) S-310-27号機による中層大気水蒸気密度の測定
第106号 (1999年12月) S-310-27号機によるDCプローブ測定—ES層中の電子温度
について—
第107号 (2000年2月) SEPACプロジェクトのエンジニアリングとマネジメント
第108号 (2000年2月) 飛行時間法を用いた中性ガス質量分析器の開発
第109号 (2000年3月) 金星ホールの生成機構に関する一考察
第110号 (2000年8月) 臼田宇宙空間観測所水素メーザ標準周波数時刻システム
第111号 (2000年10月) 臼田宇宙空間観測所用Xバンド冷却低雑音増幅器
第112号 (2000年10月) 探査機異常監視・診断システム (ISACS-DOC)
第113号 (2000年12月) 宇宙用熱制御材料の太陽光吸収率の入射角依存性と全半球放射
率の温度依存性に関する測定データ
第114号 (2001年3月) 科学衛星「はるか」の位相基準信号伝送システム—臼田地上局
システムを中心にして—
第115号 (2001年3月) 成層圏大気中の多種の微量成分観測を目的とした気球搭載用大
気採取装置の研究
第116号 (2001年9月) 科学衛星「はるか」における位相基準信号伝送のための衛星搭
載システム
第117号 (2001年10月) 電磁飛翔体加速装置開発の歩み—(I)
第118号 (2001年12月) リングコア磁力計センサの衝撃実験
—ペネトレータ型磁力計開発の基礎実験—
第119号 (2002年8月) 窒素振動温度測定器の室内実験による校正と解析手法の改良
第120号 (2002年11月) BepiColombo/MMO搭載カメラ用光学ガラスの放射線耐性試験
第121号 (2003年3月) X線天文観測科学衛星「あすか」および「ASTRO-E」の姿勢制
御系
第122号 (2003年3月) 新精測レーダ

宇宙科学研究所報告

第123号

2003年3月

発行者 宇宙科学研究所
〒229-8510 神奈川県相模原市山野台3-1-1
電話(042) 759-8009
印刷社 株式会社 ワークワン
〒229-1125 神奈川県相模原市田名塩田1-14-2
電話(042) 778-6765

045