

I.3 全体システムの概要

吉野 泰造*¹ 黒岩 博司*²

(平成元年10月6日受理)

I.3 OUTLINE OF WHOLE SYSTEM

By

Taizoh YOSHINO and Hiroshi KUROIWA

A Japanese Very Long Baseline Interferometer (VLBI) network to study relative plate motion in eastern Asia, has been constructed. The network consists of a main station in Kashima and two sub-stations in Minami-Torishima (Marcus) Island and Minami-Daitoh Island. The position of each station is chosen as a fiducial point of the North American plate, Pacific plate, and Philippine Sea plate. And we hope to add a Shanghai station as a fiducial point on the Eurasian plate. Specific features of each station's design are briefly described. In particular, receivers that cover a frequency range from 300 MHz to 49 GHz and an automatic feed system changing mechanism in the Kashima main station are explained.

1. はじめに

国際的な VLBI 網が拡大する中で、地球上の各地域での VLBI 網の形成も並行して進められている。米国西海岸のサンアンドレアス断層周辺での地殻変動観測網、また米国の VLBA (Very Long Baseline Array)⁽¹⁾及び欧州の EVN (European VLBI Network)⁽²⁾による電波天文観測網、そして IERS (International Earth Rotation Service) 国際地球回転観測事業における大西洋網、太平洋網、南半球局結合網(仮称)等がその地域性、観測網の大きさ等の違いを利用した特徴ある観測を実施している。一方、地震の多発地帯であるわが国は、日本周辺のプレート運動を測るための独自の観測網として西太平洋電波干渉計を完成させた。これは世界でも有数の測地 VLBI ネットワークであり、地球観測における国際協力のため各国からも注目されている。また、既に1989年夏より、西太平洋電波干渉計網のうち、鹿島一南鳥島間の本格的基線測定が開始され、その解析結果が得られている。太平洋プレートの動きが反映されると考えられる今後の観測結果との比較が待たれる。また、本システムは単に従来型の VLBI 局を新設するものではなく、今後国内外で VLBI 局が建設される際の参考とも

なるように、数々の新しい試みがアンテナシステムを中心になされている。ここでは、西太平洋電波干渉計システム全体の概要とその特徴に絞って概説する^{(3)~(7)}。各システムの詳細については、本特集号のⅡ章を参照されたい。またアンテナの建設と並行して VLBI 用バックエンド、新型高密度データレコーダ等の新技術開発が進められているが、これらはⅢ章において紹介される。

2. 全体システムの構成

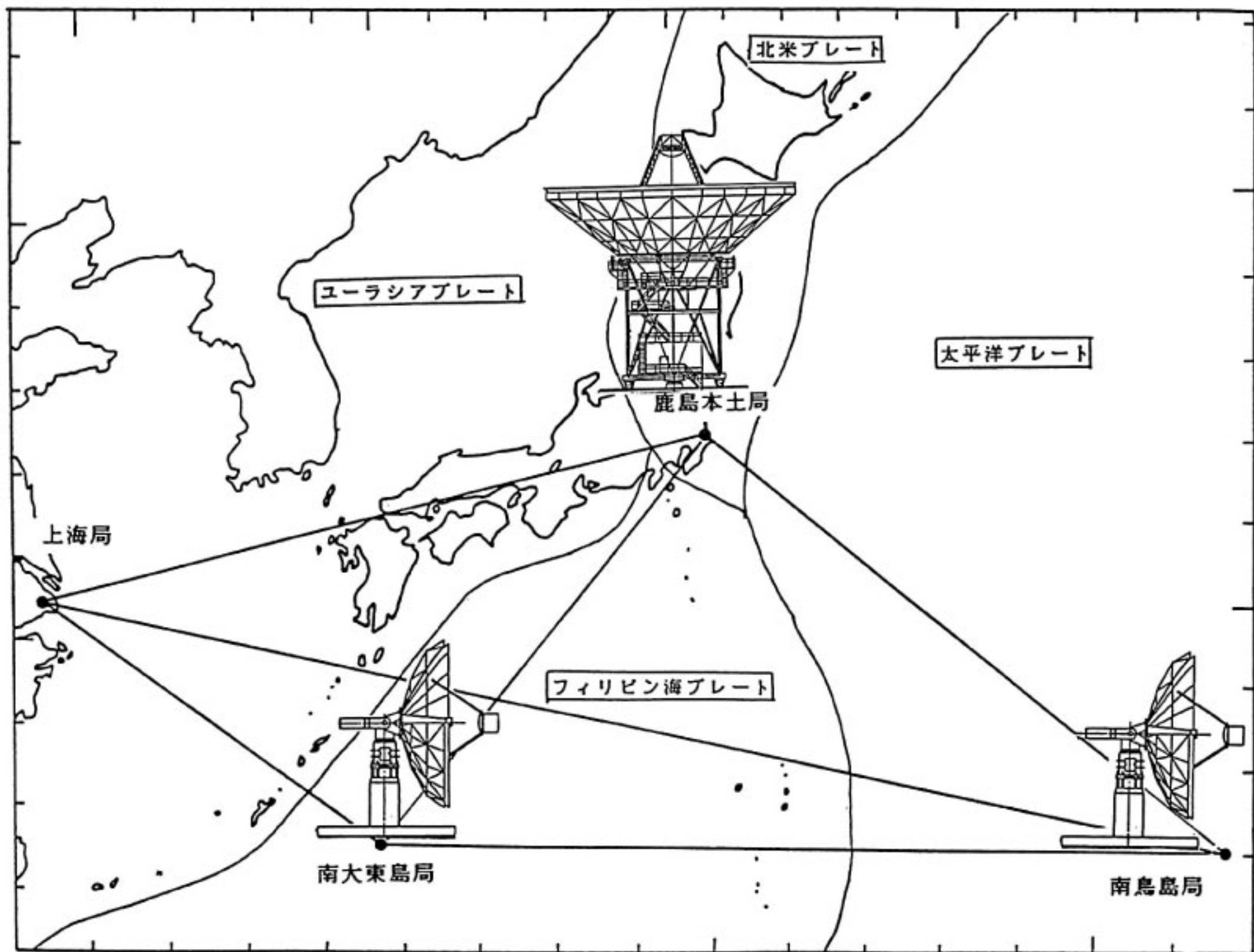
西太平洋電波干渉計システムは狭義には 34 m 本土局システム1基、離島局用 10 m 級アンテナシステム2基を指し、広義にはこれに加え移動型 3 m アンテナシステム1基、衛星レーザ測距システム (SLR)、汎地球測位システム (GPS) そして中国の上海局の 25 m アンテナを含める場合がある。ここでは狭義の西太平洋電波干

第1表 西太平洋電波干渉計システム構成

	アンテナ径	周波数帯	機能
本土局	34 m	VHF~49 GHz S/X	VLBI, 電波天文 総合電波計測
離島局	10 m	S/X	VLBI
	11 m	VHF/S	管制用, VLBI
移動局	3 m	X	VLBI

*1 標準測定部 周波数・時刻比較研究室

*2 企画調査部



第1図 西太平洋電波干渉計における各局の配置

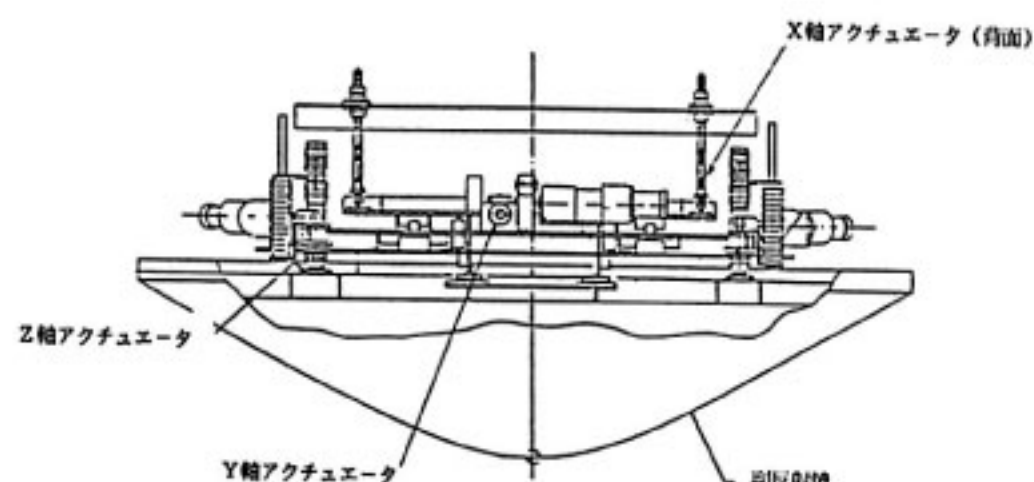
渉計システムおよび移動型 3 m アンテナシステムについて(第1表)述べることにする。

西太平洋電波干渉計では第1図に示すように、日本周辺の各プレート上の代表点に 34 m 及び 10 m 級アンテナを配置する。VLBI 観測では天体電波源の位置を基準に地球の計測を行うが、利用できる天体電波源の強度が約 1 Jy ($1 \text{ Jy} = 10^{-26} \text{ Wm}^{-2}\text{Hz}^{-1}$) 前後と、きわめて弱いいため、アンテナ開口径の大型化が求められる。また電波干渉計の感度は開口径の積で決まるため、本土局アンテナの直径を出来るだけ大きくし、離島局の開口径を小さくするように考えた。しかし一方では、観測時の電波星の切り替えに必要な機動性、測地基準点の安定性の問題がアンテナの大型化と共に派生し、価格も上昇することから 34 m が妥当と判断した。34 m 及び 10 m 級アンテナの開発はそれぞれ米国の TIW 社、S/A (サイエンティフィック・アトランタ) 社の持つ基本設計をもとに、通信総合研究所が示した仕様を満足するように製作が進められ、日本側は㈱理経が代理店となり建設は㈱日本電気システム建設が請け負った。TIW 社がこれまでに建設した同種の直径 32 m VLBI 用アンテナは米国

JPL の深宇宙局 (DSN) として米国、豪州、スペインに、またさらに、イタリアの VLBI 局としても 2 基採用されている。今回建設した 34 m アンテナの仕様では受信周波数、副鏡駆動による受信周波数変更、給電部交換方式、駆動速度等において基本設計の変更を行った。また S/A 社の 10 m アンテナは衛星通信その他の分野で幅広く使用されている。

3. 全体システムの特長

今回建設されたアンテナはすべて Az-El マウントタイプである。34 m 鏡の 300 MHz, 600 MHz 帯, 10 m 鏡の S バンドそして 11 m 鏡がフロントフィード型であり、その他のアンテナ形式はすべてカセグレン型である。VLBI 観測に重要な、アンテナの高効率化、受信機の低雑音性、そして追尾する星の迅速な切り替えのためのアンテナ駆動速度の高速性、に設計の重点を置いた。特に駆動速度は本土局の大型アンテナにおいても Az 軸 1 deg/sec , El 軸 0.8 deg/sec を達成しているので効率のよい VLBI 観測スケジュールによる運用が期待できる。



第2図 34 m アンテナ副反射鏡の5軸制御機構
(X軸アクチュエータは図中では隠れている。
また、Z軸アクチュエータは3台あり副反射鏡
の回転も制御する)

いずれのアンテナも海岸に近い場所に設置されており、長期間のプレート運動観測を実施するため、特に防錆に留意し、塗装回数を通常より多くして耐久性をもたせる工夫をしている。

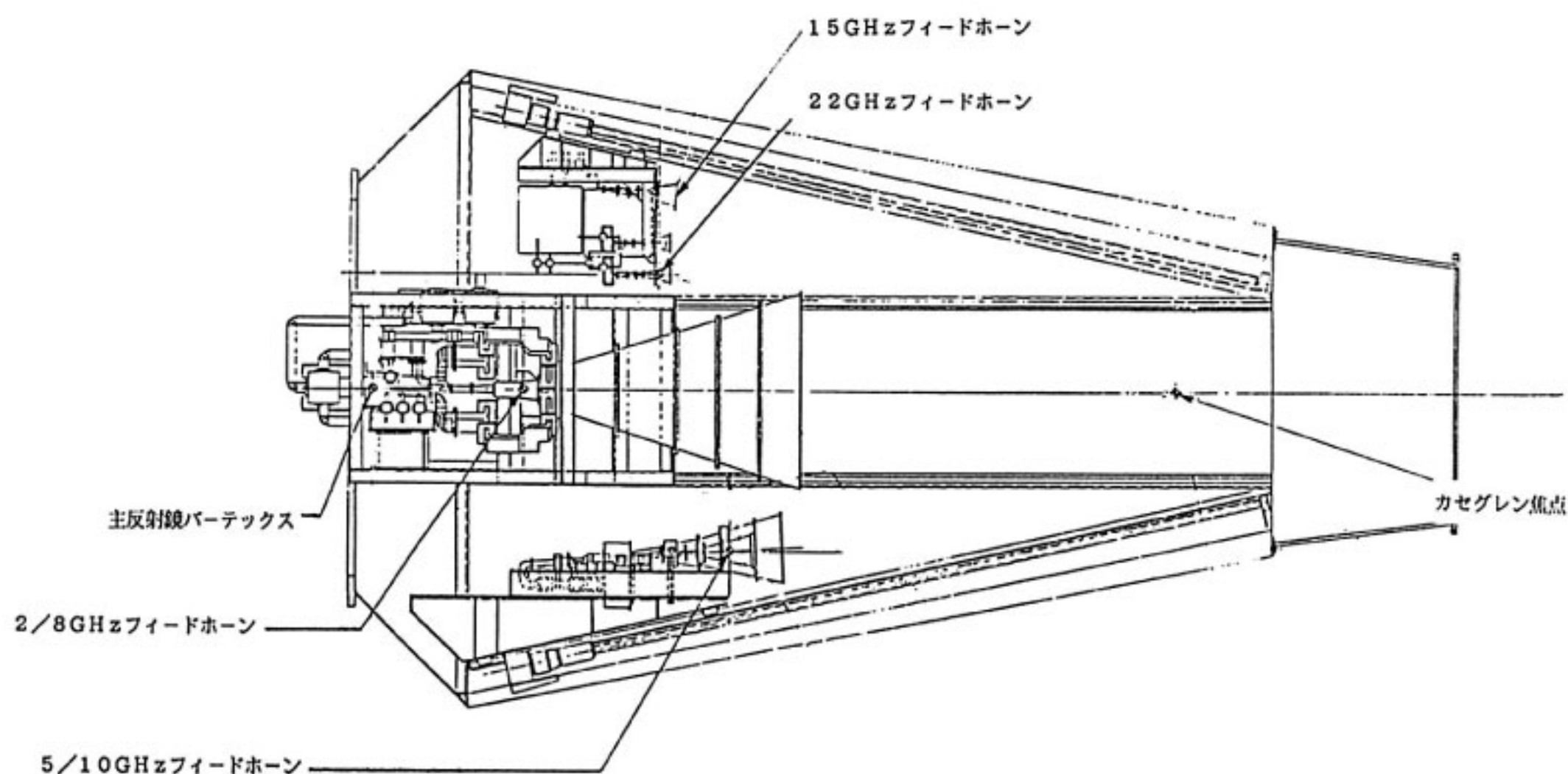
西太平洋電波干渉計システムとしてプレート運動監視等に使用する周波数は、現在、世界の測地、地球回転VLBIで主流のS/Xバンドであり、将来Xバンド受信系を装備する予定の11mアンテナを除きS/X帯受信機を装備している。さらに将来の発展を考え、本土局においては米国のVLBAと同じ周波数帯の受信機を、VHF帯からミリ波の49GHz帯まで備えた。また、これまで一般に受信周波数の変更は、給電部の物理的交換などで手間と時間を要するものであった。しかし、34m鏡ではフィードホーンと受信機を一体にした4つの冷却受信機ボックスを用意し、1.5GHz帯以上の受信機をボックス内に実装した。複数台受信機を実装したボックス内の別周波給電部への切り替えは、第2図に示す副反射鏡背面のX、Y、Z軸アクチュエータ（第2図には表

われていないがZ軸は3つのアクチュエータを持つ）により、5軸制御によってビームを必要とするアンテナ給電部位相中心に迅速に移動させる事ができる。また別の周波数グループの受信機ボックスへの切り替えには、必要とするバンドの受信機を持つボックスをフィードコーン内部の壁に沿って機械的に正規の受信位置まで引き上げる。なお300MHz、600MHz帯の受信は副反射鏡脇に取り付けられた受信機をアンテナの光軸と垂直面内でスライドして主反射鏡一次焦点に位相中心を一致させ受信を行う。フィードコーン内部の受信系の配置状況を第3図に示す。以上はすべてリモート・コントロールで行われ、受信機ボックス切り替えの場合でも10分程度で完了する。このため従来、数時間かかった給電部の交換作業時間は飛躍的に短縮された。

観測星の追尾に関しては、アンテナのプログラム追尾機能を強化し、いずれアンテナにおいても従来の衛星通信用管制卓にみられたような駆動制御卓は小型化され、観測オペレータはおもに計算機のターミナルを前に運用を行う。また、34mシステムの場合、受信周波数の変更等は実験室の計算機からも、アンテナ側に設置されたインターフェース計算機からも行える。後者の場合、ディスプレイに現れるメニューに対し直接手を触れて指示するタッチスクリーン方式で行われる。

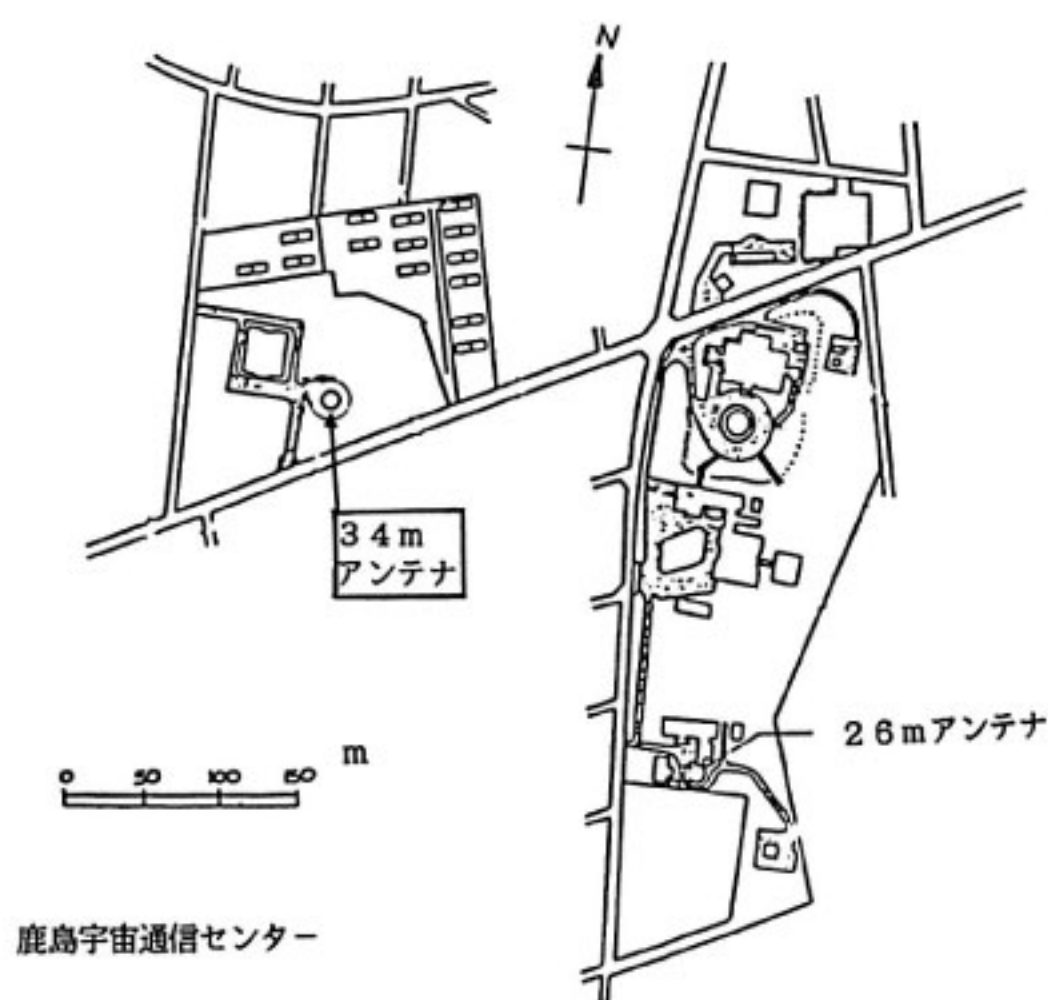
4. 本土局システム

鹿島局ではこれまでVLBI実験はおもに26mアンテナを使用してきたが、このアンテナの老朽化にともない34mアンテナが建設されることとなった。設置場所（第4図）は鹿島宇宙通信センターの旧18m管制用ア



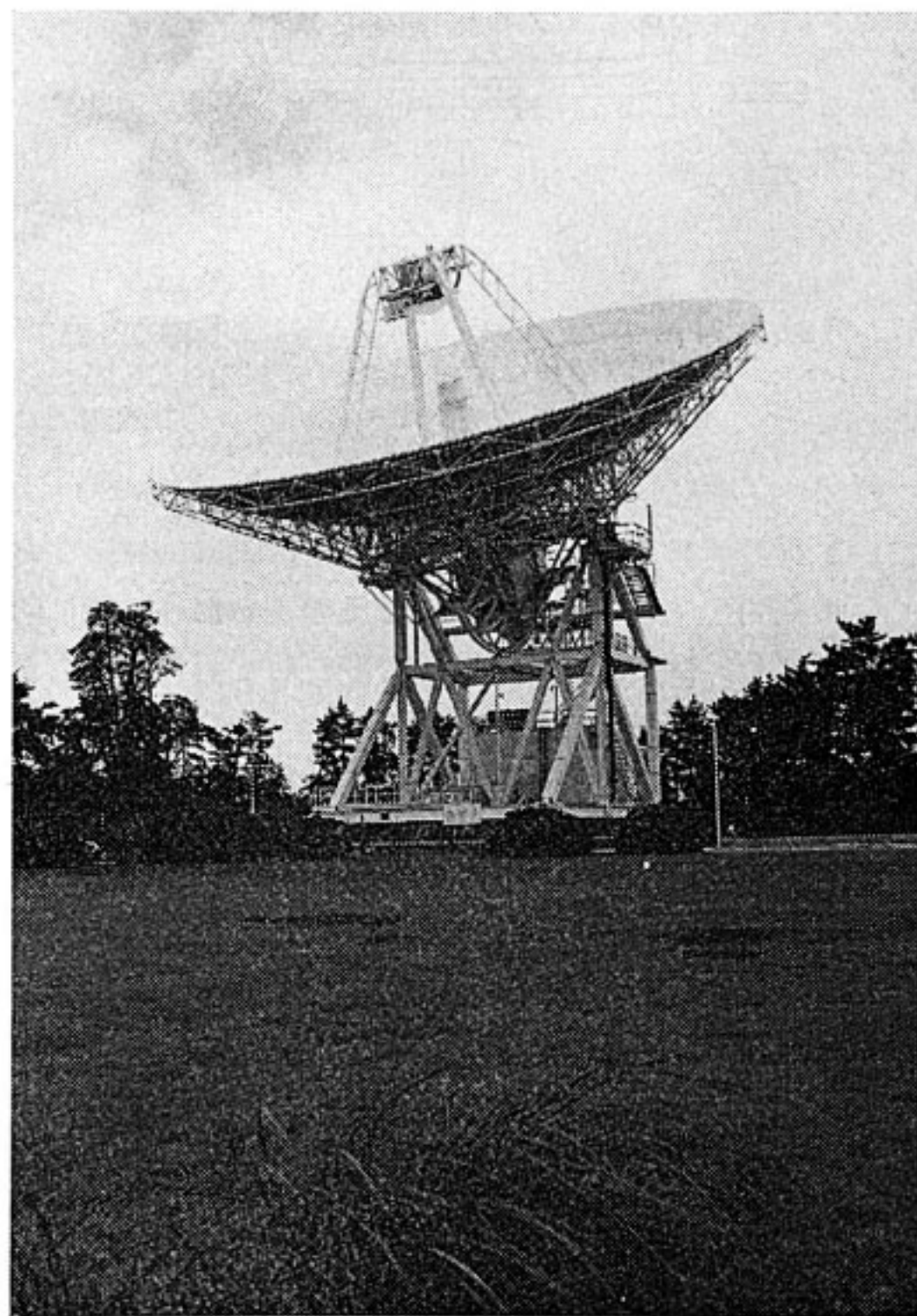
第3図 フィードコーン内部の受信機配置 (1.5GHz及び43/49GHz給電系は省略した)

ンテナ跡地であり、26 m アンテナから約 300 m の距離にある。またアンテナの外観を第 5 図に示す。また 34 m アンテナシステムの全体構成を第 6 図に示した。本アンテナシステムは、アンテナ本体と受信機室、アジマスレール上にあり制御関係を司るアジマス機器室、そして別庁舎にある VLBI 実験室に分かれて設置されている。34 m アンテナシステムの機械的及び電氣的性能諸示を第 2 表に示す。VHF 帯から 49 GHz ミリ波帯まで使用できるものとし、11 台の受信機を実装している。

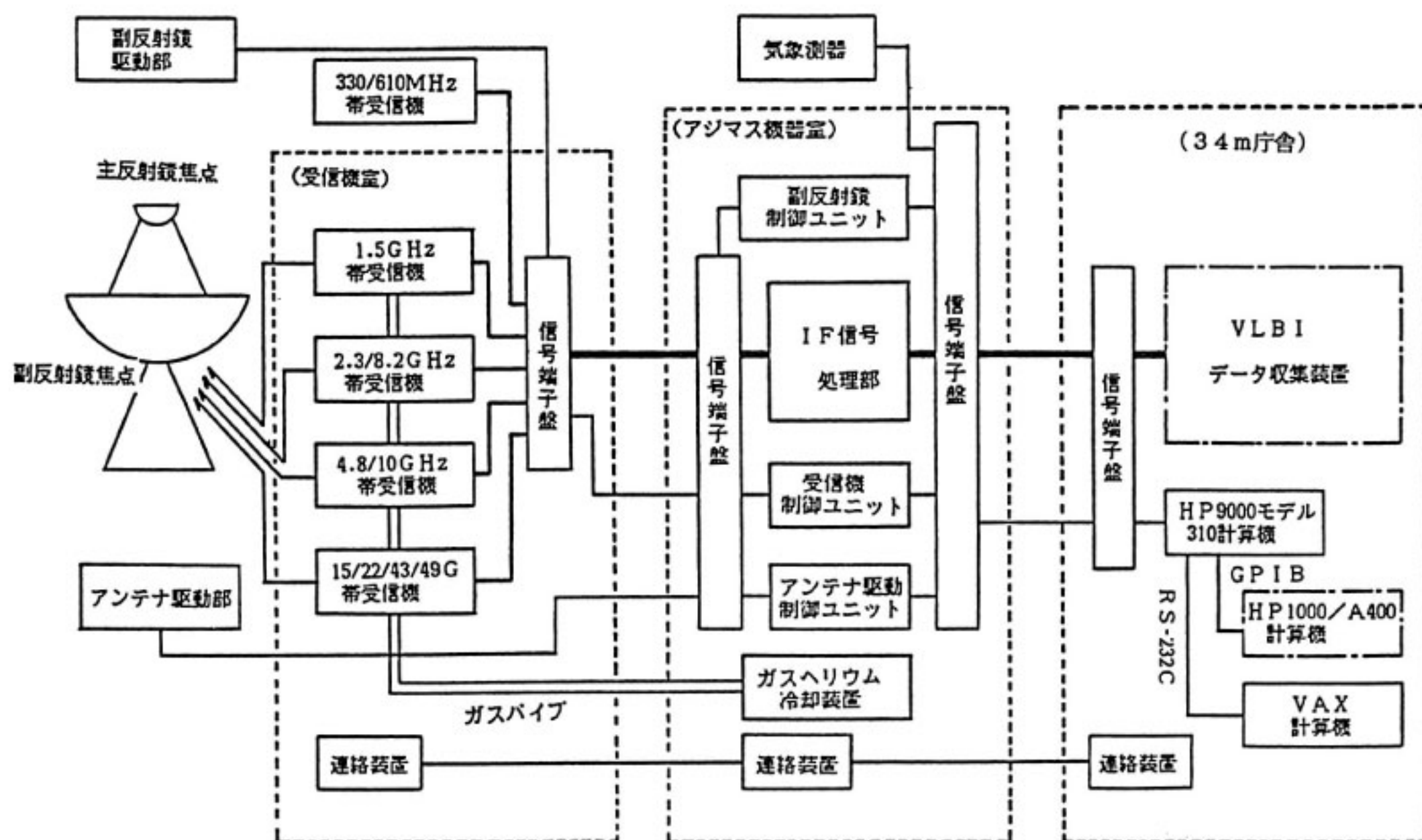


第 4 図 鹿島宇宙通信センターと 34 m アンテナ設置場所

アンテナの開口能率を決定する大きな要因である鏡面精度には、主局充実の目的とミリ波という高い周波数帯



第 5 図 34 m アンテナ外観



第 6 図 34 m アンテナシステム構成図

第2表 34 m アンテナの性能諸元 (仕様値)

(a) 機械的諸元

主反射鏡直径	34 m
副反射鏡直径	3.8 m
マウント形式	Az-EI
主反射鏡鏡面精度	0.5 mm rms (測定値 0.17 mm rms)
最大駆動角速度	
Az	1.0 deg/sec
EI	0.8 deg/sec
最大駆動角加速度	
Az	1.0 deg/sec ²
EI	0.8 deg/sec ²
駆動角度範囲 (Az)	±359 deg
(EI)	6.0~90.7 deg
副反射鏡駆動範囲	
X軸シフト	±60 mm
Y軸シフト	±60 mm
Z軸シフト	±60 mm
X軸まわり回転	±3.5 deg
Y軸まわり回転	±3.5 deg
運用可能最大風速	25 m/sec
耐風速	瞬間最大風速 60 m/sec
重量	約 370 トン

(b) 電気的諸元

BAND	Frequency	Tsys ^a	HPBW ^e
330 MHz ^a	312—342 MHz	150 K	1°.8
610 MHz ^a	580—640 MHz	150 K	1°.0
1.5 GHz ^b	1.35—1.75 GHz	55 K	24'
2.3 GHz ^b	2.15—2.35 GHz	60 K	16'
4.8 GHz ^b	4.60—5.10 GHz	60 K	7'.5
8.2 GHz ^b	7.86—8.68 GHz	60 K	4'.4
10 GHz ^b	10.2—10.7 GHz	90 K	3'.6
15 GHz ^b	14.4—15.4 GHz	105 K	2'.4
22 GHz ^b	21.8—24.0 GHz	160 K	1'.6
43 GHz ^b	42.3—43.5 GHz	500 K	51''
49 GHz ^b	48.8—49.2 GHz	500 K ^d	44''

a) フロントフィールド, 室温受信機

b) カセグレンフィールド, 15 K 冷却受信機

c) SSB システム雑音温度

d) DSB システム雑音温度

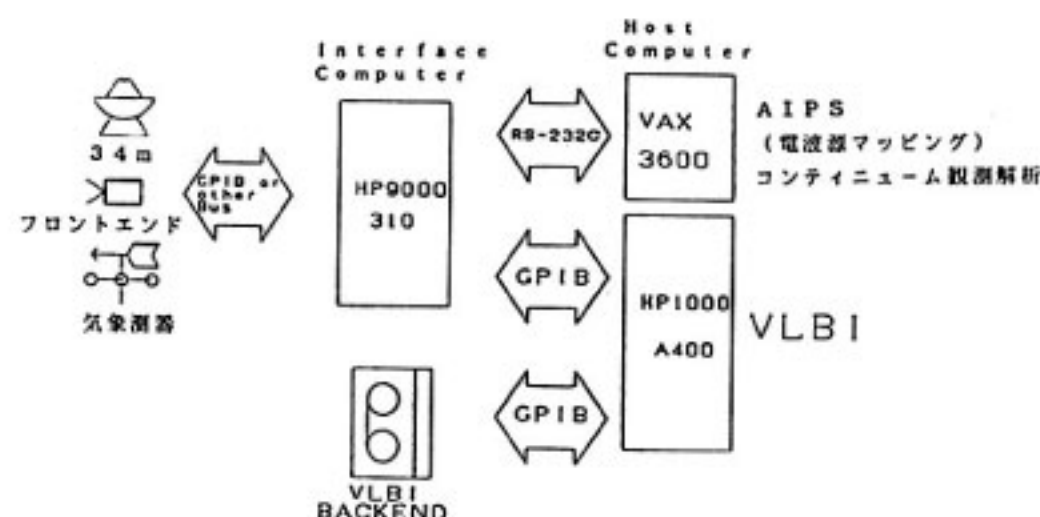
e) 電力半値幅 ~1.2 λ/D

までの受信要求から, 高い鏡面精度を追求し, 仕様値を 0.5 mm rms 以下とし, 実測の結果 0.17 mm rms を得た. これによれば Xバンドで 68 %, 49 GHz 帯でも 25 % の開口能率が保証される (第3表).

アンテナの大型化は弱い電波星を受信するには好都合

第3表 34 m アンテナの開口能率 (仕様値)

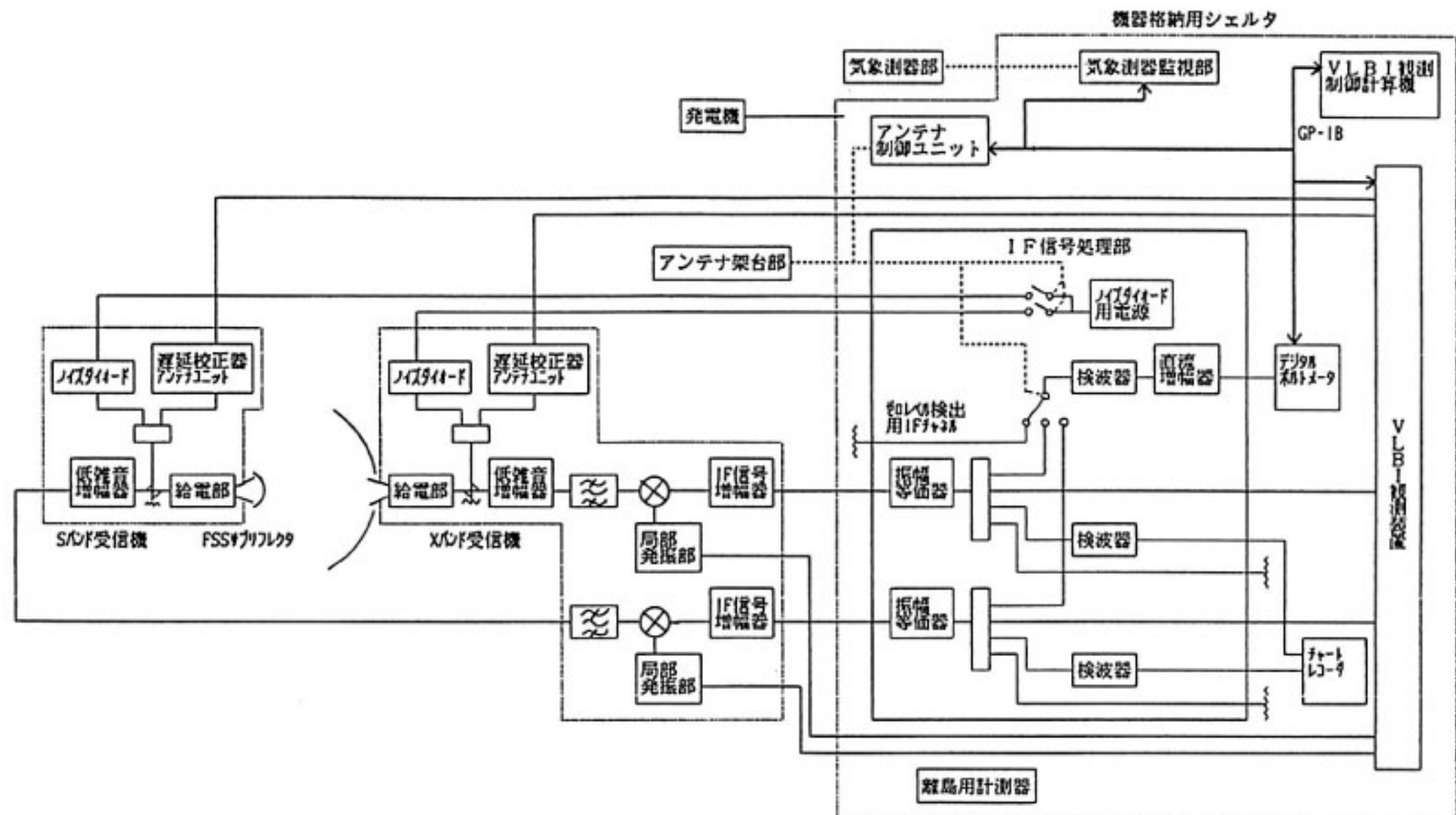
周波数	開口能率
330 MHz	49 %
610 MHz	40 %
1.5 GHz	68 %
2.3 GHz	65 %
4.8 GHz	70 %
8.2 GHz	68 %
10 GHz	65 %
15 GHz	60 %
22 GHz	57 %
43 GHz	30 %
49 GHz	25 %



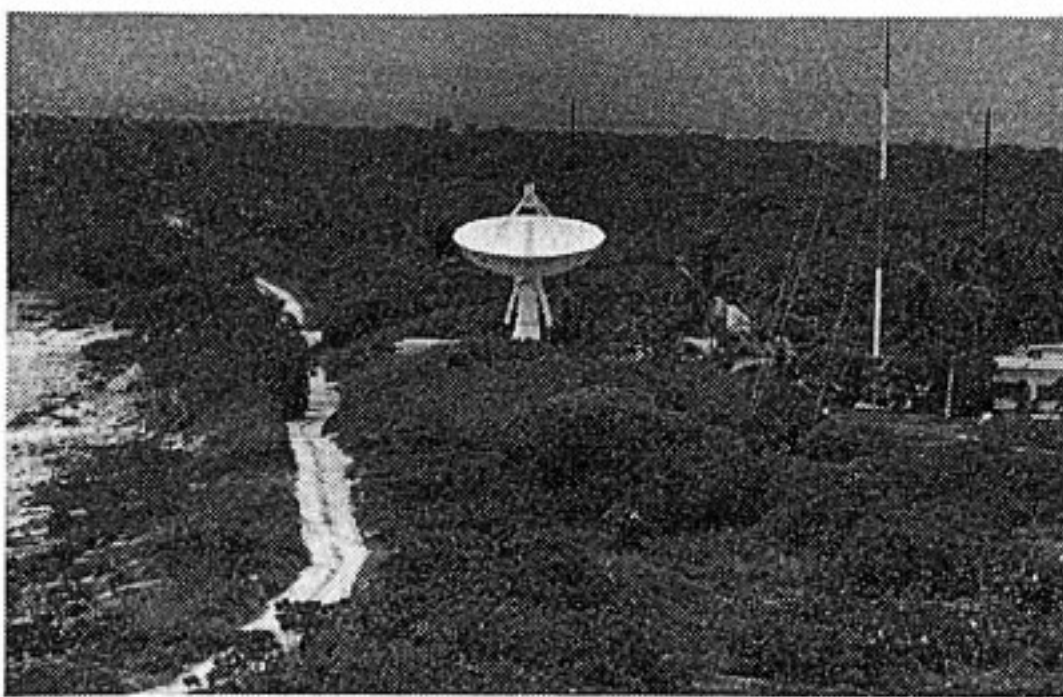
第7図 34 m アンテナシステム付帯計算機システム

であるが, あまり大型化すると測地用の VLBI アンテナとしては熱変形による基準点の移動を伴う可能性があり問題がある. 周囲環境温度の変化によるアンテナの変形を避けることは難しいが, その変化を平滑化して気温変動との関係が明らかになるようにする事は出来る. このためアンテナの脚部に中空の鉄骨をかぶせ, 日射と雲のサイクルによる基準点位置の細かい時間変動を避けている. またアンテナのアジマス駆動はこれまで鹿島 VLBI 局で使用してきた 26 m アンテナのように中心軸を回す方式 (キングポスト方式) と異なりレール駆動方式 (Wheel on Track) であるため, これによっても基準点位置が駆動にともない揺らぐ可能性がある. これらの問題を定量的に評価するために 34 m アンテナにレーザを反射するコーナ・リフレクタを取り付け, 周囲から基準点位置の変化を監視できるように測量用レーザ測距儀 (ジオジメータ) を付帯システムに加えた.

本土局は西太平洋電波干渉計の主局として用いられるだけでなく, 今後の対移動局実験, 国際実験のために受信機雑音温度は十分低下させる必要がある. このため 300 MHz, 600 MHz 帯を除く受信機はヘリウム冷却とした. なお, ガスヘリウムはアジマス機器室におかれるコンプレッサから供給している. また受信機の間周波数帯域は 100~600 MHz で統一し, 受信信号はイコライザ, IF 増幅器を経て実験庁舎へ送られる.



第8図 10 m アンテナシステム構成



第9図 10 m アンテナ外観 (南鳥島に設置後)

34 m アンテナに付随する計算機システムは、アンテナその他のリモート制御及びデータ収集に用いられる。システム構成を第7図に示す。HP9000/A310 をインタフェースコンピュータとして位置付け、アンテナ制御命令や気象データの収集要求を受け付けるようにした。これに接続される HP9000/A400 は VLBI 観測スケジュールをこなしていく VLBI 自動運用計算機である。またさらに A400 と並行して A310 に接続されている μ VAX 3600 は一般観測用制御計算機であるが、VLBI で取得したデータから、測地 VLBI 精度に影響を与える電波源の構造を解析する目的でも使用される。

5. 南鳥島局システム

南鳥島に設置した 10 m アンテナシステムの構成 (第8図) 及びアンテナ外観 (第9図) を示す。また 10 m

第4表 10 m アンテナの性能諸元 (仕様値)

(a) 機械的諸元

主反射鏡直径	10 m
副反射鏡直径	0.8 m
マウント形式	Az-EI
主反射鏡鏡面精度	0.86 mm rms
最大駆動角速度	
Az	11 deg/sec
EI	5 deg/sec
最大駆動角加速度	
Az	7.5 deg/sec ²
EI	2.5 deg/sec ²
駆動角度範囲 (Az)	±360 deg
(EI)	-2 ~ 182 deg
運用可能最大風速	25 m/sec
耐風速	瞬間最大風速 60 m/sec
重量	約 25 トン

(b) 電氣的諸元

受信バンド	周波数帯域	システム雑音温度
2.3 GHz	2.20-2.32 GHz	100 K
8.4 GHz	8.28-8.60 GHz	170 K

システムの諸元を第4表に示す。離島での使用を考慮して観測システムの格納用のシェルタを用意し、電源には発動発電機を用い、通信の手段としてインマルサット用

衛星通信装置を用意する等、本土の観測局とは異なった環境に対応するための準備がなされている。特にアンテナは暴風雨にさらされた時の耐久性が要求されるため最大 60 m/sec の風にも耐えられる設計となっている。シェルタに格納する機器はアンテナ駆動等のための制御ユニット、VLBI 観測装置、気象測器監視部、VLBI 観測時の自動運用計算機、インマルサット通信装置等である。

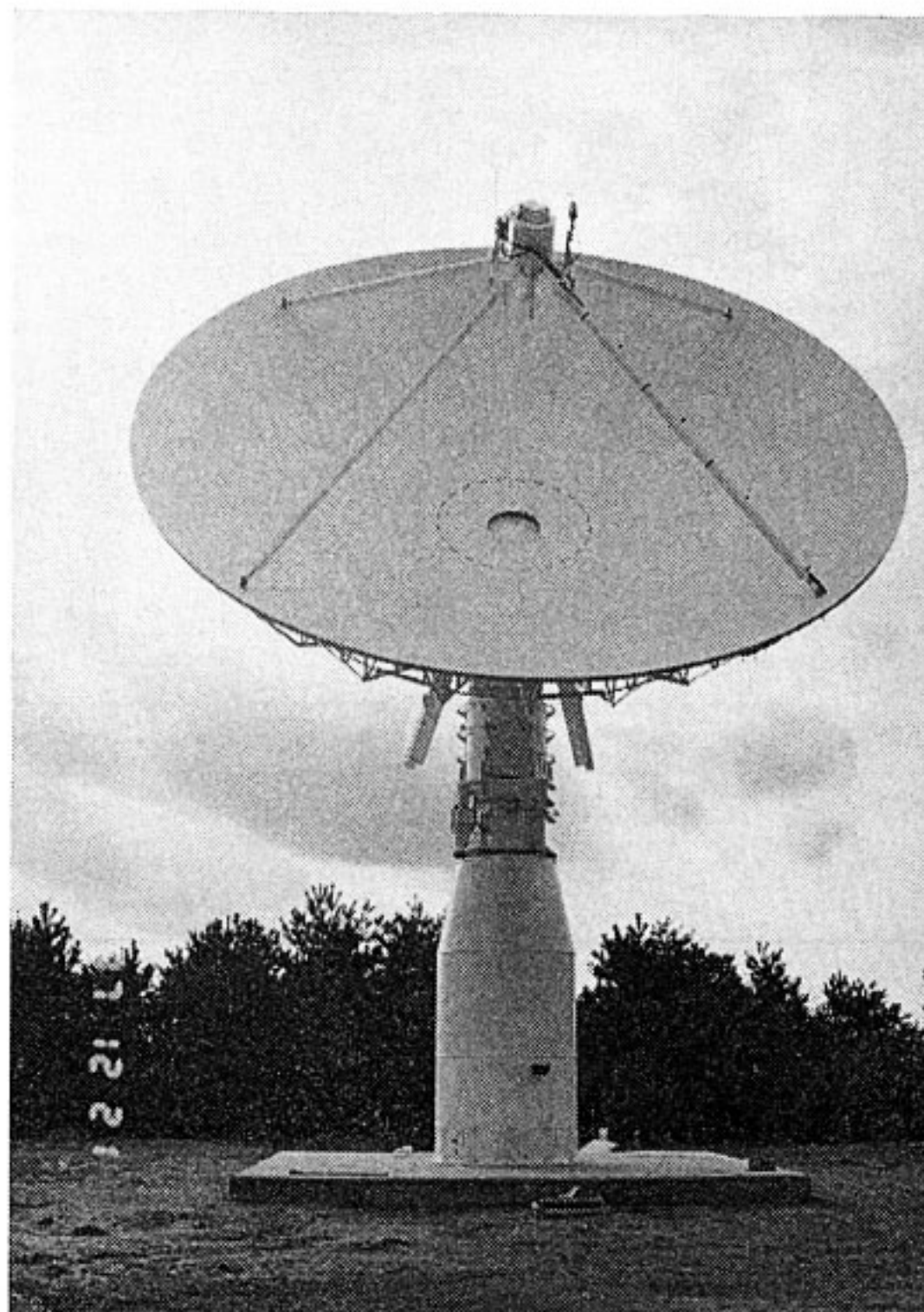
受信周波数として S、X 帯の 2 周波を同時給電するため FSS（周波数選択板）を副反射鏡部に採用した点が本アンテナの最大の特徴である。これを用いて S バンドはフロントフィード給電、X バンドはカセグレン給電の方式とした。また 10 m 鏡の鏡面精度は 0.86 mm rms（仕様値）である。また本アンテナの駆動速度は Az: 11 deg/sec, El: 5 deg/sec と大変高速であり、追尾する星の切り替えはきわめて迅速に行われる。

アンテナのプログラム追尾命令はインタフェース計算機 HP9000/A310 からアンテナ制御ユニットに送られるため、VLBI 観測時には別途用意した自動運用計算機から A310 に対して命令を送る。A310 にはアンテナ単体での各種観測モード（十字スキャン、角度オフセット観測等）も備えられている。

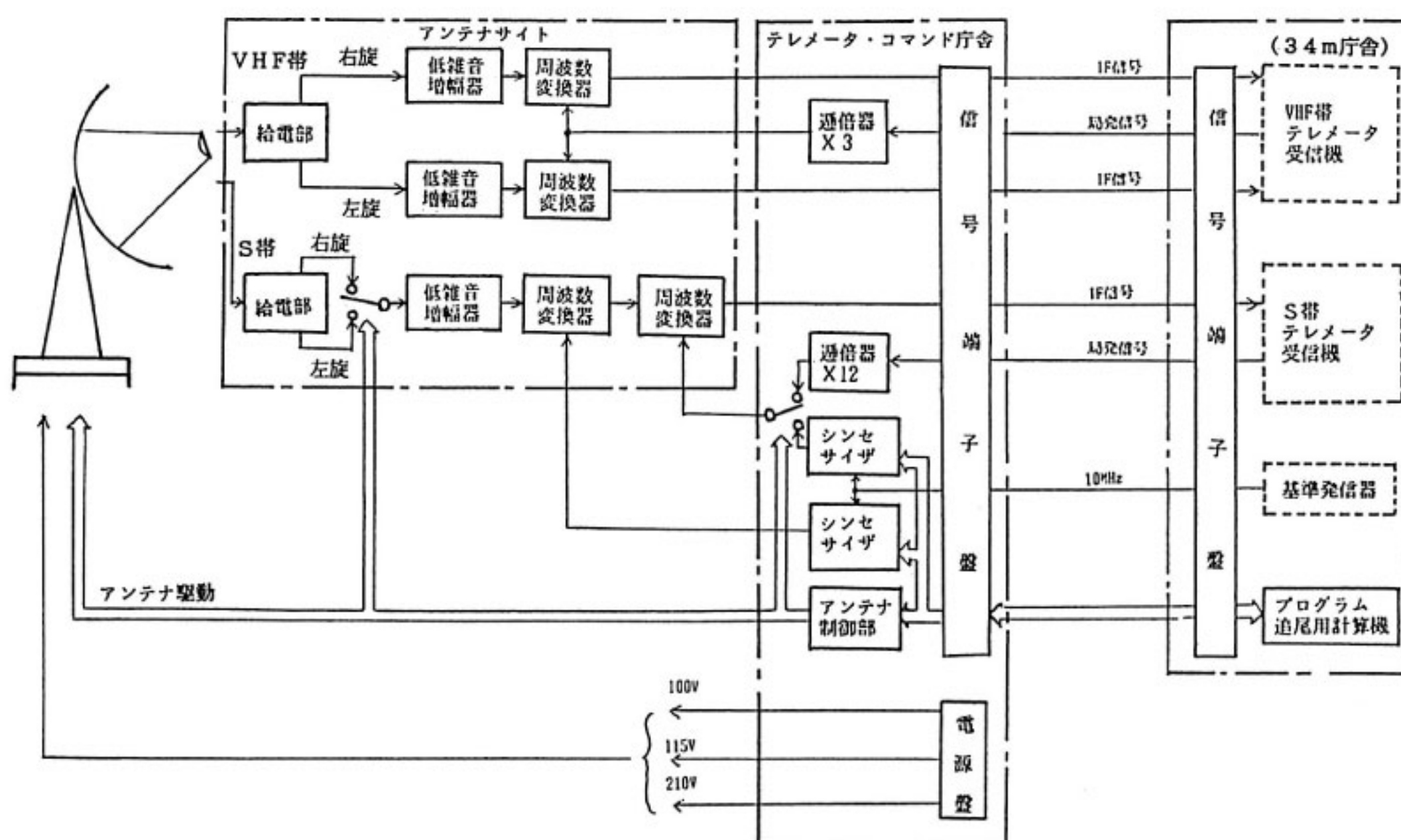
6. 南大東島局システム

南大東島局用 11 m アンテナの設計は南鳥島局用アンテナと基本的には同様であるが相違点もある。当面、管

制用中型アンテナとして DE-1 等の衛星電波受信に用いるため所要の G/T 比確保の目的から南鳥島局用アンテナ



第11図 11 m アンテナ外観



第10図 11 m アンテナシステム構成

第5表 11 m アンテナの性能諸元 (仕様値)

(a) 機械的諸元

主反射鏡直径	11 m
マウント形式	Az-EI
主反射鏡鏡面精度	1 mm rms
最大駆動角速度 Az EI	11 deg/sec 5 deg/sec
最大駆動角加速度 Az EI	7.5 deg/sec ² 2.5 deg/sec ²
駆動角度範囲 (Az) (EI)	±360 deg -2 ~ 182 deg
運用可能最大風速	25 m/sec
耐風速	瞬間最大風速 60 m/sec
重量	約 20 トン

(b) 電気的諸元

受信バンド	周波数帯域	G/T (EI : 5 deg)
136 MHz	136.0-136.605 MHz	-16 dB/K
2.3 GHz	2.20-2.32 GHz	24 dB/K



第12図 3 m アンテナ外観

第6表 3 m アンテナの性能諸元

(a) 機械的諸元

主反射鏡直径	3 m
マウント形式	Az-EI
最大駆動角速度 Az EI	10 deg/sec 10 deg/sec
最大駆動角加速度 Az EI	4.5 deg/sec ² 3.6 deg/sec ²
駆動角度範囲 (Az) (EI)	±270 deg -2 ~ 182 deg
重量	1400 kg

(b) 電気的諸元

受信バンド	周波数帯域	システム雑音温度	開口能率
8.4 GHz	7.86-8.60 GHz	120 K	37 %

ナより直径が1 m 大きなものとなっている。また、11 m アンテナの機械的駆動方式の最大の特徴は、Az-EI マウント方式の欠点である天頂方向での追尾速度を上げるため天頂付近で Az 軸を傾けるチルト機構を採用した点である。これによって天頂方向を通過する衛星からの信号を間断なく受信することが出来る。現状では136 MHz 帯及びSバンドの衛星信号を受信するため、受信システムは第10図のように構成されている。管制システムとして用いられた状態の11 m システムの外観(第11図)及び諸元(第5表)を示す。

南大東島において西太平洋電波干渉計におけるフィリピン海プレート代表点の測定を開始するため、当面、通信総合研究所が既に開発した直径3 m のアンテナを有する超小型 VLBI 局を南大東島に移設して基礎実験を行う。3 m アンテナの外観(第12図)及び諸元(第6表)を示す。3 m の超小型局は鹿島局構内での試験観測、鹿島一國分寺間の実験に始まり、稚内、沖縄等での移動局実験の実績を持つ。ただし、Xバンド専用のアンテナであるためS、X2周波による電離層遅延の補正は、電離層データやモデルその他の推定手段によっている。

7. おわりに

本特集号 II 章以降の詳細な各システムの解説に先立ち、西太平洋電波干渉計システム全体についての概説を試みた。特長点を解説するため、システムのある部分に偏った記述となったかもしれないが、新しい試みと全体的なイメージを中心に解説した。日本の領土を有効に活用し大きく広がった国内 VLBI 基線、広い受信周波数

最後に、これだけの大型システムを短期間に作り上げるため、当所総務部、企画調査部、関東支所をはじめ所内の多くの方のご協力を得た。また南鳥島に中型アンテナを設置し、実験を開始するに当り、防衛庁、気象庁をはじめ関係各位の多大な協力を得た。ここに深く感謝の意を表します。

参考文献

- 帯，大きな開口径のアンテナを活用して実験を進めているが，現在予定中の実験⁽⁸⁾だけでなく，建設時には考えもつかなかったようなアイデアで今後多くの方が本システムを活用されることを期待している．そのために本稿，本特集号が役立てば幸いである．
- 最後に，これだけの大型システムを短期間に作り上げるため，当所総務部，企画調査部，関東支所をはじめ所内の多くの方のご協力を得た．また南鳥島に中型アンテナを設置し，実験を開始するに当り，防衛庁，気象庁をはじめ関係各位の多大な協力を得た．ここに深く感謝の意を表します．
- ### 参 考 文 献
- (1) K. I. Kellermann, "National Radio Astronomy Observatory VLBA Project Book", 1986.
 - (2) R. T. Schilizzi, "European VLBI Consortium booklet (second draft)", 1985.
 - (3) 電波研究実験用品 仕様書，西太平洋電波干渉計用アンテナシステム，昭和62年7月
 - (4) N. Kawaguchi, F. Takahashi, H. Takaba, T. Yoshino, C. Miki, J. Amagai, H. Kiuchi and H. Kuroiwa, "A New 34 m Radio Telescope at Kashima and a geodetic VLBI Network in Japan", Proc. ISAP, 1989.
 - (5) 吉野，川口，高橋，黒岩，"西太平洋大型電波干渉計建設計画概要"，測地学会秋期年会，1987.
 - (6) 日置，高橋，栗原，浜，"西太平洋大型電波干渉計用アンテナ・システム その1—本土局用大型アンテナ—"，測地学会秋期年会，1987.
 - (7) 木内，雨谷，山本，佐藤，"西太平洋電波干渉計用アンテナシステム その2—離島用中型アンテナ—"，測地学会秋期年会，1987.
 - (8) 高羽，小山，杉本，"西太平洋 VLBI 実験システム—34 m アンテナの概要—"，第77回研究発表会予稿，1989.

