

芦原宇宙通信教育研究施設の概要

芳 野 越 夫*

New Space Research and Education Apparatus for the Space Science and Communication Engineering Department

Takeo Yoshino

Abstract. A new subject named The Department of Space Communication Engineering had established by Fukui Institute of Technology at April 2001. For this new department, the Space Signal Receiving and Satellite Tracking System with 10 meters parabola antenna installed the latest high technologies had been built up at the Awara campus in the May 2001. The purpose of this facility is made plan of the high grade actual training of space communication techniques for the undergraduate students and for the research and observations against the graduate students and the space scientists in the world. At the original design of this facility, they requested two distinguished receiving characteristics on the performances. First, the receiving frequency range is requested the very wide from L band (1.5 GHz) to Ka band (45GHz). The L and S band is used to the basic training of under graduate students and the X band (cm wave length) and Ka band (mm wave length) is used for Space Science Research and Radio Astronomy. A special plastic made sub-dish is designed for this purpose. This sub-dish is worked as perpendicular for straight feed system to L and S bands wave, and centimeter and millimeter band below 45GHz is worked as complete reflector for Cassegrane system by means of special two layer coating in the plastic material. And this slide of frequency band change has done automatically with out any switching control. Second, other special receiving characteristics that installed in this facility is an extreme high speed and an extreme wide channels communications for PM-UQPSK detection systems install in all band receivers. And all control of this system is available by only one workstation.

Other two special mentions of this system are as follows:

1. Sony Type DIR-2000 Magnetic Cassette Tape Recorder. This facility has the receiving data installation characteristics with the world highest recording speed in the world.
2. Anritsu Type Hydrogen Maser Atomic Time Standard Generator. The Time Stability is always kept 10^{-16} sec. This is the best stability in the world and this performance is prepared to participate in the international millimeter VLBI (Very Long Baseline Inter-ferometer) observation project of more precise international radio astronomical research cooperation in near future.

* 宇宙通信工学科

1. はじめに

21世紀はIT革命時代と言われており、また、一方では国際宇宙ステーションの建設が国際的に進められるなど、新しい宇宙開発の時代と言われている。福井工業大学では、この新世紀の幕開けの年に合わせて、先端的な超高速・超広帯域情報伝送に対する確かな技術と、これを可能にする宇宙通信技術を学ぶ宇宙通信工学科を全国に先駆けて2001年4月に開設した。

本設備は、学生実習教育用に低い周波数帯の1.5GHzから45GHzまでの高い周波数帯までの、極めて広い周波数帯を一つのパラボラ反射鏡でカバーできる、10.26メートルのアンテナを有する、最新のハイテク宇宙通信受信設備である。このような特性を有する施設は我が国では初めて設置され、他大学には現存していない。

宇宙通信工学科において、本設備を教育用として駆使する事は全国で唯一、且つ最初の試みであり、「宇宙通信工学実習」において、人工衛星軌道決定、同追尾実習、将来のIT情報の伝送方式として、量子化されたデジタル符号化高速超多重通信の取り扱い実習など、十分な教育効果を上げる事が期待される。

また、本設備は、将来の電波天文学に関する研究用としての活用を見越して、電波望遠鏡として画期的な新技術を取り入れて設計を行った最新鋭の設備であり、この位置が、北陸方面に始めて設置された関係上、その高性能とあいまって観測・研究の可能性の拡大について内外の研究者から高い注目を浴びている。したがって今後は、大学院における研究者の養成に威力を発揮する事が期待される。また本設備は本学の研究者のみならず、広く国内外の研究者にも開放して、電波天文学の発展に寄与できる事を確信している。

今回購入した地上局設備に付随する周辺機器として、近い将来の研究活動の発展を見越して、世界で最高性能を持つ高速データレコーダーと10のマイナス16乗の1秒の精度を持つ水素メーザー原子時計を設置している。

芦原キャンパスに設置した10.26メートルパラボラアンテナの全景を図1に示す。

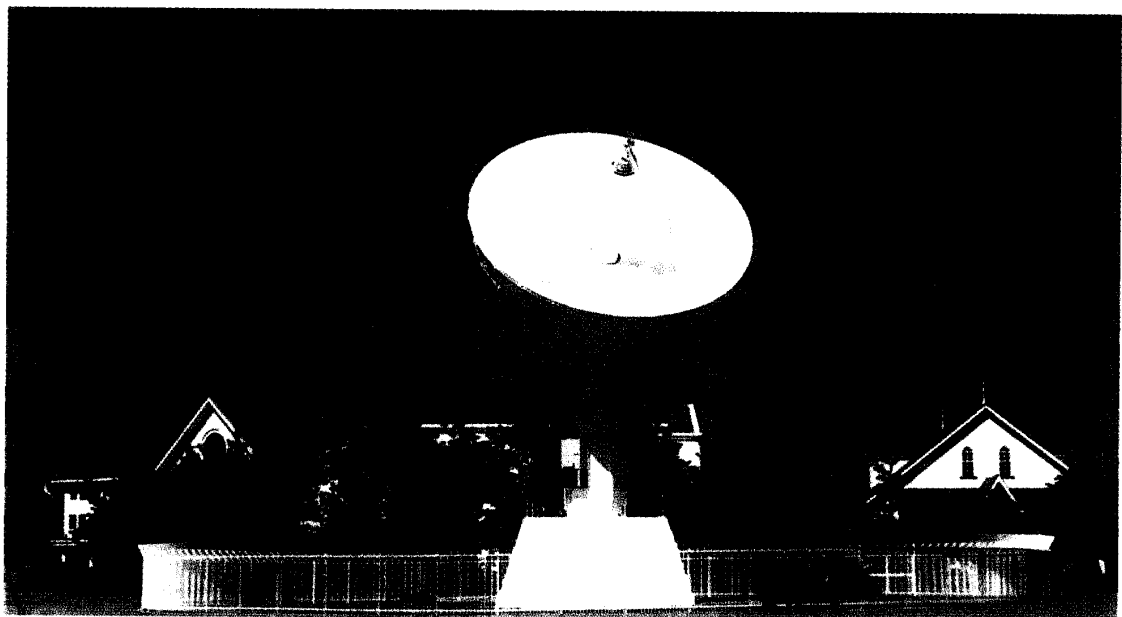


図1. 芦原キャンパスに設置した10.26m アンテナ

2. 基礎設計と仕様の決定

本機を計画する段階において、第一目的を学生実習教育用と置き、学生実習に使用しない時間には、各種用途の衛星の受信を可能として、学術研究が出来る事を考慮した。更に最近の実用衛星の将来計画を考慮して、アンテナの開口面積を直径 10.26 メートルのパラボラ反射鏡を持つ事が最適と考え、その稼動範囲をエレベーション角 0-90 度、アジマス角 ± 360 度として、稼動範囲の関係と、反射鏡の焦点をアジマス軸上に常に固定される様、ペダスタル形式をエレベーション、オーバー・アジマス方式とする事にした。

アンテナの開口面積を 10.26 メートルとし、受信周波数をミリ波帯に広げる事により、電波天文学用観測が可能となるので、本機の用途を電波望遠鏡として用いる事が出来る。しかし、アンテナの立地条件から芦原キャンパスは周囲を湖水に囲まれており、日本海岸からの距離も 3 km なので、アンテナを取り巻く大気の水蒸気含有密度が比較的高いので、観測結果より最高使用可能周波数を 45GHz (波長約 6.5mm) と決定した。この周波数範囲には 22~23GHz と 43~45GHz の 2 つの電波天文用保護周波数帯が含まれる。特に 43GHz 帯はわれわれが超長距離干渉計ネットワークに参加を予定している VERA 計画が含まれる関係で、本機の受信可能を L バンド (1.5GHz) 帯から Ka バンド (46GHz) 帯とする事とした。

通常、このように広い周波数帯域を一つの反射鏡を用いてカバーするアンテナは、周波数帯毎に RF feed 部を交換するなどの複雑な構造を採らねばならず、国内では未だ試みられていない。しかし、今回は、学生実習に追尾・受信技術を習得させるためには、最初からセンチ波帯を用いる事は初心者理解を得難いと考えられるため、主として L、S、バンドを使用せねばならない。そこでサブディッシュに直径 1.1 メートルのプラスチックディッシュを用い、これに特殊なコーティングを施して L、S バンドでは透過損失を極めて少なくし、センチ波、ミリ波帯では反射係数を殆ど 1 とする方法を用いる事を考えた。これは米軍の誘導迎撃ミサイルに用いられ始めた最新の手法であり、我が国では初めて試みられる方式である。今回用いたこのサブディッシュの断面と、両面に施したメッシュを図 2 に示す。したがって、L、S バンドはサブディッシュを透過した信号波を、ディッシュ裏面に 5 個のワイドバンド・クロスダイポールをセットし、これによってモノパルス自動追尾方式を行う構造とした。そして 4 GHz 以上のセンチ波、ミリ波帯に対してはサブディッシュでほぼ完全反射した信号波は主反射鏡中央部に屹立したセンターポールのコルゲートホーンによって受信ヘッドに導かれる、カセグレン方式を採用して、VLBI (超長距離干渉計) 観測に備えている。図 3 に完成したアンテナの構造および寸法を示す。

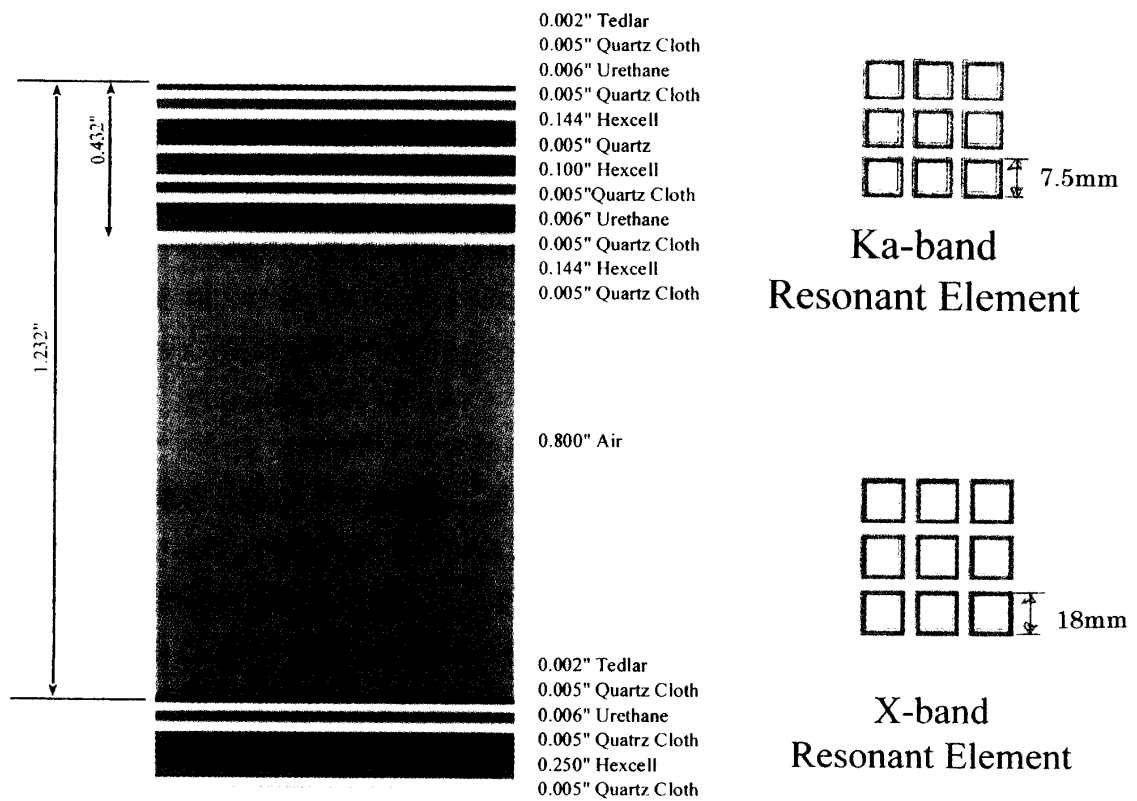


図2. プラスティック製サブディッシュのコーティング構造

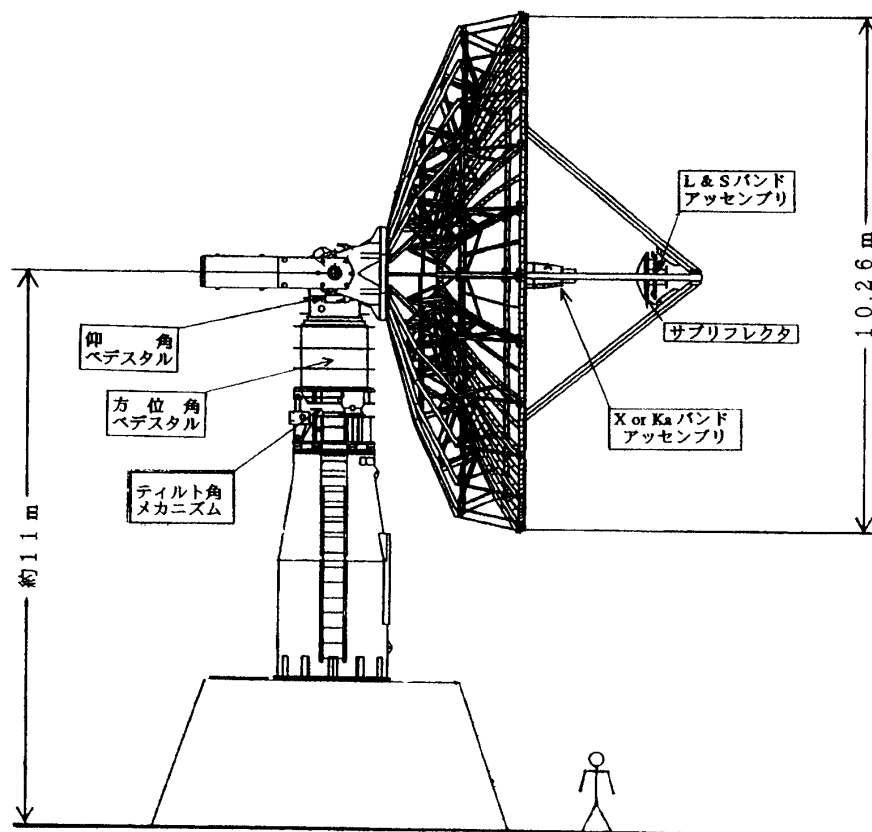


図3. アンテナの主要構造・寸法

次に操作室内の追尾受信機器についての仕様決定について説明する。操作室は芦原学者2号館の2階に設置し、操作卓からアンテナの様子を直接監視できる様に配置した。操作は、受信周波数の選定、衛星軌道の設定、軌道計算、アンテナの追尾、受信信号の復調、その他殆どの操作を操作卓上のワークステーションで出来るようにソフトウェアを組み立てた。通常の衛星の軌道予報は、インターネット回線を通じて米国国防省防空本部(NORAD)から随時得られるようにした。また、学生実習では、このコンピュータを離して、オフラインでアンテナの方位角度、受信の操作、復調器の設定などが手動で行えるようにする。

受信機は、L、Sバンドではそれぞれ専用の独立した最先端のハイテク超高性能受信機を設備した。Xバンド用は専用の超広帯域通信用受信機とし、720MHzのIF部から6個のポートを用意して信号が取り出す事が可能で、今後のユーザーの目的に合わせた信号を取り出す事が出来る。このうち2チャンネルはLandsat衛星、ERS衛星専用のUQPSK信号のビットシンクロナイザー、フレームシンクロナイザーを内蔵し、ワード信号出力が取り出せる構造を持っている。ミリ波帯では、観測目的により自由に検出回路を接続できる構造とした。

アンテナ操作板、L、Sバンド受信機、Xバンド受信部、復調部はそれぞれの3台の局部発信機用シンセサイザー、BART(PSK信号アナライザー)、アジレント社製スペクトルアナライザー、アジレント社製アンテナパワーメーター(G/T測定用)、GPS受信機が一台、2面続きの標準ラックに収納した。この2面のラックの中に一応人工衛星追尾と電波天文用の基礎的機器の全てが搭載され、これは従来の機器に比較して極めてコンパクトに纏める事が出来て、学生の実習にも研究用にも非常に操作性が良い配置となっている。この機器全体の構成を示すブロックダイアグラムを図4に示すので、ゆっくりと丁寧に研究をして頂きたい。

受信信号復調装置

IT時代に対応した超広帯域超高速デジタル通信用復調器を、各受信機に内蔵した。

L、Sバンド——FM, PM/BPSK/QPSK モード

Xバンド——QPSK, SQPSK, AQPSK, およびUQPSK-Iモード、UQPSK-Qモード

最大通信処理容量 150Mbps

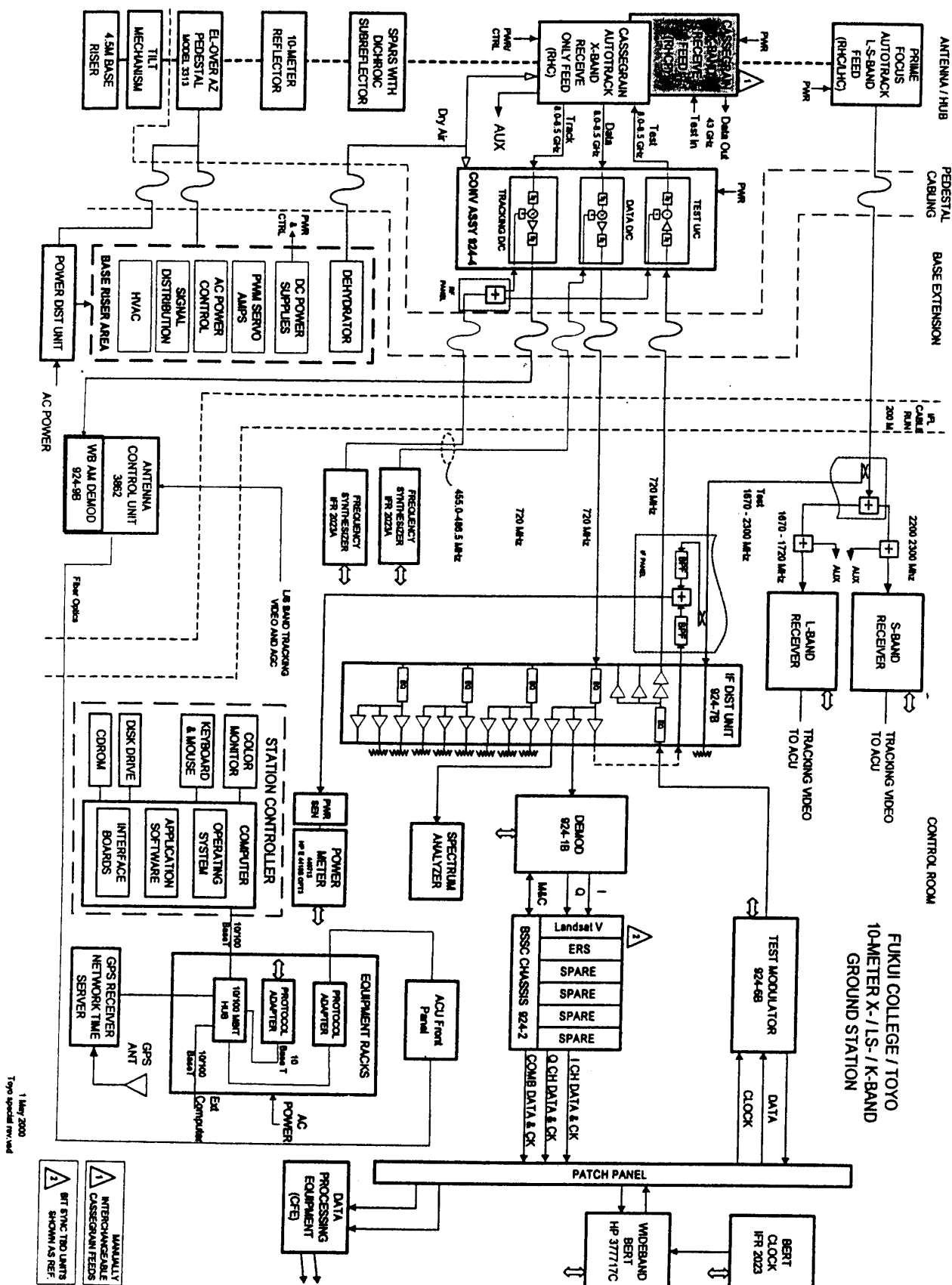
の性能を持たせることにした。

3. 製造および設置作業

以上の基礎設計に基づき、その製造は、価格の面、当方の意向どうりの設計・製造技術、設置後のメンテナンスの充実度などを考慮し、また、過去の経験に基づき米国のVIASAT社に依頼した。ディーラーは東陽テクニカ社で、購入、設置に関する一切はここを通して行うこととした。

VIASAT社側の技術者と直接の綿密な約半年間の技術上の詰めを行い、先方の提出した

图4. 构成回路设置信号元件



設計書が充分当方の仕様を満足できるものと認められたので、学園側との購入契約を取り交わし、1999年晩秋より部分製造を開始した。2000年11月ジョージア州アトランタ市郊外の VIASAT 社工場に製造工程中間視察に行き、2001年2月最終工程動作チェックおよびかねてより検討を重ねた712項目にわたる検査項目の総合チェックを無事終了した。直ちに分解しサンフランシスコに陸送、船便で東京港を経て、2001年2月22日より芦原キャンパスにて、東陽テクニカ社の2名の技術者と途中からVIASAT社の技術者1名が加わり、アンテナの組み立ては主として日本通運の技術者により、4月中旬までに組み立て、調整をほぼ終了した。その後完熟運転し5月15日完成式を迎えた。

4. 装 置 の 諸 元

① 受信周波数帯域

学生実習用 Lバンド (1.5GHz), Sバンド (2.2GHz), センチ波 (Xバンド 8GHz)
研究用 ミリ波帯 (Kaバンド、45GHz)

② アンテナ装置

主反射鏡直径 10.26メートル パラボラ
同 表面精度 0.3ミリメートル以下
副反射鏡直径 1.10メートル FSS (透過反射周波数選択) 方式プラスチック製
利 得 Lバンド: 41.55dB, Xバンド: 56.61dB, Kaバンド: 66.36dB
全高 (含基台) アンテナ天頂: 18.93メートル、アンテナ水平: 16.86メートル
基 台 高 地上3メートル
稼動 範囲 EL/AZマウント、仰角: 0-180°、方位角: ±365°
自動ティルト装置装備 天頂軌道時のティルト角 5°
追尾 方式 プログラム追尾方式、自動追尾方式、手動追尾方式

③ 受信信号復調装置

L, Sバンド——FM、PM/BPSK/QPSK
Xバンド—QPSK、SQPSK、AQPSK、およびUQPSK-Iモード、UQPSK-Qモード
最大通信処理容量 150Mbps

5. 特筆すべき周辺装置

① データ記録装置

Sony DIR2000 型磁気カセットレコーダ

世界最大記録容量 300Gbyte を有する磁気カセットテープレコーダーの8号機で、現在わが国では宇宙研、天文台以外には所有する大学は無い。本装置を採用した事により、わが国を始め世界中の天文台の間で、超長基線干渉計の国際共同観測網を構築することが可能となり、また、IT 通信用の超高速・超広帯域のデジタル信号を世界一の信頼度と余裕を持って収録できる。

② 水素メーザ原子時計

アンリツ電気 RH-401A型水素メーザ原子時計

水素メーザ原子時計は、現在世界の時刻標準に用いられているセシウム原子時計の精度 (10^{-12} 秒) に対し、室温 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ の恒温室内に設置した場合の精度は、10のマイナス16乗秒まで改善され、更にセシウムの1万倍の極めて高い精度を有するので、ミリ波帯および準ミリ波帯における超長基線干渉計観測には必需品である。これは現在わが国では天文台、宇宙研、国土地理院、通信総合研究所を除き、全国の大学の中で初めて導入した。これにより、本装置による観測・研究データの時刻精度を世界一の水準にキープできる。

本装置は21世紀に新たに立ち上げた世界の第一号機としての栄誉を担った。

(平成13年12月5日受理)