

ETS-VI実験用地上局開発の概要

木村 繁^{*1} 若菜 弘充^{*2}

(1994年1月24日受理)

DEVELOPMENT OF GROUND EARTH STATION
FOR ETS-VI EXPERIMENTS

By

Shigeru KIMURA and Hiromitsu WAKANA,

The Engineering Test Satellite VI (ETS-VI) will be launched by the H-II rocket in August, 1994, and set on a geostationary orbit at longitude of 153.8 degrees east. Using ETS-VI, CRL is planning to carry out S-band (2.2/2.1 GHz) intersatellite communication experiments, O-band (43/38 GHz) communication experiments and Laser communications experiments. For the S-band and O-band experiments, earth stations have been constructed in Kashima, which consist of a Ka-band (30/20 GHz) feeder-link earth station, and S-band and O-band satellite-simulated earth stations.

The Ka-band feeder-link earth station has a 5 meter diameter antenna with an EIRP of 87 dBm and a G/T of 34 dBK. The Ka-band feeder link is connected to both the S-band Intersatellite Communications equipment (SIC) and the O-band Communications Equipment (OCE) in ETS-VI. Using intersatellite links, ETS-VI relays data between a low earth orbiting satellite and the feeder-link earth station. This capability extends available communication duration much more than those in direct link between a low earth orbiting satellite and the feeder-link earth station. The S-band and O-band satellite-simulated earth stations will play an important role in intersatellite communication experiments, while the low earth orbiting satellites are not available. The S-band earth station has 2 meter diameter antenna with an EIRP of 46 dBm and the O-band earth station has 1.2 meter diameter antenna with an EIRP of 87 dBm.

This paper presents a brief introduction to the feeder-link earth station, and the S-band and the O-band satellite-simulated earth stations that will be used for the ETS-VI intersatellite communications experiments. A detailed description of these earth stations will be presented in other papers.

[キーワード] フィダリンク局, 地球局, 鹿島局, 技術試験衛星VI型.

Feeder-link station, Ground station, Kashima station, ETS-VI.

1. はじめに

技術試験衛星VI型(以下「ETS-VI」という)は、H-IIロケットの開発終了とともに、平成6年度夏期に宇宙開発事業団(以下「NASDA」という)種子島宇宙

センターより打上げられる予定である。ETS-VIは、将来の実用データ中継衛星システム開発に必要な技術の修得及び高度衛星通信技術の修得を目的として開発を行ってきた。郵政省通信総合研究所(以下「CRL」という)では、NASDAとデータ中継衛星に関する共同研究を実施し、また、昭和62年度よりSバンド衛星間通信機器(SIC)の開発を行ってきた。衛星通信用搭載機器は、

*1 宇宙通信部 衛星間通信研究室

*2 関東支所 宇宙通信技術研究室

NASDA と CRL が開発を行い、また、移動体/固定通信用機器を日本電信電話株式会社 (NTT) が開発を行ってきた。

ETS-VI での CRL のミッションとしては、S バンド衛星間通信実験 (2.3 GHz/2.2 GHz)、O バンド衛星通信実験 (43 GHz/38 GHz) 及び光衛星通信実験 (0.83 μm /0.51 μm) がある。S バンド衛星間通信実験は、NASDA との共同ミッションであり、O バンド及び光衛星通信実験は CRL の単独ミッションとして実験を行なう。

衛星間通信として、わが国初の実験でありその成果は、世界的にも注目されている所である。

これらの通信実験を実施するため鹿島宇宙通信センターに地上局を平成 3 年から平成 5 年度にかけて整備した。

本報告では、S バンド衛星間通信実験及び O バンド衛星通信実験用に鹿島宇宙通信センターに整備した地上局について概要を述べる。なお、光衛星通信実験用地上局は、CRL 本所 (小金井市) に整備されており、別途述べることにして本論文ではふれない。

また、各システムの詳細については、本特集号に掲載されている。

2. 地上局の概要

衛星間通信実験では、周回衛星からの信号が ETS-VI

に搭載されている中継器で Ka バンド (20 GHz 帯) に周波数変換され、鹿島宇宙通信センターに設置されているフィーダリンク地球局で受信される。逆に、フィーダリンク地球局から送信される Ka バンド (30 GHz) の信号は、ETS-VI で S バンドあるいは O バンドに周波数変換され、周回衛星 (ユーザ衛星) あるいはパーソナル地球局 (O バンドの場合) に送信される。

本論文で述べる地上局は、フィーダリンク地球局、S バンド擬似衛星局、O バンド擬似衛星局の 3 局から構成されている。また、フィーダリンク地球局内の管制端末装置は、専用回線により NASDA 中央管制局に接続されており、ETS-VI へのコマンド送信、ETS-VI からのテレメトリデータの受信が NASDA 中央管制局経由で間接的に行える構成になっている。

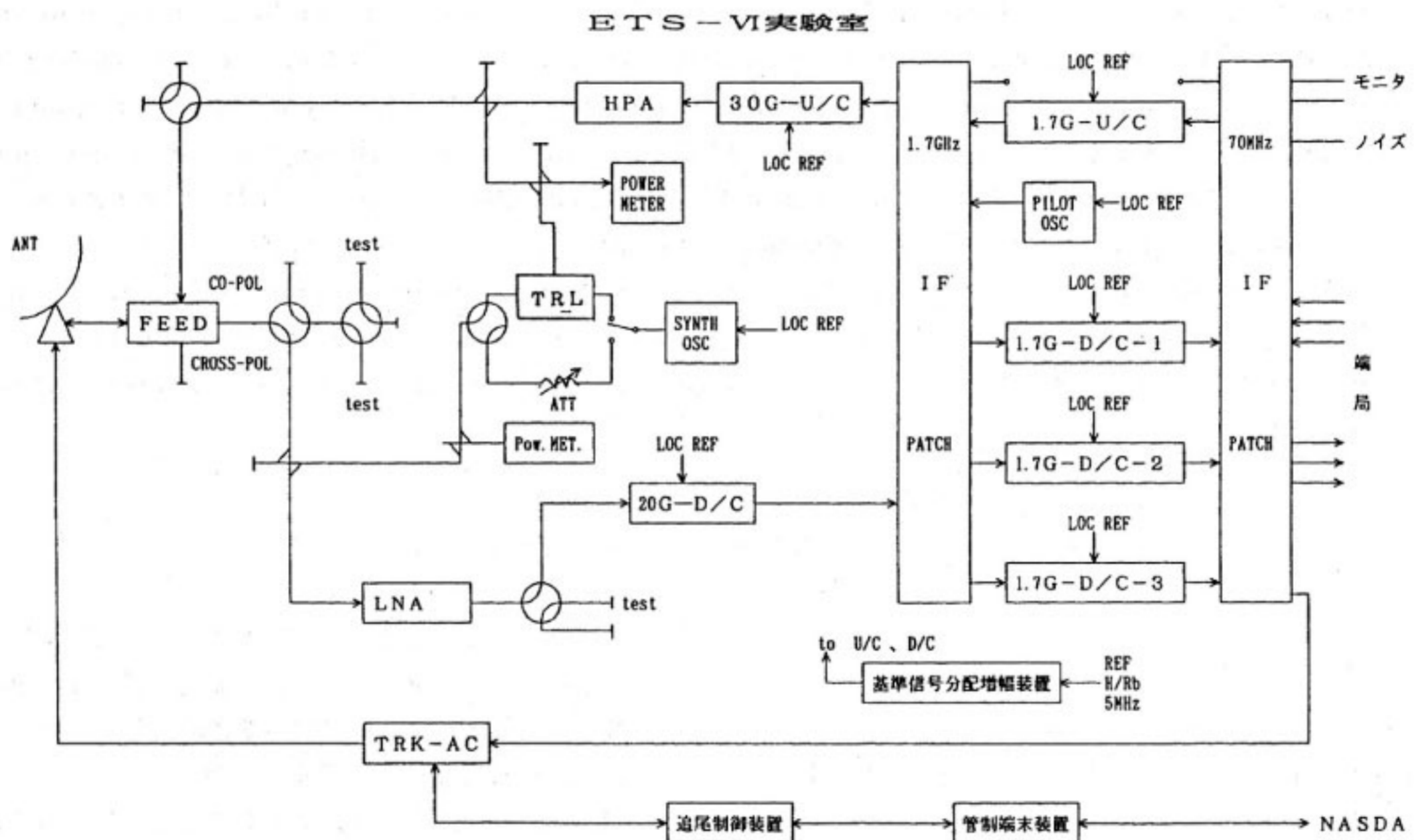
2.1 フィーダリンク地球局の構成

第 1 図にフィーダリンク地球局の構成ブロック図を示す。

第 1 表にフィーダリンク地球局の諸元を示す。

フィーダリンク地球局は、5 m ϕ カセグレンアンテナ、Ka バンド送信装置、Ka バンド受信装置、管制端末装置より構成されている。

設置場所については、既に打上げられている実験用通信衛星 (CS)、技術試験衛星 V 型 (ETS-V) 関連機器と相互に接続が可能なことを考慮して、各 U/C (以下



第 1 図 フィーダリンク地球局構成ブロック図

第1表 フィーダリンク地球局の諸元

| 項目 | 備考 (性能) |
|-------------|--|
| ◎ アンテナ系 | |
| 形式 | 5 m ϕ カセグレンパラボラアンテナ |
| 周波数帯域幅 | 29.74 GHz~29.97 GHz |
| 偏波 | 送信/受信: 水平偏波 |
| 利得 | 送信: 61.7 dBi (29.86 GHz) 受信: 59.0 dBi (19.86 GHz) |
| 雑音温度 | 51.6 K (EL=45度) |
| 耐風速 | 運用可能風速 20 m/s (平均) 瞬間最大風速 30 m/s 非破壊風速 60 m/s (最大) |
| 追尾方式 | テレメトリ残留キャリアを用いた ステップトラック方式 |
| ◎ 送信系 | |
| 周波数帯域幅 | 29.74 GHz~29.97 GHz |
| 出力電力 | 50 W (TWT 出力端) |
| HPA 出力電力 | +45.1 dBm |
| 送信周波数変換装置 | |
| 30 G-U/C | IF 周波数: 1.7 GHz |
| 1.7 G-D/C | IF 周波数: 70 MHz |
| ◎ 受信系 | |
| 低雑音増幅器 | HEMT |
| 雑音温度 | 256 K (通信帯域) 265 K (19.45 GHz) |
| 利得 | 41.3 dB (19.84 GHz~20.26 GHz) 38.7 dB (19.45 GHz) |
| 利得変動 | 0.76 dB _{p-p} |
| 周波数帯域幅 | 19.45 GHz~20.26 GHz 通信帯域 (19.84 GHz~20.26 GHz) |
| 周波数変換装置 | |
| 20 G-D/C | IF 周波数: 1.7 GHz |
| 1.7 G-D/C-1 | IF 周波数: 70 MHz (SIC-1) |
| 1.7 G-D/C-2 | 同上 (SIC/OCE 切替え使用) |
| 1.7 G-D/C-3 | 同上 追尾 |

「30 GHz-U/C」, 「1.7 GHz-U/C」という) 及び各 D/C (以下「20 GHz-D/C」, 「1.7 GHz-D/C」という) などの通信装置関係は, CS/BS 庁舎の ETS-VI 実験室内に設置し, 各端局装置と IF 周波数 1.7 GHz 帯及び 70 MHz 帯でインタフェースされる。

2.1.1 アンテナ系

写真1にアンテナ装置の設置状態を示す。

フィーダリンク地球局の直径 5 m ϕ カセグレンアンテナ装置 (以下「アンテナ」という) は, ETS-VI 実験室の屋外南壁面に隣接して設置し, 低雑音増幅装置 (以下「LNA」という), をアンテナ背面に, 電力増幅装置 (以下「HPA」という) を実験室内に設置した。アンテナと HPA 間の導波管長による損失をできるだけ軽減するように, 窓ガラス板をアルミ板に替えて導波管を貫通させ, 最短経路で配管した。

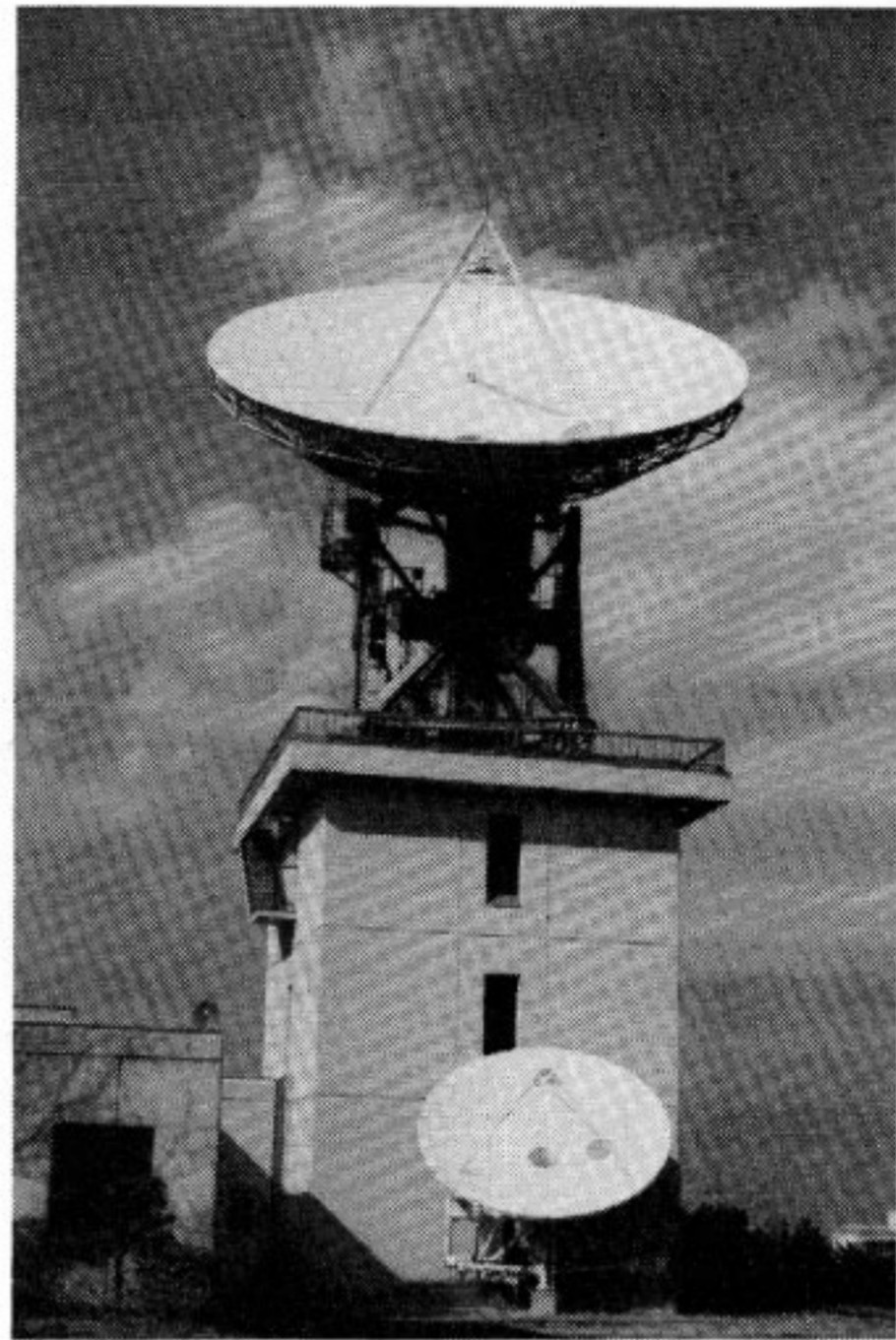


写真1 フィーダリンク地球局アンテナ装置

フィーダリンク周波数は, 送信 29.74 GHz~29.97 GHz, 受信 19.84 GHz~20.26 GHz の Ka バンドの周波数帯を使用する。また, CS の 19.45 GHz のビーコン波も受信可能となっている (受信帯域幅 19.45 GHz~20.26 GHz)。

ETS-VIのフィーダリンク周波数は, 送受とも水平偏波を使用している。アンテナ装置は, 任意の直線偏波の送受信が可能であるが, 通常は水平偏波に設定している。この時, 同時に垂直偏波の受信も可能である。

アンテナ装置の駆動範囲は限定駆動方式とし, 方位方向: 初期設定角 (ETS-VI 静止位置方向) ± 10 度 (連続), 仰角: 初期設定角 ± 5 度 (連続) である。初期設定角度は方位方向駆動部の取付位置を手動で変更することにより, ETS-VI 及び CS-3a/CS-3b への指向角度設定が可能であり, CS ビーコン波を受信してアンテナの調整などに利用できる構造となっている。

アンテナ駆動方法は, 次の方法を選択して駆動可能にした。

- ① 自動追尾
- ② プログラム追尾
- ③ MAN (手動)
- ④ ハンドルによる駆動

自動追尾方式は, ETS-VIからのテレメトリー信号

の残留キャリアを利用したステップトラック方式である。

プログラム追尾方式は、追尾制御装置からのリモートコントロールによるモードであり、MAN（手動）は、アンテナ追尾制御装置によるマニュアル操作にするモードである、また、ハンドルによる駆動は、アンテナ駆動部のハンドルによる駆動モードである。

2.1.2 送信系

送信系は、端局装置からの 70 MHz 帯の IF 周波数を 1.7 GHz 帯に周波数変換し、更に 30 GHz 帯 (29.74 GHz~29.97 GHz) に周波数変換して、HPA で所要の電力（最大 50 W）まで増幅する。HPA は、励振用固体増幅器と進行波管 (TWT) を使用した 2 段構成である。

ETS-VI 搭載のフィーダリンク中継器 (FLCE) の周波数変換部は、フィーダリンク地球局から送信されるパイロット信号 (29.96325 GHz) に位相同期させることが可能であり、コヒーレントな衛星回線が構成できる。パイロット信号は、フィーダリンク地球局の 1.7 GHz IF 接続装置 (1.7 G-IF-PATCH) より挿入され、通信信号と共に共通増幅されて送信される。

フィーダリンク地球局全体システムの RF (30 GHz 帯)-to-RF (20 GHz 帯) での折り返し機能試験を行うためのトランスレータ装置も整備されている。

2.1.3 受信系

受信系は、ETS-VI からの 20 GHz 帯 (19.45 GHz~20.26 GHz) のダウンリンク周波数を受信し、LNA で増幅した後、1.7 GHz 及び 70 MHz 帯の IF 周波数に変換する。

20 GHz 帯 LNA は、HEMT 及び GaAsFET を採用し低雑音化を図っている。導波管損失を極力短縮するため、アンテナの背面のアンテナ支持構体に受信機校正用切替えスイッチなど一諸に収容箱に収納し取付けている。

2.1.4 局部発振周波数系

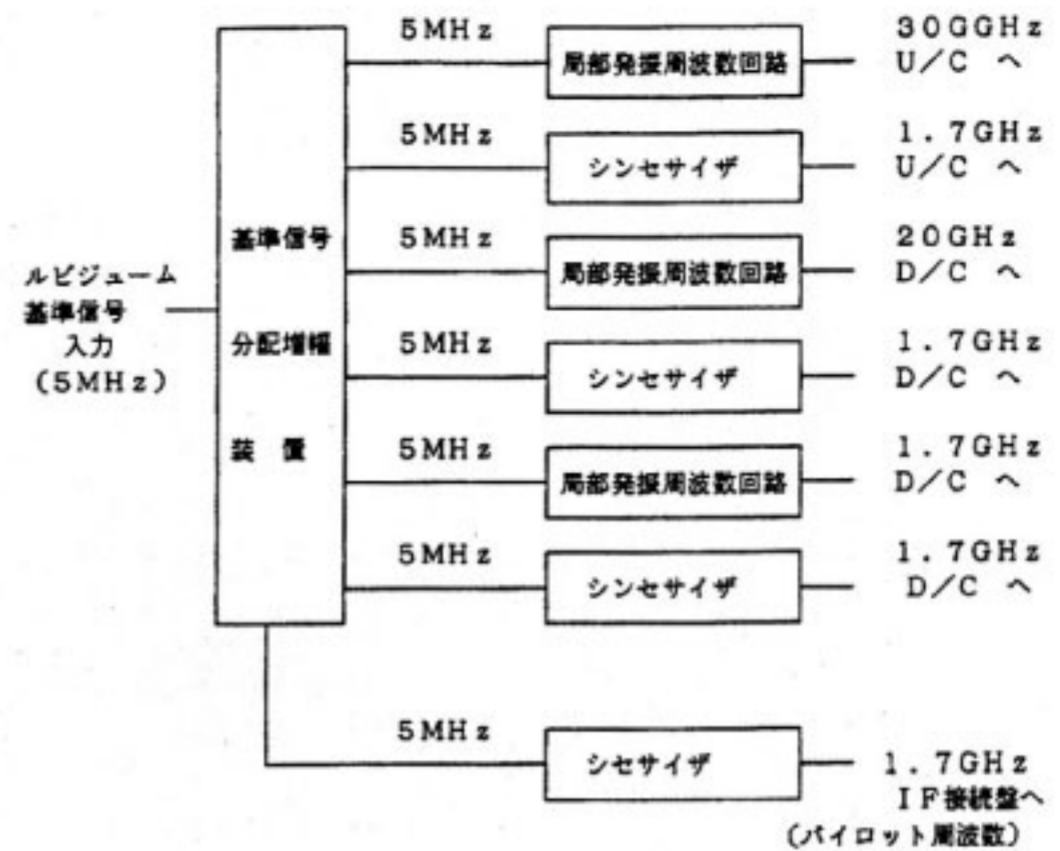
第 2 図に局部発振周波数系統図を示す。

ルビジウム発振装置出力信号を基準信号分配増幅装置により分配増幅した後、各 U/C、D/C に用意されたシンセサイザ及び局部発振器を位相同期させることにより、各局発周波数のコヒーレンスを保持したまま各 U/C、D/C に安定化した局発周波数を供給している。この結果、各 U/C、D/C の局発周波数の周波数安定度はすべて共通の安定度が得られている。

2.1.5 管制端末系

管制端末系は、管制端末装置と追尾制御装置により構成されている。

管制端末装置は、有線による専用回線により、



第 2 図 局部発振周波数系統図

NASDA 中央管制局の衛星管制システムと接続され、その端末装置として実験時のテレメトリ信号の受信/処理及びコマンド信号の送信/処理を行う。

追尾制御装置は、アンテナ追尾制御装置との間でアンテナのプログラム追尾に必要なコマンドの送出、制御情報の交換を行う機能を持っている。衛星の精密軌道解析にもとづくフィーダリンク地球局アンテナの予測追尾ができるシステムとなっている。

2.2 地球局施設の特徴

2.2.1 S バンド衛星間通信実験と O バンド衛星通信実験

S バンド衛星間通信実験では、搭載マルチビームフェーズドアレーアンテナにより複数のユーザ衛星を対象に衛星間通信実験を実施する。フォワードリンク (ETS-VI → ユーザ衛星) は 1 ビームを有し、ビームを時分割で切り替えて複数の衛星を対象とし、また、リターンリンク (ユーザ衛星 → ETS-VI) は、2 ビームを有し同時に複数の衛星を対象とした実験を行うことができる。

S バンド実験時におけるダウンリンク (ETS-VI → フィーダリンク地球局) の信号は、ETS-VI 上で周波数多重化され 2 つの周波数に分けられる (2 チャンネル運用)。したがって、地上装置の D/C (70 MHz) は 2 台必要となる。

O バンド衛星通信実験は、O バンド衛星通信実験機器 (OCE) を使用し、実験を行う。

OCE は、直径 40 cm のミリ波アンテナを持つ機器が搭載されているが、ミリ波アンテナは、NASDA のミッション機器である KSA (Kband Single Access intersatellite Communication Equipemnt) と同一のジッパル機構部に搭載され、任意方向へのアンテナ走査が

行われる。したがって、OCE 実験時には KSA の追尾装置を使用する必要がある。また、OCE 実験時は、SIC 実験と同時にしないことを前提としているため、フィーダリンク地球局では 1.7 GHz 帯周波数変換装置の 1 台を両実験で共用することになっている。そのため、局発周波数として使用しているシンセサイザ信号発生器の周波数を、実験に応じて各指定周波数に設定して使用する。

2.2.2 パイロット信号によるコヒーレントモード運用

ETS-VI 搭載の FLCE は、フィーダリンク地球局からの受信周波数を周波数変換し、SIC, OCE, KSA それぞれの各周波数に変換する機能持っている。周波数変換局発周波数は、ノンコヒーレントモードでは水晶発振器からの信号がそのまま使用できる。一方、コヒーレントモードでは、フィーダリンク地球局から安定なパイロット信号を送信し、発振器を位相同期させる。これによりフィーダリンク地球局を含む全システムをコヒーレントモードで運用できるシステムとなり、通倍次数が大きいことによる位相雑音特性の劣化を改善するとともに、レンジングの測定などにおいても高精度の測定などが可能になっている。

2.2.3 監視/制御

監視/制御は、フィーダリンク地球局を構成する各機器の状態の監視と信号ルートの切替え制御を行うものである。主な機能は以下の通りである。

(1) 監視項目

- ① HPA 及び各 U/C
- ② LNA 及び各 D/C
- ③ 導波管切替えスイッチの接続状態
- ④ システムの運用状態を示すルート表示

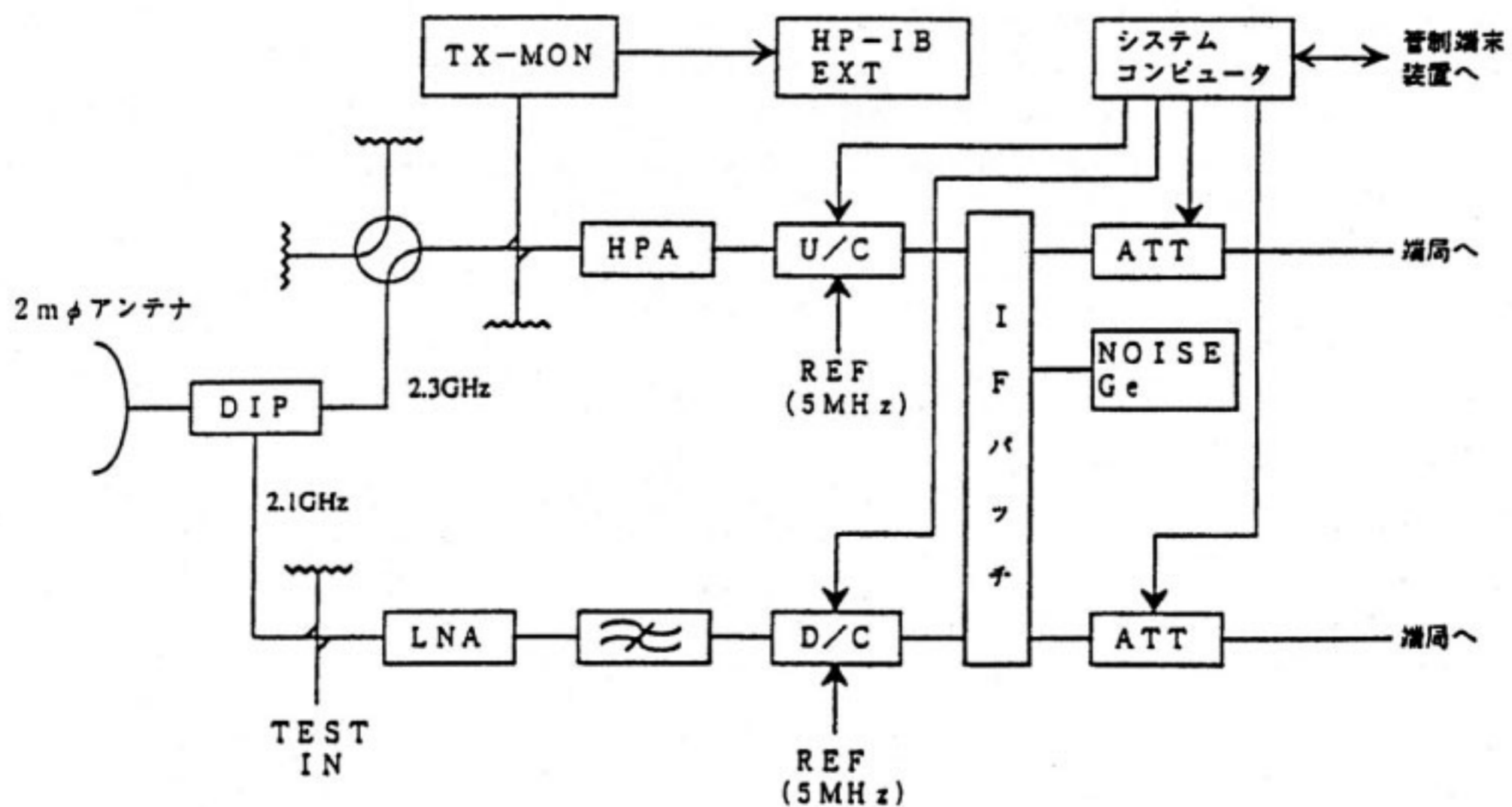
(2) 制御

導波管切替えスイッチの遠隔制御によるルート切替え

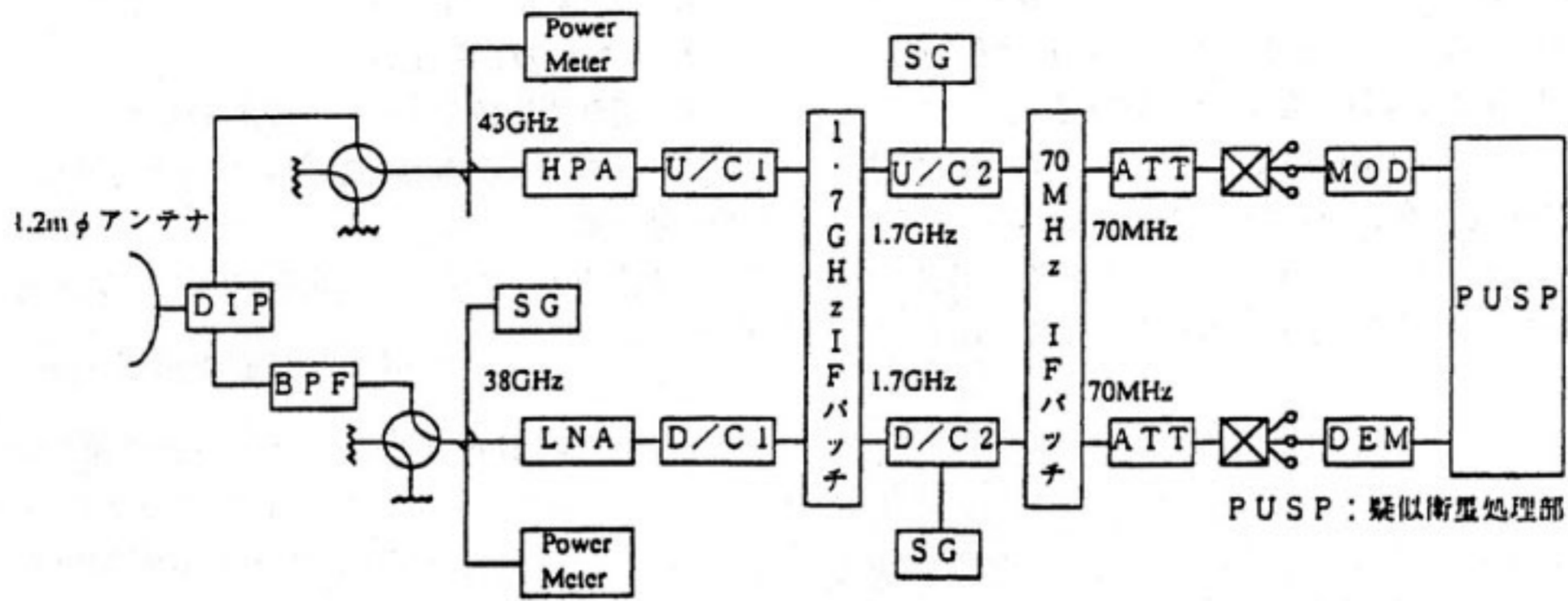
3. S バンド疑似衛星局

S バンド疑似衛星局の構成ブロック図を第 3 図に示す。S バンド疑似衛星は、1.2 mφ パラボラアンテナ装置及び送受信装置及び変復調部などから構成される。送信周波数は、2.2 GHz 帯 (2.2875 GHz ± 2.5 MHz)、受信周波数は、2.1 GHz 帯 (2.1064 GHz / 2.1644 GHz ± 3 MHz) を使用している。

対象とするユーザ衛星が周回衛星であるため、ドップラ周波数変移が生ずる。これを模擬するため、コンピュータによりあらかじめ予想されたドップラ周波数変移を計算し、U/C 及び D/C の局発周波数を制御する方式をとっている。送信機、切替え器などの RF 装置部分については、屋外環境条件に十分耐えるように屋外装置収容箱に入れ、庁舎屋上に設置した。IF 系装置は、実験庁舎内に設置されており、RF 系装置との接続は 1.7 GHz 帯の低損失のケーブルを使用している。屋上の RF 系装置は、実験庁舎からのリモートコントロールにより電源の ON/OFF 及びダミーロードの切替えスイッチの制御が可能になっている。



第 3 図 S バンド疑似衛星局構成ブロック図



第4図 Oバンド (ミリ波) 疑似衛星局構成ブロック図

4. Oバンド疑似衛星局

Oバンド (ミリ波) 疑似衛星局の構成ブロック図を第4図に示す。

1.2mφパラボラアンテナを使用しており、偏波は送受信とも右旋円偏波である。

送信周波数は、43GHz帯 (43.000±28MHz) 及び受信周波数は、38GHz帯 (38.000±18.8MHz) を使用しており、HPA出力は30W、G/Tは、21.3dBKを得ている。

後年度で45cm程度のアンテナを持ったミリ波パーソナル局の開発を行って行く予定である。

5. おわりに

ETS-VIを利用した通信実験を行うため、鹿島宇宙通

信センターに整備した地上局の概要について述べた。

ETS-VIの搭載ミッション機器の宇宙での性能確認を行い、また、将来の実用衛星に向けてのシステム開発に必要な技術の修得、衛星間通信技術の修得を目的として実験を実施する。実験内容については、それぞれSバンド及びOバンド通信実験計画書に従って実験を行う予定である。

参考文献

- (1) 鈴木良昭, 木村繁, 高橋靖宏, “ETS-VIによる衛星間通信実験”, 通信総研第79回研究予稿集, pp.89-96, 1990年11月.

