

ミリ波帯衛星通信機器の開発

門脇 直人*¹ 高橋 靖宏*² 島田 政明*³ 鈴木 良昭*¹

(1994年1月24日受理)

DEVELOPMENT OF MILLIMETER-WAVE BAND SATELLITE COMMUNICATIONS EQUIPMENT ON ETS-VI

By

Naoto KADOWAKI, Yasuhiro TAKAHASHI, Masaaki SHIMADA,
and Yoshiaki SUZUKI

The Communications Research Laboratory (CRL) is experimenting with millimeter-wave band personal/intersatellite communications using the Engineering Test Satellite VI (ETS-VI). For this project, CRL developed onboard millimeter-wave band transponder, which we call the O-band communication equipment (OCE). The frequency is 43.0 GHz for the up link and 38.0 GHz for the down link. The OCE employs GaAs devices for the power amplifiers, which output 0.8 W. HEMT is employed in the LNA to achieve a low noise figure. The use of solid state devices results in a light, highly reliable configuration. The OCE can be operated in cross-link mode that is connected with Ka-band feeder link communications equipment (FLCE), and in millimeter-wave loop-back mode. This paper describes the design and performance of the OCE.

[キーワード] ETS-VI, ミリ波, 衛星間通信, パーソナル通信, 搭載機器.

ETS-VI, Millimeter-wave, Intersatellite communications, Personal communications, Onboard equipment.

1. ま え が き

近年技術開発の著しいパーソナル通信システムでは、多数の周回衛星あるいは複数の静止衛星と周回衛星を組み合わせた世界規模のサービス提供が可能なシステムが数多く提案⁽¹⁾⁻⁽³⁾されている。このようなシステムを築くためには衛星間通信技術は非常に重要である。ミリ波帯は降雨減衰が大きく従来衛星通信では使いにくい周波数帯とされてきたが、衛星間通信では降雨減衰の影響を受けず、かつ現存する実用システムが少ないことからシステム間干渉に於ても有利な周波数帯である。また、将来パーソナル衛星通信が実用化された場合のユーザ収容能力では、現在提案されているSバンド以下の周波数帯では不十分であることが容易に推察される。このよう

な背景から、通信総合研究所ではミリ波帯の衛星間通信及びパーソナル衛星通信の研究を進めており、1994年打ち上げ予定の技術試験衛星VI型(Engineering Test Satellite VI: ETS-VI)⁽³⁾⁻⁽⁶⁾搭載用ミリ波中継器(O-Band Communication Equipment: OCE)を開発してきた。本中継器を用いた衛星間通信実験では、衛星間通信回線の確立のための技術に関する実験、衛星間通信用プロトコル等の実験が、またパーソナル衛星通信基礎実験では超小型地球局の開発、パーソナル通信に適した通信方式、プロトコル、アンテナポインティング方式等の実験が計画されている。

本稿では、まずOCEの特徴と機能について述べ、次にOCEの設計とテレメトリ、コマンドについて、最後にOCEの特性について述べる。

*¹ 宇宙通信部 衛星間通信研究室*² 企画部 企画課*³ 宇宙開発事業団

2. OCE の特徴と機能

2.1 OCE の特徴

ETS-VI は 2 トン級の大型衛星であるが、3 軸大型衛星バス技術に関する実験機器の他、第 1 図に示すように固定・移動体衛星通信機器 (FMC)、衛星間通信用フィーダリンク機器 (FLCE)、S バンド衛星間通信機器 (SIC)、K バンド衛星間通信機器 (KSA)、光通信基礎実験装置 (LCE) と多くの機器が搭載されている。そのため各機器に配分された重量制限は比較的厳しい。OCE の設計にあたっては、高圧電源を必要とし、かつ寿命が比較的短い進行波管の使用を避け、中継器の軽量化、信頼性の向上を目指す上で将来有望な固体電力増幅器を採用している。OCE は K バンド衛星間通信機器 (KSA) と共に衛星本体からブームで支持されたジnPバルプラットフォームに収納されており、アンテナはジnPバルプラットフォームの外側に取り付けられている。ジnPバルプラットフォームはコマンドにより機械的に駆動することが可能であり、アンテナの指向方向を制御可能である。

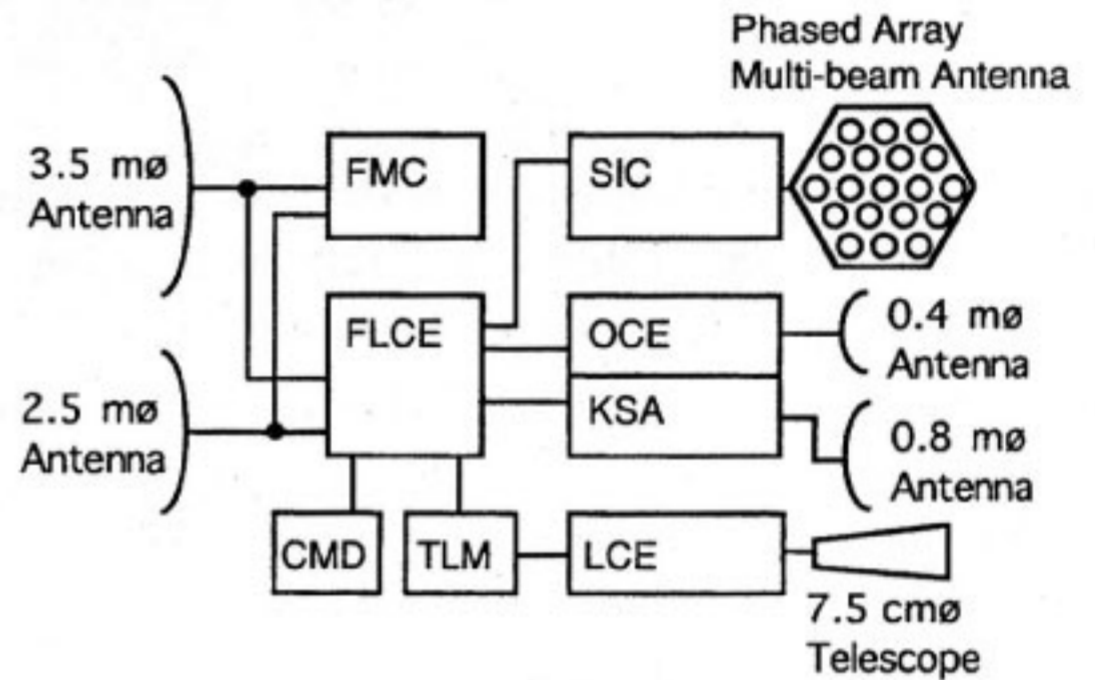
2.2 OCE の機能

ETS-VI の全ての衛星間通信実験機器は、テレメトリ、コマンドを含め基本的に Ka バンドのフィーダリンクを使用するよう設計されている。したがって、OCE も FLCE と接続し、第 2 図(a)に示すように Ka バンドの地球局 (フィーダリンク地球局) とミリ波帯の通信相手となる衛星を模擬する疑似衛星局 (User Satellite Simulator), またはパーソナル衛星通信基礎実験用超

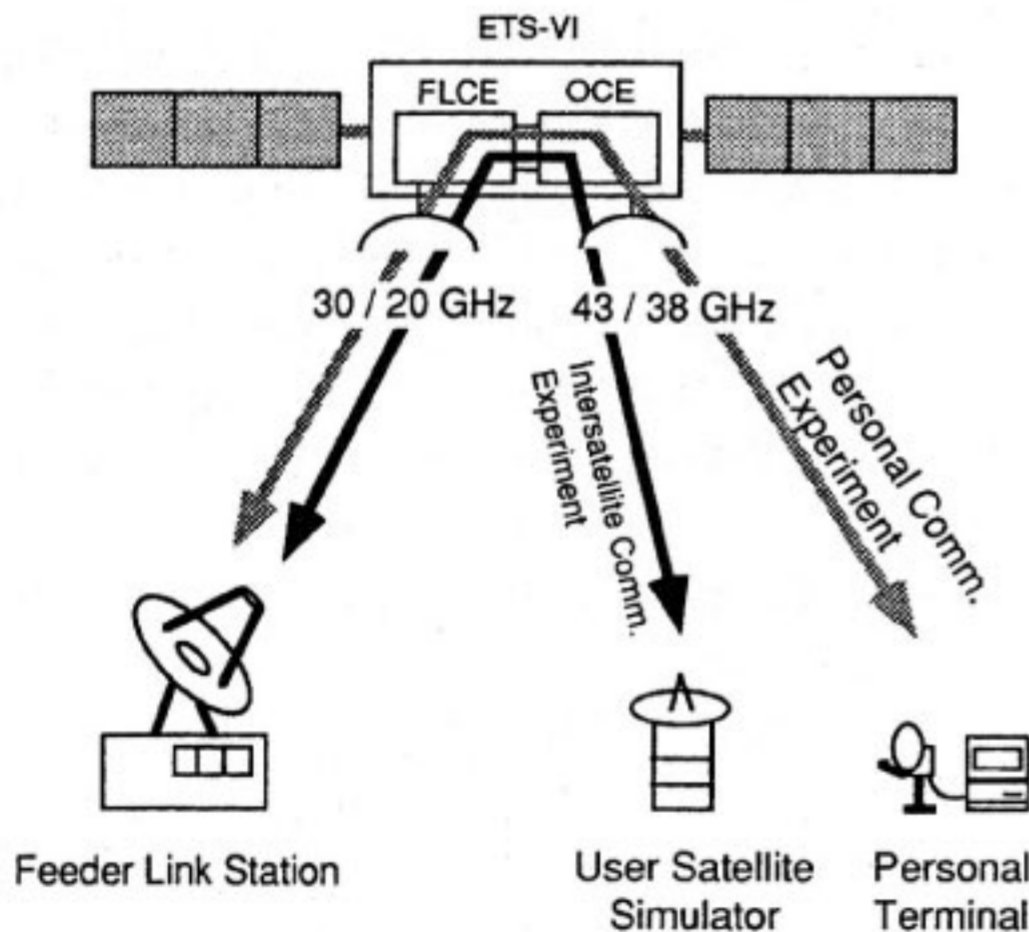
小型地球局 (ミリ波パーソナル局, Personal Terminal) が通信可能である。この接続をクロスリンクモード (Cross-Link Mode) と呼んでいる。また、ミリ波帯を用いる地球局だけでパーソナル衛星通信基礎実験を行うため、第 2 図(b)に示すように OCE 内で折返すミリ波折返しモード (Loop-Back Mode) での運用が可能である。

2.2.1 クロスリンクモード

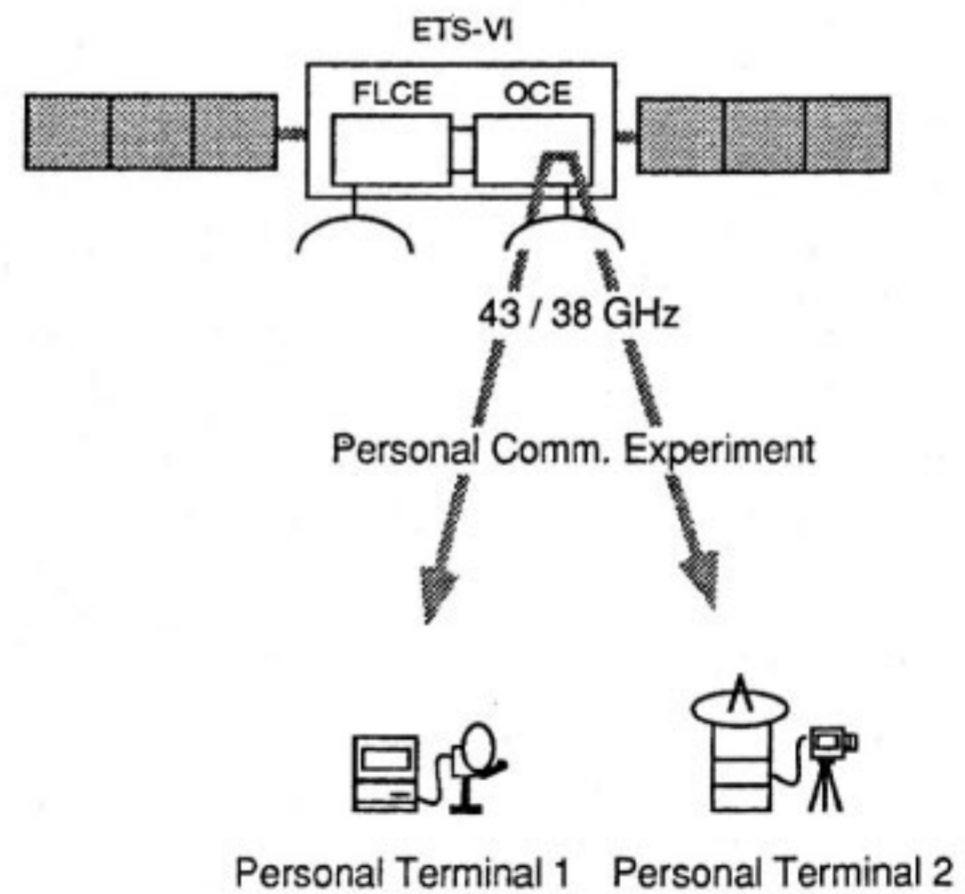
クロスリンクモードは、Ka バンドのフィーダリンク地球局を用い、ユーザ衛星局、又はパーソナル局がミリ波帯を用いる回線構成を実現するモードである。これは、フィーダリンク地球局設備の他の実験との共通利用を図



第 1 図 ETS-VI 搭載通信実験ミッション



(a) Experiment in Cross Link Mode



(b) Experiment in Loop Back Mode

第 2 図 OCE の運用モードと実験コンフィグレーション

ることも考慮している。クロスリンクモードではフィーダリンク地球局をハブ局としたスター型の網構成が実現できる。フィーダリンク地球局は EIRP 及び G/T が大きいので、大容量の回線設定が可能となる。

フィーダリンク地球局から送信された信号が ETS-VI の FLCE, OCE を経由してミリ波帯ユーザ衛星局またはミリ波パーソナル局で受信される経路をフォワードリンク、その逆の経路をリターンリンクと称する。

2.2.2 ミリ波折返しモード

クロスリンクモードではミリ波帯の地球局どうしの直接通信が不可能であり、また、フィーダリンク地球局による集中的な回線制御に頼らざるを得ない。このような網構成上の制限は、回線制御を行うセンター局の複雑さを増すと共に、パーソナル局間の通信において遅延時間が増加するなど、パーソナル衛星通信網を構成する上で柔軟性を損なう。そこでミリ波帯の地球局がメッシュ上に網を構成できるように、OCE の受信系と送信系を直接接続して折り返すミリ波折返しモードの設定が可能な設計とした。

2.3 回線設計

地上局設備は、Ka バンドで直径 5 m のアンテナを装備したフィーダリンク地球局、ミリ波帯でアンテナ直径 1.2 m の疑似衛星局とアンテナ直径 45 cm のパーソナル局を開発中である。これらの地上設備を用いた場合の回線設計を第 1 表に示す。表中、フィーダリンク局は Hub (Ka)、疑似衛星局は 1.2 mφ (mmW)、パーソナル局は 0.45 mφ (mmW) と表記している。衛星間通信実験では画像などの大量データの伝送を可能とするため、クロスリンクモードを使用してフィーダリンク地球

局と疑似衛星局の間でフォワードリンク 512 kbps、リターンリンク 1024 kbps の通信回線を設定する。

パーソナル衛星通信基礎実験では音声や中速のデータ伝送を想定して、クロスリンクモードでパーソナル局を使用する場合 64 kbps、ミリ波折返しモードで、疑似衛星局をハブ局として、パーソナル局との間にフォワードリンク 4.8 kbps、リターンリンク 9.6 kbps の回線を設定する。

3. OCE 及び主要コンポーネント

3.1 OCE の構成

OCE はダイプレクサ (DIP)、受信器 (RCVR)、中間周波フィルタ (IF-FIL)、中間周波スイッチ (IF-SW)、送信器 (XMTR)、ハイブリッド (HYB)、固体電力増幅器 1 (SSPA1)、固体電力増幅器 2 (SSPA2)、O バンドスイッチ (O-SW) から構成されており、第 3 図に示すような構成になっている。使用周波数帯は第 4 図に示すように、アップリンク 43 GHz 帯、ダウンリンク 38 GHz 帯である。

IF-FIL は KSA システムのアンテナポインティング機構 (APM) を介して、FLCE と接続されている。また、O バンドアンテナは KSA 用のアンテナとともに NASDA において開発されており、DIP の送受信ポートに接続されている。

3.2 送信器

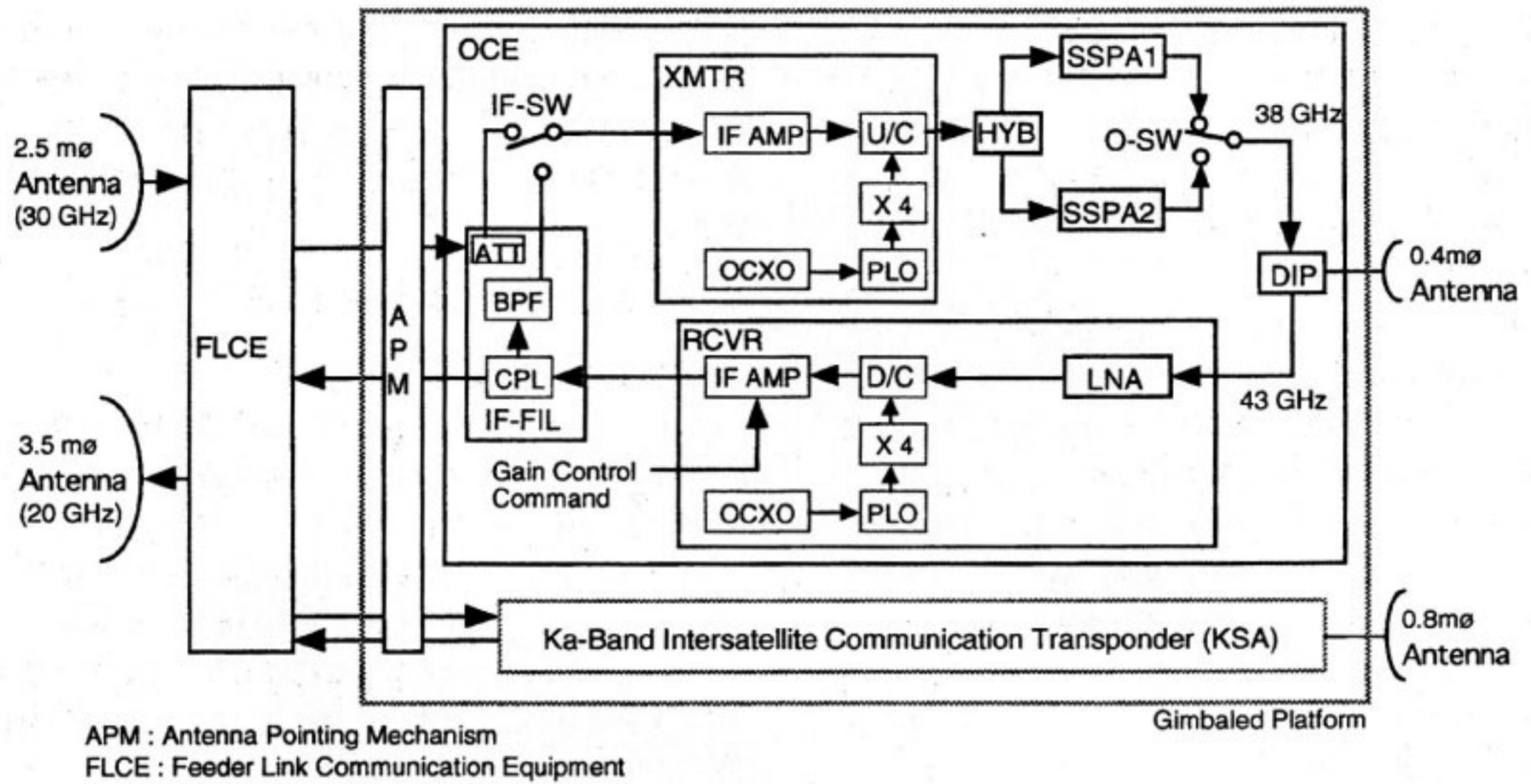
送信器 (XMTR) は IF 帯増幅部 (IF-AMP)、局発振部 (OCXO, PLO, 4 通倍器)、及び周波数変換部 (U/C) 及び電源部で構成されている。中間周波スイッチからの 1.98 GHz 帯 IF 信号は送信器で増幅され、さ

第 1 表 回線諸元

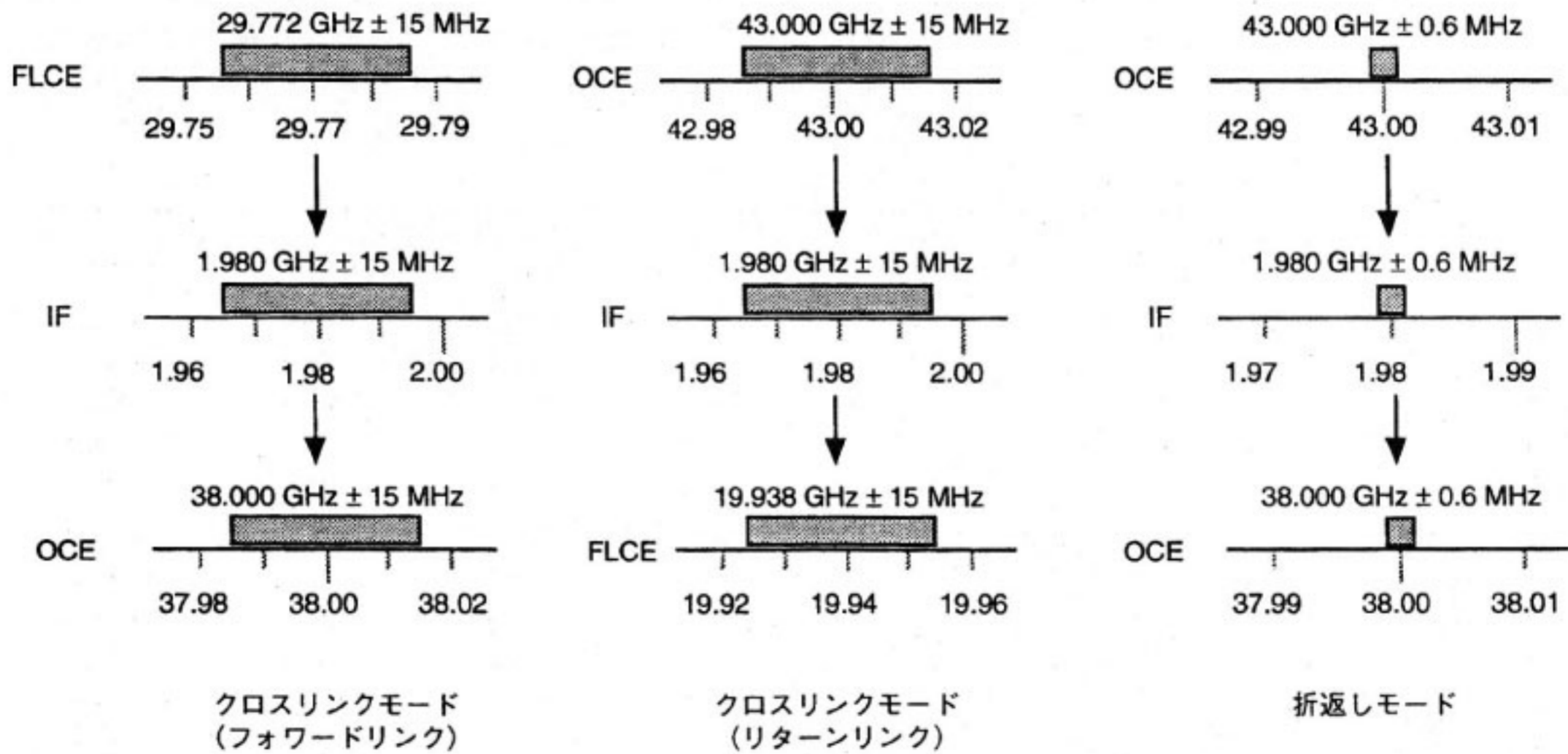
	Hub (Ka)-1.2mφ (mmW)		Hub (Ka)-0.45mφ (mmW)		Hub (mmW)-0.45mφ (mmW)	
	Forward	Return	Forwrd	Return	Forward	Return
Frequency [GHz]	29,772	43,000	29,772	43,000	43,000	38,000
EIRP [dBW]	56.0	60.9	53.7	47.9	40.4	41.4
Loss [dB]	214.7	223.1	214.7	223.1	223.1	223.1
G/T [dB/K]	12.7	8.8	13.5	8.8	8.8	8.8
C/No) up*1 [dB-Hz]	82.6	75.2	81.1	62.2	54.7	55.7
Frequency [GHz]	38,000	19,938	38,000	19,938	38,000	43,000
EIRP [dBW]	34.8	23.2	34.1	13.1	24.7	23.5
Loss [dB]	218.7	210.4	218.7	210.4	218.7	218.7
G/T [dB/K]	21.0	33.9	14.5	33.9	14.5	21.0
C/No) down*2 [dB-Hz]	65.7	75.3	58.5	65.2	49.1	54.4
C/No total [dB-Hz]	65.6	72.2	58.5	60.4	48.0	52.0
Trans. rate [kbps]	512.0	1024.0	64.0	64.0	4.8	9.6
Margin [dB]	0.1	3.7	2.0	3.9	2.8	3.7

*1: 地球局から衛星までのリンクでの C/No

*2: 衛星から地球局までのリンクでの C/No



第3図 OCE ブロックダイヤグラム



第4図 使用周波数帯

らに 38 GHz 帯の RF 信号に周波数変換される。フラット帯域は 38 GHz \pm 15 MHz, 3 dB 帯域幅は 100 MHz である。

IF-AMP はガリウム砒素 (GaAs) FET による増幅モジュールの二段構成で、各モジュールの利得は 21 dB, 飽和出力は 8 dBm である。局部発振部は、温度制御型水晶発振器を使用した 9 GHz 帯位同期発振器の出力を 4 通倍することにより、発振周波数 36.02 GHz, 長期安定度 $\pm 1 \times 10^{-5}$ /年以下, $-10 \sim +40$ °C における温度安定度 $\pm 3 \times 10^{-7}$ 以内を達成している。周波数変換部は、イメージ吸収型の構成をとっている。周波数変換用のデバイスは、GaAs ショットキーバリアダイオードチップを使用した HIC モジュール型のシングルミキサーであり、その変換損失は 7 dB である。

3.3 固体電力増幅器

これまでの衛星搭載中継器の電力増幅器には一般的に進行波管が使用されてきたが、信頼度、特性、重量の点から、固体電力増幅器が用いられることが多くなりつつある。ETS-VI 実験が計画された時点ではミリ波帯における固体増幅器の実現には技術的困難が多かったが、世界的動向と将来的展望から、ミリ波帯固体電力増幅器を開発、搭載することにした。

OCE の固体電力増幅部は二台の固体電力増幅器 (SSPA 1, SSPA 2) を搭載した冗長構成となっている。SSPA 1, SSPA 2 は共に、入力電力約 -10 dBm の 38 GHz 帯信号を増幅し、ダイプレクサ出力端に於て $+25$ dBm 以上の出力を得ることを基本機能としている。なお、衛星搭載用ミリ波帯固体電力増幅器は開発要素が大きいことから、SSPA1 は HIC による構成を、また SSPA2 は MMIC による構成を採用することにより、異なるタイプの SSPA 構成技術を検証することとしている。

SSPA 1, SSPA 2 の重量は各々 1.70 kg, 1.76 kg であり、非常に軽量である。1997 年打ち上げ予定の COMETS に搭載予定のミリ波帯進行波管増幅器は、重

量約 5.5 kg であるが、出力 20 W の能力を有しており、単位出力当たりの重量では OCE 用に開発した SSPA を上回っている。この点では、SSPA の高出力化と電力効率の改善が今後の課題である。

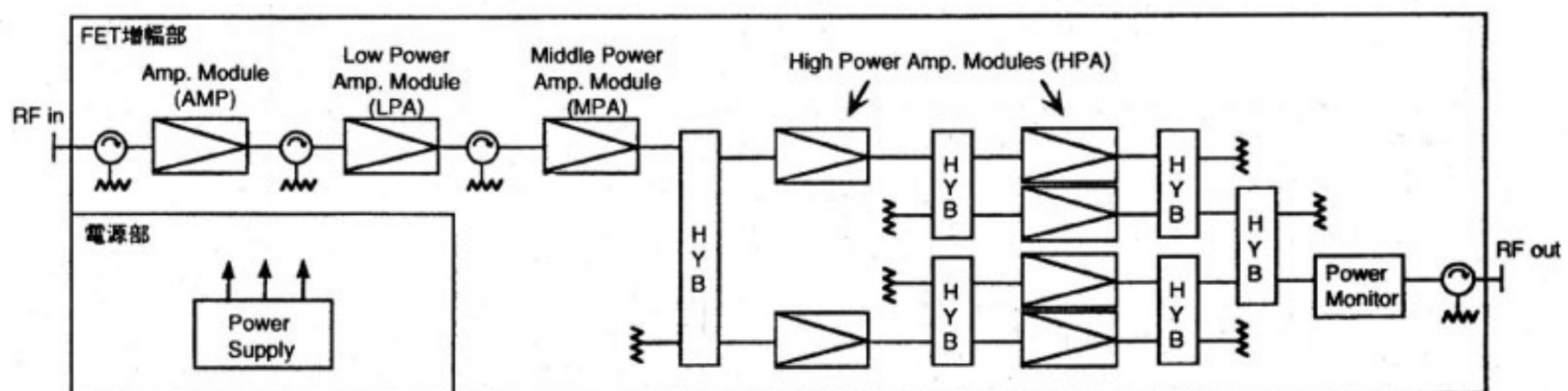
しかしながら、一般的に SSPA は TWTA に比べ長寿命化が可能であり、リニアリティ、AM/PM 変換特性等で有利であるとされており、Ka 帯でも SSPA が搭載されるものが増加している傾向にある。OCE における SSPA の開発は、このような動向をミリ波帯にまで広げる点において重要な意味をもっている。

3.3.1 SSPA 1

SSPA 1 は第 5 図に示すように FET 増幅部と電源部で構成される。FET 増幅部と電源部は干渉を避けるため、独立したブロックに分けられ、取り付け面積を縮小するためスタック構造になっている。電源部は電源バス電圧を増幅器等の動作に必要な電圧に変換すると同時に、起動・停止に必要な各種コマンドや温度モニタ、出力電力のテレメトリ信号をバス系にインタフェースしている。

FET 増幅部は 38 GHz 帯の AMP, LPA (Low Power Amplifier), MPA (Middle Power Amplifier), 及び HPA (High Power Amplifier) の 4 種類のハイブリッド IC (HIC) モジュールで構成される。AMP には初段に HEMT 素子、中段及び後段に GaAs MES FET を、LPA, MPA には 3 段型 GaAs MES FET を使用している。HPA は 3 段型の GaAs MES FET 増幅器で構成され、最終段にはこの HPA を 4 並列接続して出力約 0.8 W を得ている。HIC モジュールの端子には RF プロブが取り付けられ、これを導波管内部に挿入してトランスデューサを形成することにより、導波管とマイクロストリップ線路のインタフェースを実現している。またハイブリッド、アイソレータも低損失化のため導波管タイプのものを使用している。

FET 増幅部で発生した熱を効率的に排出するため、発熱量の比較的小さい AMP, LPA, MPA 及びパワーモニタから RF 出力端子までをユニット上部に、発熱



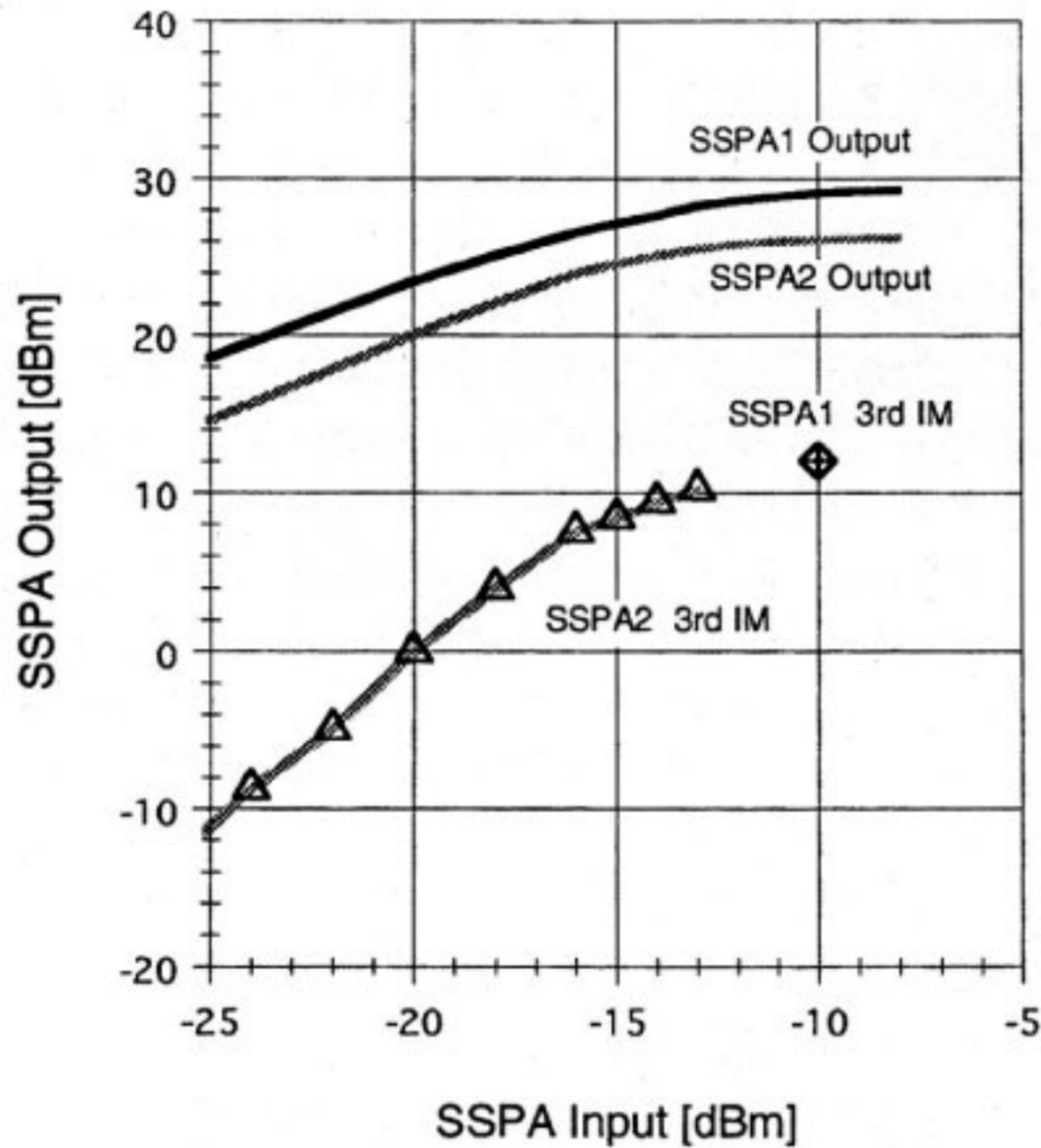
第5図 SSPA1 ブロックダイアグラム

量の大きい HPA とハイブリッドを放熱面であるベースプレートに近いユニット下部に配置している。

SSPA 1 の入出力特性を第 6 図に示す 38 GHz±50 MHz の範囲での飽和出力は 29.0 dBm であり、また 3 次混変調歪特性は 20 MHz 離れた入力レベル-10 dBm の 2 信号により測定した結果+12 dBm である。

飽和出力時の消費電力は 16.56 W であり、電力効率の点では今後の改善が必要である。

3.3.2 SSPA 2



第 6 図 SSPA 入出力特性

SSPA 2 も SSPA 1 同様電源部と高周波部で構成される。SSPA 2 の構成を第 7 図に示す。

高周波部は、HEMT 及び GaAs MMIC の 2 段増幅回路をミリ波パッケージ内に封止した増幅器モジュール⁽⁷⁾によって構成された 10 段の増幅回路と、各種テレメトリセンサ、及び各デバイスに適正なバイアスを供給するバイアス回路で構成される。信頼性に関しては、本増幅器モジュールの製造にあたり、MIL-STD-883 Method 5008 Class B レベルのスクリーニングを実施している。また、同型のミリ波増幅部 8 台をベース温度 50℃にて連続動作試験実施中であり、4000 時間以上経過しているが問題なく動作している。

導波管-ストリップ線路変換器は導体を導波管の電界最大点に挿入した電界結合型である。電力分配器は小型で増幅段との整合性のよい MIC ブランチラインハイブリッドを、電力合成器には低損失の導波管型ブランチラインハイブリッドを採用している。

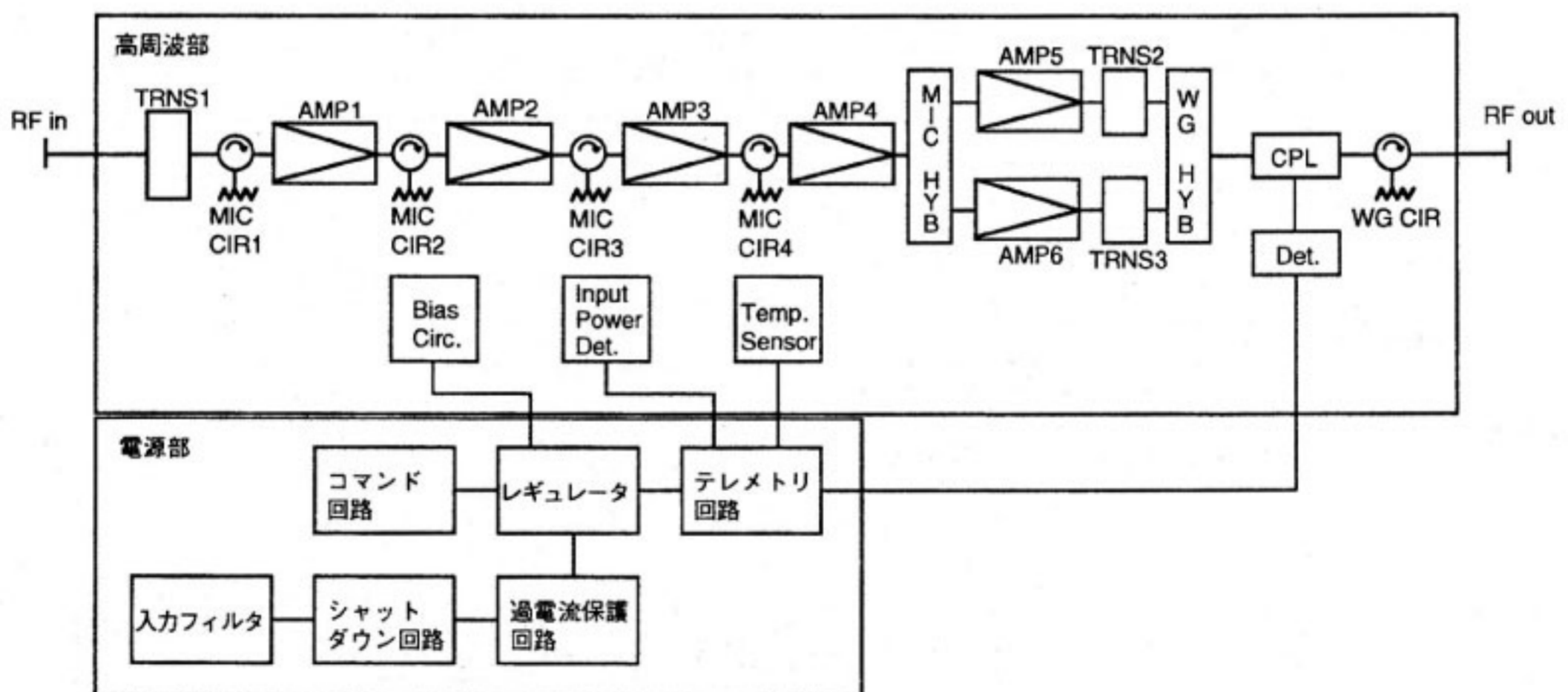
電源部には、小型・軽量・高効率化のためパワー FET と IC によるスイッチング型を採用している。

SSPA 2 は、38 GHz±50 MHz の範囲で飽和出力 26.3 dBm を得ており、第 6 図に示す入出力特性及び 3 次混変調歪特性を有する。出力は SSPA 1 に比べてやや低い、要求値を満足している。

消費電力は 15.8 W であり、SSPA 1 同様電力効率の改善が将来解決すべき課題である。

3.4 受信器

受信器 (RCVR) は 43 GHz 帯受信信号を増幅し、2 GHz 帯 IF 信号に周波数変換した後、帯域制限を行い、所定の電力レベルに増幅し出力すること及びコマン



第 7 図 SSPA2 ブロックダイアグラム

ド信号により、利得切り換えを2 dB ステップで16段階に行なうことを基本機能としている。

受信器は低雑音増幅部 (LNA)、周波数変換部 (D/C)、局部発振部 (OCXO, PLO, 4 通倍器)、及び IF 増幅部 (IF-AMP) で構成される。

LNA には HEMT 素子を使用しており、受信器としての雑音指数は 5.1 dB 以下を達成している。利得は 25 dB、周波数帯域はフラット帯域 43 GHz \pm 15 MHz、3 dB 帯域幅 56 MHz である。周波数変換部にはシングルエンド型 GaAs ショットキーバリアダイオードで構成されたミキサを使用しており、変換損失は 8.5 dB である。

局部発振部は送信器と同等の構成及び性能である。

IF-AMP には 2 dB ステップで最大 30 dB の利得制御のため、16 dB, 8 dB, 4 dB, 及び 2 dB の PIN ダイオードアッテネータ各 1 個が挿入されており、コマンドにより ON/OFF が可能である。これは、疑似衛星局とパーソナル局では EIRP の差が大きいため、それぞれに最適な利得設定を行うために必要である。

3.5 その他のコンポーネント

3.5.1 ダイプレクサ

ダイプレクサ (DIP) は主に 38 GHz 帯送信信号の受信系への回り込みを防ぐこと、及び送信器から出力される 43 GHz 帯熱雑音の除去を目的として設計されている。OCE では送信電力約 25 dBm に対し、受信電力は -105 dBm 以下である。ダイプレクサの送信系入力端と受信系出力端の間の減衰量は 38 GHz 帯において 120 dB 以上、43 GHz 帯において 90 dB 以上必要である。その結果送信出力の回り込みによる受信機入力端での信号電力は -95 dBm となり、LNA の飽和を余裕をもって避けられるレベルとなっている。

3.5.2 中間周波フィルタ

受信系の信号は中間周波フィルタ (IF-FIL) 中のカップラで分岐され、片方は FLCE に、他方は帯域通過フィルタ (BPF) を介して中間周波スイッチに送られる。ミリ波折返しのパーソナル衛星通信基礎実験では 9.6 kbps 以下の低速の伝送速度を想定していることから、雑音電力を極力押さえるためにこの BPF が必要となる。BPF の 3 dB 帯域幅は誘電体フィルタの温度安定性を考慮し 1.2 MHz としている。なお、FLCE に対してはフラット帯域が 60 MHz となっている。

3.5.3 中間周波スイッチ

中間周波スイッチ (IF-SW) はクロスリンクモードとミリ波折返しモードを切り替えるためのスイッチであり、地上からのコマンドで切替動作が行われる。

3.5.4 O バンドスイッチ

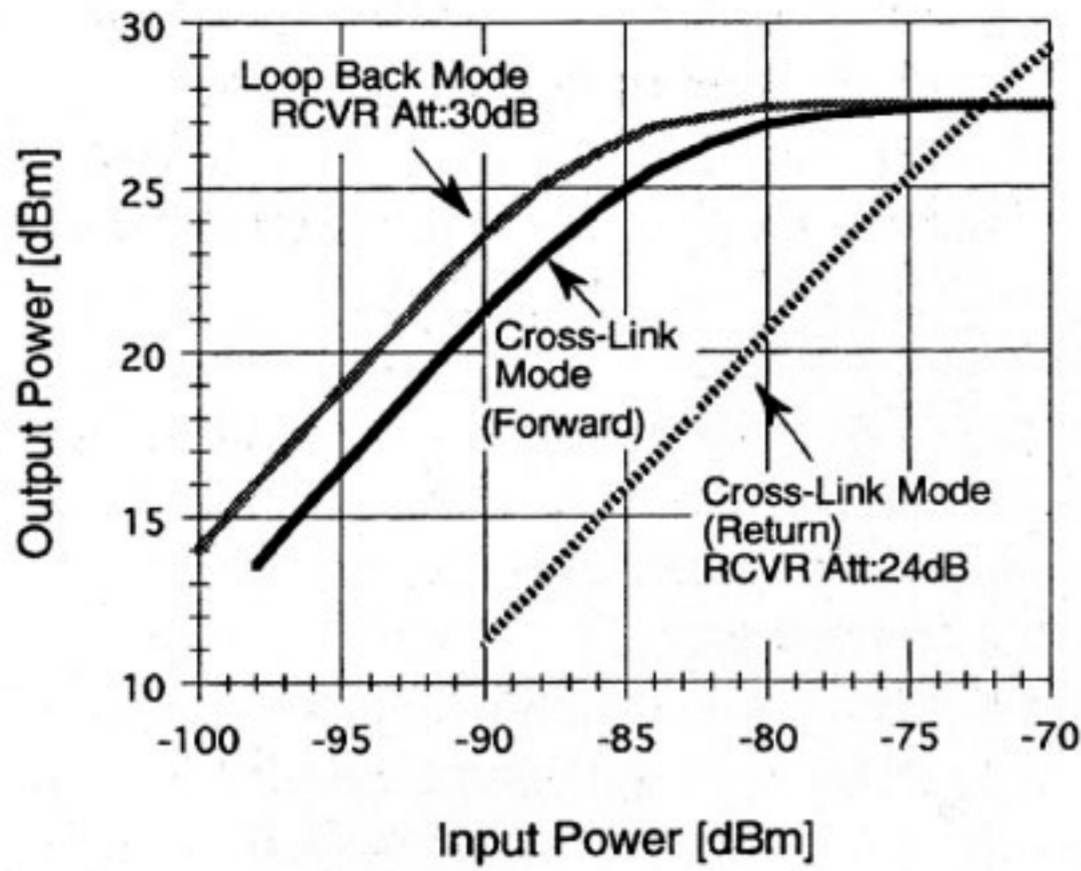
O バンドスイッチ (O-SW) はコマンド信号により SSPA 1 と SSPA 2 の出力選択を行うものであり、内磁路型ラッチングサーキュレータとスイッチドライバにより構成される。

3.5.5 O バンドアンテナ

O バンドアンテナは、KSA アンテナと共に NASDA で開発されたが、OCE と組み合わせられてミリ波中継器を構成している。O バンドアンテナは直径 40 cm のセンターフィード型パラボラアンテナであり、右旋円偏波の送受信が可能である。利得は 43 GHz 帯で 40.2 dBi, 38 GHz 帯で 38.7 dBi, 軸比は 43 GHz 帯, 38 GHz 帯でそれぞれ 1.71 dB, 1.58 dB である。O バンドアンテナが取り付けられているジナルプラットフォームは衛星直下点を頂点として半頂角 9.8° の範囲で指向方向が可変である。そのためアンテナの半値幅は 0.6 度程度であるが、衛星を見通せる全ての地域とその地域の上空約 1000 km 以内にある衛星を通信の対象とすることができる。

第 2 表 OCE 主要諸元及び特性

	クロスリンクモード フォワードリンク	クロスリンクモード リターンリンク	折返しモード
入力中心周波数 (fi)	1.98 GHz	43.0 GHz	43.0 GHz
出力中心周波数 (fo)	38.0 GHz	1.98 GHz	38.0 GHz
伝送帯域幅(フラット帯域) (3dB帯域)	\pm 15 MHz 100 MHz	\pm 15 MHz 56 MHz	\pm 0.25 MHz 1.2 MHz
入力レベル	-10 dBm (nominal)	-70 dBm (max)	-70 dBm (max)
出力レベル	27.82 dBm (SSPA1) 25.13 dBm (SSPA2) (入力レベル-10 dBm)	-19.6 dBm (入力レベル -70dBm)	27.82 dBm (SSPA1) 25.06 dBm (SSPA2) (入力レベル -70dBm)
線形領域変換利得	58.72 dB (SSPA1) 53.21 dB (SSPA2)	50.59 dB	115.25 dB (SSPA1) 110.86 dB (SSPA2)
振幅周波数特性	0.10dBp-p(SSPA1) 0.07dBp-p(SSPA2)	0.35dBp-p	0.08dBp-p (SSPA1) 0.08dBp-p (SSPA2)
消費電力	20.3 W (SSPA1) 22.7 W (SSPA2)	8.2 W	28.5 W (SSPA1) 30.8 W (SSPA2)
備考		RCVR att:24 dB	RCVR att:30 dB
重量		9.8 kg	



第8図 OCE-FLCE 系入出力特性

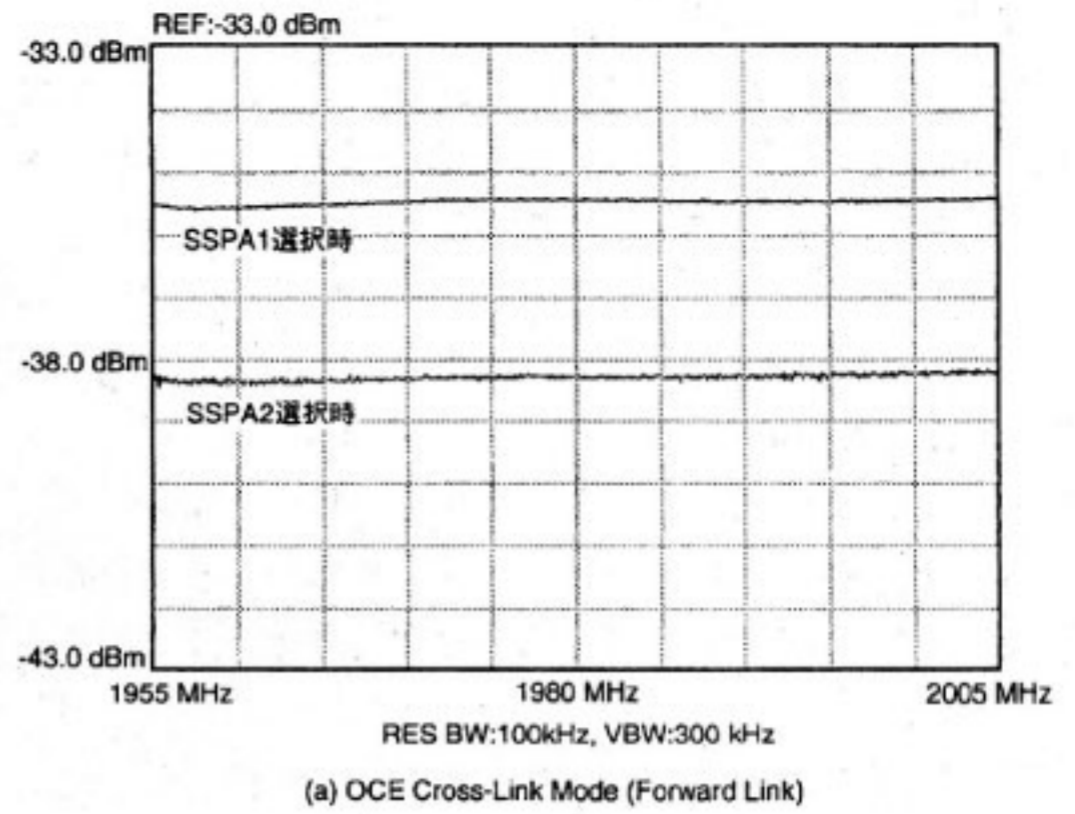
4. OCE の特性

第2表に OCE の主要諸元及び特性を示す。

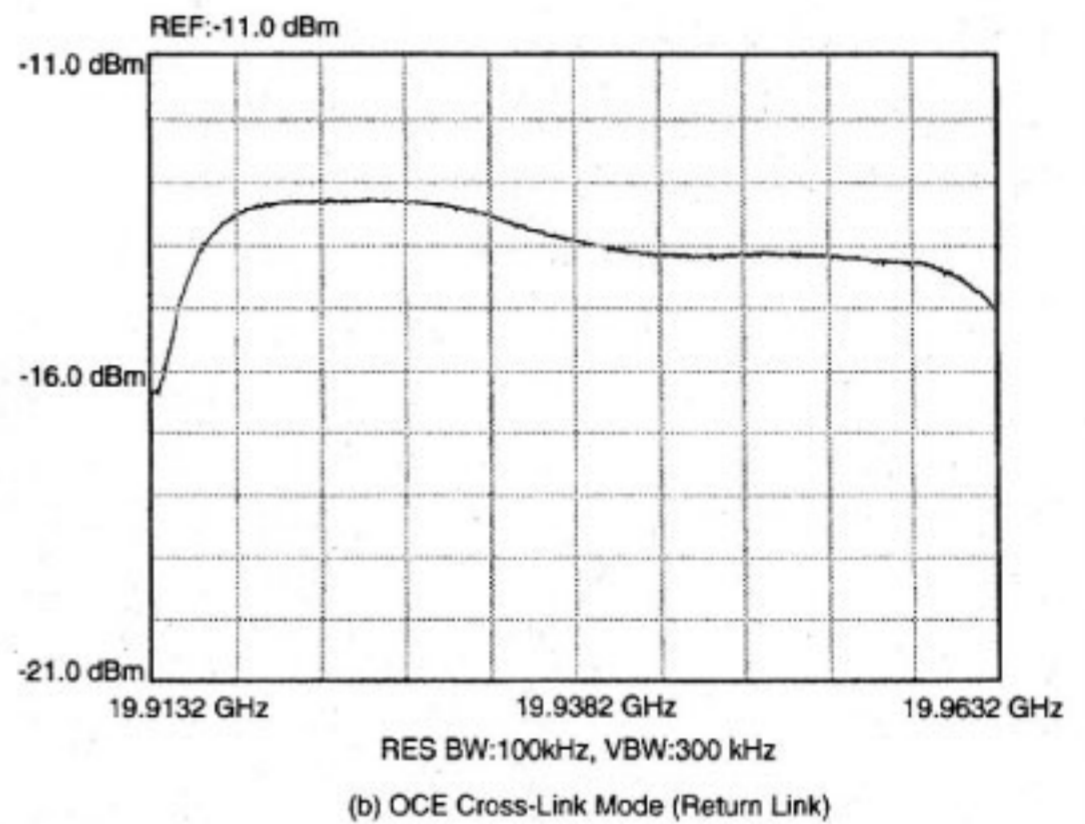
また、第8図にクロスリンクモードのフォワードリンク (Cross-Link Mode : Forward) とリターンリンク (Cross-Link Mode : Return) 及びミリ波折返しモード (Loop-Back Mode) について、SSPA1を使用した場合の OCE と FLCE を組み合わせた入出力特性を示す。ミリ波折返しモードでは受信機のアッテネータを 30 dB に設定して測定しているが、パーソナル局による実験運用時は 10 dB に設定するため、この場合は入力レベルを全体に 20 dB 小さい方にシフトした特性となる。なお、クロスリンクモードのリターンリンクでは受信機のアッテネータは 24 dB に設定される。この設定の違いは、クロスリンクモードのリターンリンクでは通信の相手となる疑似衛星局の EIRP が 55~60 dBW と大きくなるのに対し、パーソナル局では 40~45 dBW と比較的小さくなることによる。またリターンリンク出力は FLCE の出力電力を示している。FLCE の通信の相手となるフィーダリンク地球局は G/T が大きいので、リターンリンク系は FLCE 出力の低い動作点での運用が可能である。

SSPA 2 を用いた場合の特性は、SSPA 1 と SSPA 2 の特性の差異による出力の差異のみが認められた。入出力特性の測定結果は前述の回線設計を満足することが確かめられている。

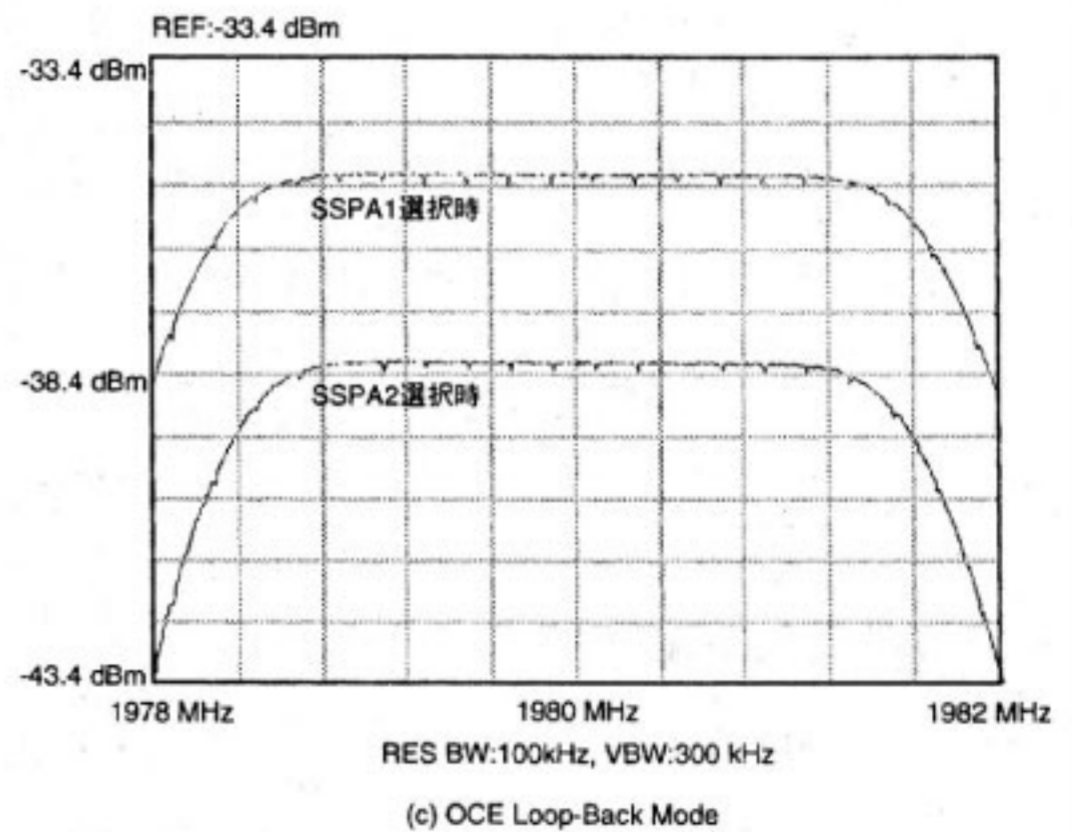
クロスリンクモードで OCE と FLCE を接続した状態及びミリ波折返しモードにおける振幅周波数特性を第9図に示す。フラット帯域における振幅変動はクロスリンクモード・フォワードリンクとミリ波折返しモードで



(a) OCE Cross-Link Mode (Forward Link)



(b) OCE Cross-Link Mode (Return Link)



(c) OCE Loop-Back Mode

第9図 OCE 振幅周波数特性

は、SSPA1, SSPA2のいずれを選択した場合も0.1 dBp-p以下であり、極めて良好な特性である。しかしクロスリンクモード・リターンリンクでは約0.8 dBp-pとやや大きな値となっている。この中には測定の際にFLCE出力端に接続したスペクトラムアナライザのハー

モニックミキサの周波数特性に起因する0.4 dB程度の劣化が含まれている。この劣化分を補正すると、振幅変動は約0.4 dBp-p程度であり、十分な特性を有していると判断できる。なお、確認のためOCE単体の特性測定を射場にて再度実施する予定である。また3 dB帯域幅についても設計値とほぼ同等の特性を持っていることが確認された。

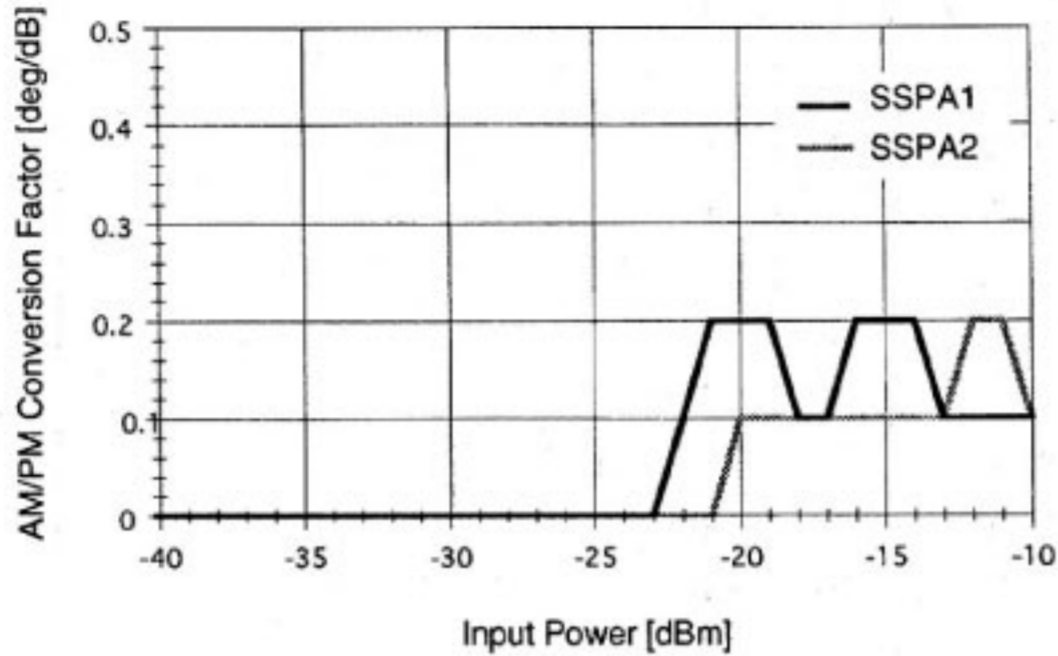
OCEのAM/PM変換特性を第10図に示す。SSPA1, SSPA2のいずれを選択した場合も、AM/PM変換係数は非線型領域で0.2°/dB以下であり、良好な特性である。

OCE全体の重量は9.8 kgである。

5. テレメトリ及びコマンド

5.1 テレメトリ

第3表にOCEのテレメトリ項目を示す。テレメトリには、RCVR, SSPA1, SSPA2の温度, SSPA1及びSSPA2の出力電力, SSPA2入力電力, IF-SW及



第10図 OCEのAM/PM変換特性

第3表 OCEテレメトリ

コンポーネント	TLM No	コマンド名称	略称	加工度	備考
O-RCVR	I1004	ORX 温度	ORX TEMP	Ⅰ	
O-SSPA1	I1005	OSSPA1 温度	OSSPA1 TEMP	Ⅰ	
O-SSPA2	I1006	OSSPA2 温度	OSSPA2 TEMP	Ⅰ	
O-RCVR	I4003	ORX 受信電界	ORX SIG STR	Ⅰ	(1)(2)
O-SSPA1	I4004	OSSPA1 出力電力	OSSPA1 OUT PWR	Ⅰ	(1)
O-SSPA2	I4005	OSSPA2 出力電力	OSSPA2 OUT PWR	Ⅰ	(2)
O-SSPA2	I4006	OSSPA2 入力電力	OSSPA2 IN PWR	Ⅰ	(2)
IF-SW	I5005	IF SW X/Mモード選択	IFSW SEL X/M	Ⅰ	
O-SW	I5006	OSW 接続状態	OSW SEL 1/2	Ⅰ	
O-RCVR	I5007	ORX7アンテナ3 ON/OFF	ORX ATT3 ON/OFF	Ⅰ	
O-RCVR	I5008	ORX7アンテナ4 ON/OFF	ORX ATT4 ON/OFF	Ⅰ	
O-RCVR	I5011	ORX7アンテナ1 ON/OFF	ORX ATT1 ON/OFF	Ⅰ	
O-RCVR	I5012	ORX7アンテナ2 ON/OFF	ORX ATT2 ON/OFF	Ⅰ	
O-XMTR	I5013	OTX ON/OFF	OTX ON/OFF	Ⅰ	
O-RCVR	I5017	ORX ON/OFF	ORX ON/OFF	Ⅰ	
O-SSPA1	I5019	OSSPA1 ON/OFF	OSSPA1 ON/OFF	Ⅰ	
O-SSPA2	I5020	OSSPA2 ON/OFF	OSSPA2 ON/OFF	Ⅰ	

(1)はOSSPA1選択時に使用
(2)はOSSPA2選択時に使用

第4表 OCE コマンド

コンポーネント	CMD No	コマンド名称	略称	種別	時刻	備考
O-RCVR	I015	ORX ON	ORX ON	D	有	
O-RCVR	I016	ORX OFF	ORX OFF	D	有	
O-RCVR	I017	ORXアッテネータ1/2 INC	ORX ATT 1/2 INC	D	有	
O-RCVR	I018	ORXアッテネータ1/2 DEC	ORX ATT 1/2 DEC	D	有	
O-RCVR	I019	ORXアッテネータ3 ON	ORX ATT3 ON	D	有	
O-RCVR	I020	ORXアッテネータ3 OFF	ORX ATT3 OFF	D	有	
O-RCVR	I021	ORXアッテネータ4 ON	ORX ATT4 ON	D	有	
O-RCVR	I022	ORXアッテネータ4 OFF	ORX ATT4 OFF	D	有	
IF-SW	I023	IF SW Mモード選択	IFSW SEL M	D	有	
IF-SW	I024	IF SW Xモード選択	IFSW SEL X	D	有	
O-SW	I025	OSSPA1側選択	OSSPA1 SEL 1	D	有	(1)
O-SW	I026	OSSPA2側選択	OSSPA2 SEL 2	D	有	(2)
O-XMTR	I027	OTX ON	OTX ON	D	有	
O-XMTR	I028	OTX OFF	OTX OFF	D	有	
O-SSPA1	I029	OSSPA1 ON	OSSPA1 ON	D	有	(1)
O-SSPA1	I030	OSSPA1 OFF	OSSPA1 OFF	D	有	
O-SSPA2	I031	OSSPA2 ON	OSSPA2 ON	D	有	(2)
O-SSPA2	I032	OSSPA2 OFF	OSSPA2 OFF	D	有	

種別D: ディスクリートコマンド
(1)はOSSPA1選択時に使用
(2)はOSSPA2選択時に使用

OCE関連コマンドのみ記入

び O-SW の状態, RCVR ATT 1~4 の ON/OFF 状態, XMTR, RCVR, SSPA 1, SSPA 2 の ON/OFF 状態を通知する機能がある。

5.2 コマンド

第4表に OCE のコマンド項目を示す。コマンドにより, RCVR の ON/OFF, RCVR ATT 1/2 のインクリメント及びデクリメント, RCVR ATT 3/4 の ON/OFF, IF-SW のクロスリンクモード/折返しモード, O-SW の SSPA 1/SSPA 2 の選択, XMTR, SSPA 1 及び SSPA 2 の ON/OFF を切り替えることができる。

なお, Oバンドアンテナの指向方向を制御するためのコマンドは, KSA システムのコマンドとして提供されている。テレメトリも同様である。

6. ま と め

OCE は固体電力増幅器を採用したミリ波帯中継器であり, 本論文で述べたように搭載機器の主要な性能として重量 9.8 kg, 出力約 0.8 W, NF 5.1 dB を達成してい

る。現在 OCE は開発を終了し, 電気性能試験により良好な性能が確認されている。信頼性に関しては SSPA 2 と同等のモデルについて連続動作試験が継続中であるが, 今後軌道上における評価が行われる予定である。

衛星搭載中継器の固体化は軽量化, 高信頼化を実現するため世界的なすう勢であるが, OCE では現在でも開発要素の非常に大きいミリ波帯の半導体素子を開発し電力増幅器に採用している。SSPA の開発を通して, ミリ波帯 GaAs FET, あるいは MMIC モジュールの開発にかかわる設計, 製造上の要素技術が蓄積されたことにより, 今後の電力増幅器の固体化に大いに貢献することができよう。今後は固体電力増幅器の高出力化及び高効率化を目指した技術開発が重要である。

ETS-VI では OCE と KSA が同一の小型のジンバルプラットフォームに搭載されているが, OCE の開発を通じて小型軽量の搭載機器を実現した成果は, 更に多くの衛星間通信用中継器を搭載する衛星の実現に道を開くものであり, また, ミリ波帯の衛星通信への応用という意味でも意義が大きい。

また, ETS-VI を用いた多様な衛星間通信実験, パーソナル衛星通信基礎実験による多くの成果が期待される。

謝 辞

ETS-VI の計画, 開発, 調整に携わられた郵政省, 科学技術庁, 通信総合研究所, 宇宙開発事業団, 及び関連メーカーの関係各位に感謝致します。

参 考 文 献

- (1) Application of Motorola Satellite Communications, Inc. for "Iridium, A Low Earth Orbit Mobile Satellite System", before the Federal Communications Commission, Washington D.C. (1990).
- (2) R.J.F. Fang and D. Haschart, "Personal Communications via Hybrid Ka- and L-Band Satellites", Proceedings of 14th AIAA International Communications Satellite Systems Conference, pp.742-750, 1992.
- (3) H. Kitahara, C. Harada, Y. Matsumoto and Y. Hatooka, "The ETS-VI Satellite System and Experiments", Proceedings of 14th AIAA International Communications Satellite Systems Conference, pp.1837-1846, 1992.
- (4) M. Tanaka, H. Kitahara, C. Harada and T. Kawanishi, "Experimental Intersatellite Data Relay and Tracking System for ETS-VI", Proceedings of 13th AIAA International Communications Satellite Systems Conference, pp.878-885, 1990.
- (5) M. Shimada, Y. Suzuki, Y. Arimoto, A. Inoue, H. Kobayashi and N. Okubo, "Experimental Millimeter-Wave Satellite Communications System", Proceedings of 17th ISTS, pp.1797-1802, 1990.
- (6) K. Araki, Y. Arimoto, M. Shikatani, M. Toyoda and T. Aruga, "ETS-VI Laser Communications Experiment System", Proceedings of 14th AIAA International Communications Satellite Systems Conference, pp.248-254, 1992.
- (7) M. Shigaki, S. Koike, K. Nagatomo, K. Kobayashi, H. Takahashi, T. Nakatani, N. Tanibe, and Y. Suzuki, "30-GHz-Band High-Power MMIC Amplifier Module For Satellites On-Board Use", IEEE Trans. Microwave Theory Tech. Vol.40, No.6, pp.1215-1222, June 1992.
- (8) 門脇, 島田, 鈴木, 井上, 斉藤, "ETS-VI 搭載ミリ波帯中継器の設計と特性", 信学論B-II, J76-B-II,5, pp.452-459, May 1993.

.....