

ETS-VI搭載通信機器の開発経緯と実験計画概要

鈴木 良昭*¹ 木村 繁*¹ 若菜 弘充*²

(1994年1月24日受理)

DEVELOPMENT OF THE ETS-VI ONBOARD COMMUNICATIONS
EQUIPMENT AND AN OVERVIEW OF
PLANNED EXPERIMENTS

By

Yoshiaki SUZUKI, Shigeru KIMURA,
and Hiromitsu WAKANA

The ETS-VI will be launched in August 1994 during the second test flight of the Japanese H-II launch vehicle. The purposes of the ETS-VI program are to confirm the ability of the H-II to launch a 2-ton-class geostationary satellite, to establish the 2-ton-class 3-axis-stabilized satellite bus, and to develop advanced satellite communication payloads including CRL's mission payloads.

The ETS-VI carries three CRL mission payloads; S-band Intersatellite Communication equipment (SIC), O-band satellite Communication Equipment (OCE), and Laser Communication Equipment (LCE).

The SIC has been developed by CRL and NASDA in cooperation since 1986 and has a multibeam phased-array antenna enabling communication between the ETS-VI and several low-earth-orbit (LEO) satellites. CRL and NASDA plan to do satellite data relay experiments using the SIC and LEO satellites.

The OCE has been being developed by CRL since 1986 and has a millimeter-wave-band transponder that features a GaAs FET high power amplifier (HPA) operating in the 38-GHz band. CRL plans to do the intersatellite link simulation experiments using the OCE and simulated user satellite on the ground and to do satellite personal communication experiments using small earth terminals.

CRL has been developing the LCE since 1986 in order to establish basic technologies for laser communications in space. The OCE has a telescope 7.5 cm in diameter and can transmit a 0.82- μ m laser beam and receive a 0.5- μ m laser beam. CRL plans to do basic laser communication experiments between ETS-VI and an earth station that has a 1.5-m telescope.

[キーワード] 衛星間通信, ETS-VI, マルチビームフェーズドアレイ, ミリ波, 光通信.

Intersatellite communication, ETS-VI, Multibeam phased array, Millimeter wave band, Optical communication.

1. はじめに

*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

通信衛星及び放送衛星が実用化され、さらに地球観測、航法援助、有人宇宙ステーション等の分野で宇宙利用が

様々な形で発展する中、宇宙通信で扱う通信の量及び種類は極めて多くなってきており、新しい通信技術の開拓が必要になってきている。例えば、周波数の有効利用技術、新周波数帯の開発、移動体衛星通信技術、衛星間通信技術等の技術開発が挙げられる。通信総合研究所ではこのような技術開発の一環として、技術試験衛星VI型(ETS-VI)を用いた衛星通信実験計画を推進し、搭載装置の開発及び地上実験施設の整備を進めた。

通信総合研究所がETS-VIに搭載する装置は、Sバンド衛星間通信実験機器(SIC; S-band Intersatellite Communication Equipment)、ミリ波帯衛星通信実験機器(OCE; O-band Communication Equipment)及び光衛星間通信基礎実験機器(LCE; Laser Communication Equipment)の3つである。ここでは、これまでの計画及び開発の経緯とこれらETS-VI実験機器を用いた衛星通信実験計画の概要について述べる。

2. ETS-VI 搭載通信機器の開発経緯

ETS-VIは1994年度夏期にH-IIロケット試験機で打ち上げられる予定であり、ロケットの打上げ性能確認、衛星のバス系の技術を確認することの他、衛星通信実験にかかわるミッション機器等の技術開発を目的としている⁽¹⁾。第1表にETS-VIの主要諸元を示す。

通信総合研究所では、1977年3月に打ち上げられたETS-IIによる準ミリ波帯伝搬実験、1982年9月に打ち上げられたETS-IIIによる衛星追尾光伝送実験、そして1988年8月に打ち上げられたETS-Vによる移動体通信実験等を実施してきている。ETS-VIによる実験では、これらの技術試験衛星での実験成果及び種々の衛

星による通信実験、伝搬実験、光伝送実験及びマルチビームアンテナの研究開発の成果を踏まえた技術実験として、Sバンド、ミリ波、光の衛星間通信実験及びミリ波帯パーソナル衛星通信基礎実験を行う予定である⁽²⁾⁽³⁾。

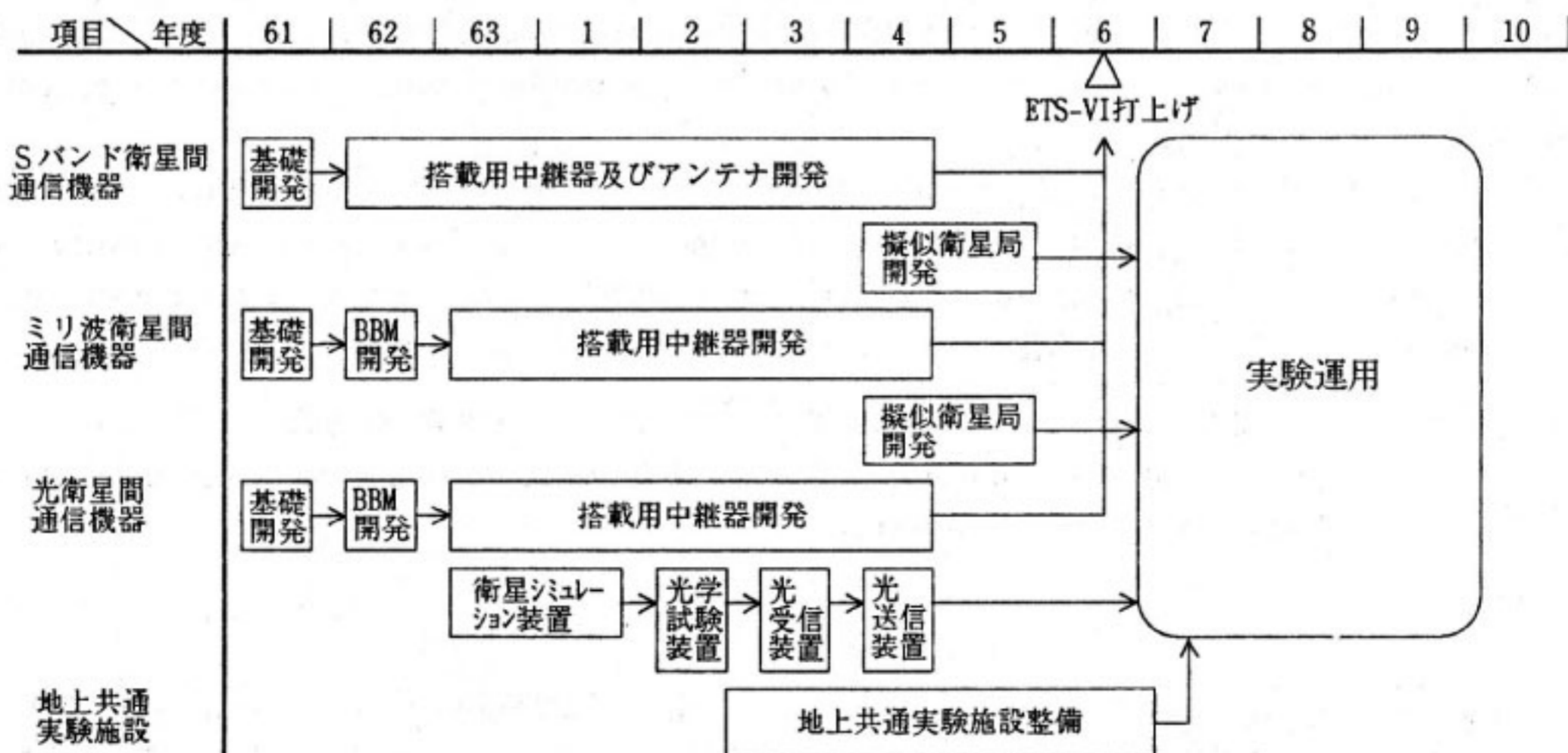
当所のETS-VI開発手順は、各機器ともまず、開発要素の高いキーテクノロジー部分のみを従来の試作モデル(BBM; Bread Board Model)レベルで試作し、その後試作成果に基づき搭載機器モデルの開発に入るもので、ETS-VI全体システムの電気性能試験を経たのちに必要の改修を施し、衛星本体に組み込むこととした。第2表に通信総合研究所の担当した搭載機器の開発スケジュールを示す。

Sバンド衛星間通信実験機器⁽⁴⁾については、1980年度より、要素技術であるSバンドマルチビームアンテナの研究開発⁽⁵⁾を開始しており、1986年度にはマルチビーム合成制御回路を試作し、その成果を踏まえて、1987年度より搭載用中継器及び1988年度より搭載用アンテ

第1表 技術試験衛星VI型(ETS-VI)の主要諸元

打ち上げロケット	H-II ロケット
打ち上げ時期	1994年度 夏期
衛星重量	3.8トン(打上げ時) 約2トン(静止軌道上初期)
搭載実験機器重量	660kg以上
発生電力	4100W以上(10年後、夏至時)
搭載実験機器供給電力	2800W以上
姿勢制御方式	三軸制御方式
姿勢制御精度	ロール/ピッチ ±0.05° ヨー ±0.15°
静止軌道位置	東経153.8°
軌道保持範囲	南北 ±0.1° 東西 ±0.1°
設計寿命	10年(実験機器は3年)
目的	2トン級静止三軸衛星技術の確立 衛星間通信、固定・移動体通信実験

第2表 ETS-VI搭載通信機器開発年次計画



ナの開発を宇宙開発事業団 (NASDA) と共同で行った。

ミリ波帯衛星通信実験機器⁽⁶⁾については、1986年度にまず、高い周波数において重要となる40 GHz帯局部発振部の電圧制御位相同期発振器、引き続き、1987年にGaAsFETを用いた増幅器モジュールの試作を行い、1988年度より搭載用中継器の開発に着手している。

光衛星間通信基礎実験機器⁽⁷⁾については、1987年度に光ビーム制御部の部分試作を行っており、1988年度より搭載機器の開発に着手した。

その後、各搭載機器は開発モデル (EM; Engineering Model) レベルの製作を終え、1989年度にNASDAで実施したETS-VI全体の試験であるシステム電気モデル試験 (SEM: System Electrical Model) 試験に供した。SEM試験は、EMレベルの各搭載機器を衛星全体システムとして組み上げ、その電気性能等を確認するもので、電気性能試験、電磁環境試験及びRF適合性試験等が実施された。SEM試験はほぼ順調に終了し、各機器は搭載化のための最終改修を終えている。また他に、NASDAにより熱及び構造モデルの試験が衛星全体システムとして実施された。

3. 地上施設の検討

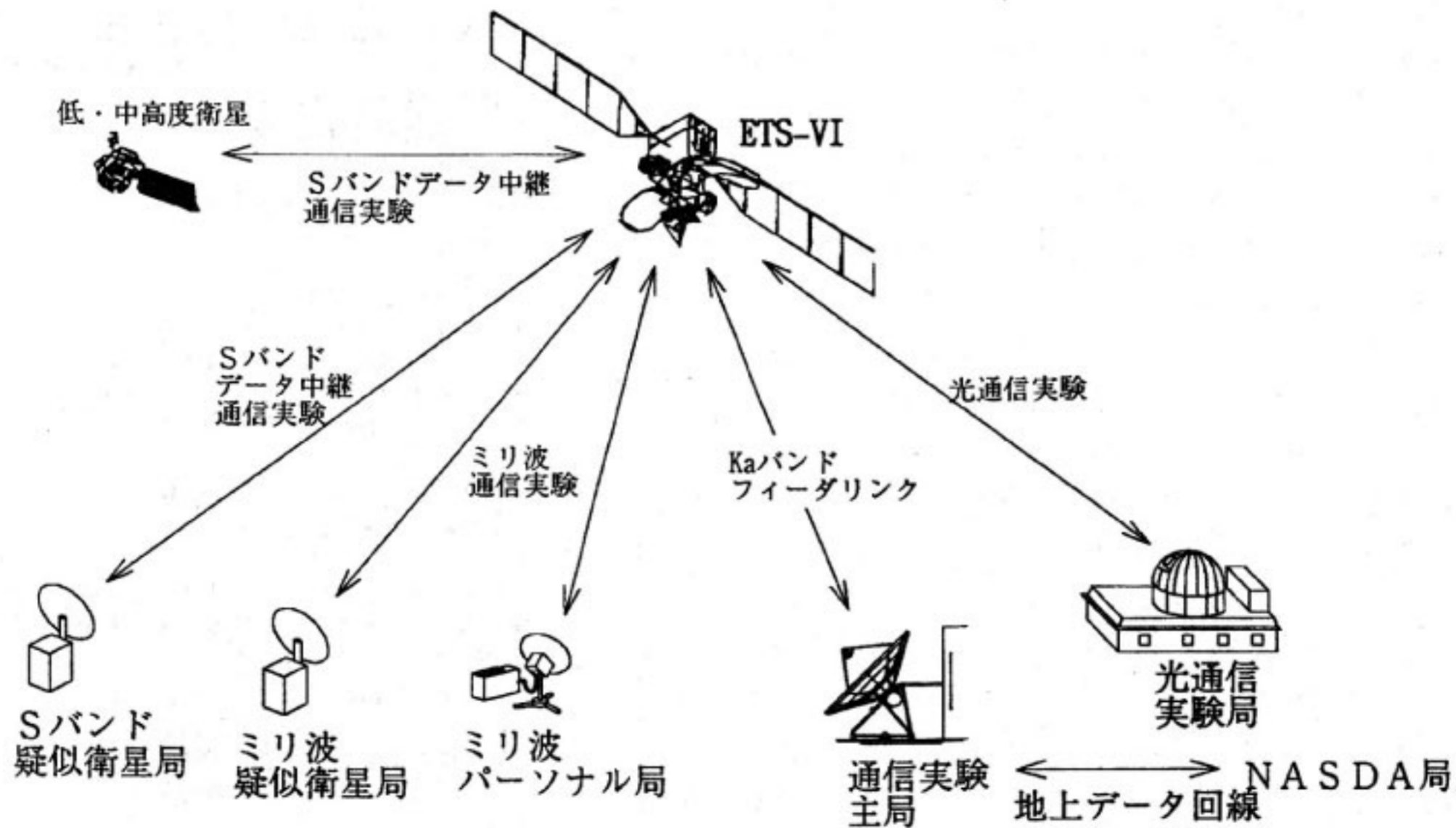
通信総合研究所の用意するETS-VI地上施設の主要部分は、1991年度より整備が開始された。このうち、光の地上施設については、1988年に既に整備されてい

る光通信センターの直径1.5 m望遠鏡システムを使用し、送受信機を含む通信系装置及びデータ処理装置については新たに整備を行った。第1図に地上施設を含む実験システム全体の構成を示す。フィーダリンク地球局は、Sバンド通信実験及びミリ波帯通信実験に用いるもので当所の関東支所鹿島宇宙通信センターに整備されている。衛星の周波数系を地上と位相同期状態 (コヒーレント) にするための基準となるパイロット信号発生器及び各種通信端局を整備した。また、衛星間通信実験のユーザ衛星を模擬する直径2 mのアンテナ規模の疑似衛星局をミリ波及びSバンド通信実験用に整備した。

衛星搭載通信機器の運用のためのテレメトリ及びコマンド運用設備としては、光通信地上局及びフィーダリンク局にテレメトリ・コマンド用の端末を整備している。通信総合研究所ではテレメトリ・コマンド信号のRF送受信設備は用意せず、NASDAの管制局との間でテレメトリ及びコマンドデータの授受を専用回線を介して行う。

4. 実験計画の概要

衛星間通信システムとしては、米国のTDRS (Tracking and Data Relay Satellite) システムが実用化されている。TDRSはSバンドの低速データ通信により、20までのユーザ衛星 (データ中継を行う相手衛星) からのデータを同時にTDRSを介して地球局に中継することができるSバンドマルチプルアクセスの他、直径4.9



第1図 ETS-VI実験システムの概要

m パラボラアンテナによる S バンドシングルアクセス及び Ku バンドシングルアクセスを備えている。

欧州においても、データ中継システム (DRS: Data Relay System) を計画している。DRS では、リターン回線の伝送速度を低速度と高速度に分類し、低速度では S バンドを、高速度には 26 GHz 帯の K バンド及び波長 $0.8 \mu\text{m}$ の光を使用する計画である。また、DRS に先立ち、要素技術の修得のための実験計画が予定されている。PSDE (Payload and Spacecraft Development and Experimentation) 計画では、1996 年以降打上げ予定の静止衛星アルテミス (ARTEMIS) と観測衛星 SPOT-4 との間で、光による衛星間通信実験が予定されている。

一方、我が国でも独自の将来のデータ中継・追跡衛星 (DRTS) の実現を目指しており、衛星間通信に必要な技術修得を目的として、ETS-VI による S バンド (2.3/2.1 GHz)、K バンド (26/23 GHz) 及びミリ波 (43/38 GHz) の衛星間通信システムの実験及び光による衛星間通信基礎実験が計画された。

S バンドは、割当て帯域幅が十分でないこと、電力束密度の制限から、音声信号、コマンド、テレメトリなどの低、中速度のデータ伝送に限られるが、十分な宇宙実績が積まれており、機器開発上のリスクが少ない。また、マルチビームフェーズドアレーアンテナ技術によりデータ中継衛星上の 1 個のアンテナで同時に複数個のユーザ衛星との回線が設定できる、などの特長を有している。ETS-VI 実験ではオンボードビーム形成方式によるマルチビームフェーズドアレーアンテナを開発するとともに、低高度衛星との間の日本で初めての衛星間データ中継実験を行う予定である。

通信総合研究所では、1978 年から NASDA との間でデータ中継衛星に関する共同研究を実施するとともに、先に述べたように 1980 年度より要素技術として S バンドマルチビームアンテナの研究開発を行ってきた。ETS-VI では、1987 年より NASDA と共同で SIC の開発を行ってきており、これを用いて両者が協力して我国初の衛星間データ中継実験を行う予定である。S バンド衛星間通信はマルチプルアクセス方式であり、衛星上でビーム形成処理を行う、19 素子マイクロストリップアンテナによる送信 1 ビーム、受信 2 ビームのアクティブアレー方式を採用している。ユーザ衛星として、1995 年に打上げ予定の地球観測プラットフォーム技術衛星 ADEOS (Advanced Earth Observing Satellite) の他、TDRS システムに適合する衛星を想定している。本機器を用いて当所では、第 3 表に示す実験項目を予定している。

K バンド及びミリ波帯については、S バンドには不向きな高速度のデータ伝送が可能である。技術的には、アンテナの構成、追尾方式などアンテナ周りに関する部分がキーテクノロジーとなっている。特に、S バンドのように電氣的にビーム走査が可能なマルチビームのアンテナを構成するのは困難で、現状ではユーザ衛星とデータ中継衛星との間で 1 対 1 の通信を行うシングルアクセスが主な通信形態と考えられている。ETS-VI では、K バンドを用いたシングルアクセス方式の衛星間通信実験機器 (KSA; K-band Single Access inter-satellite communication equipment) が NASDA により開発され、データ伝送実験が行われる予定である。KSA システムでは、ブームを介して衛星本体からせり出した形で、ジンバル駆動機構を有するプラットフォームが取り付けられ、そのプラットフォームに通信機器、衛星追尾受信機、追尾機構、直径 80 cm のアンテナが搭載されている。また、このプラットフォームにミリ波帯の直径 40 cm のアンテナと当所が開発する OCE が搭載されている。ミリ波帯 (30 GHz 以上) は、地上回線との干渉がないこと、機器の小型軽量化が図れ、大容量通信が行えるという特長を有しているが、高周波数帯の送信及び受信装置の開発がキーポイントとなる。ETS-VI 実験では、信頼性、性能等の点から将来性のあるガリウム・ヒ素 (GaAs) FET を用いた固体化電力増幅器 (SSPA; Solid State Power Amplifier) を用いた全固体化中継器を開発しており、地上の疑似衛星局との間の通信実

第 3 表 S バンド衛星間通信実験

- | | |
|----|---|
| 1) | 搭載機器の宇宙における性能確認実験
フェーズドアレーアンテナの性能確認実験
中継器の性能確認実験
ビーム指向精度確認実験
追尾精度確認実験
軌道六要素モード追尾の実証実験 |
| 2) | 衛星間データ中継実験
低速マルチプルアクセス実験
中速データ伝送実験
小型衛星との低速データ伝送実験
ドップラー補償通信技術に関する実験
ビーム走査によって生じる誤り発生測定
位相ジャンプ時の誤り発生測定 |
| 3) | 応用実験
ETS-VI を用いたスペース VLBI 実験
陸上移動体伝搬特性測定 |
| 4) | 後期応用実験
3 局折り返し測距による実時間衛星軌道決定実験
静止衛星と周回衛星の同時軌道推定実験
複数衛星を用いた測位実験
静止軌道上航法実験
ドップラーリレーによる移動体測位
気球を疑似衛星とする衛星間通信実験
TDMA 方式による衛星間通信実験
衛星間リンク補償技術
超低速データ伝送実験
静止衛星-周回衛星間の伝搬特性 |

験を行う予定である。

また、さらに、この中継器を使用して新周波数帯の利用を開拓する立場からミリ波帯パーソナル衛星通信基礎実験も実施する予定である。ミリ波帯は、マイクロ波・準ミリ波に比較して広帯域かつ未利用である。また、降雨・大気による減衰の点では、ミリ波は不利であるが、高い稼働率が要求される大規模基幹回線と異なり、パーソナルな使用を目的とする回線には適している。このため、近年、高い周波数帯 (30/20 GHz 及び 50/40 GHz) でパーソナル衛星通信システムを実現しようとする研究が各国でも行われるようになってきている。

米国では、30/20 GHz 帯を使用したパーソナルアクセスシステムの検討が行われており⁽⁸⁾、ACTS 衛星を用いた実験も計画されている。また、イタリアでは、50/40 GHz 帯を用いた移動体通信システムの検討が行われており⁽⁹⁾、1991年に打上げられた ITALSAT に搭載されている 20, 30, 40 及び 50 GHz ビーコンによる伝搬実験が行われている。その他、カナダ、スペインでも30/20 及び 50/40 GHz 帯のパーソナル衛星通信システムの検討例があり⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾、高い周波数帯を用いたパーソナル衛星通信の検討が今後ますます重要となっていくと思われる。

我国では、既に、静止プラットフォームでの実現を目指した搭載用交換器の検討、低雑音増幅器及び 40 GHz 帯 20 W TWTA の開発が進められており⁽¹²⁾⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾、ETS-VI では、パーソナル衛星通信の要素技術を確認するため、さきに述べたミリ波帯中継器と今後開発を予定している超小型地球局を用いた各種通信実験を行う予定である (第4表参照)。

光衛星間通信システムは、電波との干渉がないこと、また、将来の大容量 (1 Gbit/s 以上) の衛星間通信に適していると期待されることから、NASA、欧州宇宙機関 (ESA) でも精力的に検討されている。光衛星間通信技術特有の要素技術として、高精度な光ビーム制御技術があり、ETS-VI 実験では、7.5 cm の望遠鏡及び半導体レーザを用いた光送受信機を搭載し、静止衛星と地上間でこの技術を修得するため、捕捉・高精度追尾実験や 1 Mbit/s の双方向データ伝送実験等、世界初の地上-衛星間光通信実験を行う予定である (第5表参照)。

5. 計画推進体制

通信総合研究所には、所内の計画推進体制として ETS-VI 計画推進本部が設置されている。その下に、三つの実験ミッションに対応する S バンド通信分科会、ミリ波通信分科会及び光通信分科会、また、地上施設の整備計画を検討する地上施設検討分科会を設けている。

第4表 ミリ波衛星通信実験

- | | |
|----|---|
| 1) | 衛星搭載機器の特性測定
搭載アンテナの特性測定
搭載中継器の特性測定 |
| 2) | 衛星間通信実験
擬似衛星局基本特性測定
衛星初期捕捉実験
衛星間通信プロトコル評価実験
テレオペレーション基礎実験 |
| 3) | ミリ波通信基礎実験
ミリ波通信基礎実験
降雨実験及びマルチパス補償実験 |
| 4) | ミリ波パーソナル衛星通信実験
超小型地球局評価実験
パーソナル衛星通信基礎実験
パーソナル衛星通信応用実験 |
| 5) | ミリ波伝搬実験
減衰特性測定実験
降雨散乱特性測定実験 |
| 6) | ミリ波応用実験
地球局監視実験
時刻供給実験 |

第5表 光衛星間通信基礎実験

- | | |
|----|--|
| 1) | 実験システムに関する基礎実験及び測定
ETS-VI 光学観測
LCE 機器温度モニタリング
地上→LCE 光ビーム伝送実験
LCE→地上光ビーム伝送実験 |
| 2) | 衛星間光リンク構成に関する実験
光ビーム捕捉・追尾実験
光ビーム指向制御実験
双方向光リンク構成シーケンスの実証実験
光ビーム遠方界パターン測定
LCE 姿勢及び微小振動環境の測定 |
| 3) | 光通信実験
双方向光通信実験
光変復調方式に関する実験
光通信デモンストレーション
サイトダイバーシティ通信実験 |
| 4) | 長期データ収集・応用実験・共同実験
光デバイス動作特性データの収集
光ビーム伝搬データの収集
高輝度人工衛星としての利用実験
複数局光学観測による静止軌道決定実験
相互追尾・指向の安定性評価実験 |

S バンドの搭載機器は NASDA との共同開発であり、これを用いた実験も協力して実施する予定である。また、S バンド、ミリ波帯及び光の搭載機器とも NASDA が衛星への組み込みを担当し、S バンド及びミリ波帯機器については NASDA の開発するフィーダリンク機器を使用すること、また、ミリ波帯の機器は NASDA の開発する K バンド衛星間通信用機器を使用すること、実験機器の運用を NASDA の TT&C 地球局を介して行

うこと等から、NASDA との密接な協力体制が必要である。このため、通信総合研究所と NASDA の間の連絡会を設けるとともに、インターフェース調整会議等の場で密接な協力を行ってきた。

6. む す び

ETS-VI 実験計画は、H-II ロケット開発が難航したため、当初の計画から2年遅れたもののいよいよ夏の打ち上げを待つばかりとなった。初期の構想段階から10年以上の長きに渡っているが、この間 ETS-VI 計画に関係した多くの方々に深謝したい。また、当所のミッション機器を ETS-VI に搭載するにあたり、多くの調整作業、試験作業等にご尽力いただいた宇宙開発事業団の関係諸氏に深謝する。

参 考 文 献

- (1) K.Nakamaru, K.Kondo, T.Katagi, M. Tanaka, "An Overview of Japan's Engineering Test Satellite VI(ETS-VI) Project", ICC '89, pp.52.3.1-52.3.5, 1989.
- (2) 鈴木, 島田, "ETS-VI による衛星通信実験の計画", 第72回電波研究所研究発表会, 1987年6月3日.
- (3) T.Shiomi, Y.Suzuki, S.Okubo, M.Shikatani, S.Shimoseko, M.Tanaka, K.Nakamaru, "Plan of Advanced Satellite Communications Experiment Using ETS-VI", 16th ISTS, 1988.
- (4) 田中, 木村, 手代木, 松本, 伊藤, 赤石, 水溜, 大久保, "ETS-VI 搭載 S バンド衛星間通信用アンテナの開発", 信学論 (B), J76-B-II, 5, pp.442-451, 1993年5月.
- (5) 手代木, 中條, 赤石, 広瀬, "データ中継衛星用マルチビームアレーアンテナ", 信学論 (B), J69-B-II, pp.1441-1452, 1986年-11月.
- (6) 門脇, 島田, 鈴木, 井上, 齊藤, "ETS-VI 搭載ミリ波帯中継器の設計と特性", 信学論 (B), J76-B-II, 5, pp.452-459, 1993年5月.
- (7) Y.Arimoto, M.Shikatani, S.Yoshikado, Y. Suzuki, and T.Aruga, "Development of Space Optical Communication Equipment for ETS-VI", 17th, ISTS, May 1990.
- (8) P.Estabrook, J.Huang, W.Rafferty, and M. K.Sue, "A 20/30 GHz Personal Access Satellite System Design", ICC '89, pp 7.4.1- 7.4.7, 1989.
- (9) G.Falciasecca, et al., "Feasibility of an EHF (40/50 GHz) Mobile Satellite System Using Highly Inclined Orbits", International Mobile Satellite Conference, Ottawa, 1990.
- (10) E. K. Tsang and R. Duville et al., : "A Potential 21st Century Satellite Communications Application: Personal Communications", Space Communications, 7, 2, pp.133-138, March 1990.
- (11) J. Jimenes-Delgado, et al., "Personal Communication Systems in 40/50 GHz Band", 8th International Conference on Digital Satellite Communications, pp.145-150, April 1989.
- (12) 大越, 小宮山, 吉富, 石津, "衛星搭載ミリ波パーソナル通信用交換器に関する検討", 第32回宇宙科学技術連合講演会, 1988.
- (13) 井上, 泉, 石津, 菊池, 牧野, 久保, 高橋, 岩波, "ミリ波パーソナル通信衛星搭載用 40 GHz 帯 120W TWTA の検討", 第32回宇宙科学技術連合講演会, 1988.
- (14) 志垣, 泉, 石津, 大橋, "ミリ波パーソナル通信衛星搭載用低雑音増幅器の検討", 第32回宇宙科学技術連合講演会, 1988.