

2 技術試験衛星Ⅷ型(ETS-Ⅷ)計画の概要

2 Overview of the Engineering Test Satellite Ⅷ (ETS-Ⅷ) Project

浜本直和 吉本繁壽 今江理人

HAMAMOTO Naokazu, YOSHIMOTO Shigetoshi, and IMAE Michito

要旨

技術試験衛星Ⅷ型の開発計画は、平成4年度に郵政省が行った次世代の移動体衛星通信・放送システム技術のための次期研究開発衛星の概念設計から始まった。本計画は日本におけるS帯を用いた携帯端末による移動体衛星通信システム及び高品質デジタル音声放送を提供する移動体音声放送システムの基盤技術を確立するためである。これらを実現するため、宇宙航空研究開発機構(JAXA)、通信総合研究所等の機関は開発テーマを分担して、衛星本体、搭載大型展開アンテナ、フェーズドアレー給電部、音声及びデータ通信用搭載交換機、高精度測位システム等の技術開発を行ってきた。現在、コンポーネントとしての開発は終了し、平成16年打上げを目指した衛星システムの地上試験がJAXA筑波宇宙センターで行われている。本報告は、この衛星開発プロジェクトの経緯、開発のための組織体制及び軌道上実験計画の概要について述べるものである。

The Engineering Test Satellite Ⅷ (ETS-Ⅷ) project started from a conceptual design for a mobile satellite communications and broadcasting system produced by the Ministry of Post and Telecommunications in 1992. The aim of this project is to develop fundamental technologies for mobile satellite handheld phone services and digital sound broadcasting services using the S-band frequency. To develop the required technology in Japan, the Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA), the Communications Research Laboratory (CRL), and other organizations have collaborated to develop a large satellite bus, large scale deployable reflectors, a phased array antenna feed system, onboard signal switching equipment for voice and data communications, a high-accuracy positioning system, and so on. The development of the onboard components is almost complete and a ground test of the satellite system is being conducted at JAXA's Tsukuba Space Center in preparation for launching the satellite in 2004. This report presents an overview of the history of the ETS-Ⅷ project, the organizational structure, and the in-orbit experiments.

[キーワード]

技術試験衛星Ⅷ型, 移動体衛星通信, 移動体音声放送, 基盤技術の開発, S帯

Engineering Test Satellite Ⅷ, Mobile satellite communication, Mobile satellite broadcasting, Development of fundamental technology, S-band frequency

1 まえがき

技術試験衛星Ⅷ型(ETS-Ⅷ)の開発は、次世代移動体衛星通信及び衛星測位システムに必要な基盤技術の開発を目的とした日本の衛星開発プロジェクトである。この衛星開発プロジェクトでは以下の新しい技術開発及びこれらの技術の

軌道上実証・実験を行うことを目的としている[1]-[3]。

- ・3トン級大型静止衛星バス技術
- ・搭載大型展開アンテナ技術
- ・携帯端末等小型地球局による移動体衛星通信技術
- ・測位衛星システム基盤技術の構築

3トン級大型衛星バスは、今後ますます増大する通信需要の大容量化に対応する次世代の衛星通信システムに不可欠な技術のみならず、将来の宇宙活動を支える宇宙インフラストラクチャーとしての共通的な技術である。また、搭載大型展開アンテナ技術は、小型端末を利用した衛星携帯電話システムを実現するために不可欠な技術であると同時に、その技術は将来の静止プラットフォーム等の軌道上大型構造物の構築にも有用である。次世代の携帯端末による移動体衛星通信は、衛星通信システムの新しい利用形態として期待されており、これらのサービスを実現するための搭載アンテナビームのマルチビーム化及び通信用搭載交換機が必要不可欠な技術となる。測位衛星システムの基盤技術構築は、既存の衛星測位システムの補強や補完、さらには将来の独自システム開発につながるものである。図1にETS-Ⅷの技術開発で可能になるサービスイメージを示す。

この衛星開発プロジェクトには、総務省¹、文部科学省²を中心として、通信総合研究所(CRL)、宇宙航空研究開発機構³(JAXA)、株式会社次世代衛星通信・放送システム研究所⁴(ASC)、日本電信電話株式会社(NTT)が参画し、平成16年打上げ(JAXA種子島宇宙センターからH-IIAロケットにより打上げ予定)を目指して衛星本体、搭載機器、地上局関連施設の開発を進めてきた。衛星打上げ後は、開発機関による搭載機器の軌道上実証実験、基本的な移動体衛星通信・測位実験を行うとともに、国内及び海外の大学、研究機関、民間企業等による多様な衛星通信アプリケーション開発を目的とした利用実験も予定されている。このように、国を中心として多方面の機関の参加によりリスクの高い技術開発、軌道上実証実験を行うことで、技術立国としての日本の宇宙開発に大きく貢献できるものと思われる。本報告は、この新しい衛星開発プロジェクトについて、その開発経緯及び開発計画を

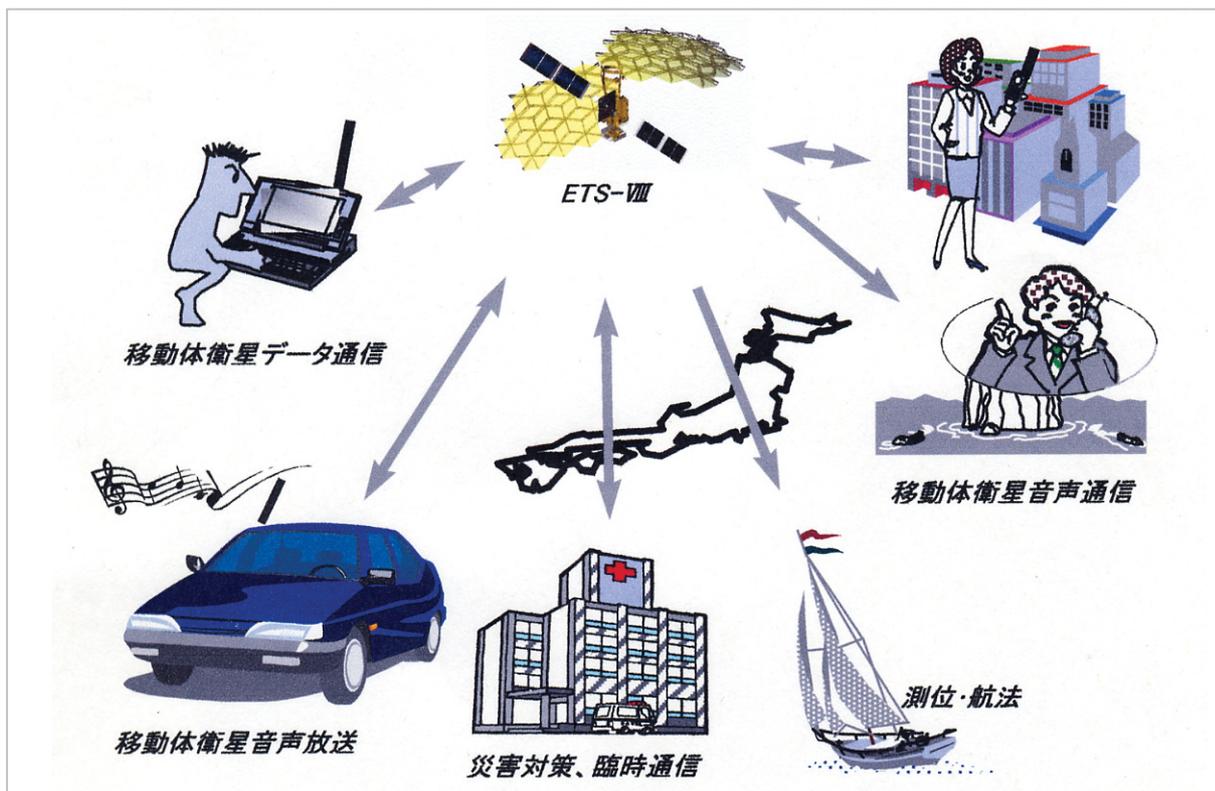


図1 ETS-Ⅷのサービスイメージ

1 旧郵政省、旧総務庁、旧自治省を母体に平成13年1月発足。本稿での総務省は旧郵政省の部分を指す。
 2 旧文部省、旧科学技術庁等を母体に平成13年1月発足。本稿での文部科学省は旧科学技術庁の部分を指す。
 3 旧宇宙開発事業団、旧宇宙科学研究所、旧航空宇宙技術研究所が平成15年10月に統合された機関。本稿でのJAXAは旧宇宙開発事業団の部分を指す。
 4 基盤技術研究促進センター及び民間企業出資の研究開発法人、平成13年3月研究業務終了。

紹介する。

2 開発の経緯と体制

昭和62年(1987)に打ち上げられた技術試験衛星V型による我が国初の陸・海・空を統合した移動体衛星システムの基盤技術開発が総務省、文部科学省、CRL、JAXA、NTTを中心に行われた。この成果を受けて、平成8年、我が国初の国内商用移動体衛星通信サービスを提供するN-STARがNTTグループにより打ち上げられ、2.5GHz/2.6GHz帯(S帯)による日本沿岸及び国内における船舶衛星電話、自動車衛星電話等の実用サービスが開始された。一方、当時の郵政省(現 総務省)は、その4年前(平成4年)から次世代の移動体衛星通信・放送システム技術のための次期研究開発衛星の概念設計に着手した。この技術開発目標は、当初S帯を用いた移動体衛星デジタル音声放送を実現する大型展開アンテナを搭載した「次世代の通信放送分野の研究開発衛星」として始まったが、平成5年の概念設計において携帯端末等の小型地球局による移動体衛星

通信を実現する大型展開アンテナ2面を搭載した移動体衛星通信・放送システムに発展した。この概念設計の結果、次世代の移動体衛星通信・放送システムの実現可能性が明らかになり、平成6年度の宇宙開発委員会において、総務省、CRLによるミッション機器の開発研究及びJAXAによる次世代技術の実証システムに関する研究が認められた。また、平成6年3月には、基盤技術研究促進センター及び民間企業出資による研究開発法人である、株式会社次世代衛星通信・放送システム研究所(ASC)が設立され、CRLと協力しながらミッション機器の研究開発を進めることになった。

その後、総務省、文部科学省、CRL、JAXA、NTT、ASCからなる「次期研究開発衛星に関する連絡会」(後に「技術試験衛星Ⅷ型(ETS-Ⅷ)に関する連絡会」に名称変更)が設置され、大型静止衛星バス、大型展開アンテナ、搭載ミッション機器等の検討を経て、平成9年度には技術試験衛星Ⅷ型として衛星全体の開発研究が宇宙開発委員会により認められてJAXAによる予備設計が行われた。この間にJAXA及びCRLから高精

表1 ETS-Ⅷの開発スケジュール

年度(平成)	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
宇宙開発委員会		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
衛星全体開発	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
ミッション機器開発	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
地上局施設整備				●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
備考													

度時刻基準装置及び高精度時刻比較装置の搭載が提案され、移動体衛星通信システムの技術開発に加えて将来の衛星測位システムの基盤技術確立の目標が追加された。平成10年度には、衛星開発全体の開発が認められ本格的な衛星開発に着手し、平成11年4月に衛星全体の基本設計審査(PDR)、平成13年11月には詳細設計審査(CDR)が行われ、現在、維持設計段階に至っている。図2に開発体制の構成、表1に開発スケジュールを示す。

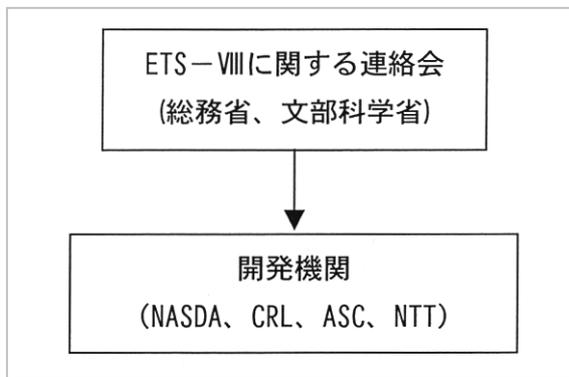


図2 ETS-Ⅷ開発体制

なお、ETS-Ⅷは概念設計当時には平成12年ないし13年の打上げを想定していた。また、宇宙開発委員会で開発研究が認められた時点では平成14年打上げを目標にしていたが、平成10年の通信放送技術衛星(COMETS)の静止軌道投入失敗、平成11年運輸多目的衛星(MTSAT)の打上げ失敗によるH-IIAロケット開発の遅れにより、現在平成16年にH-IIAにより東経146度の静止軌道上に打ち上げる予定である。また、当初のETS-Ⅷ計画では、スルーリピータモードを利用した衛星デジタル音声放送実験を計画していたが、総務省による衛星音声放送バンド(2535MHz~2540MHz)の将来利用計画の見直しの可能性及びスペクトル拡散方式を用いた衛星音声放送に関する技術基準答申とETS-Ⅷで準備した欧州規格に準じたOFDM方式の不整合から無線局免許の取得が困難になったため、現在OFDM方式による実験は通信バンドを用いた同報通信実験として行う予定である。

3 開発テーマと開発分担

ETS-Ⅷはその開発目的から、大型静止衛星バス、給電部を含む大型展開アンテナシステム、移動体通信ミッション機器、高精度時刻基準装置が重要な技術開発テーマである。以下に、各テーマの概略を述べる。

(1) 大型静止衛星バス

3トン級静止衛星バスは、今後更に大容量化する通信・放送衛星システムの共通宇宙インフラとして重要な技術であり、将来の実用化を目指した次世代の衛星バス技術として、衛星構体のモジュール化による衛星インテグレーションの容易化、搭載計算機による自律制御、7kW級大電力発生技術と100V電源バス技術、長寿命イオンエンジンの搭載とそれを用いた南北軌道制御等を開発目標としている。

(2) 大型展開アンテナシステム

大型展開アンテナシステムは、携帯端末等の小型地球局による移動体衛星通信・放送システムに必要な搭載高利得アンテナ技術で、14個のメッシュ鏡面モジュールを連結した電気的開口径13mのS帯大型展開鏡面とマルチビームを生成するフェーズドアレー給電部が主要な開発テーマである。フェーズドアレー給電部には、空間電力合成による最大出力400Wの高出力固体増幅器群、様々な形状のビームを日本周辺の任意の方向に生成するためのビームフォーミングネットワーク(BFN)、素子間のクロスカップリングを低減した軽量の給電素子等が含まれる。

(3) 通信ミッション機器

マルチビームを用いた衛星通信システムでは、任意のビーム間を1ホップで接続して衛星伝搬路の遅延時間を軽減する搭載交換技術が必要である。また、搭載交換機による再生中継では、上り回線雑音と下り回線雑音を分離することによる回線マージンの増大にも有効である。そのため、ETS-Ⅷでは音声通信に対応した1000ch級搭載交換機及び移動体向け高速データ通信用搭載パケット交換機を開発テーマとし、さらにKa帯フィーダリンク機器における位相雑音低減、実験用中継器として様々な実験構成が可能なS帯コンバータ部を開発する。

(4) 高精度時刻基準・比較装置

ETS-Ⅷでは日本で初めて高精度時刻基準装置(原子時計及びGPSと同等の信号発生器)及び高精度時刻比較装置を搭載する。これは、将来の我が国独自の衛星測位技術の基盤技術を確立することを目的とし、原子時計を軌道上で運用す

る技術や高精度軌道決定技術、地上と衛星間の精密な時刻比較を行う技術を確立するためのものである。

(5) 地球局関連設備の整備

Ka帯フィーダリンク局(基地局)、S帯基準局、

表2 ETS-Ⅷの開発テーマと開発分担

項目	主要な開発テーマ	主担当機関
大型静止衛星バス		
<ul style="list-style-type: none"> 3トン級静止衛星バス及びインテグレーション 	<ul style="list-style-type: none"> モジュール構造、搭載計算機による自律制御、7kW級電力発生、100V一次電源、超寿命イオンエンジン等の次世代バス技術 	NASDA
大型展開アンテナシステム		
<ul style="list-style-type: none"> 鏡面 フェーズドアレー給電部全体設計 給電素子 高出力送信・低雑音受信部 BFN(*2) 	<ul style="list-style-type: none"> 電氣的開口径13m、14モジュール リフレクターと組み合わせた全体電気設計 軽量、素子間低クロスカップリング 空間合成で400Wの高出力S帯SSPA(*1) ビーム方向可変、マルチビーム、周波数再利用のためビーム間低アイソレーション 	NASDA ASC CRL、ASC ASC CRL、NTT
通信・放送用ミッション機器		
<ul style="list-style-type: none"> フィーダリンク機器 音声通信用搭載交換機 データ通信用搭載交換機 S帯コンバータ部 	<ul style="list-style-type: none"> Ka帯低位相雑音、送受共通原振 音声級1000回線の回線交換 移動体向けパケット通信用回線交換 様々な実験に対応可能な中継器接続 	NASDA ASC CRL ASC
高精度時刻基準・比較装置		
<ul style="list-style-type: none"> 高精度時刻基準装置 高精度時刻比較装置 	<ul style="list-style-type: none"> 原子時計搭載技術、高精度軌道決定 地上～衛星間高精度時刻比較 	NASDA CRL
地球局関連設備		
<ul style="list-style-type: none"> Ka帯フィーダリンク局 移動体通信実験用S帯基準局 通信・放送実験用可搬局・端末 TTC設備 時刻基準実験用地上施設 時刻比較実験用地上施設 	<ul style="list-style-type: none"> 実験用主局機能、Ka帯周波数補正技術 S帯通信放送実験用基準システム 移動体通信用各種アンテナ、小型可搬局、車載局、利用実験端末、 CCSDS対応TTC設備、ミッション機器制御用TTCシステム 高精度軌道決定実験用 時刻比較実験用 	CRL CRL CRL、NASDA NASDA、CRL NASDA CRL

(*1) SSPA : Solid State Power Amplifier, (*2) BFN : Beam Forming Network

搭載交換機対応の地上端末装置、車載局、可搬局等の基本実験、利用実験のための地球局関連設備の整備を行う。

これらの機器を効率的に開発するため、「技術試験衛星Ⅷ型(ETS-Ⅷ)に関する連絡会」においてCRL、NASDA、ASC、NTTによる開発主担当機関を定めた。表2に主要な開発テーマと各機関の開発分担を示す。

なお、複数の機関が協力して円滑に開発を行うため、平成11年8月にはJAXA、CRL、ASC、NTT間で「技術試験衛星Ⅷ型の移動体通信・放送実験機器及び高精度時刻実験機器の開発並びにその打上げ及び運用に関する協定」が締結されている。また、各機関の間の情報交換、技術的問題点の解決、各種装置間インターフェース条件の設定等、様々な問題に対処するため定期的にインターフェース調整会議が継続して行われてきた。また、ASCは平成13年2月末をもってその研究開発業務を終了したため、ASCで開発した機器はCRLが引き継ぎ一部の機器において必要なりハービッシュを行った後、平成14年11月にCRL、ASC、NTTの開発機器はJAXAにすべて引き渡され、衛星構体への組み込み、地上試験が開始されている。

4 実験実施計画

ETS-Ⅷを用いた実験の目的は、大きく以下のカテゴリーに分けられる。

(1) 開発した大型静止衛星バス及び搭載機器の軌道上性能評価

開発した機器の軌道上における性能評価を行い、将来の実用システムのための設計の妥当性、問題点、運用性等を明らかにする。この評価は打上げ直後の初期チェックアウトから始まり、衛星の寿命が尽きるまでの定期的な測定による経年変化の追跡まで長期間にわたる実験評価が必要である。測定項目としては、衛星バスの基本的特性(発生電力の経年変化特性、軌道・姿勢保持性能、搭載バッテリー特性等)、大型展開アンテナの基本性能(アンテナパターン特性、ビーム指向精度、柔軟構造物としての振動、熱変形等)、RF機器特性(経年変化、搭載交換機の基本性能等)等がある。

(2) 次世代に向けた移動体通信技術確立のための基本通信実験

搭載交換機を介した移動体衛星通信システムの信号品質評価やマルチビーム間の接続特性、伝搬特性、各種地上局や端末装置の様々な環境下(歩行中、高速移動中、各種干渉下)の通信性能評価を行う。これらの実験を通して、次世代移動体衛星通信技術の有用性、実用化に向けた問題点の解明等を行い、将来の実用システムのための基盤技術を構築する。

(3) 将来の測位システム基盤技術構築のための実験

原子時計の衛星搭載は日本で初めての経験であり、原子時計運用技術の習得、高精度軌道決定実験や高精度時刻比較実験等の搭載原子時計の利用技術を確立することで、将来の衛星測位システム構築に貢献する。

(4) デモンストレーション及び利用実験

搭載交換機やマルチビーム環境での基本的な移動体衛星通信デモンストレーションを通して、次世代の移動体衛星通信システムの有用性をアピールするとともに、大学、研究機関、民間企業等の参加する利用実験を通して多様な移動体通信アプリケーションの開拓と普及を行う。

以上の軌道上実験を推進するための体制を図3に示す。衛星アプリケーション推進会議は総務省宇宙通信政策課が事務局となり、大学、研究機関、産業界等の有識者で構成する会議で、総務省が関連するETS-Ⅷ、超高速インターネット衛星、その他商用衛星を用いた基本実験、利用実験の計画、評価等の取りまとめを行う。その会議の下で、衛星開発機関による基本実験及び大学、研究機関、民間企業等の参加する利用実験実施協議会による利用実験が実施される。また、基本実験及び利用実験のスケジュール調整のための運用連絡会が設置される。

ETS-Ⅷを用いた実験では、衛星開発機関であるCRL、JAXA、NTTが上記(1)～(3)の基本実験を行い、利用実験実施協議会に参加する外部の機関により(4)の利用実験を実施する。

なお、利用実験に関しては、平成14年10月～12月に衛星アプリケーション推進会議による利用実験の公募が行われ、国内及び国外の大学、研究機関、民間企業から総計22の実験項目が提

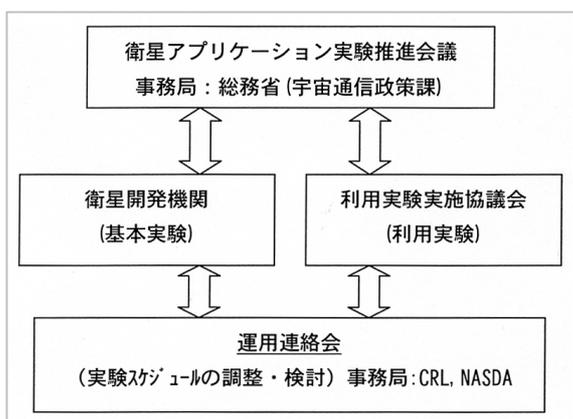


図3 ETS-Ⅶ実験推進体制

案され準備を始めている。

5 むすび

これまでに述べてきたように、ETS-Ⅶの開発計画は平成4年の概念設計から始まり、宇宙開発委員会で開発が認められるまでに6年、開発が本格化してから既に5年が経過している。計画当初は世界に類のない先進的な衛星開発計画であったが、その後諸外国では低軌道周回衛星システムによる衛星携帯電話の実用化(Iridium：1998年米国、Globalstar：2000年米国)、静止衛星と大型展開アンテナによる衛星携帯電話の実用化(Garuda：2000年インドネシア、Thuraya：2001年アラブ首長国連邦)が実現した。また、

H-IIロケットの失敗によるロケット開発の遅れも重なり、ETS-Ⅶで行われている技術開発は必ずしも世界最先端ではなくなってしまった部分もある。しかしながら、次世代の移動体衛星通信に適したモジュール構造の大型展開アンテナ、複数ビームを一括して任意の方向に可変できるマルチビーム、再生中継による音声通信用搭載交換機、高速データ通信用の packets 交換機及び搭載原子時計の新たな応用を可能にする高精度時刻比較装置はいまだ搭載例がなく、さらに3トン級大型静止衛星バス技術の確立や原子時計の軌道上運用技術の習得は今後の衛星通信・放送・測位分野のインフラストラクチャーとして今後も重要な技術である。また、搭載機器だけではなく基地局や各種可搬局及び端末装置等の地球局関連施設の開発を含め、ETS-Ⅶの開発段階において蓄積されてきた様々な技術は産業界における今後の衛星開発にも大きく貢献するものと思われる。

最後に、ETS-Ⅶの開発は平成16年度打上げを目指して現在最終段階の作業が継続しており、また打上げ後の軌道上実験により得られる成果が期待されているが、本計画がここまで来られたのは計画当初からかかわってきた産学官の多くの方々の問題解決への努力と開発に向けた熱意のたまものであることを記して本稿を終わる。

参考文献

- 1 吉本, "移動通信における静止衛星の役割－ETS-Ⅶ通信放送システムの開発－", 信学技報, SANE97-120, 1998年1月.
- 2 K. Yonezawa, M. Hamma, S. Yoshimoto, S.Hama, T. Ohira, N. Natri, and Y. Tsusumi, "Outline of Engineering Test Satellite Ⅶ", 21st International Symposium on Space and Tech. and Sci., ISTS 98-h-01V, Omiya, May, 1998.
- 3 Y. Kawakami, S. Yoshimoto, Y. Matsumoto, T. Ohira, N. Hamamoto, "S-band Mobile Satellite Communications and Sound Broadcasting System in ETS-Ⅶ", 21st International Symposium on Space and Tech. and Sci., ISTS 98-h-02, Omiya, May, 1998.



はまもと なおかず
浜本直和
無線通信部門研究主管
衛星通信工学



よしもと しげあき
吉本繁壽
企画部広報室長
衛星通信工学



いまい りつと
今江理人
電磁波計測部門時間周波数計測グループ
リーダー
周波数標準、特に高精度時刻比較