

ETS-VIの概要

田中 俊輔*¹ 北原 弘志*¹ 金森 康郎*¹ 鈴木 良昭*²

(1994年1月24日受理)

OUTLINE OF ETS-VI

By

Shunsuke TANAKA, Hiroshi KITAHARA, Yasuro KANAMORI,
and Yoshiaki SUZUKI

The Engineering Test Satellite VI has been developed to establish Japan's technology for two-ton-class, 3-axis-stabilized geostationary satellites. It has two payloads totaling 666 kg, experimental bus equipment for follow-on satellites, and advanced experimental communication equipment needed for near-future satellite communications. The satellite's bus has first-class quality regarding payload mass capacity, generated power, precision of attitude control, and fault-tolerance of attitude control. It uses the world's first ion engine to perform N/S station-keeping for ten years. The satellite has been being developed since 1987 and the system testing was recently completed. The satellite is now in launch-site testing in preparation for launch this summer. This paper will describe the satellite system, its major system characteristics, and experiments.

[キーワード] ETS-VI, 技術試験衛星VI型, 静止衛星.
Geostationary Satellite.

1. はじめに

高度情報化社会のニーズに応え、ニューメディア時代を先導していくためには、これを支える大きな柱の一つである大型で高性能な通信衛星、放送衛星などの実用衛星が必要となる。ETS-VIは、今後、21世紀にかけて必要となる2トン級静止三軸姿勢制御型の実用衛星を実現するための技術基盤を確立することを第一の目的として平成6年夏期の打ち上げを目指して開発が進められた技術試験衛星であり、世界の大型衛星に十分比肩しうる衛星として、大きな期待が寄せられている。

その具体的な開発目的は、まず大型静止三軸衛星を実現するための基本機器技術や大型衛星のシステム技術の確立であり、これに加え将来の高度情報化社会や広範な人類の宇宙活動を支えるための高度衛星通信技術の軌道上実験・実証という大きな目的を持っている。この他、

衛星を一層高性能化するための先端的な技術や機器・部品を宇宙で実証するためにバス系搭載実験機器も搭載し、実証実験を行う。打ち上げに際しては、H-IIロケットの打ち上げ時の振動などの打ち上げ環境の測定も重要な開発目的の一つとなっている。

ここでは、ETS-VI ミッションの概要及びコンフィギュレーションとバス系機器の概要、通信実験の概要及び打ち上げまでに必要な各種試験モデルの開発及び試験作業等について述べる。なお、本稿は、宇宙開発事業団発行(1993.8)のETS-VIのパフレットを基に作成した。

2. ミッション概要及び開発分担

ETS-VIの搭載実験機器(ミッション機器)は、大別して通信系搭載実験機器とバス系搭載実験機器から構成されている。

通信系搭載実験機器は、高度衛星通信技術の軌道上実証のため、次の実験に使用される。

1) マルチビーム方式による固定通信および移動体衛星

*¹ 宇宙開発事業団*² 宇宙通信部 衛星間通信研究室

第1表 ETS-VIの開発分担

宇宙開発事業団の担当
・衛星システムインテグレーション
・衛星バス
・バス系搭載実験機器
・Sバンド及びKaバンド衛星間通信用実験機器
通信総合研究所の担当
・Sバンド衛星間通信用機器
・Oバンド通信用機器
・光通信基礎実験装置
日本電信電話株式会社の担当
・固定通信及び移動体通信用実験機器

通信技術の実験

- 2) 衛星間通信技術の実験
- 3) 光通信技術の実験
- 4) パーソナル衛星通信技術の実験

バス系搭載実験機器は、将来の衛星開発に資するため、次の実験とデータの取得に使用される。

- 1) ニッケル水素バッテリーの宇宙空間での実証
- 2) 電熱式ヒドラジンスラスタの宇宙空間での実証
- 3) 太陽輻射圧による衛星への姿勢外乱の推定並びに制御の実験
- 4) 太陽電池パドルなど柔軟構造物の構造パラメータの同定と制御の実験
- 5) 宇宙放射線等の宇宙環境の測定並びに部品・材料などの宇宙環境での劣化特性データの取得
- 6) H-II ロケット打上げ環境の測定

ETS-VI の開発分担は第1表のようになっている。

3. 衛星のコンフィギュレーション

ETS-VI は、直方体の衛星本体部 (3.0 m × 2.0 m × 2.8 m) の南北面に太陽電池パドルを、地球指向面上にアンテナタワーと固定通信および移動体通信実験用の開口径 3.5 m と 2.5 m の主反射鏡、フェーズドアレイで構成された S バンド衛星間通信用アンテナ、2 軸のジンバルで支持されたプラットフォーム型の K バンド衛星間通信用アンテナ、光通信基礎実験装置などを搭載した大型の衛星である。第1図に ETS-VI の概観を、第2図に搭載実験機器系統図を示す。

衛星本体部は、上部 (アンテナ側) の高さ 2 m が中継器などの搭載実験機器を搭載したミッション部、下部の 0.8 m がバス機器を搭載したバス部に分けられる。東西面には、衛星の南北軌道制御に用いるイオンエンジンがそれぞれ一対ずつ取り付けられている。

打上げ時には、衛星本体部の下側に二液式アポジ推進系モジュールが配置されているが、ドリフト軌道投入後、衛星本体部から切り離される。

軌道上で静止化した ETS-VI は、南北方向約 30 m、東西方向約 9.3 m、地球方向約 7.8 m という大型のもので、軌道上初期重量は約 2 トンある。なお、打上げ時の重量は、二液式アポジ推進系の推薬を含め 3.8 トンである。

4. バス系機器の概要

第3図にバス機器系統図を示す。

4.1 テレメトリ・コマンド系

テレメトリ・コマンド系 (TTC) は、S バンドを使用して地上からのコマンドを受信するとともに、地上局へテレメトリデータを送信する。この S バンドの回線は、衛星の測距にも使用する。

テレメトリ・コマンドの処理についてはデータバス方式を採用している。コマンドは、セントラルユニットで復号され、リモートインタフェースユニットを経由して搭載機器に分配される。テレメトリデータは、リモートインタフェースユニットで収集され、セントラルユニットにより符号化される。

また、打上環境測定装置 (LEM) で取得したデータも S バンド送受信機から送信される。

4.2 電力供給系

電力供給系 (EPS/SPS) は、打上げからトランスファ軌道および静止軌道上での 10 年間を通して、衛星の全運用モードに対し、31~50 V に維持された電力を供給する。

衛星の南面と北面に対称に取り付けられている太陽電池パドルは、その表面に約 52,000 枚の薄型太陽電池セルが張られており、±0.5 度の精度で太陽を追尾する。

4.3 姿勢制御系

姿勢制御系 (ACS) は、4 個のリアクションホイールとマイクロプロセッサを用いたフォールトトレラント構成で地上からの再プログラム可能な姿勢制御電子回路を用いたゼロモーメントシステムにより、衛星の姿勢を制御する。

赤外線地球センサ、太陽センサ、慣性基準装置、レート積分ジャイロ装置およびテレメトリ・コマンド系からの各信号が、この姿勢制御電子回路へ入力される。

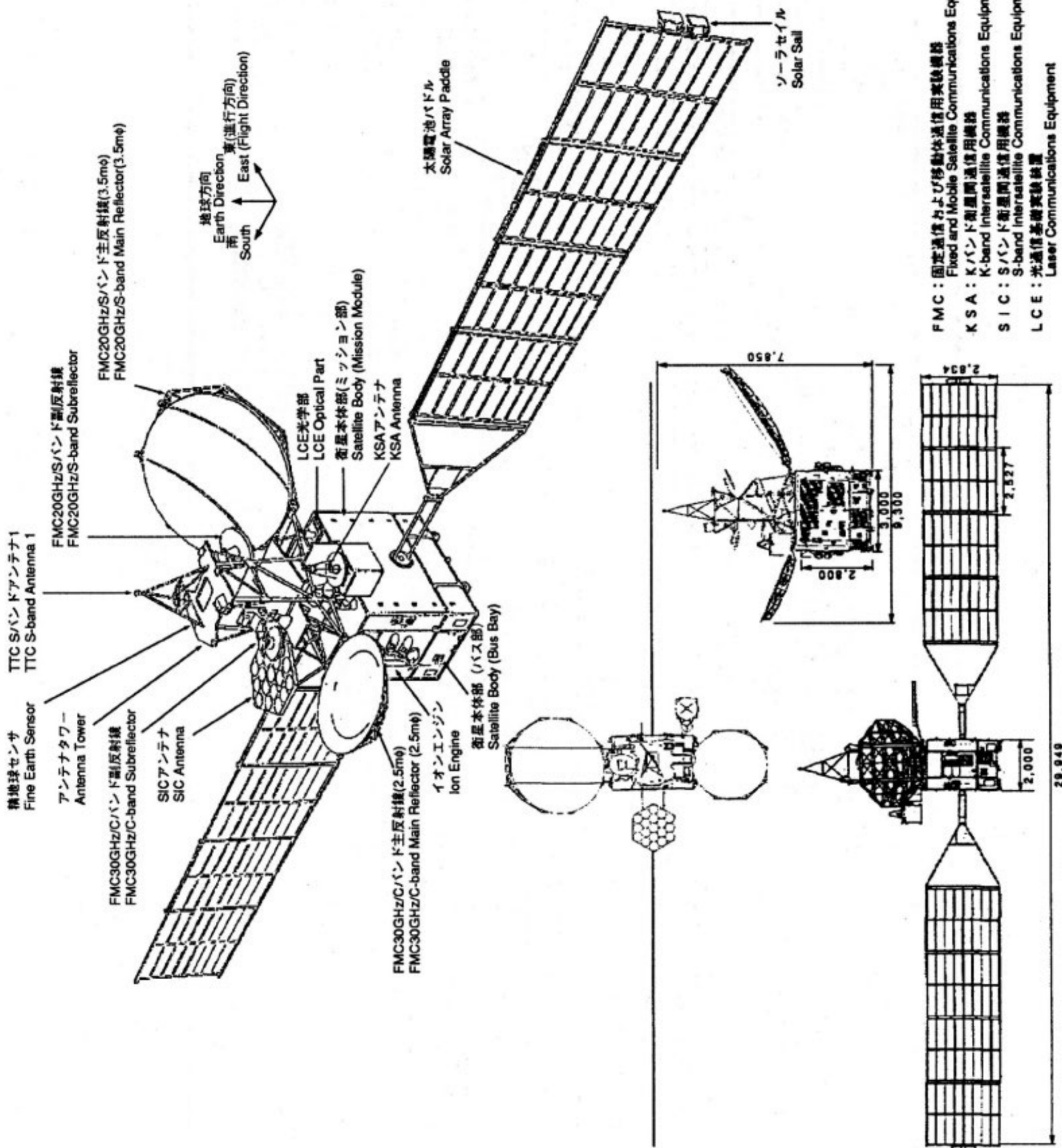
姿勢制御方式は、トランスファ軌道、静止軌道共に三軸安定方式である。

4.4 推進系

イオンエンジン装置 (IES)、二液式アポジ推進系 (LAPS) およびガスジェット装置 (RCS) が ETS-VI の軌道および姿勢を制御するために搭載されている。

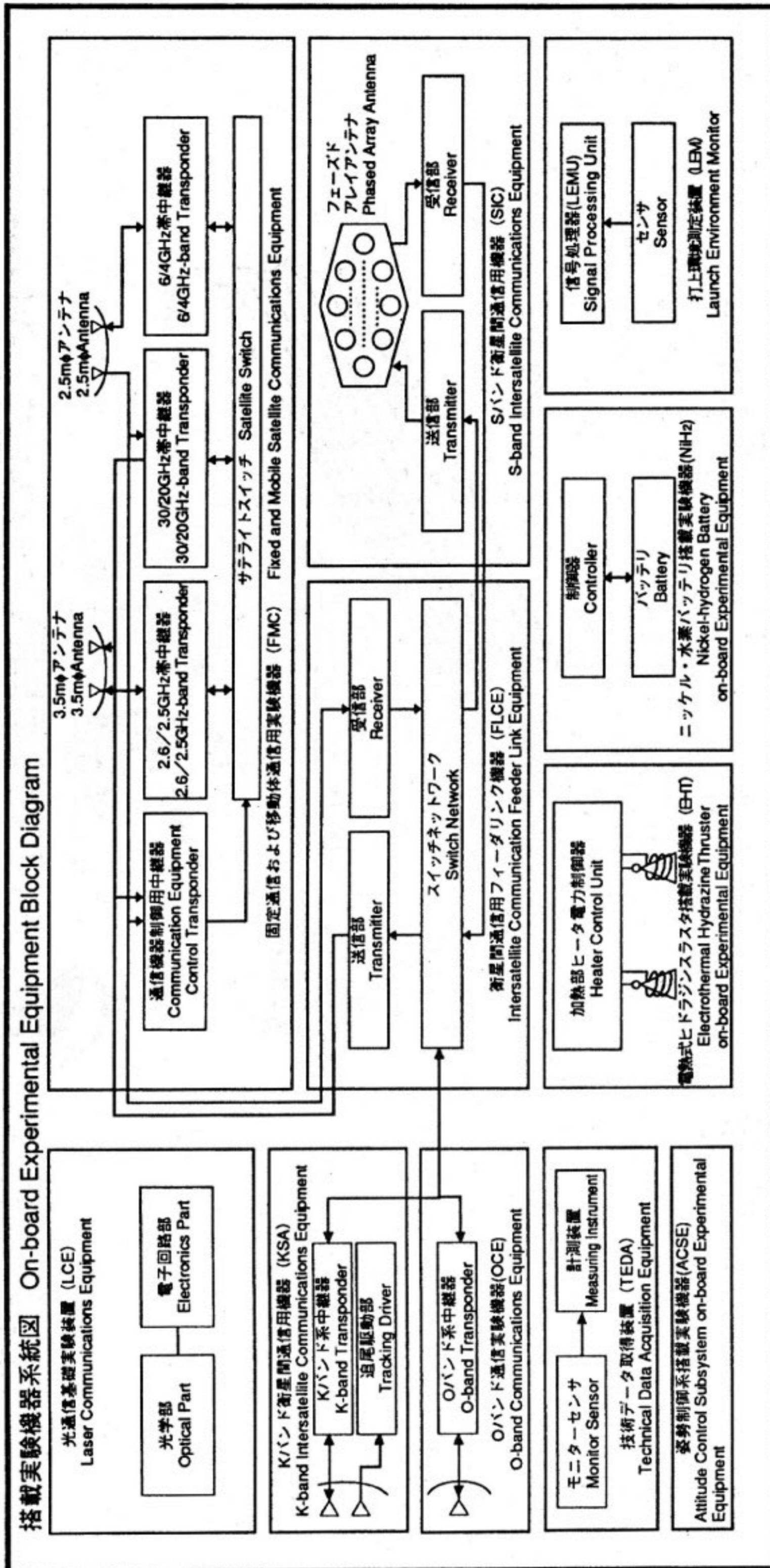
1) イオンエンジン装置 (IES)

IES はキセノンガスを用いた推力 25 mN (ミリニュー

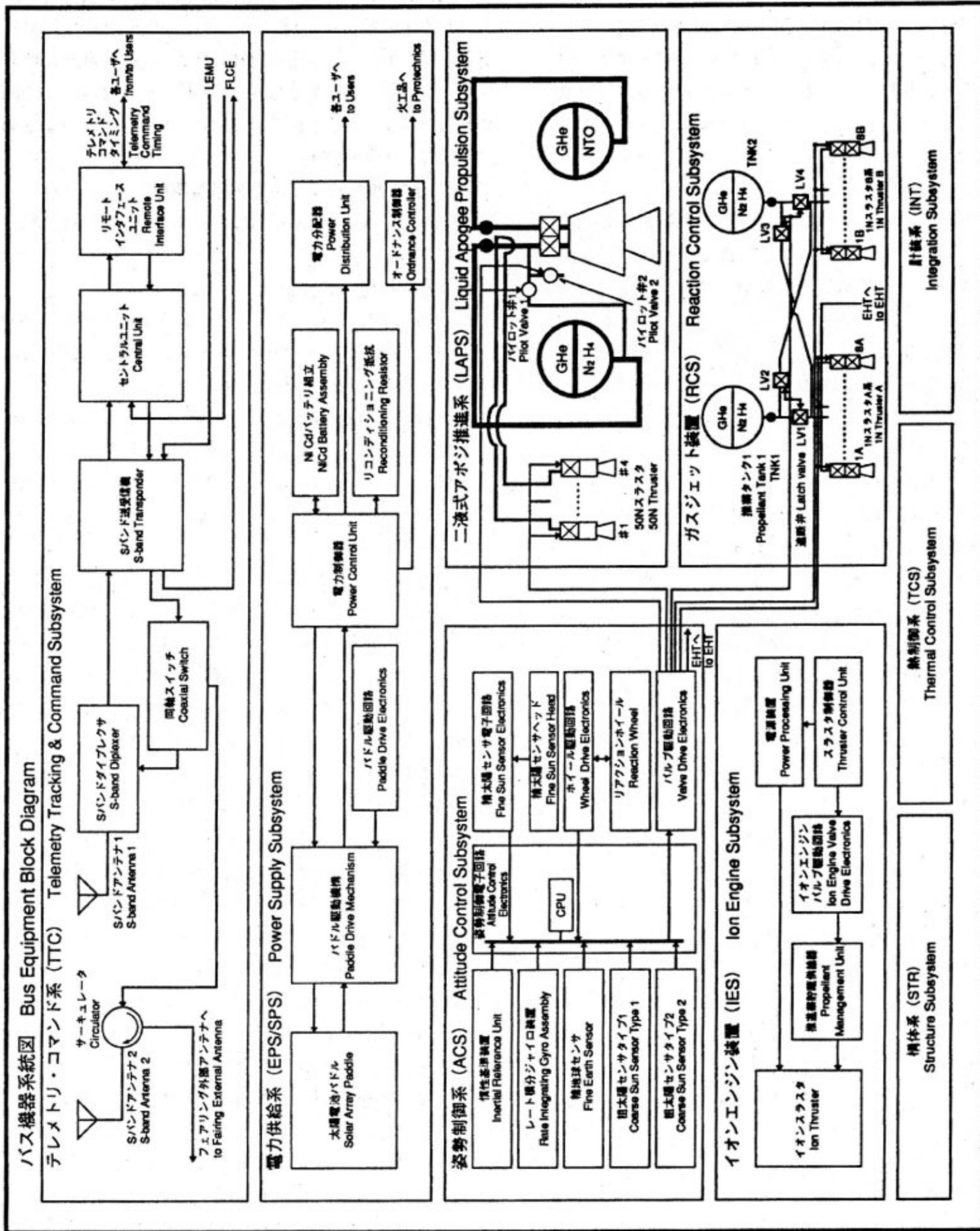


- FMC : 固定通信および移動体通信用実験機器
Fixed and Mobile Satellite Communications Equipment
- KSA : Kバンド衛星間通信用機器
K-band Intersatellite Communications Equipment
- SIC : Sバンド衛星間通信用機器
S-band Intersatellite Communications Equipment
- LCE : 光通信基盤実験装置
Laser Communications Equipment

第1図 ETS-VIの概観図



第2図 搭載実験機器系統図



第3図 バス機器系統図

トン)級の電子衝撃型スラスタ4個を持ち(うち2個は冗長系),東西面のスラスタ2個を同時に噴射して南北軌道制御を行う。

2) 二液式アポジ推進系(LAPS)

LAPSは,2,000N級のNTO/N₂H₄二液式アポジエンジン(AKE)と50N級のヒドラジンスラスタ4個から構成され,ETS-VIの静止(ドリフト)軌道への投入と,トランスファ軌道におけるロールおよびピッチの姿勢制御に使用される。

3) ガスジェット装置(RCS)

RCSは,1Nのヒドラジン(N₂H₄)スラスタを冗長系を含め16個持ち,東西軌道制御ならびにロール,ピッチおよびヨーの姿勢制御に使用される。

4.5 熱/構体系

1) 熱制御系(TCS)

熱制御系(TCS)は,OSR(オプティカル・ソーラ・リフレクタ)およびMLI(多層インシュレーション)とヒータおよび固定コンダクタンス型ヒートパイプによる受動型/能動型併用熱制御方式を採用している。南面および北面のOSR放熱面(約7.6m²)は,約2KWの熱量を放熱し衛星の温度を0~40°に保つ。ヒートパイプは,南面および北面のハニカムパネルに埋め込まれ,高発熱機器の熱を分散する。

バッテリーのような狭い温度範囲の要求を持つ機器に対しては,ヒータ制御回路内の電子式サーモスタットにより制御されるヒータが使用される。また,種々の運用モードでの温度変動を少なく保つために,コマンドで動作するリプレースメントヒータが使用されている。

2) 構体系(STR)

構体系(STR)は,全ての搭載機器を収納あるいは支持し,これらの搭載機器がミッション期間中に受ける全ての機械環境条件に対し,適切な環境に保持する。衛星構体は,アンテナタワー,中央構体およびLAPS支持構造からなる分割構造であり,衛星の組立・輸送を容易に行うことができる。

また,ほとんど全ての構造部材は,CFRP(炭素繊維強化プラスチック)で作られており,軽量化が図られている。アンテナタワーとLAPS支持構造は,CFRPチューブとパネルのフレーム構造で出来ている。中央構体は,CFRPおよびアルミニウム表皮のハニカムパネルの箱型構造である。

5. 通信実験の概要

5.1 衛星間通信実験

静止衛星を用いて,地球周回衛星と地球局(フィーダリンク局)との通信信号を中継することにより,地球局

と周回衛星との直接通信に比べて,通信可能な時間を大幅に増やすことが出来る。

ETS-VIでは,地球観測プラットフォーム技術衛星(ADEOS)等のユーザ衛星と衛星間通信実験を行い,ユーザ衛星の捕捉・追尾,データの中継や測距に関する技術の習得を行う。衛星間通信には,現在国際的に使われているSバンド周波数を使用するとともに,将来国際的な使用が予定されているKaバンドでの衛星間通信を世界に先駆けて行う。

5.2 固定通信および移動体通信実験

ETS-VIでは,通信衛星の能力の大幅な向上を目指し,サービスエリアを複数のスポットビームでカバーするマルチビーム通信方式の実験を行う。

固定通信では,Kaバンドによる日本本土および沖縄を13ビームでカバーするマルチビーム通信方式の実現に向け,青森,東京,大阪,福岡の4ビームによる通信実験を行う。移動体通信実験では,Sバンドによる日本本土および200海里の近海を5ビームで照射した通信実験を陸上および海上で行う。またCバンドは,移動体通信のフィーダリンクおよびKaバンドとの相互接続実験に使用する。

主要コンポーネントとして,アンテナ系では,Kaバンドビームの低サイドローブ化のためのクラスタホーン,スポットビーム形成のための開口径3.5mおよび2.5mの大形展開アンテナを搭載している。2基の大形展開アンテナは,ロケットフェアリングへの収納性確保のため折り畳んで打上げられ,軌道上で展開される。また,衛星の姿勢制御系に加えて,地上局からのビーコンに自動追尾するようにビーム方向を制御し,高精度なビーム照射を行う。

中継器系では,複数の周波数帯のクロスバンド接続を行うIF帯のスイッチマトリックス(IF-SW),移動体通信用のマルチポート増幅器(MPA),Kaバンド用高効率高出力固体電力増幅器(SSPA),軽量・高信頼・長寿命化進行波管増幅器(TWTA)を搭載している。

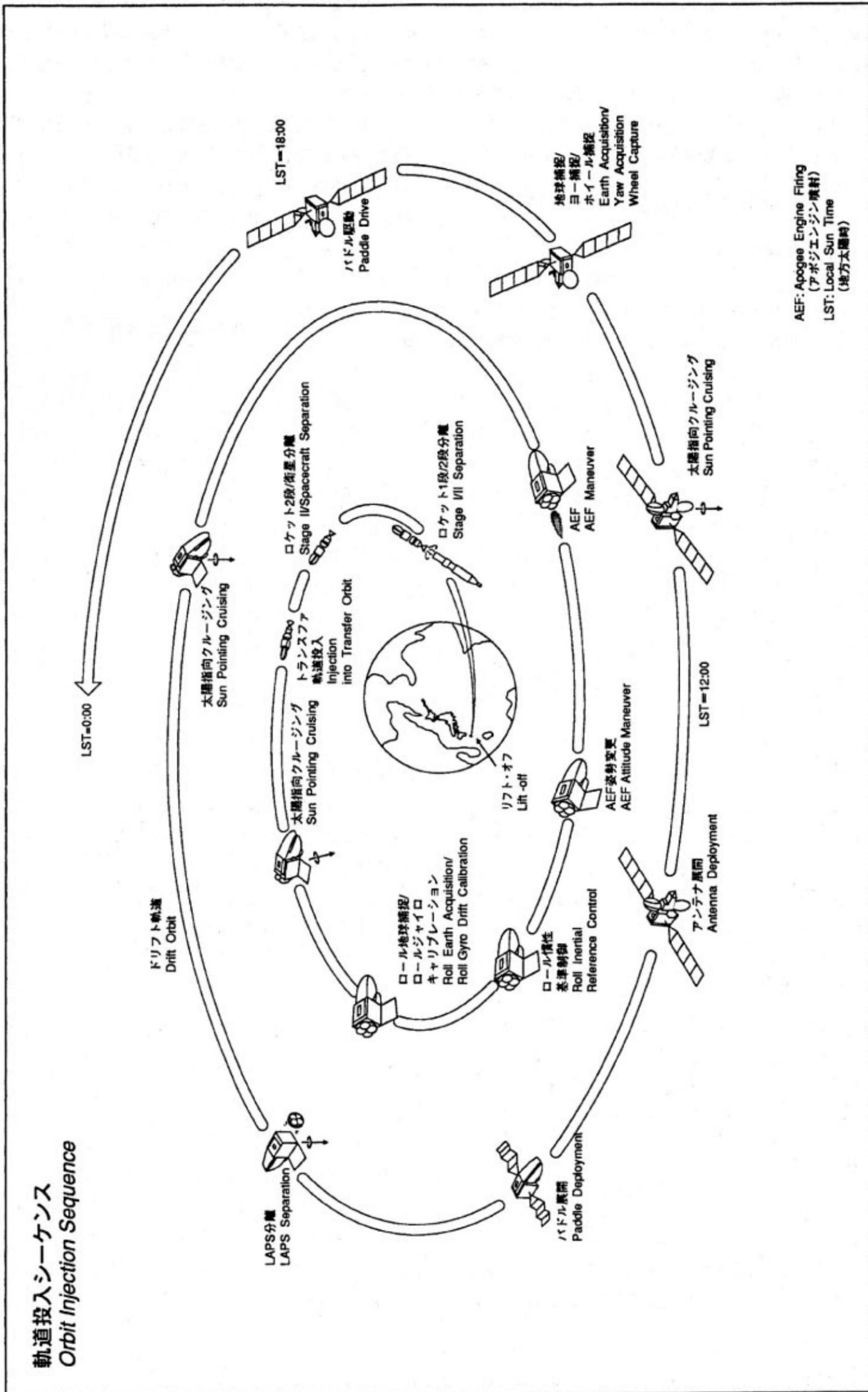
5.3 Oバンド通信実験

Oバンド通信実験は,衛星間通信やパーソナル通信用の新しい周波数帯として期待されるミリ波(Oバンド)を使った通信実験である。

Oバンド通信用機器(OCE)に用いるミリ波アンテナは,Kバンド衛星間通信用(KSA)アンテナと共に,ジンバル機構により走査できる。また,ミリ波中継器は,固体電力増幅器(SSPA)の採用により小型軽量化を実現している。

5.4 光通信実験

光通信実験は,将来の光衛星間通信を実現するために



第4図 軌道投入シーケンス

必要となる技術を確立するために行う実験である。光通信基礎実験装置 (LCE) は、光衛星間通信に不可欠な高精度の捕捉・追尾機能、光行差補正機能、光送受信機能および光変復調機能などを備えており、地上に設置する模擬衛星局 (地上光学局) を相手として双方向の光リンク構成や光通信などの実験を世界に先駆けて行う。

6. システム開発モデル及びシステム試験

6.1 システム開発モデル

ETS-VI の開発では、フライト用の実機 (プロトフライトモデル: PFM) の設計・製作に反映するため、4種類のシステム開発モデルを製作し、機械、熱、電気並びに電磁適合性などに関する一連の試験を行った。

4つのモデルは、衛星構体の強度、剛性などを確認するための静荷重構造モデル (SDM-S)、衛星全体の機械的動特性と搭載機器の機械環境条件を確認するための動荷重構造モデル (SDM-D)、衛星の熱設計並びに各機器の温度条件を確認するためのシステム熱モデル (TDM)、電気的な特性や機器 (とりわけ多周波数を用いた通信機器) 間の電磁適合性を確認するためのシステム電気モデル (SEM) からなる。

また、これらの開発モデルの製作・試験を通じて、PFM 衛星のシステムインテグレーション、試験、取り扱いなどの方法や手順を確立した。

6.2 システムインテグレーションおよびシステム試験

ETS-VI の実機 (PFM) は、既に開発を完了したサブシステムを順次衛星構体に組み込み、電気・機械・熱的な艤装を施し、機器の機能・性能を確認しながら、システムインテグレーションを実施した。その後、組み上げられた衛星が、打上げ時や軌道上で遭遇する環境の下で、所期の性能を発揮することを確認するため筑波宇宙センター総合環境試験棟にて、システム試験を実施した。

6.3 射場作業

システム試験を完了した衛星を種子島宇宙センターに輸送し、射場搬入後試験などの打上げ前の整備を行い、その後、衛星をフェアリングに収納し、射点で H-II ロケットに結合する。

7. 打上げシーケンス

ETS-VI は、H-II ロケットにより種子島宇宙センターから打ち上げられ、高度約 250 km でロケットから分離されて楕円形のトランスファ軌道 (遷移軌道) に投入され

る。その後、二液式アポジエンジン (AKE) の 3 回の噴射により、ほぼ円形のドリフト軌道に投入され、引き続いて LAPS モジュールは衛星から分離され、静止軌道外へ放出される。

ドリフト軌道では、太陽電池パドルの展開に続き通信系搭載実験機器用アンテナの展開を行い、地球を指向する三軸姿勢を確立する。その後、軌道の微調整を行い、最終的に静止軌道 (東経 153.8 度) に投入され、10 年間運用される。

第 4 図に ETS-VI の軌道投入シーケンスを示す。

8. 追跡管制と実験運用

ETS-VI 打上げ後の追跡管制は、筑波宇宙センターの中央追跡管制所 (TACC) を中心に、沖縄、勝浦、増田の各追跡管制所 (TACS) 及び米国航空宇宙局 (NASA) の追跡管制網 (DSN) により行われる。また、搭載実験機器を用いた実験運用は、各搭載実験機器開発担当機関により行われる。

各追跡管制所で受信された衛星テレメトリ・データは、全て中央追跡管制所に送られ、ここで集中的に処理される。また、衛星を追跡管制するためのコマンドは、中央追跡管制所より、各追跡管制所を経由して衛星に送られる。

9. ま と め

ETS-VI のシステム試験は終了し、現在 (平成 6 年 3 月) 射場に搬入され、平成 6 年夏期の打ち上げに向けて射場試験等を実施中である。衛星の打ち上げ後 3 カ月の初期機能・性能試験 (初期チェックアウト) が行われた後、約 3 年間の通信関係実験機器ユーザの実験が開始される。多くの貴重な経験とデータがこれらの実験から得られ、今後の次世代衛星システム開発のために役立つことになる。なお本文中の図及び表は、宇宙開発事業団のパンフレット⁽²⁾ から出典している。

参 考 文 献

- (1) H. Kitahara, T. Itoh, C. Harada, Y. Matsumoto, and H. Kohata, "THE ETS-VI SATELLITE", 15th AIAA International Communications Satellite Systems Conference, San Diego, AIAA-94-1162-CP, pp.1095-1101, 1994.
- (2) 宇宙開発事業団 パンフレット, "ETS-VI 技術試験衛星 VI 型", 1993.