

# 衛星間通信システムの運用評価

ETS-VII Inter-Orbit Satellite Communication Operations and Development of ETS-VII/TDRS Experimental System

大川 揚子雄  
OKAWA Yasuo

白倉 政志  
SHIRAKURA Masashi

大島 浩  
OHSHIMA Yutaka

大林 通晴  
OBAYASHI Michiharu

技術試験衛星VII型/データ中継衛星(ETS-VII/TDRS)実験システムは、米国航空宇宙局のデータ中継衛星システムを利用し、ETS-VIIに衛星間通信運用環境を提供するシステムであり、コマンド、テレメトリ伝送や運用スケジュールリングが可能である。

システム開発では、これまでの衛星間通信分野での実績を踏まえ、短期間でのシステム構築、検証を実現した。

1998年1月末からは、わが国として初めての本格的な衛星間通信を実現するとともに安定した運用環境を提供し、国際回線を利用したIPネットワークの伝送特性に関しても、有益なデータの取得が行われている。

The ETS-VII/TDRS Experimental System provides an operational environment for inter-orbit satellite communication between the Engineering Test Satellite VII (ETS-VII) and the NASA Tracking and Data Relay Satellite System (TDRSS). The system enables the transmission of ETS-VII telemetry and the transmission of commands, as well as scheduling. The system was developed and verified in a short period by using the technical heritage for inter-orbit satellite communication. Since the end of January 1998, the system has been carrying out its mission successfully, providing Japan's first practical inter-orbit satellite communication environment to ETS-VII.

This report provides a summary of the system design and test results, and of inter-orbit satellite communication operations.

## 1 まえがき

衛星間通信は、赤道上高度36,000 kmに位置する静止衛星と低軌道衛星(高度200 km~1,000 km)の間で実現する通信方法である。衛星間通信システムでは、地上局との直接通信に比べ、より長い可視時間と連続した運用が可能であり、実用システムとしては米国航空宇宙局(NASA)のデータ中継衛星システム(TDRSS)がある。

わが国ではこれまで技術試験衛星VI型(ETS-VI)、通信放送技術衛星(COMETS)の2機の衛星を利用した各種実験が実施され、成果を上げてきた。

ETS-VIIは、高度550 kmを周回する低軌道衛星であり、衛星間通信を主通信回線として、ロボット、およびランデブ・ドッキングなどの各種実験を実施することを目的に開発され、97年11月に打ち上げられた。

その開発はCOMETS~ETS-VII間の通信を前提として進められたが、中継衛星の選択肢を広げる目的でTDRSSを利用した運用も可能とするため整備されたのが、ETS-VII/TDRS実験システムである。

## 2 ETS-VII/TDRS 実験システムの概要

ETS-VII/TDRS 実験システムの概要を図1に示す。

このETS-VII/TDRS 実験システムは、データ中継衛星としてNASAの追跡・データ中継衛星(TDRS)を利用し

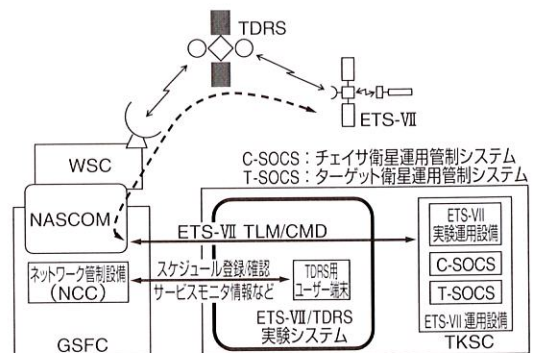


図1. ETS-VII/TDRS 実験システムの概要 CMD, TLMの伝送、各種運用情報を生成と伝送し、衛星間通信運用を行う。

Outline of ETS-VII/TDRS Experimental System

ている。

ETS-VII/TDRS 実験システムは、TDRSSの地上側インタフェースポイントであるNASAゴダード宇宙飛行センター(GSFC)と、宇宙開発事業団(NASDA)筑波宇宙センター(TKSC)に設置されたETS-VII各種運用設備との間に、ETS-VIIのテレメトリ(TLM)<sup>(注1)</sup>、コマンド(CMD)を送受する通信ネットワークを提供する。

さらに、TKSCでTDRSS運用スケジュールを予約したり、運用時のサービス状況をリアルタイムにモニタし、必要に応じて運用モードの変更要求メッセージを発行するユ

(注1) 衛星の状態を地上でモニタするデータ。



ユーザー端末と GSFC までのデータ通信路を併せて提供する。

### 3 ETS-VII の衛星間通信

ETS-VII の衛星間通信回線には、ランデブ・ドッキング実験時に主体的に動くチェイサ衛星と TDRS 間、目標とするターゲット衛星と TDRS 間の 2 種類があり、目的に応じて切り換えて利用される。

TDRS とチェイサ衛星間の回線は、使用されるアンテナ系などが異なる SSA (S-band Single Access) ハイゲイン、および SSA オムニ (無指向性) モードの 2 種類の通信モードに分類される。

CMD 伝送では、両モードともに、宇宙データシステム諮問委員会 (CCSDS) のテレコマンド勧告<sup>(1),(2),(3)</sup>に準拠したパケット伝送方式が用いられる。

TLM 伝送では、Q チャンネル (以下、ch と略記) には AOS 勧告<sup>(4)</sup>に準拠のパケット伝送が、I ch では NASDA 衛星で従来から用いられている標準 TLM フォーマット (ETS-VII では SDB (Satellite Data Bus) フォーマットと称する) を用いた伝送が行われる。

TDRS-ターゲット衛星間では、CMD、TLM とともに SDB 方式で、アンテナはオムニモードだけである。

### 4 ETS-VII/TDRS 実験システムの実現方法

#### 4.1 システム構成

ETS-VII/TDRS 実験システムの構成を図 2 に、システム構成要素の機能概要を表 1 に示す。図中の網かけ部分がこのシステムの構成装置である。

GSFC-TKSC 間に敷設した 2 Mbps と 64 kbps の国際デジタル専用線を活用することによって、TLM、CMD、

表 1. ETS-VII/TDRS 実験システムの構成装置  
List of elements of ETS-VII/TDRS Experimental System

機器名称	主要機能
TDRS 用ルータ	Q ch TLM 伝送 ・GSFC から PTP までの UDP/IP による伝送
PTP	Q ch TLM 伝送 ・IP パケットから NASCOM ブロックの抽出、誤り検出 ・Deblocker への NASCOM ブロック転送
Deblocker	Q ch TLM 伝送 ・NASCOM ブロックから CADU を抽出、復元 ・EPAP への CADU 連続伝送
EPAP	Q ch TLM 伝送 ・CADU からの CCSDS パケット再生 (AOS 準拠) ・実験運用設備、TGW へのパケット TLM 配信 パケット CMD 伝送 ・実験運用設備、TGW からのパケット CMD 受信 ・CLTU 生成 (テレ CMD 準拠)、TGW への伝送 ・タイプ A、B サービス (テレ CMD 準拠) 提供
TGW 装置	Q ch TLM 伝送 ・パケット TLM から SDB TLM を抽出 ・C-SOCS、T-SOCS への TLM 配信 I ch TLM 伝送 ・GSFC からの NASCOM ブロック受信 ・SDB TLM の抽出、C-SOCS、T-SOCS へ配信 パケット CMD 伝送 ・C-SOCS、T-SOCS からの SDB CMD 受信 ・SDB CMD のパケットへのカプセル化、EPAP へ出力 ・CLTU の NASCOM ブロックへの格納、GSFC へ送信 ターゲット SDB CMD 伝送 ・T-SOCS からの SDB CMD 受信 ・NASCOM ブロックへの格納、GSFC への送信
TDRS 用ユーザー端末 (UPSJ)	・TDRS 利用要求の登録、確認、および削除 ・衛星間通信サービス状況のモニタ、リアルタイム要求送信

スケジューリング情報交換用のデータ回線に加え、音声回線 1 ch を確保する構成としている。

#### 4.2 TLM/CMD データフロー

図 3 に ETS-VII の運用形態の一つである、チェイサ衛星の SSA ハイゲインモードの Q ch、I ch TLM および CMD のデータフローの概要を示した。

Q ch TLM 伝送は CCSDS の AOS 勧告に準拠したプロ

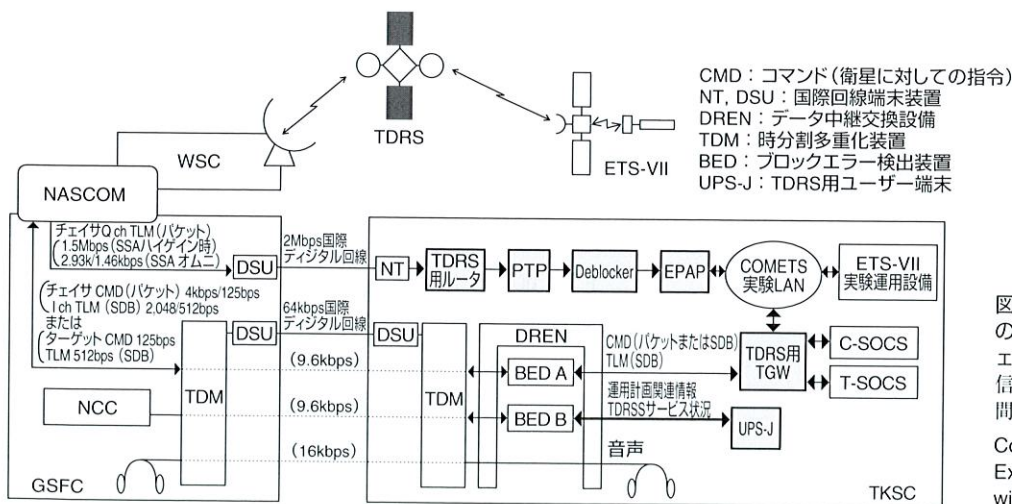


図 2. ETS-VII/TDRS 実験システムの構成と関連システムとのインタフェース 米国設備と国内設備間の信号を処理・中継し、ETS-VII の衛星間通信運用を実現している。

Configuration of ETS-VII/TDRS Experimental System and interfaces with related systems



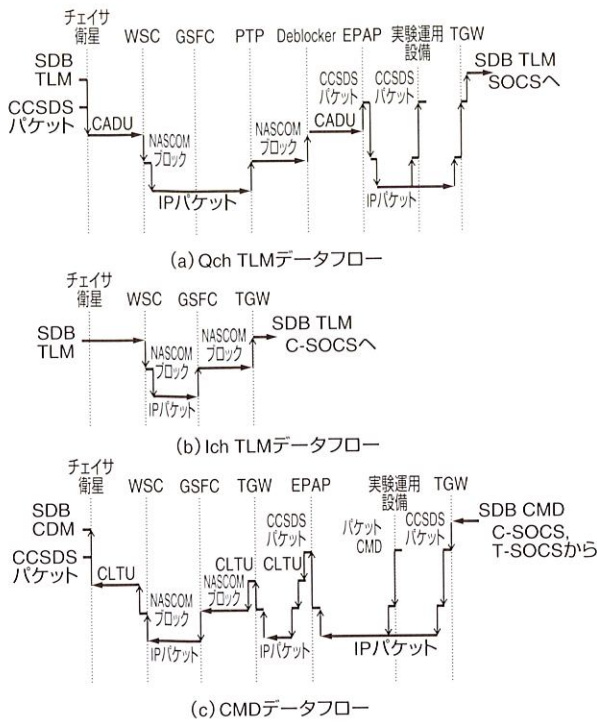


図3. SSAハイゲイン時の各データフローの概要 (a)はQchデータが伝送される過程でのフォーマットのデータ構造の変化を、(b)はLchデータが転送される過程でのデータ構造の変化を、(c)はコマンドデータが伝送される過程でのデータ構造の変化を示している。

Concepts of data flow in SSA high gain mode

トコルが用いられる。

SDBおよびパケットTLMはチェイサ衛星でチャネルアクセスデータユニット(CADU)<sup>(1)</sup>に多重化され、TDRSを経由し、NASAホワイトサンズ地上局(WSC)で受信される。

WSCでは受信したCADUを4,624ビットごとに分割し、NASA通信ネットワーク(NASCOM)ブロックに順次格納していく。NASCOMブロックはブロック長4,800ビットのフォーマットで、NASCOM上の標準フォーマットである。

WSCではNASCOMブロックをIP(Internet Protocol)パケットでカプセル化し、UDP(User Datagram Protocol)/IPプロトコルでGSFCに伝送する。

IPパケットは、2Mbpsの国際デジタル専用線、さらにTKSC内のネットワークを経由した後、プログラマブルTLMプロセッサ(PTP)で受信される。

PTPは、IPパケットからNASCOMブロックの抽出、数種類の誤り検出を行い、デブロッカ(Deblocker)に出力する。

Deblockerは受信した各NASCOMブロックのデータフィールドから、分割されたCADUの抽出、連結する処理を施し、国際相互実験装置(EPAP)に出力する。

EPAPは受信したCADUにAOS勧告に準拠した復号、逆多重化などの処理を施し、CCSDSパケットを復元

した後、一部をTDRS用テレコマゲートウェイ(TGW)装置に、他をETS-VII実験運用設備にLAN経由で配信する。

TDRS用TGWで受信するCCSDSパケットは、すべてカプセル化されたSDB TLMである。TGWはSDB TLMを抽出し、衛星運用管制(SOCS)が受信可能なフレーム構造にデータを再編した後、SOCSに伝送する。

### 4.3 開発課題と対応策

4.3.1 1.5Mbps TLMの伝送 1.5MbpsというレートでのTLM伝送をこのシステムで初めて実用するため、Qch TLM伝送には高速レートに対応した設備を開発する必要があった。

また、Qch TLM伝送のGSFCとのインタフェース方法にはIPを採用した。NASCOMによってGSFCまで伝送されたIPパケットをそのまま国際デジタル専用線に流し、TKSCの新設IPネットワークを経由して、PTPに配信させるネットワーク構成とした(図3(a))。

さらに、TKSC内のIPネットワーク用ルータ(TDRS用ルータ)およびPTPには、NASCOMと同種装置を選定し、もっとも重要である適合性を確保し、開発コストとリスクを最小限に抑えた。

4.3.2 CCSDSテレコマンド伝送 このシステムでは、CCSDSテレコマンド勧告に基づくCMDのTDRS経由伝送を、NASDAとして初めて実現した。

NASCOMではブロック間にまたがるCMDの連続性を保証していないため、意味のある一つのCMDを複数に分割することは避けなければならなかった。

この解決策として、ETS-VIIのCMD長が一つのNASCOMブロックのデータ領域(4,624ビット)以下であることに着目し、パケットCMDに多重化、符号化などの処理を施して生成されるCMD回線伝送ユニット(CLTU)<sup>(3)</sup>の先頭に128bitの同期用ビット列(捕捉シーケンス)<sup>(3)</sup>を付与し、この単位でNASCOMブロックに格納し、WSCへ伝送する方式を採用した。

この結果、ブロック間のデータの連続性が保証されない環境下においても、確実なCMD伝送を実現できた。

## 5 評価試験と運用実績

TDRSとETS-VIIの適合性、TKSCとNASAの各設備間のインタフェース、全系での総合運用性を検証するために、各種試験を段階的に実施した。

いくつかの試験においては、各設備でタイムスタンプとして取得した実測データを活用し、CMDおよびTLMの伝送遅延時間の評価を実施した。

一例として、表2にNASAインタフェース試験(IPデータフロー試験)時のチェイサハイゲインモードに関する伝送遅延時間の評価結果を示す。

表2. SSAハイゲインモード時のデータ伝送遅延時間測定結果  
Results of transmission delay measurement in SSA high gain mode

測定項目	伝送遅延時間(秒)			測定区間	サンプル数(個)
	平均	最小	最大		
Q ch TLM (1.5 Mbps)	1.162	1.096	1.203	WSC送信 ~TGW受信	45
I ch TLM (2,048 bps)	1.747	1.729	1.818	WSC送信 ~TGW受信	105
CMD (4 kbps)	1.350	1.236	1.620	SOCS送信 ~WSC受信	14

IPデータフロー試験(98年2月)における測定データによる

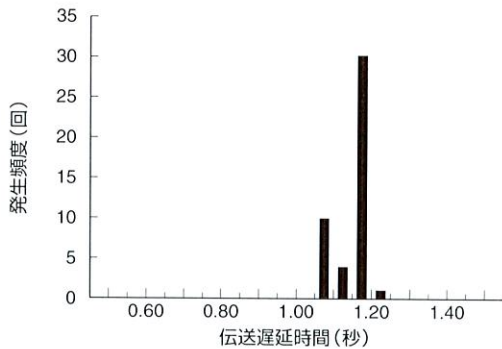


図4. Q ch TLM(1.5 Mbps)の伝送遅延分布 WSC~TGW間の伝送遅延は約1.2秒と言える。

Transmission delay distribution chart

図4は、1.5Mbps Qch TLMのWSCからTDRS用TGWまでの伝送時間の分布を示している。

各種試験、実運用では、CMD送信から対応するTLM受信までの時間が6秒程度と、要求値の10秒以下を十分に満足できる結果を得ている(ハイゲインモード時)。

98年1月末の軌道上End-to-End試験<sup>(注2)</sup>において、ETS-VII~TDRS間の衛星間通信に成功し、総合的な運用性の検証を完了後、実運用フェーズへと移行した。その後99年2月までに、このシステムは安定した運用状態を維持し、ETS-VII初期チェックアウト、ロボット実験、ランデブ・ドッキング実験などの実運用に利用され、ミッションの成功に大きく貢献している。

## 6 あとがき

ETS-VII/TDRS実験システムを開発することによって、ETS-VII~地上運用設備間に、TDRSの衛星間通信サービ

(注2) 伝送されるデータの送信先を一方の“END”、受信先をもう一方の“END”として、途中の伝送経路をすべて含めた構成でデータ伝送性を確認する試験。

スを活用した双方向データ通信路を提供することができた。

さらにIPネットワークの伝送特性について有益なデータが取得できた。

引続きETS-VIIの運用に安定したサービスを提供すべく、このシステムの運用、管理を行うとともに、このシステムで得られた成果を、将来の衛星間通信システムの開発・運用、国際回線を利用した衛星運用システムの構築に反映すべく、評価、検討を実施する予定である。

EPAP、およびTDRS用TGWの開発、システム検証に御支援をいただいた関連機関、メーカーの方々に深く感謝する。

## 文献

- (1) CCSDS 203.0-B-1, “Telecommand Part 3-Data Management Service”, Recommendation for Space Data Systems Standards, Blue Book, Issue 1.
- (2) CCSDS 202.0-B-2, “Telecommand Part 2-Data Routing Service”, Recommendation for Space Data Systems Standards, Blue Book, Issue 2.
- (3) CCSDS 201.0-B-1, “Telecommand Part 1-Channel Service”, Recommendation for Space Data Systems Standards, Blue Book, Issue 1.
- (4) CCSDS 701.0-B-2, “Advanced Orbiting Systems, Networks and Data Links: Architectural Specification”, Recommendation for Space Data Systems Standards, Blue Book, Issue 2.



大川 揚子雄 OKAWA Yasuo

宇宙開発事業団 衛星システム本部追跡ネットワーク技術部副主任開発部員。衛星間通信システムの開発・設計および運用に従事。

National Space Development Agency of Japan



白倉 政志 SHIRAKURA Masashi

宇宙開発事業団 衛星システム本部ETS-VIIプロジェクトチーム開発部員。ETS-VIIの設計開発および実験に従事。

National Space Development Agency of Japan



大島 浩 OHSHIMA Yutaka

情報・社会システム社 小向工場 宇宙情報システム技術部主務。衛星間通信システムの開発・設計に従事。

Komukai Operations



大林 通晴 OBAYASHI Michiharu

情報・社会システム社 小向工場 宇宙情報システム技術部。衛星間通信システムの開発・設計に従事。電子情報通信学会員。

Komukai Operations