

## 通信放送技術衛星 (COMETS) 搭載高度衛星放送機器と関連 NASDA 地上設備

COMETS Satellite Broadcasting Equipment (SBE) and NASDA Ground Facilities for SBE Mission

大橋 一  
OHASHI Hajime跡部 雅敏  
ATOBE Masatoshi大石 強  
OISHI Tsuyoshi藤田 昭平  
FUJITA Shohei

通信放送技術衛星 (COMETS) は、通信放送分野の新技术の開発、および高性能大型静止衛星バス技術の国内開発を行うことを目的に、宇宙開発事業団 (NASDA) により開発された。東芝は、衛星バスシステムの取りまとめに加え、高度衛星放送機器の主要搭載機器であるマルチビームアンテナおよび高出力 TWTA の開発を担当した。さらに、高度衛星放送機器の軌道上実験に必要な NASDA 関連の地上設備の開発も担当した。COMETS は、1998 年 2 月 21 日種子島宇宙センターから H-II ロケットにより打ち上げられたが、ロケットの不具合により静止軌道へ到達することが不可能となった。衛星は低高度周回軌道に投入されたが、衛星に搭載されたエンジンにより、予定した実験の一部が実施できる程度まで高度を上げることに成功した。

The Communications and Broadcasting Engineering Test Satellite (COMETS) has been developed by the National Space Development Agency of Japan (NASDA). The objectives of the project are to develop and verify new technologies in the areas of communications and direct broadcasting. Additional aims of the project are the establishment and orbital verification of a large-scale geostationary satellite bus system.

COMETS was launched on February 21, 1998 from the Tanegashima Space Center by an H-II rocket, but could not reach geostationary orbit because of rocket failure. Although COMETS was injected into a low earth orbit, NASDA succeeded to transfer the satellite to a higher orbit, using apogee kick engine, in order to permit some of the experiments to be performed.

## 1 まえがき

COMETS は、衛星間通信、21 GHz 帯高度衛星放送および Ka/ミリ波帯高度衛星通信のミッションを搭載している。このうち、東芝は高度衛星放送実験のために、衛星搭載機器として低サイドローブマルチビームアンテナと 200 W 級の高出力進行波管電力増幅器 (TWTA) (1 チャンネル分) を開発した。また、NASDA が高度衛星放送実験に用いる高度衛星通信実験地上システムとして、可搬型送受信局、小型受信局、ビーコン局の開発を行った。

ここでは、これら高度衛星放送実験のために東芝が開発した衛星搭載機器および地上設備について述べる。

## 2 21 GHz 帯高度衛星放送機器

将来のニューメディアおよび新たな放送サービスとして、21 GHz 帯衛星放送システムを用いた広帯域高精細度放送 (HDTV)、統合デジタル放送 (ISDB) および地域別放送が考えられている。COMETS に搭載された 21 GHz 帯高度衛星放送機器 (SBE) は、これら将来システムの実現に必要な要素技術を軌道上で実証することを目的として開発したものである。

SBE は、SBE アンテナ系および進行波管電力増幅器 (SB-TWTA) などにより構成されている。

## 2.1 SBE アンテナ系

SBE アンテナ系は、将来の衛星放送システムに対応した周波数有効利用のための周波数再利用が可能なマルチビームアンテナを開発することを目ざしている。将来システムでは、2 台の高利得アンテナで日本本島を 6 ビームの低サイドローブマルチビームでカバーすることを仮定し<sup>(1)</sup>、COMETS では、そのうち関東甲信越および九州本島の 2 ビームを用いて将来システムに必要な技術課題の軌道上実験を行う。

SBE アンテナ系は、SBE アンテナユニット (SBE-AUNT) とアンテナ指向制御電子回路 (SBE-APE) から構成される。SBE-AUNT の支持構造および反射鏡などは、ほぼすべてに高剛性の CFRP (炭素繊維強化プラスチック) 一方向材をスキンとしたハニカムパネルを採用し、軽量で十分な剛性をもつように設計している。また、SBE-AUNT は、軌道上での衛星外部環境および 200 W 級の RF (Radio Frequency) 信号を通すことによる高発熱など、厳しい熱環境条件にさらされる。これを一定温度範囲に制御するための熱制御として断熱ブランケット (MLI) および太陽光反射器 (OSR) を外部に実装し、また、ユニット内部ではヒータによる能動熱制御を行っている。

表 1 に SBE アンテナ系の主要性能 (PFT 結果)、図 1 に SBE-AUNT を示す。

SBE アンテナ系の特長は次のとおりである。



表 1. SBE-AUNT の主要性能

Major performance specifications of SBE-AUNT

項目	性能	
アンテナ型式	オフセットカセグレン	
偏波	右旋円偏波	
利得	アップリンク	44.5 dBi 以上
	ダウンリンク	45.9 dBi 以上
軸比	アップリンク	2.7 dB
	ダウンリンク	0.9 dB
アイソレーション	35.5 dB 以上	
ポインティング精度	0.0142 度 (半頂角)	

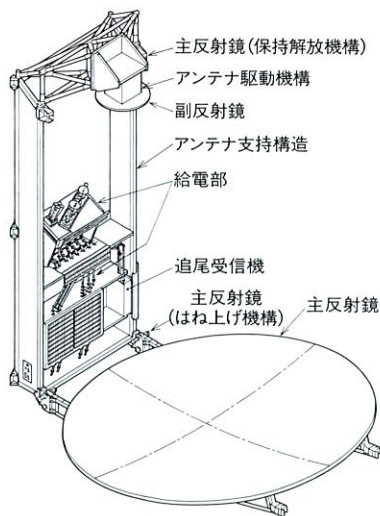


図 1. SBE-AUNT 主反射鏡開口径は 2.3 m。アンテナユニットの総重量は 75.98 kg。

Overall assembly drawing of SBE-AUNT

- (1) 高いビーム間アイソレーション特性を達成するため、郵政省通信総合研究所 (CRL) との共同研究開発成果に基づく低サイドローブ給電手法を採用している。この方法では、開口の小さなホーンを配置させ、この副給電ホーンの励振分布を調整して、所望の低サイドローブ特性を実現している。
- (2) RF センサを基準にして、アンテナ副反射鏡を自動制御することにより、高精度なアンテナ指向制御を実現している。なお、アンテナ指向制御系は、RF センサホーン、追尾受信機、SBE-APE およびアンテナ駆動機構から構成される。
- (3) 衛星本体から独立して設計、組立て、試験が可能なモジュール構成を採用している。

## 2.2 SB-TWTA

SB-TWTA は、進行波管 (TWT) と高圧電源 (HVPS) から構成されている。TWTA に要求される性能としては、高出力、広帯域、高効率、小型・軽量、高信頼性、長寿命

表 2. SB-TWTA の主要性能

Major performance specifications of SB-TWTA

項目	性能	
中心周波数	20.7 GHz	
周波数帯域幅	120 MHz 以上	
飽和出力電力	高出力モード	+53.25 dBm
	低出力モード	+48.13 dBm
総合効率	35.8 %	
重量	16.26 kg*	

\* TWT=4.9 kg, HVPS=10.5 kg

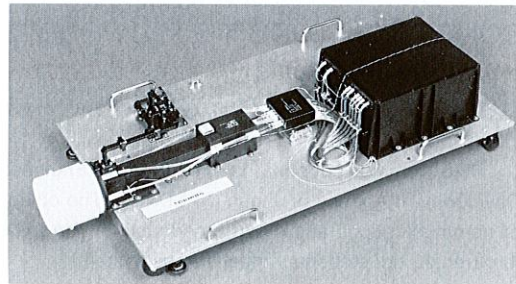


図 2. SB-TWTA TWT (白い円筒形の部分がコレクタ) と、HVPS が高圧ケーブルを介して接続されている。

External view of SB-TWTA

などがある。加えて、打上げ時の耐衝撃、振動などの機械的強度などが要求される。

表 2 に SB-TWTA の主要性能 (PFT 結果) を、図 2 に当社が開発した SB-TWTA を示す。

TWT は、高周波、高出力で高い信頼性をもつ空洞結合型進行波管を採用している。TWT は、電子銃部、ビーム集束系・遅波回路 (結合空洞部) およびコレクタ部から構成され、次の特長をもっている。

- (1) 10 年以上の長寿命達成のため、当社で開発した長寿命が検証されている M 型含浸カソードを採用している。
- (2) 速度テーパ遅波回路、多段電位低下型コレクタの採用によりビームを高効率化している。
- (3) 宇宙へ直接に熱を放出するために放射冷却構造を採用している。

HVPS は、TWT のカソード、コレクタ、ヒータなどに電力を供給する電源回路およびオン/オフシーケンス制御回路などから構成されている。また、地表での電力束密度制限を満たすために RF 出力可変機能が必要であるが、これを実現するために HVPS においてアノード電圧切換え方式を採用した。その他 TWT を保護するための機能およびテレメトリコマンド機能をもっている。

## 2.3 プロトフライト試験 (PFT) 結果

SBE アンテナ系および SB-TWTA はそれぞれ PFT (環境試験および電気性能試験) を実施し、初期の性能がすべて満



たされていることを確認し、衛星システムへ搭載した。

### 3 高度衛星通信実験地上システム

#### 3.1 システムの概要

高度衛星通信実験地上システムは、COMETS に搭載された SBE を利用して、NASDA が軌道上評価、電波伝搬特性、通信技術、利用技術などの各種実験に使用する目的で開発したものである。さらにデジタル高画質放送に必要な多相変調や高効率符号化についての特性データの取得などに使用することも目的の一つである。このシステムは、可搬型送受信局、小型受信局と COMETS の SBE アンテナを指向させるためのビーコン局から構成される。

高度衛星通信実験は、図 3 に示すコンフィギュレーションで実施することを想定している。

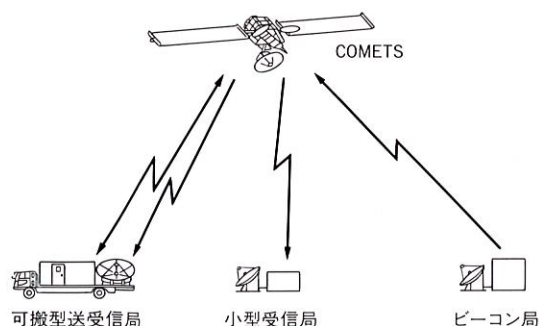


図3. 高度衛星通信実験地上システムの概要 実験の全体コンフィギュレーションを示す。ビーコン局は固定であるが、可搬型送受信局、小型受信局は移動して実験運用される。

Outline of advanced satellite communication experiment system

ビーコン局は沖縄宇宙通信所に設置されている。可搬型送受信局、小型受信局の常置場所は筑波宇宙センター内であるが、実験に応じて、SBE アンテナのビームの指向する関東甲信越、九州本島に移動して実験運用する。

関東甲信越または九州本島のサービスエリア内に設置された可搬型送受信局から送信される高速デジタル信号は、SBE で中継（受信後、周波数変換および高電力増幅し、再びサービスエリアに送信）される。中継された信号は可搬型送受信局およびサービスエリア内に設置されている小型受信局で高速デジタル信号を受信復調し、前述した各種高度衛星通信実験を実施する。

#### 3.2 局の特長

**3.2.1 可搬型送受信局** 可搬型送受信局は、SBE を使用して 140 Mbps の高速通信を行う必要があることから、3 mφ のアンテナと 350 W 級 TWT を採用した Ka バンド送信機により実効放射電力を確保している。また、アンテナ

には GPS（全地球的位置決めシステム）を利用した指向方向センサを搭載し、移動先で容易に COMETS を捕捉し、自動追尾できるアンテナ制御システムを採用している。

変復調装置は、高速デジタル通信実験を行うため 60 Mbps または 140 Mbps のビットレートを設定するとともに、QPSK（4 相位相変調）/8 相 PSK 変調方式を切り換えて使用する。さらに符号装置および復号装置により次の高効率各種符号化方式の実験が可能である。

- (1) 畳込み符号
- (2) リードソロモン符号
- (3) トリレス符号
- (4) 畳込み/リードソロモン接続符号
- (5) リードソロモン/トリレス接続符号

また、高度衛星利用実験用としてハイビジョン用ビデオ、音声装置、デジタルエンコーダ、デコーダ、ハイビジョン評価用モニターテレビなどを装備しており、ハイビジョン画像の送信、受信、画像評価試験が行える。

可搬型送受信局は、大きくはアンテナと各種装置を収容したシェルタで構成され、11 トン、9 m 長、低床の汎（はん）用トラックで輸送できる設計となっており、車載のままの状態でも実験運用できるように設計し機動性をもたせている。さらに、可搬型送受信局は各種測定装置と携帯電話を利用したデータ伝送装置を装備している。データ伝送装置を使用し移動先の実験地から筑波宇宙センターへ実験取得データ（RF レベル、周波数特性、位相特性、スプリアス、スペクトラム、BER（Bit Error Rate）、雨降強度など）をリアルタイムで自動的に伝送することができる。

図 4 に可搬型送受信局を示す。



図4. 可搬型送受信局 アンテナとシェルタの外観を示す。Experiment station

**3.2.2 小型受信局** 小型受信局は、1.2 mφ の受信専用組立型アンテナおよび可搬型送受信局と同一構成の受信部、復調部から構成され、付属のコンテナに収容し、ライトバン程度の車両に積んで移動し目的地で簡単にセットアップできる構造になっている。これにより、可搬型送受信



局から COMETS を通して送られてくる電波を受信して高速デジタル信号を復調し、実験することができる。また、ハイビジョン用デジタルデコーダとモニタテレビを付加することでハイビジョン画像を受信し、画像評価ができる。

**3.2.3 ビーコン局** ビーコン局は、沖縄宇宙通信所に 1.2 mφ のアンテナ装置と送信装置を収納した小型シェルタを設置して、SBE アンテナのビームを関東甲信越および九州本島の各サービスエリアに指向させるための 28.6 GHz の電波を実験中常時送信する。

### 3.3 システム主要性能

高度衛星通信実験地上システムの概略仕様を表 3 に示す。

表 3. 高度衛星通信実験地上システムの仕様

Specifications of advanced satellite communication experiment system

項目	仕様	
可搬型送受信局		
周波数	ミッション送信	27.3/27.8 GHz
	ミッション受信	20.7 GHz
	Kバンドテレメトリ	20.165 GHz
EIRP	73.7 dBW	
G/T	26.4 dB/K	
変調方式	QPSK/8 PSK	
通信容量	60 Mbps/140 Mbps	
小型受信局		
周波数(ミッション受信)	20.7 GHz	
G/T	19.1 dB/K	
ビーコン局		
周波数(ビーコン送信)	28.6 GHz	
EIRP	62 dBW	

### 3.4 総合試験結果

高度衛星通信実験地上システムは 96 年 6 月から開発が開始され、97 年 7 月に完了した。その後、各局の総合試験および局組合せ総合試験を実施し、所期性能を確認した。

このシステムの最大の特長である高速データレート、多相位相変調方式、高効率符号化方式、ハイビジョン画像伝送などについては理論どおりの伝送信号品質が得られ、システム仕様配分の妥当性および各装置の技術的完成度の高さが実証された。また、98 年 1 月に予備免許が下り、局の無線局検査が終了した。

## 4 衛星の現状と今後の計画

COMETS は、98 年 2 月 21 日種子島宇宙センターから H-II 5 号機により打ち上げられたが、第 2 段ロケットの不具合により静止軌道へ到達することが不可能となった。

ロケットで投入された軌道は、近地点高度約 246 km、遠地点高度約 1,900 km の周回軌道である。衛星の機能はおお

むね正常であるが、この軌道では通信放送実験が実施不可能であるだけでなく、搭載機器の温度を確保して衛星を存続させるのがやっとの状態である。このため、アポジキックエンジン(AKE)を噴射して、遠地点付近である程度実験が可能となる高度まで軌道を変換することとした。

98 年 2 月から 5 月末までに合計 7 回のアポジキックエンジン噴射を実施し、遠地点高度約 17,700 km まで上げることに成功した。

## 5 あとがき

東芝が開発した COMETS 搭載 SBE アンテナ系および SB-TWTA と、SBE を用いた NASDA の高度衛星通信実験地上システムについて述べた。

搭載機器については、軌道変換の成功をうけてアンテナを展開し、初期ミッションチェックで機能性能の確認を行う予定である。

実験地上システムについては、COMETS の軌道に合わせた追尾機能、ドップラー補正機能などの改修を早急に実施する予定である。

## 謝 辞

COMETS および関連地上局の開発および COMETS の打上げ、運用にかかわる諸機関および関連メーカーの関係者各位のご協力とご支援に感謝の意を表する次第である。

## 文 献

- (1) 吉本繁壽, 他. 22 GHz 帯地域別衛星放送システムの検討, 電子通信学会論文誌, J69-B, 11, 1986, p.1258-1266.



大橋 一 OHASHI Hajime

宇宙開発事業団 軌道上技術開発システム本部  
通信放送技術衛星プロジェクトチーム副主任開発部員。  
National Space Development Agency of Japan



跡部 雅敏 ATOBE Masatoshi

小向工場 宇宙情報システム技術部参事。  
衛星通信地上システムの開発・設計に従事。  
Komukai Works



大石 強 OISHI Tsuyoshi

小向工場 宇宙情報システム技術部技術第一担当グループ長。  
衛星放送・通信システムの開発・設計に従事。  
Komukai Works



藤田 昭平 FUJITA Shohei

小向工場 宇宙プログラム担当参事。  
衛星システムの開発・設計・試験に従事。  
Komukai Works