わが国の実用衛星(BS-2)放送システム

正会員 中 村 宏[†], 正会員 今 堀 豊^{††}
園 田 彰 二^{†††}

昭和53年4月打上げの実験用中形放送衛星(BS)と各種実験施設による実験成果をもとに計画された放送衛星2号(昭和59年2月打上げ予定)によるわが国初の実用衛星放送システムについて、宇宙開発事業団におけるBS-2の開発状況と管制施設の概要、通信放送衛星機構およびNHKにおける各地上施設の準備状況等について概述した。

1. ま え が き

昭和53年4月に打上げられた実験用中形放送衛星(BS)と各種実験施設により、郵政省を中心とし宇宙開発事業団(NASDA)、日本放送協会(NHK)が共同して、衛星放送システムの基本技術の確立を目的とする放送衛星実験を3年間にわたり実施した¹⁾。

この実験成果をもとに、NHKのテレビ難視聴の解消等および放送衛星技術の開発を目的として、わが国初の実用放送衛星(BS-2)計画が、昭和54年度のわが国の宇宙開発計画において決定された。

NHKは通信放送衛星機構(TSCJ)に放送衛星2号(BS-2)の開発、打上げを委託し、TSCJはさらにNASDAに再委託してBS-2の開発を進めており、BS-2a(現用機)とBS-2b(予備機)の2機が製作される。これらはNASDAで開発されたN-IIロケットにより種子島宇宙センターから、それぞれ昭和59年2月と昭和60年8月に打上げられることになっている。

図1は実用衛星放送(BS-2)システムの構成を示したもので、送信側では、放送衛星、NASDA管制施設、TSCJおよびNHKの各地上施設、受信側では直接受信、共同受信施設などから成っている。

打上げに際し、NASDAの施設はBS-2の場合、衛星の打上げ、静止軌道投入、衛星初期機能確認のために使用されその終了まで約3ヵ月が予定されている。

以後、BS-2はTSCJ、NHKに引渡されるが、TSCJは君津衛星管制センター施設を使用して、静止軌道上の位置、姿勢等を監視制御するとともに、バス機器の監視制御も行い、搭載された無線設備を常時利用可能な状態に維持することになっている。

NHKは上述の衛星に搭載されたトランスポンダーなどのミッション機器と各種の地上施設を使用して、難視聴解消等と効率的利用を目指した実用衛星放送を行う。この場合、衛星搭載のアンテナは、衛星の位置、姿勢等の制御によりサービスする方向に正しく向けられ、さらに衛星搭載のトランスポンダーは地上送信局からのカラーテレビ電波を受信変換(14GHz→12GHz)増幅して出力100Wで再送信するので、日本国内ではカラーテレビ2chの衛星電波を衛星放送用受信機の設置により一般家庭で直接受信ができる。

この12GHz帯を用いる実用衛星放送は世界的にも他国に先がけて実施されるため、内外で注目を集めている。

2. 放送衛星2号(BS-2)の開発

2.1 開発の経緯

BS-2はBSの成果を引継いで、基本的にはBSと同規模、同性能の衛星として開発しているが、国産N-IIロケットに適合させること、昭和52年の12GHz帯放送衛星業務の計画に関する世界無線主管庁会議WARC-BSにおいて決定された技術基準に適合させること、設計寿命を5年に延長すること、運用性能を向上させること等、必要な改善を行っている。

BS-2の開発は昭和55年2月、NASDAが東京芝浦電気株式会社(副契約者は米国ジェネラル・エレクトリック(GE)社)と契約し、基本設計作業に着手し

[†] 通信・放送衛星機構 管制センター建設部

^{††} NHK 技術本部放送網施設部

^{†††} 宇宙開発事業団 衛星設計第2グループ

“Operational Direct Satellite (BS-2) Broadcasting System in Japan” by Hiroshi Nakamura (Telecommunications Satellite Corporation of Japan, Tokyo), Yutaka Imahori (Engineering Headquarters, NHK, Tokyo) and Shōji Sonoda (National Space Development Agency of Japan, Tokyo)

図 1 実用放送衛星 (BS-2) システム構成図

た。昭和 56 年 10 月に基本設計審査を終了し、引続き詳細設計を進め、昭和 57 年 8 月に詳細設計審査を終了し、昭和 59 年 2 月の BS-2a の打上げ予定に向けて、コンポーネント、サブシステムの製作試験、衛星の総合組立作業を進めている。

2.2 BS-2 衛星の構成

静止衛星軌道上での BS-2 の概観図を図 2 に示す。衛星は BS と同様、ゼロモーメント 3 軸姿勢安定方式を採用し、固定形通信用アンテナ、放熱用のフィンを持つ北面トランスポンダーパネル、南面ハウスキューピングパネル、2 枚の展開形太陽電池パネル、基本構体および 2 次推進系モジュールから構成されている。

衛星のサブシステムは、アンテナ系、通信系、トラッキング・テレメトリ・コマンド系、電源系、姿勢制御系、2 次推進系、アポジモーター、構体系および熱制御系に分かれている。

衛星の機能ブロック図を図 3 に、主要性能諸元を表 1 に示す。

2.3 BS-2 への BS の実績反映と変更点

BS-2 の BS からの主な設計変更点として、ミッション機器に関しては、WARC の技術基準に適合させるため通信用 K バンドアンテナを BS のセンターフィード形からオフセットフィード形としてサイドローブレベルの低減を行ったこと、通信系トランスポンダ

図 2 BS-2 の概観図

ーの受信増幅および励振部を GaAs FET 増幅器とし、信頼性の向上と軽量化を行ったこと、100 W 高出力進行波管をヒューズ社製の結合空洞形からトムソ

図 3 衛星の機能ブロック図

・：冗長系を有する構成品を示す。

表 1 BS-2の主要性能、諸元

項 目	性 能 ・ 諸 元	備 考
構 造、寸 法	固定アンテナ、展開形太陽電池アレイ、モジュラー構造、本体寸法 120 cm×132 cm×289 cm、太陽電池パネル展開時 895 cm	
重 量	打上げ時 約 680 kg 軌道上初期 約 355 kg	
姿勢制御方式	ゼロモーメント 3 軸制御方式	
通信系アンテナ	オフセットフィード、3 ホーン成形ビームアンテナ、北海道および九州の大部分を含む日本本土に対して 37 dB 以上の利得 南西諸島および小笠原諸島を含む日本全土に対して 28 dB 以上の利得	
通信系アンテナ指向精度	0.1° 以内	BS は 0.2° 以内
回転精度	±0.6° 以内	BS は ±2° 以内
通信系トランスポンダー	14/12 GHz 帯進行波管出力 100 W カラーテレビ 2 チャンネルの伝送 下り周波数は WARC 規定による ch 11, ch 15	
テレメトリ・コマンド	14/12 GHz 帯および 2 GHz 帯	
太陽電池発生電力	5 年後夏至で約 870 W	BS は 3 年後夏至で 780 W
バ ッ テ リ ー	12 AH	
熱 制 御	受動形、ヒーター併用	
2 次 推 進 系	ヒドラジンモノプロペラントシステム	
アポジモーター	サイアコール製 STAR-27	
軌 道 位 置	BS-2a, BS-2b とともに東経 110°	
軌道保持精度	東西、南北方向とも ±0.1°	
設 計 寿 命	5 年(推進薬は 5 年目標)	BS は 3 年
システム信頼度	5 年後の残存確率 0.7 以上	BS は 3 年後 0.5 以上
打上げロケット	N-II ロケット	BS はデルタ 2914

ン CSF 社のヘリックス形に変更して軽量化したこと，入出力マルチプレクサーを WARC の基準に適合するように変更したことなどがある。

基本機器に関する主な変更としては，BS-2 の設計寿命を 5 年とするため，姿勢制御系の主要なセンサーである地球センサー，モノパルスセンサーの制御系を冗長化したこと，太陽電池セルを高ジャンクション抵抗，裏面反射形セルとして，発生電力の増加および耐放射性能の向上をはかったこと，熱制御系の主要な熱放散面に OSR (Optical Solar Reflector) を使用し長寿命化をはかったことなどで，各コンポーネントについて設計の詳細な見直しを行っている。

運用性能を向上させるための変更としては，3 軸制御衛星に特有な運用の複雑さを軽減するため，ホイールアンローディング機能の自動化，モノパルスセンサー用 RF 電波停波時の太陽センサー制御への自動切替え，太陽傾角バイアス値の自動変更などを行っている。

なお BS は昭和 53 年 4 月 8 日打上げ後，同年 7 月 20 日から約 3 年半の間種々の実験に供されたが，この間，BS の軌道上で発生した主な現象と，BS-2 での対策を表 2 に示す。

3. 地上管制運用システム

3.1 打上げ時等の管制システム

BS-2 の打上げから遷移軌道投入，ドリフト軌道投入，ドリフト軌道における 3 軸姿勢の確立および静止位置の設定は，筑波宇宙センターおよび増田追跡管制所，沖縄追跡管制所を含む NASDA の追跡管制システムからのコマンドにより行われる。打上げの初期段階においては，NASA のゴダード宇宙飛行センター各局の支援を依頼する。

衛星が東経 110° の赤道上の静止位置に到達後，衛星の各部が所定の機能・性能を有することを確認する初期機能確認のための管制は，NASDA が利用機関地上局の協力を得て実施する。

打上げ時等を中心とした BS-2 の管制システム構成図を図 4 に示す。

3.2 定常時の管制システム

衛星の初期性能試験後の定常段階における放送衛星の姿勢および軌道位置の保持，衛星搭載ミッション機器，バス機器の性能維持，管理等は TSCJ の君津衛星管制センターで行うが，これら衛星管制システムの整備は 58 年末完成予定でとり進めている。

管制システムは，アンテナ，RF 送受信系とテレメ

表 2 BS で発生した主な現象と BS-2 での対策

現 象	発 生 年 月 日 (53. 4. 8 打上げ)	推 定 原 因	BS-2 での対策
通信系トランスポンダー出力断	54. 6. 8 B 系統 55. 5. 19 R 系統 55. 6. 17 A 系統	高出力進行波管増幅器高圧電源部ポッティング材のクラックによるアーク	<ul style="list-style-type: none"> ポッティング材として軌道上の温度範囲で絶縁破壊に至るクラックの発生および成長のない物性条件を満たすものを選定する。 高圧電源内の電氣的・機械的ストレスを軽減するような部品形状および配置を選定する。
リアクションホイールの回転停止	54. 11. 3 ピッチホイール 54. 11. 4 ロールホイール (ピッチホイールはその後 55. 3. 19 回復)	<ul style="list-style-type: none"> ホイール駆動回路内の結合トランスのポッティング材のクラックによるトランス巻線の断線または半断線 静電荷帯電現象による電力トランジスタの開放 	<ul style="list-style-type: none"> ポッティング材の変更を含めた結合トランスの設計改良 静電荷帯電現象への対策の強化
太陽電池発生電力不足	54. 6. 21	<ul style="list-style-type: none"> 絶縁材の不具合によるセルストリングのショート 設計時の予測を上回る放射線環境 太陽電池面の汚染 	<ul style="list-style-type: none"> 絶縁特性向上のため絶縁材を変更 経年的劣化率の低い高抵抗・裏面反射形セルの採用 汚染管理の強化
3 軸姿勢制御異常 (ブルームインビンジメント)	53. 6. 27	スラスターからの噴射ガスが太陽電池板等に当たって外乱が発生	<ul style="list-style-type: none"> 可変バルス幅スラスター制御の採用 ブルームの影響の少ない時間帯での軌道制御の実施
3 軸姿勢制御異常 ① ウォッシュアウト ② 2 相流現象	54. 5. 8	① 触媒ベッドにアニリンが付着することによる推力の低下 ② SPS タンク隔壁材の触媒作用によるヒドラジンの分解	① 高純度ヒドラジン (アニリンフリーヒドラジン) の採用 ② 隔壁材の変更

トリ・コマンド系, 局運用監視制御系, 計算機系からなるハードウェアと, オンライン系, オフライン系からなるソフトウェアで構成され, 一部についてはすでに

に完成している通信衛星用の管制システムとの共用を考慮したものとなっている。

(1) 管制ハードウェア

図4 BS-2管制システム構成図

図5 衛星管制システム図

表3 アンテナ、RF系送受信設備主要性能

		K バ ン ド	S バ ン ド	測 角	モ ノ パ ル ス
ア ン テ ナ 設 備	主反射鏡直径	10 m	18 m	10 m	6 m 相当
	マウント方式	Az・E1 方式	Az・E1 方式	Az・E1 方式	Az・E1 方式
	追 尾 方 式	ステップトラック 自動追尾	高次モード モノパルス追尾方式	高次モード モノパルス追尾方式	——
	利 得 送 信 受 信	60.8 dB 以上 (14.0～14.5 GHz) 59.4 dB 以上 (11.7～12.2 GHz)	49.2 dB 以上 (2.08～2.12 GHz) 49.6 dB 以上 (2.2～2.3 GHz)	—— 59.1 dB 以上 (11.7～12.2 GHz)	ボアサイト±0.1° 53.6 dB 以上 (14.0～14.5 GHz)
	雑 音 温 度	70 K 以下 (11.7 GHz 晴天 40° El)	55 K 以下 (2.3 GHz 晴天 40° El)	70 K 以下 (11.7 GHz 晴天 40° El)	——
低増 雑幅 音装 置	利 得	50 dB 以上 (11.7～12.2 GHz)	50 dB 以上 (2.2～2.3 GHz)	50 dB 以上 (11.7～12.2 GHz)	——
	雑 音 温 度	300 K 以下	80 K 以下	300 K 以下	——
電 力 増 幅 装 置	定 格 出 力	200 W	1 kW	——	600 W
	利 得	65 dB 以上 (14～14.5 GHz)	70 dB 以上 (2.025～2.120 GHz)	——	65 dB 以上 (14～14.5 GHz)
	終 段 管	TWT	クライストロン	——	TWT

管制ハードウェアの系統図と主な諸元を図5、表3に示す。コマンドの送信およびテレメトリの受信は、通常Kバンド系で行い、それらのバックアップとしてSバンド系を設けている。BS-2a、2bのヨー軸姿勢を高精度に保持するため、Kバンドビーコンを送出するモノパルス系を設け、そのアンテナとして耐風性の強いオフセットカセグレン方式を採用し、半固定方式としている。

測角アンテナ系は、高精度の測角と測距を組合せることにより、君津衛星管制センター1局で衛星軌道決定が行えるようにアンテナ基礎を鉄筋コンクリートの二重壁体化構造としたり、アンテナ駆動系をAz・E1軸ともアンチバック駆動機構とし、角度検出にマルチボールシンクロを採用して測定角度の高精度化(Az: 0.002°rms 以下, E1: 0.003°rms 以下)を図っている。測距はトーンレンジ方式で行うが、測距計画により各衛星のデータの取得が行えるよう、測距装置に自動ルート遅延補正機能等を内蔵させている。

局運用監視制御系は、局運用状態表示盤を設けて、全機器の使用状態、障害検知を容易とし、またRF送受信系、信号系のルート切り換えもこの盤で行え、障害の早期検知、バックアップの容易さ、誤操作の防止等運用性の向上を図っている。

電子計算機系は、オンライン系を通信衛星用を含めた3台のミニコンピューターで構成し、そのうち1台がBS-2a、2bのテレメトリデータ処理等のオンライン業務を行い、1台は共通予備機とし、通常は本社端

末への必要画面伝送を行うようにしている。オフライン系では、軌道・姿勢計算、テレメトリ統計処理等を行うため、中形汎用計算機を採用している。

(2) 管制ソフトウェア

管制ソフトウェアの主な機能を表4に示す。オンライン系では、衛星の状態を把握し、制御するためのテレメトリ、コマンド処理等の機能を有し、表示処理関係は衛星の基準位置に対する実在位置を示す衛星位置図、衛星機器の使用状態をみる衛星状態図等について衛星制御卓でのディスプレイ表示を用意している。測角処理機能では、各衛星に対する予報値を測角アンテナ設備の追尾用に送出し、測角データの自動取得、ディスプレイ表示、オフライン系への転送データ作成等を行っている。測距処理機能では、測距計画によって測距オンコマンドの出力指示、測距信号の送出処理等

表4 ソフトウェアの主機能

オンラインソフトウェア	オフラインソフトウェア
テレメトリ処理機能	軌道決定処理機能
測角処理機能	軌道制御計画機能
測距処理機能	軌道制御コマンド作成機能
表示処理機能	マヌーバ評価
時刻補正機能	ハウスキーピングデータ処理機能
スケジュール処理機能	運用計画作成機能
コマンド処理機能	ジョブスケジューリング機能
コマンド表示処理機能	データベース管理機能
特殊テレメトリ処理機能	データ転送処理機能等
障害処理機能	
本社ディスプレイ端末への表示機能	
データベース管理機能等	
軌道決定処理機能(バックアップ)	

を行い、測距データの取得、ディスプレイ表示、オフライン系への転送データ作成、測距終了処理等を自動で行う機能を有している。

オフライン系では、1局測距・測角による軌道決定処理、省力化のための運用計画作成機能、ジョブスケジューリング機能等を有している。運用計画作成機能では、運用者との会話処理により測角・測距計画、軌道制御計画、食運用計画等がパターン化できる標準計画の作成、変更等を行う機能を有して、業務の効率化を図っている。

4. 放送番組送受信システム

衛星放送では、

- (1) テレビ難視聴地域に対する番組サービス
- (2) 災害時における地上放送のバックアップ
- (3) 車載局等による辺地、離島からの中継放送
- (4) 新しい放送サービス

など種々の利用形態が考えられる。

NHK では BS 用実験施設の開発とこれを用いた実験成果をベースにし、かつ上記利用形態を勘案して、BS-2 と番組送受信システムを構成する主送受信局（以下主局）、可搬形および車載形送受信局、受信モニター局、再送信局等について検討し準備を進めている。

4.1 主 局

主局は衛星放送番組送受信システムにおける地上系施設の中核となるもので、衛星放送電波を良質かつ安

定に日本全土にサービスするため、①衛星放送番組の送受信、②衛星搭載無線設備（トランスポンダ）の運用、③衛星放送番組送受信システムの総合監視と統制、など3つの基本機能をもつ必要がある。

このような主局の設備としては、14/12 GHz 帯用の空中線設備、送受信機設備、および主局、衛星トランスポンダ等の監視制御設備が必要である。図6は主局設備の構成を示したもので、これらの設備により、

(1) カラーテレビ2chの同時送受信（送信機出力 2 kW max/ch）

(2) 衛星トランスポンダ用コマンド、テレメトリ波の送受信（コマンド送信機出力 1 kW max）およびトランスポンダの状態監視と制御

(3) 主局と他の地上局の送受信状況の監視および連絡、統制（連絡用送信機出力 200 W max/ch）

(4) 全国各地の受信状況のサンプルモニタリング

(5) 伝搬系等、外部環境状態（雨、雪）の監視

ができる。

当該設備は、WARC-BS による技術基準や BS-2 の伝送システム諸元に適合させるとともに、衛星への上り・下り回線を構成する設備として必要かつ十分な性能を持たせる必要がある。一例として、上り回線の C/N は大口径アンテナ (8 m ϕ) と高出力送信機により 30 dB 以上、下り回線は低雑音アンプ（雑音温度 200 K 以下）の使用により 35 dB 以上を目標としている。また、設置場所については、番組供給源、混信や雑音妨害源、遮蔽物などの各種条件を検討し、放送センタ

図6 主局設備構成図

への設置で準備を行っている。

4.2 可搬形送受信局（大阪副局）

BS実験のために開発した可搬形送受信局（以下可搬A形局）⁴⁾は、離島や日本全土の一点に設置して衛星に直接アクセスし、カラーテレビ1chの送受信ができるよう設計したもので、実験では大阪放送局に設置し使用された。BS-2システムでは同じ場所で災害時の放送や主局バックアップ用としての利用などを考え、所要の改修を行う予定である。この場合、前述と同様、周波数、偏波面、エネルギー拡散方式、映像伝送帯域および周波数偏移、音声変調方式などの変更追加を行う。

4.3 車載形送受信局

車載形送受信局にはバス形とコンテナ形などが考えられるが、BS実験用としてはバス形（以下可搬B形局）⁴⁾のものを開発した。BS-2システムでは離島、辺地などからの中継放送に必要となるので、前述の可搬A形局と同様に改修して利用する予定である。なお、機動的な番組中継のためには、より小形、軽量のものも望まれるので、現在基本検討を進めている。

4.4 受信モニター局

BS実験では全国9カ所に受信専門局⁴⁾を設置して受信データの収集を行い、電話、打合せ(OW)回線などによりこれら受信データをNHK放送センター（東京）に収集、解析して、その結果をBSシステムの評価やBS-2システムの設計に反映させた。

BS-2システムでは以上の経験から3局（離島1、本土2）の受信専門局を受信モニター局として運用する予定である。この設備は受信専門局を改修して使用するが、ここでの受信データは主局の監視制御設備に接続した電子計算機に入り、前回同様、随時、定時の収集と分析が行われる。

4.5 再送信局

BS実験では南大東、与那国、小笠原父島に高感度

形受信専門局⁴⁾を設置して受信実験を行い、一部については現行地上システムと同様に、UHFテレビ中継放送機を用いて受信信号による再変調、送信の実験も実施し、好結果を得た。

再送信局は、上述の設備を改修するが、送信規模、設置場所については現在検討中である。

4.6 各種受信システム

以上のNHKの設備による放送サービスに対して、一般家庭等では12GHz帯の受信設備により個別受信または共同受信が行われる。これらの設備については現在、空中線、受信機の形式、構成、性能、価格など検討が続けられており、放送開始を目指して各メーカーで準備が進められている。

5. む す び

以上、昭和59年度から運用を予定している実用衛星放送（BS-2）システムの概要を述べた。

現在、これらのシステムを構成する各設備はすべて開発・製作段階にあるが、衛星放送はテレビ難視解消の抜本的施策として役立つほか、テレビ音声の高品位PCM化による普及の促進も期待され、さらにPCM音声放送、高品位テレビおよび静止画放送などのニューメディアの展開、発展の可能性を秘めており、その早期実現が望まれている。（昭和57年12月27日受付）

【参 考 文 献】

- 1) 三浦信、石田亨、木村悦郎：“実験用中型放送衛星計画”，テレビ誌，33，10，pp.759-767（Oct.,1979）
- 2) 上田義短、石橋久須男、市川洋：“Operational Broadcasting Satellite Program in Japan”，IAF-81-76（1981）
- 3) 橋本和彦、荒井健二郎：“通信・放送衛星機構の管制センター施設の概要”，日本ITU協会第103回放送衛星研究会資料（1982）
- 4) 梶川実、横山光雄、保科盛他：“実験用地上局施設、設備”，テレビ誌，33，10，pp.804-819（Oct.,1979）