4章 4K・8K 試験放送アップリンク設備

西田 勇人†

キーワード：4K, 8K, 試験放送, 地球局

1. まえがき

放送衛星システム (B-SAT) は、超高精細度テレビジョン (4K・8K) 試験放送の実施に向けて試験放送用アップリンク地球局および衛星基幹放送試験局の整備を進めてきた。

2016年8月に開始した4K・8K試験放送は、認定基幹放送事業者放送設備から送られてくるプログラム信号をB-SATが受け取り、B-SATが所有する地球局と放送衛星を使用してBS放送チャネル (BS-17ch) により日本全国に届けられている。本稿ではアップリンク地球局の設備概要について解説する。

2. システム構成

B-SATは、2016年1月に、現行BSデジタル放送用設備

の更新時におけるバックアップ地球局として使用してきた高周波設備およびアンテナ設備を有効活用し、さらに高周波設備に対して、4K・8K伝送特性に最適化するための調整改修を施した4K・8K実験試験局を整備開局した。この実験局設備に対して地球局運用に必要な監視モニタ設備を新たに追加整備することで、4K・8K試験放送アップリンク地球局を完成させ運用を開始した。

図1にシステム構成図を示す。設備は送信系設備、受信系設備、および監視モニタ系設備で構成される。

3. 送信系設備

送信系設備は高周波設備とアンテナ設備から構成される。それぞれの諸元を表1と表2に示す。

4K・8K試験放送用プログラムは、NHK放送センター内

図1 システム構成図

† 株式会社放送衛星システム

"4K・8K Test Broadcasting Uplink Earth Station" by Hayato Nishida
(Broadcasting Satellite System Corporation, Tokyo)

表1 高周波設備の諸元

項 目	性 能
送信周波数	17.63436 GHz (BS-17ch)
送信EIRP	78 dBW
空中線電力	23.4 dBW
占有周波数帯幅	34.5 MHz以下
スペクトラムリグロース	16 APSK (7/9) において、 -34 dB以下 (±38.36 MHz離れ)
所要C/N	16 APSK (7/9) において、 11.8 dB (地球局折返し) / 12.2 dB (衛星折返し)

表2 アンテナ設備の諸元

項 目	性 能	
主反射鏡直径	7 m φ級	
アンテナ形式	コルゲートホーン給電 鏡面修正カセグレン方式	
マウント方式	AZ-EL方式	
周波数範囲	送信: 17.3~17.8 GHz	受信: 11.7~12.2 GHz
利 得	送信: 59.6 dBi (給電部入力端)	受信: 56.7 dBi (給電部出力端)
雑音温度	90 K以下	
偏 波	送・受信: 右旋円偏波	受信 (追尾): 左旋円偏波
追尾方式	ステップトラック追尾方式	
自動追尾誤差	±0.03° rms	

のNHK (SHV-TOC) 設備から構内光ケーブル2系統 (N系とE系) により、TLV (Type Length Value) 多重化信号 (以下、TLV 信号) としてB-SATに受け渡される。また、B-SAT 設備にて生成した5 MHz 基準クロック信号 (5 MCLK) をSHV-TOC 設備向けに伝送し、SHV-TOC 側のTLV 多重化信号生成装置をB-SAT 設備クロックに従属同期させている。

放送事業者から受け取ったN系とE系のTLV 信号は、高度BS変調器 (MOD) の1系と2系にそれぞれ直接入力される。MOD以降、17 GHz帯信号に周波数変換するアップコンバータ (U/C)、および電力増幅装置 (HPA) で生じる非線形特性を前置補償するリニアライザ (LRZ) までを1系と2系の冗長構成とし、位相合成回路の前段部 (HYB/SEL) において2分配と系統選択を行い、装置障害時における自動系統切替を可能としている。

位相合成回路の出力合成部 (MT) では、HYB/SELで位相調整された2台のHPA出力をマジック Tにより同相合成している。万が一、1台のHPAが故障した場合でもアップリンク信号の送信を瞬断なく継続することができ、また1台のHPA出力での運用も可能な構成としている。さらにHPAに搭載しているTWT (Traveling Wave Tube) は、TWT管内でマイクロディスチャージ (放電) が発生した時の急峻な出力電力の低下を防ぐ回路機能を有しており、マイクロディスチャージ発生時に合成出力として送信信号断が生じることを防いでいる。4K・8K送信系設備は、これら現行BSデジタル放送設備で培われた技術および装置構成を採用しており、これまで同様の高い信頼性を有するシステムとなっている。

図2 高周波設備収納シェルタとアンテナ外観

送信系設備を構成するMODは機器室に、U/C以降は放送センター屋上のシェルタ内に整備しており、機器室とシェルタ間は140 MHz信号をE/O-O/E変換装置により構内光ケーブルを用いて伝送している。またアンテナ本体は、高周波設備出力端と導波管によりインタフェースし、シェルタの直近に配置している。シェルタと7mアンテナの外観を図2に示す。

3.1 高度BS変調器

本装置 (MOD) はARIB STD-B44に準拠した伝送路符号化、および変調と時分割多重処理を行う。伝送主信号は伝送TMCC情報に基づき16 APSK (符号化率7/9) で、伝送TMCC信号ほかフレーム同期信号とスロット同期信号は $\pi/2$ シフトBPSKで変調される。また外部から5 MCLKを入力し、入力TLV信号との同期、伝送クロック信号の生成、および140 MHz出力信号の安定度を確保している。高度BS変調器の諸元を表3に示す。

TLV信号はスロット単位にIPv4ヘッダでカプセル化されたIPv4/UDPパケットである。MOD入力のTLV多重化信号フォーマットを図3に示す。試験放送システムでは放送事業者設備が一つであることから、B-SAT設備とはMOD入力信号でインタフェースするシンプルな構成とし

表3 高度BS変調器の諸元

	項 目	性 能
入力 信号	信号形式	IPv4/UDPパケット
	TLV多重化 信号フォーマット	計5810Bytes 主信号 (5610Bytes) + TMCC基本情報 (35Bytes) + TMCC伝送情報 (165Bytes)
	スロット数	120スロット/フレーム
	最大レート	170 Mbps
変調方式 誤り訂正方式		ISDB-S3 (ARIB STD-B44) に準拠
出力 信号	周波数	140 MHz
	レベル	0 dBm (75 Ω)
外部基準クロック		5 MHz

図3 変調器入力TLV多重化信号フォーマット

ている。したがって、TMCC伝送情報(9422ビット)についても放送事業者設備側(TLV多重化装置)で生成し、変調器内で生成する伝送TMCC信号と同じパケット長(165バイト)で多重することで、1スロットあたり5810バイトのTLV多重化パケット長とし、変調用伝送フレーム構成に合わせている。また1伝送フレームは120スロットで構成し伝送される。

3.2 リニアライザ装置

振幅位相変調(16 APSK)方式を用いる4K・8K試験放送用高周波設備は、必要とする空中線電力に対して表1に示す高周波特性を満足するために、HPA動作点付近の非線形特性の伝送信号品質に与える影響を積極的に抑える必要がある。今回、HPA位相合成部前段にHPA非線形特性を前置補償する機能を有するリニアライザ装置(Linearizer Technology社製)を整備することで所望の特性を得ることができた。本来であれば、各HPAの前段にリニアライザ装置を挿入し、非線形補償された2系統の各HPAを同相合成する構成が望ましいが、既設高周波設備装置を有効活用したこと、短期間での整備が必要であったこと、これまでに運用実績のある装置構成とし高信頼性を確保したこと、およびリニアライザ装置挿入時の高周波レベルダイヤの調整変更が困難であったことから、試験放送設備ではHPA合成出力に対して1台のリニアライザ装置で非線形補償するシステム構成とした。

リニアライザなし時とあり時の電力増幅部特性(出力、利得、位相)について図4に比較して示す。リニアライザ装置により入力レベルに対する利得と位相の変化がフラットとなるように調整を行った。非線形補償効果を比較するための一例としてHPA合成出力(空中線電力)をバックオフさせたときのリグロース量(中心周波数から ± 38.36 MHz離れ:隣接チャネルの中心周波数に相当)を表4に示す。出力5 dBバックオフ時のリグロース量を比較するとリニアライザあり時には約10 dB改善している。

図4 電力増幅部特性(出力、利得、位相)

4. 受信系設備

高周波設備におけるアップリンク信号特性の正常性をモニタするための地球局折り返し用のモニタポイントを140 MHz帯のMOD出力、17 GHz帯のHPA入力およびHPA合

表4 バックオフ量とリグロース量

バックオフ量	空中線電力 (合成出力)	リグロース量	
		LRZあり	LRZなし
0 dB	27.4 dBW	-18.8	
1 dB	26.4 dBW	-24.8	
2 dB	25.4 dBW	-28.5	
3 dB	24.4 dBW	-31.5	
4 dB	23.4 dBW	-34.4	
5 dB	22.4 dBW	-37.5	-27.0

成出力にそれぞれ設けている。このうち17GHz帯信号は、17GHz/12GHzトランスレータと周波数変換装置を使用して140MHz信号に変換した後、シェルトと機器室間を構内光ケーブルにより伝送し、機器室に設置した周波数変換装置によりBS-IF帯にアップコンバートし、高度BS復調器(DEM)の入力とする。

また放送衛星からダウンリンクされる12GHz帯試験放送信号は、試験放送プログラムをアップリンクした7m送受共用アンテナで受信された後、シェルト内に設置した周波数変換装置でBS-IF帯にダウンコンバートし、機器室に設置したDEMの入力とする。

DEMは右旋BS-IF周波数帯(1.032~1.489GHz)信号を入力とし、ARIB STD-B44に準拠した復調および伝送路復号化を行いTLV信号として出力する。なお出力信号フォーマットはMOD入力信号と同じである。また信号品質の監視機能として、受信レベル、MER (Modulation Error Ratio) 値、MER 値から換算したC/N (Carrier to Noise Ratio) 値、および外符号BCHエラー数から算出したBER (Bit Error Rate) 値を監視モニタ系に出力する機能を有する。

5. 監視モニタ系設備

運用室ではマスタモニタによるアップリンク信号監視と家庭用テレビ(HDMI入力端子使用)によるエア受信監視、および統合監視用ディスプレイ表示とスピーカによるアラーム鳴動による運用監視を行っている。運用室の監視モニタと監視卓の様子を図5に示す。

まず、受信系設備から出力されたTLV信号と放送事業者から受け渡された回線(N系とE系)受けTLV信号について、運用者が監視モニタしたいTLV信号を切替器(TLV SW)で選択する構成とし、1系統のHEVC DECにより8K映像・音声信号に変換後、さらに2K映像・音声信号にダウンコンバート(8K/2K D/C)することで、安価な2K用マスタモニタを使用したアップリンク信号のモニタ監視を行っている。

次に、4K・8K試験放送ダウンリンク信号についても同様に、HEVC DECと8K/2K D/Cを用いて2K家庭用テレビに接続している。またBS-IF信号を入力した4K・8K高度BS受信機(シャープ製)と4Kテレビによるエア受信モニタ

図5 監視モニタ設備(運用室)の外観

監視も同時に行っている。本受信機は全国NHK放送会館においてパブリックビューイング用装置として用いられており、これとの比較モニタ監視を目的として整備している。

これらモニタ監視に加えて、試験放送設備のすべての機器装置のアラーム有無とステータス情報を一元的に管理・監視する統合監視システムを構築整備しており、24時間365日の連続した監視運用を行っている。

6. むすび

B-SATは、4K・8K試験放送のアップリンク地球局および放送衛星の運用を安定的に継続し行っていくとともに、2018年開始予定の4K・8K実用放送に向けて、新たなアップリンク地球局設備開発と整備について検討を進めている。また2017年後半には4K・8K放送の中核となる次期放送衛星BSAT-4aの打ち上げを予定しており、超高精細度テレビジョン放送の普及推進のための基盤づくりに尽力していく。

(2016年11月28日受付)

〔文 献〕

- 1) 電波産業会：“高度広帯域衛星デジタル放送の伝送方式”，ARIB STD-B44
- 2) 電波産業会：“高度広帯域衛星デジタル放送運用規定（第三分冊第七編）”，ARIB TR-39, pp.89-94

にしだ はやと 西田 勇人 1986年、NHK入局。1989年、放送技術研究所。1995年、宇宙開発事業団(現JAXA)に出向。1999年より、NHK技術局に勤務。2002年～2005年、2012年より、(株)放送衛星システム(B-SAT)に出向、現在に至る。