

[特別講演] 4K・8K 衛星放送伝送方式 ISDB-S3 の運用規定

齋藤 恭一[†]

[†] 日本放送協会 放送技術研究所 〒157-8510 東京都世田谷区砧 1-10-11

E-mail: [†] saito.k-hg@nhk.or.jp

あらまし 2018年の実用放送開始に向けて、4K・8K スーパーハイビジョン衛星放送の運用規定が2016年7月に策定された。本稿では、4K・8K衛星放送の伝送方式であるISDB-S3の運用を含む送出運用規定について解説する。また、2016年10月に採択されたISDB-S3のITU-R勧告化など標準化の経緯についても紹介する。

キーワード 衛星放送, スーパーハイビジョン, ISDB-S3, 運用規定

Operational Guidelines for ISDB-S3

Kyoichi SAITO[†]

[†] Science & Technology Research Laboratories, NHK(Japan Broadcasting Corporation)

1-10-11 Kinuta, Setagaya-ku, Tokyo, 157-8510, Japan

E-mail: [†] saito.k-hg@nhk.or.jp

Abstract Aiming for practical broadcasting to start in 2018, the operational guidelines for Super Hi-Vision (4K/8K) satellite broadcasting have been standardized in July 2016. This paper describes an overview of the operation standards for broadcasting transmission, including the operational guideline of ISDB-S3 which is the transmission system of Super Hi-Vision satellite broadcasting. In addition, about the history of ITU-R Recommendations of the ISDB-S3 which was adopted in October 2016 is introduced.

Keyword Satellite Broadcasting, Super Hi-Vision, ISDB-S3, Operational Guideline

1. はじめに

総務省が公表した4K・8Kロードマップ[1]では、衛星による4K・8K試験放送が2016年に、実用放送が2018年までにできるだけ早期に開始することが示された。本ロードマップに基づき、4K・8K衛星放送方式の標準化が進められ、2016年8月1日からNHKが4K・8K試験放送を開始した。

本稿では、4K・8K衛星放送に適用される伝送方式であるISDB-S3の標準化と実用放送に向けて策定された運用規定[2]について解説する。はじめにISDB-S3標準化の経緯と伝送方式の概要について述べる。続いて、ISDB-S3伝送方式の運用を含む4K・8K衛星放送の送出運用規定の概要について紹介する。

2. ISDB-S3

2.1. 標準化の経緯

2000年のBSデジタル放送開始から2011年の地上放送の完全デジタル化完了までに、デジタルHDTV放送が大きな普及を遂げた中、HDTVを超える超高精細度

テレビジョン(UHDTV(Ultra-High Definition Television))や5.1chを超えるマルチチャンネル音響の研究開発が進められた。また、超高精細度映像を送送するために、APSK(Amplitude-Phase-Shift Keying)方式と低ロールオフ率フィルタの採用による衛星放送の伝送容量拡大や、通信の標準的な伝送方式であるIP(Internet Protocol)との親和性の高い多重化・伝送方式の適用が検討された。

これらの技術開発の進展に加えて、2012年には総務省の放送サービスの高度化に関する検討会が立ち上がり、4K・8K放送の開始時期や普及の目標が検討されて、2013年6月にロードマップが示された[3]。これを踏まえて、2013年から2014年にかけて超高精細度テレビジョン衛星放送方式の標準化が進められた結果、2014年3月に情報通信審議会より「超高精細度テレビジョン放送システムに関する技術的条件」が答申された[4]。この答申に基づき、高度広帯域衛星デジタル放送の伝送方式が、2014年7月に国の技術基準としての省令・告示において規定されるとともに、民間標準規格

として電波産業会(ARIB)において、より詳細な規定が ARIB STD-B44 として規格化された[5]。その後、高度広帯域衛星デジタル放送の伝送方式は、ISDB-S3 (Integrated Services Digital Broadcasting for Satellite, 3rd generation) という名称が付けられた。

ISDB-S3 は、以下のような ITU-R における国際標準化 (ITU-R 勧告化) 対応の結果、2016 年 10 月の ITU-R SG4 会合にて、新勧告として採択された。

➤ 2014 年 7 月 WP4B 会合

超高精細度テレビジョン衛星放送のための伝送方式の勧告化に向けて、ARIB 標準規格 STD-B44 をベースにした勧告草案の作業文書を入力した。

➤ 2015 年 6 月 WP4B 会合

欧州の衛星伝送方式 (DVB-S2X) との方式比較の表を追加した新勧告草案を作成した (継続審議)。

➤ 2016 年 4 月 WP4B 会合

方式名称を ISDB-S3 とすることを提案し、新勧告案として SG4 へ送付された。

➤ 2016 年 10 月 SG4 会合

ISDB-S3 勧告案は採択され、郵便投票による承認手続きに進んだ (約 2 ヶ月の投票期間を経て承認されれば、正式に ITU-R 勧告となる)。

2.2. 伝送方式の概要

ISDB-S3 伝送方式[5]の概要を表 1 に示す。主な技術的特徴は、以下の 5 点である。

① 伝送容量の拡大

変調信号の帯域制限を行うローパスフィルタに適用するローパス率を 0.03 とすることで、電波法で規定される占有帯域幅 34.5MHz を満たし、シンボルレートを 33.7561Mbaud まで拡大した。変調方式に APSK (Amplitude Phase Shift Keying)、誤り訂正内符号に LDPC (Low Density Parity Check) 符号を採用することで、現行 BS デジタル放送と同等のサービス時間率を確保しつつ、周波数利用効率を向上させた。16APSK と符号化率 7/9 の組合せにより、東京において 45cm パラボラアンテナで受信する場合、最悪月サービス時間率 99.7% を確保し、1 つの衛星中継器で約 100Mbps の大容量伝送を実現した。

② 降雨減衰対策

現行 BS デジタル放送で採用されている階層変調に対応し、複数種類の変調方式を時分割で組み合わせて伝送することが可能である。伝送する信号の一部に QPSK などの所要 C/N が低い変調方式を適用することで、降雨時の放送サービス遮断を防ぐことができる。

③ 低 C/N 時の安定受信対策

主信号変調信号 136 シンボルに対し、 $\pi/2$ シフト BPSK バースト信号 4 シンボルを周期的に挿入するこ

とで、受信 C/N が 0dB 以下においても安定した同期性能を確保した。また、伝送制御信号である TMCC (Transmission and Multiplexing Configuration and Control) を上記バースト信号領域で伝送することで、効率的な TMCC 伝送を実現した。

④ TMCC による可変長パケット伝送機能

可変長パケットを過不足なく伝送する手段として、TMCC に可変長パケットの切れ目を通知するポインタ情報の領域を確保した。ポインタ情報には可変長パケットの先頭および終了バイト位置が記載されており、受信側では、TMCC を復号することで、伝送フレームに含まれる複数の可変長パケット位置が識別できる。

⑤ 衛星中継器で生じる非線形特性劣化への対策

衛星中継器上の TWTA で生じる非線形特性による劣化を緩和するため、主信号変調方式と同一の変調方式で既知の信号点を周期的・間欠的に伝送する伝送信号点配置信号を導入した。この信号を受信機において平均化することで、IQ 平面上における、非線形歪を受けた重心点を測定することができる。この値を基準に LDPC 復号の初期値である対数尤度比を計算することで、非線形歪を考慮した誤り訂正が可能となる。

表 1 ISDB-S3 方式の概要

項目	内容
変調方式	$\pi/2$ シフト BPSK, QPSK, 8PSK, 16APSK, 32APSK*
誤り訂正方式	内符号: LDPC 符号 (符号長 44880)
	外符号: BCH 符号
内符号符号化率	1/3, 2/5, 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 7/9, 4/5, 5/6, 7/8, 9/10
制御情報 (TMCC)	変調方式・符号化率の制御, 多重データフォーマット制御 (MPEG-2 TS, TLV) 等
フレーム構造	120 スロット/フレーム
シンボルレート	33.7561Mbaud
ローパス率	0.03
その他	伝送信号点配置情報により、衛星中継器で生じる非線形特性による受信性能劣化を改善

*民間規格のみの規定で、省令では規定されていない

3. 送出運用規定の概要

運用規定は放送事業者が実際に運用するサービスを想定し、ARIB 標準規格で規定されている複数の規定内容から実際に運用する規定を選択し、その規定の詳細運用を定めるものである。ここでは、4K・8K 衛星放送に適用される運用規定[2]において、放送局での運用や送出について規定している送出運用規定 (七編) の概要について解説する。

送出運用規定は、主に映像・音声の情報源符号化方式や多重化・メディアトランスポート方式、伝送路符号化・変調方式などの送出運用から構成される。その規定方針としては、現行 BS デジタル放送の送出運用規定である ARIB TR-B15[6]の七編をベースに、新項目の追加および不要項目の削除、章構成の見直しなどを行って検討が進められた。現行 BS デジタル放送との大きな違いは以下の通りである。

① 映像

4K・8K フォーマット(超高精細, 広色域, HDR(High Dynamic Range)) に対応, 符号化方式は, HEVC(High Efficiency Video Coding)を適用[7]

② 音声

22.2ch/7.1ch マルチチャンネルステレオに対応, 符号化方式は, MPEG4-AAC(Advanced Audio Coding) および MPEG4-ALS(Audio Lossless Coding)を適用[7]

③ 多重化方式

MMT (MPEG Media Transport) /TLV(Type Length Value)方式を採用[7] [8]

④ 伝送路符号化・変調方式

高度広帯域衛星デジタル放送の伝送方式 (ISDB-S3) を適用[5]

3.1. 情報源符号化方式 (映像・音声) の運用

映像フォーマットとしては、表 2 と表 3 にそれぞれ示すように、HDR-TV (High Dynamic Range Television) と SDR-TV(Standard Dynamic Range Television)のフォーマットが運用可能である。各映像フォーマットにおける HEVC 符号化方式による最大符号化レートを表 4 に示す。

ITLV ストリーム内において複数の映像フォーマットを同時運用することも可能である。また、異なる映像フォーマットの切り替えを行う場合には、受信機においてシームレスに切り替えられることが望ましく、特に HDR-TV と SDR-TV の切り替えは、番組単位で切り替える運用に限定する。

音声の符号化方式としては、表 5 に示すように MPEG4-AAC の他にロスレス音声符号化である MPEG4-ALS が運用可能である。また、表 6 と表 7 にそれぞれ示すように、5.1 チャンネルを超えるマルチチャンネルステレオや MPEG4-ALS に非対応な受信機用にサイマル音声の送出規則も規定している。

音声モードや音声符号化方式の切り替え時の運用としては、受信機においてシームレス切り替えが実現できるように、音声切替前後には 0.5 秒以上の無音期間、3 音声フレーム以上のギャップ期間を設けることが望ましい。

表 2 HDR-TV 映像フォーマット

	1080/I	1080/P	2160/P	4320/P
空間解像度	1920x1080		3840x2160	7680x4320
走査方式	飛越走査	順次走査		
フレーム周波数	30/1.001	60/1.001		
フィールド周波数	60/1.001			
画素ビット数	10bit			
表色系	広色域(ITU-R 勧告 BT.2020)			
ガンマ補正	ARIB STD-B32 第 1 部第 2 章「2.1.3 UHDTV 準拠の映像信号特性」の HDR-TV の(i)			

表 3 SDR-TV 映像フォーマット

	1080/I	1080/P	2160/P	4320/P
空間解像度	1920x1080		3840x2160	7680x4320
走査方式	飛越走査	順次走査		
フレーム周波数	30/1.001	60/1.001		
フィールド周波数	60/1.001			
画素ビット数	8bit, 10bit(注)		10bit	
表色系	従来色域 (Rec.ITU-R BT.709) 広色域 (Rec.ITU-R BT.2020)		広色域 (Rec.ITU-R BT.2020)	
ガンマ補正	ARIB STD-B32 第 1 部第 2 章「2.1.1 HDTV 準拠の映像信号特性」の規定(従来色域時), ARIB STD-B32 第 1 部第 2 章「2.1.3 UHDTV 準拠の映像信号特性」の SDR-TV の規定(広色域時)		ARIB STD-B32 第 1 部第 2 章「2.1.3 UHDTV 準拠の映像信号特性」の SDR-TV	

(注)広色域(Rec. ITU-R BT.2020)での画素ビット数は 10bit に限る

表 4 映像最大符号化レート

映像フォーマット	最大符号化レート
1080/60/I	22Mbps
1080/60/P	22Mbps
2160/60/P	44Mbps
4320/60/P	110Mbps

表 5 音声フォーマットと符号化方式

	MPEG-4 AAC					MPEG-4 ALS	
サンプリングレート	48kHz						
量子化ビット数	16bit, 24bit					24bit	
ストリーム形式	LATM/LOAS						
音声モード	モノ (注)	ステレオ	5.1ch	7.1ch	22.2ch	ステレオ	5.1ch
最大符号化レート (kbps)	256	256	480	640	1920	2429	7341

(注)高度広帯域 CS のみ運用

表 6 MPEG4-AAC におけるサイマル送出

最大音声モード	サイマル送出する音声モード		
	7.1ch	5.1ch	ステレオ
22.2ch	送出禁止	送出可	送出必須
7.1ch	—	送出可	送出必須
5.1ch	—	—	送出可

表 7 MPEG4-ALS におけるサイマル送出

MPEG-4 ALS 送出音声モード	サイマル送出する MPEG-4 AAC の音声モード			
	22.2ch	7.1ch	5.1ch	ステレオ
5.1ch	どちらか一方は送出可		どちらか一方は送出必須	
ステレオ	どちらか一方は送出可		どちらか一方は送出必須	

3.2. 多重化・メディアトランスポート方式の運用 放送で運用可能なアセットタイプを表 8 に示す。

表 8 アセットタイプ

アセットタイプ	アセットタイプの意味	アセット種別	デフォルトアセット component_tag 値
hev1	HEVC 映像	放送伝送映像	0x0000
mp4a	MPEG-4 AAC 音声 MPEG-4 ALS 音声	放送伝送音声	0x0010
stpp	タイムドテキスト (字幕・文字スーパー)	放送伝送字幕	0x0030
		放送伝送文字スーパー	0x0038
aapp	アプリケーション	放送伝送データコンテンツサービス	なし
hev1	HEVC 映像		
mp4a	MPEG-4 AAC 音声		

1 サービスにおいて、受信機が同時処理可能な最小アセット数は 12, 同時送信可能な最大アセット数は 22 である。また、1TLV ストリーム当たりの最大サービス数は、以下の通りとなる。

- ① 高度 BS : 最大 4
(デジタル TV サービス×3, 臨時サービス×1)
- ② 高度広帯域 CS : 最大 16
(デジタル TV サービスのみ)

MMT 方式では映像・音声 MPU (Media Processing Unit)のタイムスタンプは,MPU 本体とは別々に送出される。そのため、以下のタイムスタンプ送出に関する運用規則を規定した。

- 映像、音声 MPU のタイムスタンプ先出し送出期間は当該 MPU 復号時刻を基準として 2700msec から 500msec 前の間に少なくとも 1 回送出する (再送することが望ましい)。
- 選局時間を考慮すると、上記タイムスタンプ先出し送出期間や当該 MPU 先頭の送出直前まで再送することが望ましい。
- MPT(MMT Package Table)アセット記述子領域での MPU タイムスタンプ最大送出数は 1 アセット当たり最大 15 個までとする。

MMT/TLV 方式では、基本的に MMT パケット/IP パケット/TLV パケットという階層構造でパケット送出が行われる。また、送出システムと受信機のクロック同期を実現することを目的に NTP(Network Time Protocol)形式を含む IP パケットが送出される。各パケットの基本的な送出規定を以下に示す。

- ① MMTP パケットの送出規定
 - ・ MMTP パケットヘッダ (マルチタイプヘッダ拡張含む) とペイロードの構造と運用規則
 - ・ HEVC 映像, MPEG-4 AAC/ALS 音声信号の MPU/MFU(Media Fragment Unit)構成
- ② NTP 形式を含む IP パケットの送出規定
 - ・ MMTP パケットとは異なる IP データフローで伝送, IP ヘッダの圧縮なし
 - ・ TLV ストリーム毎に開始スロットの先頭に配置 (階層変調時は低階層スロット先頭に配置)
- ③ IP パケットの送出規定
 - ・ IPv6 パケット, UDP パケットの運用規則
 - ・ ヘッダ圧縮 IP パケットの運用規則
非圧縮のフルヘッダ IP パケットを少なくとも 500msec に一回は必ず送出 (階層変調時は低階層スロット内にて送出)
 - ・ IP アドレス, ポート番号の運用規則
高度 BS : 同一 TLV ストリーム内における IP

データフローは、NTP 伝送および MMTP パケット伝送用にそれぞれ 1 つ設定
高度広帯域 CS : 同一 TLV ストリーム内における IP データフローは、サービス毎に異なる IP データフローを設定し、これらとは別に NTP 伝送用とサービス横断的な MMTP-SI 伝送用にそれぞれ 1 つ設定 (必要に応じてサービス共用アセット用に最大 1 つ設定可能)

④ TLV パケットの送出規定

- ・ 伝送フレーム跨ぎの禁止と最終スロットのスタッピング規則
- ・ 1 伝送フレーム当たりの最大送出パケット数の規定 (MMT/TLV 方式受信バッファモデル*対応)

*MMT/TLV 方式における放送サービスの受信バッファモデルにおいて、バッファおよびフィルタ機能の定義、各バッファのサイズ、引き抜きレートを規定。

3.3. 伝送路符号化・変調方式の運用

放送事業者とアップリンク間の局間運用において、同一中継器を共有する放送事業者の TLV ストリームの合成と局間制御を行うための TMCC 基本情報について規定した。TMCC 基本情報を用いてアップリンク局では、放送波に多重する TMCC 情報を生成するとともに、各放送事業者から送られてきた TLV ストリームの合成と伝送パラメータの変更処理を行う。使用可能な伝送パラメータ (変調方式・符号化率) の組合せは、表 9 の通りである。

また、高度 BS デジタル放送では、降雨減衰によるサービスの遮断への耐性を高めるために、伝送耐性が異なる 2 種類 (高階層/低階層) の伝送パラメータを使用した階層変調の運用も可能である。表 10 に階層変調の構成例を示す。映像や音声などのアセットを高階層/低階層のそれぞれに配置し、受信状態に応じて参照関係にある相互のアセット間で切り替えを行うことで、サービスを継続することが可能となる。なお、階層変調における低階層映像フォーマットは、表 2 と表 3 のうち 1080/P のみを使用する。

表 10 階層変調の構成例

総スロット数	高階層	低階層
120	16APSK(7/9) 100 スロット(注) (有効 80 スロット)	QPSK(1/2) 20 スロット(注) (有効 8 スロット)
	16APSK(7/9) 100 スロット(注) (有効 80 スロット)	QPSK(3/4) 20 スロット(注) (有効 8 スロット)

(注) ダミー スロットを含むスロット数

3.4. その他送出運用

(1) 複数アセットおよび動画の提示

複数アセットや動画を同時提示もしくは切り替えて提示するサービスにおいて、そのアセットや動画の組合せにより以下のように呼称する。

【マルチアセット】

放送 1 サービスにおいて、MMT 方式による同一アセットタイプのアセット (映像・音声・字幕) を複数伝送して同時もしくは切り替えて提示するもの。データコンテンツサービスとして伝送される映像・音声のサブアセットは、データコンテンツサービスのアプリケーションにより提示切り替えを実施する。

【マルチビュー】

放送伝送される映像・音声アセット、および通信伝送される MPEG-DASH 方式による映像・音声の動画ファイルや動画ストリームを同時もしくは切り替えて提示するもの。データコンテンツサービスのアプリケーションにより提示切り替えを実施する。

(2) 緊急ニュース速報

従来の緊急警報放送 (EWS) に加えて、受信機に緊急ニュース速報中であることを知らせるための送出運用 (緊急ニュース記述子によるシグナリング) を追加した。表 11 にその種類と送出手法例を示す。

表 9 使用可能な伝送パラメータの組合せ

変調方式	符号化率										
	1/3	2/5	1/2	3/5	2/3	3/4	7/9	4/5	5/6	7/8	9/10
$\pi/2$ シフト BPSK	○	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-
QPSK	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-
8PSK	-	-	-	○	○	○	○	○	○	○	-
16APSK	-	-	-	○	○	○	○	○	○	○	-

(○ : 使用可能な組み合わせ)

(- : 使用しない組み合わせ)

表 11 緊急ニュース速報の種類と送出手法例

種類	送出手法例
緊急地震速報	放送映像にスーパーインポーズした地図画像，文字，チャイム音
臨時ニュース	カットインによるニュース映像，音声
速報スーパー	文字スーパー，または放送映像にスーパーインポーズした文字

(3) うるう秒調整時の送出システム運用

NTPでうるう秒調整が発生した時の送出システムクロック側のうるう秒調整方法として，以下のいずれかの運用が可能である．

- ・ 放送継続中に送出システムクロックのうるう秒調整を実施
- ・ 送出システムクロックのうるう秒調整を放送休止中に実施

(4) 放送休止

放送中／放送休止の状態を以下の表 12 のように定義する．

(5) 各種識別子

各種識別子の値および割り当てルールを次の表 13 に示す．

表 13 識別子の値一覧

識別子	高度 BS	高度広帯域 CS
ネットワーク名称	高度 BS デジタル放送	高度広帯域 CS
ネットワーク識別	0x000B	0x000C
限定受信方式識別	0x0005	
データ符号化方式識別		
字幕	0x0020	
マルチメディア	0x0021	
システム管理識別	0x0801	0x0901
デフォルト TLV ストリーム識別	0xB110	0xC170
サービス識別	001～499	500～999
リモコンキー識別	運用する	運用しない
ロゴ識別	TLV ストリーム内 最小サービス識別	サービス 識別 - 500

4. まとめ

本稿では，4K・8K 衛星放送の伝送方式である ISDB-S3 の標準化と 2018 年の実用放送開始に向けて策定された送出運用規定の概要について報告した．今後 2020 年の東京五輪へ向けて，4K・8K 衛星放送の普及が加速していくことを期待する．

表 12 放送中／休止中の種類

状態	・ TLV-NIT とそのサービスリストへの記載 ・ PA メッセージ (パケット ID は 0x0000)	PLT	PLT への 当該サービスの記載	当該サービスの MPT	備考
放送中	有	有	有	有	通常の放送
休止中	有	有	無	—	すべてのサービスもしくは特定のサービスが休止中
	有	有	有	無	特定のサービスが休止中
無信号	無	無	無	無	停波(ヌル TLV パケット送出時も含む)

文 献

- [1] 総務省報道資料「『4K・8K ロードマップに関するフォローアップ会合 第二次中間報告』の公表」，2015 年 7 月 30 日
- [2] ARIB TR-B39 高度広帯域衛星デジタル放送 運用規定 1.1 版，2016 年 9 月 29 日策定
- [3] 総務省報道資料「放送サービスの高度化に関する検討会 検討結果とりまとめ」の公表，2013 年 6 月 11 日
- [4] 総務省報道資料「超高精細度テレビジョン放送システムに関する技術的条件 (情報通信審議会からの一部答申)」，2014 年 3 月 25 日
- [5] ARIB STD-B44 高度広帯域衛星デジタル放送の伝送方式 2.1 版，2016 年 3 月 25 日策定
- [6] ARIB TR-B15 BS/広帯域 CS デジタル放送運用規定 7.1 版，2016 年 7 月 6 日策定
- [7] ARIB STD-B32 デジタル放送における映像符号化，音声符号化及び多重化方式 3.8 版，2016 年 9 月 29 日策定
- [8] ARIB STD-B60 デジタル放送における MMT によるメディアトランスポート方式 1.8 版，2016 年 9 月 29 日策定
- [9] 鈴木陽一，斎藤恭一，田中 祥次，「4K・8K 放送の規格解説 ～伝送路符号化方式 (ISDB-S3)～」，放送技術，pp.161-166，兼六館出版，2016 年 7 月
- [10] 斎藤恭一「4K・8K 放送の規格解説 ～送出運用規定の概要 (七編)～」，放送技術，pp.162-166，兼六館出版，2016 年 8 月