特集 デジタル放送サービスの最前線

4. 高度BSデジタル放送

4-1. 高度BSデジタル放送技術

(正会員) 橋本明記[†], (正会員) 田中祥次[†]

キーワード ■ 衛星デジタル放送, ISDB-S, LDPC, APSK, バルク伝送, UHDTV

1 ま え が き

高度BSデジタル放送は、2011年以降にアナログ放送終了後の3チャンネルと世界無線会議(WRC2000)で割当てられた4チャンネルの計7チャンネルでの利用を目指し、現在、電波産業会(ARIB)で規格化が進められている放送方式である。本方式の特長として、現行のBSデジタル放送規格ISDB-S(Integrated Services Digital Broadcasting-Satellite)に比べて30%以上の伝送容量拡大を可能としたことや、映像符号化にハイビジョンを超える映像フォーマットを取り入れていることなどが挙げられ、将来的にはスーパーハイビジョン伝送にも対応可能となっている。

本稿では、衛星放送高度化の動向と高度BSデジタル放送の技術仕様について解説する。

2 衛星デジタル放送高度化の動向

2.1 狭帯域CSデジタル放送

狭帯域CSデジタル放送は1995年、東経128°のCSを使い、DVB-S方式を採用して開始された。近年、欧州の衛星放送規格DVB-S2や中国の地上デジタル放送方式DMB-T、無線通信方式IEEE802.16eでLDPC(Low Density Parity Check)符号が採用されるなど、LDPC符号の実用化が進むなか、2006年7月に、伝送路符号化にDVB-S2方式(8PSK+LDPC($r=2/3, 3/5$)), 多重化にMPEG-2 Systems, また、映像符号化にH.264/MPEG-4 AVCを用いることが適当とする情報通信審議会(以後、情通審)の答申が出された。この方式を用いたHDTV放送は、2008年秋を目処に開始される予定である。

2.2 BSデジタル放送および広帯域CSデジタル放送

BSデジタル放送については、2006年9月、総務省から情通審に、諮問2023号「放送システムに関する技術的条件」が出され、その中で、「衛星デジタル放送の高度化に関する技術的条件」が求められており、2007年3月の情通審で、今

後利用可能となるBS周波数における放送方式の技術的条件についての検討をARIBに依頼する方針が示され、4月より、ARIBのデジタル放送システム開発部会で新方式の検討が進められている。なお、今回の高度化は、広帯域CSデジタル放送も対象としている。

3 高度BSデジタル放送の暫定方式案の概要

ARIBは放送方式の募集を行い、提案された伝送路符号化方式、映像符号化方式、音声符号化方式、データ符号化方式、多重化方式の各分野について審議を進めており、2008年1月には情通審に、中間報告として暫定方式案を報告している。暫定方式案の概要を表1～表5にまとめる。

3.1 伝送路符号化方式

(1) 特 長

LDPC符号の採用による所要C/N低減とロールオフ率0.1の採用によるシンボルレートの拡大により、8PSK(符号化率3/4)を利用した場合で、ISDB-Sと同じ占有帯域幅やサービス時間率(最悪月99.7%)を維持しつつ、1チャンネルあたり約70Mbpsの伝送容量が確保できる。また、ISDB-Sで採用されている変調方式に加え、16APSK(16-ary Amplitude and Phase Shift Keying)および32APSK(32-ary Amplitude and Phase Shift Keying)の導入も検討しており、16APSK(符号化率3/4)で約93Mbps(受信アンテナ60cmで最悪月サービス時間率99.5%), 32APSK(符号化率4/5)で、約127Mbps(受信アンテナ120cmで最悪月サービス時間率99.5%)の伝送が可能である。

さらに、一つのデータストリームを複数のチャンネルに分割して伝送し、受信機で合成することで、大容量のデータストリームを伝送するバルク伝送も利用可能となっている。また、MPEG-2 TSの伝送に加え、可変長パケットの伝送も可能である。

(2) 構 成

伝送路符号化の構成を図1に示す。120のスロットからなるフレーム構成を持たせ、スロットを基本として変調方式・符号化率の指定やTS(ストリーム)IDの指定などの伝送制御が可能となっている。フレーム化を行った後、データおよびTMCC(Transmission and Multiplexing

[†] NHK 放送技術研究所

"Advanced Satellite Digital Broadcasting: Advanced Satellite Digital Broadcasting Technology" by Akinori Hashimoto and Shoji Tanaka (Science & Technical Research Laboratories, NHK, Tokyo)

表1 伝送路符号化方式

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 (符号長44880)
	符号化率	1/4 (11/40), 1/3 (41/120), 2/5 (49/120), 1/2 (61/120), 3/5 (73/120), 2/3 (27/40), 3/4 (89/120), 4/5 (97/120), 5/6 (101/120), 7/8 (7/8), 9/10 (109/120) (公称値(真値))
	外符号	BCH (65535, 65343, t=12) 短縮符号
伝送制御信号	変調方式	$\pi/2$ シフトBPSK
	内符号	LDPC (31680, 9614): LDPC (44880, 22814) の短縮符号
	外符号	BCH (9614, 9422): BCH (65535, 65343) の短縮符号
	制御単位	スロット単位の伝送制御
	制御情報	・変調方式および符号化率の制御 ・多重データフォーマット制御 (MPEG-2 TS, 可変長パケット) ・階層化伝送制御 ・緊急警報放送起動制御復 ・数独立TS識別制御 ・バルク伝送 ・サイトダイバーシティ情報 ・衛星中継器動作点設定情報
フレーム構造		・120スロット/フレーム ・MPEG-2 TS長の整数倍のスロット長
シンボルレート		32.5941Mbaud
ロールオフ率		0.1
その他		・同期補強バーストをTMCCと兼用することで, TMCC容量を現行の384ビットから9422ビットへ拡大 ・パイロット信号により, 衛星非線形特性による受信性能劣化を改善

表2 映像符号化方式

項 目		内 容
映像入力フォーマット		
時空間フォーマット	基 本	1,920×1,080/60I, 1,920×1,080/60P, 3,840×2,160/60P
	マルチサービス専用	720×480/60I, 720×480/60P
	実験用	7,680×4,320/60P
信号形式		YCbCr
	輝度・色差信号形式	4:2:2 (TBD: 実証実験により4:4:4の採否を判断する)
	量子化ビット数	8, 10
カラリメトリ	3原色色度点	赤 (R) x:0.640 y:0.330, 緑 (G) x:0.300 y:0.600, 青 (B) x:0.150 y:0.060 (CIE, 1931)
	基準白色	D65 x:0.3127 y: 0.3290
	光電変換特性	$E' = \begin{cases} \alpha L^{0.45} - (\alpha - 1) & (\beta \leq L) \\ 4.50L & (-\beta < L < \beta) \\ -\alpha(-L)^{0.45} + (\alpha - 1) & (L \leq -\beta) \end{cases}$ $\alpha \text{ および } \beta \text{ は, 連立方程式 } \begin{cases} 4.5\beta = \alpha\beta^{0.45} - \alpha + 1 \text{ の解} \\ 4.5 = 0.45\alpha\beta^{-0.55} \end{cases}$
	8-11ビットの場合, $\alpha=1.099, \beta=0.018$	
	輝度信号方程式	$E'_Y = 0.2126E'_R + 0.7152E'_G + 0.0722E'_B$
色差信号方程式	色差信号方程式	$E'_{CB} = \frac{E'_B - E'_Y}{1.8556} = \frac{-0.2126E'_R - 0.7152E'_G + 0.9278E'_B}{1.8556}$ $E'_{CR} = \frac{E'_R - E'_Y}{1.5748} = \frac{0.7874E'_R - 0.7152E'_G - 0.0722E'_B}{1.5748}$
映像符号化方式		
準拠規格		ITU-T H.264 ISO/IEC 14496-10 (MPEG-4 AVC)
	プロファイル	High (TBD: 実証実験により, High 10, High 4:2:2, High 4:4:4の採否を判断する)
	レ	720×480/60I 3
	ベ	720×480/60P 3.1
	ル	1,920×1,080/60I 4
		1,920×1,080/60P 4.2
		3,840×2,160/60P TBD*
		7,680×4,320/60P TBD*

*ITU-T H.264 | ISO/IEC 14496-10への追加規定が必要

Configuration Control) 信号について, それぞれBCH符号による符号化, 擬似ランダム符号によるエネルギー拡散, およびLDPC符号化が行われる. TMCC用のBCH符号やLDPC符号には, データ用と同じ符号を短縮化して利用することで, データ用の符号化器・復号器を共用できるようにしている. その後, データについてはTMCCで指定され

た変調方式で, また, TMCC信号については $\pi/2$ シフトBPSKで変調され, 図2の変調信号形式に時分割多重される. 変調信号もまた, フレーム構成を持っており, 120の変調スロットで構成される. 各変調スロットには, 24シンボルの同期シンボル, 32シンボルのパイロットシンボルに続き, 136シンボルのデータシンボルと, 4シンボルのTMCCシン

表3 音声符号化方式

項 目	内 容
音声入力信号	
最大入力音声チャンネル数	22.2チャンネル(1ストリームあたり)
量子化ビット数	16, 20, 24ビット
音声モード	モノラル, ステレオ, 2音声(デュアルモノラル), マルチチャンネルステレオ (0-3/0/0-0.0(3.0), 0-2/0/1-0.0(3.0), 0-3/0/1-0.0(4.0), 0-2/0/2-0.0(4.0), 0-3/0/2-0.0(5.0), 0-3/0/2-0.1(5.1), 0-3/0/3-0.1(6.1), 2/0/0-2/0/2-0.1(6.1), 0-5/0/2-0.1(7.1), 0-3/2/2-0.1(7.1), 2/0/0-3/0/2-0.1(7.1), 0/2/0-3/0/2-0.1(7.1), 2/0/0-3/2/3-0.2(10.2), 3/3/3-5/2/3-0/0.2(22.2)) * 《下線を引いたモードが推奨音声モード》
音声符号化方式(圧縮符号化方式)	
符号化方式	MPEG-2 AAC LCプロファイル ※AAC+SBR(Spectral Band Replication)の使用も可能
符号化パラメータ	既存方式に順ずる ※ただし, 音声入力信号の拡張に伴うパラメータの拡張を実施
音声符号化方式(非圧縮符号化方式)	
符号化方式・伝送方式	リニアPCM音声符号化
最大音声入力チャンネル数	5.1チャンネル

*マルチチャンネルステレオの音声モード表記法として, チャンネル数を上層-中層-下層LFE次のように表す。

割当てチャンネルがない層は0とし, 割当てチャンネルがある層のチャンネル数をフロント/ミドル/リアのように表す。括弧内は従来の表記。

表4 多重化方式

項 目	内 容
リアルタイム型放送 多重化方式	
PESパケット, セクション形式	平成15年総務省令第26号(一部改正:平成19年総務省令第25号)1章第3条
TSパケット, 伝送制御信号, 識別子	平成15年総務省告示第37号(一部改正:平成16年総務省告示第726号および平成19年総務省告示第133号)
衛星分配システム記述子	変調方式およびFEC(内符号)の識別領域に「高度衛星デジタル放送方式」を追加
システム管理記述子	放送の標準方式の種別と割当てに「高度衛星デジタル放送方式(11.7~12.2GHzの周波数において34.5MHz帯域幅)」および「高度衛星デジタル放送方式(12.2~12.75GHzの周波数において34.5MHz帯域幅)」を追加
蓄積型放送サービス 新多重化方式	
TLV	TLV(Type Length Value)多重化方式
特 徴	可変長で長パケットでの伝送が可能 ・packet_type(パケット種別)フィールドによりデータの種別を示し, length(データ長)フィールドによりデータの長さを示すことで, 任意の可変長データを格納可能
格納する可変長パケット種別	IPv4パケット, IPv6パケット, ヘッダ圧縮IPパケット, スルパケット
IPパケットのヘッダ圧縮方式	IPパケット化されたコンテンツをTLVに多重する場合, ほぼ同一内容のヘッダを持つパケットが連続するため, IPパケットのヘッダを圧縮することによって伝送オーバーヘッドを削減。すべてのパケットのヘッダ情報をすべて伝送する代わりに, フルヘッダのパケットを間欠的に伝送し, 他のパケットでは圧縮ヘッダに付け替えて伝送し受信側でヘッダ情報を復元。

表5 データ符号化・伝送方式

項 目	内 容
データ符号化, 伝送方式	
機能拡張	ARIB-J(ARIB STD-B23)によるデータ符号化, 伝送
	(1)アプリケーション蓄積 ・Javaクラスライブラリーの受信機への蓄積, 実行, 管理機能の追加
	(2)デジタルビデオレコーダ制御 ・録画, 再生, トリックプレイ, 予約等に関するAPIの追加
	(3)宅内ネットワークアクセス機能 ・アプリケーションからUPnPおよびUPnP AVを利用するためのAPIの追加, Digital Media Server機能の追加等
	(4)ユーザインタフェース拡張 ・ディスプレイサイズや解像度など受信機特性の保持およびアプリケーションからの参照機能の追加, 受信機特性に応じた提示のためのユーザインタフェースコンポーネントおよびマルチメディアコンテンツ記述法の追加

ボルが交互に66回多重される。

パイロットシンボルでは, データ伝送に用いられる変調方式・符号化率に対応する信号点を既知の順序で繰り返し

伝送する。受信機側でこれを同じ信号点ごとに平均化することで, 衛星中継器の非線形の影響を受けた後の信号点配置がわかるので最適なLDPC復号が可能となる。

図1 伝送路符号化

また、キャリア再生補強用の位相基準バースト信号を利用してTMCC信号を送ることで、効率低下なしにTMCCの情報容量を拡大し、高機能化を図っている。

3.2 映像符号化方式

映像入力フォーマットについては、現行BSの1,920×1,080/60Iとともに1,920×1,080/60P, 3,840×2,160/60P, 7,680×4,320/60P(実験用)を採用し、また、負RGB方式に

よる色域拡大方式を含む内容となっている。また、映像符号化方式については、MPEG-4 AVC (ITU-T H.264 | ISO/IEC 14496-10)を採用している。

3.3 音声符号化方式

音声入力フォーマットについては、22チャンネルと低域強調2チャンネルからなる22.2マルチチャンネル音響信号を最大入力音声チャンネルとしている。

図2 変調信号形式

音声符号化方式については、現行のMPEG-2 AACに加えてSBRの使用も可能とし、また、非圧縮リニアPCM（最大5.1チャンネル）も可能としている。

3.4 多重化方式

現行のMPEG-2 Systemsに基づく方式に加えて、蓄積型放送サービスのために、IPパケット等可変長パケットの伝送を可能とする多重化方式を採用している。

3.5 データ放送方式

現在実施されているXMLベースのデータ放送方式を超える表現能力や、データ放送サービスの一層の柔軟性や拡張性を確保するため、Javaベースのデータ放送方式を採用している。具体的には、ARIB STD-B23 (ARIB-J) を基本とし、端末の特性に応じた提示や宅内ネットワークアクセス機能、放送コンテンツの蓄積機能の追加を行っている。

3.6 限定受信方式

限定受信方式については、現行のARIB STD-B25 (限定受信方式) の採用継続を基本としている。

4 今後の展開

本年後半には情通審から諮問2023号に対する一部答申として、衛星デジタル放送の高度化方式として本方式が

ARIB実験結果とともに報告される見通しである。その後、ARIBにおいて関係規格の整備が予定されている。

5 む す び

本稿では、現在ARIBで審議中の高度BSデジタル放送の暫定方式案について解説した。

なお、最終的な規格については、中間報告以降の審議により、本稿の内容が修正される可能性がある。

(2008年2月28日受付)

橋本 明記 1993年、東京工業大学大学院総合理工学研究科電子システム専攻修士課程修了。同年、NHK入局。放送技術研究所に勤務。衛星デジタル放送の研究開発に従事。ARIB衛星デジタル放送高度化作業班委員、正会員。

田中 祥次 1988年、熊本大学大学院工学研究科情報工学専攻修士課程修了。同年、NHK入局。1991年より、放送技術研究所にて、衛星放送システムの研究に従事。ARIB衛星デジタル放送高度化作業班主任、正会員。