

高度衛星デジタル放送の暫定方式案

に関する中間報告（案）

平成20年1月25日

社団法人 電波産業会

デジタル放送システム開発部会

本報告書は以下の項目により構成する。

別添 1 伝送路符号化暫定方式案に関する中間報告（案）

別添 2 映像符号化暫定方式案に関する中間報告（案）

別添 3 音声符号化暫定方式案に関する中間報告（案）

別添 4 多重化暫定方式案に関する中間報告（案）

別添 5 データ放送暫定方式案に関する中間報告（案）

高度衛星デジタル放送の伝送路符号化暫定方式案

に関する中間報告（案）

平成20年1月25日

衛星デジタル放送高度化作業班

本報告書は以下の項目により構成する。

伝送路符号化暫定方式案

伝送路符号化暫定方式の実証実験案

シンボルレート検討のための室内実証実験結果報告

伝送路符号化暫定方式案

目次

1. 伝送路符号化暫定方式の概要
2. 伝送路符号化暫定方式に導入された主な技術・機能と導入の理由
3. 伝送路符号化暫定方式の詳細
 - 3.1. フレーム構成
 - 3.2. 変調波の生成ブロック
 - 3.3. スロット構成
 - 3.4. ペイロードビットレート・時間率の例
 - 3.5. エネルギー拡散
 - 3.6. 変調信号形式
 - 3.7. 外符号符号化方式(BCH 符号)
 - 3.8. 内符号符号化方式(LDPC 符号)
 - 3.9. TMCC 符号化
 - 3.10. 信号点配置
 - 3.11. ビットインターリーブ
 - 3.12. パイロット信号
 - 3.13. TMCC 信号
 - 3.14. スロット割り当て規則
 - 3.15. PCR の管理
4. 補足資料
 - 4.1. シンボルレートと帯域幅の関係
 - 4.2. 信号点配置
 - 4.3. 変調方式と符号化率の組み合わせ
 - 4.4. TMCC 信号のストリーム制御機能
 - 4.5. パイロット信号による受信特性の改善
 - 4.6. TMCC 信号によるバルク伝送機能
 - 4.7. PCR 付け替え方法の例
 - 4.8. 衛星中継器 ALC 制御

1. 伝送路符号化暫定方式の概要

項目		内容
変調方式		/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, 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	/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	<ul style="list-style-type: none"> ・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 ・複数独立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	<ul style="list-style-type: none"> ・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	32.5941 Mbaud	
ロールオフ率	0.1	
その他	<ul style="list-style-type: none"> ・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 	

2. 伝送路符号化暫定方式に導入された主な技術・機能と導入の理由

暫定方式に導入された技術・機能	導入の理由
<ul style="list-style-type: none"> ・主信号用 LDPC(符号長 44880) ・主信号用 BCH (65535, 65343, t=12)短縮符号 	<ul style="list-style-type: none"> ・符号化利得の向上による伝送容量の拡大 ・符号長(44880)を MPEG2-TS の整数倍とすることによる伝送効率向上 ・BCH 符号による LDPC の BER 特性のフロア解消
<ul style="list-style-type: none"> ・ロールオフ率の見直し 	<ul style="list-style-type: none"> ・ロールオフ率を小さくすることによりシンボルレートを高くでき、伝送容量が拡大(所要 C/N の劣化とシンボルレート拡大とのトレードオフ)
<ul style="list-style-type: none"> ・16APSK/32APSK の導入 	<ul style="list-style-type: none"> ・伝送容量の大幅な拡大を目的に、多値数を増加(受信アンテナ径としては、16APSK で 60cm、32APSK で 120cm を想定)
<ul style="list-style-type: none"> ・BPSK から $\pi/2$ シフト BPSK への変更 	<ul style="list-style-type: none"> ・占有帯域幅の狭小化によるシンボルレートの拡大
<ul style="list-style-type: none"> ・バルク伝送 	<ul style="list-style-type: none"> ・複数の中継器に分割伝送後、合成することで更なる伝送容量の拡大
<ul style="list-style-type: none"> ・TMCC 用 LDPC(31680, 9614) (主信号用 LDPC の短縮符号) ・TMCC 用 BCH(9614, 9422) (主信号用 BCH の短縮符号) 	<ul style="list-style-type: none"> ・符号化利得の向上による TMCC 伝送制御の高信頼化 ・主信号用誤り訂正符号を短縮化することで、受信機の復号回路を共通化
<ul style="list-style-type: none"> ・TMCCによる多重データフォーマット制御(MPEG-2 TS, 可変長パケット) 	<ul style="list-style-type: none"> ・IP などの可変長パケットへも対応することで、コンピュータや通信との連携も考慮
<ul style="list-style-type: none"> ・TMCCによる衛星中継器動作点設定情報 	<ul style="list-style-type: none"> ・パイロット信号から信号点情報を取得するまでの仮設定値として利用。受信機初期同期を高速化。
<ul style="list-style-type: none"> ・フレーム構造 	<ul style="list-style-type: none"> ・伝送制御単位を ISDB-S と同等 (1 スロットあたり約 1Mbps)とすることで、現行方式と同程度の柔軟性を確保。 ・120 スロット / 1 フレーム
<ul style="list-style-type: none"> ・同期補強バーストをTMCCと兼用 	<ul style="list-style-type: none"> ・TMCC 容量の拡大(現行の 384 ビットから 9422 ビットへ拡大)による TMCC 制御の高機能化
<ul style="list-style-type: none"> ・パイロット信号の導入 	<ul style="list-style-type: none"> ・衛星非線形特性による受信性能劣化を改善
<ul style="list-style-type: none"> ・相対ストリーム数の拡大 	<ul style="list-style-type: none"> ・対応するストリーム数を拡大することで、より多くの放送事業者へのストリーム割り当てを可能とした ・将来の新しい多重化フォーマットへも対応可能とした

3. 伝送路符号化暫定方式の詳細

3.1. フレーム構成

フレーム構成を図1に、スロットの割り当て規則を表1に示す。

ヘッダ(176ビット/22バイト)の用途は、今後検討する。

スタッフビット(6ビット)は0x3fとする。

スロットへの変調方式・符号化率の割り当てについては、TMCC信号により、スロット番号1から昇順に、

- (1) 変調方式レベル数の高いもの
- (2) (1)が同じなら、符号化率の大きいもの
- (3) (1),(2)が同じなら、バックオフが大きいもの

から順にスロットへの割付を行なうものとする。

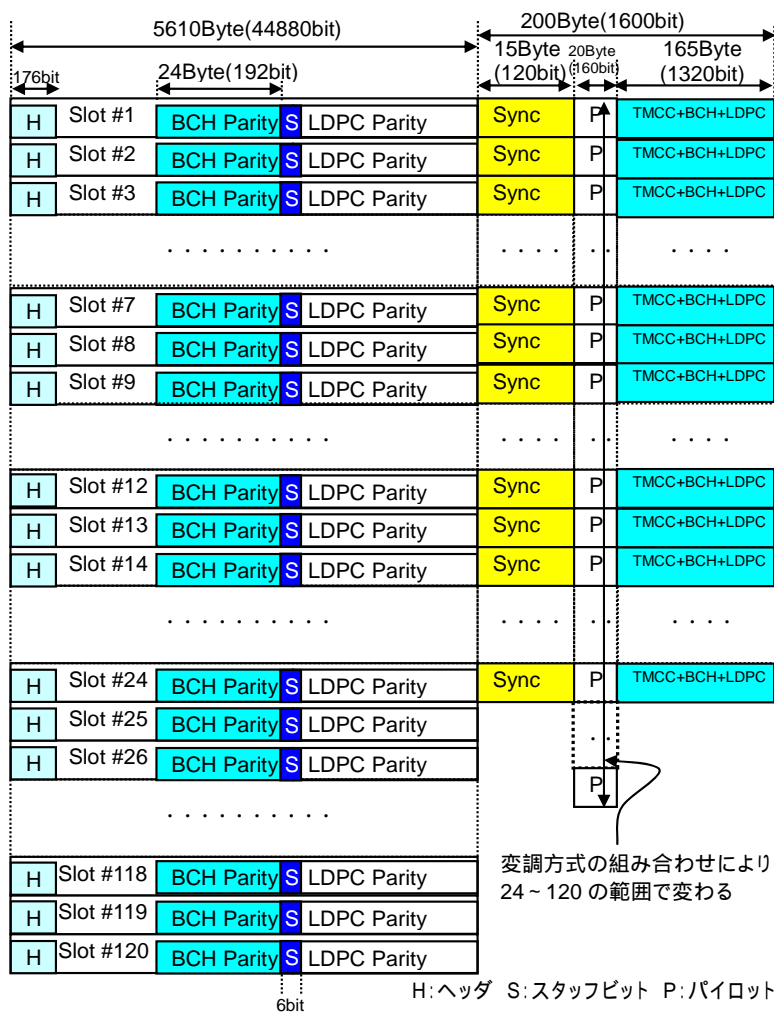


図1 フレーム構成

表1 スロット割り当て規則

変調	周波数 効率 [bps/Hz]	規格化 効率	割当単位 [slot]	データ	
				[slot]	[slot]
32APSK	5	1	1	1	0
16APSK	4	4/5	5	4	1
8PSK	3	3/5	5	3	2
QPSK	2	2/5	5	2	3
1/2シフト BPSK	1	1/5	5	1	4

3.2. 変調波の生成ブロック

変調波生成のブロック図を図2に示す。

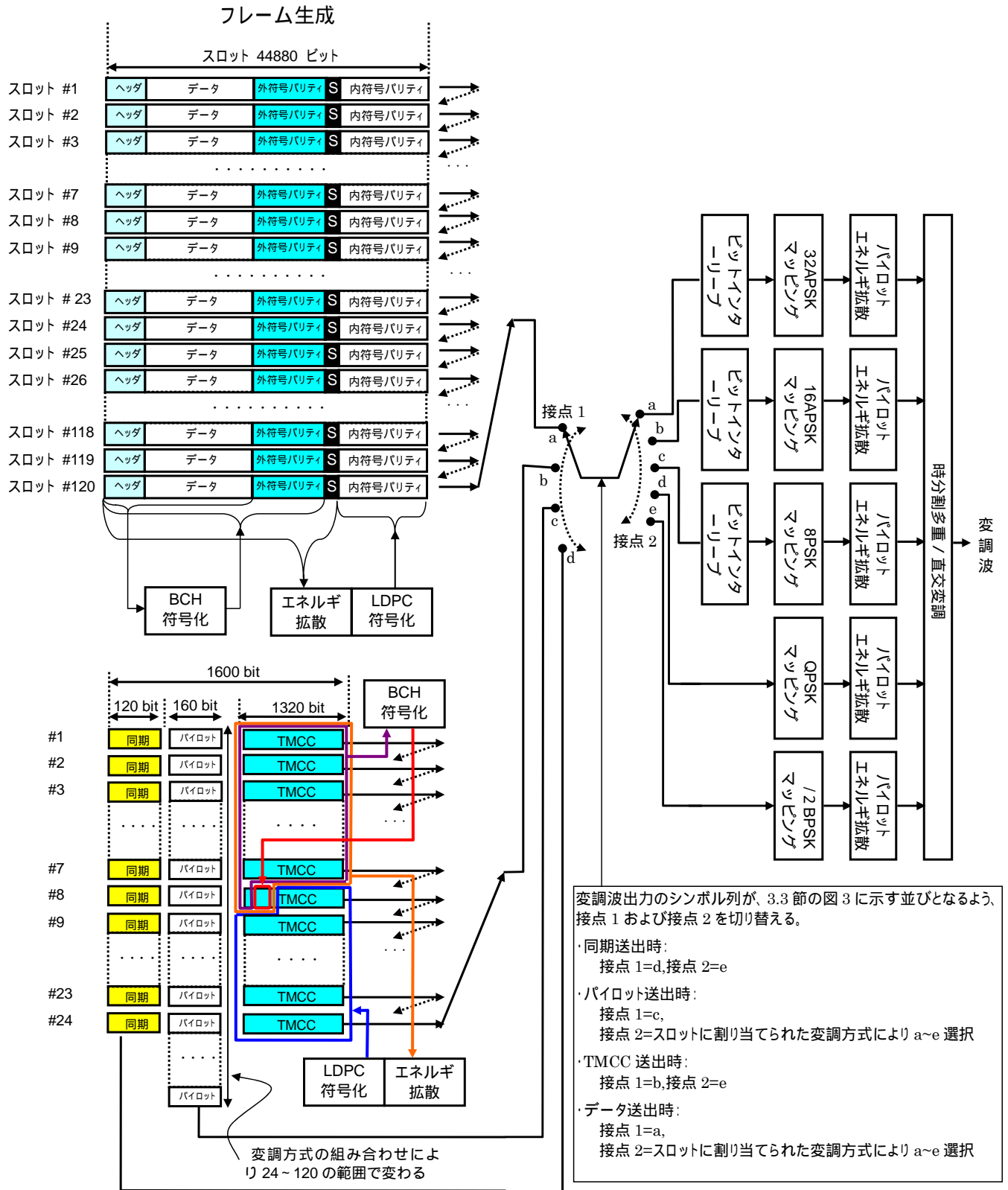


図2 変調波の生成

3.3. 変調信号形式

変調信号の形式を図 3 に示す。

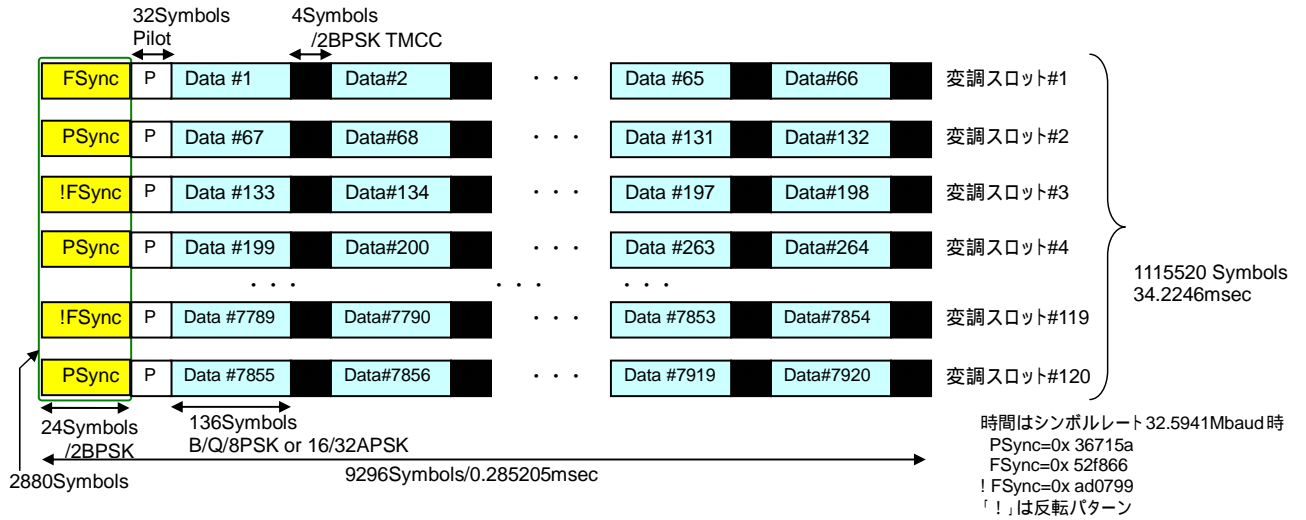


図 3 変調信号形式

3.4. スロット構成

各符号化率に対するスロット構成を表2に示す。

なお、データ部分は同期バイトを除く MPEG-2 TS パケット(またはその他のストリーム)(187バイト)が整数分挿入される。

表2 各符号化率のスロット構成

内符号 符号化率	スロット長=LDPC符号長						総合 符号 化率 3	LDPC 符号化率 2	BCH +ヘッダ+STF 符号化率 1	参考
	Byte/bit	スロット ヘッダ	データ長 Packets/Byte/bit	BCHパリティ Byte/bit	スタッフ ビット	LDPCパリティ Byte/bit				
1 / 4	5610 / 44880	176	8 / 1496 / 11968	24 / 192	6	4067.25 / 32538	0.267	0.275	0.970	1/4=25%
1 / 3	5610 / 44880	176	10 / 1870 / 14960	24 / 192	6	3693.25 / 29546	0.333	0.342	0.976	1/3=33.33%
2 / 5	5610 / 44880	176	12 / 2244 / 17952	24 / 192	6	3319.25 / 26554	0.400	0.408	0.980	2/5=40%
1 / 2	5610 / 44880	176	15 / 2805 / 22440	24 / 192	6	2758.25 / 22066	0.500	0.508	0.984	1/2=50%
3 / 5	5610 / 44880	176	18 / 3366 / 26928	24 / 192	6	2197.25 / 17578	0.600	0.608	0.986	3/5=60%
2 / 3	5610 / 44880	176	20 / 3740 / 29920	24 / 192	6	1823.25 / 14586	0.667	0.675	0.988	2/3=66.67%
3 / 4	5610 / 44880	176	22 / 4114 / 32912	24 / 192	6	1449.25 / 11594	0.733	0.742	0.989	3/4=75%
4 / 5	5610 / 44880	176	24 / 4488 / 35904	24 / 192	6	1075.25 / 8602	0.800	0.808	0.990	4/5=80%
5 / 6	5610 / 44880	176	25 / 4675 / 37400	24 / 192	6	888.25 / 7106	0.833	0.842	0.990	5/6=83.33%
7 / 8	5610 / 44880	176	26 / 4862 / 38896	24 / 192	6	701.25 / 5610	0.867	0.875	0.990	7/8=87.5%
9 / 10	5610 / 44880	176	27 / 5049 / 40392	24 / 192	6	514.25 / 4114	0.900	0.908	0.991	9/10=90%

1 データ長/(データ長+BCHパリティ+スロットヘッダ+スタッフビット)・・・(a)

2 (データ長+BCHパリティ+スロットヘッダ+スタッフビット)/(データ長+BCHパリティ+スロットヘッダ+スタッフビット+LDPCパリティ)・・・(b)

3 (a)×(b)

3.5. ペイロードビットレート・時間率の例

ペイロードビットレート・時間率の例を表3に示す。

表3 ペイロードビットレート・時間率の例

帯域幅 [MHz]	ロール オフ	シンボル レート [Mbaud]	変調 方式	符号化率		所要 C/N[dB] (線形系)	所要 総合C/N (Nyquist) [dB] 3	ペイロード ビット レート 2 [Mbps]	最悪月 サービス 時間率[%] 4, 5, 6	
				名目	実数 7					
34.5	0.1	32.5941	LDPC	32APSK	4/5	0.800	13.9	20.8 4	126.562	99.64
				16APSK	3/4	0.733	10.1	14.6	92.812	99.67
				8PSK	3/4	0.733	7.9	10.4	69.609	99.78
					2/3	0.667	6.7	8.3	63.281	99.87
				QPSK	7/8	0.867	6.1	7.6	54.843	99.89
					5/6	0.833	5.4	6.7	52.734	99.91
					3/4	0.733	4.0	5.2	46.406	99.93
					2/3	0.667	3.3	4.5	42.187	99.94
					1/2	0.500	1.4	2.2	31.640	99.96
					/2シフト BPSK	1/2	0.500	-1.6	-0.8	15.820

1 実証実験の結果により選定。

2 188bytes MPEG-2 TSのビットレート

3 TWTAのバックオフ電力損をCの劣化量として考慮。(32APSK 3dB, 16APSK 1dB)

4 推定値。今後、実証実験の結果を反映する予定。

5 /2シフトBPSK, QPSK, 8PSKは東京において45cmの受信アンテナを想定した。

6 東京において、ITU-R BO.1696勧告にある最悪月時間率99.5%を満たすため、16APSKは60cm, 32APSKは120cmの受信アンテナを想定した。

7 表2の総合符号化率

3.6. エネルギー拡散

全スロットに対し、図4のエネルギー拡散を行う。TMCCおよびパイロットシンボルについては図5および図6のエネルギー拡散を行う。

スロットデータへのエネルギー拡散は、スロット長44880ビットのうち、LDPCパリティを除く部分について行い、また、ダミースロットについては、エネルギー拡散は行わない。エネルギー拡散を行わない区間については、エネルギー拡散回路のシフトレジスタを停止させる。

TMCCへのエネルギー拡散は、TMCCデータおよびBCHパリティ部分について行い、それ以外の区間については、エネルギー拡散回路のシフトレジスタを停止させる。

パイロットシンボルへのエネルギー拡散は、パイロットシンボル部分について行い、それ以外の区間については、エネルギー拡散回路のシフトレジスタを停止させる。

初期値：

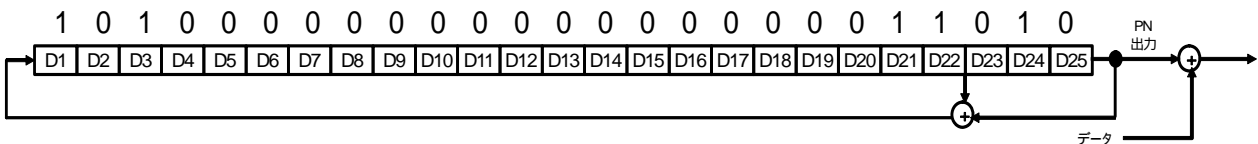


図4 エネルギー拡散(スロットデータ用)

初期値：

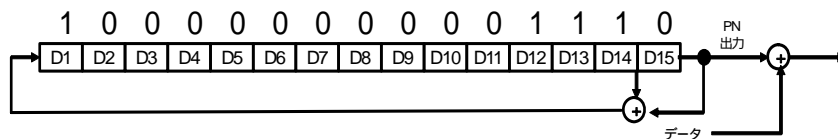


図5 エネルギー拡散(TMCC用)

初期値：

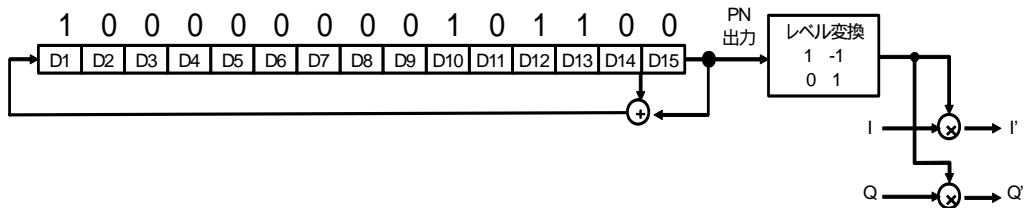


図6 エネルギー拡散(パイロットシンボル用)

3.7. 外符号符号化方式(BCH 符号)

BCH 符号の生成多項式 $g(x)$ は表 4 に示す多項式リストのすべての積で表される。

表 4 BCH 符号の多項式リスト

$g_1(x)$	$1 + x + x^3 + x^{12} + x^{16}$
$g_2(x)$	$1 + x^2 + x^3 + x^4 + x^8 + x^9 + x^{11} + x^{12} + x^{16}$
$g_3(x)$	$1 + x^2 + x^3 + x^7 + x^9 + x^{10} + x^{11} + x^{13} + x^{16}$
$g_4(x)$	$1 + x + x^3 + x^6 + x^7 + x^{11} + x^{12} + x^{13} + x^{16}$
$g_5(x)$	$1 + x + x^2 + x^3 + x^5 + x^7 + x^8 + x^9 + x^{11} + x^{13} + x^{16}$
$g_6(x)$	$1 + x + x^6 + x^7 + x^9 + x^{10} + x^{12} + x^{13} + x^{16}$
$g_7(x)$	$1 + x + x^2 + x^6 + x^9 + x^{10} + x^{11} + x^{15} + x^{16}$
$g_8(x)$	$1 + x + x^3 + x^6 + x^8 + x^9 + x^{12} + x^{15} + x^{16}$
$g_9(x)$	$1 + x + x^4 + x^6 + x^8 + x^{10} + x^{11} + x^{12} + x^{13} + x^{15} + x^{16}$
$g_{10}(x)$	$1 + x + x^2 + x^4 + x^6 + x^8 + x^9 + x^{10} + x^{11} + x^{15} + x^{16}$
$g_{11}(x)$	$1 + x^6 + x^8 + x^9 + x^{10} + x^{13} + x^{14} + x^{15} + x^{16}$
$g_{12}(x)$	$1 + x + x^2 + x^3 + x^5 + x^6 + x^7 + x^{10} + x^{11} + x^{15} + x^{16}$

以下の演算により、情報系列 $m = (m_{k_{bch}-1}, m_{k_{bch}-2}, \dots, m_1, m_0)$ の符号語

$$c = (m_{k_{bch}-1}, m_{k_{bch}-2}, \dots, m_1, m_0, d_{n_{bch}-k_{bch}-2}, \dots, d_1, d_0)$$

上へのBCH 符号化が行われる。

- ・ メッセージ多項式 $m(x) = m_{k_{bch}-1}x^{k_{bch}-1} + m_{k_{bch}-2}x^{k_{bch}-2} + \dots + m_1x + m_0$ に $x^{n_{bch}-k_{bch}}$ を乗算
- ・ $x^{n_{bch}-k_{bch}}m(x)$ を被除数とし、生成多項式 $g(x)$ を除数とする除算
- ・ $d(x) = d_{n_{bch}-k_{bch}-1}x^{n_{bch}-k_{bch}-1} + \dots + d_1x + d_0$ を剰余とする
- ・ $c(x) = x^{n_{bch}-k_{bch}}m(x) + d(x)$ を符号語多項式とする

3.8. 内符号符号化方式(LDPC 符号)

次の手順により内符号の誤り訂正情報を付加する。

なお、以下の説明中、 n_{ldpc} をLDPC符号長、 k_{ldpc} をLDPC符号長からパリティを除いた長さとする。

- ・全パリティビットをゼロに設定 $p_0 = p_1 = p_2 = \dots = p_{n_{ldpc}-k_{ldpc}-1} = 0$
- ・最初の情報ビット i_0 に、対応するパリティビットを表T.1 から表T.11の該当する表の1 行目から参照し、積算する。符号化率2/3 (該当表T.3) の例を次に示す。

$$\begin{aligned} p_{4958} &= p_{4958} \oplus i_0 \\ p_{6639} &= p_{6639} \oplus i_0 \\ p_{6721} &= p_{6721} \oplus i_0 \\ p_{8238} &= p_{8238} \oplus i_0 \\ p_{9540} &= p_{9540} \oplus i_0 \\ p_{9550} &= p_{9550} \oplus i_0 \\ p_{10491} &= p_{10491} \oplus i_0 \\ p_{11742} &= p_{11742} \oplus i_0 \\ p_{11641} &= p_{11641} \oplus i_0 \\ p_{12092} &= p_{12092} \oplus i_0 \\ p_{13056} &= p_{13056} \oplus i_0 \\ p_{13460} &= p_{13460} \oplus i_0 \end{aligned}$$

- ・373 までの情報ビット $i_m, m=1,2,\dots,373$ は、 i_m に、これに対応するパリティビット $\{x+(m \bmod 374) \times q\} \bmod (n_{ldpc} - k_{ldpc})$ を積算する。ここで、 x は i_0 に対応したパリティビット、 q は表 5 に示す符号化率により決まる定数である

例として符号化率2/3 で $q=39$ となるときの情報ビット i_1 について次に示す。

$$\begin{aligned} p_{4997} &= p_{4997} \oplus i_1 \\ p_{6678} &= p_{6678} \oplus i_1 \\ p_{6760} &= p_{6760} \oplus i_1 \\ p_{8277} &= p_{8277} \oplus i_1 \\ p_{9579} &= p_{9579} \oplus i_1 \\ p_{9589} &= p_{9589} \oplus i_1 \\ p_{10530} &= p_{10530} \oplus i_1 \\ p_{11781} &= p_{11781} \oplus i_1 \\ p_{11680} &= p_{11680} \oplus i_1 \\ p_{12131} &= p_{12131} \oplus i_1 \\ p_{13095} &= p_{13095} \oplus i_1 \\ p_{13499} &= p_{13499} \oplus i_1 \end{aligned}$$

- ・375 番目以降の情報ビット $i_{374} \sim i_{747}$ に対応するパリティビット積算はT.1 からT.11の各表の2 行目を使用する。
- ・374 個の新たな情報ビット毎に、同様にT.1からT.11の各表から新たな行をパリティビット積算に使用する。

全ての情報ビットに対して積算を終えたら、最後のパリティビットは次のとおり算出する。

・ $i=1$ から開始し、次の演算を順次実行する。

$$p_i = p_i \oplus p_{i-1} \quad i=1, \dots, n_{ldpc} - k_{ldpc} - 1$$

・ p_i の最終結果は p_i のパリティビットに等しい。 $i=1, \dots, n_{ldpc} - k_{ldpc} - 1$

表5 q 値

符号化率	q
1/4	87
1/3	79
2/5	71
1/2	59
3/5	47
2/3	39
3/4	31
4/5	23
5/6	19
7/8	15
9/10	11

(表T.1)符号化率3/4(nldpc=44880)

1372	1492	2242	2362	3502	3622	6472	7912	8362	10252
3775	4732	6682	7942	9712	10162	10501	10343	10852	11184
1086	2482	2812	2932	5550	5602	6807	6862	8433	10042
1282	2844	5543	6147	7492	8122	8842	10282	10582	11573
682	986	2274	5780	5872	6595	7712	7674	7972	10828
1552	3000	5218	5182	5423	5635	7528	8756	9742	10553
473	2431	4224	4952	4762	6542	7413	8905	9446	11242
1262	1582	1793	3865	4590	4852	7854	8032	10137	11433
1109	1225	2302	3382	4232	6352	7312	8637	9757	10134
1922	4882	4972	5307	5610	7913	9204	10372	10860	11582
1111	2123	3833	4711	6238	6353	7102	8260	8872	11512
563	2003	3988	3748	3832	6515	7105	8550	10588	10617
689	1102	1735	2724	3023	4135	5309	7026	8334	9532
1384	1882	3594	4385	5784	9832	10752	11064	11274	11393
1316	1373	2040	4287	5483	6239	8878	9745	10855	11454
5243	7344	7493				2244	4403	8452	
1710	3597	11007				4258	9442	9534	2008
3472	6323	10974				3263	5157	10919	2097
1649	3082	5812				7553	8932	11488	2064
6444	9481	9809				1402	3683	4644	4858
1134	3352	9502				3353	6684	8062	4942
4553	8782	10972				2093	8002	10164	4764
4462	7073	8814				2820	7432	7824	8392
4781	10023	9989				5363	6804	9232	2760
2303	5754	6262				3203	7734	10167	6983
3055	5513	7162				8518	9085	9052	982
3053	8337	9952				2723	2995	9802	2573
4012	4853	7015				3328	9112	10614	2694
3685	4583	10709				3474	5046	8583	1732
4588	5184	5242				653	7137	7434	3743
3952	4288	7884				1294	6059	11484	6712
3112	5303	11152				1224	1343	1912	9332
803	5999	9144				2184	4253	8512	11223
688	1734	3202				1764	6474	8367	1252
2363	9412	9862				4915	6237	7914	11363
3052	7223	7794				1073	10494	11182	6365
8453	9954	11572				2453	2997	3292	8662
562	5093	9172				4468	6954	10497	3303
4709	5693	10095				5964	6273	7252	6925
5752	8573	11004				3773	8572	8664	6811
									4314
									10823
									11062
									9562
									9622
									7174
									5632
									6481
									6717
									11373
									2452
									7583
									9324
									2640
									7222
									8902
									6173
									9352
									10889
									1222
									1522
									7582
									5758
									6234
									11452
									2100
									7020
									10822
									2633
									4792
									8214

(表T.2)符号化率1/2(nldpc=44880)

935	1458	2280	7022	7261	10304	13046	14232	14442	19132			
1219	2960	12710	16907	17635	18558	18607	20783	21275	21527			
1713	3083	3992	8208	11182	14002	15040	19443	19860	21268			
4595	8550	8796	9519	11520	15723	16495	17628	19287	20007			
1324	5883	6312	6626	8651	11192	11796	12394	15476	16860			
2150	3938	5484	5966	6871	10755	13112	15299	20144	21625			
2503	3253	3414	4829	5574	6401	8181	10063	13159	17765			
2408	4033	4160	5921	6539	7938	9001	15716	16189	16411			
422	3861	7506	11878	11939	15138	15617	17293	18581	19050			
4003	6185	7743	8979	11367	11605	14867	16383	18641	18700			
8862	8986	12553	13230	13908	13986	16632	18386	20073	20655			
325	2041	2891	5428	9469	9497	11906	16679	16693	20615			
1483	2177	5196	7977	9040	9168	9712	9869	15086	18396			
717	2863	2884	3614	6766	8413	12640	13271	14420	21818			
1742	2267	5713	6214	16642	16847	18468	20656	21540	21830			
2175	5642	6972	7614	9616	9955	10631	12293	12916	18984			
12742	19462	20458				13088	14120	19159		4683	7984	14856
11100	11954	19267				5082	9270	12298		3228	14298	15614
1120	3218	7998				1372	8658	20254		3549	16686	17386
6212	15705	19295				4719	19278	21161		1733	7291	20212
8774	11612	12712				3106	3773	5181		1502	12471	17171
9661	17108	21492				3892	11004	19423		10919	16678	18344
6296	6815	8590				17566	18234	22002		1559	19353	21032
767	1804	3167				10589	11280	18876		15999	20879	21230
2793	10075	15390				6845	9704	18378		5138	16012	17488
4493	6855	21361				17541	19105	19788		507	18359	19398
7432	7927	16108				7463	17311	21787		2745	4062	11305
879	9629	11718				11607	19830	21371		4976	4994	11744
12879	16882	19590				4359	12892	19222		3390	16158	20308
4982	19254	20006				2419	12692	14590		2524	9477	17992
7798	14941	15386				440	10303	14235		3977	13357	16270

(表T.3)符号化率2/3(nldpc=44880)

4958	6639	6721	8238	9540	9550	10491	11742	11641	12092	13056	13460	
1135	1453	1545	1594	2703	3390	4538	4466	6018	11272	11598	12726	
4975	4835	7828	9796	9878	11211	11805	11887	12215	12732	13357	14181	
477	1914	3849	5397	5569	7818	7910	10083	10247	11108	13025	13558	
918	2825	3050	3130	3347	9325	11410	11549	12972	13560	14292	14183	
1996	6166	6176	6922	7396	8318	8722	8976	9837	10272	11541	12611	
899	1746	2968	3374	5260	5393	6379	7054	8048	9534	10696	14550	
1166	4372	5364	5573	10123	10104	10586	10967	10971	10780	13320	14450	
653	1703	1713	3800	4999	7275	7457	8366	8515	9175	9770	14341	
897	1176	1100	1689	2011	1912	2195	3827	4942	5395	6179	8525	
883	1697	2535	2785	7982	8505	8794	9803	10643	10411	12033	13592	
4688	4907	6004	6338	6537	9299	11769	12841	13341	13843	13650	14362	
5526	6516	10983				2537	6752	9503			3685	7642
11959	13659	13523				3599	10153	10534			2209	2453
2947	5532	8679				2406	6141	14388			2978	4341
8687	12867	13486				2334	12379	12664			846	3478
5450	6719	10727				2086	9319	14140			2332	10276
1432	3767	12129				895	11639	13814			1871	8802
735	4095	11557				405	4456	13349			2580	4292
9755	10288	13978				3601	8072	11104			3277	7785
694	5899	6270				7908	11344	12523			6832	12949
5696	6393	10124				362	8113	10934			1994	4257
4384	4710	7582				2330	3931	9632			2158	4782
7500	11231	12010				1266	3150	3564			530	11096
5694	9259	11477				2494	4013	7900			3183	12564
5983	6762	8156				1186	9395	9216			403	6842
2004	8197	11969				1553	7090	7377			9895	14161
1881	4872	8853				4085	6389	8894			487	3318
7242	9017	9751				8730	9591	12502			2517	6266
241	2168	8361				6434	7131	13691			3031	3769
7254	7375	10401				7172	7295	10575			3029	3154
3236	3726	5446				1184	9936	14358			6268	14052
4979	5151	5778				5284	8884	10438			3933	5327
4093	5858	6926				407	5149	14548			6514	12785
3714	13072	14265				5079	7049	13527			7888	11414

(表T.4)符号化率4/5(nldpc=44880)

1215	1303	1606	1628	1804	2200	2244	5522	8475	8514			
1364	2122	3569	4163	4554	4906	5418	4109	7150	8250			
1043	1220	2916	4604	4827	6094	6492	6996	7527	8275			
1134	2530	4052	3072	6060	5711	6170	6210	6938	8409			
1321	1672	2073	2426	3481	4480	7678	7421	7835	8519			
1598	1611	2200	2024	4938	5106	5216	6434	7750	8011			
1932	1677	2800	3345	5811	6161	7132	7326	7713	7524			
1855	1084	5315	5399	5846	6047	6497	7567	8414	7907			
1262	3747	4097	5788	5733	6109	6832	6976	8437	8489			
902	2082	1986	2479	2926	3666	4527	6857	8145	8522			
1067	2848	4332	4822	4603	4759	5250	6182	6296	7900			
2465	4449	4402				2797	8097	8421		3438	5509	6688
3939	5505	8147				1830	3549	3762		1282	5594	8123
4444	5346	7062				3786	3938	4229		1903	3791	7551
2046	3235	4116				3702	4752	7722		893	1440	1501
2427	4335	5033				748	1023	7568		1914	4340	6628
2118	4322	7480				2150	2136	2913		2647	2994	5018
819	1277	8343				3307	8301	8580		2786	3245	8016
3834	5128	6248				1543	5172	6956		1614	3743	5258
1877	2377	2513				684	6249	7876		1018	5065	6293
2179	5632	8492				6030	7041	7634		4291	6937	7640
3332	7656	7925				2048	2597	5109		3636	6077	7992
930	2332	6424				2795	4555	6842		1265	1586	5765
804	6056	7350				3306	4050	5214		3830	4599	6716
2757	6645	7174				3631	4957	8272		1122	7508	8213
3547	5232	6940				2514	4889	8541		1567	3213	6471
2229	5493	7943				2784	6759	8234		4978	5544	5874
2008	2794	2884				3940	5084	8382		2993	4405	5786
2135	3158	3874				6297	6634	6580		1826	4885	5681
1149	2883	8010				1129	8300	8470		4664	5907	6338
4423	4445	8379				2420	3349	7239		2621	3542	6491
688	3036	4011				1480	6475	6804		2178	6143	6974
3272	3882	5414				841	2028	6436		4105	7267	7282
890	1722	3239				3301	5766	6116		1232	1431	5808
4453	5638	7806				552	5045	7539		947	6103	7182
2730	4847	5588				3279	4539	7422		3752	5173	6060
1240	3058	7788				2333	6820	8118		2816	3635	6073
4533	6798	6954				2268	6870	8316		1343	4226	7744
3037	6715	7866				4026	5921	8013		3241	7047	7546
871	3640	6426				731	1212	6167				

(表T.5)符号化率7/8(nldpc=44880)

93	1986	2504	2631	2810	2877	3763	4354	4824					
76	385	1193	1434	3481	3979	4379	4436	4587					
160	350	911	964	1180	1428	2212	3465	4738					
130	389	620	865	1966	1999	2315	3714	4392					
139	2226	2900	2932	3167	3550	4630	5155	5271					
163	519	902	1789	2809	3731	3759	5270	5287					
390	2117	2436	2877	3378	3731	4882	5205	5463					
2131	3304	3681	4382	4462	4594	4808	4929	4985					
592	676	3162	3391	3817	4392	4847	5492	5513					
640	1392	1583	1742	2649	3827	3918	4029	4319					
479	669	1097	1380	2222	2538	2809	3727	3750					
1214	1592	2559	3574	3966	4108	4284	4646	4930					
205	641	1947	2048	2066	2589	3277	3999	4869					
424	662	1243	1414	1873	1943	2212	3271	3493					
993	1122	1453	2626	3469	3568	3981	4930	5392					
892	928	3979				1918	3292	5534			2003	2825	4007
90	2273	4406				2953	4430	5553			2880	3302	4719
1890	2999	3206				1487	4715	4964			2080	2877	5362
2411	4980	5104				2396	2686	3438			402	756	2132
712	3958	4361				4201	4519	5427			2318	2523	5597
497	1159	3611				179	1193	3181			241	1344	5488
3145	4022	4896				848	987	2822			3164	3215	5465
1120	2568	3522				1136	2399	4467			24	1943	2458
132	888	980				2909	3650	4553			1704	5151	5608
934	1275	2660				129	1325	5190			1071	2514	3944
2797	3622	5588				3046	5252	5403			645	2392	3526
2797	4621	5312				4120	4290	4687			1484	1586	5052
4070	4922	5171				150	3304	5605			3551	4029	5016
851	2474	3190				16	4685	5478			891	2493	5049
57	2355	2527				2910	3667	4453			1686	3183	5438
3254	3519	5061				2471	2565	4228			3366	3538	3698
484	1948	4085				1694	4247	4900			2033	3490	3792
405	1895	5547				2116	4092	4412			1366	5137	5476
4288	4338	5337				3003	4733	5351			635	2040	5395
1695	4773	5356				1377	1432	5404			1678	1694	4675
810	2881	5523				1024	3100	3224			268	849	1655
1077	2731	3000				681	2154	5526			1400	2723	5093
796	3631	5170				1844	1985	4974			363	1781	5053
1028	1679	3049				330	2520	3746			1925	2804	2956
1138	3176	3866				2573	3454	5496			505	1267	2720
2928	3499	4448				2088	4939	5384			1880	2601	4547
1079	1322	4875				1072	3111	3171			2258	3386	5337
1651	2305	3871				3672	3858	5543			2094	5123	5159
3223	3792	5541				2211	5080	5325			1881	2988	3881
833	2418	5504				673	1822	2238			201	690	1016

(表T.6) 符号化率5/6(nldpc=44880)

836	3140	3644	3968	4238	5858	5930	6470	6542	6866			
1183	2385	3689	3248	3680	4112	4616	4868	5210	6344			
494	1179	2908	3158	3715	5432	5426	5617	6998	6600			
1325	2485	3466	5228	4605	5244	6102	6286	5107	6955			
880	2704	3752	4204	4493	5403	6368	6308	5265	6950			
538	1209	1201	1330	2205	2887	2931	3016	3613	6036			
1699	2414	2441	1307	3886	4716	5761	6712	6817	5491			
1299	1143	1974	2683	3880	4554	4851	5714	5811	6896			
913	2626	4797	2922	3181	4324	5023	5936	6717	2455			
2620	2983	3267	3036	4460	5026	5366	6428	6442	6644			
2115	3862	3472	4369	4889	6431	6995	6743	7086	6093			
3375	5631	7082			1858	6297	6926			1360	4214	5686
972	1348	5296			3673	3667	6852			1655	2661	5662
1001	1365	1684			3445	5500	6503			3478	5227	5993
1396	4861	4841			787	3071	6512			3201	4482	5066
5103	5607	6092			477	712	2852			659	1701	6062
1089	2876	5303			914	2121	2898			4720	5070	6264
2731	4742	5733			2187	3251	3769			2408	4415	6264
1214	1594	5145			391	4383	6766			2259	5124	7054
2046	4078	5566			1338	1713	5858			5558	5810	5863
3252	6375	6528			1182	1905	2622			3205	4959	6353
2138	2942	6892			459	685	2150			1305	3467	6132
983	3759	5216			2048	4077	4976			639	4348	5894
1402	1888	4552			389	2360	2858			567	3050	4065
4033	6110	6794			482	3852	5918			1082	2497	4129
2510	4725	6459			1666	4881	6507			2006	5420	5247
1188	3936	6868			1304	2709	5788			1358	1600	3883
430	900	3284			578	5561	6276			1060	1136	2716
651	6083	6115			1938	2456	4323			1620	2407	6841
2973	4458	4475			929	1559	5859			1899	6146	6386
2592	3141	5737			1941	3070	3266			1492	1792	4762
2194	5620	6060			2710	3820	4452			606	1648	4064
3785	4332	4562			4295	5300	5717			679	2534	7084
1652	4412	4736			841	1845	4461			4403	6195	6601
778	2943	7104			2087	3257	5057			3704	4840	5560
695	2619	6133			3199	4322	4796			612	2406	2755
2104	3650	6099			3992	4258	4639			523	5545	6783
1680	6920	6970			3547	3786	5040			2296	3774	6996
1526	2109	3268			1099	3646	5320			1413	4713	7033
732	1075	3914			1199	1593	2116			2386	3119	5283
2958	3393	5055			1835	6078	6693			3291	4930	6981

(表T.7) 符号化率1/4(nldpc=44880)

1001	2501	6251	6876	7001	9251	9376	19338	20376	26376	26751	32501
5550	8251	16751	18588	19376	21001	21713	24626	26126	27251	29550	31876
550	2099	3751	9001	10126	12251	17626	20876	22387	22501	25501	26251
1376	7501	14588	16963	17251	18626	21376	21501	24599	24876	25126	27501
251	8751	8876	10713	19626	20126	21251	23338	27001	28099	27876	28175
2751	2876	3001	8001	9126	12463	13001	13876	23626	28376	29001	31838
2376	7376	10251	10751	13126	16463	21876	23300	26876	29501	30963	31436
713	1626	2800	6751	7876	12012	16349	20338	22251	24751	32213	32251
925	5626	7626	10876	12023	12126	12675	12876	13762	20751	22626	23751
6501	10137	10762	13512	15251	18001	20588	24376	29126	29338	30376	31626
1126	1876	2001	9849	14126	14876	15376	21126	25876	27376	30338	30501
1425	1501	3376	4626	6001	7126	11175	11126	12751	13724	24300	28126
175	8762	17925	20311	22637	23376	24001	24675	27126	28251	28751	30001
4126	6887	9626	13751	15751	16501	18251	19213	22838	25251	29626	31376
2251	4724	7338	7838	12626	14713	14751	15626	17376	25376	31126	32001
2126	3800	5001	6724	8800	10001	12050	14376	15675	18876	19001	19501
3126	8126	8376	15436	15876	17300	21925	23137	25001	26501	28626	30751
876	5126	11887	18050	18126	19838	20262	22001	23001	23501	26626	28876
5876	6126	10463									
16251	16626	26001									
3251	13800	28501									
4501	12001	32376									
4751	14251	15126									
4001	4876	23876									
17001	17501	27626									
5501	11251	14001									
9751	29876	31512									
126	30126	31501									
3501	16126	25751									
3876	18751	20626									
501	4251	25626									
11376	18376	30626									
5251	5751	29751									

(表T.8) 符号化率1/3(nldpc=44880)

625	1750	2125	3750	15250	18750	19250	27375	29000
4375	6750	7125	7500	13125	16250	19375	28875	29250
1500	6125	6533	13500	23500	25500	26000	27625	28750
6500	7625	9625	14875	16875	18000	18500	27500	27750
250	4204	6000	12500	17125	21204	21875	22079	23750
125	9125	11250	11875	12000	14000	14125	15875	24125
4875	9875	11000	11125	13000	16500	19000	25125	26375
2941	8500	12362	15125	16375	18250	20250	21375	24000
0	750	19875	21625	21750	22125	23250	27329	28375
875	2750	3125	8625	18875	20000	23375	26125	26829
500	5533	18375	18625	20125	20375	24625	25250	27875
1250	10000	10658	17000	17750	19500	19625	25875	29375
2250	3000	4000	5250	9375	11750	14750	24875	29500
5000	5750	12375	16625	17579	18125	21250	22625	26625
2500	3783	4625	9250	10875	15500	17625	22375	28500
1125	5500	9737	13329	13750	13875	16829	22750	24375
375	6875	10454	11375	12875	13375	14250	19750	23125
3375	4750	8375	10125	14500	17875	22500	24829	25829
1625	3500	5625	6783	8987	12250	21158	23625	24250
1000	12750	16204						
3875	15000	16000						
14625	15375	21500						
7875	11625	24500						
1875	2875	9000						
8875	20500	28625						
14375	17375	27125						
8000	20875	26500						
11500	20750	22329						
4329	7250	12625						
7750	13704	25000						
3329	5875	23875						
7000	17250	28250						
5125	7375	22875						
8125	26875	29125						
25625	26250	28000						
1375	15750	19125						
4500	10625	15625						
2079	9750	10250						
2375	6250	28125						
20625	23000	27000						
8250	10750	25375						

(表T.9) 符号化率2/5(nldpc=44880)

1165	4327	5257	6652	8977	14185	16417	17440	21346	22183	22741	25810
2002	2653	3769	7467	10930	19672	19951	23392	23671	24787	25159	26368
5908	7768	12489	13441	13999	15487	16324	16882	17161	17254	18370	18835
1072	1422	1723	3304	4513	5815	6187	8605	12024	13720	15673	19300
3025	4699	9349	9677	10279	12210	15766	17905	20974	21160	21532	22418
2910	6280	6931	8539	10186	10651	14907	18326	19021	22834	23485	25908
700	4048	5443	8047	12675	14721	17768	19858	22462	22648	24229	26160
4026	4792	6001	6838	9163	11023	13255	13534	18818	20695	24393	24601
235	2095	7210	15022	19486	20416	20952	21718	21953	23206	25903	26182
1515	2188	4141	5071	6537	11608	11674	11767	19464	19765	21067	25531
1909	5629	8233	10886	14535	16816	17347	18698	20509	22555	23113	26461
4420	9721	16975	20230					7374	16696	19207	25252
6094	12325	25717	26275					10443	10837	21439	25438
7024	9907	16789	22090					1630	9699	11860	23950
1537	3862	14092	24880					2538	8512	17998	20859
6559	7117	11116	24415					2560	9327	9814	23578
12303	18649	21625	24043					12954	13047	18091	21997
935	6373	9442	17068					10000	13233	20323	23020
886	8419	15930	17719					14278	15208	15580	18742
8884	14371	16138	18928					12697	13069	19579	24694
2445	8698	18277	22369					607	3676	4978	17604
421	5421	15952	23857					12046	12790	13813	22927
3211	5793	7861	21253					1050	2423	11302	15394
7653	11581	12511	25066					3583	7959	8211	9141
328	8791	24136	24579					4606	11488	15115	23299
11209	14557	15301	20673					3490	7489	17812	19114
1258	3397	10465	24973					5536	13627	15000	25996
142	2932	5164	20044					1887	2746	4885	21904
6745	10093	16045	16231					514	13419	13906	20279
3260	4234	14814	16510					8025	10558	23764	25700

(表T.10) 符号化率3/5(nldpc=44880)

357	954	7119	7201	7951	8660	8833	10902	13537	15019	16162	17393	17414	
415	1005	2768	4478	6376	6992	10421	11744	13008	13294	16054	16103	17398	
33	1278	5158	7309	7692	7725	10635	12376	12386	14426	14624	15432	17361	
1005	2169	2215	3348	3667	4112	6118	8391	9296	9353	14480	16954	17519	
789	1675	1751	6153	6377	13166	13887	13905	14217	14507	14753	15707	15896	
355	1880	2959	3279	3328	6405	7962	9391	11195	11415	13999	14370	17134	
1487	2810	3059	3354	3515	4282	8082	14613	15099	15268	16682	17303	17559	
1140	2561	2662	2668	3505	4851	5341	6138	10407	12194	13150	13223	13239	
3068	3856	4550	8151	8244	9602	9752	11365	11636	11768	12134	13566	17105	
1435	1664	2304	3212	4974	8135	11314	11588	11667	12195	15385	15715	16714	
1741	1947	2773	4045	4340	8244	9170	9583	12382	13645	13768	14027	16709	
4247	5364	12994				3572	5296	16178			2852	5454	8847
24	1585	9160				2772	10557	16953			3016	3177	10250
5678	9509	12795				8315	9497	12811			2990	12736	13293
1584	2932	7313				9076	10590	17513			8599	10333	12826
5311	6685	16318				9464	11633	12939			11154	13241	16994
1053	9398	14842				117	11613	11782			6472	14558	15541
9448	12744	13810				4008	7056	12120			309	3770	15650
3040	3679	7686				2156	6956	9614			3890	6732	12686
9816	11028	13609				11255	11681	14684			1791	5409	16925
352	3396	7645				374	5204	5316			10464	14384	14699
293	6003	12642				5750	10140	10754			1282	10278	15135
6840	11000	13886				3246	15326	16788			5851	9569	10063
3030	6910	11489				4839	13725	14859			9527	13932	17090
4601	16312	16351				3760	13834	16089			4192	6788	17248
5633	5708	9483				2988	3455	12733			2322	2357	9161
6931	12266	15863				5093	8924	16859			1381	7313	16246
4080	11013	16587				3592	3621	16569			196	3561	7252
6077	6901	8660				6053	7951	8316			5881	10640	14399
11160	12563	16833				7331	13216	17181			1451	14495	17425
12610	13589	17255				8094	11141	16500			2911	8369	9439
597	6780	12541				1956	3488	10371					

(表T.11) 符号化率9/10(nldpc=44880)

220	484	3688	3808										
880	1335	2704	4106										
544	556	2092	2416										
1504	1660	2152				1492	2376	3160			1180	2115	2668
1336	3700	3891				546	976	1813			2379	3520	3589
1564	2320	4024				2127	2786	3972			564	2728	3903
1168	2644	4060				604	2871	3652			616	1153	3196
1958	2056	3712				471	2822	3040			697	759	3388
938	2992	3004				290	640	3544			975	1864	3347
3100	3459	4047				2282	2824	3784			711	1418	2307
1045	1576	3050				1204	3500	4055			405	827	1712
278	1826	2235				699	1743	3364			1466	3107	3396
1000	1984	3255				527	1599	2978			2691	3480	3992
1178	3662	3724				1250	3748	4074			952	2173	2605
172	2907	3532				316	373	2692			519	543	1744
160	2380	3064				3220	3324	3490			1146	1931	2812
628	1116	1790				925	3431	3736			1702	2919	3411
579	2212	3328				1934	2007	3904			687	1593	1634
302	435	1264				734	1971	2584			3384	3460	3528
1479	1792	3796				2055	3279	3964			856	2232	3170
1300	3591	3901				1551	1672	4108			195	411	1443
820	1143	3856				1596	2488	2560			2522	3190	3988
724	1093	2968				1518	3614	3916			1406	2377	2464
1106	3099	3604				2607	3013	4012			387	3202	3976
255	2164	2656				663	2942	3940			1320	2248	2795
951	1684	3472				1659	3267	3730			243	2087	2367
592	2027	2308				1740	2559	2752			448	1227	3698
2473	2487	3887				496	1539	1800			1478	2999	3208
1024	1288	2269				2437	2798	4094			2546	2619	2632
736	1851	3172				817	1420	3649			196	1107	2272
1166	2436	2547				1480	1863	2200			2943	3178	3855
374	1312	2848				2031	2187	2884			1252	1742	3551
854	1924	3304				274	2716	3049			364	591	3076
456	1108	1372				1491	2960	3232			807	1404	1900
950	2091	2799				1899	2523	3316			1192	3239	3579
915	1708	1970				844	1655	2428			890	2068	3650
304	1059	3804				2339	2474	3919			793	1850	4048
292	2030	2620				388	2869	3952					
841	1240	1827				999	2139	3508					

3.9. TMCC 符号化

外符号については、主信号用と同じものを使用する。内符号については、主信号用LDPC(1/2)を短縮化して利用する(図7参照)。LDPC符号のデータとして、NULLデータ(1870ビット、オールゼロ)、TMCCデータ(9422ビット)、BCHパリティ(192ビット)、およびNULLデータ(11330ビット、オールゼロ)に対し、符号化率1/2のLDPCパリティ(22066ビット)を付加し、NULLデータを削除したものをTMCCシンボルとして伝送する。受信側では、NULLデータ部分については理想的に0が伝送された場合のシンボルを挿入した後、符号化率1/2のLDPC符号復号を行う。

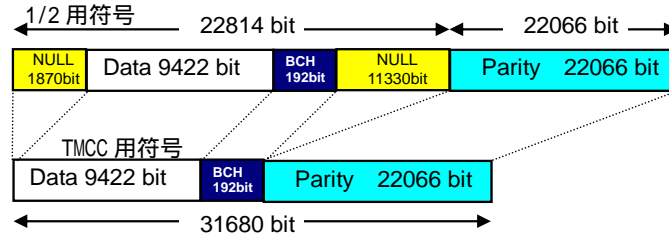


図7 TMCC 符号化

3.10. 信号点配置

信号点配置を図8に示す。

なお、 $\pi/2$ シフトBPSKについては、フレーム先頭(第1シンボル)を含む奇数番目のシンボルにおいては、シンボル0のとき1象限、1のとき3象限の信号点を取り、第2シンボル以降の偶数番目のシンボルについては、反時計回りに90度の位相回転を与えた信号点位置で変調する。なお、16APSKおよび32APSKについては、最適性能を得るため、符号化率により、同図(a)および(b)の付表に示す半径比(= R_2/R_1)および1(= R_2/R_1)、2(= R_3/R_1)をとる。また、(a)~(c)では半径1とし、電力を1に規格化しているが、(d)および(e)については電力を1に規格化する場合、 $4R_1^2+12R_2^2=16$ および $4R_1^2+12R_2^2+16R_3^2=32$ とする必要がある。

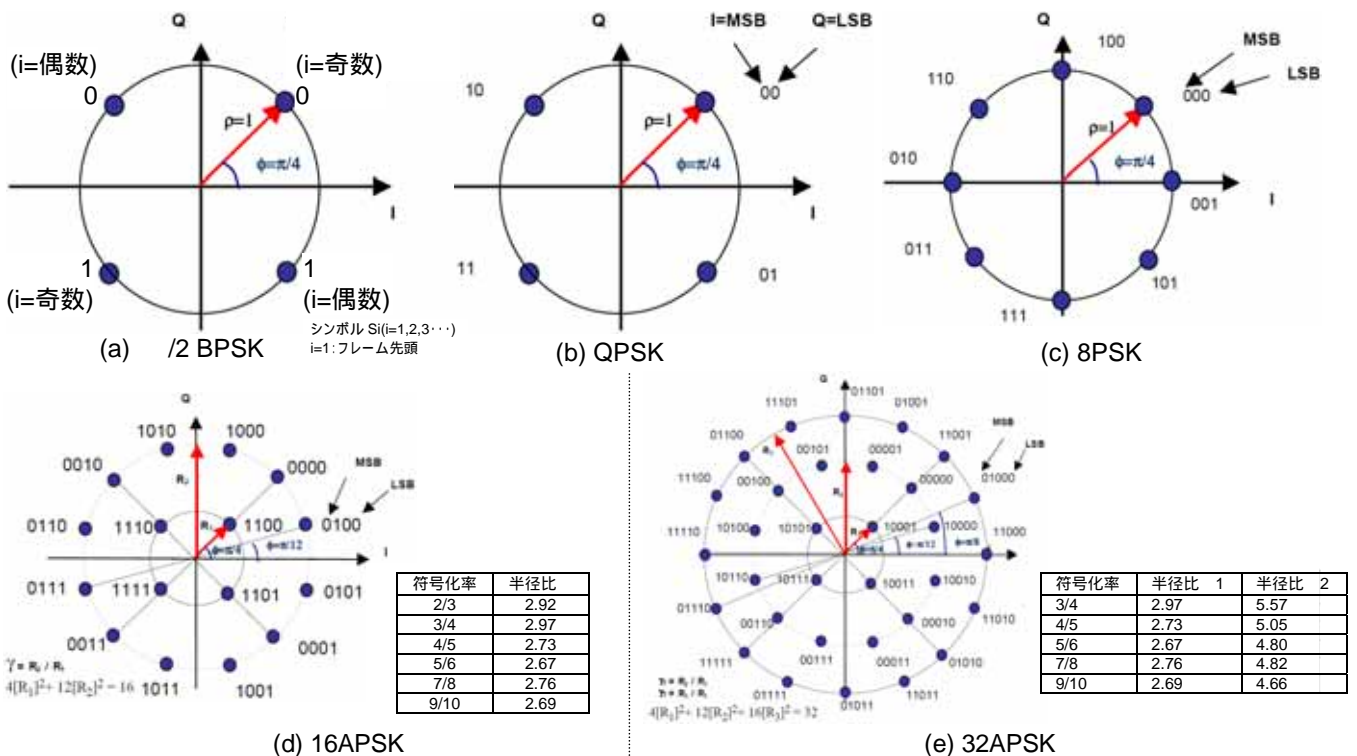


図8 信号点配置

3.11. ビットインターリーブ

LDPC 符号化部からの出力はブロックインターリーブによりビットインターリーブする。表6にビットインターリーブの大きさを示す。データはインターリーブに列方向に上から下へ書き込まれ、行方向に左(MSB)から右(LSB)へ読み出す順方向読み出しと、右(LSB)から左(MSB)へ読み出す逆方向読み出しがある。8PSKの場合の、順方向読み出しおよび逆方向読み出しの例を、図9および図10に示す。いずれを使用するかは、変調方式と符号化率の組み合わせによって異なる(表7)。

表6 ビットインターリーブ

変調	行	列
8PSK	14960	3
16APSK	11220	4
32APSK	8976	5

表7 インターリーブ読み出し

変調	符号化率			
	2/5以下	1/2	3/5	2/3以上
8PSK	逆	順	順	順
16APSK	逆	順	順	順
32APSK	逆	逆	順	順

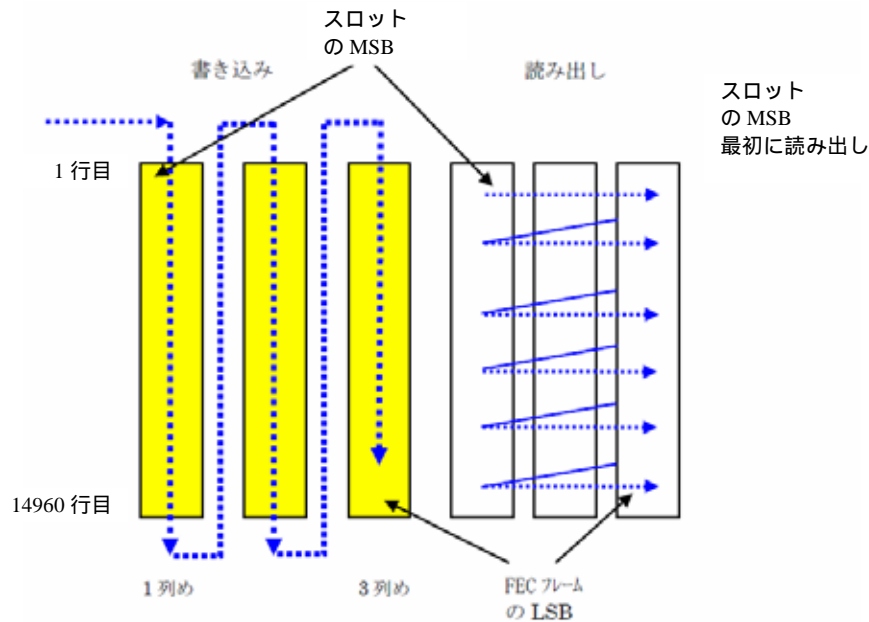


図9 ビットインターリーブ 8PSK(順方向読み出し)

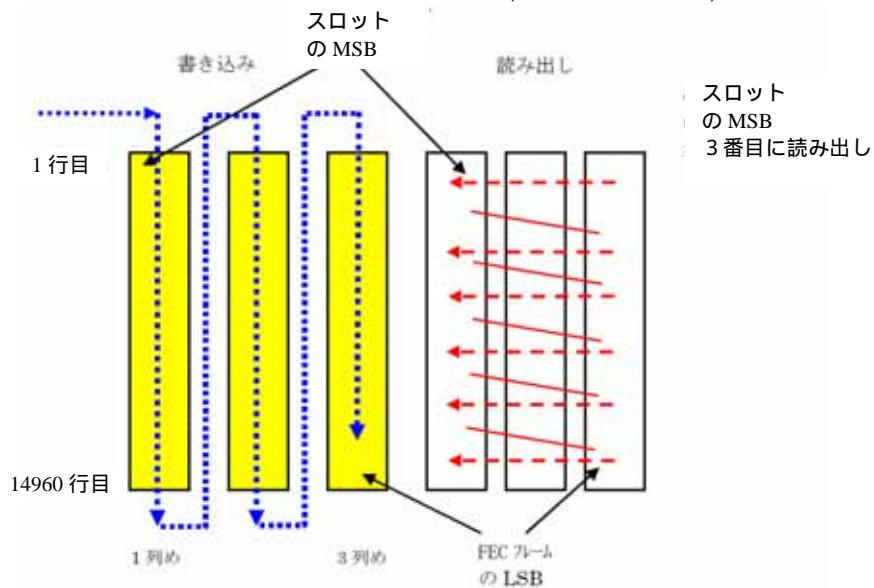


図10 ビットインターリーブ 8PSK(逆方向読み出し)

3.12. パイロット信号

パイロット信号には、TMCC により当該変調スロットに指定された変調方式の信号点を順次伝送する。

例えば、32APSK の場合、シンボル 00000、00001、00010、00011、…11111 の順にその信号点を伝送する。16APSK の場合、0000、0001、0010、0011、…1111 の順に 2 回信号点を伝送する。8PSK の場合、000、001、010、011、…111 の順に 4 回信号点を伝送する。QPSK の場合、00、01、10、11 の順に 8 回信号点を伝送する。
/2 シフト BPSK の場合、0、1 の順に 16 回信号点を伝送する。信号点の伝送を行なう前に図 5 のエネルギー拡散を行なう。

3.13. TMCC 信号

TMCC 信号を表 8 に示す。なお、TMCC は 2 フレーム後の情報を示す。

表 8 TMCC 信号

名称	bit	内訳	bit	備考
変更指示	8		8	TMCC変更カウンタ
フレームカウンタ	8		8	1フレームごとにインクリメント
スロット/ 変調方式 情報	1920	スロット1の変調	4	変調方式5種類 0000:reserved 0001: /2BPSK 0010:QPSK 0011:8PSK 0100:16APSK 0101:32APSK 0110-1110:reserved 1111:割当なし 内符号11種類 0000: reserved 0001: 1/4 0010: 1/3 0011: 2/5 0100: 1/2 0101: 3/5 0110: 2/3 0111: 3/4 1000: 4/5 1001: 5/6 1010: 7/8 1011: 9/10 1100-1110: reserve 1111: 割当なし バックオフ(OBO=0~25.5dB) (8bit) OBO[dB] × 10を2進数表示
		スロット1の内符号	4	
		スロット1の衛星出力バックオフ	8	
		
		スロット120の変調	4	
		スロット120の内符号	4	
		スロット120の衛星出力バックオフ	8	
スロット/ Stream種別 情報	128	相対ストリーム0のStream種別	8	Stream種別 00000000: reserve 00000001: MPEG-2 TS 00000010: TLV 00000011-11111110: reserve 11111111: 割当なし
		
		相対ストリーム15のStream種別	8	
パケット長	256	相対ストリーム0のパケット長	16	パケット長をバイト単位で指定。 不定長の場合、0x0000。
		
同期パターン ビット長	128	相対ストリーム0の同期パターンビット長	8	ヌル置換を行う際、その先頭数バイトには同期パターンを置く必要がある場合、その同期パターンの長さを0(0x00)~16(0x10)のビット長で記載する
		
同期パターン	256	相対ストリーム0の同期パターン	16	同期パターンを記載。MSBから同期パターン長分のビット数を有効にする。
		
ポインタ 情報	3840	スロット1のトップポインタ	16	トップポインタ:スロット中の最初のパケットの先頭バイトを指定。ただし、0xFFFFは先頭バイト不在。 ラストポインタ:スロット中の最後の配置完了パケットの最終バイト+1を指定。ただし、0xFFFFは最終バイト不在。
		スロット1のラストポインタ	16	
		
		スロット120のトップポインタ	16	
他チャンネル Stream 接続情報	512	相対ストリーム0の他ch接続情報	32	接続フラグ(2bit) 前接: 有(1)/無(0), 後接: 有(1)/無(0) 接続メディア 前接(2bit): BS(0),110CS(1),... 後接(2bit): BS(0),110CS(1),... 前接続物理ch番号(6bit): 後接続物理ch番号(6bit): 前接続相対Stream番号(4bit): 後接続相対Stream番号(4bit): 接続イネーブル(1bit): reserve (5bit):
		
		相対ストリーム15の他ch接続情報	32	

スロット/ 相対Stream番号 対応表	480	スロット1の相対ストリーム番号	4	相対Stream番号:0-15
			
		スロット120の相対ストリーム番号	4	
相対Stream番号/ StreamID(TS_ID) 対応表	256	相対ストリーム番号0のStream_ID	16	MPEG-2 TSの場合TS_ID TLV(またはその他)の場合Stream_ID
		
		相対ストリーム番号15のStream_ID	16	
送受信制御信号	8	起動制御信号(緊急放送用)	1	ISDB-Sと同じ
		サイトダイバーシティ実施スーパーフレーム指示	1	
		主局指示	1	
		副局指示	1	
		Reserve	4	
拡張情報	1622	拡張フラグ	1	
		拡張フィールド	1621	
合計	9422		9422	

バルク伝送を開始するときは、少なくとも10秒程度前に、他チャンネル Stream 接続情報の前・後接続フラグ、前・後接続メディア、前・後接続物理ch番号、前・後接続相対TS番号をセットし、接続イネーブルが0→1に変わった2フレーム後にバルク伝送を開始するものとする。

ポインタ情報は、パケット同期捕捉および受信機でのヌルパケット置換に利用する。

BCH符号が訂正能力を超えたことを検出した場合、(訂正後に再度シンドローム計算をし、その値が非ゼロとなった場合)、そのスロットのデータをヌルパケットに置換する。ヌルパケットに置換する範囲は、図11に示すように、前のスロットのラストポインタから、次のスロットのトップポインタ-1までとする。また、置換する各パケットの先頭部分には、同期パターンで指定した符号を上書きする。

なお、前のスロット(SLOT#N-1)のラストポインタが0xFFFF(最終バイト不在)の場合、それ以前のスロットに初めて現れるラストポインタからを置換の範囲とする。また、次のスロット(SLOT#N+1)のトップポインタ0xFFFF(先頭バイト不在)の場合、それ以降のスロットに初めて現れるトップポインタ-1までを置換の範囲とする。±12スロット以内にラストポインタ、トップポインタが見つからない場合、ヌル置換は行なわない。

TSパケットの場合には、ヌルパケット置換は行なわず、トランスポートエラーインジケータに1をセットする、またはヌルパケットに置換することで、後段に接続されるデコーダへの悪影響を抑圧することが可能である。

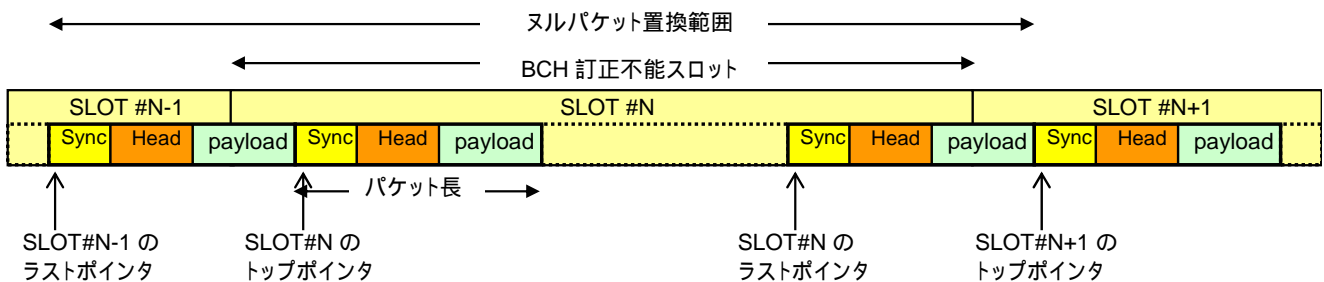


図11 受信機におけるヌルパケット置換

3.14. スロットの割り当て規則

複数の変調方式を同一搬送波で伝送する場合は、位相数の多い変調方式の順、符号化率の高い順に、各情報を伝送フレーム内の先頭スロットから順に配置することとする。

無効(ダミー)スロットが必要な方式の場合、有効スロットを割当てスロット内の最初に配置するものとする。(参考例 図 12 参照)

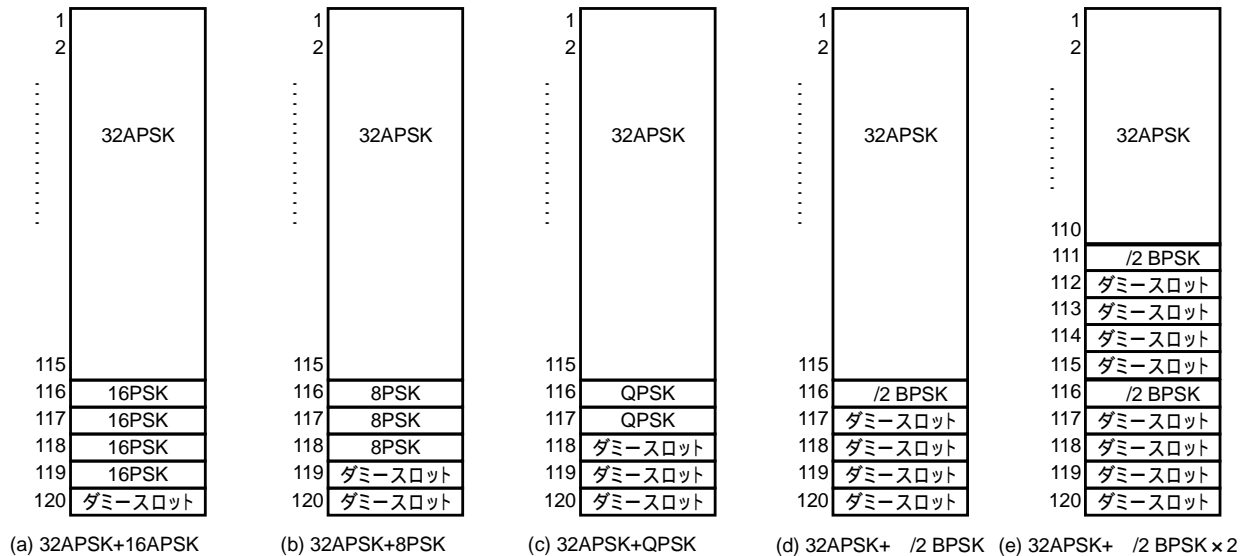


図 12 スロット割り当ての例

複数の変調方式を伝送する複数 TS の合成においては、各 TS の時間基準を送受間で保持するため、それぞれの TS でのダミー スロットをヌルパケットとして PCR を設定するものとする。(参考例 図 13 参照)

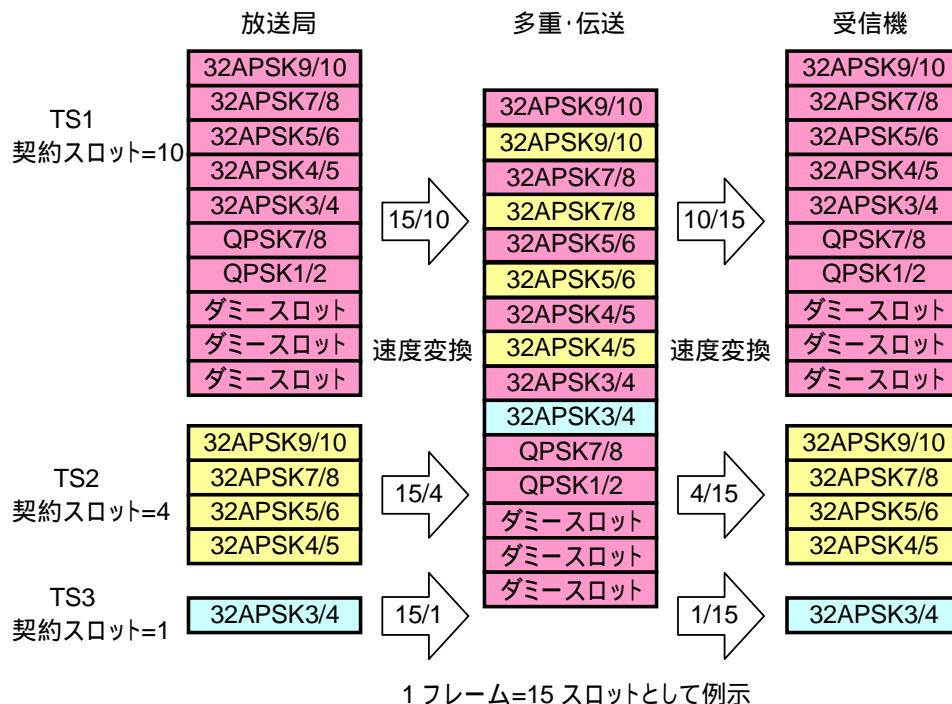


図 13 複数 TS 合成の例

3.15. PCR の管理

受信機の負担を軽くするため、受信機側では簡単な速度変換のみを行うだけで、適切な PCR 値を含む MPEG-2 TS を再生できることが望ましい。

ここで、図 14(a)に示すように、スロット#1～#5を使って、変調方式 16APSK、符号化率 1/3 で伝送する場合を考えると、受信機側で再生される信号は同図(b)のようになり、同期バイトを除く 187 バイト長 TS がバースト状に得られることになる。受信機内では、この TS の先頭に同期バイトを付加した上で、適切な PCR 値を含む等間隔の TS パケットとして MPEG デコーダに渡す必要がある。このような条件を満足する PCR に付け替える方法を[参考]に示す。

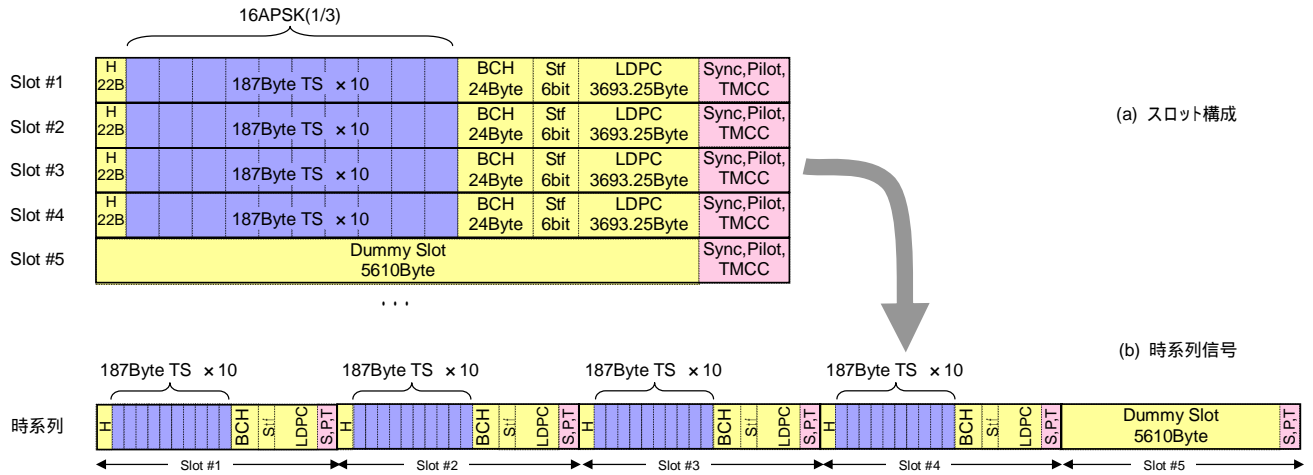


図 14 受信機で再生されるストリームの例

4. 補足資料

4.1. シンボルレートと帯域幅の関係

4.2. 信号点配置

4.3. 変調方式と符号化率の組み合わせ

4.4. TMCC 信号のストリーム制御機能

4.5. パイロット信号による受信特性の改善

4.6. TMCC 信号によるバルク伝送機能

4.7. PCR 付け替え方法の例

4.8. 衛星中継器 ALC 制御

4.1. シンボルレートと帯域幅の関係

1. シミュレーション系統図

シンボルレートに対する占有帯域幅を求めるために用いたシミュレーションの系統図を図 1 に示す。変調器のルートロールオフフィルタのロールオフ率は 0.1, 0.15, 0.2, および 0.25 とし、デジタル変調方式として BPSK, QPSK, 8PSK, 16APSK, 32APSK, $\pi/2$ シフト BPSK についてシミュレーションを行なった。なお、衛星中継器は放送衛星の IMUX フィルタ、TWTA、および OMUX フィルタで構成した。TWTA の動作点は、OMUX フィルタ出力が変調波において最大となる動作点とした。

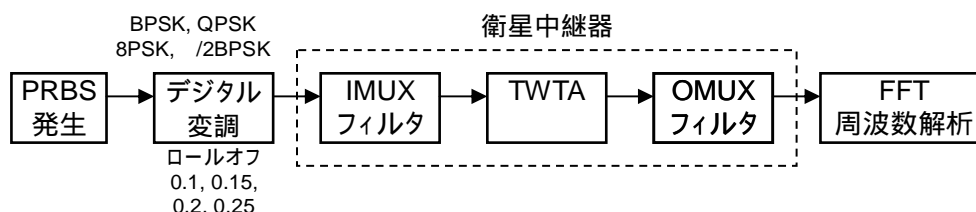


図 1 シミュレーション系統図

2. 各変調方式のシンボルレートと帯域幅

ロールオフ率 0.2 とし、変調時の出力飽和点を動作点としたときの、各変調方式のシンボルレートと占有帯域幅の関係を図 2 及び表 1 に示す。32Mbaud 付近で、BPSK は QPSK および 8PSK に比べ、約 3% 占有帯域幅が広がっていること、逆に、 $\pi/2$ シフト BPSK は QPSK および 8PSK に比べ、約 1.5% 占有帯域幅が狭まっていることが確認できる。

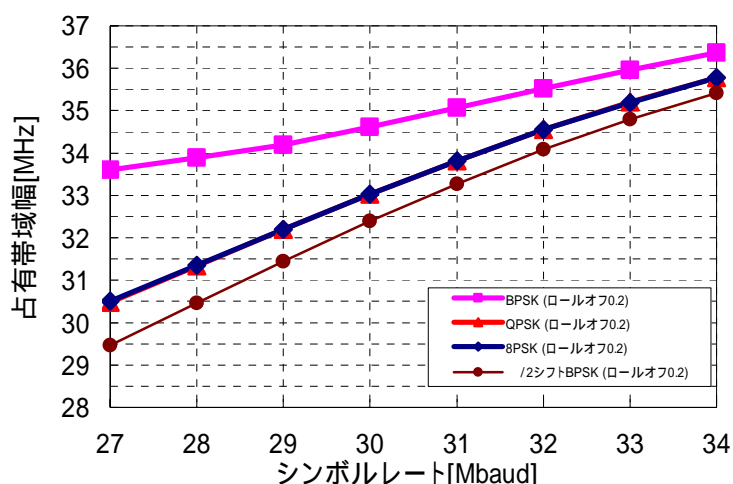


図 2 シミュレーション結果

表 1 シミュレーション結果

シンボルレート [Mbaud]	BPSK ロールオフ 0.2	QPSK ロールオフ 0.2	8PSK ロールオフ 0.2	$\pi/2$ BPSK ロールオフ 0.2
27	33.605	30.477	30.500	29.459
28	33.882	31.339	31.350	30.468
29	34.186	32.193	32.197	31.450
30	34.607	33.029	33.025	32.391
31	35.072	33.812	33.819	33.274
32	35.527	34.551	34.551	34.078
33	35.961	35.203	35.191	34.793
34	36.370	35.776	35.772	35.419

3. シミュレーション結果とシンボルレート候補値

以上の結果から、占有帯域幅を決定する変調方式は QPSK および 8PSK となるが、この 2 方式については、同一シンボルレートで、ほぼ同じ占有帯域幅となる。ここでは、主に利用される変調方式である 8PSK について、シンボルレートと帯域幅の関係を求めた。シミュレーション結果を図 3 に示す。この結果から、ロールオフ率 0.2 において、占有帯域幅が 34.5MHz 以内となる最大シンボルレートは、31.9MBaud となる。したがって、実証実験におけるシンボルレートの候補としては、31.9MBaud 以下とする。同様にロールオフ率を 0.1~0.25 とした場合の、最大シンボルレートを表 2 にまとめる。

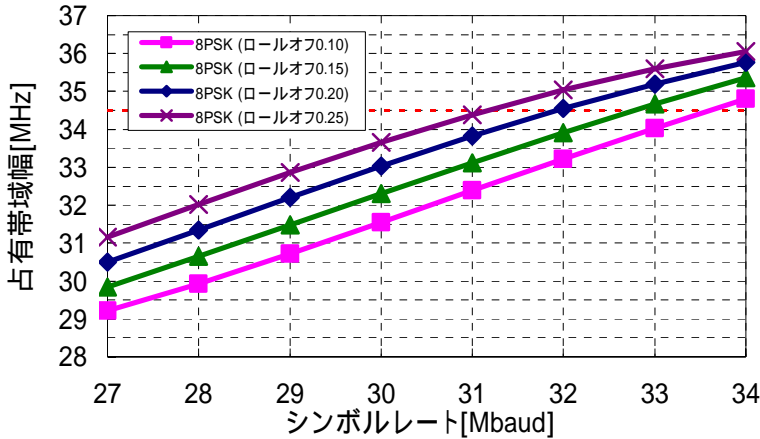
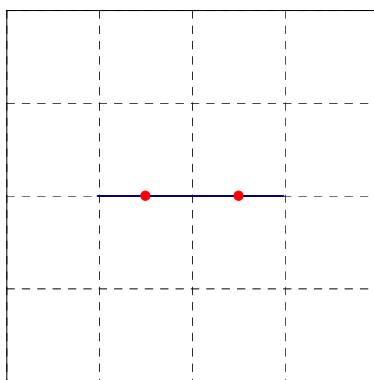


表 2 ロールオフ率と最大シンボルレートの関係

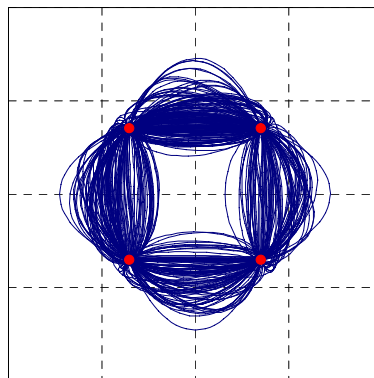
ロール オフ率	最大シンボルレート [MBaud]
0.1	33.6
0.15	32.7
0.2	31.9
0.25	31.1

図 3 シミュレーション結果

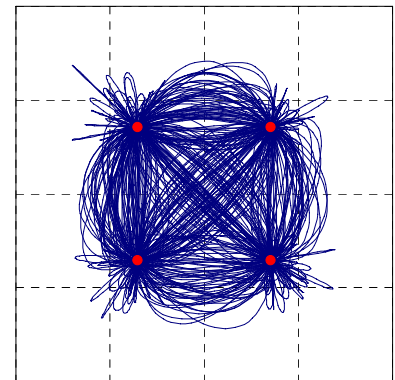
参考．各変調方式の信号点の軌跡(理想伝送路)



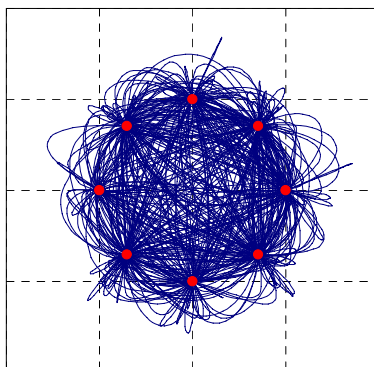
(a) BPSK



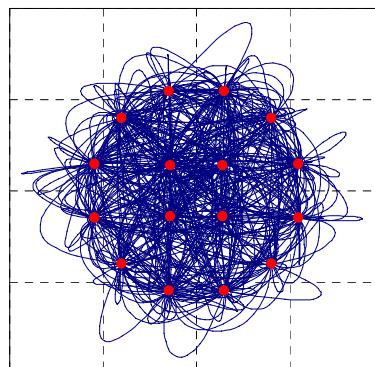
(b) /2 シフト BPSK



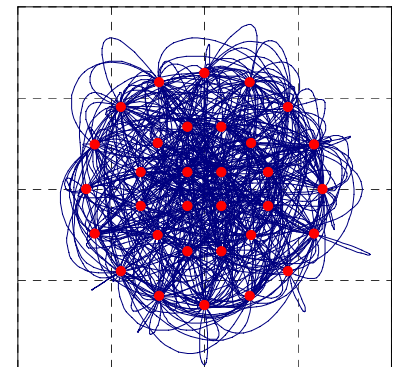
(c) QPSK



(d) 8PSK



(e) 16APSK



(a) 32APSK

4.2. 信号点配置

1. BPSK 変調の信号点配置の変更について

当初案では、同期、TMCC 信号伝送用に BPSK 変調が提案されている。また、主信号伝送用変調方式のひとつとしても BPSK が利用可能となっている。BPSK 変調は信号点の遷移において、50%の確率でゼロクロスすることから、非線形特性をもつ衛星伝送路において飽和点増幅を行った場合、QPSK や 8PSK に比べ占有帯域幅が約 3% 拡大する。したがって、占有帯域幅の要求値に対して BPSK がシンボルレートを決定する主要因となる。一方、 $\pi/2$ シフト BPSK では原理的にゼロクロスを生じないため、帯域幅は QPSK や 8PSK に比べ占有帯域幅が約 1.5% 縮小することから、シンボルレートは 8PSK や QPSK によって決定される。そこで、BPSK 変調を $\pi/2$ シフト BPSK に変更することを提案する。

2. APSK 信号点配置の半径比の決定について

APSK の信号点配置は、提案する LDPC 符号を適用したときにおいて最適な特性となるよう設計した。16APSK および 32APSK の信号点配置を図 1・表 1 および図 2・表 2 に示す。

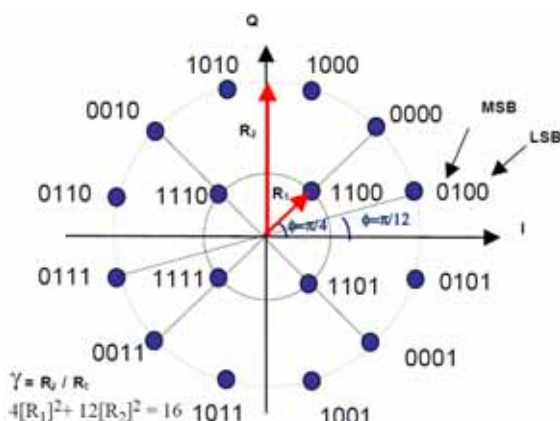


図 1 16APSK の信号点配置

表 1 16APSK の半径比

符号化率	半径比
2/3	2.92
3/4	2.97
4/5	2.73
5/6	2.67
7/8	2.76
9/10	2.69

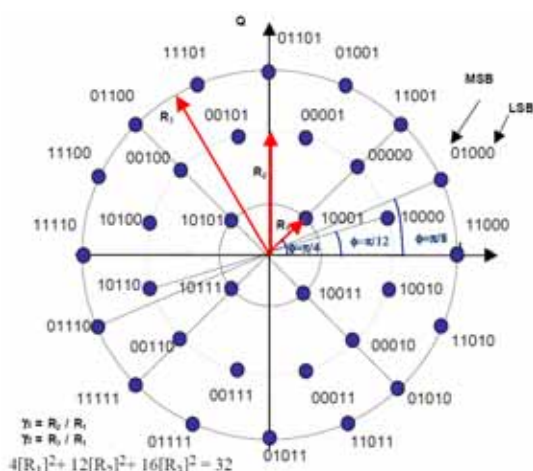


図 2 32APSK の信号点配置

表 2 32APSK の半径比

符号化率	半径比 1	半径比 2
3/4	2.97	5.57
4/5	2.73	5.05
5/6	2.67	4.80
7/8	2.76	4.82
9/10	2.69	4.66

DVB-S2 においては、APSK の信号点配置を、使用する符号化率を決め、そのときの所要 C/N が理想的な符号化・変調がなされたときに最小となるように設計している。

4.3. 変調方式と符号化率の組み合わせ

1. 各変調方式・符号化率の周波数利用効率と所要 C/N の関係

図 1 に $1/2$ シフト BPSK、QPSK、8PSK、16APSK、および 32APSK の各符号化率の所要 C/N と周波数利用効率(1Hz あたりのビットレート)の関係を示す。なお、16APSK および 32APSK については、それぞれ出力バックオフ OBO=1dB および OBO=3dB を考慮した結果を示した。実際には、機器の固定劣化により性能が劣化することが考えられるが、機器劣化については実証実験により評価することとし、ここでは考慮しない。

2. 採用する変調方式・符号化率

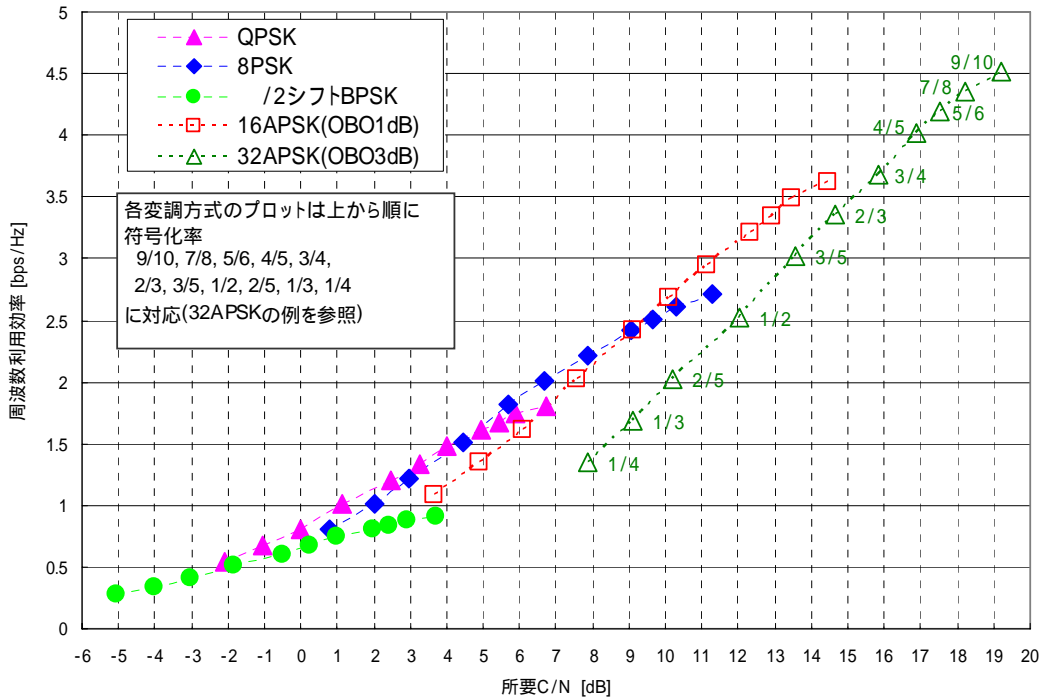


図 1 各変調方式・符号化率の所要 C/N と周波数利用効率の関係

図 1 において、同程度の周波数利用効率となる変調方式・符号化率の組み合わせが複数ある場合は、所要 C/N が低い変調方式・符号化率を選択することを提案する。但し、高レベルの変調方式と同程度の周波数利用効率で、やや高い所要 C/N の低レベルの変調方式・符号化率が存在した場合、衛星伝送路の影響による劣化量次第では、採用となる可能性もある。

表 1 採用する変調方式・符号化率

変調 符号化率	$1/2$ シフト BPSK	QPSK	8PSK	16APSK	32APSK
1/4					
1/3					
2/5					
1/2					
3/5					
2/3					
3/4					
4/5					
5/6					
7/8					
9/10					

採用
実証実験の結果で採否を判定

そこで、これらの観点から、各変調方式・符号化率の組み合わせのうち、採用するもの()、実証実験結果次第で採用するもの()を表 1 に分類した。符号化率 $2/5$ 以下の $1/2$ シフト BPSK については、所要 C/N が -3 dB 以下と低いため、これらに関しては、実証実験での結果に基づいて採否を再度検討する。

4.4. TMCC 信号によるストリーム制御機能

1 ストリーム制御の必要性

放送用途で主流となっているパケットは図 1 に示すように、188 バイトの固定長で、その先頭には 8 ビットのユニークワードが同期バイトとして付加されている。こうした、固定長で、かつ同期バイトが付加されるパケットストリームにおいては、既知の同期バイトが既知のパケット長間隔で捕捉できるポイントを探索することで、容易にパケット先頭を捕捉できる。

一方、図 2 に示す IP パケットの例を挙げると、パケット先頭に同期符号に相当するものがなく、またパケット長も可変である。こうしたパケットストリームを送受信する場合、パケットの先頭を知るため、同期バイトを付加する、あるいはパケット先頭が分かる信号を別途伝送する、といった対策が必要となる。同期バイトを付加する場合、その到来周期がパケット長によって変化するため、擬似同期の検出が困難となる。

そこで、暫定方式においては、各スロットの何バイト目からパケットが多重されているかを示すポインタ情報を TMCC 信号により伝送している。さらに、IP パケット以外の可変長パケットストリームや MPEG-2 TS パケットストリームなど、スロット単位で複数割り当て伝送できる仕組みなども取り入れている。以下の章では TMCC 信号によるストリーム制御機能について説明する。

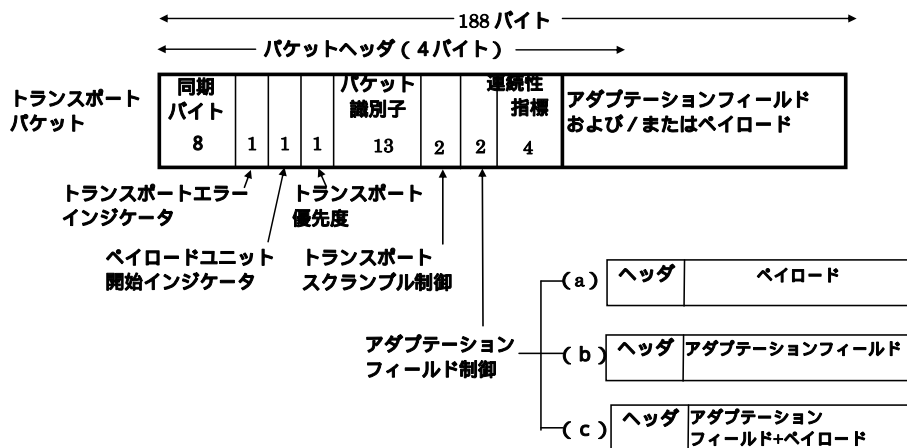


図 1 MPEG-2 TS の構造

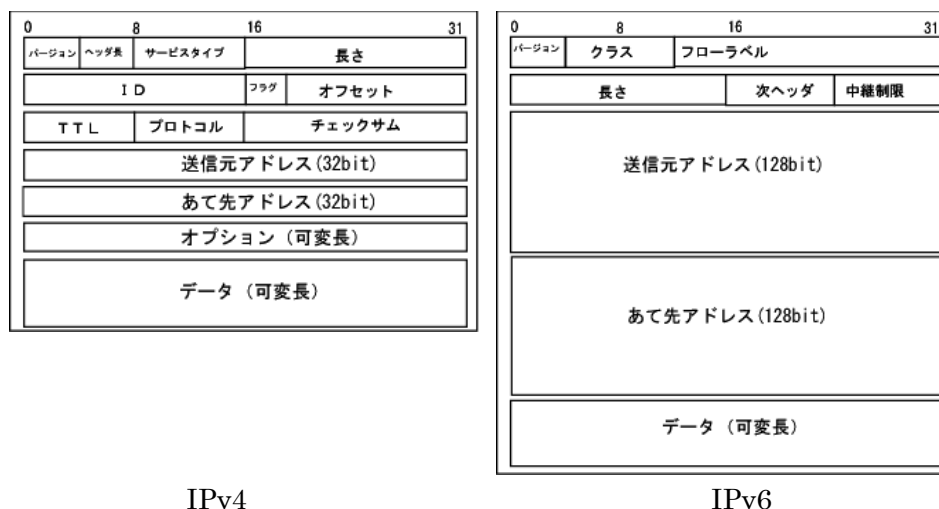


図 2 IP パケットの構造

2 TMCC 信号のストリーム制御関連情報

TMCC 信号のストリーム制御関連情報を表 1 にまとめる。

表 1 TMCC 信号のストリーム制御関連情報

名称	bit	内訳	bit	備考
スロット/ 相対Stream番号 対応表	480	スロット1の相対ストリーム番号	4	相対Stream番号:0-15
			
		スロット120の相対ストリーム番号	4	
相対Stream番号/ StreamID(TS_ID) 対応表	256	相対ストリーム番号0のStream_ID	16	MPEG-2 TSの場合TS_ID TLV(またはその他)の場合Stream_ID
		
		相対ストリーム番号15のStream_ID	16	
スロット/ Stream種別 情報	128	相対ストリーム0のストリーム種別	8	Stream種別 00000000: reserved 00000001: MPEG-2 TS 00000010: TLV 00000011-11111110: reserved 11111111: 割当なし
		
		相対ストリーム15のストリーム種別	8	
ポインタ 情報	3840	スロット1のトップポインタ	16	トップポインタ:スロット中の最初のパケットの先頭バイトを指定。ただし、0xFFFFは先頭バイト不在。 ラストポインタ:スロット中の最後の配置完了パケットの最終バイト+1を指定。ただし、0xFFFFは最終バイト不在。
		スロット1のラストポインタ	16	
		
		スロット120のトップポインタ	16	
		スロット120のラストポインタ	16	
パケット長	256	相対ストリーム0のパケット長	16	パケット長をバイト単位で指定。 不定長の場合、0x0000。
		
		相対ストリーム15のパケット長	16	
同期パターン ビット長	128	相対ストリーム0の同期パターンビット長	8	ヌル置換を行う際、その先頭数バイトには同期パターンを置く必要がある場合、その同期パターンの長さを0(0x00)~16(0x10)のビット長で記載する
		
同期パターン	256	相対ストリーム0の同期パターン	16	同期パターンを記載。MSBから同期パターンビット長分のビット数を有効とする。
		
		相対ストリーム15の同期パターン	16	

(1) 複数ストリーム伝送

暫定方式においては、最大 16 のストリームをひとつの衛星中継器で伝送可能である。

「スロット/相対 Stream 番号対応表」は、多重フレームを構成する 120 のスロットそれぞれに対して、0 から 15 のいずれかの相対ストリーム番号を割り当て、同一の相対ストリーム番号をもつスロットのデータは、ひとつのストリームであることを示す。

また、「相対 Stream 番号 / Stream_ID(TS_ID)対応表」は、相対 Stream 番号 0~15 の各ストリームに 16 ビットの識別番号 Stream_ID を割り当てられるようにしている。Stream が MPEG-2 TS の場合、Stream_ID は TS_ID となる。

「スロット / Stream 種別情報」は、各相対ストリーム番号のストリームの種別を表し、0x01 を MPEG-2 TS、0x02 を IP、0xff を割り当てなしとし、それ以外を将来に備え予約としている。

(2) パケット同期

「ポインタ情報」は各スロットに対するトップポインタとラストポインタで構成され、主にパケット同期とパケット無効化に用いられる。

図 3 にスロットのデータ領域にパケットを収納する例を示す。トップポインタは各スロットに収納されるパケットのうち、最初のパケット先頭バイト位置を示す。またラストポインタは各スロットに収納されるパケットのうち、最後のパケット末尾バイト位置 + 1 を示す。

これらのうち、パケット同期は主にトップポインタを使って行われラストポインタは、後述のパケットの無効化で利用される。

(3) パケットの無効化

LDPC 符号 + BCH 符号による誤り訂正能力を超えた誤りが発生し、受信不能なスロットが発生した場合、これをそのまま以降の処理に流してしまうと、ビット誤りによってパケット識別などが別サービスのパケット識別に偶然一致し、別サービスに悪影響を与える場合がある。したがって、訂正できなかったスロットに格納されたパケットについては、ヌルパケットまたはヌルデータに置換するか、パケット内にエラーインジケータフラグがある場合、これをエラー有りにセットすることにより、パケットの無効化をしてから以降の処理に受け渡す必要がある。

パケット無効化の方法を図 4 に示す。各スロットについて、BCH 符号の復号を行う場合、正しく復号できたかどうか判定が行う。ここで訂正不能であった場合、当該スロットで伝送されたパケットの無効化を行う。パケット無効化の範囲は、訂正不能であったスロットに全体または一部が含まれるパケットすべてが対象となる。したがって、スロット #N が訂正不能であった場合、スロット #N-1 のラストポイントからスロット #N+1 のトップポイント - 1 がパケット無効化の範囲となり、MPEG-2 TS の場合、トランスポートエラーインジケータに 1 をセットし、それ以外の場合ヌルデータに置換する。

なお、TMCC 信号の「パケット長」は各相対ストリームのパケットが固定長である場合、そのパケット長を、「同期パターン長」は各相対ストリームのパケット先頭に同期バイトがある場合に、その同期バイト長を、また「同期パターン」は各相対ストリームのパケット先頭に同期バイトがある場合に、その同期パターンを示す。これらの情報から、パケット長が固定値であって、同期バイトが指定されている場合、ヌルデータに置換した部分の先頭に指定された同期バイトを上書きすることで、未知の TS や IP 以外の未知のストリームであっても、パケットの形式に整えて、以降の処理に受け渡すことも可能である。

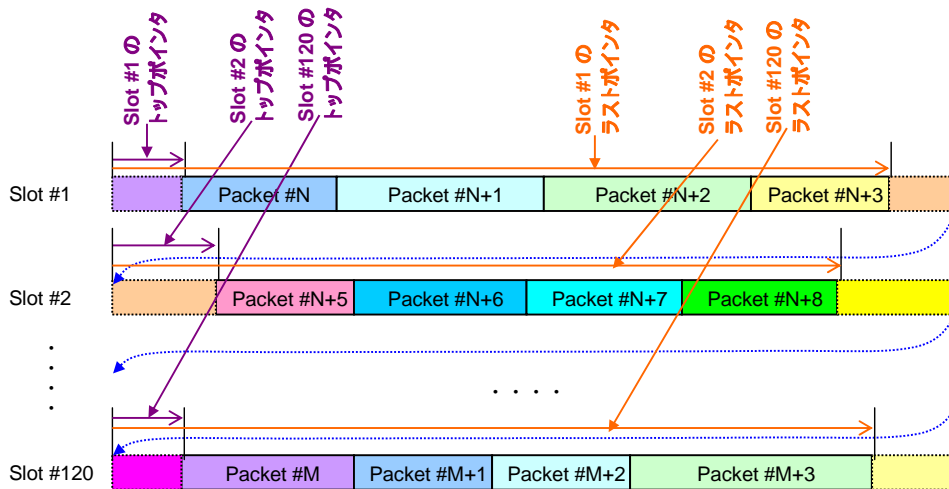


図 3 トップポイントとラストポイント

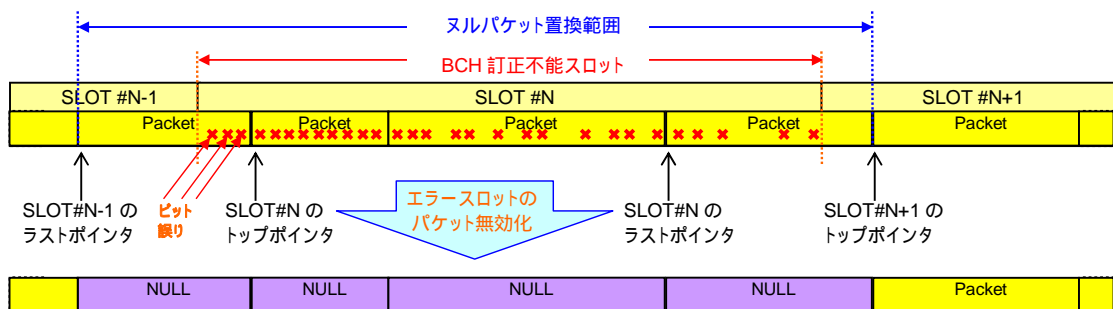


図 4 受信機におけるヌルパケット置換

4.5. パイロット信号による受信特性の改善

1. 想定される受信機の同期確立プロセスの概要

想定される受信機の初期同期の動作フローを図1に示す。

受信機は電源が投入(a)された後、まずシンボル同期が確立される(b)。その後、スロット同期の捕捉が試行(c)される。場合によっては、受信機の同期範囲設計目標の周波数範囲をステップスキャンし、捕捉できるポイントを探す(d)。

スロット同期が捕捉されると、スロット同期またはフレーム同期の変調シンボルの多重されている位置がわかるため、これら信号位置のゲート信号を、AGC回路に与え(e)、AGC回路はこれをもとに同期信号シンボルの電力を測定し、これをもとにAGC利得の調節を行う。これは、バックオフ運用される変調方式が時分割多重されると、衛星中継器のALCが誤動作するのと同様の理由で、受信機のAGCにおいても誤動作するためである。

この後、フレーム同期を捕捉する(f)。同期捕捉後、同期シンボルの信号点位置の受信位相回転量からキャリア再生用発振器の周波数誤差を検出することが可能である。ここで、周波数誤差を $\pm 115\text{kHz}$ 以内に合わせ込む必要ことが望ましい。これは、この後TMCCバーストを使ったキャリア再生に移行したとき、擬似同期がバースト周期分の1の周波数間隔で発生するためである(g)。

また、この時点ではTMCCバーストの位置が判別できるようになるので、同期およびTMCCの $1/2$ シフトBPSK

シンボル区間を示すゲート信号を生成(h)し、 $1/2$ シフトBPSK区間のみでゲートをかけて $1/2$ シフトBPSKによるキャリア再生を行うことが可能となる(i)。ここで位相同期のロック検出を行ないながら、キャリア再生周波数の微調整を行う(j)。

キャリア再生がロックした後、TMCC信号の復号を行う(k)。TMCC信号には、すべての変調シンボルの変調方式やバックオフ量に関する情報が含まれているので、この情報をもとに、各変調方式区間を判別するためのゲート信号を生成し(l)、キャリア再生を同期とTMCCだけでなく、すべてのシンボルを使ってキャリア再生を行う(m)。このとき使用する位相誤差テーブルは、16APSKおよび32APSKについては、初動用の位相誤差テーブルを使用するものとし、TMCCに含まれるAPSK変調のバックオフ情報(n)を考慮し生成されるものとする。これにより、位相ジッタの少ないキャリア再生に移行することができる。また、同期・TMCC以外に飽和増幅する変調方式があれば、それらも含めた区間を示すゲート信号を生成し、AGC回路に与える(o)ことで、AGCレベル設定の精度を上げることができる。

16APSKと32APSKの受信信号点については、衛星中継器の非線形の影響を受けているため、内周円上の信号点に比べ外周円上の信号点は振幅・位相歪を含んでいるため、キャリア再生におけるサイクルスリップや、受信特性の劣化の原因となる。そこで、パイロットシンボルを数秒間にわたり平均化して(p)、非線形の影響を受けた後の信号点配置を求め、これをもとに、キャリア再生に用いる位相誤差テーブルを非線形を受けた後の信号点配置に対応するように書き換えて(q)キャリア再生を行い(r)、復調する(s)ことで、サイクルスリップを抑え、またLDPC復号を行う際の尤度テーブルについても同様に書き換える(t)ことで、LDPC復号(u)時の劣化を抑えることができる。

以下の2~3章では、以上の動作のうち、補足が必要な部分について詳しく説明する。

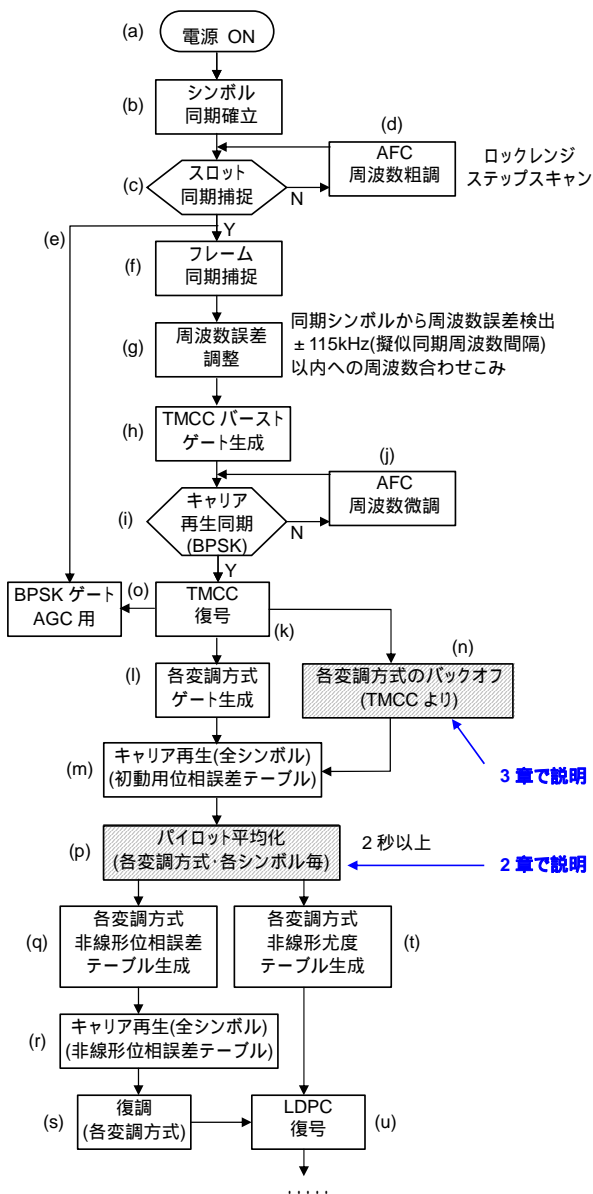


図1 想定する受信フロー

2. パイロット信号

2.1 パイロット信号の機能

高度 BS 伝送方式では、図 2 に示すように、各フレームの変調スロットごとに、32 シンボルを使ってパイロット信号を伝送している。32APSK については、各シンボルを 1 回伝送する(図 3 参照)。また、その他の変調方式についても 32 シンボルを使い、16APSK については各シンボルを 2 回、8PSK については各シンボルを 4 回、QPSK については各シンボルを 8 回、 $\sqrt{2}$ シフト BPSK については各シンボルを 16 回伝送している。受信機側でこのパイロット信号を平均化することで、非線形の影響を受けたあとの信号点配置を知ることができる。

図 4 に(a)送信時の信号点配置、(b) 非線形伝送路通過後の受信信号点、(c) パイロット平均化後の信号点配置の例を示す。(b)においては、外周円ほど信号点が内側に抑圧され、位相が回転している。また、(c)においてはパイロット平均化によって得られた信号点配置が受信信号点のほぼ中央に得られていることが確認できる。パイロット平均化で得られた信号点をもとに、LDPC 復号に用いる尤度テーブルおよび同期再生用位相誤差テーブルを更新することで、非線形による C/N-BER 特性およびサイクルスリップ特性の劣化を抑圧できる。なお、信号点配置が変更になった場合にも、受信機側でその変更を認識し、それに合わせた受信を行うことも可能である。

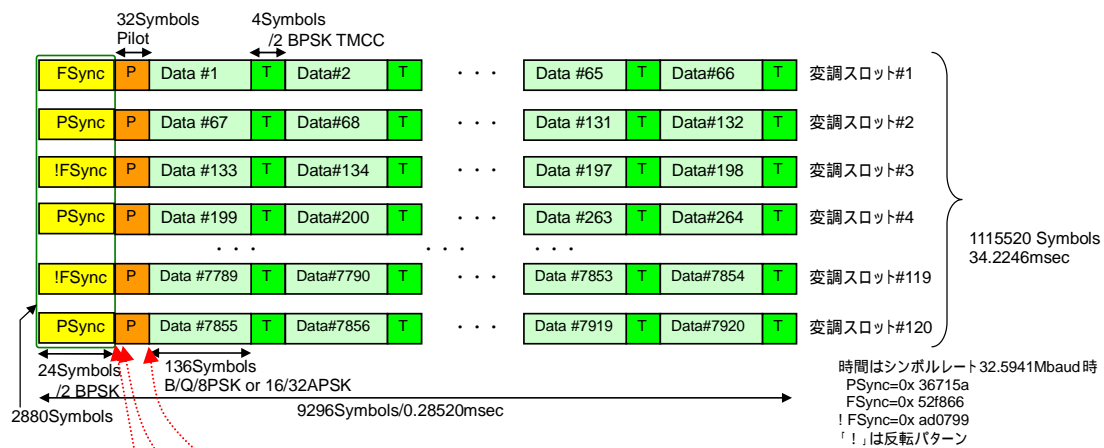


図 2 変調信号形式

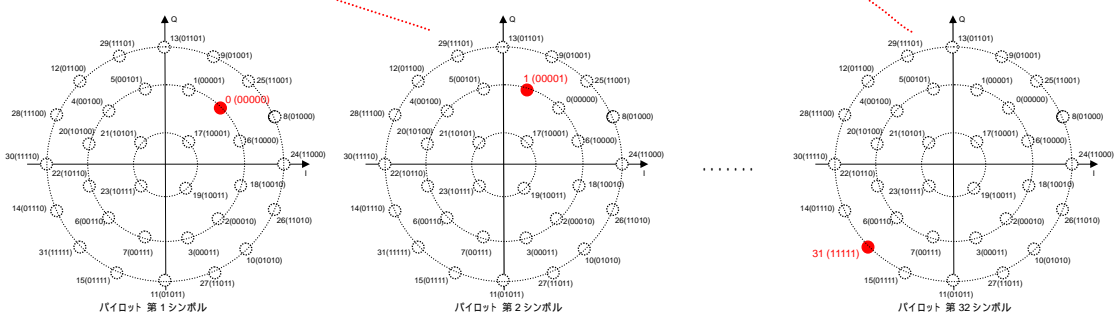
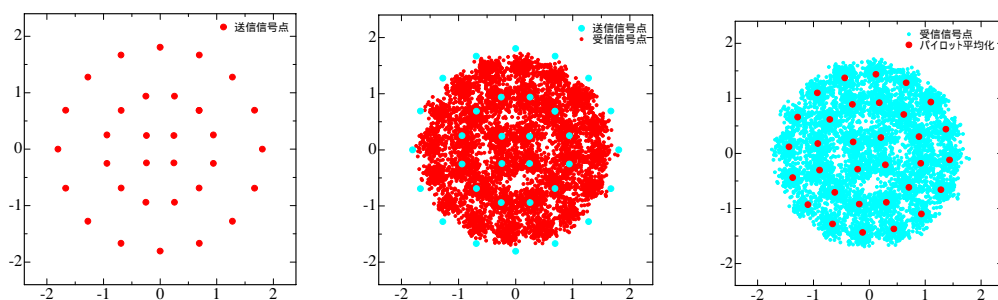


図 3 パイロットシンボルの例(32APSK)



(a) 送信信号点 (b) 受信信号点(非線形通過後) (c) パイロット平均化

図 4 パイロット平均化による非線形通過後の信号点配置の取得

2.4 LDPC 復号用尤度テーブル

図5の受信機構成の直行 LDPC 復号回路の詳細を図 8 に示す。パイロットによる非線形補償を行う場合に必要となる部分を「追加部分」とした。通常、LDPC 復号を行う場合、その信号が伝送されている変調方式、符号化率、およびその変調方式のシンボルを構成する各ビット(32APSK の場合であれば 5 ビット)ごとに、尤度テーブルを用意し、ルートローloffフィルタから出力される受信信号点に対し、シンボルを構成する各ビットの、1 とと思われる確率と 0 とと思われる確率の対数比 LLR(Log Likelihood Ratio)を求め、この LLR に対して LDPC 復号を行う。この場合、APSK 変調を非線形伝送路で伝送すると、外周の円上の信号点ほど、振幅の抑圧を受け、更に位相回転を受けることから、理想伝送路を想定した尤度テーブルを使って LDPC 復号を行うと、所要 C/N の上昇などの弊害を生ずる。

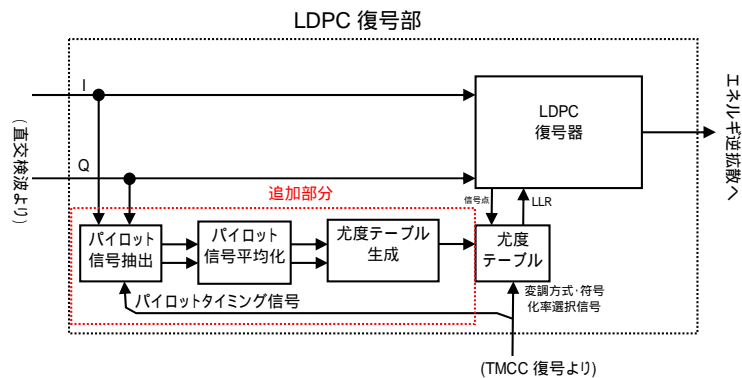


図 8 パイロットによる補償を行う場合の LDPC 復号の構成

パイロット信号を利用する場合、ルートローloffフィルタの出力からパイロット信号を抽出し、スロット内の同一シンボル毎に平均化を行う。平均化された信号点情報をもとに、尤度テーブルを構成するデータを生成し、尤度テーブルを書き換える。

2.5 パイロットの所要平均時間

パイロットの平均化不足による所要 C/N 劣化量が 0.1dB 以下となる所要平均化時間を求めると、32APSK4/5 については、平均フレーム回数を 44 回(所要時間 1.52 秒)、16APSK3/4 では 22 回(所要時間 0.756 秒)、8PSK3/4 では 11 回(所要時間 0.378 秒)、QPSK1/2 では 6 回(所要時間 0.206 秒)、 $\sqrt{2}$ シフト BPSK1/2 では 3 回(所要時間 0.103 秒)、QPSK1/4 では 6 回(所要時間 0.206 秒)となる。したがって、2 秒程度のパイロット平均化でいずれの場合もほぼ十分な精度が得られる。

3 TMCC 信号における衛星中継器のバックオフ情報

3.1 TMCC 信号

2.5 節の検討結果によれば、パイロットから信号点情報を抽出するのに 2 秒程度かかることになり、それまで全変調シンボルを使ったジッタの少ないキャリア再生ができないことになる。そこで、TMCC 信号に表 7 に示す「スロット/変調方式情報」が含まれている。これにより、各フレームのスロットごとに、変調方式、符号化率、およびバックオフが指定できる。受信機側では、この情報を使って初期受信用にバックオフを考慮した位相誤差テーブルと尤度テーブルを生成できるようにしている。

変調方式の指定に当たっては、表 8 に示すように、32APSK 以外の変調方式を割り当てる場合は、5 スロット単位とし、32APSK に比べ効率が低下する割合をダミー スロットに置き換える。たとえば 16APSK をスロットに割り当てるときには、5 スロットのうちデータ伝送に使用できるのは 4 スロットで、残り 1 スロットにはダミーデータを挿入するものとする。このダミーデータは実際には伝送されないが、フレームのビットレートを一定にする効果を持つため、ISDB-S でも同様な考え方が用いられている。

表7 TMCC 信号のロット/変調方式情報

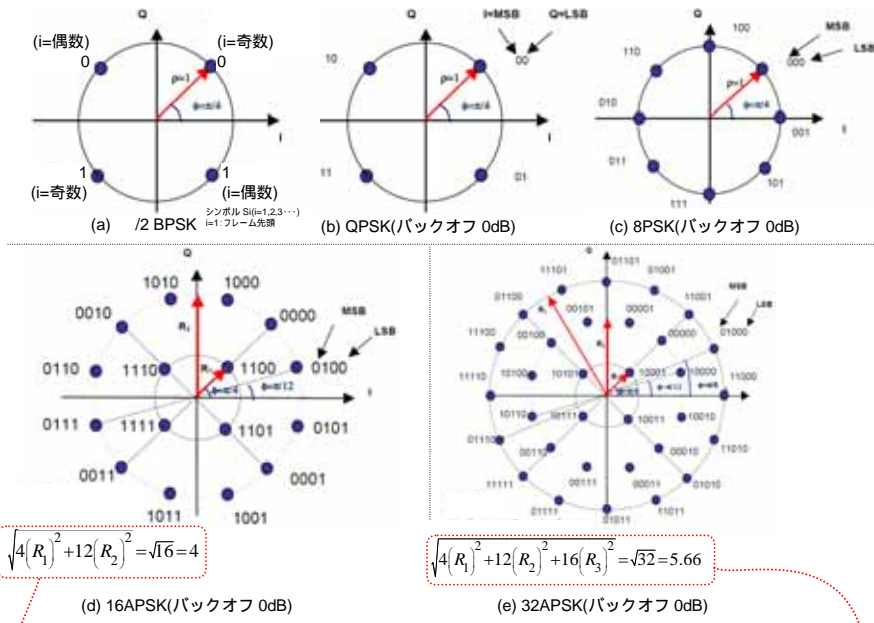
名称	bit	内訳	bit	備考
ロット/ 変調方式 情報	1920	ロット1の変調	4	変調方式5種類 0000:reserved 0001: /2BPSK 0010:QPSK 0011:8PSK 0100:16APSK 0101:32APSK 0110-1110:reserved 1111:割当なし 内符号11種類 0000: reserved 0001: 1/4 0010: 1/3 0011: 2/5 0100: 1/2 0101: 3/5 0110: 2/3 0111: 3/4 1000: 4/5 1001: 5/6 1010: 7/8 1011: 9/10 1100-1110: reserved(訂正後) 1111: 割当なし バックオフ(OBO=0 ~ 25.5dB) (8bit) OBO[dB] × 10を2進数表示
		ロット1の内符号	4	
		ロット1の衛星出力バックオフ	8	
		
		ロット120の変調	4	
		ロット120の内符号	4	
		ロット120の衛星出力バックオフ	8	

表8 ロット割り当て規則

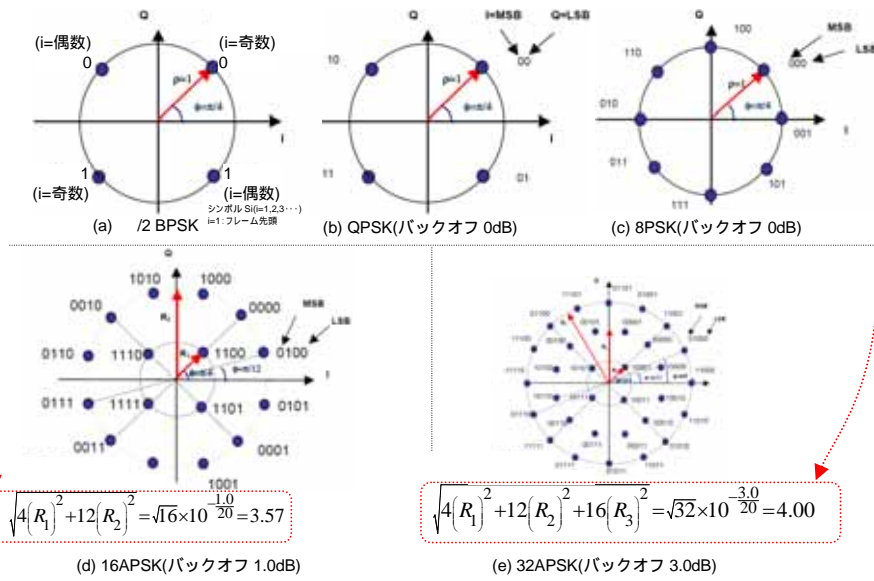
変調	周波数 効率 [bps/Hz]	規格化 効率	割り当て 単位 [slot]	データ	ダミー
				[slot]	[slot]
32APSK	5	1	1	1	0
16APSK	4	4/5	5	4	1
8PSK	3	3/5	5	3	2
QPSK	2	2/5	5	2	3
/2シフト BPSK	1	1/5	5	1	4

符号化率とバックオフについては、特に 5 スロット単位とする必要はなくダミーロット以外の部分にロット単位での指定が可能である。ここでいうバックオフは、衛星中継器における当該変調方式の増幅動作点を指し、変調飽和増幅レベルを基準にした平均電力を dB 表示したものである。符号化率ごとにバックオフ指定ができるようにしているのは、同じ変調方式であっても、符号化率が大きいほど、大きなバックオフを必要とするからである。

受信機では TMCC 信号のバックオフ情報を使い、図 9 に示すように基準となる信号点配置を更新し、これに合わせた位相誤差テーブルおよび尤度テーブルを生成または選択し初期受信を行う。



位相誤差テーブル・尤度テーブルの基準信号点
(TMCC 受信前)



位相誤差テーブル・尤度テーブルの基準信号点

図 9 TMCC 信号「スロット/変調方式情報」による位相誤差テーブル・尤度テーブル用基準信号点の更新

4.6. TMCC 信号によるバルク伝送機能

1. バルク伝送

ISDB-S 方式を使った BS デジタル放送では最悪月時間率 99.7% で 52.17Mbps の伝送容量を確保している。ロールオフ率の低減や LDPC 符号などの最新の技術を使った場合でも、現在の衛星 EIRP や帯域幅の条件下で、同様のサービス時間率を確保した場合の伝送容量は概ね 70Mbps が限度である。

暫定方式においては、サービス時間率を確保しつつ大容量のデータを伝送するため、バルク(bulk)伝送技術を導入している。バルク伝送は、複数の伝送路を合成してひとつの伝送路として使い、大容量データの伝送を行う技術である。一例として、ISDN の転送容量 64kbps のチャンネルを 2 つ同時に使用して、128kbps でのデータ転送を行なうサービスなどが知られている。

2. 暫定方式におけるバルク伝送

暫定方式においては、図 1(a)に示すような単純な複数チャンネル合成のほか、同図(b)のように、スロット単位での合成伝送も可能である。

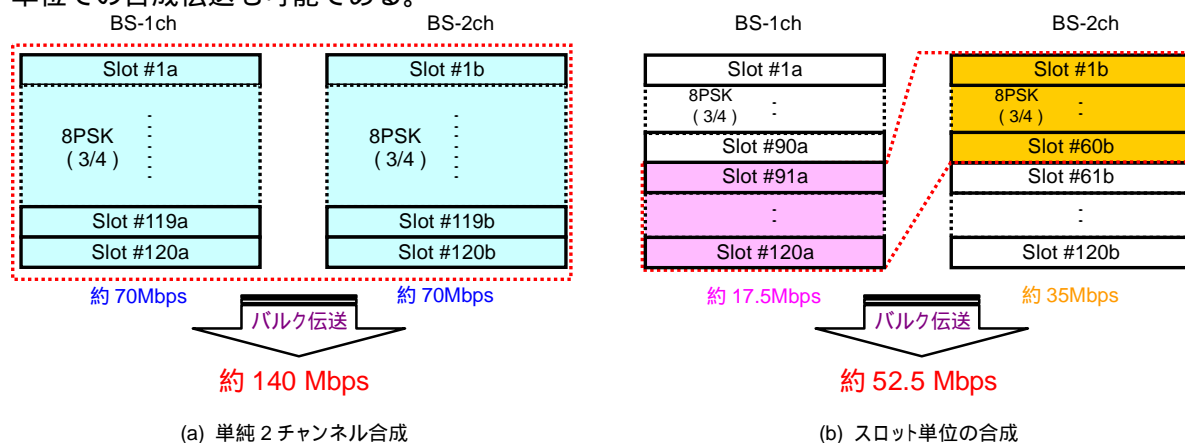


図 1 暫定方式のバルク伝送

3. TMCC 信号のバルク伝送関連情報

TMCC 信号のバルク伝送関連情報を表 1 にまとめる。

表 1 TMCC 信号のバルク伝送関連情報

名称	bit	内訳	bit	備考
フレームカウンタ	8		8	1フレームごとにインクリメント
他チャンネル Stream 接続情報	512	相対ストリーム0の他ch接続情報	32	接続フラグ(2bit) 前接: 有(1)/無(0), 後接: 有(1)/無(0) 接続メディア 前接(2bit): BS(0),110CS(1),... 後接(2bit): BS(0),110CS(1),... 前接続物理ch番号(6bit): 後接続物理ch番号(6bit): 前接続相対Stream番号(4bit): 後接続相対Stream番号(4bit): 接続イネーブル(1bit): reserved (5bit):
		
		相対ストリーム15の他ch接続情報	32	

(1) フレームカウンタ

フレームカウンタは1フレームごとにインクリメントするカウンターであり、バルク伝送を行う際のチャンネル間同期をとるために利用する。

バルク伝送を行う場合、利用するチャンネル間で送信機の

- ・動作クロックが同期している
- ・フレームカウンタの値が一致している

という条件が必要がある。

フレームカウンタの値を強制的に同じ値にセットすることは容易であるが、チャンネル間でフレームのタイミングは、電源投入のタイミングなどでもずれるため、チャンネル間では±1 フレーム未満の時間ずれが生じ得ることになる。

受信機側では、フレーム同期とフレームカウンタの値が合致するように、フレームタイミングが進んでいる方のチャンネルに遅延素子を入れてタイミングを合わせることで、チャンネル間の同期をとることが可能となる。

(2) 他チャンネル Stream 接続情報

他チャンネル Stream 接続情報は、バルク伝送に使われるストリームが組み合わせられる相手チャンネルの情報が含まれている。暫定方式では1チャンネルあたり16ストリームまで伝送可能であるが、それぞれのストリームについて、構成スロット群の前・後に接続されるストリームの有・無、接続先のメディア(BS、広帯域CS、その他)、接続先のチャンネル番号(BS:1~23ch、広帯域CS:ND1~ND24ch)、接続先の相対ストリーム番号に加え、バルク伝送を開始するタイミング信号として、接続イネーブルも伝送される。

(3) 受信機の動作

受信機は、受信中のストリームの接続フラグを常時監視し、フラグが立ったとき、その接続メディアおよび接続チャンネル番号を確認し、対応するバルク伝送受信チューナーを起動する。バルク伝送用チャンネルが受信状態に入ったら、接続元のチャンネルとタイミングが一致するように、フレーム同期およびフレームカウンタを参照してチャンネル間の遅延量を調整し、バルク伝送接続先のストリーム受信を開始する。接続イネーブルがアサ - トされたら、そのTMCC信号が伝送されたフレームの2フレーム後にバルク伝送を開始する。また、接続イネーブルがネゲートされたら、そのTMCC信号が伝送されたフレームの2フレーム後にバルク伝送を終了、バルク伝送接続先のチューナーの電源をOFFにする。

4.7. PCR の付け替え方法

変調方式 16ASPK、符号化率 1/3 により、5 スロット(有効スロットは 4 スロット)を使用して MPEG-2 TS を伝送する場合を例に説明する。

表 2 によれば、符号化率 1/3 で伝送できる 1 スロットあたりの TS パケットは 10 パケットである。したがって、5 スロット分の時間を使って伝送できるパケット数は 10 パケットなので、図 1(a)に示すように $10 \times 4 = 40$ パケットが伝送できることになる。

委託放送事業者(放送局)は、このパケットストリームをスロット割り当てする前に、PCR の付け替えを行う。PCR の付け替えは 5 スロット(同期、パイロット、TMCC を含む)分のメモリ($5810 \times 5 \text{Byte} = 46480 \times 5 \text{bit} = 232400 \text{bit}$ 、3.1 節の図 1 を参照)上で行う。5 スロット分の時間に含まれる $188 \times 8 \times 40 = 60160$ ビットのデータを同時間内に 232400 ビットのメモリ上に展開するため、同図(b)に示すように、 $232400/60160 = 2905/752$ の速度変換を行う。また展開を行う際、1TS を書き込む毎に、19.5 バイトの間隙をあけて、次の TS を書き込む。ここで書き込んだ TS とそれに後続する 19.5 バイトの間隙を合わせてここではセルと呼ぶことにすると、展開に使うメモリ 1 スロットは 28 のセルで構成され、ここでは最初の 10 セルのみ使い、残り 18 セルには NULL パケットを書き込むこととする。以上のメモリ上への展開が完了したら、展開された TS に対し適切な値をとる PCR に付け替えを行う。

PCR の付け替えが完了したら、同図(c)に示すように、書き込んだときと同じ速度で読み出しを行い、フレームのスロット上へ PCR を付け替えた TS を先頭の同期バイトを除去して配置する。この状態で受託業者への信号受け渡しを行う。

委託事業者から信号を受け取った受託業者は、この信号を 5/120 に時間圧縮し、120 スロットのうちの 5 スロットに納め、伝送路符号化を行い送信する。また受信機では、この信号を受信し、120/5 に時間伸張する。すなわち、受信機側でも同図(c)の信号が得られることになる。

受信機では同図(c)の信号に対し、同図(d)の 232400bit 上のセルに同期バイトを付加した TS を展開する。展開を行う際、1TS を書き込む毎に、19.5 バイトの間隙をあけて、次の TS を書き込む。また 10 セル書き込んだ後の 18 セルには同様の間隙を設けながら、NULL パケットを充填する。

展開が終了したら、メモリ上から間隙を廃棄しながら、 $207.5/188$ の時間伸張を行う。これにより、適切な PCR を含む等間隔の 188 バイト長 TS のストリームが復元できる。

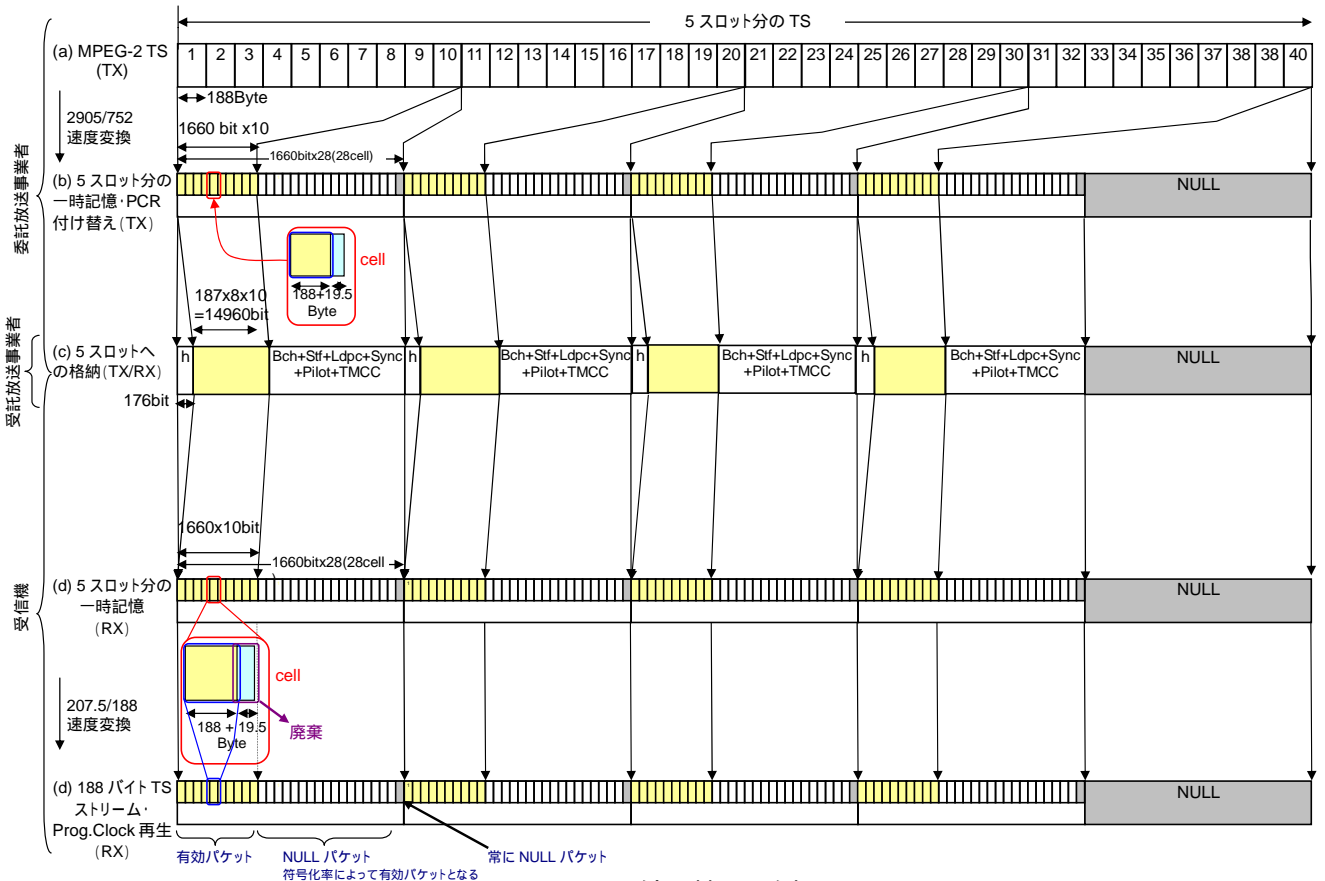


図 1 PCR 付け替えの例

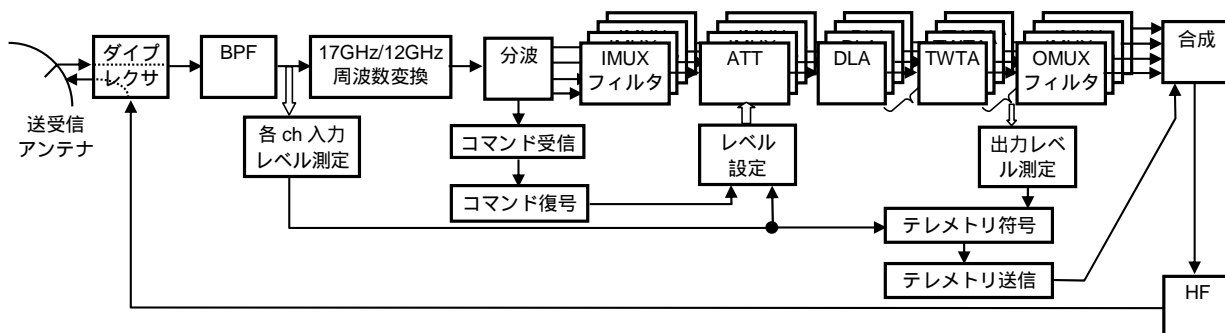
4.8. 衛星中継器 ALC 制御

1. 衛星伝送路の構成

図 1 に放送衛星中継器の構成例を示す。衛星搭載の受信機入力電力および進行波管増幅器 TWTA 出力電力は、それぞれ入力レベル測定部および出力レベル測定部で測定され、テレメトリ信号により管制局に送られる。自動利得制御(ALC)用 ATT の設定については受信機入力電力の測定値および管制局から送られるコマンドにより指定された入力バックオフ設定値に基づいて行われる。

2. TWTA の動作点

TWTA の入出力特性例を図 2 に示す。この例では出力バックオフ OBO=1dB および 3dB として運用する場合、入力バックオフ IBO に換算すると、それぞれ 5dB および 9dB に対応することを示している。



BPF: Band Pass Filter, IMUX: Input Multiplexer, ATT: Attenuator, DLA: Driver Linear Amplifier
TWTA: Traveling Wave Tube Amplifier, OMUX: Output Multiplexer, HF: Harmonic Filter

図 1 放送衛星中継器の構成例

現在の BS デジタル放送で利用可能な B/Q/8PSK の組み合わせによる時分割多重信号では、TWTA の飽和点でもっとも効率のよい伝送ができるため、IBO=OBO=0dB となるような動作点で運用される。実際には、入力レベルが IBO=0dB (OBO=0dB) となるように、減衰器 ATT の値を自動的に調整する ALC が行われる。

一方、多値 ASPK 変調については、飽和点における動作では、増幅器の非線形特性の影響で誤り率特性が劣化するため、飽和点より小さな出力で動作させたほうがビットレートあたりの電力効率が良くなる。例えば、16APSK については 1dB 程度、また 32APSK については 3dB 程度の OBO をとった場合、ビットレートあたりの電力効率が最大となる。

したがって、暫定方式において、たとえば、8PSK、32APSK を時分割多重伝送する場合、前者については、OBO を 0dB とし、また後者については OBO を 3dB 程度とすることで、各変調方式について最適な特性が得られることになる。

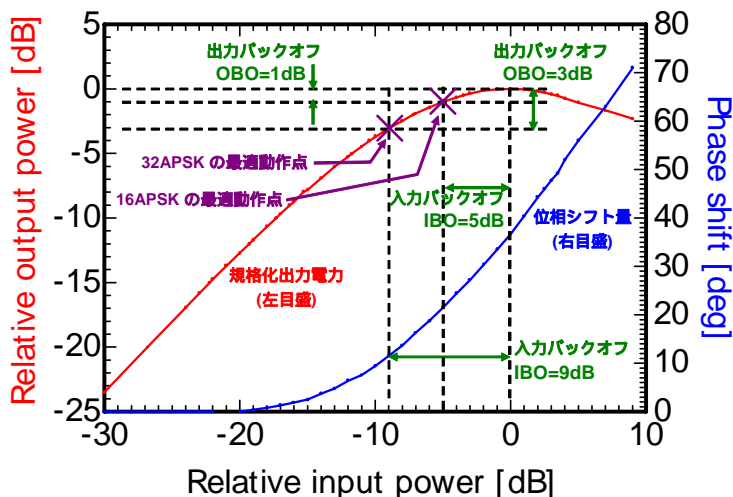


図 2 衛星中継器用 TWTA の特性例

3. バックオフ変調波多重時の課題

8PSK、32APSK を時分割多重伝送する場合、以下のような問題が発生する。

図 1 放送衛星中継器において、入力レベル測定部および出力レベル測定部では、信号電力の平均値を測定しているため、異なるバックオフ（異なる電力）に設定された変調信号を時分割多重した場合、検出される電力値は各変調方式の電力値を時分割多重で伝送する場合の時間割合で重み付けした平均となる。

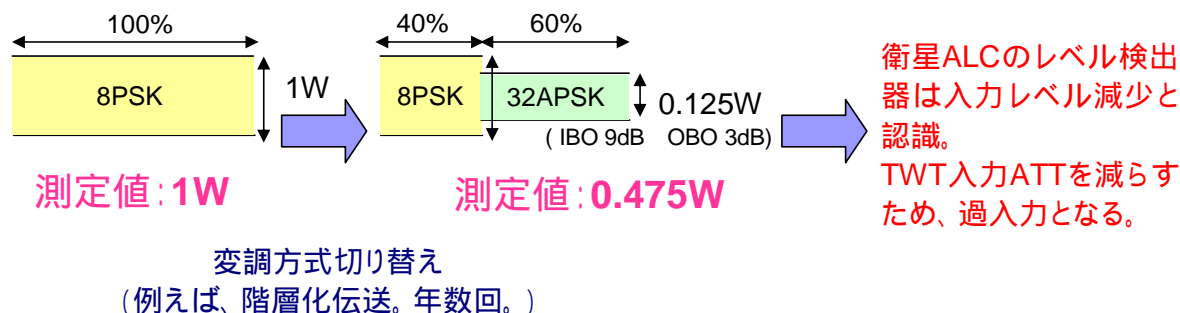


図 3 放送衛星中継器の ALC 誤動作

たとえば、図 3 に示すように、8PSK(時間占有率 40%、OBO=0dB)、32APSK(時間占有率 60%、OBO=3dB)とした場合、入力レベル検出部では、OBO=3dB は IBO=9dB に対応しているため、IBO=0dB(この区間の入力電力を 1 W とする)の時間占有率は 40%で、IBO=9dB (出力 0.125W に対応)の時間占有率は 60%となる。このとき入力レベル測定部で検出される電力値は $1W \times 0.4 + 0.125W \times 0.6 = 0.475W$ となり、8PSK 部分が IBO=0dB で運用されていたとしても、検出値としてはその 47.5% (IBO=約 3.2dB) の値となる。

レベル設定部において、入力レベル測定部の測定値に基づいて減衰器 ATT の値を制御する ALC 制御により、8PSK 変調波の入力レベルを IBO=0 dB (すなわち、OBO=0dB) 一定とするように設定されているとき、OBO=0dB の 8PSK と OBO=3dB の 32APSK の時分割多重信号が入力されたとすると、入力レベル検出部は、入力レベルの低下を検知するため、レベル設定部は減衰器 ATT 値を小さくして、TWTA の入力レベルを上げることになる。その結果、TWTA の動作点が設定動作点より高いレベルとなり、8PSK、32APSK とともに、最適な動作点からはずれ、伝送特性の劣化を引き起こすことになる。

4. 解決策

この課題を解決するために以下の手順による方法を提案する。

<手順 1> 簡易レベル設定

- (1) 変調方式の切り替え前に、テレメトリ信号から、IBO 設定値 IBO1 のときの受信機入力電力 P1[dBm]を取得。
- (2) コマンドにより、衛星中継器を固定利得モードに移行させる。
- (3) TMCC 信号により、変調方式切り替え。
- (4) テレメトリ信号から、受信機入力電力 P2[dBm]を取得。
- (5) 変調方式変更前の IBO 設定値 IBO1 をコマンド信号により、
$$IBO2 = IBO1 - (P2 - P1)[dB]$$
に変更する。
- (6) コマンドにより ALC モードに復帰させる。

通常、変調方式の組み合わせや占有割合を変更する場合、以上の手順 1 により、ALC 設定値を最適値に変更することが可能である。しかしながら、この手順を繰り返していくうちに、P1 および P2 の測定誤差が IBO 設定値に累積されていくことになる。

そこで、より精度良く IBO 設定を行う場合、手順 1 に引き続き、以下の手順 2 および手順 3 を行う。

<手順 2> 飽和増幅される変調方式のレベル調整

- (1) AGC 利得を固定した地上受信機において、TMCC 信号の情報(スロット/変調方式情報)を元に、飽和点動作の変調方式のみにウィンドウをかけ、その変調方式部分の電力 P3 を測定する。コマンドにより IBO 設定値を上下に変更し、P3 が最大となる IBO 設定値を探索しその値に固定する。

以上により、IBO=0dB で運用される変調方式については、飽和点で増幅されるようにレベル設定が完了する。

一方、32APSK のように一定のバックオフをとって運用される変調方式については、正しいバックオフで運用されているかは分からない。そこで、手順 2 で飽和点動作の変調方式のレベル設定が終了した後、以下の手順によって、バックオフ運用される変調方式のレベル設定を行う。

<手順 3> バックオフ増幅される変調方式のレベル調整

- (1) AGC 利得を固定した地上受信機において、TMCC 信号の情報を元に、飽和点動作の変調方式のみにウィンドウをかけ、その変調方式部分の電力 P4[dBm]を測定する。同様に、所定のバックオフ(たとえば OBO=3dB)をとって動作させる変調方式のみにウィンドウをかけ、その変調方式部分の電力 P5[dBm]を測定し、後者のバックオフ $OBO' = P4 - P5$ を求める。
- (2) $OBO > OBO'$ なら、アップリンク地球局の変調器において、バックオフ運用変調方式の振幅を下げるよう、変調器のマッパ振幅を変更する。逆に $OBO < OBO'$ なら、アップリンク地球局の変調器において、バックオフ運用変調方式の振幅を上げるよう、変調器のマッパ振幅を変更する。
- (3) (1),(2)を繰り返し、 $|OBO - OBO'| =$ が所定の値以下になったら、当該バックオフ運用変調方式の振幅を固定する
- (4) すべてのバックオフ変調方式について、(1)~(3)を繰り返す。

以上により、バックオフ運用される変調方式についても、規定の OBO で増幅されるようにレベル設定が完了する。

略語・用語集

標準規格並びに解説欄で使用される略語の綴りと意味を示す。

16APSK	16-ary Amplitude and Phase Shift Keying 振幅・位相の異なる 16 点の信号点配置で構成されるデジタル振幅位相変調方式。
32APSK	32-ary Amplitude and Phase Shift Keying 振幅・位相の異なる 32 点の信号点配置で構成されるデジタル振幅位相変調方式。
8PSK	8-ary Phase Shift Keying 8 相のデジタル位相変調方式。
AGC	Automatic Gain Control 自動利得制御。入力信号レベルが変化しても、出力信号レベルが一定になるよう、増幅器の利得を制御する回路。
ALC	Automatic Level Control 自動レベル制御。入力信号レベルが変化しても、出力信号レベルが目的の値となるよう、利得を制御する回路。
BER	Bit Error Ratio ビット誤り率
BCH code	Bose-Chaudhuri-Hocquenghem code ランダム誤り検出/訂正用のブロック符号方式の 1 つ。
BPF	Band Pass Filter ある周波数範囲の周波数の信号だけを通過させ、それ以外の周波数の信号を減衰させるフィルタ。
BPSK	Binary Phase Shift Keying 2 相のデジタル位相変調方式。
BS	Broadcasting Satellite 11.7-12.2GHz のチャンネルプランされた周波数帯での衛星放送サービスまたは衛星放送のための衛星本体。
C/N	Carrie-to-Noise power ratio CN 比。搬送波電力と雑音電力の比。
DVB-S2	Digital Video Broadcasting via Satellite (2nd generation) DVB が策定したデジタル衛星放送・衛星素材伝送の仕様。
FEC	Forward Error Correction 一定のアルゴリズムにより受信側でビット誤りを訂正すること、またはそのための符号化方式の総称。

IBO	Input Back Off 入力バックオフ
IMUX	Input Multiplexer 入力マルチプレクサ
IP	Internet Protocol インターネットプロトコル
ISDB-S	Integrated Services Digital Broadcasting for Satellite 現在のBS/広帯域CS デジタル放送方式
LDPC	Low Density Parity Check (codes) 低密度パリティ検査符号。非常に疎な検査行列により定義される線形符号。
LSB	Least Significant Bit 数値をバイナリで表現した場合の最下位ビット
MPEG-2	Moving Picture Experts Group phase 2 MPEG により策定された規格のひとつ。映像圧縮、音声圧縮、多重化技術などからなる
MSB	Most Significant Bit 数値をバイナリで表現した場合の最上位ビット
OBO	Output Back Off 出力バックオフ
ODU	Out-Door Unit BS 受信アンテナの周波数コンバーター部。
OMUX	Output Multiplexer 出力マルチプレクサ
PCR	Program Clock Reference MPEG-2 システムの基準クロックを送受で同期させるために伝送する時間基準信号
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying 4相のデジタル位相変調方式。
TMCC	Transmission and Multiplexing Configuration Control 複数の伝送モード(変調方式・誤り訂正符号化率)など伝送や多重に関する制御を行う制御信号。
TS	Transport Stream MPEG-2 のシステムのパケットストリーム。
TWTA	Traveling Wave Tube Amplifier 進行波管増幅器。特に衛星通信・放送で用いられ、マイクロ波帯用の増幅器として利用される。

伝送路符号化暫定方式の実証実験案

○実験概要

目的

本実験は、ARIB で審議中の高度衛星デジタル放送の伝送路符号化暫定方式について、疑似中継器による室内実験、RF 実験および衛星伝送実験による技術実証を行なうことを目的としている。各実験の位置づけは以下に示すとおりである。

A. 疑似中継器による室内実験（以下、疑似中継器実験）

伝送路符号化暫定方式で採用するシンボルレート、ロールオフ率の決定および暫定方式の伝送特性及び機能確認

B. RF 実験

地上局設備・伝送路（140MHz～17GHz への周波数変換、17GHz/12GHz トランスレータ、12GHz～BS-IF への周波数変換）での伝送特性の固定劣化量の確認

C. 衛星伝送実験

疑似中継器実験で決定した伝送パラメータを用いたときの、衛星伝送路における暫定方式の基本性能の確認

実験スケジュール

2007年12月	2008年1月	2008年2月
← 疑似中継器実験 →	← 衛星伝送実験準備 → ← RF 実験 → ← 衛星伝送実験 →	

- ・ 疑似中継器実験（C/N .vs. BER 測定等）
2007/11/26（月）～2008/1/11（金） NHK 放送技術研究所
- ・ 衛星伝送実験準備
2008/1/15（火）～1/25（金） NHK 放送センター
- ・ RF 実験（C/N .vs. BER 測定等）
2008/1/28（月）～2/1（金） NHK 放送センター
- ・ 衛星伝送実験（C/N .vs. BER 測定等）
2008年2月第1週から3週間程度 NHK 放送センター

実験項目一覧

A. 擬似中継器実験

番号	実験項目	概要	備考
A-1	8PSK(3/4)の所要 C/N 測定	シンボルレート、ロールオフ率を変えて8PSK(3/4)の所要 C/N 測定	シンボルレート、ロールオフ率暫定値の選定
A-2	32APSK(4/5)の所要 C/N 測定	シンボルレート、ロールオフ率を変えて32APSK(4/5)の所要 C/N 測定	シンボルレート、ロールオフ率暫定値の選定
A-3	隣接チャンネル間干渉下での所要 C/N 測定	シンボルレート、ロールオフ率を変えて8PSK、32APSK、ISDB-S 方式の組み合わせについて、隣接チャンネルからの干渉がある状態で所要 C/N を測定	シンボルレート、ロールオフ率暫定値の選定
A-4	シンボルレート、ロールオフ率暫定値の選定	A-1~A-3 の結果より、前提条件を満たすシンボルレート、ロールオフ率を1通り選定	シンボルレート、ロールオフ率暫定値の選定
A-5	シンボルレート、ロールオフ率暫定値による隣接チャンネル間干渉下での所要 C/N 測定	シンボルレート、ロールオフ率の暫定値を用いて、隣接チャンネル間干渉の影響が少ないことを確認	シンボルレート、ロールオフ率暫定値の選定
以後の測定では、シンボルレート、ロールオフ率は選定した暫定値を用いる			
A-6	C/N. vs. BER 特性測定 (IF 折り返し、擬似中継器折返し)	IF 折り返しおよび擬似中継器折返しでの各変調方式・符号化率について C/N. vs. BER 測定	伝送路符号化性能確認
A-7	ODU 挿入時の C/N. vs. BER 特性測定	擬似中継器折返しでの、8PSK(3/4) 16APSK(3/4)、32APSK(4/5) について ODU 挿入時の C/N. vs. BER 測定	伝送路符号化性能確認
A-8	同期限界測定	$\pi/2$ シフト BPSK 1/2、QPSK 1/2、8PSK 3/4、16APSK 3/4、32APSK 4/5 のキャプチャレンジ、ロックレンジ、同期限界 C/N 測定	伝送路符号化性能確認
A-9	遅延時間測定	8PSK(3/4) の画像エンコーダ/デコーダ折返し、IF 折返しによる遅延時間測定	伝送路符号化性能確認
A-10	TLVモード動作確認	ロジックアナライザ等を用いた TLV モードの動作確認	伝送路符号化機能確認

B. RF 実験

番号	実験項目	概要	備考
B-1	C/N. vs. BER 特性測定 (17GHz/12GHz トランスレーター折返し)	17GHz/12GHz トランスレーター折返しでの各変調方式・符号化率について C/N. vs. BER 特性を測定	伝送路符号化性能確認 (固定劣化の評価)

C. 衛星伝送実験

番号	実験項目	概要	備考
C-1	スペクトル、占有帯域幅確認	$\pi/2$ シフト BPSK(1/2)、QPSK(1/2)、8PSK(3/4)、16APSK(3/4)、32APSK(4/5)のスペクトラム、占有帯域幅の測定	要求条件への整合確認
C-2	C/N.vs.BER 特性測定	各変調方式・符号化率について C/N.vs.BER 特性を測定	伝送路符号化性能確認
C-3	ODU 挿入時の C/N.vs.BER 特性測定	8PSK(3/4) 16APSK(3/4)、32APSK(4/5)について ODU 挿入時の C/N. vs. BER 測定	伝送路符号化性能確認
C-4	同期限界測定	$\pi/2$ シフト BPSK(1/2)、QPSK(1/2)、8PSK(3/4)、16APSK(3/4)、32APSK(4/5)のキャプチャレンジ、ロックレンジ、同期限界 C/N 測定	伝送路符号化性能確認
C-5	総合特性	各種 BS アンテナ受信による映像・音声伝送確認、階層伝送の機能確認、複数 TS 多重伝送確認	伝送路符号化機能確認
C-6	バルク伝送確認	バルク伝送機能による 2 中継器によるスーパーハイビジョン伝送	伝送路符号化機能確認
C-7	32APSK 映像伝送	32APSK を用いた 1 中継器によるスーパーハイビジョン伝送	伝送路符号化機能確認

A. 擬似中継器実験

1. 実験場所・日程

場所：NHK 放送技術研究所

日程：

- ・ 2007/11/26(月)～12/25 (金)

擬似中継器を用いた C/N .vs. BER 測定と基本性能検証（同期特性、遅延時間）

2. 実施体制

- ・ 衛星高度化実証実験タスクグループ

3. 前提条件

- ・ 16/32APSK 変調の擬似中継器折返しにおける C/N .vs. BER 測定で設定する OBO 値は、擬似中継器を用いて決定した値を用いることとする。
- ・ 干渉実験における所要 C/N 測定チャンネルは BS15ch、隣接チャンネルは BS17ch とする。

4. シンボルレート、ロールオフ率の暫定値の選定

(A-1)：擬似中継器折返しでのシンボルレート、ロールオフ率を変えて 8PSK(3/4)の所要 C/N 測定

手順1：C/No と情報ビットレートの設定

- ・ C/No の値を 85.30dBHz(現行 BS デジタル放送のナイキスト帯域幅 28.86MHz あたりの C/N 値 10.7dB に相当)以下とする。
- ・ 情報ビットレートはなるべく大きいこと

手順2：シンボルレート、ロールオフ率は以下の基準で設定する。

- ・ ロールオフ率 4 種類(0.1、0.15、0.2、0.25)について、シンボルレートを変えて所要 C/N を測定。
- ・ シンボルレートは占有帯域幅 34.5MHz 以内となる最大シンボルレート（計算機シミュレーション値）を初期値とし、他に 3 点程度。
- ・ シンボルレートの 2 点程度は、C/No 要求条件を満たすように選定する。

(図 1 参照)

(C/N .vs. BER 測定回数：4×4=16 シンボルレート 4 種：ロールオフ率 4 種)

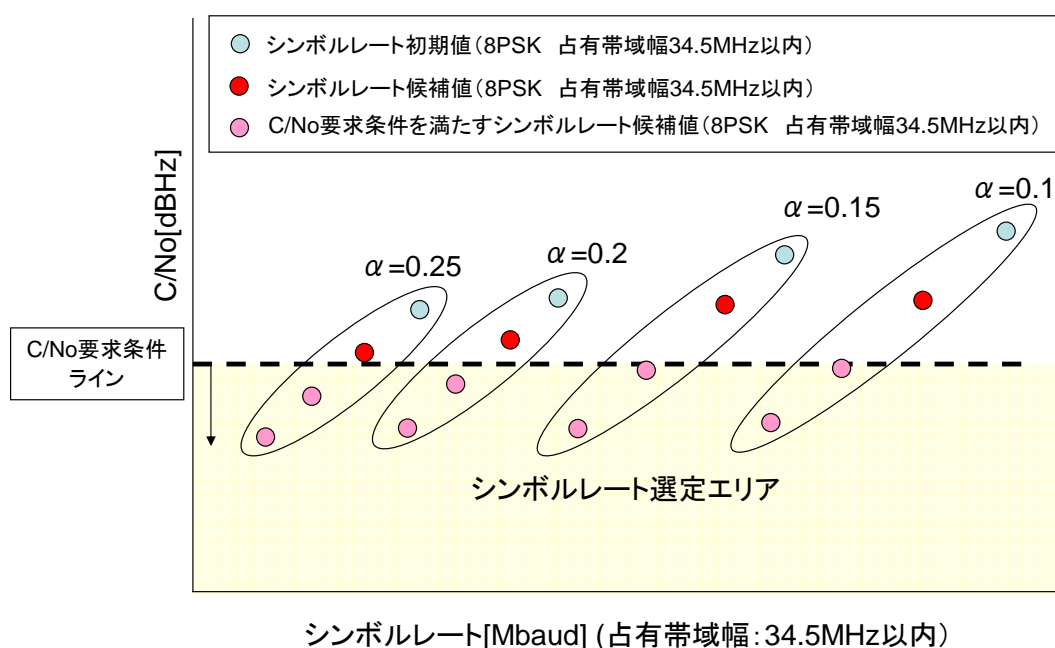


図 1 : シンボルレートと C/No の関係

(A-2) : 擬似中継器折返しでのシンボルレート、ロールオフ率を変えて 32APSK(4/5)の所要 C/N 測定

手順 1 : C/No と情報ビットレートの設定

- C/No の値を 96.83 dBHz (120cm 受信アンテナで最悪月サービス時間率 99.5%に相当)以下とする
- 情報ビットレートはなるべく大きいこと

手順 2 : シンボルレート、ロールオフ率は以下の基準で設定する。

- ロールオフ率 4 種類(0.1、0.15、0.2、0.25)について、シンボルレートを変えて所要 C/N を測定。
- シンボルレートは占有帯域幅 34.5MHz 以内となる最大シンボルレート (計算機シミュレーション値、) を初期値とし、他に 3 点程度。
- シンボルレートの 2 点程度は、手順 1 で設定した C/No を満たすように選定する。(図 1 参照)

なお、32APSK の OBO 値は以下に示す通りとする。

- $\alpha=0.1$ 、OBO=3.5dB
- $\alpha=0.15$ 、OBO=3.0dB
- $\alpha=0.2$ 、OBO=3.0dB
- $\alpha=0.25$ 、OBO=3.0dB

(C/N .vs. BER 測定回数 : $4 \times 4 = 16$ シンボルレート 4 種 : ロールオフ率 4 種)

(A-3) : 8PSK-32APSK について、隣接チャンネル間干渉下での所要 C/N 測定

擬似中継器折返しにおいて、隣接チャンネルからの干渉がある状態で所要 C/N を測定。

手順 1 : C/No の値と情報ビットレートの設定については (A-1)、(A-2) と同じ。

手順 2 : シンボルレート、ロールオフ率の設定

- ・ (A-1)、(A-2) と同じ。
- ・ 与干渉波のシンボルレート (4 種類)、ロールオフ率 (4 種類) は被干渉波と同一の値を用いる。但し、ISDB-S の場合、28.86Mbaud、ロールオフ率 0.35 を適用。

変調の組み合わせは以下に示す通りとする。

表 A-1 シンボルレート・ロールオフ率検討のための隣接チャンネル干渉実験の変調方式の組み合わせ

被干渉 (測定 C/N .vs. BER 対象)	与干渉 (隣接チャンネル)
高度 8PSK (3/4)	高度 8PSK (3/4)
高度 8PSK (3/4)	ISDB-S 8PSK
高度 32APSK (4/5)	高度 8PSK (3/4)
高度 32APSK (4/5)	ISDB-S 8PSK

(C/N .vs. BER 測定回数 : $4 \times 4 \times 4 = 64$ 回 シンボルレート 4 種、ロールオフ率 4 種、干渉 4 種)

補足事項 : 実験システムの都合上、片側隣接チャンネルのみの評価となることから、干渉波のレベルは C/N .vs. BER 測定対象チャンネルより 3dB 高い値に設定する。①～④のチャンネル間のスペクトラムレベル概念図を図 2 に示す。

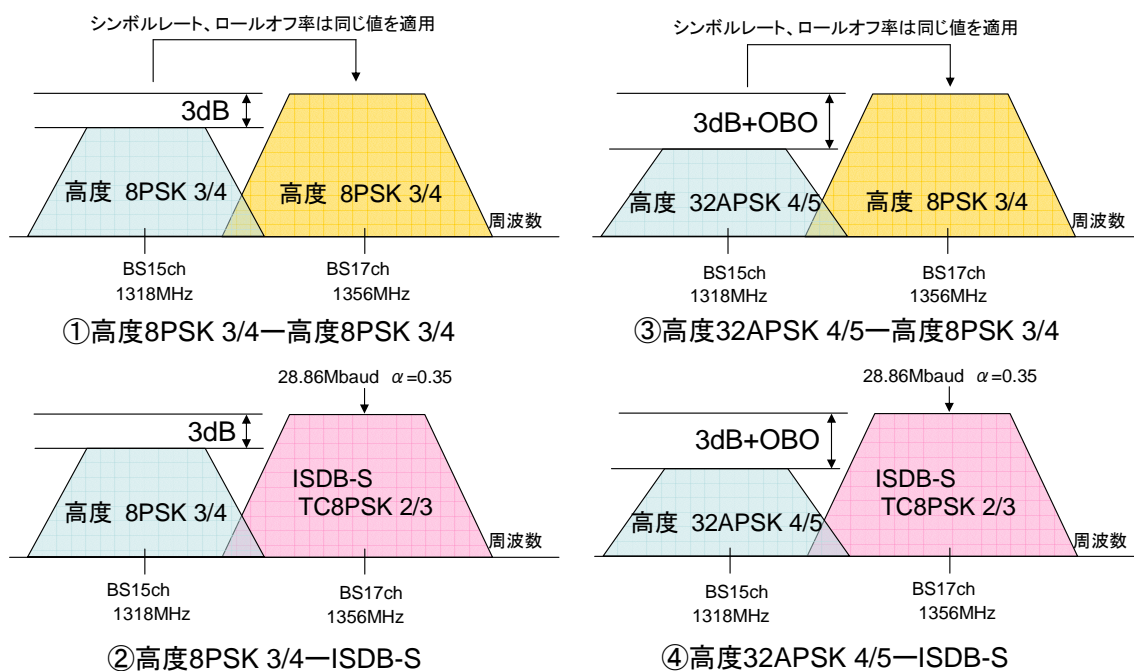


図 2：干渉実験 ①～④のチャンネル間のスペクトラムレベル概念図

(A-4)：シンボルレート、ロールオフ率の暫定値の選定

- (1) 項目 (A-3) の結果より、8PSK および 32APSK について、ロールオフ率ごとに所要 $C/N+I$ (C/N_0 換算値) の設定値および占有帯域幅を満たす最大シンボルレートを選定する。
- (2) (1)で選定したロールオフ率と最大シンボルレートとの組み合わせから適切なロールオフ率と最大シンボルレートを選定する。
- (3) (2)で選定したシンボルレート以下で、占有帯域幅に対するマージンおよびペイロードビットレートが循環小数にならないことを考慮して、シンボルレートの暫定値を選定する。

(A-5) : シンボルレート、ロールオフ率暫定値での隣接チャンネル干渉の影響確認

シンボルレートとロールオフ率の暫定値を適用し、以下の組み合わせにおける隣接チャンネル干渉波の影響が小さいことを、所要 C/N 測定で確認する。

表 A-2 隣接チャンネル干渉評価実験の変調方式の組み合わせ

被干渉 (測定 C/N .vs. BER 対象)	与干渉 (隣接チャンネル)
ISDB-S 8PSK	高度 8PSK (3/4)
高度 8PSK (3/4)	高度 8PSK (3/4)
高度 16APSK (3/4)	高度 8PSK (3/4)
高度 32APSK (4/5)	高度 8PSK (3/4)
高度 32APSK (4/5)	ISDB-S 8PSK
高度 32APSK (4/5)	高度 16APSK (3/4)
高度 32APSK (4/5)	高度 32APSK (4/5)

(C/N .vs. BER 測定回数 : 1×7=7 回 干渉 : 7 種)

これ以降の実験においては、シンボルレート、ロールオフ率の暫定値を用いるものとする。

(A-6) : I F および擬似中継器折返しにおける C/N .vs. BER 測定

IF 折返しおよび擬似中継器折返しにおける、以下の伝送方式(計 55 通り)の C/N .vs. BER 測定を行う。C/N .vs. BER 測定は $\pi/2$ シフト BPSK、QPSK、8PSK、16APSK、32APSK の順に行い、同一周波数利用効率の条件で、所要 C/N の高い(変調方式・符号化率)の組み合わせが確認された場合、それ以下の符号化率については測定を省略する場合もある。測定にあたっては、表 A-3 示す符号化率について左から順に行なうこととする。

表 A-3 変調方式と符号化率

変調方式	符号化率	測定回数
$\pi/2$ シフト BPSK	1/2, 1/3, 9/10, 7/8, 5/6, 4/5, 3/4, 2/3, 3/5, 2/5, 1/4	11
QPSK	9/10, 3/4, 1/2, 1/4, 7/8, 5/6, 4/5, 2/3, 3/5, 2/5, 1/3,	11
8PSK	9/10, 3/4, 2/3, 7/8, 5/6, 4/5, 3/5, 1/2, 2/5, 1/3, 1/4	11
16APSK	9/10, 3/4, 7/8, 5/6, 4/5, 2/3, 3/5, 1/2, 2/5, 1/3, 1/4	11
32APSK	9/10, 4/5, 7/8, 5/6, 3/4, 2/3, 3/5, 1/2, 2/5, 1/3, 1/4	11

(C/N .vs. BER 測定回数 : 2×55=110 回、折返し : 2 種 (IF、擬似中継器)、伝送方式 : 55 種)

(A-7) : ODU 挿入時における C/N .vs. BER 測定

擬似中継器折返しにおいて、8PSK(3/4)、16APSK(3/4)、32APSK(4/5) の計 3 方式について、ODU (複数機種) を挿入し、パイロット信号 ON/OFF における C/N .vs. BER 測定を行う。

(C/N .vs. BER 測定回数 : $7 \times 3 \times 2 = 42$ 回 ODU : 7 種(最大)、伝送方式 : 3 種、パイロット ON/OFF)

(A-8) : 同期限界測定

IF および擬似中継器折返しで $\pi/2$ シフト BPSK(1/2)、QPSK(1/2)、8PSK(3/4)、16APSK(3/4)、32APSK(4/5) のキャプチャレンジ、ロックレンジ、同期限界 C/N の測定。

(A-9) : 遅延時間測定

8PSK(3/4) のエンコーダ/デコーダ折返し、IF 折返し、擬似中継器折返しでの遅延時間測定。測定はタイムコードを画面に表示して行う。

(A-10) : TLV モードの動作確認

ロジックアナライザ等を用いて、TLV モードでパケット同期がとれることを確認する。

B. R F 実験

1. 実験場所・日程

場所：NHK放送センター

日程：

- ・ 1/15 (火) ～1/25 (金) 実験準備
- ・ 2008/1/28(月)～2/1 (金) R F 折り返しによる C/N .vs. BER 測定

実験項目：R F 折り返しによる C/N .vs. BER 測定

2. 実施体制

衛星高度化実証実験タスクグループ

3. 前提条件

- ・ シンボルレート、ロールオフ率は擬似中継器実験で選定した暫定値を用いる。
- ・ R F 折り返しは、17GHz/12GHz トランスレーターを通した折り返しを指す。

4. 実験項目

(B-1) : C/N .vs. BER 測定

以下の伝送方式（最大計 55 通り）における C/N .vs. BER 測定を行う。C/N .vs. BER 測定は $\pi/2$ シフト BPSK、QPSK、8PSK、16APSK、32APSK の順に行い、測定にあたっては、表 B-1 示す符号化率について左から順に行なうこととする。

表 B-1 C/N .vs. BER 測定を行なう変調方式と符号化率の組み合わせ

変調方式	符号化率	測定回数
$\pi/2$ シフト BPSK	1/2, 1/3, 9/10, 7/8, 5/6, 4/5, 3/4, 2/3, 3/5, 2/5, 1/4	11
QPSK	9/10, 3/4, 1/2, 1/4, 7/8, 5/6, 4/5, 2/3, 3/5, 2/5, 1/3,	11
8PSK	9/10, 3/4, 2/3, 7/8, 5/6, 4/5, 3/5, 1/2, 2/5, 1/3, 1/4	11
16APSK	9/10, 3/4, 7/8, 5/6, 4/5, 2/3, 3/5, 1/2, 2/5, 1/3, 1/4	11
32APSK	9/10, 4/5, 7/8, 5/6, 3/4, 2/3, 3/5, 1/2, 2/5, 1/3, 1/4	11

C. 衛星伝送実験

1. 実験場所・日程等

場所：NHK 放送センター

日程：2 月第 1 週から 3 週間程度

衛星：BSAT-3a を想定

実験項目

- ・ C/N .vs. BER 特性測定（実験項目 (C-1) ～ (C-3)）
- ・ 基本性能検証（実験項目 (C-4) ～ (C-8)）

2. 実施体制

衛星高度化実証実験タスクグループ

3. 前提条件

- ・ シンボルレート、ロールオフ率は擬似中継器実験で選定した暫定値を用いる。
- ・ 16/32APSK 変調の C/N .vs. BER 測定で設定する OBO 値は、事前にシミュレーションで計算した OBO 値([TBD]dB/[TBD]dB)とする。

4. 衛星使用 c h

TBD

5. 実験項目

(C-1)：送信スペクトル確認

$\pi/2$ シフト BPSK(1/2)、QPSK(1/2)、8PSK(3/4)、16APSK(3/4)、32APSK(4/5) のスペクトラム、占有周波数帯幅の測定。

(C-2)：衛星折返しにおける C/N .vs. BER 測定

以下の伝送方式（計 55 通り）における C/N .vs. BER 測定を行う。C/N .vs. BER 測定は $\pi/2$ シフト BPSK、QPSK、8PSK、16APSK、32APSK の順に行い、同一周波数利用効率の条件で、所要 C/N の高い(変調方式・符号化率)の組み合わせが確認された場合、それ以下の符号化率については測定を省略する場合もある。測定にあたっては、表 C-1 示す符号化率について左から順に行なうこととする。

表 C-1 変調方式と符号化率

変調方式	符号化率	測定回数
$\pi/2$ シフト BPSK	1/2, 1/3, 9/10, 7/8, 5/6, 4/5, 3/4, 2/3, 3/5, 2/5, 1/4	11
QPSK	9/10, 3/4, 1/2, 1/4, 7/8, 5/6, 4/5, 2/3, 3/5, 2/5, 1/3,	11
8PSK	9/10, 3/4, 2/3, 7/8, 5/6, 4/5, 3/5, 1/2, 2/5, 1/3, 1/4	11
16APSK	9/10, 3/4, 7/8, 5/6, 4/5, 2/3, 3/5, 1/2, 2/5, 1/3, 1/4	11
32APSK	9/10, 4/5, 7/8, 5/6, 3/4, 2/3, 3/5, 1/2, 2/5, 1/3, 1/4	11

(C/N .vs. BER 測定回数 : $1 \times 55 = 55$ 回)

(C-3) : ODU 挿入時における C/N .vs. BER 測定

8PSK(3/4)、16APSK(3/4)、32APSK(4/5) の計 3 方式について、ODU を挿入し、パイロット信号 ON/OFF における C/N .vs. BER 測定を行う。

(C/N .vs. BER 測定回数 : $7 \times 3 \times 2 = 42$ 回 ODU : 2 種、伝送方式 : 3 種、パイロット ON/OFF)

(C-4) : 同期限界測定

$\pi/2$ シフト BPSK(1/2)、QPSK(1/2)、8PSK(3/4)、16APSK(3/4)、32APSK(4/5) のキャプチャレンジ、ロックレンジ、同期限界 C/N の測定。

(C-5) : 総合特性

BS 受信アンテナでの受信確認および複数 TS 多重伝送の確認 (HDTV の映像・音声)、階層伝送確認 (高 C/N および低 C/N 時の復調確認) を行う、また、HDTV を超える高画質サービスの例として、以下に示すスーパーハイビジョン伝送を行なう

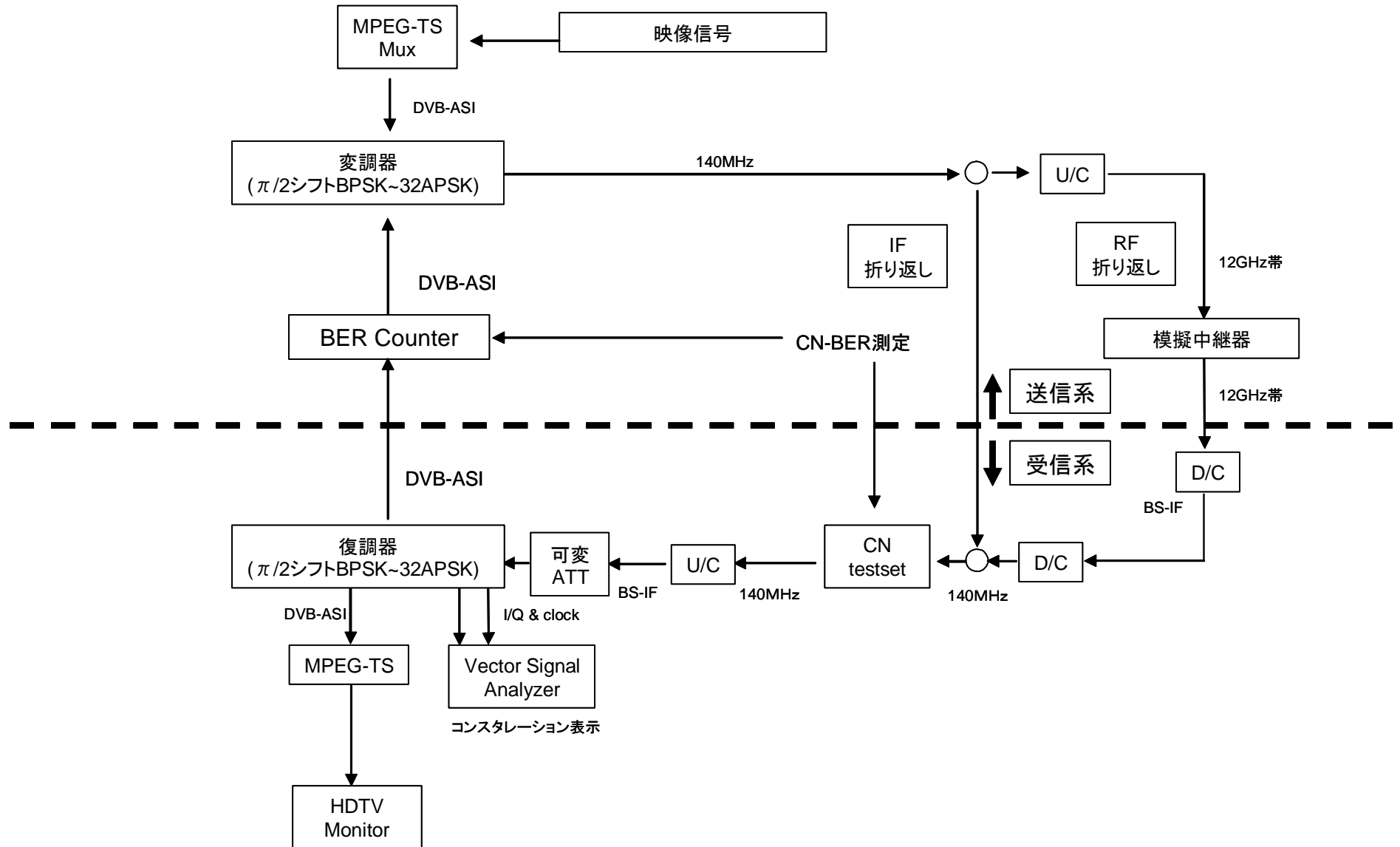
(C-6) : バルク伝送動作確認

バルク伝送機能を用いた 2 中継器によるスーパーハイビジョン伝送

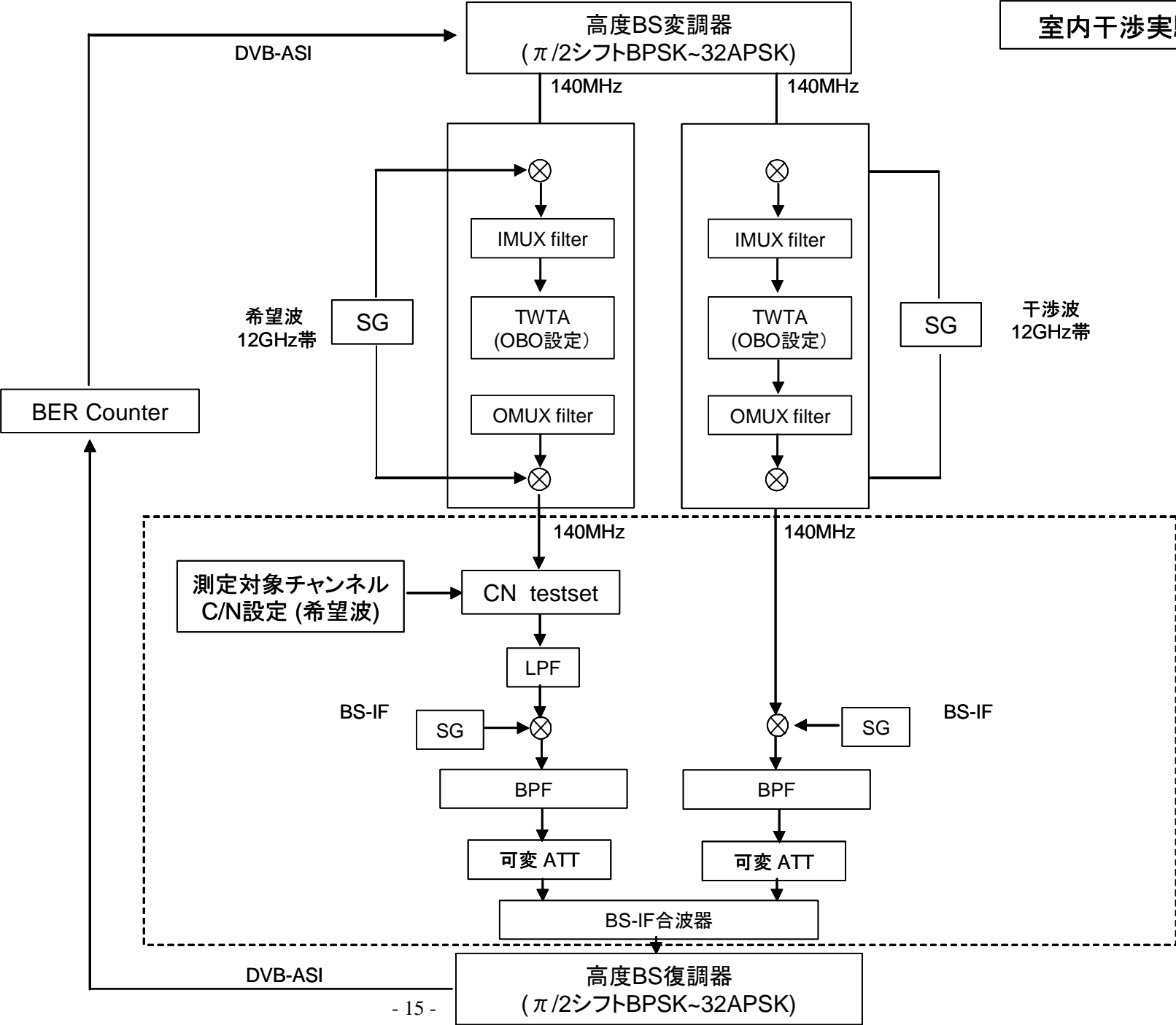
(C-7) : 32APSK による映像の伝送

32APSK を用いた 1 中継器によるスーパーハイビジョン伝送

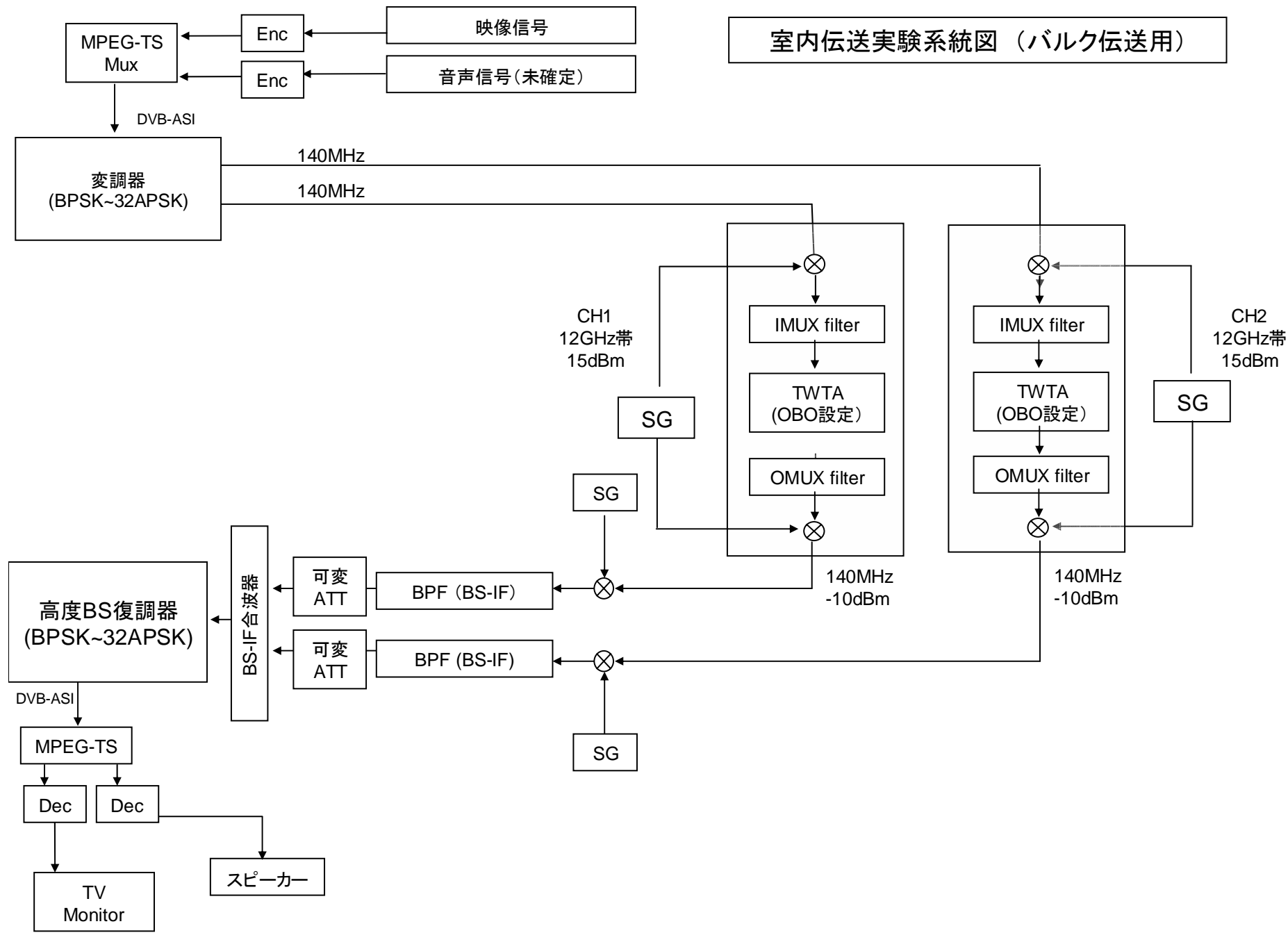
室内伝送実験系統図(1波用)



室内干渉実験系統図

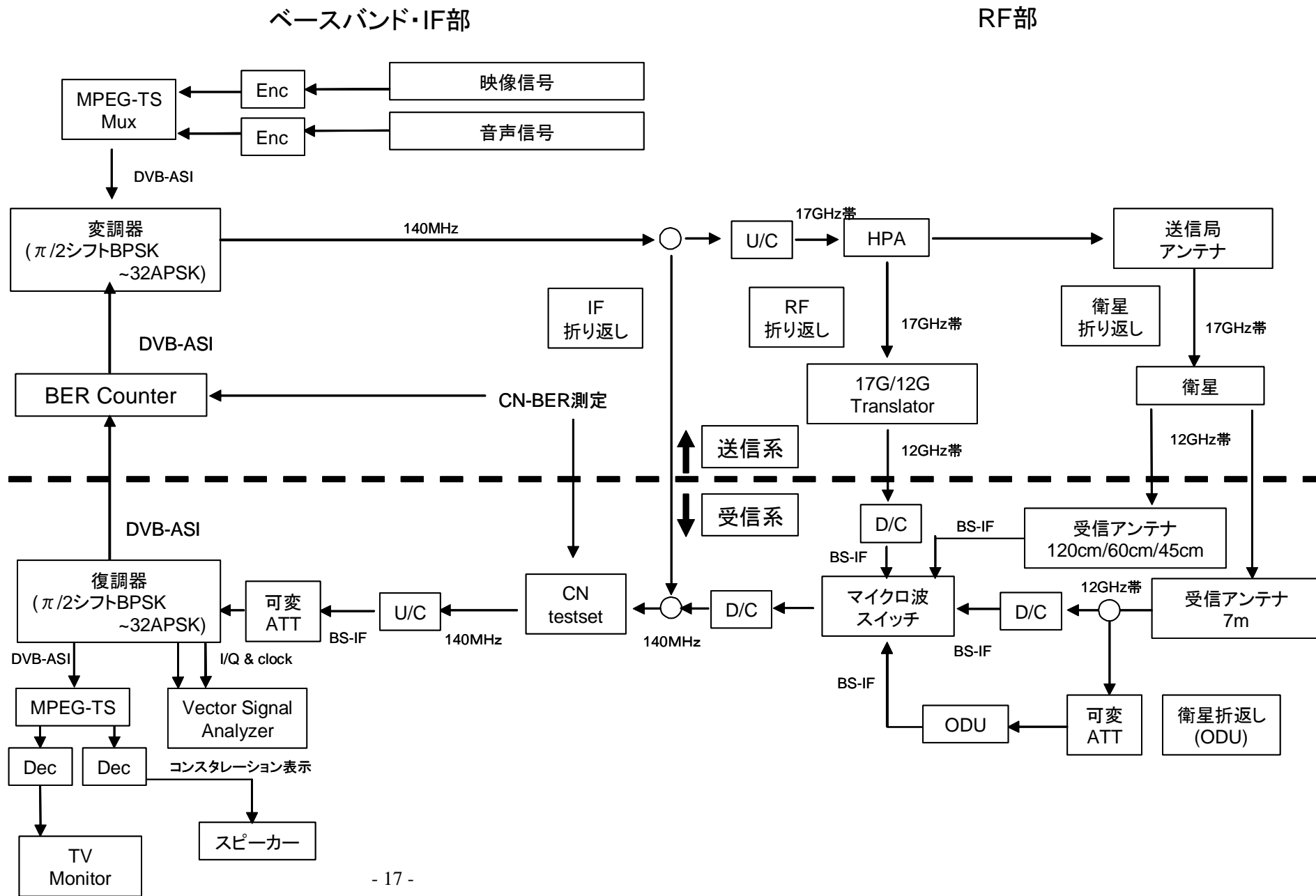


室内伝送実験系統図（バルク伝送用）

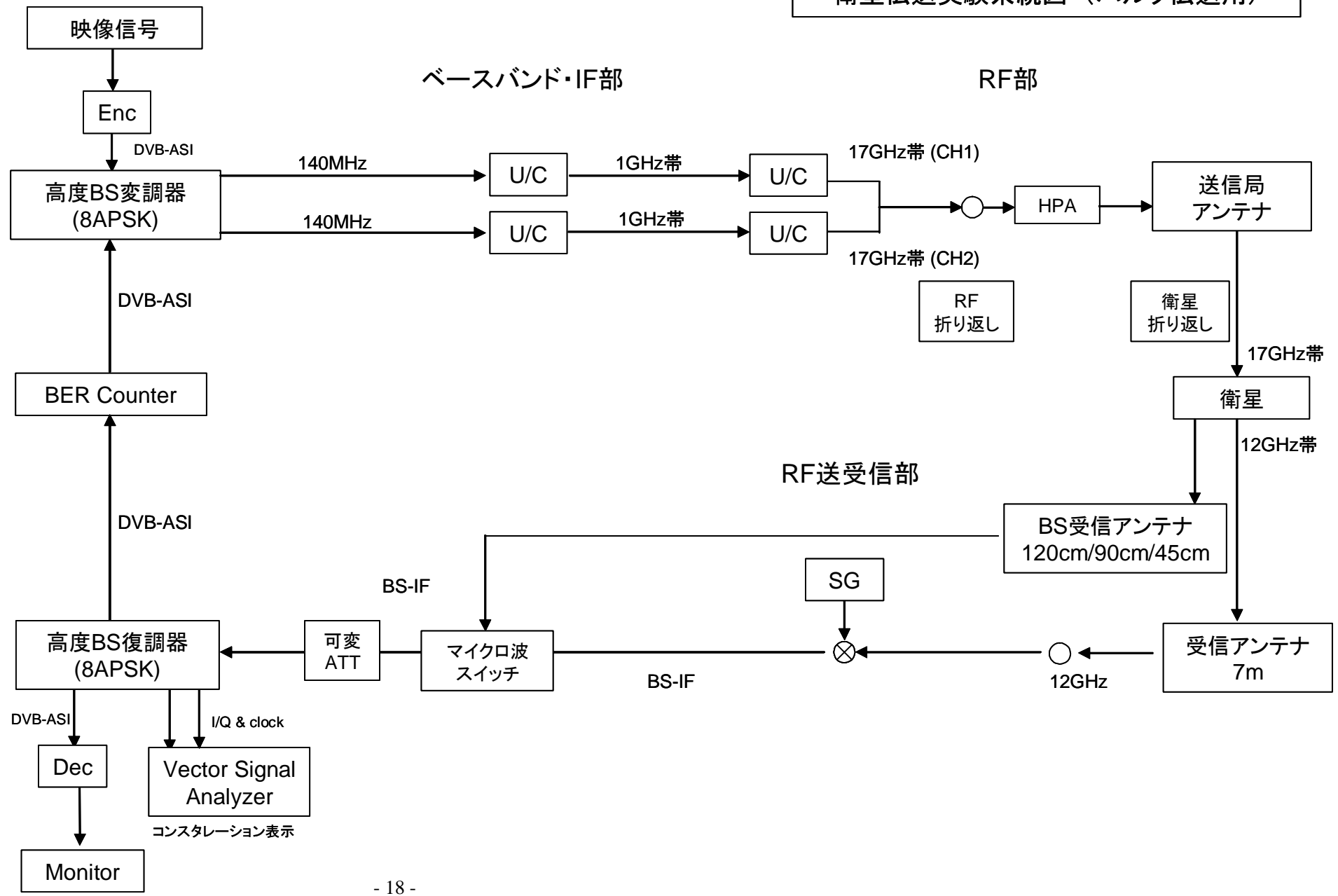


映像/音声/TMCC等伝送基本性能評価

衛星伝送実験システム図(1波用)



衛星伝送実験系統図（バルク伝送用）



シンボルレート検討のための室内実証実験結果報告

1 . 報告概要

1.1 シンボルレート選定の考え方

1.1.1 目的

シンボルレートを高くすることで伝送容量を増加する。

1.1.2 伝送特性における制約条件

シンボルレートを選定するにあたっては、以下に示す条件を考慮することとする。

- 占有帯域幅（99%電力帯域幅）は 34.5MHz 以下（電波法による制約）
- 占有帯域幅は現行の放送方式と同等（現行方式との整合性）
- 放送衛星の出力は現行の衛星と同じ（電力の条件）
- 8PSK(3/4)のサービス時間率は現行方式と同等（最悪月 99.7%）（サービス条件）
所要 C/N 10.7dB 以下（TC8PSK）、45cm 受信アンテナ
- 32APSK については、120cm 受信アンテナで最悪月 99.5%以上（サービス条件）
- 隣接チャンネル間干渉が小さい

上記制約条件を反映したシンボルレートの選定条件を以下に示す。

- (1) 隣接チャンネル干渉下における所要 C/N の条件（干渉の条件は表 1.1-1 参照）
 - 8PSK(3/4)の場合の所要 C/N が ISDB-S (TC 8 PSK、10.7dB/28.86Mbaud (所要 C/No = 85.30dBHz)、最悪月 99.7%、受信アンテナ径 45cm) 以下
 - 32APSK(4/5)の所要 C/N が 22.2dB/28.86Mbaud (所要 C/No=96.83dBHz、最悪月 99.5%、受信アンテナ径 120cm) 以下
 - 所要 C/N の評価は隣接チャンネル干渉による影響、ODU (Out-Door Unit)
 - パイロット信号（符号判定の参照信号）は ON とする
- (2) 同期特性による条件
 - 所要 C/N の評価は隣接チャンネル干渉による影響、ODU の影響を考慮
 - ISDB-S の同期限界以下であること
- (3) 占有帯域幅による条件
 - 占有帯域幅が 34.5MHz を超えない
- (4) ロールオフ率は 0.1、0.15、0.2、0.25 について検討し、これらの中から 1 つを選定する。
- (5) 現行方式との整合の条件
 - 占有帯域幅が ISDB-S を超えない値とする(33.77MHz、シミュレーション値)

表 1-1 隣接チャンネル干渉の条件

被干渉（所要 C/N の測定対象）	与干渉（隣接チャンネル）
高度 8PSK (3/4)	高度 8PSK (3/4)
高度 8PSK (3/4)	ISDB-S(TC8PSK)
高度 32APSK (4/5)	高度 8PSK (3/4)
高度 32APSK (4/5)	ISDB-S(TC8PSK)

注 1：32APSK の TWT 動作点はバックオフ（OBO）3.5dB とした。

注 2：ISDB-S のシンボルレートは 28.86Mbaud

1.1.3 多重化における制約条件

放送事業者のビットレート管理のしやすさという観点から以下を考慮する。

- (1) スロットあたりのビットレートが整数となること
- (2) シンボルレート[Mbps]の小数点以下が4桁以内となること

1.2 シンボルレートの暫定値

1.2.1 伝送特性における制約条件を満たすシンボルレート

擬似中継器を用いた室内実験の結果、各ロールオフ率において、表 1-2 に示すシンボルレート以下であるならば、シンボルレートの選定条件(1)～(4)を満たすことがわかった。

表 1-2 占有帯域幅 34.5MHz を満たす最大シンボルレート

ロールオフ率	最大シンボルレート
0.1	33.6 Mbaud
0.15	32.7 Mbaud
0.2	31.9 Mbaud
0.25	31.2 Mbaud

これに対し、選定条件(5)を考慮すると以下の値となる。

ロールオフ率 0.1、シンボルレート 32.68Mbaud 以下（計算機シミュレーション値）

1.2.2 多重化における制約条件を満たすシンボルレート

選定条件(1)～(5)を満たすシンボルレート 32.68Mbaud 以下で多重化における制約条件を満たすシンボルレートとして以下の値を暫定値とした(詳細は 2.2 節参照)。

ロールオフ率 0.1、シンボルレート 32.5941Mbaud

なお、このシンボルレートの場合の情報ビットレート（188 バイトの MPEG-2 TS のレート）を表 1-3 に示す。

表 1-3 情報ビットレート

変調方式	8PSK 3/4	16APSK 3/4	32APSK 4/5
情報ビットレート	69.60888 Mbps	92.81184 Mbps	126.56160 Mbps

2 . 実験結果報告の詳細

2.1 擬似中継器による実験

実験内容は、各ロールオフ率 につき占有帯域幅 34.5MHz を満たす最大シンボルレート以下の 4 点を各ロールオフ率ごとに選定し、各シンボルレートに対する所要 C/N を測定した。本報告書では、 10^{10} ビット観測してエラーが発生しない最小 C/N を所要 C/N とした。

測定は、以下の条件において行なった。

- (1) 干渉なし・ODU なし
- (2) 干渉あり・ODU なし
- (3) 干渉あり・ODU あり

実験に使用する ODU は補足 1 を参照。

8PSK 3/4 および 32APSK 4/5 の実験結果を図 2-1、表 2-1、および図 2-2、表 2-2 に示す。なお、測定値は C/No に換算して示した。同図において、プロットを線で結んだものは、同一シンボルレートの高度 BS 方式 8PSK を干渉波として多重し、さらに ODU を通した状態で所要 C/N を測定したものである。また、干渉波を ISDB-S (28.86Mbaud、 $\beta=0.35$) とした場合も同図に示す。

図 2-1 より、高度 BS 方式および ISDB-S を干渉波とした場合の所要 C/No はほぼ同じ値であった。8PSK については、表 1-1 に示す各ロールオフ率に対する最大シンボルレートにおいて、所要 C/No の設定値を満たした。

図 2-2 より、高度 BS 方式を干渉波とした場合の所要 C/No は、ISDB-S を干渉波とした場合に比べて 0.1dB 程度劣化した。32APSK についても、表 1-1 に示す各ロールオフ率に対する最大シンボルレートにおいて、所要 C/No の設定値を満たした。

なお、32APSK については、(3)の条件で 33Mbaud、 $\beta=0.1$ 、パイロットを使った受信機能を OFF とした場合の結果も図 2-2 に併記した (凡例の PILOT OFF 参照)。パイロット ON にした場合は、約 1.4dB の性能改善が見られた。

併せて、 $\beta=0.1, 0.2$ について、1.5MHz 離調からの同期限界 C/N を求める実験も行った。結果を以下に示す。シンボルレートは 33Mbaud とした。

$\beta=0.1$ キャプチャ C/N=-2.6dB、ロック C/N=-2.8dB

$\beta=0.2$ キャプチャ C/N=-3.7dB、ロック C/N=-3.9dB

これらの結果より、ロールオフ率によって 1.1 dB の差が見られたものの、いずれも充分低い C/N まで良好に同期可能であった (補足 2)。

8PSK についてのシンボルレート対 C/No 測定結果

測定条件

8PSK 3/4(120slot) シンボルレート : 29.5Mbaud ~ 33.6Mbaud

OBO : 約 0.7dB ODU 位相雑音 : A (-81.25dBc/Hz(@1kHz))

与干渉波 : 高度 BS 8PSK 3/4(120slot) / ISDB-S の 2 種類

C/No : エラーフリー-C/N+OBO+10log(シンボルレート)

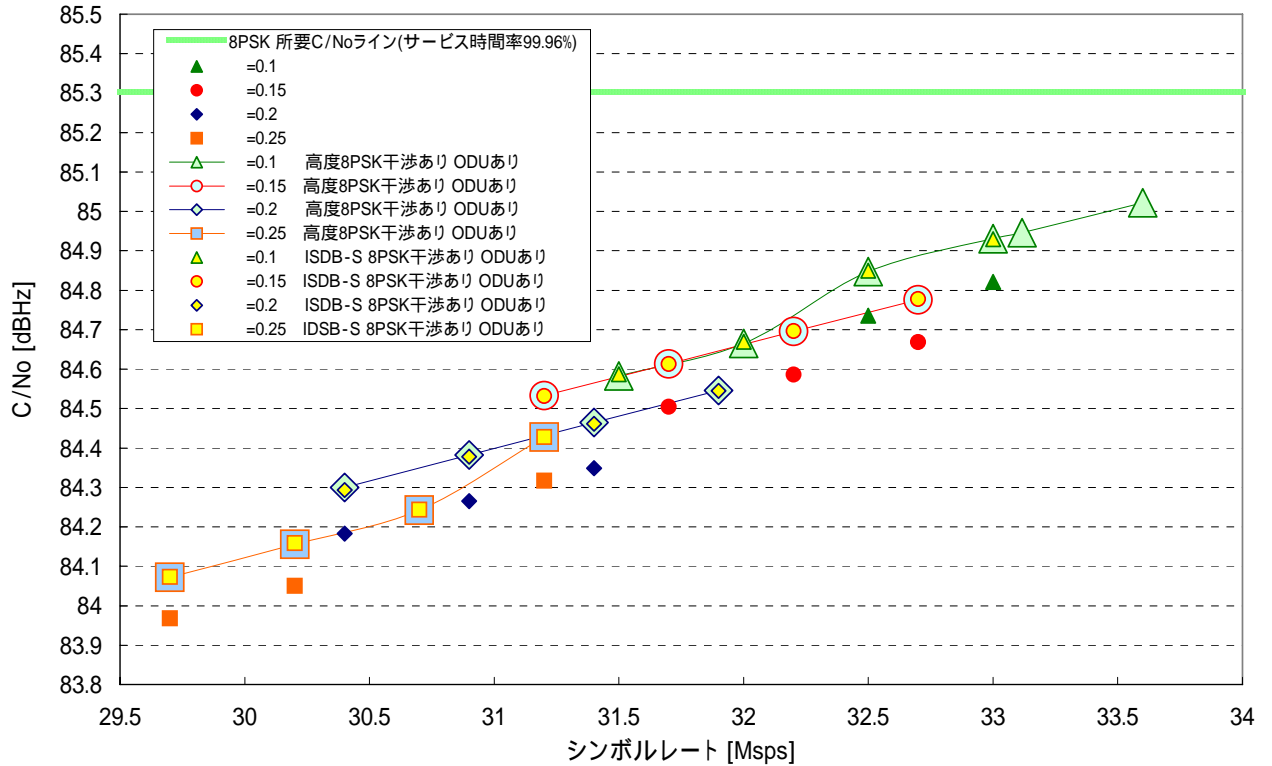


図 2-1 擬似中継器実験結果(8PSK)

表 2-1 干渉波が存在時の 8PSK エラーフリーC/N 測定結果一覧

	エラーフリーC/N +OBO[dB]	干渉波(高度 BS) (C/N 劣化量) [dB]	干渉波(高度 BS)+ODU (C/N 劣化量) [dB]	干渉波(ISDB-S)+ODU (C/N 劣化量) [dB]
=0.1 33.0Mbaud	9.6	0.0	0.1	0.1
=0.15 32.7Mbaud	9.5	0.0	0.1	0.1
=0.2 31.9Mbaud	9.5	0.0	0.0	0.0
=0.25 31.2Mbaud	9.4	0.0	0.1	0.1

注: 測定はすべてパイロット ON で実施した

32APSK についてのシンボルレート対 C/No 測定結果

測定条件

32APSK 4/5(120slot) シンボルレート : 29.5Mbaud ~ 33.6Mbaud

OBO : 3.5dB(=0.1) / 3.0dB(=0.15,0.2,0.25) ODU 位相雑音 : A (-81.25dBc/Hz(@1kHz))

与干渉波 : 高度 BS 8PSK 3/4(シンボルレート、ロールオフ率は被干渉波と同一) / ISDB-S

C/No : エラーフリーC/N+OBO+10log(シンボルレート)

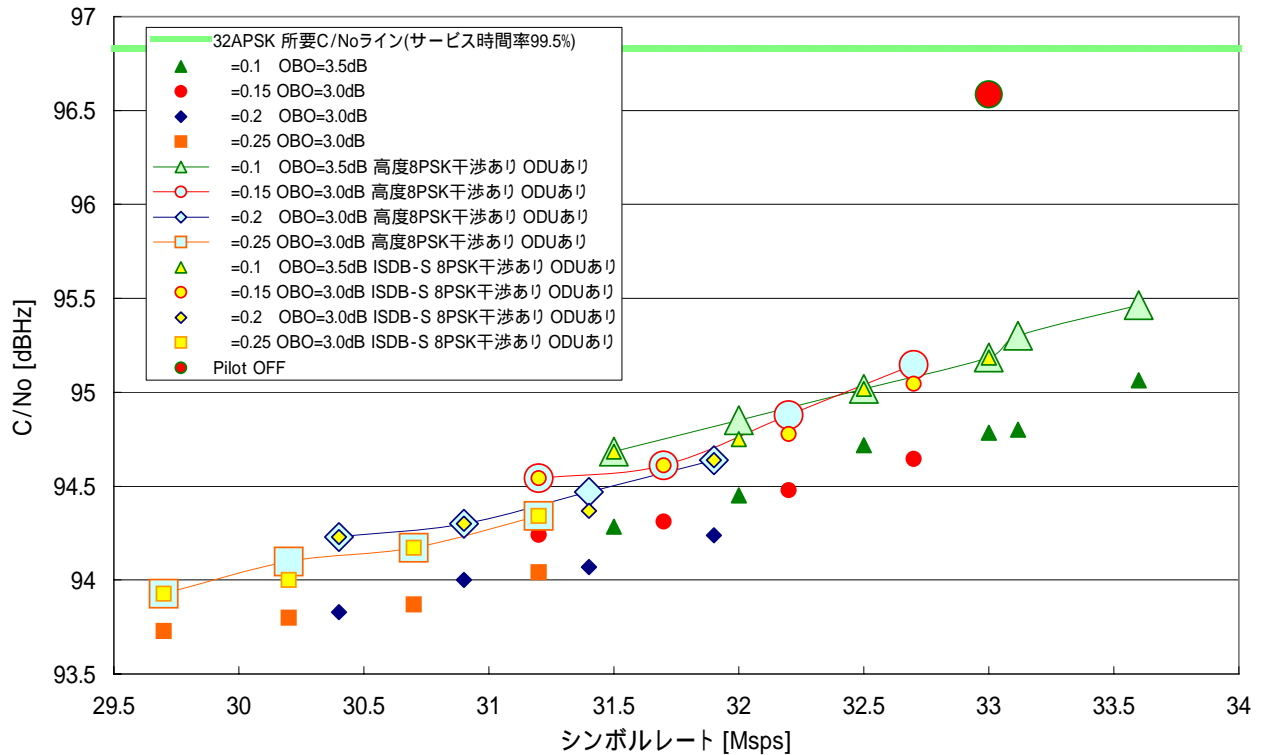


図 2-2 擬似中継器実験結果(32APSK)

表 2-2 干渉波が存在時の 32APSK エラーフリーC/N 測定結果一覧

	エラーフリーC/N +OBO[dB]	干渉波(高度 BS) (C/N 劣化量) [dB]	干渉波(高度 BS)+ODU (C/N 劣化量) [dB]	干渉波(ISDB-S)+ODU (C/N 劣化量) [dB]
=0.1 33.0Mbaud	19.6	0.1	0.4	0.4
=0.15 32.7Mbaud	19.5	0.2	0.5	0.4
=0.2 31.9Mbaud	19.2	0.2	0.4	0.4
=0.25 31.2Mbaud	19.1	0.1	0.3	0.3

注:測定はすべてパイロット ON で実施した

2.2 シンボルレートの検討

擬似中継器実験においては、8PSK3/4、32APSK とともに表 1-1 に示す最大シンボルレート以下において、設定した C/No 値を満足した。したがって、最も高いビットレートが確保できる $\eta=0.1$ 、シンボルレート 33.6Mbaud という条件も選択肢となるが、現行 BS デジタル放送の占有帯域幅 (33.77MHz、シミュレーション値)も考慮してシンボルレートを検討する。従って、ロールオフ率 0.1 において、BS デジタル放送の占有帯域幅 33.77MHz となるシンボルレート(32.68Mbaud,シミュレーション値)以下とした。

また、シンボルレートの検討にあたっては、以下の条件も考慮する。

- (a) スロットあたりのビットレートが整数となること
 - (b) シンボルレート[Mbps]の小数点以下が 4 桁以内となること
- (a)、(b)は放送事業者のビットレート管理のしやすさを考慮した条件である。

まず、条件(a)について検討する。暫定方式において、シンボルレート S_r 時のスロットあたりのビットレートは、符号化率 1/4、1/3、2/5、1/2、3/5、2/3、3/4、4/5、5/6、7/8、9/10 に対して以下の式で求められる。

$$\begin{aligned} & S_r \times 5 / 120 \times (8, 10, 12, 15, 18, 20, 22, 24, 25, 26, 27) / 5810 \times 188 \\ &= (8, 10, 12, 15, 18, 20, 22, 24, 25, 26, 27) \times 188 \times 5 \times S_r / 120 / 5810 \\ &= (8, 10, 12, 15, 18, 20, 22, 24, 25, 26, 27) \times S_r \times 47 / 34860 \end{aligned}$$

上式より、34860 の倍数でシンボルレートを選択すれば、スロットあたりのビットレートは、47bps の整数倍のビットレートとなり条件(a)を満足する。

条件(b)のシンボルレート[Mbps]の小数点以下が 4 桁以内となるためには、34860 に 5 の倍数を乗じたものとする必要がある。従って、34860 × 5 の倍数で、 32.68×10^6 を超えない最大シンボルレートは、以下となる

$$34860 \times 935 = 32.5941 \text{ Mbaud (スロットあたりのビットレートは 10bps の整数倍)}$$

以上の結果より、

ロールオフ率 0.1
シンボルレート 32.5941 Mbaud

とするのが望ましいと考えられる。

なお、このシンボルレートの場合の情報ビットレート (188 バイトの MPEG-2 TS のレート) を表 2-3 に示す。

表 2-3 情報ビットレート

変調方式	8PSK 3/4	16APSK 3/4	32APSK 4/5
情報ビットレート	69.60888 Mbps	92.81184 Mbps	126.56160 Mbps

注 120slot 全てを同一変調方式とした場合の値

補足 1

ARIB 実験で使用した ODU 性能一覧

市販の 7 式の衛星放送受信アンテナの ODU 部のみを取り外し、電波無響箱における受信実験を行った。また、同波管タイプの ODU についても同様に実験を行った。各 ODU の 1kHz オフセットでの位相雑音値を表に示す。また、位相雑音特性を図に示す。

位相雑音特性の類似性から、大きく 4 つのグループに分けられる。

第 1 グループ : E

第 2 グループ : C, F

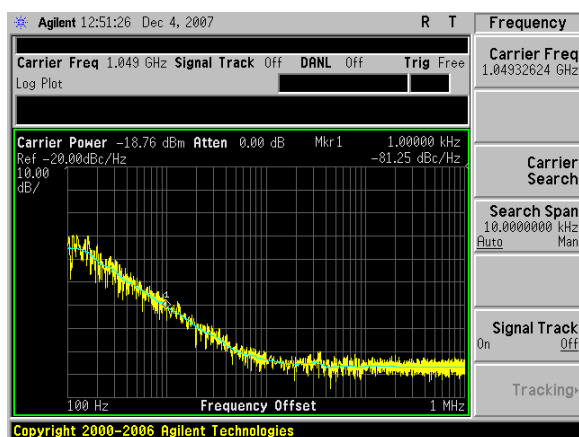
第 3 グループ : A, B, D, G

第 4 グループ : H

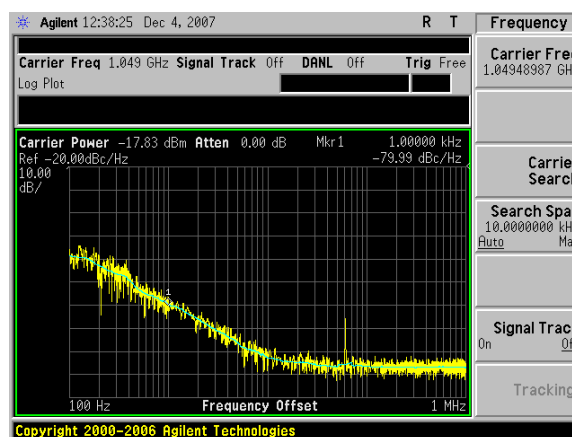
今回はサンプル数の多い第 3 グループから A を選択し、位相雑音特性の最も悪いサンプルとして H を選択した。

種別	位相雑音 (dBc/Hz 1kHz オフセット)
A	-81.25
B	-79.99
C	-77.58
D	-83.11
E	-85.95
F	-78.51
G	-80.79
H	-60.51

A: 位相雑音特性

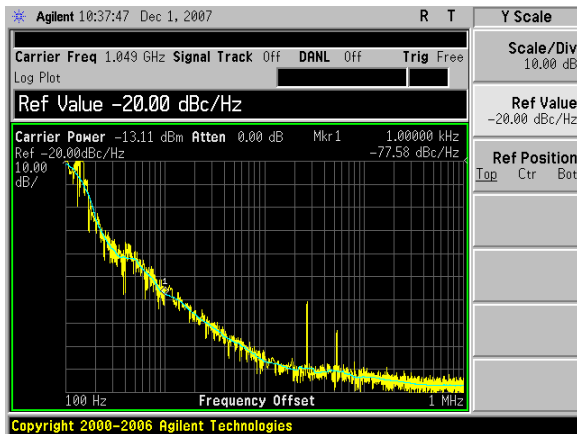


B: 位相雑音特性

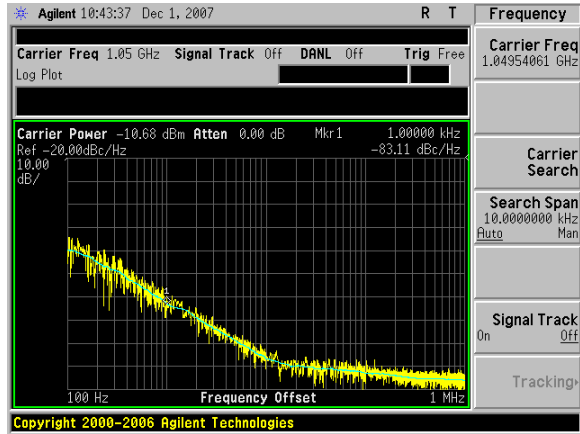


C: 位相雑音特性

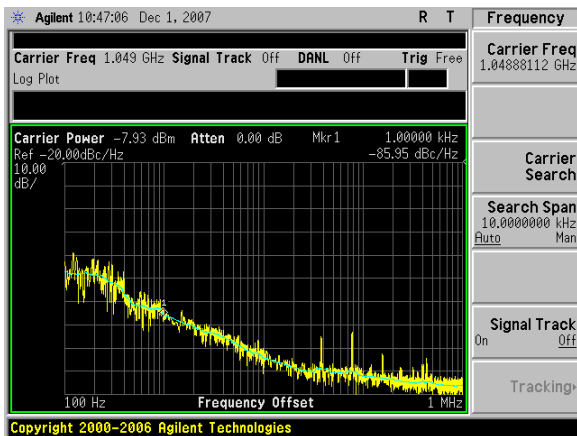
D: 位相雑音特性



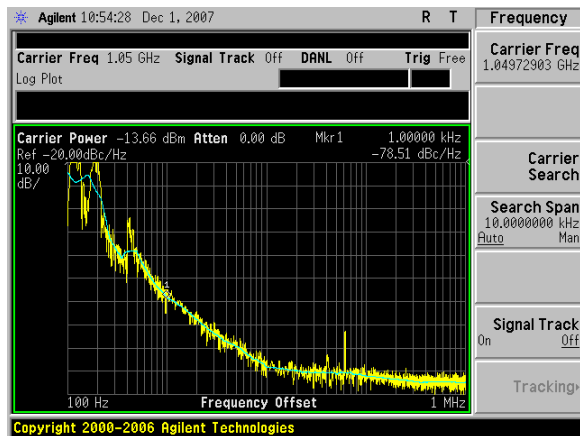
E: 位相雑音特性



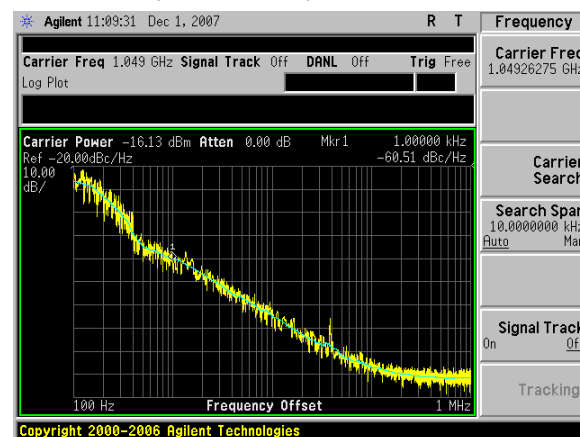
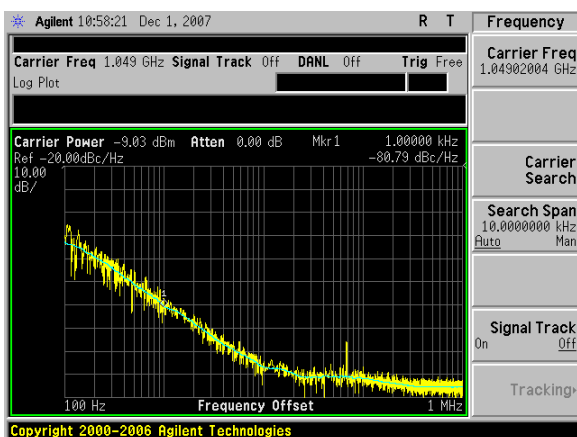
F: 位相雑音特性



G: 位相雑音特性



H(同波管接続): 位相雑音特性



補足 2

同期限界 C/N 測定結果

測定条件

32APSK 4/5(120slot)

OBO : 3.5dB

受信周波数 : BS17ch($f_c=1356\text{MHz}$)

ODU (2 種類) : A -81.25dBc/Hz (1kHz オフセット)、H -60.51dBc/Hz (1kHz オフセット)
の 2 種類

与干渉波 : 高度 BS 8PSK 3/4 (シンボルレート、ロールオフ率は被干渉波と同一)

周波数オフセット : 0Hz、+1.5Hz、-1.5Hz の 3 種類

想定ケース 1 : シンボルレート 33Mbaud、ロールオフ率 0.1

想定ケース 2 : シンボルレート 31.9Mbaud、ロールオフ率 0.2

同期限界 C/N 測定方法

➤ キャプチャ C/N

手順 1 : ノイズテストセットの C/N 値を -5dB に設定

手順 2 : 受信機の電源を OFF/ON する

手順 3 : 同期が確立するまで C/N を上げ、同期確立後、1 分間保持する値をキャプチャ C/N とする

➤ ロック C/N

手順 4 : 手順 3 のキャプチャ C/N から C/N を 0.1dB ステップで劣化させ、同期がはずれた C/N をロック C/N とする

同期限界 C/N 測定結果

	ODU A -81.25dBc/Hz (1kHz オフセット)							
	ケース 1 33Mbaud $\alpha=0.1$				ケース 2 31.9Mbaud $\alpha=0.2$			
	Pilot ON		Pilot OFF		Pilot ON		Pilot OFF	
	キャプチャ C/N[dB]	ロック表 2-2 C/N[dB]	キャプチャ C/N[dB]	ロック C/N[dB]	キャプチャ C/N[dB]	ロック C/N[dB]	キャプチャ C/N[dB]	ロック C/N[dB]
f=0Hz	-2.4	-2.9	-2.6	-2.9	-	-	-	-
f=+1.5MHz	-2.6	-2.8	-2.6	-2.9	-3.7	-3.9	-	-
f=-1.5MHz	-2.6	-2.9	-2.7	-3.1	-	-	-	-

	ODU H -60.51dBc/Hz (1kHz オフセット)	
	ケース 1 33Mbaud $\alpha=0.1$	
	Pilot ON	
	キャプチャ C/N[dB]	ロック C/N[dB]
f=+1.5MHz	-3.4	-3.9

高度衛星デジタル放送の映像符号化暫定方式案

に関する中間報告（案）

平成20年1月25日

映像符号化方式作業班

○ 暫定方式の概要

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	1920x1080/60I		
		1920x1080/60P		
		3840x2160/60P		
	マルチサービス専用	720x480/60I		
		720x480/60P		
	実験用	7680x4320/60P		
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		$\begin{array}{ccc} & x & y & \text{(CIE, 1931)} \\ \text{赤(R)} & 0.640 & 0.330 \\ \text{緑(G)} & 0.300 & 0.600 \\ \text{青(B)} & 0.150 & 0.060 \end{array}$	
	基準白色		$D_{65} \quad \begin{array}{cc} x & y \\ 0.3127 & 0.3290 \end{array}$	
	光電変換特性		$E' = \begin{cases} \alpha L^{0.45} - (\alpha - 1) & (\beta \leq L) \\ 4.50L & (-\beta < L < \beta) \\ -\alpha(-L)^{0.45} + (\alpha - 1) & (L \leq -\beta) \end{cases}$	
			$\alpha \text{ および } \beta \text{ は連立方程式 } \begin{cases} 4.5\beta = \alpha\beta^{0.45} - \alpha + 1 \\ 4.5 = 0.45\alpha\beta^{-0.55} \end{cases} \text{ の解}$	
			8-11 bit の場合、 $\alpha=1.099$, $\beta=0.018$	
	輝度信号方程式		$E'_Y = 0.2126 E'_R + 0.7152 E'_G + 0.0722 E'_B$	
色差信号方程式		$E'_{CB} = \frac{E'_B - E'_Y}{1.8556} = \frac{-0.2126 E'_R - 0.7152 E'_G + 0.9278 E'_B}{1.8556}$ $E'_{CR} = \frac{E'_R - E'_Y}{1.5748} = \frac{0.7874 E'_R - 0.7152 E'_G - 0.0722 E'_B}{1.5748}$		
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)		
レベル	720x480/60 I	3		
	720x480/60P	3.1		
	1920x1080/60I	4		
	1920x1080/60P	4.2		
	3840x2160/60P	TBD*	(* ITU-T H.264 ISO/IEC 14496-10 への追加規定が必要)	
	7680x4320/60P	TBD*		

目次

第 1 章 映像符号化方式	3
1.1 映像入力フォーマットおよび符号化方式選定の基本的な考え方	3
1.1.1 映像入力フォーマット	3
1.1.2 映像符号化方式	3
1.1.3 その他	4
1.2 映像入力フォーマット	4
1.2.1 映像の時空間フォーマット	4
1.2.1.1 高度衛星デジタル放送の基本映像フォーマット	4
1.2.1.2 高度衛星デジタル放送のマルチサービス専用映像フォーマット	5
1.2.1.3 高度衛星デジタル放送の実験用映像フォーマット	6
1.2.2 映像の信号方式	7
1.2.3 カラリメトリ	7
1.3 映像符号化方式	9
1.3.1 準拠規格	9
1.3.2 MPEG-4 AVC のプロファイルとレベル	9
1.3.3 MPEG-4 AVC の制約条件	10
1.4 映像入力フォーマットの信号規定	11
1.4.1 映像信号特性	11
1.4.2 輝度信号および色差信号の量子化特性	12
1.4.3 原色信号の量子化特性	13
参考 1 H.264 MPEG-4 AVC の技術動向	14
1 2007 年におけるハードウェア	14
2 2011 年におけるハードウェア予測	14
3 技術開発の課題	14
4 記録装置、伝送装置への利用	15
参考 2 負 RGB 方式による広色域化	16
1 広色域方式の概要	16
2 広色域方式の色表現能力	16
2.1 広色域方式の信号レベル	16
2.1.1 リニア RGB 信号	16
2.1.2 ノンリニア RGB 信号	16
2.1.3 YCbCr 信号	16
参考 3 映像符号化方式実証実験	21

1 広色域システムの特徴確認実験	21
1.1 目的.....	21
1.2 実験方法	21
1.3 結果とまとめ.....	22
1.3.1 信号レベルと互換性	22
1.3.2 色再現性およびディスプレイ互換性.....	22
1.3.3 映像符号化の影響.....	22
2 MPEG-4 AVC 1080/60I ハードウェアコーデックの性能確認実験.....	23
2.1 目的.....	23
2.2 実験.....	23
2.3 評価結果に基づく判断基準.....	24
2.4 評価結果	25
2.5 まとめ.....	25
3 映像フォーマットと所要ビットレート確認実験(TBD)	26
3.1 目的.....	26
3.2 実験.....	26
4 クロマフォーマットと画質および所要ビットレート確認実験(TBD)	28
4.1 クロマフォーマットの違いによる非圧縮品質の確認（実験 1）	28
4.1.1 目的.....	28
4.1.2 実験方法.....	28
4.2 Y/C フォーマットと画質および所要ビットレートの確認（実験 2）	28
4.2.1 目的.....	28
4.2.2 実験方法.....	28

第1章 映像符号化方式

1.1 映像入力フォーマットおよび符号化方式選定の基本的な考え方

映像入力フォーマットおよび符号化方式の選定にあたっては、高度衛星デジタル放送の要求条件に示されている「現行のデジタルHDTVを基本とした高画質サービスを可能とすること」および「現行のデジタルHDTVを超える高画質サービスにも対応すること」を基本とし、わが国の衛星デジタル放送および地上デジタル放送の状況、国際動向、技術動向等を考慮して検討した。

1.1.1 映像入力フォーマット

検討対象とした映像フォーマットを表 1-1、表 1-2、表 1-3 に示す。

表 1-1 検討対象とした映像入力フォーマット（時空間フォーマット）

フォーマット	有効走査線数	ライン当たり有効サンプル数	画面アスペクト比	走査方式	フレーム周波数(Hz)	フィールド周波数(Hz)
720x480/60I	480	720	4:3 or 16:9	飛越	30/1.001	60/1.001
720x480/60P	480	720	16:9	順次	60/1.001	—
1280x720/60P	720	1280	16:9	順次	60/1.001	—
1920x1080/60I	1080	1920	16:9	飛越	30/1.001	60/1.001
1920x1080/60P	1080	1920	16:9	順次	60/1.001	—
3840x2160/60P	2160	3840	16:9	順次	60/1.001	—
7680x4320/60P	4320	7680	16:9	順次	60/1.001	—

表 1-2 検討対象とした映像入力フォーマット（信号方式）

信号形式	YCbCr, XYZ
輝度・色差信号形式	4:2:0, 4:2:2, 4:4:4
量子化ビット数	8, 10, 12

表 1-3 検討対象とした映像入力フォーマット（カラリメトリ）

現行色域方式	ITU-R BT.1361 の従来色域システム(ITU-R BT.709)
広色域方式	ITU-R BT.1361 の拡張色域システム、IEC 61966-2-4

1.1.2 映像符号化方式

ITU-T H.264 | ISO/IEC 14496-10 (MPEG-4 AVC)を、高度衛星デジタル放送の映像符号化方式として検討した。

MPEG-4 AVC のプロファイルおよびレベルの選定にあたっては、MPEG-4 AVC コーデックの技術動向を調査・予測すると共に、検証実験を踏まえて検討した。検討対象としたプロファイルおよび

びレベルを表 1-4 、表 1-5 に示す

表 1-4 検討対象とした MPEG-4 AVC のプロファイル

プロファイル	対応する輝度・色差信号形式	対応する量子化ビット数
Main	4:2:0	8
High	4:2:0	8
High 10	4:2:0	8 - 10
High 4:2:2	4:2:2, 4:2:0	8 - 10
High 4:4:4	4:4:4, 4:2:2, 4:2:0	8 - 12

表 1-5 検討対象とした MPEG-4 AVC のレベル

レベル	対応する映像フォーマット
3	720x480/60I
3.1	720x480/60P
3.2	1280x720/60P
4	1920x1080/60I
4.2	1920x1080/60P
TBD*	3840x2160/60P
TBD*	7680x4320/60P

* ITU-T H.264 | ISO/IEC 14496-10 において規定されていない。

1.1.3 その他

映像入力フォーマットおよびその符号化方式以外に、高臨場感放送を目的とした新たな試みとして、番組視聴時の照明条件を番組の情景に応じて制御する方式が提案された。番組に付随した照明制御メタデータを伝送することによって、シーンと連動した照明制御を実現し、これによって臨場感の向上を図ろうとするものである。本提案は、高臨場感放送のための一要素技術として興味深いですが、将来の高臨場感放送システムに向けて、映像、音響、そして照明条件に留まらない視聴環境を連携させた研究開発課題とすることが適当と判断した。

1.2 映像入力フォーマット

1.2.1 映像の時空間フォーマット

1.2.1.1 高度衛星デジタル放送の基本映像フォーマット

高度衛星デジタル放送の基本映像フォーマットを表 1-6 に示す。

表 1-6 高度衛星デジタル放送の基本映像フォーマット

フォーマット	有効走査線数	ライン当たり有効サンプル数	画面アスペクト比	走査方式	フレーム周波数 (Hz)	フィールド周波数 (Hz)
1920x1080/60I	1080	1920	16:9	飛越	30/1.001	60/1.001
1920x1080/60P	1080	1920	16:9	順次	60/1.001	—
3840x2160/60P	2160	3840	16:9	順次	60/1.001	—

(理由)

1920x1080/60I は、デジタル HDTV を中心とする衛星デジタル放送および地上デジタル放送において、高精細度テレビジョン方式として専ら用いられており、高度衛星デジタル放送においても、引き続き使用することが適当である。

1920x1080/60P は、現行衛星デジタル放送の技術的条件の策定に際しては、技術的実現性の確認を必要とする映像入力フォーマットとされた。現在は、本フォーマットによる制作機器や表示装置が実用化されるに至っている。平面ディスプレイでは順次走査表示が一般的となっているが、順次走査信号を放送することにより、ディスプレイでの飛越—順次走査変換の不完全性を排除できると共に、垂直解像度の改善が期待される。

3840x2160/60P は、HDTV を超える高精細度を有し、放送の高度化に相応しいフォーマットと考えられる。既に制作機器や表示装置が実用化段階にあり、本フォーマットにより、HDTV を超える高画質・高臨場感な映像サービスが期待される。

1280x720/60P は、現行デジタル放送の高精細度テレビジョン方式の一方式として採用され、一時使用されたことがあるが、現在、放送サービスでは使用されていない。今後、1920x1080/60P や 3840x2160/60P など、より高精細度の順次走査フォーマットが普及すると考えられ、高度衛星デジタル放送の映像入力フォーマットとしては採用しないこととした。

1.2.1.2 高度衛星デジタル放送のマルチサービス専用映像フォーマット

高度衛星デジタル放送のマルチサービス専用映像フォーマットを表 1-7 に示す。

表 1-7 高度衛星デジタル放送のマルチサービス専用映像フォーマット

フォーマット	有効走査線数	ライン当たり有効サンプル数	画面アスペクト比	走査方式	フレーム周波数 (Hz)	フィールド周波数 (Hz)
720x480/60I	483*1	720	16:9	飛越	30/1.001	60/1.001
720x480/60P	483*2	720	16:9	順次	60/1.001	—

*1 符号化するライン数は 480 であり、ライン番号 23～262 およびライン番号 286～525 を望ましい符号化領域とする。

*2 符号化するライン数は 480 であり、ライン番号 45～524 を望ましい符号化領域とする。

(理由)

720x480/60I は、デジタル HDTV を中心とする衛星デジタル放送および地上デジタル放送において、マルチサービスあるいはアナログ放送とのサイマル放送で用いられている。高度衛星デジタル放送においても、マルチサービスでの使用は想定されるため、マルチサービス専用の映像フォーマットと位置づけることとした。

720x480/60P は、衛星デジタル放送において一部の事業者により使用されて来たが、HDTV への移行に伴い、現在は使用されていない。しかし、高度衛星デジタル放送において、マルチサービスでの使用は想定されるため、720x480/60I と同様にマルチサービス専用の映像フォーマットと位置づけることとした。

1.2.1.3 高度衛星デジタル放送の実験用映像フォーマット

高度衛星デジタル放送の実験用映像フォーマットを表 1-8 に示す。

表 1-8 高度衛星デジタル放送の実験用映像フォーマット

フォーマット	有効走査線数	ライン当たり有効サンプル数	画面アスペクト比	走査方式	フレーム周波数 (Hz)	フィールド周波数 (Hz)
7680x4320/60P	4320	7680	16:9	順次	60/1.001	—

(理由)

7680x4320/60P は、HDTV の縦・横各 4 倍という極めて高い精細度を有し、高臨場感な映像サービスを提供可能であり、放送の高度化に相応しいフォーマットと考えられる。しかし、現在のところ、制作機器や表示装置は実用化に向けて開発が進められている段階にある。したがって、高度衛星デジタル放送の映像フォーマットとしては、今後、技術的実現性の確認を経て採否を検討する必要がある、実験用の映像フォーマットと位置づけることとした。

1.2.2 映像の信号方式

高度衛星デジタル放送の映像入力フォーマットの信号方式を表 1-9 に示す。

表 1-9 映像入力フォーマットの信号方式

信号形式	YCbCr
輝度・色差信号形式	4:2:2, 4:4:4(TBD)
量子化ビット数	8, 10

(理由)

輝度信号および色差信号からなる YCbCr の 4:2:2 信号、8 または 10-bit は、テレビジョン映像信号のスタジオインタフェース (Rec. ITU-R BT.656、Rec. ITU-R BT.1120) で広く使用されており、映像入力フォーマットの信号方式として適当である。YCbCr の 4:4:4 信号については、実証実験により必要性を確認し、採否を判断する。

信号形式としての XYZ は、将来のカラリメトリのありかたも含めた検討が必要であり、今後の研究開発課題であると判断した。

映像入力フォーマットとしての 4:2:0 は、3840x2160/60P や 7680x4320/60P のスタジオ信号としての規定はあるが、スタジオインタフェースの規定がないことから、採用しないこととした。また、12-bit 信号については、スタジオインタフェースでの使用例が少ないことから、採用しないこととした。

1.2.3 カラリメトリ

高度衛星デジタル放送の映像入力フォーマットのカラリメトリを表 1-10 に示す。

表 1-10 映像入力フォーマットのカラリメトリ

3原色色度点	色度座標(CIE, 1931)									
	x	y								
	赤(R)	0.640								
	緑(G)	0.300								
	青(B)	0.150								
基準白色 ($E_R = E_G = E_B$)	D_{65}	色度座標(CIE, 1931)								
		x	y							
		0.3127	0.3290							
光電変換特性	$E' = \begin{cases} \alpha L^{0.45} - (\alpha - 1) & (\beta \leq L) \\ 4.50L & (-\beta < L < \beta) \\ -\alpha(-L)^{0.45} + (\alpha - 1) & (L \leq -\beta) \end{cases}$									
	<p>但し、α および β は連立方程式 $\begin{cases} 4.5\beta = \alpha\beta^{0.45} - \alpha + 1 \\ 4.5 = 0.45\alpha\beta^{-0.55} \end{cases}$ の解であり、$\alpha=1.09929682680944\dots$、$\beta=0.0180539685108078\dots$。量子化ビット数に応じて、下記の近似値を用いる。</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>量子化ビット数</th> <th>α</th> <th>β</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>8 - 11</td> <td>1.099</td> <td>0.018</td> </tr> <tr> <td>12 - 18</td> <td>1.0993</td> <td>0.0181</td> </tr> </tbody> </table> <p>Lはカメラの各色チャンネルで検出される入力光強度に比例する電圧値で、基準白色にて正規化した値である。E'はこの非線形処理によって得られる原色信号である。 広色域システムの場合にのみ、$L < 0$ および $1 < L$ を許容する。</p>		量子化ビット数	α	β	8 - 11	1.099	0.018	12 - 18	1.0993
量子化ビット数	α	β								
8 - 11	1.099	0.018								
12 - 18	1.0993	0.0181								
輝度信号方程式	$E'_Y = 0.2126 E'_R + 0.7152 E'_G + 0.0722 E'_B$									
色差信号方程式	$E'_{CB} = \frac{E'_B - E'_Y}{1.8556}$ $= \frac{-0.2126 E'_R - 0.7152 E'_G + 0.9278 E'_B}{1.8556}$									
	$E'_{CR} = \frac{E'_R - E'_Y}{1.5748}$ $= \frac{0.7874 E'_R - 0.7152 E'_G - 0.0722 E'_B}{1.5748}$									

(理由)

衛星デジタル放送および地上デジタル放送では、映像入力フォーマットによらず、ITU-R 勧告 BT.1361 (ITU-R 勧告 BT.709) に規定された三原色色度点、基準白色、光電変換特性、輝度・色差方程式を採用している。高度衛星デジタル放送においても、この統一カラリメトリの採用が適当である。

一方、最近のディスプレイの広色域化の動向や、高度衛星デジタル放送の「高画質化」の要求を踏まえ、放送の広色域化を検討した。

三原色を変更することによって広い色域を表現することはできるが、三原色を変更しなくとも、

三原色信号(RGB)に負値や1を超える値を許容することで広い色域を表現することが可能である。さらに、RGB信号に負値や1を超える値を許容しても、輝度・色差信号(YCbCr)では、従来方式と同じ信号ダイナミックレンジの下で、実効的に十分広い色域を表現可能である。また、三原色を変更する方法は既存方式との信号の両立性に難があるが、RGB信号に負値や1を超える値を許容する方法は、YCbCr信号の両立性が確保され、ディスプレイ側の処理によって任意の色再現範囲を設定可能である。

このRGB信号に負値や1を超える値を許容する方法に基づく広色域方式が、ITU-R 勧告 BT.1361 や IEC 61966-2-4 に規定されており、高度衛星デジタル放送のカラリメトリとして採用することとした。Rec. ITU-R BT.1361 と IEC 61966-2-4 では、負値に対する光-電気変換特性（ガンマ特性）に相違があるが、正負対称の特性を採用することとした。

光電気変換特性については、高画質化のため 12-bit 以上の量子化ビット数に対応できるように、規定の精度を高めることとした。なお、11-bit 以下では従来の規定からの変更はない。

1.3 映像符号化方式

1.3.1 準拠規格

高度衛星デジタル放送の映像符号化方式は、ITU-T H.264 | ISO/IEC 14496-10 (MPEG-4 AVC) に準拠するものとする。

(理由)

衛星デジタル放送および地上デジタル放送の映像符号化方式である ITU-T H.262 | ISO/IEC 13818-2 (MPEG-2 Video) に比べて圧縮効率に優れ、国際標準方式でもある ITU-T H.264 | ISO/IEC 14496-10 (MPEG-4 AVC) が、高度衛星デジタル放送の映像符号化方式として適当である。MPEG-4 AVC は、わが国の高度狭帯域 CS デジタル放送方式に採用されているほか、世界各国においても後発のデジタル放送で採用されつつある。また、次世代 DVD の映像符号化方式としても採用されている。

1.3.2 MPEG-4 AVC のプロファイルとレベル

高度衛星デジタル放送の映像符号化方式は、MPEG-4 AVC の High (TBD) プロファイルに準拠するものとし、レベルは映像入力フォーマットに応じて表 1-11 に示す通りとする。

表 1-11 映像入力フォーマットと MPEG-4 AVC のレベル

映像入力フォーマット	レベル
720x480/60I	3
720x480/60P	3.1
1920x1080/60I	4
1920x1080/60P	4.2
3840x2160/60P	TBD*
7680x4320/60P	TBD*

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

(理由)

MPEG-4 AVC のプロファイルとレベルは、ビットストリームに対する制約を規定するものであり、それにより、デコーダがそのビットストリームを復号するために必要な能力が定められる。プロファイルは、デコーダがサポートすべき符号化ツールを制限するもので、レベルは、符号化対象の映像サイズやビットレートなどを制限するものである。

MPEG-4 AVC のプロファイル Main、High、High 10、High 4:2:2、High 4:4:4 は、上位のプロファイルが下位のプロファイルを包含している。Main プロファイルは、主に SDTV を対象に規定されたものであり、マルチサービス用の 720x480/60I および 720x480/60P に適当である。一連の High プロファイルは、高解像度化や高画質化を目的に規定されたものであり、HDTV 以上の高解像度フォーマットに適当である。高度衛星デジタル放送における最上位のプロファイルの選定にあたり、特に、対応すべきクロマフォーマットの選定が課題であった。実証実験によって、4:2:0、4:2:2、4:4:4 の画質や所要ビットレートを比較検討し、最上位のプロファイルを決定することとした。また、8-bit を超える量子化ビット数の必要性についても今後検討が必要である。

MPEG-4 AVC のレベルは、映像入力フォーマットに応じてそれに対応する最下位のレベルが定まる。なお、現在はレベル 5.1 が規格化されている最上位のレベルであるが、これは解像度 3840x2160 の場合 30P までしか対応していない。したがって、3840x2160/60P および 7680x4320/60P に対応するレベルの追加規定が必要である。

1.3.3 MPEG-4 AVC の制約条件

従来方式と広色域方式のカラリメトリを識別するため、VUI パラメータの colour_description (ITU-T H.264 | ISO/IEC 14496-10 Annex E 参照) は、表 1-12 に従うものとする。

表 1-12 カラリメトリに関する制約条件

	従来色域システム	広色域システム														
colour_primaries ^{*1}	1															
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>primary</th> <th>x</th> <th>y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>green</td> <td>0.300</td> <td>0.600</td> </tr> <tr> <td>blue</td> <td>0.150</td> <td>0.060</td> </tr> <tr> <td>red</td> <td>0.640</td> <td>0.330</td> </tr> <tr> <td>white D65</td> <td>0.3127</td> <td>0.3290</td> </tr> </tbody> </table>		primary	x	y	green	0.300	0.600	blue	0.150	0.060	red	0.640	0.330	white D65	0.3127
primary	x	y														
green	0.300	0.600														
blue	0.150	0.060														
red	0.640	0.330														
white D65	0.3127	0.3290														
transfer_characteristics ^{*2}	1	11														
	$V = 1.099 L_c^{0.45} - 0.099$ for $1 \geq L_c \geq 0.018$ $V = 4.500 L_c$ for $0.018 > L_c > 0$	$V = 1.099 L_c^{0.45} - 0.099$ for $L_c \geq 0.018$ $V = 4.500 L_c$ for $0.018 > L_c > -0.018$ $V = -1.099(-L_c)^{0.45} + 0.099$ for $-0.018 \geq L_c$														
matrix_coefficients ^{*3}	1															
	ITU R Recommendation BT.709 KR = 0.2126; KB = 0.0722															

*1 ITU-T H.264|ISO/IEC 14496-10 Table E-3 参照

*2 ITU-T H.264|ISO/IEC 14496-10 Table E-4 参照

*3 ITU-T H.264|ISO/IEC 14496-10 Table E-5 参照

1.4 映像入力フォーマットの信号規定

1.4.1 映像信号特性

項目		720 × 480/60I	720 × 480/60P	1920 × 1080/60I	1920 × 1080/60P	3840 × 2160/60P	7680 × 4320/60P
(1)	画面アスペクト比	16:9					
(2)	ライン当たり有効サンプル数	720		1920		3840	7680
(3)	フレーム当たり有効ライン数	483		1080		2160	4320
(4)	サンプリング構造	Y, C _B , C _R 4:2:2, 4:4:4(TBD)					
	輝度信号 Y	直交格子状。ライン、フレームで繰り返す					
	色差信号 C _B , C _R (4:2:2)	直交格子状。ライン、フレームで繰り返す。各ラインの偶数番号のYサンプル点(サンプル番号0, 2, 4, ...)と一致。但し、各ラインの最初の有効サンプル点をサンプル番号0とする。					
	色差信号 C _B , C _R (4:4:4)	直交格子状。ライン、フレームで繰り返す。Yサンプル点と一致。					
(5)	走査の方向	左から右、上から下 飛越走査は、第1フィールドの第1有効ラインを画面の最上部とする。					
(6)	走査方式	飛越走査(2:1)	順次走査(1:1)	飛越走査(2:1)	順次走査(1:1)		

(7)	フレーム周波数 (Hz)	30/1.001	60/1.001	30/1.001	60/1.001
(8)	フィールド周波数 (Hz)	60/1.001	-	60/1.001	-
(9)	量子化	8, 10ビット リニア			
		8ビット		10ビット	
(10)	符号割当て 映像データ 同期データ	1 - 254 0, 255		4 - 1019 0 - 3, 1020 - 1023	
(11)	映像データのレベル割当て				
	Y	白ピークレベル	235		940
		黒レベル	16		64
	CB, CR	正ピークレベル	240		960
		無彩色レベル	128		512
負ピークレベル		16		64	

1.4.2 輝度信号および色差信号の量子化特性

項目		式
(1)	輝度信号および 色差信号の量子化 ($m \geq 8$)	$D'_Y = \text{INT} \left[(219 E'_Y + 16) \cdot 2^{m-8} \right]$ $D'_{CB} = \text{INT} \left[(224 E'_{CB} + 128) \cdot 2^{m-8} \right]$ $D'_{CR} = \text{INT} \left[(224 E'_{CR} + 128) \cdot 2^{m-8} \right]$
m は輝度信号および色差信号の量子化ビット数。 演算子 INT は、小数点以下第 1 位の四捨五入により整数を与える。		

1.4.3 原色信号の量子化特性

項目		式
(1)	ガンマ補正後の RGB原色信号の 量子化 ($n \geq 8$)	$D'_R = \text{INT} \left[(219 E'_R + 16) \cdot 2^{n-8} \right]$ $D'_G = \text{INT} \left[(219 E'_G + 16) \cdot 2^{n-8} \right]$ $D'_B = \text{INT} \left[(219 E'_B + 16) \cdot 2^{n-8} \right]$ $(0 \leq E'_R, E'_G, E'_B \leq 1.0)$
	広色域システム ($n \geq 9$)	$D'_R = \text{INT} \left[(219 E'_R + 160) \cdot 2^{n-9} \right]$ $D'_G = \text{INT} \left[(219 E'_G + 160) \cdot 2^{n-9} \right]$ $D'_B = \text{INT} \left[(219 E'_B + 160) \cdot 2^{n-9} \right]$ $(-0.71 \leq E'_R, E'_G, E'_B \leq 1.56)$
(2)	量子化後のRGB 原色信号からの輝 度信号および色差 信号の生成 ($m = n,$ $n \geq 8, m \geq 8$)	$D'_Y = \text{INT} \left[0.2126 D'_R + 0.7152 D'_G + 0.0722 D'_B \right]$ $D'_{CB} = \text{INT} \left[\left(-\frac{0.2126}{1.8556} D'_R - \frac{0.7152}{1.8556} D'_G + \frac{0.9278}{1.8556} D'_B \right) \cdot \frac{224}{219} + 2^{m-1} \right]$ $D'_{CR} = \text{INT} \left[\left(\frac{0.7874}{1.5748} D'_R - \frac{0.7152}{1.5748} D'_G - \frac{0.0722}{1.5748} D'_B \right) \cdot \frac{224}{219} + 2^{m-1} \right]$
	広色域システム ($m = n - 1,$ $n \geq 9,$ $m \geq 8$)	$D'_Y = \text{INT} \left[\left(0.2126 D'_R + 0.7152 D'_G + 0.0722 D'_B \right) - 160 \cdot 2^{n-9} + 16 \cdot 2^{m-8} \right]$ $D'_{CB} = \text{INT} \left[\left(-\frac{0.2126}{1.8556} D'_R - \frac{0.7152}{1.8556} D'_G + \frac{0.9278}{1.8556} D'_B \right) \cdot \frac{224}{219} + 2^{m-1} \right]$ $D'_{CR} = \text{INT} \left[\left(\frac{0.7874}{1.5748} D'_R - \frac{0.7152}{1.5748} D'_G - \frac{0.0722}{1.5748} D'_B \right) \cdot \frac{224}{219} + 2^{m-1} \right]$
<p>nはRGB信号の量子化ビット数、mは輝度信号および色差信号の量子化ビット数。 演算子 INT は、小数点以下第 1 位の四捨五入により整数を与える。</p>		

(注1)映像入力フォーマットとしては輝度・色差信号のみを規定している(1.4.1(5))。原色信号RGBの量子化特性は、デジタルRGB原色信号による相互接続や信号処理のためのガイドラインとして示している。

参考1 H.264|MPEG-4 AVC の技術動向

1 2007 年におけるハードウェア

HDTV (1080/60I) 用の Main あるいは High プロファイル、レベル 4 あるいは 4.1 に対応したコーデックが多くのメーカーで開発され、商品化されている。FPGA あるいは DSP を数個使用するものが多いが、1-chip エンコーダ LSI の開発も行われている。また、HDTV 用の High 4:2:2 対応コーデックも開発されているほか、1080/50P 用のプロトタイプも発表されている。

HDTV を超える解像度の 2160/60P や 4320/60P については、画面分割型で複数の HDTV 用コーデックを並列使用するプロトタイプが発表されている。

2 2011 年におけるハードウェア予測

半導体プロセスの進歩やメモリの大容量化、高速化、低価格化を背景に、より高性能なハードウェアが開発される。特にコンシューマ向けのデコーダ開発は、市場要求に大きな影響を受ける。

1080/60I 対応 MPEG-4 AVC コーデックが実用化された 2005 年から、高度衛星デジタル放送の開始が予定されている 2011 年まで 6 年間の半導体技術の進展を、半導体プロセスの集積度：5 倍、動作周波数：1.8 倍、処理能力：9 倍と予測する¹。一方、MPEG-4 AVC コーデックの所要処理量を、1080/60I と比較して、1080/60P エンコーダ：1.5 倍、デコーダ：2 倍、2160/60P エンコーダ：6 倍、デコーダ：8 倍、4320/60P エンコーダ：24 倍、デコーダ：32 倍と仮定する。これらより、1080/60I を超える映像フォーマットへの対応は以下のように予測される。

1080/60P：エンコーダ、デコーダ共に 2009 年頃の実現可能。

2160/60P：エンコーダ、デコーダ共に 2011 年頃の実現可能。

4320/60P：エンコーダ、デコーダ共に 2011 年頃の実現は困難で、さらに 5 年程度が必要。

したがって、当面は並列処理が必須。

3 技術開発の課題

1080/60I を超える映像フォーマット用のコーデックの実用化のためには、以下のような課題がある。

算術符号化および動きベクトル検出の並列処理実装技術

専用のハード、ソフトによる高速処理技術と、コストとのバランス

半導体プロセス微細化に伴う動作周波数向上の飽和

メモリアクセスのためのバンド幅

ベースバンド映像入出力インタフェース

¹ NEDO 技術戦略マップ 2006 (<http://www.nedo.go.jp/roadmap/2006/index.html>)

4 記録装置、伝送装置への利用

コンシューマ用途では、デジタル放送の MPEG-2 映像を MPEG-4 AVC に変換して記録する HDD/DVD 録画装置や、MPEG-4 AVC を採用した HDTV カムコーダが商品化されている。

プロフェッショナル用途では、MPEG-2 から MPEG-4 AVC へのトランスコーダや、イントラピクチャを用いた低遅延の記録装置、伝送装置が開発されている。

参考2 負 RGB 方式による広色域化

1 広色域方式の概要

RGB 信号に負値や 1 を超える値を許容する方法に基づく広色域方式が、ITU-R 勧告 BT.1361 や IEC 61966-2-4 に規定されている。

ディスプレイの色再現範囲は、「負の発光」が不可能であるため、色度図のディスプレイ三原色色度点の内部に限定される。多原色化によって再現範囲の拡大は可能ではあるが、再現範囲は原色色度点の内部に限定される。

一方、送像側で表現可能な色範囲は、三原色色度点内部に限定されない。三原色を変更することによって広い色域を表現することはできるが、三原色を変更しなくとも、三原色信号(RGB)に負値や 1 を超える値を許容することで広い色域を表現することが可能である。RGB 信号に負値や 1 を超える値を許容することは、信号ダイナミックレンジの拡大を意味するが、輝度・色差信号(YCbCr)では、従来方式と同じ信号ダイナミックレンジの下で、実効的に十分広い色域を表現可能である。また、三原色を変更する方法は既存方式との信号の両立性に難があるが、RGB 信号に負値や 1 を超える値を許容する方法は、YCbCr 信号の両立性が確保され、ディスプレイ側の処理によって任意の色再現範囲を設定可能である。

2 広色域方式の色表現能力

実在する最も彩度の高い表面色の集合として、Pointer colors[1]と呼ばれる色集合があり、10 度毎 36 の色相と 16 の輝度レベルについて整理されている。図 A2-1 に Pointer colors の輝度レベル毎の色度を、同図(b)に HDTV の三原色点および Adobe RGB の三原色点を併せて示す。従来のテレビジョンでは再現されない物体色が存在することが分かる。

2.1 広色域方式の信号レベル

Pointer colors を対象として、負 RGB 方式による広色域方式の信号レベルを検証する。

2.1.1 リニア RGB 信号

図 A2-2 に Pointer colors のリニア RGB 信号レベルを示す。横軸は(u', v')系における hue、縦軸が RGB の信号レベルである (以下同様)。これより、Pointer colors のリニア RGB 信号には、負値や 1 を超える信号レベルが出現することが分かる。

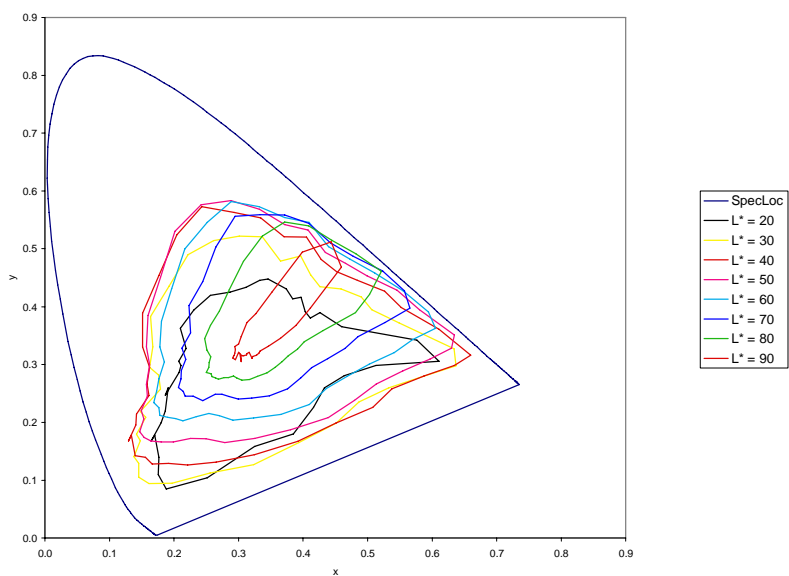
2.1.2 ノンリニア RGB 信号

上述のリニア RGB 信号に対して、光電変換特性を与えたノンリニア RGB 信号の信号レベルを図 A2-3 に示す。

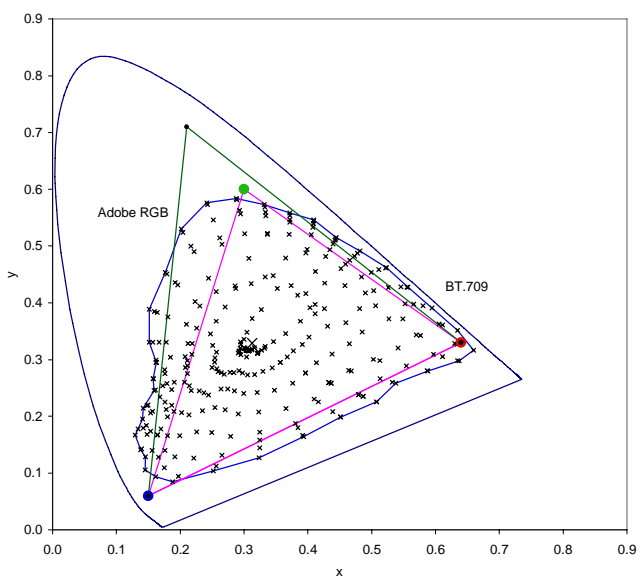
2.1.3 YCbCr 信号

上記ノンリニア RGB 信号から輝度・色差信号に変換した YCbCr 信号の信号レベルを図 A2-4 に示す。これより、YCbCr 信号では、全ての Pointer colors が YCbCr 信号の所定のダイナミッ

クレンジ内に収まっていることが分かる。すなわち、広い色域を表現できている。

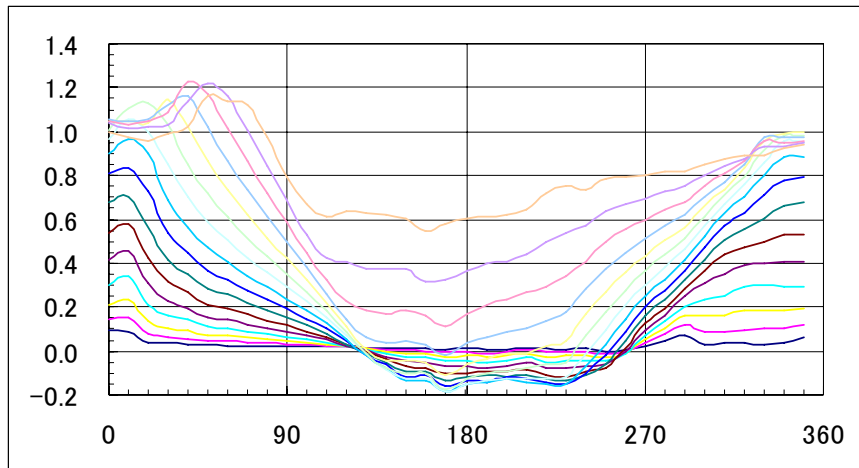


(a) 輝度レベル毎の色度

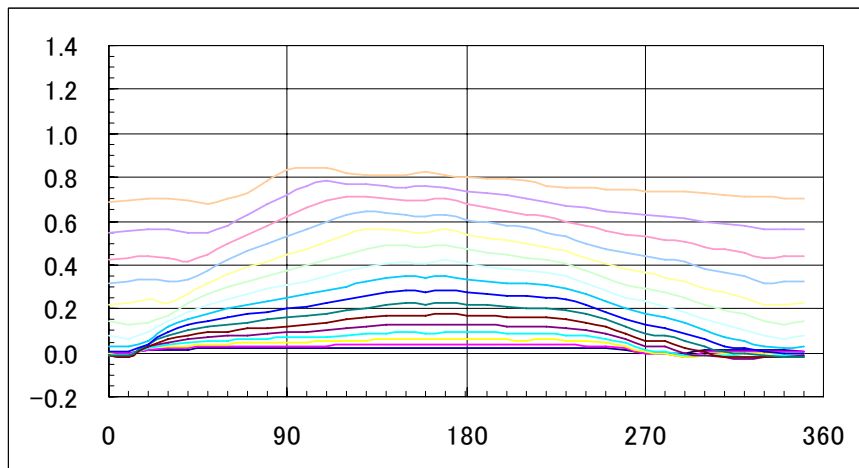


(b) Pointer colors と三原色点

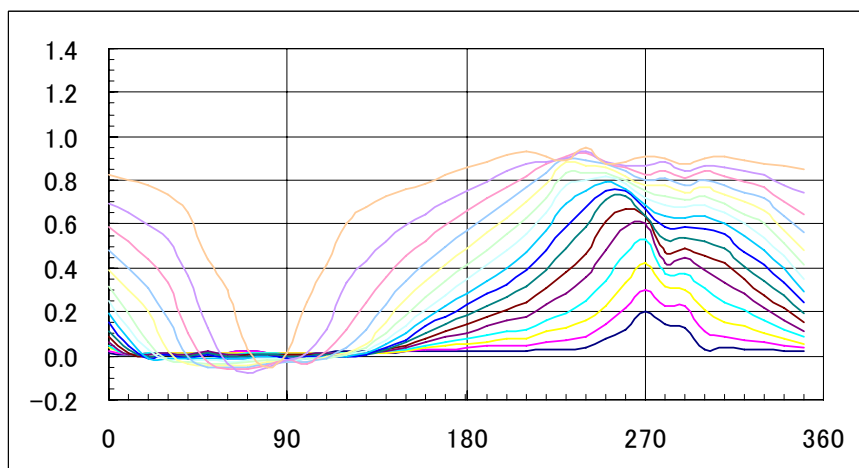
図 A2-1 Pointer colors の色度



(a) R: -0.1875~1.2286

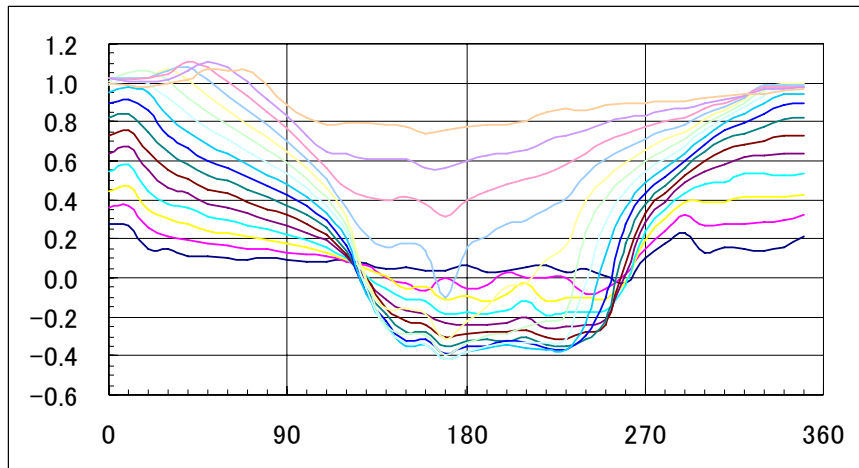


(b) G: -0.0266~0.8437

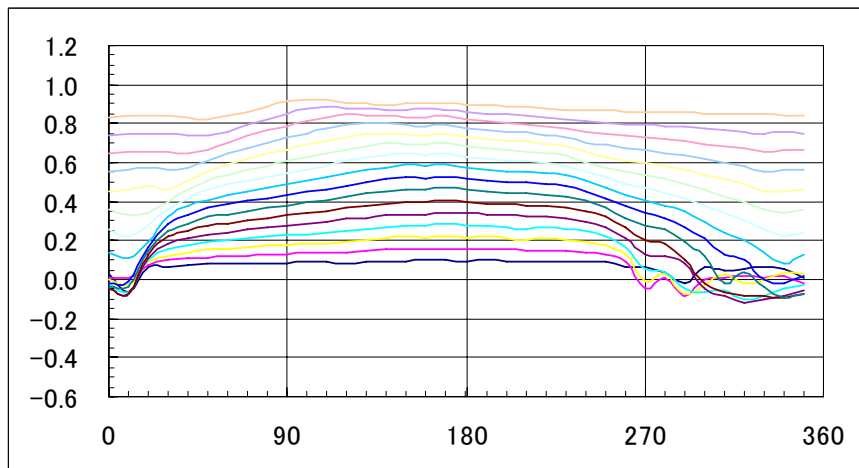


(c) B: -0.0746~0.9528

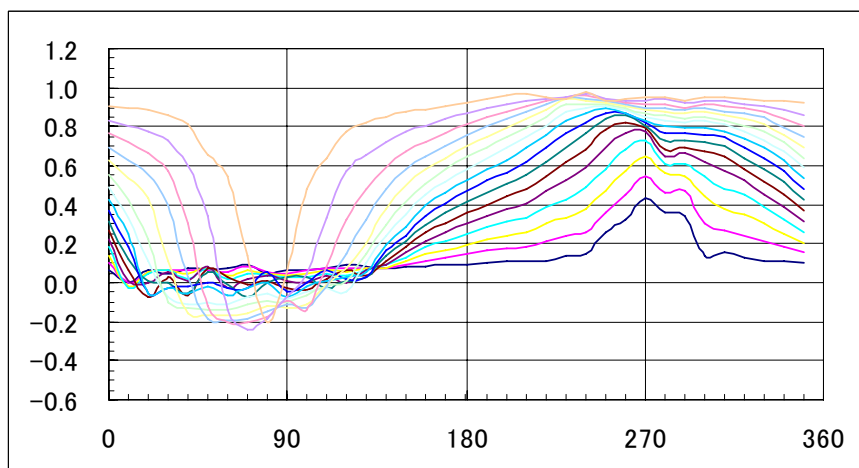
図 A2-2 Pointer colors のリニア RGB 信号レベル



(a) R': -0.4184~1.1067

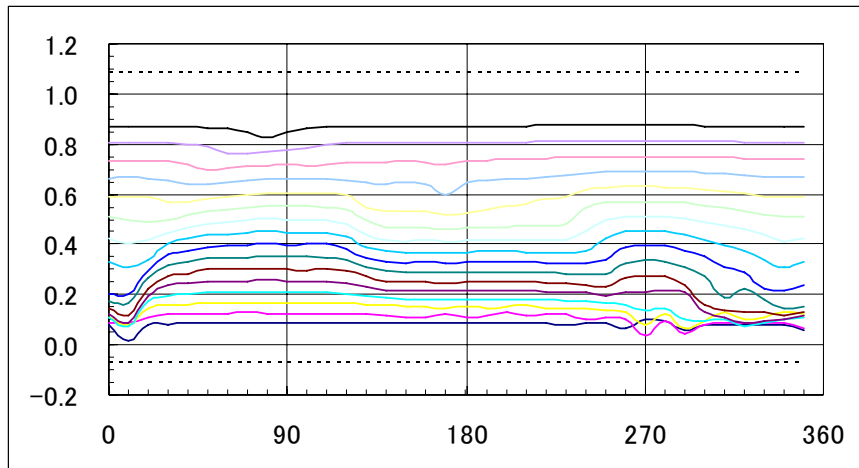


(b) G': -0.1160~0.9191

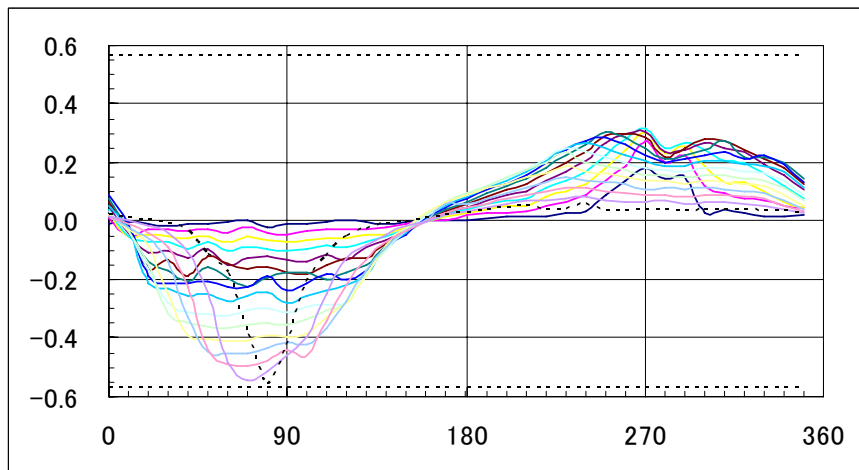


(c) B': -0.2428~0.9764

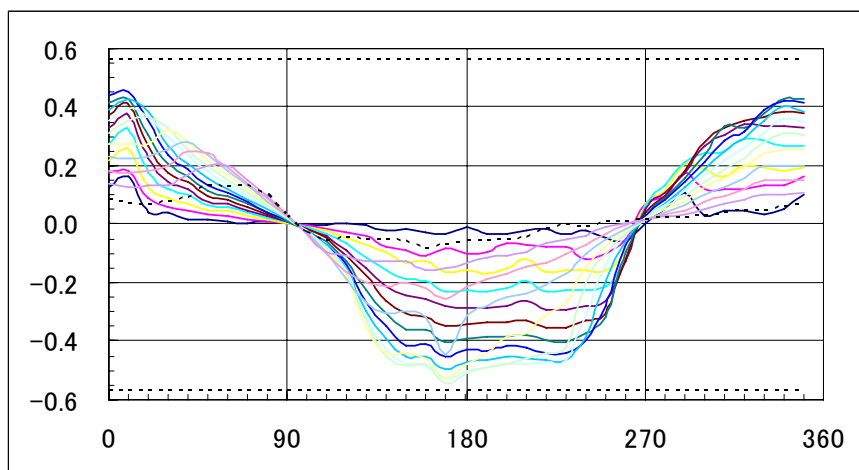
図 A2-3 Pointer colors のノンリニア RGB 信号レベル



(a) Y': 0.0657~0.8739 [-0.0685~1.0868]



(b) Cb': -0.5542~0.3076 [-0.5670~0.5625]



(c) Cr': -0.5434~0.4534 [-0.5670~0.5625]

図 A2-4 Pointer colors の YCbCr 信号レベル

参考3 映像符号化方式実証実験

1 広色域システムの特性確認実験

1.1 目的

広色域システムの信号レベル、効果、互換性（信号およびディスプレイ）、映像符号化の影響を確認する。

1.2 実験方法

表 A3-1 に実験の概要を示す。

表 A3-1 広色域システムの実験概要

映像	フォーマット	1920x1080/60I, 10-bit, 4:2:2
	テスト画像	広色域撮影映像、テストチャート（SONY 提供） 現行色域映像は、広色域映像に対し RGB 値を 0・100%クリップすることにより生成
符号化	エンコーダ	Scientific Atlanta D9054
	デコーダ	Scientific Atlanta D9887
	プロファイル	High
	ビットレート	13Mbit/s
確認方法	専門家の観視による映像確認 波形モニタによる信号レベル確認	
ディスプレイ	32-inch CRT（業務用） 広色域システム対応 LCD（xvYCC 対応） 現行色域 LCD	

(1) 広色域映像から現行色域映像の生成



(2) 接続系統

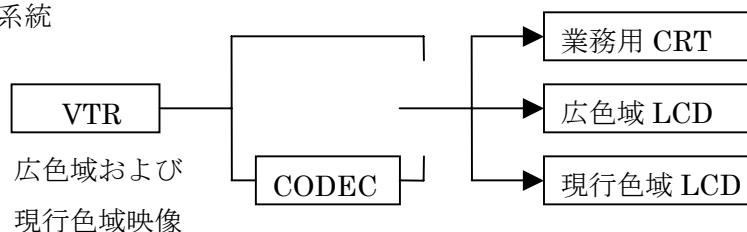


図 A3-1 実験系統

1.3 結果とまとめ

1.3.1 信号レベルと互換性

波形モニターにより、RGB および YCbCr の各信号レベルを確認した。広色域システムの RGB 信号には、負値や 1 を超えるレベルが出現していること、そして、YCbCr 信号レベルは所定のダイナミックレンジ範囲にあることを確認した。

1.3.2 色再現性およびディスプレイ互換性

3つのディスプレイにより、色再現性を確認した。広色域システム対応ディスプレイでは、広色域信号を表示する場合には色再現範囲が拡大し、それに伴い画像ディテールの再現性も向上していること、現行色域信号は従来通り再現されることを確認した。一方、現行色域に対応している CRT および LCD ディスプレイでは、広色域信号と現行色域信号の両者に対して、同等の色再現がなされることを確認した。

1.3.3 映像符号化の影響

映像符号化・復号化処理による特段の問題は見られなかった。

2 MPEG-4 AVC 1080/60I ハードウェアコーデックの性能確認実験

2.1 目的

高度狭帯域 CS デジタル放送方式の審議(2006 年春)では、ハードウェアエンコーダの性能が不十分であったため、ソフトウェアエンコーダを用いて、要求画質(ITU-R 勧告参照)を満足するビットレートを求めた。その結果、1080/60I の所要ビットレートとして 13Mbit/s が必要とされた。それから 1 年半を経た現在のハードウェアエンコーダの性能を確認する。

2.2 実験

符号化実験および画質評価実験の条件をそれぞれ表 A3-2、表 A3-4 に示す。実験系統を図 A3-2 に示す。

表 A3-2 符号化実験条件

映像	フォーマット	1920x1080/59.94I, 8-bit, 4:2:2 (Rec. ITU-R BT.709)
	テスト画像	ITE 標準動画像 (15 秒 x 10 種、表 A3-3 参照) (高度狭帯域 CS デジタル放送の審議における実験で使用したのと同じシーケンス)
符号化	エンコーダ	Scientific Atlanta D9054
	デコーダ	Tandberg Rx1290
	プロファイル	High (8-bit, 4:2:0)
	ビットレート	7~17Mbit/s (7, 9, 11, 13, 15, 17Mbit/s)
	GOP	IBP 可変
	ツール	MBAFF, CABAC、プリフィルタなし

表 A3-3 テスト画像

No.	シーケンス
1	European Market
2	Harbor Scene
3	Whale Show
4	Opening Ceremony
5	Soccer Action
6	Green Leaves
7	Japanese Room
8	Crowded Crosswalk
9	Bronze with credits
10	Chroma-key (Sprinkling)

表 A3-4 画質評価実験条件

評価方法	二重刺激劣化尺度(DSIS)法、5段階劣化尺度（表 A3-5 参照、小数点付きの評点を許容） ・ビットレート毎にまとめてシーケンスを提示し（原画像 1-10、ビットレート X の画像 1-10、ビットレート Y の画像 1-10、...）、画像毎に評価 ・ビットレート毎の提示の先頭にダミー映像を追加。 ・ビットレートの提示順序は、評定者グループ毎に変更	
観視条件	Rec. ITU-R BT.500, BT.710	
評定者	専門家 22 人	
ディスプレイ	評価用	スタジオ用 CRT 型 32-inch
	確認用	民生用 PDP (1920x1080) 65-inch 民生用 LCD(1920x1080) 46-inch 2 種類、52-inch 1 種類
視距離	画面高さの 3 倍(3H)	

表 A3-5 5段階劣化尺度

評点	評価語
5	劣化が分からない
4	劣化が分かるが気にならない
3	劣化が気になるが邪魔にならない
2	劣化が邪魔になる
1	劣化が非常に邪魔になる

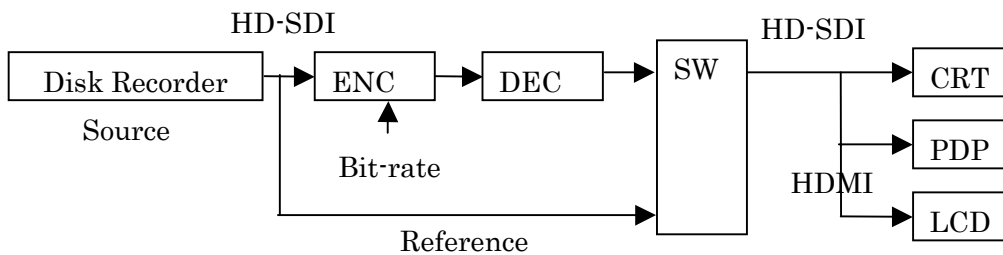


図 A3-2 実験系統

2.3 評価結果に基づく判断基準

ITU-R 勧告に示されている放送画質の要求条件は、非専門家による二重刺激連続品質尺度 (DSCQS) 法を用いた評価結果に基づき、75%の画像で原画像との品質差が 12%以内、全ての画像で 30%以内の品質差であることとされている。

今回の評価では、専門家による評価であること、そして、劣化尺度法を用いることから、同一の基準を適用することはできない。しかし、5段階劣化尺度による平均評点 4.5 を検知限、平均評点 3.5 を許容限とするのが一般的であること、専門家による評価は非専門家よりもクリティカルであることを考慮し、全ての映像で許容限を満足するビットレートを所要ビットレートとみなすこととする。

2.4 評価結果

ダミー映像を含む 11x6=66 個の評価画像について、評定者 22 名の平均評点と各評定者の評点と間の Person 相関を求め、Person 相関が 0.3 未満の評定者を統計処理の対象から除外する。このスクリーニングによって 1 名が除外された。スクリーニング後の有効評定者の評点に基づく統計処理の結果を図 A3-3 に示す。評価画像毎の平均評点および 95%信頼区間を示している。

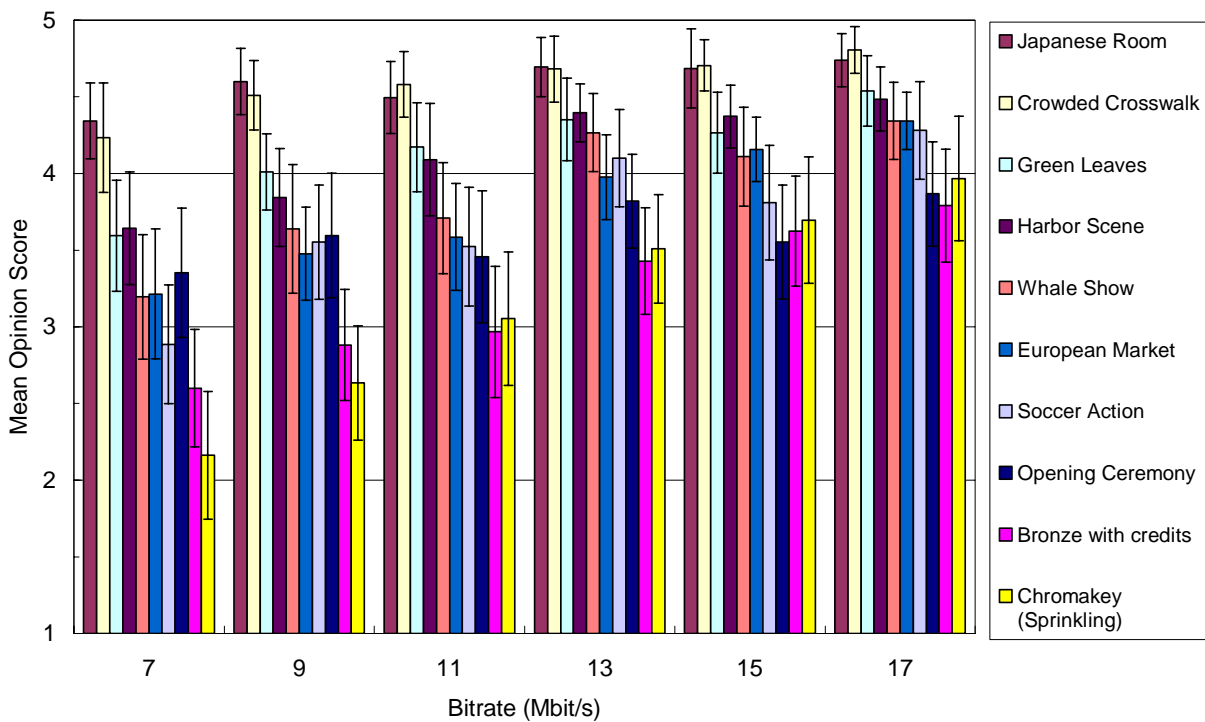


図 A3-3 評価結果

全ての映像で平均評点 3.5 以上という条件を満足するには、13Mbit/s 以上が必要である。特に、スーパーインポーズされた文字が画面全体をスクロールする「Bronze with credits」と、人物の横に水撒きが現れる「Chromakey (Sprinkling)」は、ビットレートの影響を最も顕著に受けており、11Mbit/s 以下では、これら 2 つの映像の平均評点は 3.0 以下となる。

2.5 まとめ

ハードウェアコーデックで符号化した HDTV(1080/60I)映像を専門家が評価し、所要ビットレート 13Mbit/s 以上という結果が得られた。

3 映像フォーマットと所要ビットレート確認実験(TBD)

3.1 目的

入力映像フォーマットとして採用予定の 1080/60I, 1080/60P, 2160/60P それぞれの所要ビットレートを確認する。

3.2 実験

符号化実験および画質評価実験の条件をそれぞれ表 A3-6、表 A3-7 に示す。実験系統を図 A3-4 に示す。

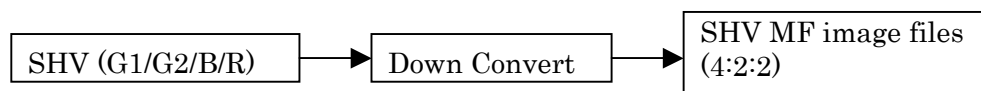
表 A3-6 符号化実験条件

映像	フォーマット	4:2:2, 8-bit
	テスト画像	SVT マルチフォーマットテスト画像 (5 シーケンス, 50Hz フィルム素材) SHV からダウンコンバートしたマルチフォーマットテスト画像 (60Hz ビデオ素材)
符号化	エンコーダ	ソフトウェアエンコーダ
	デコーダ	ソフトウェアデコーダ
	プロファイル	High (8-bit, 4:2:0)
	ビットレート	1080/60I: TBD Mbit/s 1080/60P: TBD Mbit/s 2160/60P: TBD Mbit/s
	GOP	TBD
	ツール	MBAFF(1080/60I), CABAC、プリフィルタなし

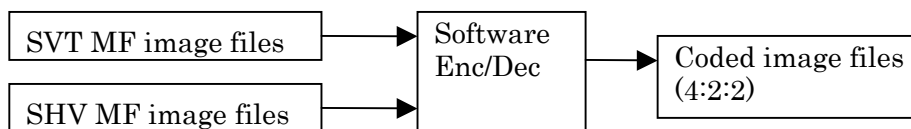
表 A3-7 画質評価実験条件

評価方法	二重刺激劣化尺度(DSIS)法、5段階劣化尺度 (表 A3-5 参照) ・ビットレート毎にまとめてシーケンスを提示し (原画像 1-10、ビットレート X の画像 1-10、ビットレート Y の画像 1-10、...)、画像毎に評価 ・ビットレートの提示順序は、評定者グループ毎に変更	
観視条件	Rec. ITU-R BT.500, BT.710	
評定者	専門家 20 人以上	
ディスプレイ	評価用	56-inch LCD(4320x2160/60P) 24-inch CRT(1920x1080/60P) 32-inch CRT(1920x1080/60I)など
	確認用	約 50-inch LCD/PDP(1920x1080)
視距離	2160/60P : 画面高さの 1.5 倍(1.5H) 1080/60P, 1080/60I : 画面高さの 3 倍(3H)	

(1) SHV 映像からのマルチフォーマット映像作成



(2) マルチフォーマット映像の符号化



(3) マルチフォーマット映像の再生・表示

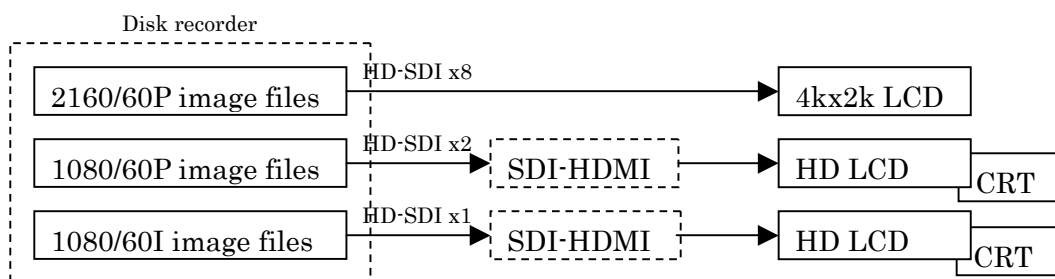


図 A3-4 実験系統

4 クロマフォーマットと画質および所要ビットレート確認実験(TBD)

4.1 クロマフォーマットの違いによる非圧縮品質の確認（実験 1）

4.1.1 目的

色差サンプリングの違いによる色再現性の違いを確認する。

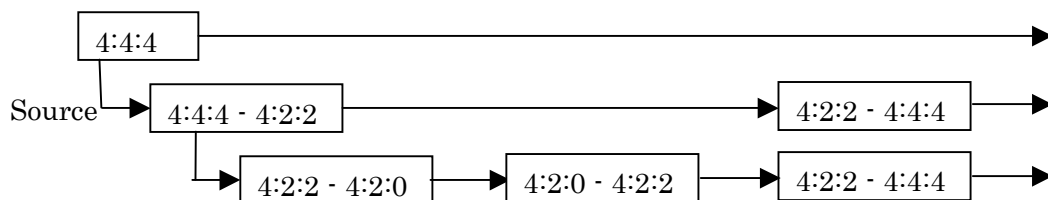
4.1.2 実験方法

実験条件を表 A3-8 に、実験システムを図 A3-5 にそれぞれ示す。

表 A3-8 実験条件

映像	フォーマット	原信号：8bit ないし 10bit, 4:4:4
	テスト画像	各種静止画，動画
評価方法		専門家による観視

(1)テスト画像の生成



(2)テスト画像の再生・表示

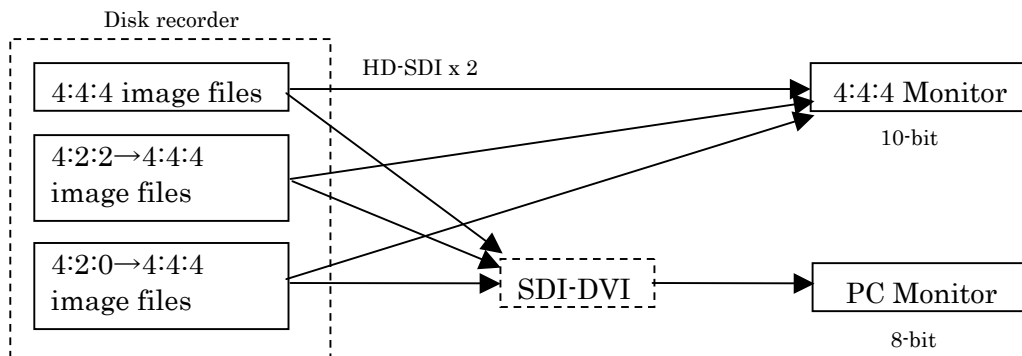


図 A3-5 実験系統

4.2 Y/C フォーマットと画質および所要ビットレートの確認（実験 2）

4.2.1 目的

4:2:0、4:2:2、4:4:4 の画質差や所要ビットレートを確認する。

4.2.2 実験方法

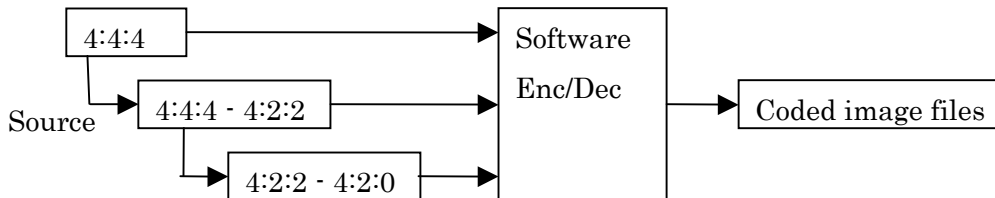
実験条件を表 A3-9 に、実験システムを図 A3-6 にそれぞれ示す。

表 A3-9 実験条件

映像	フォーマット	1920x1080/50P, 10-bit, 4:4:4/4:2:2/4:2:0 4:2:2, 4:2:0 は実験 1 と同様のプロセスによって 4:4:4 原画像から生成(下図 1)
	テスト画像	SVT マルチフォーマット画像 (参考)JVT テスト画像、CoSME テスト画像(注)、SHV ダウンコンバート画像
AVC	エンコーダ	ソフトウェアエンコーダ
	デコーダ	ソフトウェアデコーダ
	プロファイル	High 4:4:4 (10-bit, 4:4:4/4:2:2/4:2:0)
	ビットレート	TBD
	GOP	参照フレーム数=2, GOP 構造 : M=3, N=15
	ツール	CABAC, Progressive Frame Coding
評価方法	専門家による観視	
ディスプレイ(下図 3)	4:4:4 対応スタジオモニタおよび PC モニタ ・ 4:2:2, 4:2:0 は、実験 1 で使用するフィルタリングによって 4:4:4 変換し、すべて Dual-link HD-SDI により出力する ・ 4:4:4 モニタは 10 ビット入力・表示、PC モニタは 8 ビット DVI 変換後入力・表示	

(注)CoSME: Color Space Management Evaluation Material (平成 16 年度文部科学省科学技術振興調整費「デジタルシネマ標準化技術研究開発プロジェクト」制作テストシーケンス)
<http://www.dcaj.org/cosme/index.html>

(1) 符号化



(2) テスト画像の再生・表示

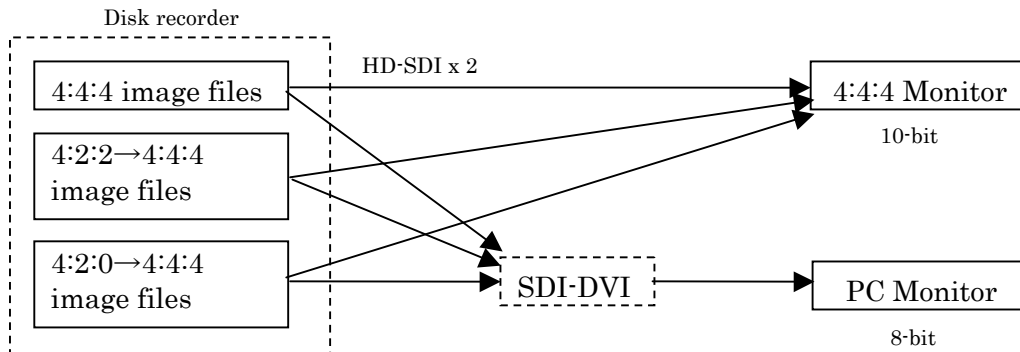


図 A3-6 実験系統

高度衛星デジタル放送の音声符号化暫定方式案

に関する中間報告（案）

平成20年1月25日

音声符号化方式作業班

1. 暫定方式の概要

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	<p>モノラル、ステレオ、 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), 3/3/3-5/2/3-3/0/0.2 (22.2)) (注)、 2 音声 (デュアルモノラル)</p> <p>※下線を引いたモードが推奨音声モード</p> <p>(注) マルチチャンネルステレオの音声モード表記法として、チャンネル数を次のように表す。 上層—中層—下層.LFE 割り当てチャンネルがない層は0 とし、割り当てチャンネルがある層のチャンネル数を次のように表す。 フロント/ミドル/リア なお、括弧内は従来の表記。</p>
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

2. 音声入力信号

(1) 最大入力音声チャンネル数

- ・ 最大入力音声チャンネル数は 22 チャンネル及び低域を強調する 2 チャンネル(以下、22.2 チャンネル) とする。

(2) 入力サンプリング周波数

- ・ 48kHz とする。(TBD)

(3) 入力量子化ビット数

- ・ 16、20、24 ビットとする。

(4) 音声モード

- ・ 音声モードは、以下の通りとする。

* モノラル

* ステレオ

* マルチチャンネルステレオ^(注)

<u>0-3/0/0-0.0 (3.0),</u>	<u>0-2/0/1-0.0 (3.0),</u>
<u>0-3/0/1-0.0 (4.0),</u>	<u>0-2/0/2-0.0 (4.0),</u>
<u>0-3/0/2-0.0 (5.0),</u>	<u>0-3/0/2-0.1 (5.1),</u>
<u>0-3/0/3-0.1 (6.1),</u>	<u>2/0/0-2/0/2-0.1 (6.1),</u>
<u>0-5/0/2-0.1 (7.1),</u>	<u>0-3/2/2-0.1 (7.1),</u>
<u>2/0/0-3/0/2-0.1 (7.1),</u>	<u>0/2/0-3/0/2-0.1 (7.1),</u>
<u>2/0/0-3/2/3-0.2 (10.2),</u>	<u>3/3/3-5/2/3-3/0/0.2 (22.2)</u>

*2 音声 (デュアルモノラル)

※下線は推奨音声モードを示す

(注) マルチチャンネルステレオの音声モード表記法として、チャンネル数を次のように表す。

上層—中層—下層.LFE

割り当てチャンネルがない層は0 とし、割り当てチャンネルがある層のチャンネル数を次のように表す。

フロント/ミドル/リア

なお、括弧内は従来の表記。

(選定理由)

- ・ 最大入力音声チャンネル数 22.2 チャンネルは、HDTV を超える高精細度映像サービスに対応した音場空間として位置付けられており、高度衛星デジタル放送の音声入力フォーマットとしてふさわしいと考えられる。
- ・ 現行のデジタル放送でもサンプリング周波数 32kHz と 44.1kHz は使用されておらず、利用ケースを考慮して、サンプリング周波数は 48kHz のみとした。(TBD)

3. 音声符号化方式

3.1. 圧縮音声符号化方式

(1) 準拠規格

- ・ MPEG-2 AAC 方式 (ISO/IEC 13818-7) LC プロファイルとする。
 - AAC+SBR (Spectral Band Replication) 方式 (符号化サンプリング周波数は入力サンプリング周波数の半分) の使用も可能とする。

(2) 符号化における制約条件

- ・ 最大音声符号化チャンネル数 : 22.2 チャンネルとする。

(選定理由)

- ・ MPEG-2 AAC 方式は既存のデジタル放送の音声符号化方式として実績があり、最大 22.2 チャンネルの音声入力にも対応可能と考えられる。
- ・ MPEG-2 AAC+SBR 方式も、既存のデジタル放送での比較的低ビットレート応用における音声符号化方式として実績があり、マルチリンガル音声サービス等の用途において有用性があると考えられる。

3.2. 非圧縮符号化方式

(1) 準拠規格

- ・ リニア PCM 音声符号化方式とする。
 - リニア PCM 音声信号 (AES3 データ) の伝送には、SMPTE302M に準拠した PES 伝送方式を用いる。(PES 伝送方式については参考 5.1 参照)
 - AES3 のユーザビット (192 ビット) を用いて、音声モード識別、ダウンミックス係数等の音声関連メタ情報を伝送する。(TBD)

(2) 符号化における制約条件

- ・ 最大音声符号化チャンネル数 : 5.1 チャンネルとする。

(選定理由)

- ・ 非圧縮高音質音声サービスを実現するためのリニア PCM 音声符号化方式は、高度衛星デジタル放送の音声符号化方式の 1 つとしてふさわしいと考えられる。
- ・ リニア PCM 音声信号を AES-3 データとして格納し、SMPTE302M に準拠した PES 伝送を行う方式について、技術的実現性を机上で確認したほか、実証実験を通じてその有効性を確認した。(実証実験結果については参考 5.3 参照)

4. 解説

高度衛星デジタル放送高度化に伴う音声符号化方式の暫定方式案を策定するにあたり、その背景として、想定される利用ケース、検討の経緯（方式採否の理由等）を以下に示す。また、暫定方式を採用するにあたっての今後の課題も紹介する。

4.1 想定利用ケース

既存のデジタル放送で実現されている音声サービス（MPEG-2 AAC LC プロファイルを使用）に加えて、以下の利用ケースを想定し、暫定方式の策定を行った。

(1) スーパーハイビジョン（SHV）に対応した高臨場感音声サービス

- ・ HDTV を超える高精細度映像サービス、いわゆる SHV（視野角 100 度）に対応する音場空間として、最大 22.2 チャンネルの音声入力フォーマットを提案。
- ・ 受信した 22.2 チャンネル音声を、家庭での様々な再生環境に応じて、柔軟な処理を行うことで 3 次元音再生が可能になる。
- ・ 本サービスに伴う想定ビットレート： 1.60Mbps 程度（22.2ch の場合）
 - 72kbps x 22ch + 10kbps x 2ch（LFE）で算出

(2) 非圧縮高品質音声サービス

- ・ 現行の BS デジタル放送及び広帯域 CS デジタル放送と同等又はそれ以上の音質が望まれることを考慮し、MPEG-2 AAC 圧縮符号化による音声品質を超える最高音質サービスを実現するためリニア PCM 音声符号化を提案。また、アナログ BS 放送の B モードステレオ（非圧縮）音声サービスの後継サービスともなる。音声チャンネル数は最大 5.1 チャンネル。
- ・ リニア PCM 音声サービスとして新たな音質表示の割り当てを提案。
- ・ 本サービスに伴う想定ビットレート：
 - 1.53Mbps（2ch、サンプリング周波数：48kHz、量子化ビット数：16bit の場合）
 - 最大 6.9Mbps（5.1ch、サンプリング周波数：48kHz、量子化ビット数：24bit の場合）

(3) マルチリンガル音声サービス

- ・ マルチリンガル音声サービスなど、1 サービスあたりの音声ストリーム数が増えるサービスを想定し、比較的低ビットレート（概ね 64kbps/ステレオ以下）において有効と考えられる AAC+SBR 方式を提案。

4.2 検討の経緯

衛星デジタル放送の高度化に関する方式提案募集に対して、音声符号化関連では2社からの提案があった。提案内容は以下の通り大きく3つに分類される。

- ・ 音声入力フォーマット（最大 22.2 チャンネルへの拡張）
- ・ 圧縮符号化方式（既存方式に加えて AAC+SBR 方式）
- ・ 非圧縮符号化方式（リニア PCM 音声符号化・伝送方式）

これらの提案について、以下の通り検討を行い、その採用の可否の判断を行った。

(1) 音声入力フォーマット

- ・ 想定利用ケース、視聴環境について
 - 最大チャンネル数 22.2ch は、前述の通り、SHV の視野角 100 度に対応する音場空間として提案されている。
 - 視聴環境としては、必ずしも 22.2ch 分のスピーカ配置を前提とするものではなく、視聴者の環境に応じて柔軟なダウンミックス処理を行い、3 次元音再生を実現することも想定している。
 - 22.2 チャンネルの音場空間、およびダウンミックス処理による 5.1 チャンネル・2 チャンネルステレオでの音再生について、音声符号化方式作業班内でデモンストレーションを実施し、その効果を確認した。（参考 5.2 を参照）
- ・ 技術的実現性について
 - 想定ビットレートは 22.2ch で 1.60Mbps 程度であり、1 トランスポンダ内でのビットレート割り当てや送出運用上の実現可能性は特に問題ないと考えられる。
- ・ 96kHz サンプリング周波数の不採用について
 - 高度衛星デジタル放送の音声入力フォーマットとして、96kHz サンプリング周波数の採用可否について検討を行った結果、以下の理由により「不採用」とすることとした。
 - ◇ 96kHz サンプリング周波数は、プロオーディオの分野では多くのデジタル機器で採用されており、家庭用次世代メディア（Blu-ray や HD-DVD など）でも採用されている。したがって、番組制作（ベースバンド）においては、パッケージメディアなどへの二次展開を考慮すると、96kHz サンプリング周波数は有効なフォーマットと考えられる。
 - ◇ 一方、デジタル放送を対象とした場合、以下の考察となる。
 - 圧縮符号化方式（MPEG-2 AAC 方式）は規格上 96kHz サンプリング周波数に対応しているが、現在の想定ビットレート（72kbps/チャンネル）では全帯域（～50kHz）を伝送することが難しく、圧縮効率上の課題がある。

- 非圧縮符号化（リニア PCM 音声）の場合、96kHz サンプリング周波数に対応させるためには、5.1ch サラウンドで約 13.8Mbps が必要となり、衛星デジタル放送の高度化で検討されている 1 中継器あたり HDTV4 番組（4TS）では、5.1ch サラウンドの伝送は事実上不可能と言わざるを得ない。
- ◇ 以上により、今回の衛星デジタル放送高度化に限定した場合、96kHz サンプリング周波数を採用する十分なメリットが見出せないと判断した。

(2) 圧縮符号化方式

- ・ 想定利用ケースについて
 - 提案方式として明示されていないが、各提案の前提（基本サービスにおける音声符号化方式）として、既存のデジタル放送の音声符号化方式として使用されている MPEG-2 AAC 方式が想定されている。
 - 一方、AAC+SBR 方式は比較的低位ビットレート（概ね 64kbps/ステレオ以下）において有効な方式であり、マルチリンガル音声サービスなど、1 サービスあたりの音声ストリーム数が増えるサービスでの利用を想定している。例えば、メインチャンネルは MPEG2-AAC 方式のままとし、複数のサブチャンネルに AAC+SBR 方式を採用する利用ケースなどが想定される。
 - なお、AAC+SBR 方式は上述の通り利用ケースが限定されるため、サービス上、また受信端末上「オプション」の位置付けとなることが想定される。
- ・ 技術的実現性について
 - MPEG-2 AAC 方式は既にデジタル放送に使用されており、基本的な問題はない。また AAC+SBR 方式も地上デジタルテレビジョン放送の携帯向けサービス（ワンセグ）や地上・衛星デジタル音声放送等で既に使用されており、比較的低位ビットレートの応用において実績がある。
 - 最大入力音声チャンネル数 22.2ch に対応した AAC デコーダは、現行デジタル放送に比べて MIPS4 倍以上、メモリ 4 倍以上程度と想定され、2011 年時点でのハードウェア実現性はあると考えられる。同様に、AAC エンコーダについても実現性はあると考えられる。
 - ただし、音声入力フォーマットの拡張（最大 22.2 チャンネル）に対応した MPEG-2 AAC 方式のチャンネル構成（Channel Configuration）が規格上規定されていないなど、今後 MPEG 規格改訂等の作業が必要となる。

(3) 非圧縮符号化方式（ロスレス音声符号化方式の検討含む）

- ・ 想定利用ケースについて
 - 前述の通り、MPEG-2 AAC 圧縮符号化による音声品質を超える最高音質の音

声サービスを想定。これは、とりわけ放送の音声品質向上に期待する視聴者や、オーディオ業界および団体等からの要望にこたえるため、家庭でもスタジオ品質の音声放送を楽しめるよう、アナログ BS 放送の B モードステレオの後継としての最大 5.1 チャンネルの非圧縮高品質音声サービスを目指すものである。

- 既存のデジタル放送 (MPEG-2 AAC 方式) においても、音質表示において「現行の衛星標準テレビ放送の B モードに相当する音声品質」の基準が示されているが、本提案方式は「非圧縮高音質」であることを特徴としている。そのため、本提案方式に対応した新たな音質表示モードの割り当てが併せて提案されている。
- ・ 技術的実現性について
 - 想定ビットレートは 2ch で 1.53Mbps、最大でも 5.1ch で 6.9Mbps であり、1 トランスポンダ内でのビットレート割り当てや送出運用上の実現可能性は特に問題ないと考えられる。
 - ハードウェア実現性については、実証実験を通じてその実現性を確認した。
- ・ ロスレス音声符号化方式について
 - 音声品質に関して本提案方式と同等の要件を満たすと考えられる方式として、ロスレス音声符号化方式の採用の可否を併せて検討した。
 - 国際規格としてのロスレス音声符号化としては、MPEG-4 Audio において ALS (Audio Lossless)、SLS (Scalable Lossless)、DST (Direct Stream Transfer) が規格化されている。DST は 1 ビットオーバーサンプル音声用であり、デジタル放送の音声と整合が悪い。また、SLS は音声のスケラブル性に対する要求が衛星デジタル放送高度化において認められない。このため、本放送応用に使用し得る方式として ALS が挙げられる。
 - 放送応用を考えた場合、リアルタイム性を保証するためのフレーム処理はロスレス符号化の圧縮性能を制限する要因となる。その圧縮率は音源によってフレーム毎に異なり、符号化ストリームは可変長となる。また ALS 符号化において音源が白色雑音の場合、ビットレートがわずかではあるがリニア PCM 符号化を上回る可能性もある。
 - リアルタイムの放送においてロスレス音声符号化が破綻しないためには白色雑音等の場合にも備えた伝送容量の確保が必要となる。一方、ロスレス音声圧縮により削減できる情報量はフレーム毎に変動し、削減された情報量を有効に活用できるケースが明確に見出せなかった。結論として、ロスレス音声符号化方式の採用は時期尚早であると判断した。
 - 一方、アーカイブダウンロード応用ではダウンロード時間短縮などロスレス音声符号化の利点があると考えられる。ただし、今後詳細な検討が必要である。

4.3 今後の課題

(1) 音声入力フォーマット

- ・ 22.2ch 音場空間の定義
 - IEC/TC100 へ General Channel Mapping に関する規格案を提出予定（新研究課題提案（NWIP）の提出済み）。

(2) 圧縮符号化方式

- ・ 音声入力フォーマットの追加に伴う AAC 規格の拡張
 - Channel Configuration
 - その他
- 今後、MPEG 規格の改訂提案を行うことを検討。

(3) 非圧縮符号化方式

- ・ 音声メタ情報の伝送
 - ダウンミックス係数、音声モード識別等
- AES-3 ユーザビット（192bit）の利用を検討。IEC (IEC60958)とのリエゾンを実施中。

5. 参考

5.1 リニア PCM 音声の PES 伝送方式

リニア PCM 音声信号（AES3 データ）の伝送方式として、SMPTE 302M に準拠する PES 伝送方式を用いる。

5.1.1 準拠規格

SMPTE 302M-2002 “Mapping of AES3 Data into an MPEG-2 Transport Stream”

5.1.2 概要

- ・ 複数の AES3 ストリーム（5.1ch の場合 3 つ）は 1 本の SMPTE AES3 ES に時分割多重される。
- ・ SMPTE AES3 ES は MPEG-2 Systems（ISO/IEC 13818-1）準拠の PES パケットにマッピングされる。

5.1.3 PES パケット

(1) データ構造

- ・ AES3 データを送送する PES のデータ構造は以下の通りとする。

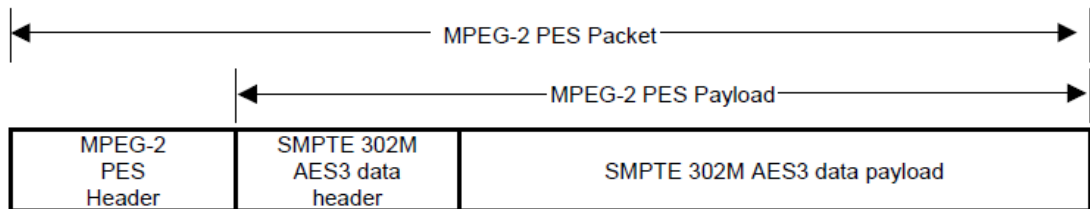


図 PES パケットのデータ構造

(2) PES ヘッダ

- ・ MPEG-2 Systems（ISO/IEC 13818-1）に準拠する。
- ・ ストリーム識別子：0xBD（プライベートストリーム 1）
- ・ PTS_DTS_flags：01（PTS あり）
※PTS の値はビデオフレームに対応した PTS と同一とする。

(3) SMPTE 302M AES3 データヘッダ

- ・ SMPTE 302M-2002 “SMPTE AES3 data elementary stream header”の規定に準拠する。

- ・ number_channels : 最大 6 データチャンネル (AES3 データ 3 本) とする。

(4) SMPTE 302M AES3 データ本体

- ・ SMPTE 302M-2002 "SMPTE AES3 elementary streams"の規定に準拠する。

5.2 22.2 チャンネル音声デモンストレーション

5.2.1 22.2 マルチチャンネル音響方式の概要

22.2 マルチチャンネル音響は、超高精細かつ広視野大画面映像をもたらす臨場感や没入感に対応した音場再現を行う目的で開発された次世代のマルチチャンネル音響システムである。基本的な開発コンセプトは下記のとおり。

- (1) 映像と音像の方向を一致させるために、広視野画面上に安定した音像定位を実現。
- (2) 聴取者に対しあらゆる方向からの音の到来と音の上下感を実現。
- (3) 臨場感や現実感の高い三次元音響空間再生
- (4) 高品質な音場再生を受聴できるエリアが広い
- (5) 既存のマルチチャンネル音響方式と互換性を有する

これらのコンセプトに基づき、下図のように上層に9チャンネル、中層に10チャンネル、下層に3チャンネルを配置し、LFE(低域効果チャンネル)を2チャンネルとした。

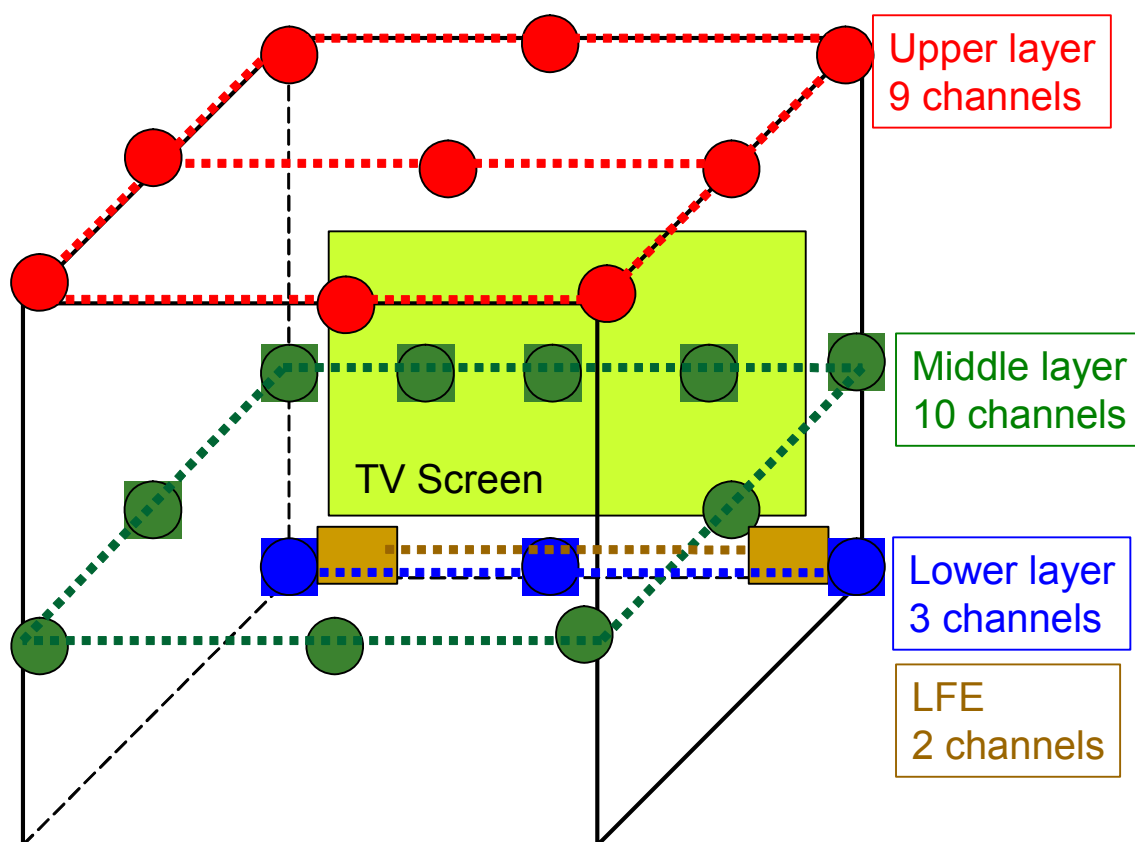


図 22.2 マルチチャンネル音響システム

5.2.2. 22.2 チャンネル音声の聴取確認

22.2 チャンネル音声の品質確認のため、NHK 技研において当作業班委員に対し 22.2 チャンネル音声のデモンストレーションを行った。また、22.2 チャンネル音声からダウンミックスした 5.1 チャンネル音声の品質確認も同時に行った。

- ・ 実施日

平成 19 年 10 月 18 日

- ・ 実施場所

NHK 放送技術研究所

- ・ デモンストレーション内容

1. シアター形式（画面サイズ 450 インチの SHV）での試聴（5.1 チャンネルダウンミックス音声含む）
2. 家庭などの小空間再生を想定した試聴（画面サイズ 50 インチの HDTV）（5.1 チャンネルダウンミックス音声含む）

- ・ 委員の講評

現行の 5.1 マルチチャンネル音声に比べ、シアター形式、小空間双方において 22.2 マルチチャンネル音声による空間再生品質が十分に高いことを確認した。

5.3 リニア PCM 音声符号化・伝送実証実験報告

高度 BS デジタル放送の音声符号化暫定方式の検討に関連して、ARIB 音声符号化方式作業班では SMPTE302M に基づくリニア PCM 音声信号の MPEG-2 システム伝送の特性確認を行った。

- ・ 実施日
平成 19 年 12 月 13 日
- ・ 参加者
浦野（音声符号化方式作業班主任、日本テレビ）、濱崎（NHK）、中山（NHK）
- ・ 実験場所
NHK 技術研究所 CB209 実験室
- ・ 実験項目
 - ① エンコーダーデコーダの 5.1 マルチチャンネル音声信号の各チャンネル間同期性能の確認
 - ② エンコーダーデコーダの映像信号と音声信号の同期確認
 - ③ 映像・音声素材による視聴確認
- ・ 符号化器
 - 概要
 - ◇ AVC/H.264
 - ◇ SMPTE 302M (2ch/4ch/6ch/8ch)
 - ◇ エンコード+デコードの遅延量 約 800msec (メーカー公表値、標準モード)
 - ◇ デコーダの音声遅延用バッファ量 約 0.5sec
 - 参考：MPEG2 (video)、MPEG-1 Audio Layer II、MPEG-2 AAC の機能を持つ
 - 実証実験で使用した符号化パラメータ
 - ◇ TS RATE 17Mbps
 - ◇ VIDEO RATE 8.775Mbps (H.264 4:2:0 フォーマット)
 - ◇ AUDIO RATE 6.912Mbps (SMPTE302M 準拠 6ch モード)

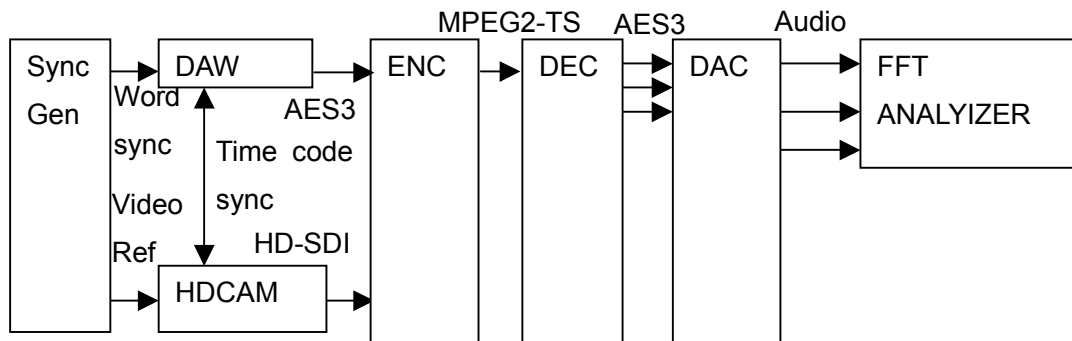
・ 実験

① エンコーダーデコーダの 5.1 マルチチャンネル音声信号の各チャンネル間同期性能の確認

<実験方法>

音声フォーマット	24bit/48kHz リニア PCM 信号 (AES3 方式)	
映像フォーマット	1920x1080 (1080i) 、16:9、 (HD-SDI 方式)	
音声テスト信号	広帯域ピンクノイズ (全チャンネルに同位相信号)	
評価方法	チャンネル間の相互相関関数の測定	
使用機器	エンコーダ/デコーダ	NTT エレクトロニクス HVE9100/HVD9100
	デジタルオーディオワークステーション	フェアライト Merlin
	ビデオ再生器	ソニー HDW-250
	DA コンバータ	Emmlab MarkIV DAC
	シンクジェネレータ	ROSENDAHL Nanosyncs HD
	測定器	小野測器マルチパーパス FFT アナライザ CF-5220

<実験システム>



<実験結果>

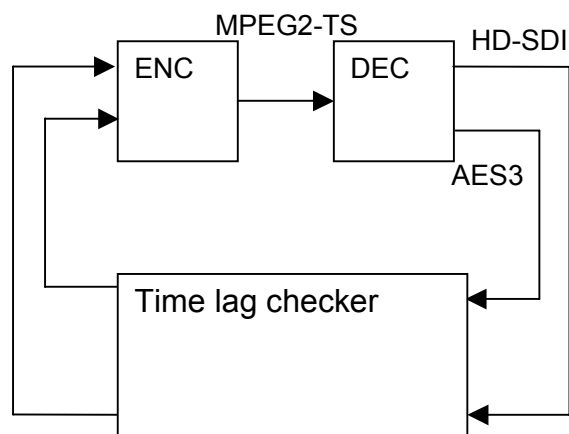
1ch に対して、2~6ch の時間差を 1ch アナログ信号とその他のアナログ信号の相互相関関数を測定しピーク位置を観測した。その結果、1ch と他のチャンネルの時間差はすべて 0μsec であった。

② エンコーダーデコーダの映像信号と音声信号の同期確認

<実験方法>

音声フォーマット	24bit/48kHz リニア PCM 信号 (AES3 方式)	
映像フォーマット	1920x1080 (1080i) 、16:9、 (HD-SDI 方式)	
テスト信号	測定器の測定用信号を使用	
評価方法	タイムコード (TTC, LTC) を利用した AV 時間差の測定	
使用機器	エンコーダ/ デコーダ	NTT エレクトロニクス HVE9100/HVD9100
	測定器	YEM エレテックス マルチフォーマットタイムラグチェッカー EDD 5130

<実験システム>



<実験結果>

電源の ON/OFF を数回繰り返して、AV 時間差を測定した。

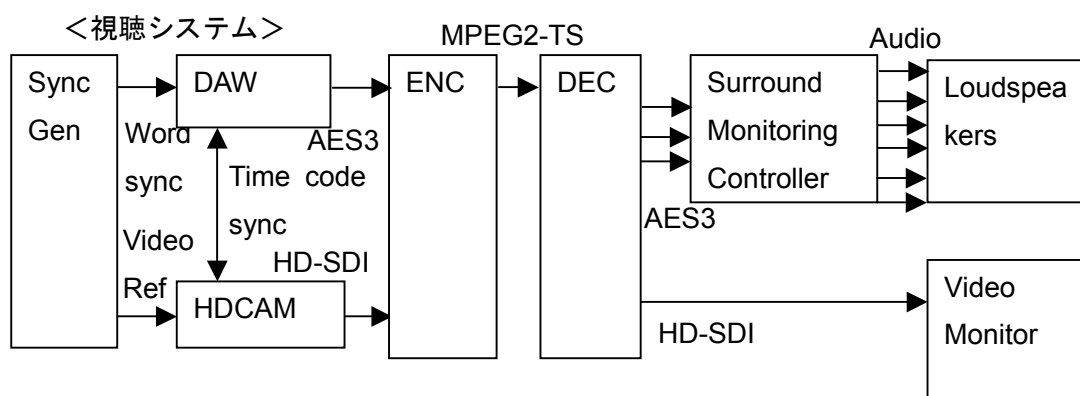
- 1 回目 0msec
- 2 回目 0msec
- 3 回目 0msec
- 4 回目 0msec

参考：測定開始時に 1msec の時間差が測定された。符号化器のリセットをしなかったためにエラーが生じたものと思われる。

③ 映像・音声素材による視聴確認

<実験方法>

音声フォーマット	24bit/48kHz リニア PCM 信号 (AES3 方式)	
映像フォーマット	1920x1080 (1080i) 、16:9、 (HD-SDI 方式)	
テスト信号	NHK 制作の 5.1ch サラウンド番組集	
評価方法	専門家による視聴確認	
使用機器	エンコーダ/デコーダ	NTT エレクトロニクス HVE9100/HVD9100
	デジタルオーディオワークステーション	フェアライト Merlin
	ビデオ再生器	ソニー HDW-250
	ビデオモニタ	ソニー BVW-D32E1WU
	再生スピーカ	Musikelectronic Geithain RL901K
	サラウンドモニタコントローラ	GRACE design m906
	シンクジェネレータ	ROSENDAHL Nanosyncs HD



<試聴結果>

いくつかの番組を視聴したが問題なく再生できていることを確認した。

参考：AES3 のユーザビット（192 ビット）を用いた、音声モード識別、ダウンミックス係数等の音声関連メタ情報の伝送は、今回実施していない。

・ まとめ

高度 BS デジタル放送の音声符号化暫定方式の検討に関連して、SMPTE302M に基づくリニア PCM 音声信号の MPEG-2 システム伝送の確認を行った。実験結果より、現在、実現化されている符号化器で問題なく伝送できることを確認した。

高度 BS デジタル放送の暫定方式において、映像符号化方式として H.264 が提案されている。本実験で使用した実機の場合、エンコード/デコードの処理時間として、約 800msec である。デコーダ側に 0.5 秒の音声遅延用バッファを利用することにより、映像と音声の同期ずれを補償している。

高度衛星デジタル放送の多重化暫定方式案

に関する中間報告（案）

平成20年1月25日

多重化方式作業班

○ 暫定方式の概要

項目		内容
リアルタイム型放送サービスのための多重化方式		ITU-T H.222.0 ISO/IEC 138181-1 (MPEG-2 Systems)
PES パケット セクション形式 TS パケット 伝送制御信号 識別子		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）第 1 章第 3 条
		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	変調方式及び 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のための新多重化方式		TLV (Type Length Value) 多重化方式
TLV	特徴	可変長で長パケットでの伝送が可能 <ul style="list-style-type: none"> 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 IP(Internet Protocol)パケットの伝送が可能
	TLV に格納する可変長パケットの種別	IPv4 パケット IPv6 パケット ヘッダ圧縮 IP パケット ヌルパケット
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 全てのパケットのヘッダ情報を全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

高度衛星デジタル放送暫定方式のプロトコルスタック

TMCC	PES	Section	IPパケット	ヘッダ圧縮 IPパケット
	MPEG-2 TS		TLV	
	スロット			
物理層				

目次

第 1 章 多重化方式.....	2
1.1 多重化方式選定の基本的な考え方.....	2
1.2 リアルタイム型放送サービスのための多重化方式.....	2
1.2.1 伝送制御信号および識別子の追加規定.....	2
1.2.1.1 衛星分配システム記述子.....	2
1.2.1.2 システム管理記述子.....	4
1.2.2 その他.....	5
1.3 蓄積型放送サービスのための新多重化方式.....	5
1.3.1 方式選定にあたっての考え方.....	5
1.3.1.1 想定するアプリケーション.....	5
1.3.1.2 蓄積型放送サービスのための新多重化方式の要求条件.....	6
1.3.2 TLV (Type Length Value)多重化方式.....	6
1.3.3 IP パケットのヘッダ圧縮方式.....	9
1.3.4 TLV に関する今後の検討課題.....	13
参考 1 IP パケットの一般的構成.....	14
1 IPv4/UDP パケットの一般的構成.....	14
2 IPv6/UDP パケットの一般的構成.....	14
3 IPv4 ヘッダの一般的構成.....	15
4 IPv6 ヘッダの一般的構成.....	15
5 UDP ヘッダの一般的構成.....	16
参考 2 衛星伝送路への TS パケットおよび TLV の多重.....	18
1 高度衛星デジタル放送のスロット構成.....	18

第1章 多重化方式

1.1 多重化方式選定の基本的な考え方

多重化方式の選定にあたっては、高度衛星デジタル放送の要求条件に示されている「多様なサービスの柔軟な編成、多重化が可能な多重方式であること」および「他のサービスとのインターオペラビリティを考慮すること」を基本とし、わが国の衛星デジタル放送および地上デジタル放送の状況、国際動向、技術動向等を考慮して検討した。

1.2 リアルタイム型放送サービスのための多重化方式

リアルタイム型放送サービスのための多重化方式は、ITU-T H.222.0|ISO/IEC 13818-1 (MPEG-2 Systems)の規定に基づくこととし、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）第1章第3条および平成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）に示される PES パッケージ、セクション形式、TS パッケージ、および伝送制御信号と識別子の構成に従う。

（理由）

受信機が受信信号を復調後、直ちにコンテンツを出力するリアルタイム型放送サービスでは、送受信機間で同期を確保した上で受信したストリームを復号・表示する必要がある。そのため、固定長の短パッケージで伝送し、かつクロック同期の仕組みを備える MPEG-2 Systems を用いることが適している。

また、多重化方式はメディア横断的に使用することが求められており、既に放送が行われている衛星デジタル放送、地上デジタル放送等において、MPEG-2 Systems が採用されている。映像、音声およびデータから成るリアルタイム型放送サービスにおける多重化方式の要求条件は、既存のデジタル放送の場合と基本的に変わらない。これらとの相互運用性も考慮すると、MPEG-2 Systems の規定に基づくことが適当である。

1.2.1 伝送制御信号および識別子の追加規定

1.2.1.1 衛星分配システム記述子

NIT(Network Information Table)に配置して衛星伝送路の物理的特性を示す衛星分配システム記述子（平成15年総務省告示第37号第3頁別表第12号別記第5）の変調方式及びFEC（内符号）の識別領域を、表1-1、表1-2に示すように追加して規定する。

表 1-1 衛星の変調方式

変調方式 ビット 43210	記述
00000	未定義
00001	QPSK
01000	ISDB-S 方式 (TMCC 信号参照)
01001	2.6GHz z 帯衛星デジタル音声放送方式 (パイロットチャンネル参照)
01010	高度狭帯域 CS デジタル放送方式 (フィジカルレイヤヘッダ及びベースバンドヘッダ参照)
<u>01011</u>	<u>高度衛星デジタル放送方式</u> <u>(TMCC 信号参照)</u>
00010-00111 <u>01100-11111</u>	将来使用のためリザーブ

表 1-2 FEC (内符号)

FEC (内符号) ビット 3210	記述
0000	未定義
0001	符号化率 1 / 2
0010	符号化率 2 / 3
0011	符号化率 3 / 4
0100	符号化率 5 / 6
0101	符号化率 7 / 8
1000	ISDB-S 方式 (TMCC 信号参照)
1001	2.6GHz z 帯衛星デジタル音声放送方式 (パイロットチャンネル参照)
1010	高度狭帯域 CS デジタル放送方式 (フィジカルレイヤヘッダ参照)
<u>1011</u>	<u>高度衛星デジタル放送方式</u> <u>(TMCC 信号参照)</u>
1111	内符号なし
0110-0111 <u>1100-1110</u>	将来使用のためリザーブ

(理由)

新たに採用する高度衛星デジタル放送方式の伝送路符号化方式に対応するため、衛星分配システム記述子の記述内容を追加する必要がある。変調方式および内符号レートは TMCC 信号に示されているのでこれを参照することとし、衛星分配システム記述子の中でこれらの情報を重複して送信する冗長性を排除する。そのため、高度衛星デジタル放送方式の TMCC 信号を参照することのみ

を追加記述する。

1.2.1.2 システム管理記述子

PMT(Program Map Table)または NIT に配置して放送と非放送の識別、放送の場合はその標準方式を識別するために使用されるシステム管理記述子（平成 15 年総務省告示第 37 号第 3 頁別表第 12 号別記第 7）の、放送の標準方式の種別と割当てを、表 1-3 に示すように追加して規定する。

表 1-3 放送の標準方式の種別

値	割当て
‘000000’	未定義
‘000001’	標準方式第 6 章第 2 節に規定するデジタル放送 (12.2～12.75GHz の周波数において 27MHz 帯域幅を使用する衛星デジタル放送として規定する標準方式)
‘000010’	標準方式第 5 章に規定するデジタル放送 (11.7～12.2GHz の周波数において 34.5MHz 帯域幅を使用する衛星デジタル放送として規定する標準方式)
‘000011’	標準方式第 3 章に規定するデジタル放送 (地上デジタルテレビジョン放送として規定する標準方式)
‘000100’	標準方式第 6 章第 3 節に規定するデジタル放送 (12.2～12.75GHz の周波数帯において 34.5MHz 帯域幅を使用する衛星デジタル放送として規定する標準方式)
‘000101’	標準方式第 2 章に規定するデジタル放送 (地上デジタル音声放送として規定する標準方式)
‘000110’	標準方式第 4 章に規定するデジタル放送 (2630MHz を超え 2655MHz 以下の周波数の電波を使用する放送衛星局及び放送局の行う超短波放送)
‘000111’	標準方式第 6 章第 4 節に規定するデジタル放送 (12.2～12.75GHz の周波数において 27MHz 帯域幅を使用する衛星デジタル放送として規定する標準方式)
‘001000’	<u>高度衛星デジタル放送方式</u> <u>(11.7～12.2GHz の周波数において 34.5MHz 帯域幅を使用する衛星デジタル放送として規定する標準方式)</u>
‘001001’	<u>高度衛星デジタル放送方式</u> <u>(12.2～12.75GHz の周波数帯において 34.5MHz 帯域幅を使用する衛星デジタル放送として規定する標準方式)</u>
‘001010’ – ‘111111’	未定義

(理由)

新たに採用する高度衛星デジタル放送方式に対応し、既存の標準方式と識別するため、放送の標準方式の種別を追加する必要がある。

1.2.2 その他

高度衛星デジタル放送の映像符号化方式および音声符号化方式の策定に伴い、民間標準化機関において追加規定が必要となる識別子等を表 1-4 に示す。

表 1-4 追加規定が必要な識別子等

記述子等	識別子等	追加割り当てが必要な内容
コンポーネント記述子	コンポーネント内容 コンポーネント種別	1080/60I を超える解像度の映像 フォーマット
		5.1ch を超える音声モード
音声コンポーネント記述子	コンポーネント内容 コンポーネント種別	5.1ch を超える音声モード
	ストリーム形式種別 音質表示	リニア PCM
データ符号化方式記述子 データコンテンツ記述子	データ符号化方式識別	ARIB-アプリケーション実行エ ンジン方式
		ARIB-アプリケーション情報テ ーブル方式
—	テーブル識別	拡張アプリケーション情報テー ブル
—	記述子タグ	アプリケーションモード記述子

1.3 蓄積型放送サービスのための新多重化方式

1.3.1 方式選定にあたっての考え方

1.3.1.1 想定するアプリケーション

コンテンツの受信と同時に視聴されることを前提としたリアルタイム型放送サービスに対して、コンテンツの受信と同時に視聴できず、蓄積後に初めて視聴・複製ができることを前提としたサービスを蓄積型放送サービスとして想定する。蓄積型放送サービスでは、コンテンツの送信時間・時刻とコンテンツの再生時間・時刻とに相関性を与える必要はないことから、伝送ビットレートよりも高いビットレートで符号化した高品質コンテンツの時間をかけての提供や、コンテンツを再生時間より短時間で提供するサービスが可能となる。また、蓄積型放送サービスでは、コンテンツ全体の蓄積が完了してから再生開始する形態だけでなく蓄積の途中から再生を開始するプログレッシブダウンロードの形態も可能である。

受信機は大容量の記録デバイスを搭載し、メタデータを用いたチャプタ視聴、ユーザプロファイルに基づくパーソナライズされた番組視聴などが可能となる。

通信ネットワーク経由のオンデマンド視聴の場合、視聴者個々のニーズに応じた番組を提供できるという利点があるが、リクエストが多い場合はアクセスの集中によるネットワークの輻輳や送出能力を上回る送出負荷が発生しサービス低下を招く。これを回避するにはコンテンツの容量やリクエスト数に応じて大規模にインフラ整備を行う必要があり配信コストが増大する。一方、大容量の

放送伝送経路の一斉配信は、このようなアクセス集中の問題が発生しないことから視聴者ニーズが高い番組や高品質番組の配信に効果的である。

1.3.1.2 蓄積型放送サービスのための新多重化方式の要求条件

蓄積型放送サービスの伝送方式としては、サーバー型放送におけるファイル型コンテンツの伝送方式として採用されている DSM-CC 仕様に基づくデータカールセル方式がある。大容量コンテンツの蓄積型放送サービスのための新たな多重化方式には、有限な資源である電波を用いる放送サービスであることおよび通信ネットワークを用いた蓄積型のサービスが検討されていることを考慮し、以下の条件が求められる。

- (1) 映像・音声など、さまざまなフォーマットのファイルを伝送可能なこと。
- (2) 伝送オーバーヘッドを可能な限り削減し、ファイルの伝送容量を可能な限り確保すること。
- (3) 高ビットレートの伝送では高速な受信処理が要求されるため、簡便な処理により受信できること。
- (4) 通信ネットワークを用いたサービスとの整合性が考慮されていること。

1.3.2 TLV (Type Length Value)多重化方式

蓄積型放送サービスのための新多重化方式は、図 1-1 および表 1-5 に示す可変長で長パケットでの伝送が可能な TLV (Type Length Value)多重化方式に基づくこととする。

TLV は、packet_type フィールドによりデータの種別を示し、length 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である。本 TLV 多重化方式では、packet_type として、4 種類のデータタイプを割り当てて IP(Internet Protocol)パケットの伝送を可能としている。

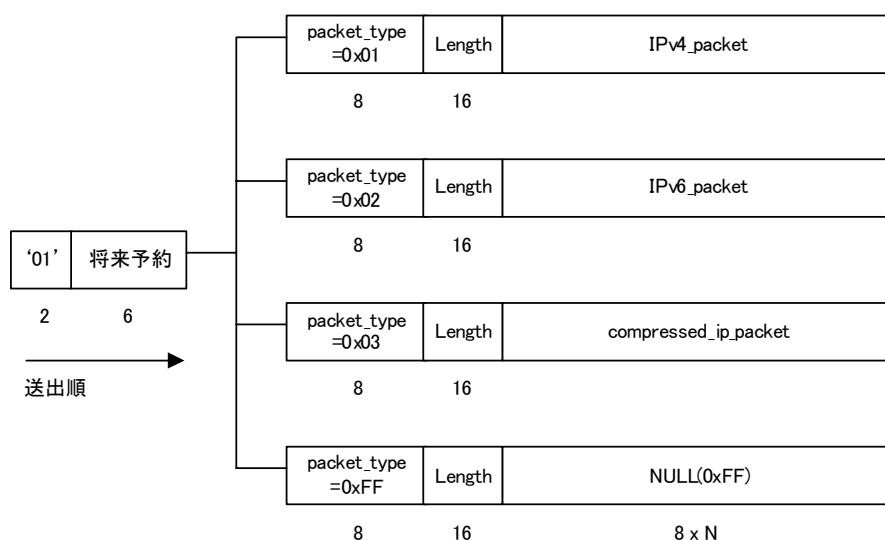


図 1-1 TLV の構成

表 1-5 TLV の構成および送出手順

データ構造	ビット数	データ表記
TLV {		
'01'	2	bslbf
reserved_future_use	6	bslbf
packet_type	8	bslbf
length	16	uimsbf
if (packet_type==0x01)		
IPv4_packet()		
else if (packet_type==0x02)		
IPv6_packet()		
else if (packet_type==0x03)		
compressed_ip_packet()		
else if (packet_type==0xFF){		
for(i=0;i<N;i++){		
NULL	8	bslbf
}		
}		
}		

TLV の意味

- reserved_future_use (将来予約) : 将来の拡張のための領域。別途定義されない限り、全ての reserved_future_use ビットは'1'にセットしなければならない。
- packet_type (パケット種別) : TLV に格納する可変長パケットの種別を示し、表 1-6 に従って符号化される。

表 1-6 パケット種別

packet_type の値	パケット種別の意味
0x00	reserved
0x01	IPv4 パケット
0x02	IPv6 パケット
0x03	ヘッダ圧縮 IP パケット
0x04 – 0xFE	reserved
0xFF	ヌルパケット

- length (データ長) : 16bit のフィールドで、length フィールドの直後から TLV の最後までバイト数を示す。
- IPv4_packet () (IPv4 パケット) : 参考 1 の 1 参照。
- IPv6_packet () (IPv6 パケット) : 参考 1 の 2 参照。
- compressed_ip_packet () (ヘッダ圧縮した IP パケット) : 1.3.3 参照。
- NULL (ヌル) : length に示される長さの 0xFF のバイト列とする。

(理由)

コンテンツを受信機に蓄積し受信完了後にストリームを復号・表示する蓄積型放送サービスでは、符号化した映像、音声、データを含むさまざまなフォーマットのファイルを効率的に伝送する必要がある。

TLV は任意の可変長形式の情報を伝送可能という拡張性を備えている。可変長で長パケットでの伝送が可能であるため、伝送オーバーヘッドを削減でき、伝送容量を効率よく使用できる。また、簡便な処理による受信が可能であり、高速な受信処理が必要な高ビットレートの伝送にも適している。

可変長パケットの形式として IP パケットを用いることにより、通信系コンテンツ配信との親和性や、受信機のホームネットワーク内での親和性の確保を図った。これにより、ホームネットワーク内でのコンテンツのさまざまな利用の促進が期待される。IP パケットは、テキスト情報や大容量のバイナリ情報、そして映像や音声の伝送にも広く用いられており、IP パケットを伝送可能な多重化方式とすることで、さまざまなフォーマットの情報の伝送に対応した。IP パケットとしては、現在普及している IPv4 パケットおよび今後普及が見込まれる IPv6 パケットの伝送に対応した。

IP パケットを伝送可能とすることで、ヘッダ拡張した IP パケットなど任意の IP パケットの伝送に対応する拡張性・発展性を担保している。しかしながら、衛星伝送路上では必ずしも必要ではない IP ヘッダ情報が伝送オーバーヘッドの増加を招く可能性がある。そこで、ファイルの伝送時に主に用いられるパケット形式である IP / UDP ヘッダを備える IP パケットについては、それらのヘッダを圧縮し、ヘッダ圧縮した IP パケットを伝送することで伝送オーバーヘッドの増加を抑制した。

TLV は、衛星伝送路の伝送路符号化の単位である固定長のスロットに伝送順に多重化される（参考 2）。TLV のスロットへの多重の例を図 1-2 に示す。

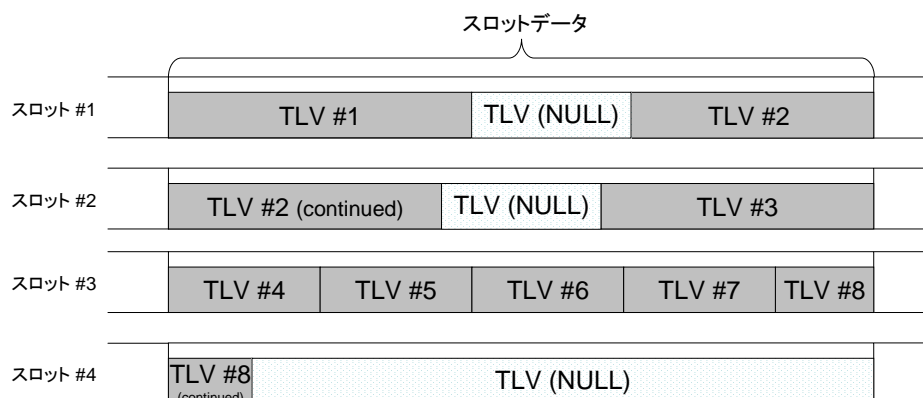


図 1-2 TLV のスロットへの多重例

TLV の長さがスロット長よりも長い場合、当該 TLV は後続のスロットにまたがって多重される。また、伝送する情報が存在しない場合には何らかの情報で伝送スロットを埋める必要があるが、

packet_type として NULL パケットを用意することによりこれに対応した。送信クロックとは非同期に入力される IP パケットを格納した TLV と共に、可変長の NULL パケットを格納した TLV を伝送することにより、IP パケットの伝送遅延の揺らぎを抑えた伝送が可能である。

1.3.3 IP パケットのヘッダ圧縮方式

TLV に多重する IP パケットのヘッダを圧縮する場合、図 1-3 および表 1-7 に示す IP ヘッダ圧縮方式に基づくこととする。

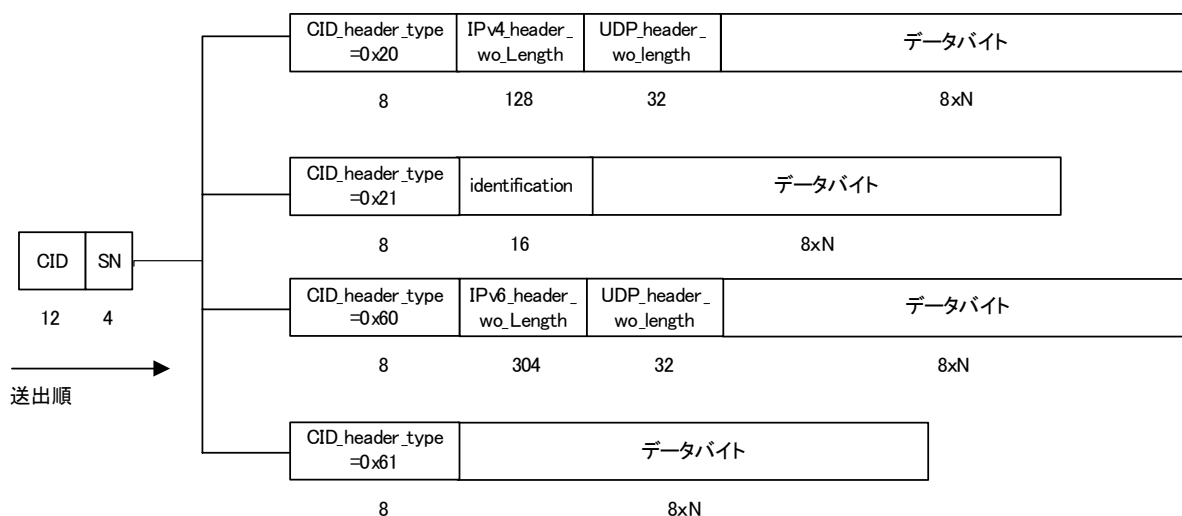


図 1-3 ヘッダ圧縮した IP パケットの構成

表 1-7 ヘッダ圧縮した IP パケットの構成および送出手順

データ構造	ビット数	データ表記
compressed_ip_packet() {		
CID	12	uimsbf
SN	4	uimsbf
CID_header_type	8	uimsbf
if (CID_header_type==0x20) {		
IPv4_header_wo_length()		
UDP_header_wo_length()		
for(i=0;i<N;i++){		
packet_data_byte	8	bslbf
}		
}		
else if (CID_header_type==0x21) {		
Identification	16	bslbf
for(i=0;i<N;i++){		
packet_data_byte	8	bslbf
}		
}		

else if(CID_header_type==0x60) {		
IPv6_header_wo_length()		
UDP_header_wo_length()		
for(i=0;i<N;i++){		
packet_data_byte	8	bslbf
}		
}		
else if(CID_header_type==0x61) {		
for(i=0;i<N;i++){		
packet_data_byte	8	bslbf
}		
}		
}		

compressed_ip_packet の意味

- CID : Context IDentification (コンテキスト識別) : ヘッダ圧縮をおこなったフローを特定する ID。フローとは、IP ヘッダおよび UDP ヘッダの「IPv4 ヘッダでは protocol フィールド、IPv6 ヘッダでは next_header フィールドにより示されるプロトコル種別、source_address、destination_address、source_port、destination_port」の 5 つのフィールドの値がユニークな組み合わせを持つ IP パケットの集合とする。
- SN : Sequence Number (シーケンス番号) : 同一 CID を持つヘッダ圧縮パケットの順序を示す。
- CID_header_type (CID ヘッダ種別) : 圧縮 IP パケットに付加されるヘッダ情報のタイプを示し、表 1-8 に従って符号化される。

表 1-8 CID ヘッダ種別

CID_header_type の値	意味
0x20	IPv4/UDP ヘッダを持つ IP パケット圧縮時のフルヘッダ
0x21	IPv4/UDP ヘッダを持つ IP パケット圧縮時の圧縮ヘッダ
0x60	IPv6/UDP ヘッダを持つ IP パケット圧縮時のフルヘッダ
0x61	IPv6/UDP ヘッダを持つ IP パケット圧縮時の圧縮ヘッダ
上記以外	reserved

- identification : IPv4Header() の identification を格納する。
- IPv4_header_wo_length() : IPv4 ヘッダから total_length、header_checksum、option_or_padding のフィールドを除いたものであり、図 1-4 および表 1-9 に示す通り。

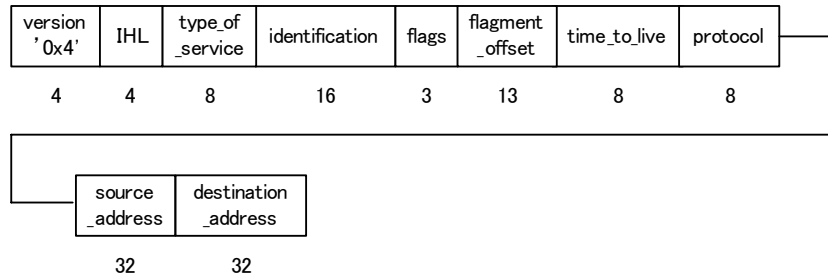


図 1-4 IPv4_header_wo_length()の構成

表 1-9 IPv4_header_wo_length()の構成および送出手順

データ構造	ビット数	データ表記
IPv4_header_wo_length() {		
version	4	uimsbf
IHL	4	uimsbf
type_of_service	8	bslbf
identification	16	bslbf
flags	3	bslbf
fragment_offset	13	uimsbf
time_to_live	8	uimsbf
protocol	8	bslbf
source_address	32	bslbf
destination_address	32	bslbf
}		

・ IPv6_header_wo_length() : IPv6 ヘッダから payload_length フィールドを除いたものであり、

図 1-5 および表 1-10 に示す通り。

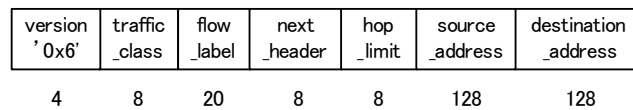


図 1-5 IPv6_header_wo_length()の構成

表 1-10 IPv6_header_wo_length()の構成および送出手順

データ構造	ビット数	データ表記
IPv6_header_wo_length() {		
version	4	uimsbf
traffic_class	8	bslbf
flow_label	20	bslbf
next_header	8	bslbf
hop_limit	8	uimsbf

source_address	128	bslbf
destination_address	128	bslbf
}		

・UDP_header_wo_length() : UDP ヘッダから length および checksum のフィールドを除いたものであり、図 1-6 表 1-11 に示す通り。

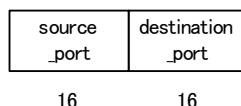


図 1-6 UDP_header_wo_length()の構成

表 1-11 UDP_header_wo_length()の構成および送出手順

データ構造	ビット数	データ表記
UDP_header_wo_length() {		
source_port	16	uimsbf
destination_port	16	uimsbf
}		

(理由)

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る。

全てのパケットのヘッダ情報を全て伝送する代わりに、コンテキスト ID (CID) およびヘッダ情報の全てを含むパケット (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 CID およびヘッダ情報の一部のみを含む圧縮ヘッダに付け替えて伝送する。受信側では、CID を参照してヘッダ情報を復元する。

[compressed_ip_packet()における SN (シーケンス番号) フィールドの考え方]

CID が別のフロー情報を示すものに変更されたとき、伝送路誤り等によりその変更情報を含んだ TLV が廃棄された場合には、受信側ではその CID に対しても、保持している古いフロー情報に基づいて処理してしまう危険性がある。送信時とは異なるヘッダ情報に付け変わった IP パケットが受信機から出力される危険性を排除するため、同一 CID でロスを検出可能な仕組みとして SN フィールドを設ける。

TLV の廃棄は伝送スロット単位でおこなわれるため、少なくとも 1 伝送スロット分の TLV が廃棄された場合のロスを検出できる必要がある。SN フィールドにより、1 伝送スロットに格納される TLV の最大個数を数えられる必要がある。

ギガビットイーサネットの MAC フレームの最小サイズが 512 バイトであり、512 バイトより小さい場合は不要なデータを付加して最小サイズを確保することがあることを考慮すると、大多数の

パケットは MAC フレームサイズが 512 バイト以上となるサイズで伝送することが望ましい。この場合、伝送時の TLV のサイズは 453 バイト以上となる。伝送スロットの大きさは最大 5049 バイトであることから、 $5049 \div 453 = 11.145 \dots$ (個)を 1 伝送スロットに格納される TLV の最大個数とする。 $2^3 < 11 < 2^4$ であるため、SN フィールドを 4 ビットとした。

なお、TLV の最小サイズについて、必ずしもイーサネットの例を踏襲する必要はない。受信機で処理可能な TLV の最大個数からその最小サイズを検討する必要がある。また、衛星伝送路の性質上、複数の伝送スロットが連続して廃棄されることも想定され、SN フィールドに何ビットを割り当てたとしても SN フィールドだけでは完全なロス検出ができないことも考えられる。

1.3.4 TLV に関する今後の検討課題

TLV による蓄積型放送サービスの導入のためには、今後、以下の事項について検討する必要がある。

- ・ 伝送制御方式

 - ・ MPEG-2 Systems における PSI/SI に相当する伝送制御信号および方式

- ・ 受信機の出カインタフェース

 - ・ IP パケット出力アダプタ

- ・ 受信チャンネルの選局方式

- ・ コンテンツのダウンロード方式

- ・ ダウンロードコンテンツのフォーマット

 - ・ 映像・音声等の符号化方式、ファイル形式

- ・ ダウンロードコンテンツの選択方式

- ・ ダウンロードコンテンツの利用制御方式

 - ・ アクセス制御方式

参考1 IP パケットの一般的構成

1 IPv4/UDP パケットの一般的構成

IPv4/UDP パケットの一般的構成を図 A1-1 および表 A1-1 に示す。

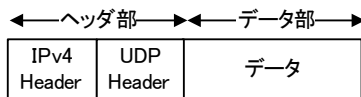


図 A1-1 IPv4/UDP パケットの一般的構成

表 A1-1 IPv4/UDP パケットの一般的構成

データ構造	ビット数	データ表記
IPv4_packet() {		
IPv4_header()		
UDP_header()		
for(i=0;i<N;i++){		
packet_data_byte	8	bslbf
}		
}		

2 IPv6/UDP パケットの一般的構成

IPv6/UDP パケットの一般的構成を図 A1-2 および表 A1-2 に示す。

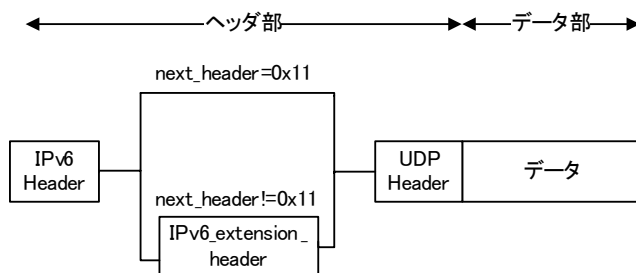


図 A1-2 IPv6/UDP パケットの一般的構成

表 A1-2 IPv6/UDP パケットの一般的構成

データ構造	ビット数	データ表記
IPv6_packet() {		
IPv6_header()		
if(next_header !=0x11) {		
IPv6_extension_header()		
}		
UDP_header()		

for(i=0;i<N;i++){		
packet_data_byte	8	bslbf
}		
}		

3 IPv4 ヘッダの一般的構成

RFC 791^[1]に規定される IPv4 ヘッダの一般的構成を図 A1-3 および表 A1-3 に示す。

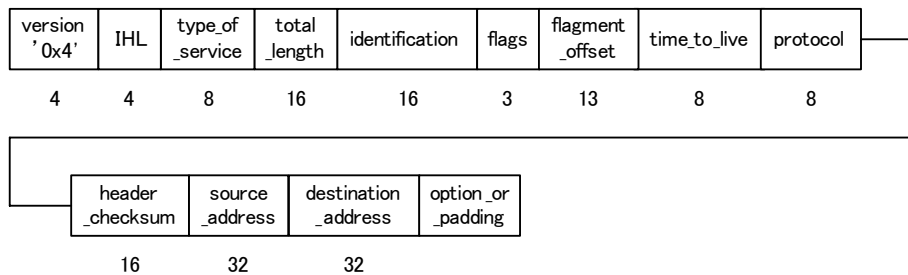


図 A1-3 IPv4 ヘッダの一般的構成

表 A1-3 IPv4 ヘッダの一般的構成

データ構造	ビット数	データ表記
IPv4_header() {		
version	4	uimsbf
IHL	4	uimsbf
type_of_service	8	bslbf
total_length	16	uimsbf
identification	16	bslbf
flags	3	bslbf
fragment_offset	13	uimsbf
time_to_live	8	uimsbf
protocol	8	bslbf
header_checksum	16	bslbf
source_address	32	bslbf
destination_address	32	bslbf
for(i=0;i<IHL-5;i++){		
option_or_padding	32	bslbf
}		
}		

4 IPv6 ヘッダの一般的構成

RFC 2460^[2]に規定される IPv6 ヘッダの一般的構成を図 A1-4 および表 A1-4 に示す。

version '0x6'	traffic _class	flow _label	payload _length	next _header	hop _limit	source _address	destination _address
4	8	20	16	8	8	128	128

図 A1-4 IPv6 ヘッダの一般的構成

表 A1-4 IPv6 ヘッダの一般的構成

データ構造	ビット数	データ表記
IPv6_header () {		
version	4	uimsbf
traffic_class	8	bslbf
flow_label	20	bslbf
payload_length	16	uimsbf
next_header	8	bslbf
hop_limit	8	uimsbf
source_address	128	bslbf
destination_address	128	bslbf
}		

5 UDP ヘッダの一般的構成

RFC 768^[1]に規定される UDP ヘッダの一般的構成を図 A1-5 および表 A1-5 に示す。

source _port	destination _port	length	checksum
16	16	16	16

図 A1-5 UDP ヘッダの一般的構成

表 A1-5 UDP ヘッダの一般的構成

データ構造	ビット数	データ表記
UDP_header () {		
source_port	16	uimsbf
destination_port	16	uimsbf
length	16	uimsbf
checksum	16	bslbf
}		

参考文献

- [1] "INTERNET PROTOCOL", IETF RFC 791, Sep. 1981

<http://www.ietf.org/rfc/rfc0791.txt>

[2] "Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification", IETF RFC 2460, Dec. 1998

<http://www.ietf.org/rfc/rfc2460.txt>

[3] "User Datagram Protocol", IETF RFC 768, Aug. 1980

<http://www.ietf.org/rfc/rfc0768.txt>

参考2 衛星伝送路への TS パケットおよび TLV の多重

1 高度衛星デジタル放送のロット構成

高度衛星デジタル放送のロットを図 A2-1 および表 A2-1 に示す。

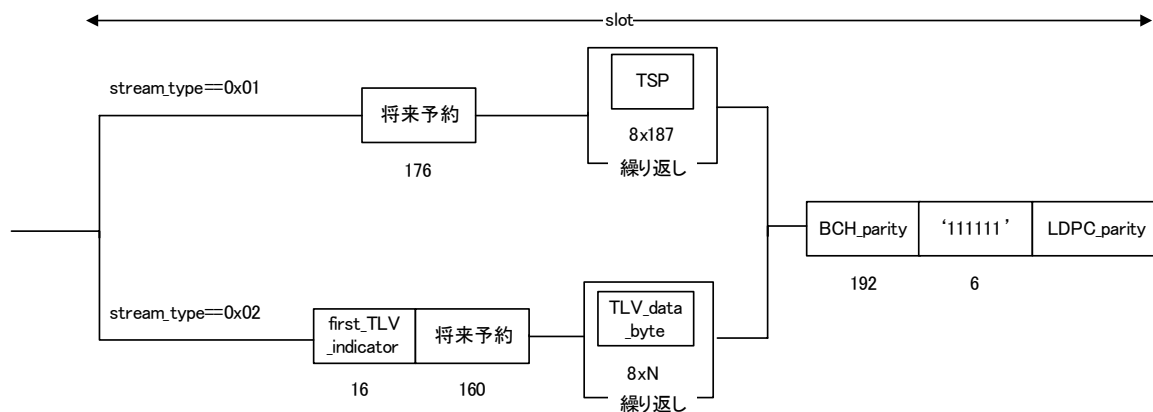


図 A2-1 スロットの構成

表 A2-1 スロットの構成

データ構造	ビット数	データ表記
slot {		
if(stream_type == 0x01) {		
reserved_future_use	176	bslbf
for (i=0; i<N; i++) {		
TSP	8x187	bslbf
}		
}		
else if(stream_type == 0x02) {		
first_TLV_indicator	16	bslbf
reserved_future_use	160	bslbf
for (i=0; i<N; i++) {		
TLV_data_byte	8	bslbf
}		
}		
else{		
reserved_future_use		
}		
BCH_parity	192	rpchof
stuff_bit	6	bslbf
LDPC_parity		bslbf
}		

各フィールドの意味

- **stream_type** (ストリーム種別) : TMCC に記述され、各伝送スロットに多重されるストリームを識別する。伝送スロットには MPEG-2 TS パケットまたは TLV が多重される。

TMCC	PES	Section	IPパケット	ヘッダ圧縮 IPパケット
	MPEG-2 TS		TLV	
	スロット			
物理層				

図 A2-2 プロトコルスタック

- **reserved_future_use** (将来予約) : 将来の拡張のための領域。別途定義されない限り、全ての **reserved_future_use** ビットは '1' にセットしなければならない。
- **TSP:TS** パケット。TS パケットの同期バイトを除いた 187 バイトのデータを **reserved_future_use** の直後から順に密に多重する。
- **first_TLV_indicator** : **reserved_future_use** の直後から、当該スロットに格納される TLV の先頭を含む最初の TLV までのバイト数を示す。一つの TLV が複数のスロットにまたがって多重化され得るため、TLV の先頭が当該スロットに存在しないこともあり、この場合は **first_TLV_indicator** の値を 0xFFFF とする。
- **TLV_data_byte** : **reserved_future_use** から **BCH_parity** の直前まで、TLV のデータバイトを密に多重する。複数の TLV が 1 つのスロットに格納されることや、1 つの TLV が複数のスロットにまたがって多重化されることもある。
- **BCH_parity** : BCH 外符号化のパリティであり、192 ビットの固定長。
- **stuff_bit** : '111111' とする。
- **LDPC_parity** : LDPC 内符号化のパリティであり、符号化率によってフィールド長が変わる。

高度衛星デジタル放送のデータ放送暫定方式案

に関する中間報告（案）

平成20年1月25日

データ放送方式作業班

1. 暫定方式の概要

項目	内容
データ符号化、伝送方式	ARIB-J (ARIB STD-B23) によるデータ符号化、伝送
機能拡張	<ul style="list-style-type: none">・ アプリケーション蓄積<ul style="list-style-type: none">➢ 放送事業者や受信機メーカーが作成した Java クラスライブラリの受信機への蓄積、実行、管理機能の追加・ デジタルビデオレコーダ制御<ul style="list-style-type: none">➢ 録画、再生、トリックプレイ、予約等に関する API の追加・ 宅内ネットワークアクセス機能<ul style="list-style-type: none">➢ 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・ ユーザインタフェース拡張<ul style="list-style-type: none">➢ 端末特性に応じた提示を行うため、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

2. データ符号化・伝送方式

- ・ ARIB-J (ARIB STD-B23) によるデータ符号化および伝送方式とする。
 - 現在は機能的に独立している BML (ARIB STD-B24) との関係を見直し、STD-B24 の改訂も視野に入れつつそれぞれの方式にとってメリットのあるものとする。具体的には、BML の機能拡張に ARIB-J を利用したり、サービス互換性の確保のため ARIB-J アプリケーションの起動に BML を利用するなどの機能の追加が候補となる。

3. 解説

高度衛星デジタル放送高度化に伴うデータ放送方式の暫定方式案を策定するにあたり、その背景として、想定される利用ケース、検討の経緯（方式採否の理由等）を以下に示す。また、暫定方式を採用するにあたっての今後の課題も紹介する。

3.1 想定利用ケース

以下の利用ケースを想定し、暫定方式策定の検討を行った。

(1) アプリケーション蓄積

蓄積機能を有する受信機において、放送された ARIB-J アプリケーションを受信機に蓄積しておき、後日再利用できるようにする。こうしたアプリケーションの形態の1つとして、各編成サービスに共通なアプリケーションプログラムを蓄積、実行可能とすれば、新しい種類のモノメディアの利用などに対応可能となる。

(2) デジタルビデオレコーダ制御

デジタルビデオレコーダ機能を有する受信機においては、放送される ARIB-J アプリケーションから蓄積、予約、再生の制御を可能とする。

(3) 宅内ネットワークアクセス機能

宅内ネットワークを介して他の受信機や機器と協調、連携してアプリケーションの提示が行えるようにする。

(4) ユーザインタフェース拡張

受信機が備える入力デバイスの種類や提示可能な解像度などに応じた ARIB-J アプリケーションによる提示を可能とする。

3.2 検討の経緯

衛星デジタル放送の高度化に関する方式提案募集に対して、データ放送方式関連では1社からの提案があった。提案内容は以下の項目から構成されている。

- ARIB-J (ARIB STD-B23) をベースとしたデータ放送方式
 - －最新版の JavaTV に対応する改訂を含む
- アプリケーション蓄積を可能とし、放送コンテンツの一部であるプログラムを受信機上に残留させる
- 各編成サービスに共通なアプリケーションプログラムを蓄積、実行可能とする
- デジタルビデオレコーダ制御 API を追加する
- 宅内ネットワーク上の機器と連携させるため、ARIB-J アプリケーションに UPnP を用いたネットワークアクセス機能を持たせる
- 端末特性（ディスプレイ解像度やサイズ、ユーザインタフェースデバイスなど）をコンテンツから取得し、それに応じた提示を行う機能を持たせる

上記提案内容によって想定利用ケースは可能となるが、その詳細部分には検討の余地があり、相互に関連する内容もあることから、受信機全体の視点から検討を進めている。

3.3 今後の課題

(1) ARIB-J 規格（ARIB STD-B23）の拡張

以下の項目の詳細の検討を進める。

- ・ アプリケーション蓄積機能とシグナリング
- ・ デジタルビデオレコーダ API
- ・ UPnP による宅内ネットワークアクセス
- ・ ユーザインタフェースの要素機能の追加

(2) BML（ARIB STD-B24）との関係の整理

以下の項目の詳細の検討を進める。

- ・ BML と ARIB-J 間の機能利用方法
- ・ アプリケーション起動方法

(3) 国際標準との整合性

- ・ DVB TM-MUG（DVB Technical Module-MHP Umbrella Group）とのリエゾン
ARIB STD-B23 のコア部分である DVB-GEM を策定している DVB TM-MUG との
協調を図る。
- ・ ブラジル規格（SBTVD-T）との整合など
ブラジルのデータ放送コンテンツとの互換性についての検討を行う。