資料４－２－１

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）

2008 年 1 月 18 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			π/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		π/2シフトBPSK
	内符号		LDPC(31680, 9614): LDPC(44880, 22814)の短縮符号
	外符号		BCH(9614, 9422): BCH(65535, 65343)の短縮符号
	制御単位		スロット単位の伝送制御
	制御情報		･変調方式および符号化率の制御 ･多重データフォーマット制御(MPEG-2 TS, 可変長パケット) ･階層化伝送制御 ･緊急警報放送起動制御 ･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			･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			･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
･主信号用 LDPC(符号長 44880) ･主信号用 BCH（ 65535, 65343, t=12)短縮符号	･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
･ロールオフ率の見直し	･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)
･16APSK/32APSK の導入	･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)
･BPSK から π/2 シフト BPSK への変更	･占有帯域幅の狭小化によるシンボルレートの拡大
･バルク伝送	･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
･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)	･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
･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)	･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
･TMCCによる衛星中継器動作点設定情報	･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。
･フレーム構造	･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
･同期補強バーストをTMCCと兼用	･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
･パイロット信号の導入	･衛星非線形特性による受信性能劣化を改善
･相対ストリーム数の拡大	･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)の使途は、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。

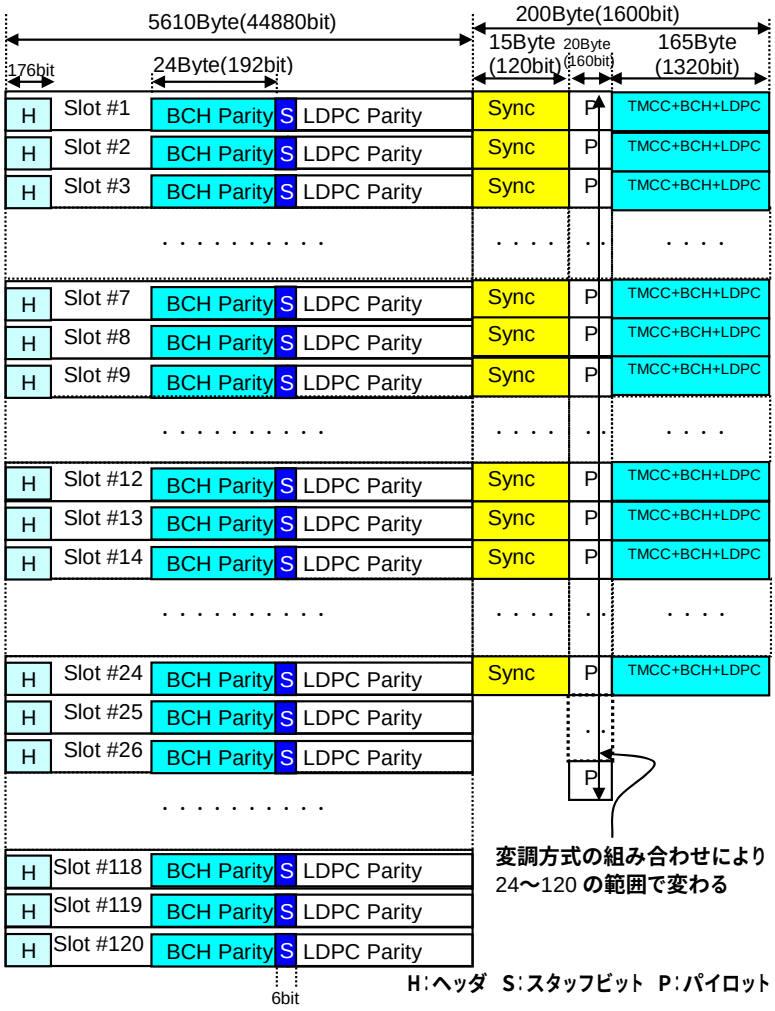


図 1 フレーム構成

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]	ダミー [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
π/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。

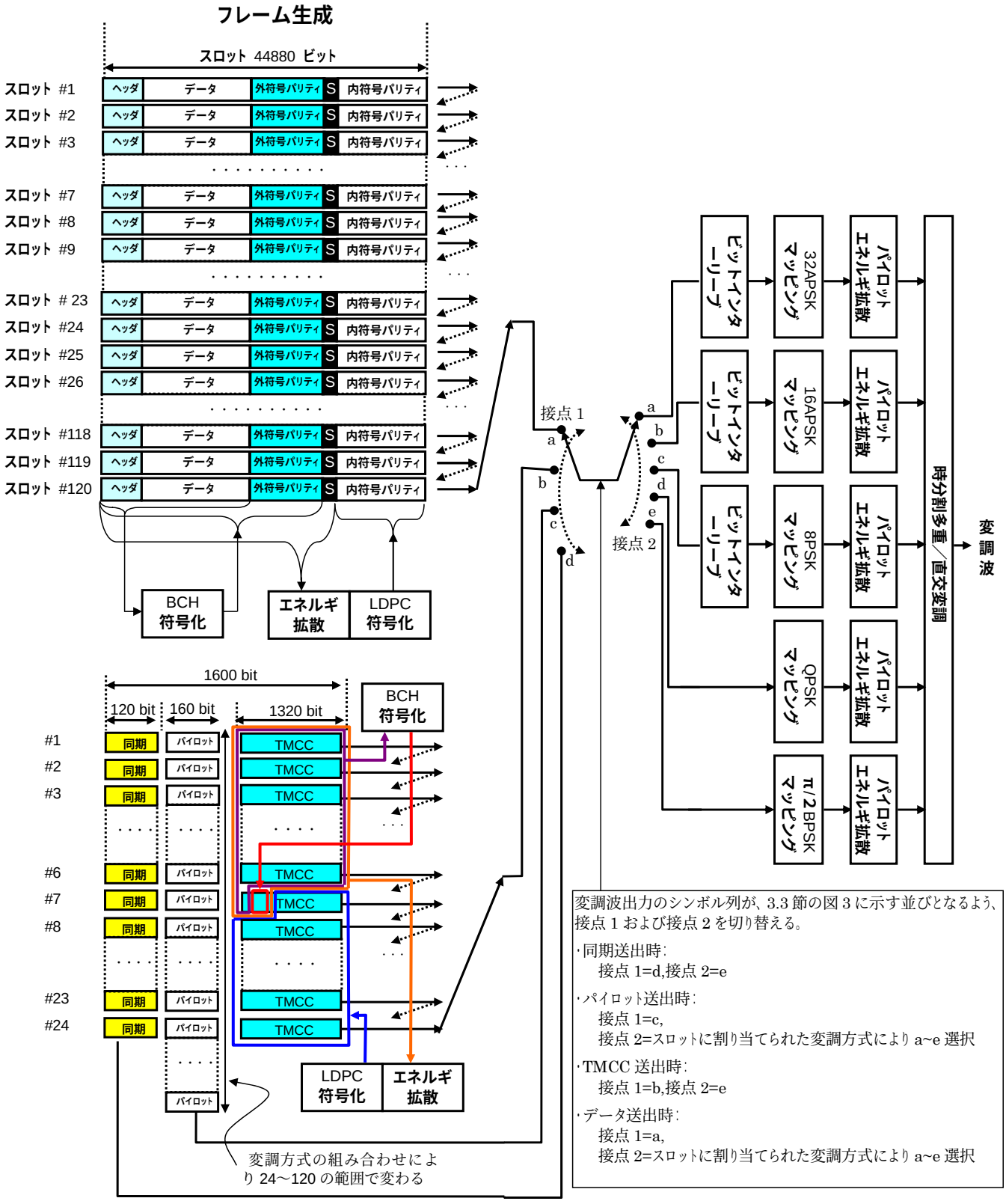


図２ 変調波の生成

3.3. 変調信号形式

変調信号の形式を図 3 に示す。

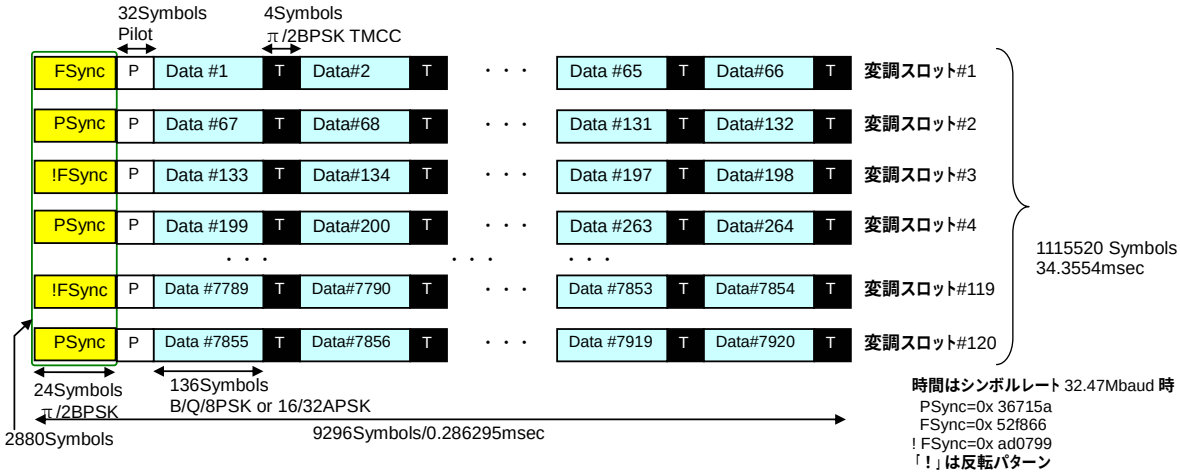


図 3 変調信号形式

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 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	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
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	0.2	※1 32.5941	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
			π/2シフト BPSK	1/2	0.500	-1.6	-0.8	15.820	99.98

※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 π/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。

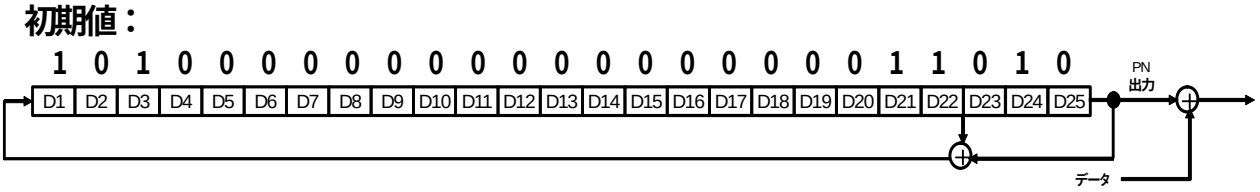


図 4 エネルギー拡散(スロットデータ用)

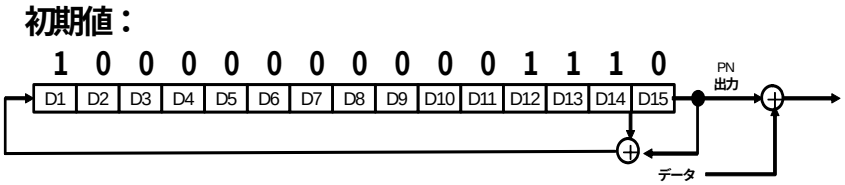


図 5 エネルギー拡散(TMCC **用**)

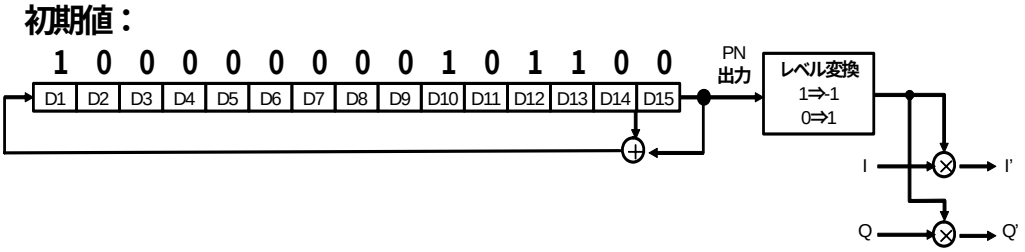


図 6 エネルギー拡散(パイロットシンボル用)

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 $m=\left(m_{k_{bch}-1},m_{k_{bch}-2},\cdots m_1,m_0\right)$ の符号語

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

上へのBCH 符号化が行われる。

- メッセージ多項式 $m(x)=m_{k_{bch}-1}x^{k_{bch}-1}+m_{k_{bch}-2}x^{k_{bch}-2}+\cdots+m_1x+m_0$ 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
  $d(x)=d_{n_{bch}-k_{bch}-1}x^{n_{bch}-k_{bch}-1}+\cdots+d_1x+d_0$ 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 $p_0 = p_1 = p_2 = \ldots = p_{n_{ldpc}-k_{ldpc}-1} = 0$

・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 $i_m, m = 1,2,\cdots,373$ 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。

$p_i = p_i \oplus p_{i-1} \qquad i=1,.....,n_{ldpc}-k_{ldpc}-1$

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

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	
3472	6323	10974				3263	5157	10919	
1649	3082	5812				7553	8932	11488	
6444	9481	9809				1402	3683	4644	
1134	3352	9502				3353	6684	8062	
4553	8782	10972				2093	8002	10164	
4462	7073	8814				2820	7432	7824	
4781	10023	9989				5363	6804	9232	
2303	5754	6262				3203	7734	10167	
3055	5513	7162				8518	9085	9052	
3053	8337	9952				2723	2995	9802	
4012	4853	7015				3328	9112	10614	
3685	4583	10709				3474	5046	8583	
4588	5184	5242				653	7137	7434	
3952	4288	7884				1294	6059	11484	
3112	5303	11152				1224	1343	1912	
803	5999	9144				2184	4253	8512	
688	1734	3202				1764	6474	8367	
2363	9412	9862				4915	6237	7914	
3052	7223	7794				1073	10494	11182	
8453	9954	11572				2453	2997	3292	
562	5093	9172				4468	6954	10497	
4709	5693	10095				5964	6273	7252	
5752	8573	11004				3773	8572	8664	
									2008	2097	2064
									4858	4942	8939
									623	4764	8392
									2760	6983	10192
									982	2573	2694
									1732	3743	9024
									6712	9332	11223
									1252	11363	11544
									4312	6365	8662
									3303	6925	11135
									2753	6811	7225
									4314	10823	11062
									3448	3924	9562
									5453	7704	9622
									742	6628	7174
									867	833	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	7992
11959	13659	13523	3599	10153	10534	2209	2453	3177
2947	5532	8679	2406	6141	14388	2978	4341	8029
8687	12867	13486	2334	12379	12664	846	3478	12943
5450	6719	10727	2086	9319	14140	2332	10276	13322
1432	3767	12129	895	11639	13814	1871	8802	13277
735	4095	11557	405	4456	13349	2580	4292	10329
9755	10288	13978	3601	8072	11104	3277	7785	14210
694	5899	6270	7908	11344	12523	6832	12949	13117
5696	6393	10124	362	8113	10934	1994	4257	4425
4384	4710	7582	2330	3931	9632	2158	4782	13568
7500	11231	12010	1266	3150	3564	530	11096	11723
5694	9259	11477	2494	4013	7900	3183	12564	14152
5983	6762	8156	1186	9395	9216	403	6842	9509
2004	8197	11969	1553	7090	7377	9895	14161	14474
1881	4872	8853	4085	6389	8894	487	3318	11590
7242	9017	9751	8730	9591	12502	2517	6266	14306
241	2168	8361	6434	7131	13691	3031	3769	11928
7254	7375	10401	7172	7295	10575	3029	3154	11846
3236	3726	5446	1184	9936	14358	6268	14052	14585
4979	5151	5778	5284	8884	10438	3933	5327	11826
4093	5858	6926	407	5149	14548	6514	12785	13158
3714	13072	14265	5079	7049	13527	7888	11414	12662

(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		
3939	5505	8147			1830	3549	3762		
4444	5346	7062			3786	3938	4229		
2046	3235	4116			3702	4752	7722		
2427	4335	5033			748	1023	7568		
2118	4322	7480			2150	2136	2913		
819	1277	8343			3307	8301	8580		
3834	5128	6248			1543	5172	6956		
1877	2377	2513			684	6249	7876		
2179	5632	8492			6030	7041	7634		
3332	7656	7925			2048	2597	5109		
930	2332	6424			2795	4555	6842		
804	6056	7350			3306	4050	5214		
2757	6645	7174			3631	4957	8272		
3547	5232	6940			2514	4889	8541		
2229	5493	7943			2784	6759	8234		
2008	2794	2884			3940	5084	8382		
2135	3158	3874			6297	6634	6580		
1149	2883	8010			1129	8300	8470		
4423	4445	8379			2420	3349	7239		
688	3036	4011			1480	6475	6804		
3272	3882	5414			841	2028	6436		
890	1722	3239			3301	5766	6116		
4453	5638	7806			552	5045	7539		
2730	4847	5588			3279	4539	7422		
1240	3058	7788			2333	6820	8118		
4533	6798	6954			2268	6870	8316		
3037	6715	7866			4026	5921	8013		
871	3640	6426			731	1212	6167		

3438	5509	6688
1282	5594	8123
1903	3791	7551
893	1440	1501
1914	4340	6628
2647	2994	5018
2786	3245	8016
1614	3743	5258
1018	5065	6293
4291	6937	7640
3636	6077	7992
1265	1586	5765
3830	4599	6716
1122	7508	8213
1567	3213	6471
4978	5544	5874
2993	4405	5786
1826	4885	5681
4664	5907	6338
2621	3542	6491
2178	6143	6974
4105	7267	7282
1232	1431	5808
947	6103	7182
3752	5173	6060
2816	3635	6073
1343	4226	7744
3241	7047	7546

(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	
90	2273	4406			2953	4430	5553	
1890	2999	3206			1487	4715	4964	
2411	4980	5104			2396	2686	3438	
712	3958	4361			4201	4519	5427	
497	1159	3611			179	1193	3181	
3145	4022	4896			848	987	2822	
1120	2568	3522			1136	2399	4467	
132	888	980			2909	3650	4553	
934	1275	2660			129	1325	5190	
2797	3622	5588			3046	5252	5403	
2797	4621	5312			4120	4290	4687	
4070	4922	5171			150	3304	5605	
851	2474	3190			16	4685	5478	
57	2355	2527			2910	3667	4453	
3254	3519	5061			2471	2565	4228	
484	1948	4085			1694	4247	4900	
405	1895	5547			2116	4092	4412	
4288	4338	5337			3003	4733	5351	
1695	4773	5356			1377	1432	5404	
810	2881	5523			1024	3100	3224	
1077	2731	3000			681	2154	5526	
796	3631	5170			1844	1985	4974	
1028	1679	3049			330	2520	3746	
1138	3176	3866			2573	3454	5496	
2928	3499	4448			2088	4939	5384	
1079	1322	4875			1072	3111	3171	
1651	2305	3871			3672	3858	5543	
3223	3792	5541			2211	5080	5325	
833	2418	5504			673	1822	2238	
								2003	2825	4007
								2880	3302	4719
								2080	2877	5362
								402	756	2132
								2318	2523	5597
								241	1344	5488
								3164	3215	5465
								24	1943	2458
								1704	5151	5608
								1071	2514	3944
								645	2392	3526
								1484	1586	5052
								3551	4029	5016
								891	2493	5049
								1686	3183	5438
								3366	3538	3698
								2033	3490	3792
								1366	5137	5476
								635	2040	5395
								1678	1694	4675
								268	849	1655
								1400	2723	5093
								363	1781	5053
								1925	2804	2956
								505	1267	2720
								1880	2601	4547
								2258	3386	5337
								2094	5123	5159
								1881	2988	3881
								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	
972	1348	5296				3673	3667	6852	
1001	1365	1684				3445	5500	6503	
1396	4861	4841				787	3071	6512	
5103	5607	6092				477	712	2852	
1089	2876	5303				914	2121	2898	
2731	4742	5733				2187	3251	3769	
1214	1594	5145				391	4383	6766	
2046	4078	5566				1338	1713	5858	
3252	6375	6528				1182	1905	2622	
2138	2942	6892				459	685	2150	
983	3759	5216				2048	4077	4976	
1402	1888	4552				389	2360	2858	
4033	6110	6794				482	3852	5918	
2510	4725	6459				1666	4881	6507	
1188	3936	6868				1304	2709	5788	
430	900	3284				578	5561	6276	
651	6083	6115				1938	2456	4323	
2973	4458	4475				929	1559	5859	
2592	3141	5737				1941	3070	3266	
2194	5620	6060				2710	3820	4452	
3785	4332	4562				4295	5300	5717	
1652	4412	4736				841	1845	4461	
778	2943	7104				2087	3257	5057	
695	2619	6133				3199	4322	4796	
2104	3650	6099				3992	4258	4639	
1680	6920	6970				3547	3786	5040	
1526	2109	3268				1099	3646	5320	
732	1075	3914				1199	1593	2116	
2958	3393	5055				1835	6078	6693	

1360	4214	5686
1655	2661	5662
3478	5227	5993
3201	4482	5066
659	1701	6062
4720	5070	6264
2408	4415	6264
2259	5124	7054
5558	5810	5863
3205	4959	6353
1305	3467	6132
639	4348	5894
567	3050	4065
1082	2497	4129
2006	5420	5247
1358	1600	3883
1060	1136	2716
1620	2407	6841
1899	6146	6386
1492	1792	4762
606	1648	4064
679	2534	7084
4403	6195	6601
3704	4840	5560
612	2406	2755
523	5545	6783
2296	3774	6996
1413	4713	7033
2386	3119	5283
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									

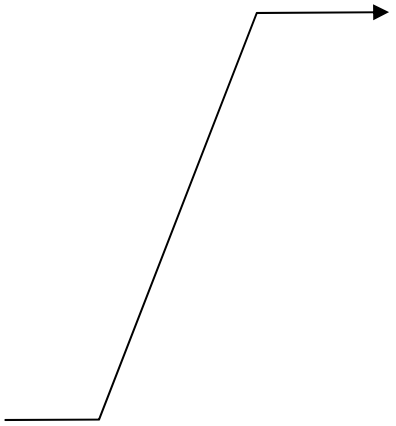
(表T.8) **符号化率**1/3(nldpc=44880)

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
6094	12325	25717	26275
7024	9907	16789	22090
1537	3862	14092	24880
6559	7117	11116	24415
12303	18649	21625	24043
935	6373	9442	17068
886	8419	15930	17719
8884	14371	16138	18928
2445	8698	18277	22369
421	5421	15952	23857
3211	5793	7861	21253
7653	11581	12511	25066
328	8791	24136	24579
11209	14557	15301	20673
1258	3397	10465	24973
142	2932	5164	20044
6745	10093	16045	16231
3260	4234	14814	16510



7374	16696	19207	25252
10443	10837	21439	25438
1630	9699	11860	23950
2538	8512	17998	20859
2560	9327	9814	23578
12954	13047	18091	21997
10000	13233	20323	23020
14278	15208	15580	18742
12697	13069	19579	24694
607	3676	4978	17604
12046	12790	13813	22927
1050	2423	11302	15394
3583	7959	8211	9141
4606	11488	15115	23299
3490	7489	17812	19114
5536	13627	15000	25996
1887	2746	4885	21904
514	13419	13906	20279
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。

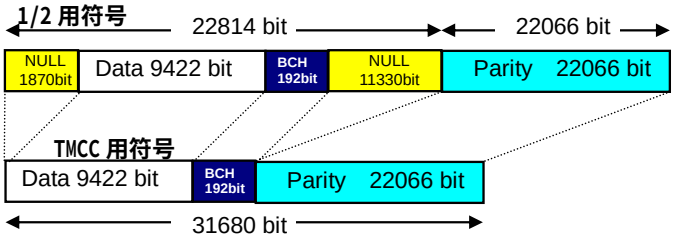


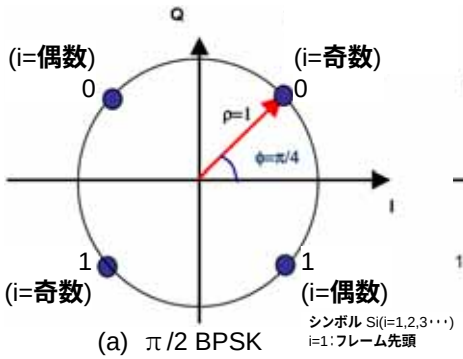
図 7 TMCC 符号化

3.10. 信号点配置

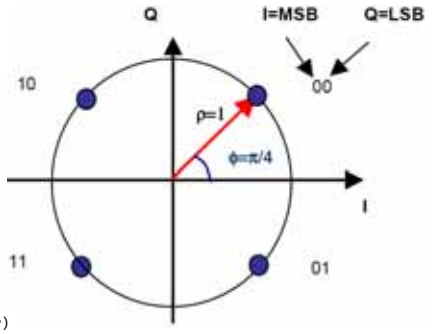
信号点配置を図 8 に示す。

なお、π/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 γ (=R_2/R_1)および γ 1(=R_2/R_1), γ 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。

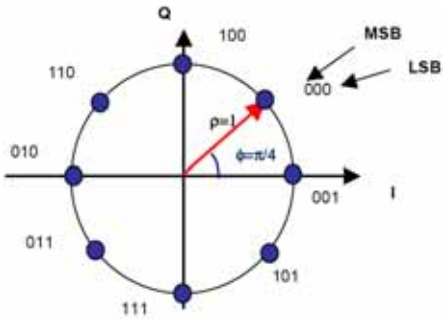
図 8 信号点配置



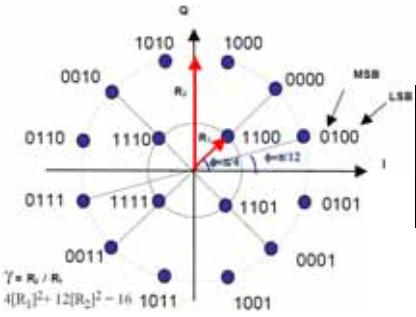
(a) π/2 BPSK



(b) QPSK

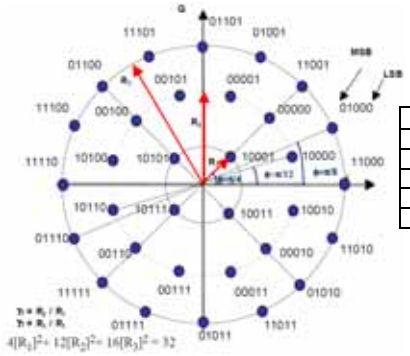


(c) 8PSK



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

(d) 16APSK



符号化率	半径比 γ 1	半径比 γ 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

(e) 32APSK

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バ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バ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

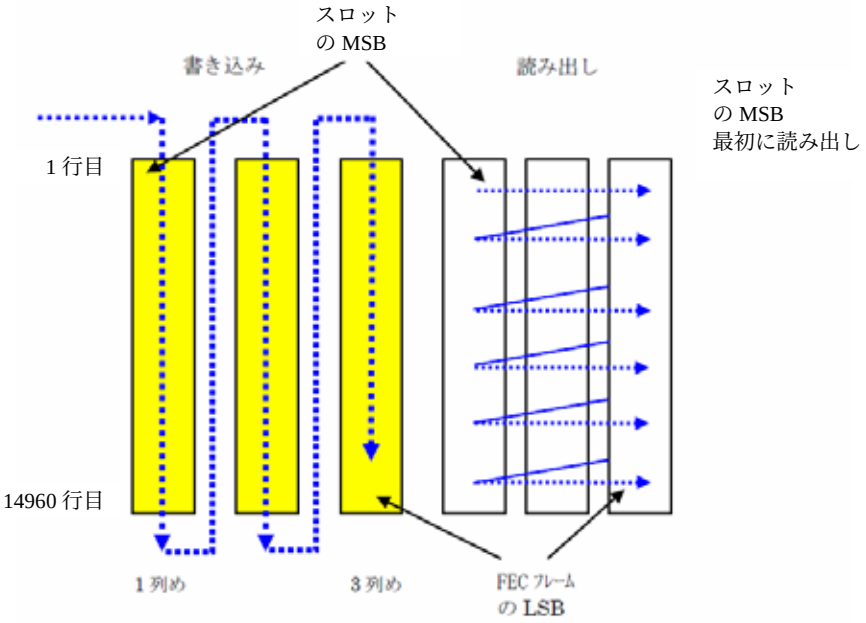


図9 ビットインターリーブ 8PSK (順方向読み出し)

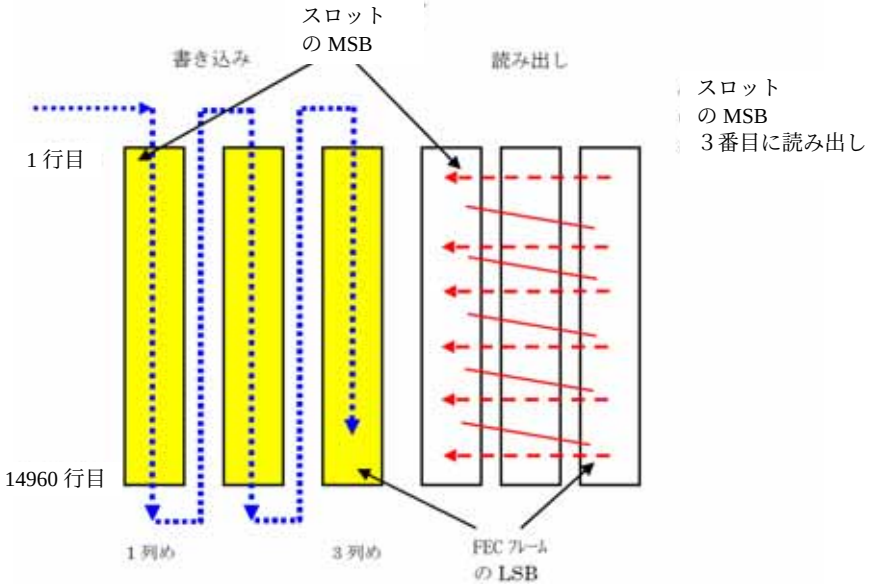


図10 ビットインターリーブ 8PSK (逆方向読み出し)

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。π/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:π/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のストリーム種別	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のストリーム種別	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。
		････	･･･	
		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
		････	･･･	
		相対ストリーム15の同期パターンビット長	8	
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。
		････	･･･	
		相対ストリーム15の同期パターン	16	
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	
他チャネル 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。

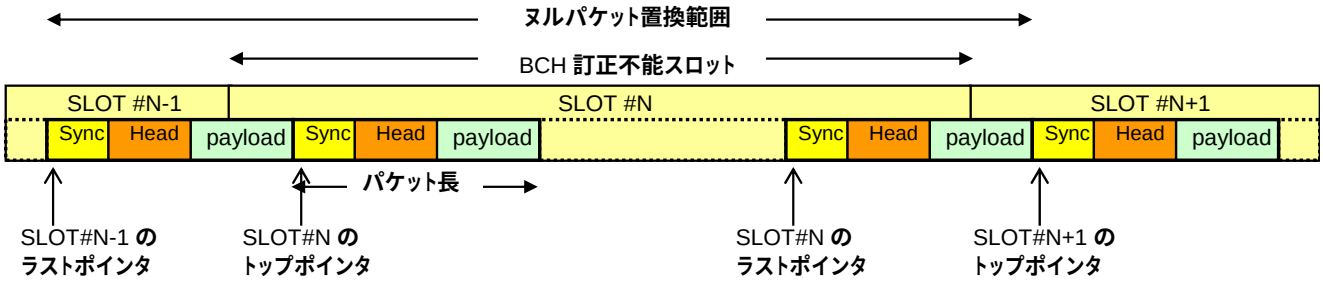


図11 受信機におけるヌルパケット置換

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）

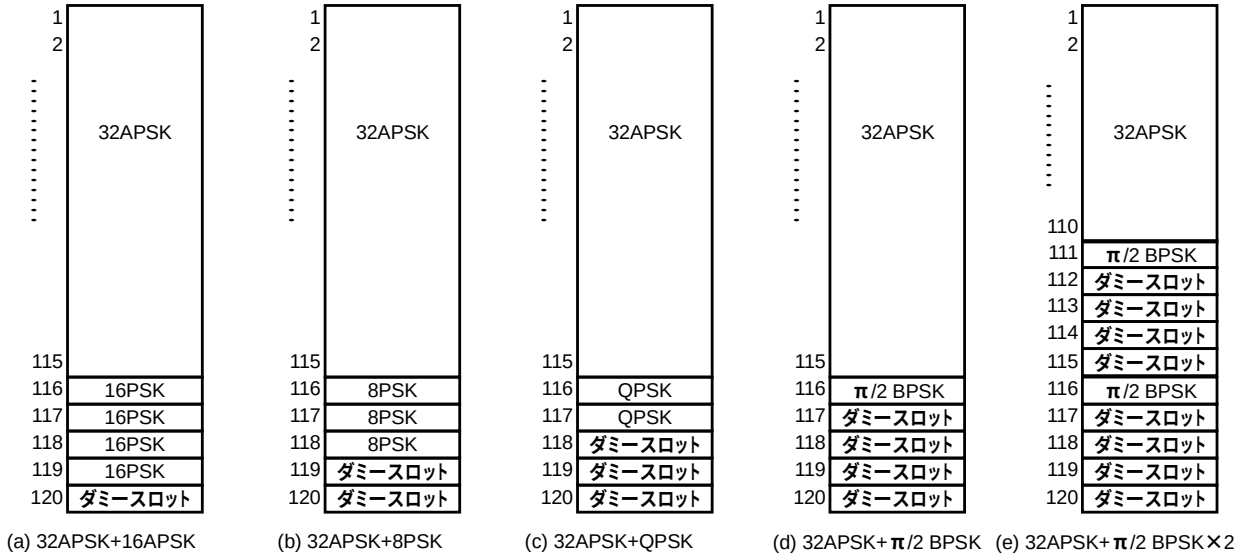


図 12　スロット割り当ての例

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）

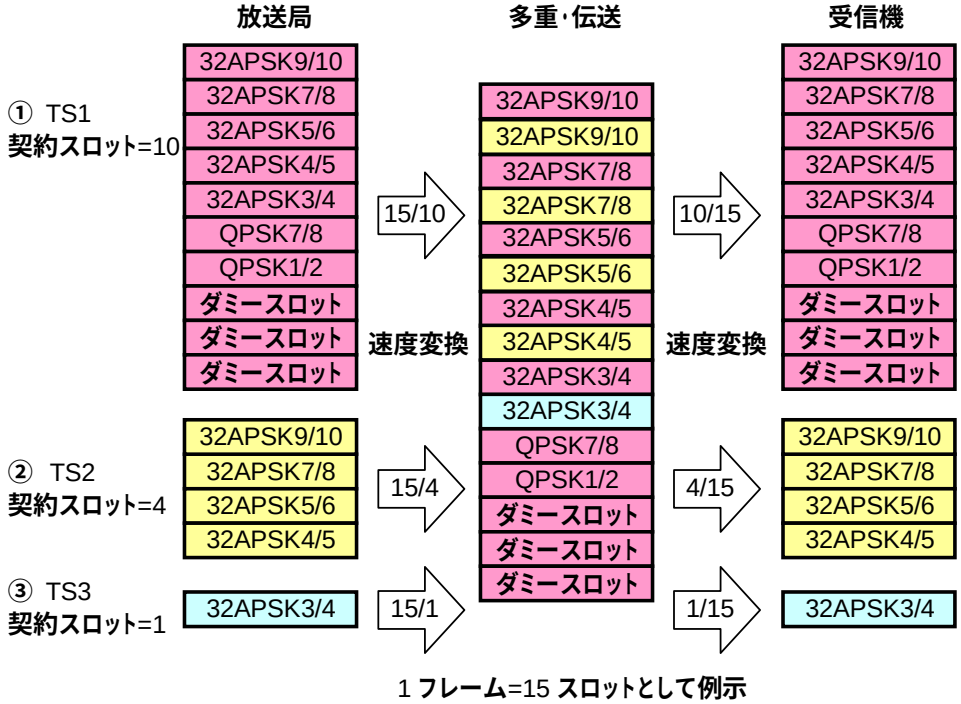


図 13　複数 TS 合成の例

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 デー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。

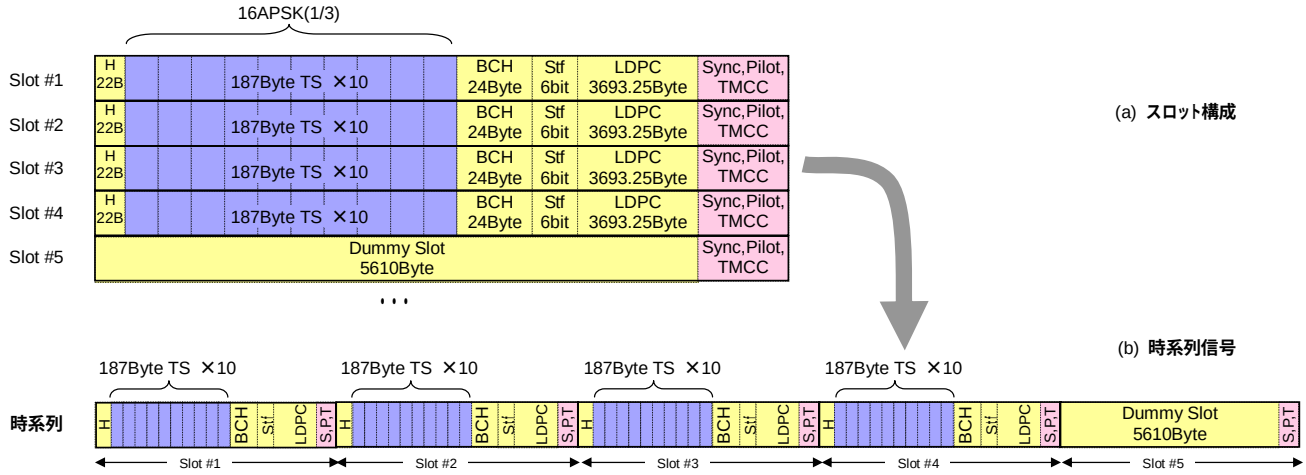


図 14 受信機で再生されるストリームの例

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, π/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。

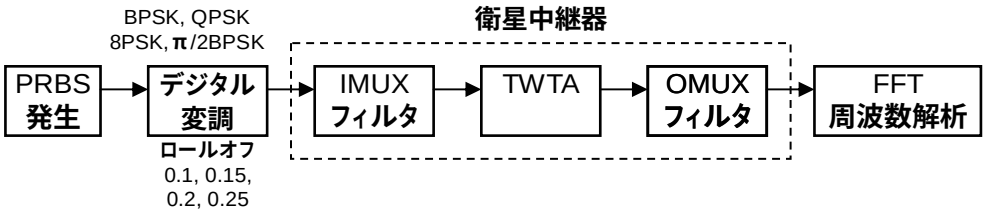


図 1 シミュレーション系統図

2. 各変調方式のシンボルレートと帯域幅

変調時の出力飽和点を動作点とした。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、π/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。

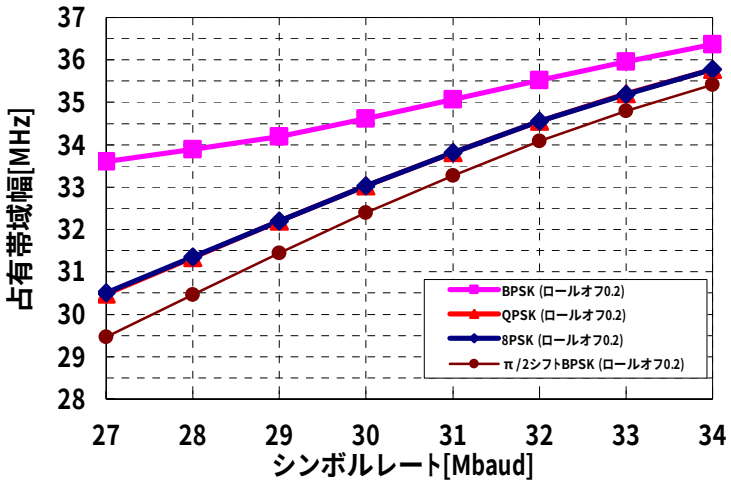


図 2 シミュレーション結果

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	π/2BPSK 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。

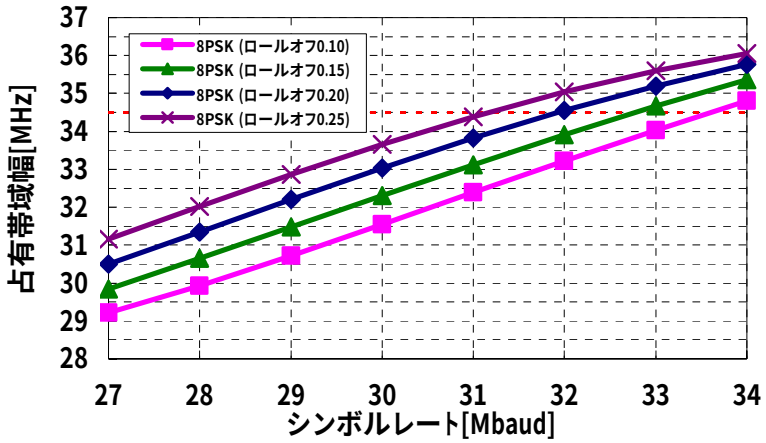
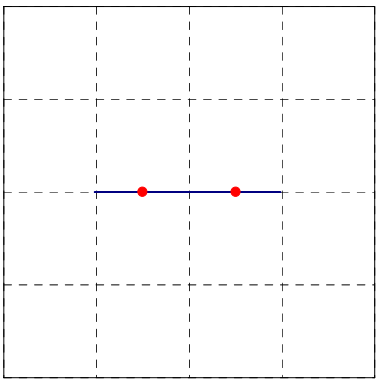


図 3 シミュレーション結果

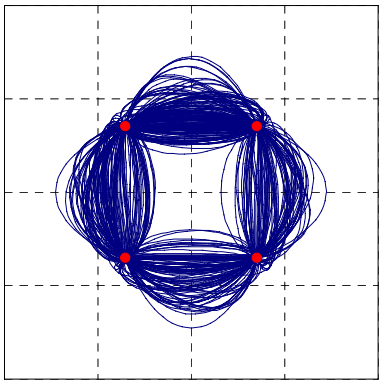
表 2 ロールオフ率と最大シンボルレートの関係

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

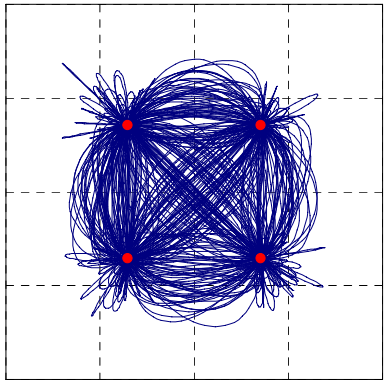
参考．各変調方式の信号点の軌跡(理想伝送路)



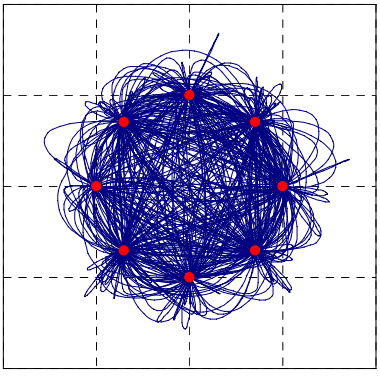
(a) BPSK



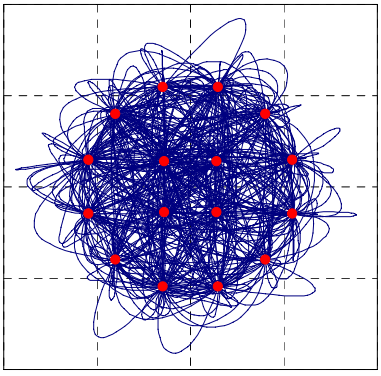
(b) π/2 シフト BPSK



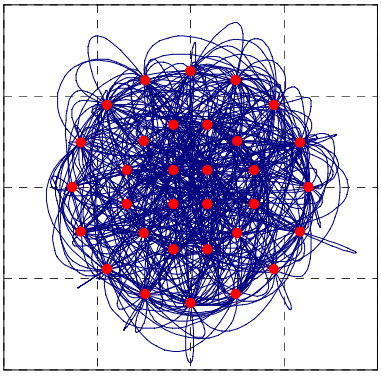
(c) QPSK



(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、π/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π/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。

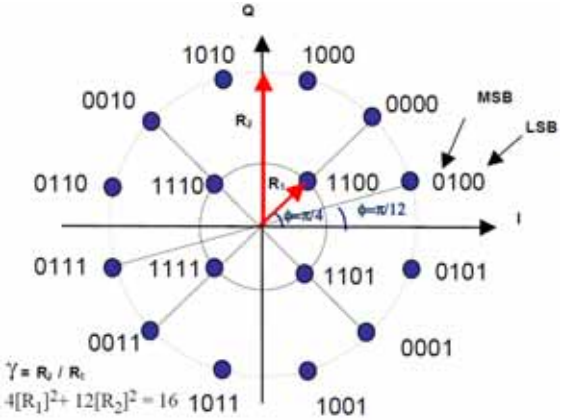


図 1　16APSK の信号点配置

表 1　16APSK の半径比

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

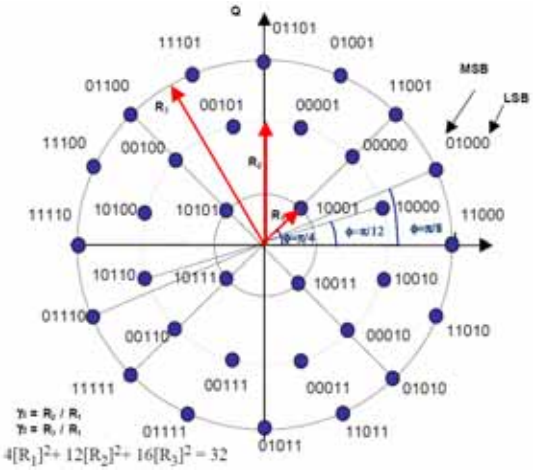


図 2　32APSK の信号点配置

表 2　32APSK の半径比

符号化率	半径比γ1	半径比γ2
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π/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

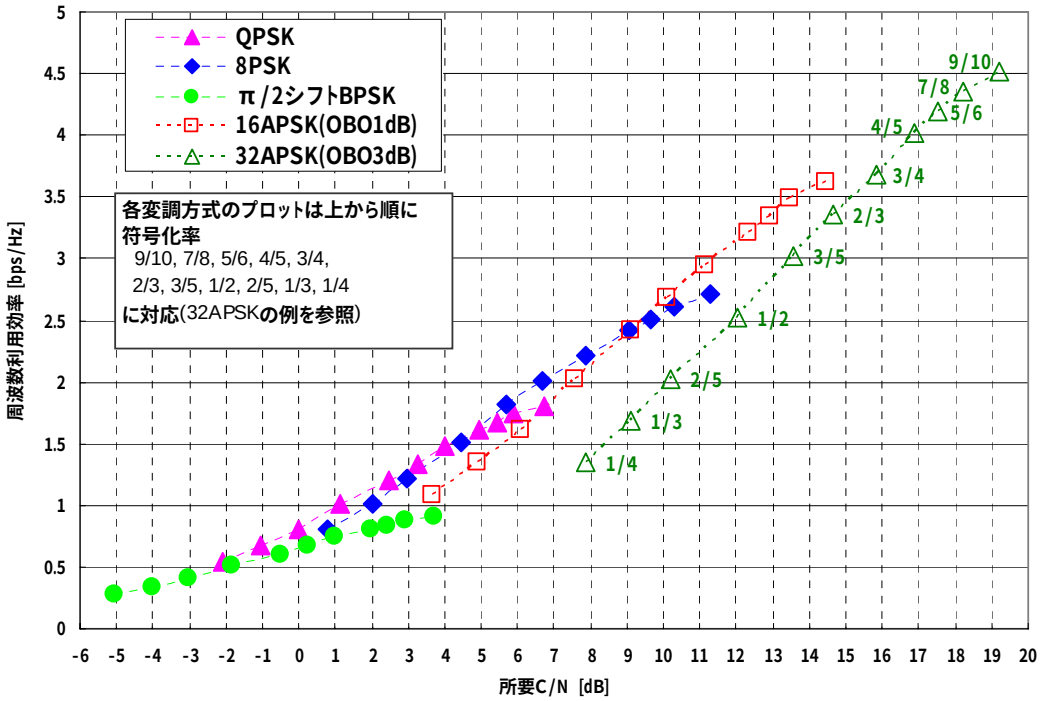


図 1　各変調方式･符号化率の所要 C/N と周波数利用効率の関係

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。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π/2 シフト BPSK については、所要 C/N が-3ｄB 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。

表 1　採用する変調方式･符号化率

変調 / 符号化率	π/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

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。

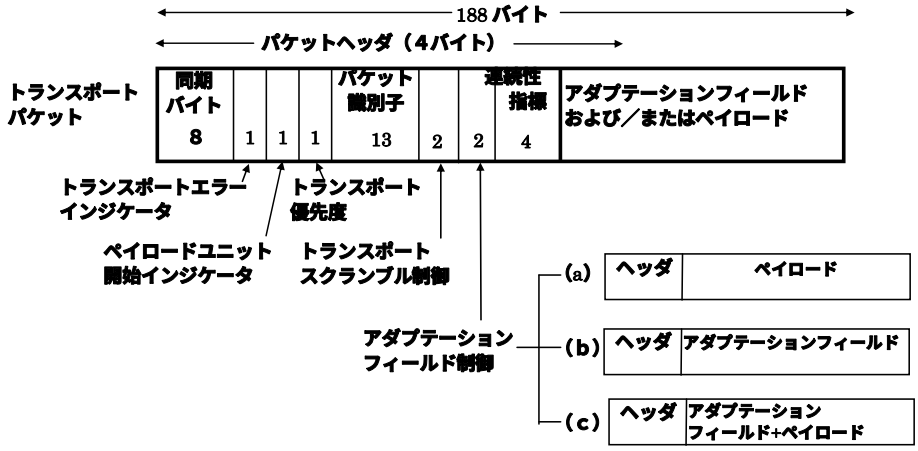
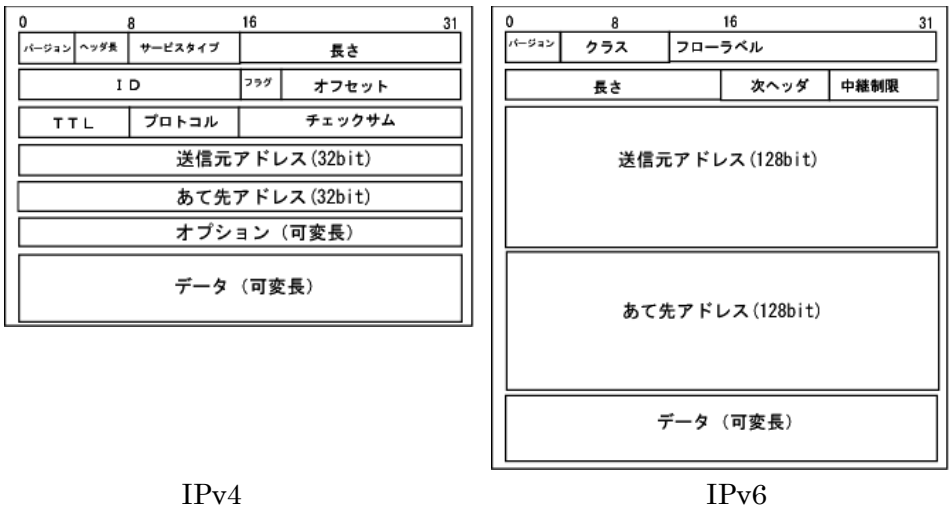


図 1 MPEG-2 TS **の構造**



IPv4　　IPv6

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
		・・・・	・・・	
		相対ストリーム15の同期パターンビット長	8	
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	

⑴ 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 のいづ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。

⑵ 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。

⑶ 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 のラストポインタからスロット#N+1 のトップポインター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。

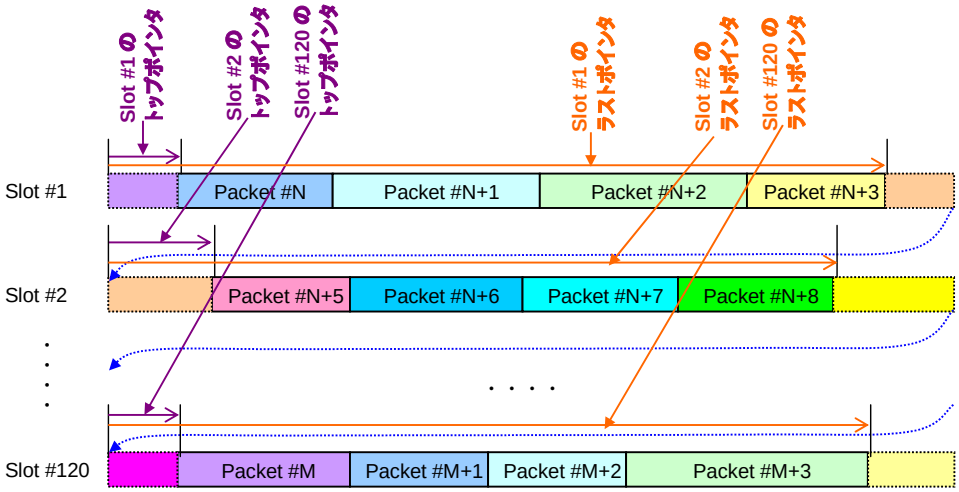


図３ トップポインタとラストポインタ

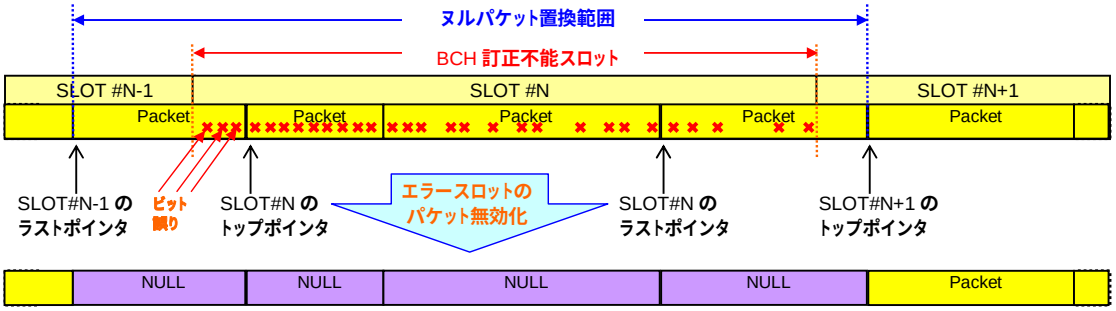


図４ 受信機におけるヌルパケット置換

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±115kHz 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π/2 シフト BPSK シンボル区間示すゲート信号を生成(h)し、π/2 シフト BPSK 区間のみにゲートをかけてπ/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)。

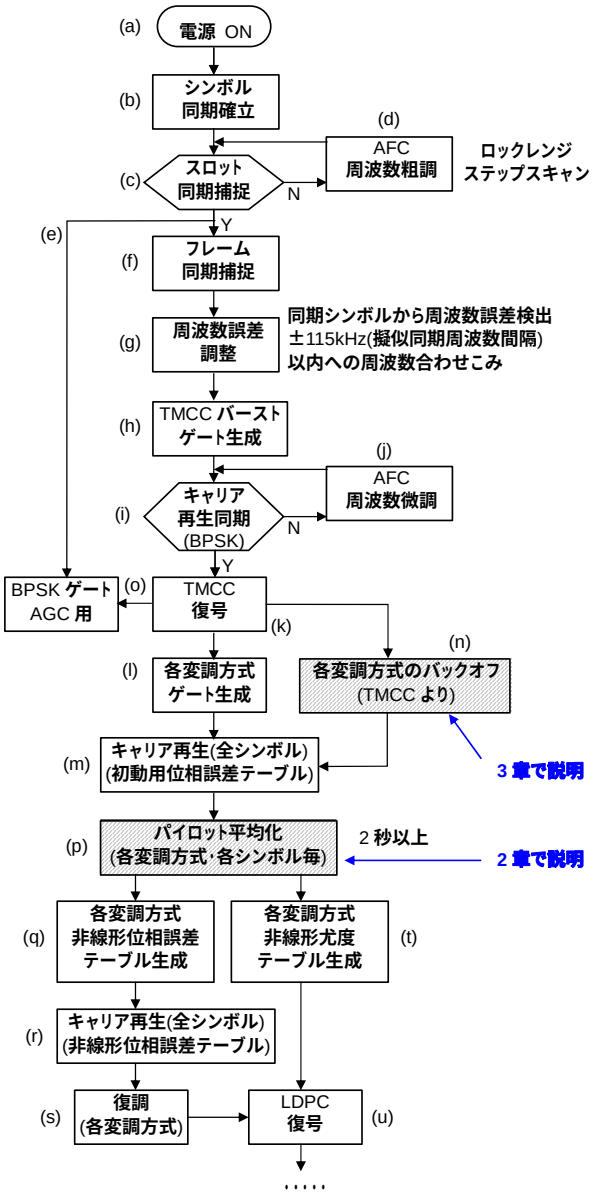


図 1 想定する受信フロー

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 32ASPK 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)時の劣化を抑圧することができる。

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。

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、π/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。

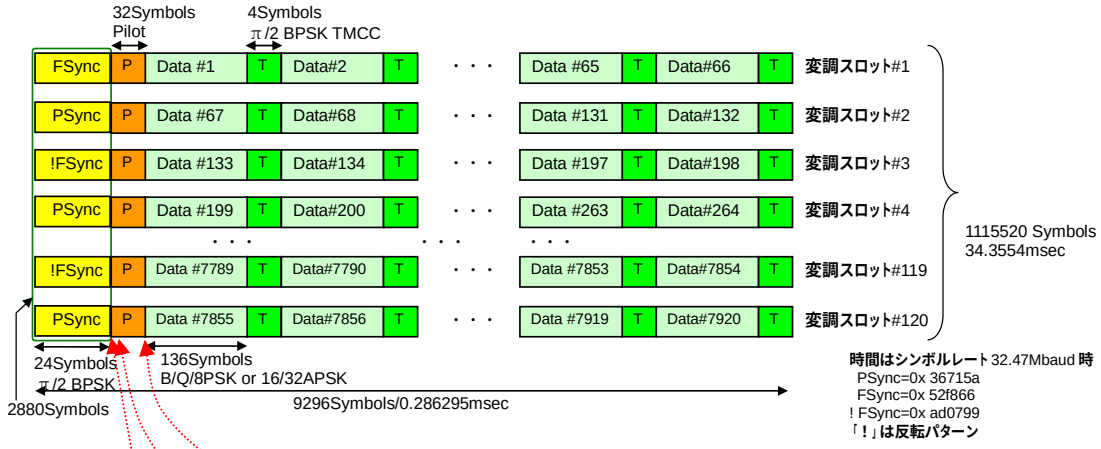


図 2 変調信号形式

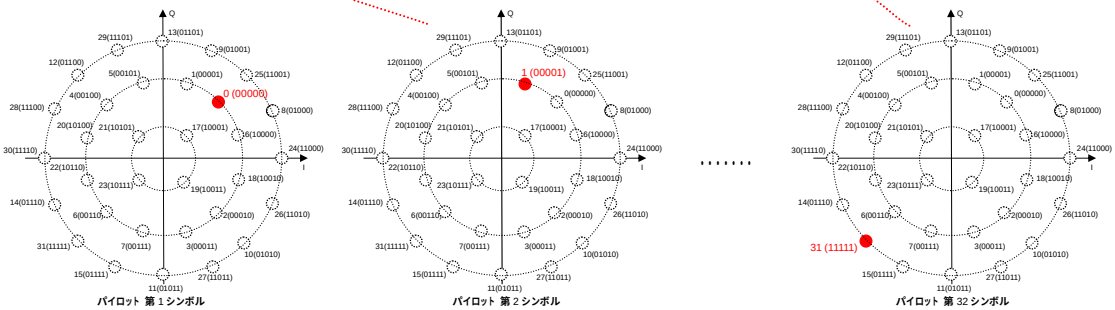
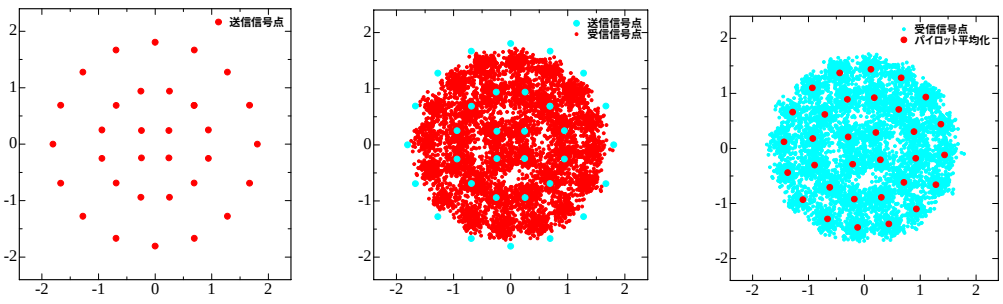


図 3 パイロットシンボルの例(32APSK)



(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

2.2 尤度テーブルおよび位相誤差テーブルへの応用

上述のように、パイロット信号から、変調方式毎に各シンボルの信号点を取得し、これを同一シンボルについて、数十フレーム間で平均化することで雑音を除去することで、伝送路の非線形性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 5 に受信機の一般的な構成を示す。このうち、チャンネル選択後の直交検波を行う際に用いる位相誤差テーブルや LDPC 符号復号の際に用いる尤度テーブルをパイロットから取得した信号点配置をもとに生成することで、非線形の影響を極力排除した搬送波再生および LDPC 符号復号が可能となる。

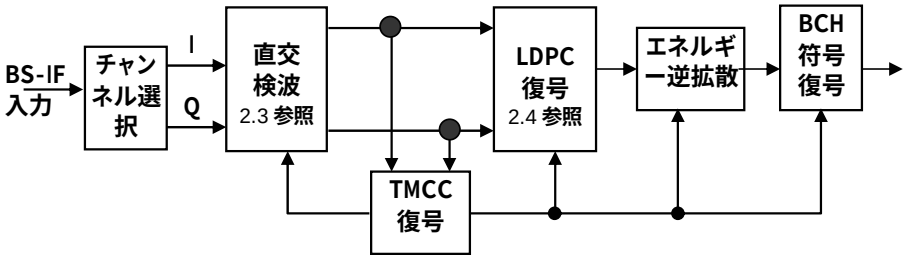


図 5 受信機の構成

2.3 キャリア再生用位相誤差テーブル

図5の受信機構成の直行検波回路の詳細を図6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、ルートロールオフフィルタの出力を図7に示すような位相誤差テーブルを使って、受信された信号点 P と理想的な信号点との位置関係から、再生キャリアの位相誤差(+/-)を検出し、周波数誤差が小さくなるように、数値制御発振器を制御する。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図 7 の位相誤差テーブルを使ってキャリア再生を行うと、同期限界 C/N の上昇や、サイクルスリップ確率の上昇などの弊害を生ずる。

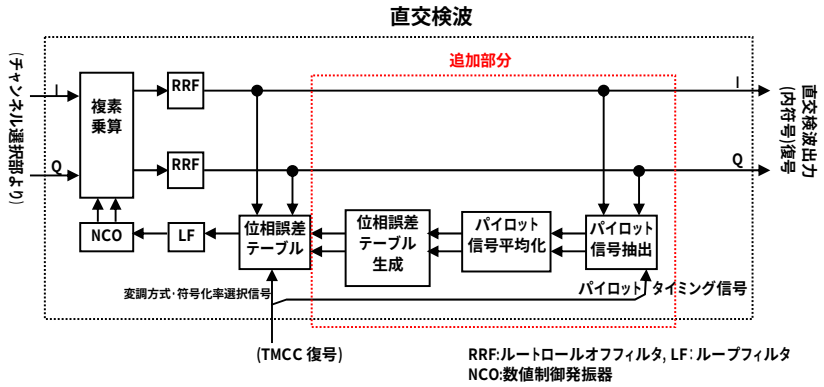


図 6 パイロットによる補償を行う場合の直交検波の構成例

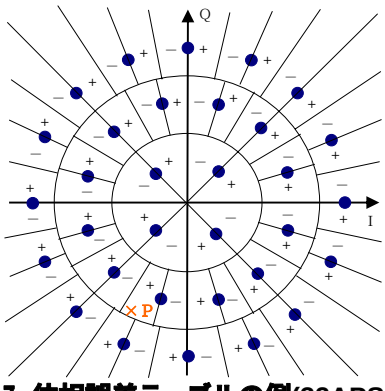


図7 位相誤差テーブルの例(32APSK)

パイロット信号を利用する場合、ルートロールオフ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、位相誤差テーブルを構成するデータを生成し、位相誤差テーブルを書き換える。

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、ルートロールオフ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 と思われる確率と 0 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。

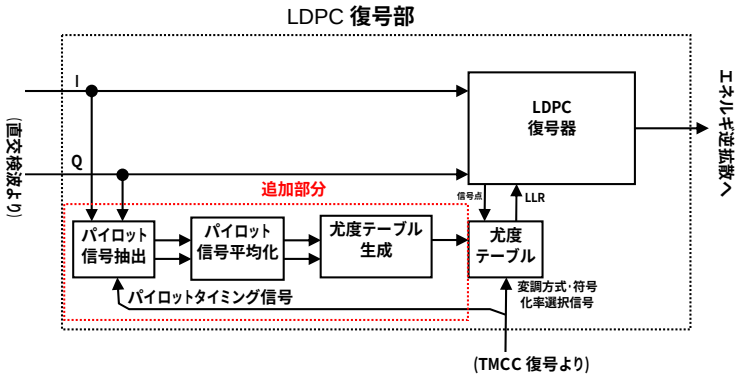


図 8 パイロットによる補償を行う場合の LDPC 復号の構成

パイロット信号を利用する場合、ルートロールオフ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)、π/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 信号のスロット/変調方式情報

名称	bit	内訳	bit	備考
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:π/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
		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	

表 8　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]	ダミー [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
π/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スロット以外の部分にス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。

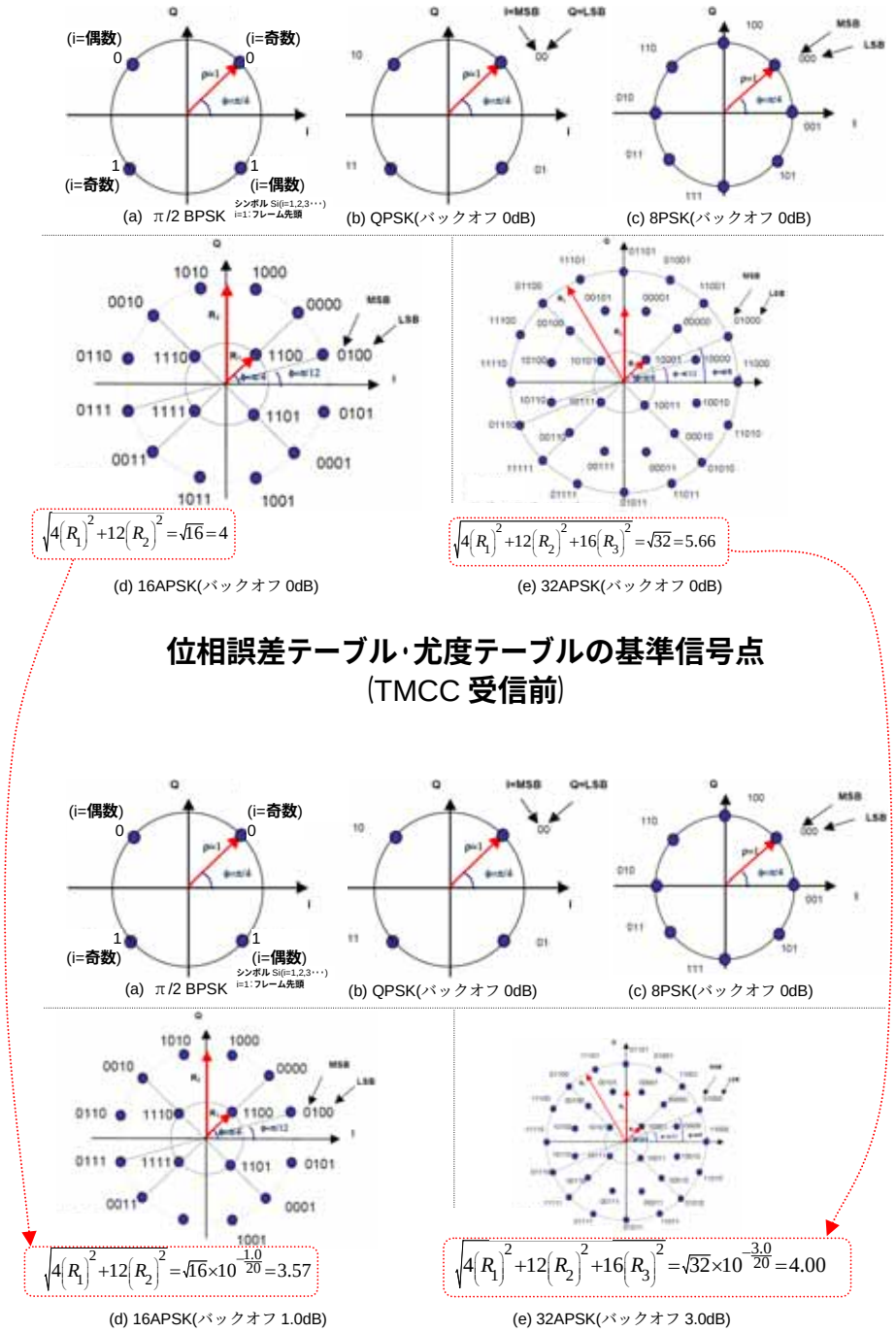


図 9　TMCC 信号「スロット/変調方式情報」による位相誤差テーブル･尤度テーブル用基準信号点の更新

4.6. TMCC 信号によるバルク伝送機能

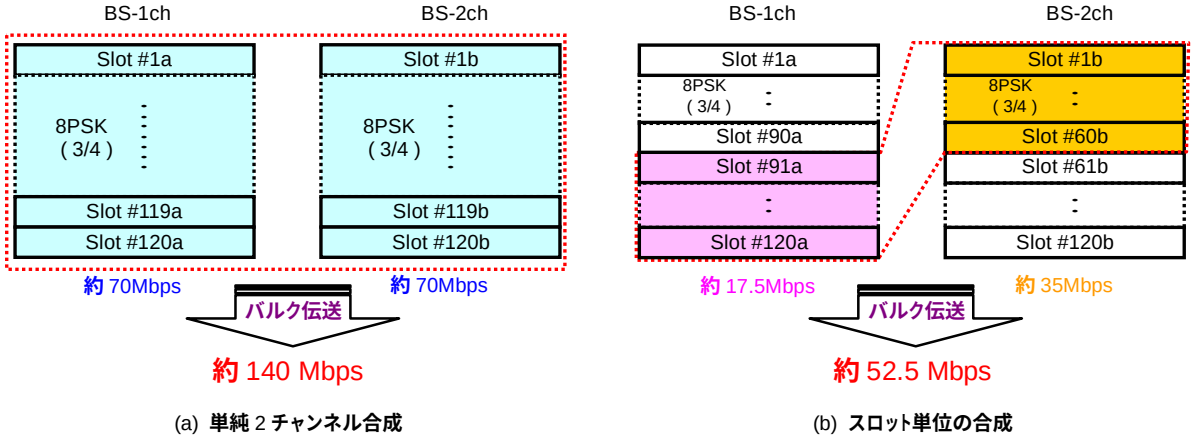
1. バルク伝送

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。



(a) 単純 2 チャンネル合成　　(b) スロット単位の合成

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	

⑴ 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。

⑵ 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。

⑶ 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用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 10×4＝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(5810×5Byte=46480×5bit=232400bit、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 188×8×40=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 バイト分の間隙をあけて、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 バイト分の間隙をあけて、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。

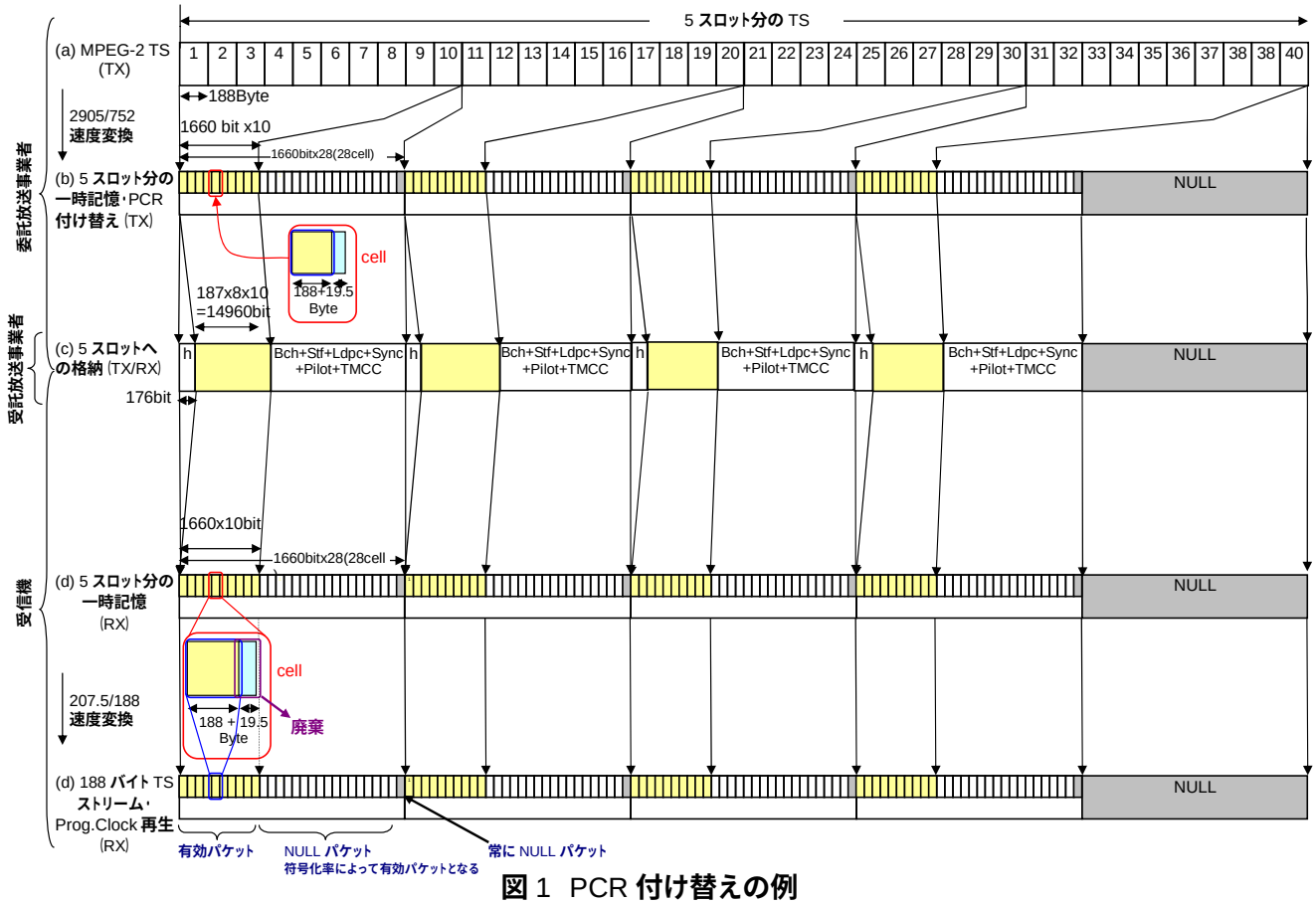


図 1 PCR 付け替えの例

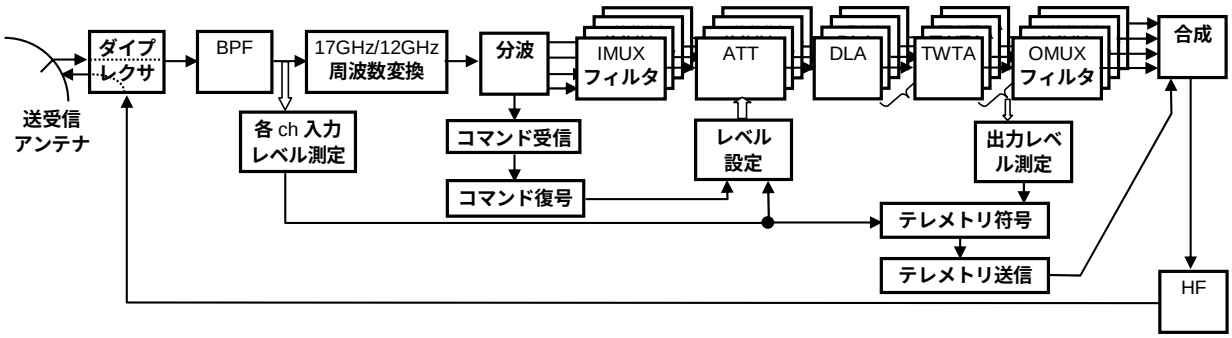
4.8. 衛星中継器 ALC 制御

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。

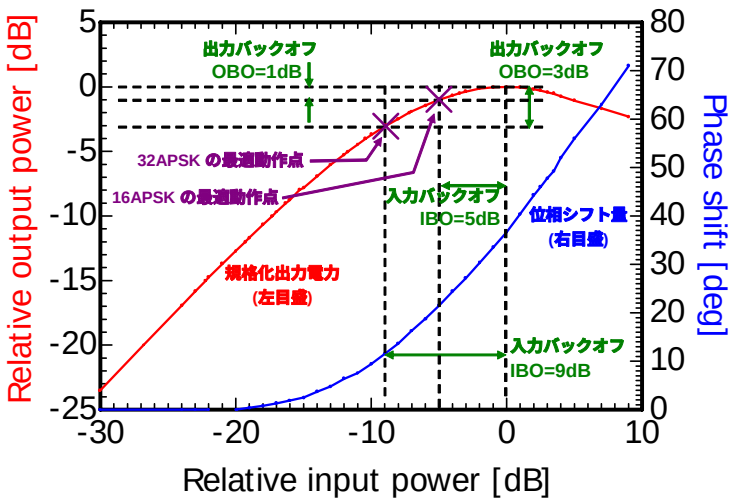


図 2 衛星中継器用 TWTA の特性例

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。

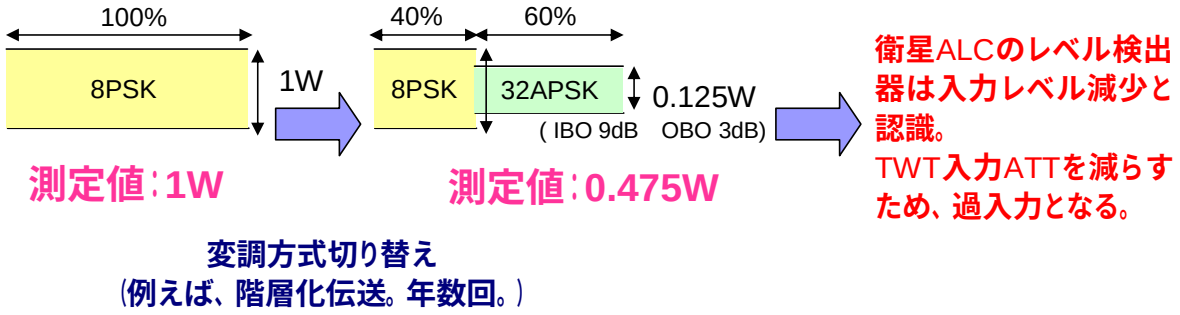


図 3　放送衛星中継器の ALC 誤動作

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、IB0=0dB(この区間の入力電力を１W 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×0.4 +0.125W×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=0ｄB（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´｜＝δ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、擬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. 擬似中継器による室内実験（以下、擬似中継器実験）

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

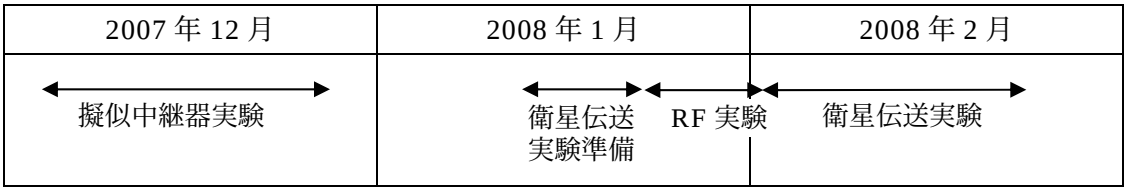
B. ＲＦ実験

地上局設備・伝送路（140MHz～17GHz への周波数変換、17GHz/12GHz トランスレーター、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

擬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



- 擬似中継器実験（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	π/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	π/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	π/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）

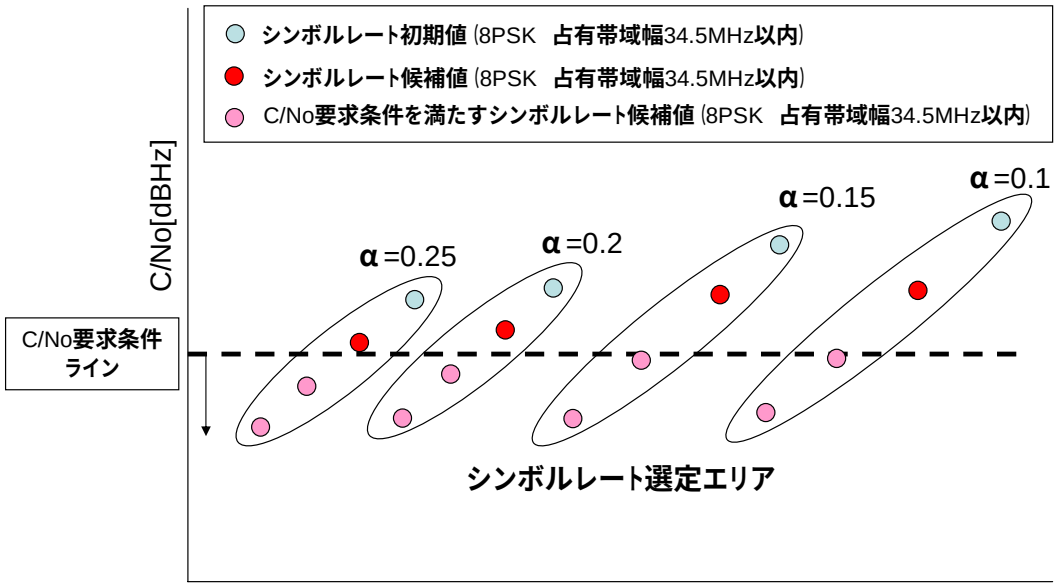


図１：シンボルレートと C/No の関係

（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。

・α=0.1、OBO=3.5dB
・α=0.15、OBO=3.0dB
・α=0.2、OBO=3.0dB
・α=0.25、OBO=3.0dB

（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）

（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　ｼﾝﾎﾞﾙﾚｰﾄ･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：4×4×4 =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：実験系統の都合上、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。

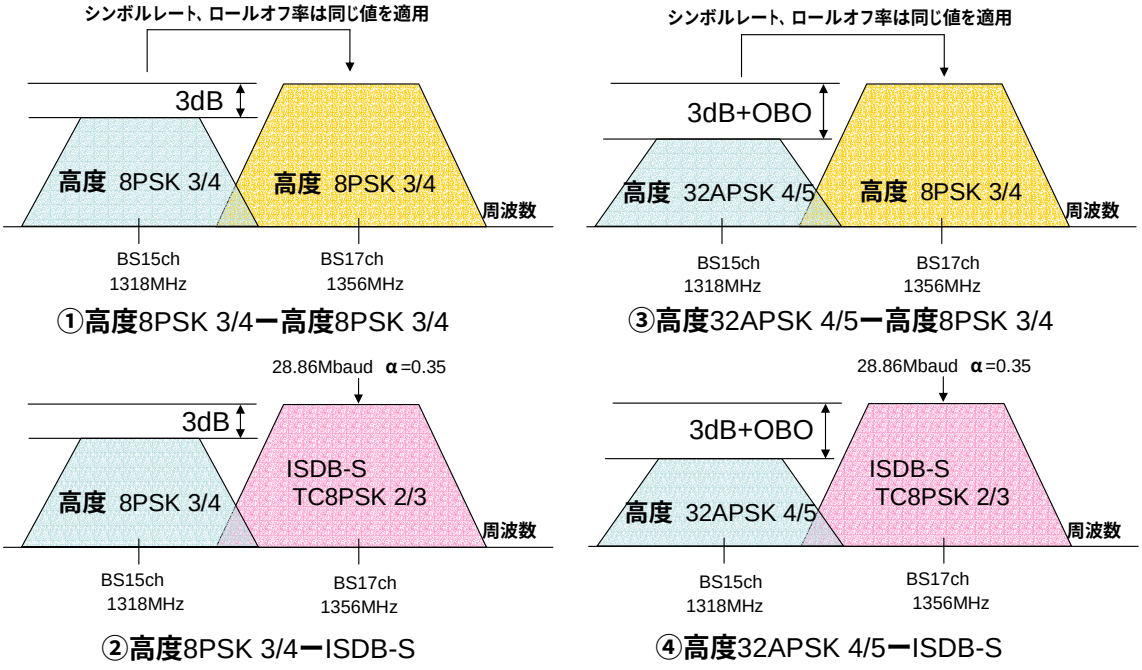


図２：干渉実験　①～④のチャンネル間のスペクトラムレベル概念図

（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/No 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）：ＩＦ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π/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
π/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：7×3×2＝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π/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．ＲＦ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）　　ＲＦ折り返しによる C/N .vs. BER 測定

実験項目：ＲＦ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。

・　ＲＦ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π/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
π/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ｃｈ

TBD

5. 実験項目

（C-１）：送信スペクトル確認

π/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π/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
π/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：1×55＝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：7×3×2＝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

π/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

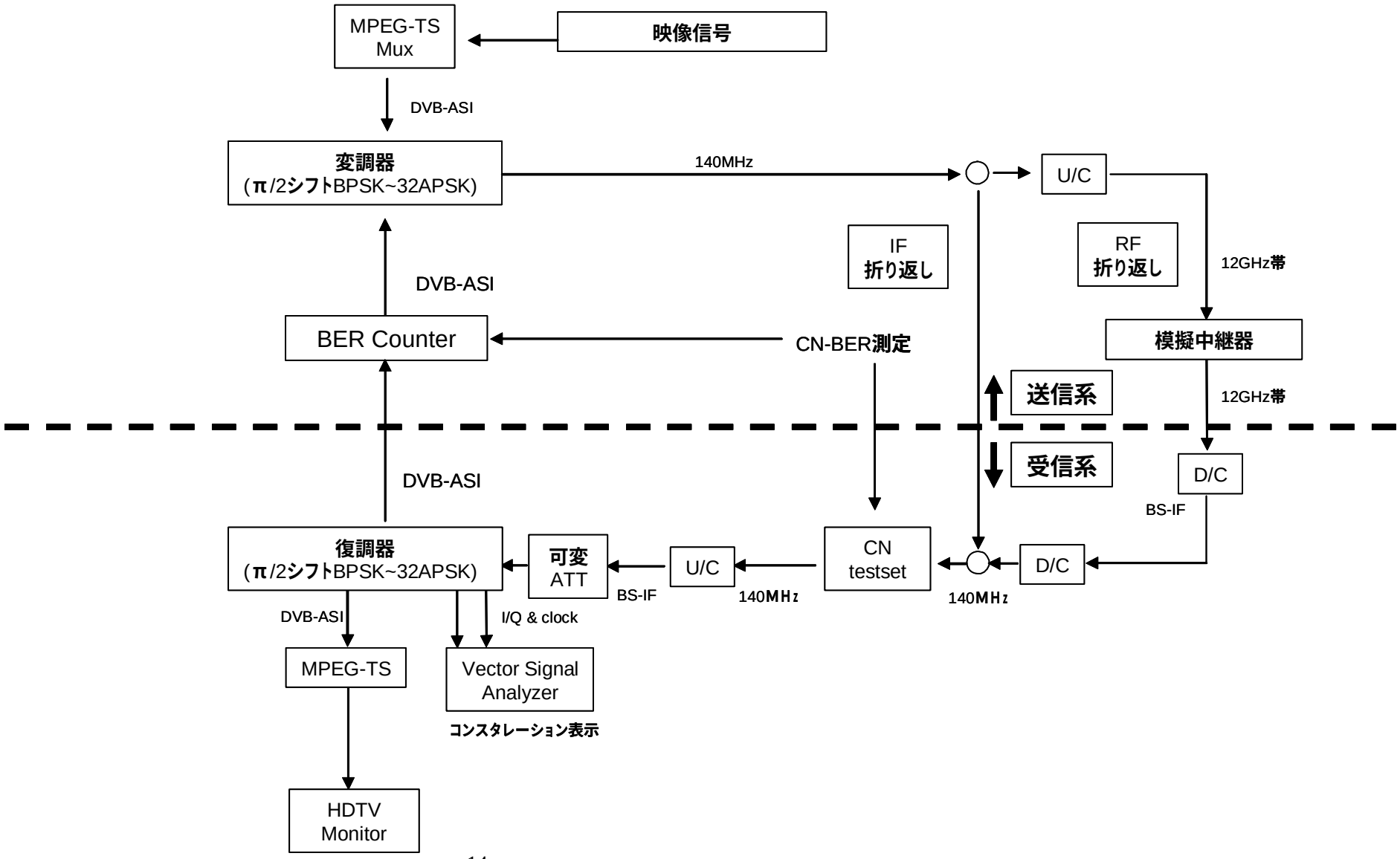
（C-6）：バルク伝送動作確認

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

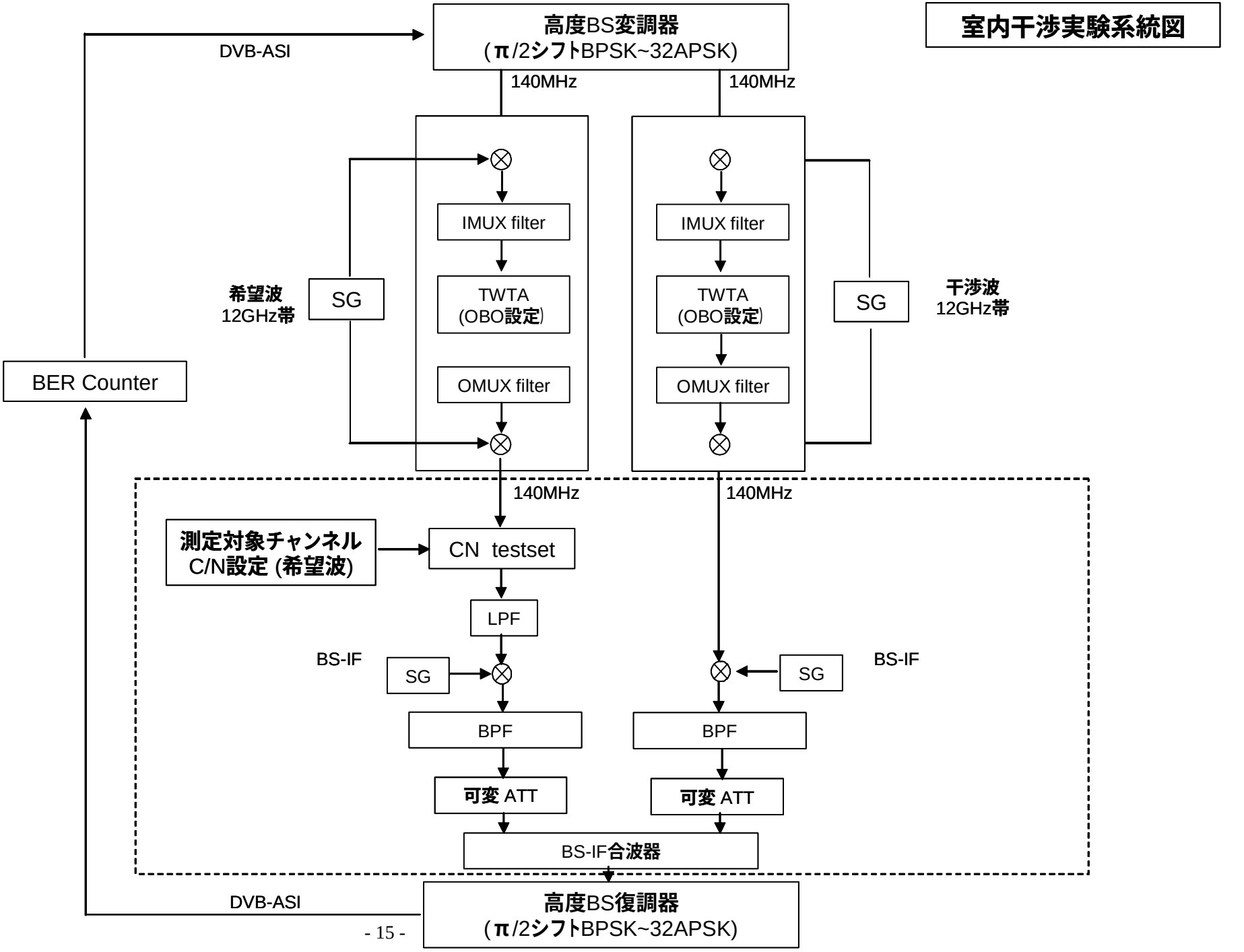
（C-7）：32APSK による映像の伝送

32APSK を用いた 1 中継器によるスーパーハイビジョン伝送

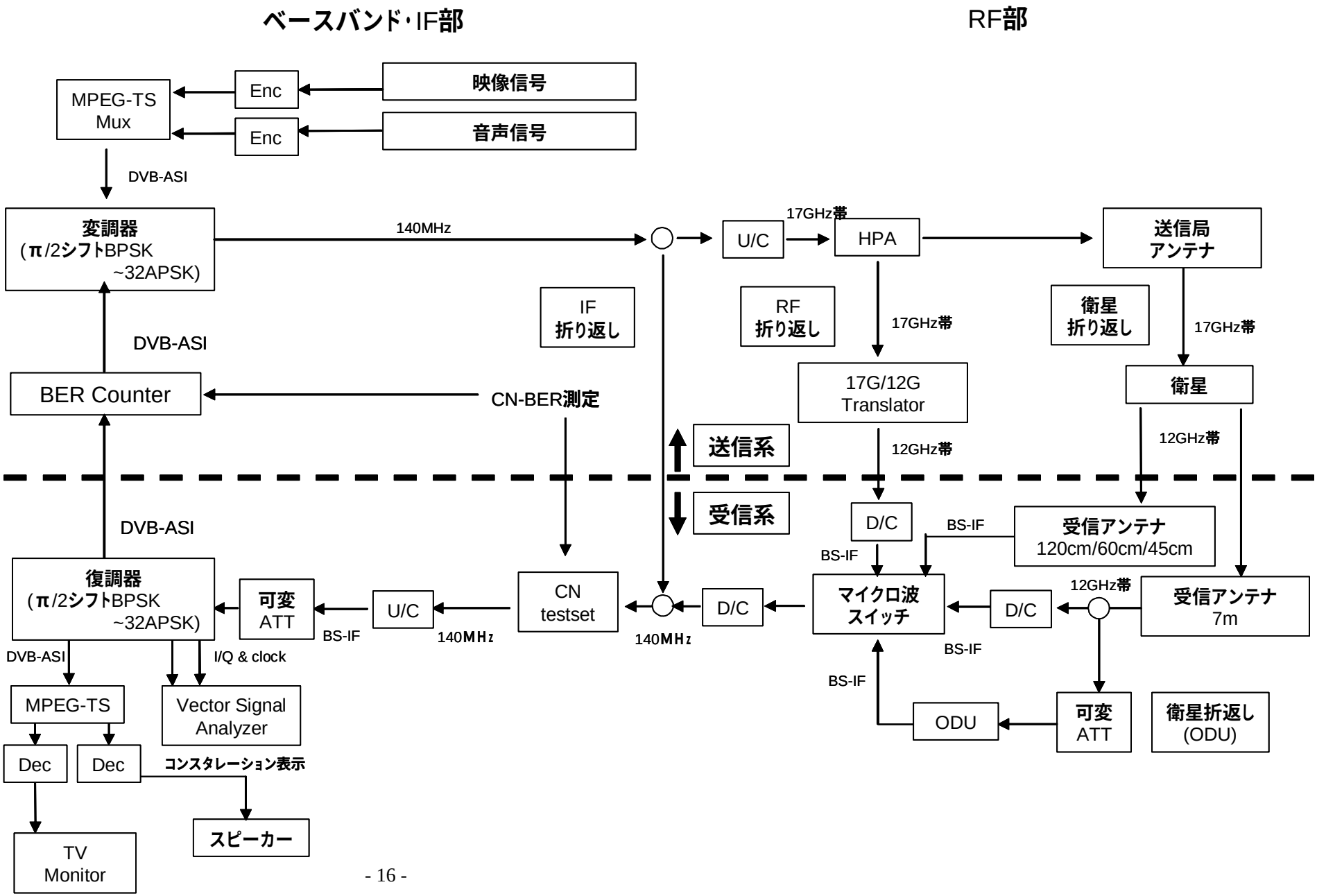
室内伝送実験系統図（1波用）



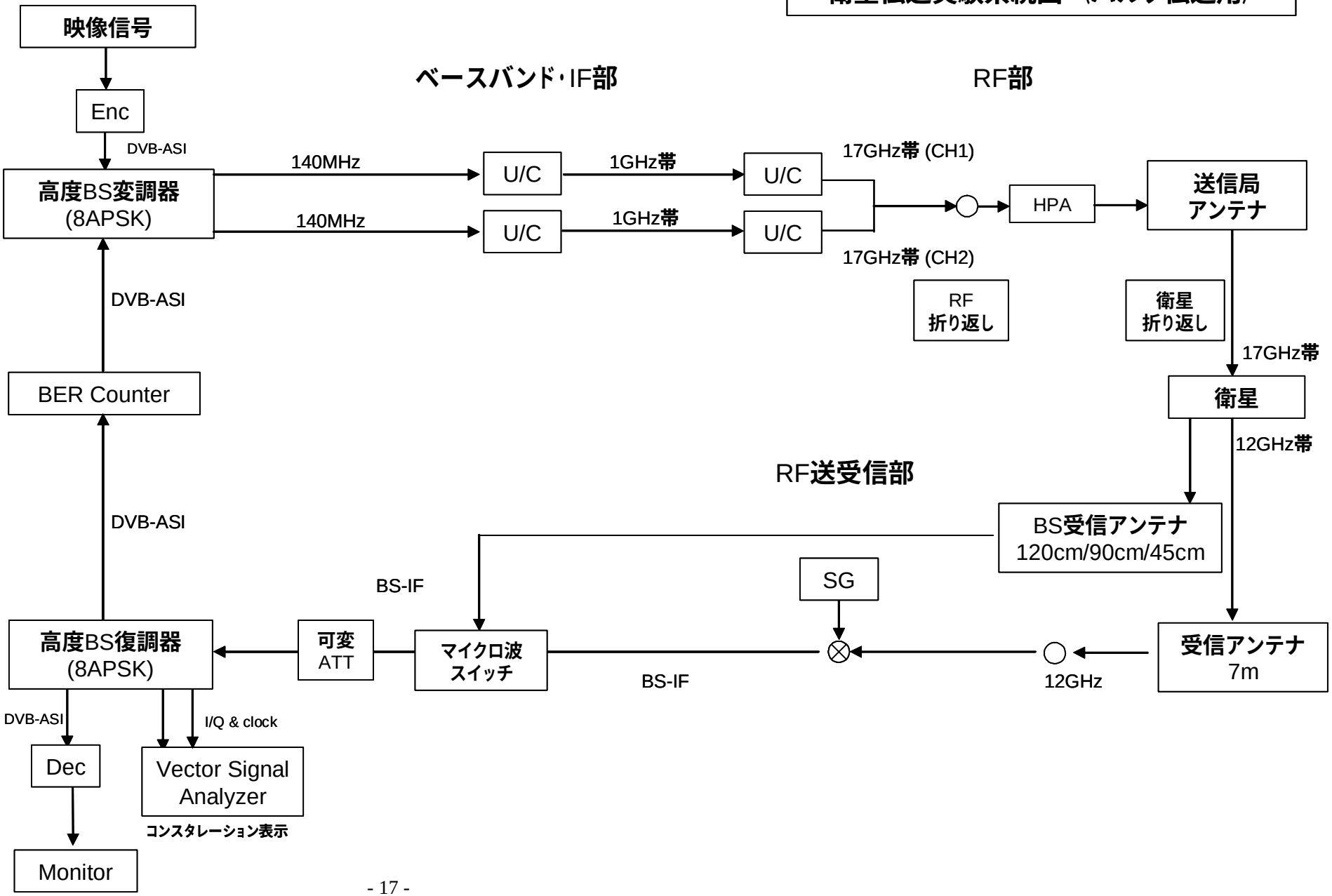
室内干渉実験系統図


高度BS変調器
(π/2シフトBPSK~32APSK)
DVB-ASI
140MHz
140MHz
IMUX filter
TWTA
(OBO設定)
OMUX filter
IMUX filter
TWTA
(OBO設定)
OMUX filter
希望波
12GHz帯
SG
SG
干渉波
12GHz帯
BER Counter
140MHz
140MHz
測定対象チャンネル
C/N設定 (希望波)
CN testset
LPF
BS-IF
SG
SG
BS-IF
BPF
BPF
可変 ATT
可変 ATT
BS-IF合波器
DVB-ASI
高度BS復調器
(π/2シフトBPSK~32APSK)

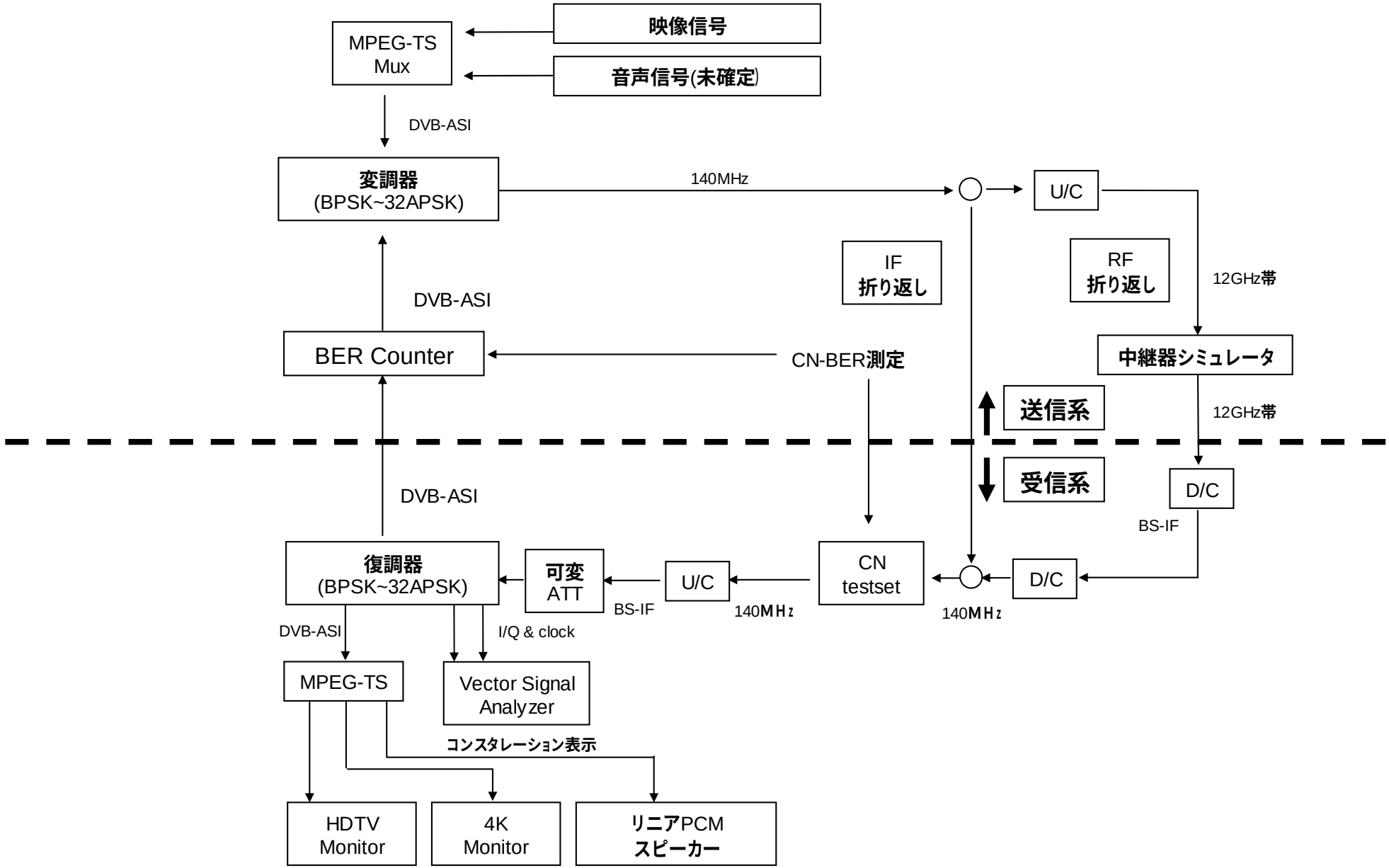
衛星伝送実験系統図（1波用）



衛星伝送実験系統図 （バルク伝送用）

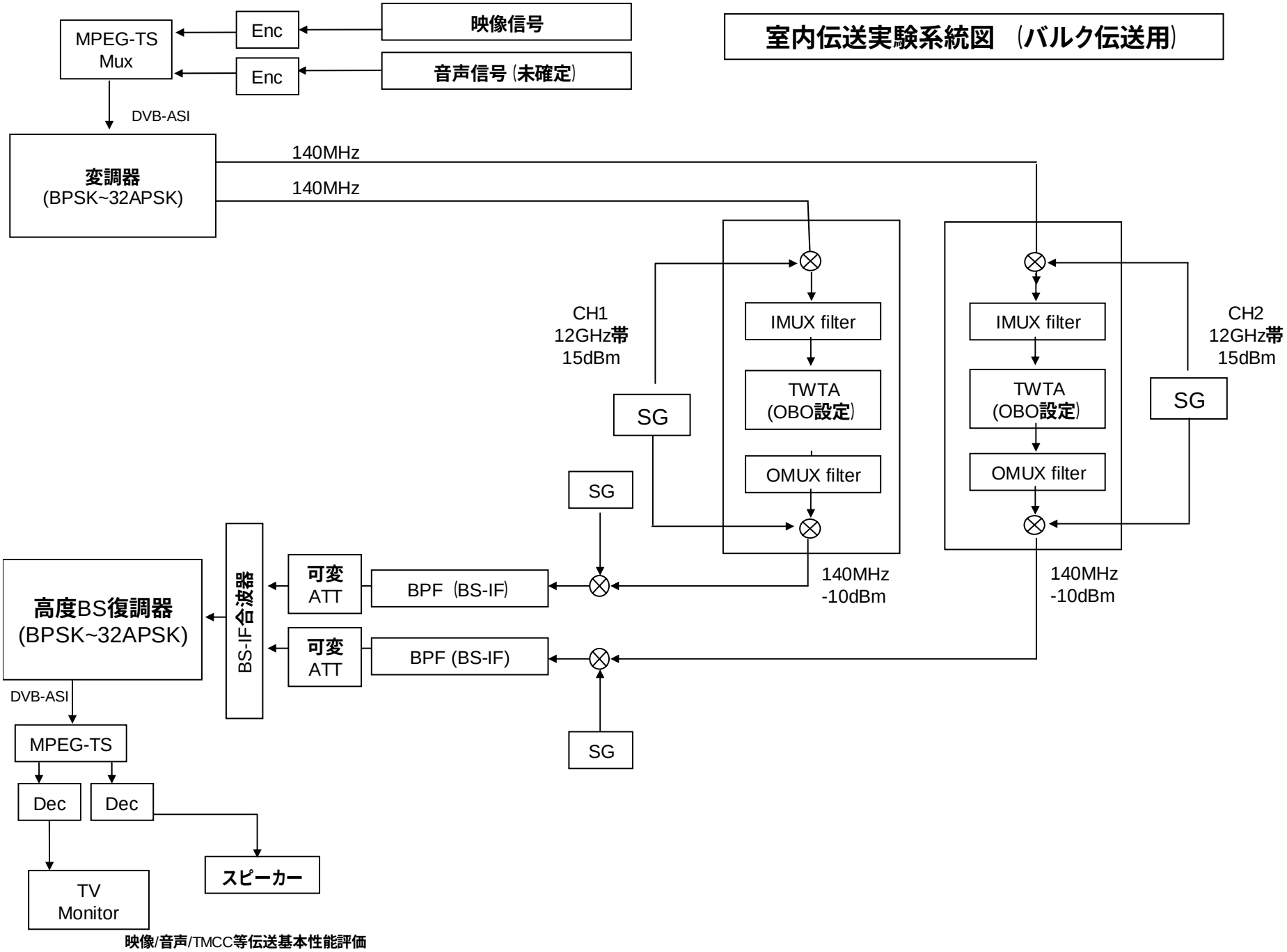


室内伝送実験系統図（1波用）



映像/音声/TMCC等伝送基本性能評価

室内伝送実験系統図 （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（TC８PSK、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α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、α=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、α=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、α=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。

○α=0.1　キャプチャ C/N=-2.6dB、ロック C/N=-2.8dB

○α=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 1.1ｄB 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)

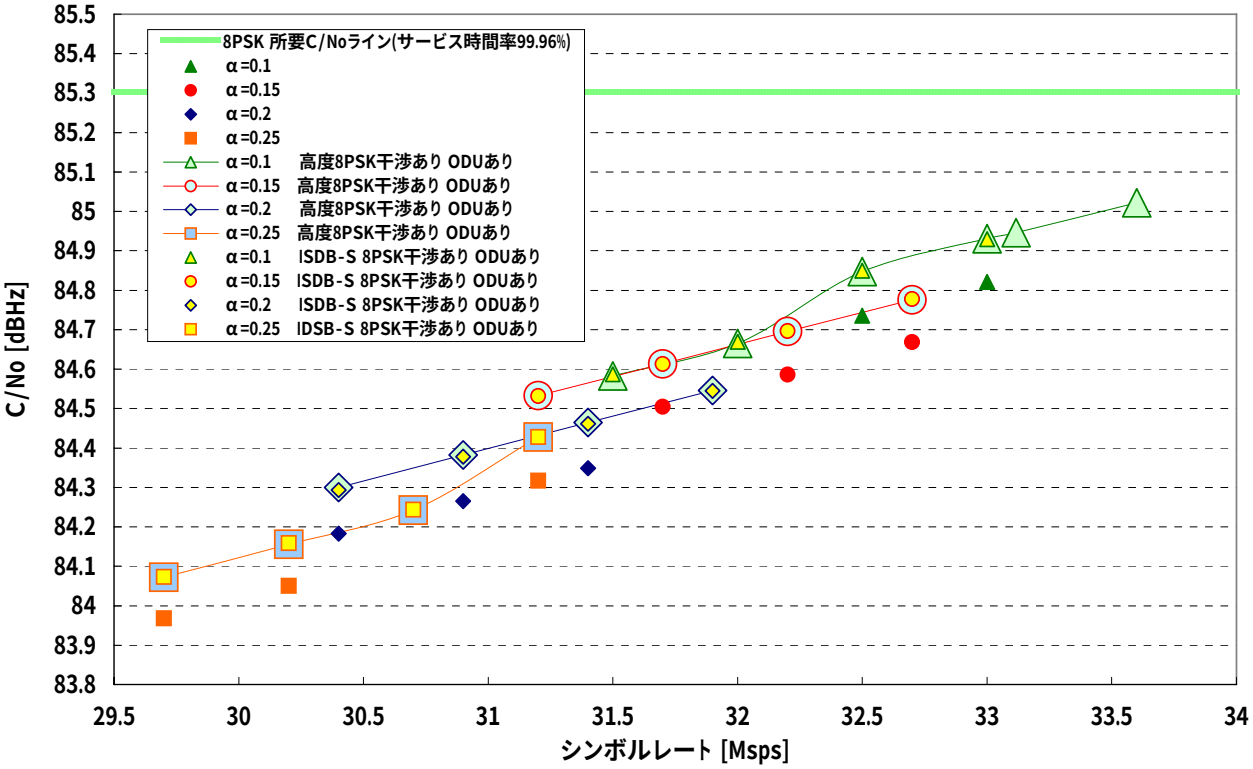


図 2-1 擬似中継器実験結果(8PSK)

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]
α=0.1 33.0Mbaud	9.6	0.0	0.1	0.1
α=0.15 32.7Mbaud	9.5	0.0	0.1	0.1
α=0.2 31.9Mbaud	9.5	0.0	0.0	0.0
α=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(α=0.1) / 3.0dB(α=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)

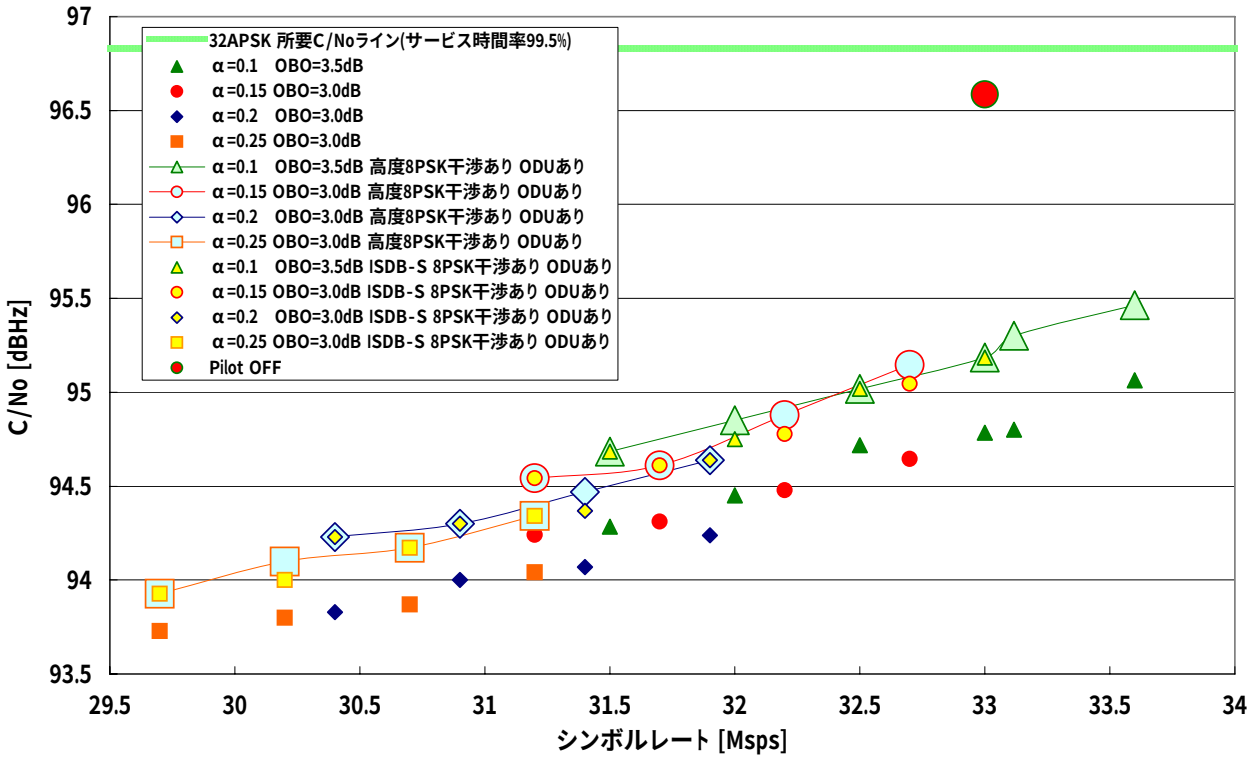


図 2-2 擬似中継器実験結果(32APSK)

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]
α=0.1 33.0Mbaud	19.6	0.1	0.4	0.4
α=0.15 32.7Mbaud	19.5	0.2	0.5	0.4
α=0.2 31.9Mbaud	19.2	0.2	0.4	0.4
α=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α=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。

$S_r \times 5/120 \times (8、\ 10、\ 12、\ 15、\ 18、\ 20、\ 22、\ 24、\ 25、\ 26、\ 27)/5810 \times 188$

$= (8、\ 10、\ 12、\ 15、\ 18、\ 20、22、\ 24、\ 25、\ 26、\ 27) \times 188 \times 5 \times Sr/120/5810$

$= (8、\ 10、\ 12、\ 15、\ 18、\ 20、\ 22、\ 24、\ 25、\ 26、27) \times S_r \times 47/34860$

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×　935＝32.5941 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

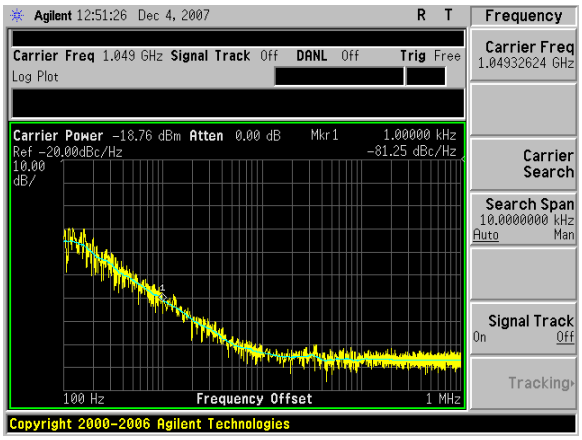
第３グループ：A,B,D,G

第４グループ：H

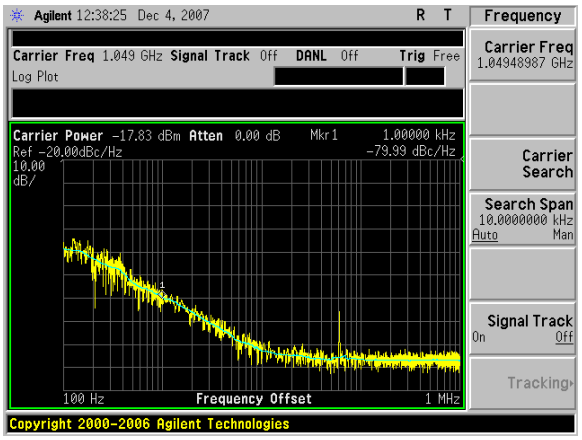
今回はサンプル数の多い第３グループから A を選択し、位相雑音特性の最も悪いサンプルとして H を選択した。

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

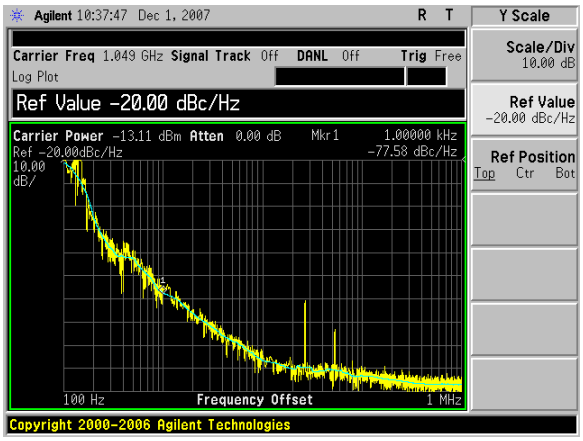


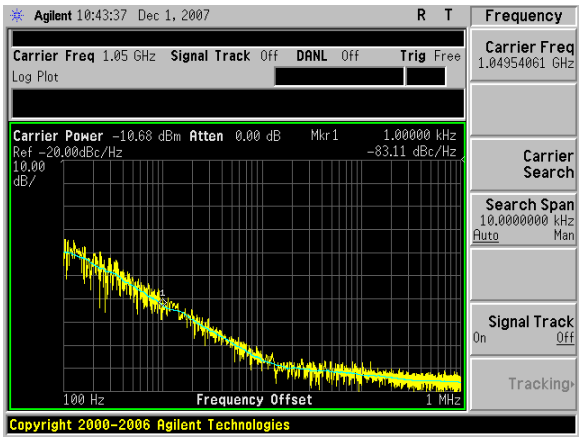
B:位相雑音特性



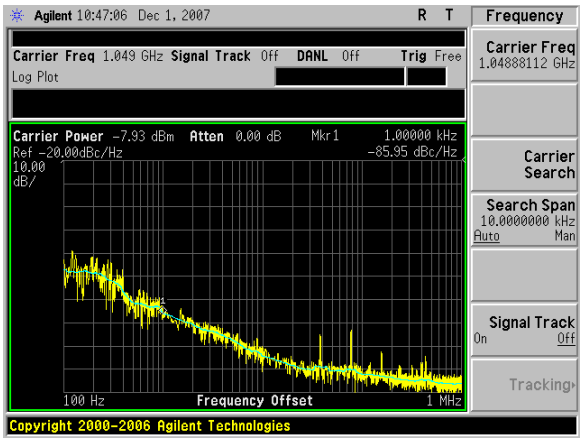
C:位相雑音特性

D:位相雑音特性

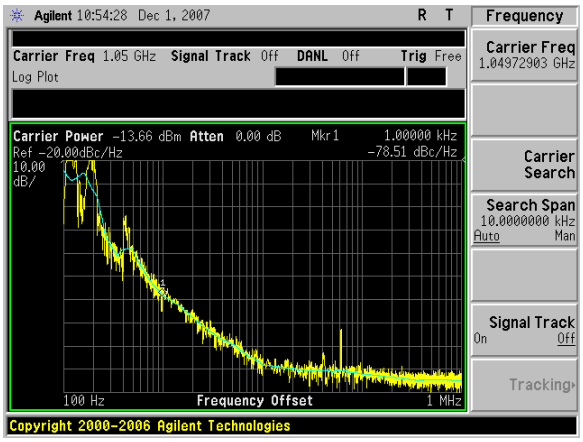




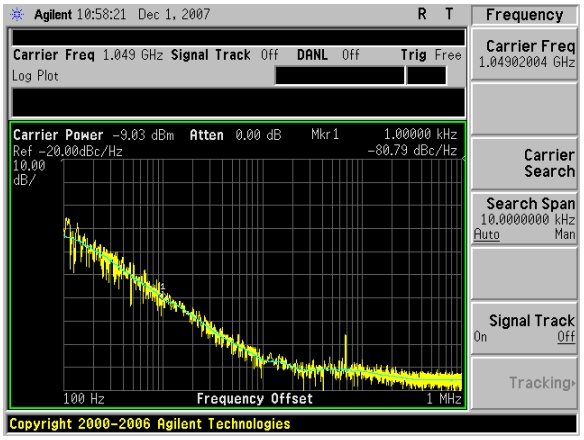
E：位相雑音特性



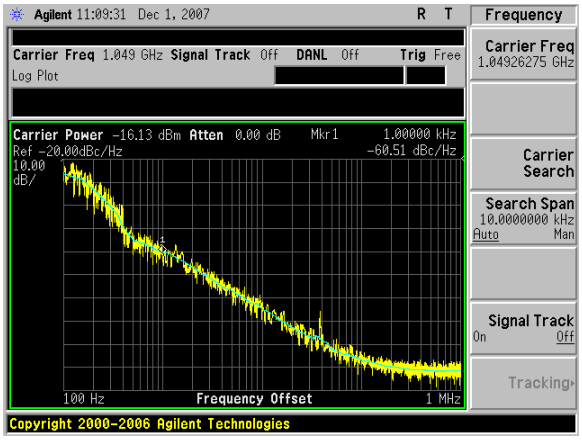
F：位相雑音特性



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(fc=1356MHz)

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 α=0.1				ケース２ 31.9Mbaud α=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]
Δf=0Hz	-2.4	-2.9	-2.6	-2.9	-	-	-	-
Δf=+1.5MHz	-2.6	-2.8	-2.6	-2.9	-3.7	-3.9	-	-
Δf=-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 α=0.1	
	Pilot ON	
	キャプチャ C/N[dB]	ロック C/N[dB]
Δf=+1.5MHz	-3.4	-3.9