

参 考 资 料

目 次

- 参考資料 1 伝送路符号化方式 補足資料
- 参考資料 2 伝送路符号化方式実証実験報告
- 参考資料 3 IP パケットの一般的構成
- 参考資料 4 衛星伝送路への TS パケットおよび TLV の多重
- 参考資料 5 サービスとマルチキャストグループアドレスの考え方
- 参考資料 6 TLV 多重化方式における選局方法の例
- 参考資料 7 H. 264 やディスプレイの技術動向
- 参考資料 8 負 RGB 方式による広色域化
- 参考資料 9 映像符号化方式実証実験
- 参考資料 10 音声サービスの想定利用ケース
- 参考資料 11 電波産業会デジタル放送開発部会音声符号化方式作業班における検討経緯等
- 参考資料 12 リニア PCM 音声の PES 伝送方式
- 参考資料 13 22.2 チャンネル音声デモンストレーション
- 参考資料 14 リニア PCM 音声符号化・伝送実証実験報告
- 参考資料 15 AES3 のユーザビットを用いたリニア PCM 音声関連メタ情報の伝送
- 参考資料 16 ロスレス音声符号化に関する提案方式（2 方式）の技術概要および方式比較
- 参考資料 17 ロスレス音声符号化・圧縮性能実証実験報告
- 参考資料 18 ロスレス音声符号化・TS 生成実証実験報告
- 参考資料 19 データ放送の想定利用ケース
- 参考資料 20 電波産業会デジタル放送システム開発部会データ放送方式作業班における検討経緯

伝送路符号化方式 補足資料

目 次

参考資料 1-1	スロットの割り当て規則
参考資料 1-2	PCR の管理
参考資料 1-3	PCR 付け替え方法の例
参考資料 1-4	シンボルレートと帯域幅の関係
参考資料 1-5	信号点配置
参考資料 1-6	TMCC 符号化方式の伝送性能
参考資料 1-7	TMCC 信号のストリーム制御機能
参考資料 1-8	パイロット信号による受信特性の改善
参考資料 1-9	バルク伝送
参考資料 1-10	バルク伝送の運用イメージと今後の課題
参考資料 1-11	APSK を小型受信アンテナで受信する場合のサービス時間率向上について
参考資料 1-12	略語・用語集

参考資料 1-1

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、多値数の多い変調方式の順、また、ひとつの変調方式の中で複数の符号化率を併用する場合には、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。

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。(参考例 図1 参照)

(a) 32APSK+16APSK (b) 32APSK+8PSK (c) 32APSK+QPSK (d) 32APSK+ $\pi/2$ シフト BPSK (e) 32APSK+ $\pi/2$ シフト BPSK \times 2

図1 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。(参考例 図2 参照)

放送局 多重・伝送 受信機

① TS1 契約スロット=10 ② TS2 契約スロット=4 ③ TS3 契約スロット=1

速度変換 速度変換

1 フレーム=15 スロットとして例示

図2 複数 TS 合成の例

139

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。

図 1(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資料 1-3 に示す。

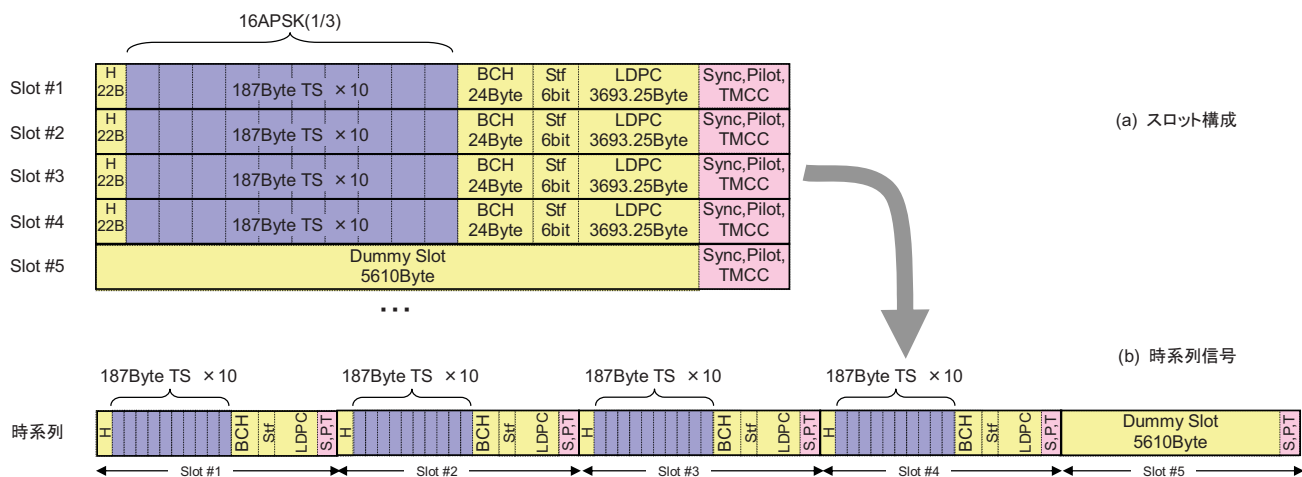


図 1 受信機で再生されるストリームの例

PCR の付け替え方法の例

変調方式 16ASPK、符号化率 1/3 により、1 フレーム中 5 スロット(有効スロットは 4 スロット)を割り当てられた委託事業者が、MPEG-2 TS を伝送する場合を例に説明する。

表 1 各符号化率のスロット構成

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+スタッフ符号化率※1	参考	
	スロットヘッダ	データ長 (TS/パケット数)	BCH パリティ	スタッフビット	LDPC パリティ					
1 / 3	44880	176	14960 (10)	192	6	29546	0.333	0.342 (41/120)	0.976	1/3=33.33%
2 / 5	44880	176	17952 (12)	192	6	26554	0.400	0.408 (49/120)	0.980	2/5=40%
1 / 2	44880	176	22440 (15)	192	6	22066	0.500	0.508 (61/120)	0.984	1/2=50%
3 / 5	44880	176	26928 (18)	192	6	17578	0.600	0.608 (73/120)	0.986	3/5=60%
2 / 3	44880	176	29920 (20)	192	6	14586	0.667	0.675 (27/40)	0.988	2/3=66.67%
3 / 4	44880	176	32912 (22)	192	6	11594	0.733	0.742 (89/120)	0.989	3/4=75%
4 / 5	44880	176	35904 (24)	192	6	8602	0.800	0.808 (97/120)	0.990	4/5=80%
5 / 6	44880	176	37400 (25)	192	6	7106	0.833	0.842 (101/120)	0.990	5/6=83.33%
7 / 8	44880	176	38896 (26)	192	6	5610	0.867	0.875 (7/8)	0.990	7/8=87.5%
9 / 10	44880	176	40392 (27)	192	6	4114	0.900	0.908 (109/120)	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)

表 1 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、有効 4 スロットを使って伝送できるパケット数は図 1(a)に示すように $10 \times 4 = 40$ パケットとなる。

受託放送事業者は、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 ($5810 \times 5 \text{Byte} = 46480 \times 5 \text{bit} = 232400 \text{bit}$ 、図 2 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、図 1(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、書き込んだときの 120/5 倍の速度で読み出しを行い、他の同様の処理を施した TS と共に、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。この状態で受託放送事業者の伝送路符号化部への信号受け渡しを行う。

伝送路符号化部では、この信号に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。

なお、複数の 5 スロット単位を跨いでストリームが多重されている場合や、さらに複数のストリームが混在している場合については、5 スロット単位で同様の処理を行うものとし、PCR の打ち直しに際しては、同一のストリーム内で PCR の処理を行い、異なるストリームのパケットは NULL パケットとみなして処理する。またストリームとして抽出する場合には、それ以外のストリームのパケットは NULL パケットに置換する。

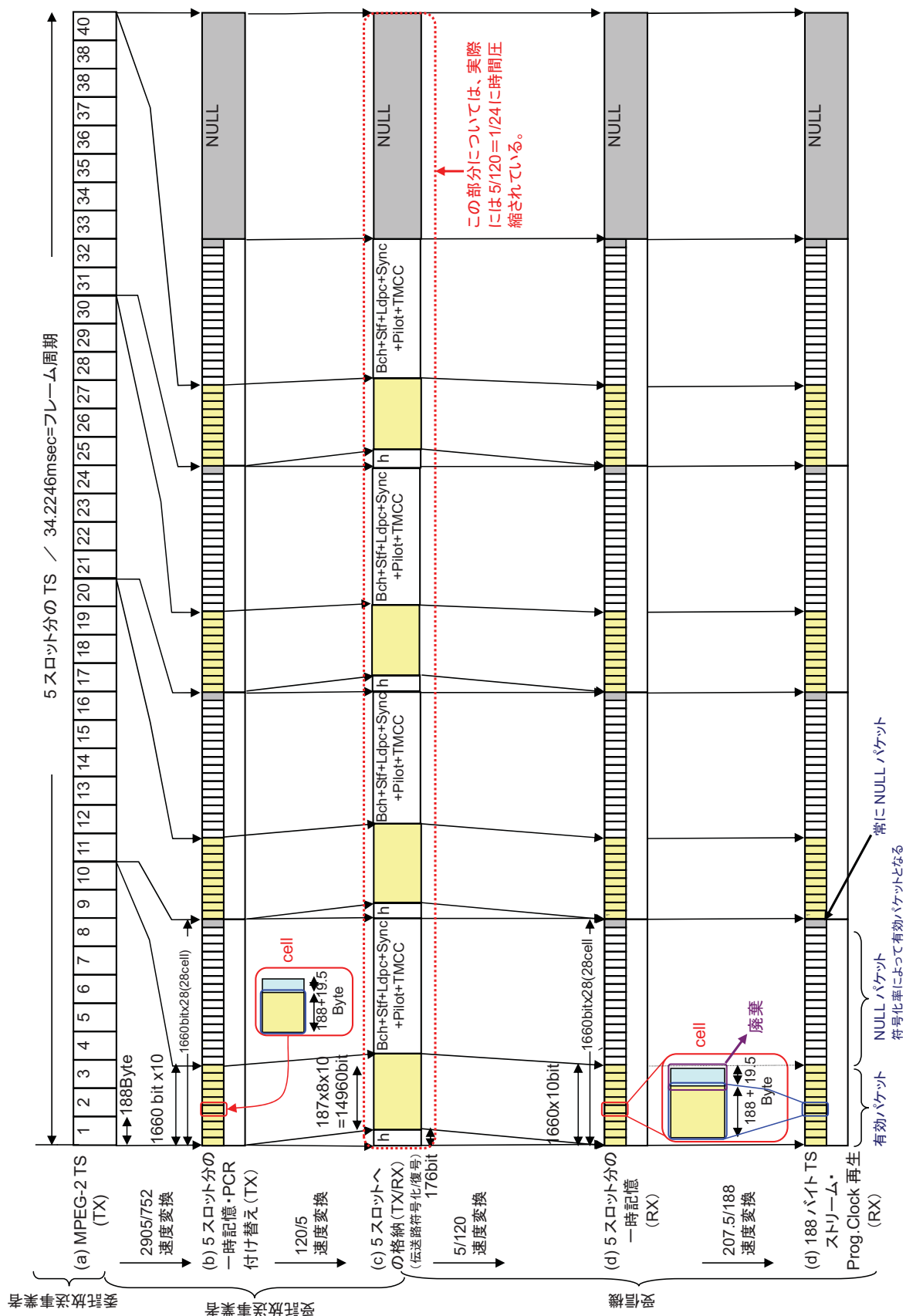


図 1 PCR 付け替えの例

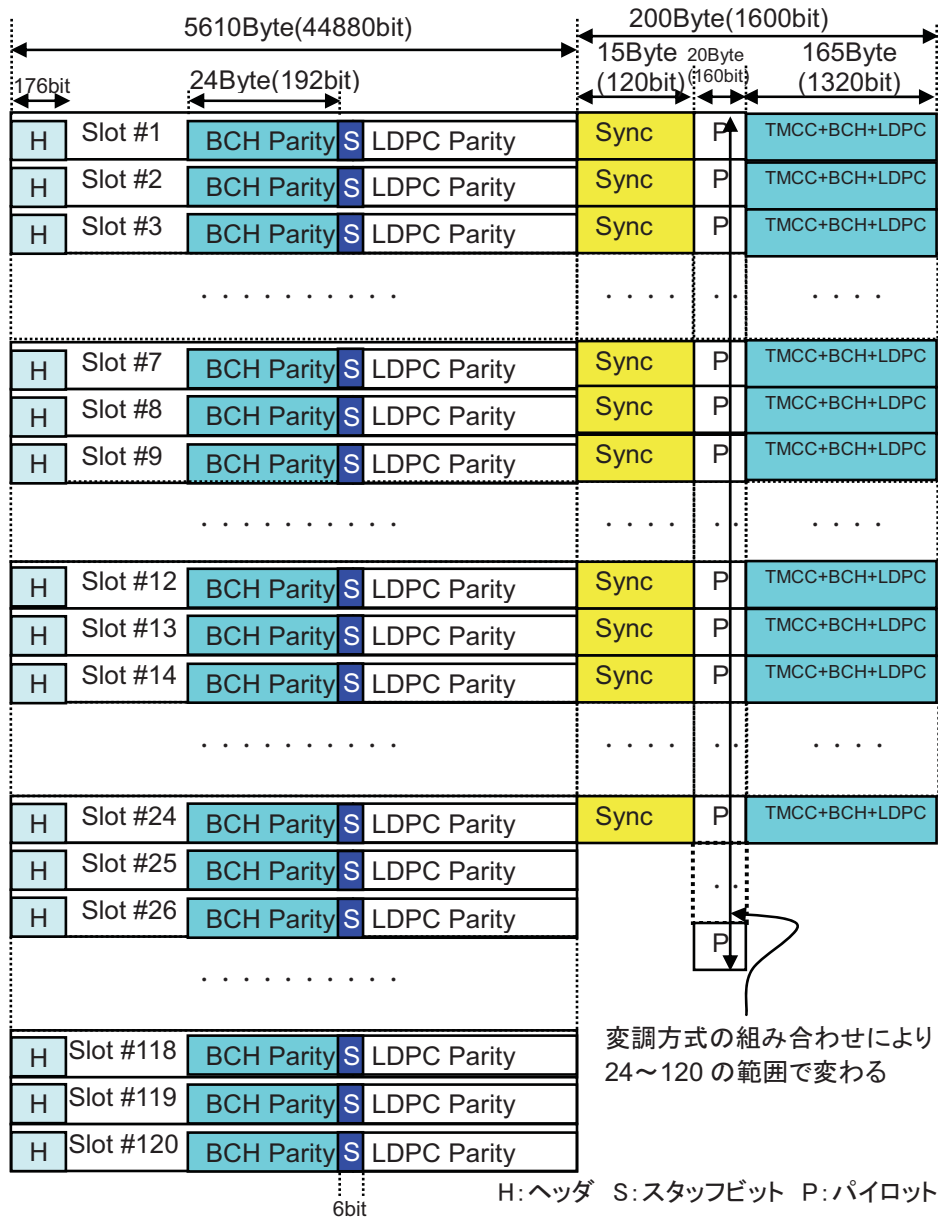


図2 フレーム構成

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。

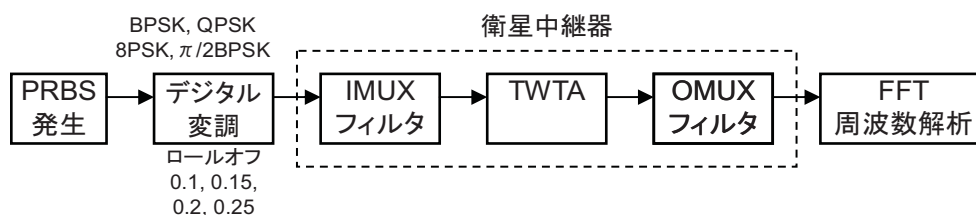


図 1 シミュレーション系統図

2. 各変調方式のシンボルレートと帯域幅

ロールオフ率 0.1 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 3.7% 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% 占有帯域幅が狭まっていることが確認できる。

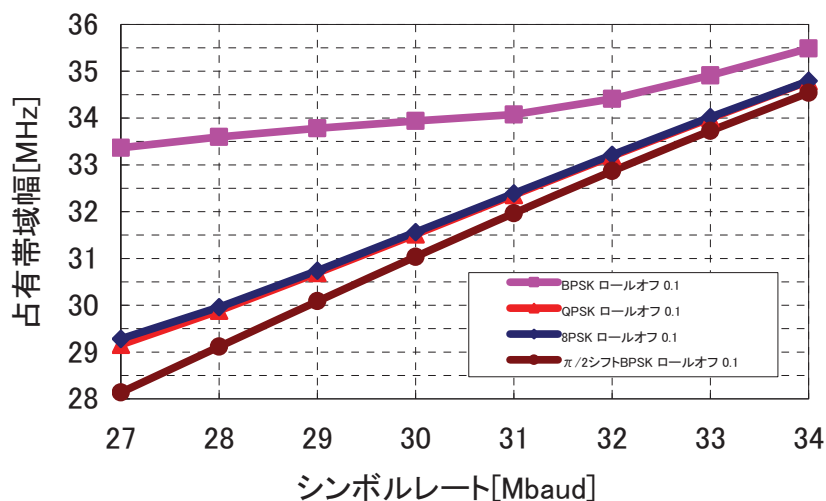


図 2 シミュレーション結果

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 0.1 帯域幅 [MHz]	QPSK ロールオフ 0.1 帯域幅 [MHz]	8PSK ロールオフ 0.1 帯域幅 [MHz]	$\pi/2$ シフトBPSK ロールオフ 0.1 帯域幅 [MHz]
27	33.361	29.156	29.277	28.134
28	33.599	29.883	29.962	29.118
29	33.783	30.692	30.742	30.087
30	33.937	31.516	31.560	31.036
31	34.077	32.355	32.389	31.965
32	34.414	33.188	33.215	32.867
33	34.913	33.995	34.023	33.729
34	35.486	34.784	34.797	34.544

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。

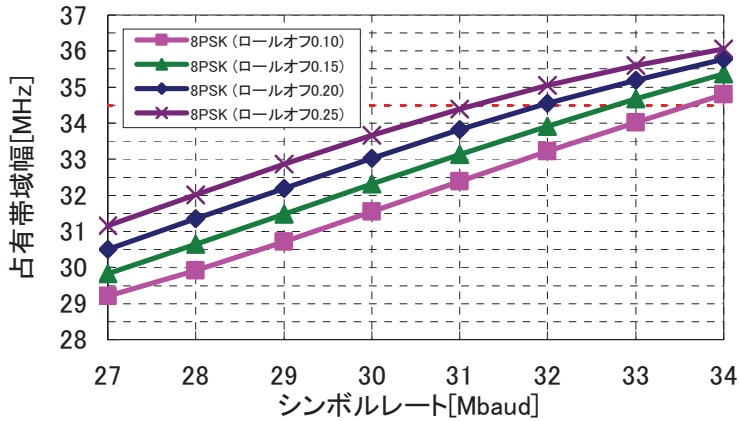


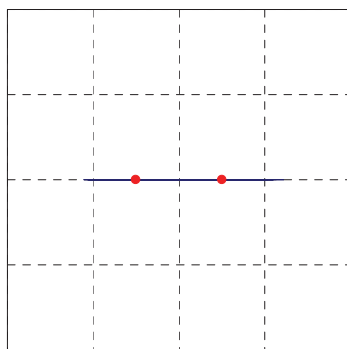
表 2 ロールオフ率と最大シンボルレートの関係

表 2 ロールオフ率と最大シンボルレートの関係

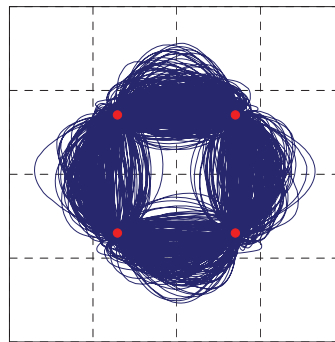
ロールオフ率	最大シンボルレート [MBaud]
0.1	33.6
0.15	32.7
0.2	31.9
0.25	31.1

図 3 シミュレーション結果

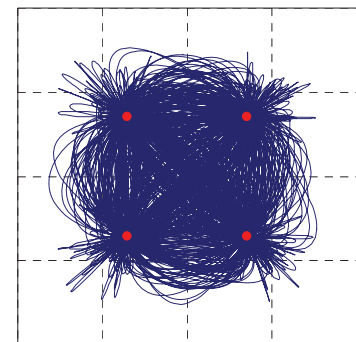
参考. 各変調方式の信号点の軌跡(理想伝送路、ロールオフ率 : 0.1)



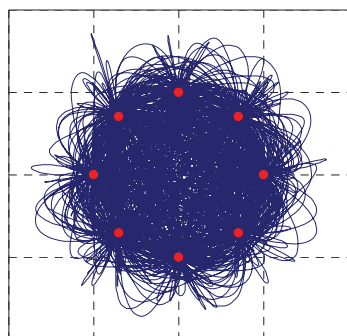
(a) BPSK



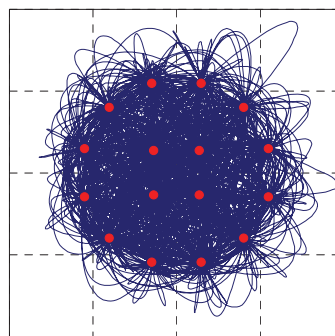
(b) $\pi/2$ シフト BPSK



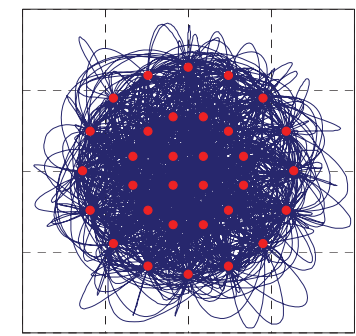
(c) QPSK



(d) 8PSK



(e) 16APSK



(a) 32APSK

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。

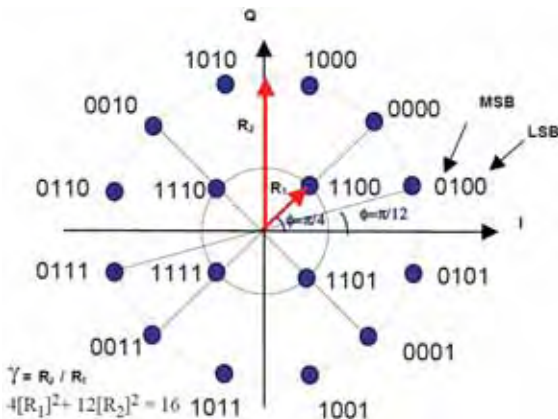


図 1 16APSK の信号点配置

表 1 16APSK の半径比

符号化率	半径比 γ
1/3	3.09
2/5	2.97
1/2	3.93
3/5	2.87
2/3	2.92
3/4	2.97
4/5	2.73
5/6	2.67
7/8	2.76
9/10	2.69

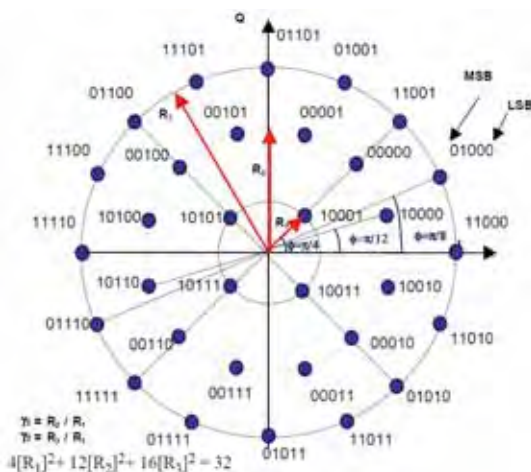


図 2 32APSK の信号点配置

表 2 32APSK の半径比

符号化率	半径比 $\gamma 1$	半径比 $\gamma 2$
1/3	3.09	6.53
2/5	2.97	7.17
1/2	3.93	8.03
3/5	2.87	5.61
2/3	2.92	5.68
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。

TMCC 用誤り訂正方式の伝送性能

高度衛星デジタル放送方式におけるTMCC信号の誤り訂正符号としては、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1参照)。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。

短縮化するデータの位置については、伝送性能が良くなるよう適切な位置を選んで短縮化を行った。

図2にTMCC符号化方式のC/N対ビット誤り率特性を示す。図2には同等の符号化率を有する $\pi/2$ シフトBPSK 符号化率 1/3 の特性も併せて示す。図2より、TMCC符号化方式の所要C/Nは-4.4dB、 $\pi/2$ シフトBPSK 符号化率 1/3 の所要C/Nは-4dBであり、本方式が通常の符号化率 1/3 よりも性能が改善していることが分かる。

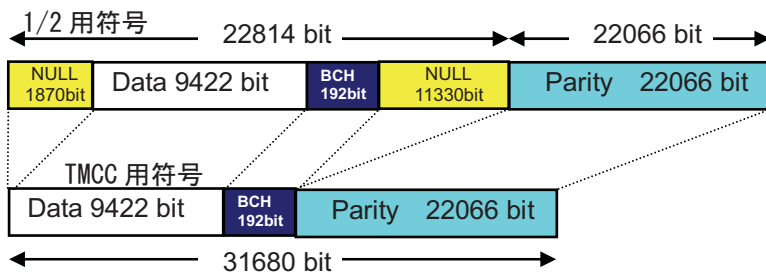


図1: TMCC 符号化方式

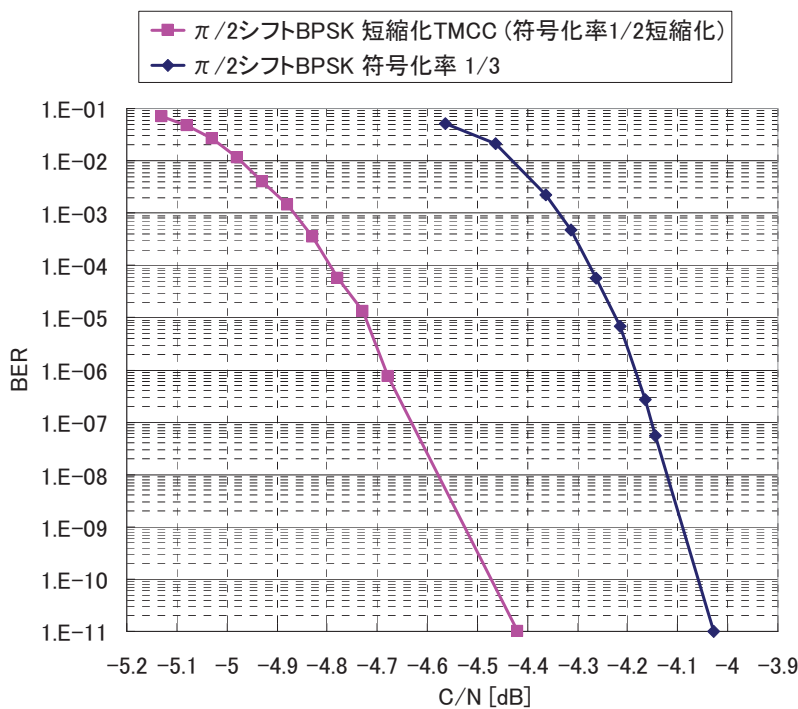


図2: TMCC 符号化方式 C/N 対ビット誤り率特性

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、高度衛星デジタル放送方式においては、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。

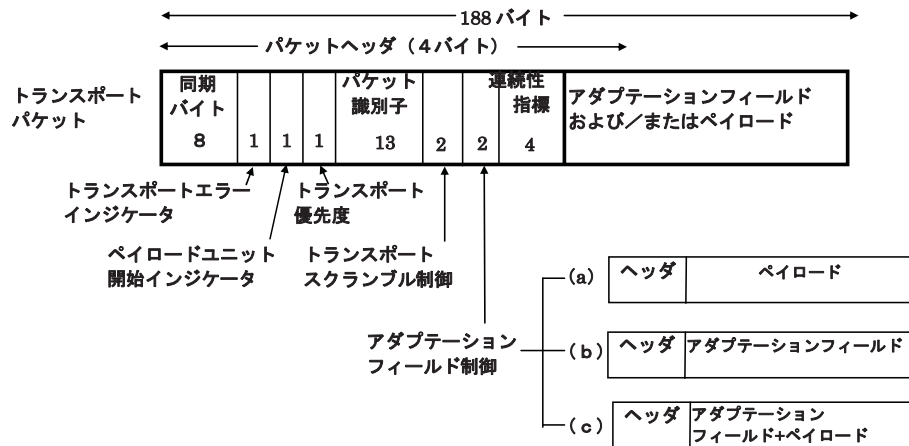


図 1 MPEG-2 TS の構造

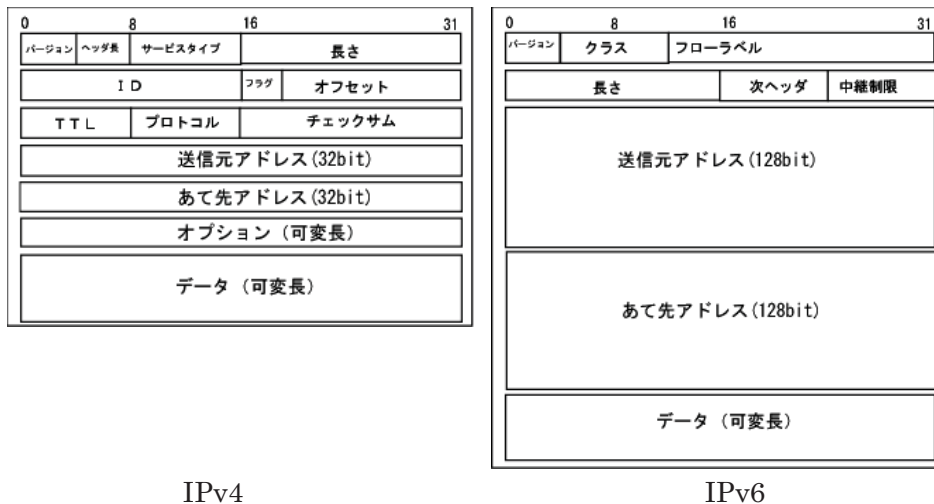


図 2 IP パケットの構造

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/ Transmission_ StreamID 対応表	256	相対ストリーム番号0の Transmission Stream ID	16	MPEG-2 TSの場合TS_ID TLVの場合TLV_Stream_ID
		
		相対ストリーム番号15の Transmission 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)~32(0x20)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	512	相対ストリーム0の同期パターン	32	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	32	

(1) 複数ストリーム伝送

高度衛星デジタル放送方式においては、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/Transmission_Stream_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 Transmission_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、Transmission_Stream_ID は TS_ID とし、また、TLV の場合には TLV_Stream_ID とする。

「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 TLV、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 のラストポインタからスロット#N+1 のトップポインタ-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。

TLV 伝送時のパケットの無効化では、TLV 形式の NULL パケットに置換するものとする。NULL パケットの長さは、4 バイト~65535 バイトの任意のバイト長に選ぶことができる。

TLV 伝送時のパケット無効化の具体例を図 5 に示す。同図の例ではスロット#N+1 およびスロット#N+2 が BCH 訂正不能であった場合を示している。この場合、スロット#N のラストポインタから、スロット#N+3 のトップポインタまでが、無効化の対象となる。無効化に当たっては、TLV に規定された NULL パケットに置換することになるが、その方法としては、(a)に示す、スロットごとに NULL パケットで置換する方法や、(b) に示す、ひとつの NULL パケットで置換する方法などが考えられるが、TLV インターフェースではいずれの方法でも、無視される対象は共通となることから、受信機側ではいずれの方法によっても構わない。ただし、TLV の最低バイト長が 4 バイトであるため、(a)の方法による場合、TLVnull#1 および TVLnull#4 が 4 以下となる場合、TLVnull#1 と TLVnull#2 および TLVnull#3 と TLVnull#4 を連結し、1 つの TLVnull パケットに置換するなど例外処理が必要となる。

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 TLV 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。

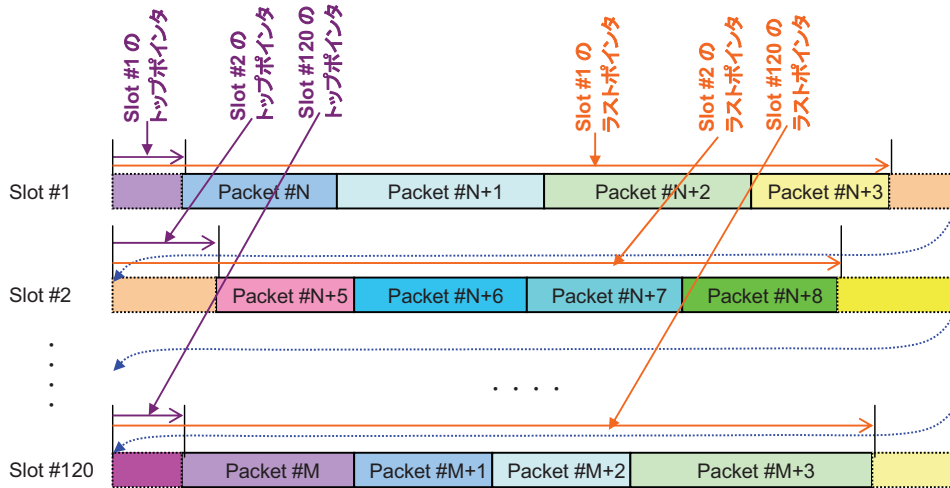


図3 トップポインタとラストポインタ

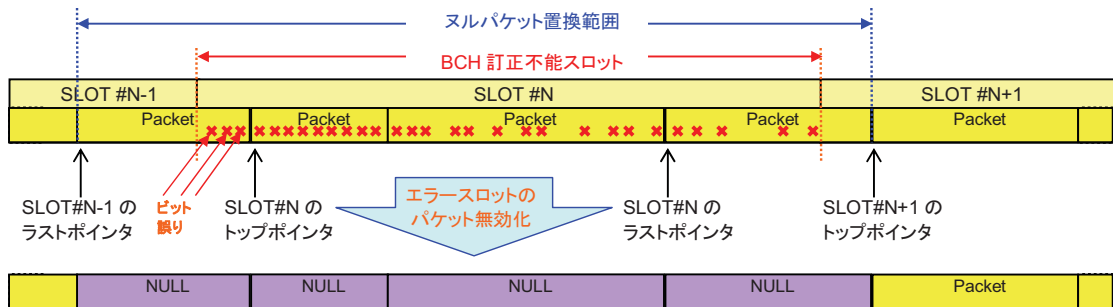


図4 受信機におけるヌルパケット置換

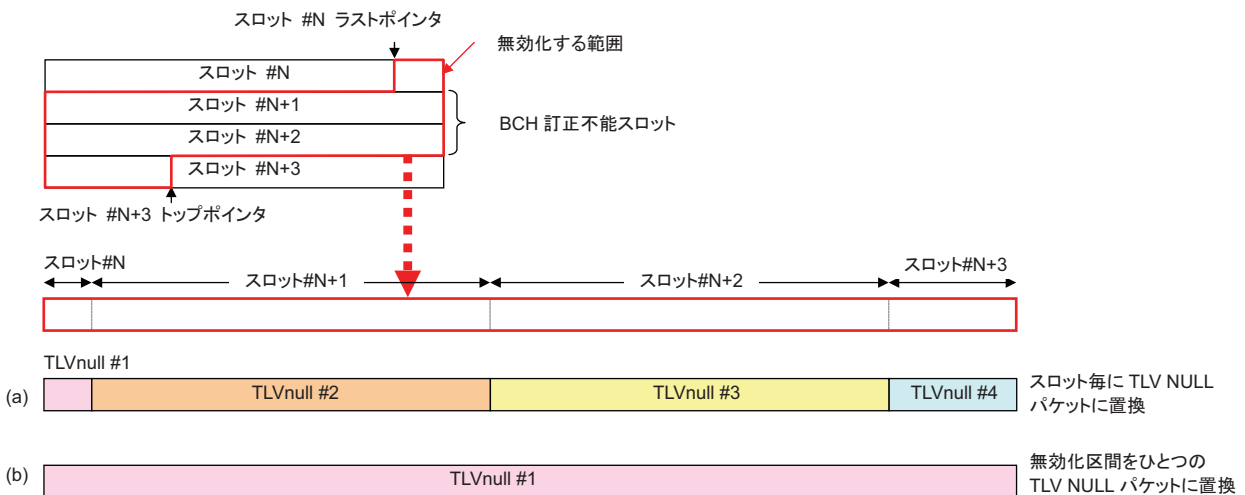


図5 無効化区間の TLV NULL パケットへの置換

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 $\pi/2$ シフト BPSK シンボル区間示すゲート信号を生成(h)、 $\pi/2$ シフト BPSK 区間のみでゲートをかけて $\pi/2$ 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

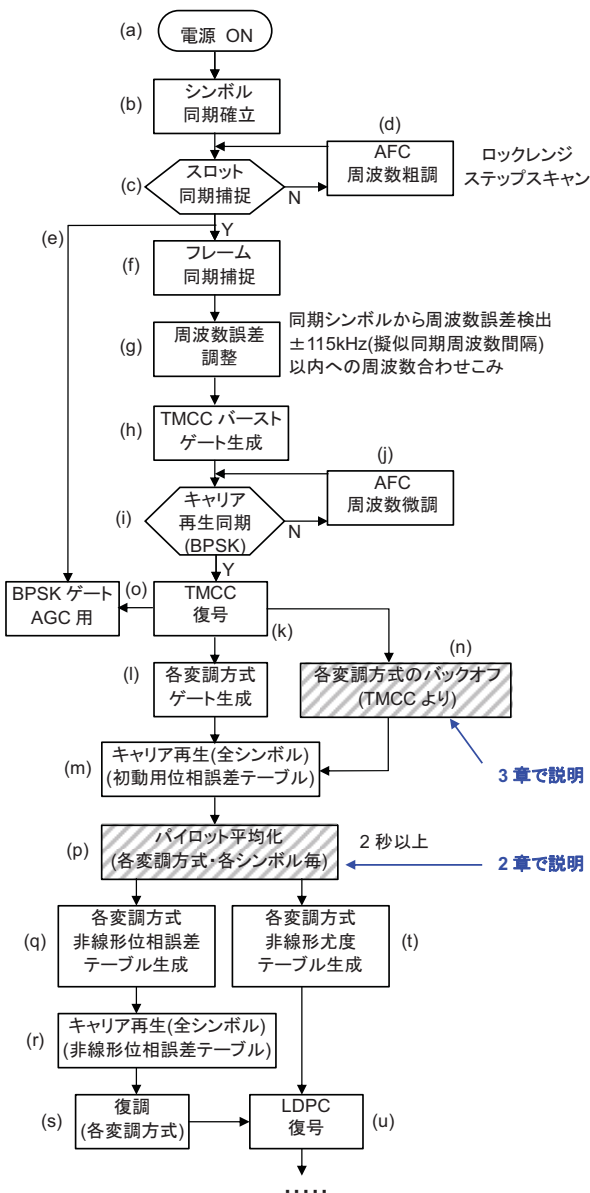


図 1 想定する受信フロー

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

高度衛星デジタル放送の伝送方式では、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、 $\pi/2$ 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。

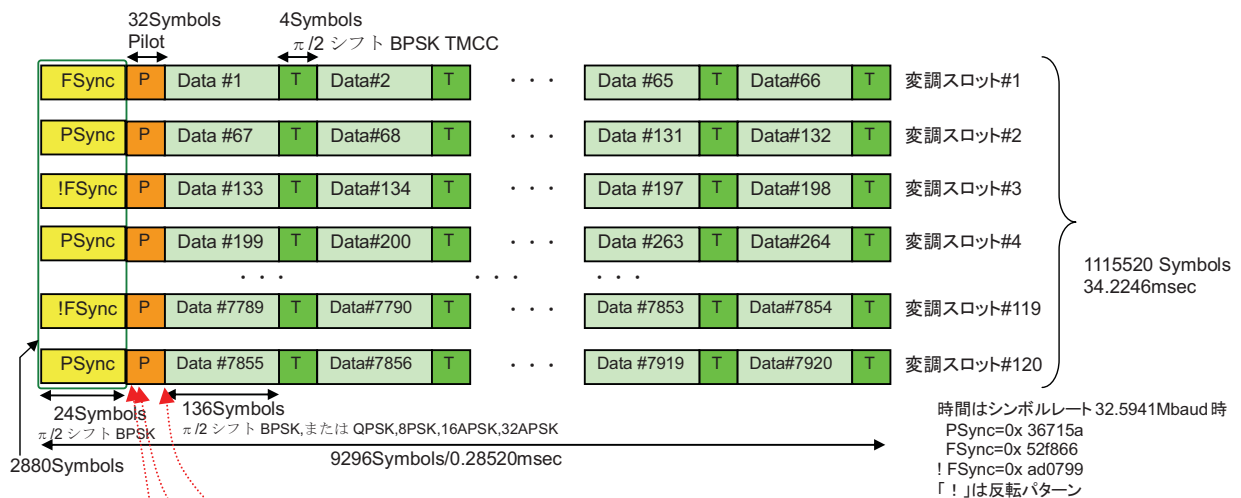


図2 変調信号形式

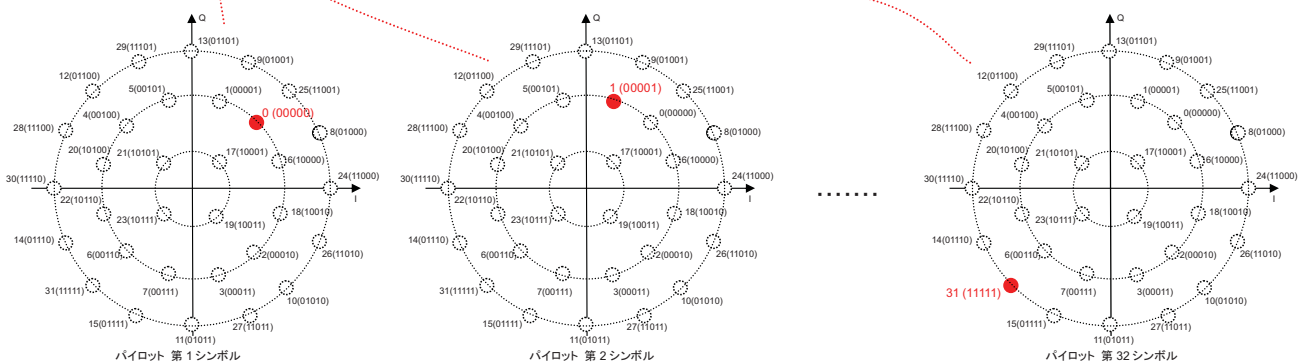
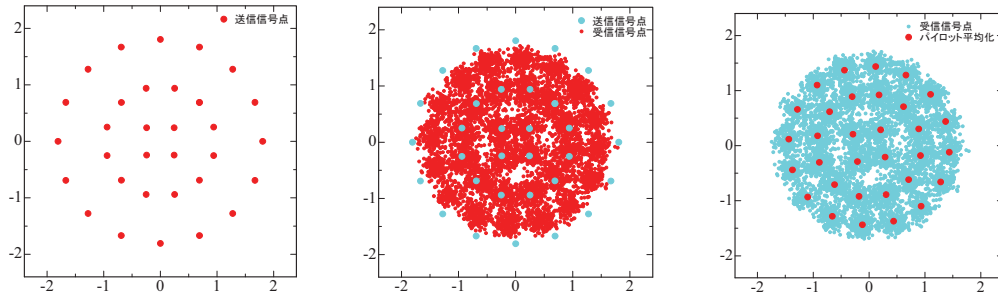


図3 パイロットシンボルの例(32APSK)



(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

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。

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。

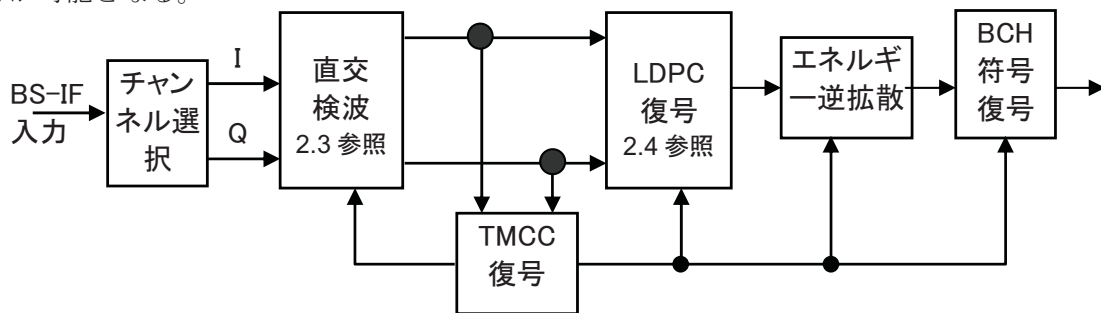


図5 受信機の構成

2.3 キャリア再生用位相誤差テーブル

図5の受信機構成の直交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。

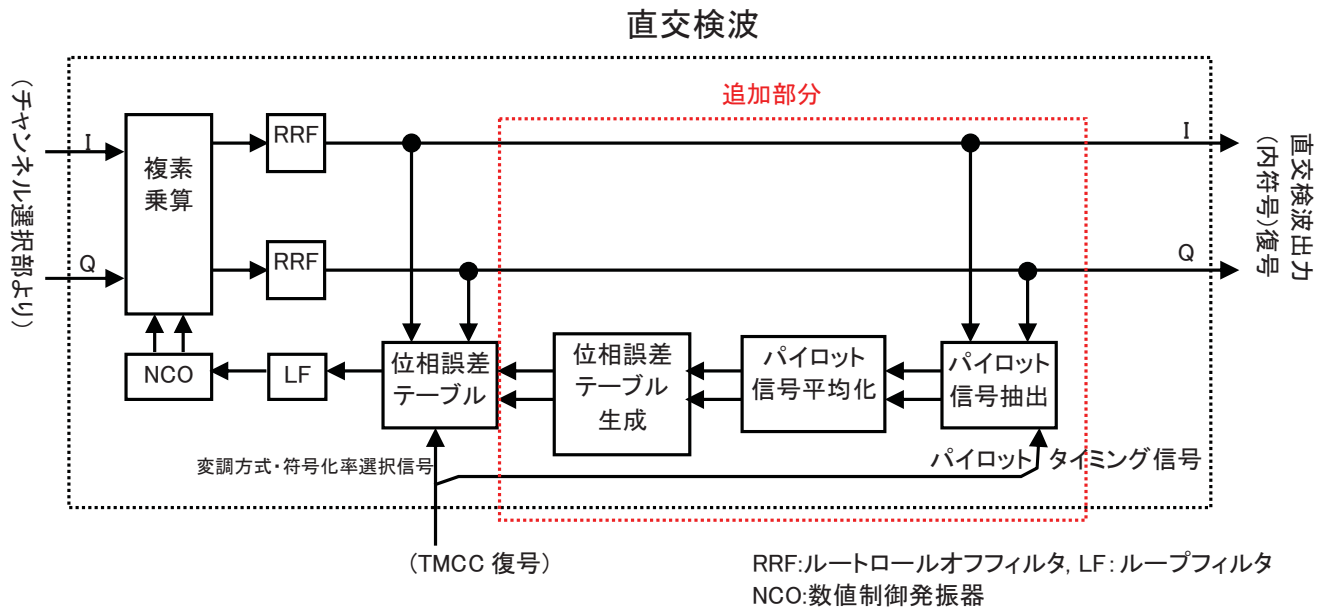


図6 パイロットによる補償を行う場合の直交検波の構成例

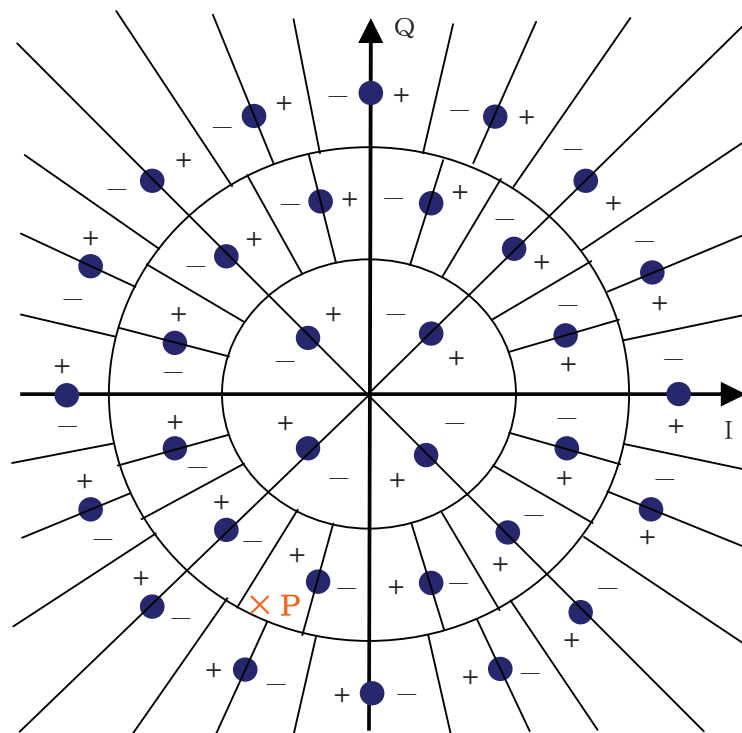


図7 位相誤差テーブルの例(32APSK)

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。

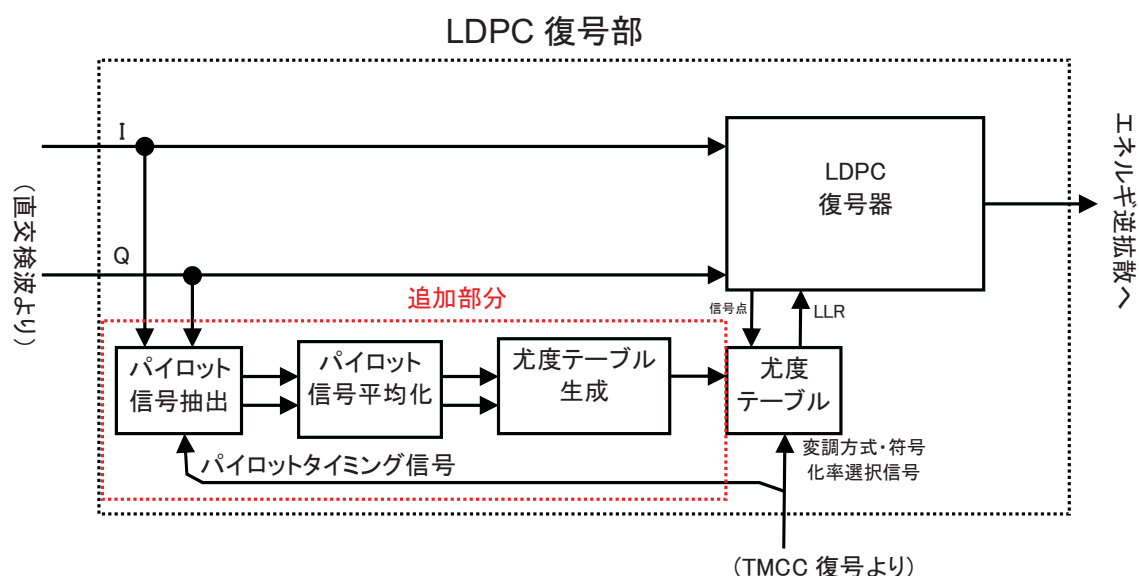


図8 パイロットによる補償を行う場合のLDPC復号の構成

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)、 $\pi/2$ 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、現行の衛星デジタル放送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

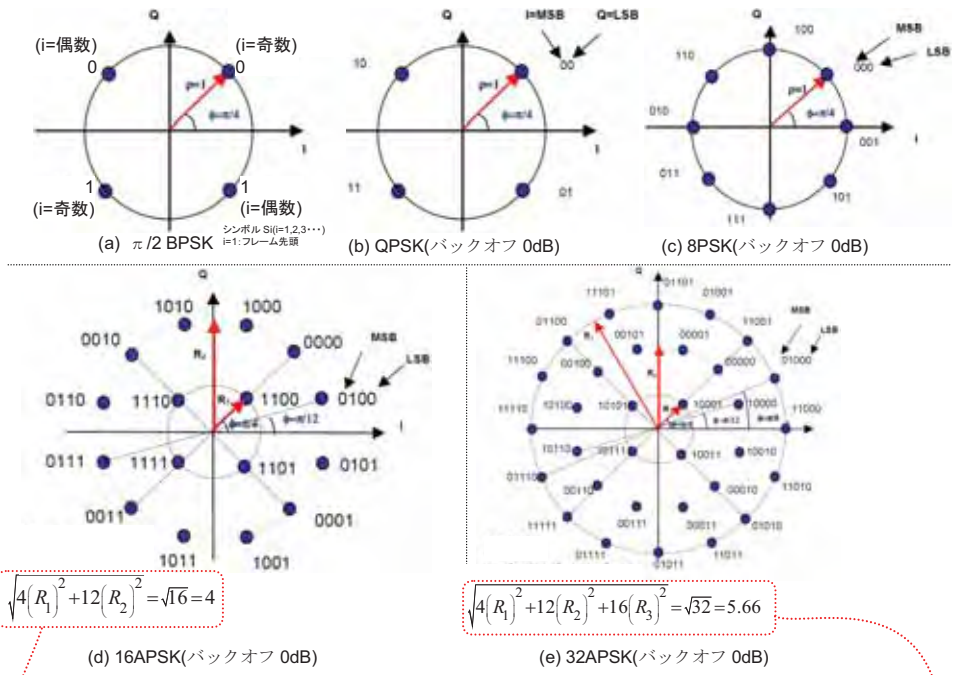
名称	bit	内訳	bit	備考
伝送モード/ スロット 情報	192	伝送モード1(変調)	4	変調方式5種類 0000 : reserved 0001: $\pi/2$ シフトBPSK 0010: QPSK 0011: 8PSK 0100: 16APSK 0101: 32APSK 0110-1110: reserved 1111: 割当なし 内符号11種類 0000: reserved 0001: 1/3 0010: 2/5 0011: 1/2 0100: 3/5 0101: 2/3 0110: 3/4 0111: 4/5 1000: 5/6 1001: 7/8 1010: 9/10 1011-1110: reserve バックオフ(OBO=0~25.5dB) (8bit) OBO[dB]×10を2進数表示
		伝送モード1(符号化率)	4	
		伝送モード1への割り当てスロット数 (5の整数倍)	8	
		伝送モード1の衛星出力バックオフ	8	
		
		伝送モード8(変調)	4	
		伝送モード8(符号化率)	4	
		伝送モード8への割り当てスロット数(5の整数 倍)	8	
伝送モード8の衛星出力バックオフ	8			

表 8 スロット割り当て規則

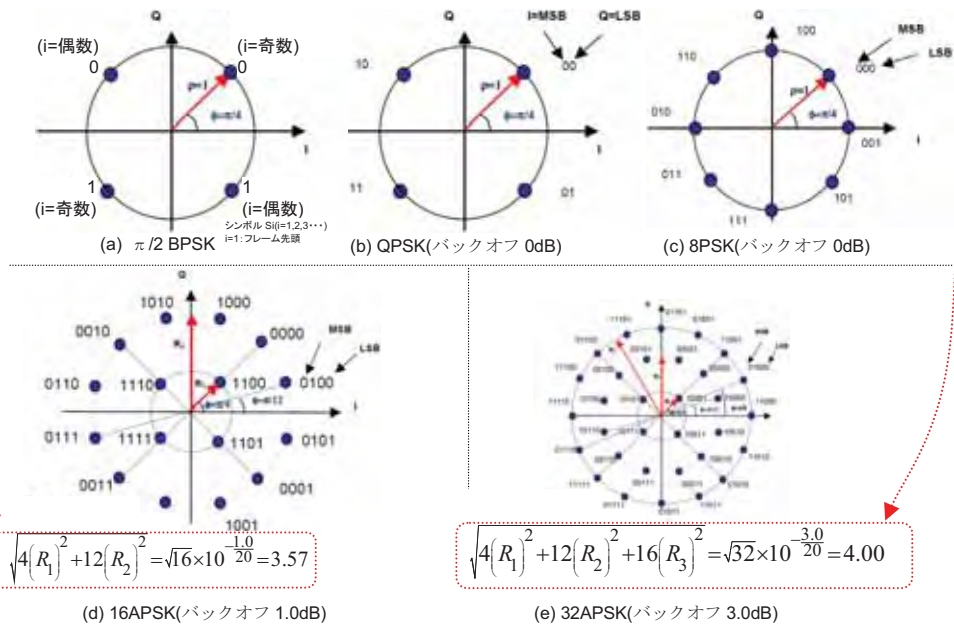
変調	周波数 効率 [bps/Hz]	規格化 効率	割当単位 [slot]	割当単位	
				データ [slot]	ダミー [slot]
32APSK	5	1	5	5	0
16APSK	4	4/5	5	4	1
8PSK	3	3/5	5	3	2
QPSK	2	2/5	5	2	3
$\pi/2$ シフト BPSK	1	1/5	5	1	4

符号化率とバックオフについても、5 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。



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

バルク伝送

1. バルク伝送

高度衛星デジタル放送の伝送方式においては、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実験を行うため、TMCC 信号の拡張情報を利用することでバルク (bulk) 伝送技術の導入が可能である。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、HDTV を超える超高精細度映像 (7680×4320/60/P) などの大容量データの伝送実験を行う技術である。

2. 高度衛星デジタル放送におけるバルク伝送

高度衛星デジタル放送においては、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。

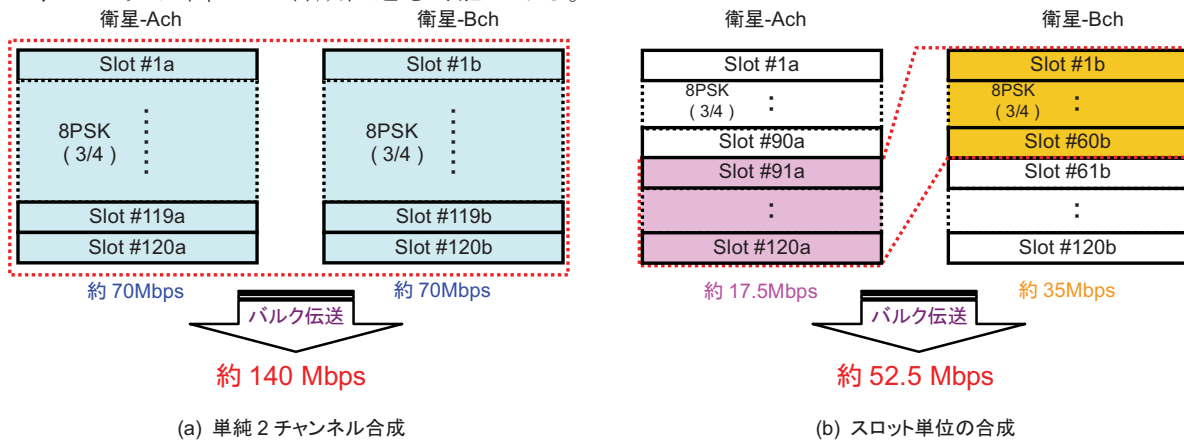


図 1 高度衛星デジタル放送のバルク伝送

2. バルク伝送のための TMCC 信号の拡張情報

TMCC 信号の拡張情報として表 2.2-22 に示す拡張識別の値を表 1 のようにバルク伝送に割り当てる。

表 1 拡張識別

値	ストリーム種別
0000000000000000	割り当てなし
0000000000000001	バルク伝送
0000000000000010 ~1111111111111111	リザーブ

また、バルク伝送用の拡張フィールドの構成を図 2 に示す。

フレーム カウンタ	ストリーム接続/ 相対ストリーム 情報	スタッフ ビット
8ビット	512ビット	3078ビット

図 2 バルク伝送用の拡張フィールドの構成

(1) フレームカウンタ

フレームカウンタは、1 フレーム毎に 1 ずつ加算される信号とし、その値が「11111111」の次は「00000000」に戻る。バルク伝送において接続されるチャンネル間では同一の値にセットする。

バルク伝送を行う場合、バルク伝送時に使用する複数の衛星中継器間で動作クロックが同期している必要がある。さらに、送信機の電源投入タイミングなどにより生じる遅延時間差については、受信機側で遅延補償をする必要がある。フレームカウンタを導入し、バルク伝送時に使用する複数の衛星中継器間のカウンタ値を同一値にセットして伝送することで、受信機側でフレーム単位の遅延補正が可能となる。

(2) ストリーム接続／相対ストリーム情報

ストリーム接続／相対ストリーム情報は、バルク伝送を行う際の相対ストリーム番号 0 から 15 についてのストリームの接続情報である。ストリーム接続／相対ストリーム情報の構成を図 3 に示す。

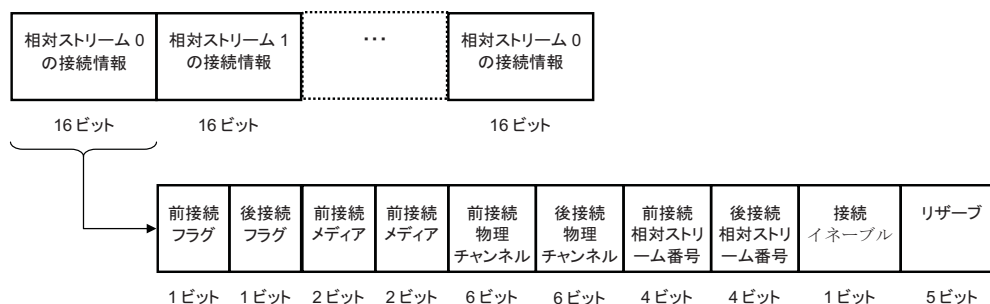


図 3 ストリーム接続／相対ストリーム情報の構成

各相対ストリームについて、以下の情報を伝送する。

- ア 前接続フラグ：当該相対ストリームの前に接続して受信すべきストリームが存在する場合 1、それ以外は 0 とする。
- イ 後接続フラグ：当該相対ストリームの後に接続して受信すべきストリームが存在する場合 1、それ以外は 0 とする。
- ウ 前接続メディア：前接続フラグが 1 である場合に、接続先のメディアの種別を示す。接続メディア種別の値を表 2.2-24 に示す。
- エ 後接続メディア：後接続フラグが 1 である場合に、接続先のメディアの種別を示す。接続メディア種別の値を表 2 に示す。

表 2 接続メディア種別

値	ストリーム種別
00	BS
01	110 度 CS
10,11	リザーブ

- オ 前接続物理チャンネル：前接続フラグが 1 である場合に、接続先のメディアの物理チャンネルを示す。接続物理チャンネルの値を表 2.2-25 に示す。
- カ 後接続物理チャンネル：後接続フラグが 1 である場合に、接続先のメディアの物理チャンネルを示す。接続物理チャンネルの値を表 3 に示す。
- キ 前接続相対ストリーム：前接続フラグが 1 である場合に、接続先の物理チャンネルの相対ストリーム番号を示す。
- ク 後接続相対ストリーム：後接続フラグが 1 である場合に、接続先の物理チャンネルの相対ストリーム番号を示す。
- ケ 接続イネーブル：前接続フラグまたは後接続フラグが 1 になった後、実際にバルク伝送が開始され

るタイミングを示す。接続イネーブルが 0 から 1 に変わった 2 フレーム後からバルク伝送が開始される。また、1 から 0 に変わった 2 フレーム後からバルク伝送が解除される。

表 3 接続物理チャンネル

値	BS の場合	110 度 CS の場合
000000	割り当てチャンネルなし	
000001	BS-1	ND1
000010	BS-2	ND2
000011	BS-3	ND3
000100	BS-4	ND4
000101	BS-5	ND5
000110	BS-6	ND6
000111	BS-7	ND7
001000	BS-8	ND8
001001	BS-9	ND9
001010	BS-10	ND10
001011	BS-11	ND11
001100	BS-12	ND12
001101	BS-13	ND13
001110	BS-14	ND14
001111	BS-15	ND15
010000	BS-16	ND16
010001	BS-17	ND17
010010	BS-18	ND18
010011	BS-19	ND19
010100	BS-20	ND20
010101	BS-21	ND21
010110	BS-22	ND22
010111	BS-23	ND23
011000	BS-24	ND24
011001～ 111111	割り当てチャンネルなし	

現行衛星デジタル放送では、1 つの中継機内で柔軟な伝送制御が可能となっている。ここでは複数衛星中継器間で柔軟な伝送制御を可能とするため、スロットを制御単位とするバルク伝送機能を導入した。また、バルク伝送により受信した複数のストリームを正しく接続するため、各ストリームについて前および後に接続すべきストリームがあるか否かを示す前接続フラグおよび後接続フラグを導入した。さらに、接続先の伝送メディアを選択指定する前接続メディアおよび後接続メディア、前接続物理チャンネル番号および後接続物理チャンネル番号、前接続相対ストリーム番号および後接続相対ストリーム番号を導入し、接続先のストリームまで特定できるようにした。バルク伝送を開始する場合、接続先のストリームを伝送するチャンネルの受信を開始するために一定の時間を要するため、予め、バルク伝送に関する以上のパラメータを TMCC 信号にセットした後、実際のバルク伝送開始のタイミングを受信機に通知するための接続イネーブル信号も導入した。

バルク伝送の運用イメージと今後の課題

高度衛星デジタル放送の伝送路符号化方式においては、1 中継器の伝送容量を超えるコンテンツの伝送や複数の中継器間にわたる柔軟な伝送スロットの割り当てが可能なバルク伝送の実験を行うことが可能である。本資料では、バルク伝送の運用イメージと今後の課題を示す。

1. バルク伝送の運用イメージ

図 1 にバルク伝送を含む番組編成のイメージを例示する。この例では、編成 1 から編成 3 が時間枠により変わる“まだら運用”を想定している。

編成 1：中継器 A および中継器 B で、各々HDTV(1080/60/I)番組を 4 番組伝送する。

編成 2：中継器 A および中継器 B で、各々UHDTV(2160/60/P)の番組を 1 番組伝送する。

編成 3：中継器 A と中継器 B にまたがって、バルク伝送による UHDTV(4320/60/P)番組を 1 番組伝送する。

時間枠については、数時間の場合から数日にわたる場合など様々な場合が想定され、これらは各映像フォーマットのコンテンツの供給バランスや編成意図などによって決まるものと考えられる。

	中継器A				中継器B			
XX:00-YY:00	HDTV	HDTV	HDTV	HDTV	HDTV	HDTV	HDTV	HDTV
YY:00-ZZ:00	UHDTV(2160/60/P)				UHDTV(2160/60/P)			
ZZ:00-AA:00	HDTV	HDTV	HDTV	HDTV	HDTV	HDTV	HDTV	HDTV
AA:00-BB:00	UHDTV(4320/60/P)バルク伝送							
BB:00-CC:00	HDTV	HDTV	HDTV	HDTV	HDTV	HDTV	HDTV	HDTV

図 1 番組編成イメージ例

2. 今後の課題

衛星デジタル放送高度化作業班における議論において、バルク伝送の運用を想定した場合の以下のような課題が提起された。

- ・ 通常の運用とバルク伝送による運用を時間枠ごとに切替える“まだら運用”とするか固定運用とするか。
- ・ 通常の運用とバルク伝送の運用を切り替える際に必要なシームレス性。
- ・ EPG による予約録画などを行う場合に、バルク伝送による運用であることや受信に必要なチューナーの数（利用するトラポン数）の受信機への告知の手段。
- ・ バルク伝送非対応受信機の存在を想定する場合の、非対応受信機の動作。

今後、バルク伝送の運用を検討する場合には、その要求条件を整理し、標準規格および運用規定策定時において運用形態も含めた議論を行う必要がある。

APSK を小型受信アンテナで受信する場合の サービス時間率向上について

16APSK および 32APSK は所要 C/N が高いこととともに、衛星中継器動作において 3dB 程度の出力バックオフが必要であることから、所定のサービス時間率を得るためには、現状の衛星中継器システムでは大きな受信アンテナが必要である。16APSK および 32APSK を用いる場合の小型デジタル放送用受信アンテナによる受信でサービス時間率を向上する方法として以下が考えられる。

ただし、これらの方策の実現のためには、今後、機器の研究開発が必要であり、また、経済性の見地からも検討が必要である。

(1) 衛星搭載中継器の定格出力の増大

所要の出力バックオフ時に衛星 e.i.r.p.が規定値となるように、定格出力の大きな中継器を衛星に搭載する。手段としては、定格出力の大きな TWT または、複数の TWT 出力を合成する

(2) サービスエリア内の衛星 e.i.r.p.の均一化

現状のサービスエリアの衛星 e.i.r.p.が、ビーム中心部に比べてサービスエリア端部では約 3dB 程度低いため、サービスエリア端部においては大きな開口径の受信アンテナが必要となる。中心部とエリア端部における衛星 e.i.r.p.の差を小さくする手段として、衛星搭載アンテナの放射パターンを全国均一化するとともに、中継器出力を増大させる方法がある。

(3) アップリンクの高 C/N 化

アップリンクとダウンリンクの合計で、所要の C/N を確保するために、アップリンク側でも高い C/N を確保する必要がある。このため、アップリンク地球局において、高出力の送信機を用いることやサイトダイバーシティ技術の検討などの方法がある。

表 1(a)、表 1(b)に方法(1)と放送(3)を組み合わせた場合の受信アンテナ開口径と最悪月サービス時間率との関係を示す。なお、アップリンクの C/N を 29dB と仮定した。表 1(a)より、16APSK (3/4) の場合は、東京で 45cm、那覇、対馬で 60cm アンテナで概ね最悪月 99.5%のサービス時間率を確保できる。

表 1(a) 方法(1)と(3)の場合の受信アンテナ開口径と最悪月サービス時間率の関係(16APSK)

受信点	EIRP	伝送方式	アンテナ 開口径 45cm	アンテナ 開口径 60cm	アンテナ 開口径 75cm	アンテナ 開口径 90cm	アンテナ 開口径 120cm
東京	60dBW	16APSK(3/4)	99.80 %	99.89 %	99.93 %	99.95 %	99.97 %
那覇	57dBW	(OBO が 1.7 dB のとき、中 心部で e.i.r.p. が 60dBW とな るような定格 出力)	99.20 %	99.64 %	99.79 %	99.85 %	99.88 %
対馬	57dBW		99.47 %	99.78 %	99.88 %	99.92 %	99.96 %

表 1(b)より、32APSK (4/5) の場合は、東京で 60cm、那覇、対馬で 90cm アンテナで概ね最悪月 99.5% のサービス時間率を確保できる。

表 1(b) 方法(1)と(3)の場合の受信アンテナ開口径と最悪月サービス時間率の関係(32APSK)

受信点	EIRP	伝送方式	アンテナ 開口径 45cm	アンテナ 開口径 60cm	アンテナ 開口径 75cm	アンテナ 開口径 90cm	アンテナ 開口径 120cm
東京	60dBW	32APSK(4/5) (OBO が 2.9 dB のとき、中 心部で e.i.r.p. が 60dBW とな るような定格 出力)	98.94 %	99.53 %	99.75 %	99.84 %	99.92 %
那覇	57dBW		84.01 %	97.93 %	99.10 %	99.48 %	99.75 %
対馬	57dBW		75.29 %	98.44 %	99.40 %	99.67 %	99.85 %

表 2 (a)、表 2(b)に方法(1)、方法(2)および方法(3)を組み合わせ、サービスエリア全体を e.i.r.p.が 60dBW でフラットに照射した場合の受信アンテナ開口径と最悪月サービス時間率との関係を示す。なお、アップリンクの C/N を 29dB と想定した。表 2(b)より、16APSK (3/4) の場合は、東京、那覇、対馬ともに 45cm の受信アンテナで最悪月 99.5%のサービス時間率を確保できる。

表 2(a) 方法(1)と(2)と(3)を組み合わせの場合の受信アンテナ開口径と最悪月サービス時間率の関係(16APSK)

受信点	EIRP	伝送方式	アンテナ 開口径 45cm	アンテナ 開口径 60cm	アンテナ 開口径 75cm	アンテナ 開口径 90cm	アンテナ 開口径 120cm
東京	60dBW	16APSK(3/4) (OBO が 1.7 dB のとき、 e.i.r.p. が 60dBW となる ような定格出 力)	99.80 %	99.89 %	99.93 %	99.95 %	99.97 %
那覇	60dBW		99.69 %	99.84 %	99.89 %	99.92 %	99.95 %
対馬	60dBW		99.81 %	99.91 %	99.94 %	99.96 %	99.98 %

表 2(b)より、32APSK (4/5) の場合は、東京で 60cm、那覇で 75cm、対馬で 60cm の受信アンテナで最悪月 99.5%のサービス時間率を確保できる。

表 2(b) 方法(1)と(2)と(3)を組み合わせた場合の受信アンテナ開口径と最悪月サービス時間率の関係(32APSK)

受信点	EIRP	伝送方式	アンテナ 開口径 45cm	アンテナ 開口径 60cm	アンテナ 開口径 75cm	アンテナ 開口径 90cm	アンテナ 開口径 120cm
東京	60dBW	32APSK(4/5)	98.94 %	99.53 %	99.75 %	99.84 %	99.92 %
那覇	60dBW	(OBO が 2.9 dB のとき、 e.i.r.p. が 60dBW となる ような定格出力)	98.38 %	99.38 %	99.66 %	99.78 %	99.88 %
対馬	60dBW		98.75 %	99.59 %	99.79 %	99.87 %	99.93 %

略語・用語集

本報告書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 デジタル放送および広帯域 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。
TLV	Type Length Value 可変長パケットを伝送するための信号形式。後続するデータの形式、バイト長を示す情報の後にデータが続く。
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。

伝送路符号化方式実証実験報告

2-1 実験概要	173
2-1-1 伝送路符号化部実験－擬似中継器実験の結果概要	173
2-1-2 伝送路符号化部実験－衛星伝送実験（RF実験含む）の結果概要	174
2-2 実験内容	176
2-2-1 実験の目的	176
2-2-2 実験場所、日程	176
2-2-2-1 擬似中継器実験	176
2-2-2-2 衛星伝送実験 1	176
2-2-2-3 衛星伝送実験 2	177
2-2-2-4 擬似中継器を用いた高度衛星デジタル放送暫定方式のデモンストレーション	177
2-2-3 実験項目概要	178
2-2-3-1 伝送路符号化部実験－擬似中継器実験の実施項目概要	178
2-2-3-2 伝送路符号化部実験－衛星伝送実験（RF実験含む）の実施項目概要	180
2-2-4 実験機材一覧	183
2-2-5 実験スケジュール	185
2-2-6 実験系統図	187
2-2-6-1 擬似中継器実験 測定系統図(1波伝送用)	187
2-2-6-2 擬似中継器実験 測定系統図(干渉実験用)	188
2-2-6-3 衛星伝送実験 測定系統図	189
2-3 伝送路符号化部実験－擬似中継器実験 実験結果	191
2-3-1 パイロット信号による性能改善評価	191
2-3-2 シンボルレート、ロールオフ率の暫定値の選定	191
2-3-2-1 伝送特性における制約条件	191
2-3-2-2 多重化における制約条件	192
2-3-2-3 擬似中継器による実験	192
2-3-2-4 シンボルレートの検討	197
2-3-3 シンボルレート、ロールオフ率暫定値での干渉波の影響確認	199
2-3-4 擬似中継器折返しにおける占有帯域幅測定	200
2-3-5 IFおよび擬似中継器折返しにおけるC/N対ビット誤り率測定	202
2-3-6 ODU挿入時におけるC/N劣化量の測定	206
2-3-7 同期限界測定	207
2-3-8 遅延時間測定	208

付録 1 擬似中継器実験付録.....	210
付録 1-1 所要 C/N の定義.....	210
付録 1-1-1 ARIB 実証実験における取得データ	210
付録 1-1-2 所要 C/N の導出手法.....	211
付録 1-2 ARIB 実験で使用した ODU 性能一覧	212
付録 1-3 スペクトラム写真	214
付録 1-3-1 干渉実験 (3.3 節)	214
付録 1-3-2 擬似中継器折返し スペクトラム 占有帯域幅 (3.4 節)	216
付録 1-4 コンスタレーション写真(3.5 節).....	221
付録 1-5 IF 折返し、擬似中継器折返し C/N 対ビット誤り率特性	230
付録 1-6 16/32APSK の最適 OBO 値測定について.....	245
2-4 伝送路符号化部実験－衛星伝送実験 実験結果.....	248
2-4-1 RF 実験および衛星伝送実験の主要パラメータ	248
2-4-2 RF 実験および衛星伝送実験における占有帯域幅測定	248
2-4-3 RF 実験および衛星実験における C/N 対ビット誤り率測定.....	251
2-4-4 ODU 挿入時における C/N 劣化量の測定	260
2-4-5 同期限界測定	262
2-4-6 TLV 機能の動作検証.....	263
2-4-7 総合試験特性	266
2-4-7-1 衛星伝送実験における総合試験特性 (8PSK および低階層用 QPSK)	266
2-4-7-2 衛星伝送実験における総合試験特性 (32APSK および 8PSK バルク伝送) ..	270
2-4-7-3 擬似中継器による高度衛星デジタル放送暫定方式のデモンストレーション ..	276
付録 2 衛星伝送実験	283
付録 2-1 スペクトラム写真 (4.2 節)	283
付録 2-2 コンスタレーション写真 (4.3、4.4 節)	292
付録 2-3 衛星伝送実験 C/N 対ビット誤り率特性 (4.3 節)	302
付録 2-4 衛星伝送実験、擬似中継器折返し 所要 C/N 一覧 (3.4 節、4.3 節)	317
付録 3 実験構成機器	323
付録 3-1 変調器、復調器.....	323
付録 3-2 擬似中継器実験.....	324
付録 3-3 地球局特性	330
付録 3-4 本実験に使用した衛星の伝送特性について	334
付録 3-4-1 衛星概要.....	334

付録 3-4-2 チャンネル周波数	335
付録 3-4-2-1 周波数変換	335
付録 3-4-2-2 送信信号特性	336

2-1 実験概要

高度衛星デジタル放送暫定方式の機能および性能を実証するため、本暫定方式（案）に基づいて試作した伝送装置による衛星伝送実験を行った。実験は伝送路符号化部実験を中心とし、先ず始めに、擬似中継器を用いた室内伝送実験を行い、シンボルレート・ロールオフ率の暫定値の選定および暫定方式（案）の性能確認を実施した。続いて、BSAT-3a 中継器による衛星伝送実験を実施し、衛星伝送路における暫定方式の性能確認および映像・音声素材を用いた総合試験を実施した。実験の結果、暫定方式は上記実験のいずれにおいても要求される機能および性能を満足していることを確認した。

2-1-1 伝送路符号化部実験－擬似中継器実験の結果概要

(1) パイロット信号の特性改善評価

暫定方式で規定するパイロット信号による所要 C/N 改善の評価のための測定を行った。32APSK 4/5 において、パイロット信号 ON の場合は OFF の場合に比べて 1.4dB 改善した。以後の実験は全てパイロット信号 ON で実験を行うこととした。

(2) シンボルレート、ロールオフ率暫定値の選定

ロールオフ率 0.1、0.15、0.2、0.25 について、要求条件を満たすシンボルレートを検討した。検討の結果、要求条件を満たす値としてロールオフ率 0.1、シンボルレート 32.5941Mbaud を暫定値とした。

(3) シンボルレート、ロールオフ率暫定値での干渉波の影響確認

複数の干渉波が存在する条件で擬似エラーフリーC/N^注を測定し、干渉波の影響が小さいことを確認した。

注：本実験では 10^{10} ビット観測時にエラーが発生しない最小 C/N を擬似エラーフリーC/N とした。

(4) 擬似中継器折返しにおける占有帯域幅測定

擬似中継器折返しにおける $\pi/2$ シフト BPSK～32APSK の占有帯域幅を測定した。測定した全ての場合で占有帯域幅が 34.5MHz 以内であることを確認した。

(5) IF 折返し、擬似中継器折返しにおける C/N 対ビット誤り率測定

$\pi/2$ シフト BPSK～32APSK の IF 折返しおよび擬似中継器折返しにおける C/N 対ビット誤り率を測定した。16APSK および 32APSK の擬似中継器折返しについては、事前に符号化率毎に所要 C/N+OBO 値が最小となる OBO 値（最適 OBO 値 付録 1.6 参照）を測定し、最適 OBO 値を適用して C/N 対ビット誤り率を測定した。測定の結果、8PSK 3/4 の所要 C/N は 9.3dB、16APSK 3/4 の所要 C/N は 11.8dB、32APSK 4/5 の所要 C/N は 16.4dB であった。

(6) ODU 挿入時における C/N 劣化量の測定

8PSK 3/4、16APSK 3/4、32APSK 4/5 の 3 方式について、ODU を挿入した場合の所要 C/N の劣化量を測定した。測定の結果、8PSK 3/4 の C/N 劣化量は 0.0dB、16APSK 3/4 の C/N 劣化量は 0.1dB、32APSK 4/5 の C/N 劣化量は 0.4dB であり、ODU による C/N 劣化量が十分小さい事を確認した。

(7) 同期限界測定

受信機入力前の局部発振器の周波数を 0 から±4.5MHz まで変化させ、8PSK 3/4、32APSK 4/5 のキャプチャレンジ C/N、ロックレンジ C/N を測定した。いずれの場合でも -1dB 以下で同期が確保できる事を確認した。

(8) 遅延時間測定

8PSK 3/4、32APSK 4/5 の画像エンコーダー/デコーダー折返し、I F 折返し、擬似中継器折返しでの遅延時間を測定した。8PSK 3/4 の遅延時間は 0.15sec 以下、32APSK 4/5 の遅延時間は 0.12sec 以下であり、いずれの場合でも伝送装置における遅延時間が十分小さいことを確認した。

2-1-2 伝送路符号化部実験－衛星伝送実験（RF 実験含む）の結果概要

(1) RF 実験および衛星伝送実験の主要パラメータ

擬似中継器実験の測定結果を反映し、シンボルレート 32.5941Mbaud、ロールオフ率 0.1 の暫定値を適用し、全ての変調方式においてパイロット信号 ON で測定を実施した。また、中継器の動作点については、 $\pi/2$ シフト BPSK、QPSK、8PSK については飽和動作とし、16APSK および 32APSK については符号化率毎に最適 OBO に近い値を設定した。

(2) RF 実験および衛星伝送実験における占有帯域幅測定

$\pi/2$ シフト BPSK～32APSK の占有帯域幅を測定した。全ての変調方式で占有帯域幅が 34.5MHz 以内である事を確認した。

(3) RF 実験および衛星伝送実験における C/N 対ビット誤り率測定

RF 実験および衛星伝送実験において $\pi/2$ シフト BPSK～32APSK の C/N 対ビット誤り率を測定した。測定の結果、衛星伝送実験において、8PSK 3/4 の所要 C/N は 8.7dB、16APSK 3/4 の所要 C/N は 11.6dB、32APSK 4/5 の所要 C/N は 16.2dB であった。

(4) ODU 挿入時における C/N 劣化量の測定

衛星伝送実験において 8PSK 3/4、16APSK 3/4、32APSK 4/5 の 3 方式について、ODU(Out-Door Unit)を挿入した場合の所要 C/N の劣化量を測定した。測定の結果、8PSK 3/4 の C/N 劣化量は 0.1dB、16APSK 3/4 の C/N 劣化量は 0.1dB、32APSK 4/5 の C/N 劣化量は 0.2dB であり、ODU による C/N 劣化量が十分小さい事を確認した。

(5) 同期限界測定

衛星伝送実験において受信機入力前の局部発振器の周波数を 0 から±4.5MHz まで変化させ、8PSK 3/4、32APSK 4/5 のキャプチャレンジ C/N、ロックレンジ C/N の測定を実施した。いずれの場合でも -1dB 以下で同期が確保できる事を確認した。

(6) TLV 機能の動作検証

衛星伝送実験において TLV(Type Length Value)機能の検証を実施した。TLV 機能については、188byte の TLV パケットが伝送可能であり、ノイズで主信号パケットが誤った場合に N U L L パケットに置換可能であることを確認した。

(7) 総合試験特性

映像・音声番組を使用した総合試験を実施した。映像・音声番組伝送については 8PSK 3/4 による HDTV 4 番組の 1 中継器伝送および QPSK 1/2 による階層伝送、32APSK 4/5 による SHV (スーパーハイビジョン)^(注) 1 番組の 1 中継器伝送、8PSK 3/4 による SHV1 番組の 2 中継器バルク伝送の 3 種類のケースで伝送実験を実施した。全ての場合において、正常に伝送できる事を確認した。

(注) SHV (スーパーハイビジョン) : NHK が開発中の 7680x4320/60/P の映像と 22.2 マルチチャンネル音響からなるシステム。本実証実験で使用した映像信号は、G 画素ずらしにより G1/G2/B/R の各コンポーネントが 3840x2160 画素から構成されている。

2-2 実験内容

2-2-1 実験の目的

本実験は、高度衛星デジタル放送暫定方式の基本機能および基本性能の確認を行うことを目的とする。

2-2-2 実験場所、日程

2-2-2-1 擬似中継器実験

場所：NHK放送技術研究所

日時：

2007/11/26～2007/12/6：

- パイロット信号の特性改善評価
- シンボルレート・ロールオフ率暫定値の選定
- 干渉波の影響確認

2007/12/10～2007/12/12：

- I F 折返し C/N 対ビット誤り率特性の測定

2007/12/13～2007/12/20：

- 擬似中継器折返し C/N 対ビット誤り率特性の測定
- ODU 挿入時の C/N 劣化量測定

2007/12/21：

- 同期限界測定
- 遅延時間測定

2-2-2-2 衛星伝送実験 1

場所：NHK放送センター

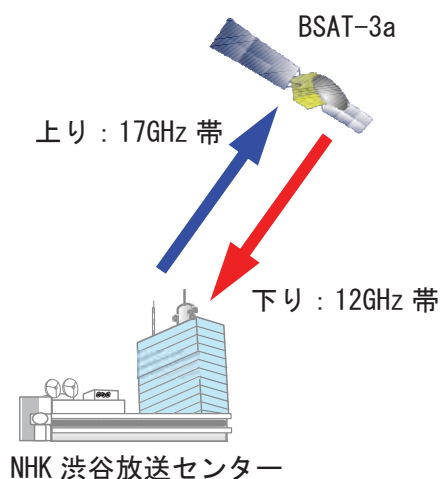
日時：

2008/2/4～2008/2/8：衛星伝送実験

- 占有帯域幅測定
- C/N 対ビット誤り率特性の測定
(32APSK 1/4、1/3、2/5 を除く)
- ODU 挿入時の C/N 劣化量測定
(8PSK 3/4、16APSK 3/4)

2008/2/25～2008/2/27：R F 実験

- トランスレータ折返し 占有帯域幅測定
- トランスレータ折返し C/N 対ビット誤り率特性の測定



2-2-2-3 衛星伝送実験 2

場所：NHK放送センター

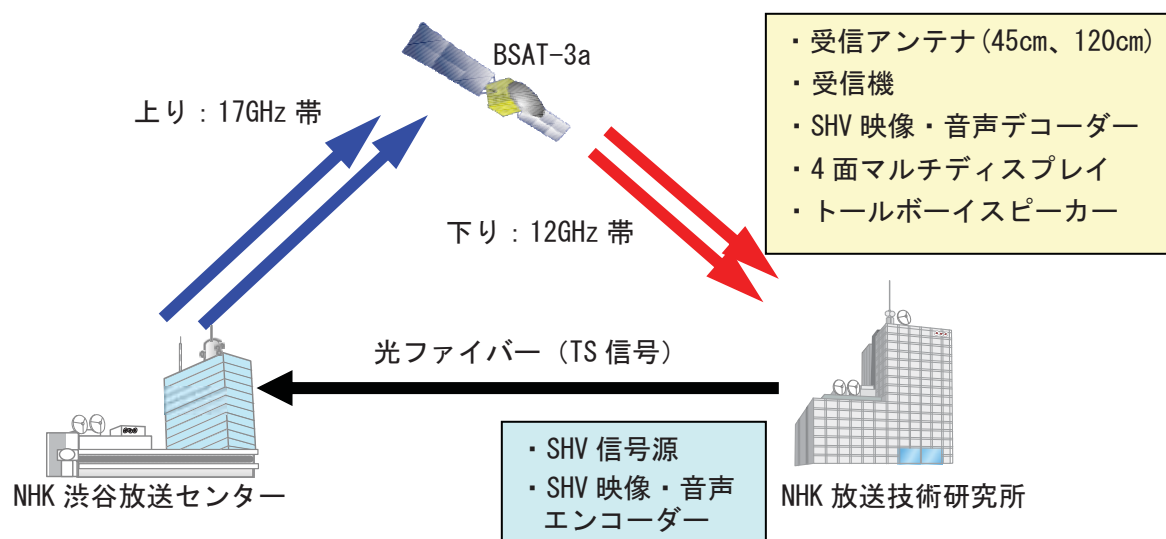
日時：2008/4/22～2008/4/24

- C/N 対ビット誤り率特性の測定 (32APSK 1/4、1/3、2/5)
- ODU 挿入時の C/N 劣化量測定 (32APSK 4/5)
- 同期限界測定
- TLV 動作検証
- 総合試験 (8PSK HDTV 4 番組伝送)

場所：NHK放送センター (送信)、NHK放送技術研究所 (受信)

日時：2008/5/15

- 総合試験
 - 32APSK SHV1 番組伝送
 - 8PSK バルク SHV1 番組伝送)



2-2-2-4 擬似中継器を用いた高度衛星デジタル放送暫定方式のデモンストレーション

場所：NHK放送センター

日時：2008/2/20～2008/2/22

- 擬似中継器折返しによる 8PSK HDTV 4 番組伝送デモ
- 擬似中継器折返しによる 32APSK SHV 1 番組伝送
- 擬似中継器折返しによる 8PSK バルク SHV1 番組伝送デモ

2-2-3 実験項目概要

2-2-3-1 伝送路符号化部実験－擬似中継器実験の実施項目概要

(1) パイロット信号の特性改善評価

パイロット信号による所要 C/N 改善の評価のため、32APSK 4/5 について、擬似中継器折返しにおけるパイロット信号 ON と OFF の場合の擬似エラーフリー C/N の測定を実施した。測定条件は以下のとおりである。

- 32APSK 4/5
- シンボルレート：33Mbaud
- ロールオフ率：0.1
- OBO：3.5dB
- ODU 位相雑音：-81.25dBc/Hz (1kHz オフセット)

(2) シンボルレート、ロールオフ率暫定値の選定

ロールオフ率 0.1、0.15、0.2、0.25 について、8PSK 3/4、32APSK 4/5 の擬似中継器折返しにおける擬似エラーフリー C/N₀ を複数のシンボルレートについて測定した。測定においては以下の要求条件を課して測定を実施した。

- シンボルレートは占有帯域幅が 34.5MHz 以内であり、ISDB-S の占有帯域幅 (33.77MHz、シミュレーション値)を超えない最大シンボルレートを初期値とし、他に初期値より小さいシンボルレートを 3 点程度選定する
- 8PSK 3/4 の擬似エラーフリー C/N₀ は、85.3dBHz (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 相当) 以下とする
- 32APSK 4/5 の擬似エラーフリー C/N₀ は、96.83dBHz (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
- 擬似エラーフリー C/N₀ の評価は、干渉波による影響、ODU の影響を考慮し、各々の干渉が同時に存在する場合の C/N₀ を測定する
- 擬似中継器の動作点設定は、8PSK は飽和点動作、32APSK は OBO=3.5dB とする

(3) シンボルレート、ロールオフ率暫定値での干渉波の影響確認

シンボルレートとロールオフ率の暫定値を適用し、干渉波あり/無しの 2 種類の条件で擬似エラーフリー C/N を測定し、C/N 劣化量を求めた。与干渉波と被干渉波の組み合わせは複数種類検証した。本結果より、干渉波の影響が小さいことを確認した。

(4) 擬似中継器折返しにおける占有帯域幅測定

擬似中継器の OMUX フィルタ出力における $\pi/2$ シフト BPSK~32APSK のスペクトラム及び変調信号の占有帯域幅を測定し、占有帯域幅 34.5MHz 以内であることを確認した。

(5) IF 折返し、擬似中継器折返しにおける C/N 対ビット誤り率測定

$\pi/2$ シフト BPSK~32APSK の全符号化率に対し、白色雑音を印加して受信 C/N を設定し、受信 C/N に対するビット誤り率を測定した。ビット誤り率の測定ポイントは外符号 (BCH 符号) 訂正後の誤り率とした。なお、復調が正しく行われているかどうかを確認するため、受信信号のコンスタレーションを全てのケースで記録した。

LDPC 符号は急峻なビット誤り率特性を有し、BER=10⁻⁵ 以上では観測ビット数 10⁹ ビット程度でビット誤り率が一定値に収束するため、ビット誤り率測定は以下の条件で実施した。

- ビット誤り率の測定範囲：BER=10⁻² オーダー～10⁻⁸ オーダー
- BER=10⁻⁴ 以上における観測ビット数：10⁹ ビット
- BER=10⁻⁴ 未満かつ BER=10⁻⁵ 以上における観測ビット数：5×10⁹ ビット
- BER=10⁻⁵ 以下における観測ビット数：10¹⁰ ビット

上記測定方法のビット誤り率は観測時間の制限上、10⁻⁸ オーダーである。所要 C/N は BER=10⁻¹¹ の C/N と定義し、上記測定結果を線形補完して BER=10⁻¹¹ に相当する C/N を所要 C/N として算出した。導出方法は付録 1-1 に示す。

(6) ODU 挿入時における C/N 劣化量の測定

市販の受信アンテナから ODU 部のみ取り外し、ODU 部を電波無響箱に備え付けた受信装置に擬似中継器出力信号を入力し、8PSK 3/4、16APSK 3/4、32APSK 4/5 の 3 ケースについて ODU 部有り/無しにおける C/N 劣化量を測定した。

(7) 同期限界測定

8PSK 3/4 および 32APSK 4/5 の擬似中継器出力信号に対し、受信機入力前の局部発振周波数変換器におけるローカル周波数偏差を 0 から ±4.5MHz まで変化させ、8PSK 3/4、32APSK 4/5 のキャプチャレンジ C/N、ロックレンジ C/N の測定を実施した。周波数偏差は 0.5MHz ステップとし、キャプチャレンジ C/N、ロックレンジ C/N は以下の定義とした。

- キャプチャレンジ C/N：C/N を -4dB から 0.1dB ステップで増加させ、受信機の同期が 1 分間保持する C/N
- ロックレンジ C/N：同期確立状態から C/N を 0.1dB ステップで低下させ、同期が外れる C/N

(8) 遅延時間測定

8PSK 3/4、32APSK 4/5 の画像エンコーダー/デコーダー折返し、I F 折返し、擬似中継器折返しでの遅延時間測定を実施した。遅延時間は MPEG-2 TS エンコーダー入力点のタイムコードを T₀、MPEG-2 デコーダー出力点のタイムコードを T_e とし、各種折返しにおいて、遅延時間=T₀-T_e を測定した。

2-2-3-2 伝送路符号化部実験—衛星伝送実験（RF実験含む）の実施項目概要

（1）RF実験および衛星伝送実験の主要パラメータ

擬似中継器実験の測定結果を反映し、シンボルレート 32.5941Mbaud、ロールオフ率 0.1 の暫定値を適用し、全ての変調方式においてパイロット信号 ON で測定を実施した。また、中継器の動作点については、 $\pi/2$ シフト BPSK、QPSK、8PSK については飽和動作とし、16APSK および 32APSK については符号化率毎に最適 OBO に近い値を設定した。

（2）RF実験および衛星伝送実験における占有帯域幅測定

RF実験については、トランスレータ出力における $\pi/2$ シフト BPSK～32APSK のスペクトラム及び変調信号の占有帯域幅を測定し、占有帯域幅 34.5MHz を満たすことを確認した。

衛星伝送実験については、衛星伝送実験用 7m 受信アンテナ出力における $\pi/2$ シフト BPSK～32APSK のスペクトラム及び変調信号の占有帯域幅を測定し、占有帯域幅 34.5MHz を満たすことを確認した。

（3）RF実験および衛星伝送実験における C/N 対ビット誤り率測定

$\pi/2$ シフト BPSK～32APSK の全符号化率に対し、白色雑音を印加して受信 C/N を設定し、受信 C/N に対するビット誤り率を測定した。ビット誤り率の測定ポイントは外符号（BCH 符号）訂正後の誤り率とした。なお、復調が正しく行われているかどうかを確認するため、受信信号のコンスタレーションを全てのケースで記録した。ビット誤り率測定は擬似中継器試験と同様の方法で実施した。

（4）ODU 挿入時における C/N 劣化量の測定

市販の受信アンテナから ODU 部のみ取り外し、ODU 部を電波無響箱に備え付けた受信装置に衛星伝送実験用 7m 受信アンテナ出力信号を入力し、8PSK 3/4、16APSK 3/4、32APSK 4/5 の 3 ケースについて ODU 部有り／無しにおける C/N 劣化量を測定した。

（5）同期限界測定

8PSK 3/4 および 32APSK 4/5 の衛星伝送実験用 7m 受信アンテナ出力信号に対し、受信機入力前の局部発振周波数変換器におけるローカル周波数偏差を 0 から ± 4.5 MHz まで変化させ、8PSK 3/4、32APSK 4/5 のキャプチャレンジ C/N、ロックレンジ C/N の測定を実施した。周波数偏差は 0.5MHz ステップとし、キャプチャレンジ C/N、ロックレンジ C/N は以下の定義とした。

- キャプチャレンジ C/N : C/N を -4dB から 0.1dB ステップで増加させ、受信機の同期が 1 分間保持する C/N
- ロックレンジ C/N : 同期確立状態から C/N を 0.1dB ステップで低下させ、同期が外れる C/N

(6) TLV 機能の動作検証

8PSK 3/4 で TLV モード (パケットサイズ: 188Byte) の信号を送信し、正しく復調できていることをロジックアナライザにより確認した。また、TLV モードの信号がビット誤りを起こした場合、正しく NULL 化が行われることを確認するため。送信信号に白色雑音を印加してビット誤りを再現し、NULL パケットの置換状況をロジックアナライザにより確認した。

(7) 総合試験特性

映像・音声番組を使用した総合試験を実施した。映像・音声番組伝送については 8PSK 3/4 による HDTV 4 番組の 1 中継器伝送および QPSK 1/2 による階層伝送、32APSK 4/5 による SHV1 番組の 1 中継器伝送、8PSK 3/4 による SHV1 番組の 2 中継器バルク伝送の 3 種類のケースで伝送実験を実施した。また、開口径の異なる BS 受信アンテナ(45cm/120cm) で受信を行い、正常に受信できることを確認した。

表 1 実験項目一覧

表 1-1 擬似中継器実験

番号	実験項目	概要
(1)	パイロット信号の特性 改善評価	擬似中継器折返しにて 32APSK 4/5 における パイロット信号 ON/OFF での特性改善確認
(2)	シンボルレート・ロールオフ率 暫定値の選定	ロールオフ率毎に要求条件を満たすシンボルレート を選定し、擬似エラーフリーC/No を測定
(3)	干渉波がある場合の C/N 対ビット誤り率	干渉波がある状態で C/N 対ビット誤り率を測定
(4)	占有帯域幅測定	擬似中継器の OMUX フィルタ出力において、 $\pi/2$ シフト BPSK~32APSK のスペクトラム、占有待機幅を測定
(5)	IF 折返し、擬似中継器折返し C/N 対ビット誤り率測定	IF 折返し、擬似中継器折返しにおける $\pi/2$ シフト BPSK~32APSK の全符号化率に対する C/N 対ビット誤 り率を測定
(6)	ODU 挿入時の C/N 対ビット誤り率測定	擬似中継器折返しにおける 8PSK 3/4、16APSK 3/4、 32APSK 4/5 の ODU 挿入時の C/N 対ビット誤り率測定
(7)	同期限界測定	擬似中継器折返しにおける 8PSK 3/4、32APSK 4/5 の キャプチャレンジ C/N、ロックレンジ C/N 測定
(8)	遅延時間測定	8PSK 3/4、32APSK 4/5 のエンコーダー/デコーダー折 返し、IF 折返し、擬似中継器折返しでの遅延時間測 定

表 1-2 衛星伝送実験 (RF 実験含む)

番号	実験項目	概要
(2)	RF 実験、衛星伝送実験 占有帯域幅測定	トランスレータ出力、衛星伝送実験の $\pi/2$ シフト BPSK~32APSK のスペクトラム、占有帯域幅を測定
(3)	RF 実験、衛星伝送実験 C/N 対ビット誤り率測定	RF 実験、衛星伝送実験における $\pi/2$ シフト BPSK~ 32APSK の全符号化率に対する C/N 対ビット誤り率測定
(4)	ODU 挿入時の C/N 対ビット誤り率測定	衛星伝送実験における、8PSK 3/4 16APSK 3/4 32APSK 4/5 ODU 挿入時の C/N 対ビット誤り率測定
(5)	同期限界測定	衛星伝送実験における、8PSK 3/4、32APSK 4/5 のキャ プチャレンジ C/N、ロックレンジ C/N 測定
(6)	TLV 機能動作確認	衛星伝送実験における、8PSK 3/4 TLV パケットサイズ 確認、エラー発生時の NULL パケット置換動作確認
(7)	総合試験特性	衛星伝送実験における各種映像・音声番組の伝送試験

2-2-4 実験機材一覧

実験に使用した主な機材を表2～表4に示す。

表2 実験機材一覧（擬似中継器実験）

種別	型式	メーカー名
変調器	—	NHK 製作
復調器	—	NHK 製作
C/N テストセット	3708A	Hewlett-Packard
擬似中継器シミュレーター (BS15ch 用)	—	NHK 製作
擬似中継器シミュレーター (BS17ch 用)	—	NHK 製作
スペクトラムアナライザ	8560E	Hewlett-Packard
スペクトラムアナライザ	E4448A	Agilent Technology
ベクトルモジュレーションアナライザ	8981A	Hewlett-Packard
誤り率測定器	R2312	アドバンテスト
電波無響箱	—	NHK 製作
MPEG-2 エンコーダー	BDX-2300	ソニー
MPEG-2 デコーダー	BDX-2300	ソニー
遅延時間評価用モニタ	DM-3000	アストロデザイン
D5 テープ再生機	HD2000	松下電器産業

表3 実験機材一覧（衛星伝送実験）

種別	型式	メーカー名
変調器	—	NHK 製作
復調器	—	NHK 製作
地球局 HPA		NEC
C/N テストセット	3708A	Hewlett-Packard
スペクトラムアナライザ	8560E	Hewlett-Packard
スペクトラムアナライザ	E4448A	Agilent Technology
ベクトルモジュレーションアナライザ	8981A	Hewlett-Packard
誤り率測定器	R2312	アドバンテスト
ロジックアナライザ	1661A	Hewlett-Packard
E/O 装置 (140MHz 用)	OMT-101	東芝
O/E 装置 (140MHz 用)	OMR-101	東芝
E/O 装置 (BS-IF 用)	NH-ES001	松下電器産業
O/E 装置 (BS-IF 用)	NH-ES001	松下電器産業

表4 実験機材一覧（衛星伝送実験（映像・音声機材関連））

種別	型式	メーカー名
HDTV・低階層用番組 関連機材		
HDTV 用 TS ストリーマー	VSC-ASI	サイラック
HDTV 用 TS ストリーマー	Mercury	トムソングラスバレー
TS スイッチャー	ISS-18800	イメージニクス
HDTV 用 H. 264 エンコーダー	4CATER BROADCAST 3	Envivio
低階層番組用 H. 264 エンコーダー	4CATER BROADCAST 3	Envivio
HDTV 用 H. 264 デコーダー	IP-9500	富士通
低階層番組用 H. 264 デコーダー	4CATER BROADCAST 4054	Envivio
HDTV 用 CRT モニタ	BVM-D32	ソニー
リニア PCM 番組用モニタ	PDP-5000EX	パイオニア
5.1ch スピーカー	MO-01	Musik electronics
5.1ch スピーカー	YST-SW500	YAMAHA
5.1ch モニターシステム	M906	GRACEDESIGN
リニア PCM スピーカー	RL922K BASIS2	Musik electronic
リニア PCM モニターシステム	M906	GRACEDESIGN
SHV 関連機材		
SHV 用映像ハードディスクレコーダー	UDR-2E	計測技研
SHV 用音声ハードディスクレコーダー	MERLIN	フェアライト
SHV 用 H. 264 エンコーダー	AH2101	ATEME
SHV 用 H. 264 デコーダー	IP-9500	富士通
56inch LCD ディスプレイ	DM3400	アストロデザイン
SHV 用 4 面マルチディスプレイ	8K-LCD	計測技研
SHV 用 22.2ch スーパーツール型 スピーカー	77WER	BOSE
SHV 用 22.2ch モニターシステム	Control System	BOSE
MPEG-TS 伝送用 O/E 装置	77070E-HD	Everts Microsystems
MPEG-TS 伝送用 E/O 装置	7707E0-HD	Everts Microsystems

2-2-5 実験スケジュール

・疑似中継器実験 (場所：NHK 放送技術研究所)

曜日	月	火	水	木	金
日時	2007年11月26日	11月27日	11月28日	11月29日	11月30日
実験項目	(1)パイロット信号の特性改善評価	(2)シンボルレート・ロールオフ率暫定値の選定	(2)シンボルレート・ロールオフ率暫定値の選定	(2)シンボルレート・ロールオフ率暫定値の選定	(2)シンボルレート・ロールオフ率暫定値の選定
日時	12月3日	12月4日	12月5日	12月6日	12月7日
実験項目	(2)シンボルレート・ロールオフ率暫定値の選定	(2)シンボルレート・ロールオフ率暫定値の選定	ARIB-TG 打合せ シンボルレート ロールオフ率決定	(3)干渉波実験 C/N 対ビット誤り率	衛星高度化作業班開催 TGより中間報告&実験設備 見学(NHK技研)
日時	12月10日	12月11日	12月12日	12月13日	12月14日
実験項目	(5) IF折返し C/N 対ビット誤り率 ($\pi/2$ シフト BPSK)	(5) IF折返し C/N 対ビット誤り率 (QPSK 8PSK)	(5) IF折返し C/N 対ビット誤り率 (16APSK 32APSK)	(4)占有帯域幅測定 (5) 疑似中継器折返し C/N 対ビット誤り率 ($\pi/2$ シフト BPSK)	(4)占有帯域幅測定 (5) 疑似中継器折返し C/N 対ビット誤り率 (QPSK 8PSK) (6) ODU 挿入時の C/N 対ビット誤り率 (8PSK)
日時	12月17日	12月18日	12月19日	12月20日	12月21日
実験項目	(5) 疑似中継器折返し C/N 対ビット誤り率 (32APSK) 最適 OBO 検証	(5) 疑似中継器折返し C/N 対ビット誤り率 (16APSK) 最適 OBO 検証	(4) 占有帯域幅測定 (5) 疑似中継器折返し C/N 対ビット誤り率 (16APSK) (6) ODU 挿入時の C/N 対ビット誤り率 (16APSK)	(4) 占有帯域幅測定 (5) 疑似中継器折返し C/N 対ビット誤り率 (32APSK) (6) ODU 挿入時の C/N 対ビット誤り率 (32APSK)	(7) 同期限界 (8) 遅延時間

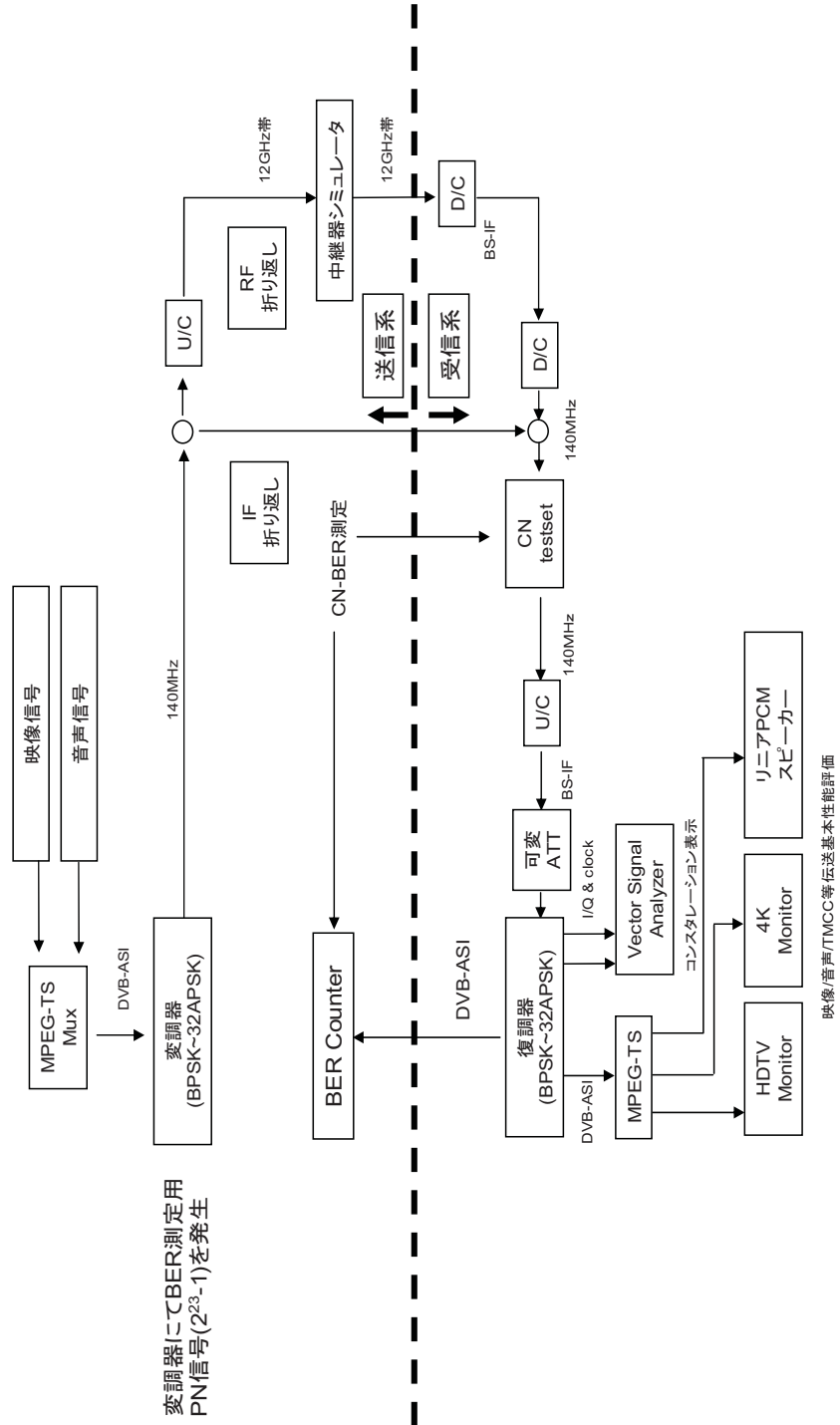
・衛星伝送実験、擬似中継器による高度衛星伝送方式デモンストラーション（場所：NHK 放送センター）

曜日	月	火	水	木	金
日時	2008年2月4日	2月5日	2月6日	2月7日	2月8日
実験項目	(2) 占有帯域幅測定 (3) C/N 対ビット誤り率 ($\pi/2$ シフト BPSK)	(2) 占有帯域幅測定 (3) C/N 対ビット誤り率 (QPSK)	(2) 占有帯域幅測定 (3) C/N 対ビット誤り率 (8PSK) (4) ODU 挿入時 C/N 対ビット誤り率 (16APSK)	(2) 占有帯域幅測定 (3) C/N 対ビット誤り率 (16APSK) (4) ODU 挿入時 C/N 対ビット誤り率 (16APSK)	(2) 占有帯域幅測定 (3) C/N 対ビット誤り率 (32APSK)
日時	2月18日	2月19日	2月20日	2月21日	2月22日
実験項目	-	-	擬似中継器による 高度衛星デジタル放送暫定方式 デモンストラーション	擬似中継器による 高度衛星デジタル放送暫定方式 デモンストラーション	擬似中継器による 高度衛星デジタル放送暫定方式 デモンストラーション

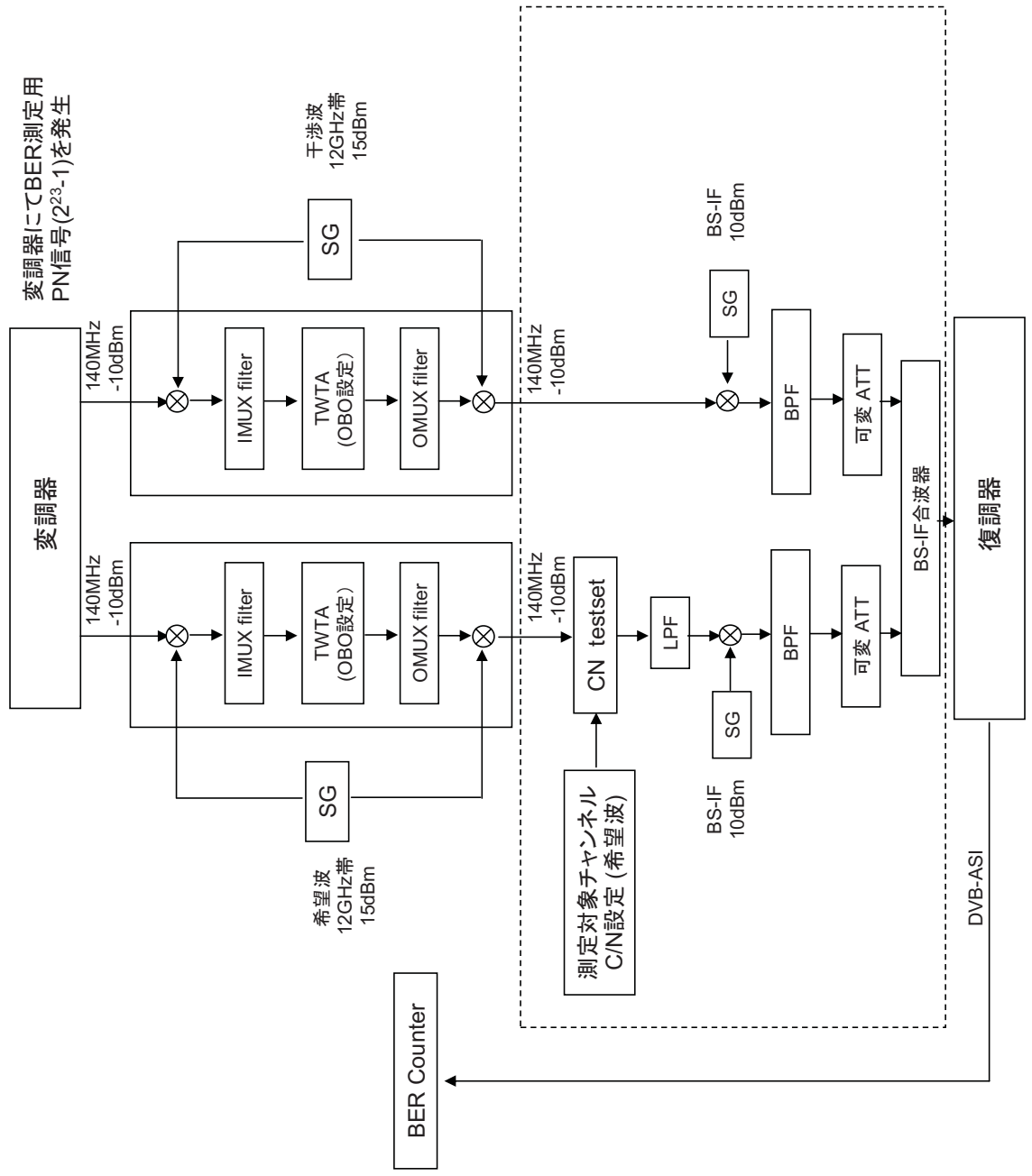
・衛星伝送追試実験（場所：NHK 放送センター、NHK 放送技術研究所 (5/15のみ)）

曜日	月	火	水	木	金
日時	2008年4月21日	4月22日	4月23日	4月24日	4月25日
実験項目	-	(2) 占有帯域幅測定 (3) C/N 対ビット誤り率 (32APSK 1/4 1/3 2/5) (4) ODU 挿入時 C/N 対ビット誤り率 (16APSK)	(5) 同期限界測定	(6) TLV 動作検証 (7) 総合試験 (8PSK HDTV 4 番組伝送 階層伝送、 リニア PCM (H.264 5.1ch))	-
日時	5月12日	5月13日	5月14日	5月15日	5月16日
実験項目	-	-	-	(7) 総合試験 32APSK SHV 伝送 8PSK バルク SHV 伝送	-

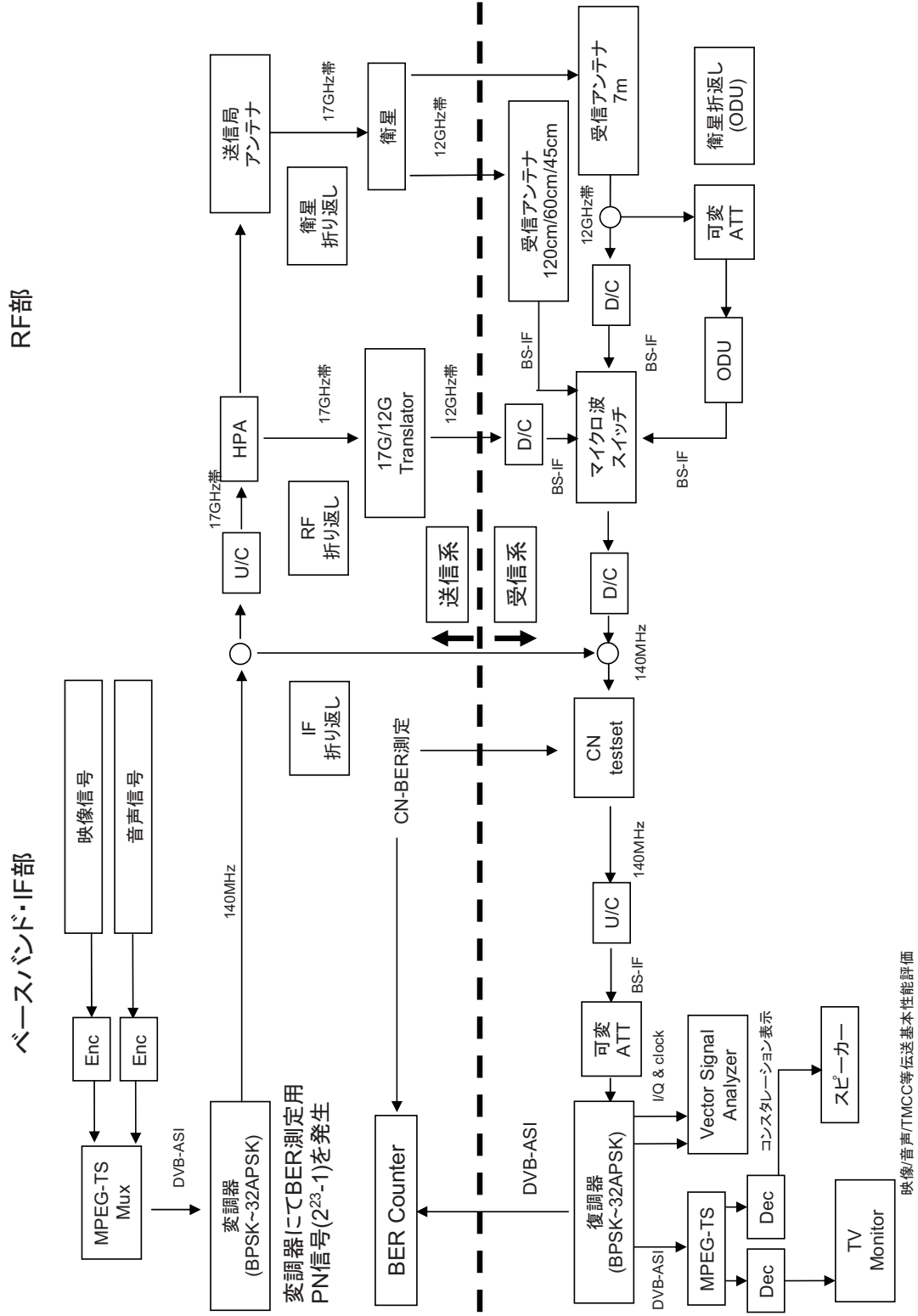
2-2-6 実験系統図
 2-2-6-1 疑似中継器実験 測定系統図 (1 波伝送用)



2-2-6-2 疑似中継器実験 測定系統図 (干渉実験用)



2-2-6-3 衛星伝送実験 測定系統図



映像/音声/TMCC等伝送基本性能評価

擬似中継器実験 詳細結果報告

2-3 伝送路符号化部実験－擬似中継器実験 実験結果

2-3-1 パイロット信号による性能改善評価

パイロット信号による所要 C/N 改善の評価のための測定を行った。なお、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 を擬似エラーフリーC/N とした。

測定条件を以下に示す。

- ・ 32APSK 4/5
- ・ シンボルレート : 33Mbaud
- ・ ロールオフ率 : 0.1
- ・ OB0 : 3.5dB
- ・ ODU 位相雑音 : -81.25dBc/Hz (1kHz オフセット) (付録 1-2 参照)

比較結果を表 5 に示す。パイロット ON の場合は OFF の場合に比べて 1.4dB の改善があった。従って、以後の実験は全てパイロット信号 ON で実験を行うこととした。

表 5 パイロット信号の有無による擬似エラーフリーC/N 比較結果

	ODU 有り [dB]
パイロット ON	16.5
パイロット OFF	17.9

2-3-2 シンボルレート、ロールオフ率の暫定値の選定

2-3-2-1 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)
- 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) 干渉波がある場合の所要 C/N の条件 (干渉の条件は表 6 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 の評価は干渉波による影響、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 の評価は干渉波による影響、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 6 干渉実験の条件

被干渉（所要 C/N の測定対象）	与干渉
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

2-3-2-2 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

2-3-2-3 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 点をロールオフ率ごとに選定し、各シンボルレートに対する擬似エラーフリー C/N を測定した。表 7 に占有帯域幅 34.5MHz を満たす最大シンボルレートを示す。

表 7 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

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 は付録を参照。

8PSK 3/4 および 32APSK 4/5 の実験結果を図 1、表 8、および図 2、表 9 に示す。なお、測定値は C/N_0 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衛星方式 8PSK を干渉波として多重し、さらに ODU を通した状態で擬似エラーフリー C/N を測定したものである。また、干渉波を ISDB-S (28.86Mbaud、 $\alpha=0.35$) とした場合も同図に示す。

図 1 より、高度衛星デジタル放送方式および ISDB-S を干渉波とした場合の所要 C/N_0 はほぼ同じ値であった。8PSK については、表 2 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/N_0 の設定値を満たした。

図 2 より、高度衛星デジタル放送方式を干渉波とした場合の所要 C/N_0 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 2 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/N_0 の設定値を満たした。

なお、32APSK については、(3)の条件で 33Mbaud、 $\alpha=0.1$ 、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 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、 $\alpha=0.1$ 、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。結果を表 10 に示す。シンボルレート、ロールオフ率の組み合わせとして、33Mbaud $\alpha=0.1$ (ケース 1) および 31.9Mbaud $\alpha=0.2$ (ケース 2) の 2 通りについて測定した。

○ケース 1 (33Mbaud $\alpha=0.1$) キャプチャ $C/N=-2.6$ dB、ロック $C/N=-2.8$ dB

○ケース 2 (31.9Mbaud $\alpha=0.2$) キャプチャ $C/N=-3.7$ dB、ロック $C/N=-3.9$ dB

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。

○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

OB0 : 約 0.7dB ODU 位相雑音 : A (-81.25dBc/Hz(1kHz オフセット))

与干渉波 : 高度衛星デジタル放送 8PSK 3/4(120slot) / ISDB-S の 2 種類

C/No : エラーフリーC/N+OB0+10log(シンボルレート)

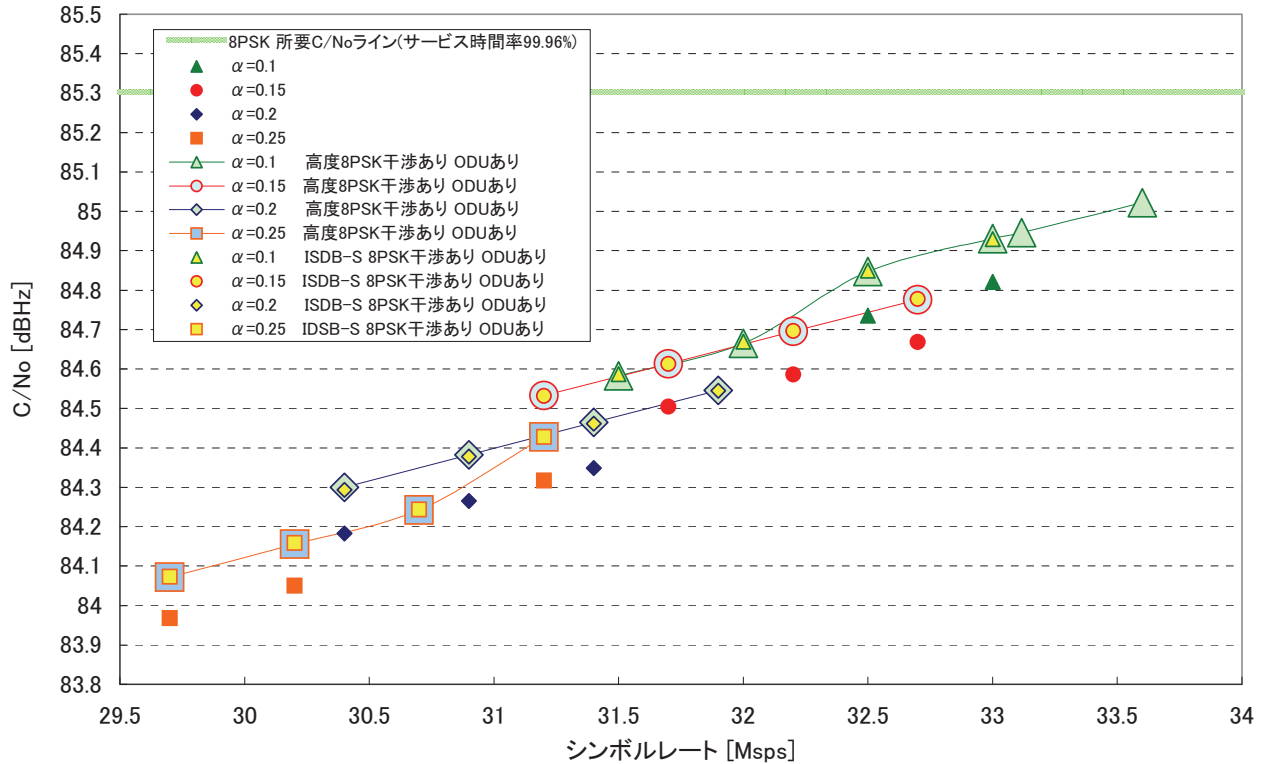


図 1 擬似中継器実験結果 (8PSK)

表 8 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 +OB0[dB]	干渉波(高度衛星 デジタル放送) (C/N劣化量) [dB]	干渉波(高度衛星 デジタル放送)+ODU (C/N劣化量) [dB]	干渉波(ISDB-S)+ODU (C/N劣化量) [dB]
$\alpha=0.1$ 33.6Mbaud	9.6	0.0	0.1	0.1
$\alpha=0.15$ 32.7Mbaud	9.5	0.0	0.1	0.1
$\alpha=0.2$ 31.9Mbaud	9.5	0.0	0.0	0.0
$\alpha=0.25$ 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 ($\alpha=0.1$) / 3.0dB ($\alpha=0.15, 0.2, 0.25$)

ODU 位相雑音 : A (-81.25dBc/Hz (1kHz オフセット))

与干渉波 : 高度衛星デジタル放送 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)

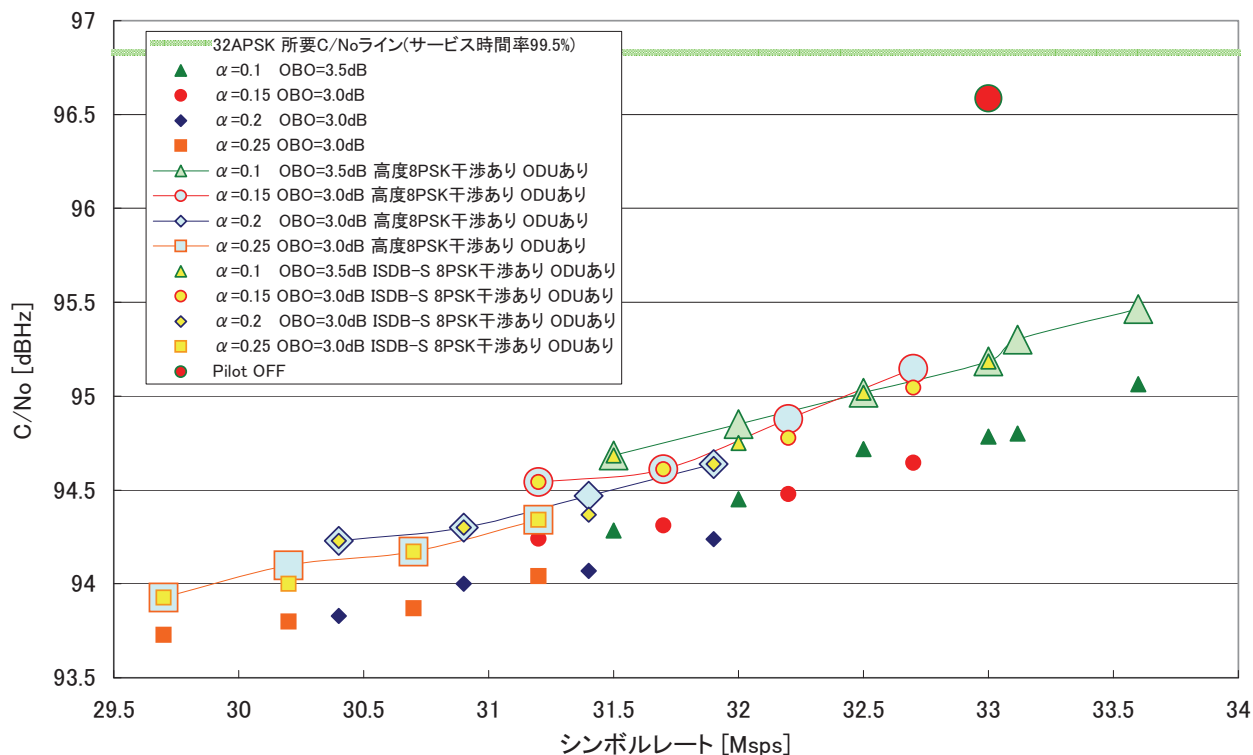


図 2 擬似中継器実験結果 (32APSK)

表 9 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(高度衛星 デジタル放送) (C/N 劣化量) [dB]	干渉波(高度衛星 デジタル放送)+ODU (C/N 劣化量) [dB]	干渉波(ISDB-S)+ODU (C/N 劣化量) [dB]
$\alpha=0.1$ 33.6Mbaud	19.6	0.1	0.4	0.4
$\alpha=0.15$ 32.7Mbaud	19.5	0.2	0.5	0.4
$\alpha=0.2$ 31.9Mbaud	19.2	0.2	0.4	0.4
$\alpha=0.25$ 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

○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 : 高度衛星デジタル放送 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

▶ キャプチャレンジ 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

▶ ロックレンジ C/N

手順4 : 手順3 のキャプチャレンジ 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 をロックレンジ C/N とする

表 10 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 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]
$\Delta f=0\text{Hz}$	-2.4	-2.9	-2.6	-2.9	-	-	-	-
$\Delta f=+1.5\text{MHz}$	-2.6	-2.8	-2.6	-2.9	-3.7	-3.9	-	-
$\Delta f=-1.5\text{MHz}$	-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]
$\Delta f=+1.5\text{MHz}$	-3.4	-3.9

2-3-2-4 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7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 $\alpha=0.1$ 、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 11 に示す。

表 11 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

2-3-3 シンボルレート、ロールオフ率暫定値での干渉波の影響確認

実験内容：シンボルレートとロールオフ率の暫定値を適用し、干渉波の影響が小さいことを、所要 C/N 測定で確認する。

測定条件

シンボルレート：32.5941Mbaud

ロールオフ率：0.1

パイロット信号：ON

8PSK OBO：0.7dB、16APSK OBO：1.5dB、32APSK OBO：3.5dB

被干渉ch：BS17ch

与干渉ch：BS15ch

評価方法：干渉波をあり/なしの2種類の条件で所要 C/N を測定し、C/N 劣化量を求める
干渉波あり/なしにおける所要 C/N の測定結果を表 12 に示す。付録 1-3 にスペクトル写真を示す。

表 12 干渉波がある場合の所要 C/N 測定結果

測定 番号	被干渉 (BS17ch) (測定 C/N 対ビット誤り率対象)	与干渉 (BS15ch)	干渉なし C/N[dB]	干渉あり C/N[dB]	C/N 劣化[dB]
1	高度 32APSK 4/5	高度 32APSK 4/5	16.1	16.2	0.1
2	高度 32APSK 4/5	高度 16APSK 3/4	16.1	16.2	0.1
3	高度 32APSK 4/5	ISDB-S	16.1	16.3	0.2
4	高度 32APSK 4/5	高度 8PSK 3/4	16.1	16.4	0.3
5	高度 16APSK 3/4	高度 8PSK 3/4	11.9	11.9	0.0
6	高度 8PSK 3/4	高度 8PSK 3/4	9.0	9.0	0.0
7	ISDB-S	高度 8PSK 3/4	10.1	10.1	0.0

2-3-4 擬似中継器折返しにおける占有帯域幅測定

実験内容：擬似中継器の OMUX フィルタ出力における $\pi/2$ シフト BPSK~32APSK のスペクトラム及び変調信号の占有帯域幅を測定し、占有帯域幅 34.5MHz を満たすことを確認する。

擬似中継器実験の主要パラメータを表 13 に示す。各変調方式の衛星中継器バックオフを表 14 に示す。なお、擬似中継器実験における 16APSK および 32APSK のバックオフは、擬似エラーフリーC/N+OBO が最小となる OBO (最適 OBO) を事前に測定し、最適 OBO 値を適用した。(付録 1-6 参照)

表 13：擬似中継器実験の主要パラメータ

シンボルレート	32.5941Mbaud
ロールオフ率	0.1
変調方式	$\pi/2$ シフト BPSK QPSK 8PSK 16APSK 32APSK
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

表 14：各変調方式の衛星中継器 OBO 値一覧

符号化率	$\pi/2$ BPSK	QPSK	8PSK	16APSK	32APSK
1/4	0.4	0.7	0.7	1.2	1.8
1/3				1.2	1.9
2/5				1.2	2.0
1/2				1.4	2.1
3/5				1.5	2.7
2/3				1.6	2.9
3/4				1.7	2.9
4/5				1.9	3.4
5/6				1.9	3.7
7/8				1.9	4.1
9/10				2.4	4.4

表 13 のパラメータを適用し、擬似中継器シミュレーター出力における変調信号の占有帯域幅を測定した。測定結果を表 15 に示す。また、付録 1-3 にスペクトラム写真を示す。

表 15 : 擬似中継器折返し 占有帯域幅一覧

変調方式	符号化率	占有帯域幅 [MHz]
$\pi/2$ シフト BPSK	1/2	33.4
QPSK	3/4	33.5
8PSK	3/4	33.5
16APSK	1/4	33.3
16APSK	1/3	33.3
16APSK	2/5	33.4
16APSK	1/2	33.2
16APSK	3/5	33.2
16APSK	2/3	33.1
16APSK	3/4	33.2
16APSK	4/5	33.2
16APSK	5/6	33.2
16APSK	7/8	33.2
16APSK	9/10	33.1
32APSK	1/4	33.2
32APSK	1/3	33.2
32APSK	2/5	33.2
32APSK	1/2	33.2
32APSK	3/5	33.1
32APSK	2/3	33.0
32APSK	3/4	33.1
32APSK	4/5	33.1
32APSK	5/6	33.0
32APSK	7/8	32.9
32APSK	9/10	33.0

2-3-5 IF および擬似中継器折返しにおける C/N 対ビット誤り率測定

実験内容：IF 折返しおよび擬似中継器折返しにおける、 $\pi/2$ シフト BPSK、QPSK、8PSK、16APSK、32APSK の C/N 対ビット誤り率測定を行う。16APSK および 32APSK の擬似中継器折返しについては、事前に全符号化率毎に最適 OBO 値（付録 1-6 参照）を所要 C/N を基準に測定し、最適 OBO 値を適用して C/N 対ビット誤り率測定を行う。

測定条件：

シンボルレート：32.5941Mbaud

ロールオフ率：0.1

パイロット信号：ON

OBO： $\pi/2$ シフト BPSK：0.4dB、QPSK：0.7dB、8PSK：0.7dB

なお、今回の実験ではハードウェアの都合上、16APSK における符号化率 1/2 以下の符号化率については、符号化率 3/5 と同じ半径比を適用し、32APSK における符号化率 3/5 以下の符号化率については、符号化率 2/3 と同じ半径比を適用した。

表 16~表 20 に $\pi/2$ シフト BPSK、QPSK、8PSK、16APSK、32APSK の IF 折返し及び擬似中継器折返しにおける所要 C/N の測定結果一覧を示す。（所要 C/N の導出は付録 1-1 参照）擬似中継器折返しにおいては、所要 C/N に OBO を加えた値を記載した。図 3 に IF 折返しおよび擬似中継器折返しにおける所要 C/N 対周波数利用効率を示す。付録 1-3 にスペクトル写真、付録 1-4 にコンスタレーション写真を示す。付録 1-5 に $\pi/2$ シフト BPSK ~32APSK の C/N 対ビット誤り率特性を示す。

表 16： $\pi/2$ シフト BPSK 所要 C/N 一覧

符号化率	シミュレーション ①	IF 折返し ②	所要 C/N 固 定劣化 (②-①)	擬似中継器 折返し ③	OBO	擬似中継器 折返し+OBO ④	擬似中継器 所要 C./N+OBO 劣化 (④-②)
1/4	-5.1	-2.8	2.3	-2.6	0.4	-2.2	0.6
1/3	-4.0	-2.8	1.2	-2.5	0.4	-2.1	0.7
2/5	-3.0	-2.4	0.6	-2.2	0.4	-1.8	0.6
1/2	-1.8	-1.5	0.3	-1.3	0.4	-0.9	0.6
3/5	-0.5	-0.3	0.2	-0.1	0.4	0.3	0.6
2/3	0.3	0.4	0.1	0.8	0.4	1.2	0.8
3/4	1.0	1.2	0.2	1.4	0.4	1.8	0.6
4/5	2.0	2.2	0.2	2.4	0.4	2.8	0.6
5/6	2.5	2.6	0.1	2.9	0.4	3.3	0.7
7/8	2.9	3.1	0.2	3.4	0.4	3.8	0.7
9/10	3.8	3.9	0.1	4.2	0.4	4.6	0.7

表 17 : QPSK 所要 C/N 一覧

符号化率	シミュレーション ①	IF 折返し ②	所要 C/N 固 定劣化 (②-①)	擬似中継器 折返し ③	0B0	擬似中継器 折返し+0B0 ④	擬似中継器 所要 C./N+0B0 劣化 (④-②)
1/4	-2.1	-1.2	0.9	-1.0	0.7	-0.3	0.9
1/3	-1.0	-0.6	0.4	-0.2	0.7	0.5	1.1
2/5	0.0	0.3	0.3	0.6	0.7	1.3	1.0
1/2	1.2	1.4	0.2	1.7	0.7	2.4	1.0
3/5	2.5	2.6	0.1	3.1	0.7	3.8	1.2
2/3	3.3	3.5	0.2	3.8	0.7	4.5	1.0
3/4	4.0	4.2	0.2	4.8	0.7	5.5	1.3
4/5	5.0	5.3	0.3	5.8	0.7	6.5	1.2
5/6	5.5	5.6	0.1	6.3	0.7	7.0	1.4
7/8	5.9	6.1	0.2	6.7	0.7	7.4	1.3
9/10	6.8	6.9	0.1	7.6	0.7	8.3	1.4

表 18 : 8PSK 所要 C/N 一覧

符号化率	シミュレーション ①	IF 折返し ②	所要 C/N 固 定劣化 (②-①)	擬似中継器 折返し ③	0B0	擬似中継器 折返し+0B0 ④	擬似中継器 所要 C./N+0B0 劣化 (④-②)
1/4	1.1	2.6	1.5	3.0	0.7	3.7	1.1
1/3	2.2	3.2	1.0	3.6	0.7	4.3	1.1
2/5	3.1	4.0	0.9	4.4	0.7	5.1	1.1
1/2	4.4	5.1	0.7	5.7	0.7	6.4	1.3
3/5	5.7	6.2	0.5	6.9	0.7	7.6	1.4
2/3	6.7	7.0	0.3	7.8	0.7	8.5	1.5
3/4	7.9	8.2	0.3	9.3	0.7	10.0	1.8
4/5	9.1	9.3	0.2	10.5	0.7	11.2	1.9
5/6	9.7	9.9	0.2	11.1	0.7	11.8	1.9
7/8	10.4	10.7	0.3	12.1	0.7	12.8	2.1
9/10	11.4	11.6	0.2	13.5	0.7	14.2	2.6

表 19 : 16ASK 所要 C/N 一覧

符号化率	シミュレーション ①	IF 折返し ②	所要 C/N 固 定劣化 (②-①)	擬似中継器 折返し ③	0B0	擬似中継器 折返し+0B0 ④	擬似中継器 所要 C./N+0B0 劣化 (④-②)
1/4	2.9	3.8	0.9	5.2	1.2	6.4	2.6
1/3	4.1	5.0	0.9	6.0	1.2	7.2	2.2
2/5	5.1	6.0	0.9	7.0	1.2	8.2	2.2
1/2	6.6	7.7	1.1	9.1	1.4	10.5	2.8
3/5	8.0	8.8	0.8	9.8	1.5	11.3	2.5
2/3	9.1	9.4	0.3	10.5	1.6	12.1	2.7
3/4	10.2	10.6	0.4	11.8	1.7	13.5	2.9
4/5	11.3	11.6	0.3	13.2	1.9	15.1	3.5
5/6	11.9	12.2	0.3	13.7	1.9	15.6	3.4
7/8	12.5	12.9	0.4	14.6	1.9	16.5	3.6
9/10	13.5	13.8	0.3	15.6	2.4	18.0	4.2

表 20 : 32ASK 所要 C/N 一覧

符号化率	シミュレーション ①	IF 折返し ②	所要 C/N 固 定劣化 (②-①)	擬似中継器 折返し ③	0B0	擬似中継器 折返し+0B0 ④	擬似中継器 所要 C./N+0B0 劣化 (④-②)
1/4	5.5	7.2	1.7	8.3	1.8	10.1	2.9
1/3	6.4	7.7	1.3	9.3	1.9	11.2	3.5
2/5	7.2	8.4	1.2	10.5	2.0	12.5	4.1
1/2	9.2	10.2	1.0	12.0	2.1	14.1	3.9
3/5	10.6	11.3	0.7	13.0	2.7	15.7	4.4
2/3	11.7	12.1	0.4	13.8	2.9	16.7	4.6
3/4	12.8	13.4	0.6	15.5	2.9	18.4	5.0
4/5	14.0	14.3	0.3	16.4	3.4	19.8	5.5
5/6	14.5	14.9	0.4	17.1	3.7	20.8	5.9
7/8	15.3	15.8	0.5	17.9	4.1	22.0	6.2
9/10	16.3	16.8	0.5	19.2	4.4	23.6	6.8

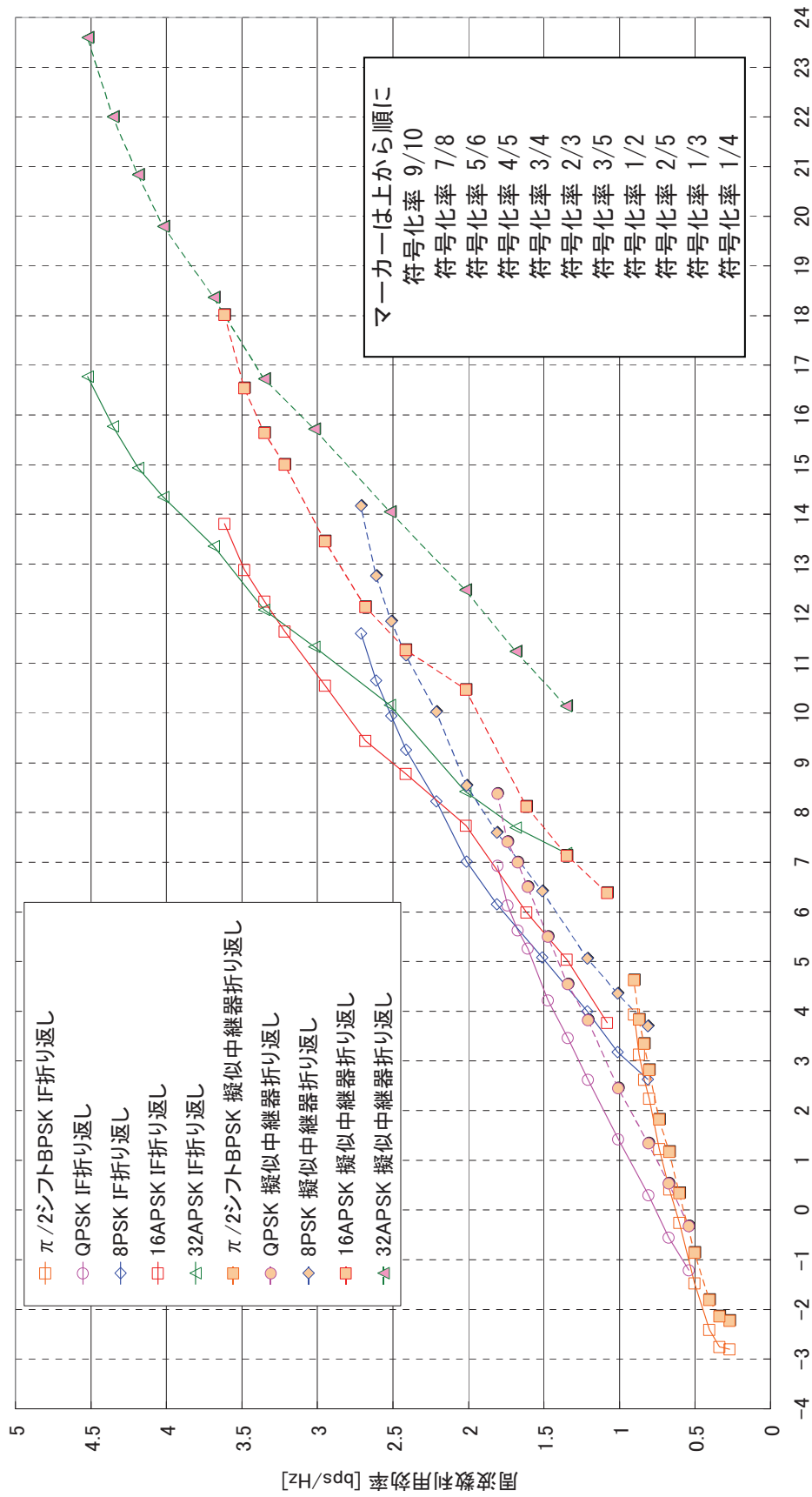


図 3 : 1 F 折返し / 擬似中継器折返し 所要 C/N 対周波数利用効率

2-3-6 ODU 挿入時における C/N 劣化量の測定

実験内容：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 を挿入し、パイロット信号 ON における C/N 対ビット誤り率測定を行い、C/N 劣化量を求める。

ODU 挿入 あり/なし における擬似中継器折返しの C/N 対ビット誤り率測定結果を図4に示す。ODU の有無による所要 C/N の測定結果を表22に示す。

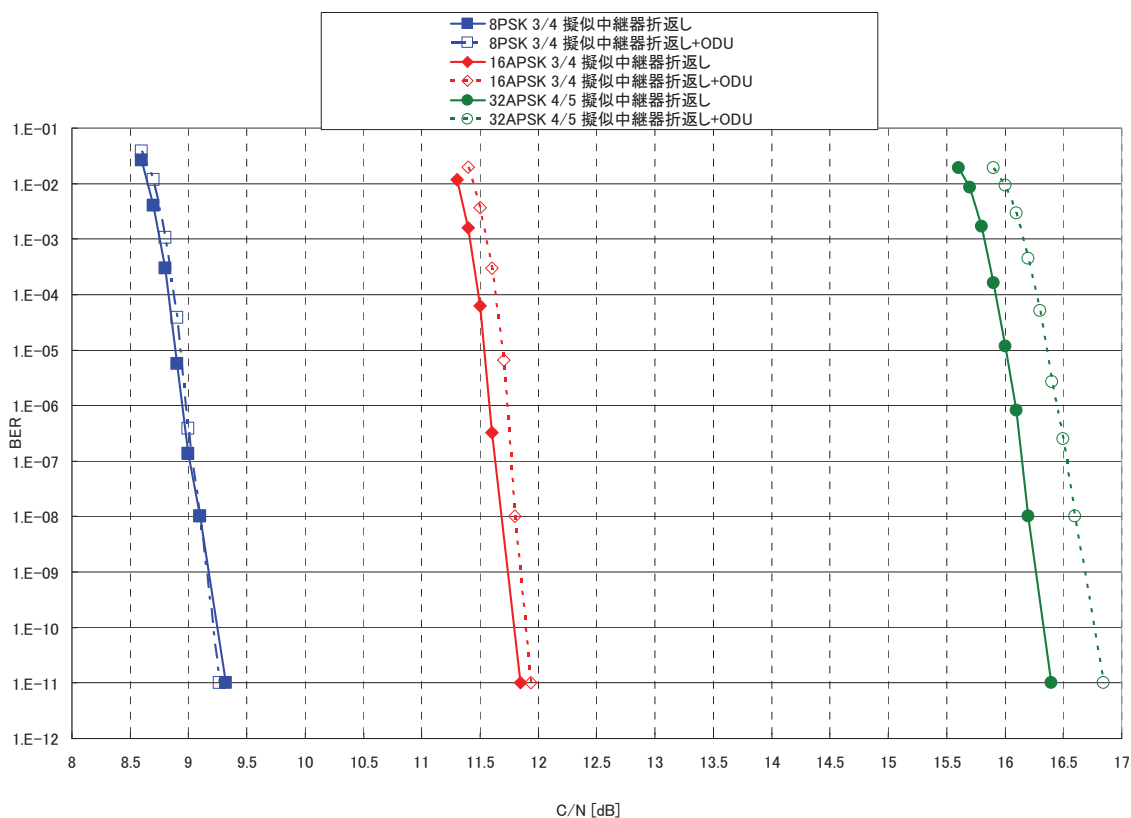


図4：ODU 挿入時の 8PSK 3/4 16APSK 3/4 32APSK 4/5
擬似中継器折返し C/N 対ビット誤り率

表22：8PSK 3/4、16APSK 3/4、32APSK 4/5 ODU の有無による所要 C/N 一覧

伝送方式	ODU なし 所要 C/N[dB]	ODU あり 所要 C/N[dB]	C/N 劣化量[dB]
8PSK 3/4	9.3	9.3	0.0
16APSK 3/4	11.8	11.9	0.1
32APSK 4/5	16.4	16.8	0.4

2-3-7 同期限界測定

実験内容：8PSK 3/4 および 32APSK 4/5 の擬似中継器出力信号に対し、受信機入力前の局部発振器の周波数を 0 から±4.5MHz まで変化させ、8PSK 3/4、32APSK 4/5 のキャプチャレンジ C/N、ロックレンジ C/N の測定を実施する。

測定方法：受信機入力前の局部発振周波数変換器におけるローカル周波数偏差を 0 から±4.5MHz まで変化させ（表 23 参照）、C/N を-4dB に設定し、C/N を 0.1dB ステップで増加させ、受信機の同期が 1 分間保持する C/N（キャプチャレンジ C/N）を測定する。続いて、同期確立状態から C/N を 0.1dB ステップで低下させ、同期が外れる C/N（ロックレンジ C/N）を測定する。

8PSK 3/4 および 32APSK 4/5 におけるキャプチャ C/N およびロック C/N の測定結果を表 23 に示す。

表 23-1：8PSK 3/4 キャプチャレンジ C/N ロックレンジ C/N 測定結果

周波数 オフセット [MHz]	ローカル 周波数 [MHz]	変調方式	周波数 オフセット [MHz]	キャプ チャ C/N	ロック C/N [dB]	備考
0	0	8PSK 120slot	0.0	-3.0	-3.1	C/N=∞で、周波数オフセット +5.5MHzのときにLockせ ず、+5.0MHzでLock。 周波数オフセット-5.5MHzの ときにLockせず、-5.0MHzで Lock。
1	1217.36		1.0	-2.9	-2.9	
-1	1215.36		-1.0	-2.9	-2.9	
2	1218.36		2.0	-2.8	-3.0	
-2	1214.36		-2.0	-2.8	-2.9	
3	1219.36		3.0	-2.8	-2.8	
-3	1213.36		-3.0	-2.8	-2.9	
4	1220.36		4.0	-2.8	-2.9	
-4	1212.36		-4.0	-2.7	-2.9	
4.5	1220.86		4.5	-2.0 -1.6(2回)	-2.8	
-4.5	1211.86		-4.5	-1.9	-2.5	

表 23-2：32APSK 4/5 キャプチャレンジ C/N ロックレンジ C/N 測定結果

周波数 オフセット [MHz]	ローカル 周波数 [MHz]	変調方式	周波数 オフセット [MHz]	キャプ チャ C/N	ロック C/N [dB]	備考
0	0	32APSK 120slot	0.0	-2.8	-2.8	
1	1217.36		1.0	-2.7	-2.7	
-1	1215.36		-1.0	-2.7	-2.7	
2	1218.36		2.0	-2.7	-2.7	
-2	1214.36		-2.0	-2.7	-2.7	
3	1219.36		3.0	-2.7	-2.7	
-3	1213.36		-3.0	-2.7	-2.7	
4	1220.36		4.0	-2.7	-2.7	
-4	1212.36		-4.0	-2.7	-2.7	
4.5	1220.86		4.5	-1.3	-2.0	
-4.5	1211.86		-4.5	-1.4	-2.4	

2-3-8 遅延時間測定

実験内容：8PSK(3/4)、32APSK(4/5)の画像エンコーダー/デコーダー折返し、I F折返し、擬似中継器折返しでの遅延時間測定。

測定方法：MPEG-2 エンコーダー入力点のタイムコードを T_o 、MPEG2 デコーダー出力点のタイムコードを T_e とし、上記 3 種類の折返しにおいて、遅延時間= T_o-T_e を測定する。測定に用いたモニター画面を図 5 に示す。



図 5 測定に用いたモニタ画面

遅延時間測定結果を表 24 に示す。数値はフレームを時間に換算して示した。

表 24 : 8PSK 3/4 32APSK 4/5 遅延時間測定結果

伝送方式	TS レート [Mbps]	映像レート [Mbps]	遅延時間					
			画像エンコーダー/ デコーダー折返し		IF 折返し		RF 折返し	
			[Frame]	[Sec]	[Frame]	[Sec]	[Frame]	[sec]
8PSK 3/4	22	20	32	1.07	36.5	1.22	36.5	1.22
8PSK 3/4	17	15	32	1.07	36	1.20	36	1.20
8PSK 3/4	69	65	32	1.07	35	1.17	36.3	1.21
32PSK 4/5	69	65	32	1.07	35.5	1.18	35.6	1.19