

## 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×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

3

## 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。

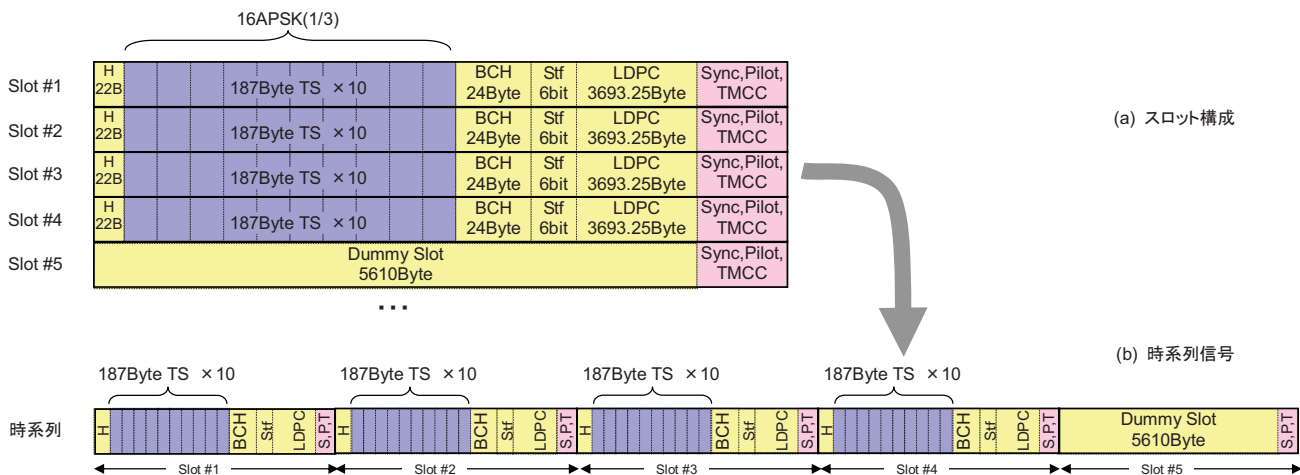


図 1 受信機で再生されるストリームの例

## 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。



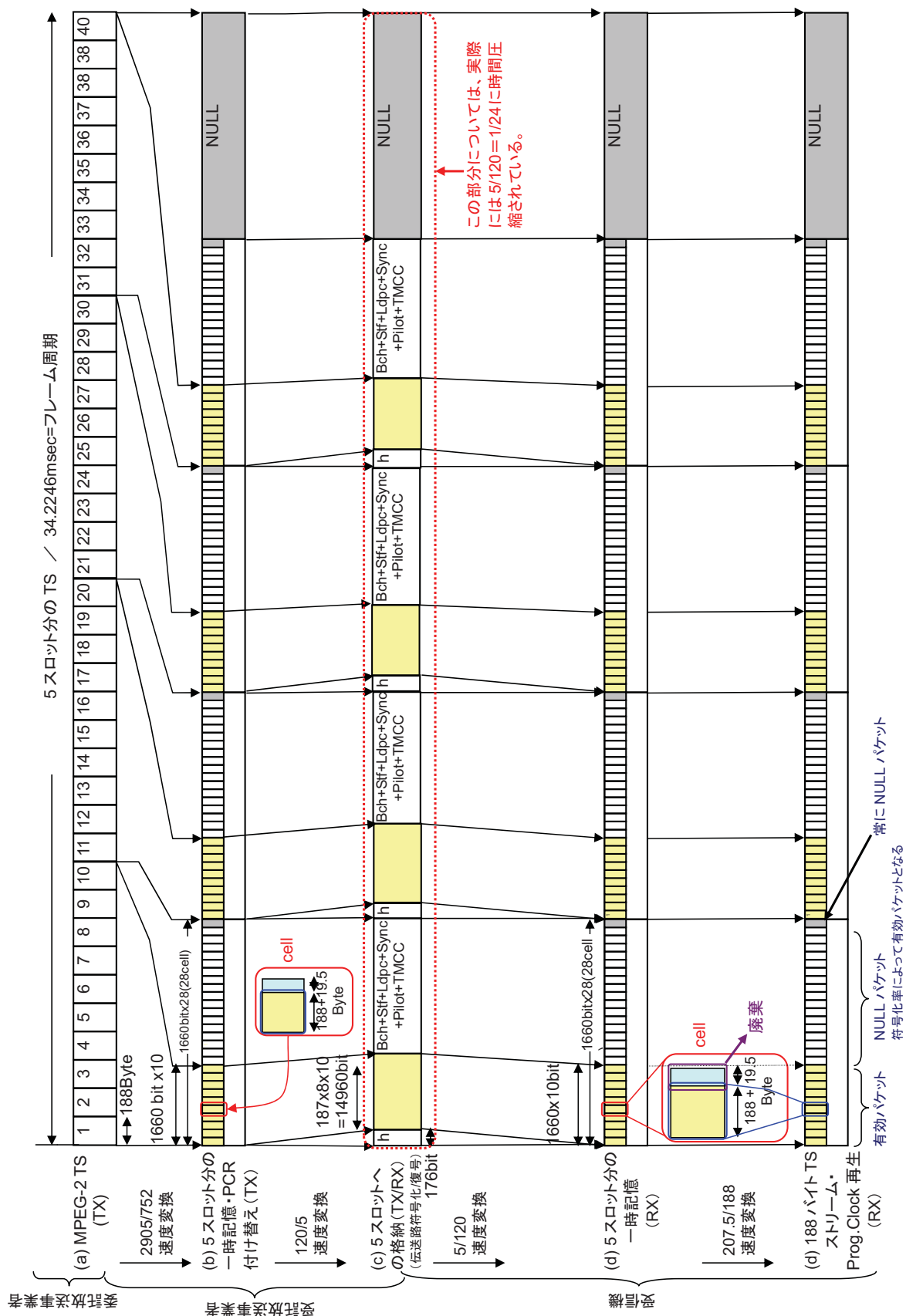


図 1 PCR 付け替えの例

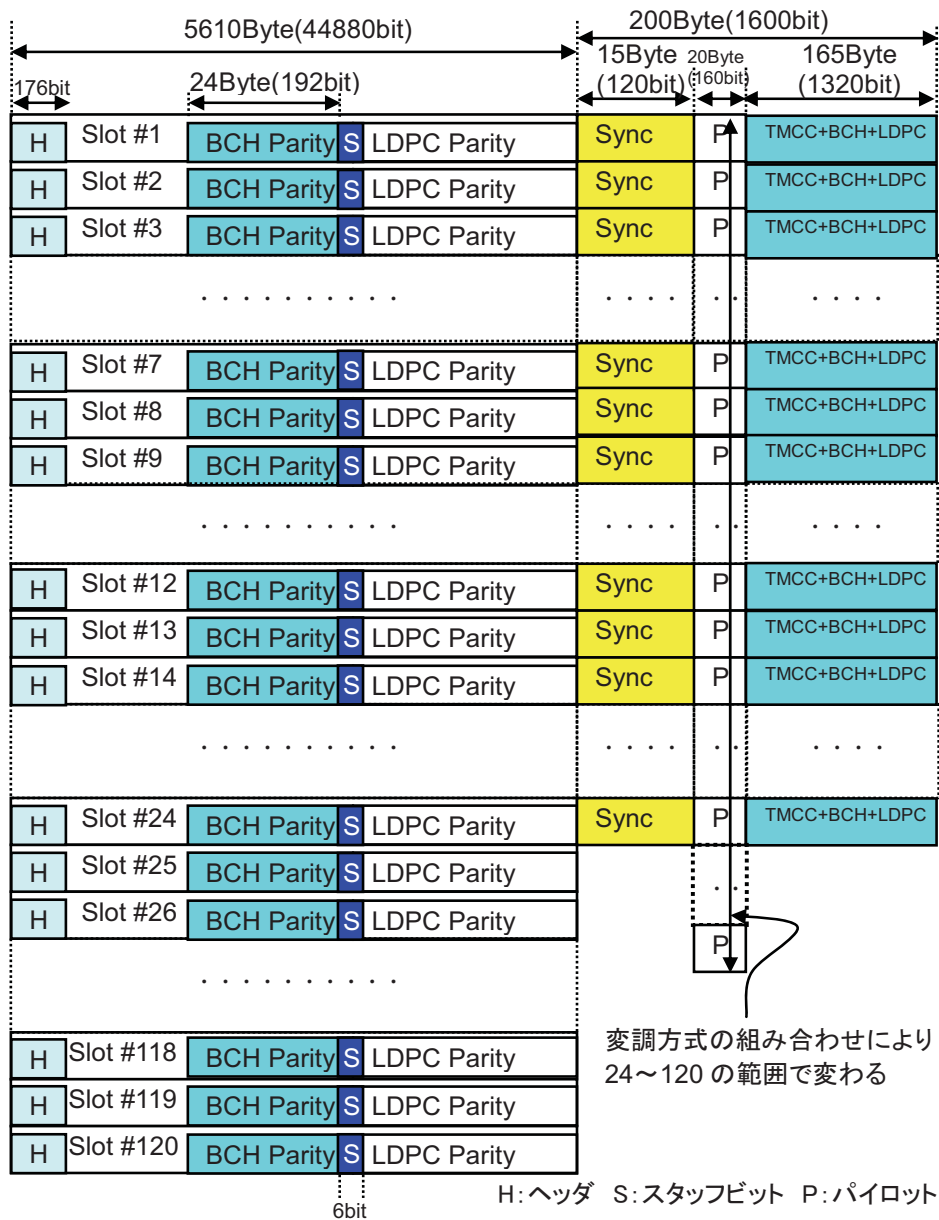


図2 フレーム構成

## 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。

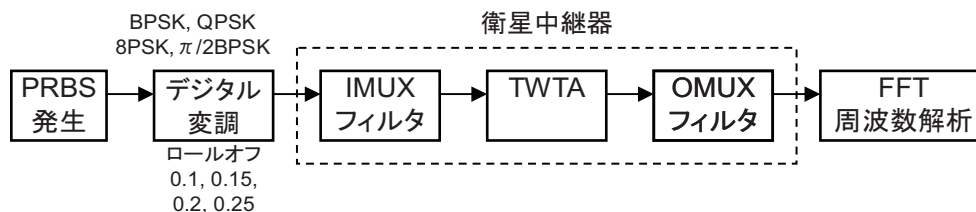


図 1 シミュレーション系統図

### 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。

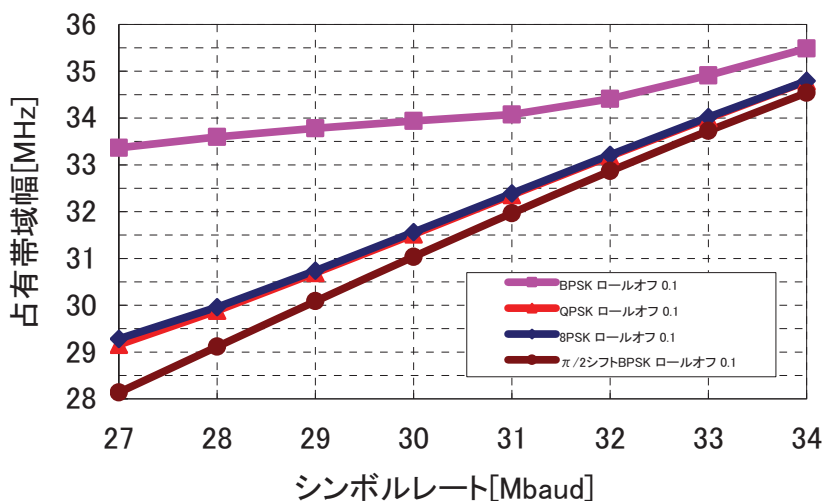


図 2 シミュレーション結果

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。

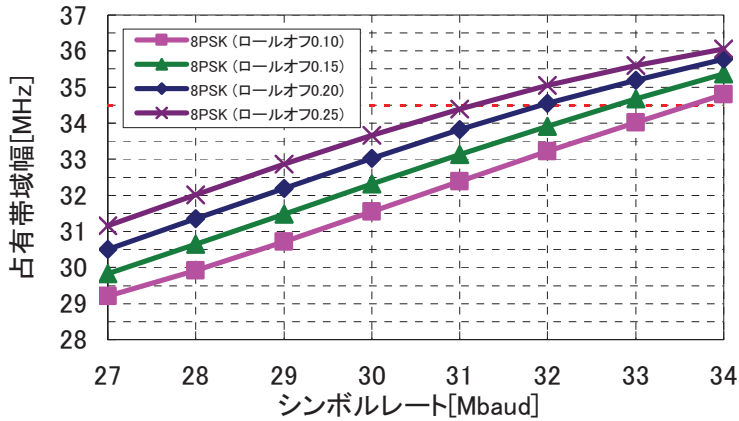


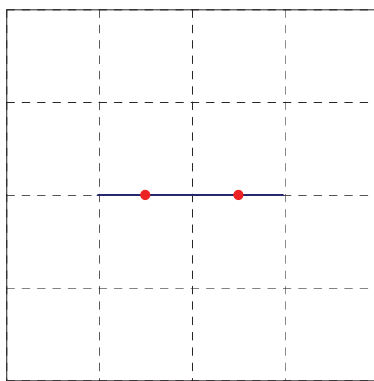
表 2 ロールオフ率と最大シンボルレートの関係

表 2 ロールオフ率と最大シンボルレートの関係

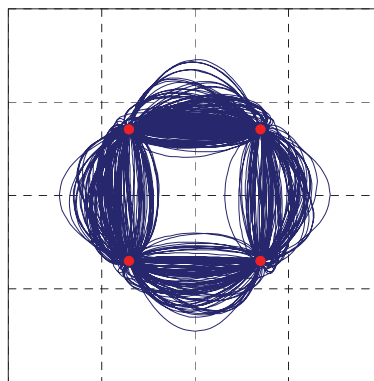
ロールオフ率	最大シンボルレート [MBaud]
0.1	33.6
0.15	32.7
0.2	31.9
0.25	31.1

図 3 シミュレーション結果

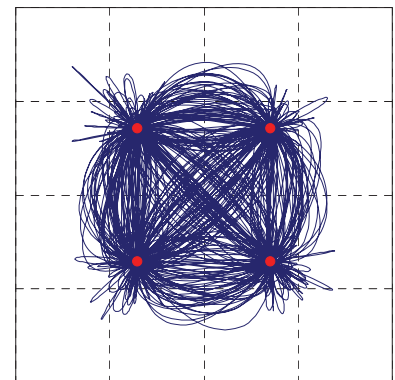
参考. 各変調方式の信号点の軌跡(理想伝送路)



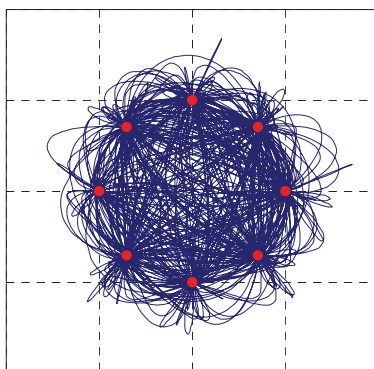
(a) BPSK



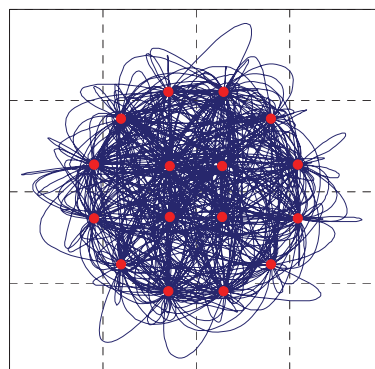
(b)  $\pi/2$  シフト BPSK



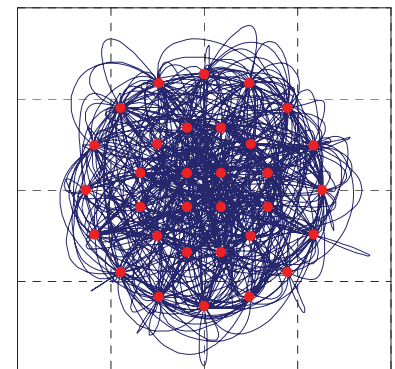
(c) QPSK



(d) 8PSK



(e) 16APSK



(f) 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。

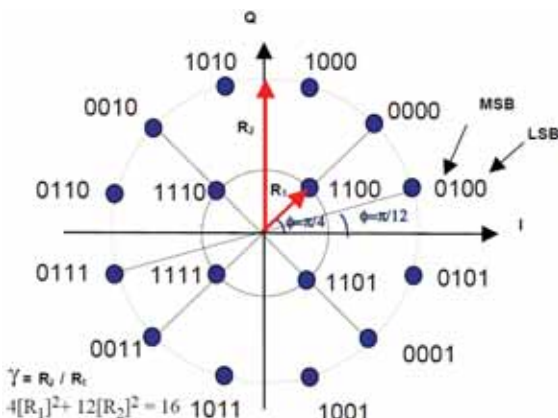


図 1 16APSK の信号点配置

表 1 16APSK の半径比

符号化率	半径比 $\gamma$
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

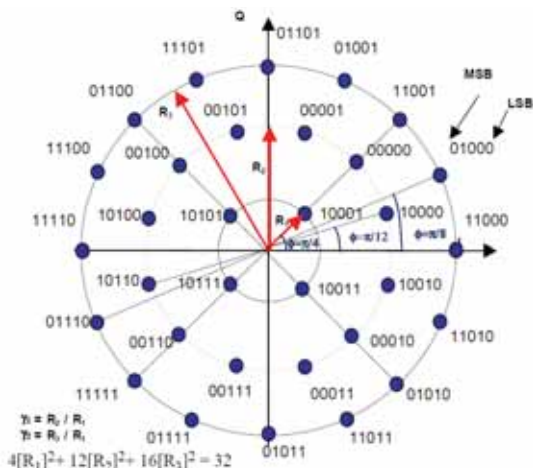


図 2 32APSK の信号点配置

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。

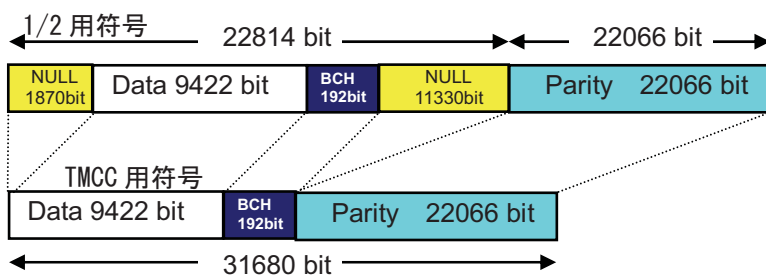


図 1: TMCC 符号化方式

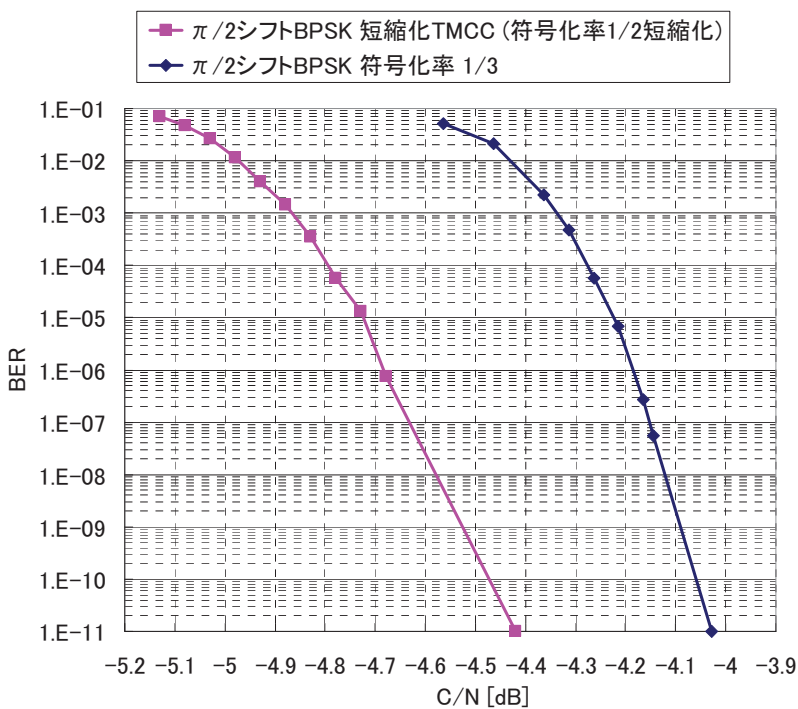


図 2: TMCC 符号化方式 C/N 対ビット誤り率特性

## 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。

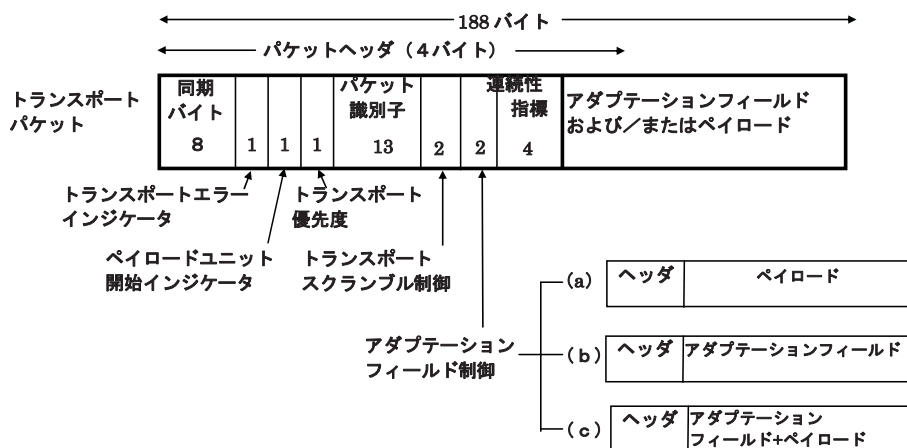


図 1 MPEG-2 TS の構造

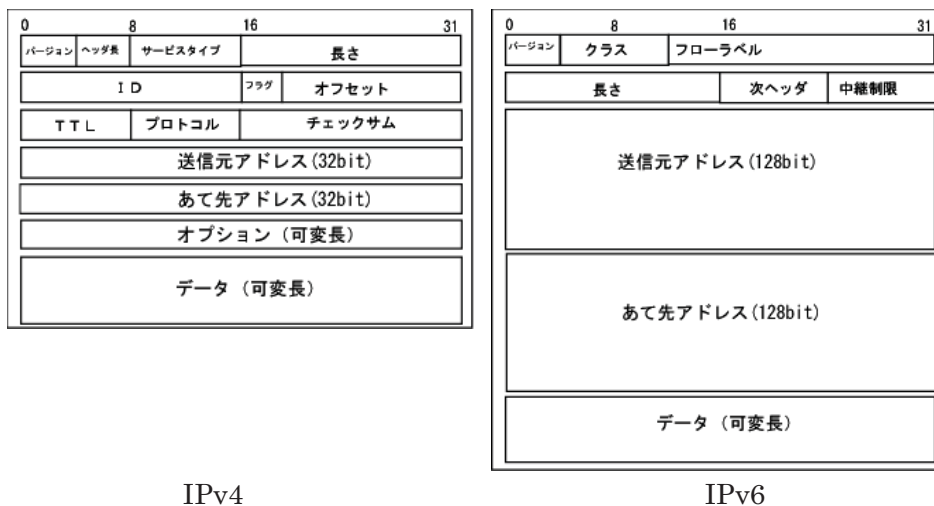


図 2 IP パケットの構造

## 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 TLVnull#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。

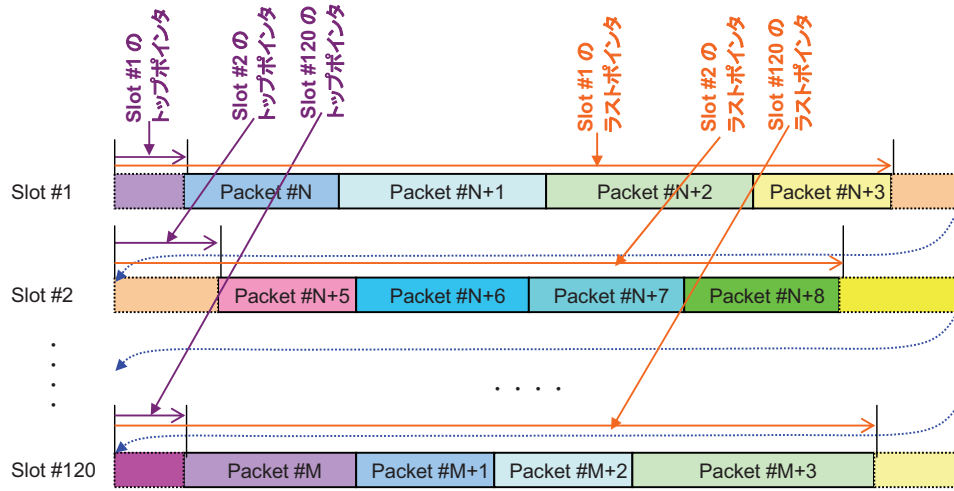


図3 トップポインタとラストポインタ

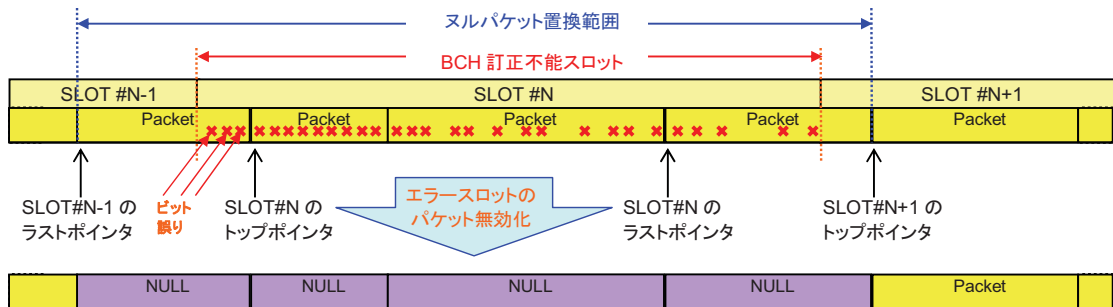


図4 受信機におけるマルチパケット置換

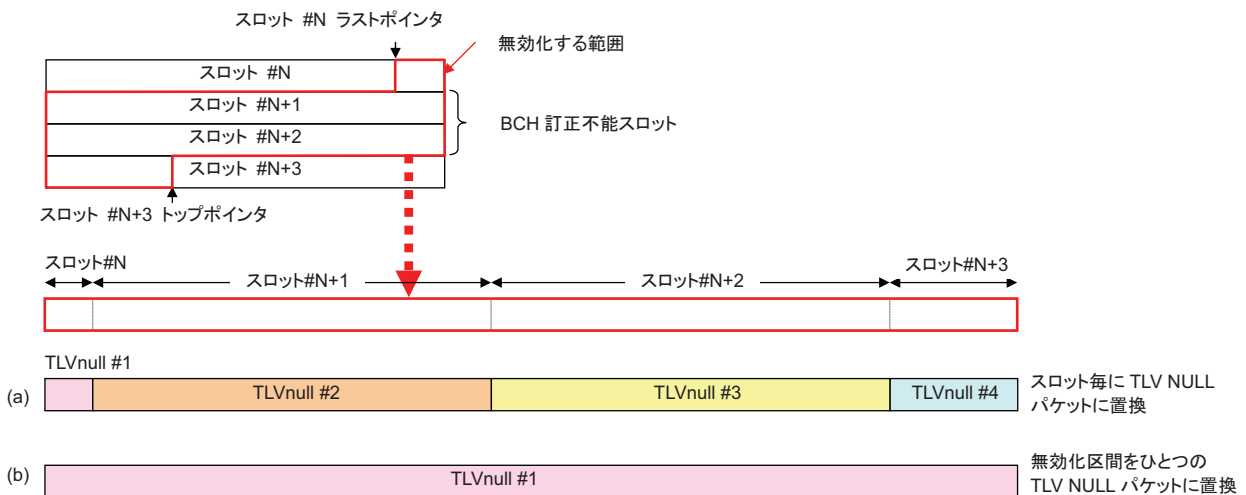


図5 無効化区間の TLV NULL パケットへの置換

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

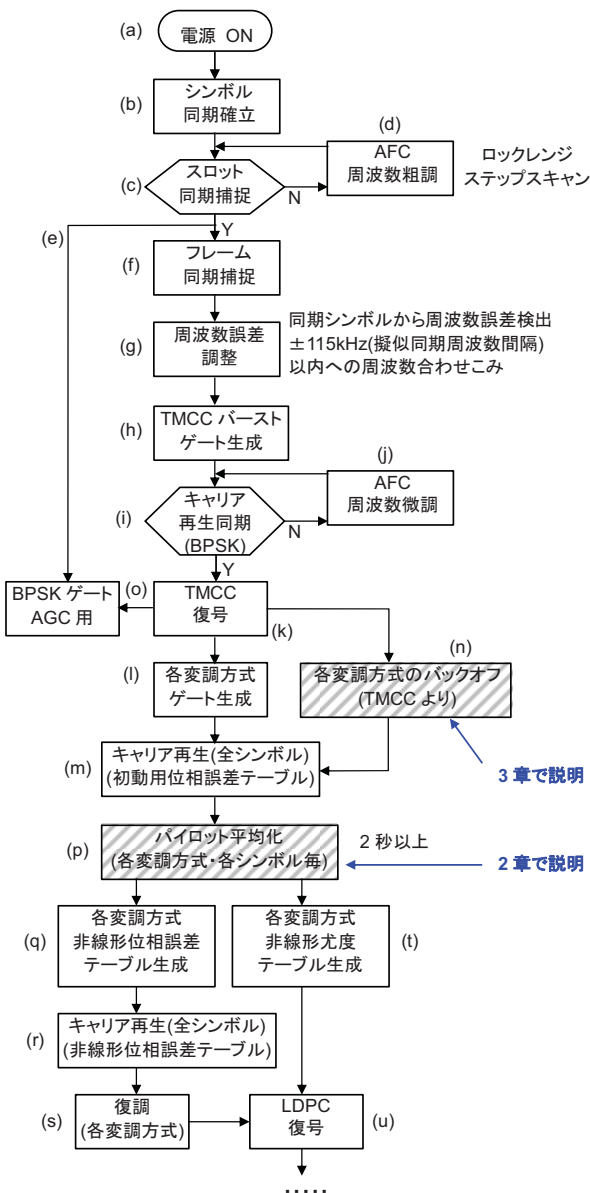


図 1 想定する受信フロー

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。

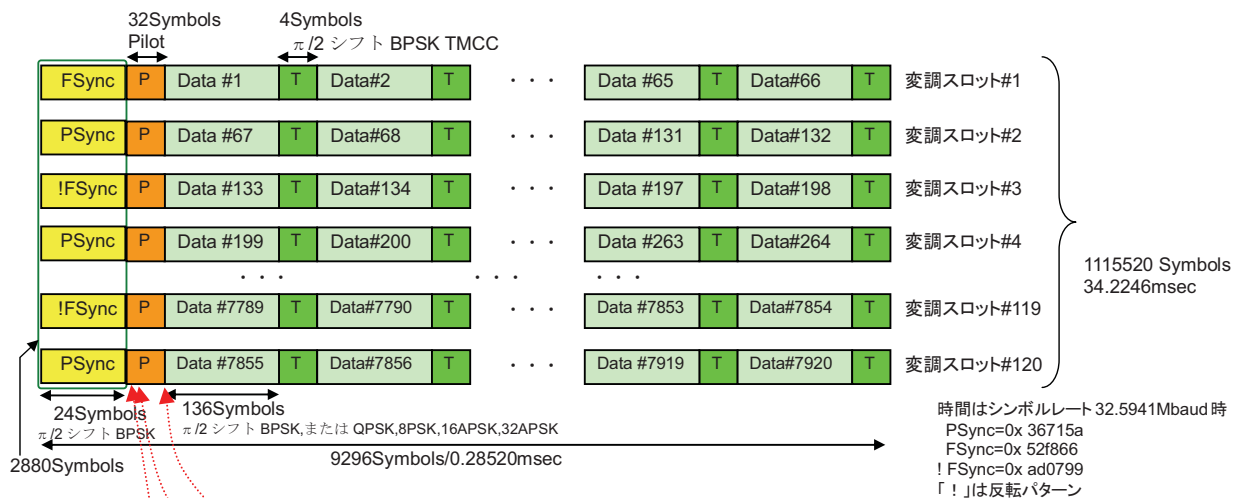


図 2 変調信号形式

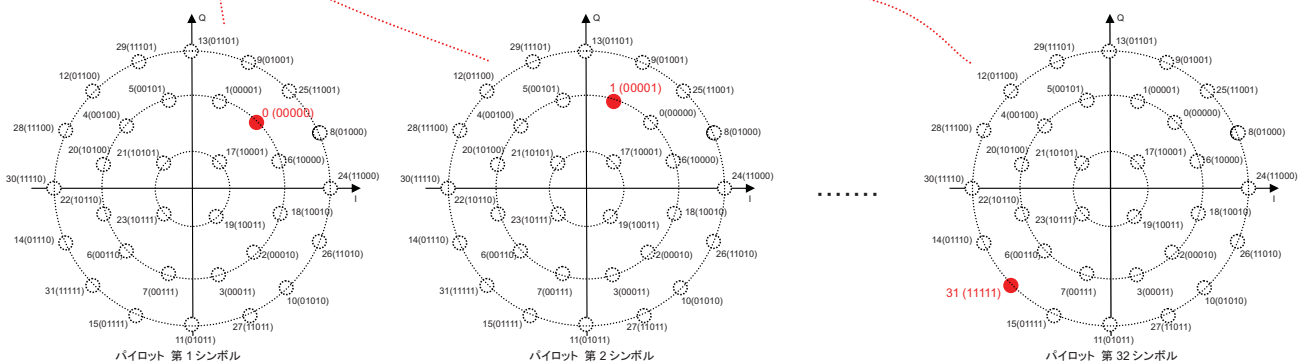
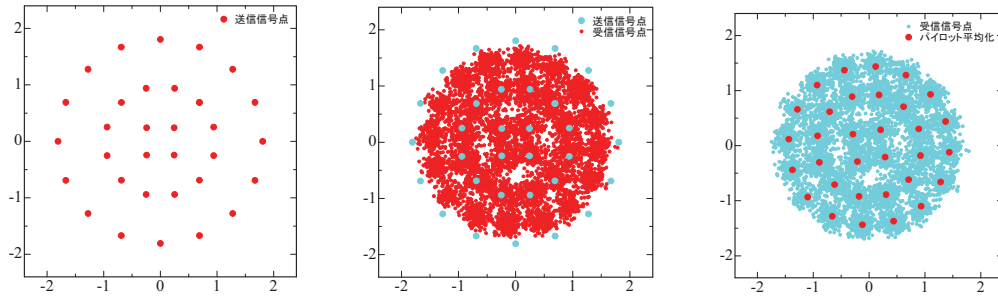


図 3 パイロットシンボルの例(32APSK)



(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。

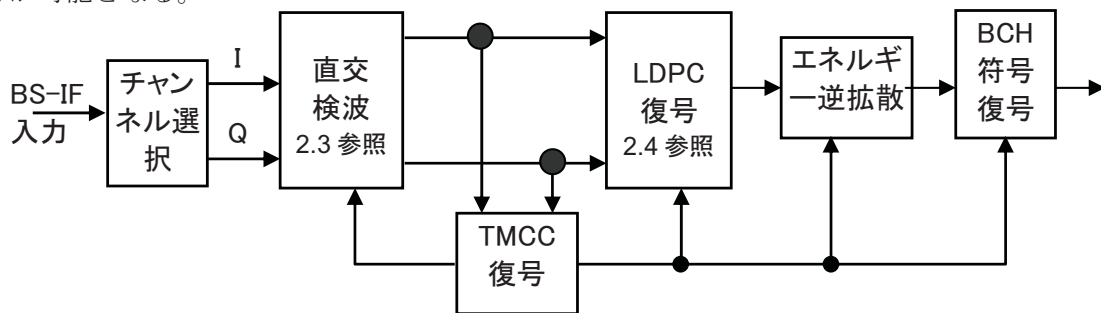


図5 受信機の構成

## 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。

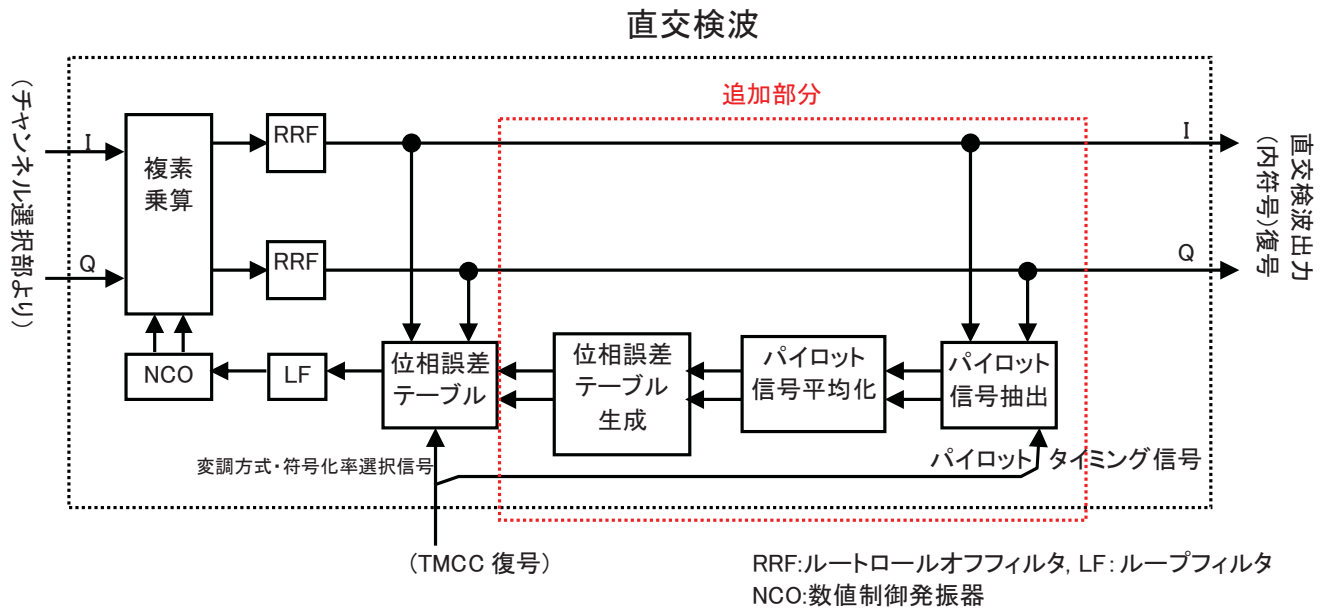


図6 パイロットによる補償を行う場合の直交検波の構成例

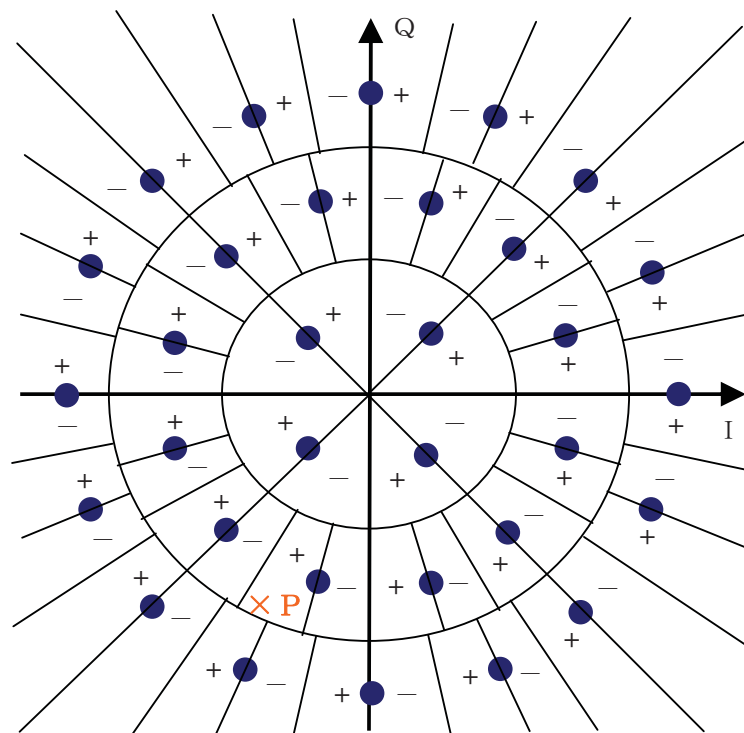


図7 位相誤差テーブルの例(32APSK)

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。

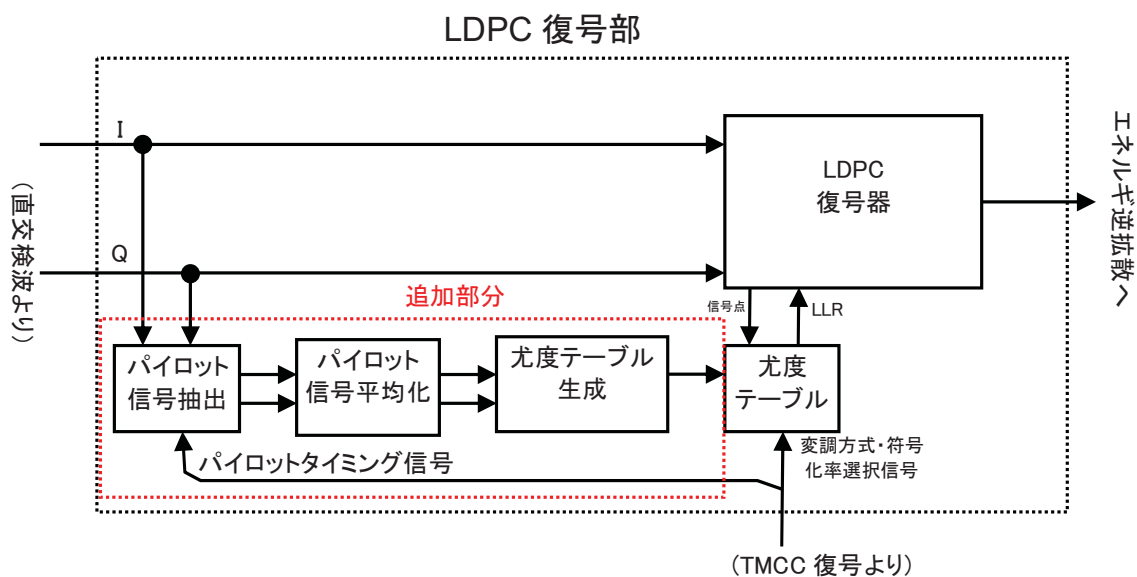


図8 パイロットによる補償を行う場合のLDPC復号の構成

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
		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	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	

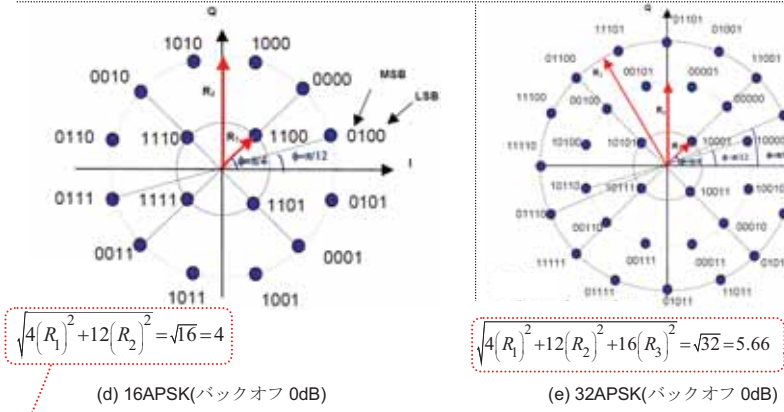
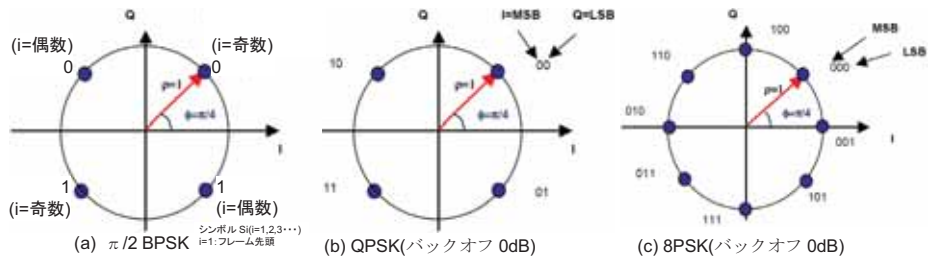
表 8 スロット割り当て規則

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

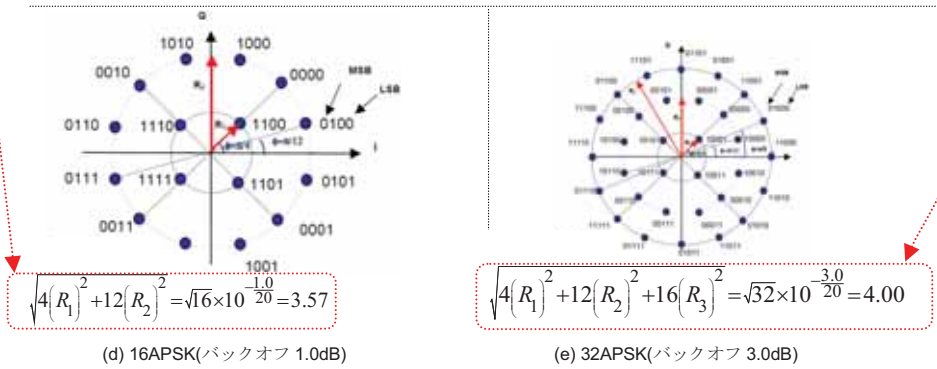
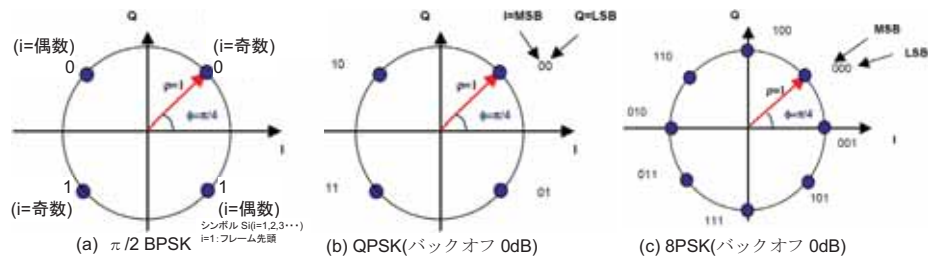
符号化率とバックオフについても、5 スロット単位での指定が可能である。ここでいうバックオフは、衛星中継器における当該変調方式の増幅動作点を指し、変調飽和増幅レベルを基準にした平均電力を dB 表示したものである。符号化率ごとにバックオフ指定ができるようにしているのは、同じ変調方式であっても、符号化率が大きいほど、大きなバックオフを必要とするからである。

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。

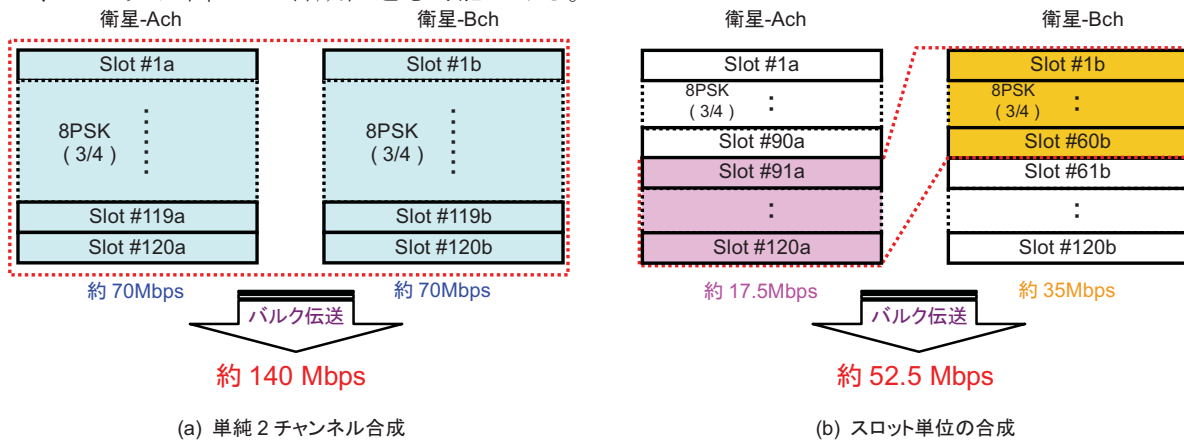


図 1 高度衛星デジタル放送のバルク伝送

### 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。

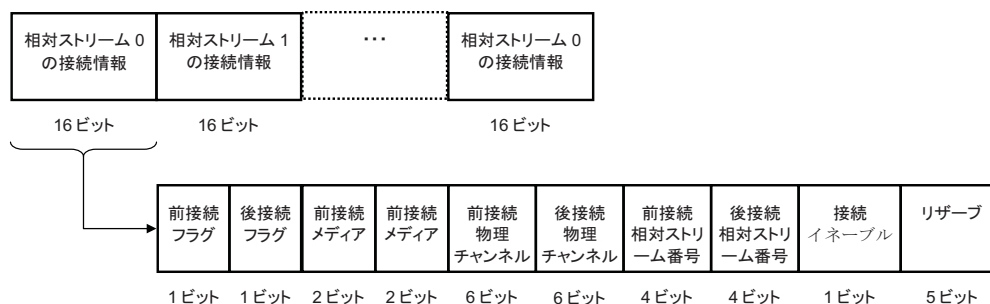


図 3 ストリーム接続／相対ストリーム情報の構成

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(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	<b>16-ary Amplitude and Phase Shift Keying</b> 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	<b>32-ary Amplitude and Phase Shift Keying</b> 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	<b>8-ary Phase Shift Keying</b> 8 相のデジタル位相変調方式。
AGC	<b>Automatic Gain Control</b> 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	<b>Automatic Level Control</b> 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	<b>Bit Error Ratio</b> ビット誤り率
BCH code	<b>Bose-Chaudhuri-Hocquenghem code</b> ランダム誤り検出/訂正用のブロック符号方式の 1 つ。
BPF	<b>Band Pass Filter</b> 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	<b>Binary Phase Shift Keying</b> 2 相のデジタル位相変調方式。
BS	<b>Broadcasting Satellite</b> 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	<b>Carrie-to-Noise power ratio</b> CN 比。搬送波電力と雑音電力の比。
DVB-S2	<b>Digital Video Broadcasting via Satellite (2nd generation)</b> DVB が策定したデジタル衛星放送・衛星素材伝送の仕様。
FEC	<b>Forward Error Correction</b> 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 .....	37
2-1-1 伝送路符号化部実験－擬似中継器実験の結果概要 .....	37
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 .....	38
2-2 実験内容 .....	40
2-2-1 実験の目的 .....	40
2-2-2 実験場所、日程 .....	40
2-2-2-1 擬似中継器実験 .....	40
2-2-2-2 衛星伝送実験 1 .....	40
2-2-2-3 衛星伝送実験 2 .....	41
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 .....	41
2-2-3 実験項目概要 .....	42
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 .....	42
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 .....	44
2-2-4 実験機材一覧 .....	47
2-2-5 実験スケジュール .....	49
2-2-6 実験系統図 .....	51
2-2-6-1 擬似中継器実験 測定系統図(1波伝送用) .....	51
2-2-6-2 擬似中継器実験 測定系統図(干渉実験用) .....	52
2-2-6-3 衛星伝送実験 測定系統図 .....	53
2-3 伝送路符号化部実験－擬似中継器実験 実験結果 .....	55
2-3-1 パイロット信号による性能改善評価 .....	55
2-3-2 シンボルレート、ロールオフ率の暫定値の選定 .....	55
2-3-2-1 伝送特性における制約条件 .....	55
2-3-2-2 多重化における制約条件 .....	56
2-3-2-3 擬似中継器による実験 .....	56
2-3-2-4 シンボルレートの検討 .....	61
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 .....	63
2-3-4 擬似中継器折返しにおける占有帯域幅測定 .....	64
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 .....	66
2-3-6 ODU挿入時におけるC/N劣化量の測定 .....	70
2-3-7 同期限界測定 .....	71
2-3-8 遅延時間測定 .....	72

付録 1 擬似中継器実験付録.....	74
付録 1-1 所要 C/N の定義.....	74
付録 1-1-1 ARIB 実証実験における取得データ .....	74
付録 1-1-2 所要 C/N の導出手法.....	75
付録 1-2 ARIB 実験で使用した ODU 性能一覧 .....	76
付録 1-3 スペクトラム写真 .....	78
付録 1-3-1 干渉実験 (3.3 節) .....	78
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) .....	80
付録 1-4 コンスタレーション写真(3.5 節).....	85
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 .....	94
付録 1-6 16/32APSK の最適 OBO 値測定について.....	109
2-4 伝送路符号化部実験－衛星伝送実験 実験結果.....	112
2-4-1 RF 実験および衛星伝送実験の主要パラメータ .....	112
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 .....	112
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.....	115
2-4-4 ODU 挿入時における C/N 劣化量の測定 .....	124
2-4-5 同期限界測定 .....	126
2-4-6 TLV 機能の動作検証.....	127
2-4-7 総合試験特性 .....	130
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) .....	130
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) ..	134
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 ..	140
付録 2 衛星伝送実験 .....	147
付録 2-1 スペクトラム写真 (4.2 節) .....	147
付録 2-2 コンスタレーション写真 (4.3、4.4 節) .....	156
付録 2-3 衛星伝送実験 C/N 対ビット誤り率特性 (4.3 節) .....	166
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) .....	181
付録 3 実験構成機器 .....	187
付録 3-1 変調器、復調器.....	187
付録 3-2 擬似中継器実験.....	188
付録 3-3 地球局特性.....	194
付録 3-4 本実験に使用した衛星の伝送特性について .....	198
付録 3-4-1 衛星概要.....	198

付録 3-4-2 チャンネル周波数 .....	199
付録 3-4-2-1 周波数変換 .....	199
付録 3-4-2-2 送信信号特性 .....	200

## 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<sup>注</sup>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)<sup>(注)</sup> 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

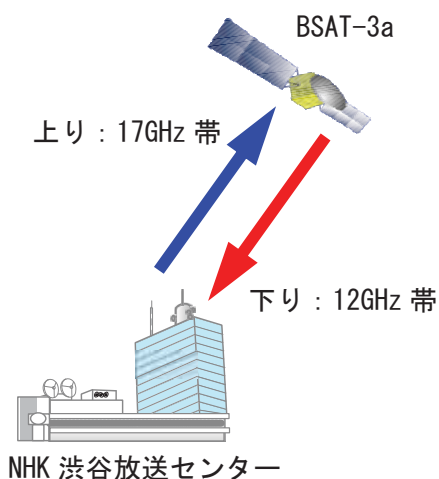
日時：

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

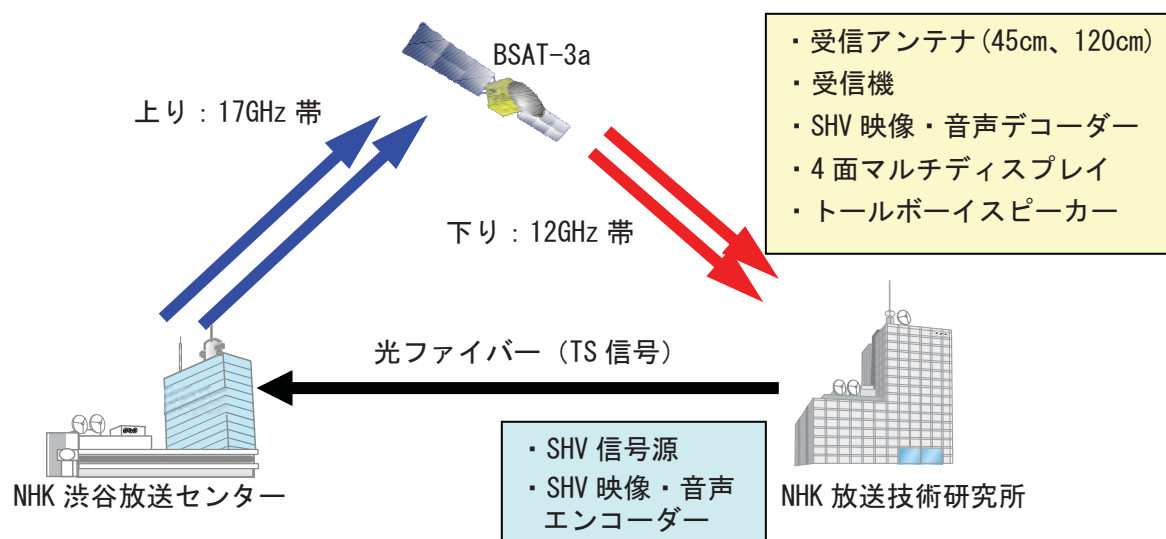
日時：2008/4/22～2008/4/24

- 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/N<sub>0</sub> 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/N<sub>0</sub> 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/N<sub>0</sub> 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/N<sub>0</sub> 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/N<sub>0</sub> 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<sup>-5</sup> 以上では観測ビット数 10<sup>9</sup> 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<sup>-2</sup> オーダー～10<sup>-8</sup> オーダー
- BER=10<sup>-4</sup> 以上における観測ビット数：10<sup>9</sup> ビット
- BER=10<sup>-4</sup> 未満かつ BER=10<sup>-5</sup> 以上における観測ビット数：5×10<sup>9</sup> ビット
- BER=10<sup>-5</sup> 以下における観測ビット数：10<sup>10</sup> 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<sup>-8</sup> オーダーである。所要 C/N は BER=10<sup>-11</sup> の C/N と定義し、上記測定結果を線形補完して BER=10<sup>-11</sup> 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 T<sub>0</sub>、MPEG-2 デコーダー出力点のタイムコードを T<sub>e</sub> とし、各種折返しにおいて、遅延時間=T<sub>0</sub>-T<sub>e</sub> 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  $\pm 4.5$ 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) の信号を伝送し、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。伝送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

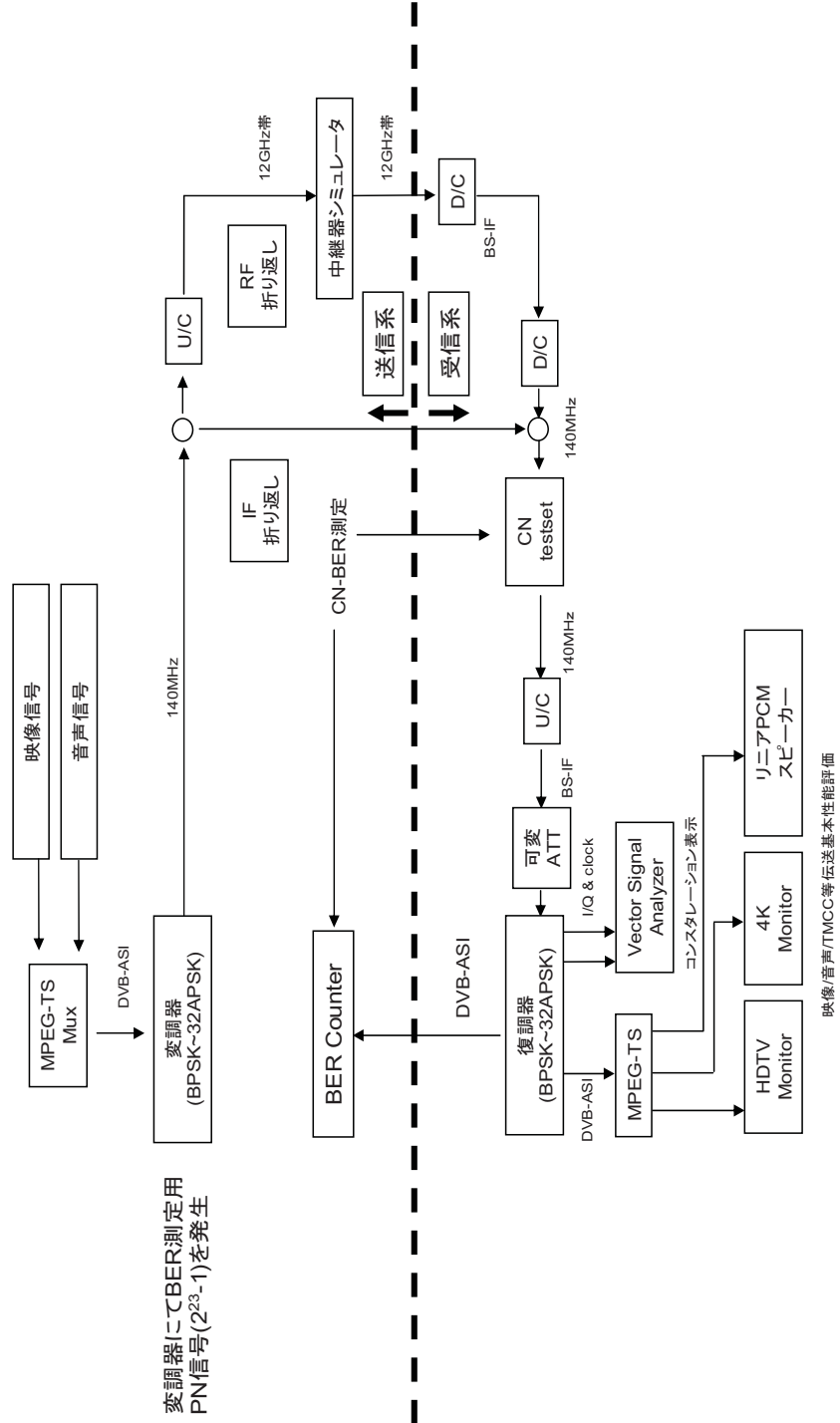
・衛星伝送実験、擬似中継器による高度衛星伝送方式デモンストラーション（場所：NHK 放送センター）

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

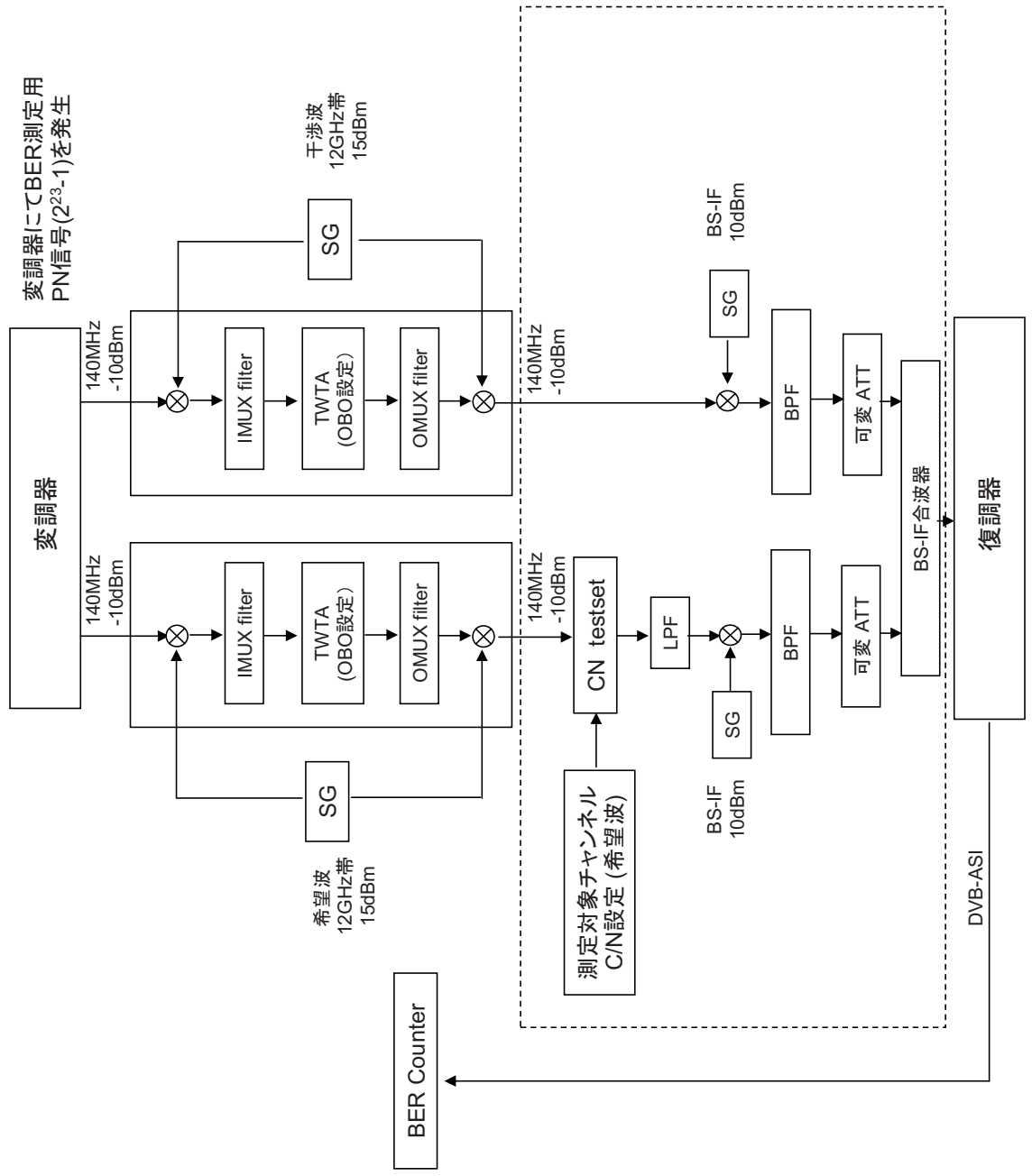
・衛星伝送追試実験（場所：NHK 放送センター、NHK 放送技術研究所 (5/15のみ)）

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	-

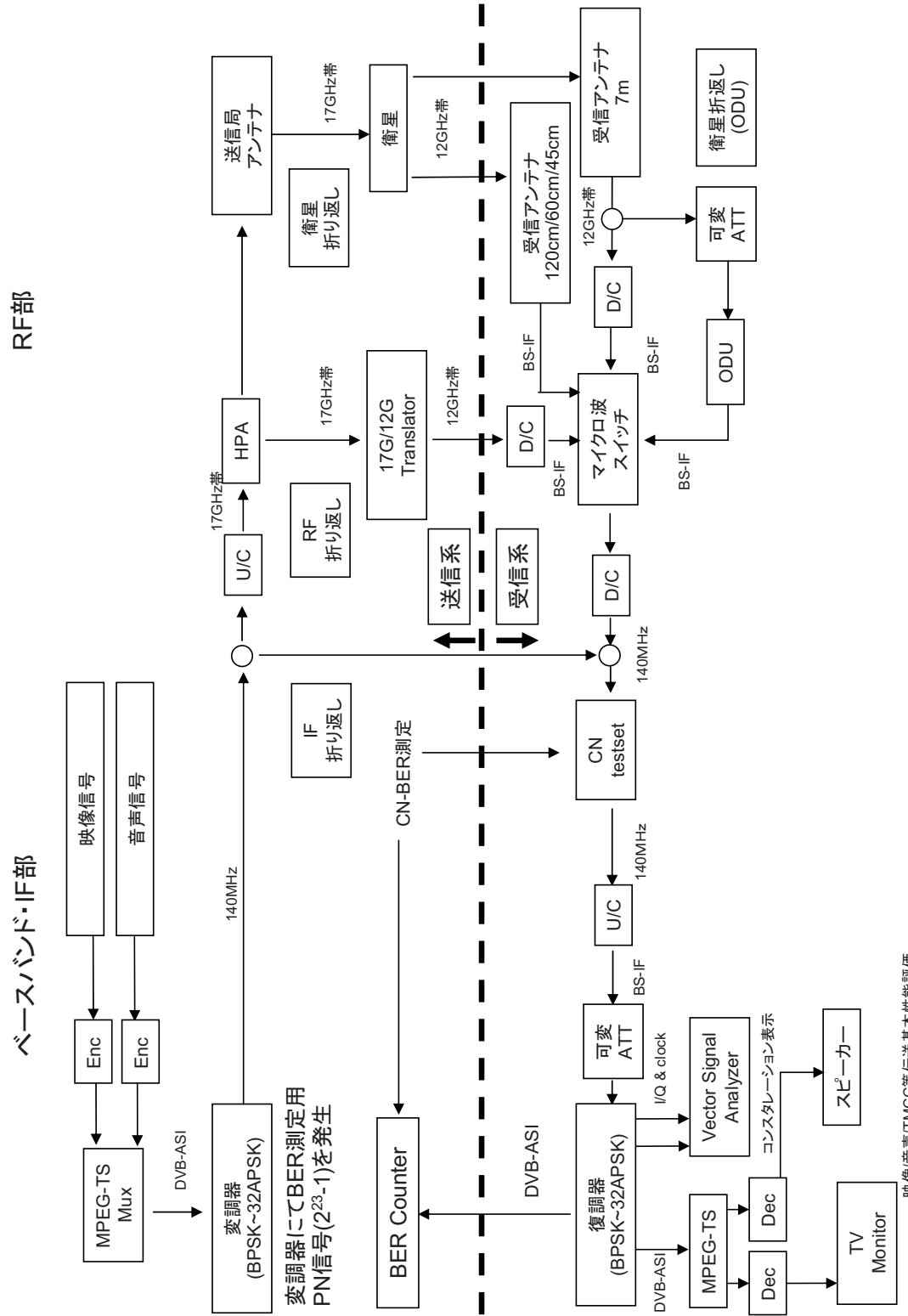
2-2-6 実験系統図  
 2-2-6-1 疑似中継器実験 測定系統図 (1 波伝送用)



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
- ・ OBO : 3.5dB
- ・ ODU 位相雑音 :  $-81.25\text{dBc/Hz}$  (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  $\alpha$  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/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/No 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/No 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/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 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/No 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=-2.6dB、ロック C/N=-2.8dB

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

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

○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)

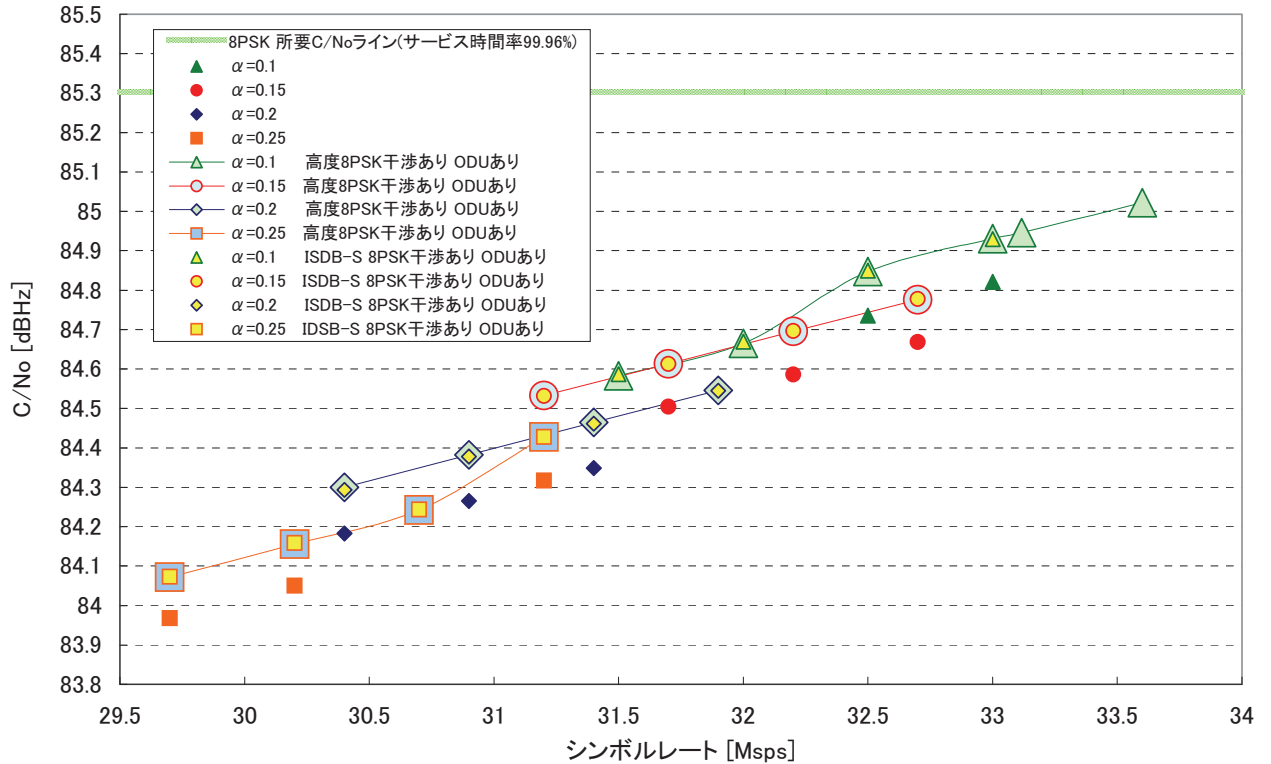


図 1 擬似中継器実験結果 (8PSK)

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)

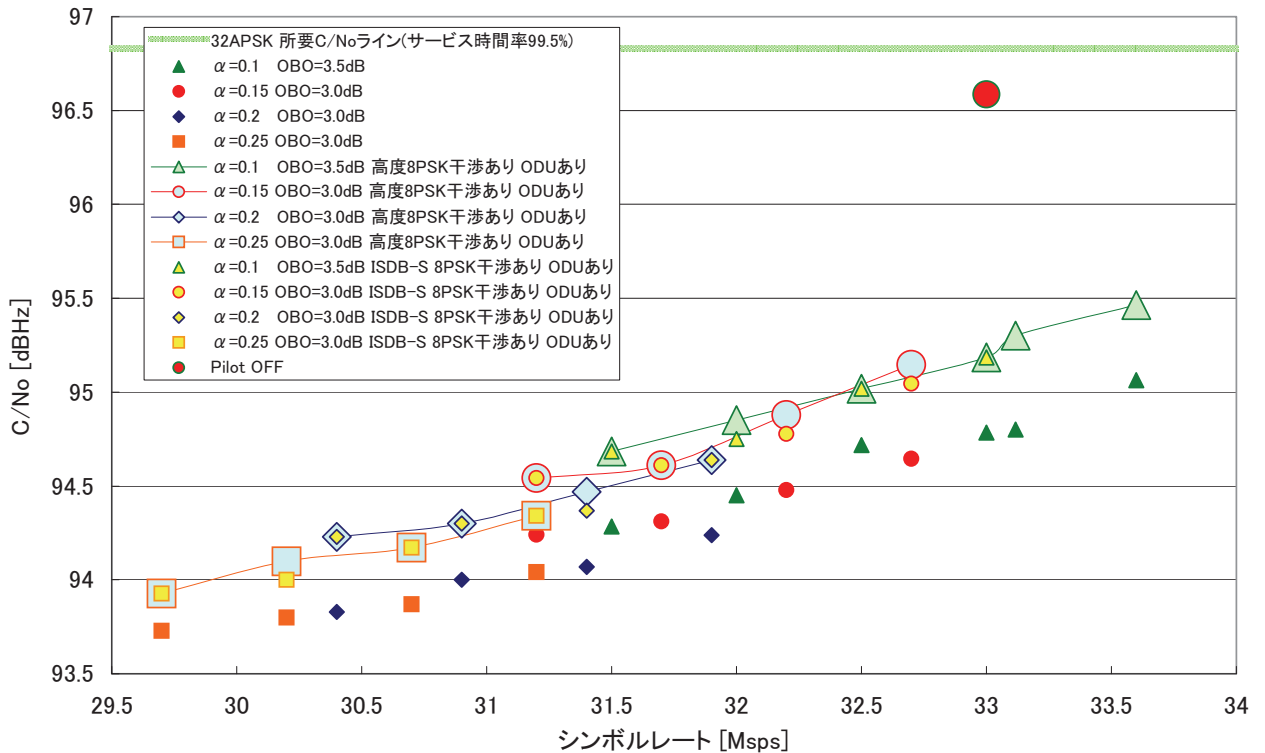


図 2 擬似中継器実験結果 (32APSK)

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、 $34860 \times 5$ の倍数で、 $32.68 \times 10^6$ 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	OB0	擬似中継器 折返し+OB0 ④	擬似中継器 所要 C./N+OB0 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	OB0	擬似中継器 折返し+OB0 ④	擬似中継器 所要 C./N+OB0 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

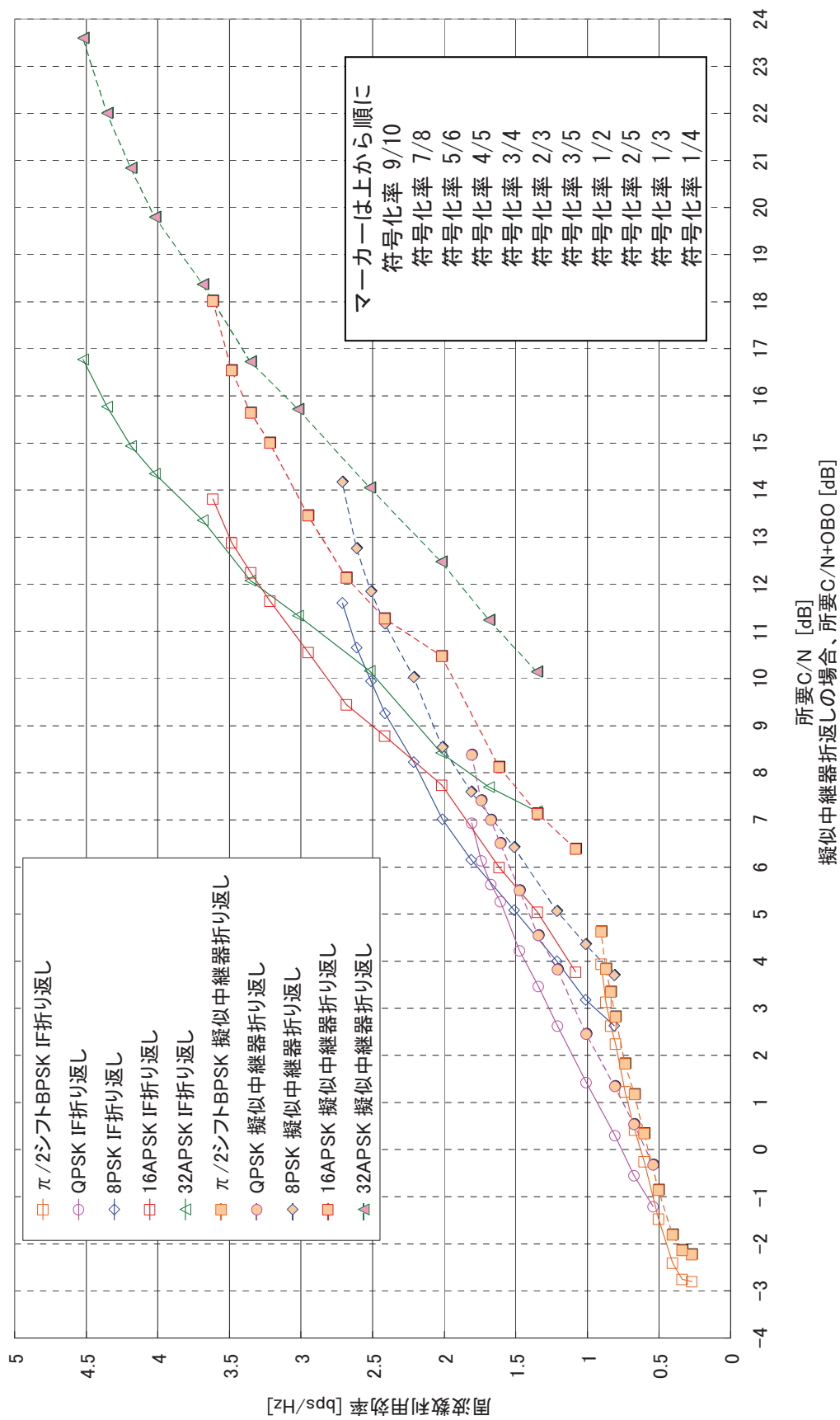


図 3 : I F 折返し / 擬似中継器折返し 所要 C/N 対周波数利用率

### 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。

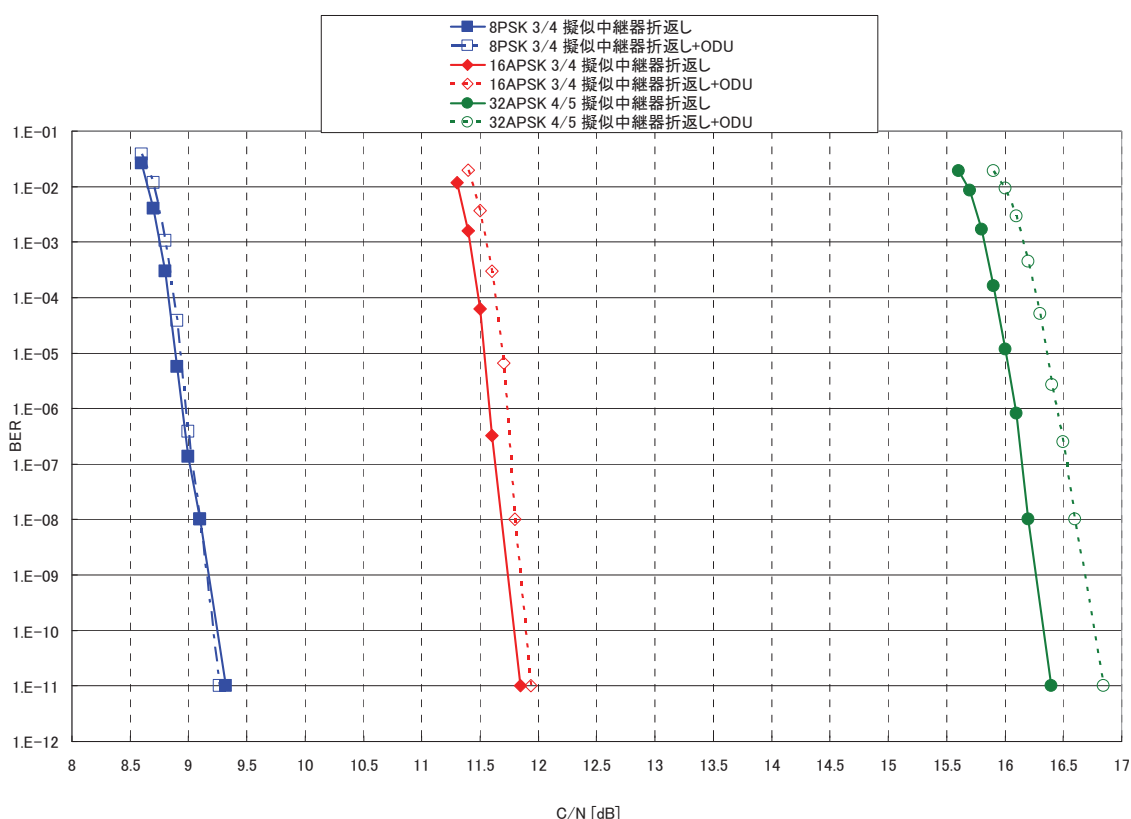


図4：ODU 挿入時の 8PSK 3/4 16APSK 3/4 32APSK 4/5  
擬似中継器折返し C/N 対ビット誤り率

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

## 擬似中継器実験 付録

## 付録 1：擬似中継器実験付録

### 付録 1-1：所要 C/N の定義

#### 付録 1-1-1：ARIB 実証実験における取得データ

ARIB 実証実験においては、 $10^{10}$  ビットのデータに対する、誤りビット数を計測することで、ビット誤り率(BER)を測定した。C/N 設定を小から大に 0.1dB ステップで BER を取得し、BER が 0 になった C/N を、擬似エラーフリーとして、測定を終了した。また BER が非零で最小のデータが  $10^{-7}$  台以上の場合、擬似エラーフリーとなる C/N に対応する BER として、 $1 \times 10^{-8}$  を補った。これは、 $10^{-7}$  台の BER であればビット誤りが観測される可能性が非常に高いと予想されるため、 $1 \times 10^{-8}$  である可能性が高いためである。

こうして得られた C/N 対 BER 特性の最も典型的なパターンは、図 6(a1)または(a2)のようなデータであった。ここで、(a1)では  $10^{-8}$  台のデータが取得できているので、エラーフリー C/N の BER に  $10^{-8}$  を補っていないが、(a2)では  $10^{-8}$  台のデータが取得できていないので、エラーフリー C/N の BER に  $10^{-8}$  を補っている。しかし、中には、LDPC 符号の急峻なウォーターフォール特性のため、図 6(b)のように測定点が  $10^{-2}$  台と  $10^{-4}$  台の 2 ポイントしか測定できないものも含まれている(例. BPSK 2/5 など)。一方、多値変調方式と、低符号化率 LDPC の組み合わせについては、図 6(c)のように、ウォーターフォール特性が緩やかになる(例. 32APSK 1/4 など)。

こうしたデータから、一般に所要 C/N の定義に使われることの多い、BER= $10^{-11}$  を満たす C/N 値を求める必要がある。

そこで、本実証実験においては、以下に述べる手法により所要 C/N を求めることとした。

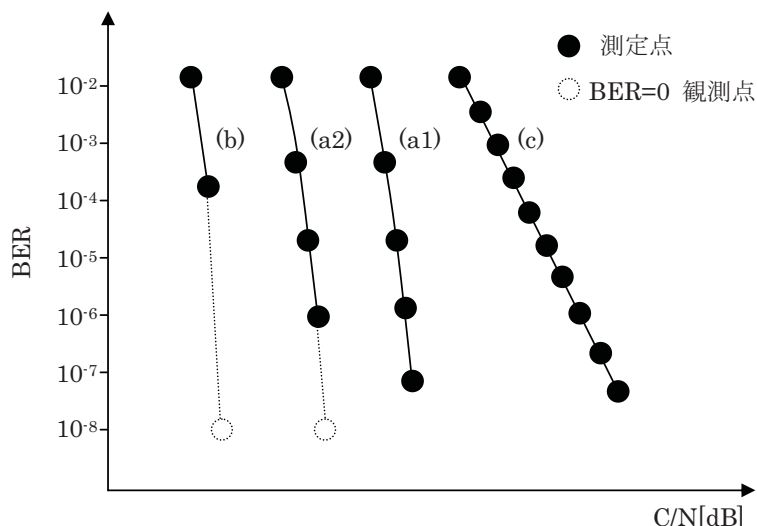


図 6 取得データのパターン

### 付録 1-1-2 : 所要 C/N の導出手法

図 7 に示すように、C/N の高い方から 3 点のサンプル(P<sub>1</sub>、P<sub>2</sub>、P<sub>3</sub>)を使い、BER=10<sup>-11</sup> に対応する C/N を計算でもとめ、外挿を行った。具体的には、P<sub>1</sub>~P<sub>2</sub>間の勾配および P<sub>2</sub>~P<sub>3</sub>間の勾配の平均値を勾配とし、P<sub>3</sub>を始点とする直線が BER=10<sup>-11</sup> と交差する点を P<sub>4</sub>とし、P<sub>4</sub>に対応する C/N を所要 C/N とした。

ここで、各点の CN、BER を、P<sub>1</sub>(CN<sub>1</sub>、BER<sub>1</sub>)、P<sub>2</sub>(CN<sub>2</sub>、BER<sub>2</sub>)、P<sub>3</sub>(CN<sub>3</sub>、BER<sub>3</sub>)、P<sub>4</sub>(CN<sub>4</sub>、10<sup>-11</sup>)、とおくと、所要 C/N は次式で求まる。

$$\text{所要 } C/N = CN_4 = 2 \cdot \frac{\log(10^{-11}) - \log(BER_3)}{\frac{\log(BER_2) - \log(BER_1)}{CN_2 - CN_1} + \frac{\log(BER_3) - \log(BER_2)}{CN_3 - CN_2}} + CN_3$$

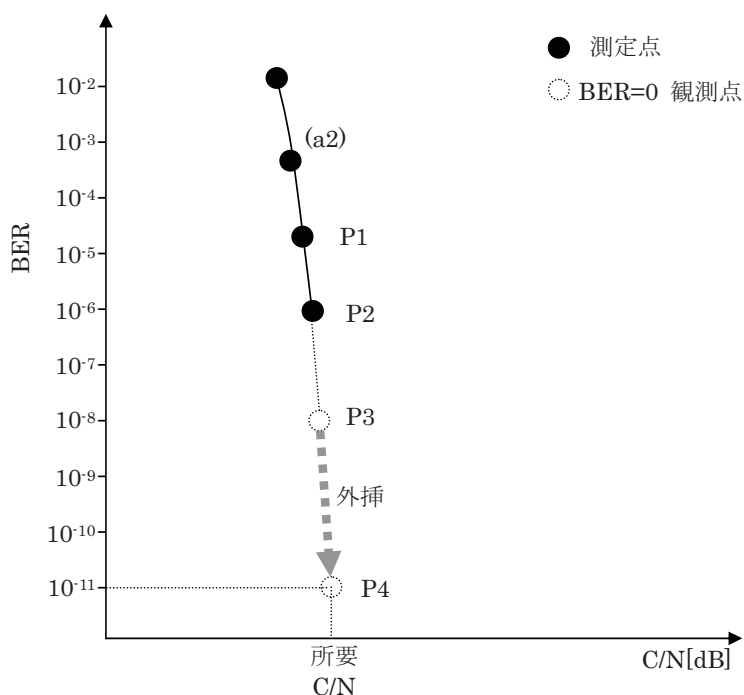


図 7 データの外挿による所要 C/N の導出

## 付録 1-2 : 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 8-A~H 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。

表 25 位相雑音特性一覧

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

図 8-A : 位相雑音特性

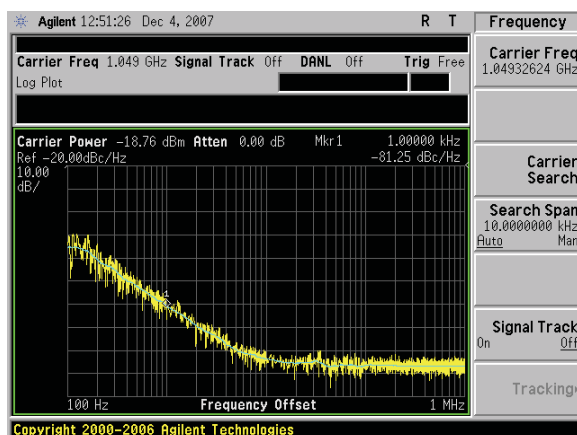


図 8-B : 位相雑音特性

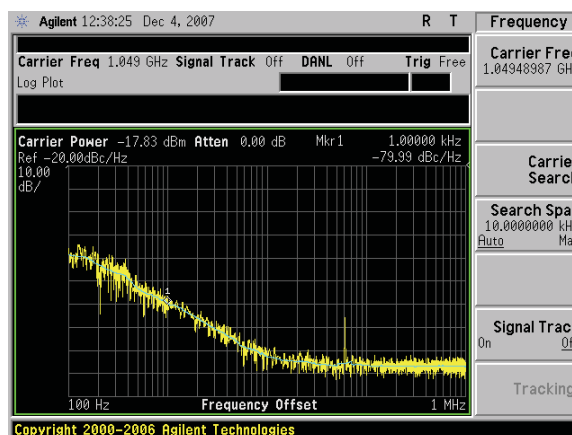


図 8-C : 位相雑音特性

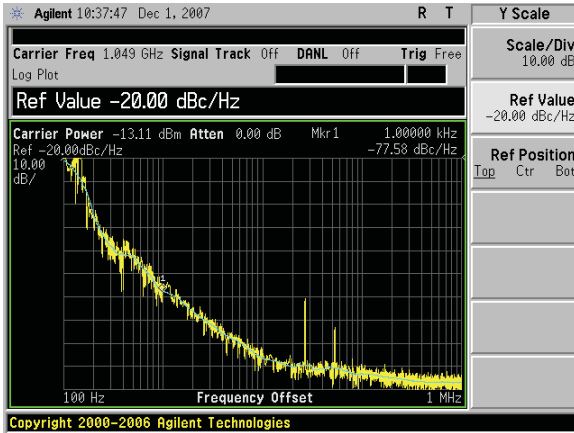


図 8-D : 位相雑音特性

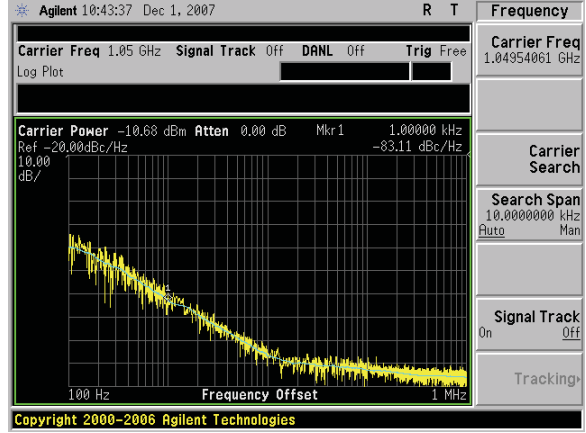


図 8-E : 位相雑音特性

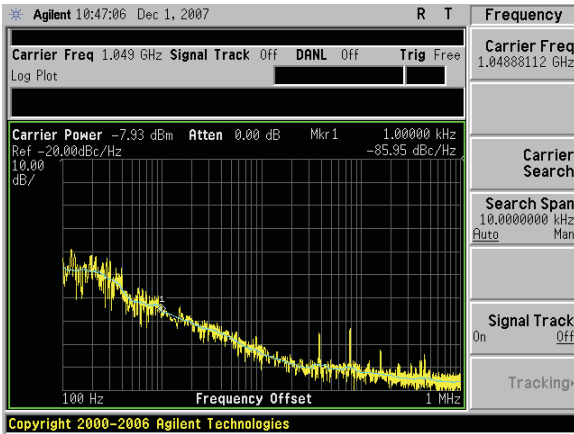


図 8-F : 位相雑音特性

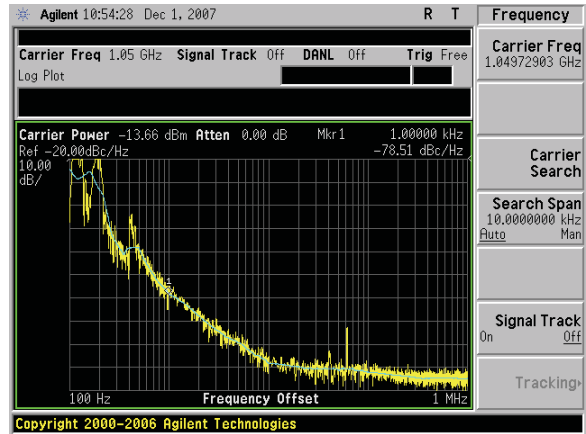


図 8-G : 位相雑音特性

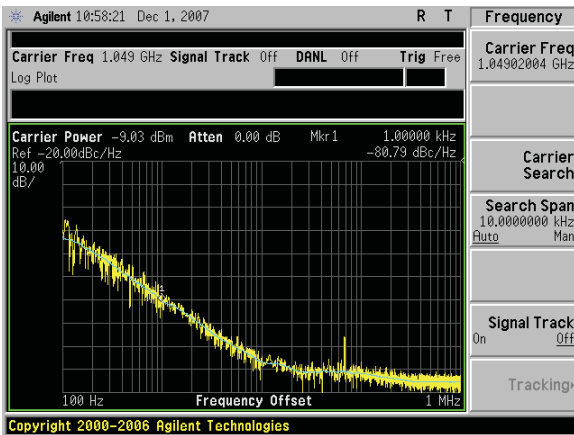
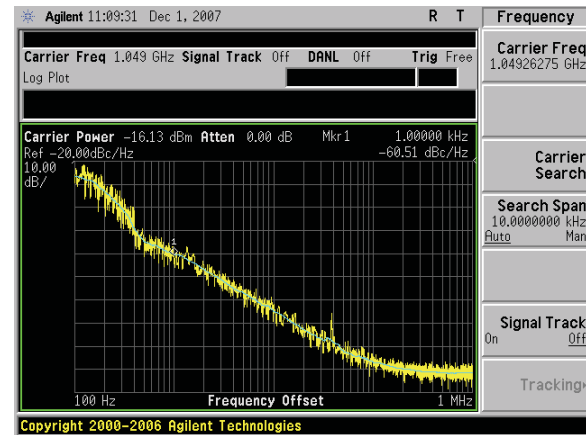


図 8-H (同波管接続) : 位相雑音特性



付録 1-3 : スペクトラム写真  
 付録 1-3-1 : 干渉実験 (3.3 節)



写真 1-1.

与干渉 32APSK(15ch) ⇒ 被干渉 32APSK(17ch)

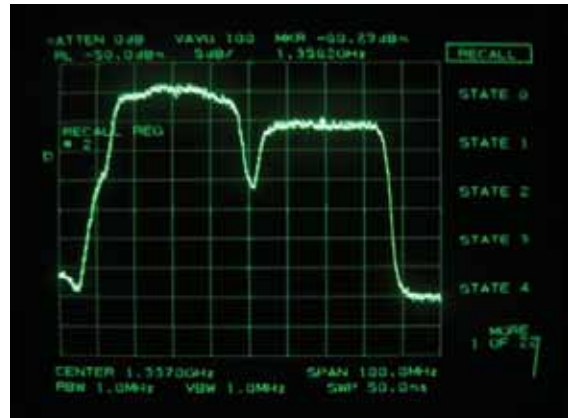


写真 1-4

与干渉 8PSK(15ch) ⇒ 被干渉 32APSK(17ch)



写真 1-2

与干渉 16APSK(15ch) ⇒ 被干渉 32APSK(17ch)



写真 1-5

与干渉 8PSK(15ch) ⇒ 被干渉 16APSK(17ch)

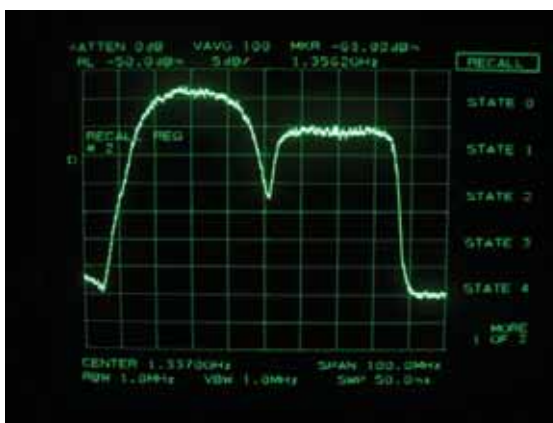


写真 1-3

(与干渉 ISDB-S(15ch) ⇒ 被干渉 32APSK(17ch))



写真 1-6

与干渉 8PSK(15ch) ⇒ 被干渉 8PSK(17ch)



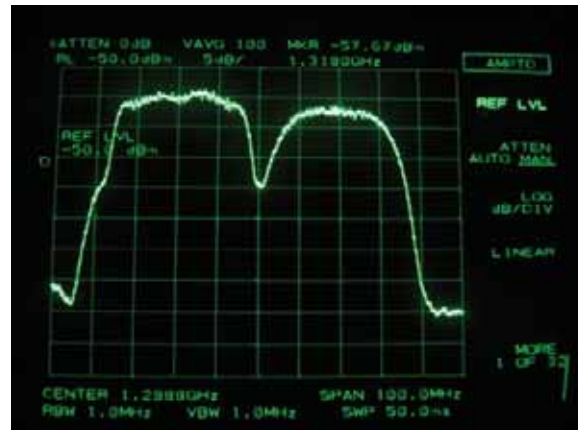


写真 1-7

与干涉 8PSK (15ch) ⇒ 被干涉 ISDB-S 8PSK (17ch)

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)

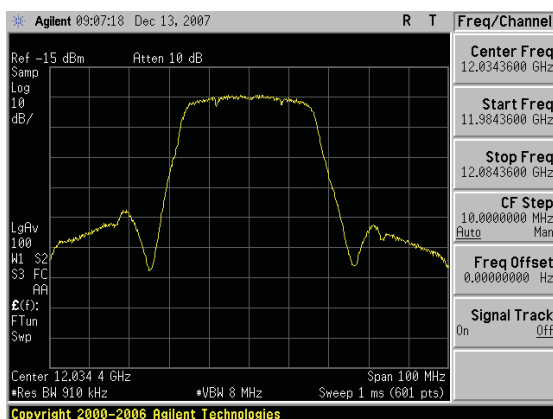


写真 2-1 BPSK(1/2) 擬似中継器後のスペクトル(占有帯域幅=33.4MHz)

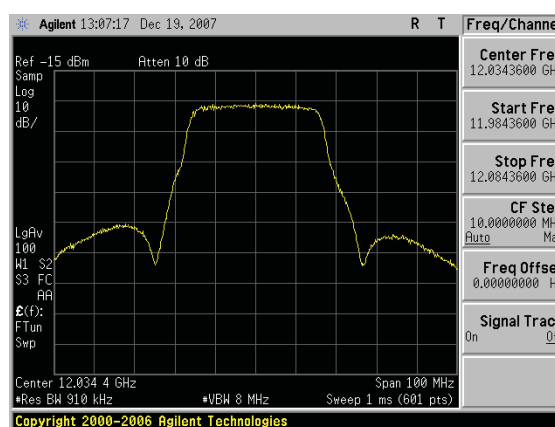


写真 2-4 16APSK(1/2) 擬似中継器後のスペクトル(占有帯域幅=33.2MHz)

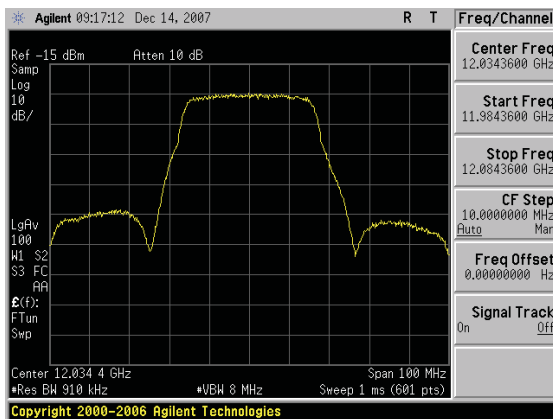


写真 2-2 QPSK(3/4) 擬似中継器後のスペクトル(占有帯域幅=33.5MHz)

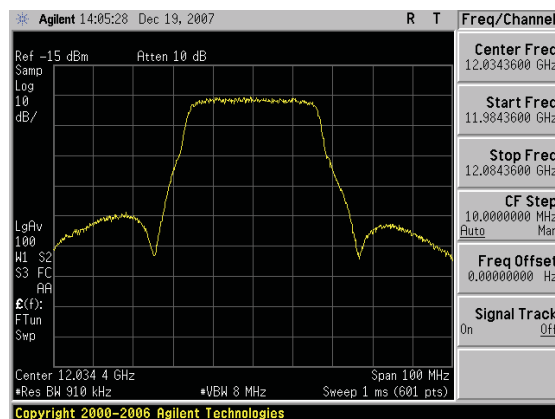


写真 2-5 16APSK(1/3) 擬似中継器後のスペクトル(占有帯域幅=33.3MHz)

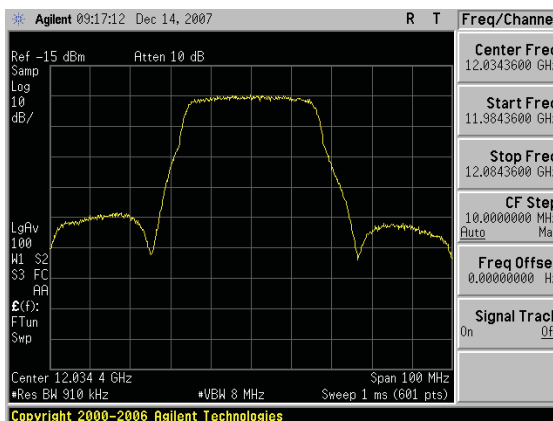


写真 2-3 8PSK(3/4) 擬似中継器後のスペクトル(占有帯域幅=33.5MHz)

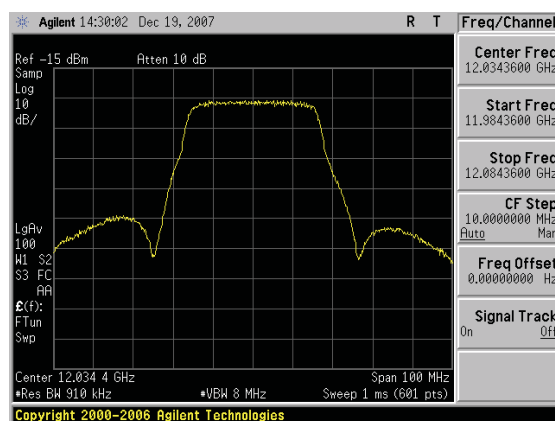


写真 2-6 16APSK(1/4) 擬似中継器後のスペクトル(占有帯域幅=33.3MHz)

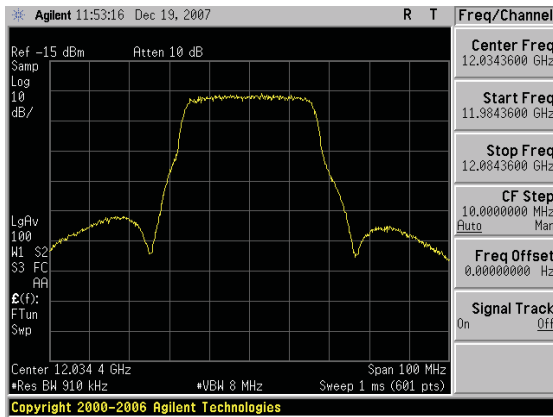


写真 2-7 16APSK (2/3) 擬似中継器後のスペクトル(占有帯域幅=33.1MHz)

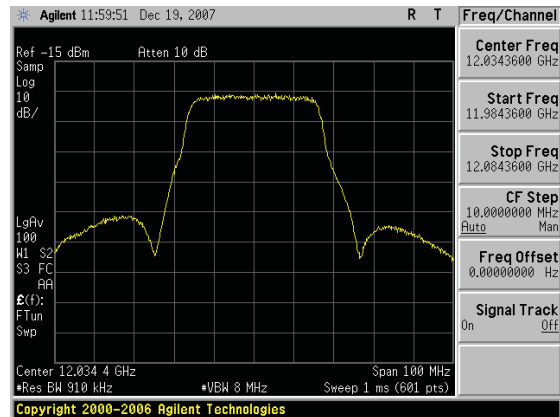


写真 2-9 16APSK (3/5) 擬似中継器後のスペクトル(占有帯域幅=33.2MHz)

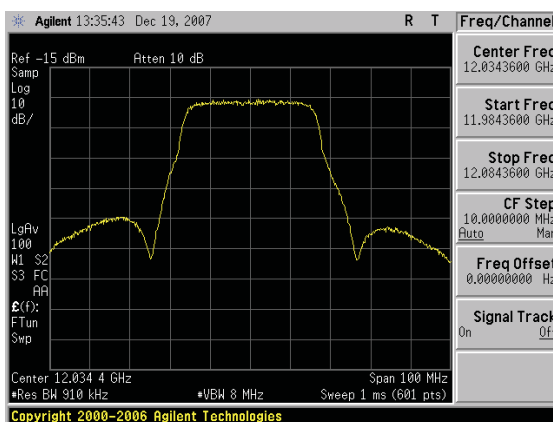


写真 2-8 16APSK (2/5) 擬似中継器後のスペクトル(占有帯域幅=33.4MHz)

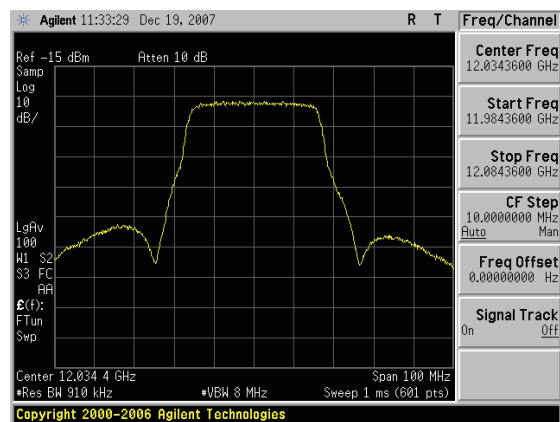


写真 2-10 16APSK (4/5) 擬似中継器後のスペクトル(占有帯域幅=33.2MHz)

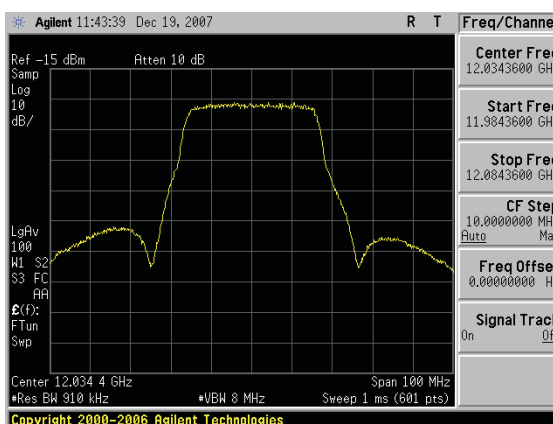


写真 2-9 16APSK (3/4) 擬似中継器後のスペクトル(占有帯域幅=33.2MHz)

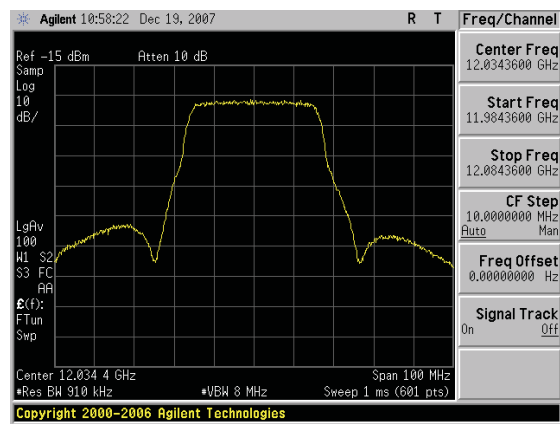


写真 2-11 16APSK (5/6) 擬似中継器後のスペクトル(占有帯域幅=33.2MHz)

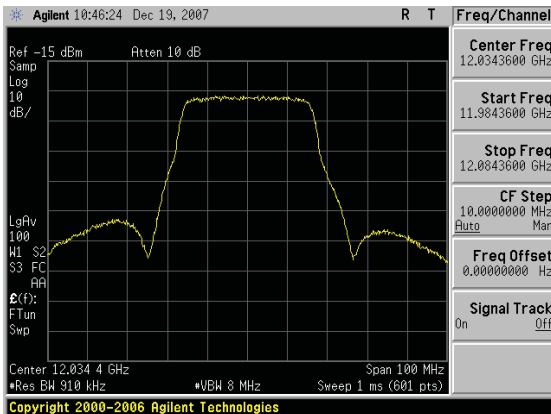


写真 2-12 16APSK (7/8) 擬似中継器後のスペクトル(占有帯域幅=33.2MHz)

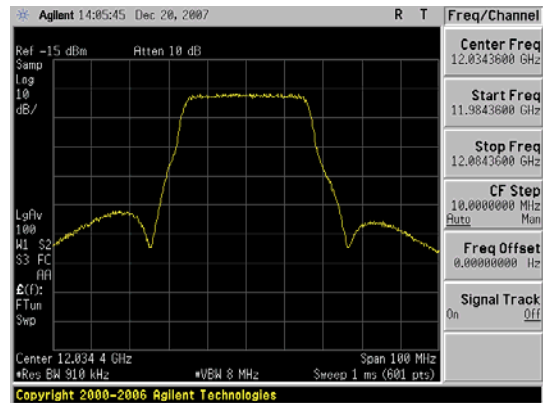


写真 2-15 32APSK (1/3) 擬似中継器後のスペクトル(占有帯域幅=33.2MHz)

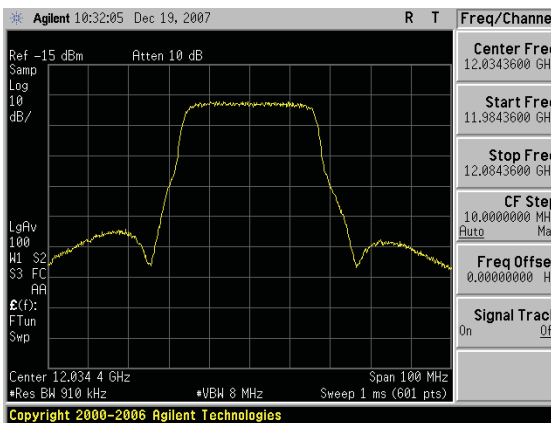


写真 2-13 16APSK (9/10) 擬似中継器後のスペクトル(占有帯域幅=33.1MHz)

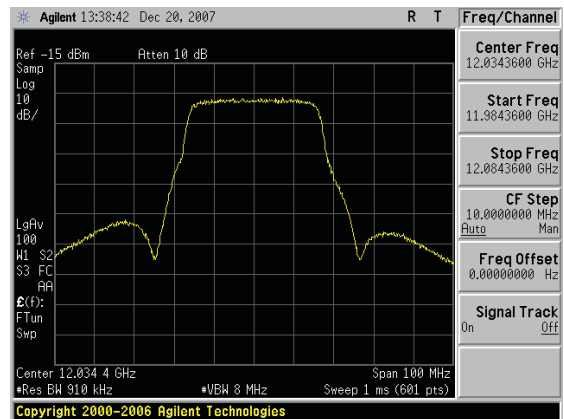


写真 2-16 32APSK (2/5) 擬似中継器後のスペクトル(占有帯域幅=33.2MHz)

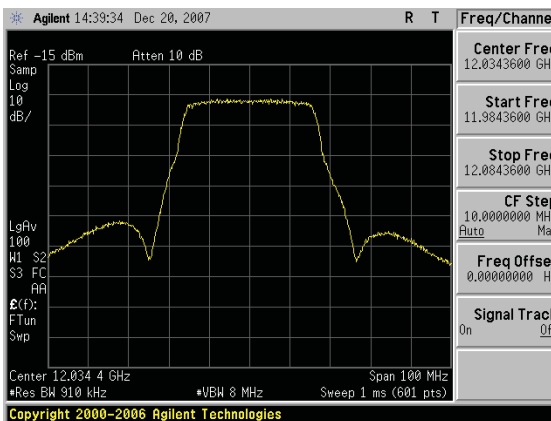


写真 2-14 32APSK (1/4) 擬似中継器後のスペクトル(占有帯域幅=33.2MHz)

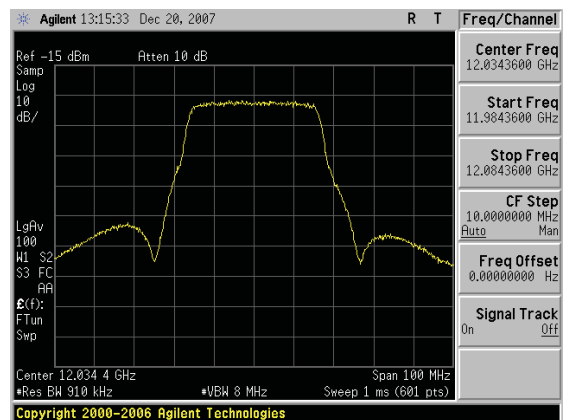


写真 2-17 32APSK (1/2) 擬似中継器後のスペクトル(占有帯域幅=33.2MHz)

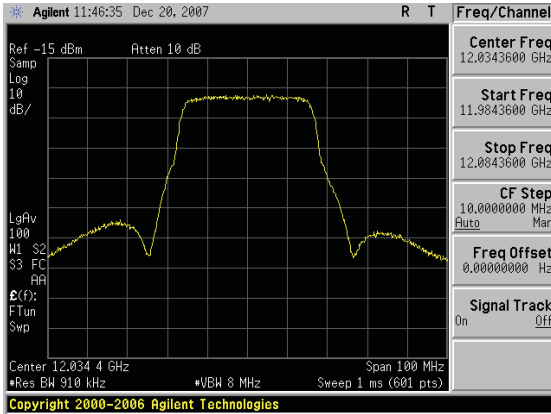


写真 2-18 32APSK (3/5) 擬似中継器後のスペクトル(占有帯域幅=33.1MHz)

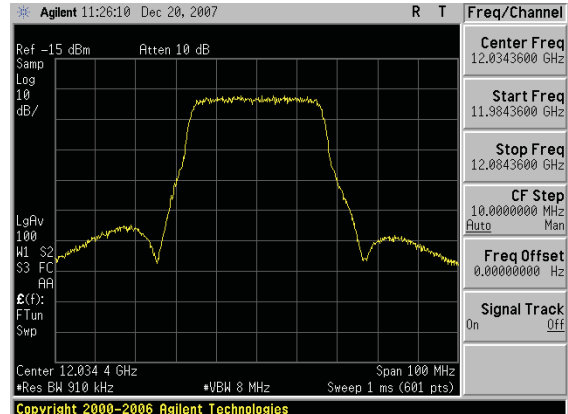


写真 2-20 32APSK (3/4) 擬似中継器後のスペクトル(占有帯域幅=33.1MHz)

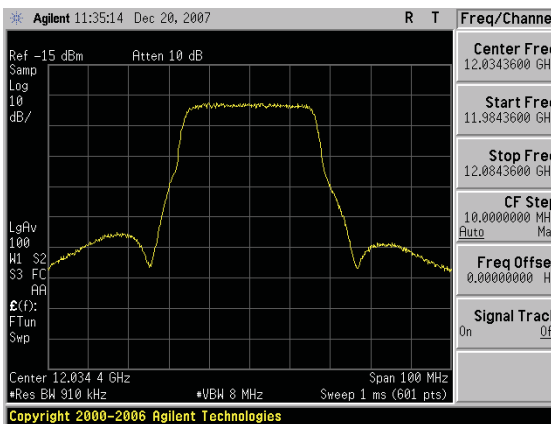


写真 2-19 32APSK (2/3) 擬似中継器後のスペクトル(占有帯域幅=33.0MHz)

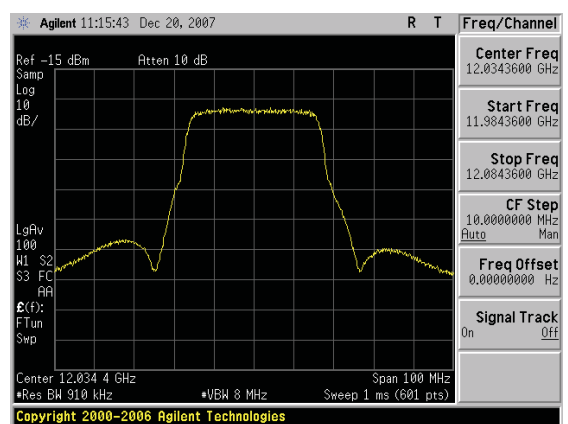


写真 2-21 32APSK (4/5) 擬似中継器後のスペクトル(占有帯域幅=33.1MHz)

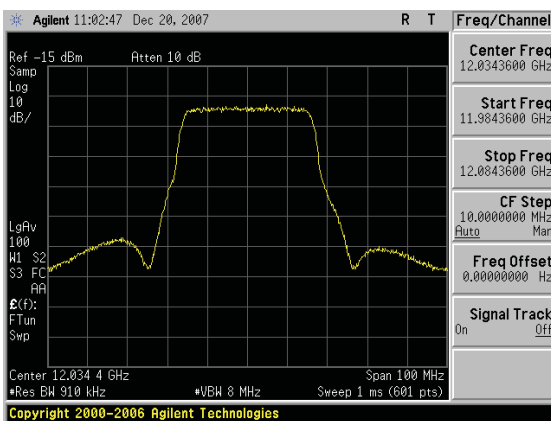


写真 2-22 32APSK (5/6) 擬似中継器後のスペクトル(占有帯域幅=33.0MHz)

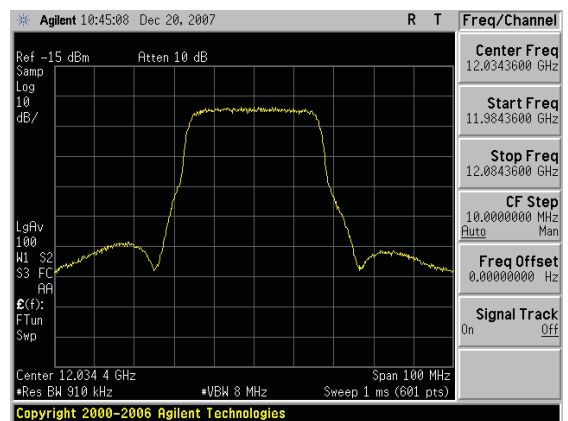


写真 2-23 32APSK (7/8) 擬似中継器後のスペクトル(占有帯域幅=32.9MHz)

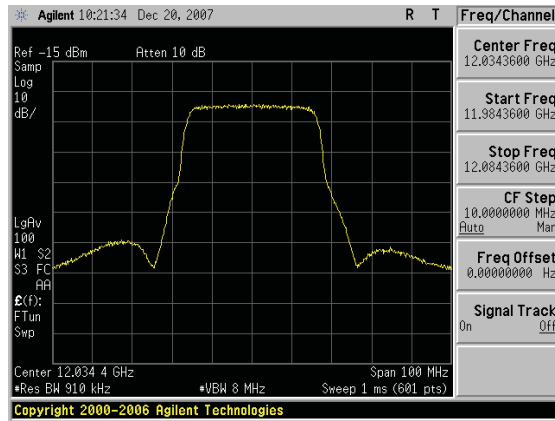


写真 2-24 32APSK (9/10) 擬似中継器後のスペクトル(占有帯域幅=33.0MHz)

付録 1-4 : コンスタレーション写真(3.5 節)

・  $\pi/2$  シフト BPSK

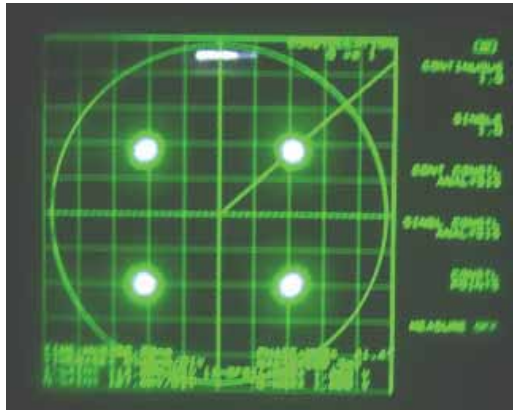


写真 3-1 BPSK IF 折返し  
のコンスタレーション

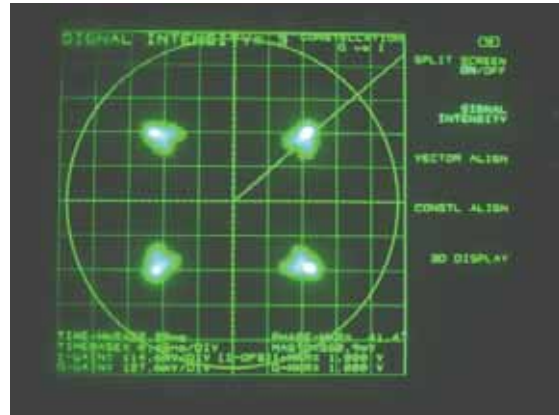


写真 3-2 BPSK 擬似中継器  
折返しのコンスタレーション

・ QPSK

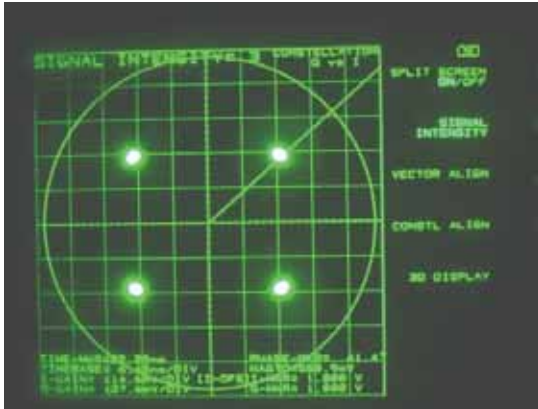


写真 4-1 QPSK IF 折返し  
のコンスタレーション



写真 3-5 QPSK 擬似中継器  
折返しのコンスタレーション

・ 8PSK

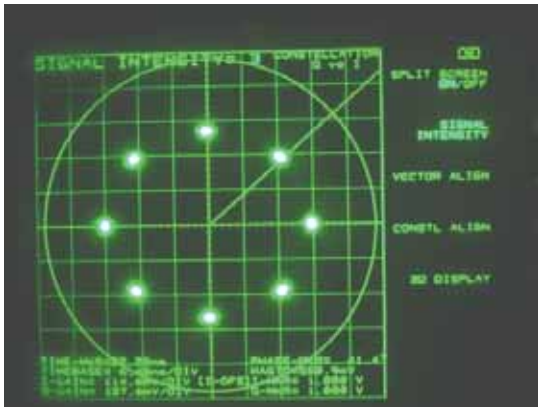


写真 5-1 8PSK IF 折返し  
のコンスタレーション



写真 5-2 8PSK 擬似中継器  
折返しのコンスタレーション

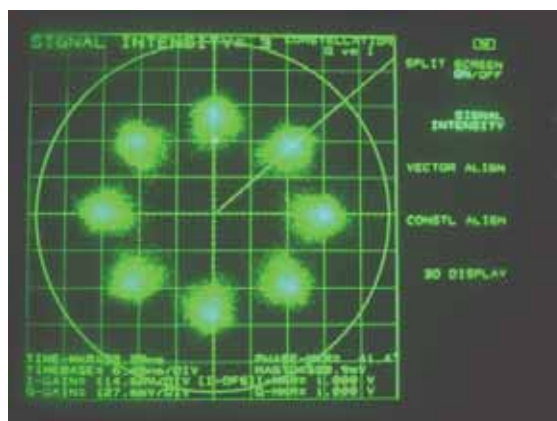


写真 5-3 8PSK 擬似中継器折返しのコスタレーション(ODU あり)

・ 16APSK



写真 6-1-1 16APSK(1/4) IF 折返しの  
コスタレーション

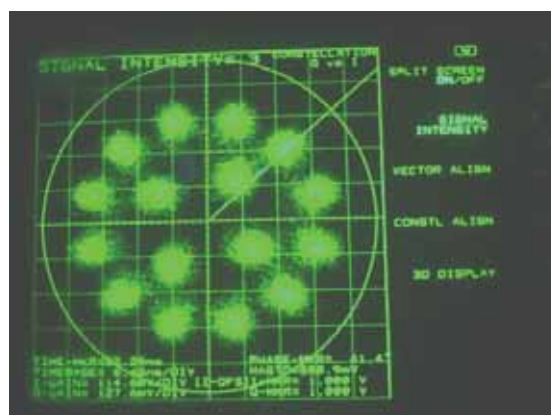


写真 6-1-2 16APSK(1/4) 擬似中継器  
折返しのコスタレーション



写真 6-2-1 16APSK(1/3) IF 折返しの  
コスタレーション



写真 6-2-2 16APSK(1/3) 擬似中継器  
折返しのコスタレーション



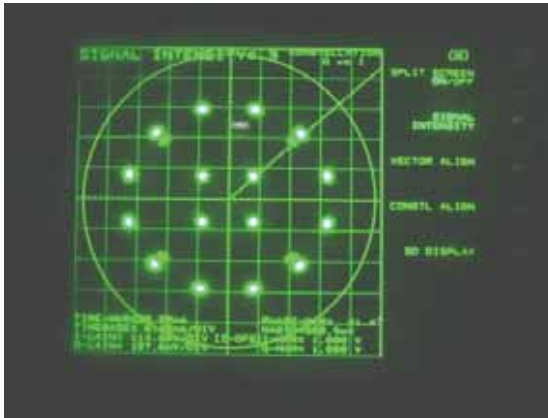


写真 6-3-1 16APSK(2/5) IF 折返しの  
コンスタレーション

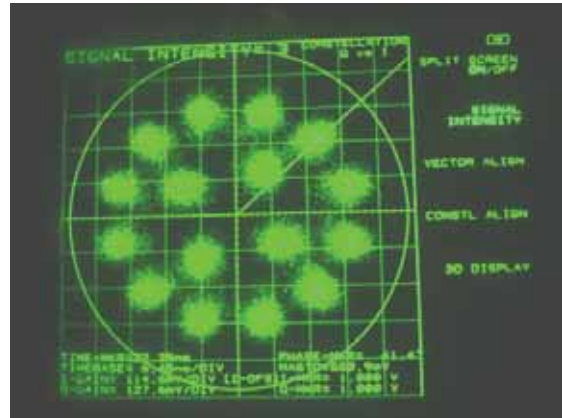


写真 6-3-2 16APSK(2/5) 擬似中継器  
折返しのコンスタレーション

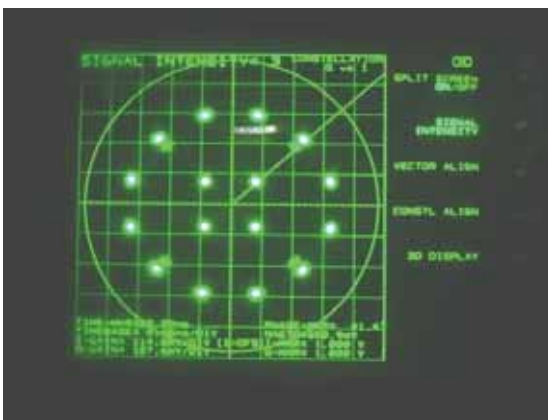


写真 6-4-1 16APSK(1/2) IF 折返しの  
コンスタレーション

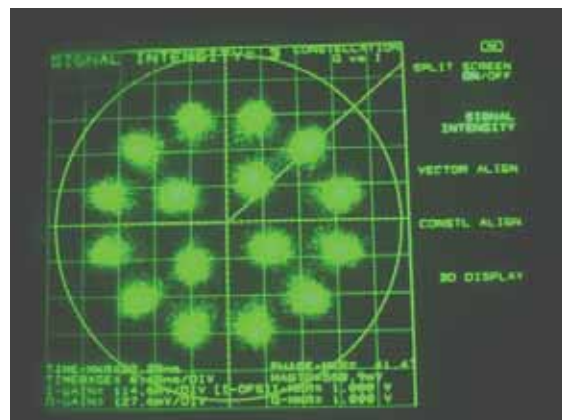


写真 6-4-2 16APSK(1/2) 擬似中継器  
折返しのコンスタレーション



写真 6-5-1 16APSK(3/5) IF 折返しの  
コンスタレーション



写真 6-5-2 16APSK(3/5) 擬似中継器  
折返しのコンスタレーション

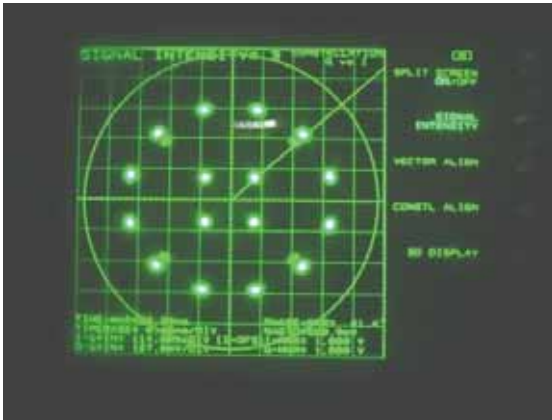


写真 6-6-1 16APSK (2/3) IF 折返しの  
コンスタレーション

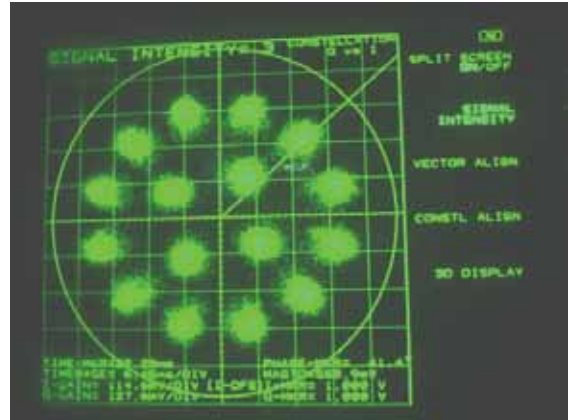


写真 6-6-2 16APSK (2/3) 擬似中継器  
折返しのコンスタレーション



写真 6-7-1 16APSK (3/4) IF 折返しの  
コンスタレーション

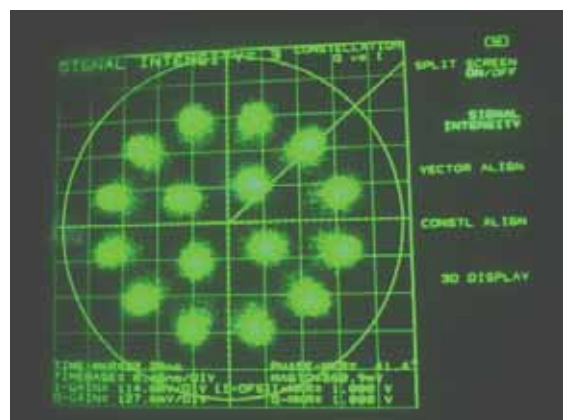


写真 6-7-2 16APSK (3/4) 擬似中継器  
折返しのコンスタレーション



写真 6-8-1 16APSK (4/5) IF 折返しの  
コンスタレーション

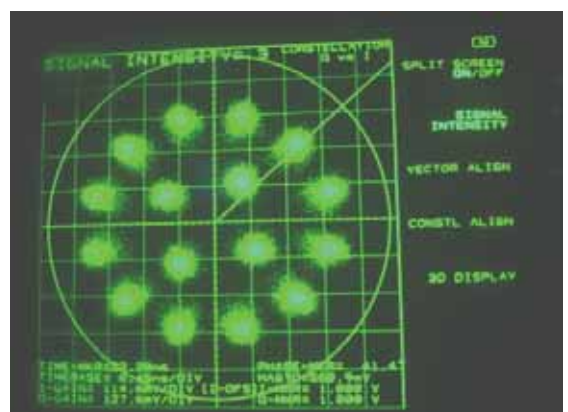


写真 6-8-2 16APSK (4/5) 擬似中継器  
折返しのコンスタレーション

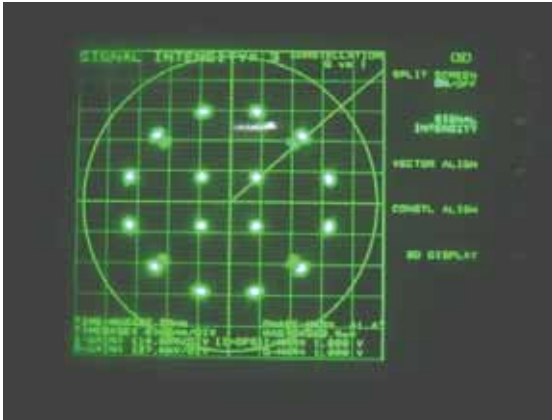


写真 6-9-1 16APSK(5/6) IF 折返しの  
コンスタレーション

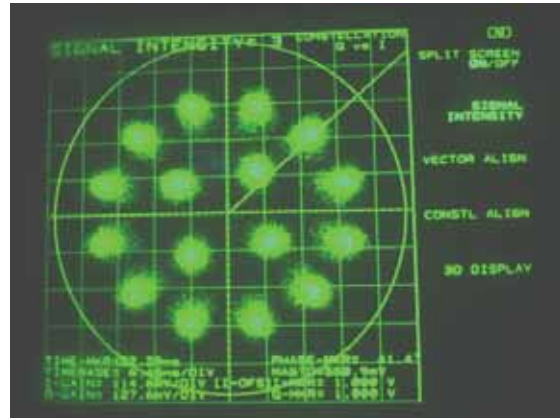


写真 6-9-2 16APSK(5/6) 擬似中継器  
折返しのコンスタレーション

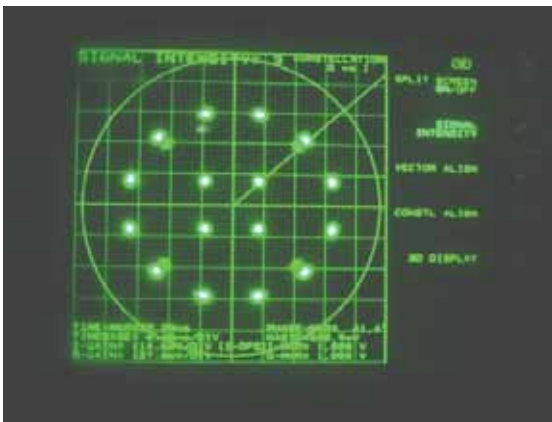


写真 6-10-1 16APSK(7/8) IF 折返しの  
コンスタレーション

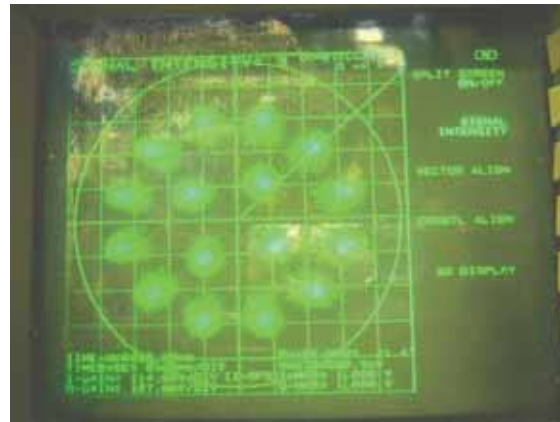


写真 6-10-2 16APSK(7/8) 擬似中継器  
折返しのコンスタレーション



写真 6-11-1 16APSK(9/10) IF 折返しの  
コンスタレーション



写真 6-11-2 16APSK(9/10) 擬似中継器  
折返しのコンスタレーション

・ 32APSK

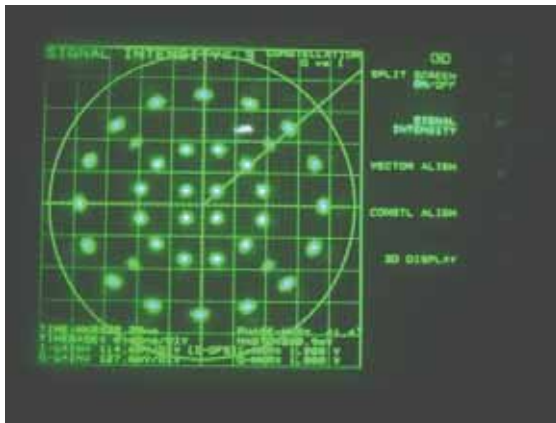


写真 7-1-1 32APSK(1/4) IF折返しの  
コンスタレーション

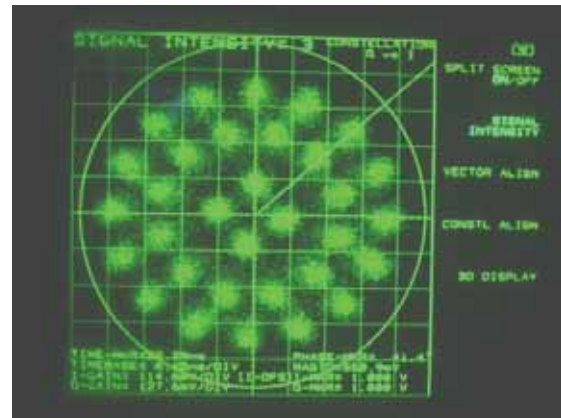


写真 7-1-2 32APSK(1/4) 擬似中継器  
折返しのコンスタレーション

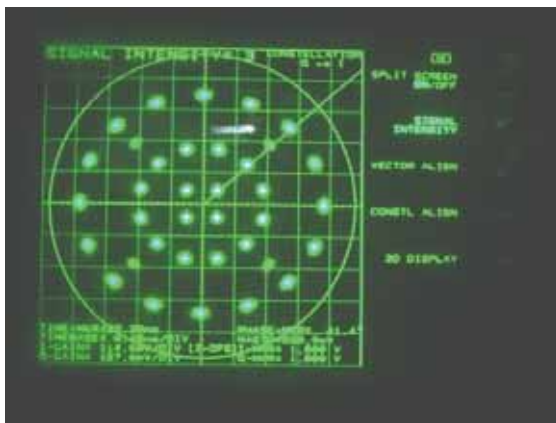


写真 7-2-1 32APSK(1/3) IF折返しの  
コンスタレーション

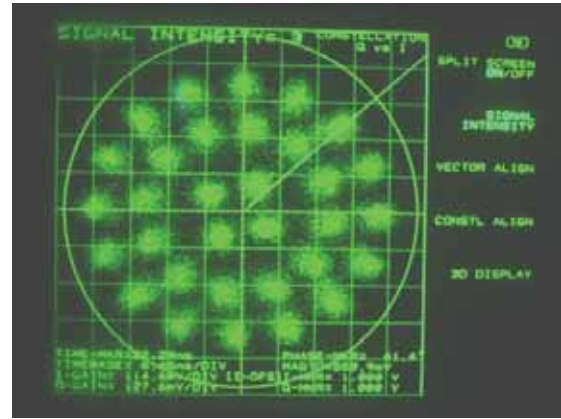


写真 7-2-2 32APSK(1/3) 擬似中継器  
折返しのコンスタレーション

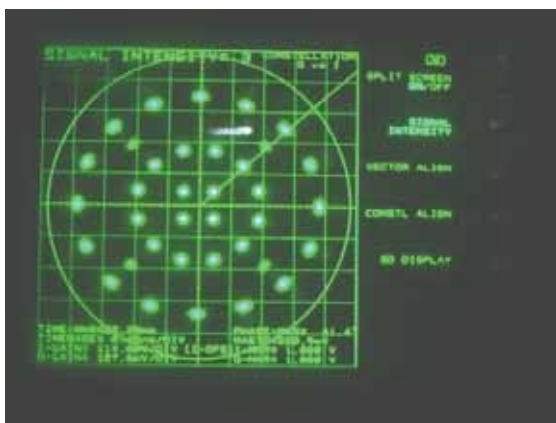


写真 7-3-1 32APSK(2/5) IF折返しの  
コンスタレーション

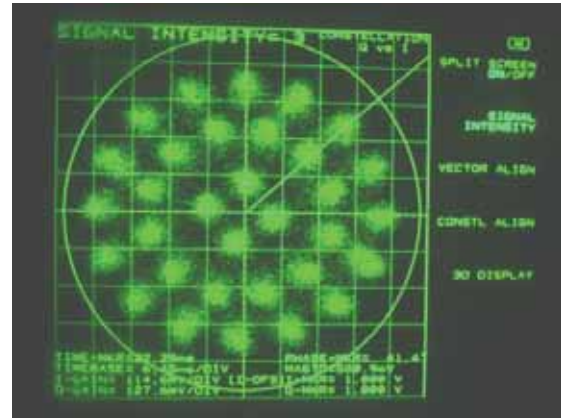


写真 7-3-2 32APSK(2/5) 擬似中継器  
折返しのコンスタレーション

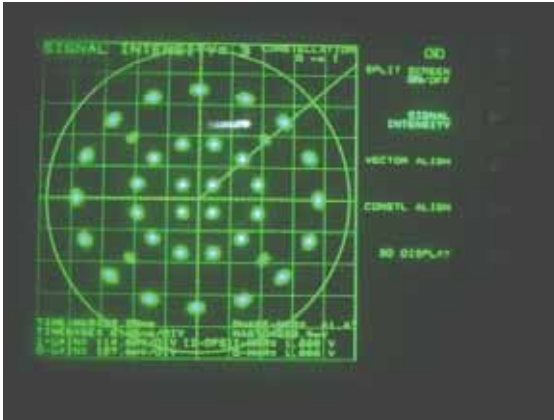


写真 7-4-1 32APSK(1/2) IF 折返しの  
コンスタレーション

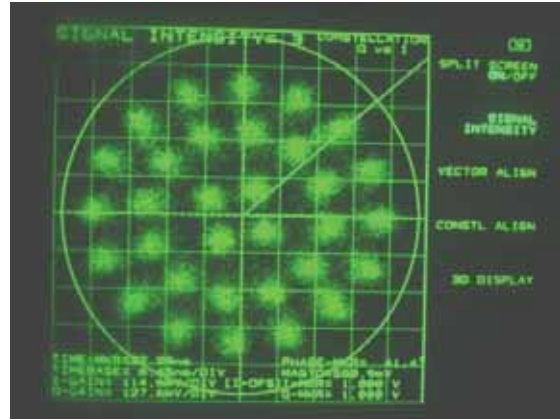


写真 7-4-2 32APSK(1/2) 擬似中継器  
折返しのコンスタレーション

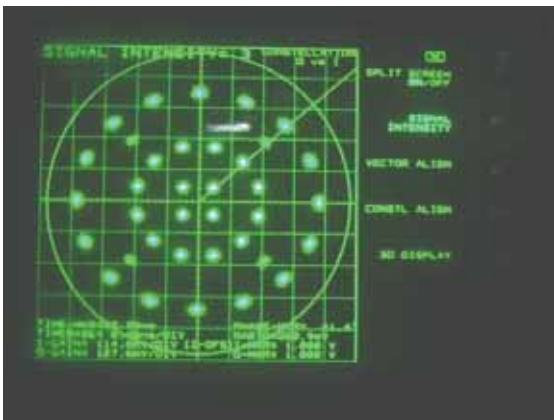


写真 7-5-1 32APSK(3/5) IF 折返しの  
コンスタレーション

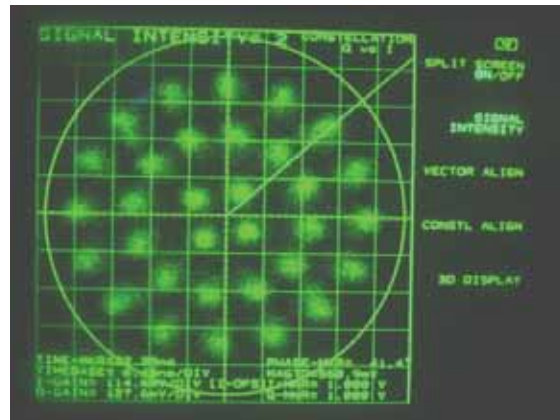


写真 7-5-2 32APSK(3/5) 擬似中継器  
折返しのコンスタレーション

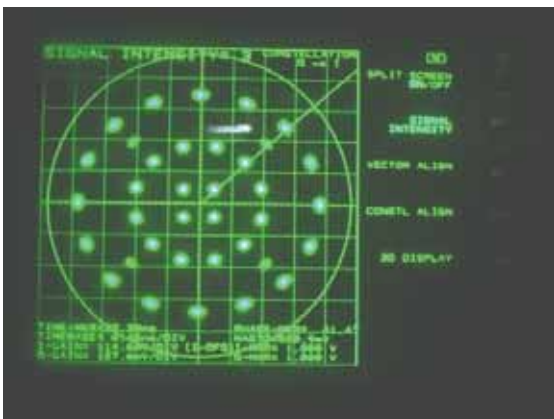


写真 7-6-1 32APSK(2/3) IF 折返しの  
コンスタレーション



写真 7-6-2 32APSK(2/3) 擬似中継器  
折返しのコンスタレーション

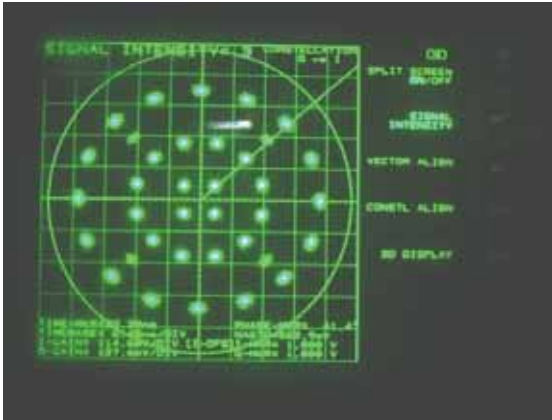


写真 7-7-1 32APSK(3/4) IF 折返し  
のコンスタレーション

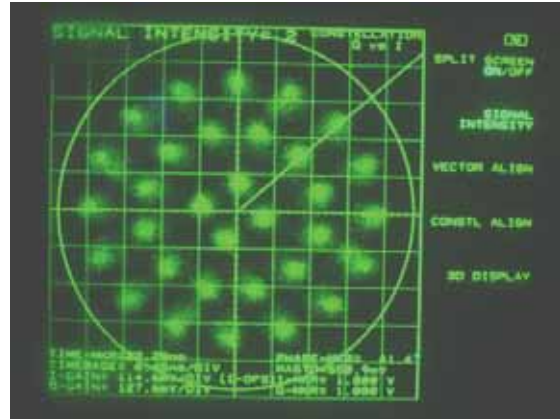


写真 7-7-2 32APSK(3/4) 擬似中継器  
折返しコンスタレーション

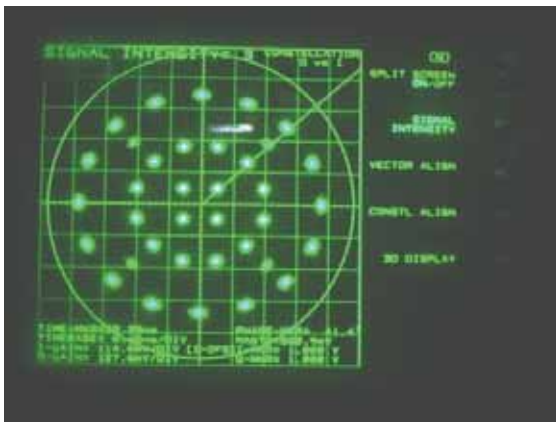


写真 7-8-1 32APSK(4/5) IF 折返し  
のコンスタレーション

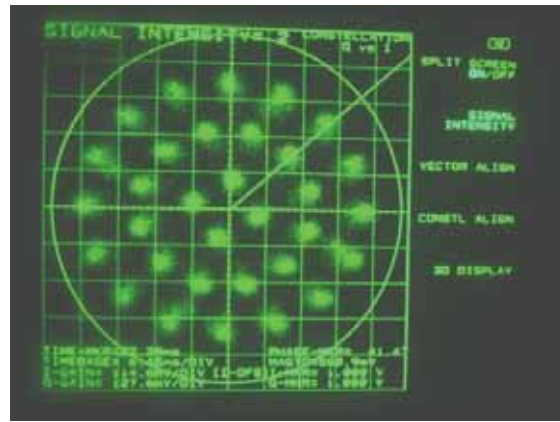


写真 7-8-2 32APSK(4/5) 擬似中継器  
折返しコンスタレーション

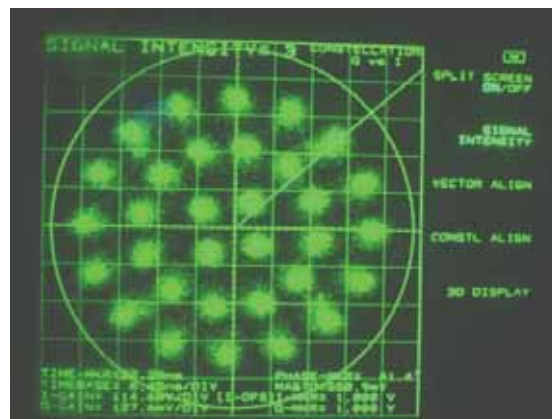


写真 7-8-3 32APSK(4/5) 擬似中継器  
折返しコンスタレーション (ODU 入り)

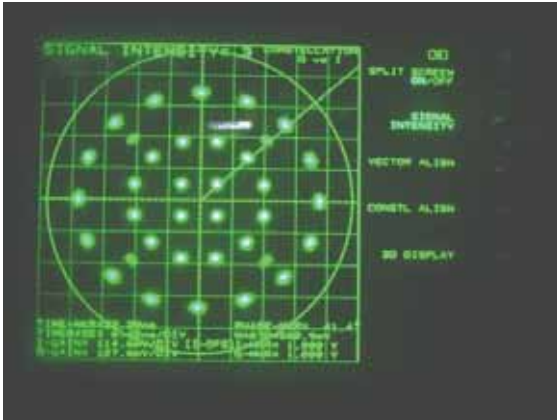


写真 7-9-1 32APSK(5/6) IF 折返しの  
コンスタレーション

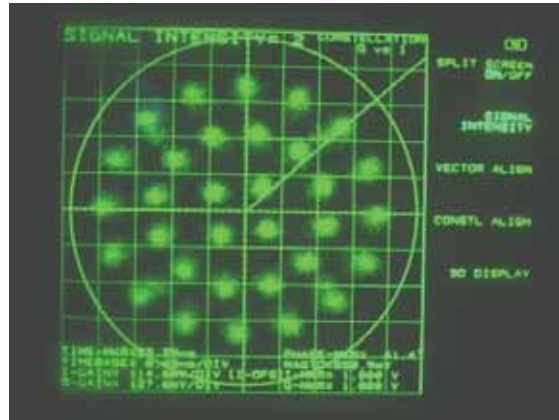


写真 7-9-2 32APSK(5/6) 擬似中継器  
折返しのコンスタレーション

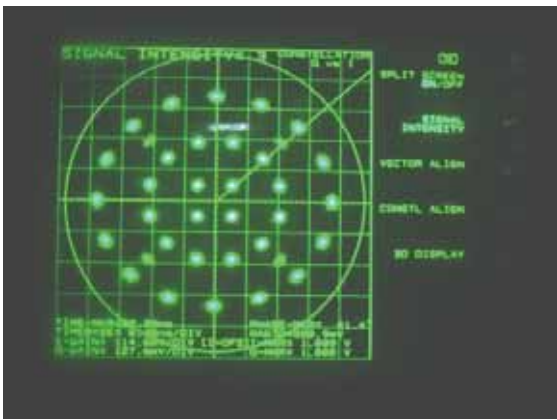


写真 7-10-1 32APSK(7/8) IF 折返しの  
コンスタレーション

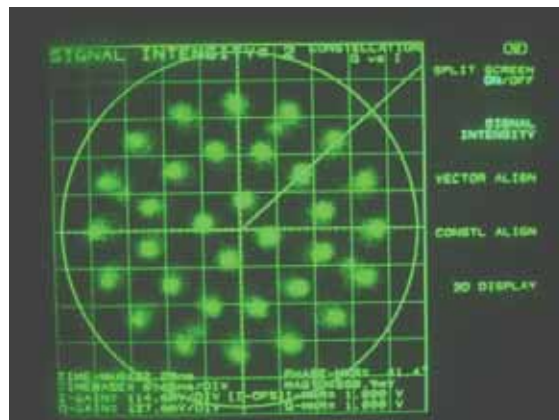


写真 7-10-2 32APSK(7/8) 擬似中継器  
折返しのコンスタレーション

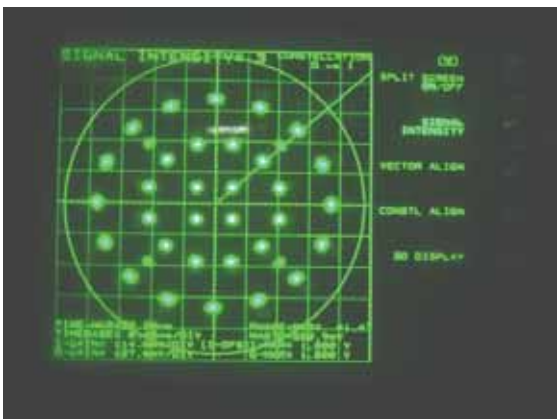


写真 7-11-1 32APSK(9/10) IF 折返しの  
コンスタレーション

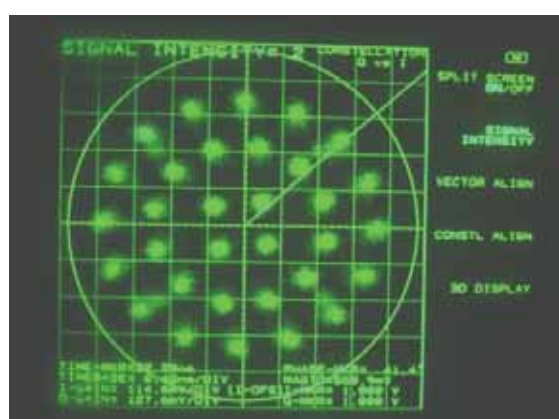


写真 7-11-2 32APSK(9/10) 擬似中継器  
折返しのコンスタレーション

付録 1-5 IF 折返し、疑似中継器折返し C/N 対ビット誤り率特性

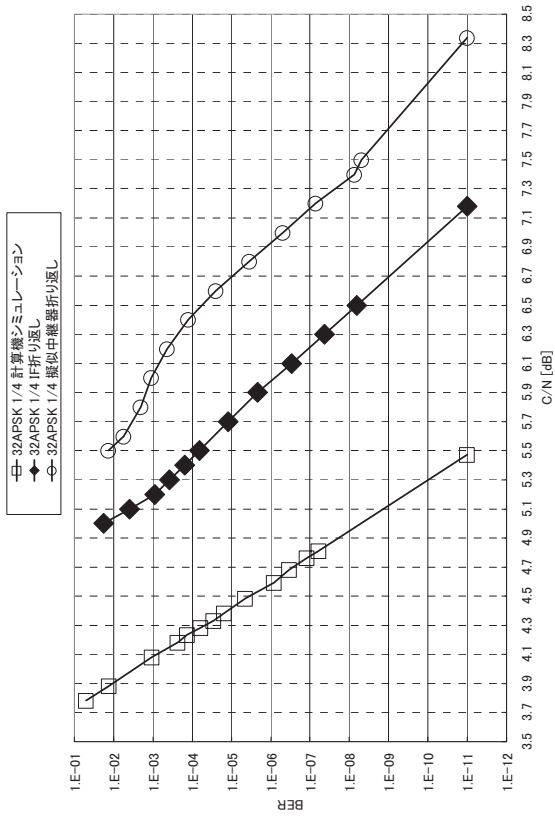


図 9a  $\pi/2$  シフト BPSK1/4

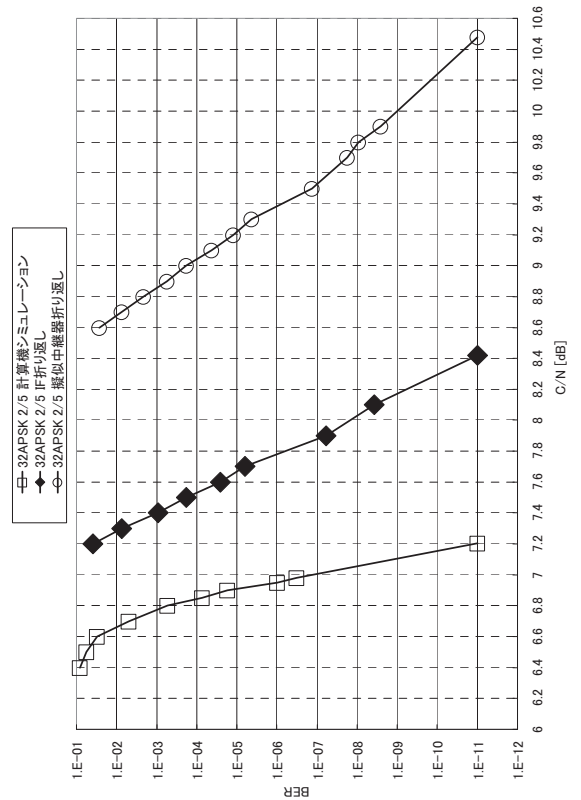


図 9c  $\pi/2$  シフト BPSK2/5

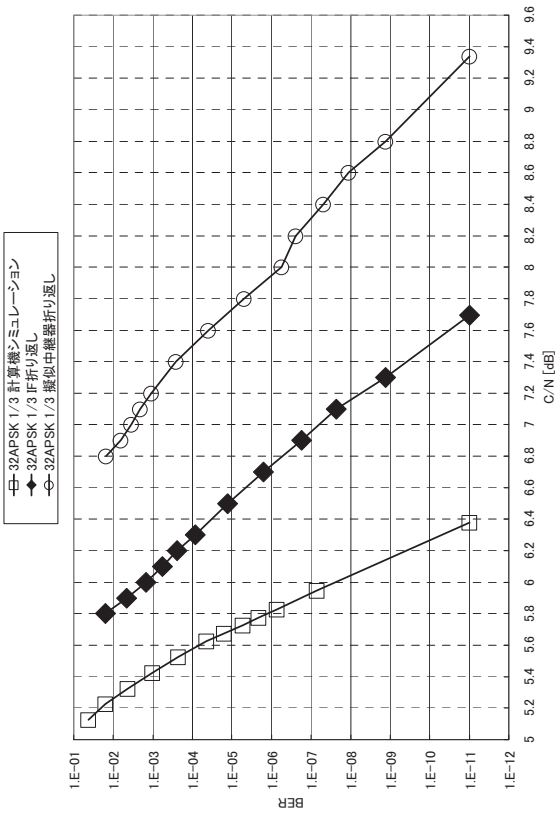


図 9b  $\pi/2$  シフト BPSK1/3

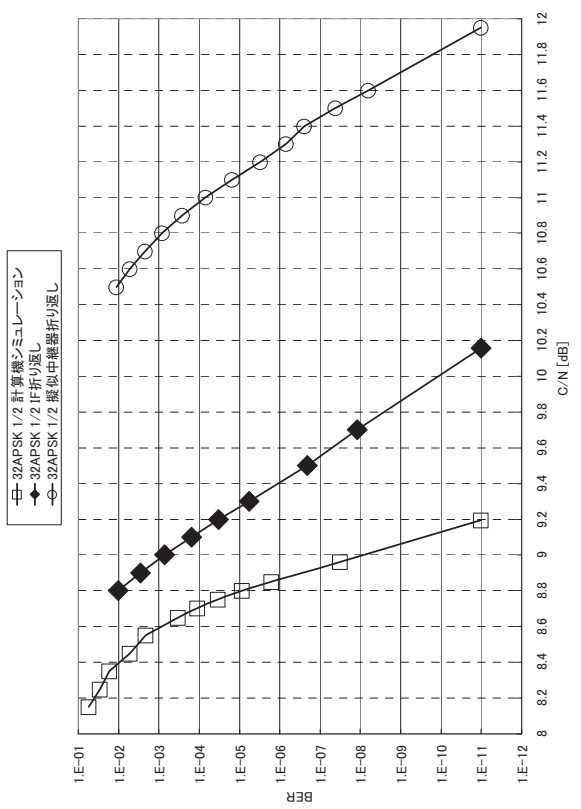


図 9d  $\pi/2$  シフト BPSK1/2



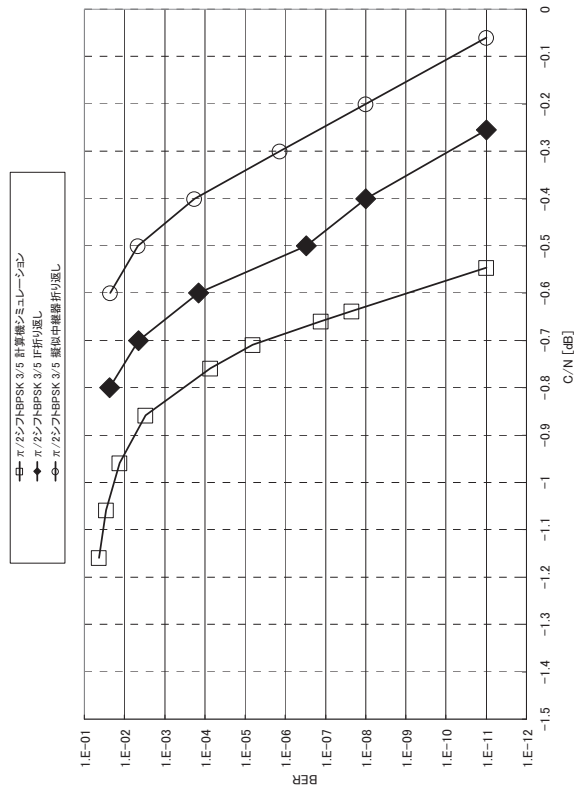


図 9e  $\pi/2$  シフト BPSK3/5

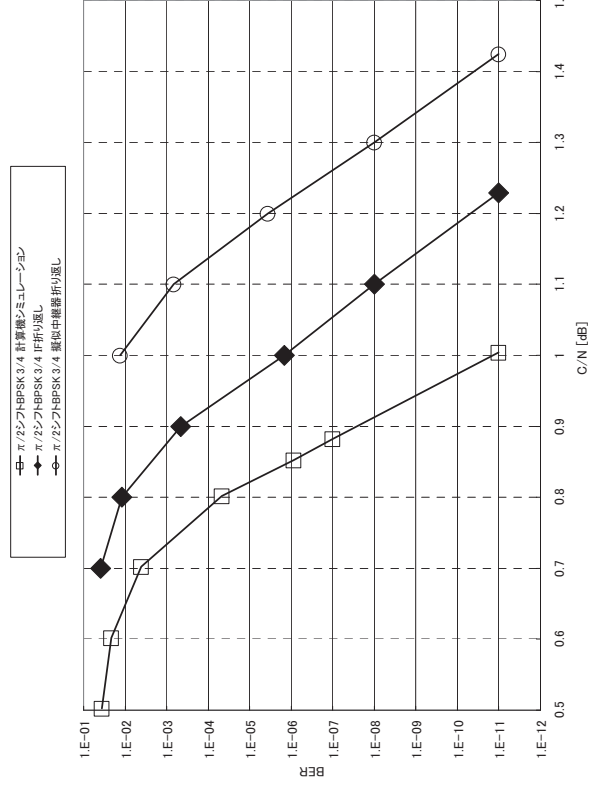


図 9g  $\pi/2$  シフト BPSK3/4

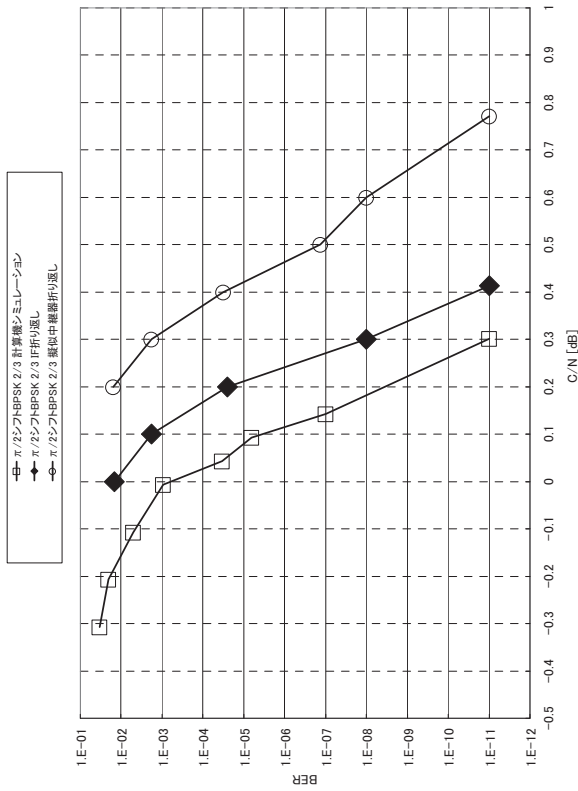


図 9f  $\pi/2$  シフト BPSK2/3

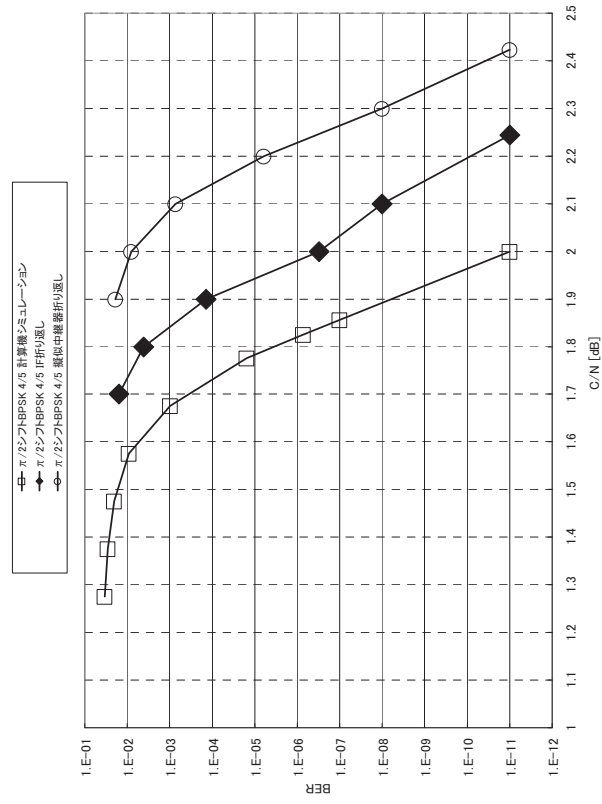


図 9h  $\pi/2$  シフト BPSK4/5

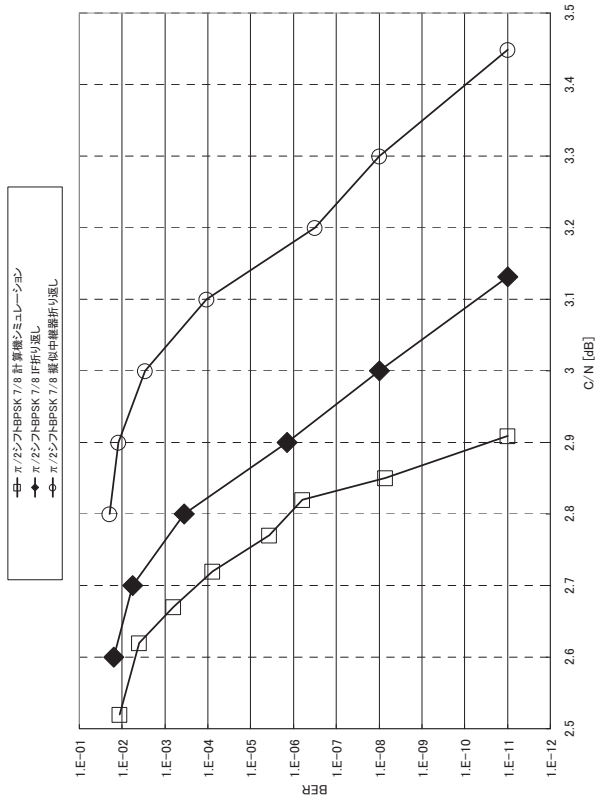


図 9j  $\pi/2$  シフト BPSK 7/8

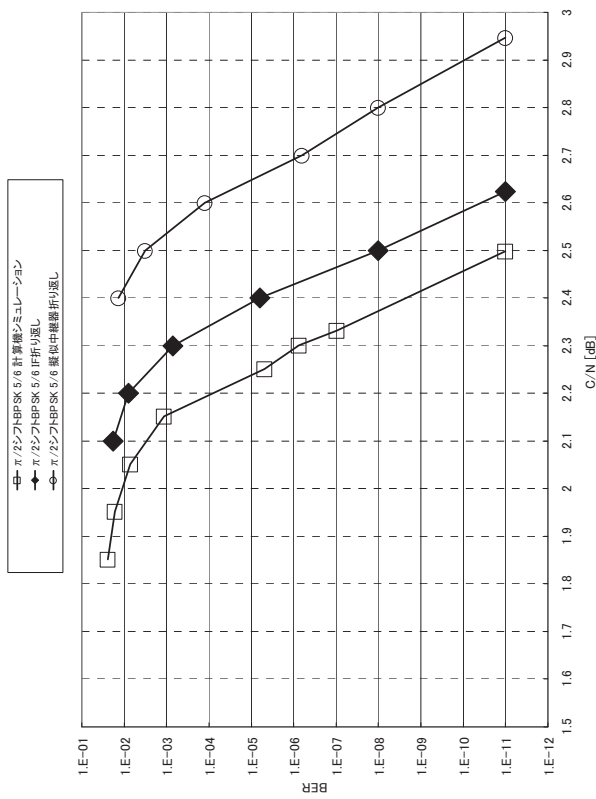


図 9i  $\pi/2$  シフト BPSK 5/6

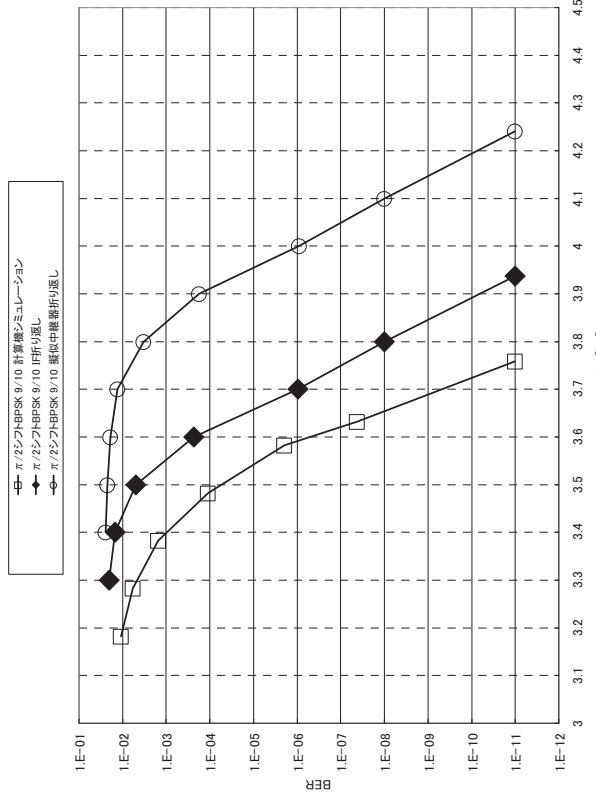


図 9k  $\pi/2$  シフト BPSK 9/10

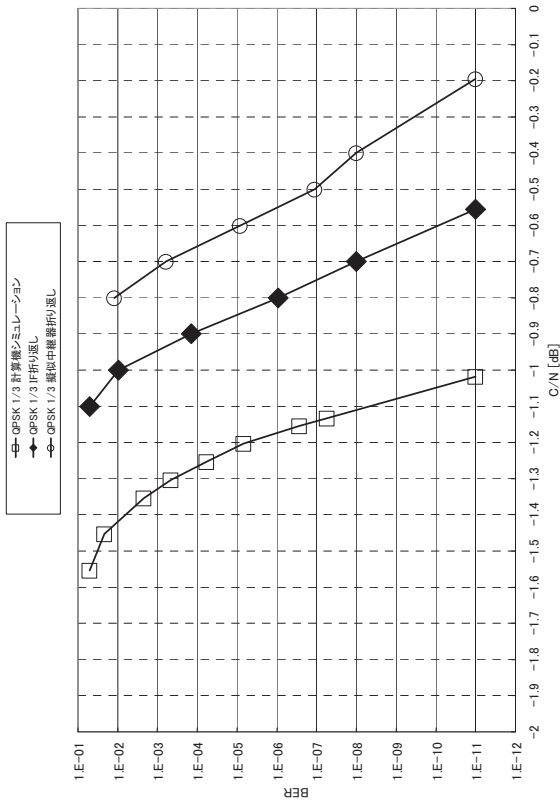


図 10b QPSK 1/3

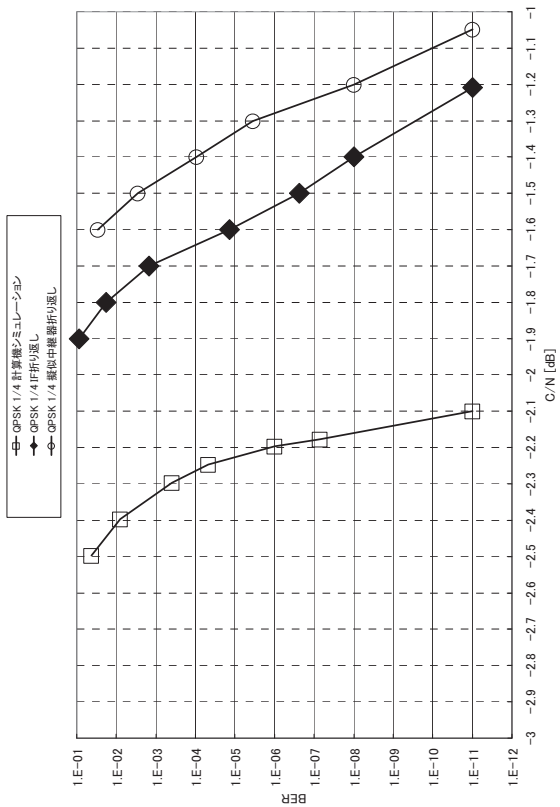


図 10a QPSK 1/4

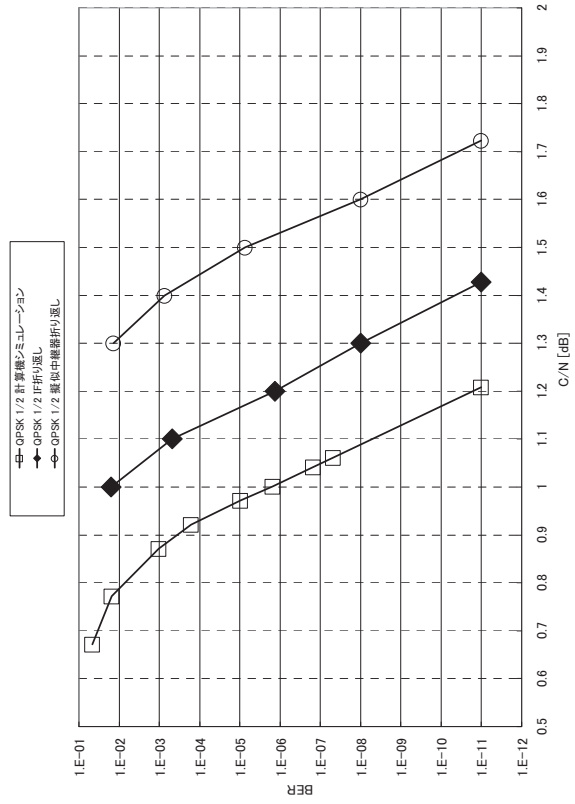


図 10d QPSK 1/2

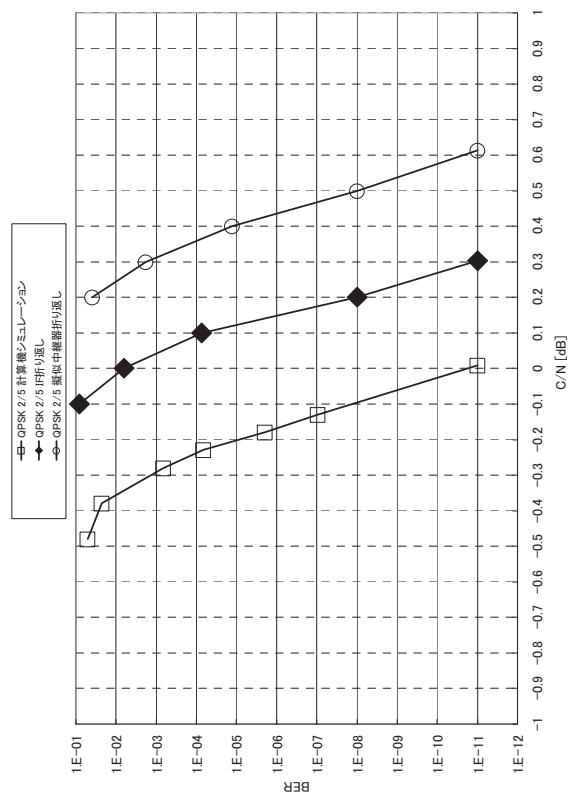


図 10c QPSK 2/5

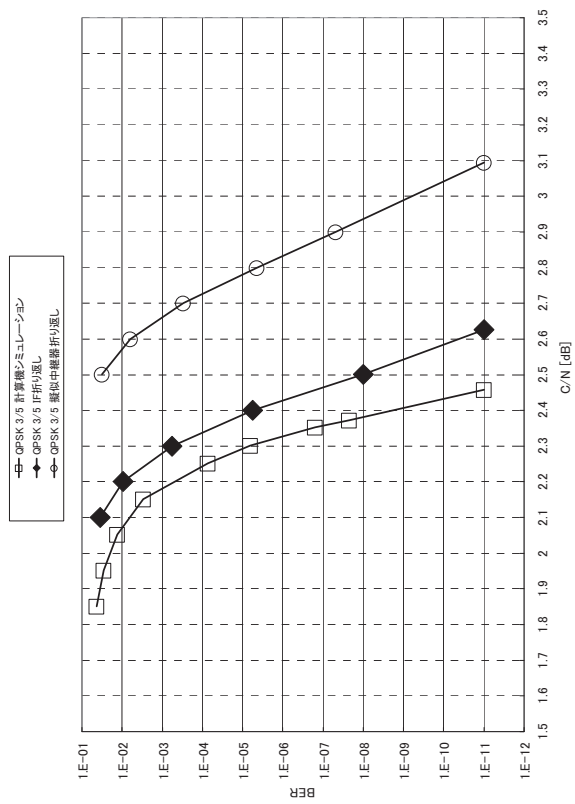


図 10e QPSK3/5

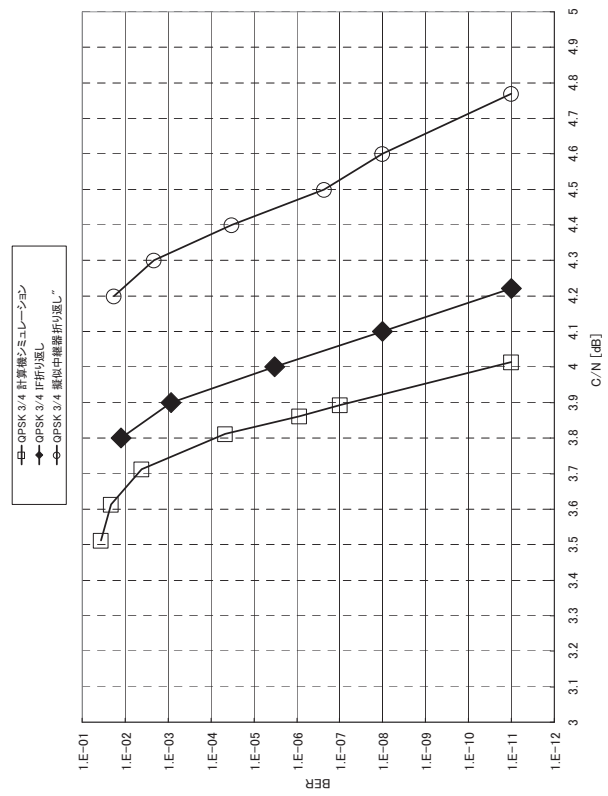


図 10g QPSK3/4

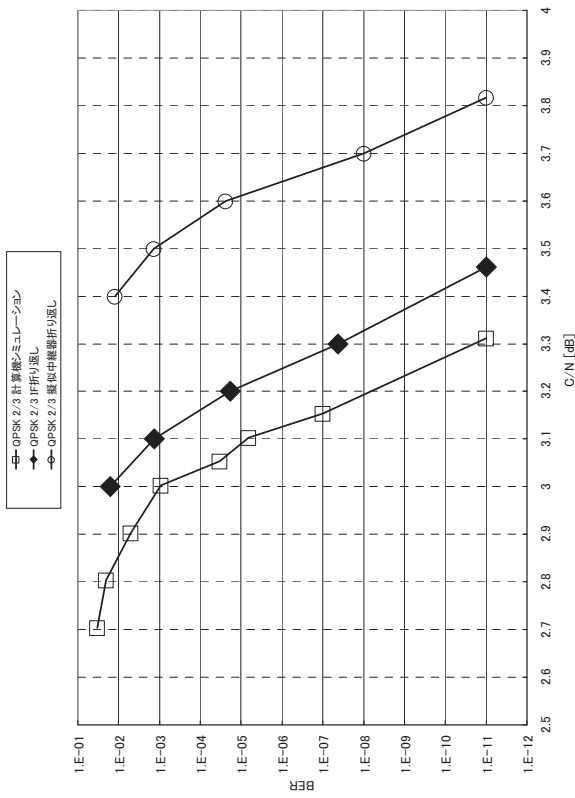


図 10f QPSK2/3

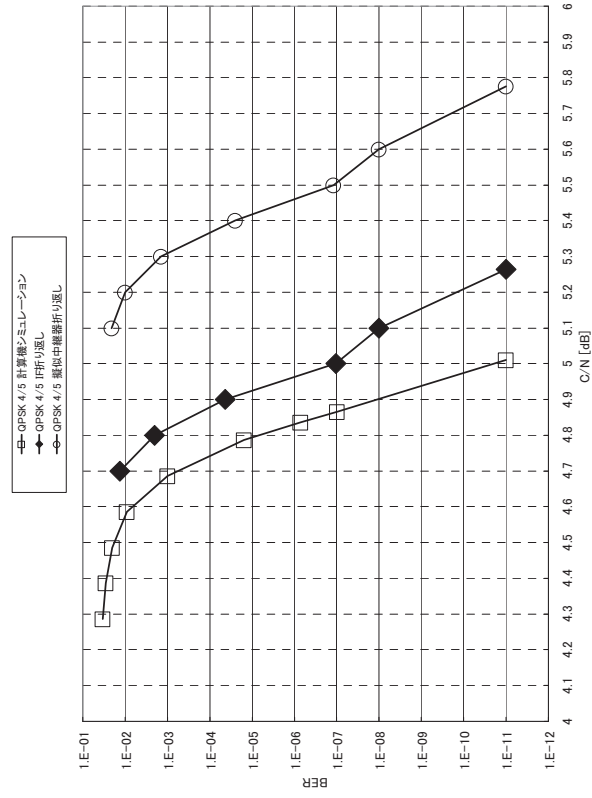


図 10h QPSK4/5

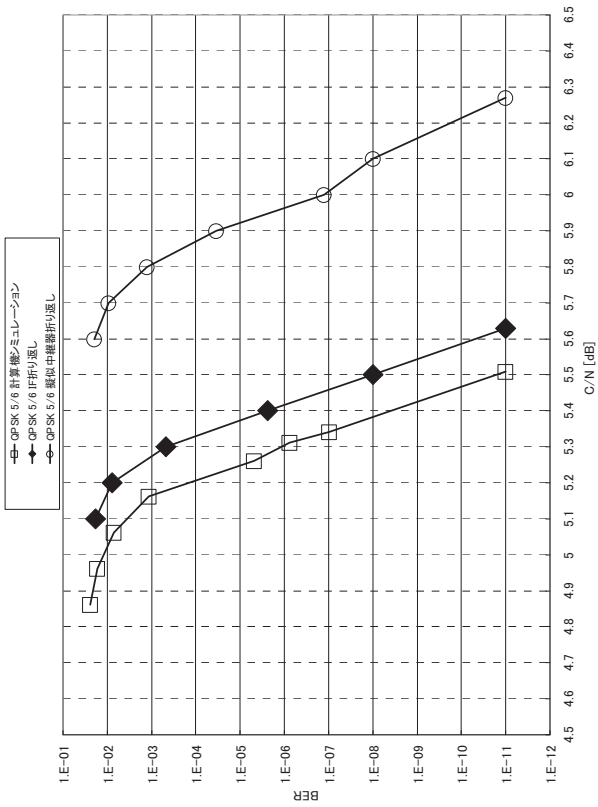


図 10i QPSK 5/6

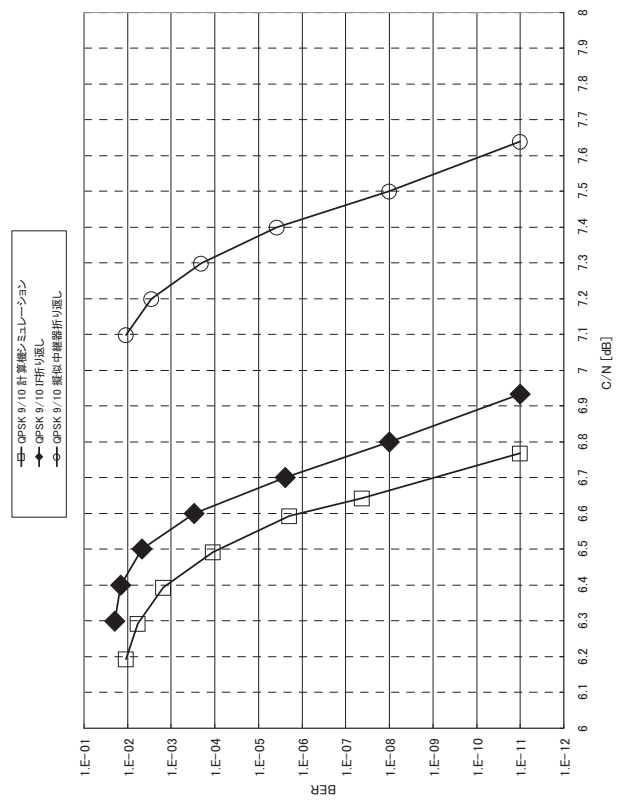


図 10k QPSK 9/10

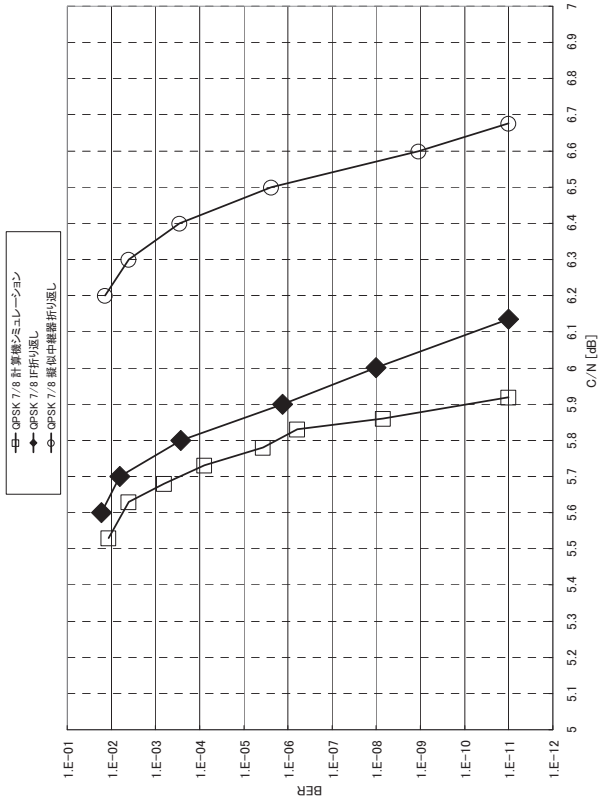


図 10j QPSK 7/8

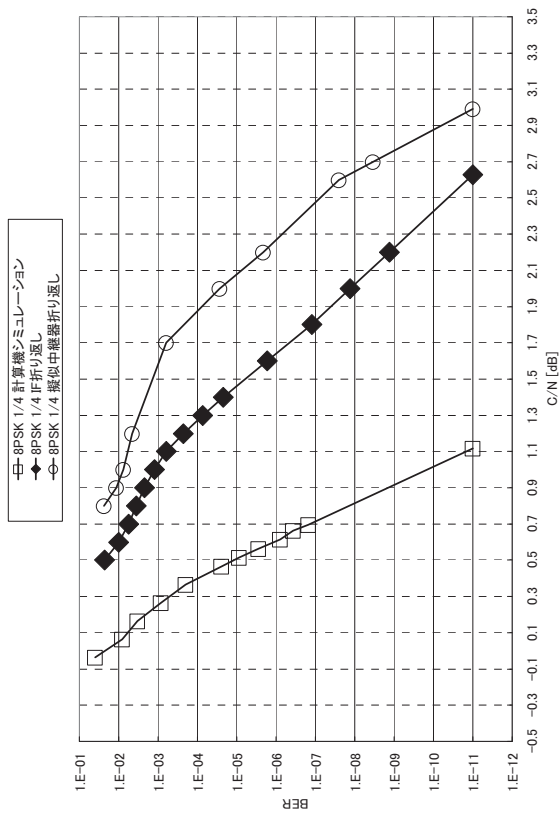


図 11a 8PSK 1/4

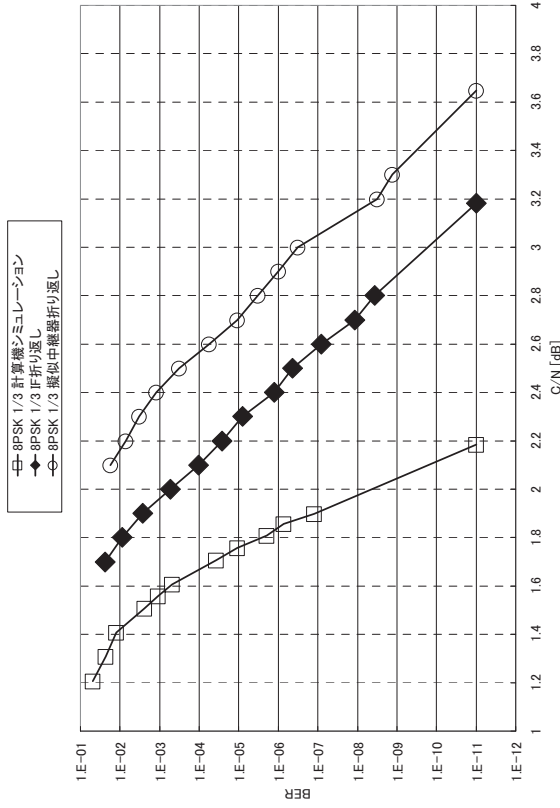


図 11b 8PSK 1/3

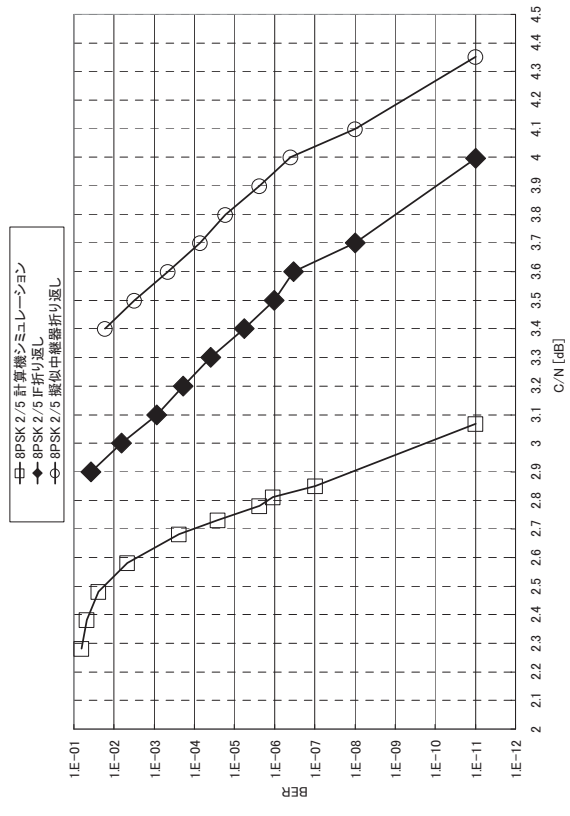


図 11c 8PSK 2/5

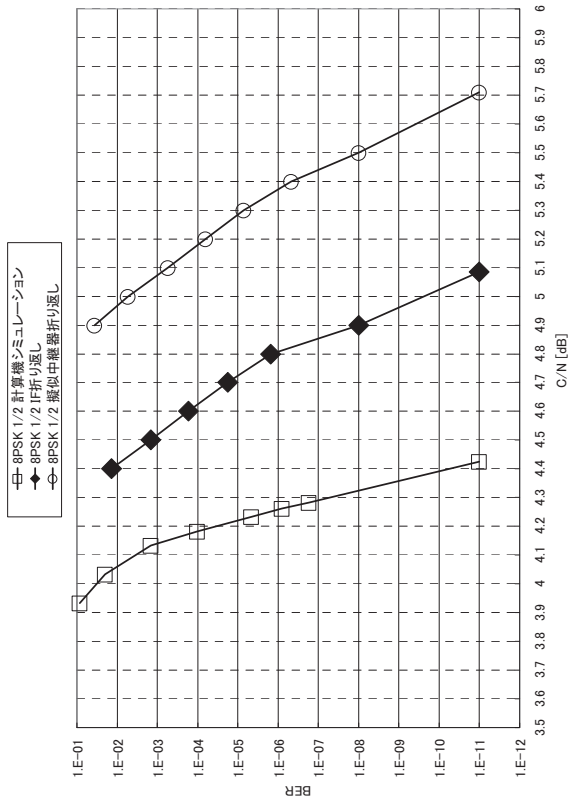


図 11d 8PSK 1/2

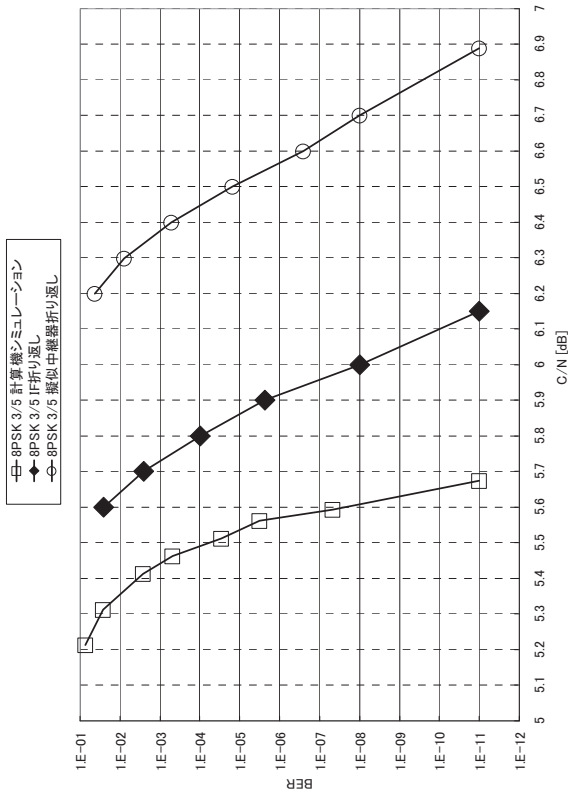


図 11e 8PSK 3/5

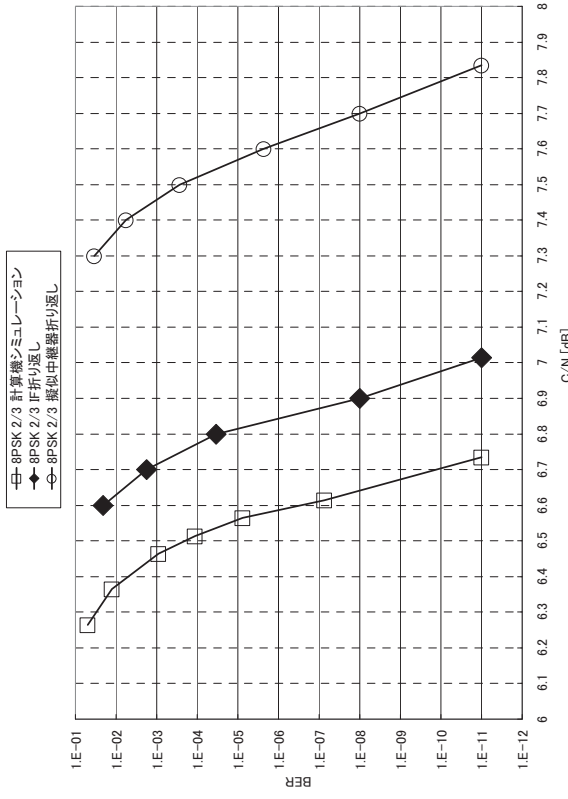


図 11f 8PSK 2/3

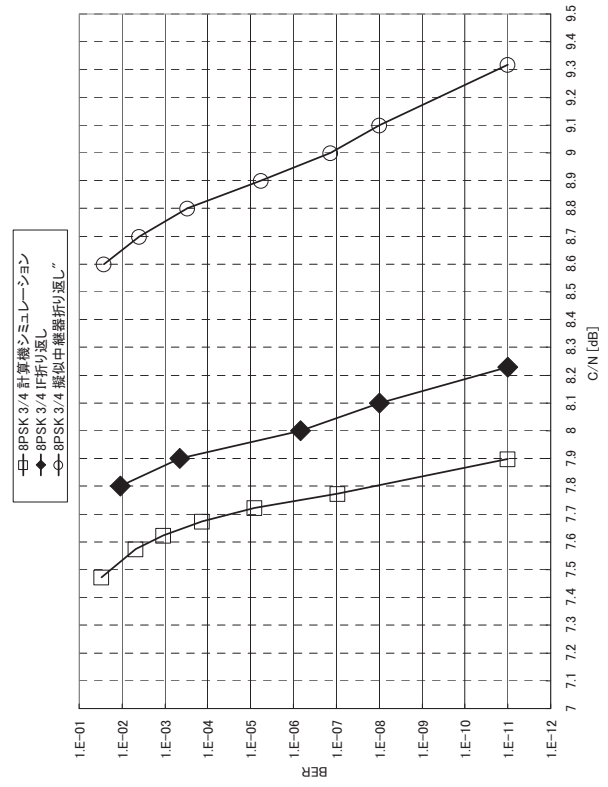


図 11g 8PSK 3/4

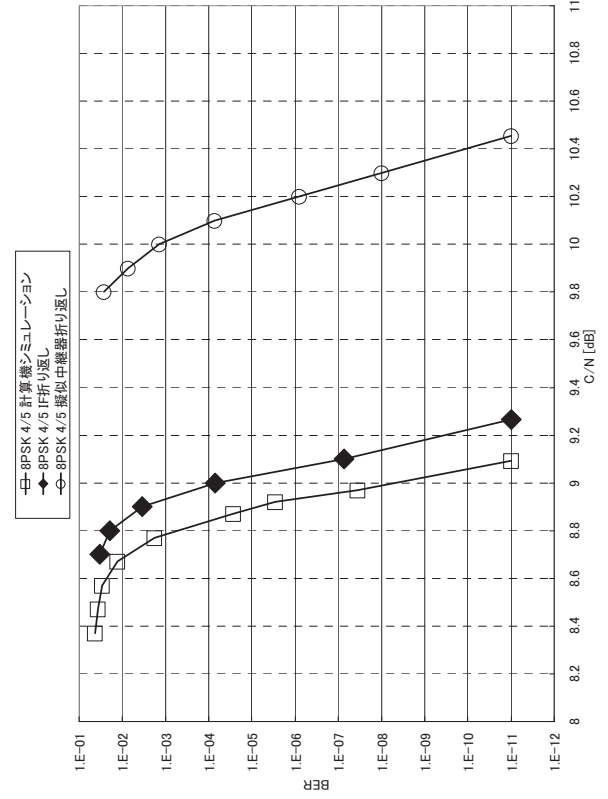


図 11h 8PSK 4/5

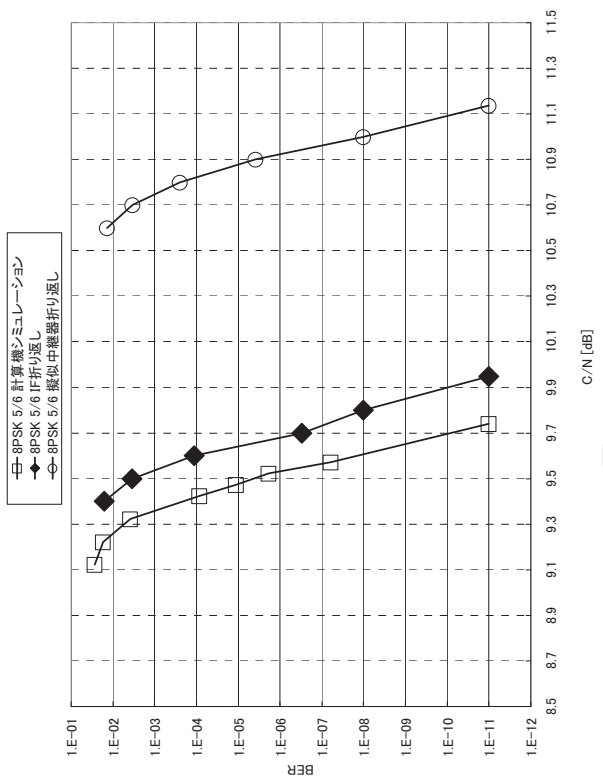


図 11i 8PSK 5/6

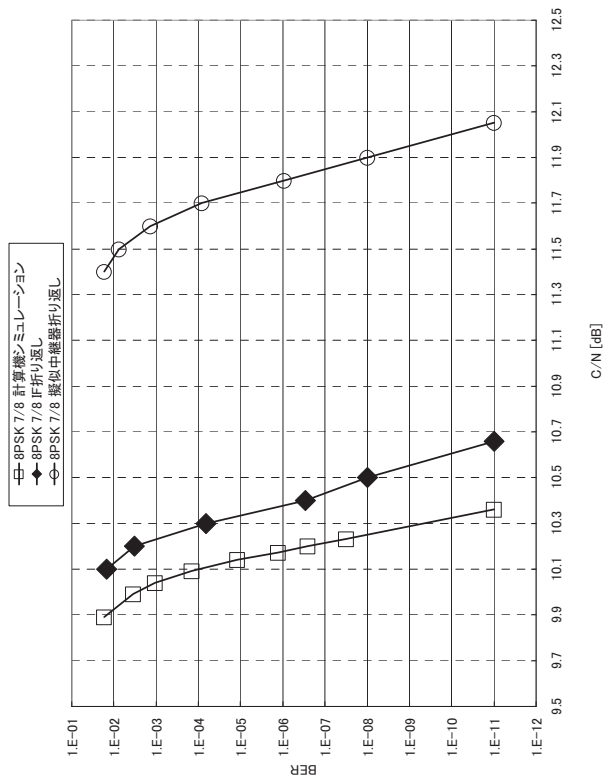


図 11j 8PSK 7/8

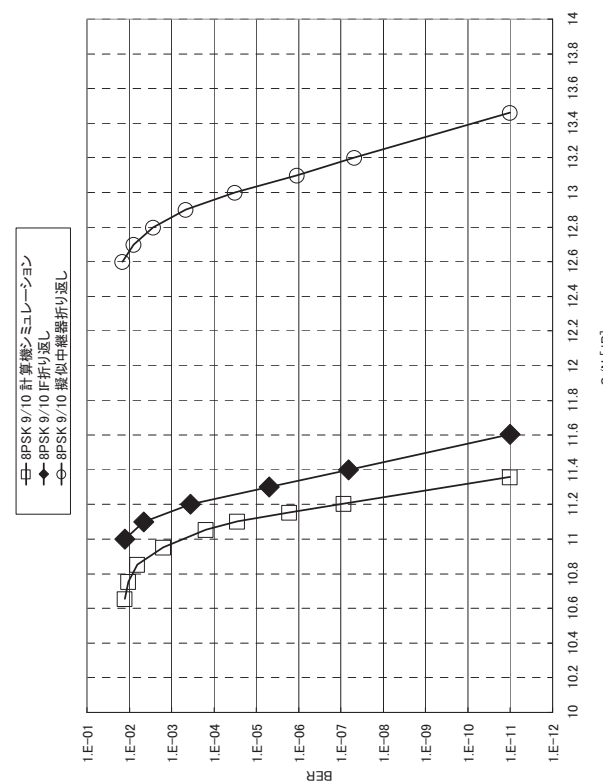


図 11k 8PSK 9/10



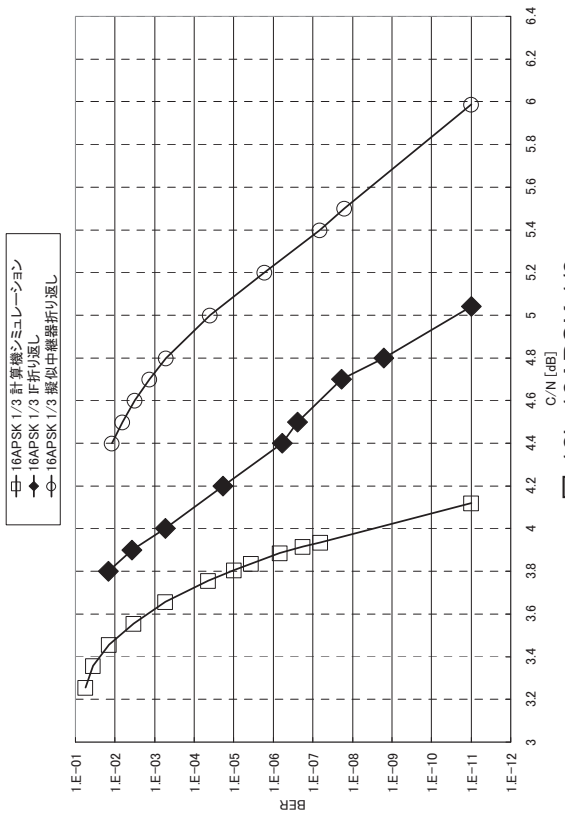


図 12b 16APSK 1/3

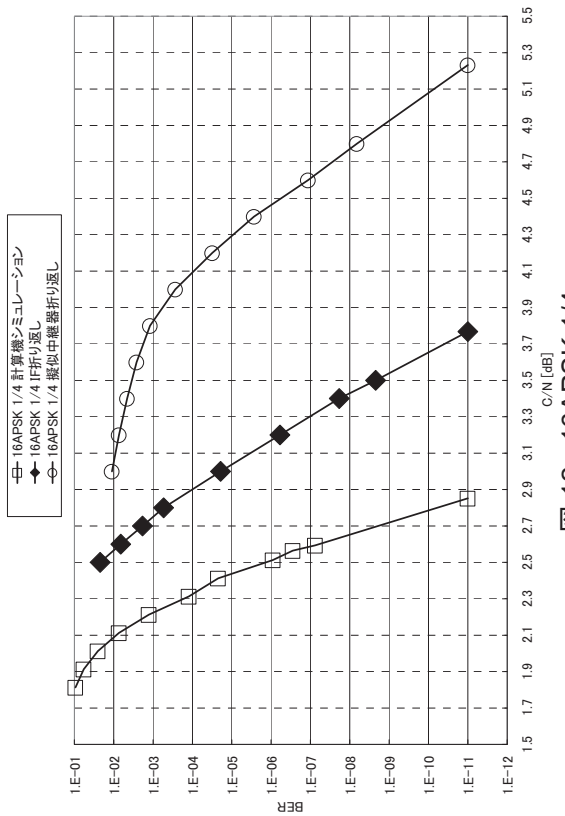


図 12a 16APSK 1/4

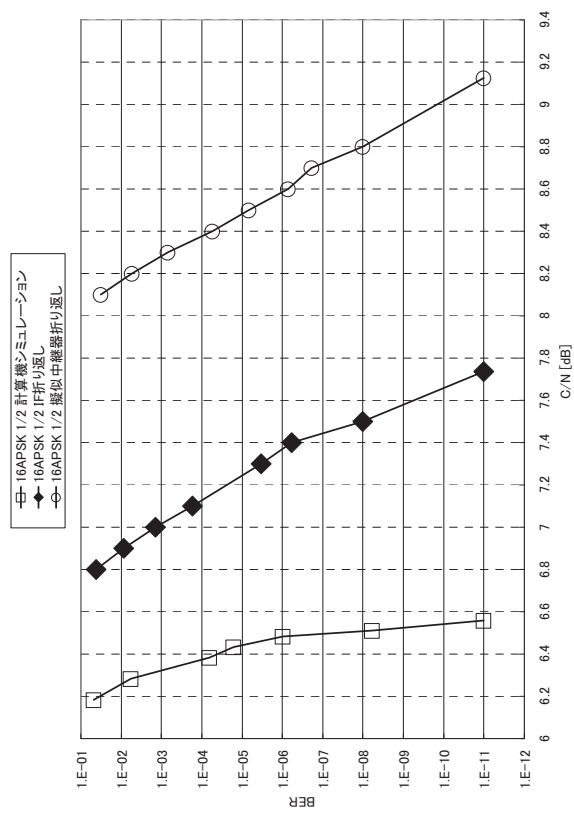


図 12d 16APSK 1/2

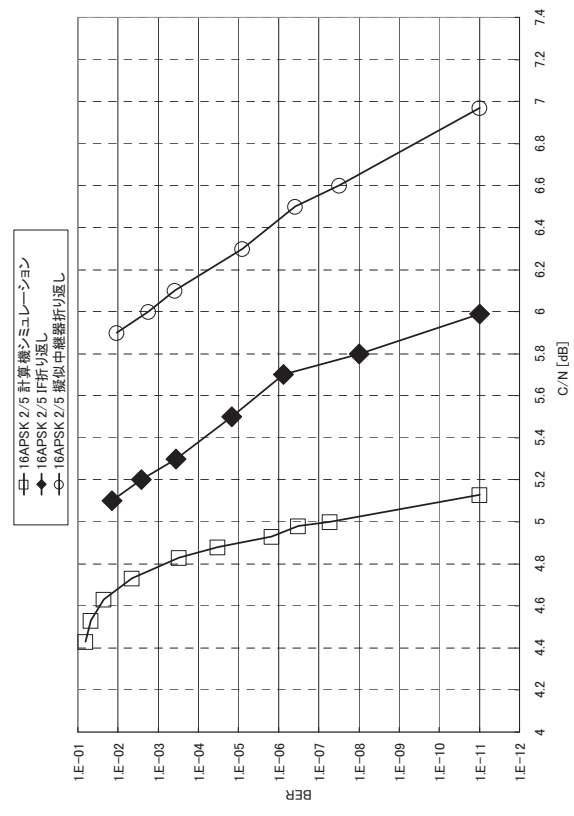


図 12c 16APSK 2/5

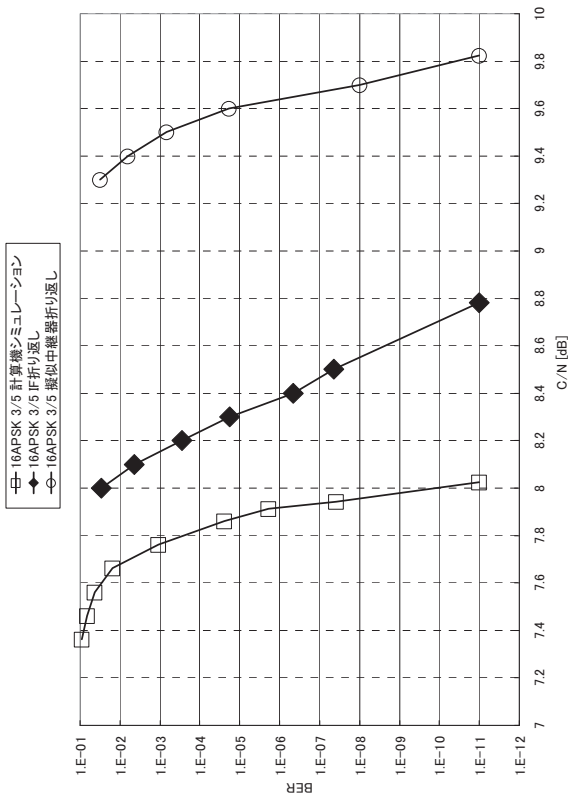


図 12e 16APSK3/5

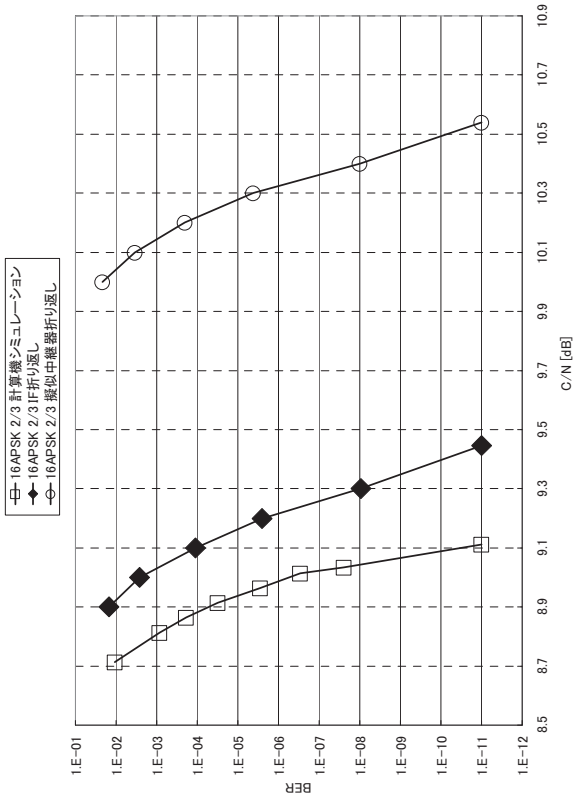


図 12f 16APSK 2/3

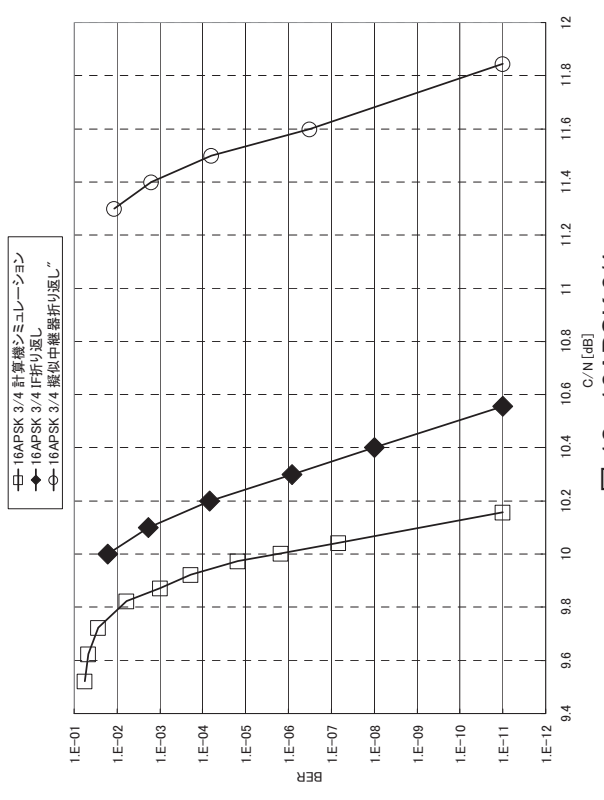


図 12g 16APSK 3/4

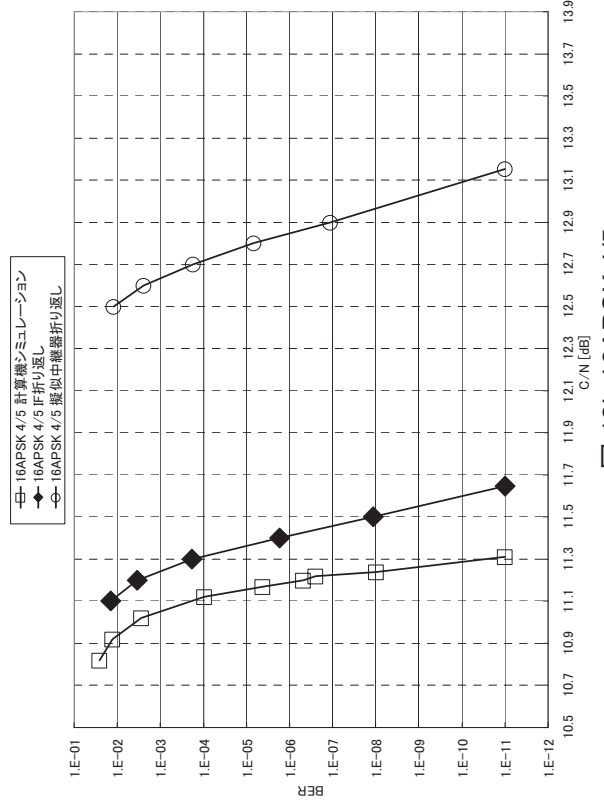


図 12h 16APSK 4/5

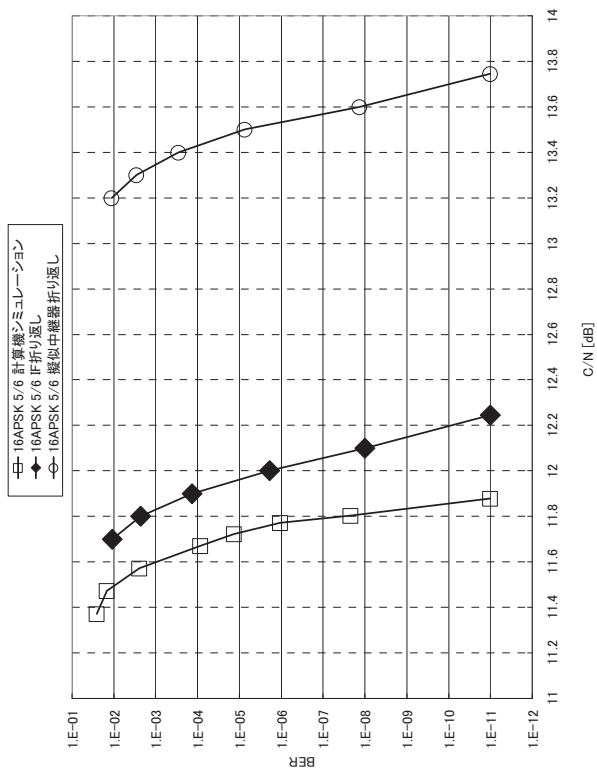


図 12i 16APSK 5/6

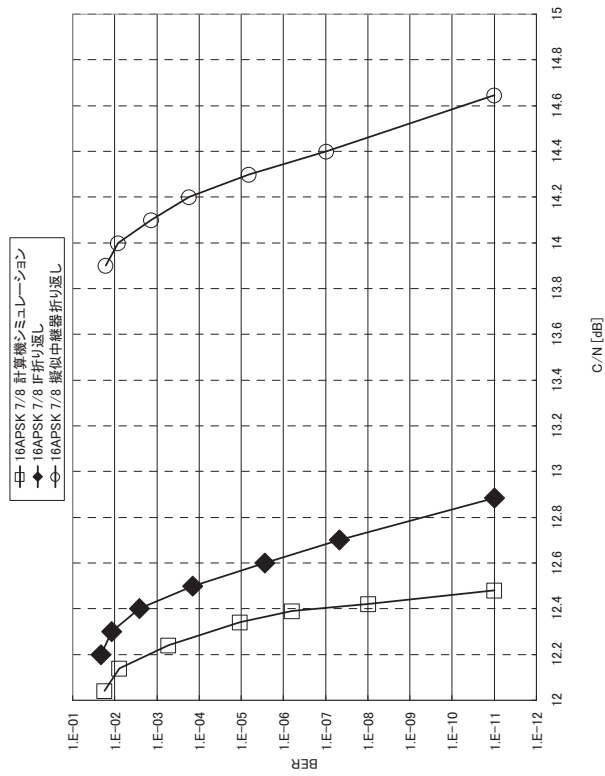


図 12j 16APSK 7/8

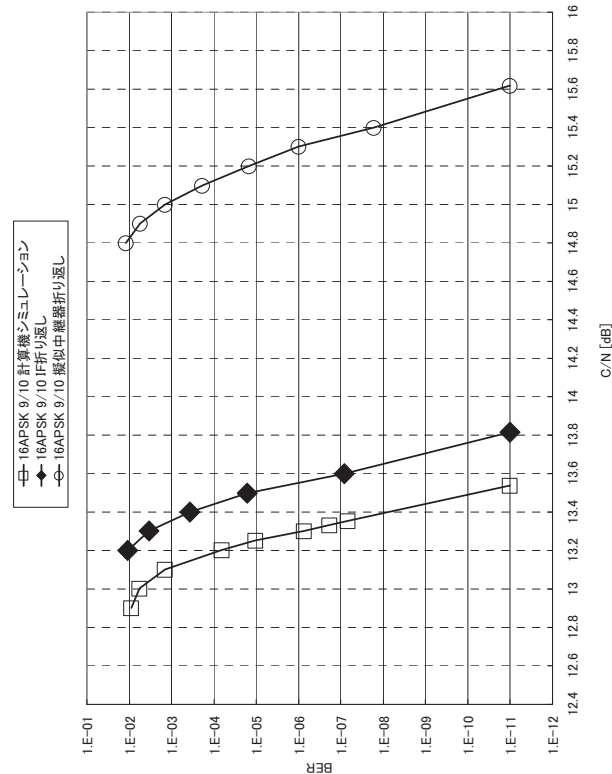


図 12k 16APSK 9/10

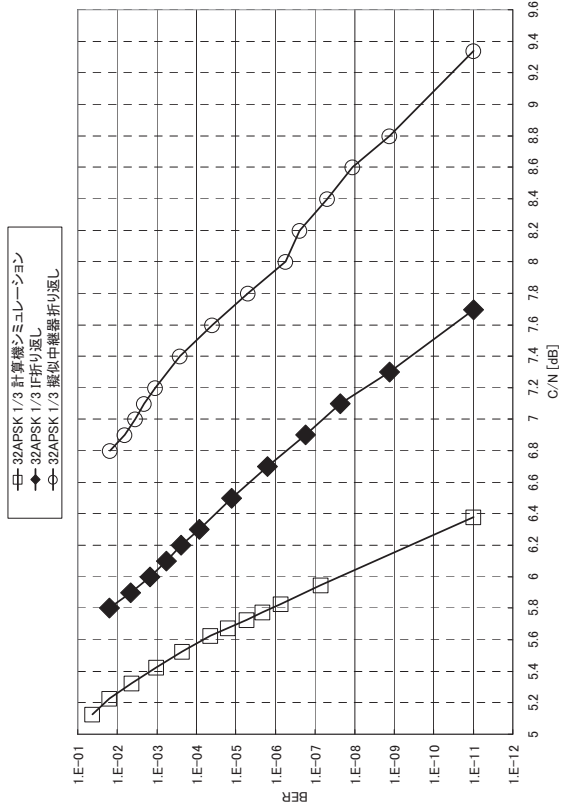


図 13b 32APSK 1/3

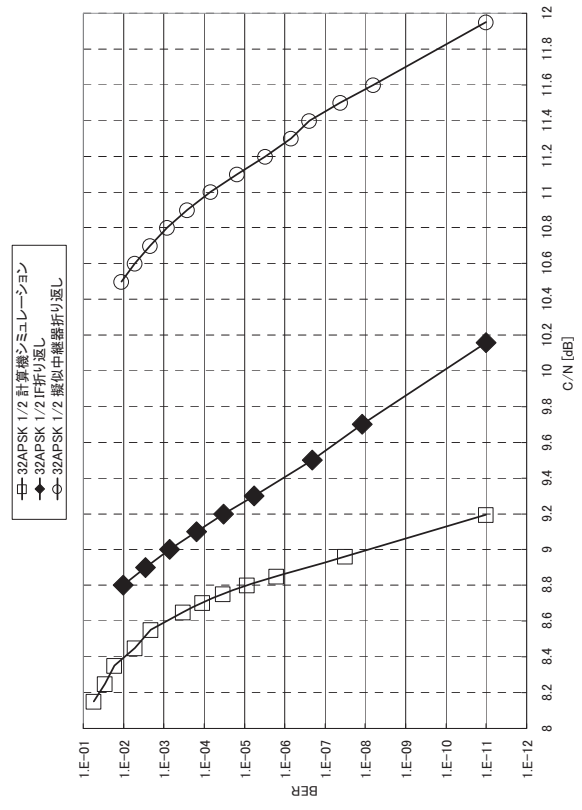


図 13d 32APSK 1/2

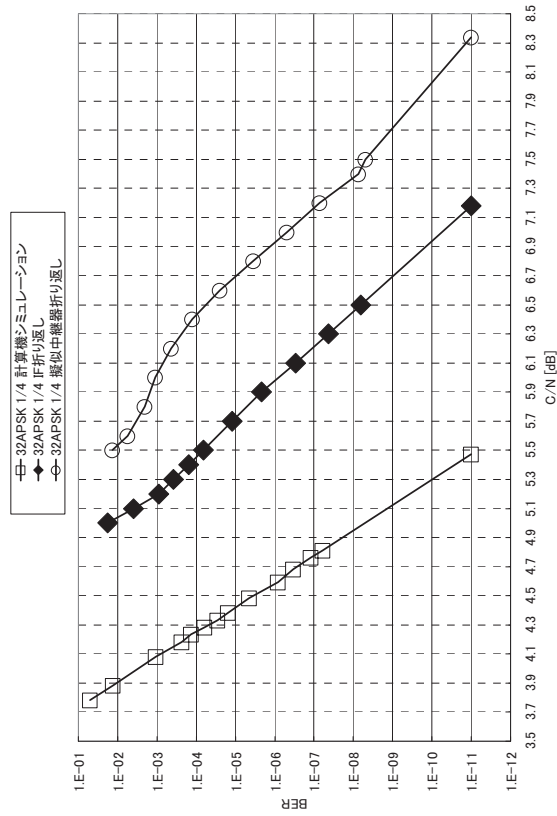


図 13a 32APSK 1/4

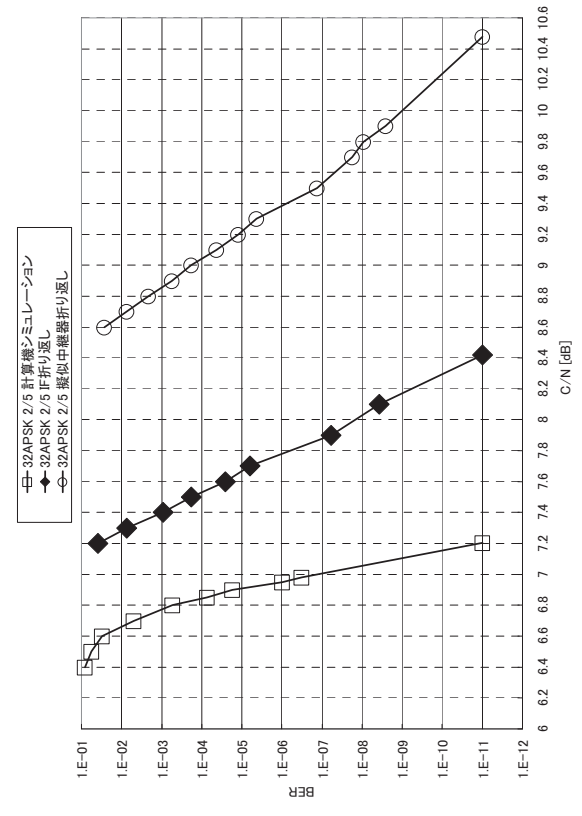


図 13c 32APSK 2/5

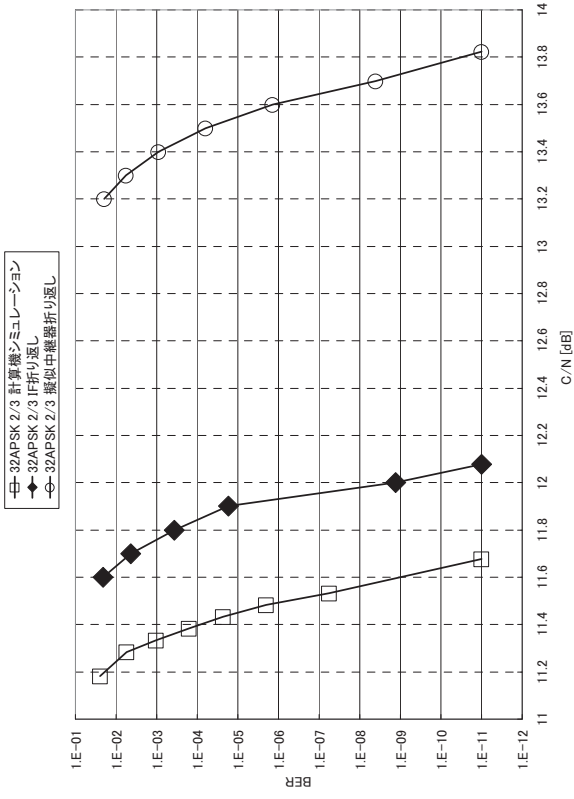


図 13f 32APSK 2/3

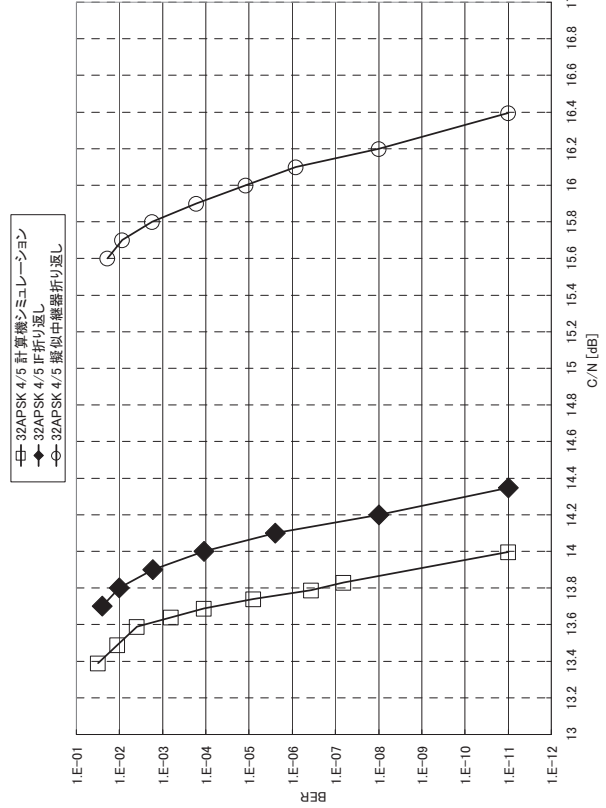


図 13h 32APSK 4/5

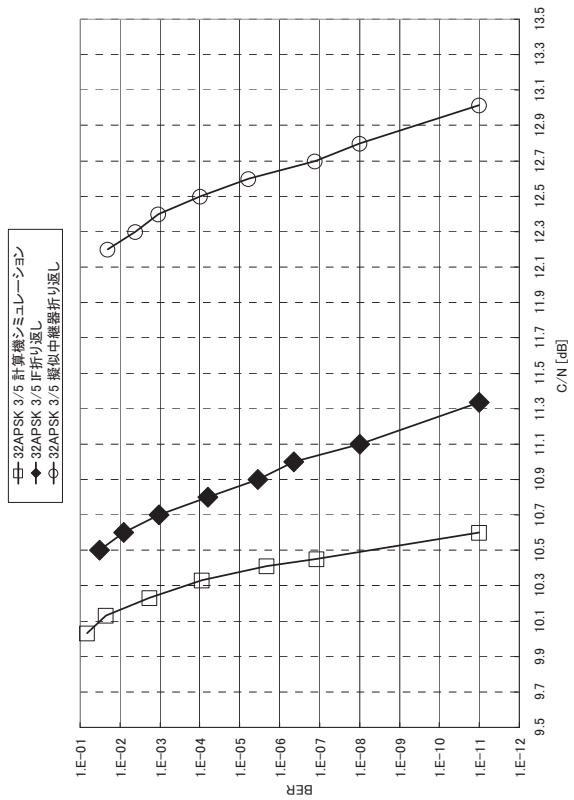


図 13e 32APSK 3/5

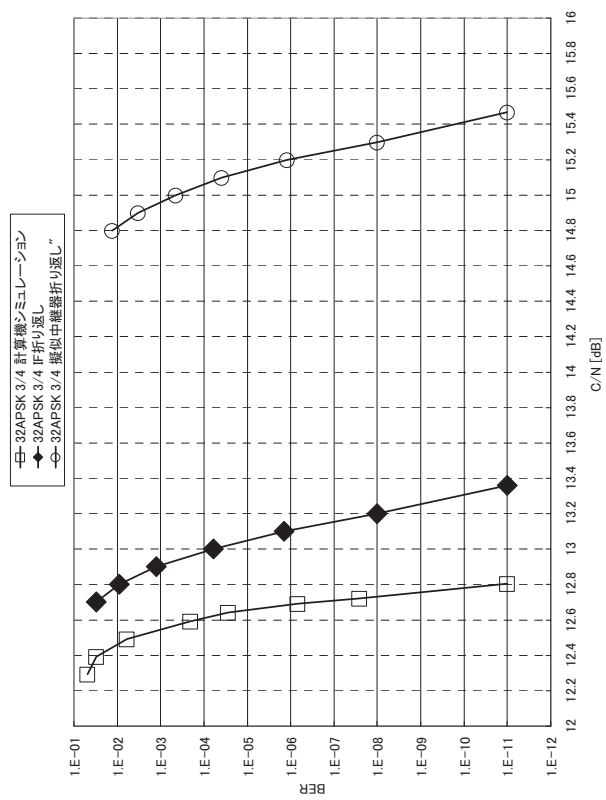


図 13g 32APSK 3/4

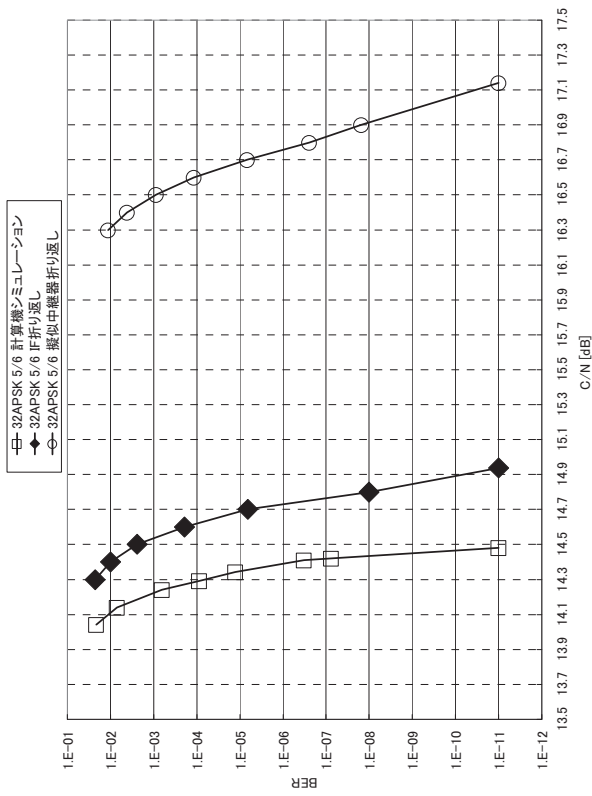


図 13i 32APSK 5/6

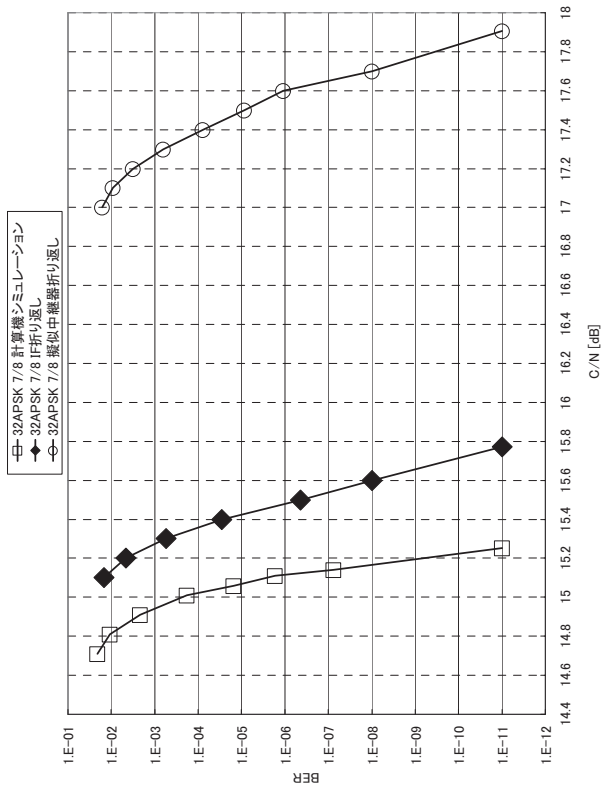


図 13j 32APSK 7/8

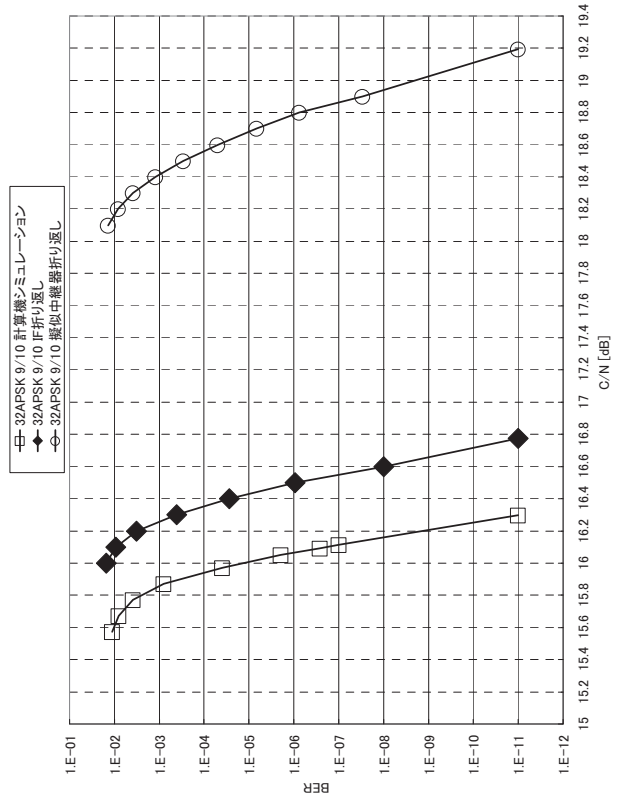


図 13k 32APSK 9/10

### 付録 1-6 16/32APSK の最適 OBO 値測定について

測定方法：16/32APSK の疑似中継器折返し (BS17ch)において、疑似エラーフリーC/N+OBO 値が最小となる OBO 値を、符号化率毎 (全 11 種類) に測定する。16/32APSK の最適 OBO 値の測定結果を図 14 及び図 15 に示す。

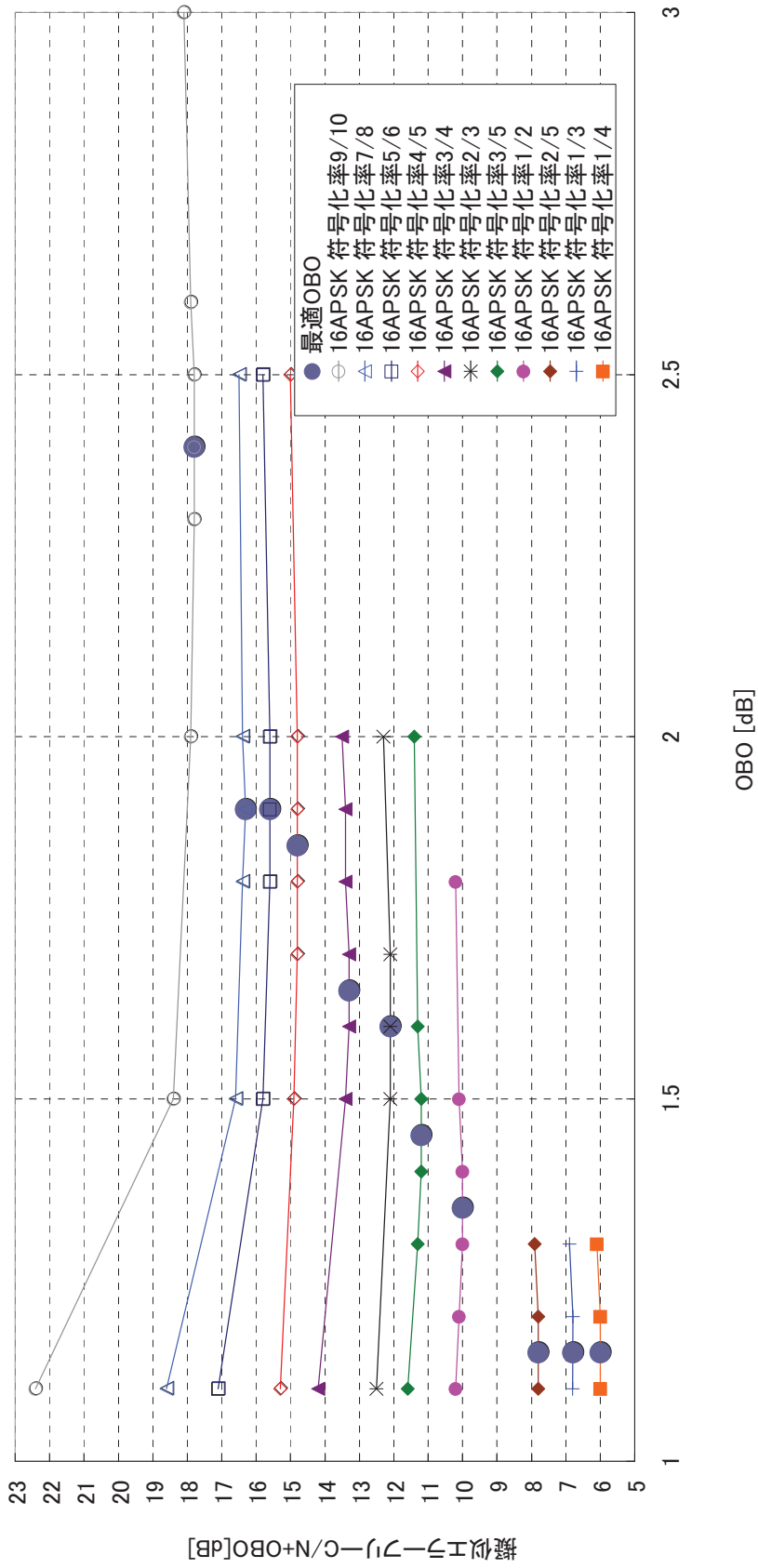


図 14 : 16APSK OBO 対疑似エラーフリーC/N+OBO 測定結果

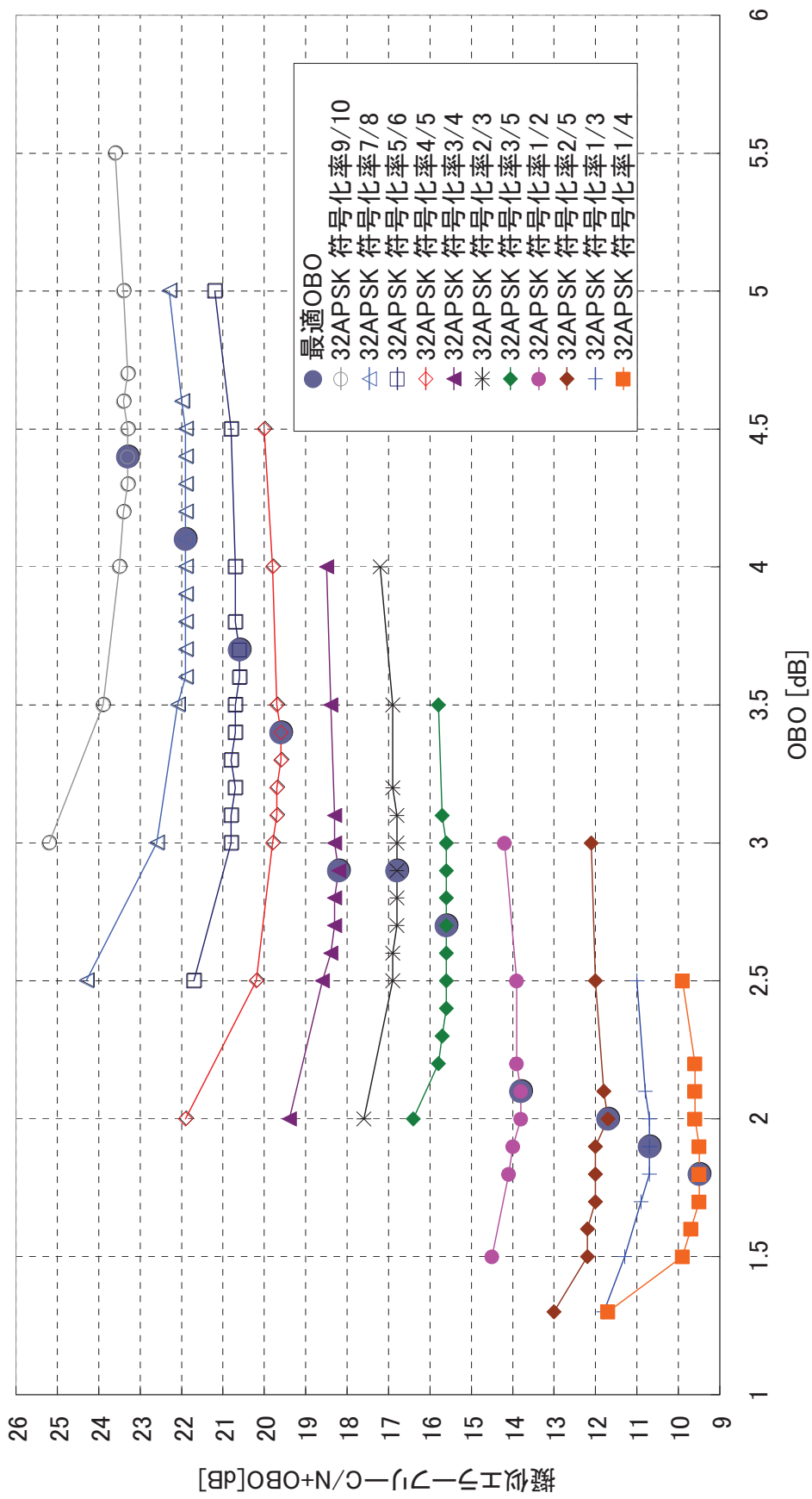


図 15 : 32APSK OBO 対擬似エラーフリー-C/N+OBO 測定結果



## 衛星伝送実験 詳細結果報告

## 2-4 伝送路符号化部実験－衛星伝送実験 実験結果

### 2-4-1 RF 実験および衛星伝送実験の主要パラメータ

RF 実験(地球局 17G-12G トランスレータ折返し)および衛星伝送実験の主要パラメータを表 25 に示す。各変調方式の衛星中継器バックオフを表 26 に示す。なお、衛星実験における 16APSK および 32APSK のバックオフは、衛星中継器で指定できるバックオフが 1dB ステップであるため、最適 OBO に近い設定値を選択した。

表 25 : RF 実験および衛星伝送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
地球局 HPA バックオフ	5dB

表 26 : 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	0.5	1.0	0.9	1.7	2.1
1/3				1.7	2.1
2/5				1.7	2.1
1/2				1.7	2.4
3/5				1.7	2.4
2/3				1.7	2.4
3/4				1.7	2.4
4/5				1.7	2.9
5/6				2.1	2.8
7/8				2.1	2.8
9/10	2.1	2.8			

### 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

実験内容：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する。

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する。

なお、衛星中継器の伝送チャンネルは BS21ch を使用した。32APSK の符号化率 1/4、1/3、2/5 は実験の都合上、2008 年 4 月 22 日に実施した BS19ch を用いた衛星伝送実験において測定を行った。

測定結果を表 27～表 28 に示す。また、付録 2-1 にスペクトラム写真を示す。

表 27 : RF 実験(地球局 17G-12G トランスレータ一折返し) 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	9/10	33.3
QPSK	3/4	33.4
8PSK	3/4	33.4
16APSK	1/4	33.5
16APSK	1/3	33.5
16APSK	2/5	33.5
16APSK	1/2	33.5
16APSK	3/5	33.5
16APSK	2/3	33.4
16APSK	3/4	33.5
16APSK	4/5	33.5
16APSK	5/6	33.5
16APSK	7/8	33.5
16APSK	9/10	33.5
32APSK	1/4	33.6
32APSK	1/3	33.5
32APSK	2/5	33.5
32APSK	1/2	33.6
32APSK	3/5	33.6
32APSK	2/3	33.5
32APSK	3/4	33.6
32APSK	4/5	33.6
32APSK	5/6	33.5
32APSK	7/8	33.5
32APSK	9/10	33.6

表 28 : 衛星伝送実験 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	9/10	33.3
QPSK	1/2	33.4
8PSK	3/4	33.5
16APSK	1/4	33.2
16APSK	1/3	33.2
16APSK	2/5	33.2
16APSK	1/2	33.2
16APSK	3/5	33.2
16APSK	2/3	33.2
16APSK	3/4	33.2
16APSK	4/5	33.2
16APSK	5/6	33.2
16APSK	7/8	33.2
16APSK	9/10	33.2
32APSK	1/4	33.2
32APSK	1/3	33.2
32APSK	2/5	33.2
32APSK	1/2	33.2
32APSK	3/5	33.2
32APSK	2/3	33.1
32APSK	3/4	33.1
32APSK	4/5	33.1
32APSK	5/6	33.1
32APSK	7/8	33.1
32APSK	9/10	33.1

### 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

実験内容：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 対ビット誤り率測定を実施する。16APSK および 32APSK のバックオフは、衛星中継器で指定できるバックオフが 1dB ステップであるため、最適 OBO に近い設定値を選択した。(表 26 参照)

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。衛星中継器の伝送チャンネルは BS21ch を使用した。

32APSK の符号化率 1/4、1/3、2/5 は実験の都合上、2008 年 4 月 22 日に実施した BS19ch を用いた衛星伝送実験において測定を行った。

表 29～表 33 に  $\pi/2$  シフト BPSK、QPSK、8PSK、16APSK、32APSK のトランスレータ一折返しおよび衛星伝送実験における所要 C/N 及び所要 C/N 劣化量を示す。衛星伝送実験においては、測定値の所要 C/N に OBO を加えた値も記載した。図 17～図 22 に衛星伝送実験における所要 C/N+OBO 対周波数利用効率を示す。付録 2-2 に受信信号のコンスタレーション写真を示す。付録 2-3 に C/N 対ビット誤り率特性を示す。付録 2-4 に衛星伝送実験および擬似中継器実験における所要 C/N 一覧を示す。

表 29-a :  $\pi/2$  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	トランスレータ 一折返し ③	衛星 折返し ④	OB0 ⑤	衛星伝送実験 +OB0 (⑥=④+⑤)
1/4	-5.1	-2.8	-2.8	-2.7	0.5	-2.2
1/3	-4.0	-2.8	-2.8	-2.6	0.5	-2.1
2/5	-3.0	-2.4	-2.3	-2.3	0.5	-1.8
1/2	-1.8	-1.5	-1.5	-1.4	0.5	-0.9
3/5	-0.5	-0.3	-0.3	-0.2	0.5	0.3
2/3	0.3	0.4	0.5	0.7	0.5	1.2
3/4	1.0	1.2	1.2	1.3	0.5	1.8
4/5	2.0	2.2	2.2	2.3	0.5	2.8
5/6	2.5	2.6	2.6	2.8	0.5	3.3
7/8	2.9	3.1	3.2	3.2	0.5	3.7
9/10	3.8	3.9	3.9	4.2	0.5	4.7

表 29-b :  $\pi/2$  シフト BPSK 所要 C/N 劣化量一覧

符号化率	IF 劣化 (②-①)	トランスレータ劣化 (③-①)	トランスレータ 一固定劣化 (③-②)	衛星劣化 (④-①)	衛星劣化 (OB0 含む) (⑥-①)	衛星固定 劣化 (⑥-③)
1/4	2.3	2.3	0.0	2.4	2.9	0.6
1/3	1.2	1.2	0.0	1.4	1.9	0.7
2/5	0.6	0.7	0.1	0.7	1.2	0.5
1/2	0.3	0.3	0.0	0.4	0.9	0.6
3/5	0.2	0.2	0.0	0.3	0.8	0.6
2/3	0.1	0.2	0.1	0.4	0.9	0.7
3/4	0.2	0.2	0.0	0.3	0.8	0.6
4/5	0.2	0.2	0.0	0.3	0.8	0.6
5/6	0.1	0.1	0.0	0.3	0.8	0.7
7/8	0.2	0.3	0.1	0.3	0.8	0.5
9/10	0.2	0.1	0.0	0.4	0.9	0.8

表 30-a : 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	トランスレータ折返し ③	衛星折返し ④	OB0 ⑤	衛星伝送実験 +OB0 (⑥=④+⑤)
1/4	-2.1	-1.2	-1.3	-1.1	1.0	-0.1
1/3	-1.0	-0.6	-0.4	-0.3	1.0	0.7
2/5	0.0	0.3	0.4	0.5	1.0	1.5
1/2	1.2	1.4	1.5	1.8	1.0	2.8
3/5	2.5	2.6	2.7	2.9	1.0	3.9
2/3	3.3	3.5	3.7	3.7	1.0	4.7
3/4	4.0	4.2	4.3	4.5	1.0	5.5
4/5	5.0	5.3	5.3	5.5	1.0	6.5
5/6	5.5	5.6	5.7	6.0	1.0	7.0
7/8	5.9	6.1	6.2	6.5	1.0	7.5
9/10	6.8	6.9	7.1	7.5	1.0	8.5

表 30-b : QPSK 所要 C/N 劣化量一覧

符号化率	IF 劣化 (②-①)	トランスレータ劣化 (③-①)	トランスレータ固定劣化 (③-②)	衛星劣化 (④-①)	衛星劣化 (OB0 含む) (⑥-①)	衛星固定劣化 (⑥-③)
1/4	0.9	0.8	0.1	1.0	2.0	1.2
1/3	0.4	0.6	0.2	0.7	1.7	1.1
2/5	0.3	0.4	0.1	0.5	1.5	1.1
1/2	0.2	0.3	0.1	0.6	1.6	1.3
3/5	0.1	0.2	0.1	0.4	1.4	1.2
2/3	0.2	0.4	0.2	0.4	1.4	1.0
3/4	0.2	0.3	0.1	0.5	1.5	1.2
4/5	0.3	0.3	0.0	0.5	1.5	1.2
5/6	0.1	0.2	0.1	0.5	1.5	1.3
7/8	0.2	0.3	0.1	0.6	1.6	1.3
9/10	0.1	0.3	0.2	0.7	1.7	1.4

表 31-a : 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	トランスレータ ー折返し ③	衛星折返し ④	OB0 ⑤	衛星伝送実験 +OB0 (⑥=④+⑤)
1/4	1.1	2.6	2.8	2.9	0.9	3.8
1/3	2.2	3.2	3.5	3.3	0.9	4.2
2/5	3.1	4.0	4.1	4.0	0.9	4.9
1/2	4.4	5.1	5.3	5.4	0.9	6.3
3/5	5.7	6.2	6.4	6.6	0.9	7.5
2/3	6.7	7.0	7.2	7.5	0.9	8.4
3/4	7.9	8.2	8.3	8.7	0.9	9.6
4/5	9.1	9.3	9.4	10.1	0.9	11.0
5/6	9.7	9.9	10.2	10.8	0.9	11.7
7/8	10.4	10.7	10.8	11.6	0.9	12.5
9/10	11.4	11.6	11.9	12.8	0.9	13.7

表 31-b : 8PSK 所要 C/N 劣化量一覧

符号化率	IF 劣化 (②-①)	トランスレー ター劣化 (③-①)	トランスレー ター固定劣化 (③-②)	衛星劣化 (④-①)	衛星劣化 (OB0 含む) (⑥-①)	衛星固定 劣化 (⑥-③)
1/4	1.5	1.7	0.2	1.8	2.7	1.0
1/3	1.0	1.3	0.3	1.1	2.0	0.7
2/5	0.9	1.0	0.1	0.9	1.8	0.8
1/2	0.7	0.9	0.2	1.0	1.9	1.0
3/5	0.5	0.7	0.2	0.9	1.8	1.1
2/3	0.3	0.5	0.2	0.8	1.7	1.2
3/4	0.3	0.4	0.1	0.8	1.7	1.3
4/5	0.2	0.3	0.1	1.0	1.9	1.6
5/6	0.2	0.5	0.3	1.1	2.0	1.5
7/8	0.3	0.4	0.1	1.2	2.1	1.7
9/10	0.2	0.5	0.3	1.4	2.3	1.8



表 32-a : 16APSK 所要 C/N 一覧

符号化率	シミュレーション ①	IF 折返し ②	トランスレータ ー折返し ③	衛星折返し ④	OB0 ⑤	衛星伝送実験 +OB0 (⑥=④+⑤)
1/4	2.9	3.8	4.1	4.2	1.7	5.9
1/3	4.1	5.0	5.3	5.5	1.7	7.2
2/5	5.1	6.0	6.1	6.6	1.7	8.3
1/2	6.6	7.7	8.0	8.6	1.7	10.3
3/5	8.0	8.8	8.9	9.7	1.7	11.4
2/3	9.1	9.4	9.8	10.3	1.7	12.0
3/4	10.2	10.6	10.8	11.6	1.7	13.3
4/5	11.3	11.6	11.9	12.9	1.7	14.6
5/6	11.9	12.2	12.7	13.6	2.1	15.7
7/8	12.5	12.9	13.3	14.5	2.1	16.6
9/10	13.5	13.8	14.3	16.3	2.1	18.4

表 32-b : 16APSK 所要 C/N 劣化量一覧

符号化率	IF 劣化 (②-①)	トランスレー ター劣化 (③-①)	トランスレー ター固定劣化 (③-②)	衛星劣化 (④-①)	衛星劣化 (OB0 含む) (⑥-①)	衛星固定 劣化 (⑥-③)
1/4	0.9	1.3	0.3	1.4	3.0	1.8
1/3	0.9	1.2	0.3	1.4	3.1	1.9
2/5	0.9	1.0	0.1	1.5	3.2	2.2
1/2	1.1	1.4	0.3	2.0	3.7	2.3
3/5	0.8	0.9	0.1	1.7	3.4	2.5
2/3	0.3	0.7	0.4	1.2	2.9	2.2
3/4	0.4	0.6	0.2	1.4	3.1	2.5
4/5	0.3	0.6	0.3	1.6	3.3	2.7
5/6	0.3	0.8	0.5	1.7	3.8	3.0
7/8	0.4	0.8	0.4	2.0	4.1	3.3
9/10	0.3	0.8	0.5	2.8	4.9	4.1

表 33-a : 32APSK 所要 C/N 一覧

符号化率	シミュレーション ①	IF 折返し ②	トランスレー ター折返し ③	衛星 折返し ④	OB0 ⑤	衛星伝送実験 +OB0 (⑥=④+⑤)
1/4	5.5	7.2	7.4	7.3	2.1	9.4
1/3	6.4	7.7	8.0	8.2	2.1	10.3
2/5	7.2	8.4	8.5	9.8	2.1	11.9
1/2	9.2	10.2	10.7	11.1	2.4	13.5
3/5	10.6	11.3	11.8	12.5	2.4	14.9
2/3	11.7	12.1	12.9	13.6	2.4	16.0
3/4	12.8	13.4	14.1	15.2	2.4	17.6
4/5	14.0	14.3	15.1	16.2	2.9	19.1
5/6	14.5	14.9	15.8	17.4	2.8	20.2
7/8	15.3	15.8	16.8	19.2	2.8	22.0
9/10	16.3	16.8	18.1	22.6	2.8	25.4

表 33-b : 32APSK 所要 C/N 劣化量一覧

符号化率	IF 劣化 (②-①)	トランスレー ター劣化 (③-①)	トランスレー ター固定劣化 (③-②)	衛星劣化 (④-①)	衛星劣化 (OB0 含む) (⑥-①)	衛星固定 劣化 (⑥-③)
1/4	1.7	1.9	0.2	1.8	3.9	2.0
1/3	1.3	1.6	0.3	1.8	3.9	2.3
2/5	1.2	1.3	0.1	2.6	4.7	3.4
1/2	1.0	1.5	0.5	1.9	4.3	2.8
3/5	0.7	1.2	0.5	1.9	4.3	3.1
2/3	0.4	1.2	0.8	1.9	4.3	3.1
3/4	0.6	1.3	0.7	2.4	4.8	3.5
4/5	0.3	1.1	0.8	2.2	5.1	4.0
5/6	0.4	1.3	0.9	2.9	5.7	4.4
7/8	0.5	1.5	1.0	3.9	6.7	5.2
9/10	0.5	1.8	1.3	6.3	9.1	7.3

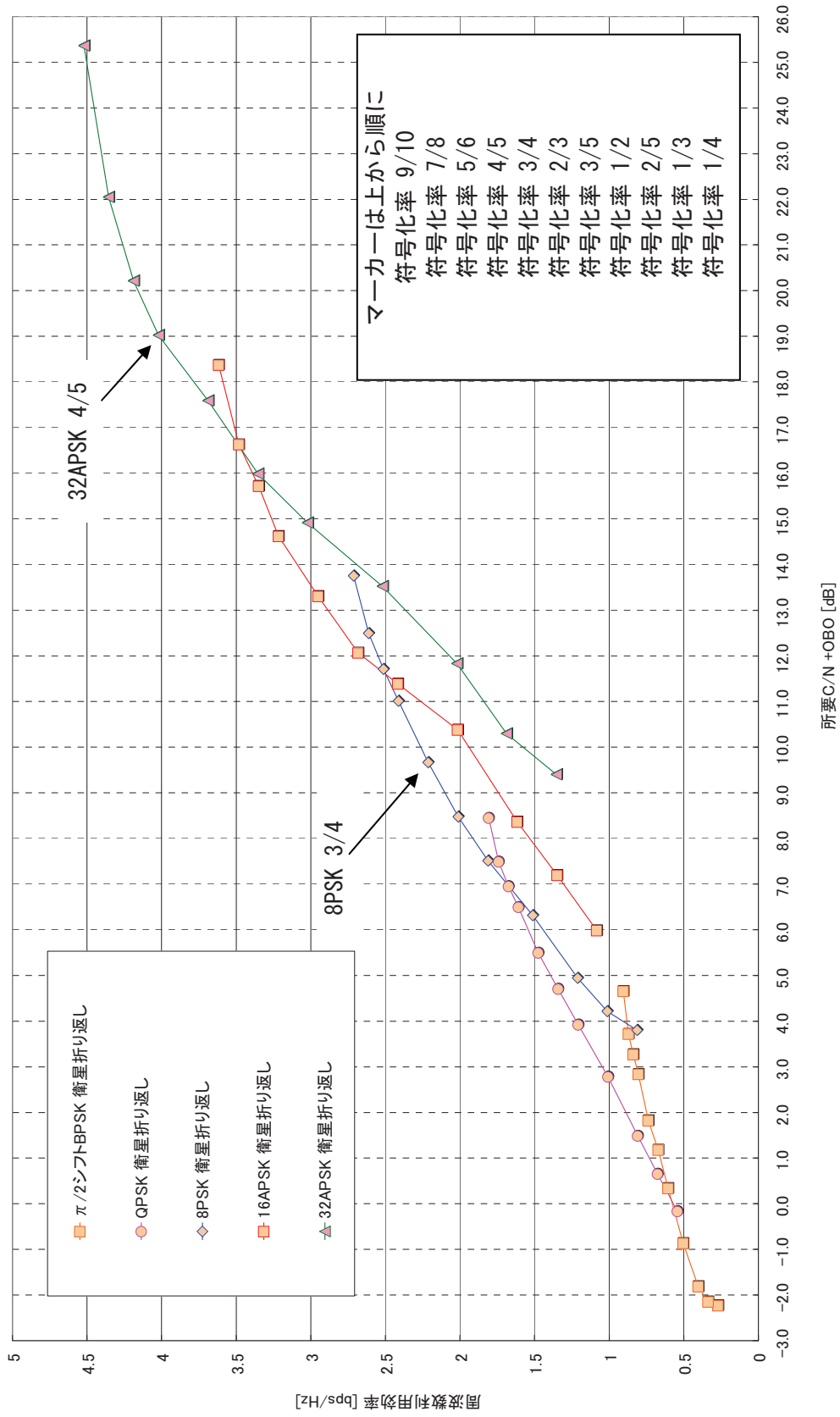


図 17 : 衛星中継器折返し 所要 C/N+OBO 対周波数利用効率

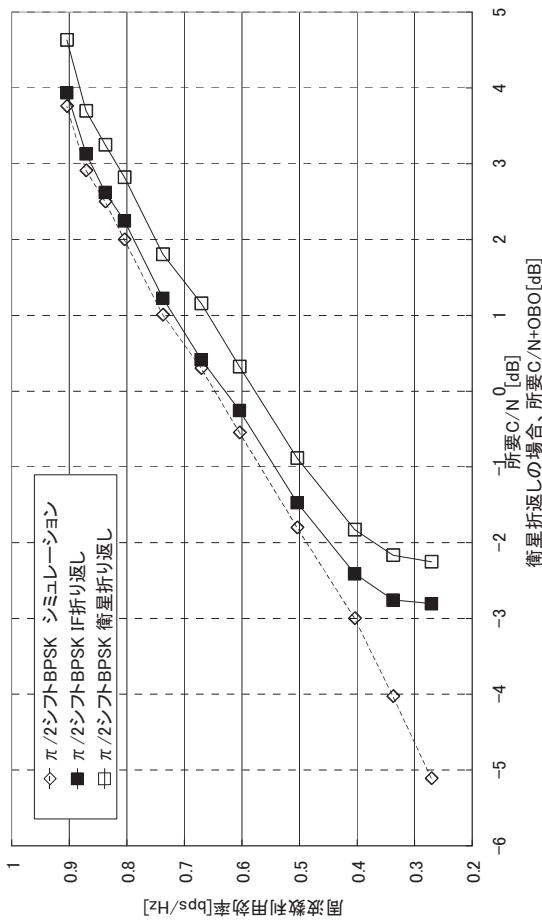


図 18 :  $\pi/2$ シフト BPSK 所要 C/N 対周波数利用効率

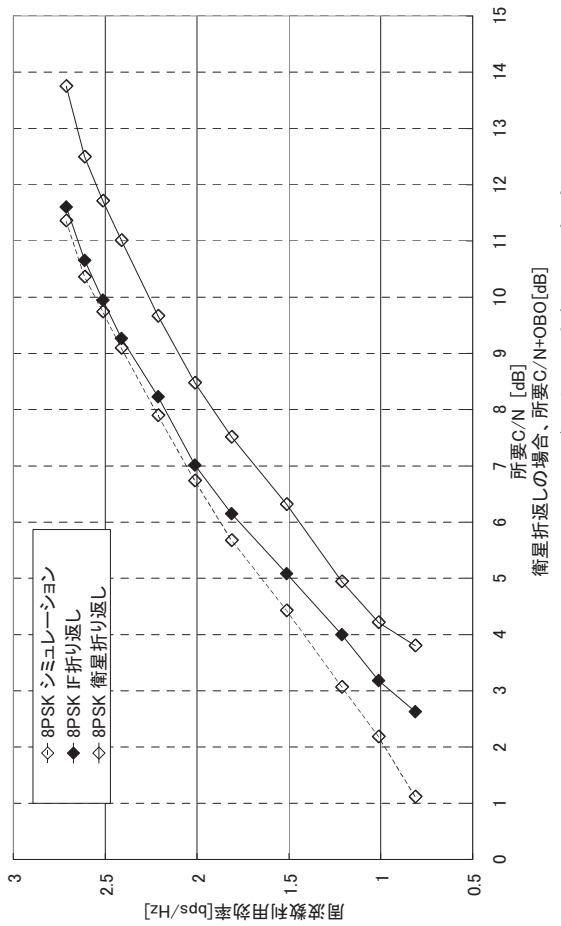


図 20 : 8PSK 所要 C/N 対周波数利用効率

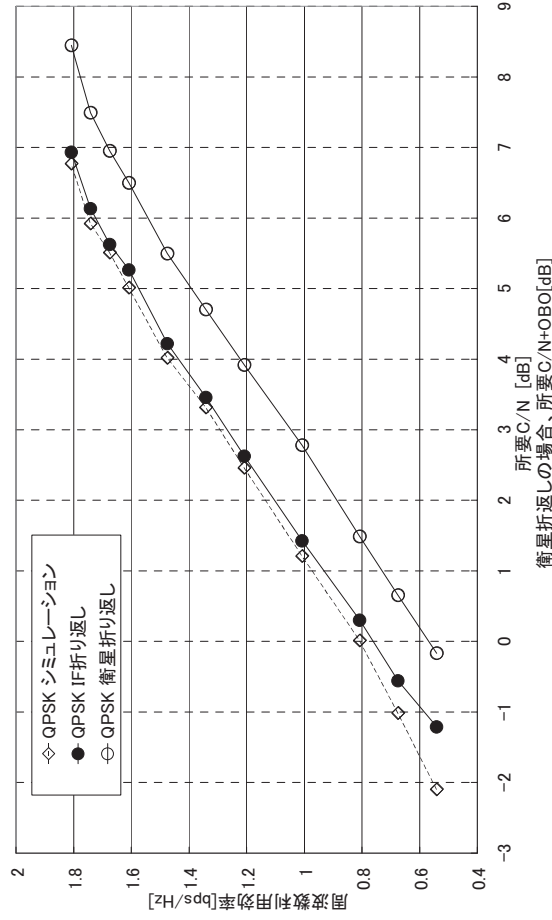


図 19 : QPSK 所要 C/N 対周波数利用効率

マーカーは上から順に

- 符号化率 9/10
- 符号化率 7/8
- 符号化率 5/6
- 符号化率 4/5
- 符号化率 3/4
- 符号化率 2/3
- 符号化率 3/5
- 符号化率 1/2
- 符号化率 2/5
- 符号化率 1/3
- 符号化率 1/4

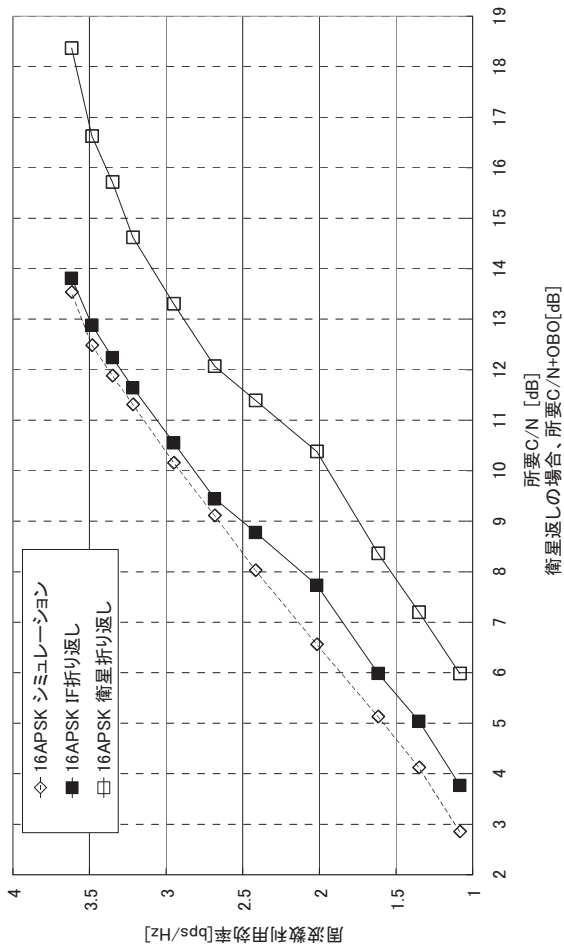


図 21 : 16APSK 所要 C/N 対周波数利用効率

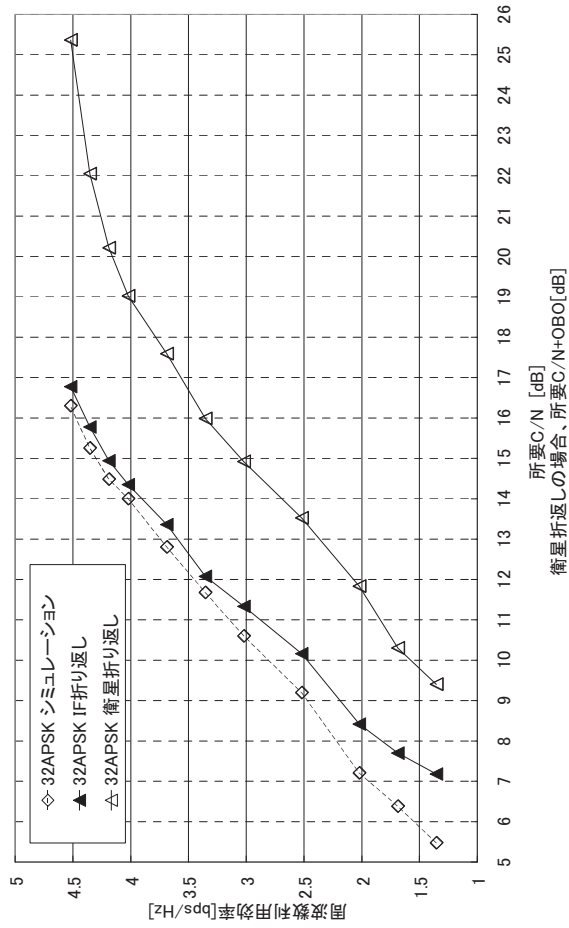


図 22 : 32APSK 所要 C/N 対周波数利用効率

マーカーは上から順に

符号化率 9/10
符号化率 7/8
符号化率 5/6
符号化率 4/5
符号化率 3/4
符号化率 2/3
符号化率 3/5
符号化率 1/2
符号化率 2/5
符号化率 1/3
符号化率 1/4

## 2-4-4 ODU 挿入時における C/N 劣化量の測定

実験内容：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 劣化量を測定する。

なお、衛星中継器の伝送チャンネルは BS21ch を使用した。32APSK は実験の都合上、2008 年 4 月 22 日に実施した BS19ch を用いた衛星伝送実験において測定を行った。使用した ODU の位相雑音は $-81.25\text{dBc}$  (1kHz オフセット)である。使用した ODU の位相雑音特性を図 23 に示す。本実験は衛星放送受信アンテナの ODU 部のみを取り外し、電波無響箱に備え付けて受信実験を行った。無響箱を図 24 に示す。ODU から再放射した信号は矩形ホーンアンテナで受信した。使用した矩形ホーンアンテナの諸元を表 34 に示す。ODU の有無による所要 C/N の測定結果を表 35 および図 25 に示す。

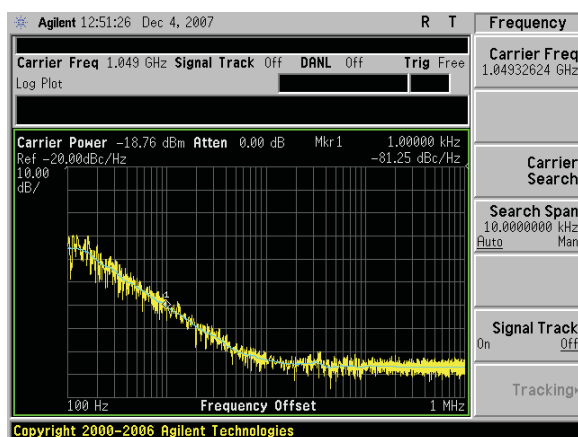


図 23：ODU の位相雑音特性



図 24：無響箱

表 34 矩形ホーンアンテナの緒元

開口径	55.8mm × 43.9mm
利得	16.5dBi

表 35 ODU の有無による C/N の劣化量

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	8.7	8.8	0.1
16APSK 3/4	11.6	11.7	0.1
32APSK 4/5	16.5	16.7	0.2

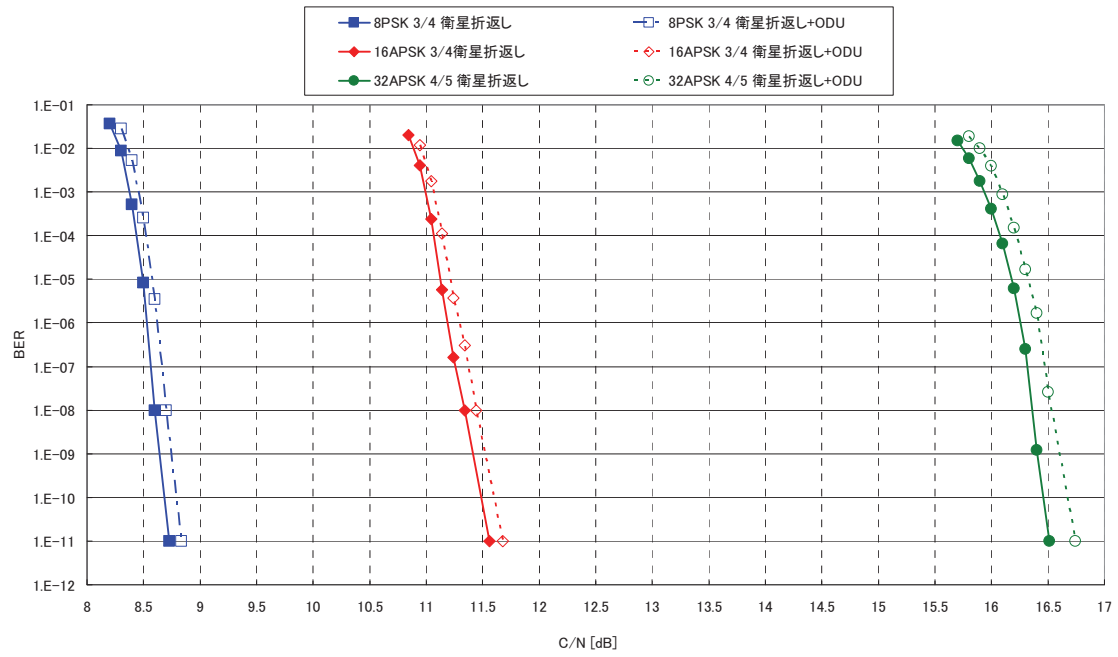


図 25 : ODU 挿入時の 8PSK 3/4 16APSK 3/4 32APSK 4/5 衛星折返し C/N 対ビット誤り率

### 2-4-5 同期限界測定

実験内容：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。

本測定は 2008 年 4 月 23 日に実施した BS19ch を用いた衛星伝送実験において測定を行った。  
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レンジ C/N およびロックレンジ C/N の測定結果を表 36 に示す。

表 36-1：8PSK 3/4 キャプチャレンジ C/N ロックレンジ C/N の測定結果

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 [dB]	ロック C/N [dB]	備考
0	0	8PSK 120slot	0.0	-3.5	-3.6	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-4.5MHzのときにLockせず、-4.0MHzでLock。
1	1254.72		1.0	-3.2	-3.2	
-1	1254.72		-1.0	-3.5	-3.5	
2	1254.72		2.0	-3.4	-3.5	
-2	1254.72		-2.0	-3.3	-3.4	
3	1254.72		3.0	-3.5	-3.5	
-3	1254.72		-3.0	-3.2	-3.2	
4	1254.72		4.0	-3.0	-3.1	
-4	1254.72		-4.0	-1.2	-2.7	
4.5	1254.72		4.5	-2.9	-3.1	
5	1254.72		5.0	-2.1	-2.7	

表 36-2：32APSK 4/5 キャプチャレンジ C/N ロックレンジ C/N の測定結果

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 [dB]	ロック C/N [dB]	備考
0	0	32APSK 120slot	0.0	-3.2	-3.2	
1	1254.72		1.0	-3.3	-3.3	
-1	1254.72		-1.0	-3.0	-3.1	
2	1254.72		2.0	-3.2	-3.3	
-2	1254.72		-2.0	-3.0	-3.1	
3	1254.72		3.0	-3.3	-3.3	
-3	1254.72		-3.0	-3.0	-3.0	
4	1254.72		4.0	-3.0	-3.0	
-4	1254.72		-4.0	-1.9	-2.8	
4.5	1254.72		4.5	-2.8	-2.8	
5	1254.72		5.0	-2.6	-2.8	



## 2-4-6 TLV 機能の動作検証

実験内容：8PSK 3/4 で TLV モードの信号を伝送し、正しく復調できていることロジックアナライザにより確認する。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、伝送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する。

高度衛星デジタル放送暫定方式は、MPEG-TS の伝送において先頭同期バイトの 47Hex を除いた 187Byte 単位で伝送する。TLV モードにおける可変長パケット機能の動作検証として、187Byte と異なる先頭同期バイトを含んだ 188byte の MPEG-TS を利用した。

TLV モードの信号が正しく復号には、TMCC 情報に記載されるトップポイントおよびラストポイント情報が正常に動作する必要がある。本測定では、TLV モードの信号として 188Byte の MPEG-TS を使用し、先頭同期 Byte である 47Hex が検出可能であることをロジックアナライザで確認する事で、TLV モードの動作検証を実施した。

本測定は 2008 年 4 月 24 日に実施した BS19ch を用いた衛星伝送実験において測定を行った。  
測定方法：

- ・ 変調器において送信信号として TLV モード (188byte) を選択する。
- ・ 8PSK 3/4 で TLV モードの信号を変調し、衛星伝送路を通過後の信号を復調器で復調する。
- ・ 復調器の復調信号をロジックアナライザで解析し、復調信号の先頭パケットヘッダ及び 2 番目のパケットヘッダが 47Hex であることを確認し、TLV モードのパケットサイズ 188Byte になっていることを確認する。
- ・ 続いて、ノイズを付加し、主信号が断になる状況において、TLV パケットが正しく NULL パケットに置換される事を確認する。

図 26 にノイズを付加しない場合の先頭パケットおよび第 2 パケットにおけるロジックアナライザの解析画面を示す。図 27 にノイズを付加した場合の先頭パケットおよび第 2 パケットにおけるロジックアナライザの解析画面を示す。実験系統図を図 28 に示す。

Label>	DATA	EN	PCK
Base>	Hex	He	Hex
0	47	1	1
1	00	1	0
2	10	1	0
3	19	1	0
4	00	1	0
5	00	1	0
6	00	1	0
7	00	1	0
8	00	1	0
9	00	1	0
10	00	1	0
11	00	1	0
12	00	1	0
13	00	1	0
14	00	1	0
15	00	1	0

図 26-1 ノイズ OFF における  
TLV モードの解析結果  
(先頭パケット)

Label>	DATA	EN	PCK
Base>	Hex	He	Hex
188	47	1	1
189	00	1	0
190	10	1	0
191	1A	1	0
192	00	1	0
193	00	1	0
194	00	1	0
195	00	1	0
196	00	1	0
197	00	1	0
198	00	1	0
199	00	1	0
200	00	1	0
201	00	1	0
202	00	1	0
203	00	1	0

図 26-2 ノイズ OFF における  
TLV モードの解析結果  
(第 2 パケット目)

Label>	DATA	EN	PCK
Base>	Hex	He	Hex
0	47	1	1
1	FF	1	0
2	FF	1	0
3	FF	1	0
4	FF	1	0
5	FF	1	0
6	FF	1	0
7	FF	1	0
8	FF	1	0
9	FF	1	0
10	FF	1	0
11	FF	1	0
12	FF	1	0
13	FF	1	0
14	FF	1	0
15	FF	1	0

図 27-1 ノイズ ON における  
TLV モードの解析結果  
NULL パケット確認画面  
(先頭パケット)

Label>	DATA	EN	PCK
Base>	Hex	He	Hex
188	47	1	1
189	FF	1	0
190	FF	1	0
191	FF	1	0
192	FF	1	0
193	FF	1	0
194	FF	1	0
195	FF	1	0
196	FF	1	0
197	FF	1	0
198	FF	1	0
199	FF	1	0
200	FF	1	0
201	FF	1	0
202	FF	1	0
203	FF	1	0

図 27-2 ノイズ ON における  
TLV モードの解析結果  
NULL パケット確認画面  
(第 2 パケット目)

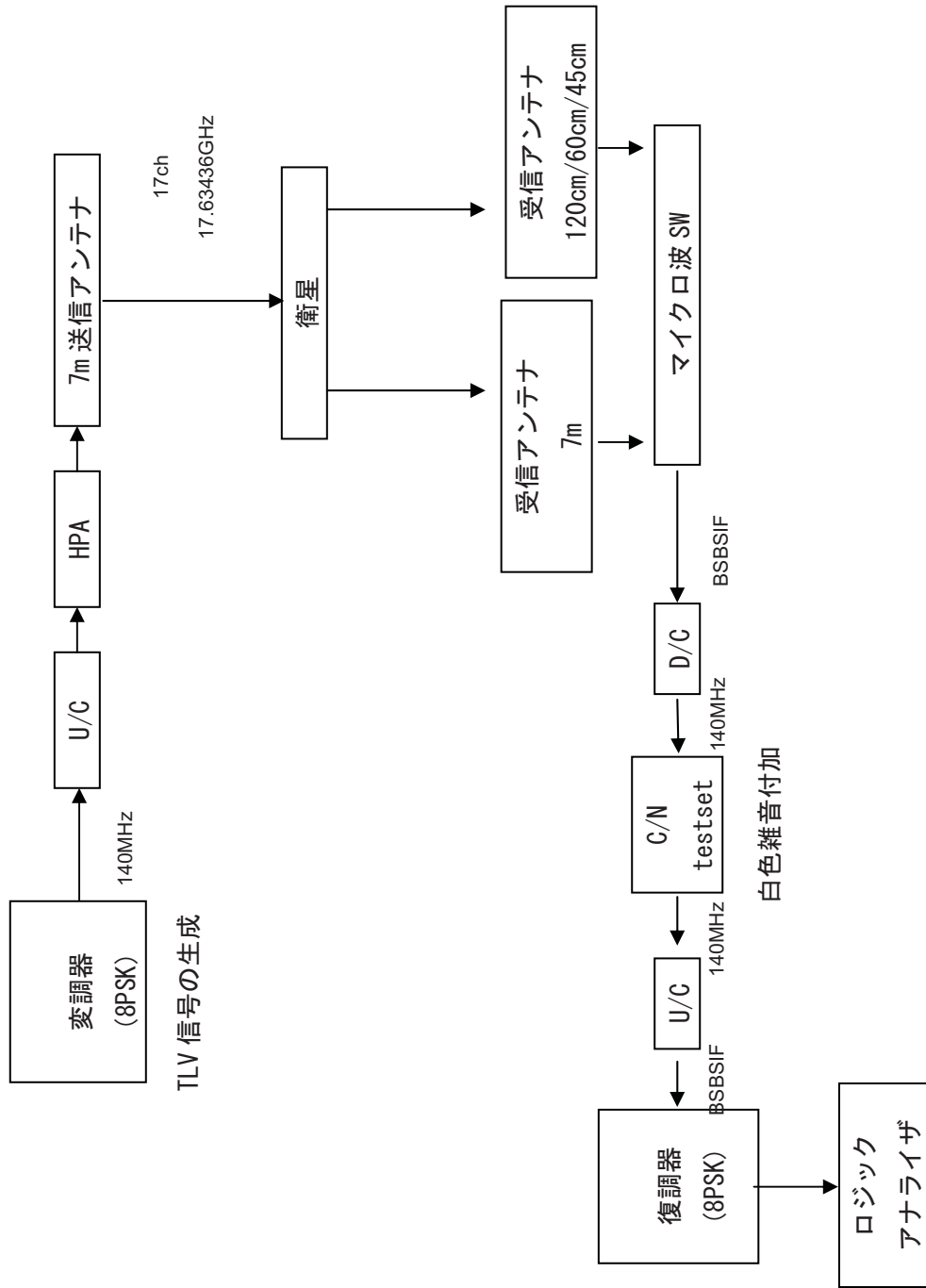


図 28 : TLV モード動作確認試験 実験系統図

## 2-4-7 総合試験特性

### 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）

平成 20 年 4 月 24 日に NHK 放送センターにて、衛星中継器を用いた高度衛星デジタル放送暫定方式による HDTV 4 番組伝送、リニア PCM 番組伝送および階層伝送の総合試験を実施した。伝送チャンネルは BS17ch（アップリンク周波数：17.63436GHz/ダウンリンク周波数：12.03436GHz）を使用した。階層伝送の試験は受信 C/N を C/N テストセットを用いて劣化させ、HDTV が断となる現象を発生させた際に、低階層用映像が正常に復号可能であり、受信 C/N が再び回復した際に HDTV が正常に復号可能であることを試験項目とした。

BS 用受信アンテナを 45cm 径、60cm 径、120cm 径の 3 種類用意し、全ての場合において、正常に受信できる事を確認した。総合試験に用いた伝送スロット内訳を表 37 に示す。総合試験に使用した映像・音声素材のビットレートを表 38 に示す。図 29 に実験系統図を示す。図 30~図 36 に総合試験の様子を示す。

上記期間中、実施した全ての試験において、正常に伝送できる事を確認した。

表 37-1：総合試験に用いた伝送スロットの内訳

(8PSK 3/4 HDTV4 番組伝送、QPSK 1/2 低階層映像伝送)

HDTV 17Mbps (30slot)	HDTV 17Mbps (30slot)	HDTV 17Mbps (30slot)	HDTV 14Mbps (25slot)	低階層
				↑
				1.31835Mbps (5slot)

表 37-2：総合試験に用いた伝送スロットの内訳

(8PSK 3/4 リニア PCM1 番組、HDTV 3 番組伝送、QPSK 1/2 低階層映像伝送)

HDTV (リニア PCM 音声) 17Mbps (30slot)	HDTV 17Mbps (30slot)	HDTV 17Mbps (30slot)	HDTV 14Mbps (25slot)	低階層
				↑
				1.31835Mbps (5slot)

表 38：総合試験に使用した映像・音声素材のビットレート

番組種別	映像符号化	映像ビットレート	音声符号化	音声ビットレート
HDTV	H.264	15.8Mbps	AAC 5.1ch	320Kbps
HDTV (低階層と同一内容)	H.264	13.5Mbps	AAC 5.1ch	320Kbps
HDTV(リニア PCM 音声)	H.264	10.015Mbps	リニア PCM	6912Kbps
低階層用映像	H.264	990Kbps	AAC	128Kbps

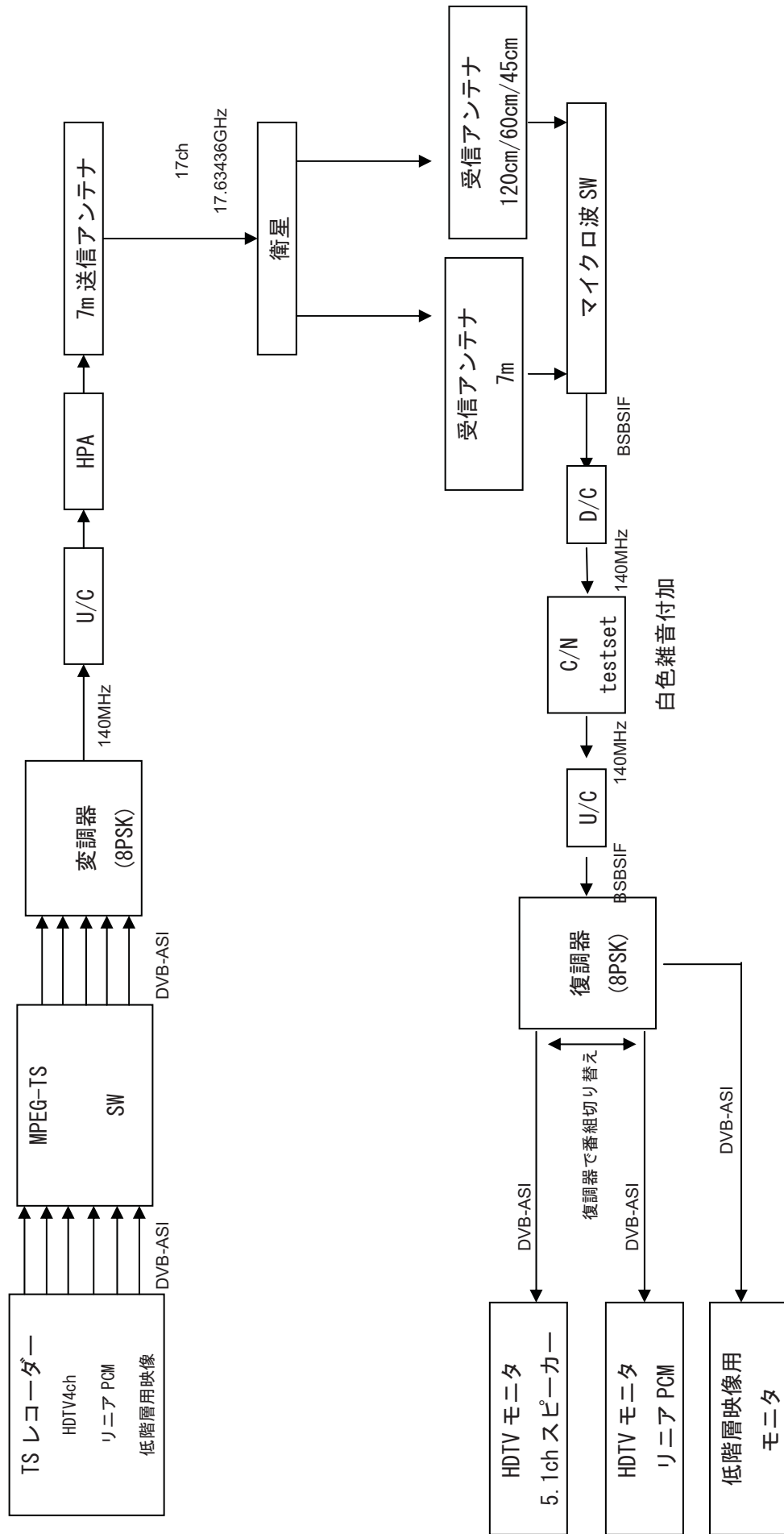


図 29 : 8PSK HDTV 4 番組伝送、リニア PCM 番組伝送、階層伝送、総合試験系統図



図 30 高度衛星デジタル伝送装置

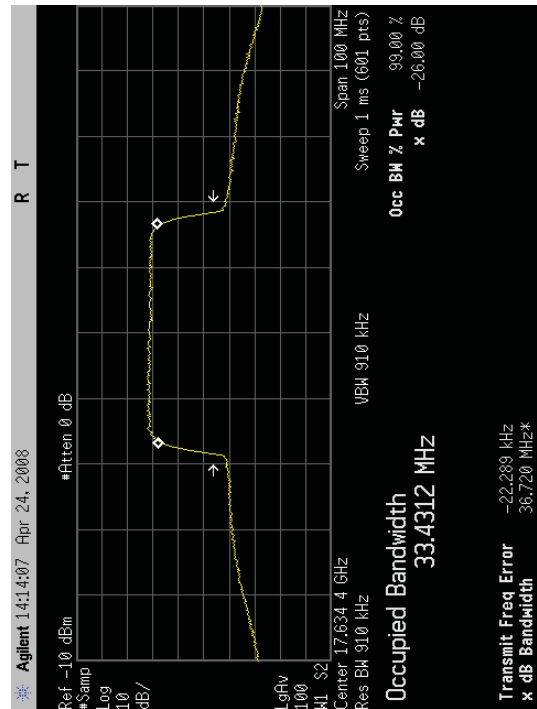


図 32 8PSK 変調波の送信スペクトラム (BS17ch)



図 31 衛星伝送実験の様子

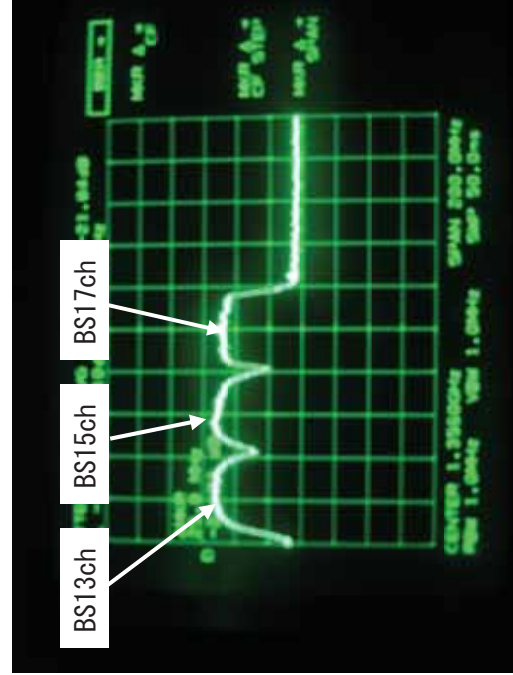


図 33 衛星放送波の受信スペクトラム (BS17ch)



図 34 高度 BS デジタル伝送装置 総合試験の様子



図 35 リニア PCM 番組 低階層番組 使用機器



図 36 受信用 45cm 径 パラボラアンテナ

## 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）

平成 20 年 5 月 15 日に NHK 放送センターおよび NHK 放送技術研究所にて、高度衛星デジタル伝送暫定方式による 32APSK を用いた衛星 1 中継器による SHV (スーパーハイビジョン)1 番組伝送、8PSK を用いた衛星 2 中継器を用いたバルク伝送機能による SHV 1 番組伝送（バルク伝送）の総合試験を実施した。伝送チャンネルは BS17ch(アップリンク周波数：17.63436GHz/ダウンリンク周波数：12.03436GHz) および BS19ch(アップリンク周波数：17.67272GHz/ダウンリンク周波数：12.07272GHz) を使用した。

受信パラボラアンテナは 45cm 径、120cm 径の 2 種類のアンテナを使用した。32APSK 伝送、8PSK バルク伝送ともに同じ MPEG-TS レートの SHV 番組を使用した。総合試験に用いた伝送スロット内訳を表 39 に示す。総合試験に使用した映像・音声素材のビットレートを表 40 に示す。図 37 に実験系統図を示す。図 38~図 49 にデモンストレーションの様子を示す。

上記期間中、実施した全ての試験において、45cm および 120cm の両方のパラボラアンテナを使用して、正常に伝送できることを確認した。

表 39： 総合試験に用いた伝送スロットの内訳  
(32APSK 4/5 衛星 1 中継器 SHV1 番組伝送)

SHV BS19ch
126.56Mbps 120slot

表 39-2： 総合試験に用いた伝送スロットの内訳  
(8PSK 3/4 衛星 2 中継器 SHV1 番組伝送（バルク伝送）)

SHV 69.6Mbps 120slot
SHV 69.6Mbps 120slot

表 40： 総合試験に使用した映像・音声素材のビットレート

番組種別	映像コーデック	映像ビットレート	音声コーデック	音声ビットレート
SHV	H.264	118Mbps	AAC 22.2ch	1920Kbps



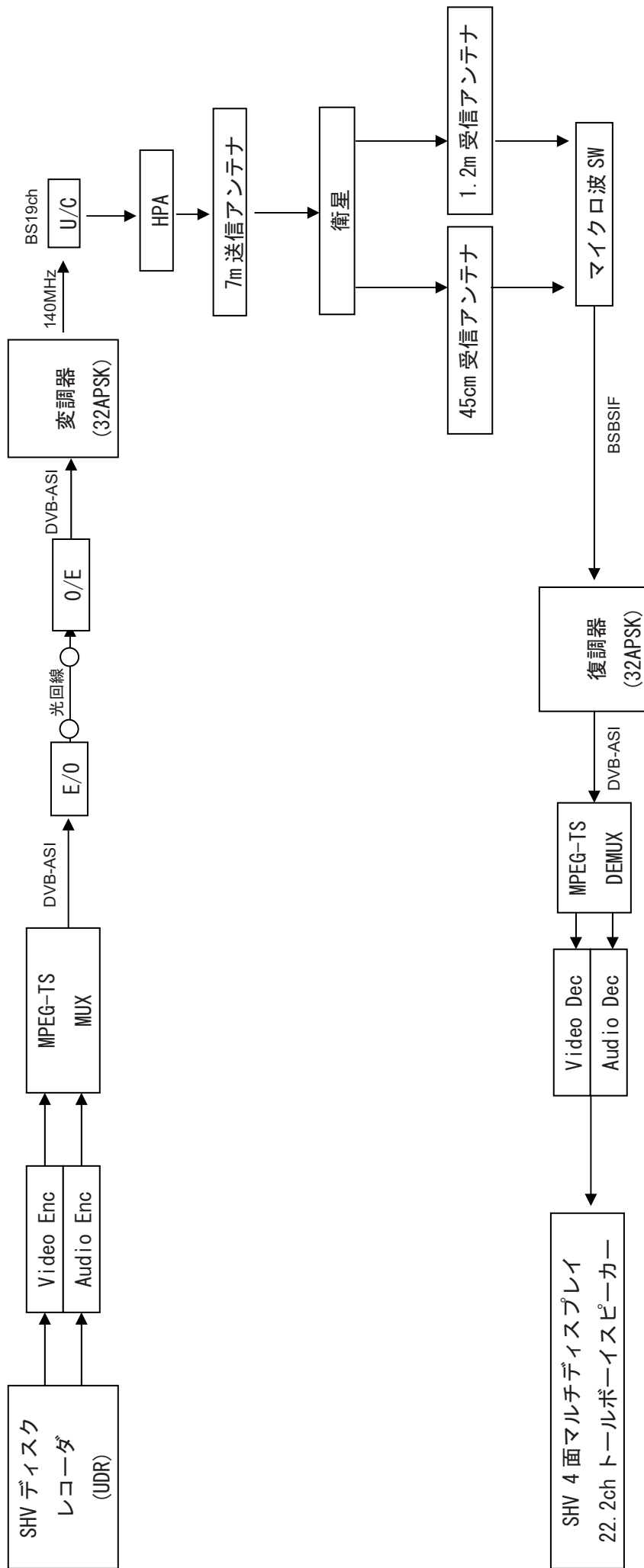


図 37-1 : 32APSK 4/5 SHV 1 番組伝送 総合試験系統図

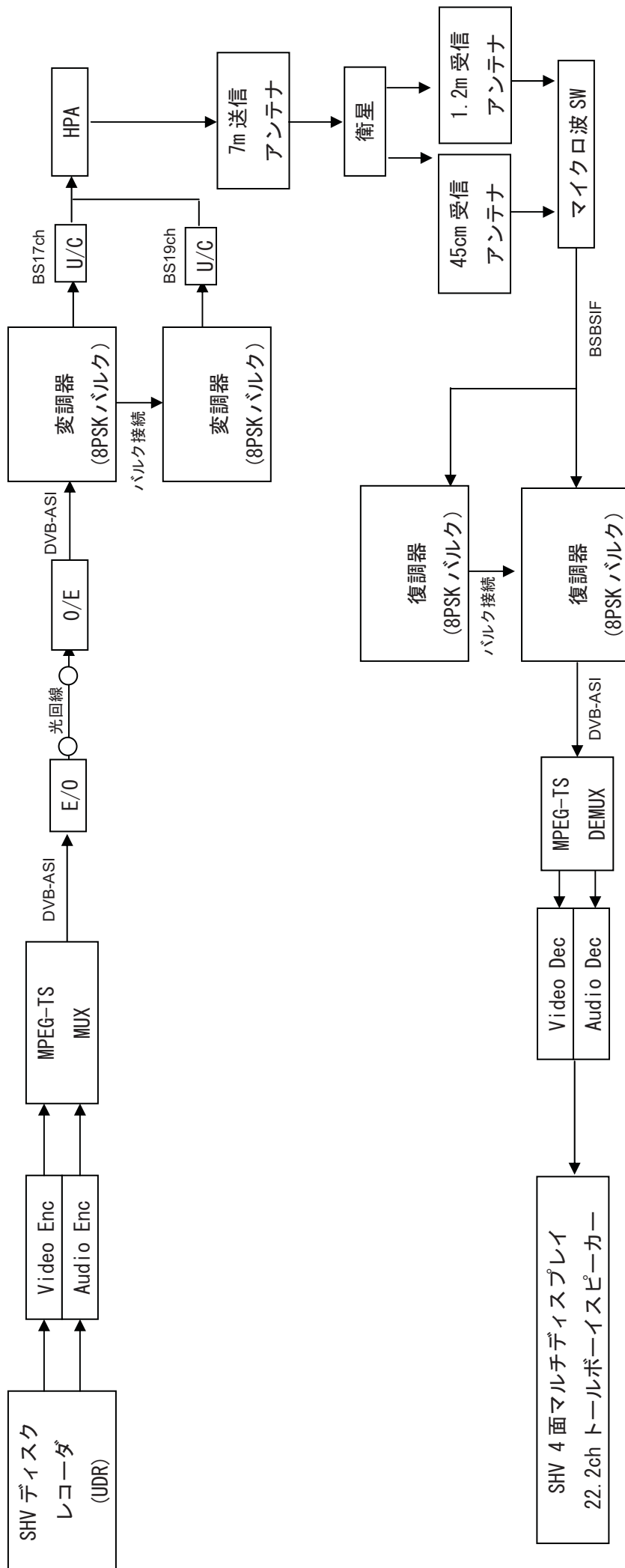


図 37-2 : 8PSK(3/4 バルク) SHV 1 番組伝送 総合試験系統図



図 38 SHV 番組伝送試験 使用機器



図 39 SHV 番組伝送実験の様子



図 40 32APSK 4/5 受信スペクトラム、コンスタレーション



図 41 8PSK 3/4 バルク伝送 受信スペクトラム、コンスタレーション

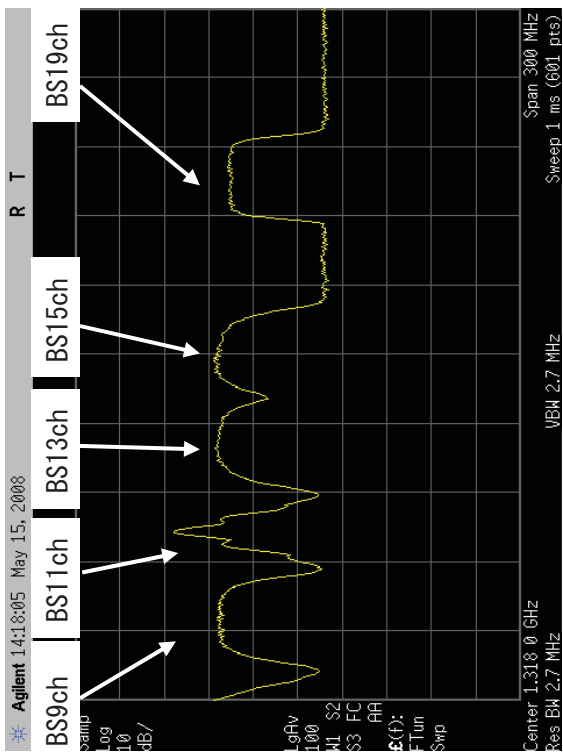


図 42 32APSK 4/5 受信スペクトラム(45cm 径パラポラアンテナ)

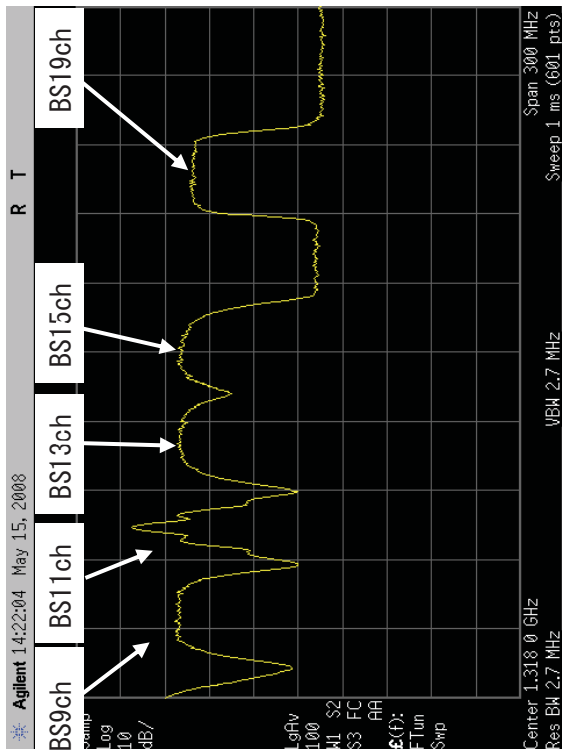


図 44 32APSK 4/5 受信スペクトラム(120cm 径パラポラアンテナ)

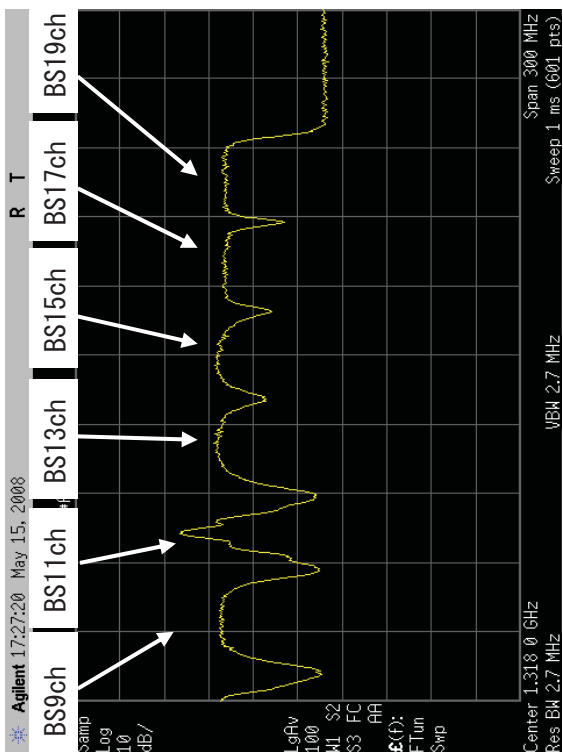


図 43 8PSK 3/4 バルク伝送 受信スペクトラム(45cm 径パラポラアンテナ)

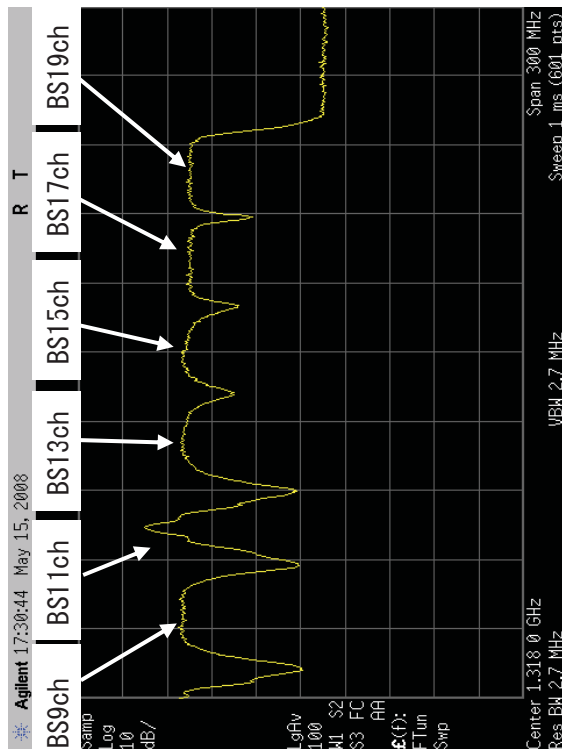


図 45 8PSK 3/4 バルク伝送 受信スペクトラム(120cm 径パラポラアンテナ)



図 47 8PSK 3/4 バルク伝送 コンスタレーション (45cm 径パラポラアンテナ)



図 49 受信用 120cm 径 パラポラアンテナ



図 46 32APSK 4/5 コンスタレーション (45cm 径パラポラアンテナ)



図 48 受信用 45cm 径 パラポラアンテナ

### 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

平成 20 年 2 月 20 日に NHK 放送センターにて、擬似中継器を用いた高度衛星デジタル放送暫定方式による映像・音声伝送のデモンストレーションを実施した。デモンストレーションの実施項目を表 41 に示す。デモンストレーションに使用した映像・音声素材のビットレートを表 42 に示す。図 50 に系統図を示す。図 51~図 58 にデモンストレーションの様子を示す。

表 41-1：デモンストレーションに用いた伝送スロットの内訳  
(8PSK 3/4 HDTV4 番組伝送)

HDTV (リニア PCM 音声) 17Mbps (30slot)	HDTV 17Mbps (30slot)	HDTV 17Mbps (30slot)	HDTV 17Mbps (30slot)
---	----------------------------	----------------------------	----------------------------

表 41-2：デモンストレーションに用いた伝送スロットの内訳  
(8PSK 3/4 リニア PCM1 番組、HDTV3 番組伝送)

HDTV (リニア PCM 音声) 17Mbps (30slot)	HDTV 17Mbps (30slot)	HDTV 17Mbps (30slot)	HDTV 17Mbps (30slot)
---	----------------------------	----------------------------	----------------------------

表 41-3：デモンストレーションに用いた伝送スロットの内訳  
(8PSK 3/4 HDTV1 番組、QPSK 1/2 低階層番組伝送)

HDTV 17Mbps (30slot)	NULL 49.30629Mbps 85slot	低階層
----------------------------	--------------------------------	-----

↑  
1.31835Mbps (5slot)

表 41-4：デモンストレーションに用いた伝送スロットの内訳  
(32APSK 4/5 1 中継器 SHV1 番組伝送)

SHV 126.56Mbps 120slot
---------------------------

表 41-5：デモンストレーションに用いた伝送スロットの内訳  
(8PSK 3/4 2 中継器 SHV1 番組伝送 (バルク伝送))

SHV 69.6Mbps 120slot
SHV 69.6Mbps 120slot

表 42 : デモンストレーションに使用した映像・音声素材のビットレート

実施項目	映像コーデック	映像ビットレート	音声コーデック	音声ビットレート
HDTV4 番組伝送デモ	H. 264	15. 8Mbps	AAC 5. 1ch	320Kbps
リニア PCM 音声デモ	H. 264	10. 015Mbps	リニア PCM	6912Kbps
階層伝送デモ	H. 264	990Kbps	AAC 22. 2ch	128Kbps
SHV 伝送デモ	H. 264	118Mbps	AAC 22. 2ch	1920Kbps

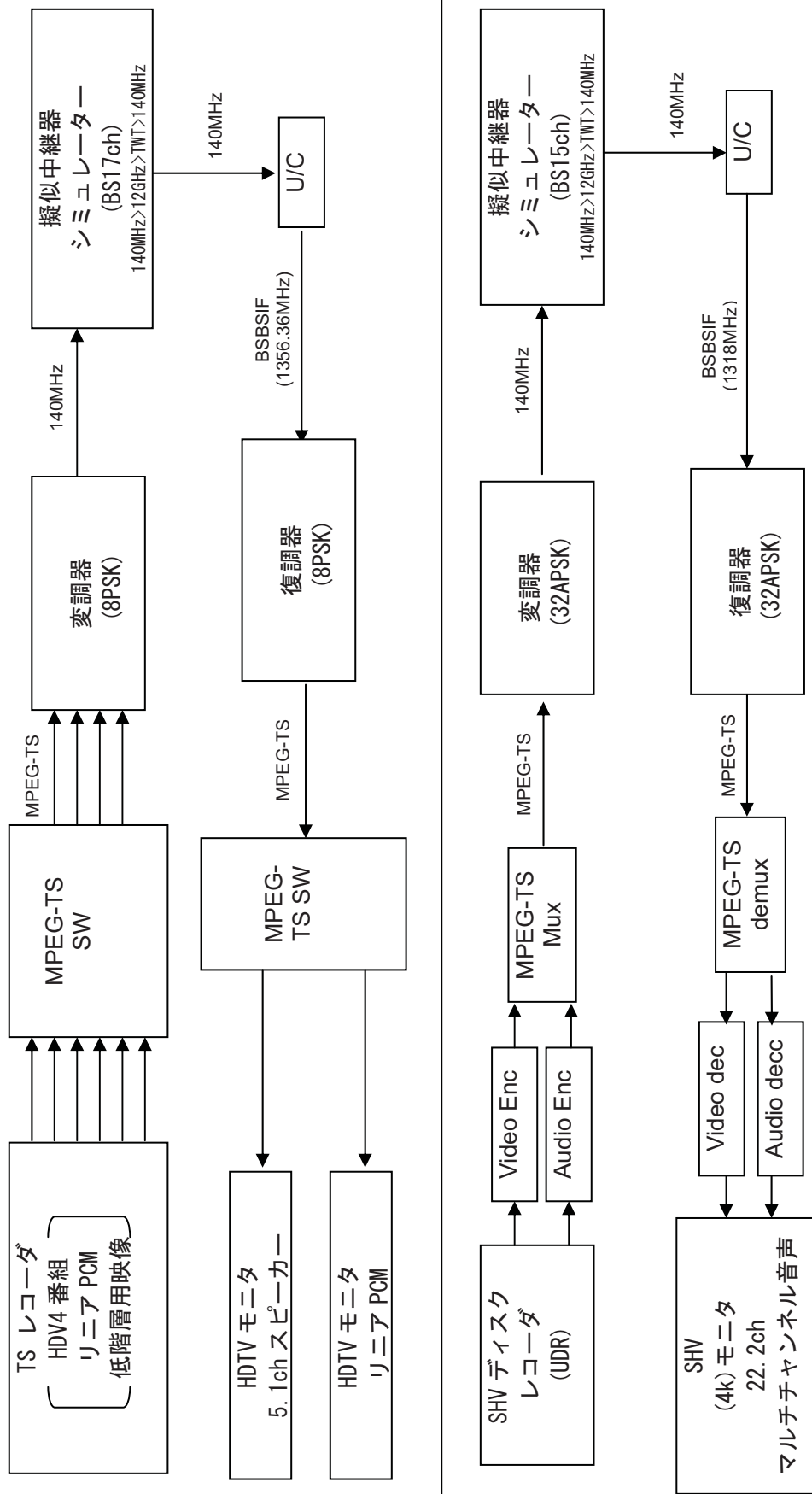


図 50-1： 擬似中継器折返し デモストレーション系統図 (HDTV4ch 伝送、階層伝送、32APSK による 1 中継器 SHV 伝送)



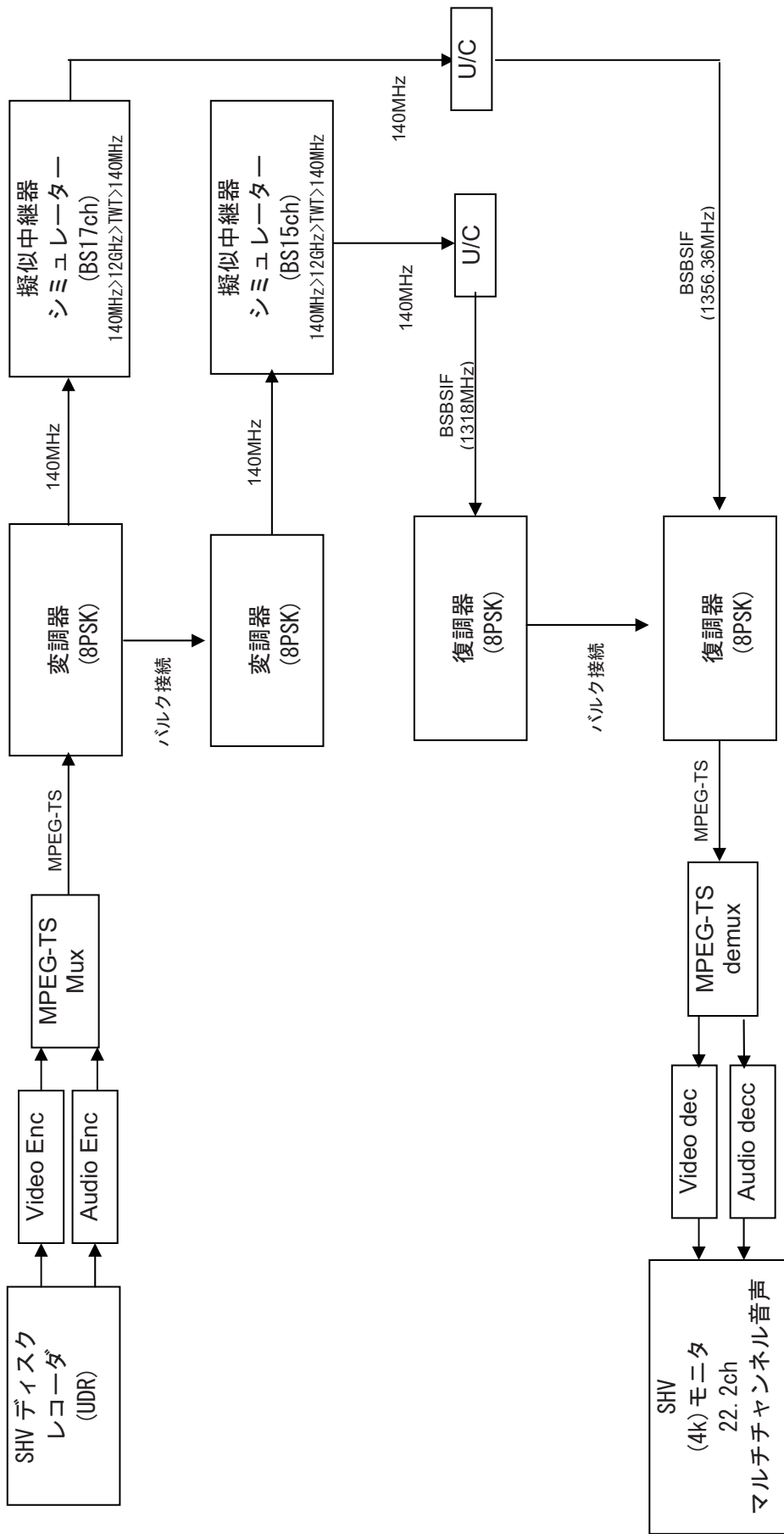


図 50-2 : 疑似中継器折返し デモンストラーション系統図 (8PSK バルク伝送による 2 中継器 SHV 伝送)



图 51 高度衛星デジタル伝送装置



图 52 HDTV 4 番組伝送 映像・音声 符号化 復号装置



图 53 SHV 映像・音声 符号化 復号装置



图 54 リニア PCM 音響装置



図 56 SHV 映像・音声 符号化 復号装置



図 55 高度衛星デジタル伝送装置のデモの様子



図 58 リニア PCM 番組伝送デモの様子

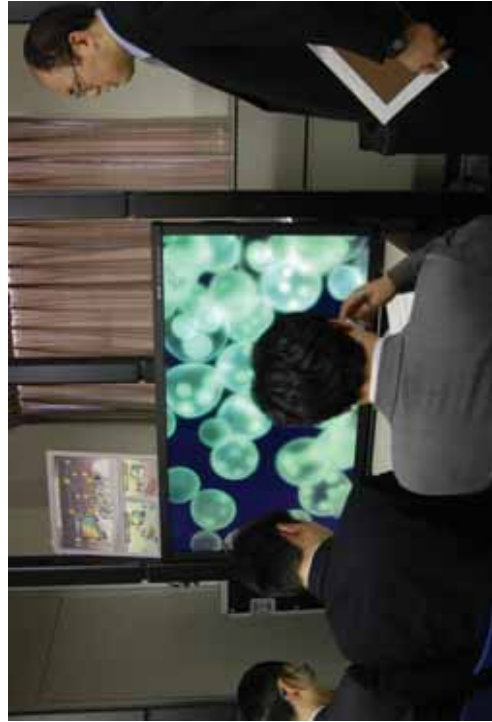


図 57 SHV 番組伝送のデモの様子

## 衛星伝送実験 付録

## 付録 2 : 衛星伝送実験

### 付録 2-1 : スペクトラム写真 (4.2 節)

#### ・ $\pi/2$ シフト BPSK

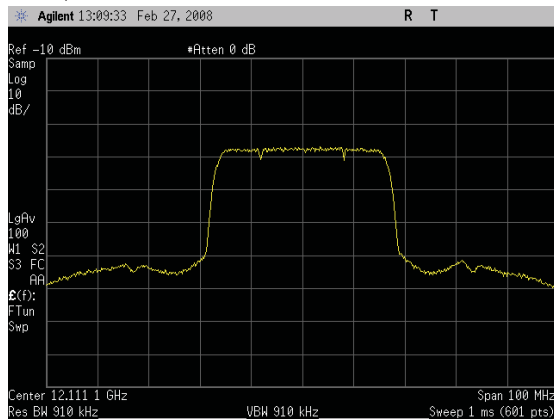


写真 8-1-1  $\pi/2$  シフト BPSK (9/10)  
トランスレーター後のスペクトル(占有帯域幅=33.3MHz)

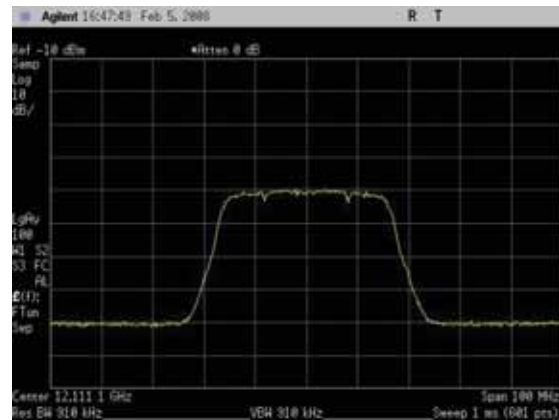


写真 8-1-2  $\pi/2$  シフト BPSK (9/10)  
衛星伝送実験の受信スペクトル(占有帯域幅=33.3MHz)

#### ・ QPSK

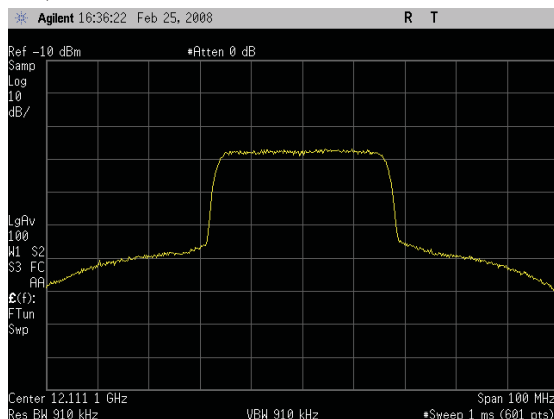


写真 8-2-1 QPSK (3/4) トランスレーター後のスペクトル(占有帯域幅=33.4MHz)

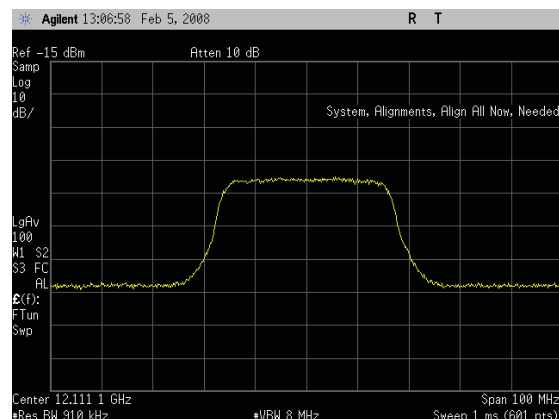


写真 8-2-2 QPSK (1/2) 衛星伝送実験の受信スペクトル(占有帯域幅=33.4MHz)

#### ・ 8PSK

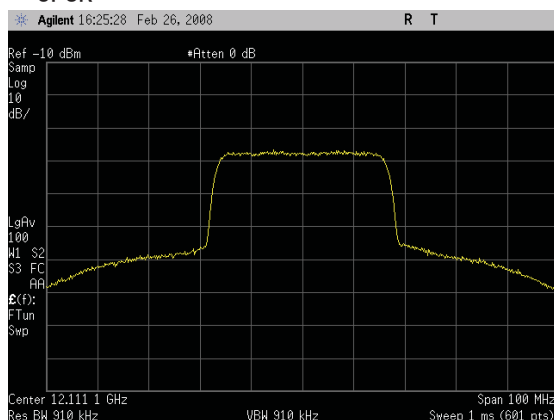


写真 8-3-1 8PSK (3/4) トランスレーター後のスペクトル(占有帯域幅=33.4MHz)

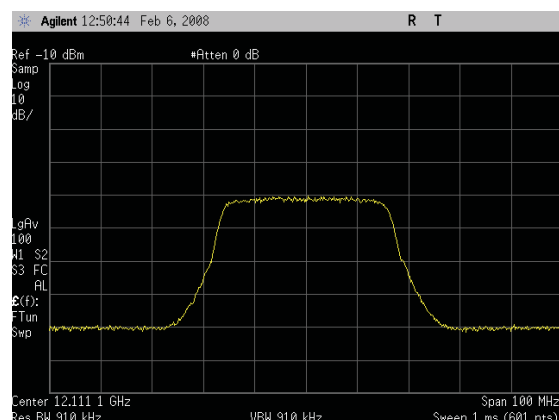


写真 8-3-2 8PSK (3/4) 衛星伝送実験の受信スペクトル(占有帯域幅=33.5MHz)

・ 16APSK

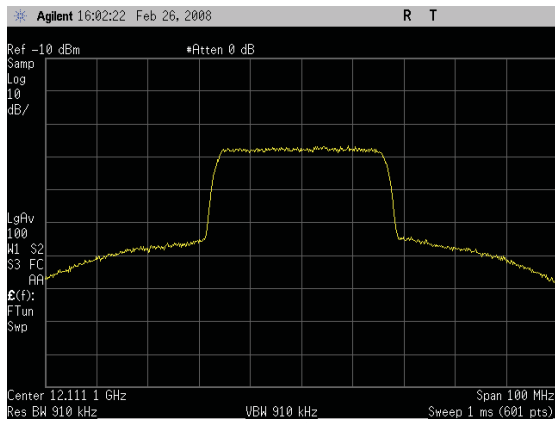


写真 8-4-1-1 16APSK (1/4) トランスレータ  
ー後のスペクトル(占有帯域幅=33.5MHz)

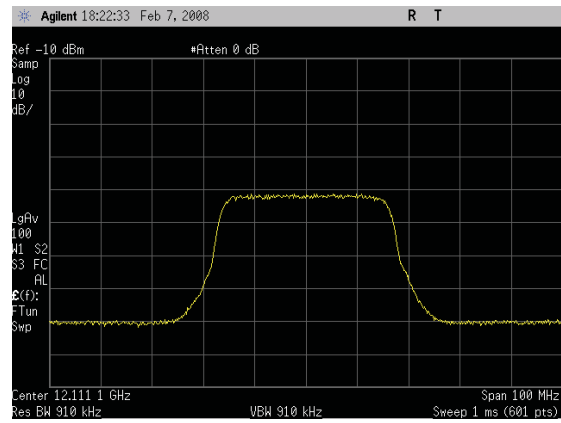


写真 8-4-1-2 16APSK (1/4) 衛星伝送実験の  
受信スペクトル(占有帯域幅=33.2MHz)

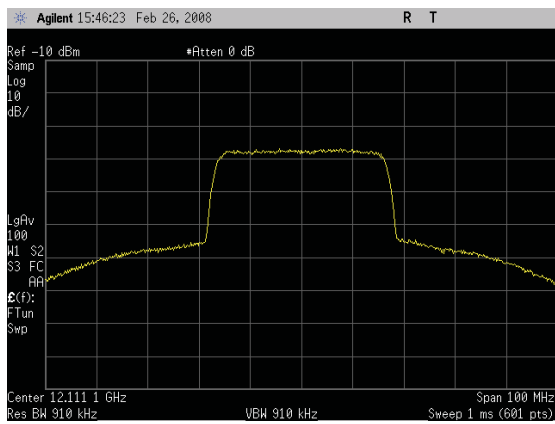


写真 8-4-2-1 16APSK (1/3) トランスレータ  
ー後のスペクトル(占有帯域幅=33.5MHz)

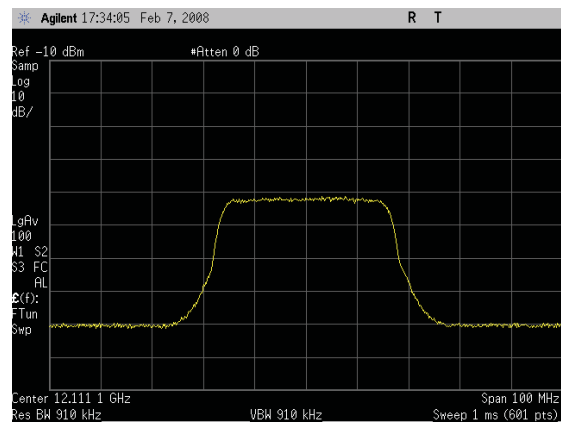


写真 8-4-2-2 16APSK (1/3) 衛星伝送実験  
の受信スペクトル(占有帯域幅=33.2MHz)

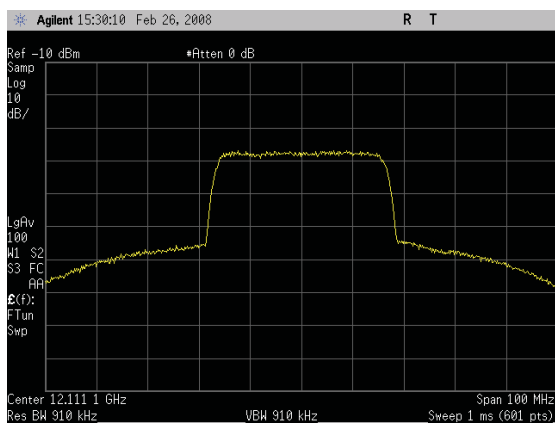


写真 8-4-3-1 16APSK (2/5) トランスレータ  
ー後のスペクトル(占有帯域幅=33.5MHz)

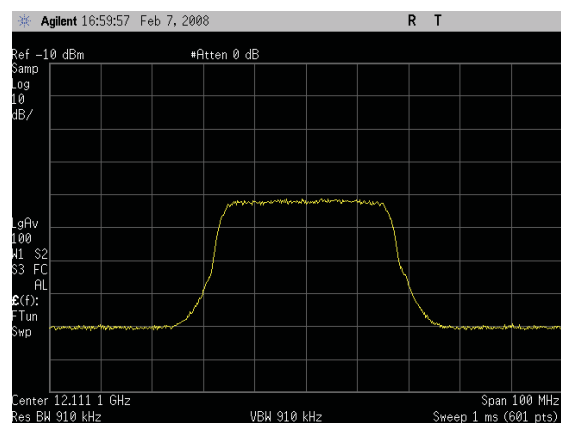


写真 8-4-3-2 16APSK (2/5) 衛星伝送実験  
の受信スペクトル(占有帯域幅=33.2MHz)

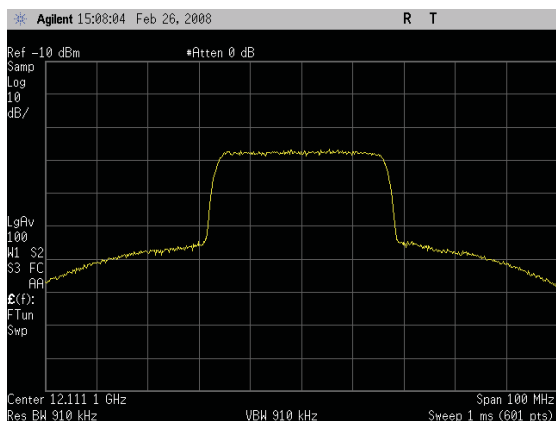


写真 8-4-4-1 16APSK(1/2) トランスレータ後のスペクトル(占有帯域幅=33.5MHz)

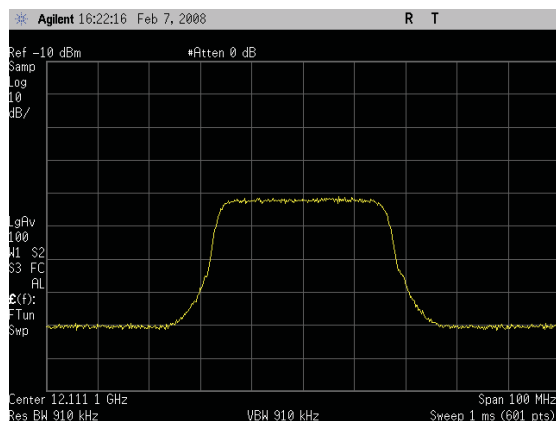


写真 8-4-4-2 16APSK(1/2) 衛星伝送実験の受信スペクトル(占有帯域幅=33.2MHz)

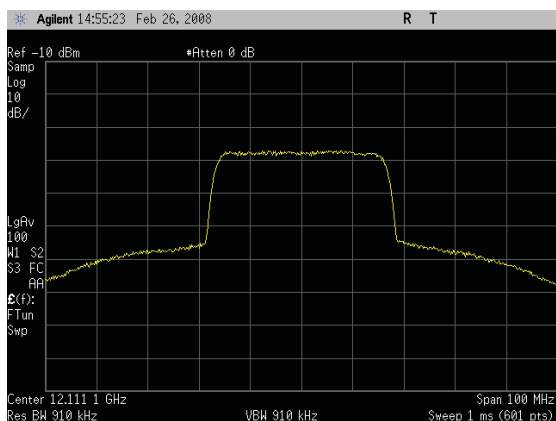


写真 8-4-5-1 16APSK(3/5) トランスレータ後のスペクトル(占有帯域幅=33.5MHz)

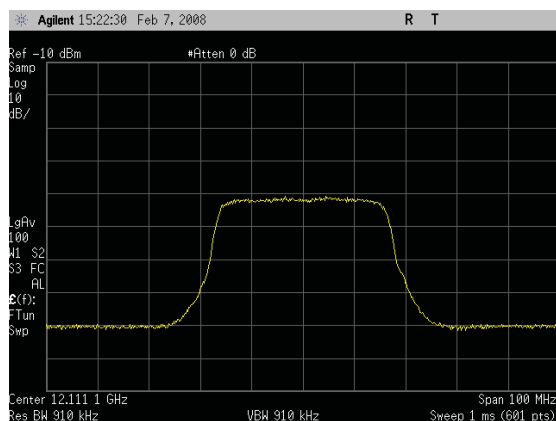


写真 8-4-5-2 16APSK(3/5) 衛星伝送実験の受信スペクトル(占有帯域幅=33.2MHz)

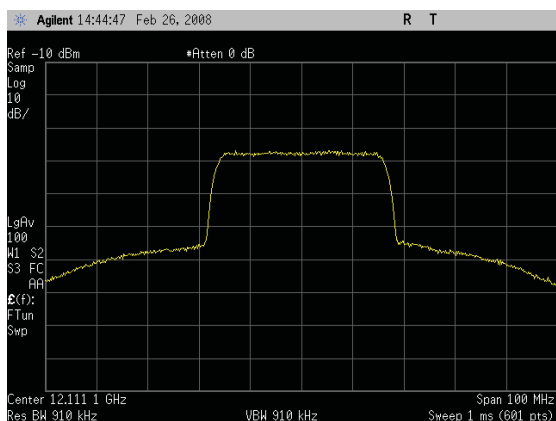


写真 8-4-6-1 16APSK(2/3) トランスレータ後のスペクトル(占有帯域幅=33.4MHz)

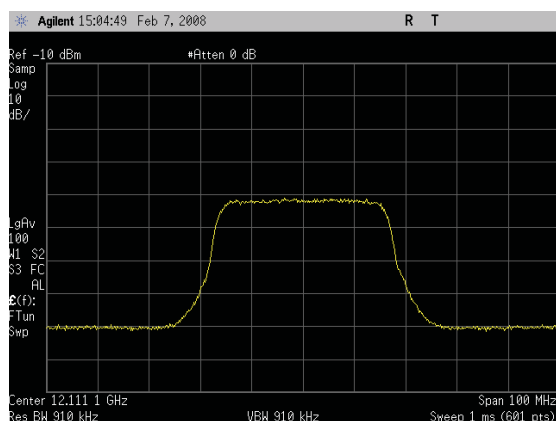


写真 8-4-6-2 16APSK(2/3) 衛星伝送実験の受信スペクトル(占有帯域幅=33.2MHz)

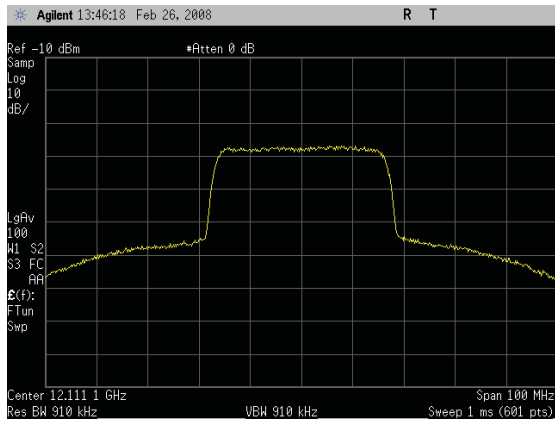


写真 8-4-7-1 16APSK(3/4) トランスレータ後のスペクトル(占有帯域幅=33.5MHz)

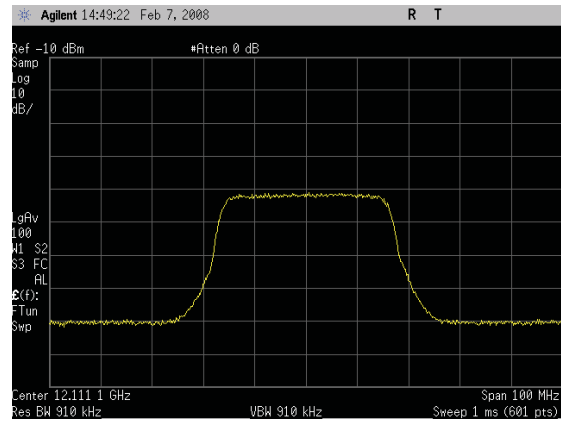


写真 8-4-7-2 16APSK(3/4) 衛星伝送実験の受信スペクトル(占有帯域幅=33.2MHz)

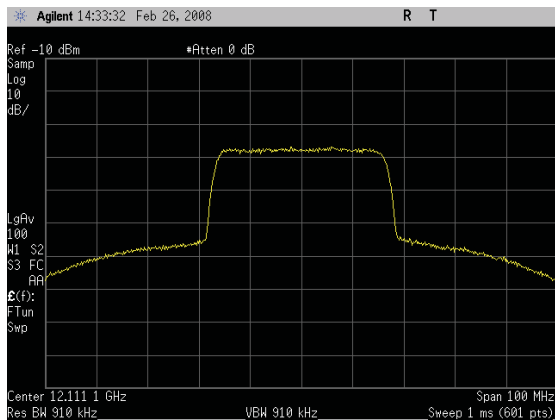


写真 8-4-8-1 16APSK(4/5) トランスレータ後のスペクトル(占有帯域幅=33.5MHz)

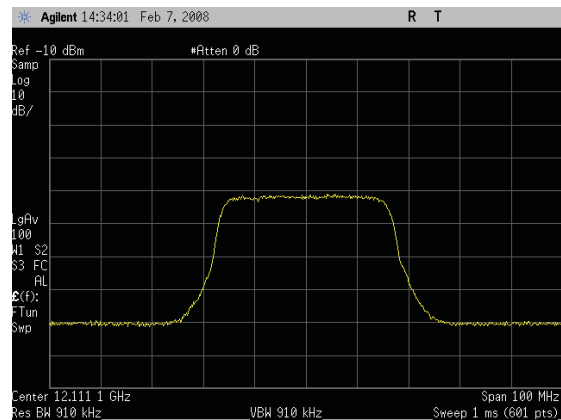


写真 8-4-8-2 16APSK(4/5) 衛星伝送実験の受信スペクトル(占有帯域幅=33.2MHz)

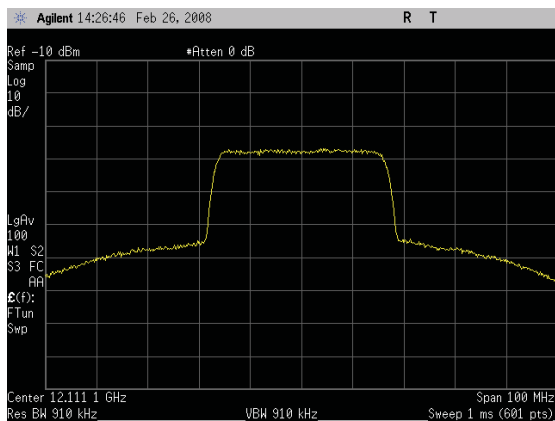


写真 8-4-9-1 16APSK(5/6) トランスレータ後のスペクトル(占有帯域幅=33.5MHz)

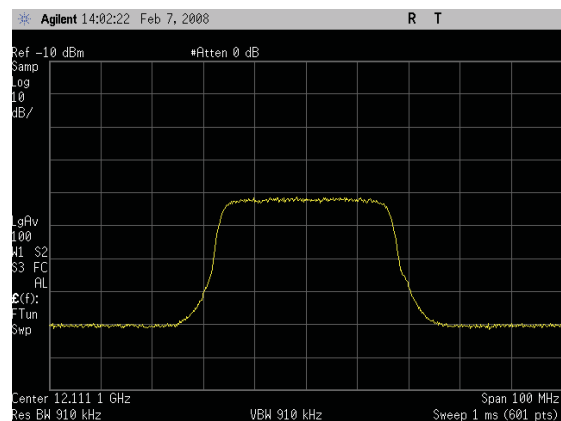


写真 8-4-9-2 16APSK(5/6) 衛星伝送実験の受信スペクトル(占有帯域幅=33.2MHz)



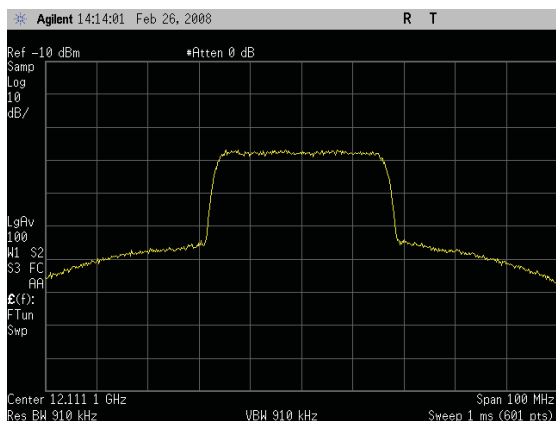


写真 8-4-10-1 16APSK(7/8) トランスレータ後のスペクトル(占有帯域幅=33.5MHz)

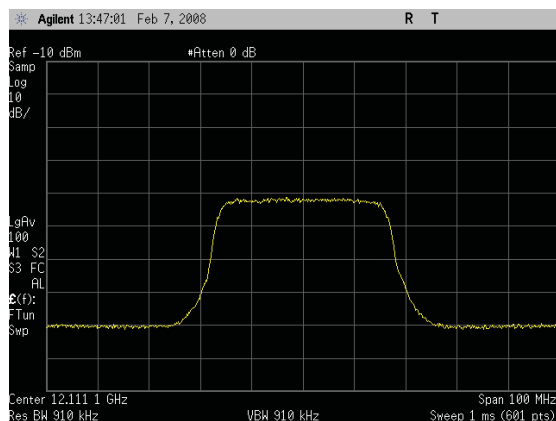


写真 8-4-10-2 16APSK(7/8) 衛星伝送実験の受信スペクトル(占有帯域幅=33.2MHz)

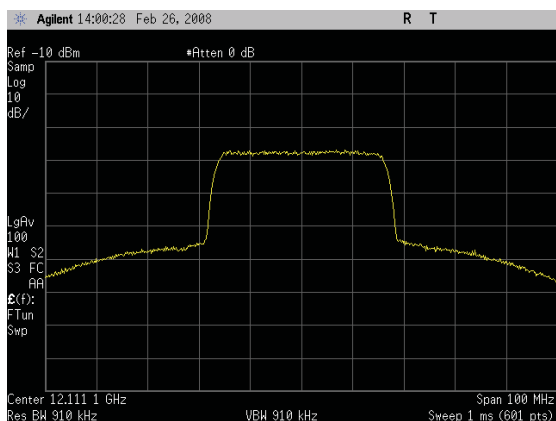


写真 8-4-11-1 16APSK(9/10) トランスレータ後のスペクトル(占有帯域幅=33.5MHz)

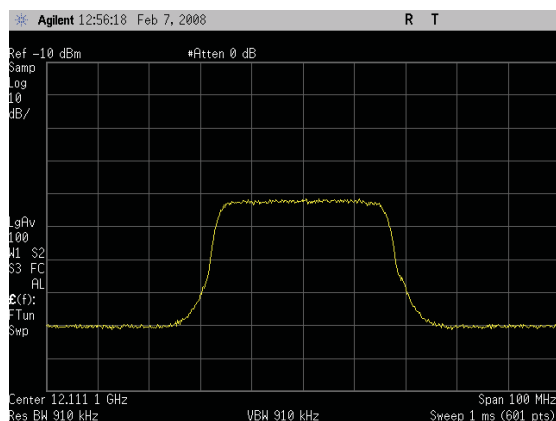


写真 8-4-11-2 16APSK(9/10) 衛星伝送実験の受信スペクトル(占有帯域幅=33.2MHz)

・ 32APSK

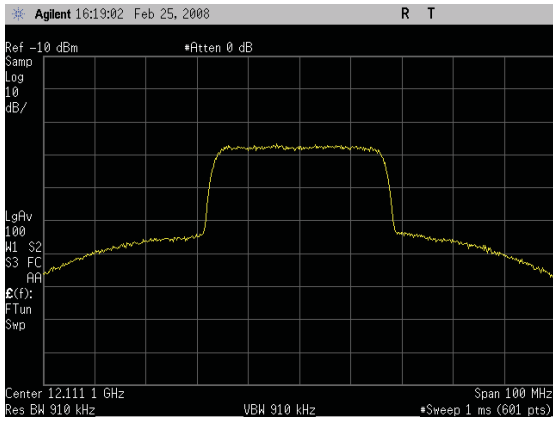


写真 8-5-1-1 32APSK(1/4) トランスレータ後のスペクトル(占有帯域幅=33.6MHz)

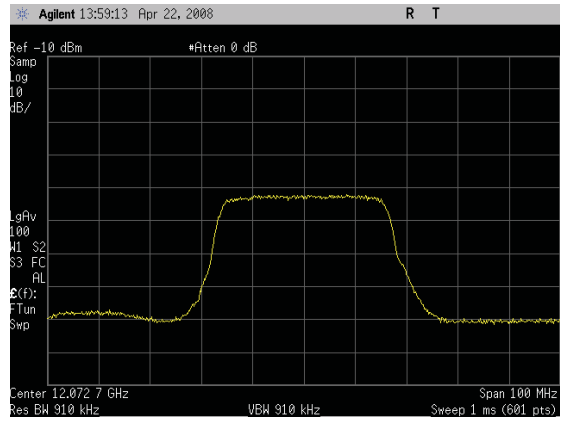


写真 8-5-1-2 32APSK(1/4) 衛星伝送実験の受信スペクトル(占有帯域幅=33.2MHz)

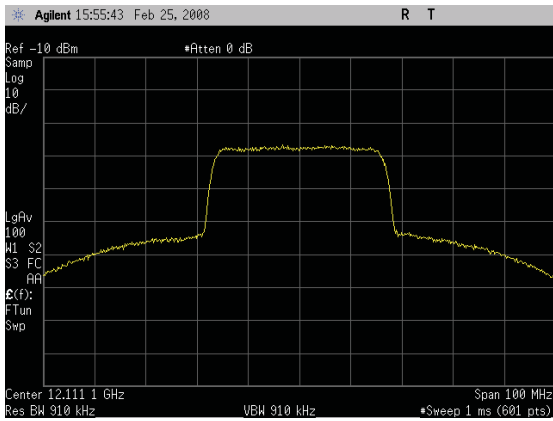


写真 8-5-2-1 32APSK(1/3) トランスレータ後のスペクトル(占有帯域幅=33.5MHz)

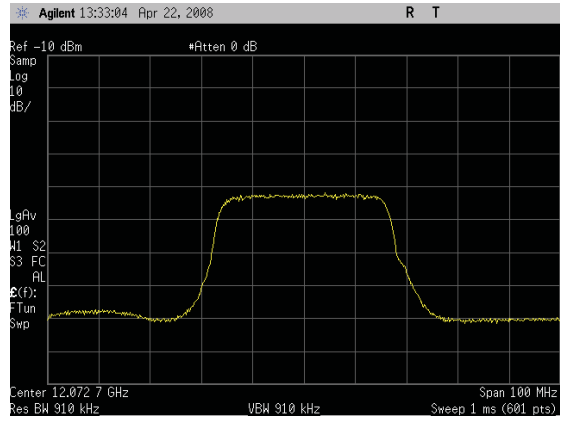


写真 8-5-2-2 32APSK(1/3) 衛星伝送実験の受信スペクトル(占有帯域幅=33.2MHz)

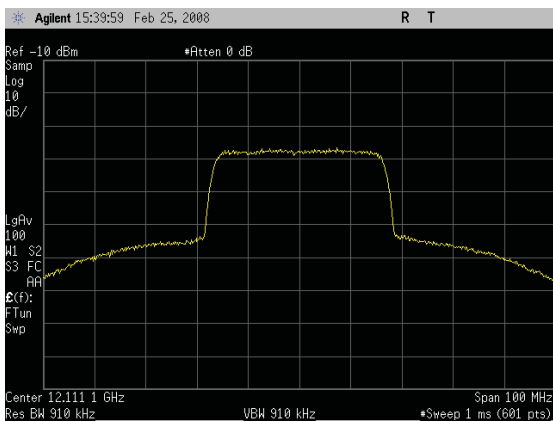


写真 8-5-3-1 32APSK(2/5) トランスレータ後のスペクトル(占有帯域幅=33.5MHz)

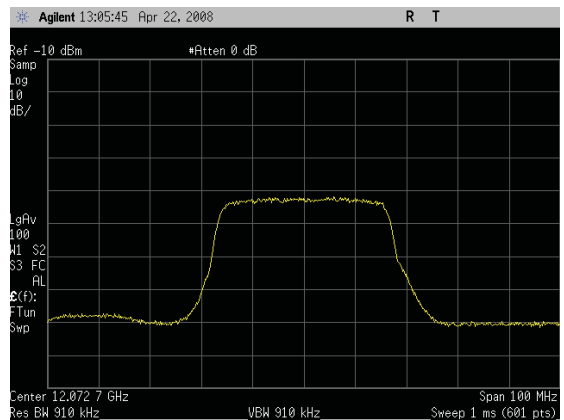


写真 8-5-3-2 32APSK(2/5) 衛星伝送実験の受信スペクトル(占有帯域幅=33.2MHz)

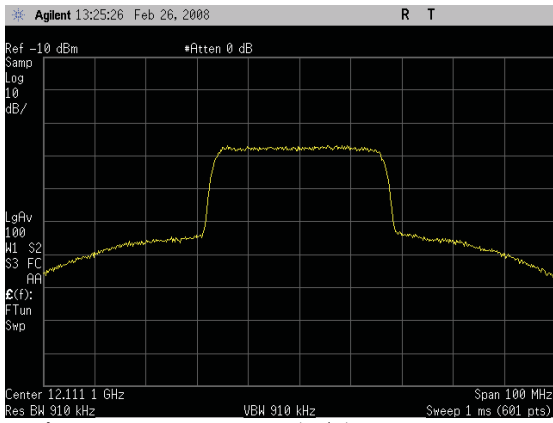


写真 8-5-4-1 32APSK(1/2) トランスレータ後のスペクトル(占有帯域幅=33.6MHz)

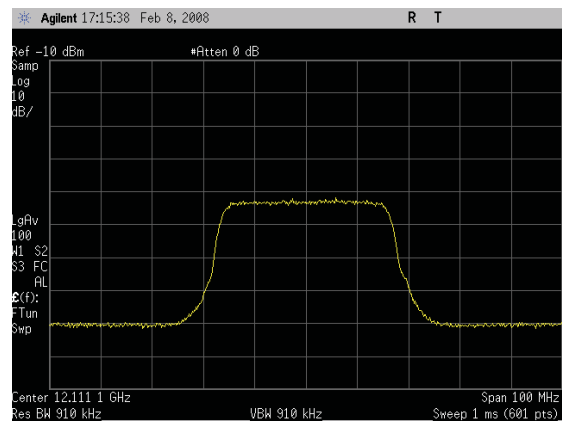


写真 8-5-4-2 32APSK(1/2) 衛星伝送実験の受信スペクトル(占有帯域幅=33.2MHz)

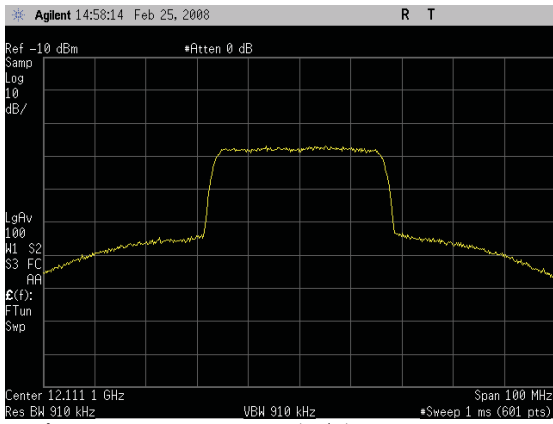


写真 8-5-5-1 32APSK(3/5) トランスレータ後のスペクトル(占有帯域幅=33.6MHz)

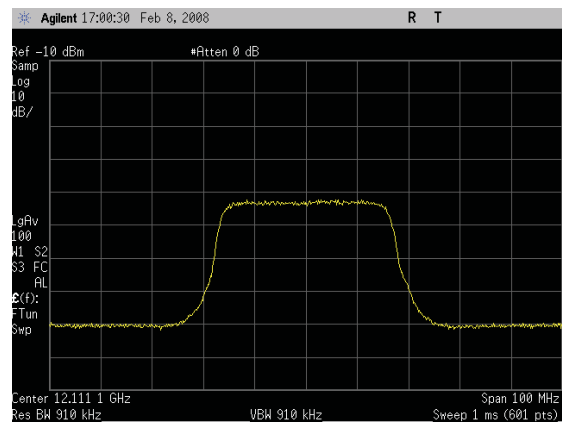


写真 8-5-5-2 32APSK(3/5) 衛星伝送実験の受信スペクトル(占有帯域幅=33.2MHz)

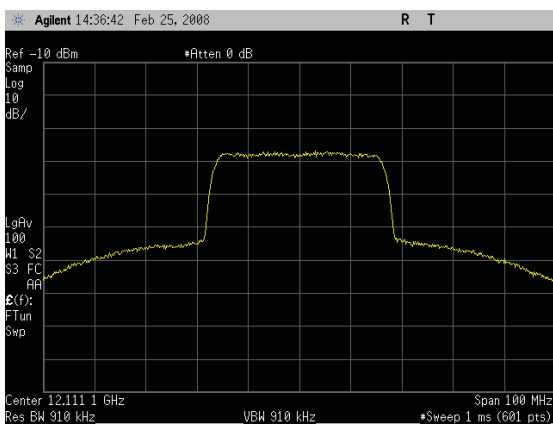


写真 8-5-6-1 32APSK(2/3) トランスレータ後のスペクトル(占有帯域幅=33.5MHz)

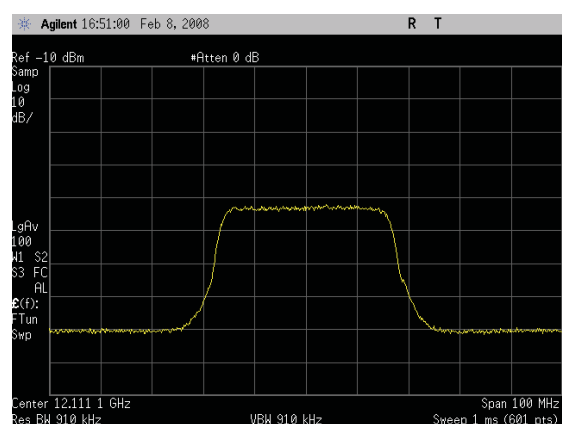


写真 8-5-6-2 32APSK(2/3) 衛星伝送実験の受信スペクトル(占有帯域幅=33.1MHz)

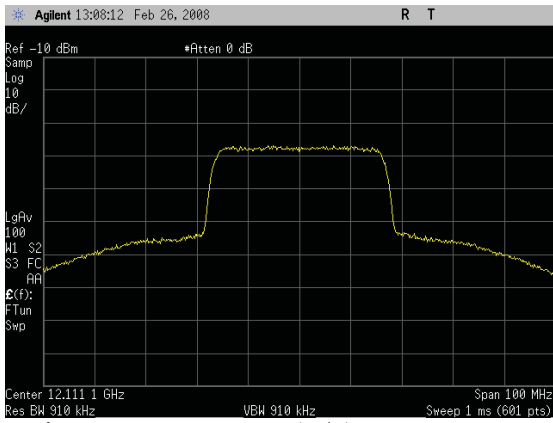


写真 8-5-7-1 32APSK(3/4) トランスレータ後のスペクトル(占有帯域幅=33.6MHz)

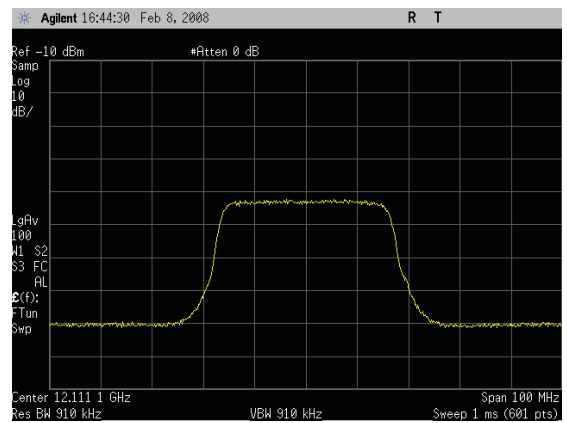


写真 8-5-7-2 32APSK(3/4) 衛星伝送実験の受信スペクトル(占有帯域幅=33.1MHz)

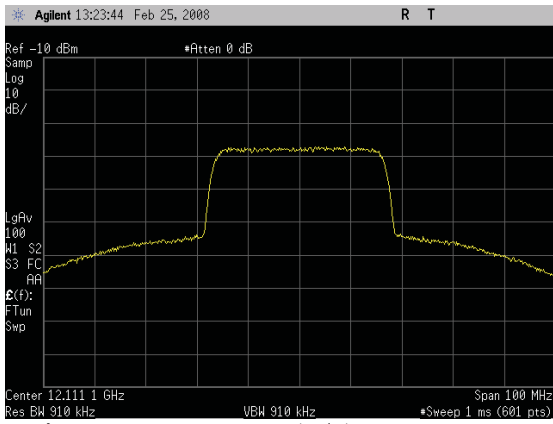


写真 8-5-8-1 32APSK(4/5) トランスレータ後のスペクトル(占有帯域幅=33.6MHz)

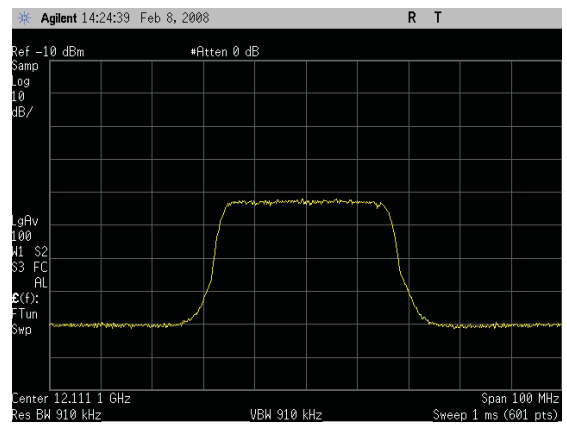


写真 8-5-8-2 32APSK(4/5) 衛星伝送実験の受信スペクトル(占有帯域幅=33.1MHz)

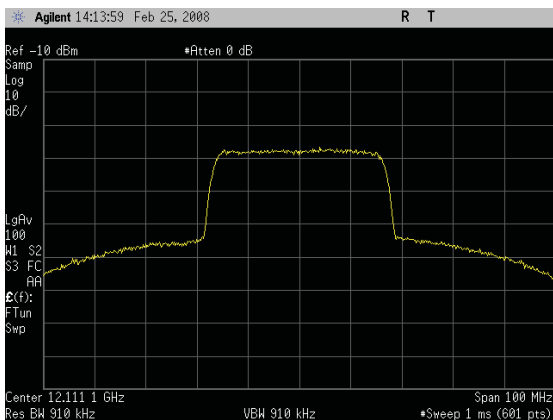


写真 8-5-9-1 32APSK(5/6) トランスレータ後のスペクトル(占有帯域幅=33.5MHz)

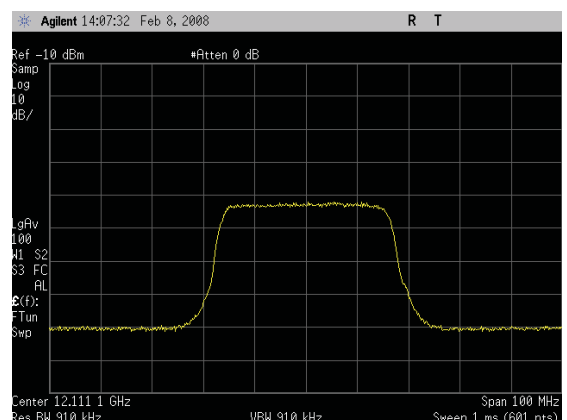


写真 8-5-9-2 32APSK(5/6) 衛星伝送実験の受信スペクトル(占有帯域幅=33.1MHz)

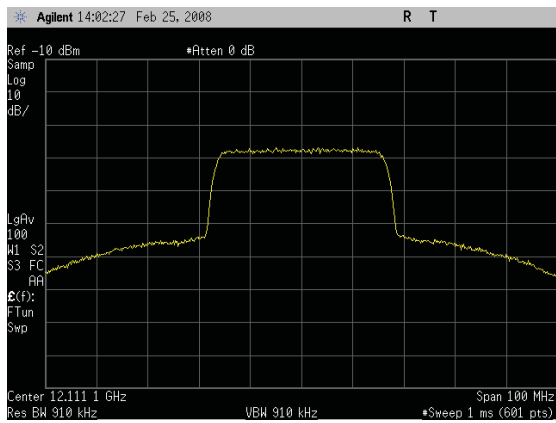


写真 8-5-10-1 32APSK(7/8) トランスレータ後のスペクトル(占有帯域幅=33.5MHz)

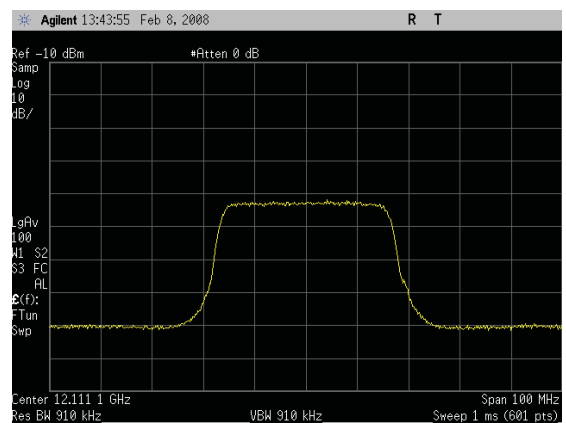


写真 8-5-10-2 32APSK(7/8) 衛星伝送実験の受信スペクトル(占有帯域幅=33.1MHz)

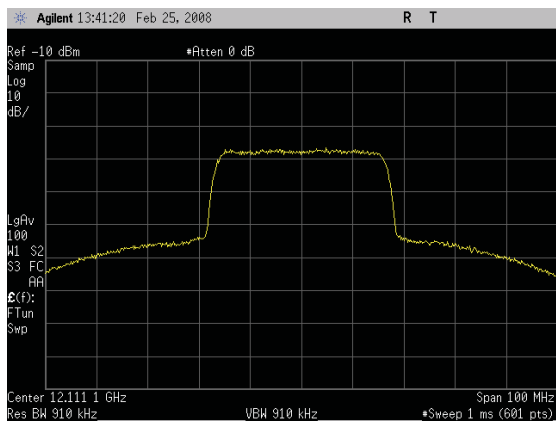


写真 8-5-11-1 32APSK(9/10) トランスレータ後のスペクトル(占有帯域幅=33.6MHz)

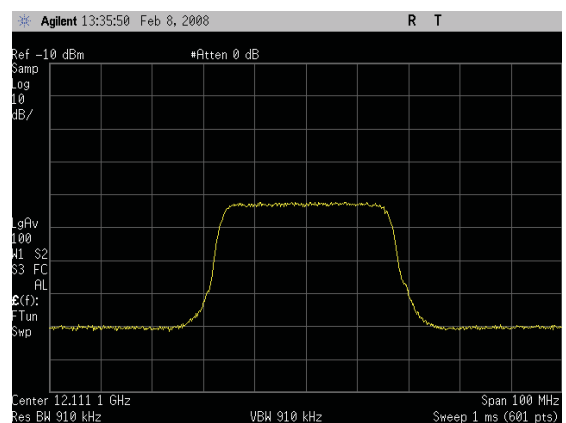


写真 8-5-11-2 32APSK(9/10) 衛星伝送実験の受信スペクトル(占有帯域幅=33.1MHz)

付録 2-2 : コンスタレーション写真 (4.3、4.4 節)

・  $\pi/2$  シフト BPSK

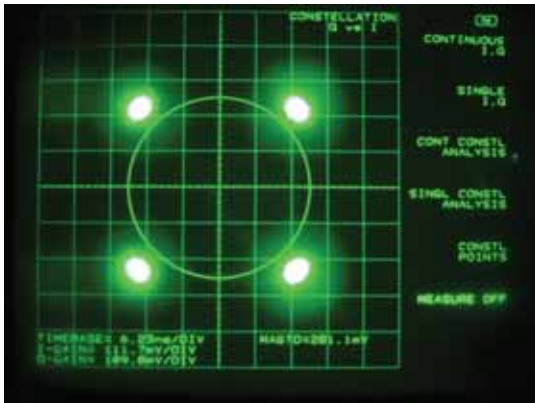


写真 9-1  $\pi/2$  シフト BPSK  
トランスレータ折返しの  
コンスタレーション



写真 9-2  $\pi/2$  シフト BPSK  
衛星伝送実験のコンスタレーション

・ QPSK

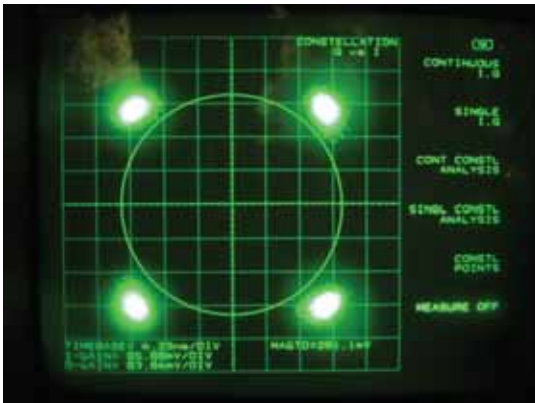


写真 10-1 QPSK トランスレータ折返しの  
コンスタレーション

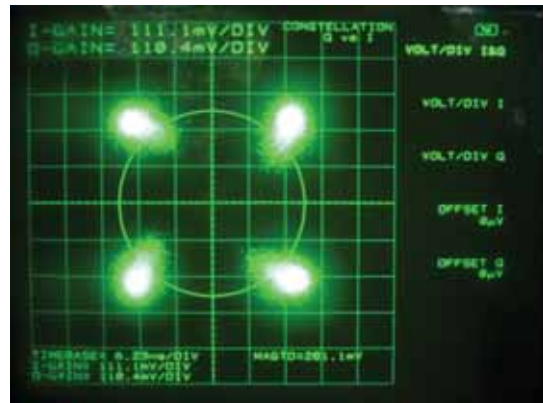


写真 10-2 QPSK 衛星伝送実験の  
コンスタレーション

・ 8PSK

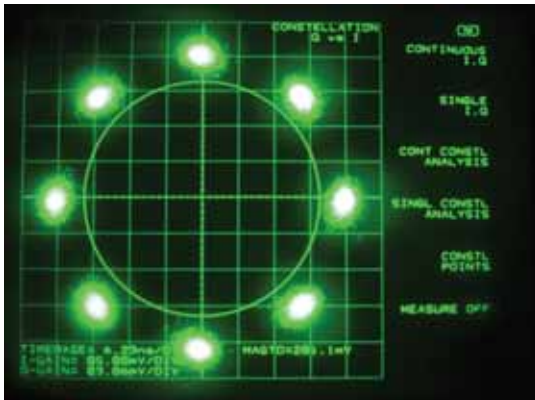


写真 11-1 8PSK トランスレータ折返しの  
コンスタレーション



写真 11-2 8PSK 衛星伝送実験の  
コンスタレーション

・ 16APSK

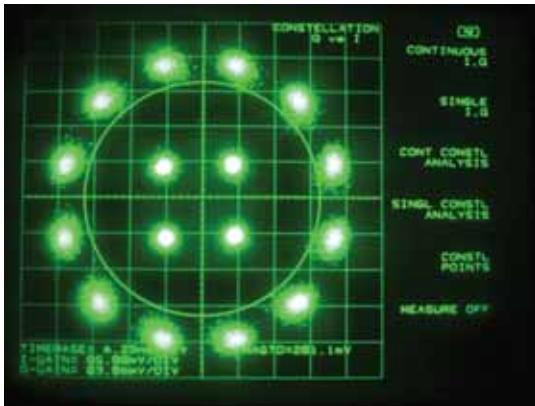


写真 12-1-1 16APSK (1/4)  
トランスレーター折返しの  
コンスタレーション

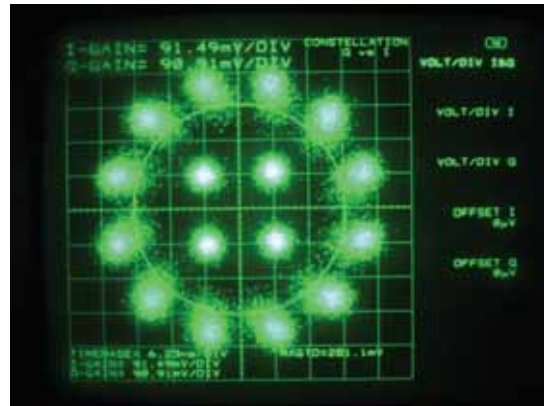


写真 12-1-2 16APSK (1/4) 衛星伝送実験の  
コンスタレーション

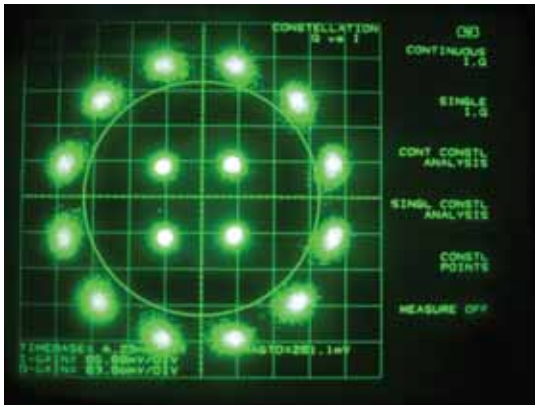


写真 12-2-1 16APSK (1/3)  
トランスレーター折返しの  
コンスタレーション



写真 12-2-2 16APSK (1/3) 衛星伝送実験の  
コンスタレーション

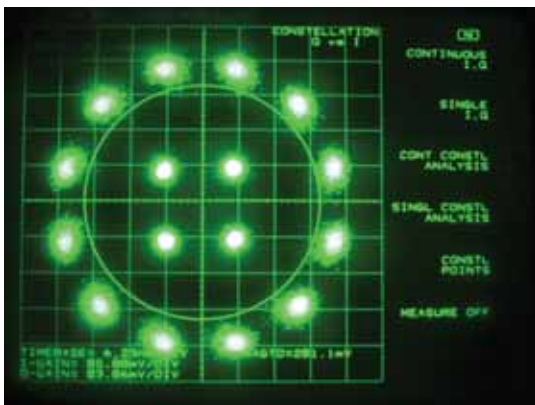


写真 12-3-1 16APSK (2/5)  
トランスレーター折返しの  
コンスタレーション



写真 12-3-2 16APSK (2/5) 衛星伝送実験の  
コンスタレーション

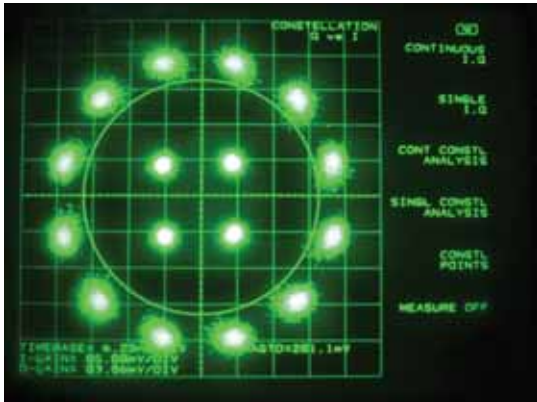


写真 12-4-1 16APSK(1/2)  
トランスレーター折返し  
のコンスタレーション

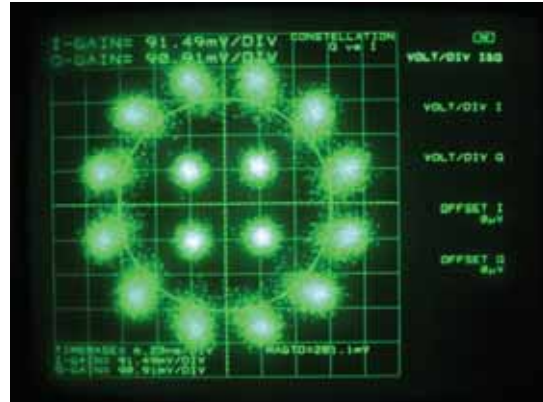


写真 12-4-2 16APSK(1/2) 衛星伝送実験  
のコンスタレーション

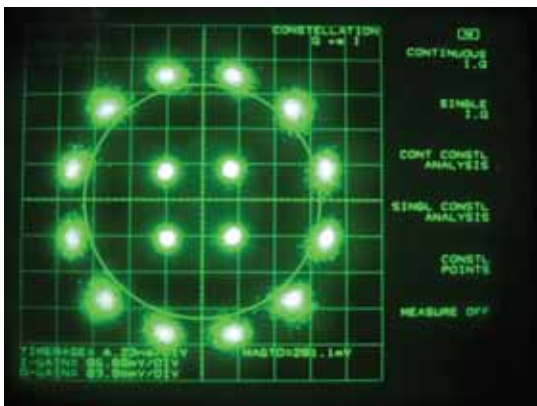


写真 12-5-1 16APSK(3/5)  
トランスレーター折返しの  
コンスタレーション



写真 12-5-2 16APSK(3/5) 衛星伝送実験の  
コンスタレーション

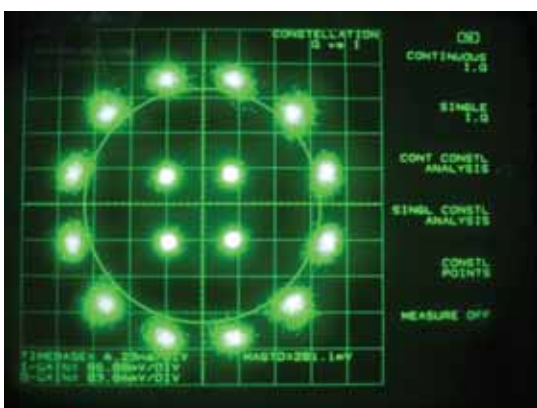


写真 12-6-1 16APSK(2/3)  
トランスレーター折返しの  
コンスタレーション

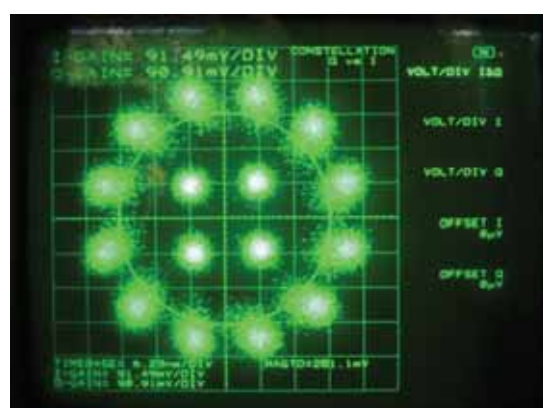


写真 12-6-2 16APSK(2/3) 衛星伝送実験の  
コンスタレーション



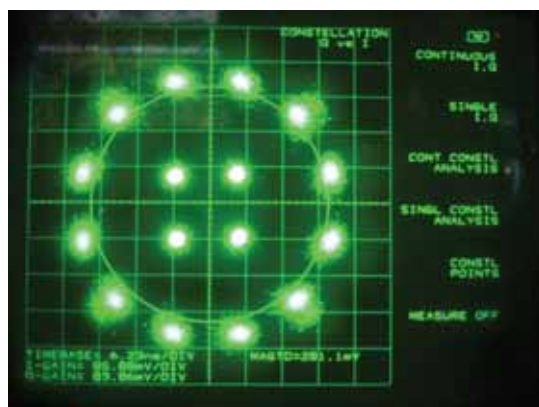


写真 12-7-1 16APSK(3/4)  
トランスレーター折返しの  
コンスタレーション



写真 12-7-2 16APSK(3/4)  
衛星伝送実験のコンスタレーション

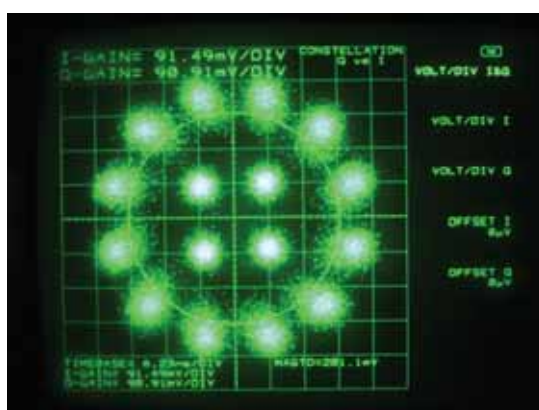


写真 12-7-3 16APSK(3/4)  
衛星伝送実験のコンスタレーション  
(ODU あり)

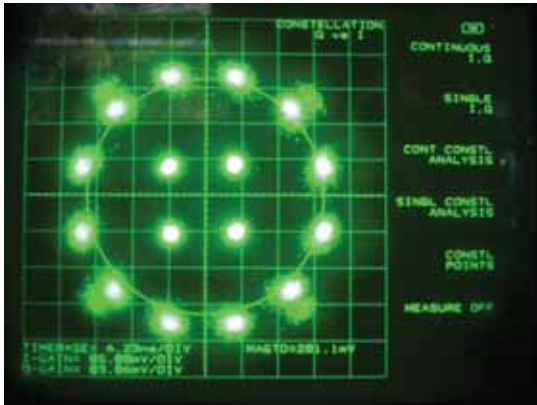


写真 12-8-1 16APSK(4/5)  
トランスレーター折返しの  
コンスタレーション



写真 12-8-2 16APSK(4/5) 衛星伝送実験の  
コンスタレーション

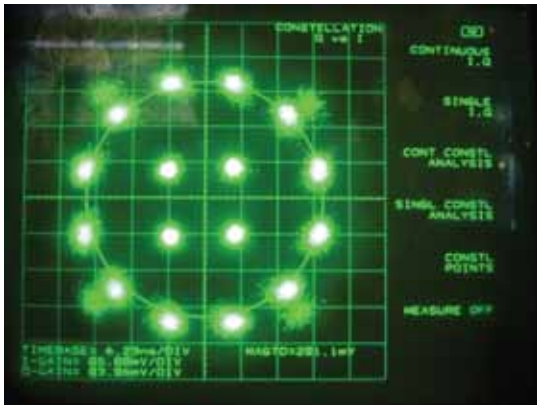


写真 12-9-1 16APSK(5/6)  
トランスレーター折返しの  
コンスタレーション

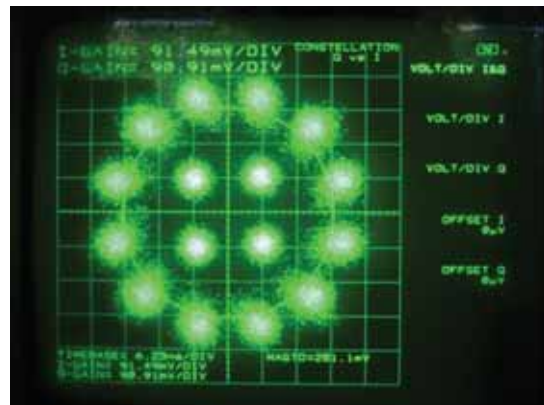


写真 12-9-2 16APSK(5/6) 衛星伝送実験の  
コンスタレーション

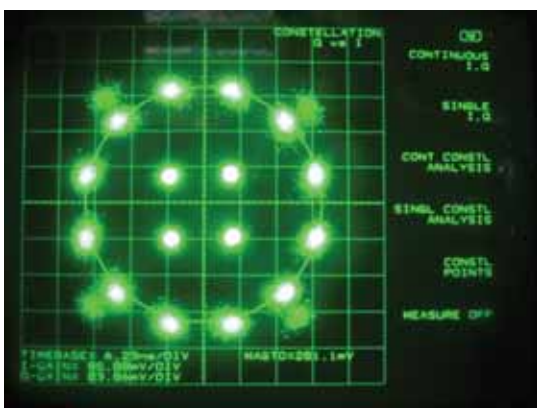


写真 12-10-1 16APSK(7/8)  
トランスレーター折返しの  
コンスタレーション



写真 12-10-2 16APSK(7/8) 衛星伝送実験  
のコンスタレーション

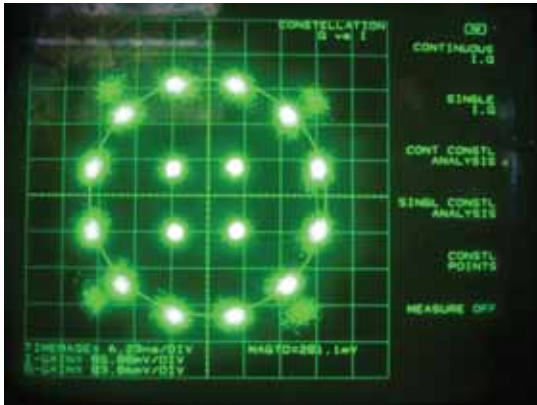


写真 12-11-1 16APSK(9/10)  
トランスレーター折返しの  
コンスタレーション

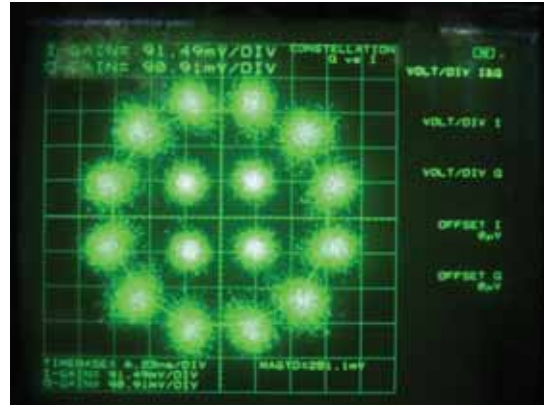


写真 12-11-2 16APSK(9/10) 衛星伝送実験  
のコンスタレーション

・ 32APSK

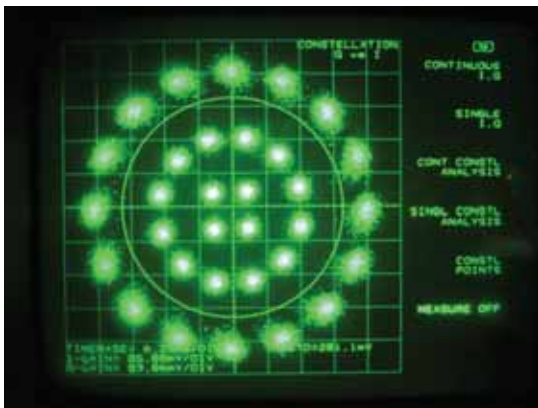


写真 13-1-1 32APSK(1/4)  
トランスレーター折返しの  
コンスタレーション

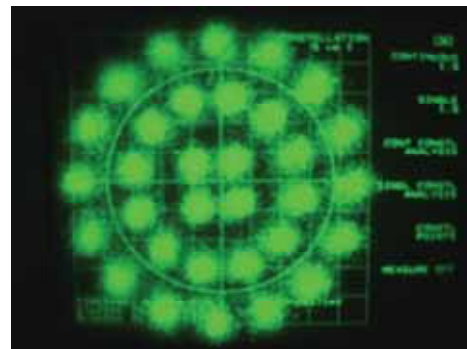


写真 13-1-2 32APSK(1/4) 衛星伝送実験の  
コンスタレーション

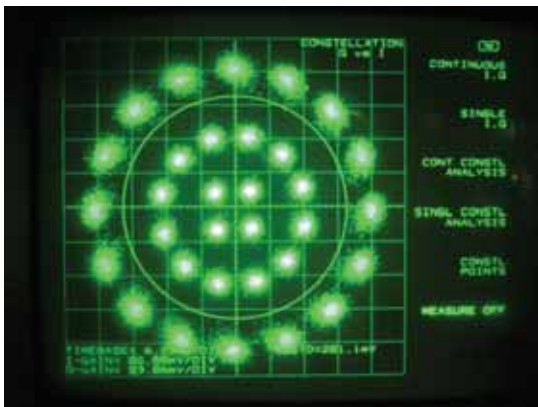


写真 13-2-1 32APSK(1/3)  
トランスレーター折返しの  
コンスタレーション

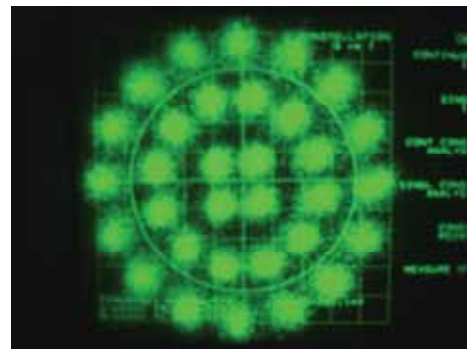


写真 13-2-2 32APSK(1/3) 衛星伝送実験の  
コンスタレーション

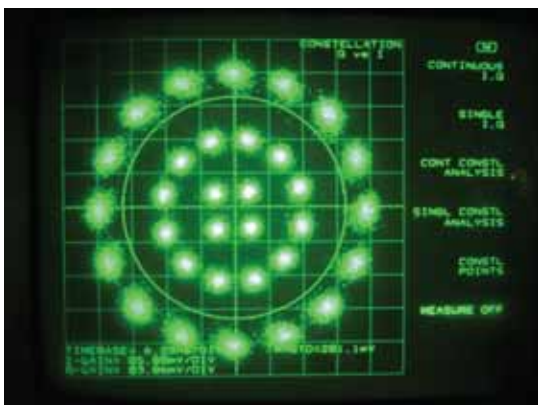


写真 13-3-1 32APSK(2/5)  
トランスレーター折返しの  
コンスタレーション

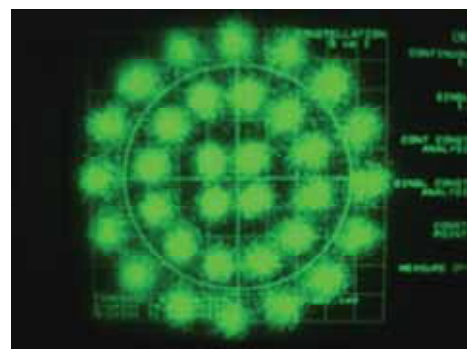


写真 13-3-2 32APSK(2/5) 衛星伝送実験の  
コンスタレーション

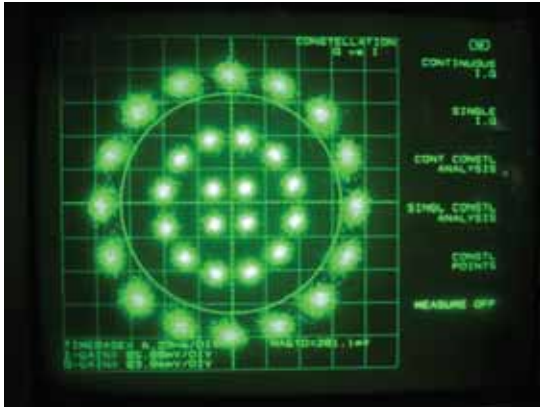


写真 13-4-1 32APSK(1/2)  
トランスレーター折返しの  
コンスタレーション

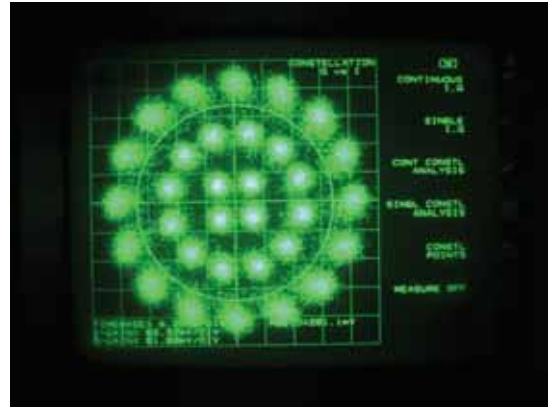


写真 13-4-2 32APSK(1/2) 衛星伝送実験の  
コンスタレーション

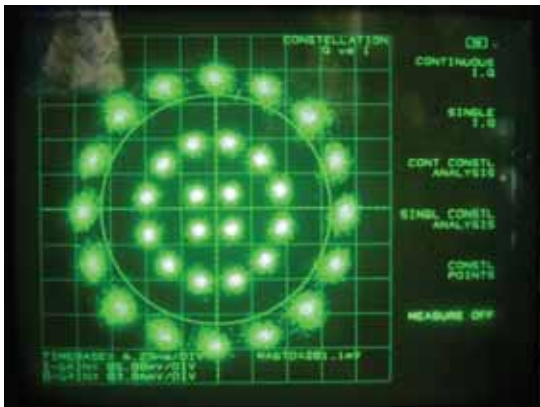


写真 13-5-1 32APSK(3/5)  
トランスレーター折返しの  
コンスタレーション



写真 13-5-2 32APSK(3/5) 衛星伝送実験の  
コンスタレーション

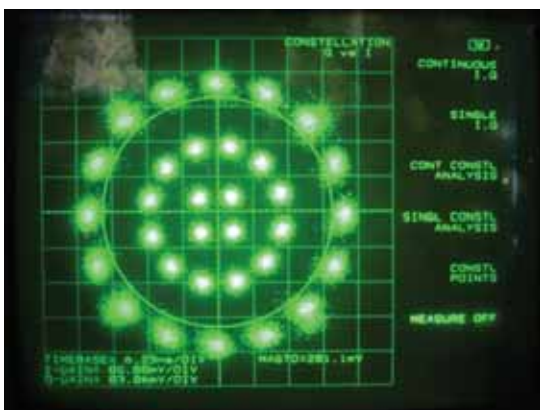


写真 13-6-1 32APSK(2/3)  
トランスレーター折返しの  
コンスタレーション



写真 13-6-2 32APSK(2/3) 衛星伝送実験の  
コンスタレーション

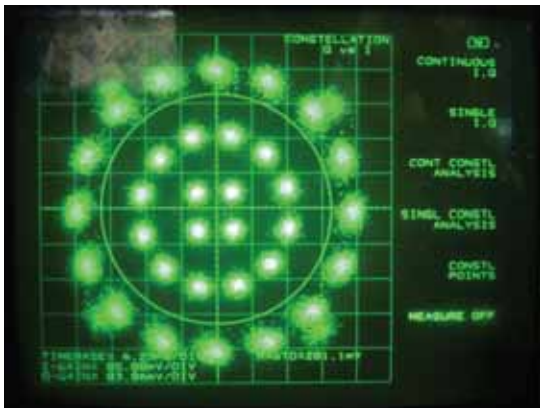


写真 13-7-1 32APSK (3/4)  
トランスレーター折返しの  
コンスタレーション

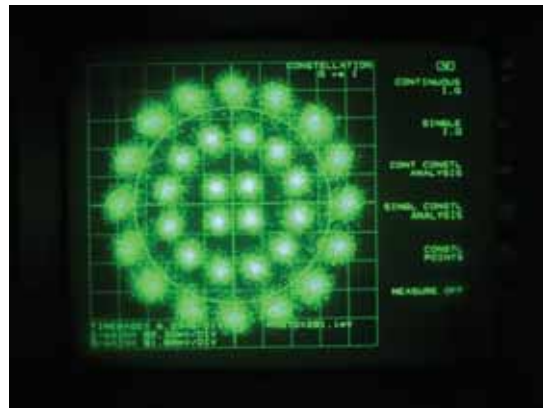


写真 13-7-2 32APSK (3/4)  
衛星伝送実験のコンスタレーション

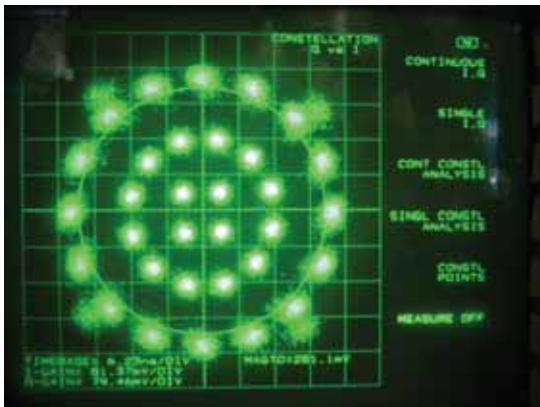


写真 13-8-1 32APSK (4/5)  
トランスレーター折返しの  
コンスタレーション

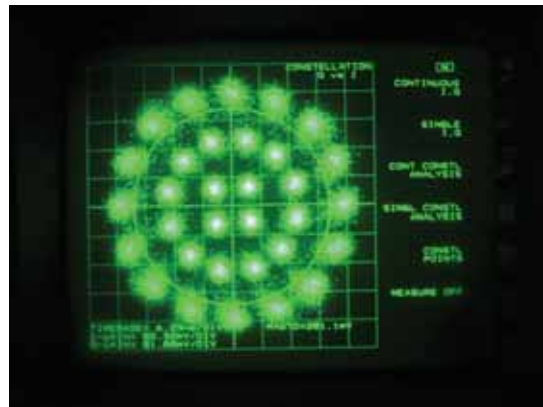


写真 13-8-2 32APSK (4/5)  
衛星伝送実験のコンスタレーション

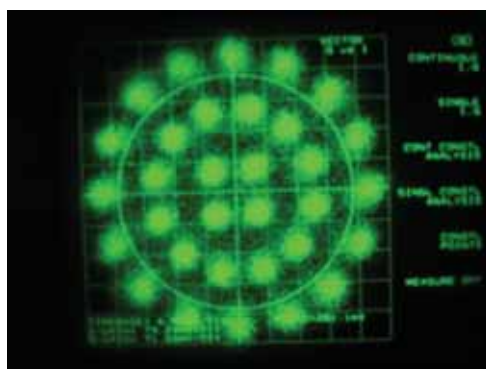


写真 13-8-3 32APSK (4/5)  
衛星伝送実験のコンスタレーション  
(ODU 入り)

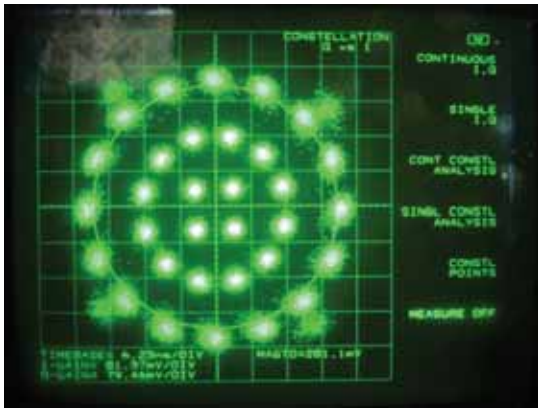


写真 13-9-1 32APSK (5/6)  
トランスレーター折返しの  
コンスタレーション

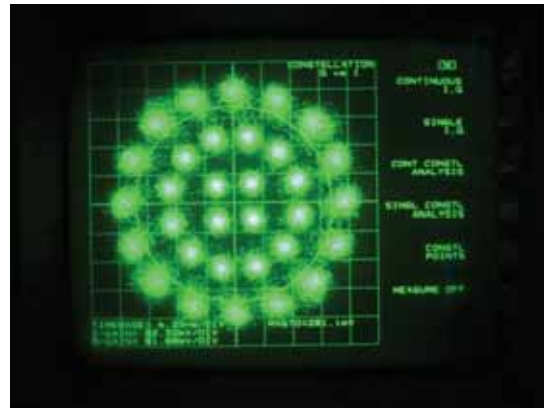


写真 13-9-2 32APSK (5/6) 衛星伝送実験の  
コンスタレーション

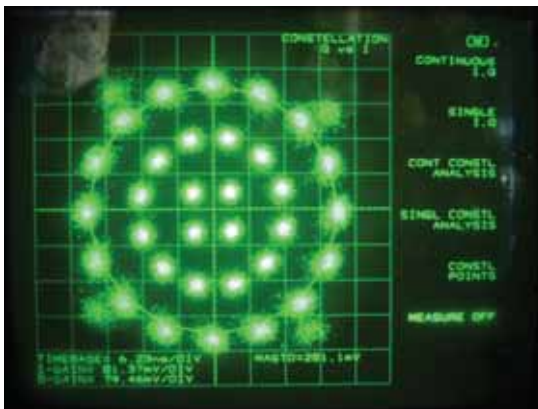


写真 13-10-1 32APSK (7/8)  
トランスレーター折返しの  
コンスタレーション

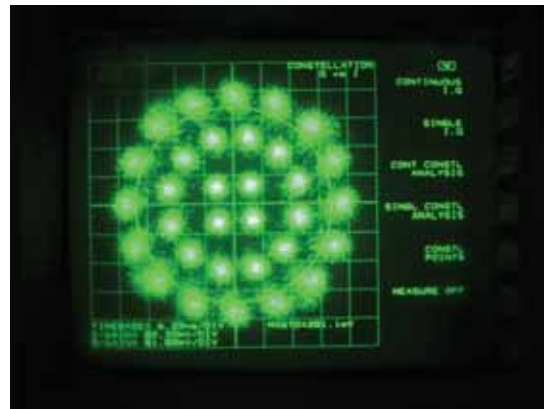


写真 13-10-2 32APSK (7/8) 衛星伝送実験  
のコンスタレーション

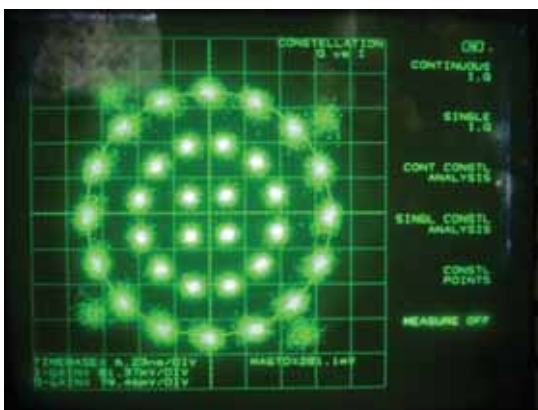


写真 13-11-1 32APSK (9/10)  
トランスレーター折返しの  
コンスタレーション

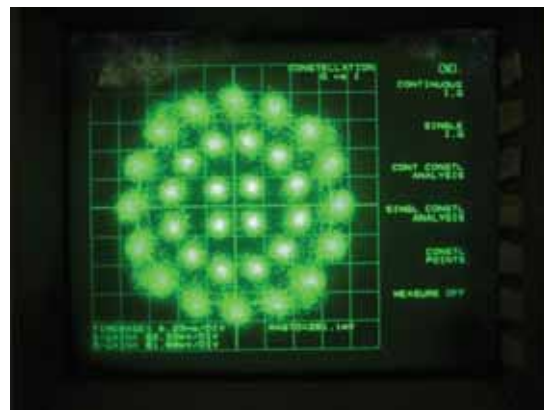


写真 13-11-2 32APSK (9/10) 衛星伝送実験  
のコンスタレーション

付録 2-3：衛星伝送実験 C/N 対ビット誤り率特性 (4.3 節)

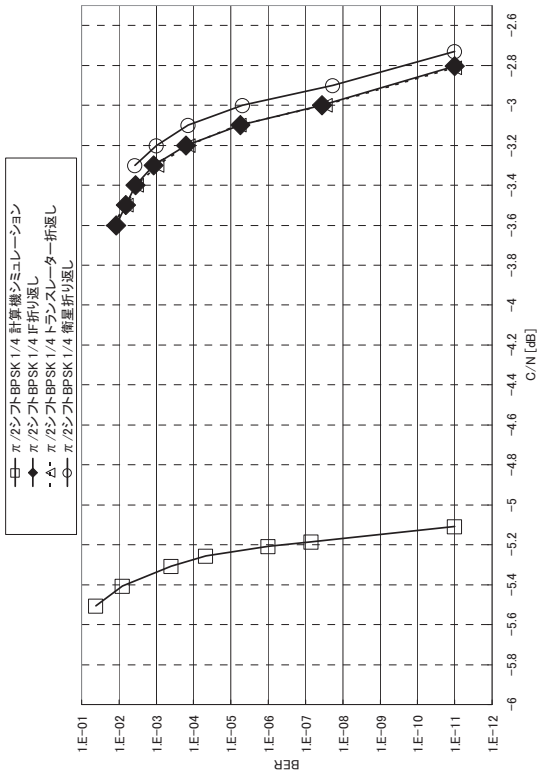


図 59a  $\pi/2$  シフト BPSK 1/4

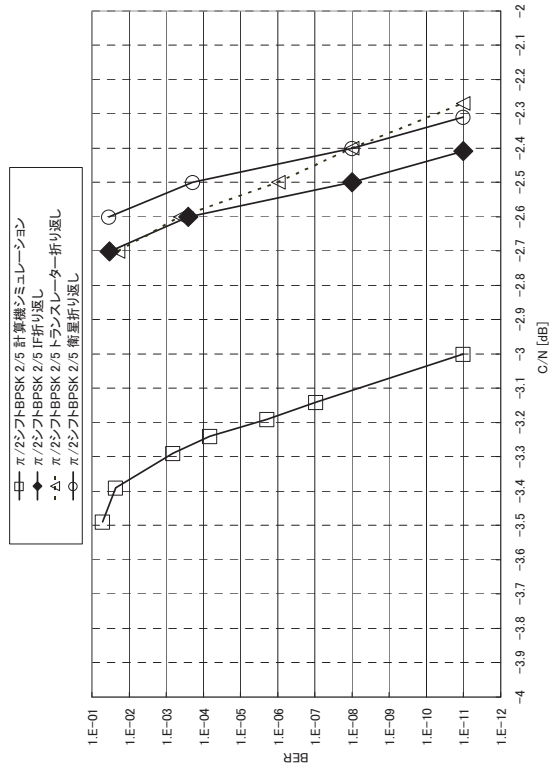


図 59c  $\pi/2$  シフト BPSK 2/5

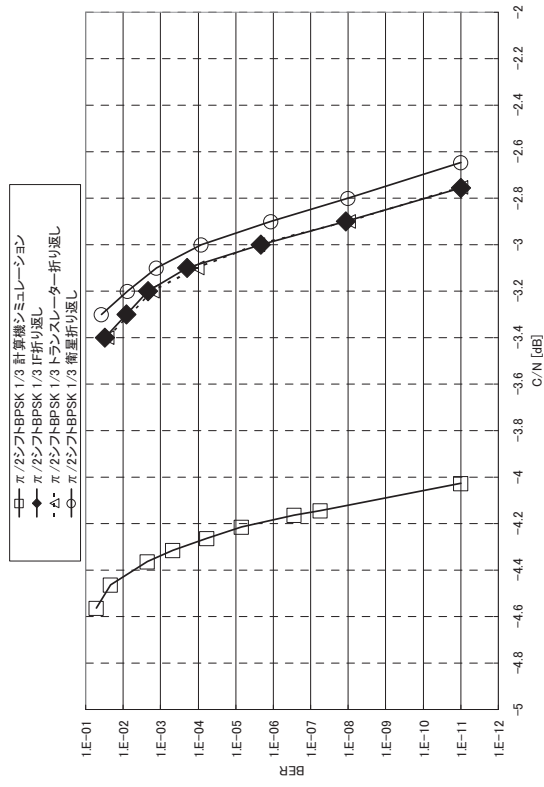


図 59b  $\pi/2$  シフト BPSK 1/3

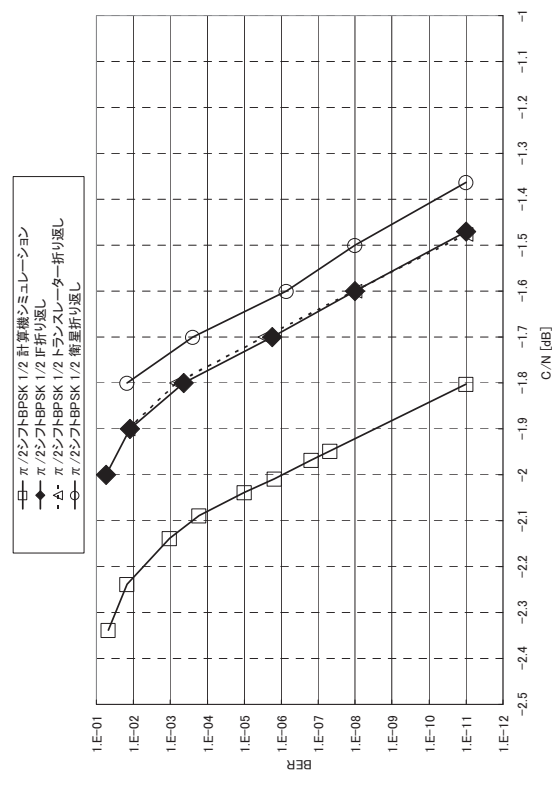


図 59d  $\pi/2$  シフト BPSK 1/2



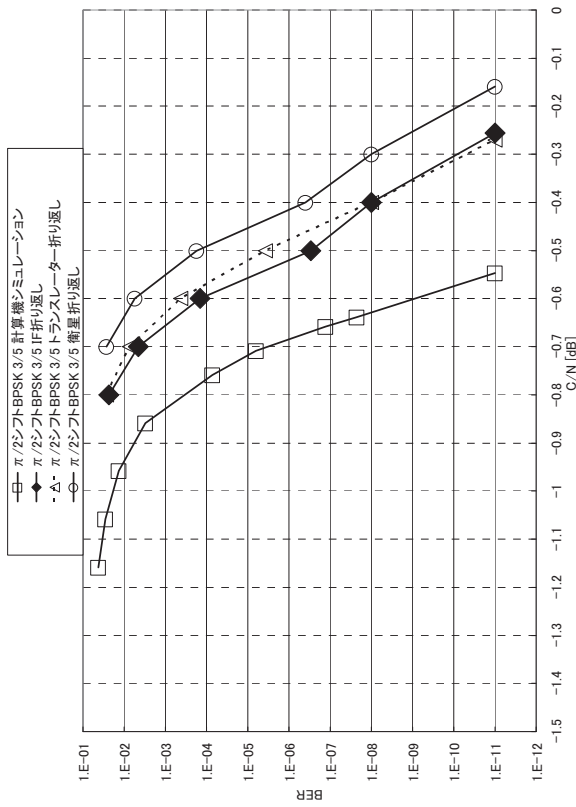


図 59e  $\pi/2$  シフト BPSK 3/5

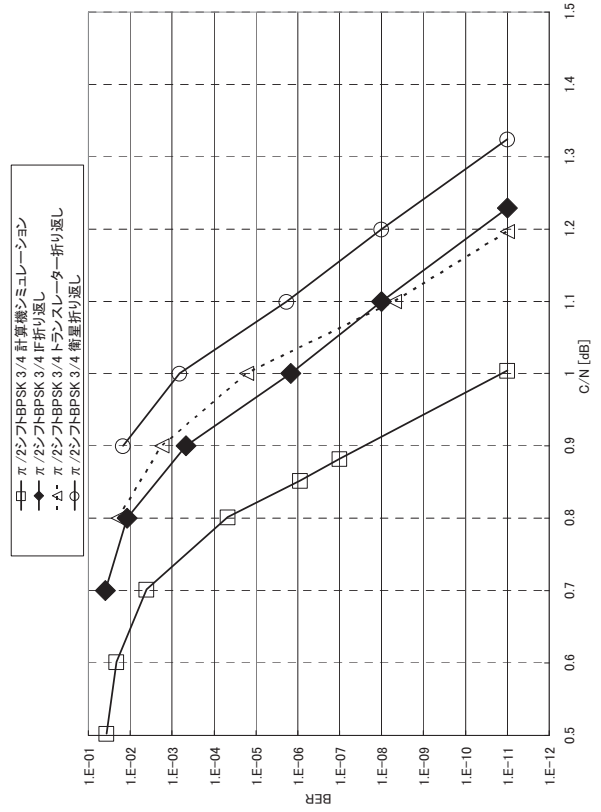


図 59g  $\pi/2$  シフト BPSK 3/4

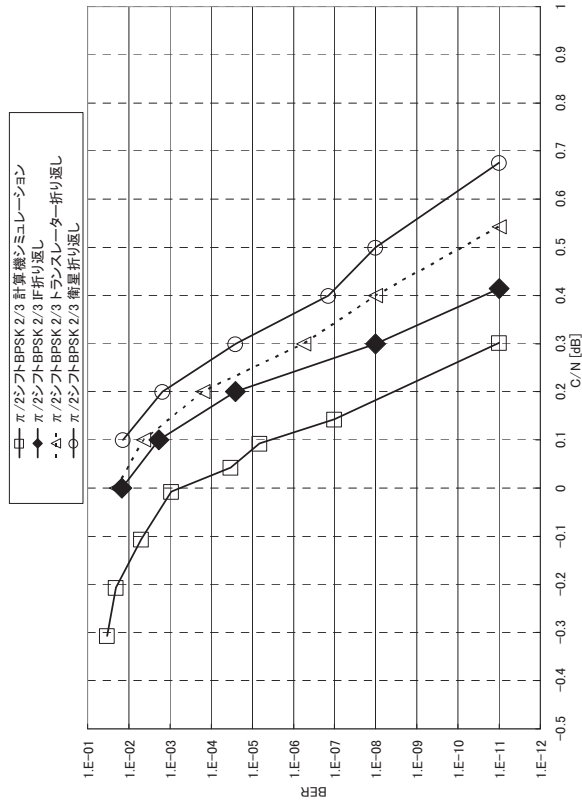


図 59f  $\pi/2$  シフト BPSK 2/3

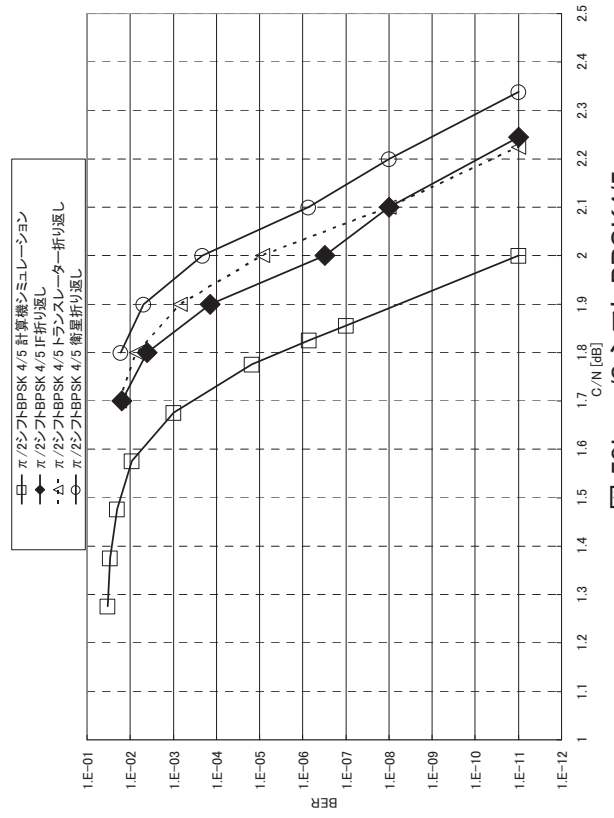


図 59h  $\pi/2$  シフト BPSK 4/5

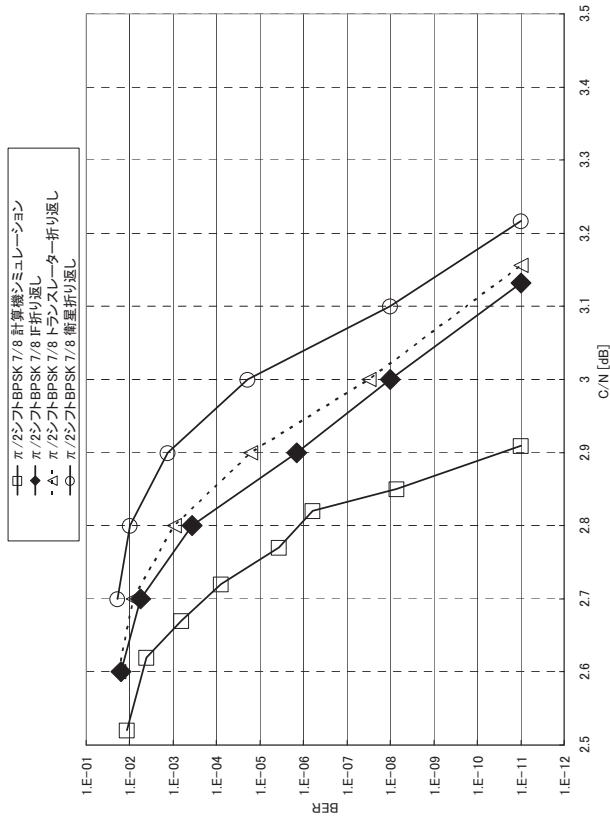


図 59j  $\pi/2$  シフト BPSK7/8

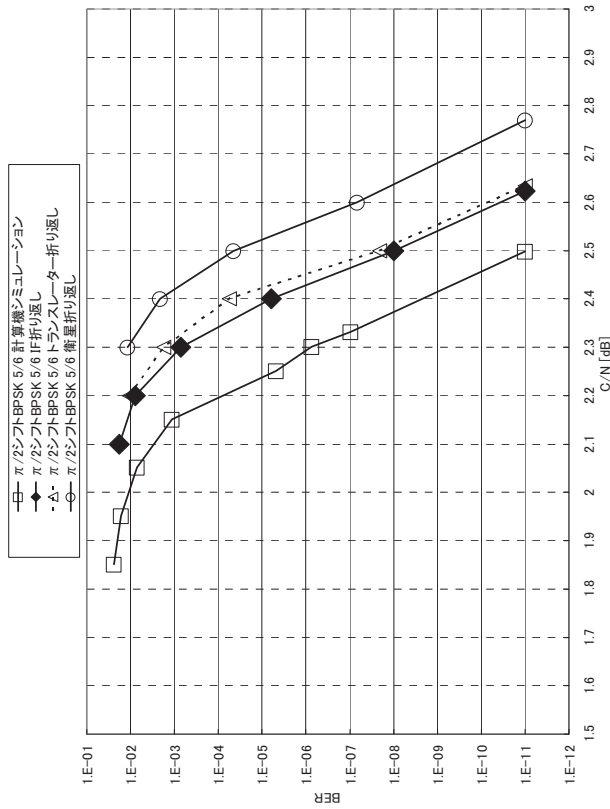


図 59i  $\pi/2$  シフト BPSK5/6

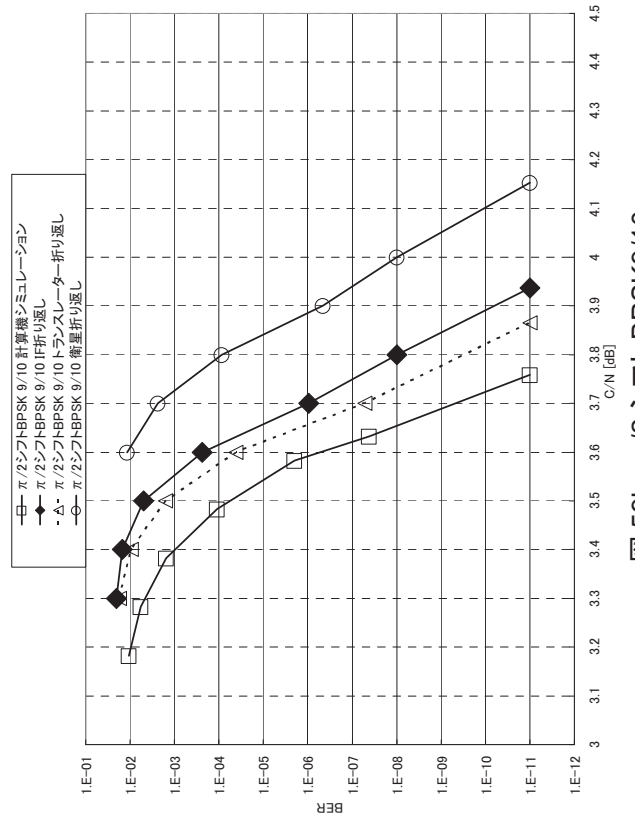


図 59k  $\pi/2$  シフト BPSK9/10

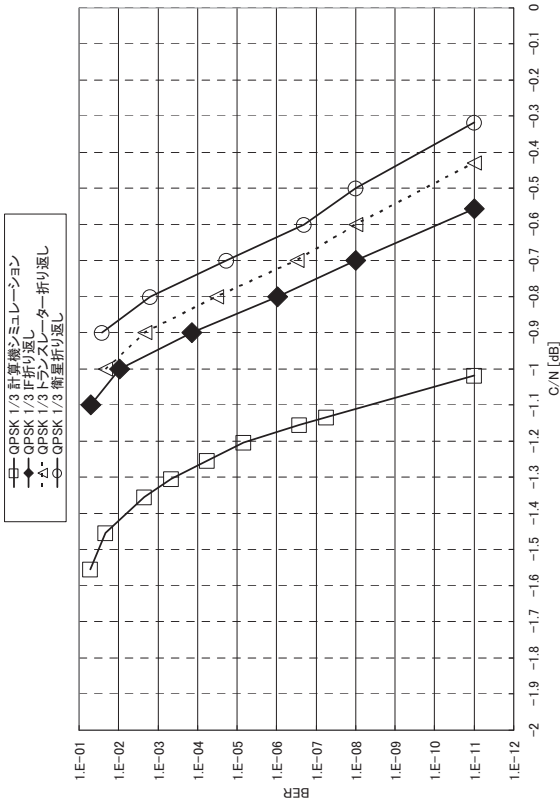


図 60b QPSK 1/3

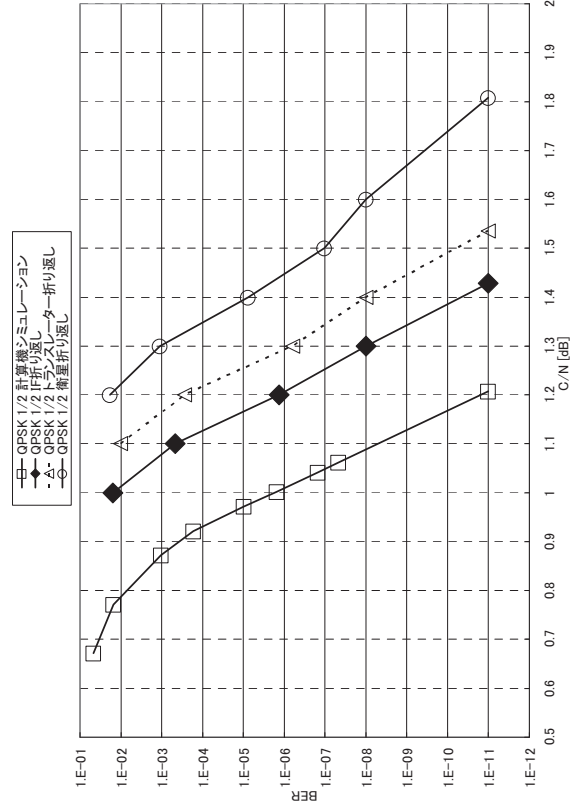


図 60d QPSK 1/2

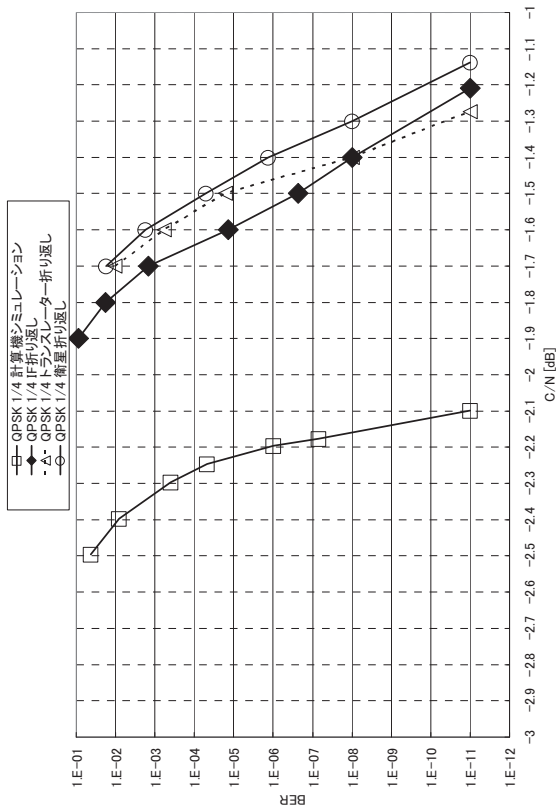


図 60a QPSK 1/4

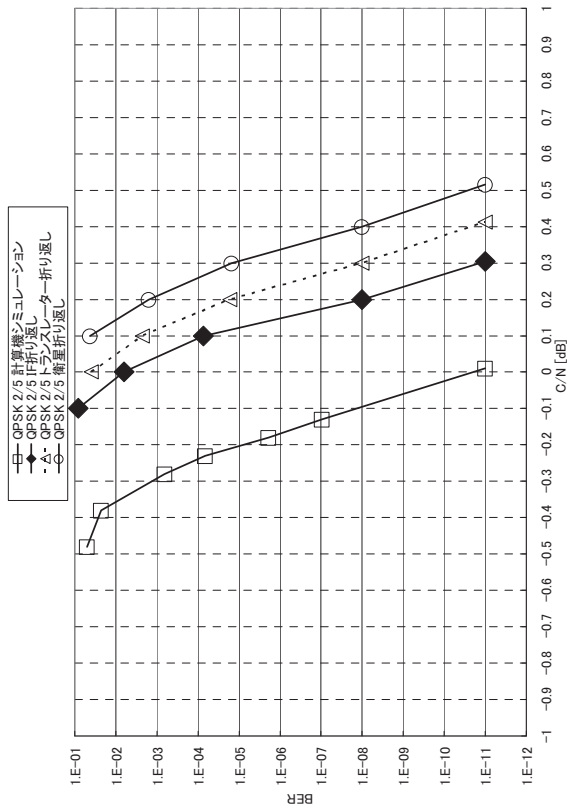


図 60c QPSK 2/5

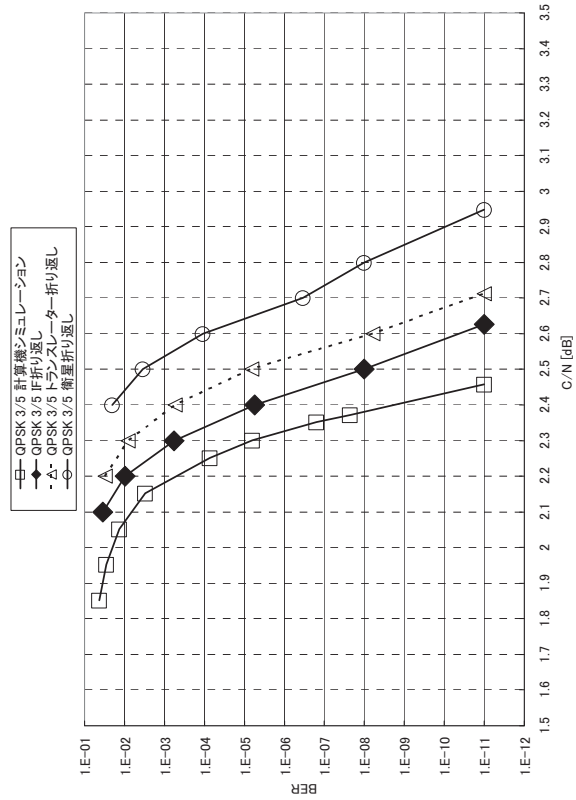


図 60e QPSK3/5

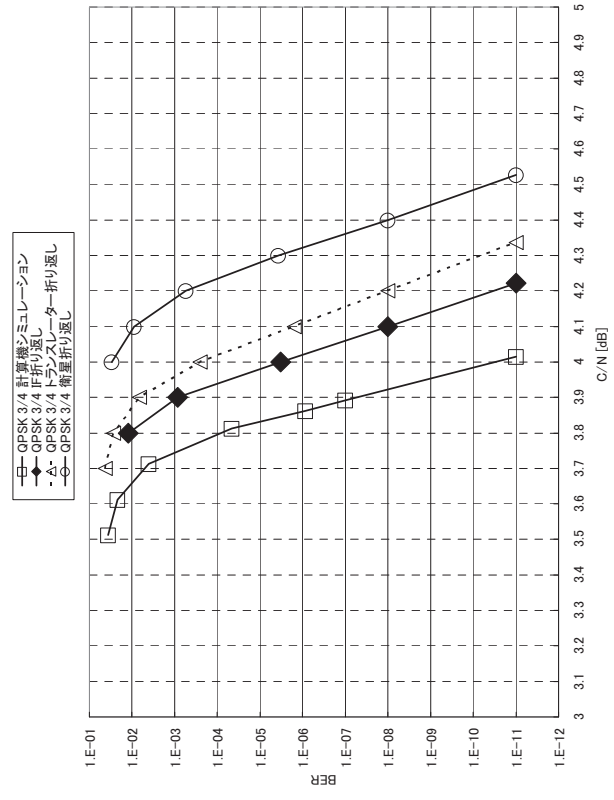


図 60g QPSK3/4

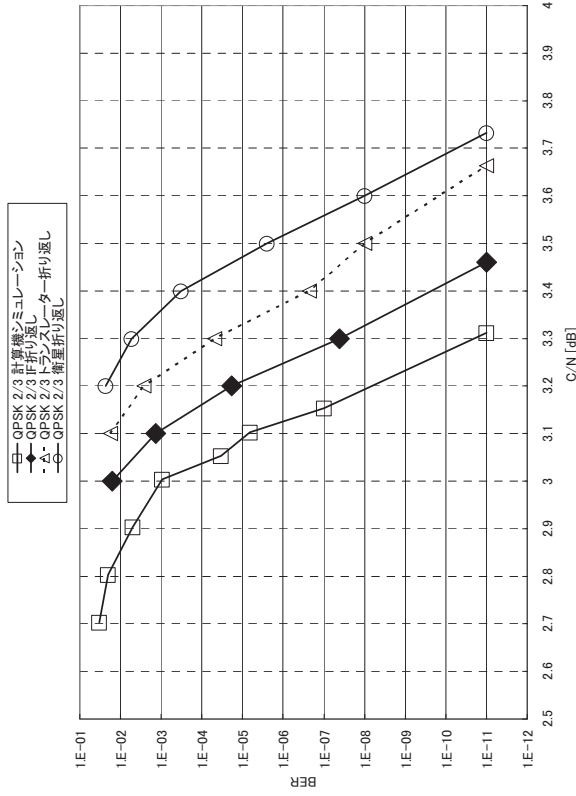


図 60f QPSK2/3

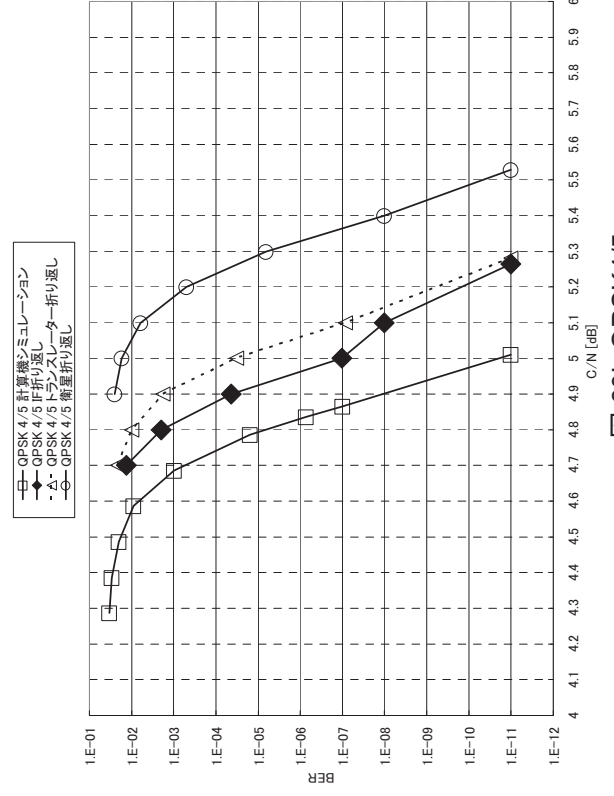


図 60h QPSK4/5

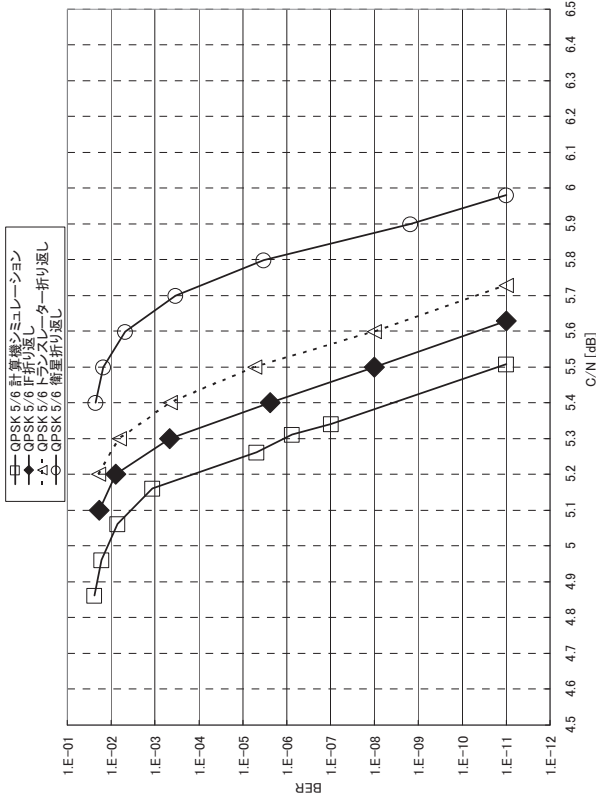


図 60i QPSK 5/6

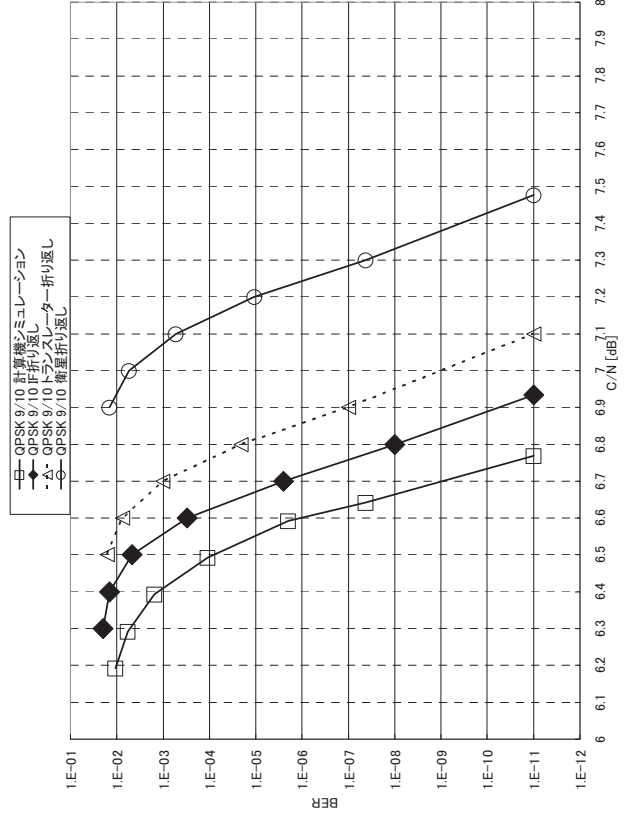


図 60k QPSK 9/10

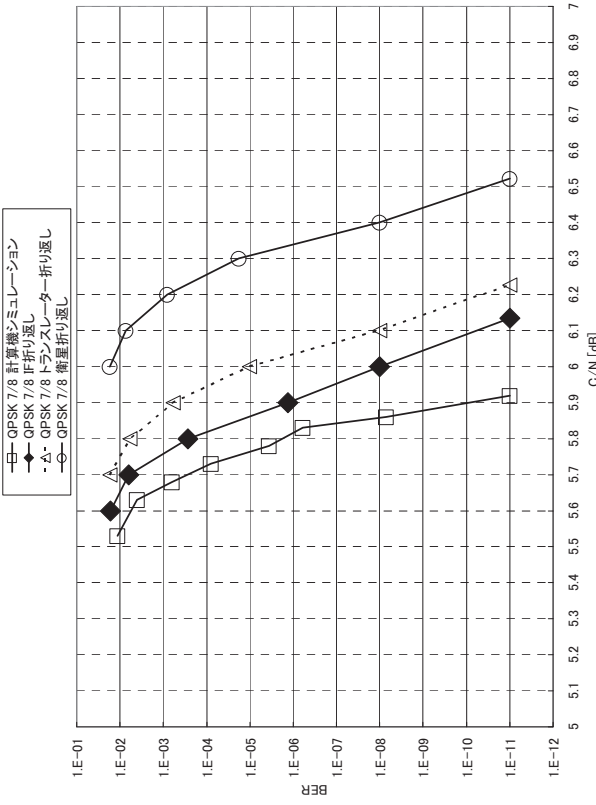


図 60j QPSK 7/8

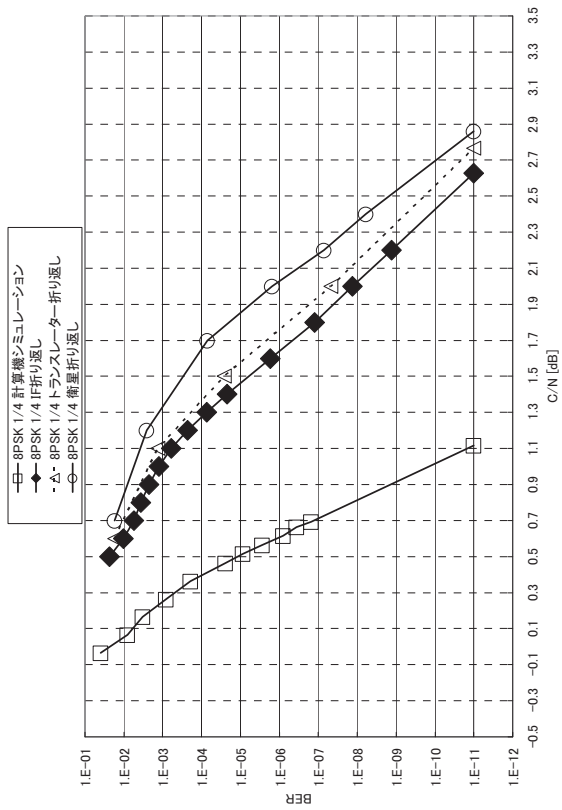


図 61a 8PSK 1/4

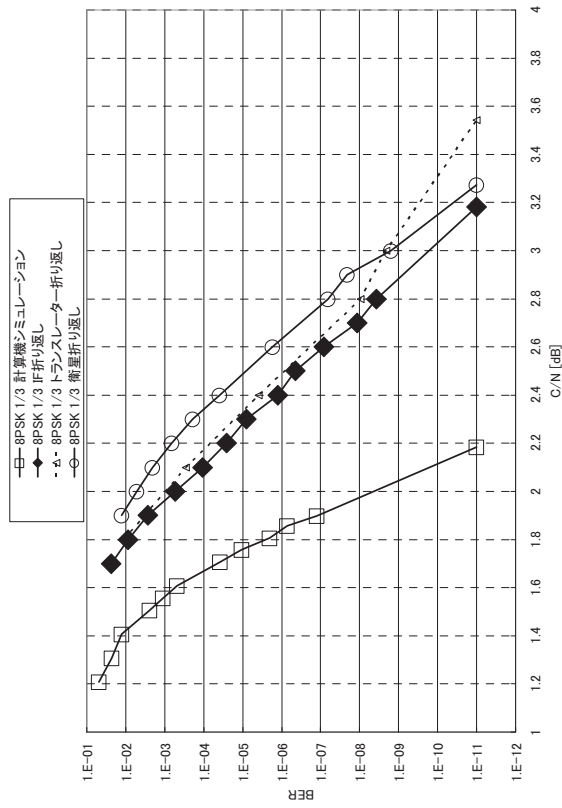


図 61b 8PSK 1/3

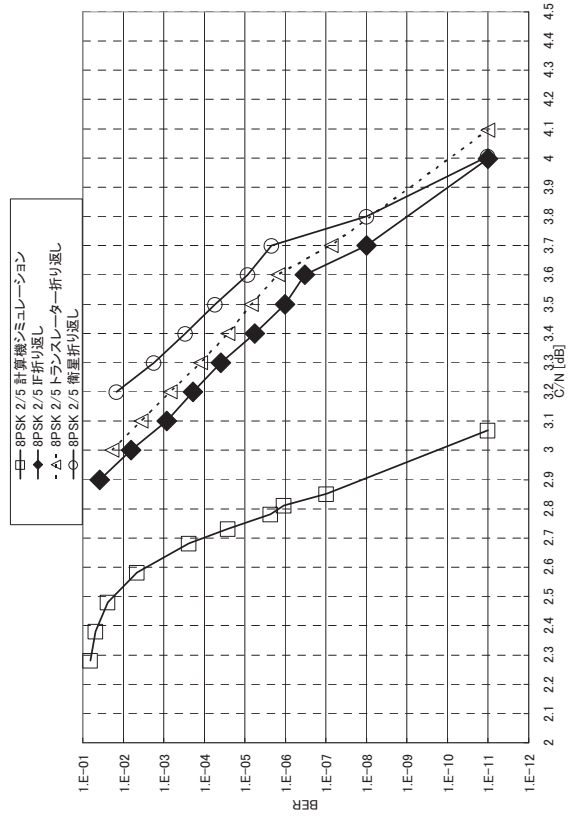


図 61c 8PSK 2/5

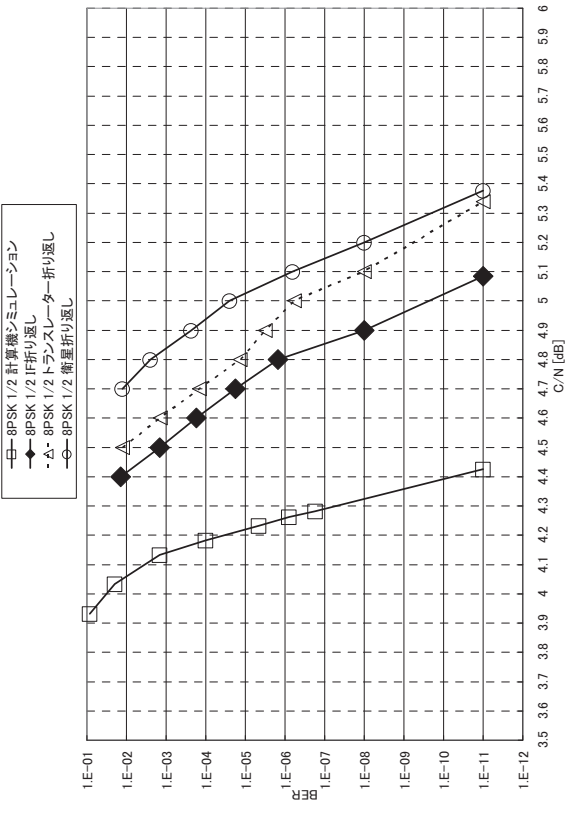


図 61d 8PSK 1/2

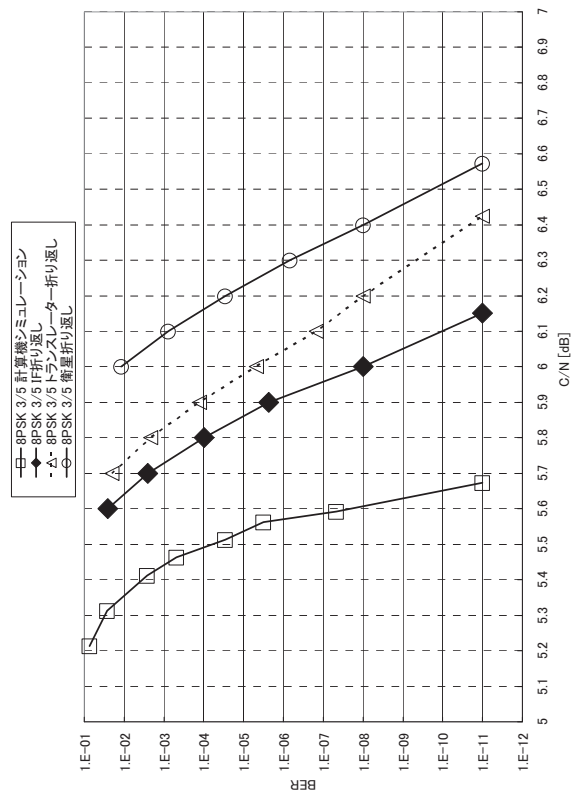


図 61e 8PSK 3/5

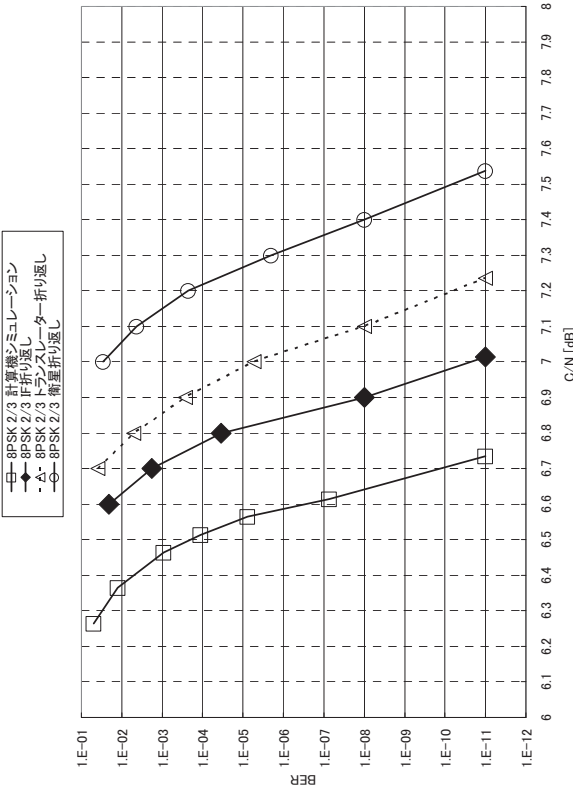


図 61f 8PSK 2/3

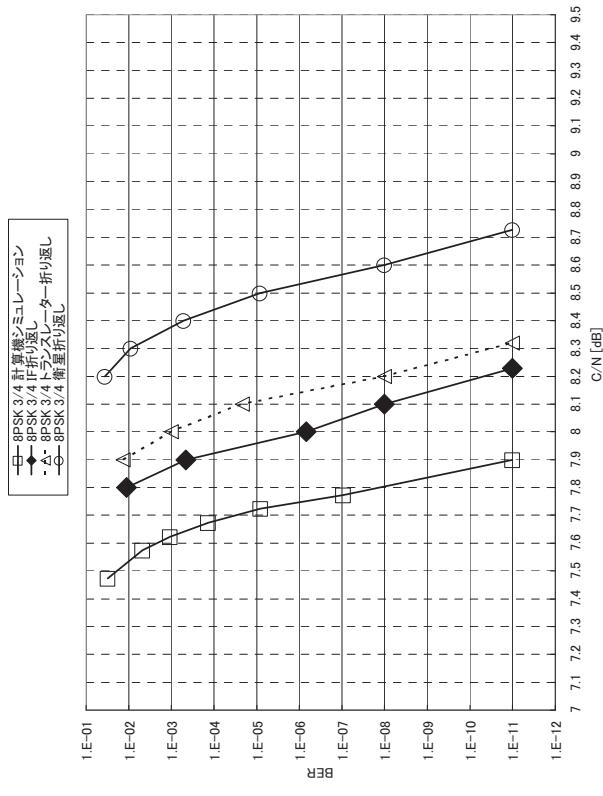


図 61g 8PSK 3/4

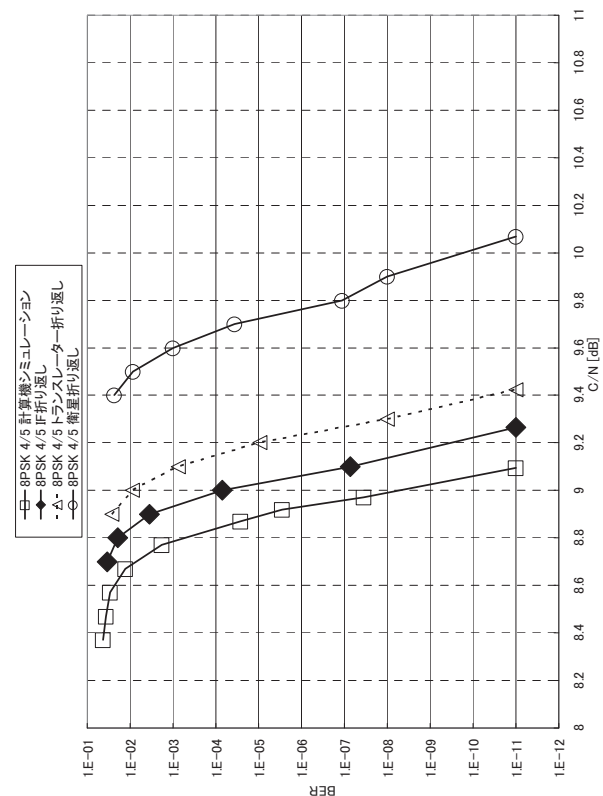


図 61h 8PSK 4/5

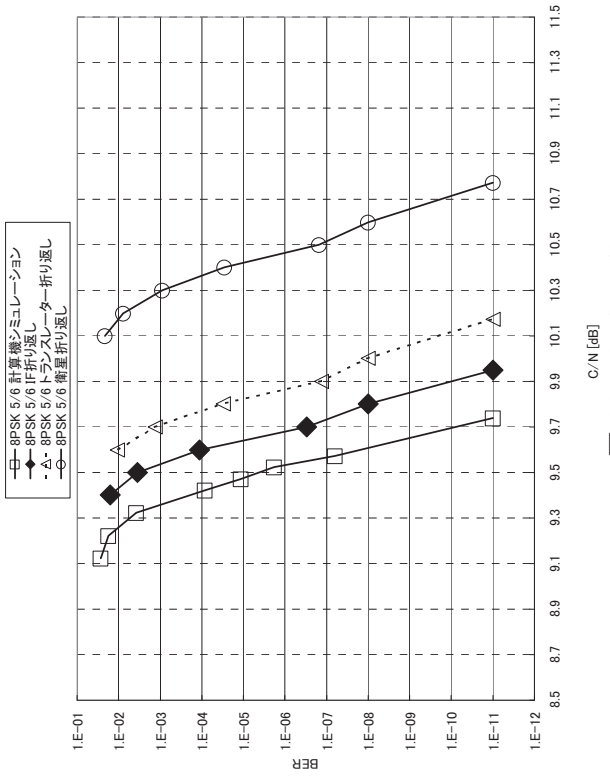


図 61i 8PSK 5/6



図 61j 8PSK 7/8

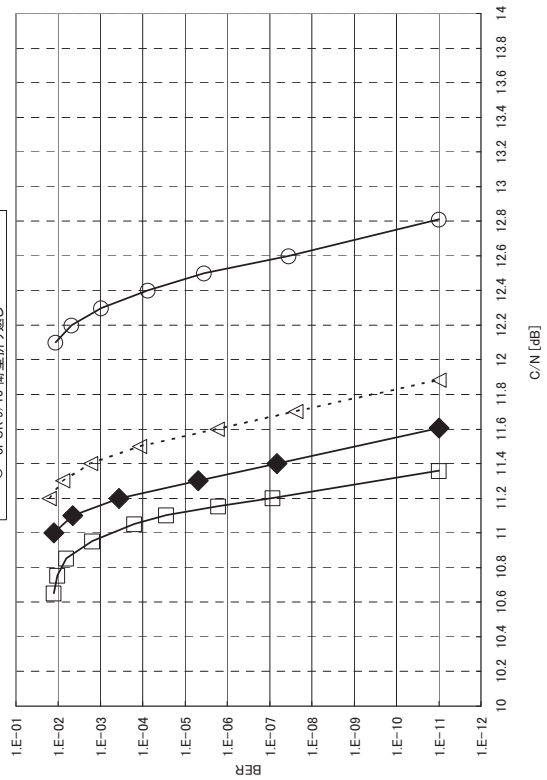


図 61k 8PSK 9/10



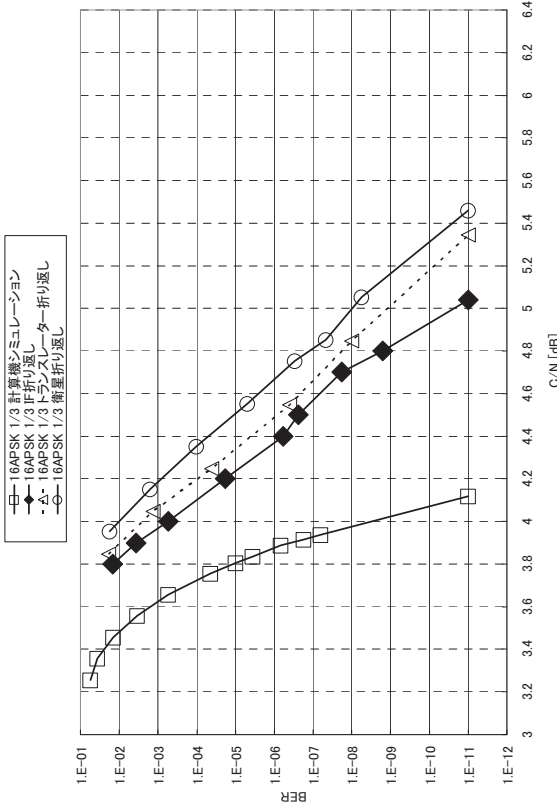


図 62a 16APSK 1/4

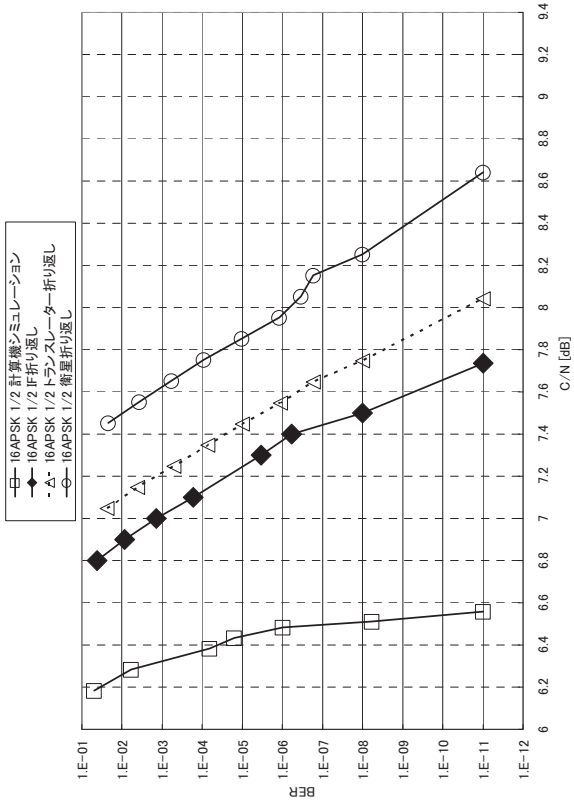


図 62b 16APSK 1/3

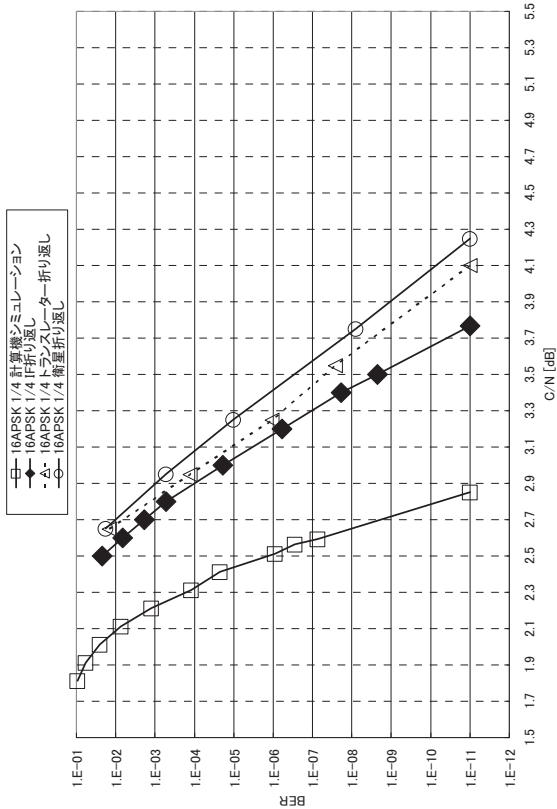


図 62c 16APSK 2/5

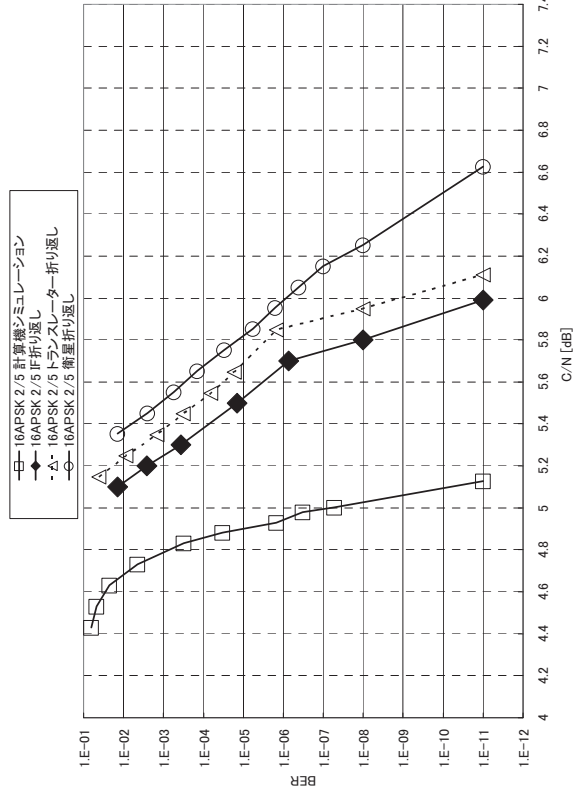


図 62d 16APSK 1/2

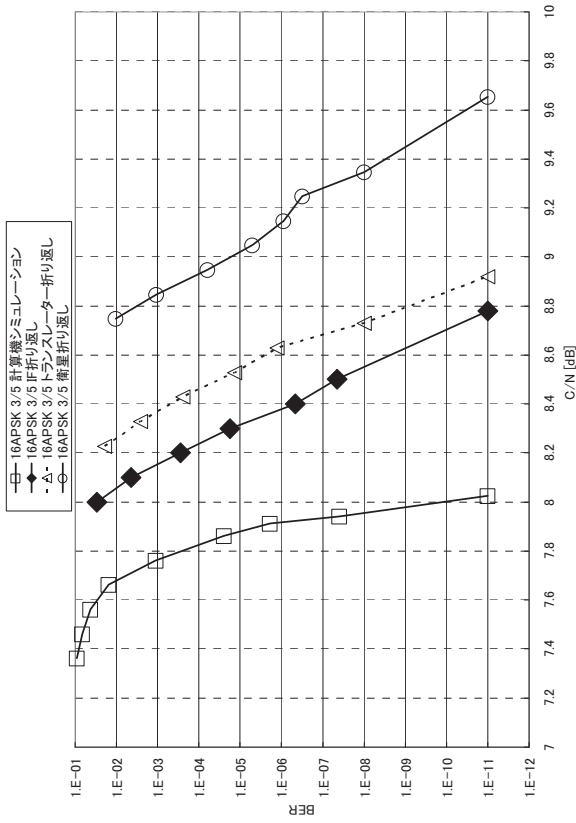


図 62e 16APSK3/5

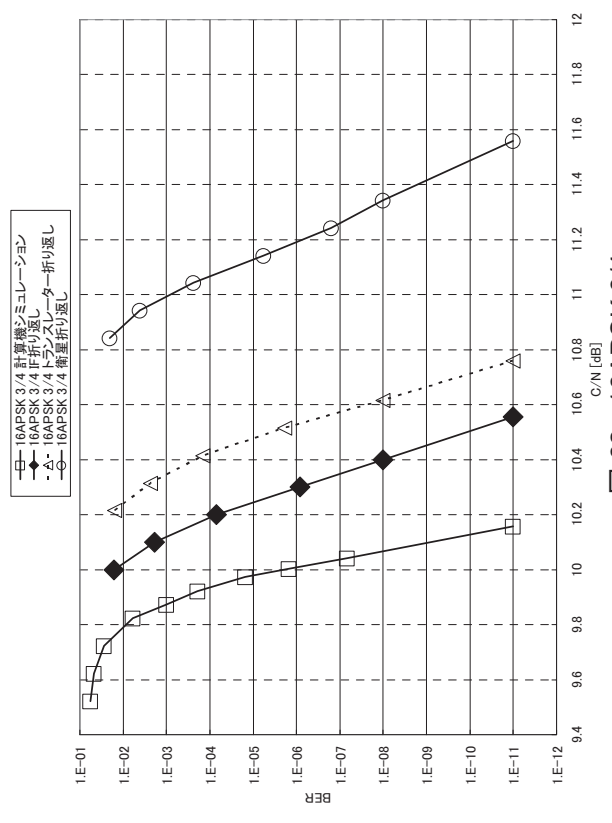


図 62g 16APSK 3/4

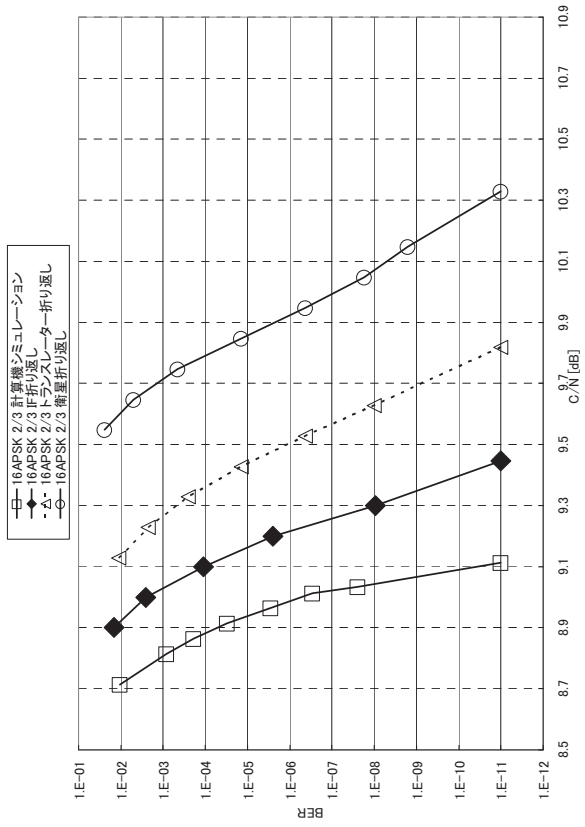


図 62f 16APSK 2/3

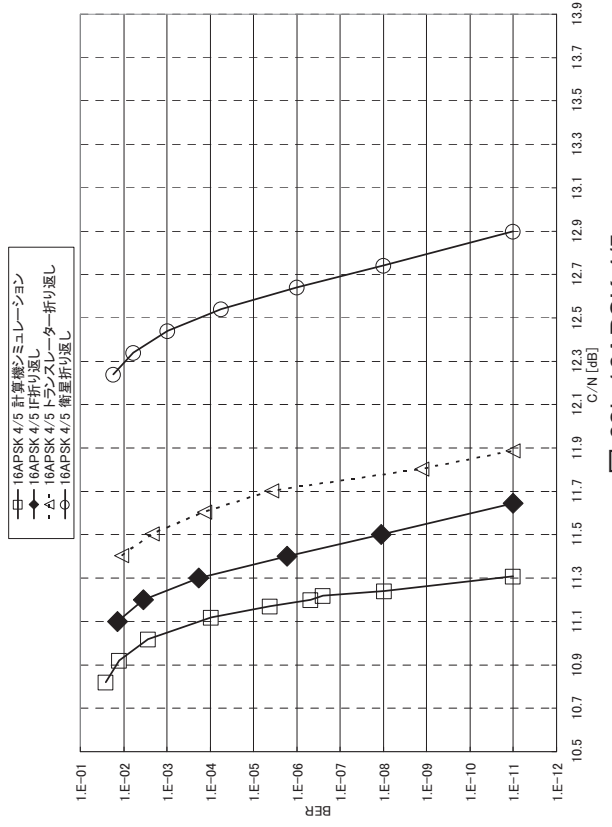


図 62h 16APSK 4/5

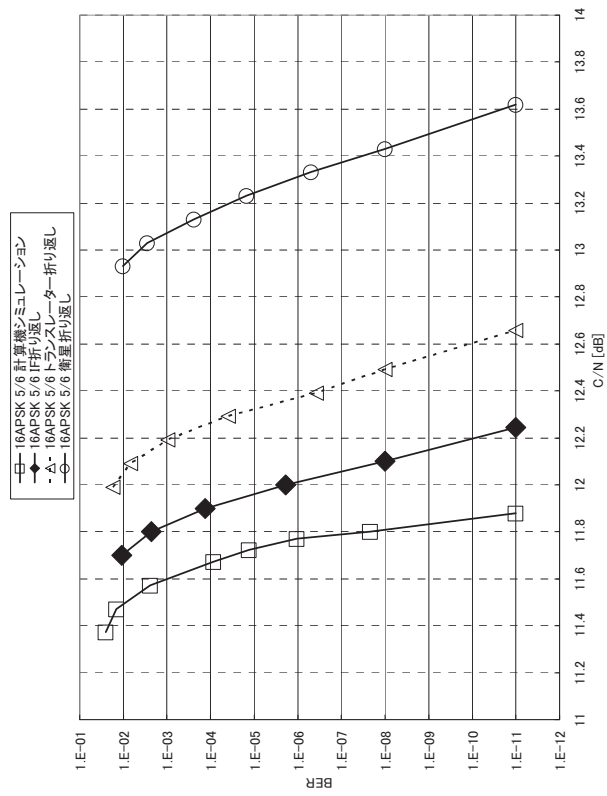


図 62i 16APSK 5/6

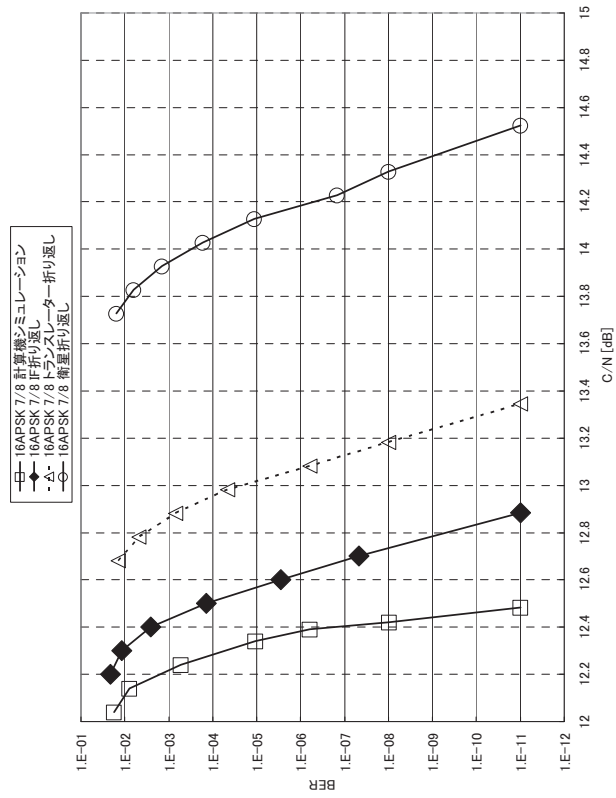


図 62j 16APSK 7/8

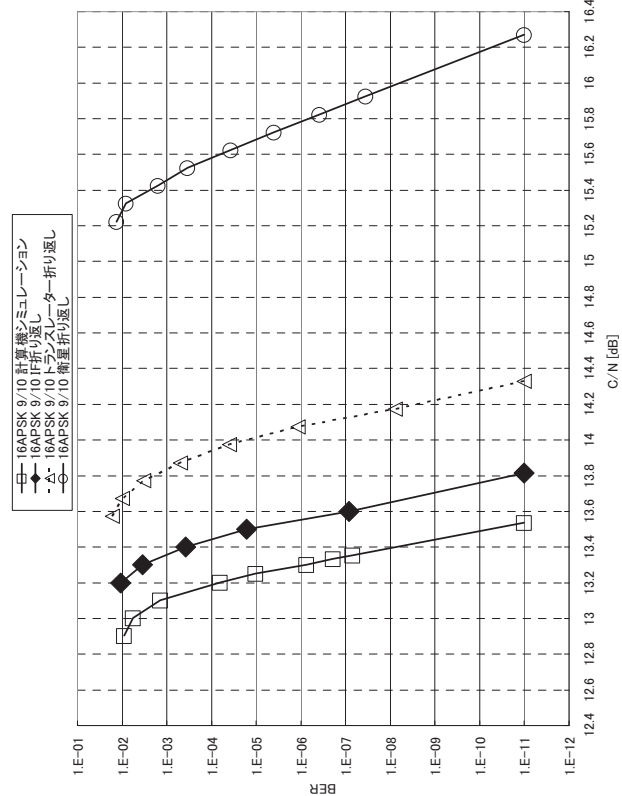


図 62k 16APSK 9/10

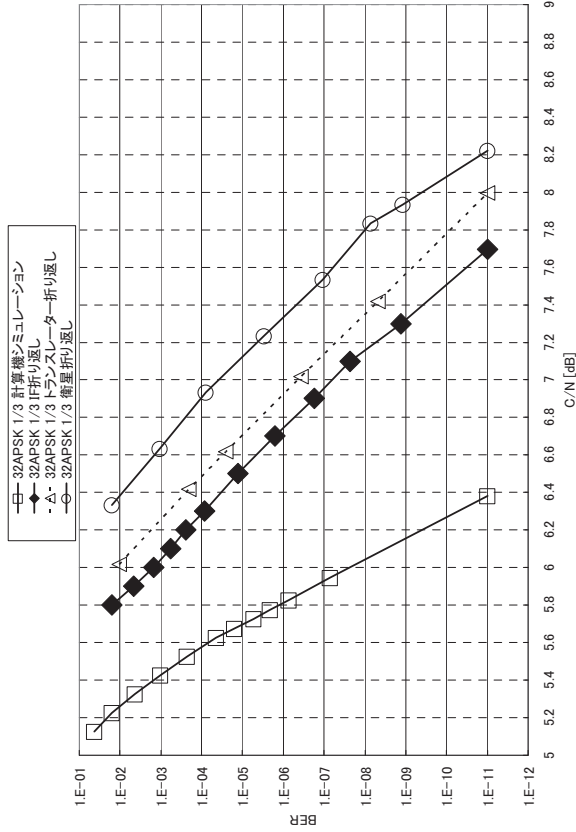


図 63a 32APSK 1/4

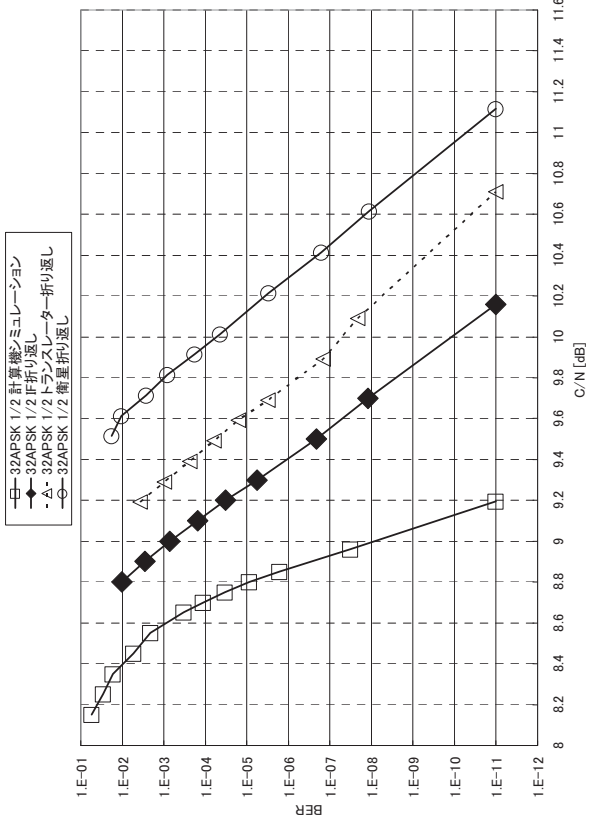


図 63b 32APSK 1/3

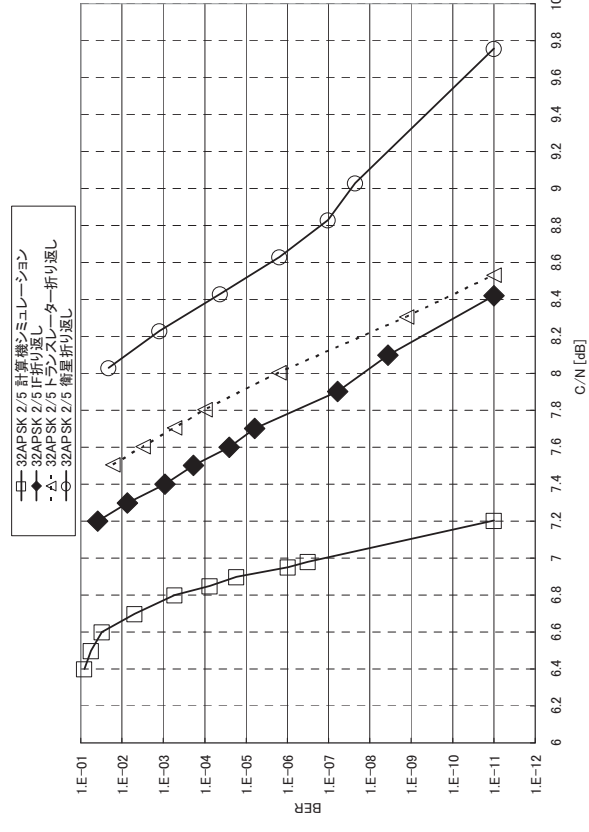


図 63c 32APSK 2/5

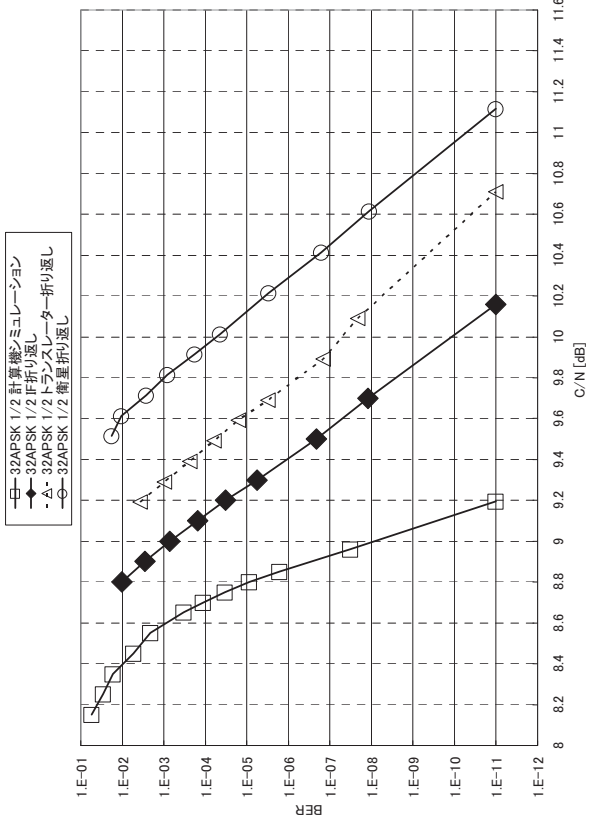


図 63d 32APSK 1/2

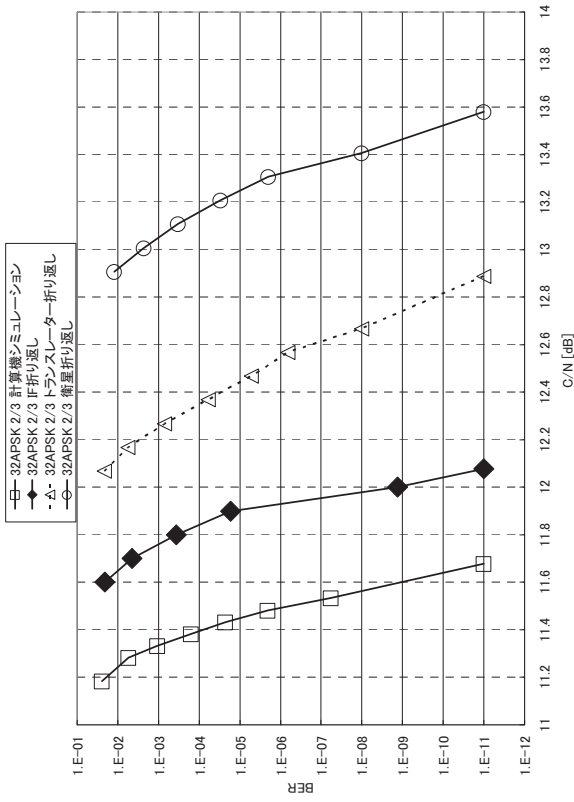


図 63f 32APSK 2/3

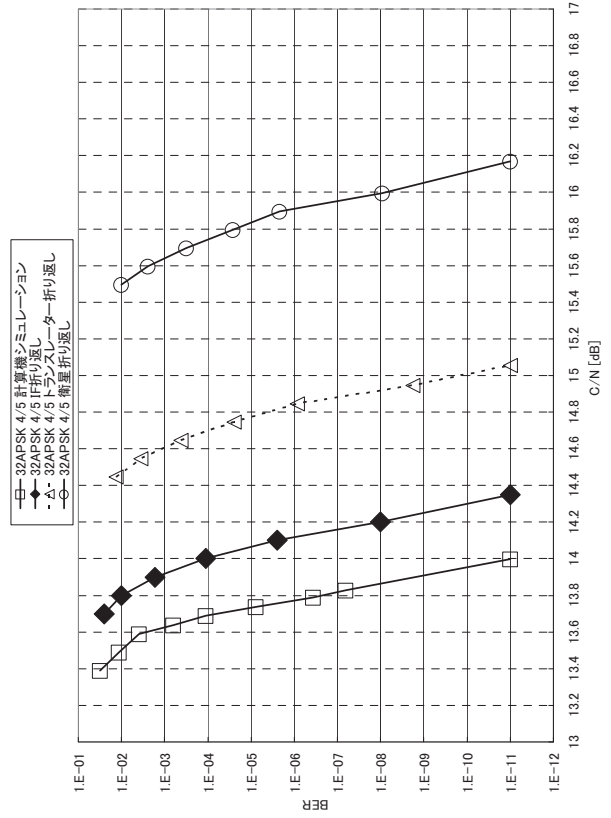


図 63h 32APSK 4/5

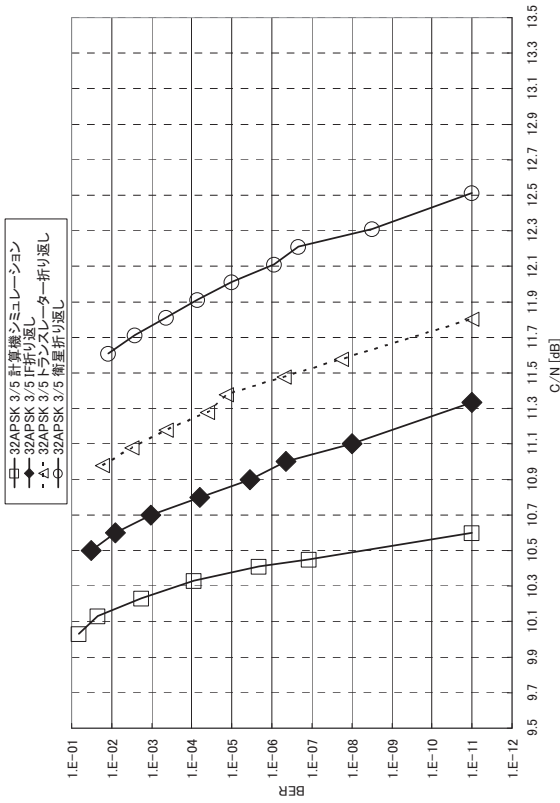


図 63e 32APSK 3/5

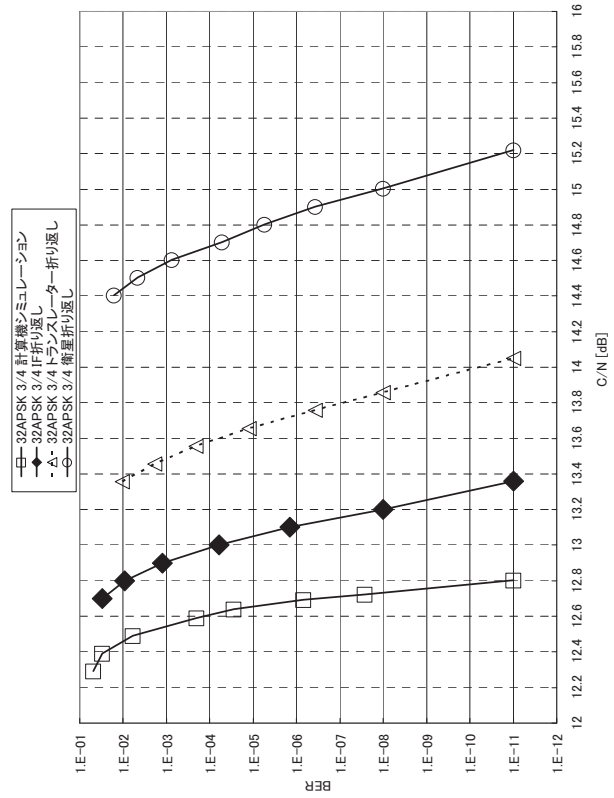


図 63g 32APSK 3/4

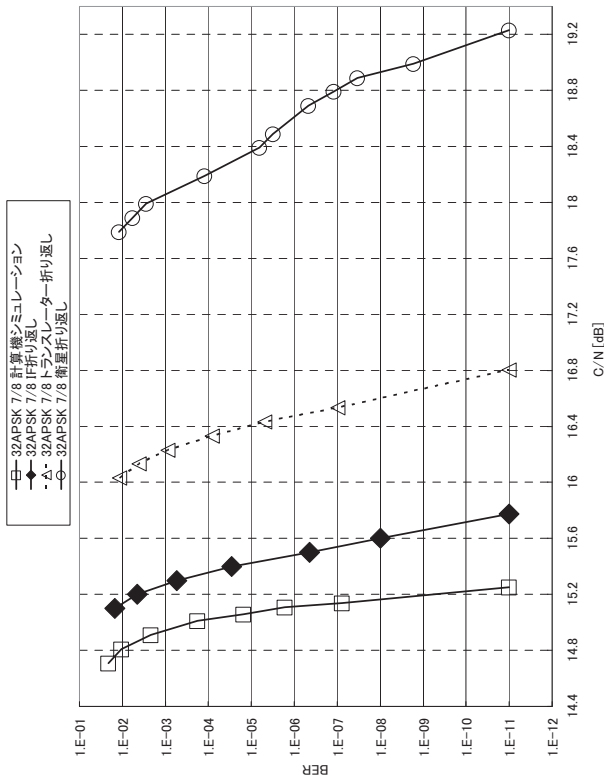


図 63j 32APSK 7/8

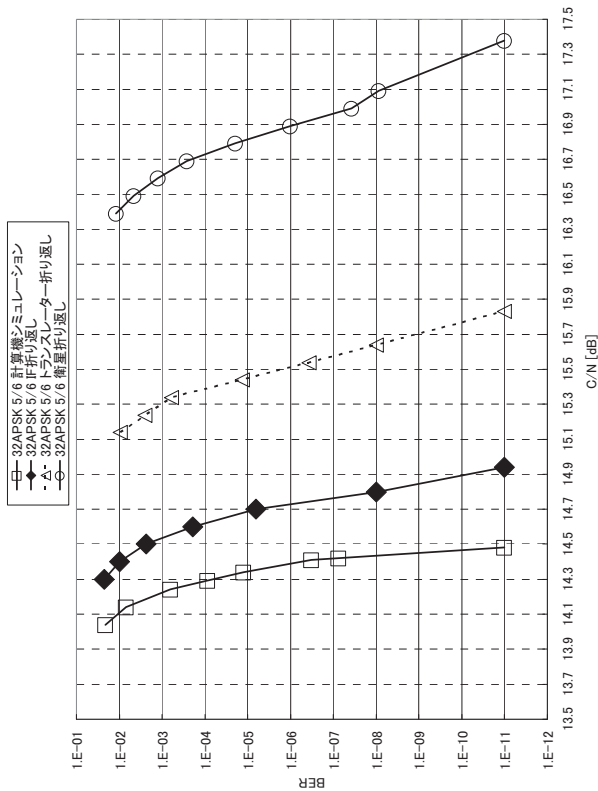


図 63i 32APSK 5/6

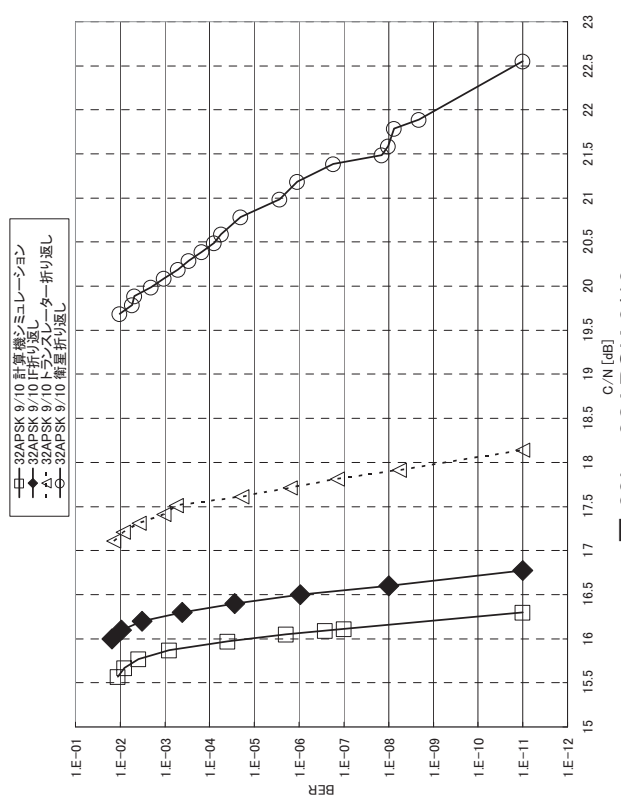


図 63k 32APSK 9/10

付録 2-4 : 衛星伝送実験、疑似中継器折返し 所要 C/N 一覧 (3.4 節、4.3 節)

表 43 :  $\pi/2$  シフト BPSK 衛星伝送実験、疑似中継器折返し 所要 C/N 一覧

符号化率	シミュレーション ①	IF 折返し ②	トランスレータ 一折返し ③	疑似中継器 折返し ④	疑似中継器 OBO ⑤	疑似中継器 C/N+OBO ⑥=④+⑤	衛星 折返し ⑦	衛星 OBO ⑧	衛星 C/N+OBO ⑨=⑦+⑧
1/4	-5.1	-2.8	-2.8	-2.6	0.4	-2.2	-2.7	0.5	-2.2
1/3	-4.0	-2.8	-2.8	-2.5	0.4	-2.1	-2.6	0.5	-2.1
2/5	-3.0	-2.4	-2.3	-2.2	0.4	-1.8	-2.3	0.5	-1.8
1/2	-1.8	-1.5	-1.5	-1.3	0.4	-0.9	-1.4	0.5	-0.9
3/5	-0.5	-0.3	-0.3	-0.1	0.4	0.3	-0.2	0.5	0.3
2/3	0.3	0.4	0.5	0.8	0.4	1.2	0.7	0.5	1.2
3/4	1.0	1.2	1.2	1.4	0.4	1.8	1.3	0.5	1.8
4/5	2.0	2.2	2.2	2.4	0.4	2.8	2.3	0.5	2.8
5/6	2.5	2.6	2.6	2.9	0.4	3.3	2.8	0.5	3.3
7/8	2.9	3.1	3.2	3.4	0.4	3.8	3.2	0.5	3.7
9/10	3.8	3.9	3.9	4.2	0.4	4.6	4.2	0.5	4.7

表 44 : QPSK 衛星伝送実験、疑似中継器折返し 所要 C/N 一覧

符号化率	シミュレーション ①	IF 折返し ②	トランスレータ 一折返し ③	疑似中継器 折返し ④	疑似中継器 OBO ⑤	疑似中継器 C/N+OBO ⑥=④+⑤	衛星 折返し ⑦	衛星 OBO ⑧	衛星 C/N+OBO ⑨=⑦+⑧
1/4	-2.1	-1.2	-1.3	-1.0	0.7	-0.3	-1.1	1.0	-0.1
1/3	-1.0	-0.6	-0.4	-0.2	0.7	0.5	-0.3	1.0	0.7
2/5	0.0	0.3	0.4	0.6	0.7	1.3	0.5	1.0	1.5
1/2	1.2	1.4	1.5	1.7	0.7	2.4	1.8	1.0	2.8
3/5	2.5	2.6	2.7	3.1	0.7	3.8	2.9	1.0	3.9
2/3	3.3	3.5	3.7	3.8	0.7	4.5	3.7	1.0	4.7
3/4	4.0	4.2	4.3	4.8	0.7	5.5	4.5	1.0	5.5
4/5	5.0	5.3	5.3	5.8	0.7	6.5	5.5	1.0	6.5
5/6	5.5	5.6	5.7	6.3	0.7	7.0	6.0	1.0	7.0
7/8	5.9	6.1	6.2	6.7	0.7	7.4	6.5	1.0	7.5
9/10	6.8	6.9	7.1	7.6	0.7	8.3	7.5	1.0	8.5



表 45 : 8PSK 衛星伝送実験、疑似中継器折返し 所要 C/N 一覧

符号化率	シミュレーション ①	IF 折返し ②	トランスレータ 一折返し ③	疑似中継器 折返し ④	疑似中継器 OBO ⑤	疑似中継器 C/N+OBO ⑥=④+⑤	衛星 折返し ⑦	衛星 OBO ⑧	衛星 C/N+OBO ⑨=⑦+⑧
1/4	1.1	2.6	2.8	3.0	0.7	3.7	2.9	0.9	3.8
1/3	2.2	3.2	3.5	3.6	0.7	4.3	3.3	0.9	4.2
2/5	3.1	4.0	4.1	4.4	0.7	5.1	4.0	0.9	4.9
1/2	4.4	5.1	5.3	5.7	0.7	6.4	5.4	0.9	6.3
3/5	5.7	6.2	6.4	6.9	0.7	7.6	6.6	0.9	7.5
2/3	6.7	7.0	7.2	7.8	0.7	8.5	7.5	0.9	8.4
3/4	7.9	8.2	8.3	9.3	0.7	10.0	8.7	0.9	9.6
4/5	9.1	9.3	9.4	10.5	0.7	11.2	10.1	0.9	11.0
5/6	9.7	9.9	10.2	11.1	0.7	11.8	10.8	0.9	11.7
7/8	10.4	10.7	10.8	12.1	0.7	12.8	11.6	0.9	12.5
9/10	11.4	11.6	11.9	13.5	0.7	14.2	12.8	0.9	13.7

表 46 : 16APSK 衛星伝送実験、擬似中継器折返し 所要 C/N 一覧

符号化率	シミュレーション ①	IF 折返し ②	トランスレータ 一折返し ③	擬似中継器 折返し ④	擬似中継器 OBO ⑤	擬似中継器 C/N+OBO ⑥=④+⑤	衛星 折返し ⑦	衛星 OBO ⑧	衛星 C/N+OBO ⑨=⑦+⑧
1/4	2.9	3.8	4.1	5.2	1.2	6.4	4.2	1.7	5.9
1/3	4.1	5.0	5.3	6.0	1.2	7.2	5.5	1.7	7.2
2/5	5.1	6.0	6.1	7.0	1.2	8.2	6.6	1.7	8.3
1/2	6.6	7.7	8.0	9.1	1.4	10.5	8.6	1.7	10.3
3/5	8.0	8.8	8.9	9.8	1.5	11.3	9.7	1.7	11.4
2/3	9.1	9.4	9.8	10.5	1.6	12.1	10.3	1.7	12.0
3/4	10.2	10.6	10.8	11.8	1.7	13.5	11.6	1.7	13.3
4/5	11.3	11.6	11.9	13.2	1.9	15.1	12.9	1.7	14.6
5/6	11.9	12.2	12.7	13.7	1.9	15.6	13.6	2.1	15.7
7/8	12.5	12.9	13.3	14.6	1.9	16.5	14.5	2.1	16.6
9/10	13.5	13.8	14.3	15.6	2.4	18.0	16.3	2.1	18.4

表 47 : 32APSK 衛星伝送実験、擬似中継器折返し 所要 C/N 一覧

符号化率	シミュレーション ①	IF 折返し ②	トランスレータ 一折返し ③	擬似中継器 折返し ④	擬似中継器 OBO ⑤	擬似中継器 C/N+OBO ⑥=④+⑤	衛星 折返し ⑦	衛星 OBO ⑧	衛星 C/N+OBO ⑨=⑦+⑧
1/4	5.5	7.2	7.4	8.3	1.8	10.1	7.3	2.1	9.4
1/3	6.4	7.7	8.0	9.3	1.9	11.2	8.2	2.1	10.3
2/5	7.2	8.4	8.5	10.5	2.0	12.5	9.8	2.1	11.9
1/2	9.2	10.2	10.7	12.0	2.1	14.1	11.1	2.4	13.5
3/5	10.6	11.3	11.8	13.0	2.7	15.7	12.5	2.4	14.9
2/3	11.7	12.1	12.9	13.8	2.9	16.7	13.6	2.4	16.0
3/4	12.8	13.4	14.1	15.5	2.9	18.4	15.2	2.4	17.6
4/5	14.0	14.3	15.1	16.4	3.4	19.8	16.2	2.9	19.1
5/6	14.5	14.9	15.8	17.1	3.7	20.8	17.4	2.8	20.2
7/8	15.3	15.8	16.8	17.9	4.1	22.0	19.2	2.8	22.0
9/10	16.3	16.8	18.1	19.2	4.4	23.6	22.6	2.8	25.4

## 実験構成機器 付録

### 付録 3 実験構成機器

#### 付録 3-1 変調器、復調器

図 64 に変調器の外観を示す。図 65 に復調器の外観を示す。



図 64 変調器



図 65 復調器

## 付録 3-2 擬似中継器実験

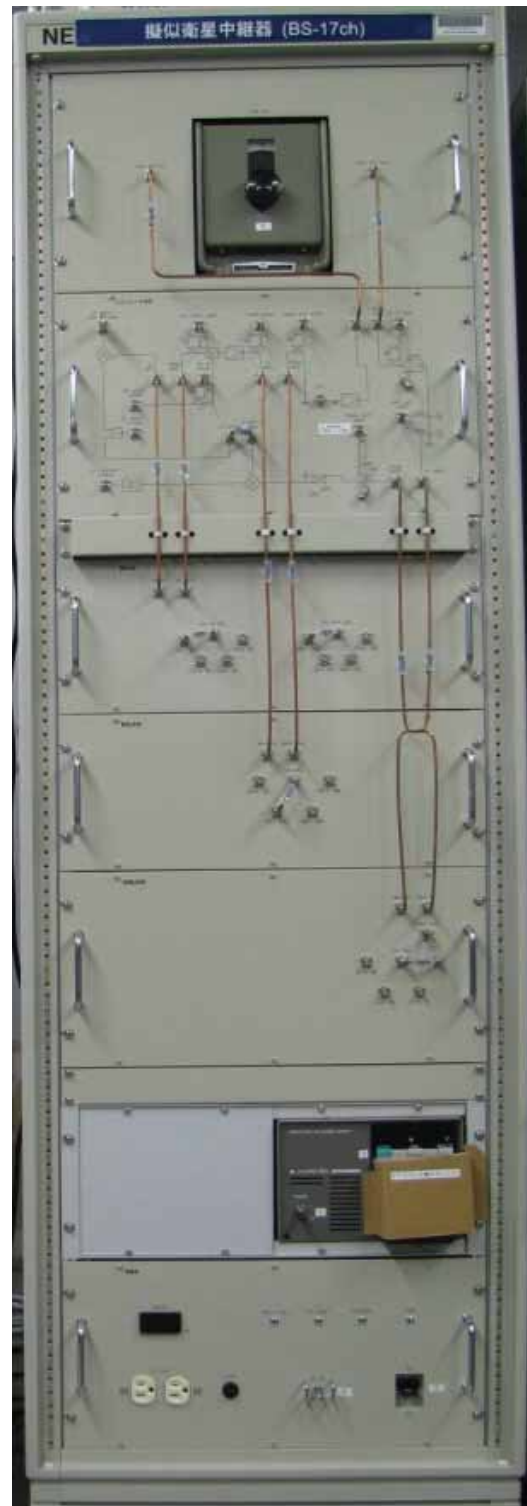
擬似中継器(BS15chおよびBS17ch)の仕様を表48に、外観を図66に、構成を図67(BS15ch)、図68(BS17ch)に示す。またBS15ch、BS17ch中継器のTWTAの特性をそれぞれ図69、図70に、IMUXフィルタの特性を図71、図72に、OMUXフィルタの特性を図73、図74に示す。C/N対誤り率特性などはBS17chを用いて測定し、BS15chは干渉波用として用いた。

表 48 : 中継器仕様

項目	仕様値	
	BS15ch	BS17ch
局発周波数	11856.00MHz	11894.36MHz
RF 周波数	11996.00MHz	12034.36MHz
IF 周波数	140MHz	140MHz
IF 入力電力	-10dBm	-10dBm
局発入力電力	+14dBm	+14dBm
IF 出力電力	-10dBm	-20dBm
TWTA 出力電力	40W	40W
IMUX 中心周波数	11996.00MHz	12034.36MHz
OMUX 中心周波数	11996.00MHz	12034.36MHz



BS15ch



BS17ch

图 66 : 擬似中継器外觀

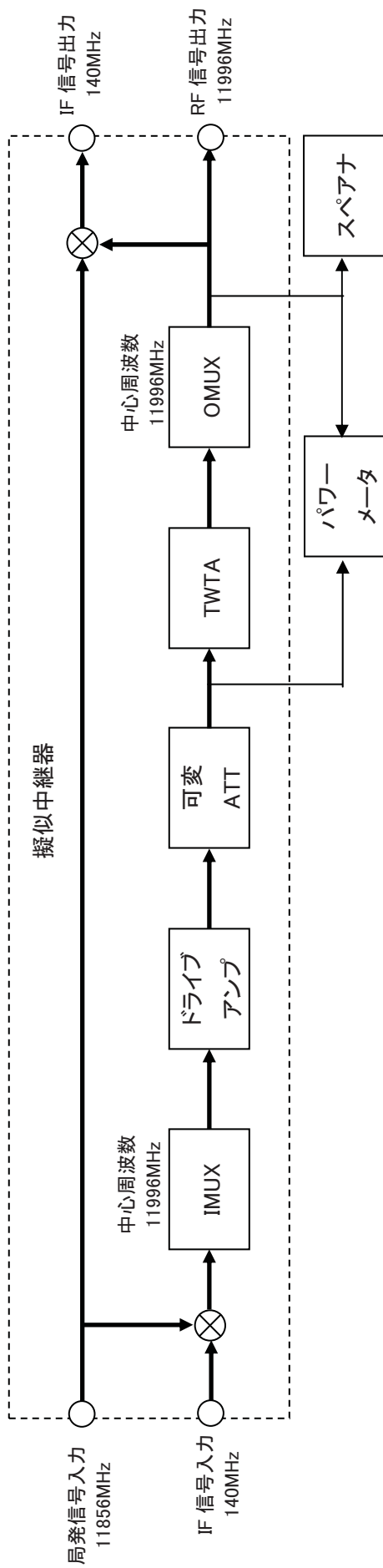


図 67 : 擬似中継器系統図 (BS15ch)

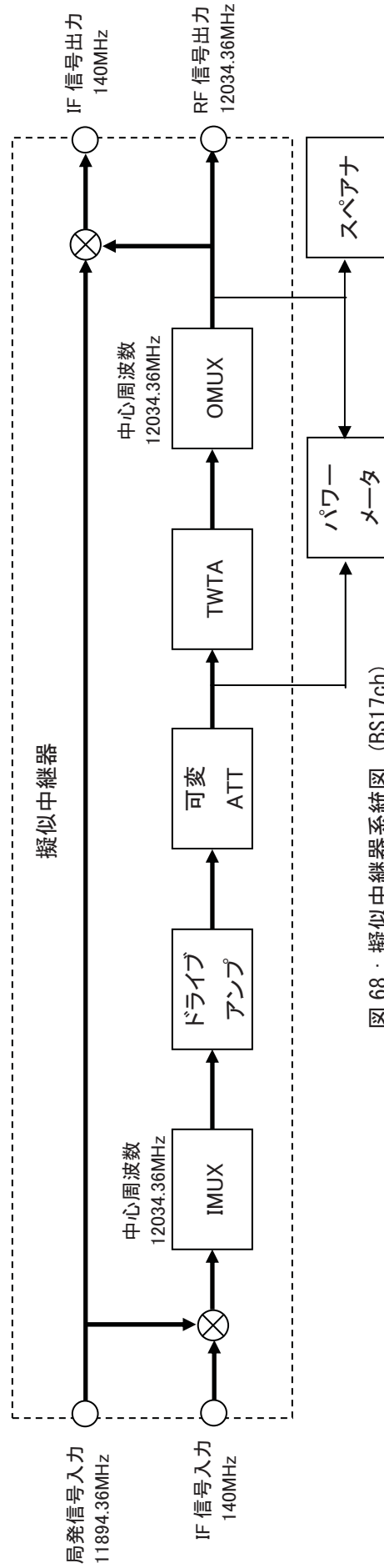


図 68 : 擬似中継器系統図 (BS17ch)



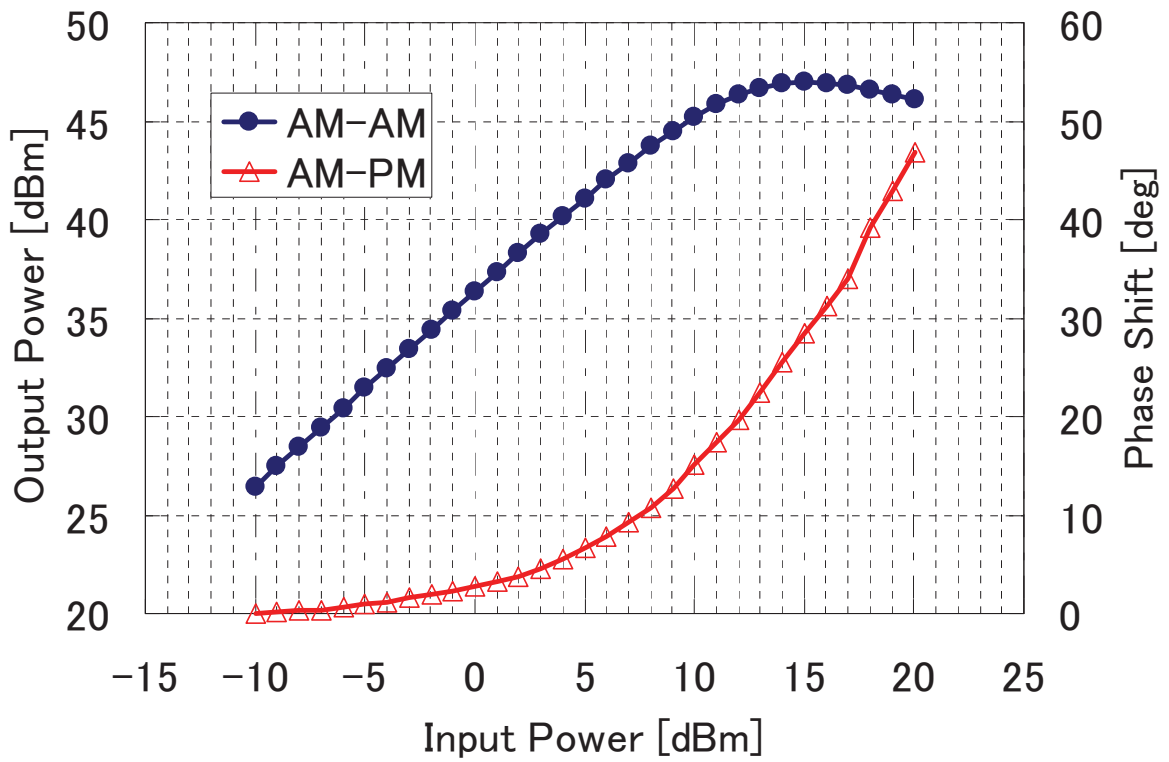


図 69 : TWTA の AM-AM および AM-PM 特性 (BS15ch)

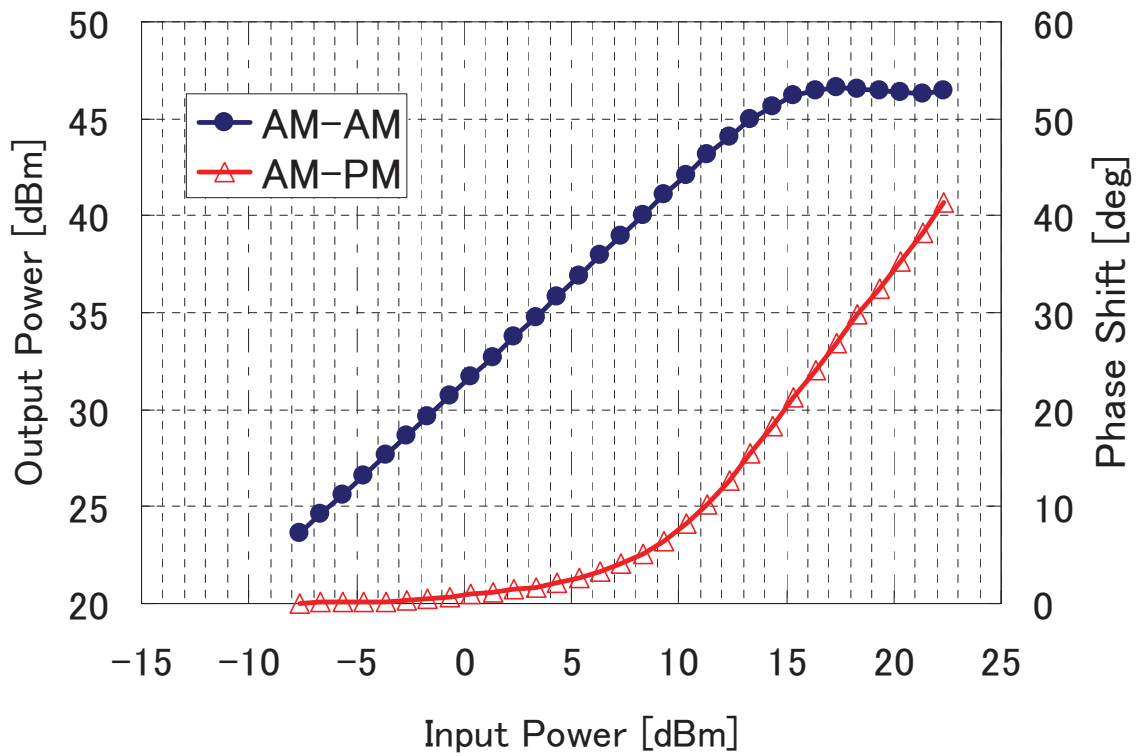


図 70 : TWTA の AM-AM および AM-PM 特性 (BS17ch)

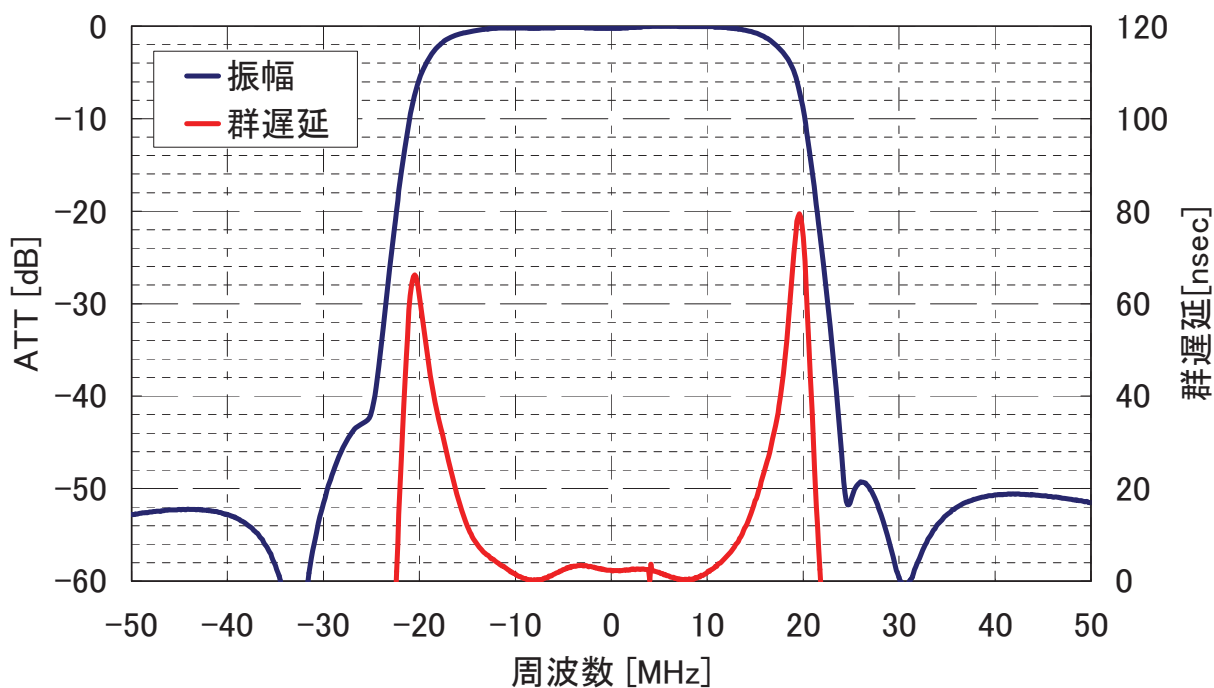


図 71 : IMUX フィルタの振幅および群遅延特性 (BS15ch)

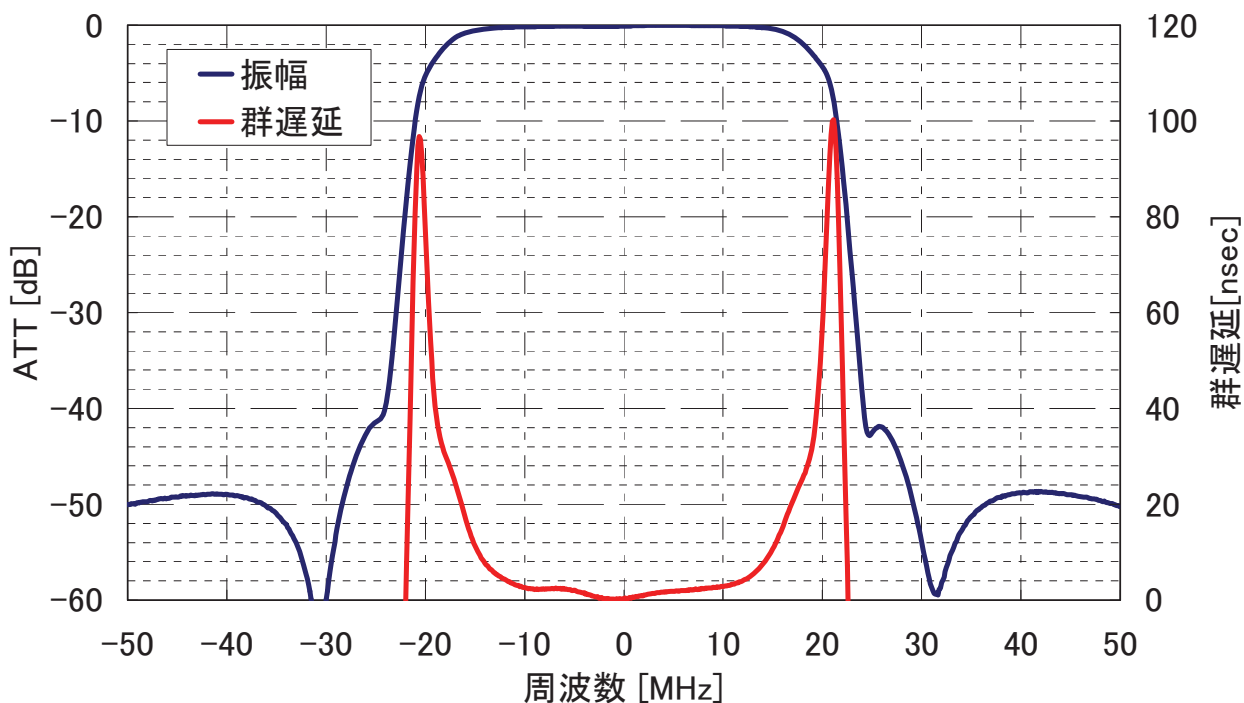


図 72 : IMUX フィルタの振幅および群遅延特性 (BS17CH)

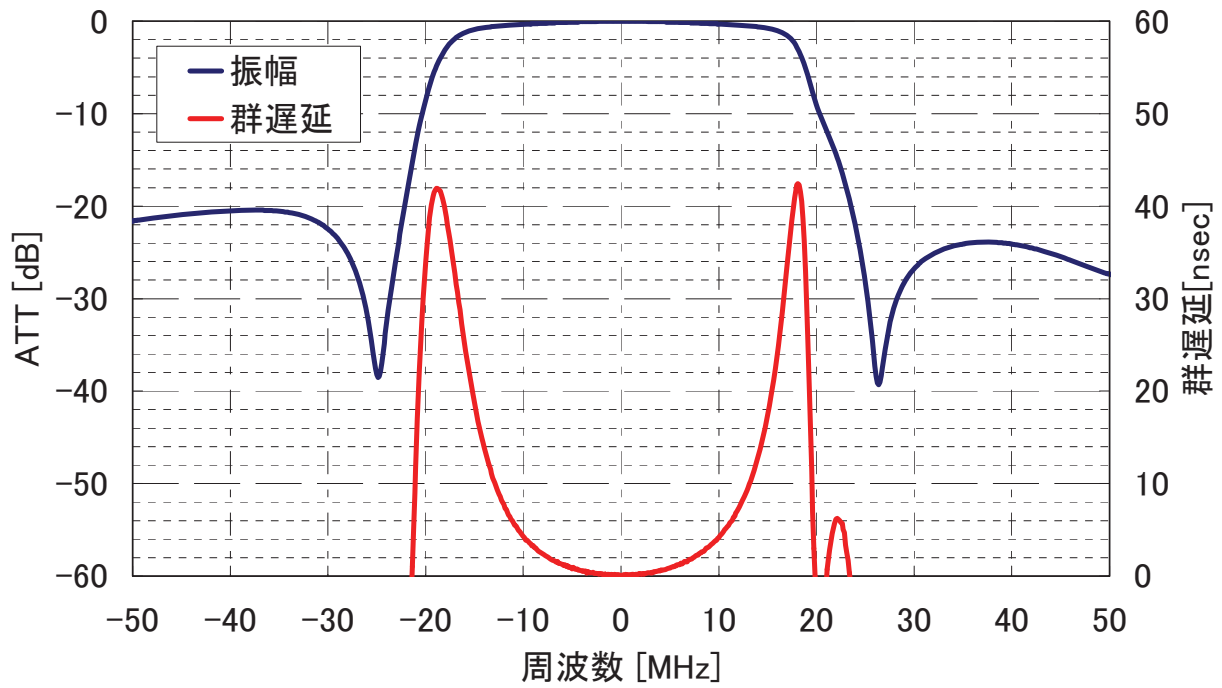


図 73 : OMUX フィルタの振幅および群遅延特性 (BS15ch)

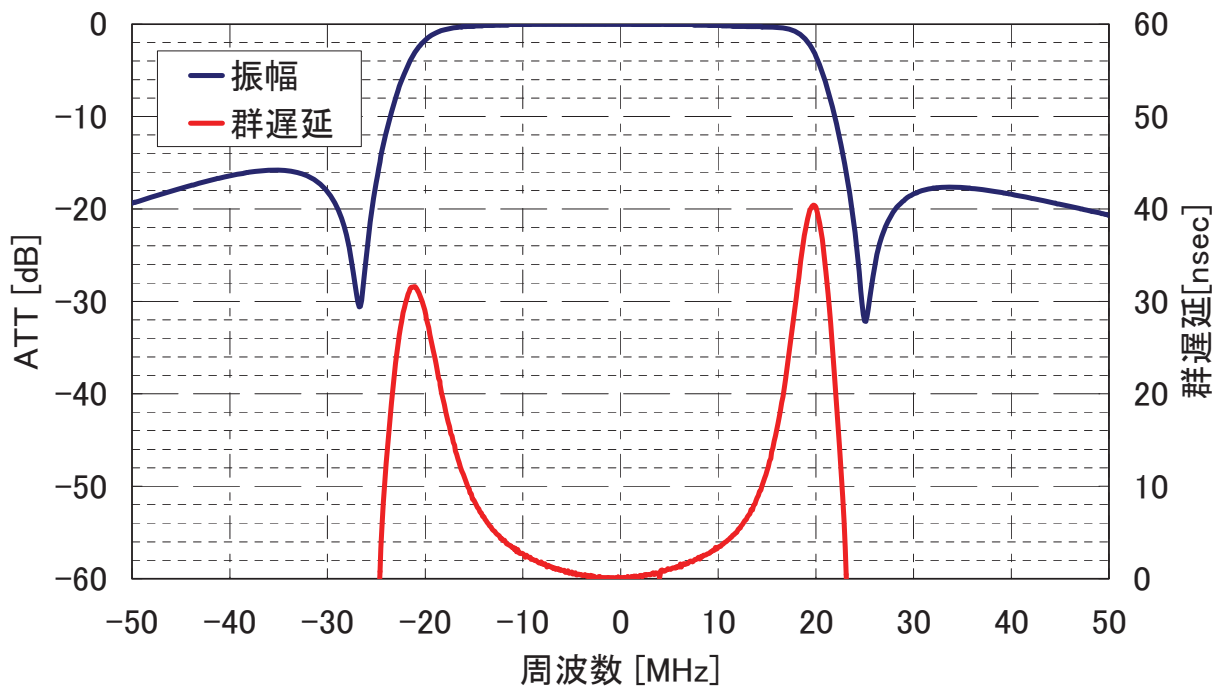


図 74 : OMUX フィルタの振幅および群遅延特性 (BS17ch)

### 付録 3-3 地球局特性

表 49 に地球局のアップリンク用 TWTA およびアンテナの仕様を示す。また図 75 に機器の外観の写真、図 76 に信号系統図を示す。図 77 に TWTA の AM-AM 特性を示す。図 77 では、周波数 17749.44MHz の搬送波を通したとき、ピーク値からの入力電力低下量 IBO[dB]を横軸とし、出力電力低下量 OBO[dB]を縦軸とした。入力電力はリニアライザ入力部での電力とし、出力電力は TWTA 出力電力をとした。図 78 は、8PSK、符号化率 3/4 の変調波信号を通したときの TWTA 出力スペクトラム特性を示す。TWTA 動作点は OBO 5dB とした。TWTA 動作点が OBO 5dB という条件で 16APSK 符号化率 3/4 および 32APSK 符号化率 4/5 のときの TWTA 出力スペクトラムを図 79、図 80 にそれぞれ示す。

表 49 : TWTA およびアンテナ仕様

	項目	仕様
TWTA	周波数	17GHz 帯 BS17ch ~ BS23ch
	動作点	OBO 5dB (1 波)、OBO 10dB (2 波同時、1 波あたり OBO 13dB)
	出力	103W (OBO 5dB で 1 波のときの電力値) 16W (OBO 10 dB で 2 波同時に出したとき、1 波あたりの電力値)
アンテナ	形式	7m 径センターフィードカセグレンアンテナ

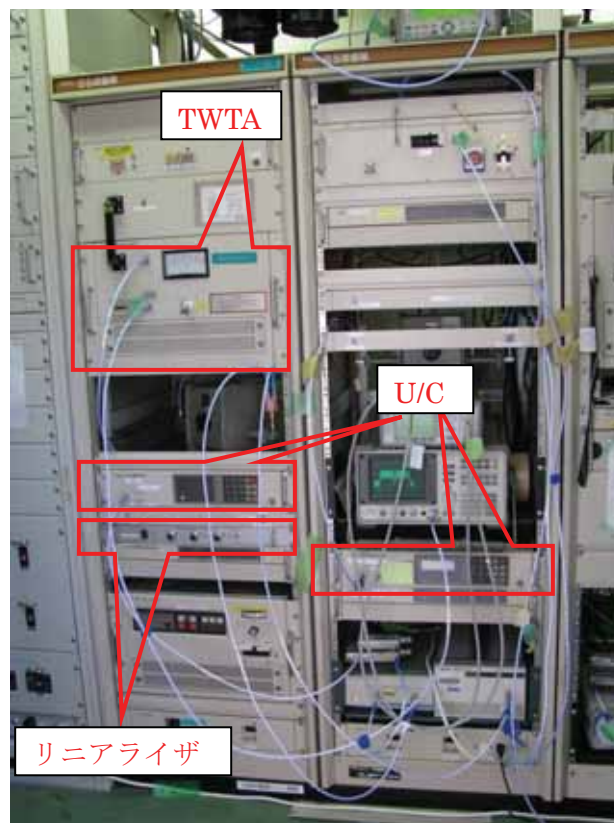


図 75 : 地球局シェルター室内外観

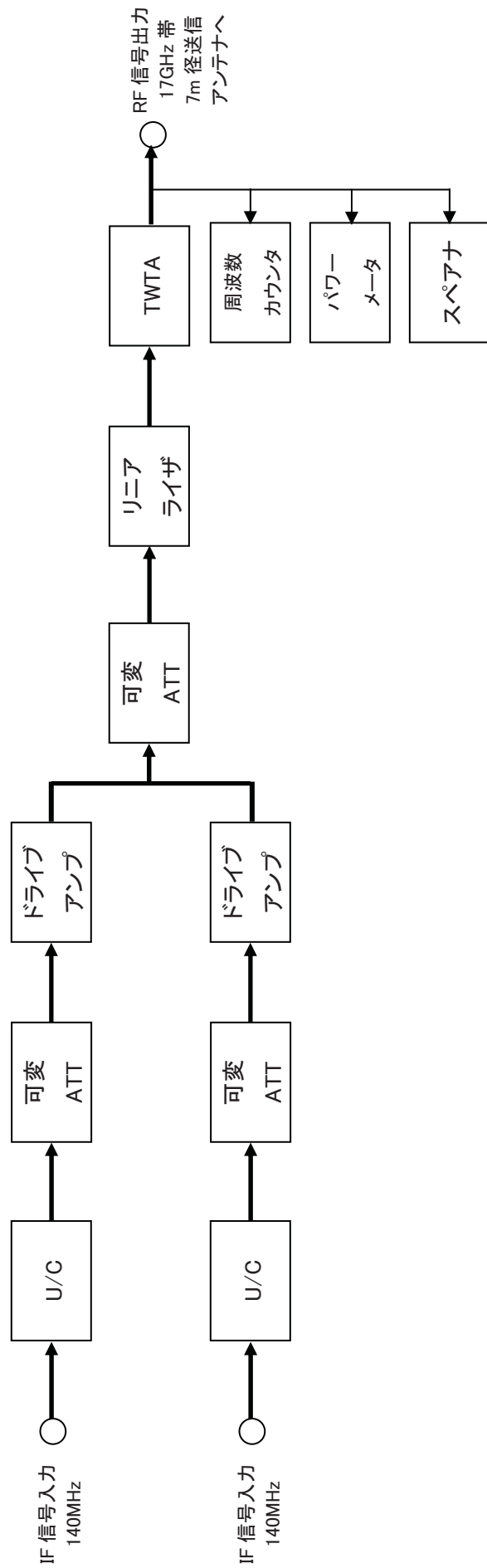


図 76 : 地球局系統図

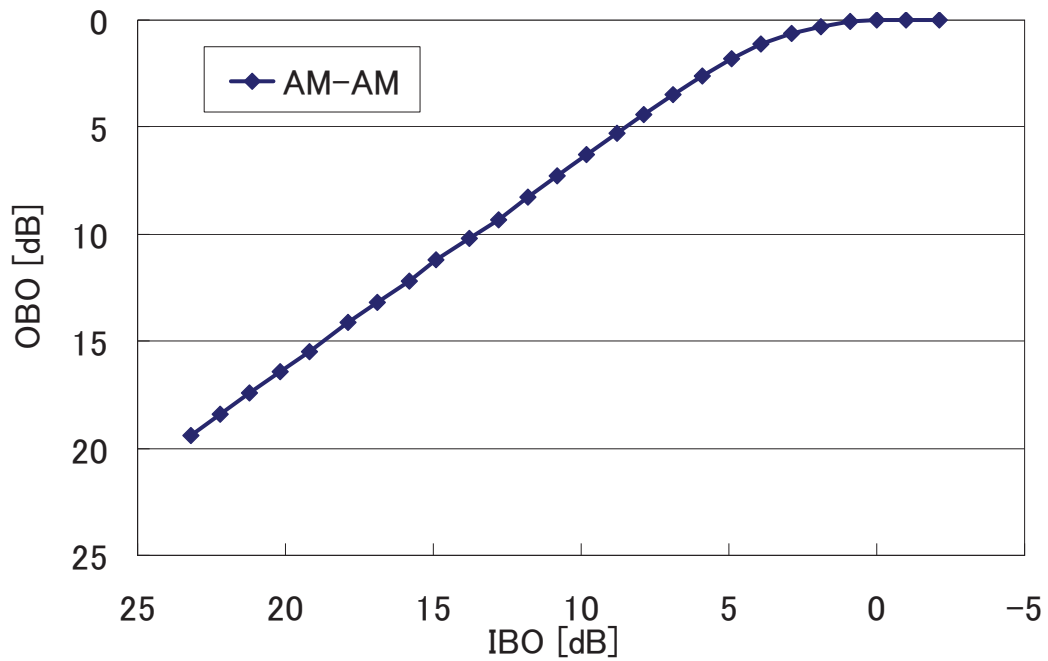


図 77 : TWTA、AM-AM 特性 (周波数 17749.44MHz (BS23ch)  
リニアライザあり)

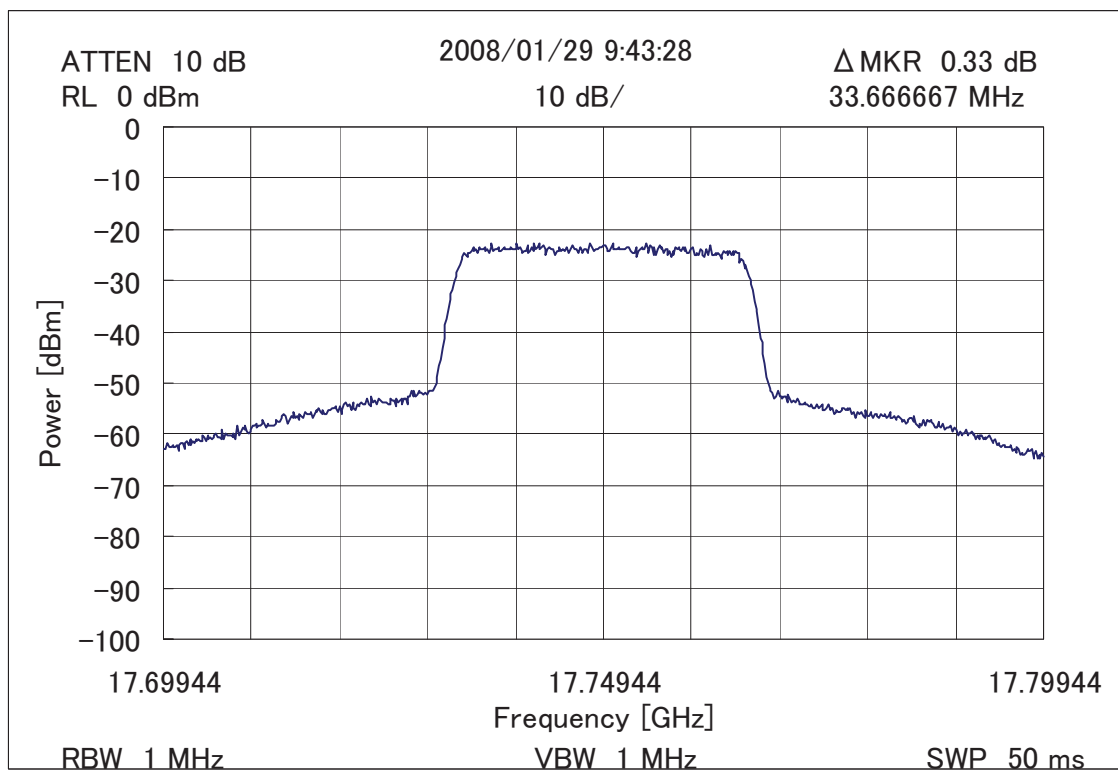


図 78 : TWTA 出カスペクトラム特性 (8PSK 3/4)  
(周波数 17749.44MHz (BS23ch)、OBO 5dB、占有帯域幅 33.7MHz)

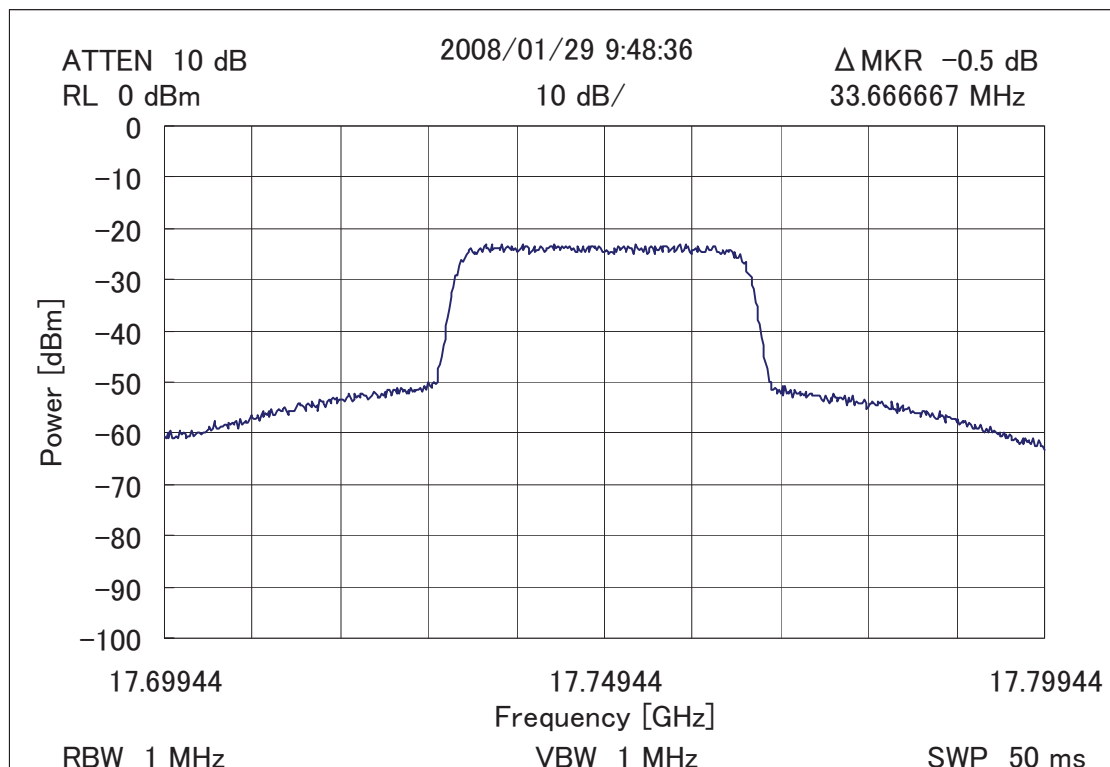


図 79 : TWTA 出カスペクトラム特性 (16APSK 3/4)  
 (周波数 17749.44MHz (BS23ch)、OB0 5dB、占有帯域幅 33.7MHz)

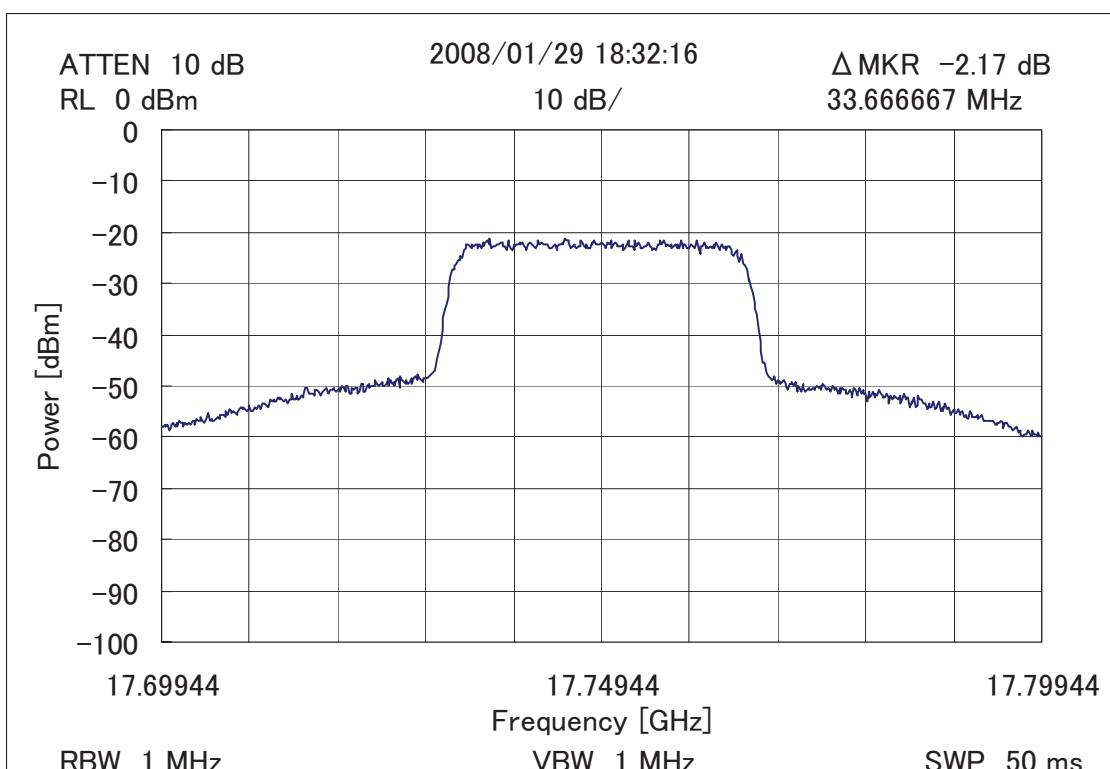


図 80 : TWTA 出カスペクトラム特性 (32APSK 4/5)  
 (周波数 17749.44MHz (BS23ch)、OB0 5dB、占有帯域幅 33.7MHz)

付録 3-4 本実験に使用した衛星の伝送特性について

本実験に使用した BSAT-3a 衛星に係わる特性を次に示す。

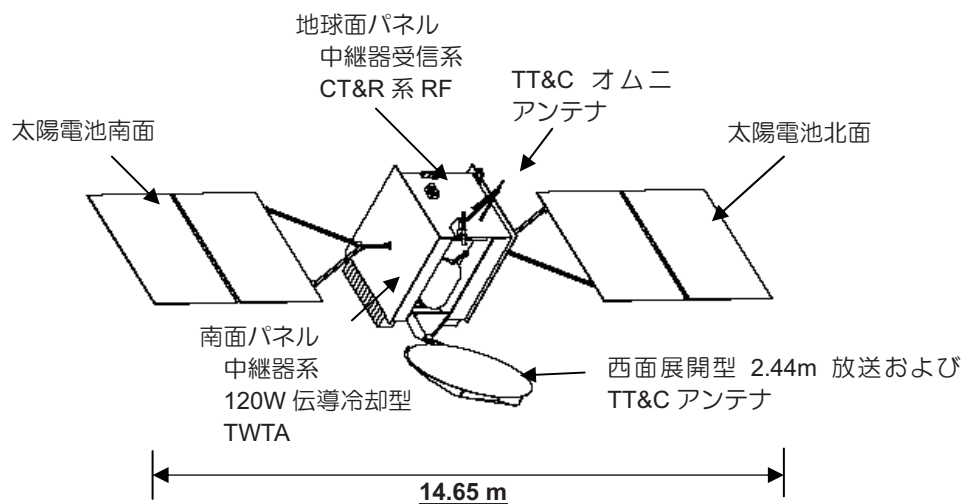
付録 3-4-1 衛星概要

BSAT-3a 衛星は、米国ロッキード・マーチン社の製作で平成 19 年 8 月 15 日(日本時間)に南米仏領ギアナからアリアン5ロケットにより打ち上げられた。

表 50 BSAT-3a の主要緒元

項目	BSAT-3a
寸法 全長(展開後)	14.65m
軌道上初期重量	約 1,230kg
放送用周波数(上/下)	17/12 GHz
中継器数	14 本(予備 6 本)
送信出力	120W
設計寿命	13 年以上
主契約メーカー	ロッキードマーチン(米国)
打ち上げロケット	アリアン 5ECA

図 81 BSAT-3a の外観図





## 付録 3-4-2 チャンネル周波数

通信系は、次表に中心周波数を示す 12 個の衛星放送チャンネルの中の任意の 8 チャンネル(コマンドで選択可能)の信号が伝送できる。

表 51 チャンネル中心周波数

チャンネル番号	送信周波数 (GHz)	受信周波数 (GHz)
1	11. 72748	17. 32748
3	11. 76584	17. 36584
5	11. 80420	17. 40420
7	11. 84256	17. 44256
9	11. 88092	17. 48092
11	11. 91928	17. 51928
13	11. 95764	17. 55764
15	11. 99600	17. 59600
17	12. 03436	17. 63436
19	12. 07272	17. 67272
21	12. 11108	17. 71108
23	12. 14944	17. 74944

### 付録 3-4-2-1 周波数変換

衛星受信機は、17GHz 帯の受信電波を、5600MHz の局部発振器により 12GHz 帯の送信電波に周波数変換する。

- ・ 周波数変換誤差と安定度
  - ±10PPM 以下 (衛星の設計寿命の全期間、初期設定誤差を含む)
  - ±2PPM 以下 (24 時間以内における誤差、食の影響を含む)

付録 3-4-2-2 送信信号特性

各チャンネルにおける周波数振幅特性は、表 52 に示す値を満足する。

表 52 周波数振幅特性

周波数帯域	減衰量 (dB)				
	帯域内			帯域外	
	±10.00MHz 以内	-14.43 ~ -10.00 MHz +10.00 ~ +14.43 MHz	-17.25 ~ -14.43 MHz +14.43 ~ +17.25 MHz	-25.00 ~ -19.18 MHz +19.18 ~ +25.00 MHz	±25MHz 以外
総 合	+0.3 -0.5	+0.3 -1.1	+0.3 -4.0	-5.0	-55

(注) 帯域内については表の値以内、帯域外については表の値以上

各中継器における群遅延時間特性は、表 53 に示す値以下である。

表 53 群遅延時間特性

周波数帯域	群遅延時間 (ns)		
	±10.00MHz 以内	-14.43 ~-10.00 MHz +10.00 ~+14.43 MHz	-17.25~-14.43 MHz +14.43~+17.25 MHz
総 合 (入出力)	10	31	90

チャンネル中心周波数における単一搬送波入力について、AM/PM 変換係数は、表 54 に示す値以下である。

表 54 AM/PM 変換係数

TWTA 入力バックオフ	AM/PM 変換係数
0 ~ -10 dB	5.0 度/dB (目標 4.0 度/dB)

## IP パケットの一般的構成

### 1 IPv4/UDP パケットの一般的構成

IPv4/UDP パケットの一般的構成を図 1 および表 1 に示す。

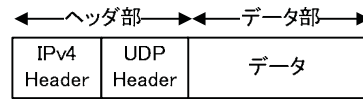


図 1 IPv4/UDP パケットの一般的構成

表 1 IPv4/UDP パケットの一般的構成

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

### 2 IPv6/UDP パケットの一般的構成

IPv6/UDP パケットの一般的構成を図 2 および表 2 に示す。

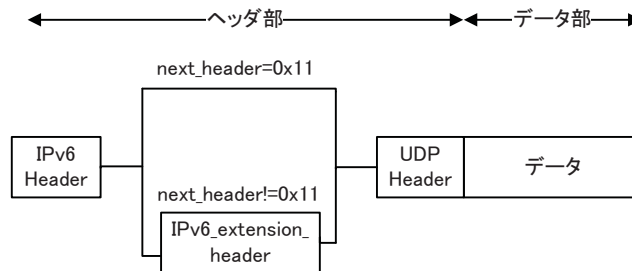


図 2 IPv6/UDP パケットの一般的構成

表 2 IPv6/UDP パケットの一般的構成

データ構造	ビット数	データ表記
IPv6_packet() {		
IPv6_header()		
if(next_header != 0x11) {		
IPv6_extension_header()		
}		
UDP_header()		
for(i=0;i<N;i++){		
packet_data_byte	8	bslbf

}		
}		

### 3 IPv4 ヘッダの一般的構成

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

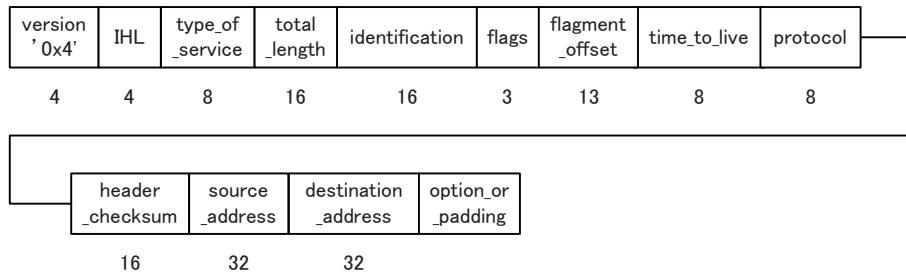


図 3 IPv4 ヘッダの一般的構成

表 3 IPv4 ヘッダの一般的構成

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

### 4 IPv6 ヘッダの一般的構成

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

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

図4 IPv6 ヘッダの一般的構成

表4 IPv6 ヘッダの一般的構成

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

## 5 UDP ヘッダの一般的構成

RFC 768<sup>[3]</sup>に規定される UDP ヘッダの一般的構成を図5 および表5 に示す。

source _port	destination _port	length	checksum
16	16	16	16

図5 UDP ヘッダの一般的構成

表5 UDP ヘッダの一般的構成

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

## 参考文献

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

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

- [2] "Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification", IETF RFC 2460, Dec. 1998  
<http://www.ietf.org/rfc/rfc2460.txt>
- [3] "User Datagram Protocol", IETF RFC 768, Aug. 1980  
<http://www.ietf.org/rfc/rfc0768.txt>

## 衛星伝送路への TS パケットおよび TLV の多重

### 1 高度衛星デジタル放送のスロット構成

高度衛星デジタル放送のスロットを図 1 および表 1 に示す。

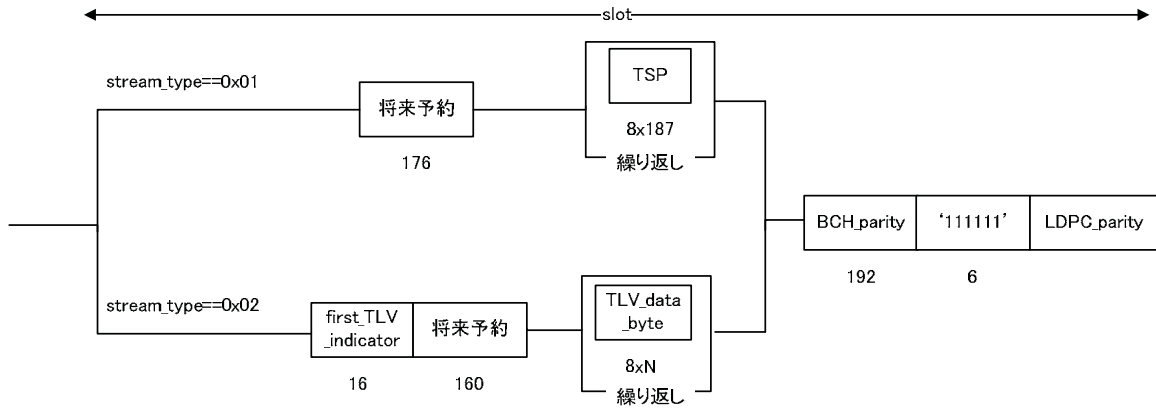


図 1 スロットの構成

表 1 スロットの構成

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

各フィールドの意味

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

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

図2 プロトコルスタック

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



## サービスとマルチキャストグループアドレスの考え方

### 1 サービス識別の位置付け

TLV でのサービスの概念は、現行のサービスの概念と同じである。このため、サービス識別 (service\_id) は、コンテンツの識別に用いるものではない。また、TLV ストリーム識別 (TLV\_stream\_id) により識別される一つの TLV ストリームに、複数のサービスが混在することも想定している。ただし、ある時間のサービスの休止は考えられる。例えば、ある時刻は TS だけを用いて提供するサービス A、次の時刻は TLV だけを用いて提供するサービス B、その次の時刻はサービス A と TLV を用いて提供するサービス C のいずれもが放送される場合など、一つのサービス提供者から、時間的には異なるサービス識別を有するサービスが提供されることが考えられる。

図 1 TS を用いるサービスと TLV を用いるサービスの編成例

時刻	サービス提供者 X		
	サービス A	サービス B	サービス C
	テレビ放送	TLV サービス	TLV サービス
20:00	放送中	休止	休止
21:00	休止	放送中	休止
22:00	放送中	休止	放送中

### 2 TLV-NIT に記述するサービス識別の範囲

TLV と TS を同一ネットワークに含めるか、または異なるネットワークとするか、あるいは TLV を用いるサービスと TS を用いるサービス相互間の遷移を実現する方法については今後の検討課題である。

TLV と TS を同一のネットワークに含める場合、TLV を用いるサービスを受信中の状態から、TS を用いるサービスへの遷移を実現する方法の一つとして、TS を用いるサービスに関する衛星分配システム記述子、システム管理記述子およびサービスリスト記述子を、TLV-NIT に記述する方法がある。逆に、TS を受信中に TLV を用いるサービスへの遷移を実現する方法の一つとして、TLV を用いるサービスを識別するサービス識別を、TS で伝送される NIT 上のサービスリストに記述する方法がある。

同一のネットワークとしない場合、選局に先立ち、TLV を用いるサービスと TS を用いるサービスが提供されるネットワークを選択する必要がある。ネットワーク選択後のそれぞれのネットワーク内での選局は、TS では NIT、TLV では TLV-NIT を用いて行うことができる。このため、TS を用いるサービスを TLV-NIT に記述する必要はなく、また、TLV を用いるサービスを TS で伝送される NIT に記述する必要もない。

### 3 マルチキャストグループアドレスとサービスとの関係

アドレスマップテーブル(AMT)は、1つのサービス識別が複数のマルチキャストグループアドレスを含むことができる構成としている。時間的に連続して配信するコンテンツを異なるマルチキャストグループアドレスを用いて配信することにより、受信機はグループアドレス(あるいは相当するCID)のみを識別すれば、受信すべき TLV ストリームを識別可能であり、受信処理が容易になる。

図2 TLV サービスで相異なるアドレスを用いる方がよい編成例

時刻	サービス提供者 X	
	サービス A	サービス B
20:00	コンテンツ 1 (アドレス①で配信)	コンテンツ 2 (アドレス②で配信)
21:00		コンテンツ 4 (アドレス④で配信)
22:00	コンテンツ 3 (アドレス③で配信)	

※ サービス A は、アドレス①と③を含む

※ サービス B は、アドレス②と④を含む

ただし、同一時刻には、一つのサービス識別は一つのマルチキャストグループのみを含むこととする。これにより、参考資料 6 に示すマルチキャストグループを指定することで選局を行う方法に加え、サービス識別だけを指定することによる選局も可能となる。複数の異なるコンテンツが同一グループアドレスの異なるポート番号で配信される場合は、受信機はマルチキャストグループを指定することにより複数のコンテンツを受信する。コンテンツを配信する際のポート番号については、今後検討が必要である。

## TLV 多重化方式における選局方法の例

TLV 多重化方式を用いて蓄積型放送サービスを行うことで、ダウンロード対応アプリケーションは、放送・通信の区別なくコンテンツを受信することが可能になる。アプリケーションが、図 1 の形態で高度 BS デジタル放送対応受信機と接続された場合の選局方式の一例を参考として示す。なお、高度 BS デジタル放送対応受信機の構成によっては異なる選局方式も考えられる。

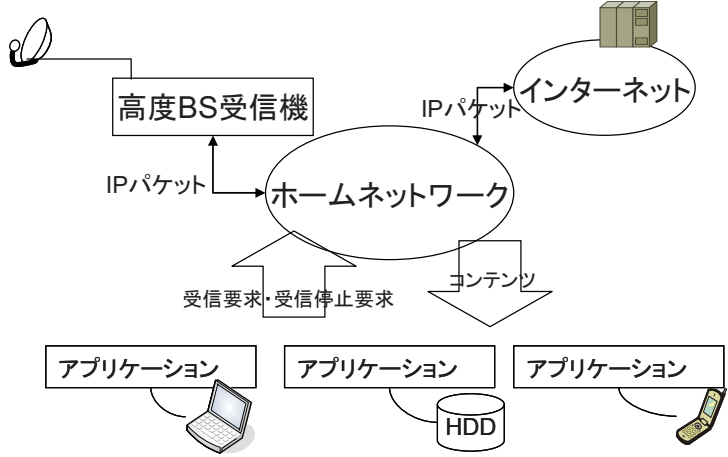


図 1 ダウンロード対応アプリケーションが高度 BS デジタル放送受信機とホームネットワーク経由で接続された形態

高度 BS デジタル放送受信機に付加する、選局機能を持つ IP パケット出力アダプタの機能ブロックを図 2 に示す。

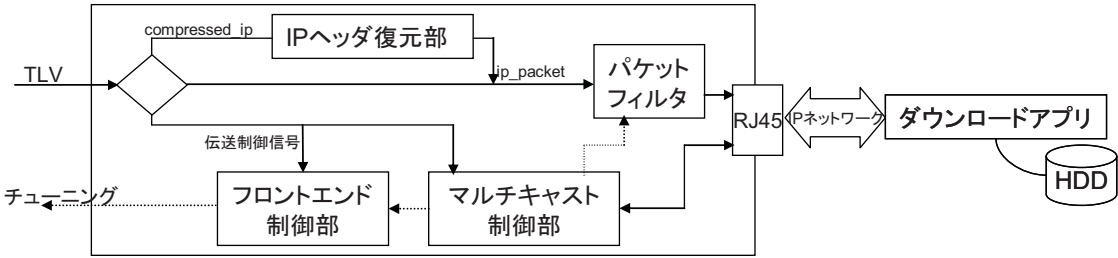


図 2 選局機能を持つ IP パケット出力アダプタの構成とネットワーク経由でのダウンロードアプリケーションの接続

高度 BS デジタル放送対応の受信機で TLV により伝送されるコンテンツを受信する際は、コンテンツが配信されるマルチキャストグループを受信機に指示する。マルチキャストグループは、IP パケットの宛て先グループアドレスのみで識別される場合(Any Source Multicast)と、宛て先アドレスと送信元アドレスの組み合わせにより識別される場合(Source Specific Multicast)がある。ダウンロードアプリケーションは、IP マルチキャスト通信で用いられる標準的な制御プロトコルである IGMP あるいは MLD を用いて、受信を希望するマルチキャストグループを受信機に指示する。

ダウンロードを行うアプリケーションがマルチキャストグループを受信機に指示し、指示されたマルチキャストグループの IP パケットが IP パケット出力アダプタから出力されるまでのフロー、および、指示されたマルチキャストグループの IP パケットの出力を停止するまでのフローを以下に例示する。このフローは、特定の一アプリケーションについてのみ示したものであり、複数のアプリケーションが存在する場合は join メッセージや leave メッセージが複数のアプリケーションから送信され得る。また、IGMP あるいは MLD を正しく実装した場合には、join メッセージや leave メッセージに加えてクエリーやレポートのフローも存在する。

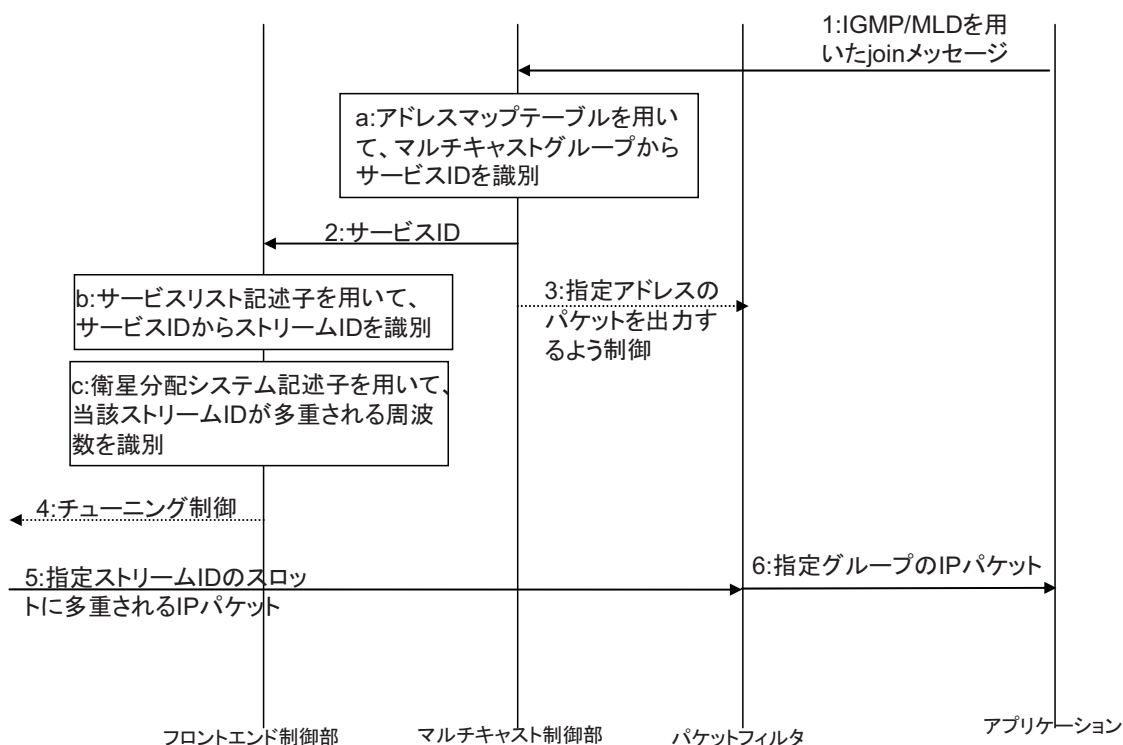


図3 IP パケット受信開始のフロー

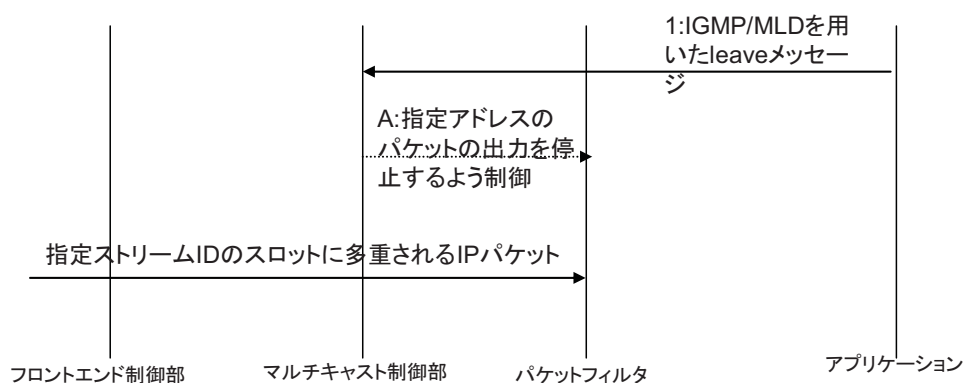


図4 IP パケット受信停止のフロー

例示した選局方法では、コンテンツを特定する情報として、配信開始時刻、配信終了時刻、送信

元アドレス、配信アドレス、宛て先ポート番号を用いる。このため、ダウンロードアプリケーションは、コンテンツの配信時刻の前に、これらの情報を番組表などの情報により知っておく必要がある。ダウンロードアプリケーションが番組表を受信できるよう、番組表が配信されるアドレスおよびポート番号をあらかじめ定めておく必要がある。これら番組表やコンテンツを特定する情報は、IP パケットに格納され、TLV 多重化方式により放送伝送路で伝送する。また、通信経由でこれらの情報を取得する方法も想定される。

高度 BS デジタル放送対応受信機とダウンロードアプリケーションは、同一筐体内に実装されるなどホームネットワークを経由せずに接続される形態も想定される。このような場合は、IGMP や MLD 等の方法を用いなくても選局が可能である。

蓄積型放送サービスにおけるコンテンツの選択方式は今後の検討課題である。TLV 多重化方式における選局方法は、(1)サービスを特定して、そのサービスが提供するコンテンツを蓄積する方法、(2)コンテンツを特定して、その特定されたコンテンツを蓄積する方法、のいずれにも対応可能である。

注 IGMP : Internet Group Management Protocol、MLD : Multicast Listener Discovery

端末が、IP マルチキャストパケットの配送を受けたり、配送の停止を希望したりする際に用いるプロトコル。IP のバージョン、マルチキャストの方式により異なる種類がある。

IGMPv2 (RFC 2236) : IPv4 で用いる。Any Source Multicast に対応。

IGMPv3 (RFC 3376) : IPv4 で用いる。Source Specific Multicast に対応。

MLDv1 (RFC 2710) : IPv6 で用いる。Any Source Multicast に対応。

MLDv2 (RFC 3810) : IPv6 で用いる。Source Specific Multicast に対応。

なお、IGMPv3 は IGMPv2 に対して上位互換であり、MLDv2 は MLDv1 に対して上位互換である。

## H. 264 やディスプレイの技術動向

### 1 H. 264

#### 1.1 2007 年におけるハードウェア

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

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

#### 1.2 2011 年におけるハードウェア予測

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

##### 1.2.1 概要

1080/60/I 対応 H. 264 コーデックが実用化された 2005 年から、高度衛星デジタル放送の開始が予定されている 2011 年まで 6 年間の半導体技術の進展を、半導体プロセスの集積度：5 倍、動作周波数：1.8 倍、処理能力：9 倍と予測する<sup>1</sup>。一方、MPEG-4 AVC コーデックの所要処理量を、1080/60/I と比較して、1080/60/P エンコーダ：1.5 倍、デコーダ：2 倍、2160/60/P エンコーダ：6 倍、デコーダ：8 倍、4320/60/P エンコーダ：24 倍、デコーダ：32 倍と仮定する。これらより、1080/60/I を超える映像フォーマットへの対応は以下のように予測される。

1080/60/P：エンコーダ、デコーダ共に 2009 年頃の実現可能。

2160/60/P：エンコーダ、デコーダ共に 2011 年頃の実現可能。

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

したがって、当面は並列処理が必須。

##### 1.2.2 DRAM バンド幅からの検討

4320×2160/60/P のクロマフォーマットおよび量子化ビット数について、DRAM バンド幅の観点からデコーダの実現性を検討した。DRAM 構成として 2:linterleave quantum=16 (dual 16bit DDR3 相当)を想定したとき、4:2:0, 8bit のバンド幅を約 14.5GB/s と見積もった。

現在最も安価に入手可能な DRAM は最大バンド幅 3.2GB/s の DDR2-800(16bit×2)であり、2011 年頃に最も安価と予測される DDR3-1333(16bit×2)の最大バンド幅は 5.3GB/s である。今後、DDR4 や XDR2 などが開発される予定であり、それぞれ最大バンド幅 12.8GB/s、19.2GB/s と予想される。

したがって、2160/60/P の 4:2:0, 8bit は、XDR2 を使用することにより実現可能と見込まれる。

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

4:2:2 については、上記見積もりに対してバンド幅が画素数比から約 1.3 倍(=19.3GB/s)となり、Page overhead を若干抑えることにより XDR2 での実現の可能性がある。4:4:4 については、バンド幅が画素数比から約 2 倍(=29.0GB/s)になるため実現は不可能と考えられる。

10bit 対応は、汎用の PC 用 DRAM を用いた場合、8bit に比べ 2 倍の帯域を使用することになり、バンド幅が 2 倍(=29.0GB/s)となり、実現が不可能と考えられる。また専用に 10bit 構成の DRAM を開発すれば、バンド幅の増加は防ぐことができるが、PC 用に用いられる汎用 DRAM が使えず、コストの大幅な上昇が予想される。

したがって、2011 年時点に入手可能な DRAM 1 個を用いて実現可能と考えられる 2160/60/P のフォーマットは、4:2:0 または 4:2:2 の 8-bit と予測される。

### 1.3 技術開発の課題

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

- 算術符号化および動きベクトル検出の並列処理実装技術
- 専用のハード、ソフトによる高速処理技術と、コストとのバランス
- 半導体プロセス微細化に伴う動作周波数向上の飽和
- メモリアクセスのためのバンド幅
- ベースバンド映像入出力インタフェース

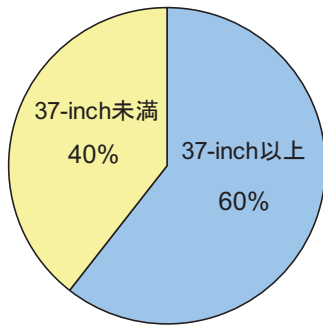
### 1.4 記録装置、伝送装置への利用

コンシューマ用途では、デジタル放送の MPEG-2 映像を H. 264 に変換して記録する HDD/DVD 録画装置や、H. 264 を採用した HDTV カムコーダが商品化されている。

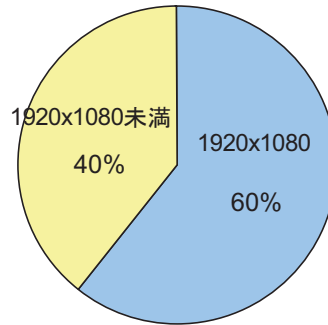
プロフェッショナル用途では、MPEG-2 から H. 264 へのトランスコーダや、イントラピクチャを用いた低遅延の記録装置、伝送装置が開発されている。

## 2 ディスプレイ

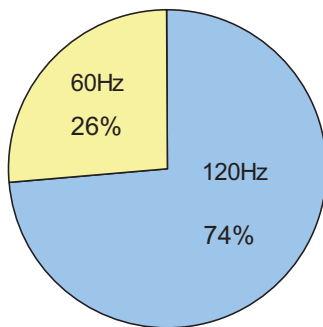
2008 年 2 月現在の家庭用液晶テレビディスプレイの動向を図 1 に示す。大画面化、高精細化、高画質化が進んでいることが分かる。さらに、4k × 2k に対応した大画面の PDP や LCD ディスプレイも発表されている。



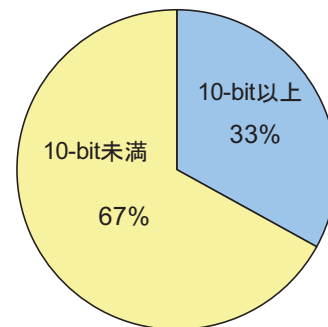
(a) 画面サイズ



(b) 画面解像度



(c) 表示フレームレート



(d) パネルビット数

(全 91 機種を母数とする対応機種割合)

図 1 家庭用液晶テレビディスプレイの動向



## 負 RGB 方式による広色域化

### 1 広色域方式の概要

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

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

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

### 2 広色域方式の色表現能力

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

#### 2.1 広色域方式の信号レベル

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

##### 2.1.1 リニア RGB 信号

図 2 に Pointer colors のリニア RGB 信号レベルを示す。横軸は( $u'$ ,  $v'$ )系における hue、縦軸が RGB の信号レベルである(以下同様)。出現する信号レベルの範囲を数値でも示している。これより、Pointer colors のリニア RGB 信号には、負値や 1 を超える信号レベルが出現することが分かる。

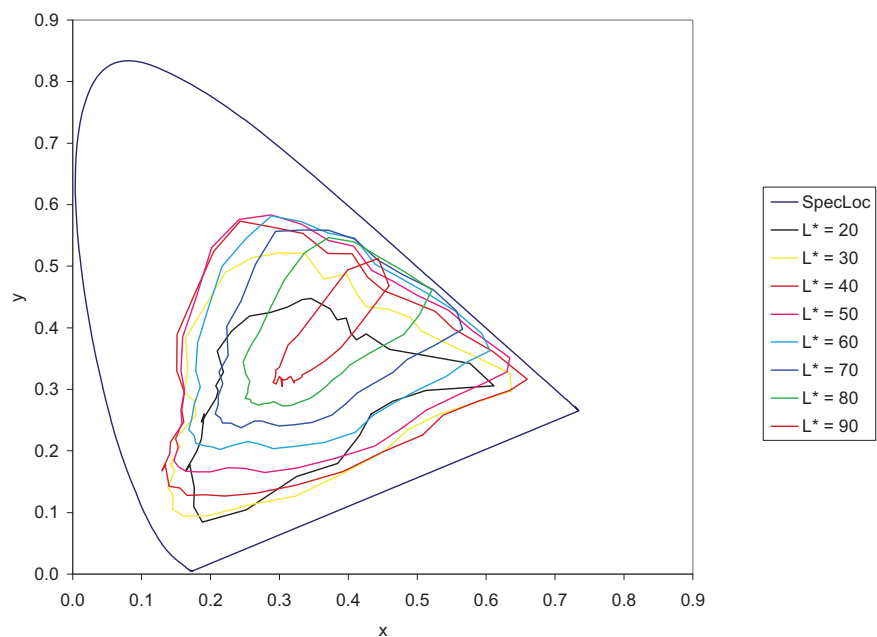
##### 2.1.2 ノンリニア RGB 信号

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

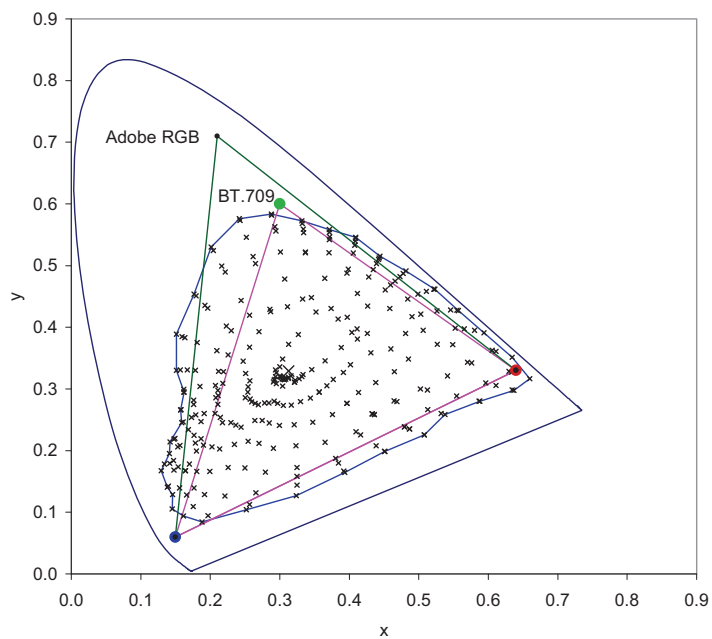
##### 2.1.3 YCbCr 信号

上記ノンリニア RGB 信号から輝度・色差信号に変換した YCbCr 信号の信号レベルを図 4 に示す。量子化特性に基づく表現可能な  $Y'$  および  $Cb'/Cr'$  の信号範囲はそれぞれ  $-0.0685 \sim 1.0868$ 、 $-0.5670$

~0.5625 であり (図中の点線)、YCbCr 信号では、全ての Pointer colors が YCbCr 信号の所定のダイナミックレンジ内に収まっていることが分かる。すなわち、広い色域を表現できている。

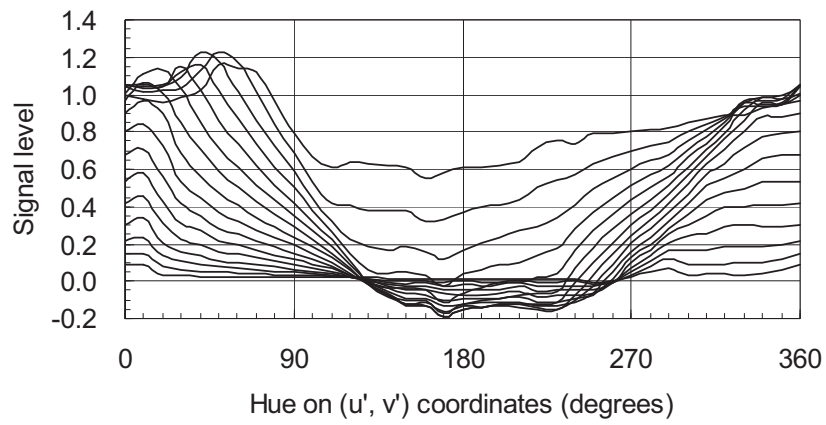


(a) 輝度レベル毎の色度

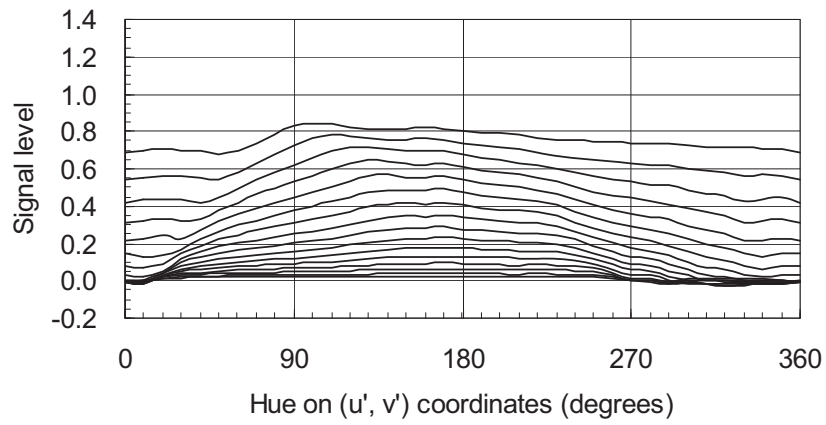


(b) Pointer colors と三原色点

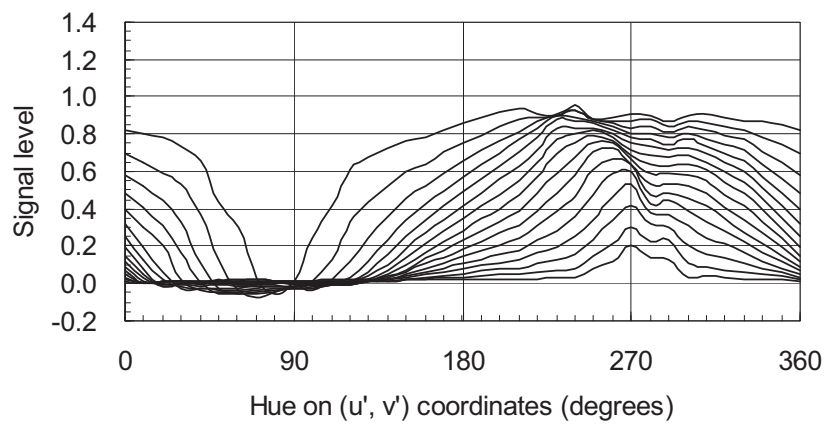
図 1 Pointer colors の色度



(a) R:  $-0.1875 \sim 1.2286$

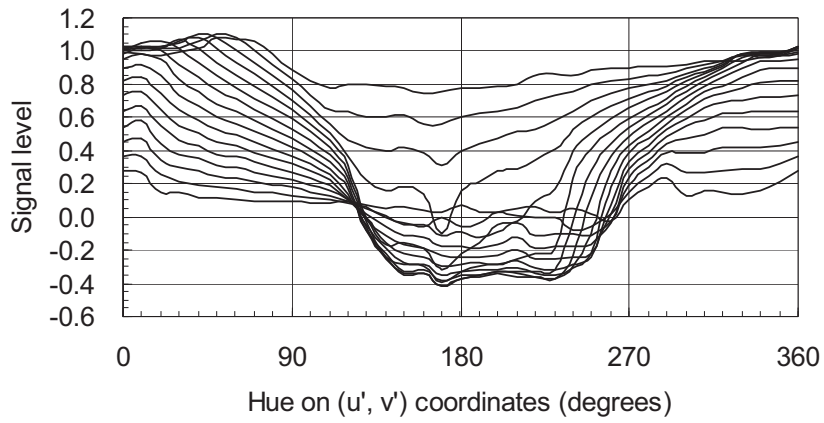


(b) G:  $-0.0266 \sim 0.8437$

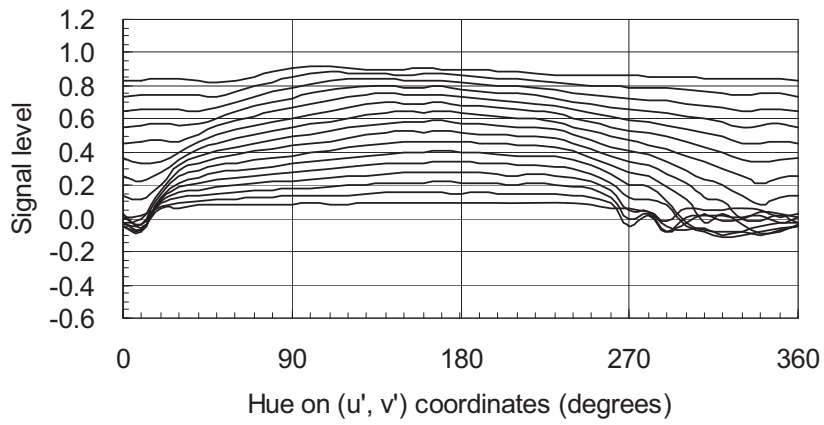


(c) B:  $-0.0746 \sim 0.9528$

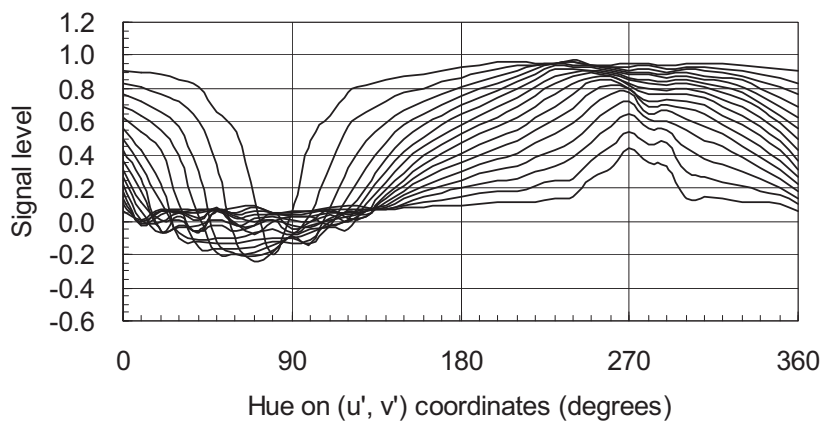
図2 Pointer colors のリニア RGB 信号レベル



(a)  $R'$  :  $-0.4184 \sim 1.1067$

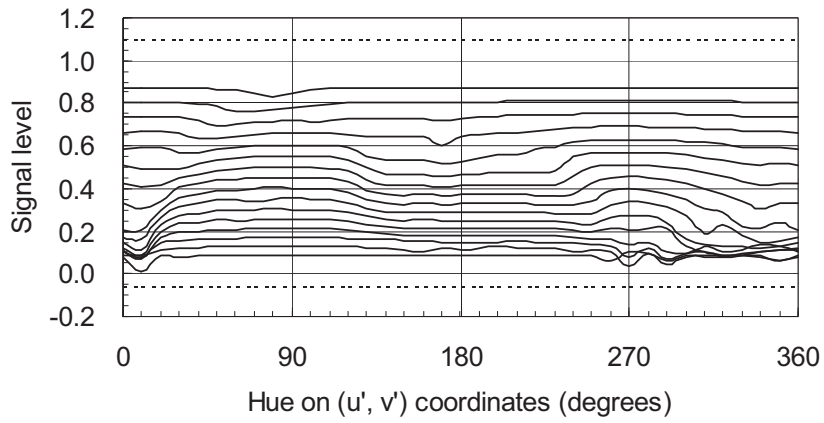


(b)  $G'$  :  $-0.1160 \sim 0.9191$

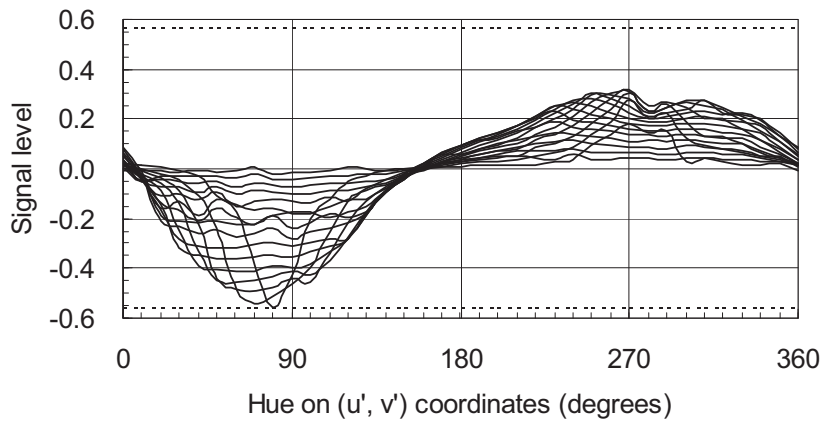


(c)  $B'$  :  $-0.2428 \sim 0.9764$

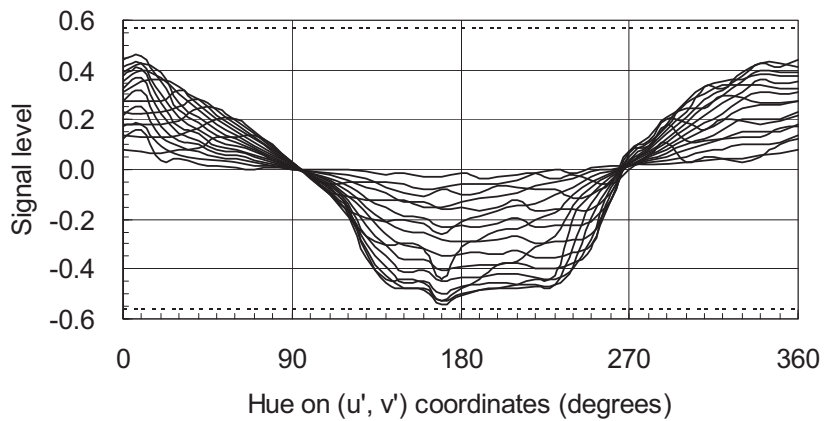
図3 Pointer colors のノンリニア RGB 信号レベル



(a)  $Y' : 0.0657 \sim 0.8739$   $[-0.0685 \sim 1.0868]$



(b)  $Cb' : -0.5542 \sim 0.3076$   $[-0.5670 \sim 0.5625]$



(c)  $Cr' : -0.5434 \sim 0.4534$   $[-0.5670 \sim 0.5625]$

図4 Pointer colors の YCbCr 信号レベル

## 2.2 広色域方式の色域

現行方式によって表現可能な色域を輝度  $Y$  のレベル(0.1 間隔)毎に図 5 に示す。

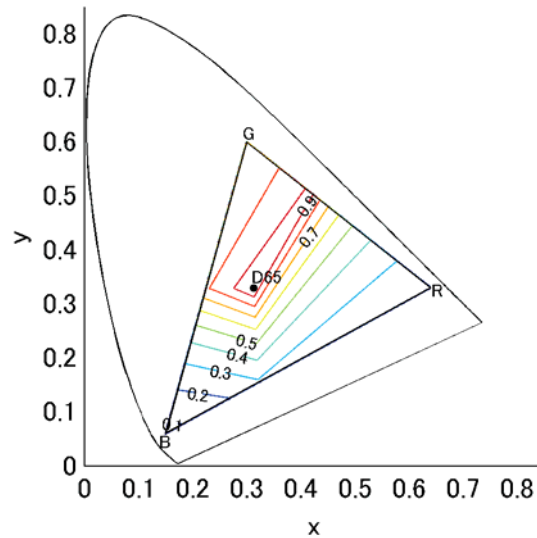


図 5 現行方式によって表現可能な色域

表 2.5.1-10 および表 2.5.1-14 で規定される広色域方式の輝度・色差信号によって表現可能な色域を図 6 に示す。色度図上で RGB 三原色の色度点を頂点とする三角形の外側も表現可能であることが分かる。

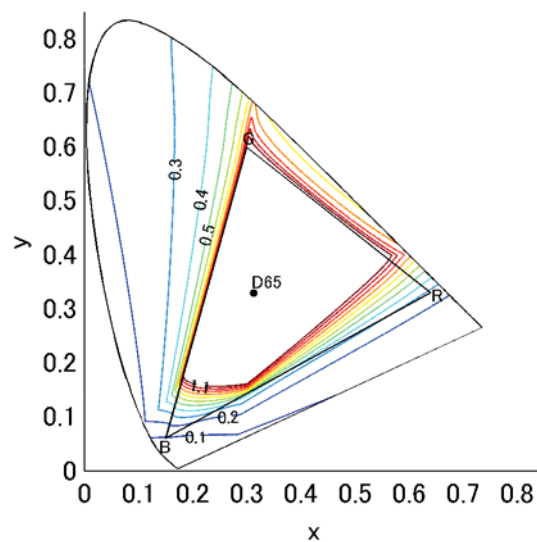


図 6 広色域方式によって表現可能な色域

RGB 信号を量子化する場合は、RGB 信号レベルの範囲に制限を伴うが、表 2.5.1-15 (2) に示すように量子化後の広色域方式 RGB 信号から輝度・色差信号を生成した場合の表現可能な色域を図 7 に示す。

す。

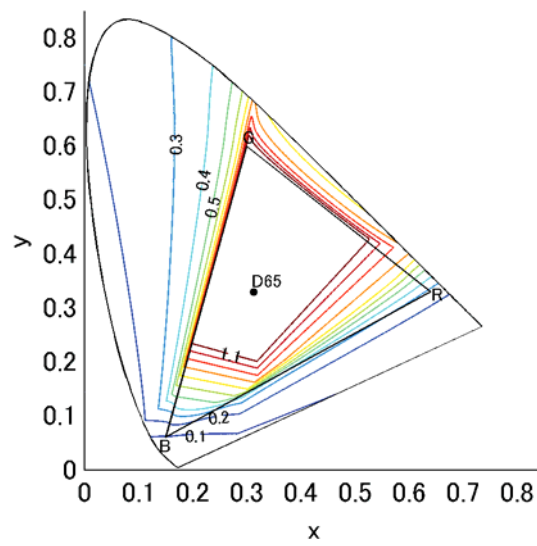


図7 広色域方式によって表現可能な色域  
(レベル制限されたRGB信号からYCbCr信号を生成した場合)

参考文献

- [1] M. R. Pointer, The gamut of real surface colours, COLOR research and application, Vol. 5, No. 3, Fall 1980.

## 映像符号化方式実証実験

### 1 広色域システムの特性確認実験

#### 1.1 目的

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

#### 1.2 実験方法

表 1 に実験の概要を、図 1 に実験システムをそれぞれ示す。

表 1 広色域システムの実験概要

映像	フォーマット	1920×1080/60/I, 10-bit, 4:2:2
	テスト画像	広色域撮影映像、テストチャート（SONY 提供） 現行色域映像は、広色域映像に対し RGB 値を 0・100%クリップすることにより生成
符号化	エンコーダ	Scientific Atlanta D9054
	デコーダ	Scientific Atlanta D9887
	プロファイル	High
	ビットレート	13Mbit/s
確認方法	専門家の観視による映像確認 波形モニタによる信号レベル確認	
ディスプレイ	32-inch CRT（業務用） 広色域システム対応 LCD（xvYCC 対応） 現行色域 LCD	

#### (1) 広色域映像から現行色域映像の生成



#### (2) 接続系統

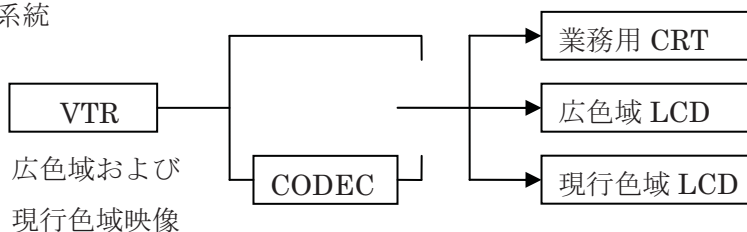


図 1 実験系統



### 1.3 結果とまとめ

#### 1.3.1 信号レベルと互換性

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

#### 1.3.2 色再現性およびディスプレイ互換性

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

#### 1.3.3 映像符号化の影響

映像符号化・復号化処理による特段の問題は見られなかった。

## 2 H.264 1080/60/I ハードウェアコーデックの性能確認実験

### 2.1 目的

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

### 2.2 実験

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

表 2 符号化実験条件

映像	フォーマット	1920×1080/59.94/I, 8-bit, 4:2:2 (Rec. ITU-R BT.709)
	テスト画像	ITE 標準動画像 (15 秒× 10 種、表 3 参照) (高度狭帯域 CS デジタル放送の審議における実験で使用したのと同じシーケンス)
符号化	エンコーダ	Scientific Atlanta D9054
	デコーダ	Tandberg Rx1290
	プロファイル	High (8-bit, 4:2:0)
	ビットレート	7~17Mbit/s (7, 9, 11, 13, 15, 17Mbit/s)
	GOP	IBP 可変
	ツール	プリフィルタなし、MBAFF, CABAC

表 3 テスト画像

N o.	シーケンス
1	European Market
2	Harbor Scene
3	Whale Show
4	Opening Ceremony
5	Soccer Action
6	Green Leaves
7	Japanese Room
8	Crowded Crosswalk
9	Bronze with credits
10	Chromakey (Sprinkling)

表 4 画質評価実験条件

評価方法	二重刺激劣化尺度(DSIS)法、5段階劣化尺度（表 5 参照、小数点付きの評点を許容） ・ビットレート毎にまとめてシーケンスを提示し（原画像 1-10、ビットレート X の画像 1-10、ビットレート Y の画像 1-10、...）、画像毎に評価 ・ビットレート毎の提示の先頭にダミー映像を追加。 ・ビットレートの提示順序は、評定者グループ毎に変更	
観視条件	Rec. ITU-R BT.500, BT.710	
評定者	専門家 22 人	
ディスプレイ	評価用	スタジオ用 CRT 型 32-inch
	確認用	民生用 PDP (1920×1080) 65-inch 民生用 LCD(1920×1080) 46-inch 、47-inch、52-inch 各 1 種類
視距離	画面高さの 3 倍(3H)	

表 5 5段階劣化尺度

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

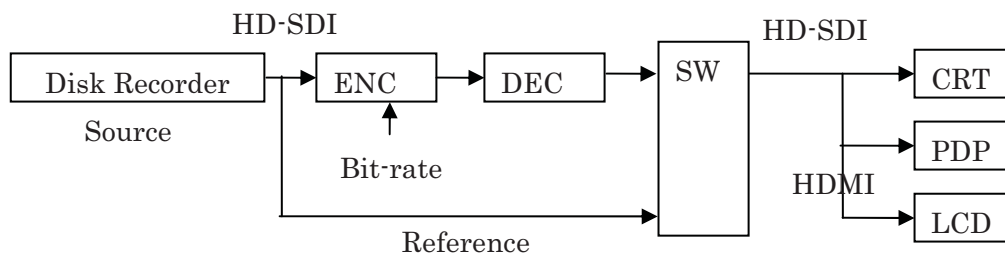


図 2 実験系統

### 2.3 評価結果に基づく判断基準

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

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

## 2.4 評価結果

評定者全体の評価傾向（平均的な評価）と大きく異なる評価を行っている評定者がいた場合、その評定者の評価結果を除外して統計処理する。画像 11 種類（ダミー1種を含む）とビットレート 6 種の組み合わせの合計 66 個の評価画像について、各評定者の評点と評定者間の平均評点との相関（Person Correlation）を求める。これによって各評定者の評価傾向が、平均的か否かを判断する。図 3 に評定者全 22 名の評点と平均評点との相関(Person Correlation)を示す。

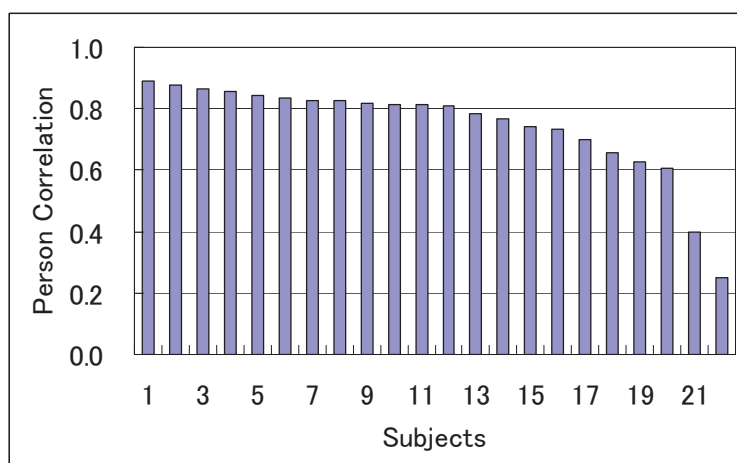


図 3 評定者全 22 名の評点と平均評点との相関

Person 相関が 0.5 未満の評定者を統計処理の対象から除外する。このスクリーニングによって 2 名が除外された。

スクリーニング後の有効評定者の評点に基づく統計処理の結果を図 4 に示す。評価画像毎の平均評点および 95%信頼区間を示している。

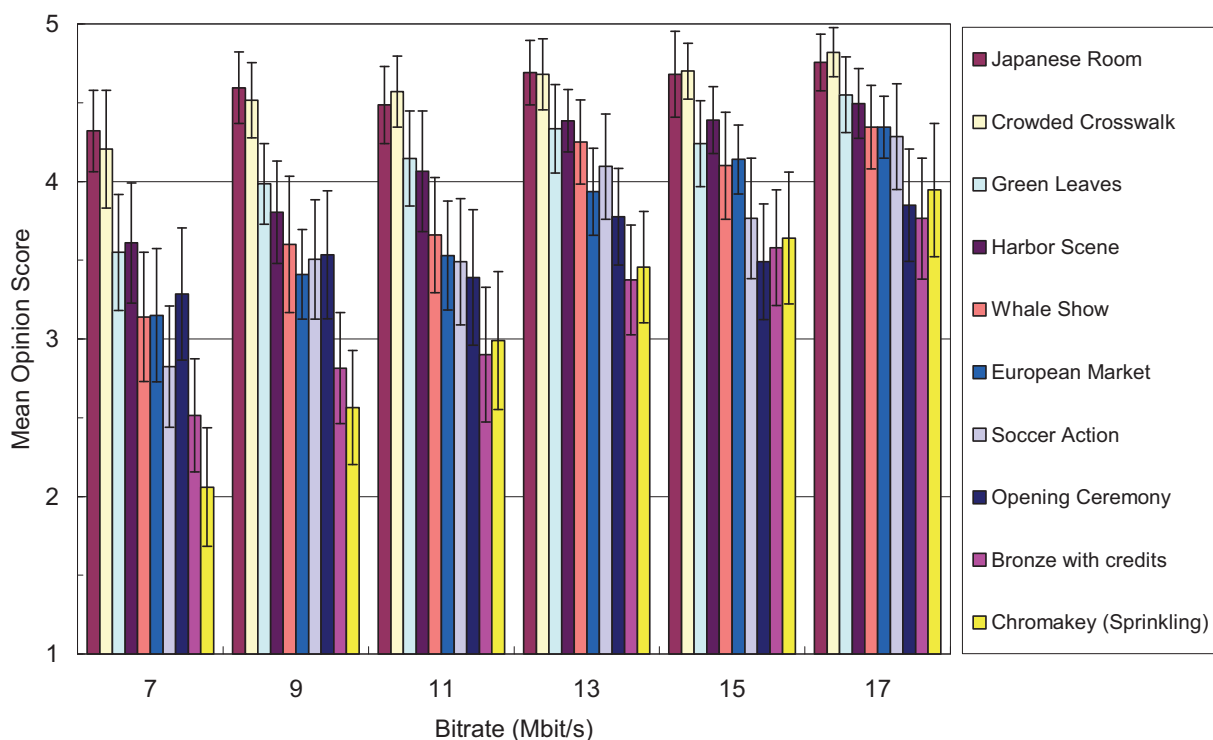


図4 評価結果

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

## 2.5 家庭用 FPD での画質確認結果

前記評価実験は CRT 型マスタモニターを用いた結果であるが、家庭用フラットパネルディスプレイ (FPD) に表示した場合の符号化画質を専門家の目で確認した結果を絵柄およびビットレートの観点からまとめて表 6 および表 7 に示す。

表 6 FPD での符号化画質 (絵柄)

クリティカルなシーケンス	<p>Sprinkling と Bronze 以外は、ボケ感以外は特に大きな符号化劣化は少ない</p> <p>Sprinkling の女性の服が徐々にぼやける</p> <p>Sprinkling、Bronze、Whale Show では劣化が分かることが多い</p> <p>Sprinkling の顔領域のぼたつきはマスモニよりも気になる</p> <p>Bronze の文字周辺、Sprinkling の顔が特に劣化が気になる</p> <p>Sprinkling (7-9Mbit/s)の顔がつぶれる</p> <p>Sprinkling の画質は総じて CRT より悪い</p> <p>Bronze の字の周辺の劣化が分かりにくい</p> <p>芝生、スーパー文字の境界、水しぶきは劣化が分かりやすい</p> <p>列車側面の文字、文字の横スクロール、芝生が厳しい</p>
動き	<p>動きの大きい部分、特にテクスチャの細かい部分は、液晶の動画ボケや走査線補間により符号化劣化が判別し難い</p> <p>パン・チルト時(7Mbit/s の Whale Show や Soccer)の劣化が目立つ</p> <p>Green Leaves と Whale Show の動きが 7Mbit/s と 9Mbit/s で不自然</p>
芝生	<p>芝や壁(階調の少ないもの、空間周波数の高いもの)の表現は厳しい</p> <p>芝生など高周波成分の多い絵柄はのっぺりしてしまう</p> <p>低ビットレートだと芝生がのっぺりとしてしまう</p> <p>芝の劣化が目立ちにくい</p> <p>芝目はディスプレイ間で差が出やすい</p> <p>芝のぼたつきは民生モニタの方が見えにくい</p> <p>芝のざらつきが気になる</p>
Green Leaves	<p>フリッカー気味</p> <p>フリッカーが比較的高いレートでも目立つ(モニタにも依存)</p>
European Market	<p>列車側面の文字の劣化が目立つ</p> <p>列車上部の文字の劣化が視認しやすい</p>
Harbor	<p>レンガ壁が大きく劣化することがあった</p>
Japanese Room, Cognac & Fruits	<p>たいていの条件できれい</p> <p>セーターが溶けたように見える</p> <p>ウールの服の劣化はあまり分からない</p>
原画	<p>Opening Ceremony:原画のノイズが多すぎる</p> <p>原画の S/N が悪く評価が難しい部分あり</p> <p>原画でもメッシュ状のノイズが見える</p>
全般	<p>赤の劣化が目立つ</p> <p>デブロッキングフィルタのためか、アウトフォーカス的</p> <p>難易度の高い絵、低い絵のバランスは良い</p>

表7 FPD符号化画質（ビットレート）

7Mbit/s	<p>それほど劣化は目立たない  <b>Japanese Room</b>などは7Mbit/sでよい                  歪が目立つ                  動きがぎこちなくなる                  50インチクラスではつらい  <b>Bronze</b>と<b>Sprinkling</b>は厳しい                  一般的に厳しい                  使用に耐えない</p>
9Mbit/s	<p>大方のシーケンスで9Mbit/sでもさほど劣化が気にならない                  9Mbit/s以上であればあまり問題ない                  9-11Mbit/sは、絵にはなる                  厳しい絵を除けばなんとか使える                  静止部分の処理に違和感                  歪が目立つ                  厳しい                  7-9Mbit/sは、大画面では見るに耐えない(<b>Sprinkling</b>, <b>Bronze</b>)</p>
11Mbit/s	<p>11Mbit/s以上では概ね良い                  マスモニでは11Mbit/sで許容レベル                  なんとか標準画質と言い張れる                  厳しい                  7-11Mbit/sは、動きがあると劣化がかなり厳しい</p>
13Mbit/s	<p>現状ではこの程度欲しい                  クリティカルなシーンを除けば良好                  全体的に13Mbit/sくらいは必要  <b>Whale</b>や字幕の劣化が目立つが良好                  全てのビットレートで文字などのパンやスクロールの劣化が分かるが、13Mbit/sくらいになるとあまり気にならない                  歪があるが邪魔にならない                  もう一步</p>
15Mbit/s	<p>概ね良好                  安心して見られる絵に近づく                  歪があるが邪魔にならない                  15Mbit/s程度は必要                  15-17Mbit/sは主観的な差が小さい                  絵柄に依るが15Mbit/s以上ないと厳しい  <b>Opening Ceremony</b>と<b>Sprinkling</b>は15-17Mbit/s欲しい</p>
17Mbit/s	<p>問題なし                  一部を除いて安定                  特殊な絵以外は満足できるレベル  <b>Green Leaves</b>の木の葉は厳しい  <b>Soccer</b>と<b>Sprinkling</b>は17Mbit/sでもかなり厳しい</p>
全般	<p>スタジオ撮影の映像はビットレートによる違いは無く高品位に感じられる                  ビットレートによる大差は感じられない                  ビットレートに応じた画質                  低ビットレートでより悪く見える                  視距離3Hの制限がないと、ほとんどの条件で歪が目立つ</p>

## 2.6 まとめ

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



### 3 映像フォーマットと所要ビットレート確認実験

#### 3.1 目的

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

#### 3.2 実験

符号化実験および画質評価実験の条件をそれぞれ表 8、表 10 に示す。実験システムを図 7 に示す。

表 8 符号化実験条件

映像	フォーマット	4:2:2, 8-bit
	テスト画像	スーパーハイビジョン映像(NHK の SHV 番組より)からダウンコンバートしたマルチフォーマットテスト画像 (8 シーケンス, 60Hz ビデオ素材, 図 5 参照) SVT マルチフォーマットテスト画像 (5 シーケンス, 50Hz フィルム素材, 図 6 参照) (表 9 参照)
符号化	エンコーダ	ソフトウェアエンコーダ(Fraunhofer HHI)
	デコーダ	ソフトウェアデコーダ(JM)
	プロファイル	High (8-bit, 4:2:0)
	ビットレート	1080/60/I: 10, 15 Mbit/s 1080/60/P: 10, 15, 20 Mbit/s 2160/60/P: 30, 40, 60, 80 Mbit/s
	GOP	1 sec, IBBP..., 参照フレーム 2
	ツール	プリフィルタなし、MBAFF(1080/60/I), CABAC

表 9 テスト画像

No.	シーケンス	説明
1	Whale (シャチ) *1	シャチのジャンプと水しぶき
2	Intersection (交差点) *1	スクランブル交差点を横断する人々
3	Aerial (空撮) *1	湾岸の空撮
4	Horse Race (競馬) *1	疾走する競走馬
5	Singing Children (子供たち) *1	大勢の子供たち
6	Portable Shrines (祭り神輿) *1	神輿を担ぐ群衆
7	Sunflowers (ひまわり) *1	ひまわりの群生とクローズアップ
8	Times Square (街角) *1	街角の車の往来
9	Crowd Run (ランナー) *2	クロスカントリーの大勢のランナー
10	Park Joy (川岸) *2	川岸を散策する仲間たち
11	Ducks Take Off (水面) *2	水面を飛び立つ水鳥
12	Into Tree (空撮-森) *2	森と建物の空撮
13	Old Town Cross (空撮-街) *2	街並みの空撮
*1: スーパーハイビジョン映像からダウンコンバート		
*2: SVT マルチフォーマットテスト画像		



(1) Whale



(2) Intersection



(3) Aerial



(4) Horse Race



(5) Singing Children



(6) Portable Shrines



(7) Sunflowers



(8) Times Square

図5 SHV テスト画像(NHKのSHV番組より)



(9) Crowd Run



(10) Park Joy



(11) Ducks Take Off



(12) Into Tree



(13) Old Town Cross

図6 SVTテスト画像

表 10 画質評価実験条件

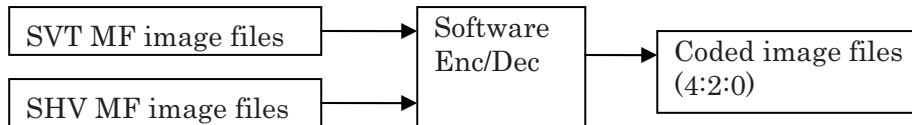
評価方法	二重刺激劣化尺度(DSIS)法、5段階劣化尺度（表 5 参照） ・ビットレート毎にまとめてシーケンスを提示し（原画像 1-10、ビットレート X の画像 1-10、ビットレート Y の画像 1-10、...）、画像毎に評価 ・ビットレートの提示順序は、評定者グループ毎に変更
観視条件	家庭での視聴と同程度の明るさ
評定者	専門家 16 人
ディスプレイ	50-inch PDP(1920×1080/60/P, I) 56-inch LCD(4320×2160/60/P)
視距離	2160/60/P：画面高さの 1.5 倍(1.5H)* 1080/60/P, 1080/60/I：画面高さの 3 倍(3H)*

\* 走査線間隔が、視力 1.0 の人が弁別できる最小の視角 1.0 分に相当する視距離。

(1) SHV 映像からのマルチフォーマット映像作成



(2) マルチフォーマット映像の符号化



(3) マルチフォーマット映像の再生・表示

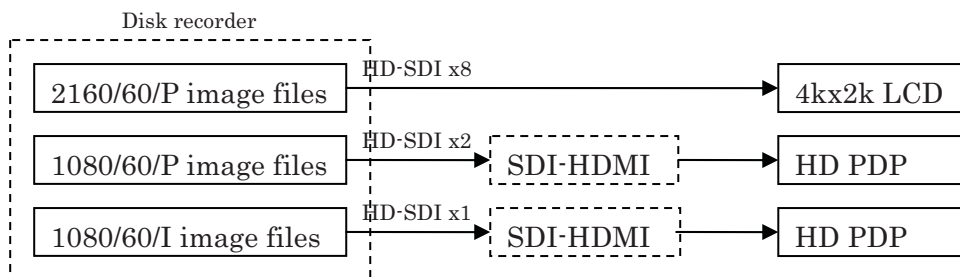


図 7 実験系統

3.3 評価結果

3.3.1 評定者のスクリーニング

1080/60/I、1080/60/P、2160/60/P の実験毎に評定者のスクリーニングを行った。評定者間の平均評点と各評定者の評点との Person 相関を求め、0.6 未満の評定者を除外することとした。その結果、16 名の評定者のうち、1080/60/I で 2 名、1080/60/P と 2160/60/P で各 1 名の評価結果が除外

された。

### 3.3.2 1080/60/I と 1080/60/P

図 8 にテスト画像毎の平均評点を示す。

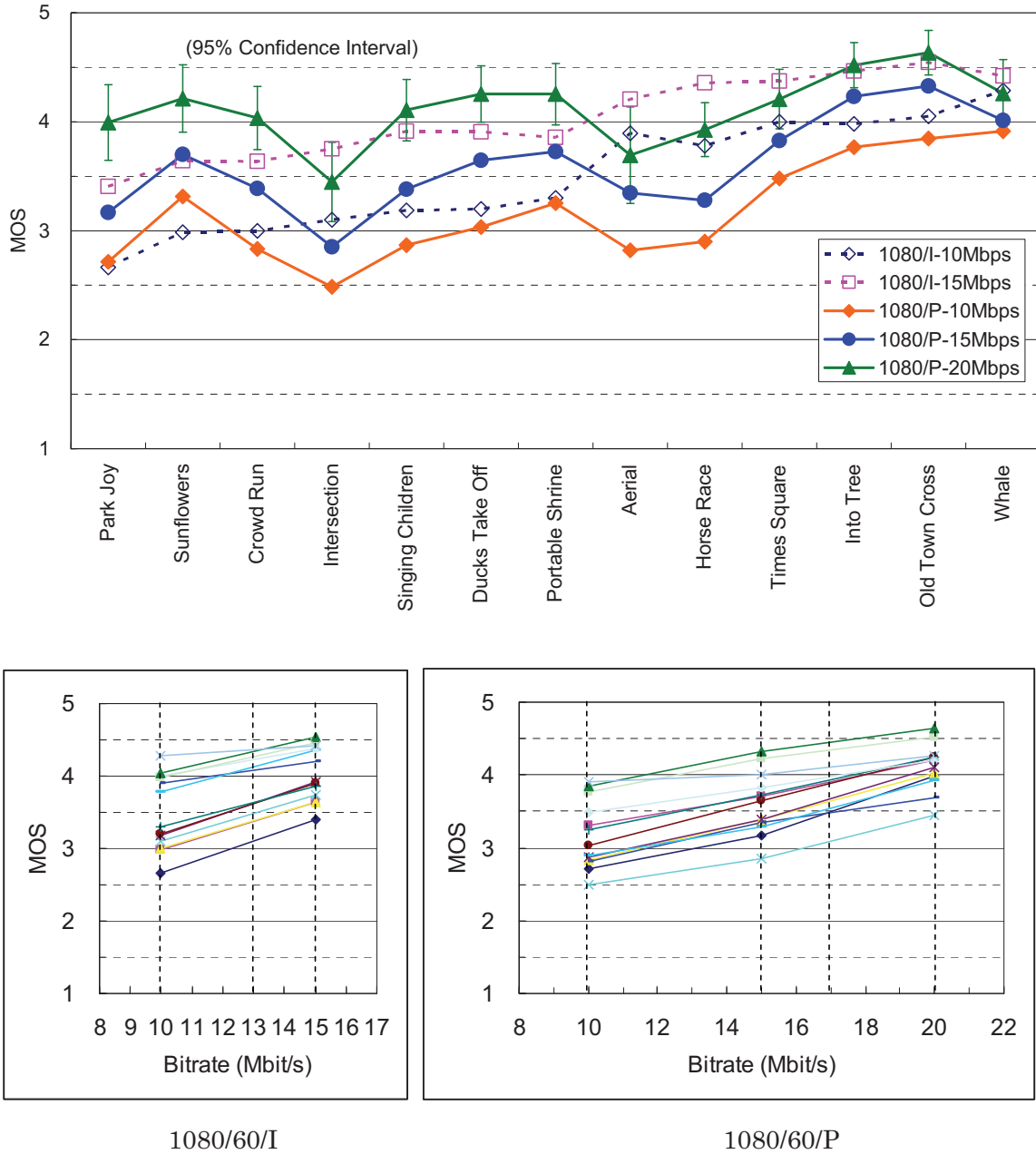


図 8 1080/60/I と 1080/60/P の評価結果

1080/60/I では、15Mbit/s ではほぼ全てのテスト画像で MOS 3.5 (許容限) 以上が得られ、10Mbit/s では約半数のテスト画像で MOS 3.5 以上 (ほぼ全てのテスト画像で MOS 3.0 以上) であった。マルチフォーマットテスト画像は、比較的クリティカルなものを中心に選定しており、ハードウェアコーデックによる符号化画像の画質評価で用いたテスト画像とは異なるが、得られた所要ビットレート

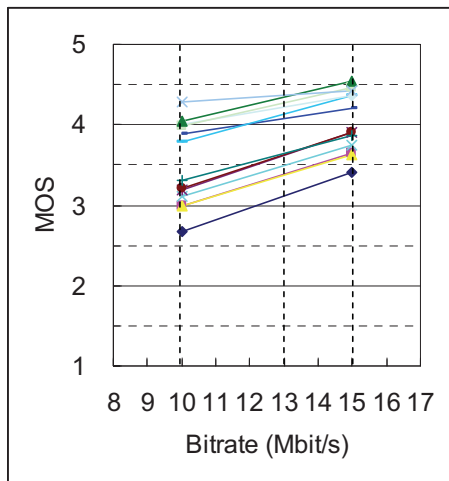
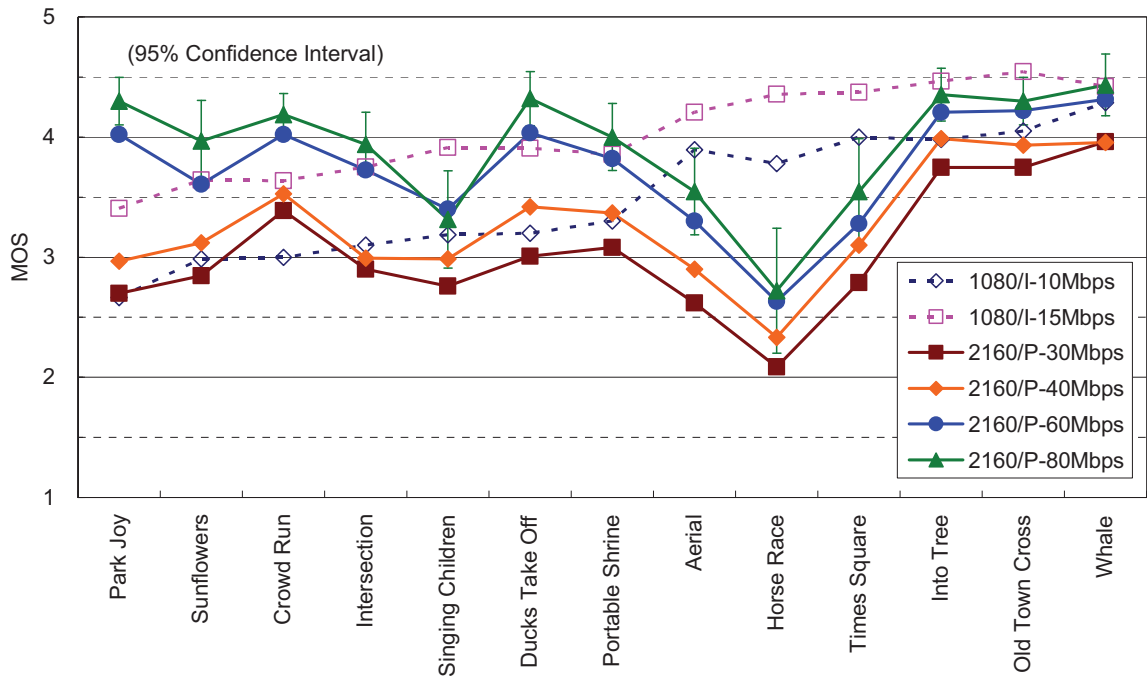
は、ハードウェアコーデックの場合の 13Mbit/s と同程度の結果であった。

1080/60/P では、20Mbit/s でほぼ全てのテスト画像で MOS 3.5 以上が得られ、15Mbit/s で約半数のテスト画像で MOS 3.5 以上（ほぼ全てのテスト画像で MOS3.0 以上）、10Mbit/s では約 1/3 のテスト画像で MOS 3.5 以上であった。したがって、1080/60/I の 13Mbit/s と同程度の評価結果が 1080/60/P では約 17Mbit/s で得られるものと考えられる。また、Intersection、Aerial、Horse Race の 3 つのテスト画像では、1080/60/I の 15Mbit/s よりも 1080/60/P の 20Mbit/s の方が MOS が低いという結果であった。これら 3 つのテスト画像は、原画像に含まれる雑音が多く、Horse Race は大きな動きを含むという特徴がある。1080/60/I に比べて映像信号帯域幅が 2 倍となることで、原画像に含まれる雑音や高周波成分の影響を大きく受けたものと考えられる。

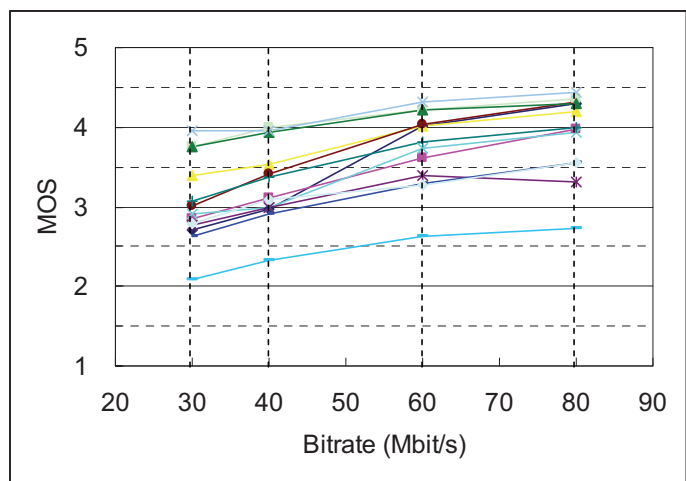
### 3.3.3 2160/60/P

図 9 にテスト画像毎の平均評点を示す。図 8 の 1080/60/I の結果を併記している。

2160/60/P では、80Mbit/s で 1 つのテスト画像を除いた他のほぼ全てのテスト画像で MOS 3.5 以上が得られ、60Mbit/s で約 3/4 のテスト画像で MOS 3.5 以上（1 つのテスト画像を除いた他の全てのテスト画像で MOS3.0 以上）、40Mbit/s では約 1/3 のテスト画像で MOS 3.5 以上（1 つのテスト画像を除いた他のほぼ全てのテスト画像で MOS3.0 以上）、30Mbit/s では約 1/4 のテスト画像で MOS 3.5 以上（約 1/3 のテスト画像で MOS3.0 を下回る）であった。したがって、1080/60/I の 13Mbit/s と同程度の評価結果が 2160/60/P では約 60Mbit/s で得られるものと考えられる。特に Horse Race の MOS が低かったが、大きな動きと共に多くの雑音や高周波成分を含む画像である。また、Singing Children、Aerial、Horse Race、Times Square の 4 つのテスト画像では、1080/60/I の 15Mbit/s よりも 2160/60/P の 80Mbit/s の方が MOS が低いという結果であった。これら 4 つのテスト画像は、1080/60/P でも MOS が低かったものや、シーケンス途中でシーン変化を含むものや原画像に含まれる雑音が多いという特徴がある。



1080/60/I



2160/60/P

図9 1080/60/I と 2160/60/P の評価結果

### 3.4 まとめ

マルチフォーマットの動画像テスト画像を用いて映像フォーマット毎の所要ビットレートを検討した。高度狭帯域CSデジタル放送方式の審議の際の実験結果や前記ハードウェアコーデックを用いた評価結果に基づき、1080/60/Iの13Mbit/sを所要ビットレートの基準とすると、各映像フォーマットの所要ビットレートは、1080/60/Pが17Mbit/s、2160/60/Pが60Mbit/sと考えられる。内容(絵柄)的には全く同一のマルチフォーマットのテスト画像であるが、映像信号に含まれる雑音や動きなどの程度に依存して、映像フォーマットによって符号化の難易が異なることも明らかとなった。

超高精細映像の効率的な符号化のためには、原画像の高 SNR 化（雑音の低減）と動きの的確な補足は必須の課題と考えられる。映像サービスへの割り当て伝送容量の決定に当たっては、今回の結論のみならず、さらに詳細な評価を行い、他の技術要素などを広く勘案して決定されることが望ましい。



#### 4 クロマフォーマットと画質および所要ビットレート確認実験

##### 4.1 クロマフォーマットの違いによる非圧縮品質の確認（実験 1）

###### 4.1.1 目的

色差サンプリングの違いによる色再現性の違いを確認する。

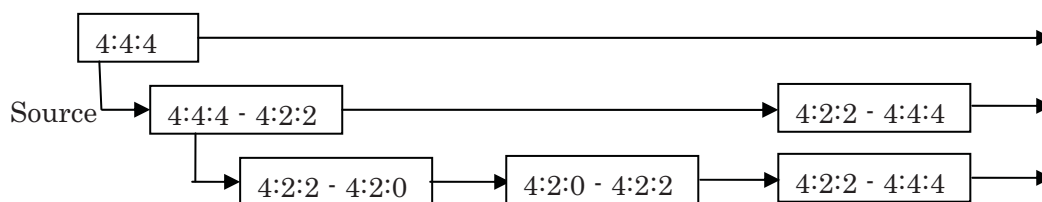
###### 4.1.2 実験方法

実験条件を表 11 に、実験系統を図 10 にそれぞれ示す。

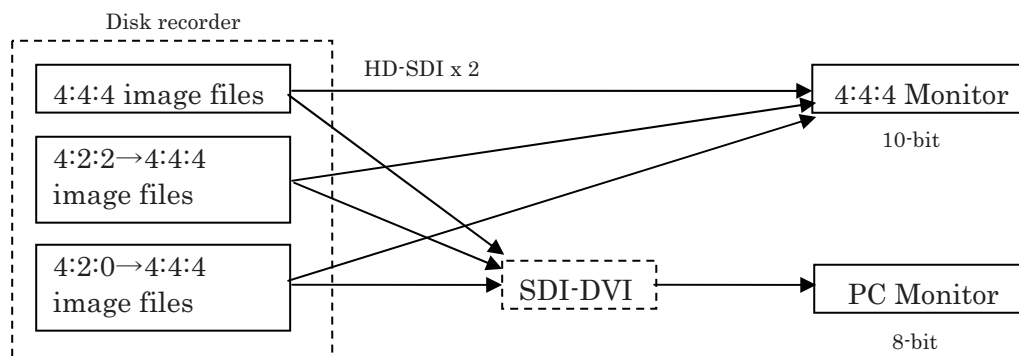
表 11 実験条件

映像	フォーマット	静止画： 1920×1080, 8/10-bit 3840×2160, 8-bit 4096×3072, 8-bit 動画： 1920×1080, 10-bit
	テスト画像	JIS X9204 標準画像 SVT テスト画像 FastVDO 4:4:4 テスト画像* 三菱電機オリジナル 4:4:4 テスト画像 (* <a href="http://www.fastvdo.com/HDData.html">http://www.fastvdo.com/HDData.html</a> )
クロマサブサンプリング		実験系統図 10 (3)記載の線形フィルタ処理により実施
表示方法		4:2:0、4:2:2、4:4:4 の画像を dot-by-dot あるいは拡大処理後に画面分割同時提示 動画は 30/P で表示
ディスプレイ		24-inch CRT (4:4:4 対応 HDTV スタジオモニタ) 50-inch PDP (1920×1080)
評価方法		専門家による観視

(1) テスト画像の生成



(2) テスト画像の再生・表示



(3) クロマサブサンプリング・アップサンプリング処理

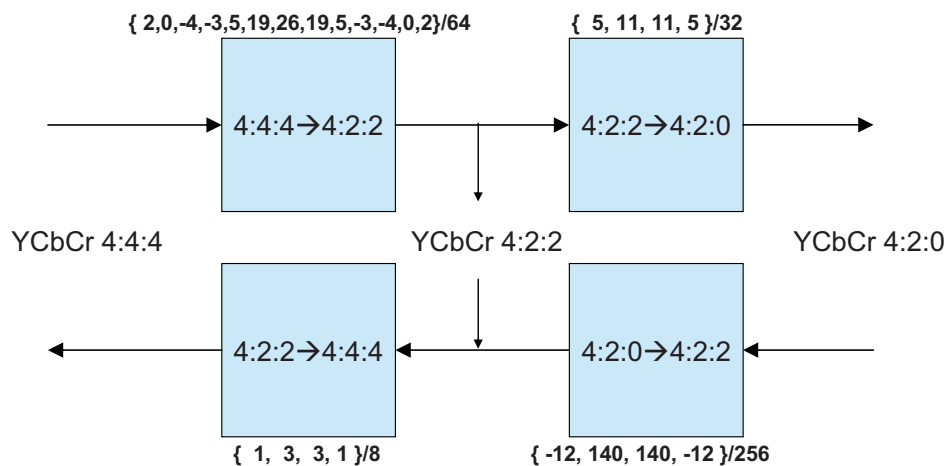


図 10 実験系統

4.2 クロマフォーマットと符号化画質の確認 (実験 2)

4.2.1 目的

4:2:0、4:2:2、4:4:4 の画質差や所要ビットレートを確認する。

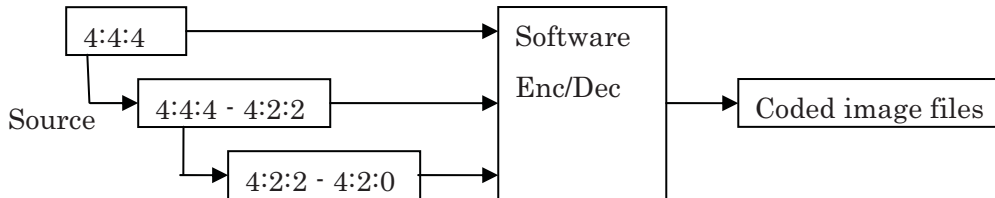
4.2.2 実験方法

実験条件を表 12 に、実験系統を図 11 にそれぞれ示す。

表 12 実験条件

映像	フォーマット	1920×1080/60/P, 10-bit, 4:4:4/4:2:2/4:2:0 1920×1080/24/P, 10-bit, 4:4:4/4:2:2/4:2:0 (4:2:2、4:2:0 は実験 1 と同様のプロセスによって 4:4:4 原画像から生成)
	テスト画像	SVT マルチフォーマット画像 FastVDO 4:4:4 テスト画像(1920×1080/24/P) 三菱電機オリジナル 4:4:4 テスト画像(1920×1080/24/P)
AVC	エンコーダ	ソフトウェアエンコーダ(JM13.2 + 独自レート制御)
	デコーダ	ソフトウェアデコーダ(JM13.2)
	プロファイル	High 4:4:4 predictive (10-bit, 4:4:4/4:2:2/4:2:0)
	ビットレート	1920×1080/60/P: 20, 25, 30 Mbit/s 1920×1080/24/P: 15Mbit/s
	GOP	参照フレーム数=2, GOP 構造 : M=3, N=15
	ツール	CABAC, Progressive Frame Coding
表示方法	4:2:0、4:2:2、4:4:4 の画像を dot-by-dot あるいは拡大処理後に画面分割同時提示。30/P で表示	
ディスプレイ	24-inch CRT (4:4:4 対応スタジオモニタ) 50-inch PDP (1920×1080)	
評価方法	専門家による観視	

(1) 符号化



(2) テスト画像の再生・表示

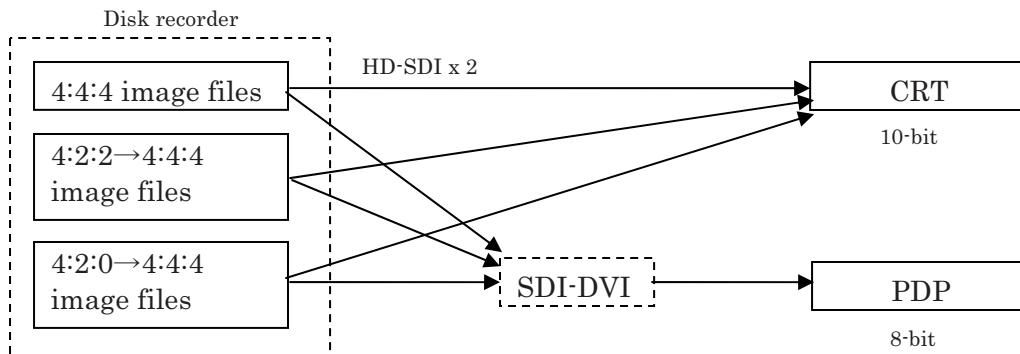


図 11 実験系統

### 4.3 画質確認結果

専門家による画質に関するコメントを表 13 に示す。

表 13 クロマフォーマットと画質に関するコメント

画質差全般	テストチャート(静止画)やエッジ部では差が分かるものがあつたが、自然画像では差が小さいか分からない程度。 視距離 3H では、原画、符号化画像ともほとんど差が分からないが、近づくか、拡大表示してはじめてわかるものもある。 普通の視聴では分かりづらい。 4:2:2 と 4:2:0 の差はほとんど分からない。4:4:4 は分かるものもある。 4:4:4 とすることによって艶感は出ている。 赤系に違いはあるが、比較して初めて分かる。 受信機での色補正処理を考えると、商品では差は少ないだろう。 エンドユーザには違いを認識するのが難しい。
符号化画質	ビットレートによる差は分かるが、クロマフォーマットの差は明確でない。 符号化歪の方が気になる。 4:2:0、4:2:2、4:4:4 の順に符号化劣化が大きくなる。 必ずしも 4:4:4 が良いとは言えない。 4:2:0 がバランスがよく、基本的には 4:2:0 で十分。

### 4.4 クロマフォーマットと符号化歪－ビットレート特性

SVT テスト画像 (1080/60/P) を用いて、4:2:0、4:2:2、4:4:4 の各クロマフォーマットを 15Mbit/s ～30Mbit/s で符号化し、PSNR 対ビットレート特性を調べた。

- ・輝度信号の PSNR は、色差信号の画素数の増加に対応して符号量を必要とするため、4:2:0 > 4:2:2 > 4:4:4 となる傾向がある。同じビットレートでの輝度信号 PSNR の差は 0.5～1dB 程度であり、4:4:4 が 4:2:0 と同程度の輝度信号 PSNR となるには、約+5Mbit/s が必要である。
- ・色差信号の PSNR は、4:2:0 < 4:2:2 < 4:4:4 となる傾向がある。画像によって差はあるが、同じビットレートでの色差信号 PSNR の差は 0.5～1.5dB 程度であつた。なお、色差信号の PSNR は、ダウンサンプリング/アップサンプリング処理の影響を含んでいる。
- ・輝度信号と色差信号の符号量配分が調整される可能性があり、これら値は絶対的なものではないが、輝度信号と色差信号の品質にはトレードオフの関係がある。

### 4.5 まとめ

4:2:0、4:2:2、4:4:4 のクロマフォーマットと画質の関係を確認した。限定的であるが、映像によっては色差信号の広帯域化による色エッジの再現性や質感の向上が確認された。一方、符号化画像では、クロマ解像度を上げることにより符号化劣化が検知され易くなる場合もあり、輝度信号品質と色差信号品質のトレードオフが存在すると言える。

## 音声サービスの想定利用ケース

ARIB 音声符号化作業班では、既存のデジタル放送で実現されている音声サービス (MPEG-2 AAC LC プロファイルを使用) に加えて、以下の利用ケースを想定し、検討を行った。

### (1) UHDTV に対応した高臨場感音声サービス

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

### (2) 非圧縮・ロスレス高品質音声サービス

- ・ 現行の BS デジタル放送及び広帯域 CS デジタル放送と同等又はそれ以上の音質が望まれることを考慮し、MPEG-2 AAC 圧縮符号化による音声品質を超える最高音質サービスを実現するため非圧縮およびロスレス音声符号化を提案。音声チャンネル数は最大 5.1 チャンネル。
- ・ 非圧縮・ロスレス高音質音声サービスとして新たな音質表示の割り当てを提案。
- ・ 本サービスに伴う想定ビットレート：
  - <非圧縮音声符号化>
    - 1.53Mbps (2ch、サンプリング周波数：48kHz、量子化ビット数：16bit の場合)
    - 最大 6.9Mbps (5.1ch、サンプリング周波数：48kHz、量子化ビット数：24bit の場合)
  - <ロスレス音声符号化>
    - 音源によりビットレートは変動するが、一般的に非圧縮音声符号化に比べて少ないビットレートでのサービスが可能。

### (3) マルチリンガル音声サービス

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

## (社)電波産業会デジタル放送システム開発部会

### 音声符号化方式作業班における検討経緯等

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

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

また、原音を忠実に再現可能かつ高能率符号化が可能な「ロスレス符号化方式」について追加提案募集を行った結果、2方式（MPEG-4 ALS 方式および AAL for Broadcasting 方式）の提案があった。

これらの提案について、以下の通り検討を行い、その採用の可否の判断を行った。

#### (1) 音声入力フォーマット

- ・ 想定利用ケース、視聴環境について
  - 最大チャンネル数 22.2ch は、前述の通り、UHD TV に対応する音場空間として提案されている。
  - 視聴環境としては、必ずしも 22.2ch 分のスピーカ配置を前提とするものではなく、視聴者の環境に応じて柔軟なダウンミックス処理を行い、3次元音再生を実現することも想定している。
  - 22.2チャンネルの音場空間、およびダウンミックス処理による 5.1チャンネル・2チャンネルステレオでの音再生について、音声符号化方式作業班内でデモンストレーションを実施し、その効果を確認した。（参考資料 13 を参照）
- ・ 技術的実現性について
  - 想定ビットレートは 22.2ch で 1.60Mbps 程度であり、1 トランスポンダ内でのビットレート割り当てや送出運用上の実現可能性は特に問題ないと考えられる。
- ・ 96kHz サンプルング周波数について
  - 高度衛星デジタル放送の音声入力フォーマットとして、96kHz サンプルング周波数の採用可否について検討を行った。
    - ◇ 96kHz サンプルング周波数は、プロオーディオの分野では多くのデジタル機器で採用されており、家庭用次世代メディア（Blu-ray や HD-DVD など）でも採用されている。したがって、番組制作（ベースバンド）においては、パッケージメディアなどへの二次展開を考慮すると、96kHz サンプルング周波数は有効なフォーマットと考えられる。

- ◇ 一方、デジタル放送を対象とした場合、以下の考察となる。
  - 圧縮符号化方式（MPEG-2 AAC 方式）は規格上 96kHz サンプリング周波数に対応しているが、現在の想定ビットレート（72kbps/チャンネル）では全帯域（～50kHz）を伝送することが難しく、圧縮効率上の課題がある。
  - 非圧縮符号化（リニア PCM 音声）の場合、96kHz サンプリング周波数に対応させるためには、5.1ch サラウンドで約 13.8Mbps が必要となり、衛星デジタル放送の高度化で検討されている 1 中継器あたり HDTV4 番組（4TS）では、5.1ch サラウンドの伝送は事実上不可能と言わざるを得ない。
  - 一方、ロスレス音声符号化を採用した場合、リニア PCM に比べて一般的に少ないビットレートでの伝送が可能であり、またリニア PCM でも例えば音声チャンネル数を 2ch とした場合、96kHz、24bit で 4.6Mbps となる。
- ◇ 以上により、今回の衛星デジタル放送高度化に限定した場合、基本サービス用としては 96kHz サンプリング周波数は不採用と判断した。一方、非圧縮・ロスレス高音質符号化用としては、高音質化を考慮し、96kHz サンプリング周波数の採用を継続検討することとする。ただし、周波数有効利用の観点から、その採用についてはメリットの明確化、適用可能な運用制約の詳細検討が必要である。

## (2) 音声符号化方式（基本サービス用）

- ・ 想定利用ケースについて
  - 提案方式として明示されていないが、各提案の前提（基本サービスにおける音声符号化方式）として、既存のデジタル放送の音声符号化方式として使用されている MPEG-2 AAC 方式が想定されている。
  - 一方、AAC+SBR 方式は比較的低ビットレート（概ね 64kbps/ステレオ以下）において有効な方式であり、マルチリンガル音声サービスなど、1 サービスあたりの音声ストリーム数が増えるサービスでの利用を想定している。例えば、メインチャンネルは MPEG2-AAC 方式のままとし、複数のサブチャンネルに AAC+SBR 方式を採用する利用ケースなどが想定される。
  - なお、AAC+SBR 方式は上述の通り利用ケースが限定されるため、サービス上、また受信端末上「オプション」の位置付けとなることが想定される。
- ・ 技術的実現性について
  - MPEG-2 AAC 方式は既にデジタル放送に使用されており、基本的な問題はない。また AAC+SBR 方式も地上デジタルテレビジョン放送の携帯向けサービス（ワ

ンセグ) や地上・衛星デジタル音声放送等で既に使用されており、比較的低位ビットレートの応用において実績がある。

- 最大入力音声チャンネル数 22.2ch に対応した AAC デコーダは、現行デジタル放送に比べて MIPS4 倍以上、メモリ 4 倍以上程度と想定され、2011 年時点でのハードウェア実現性はあると考えられる。同様に、AAC エンコーダについても実現性はあると考えられる。
- ただし、音声入力フォーマットの拡張 (最大 22.2 チャンネル) に対応した MPEG-2 AAC 方式のチャンネル構成 (Channel Configuration) が規格上規定されていないなど、今後 MPEG 規格改訂等の作業が必要となる。

### (3) 音声符号化方式 (非圧縮・ロスレス高音質サービス用)

- ・ 想定利用ケースについて
  - 前述の通り、MPEG-2 AAC 圧縮符号化による音声品質を超える最高品質の音声サービスを想定。これは、とりわけ放送の音声品質向上に期待する視聴者や、オーディオ業界および団体等からの要望にこたえるため、家庭でもスタジオ品質の音声放送を楽しめるよう、最大 5.1 チャンネルの非圧縮・ロスレス高音質音声サービスを目指すものである。
  - 既存のデジタル放送 (MPEG-2 AAC 方式) においても、音質表示において「現行の衛星標準テレビ放送の B モードに相当する音声品質」の基準が示されているが、提案された非圧縮音声符号化方式 (リニア PCM 方式) およびロスレス音声符号化方式 (2 方式) は「非圧縮 (あるいはロスレス) 高音質」であることを特徴としている。そのため、本提案方式に対応した新たな音質表示モードの割り当てが併せて提案されている。
- ・ 技術的実現性について
  - 1 トランスポンダ内でのビットレート割り当て、送出運用上の実現可能性  
リニア PCM 方式の場合、想定ビットレートは 2ch で 1.53Mbps、最大でも 5.1ch で 6.9Mbps であり、特に問題ないと考えられる。また、ロスレス音声符号化方式の場合、ビットレートは音源によって可変であるが、リニア PCM 方式の伝送方式である SMPTE 302M-2007 より低ビットレートであり、同様に問題ないと考えられる。なお、96kHz サンプリング周波数については、周波数有効利用の観点から、実現可能な範囲での運用制約を前提としてその採用に向けた検討を継続中である。
  - ハードウェア実現性  
リニア PCM 方式については、実証実験を通じてその実現性を確認した (参考資料 14 参照)。  
ロスレス音声符号化方式については、ハードウェア実現性を机上で確認した



(参考資料 16 参照)。また、ロスレス音声符号化ストリームを含む MPEG-2 TS 生成実験により、TS 化の実現性を確認した (参考資料 18 参照)。

- ・ ロスレス音声符号化方式について
  - 非圧縮・ロスレス高音質サービスが実現可能かつ高能率符号化が可能な方式として、ロスレス音声符号化方式の技術検討を行った。技術検討に際しては、追加提案募集を実施した結果、2 方式の提案があった。以下、方式選定の経緯、ロスレス音声符号化のメリット、そして同等のサービス要件を満たすリニア PCM 方式との併記に関する検討結果を記す。
  - ロスレス音声符号化方式選定の経緯
    - ◇ 以下 2 方式について、方式選定を目的とした技術検討・その他検討を実施した。
      - ①MPEG-4 ALS (Audio Lossless Coding) (以下、ALS)
      - ②AAL (ATRAC Advanced Lossless) for Broadcasting (以下、AAL)
    - ◇ ALS 方式は MPEG 国際標準であり、圧縮率や MPEG-2 Systems との整合性に対するメリットが期待できる方式である。一方、AAL 方式は実装の容易性 (ハードウェア演算量・規模が小さくできる) や IPR (ライセンス条件) 面でのメリットを追求した方式である。この 2 方式について、方式選定を目的とした比較表を作成した (2 方式の技術概要および方式比較表については、参考資料 16 を参照)。
    - ◇ その結果、主に国際標準であることのメリットを理由として、ALS 方式をロスレス音声符号化方式の第 1 候補として選定した。(AAL 方式は第 2 候補)
    - ◇ ALS 方式を第 1 候補として選定したものの、ハードウェア演算量・規模の小ささも方式採用における重要項目の一つと考えられる。そのため、適正なハードウェア演算量・規模の実現を目的として ALS 方式の新プロファイル・レベルの検討を引き続き行うこととする。
    - ◇ なお、現在 ALS 方式のライセンス条件は確定していない (MPEG 国際標準のため RAND によるパテントプール設立準備中)。方式の実際の採用にあたっては、今後ライセンス条件の確認も重要である。
  - ロスレス音声符号化採用のメリット
    - ◇ ロスレス音声符号化は、一般論として平均的に原データに対して数十%の圧縮率が得られ、帯域の有効活用が期待できる一方で、最悪値 (例えば白色雑音を音源とした場合) はほぼ原データ同等の情報量となり、削減したビットレートを固定的に他のサービスに割り当てられない点がネックとして指摘されていた。逆に言えば、この点を克服できるシナリオの存在がロスレス音声符号化方式を採用する上で不可欠である。

- ◇ 検討の結果、ロスレス音声符号化の採用により帯域の有効活用が図れるシナリオとして、例えば以下のシナリオを確認した。①事前収録番組において、オンエア事前に番組内のビットレート最悪値が把握できれば、理論最悪値と番組最悪値との差分に応じた固定的なビットレート削減が可能
  - ②将来的に音声を優先した映像・データとの統合的ビットレート制御可能な送出装置、およびそれを考慮した受信装置が開発されれば、瞬間的なビットレート変動にかかわらず、トータルでの帯域有効活用が可能
  - ③将来的にダウンロード型（事前ファイル化）のサービスにおいては、平均圧縮率に相当する帯域有効活用が可能
- ◇ 一方、上記シナリオの実現可否の判断については、さらに詳細な検討が必要である。例えば①のシナリオは事前収録番組に限られ、さらに番組単位での帯域制御が可能な送出設備が前提となる。また②のように実現には時期的かつコスト面での課題を含むシナリオも含まれている。また、リニア PCM と比較して、ロスレス符号化を採用することによるデコーダのコストアップの可能性も指摘された。
- ◇ しかしながら、(メリットを十分に発揮できるかどうかはさておき) 2011年の段階でロスレス符号化自体の実現は技術的に問題ないこと、また、将来的にはロスレス音声符号化の採用による帯域の有効活用が期待できることから、結論として現時点でロスレス音声符号化方式を採用することとした。
- リニア PCM 方式との併記について
  - ◇ 上述の通り、ロスレス音声符号化のメリットを享受できるシナリオは当面限定的であり、事業者の運用形態によってはリニア PCM の方にメリットがあるケースも想定される（例えば生放送中心のサービス）。
  - ◇ 将来的にはロスレス音声符号化が主流となり得ると考えられるが、現時点ではリニア PCM の方がデジタル放送への適用において実証実験による実証済みの方式であり、またロスレス音声符号化に対して相対的処理量や実装コストが小さいため、方式併記によるデメリットも少ない。そのため、リニア PCM 方式とロスレス音声符号化方式を併記することとした。

## リニア PCM 音声の PES 伝送方式

### 1 準拠規格

SMPTE 302M-2007 “Mapping of AES3 Data into an MPEG-2 Transport Stream”

### 2 概要

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

### 3 PES パケット

#### (4) データ構造

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

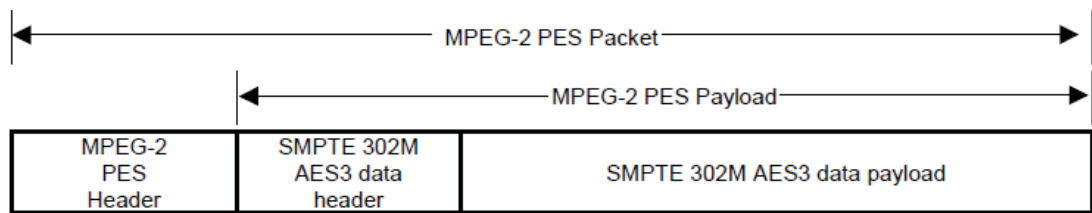


図 1 PES パケットのデータ構造

#### (5) PES ヘッダ

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

#### (6) SMPTE 302M AES3 データヘッダ

- ・ SMPTE 302M-2007 ” SMPTE AES3 data elementary stream header” の規定に準拠する。
- ・ number\_channels : 最大 6 データチャンネル (AES3 データ 3 本) とする。

#### (7) SMPTE 302M AES3 データ本体

- ・ SMPTE 302M-2007 ” SMPTE AES3 elementary streams” の規定に準拠する。



## 22.2 チャンネル音声デモンストレーション

### 1. 22.2 マルチチャンネル音響方式の概要

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

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

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

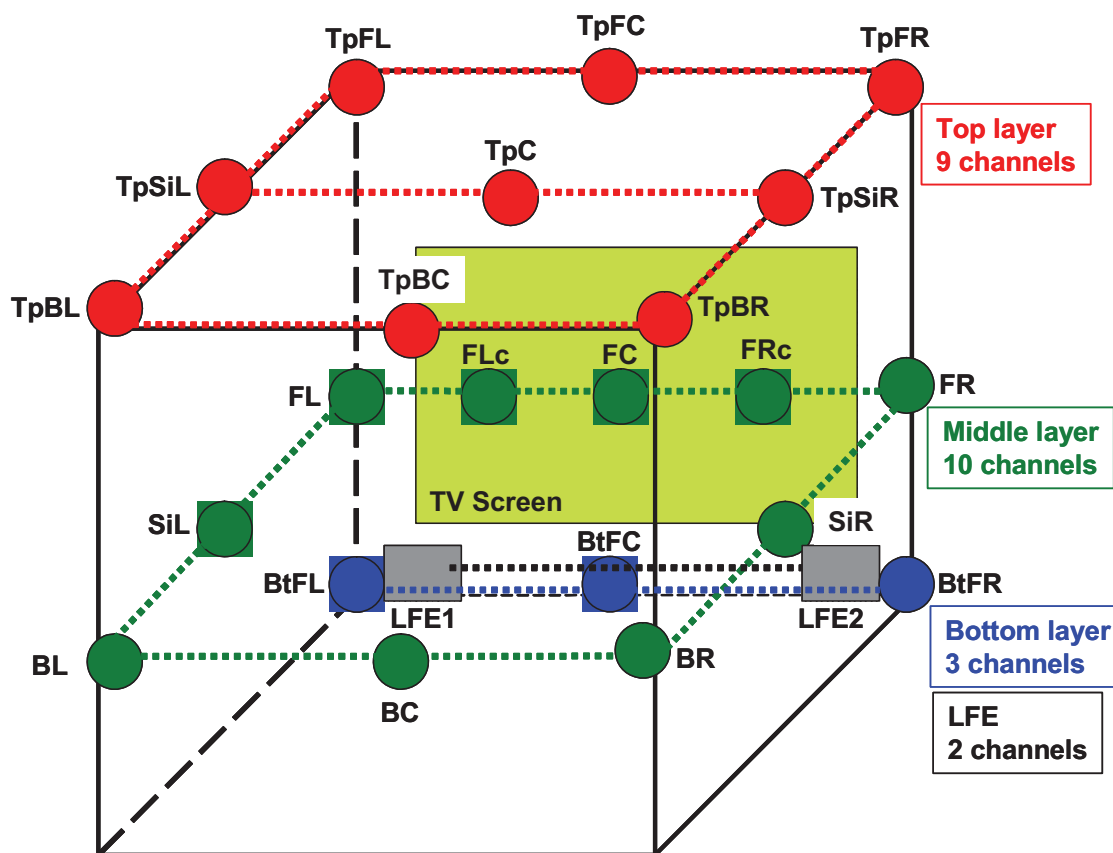


図1 22.2 マルチチャンネル音響システム

## 2. 22.2 チャンネル音声の聴取確認

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

- ・ 実施日

平成 19 年 10 月 18 日

- ・ 実施場所

NHK 放送技術研究所

- ・ デモンストレーション内容

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

- ・ 委員の講評

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

## リニア PCM 音声符号化・伝送実証実験報告

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

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

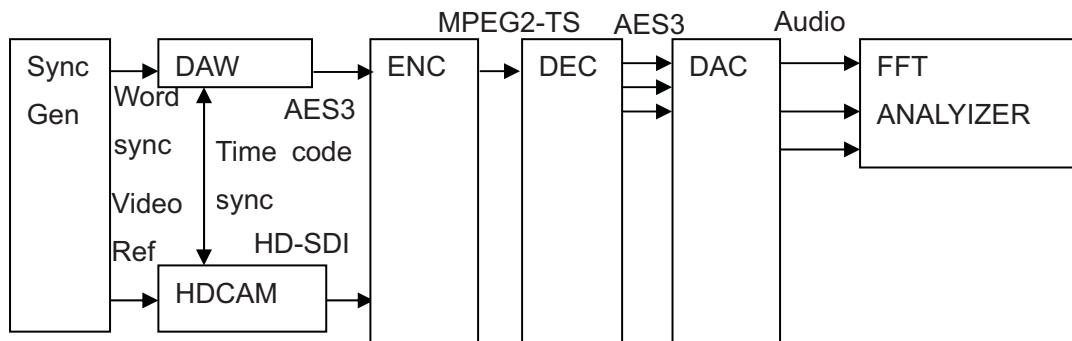
・ 実験

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

<実験方法>

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

<実験システム>



<実験結果>

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

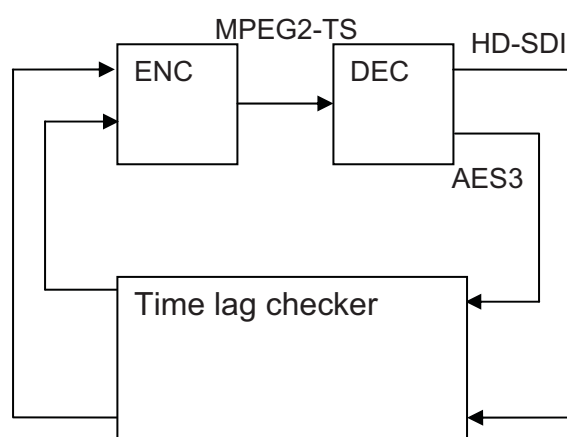


② エンコーダ-デコーダの映像信号と音声信号の同期確認

<実験方法>

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

<実験システム>



<実験結果>

電源の ON/OFF を数回繰り返して、AV 時間差を測定した。

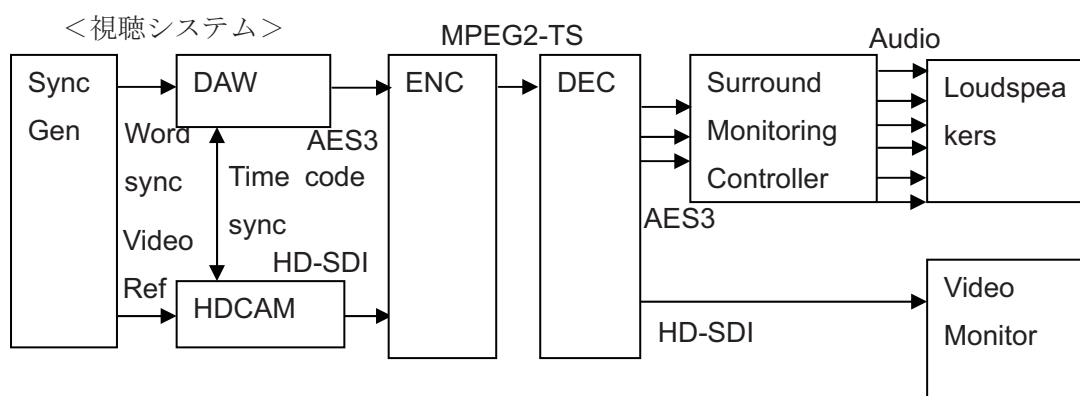
- 1 回目 0msec
- 2 回目 0msec
- 3 回目 0msec
- 4 回目 0msec

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

③ 映像・音声素材による視聴確認

<実験方法>

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



<試聴結果>

いくつかの番組を視聴したが問題なく再生できていることを確認した。

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

・ まとめ

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

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

## 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

リニア PCM 方式において AES3 のユーザビットを用いた音声関連メタ情報伝送の検討が行われている。以下、伝送することが望ましい音声メタ情報について検討状況を紹介する。

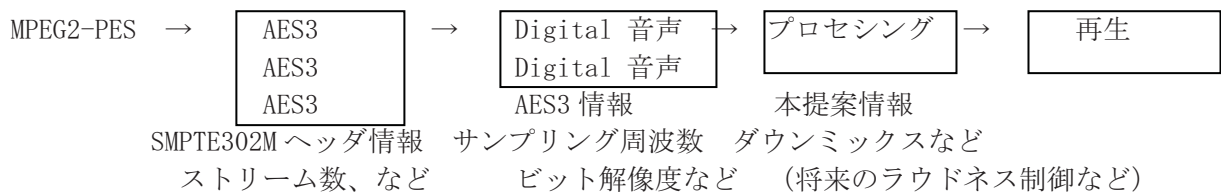
### ■リニア PCM 音声メタ情報例

データ構造	ビット数	ビット列表記
LinerPCM_Meta_descriptor() {		
component_type	8	uimsbf
matrix_mixdown_idx	3	uimsbf
future_reserve	13	uimsbf
}		

#### [コンセプト]

SMPTE302M では複数の AES3 ストリームを一つの MPEG2-PES にした際のデコード情報を規定している。AES3 では 1AES ストリームをデコードするための情報をチャンネルステータスビットとして規定している。そこで、これらの情報を利用したうえで、放送に必要な音声メタ情報を AES3 のユーザビットに規定することとする。

#### [各規格のメタ情報の役割]



#### [識別子詳細]

component\_type (音声モード識別); 8 ビット

音声コンポーネント種別 ARIB STD-B10 第 2 部 表 6-43 参照+提案分含む

matrix\_mixdown\_idx (ダウンミックス係数); 3 ビット

ダウンミックス係数 ARIB STD-B21 第 6 章 表 6-DM2 参照

future\_reserve (将来利用のための予約); 13 ビット

#### [コメント]

番組間音量差、チャンネル間音量差の改善を目的に、future\_reserve の一部、もしくはすべてを reference\_loudness\_idx として ITU-R で現在審議されている参照ラウドネスを伝送し、受信環境のラウドネスコントロールを行うために使用できればと考える。

## 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

ARIB 音声符号化作業班におけるロスレス音声符号化方式の技術方式提案募集に対して提案された 2 つの方式について、その技術概要および 2 方式の特長比較を以下にまとめる。

#### 1. 提案方式の技術概要

##### (1) MPEG-4 ALS(Audio Lossless Coding)

<技術方式の概要>

歪を伴わない圧縮符号化 ISO/IEC 14496-3 MPEG-4 ALS (Audio Lossless Coding) 準拠。

- エンコーダ、デコーダで完全に整合がとれた確定的整数演算により、復号時に入力波形を完全再構成することを理論的に保証。
- 線形予測による隣接サンプル間の冗長性除去による情報圧縮。
- 予測誤差サンプルの振幅値をエントロピー符号化して振幅分布の偏りの冗長性除去による情報圧縮。
- 音声メタ情報はパラメータ記述部 (ALSSpecificConfig) の Aux 部分を拡張して記述。

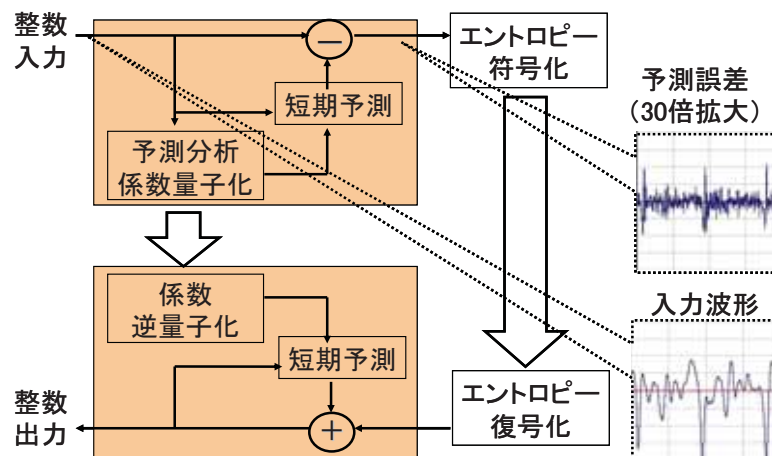


図1 ALSのエンコーダ、デコーダの原理

<放送システムへの適用>

- MPEG-2 TS のオーディオパケットは PES パケットを含む。

- MPEG-2 システムの PMT パケットに MPEG-4\_audio\_extension\_descriptor を含み、その中に AudioSpecificConfig と ALSSpecificConfig を含む。
- MPEG-2 システムの PES パケットにフレーム単位で ALS 準拠ペイロードを含む。

## ALS over MPEG-2 systems

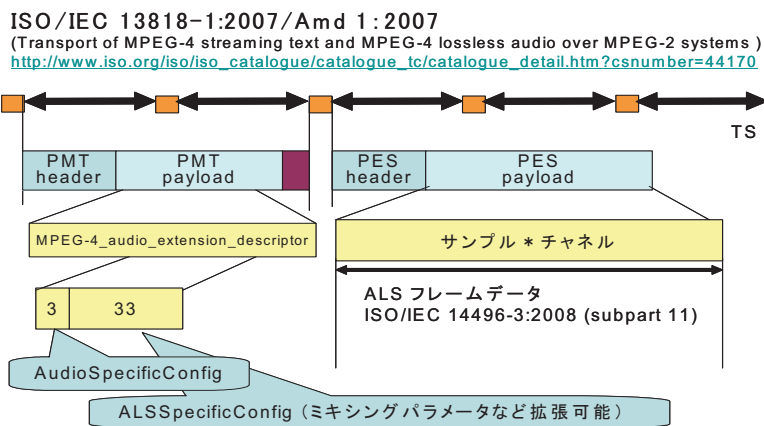


図2 MPEG-2 Systems での伝送方法

### (2) AAL (ATRAC Advanced Lossless) for Broadcasting

<技術方式の概要>

ロスレス符号化技術 ATRAC Advanced Lossless for Broadcasting (AAL for BC)

- 16bit 固定小数点演算を前提とした確定的整数演算により、プラットフォームを選ばずに入力波形を完全再構成することが可能
- 線形予測分析によるサンプル間相関除去により効率的な情報量圧縮が可能
- 必要かつ十分な線形予測次数による高速な符号化/復号化が可能
- 圧縮率の最悪値が確定しており、リニア PCM とほぼ同等である。具体的にはフレーム長 2048, 16bit, 2ch データの場合、リニア PCM の 100.07%

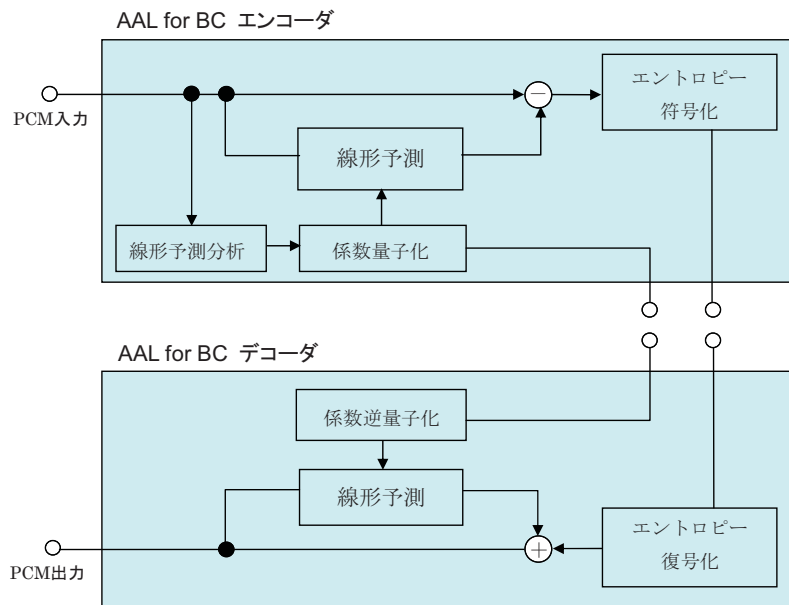


図 3 AAL for Broadcasting エンコーダおよびデコーダ ブロック図



<放送システムへの適用>

- MPEG-2 TS の PES パケットにて伝送する
- AAL for BC の Elementary Stream を以下のように MPEG2-TS の PES にマッピングした上で伝送を行う
  - －PES ヘッダは MPEG-2 Systems (ISO/IEC13818-1) に準拠
  - －ストリーム ID はプライベート用のものを使用
  - －ビデオと同期した PTS を付加

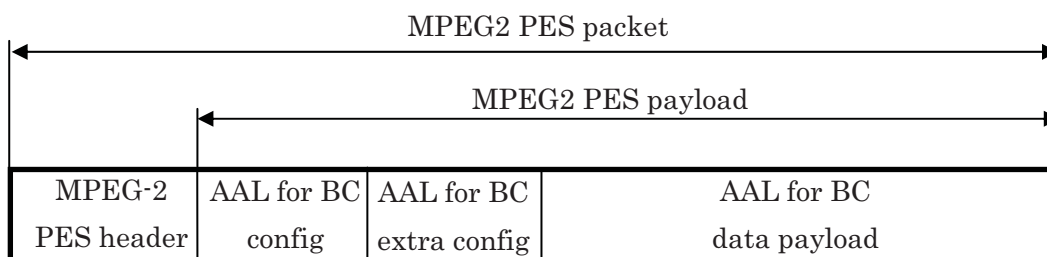


図4 AAL for BC PES パケット構造

- AAL for BC 設定情報は AAL for BC 設定情報、AAL データペイロードを含む
- AAL for BC 設定情報は AAL for BC 基本設定情報、AAL for BC 拡張設定情報を含む
- AAL for BC 拡張設定情報はチャンネル配置情報を伝送可能
- AAL for BC 拡張設定情報はメタ情報領域を持ち、最大  $2^{32}$  バイトまでのメタ情報を伝送可能

## 2. 提案方式の方式比較

2 方式の方式比較表を表 1 に示す。なお、比較表には参考のためリニア PCM (SMPTE302M) についても記載している。

## 3. その他考慮すべき事項

2 方式の比較検討において、上記の比較表への記載事項のほか、考慮すべき事項として指摘された項目を以下に示す。

- ・ 国際標準化のリスク
  - AAL は現時点で国際標準化されておらず、今後国際標準化機関に提案した場合、时期的に遅れる、あるいは国際標準化できないリスクがある。一方、ALS についても、新規規定のプロファイル・レベルは現時点で国際標準化されていないため、同様のリスクがある。
- ・ 帯域有効活用シナリオ
  - ロスレス音声符号化方式である ALS、AAL のビットレートは音源によって変動し、

最悪の場合、圧縮効果が認められないケースが理論上あり得る。そのため、ロスレス音声符号化方式の採用にあたっては、音声ビットレートの変動においても総合的に帯域有効活用できるシナリオ、例えば映像やデータとの統合制御シナリオの存在が重要である。

表1 提案方式(2方式)の比較表

	ALS	AAL for Broadcasting	(参考) リニア PCM (SMPTE302M)
提案方式の特徴	国際標準準拠で、柔軟性、自由度 圧縮性能に優れる。	実装が容易で無償ライセンス。最悪 レートがPCMレートとほぼ同じ。	伝送蓄積などで使用実績が豊富
方式上の比較	線形予測最高15次、付加ツールで 圧縮性能改善。多様な入力に対応。	線形予測8次、予測係数精度が16 ビットで演算量低減。	
圧縮率 (注1) (圧縮後のレート/PCMレート)	可変レート(入力信号依存) ファイル毎の平均値: 0.17%~106.32% フレーム毎の最悪値: 8.67%~106.32%	可変レート(入力信号依存)(注2) ファイル毎の平均値: 26.65%~100.12% フレーム毎の最悪値: 33.84%~100.12%	固定レート(平均=最悪) 16 bit のとき(20÷16=)125%、24 bit のとき(28÷24=)117%。
ハードウェアの実現性	低演算プロファイルで AAC-LC と同 程度 25 MHz (48 kHz, 24 bit, 2 ch) @ARMulator ARM9E ROM 6 Kbyte, RAM 80 KByte @ARMulator ARM9E	容易 16.3 Mcyc/s (48 kHz, 16 bit, 2 ch) @NEC MP201 18.6 Mcyc/s (48 kHz, 24 bit, 2 ch) @NEC MP201 ROM 7 Kbyte, RAM 16.6 KByte @NEC MP201	非常に容易
国際標準との整合性	伝送は MPEG-2 準拠 符号化・復号化は MPEG-4 準拠 低演算プロファイル提案予定		SMPTE302M (2007)
TPR の扱い	RAND によるパテントプール設立準 備中、コンテナンツ課金なし。	対価請求はなし	無償
方式実現に向けた今後の課題	MPEG-4 Audio の改訂: 新規の低演算 量プロファイル、レベル定義	提案符号化方式の国際標準化 提案伝送方式の国際標準化	

(注1) ロスレス音声符号化・圧縮性能実証実験(参考資料17参照)での実測値

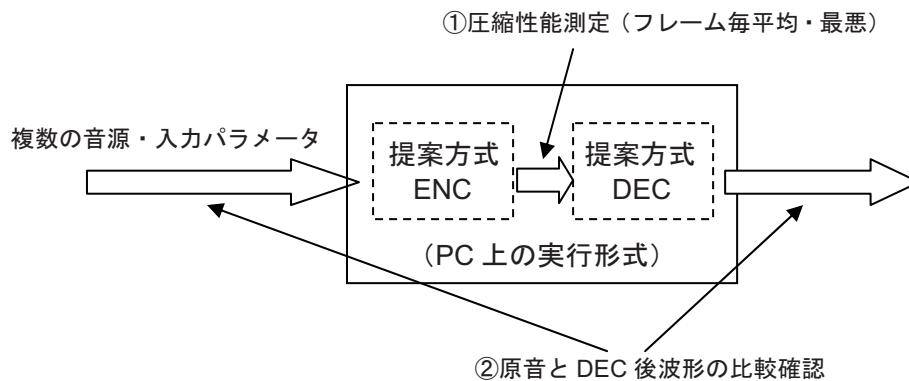
(注2) 今回測定に用いた AAL アルゴリズムは、20 ビット入力に対して、エンコード時に 4 ビット右シフトし、LSB 側 20 ビット詰めで 24 ビット処理を行い、デコード時には 4 ビット左シフトし、MSB 側 20 ビットを取り出し出力している

## ロスレス音声符号化・圧縮性能実証実験報告

### ○目的

ARIB 音声符号化作業班に対して高度衛星デジタル放送方式のロスレス音声符号化方式として提案された 2 方式 (MPEG-4 ALS、AAL for Broadcasting) について、複数の音源・音声入力パラメータを用いて圧縮性能を測定し、その性能を実証する。

### ○実験概要



- ・ ロスレス音声符号化提案 2 方式の CODEC (PC 上の実行形式ファイル) に対して複数の音源・入力パラメータを入力し、以下の測定を行う。
  - 原音データに対する、圧縮後の情報量の割合 (値が小さいほうが効率がよい) のフレーム毎の平均値およびフレーム毎の最悪値を測定
  - 情報量の割合 (%) = (圧縮後の情報量) ÷ (PCM の情報量) × 100
  - 原音とデコード後波形の一致の比較確認
- ・ 使用 CODEC の諸元
  - 2 方式ともにフレームサイズ=2048 サンプル/フレーム
  - ALS サブセット :
    - ◇ 48 kHz: 線形予測次数最大 15 次、MCC/JS, 3 段までのブロック分割、LTP
    - ◇ 96 kHz: 線形予測次数最大 15 次、MCC/JS

### ○評価音源

名称	入力パラメータ	提供者
MPEG 評価音源 x 15 種	48kHz 16bit 2ch 30sec	
MPEG 評価音源 x 15 種	48kHz 20bit 2ch 30sec	
MPEG 評価音源 x 15 種	48kHz 24bit 2ch 30sec	
MPEG 評価音源 x 15 種	96kHz 24bit 2ch 30sec	

シンセ	48kHz 24bit 2ch 184sec	SONY
室内楽	48kHz 16bit 2ch 44sec	SONY
ノイズ	48kHz 16bit 2ch 55sec	SONY
合成試験音源（一様分布白色雑音）	48kHz 16bit 1ch 10sec	NTT
合成試験音源（正弦波 1 kHz）	48kHz 16bit 1ch 10sec	NTT
合成試験音源（矩形波 1 kHz）	48kHz 16bit 1ch 10sec	NTT
合成試験音源（定数、無音）	48kHz 16bit 1ch 10sec	NTT
チェンバロ	96kHz 24bit 2ch 34sec	NHK
和太鼓	96kHz 24bit 2ch 43sec	NHK
ピアノ	96kHz 24bit 2ch 35sec	NHK
チェロ+ピアノ演奏	96kHz 24bit 2ch 42sec	NHK
弦楽四重奏	96kHz 24bit 2ch 43sec	NHK
合奏曲 1	96kHz 24bit 5.1ch 30sec	NTT
合奏曲 2	96kHz 24bit 5.1ch 30sec	NTT

○担当およびスケジュール

項目	担当	スケジュール
実験計画の承認、音源の選定	音声符号化方式 WG	～6/2
実験準備（PC 実行形式 CODEC、音源、測定用スクリプト）	方式提案社	～6/6
測定実施	WG 主任	6/6、6/13（追加）

○実験結果

(1) 原音データとデコード後データの同一性の検証

今回実施した全てのデータにおいて、原音データとデコード後データが同一であることを PC 上でのファイル比較コマンドにより確認した。

(2) 各音源に対するフレーム平均値・フレーム最悪値

いずれも 単位：[%]

MPEG 音源 (48 kHz, 16 bit, stereo)	AAL 平均	AAL 最悪	ALS 平均	ALS 最悪
avemaria	40.39	55.46	38.54	52.97
blackandtand	56.60	74.63	55.11	73.82
broadway	50.50	76.27	48.57	73.68
cherokee	54.01	71.77	52.86	70.75
clarinet	48.47	62.40	46.96	61.19
cymbal	30.32	85.23	29.05	83.78

dcymbals	61.35	80.88	60.39	80.60
etude	43.78	57.85	41.63	56.03
flute	41.21	51.28	39.94	50.02
fouronsix	47.15	67.59	45.76	66.60
haffner	56.04	67.49	54.55	66.10
mfv	32.18	53.10	29.96	42.58
unfo	52.55	74.04	50.72	73.57
violin	49.56	63.72	47.68	61.74
waltz	54.01	76.23	52.55	75.52

MPEG 音源 (48 kHz, 20 bit, stereo)	AAL 平均	AAL 最悪	ALS 平均	ALS 最悪
avemaria	52.23	64.39	50.56	62.32
blackandtan	65.29	79.71	63.99	79.07
broadway	60.44	81.02	58.84	78.96
cherokee	63.16	77.42	62.13	76.62
clarinet	58.82	70.03	57.47	68.98
cymbal	39.98	88.18	38.88	87.07
dcymbals	69.09	84.71	68.33	84.51
etude	55.01	66.33	53.11	64.85
flute	52.98	61.14	51.85	60.07
fouronsix	57.59	74.12	56.26	73.30
haffner	64.93	74.01	63.63	72.90
mfv	45.60	62.64	43.66	54.00
unfo	61.98	79.23	60.30	78.88
violin	59.72	70.98	58.12	69.40
waltz	63.20	81.00	61.90	80.45

注) 今回測定に用いた AAL アルゴリズムは、20 ビット入力に対して、エンコード時に 4 ビット右シフトし、LSB 側 20 ビット詰め 24 ビット処理を行い、デコード時には 4 ビット左シフトし、MSB 側 20 ビットを取り出し出力している

MPEG 音源 (48 kHz, 24 bit, stereo)	AAL 平均	AAL 最悪	ALS 平均	ALS 最悪
avemaria	60.19	70.33	58.79	68.59
blackandtan	71.07	83.09	69.97	82.55
broadway	67.04	84.18	65.68	82.45
cherokee	69.30	81.18	68.42	80.50
clarinet	65.68	75.02	64.54	74.14
cymbal	49.93	90.15	48.99	89.19

dcymbals	74.24	87.26	73.59	87.08
etude	62.51	71.94	60.91	70.69
flute	60.82	67.63	59.86	66.70
fouronsix	64.66	78.43	63.53	77.73
haffner	70.78	78.34	69.68	77.40
mfv	54.67	68.87	53.03	61.65
unfo	68.31	82.69	66.90	82.38
violin	66.43	75.81	65.08	74.49
waltz	69.34	84.16	68.23	83.68

MPEG 音源 (96 kHz, 24 bit, stereo)	AAL 平均	AAL 最悪	ALS 平均	ALS 最悪
avemaria	52.48	61.30	50.90	58.69
blackandtan	52.68	87.87	45.45	60.87
broadway	58.63	76.77	57.44	73.47
cherokee	51.17	65.35	44.75	58.73
clarinet	49.76	59.20	42.75	50.22
cymbal	47.23	90.13	46.20	89.66
dcymbals	60.81	79.37	59.85	78.75
etude	54.10	64.05	52.40	61.38
flute	47.93	53.56	42.80	46.91
fouronsix	46.82	69.11	40.93	54.95
haffner	54.96	62.87	48.79	54.15
mfv	52.48	67.61	50.40	65.18
unfo	50.93	88.25	43.71	60.39
violin	51.07	57.57	45.89	51.33
waltz	51.60	88.98	44.37	61.04

独自音源 (48 kHz)		AAL 平均	AAL 最悪	ALS 平均	ALS 最悪
Sony (2ch)	item1 (シンセ)	73.58	86.98	72.00	86.08
	item2 (室内楽)	38.22	44.08	37.01	42.50
	item3 (ノイズ)	100.06	100.06	106.32	106.32
NTT (1ch)	Rand (白色雑音)	100.12	100.12	103.17	103.44
	Sine_1kHz (正弦波)	33.80	33.84	9.01	9.89
	Square_1kHz (矩形波)	88.40	88.43	36.07	42.92
	ZeroConst (定数)	26.65	63.77	0.17	8.67

独自音源 (96 kHz)		AAL 平均	AAL 最悪	ALS 平均	ALS 最悪
NHK (2ch)	cembalo	73.48	82.49	72.03	81.68
	drum_japan	51.29	80.34	49.09	79.48
	Pf+cello	57.65	67.08	55.53	64.70
	piano	47.59	59.24	45.24	50.59
	quartet	50.94	60.15	48.22	54.54
NTT (5.1ch)	Ensemble1	41.51	46.60	39.68	43.03
	Ensemble2	39.35	42.70	37.38	40.83

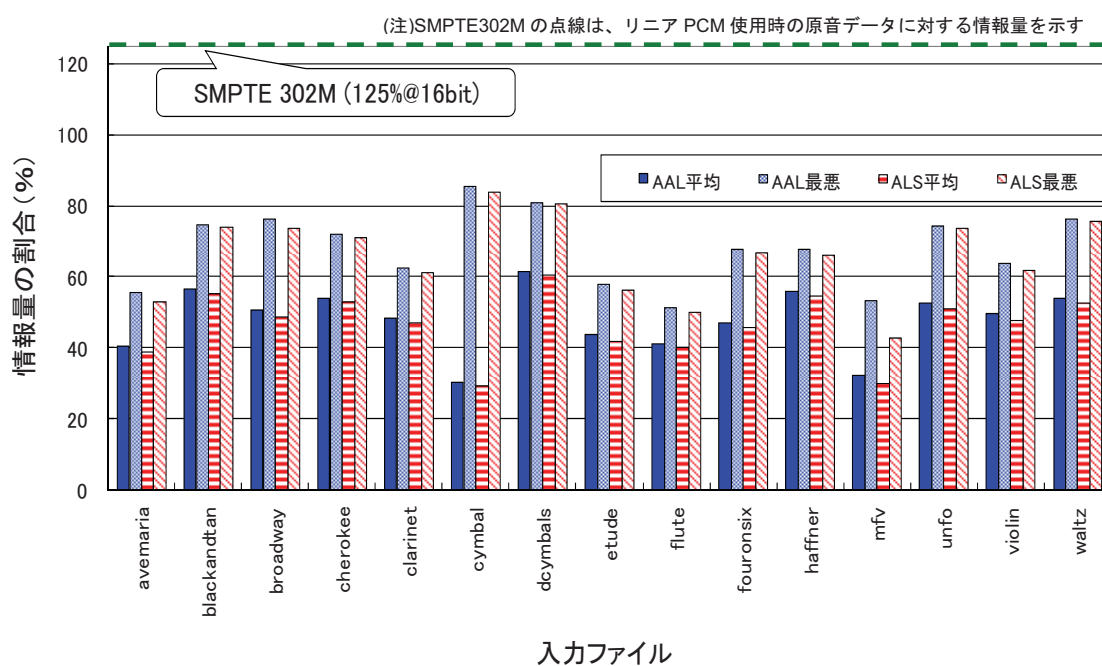


図 1(a) MPEG 音源 15 種類 (48kHz、16bit、stereo)



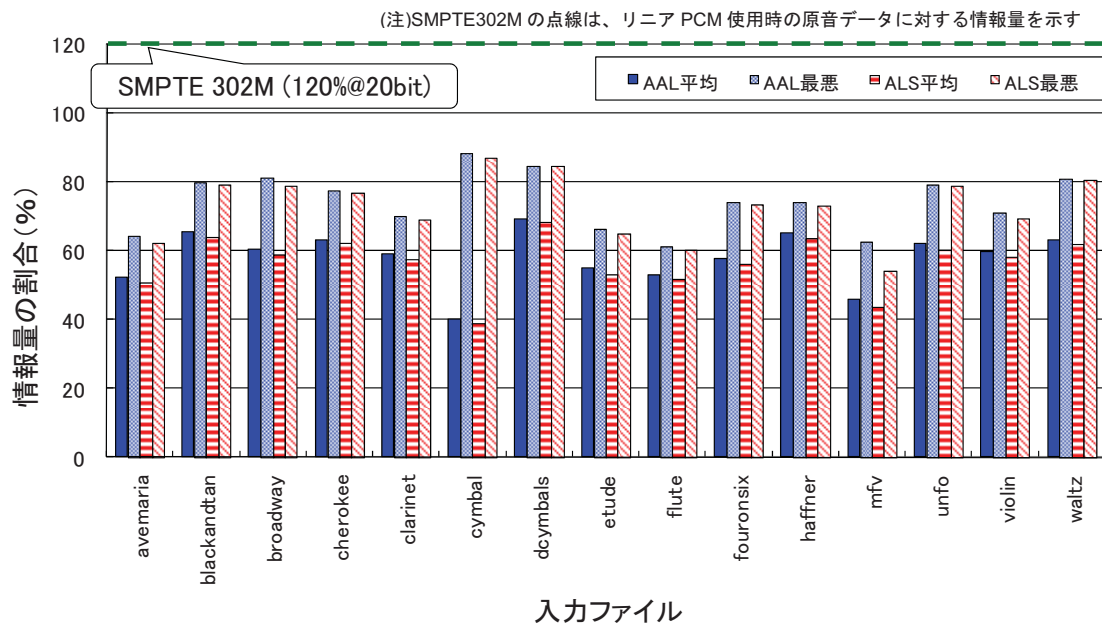


図 1(b) MPEG 音源 15 種類 (48kHz、20bit、stereo)

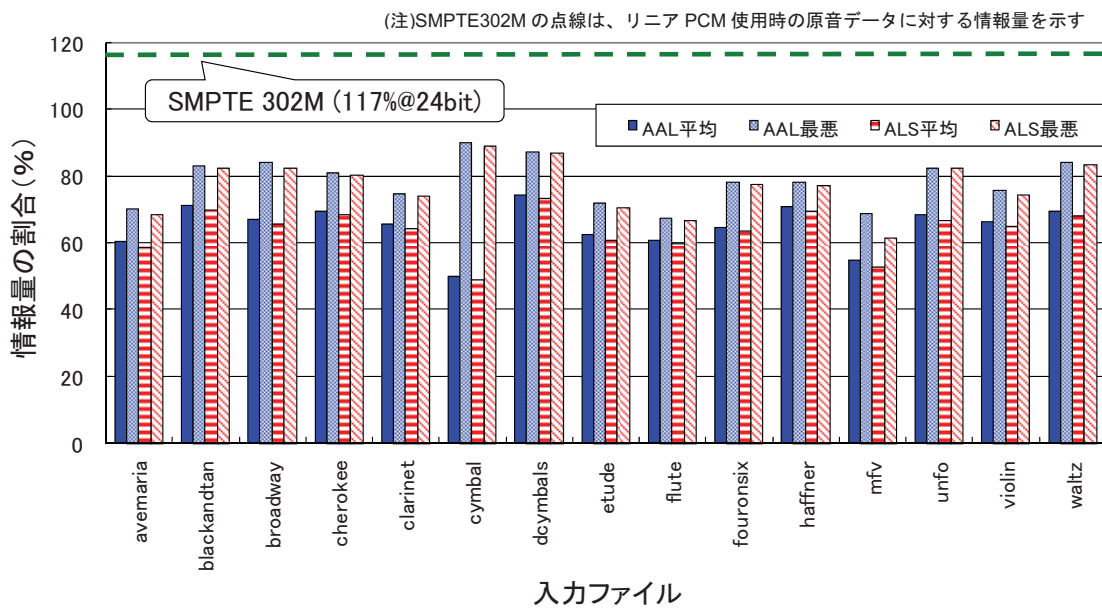


図 1(c) MPEG 音源 15 種類 (48kHz、24bit、stereo)

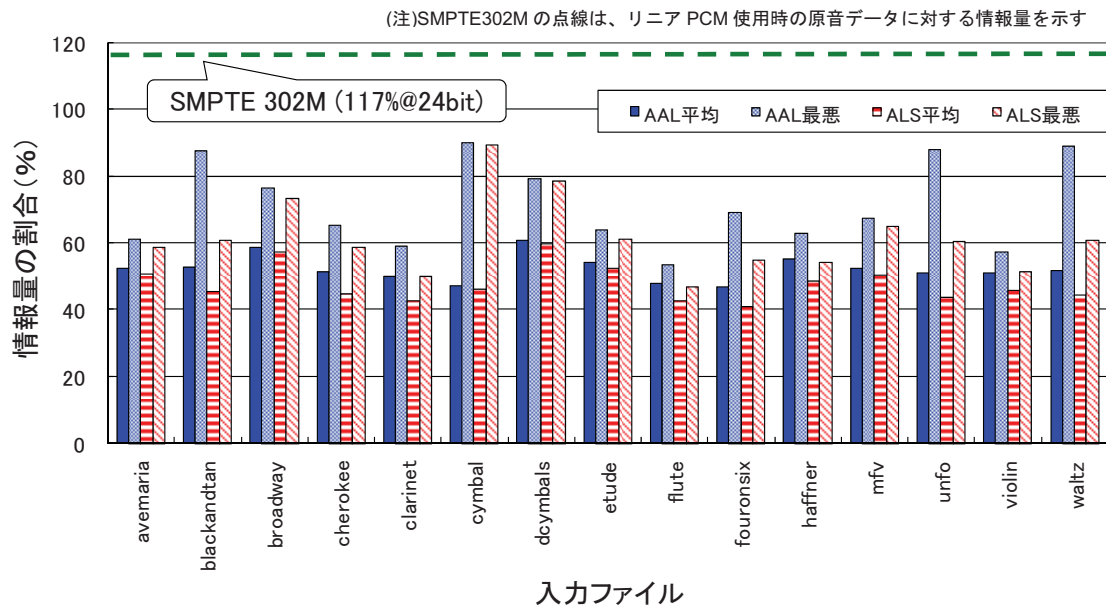


図 1(d) MPEG 音源 15 種類 (96kHz、24bit、stereo)

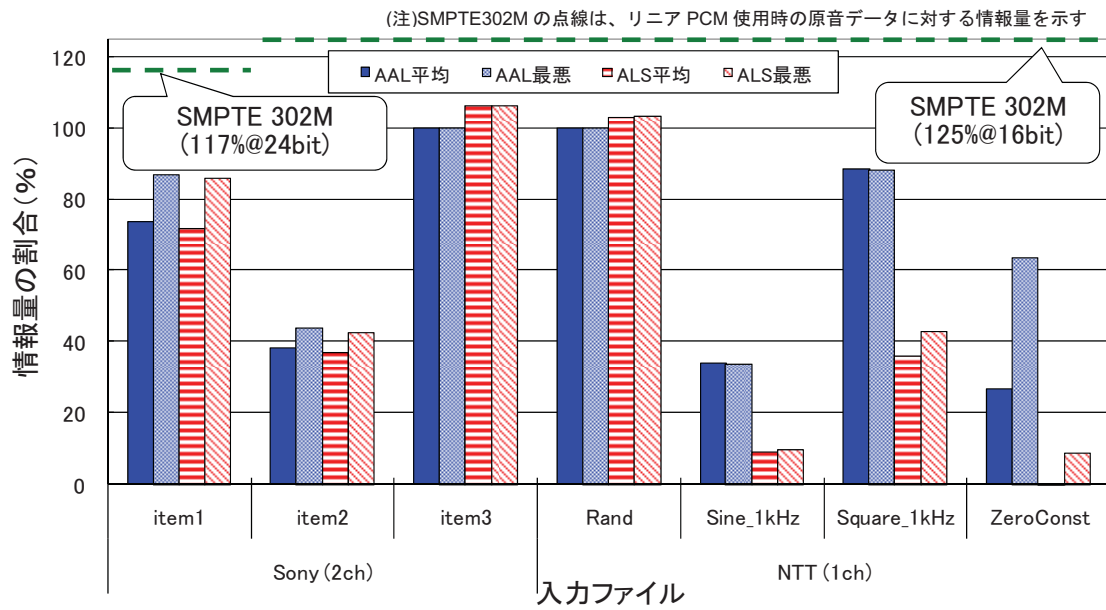


図 1(e) 独自音源 (48kHz)

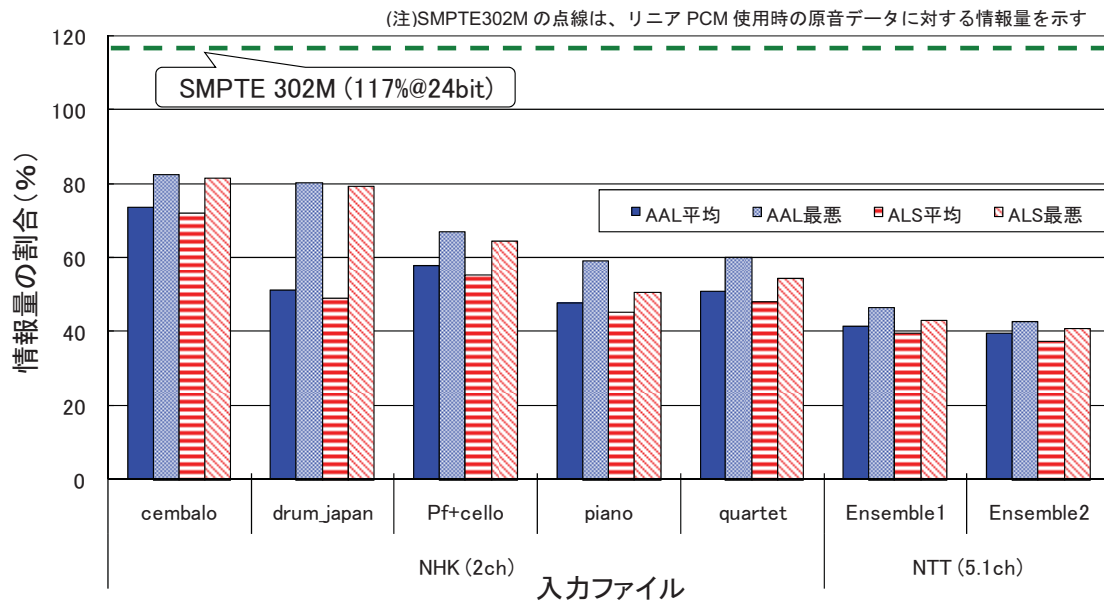


図 1(f) 独自音源 (96kHz)

(3) 一音源内でのフレーム毎の圧縮性能比較

今回測定した音源のうち、典型例として2例 (SONY 音源：室内楽、NHK 音源：和太鼓) について、音声フレーム毎の圧縮性能を以下にグラフで示す。

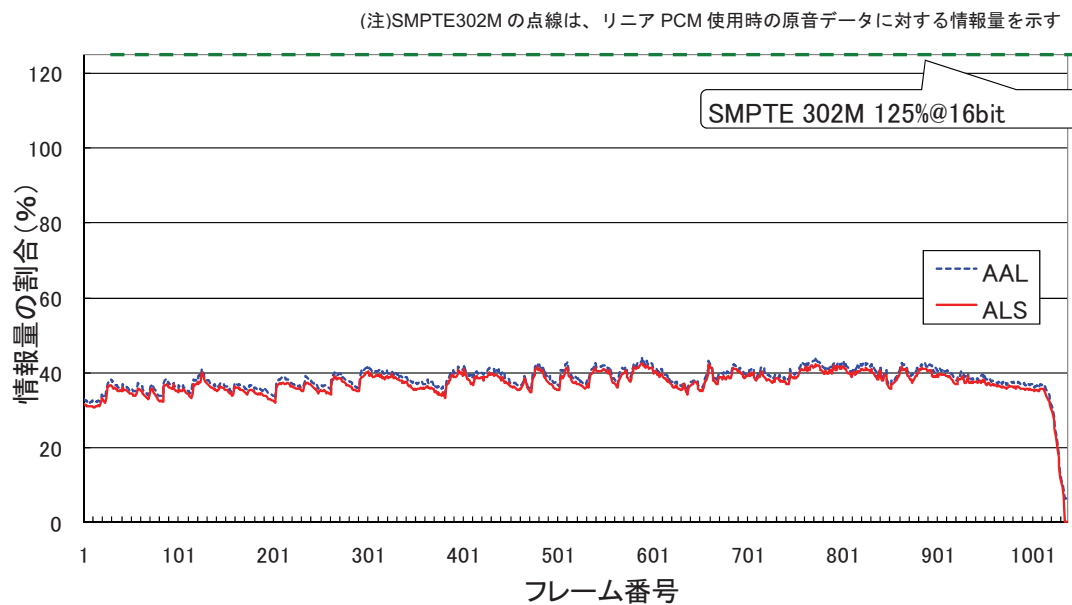


図 2(a) フレーム毎の圧縮性能 (室内楽：48kHz、16bit、2ch)

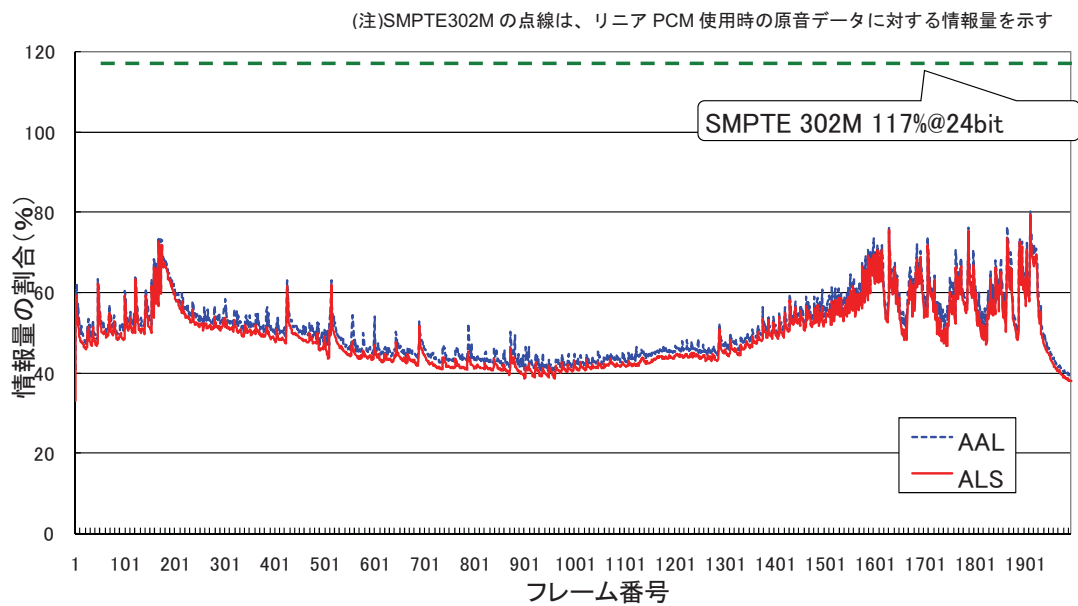


図 2(b) フレーム毎の圧縮性能 (和太鼓 : 96kHz、24bit、2ch)

## ロスレス音声符号化・TS 生成実証実験報告

### ○目的

ARIB 音声符号化作業班において、ロスレス音声符号化方式である MPEG-4 ALS 符号化および AAL for broadcasting で音声信号をロスレス圧縮し、MPEG-2 システム準拠の TS を生成できることを確認する。MPEG-4 ALS の詳細は付録 1、AAL for broadcasting の詳細は付録 2 を参照。

### ○実施日

平成 20 年 6 月 13 日

### ○参加者

浦野（音声符号化方式作業班主任、日本テレビ）、ソニー、NTT、NHK

### ○実験場所

ARIB 会議室

### ○実験項目

#### ① MPEG-4 ALS で符号化されたビットストリームを含む TS の生成

MPEG-4 ALS で圧縮されたビットストリームによる MPEG-2 TS の生成が可能であることを下記により確認した。

- TS 用のエディタでストリーム内容確認
- 専用ソフトウェアでリアルタイム多重分離、復号、再生

#### ② AAL for broadcasting で符号化されたビットストリームを含む TS の生成

AAL for broadcasting で圧縮されたビットストリームによる MPEG-2 TS の生成が可能であることを下記により確認した。

- TS 用のエディタでストリーム内容確認
- 専用ソフトウェアでリアルタイム多重分離、復号、再生

### ○TS 作成付帯デモンストレーション（MPEG-4 ALS のみ、付録 3 参照）

- ロスレス圧縮符号化音声と映像（H264/AVC）との TS レベルでの多重化と再生
- 音声を優先した映像との統合ビットレート制御による TS レベルでの多重化と再生

### ○まとめ

ロスレス音声符号化方式による圧縮ビットストリームにより MPEG-2 システム準拠の TS

の生成を確認した。また付帯デモンストレーションにより、音声のロスレス符号化の有効利用についての議論の具体化が喚起された。

## 付録1 MPEG-4 ALS で符号化されたビットストリームを含む TS の生成実験

### ○目的

MPEG-4 ALS 符号化で圧縮し、圧縮ビットストリームにより MPEG-2 システム準拠の TS を生成できることを確認する。

### ○符号化パラメータ

フレームサイズ： 8008 サンプル/フレーム

線形予測次数最大 15 次、ブロック分割最大 3 段、LTP、MCC/JS

### ○実験結果

本実験では、まず 5 種類の音声信号（いずれも 48kHz, 24bit, 5.1ch）について ALS 圧縮性能を事前に測定した。その後、各音声信号における最悪ビットレートを固定的に割り当てて、TS を作成した。実験に用いた音声信号の ALS 圧縮性能を表に示す。

表 実験に用いた 5.1 マルチチャンネル音声信号の MPEG-4 ALS 圧縮性能

音声入力信号	PCM	再生時間	平均	最悪※	標準
サラウンド収録	レート	[sec]	[Mbps]	[Mbps]	偏差
48kHz/24bit/5.1ch	[Mbps]				
1   スポーツ (相撲)	6.912	326.5	3.939	4.614	0.373
2   オーディオドラマ (「浅間」)		354.8	3.815	5.120	0.489
3   音楽インドラマ (ジャズ)		271.1	4.304	5.159	0.579
4   音楽 (パイプオルガン)		571.3	4.026	4.628	0.322
5   音楽インドラマ (ドラマ音楽)		258.3	3.688	5.101	0.927

※最悪レートは 8008 サンプル/フレーム×3 フレーム(約 500ms)を単位とした時の最悪値

作成した MPEG-2 TS の妥当性は、机上およびエンコーダ・多重化ツールの出力ログ、TS エディタによる内容の分析により確認した。さらに上記生成された TS を、PC を用いてソフトウェアによりリアルタイムで多重分離し、再生可能であることで TS の妥当性を確認した。

### ○まとめ

MPEG-4ALS 符号化方式で音声信号をロスレス圧縮し、MPEG-2 システム準拠の TS を生成し、机上およびエンコーダ・MUX ツールの出力したログおよび TS エディタによる内容確認によって TS の妥当性の検証と、PC を用いた TS のリアルタイムに多重分離再生する実験により、MPEG-4 ALS を用いた TS の生成を確認した。

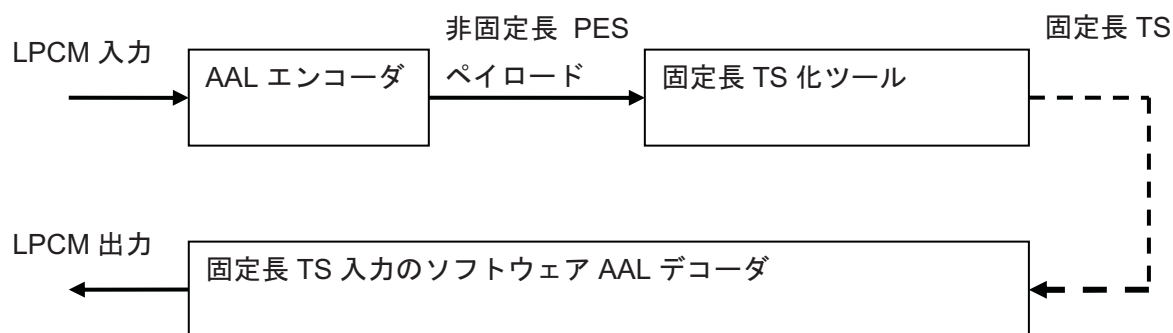
## 付録2 ATRAC Advanced Lossless for Broadcasting の TS 作成実験

### ○目的

高度衛星デジタル放送方式のロスレス音声符号化方式の検討に関連して、ATRAC Advanced Lossless for Broadcasting 符号化方式で音声信号をロスレス圧縮し、MPEG-2 システム準拠の TS を生成できることを確認する。

### ○実験概要

ソフトウェア AAL エンコーダ、固定長 TS 化ツール、固定長 TS 入力のソフトウェア AAL デコーダを用いて TS の生成・復号・再生を模擬する。これにより、エンコーダ入力とデコーダ出力の一致検証を行い、ロスレスで復号できていることを確認する。このとき、エンコーダ入力をプリスキャンして最悪フレームサイズを算出しておき、この最悪フレームサイズに基づき固定長 TS 化に必要な NULL パケットを挿入して固定レート化を実現する。



### ○符号化器

#### 概要

- AAL (2ch)
- デコーダの音声遅延用バッファ量 約 42.67msec に設定

### ○実験に用いた音源

- 48 kHz, 16 bit, 2ch の音楽信号



○参考：実験に用いた2チャンネル音声信号のAALの圧縮性能

<実験方法>

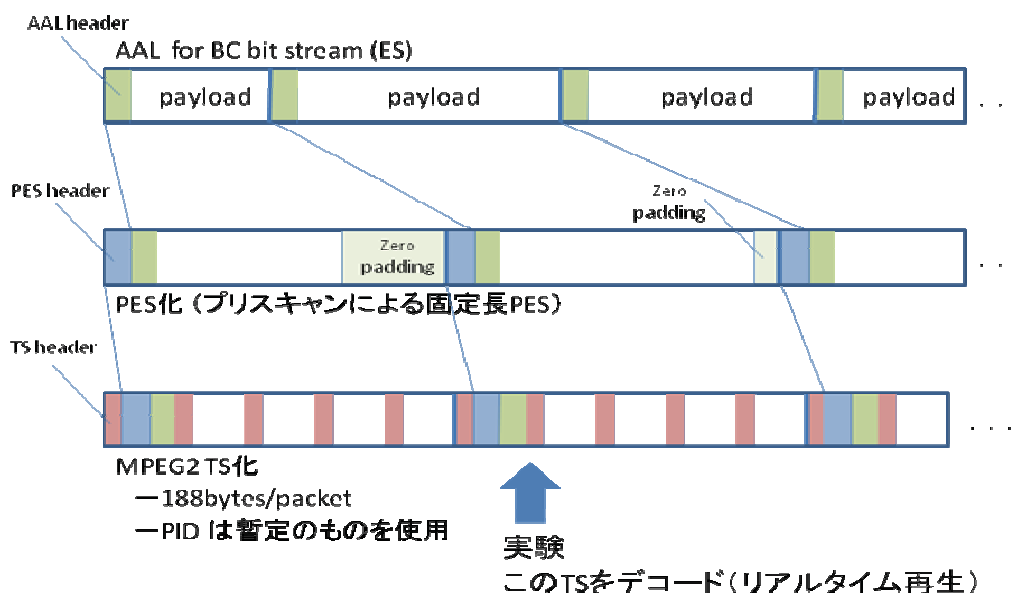
音声入力信号	48kHz/16bit/2ch
音声符号化方式	ATRAC Advanced Lossless for Broadcasting 音声符号化
符号化パラメータ	フレームサイズ 2048 サンプル/フレーム 線形予測次数最大8次
使用機器	Windows PC

<実験結果>

音声入力信号	PCM	再生時間	平均	最悪※
2チャンネルステレオ収録 48kHz/16bit/2ch	レート [Mbps]	[sec]	[Mbps]	[Mbps]
1   Sony item2	1.536	44.3	0.586	0.676
2   Sony item4		10.0	0.489	0.992

※最悪レートは2048サンプル/フレーム(約42.66ms)を単位とした時の最悪値

### AAL for Broadcasting の MPEG-2 TS による伝送



○まとめ

ATRAC Advanced Lossless for Broadcasting 符号化方式で音声信号をロスレス圧縮し、MPEG-2 システム準拠の TS を生成し、PC を用いた TS のリアルタイム再生する実験により、ATRAC Advanced Lossless for Broadcasting を用いて TS の生成が可能であることを確認した。

### 付録3 MPEG-4 ALS と AVC/H.264 映像符号化との TS 作成、多重化、再生デモンストレーション

#### ○目的

TS 作成実験に付随して、映像との多重化 TS を作成し、実時間再生した。

#### ○実施項目

- ① ロスレス圧縮符号化音声と映像 (H264/AVC) との TS レベルでの多重化と再生
- ② 音声を優先した映像との統合ビットレート制御による TS レベルでの多重化と再生

#### ○符号化・伝送パラメータ

- － TS RATE 17Mbps
- － AUDIO ES RATE 6.912Mbps－ALS 圧縮余剰<sup>注1)</sup> (MPEG-4 ALS 準拠)
- － VIDEO ES RATE<sup>注2)</sup> 8.775Mbps+ALS 圧縮余剰<sup>注1)</sup> (H.264 4:2:0 フォーマット)
- － 映像エンコード+デコードの遅延量 約 500msec に設定
- － デコーダの音声遅延用バッファ量 約 500msec に設定

注1) ALS 圧縮余剰=入力 PCM レート (6.912Mbps)－ALS 圧縮後のレート

注2) VIDEO ES RATE の数値はターゲットレート

#### ○デモに用いた音源・画像

- － 音楽信号 5 種類 (48 kHz, 24 bit, 5.1 ch)
- － ハイビジョン・システム評価用標準動画像 (1920x1080, 16:9)

#### ○デモ内容

##### ① ロスレス圧縮符号化音声と映像 (H264/AVC) との TS レベルでの多重化と再生

事前収録放送 (完パケ) を想定して、当該プログラムにおける ALS 圧縮後の最悪レートに関する情報が事前に得られたとして、最悪レート相当を音声符号化側に割り当て、残りを映像符号化側に固定的に割り当てて多重化した TS を作成する。

例えば、音声信号「4. 音楽 (パイプオルガン)」の場合では、ファイル全体の ALS 圧縮後の最悪レートが 4.628Mbps であったことから、最悪レートをもとに計算した ALS 圧縮余剰は  $6.912 - 4.628 = 2.284$ Mbps となった。これにより映像の ES レートは  $8.775$ Mbps +  $2.284$ Mbps =  $11.059$  Mbps とした。

以上の手順により、ソフトウェアにより ALS ストリーム (音声) および H.264/AVC ストリーム (映像) をオフラインエンコードし MPEG-2 TS に多重化した。さらに上記生成された TS を、PC を用いてソフトウェアによりリアルタイムで多重分離し、再生可能であることを示した。

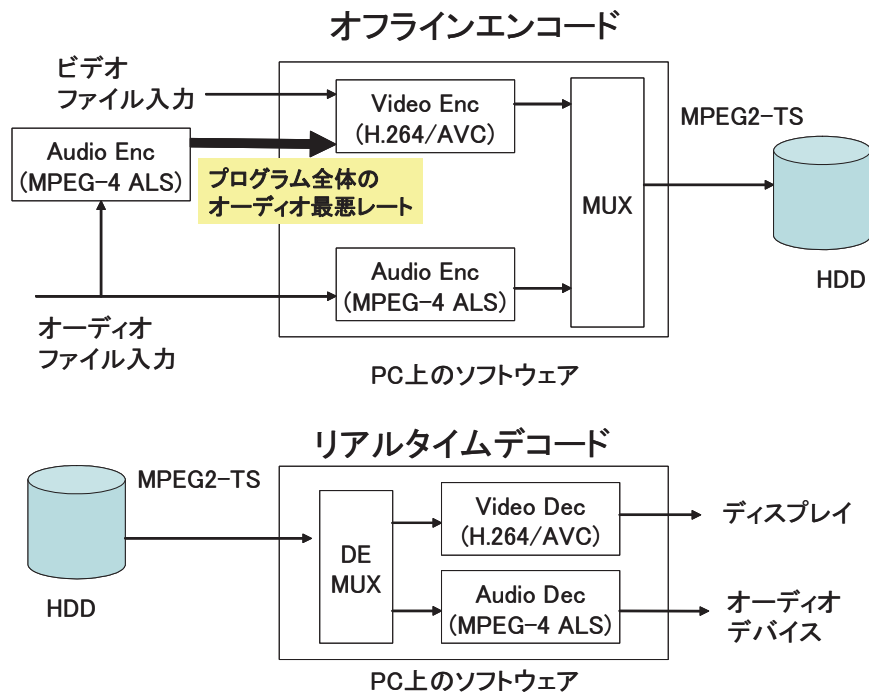


図1 デモシステム（余剰ビットレートをプログラム内固定割り当て）

② 音声を優先した映像との統合ビットレート制御による TS レベルでの多重化と再生

事前に測定した入力音声信号に対する ALS 圧縮性能のデータ（フレーム毎の圧縮率）を用いて、500ms の GOP 単位ごとに、直前の GOP での ALS 圧縮後の余剰ビットレートを映像に追加で動的に割り当てた (GOP 単位で映像のターゲットレートを制御)。これによって実効的には PCM レートから ALS 圧縮後の平均レートを差し引いた余剰ビットレート相当を映像に追加で割り当てることができる。例えば、「4. 音楽（パイプオルガン）」では、ファイル全体の ALS 圧縮後の平均レート（実測値）が 4.026Mbps であったことから、ALS 圧縮余剰は  $6.912 - 4.026 = 2.886\text{Mbps}$  であった。余剰ビットレートを映像に動的に割り当てることで、映像 ES の平均レートはおよそ  $8.775\text{Mbps} + 2.886\text{Mbps} = 11.661\text{Mbps}$  となった。

以上の手順により、ソフトウェアにより ALS ストリーム（音声）および H.264/AVC ストリーム（映像）をオフラインエンコードし MPEG-2 TS に多重化した。さらに上記生成された TS を、PC を用いてソフトウェアによりリアルタイムで多重分離し、再生可能であることを示した。

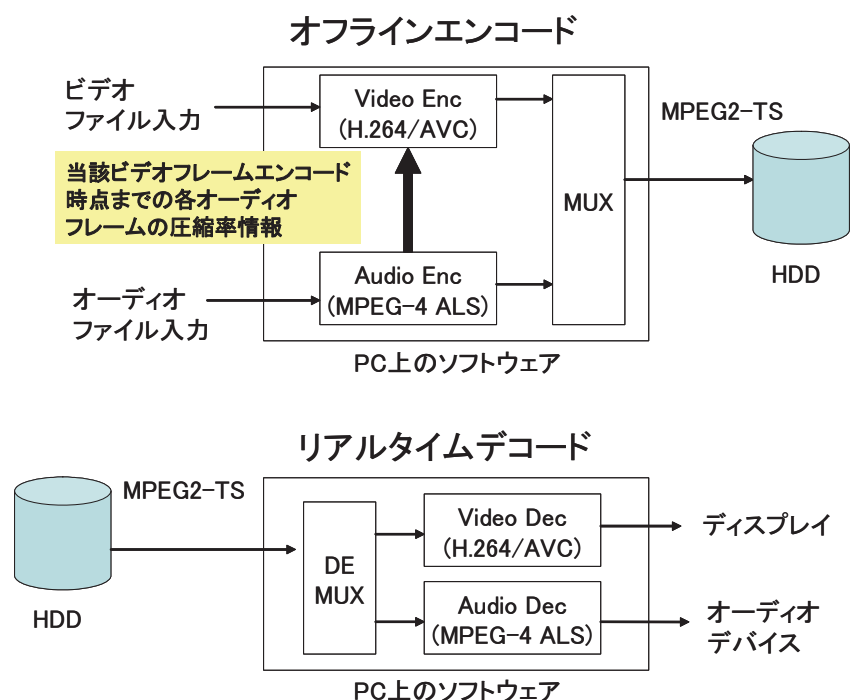


図2 デモシステム（余剰ビットレートをフレーム単位で動的割り当て）

下記の3種の条件のTSをPS3で多重分離し、映像部分だけを実時間再生した。

- (1) リニアPCM音声符号化相当（SMPTE302M, H.264/AVC 固定レート）
- (2) ①の映像への固定割り当て（MPEG-4 ALS, H.264/AVC 固定レート）
- (3) ②の映像への動的割り当て（MPEG-4 ALS, H.264/AVC 可変レート）

表1 レート割り当ての実例（※音声入力ファイル「4. 音楽（パイプオルガン）」の例）

音声 ALS のレートは実測値、映像のレートはターゲットレート

音声フォーマット (48kHz, 24bit, 5.1ch)	(1) リニアPCM相当 (SMPTE302M)	8.064 Mbps (ES レート)
	(2) MPEG-4 ALS 固定レート	4.628 Mbps <sup>※</sup> (プログラム毎の最悪レートに設定)
	(3) MPEG-4 ALS 可変レート	平均約 4.026Mbps <sup>※</sup> (6.912 - [ALS 圧縮余剰] Mbps)
映像フォーマット (1920x1080 (1080i)、 16:9)	(1) 固定レート (リニアPCM相当に対応)	7.623 Mbps (ES レート)
	(2) 固定レート (ALS 固定レートに対応)	11.059 Mbps <sup>※</sup> (音声圧縮後の余剰を割り当て)
	(3) 可変レート (ALS 可変レートに対応)	平均約 11.661 Mbps <sup>※</sup> (8.775 + [ALS 圧縮余剰] Mbps)
伝送フォーマット	MPEG-2 TS	

## データ放送の想定利用ケース

以下の利用ケースを想定し、方式策定の検討を行った。

(1) アプリケーション蓄積

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

(2) デジタルビデオレコーダ制御

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

(3) 宅内ネットワークアクセス機能

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

(4) ユーザインタフェース拡張

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

## (社)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

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

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

上記提案内容によって想定利用ケースは可能となるが、その詳細部分には検討の余地があり、相互に関連する内容もあることから、受信機全体の視点から検討を進めた。その結果、提案方式をベースに今後の検討を進めていくことで合意された。今後、要求条件の詳細を整理の上、ARIB-J 拡張の詳細について検討する予定である。

#### <ARIB-J と BML との関係>

ARIB-J ベースの高度データ放送サービスを実現するにあたり、既にデジタル放送のデータ放送で利用されている BML との関係について議論した。

高度データ放送サービスの実現方法としては、①ARIB-J アプリケーション単体での実現、②ARIB-J 上で BML を利用、③BML から ARIB-J の機能を利用、といったパターンが考えられる。審議の結果、ARIB-J と BML を共用するサービスイメージが有用と考えられることから、現時点での想定として「ARIB-J と BML を併用」する方向で今後の詳細検討を進めることとした。

#### <国際標準との整合性>

ARIB-J の拡張にあたっては、ARIB STD-B23 のコア部分である DVB-GEM (DVB Globally Executable MHP) との協調が必要となる。そのため、DVB-GEM 策定主体である DVB TM-MUG (DVB Technical Module-MHP Umbrella Group) に対し、日本での検討状況に関するリ

エゾンを実施した。今後も規格改定に際して協調すべくリエゾンを図る予定である。