

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



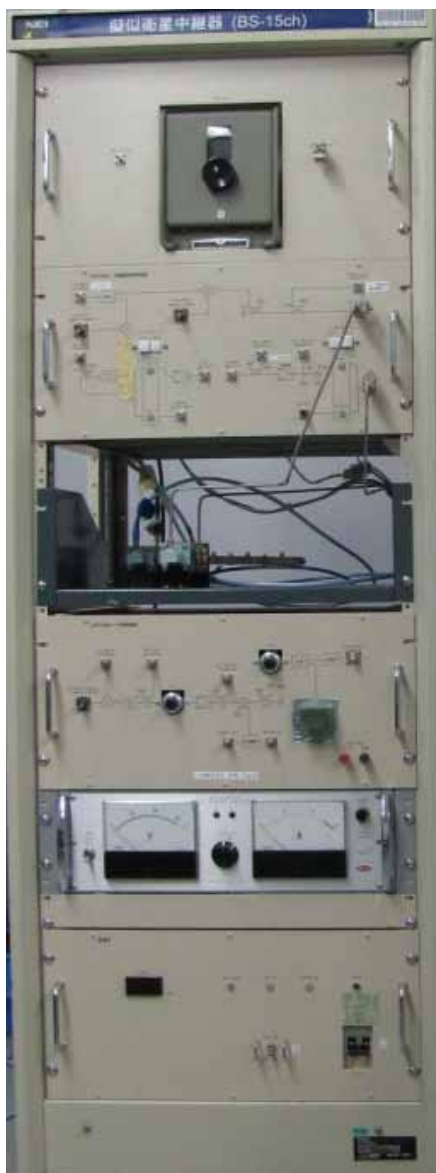
図 65 復調器

付録 3-2 擬似中継器実験

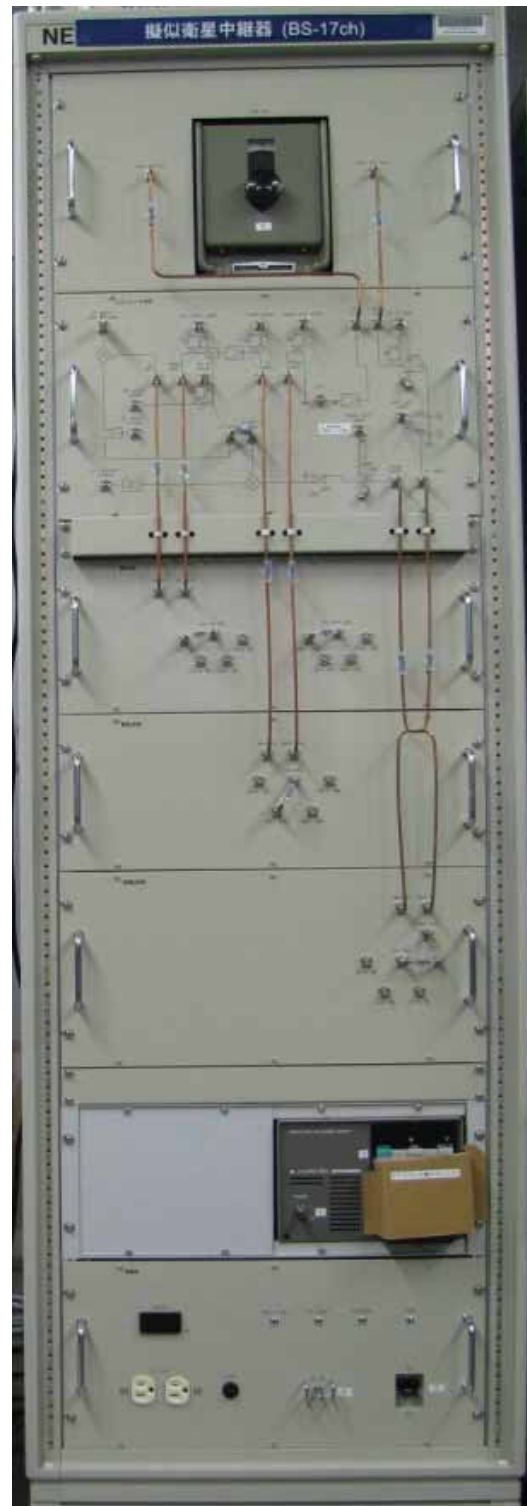
擬似中継器(BS15chおよびBS17ch)の仕様を表48に、外観を図66に、構成を図67(BS15ch)、図68(BS17ch)に示す。またBS15ch、BS17ch中継器のTWTAの特性をそれぞれ図69、図70に、IMUXフィルタの特性を図71、図72に、OMUXフィルタの特性を図73、図74に示す。C/N対誤り率特性などはBS17chを用いて測定し、BS15chは干渉波用として用いた。

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

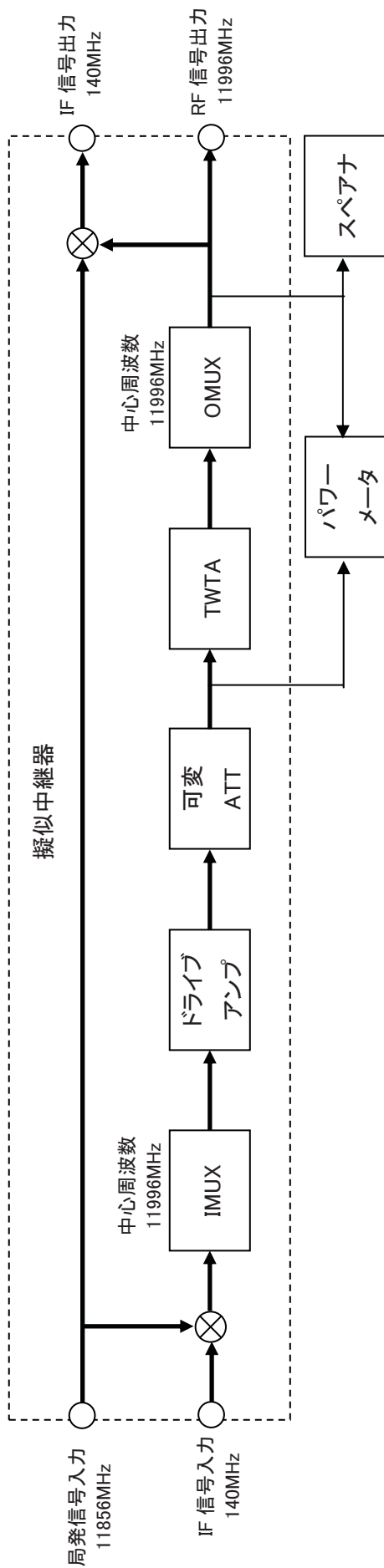


図 67 : 擬似中継器系統図 (BS15ch)

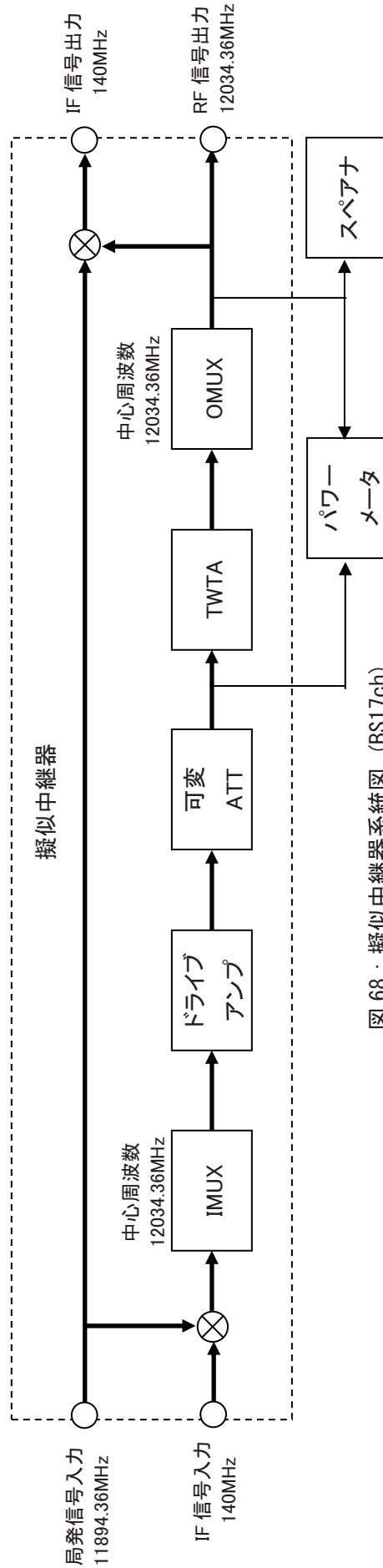


図 68 : 擬似中継器系統図 (BS17ch)

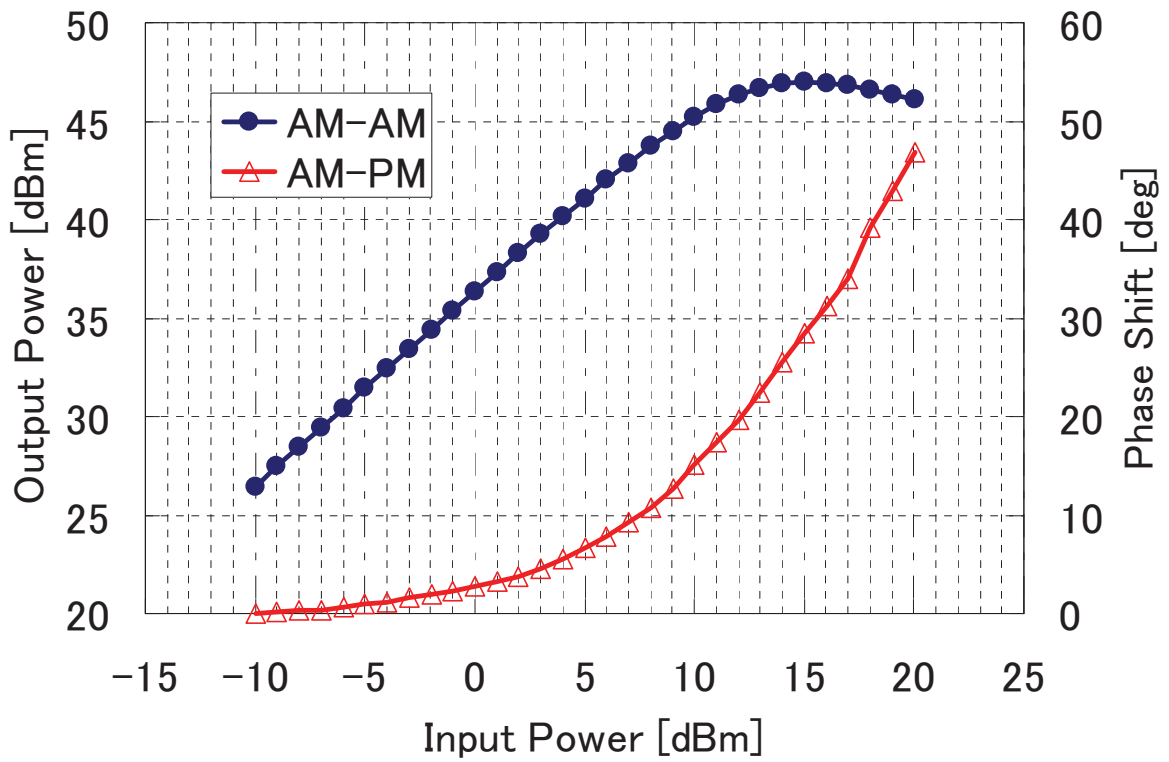


図 69 : TWTA の AM-AM および AM-PM 特性 (BS15ch)

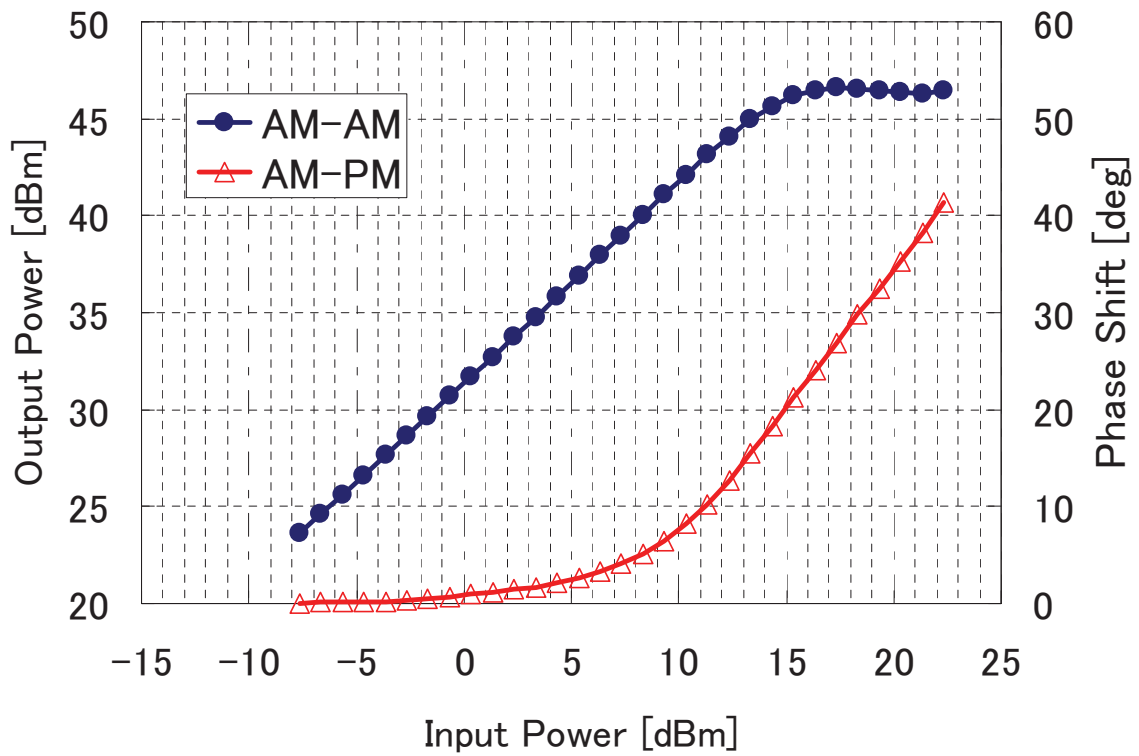


図 70 : TWTA の AM-AM および AM-PM 特性 (BS17ch)

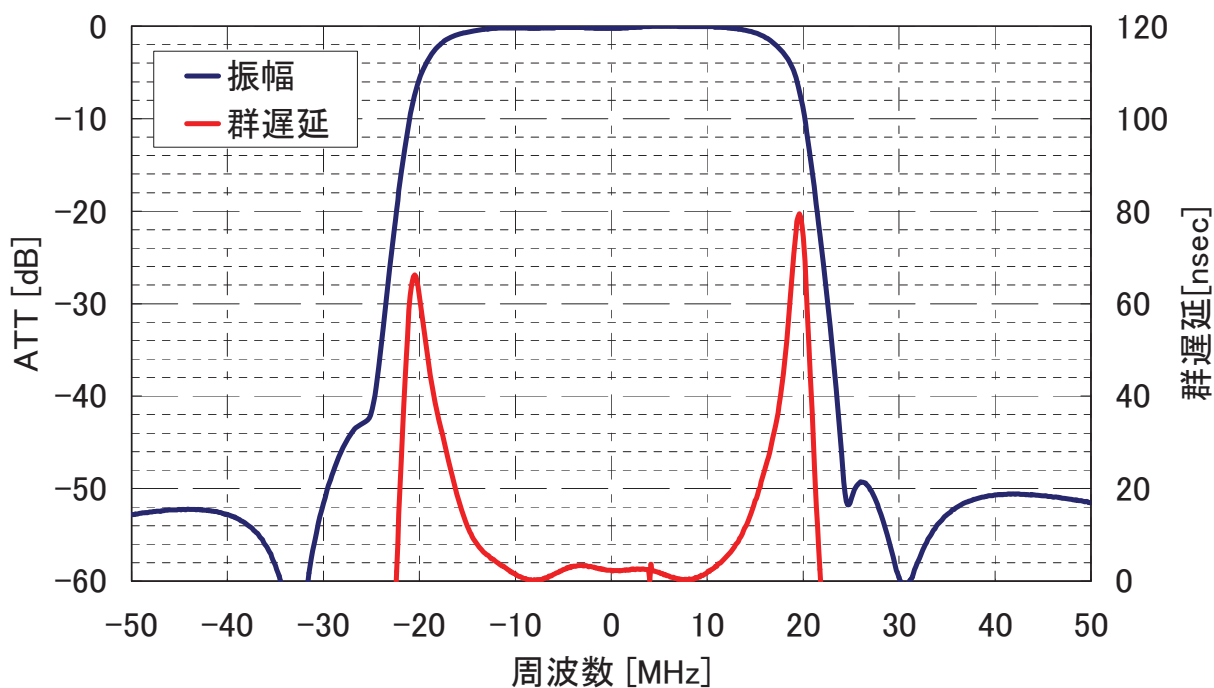


図 71 : IMUX フィルタの振幅および群遅延特性 (BS15ch)

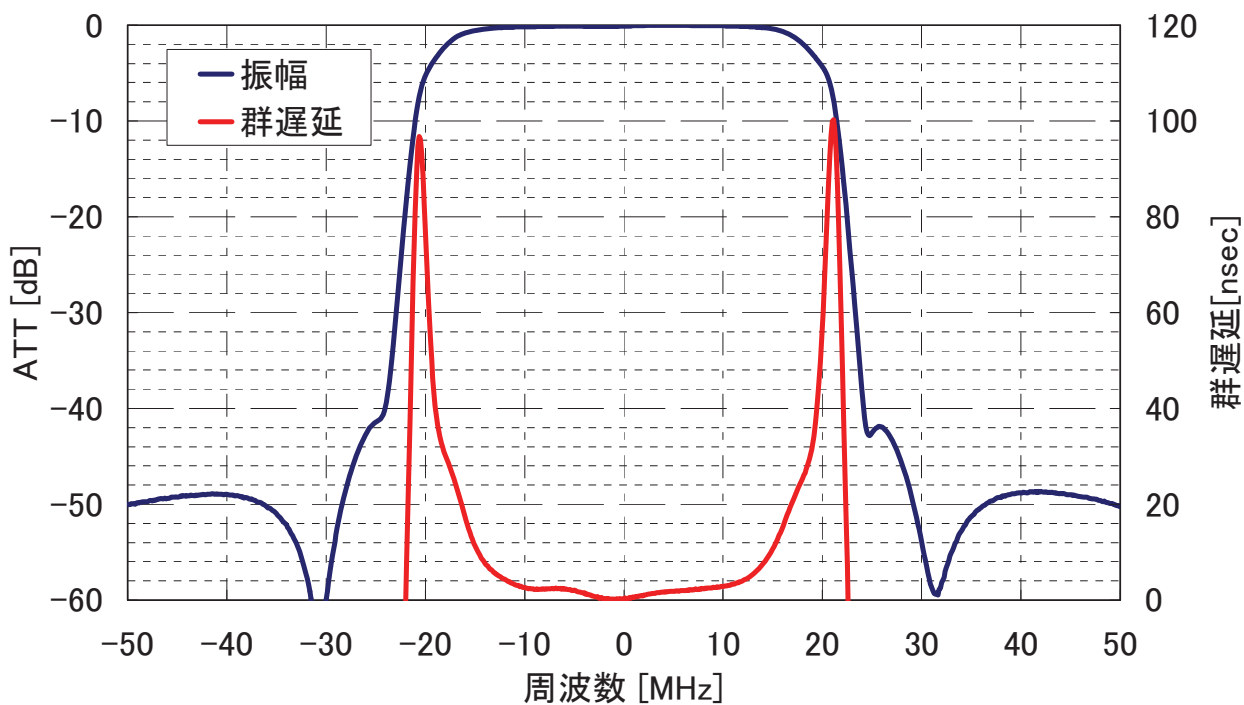


図 72 : IMUX フィルタの振幅および群遅延特性 (BS17CH)

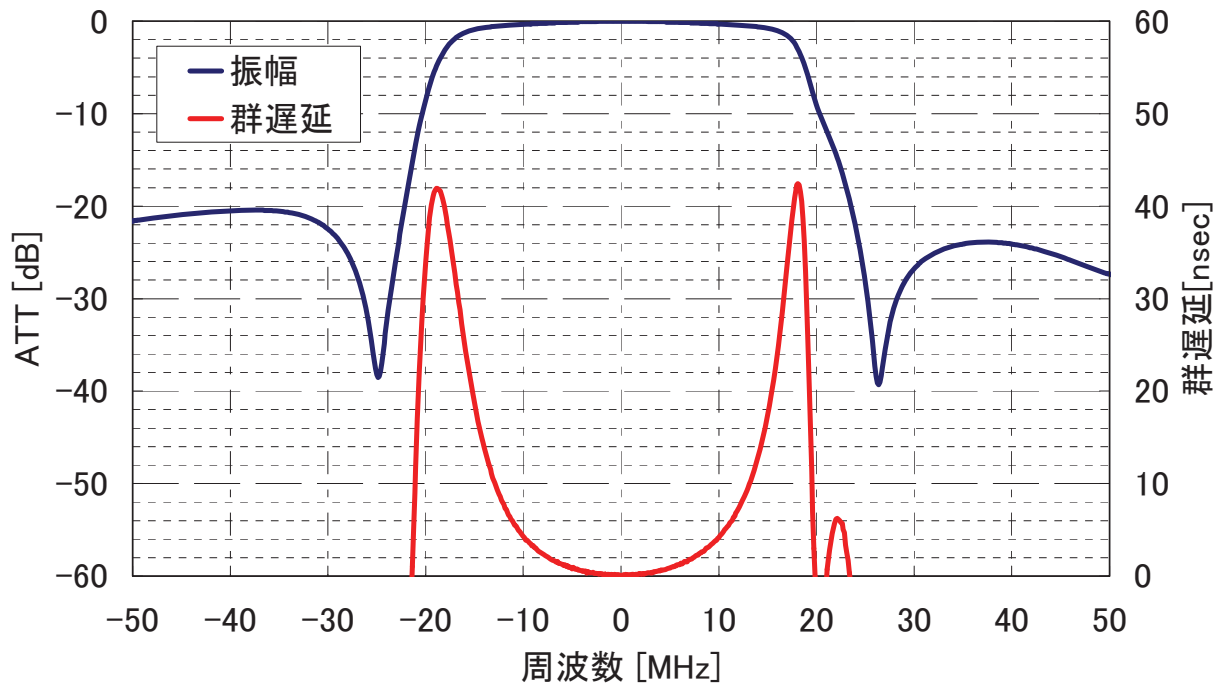


図 73 : OMUX フィルタの振幅および群遅延特性 (BS15ch)

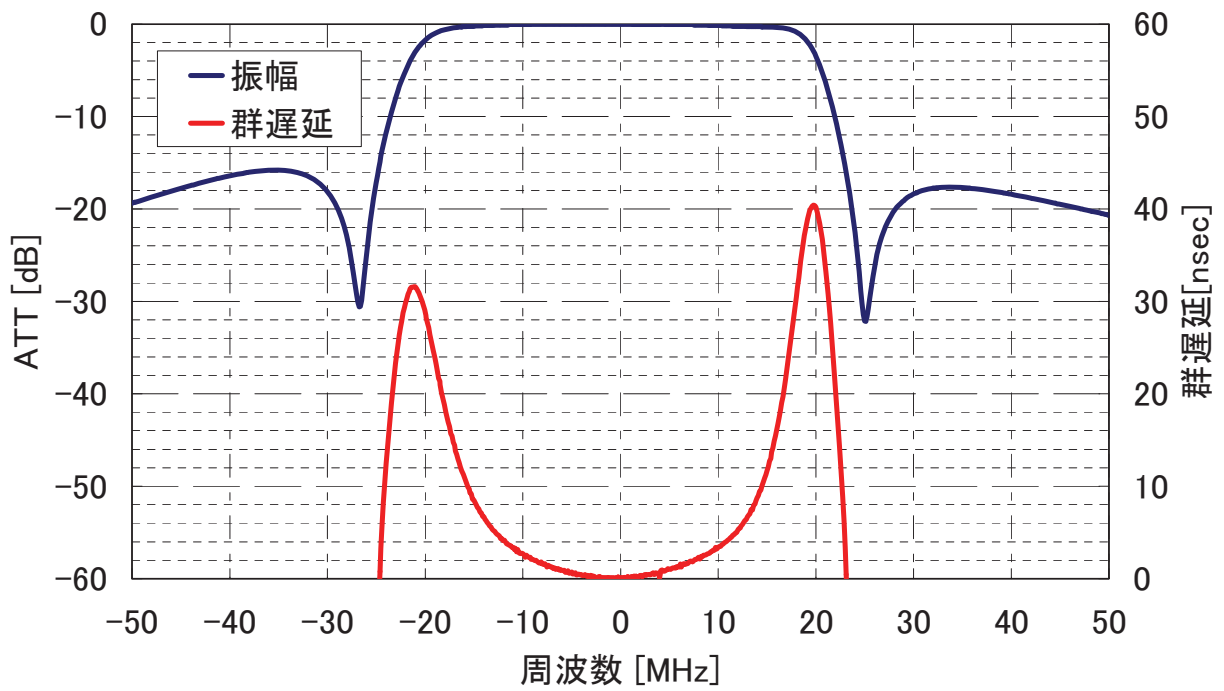


図 74 : OMUX フィルタの振幅および群遅延特性 (BS17ch)

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

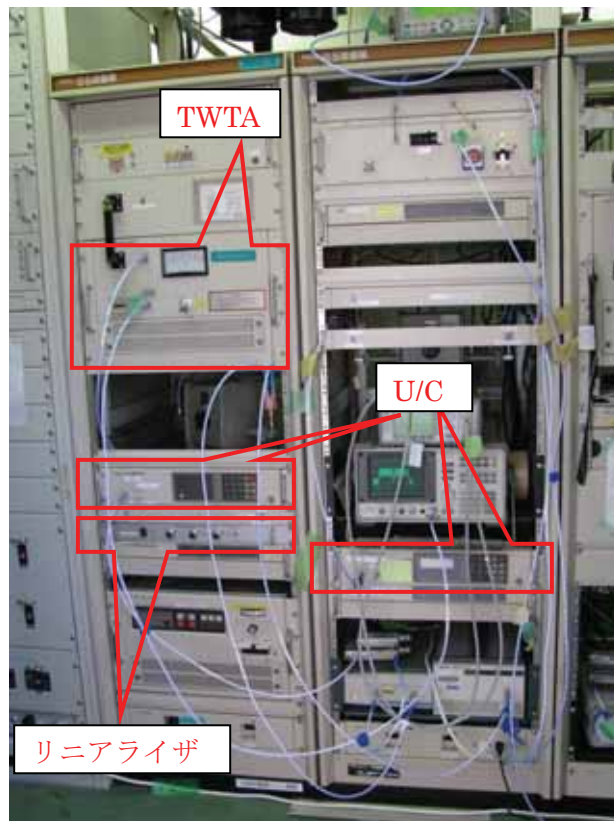


図 75 : 地球局シェルター室内外観

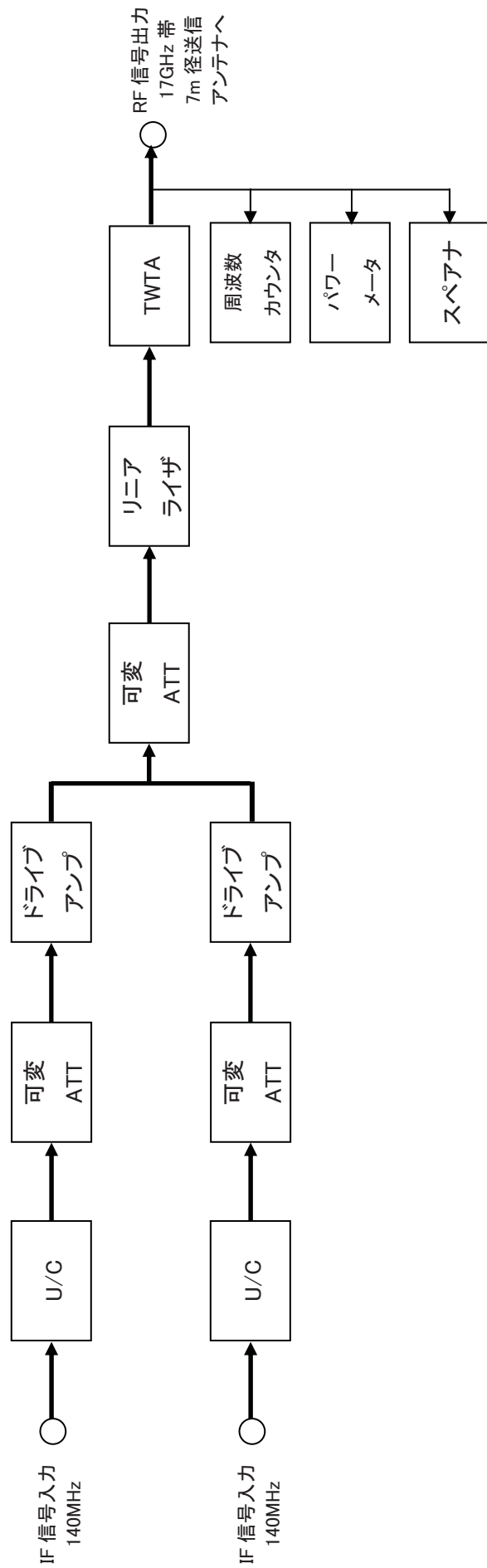


図 76 : 地球局系統図

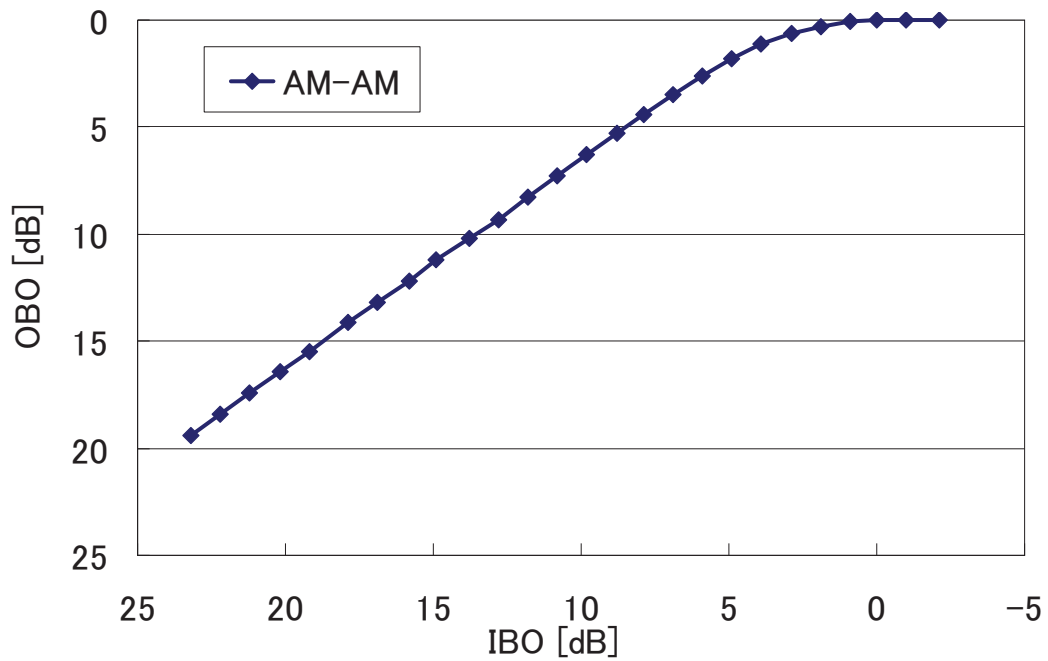


図 77 : TWTA、AM-AM 特性 (周波数 17749.44MHz (BS23ch)
リニアライザあり)

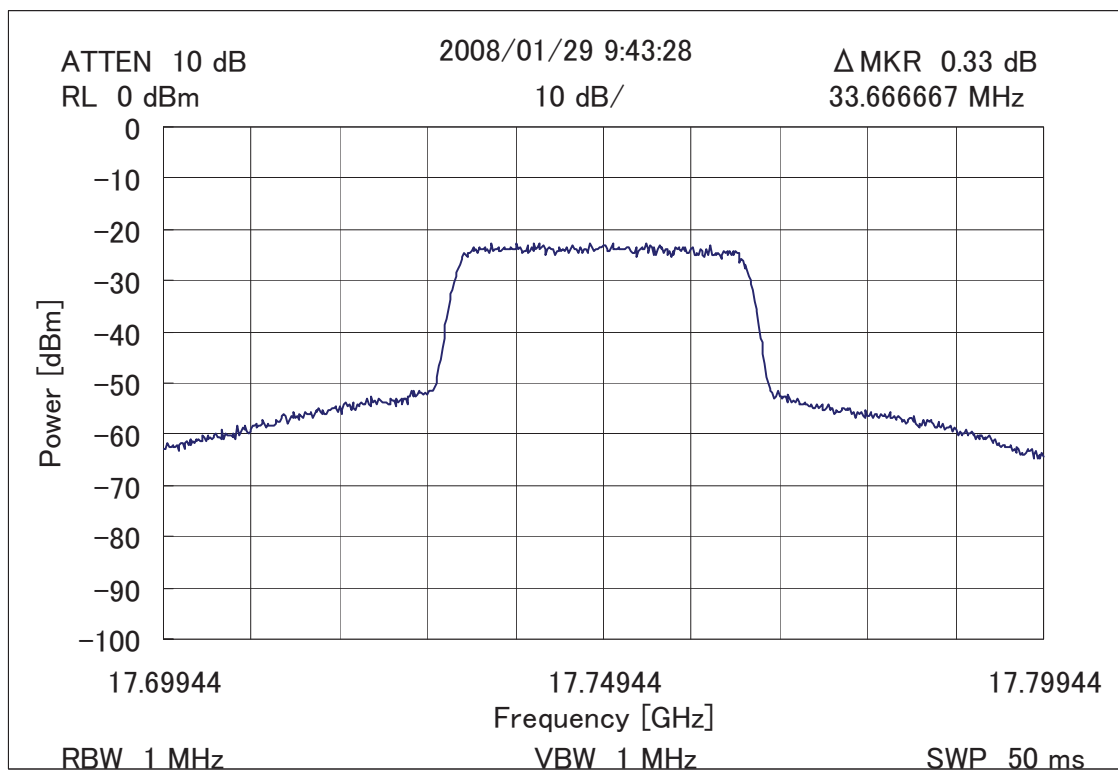


図 78 : TWTA 出カスペクトラム特性 (8PSK 3/4)
(周波数 17749.44MHz (BS23ch)、OBO 5dB、占有帯域幅 33.7MHz)

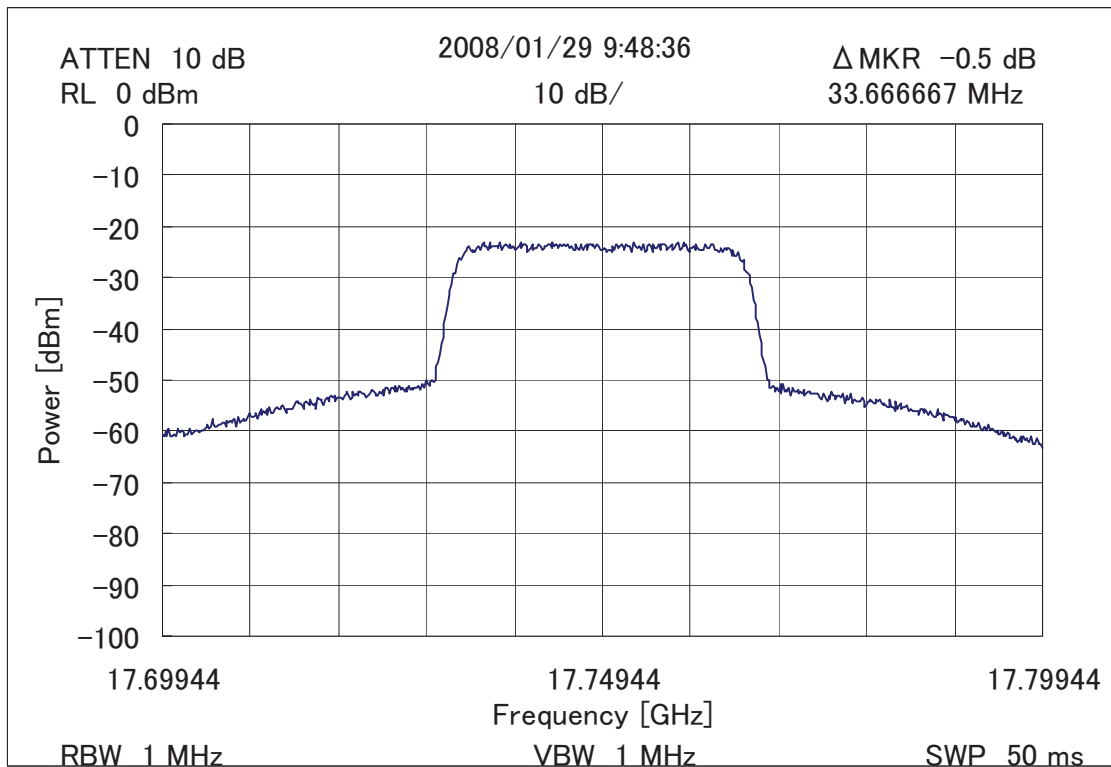


図 79 : TWTA 出カスペクトラム特性 (16APSK 3/4)
 (周波数 17749.44MHz (BS23ch)、OB0 5dB、占有帯域幅 33.7MHz)

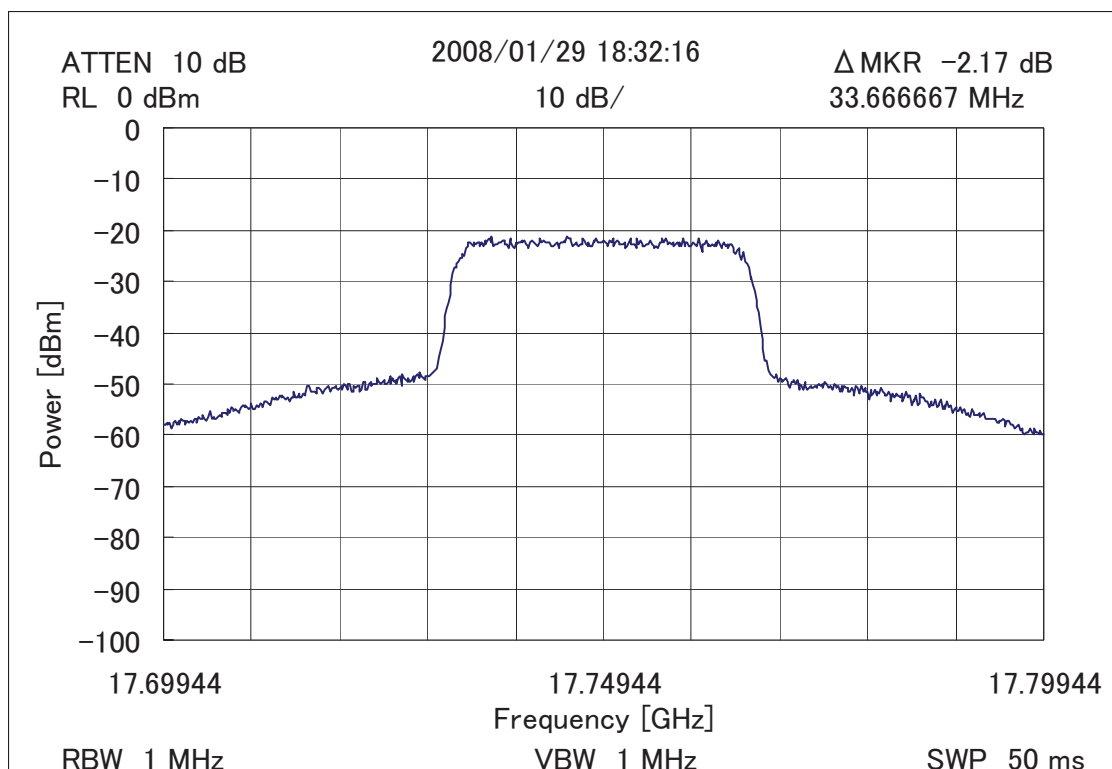


図 80 : TWTA 出カスペクトラム特性 (32APSK 4/5)
 (周波数 17749.44MHz (BS23ch)、OB0 5dB、占有帯域幅 33.7MHz)

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。

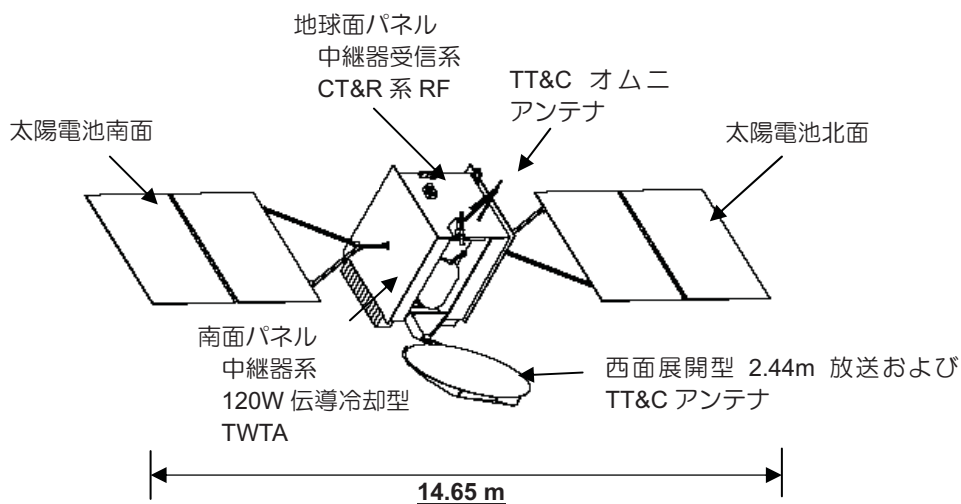
付録 3-4-1 衛星概要

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。

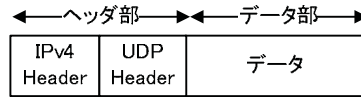


図 1 IPv4/UDP パケットの一般的構成

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。

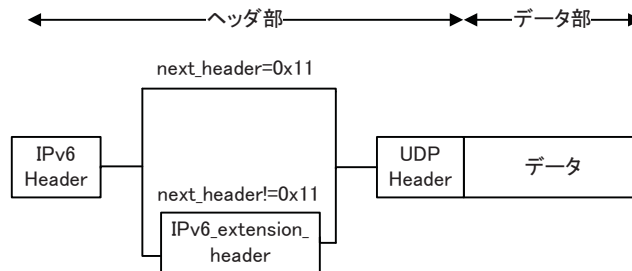


図 2 IPv6/UDP パケットの一般的構成

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^[1]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。

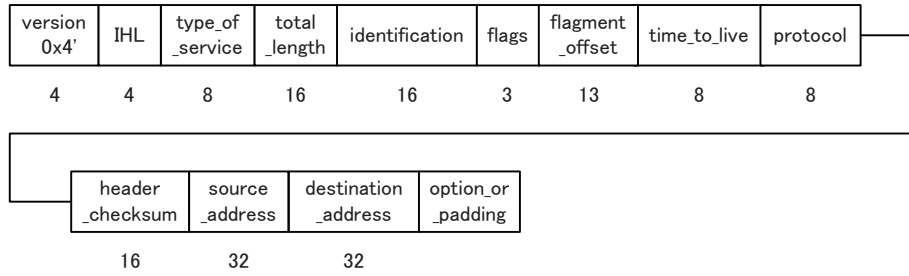


図 3 IPv4 ヘッダの一般的構成

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^[2]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^[3]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。

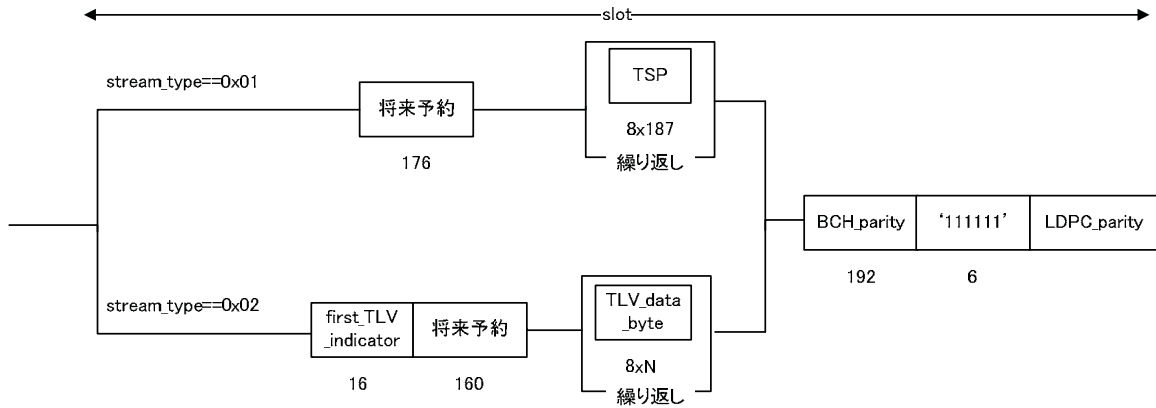


図 1 スロットの構成

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。

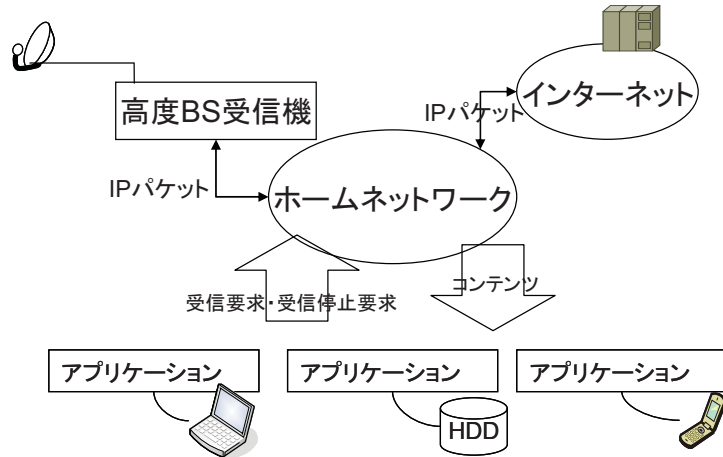


図 1 ダウンロード対応アプリケーションが高度 BS デジタル放送受信機とホームネットワーク経由で接続された形態

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。

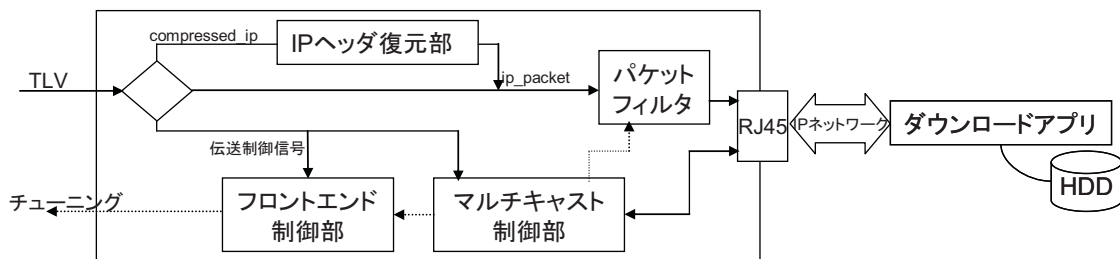


図 2 選局機能を持つ IP パケット出力アダプタの構成とネットワーク経由でのダウンロードアプリケーションの接続

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。

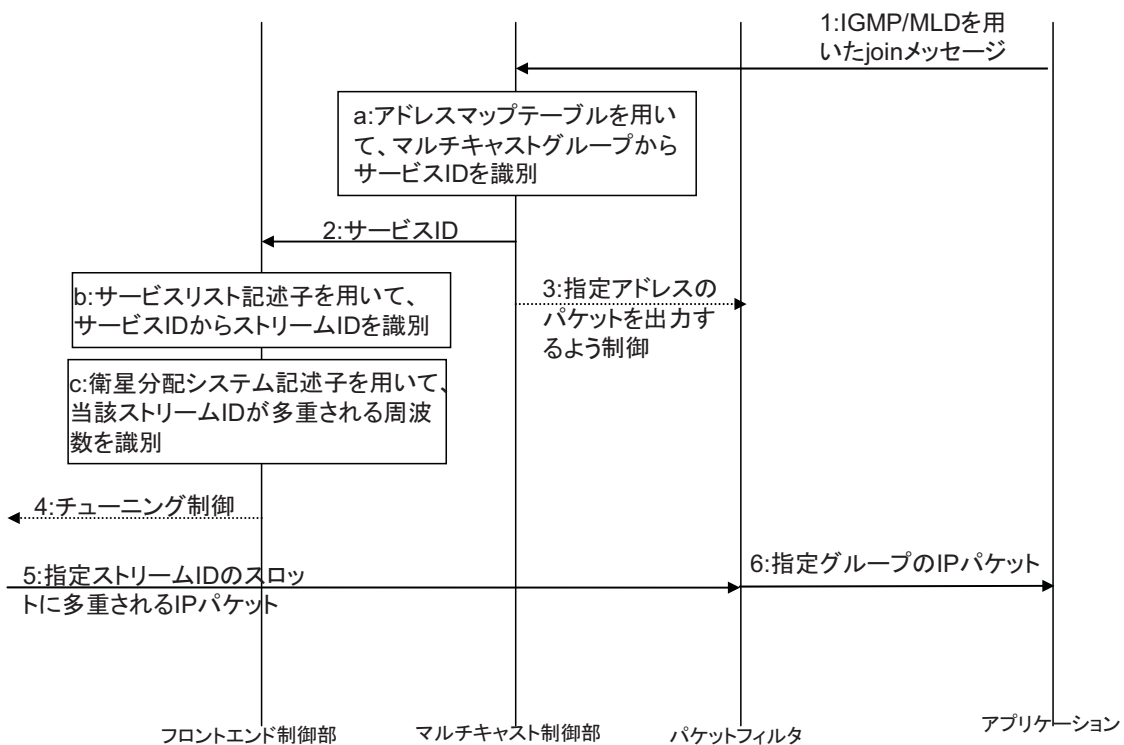


図3 IP パケット受信開始のフロー

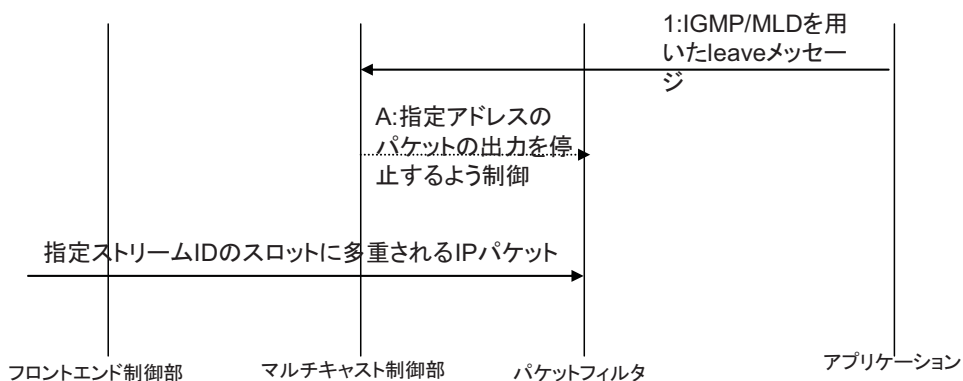


図4 IP パケット受信停止のフロー

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¹。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。

¹ 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

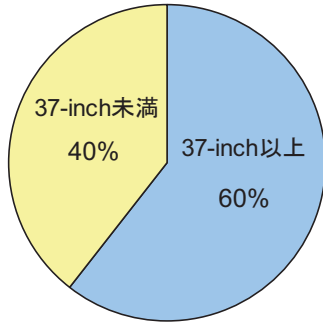
1.4 記録装置、伝送装置への利用

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。

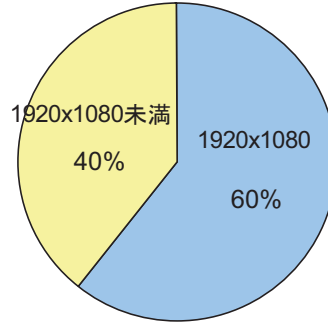
プロフェッショナル用途では、MPEG-2 から H. 264 へのトランスコーダや、イントラピクチャを用いた低遅延の記録装置、伝送装置が開発されている。

2 ディスプレイ

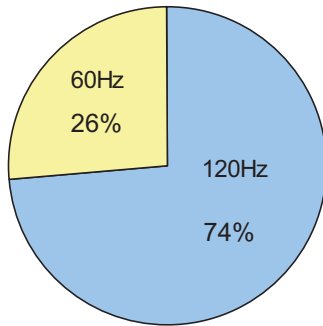
2008 年 2 月現在の家庭用液晶テレビディスプレイの動向を図 1 に示す。大画面化、高精細化、高画質化が進んでいることが分かる。さらに、4k × 2k に対応した大画面の PDP や LCD ディスプレイも発表されている。



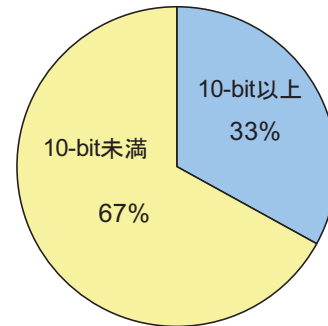
(a) 画面サイズ



(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^[1]と呼ばれる色集合があり、10 度毎 36 の色相と 16 の輝度レベルについて整理されている。図 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。

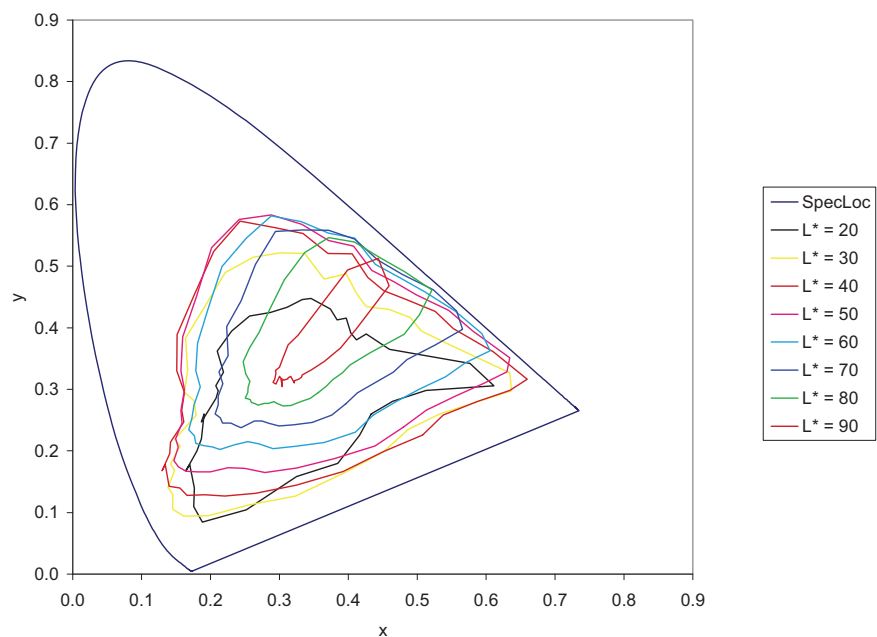
2.1.2 ノンリニア RGB 信号

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。

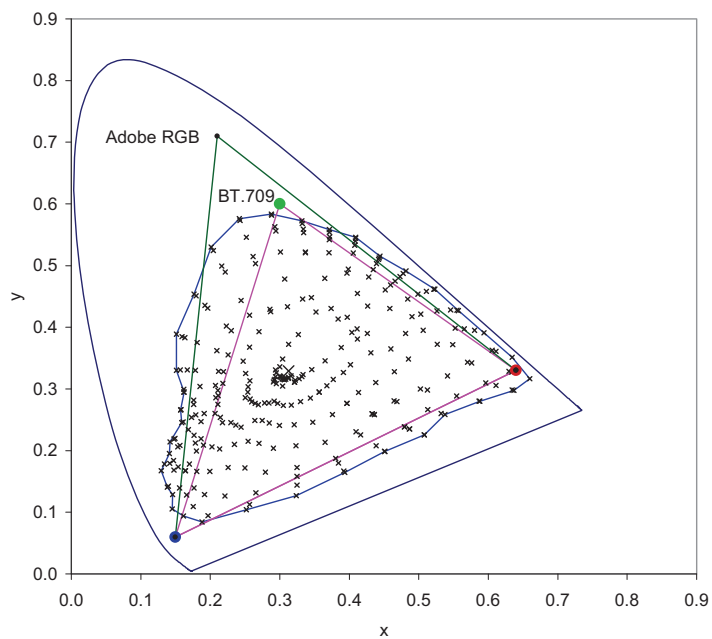
2.1.3 YCbCr 信号

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。

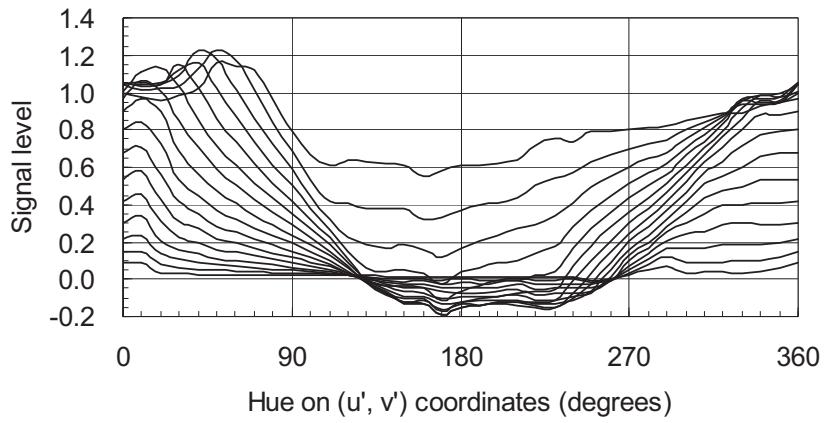


(a) 輝度レベル毎の色度

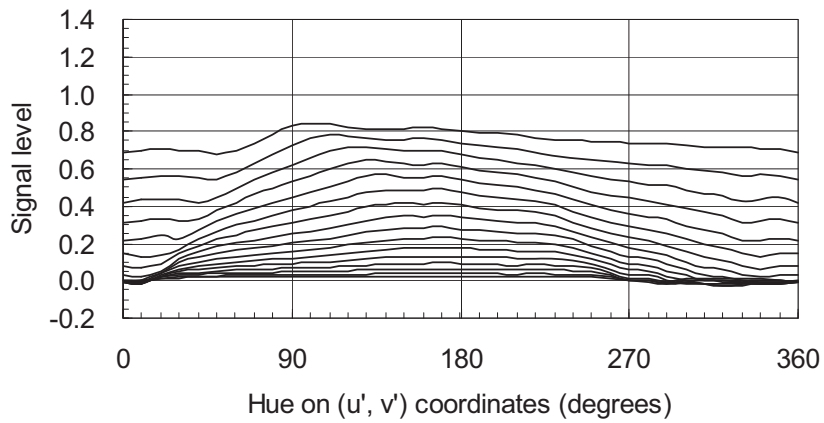


(b) Pointer colors と三原色点

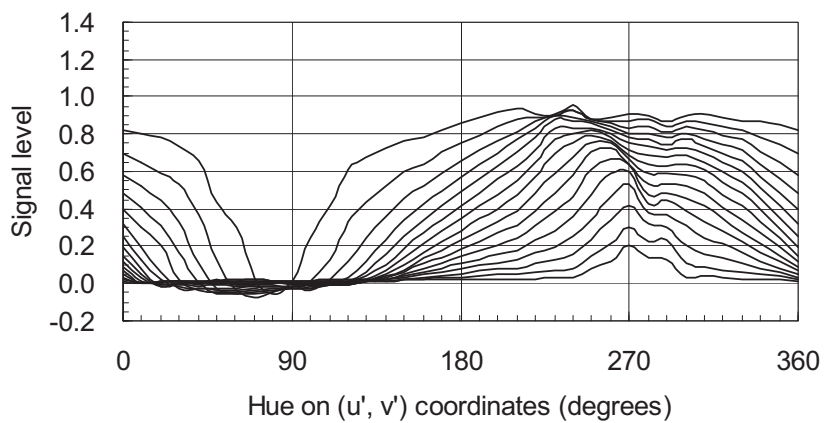
図 1 Pointer colors の色度



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

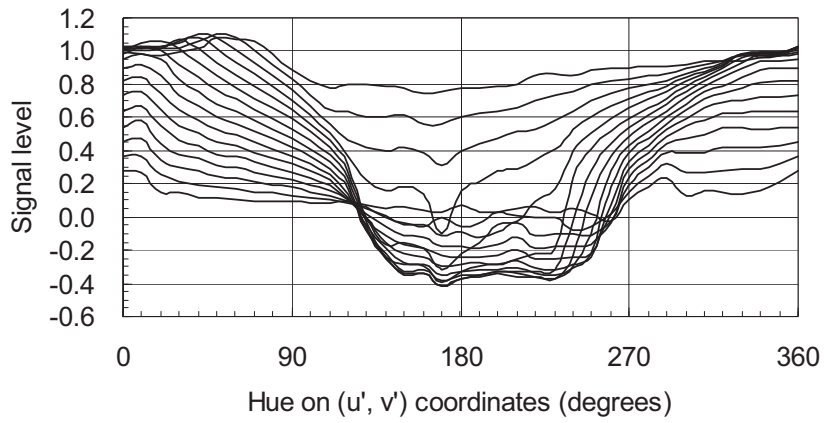


(b) G: $-0.0266 \sim 0.8437$

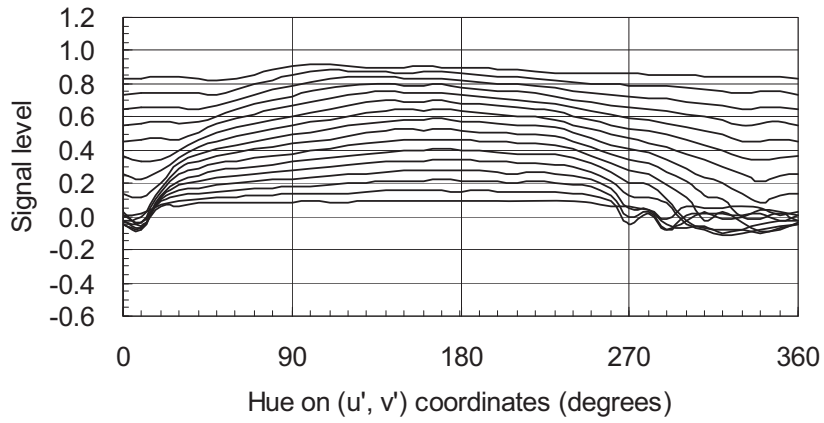


(c) B: $-0.0746 \sim 0.9528$

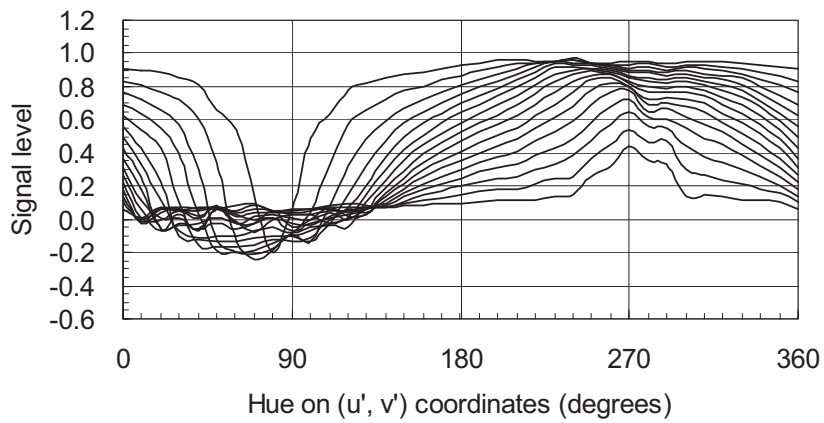
図2 Pointer colors のリニア RGB 信号レベル



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

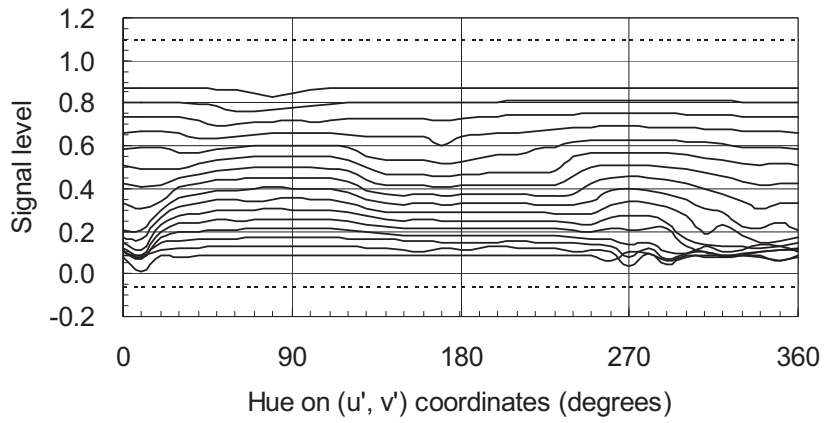


(b) G' : $-0.1160 \sim 0.9191$

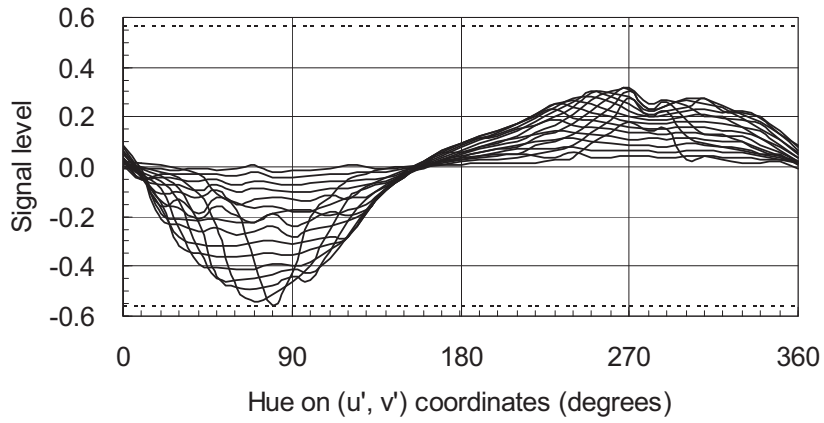


(c) B' : $-0.2428 \sim 0.9764$

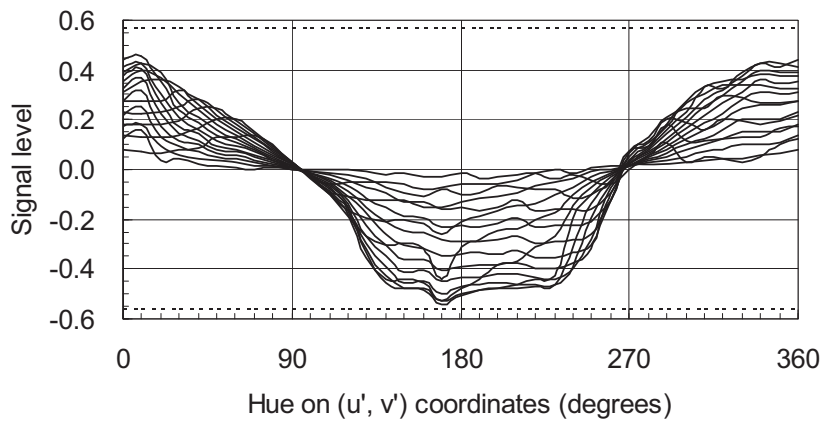
図3 Pointer colors のノンリニア RGB 信号レベル



(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。

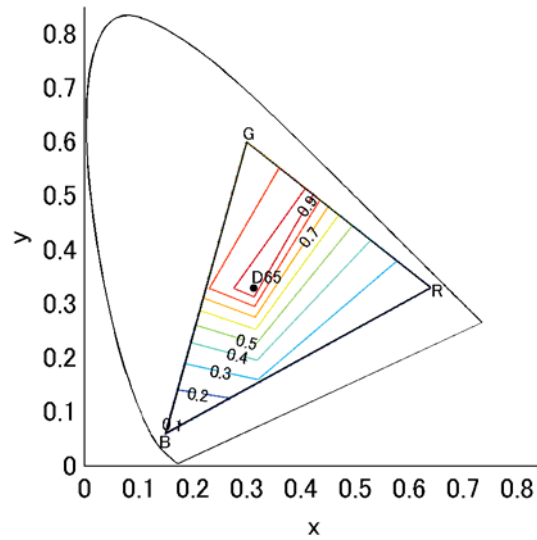


図 5 現行方式によって表現可能な色域

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。

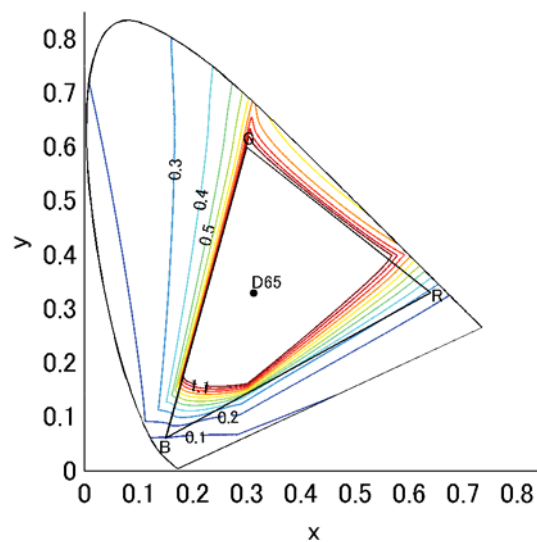


図 6 広色域方式によって表現可能な色域

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。

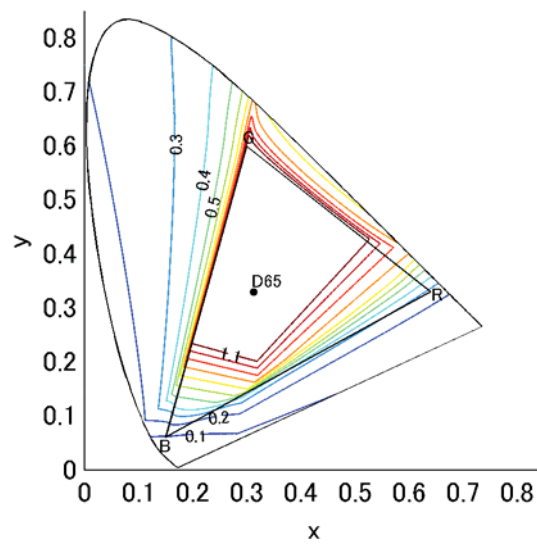


図7 広色域方式によって表現可能な色域
(レベル制限されたRGB信号からYCbCr信号を生成した場合)

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

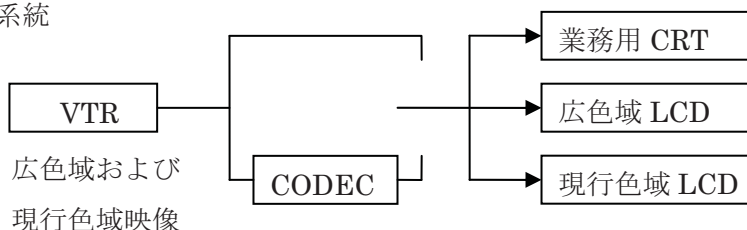


図 1 実験系統

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

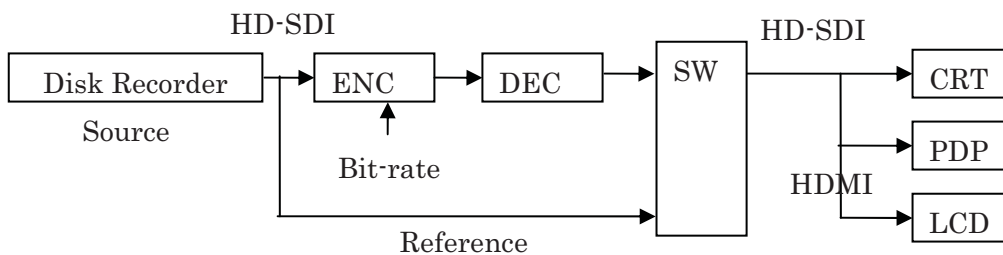


図 2 実験系統

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。

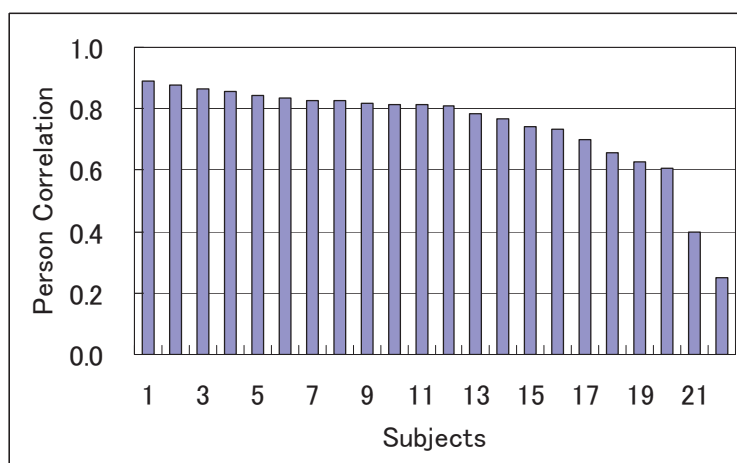


図 3 評定者全 22 名の評点と平均評点との相関

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。

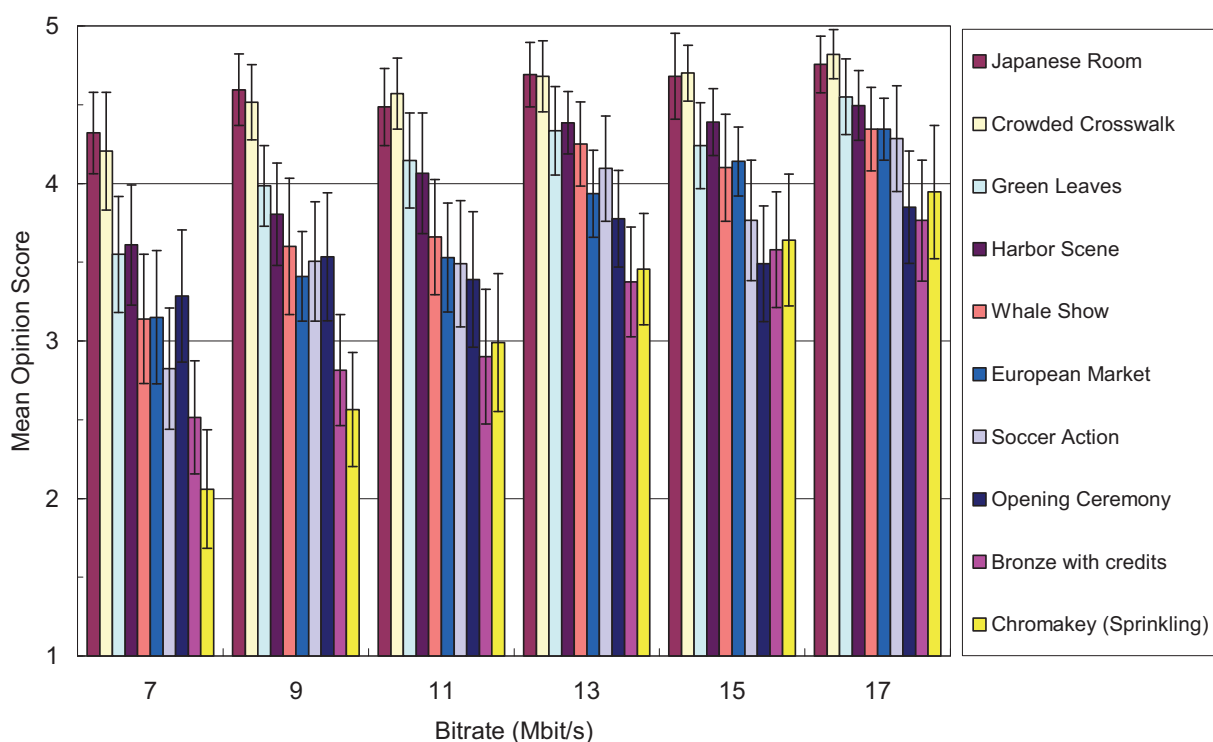


図4 評価結果

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 Japanese Room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 BronzeとSprinkling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(Sprinkling, Bronze)</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 Whale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 Opening CeremonyとSprinkling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 Green Leavesの木の葉は厳しい SoccerとSprinkling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

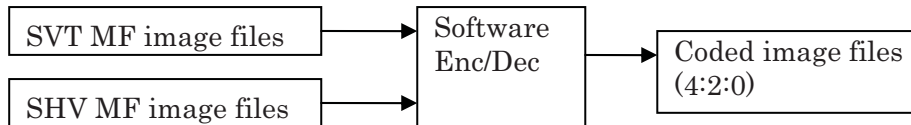
評価方法	二重刺激劣化尺度(DSIS)法、5段階劣化尺度（表 5 参照） ・ビットレート毎にまとめてシーケンスを提示し（原画像 1-10、ビットレート X の画像 1-10、ビットレート Y の画像 1-10、...）、画像毎に評価 ・ビットレートの提示順序は、評定者グループ毎に変更
観視条件	家庭での視聴と同程度の明るさ
評定者	専門家 16 人
ディスプレイ	50-inch PDP(1920×1080/60/P, I) 56-inch LCD(4320×2160/60/P)
視距離	2160/60/P：画面高さの 1.5 倍(1.5H)* 1080/60/P, 1080/60/I：画面高さ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

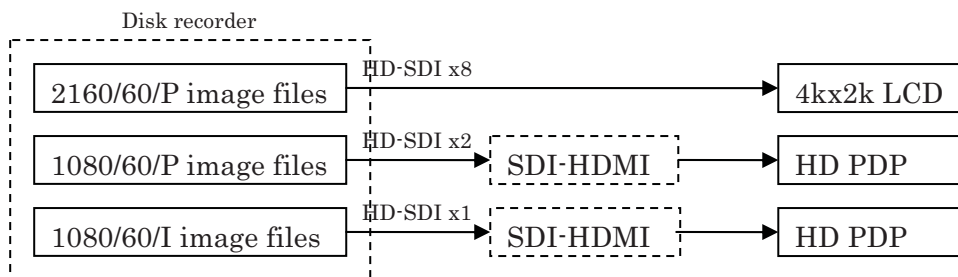


図 7 実験系統

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。

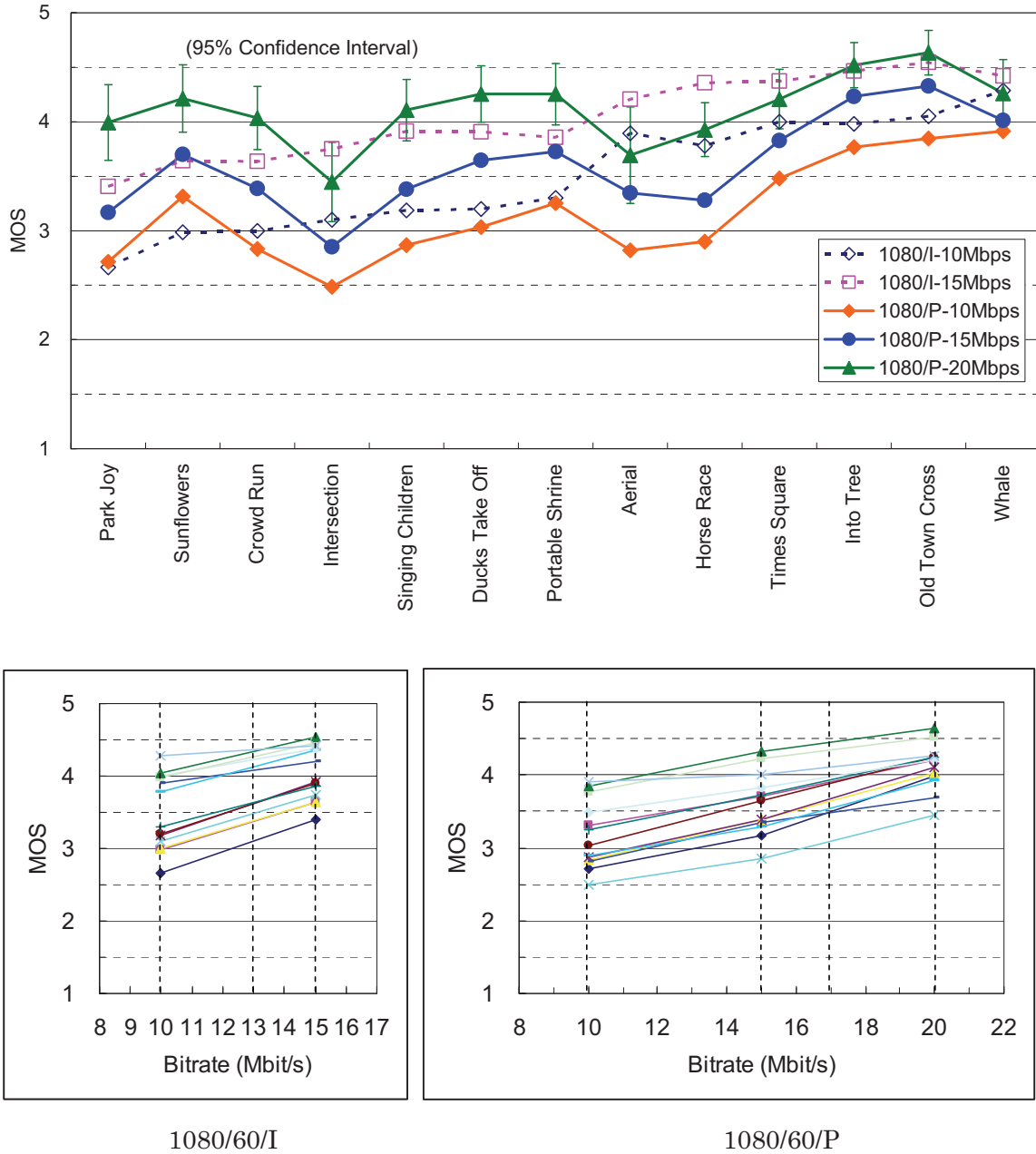


図8 1080/60/I と 1080/60/P の評価結果

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MOS3.0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

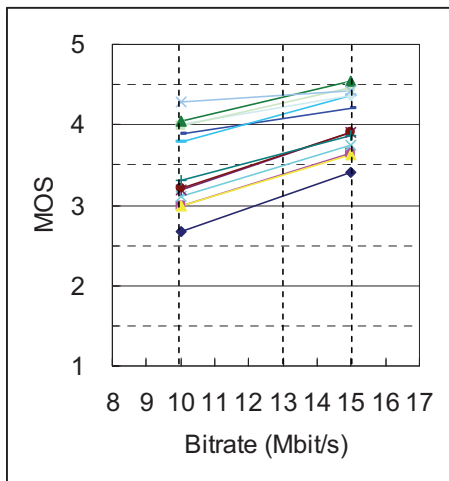
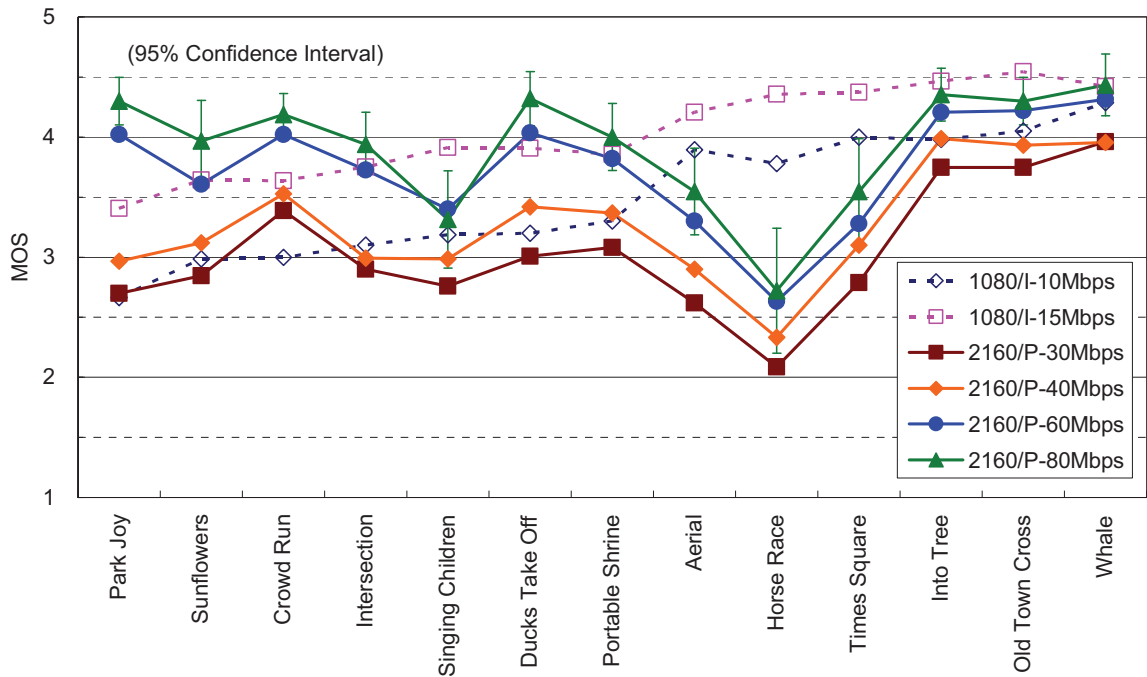
は、ハードウェアコーデックの場合の 13Mbit/s と同程度の結果であった。

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。

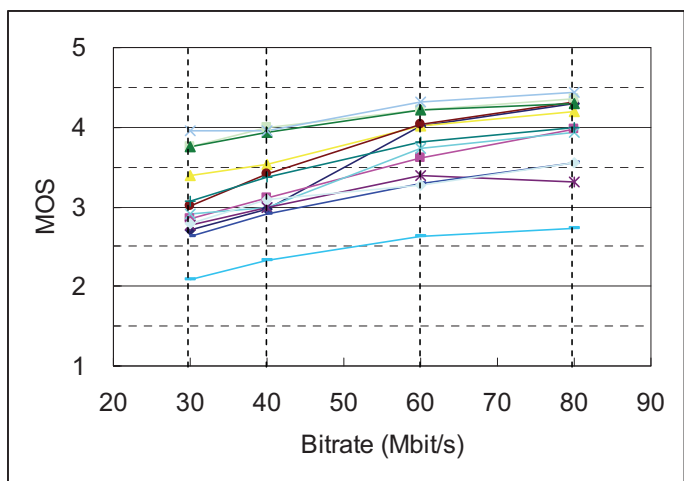
3.3.3 2160/60/P

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。

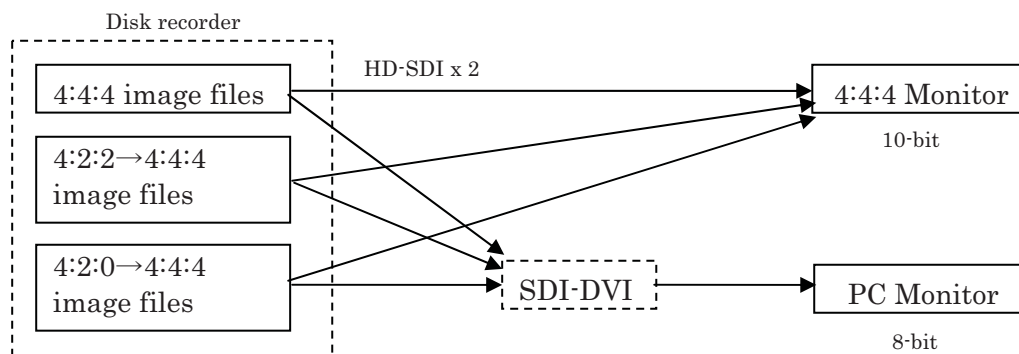
表 11 実験条件

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 (* http://www.fastvdo.com/HDData.html)
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

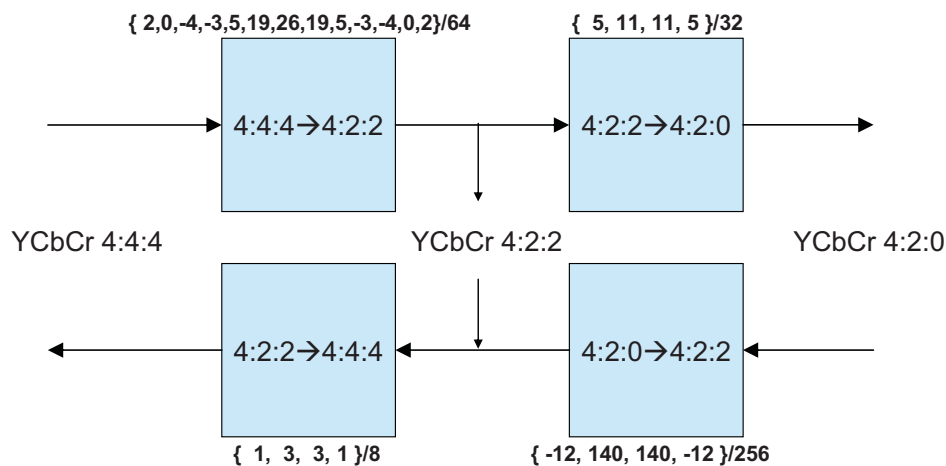


図 10 実験系統

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。

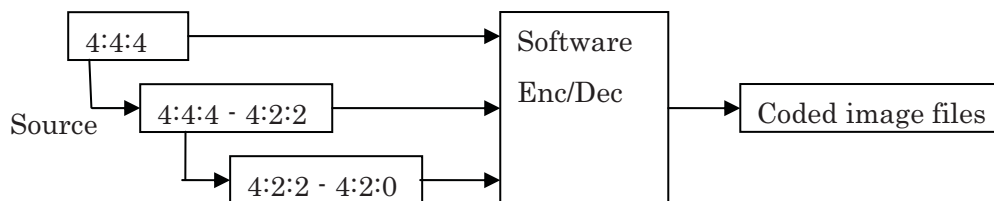
4.2.2 実験方法

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

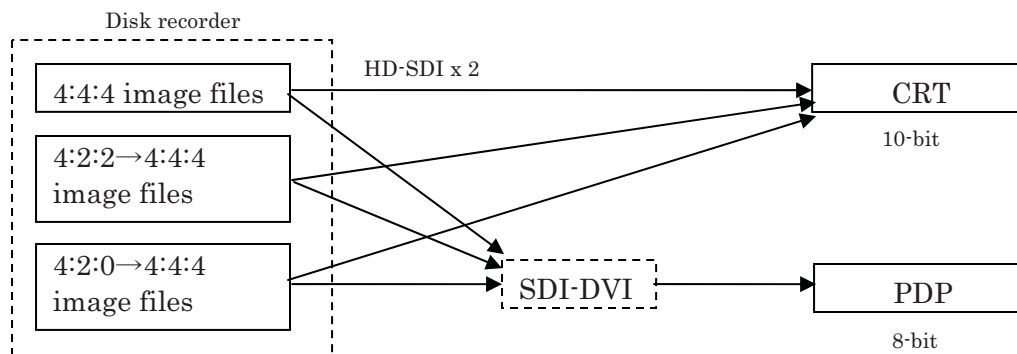


図 11 実験系統

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	<p>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ったが、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。</p>
符号化画質	<p>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。</p>

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 程度であった。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。