

# 高度衛星デジタル放送の映像符号化暫定方式案

## に関する中間報告（案）

2008年1月18日

映像符号化方式作業班

○ 暫定方式の概要

項目		内容		
映像入力フォーマット				
時空間 フォー マット	基本	1920x1080/60I		
		1920x1080/60P		
		3840x2160/60P		
	マルチサービス専用	720x480/60I		
		720x480/60P		
	実験用	7680x4320/60P		
信号形式		YCbCr		
輝度・色差信号形式		4:2:2 (TBD: 実証実験により 4:4:4 の採否を判断する)		
量子化ビット数		8, 10		
カラリ メトリ	3原色色度点		$\begin{array}{ccc} & x & y & \text{(CIE, 1931)} \\ \text{赤(R)} & 0.640 & 0.330 \\ \text{緑(G)} & 0.300 & 0.600 \\ \text{青(B)} & 0.150 & 0.060 \end{array}$	
	基準白色		$D_{65} \quad \begin{array}{cc} x & y \\ 0.3127 & 0.3290 \end{array}$	
	光電変換特性		$E' = \begin{cases} \alpha L^{0.45} - (\alpha - 1) & (\beta \leq L) \\ 4.50L & (-\beta < L < \beta) \\ -\alpha(-L)^{0.45} + (\alpha - 1) & (L \leq -\beta) \end{cases}$	
			$\alpha \text{ および } \beta \text{ は連立方程式 } \begin{cases} 4.5\beta = \alpha\beta^{0.45} - \alpha + 1 \\ 4.5 = 0.45\alpha\beta^{-0.55} \end{cases} \text{ の解}$	
			8-11 bit の場合、 $\alpha=1.099$ , $\beta=0.018$	
	輝度信号方程式		$E'_Y = 0.2126 E'_R + 0.7152 E'_G + 0.0722 E'_B$	
色差信号方程式		$E'_{CB} = \frac{E'_B - E'_Y}{1.8556} = \frac{-0.2126 E'_R - 0.7152 E'_G + 0.9278 E'_B}{1.8556}$ $E'_{CR} = \frac{E'_R - E'_Y}{1.5748} = \frac{0.7874 E'_R - 0.7152 E'_G - 0.0722 E'_B}{1.5748}$		
映像符号化方式				
準拠規格		ITU-T H.264   ISO/IEC 14496-10 (MPEG-4 AVC)		
プロファイル		High (TBD: 実証実験により High 10、High 4:2:2、High 4:4:4 の採否を判断する)		
レベル	720x480/60 I	3		
	720x480/60P	3.1		
	1920x1080/60I	4		
	1920x1080/60P	4.2		
	3840x2160/60P	TBD*	(* ITU-T H.264   ISO/IEC 14496-10 への追加規定が必要)	
	7680x4320/60P	TBD*		

## 目次

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

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

## 第1章 映像符号化方式

### 1.1 映像入力フォーマットおよび符号化方式選定の基本的な考え方

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

#### 1.1.1 映像入力フォーマット

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

表 1-1 検討対象とした映像入力フォーマット（時空間フォーマット）

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

表 1-2 検討対象とした映像入力フォーマット（信号方式）

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

表 1-3 検討対象とした映像入力フォーマット（カラリメトリ）

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

#### 1.1.2 映像符号化方式

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

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

びレベルを表 1-4 、表 1-5 に示す

表 1-4 検討対象とした MPEG-4 AVC のプロファイル

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

表 1-5 検討対象とした MPEG-4 AVC のレベル

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

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

### 1.1.3 その他

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

## 1.2 映像入力フォーマット

### 1.2.1 映像の時空間フォーマット

#### 1.2.1.1 高度衛星デジタル放送の基本映像フォーマット

高度衛星デジタル放送の基本映像フォーマットを表 1-6 に示す。

表 1-6 高度衛星デジタル放送の基本映像フォーマット

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

(理由)

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

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

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

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

#### 1.2.1.2 高度衛星デジタル放送のマルチサービス専用映像フォーマット

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

表 1-7 高度衛星デジタル放送のマルチサービス専用映像フォーマット

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

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

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

(理由)

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

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

### 1.2.1.3 高度衛星デジタル放送の実験用映像フォーマット

高度衛星デジタル放送の実験用映像フォーマットを表 1-8 に示す。

表 1-8 高度衛星デジタル放送の実験用映像フォーマット

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

(理由)

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

## 1.2.2 映像の信号方式

高度衛星デジタル放送の映像入力フォーマットの信号方式を表 1-9 に示す。

表 1-9 映像入力フォーマットの信号方式

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

(理由)

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

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

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

## 1.2.3 カラリメトリ

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

表 1-10 映像入力フォーマットのカラーメトリ

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

(理由)

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

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

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

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

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

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

### 1.3 映像符号化方式

#### 1.3.1 準拠規格

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

(理由)

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

#### 1.3.2 MPEG-4 AVCのプロファイルとレベル

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

表 1-11 映像入力フォーマットと MPEG-4 AVC のレベル

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

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

(理由)

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

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

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

### 1.3.3 MPEG-4 AVC の制約条件

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

表 1-12 カラリメトリに関する制約条件

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

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

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

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

## 1.4 映像入力フォーマットの信号規定

### 1.4.1 映像信号特性

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

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

#### 1.4.2 輝度信号および色差信号の量子化特性

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

### 1.4.3 原色信号の量子化特性

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

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

## 参考1 H.264|MPEG-4 AVC の技術動向

### 1 2007 年におけるハードウェア

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

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

### 2 2011 年におけるハードウェア予測

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

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

1080/60P：エンコーダ、デコーダ共に 2009 年頃の実現可能。

2160/60P：エンコーダ、デコーダ共に 2011 年頃の実現可能。

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

したがって、当面は並列処理が必須。

### 3 技術開発の課題

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

算術符号化および動きベクトル検出の並列処理実装技術

専用のハード、ソフトによる高速処理技術と、コストとのバランス

半導体プロセス微細化に伴う動作周波数向上の飽和

メモリアクセスのためのバンド幅

ベースバンド映像入出力インタフェース

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

#### 4 記録装置、伝送装置への利用

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

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

## 参考2 負 RGB 方式による広色域化

### 1 広色域方式の概要

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

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

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

### 2 広色域方式の色表現能力

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

#### 2.1 広色域方式の信号レベル

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

##### 2.1.1 リニア RGB 信号

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

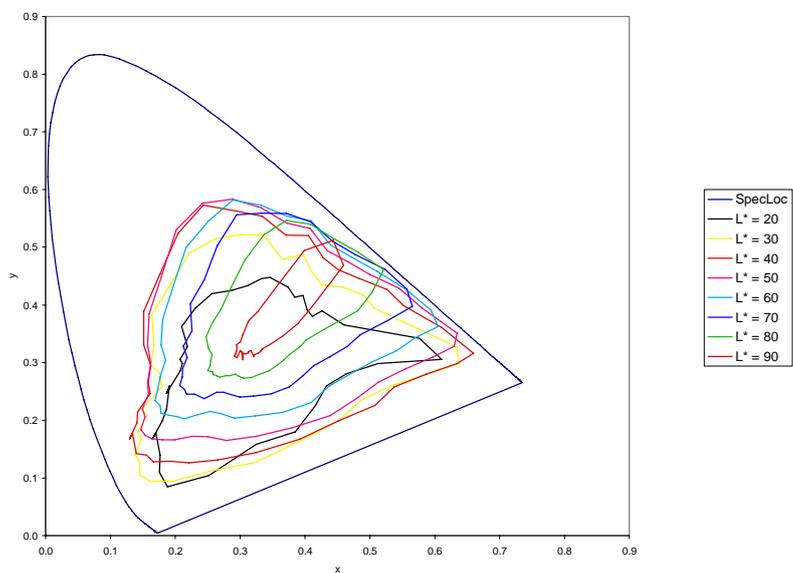
##### 2.1.2 ノンリニア RGB 信号

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

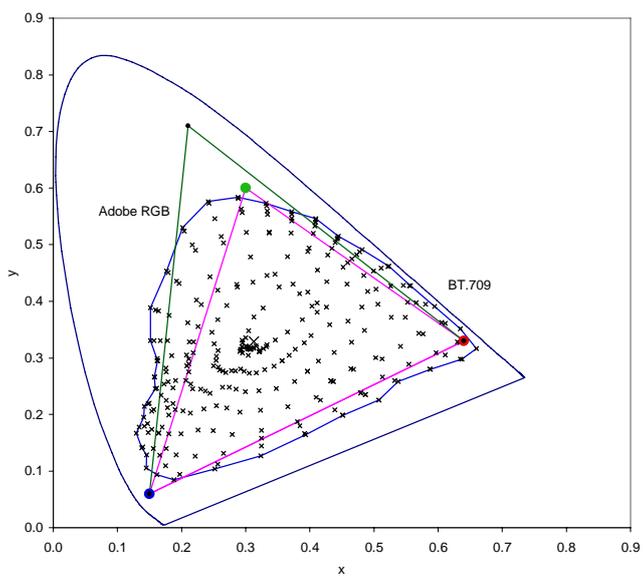
##### 2.1.3 YCbCr 信号

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

クレンジ内に収まっていることが分かる。すなわち、広い色域を表現できている。

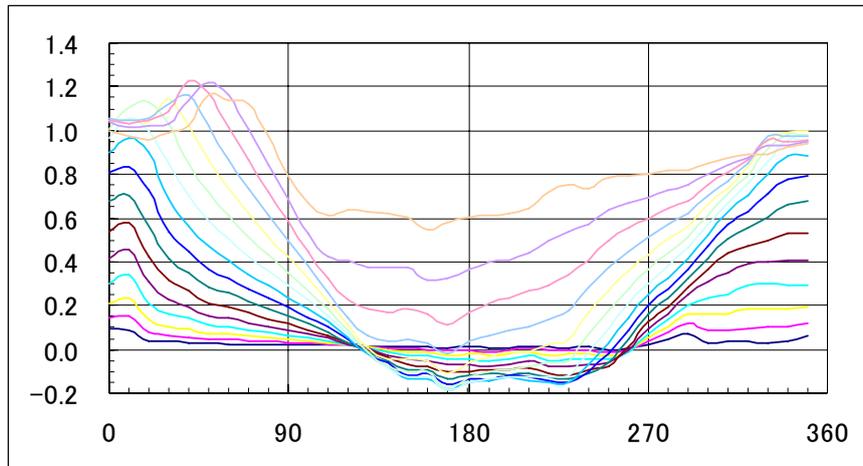


(a) 輝度レベル毎の色度

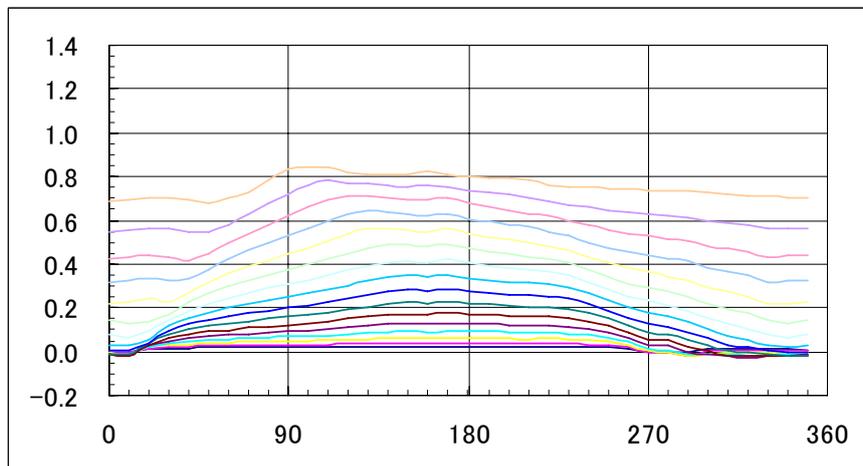


(b) Pointer colors と三原色点

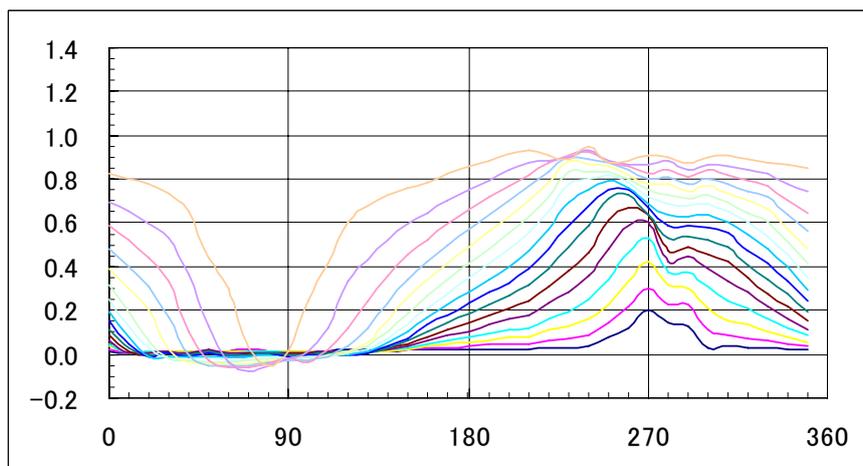
図 A2-1 Pointer colors の色度



(a) R: -0.1875~1.2286

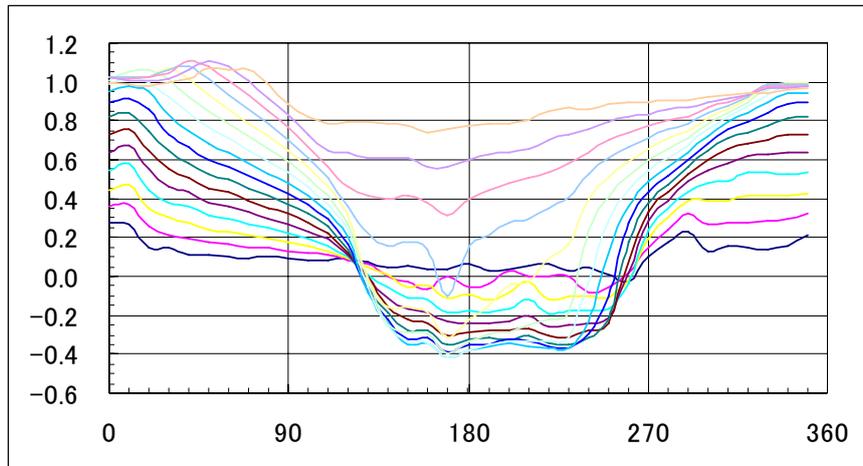


(b) G: -0.0266~0.8437

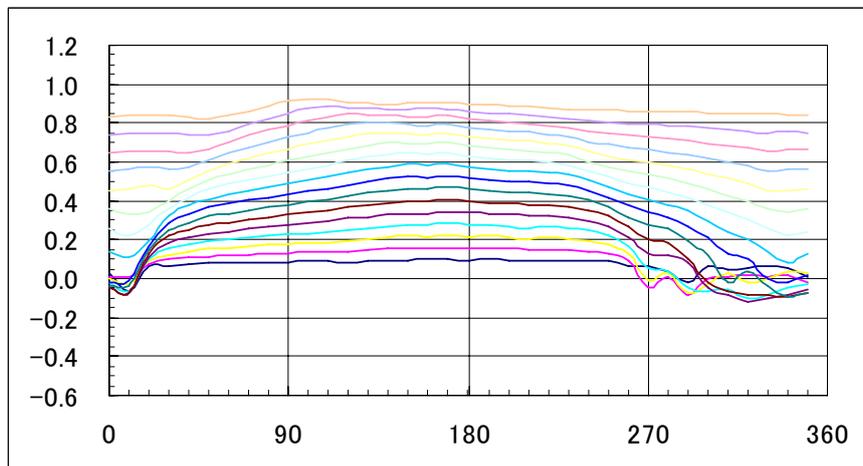


(c) B: -0.0746~0.9528

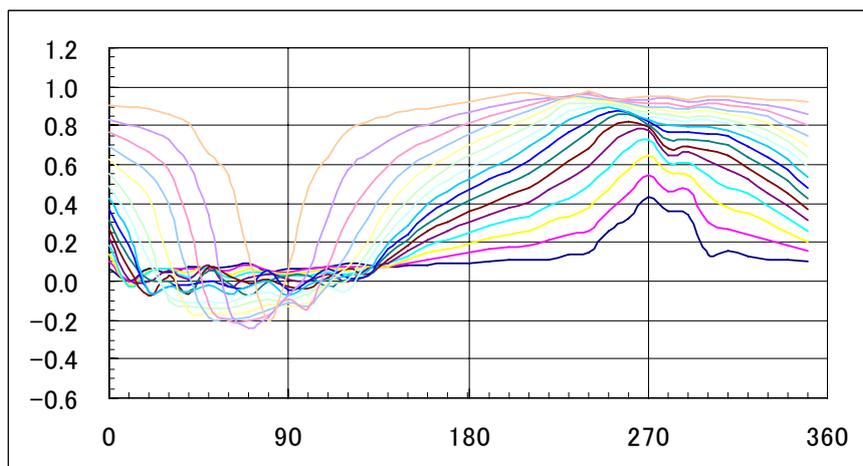
図 A2-2 Pointer colors のリニア RGB 信号レベル



(a) R': -0.4184~1.1067

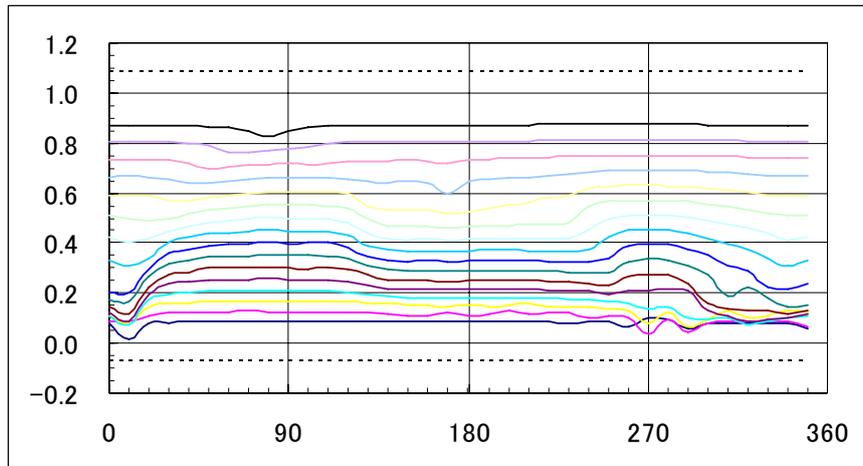


(b) G': -0.1160~0.9191

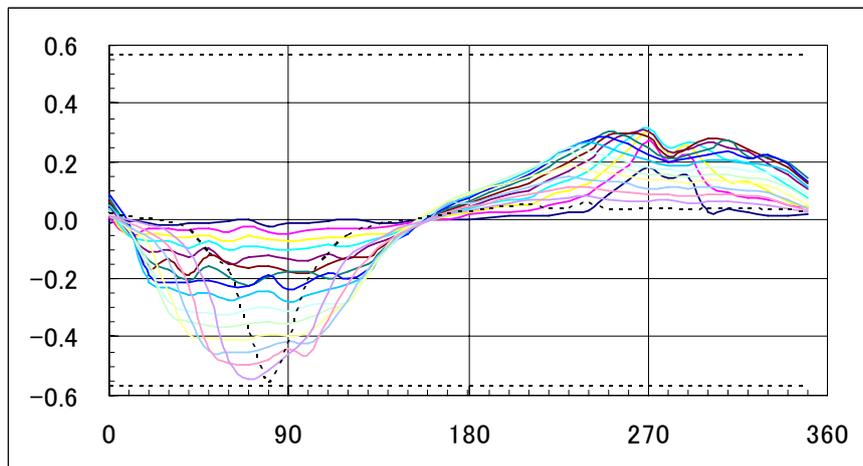


(c) B': -0.2428~0.9764

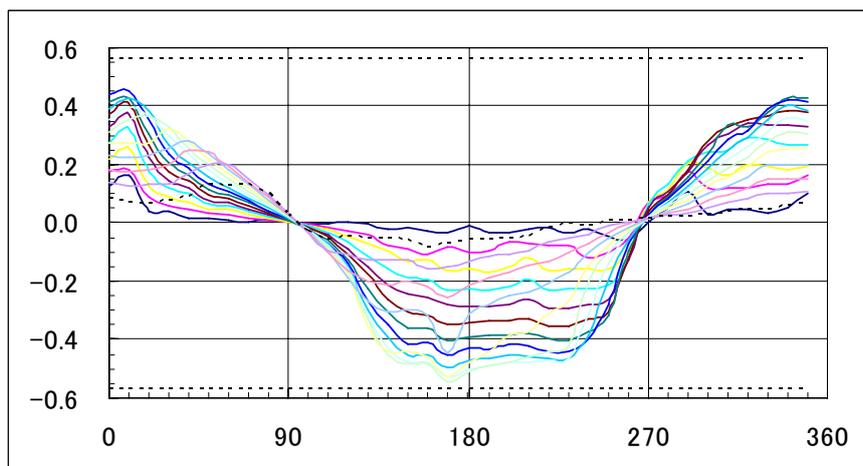
図 A2-3 Pointer colors のノンリニア RGB 信号レベル



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



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



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

図 A2-4 Pointer colors の YCbCr 信号レベル

### 参考3 映像符号化方式実証実験

#### 1 広色域システムの特性確認実験

##### 1.1 目的

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

##### 1.2 実験方法

表 A3-1 に実験の概要を示す。

表 A3-1 広色域システムの実験概要

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

##### (1) 広色域映像から現行色域映像の生成



##### (2) 接続系統

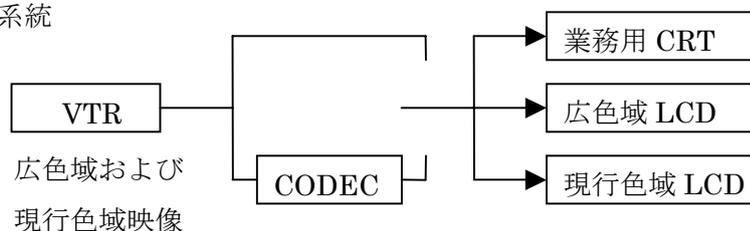


図 A3-1 実験系統

### 1.3 結果とまとめ

#### 1.3.1 信号レベルと互換性

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

#### 1.3.2 色再現性およびディスプレイ互換性

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

#### 1.3.3 映像符号化の影響

映像符号化・復号化処理による特段の問題は見られなかった。

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

### 2.1 目的

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

### 2.2 実験

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

表 A3-2 符号化実験条件

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

表 A3-3 テスト画像

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

表 A3-4 画質評価実験条件

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

表 A3-5 5段階劣化尺度

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

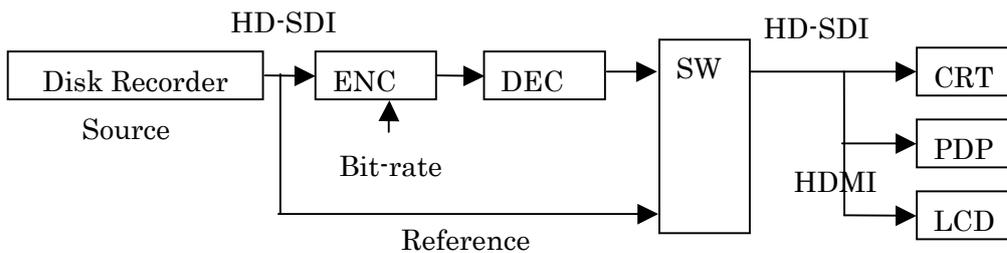


図 A3-2 実験系統

### 2.3 評価結果に基づく判断基準

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

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

## 2.4 評価結果

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

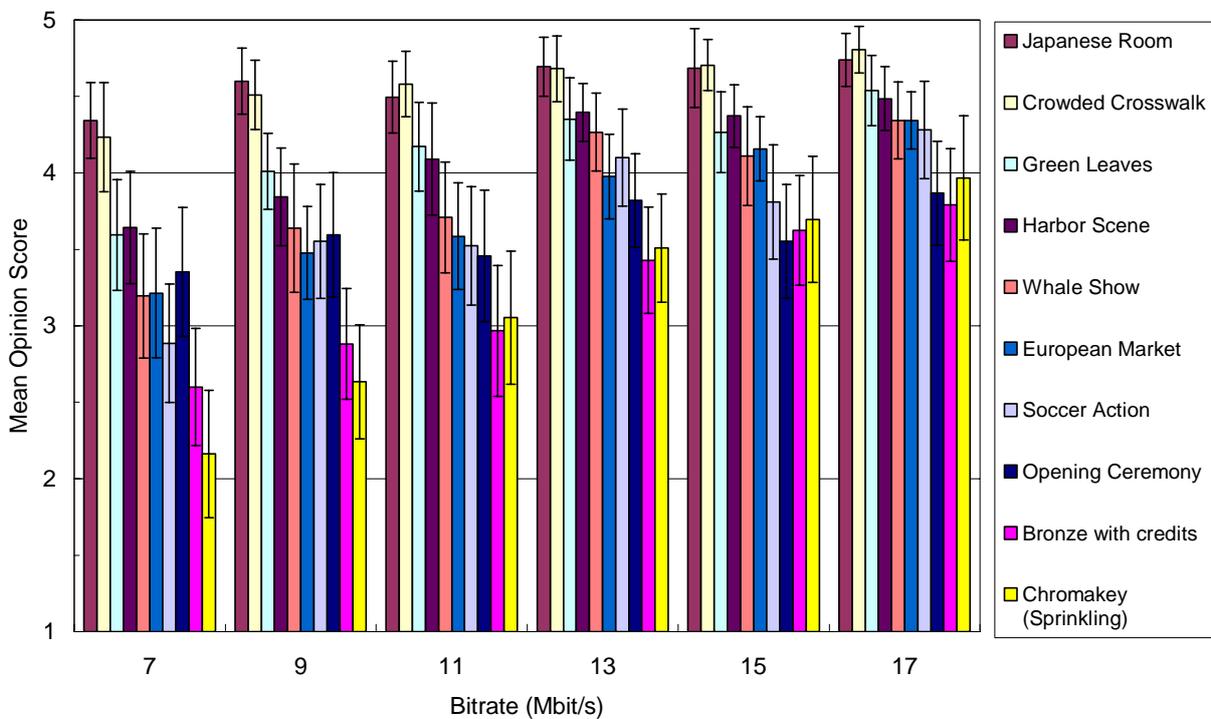


図 A3-3 評価結果

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

## 2.5 まとめ

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

### 3 映像フォーマットと所要ビットレート確認実験(TBD)

#### 3.1 目的

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

#### 3.2 実験

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

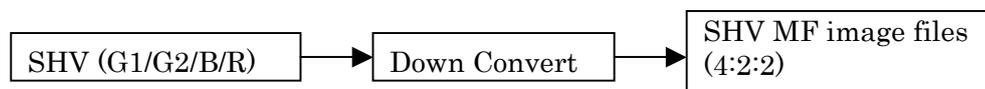
表 A3-6 符号化実験条件

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

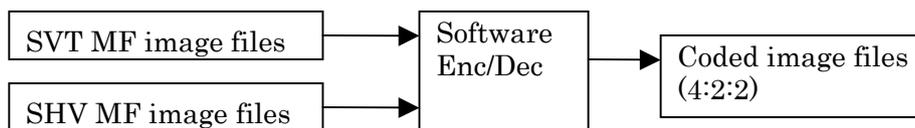
表 A3-7 画質評価実験条件

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

(1) SHV 映像からのマルチフォーマット映像作成



(2) マルチフォーマット映像の符号化



(3) マルチフォーマット映像の再生・表示

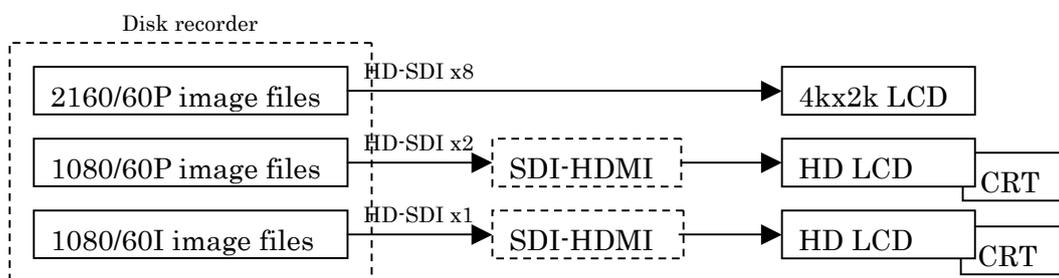


図 A3-4 実験系統

## 4 クロマフォーマットと画質および所要ビットレート確認実験(TBD)

### 4.1 クロマフォーマットの違いによる非圧縮品質の確認（実験 1）

#### 4.1.1 目的

色差サンプリングの違いによる色再現性の違いを確認する。

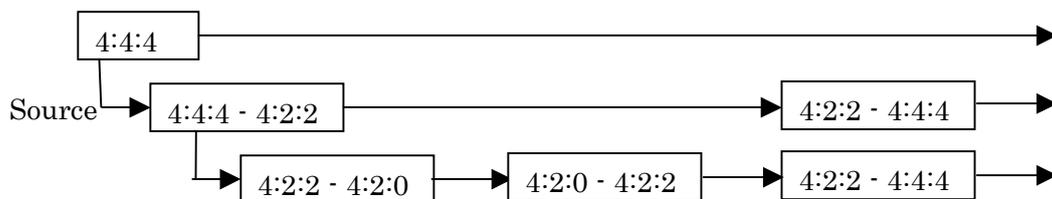
#### 4.1.2 実験方法

実験条件を表 A3-8 に、実験システムを図 A3-5 にそれぞれ示す。

表 A3-8 実験条件

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

#### (1)テスト画像の生成



#### (2)テスト画像の再生・表示

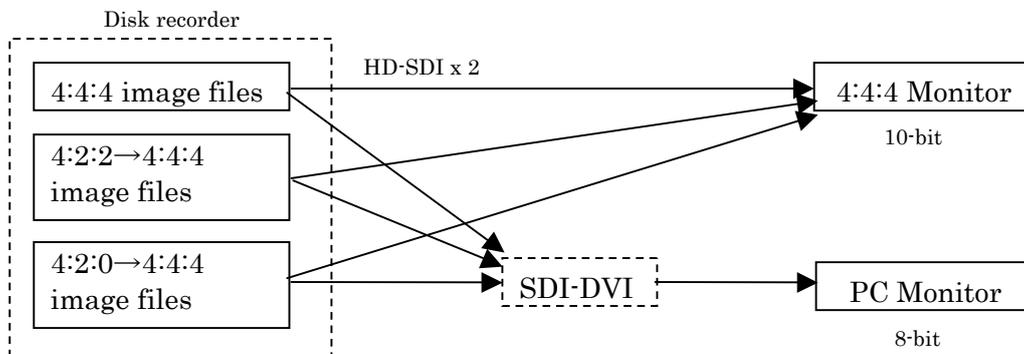


図 A3-5 実験系統

## 4.2 Y/C フォーマットと画質および所要ビットレートの確認（実験 2）

### 4.2.1 目的

4:2:0、4:2:2、4:4:4 の画質差や所要ビットレートを確認する。

### 4.2.2 実験方法

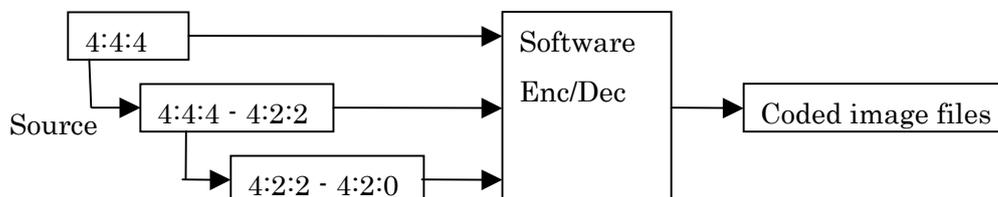
実験条件を表 A3-9 に、実験システムを図 A3-6 にそれぞれ示す。

表 A3-9 実験条件

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

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

(1) 符号化



(2) テスト画像の再生・表示

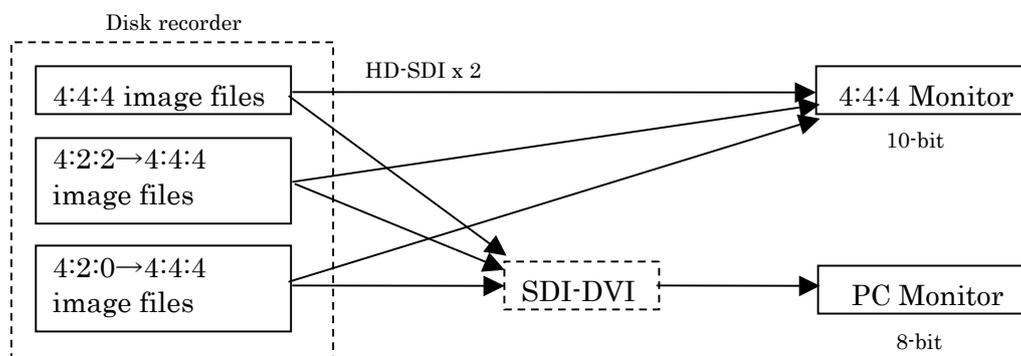


図 A3-6 実験系統