

2008年6月17日
映像符号化方式作業班

高度衛星デジタル放送 映像符号化方式
報告書案（技術的条件）

○ 映像符号化暫定方式の概要

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	1920×1080/60/I																
		1920×1080/60/P																
		3840×2160/60/P																
	マルチサービス専用	720×480/60/I																
		720×480/60/P																
実験用	7680×4320/60/P																	
信号形式		YCbCr																
輝度・色差信号形式		4:2:2																
量子化ビット数		8または10																
カラリ メトリ	3原色色度点	<table style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td></td> <td>x</td> <td>y</td> <td>(CIE, 1931)</td> </tr> <tr> <td>赤(R)</td> <td>0.640</td> <td>0.330</td> <td></td> </tr> <tr> <td>緑(G)</td> <td>0.300</td> <td>0.600</td> <td></td> </tr> <tr> <td>青(B)</td> <td>0.150</td> <td>0.060</td> <td></td> </tr> </table>		x	y	(CIE, 1931)	赤(R)	0.640	0.330		緑(G)	0.300	0.600		青(B)	0.150	0.060	
		x	y	(CIE, 1931)														
	赤(R)	0.640	0.330															
	緑(G)	0.300	0.600															
	青(B)	0.150	0.060															
基準白色	<table style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>D₆₅</td> <td>x</td> <td>y</td> </tr> <tr> <td></td> <td>0.3127</td> <td>0.3290</td> </tr> </table>	D ₆₅	x	y		0.3127	0.3290											
D ₆₅	x	y																
	0.3127	0.3290																
光電変換特性	$E' = \begin{cases} \alpha L^{0.45} - (\alpha - 1) & (\beta \leq L) \\ 4.50L & (-\beta < L < \beta) \\ -\alpha(-L)^{0.45} + (\alpha - 1) & (L \leq -\beta) \end{cases}$ $\alpha \text{ および } \beta \text{ は連立方程式 } \begin{cases} 4.5\beta = \alpha\beta^{0.45} - \alpha + 1 \\ 4.5 = 0.45\alpha\beta^{-0.55} \end{cases} \text{ の解}$ <p>であり、 $\alpha = 1.09929682680944\dots$, $\beta = 0.018053968510807\dots$ (11-bit 以下の場合、$\alpha=1.099$, $\beta=0.018$ を用いればよい。)</p>																	
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 4:2:2 (包含される High、High 10 を含む)																
レベル	720×480/60/I	3																
	720×480/60/P	3.1																
	1920×1080/60/I	4																
	1920×1080/60/P	4.2																
	3840×2160/60/P	TBD*	(* ITU-T H.264 ISO/IEC 14496-10 への追加規定が必要)															
7680×4320/60/P	TBD*																	

目次

第 1 章 映像符号化方式	4
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	4
1.1.1 映像入力フォーマット	4
1.1.2 映像符号化方式	4
1.1.3 その他	5
1.2 映像入力フォーマット	5
1.2.1 映像の時空間フォーマット	5
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	5
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	6
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	7
1.2.2 映像の信号方式	8
1.2.3 カラリメトリ	8
1.3 映像符号化方式	10
1.3.1 準拠規格	10
1.3.2 MPEG-4 AVC のプロファイルとレベル	10
1.3.3 MPEG-4 AVC の制約条件	12
1.4 映像入力フォーマットの信号規定	13
1.4.1 映像信号特性	13
1.4.2 輝度信号および色差信号の量子化特性	14
1.4.3 原色信号の量子化特性	14
参考 1 H.264 MPEG-4 AVC やディスプレイの技術動向	15
1 H.264 MPEG-4 AVC	15
1.1 2007 年におけるハードウェア	15
1.2 2011 年におけるハードウェア予測	15
1.2.1 概要	15
1.2.2 DRAM バンド幅からの検討	15
1.3 技術開発の課題	16
1.4 記録装置、伝送装置への利用	16
2 ディスプレイ	16
参考 2 負 RGB 方式による広色域化	18
1 広色域方式の概要	18
2 広色域方式の色表現能力	18
2.1 広色域方式の信号レベル	18

2.1.1	リニア RGB 信号	18
2.1.2	ノンリニア RGB 信号	18
2.1.3	YCbCr 信号	18
2.2	広色域方式の色域	23
参考 3	映像符号化方式実証実験	25
1	広色域システムの特徴確認実験	25
1.1	目的	25
1.2	実験方法	25
1.3	結果とまとめ	26
1.3.1	信号レベルと互換性	26
1.3.2	色再現性およびディスプレイ互換性	26
1.3.3	映像符号化の影響	26
2	MPEG-4 AVC 1080/60/I ハードウェアコーデックの性能確認実験	27
2.1	目的	27
2.2	実験	27
2.3	評価結果に基づく判断基準	28
2.4	評価結果	29
2.5	家庭用 FPD での画質確認結果	30
2.6	まとめ	33
3	映像フォーマットと所要ビットレート確認実験	34
3.1	目的	34
3.2	実験	34
3.3	評価結果	37
3.3.1	評定者のスクリーニング	37
3.3.2	1080/60/I と 1080/60/P	38
3.3.3	2160/60/P	39
3.4	まとめ	40
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	42
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）	42
4.1.1	目的	42
4.1.2	実験方法	42
4.2	クロマフォーマットと符号化画質の確認（実験 2）	43
4.2.1	目的	43
4.2.2	実験方法	43
4.3	画質確認結果	45

4.4 クロマフォーマットと符号化歪一ビットレート特性.....	45
4.5 まとめ.....	45

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)
720×480/60/I	480	720	4:3 or 16:9	飛越	30/1.001	60/1.001
720×480/60/P	480	720	16:9	順次	60/1.001	—
1280×720/60/P	720	1280	16:9	順次	60/1.001	—
1920×1080/60/I	1080	1920	16:9	飛越	30/1.001	60/1.001
1920×1080/60/P	1080	1920	16:9	順次	60/1.001	—
3840×2160/60/P	2160	3840	16:9	順次	60/1.001	—
7680×4320/60/P	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	Rec. ITU-R BT.1361 の従来色域システム(Rec. ITU-R BT.709)
広色域方式	Rec. ITU-R BT.1361 の拡張色域システムの一部修正案および 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 predictive	4:4:4, 4:2:2, 4:2:0	8 - 14

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	720×480/60/I
3.1	720×480/60/P
3.2	1280×720/60/P
4	1920×1080/60/I
4.2	1920×1080/60/P
TBD*	3840×2160/60/P
TBD*	7680×4320/60/P

* 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)
1920×1080/60/I	1080	1920	16:9	飛越	30/1.001	60/1.001
1920×1080/60/P	1080	1920	16:9	順次	60/1.001	—
3840×2160/60/P	2160	3840	16:9	順次	60/1.001	—

(理由)

1920×1080/60/I 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。

1920×1080/60/P 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。

3840×2160/60/P 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。

1280×720/60/P 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、1920×1080/60/P や 3840×2160/60/P 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)
720×480/60/I	483*1	720	16:9	飛越	30/1.001	60/1.001
720×480/60/P	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)

720×480/60/I 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。

720×480/60/P 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、720×480/60/I 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)
7680×4320/60/P	4320	7680	16:9	順次	60/1.001	—

(理由)

7680×4320/60/P 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
量子化ビット数	8 または 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、実証実験により限定的ではあるが高画質化に有効であることを確認した。一方、スタジオインタフェースとしては、dual-link HD-SDI は 1080/60/I の 4:2:2 および 4:4:4 (12-bit まで) や 1080/60/P の 4:2:2 (10-bit まで) をサポートしており、1080/60/P の 4:4:4 には quad-link が必要になる。現行の HDTV サービスを超える高精細度映像サービスを導入しようとするとき、制作・送出設備の更新も必要となるが、クロマ信号の解像度の向上よりは輝度信号の解像度向上の方が視聴者への訴求効果が高いと考えられ、映像入力フォーマットとしては 4:2:2 のみを採用することとした。

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、3840×2160/60/P や 7680×4320/60/P のスタジオ信号としての規定はあるが、現時点ではこれらフォーマットの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リメトリ

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、α および β は連立方程式 $\begin{cases} 4.5\beta = \alpha\beta^{0.45} - \alpha + 1 \\ 4.5 = 0.45\alpha\beta^{-0.55} \end{cases}$ の解であり、$\alpha=1.09929682680944\dots$、$\beta=0.0180539685108078\dots$。量子化ビット数に応じて、下記の近似値を用いればよい。</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>量子化ビット数</th> <th>α</th> <th>β</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>L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。E'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、$L < 0$ および $1 < L$ を許容する。</p>		量子化ビット数	α	β	8 - 11	1.099	0.018	12 - 18	1.0993	0.0181
量子化ビット数	α	β									
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、Rec. ITU-R BT.1361 (Rec. ITU-R 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、この統一カラリ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、Rec. ITU-R 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、IEC 61966-2-4に準拠した正負対称の特性を採用することとした。今後、Rec. ITU-R BT.1361の修正が必要である。

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と同等である。

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 4:2:2プロファイルを最上位とし、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
720×480/60/I	3
720×480/60/P	3.1
1920×1080/60/I	4
1920×1080/60/P	4.2
3840×2160/60/P	TBD*
7680×4320/60/P	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 predictive 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 720×480/60/I および 720×480/60/P 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。従来、輝度信号と色差信号の所要帯域比は、主観評価実験の結果に基づく 3:1 が定説となっており、一般にスタジオ制作や素材伝送では 4:2:2、放送・配信では 4:2:0 が用いられている。色差信号帯域幅の拡大は、符号化画素数の増加による所要ビットレートの増加、あるいは同一ビットレートでは符号化歪みの増加を伴う可能性がある。そこで、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た。実験の結果、一部の映像については、4:4:4 とすることにより、限定的であるが色エッジの再現性や質感の向上などの効果が認められた。一方、符号化時には、クロマフォーマットの差よりも符号化歪みが検知されやすい場合があった。したがって、4:4:4 の使用が効果的なサービスは、原画像が極めて高画質であると共に、符号化画像も極めて劣化が少ない高画質であることが必須と考えられる。4:2:2 は、特に飛越走査信号において 4:2:2 ⇔ 4:2:0 のための垂直フィルタ処理に起因する画質劣化を改善するのに効果的である。これらを考慮し、High 4:2:2 を最上位のプロファイルとすることとした。なお、High 4:2:2 プロファイルは、量子化ビット数 10-bit まで対応しているが、符号化時の 8-bit を超える量子化ビット数の必要性については、現時点では明確な根拠を見いだすに至っておらず、今後の検討に委ねることとした。放送チェーンの各段階におけるクロマフォーマットや量子化ビット数の選定については、今

後体系的な検討が求められる。

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 3840×2160 の場合 30P までしか対応していない。したがって、3840×2160/60/P および 7680×4320/60/P 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 ^{*1}	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 ^{*2}	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 ^{*3}	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

映像入力フォーマットの映像信号特性を表 1-13 に示す。

表 1-13 映像信号特性

項目		720 × 480/60/I	720 × 480/60/P	1920 × 1080/60/I	1920 × 1080/60/P	3840 × 2160/60/P	7680 × 4320/60/P	
(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						
	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。						
(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	
	C _B , C _R	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

輝度信号および色差信号の量子化特性を表 1-14 に示す。

表 1-14 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

原色信号の量子化特性を表 1-15 に示す

表 1-15 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 ($n \geq 8$)	$D'_R = \text{INT} \left[(219 E'_R + 16) \cdot 2^{n-8} \right]$ $D'_G = \text{INT} \left[(219 E'_G + 16) \cdot 2^{n-8} \right]$ $D'_B = \text{INT} \left[(219 E'_B + 16) \cdot 2^{n-8} \right]$
	広色域システム ($n \geq 9$)	$D'_R = \text{INT} \left[(219 E'_R + 160) \cdot 2^{n-9} \right]$ $D'_G = \text{INT} \left[(219 E'_G + 160) \cdot 2^{n-9} \right]$ $D'_B = \text{INT} \left[(219 E'_B + 160) \cdot 2^{n-9} \right]$
(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 ($n \geq 8, m \geq 8$)	$D'_Y = \text{INT} \left[\left(0.2126 D'_R + 0.7152 D'_G + 0.0722 D'_B \right) \cdot 2^{m-n} \right]$ $D'_{CB} = \text{INT} \left[\left(-\frac{0.2126}{1.8556} D'_R - \frac{0.7152}{1.8556} D'_G + \frac{0.9278}{1.8556} D'_B \right) \cdot \frac{224}{219} \cdot 2^{m-n} + 2^{m-1} \right]$ $D'_{CR} = \text{INT} \left[\left(\frac{0.7874}{1.5748} D'_R - \frac{0.7152}{1.5748} D'_G - \frac{0.0722}{1.5748} D'_B \right) \cdot \frac{224}{219} \cdot 2^{m-n} + 2^{m-1} \right]$
	広色域システム ($n \geq 9, m \geq 8$)	$D'_Y = \text{INT} \left[\left(0.2126 D'_R + 0.7152 D'_G + 0.0722 D'_B \right) \cdot 2^{m-n+1} - 144 \cdot 2^{m-8} \right]$ $D'_{CB} = \text{INT} \left[\left(-\frac{0.2126}{1.8556} D'_R - \frac{0.7152}{1.8556} D'_G + \frac{0.9278}{1.8556} D'_B \right) \cdot \frac{224}{219} \cdot 2^{m-n+1} + 2^{m-1} \right]$ $D'_{CR} = \text{INT} \left[\left(\frac{0.7874}{1.5748} D'_R - \frac{0.7152}{1.5748} D'_G - \frac{0.0722}{1.5748} D'_B \right) \cdot \frac{224}{219} \cdot 2^{m-n+1} + 2^{m-1} \right]$
n はRGB信号の量子化ビット数、 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。		

(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(4))。RGB原色信号の量子化特性は、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 やディスプレイの技術動向

1 H.264|MPEG-4 AVC

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 2160/60/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 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 年頃に実現可能。

2160/60/P:エンコーダ、デコーダ共に 2011 年頃に実現可能。

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

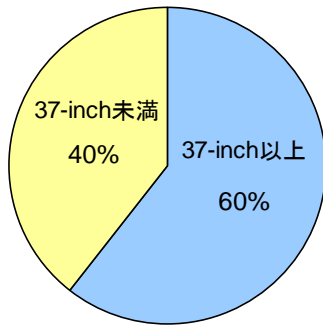
1.4 記録装置、伝送装置への利用

コンシューマ用途では、デジタル放送の MPEG-2 映像を 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。

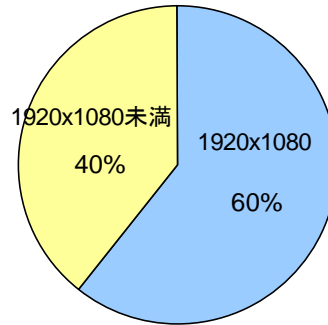
プロフェッショナル用途では、MPEG-2 から MPEG-4 AVC へのトランスコーダや、イントラピクチャを用いた低遅延の記録装置、伝送装置が開発されている。

2 ディスプレイ

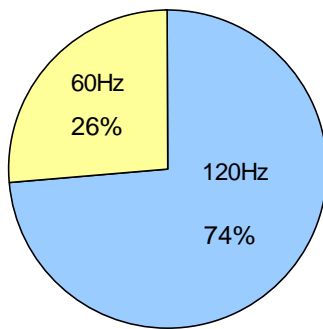
2008 年 2 月現在の家庭用液晶テレビディスプレイの動向を図 A1-1 に示す。大画面化、高精細化、高画質化が進んでいることが分かる。さらに、4k × 2k に対応した大画面の PDP や LCD ディスプレイも発表されている。



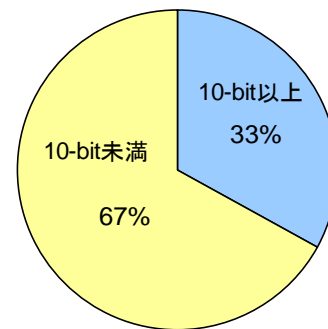
(a) 画面サイズ



(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の割合)

図 A1-1 家庭用液晶テレビディスプレイの動向

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、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 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)。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。

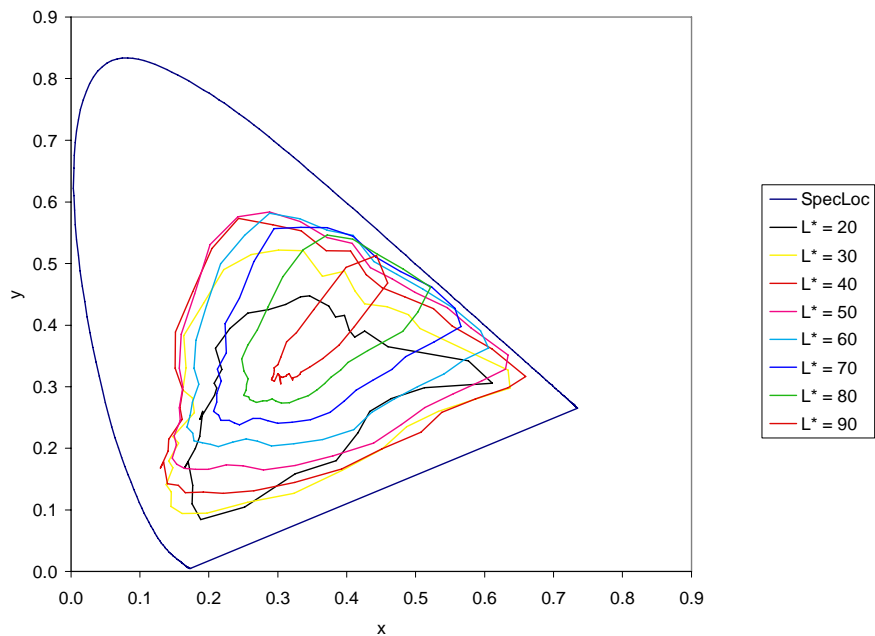
2.1.2 ノンリニア RGB 信号

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 A2-3 に示す。

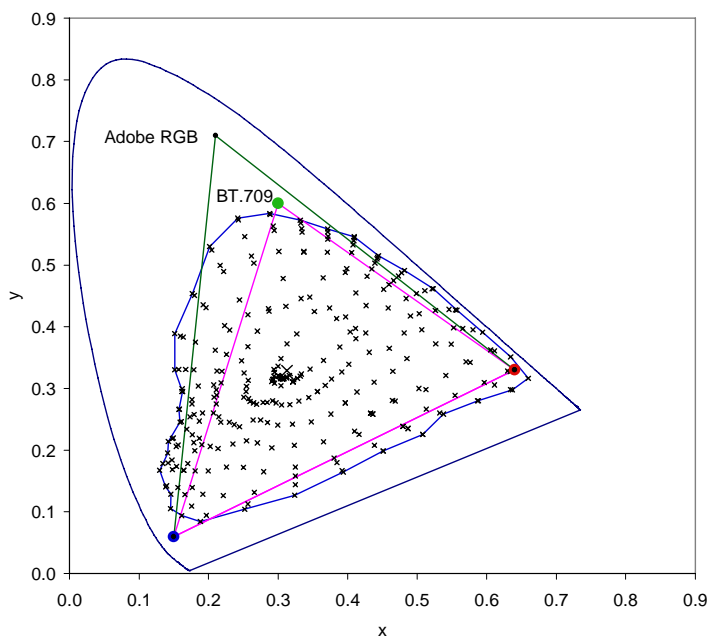
2.1.3 YCbCr 信号

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。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 $-0.0685 \sim 1.0868$ 、 $-0.5670 \sim 0.5625$ 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。

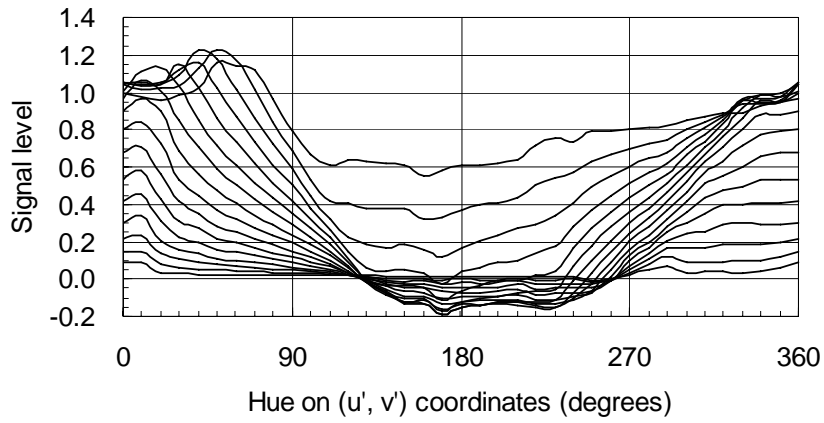


(a) 輝度レベル毎の色度

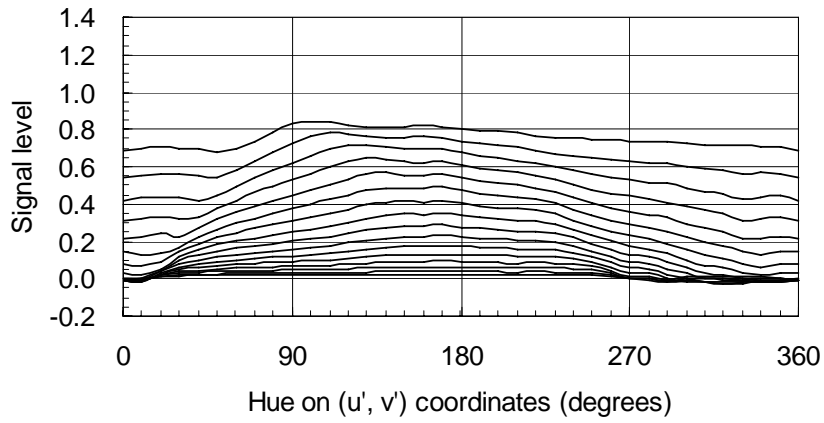


(b) Pointer colors と三原色点

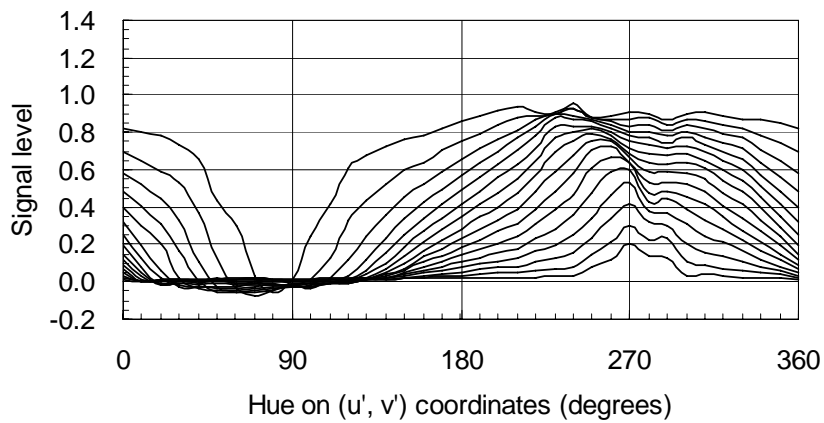
図 A2-1 Pointer colors の色度



(a) R: -0.1875~1.2286

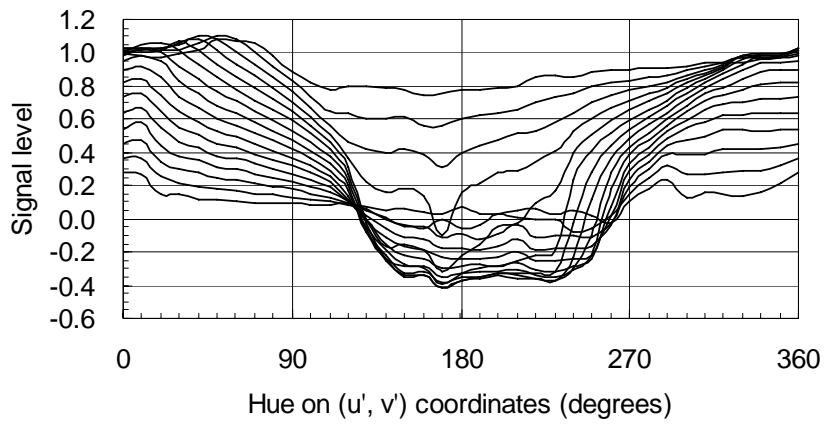


(b) G: -0.0266~0.8437

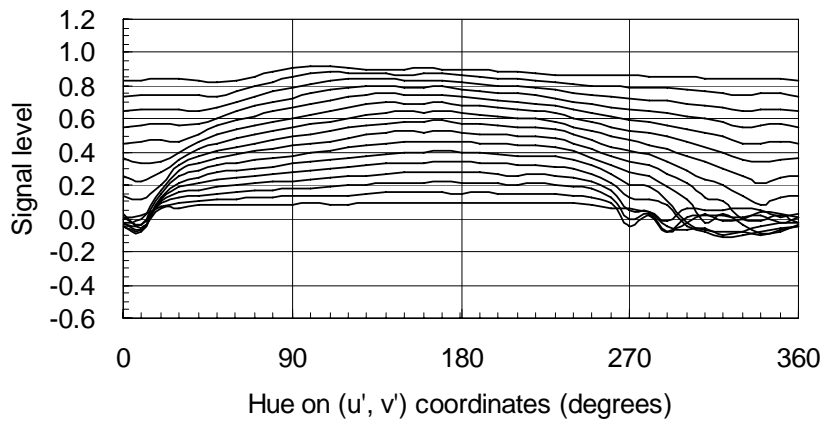


(c) B: -0.0746~0.9528

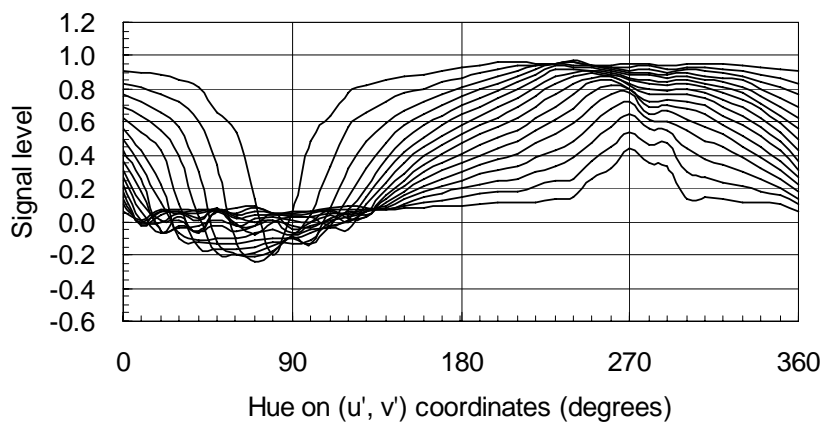
図 A2-2 Pointer colors のリニア RGB 信号レベル



(a) R': -0.4184~1.1067

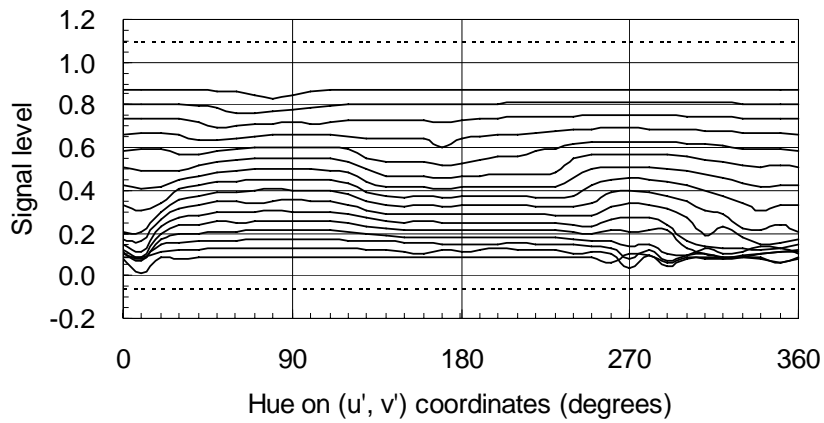


(b) G': -0.1160~0.9191

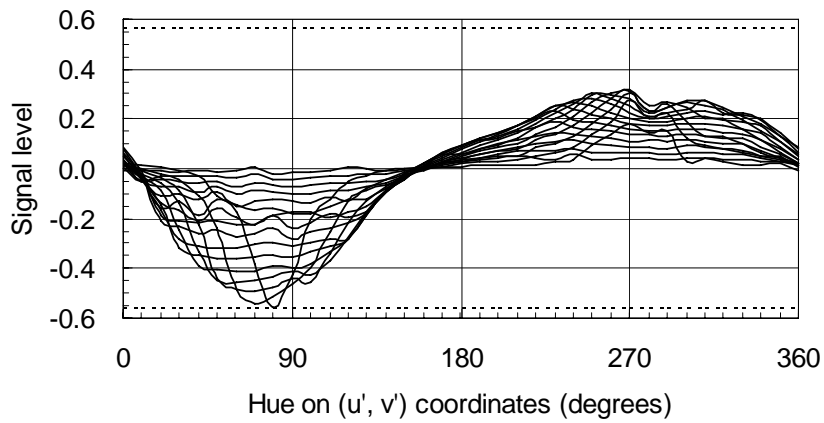


(c) B': -0.2428~0.9764

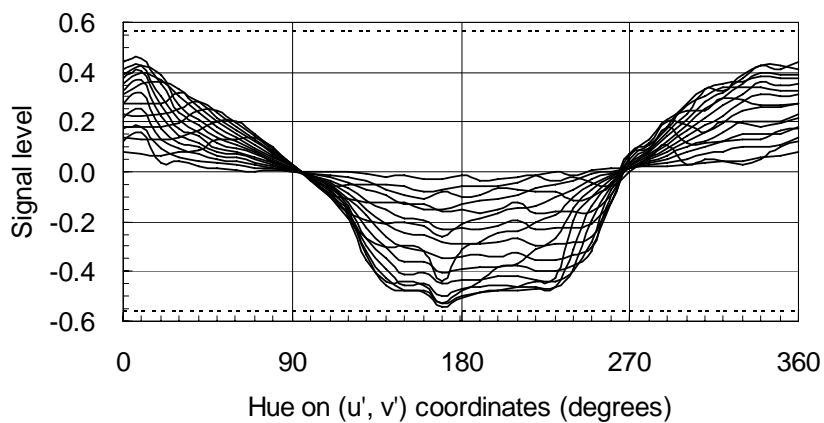
図 A2-3 Pointer colors のノンリニア RGB 信号レベル



(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

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 A2-5 に示す。

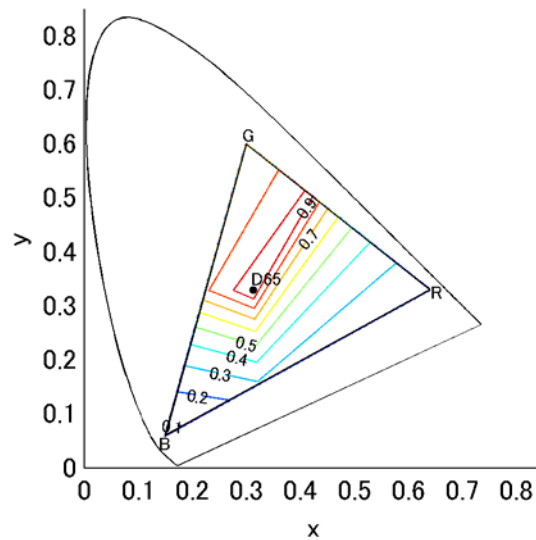


図 A2-5 現行方式によって表現可能な色域

表 1-10 および表 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 A2-6 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。

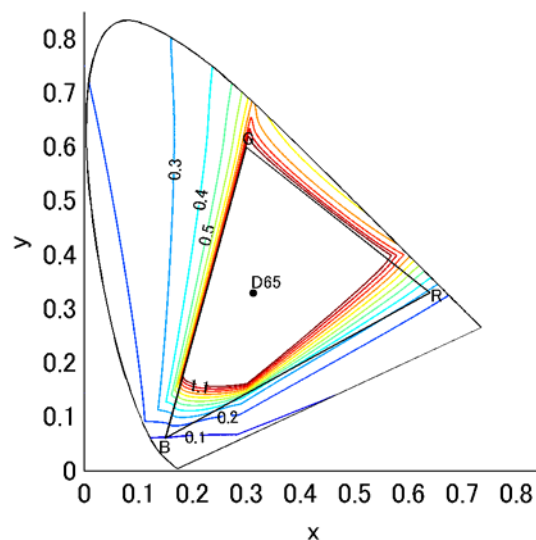


図 A2-6 広色域方式によって表現可能な色域

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 1-15 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 A2-7

に示す。

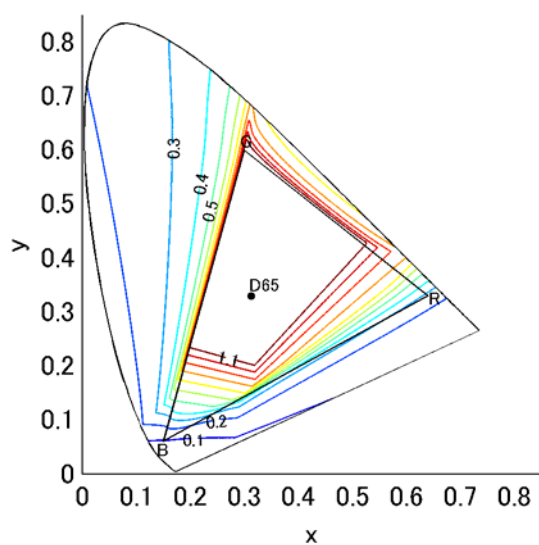


図 A2-7 広色域方式によって表現可能な色域
(レベル制限された RGB 信号から YCbCr 信号を生成した場合)

参考文献

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

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、図 A3-1 に実験システムをそれぞれ示す。

表 A3-1 広色域システムの実験概要

映像	フォーマット	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

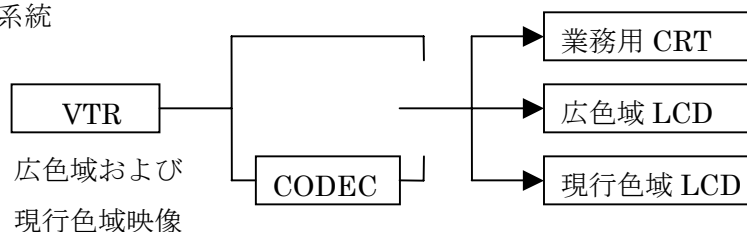


図 A3-1 実験系統

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 1080/60/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 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	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 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	プリフィルタなし、MBAFF, CABAC

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 (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 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

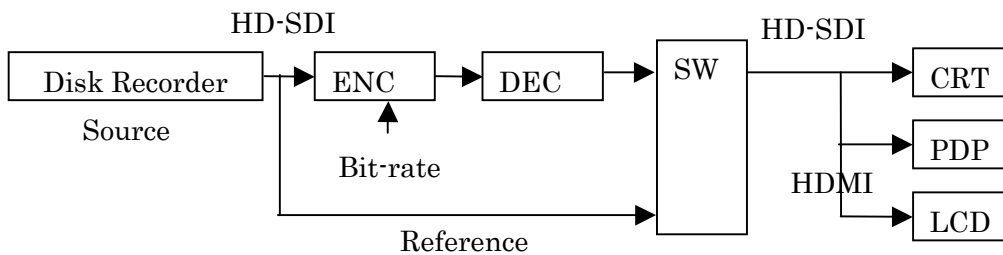


図 A3-2 実験系統

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

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 A3-3 に評定者全 22 名の評点と平均評点との相関(Person Correlation)を示す。

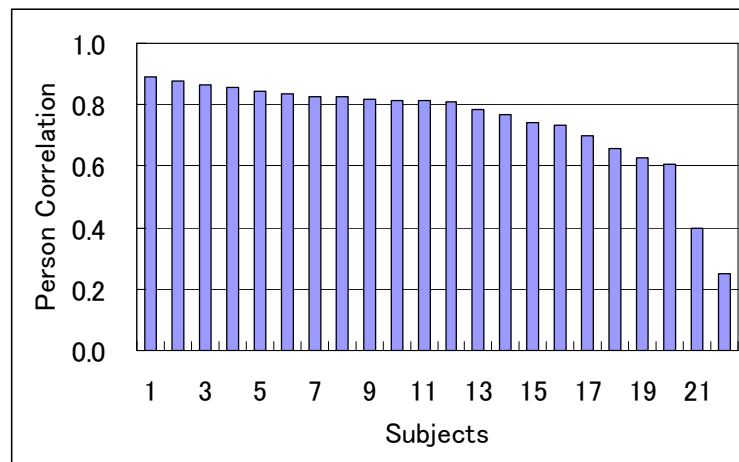


図 A3-3 評定者全 22 名の評点と平均評点との相関

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 A3-4 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。

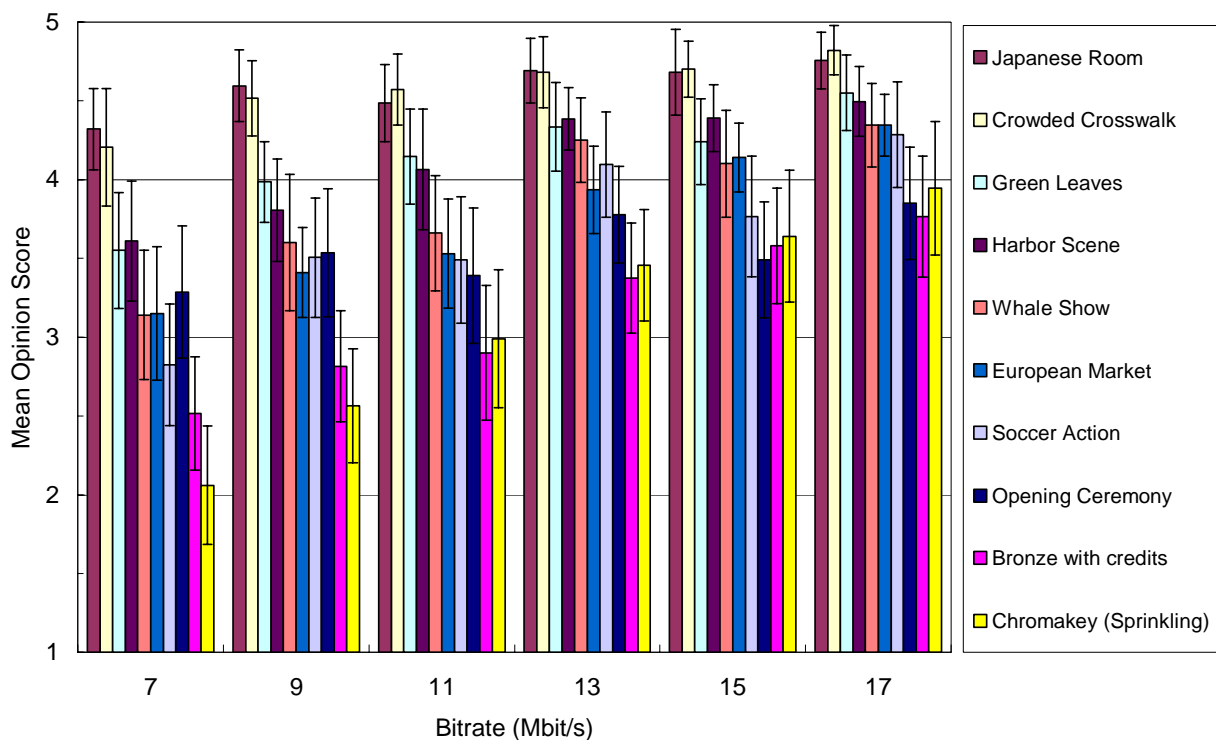


図 A3-4 評価結果

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 A3-6 および表 A3-7 に示す。

表 A3-6 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 の顔領域のば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>芝のば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 A3-7 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 全般的に厳しい 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 A3-8、表 A3-10 に示す。実験系統を図 A3-7 に示す。

表 A3-8 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 A3-5 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 A3-6 参照) (表 A3-9 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 A3-9 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 A3-5 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

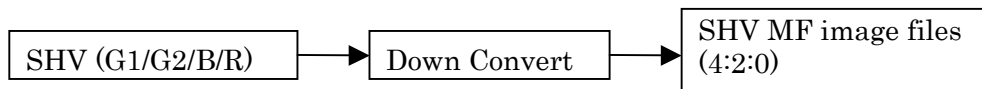
図 A3-6 SVT テスト画像

表 A3-10 画質評価実験条件

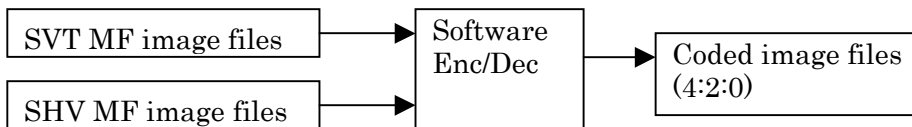
評価方法	二重刺激劣化尺度(DSIS)法、5段階劣化尺度(表 A3-5 参照) ・ビットレート毎にまとめてシーケンスを提示し(原画像 1-10、ビットレート X の画像 1-10、ビットレート Y の画像 1-10、...)、画像毎に評価 ・ビットレートの提示順序は、評定者グループ毎に変更
観視条件	家庭での視聴と同程度の明るさ
評定者	専門家 16 人
ディスプレイ	50-inch PDP(1920×1080/60/P, I) 56-inch LCD(4320×2160/60/P)
視距離	2160/60/P: 画面高さの 1.5 倍(1.5H)* 1080/60/P, 1080/60/I: 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

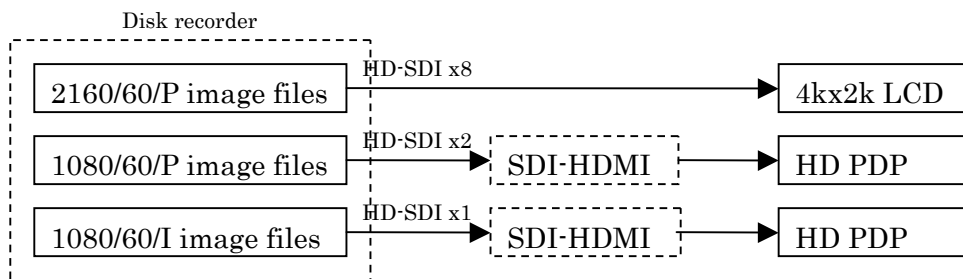


図 A3-7 実験系統

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 A3-8 にテスト画像毎の平均評点を示す。

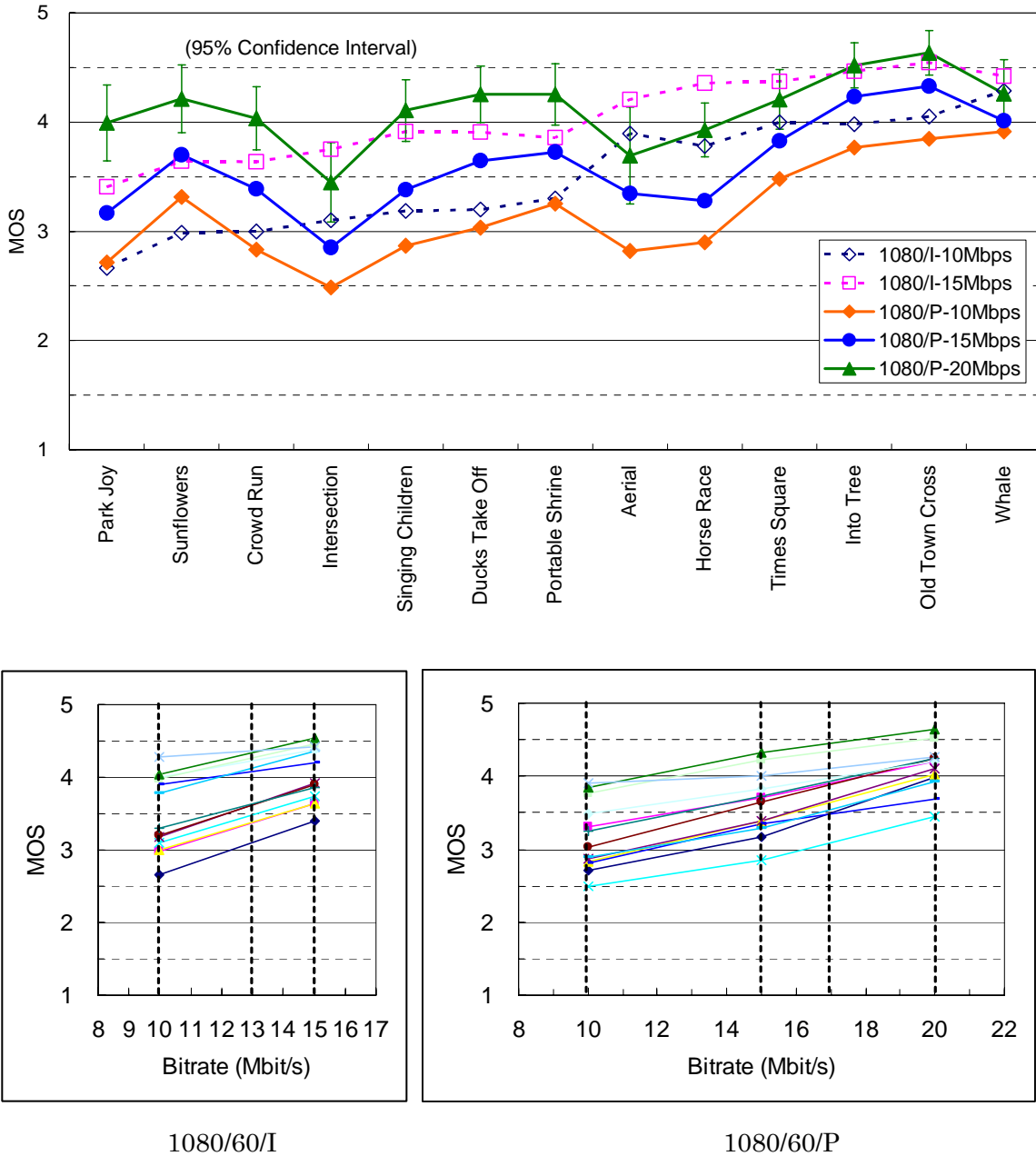


図 A3-8 1080/60/I と 1080/60/P の評価結果

1080/60/I では、15Mbit/s で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

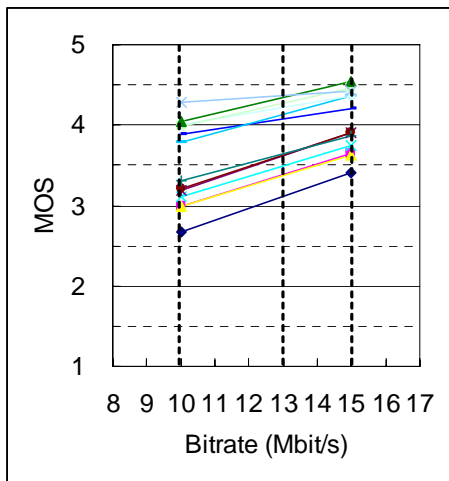
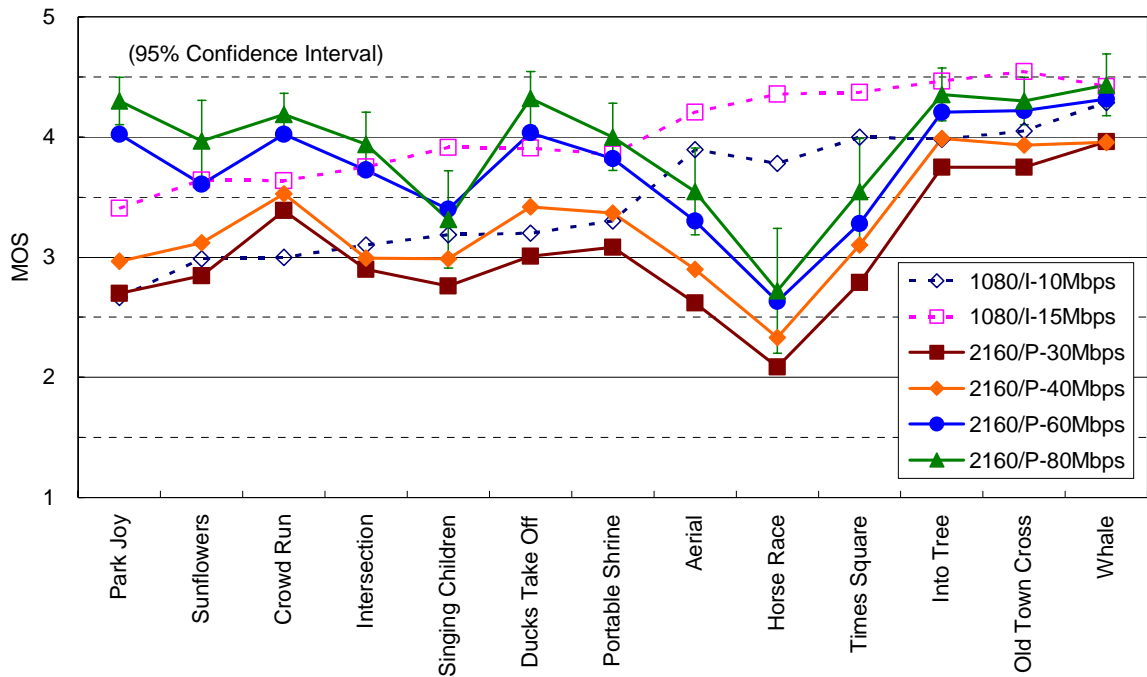
ートは、ハードウェアコーデックの場合の 13Mbit/s と同程度の結果であった。

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。

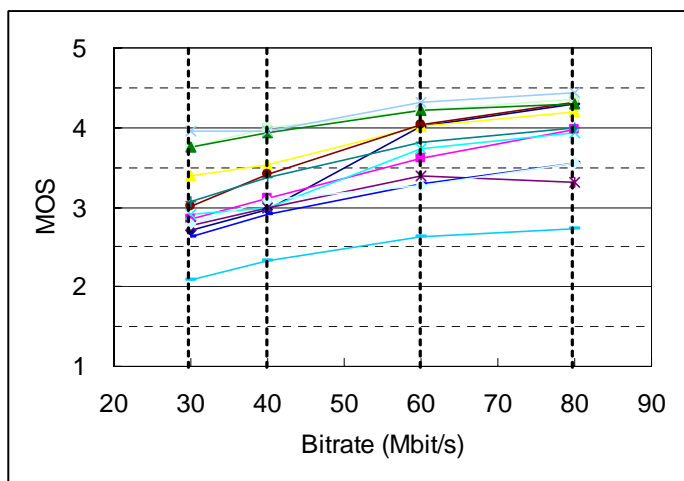
3.3.3 2160/60/P

図 A3-9 にテスト画像毎の平均評点を示す。図 A3-8 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 A3-9 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。

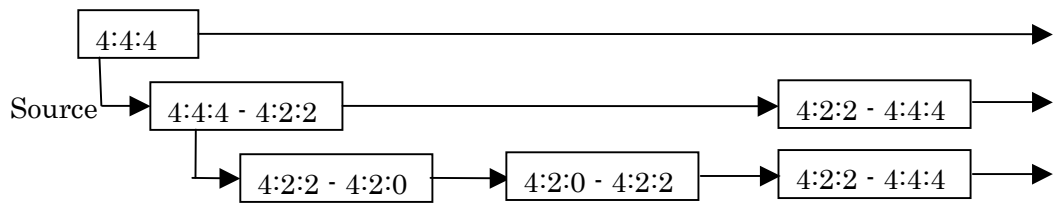
4.1.2 実験方法

実験条件を表 A3-11 に、実験系統を図 A3-10 にそれぞれ示す。

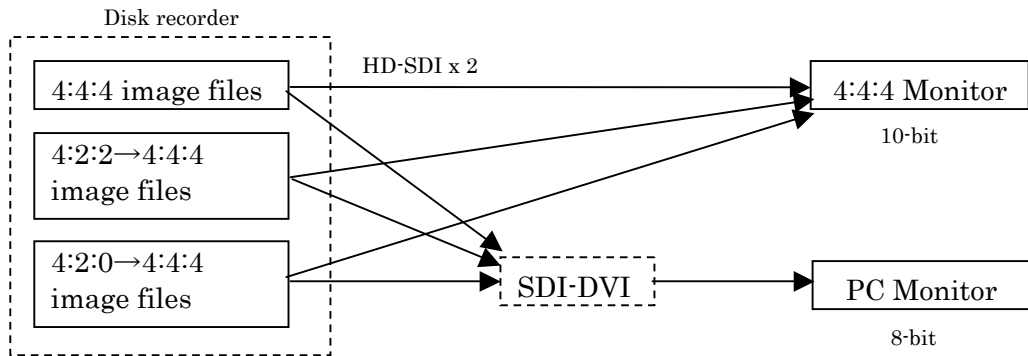
表 A3-11 実験条件

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 A3-10 (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

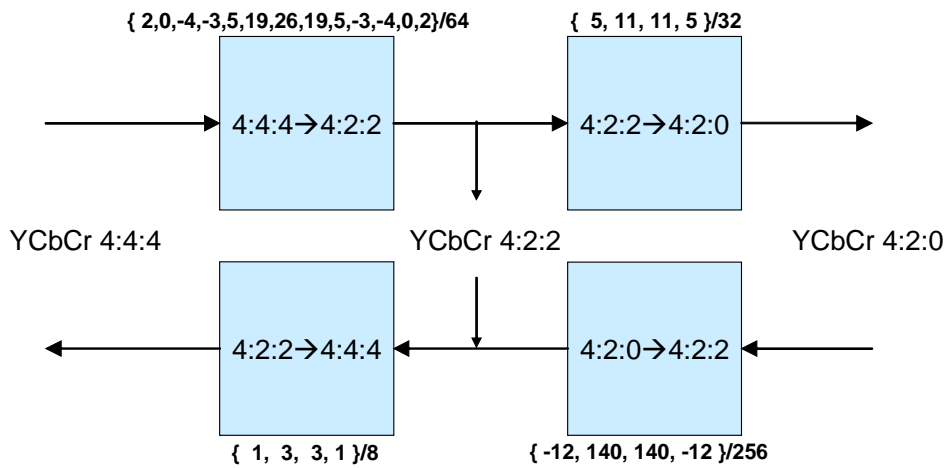


図 A3-10 実験系統

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。

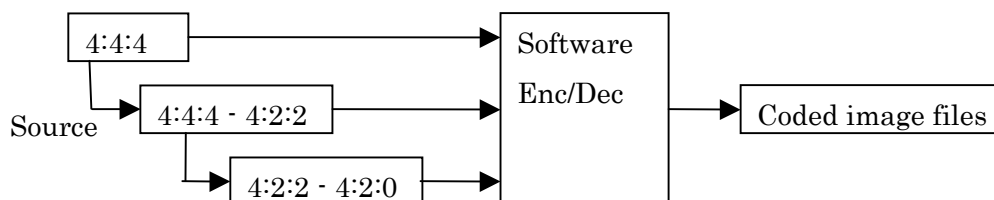
4.2.2 実験方法

実験条件を表 A3-12 に、実験系統を図 A3-11 にそれぞれ示す。

表 A3-12 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

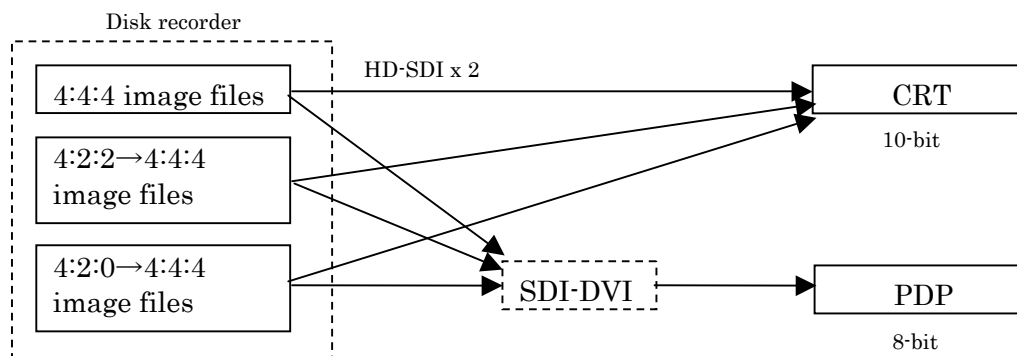


図 A3-11 実験系統

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 A3-13 に示す。

表 A3-13 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。
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。