

一般社団法人電波産業会  
デジタル放送システム開発部会

## 超高精細度テレビジョン放送の映像符号化方式に関する中間報告

### 目次

|                                        |    |
|----------------------------------------|----|
| 第 1 章 映像符号化方式 .....                    | 2  |
| 1.1 映像入力フォーマットおよび映像符号化方式の基本的な考え方 ..... | 2  |
| 1.1.1 スタジオ規格との整合性 .....                | 3  |
| 1.1.2 高度広帯域衛星デジタル放送の映像符号化方式 .....      | 4  |
| 1.1.3 映像符号化方式の国際規格 .....               | 4  |
| 1.2 映像符号化方式 .....                      | 5  |
| 1.2.1 フレーム周波数 .....                    | 5  |
| 1.2.2 表色系 .....                        | 5  |
| 1.2.3 符号化信号形式 .....                    | 6  |
| 1.2.4 符号化画素ビット数 .....                  | 6  |
| 1.2.5 プロファイル .....                     | 6  |
| 1.2.6 レベル .....                        | 6  |
| 1.2.7 所要ビットレート .....                   | 6  |
| 参考 1 表色系の比較 .....                      | 7  |
| 参考 2 符号化画素ビット数の比較実験 .....              | 9  |
| 1 目的 .....                             | 9  |
| 2 実験方法 .....                           | 9  |
| 2.1 テスト素材 .....                        | 9  |
| 2.2 符号化条件 .....                        | 9  |
| 2.3 符号化性能評価 .....                      | 9  |
| 3 結果 .....                             | 9  |
| 参考 3 映像符号化方式実証実験 .....                 | 11 |
| 1 映像フォーマットと所要ビットレート確認実験 .....          | 11 |
| 1.1 目的 .....                           | 11 |
| 1.2 実験計画 .....                         | 11 |

## 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映像符号化方式の基本的な考え方

映像符号化方式の検討にあたっては、超高精細度テレビジョン放送に係る衛星デジタル放送方式の要求条件（表 1 参照）を踏まえ、特に、超高精細度テレビジョン(UHDTV)サービスを可能とすることを基本とし、関連する映像フォーマットおよび符号化方式の技術動向や規格化の状況を考慮した。

表 1 映像符号化方式に関する要求条件（抜粋）

|                   |                                                                             |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| 基本的な考え方           | 超高精細度テレビジョン放送による高画質サービス、多機能及び多様で柔軟なサービスを実現できること。                            |
|                   | 将来の技術動向を考慮し、実現可能な技術を採用するとともに、その後に想定されるサービスや機能の追加等にも配慮した拡張性を有する方式とすること。      |
|                   | 現行の放送サービスや他のデジタル放送メディアとの相互運用性をできる限り確保するとともに、通信との連携による新たなサービスにも対応できること。      |
|                   | 高度広帯域伝送方式または高度狭帯域伝送方式の技術的条件を踏まえることとし、技術的に同一のものとすることが適当な場合については、その内容を準用すること。 |
| サービス              | 高精細度テレビジョン(HDTV)サービスを可能とすること。                                               |
|                   | HDTV を超える高画質サービスである超高精細度テレビジョン(UHDTV)サービス※を基本とすること。                         |
| 画質                | UHDTV サービス※が望まれることを考慮し、できる限り高い画質を保つこと。                                      |
|                   | 情報源符号化による画質劣化の時間率ができるだけ小さいこと。                                               |
|                   | サービスに応じて画像のビットレートを変更できること。                                                  |
| 映像入力フォーマット及び符号化方式 | UHDTV サービス※を考慮した映像入力フォーマット及び高効率かつ高画質な符号化方式であること。                            |
|                   | 国際標準と整合した方式を用いること。                                                          |
|                   | 将来の拡張性を考慮した符号化方式であること。                                                      |
|                   | サービス要件、現行設備や受信機への負担等を考慮して選定される種々の映像入力フォーマットに適用できること。                        |

※ 広帯域伝送（34.5MHz 帯域幅）は 8K まで、狭帯域伝送（27MHz 帯域幅）は 4K まで

### 1.1.1 スタジオ規格との整合性

UHDTV および HDTV のスタジオ規格の ITU-R 勧告 BT.2020 および同 BT.709 に基づき、ARIB 標準規格 STD-B56 および BTA-S001C が策定されている。表 2 に ARIB 標準規格 STD-B56 および BTA-S001C の主要パラメータを示す。超高精細度テレビジョン放送の映像入力フォーマットを規定するにあたり、これらのスタジオ規格との整合性を考慮した。

表 2 UHDTV と HDTV の ARIB スタジオ規格

|           |            | UHDTV                                                                                                       |        | HDTV                                                                                                        |              |
|-----------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| ARIB 標準規格 |            | STD-B56                                                                                                     |        | S-001C                                                                                                      |              |
| 空間解像度     |            | 7680×4320, 3840×2160                                                                                        |        | 1920×1080                                                                                                   |              |
| フレーム周波数   |            | 120, 60, 59.94 Hz                                                                                           |        | 60, 59.94 Hz                                                                                                | 30, 29.97 Hz |
| フィールド周波数  |            | —                                                                                                           |        | —                                                                                                           | 60, 59.94 Hz |
| 表色系       | (CIE 1931) | 広色域(Rec.2020)                                                                                               |        | 従来色域(Rec.709)                                                                                               |              |
|           |            | $x$                                                                                                         | $y$    | $x$                                                                                                         | $y$          |
|           | Red        | 0.708                                                                                                       | 0.292  | 0.640                                                                                                       | 0.330        |
|           | Green      | 0.170                                                                                                       | 0.797  | 0.300                                                                                                       | 0.600        |
|           | Blue       | 0.131                                                                                                       | 0.046  | 0.150                                                                                                       | 0.060        |
|           | White      | D65                                                                                                         |        | D65                                                                                                         |              |
|           |            | 0.3127                                                                                                      | 0.3290 | 0.3127                                                                                                      | 0.3290       |
| 信号形式      | R'G'B'     | 4:4:4                                                                                                       |        | 4:4:4                                                                                                       |              |
|           | Y'C'B'C'R  | 4:4:4, 4:2:2, 4:2:0 (非定輝度)                                                                                  |        | 4:2:2                                                                                                       |              |
| 輝度・色差信号   |            | $Y' = 0.2627R' + 0.6780G' + 0.0593B'$<br>$C'_B = \frac{B' - Y'}{1.8814}$<br>$C'_R = \frac{R' - Y'}{1.4746}$ |        | $Y' = 0.2126R' + 0.7152G' + 0.0722B'$<br>$C'_B = \frac{B' - Y'}{1.8556}$<br>$C'_R = \frac{R' - Y'}{1.5748}$ |              |
| 画素ビット数    |            | 12, 10 bit                                                                                                  |        | 10, 8 bit                                                                                                   |              |

### 1.1.2 高度広帯域衛星デジタル放送の映像符号化方式

高度広帯域衛星デジタル放送の映像符号化方式は、HDTV を超える高画質サービスを提供するため、1080/60/I に加えて 1080/60/P と 2160/60/P を基本映像フォーマットとし、また、広色域映像を放送するために、Rec.709 互換の xvYCC (IEC 61966-2-4)による広色域伝送方式を採用している。表 3 に高度広帯域衛星デジタル放送の映像符号化方式の主要パラメータを示す。超高精細度テレビジョン放送の映像入力フォーマットを規定するにあたり、この高度広帯域衛星デジタル放送の映像符号化方式を考慮した。

表 3 高度広帯域衛星デジタル放送の映像符号化方式

|             | システム          | 2160/60/P                                         | 1080/60/P | 1080/60/I |
|-------------|---------------|---------------------------------------------------|-----------|-----------|
| 符号化映像フォーマット | 空間解像度         | 3840×2160                                         | 1920×1080 |           |
|             | フレーム周波数 (Hz)  | 59.94                                             | 59.94     | 29.97     |
|             | フィールド周波数 (Hz) | —                                                 | —         | 59.94     |
|             | 表色系           | 従来色域(Rec.709), 広色域(xvYCC)                         |           |           |
|             | 符号化信号形式       | Y'C' <sub>B</sub> C' <sub>R</sub><br>4:2:2, 4:2:0 |           |           |
|             | 符号化画素ビット数     | 10, 8 bit                                         |           |           |
| 映像符号化方式     | 準拠規格          | ITU-T H.264   MPEG-4 AVC                          |           |           |
|             | プロファイル        | High4:2:2 (High10, High, Main を包含)                |           |           |

### 1.1.3 映像符号化方式の国際規格

ITU-T と ISO/IEC が共同で検討してきた最新の映像符号化方式である HEVC (High Efficiency Video Coding)が 2013 年 4 月に ITU-T 勧告 H.265 として制定された。今後、ISO/IEC 規格も発行される予定である。同規格には、Main、Main 10、Main Still Picture の三つのプロファイルが規定されている。超高精細度テレビジョン放送の映像符号化方式として、この HEVC を採用することを前提とした。

## 1.2 映像符号化方式

前節の基本的考え方を基に、超高精細度テレビジョン放送の映像符号化方式を表4の通り策定した。

表4 超高精細度テレビジョン放送の映像符号化方式

|               | システム          | 4320/P                         |           | 2160/P    |           | 1080/P                                    | 1080/I    |
|---------------|---------------|--------------------------------|-----------|-----------|-----------|-------------------------------------------|-----------|
| 符号化映像フォーマット*1 | 空間解像度         | 7680×4320                      |           | 3840×2160 |           | 1920×1080                                 |           |
|               | フレーム周波数 (Hz)  | 120                            | 60, 59.94 | 120       | 60, 59.94 | 60, 59.94                                 | 30, 29.97 |
|               | フィールド周波数 (Hz) | —                              |           |           |           | —                                         | 60, 59.94 |
|               | 表色系           | 広色域(Rec.2020)                  |           |           |           | 従来色域(Rec.709), 広色域(xvYCC <sub>709</sub> ) |           |
|               | 符号化信号形式       | Y'C'B'C' <sub>R</sub><br>4:2:0 |           |           |           |                                           |           |
|               | 符号化画素ビット数     | 10                             |           |           |           | 10, 8                                     |           |
| 映像符号化方式       | 準拠規格          | ITU-T H.265   MPEG-H HEVC      |           |           |           |                                           |           |
|               | プロファイル        | Main 10                        |           |           |           | Main 10, Main                             |           |
|               | レベル           | 6.2                            | 6.1       | 5.2       | 5.1       | 4.1                                       | 4         |

\*1 HDTV および UHDTV の ARIB スタジオ規格(BTA S-001C および STD-B56)に規定されている映像フォーマットを超高精細度テレビジョン放送の信号源フォーマットとする。

### 1.2.1 フレーム周波数

従来のフレーム周波数の2倍の120 HzがUHDTVスタジオ規格に規定されている。これによって、動きぼやけの少ない鮮明な映像を提供可能となることから、UHDTV放送(4320/Pおよび2160/P)に採用した。2016年の時点においては、120 Hzに対応したエンコーダ、デコーダが実現される可能性は低い。将来、120 HzのUHDTV放送が実現した時に、60 Hz対応受信機が120 Hz放送を受信して60 Hzの映像を復号できるように、時間方向階層符号化の運用を別途規定する。

UHDTVおよびHDTVの国内スタジオ規格との整合性および異種フレーム周波数の混在は非現実的であることを考慮し、60 Hz系のフレーム周波数のみを採用した。60 Hz系のシステムの中でフレーム周波数24 Hzの番組を毎秒24フレームのままで符号化・復号するための運用を別途規定する。

### 1.2.2 表色系

原則としてスタジオ規格に準拠した表色系を採用することとした。すなわち、スタジオ規格に準拠しない表色系で制作された番組は、スタジオ規格の表色系に変換して放送する。例えば、従来色域で制作されたUHDTV番組を放送する場合や、HDTV素材をUHDTVにアップコンバートして使用する場合は、従来色域からUHDTVスタジオ規格の広色域表色系に変換する。例外として、以下の運用を想定した規定を追加した。

- (i) UHDTV 等の広色域映像を HDTV 解像度で放送する場合、HDTV の三原色を用いながら広色域映像を伝送可能な xvYCC (IEC 61966-2-4)を採用することにより、従来色域の HDTV 放送との互換性を備えた広色域 HDTV 放送が可能となる。本方式は、高度広帯域衛星デジタル放送方式に採用されている。なお、Rec.2020 の広色域映像を xvYCC で伝送する場合、一部の色は伝送できないことに留意する必要がある。(参考 1)

### 1.2.3 符号化信号形式

現行の HDTV デジタル放送では 4:2:0 が採用されていること、また、Main 10 プロファイルおよび Main プロファイルは Y'C'B'C'R 4:2:0 のみをサポートしていることから、Y'C'B'C'R 4:2:0 を採用した。なお、表 2 の通り、表色系に応じて輝度・色差信号方程式が異なる。

### 1.2.4 符号化画素ビット数

HEVC の Main プロファイルは 8 bit、Main 10 プロファイルは 10 bit までをサポートしている。

HDTV スタジオ規格の画素ビット数は 8 または 10 bit であるのに対し、現行 HDTV デジタル放送では 8 bit、高度広帯域衛星デジタル放送では 8 または 10 bit が符号化画素ビット数としてそれぞれ採用されている。したがって、超高精細度テレビジョン放送における HDTV サービスの符号化画素ビット数は 8 または 10 bit とする。

一方、UHDTV スタジオ規格の画素ビット数は 10 または 12 bit であり、超高精細度テレビジョン放送における符号化画素ビット数 8 bit の採否が課題であった。画素ビット数 10 bit と 8 bit の符号化性能を比較するための符号化実験を行い、レート歪み特性を比較した。その結果、10 bit の方が良いことが確認されたため、10 bit 符号化のみを採用することとした。(参考 2)

### 1.2.5 プロファイル

Main プロファイルは 4:2:0, 8 bit、Main 10 プロファイルは 4:2:0, 10 bit をそれぞれサポートし、Main 10 プロファイルは Main プロファイルを包含している。符号化画素ビット数 10 bit の場合は Main 10 プロファイル、符号化画素ビット数 8 bit の場合には Main プロファイルをそれぞれ使用することとした。Main Still Picture プロファイルは静止画用であるため、データ放送の静止画用符号化方式としての採用はあり得るが、超高精細度テレビジョン放送の映像符号化方式としては採用しなかった。

### 1.2.6 レベル

映像フォーマットに応じてレベルが定まる。映像フォーマット毎の最大ビットレートは、HEVC 規格のコンシューマ用途を想定した Main tier の規定に準拠するものとする。

### 1.2.7 所要ビットレート

採用した各映像フォーマットを HEVC で符号化する場合に放送品質を得るために必要なビットレートを明らかにするため、符号化実験、画質評価実験を予定している。(参考 3)

## 参考1 表色系の比較

3種類の表色系がそれぞれ表現可能な色域を図A1-1に示す。

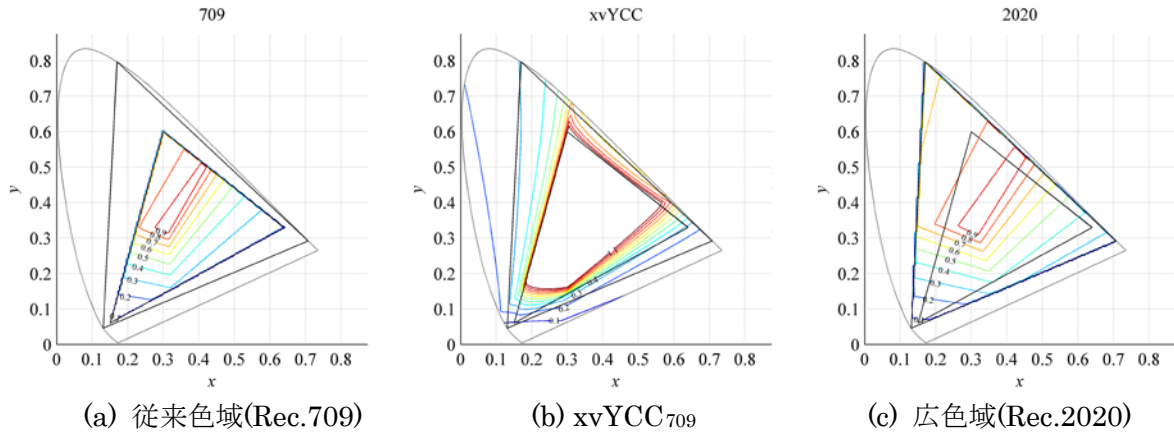
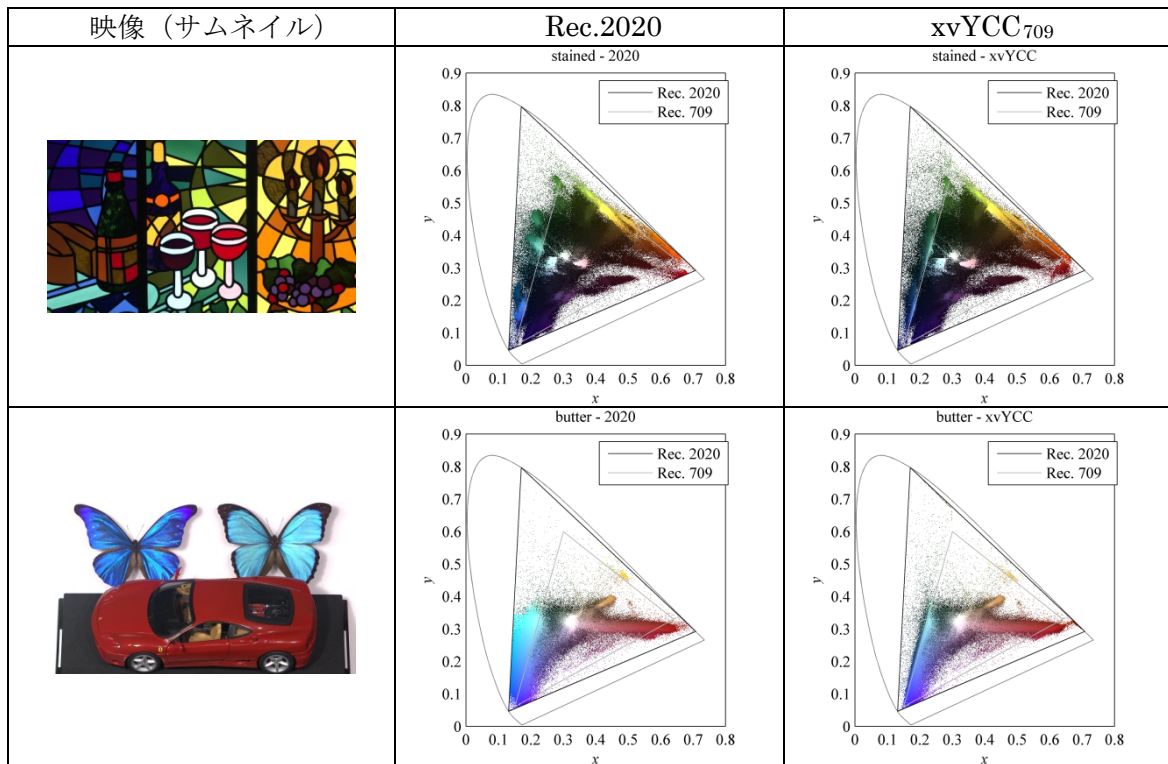


図 A1-1 表色系と色域

広色域映像(Rec.2020)とそれを xvYCC に変換した場合のそれぞれの色域を図 A2-2 に比較して示す。xvYCC に変換した場合、一部の色は表現されなくなる。



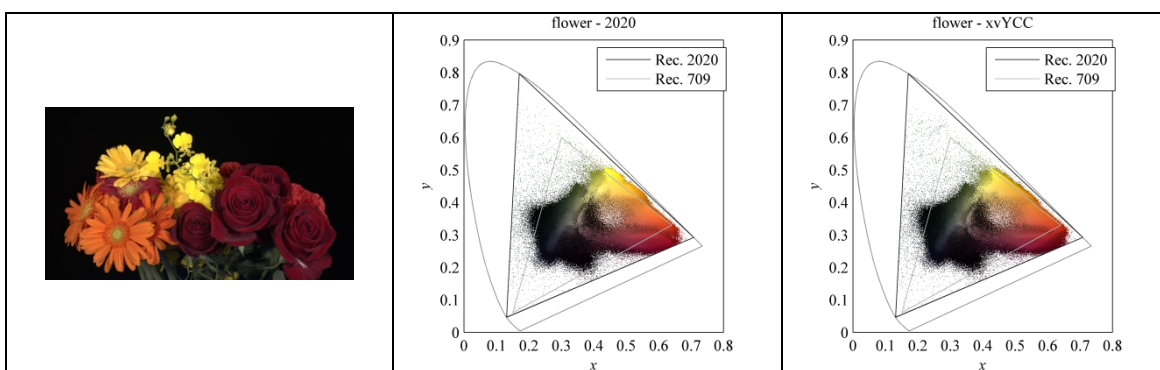


図 A1-2 表色系と色域

## 参考2 符号化画素ビット数の比較実験

### 1 目的

8 bit 符号化と 10 bit 符号化の性能を比較する。

### 2 実験方法

#### 2.1 テスト素材

主観評価実験（参考 3 参照）で用いる 4K フォーマットの 11 シーケンス（予備シーケンスを含む）。10 bit 素材、シーケンス長 15 秒。

#### 2.2 符号化条件

HM 11.0 を用いた 8 bit 符号化および 10 bit 符号化。

ビットレートは 15M、20M、30M、40Mbit/s の 4 通り（参考 3 と同じ）。

#### 2.3 符号化性能評価

10 bit 素材を 10 bit のままで符号化する場合と、10 bit 素材を 8 bit に変換して（丸めて）8 bit 符号化する場合を比較した。

8 bit 符号化の場合の PSNR は、8 bit から 10 bit に変換（2 bit shift）した 10 bit と原画像の 10 bit との間で求めた。

各ビットレートにおける PSNR と平均ビットレート（実測値）から、8 bit 符号化を基準とした 10 bit 符号化の BD-Rate<sup>1</sup>を求めた。

### 3 結果

8 bit 符号化を基準とした 10 bit 符号化の BD-Rate を図 A2-1 に示す。10 bit 符号化の方が 8 bit 符号化よりも符号化効率が良いことが示された。一例として、約 20% の改善が示された 010\_townDolly のビットレート対輝度信号 PSNR を図 A2-2 に示す。

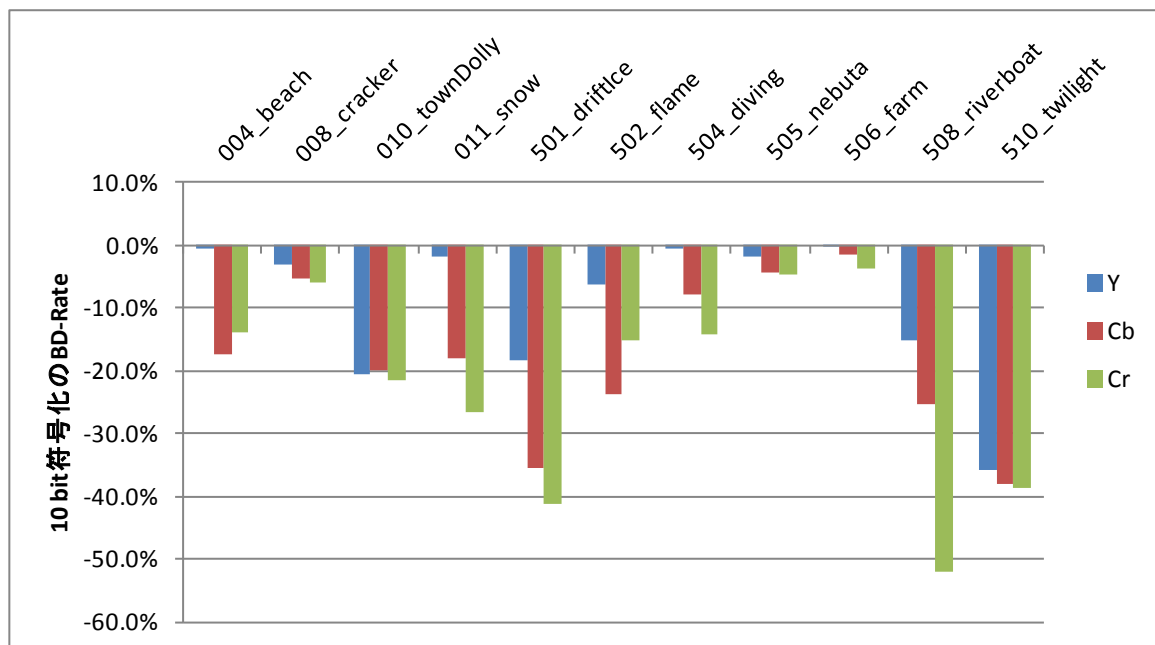


図 A2-1 8 bit 符号化に対する 10 bit 符号化の BD-Rate  
(負値は 10 bit 符号化の方が良いことを意味する)

<sup>1</sup> 4 点のビットレート対 PSNR から計算される平均的な符号化効率を示す指標。

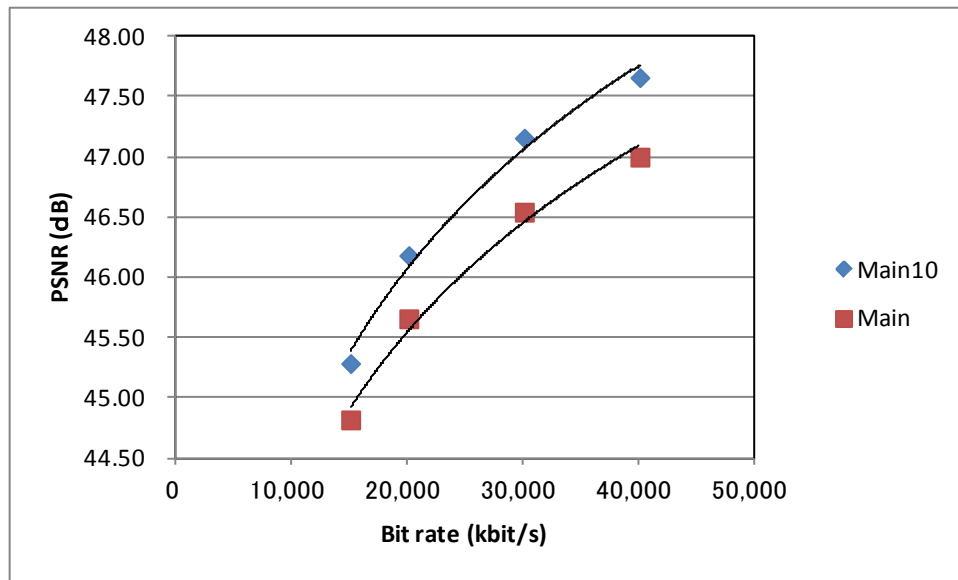


図 A2-2 ビットレート対輝度信号 PSNR (010\_townDolly)

### 参考 3 映像符号化方式実証実験

#### 1 映像フォーマットと所要ビットレート確認実験

##### 1.1 目的

1080/60I, 1080/60P, 2160/60P, 4320/60P を HEVC によって符号化する場合の所要ビットレートを確認する。

##### 1.2 実験計画

符号化実験および画質評価実験の条件をそれぞれ表 A3-1、表 A3-2 に示す。

表 A3-1 符号化実験条件

|                          |              |                                               |
|--------------------------|--------------|-----------------------------------------------|
| 映像                       | フォーマット       | Y'C <sub>B</sub> C <sub>R</sub> 4:2:0, 10 bit |
|                          | テスト画像        | 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 10 種類、各 15 秒   |
| 符号化                      | エンコーダ        | HEVC Test Model HM11.0                        |
|                          | デコーダ         | HEVC Test Model HM11.0                        |
|                          | プロファイル       | Main10 (10 bit, 4:2:0)                        |
|                          | ビットレート       | 1080/60I: 3～10 Mbit/s                         |
|                          |              | 1080/60P: 4～15 Mbit/s                         |
|                          |              | 2160/60P: 15～40 Mbit/s                        |
| 4320/60/P: 60～120 Mbit/s |              |                                               |
| Intra 間隔                 | 32 (約 0.5 秒) |                                               |

表 A3-2 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 A3-3 参照)          |
| 観視条件   | Rec. ITU-R BT. 2022                           |
| 評定者    | 専門家 32 人                                      |
| ディスプレイ | 25-inch 有機 EL (1080/60I, 1080/60P)            |
|        | 56-inch LCD (2160/60P)                        |
|        | 85-inch LCD (4320/60P)                        |
| 視距離    | 1080/60P, 1080/60I: 画面高さの 3 倍(3H)             |
|        | 2160/60P: 画面高さの 1.5 倍(1.5H)                   |
|        | 4320/60P: 画面高さの 0.75 倍(0.75 H)および 1.5 倍(1.5H) |

表 A3-3 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     |