

情報通信審議会 情報通信技術分科会
放送システム委員会

報 告
(案)

目次

I	審議事項	i
II	委員会及び作業班の構成	i
III	検討経過	i
IV	検討概要	ii
1.	超高精細度テレビジョン放送等に係るHDR（ハイダイナミックレンジ）の要求条件	2
1. 1.	基本的な考え方	2
1. 1. 1	システム	2
1. 1. 2	放送品質	3
1. 1. 3	技術方式	3
1. 1. 4	受信機	4
1. 2.	提案された方式と要求条件との整合性	4
1. 2. 1	システム	4
1. 2. 2	放送品質	6
1. 2. 3	技術方式	6
1. 2. 4	受信機	8
2.	技術的条件	9
2. 1.	符号化映像フォーマット	9
2. 2.	映像符号化方式	13
2. 2. 1	映像ビットストリームにおける伝達関数の識別	13
2. 2. 2	多重化層における識別	14
3.	今後の課題	20
3. 1.	ITUにおける議論の動向	20
3. 2.	特殊な映像手法との関係	20

I 審議事項

放送システム委員会では、情報通信審議会諮問第 2023 号「放送システムに関する技術的条件」のうち「超高精細度テレビジョン放送システムに関する技術的条件」について検討を行い、「超高精細度テレビジョン放送システム等の高画質化に係る技術的条件」について、本報告（案）を取りまとめた。

II 委員会及び作業班の構成

放送システム委員会の構成は別表 1 のとおり。

なお、放送システム委員会の下に、委員会における調査のために必要な情報を収集し、技術的条件についての検討の促進を図るため、HDR 作業班を設置した。HDR 作業班の設置要綱は別表 2、また、HDR 作業班の構成は別表 3 のとおり。

III 検討経過

本件に関する放送システム委員会及びHDR作業班での検討経過は、次のとおり。

(1) 第 5 1 回放送システム委員会（平成 2 7 年 1 1 月 2 日）

超高精細度テレビジョン放送システム等にHDR技術を導入するにあたって必要となる技術的条件の検討の開始の決定、HDR 作業班の設置並びに同作業班の運営方針、検討課題及び検討スケジュールについて検討を行った。

また、HDR 技術の技術的条件について広く提案の機会を設けることとし、平成 2 7 年 1 1 月 1 2 日から同 2 6 日までの間、提案募集を行った。

(2) 第 1 回HDR作業班（平成 2 7 年 1 1 月 2 日）

上記の第 5 1 回放送システム委員会での決定を受けて設置された作業班の第 1 回会合であり、設置要綱の確認や、上記提案募集に係る要求条件の検討を行った。

(3) 提案募集（平成 2 7 年 1 1 月 1 2 日から 2 6 日まで）

委員会による報道発表及び総務省ホームページ上で募集を行った。結果、（一社）電波産業会より提案があった。

(4) 第 5 2 回放送システム委員会・第 2 回HDR作業班（平成 2 7 年 1 2 月 1 1 日）

NHK放送技術研究所において合同会合を開催し、（一社）電波産業会から提案された 2 つのHDR 方式について、実機によるデモを実施した。

(5) 第 3 回HDR作業班（平成 2 8 年 2 月 2 9 日）

C E S 2 0 1 6 (International Consumer Electronics Show 2016)におけるHDR 技術に関する展示等の状況や、I T U - R（国際電気通信連合無線通信部門）でのHDR 技術に関する審議状況について報告し、提案された方式について要求条件との整合性を確認した。

(6) 第4回HDR作業班(平成28年3月23日)

作業班報告書案の検討を行い、報告書を取りまとめた。

(7) 第53回放送システム委員会(平成28年3月30日)

HDR作業班からの報告を受け、委員会報告(案)について検討を行った。

(8) 第54回放送システム委員会(平成28年〇月〇日)

超高精細度テレビジョン放送システム等の高画質化に係る技術的条件について、提出された意見に対する委員会の考え方及び委員会報告のとりまとめを行った。

IV 検討概要

別紙のとおり。

別表 1

情報通信技術分科会 放送システム委員会 構成員

(平成28年3月30日現在、敬称略)

氏 名		主 要 現 職
主査 専門委員	伊丹 誠	東京理科大学 基礎工学部 教授
主査代理 専門委員	都竹 愛一郎	名城大学 理工学部 教授
委員	相澤 彰子	国立情報学研究所 コンテンツ科学研究系 教授
専門委員	井家上 哲史	明治大学 理工学部 教授
〃	甲藤 二郎	早稲田大学 基幹理工学部 教授
〃	喜安 拓	一般社団法人日本CATV技術協会 副理事長
〃	関根 かをり	明治大学 理工学部 教授
〃	高田 潤一	東京工業大学大学院 理工学研究科 教授
〃	丹 康雄	北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 教授
〃	野田 勉	スターキャット・ケーブルネットワーク(株) 上席主任研究員
〃	松井 房樹	一般社団法人電波産業会 専務理事・事務局長
〃	村山 優子	岩手県立大学 ソフトウェア情報学部 教授
〃	矢野 博之	国立研究開発法人情報通信研究機構 ワイヤレスネットワーク研究所 研究所長
〃	山田 孝子	関西学院大学 総合政策学部 教授

HDR作業班の設置要綱について

放送システム委員会における「放送システムに関する技術的条件」のうち「超高精細度テレビジョン放送システムに関する技術的条件」に関し、超高精細度テレビジョン放送システムへのハイダイナミックレンジ技術の導入の検討に必要となる情報を収集し、技術的条件についての調査を促進させるために「HDR作業班」を設置することとする。

1. 作業班の運営等

- (1) 作業班の会議は、主任が招集する。
- (2) 作業班に主任代理を置くことができ、主任が指名する者がこれに当たる。
- (3) 主任代理は、主任が不在のとき、その職務を代行する。
- (4) 主任は、作業班の調査及び議事を掌握する。
- (5) 主任は、会議を招集する時は、構成員にあらかじめ日時、場所及び議題を通知する。
- (6) 特に迅速な調査を必要とする場合であつて、会議の招集が困難な場合、主任は電子メールによる調査を行い、これを会議に代えることができる。
- (7) 主任は、必要があるときは、会議に必要と認める者の出席を求め、意見を述べさせ、又は説明させることができる。
- (8) 主任は、必要と認める者からなるアドホックグループを設置することができる。
- (9) 作業班において調査された事項については、主任がとりまとめ、これを委員会に報告する。
- (10) その他、作業班の運営については、主任の定めるところによる。

2. 会議の公開

会議は、次の場合を除き、公開する。

- (1) 会議を公開することにより当事者又は第三者の権利、利益や公共の利益を害するおそれがある場合。
- (2) その他、主任が非公開とすることを必要と認めた場合。

3. 事務局

作業班の事務局は、情報流通行政局放送技術課が行う。

別表 3

情報通信技術分科会 放送システム委員会

H D R 作 業 班 構 成 員

(平成28年3月30日現在、敬称略)

氏 名		主 要 現 職
主任	甲藤 二郎	早稲田大学 基幹理工学部 教授
主任 代理	奥井 誠人	国立研究開発法人 情報通信研究機構 ユニバーサルコミュニケーション研究所 超臨場感映像研究室 副室長
	池田 哲臣	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 委員長
	上園 一知	株式会社ジュピターテレコム 技術企画本部 技術戦略部 マネージャー
	鵜飼 徹	一般社団法人 衛星放送協会 技術委員会 副委員長 (株式会社東北新社 執行役員 放送本部 等々カメディアセンター長兼技術部長)
	浦野 丈治	日本テレビ放送網 技術統括局 技術開発部 専門部長
	小倉 敏之	ソニービジュアルプロダクツ株式会社 技術戦略室 シニアプリンシパルエンジニア
	小島 敏裕	フジテレビジョン 総合技術局 次長
	小山 恭司	テレビ朝日 技術局 技術戦略部
	佐々木 博之	パナソニック株式会社 渉外グループ 担当部長
	柴田 達雄	一般社団法人日本ケーブルラボ 実用化開発部長
	杉本 明久	一般社団法人 日本CATV技術協会 事業部長
	高田 仁	一般社団法人 日本民間放送連盟 企画部 主幹
	田島 慶一	スカパーJ S A T株式会社 技術運用本部 システム技術部 部長代行
	田中 英治	テレビ東京 技術局技術開発部 副参事
	中田 仁也	一般社団法人 次世代放送推進フォーラム 技術部長

西田 幸博	日本放送協会 放送技術研究所 テレビ方式研究部 上級研究員
廣田 篤史	株式会社WOWOW 経営戦略局 経営企画部 担当部長
藤根 俊之	シャープ株式会社 デジタル情報家電事業本部 グローバル開発センター 第2開発部 部長
堀 明宏	Dolby Japan 株式会社 顧問
牧田 英雄	日本電気株式会社 放送・メディア事業部 放送第二技術部 シニアエキスパート
増原 一衛	日本放送協会 技術局 スーパーハイビジョン開発部 専任部長
三木 圭輔	TBSテレビ 技術局 JNN技術統括部 次長
南 浩次	三菱電機株式会社 先端技術総合研究所 映像処理技術部 部長
山内 日美生	株式会社東芝 研究開発センター オーディオ&ビジュアル技術開発部 グループ長

検 討 概 要

はじめに

放送・通信等の分野において、ハイビジョンを超える超高精細度映像技術の研究・開発が進展しており、4 K以上の超高精細度映像の制作に関する国際規格の策定も進み、4 Kや8 Kに対応したカメラ、ディスプレイ、プロジェクタ等の製品化も急速に進んでいる。

このような状況を踏まえ、総務省では、「放送サービスの高度化に関する検討会」（座長：須藤 修 東京大学大学院情報学環長・教授）を開催し、同検討会に「スーパーハイビジョンWG」（主査：伊東 晋 東京理科大学理工学部 教授）を設置して検討を進め、4 K・8 K（スーパーハイビジョン）による放送サービスや受信機の実用化・普及に関するロードマップを2013年5月31日に策定したところである。

こうした流れを受け、本放送システム委員会においても、同月、第35回会合を開催し、超高精細度テレビジョン放送システムに関する技術的条件の検討を開始した。以降、6回の委員会会合と5回の作業班会合を開催し、2014年3月の第42回会合にて放送システム委員会報告を取りまとめた。

また、2014年2月から「4 K・8 Kロードマップに関するフォローアップ会合」（座長：伊東 晋 東京理科大学理工学部 教授）を開催し、各目標年の取組の具体化・加速化、並びに、ロードマップに示された目標実現に際しての課題及び課題解決のための具体的方策等について、検討を進めてきたところである。2015年7月に発表された第二次中間報告において、HDR（High Dynamic Range imaging）の動向について、米国などでは4 KフォーマットでHDR技術を採用した形での映像配信が予定されていること、4 K対応のパッケージメディア「Ultra HD Blu-ray」の仕様においてもダイナミックレンジの拡大が行われていることが報告されたところである。

以上の背景を踏まえて、我が国においても超高精細度テレビジョン放送等の更なる高画質化を図るため、必要な技術的条件について調査を行ってきた。HDRサービスの実現に際して求められる要求条件とともに国際的な技術動向を踏まえ、今般、「超高精細度テレビジョン放送システムに関する技術的条件」のうち「超高精細度テレビジョン放送システム等の高画質化に係る技術的条件」について概要を取りまとめたので、ここに報告する。

1. 超高精細度テレビジョン放送等に係るHDR（ハイダイナミックレンジ）の要求条件

1. 1. 基本的な考え方

超高精細度テレビジョン放送等に係る HDR の要求条件に関する基本的な考え方は、最新の衛星デジタル放送方式における要求条件※を踏まえて、次のとおりとする。なお、HDR の概念に関する説明を参考資料 1 に示す。

- ・ 超高精細度テレビジョン放送等による高画質な HDR 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こと。
- ・ 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。

※最新の衛星デジタル放送方式における要求条件

平成 26 年 3 月 25 日付 情報通信審議会答申「放送システムに関する技術的条件」のうち「超高精細度テレビジョン放送に関する技術的条件」のうち「衛星基幹放送及び衛星一般放送に関する技術的条件」

1. 1. 1 システム

項目	要求条件
インターオペラビリティ	・ 衛星放送、CATV、IPTV、蓄積メディア等の様々なメディア間で、できる限り互換性を有すること。 ・ 既存の SDR-TV 用ディスプレイや 4K 用受信機でも HDR-TV 映像を違和感無く表示できること。 ・ HDR-TV 対応ディスプレイは SDR-TV 映像の表示にも対応できること。
サービス	・ 超高精細度テレビジョン（UHDTV）サービスを基本としつつ、高精細度テレビジョン（HDTV）サービスも可能とすること。
番組制作、編成	・ ライブ放送への適用が可能であること。 ・ HDR-TV と SDR-TV の時分割混在（まだら編成）が可能であること。
国際展開	・ 諸外国も容易に導入できるシステムとなるよう考慮すること。

1. 1. 2 放送品質

項目	要求条件
画質	・ HDR-TV 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。 ・ HDR-TV の所要ビットレートが SDR-TV と同等であること。

1. 1. 3 技術方式

項目	要求条件
映像入力フォーマット及び符号化方式	・ HDR-TV 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。 ・ 国際標準との整合がとれていること。 ・ HDR-TV に必須のパラメータを除いて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と整合した映像入力フォーマットであること。 ・ SDR-TV（マルチメディアコンテンツを含む）と HDR-TV の併用、識別及び切替が可能であること。 ・ HDR-TV と SDR-TV のシームレスな切替・表示が可能であること。 ・ HEVC 規格 Main 10 プロファイルによる HDR-TV の符号化が可能であること。 ・ 視聴環境やディスプレイ性能に応じた輝度調整が容易であること。 ・ 受信される映像信号に対して、受信機側での動的な輝度補正を必要としないこと。
多重化方式	・ 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に準拠した多重化方式であること。 ・ SDR-TV（マルチメディアコンテンツを含む）と HDR-TV の併用、識別及び切替が可能であること。 ・ HDR-TV と SDR-TV のシームレスな切替・表示が可能であること。 ・ 通信系のサービスとの連携を考慮すること。 ・ 他のサービスとの相互運用性を考慮すること。 ・ 国際標準との整合がとれていること。

1. 1. 4 受信機

項目	要求条件
操作性	・ 操作が簡単であること。 ・ 所望のサービスの選択が統一的な操作方法で行えることが望ましい。
インターフェース	・ 映像出力については、既存のディスプレイにおける提供について考慮すること。 ・ 受信機が対応するサービスに応じたインターフェースを有すること。
仕様	・ 受信機が満たすべき条件(必須の信号処理など)が開示されていること。
動作	・ HDR-TV 対応受信機は、放送信号上のフラグを識別し、対応したモードでの表示を行うこと。 ・ HDR-TV 非対応受信機(放送信号上のフラグを識別できず、HDR-TV 用の性能・特性を備えていない)においても適切な表示が可能であること。

※ HDR-TV (High Dynamic Range TV) : 表現する明暗の幅 (ダイナミックレンジ) を拡大した映像方式を採用したテレビジョン放送

※ SDR-TV (Standard Dynamic Range TV) : 従来のダイナミックレンジのテレビジョン放送

1. 2. 提案された方式と要求条件との整合性

作業班では、提案された2つの HDR の方式について、要求条件への整合性を確認した。超高精細度テレビジョン放送等に係る HDR の要求条件の各項目に対して、検討した方式との整合性を次に示す。なお、下記で触れている伝達関数に関する説明を参考資料2に、また、提案のあった HDR の方式に関する説明を参考資料3にそれぞれ示す。

1. 2. 1 システム

項目	要求条件	整合性
インターオペラビリティ	・ 衛星放送、CATV、IPTV、蓄積メディア等の様々なメディア間で、できる限り互換性を有すること。	高度衛星デジタル放送方式の映像符号化方式及び多重化方式との整合性を確保した。
	・ 既存の SDR-TV 用ディスプレイや 4K 用受信機でも HDR-TV 映像を違和感無く表示できること。	HLG 方式は、ハイライト部の輝度が圧縮されるが、変換の必要なく HDR-TV 映像を違和感なく表示可能であることを確認した。 PQ 方式は暗部の浮き上がりが目立つ場合があり、HLG に比べてピーク輝度が低下するが、映像を視認す

		ることは十分可能であることを確認した。 いずれの方式もディスプレイに接続するセットトップボックスでの映像信号処理によって HDR の方式と接続するディスプレイ性能に応じた調整が可能である（商品企画）。
	・HDR-TV 対応ディスプレイは SDR-TV 映像の表示にも対応できること。	ディスプレイの EOTF を切り替えることで HDR-TV と SDR-TV を表示可能である。
サービス	・超高精細度テレビジョン（UHDTV）サービスを基本としつつ、高精細度テレビジョン（HDTV）サービスも可能とすること。	UHDTV サービスを基本としつつ、HDTV 解像度の HDR サービスを可能とした。
番組制作、編成	・ライブ放送への適用が可能であること。	HLG 方式及び PQ 方式それぞれのライブ制作・伝送実験が実施されており（IBC2015, InterBEE などデモ）、可能性は確認されている。
	・HDR-TV と SDR-TV の時分割混在（まだら編成）が可能であること。	SDR-TV と HDR-TV (HLG 及び PQ) の識別を映像ストリーム及び多重化ストリームで可能とした。
国際展開	・諸外国も容易に導入できるシステムとなるよう考慮すること。	HLG 方式及び PQ 方式、並びに HEVC による映像符号化は国際標準に準拠しており容易に導入可能である。

1. 2. 2 放送品質

項目		整合性
画質	・HDR-TV 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。	HEVC Main 10 によって、SDR-TV の所要ビットレートと同等のビットレートで HDR-TV の所望の画質が得られることを実験によって確認した。 SDR 信号を HLG にマッピングして符号化する場合と SDR のままで符号化する場合で有意な画質差は無かった。
	・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。	HEVC Main 10 によって、SDR-TV の所要ビットレートと同等のビットレートで HDR-TV の所望の画質が得られることを実験によって確認した。
	・HDR-TV の所要ビットレートが SDR-TV と同等であること。	HEVC Main 10 によって、SDR-TV の所要ビットレートと同等のビットレートで HDR-TV の所望の画質が得られることを実験によって確認した。

1. 2. 3 技術方式

項目		整合性
映像入力フォーマット及び符号化方式	・HDR-TV 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。	ITU-R 新勧告案に記載されている映像方式から選択して採用すると共に、最新の映像符号化方式 HEVC Main10 プロファイルを採用した。
	・国際標準との整合がとれていること。	HLG 方式及び PQ 方式は、ITU-R 新勧告案及び HEVC 規格 3rd edition の FDIS (Final Draft International Standard) に記載されている。
	・HDR-TV に必須のパラメータを除いて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と整合した映像入力フォーマットであること。	HDR-TV のための伝達関数とその識別のみを新たに規定しており、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と整合してい

		る。
	・SDR-TV（マルチメディアコンテンツを含む）とHDR-TVの併用、識別及び切替が可能であること。	VUIでSDRとHDR(HLG及びPQ)の伝達関数の識別を可能としたため、SDR-TVとHDR-TVの併用、識別及び切替が可能である。
	・HDR-TVとSDR-TVのシームレスな切替・表示が可能であること。	VUIでSDRとHDR(HLG及びPQ)の伝達関数の識別を可能としたため、識別情報を用いたHDR-TVとSDR-TVのシームレスな切替・表示が可能である。なお、送出運用及び受信機動作については民間において運用ガイドラインが定められることを想定した。
	・HEVC規格Main 10プロファイルによるHDR-TVの符号化が可能であること。	HEVC Main 10プロファイルに準拠したコーデックでの符号化を確認した。
	・視聴環境やディスプレイ性能に応じた輝度調整が容易であること。	HLG方式は従来通りのディスプレイ調整が可能である。 PQ方式はディスプレイ性能に応じた信号変換により対応が可能である。
	・受信される映像信号に対して、受信機側での動的な輝度補正を必要としないこと。	HLG方式及びPQ方式は共に受信機側での動的な輝度補正は不要である。
多重化方式	・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に準拠した多重化方式であること。	多重化方式の変更はなく、伝達関数の識別のみを記述子に追加規定した。
	・SDR-TV（マルチメディアコンテンツを含む）とHDR-TVの併用、識別及び切替が可能であること。	記述子でSDRとHDR(HLG及びPQ)の識別を可能としたため、SDR-TVとHDR-TVの併用、識別及び切替が可能である。
	・HDR-TVとSDR-TVのシームレスな切替・表示が可能であること。	記述子でSDRとHDR(HLG及びPQ)の識別を可能としたため、識別情報を用いたHDR-TVとSDR-TVのシームレスな切替・表示が可能である。なお、送出運用及び受信機動作について

		は民間において運用ガイドラインが定められることを想定した。
	・通信系のサービスとの連携を考慮すること。	民間規格で放送・通信連携の規定がなされている。
	・他のサービスとの相互運用性を考慮すること。	従来の SDR-TV サービスとの相互運用が可能である。民間規格で放送・通信連携の規定がなされている。
	・国際標準との整合がとれていること。	MMT 及び MPEG-2 TS は国際標準に準拠した方式である。なお、記述子は民間規格で規定される。

1. 2. 4 受信機

項目		備考
操作性	・操作が簡単であること。	HDR-TV が導入されることによる複雑な受信機操作は不要である。
	・所望のサービスの選択が統一的な操作方法で行えることが望ましい。	受信機は SDR-TV と HDR-TV の識別が可能であり、それに応じた受信機設計がなされることを想定した。
インターフェース	・映像出力については、既存のディスプレイにおける提供について考慮すること。	HLG 方式は変換なしで適切な表示が可能。 いずれの方式もディスプレイに接続するセットトップボックスでの映像信号処理によって HDR の方式と接続するディスプレイ性能に応じた調整が可能である(商品企画)。
	・受信機が対応するサービスに応じたインターフェースを有すること。	民間において受信機規格(望ましい仕様)が策定されることを想定した。
仕様	・受信機が満たすべき条件(必須の信号処理など)が開示されていること。	民間において受信機規格(望ましい仕様)が策定されることを想定した。
動作	・HDR-TV 対応受信機は、放送信号上のフラグを識別し、対応したモードでの表示を行うこと。	映像ストリーム及び多重化ストリームでの識別に基づく運用ガイドラインが策定され、それに対応した受信機設計がなされることを想定した。

	・HDR-TV 非対応受信機（放送信号上のフラグを識別できず、HDR-TV 用の性能・特性を備えていない）においても適切な表示が可能であること。	HLG 方式は違和感なく表示可能であることを確認した。 PQ 方式は暗部の浮き上がりが目立つ場合があり、HLG に比べてピーク輝度が低下するが、映像を視認することは十分可能であることを確認した。
--	---	---

2. 技術的条件

提案された方式について要求条件との整合性が確認できたことから、HDR に関連する映像フォーマット、映像符号化方式等の技術動向や標準化の状況を考慮し、以下のとおり技術的条件をとりまとめた。

2. 1. 符号化映像フォーマット

HLG 方式および PQ 方式の映像信号特性（特に伝達関数。省令では「ガンマ補正」と称している。）を HDR-TV 用に追加規定する。HDR-TV は、ITU-R 勧告 BT. 2020 に準拠する広色域表色系及び 10 ビット量子化とセットで、高精細度テレビジョン放送システム及び超高精細度テレビジョン放送システムの解像度の映像フォーマットに適用する。

符号化映像フォーマットのパラメータは、表 1 及び表 2 に示すものとする。

表 1 符号化映像フォーマット

パラメータ		1080/60/I	1080/60/P	2160/60/P	2160/120/P	4320/60/P	4320/120/P
画面アスペクト比		16:9					
ライン当たり 有効サンプル数		1,920		3,840		7,680	
フレーム当たり 有効ライン数		1,080		2,160		4,320	
符号化		Y', C'_B, C'_R（非定輝度）					
サンプリング構造		4:2:0					
画素アスペクト比		1:1（正方画素）					
フレーム周波数 [Hz]		30/1.001, 30	60/1.001, 60	60/1.001, 60	120/1.001, 120	60/1.001, 60	120/1.001, 120
フィールド周波数 [Hz]		60/1.001, 60	—				
走査方式		飛越走査	順次走査				
SDR-TV	画素ビット数	8-bit, 10-bit		10-bit			
	カラリ メト リ・伝達 関数	Rec. ITU-R BT. 709, IEC 61966-2-4(xvYCC), Rec. ITU-R BT. 2020		Rec. ITU-R BT. 2020			
HDR-TV	画素ビット数	10-bit					
	カラリ メトリ	Rec. ITU-R BT. 2020					
	伝達関 数	HLG方式, PQ方式（表 2参照）					

表 2 HDR-TVの伝達関数

HLG 方式	PQ 方式
$E' = r\sqrt{L} \quad (0 \leq L \leq 1)$ $E' = a \cdot \ln(L - b) + c \quad (1 < L)$ ただし、rは基準白レベルに対する映像信号レベルであり $r=0.5$ とする。Lは基準白レベルで正規化したカメラの入力光に比例した電圧とし、E'は映像信号のカメラ出力に比例した電圧とする。a、b、cは定数であり、以下のとおりとする。 $a = 0.17883277$ $b = 0.28466892$ $c = 0.55991073$	$E' = \left(\frac{c_1 + c_2 L^{m_1}}{1 + c_3 L^{m_1}} \right)^{m_2} \quad (0 \leq L \leq 1)$ ただし、Lはカメラの入力光に比例した電圧とし、$L=1$が表示輝度 10,000 cd/m²に対応するものとする。E'は映像信号のカメラ出力に比例した電圧とする。m_1、m_2、c_1、c_2、c_3は定数であり、以下のとおりとする。 $m_1 = 2610/4096 \times \frac{1}{4} = 0.1593017578125$ $m_2 = 2523/4096 \times 128 = 78.84375$ $c_1 = 3424/4096 = 0.8359375 = c_3 - c_2 + 1$ $c_2 = 2413/4096 \times 32 = 18.8515625$ $c_3 = 2392/4096 \times 32 = 18.6875$

準拠規格

- (1) Draft new Recommendation ITU-R BT. [HDR-TV]: Image parameter values for high dynamic range television for use in production and international programme exchange
- (2) ARIB 標準規格 STD-B67 1.0 版(2015) : Essential parameter values for the extended image dynamic range television (EIDRTV) system for program production
- (3) SMPTE Standard ST 2084:2014: High Dynamic Range Electro-Optical Transfer Function of Mastering Reference Displays

(理由)

高ダイナミックレンジテレビジョン(HDR-TV)の映像パラメータについては、国際電気通信連合無線通信部門(ITU-R)第6研究委員会(SG6)で2012年から検討が進められ、2016年2月、新勧告案BT. [HDR-TV]「制作および国際的な番組交換のために使用する高ダイナミックレンジテレビの映像パラメータ値」が作成され、採択・承認手続き中である(2016年3月現在)。本勧告案は、1920×1080、3840×2160、7680×4320の空間解像度、24Hzから120Hzまでのフレーム周波数、勧告ITU-R BT. 2020と同じ広色域の映像に対して、HLG(Hybrid Log-Gamma)方式とPQ(Perceptual Quantization)方式の2方式を併記し、それぞれのOETF(Opto-electronic transfer function)、EOTF(Electro-optical transfer function)、OOTF(Opto-optical transfer function)の各伝達関数を規定し、さらに、RGBおよび非定輝度と

定輝度の輝度・色差信号形式、10-bit 及び 12-bit の整数デジタル信号表現（量子化特性）並びに 16-bit 浮動小数点表現を規定している。民間標準化団体においては、HLG 方式は ARIB 標準規格 STD-B67、PQ 方式は SMPTE ST 2084 にそれぞれ規定されているが、両方式の撮像側、表示側、全体特性の全てを規定したのは ITU-R 勧告 BT. [HDR-TV]が初めてである。

表 1 及び表 2 に示した HDR-TV の映像パラメータは、これら ITU-R 勧告案、ARIB 標準規格、SMPTE 規格に準拠している。広色域表色系や量子化ビット数 10-bit 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に採用されており、HDR-TV のための新たな規定は伝達関数のみである。

伝達関数については、ここでは放送方式を規定するため、表 2 のとおり撮像側の特性のみを規定するが、表示側あるいは全体特性については、ITU-R 勧告案を参照する必要がある。なお、PQ 方式の伝達関数については、後述の HEVC 規格による伝達関数の識別の規定を踏襲し、EOTF の逆関数を規定することとした。また、表 2 の HLG 方式の伝達関数は、カメラの入力光 L のレンジを $[0:12]$ として規定しているが、 L のレンジを $[0:1]$ に正規化した場合は、以下の式となる。

$$E' = \sqrt{3L} \quad \left(0 \leq L \leq \frac{1}{12} \right)$$

$$E' = a \cdot \ln(12L - b) + c \quad \left(\frac{1}{12} < L \leq 1 \right)$$

HLG 方式と PQ 方式の画質を確認し、HLG 方式と PQ 方式は同等の画質を提供可能であることを確認した。（参考資料 4）

要求条件の一つである SDR ディスプレイ表示互換性を検討した。HLG 方式と PQ 方式は異なる伝達関数によって映像信号が生成されるため、SDR ディスプレイに表示した場合の画質は異なる。HLG 映像を SDR モードで表示した場合、ハイライト部分の輝度は圧縮されて表示されるが、映像の主要部分は HDR 表示と同等に再現され、違和感の無い映像再現となる。PQ 映像を SDR モードで表示した場合、素材によっては暗部から中間調が白っぽく浮いた感じに表示されるのが目立つ場合がある。（参考資料 5）

なお、検討過程において、SDR-TV の高精細度テレビジョン放送システム（1080/60/I、1080/60/P）におけるカラリメトリの規定に、Rec. ITU-R BT. 2020 の広色域表色系を追加することが提案された。これは、将来、4K 放送番組の時間延伸などにより、2K のマルチ編成に移行するような場合であっても、解像度のみを変更して広色域を維持できることが望ましいためである。検討の結果として、提案のとおり追加することが妥当と考えられることから、今回の技術的条件に含めることとした。

2. 2. 映像符号化方式

HDR-TV の映像符号化は、HEVC 規格 Main10 プロファイルに準拠するものとする。

準拠規格

(1) Rec. ITU-T H.265(2013) | ISO/IEC 23008-2:2013: High efficiency video coding

(理由)

HEVC 規格は、ITU-T と ISO/IEC が共同で策定した映像符号化方式であり、超高精細度テレビジョン放送に適した唯一の方式である。HDR-TV に適用するに当たっては、10-bit の映像に適用可能な Main10 プロファイルを採用した。

HDR-TV の所要ビットレートを HLG 方式の映像及び SDR 映像を用いて検討し、SDR の所要ビットレートと同じビットレートで高品質な HLG 映像を放送することが可能と結論した。
(参考資料 6)

HLG 方式と PQ 方式の符号化画質を比較した。一部の輝度・彩度が高いシーンでは PQ 方式の符号化映像の方で劣化が見られることもあったが、全体としては両方式共に放送品質を満足する画質が得られた。(参考資料 7)

2. 2. 1 映像ビットストリームにおける伝達関数の識別

映像ビットストリームにおける伝達関数の識別は、表 3 に示す VUI (Video Usability Information) の `transfer_characteristics` の値によって行う。

表 3 VUIのtransfer_characteristics

値	特性	備考
1	$V = \alpha * L_c^{0.45} - (\alpha - 1) \quad \text{for } 1 \geq L_c \geq \beta$ $V = 4.500 * L_c \quad \text{for } \beta > L_c \geq 0$	Rec. ITU-R BT.709
11	$V = \alpha * L_c^{0.45} - (\alpha - 1) \quad \text{for } L_c \geq \beta$ $V = 4.500 * L_c \quad \text{for } \beta > L_c > -\beta$ $V = -\alpha * (-L_c)^{0.45} + (\alpha - 1) \quad \text{for } -\beta \geq L_c$	IEC 61966-2-4
14	$V = \alpha * L_c^{0.45} - (\alpha - 1) \quad \text{for } 1 \geq L_c \geq \beta$ $V = 4.500 * L_c \quad \text{for } \beta > L_c \geq 0$	Rec. ITU-R BT.2020, 10-bit
16	$V = ((c_1 + c_2 * L_o^n) \div (1 + c_3 * L_o^n))^m \quad \text{for all values of } L_c$ $c_1 = c_3 - c_2 + 1 = 3424 \div 4096 = 0.8359375$ $c_2 = 32 * 2413 \div 4096 = 18.8515625$ $c_3 = 32 * 2392 \div 4096 = 18.6875$ $m = 128 * 2523 \div 4096 = 78.84375$ $n = 0.25 * 2610 \div 4096 = 0.1593017578125$ for which L_o equal to 1 for peak white is ordinarily intended to correspond to a reference outputluminance level of 10 000 candelas per square metre	PQ 方式 (SMPTE ST 2084 に規定)
18	$V = a * \text{Ln}(12 * L_c - b) + c \quad \text{for } 1 \geq L_c > 1 \div 12$ $V = \text{Sqrt}(3) * L_c^{0.5} \quad \text{for } 1 \div 12 \geq L_c \geq 0$ $a = 0.17883277, b = 0.28466892, c = 0.55991073$	HLG 方式 (ARIB STD-B67 に規定)

準拠規格

(1) Text of ISO/IEC FDIS 23008-2:201X 3rd Edition: "Information technology -- High efficiency coding and media delivery in heterogeneous environments -- Part 2: High efficiency video coding"

(理由)

HEVC 規格 (第 3 版 FDIS) に HLG 方式と PQ 方式の伝達関数を識別するための規定があり、これに準拠することとした。

2. 2. 2 多重化層における識別

MPEG-2 TS 方式による多重化においてはビデオデコードコントロール記述子 (ARIB STD-B10 に規定)、MMT 方式による多重化においては映像コンポーネント記述子 (ARIB STD-B60 に規定) をそれぞれ拡張し、VUI による識別と同様に伝達特性を識別可能とする。

(1) MPEG-2 TS 方式による多重化における識別

MPEG2-TS 方式による多重化における識別は、表 4 に示す拡張されたビデオデコードコントロール記述子によって行う。

表 4 ビデオデコードコントロール記述子

データ構造	ビット数	ビット列 表記
video_decode_control_descriptor() {		
descriptor_tag	8	uimsbf
descriptor_length	8	uimsbf
still_picture_flag	1	bslbf
sequence_end_code_flag	1	bslbf
video_encode_format	4	bslbf
transfer_characteristics	2	bslbf
}		

ビデオデコードコントロール記述子の意味：

still_picture_flag (静止画フラグ)：これは1ビットのフィールドで、「1」の場合は、このコンポーネントが静止画 (MPEG-I ピクチャ) であることを示す。「0」の場合は、このコンポーネントが動画であることを示す。

sequence_end_code_flag (シーケンスエンドコードフラグ)：これは1ビットのフィールドで、このコンポーネントがビデオエンコードフォーマットで示される映像フォーマットの終了点において、シーケンスエンドコード (MPEG-2 Video 規格の場合。MPEG-4 AVC 規格および HEVC 規格の場合はエンド・オブ・シーケンス NAL ユニット。以下同様。) を送信するストリームであるか否かを示す。「1」の場合は、その映像ストリームはシーケンスエンドコードが送信されるストリームであることを示し、「0」の場合は、シーケンスエンドコードが送信されないストリームであることを示す。

video_encode_format (ビデオエンコードフォーマット)：これは4ビットのフィールドで、表 5 に従い、このコンポーネントのエンコードフォーマットを示す。

表 5 ビデオエンコードフォーマット

ビデオエンコードフォーマット	記述
0000	1080/P
0001	1080/I
0010	720/P
0011	480/P
0100	480/I
0101	240/P
0110	120/P
0111	2160/60/P
1000	180/P
1001	2160/120/P
1010	4320/60/P
1011	4320/120/P
1100 - 1111	ビデオエンコードフォーマットの拡張用

transfer_characteristics (伝達特性) : これは2ビットのフィールドで、表 6 に従って映像信号の伝達特性を識別する。

表 6 伝達特性

伝達特性の値	意味
00	VUI の transfer_characteristics = 1, 11 または 14 (Rec. ITU-R BT.709-5, IEC 61966-2-4 または BT.2020)
01	VUI の transfer_characteristics = 16 (SMPTE ST 2084)
10	VUI の transfer_characteristics = 18 (ARIB STD-B67)
11	映像伝達特性を指定しない

(2) MMT 方式による多重化における識別

MMT 方式による多重化における識別は、表 7 に示す拡張された映像コンポーネント記述子によって行う。

表 7 映像コンポーネント記述子の構成

データ構造	ビット数	データ表記
Video_Component_Descriptor () { descriptor_tag descriptor_length video_resolution video_aspect_ratio video_scan_flag reserved video_frame_rate component_tag video_transfer_characteristics reserved ISO_639_language_code for (i=0; i<N; i++) { text_char } }	16 8 4 4 1 2 5 16 4 4 24 8	uimsbf uimsbf uimsbf uimsbf bslbf bslbf uimsbf uimsbf uimsbf bslbf bslbf uimsbf

映像コンポーネント記述子の意味：

video_resolution（映像信号解像度）：この 4 ビットのフィールドは、映像信号の垂直方向の解像度を表し、表 8 に従って符号化される。

表 8 映像信号解像度

映像信号解像度の値	意味
0	映像信号解像度を指定しない
1	180
2	240
3	480 (525)
4	720 (750)
5	1080 (1125)
6	2160
7	4320
8 - 15	将来使用のためリザーブ

video_aspect_ratio（映像信号アスペクト比）：この 4 ビットのフィールドは、映像信号のアスペクト比を表し、表 9 に従って符号化される。

表 9 映像信号アスペクト比

映像信号アスペクトの値	意味
0	映像信号アスペクト比を指定しない
1	4:3
2	16:9 パンベクトルあり
3	16:9 パンベクトルなし
4	> 16:9
5 - 15	将来使用のためリザーブ

video_scan_flag（映像スキャンフラグ）：映像信号がインターレース信号の場合は‘0’とし、プログレッシブ信号の場合は‘1’とする。

video_frame_rate（映像信号フレームレート）：この 5 ビットのフィールドは、映像信号のフレームレートを表し、表 10 に従って符号化される。

表 10 映像信号フレームレート

映像フレームレートの値	意味
0	フレームレートを指定しない
1	15
2	24/1.001
3	24
4	25
5	30/1.001
6	30
7	50
8	60/1.001
9	60
10	100
11	120/1.001
12	120
13 - 31	将来使用のためリザーブ

component_tag（コンポーネントタグ）：これは 16 ビットのフィールドである。コンポーネントタグは、コンポーネントストリームを識別するためのラベルであり、MH-ストリーム識別記述子内のコンポーネントタグと同一の値である。（ただし、MH-ストリーム識別記述子が MPT 内に存在する場合。）

video_transfer_characteristics（映像信号伝達特性）：この 4 ビットのフィールドは、映像信号の伝達特性を識別し、表 11 に従って符号化される。

表 11 映像信号伝達特性

映像信号伝達特性の値	意味
0	映像信号伝達特性を指定しない
1	VUI の transfer_characteristics = 1 (Rec. ITU-R BT. 709-5)
2	VUI の transfer_characteristics = 11 (IEC 61966-2-4)
3	VUI の transfer_characteristics = 14 (Rec. ITU-R BT. 2020)
4	VUI の transfer_characteristics = 16 (SMPTE ST 2084)
5	VUI の transfer_characteristics = 18 (ARIB STD-B67)
6 - 15	将来使用のためリザーブ

ISO_639_language_code（言語コード）：この 24 ビットのフィールドは、コンポーネント（音声、あるいはデータ）の言語及びこの記述子に含まれる文字記述の言語を識別する。言語コードは、ISO 639-2 に規定されるアルファベット 3 文字コードで表す。各文字は ISO 8859-1 に従って 8 ビットで符号化され、その順で 24 ビットフィールドに挿入される。

例： 日本語はアルファベット 3 文字コードで「jpn」であり、次のように符号化される。

「0110 1010 0111 0000 0110 1110」

text_char（コンポーネント記述）：これは 8 ビットのフィールドである。一連のコンポーネント記述のフィールドは、コンポーネントストリームの文字記述を規定する。

準拠規格

- (1) ARIB STD-B10 5.8 版：“デジタル放送に使用する番組配列情報”
- (2) ARIB STD-B60 1.6 版：“デジタル放送における MMT によるメディアトランスポート方式”

（理由）

受信機の動作を補助するため、映像ストリームでの伝達特性の識別に加えて、多重化ストリームでも伝達特性を識別可能とした。なお、上記の記述子は民間規格（ARIB 標準規格）に規定されている。

(3) 上記以外の規定

高度衛星デジタル放送方式を準用する。

3. 今後の課題

3. 1. ITUにおける議論の動向

2016 年 1 月から 2 月にかけて開催された ITU-R SG6 会合では、HDR に関する勧告案が完成し、承認プロセスへ入ったところである。しかしながら、同会合では、新しい輝度・色差信号として、定輝度信号 $IC_T C_P$ という、これまで用いられている非定輝度信号 $Y' C'_B C'_R$ 以外の信号形式に係る新たな提案があった。当該提案については、今後の会合における継続検討課題となっているところである。

また、これ以外にも、PQ 方式の OOTF の妥当性や、 1000 cd/m^2 を超えるディスプレイ輝度に対応する HLG のシステムガンマの検討などが継続検討事項とされている。

したがって、本報告書完成以後にも HDR 関連の国際標準は随時更新されていくことが想定されることから、関係者においては、ITU 等国際標準化機関における審議の動向を注視し、必要に応じて本技術的条件や民間標準規格に反映させていくことが望ましい。

なお、HDR を含む映像技術の進歩の早さに鑑み、民間標準規格の策定にあたっては、将来の拡張の余地の確保についても考慮していくことが望ましい。

3. 2. 特殊な映像手法との関係

細かく点滅する映像や急激に変化する映像手法などは、視聴者、特に児童・青少年の健康に影響を及ぼす可能性があることが知られており、我が国においても過去にアニメーション番組において視聴者の健康に影響を及ぼしたことがある。

放送事業者のその後の調査の結果、映像手法に関して留意することにより視聴者の健康に及ぼす影響を最小限に抑えることができることが確認され、1998 年に日本放送協会と一般社団法人日本民間放送連盟は「アニメーション等の映像手法に関するガイドライン」を制定し、放送界の自主的な共通ルールとして運用されているところである。

さらに、2005 年に ITU-R 勧告 BT. 1702 テレビジョン映像による光感受性発作を抑えるための指針が策定されたことから、同勧告を参考に 2006 年に一部改訂し、現在は以下のガイドラインとなっている。

アニメーション等の映像手法に関するガイドライン

1. 映像や光の点滅は、原則として1秒間に3回を超える使用を避けるとともに、次の点に留意する。
 - (1) 「鮮やかな赤色」の点滅は特に慎重に扱う。
 - (2) 避けるべき点滅映像を判断するにあたっては、点滅が同時に起こる面積が画面の1/4を超え、かつ、輝度変化が10パーセント以上の場合を基準とする。
 - (3) 前項(1)の条件を満たした上で、(2)に示した基準を超える場合には、点滅は1秒間に5回を限度とし、かつ、輝度変化を20パーセント以下に抑える。加えて、連続して2秒を超える使用は行わない。
2. コントラストの強い画面の反転や、画面の輝度変化が20パーセントを超える急激な場面転換は、原則として1秒間に3回を超えて使用しない。
3. 規則的なパターン模様（縞模様、渦巻き模様、同心円模様など）が、画面の大部分を占めることも避ける。

視聴者の光感受性は、本来ヒトの特性に基づくものであり、HDRの導入によって何ら変化するものではなく、また、上記ガイドラインは輝度変化や面積について相対値により規定しているものであるため、HDR映像に対しても同ガイドラインをそのまま適用できる可能性はある。

しかしながら、HDR映像による放送や映像配信は現時点で世界的に見ても限られた範囲に留まっており、また現場におけるHDR映像の制作ノウハウもこれから蓄積されていく段階であり、HDR映像による生体への影響の臨床的な裏付けおよび知見も得られていない。

したがって現段階では、HDR映像に対しても、SDR映像において実績がある現行のITU-R勧告やガイドラインを継続して暫定的に適用することは、一定の合理性があるものと考えられる。今後、HDR映像の普及に応じて、新たに得られた科学的知見を踏まえ、国際的にはITU-Rの場で、国内的には放送事業者の自主的検討により、映像手法を再検証し、最適なものとしていくことが望ましい。

参 考 資 料

目次

参考資料 1	HDR について	24
参考資料 2	伝達関数 (OETF, EOTF, OOTF の相互の関係)	26
参考資料 3	提案のあったHDR方式.....	29
参考資料 4	HLG 方式と PQ 方式の映像比較デモ	31
参考資料 5	HDR 映像信号の SDR ディスプレイ表示互換性の検討.....	33
参考資料 6	HDR 放送の所要ビットレートの検討	36
参考資料 7	HLG 方式と PQ 方式の符号化画質比較実験	41

参考資料 1 HDRについて

バックライトの部分駆動技術の向上や有機 EL パネルの採用などにより、昨今の民生用表示装置（ディスプレイ）の表示能力が大幅に向上している。これにより、表示の部分では、黒の表示輝度を低減しつつ、最大輝度を増大する、すなわちダイナミックレンジを拡大することが可能となっている。

これにより、図 1-1 のとおり、これまでは日陰の輝度を適正化すると空が白飛びするという状況であったが、ダイナミックレンジが拡大すれば、日陰も空も同時に適切な表現ができるようになる。

また、撮像側の機材はかねてより広いダイナミックレンジを有しており、これまでにそれを活用した撮影が行われてきている。

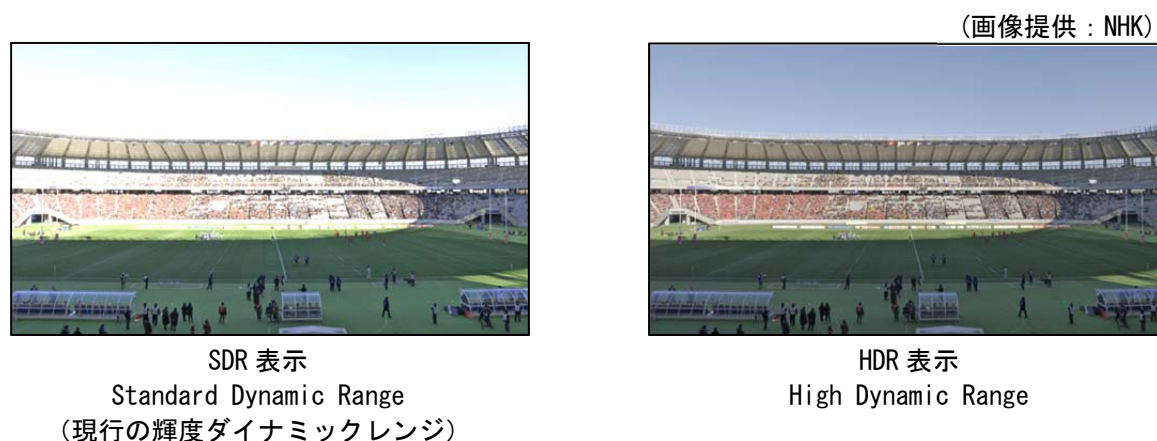


図 1-1 SDR 表示と HDR 表示

しかしながら、現行の放送に目を向けると、放送に用いられる映像信号は SDR 表示を前提とした設計となっているため、たとえカメラやディスプレイといったデバイスが広いダイナミックレンジに対応していたとしても、放送で生かすことができない状況にある。

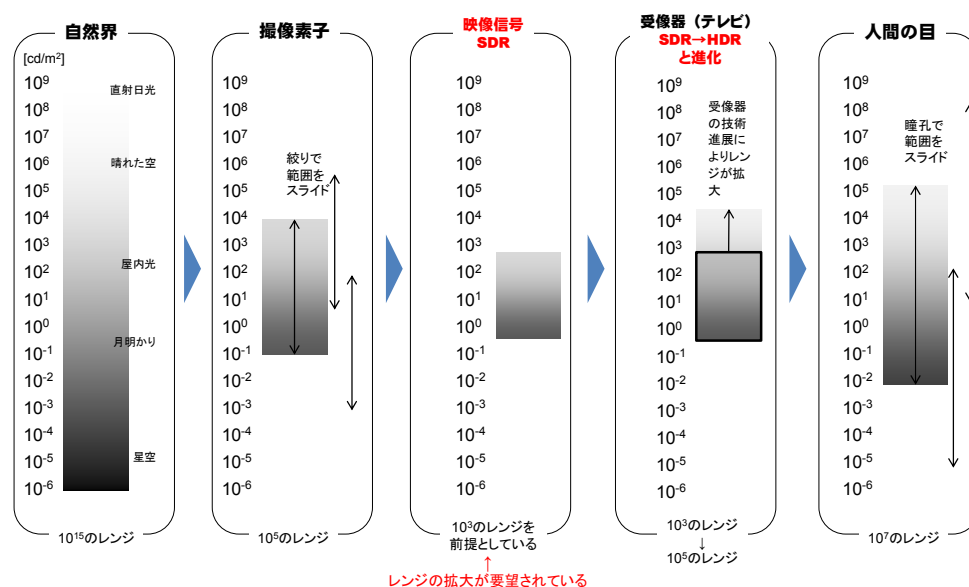


図 1-2 輝度のダイナミックレンジ (概念図)

図 1-2 は、左から右へ情報が伝えられる際の、それぞれのフェーズで扱う輝度のダイナミックレンジを示したものである。一番左の自然界では、輝度は直射日光から星空までおよそ 15 桁のレンジがあるとされている。それがカメラ（撮像素子）で捉えられる際には 5 桁のレンジに制限される。さらに、映像信号に変換される際、現在の SDR では、ブラウン管時代の性能を前提としているため、およそ 3 桁のレンジに収めるように設計されている。続く受信器・表示装置では、最近 5 桁のレンジまでの表現が可能となっ

てきている。そして、人間の目は7～8桁のレンジの輝度の光を受けるとされている。

従って、映像信号の部分で、広いダイナミックレンジを表現できるように工夫をすることにより、機材の能力を最大限に生かした放送ができるようになる。

放送システム委員会が2013年3月にまとめた超高精細度テレビジョン放送システムの技術的条件では、映像信号を特徴付ける要素として、4Kや8Kといった空間解像度、60pや120pといったフレームレート、10bitや12bitといった画素あたりの階調、そしてITU-R勧告BT.2020に基づく色の表現範囲拡大といった諸元が規定されているところである。これに対し、今般のHDRは、新たな軸として輝度の表現範囲を拡大するものと位置づけられる。(図1-3)

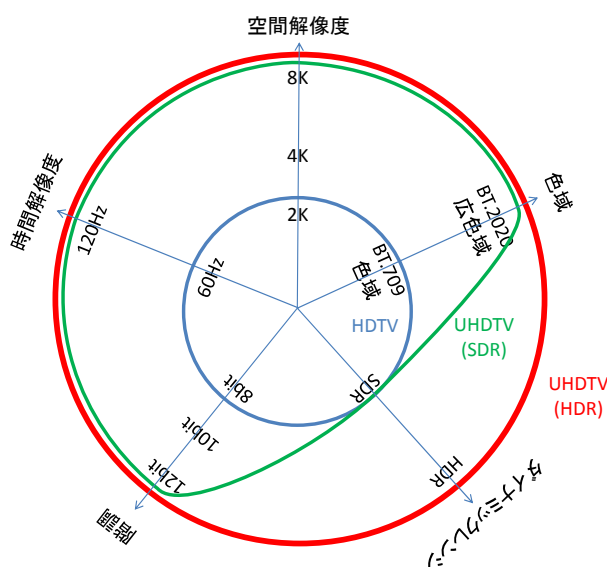


図 1-3 映像信号を特徴付ける要素

なお、SDRの映像信号をそのまま高い輝度で表示した場合には、図1-4の中央の図に示すように、画面全体の輝度が上がるのみで表現範囲は飽和したままであり、依然として白飛び等が発生する。

そこで、HDRでは、図1-4の右図に示すように、これまでの基準白を超える輝度に対して必要な映像信号を割り当てる工夫を行い、輝度のダイナミックレンジを拡大する。

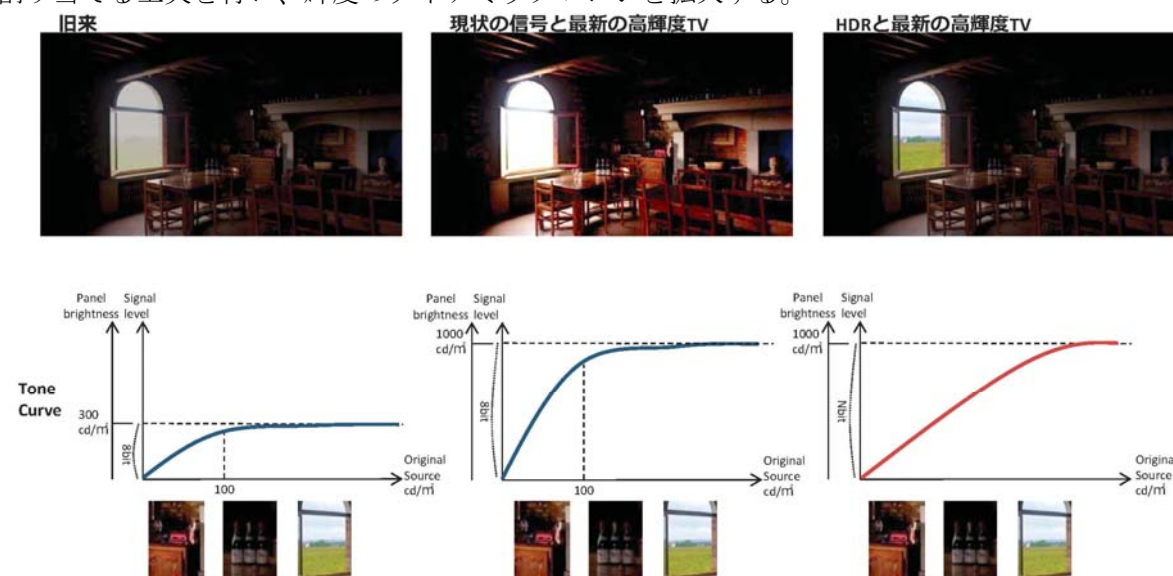


図 1-4 SDR・HDR とディスプレイの輝度による見え方の違い

以上が、HDRの基本的な考え方である。

参考資料 2 伝達関数 (OETF, EOTF, OOTF の相互の関係)

注：以下の記述は、ITU-R 勧告案 BT. [HDR-TV] (Document 6/39 Rev. 1) の Annex 1 の記述を事務局で和訳（仮訳）したものである。

この勧告（注：ITU-R 勧告案 BT. [HDR-TV]）では、以下の用語を使用している。

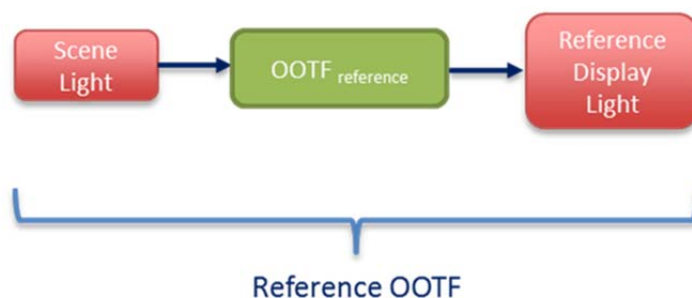
OETF：光-電伝達関数であり、シーンの光の強さ（線形性を有する）を映像信号に変換するもの。典型的にはカメラ内において変換される。

EOTF：電-光伝達関数であり、映像信号を線形性のある光の強さとしてディスプレイから出力するもの。

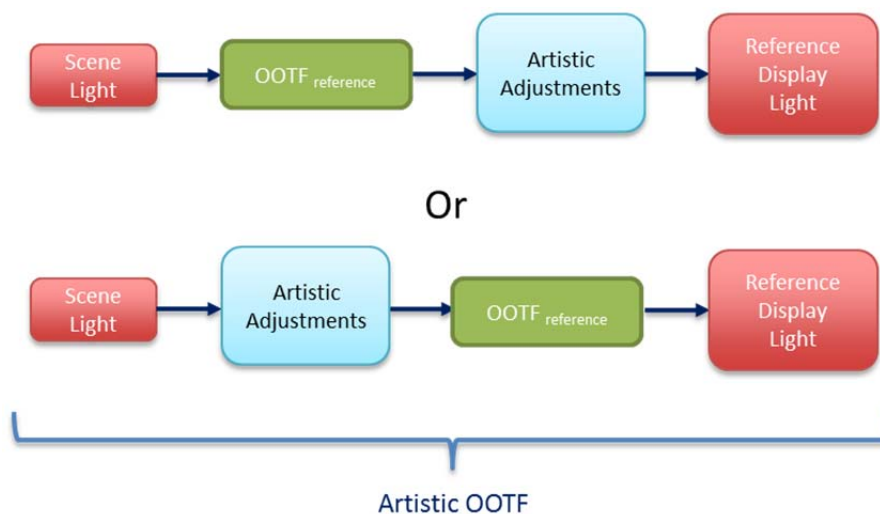
OOTF：光-光伝達関数であり、「表現（レンダリング）の意図」を適用させる役割を持つもの。

これらの関数は相互に関連しているため、3つの関数のうち2つだけが独立なものとなる。3つのうち2つが所与となれば、残りの1つを計算することができる。ここでは、3つの関数がどのように働き、どのように関連しているのかを説明する。

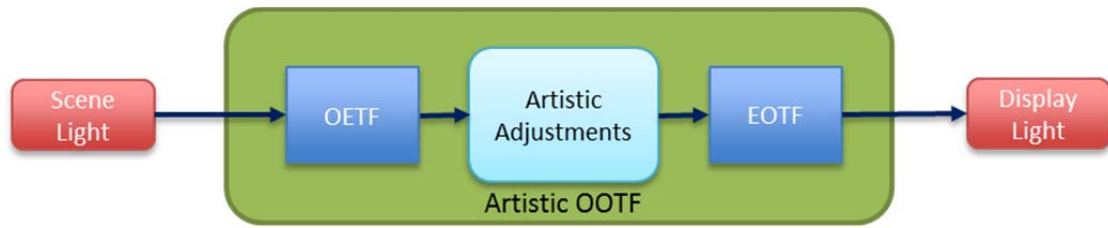
テレビジョン放送システムでは、ディスプレイに表示された光とカメラで捉えられた光は、線形性を維持する関係にはなっていない。すなわち、全体の非線形性を示す OOTF が適用される。「リファレンスの」OOTF は、カメラの環境とディスプレイの環境との間に存在する階調の知覚の差異を補正するものとなる。「リファレンスの OOTF」の仕様とその使用によって、エンドツーエンドで一貫性のある映像再現が可能となり、これはテレビジョンの制作現場では重要なものである。



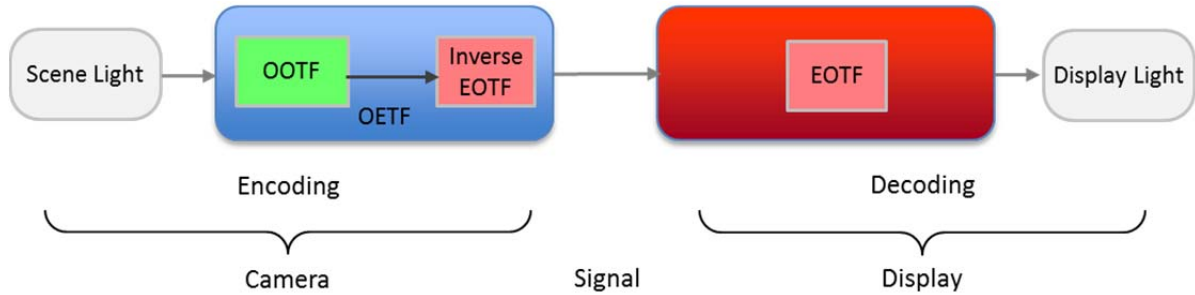
画質の向上のため、演出上の調整 (artistic adjustments) が行われることがある。これらにより、OOTF（この場合には「演出上の OOTF」と呼んでもよい）が変更されることとなる。演出上の調整は、リファレンス OOTF の前後いずれでも適用できる。



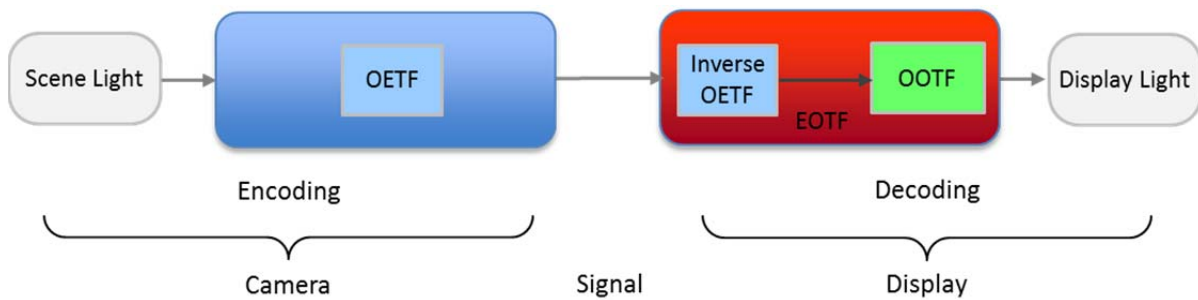
一般的に、OOTF は、OETF、演出上の調整及び EOTF を連結したものとなる。



PQ 方式は、下記のモデルで設計されており、OOTF はカメラの中（あるいは、制作プロセスの中）に存在するものと捉えることができる。



HLG 方式は、下記のモデルで設計されており、OOTF はディスプレイの中に存在するものと捉えることができる。



これら 3 つの非線形関数 OETF、EOTF 及び OOTF のうち 2 つだけが独立である。関数表記にすれば（ここでは色成分を添え字で表す）、以下のとおりとなる。

$$\begin{aligned} \text{OOTF}_R(R, G, B) &= \text{EOTF}_R(\text{OETF}_R(R, G, B)) \\ \text{OOTF}_G(R, G, B) &= \text{EOTF}_G(\text{OETF}_G(R, G, B)) \\ \text{OOTF}_B(R, G, B) &= \text{EOTF}_B(\text{OETF}_B(R, G, B)) \end{aligned}$$

また、これは、連結を表す演算子 $\otimes$ を用いて表記すればより明確になる。この表記法に従えば、3 つの非線形関数相互の関係について、以下の 3 つの関係を得る。

$$\begin{aligned} \text{OOTF} &= \text{OETF} \otimes \text{EOTF} \\ \text{EOTF} &= \text{OETF}^{-1} \otimes \text{OOTF} \\ \text{OETF} &= \text{OOTF} \otimes \text{EOTF}^{-1} \\ \text{OOTF}^{-1} &= \text{EOTF}^{-1} \otimes \text{OETF}^{-1} \\ \text{EOTF}^{-1} &= \text{OOTF}^{-1} \otimes \text{OETF} \\ \text{OETF}^{-1} &= \text{EOTF} \otimes \text{OOTF}^{-1} \end{aligned}$$

PQ 方式のアプローチは、EOTF により規定される。PQ 方式では、OETF は OOTF から上記 3 行目の式を用い

で導くことができる。同様に、HLG 方式のアプローチは、OETF により規定される。HLG 方式では、EOTF は OOTF から上記 2 行目の式を用いて導くことができる。

参考資料3 提案のあったHDR方式

放送システム委員会では、要求条件を達成する上で必要となる技術的条件の提案を募集した。その結果、一般社団法人電波産業会 (ARIB) デジタル放送システム開発部会から 1 件 2 方式の提案があった。当該提案の概要は表 3-1 から表 3-3 までのとおりである。HDTV、4K、8K の解像度の 10-bit 量子化と広色域表色系とともに、伝達関数として 2 つの方式 (ARIB 標準規格 STD-B67 に規定される Hybrid Log-Gamma (HLG) 方式と、米国映画テレビ技術者協会 (SMPTE) 規格 ST 2084 に規定される Perceptual Quantization (PQ) 方式) を含むものとなっている。また、映像符号化方式を HEVC 規格の Main10 プロファイルとし、映像ストリームと多重化ストリームで伝達関数を識別可能としている。

表 3-1 提案のあった HDR 方式

符号化 映像形式	映像形式		1080/60/I	1080/60/P	2160/60/P	2160/120/P	4320/60/P	4320/120/P
	SDR	ビット数 カラリメトリ ・伝達関数	8bit又は10bit		10bit			
			Rec. ITU-R BT.709又は IEC 61966-2-4(xv YCC)		Rec. ITU-R BT.2020			
符号化 方式	HDR	ビット数 カラリメトリ ・伝達関数	10bit		10bit			
			Rec. ITU-R BT.2020		HLG (Hybrid Log-Gamma)方式 又は PQ (Perceptual Quantization)方式			
			HEVC Main (8bit)又は Main 10 (10bit)		HEVC Main 10			
識別	映像ストリーム		VUI(Video Usability Info.)のtransfer characteristics					
	多重化 ストリーム	MMT	映像コンポーネント記述子のvideo_transfer_characteristics					
		TS	ビデオデコードコントロール記述子のtransfer_characteristics					

上記以外は、高度衛星デジタル放送方式を準用

表 3-2 提案のあった HDR 方式の 2 つの伝達関数 (特徴)

	Hybrid Log-Gamma	Perceptual Quantizer
準拠規格	ARIB STD-B67	SMPTE ST 2084
コンセプト	- 輝度値を相対的に扱う(従来の考え方) - 従来のテレビと互換性のあるガンマカーブ	- 最大10,000cd/m²の輝度値を絶対輝度で扱う - 人間の視覚特性に基づく新たなガンマカーブ
映像信号	「黒」と「白」の間の相対表現 - コード64(10bit)が「黒」 - コード940(10bit)が「ピーク白」	- コード値と輝度絶対値の関係を規定 - コード64(10bit)が0 cd/m² - コード940(10bit)が10,000 cd/m²
規定	OETF側(カメラ側)を規定 (従来のテレビと同様)	EOTF(ディスプレイ側)を規定
放送方式における 信号規定	OETF	Inverse EOTF

表 3-3 提案のあった HDR 方式の 2 つの伝達関数 (規定)

HLG (Hybrid Log-Gamma)	PQ (Perceptual Quantization)
$E' = \begin{cases} r\sqrt{E} & 0 \leq E \leq 1 \\ a \ln(E - b) + c & 1 < E \end{cases}$ E: シーン輝度(基準白レベルで正規化) E': 映像信号レベル r: 基準白レベルに対応する映像信号レベル $r = 0.5$ $a = 0.17883277$, $b = 0.28466892$, $c = 0.55991073$	$E' = \left(\frac{c_1 + c_2 L^{m_1}}{1 + c_3 L^{m_1}} \right)^{m_2} \quad (0 \leq L \leq 1)$ L: シーン輝度 $(L=1$が表示輝度10,000 cd/m²に対応) E': 映像信号レベル $m_1 = 0.1593017578125$, $m_2 = 78.84375$ $c_1 = c_3 - c_2 + 1$, $c_2 = 18.8515625$, $c_3 = 18.6875$

また、HLG 方式及び PQ 方式について、シーンの明るさと映像信号との関係をそれぞれ図 3-1 及び図 3-2 のグラフに示す。

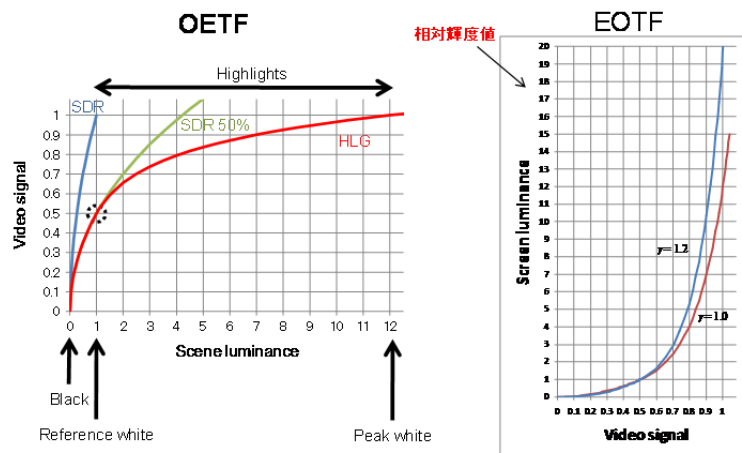


図 3-1 HLG 方式の伝達関数(OETF と EOTF)

(説明)

HLG 方式では、OETF を規定する。EOTF は OETF の逆関数と OOTF から導かれる。

図 3-1 の左のグラフでは、シーンの明るさ（横軸）と映像信号（縦軸）との関係を示している。青色の線が SDR-TV の OETF を示しており、緑色の線がそれを縦軸（映像信号方向）に 2 分の 1 したものを示している。HLG 方式では、SDR-TV とのよりよい互換性を確保するため、シーンの明るさがゼロ（黒）から基準白までの間には緑色の線のカーブを採用し、基準白を超える部分に対数カーブを採用し、全体の特性は赤色の線で示されるものとなる。

図 3-1 の右のグラフでは、映像信号（横軸）と表示輝度（縦軸）との関係を示している。表示する環境によりガンマ値が異なりうるが、この例では、システムガンマ $\gamma = 1.0$ (OETF を線形とした場合) と $\gamma = 1.2$ の場合の EOTF を示している。

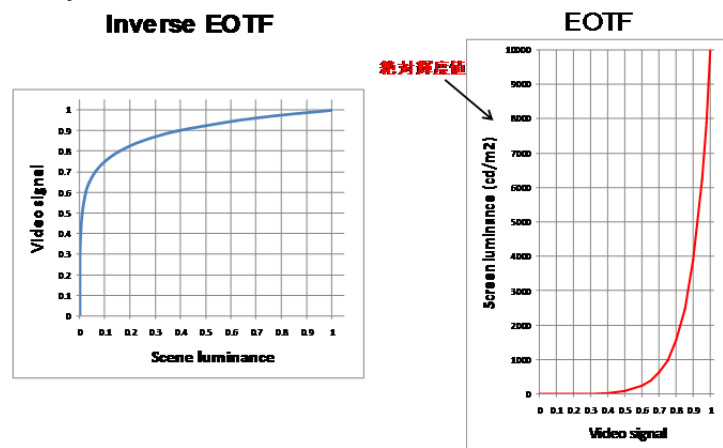


図 3-2 PQ 方式の伝達関数

(説明)

PQ 方式では、EOTF を規定する。OETF は EOTF の逆関数と OOTF から導かれる。

図 3-2 の右のグラフでは、映像信号（横軸）と表示輝度（縦軸）との関係を示している。映像信号の最大値が 10,000 cd/m² を意味するものとし、0 cd/m² から 10,000 cd/m² の輝度範囲と映像信号の関係が規定されている。

図 3-2 の左のグラフでは、シーンの明るさ（横軸）と映像信号（縦軸）との関係を示している。これは EOTF の逆関数である。

なお、伝達関数を構成する OETF、EOTF 及び OOTF の間の相互の関係を参考資料 1 参考資料 2 に示す。

参考資料 4 HLG 方式と PQ 方式の映像比較デモ

2015 年 12 月 11 日の情通審放送システム委員会・同 HDR 作業班合同会合において、HLG 方式と PQ 方式の映像比較デモを行った。

1. 映像素材

異なる HDR 映像方式を公平に比較するため、同一の映像内容を HLG 方式、PQ 方式それぞれで表現した映像信号をテスト画像とした。株式会社 IMAGICA が販売する HDR 映像表示評価用のテスト画像「LUCORE（ルコア）」[1]を原画像とした。LUCORE は 4K 解像度、16bit の PQ 方式の映像信号で頒布されている。表 4-1 のピーク輝度 1000 cd/m^2 のディスプレイ上で HLG 映像と PQ 映像が同等に表示されるように、図 4-1 の方法で PQ 映像から HLG 映像に変換した。HLG の EOTF は、使用するディスプレイの特性に合わせて、システムガンマ 1.2、ビデオレベル 50%が 100 cd/m^2 となる特性とした。

表 4-1 ディスプレイ

ディスプレイ	SONY 製 BVM-X300 (OLED, 30-inch)
ピーク輝度 (実測値)	1000 cd/m^2
HLG EOTF	ARIB STD-B67 準拠 OETF の逆関数にシステムガンマ 1.2 を適用、 $100 \text{ cd/m}^2 @ \text{ビデオ } 50\%$
PQ EOTF	SMPTE ST 2084 準拠

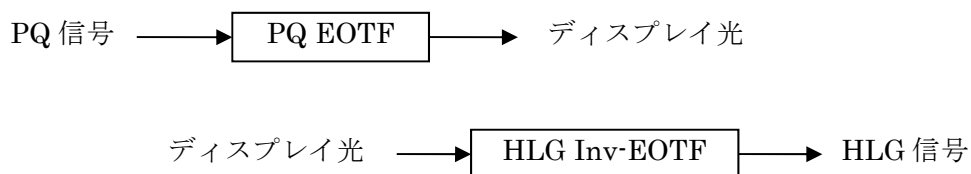


図 4-1 PQ 信号から HLG 信号への変換

2. デモ

(1) 条件

ディスプレイ：表 4-1

(2) 内容

- (a) HLG 原画像と PQ 原画像の比較
- (b) HLG 符号化画像と PQ 符号化画像の比較 (30 Mbit/s)
- (c) HLG 原画像と PQ 原画像をそれぞれ SDR モードで表示
- (d) HLG 符号化画像と PQ 符号化画像をそれぞれ SDR モードで表示

内容	マスモニ1 HDR(HLG)	マスモニ2 HDR(HLG)	マスモニ3 HDR(PQ)
HLGとPQの比較(原画像)	—	HLG原画	PQ原画
HLGとPQの比較(符号化画像)	HLG原画	HLG @30Mbit/s	PQ @30Mbit/s

内容	マスモニ1 HDR(HLG)	マスモニ2 SDR	マスモニ3 SDR
SDRモニタに表示した HLGとPQの比較(原画像)	HLG原画	HLG原画	PQ原画
SDRモニタに表示した HLGとPQの比較(符号化画像)	HLG原画	HLG @30Mbit/s	PQ @30Mbit/s

参考資料

[1] UHD/HDR 標準画像「LUCORE (ルコア)」 <http://www.imagica.com/news/lucore/>

参考資料5 HDR 映像信号の SDR ディスプレイ表示互換性の検討

HLG 方式及び PQ 方式それぞれの映像信号を SDR ディスプレイに入力して表示する場合の再現特性を考察した。

1. ディスプレイ EOTF の比較

SDR、HLG 方式、PQ 方式の各ディスプレイの EOTF 特性を図 5-1 に示す。

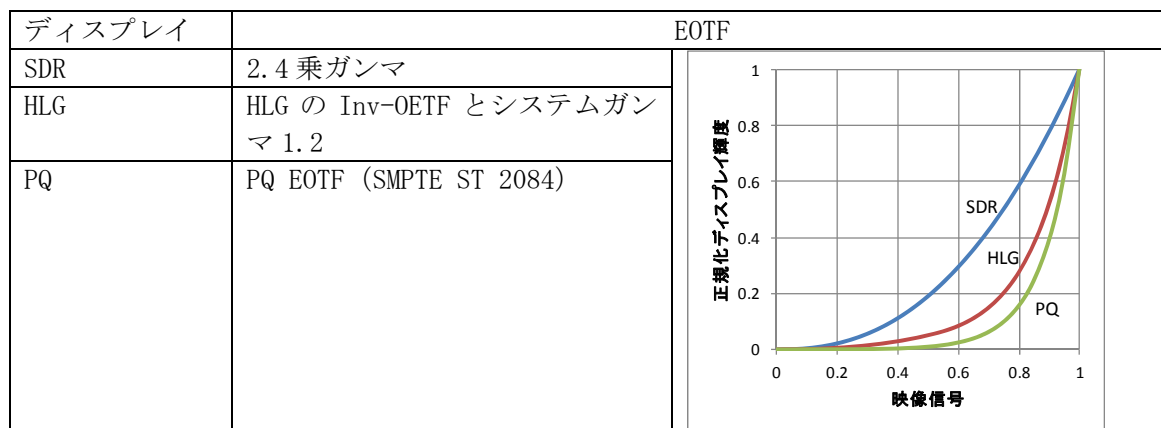


図 5-1 SDR、HLG 方式、PQ 方式のディスプレイ EOTF

2. 再現特性の理論的検討

(1) 想定条件

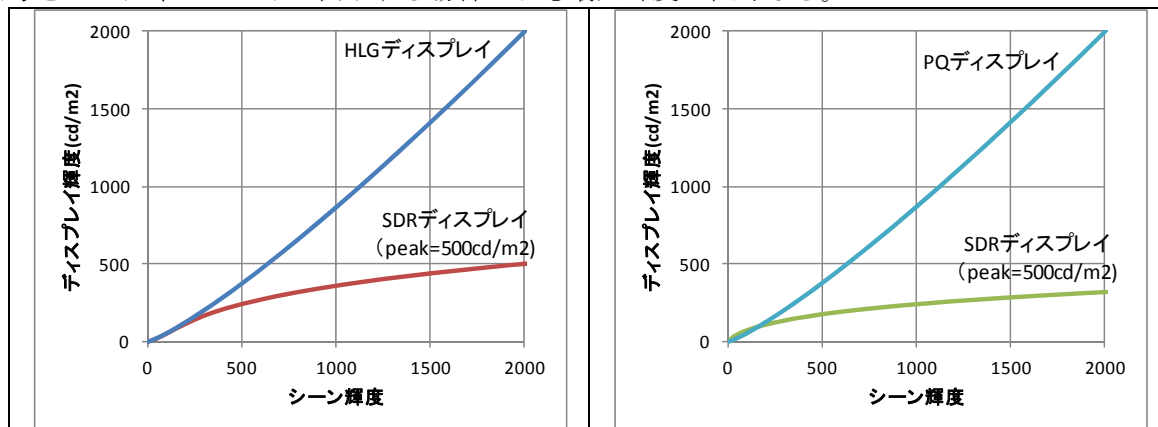
以下の条件を想定した。

- ・ PQ 映像をディスプレイピーク輝度 2000 cd/m^2 、システムガンマ 1.2 で制作
- ・ PQ と同じシーン輝度範囲を HLG のフルレンジで制作
- ・ HDR (HLG 及び PQ) ディスプレイのピーク輝度 2000 cd/m^2
- ・ SDR ディスプレイのピーク輝度 500 cd/m^2

(2) シーン輝度対ディスプレイ輝度

上記の想定条件におけるシーン輝度対ディスプレイ輝度の特性を図 5-2 に示す。

想定条件において、HLG 信号は、ディスプレイ輝度 100 cd/m^2 までは SDR ディスプレイと HLG ディスプレイで同等に表示され、それ以上の輝度は SDR ディスプレイでは圧縮されて表示される。一方、PQ 信号は、SDR ディスプレイに表示すると暗部が伸張、ハイライトが圧縮され、全輝度レンジで非線形な再現となる。また、ピーク輝度 2000 cd/m^2 に対する PQ の映像信号レンジは 0 から 82.7% であるため、SDR ディスプレイに表示した場合の輝度は、SDR ディスプレイのピーク輝度の約 63% ($=0.827^{2.4}$ 乗) に留まる。従って、HLG 信号を SDR ディスプレイに表示する場合よりも最大輝度が低くなる。



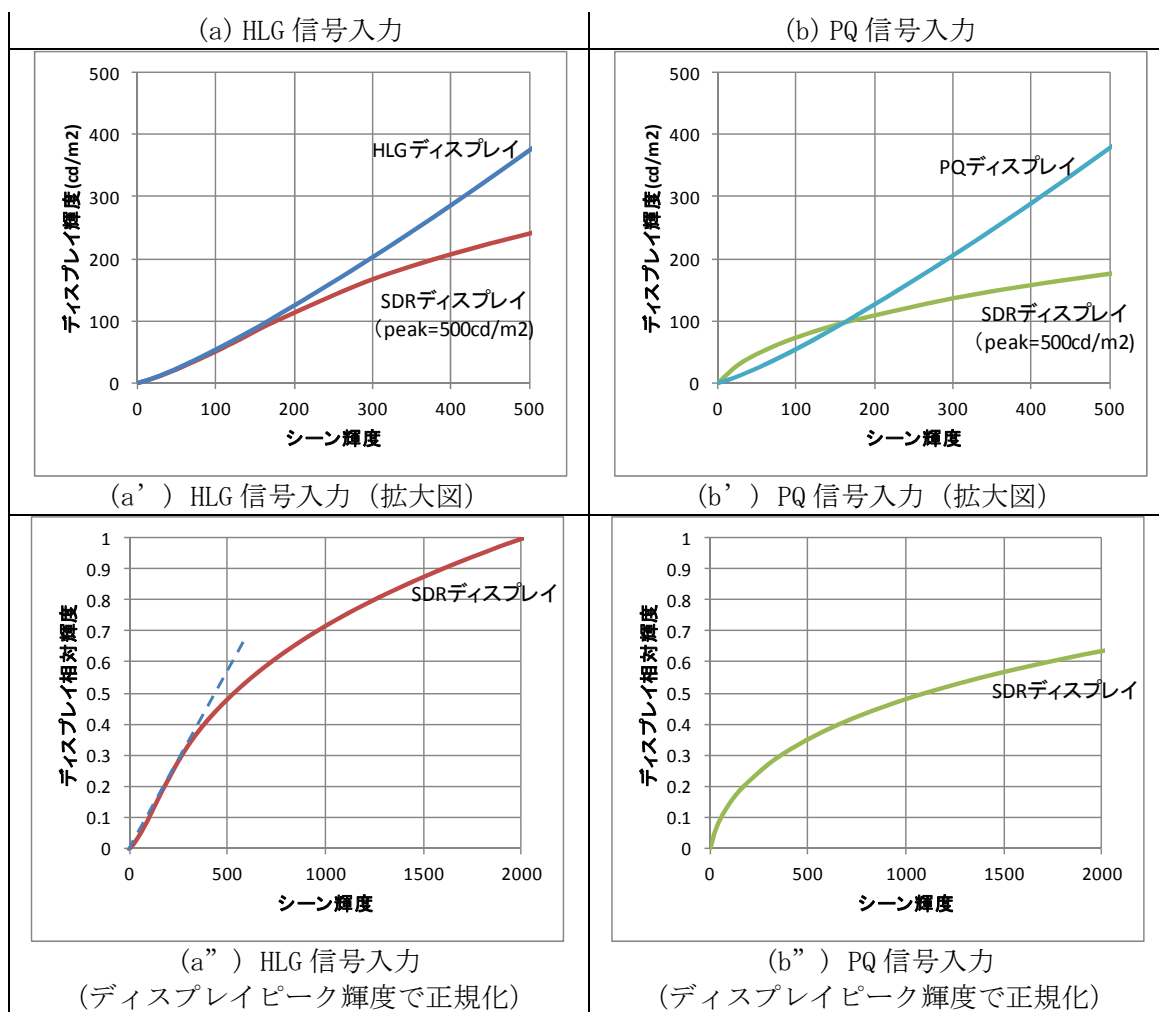


図 5-2 シーン輝度対ディスプレイ輝度

3. エキスパートビューイングによる再現特性の確認

3.1 テスト画像

HLG 方式と PQ 方式の映像比較（参考資料 4）で用いた IMAGICA 製テスト画像「LUCORE(ルコア)」[1]の非圧縮映像及び 30Mbit/s 符号化映像を用いた。

3.2 ディスプレイ

マスタモニタの表示モードを表 5-1 に示す 3 通りに設定して使用した。

表 5-1 マスタモニタ

ディスプレイ	SONY 製 BVM-X300		
モード	HLG	PQ	SDR
EOTF	HLG EOTF (システムガンマ 1.2)	PQ EOTF	SDR (2.4 乗)
ピーク輝度 (実測値)	1000 cd/m ²	1000 cd/m ²	700 cd/m ²

3.3 画質比較

(1) HDR 映像方式に対応した HDR モードで表示

	ディスプレイモード	HLG	PQ
(1)	入力映像	HLG 原画	PQ 原画

1000 cd/m²(実測値)のマスタモニタにおいて、HLG と PQ の両映像は同等に表示されることを確認した。

(2) HDR 映像を SDR モードで表示

	ディスプレイモード	HLG	SDR	SDR
(2)	入力映像	HLG 原画	HLG 原画	PQ 原画
(3)	入力映像	HLG 原画	HLG@30Mbit/s	PQ@30Mbit/s

HLG 映像を SDR モードで表示した場合、ハイライト部分の輝度は圧縮されて表示されるが、映像の主要部分は HDR 表示と同等に再現され、違和感の無い映像再現となることを確認した。

PQ 映像を SDR モードで表示した場合、暗部から中間調が白っぽく浮いた感じで表示されるのが目立つ場合があることを確認した。

これらは、原画像、30 Mbit/s での符号化画像のいずれも同様であった。

参考

[1] UHD/HDR 標準画像「LUCORE (ルコア)」<http://www.imagica.com/news/lucore/>

参考資料 6 HDR 放送の所要ビットレートの検討

1. 目的

HDR 放送の所要ビットレートを検討する。

2. 実験計画

2.1 テスト画像

HDR カメラで撮影された RAW データから独立にグレーディングされた HLG 方式の映像と SDR 映像（いずれも 4K 解像度）をテスト画像とした（表 6-1 参照。提供：NHK）。

表 6-1 テスト画像

富士山（パン）		
	第 0 フレーム	第 899 フレーム
海岸（スイカ割り）		
	第 0 フレーム	第 539 フレーム
海岸（波打ち際）		
	第 0 フレーム	第 889 フレーム
切子		
	第 0 フレーム	第 775 フレーム
ラグビー		
	第 0 フレーム	第 1077 フレーム
ねぶた		
	第 0 フレーム	第 421 フレーム

2.2 SDR 映像の HLG 映像へのマッピング

HLG 方式は、映像信号レベル $E_v \leq 0.5$ において SDR 相当部分を表現するというコンセプトに基づき設計されている。この領域は SDR の OETF 特性と同等であり、SDR 映像として制作された信号は単純なスケール処理で HLG 信号に変換できる。例えば、SDR 信号を LSB 側に 1 ビットシフトすることによって HLG 信号として扱うことができる。このようにして HLG 信号に変換した SDR 信号をここでは SoH（SDR on HLG

container)と表記する。

2.3 符号化

符号化条件を表 6-2 に示す。SDR 信号の符号化特性を基準に HLG 方式の符号化特性を確認するために、SDR 信号をそのまま符号化する場合のほか、SDR 信号を HLG 方式に変換した SoH 信号を符号化する場合も比較対象とした。HEVC Main10 プロファイル、レベル 5.1 に準拠したハードウェアエンコーダ・デコーダを用い、ビットレートは 4K 映像 (SDR) の所要ビットレートの確認実験で用いた値[1]と同じとした。

表 6-2 符号化条件

符号化装置	NEC 製 VC-8150/VD-8100
符号化条件	HEVC Main10、レベル 5.1
映像フォーマット	3840×2160/59.94/P, 10-bit
映像種類	SDR, SoH, HLG
ビットレート	15, 20, 30, 40Mbit/s
イントラ間隔	0.5 sec.

2.4 客観評価

原画像と符号化画像の画素値の差を輝度信号の PSNR (peak signal-to-noise ratio) で評価した。図 3-1 に符号化実験の系統と PSNR 測定ポイントを示す。SoH については、図 6-1(b) に示す 2 つの測定ポイントで PSNR を測定した。すなわち、符号化歪みだけの SoH (HLG) と、SDR と SoH の間の変換に伴う量子化誤差も含む SoH (SDR) である。PSNR は、10-bit の映像信号に対して、測定ポイント間での画素値の平均二乗誤差 (MSE: Mean Square Error) から、

$$\text{PSNR (dB)} = 10 \log_{10} \left(\frac{1023^2}{\text{MSE}} \right)$$

によって算出した。

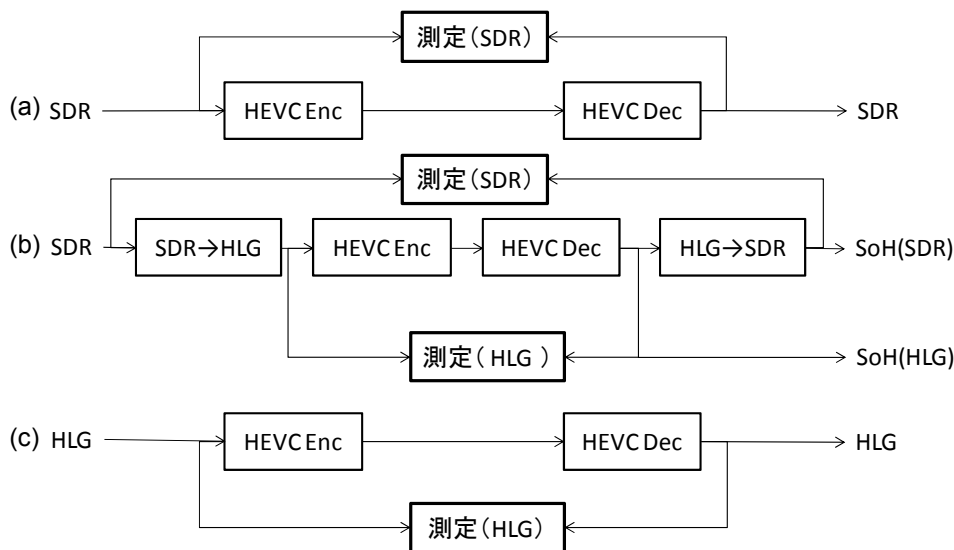
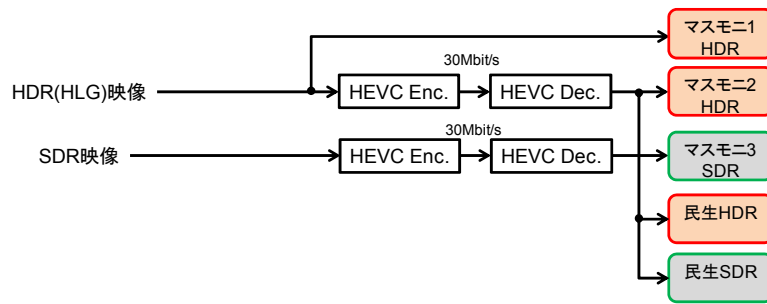


図 6-1 実験系統と PSNR 測定ポイント

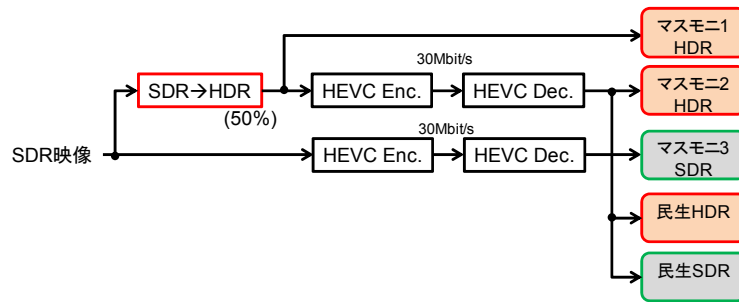
3. 実験結果

3.1 エキスパートビューイング

ARIB 映像符号化方式作業班委員によるエキスパートビューイングを行った。原画像及び 30Mbit/s での符号化画像の画質を、図 6-2 の系統で、表 6-3 のディスプレイを用いて確認した。図 6-2(a) では HLG の符号化画質を SDR の符号化画質と比較し、図 6-2(b) では SoH (HLG) の符号化画質を SDR の符号化画質と比較した。



(a) HLG 信号の HEVC 符号化、SDR との比較



(b) SoH 信号の HEVC 符号化、SDR との比較

図 6-2 エキスパートビューイングの系統

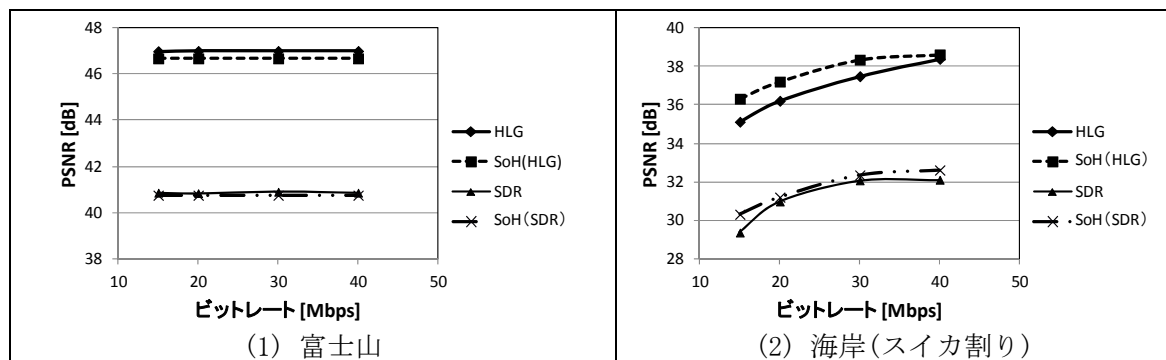
表 6-3 ディスプレイ

	マスタモニタ	民生ディスプレイ
HDR (HLG)	SONY 製 BVM-X300 (OLED, 30-inch) ピーク輝度(実測値)1000cd/m ² ARIB STD-B67 準拠 OETF の逆関数にシステムガンマ 1.2 を適用、100cd/m ² @ビデオ 50%	SONY 製 BRAVIA 75X9405C ピーク輝度(実測値)1300cd/m ² システムガンマ 1.2
SDR	SONY 製 BVM-X300 (OLED, 30-inch) ピーク輝度(実測値)100cd/m ² ディスプレイガンマ 2.4	SONY 製 BRAVIA 65X9405C ピーク輝度(実測値)600cd/m ² ディスプレイガンマ 2.4

HLG、SoH(HLG)、SDR の 3 種類の符号化映像の間で、符号化歪みの見え方は同程度であった。

3.2 PSNR による客観評価

それぞれの映像信号における実験結果を PSNR とビットレートの関係 (RD 特性) として図 6-3 に示す。



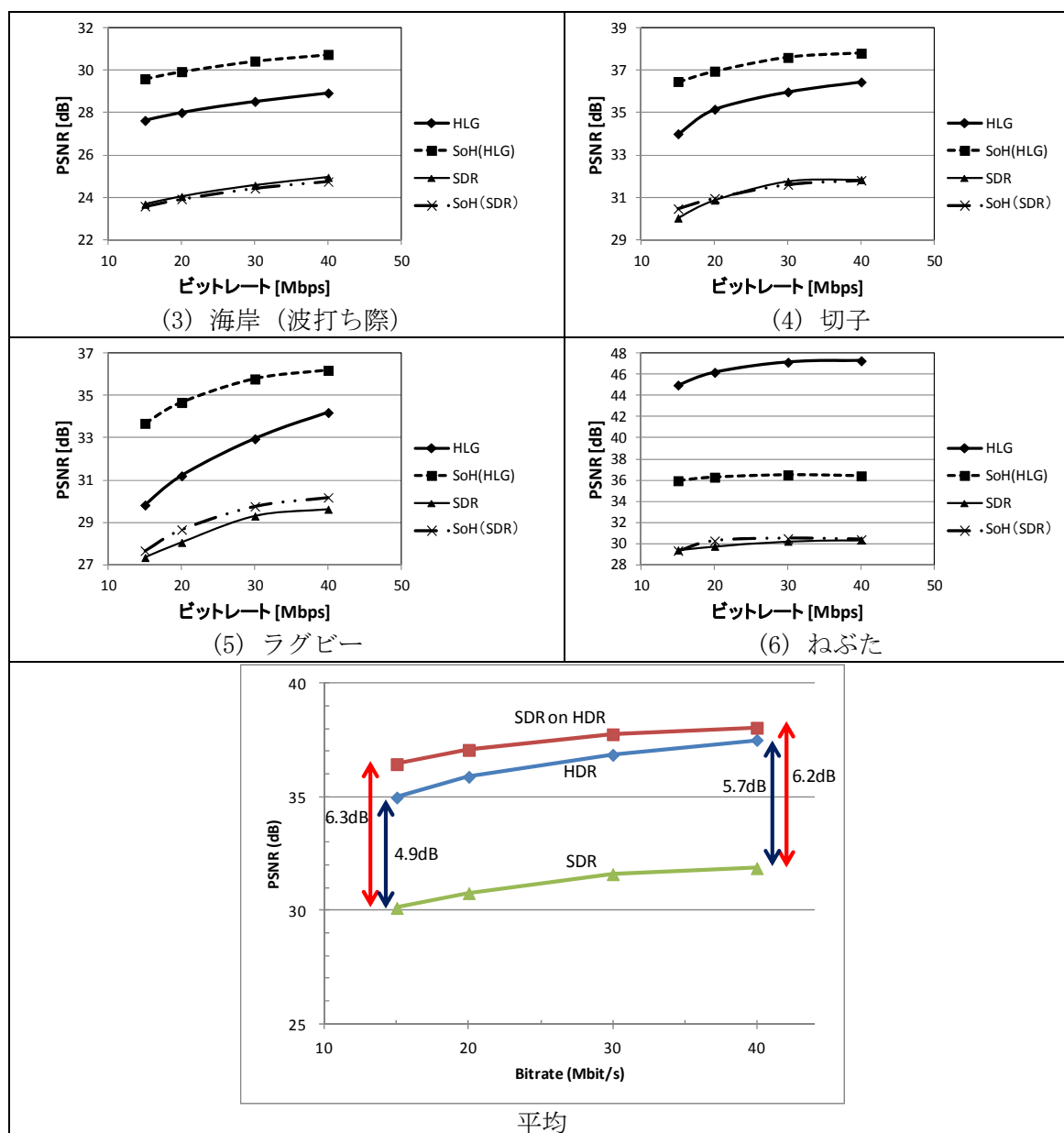


図 6-3 ビットレート対符号化歪み特性

SoH(HLG)はSDR信号のレベルを50%としたものであり、元のSDR信号よりも符号化が容易となり、SDR信号をそのまま符号化する場合と比較すると、いずれのテスト映像においてもSoH(HLG)のPSNRはSDRよりも約6dB高い。ただし、SoH(HLG)を元のSDR信号レベル (SoH(SDR)) に戻すと1ビットの量子化誤差が増加するため、PSNRは同等となる。このことから、SoHはSDRと同等の符号化品質が得られると考えられる。

テスト画像(2)～(5)では、HLGはSoH(HLG)よりもPSNRが1～3dB程度低い。HLG信号が信号レベル50%以下のSDR部分と50%以上のハイライト部から成っていると考えると、HLG信号のSDR部分はSoH(HLG)に近い符号化特性を示し、ハイライト部はSDRでは表現できない領域であり、SoH(HLG)よりも符号化難度が上がり、ハイライト部の増加に伴ってPSNRが低下すると考えられる。テスト画像(1)では、SoH(HLG)とHLGの差が無かったが、ビットレートによるPSNRの変化がほとんど無く、符号化が極めて容易な映像であった。テスト画像(6)は他のテスト映像とは異なり、HLGのPSNRがSoH(HLG)よりも10dB以上も高い。このテスト映像は夜景で暗部を多く含み、SDRとHLGでは異なる絵作りがされている。特に、このテスト映像のSDRでは、暗部を主体とした表現の結果ノイズが多くなっており、SDRやSoHの符号化難度がHLGよりも高くなったと考えられる。

3.3 HDR の所要ビットレート

4K(SDR)の所要ビットレート(30–40 Mbit/s)の範囲において、HLGのPSNRはSDRよりも3dB以上高く、HLGはSDRよりも広いレンジの輝度表現による大きな品質向上が得られている。また、エキスパートビューイングにおいて、符号化歪みの有意な差は認められなかった。これらより、SDRの所要ビットレートと同じビットレートで高品質なHLG映像を放送することが可能と考えられる。

参考

- [1] 平成 25 年度情報通信審議会答申 諮問第 2023 号（平成 26 年 3 月 25 日）

参考資料 7 HLG 方式と PQ 方式の符号化画質比較実験

1. 目的

HDR 放送の 2 つの映像方式（HLG 方式及び PQ 方式）を HEVC Main10 によって符号化する場合の画質を確認する。

2. 実験計画

2.1 テスト画像

異なる HDR 映像方式を公平に比較するため、参考資料 4 で用いた、同一の映像内容を HLG 方式、PQ 方式それぞれで表現した映像信号をテスト画像とした。

2.2 符号化

符号化の条件を表 7-1 に示す。HEVC Main10、レベル 5.1 に準拠したハードウェアエンコーダ・デコーダを用い、ビットレートは、4K の所要ビットレート 30 Mbit/s～40 Mbit/s[2]を参考に 30Mbit/s とした。

表 7-1 符号化条件

符号化装置	NEC 製 VC-8150/VD-8100
符号化条件	HEVC Main10、レベル 5.1
映像フォーマット	3840×2160/59.94/P
ビットレート	30Mbit/s
イントラ間隔	0.5 sec.

2.3 客観評価

符号化性能を客観的に比較する場合、PSNR (peak signal-to-noise ratio)などの符号化歪みの二乗誤差に基づく客観量によって評価するのが一般的である。しかし、異なる伝達関数を持つ映像フォーマットの符号化性能を比較する場合、符号化によって映像信号が同程度劣化した場合でも、EOTF が異なるためにディスプレイに表示される映像（光出力）においては量子化幅が異なるため、ディスプレイ上に出力される映像の劣化は異なる。このため、今回の場合、PSNR による符号化性能の比較は適当でない。そこで、映像信号ではなく、原画像と符号化画像のディスプレイの光出力の比較によって劣化を算出することで符号化性能の評価を行うこととした。このため、均等知覚色空間として国際照明委員会（Commission Internationale de l'Eclairage: CIE）が推奨している CIE 1976 L*a*b*色空間[3]上での絶対誤差 ΔE を用い、HLG 方式と PQ 方式のそれぞれ原画を基準として符号化映像の ΔE を算出した。 ΔE が小さければ符号化映像は視覚的に原画を忠実に再現しているといえる。

ΔE に基づく符号化品質の評価は図 7-1 に示す手順により行った。

Step 1: 原画および符号化映像出力（Y'CBC'R 4:2:2）を 4:4:4 に変換

Step 2: 各方式の EOTF を適用し、リニア RGB に変換

Step 3: ピーク輝度 1000 cd/m²であるディスプレイを用いることから、1000 cd/m²でクリップ処理

Step 4: クリップしたリニア RGB を XYZ に変換した後、式 (1) により XYZ から L*a*b*に変換

$$\begin{aligned} L^* &= \begin{cases} 116(Y/Y_n)^{1/3} - 16 & (Y/Y_n > 0.008856) \\ 903.3(Y/Y_n) & (Y/Y_n \leq 0.008856) \end{cases} \\ a^* &= 500 \left[(X/X_n)^{1/3} - (Y/Y_n)^{1/3} \right] \\ b^* &= 200 \left[(Y/Y_n)^{1/3} - (Z/Z_n)^{1/3} \right] \end{aligned} \quad (1)$$

Step 5: 式 (2) により、L*a*b*の絶対誤差より ΔE を算出

$$\Delta E = \left(\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2} \right)^{1/2} \quad (2)$$

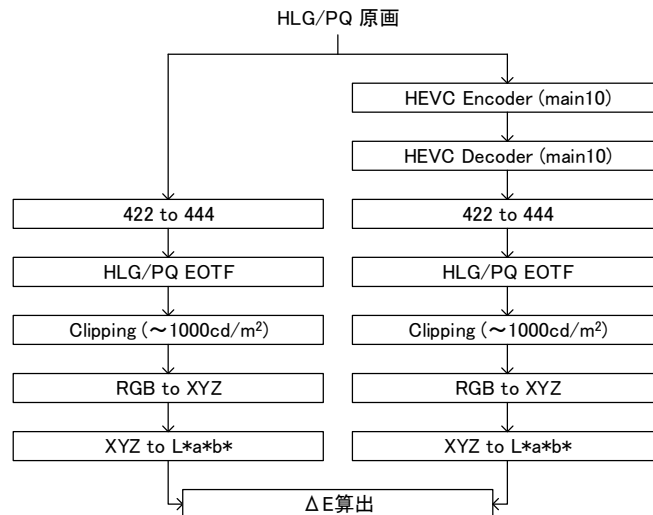


図 7-1 ΔE の算出手順

3. 実験結果

3.1 エキスパートビューイング

ARIB 映像符号化方式作業班の委員及びオブザーバ並びに情報通信審議会放送システム委員会委員及び同 HDR 作業班構成員によるエキスパートビューイングを表 7-2 のディスプレイを用いて行った。

まず、HLG 方式と PQ 方式の非圧縮画像をサイドバイサイドで比較し、両映像に差が認められないことを確認した。

次に、HLG 方式の非圧縮画像及び HLG 方式と PQ 方式の両符号化画像をサイドバイサイドで比較した。テスト画像に速い大きな動きは少なく、原画像の SN 比も良好であり、符号化によってクリティカルなシーンは少なく、全体としては両方式共に放送品質を満足すると考えられる画質が得られていた。しかし、一部の特に赤いインコが画面全体に動きまわる輝度・彩度共に高いシーン（図 7-3(a)）では符号化歪みが検知され、PQ 方式の符号化映像の方で劣化が大きかった。

表 7-2 ディスプレイ

ディスプレイ	SONY 製 BVM-X300 (OLED, 30-inch)
ピーク輝度 (実測値)	1000cd/m ²
HLG EOTF	ARIB STD-B67 準拠 OETF の逆関数にシステムガンマ 1.2 を適用、100 cd/m ² @ビデオ 50%
PQ EOTF	SMPTE ST 2084 準拠

3.2 ΔE による客観評価

HLG 方式と PQ 方式の ΔE の時間推移を図 7-2(a)に、PQ 方式と HLG 方式の ΔE の差 (PQ-HLG) テスト画像のフレームごとの平均信号レベル (Average Picture Level: APL) の時間推移を図 7-2(b)に示す。APL はフレームごとの HLG 方式の映像の Y 信号から算出した。ΔE は映像信号の視覚的な劣化量を示すため、値が小さいほど原画と符号化映像が視覚的に近いことを意味する。図 7-2(a)に示すように、HLG 方式が PQ 方式に比べ ΔE が小さい結果となった。また、PQ 方式と HLG 方式の ΔE の差と APL の関係に注目すると、APL と ΔE の差には概ね一定の相関があるが、フレーム番号 7000~8000 (シーン A) では APL の変化に比べて ΔE の差が顕著に大きかった。また、APL が 0.1 を下回るフレーム番号 16000~20000 (シーン B) では両方式の差はほとんど無かった。シーン A とシーン B のサムネイルを図 7-3 に示す。シーン A はエキスパートビューイングで画質劣化が検知されたシーンであり、シーン B は女性が花火を持つ輝度が低いシーン

である。

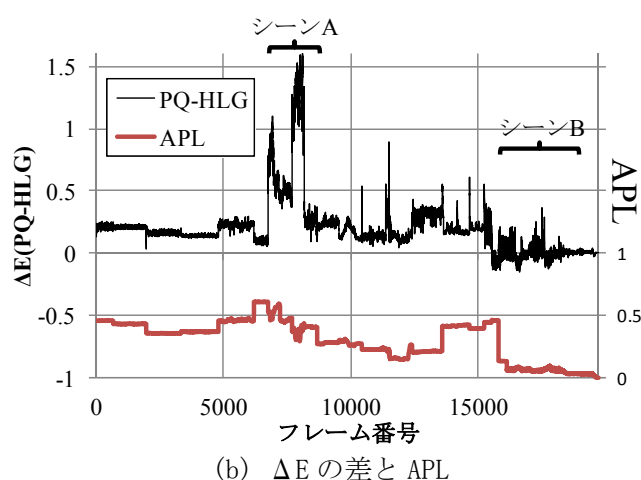
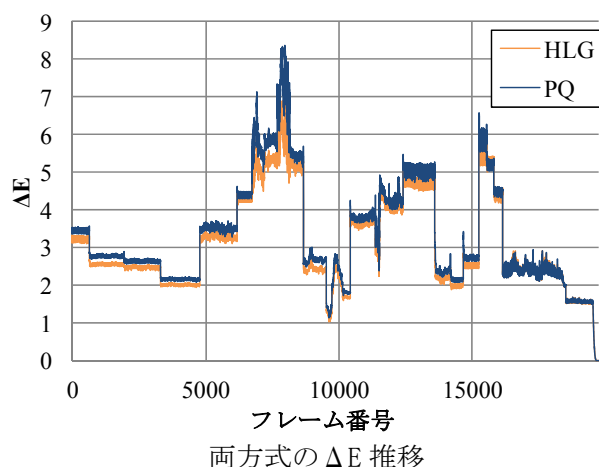


図 7-2 HLG 方式と PQ 方式の ΔE 比較



(a) シーンA

(a) シーンB

図 7-3 シーン A とシーン B のサムネイル

4. 4:2:0 符号化のための信号処理の影響

HLG と PQ の間で特に ΔE の差が顕著であったシーン A の絵柄は、他のシーンに比べて特に彩度の高い映像である。PQ 方式の映像において、輝度・彩度が高い場合に C・BC・R 成分の帯域制限・信号変換に起因した色劣化が報告されている[4]。そこで、4:2:0 への信号変換による劣化について考察した。

符号化実験で用いた原画は Y・C・BC・R 4:2:2 信号であるが、HEVC コーデックのプロファイルは Main10 であり、エンコーダ内部での符号化処理は Y・C・BC・R 4:2:0 で行われている。一方、 ΔE は、RGB 4:4:4 へ変換した後に L*a*b*空間において算出する。すなわち、本実験では C・BC・R 成分に対する帯域制限／縮小・拡大処理が行われている。信号処理による色劣化と符号化劣化を切り分けて検証するため、シーン A で ΔE の値が最大となったフレームについて、HLG 方式と PQ 方式の原画像をそれぞれ Y・C・BC・R 4:2:2 から Y・C・BC・R 4:2:0 へ変換し、再び Y・C・BC・R 4:2:0 から Y・C・BC・R 4:2:2 へ変換し、原画像と信号変換後の画

像について ΔE を比較することで信号変換のみの視覚的な劣化を算出した。その結果、HLG 方式ではフレーム内平均 ΔE が 2.69 であったのに対し、PQ 方式では ΔE が 3.71 であり、PQ 方式が HLG 方式に比べ視覚的な色の劣化が ΔE で 1 以上高かった。画面内の ΔE の分布を確認すると、特に彩度の高いインコの赤い胴体部分において PQ 方式の ΔE が顕著に高く、彩度の高い 32×32 画素領域を切り出し ΔE を測定すると HLG 方式に比べ 4 以上高くなっていた。この結果は、[4]で報告された PQ 方式の色劣化を定量的に裏付けるものであり、彩度の高い映像においては、PQ 方式の信号処理に起因する視覚的な劣化が現れることが示された。MPEG では、この問題を解決するため、補助情報を用いた色補正が提案され、ガイドラインが発行される予定である。

5. まとめ

上記 3.1 及び 3.2 の評価を踏まえ、一部の輝度・彩度が高いシーンでは PQ 方式の符号化映像の方で劣化が見られることもあったが、全体としては両方式ともに HEVC Main10 に特段の修正を加えることなく放送品質を満足する画質が得られるものと判断した。

参考

- [1] UHD/HDR 標準画像「LUCORE (ルコア)」<http://www.imagica.com/news/lucore/>
- [2] 平成 25 年度情報通信審議会答申 諮問第 2023 号 (平成 26 年 3 月 25 日)
- [3] ISO 11664-4/CIE S 014-4 “Colorimetry – Part 4: CIE 1976 L*a*b* Colour Spaces,” (1976)
- [4] ITU-R Document 6C/46-E “Luma adjustment for non-constant luminance- informative” (2016.1)