



ITU-R SG6がHDR-TVの標準化によりエミー賞を受賞



日本放送協会 放送技術研究所 フェロー **にしだ ゆきひろ**
西田 幸博

1. はじめに

ハイダイナミックレンジテレビジョン (High Dynamic Range Television : HDR-TV) の標準化の功績により、国際電気通信連合無線通信部門 (ITU-R) 第6研究委員会 (Study Group 6 : SG6、放送業務を担当) に、第75回工学・科学・技術エミー賞 (Engineering, Science and Technology Emmy Award) がテレビ芸術科学アカデミーから授与された。アカデミーは、勧告ITU-R BT.2100「制作及び国際番組交換に用いるHDR-TVの映像パラメータ値」が、2016年7月の初版発行以来、カメラ、ポストプロダクション、配信、ディスプレイにわたるテレビ業界全体に影響を与える極めて重要な国際仕様を提供したことを授賞理由としている。

2. エミー賞

エミー賞は3つの団体が主催し、テレビ業界の様々な分野に対して授与されている (表1)。このうち、工学・科学・技術エミー賞は、テレビの制作、録画、送受信に顕著な影響を与える革新的な工学・科学・技術分野の開発を行った個人・企業・組織に対して、テレビ芸術科学アカデミーから授与される。

■表1. エミー賞

テレビ芸術科学アカデミー (ATAS)	<ul style="list-style-type: none"> ・プライムタイム・エミー賞 ・工学・科学・技術エミー賞
全米テレビ芸術科学アカデミー (NATAS)	<ul style="list-style-type: none"> ・デイトタイム・エミー賞 ・チルドレン&ファミリー・エミー賞 ・スポーツ・エミー賞 ・ニュース&ドキュメンタリー・エミー賞 ・技術・工学エミー賞
国際テレビ芸術科学アカデミー (IATAS)	<ul style="list-style-type: none"> ・国際エミー賞

今回のITU-R SG6の受賞は、デジタルテレビ信号 (勧告ITU-R BT.601、1983年)、ラウドネス測定法 (勧告ITU-R BS.1770、2012年) に続く3回目であり、ITUとしては6回目の受賞である (表2)。

■表2. ITUへのエミー賞

1983年	デジタルテレビ信号	CCIR SG11
2008年	H.264 MPEG-4 AVC	ITU、ISO、IEC
2012年	ラウドネス測定法	ITU-R SG6
2017年	HEVC	ITU、ISO、IEC
2019年	JPEG	ITU、ISO、IEC
2023年	HDR-TV	ITU-R SG6

第75回工学・科学・技術エミー賞の授賞式が、2023年10月18日、テレビ芸術科学アカデミーのSaban Media Center (ハリウッド、図1) で開催された。ITU-Rを代表してITU無線通信局次長Joanne Wilson氏が受賞スピーチを行い、SG6議長・NHK西田、WP6C議長Andy Qusted氏、WP6B議長Paul Gardiner氏、BBCとDolbyの各代表が登場した (図2)。



■図1. テレビ芸術科学アカデミー



©Television Academy, Photo by Jordan Strauss/Invision
■図2. 第75回工学・科学・技術エミー賞授賞式



3. HDR-TV

テレビジョンは、カメラが被写体を含むシーンの光を電気信号（映像信号）に変換し、ディスプレイが電気信号を光に変換して表示する映像システムである。光と映像信号の間の相互の変換特性（伝達関数）が映像の階調表現を決定する。映像システムを特徴付けるパラメータには、伝達関数のほか、空間解像度、時間解像度、表色系、ビット数などがあるが、HDR-TVは特に伝達関数の工夫によって実現されている。

カメラ側でシーン光を電気信号（映像信号）に変換する伝達関数（Opto-Electronic Transfer Function：OETF）とディスプレイ側で電気信号（映像信号）を表示光に変換する伝達関数（Electro-Optical Transfer Function：EOTF）に基づき、シーン光と表示光の関係はOETFとEOTFの総合伝達関数（Opto-Optical Transfer Function：OOTF）で表される（図3）。

伝達関数を規定するにあたり、シーン光を基準とするシーン参照型、表示光を基準とするディスプレイ参照型、輝度を黒から白の間の相対値で表す相対輝度方式、輝度を絶対値で表す絶対輝度方式という異なる考え方がある。

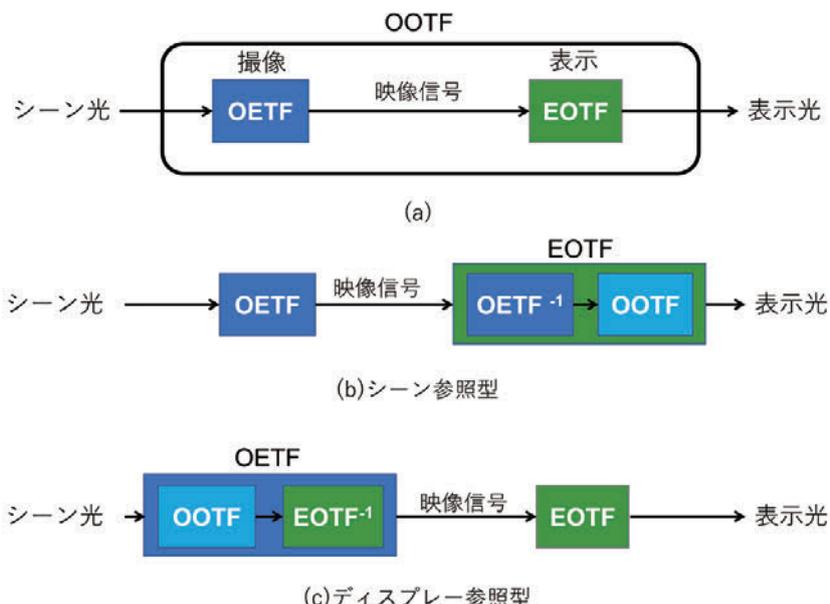
従来のテレビジョン（Standard Dynamic Range Television：SDR-TV）では、シーンの暗部から明部の広い輝度範囲の一部を0から100%の映像信号で相対的に表し、ディスプレイで再現される輝度範囲は、ディスプレイの性能に依存するが、黒レベル 0.1cd/m^2 から白レベル（ピーク

輝度） 100cd/m^2 、コントラスト比1,000：1程度であった。そのため、テレビ映像制作においては被写体の暗部や明部を圧縮あるいは制限して表現せざるを得ず、その部分の階調を十分に表現できなかった。

液晶ディスプレイのバックライト制御や有機EL・LEDディスプレイのような自発光型ディスプレイなどの技術によって、ピーク輝度 $1,000\text{cd/m}^2$ 以上、黒レベル 0.01cd/m^2 以下、コントラスト比10万：1以上のディスプレイが実現した。HDR-TVは、このような高輝度・高コントラスト比のディスプレイで表示するのに適し、ガラスや金属による光の反射や発光物の表現、昼間のスタジアムでのスポーツ中継に見られる日陰とひなたの両方を含む明暗差が大きいシーンの表現など、リアリティの高い映像表現を可能とする技術である。超高精細度テレビジョン（Ultra High Definition Television：UHDTV）に採用された広色域と相まって映像表現能力が拡大し、視聴体験を一層向上させることが可能となった。

4. ITU-R SG6におけるHDR-TV方式の標準化

ITU-R SG6においてHDR-TVの議論が始まったのは、UHDTVのシステムパラメータを規定する新勧告案（現在の勧告ITU-R BT.2020）の作成が大詰めとなっていた2012年4月のWP6C会合である。これ以降、2016年1月に新勧告案（現在の勧告ITU-R BT.2100）が合意されるまでに4年間にわたる議論が続いた。



■ 図3. テレビジョンの伝達関数



HDR-TVの要求条件や、技術仕様を定めるための基本的事項から検討が始まった。特に、制作環境や視聴環境に応じた最適な映像表示を実現するための方法が課題であった。コンセプトが類似あるいは異なる複数の提案があり、統一方式が模索されたが、結果的に後述のとおり2つの方式に整理された。

勧告ITU-R BT.2100が策定された後、HDR-TV番組の制作上の技術的指針、テスト信号、HDR-TVとSDR-TVの相互変換方法、知覚的な色の違いを客観的に測定する方法、映像の明るさ指標、肌色の分析結果などについて、勧告やレポートが作成された(表3)。また、デジタル信号インタフェース上でSDR-TVとHDR-TVを識別するシグナリングが導入された。現在も、HDR-TVとSDR-TVの番組を同時に制作する際の運用方法や基準観視条件など、HDR-TV番組制作の経験を踏まえた諸課題の解決のための検討が続けられている。

5. HDR-TVの方式

勧告ITU-R BT.2100に規定されているHDR-TVの方式には、伝達関数の考え方が異なるHLG (Hybrid Log-Gamma) 方式とPQ (Perceptual Quantization) 方式の2つがある。

・HLG

HLGは、SDR-TVとの互換性を考慮し、SDR-TVと同様のシーン参照型・相対輝度方式のコンセプトの下で、撮像側のOETFを規定する。HLGのOETFは、信号レベル0~50%はSDR-TVのOETFと同等の0.5乗べき関数、信号レベル50%を超える部分是对数関数の特性を持つ。この特性によって、SDR-TVとの高い互換性を備えている。HLGのEOTFはOETFの逆関数とOOTFで表される(図3 (b))。OOTFの非線形特性を決定するシステムガンマは、非線形特性による色相のずれを避けるために輝度成分のみに適用され、また、ピーク輝度が異なるディスプレイに同じ映像

を表示したときの見えの違いを低減するため、システムガンマはピーク輝度に応じて設定される。SDR-TVのニー(knee)特性は規格にはない運用上の仕様であったが、HLGではハイライトの圧縮特性が定式化されたことにより、ディスプレイではその逆特性を与えることによってハイライトを再現できるようになった。Hybrid Log-Gammaという名称は、従来のガンマと対数圧縮を組み合わせた特性であることに由来する。

・PQ

PQは、ディスプレイ参照型・絶対輝度方式のコンセプトの下で、基準ディスプレイのEOTFを規定する。PQのEOTFは、絶対値で表される表示輝度 $0\text{cd}/\text{m}^2$ から $10,000\text{cd}/\text{m}^2$ と映像信号レベルの関係を表し、この広い輝度範囲に対応する視覚特性に基づいて設計されており、HLGのEOTFに比べて強い非線形特性を持っている。PQのOETFはOOTFとEOTFの逆関数で表され(図3 (c))、OOTFはSDR-TVのOOTFに準じた特性である。Perceptual Quantizationという名称は、視覚のコントラスト感度関数を考慮した特性であることに由来する。

6. HDR-TVの運用基準

HDR-TV番組制作の普及とHDR-TVにふさわしい番組制作を確実にするために運用基準が策定され、ITU-R勧告やレポートにまとめられている(表3)。

・基準レベル

HDR基準白(HDR Reference White)は制御された照明条件下での反射率100%の拡散白に対する映像レベル、Graphic Whiteは鏡面反射のハイライトを持たない図形等の信号レベルであるとそれぞれ定義されている。HDR基準白やGraphic Whiteに対応する映像レベルは、SDR-TV映像との比較やHDRの効果などの観点から、HLGの映像レ

■表3. HDR-TVに関連するITU-R勧告及びレポート(2024年3月時点の最新版)

勧告ITU-R	内容
BT.2100-2 (07/2018)	映像パラメータ
BT.2111-2 (12/2020)	カラーバー
BT.2124-0 (01/2019)	色の違いの客観的な指標
BT.2163-0 (11/2023)	明るさの客観的な測定方法

レポートITU-R	内容
BT.2381-0 (07/2015)	要求条件
BT.2390-11 (03/2023)	背景・基本
BT.2408-7 (09/2023)	制作指針、基準レベル
BT.2446-1 (03/2021)	HDR/SDR相互変換方法
BT.2525-0 (09/2023)	肌色の分析方法



ベル75% (75%HLG) とされている。75%HLGは最大輝度1,000cd/m²のディスプレイに表示すると203cd/m²となる。これと同じ輝度となるPQの映像レベルは58% (58%PQ) である。さらに、重要な被写体である人物の肌や芝生の映像レベルについてもおおよその映像レベルがまとめられている。(レポートITU-R BT.2408)

・HLGとPQの間の相互変換

輝度を相対値で表現するHLGと輝度を絶対値で表現するPQの映像信号を相互に変換するには、共通の表示条件を設定する必要がある。ピーク輝度1,000cd/m²のディスプレイを共通の表示条件としている。所定の伝達関数の組合せによってHLGからPQあるいはPQからHLGに変換でき、変換前後の映像は同じピーク輝度のディスプレイ上では同等の映像として表示される。(レポートITU-R BT.2408)

・HDR-TVとSDR-TVの間の相互変換

HDR-TVの番組をSDR-TVで放送したり、SDR-TVの素材をHDR-TV番組で使用したり、HDR-TVとSDR-TVの番組を同時に制作したりする場合の運用方法が検討された。HDR-TVとSDR-TVの間の変換は伝達関数やスケーリングを組み合わせることで実現されるが、用途や目的に応じてシーン参照型とディスプレイ参照型を使い分けることが推奨されている。(レポートITU-R BT.2408, BT.2446)

・明るさ

高輝度・高コントラスト比のディスプレイでHDR-TV番組が視聴されるようになると、視聴者を不快にさせないように、明るすぎない・暗すぎない映像制作への配慮も必要となる。明るさを適正に調整・管理するための明るさ測定器を実現するため、明るさを客観的に測定するアルゴリズムが開発された。(勧告ITU-R BT.2163)

また、明るさが激しく変動する映像によって引き起こされ

る可能性のある光感受性発作を防止するための指針は、HDR-TVにも対応するよう改訂された。(勧告ITU-R BT.1702)

7. 日本国内の放送

国内のテレビジョン放送の技術方式は、情報通信審議会答申に基づいて策定される国の技術基準である総務省令・総務省告示と電波産業会 (ARIB) の標準規格・技術資料に規定されている。2014年に高度衛星デジタル放送方式が策定され、その映像方式として4K8K映像の画素数やフレーム周波数、ビット数、広色域表色系、HEVC Main10 プロファイルによる映像符号化などが規定された。

ITU-RでのHDR-TVの議論と並行して、4K8K衛星放送でHDR-TVの放送を可能にするための取組みがあった。HEVC規格がHLGに対応するためには参照規格が必要であり、2015年7月、ITU-R勧告に先立ってARIB標準規格STD-B67が策定された。2016年5月、4K8K衛星放送の仕様にHDR-TVを導入するための技術的条件が情報通信審議会から答申され、同年7月、勧告ITU-R BT.2100の発行と前後して総務省令が改正され、4K8K衛星放送でHDR-TV番組を放送できることとなった。

運用規定の整備や試験放送を経て、2018年12月1日に新4K8K衛星放送が開始され、世界に先駆けてデイリーのHDR-TV放送が始まった。

8. おわりに

アナログテレビからHDTV、UHDTVへとテレビジョンが発展するなかで、画素数が増え、フレーム周波数が高くなり、色の表現範囲が広がり、さらにHDRによって表現可能な明暗の範囲が広がった。スポーツ、ドキュメンタリー、ドラマなど数多くのHDR-TV番組が勧告ITU-R BT.2100に基づいて世界中で制作・放送されている。HDR-TVの仕様を最大限に生かした高品質な番組制作・放送がますます普及することを期待している。

ITUが注目しているホットトピックス

ITUのホームページでは、その時々ホットトピックスを“NEWS AND VIEWS”として掲載しています。まさに開催中の会合における合意事項、ITUが公開しているICT関連ツールキットの紹介等、旬なテーマを知ることができます。ぜひご覧ください。

<https://www.itu.int/en/Pages/default.aspx>