



## HEVCを超える映像符号化標準



シャープ株式会社 通信・映像技術研究所 係長 **猪飼 知宏** (い かい ともひろ)

### 1. はじめに

ITU-T SG16のVCEG (Video Experts Coding Group) とISO/IECのMPEG (Moving Picture Experts Group) は、2015年10月のジュネーブ会合にてJVET (Joint Video Exploration Team) を設置し、2020年をターゲットとした新しい映像符号化標準FVC (Future Video Coding) に向けた活動を行っている。

また、VCEGとMPEGは、2013年2月に第1版策定完了のHEVC (High Efficiency Video Coding) (ITU-T勧告H.265、ISO/IEC23008-2) に対し、レンジ拡張やスケーラブル拡張などのリリースを重ねており、2017年3月には最新版の第4版が発行されている。HEVC策定の実作業を行うJCT-VC (Joint Collaborative Team on Video Coding) は、現在でもHDR符号化や360度映像符号化の標準化活動を継続中である。

本稿では、FVCの動向と主要技術を説明し、さらにHEVCの拡張標準及びHDR、360度映像の符号化動向にも触れる。

### 2. FVC動向

JVETでは、新しい符号化方式の探索のためにJEM (Joint Exploration Model) ソフトウェアを開発しており、多数

の有望技術が組み込まれている。

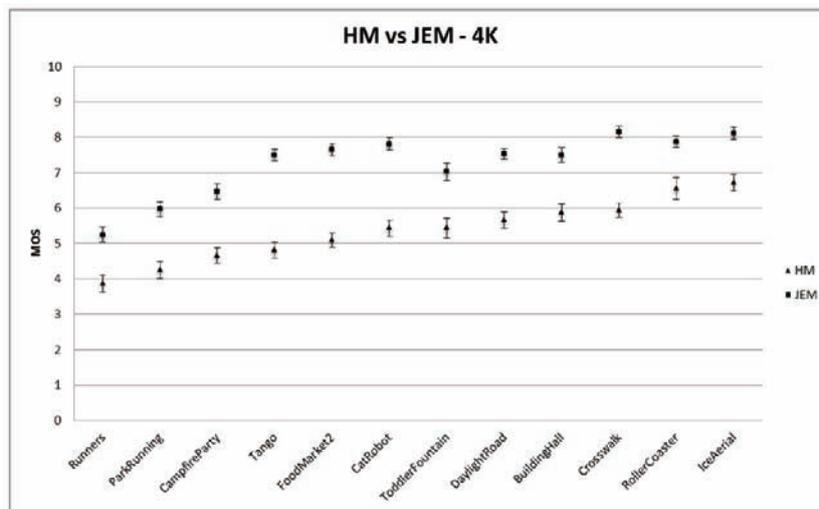
FVCは、2017年4月にCfE (Call for Evidence) が発行<sup>[1]</sup>され、2017年10月のCfP (Call for Proposal) を控える予備検討段階にあるが、図1に示すように、HEVCのテストモデルHMを大きく超える主観画質 (MOS) が示されている。また、2017年4月のHobart会合では、主観評価の向上幅は客観評価 (PSNR) の向上幅を超える可能性が示唆されるなど、特に高解像度での高い圧縮率が期待される。

### 3. HEVC拡張

HEVCなどの映像符号化標準では、映像データと機器の相互接続性を保証するため、機能 (サポート必須のツールやビットデプス) を規定する「プロファイル」と、能力 (解像度やビットレートの上限など) を規定する「レベル」を定めている。

HEVCのプロファイルは初版ではMain、Main 10、Main Stillの3つからスタートしたが、その後、様々な拡張プロファイルが追加された。表1に主な拡張を示す。

例えば、「レンジ拡張」は、業務用やハイエンド機器で用いられる12bit以上のデプス、4:2:2、4:4:4などの色フォーマットに対応し、「ハイスループット拡張」は、高いビット



(出典：参考文献 [2])

■ 図1. JEM (FVC候補技術) とHM (HEVC) の主観画質比較結果

■表1. 主なHEVCプロファイル

general_profile_idc	プロファイル名	内容
1	Main	4:2:0 8 bit映像符号化
2	Main 10, Main 10 Still Picture (策定中)	4:2:0 8-10 bit映像・静止画符号化 (静止画は策定中)
3	Main Still Picture	4:2:0 8 bit静止画符号化
4	Format range extensions (RExt)	レンジ拡張 (4:0:0/4:2:2/4:4:4、12/14/16 bit等)
5	High throughput	ハイスループット拡張
6	Multiview Main (MV-HEVC)	マルチビュー拡張
7	Scalable Main & Scalable Main 10 (SHVC)	スケーラブル拡張
8	3D Main (3D-HEVC)	3D拡張
9	Screen content extensions (SCC)	スクリーンコンテンツ拡張
10	Scalable format range extensions	スケーラブルレンジ拡張

(筆者作成)

レートで重要な並列復号可能性をウェブフロント等を用いて保証する。最新の第4版で、「スクリーンコンテンツ拡張」が追加された。この符号化方式では、パレット符号化、画面内ブロックコピー、予測残差色変換、可変精度動きベクトルが採用され、会議資料やアニメーション画像において、極めて高い符号化効率を実現する。

また「スケーラブル拡張」「マルチビュー拡張」「3D拡張」では、1つの符号化データで複数の映像（レイヤ）の伝送や蓄積が可能なマルチレイヤ符号化を実現しており、レイヤ同士の予測を取り入れた高効率の符号化が可能である。特に「スケーラブル拡張」では、解像度やビットレート、ビットデプスが異なるレイヤを符号化することができ、機器の能力に合わせた再生や効率的な伝送・蓄積が可能である。「マルチビュー拡張」や「3D拡張」では、複数の視点映像（ビュー）を効率的に圧縮できるほか、デプス映像の符号化が可能であり、複数視点映像とデプス映像から、中間映像を生成するような自由視点映像アプリケーションの実現が期待されている。

さらに、既にプロファイルに採用されたツールを再利用して、新たなアプリケーション用のプロファイルやレベルを追加する拡張もある。例えば、医療画像用途に、オリジナルの正確な記録データ（ロスレス）と、高速再生が可能な確認用データ（ロッキー）を記録するために、ロスレス用のレンジ拡張ツールと、レイヤ間予測用のスケーラブル

拡張ツールの両者を利用可能とした「スケーラブルレンジ拡張」が策定された。

そのほか、HEVCでは、映像データの性質などの情報をSEI (Supplemental Enhancement Information) やVUI (Video Usability Information) を用いて伝送することができる。SEIは規格必須ではないが、アプリケーションの実現には重要であり、SEIやVUIのパラメータを追加する拡張も行われる。これらの拡張はHDR映像や360度映像の伝送では大切な役割を果たす。近々では、Omnidirectional projection indication SEIの開発が進められている。

## 4. FVCの探索と候補技術

探索用ソフトウェア (JEM) の開発は、VCEGが主導して開発したKTA (Key Technology Area) ソフトウェアからスタートした。図2に示すように、会合ごとに順調な性能向上を示しており、現在客観評価ではHEVC比で30%ほどの性能向上が確認されている。

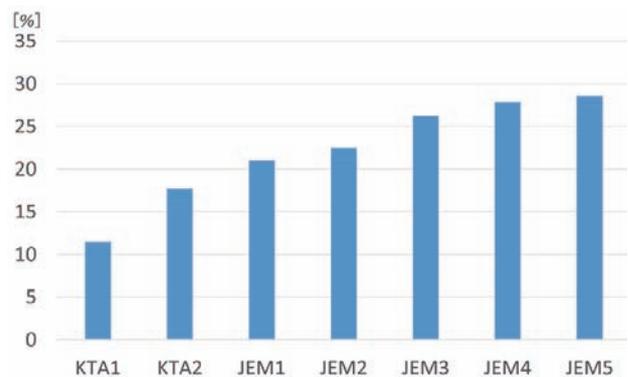
JEMには、FVCの候補技術となる様々な符号化ツールが組み入れられている。ランダムアクセス条件下での主な符号化ツールの性能（符号量削減率）を図3に示す。

特に、自由度の高いブロック分割を実現するQTBT (図3には性能不図示) と、デコード側で動き探索のFRUC、変換EMT / NSST、フィルタALFの符号量削減効果が著しいほか、平行移動以外の複雑な動きに適したAFFINEや、色差成分での大幅な性能向上を実現するCCLMでの主観画質向上も期待できる。

以下で主要ツールとその説明をするが、広範囲の技術開発が進んでいる。

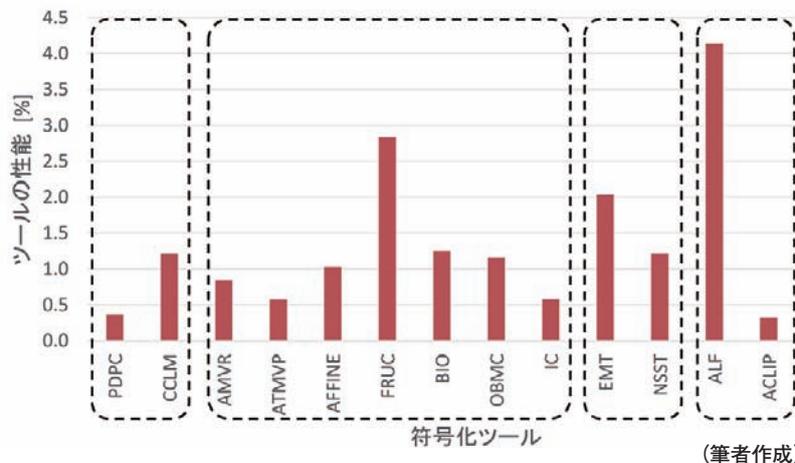
### 【ブロック構造】

- ・QTBT (4分木と2分木による再帰的分割)



(参考文献 [3] を基に筆者作成)

■図2. JEMの性能向上



■ 図3. 主要ツールの性能

(筆者作成)

#### 【イントラ予測ツール】

- ・ PDPC (ブロック内位置依存の画素重み予測)
- ・ CCLM (輝度からの色差線形予測)

#### 【インター予測ツール】

- ・ AMVR (4、1、1/4画素精度での動き符号化)
- ・ ATMVP (サブブロック動き導出)
- ・ AFFINE (拡大や回転などの動き符号化)
- ・ FRUC (マッチングによる動き導出)
- ・ BIO (空間勾配による動き補正)
- ・ OBMC (オーバーラップ予測)
- ・ IC (輝度補償)

#### 【変換ツール】

- ・ EMT (複数の変換基底切り替え)
- ・ NSST (変換係数の非分離型再変換)

#### 【ループフィルタ】

- ・ ALF (小領域ごとの画像分析フィルタ)
- ・ ACLIP (適応的クリッピング)

## 5. HDR映像の符号化

### 5.1 HDR映像の概要

HDR映像とは、幅広いダイナミックレンジ (明るさのレベル差) を表現する映像であり、高いビットデプス (10ビット以上) の映像信号を必要とする。

映像信号としては、新しくHDR用に規定されたITU-R BT. 2100が利用され、映像信号の符号化には10bit符号化が可能なHEVC Main 10プロファイルが利用される。

ITU-Rの勧告BT. 2100では、光の強度と映像信号の変換関係を示す伝達関数としてPQ (Perceptual Quantization) とHLG (Hybrid Log-Gamma) の2つのシステムを規定する。

PQでは映像信号から光への変換式 (EOTF) が、HLGでは光から映像信号への変換式 (OETF) が規定される。どちらのシステムも幅広いダイナミックレンジの表現に適した変換式となっている。PQは映画等のコンテンツを制作者の意図通りに再生するのに適しており、HLGは従来の放送システムとの親和性が高く後方互換性を実現しやすいという特徴がある。

映像伝送では、映像信号が使用するシステムがHDRのPQか、HLGか、あるいは、従来のBT. 709やBT. 2020かの判別が必要である。判別方法の一つとして、HEVC及びH. 264の映像データ中では、Video Usability Information (VUI) のパラメータのtransfer\_characteristicsで指定する方法が用意されている。主なtransfer\_characteristicsのパラメータを表2に示す。HDR信号を伝送する場合には、表2のパラメータを正確に設定することが重要である。

■ 表2. 主なtransfer\_characteristicsの値

transfer_characteristics	伝達関数	規格
1	$V = \alpha * L^{0.45} - (\alpha - 1)$ ( $L \geq \beta$ )	BT. 709
14	$V = 4.500 * L$ ( $L < \beta$ )	BT. 2020
16	PQ	BT. 2100 PQ system
18	HLG	BT. 2100 HLG system

(筆者作成)

### 5.2 HDR符号化の詳細

MPEGでは、HDR映像の相互接続性のある圧縮方法の確立の要請を受け、2015年2月のCfEなどで探索を続けた。その結果、既に規格化されたHEVC Main 10プロファイルにプリ・ポスト処理、エンコーダ最適化を組み合わせるこ



とで十分な画質のHDRサービスが提供可能だと判断された。同時に、探索を通じて得られたHDRの高画質符号化方法の普及と、相互接続の実現を目的として、テクニカルレポートを2つ作成することを決定した。第1のレポートは規格化の最終段階にある。

第1のテクニカルレポート (Conversion and Coding Practices for HDR/WCG Y'CbCr 4:2:0 Video with PQ Transfer Characteristics) は、PQシステムのHDR映像信号に対して、HEVC main10プロファイルによる符号化でのベストプラクティスを示すものであり、主に3つの高画質化を実現する知見が示されている<sup>[4]</sup>。

- (1) 輝度アジャスト (4:4:4信号を4:2:0信号にサブサンプリングする際に生じる偽エッジを防止する)
- (2) 輝度依存量子化制御 (PQ信号では粗くなりがちな高輝度領域で量子化パラメータを下げて補償する)
- (3) 色差量子化オフセット (BT. 709に比べ色差信号が狭い範囲に集中し消失しやすいBT. 2100やBT. 2020向けに色差の量子化パラメータを下げて符号化する)

第2のテクニカルレポート (Signalling, Backward Compatibility and Display Adaptation for HDR/WCG Video) では、従来の再生機器及びディスプレイとの互換性を実現する代表的方法として次の4つを説明する<sup>[5]</sup>。

- (1) HLGを用いたHDR映像符号化

従来のBT. 709と変換カーブの近似したHLGシステムを用いることにより、HDR映像を伝送しながら大きな変更なく従来SDRシステムでの再生が可能。

- (2) SDR映像符号化とSEIによるHDR映像変換

SDRの圧縮映像に加え、SDR映像をHDR映像に変換する場合のパラメータをSEIで伝送。従来機器で復号が可能で、動的ビットストリーム後方互換とも呼ぶ。

- (3) SHVCによるSDR映像とHDR映像符号化

スケーラブル符号化 (SHVC) を用いてベースレイヤでSDR映像、エンハンスメントレイヤでHDR映像を伝送。

- (4) HDR映像符号化とSEIによるSDR映像変換

HDRの圧縮映像に加え、HDR映像をSDR映像に変換する場合のパラメータをSEIで伝送。変換後は、従来ディスプレイで再生可能で、ディスプレイ後方互換とも呼ぶ。

## 6. 360度映像の映像符号化

ITUでは、Immersive Live Experienceを題目として、360度映像を含む映像や音声の伝送の標準化を進めている。

MPEGでも、Immersive MediaをターゲットとしたMPEG-Iプロジェクトが設置され、3DoF (2017年)、3DoF+ (2018年)、6DoF (2020年) の3段階での規格化完了を目指している。また、並行して360度映像のシステム規格であるOMAF (Omnidirectional Media Application Format) の標準化が進んでいる。OMAFでは、360度映像のフォーマットとして、少なくとも正距円筒図法 (equirectangular) の採用が決まっているが、キューブなど多数のフォーマットが提案されており、市場での幅広い利用、画質の優位性、GPU処理対応などで侃侃諤諤の議論が続いている。

3DoFと6DoFの中間の3DoF+では、360度映像で被写体と背景の2~3のデプスを扱う狭義の3DoF+、360度映像に多少の上下左右移動を含めるOmnidirectional 6DoF、ディスプレイ前で視聴者の移動を想定した自由視点テレビ (Windowed 6DoF)、等が検討されている。

MPEG-Iでは、複数の映像を伝送するシステム (受け手側は映像の変形、補間などで中間映像を生成) のほか、3次元上の位置 (x, y, z) と画素値 (r, g, b) を要素とする多数のポイントを符号化するポイントクラウドと呼ばれる技術もターゲットの一つとして挙がっており、2017年4月に技術提案募集が発行された。

## 7. おわりに

HEVCは、スケーラブル、スクリーンコンテンツ等、様々なアプリケーションに向けた拡張のほか、HDR映像の符号化もサポートしている。一方で、2020年に向けた新しい映像符号化標準FVCの探索では、既に多数の候補技術による高い主観画質を確認しており、今後が非常に楽しみである。また360度映像等、Immersive Live Experienceを実現する技術が多数議論されている。

(2017年3月22日 ITU-T研究会より)

### 参考文献

- [1] "Joint Call for Evidence on Video Compression with Capability beyond HEVC", JVET-F1002
- [2] T. Suzuki, "BoG report on test material", JVET-E0132
- [3] M. Karczewicz, E. Alshina, "JVET AHG report : Tool evaluation (AHG1)", JVET-F0001
- [4] "Conversion and Coding Practices for HDR/WCG Y'CbCr 4:2:0 Video with PQ Transfer Characteristics(Draft 4)", JCTVC-Z1017
- [5] "Signalling, Backward Compatibility, and Display Adaptation for HDR/WCG Video (Draft 2)", JCTVC-Z1012