8K スーパーハイビジョン HEVC/H.265 エンコーダ装置の開発

Development of 8K Super Hi-Vision HEVC/H.265 Video Encoding System

正会員 境田 慎一^{†1}, 正会員 杉藤 泰子^{†1}, 正会員 千田 和博^{†1}, 正会員 市ヶ谷 敦郎^{†1},
 正会員 井口 和久^{†1}, 正会員 鹿喰 善明^{†2}, 正会員 井對 貴之^{†3}, 宮澤 一之^{†3},
 正会員 坂手 寛治^{†3}, 越地 正行^{†3}, 本山 信明^{†3}, 正会員 関口 俊一^{†3}
 Shinichi Sakaida^{†1}, Yasuko Sugito^{†1}, Kazuhiro Chida^{†1}, Atsuro Ichigaya^{†1},
 Kazuhisa Iguchi^{†1}, Yoshiaki Shishikui^{†2}, Takayuki Itsui^{†3}, Kazuyuki Miyazawa^{†3},
 Hiroharu Sakate^{†3}, Masayuki Koshiji^{†3}, Nobuaki Motoyama^{†3} and Shun-ichi Sekiguchi^{†3}

あらまし 8K スーパーハイビジョン (SHV) 信号を符号化処理可能な HEVC/H.265 エンコーダを世界で初めて開発した。SHV の試験放送は 2016 年に開始が予定されており、映像信号の圧縮符号化には最新の規格である HEVC/H.265 符号化方式が用いられる予定である。HEVC/H.265 方式は、超高精細映像である SHV にも用いることができる上、従来の AVC/H.264 の約 2 倍の性能を有する。反面、符号化処理量が非常に増大している。開発した装置では、映像信号をリアルタイムに圧縮符号化するために、SHV 画面を 17 分割して各々を 1 枚の基板で処理する並列化を導入した。これらの基板間のデータ共有により、画面分割による画質低下を防いでいる。また、SHV 映像で有効な符号化アルゴリズムのみを実装することで処理量を AVC/H.264 の 2 倍程度に軽量化した。開発した装置を用いた主観評価実験を実施し、放送で想定される映像ビットレートでの符号化画質が良好であることを確認した。

キーワード：8K, スーパーハイビジョン, HEVC, H.265, 映像符号化, エンコーダ

1. ま え が き

8K スーパーハイビジョン (SHV) は、3,300 万画素の映像と 22.2 ch の 3 次元音響からなる次世代の放送システム¹⁾であり、現在のテレビジョン放送を凌駕する超高臨場感を提供する。総務省の放送サービスの高度化に関する検討会²⁾では、SHV の試験放送を 2016 年に開始し、本放送を東京オリンピック・パラリンピックが開催される 2020 年に開始する計画のロードマップが示されている。本計画を実現すべく放送開始に向けて機器開発、標準化、普及活動が進められている。

映像信号の圧縮符号化は放送サービス実現のための重要な技術である。SHV の有する膨大な情報量を、衛星放送などの予め定められた伝送帯域に収まるように、高品質のまま圧縮する必要がある。最新の映像圧縮符号化方式である HEVC/H.265 方式は 2013 年に ISO/IEC と ITU-T によって標準化³⁾され、従来の圧縮符号化方式である AVC/H.264 の約 2 倍の圧縮性能を有している。また、当初より SHV も視野に入れた標準化が行われ、SHV の空間解像度、フレーム

レートにも対応している。

筆者らは、この HEVC/H.265 方式による SHV 対応のエンコーダを世界で初めて開発した。SHV は 1 フレームあたりハイビジョンの 16 倍の画素数があるため、映像処理を高速に行う必要がある。さらに、HEVC/H.265 は AVC/H.264 よりも符号化処理の複雑度が格段に増しており、そのままではリアルタイム処理を実現するのは非常に困難である。そこで、SHV 画面を分割し並列処理することによる高速化を図るとともに、HEVC/H.265 符号化方式のアルゴリズムの中で、SHV に適した技術のみを選択することでリアルタイム処理が可能となる軽量化を実現した。

本稿では、2 章および 3 章において 8K スーパーハイビジョンおよび HEVC/H.265 の概要を述べたあと、4 章で開発した HEVC/H.265 エンコーダ装置の詳細を説明する。さらに、5 章では、装置を使用して実施した主観評価実験について述べる。

2. 8K スーパーハイビジョン

究極の臨場感をもたらす 8K スーパーハイビジョン (SHV) は、超高精細映像とマルチチャネル立体音響からなる次世代テレビジョンシステムである。これまでに高臨場感をもたらすべく、人間の視覚・聴覚特性に基づいたシステムパラメータの選定を行う研究とともに、SHV の映像・音響に対応した機器開発が進められている^{4) 5)}。システムパラ

2014 年 7 月 31 日受付, 2014 年 11 月 20 日再受付, 2014 年 12 月 2 日採録

^{†1} NHK 放送技術研究所

(〒157-8510 世田谷区砧 1-10-11, TEL 03-5494-1125)

^{†2} 明治大学 総合数理学部

(〒164-8525 中野区中野 4-21-1, TEL 03-5343-8000)

^{†3} 三菱電機株式会社 情報技術総合研究所

(〒247-8501 鎌倉市大船 5-1-1, TEL 0467-41-2111)

表1 SHV システムのパラメータ

項目	8Kスーパーハイビジョン (SHV)	ハイビジョン
画素数	7,680×4,320	1,920×1,080
アスペクト比	16:9	16:9
フレーム周波数[Hz]	120(119.88), 60(59.94) (プログレッシブ)	59.94 (インタレース)
標準視距離 (H:画面高さ)	0.75H	3H
水平視野角[度]	100	30
階調[bit]	10, 12	8, 10
表色系	ITU-R BT.2020	ITU-R BT.709
音響チャンネル数	22.2	5.1

メータは、映像に関してはITU-R勧告BT.2020「制作および国際番組交換のための超高精細度テレビジョンシステムのパラメータ値」⁶⁾として、音響に関してはITU-R勧告BS.2051「番組制作のための先進的マルチチャネル音響システム」⁷⁾としてすでに規格が発行されている。SHVシステムの主なパラメータをハイビジョンと比較して表1に示す。以下、映像パラメータのうち重要な空間および時間解像度の決定について述べる。

映像の空間解像度は、視角と単位視角あたりの解像度に基づいて定められている。画面を見ることによって生じる臨場感は広視角になるほど高くなり、100°で飽和することが報告されている。これをもとにSHVの水平視角は100°とされた。この場合の視距離は0.75H(Hは画面高)となる。ハイビジョンは視角30°で設計され、この場合の視距離は3Hとなる。ハイビジョンの画素数は1,920×1,080であるが、これは3Hの距離から視力1.0の観視者が画素構造を検知できなくなるというパラメータである。SHVは視距離がハイビジョンに対して1/4であるので、画素数は縦横4倍必要となる。ハイビジョンとの互換性も考慮して、水平7,680、垂直4,320の画素数とした。画面アスペクト比については、画面サイズが大きくなるほど横長になることが好まれるという報告があり、この報告結果とハイビジョンとの相互運用性を考慮して16:9とされた。

時間解像度に関して画質劣化の要因となるのは動きぼやけ、ストロボ効果、フリッカがある。カメラとディスプレイで動きぼやけを低減するには時間開口を1/200s～1/300sとする必要があるという実験結果が得られている。時間開口を短くする手段としてカメラのシャッターやディスプレイの黒挿入があるが、動きが不連続に見えてしまうストロボ効果を避けるためには80 Hz以上のフレーム周波数が必要となる。また、フリッカが検知されないためのフレーム周波数も実験により80 Hzと報告されている。以上の実験結果を元にし、ハイビジョンとの整合性から、SHVの目標とするフレーム周波数は120 (119.88を含む) Hzとされ、機器開発の容易さの観点から60 (59.94を含む) Hzも規定されて

いる。

SHVはこれらの他、広色域、階調についても新たなシステムパラメータを導入している。さらに立体音響も導入することによって、高臨場感の映像音響サービスの提供が可能になっている。

3. HEVC/H.265の概要

原信号レートにして72 Gbps (60 Hz/12bit) にもなるSHVを放送するために、高品質を維持しながら映像信号の高圧縮を実現する必要がある。HEVC/H.265は、筆者らの提案⁸⁾に基づき当初よりSHV映像を評価画像として採用し、高精細映像の効率的な符号化の実現を目指して標準化が行われた。本章では、SHV映像に対する符号化に有用なHEVC/H.265の主要技術について述べる⁹⁾。

3.1 適応ブロックサイズ符号化

HEVC/H.265では映像フレームを従来のマクロブロックに相当するCTU (Coding Tree Unit) と呼ばれる正方形ブロックに分割して符号化処理を行う。CTUは最大64×64のブロックを起点に、再帰的に四分木分割することができ、多様な大きさのブロックで予測、変換処理を行うことができる。SHV映像では同一シーンを撮像する場合に低解像度映像に比べて画素間相関が高くなるため、AVC/H.264のマクロブロックより大きなブロックサイズで動き予測や変換を行うことにより符号化効率を高めることができる(図1)。

(格子線は符号化ないし予測のブロック境界を示す)

図1 適応ブロックサイズ符号化

図2 マージモードの概念

一方で、ブロックサイズや予測方法の選択肢が増えたことに伴い符号化処理の演算量が増加するため、高精細な映像信号をリアルタイムで符号化するためには、エンコーダの設計に工夫を要する。

3.2 動きパラメータ符号化

ブロック単位に動き予測を行う映像符号化では、動きに関するパラメータを動き予測ブロックごとに符号化する必要がある。細かい絵柄、複雑な動きのある映像で動き予測効率を高めるために動き予測ブロックのサイズを小さくする場合、動きパラメータの符号量が増加する。動きパラメータは変換係数のように非可逆な情報圧縮ができないため、HEVC/H.265では、動きパラメータの符号化に関してマージモード、適応動きベクトル予測という技術が導入されている。マージモードは、符号化対象の動きパラメータを、近傍の動き予測ブロックから引き継いで使用するモードであり、概念的には動きが同一の領域を統合する技術に相当する(図2)。マージモードで最適な符号化ができない場合は、適応動きベクトル予測によって動きベクトルの符号化を行う。適応動きベクトル予測は、近傍の複数の動き予測ブロックで用いる動きベクトルの中から、最も符号化効率がよくなる予測ベクトル候補を選択して動きベクトルの予測を行う技術である。候補となる動きベクトルは空間近傍だけでなく、時間近傍の情報も含める。これらの技術により、動きベクトルの符号化効率が改善されている。

なお、動きベクトルの表現精度はAVC/H.264と同じく1/4画素精度であるが、高精細映像の符号化効率を高めるため、小数点位置の画素を生成する内挿フィルタが改善されている。

3.3 イントラ予測

HEVC/H.265のイントラ符号化は、AVC/H.264に採用された多方向対応の適応空間予測を踏襲しており、イントラ予測モード等のパラメータ符号量を抑制するため、動き予測と同様、さまざまなブロックサイズでの予測が可能となっている。イントラ予測の効率を高めるため、予測対象ブロックごとに35モードの予測モードから選択可能となっている。

3.4 並列処理との親和性

HEVC/H.265では当初よりSHV映像を視野に入れていたため、符号化・復号処理を複数のプロセッサを用いて並列化しやすいよう、符号化データ構造に工夫がなされている。従来規格にもあるスライス構造はCTUのラスタスキャングループの形式でサポートされている他、1フレームを画面内で複数の矩形領域(サブピクチャ)に分割して、それぞれに独立な符号化・復号処理を行うことができるタイル構造や、1フレームをCTU列に分割して、CABAC符号化・復号を並列処理可能とするWavefront Parallel Processing(WPP)の技術が導入されている。

4. 8Kスーパーハイビジョンエンコーダの開発

本章では、世界で初めて開発したSHV対応HEVC/H.265リアルタイムエンコーダ装置¹⁰⁾について述べる。

4.1 並列処理方式

画面分割して並列処理する際に、各処理領域を独立に符号化すると、処理領域を跨いだ動き探索、デブロッキングフィルタ処理ができない。そのため、分割境界において、動き補償予測の効率低下により予測残差が増大して生じる画質劣化や、分割境界歪みが知覚されやすくなる。そこで、分割境界付近の画像データを処理単位間で共有し、処理領域を跨いだ動き探索、デブロッキングフィルタ処理をするための並列処理方式を検討した。

各処理単位がハイビジョン相当の画素数の領域を符号化する場合、画面分割は、タイル構造によって水平方向、垂直方向をそれぞれ4分割する方式、スライス構造によって垂直方向を17分割する方式、などが考えられる。処理領域に隣接するのが前者は最大8領域、後者は最大2領域なので、後者の方が、画像データを隣接領域と共有する処理は容易で実現性が高い。また、大部分のコンテンツは水平方向の動きが多いため、水平方向を分割して水平方向の動き探索範囲が制限されると、動き補償予測の効率が低下する。以上の理由により、画面分割は垂直方向を17分割する方式を採用した。

4.2 エンコーダの構成

エンコーダの諸元、装置の外観をそれぞれ表2、図3に示す。装置は1枚の制御CPU基板と17枚の符号化基板で構成されている。符号化基板の外観を図4に示す。

図5に示すように、7,680×4,320画素の8K映像をスライス構造によって短冊状に17分割し、17枚の符号化基板が並列に符号化処理する。各基板は、独立に処理するのでは

表2 装置諸元

映像フォーマット	7,680×4,320画素, 60/59.94Hz
入力インターフェース	3G-SDI (SMPTE425M) を17本
符号化方式	HEVC/H.265 メイン10 プロファイル
ビット階調・色密度	10bit, 4:2:0
ビデオレート	最大340Mbps
装置サイズ	480(H)×370(V)×545(D) mm

図3 (a) エンコーダの外観 (全体)

図3 (b) エンコーダの外観 (正面)

図4 符号化基板の外観

なく、分割境界付近の画像データを基板間で相互転送し、共有しながら処理する。具体的には、処理領域の上半分を符号化するとき、符号化対象ブロックの画像データを上の隣接領域に転送し、下半分を符号化するとき、下の隣接領域に転送する。そして、1ピクチャの並列符号化が終

図5 画面分割構成

了したあとで、分割境界のデブロッキングフィルタ処理を実行する。こうすることで、分割境界の歪みが軽減される。また、後続のピクチャで基板を跨いだ動き補償予測が可能となり、分割境界において予測残差増大による画質劣化が抑制される。

制御CPU基板は、外部端末からビットレート等の符号化条件を受信する機能や、17枚の符号化基板で生成されたビデオストリームを1本に束ねて出力する機能を担う。さらに、各符号化基板で算出した符号化難易度パラメータを集約し、符号化難易度パラメータの大小関係に応じて基板間の情報量配分を動的に制御する。こうすることで、映像の複雑度が分割画面間で偏っている場合でも、画面間の画質差を緩和できる。

4.3 HEVC/H.265符号化処理の実装

HEVC/H.265の主要技術のうち、イントラ予測モードとブロックサイズの多様化がAVC/H.264との大きな相違点であり、これらの技術によりAVC/H.264と比較して符号化性能が改善する一方、演算量が約2～5倍に増加している。現実的な回路規模でリアルタイム符号化してHEVC/H.265の性能を発揮するためには、イントラ予測モード判定、ブロックサイズ判定の演算量を削減しつつ、真の最適解に準ずる判定結果を得る必要がある。そのために、以下のような検討を行った。

例えば、イントラ予測は参照ソフトウェアでは、ブロックサイズを4×4画素、8×8画素、16×16画素、32×32画素、64×64画素の5種類の中から選択でき、また予測対象ブロックごとに35種類のイントラ予測モードを選択できる。SHV映像にて1フレームあたり8,160個存在する全CTUに対して、ブロック分割とイントラ予測モードの組合せを逐一選択していくと膨大な演算量が必要となる。しかし、実際に選択されるイントラ予測モードを調べると、図6に例示するように偏りが見られる。そこで、全モード評価時に最適モードとして選択される可能性の高いPlanar予測、DC予測は必ず評価し、33モードある方向性予測は、はじめに45°おきの5モード(図6に示すモード2, 10, 18, 26, 34)を評価してそのうちの最適モードを判定し、次にその最適モードおよびその近傍の8モードを評価して最終的な最適モードを判定する2段階方式として、評価するモード数を削減した¹¹⁾。本方式を採用することにより、イントラ予測

図6 イントラ予測モード選択軽量化の例

モード判定に要する処理時間を約1/2に削減している。さらに、SHV映像では効果の低い小ブロックサイズでの予測を省略している。このように、真に最適なモードを評価対象に極力含めるよう留意して、符号化性能とリアルタイム性の両立を図った。

また、適応ブロックサイズ符号化において、1/4画素精度ベクトル検出の前に、テクスチャや動き等のパラメータに基づきブロックサイズを決定することで、小数点位置の画素生成に要するメモリーバンド幅、内挿フィルタ処理量を削減している¹²⁾。ブロックサイズ判定に用いる評価値はソフトウェアで柔軟に補正できるようにした。補正量を調整することにより、ブロックサイズの最適化を図る。

以上のような検討の結果、HEVC/H.265符号化処理をAVC/H.264の2倍程度の演算量に抑え、FPGA 3石に機能分割して実装した。

5. 主観評価実験

開発したエンコーダが放送に使用できる画質であるか確認するため、主観評価実験を行った。

5.1 実験条件

SHV画像の主観評価方法は確立されていないため、テレビジョン画像の主観評価に多く用いられるITU-R勧告BT.500¹³⁾に基づいた暫定的な方法で評価実験を行った。表3に実験条件を示す。

本実験の視距離はSHVの映像パラメータに基づいてディスプレイの高さの0.75倍の距離とした。

実験には10種類のSHV画像を用いた。図7にエンコーダを120Mbpsに設定した際の輝度値Yの平均PSNRを示す。実験画像10種類のPSNRは約29～41dBの幅広い範囲に分布しており、さまざまな符号化難易度の画像が含まれていることが確認できる。以下に10種類の画像を簡単に説明する。

- ・riverboat：川の遊覧船を水平方向にフォローパンする画像。背景に石垣や桜があるものの、画面内は比較的滑らかである。
- ・tractor：けん引される飛行機を水平方向にフォローパンする画像。ロゴや翼などの輝度差の大きいエッジ部分とボディの平坦な部分を含む。

表3 実験条件

ディスプレイ	対角85インチSHV LCD (約1.8 m×1.05 m) 7,680×4,320/60Hz/10 bit
視距離	0.75 H (約0.8 m)
実験画像	7,680×4,320/60Hz, 15 秒間, 10 種類
評価画像	SHV HEVC/H.265 エンコーダ符号化画像 (ビットレート 60, 85, 120, 170 Mbps)
評価者	映像符号化専門家12名

図7 120 Mbpsにおける実験画像10種類のPSNR

- ・performance：自転車の演技をカメラが上下にフォローパンする画像。自転車やスケートボードの大きい動きを含む。
- ・happy：小物が置かれ、パーティ用の装飾がされた暗めの屋内をドリーバックする画像。さまざまな動きをする小物や発光する小物を含む。
- ・shipping：コンテナをトラックから吊り上げるフィックス画像。ワイヤーや鉄骨などの細かいエッジ部分があり、画面内の動き部分が限定されている。
- ・flame：炎や煙の中に見える1本の本を撮影したフィックス画像。なだらかなグラデーションがあり、炎や煙が揺れる動きをする。
- ・snow：雪が降る中、傘を差した人物を水平方向にフォローパンする画像。被写体として、雪、噴水、地面のタイル、細かい柄の傘を差した人物を含む。
- ・sakura：桜並木をカメラがドリーする画像。花卉の複雑な輪郭と木の幹のテクスチャがあり、シーンチェンジがある。
- ・nebuta：ねぶた祭りの山車を撮影したナイトショット画像。色彩が豊かでノイズ成分を多く含む。シーンチェンジが2回ある。
- ・farm：稲穂が実る田んぼを撮影した画像。風に大きく揺れる稲穂が画面の多くを占める。シーンチェンジがある。

評価画像にはエンコーダから出力されるローカルデコー

図8 画像提示方法

表4 MOS3.5を超えた画像数(全10種類中)

[Mbps]	60	85	120	170
画像数	3	4	6	7

表5 MOS2.5を超えた画像数(全10種類中)

[Mbps]	60	85	120	170
画像数	8	8	10	10

ド画像を用いた。

評価方法は二重刺激劣化尺度法(DSIS法: Double Stimulus Impairment Scale method), Variant I)を使用した。図8に本実験における画像提示方法を示す。

DSIS法, Variant Iでは, 原画像と評価画像を1回ずつ提示した後, 原画像に対する評価画像の劣化度を以下の5段階で評価する。

5. 劣化がわからない
4. 劣化がわかるが, 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

評価実験は1セッション2名ずつ実施し, 評価者の疲労を考慮して1セッションは30分未満とした。1セッションで, 10種類の画像と4種類のビットレートの全条件をランダムに提示した。評価者は画面に向かって左または右の位置に分かれて着座し, 評価を行った。

5.2 実験結果

表4に各ビットレートで評価者全員の平均評点値MOS (Mean Opinion Score) が3.5を超えた画像数を, 表5に各ビットレートでMOSが2.5を超えた画像数を示す。MOS 3.5は劣化の許容限とされる指標であり, これ以上であれば放送品質を満たすとされる。MOS 2.5は劣化の我慢限とされる指標である。

5.3 考察

ビットレート120 Mbpsでは, 10種類中6種類の画像に対して劣化の許容限を超える評点が得られた。残り4種類の画像は許容限を超えなかったものの, 劣化の我慢限を超える評点が得られた。この4種類は図7でPSNRが1~3および5番目に低い画像で, 符号化難易度が高いために評価が低くなったものと推測される。これらの画像ではHEVC固

有のサイズの大きいブロック歪みにより, テクスチャが顕著に失われる傾向にあった。HEVCではサイズの大きいブロックの使用によって符号化効率が向上する半面, 主観品質が低下するおそれがある。エンコーダの符号化性能とリアルタイム性を維持しつつ, 適切なサイズのブロックが選択できるようにすることが今後の課題である。

2016年のSHV試験放送で使用予定の衛星伝送方式(ARIB STD-B44 2.0版に規定)では, 衛星中継器1チャンネルで約100 Mbpsの信号伝送が可能である。実験結果から, 想定されるビットレートにおいても, 開発したエンコーダが良好な画質となることが推察される。

6. むすび

8Kスーパーハイビジョン(SHV)用のHEVC/H.265エンコーダを開発した。膨大な情報量のSHV映像を, 画面分割などの処理により符号化の高速化を図って装置開発した。また, エンコーダを使用した主観評価実験を実施した。評価実験で得られた知見を活かし, 想定されるビットレートにおいて, できるだけ多くの種類の画像で放送品質を満たすことができるよう, エンコーダの画質改善を行う予定である。

[文 献]

- 1) T. Yamashita, K. Masaoka, K. Ohmura, M. Emoto, Y. Nishida and M. Sugawara: "Super Hi-Vision Video Parameters for Next-Generation Television", SMPTE Motion Imaging Journal, 121, 4, pp.63-68 (2012)
- 2) 総務省放送サービスの高度化に関する検討会 http://www.soumu.go.jp/main_sosiki/kenkyu/bcservice/
- 3) ISO/IEC 23008-2: "High efficiency coding and media delivery in heterogeneous environments - Part 2: High Efficiency Video Coding|Recommendation ITU-T H.265: "High Efficiency Video Coding" (2013)
- 4) 西田: "スーパーハイビジョン放送に向けた研究開発と標準化", 映像学技報, 8, 8, pp.37-42 (Feb. 2014)
- 5) 江本, 金澤: "スーパーハイビジョンの概要", 情処学グラフィックスとCAD研資, 2009, 12, pp.37-42 (Feb. 2009)
- 6) Recommendation ITU-R BT.2020: "Parameter values for ultra-high definition television systems for production and international programme exchange" (2012)
- 7) Recommendation ITU-R BS.2051: "Advanced sound system for programme production" (2014)
- 8) S. Sakaida et al.: "7680×4320 format test sequences for JCT-VC", JCTVC-A023 (2010)
- 9) 村上, 浅井, 関口(編): "高効率映像符号化技術HEVC/H.265とその応用", オーム社 (Feb. 2013)
- 10) K. Iguchi, A. Ichigaya, Y. Sugito, S. Sakaida, Y. Shishikui, N. Hiwasa, H. Sakate and N. Motoyama: "HEVC Encoder for Super Hi-Vision", IEEE International Conference on Consumer Electronics 2014 (ICCE 2014), p.61-62 (2014)
- 11) 井對, 日和佐, 越地, 本山, 井口: "HEVCハードウェアエンコーダ向けイントラ予測モード判定方式", 2013信学総大, D-11-51, p.51 (2013)
- 12) 宮澤, 坂手, 井口: "HEVCインター予測処理におけるCU分割決定の高速化", 2012信学ソ大, A-4-23, p.78 (2012)
- 13) Recommendation ITU-R BT.500-13: "Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures" (2012)

境田 慎一 1991年，早稲田大学大学院理工学研究科修了。同年，NHK入局。放送技術研究所にて，映像符号化，映像処理の研究に従事。現在，同研究所テレビ方式研究部上級研究員，博士（工学）。正会員。

杉藤 泰子 2004年，東京工業大学大学院情報理工学研究科計算工学専攻修士課程修了。2010年より，NHK放送技術研究所にて，映像符号化の研究に従事。正会員。

千田 和博 2009年，電気通信大学情報システム学研究科情報ネットワークシステム学専攻修士課程修了。同年，NHK入局。2012年より，NHK放送技術研究所にて，映像符号化の研究に従事。正会員。

市ヶ谷 敦郎 1998年，筑波大学理工学研究科修了。同年，NHKに入局。名古屋放送局を経て，2000年より，放送技術研究所。映像圧縮符号化技術，画質測定技術の研究，開発に従事。正会員。

井口 和久 1993年，東京工業大学大学院理工学研究科修了。同年，NHKに入局。同放送技術研究所において，ハイビジョン方式変換，シーン記述，映像圧縮符号化の研究に従事。正会員。

鹿喰 善明 1983年，東京大学大学院工学系研究科修了。同年，NHK入局。1986年より，同放送技術研究所にて，デジタル信号処理，ハイビジョンの伝送方式，映像圧縮符号化，スーパーハイビジョン伝送，IP放送，新サービスに関する研究に従事。2014年より，明治大学総合数理学部教授，博士（工学）。正会員。

井對 貴之 2007年，東京工業大学大学院理工学研究科修了。同年，三菱電機（株）入社。同社情報技術総合研究所にて，映像符号化伝送技術の研究開発に従事。正会員。

宮澤 一之 2010年，東北大学大学院情報科学研究科修了。同年，三菱電機（株）入社。同社情報技術総合研究所にて，映像符号化伝送技術の研究開発に従事。博士（情報科学）。

坂手 寛治 1998年，大阪大学大学院基礎工学研究科修了。同年，三菱電機（株）入社。同社情報技術総合研究所にて，映像符号化伝送技術に関する研究開発に従事。正会員。

越地 正行 1992年，東京工業大学大学院理工学研究科修了。同年，三菱電機（株）入社。同社情報技術総合研究所にて，超高精細映像，映像符号化伝送技術の研究開発に従事。

本山 信明 1990年，中央大学理工学部卒業。同年，三菱電機（株）入社。同社情報技術総合研究所にて，映像符号化伝送技術の研究開発に従事。映像情報処理技術部グループマネージャ。

関口 俊一 1992年，早稲田大学大学院理工学研究科修了。同年，三菱電機（株）入社。以来，映像符号化伝送技術に関わる研究開発・標準化に従事。現在，同社情報技術総合研究所映像情報処理技術部グループマネージャ。正会員。