

# 並列分散処理による超高精細度H.265/HEVCリアルタイムソフトウェアエンコーダ

HEVC Real-Time Software Video Encoder for Ultra-High Definition Video Contents Applying Parallel Distributed Processing

谷沢 昭行      浅野 涉      伊東 孝幸

■ TANIZAWA Akiyuki      ■ ASANO Wataru      ■ ITOH Takayuki

近年、テレビの大型化が進み、従来のHDTV（高精細度テレビ、1,920×1,080画素）の4倍の画素数を持つ4K（3,840×2,160画素）テレビが普及しつつある。4Kや8K（7,680×4,320画素）といった超高精細度（UHD）映像を、既存のネットワークや放送インフラを利用して配信するためには、映像本来の画質を損なわずに、データを大幅に削減可能な新しい映像圧縮規格が必要になる。H.265/HEVC（High Efficiency Video Coding）は、従来のH.264/AVC（Advanced Video Coding）の2倍の圧縮率を実現する最新の映像圧縮規格としてITU-T（国際電気通信連合－電気通信標準化部門）とISO/IEC（国際標準化機構／国際電気標準会議）において2013年1月に策定され、その活用が期待されている。

東芝は、この新映像圧縮規格HEVCに準拠し、高速かつ高画質で柔軟性の高いソフトウェアベースの4Kリアルタイムエンコーダ（圧縮器）を開発した。専用のハードウェアを必要とせず、2台の汎用PC（パソコン）サーバを用いて4K映像をリアルタイムに処理することが可能であり、クラウドシステムとの親和性が高く、様々な映像サイズに対応した映像システムを構築できる。

Accompanying the wide dissemination of TVs with larger displays, 4K TVs with a resolution of 3,840 x 2,160 pixels, four times that of full high definition (HD), have been increasingly appearing on the market in recent years. In order to deliver such ultra-high definition (UHD) video contents with 4K or 8K (7,680 x 4,320 pixels) resolution to end users using the existing network and broadcasting infrastructure systems, a new video coding standard is necessary to reduce these large volumes of image data further compared with the conventional H.264/AVC (Advanced Video Coding) standard. This has led to the introduction of the HEVC (High Efficiency Video Coding) standard, which was standardized in January 2013 and achieves double the coding efficiency of the H.264/AVC standard.

Toshiba has developed a real-time video encoder for UHD video contents that is compliant with the HEVC standard, applying parallel distributed processing. This HEVC encoder is based on a full-software architecture and makes it possible to encode 4K images with high speed and high image quality using two general-purpose PC servers. It can be easily applied to cloud computing systems, including as a real-time video streaming system capable of handling various image data ranging from HDTV to UHD TV.

## 1 まえがき

近年、テレビの大型化が進み、従来のHDTVから画素数を4倍に拡大した4Kテレビの普及が進みつつある。現行の4Kテレビでは、HDTV映像を拡大し、高画質化処理を適用することで4K化した映像を表示している。しかし、もともと存在しない高解像度成分を生成することは難しい。そのため、4K本来の臨場感のある映像を視聴するための次世代4K・8K放送やUHD映像配信サービスの実現に向けた取組みが進められている。4K映像はHDTV映像と比較して、フレームレートが2倍、画素数が4倍のデータ量となるため<sup>(1)</sup>、既存の放送インフラやネットワークを用いた映像配信を実現するためには、より効果的にデータ量を削減する新映像圧縮規格が期待されている。

H.265/HEVC（以下、HEVCと略記）は、H.264/AVC（以下、AVCと略記）の2倍の圧縮効率改善を実現しており、ITU-TとISO/IECで2013年1月に最終国際規格草案が策定された最

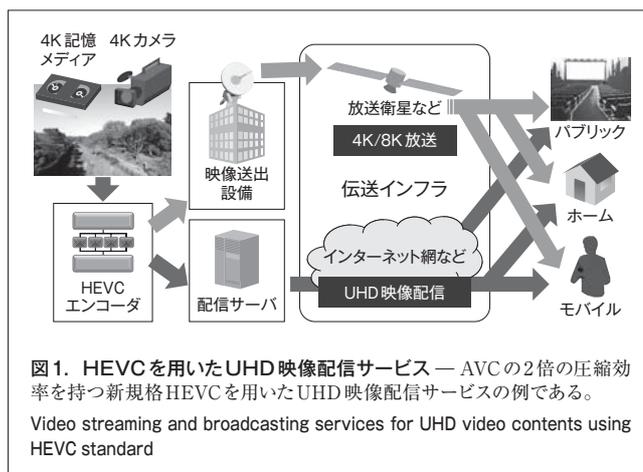


図1. HEVCを用いたUHD映像配信サービス — AVCの2倍の圧縮効率を持つ新規格HEVCを用いたUHD映像配信サービスの例である。

Video streaming and broadcasting services for UHD video contents using HEVC standard

新の映像圧縮規格である<sup>(2)</sup>。東芝は、図1に示すようなUHD映像配信サービスの早期実現に向けて、最新のHEVC規格に対応したエンコーダの開発を進めている<sup>(3)</sup>。

ここでは、まずHEVCの概要について述べ、次いで当社が

試作したHEVCリアルタイムソフトウェアエンコーダに採用した主な技術として、当社独自の映像解析技術及び並列処理技術について述べる。

## 2 HEVCの概要とエンコーダの課題

4K映像(YC<sub>B</sub>CR 4:2:0形式, 10ビット, 60フレーム/sを圧縮せずに伝送するためには、およそ7.5 Gビット/sの伝送速度が必要である。既存のネットワークや放送インフラの実用伝送速度は30～40 Mビット/s程度であるため、UHD映像配信を実現するためには映像のデータ量をおよそ1/200に削減しなければならない。2013年1月に策定されたHEVCは、4K映像本来の画質を維持しながら、データ量を1/200程度に圧縮して伝送速度を約37.5 Mビット/sにできる新規格として注目を集めている。

HEVCの一般的なエンコード処理の流れを図2に示す<sup>(4)</sup>。従来のAVCと同様に、動き補償予測又は画面内予測と、直交変換及び量子化を行うハイブリッド圧縮方式を用いており、大枠の処理の流れは変わっていない。ここで動き補償予測は、既にエンコードが完了した画面の動き情報を用いて、エンコード対象の画面の動きを予測して時間についての画像の冗長性を削減し、圧縮効率を向上させる技術である。また画面内予測は、画像の空間相関を利用して空間についての画像の冗長性を削減し、圧縮効率を向上させる技術である。

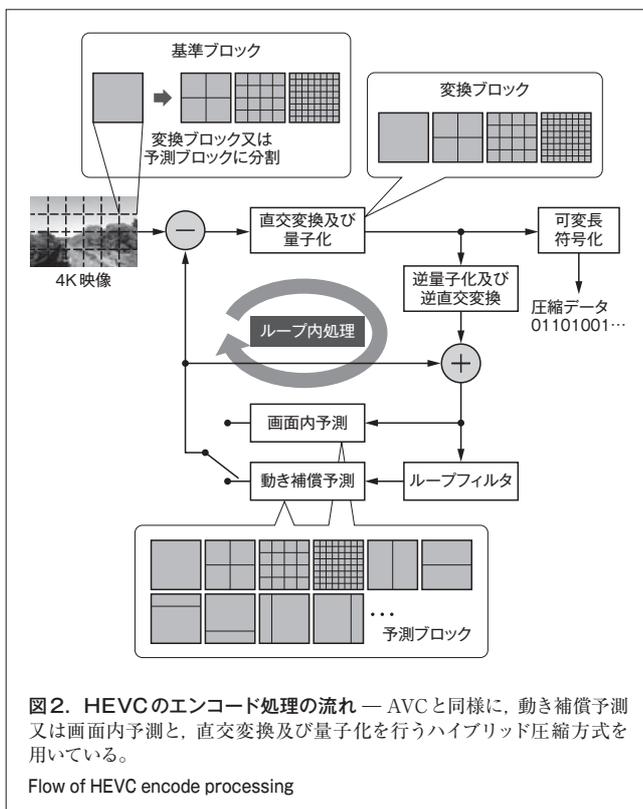


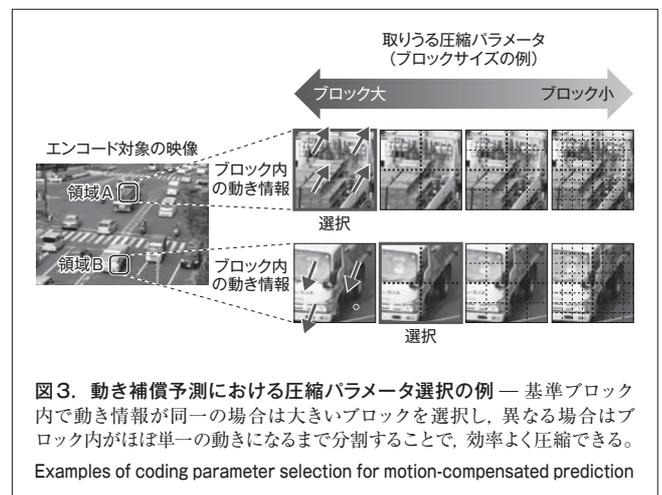
表1. HEVCとAVCの圧縮パラメータの例  
Example of AVC and HEVC coding parameters

動き補償予測 処理ブロックのパラメータ		AVC	HEVC
分割パターン	基準ブロック	16×16だけ 1種類	8×8～64×64 4種類
	予測ブロック	4×4～16×16 7種類	4×4～64×64 25種類
	変換ブロック	4×4及び8×8 2種類	4×4～32×32 4種類
組合せ数		14通り	400通り

HEVCは、高圧縮率を実現するために圧縮パラメータがAVCよりも大幅に増加している。AVCとHEVCの圧縮パラメータの種類の例を表1に示す。HEVCエンコーダは、入力映像を処理の単位となる基準ブロックに分割し、この基準ブロックごとに図2に示した各処理を繰り返すことで映像を圧縮している。このうち、画面内予測や動き補償予測では、基準ブロックを更に細かい予測ブロックや変換ブロックに分割することが可能になっている。HEVCでは、動き補償予測で選択可能なブロックサイズの組合せだけでも400通りが存在する。

HEVCにおける動き補償予測の圧縮パラメータの選択の例を図3に示す。前述のとおり、動き補償予測では既にエンコードが完了したフレームの動き情報を用いてエンコード対象のフレームの動きを予測する。このため、基準ブロックごとに動き情報や、予測ブロックサイズ、変換ブロックサイズなどの最適な圧縮パラメータを求めなければならない。例えば、基準ブロックの映像が同一の動き情報だけで表現できる領域Aは、大きな予測ブロックサイズを選択することで動き情報の符号量を削減できる。一方で、基準ブロックに異なる動き情報を含む領域Bでは、ブロック内がほぼ単一の動き情報で表現できるまで予測ブロックサイズを細かくすることで、効率よく圧縮できる。

このような圧縮パラメータの判定処理に加えて、4K映像は



HDTV映像と比較して、単位時間当たりの画素数が8倍となるため、エンコード処理するブロック数も8倍となる。400種類以上にも及ぶ圧縮パラメータの組合せの中からリアルタイムに最適なものを選定するためには、高速かつ高精度な圧縮パラメータ推定技術と、効率の高い並列処理技術の開発が必須になる。

### 3 リアルタイムエンコード技術

#### 3.1 HEVCエンコーダシステムの構成と特長

開発したHEVCエンコーダシステムの構成を図4に示す<sup>(5)</sup>。前処理を行うPCサーバは、4K映像をリアルタイムにキャプチャし、エンコード処理を行うPCサーバに転送する。4K映像の転送には、大規模計算システムに利用されるInfiniBand (IB) インタフェースを用いている。IBは最大54 Gビット/sの超高速データ転送に対応しているため、前処理部とエンコード処理部をIBスイッチで接続することで、4K映像の4倍のデータ量を持つ8K映像(約30 Gビット/s)の転送にも対応する。

エンコード処理部は、入力された映像を、複数のプロセッサ上で並列分散エンコード処理し、圧縮データを送出するとともに、エンコード処理部の間で予測に必要なエンコード済みの復号映像を参照映像として転送する。この参照映像は、次にエンコードするフレームで動き補償予測に利用される。各エンコード処理部は、エンコード処理した圧縮データを、後処理を行うPCサーバに転送する。後処理部は、複数の圧縮データをHEVC規格に合わせて統合し出力する。

図4では、エンコード処理を行うPCサーバを2台持ったシステム構成を示しているが、PCサーバの数は柔軟に変更できるため、サーバ数を増やすことにより、8K映像への対応も可能である。また、このエンコード処理は既存の汎用PCサーバをそのまま利用できるため、クラウドシステムなどへの親和性が高いシステムとなっている。

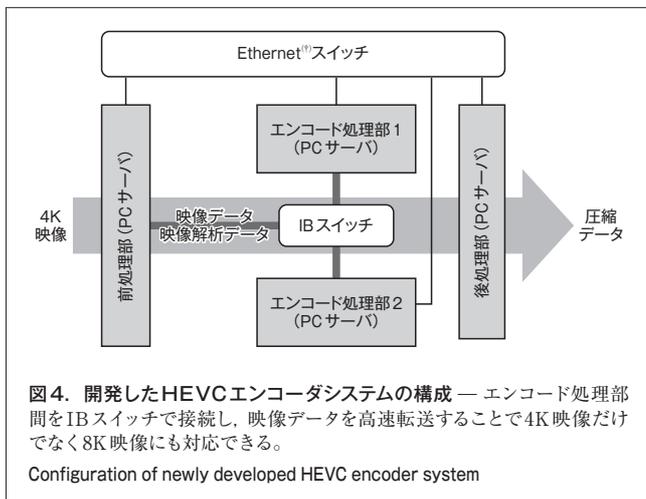


図4. 開発したHEVCエンコーダシステムの構成 — エンコード処理部間をIBスイッチで接続し、映像データを高速転送することで4K映像だけでなく8K映像にも対応できる。  
Configuration of newly developed HEVC encoder system

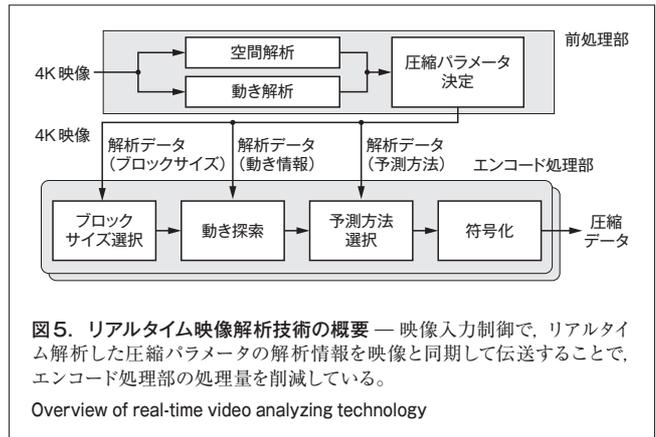


図5. リアルタイム映像解析技術の概要 — 映像入力制御で、リアルタイム解析した圧縮パラメータの解析情報を映像と同期して伝送することで、エンコード処理部の処理量を削減している。

Overview of real-time video analyzing technology

#### 3.2 リアルタイム映像解析技術

ここでは、前処理部で行うリアルタイム映像解析技術について述べる。圧縮パラメータの一つである処理ブロックサイズは、表1に示したように400通りにもなり、これらの組合せを一つひとつ繰り返して評価すると膨大な演算が必要になる。そこで、エンコード処理部で行われる圧縮パラメータの判定処理を削減する手法を開発した。

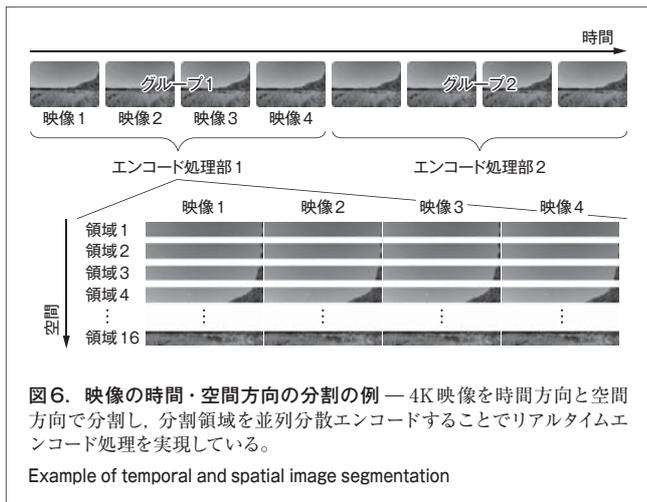
開発した手法は、映像入力制御で空間解析と動き解析を事前に行い、圧縮パラメータを絞り込むことで、エンコード処理部で行う圧縮パラメータの繰り返し処理を削減している。例えば、処理ブロックサイズの判定処理を事前に前処理部で行うことで、エンコード処理部で行う判定処理を削減することが可能になる。

リアルタイム映像解析技術の概要を図5に示す。前処理部の動き解析では、複数のブロックサイズに対してフレーム間のブロックマッチングを行い、予測誤差値と動き情報を算出する。ここでは、予測誤差値と動き情報の情報量を考慮して評価する“コスト関数”を定義し、その評価値(以下、コストと呼ぶ)が最小になる動き情報を選択する。

更に、大ブロックに含まれる複数の小ブロックのコストを計算し、大ブロックのコストと比較することで、ブロックサイズを判定する。例えば、図3における領域Aは、四つの小ブロックが全て同じ動き情報を持つため、これらを加算したコストよりも、動き情報を一つしか持たない大ブロックのコストのほうが小さくなる。このように、予測誤差値と動き情報の情報量を用いることで、映像入力制御でブロックサイズを判定できる。

同様に、前処理部の空間解析では、複数のブロックサイズで画面内予測処理を行い、コストを算出するとともに、最適なブロックサイズを判定する。圧縮パラメータ決定処理では、空間解析と動き解析のそれぞれのコストを比較することで、動き補償予測を用いるか、画面内予測を用いるかの判定を行う。

これらの処理によって、ブロックサイズ、動き情報、及び予測方法を事前に判定することが可能になり、エンコード処理部で行う繰り返し処理を削減できる。

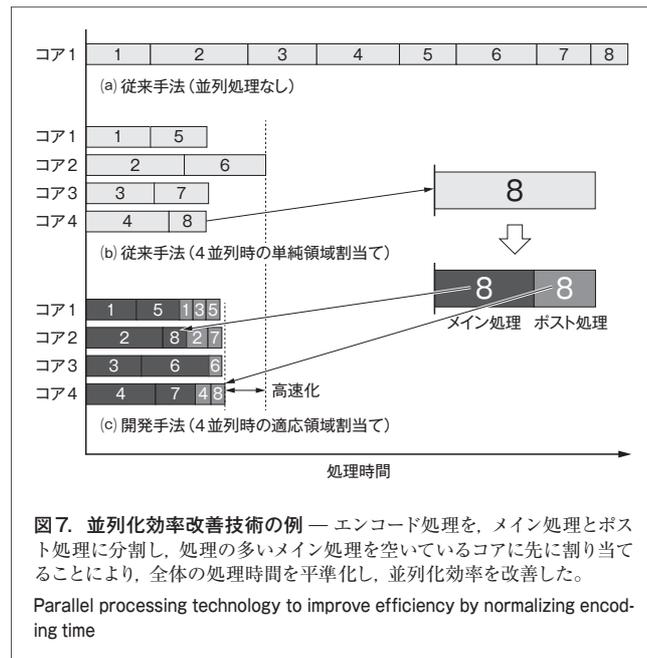


### 3.3 並列処理技術と並列化効率改善技術

エンコード処理を行うPCサーバは複数のプロセッサを搭載することが可能であり、一つのプロセッサは更に複数のコアを持っている。例えば、エンコード処理部に二つのプロセッサが搭載され、それぞれのプロセッサが8コアを持つとすると、16コアを用いて並列処理することが可能になる。開発したエンコーダでは、複数のコアを用いて並列エンコードするために、前処理部で4K映像の時間分割を行い、エンコード処理部で空間分割を行っている。

例えば、映像を図6に示すように時間方向で2分割した場合、各エンコード処理部は、時間の異なる二つの映像のグループを並列に実行できるため、単純計算で2倍の高速化を実現できることになる。また、4K映像の1フレームを図6に示すように16個の短冊状の領域に空間分割し、それぞれ並列に実行すれば、更に16倍の高速化を実現できる。このように、時間方向と空間方向の分割を組み合わせることで高並列分散エンコードを実現している。ここで、参照映像については空間分割を行わず、各エンコード処理部は参照映像全体を用いて動き補償予測を行うことで、空間分割による境界の不連続が発生しないようにしている点の特長である。

一般の映像では、画面の中で、絵柄が簡単な領域や複雑な領域が混在している。また、画面間でも動きが単純な領域や複雑な領域が混在している。絵柄が簡単な領域や動きが単純な領域は、予測処理の精度が高く、絵柄が複雑な領域や動きが複雑な領域は、予測処理の精度が低い傾向にある。予測処理の精度が高い領域は前処理部による圧縮パラメータの推定精度が高いため、エンコード処理部の圧縮パラメータの判定処理を早期に打ち切ることで処理時間を削減している。一方、予測処理の精度が低い領域は、圧縮パラメータの判定が難しいうえ、圧縮パラメータの判定をまちがえると大幅な画質の低下につながるため、打ち切り処理を行わないことで画質の低下を抑えている。



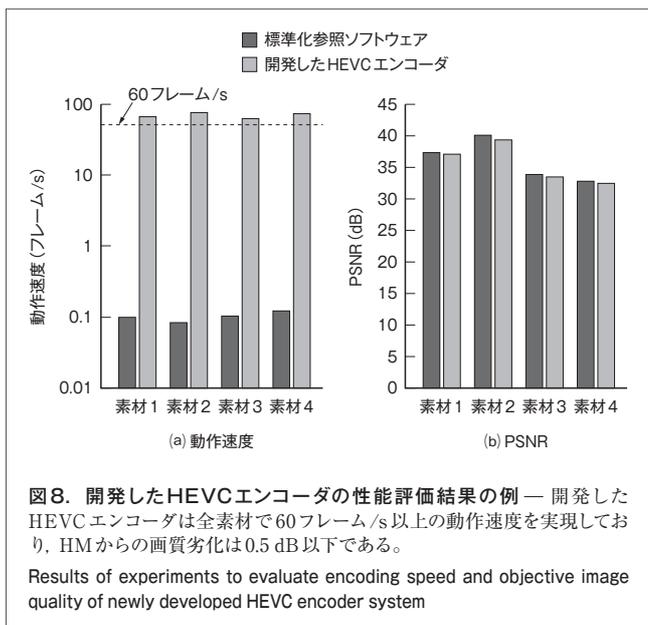
しかし、分割した映像を複数のコアで並列処理する場合に、コアごとに単純に領域を割り当てると、予測処理の精度が低い領域が多く割り当てられたコアの処理時間が増加し、処理時間がばらついてしまう。コアごとの処理時間のばらつきは、並列化効率の低下を招きエンコード処理全体の処理時間の増加につながる。

そこで、開発したエンコーダでは、コアごとの処理時間を平準化するための並列化効率改善技術を導入した。具体的には、エンコード処理を複数に分割し、時間が掛かる処理から先に割り当てることで全体の処理時間を平滑化している。図6に示す領域の一部を四つのコアを用いて並列エンコード処理した場合の、コアごとの処理時間の例を図7に示す。図7(c)の開発手法では、処理が複雑で時間を要するメイン処理と、要さないポスト処理に分割している。最初に四つのコアにメイン処理を割り当てていき、画面全体のメイン処理が割り当てられると、空いたコアにポスト処理を割り当てる。このように処理を分けて独立にコア割当てを行うことで、コアごとの処理時間が平準化され、並列化効率が改善される。

一般に、コア数が増加し並列度が上がるほど、並列化効率が低下するため、この技術を導入することによって、高並列時の並列化効率を改善している。

## 4 開発したHEVCエンコーダの性能評価

ここでは、開発したエンコーダシステムの性能評価を行った結果について述べる。開発したエンコーダの客観画質と動作速度を確認するため、HEVCの標準化作業で用いられている参照ソフトウェア (HM: HEVC Test Model)<sup>6)</sup>との性能比較



を同一のPCサーバ上で行った。利用した4K映像には、HEVCの標準化作業用に提供されている共通テスト素材を用いた。4K映像を35 Mビット/sでエンコードした場合の動作速度と客観画質 (PSNR: Peak Signal to Noise Ratio) を図8に示す。

開発したHEVCエンコーダは全素材で60フレーム/s以上の動作速度を実現しており、HMからの画質劣化が0.5 dB以下であることを確認した。

## 5 あとがき

AVCの2倍という高い圧縮率を持つ映像圧縮の新規格HEVCの登場により、既存のインフラを活用した新しいUHD映像配信サービスの実現に向けて前進した。

今回、当社が開発したエンコーダはソフトウェアベースであるため、画質や動作速度の進化が容易である。また、汎用のPCサーバで動作するため、クラウドシステムへの親和性が高く、既存システムへの適用も可能である。今後も当社は、高精細映像配信サービスによる新しい映像体験の実現に向けた研究開発を進めていく。

## 文献

- (1) ITU-R Rec. BT.2020 : 2013. Parameter values for ultra high definition television systems for production and international programme exchange.
- (2) ISO/IEC 23008-2 : 2013. Information technology – High efficiency coding and media delivery in heterogeneous environments – Part 2: High efficiency video coding.
- (3) 谷沢昭行 他. 動画像符号化の新規格HEVCに向けた高効率な重み付き画素値予測技術. 東芝レビュー. **68**, 2, 2013, p.15-18.
- (4) 大久保榮 他. H.265/HEVC 教科書. 東京, インプレスジャパン, 2013, 352p.
- (5) 谷沢昭行 他. “超高精細HEVCリアルタイムソフトウェアエンコーダの開発”. 電子情報通信学会 2014年総合大会講演論文集, 新潟, 2014-03, 電子情報通信学会, 2014, p.73.
- (6) Joint Collaborative Team on Video Coding. "tags/HM-12.0". Fraunhofer Heinrich Hertz Institute homepage. <<https://hevc.hhi.fraunhofer.de/trac/hevc/browser/tags/HM-12.0>>, (accessed 2014-07-19).

・ Ethernet は、富士ゼロックス(株)の登録商標。



谷沢 昭行 TANIZAWA Akiyuki

研究開発センター マルチメディアラボラトリー研究主務。  
画像信号処理及び動画像符号化処理に関する研究・開発に従事。映像情報メディア学会会員。  
Multimedia Lab.



浅野 渉 ASANO Wataru

研究開発センター マルチメディアラボラトリー研究主務。  
画像信号処理及び動画像符号化処理に関する研究・開発に従事。  
Multimedia Lab.



伊東 孝幸 ITOH Takayuki

研究開発センター マルチメディアラボラトリー。  
画像信号処理及び動画像符号化処理に関する研究・開発に従事。  
Multimedia Lab.