

# 4K 超高精細映像の 配信技法に関する検討

中庭 諒 藤井 哲郎

フルハイビジョンの4倍の解像度である4K 超高精細映像が登場し、映画館において4K デジタルシネマとして普及し始めている。これによりハイビジョンより精細度の高い、臨場感溢れる映像が手軽に楽しめるようになってきた。この4K 映像の様々な活用方法が検討されており、幅広い普及が期待されている。そのためには、プラットフォームとして汎用パソコンを用いた利用方法の確立が必須である。しかし、汎用パソコンにおける4K 映像の取り扱いに関しては、正確な評価が行われておらず、復号処理量なども解析されていない。本稿では、汎用パソコンを用いた4K 超高精細映像の利用を想定し、汎用パソコンにおける4K 映像の再生を映像品質及びその処理量をもとに解析する。更に、インターネット流通の要となる Web での利用方法の確立に向けて、HTML5 技術を利用した組み込み方法についても検討を行う。

キーワード:4K 映像, 超高精細映像, デジタルシネマ, インターネット配信, HTML5

## 1 まえがき

ネットワーク伝送技術が急速に進展し、ギガビットを超える回線速度が誰でも簡単に利用できる時代に突入した。インターネットで映像を扱う機会も大幅に増え、高品質なデジタル映像メディアがネットワークを流通し始めている。放送においても地上波デジタル放送に完全に移行し、ハイビジョン映像が一般家庭で普通に視聴できるようになった。そのハイビジョンの一層の高精細化をめざし、高臨場感を実現したデジタル映像が4K映像である。フルハイビジョンの4倍の空間解像度(3840×2160画素)を有するビデオカメラや、600インチのスクリーンに映し出す大型プロジェクターなどが既に開発されている。この4Kデジタル映像の規格は、ハリウッド6大スタジオにより、デジタルシネマとしてSMPTE及びISOにおいて国際標準化されている。従来の映画に於けるフィルム上映に代わる方式として世界中の映画館に導入され、その数は1万スクリーンを超えている。これにより臨場感のある高品質なデジタル映像が映画館で楽しめるようになってきた<sup>[1,2]</sup>。

この4K映像の活用をさらに広げようと、様々な取り組みがなされている。その一例として、最新の符号化方式であるH.264/AVCの対象とする映像サイズがこの4K映像にまで拡張され、4096x2160画素が取り扱えるようになった。これに対応するように、2011年12月に、東芝社は4K液晶テレビを、ソニー社及びJVC社は4Kホームプロジェクターを製品化し、家庭に向けて販売を開始した。

インターネット配信に於いても、2010年7月に、Google社運営の動画共有サイトYouTubeにおいて、4K映像への対応が試みられた。しかし、Flashへのやや強引な組み込みであった為に、4K映像本来の十分な画質が実現されておらず、普及することは無かった。4K映像を用いた試行実験において、その本来の高精細な画像品質を失う取り組みは問題があることが逆に示された結果となった。

本稿では、幅広い4K映像普及に向け、汎用PC上での活用方法に焦点をあて評価を行うものである。まず、様々なメディアプレイヤーによる4K映像の再生可能性とその品質を評価する。さらに、その復号処理量を解析する。また、新たなWebプラットフォーム技術であるHTML5を利用した4K映像の取り扱いに関して実装を行い、インターネットでのWebを活用した映像配信の可能性を評価する。

## 2 汎用PC上での4K映像再生品質の検証

4K映像を汎用PC上で再生する場合、映像の解像度とビットレート(情報の密度)、符号化方式(圧縮コーデック)、フレームレート(1秒間の再生コマ数)の設定により大きく映像品質が変わる。さらに、映像の復号化処理を行うアプリケーション(メディアプレイヤー)毎に、再生品質が大きく異なっていることも知られている。本章では、汎用PCによる4K映像の再生を想定し、汎用PC上で利用される様々なメディアプレイヤーと各種ネットワーク回線を想定した映像ビットレート毎の4K映像再生能力の評価を行う。特に、家庭への配信に向けた評価を進める。

NAKANIWA Ryo

東京都市大学環境情報学部情報メディア学科 2011 年度卒業生

FUJII Tetsuro

東京都市大学環境情報学部情報メディア学科教授

表1 検証用汎用PCの構成

OS	Windows 7 Professional 32bit
CPU	Core i7 870 (2.93Ghz-4Core)
GPU	ATI-RadeonHD6870 (DVI-I Duallink × 2)
RAM	8 GByte
Display	IBM T221 9503-DGP 22.2インチ, 解像度 3840×2400画素 リフレッシュレート 48Hz, RGB各色8bit



図1 評価用ディスプレイは IBM-T221, 3840x2400 画素

## 2. 1 検証用パソコンの構成

4K 映像の膨大な情報量であるデジタルメディアを汎用パソコン上で扱うには、高速なプロセッサ (CPU) と演算処理能力の高いグラフィックボードが必要となる。本稿の再生品質検証では家庭への普及を考慮にいれ、比較的安価で高性能なパーツで構成した 10 万円程度の汎用 PC を用いて検証を行うことにする。

CPU に Core i7-870 を用いる。比較的安価であり、4Core でクロック周波数は 2.93Ghz, ターボブースト時には 3.6Ghz で動作する。グラフィックボードには ATI-Radeon HD 6870 を用いた。GPU の能力として、900MHz エンジンクロックと 2TFLOPs の処理パワーを誇っている。このグラフィックボードは出力ポート (インターフェース) が DVI-I Duallink 形式であり、一つの画面に 1920×2400 サイズの画面出力が可能である。今回は、1920×2400 サイズの画面を T221 モニターに 2 画面出力のマルチモニターとして出力する。ATI 社の GPU 制御ソフトである Catalyst Control Center のディスプレイ統合機能 Eyefinity を使用し、3840×2400 画素の一画面表示を実現した。

## 2. 2 4K 映像編集と使用素材

検証用の 4K デジタル映像を編集・作成する為、アドビ社製の After Effects CS5 を用いた。素材画像を読み

込む際に、画像の色深度が 32bitColor まで対応しており、フレーム毎に TIFF 画像で提供される映画用素材を容易に取り込むことが出来る。このソフトウェアを使用して、連番の Tiff ファイルを画像シーケンスとして読み込み、ビットレート値やフレームレート値を指定し、クロップ処理と言った映画用映像の詳細設定を行い、最終的にレンダリング処理を行う。映像の符号化 (エンコード) は、After Effects 内に実装されている Media Encoder を使用した。この他に、4K 映像の編集・作成が可能なソフトウェアとして、アドビ社の Premiere Pro, ソニー社の Vegas Pro 11, Apple 社の Final Cut Pro 等がある。

検証する映像素材として、デジタルシネマの標準化団体である DCI (Digital Cinema Initiative) から提供されている StEM (Standard Evaluation Material) 素材の一部と映画用カメラメーカーである ARRI 社が提供する短編映画 Circle of Love の一部を使用する。StEM 素材は 35mm フィルムカメラで撮影されているのに対し、Circle of Love は 65mm フィルムカメラで撮影されている。そのため、Circle of Love の方がより解像度感の高い画像となっている。なお、どちらの素材も、ネガフィルムを直接スキャンし、非圧縮 Tiff 画像フォーマット (4096×1714 画素, RGB 各色 16bit) の画像データとして提供されている。

表2 評価用 4K 映像の仕様

コンテナフォーマット / 映像符号化方式	MP4 (H. 264/AVC)
解像度	3840×2160 pixel クロップ処理有り
映像走査方式	プログレッシブ方式
ビットレート	5・15・25・50・100Mbps (CBR)
フレームレート	24フレーム/秒
色深度	RGB 各色 8bit

## 2. 3 再生映像品質の評価手法

4K 映像を家庭までネットワークで配信する場合、そのビットレートを 100Mbps 以下に設定する必要がある。4K デジタルシネマ用コーデックとして採用されている JPEG2000 方式はフレーム毎に圧縮しているので、高品質ではあるが圧縮率に関して限界がある。これに対し、H. 264 コーデックは、複数フレームを基に圧縮を行うので、非常に圧縮率が高い。しかも、前述の様に H. 264 コーデックは既に 4K サイズの画像解像度 (最大 4096×2304 画素) をサポートしている。よって、評価用素材の符号化方式については H. 264/AVC をコンテナフォーマットには MP4 を選定した。MP4 フォーマットは汎用性が高く、多くのメディアプレイヤーで再生可能である。解像度、映像

走査方式、フレームレート値に関しては、DCI によって規定された 4K デジタルシネマの映像仕様に基づいて、設定を行った。今回は、検証用映像として、Tiff ファイルを画像シーケンスとして 500 枚読み込み、約 20 秒間に渡る 4K 動画を作成した。その容量は約 300MByte である。

今回の検証では、表3に示す家庭で利用可能なネットワーク回線を想定し、固定ビットレート値の 5, 15, 25, 50, 100Mbpsの 5 種類のビットレートで映像を作成した。なお、ビットレートとして 50Mbps あれば、StEM 画像は 4K 映像として十分な品質を確保できることが示されている<sup>[3]</sup>。検証に用いた 12 種類のメディアプレイヤーを以下に記す。

- ① Nero10-MediaHub
- ② DivX Plus Player
- ③ SMPlayer
- ④ Media Player Classic
- ⑤ GOMPlayer
- ⑥ KMPlayer
- ⑦ VLC Media Player
- ⑧ SPlayer
- ⑨ MPlayer
- ⑩ QuickTime Player
- ⑪ RealPlayer
- ⑫ Windows Media Player

表3 家庭用のネットワーク回線の種類

通信速度	ネットワーク回線速度
5Mbps	ADSL ネットワーク回線
15・25Mbps	ケーブルネットワーク回線
50Mbps	光ファイバーネットワーク回線
100Mbps	ギガビットネットワーク回線

## 2. 4 評価結果

DCI 提供の StEM (35mm 素材) と ARRI 社提供の映像 (65mm 素材) の 2 種類を用いて、再生品質評価を行った。なお、検証の際は、磁気ディスクからの転送の遅れが品質評価に影響を与えないようにするために、非常に高速に動作するメインメモリーを用いた RAM ディスクに映像ファイルを置き再生を行っている。

### [35mm フィルム : StEM 素材の再生品質検証]

35mm フィルムカメラで撮影された StEM 素材を用いて、ビットレート毎に 12 種類のメディアプレイヤーを用いて再生を行い、その映像品質を評価した結果を表 4 に示す。固定ビットレートの種類は、5, 15, 50, 100Mbps の 4 種類である。結果として、11 種類のメディアプレイヤーで再生を確認した。この中で、Nero10-MediaHub, DivX Plus Player, SPlayer の 3 種類のプレイヤーがすべてのビットレートにおいて 4K 映像を完全にスムーズに再生できた。なお、MediaHub は有償ソフトであり、DivX と

SPlayer は無償ソフトである。

また QuickTime Player に於いて 15M, 50Mbps 映像の検証時にスムーズな再生を確認した。これにより、MacOS での 4K 映像の再生試験が追加が必要であると思われる。また Windows Media Player では 4K 映像の再生及び画像の復号処理が確認できなかったことも付記しておく。

表4 StEM (35mm 素材) における評価結果

ビットレート (Mbps)	5	15	50	100
メディアプレイヤー				
Nero10-MediaHub	○	○	○	○
DivX Plus Player	○	○	○	○
SMPlayer	○	○	△	▲
Media Player Classic	○	○	△	▲
GOMPlayer	△	△	▲	▲
KMPlayer	○	△	▲	▲
VLC Media Player	○	○	▲	▲
SPlayer	○	○	○	○
MPlayer	○	○	○	△
QuickTime Player	▲	○	○	▲
RealPlayer	▲	○	○	▲
Windows Media Player	×	×	×	×

○—スムーズに再生  
 △—再生されるが、コマ落ち発生  
 ▲—再生されるが、激しいコマ落ち発生  
 ×—再生されなかった

表5 ARRI 社 (65mm 素材) における評価結果

ビットレート (Mbps)	25	50	100
メディアプレイヤー			
Nero10-MediaHub	○	○	○
DivX Plus Player	○	○	○
SMPlayer	○	○	△
Media Player Classic	△	△	△
GOMPlayer	△	△	△
KMPlayer	△	△	△
VLC Media Player	▲	▲	▲
SPlayer	○	○	○
MPlayer	△	△	▲
QuickTime Player	▲	▲	▲
RealPlayer	▲	▲	▲
Windows Media Player	×	×	×

○—スムーズに再生  
 △—再生されるが、コマ落ち発生  
 ▲—再生されるが、激しいコマ落ち発生  
 ×—再生されなかった

[65mm フィルム—ARRI 社素材の再生品質検証]

65mm フィルムカメラで撮影された ARRI 社提供の素材で作成した評価映像において、ビットレート毎のメディアプレイヤーの再生品質の評価結果を表5に示す。ビットレートの種類は、25, 50, 100Mbps の3種類である。StEM 素材と同様に、11 種類のメディアプレイヤーで再生を確認した。この中で、Nero10-MediaHub, DivX Plus Player, SPlayer は全てのビットレートで4K 映像を完全にスムーズに再生できた。

QuickTime Player と VLC Media Player では全てのビットレートに於いて、コマ落ちが発生していることを確認した。これは、35mm フィルムより 65mm フィルムの方がネガフィルムの面積が広く、高域まで周波数成分が伸びた精緻な画像である為である。画像の周波数が高域まで伸びていることにより、復号時に処理量が大幅に増加するためコマ落ちが発生すると考えられる。

3 ハードウェア復号処理量の解析

メディアプレイヤーでの4K 映像の復号処理をする際、PC のハードウェアの性能、特に CPU, GPU の処理能力に大きく依存する。この処理能力が最終的に再生品質にまで関わってくる。また主観評価実験<sup>[3]</sup>により、4K 映像を視聴するユーザーに適しているビットレートに関して、FTTH 回線である 50Mbps 映像で十分に満足できると言う結果が得られている。本稿では、4K 映像の視聴を想定し、映像ビットレート50Mbps とより高品質な100Mbps を仮定し、メディアプレイヤーによる4K 映像再生時のハードウェア使用率計測を行い、使用率遷移に関して、時系列グラフの表示にした上で解析を行い、復号処理の特性について評価を行った。

3.1 解析手法

復号処理の解析に用いる汎用 PC は、再生品質評価で使用した PC を用いる。CPU の使用率計測ソフトには CoreTemp を用いる。1秒毎に、プロセッサのコア毎の温度・使用率を取得し、ファイルに保存する。このソフトは、時刻毎の使用率測定結果を csv ファイル形式で書き出す事が出来る。GPU の使用率計測ソフトには GPU-Z を用いる。こちらも1秒毎にプロセッサの使用率を取得し、ファイルに保存できる。こちらは、時刻毎の使用率を txt ファイル形式で書き出す。得られた2つのデータは、Excel ファイル上で時刻同期をし、グラフ化する。

使用するメディアプレイヤーは、再生品質検証に於いて、結果が良好であった DivX Plus Player を用いた。評価用映像は、StEM 素材を用いた。映像の伝送ビットレートに関しては、最適ビットレート 50Mbps と高負荷をかけるために 100Mbps に設定した。再生フレーム数に関しては、画質評価時と同様に 500 フレーム約 20 秒の映像である。

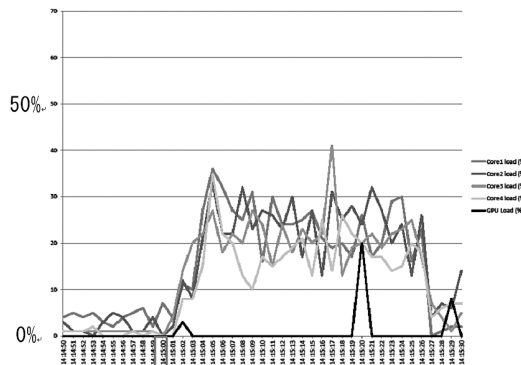


図2 DivXにおける50Mbps 素材での復号処理量

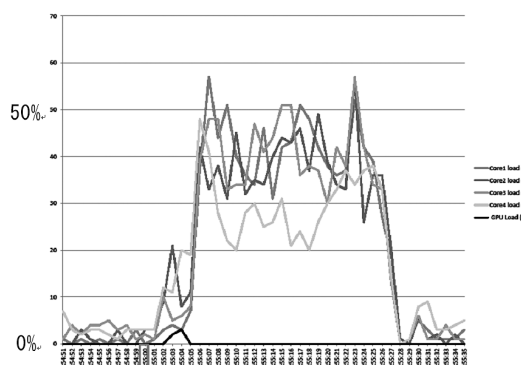


図3 DivXにおける100Mbps 素材での復号処理量

3.2 解析結果

DivX Plus Player において、伝送レートを 50Mbps に設定して計測した結果を図2に示す。さらに伝送データを 100Mbps に設定して計測した結果を図3に示す。図2では、CPU の使用率が最大で 40%程度であること、GPU は一瞬 20%程度利用されたに留まっていることがわかる。これに対して、図3からは、最大CPU 使用率が60% 近くに達すること、さらにGPU がほとんど利用されていないことがわかる。ともに、GPU はほとんど復号時に利用されていないことが明らかである。

さらに、SPlayer を用いて同様の評価を行ったところ、50Mbps で最大CPU 使用率が51%に達し、100Mbps で63% に達した。Nero10 MeidaHub では、これをどちらも下回った。これらのことから、4K 映像の再生に関して、汎用 PC を用いた再生で全く問題が発生しないことが改めて確認できた。

## 4 HTML5 を利用した実装方式の検証

Web サイト上での 4K 映像配信に関しては, Silverlight を用いての 4K 画像アニメーションの配信が可能であることが示されている<sup>[4]</sup>. また, 2010 年 7 月に Google 社の動画共有サイト Youtube で, Adobe Flash Player を使用した 4K 映像のプログレッシブダウンロードによる配信が開始された. しかし, 非常に低いビットレートの設定の為に画像品質が悪く, 大量のブロックノイズが発生していることがユーザーから指摘されている. 未だ, 4K 映像に関しては, インターネットを介して十分な品質の映像が視聴できないのが現状である.

今回は, 新たな Web プラットフォーム技術である HTML5 と Divx 社の提供するプラグインプログラム DivX Plus Web Player を組み合わせ, Web サイト上での高品質な 4K 映像の視聴を目指す.

### 4. 1 HTML5 による新機能

HTML4.0 から HTML5 に移行する上で, HTML 文書(スクリプト)内に組み込まれる要素として埋め込みタグが加わった. その中で, Video や Audio タグ機能が開発され, それらタグ内に情報を記述することにより, 特定のフレームワーク (Flash, Silverlight) による開発を行うことなく, 画像, 映像, 音声素材を HTML ページ内で表示・再生することが可能となった<sup>[5]</sup>.

Web サイト間での HTML5 動画に対応すべく, DivX 社はブラウザプラグインである DivX Plus Web Player 2.1 HTML5 <video>として, プログラムを提供している. DivX Plus Player は前章で明らかにしたように, 伝送ビットレート 50Mbps で良質な 4K 映像の再生が可能である. 即ち, このプラグインを用いることで, 符号化方式 H.264/AVC を用いたプログレッシブストリーミングが可能になる. このプラグインを用いた Web サーバをプロトタイプとして開発し, 様々なブラウザで再生が可能か評価することになる. 今回は使用するブラウザとして, Internet Explorer, Google Chrome, Mozilla Firefox を選定した.

### 4. 2 プロトタイプ配信サーバの構築

配信実験に使用する映像として, 再生品質検証及び復号処理量解析の検証素材で用いた StEM のフルシーケンス映像と第 24 回東京国際映画祭 CineGrid で上映された Blender 社制作のオープンムービー Sintel の 4K フルシーケンス映像を使用する. 共に, 10 分程度のショートムービーである. このムービーが全編問題無く再生できることを確認する.

Web 配信を行う上で, プロトタイプ配信サーバの構築及びプログラムの作成を行った. サーバ OS として, Ubuntu10.10 を使用し, Web サーバには Apache2.2 を使用

した. CPU は Intel Celeron, RAM は 2GByte である. ネットワークインタフェースはギガビットイーサである.

プログラムに関しては, Body タグ内の Video タグ内は, 動画のソース場所を `http://` で参照し, 動画コーデックの情報(プロファイル)を `avc1.6400xx, mp4a.40.2` と記述する. 更に, Web サーバとブラウザが参照データを識別するために使用する MIME タイプの指定を `video/mp4` と記述する. また, JavaScript と CSS を用いたカスタムコントロールの作成ができ, 動画の制御関数を用いることで, Play(再生), Pause(一時停止)が可能. また映像ファイルのメタデータを参照することで, 時間とシークバーの表示が行える.

HTML ファイルと映像ファイルはサーバにアップロードする. ネットワークの構成は研究室内の回線速度 1Gbps のローカルネットワークを使用した. 図 4 に, 4K 映像の Web 配信のプロセスフローを示す.

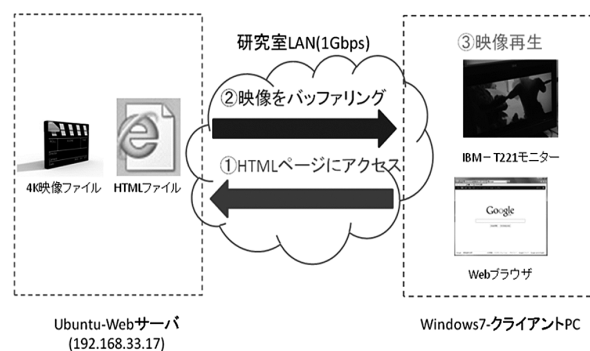


図 4 4K 映像の Web 配信フロー

同図に示されたシステムを用いた評価実験の結果, ブラウザとして Google Chrome を用いた場合, 50Mbps, 100Mbps の 4K 映像は完全にスムーズに再生された. ブラウザとして Mozilla Firefox を用いた場合には, 残念ながらコマ落ちが発生してしまうことが確認された. ブラウザとして Internet Explorer を用いた場合には, 映像コーデックが未対応であり, 再生できなかった. これは, 今後の改善を待ちたい.

## 5 むすび

4K 超高精細映像の汎用 PC による再生の品質評価を様々なメディアプレイヤーに関して行い, Nero10-MediaHub, DivX Plus Player, SPlayer の 3 種類のメディアプレイヤーでスムーズな再生ができることが明らかとなった. その復号処理の状態を解析した結果, CPU の使用率が 40% から 60% で遷移していることが解った. これにより, 10 万円程度の汎用 PC により, 充分 4K 映像再生が可能であることが示された. 最後に, 4K 映像の Web 配信に関して, HTML5 と DivX Plus Web Player を組み込んだプロトタイプ配信システムを構築し検証を行

った結果, Web ブラウザ Google Chrome を使用することで 50,100Mbps の 4K フルシーケンス映像を問題なく再生できる事を確認した. これにより, 4K 映像のインターネットを活用した新しい利用方法が生まれ, 新たなサービスとして普及していくことが期待される.

## 参考文献

- [1] 小野定康, 藤井哲郎, 藤井竜也「超高精細デジタルシネマ」電子情報通信学会, 基礎・境界ソサイエティ機関誌, Vol. 3, No. 2, pp.1-24, 2009年10月
- [2] 藤井竜也, 藤井哲郎, 小野定康, 白川千洋, 白井大介「デジタルシネマ劇場へのライブ配信(ODS)技術」電子情報通信学会, 基礎・境界ソサイエティ機関誌, Vol. 5, No. 1, pp. 80-89, 2011年
- [3] 大窪英悟, 「4K 超高精細映像のネットワーク配信に関する研究」東京都市大学環境情報学部, 卒業研究論文, 2011年1月
- [4] 依田春奈, 「4K 超高精細映像のネットワーク流通に関する研究」東京都市大学環境情報学部, 卒業研究論文, 2010年1月
- [5] P. Lubbers, B. Albers, F. Salim, 依田光江訳「プログラミングHTML5」株式会社アスキー・メディア・ワークス, 2011年3月7日