

ネットワークベースの 4K映像キャンパスシステムに関する検討

池田 飛鳥 中村 剛志 藤井 哲郎

デジタルシネマの規格として登場した、フルハイビジョンの4倍の解像度である4K高精細映像が急速にコモディティ化し始めている。この様な状況の下、本学に於いても4K映像機器を導入し、既存のHD映像ファイルベースシステムの4K映像化を進めている。本稿では、新たに構築されたネットワークベースの4K映像キャンパスシステムについて報告する。システムのベースになるネットワークは1Gイーサから10Gイーサに高速化され、4K撮影スタジオ、4K編集室、4K映像サーバーがこの高速ネットワークを介して結ばれている。新たに、4K映像の非圧縮映像を4Gbpsで伝送するプログラムを開発し、スタジオから研究室へのキャンパス内4K素材映像伝送を実現した。また、キャンパス内各講義室のパソコンにおいて4K映像を活用するために、4K映像の各種メディアプレイヤーによる取り扱いについても解析を行った。これらも併せて報告する。

キーワード：4K映像、4KTV、キャンパスシステム、非圧縮伝送、MPEG4/AVC

1 まえがき

本年1月に開催された世界最大の国際家電見本市、2014 International CES (Consumer Electronics Show) において最も注目を集めたのが4KTVである。デジタルシネマの新しい規格として登場した、フルハイビジョンの4倍の解像度である4K映像が急速にコモディティ化し始めている。即ち、映画館に順次導入されてきた4Kデジタルシネマが4KTV化し始めているのである。既に\$999という4KTVがPolaroidから登場している。さらに、SONYから4Kのハンディカムが売り出されることがアナウンスされている。

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た。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^[1,2]。その活用が、映画に限らず、一般の映像機器に浸透し始めたのである。家庭への普及が今後急速に進むと期待されている。

本稿では、本学既設のネットワーク型HD映像ファ

イルベースシステムの4K映像対応への拡張について報告する。平成24年度より、ベースとなるネットワークを10Gイーサネットに高速化する為、Vyattaによるソフトウェアベースの10Gルータを用いて検証を進めてきた。25年度は、10Gスイッチをハードウェアベース型のLANスイッチに変更し、さらなる高速化を図った。これに併せて、映像編集用パソコン及びファイル蓄積用サーバーにも10Gイーサを導入した。

これらの準備が整ったうえで、高品質な4K非圧縮映像をIPネットワークによりスタジオから研究室に10Gイーサネットを介して伝送するプログラムの開発を進め、スタジオから研究室へのキャンパス内4K素材映像の非圧縮伝送を可能とした。さらに、4K映像のキャンパス内での活用をめざし、汎用パソコン上での活用方法に焦点をあて、様々なメディアプレイヤーによる4K映像の再生可能性を評価した。その復号処理量の解析結果も併せて報告する。

2 4K映像ファイルベースシステムの構築

本学横浜キャンパス情報基盤センター内には、HD映像ベースのファイルベースシステムが構築され、運用されてきた^[3]。既に、磁気テープは存在せず、磁気ディスクに蓄積されたファイルをベースにHD映像が編集・制作されている。このHD映像ベースを4K映像ベースに更新し、図1に示す様な4K映像ファイルベースシステムの実現を目指す。この際、4K映像機材の導入と同時に、ネットワークの高速化(10Gイーサの導入)が重要なキーポイントとなる。この2点を中心に4K映像化を進めてきた経緯と結果を本節で報告する。

IKEDA Aska

東京都市大学 環境情報学部 情報メディア学科 2013年度卒業生
NAKAMURA Tsuyosi

東京都市大学 環境情報学部 情報メディア学科 2013年度卒業生
FUJII Tetsuro

東京都市大学 メディア情報学部 情報システム学科 教授

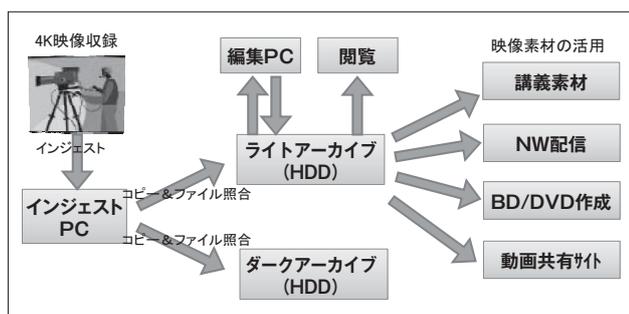


図1 4K映像ファイルベースシステムの基本構成

2.1 4K映像撮影機材の導入

情報基盤センター2階の情報メディアルーム内にスタジオが設置されており、このスタジオにて撮影を行う。当初はバーチャルスタジオとして創設されたが、SD機材の陳腐化と共に、HD機材に入れ替え、ファイルベースシステムの収録場所として利用されてきた^[3]。今回、4K映像化の為に、新たに4KカメラであるSONY PXW-Z100を導入した。このカメラは、レンズ一体型業務用ハンディカムコーダーで、4K (4096 × 2160画素) 60p撮影に対応している。広く、4K映像の入門機として用いられているカメラである。基本的に、メモリーベースのビデオカメラであり、収録はXQDメモリーカードにファイル形式にて行う。フレームレートは24p, 30p, 60pが選択可能である。録画方式として、XAVCフォーマットを採用しており、4K (4096 × 2160画素) 60pの映像を4:2:2/10bit 600Mbpsにて記録する。HD解像度も最高223Mbpsで記録できる。用いるXQDメモリーカードはQD-S64Eであり、64GByteの容量である。この容量64GByteのQD-S64メモリーカードに3840 × 2160, 60p, XAVCフォーマットで4K映像を約10分間録画できる。このカメラからはHDMI v2.0準拠の出力が具備されている。この出力を録画機材に直接取り込むことにより、純粋な4Kカメラとしても利用できる。この4K映像の確認の為に、モニターとしてBRAVIA KD-55X8500Aも新規導入された。4K映像を60pで表示できるモニターである。

4K映像のビデオ信号記録の為に、放送局仕様のSSD (Solid State Drive) ビデオレコーダBlackMagic Design社製HypeDeck Studi Proもスタジオに導入した。このビデオレコーダは、3840 × 2160画素、30P及び24Pの4K映像を非圧縮映像、Apple ProRes 422 QuickTime, Avid DNxHD MXF等の多数のフォーマットで生収録できる。しかも、この4K映像はSSDに記録され、ファイルとして取り出すことができる。複数個のSSDを交換しながら収録した場合、録画時間の制約が無くなるという優れたものである。収録特に非圧縮というXAVCよりより高品質なモードも用意されている。

インジェクション用のパソコンとはThunderboltをインタフェースとして接続する。なお、HD映像に関しても、同様に高品質なモードで収録できる。

2.2 4K映像編集装置

4K映像の編集を効率的に行う為に、4Kモニターを備えた映像編集用の4Kデスクトップパソコンを新規に導入した。編集した結果を即座に4K映像で確認でき、デスクトップだけで完結した4K映像環境の実現を目指した構成である。4KデスクトップパソコンのCPUにはCore i7-4770を用いる。4Coreでクロック周波数は3.4GHz、ターボブースト時には3.9GHzで動作する。グラフィックボードにはATI-Radeon HD 7850を組み込んだ。このグラフィックボードは1024基のストリーム・プロセッサを備え、2.56 TFLOPSの単精度演算能力を有する。出力ポートとしてDisplayPort 1.2を備えており、Duallinkモードをサポートしている。これにより、4096 × 2160画素のモニターをフレームレート60Hzで接続可能である。詳しい仕様を表1に示しておく。

さらに、4Kデスクトップパソコンの要となる4Kモニターとして、シャープ製4K液晶ディスプレイPN-T321を導入した。32インチのサイズで解像度3840 × 2160画素を実現している。IGZO技術により、薄膜トランジスタの小型化と開口率のアップを実現しており、高精細でありながら、明るいのが特徴である。さらに本体の厚みも35mmである。映像信号用インタフェースとしてDisplayPortを1個、HDMIを2個備えている。10bit表示まで可能である。

編集用ソフトとしては、SONY製Vegas Pro 12を用いている。多くの編集ソフトの中で、いち早く4K映像

表1 編集用4Kデスクトップパソコンの仕様

OS	Microsoft Windows 7 Professional 64bitバージョン
CPU	Intel Core i7-4770 3.9GHz
GPU	SAPPHIRE HD7850 2G デュアルモード Display port
メモリ	8.00GByte
ディスク	512GByte SSD 1台 4 TeraByte 磁気ディスク 2台 Pioneer Blu-ray Disc RW, BDR203
ネットワーク	Intel 10GbE board E10G41AT2
4Kモニター	SHARP 製 PN-K321 解像度 3840*2160画素, 60fps デュアルモード Display port 1.2

のネイティブ編集を実現したソフトである。64ビットのオペレーティング・システムで動作し、4K映像のみならずステレオスコピック3Dの2K映像も編集できる優れものである。この他にも、補助的な4K映像編集用ツールとしてCyberLink社のPowerDirector 12 Ultra及び各種エンコーダ用ツールとしてTMPGEnc Video Mastering Works 5も組み込んである。

2. 3 10Gイーサネットの導入

4KカメラPXW-Z100で録画された素材映像は、10分で45GByteに達する。また、非圧縮の4K30p素材映像のビットレートは最大6Gbpsに達する。このような大容量の映像データを効率的に扱う為には、10Gイーサネットの導入が不可欠である。この為に、平成24年度よりVyattaによるソフトウェアベースの10Gルータの導入を進めた。25年度はハードウェアベースの10G LANスイッチであるNetGear社製XS708Eを新規に3台導入し、情報メディアルーム、藤井研究室、学生室の接続をさらに高速化した。当然、編集用パソコン及びファイル蓄積用サーバーのネットワーク・インタフェース・ボードも全て10Gイーサボードに交換した。なお、HD映像用ファイルベースシステムを構築したときから、部屋を結ぶ配線は先行的にCAT7の10G用イーサケーブルを敷設しており、安定な10Gイーサネットの通信が保証されている。ギガビットイーサから10Gイーサネットへの変更は非常にスムーズに行われた。なお、4K映像蓄積サーバーとしてHP Proliant ML110 G7を用意し、Ubuntu server 12.04及びsambaをインストールした。

10Gイーサネットのもう一つの利用方法として、カメラで撮影したままの4K素材映像の非圧縮での局内伝送がある。一般的にスタジオや放送局では、HD映像の信号を局内伝送するにあたり、HD-SDI規格に基づく同軸ケーブルを用いて行っている。ところが4K映像の場合には、同規格を用いて配線すると同軸ケーブルが並行に4本必要となり、物理的な配線が非常に厄介となる。これを10Gイーサネットで行えると、UTPケーブル一本で可能となり、非常に配線が簡単になる。現在、HD以上の映像のイーサネットを用いた伝送・配線が標準化の会議の場でも検討されている。本学でも、スタジオで撮影した映像素材を研究室等で確認したいという要求もあり、10Gイーサを用いたキャンパス内の非圧縮伝送を検討しておく必要がある。

3 非圧縮映像伝送システムの開発

イーサネット技術の発展により、10Gbpsでの高速データ伝送が汎用パソコンで可能となってきた。同時に、安価なパソコン用4K映像入出力ボードの登場と、CPU

表2 汎用パソコンの仕様

OS	Ubuntu 12.04 64bit
CPU	Intel Core i7 3770
Memory	8GByte
10GbE	Intel 10GbE board E10G41AT2
Board	BMD社 Decklink 4K Extreme 3840×2160pixel, Progressive, 29.97fps YUV 10bit 4:2:2 モード HDMI 入出力

の高性能化により高品質4K映像を汎用パソコンにおいても比較的簡単に取り扱えるようになってきた。即ち、汎用パソコンによる非圧縮4K映像の伝送がソフトウェアベースで実現できる可能性が高まってきた。本節では、10Gイーサネットを用いたキャンパス内伝送を実現する為に、非圧縮4K映像のIP伝送を実現するシステムの開発を行った結果を報告する。

3. 1 基本設計

2台の汎用パソコンにBlackMagic Design (BMD)社製4K映像ボードDeckLink 4K Extreme及びIntel社製10GイーサネットボードE10G41AT2を組み込み、ソフトウェアベースの非圧縮4K映像伝送システムを開発する。2台のパソコンは、情報メディアルームのスタジオ内と藤井研究室に設置する。その間は約20m以上離れているが、10Gイーサネットですべてネットワーク接続されている。用いたパソコンの仕様を表2に示す。

4K映像の撮影には前述の4KカメラPXW-Z100を用いた。同機より、4K映像がHDMIにより出力される。これをDeckLink 4K Extremeボードにより取り込む。映像信号の仕様は、画像サイズ3840×2160画素、プログレッシブモード、4:2:2モード、フレームレート29.97Hzである。残念ながら、DeckLink 4K Extremeではまだフレームレート60Hzがサポートされていない。送信側PCにおいてDeckLink 4K Extremeボードによりキャプチャーされた信号は、10Gイーサネットを介して受信側PCに伝送される。伝送される映像データは1フレームあたり、約16Mbytesとなる。伝送された映像データは受信側PCの主メモリに一度バッファリングされ、DeckLink 4K Extremeボードにて出力される。4K映像ビデオフレームとして再構成した後、シャープ社製4KモニターPN-K321にHDMIにて出力し、4K映像を表示する。

3. 2 プログラム開発

伝送する際に用いる通信プロトコルはTCPを選定した。TCPはUDPと比べ、通信速度は劣るものの、信頼

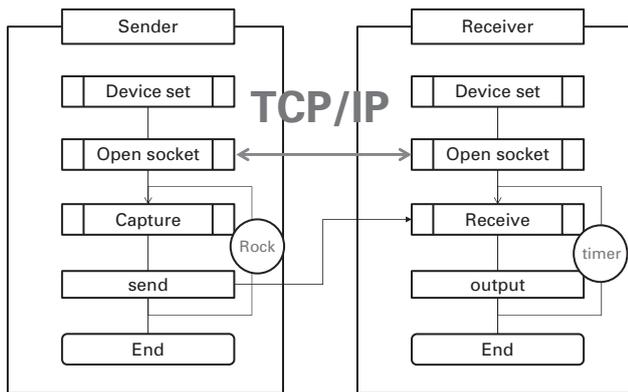


図2 フローチャート

性は高い。今回、パケット損失無く、安定に連続的に通信を行うためにTCPを用いる。開発環境はLinux Ubuntu12.04を使用する。BMD社の入出力ボードを制御するための開発キット Deck-LinkSDK 9.8が同社から提供されており、これを用いて映像制御を行うプログラムを開発する。

開発したプログラムのフローチャートを図2に示す。プログラムはC及びC++を用いて開発した。プログラムの規模は約1700行である。開発は一人で約4か月を要した。同図に示されているように、送信側では映像信号が4KカメラからDeckLink 4K Extremeに入力され、1フレームごとにキャプチャーされる。キャプチャーされた映像データを1フレームごとにPCの主メモリに取り込む。取り込んだ4K映像データはsocketを用いて、連続的に10Gイーサネットに出力する。

映像データは10Gイーサネットを介してTCPプロトコルにより受信側PCに送信される。受信側PCは、受信したデータに欠落がないか送信サイズと受信サイズを比較し、チェックを行う。問題がなければ受信データを主メモリに取り込み、フレーム番号を付与してビデオフレームとして再構成し、DeckLink 4K Extremeに映像データを転送する。これにより、4K映像信号がボードから出力される。なお、プログラムを実行する前に、事前に送信側の取り込み信号方式と、受信側の出力信号方式を設定する。その際、ファイル化や3Dモードなどのオプション設定可能となっている。

3.3 伝送システムの評価

開発した4K非圧縮映像伝送システムにおいて、受信映像のフレームレート、伝送の遅延時間及び速度を測定し、プログラムが正しく動作している事を検証する。測定手法を以下に示す。

【遅延時間の測定】

ストップウォッチを用意し、受信側のモニターとストップウォッチの両方を高速なシャッタースピードでデ

表3 HD及び4K映像信号における測定結果

映像の種類	1080 60p	4K 24p	4K 30p
遅延時間	0.08 sec	0.07 sec	0.07 sec
フレームレート	59.94fps	23.98fps	29.97fps
伝送速度 [Mbps]	1990Mbps	3182Mbps	3970Mbps



図3A 情報メディアルーム内のスタジオで4K映像撮影。カメラの映像を汎用PCに入力し、10Gイーサネットにて送信。

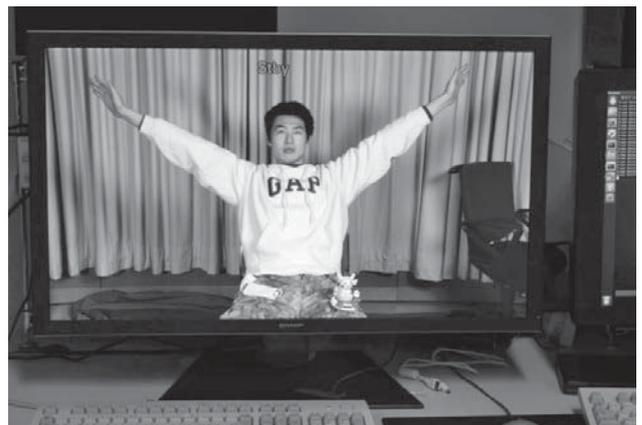


図3B 研究室に10Gイーサネットにより伝送されてきた4K映像。32インチの4K液晶ディスプレイ上に表示されている。

ジタルカメラにて撮影する。ストップウォッチの秒数を読み取り、差分を計算する。5回の平均値をとり算出する。

【フレームレートの測定】

1フレームごとに数字が増えていくビデオシークエンスを作成し、Exilim EX-FH20カメラを210fpsハイスピードモードで撮影し、解析する。

【伝送速度の測定】

計測用ソフトdstatを用いて、30秒毎のネットワーク伝送量を計測し、平均化したものを最終的な伝送速度値とする。

測定結果を表3に示す。同表より、フレームレート、

伝送速度共に理論値であり、問題なく出力できたといえる。遅延時間についても、3 フレーム弱の遅延と、非常に低遅延であることがわかる。映像伝送実験の様子を図 3A と 3B に示しておく。同図より明らかなように、情報メディアルーム内のスタジオで撮影した 4K 映像が 10G イーサネットを介して藤井研究室まで無事に伝送できていることが確認できる。

4 汎用パソコンによる 4K 映像利用の検証

今後、4K 映像を用いた教育素材をキャンパス内において活用していくうえで、最も期待されるプラットフォームは各講義室に設置されたパソコンと思われる。即ち、汎用パソコンにおける 4K 映像の利用が鍵になる。また、4K 映像に関して、最先端の映像装置では 1 秒間に 60 フレームの 4K 映像 (4K60p) を録画したり再生することが可能となりつつある。本節では、最も情報量が多くなる 4K60p 映像を汎用パソコンで活用することが可能かどうかを検証する。さらに、汎用パソコンに於ける 4K60p 映像の再生品質の評価とその処理量の解析を行う。

汎用パソコン上でメディアプレイヤー・ソフトを用いて再生する場合、映像の解像度とビットレート、符号化方式 (映像圧縮コーデック)、フレームレート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。本節では、汎用パソコンによる 4K 映像の再生を想定し、汎用パソコン上で利用される様々なメディアプレイヤーと映像ビットレート毎の 4K60p 映像再生能力の評価を行う。

今回の検証には、表 1 に仕様が示された編集用 4K デスクトップパソコンを用いた。CPU は Core i7-4770 であり、一般の家庭に普及される汎用 PC の中では、最高スペックであろう。評価素材映像は前述の 4K 映像カメラ PXW-Z100 を用いて撮影した。モードは 3840 × 2160 画素、フレームレートは 59.97fps、録画には XAVC 方式を用い、映像の圧縮レートは 600Mbps である。非常に高品質な 4K60p のテスト用映像が撮影できた。評価用に撮影した素材は、「池に浮かぶ鴨」、「交差点の風景」、「スカイツリー遠景」の 3 種類である。さらに、編集用ソフト PowerDirector12 を用いて 4K60p にて編集し、MPEG4/AVC 方式で符号化を行い、評価用映像を作成した。評価映像の仕様を表 4 に示す。FTTH を用いた配信を想定し、伝送速度を 25, 50, 100Mbps と設定をし、エンコードを行った。このようにして作成された 3 種類のテスト映像を用いて、メディアプレイヤーでの評価を行う。なお、汎用パソコンにおける映像ファイルの読み込み負荷による再生品質の劣化を防ぐため、高速な読み込みが可能な RAM ディスク上にファ

表 4 評価用 4K60p 映像の仕様

解像度	3840*2160 画素
符号化方式	MP4 (MPEG4/AVC)
フレームレート	60fps
ビットレート	25, 50, 100Mbps

表 5 各種メディアプレイヤーでの検証結果

縦：メディアプレイヤー 横：ビットレート	25 Mbps	50 Mbps	100 Mbps
DivX Plus Player	○	○	△
SM Player	△	△	△
Media Player Classic	○	○	○
GOM Player	△	△	▲
VLC Media Player	△	△	△
S Player	△	△	△
QuickTime Player	×	×	×
Real Player	×	×	×
Windows Media Player	×	×	×

○	スムーズに再生
△	再生されるが、コマ落ち又はスロー再生
▲	再生されるが、激しいコマ落ち
×	再生されなかった

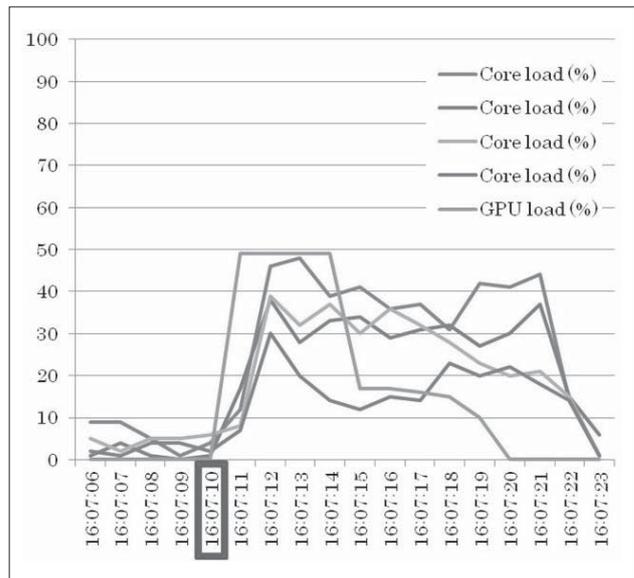


図 4 CPU-GPU の処理量の評価結果。50Mbps でエンコードした 4K60p 映像の再生時の各コア毎の処理量の様子を示す。

イルを置く。今回は、Buffalo 社の RamDisk ソフトウェアを使用し、RAM ストレージ上の映像ファイルを置き、映像を再生して、検証を行った。

9 種類のメディアプレイヤーにて検証を行った結果を表 5 に示す。6 種類のメディアプレイヤーで再生を確認した中で、Media Player Classic のみが全てのビットレ

ートに於いて4K60p映像のスムーズな再生を確認できた。SM Player, GOM Player, S playerは、本来の検証映像の再生時間よりもスローで再生された。DivXPlusは、100Mbps以外はスムーズに再生できるが、100Mbpsでは、コマ落ちが発生した。残念ながら、QuickTimePlayerや、RealPlayer, Windows Media Playerに於いては、全てのビットレートにおいて再生ができなかった。

さらに、4K60p映像の再生品質の優れていたMedia Player Classicに関して、再生時のCPUとGPUの使用率を2つのソフトを使用して計測し、その処理量の評価を行った。CPUの使用率を測定するには、Core Tempを使用し、GPUの使用率の測定にはGPU-Zを使用した。この2つのソフトで得られた結果のデータを同じ時刻から同期させ1秒間隔で解析した結果を図4に示す。同図は、50Mbpsに圧縮した4K60p映像をMedia Player Classicにて再生した結果である。この場合、CPUの使用率の最大が約50%であった。同様な評価を100Mbpsに圧縮した評価映像に対して行った場合でも、最大値は65%であった。同図より明らかに、4K映像の再生が殆どCPUに大きな負荷をかけずに実行できていることが理解できる。4K60pの映像でも、殆ど問題無く汎用パソコンで再生できることが確認できた。

5 むすび

新たにネットワークを活用した4K映像ファイルベースシステムを構築した。システムのベースになるIPネットワークは1Gイーサから10Gイーサに高速化され、4K撮影スタジオ、4K編集室、4K映像サーバーがこの高速ネットワークを介して結合されている。本学においても、4K映像を今後活用する基盤が整ったといえる。また、4K素材映像の非圧縮伝送を10Gイーサネットを用いて実現するプログラムを新たに開発した。このシステムを用いることにより、スタジオから研究室へのキャンパス内4K素材伝送を実現した。こえにより、汎用パソコンを用いて、ソフトウェアベースで4K映像を非圧縮にて約4Gbpsで伝送できることが示された。さらに、4K映像の汎用パソコン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、Media Player Classicを用いることにより、殆ど問題無く4K映像を汎用パソコン上で活用できることを明らかにした。この様に4K映像キャンパスシステムが実現され、今後、本学において4K映像が活用されていくことを期待する。

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] 成澤昌輝, 藤井哲郎「ネットワーク型HD映像ファイルベースシステムの構築」東京都市大学環境情報学部, 情報メディアセンタージャーナル, 第12号, pp.74-81, 2011年3月
- [4] 中庭諒, 藤井哲郎「4K超高精細映像の配信技法に関する検討」東京都市大学環境情報学部, 情報メディアセンタージャーナル, 第13号, pp.33-38, 2012年4月