

## 6-2 4K3D 超高精細 3次元映像とその伝送技術

### 6-2 4K3D Image and its Transmission Technologies

荒川佳樹

ARAKAWA Yoshiki

#### 要旨

NICT は、次世代通信技術の基盤技術として、HDTV(ハイビジョン)を超える超高精細映像技術とその伝送技術に取り組んできた。この研究開発の成果として、HD の4倍である8百万画素の解像度を持つ4K映像基盤技術を世界に先駆けて完成した。さらに、NICT は、4K3D 超高精細3次元映像技術とその伝送技術を完成した。

NICT has conducted research and development on ultra-high definition image and its transmission technologies to realize the next-generation communications, and completed the foundation for the 4K image and its transmission technologies with 4 times resolution of the HDTV (Hi-Vision) in the pioneer of the world. Moreover, NICT has succeeded in developing 4K3D image and its transmission technologies.

#### [キーワード]

超高精細映像, 3D映像, 4K, 4K3D, 伝送

Ultra-high definition image, 3D image, 4K, 4K3D, Transmission

## 1 はじめに

21世紀に入り、映像分野では、超高精細映像技術および3D映像技術の研究開発が加速し実用化が始まっている。独立行政法人情報通信研究機構(以下、NICTと呼ぶ)は、次世代の情報通信技術の基盤技術として、現行のHDTV(ハイビジョン)を超える超高精細映像技術とその伝送技術、そしてこれを用いた高度なアプリケーション・コンテンツ技術の研究開発を推進してきている。ここでは、NICTが取り組んできた超高精細映像技術およびその伝送技術に関する内容とその成果を総括する。

## 2 超高精細映像技術

### 2.1 4K 超高精細映像技術

NICTでは、1997年から次世代の情報通信の基盤技術として、HDTV(ハイビジョン)を超える超高精細映像技術とその伝送技術の研究開発に取り組んできた。そして、NICTと日本ビクター株式

会社(現JVC・ケンウッド・ホールディングス株式会社、以下、JVCと呼ぶ)は共同研究を行い、HDTVの4倍の解像度である800万画素(横3,840×縦2,048画素)を実現した4K超高精細映像の基盤技術の開発に世界に先駆けて成功した。

4K超高精細映像とは、水平解像度が約4,000画素である映像のことである。HD(ハイビジョン)映像は、水平1,920×垂直1,080画素である。HD映像の4倍(4画面分)である水平3,840×垂直2,048または2,160画素を持つ映像を、水平解像度が3,840≐4K画素であることから、4K2K映像または4K映像と呼んでいる。一方、HD映像は水平解像度が1,920≐2K画素であることから、2K映像とも呼ばれている。

### 2.2 4K 超高精細映像表示技術

現行のHDTVを超える超高精細映像表示技術に関しては、表示装置を複数台並べて、並列表示する方法が主流である。この方式はマルチスクリーン方式と呼ばれている。この方法は、表示装置の台数に比例して、解像度を容易に上げられる



図1 4K1K プロジェクタ



図3 4K2K プロジェクタ



図2 ラグビーの4K1K映像

が、スクリーン間の「つなぎ目」を完全にシームレスにすることができないという課題が残る。

このような課題を解決するために、NICTとJVCは共同で2000年に、図1に示すように、ハイビジョンの2画面分の解像度を持つ4K1Kプロジェクタ(横3,840×縦1,024画素)を世界で初めて試作した[1][2]。本システムは、従来のマルチスクリーン表示方式の問題点であった「つなぎ目」がまったく存在せず、現在のHDTV(横1,920×縦1,080画素)と比較して、HDTVの約2倍の解像度を持ち、かつ2倍の広角映像をシングルスクリーン(1画面)として表示できる。そして、従来水準を超える高画質を実現した。

本システムを用いて、HD解像度を超える映像に関する種々の評価実験を行った。例えば、図2に示すように、サッカー、ラグビーのスポーツ映像に関する評価実験では、プレイヤーの背番号がはっきりと認識できる状態で、サッカー/ラグビー場を全面表示できることを実証した。

これらの評価実験結果を踏まえて、2001年には、図3に示すように、ハイビジョンの4画面分の解像度である800万画素(横3,840×縦2,048画素)を実現した4K2Kプロジェクタを、世界で初めて開発することに成功した[3]-[8]。このプロジェクタはハイビジョンの4画面分を1画面(シングルスクリーン)に表示可能とし、従来のマルチスクリーン表示方式の問題点であった「つなぎ目」がまったく存在せず、従来水準をはるかに超える高画質を実現した。

このプロジェクタの超高精細映像表示素子には、JVCが開発した先進の超高密度表示素子である反射型液晶表示素子D-ILAを採用している。D-ILAとは、Direct Image Light Amplifierの略で、一般的なTFT構造とは異なり、配線やトランジスタを画素の下に配置する。これにより、高い開口率と従来の透過型液晶表示素子では難しかった超高密度画素構造を実現した。表示デバイスの中で最も高精細な映像を表示可能な素子である。こ

の反射型液晶表示素子 D-ILA と液晶垂直配向技術を組み合わせることで、高精細・高輝度・高コントラストの映像表示を実現した。

### 2.3 4K 超高精細映像カメラ

HD 映像を超える解像度のカメラを研究開発するにあたって、まず、4K1Kカメラを試作した。HDカメラ2台を、図4のように配置し、図5および図6に示すように、広角に対応したカメラシステムを試作した[1][2]。このカメラシステムは、ハイビジョンの2倍の解像度を持ち、かつ2倍の広角映像を撮影することができる。本カメラと4K1Kプロジェクタを組み合わせ、2.2で述べたように、HD解像度を超える映像に関する種々の評価実験を行った。

これらの評価実験を踏まえて、2002年には、NICTとJVCは共同で、図7に示すように、

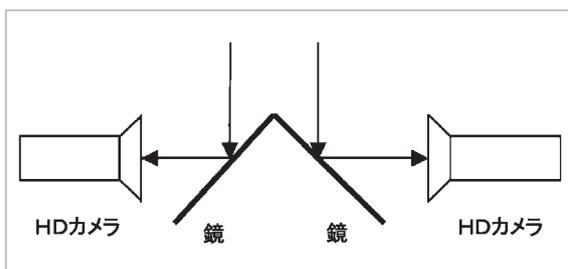


図4 4K1Kカメラの構成



図5 4K1Kカメラ

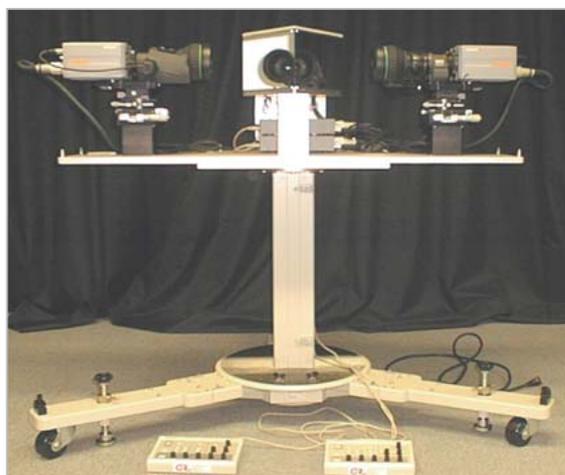


図6 4K1Kカメラ(カバーを取り外した状態)



図7 4K2Kカメラ

ハイビジョンの4倍の解像度である800万画素(3,840×2,048画素)の解像度を持つ超高精細カラー動画カメラを実用レベルで世界に先駆けて完成した[5]-[9]。ハイビジョンを超える800万画素レベルの動画カメラはそれまでにも発表されていたが、大型で試作レベルであり、実用化された例はなかった。スタジオカメラ程度の大きさ等、実用レベルの大きさのものは実現されていなかった。

従来のハイビジョン解像度を超えるカメラの撮像素子には、CCD(Charge Coupled Device)が使用されており、そのために大型の装置となっていた。スタジオで使う、屋外に持ち出すことができる等の実用レベルの大きさに小型化されたものはなかった。CCDは、電荷転送により高S/Nの撮像信号が得られる。しかし、製造工程が複雑で消費電力が大きく、画素数の多い撮像素子には向いていない。そのために大型のカメラシステムとなり、実用レベルに小型化することが難しかった。

そこで、実用的な800万画素の超高精細カラー動画カメラを実現するために、今回開発したカメラの撮像素子には、従来のカメラで主流であったCCDではなく、デジタルスチルカメラ(デジカメ)に代表される高精細カメラ撮像素子技術であるCMOS(Complementary Metal Oxide Semiconductor、相補性金属酸化膜半導体)方式の撮像素子に着目し採用した。CMOSは、素子毎に撮像信号を取り出すことができるが、従来、S/Nが悪かった。しかし、プロセス工程での精度向上と画素構成の改良等により、CCDと比較しても性能上遜色ないレベルになってきている。特に、製造工程数が少ないことと、消費電力が少ないことから超高精細映像の撮像素子に向いている。

このような背景から、4Kカメラの撮像素子には、小型化が容易で低消費電力であるというCMOS構造の特徴を最大限生かした素子を新規に開発した。これにより、これまでのCCDが持つ課題を一挙に解決した。CMOSで実用レベルの画質を実現し、かつCCDでは困難であった、カメラシステムを実用レベルにまで小型化することに成功した。このCMOS撮像素子は、多くのTVカメラで用いられるCCD方式と比べて消費電力が小さく、従来のTV局スタジオ用カメラと同程度の消費電力で動作する。また、開発した

CMOSカメラの画質は、現在の主流技術であるCCDと比較しても遜色のない実用レベルとなっている。カメラの大きさも、従来の放送用スタジオハイビジョンTVカメラと同程度の大きさであり、屋外の使用にも十分耐えられる。

### 3 超高精細映像伝送

#### 3.1 低遅延MPEG映像伝送装置

NICTは、HD(ハイビジョン)映像伝送装置として、図8に示すように、低遅延MPEG映像伝送装置(低遅延MPEGコーデック)を開発した。HD映像伝送では、MPEG-2が標準符号化方式となっている。MPEG-2では、符号化に要する処理時間(遅延時間)の短縮が課題であった。本装置は、MPEG-2への符号化処理時間を、トップ水準である180 msecまで短縮した。伝送レートは、22.5 Mbps、45、60、120から選ぶことができる。

MPEGは、Moving Pictures Experts Groupの略で、デジタル動画の標準的な圧縮技術である。CD-ROMへの動画の収録を目的とし、1~1.5 Mbps程度のデータ転送速度に対応したMPEG-1、高品質なデジタルテレビ放送などへの応用を目的とし、4~70 Mbpsのデータ転送速度に対応したMPEG-2、電話などの低速な通信手段への対応も考慮したMPEG-4等がある。



図8 低遅延MPEG映像伝送装置

### 3.2 4K1K 映像伝送

これまでに開発した4K1Kカメラ、4K1Kプロジェクタ、そして、低遅延MPEG映像伝送装置の性能を評価するために、実証評価通信実験を行った[10]。2000年3月29日に、国立霞ヶ丘競技場(国立競技場)(新宿区)と通信総合研究所(現NICT、小金井市)を、研究開発用ギガビットネットワーク(JGN)を用いてATM135Mbpsで接続し、4K1K映像データ(横3,840×縦1,024画素)をライブ伝送することに成功した。

3,840×1,024画素の4K1K映像を、HD映像2枚に分割して、低遅延MPEG映像伝送装置2セットを用いて並列伝送することに成功した。この通信実験では、伝送レート90Mbps(HD-MPEG-2:45Mbps×2)で通信した。この伝送実験では、伝送装置間で特段の同期は取らなかった。ATMは、もともと伝送路間の遅延の差が生じにくい伝送方式であるため、HD映像2枚の間の遅延差等はほとんど気にならなかった。

研究開発用ギガビットネットワークJGN(Japan Gigabit Network)は、通信・放送機構TAO(現在はNICTに併合)が整備し運用している研究開発用の高速/広帯域ネットワークである。研究開発(非営利)目的であれば無償で利用できる。また、ATMは、Asynchronous Transfer Modeの略で、音声やコンピュータのデータなど、あらゆるデータを53バイトの小さなセルに分割して送るデータ通信方式である。

4K1Kカメラは、図9のように、国立競技場のサッカーのピッチ全面が撮影できるところに固定設置した。この通信実験では、図10に示すように、U-23日本代表対U-23ニュージーランド代表サッカー試合をライブ伝送した。本伝送実験は、国立霞ヶ丘競技場、(財)日本サッカー協会、Jリーグ映像(株)、通信・放送機構の全面的な協力を得て

実施した。

また、同じ機材を用いて、21世紀元年・元旦を記念して、2001年1月1日には、図11に示すように、国立競技場とNICTけいはんな情報通信融合研究センターをJGNで接続し、4K1Kライブ映像伝送実験を行い長距離伝送に成功した[10]。天皇杯サッカーを、国立競技場から東京大学本郷キャンパス、通信総合研究所本部(小金井市)、そして、けいはんなへ多地点・長距離ライブ映像伝送実験を行い成功した。

### 3.3 4K2K 映像伝送

4K2Kカメラ、4K2Kプロジェクタ、そして、低遅延MPEG映像伝送装置の性能を評価するために、これらを組み合わせた実証通信実験を行った。MPEG映像伝送装置(HD伝送装置)を、4式並列使用し、800万画素4K2K超高精細映像を、HD映像4枚に分割して、長距離ライブ伝送(東京・鹿嶋-京都間)することに成功した。

HD映像伝送では、MPEG-2が標準の符号化方式となっている。図12に示すように、今回の実験では、800万画素(3,840×2,048画素)の画像を4



図9 国立競技場に設置された4K1Kカメラ



図10 NICT(小金井市)に伝送された4K1Kライブ映像



図 11 けいはんなへ伝送された 4K1K ライブ映像 (21世紀元年元旦)

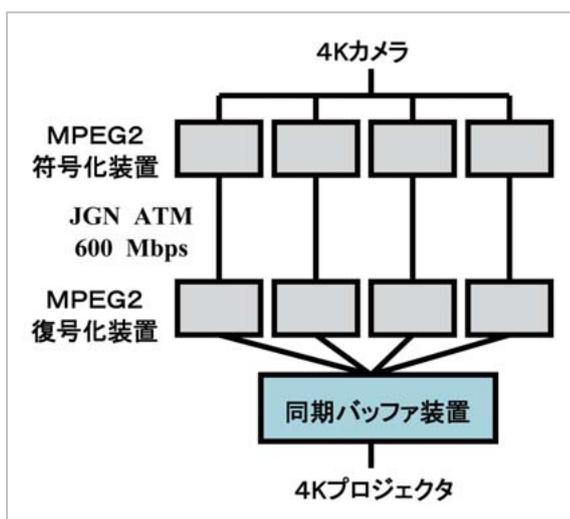


図 12 同期バッファ並列伝送方式

つのサブ画像 (HD 相当) に分割し、MPEG-2 映像伝送装置 4 式を並列に用いて 4 並列伝送した。しかし、ただ単純に並列伝送するだけでは、伝送遅延等の理由により、各サブ画像間に「ズレ」が発生する。従来の並列伝送では、このズレをなくすために、各サブ画像に時刻データ等を挿入する「時刻同期並列伝送方式」が一般的に行われてきた。この方式では、時刻データ等の付加データを各画像データに挿入する等の処理が必要であり、伝送系が複雑になる。

近年、ネットワークは高速化し、その品質も飛躍的に向上してきており、伝送路および伝送機器



図 13 カシマスタジアムに設置された 2 台の 4K2K カメラ

の遅延等のズレも少なくなっている。特に、ATM 伝送方式は、伝送遅延のバラツキが少ない。このような背景のもとで、今回、映像を一時的に記憶する「映像同期バッファ」を用いることにより、各画像データは最大 1 フレーム程度しかズレないという前提のもとで、各画像伝送のズレを吸収し同期させた。これにより、時刻データ等の付加データを各画像データに挿入する等の従来方式の処理は不要となり、伝送系を大幅に単純化することができた。また、MPEG-2 符号化方式においては、より符号化処理時間のバラツキが少ない「フレーム間非圧縮モード」を使用した。これと「映像同期バッファ」を組み合わせることにより「同期バッファ並列伝送方式」を実現した。この方式を用いて、4K2K 超高精細映像のライブ伝送実験



図 14 けいはんなに伝送された 4K2K ライブ映像

に成功した。

図 13 のように、4K2K カメラを、国立競技場およびカシマサッカースタジアムに設置した。そして、各競技場と NICT けいはんな情報通信融合研究センターを、ギガビットネットワーク (JGN) を用いて、ATM600 Mbps で接続し、図 14 のように、サッカー試合の 4K2K 超高精細映像をけいはんなへライブ伝送した。なお、今回の 4K2K 映像伝送実験では、以下のサッカー試合のライブ映像を用いて、評価・実証実験を行った。

- (1) 国立競技場 2003 年 3 月 1 日 (土)  
ゼロックススーパーカップ ジュビロ磐田－  
京都パープルサンガ
- (2) カシマスタジアム 2003 年 3 月 22 日 (土)  
J1 リーグ開幕戦 鹿島アントラーズ－浦和  
レッズ

## 4 超高精細 3 次元映像技術

### 4.1 4K3D 超高精細 3 次元映像技術

長い年月(約 10 年)をかけた、関連する研究機関・企業の技術蓄積等により、4K 超高精細映像技術は完成の域に達しつつある。また、関連企業による実用化・商品化も進展してきている。これ

らの完成された「2次元の 4K 映像技術」をベースにして、「3次元の 4K 超高精細映像技術」を研究開発しようとするのは自然な流れであり、次のステップである。ここでは、3次元の 4K 超高精細映像を 4K3D 映像と呼ぶことにする。NICT は、この 4K3D 映像技術に関しても取り組んできている。その内容と成果を報告する。

本年 2010 年は、「3D 元年」と呼ばれている。3D テレビの販売が開始された年である。実用化され商品化された 3D テレビは、立体ハイビジョン、すなわち 2K3D 技術をベースとしたものである。今後、(メガネあり)ステレオ 3D 映像技術は、4K3D、そして 8K3D へと進化していくであろう。究極の 3D 映像技術の 1 つの形態は、視覚限界に迫る / 超える 3D 映像技術である。

### 4.2 マルチチャンネル映像伝送システム

NICT は、PC (Windows) 複数台で構成されるマルチチャンネル映像伝送システムを研究開発している。この伝送システムでは、図 15 に示すように、HD 映像を 1 対の PC でエンコード / デコードし伝送することができる。これを 1 チャンネル (1 対の PC) と呼んでいる。そして、各チャンネル間は同期して映像伝送をすることができる。すな



図 15 マルチチャンネル映像伝送システム

わち、マルチチャンネル映像伝送システムを用いて 4K 映像を伝送する場合は、4K 映像は HD 映像 4 画面分であるので、4 チャンネル (4 対の PC) で同期伝送することができる。また、4K3D 映像を伝送する場合は、4K3D 映像は HD 映像 8 画面分であるので、8 チャンネル (8 対の PC) で同期伝送することができる。このように、マルチチャンネル映像伝送システムは、優れたスケーラビリティを有している。

伝送プロトコルは、UDP をベースにしている。UDP は User Datagram Protocol の略で、インターネットで使用されるプロトコルの 1 つである。TCP と違いデータ伝送速度は高速であるが、パケット損失やデータ誤り等の検出およびその対応は行われないという特徴を有する。マルチチャンネル映像伝送システムでは、この UDP をベースにした「UDP パケット最適制御方式」を新たに開発した。

UDP パケット最適制御方式は、UDP の高速性を生かしつつ、動画の伝送に大きな障害となる伝送損失 (パケット損失) を限りなくゼロに近づけることを目指した技術である。パケット送出タイミングをマイクロ秒 (1 秒の百万分の 1) の精度で最適制御することにより、大容量の超高精細映像の安定伝送 (少ないパケット損失) を実現している。

マルチチャンネル映像伝送システムの主な特徴は以下である。

- (1) オールソフトウエアコーデック (PC コーデック) である。このソフトウエアは、NICT のオリジナルソフトウエアである。PC (Windows) のみで、超高精細映像および 3D 映像が伝送できる。
- (2) チャンネル数が大幅に増えても同期性能の低



図 16 4K3D カメラ

下が少ないマルチチャンネル映像同期伝送方式を実現した。数十から数百チャンネルを必要とする多視点 3D 映像 (メガネなし 3D 映像) を伝送可能である。

- (3) 「UDP パケット最適制御方式」を開発した。これにより、低遅延伝送 (遅延 200 ミリ秒程度) および極少パケット損失 (パケット損失が極めて少ない) を両立した。
- (4) 映像符号化方式は、JPEG を採用している。今後、独自符号化方式等、複数の符号化方式に対応し、かつその圧縮効率を上げる計画である。

### 4.3 4K3D カメラ

2010 年に、図 16 に示すように、2 台の 4K2K カメラシステムを用いて、ステレオ 3 次元 4K 超高精細映像カメラシステムを開発製作した。4K2K カメラには JVC 製を用いた。この 2 台の 4K カメラシステムは同期して、4K3D 映像をリアルタイムで撮像することができる。

2 台のカメラは、図 17 に示すように、互いの間隔、角度等を任意に設定・調節できる。カメラ間隔は、カメラの幅を最大限薄型化することにより、7 cm 程度まで狭めることができる。これは人の眼の間隔 6.5 cm と同程度であり、眼に自然な 3D 映像を撮影することができる。フレームレートは、30 および 60 フレーム / 秒の両方に対応している。そして、DVI および HD-SDI 映像インターフェースを持つ。

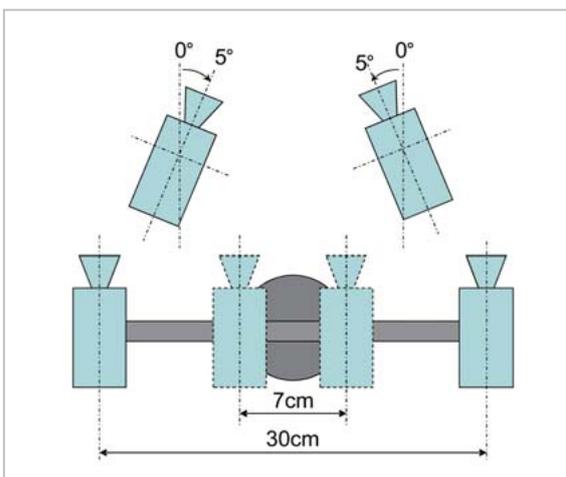


図 17 カメラの間隔と角度

#### 4.4 4K3D 液晶ディスプレイ

2010年に、図18に示すように、ステレオ3次元4K超高精細映像表示液晶ディスプレイシステムを開発製作した。この4K3D液晶ディスプレイシステムは、4K3Dカメラシステムと直結して使用することができる。本システムは、図19に示すように、以下の装置から構成される。

(1) 信号変換装置(本体装置)

4K3Dカメラシステム、4K3D映像記録再生装置等と直接接続して、これらの4K3D映像データ信号をリアルタイムで表示フォーマットデータに変換処理する装置である。



図 18 4K3D 液晶ディスプレイシステム

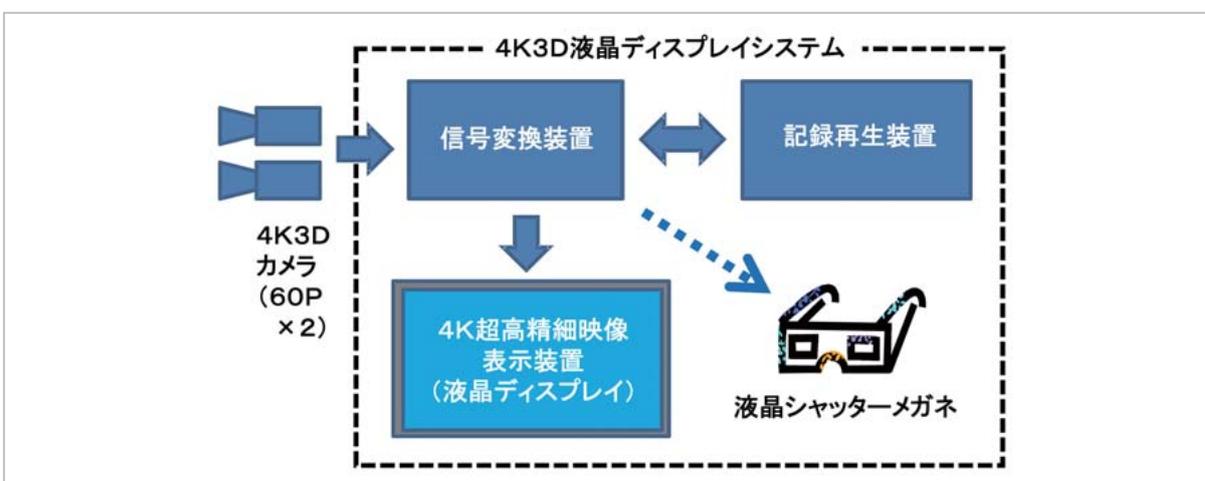


図 19 4K3D 液晶ディスプレイシステムの全体構成図

(2) 超高精細映像表示装置

左右それぞれの眼用の4K映像を、時分割で切り替えて表示する56インチ液晶ディスプレイシステムである。左右それぞれの映像を、各30フレーム/秒で表示する。

(3) 記録再生装置

4K3D映像データを記録し再生するハードディスクレコーダーである。

(4) 液晶シャッターメガネ

映像を左右の眼に振り分けるメガネである。

4.5 4K3D映像伝送実験

マルチチャネル映像伝送システムを用いて、4K3D超高精細3次元映像のライブ伝送に世界に先駆けて成功した。2010年7月6日(火)に、図20に示すように、NICT鹿島宇宙技術センター(茨城県鹿嶋市)とけいはんな研究所(京都府けいはんな学研都市)を研究開発用広帯域ネットワークJGN2 plusで接続し、マルチチャネル映像伝送システム8チャンネルを用いて、4K3Dのライブ映像を伝送上映することに成功した。この時、使

用した帯域は200~300Mbpsであった。伝送圧縮レートを変化させて、マルチチャネル映像伝送システムの基本性能の評価実験を行った。

4.6 衛星WINDSを用いた4K映像伝送実験

2010年7月3日(土)には、このマルチチャネル映像伝送システムと超高速インターネット衛星「きずな」(WINDS)を用いた、2次元の4K映像のライブ伝送に成功した。NICT鹿島宇宙技術センター(茨城県鹿嶋市)に設置された車載局(車載アンテナ)→WINDS→鹿島センター地上アンテナの伝送路を用いて、マルチチャネル映像伝送システム4チャンネルを使用して、4K映像をライブ伝送した。この時の使用帯域は約90Mbpsであった。

なお、WINDSは、アジア・太平洋地域のデジタル・ディバイドの解消、衛星利用の高度化等に必要ながビット級の超高速衛星通信技術の確立を目的に、2008年2月23日にH-IIARocketで打ち上げられ、2008年6月30日からは定常運用が行われている。衛星通信能力として、小型地球



図20 4K3D映像ライブ伝送実験



図 21 WINDS を用いた 4K 映像伝送実験

局 (VSAT) を用いて最大 155 Mbps のメッシュ接続伝送、また、1.1 GHz 帯域幅のベントパイプ型の衛星中継モードを用いれば、世界最高速の 1.2 Gbps 伝送が可能である。

この7月初旬の実験成功を踏まえ、図 21 に示すように、NICT 本部(小金井市、7月24日(土))および鹿島宇宙技術センター(7月31日(土))の施設一般公開において、WINDS およびマルチチャンネル映像伝送システムを用いて、奈良県平城宮跡から復原された大極殿等の映像を、4K 超高精細映像でライブ伝送中継する一般公開実証実験を行った。首都圏の広く一般の方に、平城遷都 1300 年祭会場の映像を高臨場体感いただいた。

## 5 むすび

NICT は、1997 年から長年、4K 超高精細映像技術およびその伝送技術に関する研究開発を行い、その1つの究極の形(ゴール)として、4K3D 超高精細 3 次元映像技術およびその伝送技術を完成させた。今後は、これらの 4K および 4K3D 映像基盤技術をベースとしたアプリケーションの研究開発が重要となっていくであろう。特に、遠隔地間を高臨場感環境で共有する「高臨場感共有通信技術」の研究開発が進展し実用化が進むであろう。その中で、4K および 4K3D 映像技術は、中核技術の1つとなるであろう。

## 謝辞

4K映像技術の研究開発は、NICTの磯貝光雄氏、鈴木健治氏、田中健二氏の各位と一緒に取り組んできた。あらためて感謝の意を表す。

4K3D映像技術の成果の一部は、総務省委託研究「眼鏡の要らない3次元映像技術の研究開発 - 3次元映像支援技術 -」に基づいている。総務省の関係各位に感謝の意を表す。

## 参考文献

- 1 Y. Arakawa, "Wide/Double HD (WHD) Transmission System," New Breeze, Quarterly of the ITU Association of Japan, INC. Vol. 12, No. 4, pp. 19-20, Sep. 2000.
- 2 田中健二, 鈴木健治, 佐藤正人, 荒川佳樹, "高精細映像 (WHD: Wide/Double HD) 伝送システム," 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol. J84-D-II, No. 6, pp. 1094-1101, Jun. 2001.
- 3 荒川佳樹, "3次元空間共有通信 -マルチメディア・バーチャルラボラトリ・プロジェクト-, " 通信総合研究所季報, Vol. 47, No. 3, pp. 55-67, Sep. 2001.
- 4 Y. Arakawa, "3D Space-shared Communications - Multimedia Virtual Laboratory Project -," Journal of the CRL, Vol. 48, No. 3, pp. 57-70, Sep. 2001.
- 5 荒川佳樹, 栗山孝司, 鈴木保成, "視覚限界に迫る 800万画素超高精細ロボットビジョン-超高精細ロボティク-, " O plus E, Vol. 29, No. 3, pp. 11-15, Mar. 2007.
- 6 荒川佳樹, "エコロジーと映像~低炭素社会への挑戦~, " 映像情報メディア学会誌, Vol. 63, No. 4, pp. 406-410, Apr. 2009.
- 7 荒川佳樹, "超高精細映像研究の展望," ヒューマンインタフェース学会誌, Vol. 12, No. 1, pp. 255-258, Feb. 2010.
- 8 相澤清晴, 荒川佳樹, "超高精細映像システム・コンテンツ," 電子情報通信学会誌, Vol. 93, No. 5, pp. 368-371, May 2010.
- 9 田中英史, 田中健二, 鈴木健治, 磯貝光雄, 荒川佳樹, 佐藤正人, "3板式 4kx2k CMOS カラーカメラの開発," 電子情報通信学会総合大会講演論文集, D-11-69, 2001.
- 10 "マルチメディア・バーチャル・ラボ実証実験報告書," マルチメディア・バーチャル・ラボ開発推進協議会, 平成 13年 5月.
- 11 白井大介, 北村匡彦, 藤井竜也, "JPEG 2000 を用いた 4K 超高精細映像ストリーミングシステム," 信学技報, Vol. 107, No. 244, CS2007-29, pp. 43-48, Oct. 2007.
- 12 "特集: 超高精細映像," 映像情報メディア学会誌, Vol. 63, No. 12, pp. 1721-1770, Dec. 2009.
- 13 "学会創立 60周年記念特集: 映像情報メディアの未来ビジョン," 映像情報メディア学会誌, Vol. 64, No. 1, pp. 1-52, Jan. 2010.



あらかわ よしき  
**荒川佳樹**

ユニバーサルメディア研究センター  
推進室主任研究員 工学博士  
超高精細映像、3D映像、幾何モデリング