

## 6-3 4K 超高精細映像のアプリケーション

### 6-3 Applications of 4K Ultra-High Definition Image

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。本論文では、この 4K 映像技術のアプリケーションに関するこれまでの成果を取りまとめ、今後の展望を論じる。

NICT has conducted research and development on the 4K ultra-high definition image and its transmission technologies to realize the next-generation communications with 4 times resolution of the conventional HDTV (Hi-Vision), and completed the foundation for the 4K image technologies in the pioneer of the world. NICT's results on applied research and development based on the 4K image technologies are summarized in this paper. The author gives the prospect for applications of the 4K image technologies.

#### 【キーワード】

超高精細映像, 4K, ロボット, テレワーク, 低炭素

Ultra-high definition image, 4K, Robot, Telework, Low-carbon

## 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) では、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、そして、その伝送技術に関して取り組んできた。そ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 映像の基盤技術を完成した [1]-[6] [10]。また、最近では、このステレオ 3 次元映像技術への発展形である 4K3D 映像技術に取り組んでいる。

本論文では、この 4K 映像のアプリケーションに関するこれまでの取り組みを総括し、今後の展望を論じる。特に、近年、「低炭素社会」という言葉に代表されるように、地球環境・温暖化問題に対処するために、温室効果ガス (CO<sub>2</sub>) の排出を削減する技術に注目が集まっている。映像技術といえども、エコロジー (地球環境問題) への貢献を強

く求められる時代となってきた。18 世紀から続いている産業革命社会「炭素社会」に取って代わる低炭素産業革命を起こす 21 世紀型の映像技術が求められている。

## 2 脳神経外科手術支援

2001 年 3 月 9 日および 27 日に、NICT (当時、通信総合研究所)、東京医科大学病院 (以下、東京医大と呼ぶ)、そして久留米大学医学部 (以下、久留米大と呼ぶ) の 3 者は、「超高精細映像および 3D 映像を用いた脳神経外科手術支援」に関する共同実証実験を行った。本実験では、4K1K 超高精細映像および 3 次元 HD (立体ハイビジョン) 映像を用いた脳神経外科手術における遠隔指導をテーマとした [7]-[9]。なお、本実験は、患者の同意を得て、実際の手術において実施した、手術本番における評価実証実験であった。東京医大の指導医 (高度専門医) が、久留米大の術医に、4K1K 超高精細映像および 3 次元 HD 映像を用



図1 手術室の全景を4K映像ライブ伝送  
(2001年3月9日、東京医大)

いて、遠隔から脳神経外科手術を指導した。万一の場合に備えて、久留米大にも指導医が立ち会った。なお、4K1K超高精細映像技術の詳細は、文献[10]を参照いただきたい。

遠隔医療通信として、ここでは、術医と指導医がネットワークを介して確実にコミュニケーションができる映像環境を構築することが基本であり大切である。指導医へ高い臨場感のある映像を提示するために、久留米大の手術室に4K1Kカメラを持ち込んで超高精細映像の伝送を行った。

本実験は、東京医大と久留米大を、研究開発用ギガビットネットワークJGNと東京都下水道局が所有する光ファイバー回線(東京医大-JGN大手町間約20km分を利用)を使用しネットワーク接続し実施した。映像伝送には、低遅延MPEG伝送装置2対を用いた。本実験の概要は以下のようであった。

(1) 手術室全体の4K1K超高精細映像ライブ伝送

図1に示すように、久留米大手術室の全体・全景を、4K1K超高精細映像で東京医大へライブ伝送した。手術室の全景の超高精細・超広角映像により、全体と細部の把握が同時(瞬時)にでき、手術スタッフ全員がモニタでき、遠隔からの手術指導が格段にやり易くなった。

(2) 脳内視鏡のHD映像ライブ伝送

図2に示すように、久留米大における脳内視鏡手術のHD映像を東京医大にライブ伝送した。高精細HD映像で、脳内視鏡手術の詳細が、遠隔から精度よく把握可能となった。

(3) 3次元HD映像のライブ伝送

3次元手術顕微鏡映像(図3参照)および手術状況(手術室)の映像(図4参照)を、3次元HD映像で、久留米大から東京医大にライブ伝送した。遠隔から奥行き方向の把握が容易となり、映像の臨場感が飛躍的に向上した。結果として、手術指



図2 脳内視鏡のHD映像  
(2001年3月9日、東京医大)



図3 3次元手術顕微鏡の3次元HD映像  
(左モニタ、2001年3月9日、東京医大)



図4 久留米大の手術状況の3次元HD映像  
(左モニタ、2001年3月27日、東京医大)



図5 東京医大からの遠隔手術指導の様子  
(2001年3月27日、東京医大)

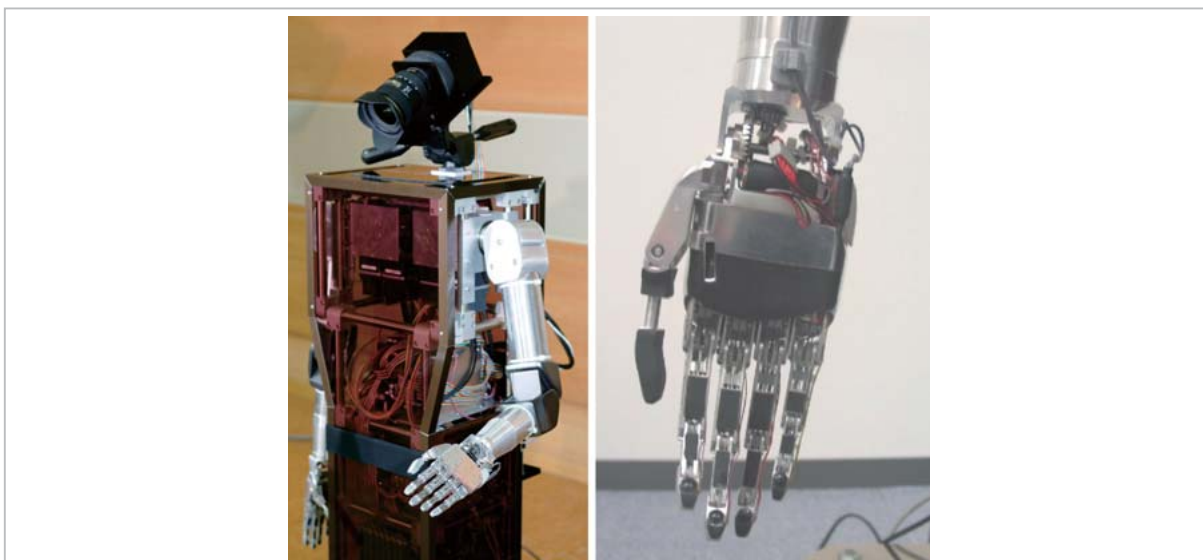


図6 分身ロボットと触覚付き5本指ハンド

導の精度が向上した。図5は、東京医大の指導医が遠隔手術指導をしている様子である。

### 3 遠隔操作

#### 3.1 分身ロボット

NICTは、情報通信技術とロボット技術を融合する研究開発を行ってきている。ネットワークを介してロボット分身を実現する分身通信(身体性拡張通信、遠隔操作通信)に関する研究開発を行ってきた。NICTは、図6に示すように、人の腕・手の大きさと同程度かつ人の腕・手が持つ機能に限りなく近い、ヒューマノイドアームおよび触覚付き5本指ハンドを開発した。そして、このヒューマノイドアーム(両腕)およびハンド(両手)で構成される「ネットワーク分身ロボット」のプロトタイプを2003年に完成した。この原型(基本コンセプト)は、テレイグジスタンスにある[11]。

このネットワーク分身ロボットは、図7に示すように、3次元操作グローブを用いて遠隔操作される。3次元操作グローブは、手袋に、指の関節の曲がり角度を検出するセンサーを組み込んだ機器であり、5本の指すべての動きを検出することができる。これにより、ネットワークを介して、ロボットアームおよび5本指ハンドを自分の分身(自分の手)のように自由に、遠隔操作することができる。



図7 3次元遠隔操作インターフェイス

#### 3.2 小型4Kカメラ

4K超高精細映像カメラは、人の視覚限界(眼の解像度)に近づくものであり、ロボットビジョンすなわち「ロボットの眼」として非常に期待されている。しかし、4Kカメラシステムは、図8左に示すように、大型で据え置き型(スタジオカメラ)であった。大きさおよび重量の両面で、ロボットの眼として、ロボットに搭載することは不可能であった。ロボットの視覚能力・画像認識能力およびそれに伴う性能・機能を飛躍的に向上させるには、4Kカメラの小型化がまず必須の重要な課題



図8 4Kカメラの比較

であった。

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、図8右に示すように、以前に開発した4Kカメラ(図8左)と比べて、体積比で約1/18、重さ比で約1/19に小型化・軽量化することに成功した(カメラヘッド部での比較)。これにより、ロボットに搭載可能なレベルにまで小型化・軽量化された。

具体的には、以下の点に取り組むことにより、小型化および軽量化を実現した。

- (1) RGB 3板 (CMOS 撮像素子 3枚) から単板化 (CMOS 撮像素子 1枚)
- (2) レンズ等の光学系の小型化
- (3) カメラヘッドの小型化・軽量化

### 3.3 遠隔操作実証実験

NICTとJVCは共同で、2005年に、図6および図9に示すように、この小型4Kカメラを、分身ロボットシステムの頭部に、ロボットの眼として搭載した。すなわち、人の視覚に迫るロボットビジョンを持つネットワーク分身ロボットのプロトタイプとして完成した[4]。さらに、4Kプロジェクタと組み合わせることにより、4K分身システムとして完成した。図10は、4Kロボットビジョンが撮像した画像を、ネットワーク介して、4Kプロ



図9 分身ロボットに4Kカメラを搭載



図10 4Kプロジェクタを用いた遠隔操作

ジェクタに表示している様子である。ロボットの操作者は、この4K高臨場画像を見ながら、3次元操作グローブを用いて、分身ロボットを遠隔操作する。

この4K超高精細映像をベースにした分身ロボットの有効性を評価するために、種々の実証実験を行ってきた。その一環として、けいはんな情報通信オープンラボ研究推進協議会・ネットワークロボット分科会・技能伝達ワーキンググループ(NICT、JVC、京都大学医学部附属病院等がメンバー)は、2005年に、遠隔操作基本評価実証実験を行った。図9および図10に示すように、数多くの乱雑に置かれた多種多様な日用品(ペットボトル等)から、それらに書かれた大小さまざまな文字を判読し、特定のものをつかむ実証実験を行った。そして、HD映像等の既存映像との比較評価を行った。

4K映像の場合は、広視野角を保持したままで、多くの乱雑に置かれた多種多様な日用品(ペットボトル等)から、それらに書かれた小さな文字(タイトル、説明文)を容易に判読しながら、特定のものをつかみ移動させることができた。さらに、活字のみならず、ノート等にかかれたクセのある小さな手書き文字も容易に判読しながら作業を進めることもできた。一方、HD映像(200万画素)の場合では、広視野角を保持したままで、このような小さな文字の判読を伴う作業をすることは難しいことが明らかとなった。

4K超高精細映像(4Kカメラおよび4Kプロジェクタ)は、HD映像等の既存映像と比較して、高解像度と同時に広視野角を両立することができるので、結果として、遠隔操作する空間のリアリティ・臨場感を飛躍的に高めることができ、ロボットの操作性・作業性が、格段に向上することが実証された。4K映像は、人の視覚能力(視力)に一段と近づいたといえる。

本システムは、4K超高精細映像を用いているが、2Dである。2D映像を高精細化すると3Dに見えるという見解もある。確かに4K映像では「3D感」は増すようであるが、2Dではやはり限界がある。このような3次元実空間リアルタイム操作では、人の眼と手が3次的に関係・連動しているように、3D映像が必要不可欠である。

## 4 全天映像

2009年7月22日に、日本において46年ぶりに皆既日食が観測された。皆既日食は、太陽と月が重なる現象であり、太陽の満ち欠けや、普段見ることができないコロナやダイヤモンドリングに強い関心が集まる。しかし、実際に観測地に行って感動するのは、そこが月の影の中に入ることによって天空全体が天変地異のように急変するからである(闇、気温、風、生物の行動等)。観測地で体験体感するこのような変化を伝えるには、超高精細かつ全天空映像が最適である[12]。

そこで、超臨場感コミュニケーション産学官フォーラム(以下、URCFという)超高精細映像ワーキンググループ(リーダー: 相澤清晴 東京大学教授)では、2009年2月に、全天映像伝送プロジェクト(リーダー: 尾久土正己 和歌山大学教授)を立ち上げた。そして、URCFメンバーが研究開発している4K超高精細映像技術を結集して、4K全天映像伝送システムを構築した。なお、URCFは、総務省とNICTが設立した産学官連携組織であり、NICTがその運営をしている。

カメラに関しては、図11に示すように、JVCの小型4Kカメラに、JVCと和歌山大学が共同開発した専用の魚眼レンズを装着した。また、ドーム上映システムは、図12に示すように、和歌山大学が開発した。これは、コニカミノルタプラネタリウム社製4K全天映像投影機 Super Media Globe IIと5m傾斜式・吸引式エアドームから構



図 11 魚眼レンズ装着 4K カメラ



図 12 4K 全天ドームシステム

成される。

また、4K 映像伝送装置としては、日本電信電話(株)(以下、NTT と呼ぶ)未来ねっと研究所が開発した JPEG2000 リアルタイムコーデックを使用した[13]。4K 映像の伝送には、非圧縮で約 6 Gbps の帯域を要するが、実際に使用できた帯域は 88 Mbps であった(音声には 4 Mbps を使用)。そこで、この限られた帯域で最大限の映像品質を得るために、JPEG2000 エンコードパラメータのチューニングを行った。

URCF 全天映像伝送プロジェクトでは、この 4K 全天映像伝送システムを用いて、2009 年 7 月 22 日に、図 13 に示すように、奄美大島屋仁小学校において撮影した皆既日食の 4K 全天映像を、けいはんなプラザ、大阪 ABC ホール(図 14)、大阪市立科学館、つくばエキスポセンターの 4 会場に、ライブ伝送し全天映像上映することに成功した[14]。なお、和歌山大学の 4K ドーム上映システムは、けいはんなプラザ会場に設置した。

4K 超高精細全天映像のライブ伝送は、世界初の試みである。当日は曇りであったが、月の輪郭、月の影が迫り去る様子(全天の闇の変化)、皆既前後の強風、鳥の行動、人々の興奮した様子を、生々しく撮影し伝送することに成功した。また、一般にも実験の様子を広く公開し、皆既日食を遠隔地から高臨場体感・体験してもらった。

全天映像の場合、人の目の分解能に迫る映像を撮影・投影するためには、10K 程度の映像システムが必要になる。すでに、8K スーパーハイビジョンは NHK において研究開発されていること

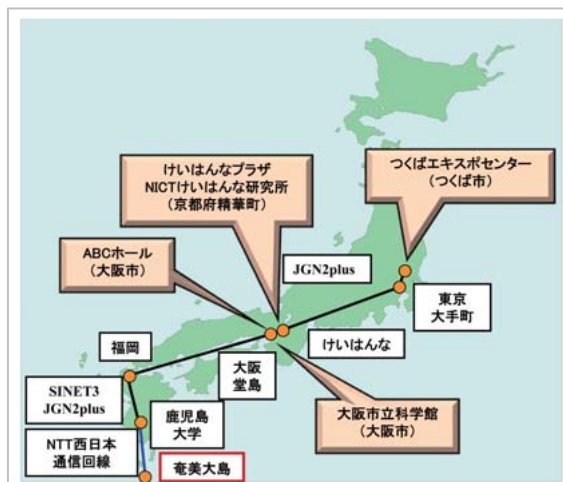


図 13 皆既日食全天映像のライブ伝送



図 14 ABC ホールにおける全天映像の上映

から、8K での同様の実験を近い将来に行いたいと考えている。また、URCF では今後、日食だけでなく様々な自然現象(星座、オーロラ等)や世界遺産などの景観を超高精細全天映像で遠隔地にライブ伝送し再現する実証実験を検討している。

## 5 手話コミュニケーション

手話は、指先の微細かつ高速な動き、細かい顔の表情、そして身体全体の動きを組み合わせる表現される。そこで、手話を遠隔に伝送するには、高精細と広角映像が両立できる超高精細映像が適している。このような背景から、URCF 超高精細映像ワーキンググループ・超高精細映像基盤作業班(リーダー: 荒川佳樹 NICT)では、URCF メンバーの 4K 超高精細映像技術を結集して、双方向 4K 超高精細映像コミュニケーションシステムを構築した。

このシステムの中核は、低遅延4K/60P-JPEG2000コーデックである。東京都市大学藤井哲郎教授とNTT未来ねっと研究所は、HDTVの2倍の時間解像度である毎秒60フレーム(60P)かつ映像伝送遅延100ミリ秒以下を実現したコーデックの開発に成功した。日食映像伝送では、30フレーム/秒(30P)であったので、4K映像の時間解像度は2倍となった。

2009年10月31日に、日本手話学会第35回大会において、日本手話表現の第一人者である米内山明宏氏の基調講演会が開催された。URCF超高精細映像基盤作業班と日本手話学会は共同で、この講演会場である東京大学(駒場)と東京都市大学(横浜市)を、この双方向4K映像コミュニケーションシステムを用いて接続した。そして、図15に示すように、講演会の様子とその後の質疑等を、双方向4K映像ライブ伝送(高臨場感映像共有)した[5][6]。なお、ネットワーク回線はJGNを使用し、使用通信帯域は、双方向で合計、約1,200Mbps=片方向600Mbps×2であった。

この低遅延4K/60P映像の双方向伝送の実現により、手話の素早い動きや指先の細かな動きまでリアルタイムに遠隔地に伝えることができた。質疑も含めて、臨場感あふれる映像で、手話を含むコミュニケーションができた。また、一般にも広く実験の様子を公開し、手話講演会を遠隔地から高臨場体験してもらった。

手話を日常的に用いているろう者の評価結果は、4K/30P映像では、時間解像度が低すぎストレスがある(映像がカクカク・ガタガタしている)。4K/60P映像は、時間解像度の問題がなくなり、手話映像として(最低限)合格である(動きはそれなりにスムーズである)。しかし、さらにこの倍程度の時間解像度が理想であろう、というものであった。

今回は、2Dの4K映像を用いたが、URCFでは、今後さらに、4K3D映像、8K映像を用いた実証実験を行い、手話分野における超高精細映像技術の有効性・実用性を評価実証する計画である。

## 6 テレワーク

18世紀に、英国において始まった産業革命は、



図15 東京都市大学からの4K/60P手話映像(右モニタ)

「炭素社会」(地球環境破壊)の始まりでもあった。20世紀初頭に、米国において開花した車の大量生産は、「車社会」を進展させた。20世紀の社会・産業構造の代表格は、車産業・車社会であったといえる。車は人類に多方面にわたって多大な貢献をしてきた。

しかし一方で、交通事故・事故死傷者の増大、エネルギーの膨大な消費浪費、大気汚染・地球温暖化等の深刻な問題を引き起こしてきている。結果として、炭素社会(地球環境破壊)を加速させ、その進展は留まるところを知らない。車の必要性・有効性は今後も残るであろうが、車を代替・補完できる技術を早急に開発し、21世紀は車に過度に依存しない社会(脱車社会)を目指すべきであろう。

総務省は、ネットワーク技術をベースにしたテレワーク(在宅勤務)を推進している[15][16]。テレワークでは、人の移動および車の利用を抑制でき、オフィススペース等を削減することができる。このことから、テレワークは脱車社会、低炭素社会を実現する筆頭格であろう。しかしながら、現在までの取り組みはどちらかといえば、PC関連作業、テレビ会議等のデスクワークを対象とした「情報テレワーク」である。これでは、テレワークの対象となる仕事が非常に限定される。肉体労働を含む多種多様な仕事をテレワークするまでには至っていない。遠隔実操作、遠隔物づくりを実現する「身体テレワーク」は未踏の領域である。両者を実現してこそ真のテレワークが完成する[17]。

身体テレワークでは、3D映像技術を含む臨場

感環境技術と実空間センシング・ロボット技術を融合化した高度なトレイグスタンスシステムの研究開発が必要不可欠である。単に綺麗な映像が飛び出す3D映像技術からの脱皮・脱却が必要である。すなわち、人の眼の能力および機能と同程度以上の3D映像技術が望まれる。

放送・映画分野では、例外はあるが、映像を受動的に見ている。すなわち、映像を見て何らかの3次元動作(アクション)を起こす必要はない。従って、3Dの必然性は低いと考えられる。奥行情報の重要性は低く、かつその正確性もあまり求められない。人が受け取る情報量(コンテンツ)は、2Dと3Dで大きな差がないと推測される。3D映画の方が、その感動が格段に高まり強くなることはなさそうである。

一方、身体テレワークシステムでは、映像を受動的ではなく能動的に見る必要があり、何らかの3次元動作をするために映像情報が使われる。映像が3次元実世界および3次元動作と密接につながっているので、3D映像が必須となる。身体テレワークを実現するには、より具体的には、以下の技術の研究開発が重要である。

#### (1) 身体性拡張通信技術

人の手・指の複雑かつ微細・細やかな動きに対応した遠隔実操作技術の研究開発が中核であり基本・基盤となる。

#### (2) 視覚限界ロボットビジョン

人の視覚の能力と機能に近い、3次元実空間を高精度かつ高精細に撮像する技術、すなわち視覚限界に迫る/超えるロボットビジョン(3Dカメラ)の研究開発が重要である。そして、(1)と(2)の解像度・精度は強く関連し、高いレベルが要求される。かつ、両者は、人の手・指と眼がそうであるように、同レベルの解像度・精度が要求される。

#### (3) 高精度/高精細3D映像提示技術

高精度遠隔操作を実現するためには、奥行き方向の解像度と精度(正確性)を高めた3D映像提示技術が重要となる。

#### (4) 極低遅延映像伝送技術

身体テレワークでは、分身ロボットの遠隔制御を伴うため、伝送(ネットワーク)には、高いレベルの低遅延・リアルタイム性および双方向性が要求される。超高精細映像および3D映像の高効率な通信技術(映像符号化圧縮伝送技術等)が必要

不可欠である。

情報テレワークに加えて、身体テレワークを実現することにより、エコロジカルな面はもちろんのこと、我が国が抱えている以下の重要課題を解決できる可能性が大である。

- 分散社会(首都圏集中、地域格差、通勤ラッシュの是正)
- 脱車社会(交通事故、事故死傷者、交通渋滞の低減)
- 新しい物づくり社会(21世紀型在宅内職)
- 遠隔介護/医療による介護/医療現場の負担軽減

## 7 むすび

NICTは、4K超高精細映像技術のアプリケーションに関する研究開発にも取り組んできた。特に、分身通信技術(身体性拡張通信技術、遠隔操作技術)は、テレワークの基盤技術となるものである。そして、テレワークは、低炭素社会の実現に大きく貢献するであろう。

21世紀において、エコロジー産業(環境産業)、すなわち低炭素社会を実現する産業は、20世紀の自動車産業のように、中核的産業に成長する可能性が高い。そこで、映像技術もその適用実用化分野として、テレワーク、ロボット等の3次元実空間(リアルタイム)操作分野をもっと重視すべきであると考えている。これにより、日本の映像、家電、ロボット産業は、21世紀においても、引き続き世界をリードできる可能性が大であろう。

## 謝辞

- 皆既日食全天映像伝送実験に関しては、URCF超高精細映像ワーキンググループのメンバーの多大なる協力を得た。関係各位に感謝の意を表す。
- 皆既日食全天映像伝送実験は、科学研究費補助金基盤研究(C)「超高精細動画を使った皆既日食の全周デジタルミュージアム」(研究代表者:尾久土正己)の一環として実施した。
- また、奄美市役所袖観光課および屋仁小学校の関係者には実験にあたり大変お世話になった。改めて謝意を述べたい。



- 手話伝送実験に関しては、日本手話学会澁谷智子会長、黒田知宏事務局長をはじめ学会関係者の方に多大な尽力をいただいた。そして、URCF 超高精細映像基盤作業班のメンバーの多大なる協力を得た。関係各位に感謝の意を表す。また、手話伝送実験では、以下の研究の一環として実施した。
- NICT 委託研究「新世代ネットワークの構築に関する設計・評価手法の研究開発（課題Ⅰ）新世代ネットワークアーキテクチャの新しいネットワーク評価手法の検討およびその実装」（実施責任者：藤井哲郎、高原厚）
- (独) 科学技術振興機構戦略的創造研究推進事業さきがけ「研究領域：情報環境と人、課題名：インタラクション理解に基づく調和的情報保障環境の構築」（研究代表者：坊農真弓）
- 手話伝送実験には、総務省委託研究「次世代映像コンテンツ制作・流通支援技術の研究開発」（研究代表者：藤井哲郎）の成果が活用されている。

## 参考文献

- 1 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.
- 2 Y. Arakawa, "3D Space-shared Communications - Multimedia Virtual Laboratory Project -, " Journal of the CRL, Vol. 48, No. 3, pp. 57-70, Sep. 2001.
- 3 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.
- 4 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ス -, " O plus E, Vol. 29, No. 3, pp. 11-15, Mar. 2007.
- 5 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.
- 6 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.
- 7 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.
- 8 田中健二, 鈴木健治, 佐藤正人, 荒川佳樹, "高精細度映像(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.
- 9 "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.
- 10 荒川佳樹, "4K3D 超高精細 3 次元映像とその伝送技術," 情報通信研究機構季報, 本特集号, 6-2, 2010.
- 11 大山英明, 前田太郎, 舘暲, "SF と科学技術におけるレイグジスタンス型ロボット操縦システムの歴史," 日本 VR 学会論文集, Vol. 17, No. 1, pp. 59-68, Mar. 2002.
- 12 尾久土正己, 荻原文恵, 小澤友彦, 吉住千亜紀, 富田晃彦, 山田宏之, 明井英太郎, 石川雅一, 山本文治, 中山雅哉, 半田利弘, "プラネタリウムにおける日食の全天周生中継," 地学教育, Vol. 60, No. 3, pp. 99-107, May 2007.
- 13 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.
- 14 尾久土正己, "4K 映像システムを使った皆既日食の全天投影," 映像情報メディア学会誌, Vol. 63, No. 10, pp. 1385-1389, Oct. 2009.
- 15 "テレワーク国際シンポジウム ~テレワークによるワーク・ライフ・バランスの実現と生産性の向上をめざして~, " 総務省, 2007 年 11 月 28 日, Nov. 2007.

- 16 “地球温暖化問題への対応に向けた ICT 政策に関する研究会報告書,” 総務省, Apr. 2008.
- 17 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.
- 18 “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.
- 19 “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