

4-2 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—

4-2 3D Space-shared Communication — Multimedia Virtual Laboratory Project —

荒川佳樹
Yoshiki ARAKAWA

要旨

平成9年度から5か年計画で推進してきた「マルチメディア・バーチャルラボラトリ・プロジェクト」では、以下の技術を研究開発した。

- ① 3次元空間共有通信基本ソフトウェア NetUNIVERS (Networked UNified Virtual Environment and Robotics Space)。3次元CGと3次元実画像(ステレオDVフォーマット)を統合融合した3次元空間を生成する。そして、この空間を、多地点間(現バージョンでは3地点まで)で通信共有することができる。
- ② 3次元CG技術「超幾何図形スキーム」(超3角形幾何モデリング方式)。統一的で、高効率かつ柔軟な3次元幾何図形処理を実現した。NetUNIVERSのCG処理部にも採用している。
- ③ 「メガネなし」立体表示方式FLOATS (Fresnel Lens Optics And Two-image Stereoscropy)。凸レンズ(フレネルレンズ)を用いて、映像観察者の目前に実像が結ぶ方式を開発した。これにより、目の視差及び焦点機能を同時に両方利用するので、立体像のリアリティが向上し、かつ目に自然な表示を実現した。
- ④ 800万画素(ハイビジョンの4倍の解像度)の超高精細画像処理技術。横3,840×縦2,048画素のプロジェクター及びCMOS動画像カメラを世界に先駆けて開発した。

Since 1997, we have conducted the five-year plan called "Multimedia Virtual Laboratory Project," and the project has obtained the following results.

(1) 3D space-shared communication basic software, NetUNIVERS (Networked UNified Virtual Environment and Robotics Space). This software can merge 3D CG and 3D real images (stereo DV format) and share 3D space which consists of them among multiple points (up to 3 points with current version) over communications network.

(2) 3D geometric modeling, called "Extended Geometry Scheme" (Extended triangle geometry method). We succeeded in developing a unified, high-efficient and versatile geometric modeling scheme. This method is applied for part of NetUNIVERS.

(3) 3D display method without glasses, FLOATS (Fresnel Lens Optics And Two-image Stereoscropy). By using a convex lense (Fresnel), we developed a method that enables viewers to see the real images with high reality and without a feeling of wrongness. Usage of both parallax and focus functions of the eyes led this method to accomplish the reality and solidity of images.

(4) Ultra high-definition image processing technology with 8 million pixels (four times resolution as high-definition TV). We have developed a 3,840 by 2,048 pixel video projector and a CMOS-based moving image camera for the first time in the world.

[キーワード]

コンピュータグラフィックス, 図形処理, 立体表示, バーチャルリアリティ, ミックスドリアリティ
Computer Graphics, Geometric Modeling, Stereoscopic Display, Virtual Reality, Mixed Reality

1 はじめに

通信の歴史を大雑把に振り返ると、音声(電話、1次元)から画像(テレビ、2次元)を主体としたものへと発展してきている。その次に来る通信は、3次元空間共有通信(以下、3次元通信)であると、我々は考えている。3次元の空間それ自体を送る通信である。すなわち、まんが「ドラえもん」にある「どこでもドア」が疑似体験できる通信である。

3次元通信とは、3次元(立体)画像や3次元音響を用いて、3次元の情報空間・環境を生成し、広帯域・高速ネットワークを用いて、この3次元情報空間・環境を通信して遠隔地間で共有する。我々は、この3次元通信をインターネット技術と融合することにより、次世代のインターネット Internet-3Dへと発展展開したいと考えている。

通信総合研究所(以下、CRL)では、多くの研究機関と協力して、先端マルチメディア研究開発として「マルチメディア・バーチャルラボラトリ・プロジェクト」(以下、MVL)を推進してきた。すなわち、全国各地(遠隔地)に分散する研究開発機関を、高速ネットワークで結ぶことにより、仮想的に1か所に研究所を集約し、高度な共同研究開発環境を実現することを目指して、平成9年度から5か年計画で推進してきた。

このような背景から、CRLでは、MVLにおける基盤技術として、3次元空間共有通信に関する研究開発を行ってきた。そして、3次元通信技術をベースにした臨場感の高いコミュニケーション・コラボレーション環境の実現を目指してきた。CRLでは、また、3次元空間共有通信実験施設 UNIVERS (UNified Virtual Environment and Robotics Space) を平成10年に完成・稼働させている。UNIVERSは、1画面100インチのリア投影型高精細プロジェクター3面、計算機群(グラフィックス・ワークステーション Onyx2、PC)及びMPEGコーデックを含む通信機器等で構成されている。プロジェクター3面のうち左右のスクリーンは角度が可変で、用途に応じて調整できる。また、液晶シャッター方式による立体視表示が可能である。

このUNIVERSは、国内の主要バーチャル・リアリティ施設である東京大学のCABIN、筑波大

学のCo-CABIN、幕張のメディア教育開発センターのTEELeX、そして岐阜のMVLセンターのCOSMOSと、郵政省(現総務省)が整備した「研究開発用ギガビットネットワーク(JGN: Japan Gigabit Network)」を用いて、図1に示すように接続され、高度なテストベッドを構成している。これを「MVLギガビットネットワーク」と呼んでいる。現在、MVL開発推進協議会(会長:熊谷信昭 大阪大学名誉教授)と共同で、種々のMVL実証通信実験を実施している。その詳細は、マルチメディア・バーチャル・ラボ実証実験報告書^[5]等を参照されたい。

2 統一3次元情報空間

3次元通信を実現するためには、3次元図形(コンピュータ・グラフィックス:CG)、3次元実画像、3次元音場などの3次元情報を、統合的に融合し処理し通信することがその本質であると、我々は考えている。特に、CGと実画像を、同じ符号化方式を用いて、統一的に表現し処理・通信する統一情報理論(統一情報符号化方式)の確立と、これをベースにした統一3次元情報空間の実現に取り組んできている^[15]。

2.1 3次元空間共有通信基本ソフトウェア: NetUNIVERS

このような統一3次元情報空間の具現化として、3次元空間共有通信基本ソフトウェア NetUNIVERS (Networked UNified Virtual Environment and Robotics Space) を研究開発してきている(図2参照)。NetUNIVERSソフトウェアでは、3次元CG空間と3次元実画像(ステレオDVフォーマット)を統合融合した3次元空間を実現している。そして、この空間を、IPプロトコルを用いて、多地点間(現バージョンでは3地点まで)で通信共有することができる。すなわち、このネットワーク上に構築された3次元空間内において、CG及び実画像オブジェクトを自由に配置、移動操作することができる。

標準ハードウェア構成は、CG・実画像オブジェクト管理及び実画像データ配信用サーバPC1台、3地点分のステレオDV画像撮影用カメラと画像取込用PC並びに3画面分を出力する3面デ

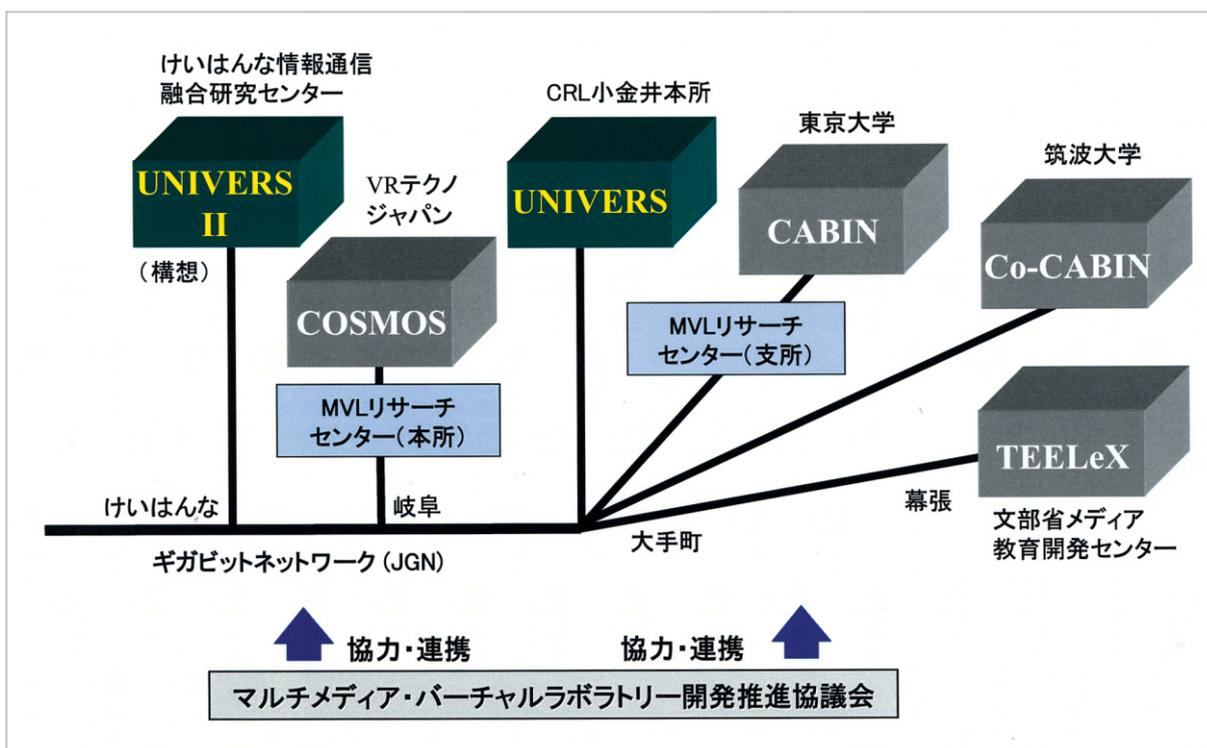


図1 MVLギガビットネットワーク

ディスプレイ表示用PCから構成される。また、周辺装置は、3Dポインティングデバイス、データグローブ(3次元位置測定装置含む)、立体視用液晶シャッター式メガネ、各地点間の音声通話を可能にするコーデック及び音響装置等から成る。

NetUNIVERSでは、3次元CGモデルに関しては、CRLのオリジナル技術である超幾何図形スキーム(超3角形モデリング方式)を採用している。複数の3次元図形を、形状演算(形状間の足し算、引き算、重なりを求める処理)することは、3次元CGにおける基本的かつ重要な機能である。しかし、従来の方式では、非常に処理時間が遅かった。また、データ量が大きくなると時間がかかりすぎ、実質的に計算不可能な場合もあった。一方、本ソフトウェアでは、高速かつ高精度で形状演算することができる。従来ソフトウェアと比べて数百倍以上の実行速度を実現した。また、形状間の干渉チェックや断面生成も高速に行うことができる。

実画像に関しては、そのまま全画像を相手方に送信することはもちろん、背景差分あるいはブルーバックによりビデオアバタとして切り出し、3次元空間内の任意の場所に表示することができる。さらに、この基本ソフトウェアをベ-

スにした、以下のアプリケーションをプロトタイプとして実現した(図2参照)。

- ① 脳神経外科手術支援システム
- ② 人の3次元歩行解析シミュレーション
- ③ 高層大気・電離層3次元可視化
- ④ 地球磁場3次元可視化

次に、このNetUNIVERSに関する通信実験に関して報告する[51]。2000年10月29日～11月2日に行った実験では、CRL小金井、CRLけいはんな情報通信融合研究センター、メディア教育開発センター(幕張)の3地点を結んだ。CRL小金井では、100インチのスクリーン3面で構成されるUNIVERS、けいはんなでは、70インチ1画面を用いた。また2001年3月12日に行った実験では、東京医科大学、久留米大学医学部、CRL小金井の3地点を結び基本通信実験を行った。PC間の通信はイーサネット100BASE-TXのIPで行い、ATMルータを介して、3地点間をフルメッシュでATMネットワーク(OC3 155Mbps)にPVCを張り通信した。基幹ネットワークには、JGNを利用した。いずれの実験でも、3地点において、CGオブジェクト(脳のCGモデル)と実画像オブジェクト(人物像)を違和感なく共有でき、コミュニケーション空間を確保できることを、

基本的に確認した。

2.2 超幾何図形スキーム

統一3次元情報空間の実現への第1ステップとして、我々は、「超幾何図形スキーム」(超3角形&超4面体幾何方式)と呼んでいる独自の統一幾何処理方式の開発に成功した(基本特許取得済)。すなわち、3次元の形の情報を統一的に表現し処理する枠組みを確立した。この方式はまた、高効率かつ柔軟な3次元幾何図形処理を提供する[11]~[14]。

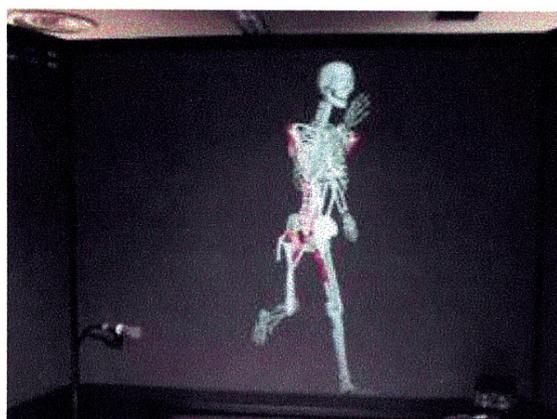
我々の住む実世界は、一見非常に複雑に見えるが、少数の原子あるいは素粒子から構成されていることは周知の事実である。そこで、我々は、この実世界を真似て、情報世界を構築しようと考えた。ここでは、我々が研究の対象とするのは形の情報なので、形の原子(原子図形)を

探求することが必要不可欠である。これ以上分割不可能な根元的要素図形ということで、図3に示すように、点、線、3角形、4面体を原子図形(基本図形)として位置付けることにした。我々は、長年このような観点から、3次元図形情報処理の研究に取り組んできた。そして、これらの四つの図形原子のみを用いた統一図形処理体系(統一CG空間)を構築した。すなわち、「超幾何図形スキーム」(超3角形&超4面体図形幾何方式)と呼んでいる、統一的で、高効率かつ柔軟な3次元図形処理方式の開発に成功した[11]~[14]。そして、この超幾何図形スキームに基づいた3次元空間共有通信基本ソフトウェアとしてNetUNIVERSを完成させた。

超幾何図形スキームを超3角形の例で説明する。図4(3)に示すように、超3角形表現処理とは、通常の3角形概念を拡張し、3角形の三つ



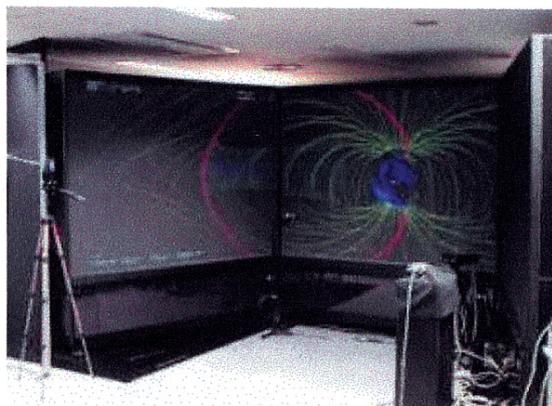
(1)脳外科手術支援



(2)人の歩行解析シミュレーション



(3)高層大気可視化



(4)地球磁場可視化

図2 3次元空間共有通信ソフトウェア NetUNIVERS

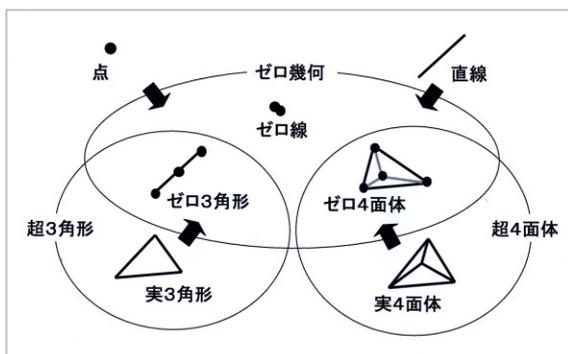


図3 原子図形 (基本図形)

の頂点が同一直線上となる縮退した3角形を包含する幾何表現処理方法である。この縮退した3角形を面積がゼロになることから「ゼロ3角形」と呼び、また通常の3角形を「実3角形」と呼んでいる。そして、この両者の3角形を総称して、拡張された3角形という意味で「超3角形」と呼んでいる。超4面体の場合も同様である。

従来の3次元形状モデリング(サーフェスマデリング)では図4(1)に示すように、(任意の)多角形面が用いられてきた。しかし、このような多角形図形処理は処理アルゴリズム及びデータ構造ともに複雑になり、処理の効率が悪いという欠点がある。一方、3角形はこれ以上原理的に分割不可能な根元的図形である。そこで、図4(2)に示すように、3角形のみを用いることにより、究極的に単純な形状表現及び処理が実現できる。しかし、処理の過程で、3角形の数(データ量)が指数関数的に急激に増えてしまうなど、大きな欠点も併せ持つ。

従来の通常の3角形表現処理の代わりに、上記の超3角形表現処理を用いることにより、3角形の表現性と処理性を飛躍的に増大させることができた。すなわち、ゼロ3角形は、3角形と線分の両方の特性(2面性)を併せ持つ。ゼロ3角形により、3角形処理の単純性は保持したままで、大きな欠点であった3角形の数が増大を大幅に抑制することが可能となった。例えば、図4(2)と(3)を比較すると、従来法では、面を表現するのに13個の(通常の)3角形が必要である。一方、超3角形法では、約半分の7個で済む。ゼロ3角形は6個となるが、3角形処理からは除外され、「線分」として扱われる。そこで、高効率・高速かつ柔軟な3次元幾何図形処理を実現することができ

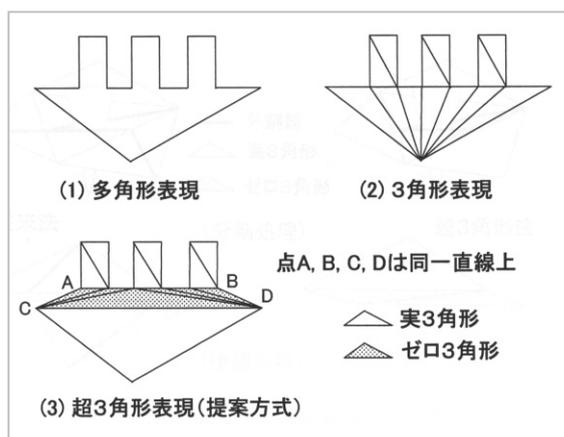


図4 超3角形を用いた形状表現

る。

また、図5に示すように、3角形面を分割する処理において、周辺3角形面への分割の伝播を、ゼロ3角形により阻止することができ、結果として不必要な3角形分割を抑制できる。また、二つの3角形面を接続する処理の例を取り上げると、従来の3角形処理では、3角形を分割する処理が必要である。一方、超3角形処理では分割処理はまったく不要である。最大2個のゼロ3角形を用いることにより、容易に自由に面を接続することができる。

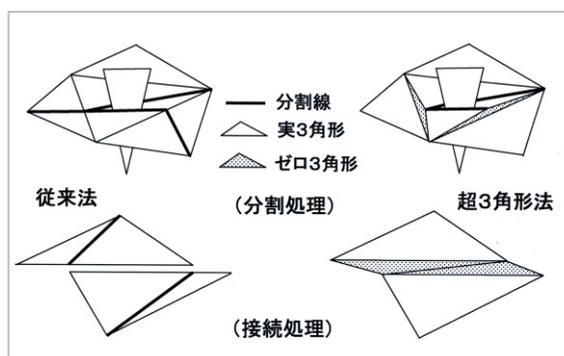


図5 超3角形幾何処理

さらに、リアルかつ高臨場感な3次元CG空間を生成するには、例えば、光の物理的な振舞いを計算機上でシミュレーションし、実写映像に迫るリアリティを追求することが必要不可欠である。リアルな3次元CG空間生成技術であるラジオシティ法は、光の物理的な振舞い(反射、拡散、写り込み、陰影等)を計算機上の数理物理モデルを用いて計算し、間接光による光をシミュ

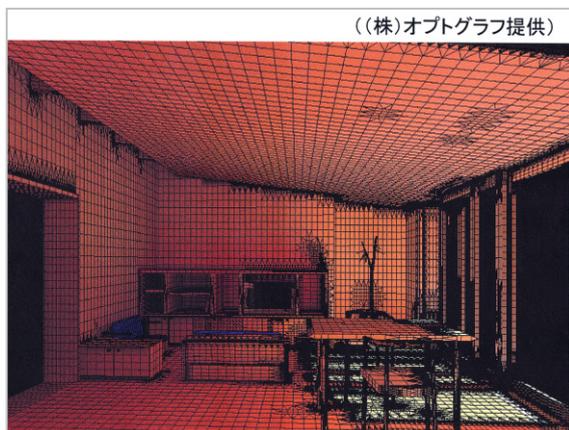
レーションすることにより、フォトリアリスティックな空間を生成する手法である。

このラジオシティ法にも、超幾何図形スキームの一つである超3角形幾何を導入した。そして、従来法よりも厳密な光の拡散反射物理計算モデルを用いることにより、従来水準を超える空間画質を、従来の数倍以上の高速な処理速度で実現した(図6参照)。すなわち、ラジオシティ法では、処理の過程で、面の分割が繰り返される(メッシュ細分割処理、図7参照)。このメッシュ細分割処理に、超3角形アルゴリズムを導入し、不



((株)オプトグラフ提供)

図6 ラジオシティ法を用いた光の空間



((株)オプトグラフ提供)

図7 ラジオシティ空間とメッシュ分割

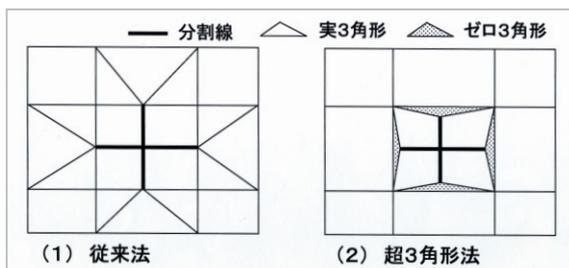


図8 超3角形を用いたメッシュ分割処理

必要な分割を抑制することにより、高速な処理を実現した(図8参照)。この研究開発は、株式会社オプトグラフと共同で実施した[43]。

3 ロボティクス空間

空間共有通信を真に実現するには、画像や音で構成された「さわれない」空間のみでは不十分である。3次元通信のもう一つの重要な側面は、触覚、遠隔操作ロボット等を用いて、相手側の空間を実操作できるロボティクス空間(さわれる空間)を実現することである[2][3][6][10]。我々はまた、このロボティクス空間と情報空間とを融合することを目指している。

このような実操作空間の視覚インターフェースとしては、作業を行う場所に提示される相手側の作業空間が3次元映像としてリアルに再現表示され、かつ眼に自然で違和感なく見える、ということが重要である。

左右の眼に別々に、視差のある映像を提示する従来の立体ディスプレイは、映像観察者の目の前に像を作ろうとしても、その像が目の前にあるように、操作者に認識されない。この理由は、人は、立体知覚において、視差情報に加えて、眼のフォーカス(ピント)の情報も利用しているからである(図9参照)。

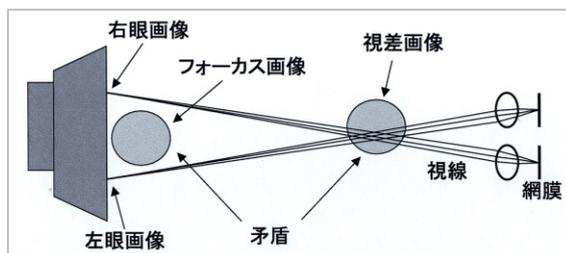


図9 眼の視差機能のみを利用する立体表示方式(従来法)

これを解決するために、我々は、目の視差及び焦点機能を同時に両方利用した、非常にリアリティのある、かつ目に自然な「メガネなし立体表示方式」を確立した。すなわち、図10に示すように、ディスプレイと映像観察者の間に凸レンズ(フレネルレンズ)を挿入し、レンズと映像観察者の間にディスプレイの画面の実像が結ぶようにした。そして、この実像生成と視差提

示を組み合わせた立体表示方法を提案した(特許取得済)[21]~[31]。この立体ディスプレイシステムを、FLOATS(Fresnel Lens Optics And Two-image Stereoscopy)と呼んでいる。図11に、このシステムを、CGに関する国際会議 SIGGRAPH2000(2000年7月、米国ニューオーリンズ)において発表、展示・デモンストレーションした模様を示す[27][28]。

さらに、物をつかむ等の高度な作業空間を実現するためには、視覚に加えて触覚が必要不可欠である。そこで、東京工業大学佐藤研究室で開発された触覚提示装置 SPIDAR[9]と我々の FLOATS を組み合わせたシステムを構築した [22]~[25]。現在、このシステムと遠隔操作ロボットハンドを組み合わせた、ロボティクス空間の実現に取り組んでいる。

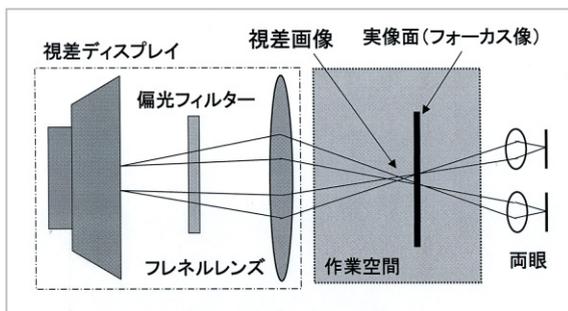


図10 眼の視差機能及び焦点機能を同時に両方利用する立体表示方式

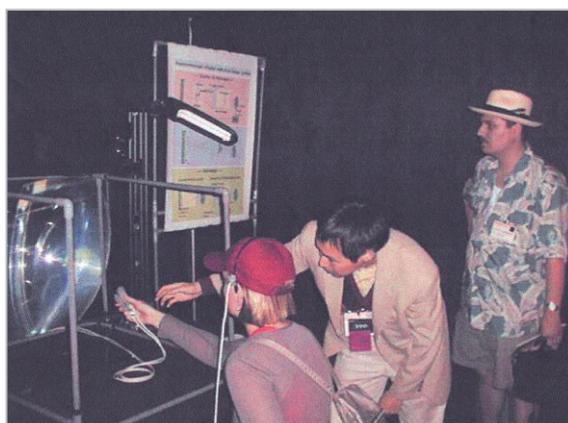


図11 立体表示方式 FLOATS(米国ニューオーリンズで開催された SIGGRAPH2000での展示風景)

リティを追求すると、やはり超高精細画像処理通信技術の確立が必要不可欠となってくる。そこで、ハイビジョンを超える超高精細画像処理技術とその伝送技術の確立を目指してきている。これまでに、以下のような超高精細画像関連技術を研究開発してきた。

4.1 超高精細映像表示装置(超高精細映像プロジェクター)

現行のHDTV(ハイビジョン)を超える超高精細画像表示技術に関しては、表示装置を複数台並べて、並列表示することにより、超高精細画像表示を実現する方法が主流である(マルチスクリーン方式)。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難しい。

この課題を解決するために、横3,840×縦2,048(約800万)画素の画像を、シングルスクリーン(1画面)として表示するプロジェクターを世界に先駆けて開発した(図12参照)。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、最高水準の画質を実現した。現行のHDTVでは、横1,920×縦1,080画素を表示するので、本装置はHDTVの約4倍の解像度を持つ。

この超高精細画像表示技術に関しては、日本ビクター株式会社が開発した先進のテクノロジーである反射型液晶表示素子(D-ILA)方式と液晶垂直配向技術を合わせることで、高輝度・高

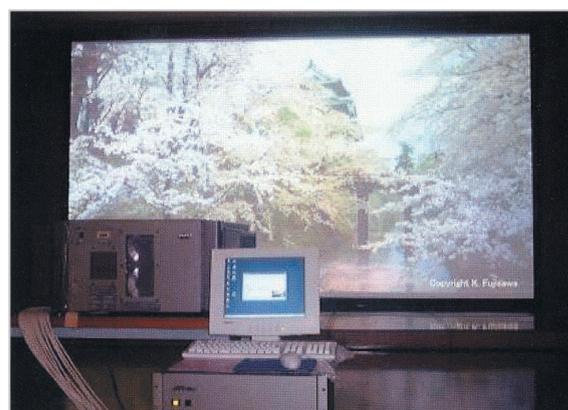


図12 3,840×2,048画素プロジェクター

4 超高精細画像処理通信技術

3次元空間共有通信において、高臨場感・リア

精細・高コントラストの画像表示を実現した。

4.2 超高精細動画カメラ

4,000 × 2,000画素レベルに対応した動画カメラは、既に一部の研究機関で試作されているが、非常に大型で可搬性のない装置となっている。そこで、超高精細画像を必要とする、例えば遠隔医療環境や各種の撮影現場への持込みは事実上難しい。我々は、デジタルスチルカメラに代表される高精細カメラ技術に着目し、通常のビデオカメラと同様に扱える超高精細動画カメラ(3,840 × 2,048画素)の試作に成功した(図13参照)。すなわち、撮像素子には、高集積化・小型化が容易でかつ低消費電力のCMOS構造の素子を新規に開発することにより、これまでの課題を解決した。

現段階では、今回試作したCMOSカメラが撮影した映像は、現在の主流技術であるCCDと比較し十分なものではないが、CMOS技術を改良、チューニングすることで解決の見通しがついている。

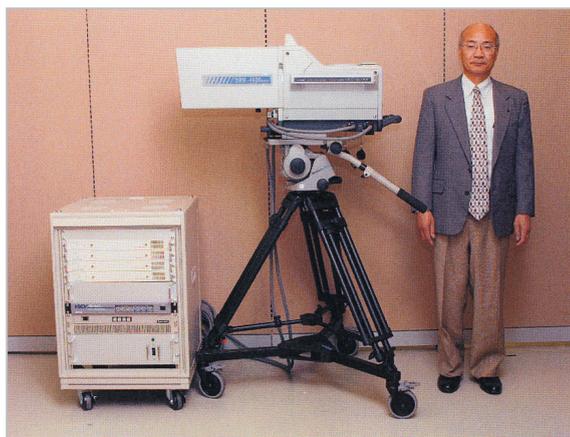


図13 3,840 × 2,048画素 CMOS 動画カメラ

4.3 低遅延 MPEG 画像伝送装置 (高速画像符号化・復号化装置)

HD(ハイビジョン)画像伝送ではMPEG2が標準の符号化方式となっている。このMPEG2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。我々が開発した装置では、これを、世界トップ水準である180msecまで短縮した。伝送レートは、22.5Mbps、45、60、120から選ぶ

ことができる。

4.4 通信実験

これらの装置を用いて、以下の通信実験を行った[18][44]~[46]。2000年3月29日の通信実験では、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。国立霞ヶ丘競技場(国立競技場、新宿区)とCRL(小金井市)をATM135Mbpsで結び、3,840 × 1,028画素の画像をHD画像2枚に分割して、低遅延MPEG画像伝送装置2セット(伝送レート:HD-MPEG2 45Mbps × 2 = 90Mbps)を用いて並列リアルタイム動画データ伝送(ライブ伝送)することに成功した。この実験では、プレイヤーの背番号がはっきり認識できる状態で、サッカー場を全面表示可能であることを確認した。また、2001年1月1日(21世紀元旦)の通信実験では、画質を更に向上させて、JGNを用いてCRL小金井とCRLけいはんなをつなぎ、遠距離ライブ伝送する実験に成功した(図14参照)。

5 将来計画

次世代の情報通信技術では、一言で言うと、「マルチメディアからユニメディアへ」の進化が求められると、我々は考えている。マルチメディアをあえて悪く言うなら、メディアの寄せ集めであり、低いレベルの統合化である。そこで、メディア間の変換や個別かつ多様なインタラクションが必要になってくる。ユニメディアは、多様なメディアの高度なレベルの融合体である。例えば、人の脳がそうである。脳はいろんなメディア(五感)を持っているが、それらはバラバラではなく、高度に統合・統一され秩序を持って機能している。少なくとも外見上はそのように見える。コンピュータ・ネットワーク上にこのような「人工脳」、すなわち「ユニメディア」を構築することが、今後の研究の本質であると我々は考えている。

ユニメディア研究は、統一システム(集大成技術)に関する基礎研究として実施する計画である。ロボティクスも要素技術ではなく集大成技術である。ユニメディアとロボティクスの本質的な差異は、前者が情報通信メディアを主体とした

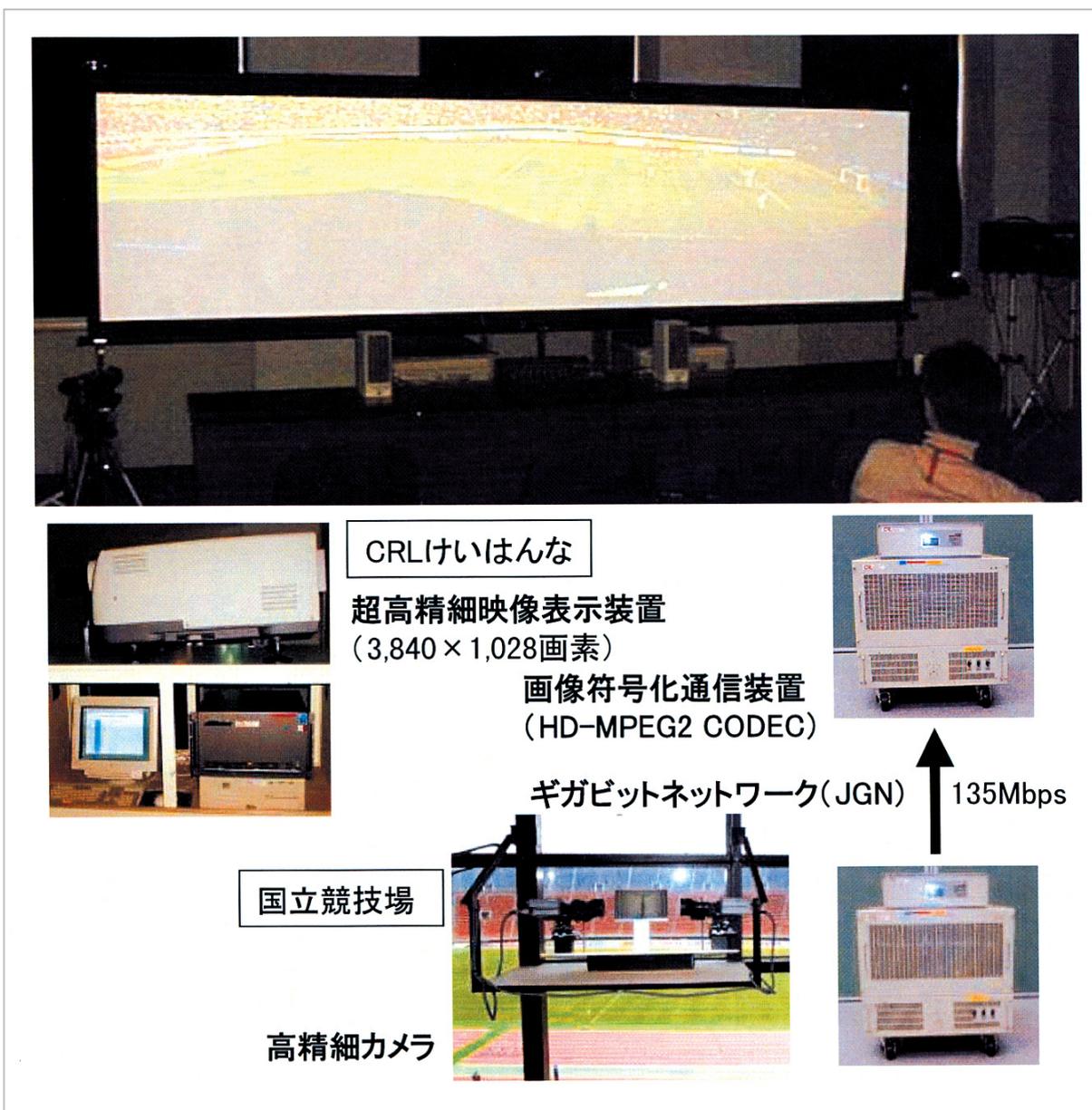


図 14 21世紀元旦超高精細画像通信実験

集大成であり、要素メディアとして後者のロボットメディアを包含することにある。具体的には以下の研究テーマに取り組む計画である。

5.1 3次元メディアの統合統一処理

3次元画像、3次元CG、3次元音場、3次元触覚などを主体とした3次元時空情報を、統一的かつ構造的に表現符号化し、統合融合処理し、通信する高次元情報処理通信技術を確認する。

5.2 画像メディアの高度処理技術

特に、画像メディアに関しては、高い臨場感、

没入感及びリアリティを実現するために、完全に3次元な実画像処理技術を確認する。すなわち、実世界の情報を、画像情報として3次元的に欠落することなく完全に取得・処理・表示・通信する技術を完成する。また、この技術をベースにして、人の空間視覚処理機構(3次元空間認識)を人工的に実現する。そして、遠隔3次元視覚、遠隔空間知覚・認識へと展開する。

また、人の眼の解像度を超越するレベルの超高精細画像処理技術の確認も重要である。10,000 × 10,000ピクセルレベルの超高精細画像処理表示技術とその通信に関する研究を行う。そして、高

臨場感なイメージ時空を構築する。また、超高精細画像を主体とした全身ヒューマン・インターフェースを研究開発する。

5.3 ロボティクス空間

提案している高臨場感立体ディスプレイ FLOATS を、遠隔操作の視覚インターフェースに利用することにより、ロボットに乗り移った感覚で作業ができる、誰でも使える、汎用のインターフェースを構築する計画である。操作者側にこのディスプレイを用い、遠隔地に、人間の手と腕に近い形と機能を持つ多指ロボットハンドとロボットアームを装備することにより、映像と操作者が一体化した、高臨場感な遠隔3次元作業空間を実現する計画である。操作者が、実際に遠隔地に赴いて作業するのと同程度の仕事を、ロボットの遠隔操作で実現する技術を開発する。

5.4 実験テストベッド

また、このような研究開発を推進するには、その基盤となる、高度なテストベッドが必要不可欠である。MVLでは、ギガビットネットワーク(JGN)を用いて、国内の主要バーチャル・リアリティ施設を接続した「MVLギガビットネットワーク」テストベッドを構築した。そこで、これを更に発展させ、CRLのけいはんな情報通信融合研究センターに、UNIVERSを更に高度化したUNIVERS IIを、近い将来に構築し、これらをテラビット級のネットワークで結び、3次元通信及び3次元メディアに関する研究実験テストベ

ッドを構築したいと考えている。

5.5 Internet-3D

ネットワーク技術の進展は目覚ましく、近い将来に、テラ/ペタビット級のネットワークが出現するであろう。また、数年後には、光コンピュータやオール光通信スイッチが実現化するであろう。このような技術が実現すれば、ここで述べてきた3次元空間共有通信もワールドワイドに展開が可能となるであろう。すなわち、3次元通信のインターネット化というものが将来的には存在する。

このような高次元時空共有通信を、マルチポイントで大規模(地球規模)に通信する技術を確立し、誰でも使えるものとするを旨とするは自然な帰着である。このインターネットの未来像の具体的なイメージとしては、例えば、高精細立体ディスプレイとヒューマノイド型汎用ロボットを備えた、かつ非常に優れた知的3次元ヒューマン・インターフェースを持つWebを想像していただきたい。特に、ここでは、人間を主体とした、人に優しいインターフェースを追求して、誰でも容易に、3次元空間共有通信を使えるものとするのである。これが、我々が提唱する次世代インターネット構想である。これを、3次元(3D)メディアを中核としたインターネットという意味で、Internet-3Dと呼んでいる。すなわち、3次元空間共有ソフトウェアNetUNIVERSを、このInternet-3DのWebブラウザとして発展展開したいと考えている。

参考文献

- 1 Kanade, T., Narayanan, P.J, and Rander, P.W., "Virtualized Reality: Concepts and Early Results", IEEE Workshop on the Representation of Visual Scenes, Boston, Jun., 1995.
- 2 Kuzuoka, H., Oyama, S., Yamazaki, K., Yamazaki, A., Mitsuishi, M., and Suzuki, K., "GestureMan: A Mobile Robot that Embodied a Remote Instructor's Actions", ACM2000 Conference on Computer Supported Cooperative Work, Dec., 2000.
- 3 Kuzuoka, H., Oyama, S., Yamazaki, K., Yamazaki, A., Mitsuishi, M., and Suzuki, K., "GestureMan: A Mobile Robot that Embodied a Remote Instructor's Actions", ACM2000 Conference on Computer Supported Cooperative Work, Videos (Conference program), Dec., 2000.
- 4 Nagaoka, K., Ohnishi, H., Mochizuki, K., Suzuki, R., and Suzuki, K., "A Support System Based on Automatic Spatial Alignment for Distance Spatial Collaboration", 7th International Conference on Computers

- in Education 1999 (ICCE1999), Nov., 1999.
- 5 Ohnishi, H., Mochizuki, K., Nagaoka, K., Suzuki, R., and Suzuki, K., "A Support System for Distance Spatial Workspace Collaboration", OPEN LEARNING 1998: 3rd International Open Learning Conference, Dec., 1998.
 - 6 Oyama, S., Kuzuoka, H., Yamazaki, K., Mitsuishi, M., and Suzuki, K., "Development of a mobile robot with embodies a remote instructor", IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2000), Nov., 2000.
 - 7 Rander, P., Narayanan, P.J. and Kanade, T., "Virtualized Reality: Constructing Time-Varying Virtual Worlds From Real World Events", Proc. of IEEE Visualization '97, Phoenix, Arizona, Oct., pp.277-283, 1997.
 - 8 Rander, P., "A Multi-Camera Method for 3D Digitization of Dynamic, Real-World Events", Robotics Institute Technical Report CMU-RI-TR-98-12, May, 1998.
 - 9 Sato, M., Hirata, Y. and Kawarada, H., "Space interface device for artificial reality - SPIDAR", IEICE Trans., J-74-D-II, pp.887-894, 1991.
 - 10 Tachi, S., Arai, H. and Maeda, T., "Development of anthropomorphic tele-existence slave robot", Proc. of the international conference on advanced mechatronics, pp.385-390, 1989.
 - 11 荒川佳樹 "面積ゼロ3角形を用いた3角形BRep", 情報処理学会論文誌, Vol.36, No.2, pp.362-373, 1995.
 - 12 荒川佳樹 "超3角形BRepにおける高速形状演算アルゴリズム", 情報処理学会論文誌, Vol.37, No.4, pp.624-634, 1996.
 - 13 荒川佳樹, 山口富士夫 "超3角形BRepにおけるEdge-basedデータ構造と形状演算アルゴリズム", 情報処理学会論文誌, Vol.39, No.1, pp.39-49, 1998.
 - 14 荒川佳樹, 山口富士夫 "超3角形BRepにおける無誤差完全4次元処理を用いた形状演算アルゴリズム", 情報処理学会論文誌, Vol.40, No.9, pp.3471-3482, 1999.
 - 15 Arakawa, Y., Takeya, H., Isogai, M., Suzuki, K. and Yamaguchi, F., "Space-shared Communication Based on Truly 3D Information Space", IEEE International Conference on Image Processing, Kobe, Japan, Oct., 1999.
 - 16 Arakawa, Y., "3D Space-shared Communication based on Extended Geometry Scheme", International Symposium on Multimedia Virtual Laboratory, Mar., 2000.
 - 17 荒川佳樹 "超幾何図形スキームに基づく3次元空間共有通信-Internet-3D-", TELECOM FRONTIER, No.27, pp.2-9, May, 2000.
 - 18 Arakawa, Y., "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.
 - 19 磯貝光雄, 掛谷英紀, 鈴木健治, 荒川佳樹 "超3角形図形処理をベースとした3次元CG空間システム", 電子情報通信学会マルチメディア・仮想環境基礎研究会, Oct., 1999.
 - 20 磯貝光雄 "下水道光ファイバーを用いた遠隔医療通信実験", 月刊下水道, Vol.24, No.9, pp.22-25, Jun., 2001.
 - 21 掛谷英紀, 荒川佳樹, 大山公一 "至近距離を含めた空間を提示する立体ディスプレイ", 電子情報通信学会マルチメディア・仮想環境基礎研究会, Dec., 1998.
 - 22 掛谷英紀 "「触れる」立体ディスプレイー高臨場遠隔操作システムを目指して-", Journal of Technological Transfer, Vol.22, pp.25-27, May, 1999.
 - 23 掛谷英紀, 大山公一, 荒川佳樹 "高臨場感遠隔操作のための3次元表示システム", 3次元画像コンファレンス, Jun., 1999.
 - 24 Takeya, H., Oyama, K., Arakawa, Y., and Sato, M., "Touchable 3D Display," SIGGRAPH '99 Conference Abstract and Applications, pp. 176, Aug., 1999.
 - 25 Takeya, H., Oyama, K., and Arakawa, Y., "3D Display System for Reality-Enhanced Teleoperation," IEEE Systems, Man and Cybernetics Conference, pp. 1129-1134, Oct., 1999.

- 26 掛谷英紀, 荒川佳樹 "Optical Design of Autostereoscopic Display with Real-Image Screen", 3次元画像コンファレンス, Jun., 2000.
- 27 Kakeya, H., Isogai, M., Suzuki, K., and Arakawa, Y., "Autostereoscopic 3D Workbench", SIGGRAPH2000 Conference Abstract and Applications, pp. 176, Jun., 2000.
- 28 Kakeya, H. and Arakawa, Y., "Autostereoscopic Display with Real-Image Screen", SIGGRAPH2000 Conference Abstract and Applications, Jun., 2000.
- 29 掛谷英紀 "高臨場感メガネなし立体ディスプレイ", TELECOM FRONTIER, Oct., 2000.
- 30 掛谷英紀 "高臨場感メガネなし立体ディスプレイ", SCAT LINE, No.29, pp.9-15, Nov., 2000.
- 31 掛谷英紀 "メガネなし3Dワークベンチ", 映像表現フォーラム, Mar., 2001.
- 32 Kiyokawa, K., Takemura, H., and Yokoya, N., "SeamlessDesign: A Face-to-face Collaborative Virtual/Augmented Environment for Rapid Prototyping of Geometrically Constrained 3-D Objects", IEEE Multimedia Systems 1999, Jun., 1999.
- 33 Kiyokawa, K., Takemura, H., and Yokoya, N., "A Collaboration Support Technique by Integrating a Shared Virtual Reality and a Share Augmented Reality", 1999 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (SMC1999), Oct., 1999.
- 34 清川清, 竹村治雄, 横矢直和 "仮想環境と拡張環境のシームレスな切り替えによる協調作業支援手法", 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.4, No.4, pp.657-664, Dec., 1999.
- 35 清川清, 倉田義則, 大野浩之 "実環境と仮想環境の相互隠蔽を可能とする光学透過型ディスプレイ", 電子情報通信学会仮想環境基礎・マルチメディア研究会, Feb., 2000.
- 36 Kiyokawa, K., Takemura, H., and Yokoya, N., "SeamlessDesign for 3-D Object Creation", IEEE Multimedia Magazine, Mar., 2000.
- 37 Kiyokawa, K., Kurata, Y., and Ohno, H., "An Optical See-Through Display for Enhanced Augmented Reality", Graphics Interface 2000 Poster Session, May, 2000.
- 38 Kiyokawa, K., Kurata, Y., and Ohno, H., "An Optical See-Through Display for Mixed Reality", ACM SIGGRAPH 2000 Sketch Session, Jun., 2000.
- 39 Kiyokawa, K., Kurata, Y., and Ohno, H., "An Optical See-Through Display for Mutual Occlusion of Real and Virtual Environments", IEEE & ACM International Symposium on Augmented Reality 2000 (ISAR 00), Oct., 2000.
- 40 清川清, 竹村治雄 "ネットワークバーチャルリアリティシステムの構成法", 情報処理学会誌, Vol.42, No.3, pp.251-256, Mar., 2001.
- 41 Kiyokawa, K., Kurata, Y., and Ohno, H., "ELMO: An Enhanced Optical See-Through Display Using an LCD Panel for Mutual Occlusion", International Symposium on Mixed Reality 2001 (ISMR 2001), Mar., 2001.
- 42 鈴木健治, 田中健二, 鈴木龍太郎, 荒川佳樹, 小木哲朗 "4者間討議空間システムの構築", 第2回ヒューマンインターフェイス学会研究会, Jun., 1999.
- 43 須田徹 "リアルで高速な画像生成を可能にするソフトウェア—高速高画質ラジオシティ・ソフトウェアライブラリー", 画像ラボ, Vol.11, No.9, pp.42-45, Sep., 2000.
- 44 田中健二, 鈴木健治, 大山公一, 荒川佳樹 "WHD (Wide/Double HD)伝送システム", ヒューマンインターフェイス学会, Jun., 2000.
- 45 田中健二, 鈴木健治, 佐藤正人, 荒川佳樹 "高臨場感映像 (WHD: Wide/Double HD) 伝送システムの開発", 映像情報メディア学会高臨場感ディスプレイフォーラム2000, Nov., 2000.
- 46 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.
- 47 廣瀬通孝, 小木哲朗, 石綿昌平, 山田俊郎, "多面全周ディスプレイ(CABIN)の開発とその特性評価", 電子情報通信学会論文誌D-II, Vol.J81-D-II, No.5, pp.888-896, May, 1998.
- 48 "International Symposium on Multimedia Virtual Laboratory", MVL Conference, Mar., 2000.

- 49 “マルチメディア・バーチャル・ラボ海外（欧州）動向調査報告書”，MVL開発推進協議会，May，2000.
50 “MVLシンポジウム”，MVL開発推進協議会，Mar.，2001.
51 “マルチメディア・バーチャル・ラボ実証実験報告書”，MVL開発推進協議会，May，2001.



あらかわ よしき
荒川佳樹

情報通信部門 けいはんな情報通信融
合研究センター画像グループリーダー
バーチャルリアリティ