

[特別講演(フェロー受賞記念)]

複合現実型情報提示が拓く新しい視界 -医学分野での実用可能性を探る

田村 秀行

立命館大学理工学部 〒525-8577 草津市野路東 1-1-1

E-mail: HideyTamura@acm.org

あらまし 複合現実感(MR)は現実世界と仮想世界を長時間で融合・表示する技術である。従来の人工現実感(VR)の限界を打破するとともに、人類が手に入れた新しい情報提示手段として注目を集めている。本稿ではまず、研究開発人口も急増し、各種応用が広がりつつあるこの先端技術分野の研究動向を概観し、その魅力と問題点を指摘する。特に、まだ具体的成功例はほとんどないが、近い将来本格的な実用化が期待される医学分野での利用に関して、期待される用途と効果、解決すべき課題等を分析する。また、最近の代表的な研究事例の紹介を通して、MR 技術が今後進むべき道を探る。

キーワード 人工現実感、複合現実感、HMD、ハーフミラー、重畳表示、CG 映像

Mixed Reality Presentation Opens a New Way of Seeing - Looking for Potential Medical Applications -

Hideyuki Tamura

Faculty of Science and Engineering, Ritsumeikan University

1-1-1 Nojihigashi, Kusatsu, Shiga, 525-8577 Japan

E-mail: HideyTamura@acm.org

Abstract Mixed Reality (MR) that merges the real and virtual worlds in realtime breaks through the limitations of conventional virtual reality. MR technology draws much attention as a new style of information presentation. In this paper, we overview the state-of-the-art applications and current problems of this growing technology first. Next we move to the specific topic, its potential medical applications. Through some recent results, it is discussed what steps should be taken toward successful usage of MR technology in medicine.

Keyword Augmented Reality, Mixed Reality, HMD, Half Mirror, Superimposition, Computer Generated Images

1. はじめに

20 世紀末の 10-15 年間に、個人向けコンピュータが画像・映像を扱えるようになり、人間に対する情報提示の方法が一変した。数値シミュレーション結果の可視化や創造的造形の産物を CG 技術と組み合わせることにより、説得力・訴求力のある情報提示が可能となった。

コンピュータ内に人工的に生成した仮想環境を扱う「人工現実感」(Virtual Reality; VR)は、この情報提示のあり方を、紙、スクリーン、TV モニタといった平面型の表示方法から解放し、3D 空間利用の対話型体験へと飛躍させた。続いて、現実空間と仮想空間を融合する「複合現実感」(Mixed Reality; MR)は、VR の発展形として着手されたが、研究開発が進み、実用的な成功事例が登場するようになると、VR より遥かに大きな意味をもつ新しい情報提示手段であることが判ってきた。

いま、この MR 分野への注目度が急速に高まっている。「仮想と現実の融合」は、人間情報科学の立場からも興味深い研究対象であり、製造業の生産性向上につながる革新技術であり、医療・福祉・防災といった社会問題にも貢献する潜在能力をもった技術である。研究開発人口は単調増加の一途をたどり、起業家たちはまだ見ぬ近未来の大きな市場に想いを寄せ、若きクリエイターたちは MR 技術を利用した創造的作品で世に出ることを夢見ている。デジタル・パワーの爆発により、サイバースペースから膨大な情報が溢れ出そうとしている時代に、それを現実世界で受け止める技術に夢と実用性と市場価値を感じるのは、必然的な現象であると考えられる。

MR 型情報提示は、人類が手にした新たなパワーであるが、まだその潜在能力は未知数であり、研究課題は山積している。しかしながら、若い研究エネルギーが向かう分野は、

必ずや難問を順次解決し、技術体系を築き上げて行く可能性が高い。中長期的に見て、大きな発展を遂げると考えられている所以である。

本稿ではまず、まだ始まったばかりのこの未来ある技術の発展過程、要素技術の現状と課題、これまでに試みられた応用分野の動向を概観する。次いで、話題を医学分野に絞り、そこでの実用可能性を考える。潜在的需要は大きいとされる手術ナビゲーションシステムでの問題点を整理し、最近の研究事例から有望な問題解決の方向性を探る。

2. 複合現実感研究の発展小史

コンピュータ内に構築した仮想環境を遮蔽型の HMD (Head Mounted Display) や大型スクリーンで体験する従来の VR に対して、目の前の現実空間の光景に電子的に生成された CG 映像を重畳表示する方式は "Augmented Reality (AR)" と呼ばれ、「拡張現実感」「増強現実感」「強化現実感」等の訳語が当てられて来た。その基本方式は、鏡やプリズム等の光学部品を用いて体験者の視覚に対してハーフミラー機能を達成することである。これを「光学シースルー (optical see-through)」方式という。一方、現実世界の映像をビデオカメラで撮影し、電子的に仮想空間の映像と合成するやり方を「ビデオシースルー (video see-through)」方式と呼ぶ(妙な言葉だが)。

AR 研究の萌芽は、1980 年代末から 1990 年代の始めの米国コロンビア大学、ノース・カロライナ大学、ボーイング社研究所の研究に見られる。続いて、米海軍研究所、ロックウェル社、カナダのトロント大学でも同分野の研究が始まったが、まだ当該研究のメンバー以外に体験させられるレベルのものではなかった。

細々とした AR 研究に大きな衝撃と影響を与えたのは、1997 年から日本の通産省(当時)が推進した「MR 研究プロジェクト」(正式名称:「複合現実感システムに関する試験研究」)である[1][2]。既に "Mixed Reality" という言葉は、トロント大学の P. Milgram が仮想と現実のもっと広範な融合を示す言葉として提案していたが、これに「複合現実感」という訳語を当てたのはこのプロジェクトが最初である。

洞プロジェクトは 2001 年 3 月まで実施され、MR 技術の魅力を国内外に強くアピールした。このプロジェクトの成功要因は、研究に必要なシースルー型 HMD も基幹ソフトウェアも自前で開発した上で、部外者・見学者でもすぐに実時間体験できる数々の技術デモを開発・公開したことにあると考えられる。

日本のこの活動に触発されて、ドイツでは ARVIKA プロジェクト(1999 年 -2003 年)が発足した、ミュンヘン工科大学、フラウンホッファー研究所、シーメンス社の他、主要自動車メーカーの研究部門などが参加して、製造業における開発・製造・保守サービスを主対象とした研究開発を推進した[3]。引き続き VR-AR プロジェクト、STAR プロジェクト等、矢継ぎ早に公的プロジェクトを発足させ、研究者・技術者

人口としては今や最大の勢力となっている。米国では、前述の研究機関の他、ワシントン大学、南カリフォルニア大学、ジョージア工科大学、セントラル・フロリダ大学等が有力グループを構成している。特筆すべきは、2001 年 9 月の同時多発テロ以来、都市部における軍事・防災訓練に MR 技術を導入することが試みられている。

この間世界中で研究者数も急増し、毎年開催の国際会議も日本の ISMR と欧米の ISAR が合併し、ISMAR (Int. Symp. on Mixed and Augmented Reality) となった。AR/MR 研究開発は確実に新しい局面を迎えたと感じられる。ここで、国内外の研究開発を活性化し人口増を生んでいるのは、日本発の 2 つの汎用ツールの貢献によるところが大きい。

ARToolkit は、加藤博一氏(現在、大阪大学助教授)が開発し、ワシントン大学からフリーソフトとして配布されているソフトウェア・ツールである[4]。正方形の大きな人為的マーカーを利用し、主として机上での利用に限定される制約があるが、安定して使いやすい入門用ツールとして確固たる評価を得ている。

一方、MR-Platform は、MR 研究プロジェクトの成果であるビデオシースルー HMD と位置合わせライブラリをパッケージにして、キヤノンから研究開発用限定で頒布されている[5]。この HMD には、ビデオカメラは外付けでなく内蔵されている。カメラと体験者の目の視差をなくすよう、撮像系の光軸と表示系の光軸を一致させている点に特長があり、AR/MR 研究の貴重な道具となっている(図 1)。

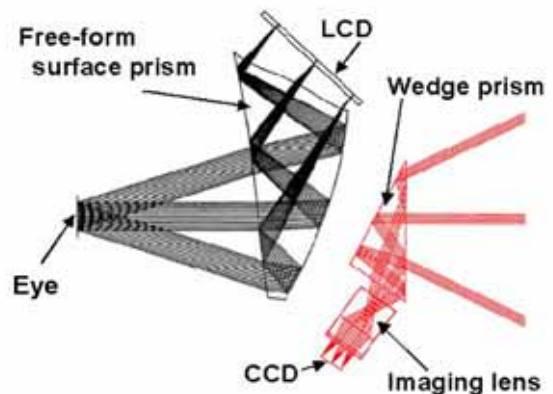


図 1 視差なしビデオシースルー HMD の光学系

3. 要素技術開発と応用分野開拓の動向

3.1 MR 研究は Tracking に偏重?

現実空間と仮想空間の融合にとって最重要の技術的課題は両空間の位置合わせ(幾何的整合性)であり、これは頭部位置姿勢の実時間追跡問題に帰着する。論文になりやすいためか、その手法の研究は活発で、昨秋東京で開催された ISMAR 03 でも Registration and Tracking は、8 セッション中 3 セッション、全 25 件のフルペーパー中 10 件を占めた。

人為的なマーカーの設計や検出は減り、自然特徴を利用

したさまざまな追跡法の研究が目立つ。実時間性も精度もかなり向上している。今後屋外での利用が増えると、磁気センサや超音波センサ等には頼れないので、画像認識のみの手法や安価な慣性センサとの併用方式が主流になってくると思われる。また利用上の制約が多いが、安定した方法を求めての改良研究は急務であり、当面はやり過ぎて困ることはない。

これに対して、両空間の画質合わせ(光学的整合法)の問題があまり研究されていないのが気になる。また実時間での現実物体と仮想物体の相互遮蔽や衝突に関する研究も難しい課題であるが、この問題に正面から取り組んでいる研究も皆無に近い。その一方で、MR空間と対話するヒューマンインタフェースやMR情報提示に適した情報レイアウトなどの研究は活発化している。

3.2 エンターテインメントと産業応用

AR/MR技術の応用分野としては、後述する医療分野以外に、建築・都市計画での景観シミュレーション、工業製品の設計・組立・保守作業の支援、軍事演習と防災訓練、教育・芸術・娯楽分野での新映像コンテンツ制作などが考えられる。

この中でMR研究プロジェクト中に急浮上したのは、エンターテインメント業界、展示業界からの大きな期待である。MR空間展示は、仮想空間と現実空間のデザインに自由度が大きいことから、ミュージアム、博覧会/展示会、ショールームなどの博覧産業に大きな影響を与えるとされている。既に大手企業のショールームや国際見本市の主権者展示に採用されるなど、ビジネスとしてテイクオフしつつある。米国では、テーマパークや科学博物館への展示企画が進行している。

MRエンターテインメントは、従来のビデオゲームを一新させる起爆剤としての期待が高く、懸賞金つきのアイデア・コンテストも開催されている[6]。図2は、このコンテストの最優秀賞受賞アイデアを実現した例で、ISMAR03と併催の展示会で一般公開され注目を集めた。息を吹き込むとCGのシャボン玉が膨らむという感覚は、新しいタイプのヒューマンインタフェースとしても評価できる。



実物の管に息を吹き込むと、CGで描かれたシャボン玉が膨らみ、クラゲの変身するMRアトラクション。圧力センサを利用したコンピュータとのインタフェースが注目を集めた。アイデア・コンテストの最優秀作を具体化したもので、多数の参加者が実体験した。[提供:キヤノン]

図2 MRエンターテインメント作品
「ジェリーフィッシュ・パーティー」

一方、ドイツのARVIKAプロジェクトが、重電、自動車メーカーを中心として開発・生産・サービスのためのシステム開発を目指したため、MR技術の産業応用も急速に進行している。日本では、民間ベースで「設計・製造・建設のための複合現実感ソリューション・フォーラム」(主催:構造計画研究所)[7]が設けられ、製造業からの関心が高まっている。

組立・保守よりも早期に実利用が確実なのは、工業デザインの分野である。3D-CADで設計した製品や部品のMR可視化が導入されつつあるので、デザインの付加価値が高い自動車産業を手始めとして、ウォール型の大型ディスプレイの市場をMR技術が次第に塗り替えて行く可能性が高い。

図3は、自動車のインテリア・デザインへの応用例である[8]。注目すべきは、CGで描いたビジュアル・デザインの確認時に、実体に触れながらボタン操作機能等も検証できることである。フルCGの従来のVRに比べて、現実世界に存在する物体への触力覚をそのまま活かせることがMR技術の大きな特長である。汎用の良い触力覚ディスプレイが存在しないので、実物体を活用できる分MRにはメリットが大きい。自分の手足や共同体験者が視認できる点でも、旧来のVRよりもMRが有利である。

4. 医学分野での実用可能性を考える

4.1 医療分野におけるAR/MR事始め

既に医学・医療分野でのVR技術の利用は進み、コンピュータ外科学会での主要な研究テーマとなっている。では、AR/MRの利用とはいえば、早くから患者の体表面に体内の映像や術中の作業経路を重畳表示





(上)座席やハンドルと最低限の骨格モックアップを現実空間に配置する
(下)運転者視点でCG映像を合成した結果

図 3 自動車インテリアの MR シミュレーション

したいという要望が寄せられていた。実際、VR 研究のメッカであったノース・カロライナ大学では、1990 年代初期に超音波像をビデオスルー HMD に表示して、マンモグラフィでの利用や胎児の様子を観察する試みがなされた [9][10]。その後、腹腔鏡手術への展開も報告されている [11]。

この研究そのものは、今日の HMD 開発や AR/MR 用人的なマーカーの利用法の先駆的な役割を果たしたが、医療目的に利用できるレベルにはほど遠かった。重くて画質の悪い HMD は医師が手術室内で利用すると考えにくい代物であったし、派手な色彩の大きなマーカーは医療現場での利用に相応しくなかった。何よりも位置合わせ精度や応答速度が、生命に関わる手術での利用に耐え得る水準に達していなかった。

単純な HMD でなく、手術用の立体視顕微鏡に AR/MR 表示機能を持たせようという試みもいくつかある。ウィーン工科大学の W. Birkfellner ら [12][13] は、Life Optics 社の顕微鏡を改造した Varioscope AR と呼ばれる装置 (図 4) を用いて、位置合わせ精度の改善や術者の装着性の問題を継続的に研究しているが、まだ実用域には達していない。

ハーフミラーとインテグラル・フォトグラフィーを脳外科手術に用いた東京女子医大の伊関洋氏らの事例

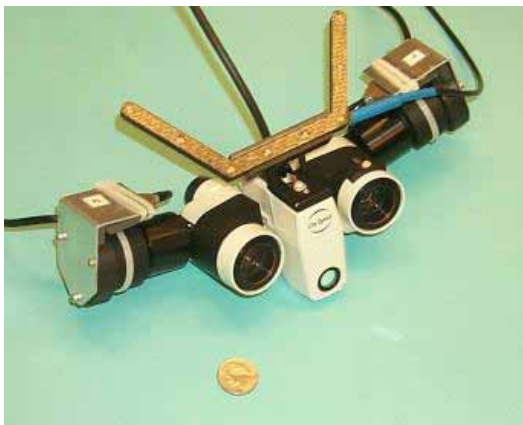


図 4 Varioscope AR の外観

は、先駆的な業績として著名だが、術前の観察画像を一旦フィルムに記録するというプロセスを経なければならないため、実時間性・対話性に欠け、用途が限定されるという限界があった。

4.2 医療分野における複合現実感の要件

手術ナビゲーションの積極的な推進者である伊関は、理想とする要件を次のように指摘している [14]。

(a) 現実空間と動的な VR 空間が常時一致するように正確に位置合わせされていて、執刀医のメンタルモデルに整合していること

(b) 予め VR 空間上に手術計画を入力しておき、手術中に作業経路を直感的に確認でき、複数の医療従事者がこれを共有できること

(c) さらに遠隔医療には、患部の映像や手術中術野のリアルタイム映像をネットワークを介してモニタでき、専門家がアドバイスできること

生身の患者を扱うこと、複数人の情報共有ということを考えれば、フルバーチャルの VR より AR/MR が本命であることは論を待たない。見方を変えれば、上記の要件は既に他分野では実用域に達している。問題は、ゲーマーや意匠デザイナーとは異なり、患者の命を預かる医師にとって快適で安全で、かつ経済的にも成立し得るシステムをいかに構築して行くかである。

AR/MR の本質は、ハーフミラー機能を実時間、自由視点条件下で達成することであり、問題は以下に集約される。

(1) どんな(映像)情報を何のために重畳表示したいか、それをいかにして実時間獲得するのか(情報源)

(2) 幾何的、光学的にいかに正確に重ねるか、そのための付属器具設置は許容されるか(整合性)

(3) 重畳したものをいかにして観るか、医師はどこまでの煩雑さを許容するか(装着性)

しばしば、この 3 条件はトレードオフの関係となる。オープン MRI の登場により、リアルタイム映像は得やすくなったが、となると頭部位置姿勢を得るのに最も一般的な磁気センサは使えない。光学式センサや照明環境に左右されやすいし、ビジョン技術は信頼性と応答速度に問題がある。煩雑な HMD の装着を避けるとなると、視点移動の自由度は制約され、画質的な整合性も犠牲になる、等々である。

こうした事情を考慮しつつ、いくつか新しい試みが生まれつつある。以下、その研究開発事例を概観する。

4.3 最近の研究開発事例から

(A) LCD とハーフミラーを用いた断層像表示システム(東京電機大)

正宗ら [15][16] は、ハーフミラーを覗き込むだけで術者は何も装着しない利点は残しつつ、インテグラル・フォトグラフ

の非実時間性の欠点を補う AR 手術ナビゲーション方式 ARIOS (AR Image Overlay System)を考案した。このシステムは、術前・術中に取得した 3 次元 MRI 画像から得た 2 次元スライス断層像を 6 インチ LCD モニタに鏡像表示し、ハーフミラーで術野と画像統合するものである。このシステムでは、光学式 3 次元計測装置で常時各デバイスの位置姿勢情報を確保している(図 5)。

術者が視点移動を計測する必要がないのは、図 6 に示すような原理で、視点と表示装置の位置関係がどのようになっても正しい画像統合が得られることを保証しているからである。その半面、この方式では 2D 断層像しか表示できないという制限がある。

類似のアイデアは、超音波画像を対象としてカーネギーメロン大学でも試みられている[17]。頭部位置姿勢の計測を不可欠と考える立場からはコロンブスの卵的な発想で、コスト的にも有望な方法と考えられる。ただし、術者の視点の前後移動に対して、表示装置を前後移動させ、かつ 2D 断層像の計算が瞬時にできるかの問題がある。

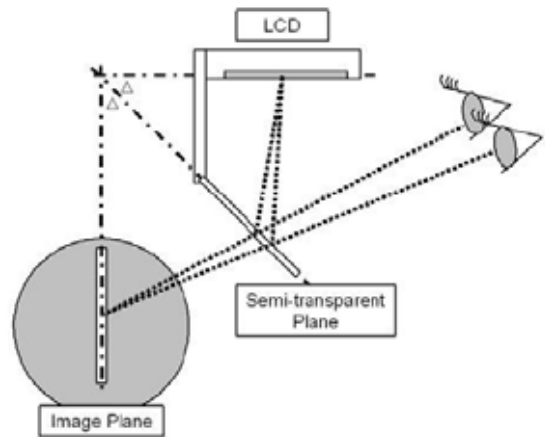


図 6 ハーフミラーによる画像統合

(B) 内視鏡ナビゲーションシステム(オリンパス)

手術の低侵襲化の流れの中、内視鏡下手術が普及しつつあるが、術中の視野が限られるという制約がある。この欠点を補うのに、内視鏡ライブ映像に重要な組織のオブジェクトを重畳表示するナビゲーションが考えられる。内視鏡メーカー大手のオリンパス自身が、このシステム開発に積極的に取り組んでいる[18][19]。

図 7 に示す重畳合成表示は、ビデオスルー機能の 1 種と考えられる。もともと医師は手術中に TV 型のモニター画面を眺めているので、術者の頭部位置姿勢検出の問題はない。むしろ、正確に検出する必要があるのは、術中の患者と内視鏡の位置姿勢である。この種のシステムの利用が進めば、執刀医にとって視認しやすい表示装置の位置や大きさ、重畳すべき情報の

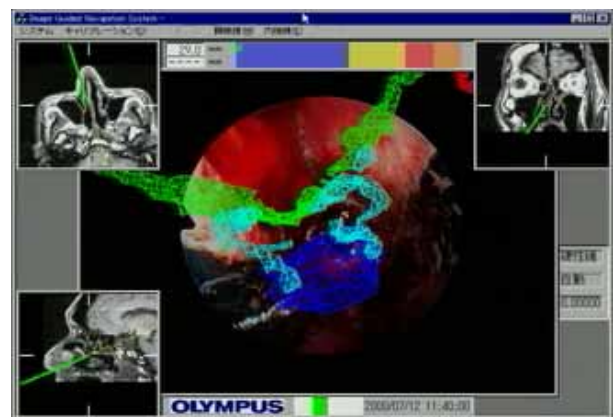


図 7 内視鏡映像に腫瘍、視神経、骨洞等を重畳

円滑な選択と操作、立体表示機能等の要求が出て来るだろう。

(C) 超音波プローブ操作の遠隔指導(奈良先端大)

遠隔医療の一形態として、患者の傍には非熟練者が居て、遠隔地に居る専門家(医師)が診断に必要な情報を取得するのに、AR/MR 技術を用いて遠隔指導するケースが考えられる。奈良先端大が取り組んでいる対象は、プローブの当て方によって獲得される画像が大きく左右される超音波像で、その遠隔診断のための情報共有と双方向インタラクションである[20]。

診断側の医師のネットワーク経由の指示に応じて、図 8 に示すような Web-Mark(蜘蛛の巣マークの意)が患部に重畳表示され、プローブの位置、向き、傾きが教示される。起伏の激しい部分にこそ、正確な教示が必要なので、患部の立体計測や診断医師がその情報を知覚できる力覚呈示など工夫が凝らされたシステムとなっている。

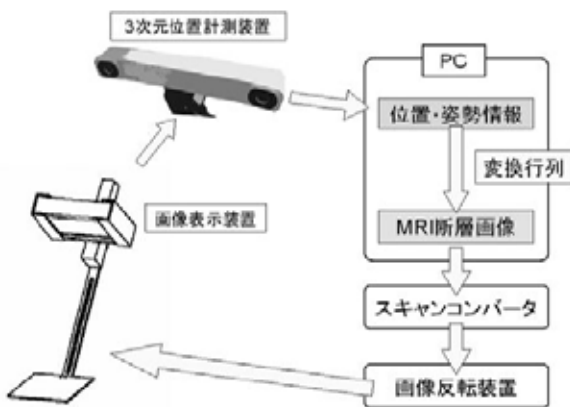


図 5 ARIOS のシステム構成

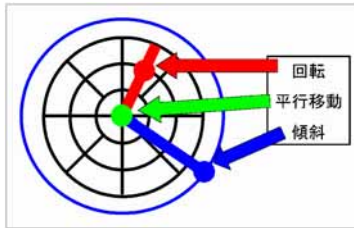


図 8 患部に重畳された Web-Mark

5. むすび

医療分野で試みられている複合現実感システムは、現時点では重畳される CG 映像の品質は高くなく、仮想と現実の対等合併を目指した MR の域には達せず、AR レベルに留まっているものが多い。医療分野の要求は、位置精度や安全性に厳しい半面、医師には診察・治療のためなら、役に立つものは何でも活用したいという先進性・向上心がある。このため、重畳するデータは画質的には優れていなくても、情報として有用であれば許容される傾向がある。この点に関しては、デザイナーやゲーマーの方が要求水準は厳しい。

分野や用途によって AR/MR 技術への要求はかなり異なるが、とにかく研究開発人口は増えているので、応用分野の壁を意識せず様々な方向に向けて、問題解決がなされるであろう。HMD もセンサも向上が見込めるし、ソフト面での充実も著しい。情報提示のあり方に革命をもたらすこの技術の将来には、期待しても損はないと思われる。

参考文献

- [1] Y. Ohta and H. Tamura (eds.): *Mixed Reality---Merging Real and Virtual Worlds*, Ohmsha & Springer, p. 418 (1999)
- [2] 田村秀行: 複合現実感研究プロジェクト, 計測と制御, Vol. 14, No. 9, pp. 645-648 (2002)
- [3] <http://www.arvika.de/www/e/home/home.htm>
- [4] http://www.hitl.washington.edu/research/shared_space/download/
- [5] S. Uchiyama, et al. : MR Platform: A basic body on which mixed reality applications are built, Proc. 1st Int. Symp. on Mixed and Augmented Reality (ISMAR 02), pp. 246-253 (2002)
- [6] <http://www.mrec.gr.jp/2002/>
- [7] <http://www.kke.co.jp/mr-forum/>
- [8] T. Ohshima et al.: A mixed reality system with visual and tangible interaction capability, Proc. 2nd Int. Symp. on Mixed and Augmented Reality (ISMAR 03), pp. 284-285 (2003)
- [9] M. Bajura, H. Fuchs, and R. Ohbuchi: Merging virtual objects with the real world: Seeing ultrasound imagery within the patient, Proc. SIGGRAPH 92, pp. 203-210 (1992)
- [10] A. State et al.: Technologies for augmented reality systems: Realizing ultrasound-guided needle biopsies, Prof. SIGGRAPH 96, pp. 439-446 (1996)
- [11] H. Fuchs et al.: Augmented reality visualization, Proc. 1st Int. Conf. on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention (MICCAI 98), pp. 934-943 (1998).
- [12] W. Birkfellner et al.: A head mounted operating binocular for augmented reality visualization in medicine---Design and initial evaluation, *IEEE Trans. Med. Imaging*, vol. 21, no. 8 (2002)
- [13] M. Figl et al.: The control unit for a head mounted operating microscope used for augmented reality visualization in computer aided surgery, Proc. 1st Int. Symp. on Mixed and Augmented Reality, pp. 69-75 (2002)
- [14] 伊関洋: VR 技術の手術支援への応用, (伊福部達編)「バーチャルリアリティの基礎 4」, 培風館, pp. 16-29 (2000)
- [15] 正宗賢他: 拡張現実感を用いた手術支援用ナビゲーション断層画像表示システム, *J. Japan Soc. of Computer Aided Surgery*, vol. 4, no. 3, pp. 231-232 (2002)
- [16] 松家大介他: 複合現実感を用いた手術ナビゲーションシステムおよび精度評価に関する研究, 計測自動制御学会第 4 回システムインテグレーション部門講演会, pp. 253-254 (2003)
- [17] G. Stetten et al.: Real time tomographic reflection: Phantoms for calibration and biopsy, Proc. Int. Symp. on Augmented Reality (ISAR 01), pp. 11-19 (2001)
- [18] Y. Akatsuka et al.: AR navigation system for neuro-surgery, Proc. MICCAI 2000, pp. 833-818 (2000)
- [19] 平井信行他: 画像重畳型内視鏡ナビゲーションシステムの精度評価, 日本 VR 学会第 6 回大会論文集 (2001)
- [20] 大城理他: AR 技術を用いた遠隔超音波診断のための患部情報共有, 日本 VR 学会論文誌, vol. 8, no. 2, pp. 131-136 (2003)