

# MR・AR・VRの現状

## 何ができる何ができいていないのか？これから何をやるべきか？

Recent Status of MR/AR/VR

What has been done and what has not? What should be done from now?

亀田 能成<sup>1)</sup>, 蔵田 武志<sup>2)</sup>, 清川 清<sup>3)</sup>, 稲見 昌彦<sup>4)</sup>, 伴 好弘<sup>5)</sup>,  
苗村 健<sup>6)</sup>, 神原 誠之<sup>7)</sup>, 黒田 知宏<sup>8)</sup>, 前田 典彦<sup>9)</sup>

Yoshinari KAMEDA, Takeshi KURATA, Kiyoshi KIYOKAWA, Masahiko INAMI, Yoshihiro BAN,  
Takeshi NAEMURA, Masayuki KANBARA, Tomohiro KURODA, and Fumihiko MAEDA

1)筑波大学大学院システム情報工学研究科 kameda@iit.tsukuba.ac.jp / 2)産業技術総合研究所 t.kurata@aist.go.jp

3)大阪大学サイバーメディアセンター kiyo@ime.cmc.osaka-u.ac.jp / 4)慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科 inami@inami.info

5)神戸大学学術情報基盤センター ban@kobe-u.ac.jp / 6) 東京大学 naemura@hc.ic.i.u-tokyo.ac.jp

7) 奈良先端科学技術大学院大学 kanbara@is.naist.jp / 8)大阪大学大学院基礎工学研究科 tomo@bpe.es.osaka-u.ac.jp

9)NTT マイクロシステムインテグレーション研究所 maeda.f@aecl.ntt.co.jp

**Abstract:** The authors who are young and leading researchers in Japan look back the past and recent progress of MR, AR, and/or VR technology and they suggest the issues to be tackled primarily for the near future.

**Key Words:** Future prediction, panel discussion, SIG-MR

### 1. はじめに

MR(複合現実)はAR(拡張現実)やVR(仮想現実)と共に、ユーザインターフェースの新しい形として各方面の期待を集め続けてきた。ゲームや産業応用など一部では普及が始まっているが、まだ現状では社会基盤技術として幅広く浸透したとまでは言えない。そこで、複合現実感研究委員会では、一線の若手研究者によりこの分野を概観し、来るべき未来図について語るパネル討論会を行うものである。本稿はその登壇者7名によるポジションペーパーである。

### 2. MRを支えるコア技術：HMDの現状と課題

人の視覚能力に匹敵するヘッドマウントディスプレイ(HMD)は実現困難である。従って多くのパラメータのトレードオフを見極め、目的に合ったHMDを設計する必要がある。ここでは、光学透過型HMD(OSTHMD)に絞って、代表的な要素毎に現状と課題を簡潔に述べる。詳しくは文献[kk1]を参照されたい。

**視野角** 接眼光学系の場合、OSTHMDの水平視野角は80度程度が限界である。提示映像の歪みは逆補正映像の入力で対処できるが、実空間映像が歪まない制約が厳しい。今後はタイリングや他の光学デザインによる広視野化が期待される。例としてLink Simulation & Training社のAHMDは、偏心曲面鏡により同100度を達成する。清川は、同180度以上を実現可能な双曲面ハーフミラーを用いた頭部

搭載型プロジェクタ(HMPD)を提案している(図1左)[kk2]。



図1 左) 広視野 HMPD[kk2], 右) 遮蔽対応 HMD [kk3]

**遮蔽** 一般のOSTHMDではハーフミラーの性質上、MRにおいて重要な実空間と仮想空間の相互遮蔽を実現できない。清川らは、二次の透過型LCDを導入しこれを実現しているが(図1右)[kk3]、大型化するなどの問題が残る。Xプリズムで小型化する手法もあるが映像品質に問題があり、さらなる研究が望まれる。

**遅延** MRシステムでは、レジストレーションエラーに直結するシステム遅延の影響を抑えるため、予測フィルタやイメージシフトなどが利用される。木島らはイメージシフトをハードウェアで実装し高い応答性を実現している。今後はRoll回転への対応や、これらの機構が内蔵されたHMDの普及が期待される。

**視距離** 一般のOSTHMDは視距離が固定のため映像と実空間を同時に観察しづらい。マクスウェル視に基づくHMDでは焦点調節によらずクリアな映像が得られるが映像の距離感向上には寄与しない。一方、レンズシフト機構や可変焦

点のミラーおよびレンズにより視距離を実時間で動的に変更し、自然な距離感を提示する HMD も研究されている。一部は安価で小型に実現できる手法であり、早期の普及が期待される。【清川 清】

### 3. MRと人間

#### 3.1 MRにおける五感提示の現状と課題

視覚以外の感覚も刺激可能なマルチモーダルディスプレイに関する研究は広く行われている。

各種感覚器に対し実世界からの刺激と情報世界からの刺激を重畳するための試みを感覚器の種類毎に紹介する。

同時通訳や歌舞伎座での解説音声など、実空間の音声に別の音声を重畳する試みは古くから行われている。開放型ヘッドフォンを用い三次元空間定位を有する音を重畳する試みとしては石黒らのWatch the Birdie! [im1]などが挙げられる。

触覚に関しては道具を介して触・力覚を重畳することを目指した橋本らの力覚による手術支援システム [im2]がある。道具を介さず直接指先に刺激を重畳するものとしては梶本らによるスマートスキン [im3]が挙げられる。

なお、完全にパッシブな構造体のみにより触知覚の増強を目指した佐野らによる触覚コンタクトレンズ [im4]の研究は必ずしもMRの範疇には入らないものの大変興味深い。

嗅覚はガスを混合することで比較的軽微しやすい感覚ではある。都市ガスなどは本来は無臭の炭化水素にメルカプタンなどの硫黄化合物を付臭剤として添加することで実空間内での可燃性ガスの存在を知覚せしめることを実現しているという点でMRに近い考え方である。嗅覚のVRに関する研究は散見されるが実世界の香りに対し香りを重畳するような試みはほとんど見られない。味覚についても同様であり今後の課題である。

その他機能的電気刺激を用いることで加速度知覚の重畳提示を試みた前田らによる前庭感覚インタフェースの研究 [im5]も平衡感覚のMRと位置づけられよう。

視覚以外の感覚はアンビエントな情報を重畳することが容易であり、作業中でも知覚可能である一方で感覚器の種類によって異なる提示アプローチが必要となる。都市ガスへの付臭の例のように各種感覚器が有している特徴と重畳すべき情報の特性をいかにマッチングさせるかが今後五感のためのMRを開発して行くための鍵となるであろう。【稲見 昌彦】

#### 3.2 MRにおける存在感とその提示における現状と課題

**ARやMRに対する需要と現状** ARやMRを用いたコンセプトベースでの応用例のイメージは知的活動を向上させることができる技術として、一般に理解され、潜在的には肯定的にとらえられていると考える。しかしながら、まだ日常的な場面でそれらの技術を応用したものを体験し、利用する機会が存在しないのが現状だといえる。

**五感に対する提示技術の現状** この分野に関して重要な、人間の五感(視覚・聴覚・触覚・味覚・嗅覚)への人為的な刺激を与える装置は古くから研究されており、研究室レベルではほぼ全ての感覚器に対応する各々の提示装置が存在している。また商業ベースでは視覚・聴覚・触覚に含まれる力覚の提示装置が存在している。このように人間の五感に対応する感覚提示の環境がそろいつつある。ARやMRでは、これらの提示技術を単体もしくは複数組み合わせ、環境を構築することになるが、生成された環境に存在する人為的なオブジェクトやエージェントが実体を伴うオブジェクトなどと共存する場合、どうしても何か虚ろなものという感覚を利用者に与えてしまい、違和感から積極的な利用が生み出されないのではないかと考えている。

**何が足りないのか** この原因について考えてみると、単に提示装置が与える情報そのものだけではなく、そこからさらに多くの情報を取得しようとして、それができないから生み出された感覚ではないかと考えている。例としてあげると、実体を伴うオブジェクトの場合、ほんの些細な動き一つをとっても物理現象に拘束された動きであり、人はその動きを見たときに重量感や軽快感といった感覚を感じるようになる。動き以外にも「そこに確かに何か(誰か)が存在している」「何かを訴えかけている」というような、形容しがたい感覚などを表現できると、新しい展開ができるのではないかと考えている。

**今後何をすべきか** まだ完全に模索の段階であるが、まずMRなどの環境内で、利用者が無意識に行っている環境との対話動作において、どのような振る舞いを加味すると五感から得られる以上の情報を利用者に与えることができるのかを明らかにしてみたいと考えている。【伴 好弘】

### 4. 世界と一致するMR

#### 4.1 MRにおける実世界との連携の現状と課題

これまで、高速で高精度な位置計測技術の進展によって、MR技術は大きく飛躍してきた。

図2は、空中立像と実物体が混在する複合現実型ディスプレイの例である [nt1]。メガネなどの装着を要しない代わりに、光学的に立像提示が可能な領域は、ユーザが配置する実物体の位置に依存する。そこで、この位置を計測し、それに応じて立像(サルや炎)の表示位置を変化させることで、この欠点を補っている。高速な位置計測は、インタラクティブなコンテンツ提示を可能にし、ディスプレイ光学系の限界を回避する用途にも応用できる。

一方、「位置計測に基づくコンピューティング」は、必ずしも安価ではなく、計算コストも要する。図3は、人形に超音波スピーカーを仕込み、そこから発せられる超音波を、ユーザの耳元に設置した超音波マイクで集音し、可聴音に変換するシステムである [nt2]。ユーザと人形の位置計測やHRTF演算を行うことなく、多人数での3次元的な音像定位が可能になっている。図4は、プロジェクト映像の各画素において、人の目には見えない高速な点滅パター

ンを制御することによって、映像そのものから情報を発信する例である [nt3]。映像の上に配置した受光端末では、各種の位置計測を行わずとも、映像と連携した挙動が得られる。これらは、実世界を拡張する（物体に情報を宿す）ことによって、位置計測の負担を軽減している。

高速な位置計測技術の新たな応用と、位置計測以外の選択肢の巧みな利用が、実世界との連携を深めていく上で、今後さらに重要になってくると考えられる。【苗村 健】

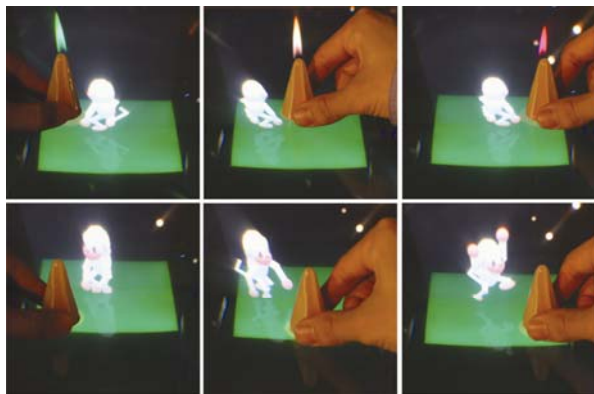


図2 複合現実型空間立像ディスプレイ [nt1]



図3 u-soul [nt2]



図4 可視光通信  
プロジェクタ [nt3]

#### 4.2 ARの光学的整合性における現状と課題

拡張現実感(AR)を実現するために、現実環境と仮想環境の間に解決すべき3つの整合性があると掲げられてきた。1つは、位置合わせを意味する幾何学的整合性、2つ目は時間同期に関する時間的整合性である。3つ目は、現実環境と仮想環境の見え方の整合性を意味する光学的整合性であり、その解決法には各環境間の照明環境や画質の一致が挙げられている。光学的整合性問題は、ARの実現に不可欠な幾何学的・時間的整合性が多く研究され実現されたのち、次の課題として位置付けられる形で、徐々に研究されるようになってきた。近年、現実環境のハイダイナミックレンジ(HDR)画像による照明環境推定[km1]や画質のずれ(ぼけ)の実時間推定[km2]により、光学的整合性を解決したARが実現されている。

一方、コンピュータグラフィックスの分野では、実時間性にこだわらず、古くからより高品質な現実環境と仮想環境の合成画像を生成する研究が行われている。近年では、HDRレンダリングなど人間の目では認識ができないほどの高品質な合成画像を生成することが可能になっている。そして近年、急激に高性能化されたグラフィックスハードウェア

(GH)を用いることで、これらの技術を実時間処理可能にし、よりクオリティの高い陰影の表現や、画質の一致を実現する例がARにおいて見られている。GHをいかにうまく利用するかが、光学的整合性に関する研究のポイントとなっているようにも思える。

しかし光学的整合性の今後の課題として、どこまで光学的整合性を実現するかという点を明確しなければならない。これからも続くであろうGHの高性能化により様々な光学的整合性に関する研究が現れると思われるが、実時間でシーンと視点が変化する拡張現実感では、各アプリケーションにおいて高精細な陰影表現や画質の不一致がどこまで人間に影響するがいまだ不明である。一般的に光学的整合性を解決するためには、現実環境の光源環境の推定、現実環境が撮影されたカメラの画質の推定、それらを用いた仮想物体のレンダリング処理と、非常に計算コストの大きい処理が必要となる。これらの処理を本当に行う価値があるか、どこまで行えばいいのの見極めが今後必要である。【神原 誠之】

### 5. MR応用

#### 5.1 MRの医療・福祉応用における現状と課題

Mixed Reality技術の研究の多くはレジストレーションに置かれているが、医療分野においてはこの問題がより一層シビアになる。例えば、脳外科手術などの神経系の手術ではミリメートル単位の精度が必要とされ、心臓血管系の手術では重ね合わせの対象物が大きく移動することから、臨床に必要とされる位置あわせ精度を実現することが困難であり、伊関ら[kt1]による先駆的な研究等が知られているものの、MR手術ナビゲーションは広く利用されるには至っていない。しかし、近年OsiriX[kt2]等の医療画像の高度表示環境がオープンソースソフトウェアとして提供される流れを受けて、細かい位置あわせに拘ることなくMRナビゲーションを試みること[kt3]が行われつつあり、今後医師主導でこれらの応用例が日の目を見ていく可能性がある。

MR医療応用のもう一つの可能性は、医学教育である。近年の医療費削減圧力や新研修医制度の導入による医局体制の崩壊を受けて、臨床現場で行われるOJTは限界に達しつつあり、また、動物愛護の流れを受けた動物を用いた訓練・研修の廃止の動きが欧州を中心に強まりつつあることから、これらを補完する手段としてのVRのニーズは高まりつつある[kt4]。MRは実際の臨床状況と解剖知識とを橋渡しする役割があると考えられており、マネキンを核とした教育ツールなどが提案されている[kt5]。

このほか、遠隔医療においてMR技術の適用を検討した例[kt6]もあるが、基礎となる遠隔医療分野そのものの整備が十分ではないことから、今後の発展が必要であろう。

一方、福祉分野での治療・リハビリ・障害スクリーニング・生活支援目的のVR応用研究例は数多く見受けられるが、MR技術の利用例はそれほど多くはない。正確には、MR

の利用例が多くないのではなく、MR と銘打って利用されている例が多くないと言うべきである。Upton[kt7]が聴覚障害者会話支援装置として開発した、世界最初のHMD付きウェアラブルコンピュータですで見られるように、ウェアラブルコンピューティングやユビキタスコンピューティングの福祉応用における情報の提示では、MR的なアプローチが当たり前のように行われており、いまさら「MR技術の導入」と呼ぶほどのことはないというのが現実である。福祉分野においては、他の分野で蓄積されてきたMR基礎技術群をどのように障害者支援機器の高度化に供することができるかについて考えることが必要であろう。【黒田 知宏】

## 5.2 MRの実ビジネス化推進における現状と課題

一般的なMRは、リアル世界の画像と、バーチャルなコンテンツやキャラクタの融合により実現される。表1に、撮影系に着目したシステムの分類を示す。

表1：撮影系によるMRシステムの分類

		撮影状況（撮影場所、撮影者）	
		常に固定	場所も撮影者も任意
カメラ機種	固定	【Ⅰ】 イベント・展示会場等での、大型展示設備等	【Ⅱ】 家庭用ゲーム機と、専用カメラの組み合わせ等
	任意	【Ⅲ】 補助員撮影による、携帯端末での撮影等	【Ⅳ】 一般ユーザ自身による、携帯端末での撮影等

【Ⅰ】群は設置時に、利用者の立ち位置や照明条件を考慮して、カメラ位置や画角を固定することができる。【Ⅱ】群は家庭やオフィスで不特定のユーザが利用する場合であり、カメラ機種が固定であっても、認識率向上を目的としたキャリブレーション操作のガイダンス提供が望ましい。【Ⅲ】群の場合、撮影端末の性能は一様ではないが、専門の補助員にはシステム動作に関する知識、および複数端末に対する操作経験があるため、画像認識に適した画像を撮影することができる。【Ⅳ】群では、ユーザ自身が自分の端末を用いて撮影することになるが、システムがどのように動作をするか、最初ユーザ自身は把握し難いため、その撮影は試行錯誤になり易い。一方で、潜在ユーザ数が最も多い適用領域とも考えられる。

ISMAR2007のデモセッションにおいては、デモ内容の半分が、モバイル端末・携帯電話に関するものであり[mf1]、民生分野でのMR技術の本格化が進みつつある。本稿では、実際に、カメラ付き携帯電話と紙マーカによるMRサービスを実施した経験から、MR技術の本格的普及への課題と思われることを以下に示す。

**課題：サービスの認知度** 一般ユーザは携帯MRサービスに関して、これまで経験がないため、自分が何をすれば良いのか分からない。例えばQRコードに関してはそのマーカを見ただけで、ユーザは自分が何をすべきか判断可能程、

ユーザの認知は進んでいる。しかし、現状の携帯MRサービスにおいては、統一的なマーカデザインは無く、むしろマーカデザインが技術的差異化や、サービス内容と深く関わっている場合が多い。この状況で一般ユーザの携帯MRサービスに対する認知度向上を如何に図るかが課題となる。

**課題：ユーザ端末利用における画像認識率** モバイル端末・携帯端末は半年おきに数十という機種が登場する。古いものは、撮影画素数も小さく圧縮率も高いため画像認識が困難である。レンズ歪、ピント合わせの有無も端末依存となる。また、撮影場所もユーザの自由であるため、照明環境は様々である。このように変動要素が多い状況下で、マーカのデザイン性を確保しつつ、精度の高い画像認識処理を実現することが必要となる。【前田 典彦】

参考文献

- [kk1] Kiyokawa: An Introduction to Head Mounted Displays for Augmented Reality, in Emerging Technologies of Augmented Reality (Ed. Haller et al.), Ch. III, Idea Group Inc., 2006.
- [kk2] Kiyokawa: A Wide Field-of-view Head Mounted Projective Display using Hyperbolic Half-silvered Mirrors, ISMAR, pp.207-210, 2007.
- [kk3] Kiyokawa et al.: An Occlusion-Capable Optical See-Through Headmount Display for Supporting Co-Located Collaboration, ISMAR, pp.133-141, 2003.
- [im1] 石黒, 大槻, 比嘉, 上坂, 木村, 柴田, 田村: Watch the Birdie! - 視聴覚MRと音イベント検出を利用した複合現実型アトラクション, VRSJ 第11回大会論文集, pp.281-284, 2006.
- [im2] 橋本, 岩田: 危険領域の力覚表現による手術支援環境, VRSJ 第2回大会論文集, pp.39-42, 1997.
- [im3] 梶本, 稲見, 川上, 館: 電気触覚を用いた皮膚感覚のオーグメンティドリアライ, VR論, vol.8, no.3, pp.339-348, 2003.
- [im4] 佐野, 武居, 望山, 菊植, 藤本: 表面歪検知レンズ(触覚コンタクトレンズ), 検査技術, vol.10, no.1, pp.8-12, 2005.
- [im5] 安藤, 渡邊, 杉本, 前田: 前庭感覚インタフェース技術の理論と応用, 情処論, vol.48, no.3, pp.1326-1335, 2007.
- [nt1] 加藤, 苗村: 2つの結像系を用いた複合現実型..., VR論, vol.12, no.3, pp.323-330, 2007.
- [nt2] 吉野, 苗村: u-soul: 超音波を用いた空間的な音像提示システム, VR論, vol.13, no.2, pp.239-246, 2008.
- [nt3] 北村, 苗村: DMDを用いた空間分割可視光通信..., VR論, vol.12, no.3, pp.381-388, 2007.
- [km1] Agusanto et al.: Photorealistic Rendering for Augmented Reality Using Environment Illumination, ISMAR, pp.208-216, 2003.
- [km2] Okumura et al.: Precise Geometric Registration by Blur Estimation for Vision-based Augmented Reality, ISMAR, pp.221-224, 2007.
- [kt1] 伊関, 南部, 杉浦, 村垣, 川俣, 堀, 高倉: VR技術を利用した最新の脳外科手術, バイオメカニズム学会誌, vol.25, no.2, pp.66-70, 2001.
- [kt2] Rosset et al.: An Open-Source Software for Navigating in Multidimensional DICOM Images, Journal of Digital Imaging, vol.17, no.3, pp.205-216, 2004.
- [kt3] 杉本, 安田, 幸田, 山崎, 手塚, 小杉, 斉陽, 大瀧, 仲: OsiriX支援CO<sub>2</sub> MDCTが構築するVR navigationによる内視鏡外科 IT surgery, 日本内視鏡外科学会総会, 2006.
- [kt4] 寺田, 和田, 黒田: シミュレーション医療教育の現状と今後の展望, VR医学, 2008(印刷中).
- [kt5] 後藤, 中山, 近藤, 木島: 患者モデルへの投影による医学教育支援, VR論, pp.555-558, 2003.
- [kt6] 末永, 飯野, 黒田, 大城, 千原: 遠隔超音波画像診断におけるプローブ操作指示システム, 信学論, vol.J83-D-II, no.1, pp.324-332, 2000.
- [kt7] Upton: Wearable Eyeglass Speechreading Aid, American Annals of the Deaf, V113, pp. 222-229, 1968.
- [mf1] 竹村, 加藤, 佐藤, 黒田, 大隈, 亀田: ISMAR2007 報告, 信学技報, PRMU2007-199, pp.261-268, 2008.