

複合現実感

～ 仮想と現実の融合はどこまで進んだか

キヤノン(株)
遠藤隆明
田村秀行

1 はじめに

現実世界と仮想世界の融合には2つの考え方がある。まず、コンピュータグラフィックス (CG) で仮想世界を描画するには自ずから表現力に限界があるから、物理的に現存する現実世界の生データを活用して補強しようという考え方。これを Augmented Virtuality (AV) という。一方、現実世界をベースにし、これをコンピュータで生成した電子データで機能拡張することを Augmented Reality (AR) という。技術的には、AVとARとの間に大きな隔たりはなく連続的であるので、仮想と現実の融合技術全体を「複合現実感」(Mixed Reality; MR) と総称している。バーチャルリアリティ (VR) の中でも、いま最も活発に研究されている分野の1つである^{1,2)}。

「複合現実感」という言葉を最初に用いたのは、1997年から筆者らが参加してきた基盤技術研究促進センターの出資案件「複合現実感システムに関する試験研究」(通称 MR プロジェクト) が最初で、仮想空間と現実空間の実時間での視覚的融合を本格的に取り上げた。試験研究期間は2001年3月に終了したが、このプロジェクトに触発され、当該分野の研究開発は活発化し、欧米でも「複合現実感」をテーマとした研究プロジェクトが次々と立ち上がっている。

MRの要素技術に関しては、論文誌特集号³⁾や国際会議録で知ることができるので、本稿では、MRプロジェクトで取り上げたテーマと成果⁴⁾を中心に、MR技術が今どこまで進歩し、これからどのように活用されようとしているのかについて概観する。

2 多数の実写画像を用いた仮想空間構築

2.1 実写IBRとその工夫

幾何形状データに物理的な属性を与えて画像を生成 (レンダリング) する従来のCG技法に対して、既存の画像をもとに新たな画像を再構成する描画法をイメージベースト・レンダリング (IBR) という。このうち、実写画像を用いての実時間対話的利用法が上述のAVに相当する。光の反射・屈折による古典的なレンダリング手法の限界を打破する方法として、今やCG分野で最も活発な研究テーマとなっている⁵⁾。

従来の幾何形状モデル (ポリゴンデータ) を経由しない描画法としては、光線空間 (Ray Space) と Light Field に基づく方法が、日米それぞれでほぼ同時に考案された。この2つは、光線の記述法 (図1) が若干異なるだけで、原理的には同等であることが判明している。

CGの実用分野では形状モデリングは極めて煩雑でコストのかかる作業であるため、ポリゴンデータが不要かつ実写画像のリアリティを活かせる方法として、この2つのIBR方法は大いに注目を集めた。この究極の実写画像活用型描画法は、任意視点の画像を再構成できる理論的基盤を有しているが、あらゆる場合に適用しようとすると撮影すべき画像が膨大になってしまう。このためIBR法を利用する上での現実解としては、大別して次のような工夫がなされている。

(1) 光線データに対するデータ圧縮、照明の変化を考慮した影づけの工夫、上下視差を無視し水平方向のみ

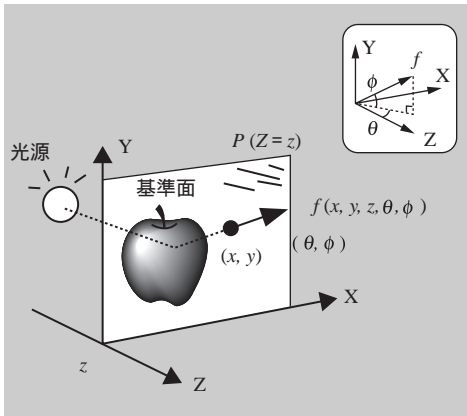
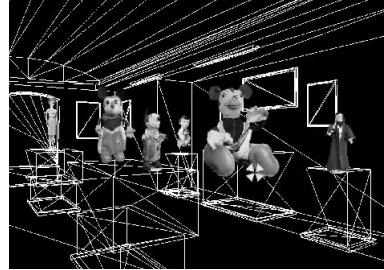


図1 光線空間法における光線記述方式



(a)背景はCG，展示物のみが光線データ (b)ハイブリッド描画の結果

図2 横浜キャラクターミュージアム/サイバー展示館 ©Disney

の視点移動に縮退させたアプローチ，高速描画のための専用ハードウェアの開発等々，光線空間や Light Field に関する種々の関連研究がなされている。

(2) 完全に幾何形状モデルを排除するのではなく，一部ポリゴンデータを有したままで実写画像を有効活用する折衷方式が現実的なアプローチとして存在する。AR と AV の間が連続的であるのと同様，幾何形状ベースとイメージベースとの中間にも様々な手法が考案されている。視点依存型テクスチャマッピング等もこの範疇に入る。この種の方法は，リアルタイム用途でなければ，既に劇場用映画（例『マトリックス』）の制作に利用されるレベルに達している。

2.2 CyberMirage と Cybercity Walker

実写画像による IBR は，複雑な形状や CG で表現しにくい微妙な質感を持つ物体や背景の描画法として有効である。筆者らはこの特性を生かし，CG で構築した仮想空間を背景に質感高く表現したい物体のみ光線データとして配置するハイブリッド描画システム CyberMirage を開発し改良してきた。当初仮想ショッピングモールを対象にしてきたが，最新の応用例「横浜キャラクターミュージアム/サイバー展示館」は，実存するオモチャ博物館の貴重なコレクションを質感高く鑑賞できるよう再現した AV システムである（図2）。

本システムは，SGI 社の高性能グラフィックコンピュータ Onyx2 上に構築されていたが，その後専用描画ハードウェアを開発し，さらに現在では標準的な PC とグラ

フィックボードで実時間映像空間体験が可能となっている。光線空間法はまだ馴染みが薄いが，今後ビデオゲーム等でもっと活用されていく技術である。

もう1つの AV 研究テーマとして，東京大学・廣瀬研究室との共同研究で，現存する都市空間や史跡等の広域の景観を映像的に記録し，AV 空間を体験するシステム Cybercity Walker を開発した⁶⁾。この研究のために，ルーフ上に多数のビデオカメラや各種位置姿勢センサを配した撮影専用車（図3）を用意した。通常のフィルム映像，ビデオ映像が撮影時の視点での映像再生しかできないのに対して，このシステムでは実写映像を再構成した映像空間を，あたかも人工的に生成した CG 映像空間のように実時間移動体験できる。

このシステムの魅力は，写実的仮想空間の移動に対して，時間分解能が密であることにある。原理的には，系統的に撮影した画像系列からの内挿により自由な視点移



図3 8台のビデオカメラを搭載した撮影専用車



動が可能だが、実用的には、多数のパノラマ画像を移動に応じて切り替える方法が簡便である。

実用性の向上には、撮影機材、収録機材の改善が望まれる。撮影車が入れない狭い場所には、ハンディな装置が必要となる。従来の魚眼レンズに加えて、円錐ミラーや角錐ミラーを利用したパノラマ映像獲得装置もこの目的に利用できる。また、発展形として、円周状のパノラマ画像でなく、全天周（半球状）画像を得るカメラ配置と画像再構成を試みた^{7,8)}。

3 現実世界と仮想世界の視覚的重ね合わせ

3.1 幾何学的整合と光学的整合

一方のAR技術では、現実空間と仮想空間の幾何学的整合（位置合わせ）と光学的整合（画質合わせ）が主たる研究課題である⁹⁾。

ARシステムは、透過型のHMD（Head Mounted Display）に映像を重畳表示する「光学シースルー方式」が基本形である。これに対して、遮閉型HMDにビデオカメラを装着して外界を観察する「ビデオシースルー方式」が考案されている。いずれの場合にも、観察者（体験者）の移動に追従した現実・仮想両空間の幾何学的整合は、観察者（もしくはカメラ）の視点位置と方位を求める問題に帰着できる。

従来のVRシステムで用いられてきた磁気センサや超音波センサ等の3次元トラッカは、測定誤差が大きいこと、行動範囲に限られる等の問題があり、そのままではAR/MRシステムには利用できない。ビデオシースルー方式の場合、対象となる情景の画像が得られるので、画像中の特徴点を抽出することにより、カメラパラメータを決定する方法が各種提案されている。この種の方法では、安定した特徴点を見つけるために、人為的なマーカー（ランドマーク）を対象領域に貼りつけることが多い。さらに高精度を得るためには、トラッカとマーカー抽出を併用したハイブリッド方式が適している¹⁰⁾。MRプロジェクトでは、主としてこの方式を採用してきた。

画質的には、光学シースルー方式では、電子的に表示される映像と光学系のみを透して見る実世界の光景との

本質的な整合は不可能である。あくまで付加的情報の重畳表示と割り切って、コントラスト等を調整する。特に明るい現実環境の下では、暗いCG映像はほとんど視認できない。一方のビデオシースルー方式では、ビデオ信号同士の合成（実際はコンピュータ内での合成）となるので、画質的な違和感はずっと少なくなる。

違和感の別の要因は、陰影の不一致である。現実世界と仮想世界の継ぎ目ない融合には、両者の照明環境も一致させる必要がある。仮想物体が現実世界に落とす陰影を、現実世界での光源を推定して表現することにより、この不一致を解消することができる。

3.2 HMDの復権

10余年前「バーチャルリアリティ」という言葉が登場した頃、HMDはその象徴的存在であった。しかし、装着感の悪さ、ディスプレイの解像度の低さから、VRの主たる実現形態は大型スクリーンに取って替われ、かつて数十社あったHMDのベンダーはほとんどその姿を消した。その後、小型軽量の「メガネ型テレビ」が製品化されたが立体視機能はなく、現在VR用途で利用するに足るHMDは市販されていない。

MR、なかんずく本格的なAR用には、シースルー（ST）HMDは必要不可欠であり、固定式のハーフミラー等では利用者の視点移動に追従できない。MRプロジェクトではやむなく、光学・ビデオ両方式のST-HMDを自主開発し利用してきた。図4はビデオカメラを内蔵した

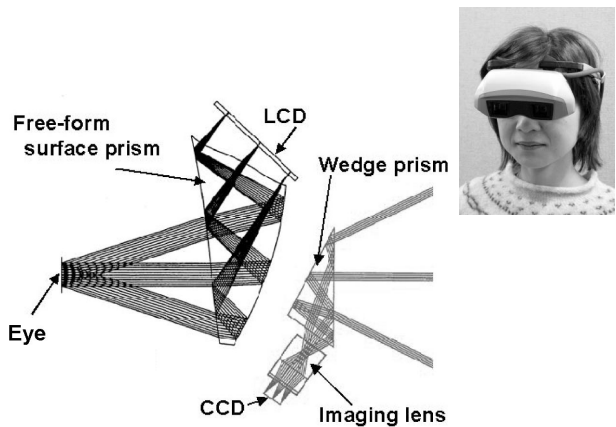


図4 視差なしビデオシースルーHMDの光学系

ビデオST-HMDである。自由曲面プリズムを利用して小型化を図るとともに、視差をなくすため、撮像光学系と表示光学系の光軸を一致させている¹¹⁾。

操作対象物と背景がフルCGのVRの場合でも、このビデオST-HMDは威力を発揮する。自分の手足や共同利用者が知覚できることが、安全性や協調作業効率を向上させるからである。

このST-HMDを入手し、自らMRシステムを構築したいという要望が世界中から寄せられている。このため、HMDと位置合わせソフトの基本ライブラリをセットにしたMRプラットフォームを、研究開発用途に限りリリースすることを計画中である¹²⁾。

3.3 最近の研究動向～インドアからアウトドアへ

MRプロジェクトでは、10数種類のARシステムを開発し、いずれも実時間対話型で一般利用者が体験できるレベルに達した。AR研究の最先端は、単なる現実・仮想空間の重ね合わせのレベルを脱し、実物体と仮想物体の相互隠蔽、相互影づけ、衝突判定を含む操作といった困難な課題への挑戦が始まっている。最近、世界各国で研究人口も増え、応用分野の開拓も進んでいる¹³⁾。

こうした合成・融合の方式研究が進む中で、利用環境は屋内から屋外へと向かいつつある。正確な位置合わせを行わず、文字や地理情報等を重ねる程度のウェアラブル・コンピュータならそう難しくもないが、屋内並みの複合現実感システムを屋外で実現するのは易しくない。屋外用途では、位置合わせに利用できる物理センサに制

約があり、また明るい環境光下での画質合わせも大きな問題だからである。

図5、図6は、MRプロジェクトで開発した屋外装着型システムTOWNWEARの概観と利用例である¹⁴⁾。高性能の光ファイバー・ジャイロと調光機能をもった光学シースルーHMDを利用し、性能的には現在世界最高レベルにあるが、PCやバッテリーを入れたバックパックとヘルメットの重さは計7.9kgもある。重量や価格面で、まだまだこれから研究開発すべき課題は少なくない。

4 むすび～新映像産業への期待

MR技術は、現実世界の計測・認識や仮想世界のデザイン・描画も含んだ複合的な技術体系であり、研究的にもビジネス的にも魅力的な分野である。現在我が国は、この分野で先導的役割を果たして、若い研究者の参入も少なくない。学術レベルでの研究は益々活発化するだろうから、要素技術が向上することは間違いない。

MRプロジェクト開始当初は、応用分野として、医療・福祉、建築・都市計画・防災等をあげたが、最近ではアートやエンターテインメント分野からの関心が高い。また、博覧会/展示会、博物館、ショールーム等の展示分野を一新させる可能性を秘めているとの声もある。ビジュアル・デザインにとっては、現実世界と仮想世界のいずれもがその対象となるので、両者をどうバランスさせるかが、アーティストやデザイナーの腕の見せどころである。



図5 屋外での利用形態



図6 屋外シーンと仮想建築物の合成例（左：隠蔽なし、右：隠蔽あり）



実際，MRプロジェクト関連で開発した複合現実型ゲームとインタラクティブ・アートは，それぞれマルチメディアグランプリ技術賞とメディア芸術祭優秀賞を受賞した。また，プロジェクトの研究成果発表会の展示自体が，ディスプレイデザイン奨励賞を受けた。MR技術にクリエイティブ分野から大きな期待が寄せられていることが分かる。

映像制作におけるデジタル技術の利用は急速で，SFX映画での実写とCGの合成は当たり前となった。ゲームやウェブ・コンテンツ制作にもその影響は及びつつある。こうした中で，MR技術が新しい映像産業を生み出すものとして期待されている。

参考文献

- 1) 田村，大田：“複合現実感”，映像情報メディア学会誌，Vol. 52, No. 3, pp. 266-272 (1997)
- 2) Y. Ohta and H. Tamura (eds.): Mixed Reality Merging Real and Virtual Worlds, Ohmsha & Springer-Verlag (1999)
- 3) 「複合現実感特集号」，日本VR学会論文誌，Vol. 4, No. 4, pp. 587-705 (1999)
- 4) H. Tamura, H. Yamamoto, and A. Katayama: “Mixed reality: Future dreams seen at the border between real and virtual worlds,” IEEE Comput. Graph. & Appls., Vol. 21, No. 6, pp. 64-70 (2001)
- 5) 片山，田村：“イメージベーストモデリング&レンダリング”，計算工学，Vol. 4, No. 2, pp. 21-26 (1999)
- 6) M. Hirose, T. Tanikawa, and T. Endo: “Building a virtual world from the real world,” In 2), 183-197 (1999)
- 7) 遠藤他：“多視点画像からの全天周画像の生成手法”，日本VR学会第5回大会講演論文集，pp. 415-418 (2000)
- 8) 遠藤，廣瀬：“同上(2) 実写画像への適用”，同第6回大会論文集，pp.283-286 (2001)
- 9) R. Azuma: “A survey of augmented reality,” Presence, Vol. 6, No. 4, pp. 355-385 (1997)
- 10) 佐藤，山本，田村：“カメラと3次元センサの組み合わせによる現実空間と仮想空間の位置合わせ手法”，日本VR学会論文誌，Vol. 4, No. 1, pp. 295-302 (1999)
- 11) A. Takagi *et al.*: “Development of a stereo video see-through HMD for AR systems,” Proc. 2nd Int. Symp. on Augmented Reality, pp. 68-77 (2000)
- 12) http://www.mr-system.co.jp/mr-platform_j/

- 13) R. Azuma *et al.*: “Recent advances on augmented reality”, IEEE Comput. Graph. & Appls. Vol. 21, No. 6, pp. 34-47 (2001)
- 14) 穴吹他：“屋外装着型複合現実感システムの開発と応用”，日本VR学会第6回大会 論文集，pp. 277-280 (2001)

Mixed Reality—Recent Progress in Merging Real and Virtual Worlds

Takaaki Endo Hideyuki Tamura

MR Systems Laboratory, Canon Inc.

Mixed Reality (MR) which merges real and virtual worlds in real time is one of the most advanced and prominent topics in virtual reality field. In the MR Research Project propelled in Japan, we have completed many innovative technical achievements and demonstrated various promising applications. Reviewing and evaluating its final results, this paper describes the current status and future prospect of MR technologies.



エンドウ タカアキ

所属：キヤノン㈱ MRシステム開発センター
連絡先：〒152-0031 東京都目黒区中根2-2-1
Tel.03-3723-2964 Fax.03-3723-6208

経歴：1994年東京大学工学部機械情報工学科卒業，1996年同大学大学院工学系研究科（機械情報工学専攻）修了。同年，キヤノン㈱入社。以来，複合現実感の研究に従事。1997～2001年㈱エム・アール・システム研究所に赴任。1998年日本バーチャルリアリティ学会学術奨励賞受賞。日本バーチャルリアリティ学会，電子情報通信学会会員。工学博士。



タムラ ヒデユキ

所属：キヤノン㈱ MRシステム開発センター
所長

連絡先：〒152-0031 東京都目黒区中根2-2-1
Tel.03-3723-3294 Fax.03-3723-6208

経歴：1970年京都大学工学部電気工学科卒業。工業技術院電子技術総合研究所主任研究官を経て，1986年キヤノン㈱入社。現在同社MRシステム開発センター所長。1997年1月より㈱MRシステム研究所取締役を兼務（現在，専務取締役）。

1998年より静岡大学情報学部講師。工学博士。画像情報処理，マルチメディア，複合現実感等の研究推進と実用化に従事。日本バーチャルリアリティ学会理事及び同複合現実感研究委員会委員長。情報処理学会論文賞等を受賞。編著書は「コンピュータ画像処理入門」（総研出版）「デジタル映像」（日本経済新聞社）「電脳空間右往左往」（NTT出版）等。