

現実世界と仮想世界を融合する複合現実感技術—I

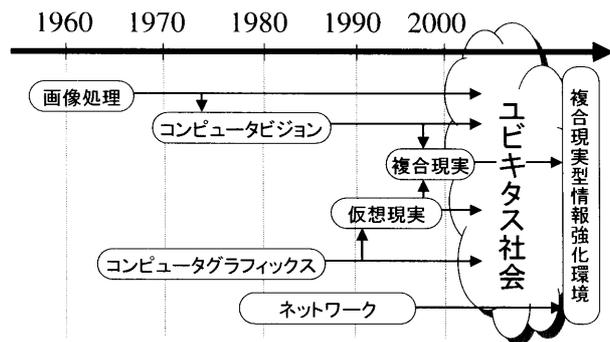
複合現実感とは

横矢 直和*

1. はじめに

「複合現実感」(MR: Mixed Reality) [1] は, 現実世界と仮想世界を継ぎ目なく融合して人間に提示する技術の総称であり, 最近では, 愛知万博において人気を博したMR展示に代表されるように, 研究室の中にとどまっていたMR技術が新しい情報提示手法として一般社会に姿を現してきた。現実世界と仮想世界の融合というと, 映画の世界で以前から行われている実写とCGの合成がまず連想されよう。MRでは, 人手と時間をかけて行っていた実写とCGの合成処理を実時間で行うことが基本となる。

複合現実感とは, 広義の「仮想現実感」(VR: Virtual Reality) である。VRという言葉が現れたのは1989年といわれており, その発展・進化形としてMRの概念が提唱されたのは1990年代の中頃である。したがって, VRの誕生から15年余り, MRについては10年程度の歴史しかない比較的新しい技術分野であるが, 近年では, ネットワーク技術やウェアラブルコンピュータと結びついて, ユビキタスネットワーク時代の中核技術の一つと考えられるようになってきた。周辺技術分野との関係を第1図に示す。



第1図 複合現実感と周辺技術分野

本講座では, 複合現実感の技術分野, 具体的な方法論, および応用システムの事例を概観し, 分野の全体像を系統立てて紹介する。専門家に対する解説ではなく, 学会誌の一般読者を対象とした講座という立場から, 具体的な事例の紹介を交えたわかりやすい解説を目指したい。

* 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

Key Words: mixed reality, virtual reality, augmented reality, augmented virtuality.

まず第一回は入門編として, 複合現実感の歴史と技術分野, 基本的な映像合成・提示方式, 想定されている代表的な応用分野を概観する。

2. 複合現実感の歴史と技術分野

「複合現実感」という言葉は, 1997年からキャノンの田村らによって推進された旧通産省主導の研究開発プロジェクト「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) [2] において初めて使用されたが, これは1994年にトロント大学のP. Milgramによって提唱されたMixed Reality (MR) の訳語である [3]. それ以前には, コロンビア大学のS. Feinerによって, 電子的なデータを重畳表示することによって現実世界を強化・増強・拡張する「拡張現実感」(AR: Augmented Reality) の概念 [4] が提唱されていた。P. Milgramの定義によるMRは, 第2図に示すように, 現実世界と仮想世界の間を連続的な概念としてとらえ, 前述のARに加えて, 現実世界の情報を仮想世界に付加する, あるいは現実世界の情報を用いて仮想世界を構築する「仮想化現実」(AV: Augmented Virtuality) を包含する枠組になっている。CMUの金出らは, 多数のカメラを配置したドーム状の実空間の中で動く物体を対象として, コンピュータビジョンの手法を駆使した自動処理によって時間軸を含む4次元の仮想世界を構築し, Virtualized Realityとよんだ [7]. これは究極のAVといえよう。

MRは前述のように北米発祥の技術であるが, 我が国が先導的な役割を果たしてきた数少ない技術分野である。細々とした当該分野の研究に大きな衝撃を与えたのが先のMRプロジェクトである。同プロジェクトがMR技術の存在と具体的な応用の可能性を世の中に広く知らしめたといえる。この日本の活動に触発されて, EUにおいてMR関連プロジェクトが矢継ぎ早に発足した。なお, MRプロジェクトの概要報告については参考文献 [2,5,6] を参照されたい。



第2図 現実世界と仮想世界間の連続的な概念を包含する複合現実感

MRの技術分野は前述のように、現実世界をベースに、それを仮想世界の電子的なデータで増強するAR技術と、仮想世界に現実世界の情報を付加するAV技術に大別されることが多いが、最近では、現実世界の情報をもとにAV技術によって構築された仮想世界をAR技術によって現実世界に融合させることもある。したがって、MRは現実世界と仮想世界の間でARとAVが渾然一体となった複合世界であるが、技術内容の理解を容易にするために、以下ではARとAVを区別して説明する。なお、人間は五感によって世界を知覚しており、究極のMRは現実世界と仮想世界のマルチモーダルな融合技術と考えられるが、本講座では、これまでに精力的に研究が行われてきた視覚を対象とした技術について述べる。

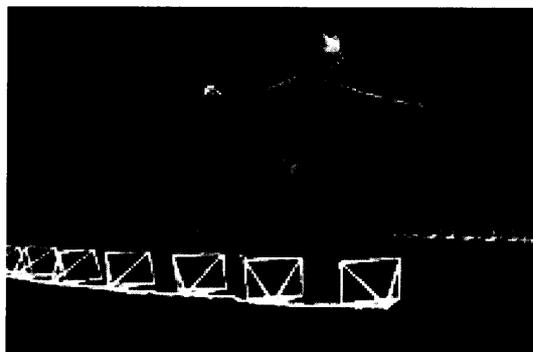
3. 現実世界と仮想世界の融合

3.1 仮想化現実: AV

現実世界と仮想世界を継ぎ目なく融合するためには、現実世界に匹敵する写実性が仮想世界に求められる。CGのみで表現する仮想世界の写実性に関しては古くから限界が指摘されており、仮想世界を実写データで補強するという考え方が採られてきた。また、究極のAVでは現実世界の実写データのみから仮想世界を構築する「現実世界の仮想化」とよぶべきアプローチも存在する[8]。

モデルベーストレンダリング

最も簡単でAVの萌芽と考えられるものは、既知の幾何形状の表面に実写画像を貼り付けるテクスチャマッピングである。この幾何形状そのものも現実世界から取り込むことが考えられ、そのためにコンピュータビジョンの分野で古くから取り組まれてきた3次元物体・シーンのモデル化技術が利用される。3次元モデル化技術は、レーザレンジファインダ等を用いる能動的手法と画像から3次元形状を復元する受動的手法に大別される。第3図は手持ちのビデオカメラで撮影した動画像から受動的な手法であるshape-from-motion技法によって建物の3次元復元を行いテクスチャマッピングを施した例である。



第3図 Shape-from-motionによる3次元モデル化

このような幾何形状モデルの取得を経由するモデルベーストレンダリング(MBR)は以下のような特徴もっている。

- 幾何形状を持っているため自由な視点移動に対応した描画が容易であり、仮想物体との奥行き隠蔽関係の表現や衝突判定も可能である。
- 比較的単純な形状をした物体については形状モデルの取得が容易であるが、第3図のモデリング例でもわかるように、複雑な形状や表面材質によっては表面形状の取得そのものが難しい。
- テクスチャマッピングに用いられる画像は撮影時の照明条件の影響を受けており、仮想世界に取り込まれたモデルを任意の仮想照明条件で描画しようとするとも照明条件の矛盾が生じ、違和感を感じる。この問題を解決するためには、画像から撮影時の照明条件の影響を除去し、物体固有の表面反射特性を求めておく必要がある。

イメージベーストレンダリング

現実世界の幾何形状モデルの取得が難しいという問題に対して、幾何モデルを経由しない描画法が考案された。既存の画像をもとに新たな視点の画像を生成するイメージベーストレンダリング(IBR)である。IBRはCG分野で活発に研究が行われ、AVのための中心的な手法となっている[9]。IBRの原形は、複数の離散的な視点で描画した画像間をモーフィング処理で補間する視点補間であるが、基本的には画像間の対応関係が既知であることが前提になっており、実写画像に適用しようとするとも複数画像からの3次元復元と同じ対応点探索問題に直面する。実写画像を用いたIBRが広く注目されるようになった契機は、日米で独立にほぼ同時期に考案された光線空間理論とLight Fieldの登場である[10]。両理論は、実写画像を現実世界の光線情報の集合としてとらえて光線空間を記述する。多次元情報空間の定義の仕方が異なるだけで、原理的に両理論は等価である。

IBRと総称される手法は以下のような特徴もっている。

- 光線空間理論やLight Fieldを利用すれば、あらかじめ必要な画像群を取得しておくことによって、幾何モデルなしに写実性の高い任意視点画像を描画できる。ただし、現実の複雑なシーンを対象とすると画像データが膨大な量になる。このためデータ圧縮が重要な課題になる。
- 全く幾何形状モデルを持たない場合には、仮想物体との奥行き隠蔽関係の表現や衝突判定は一般には不可能である。
- 幾何形状モデルを持たない実写ベースのIBRでは、実写画像が撮影時の照明条件の影響を受けているため、任意の仮想照明条件下での描画はMBR以上に難しい。

テレプレゼンス

時間的あるいは空間的に離れた遠隔実世界にあたかも実際にいるかのような没入感を与える技術にテレロボティクス研究を起源とするテレプレゼンス技術がある。

この技術は現実世界をコンピュータに取り込み、仮想世界として人間に提示するという意味で AV の一種と見なすことができる。最初に注目されたのは複数の静止画像を張り合わせて生成したパノラマ画像を 360 度自由に見回すことのできる Quick Time VR[11] である。その後、全方位ビデオカメラを用いて動的な環境を自由に見回すシステムも開発された [12]。これらはいずれも視線は自由に変えられるが、視点は撮影地点あるいは撮影ルート上に制限される。当初は、広域環境撮影用の車両等を用いてあらかじめ撮影した全方位ビデオを再生しながらの蓄積再生型テレプレゼンスが行われていたが、最近では、インターネット越しの実時間テレプレゼンスも可能になっている。自由な視点移動を実現するためには上述の MBR や IBR を組み合わせ、実時間で描画する必要がある。

3.2 拡張現実感: AR

現実世界を仮想世界の電子的なデータで増強する AR においては、現実のシーンあるいはその映像に対して仮想物体の実時間重畳合成を行う。第 4 図 (a) は屋外においてユーザの眼前のシーンに CG を重畳合成した AR 環境とそれを眺めているユーザの合成画像である。この例では、平城宮跡にいるユーザに対して大極殿の CG が復元された第二次大極殿の基壇の上に重畳表示されており、ヘッドマウントディスプレイ (HMD) を装着したユーザの移動に応じて実際にユーザの目の前に大極殿が存在するかのように提示される。ユーザが基壇に上れば、第 4 図 (b) のように大極殿の内部から外を眺めているかのような感覚を得ることができる。ここで、大極殿の柱の間から見えているのは現実の平城宮跡の情景である。

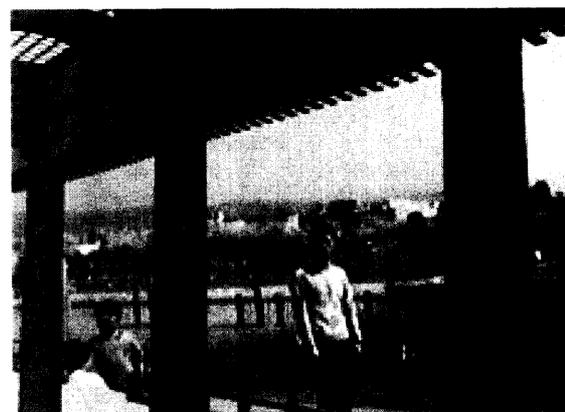
AR においては、現実世界と仮想世界の継ぎ目がわからないように違和感なく両世界を融合し、自由な視点移動を行うユーザに実時間で提示する必要がある。そのためには以下のような両世界の間の整合性に関する課題を解決しなければならない。

幾何的整合性

現実世界と仮想世界の幾何的關係を保ちつつ映像合成を行う必要がある。すなわち、ユーザ視点の移動に関わらず現実世界と仮想世界の座標系を一致させて両世界の間で位置ずれが生じないようにしなければならない。この幾何的位置合せの問題はユーザ視点の位置と方向を実時間で計測する問題に帰着する。現実世界と仮想世界の間での幾何的整合性の欠如は合成映像を見た人間に違和感を与える最大の要因となるため、これまでの AR 研究の大半は幾何的整合性問題の解決に向けられてきたといっても過言ではない [1]。より高度な融合処理においては、この位置ずれの解消以外に、実物体と仮想物体の奥行き隠蔽関係の表現や衝突判定に基づく相互作用の実現も求められる。このためには実物体の位置と形状の実時間計測が必要となる。



(a) ユーザと AR 環境の合成画像



(b) 大極殿の基壇におけるユーザ提示画像

第 4 図 平城宮跡における拡張現実感

光学的整合性

仮想物体が写実性の高い CG オブジェクトである場合には、現実世界と仮想世界の照明条件の不一致による画質の不連続が違和感の主要な要因となることが多い。この画質の不一致を解消するためには、現実世界の照明環境を計測し、現実世界と同じ照明条件で CG を描画する必要がある。さらに、実物体と仮想物体の相互影づけも重要であり、これを厳密に実現しようとする、上記と同様に、実物体の位置と形状の実時間計測が必要となる。第 5 図に光学的整合性の有無による合成画像の印象の違いを示す [13]。同図 (a) では仮想物体 (正 12 面体の CG) が実物体のテーブル上に落とす影がないために、仮想物体が空中に浮いているような不自然な印象を受ける。それに対して、同図 (b) では光学的な整合性が確保され、正 12 面体がテーブルの上に実際に置かれているように感じる。

時間的整合性

ユーザ自身を含む動的な現実世界に仮想物体を重畳合成する場合には、ユーザ視点の位置と方向を計測するためのセンサや仮想物体を描画するための時間遅延が発生し、合成された現実世界と仮想世界に時間的なずれが生じる。この時間ずれを極力抑えなければならない。合成映像の提示方式によっては、現実世界と仮想世界の時間



(a) 光学的整合性なし



(b) 光学的整合性あり

第 5 図 現実世界と仮想世界間の光学的整合性の有無による印象の違い (東京大学 佐藤いまり, 佐藤洋一, 池内克史の各氏の厚意による)

ずれが大きいと幾何的整合性や光学的整合性の破綻につながる。

4. 複合現実環境の提示方式

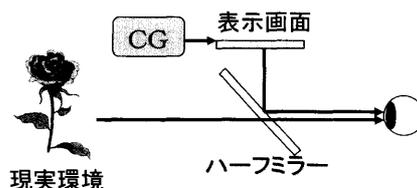
複合現実環境をユーザに提示する方式としては、当初から、ユーザが頭部に装着して画像を観察するシースルー型のヘッドマウントディスプレイ (HMD) が主流であるが、CAVE に代表されるような没入型投影ディスプレイも用いられる。また最近では、プロジェクタで実物体に直接映像を投射する方式も現れてきた。

4.1 HMD

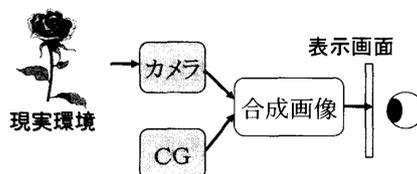
HMD を用いて MR 環境を提示する方式には、光学シースルー方式とビデオシースルー方式がある (第 6 図参照)。両方式とも、両眼に視差のある映像を提示すれば立体視が可能である。以下に述べる現実環境と仮想環境の同期ずれの問題等から MR にはビデオシースルー方式が優位であるが、同方式は視野を現実世界から完全に遮断するため、屋外ウェアラブルシステム等では安全性の観点から光学シースルー方式を採用することも多い。

光学シースルー方式

光学シースルー方式では、第 6 図 (a) に示すように、シースルー型 HMD のハーフミラーを通して外界の現実世界を見ながら眼前に仮想世界の映像を提示する。この方式では網膜上で現実世界と仮想世界を融合することになる。光学シースルー方式は以下のような特徴をもっている。



(a) 光学シースルー方式



(b) ビデオシースルー方式

第 6 図 光学シースルー方式とビデオシースルー方式

- 現実環境は時間遅れなく提示されるが、仮想環境の描画時間に応じた同期ずれが発生し、ユーザには位置ずれとして知覚される。
- 通常的方式では仮想物体は半透明に提示され、仮想物体を通して現実世界が見える。
- 実物体と仮想物体の奥行き隠蔽関係の表現が一般には難しい。

ビデオシースルー方式

ビデオシースルー方式では、第 6 図 (b) に示すように、HMD を装着したユーザの視点付近に取り付けたカメラで撮影した現実世界の映像に仮想世界の映像を合成し、合成映像を HMD に表示する。ビデオシースルー方式は以下のような特徴をもっている。

- 現実環境と仮想環境は同期して提示されるが、提示画像全体に時間遅延が発生する。
- 実物体と仮想物体の奥行き隠蔽関係の表現が容易である。

通常のシースルー HMD にカメラを取り付けるとカメラの光軸と表示デバイスの光軸が一致せず、視点に近い物体を観察した際に立体感が正しく知覚されない。この問題を解消するために、前述の MR プロジェクトでは、光学系を新たに設計し、撮像系と表示系の光軸を一致させた MR 用のカメラ内蔵型ステレオビデオシースルー HMD を開発している [5] (第 7 図参照)。



第 7 図 ビデオシースルー HMD の外観

4.2 没入型投影ディスプレイ

VRで用いられてきた視野を被う大型スクリーンとマルチプロジェクタからなる没入型投影ディスプレイ (IPT: Immersive Projection Technology) もMRに利用されている。ユーザはHMDのような装着感がなく、立体視用の眼鏡程度で高い臨場感を得ることができるという利点があり、テレプレゼンス等に利用されることが多い。ただし、設備が大掛かりになり、設置場所は限定される。この提示方式の場合には、現実世界に対する仮想物体の合成はビデオシースルーと等価な方式になる。第8図は三面傾斜スクリーン、歩行装置、およびマルチプロジェクタからなるIPTに全方位ビデオ映像を表示し、仮想化された現実環境のウォークスルーを行っている例である。



第8図 歩行インターフェイスを有する没入型投影ディスプレイ

4.3 投射型MRディスプレイ

近年、プロジェクタの小型可搬化に伴い、プロジェクタから映像を実物体に直接投射することによってMR環境を実現する研究が現れてきた。これはHMD型MRとの対比でプロジェクタ型MRとよぶこともある。HMD型MRと比べると、ユーザが特殊な機材を装着する煩わしさがなく、ユーザの視点移動に伴う位置ずれが原理的に起こらない、複数ユーザが互いの顔を視認できるため協調作業に向いている、といった利点がある。初期の研究では、現実世界に合成する仮想物体と同じ形状の拡散反射性の白色実物体を用意することが多かったが、最近では、任意の形状・テクスチャを有する実物体に対して、リアルタイムに幾何補正と色調補正を行った映像を投射する「どこでもディスプレイ」の研究[14]もある。これらはMR型情報提示方式としての可能性と同時に、プロジェクタの高機能化という側面をもっている。

5. 複合現実感の応用分野

AV技術とAR技術を包含したMR技術は広義のVRである。CGのみでコンピュータ内に仮想環境を構築する狭義のVRと比較すると、AVは現実世界を仮想環境に取り込む、ARは仮想環境を現実世界に持ち出すとこ

ろが大きな特徴となっている。そのため、閉鎖された空間での仮想体験に限定されていた狭義VRの応用を現実世界に広げることが可能となり、これまで体験したことのない新たな情報提示手段を提供することが期待されている。ここでは、将来の実用化が有望視されている具体的な応用分野とそこでの課題について述べる。

医療診断・手術計画支援

AR研究の黎明期から想定されていた応用分野である。人体の上にCTやMRIで取得した人体内部の映像およびCGを重畳表示することによって診断や手術を支援しようというものである。手術手順の重畳表示を行うことによって医学生を対象とした教育目的での利用も考えられる。医療分野での応用ではユーザが広範囲を動き回することは少ないので広域での位置合せは必要ないが、きわめて高い精度での幾何的位置合せが要求される。

屋内外の案内・誘導

ウェアラブルシステムを装着した歩行者を対象とした「MRヒューマンナビ」や車載型の「MRカーナビ」が考えられている。MRヒューマンナビでは、街中や観光地の案内、非常時の避難経路への誘導等にAR情報提示が威力を発揮しよう。この目的では必ずしもセンチメートル・ミリメートル単位の高精度な位置合せは必要なく、屋内外を広範囲に動き回るユーザに対しての連続的な位置合せが要求される。また、機器をユーザが装着することが前提となるため、映像提示装置を含む機器の小型化が必須である。当面は、GPSやカメラ等を搭載した携帯電話やPDAによる簡易的なAR情報提示が有望である。MRカーナビにおいては、運転時の安全性を確保しつつAR情報提示をいかに実現するかが鍵になる。

作業支援・埋設物確認

各種産業機器の保守作業において作業手順をAR提示することによる作業支援が古くから考えられていた。作業手順の提示以外に、壁や床下の配線、地中のガス管・水道管等の不可視物をAR技術を用いて可視化することによって作業効率と同時に安全性の向上を図ることができよう。この応用においても機器の小型化が必要である。

都市計画・インテリアデザインのためのシミュレーション

都市計画においては、CG表現された建設予定の建物や構造物をAR技術を用いて現場で重畳表示することによって、臨場感の高い景観シミュレーションが可能になる。住宅や自動車のインテリアデザインへのAR技術の応用も有望である。この種のデザイン応用では、見た目の印象としてのシミュレーション結果と現実の差をできる限り小さくする必要があり、幾何的位置合せに加えて、高いレベルでの光学的整合性の確保が要求される。

アミューズメント・エンタテインメント

テーマパークなどでのアトラクションにAR表示を利用することが考えられる。また、テレプレゼンスシステムを用いた仮想観光などの現実世界の仮想体験も有望である。愛知万博においてMR展示が好評を博したという

事実によってMR技術が展示分野に革新をもたらすという期待が益々大きくなっている。この分野では、画質の向上と魅力的なコンテンツの充実が成功の鍵となろう。

テレビの番組制作においては既にバーチャルスタジオやスポーツ中継にMR技術が一部導入されているが、カメラは既知の場所に固定されているか決められた動きしか許されないことが多い。今後、自由なカメラワークのもとで同様のことを行うためにMR技術の本格的な導入が期待される。映画制作においてもMR技術の導入によって、映像制作段階での実写とCGの合成処理の自動化が期待できるが、さらに、プレプロダクション段階において、ロケ現場でのライブアクションとCGの実時間合成を俳優視点とカメラ視点で確認するMR型PreViz機能の実現は映画制作に革新をもたらす可能性がある。ただし、映画制作はすべての面で要求水準が高いため、それをクリアできるか否かが鍵になる。

文化遺産・自然遺産のデジタルアーカイブ

現実世界の仮想化を目的としたAV技術の直接的な応用に文化財等のデジタルアーカイブがあり、実際に、国内外で研究プロジェクトが推進されてきた。しかし、AV技術を用いてアーカイブを作成するだけでは一般ユーザを対象とした応用にはなり得ない。作成されたアーカイブがAR表示と結びつくことによって、博物館に革新をもたらす可能性がある。とくに、アーカイブのAR表示と前述のAR型屋外案内システムを統合すれば、遺跡そのものをMR型博物館にすることができる。

6. おわりに

本稿では、連載講座「現実世界と仮想世界を融合する複合現実感技術」の第一回として、複合現実感技術の全体像と応用分野を概観した。最後に、最新の専門的な知識を得るための学会情報を示して、入門編の結びとしたい。

● 国際会議

複合現実感国際会議 (IEEE/ACM Int. Symp. on Mixed and Augmented Reality (ISMAR))

2002年に設立された統一会議。米国東海岸・西海岸、欧州、日本の持ち回りで毎年開催。最新の2005年については、<http://www.ismar05.org/>参照。

● 国内学会・研究会

日本バーチャルリアリティ学会複合現実感研究委員会 (<http://www-php.ime.cmc.osaka-u.ac.jp/SIGMR/>)

研究会・セミナーを年3~4回開催。

MR関連の原著論文は国内では以下の論文誌に掲載されることが多い。

- 日本バーチャルリアリティ学会論文誌
- 電子情報通信学会論文誌 (D-II)
- 情報処理学会論文誌：コンピュータビジョンとイメージメディア

(2005年8月23日受付)

参考文献

- [1] Y. Ohta and H. Tamura (Eds.): *Mixed Reality - Merging Real and Virtual Worlds*, Ohmsha & Springer-Verlag (1999)
- [2] 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 (1998)
- [3] P. Milgram and F. Kishino: A taxonomy of mixed reality visual display; *IEICE Trans. Information & Systems*, Vol. E77-D, No. 12, pp. 1321-1329 (1994)
- [4] S. Feiner, B. MacIntyre and D. Seligmann: Knowledge-based augmented reality; *Commun. ACM*, Vol. 36, No. 7, pp. 52-62 (1993)
- [5] 山本: 複合現実感-仮想と現実の境界から見える世界-; 情報処理, Vol. 43, No. 3, pp. 213-216 (2002)
- [6] 田村: 複合現実感研究プロジェクト; 計測と制御, Vol. 41, No. 9, pp. 645-648 (2002)
- [7] T. Kanade, P. Rander and P. J. Narayanan: Virtualized reality: Constructing virtual worlds from real scenes; *IEEE Multimedia*, Vol. 4, No. 1, pp. 34-47 (1997)
- [8] K. Ikeuchi and Y. Sato (Eds.): *Modeling from Reality*, Kluwer (2001)
- [9] 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)
- [10] 苗村: 実写とCGの融合; 映像情報メディア学会誌, Vol. 53, No. 7, pp. 923-926 (1999)
- [11] S. E. Chen: Quick Time VR - An image-based approach to virtual environment navigation; *Proc. SIGGRAPH'95*, pp. 29-38 (1995)
- [12] Y. Onoe, K. Yamazawa, H. Takemura and N. Yokoya: Telepresence by real-time view-dependent image generation from omnidirectional video streams; *Computer Vision and Image Understanding*, Vol. 71, No. 2, pp. 154-165 (1998)
- [13] 池内, 佐藤, 西野, 佐藤: 複合現実感における光学的整合性の実現; 日本VR学会論文誌, Vol. 4, No. 4, pp. 623-630 (1999)
- [14] O. Bimber, A. Emmerling and T. Klemmer: Embedded entertainment with smart projectors; *IEEE Computer*, Vol. 38, No. 1, pp. 48-55 (2005)

著者略歴

よこ 横 矢 直 和



1951年8月12日生。1979年大阪大学大学院基礎工学研究科物理系専攻情報工学分野博士後期課程修了。同年通産省電子技術総合研究所(現(独)産業技術総合研究所)入所, 1986~1987年マッギル大学・知能機械研究センター客員教授, 1993年奈良先端科学技術大学院大学教授。現在, 同大学情報科学研究科教授・副研究科長, 情報科学センター長。コンピュータビジョン, 複合現実感などの研究教育に従事。工学博士。情報処理学会論文賞などを受賞。IEEE, ACM SIGGRAPH, 電子情報通信学会, 情報処理学会などの会員。