

## 複合現実感によるグループウェアの展望

坂内 祐一, 山本 裕之, 佐藤 宏明

近年, 現実世界と仮想世界をシームレスに融合させる技術である複合現実感の研究が進展しており, 従来の VR(Virtual Reality)の限界を打破する試みとして注目されている. 複合現実感により共同作業空間の構築法の自由度が VR より大幅に増すため, 新しいタイプのグループウェア開発の可能性が期待される. 本論文ではリアルタイム型グループウェアの研究の流れを複合現実感の観点から整理し直し, 複合現実感を用いたグループウェアの今後の展望について述べる.

## The Trends of Mixed Reality based Groupware

Yuichi BANNAI, Hiroyuki YAMAMOTO, Hiroaki SATO

Mixed Reality (MR) technology, which enables to merge virtual environment and real environment seamlessly, is recognized as a breakthrough of the limitations of traditional Virtual Reality technology. It is possible to create variety of collaborative space using MR technology. We review previous groupware researches from the viewpoint of MR, and describe the future groupware based on MR.

### 1. 複合現実感(Mixed Reality)

複合現実感(MR)とは現実世界と仮想世界の融合技術であり, Head Mounted Display (HMD)などの光学技術やセンサ技術の進歩などにより急速に研究が広まりつつある分野である. 複合現実感の概念を図1に示す.

図1において左端は我々が生活する現実世界(Real Environment), 右端はコンピュータ内に構築される仮想世界(Virtual Environment)であり, 軸は仮想度(Virtuality)を示す. 仮想空間の構築法として, 現実世界を電子的に補強・拡張する Augmented Reality

(AR)という現実世界をベースにした概念と, 仮想世界を現実世界の情報で強化する Augmented Virtuality (AV)という仮想世界をベースにした概念がある. 複合現実感はこの対極の概念を連続したスペクトラムとして統括して扱う概念である[1]. MR技術では, 現実世界と仮想世界が実時間で融合され, さらに融合された空間と実時間でのインタラクションが可能になることが要件となっている.

現実世界の実写映像に CG 画像を合成した複合現実感の映像を観察する様子を図2に示す.(1)が現実世界のリビングルームの様子,(2)がリビングルームの装飾物の CG 画像であり,

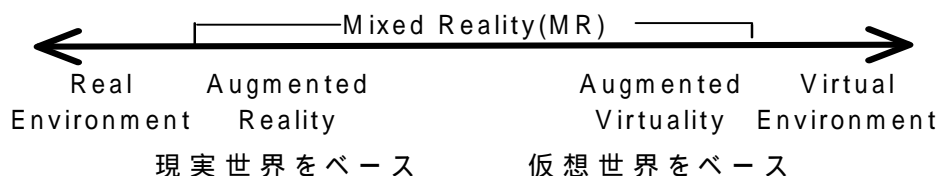


図1 Mixed Realityの概念

キヤノン(株)MRシステム開発センター  
MR Systems Laboratory, Canon Inc.

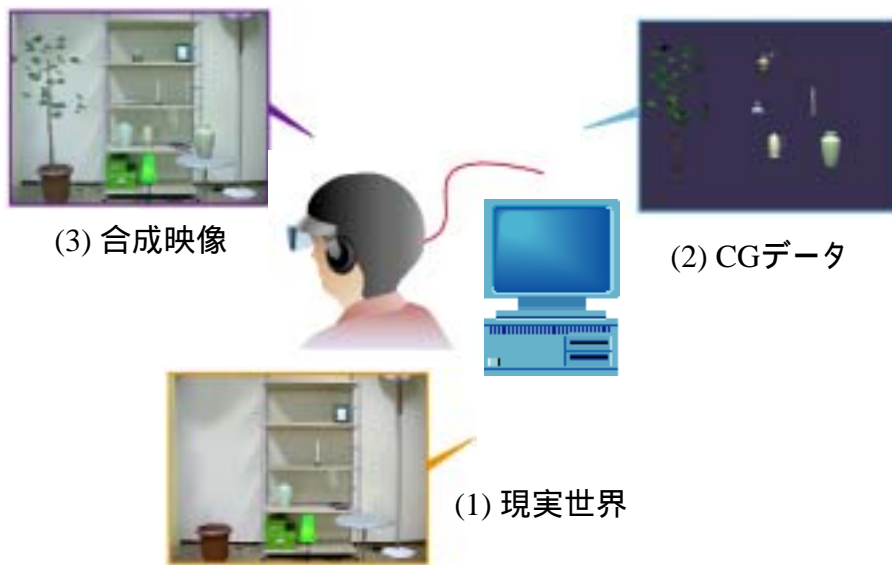


図2 CGデータの実空間映像への重畳

観察者は位置センサ付 HMD を装着して、(3)の合成されたリビングルームの映像を観察する。観察者の頭の動きや体の移動で視点が変わると新しい視点に応じた映像がリアルタイムで HMD に表示される。

このような複合現実感実現のための技術課題として実写映像と CG 画像との位置合わせの他、画質ずれや時間ずれの解消の問題があり、これらを解決するための基礎研究だけでなく、設計/生産などの製造分野、医療分野、建築/都市計画分野さらにはアミューズメント分野への応用を想定した様々な応用研究が進展している[2]。

## 2. リアルタイム型グループウェア

グループウェアは表 1 に示すような時間空間軸で分類されることが多いが、以下本論文では複合現実感の適用範囲であるリアルタイム型に限定して議論を進める。

表 1 のうちリアルタイム型のグループウェアを図 1 の軸上の AR と AV との観点から整理し

たのが表 2 である。対面型の AR に分類されるのは、表 1 で分類されたリアルタイム対面型グループウェアがほぼそのまま入る。文献[3]に紹介されている Colab、Dynacs などの会議支援システムは、電子ホワイトボード（[3]では「黒板型ワークステーション」と呼んでいる。）や参加者のノート PC の画面など 2D の仮想物で現実の会議空間を拡張/強化していると考えられるからである。

遠隔型では分散しているユーザー間で同じ実空間を共有することはできないが、ある特定のユーザーの空間をメインに共同作業するケースが考えられる。典型的な例は、遠隔地の指示者が作業者に対して作業指示をするためのシステムである。Shared View[4]では、作業者が頭部にカメラが搭載された HMD を装着し、

	リアルタイム	非リアルタイム
対面	電子ホワイトボード 電子会議室	
遠隔	ビデオ会議システム アウェアネス支援	電子メール ワークフローシステム

表1 グループウェアの分類

	AV	AR
対面		現実の対面作業空間を2D, 3Dの仮想物で拡張 / 強化する .
遠隔	・仮想の人 ・仮想の操作対象物 ・仮想の環境 で構成される3D仮想空間のリアリティを増す .	ある特定の空間をメインの作業空間としこれを2D, 3Dの仮想物で拡張 / 強化する .

表2 リアルタイムグループウェアでの仮想化技術のねらい

このカメラの映像が遠隔地にいる指示者の Desktop 画面に送られる . 指示者側ではこの画面上で手振りの指示を行なうとこの Desktop 画面全体を写しているカメラからの映像が作業側側の頭部に搭載された画面に映し出される . 作業側は自分の見ている対象物に対して手振りで指示を受けることができる . すなわち作業側の実空間を遠隔の指示者からの情報により拡張 / 強化しているのとらえることができる .

次に AV からのアプローチであるが , 対面型に関してはあまり意味がないのでここでは扱わない . 遠隔型では分散しているユーザー間で仮想空間を共有しコミュニケーションや何らかの共同作業を行なうシステムで , その共有仮想空間を現実に近いように近づけようとするアプローチである . この流れは以下のように整理することができる .

初期のビデオ会議システムや , Cruiser[5], Portholes[6]に代表される Media Space の研究では , 分散したユーザーの実写画像の相互通信をベースとして相互のコミュニケーションや人のアウェアネスの情報を得ることを目的としている . また何らかの共同作業のための Work Space の共有については , 各ユーザー端末の Drawing Editor を共有する共有ホワイトボードが典型であるが , Video Draw[7]や

Clear Board[8]等のように Video 映像を用いた例もある . その後 , 計算機能力の向上や CG 技術の発展によりリアルな 3D 表現に基づく共有仮想空間を持つシステムが数多く開発された . これらは一般的には , 仮想 3D 環境と , その中に置かれる仮想操作対象物 , 仮想の人間として登場するアバタから構成され , いかにもリアリティを増すかに力が注がれてきた .

### 3 . 複合現実感によるリアルタイムグループウェア

#### 3-1 対面型グループウェア

前述した AR ベースの対面型グループウェアは , 会議室環境においてホワイトボードや配布書類 / ノートなどの 2D の Metaphor により環境を拡張 / 強化していたが , ここでは複合現実感の最大の特徴である実空間内で 3 次元情報を共有する試みについて述べる .

同じ実空間内に存在するユーザーが , 操作対象の 3 次元仮想物体を共有するためには , 仮想物体の位置 ( 向きを含めて ) が実空間の座標系内で決定され , かつユーザーの視点が反映された映像がユーザーのディスプレイに表示されなければならない . そのために位置センサ付の HMD が用いられることが多い . ユーザーの動きに対応して表示される仮想物体の見え方が計算され , HMD に仮想物体の画像が現実世界

と見え方に矛盾がないように表示される。

加藤ら[9]は、テーブル上の実物のカードに仮想の物体を表示させる AR システムを利用して多人数が参加できるカード合わせゲームを試作して操作知識のないユーザーでの実験により、上述したような AR インタフェースの有効性とユーザー間コミュニケーションに問題ないことを報告している。また清川ら[10]によれば、AR インタフェースによる対面作業 (AR 対面作業) と実物体のみの対面作業 (実作業) の比較を行なうため、カード上に建物の映像を重畳表示させる AR インタフェースを用いた場合と、実物体の模型を用いた場合の協調都市デザインタスク実験の結果、AR 対面作業では画像処理の不具合、HMD の視野の狭さ、アイコンタクトが取れないなどの欠点はあるものの、ユーザーからは実作業に近いジェスチャや会話の振舞いが観測されている。

これらの研究から、HMD の光学性能の向上や画像処理の改良などにより、作業者同士のコミュニケーションやアウェアネスは多くの協調作業が遂行できるレベルになると推測される。ここで紹介した例は、Table top 上でのカードの並べ替えという作業に限定されており、より多様な 3 次元物体とのインタラクションを可能にするインタフェースの開発など今後の研究に追うところが大きい。特に複合現実感の特徴として Desktop の画面上ではなく実空間で実物大の仮想物を観察できるので、自動車などの大きな物の実物大表示による共同デザインシステムや、作業工程検討システムなど、今までにはなかった視点でのグループウェアが可能となる。これらのグループウェアとしての有効性の検討などは研究の端緒についたばかりである。

### 3-2. 遠隔型グループウェア

AR ベースの遠隔型グループウェアの研究例として、2. で述べた作業者と遠隔の指示者からなるシステムである Block Party[11]がある。これは、カメラ付 HMD を装着した作業者がブロックを組立てるタスクを遠隔の Desktop から指示者がサポートするシステムである。作業者の HMD はシースルーになっており、作業者が組立てる実世界のブロックに、指示者からのブロックの重ね方の指示が 3DCG 映像で重畳されて観測できる。実験の結果、初心者には使用が難しいものの習熟者には有効であることが報告されている。このタイプのシステムでは、作業者および指示者ディスプレイにどのような情報をどのように表示するのがよいのか。またそれぞれの共有物 (仮想、実物) のインタラクションをどうするのかなど多くの研究課題がある。

一方 AV ベースの遠隔型グループウェアでは、仮想世界をベースにしてリアリティを増す技術開発が指向されてきた。都市や自然の景観など CG で作成するには非常に手間がかかるものや、人の表情や自然物など CG 表現が難しいものについては、実写画像を元にした Image based rendering により仮想空間を構築することが多い。ここでは仮想空間を構成する重要な要素として、人、物体、環境という観点から従来の研究例を整理してみる。

人に重点を置くシステム - 人間のコミュニケーションが主な目的であり、表情やしぐさを表現するためリアリティのあるアバタの表現法が中心課題である。実写の顔画像に CG で作成された身体を合成する研究例などが[12]に紹介されている。

物に重点を置くシステム - オンラインショッピングを目的とするシステムでは、商品となる物のリアリティを増す必要がある。片山ら[13]は、光線空間法を用いて実写ベースで作成され

た商品を CG のショッピングモールに展示し、参加者のアバタは抽象化して参加者のアウェアネスは最小限の表現に留めたシステムを構築し、参加者のアバタに対する不満はなかったことを報告している。

環境に重点を置くシステム - 没入感・臨場感を体感することに主眼をおいたシステムであり、ディスプレイ自体の工夫や仮想空間の構築法などが技術的なポイントとなっている。この典型例が CAVE[14]で、これを発展させて遠隔地間で環境だけでなく人間のアバタも実写ベースでリアルタイムに生成して共有する CABIN 間通信の研究[14]などが行なわれている。

#### 4. Tangible User Interface

MR システムにおいて仮想物体とのインタラクションは重要なファクターであり、AR のような実空間を利用するシステムでは従来の Desktop での GUI とは異なる発想が求められる。特に操作する実体と、その操作結果の表示空間が異なるとユーザーにとって著しく使い勝手が悪くなる。

この問題に対する解決の糸口を与えてくれるのが、Tangible User Interface の概念である[15]。Tangible Interface とは直接触れて感知できる実体によるインタフェースのことであり、実世界の物を利用するので、その物のアフォーダンスに沿った UI を実現できればユーザーにとって直感的で分かり易いインタフェースとなる。GUI のような汎用性は期待できないが、AR 技術を用いて実体として存在する Tangible Interface にインタラクションな仮想の表現をシームレスに組み合わせることでダイナミックでより直接的なインタラクションを可能にする[16]。

例えば、加藤ら[9]はマーカーを付けたへら

のような形のインタフェースでデスクトップ上の仮想オブジェクトを操作するプロトタイプを開発している。また、実物体に仮想のペイントを行なってその結果をプロジェクタを利用して仮想物体へ表示するシステムも開発されており[17]、現実世界で我々が行なうのとほとんど変わらない操作でシステムとのインタラクションが可能になっている。

これらの試みを分散環境に適用して、遠隔地のユーザーそれぞれがモックアップなどの半実物体を Tangible User Interface として持つ例を考えてみる。このモックアップの形状情報はモデル化され、位置情報が計測可能とする。これらの情報が通信手段によって共有されていけば、同じ大きさ同じ形状のモックアップ上に共有情報を反映させた形の仮想物体を重畳して表示できる。すなわち各ユーザーの見え方で表示したり、一方のインタラクションの結果を遠隔の側に表示したりすることができる。さらにモックアップにフォースフィードバックの機能があれば、見え方に加えて動きを伝えることができるため、タンジブルな物を中心とした共有仮想空間という今までとは異なる概念のグループウェアの構築も可能となる。

#### 5. まとめと今後の展開

本論文ではリアルタイムグループウェアの流れを整理し、Mixed Reality という観点からこれら見直してみた。Mixed Reality 自体も発展途上の技術であり、センサの低価格化とともに高精度の位置合わせ、より複雑な空間的融合など技術課題はまだ多い。さらにユーザーインタフェースについては力覚フィードバック・触覚デバイスの開発とともに Tangible Interface の概念での新しいアイデアが求められる。MR 空間を考えることにより従来の VR の限界

を打破し,環境が中心/人物が中心/共有物が中心かの目的により,実空間と仮想空間あるいは実物と仮想物体を柔軟に組み合わせてより実用的なグループウェアが構築されていくことが期待される。

#### 参考文献

- [1] 田村秀行,大田友一:複合現実感,映像情報メディア学会誌 Vol.52, No.3, pp266-272 (1998) .
- [2] 「複合現実感特集号2」,日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.7, No.2 (2002) .
- [3] 垂水浩幸:グループウェアとその応用,ソフトウェアテクノロジーシリーズ 12, 共立出版 (2000).
- [4] H. Kuzuoka: Spatial Workspace Collaboration: A Shared View Video Support System for Remote Collaboration Capability, Proc. of CHI'92, pp53-540 (1992) .
- [5] R. S. Fish, R E. Kraut, and W.R. Root: Evaluating Video as Technology for Informal Communication, Proc. of CHI'92, pp37-48 (1992).
- [6] P. Dourrish and S. Bly: Portholes: Supporting Awareness in Distributed Work Group, Proc of CHI'92, pp541-547 (1992).
- [7] J.C. Tang and S.L. Minneman: Video Draw: A Video Interface for Collaborative Drawings, ACM Tran. of Information Systems, Vol.9, No.2, pp170-184 (1991).
- [8] H. Ishii and M. Kobayashi: Clearboard: A Seamless Medium for Shared Drawing and Conversation with Eye Contact, Proc. of CHI'92 pp525-535 (1992).
- [9] H. Kato, M. Billinghurst, I. Poupyrev, K. Iwamoto, K.Tachibana: Virtual Object Manipulation on a Table-Top AR

Environment, Proc on ISAR2000, pp111-119 (2000).

- [10] 清川清, Mark Billinghurst, Daniel Belcher, and Arnub Gupta: 拡張現実感インタフェースを用いた対面協調作業のコミュニケーション過程,日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.7, No.2, pp159-168 (2002) .
- [11] M. Billinghurst, E. Miller, and S. Weghorst: Collaboration with Wearable Computers, Fundamentals of Wearable computers and Augmented Reality, ed. by W. Barfield and T. Caudell, Lawrence Erlbaum Associates, ISBN 0-8058-2902-4 pp539-577 (2001).
- [12] 岡田謙一: サイバースペース上のバーチャルリアリティ協調仮想環境,情報処理 Vol42, No.3 PP236-240 (2001) .
- [13] 片山昭宏ほか: Collaborative CyberMirage: リアリティと相互ウェアネスを追求した仮想空間共有体験システム,情報処理論文誌 Vol39 No5 pp1484-1493 (1998) .
- [14] 小木哲郎,山田俊郎,栗田裕二,服部陽一,広瀬通孝: 仮想空間共有のためのビデオアバタ技術とその利用法,日本バーチャルリアリティ学会論文誌 Vol.8, No.1, pp37-46 (2003) .
- [15] H. Ishii and B. Ullmer: Tangible Bits: Towards Seamless Interfaces between People, Bits and Atoms, Proc. of CHI'97, pp234-241 (1997).
- [16] 石井裕: タンジブル・ビット - 情報と物理世界を融合する新しいユーザ・インタフェース・デザイン, 情報処理 Vol.43 No.3 pp222-229 (2002) .
- [17] D. Bandyopadhyay, R. Raskar, H. Fuchs: Dynamic Shader Lamps: Painting on Movable Objects, Proc. of ISAR'01, pp207-216 (2001).