

# Collaborative CyberMirage: リアリティと相互 アウェアネスを追求した仮想空間共有体験システム

片山 昭宏<sup>†,☆</sup> 内山 晋二<sup>†,☆</sup> 熊谷 篤<sup>†</sup>  
 田村 秀行<sup>†,☆</sup> 苗村 健<sup>††</sup>  
 金子 正秀<sup>††,☆☆</sup> 原島 博<sup>††</sup>

本論文では、写実的な仮想環境を多地点間で共有し、共有空間中で互いの位置を確認しながら、各々の視点で空間を視認し、会話を交わすことが可能な CSCW システム “Collaborative CyberMirage” について述べる。このシステムは、近未来のインターネットでの利用を想定し、現在利用可能な機材やネットワークを駆使してサイバーショッピングを題材に作成したシステムである。論文では、システムの基本設計思想と具体的な要求事項について論じ、作成したシステムの構成、実現手法について述べる。また、本システムを 2 つの利用環境で運用し、多数の見学者の体験から得たヒューマンインタフェースの評価結果についても報告する。

## Collaborative CyberMirage: A Shared Virtual Environment with High Photoreality and Mutual Awareness

AKIHIRO KATAYAMA,<sup>†,☆</sup> SHINJI UCHIYAMA,<sup>†,☆</sup> ATSUSHI KUMAGAI,<sup>†</sup>  
 HIDEYUKI TAMURA,<sup>†,☆</sup> TAKESHI NAEMURA,<sup>†</sup> MASAHIDE KANEKO<sup>††,☆☆</sup>  
 and HIROSHI HARASHIMA<sup>††</sup>

This paper describes a CSCW system called “Collaborative CyberMirage”, which makes it possible to share photo-realistic virtual environment between multiple points. Users can look inside the space from its point of view and recognize one another as avatars. They can also communicate through human voice in real-time. This system was developed to realize a virtual shopping environment. Although this system is expected to be used through the Internet in a near future, it is based on equipments and networks available now. This paper discusses about the basic design ideas and the concrete requirements of this system, and also states about the structure of the present system and the techniques used to implement it. Moreover, this paper reports the evaluation of the human interface of the system, done by several visiting users that tried this system running over two user environments.

### 1. ま え が き

世界中のコンピュータを結ぶインターネットの急速な発展により、だれもが参加できる広大な情報空間が形成されるようになった。WWW (World Wide Web) とそのブラウザ、検索エンジンなどのツールは、情報

の参照と入手に大きな威力を発揮している。しかし、そのユーザインタフェースのほとんどは 2 次元のページ・レイアウトに特化してきた。WWW 上に 3 次元空間を構築し、その中を歩き廻る感覚は、最近 VRML (Virtual Reality Modeling Language) によって実現できるようになりつつある。

次に求められているのは、この 3D 空間を共有し、互いの存在を知覚しながらコミュニケーションやインタラクションを図る仕組みである<sup>1)</sup>。さらに、この空間描写の写実性を高め、音声による対話や物体の操作など、総合的な臨場感を高めるヒューマンインタフェースが期待されている。

このような 3D 空間を共有できる CSCW (Computer Supported Cooperative Work) システムはこれまで

† キヤノン株式会社

Canon Inc.

☆ 現在、MR システム研究所

Presently with Mixed Reality Systems Lab. Inc.

†† 東京大学工学部

Faculty of Engineering, The University of Tokyo

☆☆ 現在、電気通信大学

Presently with The University of Electro-Communications

にも報告されている<sup>2)~5)</sup>。これらのシステムでは、空間内の移動や物体の操作が可能である。しかし、幾何モデルをベースとしたCG技術では、実時間に描画できる対象に限界があるため、写実性が低いという問題がある。

最近、現実世界から取り込んだ多数の画像から仮想環境を描画するイメージベースレンダリングが注目を集めている<sup>6),7)</sup>。我々は、すでにこの技術とVRMLを融合したCyberMirageシステムを開発し、報告した<sup>8)</sup>。このシステムのプロトタイプは、専用ビューワとサンプルデータをWeb上で公開している<sup>9),10)</sup>。

本論文で述べるCollaborative CyberMirageは、これをベースに、複数人が共有空間に入り込み、互いの位置を確認しながら、各々の視点で空間を視認しかつ会話を交わせるCSCWシステムである。ここで、実現上不可欠の条件としたのは、実時間でのインタラクションである。まだ高価ではあるが現在利用できる機材やネットワークを用い、これが近未来には一般に普及することを想定して、総合的なヒューマンインタフェースを向上させることを試みた。

以下では、本システムの設計方針とその実現方法、システムを運用して得られたヒューマンインタフェースの評価結果について述べる。

## 2. システムの設計方針

### 2.1 基本設計思想と具体的な要求事項

本システムの基本設計思想は、以下のとおりである。

- 遠隔地にいる複数の参加者がネットワーク上の同一の仮想空間を同時に体験できる。
- 写実的な物体が仮想空間内に存在し、あたかも目の前に物体があるような臨場感がある。
- 各参加者が独立して自由に仮想空間をウォークスルーしたり、物体を操作できる。
- すべてのインタラクションは、実時間で行える。
- 他の参加者の仮想空間へのインタラクションが、自分の眺めている仮想空間へ反映される。
- 同じ空間に存在している他の参加者の位置や行動が把握できる。
- 参加者同士で音声による実時間会話が可能である。

複数参加者によるCSCWシステムとしては、上記のような要求を満足する一般的な枠組みを目指す。しかし、そのヒューマンインタフェースの性能、使い勝手、快適さなどを評価するには、対象を限定し、具体的なシステムとして実現することが必要である。

このためCollaborative CyberMirageは、CyberMirageシステムと同様の仮想モール内でのサイバー

ショッピングを対象事例として選択し、より一層その対象に特有のインタラクションを重視したシステムを指向した。すなわち、購入の対象となる商品の写実性を重視するだけでなく、顧客と店員のやりとりなど、現実のショッピングに近い感覚を与えるよう、主として空間的知覚(アウェアネス)と応答時間に配慮したヒューマンインタフェースを採用した。

具体的な要求事項として、以下のような状況での利用を想定した。

- 複数の顧客が店内に入り、別々に展示品を眺めながら歩き回る。このとき、それぞれの視点から店内を描画でき、同伴者や店員の位置を相互に確認できる。
- 顧客同士、会話ができ、必要ならば店員(実在の人物)を呼び出して会話する。
- 店員は物理的に離れた場所にいる。すなわち、顧客は自宅もしくは指定の端末設置場所を訪れ、店員は実在の店にいて顧客の要望に応えることができる。
- 展示されていない、すなわち、クライアント側のコンピュータにデータがない商品は、クライアント側のカタログからメニュー選択でき、それが許容できる時間内に店員側のコンピュータから転送されてくる。
- カタログにない商品も、店員の判断で在庫データから取り出してきて提示することができる。
- 商品は空間内を移動・回転させて、任意の位置から眺めることができる。この操作の権利は、排他制御することにより、顧客または店員のうちの1人にしか与えられない。

### 2.2 システム構成

現状利用可能な機器やネットワークとして、仮想空間を描画するためのグラフィックワークステーション(GWS)、遠隔地間を結ぶネットワーク、表示装置、音声通信用のマイク・スピーカなどのハードウェアを利用する(図1)。

#### 【GWS】

我々の目指すシステムは、数者間で仮想ショッピングが体験できるシステムである。ここでは、2人の顧客と1人の店員を想定し、3台のGWS(SGI社Indigo2 Maximum IMPACT)を用いた。また、本システムでは多量のメモリを必要とするため、各マシンにはすべて320MBのメモリを搭載した。

また、3章で述べるように、本システムでは、仮想空間を管理するためのサーバを導入する。このサーバにはSGI Indigo2 Maximum IMPACTを用いた。

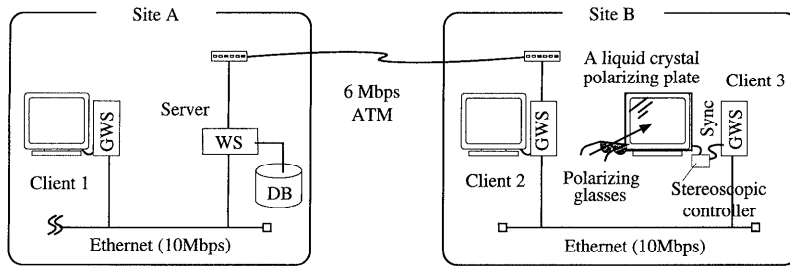


図 1 システム構成図

Fig. 1 System configuration.

## 【ネットワーク】

本システムで扱う仮想空間は、データを多量に必要とするため、現状のインターネットよりも広い帯域が必要となる。そのため、広帯域なネットワーク環境にてシステムを構築する。

A 地点側に店員用のマシンとサーバマシンを配し、B 地点側に 2 人の顧客用のマシンを配置する。この 2 つのサイト間の接続には、6 Mbps の専用線 (ATM) を利用する。また、各々のサイト内では、他のマシンとの接続にイーサネット (10 Mbps) を用いる。

## 【表示装置】

GWS3 台のうち、1 台は立体視が可能な表示装置を用いた。これは、SGI 標準モニタの前面に装着した液晶偏光板 (円偏光方式) と、偏光眼鏡を利用した装置である。ユーザは、偏光メガネを通してモニタを眺めることにより立体視が可能である。他の GWS は、通常の標準モニタをそのまま用いた。

## 【音声通信】

各マシンで、外部マイクと内蔵スピーカを用いて、音声のリアルタイム通信を行う。この音声通信には、専用のソフトを利用する。

### 2.3 設計方針

設計したシステムのヒューマンインタフェースにボトルネックとなる部分、たとえば、「応答性が悪い」、「写実性が低い」、「臨場感が少ない」などの問題があると、システム全体としての有効性が低下する。ここでは現状利用可能なハードウェアを用いるという制約条件の下で、2.1 節に示した要求事項に対して、ヒューマンインタフェースの観点から総合的にバランスのとれたシステムを実現するための設計方針について示す。

考慮すべきヒューマンインタフェースの要素としては、「仮想空間の共有」、「仮想空間の写実性や立体視による空間のリアリティ」、「物体操作・ウォークスルーなどのインタラクション」、「相互アウェアネス」を取り上げ、これらがユーザの許容可能な時間内で実現で

きることを目指した。ここで、「相互アウェアネス」を、「3 次元仮想空間中で互いに対等の関係で、相互に向き合ったり、双方が相手の位置や見ている方向、何を操作しているかが視認できること、音声により相手と会話ができること」と定義する。

## 【空間共有】

多地点間で仮想空間を共有するためには、仮想空間の情報をそれぞれの間で伝送しあうことが必要である。このための方式としては、直接相手にデータを伝送する方式や、クライアント/サーバ (C/S) 方式などが考えられる。

直接相手に伝送する方式は、ユーザの数が増加するとユーザ間での通信回数が膨大になり、また、各ユーザが保持する仮想空間の整合性をとることが難しくなるため、多人数で利用するシステムには不向きである。そこで、通信回数や空間の整合性をとる点で有利な C/S 方式を採用する。また、C/S 間で伝送されるデータ量を少なくするために、変化した仮想空間の情報のみを伝送する方式を用いる。この方式では、各クライアントがそれぞれ仮想空間のデータを保持しておき、そのデータに仮想空間の変化情報を反映させることにより、容易に仮想空間の整合性を保つことができる。

## 【リアリティ】

空間を表現する方法としては、幾何モデルを用いる手法や、実写画像をもとに物体やシーンを表現する手法などがあるが、前者は、複雑な形状を持つ物体や質感の表現が難しいため、写実性の点で不利である。そのためここでは、実写画像を利用する方法をとる。ただし、この方法は、観察者のウォークスルーや物体自体の移動・回転によって変化する物体の見え方を正しく表現できなければならない。そのような方法として、本システムでは光線空間に基づく手法<sup>11)</sup>を採用する。ただし、この手法によりすべての物体やシーンを構成したのでは、データ量が膨大となり、実時間インタラクションが難しくなる。そこで、仮想ショッピングの

場合は、ユーザの興味は商品にあると考え、写実性を向上させる対象を商品だけに限定し、その他はCGで生成する手法をとる。すなわち、商品を光線空間で表現し、これをCGで生成した店舗内に配置する<sup>8)</sup>ことにより、全体として従来よりも写実的な仮想空間を構築することを目指す。

また、あたかもそこに物があるかのような臨場感を与える方法として、立体表示により目の前にあるように見せる方法が考えられる。本システムでも、リアリティ向上のために立体表示を採用する。立体表示を行う方法としては、ヘッドマウントディスプレイ(HMD)や偏光/時分割方式立体ディスプレイなどがあるが、現状のHMDは解像度が低く、また装着感に難があるため、ここでは、偏光/時分割方式立体ディスプレイを用いる。

#### 【インタラクション】

商品の操作としては、商品を色々な方向から眺める(観察者がウォークスルーするか物体を移動・回転させる)、新たな商品を仮想空間に追加する、あるいは、仮想空間にすでに存在する商品を削除することなどが考えられる。

商品は、リアリティの項目で述べたように光線空間を用いて表現するため、これらの操作には8)の手法を利用する。ただし、商品は、あらゆる方向から眺められることが理想であるが、光線空間を利用してこれを実現するには、データ量が膨大となり、インタラクションの実時間性を確保することが難しい。そこで、商品の観察位置を水平面上に制限する(上下視差の表現は行わない)。

インタラクション用のデバイスとしては、データグローブや3Dスペースボールなどが考えられる。物を掴むという操作にはデータグローブが直感的でよいが、空間のウォークスルーにはあまり向いていない。また、スペースボールは操作が難しい。ここでは一般に利用可能なマウスを用いて、ウォークスルーや商品の選択(掴む)/移動/回転などの操作を実現する。

#### 【相互アウェアネス】

仮想空間中で、相互に相手が空間中のどの位置にいるか、どの方向を向いているかなどを表現する手法としては、「アバタ(Avatar)」を利用することが有効である<sup>5)</sup>。本システムでは、アバタを相手の識別、空間中の位置、見ている方向などが把握可能な、データ量の少ない簡単な形状と色で表現する。これは、実時間インタラクションを実現する際の仮想空間の総データ量に限度があり、仮想ショッピングではユーザの興味の対象が商品であるため、商品に多くのデータ量を費

やしたいという理由からである。

また、音声による実時間会話に関しては、負荷の軽い専用のソフトウェアを利用して実現する。

### 3. システムの実現方法

本章では、2章の設計方針に基づくシステムの実現手法に関して、「仮想空間の共有機構」、「写実的な仮想空間の生成」、「インタラクション」、「相互アウェアネス」の観点から述べる。

#### 3.1 仮想空間の共有機構

2章で述べたように、本システムでは、空間の共有にC/S方式を採用し、伝送データ量を低減するために、仮想空間中の物体・参加者の数や位置、向きなどのパラメータを伝送する方式を採用する。

##### 3.1.1 共有仮想空間のデータ構造

#### 【仮想空間を構成するデータの構造】

共有仮想空間のデータは、仮想空間自体を構成するデータと、C/S間で仮想空間を通信するために必要なデータに大別できる。

本システムでは、仮想空間自体を記述するための方式として、仮想空間をVRMLと同様の木構造で記述する方法を用いる。この場合、仮想空間の操作は、木の構造自体、または、木の各構成要素の内容を変更することにより実現できる。

さらに2章で述べたように、本システムでは、商品である仮想空間中の物体を操作する機構が必要である。上述の仮想空間の木構造中では、この物体は木構造中の、ある「部分木」のことである。また、物体を仮想空間の中で操作するために、本システムで用いる木は物体操作専用の「操作用枝(Modifiable branches)」を持っている(図2(a))。物体を仮想空間に新たに置く場合、物体を表す部分木はこの操作用枝に追加される。この操作用枝を用いる利点は、操作可能な物体がすべてこの枝の下にあるため、物体を特定するための探索範囲を操作用枝の下に限定できる点である。

#### 【仮想空間の通信用データ構造】

時々刻々と変化する仮想空間の状態をつねに保持しておくために、サーバは、仮想空間を構成する木構造とは別に、操作する物体の情報のみを線形に並べて管理する物体リストを持っている。図2(b)にサーバが持つこの物体リストの概念図を示す。この図に示すように、各物体を表すリストの各項目には、物体の名前・シリアル番号・位置・向きを表す座標変換データ・削除フラグ・選択権などが保持されている。

##### 3.1.2 共有仮想空間の管理

各クライアントの持つ仮想空間の整合性を保つため

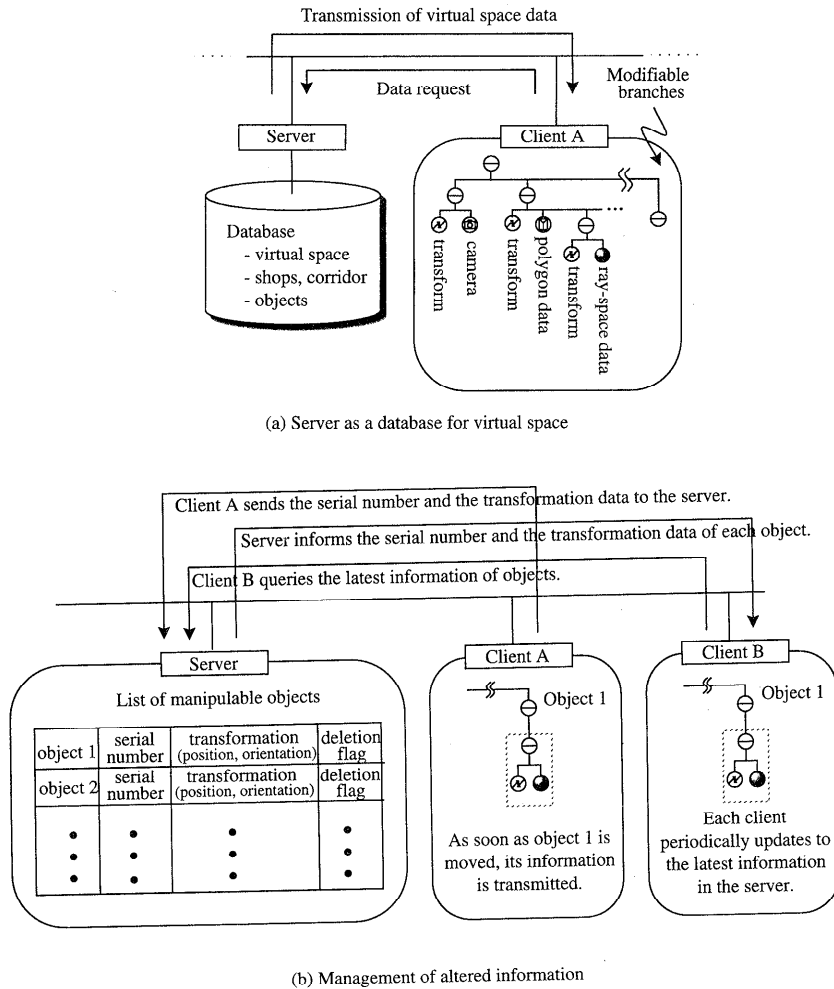


図 2 仮想空間管理機構の概念

Fig. 2 Concept of the management of virtual space.

に、クライアントが行う操作はすべてサーバの管理のもとに行われる。

ウォークスルーの場合には、ユーザの位置・方向などの座標変換情報がサーバに通知され、また、物体の追加の場合には、追加物体のシリアル番号と表示位置がサーバに通知される。

物体の移動・回転・削除操作の場合は、各クライアントから操作対象物体のシリアル番号がサーバに通知され、物体へのアクセス権が獲得された後に、物体の操作が行われる。また、そのときの変更情報はすべてサーバに伝送され、サーバの持つ物体リストの内容が更新される。

以上の処理は、各クライアントごとに独立して自由に行える、非同期な動作である。

一方、各クライアントは、それぞれが保持する仮想

空間データを更新するために、サーバに最新情報を問い合わせ、自身の仮想空間の木を更新する。この問い合わせは、各クライアントの動作が非同期であり、サーバの保持する物体リストの変更がいつ行われるかわからないため、定期的に行われる。

また、各クライアントが仮想空間へ新規物体を追加した場合は、その物体を形成する新たなデータが必要になるため、そのデータをサーバから取得する。

また、システムのメモリ量の制約上、各クライアントはすべての商品（光線空間）データを保持しておくことができないため、店舗ごとに分割して商品データを持っている。そのため、ウォークスルーなどにより別店舗に移動したときには、そのときに必要な商品データをサーバから読み込む。

### 3.2 写実的な仮想環境データの生成

物体（商品）の光線空間データ作成および光線空間データとCGデータとの融合には、8)の手法を用いる。この手法では、任意視点位置の画像が生成できるため、立体視用の両眼視差画像を生成可能である。ただし、物体の上下視差については、データ量と実時間インタラクションの観点から、省略する。

また、光線空間データはデータ量が膨大であるため、12)の手法により圧縮している。さらに、伝送/蓄積時には、この圧縮データをgzipを利用して再圧縮する。

### 3.3 インタラクション

#### 【ウォークスルー】

仮想空間内のウォークスルーは、参加者が操作するマウスの操作量に応じて、ビューワの視点位置を移動・回転することで実現されている。

#### 【仮想空間内の物体の移動回転】

物体の移動・回転は、物体の選択と選択した物体の操作から成る。物体の選択は、マウスの指示により行う。物体の選択が行われると、図3(a)に示すように、選択された物体の周囲にマニピュレータが現れる。参加者は、このマニピュレータをマウスでドラッグすることで、物体を移動・回転させることができる（図3(b)）。ただし、選択可能な物体は「操作用枝」に記述されている物体のみである。参加者が、一度に操作できる物体は1つとし、複数の参加者が1つの物体を同時に操作することはできないように、排他制御を行っている。

#### 【物体の追加】

参加者がビューワの物体追加ボタン（キーボード）を押すと、追加可能な物体の代表的な画像を並べたウィンドウが表示される（図4）。その中の物体をマウスで指示することにより、仮想空間に新規物体が追加される。ここで追加可能な物体は、あらかじめサーバに登録されている。

#### 【削除】

物体の削除は、ビューワ上に見える物体をマウスクリックにより選択し、消去ボタンを押すことにより、仮想空間から削除することができる。ただし、削除可能な物体は、クライアントの持つ操作用枝下の物体に限られる。

#### 【置き換え】

置き換え操作は、物体を選択した状態で、選択物体の削除と新規物体の追加を同時に行うことにより実現される。この際、追加物体の初期位置を削除物体の位置に設定することで同じ位置に現れるようにしている。

### 3.4 相互アウェアネス

図5に示すように、仮想空間に入り込む各参加者は、そのアバタによって、仮想空間の中に存在しているように表現される。アバタは、向いている方向が判別できる簡単な色付きの幾何形状で表現され、各参加者がウォークスルーするに従い、空間中でのアバタの位置・向きも変更される。ここで、アバタは、色により識別する。

また、どの参加者がどの物体を操作しているのかが特定できるように、その物体の上下にアバタと同じ色の円盤を表示する（図5）。

## 4. システムの運用と評価

前章までで、Collaborative CyberMirageの満たすべき要求事項と、それを与えられた条件（利用可能なハードウェアとネットワーク）下で実現する方法について述べた。

本章では、こうして構築したシステムを実際に運用し、一般利用者の体験を通して得た知見とシステムの評価について述べる。

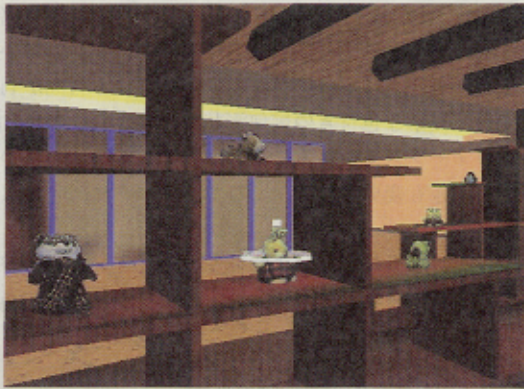
#### 【運用システムとその環境】

- システム1 — 2章に記したネットワーク環境で実現した。一般公開日には、顧客側サイトに約100名の見学者が訪れ、本システムを体験した。（このネットワークは、期間限定でNTTより貸与された特殊環境であり、現在再現はできない）。
- システム2 — その後、ソフトウェア的には同一のシステムをLAN（10Mbps ethernet）で運用している。ただし、表示装置は、背面投射型120インチのディスプレイ3面を用いて、新たに臨場感を高める構成とした（図6）。現在までに、約500名がこのシステムを体験している。

#### 【得られた知見と評価】

- (1) 実写データの利用の効果は大きく、商品の写実性に関して、従来のVRシステムに比べて格段にリアリティが向上していると高い評価を得た。写真カタログよりも画質は落ちるものの、商品を移動・回転できる自由度がこれを補って余りあるとの意見が多かった。
- (2) システム2において大スクリーンで表示すると解像度の粗さが目立つかと思われたが、逆に実写データの効用が一段と増した。本手法による描画は、ほぼ実物大の表示にも耐える画質であることが証明された。
- (3) 立体視の効用もシステム2で一段と向上した。120インチ（視野角約60°）の表示で没入感を増した上で立体視を加えると、商品も他の参加者もまさに同一の空間を共有していると感じられるようである。





(a) Selection



(b) Translation/rotation

図 3 物体操作

Fig. 3 Manipulation of an object.



図 4 仮想空間への物体の追加

Fig. 4 Objects addition to virtual space.

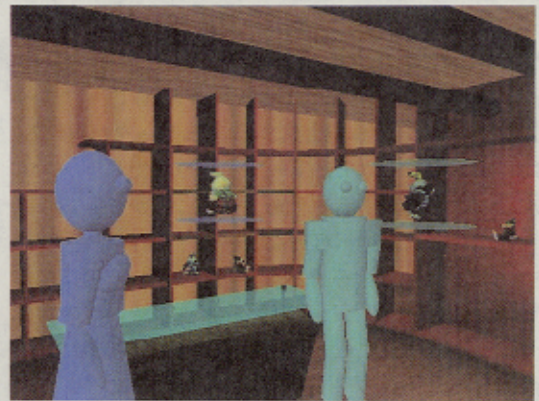


図 5 仮想空間中のアバター

Fig. 5 Avatars in shared virtual space.

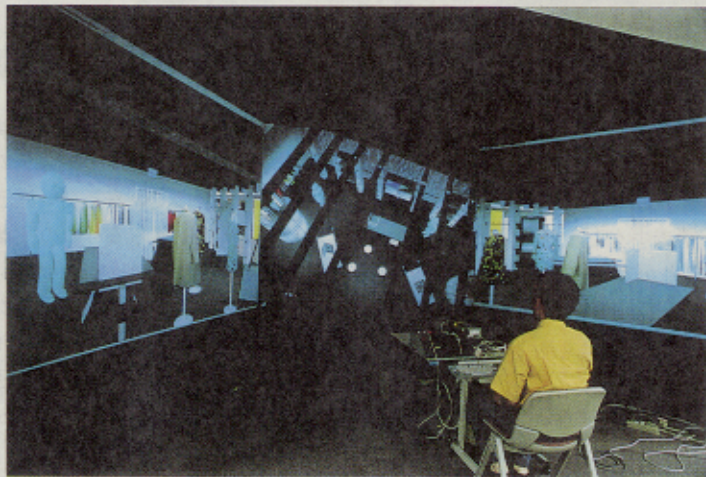


図 6 システム 2

Fig. 6 System 2.

(4) 上下視差がなく、商品を上下に回転できないことについては大きな不満は聞かれなかった。本システムで実装した物体が、上面・底面を見たくなるような物体でなかったことにもよると思われる。しかし、対象（用途）によっては、実時間操作性よりも上下視差の実現が望まれることは大いに考えられるので、これは拡張計画として実行する予定である。

(5) 相互アウェアネスに関しては、体験開始直後、どの参加者がどのアバタに対応するかが分からず混乱する利用者も少なくない。これはアバタを簡略化したためというより、色のみで識別させようとしたためと考えられる。しかし、参加者とアバタの対応がとれた後では、空間中での相手の位置、向いている方向、操作対象の把握は十分に行われているようである。今後、参加者が多くなるとアバタの識別および操作物体の識別が難しくなるので、もっと直感的な識別法を工夫する必要がある。

(6) アバタの写実性に関する不満は、ほとんど出てきていない。これは、ユーザの一番見たいものは商品であり、アバタを簡単な形状と色で表現することで、かえって商品の写実性を引き立てる結果になったからと思われる。

(7) 応答性に関して、ウォークスルーと物体の回転や移動は、ほぼ実時間で実行できているため、見学者からは特に不満の声は出ていない。一方、商品を在庫から取り出しくる操作にあたる「新規物体の追加」操作では、商品によってデータ量が異なるため、伝送時間にばらつきがある。ここで使用した商品のデータ量は、1~10 M バイト程度であり、伝送・描画に、システム1では約10~60秒、システム2では約5~27秒の時間がかかっている。実際のショッピングで在庫から商品を取り出しくる時間と同等に収めたが、コンピュータを前にするとこの待ち時間は長いと感じるようである。伝送時間に関しては、洗練された圧縮技術を用いてさらに短縮することが必要と思われる。

(8) 物体の操作デバイスとしては、面倒な装着が不要で、一般的に利用可能なマウスを用いた。物体の選択や移動回転に関しては、参加者からも、直感的で分かりやすいという評価を得たが、マウスを用いた空間のウォークスルーは、ある程度慣れるまで難しいという意見も少なくない。この点では、家庭用ゲーム機などで使われているコントロールパッドなどが適していると思われる。

## 5. む す び

複数の利用者が会話しながら互いの存在を知覚し、

3D 仮想空間を共有体験できるシステム Collaborative CyberMirage への要求事項と実現方法について述べた。また、実際にこのシステムを運用し、ヒューマンインタフェースに関する評価を得た。ここで用いたグラフィックワークステーションはかなり高性能、通信回線は広帯域であるが、いずれも近い将来、一般に普及するものと考えられる。

具体的な事例としてはサイバーショッピングを選び、現存する3店舗をモデル化し、実物体から得た光線空間データで商品陳列した。また、等身大の店舗空間を立体表示するなど、没入感のあるインタラクションも可能とした。

本システムの主眼の1つである高写実性の実現についてはきわめて大きい評価を得た。その反面、最大の問題点は、物体のデータ量である。このデータ量は、物体の複雑さではなく物理的な大きさと表現する空間分解能に依存する。今後、仮想空間内に多数の物体を存在させようとする、データ量が大きな障害となる。そのため、より洗練された圧縮手法を用いてデータ量を削減することが課題である。

もう一方の「相互アウェアネス」に関しても、所定の要求事項を達成でき高い評価を得た。本文中でも述べたように、もっと多人数の空間参加を許すにはアバタの新たな識別方法が必要となる。利用可能なコンピュータおよびネットワーク環境の向上にあわせて、こうした課題を解決していきたい。

謝辞 本研究を進めるにあたりさまざまなご意見、ご討論をいただいた(株)エム・アール・システム研究所第一研究室の山本裕之室長に深謝いたします。

## 参 考 文 献

- 1) 森下哲次：仮想環境サービスの展望、情報処理、Vol.38, No.4, pp.247-279 (1997).
- 2) Sohlenkamp, M. and Chwelos, G.: Integrating communication, cooperation, and awareness: The DIVA virtual office environment, *Proc. ACM CSCW'94*, pp.331-343 (1994).
- 3) Fahlen, L.E., et al.: A space based model for user interaction in shared synthetic environment, *Proc. ACM CHI'93*, pp.43-48 (1993).
- 4) Benford, S., Brown, G., Reynard, C. and Greenhalgh, C.: Shared spaces: Transportation, artificiality, and spatiality, *Proc. ACM CSCW'96*, pp.77-86 (1996).
- 5) Sugawara, S., et al.: Interspace: Networked virtual world for visual communication, *IE-ICE Transaction on Information and Systems*, Vol.EE77-D, No.12, pp.1344-1349 (1994).



- 6) Levoy, M. and Hanrahan, P.: Light field rendering, *Proc. ACM SIGGRAPH 96*, pp.31-42 (1996).
- 7) Gortler, S.J., Grzeszczuk, R., Szeliski, R. and Cohen, M.F.: The lumigraph, *ibid.*, pp.43-54 (1996).
- 8) 片山昭宏, 内山晋二, 田村秀行, 苗村 健, 金子正秀, 原島 博: CG モデルと光線空間データとの融合による仮想環境の実現, 信学論 (D-II), Vol.J80-D-II, No.11, pp.3048-3057 (1997).
- 9) <http://www.x-zone.canon.co.jp/CyberMirage>.
- 10) <http://www.hc.t.u-tokyo.ac.jp/3D/CyberMirage>.
- 11) 苗村 健, 柳澤健之, 金子正秀, 原島 博: 光線情報による3次元実空間の効率的記述へ向けた光線空間射影法, 信学技報, IE95-119, pp.49-56 (1996).
- 12) 片山昭宏, 内山晋二, 柴田昌宏, 田村秀行, 苗村 健, 金子正秀, 原島 博: 複合現実感表示のための光線空間データの圧縮, IMPS'96, I-6.1, pp.9-10 (1996).

(平成 9 年 6 月 23 日受付)

(平成 10 年 3 月 6 日採録)



片山 昭宏

1961年生。1984年九州大学工学部電子工学科卒業。1986年同大学院工学系研究科情報工学専攻修士課程修了。同年キヤノン(株)入社。以来、複写機・ファクシミリ等の画像処理、画像の高効率符号化、三次元画像処理、バーチャルリアリティ、複合現実感の研究に従事。1997年より(株)MRシステム研究所出向中。現在、同社主幹研究員。電子情報通信学会、日本バーチャルリアリティ学会各会員。



内山 晋二

1968年生。1990年大阪大学基礎工学部制御工学科卒業。1992年同大学院修士課程修了。同年キヤノン(株)入社。以来、同社情報メディア研究所画像メディア研究部にて、3次元画像計測、バーチャルリアリティ、複合現実感の研究に従事。1996年度3次元画像コンファレンス優秀論文賞受賞。1997年より(株)MRシステム研究所に出向中。電子情報通信学会、日本バーチャルリアリティ学会各会員。



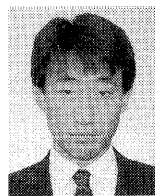
熊谷 篤

1995年京都大学工学部情報工学科卒業。同年キヤノン(株)入社。以来、同社情報メディア研究所にて、画像通信技術に関する研究に従事。現在、同社DE事業推進センター勤務。



田村 秀行 (正会員)

1947年生。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を経て、1986年キヤノン(株)入社。現在、同社CyberMediaプロジェクトチーフ。工学博士。1997年設立の(株)MRシステム研究所取締役を兼務して、「複合現実感システム」の研究開発を推進している。編著書「コンピュータ画像処理入門」(総研出版)、「脳映像世界の探険」(オーム社)、「知能情報メディア」(総研出版)等。IEEE, ACM, 電子情報通信学会、日本バーチャルリアリティ学会、人工知能学会各会員。



苗村 健

1969年生。1992年東京大学工学部電子工学科卒業。1997年同大学院博士課程修了。同年同大学工学部電子情報助手。1998年、同講師。3次元画像・2次元画像の構造化と情報圧縮、光線情報による空間記述バーチャルリアリティ、コンピュータビジョン、フラクタル符号化等の研究に従事。工学博士。IEEE, SPIE, 電子情報通信学会、映像情報メディア学会、日本バーチャルリアリティ学会各会員。



金子 正秀 (正会員)

1953年生。1976年東京大学工学部電子工学科卒業。1981年同大学院博士課程修了。同年国際電信電話(株)入社。研究所に勤務。1994年東京大学工学部助教授。1997年国際電信電話(株)に戻り研究所に勤務。1998年、電気通信大学電気通信学研究科電子助教授。画像符号化、3次元統合画像通信、マルチメディア情報処理、ヒューマンコミュニケーション、顔画像処理等の研究に従事。著書「コンピュータ画像処理入門」(共著、総研出版)他。1985年度日本ME学会論文賞、他受賞。工学博士。電子情報通信学会、映像情報メディア学会、日本ME学会、日本顔学会各会員。

**原島 博 (正会員)**

1945年生。1968年東京大学工学部電子工学科卒業。1973年同大学院博士課程修了。同年、同大学工学部電気専任講師。1991年同教授。この間、1984年米国スタンフォード大学客員研究員。通信理論、信号処理、マルチメディアと知的通信の融合、顔画像処理等の感性コミュニケーション、3次元空間共有コミュニケーションに関連する研究に従事。電子情報通信学会業績賞(2回)、映像情報メディア学会業績賞等を受賞。著書「デジタル信号処理」(共著、電子情報通信学会)、「情報と符号の理論」(共著、岩波書店)、「画像情報圧縮」(編著、オーム社)等。工学博士。IEEE、電子情報通信学会、映像情報メディア学会、日本バーチャルリアリティ学会、日本顔学会各会員。

---