

## VR メールシステム

今井 朝子<sup>\*1</sup> Andrew E. Johnson<sup>\*2</sup> Jason Leigh<sup>\*2</sup>David E. Pape<sup>\*2</sup> Thomas A. DeFanti<sup>\*2</sup> 舘 暲<sup>\*1</sup>

VR-mail System

Tomoko Imai<sup>\*1</sup>, Andrew E. Johnson<sup>\*2</sup>, Jason Leigh<sup>\*2</sup>, David E. Pape<sup>\*2</sup>, Thomas A. DeFanti<sup>\*2</sup>, Susumu Tachi<sup>\*1</sup>

**Abstract** - In this paper we present a virtual reality mail (VR-mail) system to support asynchronous collaborations in virtual environments. In the asynchronous collaboration, efficient handing off of messages to participants in different places and time is crucial. We try to support this type of collaborations by combining speech and gesture in a message. The message is explained by a messenger avatar whose gesture and speech are recorded by a sender of the message in the virtual environment. A prototype VR-mail system has been developed and tested in the CAVE<sup>TM</sup>. User tests showed that interactive nature of the VR-mail could help understanding of the receiver of the VR-mail.

**Key words** : Virtual Reality, Asynchronous Collaboration, e-mail, Tele-Immersion

## 1. はじめに

多くのビジネスマン、芸術家、研究者は国を超えて共同作業を行う。多くの場合、出張には時間と費用がかかるため、実際には会わずに電話や電子メールなどで意思疎通を図ることが多い。特に、共同作業者が異なるタイムゾーンにいる場合や、多忙で同時に作業する時間帯が確保できない場合などは、非同期に作業を行うことができる電子メールで情報交換することが多い。今まで、同期遠隔作業を支援する研究は盛んに行われているが、非同期作業を支援するための研究はあまり行われていない[1, 2, 3, 14]。

非同期に遠隔地で行う共同作業は、旅費がかからず時間に拘束されないため、魅力的な方法であるが、作業を効率的に進めるのが難しい作業形態でもある。その理由の一つとして、わかりにくいメッセージを受け取った場合、返答が遅くなるために内容を確認

するだけで日数がかかってしまうことが挙げられる。そのため、メッセージは誤解が生じないように伝える必要がある。更に、異なる母国語の人々が大きな時差の中で共同作業をする場合には、返答の遅さと共に、言語の壁が大きな問題となる。また、共同作業を行う環境と共同作業者が使うメッセージの不整合によっても表現が曖昧になる可能性がある。例えば、建物や芸術作品を共同で作る場合には、物体の特徴やその位置関係を正確に伝えることが必要となるが、3次元的な位置関係を従来の文字を主体にした電子メールで伝えることは難しい。画像、アニメーション、音声などを文字のメールに添付しても、やはり正確に伝えることはむずかしい。例えば、図1に示したCAVE内に表示される画像と、それを使うユーザとをビデオカメラで撮影し、電子メールに添付したとする[4]。撮影は実際に作業を行っている空間で行われるのであるが、メッセージの受信者はそれをモニタの画面で見るのである。この場合、受信者は、添付された2次元の画像、音声、メールに書かれた内容を自分で解釈して、3次元空間で起こったことを想像しなければならない。

作業がVR環境で行われる場合には、作業空間その

\*1: 東京大学大学院工学系研究科

\*2: Electronic Visualization Lab., University of Illinois at Chicago

\*1: School of Engineering, The University of Tokyo

\*2: Electronic Visualization Lab., University of Illinois at Chicago

ものをメッセージの媒体として使うことが可能である。メッセージを再生する際に、アバタが VR 環境の中でジェスチャと共に説明をしてくれば、受信者はあたかも送信者から直接説明を聞いた場合のように内容を理解することができる。更に、わかりにくい内容の場合には何度でも再生することができる。ジェスチャと、話題の対象物を同期遠隔作業で共有するための研究は、VR 環境ではアバタを [6, 11]、実世界においてはロボットやビデオ画像を使って行われている [10, 13]。しかし、ジェスチャと話題の対象物の共有を非同期の遠隔作業で実現しようとしている研究は少ない [14]。

我々は、VR 環境を使った非同期作業を支援するために、プロトタイプ VR-mail システムを構築した。具体的には、共同作業者がサーバに常時存在する VR 環境に入り、音声とジェスチャで構成される VR-mail を交換できる VR 環境を構築した。メッセージを PostIt™ のように環境に貼り付ける方法は、VR 環境では Harmon [8] によって、実世界では暦本 [12] によって既に実現されているため、我々は電子メールのスタイルを試した。以下では、プロトタイプ VR-mail システムと、簡単な被験者実験について述べる。

## 2. VR メールシステム

VR-mail は、同期と非同期に行われる共同作業を支援するためのプロトタイプシステムである。共同作業者の VR-mail と、VR 環境に加えられた変更はサーバに保持されている。また、複数の人が同時にサーバにアクセスすることによって、同時に共同作業を行うこともできる。

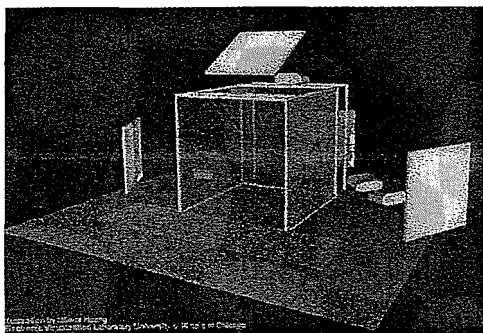


図1 CAVEの概略図

VR-mail システムは、図 1 に示す CAVE の VR 環境で使うためのシステムである。CAVE は  $3\text{m} \times 3\text{m} \times 3\text{m}$  の半透明のスクリーンで囲まれた部屋で、スクリーンの裏側からステレオ画像が投影される。CAVE のユーザは、計測された自分の頭の位置に応じて描かれるステレオ画像を LCD シャッタ眼鏡を通して見る。入

力装置は、磁気トラッカとジョイスティックがついたワンドと呼ばれる手持ち型のインタフェース装置である。VR 環境との相互作用は、ユーザの頭の位置と向き、ワンドの位置と向き、そしてワンドの 3 つのボタンとアナログのジョイスティックを使って行う。CAVE のグラフィックスはシリコングラフィックスの Onyx2™ で描画される。VR-mail は CAVE ライブラリ、VR 環境の構築を容易に行うことのできるグラフィックスライブラリ XP (eXtended Performer)、ネットワークライブラリ CAVERNsoft を使って構築されている。これらのライブラリは、2.2 と 2.3 で説明する。

### 2.1 音声とジェスチャの記録と再生

VR-mail のユーザインタフェースは図 2 に示すバーチャルペットの中に格納されている。ペットを選択することによって、メッセージを記録、再生するためのインタフェースを呼び出すことができる。このポップアップメニューは、ユーザが VR 空間を探検する間、ユーザの後を追わせたり、任意の位置に固定しておくことができる。ここで便宜上、この 2 つのモードを後追いモードと固定モードと名づける。後追いモードを使えば、VR 空間内のどこへいっても常にインタフェースに手が届くという利点があるが、VR 空間内の一部を隠してしまうという問題がある。そこで、ユーザがワンドのボタンを押すことによって、後追いモードと固定モードを切り替えられるようにした。

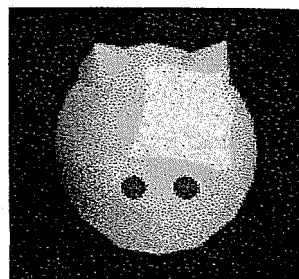


図2 バーチャルペット

VR-mail を作るためには、まず、バーチャルペットを選択する。すると、マイク、郵便箱、削除のアイコンが飛び出す。更に、マイクのアイコンを選択すると、記録、停止、再生用のアイコンを呼び出すことができる。図 3 に示す左から 1 つ目の記録用アイコンを選択すると、記録クラス (Recording Class) がこれを検出し、コマンド名 Record とデータを格納するファイルの名前をメッセージに書き、アバタクラス (Avatar Class) とサウンドサーバ (Sound Server) に送る。するとユーザの声は、ユーザが装着する無線マイクで拾われ、Onyx2 によってデジタル化される。最後に、サウンドサーバがデジタル化されたデータを音声ファイルに記録する。同時に、頭とワンドの、位置と向きがタイムスタンプ

と共に動作ファイルに格納される。このタイムスタンプの情報は、メッセージの再生時に音声と動作を同期させるために使われる。

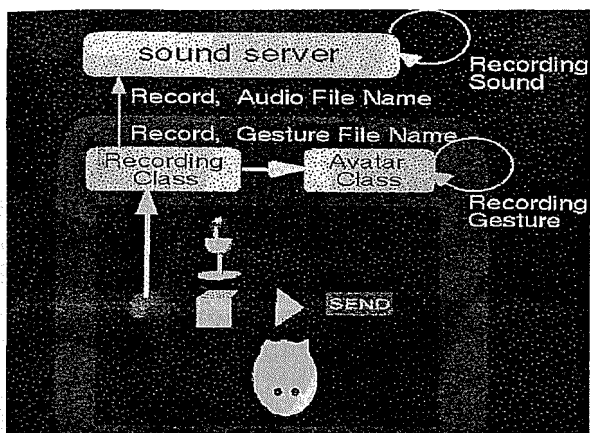


図3 録音を開始するためのユーザインタフェースとイベント

音声と動きの記録は、ユーザが停止アイコンを選択することで終了する。記録したメッセージを送信するには、ユーザは送信アイコン SEND を選択する。すると、アイコン SEND の下に共同作者の所有するバーチャルペットが現れる。バーチャルペットを選択することによって、その所有者にメールが送信される。バーチャルペットに所有者の名前や写真を張りつけておけば、新しい共同作者を覚えやすくなる。そして、送られた VR-mail は、受信者にダウンロードされるまで、サーバに保存される。

メールがサーバに保存されると、受信者のバーチャルペット付近に郵便ポストのアイコンが表示される。郵便ポストを選択すると保存されているメールのリストが表示されるので、リストからメールを選択すると VR-mail が再生される。再生の際には、位置と向きにデータに付いているタイムスタンプを使って、動作と音声と同期するように再生される。

## 2.2 VR-mail のグラフィックス支援

VR-mail は、XP(eXtended Performer) が提供する VR 環境を定義するためのプログラムモジュールを使って構築されている[9]。プログラムモジュールは C++ のクラスとして提供されており、その一部を図 4 に示す。例えば、xpLight クラスは光の当て方、xpWandTrigger はワンドを使うユーザとアプリケーションの相互作用の方法を指定する。XP は CAVE ライブラリ、IRIS Performer™、OpenGL™ 等の既存のツールキットを使って作られている。Performer のシーングラフは、スクリプト言語で書かれた XP のシーンファイルから構築される。シーングラフとは、VR 環境を定義するデータをノードに持つグラフのことである。XP を使うと人間が読むことのできるスクリプトを使ってシーングラフを構築できるので、幾何学モ

デルや、音のモデルの挙動を簡単に定義、変更ができるようになる。

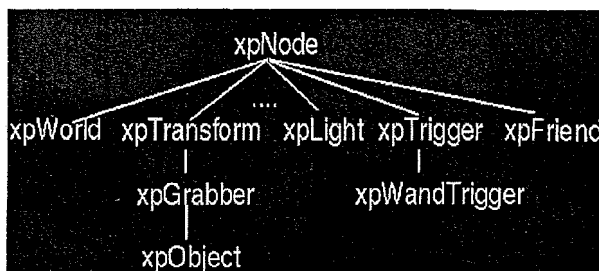


図4 XP のクラスの一部

図 5 に示すように、XP が起動すると XP のルートクラスがシーンファイルを読み、Performer のシーングラフを構築する。次に、構築されたノード間でメッセージの送受信が始まる。メッセージを誘発するイベントは、プログラマが定義する。イベントには、ユーザが押したボタン、ユーザの接近などがある。各々のクラスには、理解できるメッセージがあらかじめユーザによって定義されているため、メッセージを受けた後の挙動をクラス毎に定義することができる。

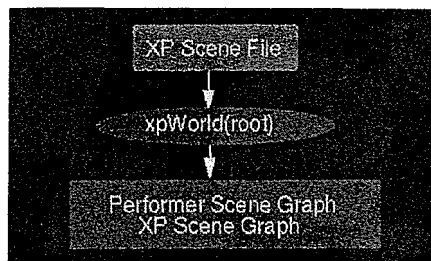


図5 XP のルートクラスが XP のシーンファイルを読み、Performer のシーングラフを構築する

## 2.3 VR-mail のネットワーク支援

クライアントとサーバの通信には、CAVERNsoft[5,6] を使っている。CAVERNsoft を使うことにより、永続的な共同 VR 環境の構築が容易になる。また、CAVERNsoft は分散したデータ格納を管理することができるので、VR 環境を定義する様々なデータを管理するのに便利である。CAVERNsoft では、クライアントアプリケーションと、サーバアプリケーションの間のデータの配信は情報要求ブローカ (Information Request Broker, IRB) が行う。IRB は常時アクセス可能なデータの置き場で、データには TCP や UDP でアクセス可能である。

## 2.4 ネットワークを使って交信されるメッセージ

ネットワークを使って送受信されるメッセージは、クライアントアプリケーション内でローカルに送受信される XP クラスのメッセージを拡張したものであ

る。XP のクラスはローカルなイベントをコントロールするためのメッセージを理解し、サーバクラスは、VR 環境の整合性を取るためのメッセージを理解する。ここでの VR 環境の整合性とは、クライアント間の状態の整合性を意味する。サーバは CAVERNsoft の提供する通信チャンネルを使ってメッセージをクライアントに配信し、XP がこれらのメッセージをクライアントマシン上の目的の XP クラスに送る。

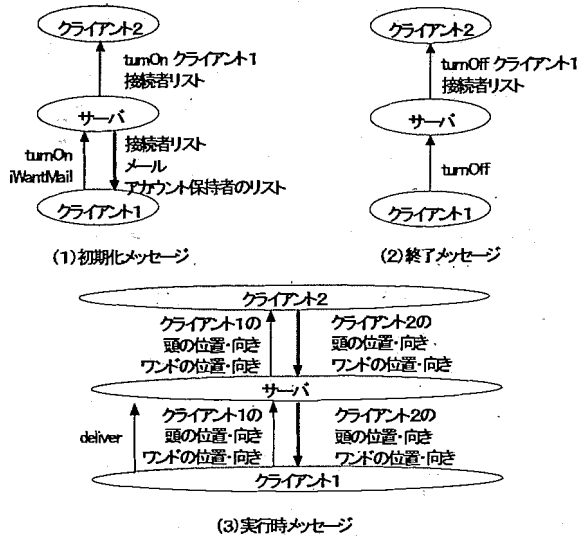


図 6 ネットワークを使って送受信されるメッセージとローカルなメッセージ

1つのメッセージはコマンドフィールドとデータフィールドからなっており、その大きさは 256 バイトである。図 6 に示すようにメッセージは大きく分けて、初期化メッセージ、終了メッセージ、実行時メッセージの 3 種類ある。メッセージを受け取ったクラスは、コマンドを読みそれに応じた行動をとる。はじめに、同期遠隔作業を行う場合に使うメッセージを図 6 を用いて説明する。図 6 は、クライアント 2 が既にサーバに接続しているところに、クライアント 1 が新たに接続した場合を示している。図 6 (1) に示す初期化メッセージは、ユーザがクライアントプロセスを起動した際に、CAVERNsoft の TCP チャンネルを使ってサーバに送られる。クライアント 1 がサーバに接続すると、サーバにアクセスしている全てのクライアントに、クライアント 1 のアバタを描画するようメッセージが送られる。次に、サーバにアクセスしているユーザのリストが更新される。このリストは、現在サーバにアクセスしているユーザの環境を管理するために使うもので、ここでは接続者リストと呼ぶことにする。そして、サーバに保持されていたメールメッセージが、クライアント 1 のローカルマシンにダウンロードされる。最後に、クライアント 1 が新たにアカウントを得たユーザである場合には、アカウントを持っているユーザの名前のリストが更新され、全てのクライアントに送られる。これをアカウントリストと呼ぶことにする。

図 6 (3) の実行時メッセージは初期化メッセージの後に送られる。同期遠隔作業時に使われる実行時メッセージにはメールメッセージとトラックメッセージの 2 種類がある。メールメッセージは、コマンド名 (deliver)、送り主の名前、音声とジャスチャのファイルの大きさ、記録された音声ジェスチャデータから成っている。クライアントがメールメッセージをサーバに送ると、サーバはそのメッセージを受信者の郵便箱へ配達する。受信者が VR 環境に入ったことをサーバが確認すると、そのメールは受信者のローカルマシンにダウンロードされる。トラックメッセージは、トラックメッセージ専用確保される UDP チャンネルを使って送られ、そのデータは、ユーザの頭の位置と向き、右手の位置と向きである。データには、左手のデータも簡単に付け足すことができる。このメッセージによって、ユーザのトラックデータが接続者リストに載っているユーザ全員に送信され、全員で VR 体験を共有できる。

ユーザが VR 環境を離れると、図 6 (2) に示す終了メッセージがサーバを経由してクライアント全てに送られる。そして、クライアント 1 のアバタは、全てのクライアント上で描画されなくなり、クライアント 1 の名前は接続者リストから消される。

非同期遠隔作業の場合には、図 6 に示すメッセージのうち、メールをダウンロードするための iWantMail メッセージ、メールをアップロードするための deliver メッセージ、アカウントを持つ人のリストを使う。

### 3. ユーザ実験

#### 3.1 実験内容

ユーザが VR-mail をどのように使うかを見るために、簡単な実験を行った。実験では thinking aloud method[7]に従い、ユーザに自分の行動を説明しながら VR-mail を使ってもらった。そしてその様子をビデオに撮って観察した。現在の VR-mail システムは VR 環境経験者をユーザとして想定しているため、VR 環境で作業を行ったことのある 6 名に VR-mail システムを使ってもらった。

実験は二人一組で 3 回行い、1人はプログラミングのできないデザイナー、もう 1人はデザインを実装するプログラマという設定で行った。デザイナーとプログラマは非同期に共同作業を行った。共同作業のシナリオは、図 7 に示す VR 美術館に、8つの幾何学モデルを展示することであった。色調が微妙であるため、白黒ではわかりにくい、図 7 の左手には竖琴、中央の下には地球儀、右奥には望遠鏡とバイオリン、それらの近辺に 4 つの球が置いてある。はじめに、デザイナーは無秩序に置かれた幾何学物体を動かして幾何学物体を VR 美術館に展示する。デザイナーが幾何学物体を動かせるのは、展示の構成を決める

今回だけで、次回からは自分で動かすことはできない。その後、デザイナーは展示の状態を紙にスケッチし、VR環境を離れる。VR環境は初期化され、プログラマは渡されたスケッチから、もとの展示を回復するように指示される。プログラマは幾何学物体を移動し終わると、確認をとるためにデザイナーにVR-mailでメッセージを送り、その場を離れる。次に、デザイナーはVR-mailを見るためにVR環境にもどり、プログラマの展示が自分が意図する展示に近いかどうかを調べる。今回は、デザイナーは物体を動かすことはできない。デザイナーは実装された展示構成を調べ、変更点をVR-mailで伝える。そして、プログラマはVR美術館にもどり、VR-mailを使って伝えられるデザイナーの指示に従って、展示を修正する。この指示と修正のサイクルを3回繰り返した。デザイナーとプログラマの連絡手段としてスケッチではなくCAVE内に提示される画像をメールに添付することもできるが、以下のような理由により、扱いが簡単なスケッチを採用した。それらは、(1)4面のスクリーンに提示される画像4枚をメールに添付しても、それらを統合して理解することが難しいこと、(2)今回の実験の目的は質問と回答のやり取りを観察することが目的であり、スケッチかCG画像かを比較することではないこと、(3)スケッチにはコメントを自由に書きこめることである。

このロールプレイングの後、ユーザは質問に答え、簡単な面接を受けた。CAVEの中でのやり取りを含めた、全てのプロセスはビデオテープに記録した。

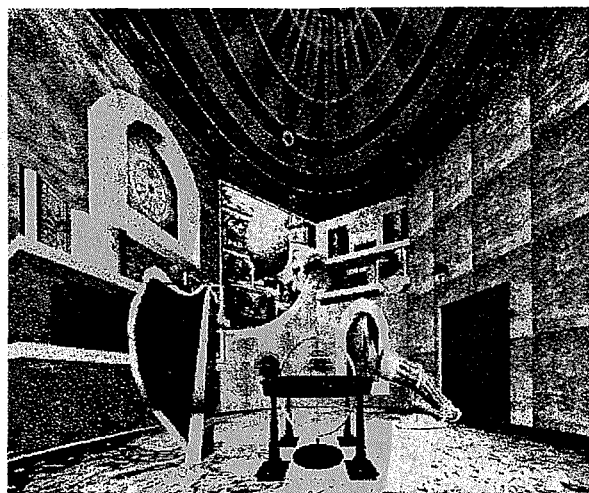


図7 実験に使ったVR美術館

## 3.2 ユーザ実験の結果

### 3.2.1 VR-mailの使用時に見られたユーザの行動

VR-mailがメッセージの曖昧さを改善した例として、次のような事例が観察された。展示する物体の中に、色が微妙に異なる同じ大きさの球体が2つあった。しかし、デザイナーのスケッチには「大きな球体と小さな球体」とコメントされていたため、プロ

グラマは混乱した。CAVE内に投影された画像が暗かったため、デザイナーには色の違いがわからなかったと考えられる。しかし、デザイナーがVR-mailを使って目的の球体を指で指し示すことによって、この曖昧さは解決された。更に、次のような例も観察された。次の台詞はアバタがしゃべったものである。「(スケッチには)2つのドアを描いてあるけど、私にはドアが3つ見えます。1つ目はここ(1つ目のドアを指差す)、もうひとつはここ(隣のドアを指差す)、3つめのドアはここ(3つめのドアを指差す)。だから、私はこの範囲(バーチャルハンドをその範囲の上で動かす)、この2つのドアの間を選びました。この地球儀の下(地球儀の下を指差す)に、他の楽器を描いているけれど、見つかりませんでした。」デザイナーは、ドアをひとつ書き落としていたのであった。その理由は、3つ目のドアはデザイナーの背面にあったのであるが、CAVEには背面にスクリーンがないため、見落としたのであった。こうした、スケッチにおける情報の欠如は3グループのうち2グループに見られ、いずれもVR-mailを使うことによって解決した。

ユーザがVR-mailを再生すると、伝言アバタが話しながら動き、メッセージを再現する。その際、ユーザはVR-mailを3つの方法で使った。代表的な使い方は、全てのVR-mailを再生し終わってから、物体を動かす始める方法であった。しかし、デザイナーがゆっくりと話した場合には、プログラマはアバタが新しい指示を出すと同時に、指示どおりに物体を動かすことができた。最後に、1人のユーザは、自分が指示どおりに物体を動かしたかどうかを確認するために再生を使った。

ユーザは、伝言アバタに対して2種類の位置に立った。アバタがユーザに向かって話しかけている時には、ユーザは立ち話をするようにアバタの前に立っていた。しかし、伝言アバタがどのように物体を動かすかを説明し始めると、ユーザは、アバタと同じ視点から物体を見られるように、アバタの隣に立った。この2つの立ち位置は、日常生活の中でも見られる自然なふるまいであることから、ユーザは伝言アバタを、実際の共同作業者であるかのように感じたと考えられる。あるユーザは、思わず伝言アバタに話しかけていた。

ユーザがVR-mailを作成する際に使うジェスチャには、次のようなものが見られた。

1. 動かない：立ったままワンドを握り締め、全てのことを言葉で説明しようとした。しかし、ジェスチャの使い方を覚えると、指差しを多く用いた。
2. 話題の中心に向かって動く：全てのユーザは、まず、話題の中心に向かって動き、説明を始めた。
3. 話題の対象物を指す：デザイナーは動かしたい物

体を指差した。また、いくつかの物体の上で手を動かすことによって、複数の物体の配置が正しいことを説明した。この動作は、全ての人が最初から使えたわけではないが、いったん習得すると自然に使っていた。

4. 物体の向きを示す: 3次元空間における方向を説明するのは、全てのデザインプロセスの中で最も難しかった。あるユーザは、物の姿勢を説明するためにバーチャルハンドを有効に用いた。彼女は、物の向きを説明する際に、まず、物を置きたい場所に手を置き、その物の終点に向かって手を動かした。

声と動きの両方を記録することに慣れていないユーザは、ジャスチャを多く使ったユーザよりも、作業の指示を出すために多くの時間を費やしていた。しかし、バーチャルハンドの使い方を習得した後は、言葉で説明するよりも指差しを多く使った。

### 3.2.2 ユーザインタフェース

ユーザは作業をする際、固定モードを使って、視界を遮らない場所にアイコンを固定していた。また、固定モードはアイコンを選択する際にも使われていた。これは、アイコンを固定したほうが選択がしやすかったためである。

今回のアプリケーションでは、視界を広く得るためのもう一つの方法として、アイコンをバーチャルベットの中に格納する方法も提供したが、ほとんど利用されなかった。視界を広く得るためには、固定モードを用いて、ユーザインタフェースを邪魔にならない場所に置いておく方法が好まれた。

## 4. むすび

VR 美術館に展示品を並べるユーザ実験では、言葉と共に指差しをメッセージとして利用することによって、位置、向き、形状の情報の曖昧さが減ることがわかった。このことから、具体的な物体や位置を指し示すことによって、微妙な情報を正しく伝えられると共に、説明にかかる時間や、理解にかかる時間を短縮できる可能性があることがわかった。しかし、時間短縮の効果を証明するためには、作業時間の測定を取り入れた被験者実験を行う必要がある。今回の実験でわかった興味深い事実の一つに、VR-mail を見る人が伝言アバタをあたかも本物の共同作業者のように接したことが挙げられる。3次元的位置や向きの情報が重要な共同作業の場合には、VR-mail を使うことによって非同期の作業の効率を上げられる可能性が示唆された。

### 参考文献

- [1] J. M. S. Dias, R. Galli, C. A. C. Belo, J. M. Rebordão: MWorld : A Multiuser 3D Virtual Environment, IEEE Computer Graphics and Applications, 17:55-65, (1997)
- [2] W. Lamotte, E. Flerackers, and F. V. Reeth. Visinet: Collaborative 3D Visualization and VR over ATM Networks, IEEE Computer Graphics and Applications, 17: pp66-75 (1997)
- [3] P. and C. Wittenbrink: Collaborative 3D Visualization with CSpray, IEEE Computer Graphics and Applications, 17:pp32-41 (1997)
- [4] C. Cruz-Neira et al.: Surround-Screen Projection-Based Virtual Reality: The Design and Implementation of the CAVE, Proc. of SIGGRAPH '93, pp135-142 (1993)
- [5] J. Leigh, A. E. Johnson, and T. A. DeFanti. CAVERN: A Distributed Architecture for Supporting Scalable Persistence and Interoperability in Collaborative Virtual Environments. Journal of Virtual Reality Research, 2.2: pp217-237 (1997)
- [6] J. Leigh, A. E. Johnson and T. A. DeFanti, The CAVERN WEB Page: <http://www.evl.uic.edu/cavern>.
- [7] J. Nielsen: Usability Engineering. Academic Press, Inc. (1993)
- [8] R. Harmon, W. Patterson, William Ribarsky, and J. Bolter: The Virtual Annotation System, Proc. of the IEEE VRAIS96 Conference, pp 239-245 (1996)
- [9] D. E. Pape, T. Imai, J. Anstey, M. Roussos, and T. A. DeFanti.: XP: An Authoring System for Immersive Art Exhibitions, Proc. of Virtual Systems and MultiMedia (1998)
- [10] H. Kuzuoka, S. K. Oyama, A. Yamazaki, K. Suzuki, and M. Mitsuishi: GestureMan: A Mobile Robot that Embodies Remote Instructor's Actions, Proc. of CSCW2000, pp155-162 (2000).
- [11] J. Hindmarsh, M. Fraser, C. Heath, S. Benford, and C. Greenhalgh, Object-Focused Interaction in Collaborative Virtual Environments. ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI), 7, 4, pp 477-509 (2000).
- [12] J. Rekimoto, Y. Ayatsuka and K. Hayashi: Augment-able Reality: Situated Communication through Physical and Digital Spaces, ISWC98 (1998).
- [13] 森川治、山下樹里、福井幸男、佐藤 滋: 超鏡対話における指差し行為, インタラクシオン 2000, pp189-1967 (2000)
- [14] C. Greenhalgh, J. Purbrick, S. Benford, M. Craven, A. Drozd, and I. Taylor: Temporal links: recording and replaying virtual environments, Proc. of the 8th ACM international conference, pp67-74 (2000)

(2001年5月31日受付)

- [1] J. M. S. Dias, R. Galli, C. A. C. Belo, J. M. Rebordão: MWorld : A Multiuser 3D Virtual Environment, IEEE