

## 3次元仮想空間における協調作業を考慮した 仮想オブジェクト表現方法

前田 泰宏

松浦 宣彦

菅原 昌平

石橋 聡

NTT サイバースペース研究所

E-mail : [yasuhiro@nttvdt.hil.ntt.co.jp](mailto:yasuhiro@nttvdt.hil.ntt.co.jp)

### 概要

ネットワーク上に構築された3次元仮想空間を利用して行われる協調作業では、仮想オブジェクトを共有し、操作を行うことが作業の中心となることが多い。この作業を行う際には、関連する現実のオブジェクトや過去に作成されたオブジェクトなど様々なオブジェクトを参照して作業が行われることが考えられる。しかし、現在の3次元協調仮想空間では現実オブジェクトや過去オブジェクトを複数の人々で共有し、参照することが難しい。そこで本稿では、仮想オブジェクトと共に対応、関連する現実オブジェクトや過去オブジェクトを関連付けて表示することのできるオブジェクト表現方法について検討を行い、プロトタイプシステムを作成し、評価を行った。

## A Representation Method of the Shared Virtual Objects in 3D Virtual Space

Yasuhiro Maeda

Norihiko Matsuura

Shohei Sugawara

Satoru Ishibashi

NTT Cyber Space Laboratories

### ABSTRACT

In collaborative works on networked 3D virtual space, we almost share and manipulate 3D virtual objects. When we create 3D virtual objects, we refer the related real objects in real-world, the past objects and so on. But now it is difficult that many people share and refer the related real objects and the past objects in 3D virtual space. In this paper, we propose a new representation method of virtual objects to refer the real objects and the past objects in 3D virtual space. And we created a prototype system and evaluate the various representation methods.

## 1. はじめに

近年におけるインターネットの普及によって、ネットワークを利用して遠隔地にいる人々とコミュニケーションや協調作業を行うシステムの研究・開発が盛んに行われている。既にテレビ会議システムやグループウェアシステムなど数多くの製品が販売、利用されている。この中でもコンピュータの高性能化に伴い、ネットワーク上に構築された3次元仮想空間を複数の人々で共有し、コミュニケーションや協調作業を行う3次元協調仮想空間システムが注目を集めている。この3次元協調仮想空間システムは既に遠隔教育や仮想博物館などで利用されている<sup>[1]</sup>。最近では、自動車や住宅のデザインや設計といった工程を遠隔地にいるデザイナーや設計者と協力して行うなどビジネスの分野においても様々な利用が考えられている<sup>[2]</sup>。例えば、今までの電子メールやFAXによるやり取りに比べて、直接3次元仮想オブジェクトを共有し、操作することによって、図や文章では伝えることの難しかった詳細まで伝えることができると考えられる<sup>[3]</sup>。

このように3次元協調仮想空間が様々な用途に利用されるに従って、遠隔教育の教材やデザインセッションで作成するデジタルモックアップといった3次元仮想オブジェクトを作成する必要性が増し、より効率的に作成する環境が必要となってくる。3次元仮想オブジェクトを作成する際には、何もないところから作成するよりも、現実空間に存在する現実のオブジェクトを参考にして作成したり、過去に作成された仮想オブジェクトを元に手を加えたりして作成したりする方がより効率的に作成することができると思われる。しかし、現在の3次元仮想空間では関連する様々なオブジェクトを参照することは難しい。また複数の人々で協調作業を行う場合には作成するオブジェクトだけでなく、参照するオブジェクトを共有することが必要になってくる。

そこで本稿では、3次元仮想空間において3次元仮想オブジェクトを作成する際に、関連する様々なオブジェクトや情報を複数の人々で共有し、効率よく参照することができるような関連オブジェクトの表示方法について検討する。

## 2. 3次元仮想オブジェクト

本章では、3次元協調仮想空間において仮想オブジェクトを作成する際に参照することが必要となるオブジェクトについて検討する。

### 2.1. 現実オブジェクト

3次元協調仮想空間で作成される3次元仮想オブジェクトは多くの場合、現実世界に対応する現実のオブジェクトが存在する。例えば、自動車のデザインセッションの場合、3次元仮想空間でデザインしている3次元仮想オブジェクトに対して、現実世界で作成途中の自動車やモックアップなどが存在する。

現実オブジェクトには質感などCGでは表現できない情報が存在する。一方で仮想オブジェクトは作り直すのが簡単であるなどの利点がある。このように仮想オブジェクトと現実オブジェクトは各々利点があり、今後は互いに補完しながら仮想空間と現実空間で協調作業が行われると思われる。

また、現実世界には対応するオブジェクトだけでなく、作成している仮想オブジェクトに関連する現実のオブジェクトが多数存在している。例えばある会社で自動車のデザインを行う場合には他社の自動車が参考になる。このような関連する現実オブジェクトを参照しながら、3次元協調仮想空間で仮想オブジェクトを作成することもある。

### 2.2. 過去オブジェクト

3次元仮想オブジェクトを作成していく際に参照するオブジェクトとして、作業途中の仮想オブジェクトや過去に作成された仮想オブジェクトが考えられる。例えば、デザインセッションにおいて過去のある時点まで戻って再び作り直すことがある。特に仮想オブジェクトは現実オブジェクトに比べて、途中まで戻って作業をやり直すことが簡単である。この場合はオブジェクトがどのように作成されてきたかという過程が重要であり、作業過程の推移を示す必要がある。

また、過去に作成された仮想オブジェクトを参照して作成することもある。この場合は過去のオブジェクトがどのように作成されたかという作業内容が重要であり、作成中の作業状況を示す必要がある。

### 3. 外部動向

本章では現実オブジェクト、および過去オブジェクトを扱った外部動向について述べる。

#### 3. 1. 現実オブジェクト

仮想と現実を扱っている研究分野としては Augmented Reality や Image-Based Rendering など盛んに研究されている。

Augmented Reality<sup>[4]</sup>は透過型 HMD などを利用して現実空間に仮想オブジェクトを表示することで、現実空間で行われている作業を支援することを目的としている。それに対して、本稿は3次元仮想空間に現実オブジェクトを表示することによって仮想オブジェクトを中心として行われている仮想空間の作業を支援することを目的としており、支援する作業が異なっている。

一方、Image-Based Rendering<sup>[5]</sup>は現実世界のオブジェクトを仮想空間の中により現実に近い形で取り込み、表示することを目的としている。それに対して、本稿は仮想空間で行われる作業がやりやすいように参照する現実のオブジェクトを表示することを目的としており、目指す表示方法が異なっている。

#### 3. 2. 過去オブジェクト

過去の作業過程や作業状況を扱っている研究としては TimeScapel<sup>[6]</sup>や Interlocus<sup>[7]</sup>などがある。これらは対象となる環境が異なる(表1)。また、本研究では3次元仮想空間が一覧性に富んでいる特長を生かしてこれらの情報をより効率よく参照できるような表示方法についての検討も行う。

	対象環境	表示	共有
TimeScapel	デスクトップ	再生	×
Interlocus	共有文書	過程 再生	○
本研究	3次元共有 オブジェクト	過程 再生	○

表1 過去の情報を扱った研究

### 4. 現実オブジェクト表示方法

本章では3次元協調仮想空間における現実オブジェクトの表示方法について述べる。

#### 4. 1. 取り込み方法

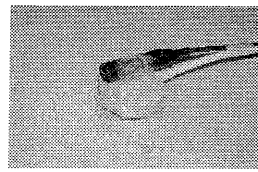
現実オブジェクトは質感などのCGでは表現することができない情報を持っているという利点があり、現実オブジェクトを仮想空間内に取り込む際にもこれらの情報をできるだけ忠実に再現する必要がある。また、現実空間で行われている作業の結果、つまり現実オブジェクトの変化を仮想空間中に取り込まれた現実オブジェクトにリアルタイムに反映する必要がある。そこで本研究では、仮想空間で現実オブジェクトを忠実にリアルタイムで反映する方法として、現実空間で撮影した実写映像を3次元仮想空間中に表示することにより、現実オブジェクトを取り込む方法を検討する。

#### 4. 2. 撮影方法

3次元仮想オブジェクトは様々な方向から眺めることができ、3次元協調仮想空間で作業を行う際には作業者が各々好きな方向から眺めることが必要となる。その際に参照する現実オブジェクトに対してもユーザーが各々好きな方向から眺めることができなければ参照しにくいと考えられる。そこで、現実オブジェクトを様々な方向から眺めることができるように、様々な方向から撮影しなければならない。本研究では、以下の2つの撮影方法を考えた。(図1)



①複数台の固定カメラ



②1台の位置センサ付  
移動カメラ

図1 撮影方法

実写映像を表示する際には、仮想オブジェクトと現実オブジェクトの方向を合わせて表示する方が参照しやすいと考えられるため、実写映像を撮影した位置、方向を3次元仮想空間内で表示する位置に反映する必要がある。そこで移動カメラには位置を測定するための磁気センサを取り付けて撮影を行う。

#### 4. 3. 表示位置

現実オブジェクトを参照しながら仮想オブジェクトを作成する作業を考えた場合、作成している仮想

オブジェクトに対して参照する現実オブジェクトを表示する場所が重要になる。例えば、仮想オブジェクトのある方向から眺めた場合、現実オブジェクトも同じ方向から撮影した実写映像が表示されているべきである。この時に、仮想オブジェクトに対してどの位置に現実オブジェクトの実写映像を表示する方法が参照しやすいかということを検討する必要がある。本研究では仮想オブジェクトを重ねて現実オブジェクトの実写映像を表示する方法を考えた。

重ねて表示する場合、後ろ側に表示されるオブジェクトが前のオブジェクトによって見えなくなってしまう。そこで前に表示されているオブジェクトを半透明にして表示することを考えた。

これらをまとめて以下の2つのオブジェクトを重ねて表示する方法を考えた。(図2)

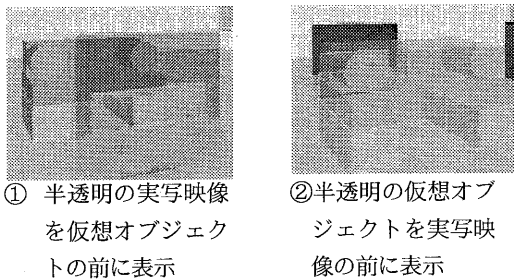


図2 オブジェクト表示方法

## 5. 評価実験

本章では、前章で検討した3次元協調仮想空間におけるオブジェクト表現方法を実装したプロトタイプを作成し、評価実験を行った結果について述べる。

### 5.1. 実験方法

前章で検討した各々2通りのオブジェクトの撮影方法、および表示方法を実装し、その中でどの組み合わせが一番参照しやすい表示方法であるかを評価するために実験を行った。

表示方法については実写映像を3次元仮想空間中表示することが有効であるか検討するために、前章で検討した2通りの方法に加えて別ウィンドウで表示させる方法についても評価を行った。そのため、2通りの撮影方法と3通りの表示方法を組み合わせで全部で6通りのオブジェクト表現を実験した。

評価実験は現実空間の作業員1名と仮想空間の作業員1名に分かれ、各々積み木を使って仮想空間と現実空間で同じ物が組み立てられるように、互いに協力しながら作業を行ってもらった。現実空間作業員はカメラで撮影を行い、現実オブジェクトの様子を仮想空間作業員に伝えながら現実オブジェクトの作成を行う。仮想空間作業員は現実空間作業員が撮影している映像を見ながら、仮想オブジェクトの作成を行う。なお、作業員同士のコミュニケーションには音声を利用する(図3)。

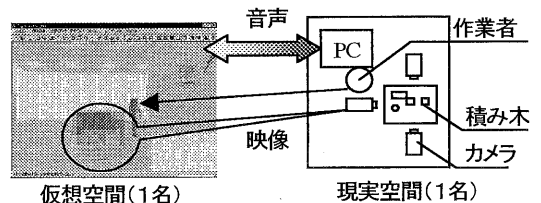


図3 実験環境

### 5.2. 実験結果

仮想空間、現実空間の作業員それぞれ10名ずつに対して簡単なアンケートを行った。仮想空間の作業員には3項目、現実空間の作業員には1項目について意見を求めた。主な意見は以下の通りである。

#### (1) 仮想空間作業員

##### 3次元仮想空間における実写映像の見易さ

- ・ 半透明の実写映像はみにくい(80%)
- ・ 他の映像を見るための移動が大変(60%)
- ・ 映像と仮想オブジェクトの大きさが違う(60%)
- ・ 移動カメラは映像の位置がわかりにくい(50%)
- ・ 移動カメラはオブジェクトが映っていないことがある・見にくい映像がある(50%)

##### 仮想オブジェクトの操作性

- ・ 別ウィンドウ表示の方が操作しやすい(100%)
- ・ 実写映像が前面表示の時は操作しにくい(80%)

##### 3次元仮想空間におけるカメラ位置・方向の把握

- ・ カメラ位置・方向がわかった方が作業しやすい(100%)
- ・ 仮想空間に表示の方がカメラ位置・方向がわかりやすい(100%)
- ・ 映像のみではカメラ位置がわかりにくい(30%)

- ・ 移動カメラはカメラ位置・方向がわかりにくい (20%)

## (2) 現実空間作業者

### 現実空間における撮影のやりやすさ

- ・ 固定カメラは好きな方向から撮影できない
- ・ PC を見ながらの作業は難しい
- ・ 移動カメラの操作が難しい
- ・ 移動カメラを手を持ちながらの作業は難しい

## 5. 3. 考察

アンケートの結果より、撮影方法・表示方法について検討を行う。

### (1) 仮想空間作業者

仮想空間における表示方法としては、半透明の実写映像が見えにくく、参照しにくいという意見が大半を占めたため、実写映像の前に半透明の仮想オブジェクトを表示する方法がより参照しやすいと考えられる。

### カメラの表示

カメラの位置・方向がわかったほうが作業をやりやすいといった意見が大半を占めたため、カメラの位置・方向をよりわかりやすく表示することが必要であると考えられる。しかし実写映像だけではカメラの位置・方向がわかりにくいという意見が多かったため、仮想空間中に仮想カメラを表示し、作業者にカメラの位置・方向をよりわかりやすく表示する必要がある。

### 大きさをあわせた表示

仮想空間において作業が進むと仮想オブジェクトは大きくなっていくが、実写映像の大きさは一定であり、大きさが異なると参照しにくくなると考えられる。そこで仮想オブジェクトの大きさにあわせて実写映像の大きさも変化させて表示する必要がある。

### (2) 現実空間作業者

全ての現実空間作業者は固定カメラの方が作業をやりやすいと答えた。しかし、移動カメラは一台で様々な方向からの撮影が可能であり、固定カメラよりも幅広い利用が考えられる。そこで移動カメラの撮影方法を改善することを検討する。

### 移動カメラ

今回の実験では移動カメラを手を持って撮影を行

ったため、両手で作業を行うことが難しかった。また、移動カメラでは自分の考えているような映像を撮影することが困難であるといった意見が多かった。そこで、移動カメラを作業者の頭に固定し、作業者の視線と一致させるといったことが考えられる。

### 現実空間の作業支援

PC のディスプレイに表示されている仮想空間の様子を確認しながら、現実オブジェクトに対する作業を行うのは大変であるとの意見が多かった。そこで、透過型 HMD を利用して仮想空間同様に現実オブジェクトに仮想オブジェクトを重ね合わせて表示を行うことにより作業の軽減が図れると考えられる。

### (3) マルチビュー表示方法

固定カメラに比べて移動カメラに対しては実写映像が見にくいなどの意見が多く、表示方法が十分でないと考えられる。そこで、アンケートの結果を元に移動カメラに適した実写映像表示方法、マルチビュー表示方法を考えた。(図 4)

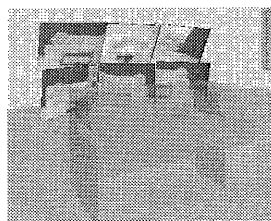


図 4 マルチビュー表示方法

まず移動カメラは撮影者がカメラを移動させながら撮影するため、上下がさかさまになってしまった映像や目的である現実オブジェクトが映っていない映像も含まれてしまい、参考にできない unnecessary 映像も含まれてしまう。そこで、磁気センサによって測定しているカメラの位置・方向を元に、回転してしまった映像やオブジェクトが映っていないと思われる映像を表示しないことにより unnecessary 映像を表示しないことにする。

また複数の固定カメラを利用している場合と違って、1 台のカメラしかないで同時に 1 つの映像しか見ることができない。そこで、過去に撮影した映像を残して表示し、同じ場所から撮影した場合がある場合は最新の映像に更新して表示する。このよう

に表示することによって複数の人々が作業をしている場合でも各々好きな方向から眺めることができる。

## 6. 過去オブジェクト表示方法

本章では3次元協調仮想空間における過去オブジェクトの表示方法について検討を行う。

### 6. 1. 過去オブジェクトの情報

3次元協調仮想空間において仮想オブジェクトを作成する際に利用する過去オブジェクトの情報は大きく二つに分けることができる。一つは仮想オブジェクトが作業によって変化してきた様子を示す作業過程の推移であり、作業を途中からやり直す場合などに必要となる。もう一つは仮想オブジェクトに対してどのような作業を行ったかという詳細な作業状況であり、過去の作業を参照して仮想オブジェクトを作成する場合に必要となる。これらの過去オブジェクトに対する二つの情報を3次元協調仮想空間内に参照しやすいように表示することが必要である。これらの情報はいつの情報であるかという時間の情報が重要であり、ユーザにすぐにわかるように表示しなければならない。

### 6. 2. 表示方法

過去オブジェクトに関する情報を表示する場合、作業過程の推移に関しては一覧性が重要となり、作業状況に関しては詳細な情報が必要となる。そのため、作業過程の推移と詳細な作業状況を示すにはそれぞれ別の表示方法を用意するべきであると考えた。

まず、作業過程の推移に関してはどのように変化してきたかを時間の流れに沿って表示すべきである。そこで3次元仮想空間のある任意の軸を時間軸に設定し、この時間軸に沿って過去オブジェクト、および作業に関する情報を表示する(図5)。このように表示することによって仮想オブジェクトがいつ、どのような変化をしたかということがすぐわかる。

もう一方の作業状況については誰がどのような作業を行ったかということを詳細に表示する必要があるため、一覧性を重視した時間軸を利用した表示方法は向かない。そこで、時間を透明度の変化で表示する方法を考える(図6)。時間が経過すると透明度が高くなるように表示する。このように表示するこ

とによって、利用者は時間を意識しながら、より詳細な情報を得ることができる。

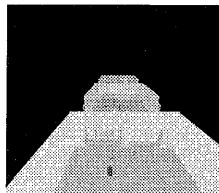


図5 時間軸を導入した表示方法

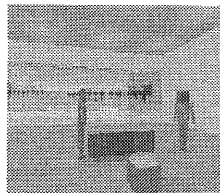


図6 透明度を利用した表示方法

これらの表示方法は切り替えて利用する。まず、時間軸を利用した表示から詳細を知りたいセッションを選び、透明度を利用した表示方法に切り替え、セッション中の詳細情報を表示する。

## 7. まとめ

本稿では3次元協調仮想空間システムにおける現実オブジェクト、および過去オブジェクトの撮影方法と表示方法について検討、評価実験を行い、マルチビュー表示方法を提案した。今後、マルチビュー表示方法、および過去オブジェクト表示方法について評価実験を行い、様々な協調作業に応用していきたい。

## 参考文献

- [1] 箕浦他, “共有仮想空間を用いたエデュテイメントコンテンツの作成”, 情報処理学会第57回全国大会, 1998
- [2] “3Dビューワデジタルモックアップツールをインターネットで利用する”, 日経 CG12月号, 1999
- [3] 玉井他, “メディアアートにおけるアーティストとエンジニアのコラボレーション”, 情報処理学会グループウェア研究会 32-4, 1999
- [4] K. Ahlers et al, “Augmented Vision: A technical introduction to Grasp 1.2 system”, ECRC-94-14, 1994.
- [5] 内山他, “光線空間理論に基づく実写データとCGモデルを融合した仮想環境の実現”, 3次元画像コンファレンス '96, 1996
- [6] J.Rekimoto, “TimeScape: A Time Machine for the Desktop Environment”, CHI'99, 1999
- [7] T.Nomura et al, “Interlocus: Workspace configuration mechanisms for activity awareness”, CSCW'98, 1998