

## 遠隔 MR 協調作業における仮想鏡を用いた 実物体と仮想物の重ね合わせ

吉川誠<sup>†1</sup>

亀井銀河<sup>†1</sup>

岡田謙一<sup>†2</sup>

近年, 遠隔協調作業に複合現実感 (MR) を取り入れたシステムが研究されてきた。このシステムでは遠隔のユーザが所持している実物体を仮想物として作業空間に表示し, 仮想物に自分の実物体を重ね合わせることで遠隔間で物体の位置を合わせることができる。これを利用することで遠隔に対する作業指示が可能となる。しかし, MR 空間では仮想物を 3 次元的に認知することは難しく, 特に奥行き方向に関して実物体を正確に重ね合わせることはできないという問題があった。そこで本研究では, MR 空間における実物体を利用した遠隔協調作業において, 実物体と仮想物を正確に重ね合わせるための仮想鏡を提案する。本提案における仮想鏡は鏡面に鏡像を 2 次元で表示する現実の鏡とは異なり, 面対称あるいは点対称の位置に 3 次元で鏡像を表示する, 重ね合わせのための新しい鏡である。この仮想鏡を用いることで, MR 空間における 3 次元的な空間認知を支援し, 指示に対する実物体の正確な重ね合わせを実現する。提案概念に基づき, 対称の種類や鏡の設置角度の異なる 3 つの仮想鏡を実装した。そして仮想鏡のない環境との比較実験により, 遠隔 MR 協調作業における仮想鏡の有効性が明らかになった。

### Position Adjustment with Virtual Mirrors for Remote Mixed Reality Cooperative Work

MAKOTO KIKKAWA,<sup>†1</sup> GINGA KAMEI<sup>†1</sup>  
and KEN-ICHI OKADA<sup>†2</sup>

This paper explores the effects of adding virtual mirrors to a mixed reality (MR) environment to aid users in accurately positioning real and virtual objects in remote cooperative work. Much research has been devoted to the study of remote cooperative work, and recently systems using MR have been investigated. In these MR systems, users learn from experts at remote sites by manipulating real objects at their local sites to match virtual objects controlled by an instructor at a remote site. It has been found, however, that users cannot accurately adjust real objects to match virtual objects because of the difficulty in visualizing virtual objects three-dimensionally in MR space. The addition of virtual mirrors aids users

in achieving accurate object adjustment by supporting visualization, especially with respect to depth perception. Unlike actual mirrors, which show mirror images two-dimensionally, virtual mirrors show mirror images three-dimensionally through plane-symmetric or point-symmetric reflections, aiding users in easily visualizing the position of virtual objects. Three types of virtual mirrors differing in symmetry or mirror angle are investigated in the present experiment. Through a comparison of an experimental system that uses virtual mirrors with a conventional system that uses no virtual mirrors, it was found that virtual mirrors are effective in aiding accurate object adjustment in remote MR cooperative work.

### 1. はじめに

初期の遠隔作業支援システムでは, 遠隔のユーザ同士がネットワークを介して電子データを共有し, それを利用して協調作業を行うものが一般的であった<sup>1)</sup>。しかしこれらのシステムでは現実空間における作業を支援することはできなかった。その後, 複合現実感 (MR) の技術を用いることにより仮想世界へ現実空間の情報を取り込むことが可能となり, 現実世界の情報を遠隔で共有する協調作業への応用が試みられた<sup>2)</sup>。

著者らは実物体を用いた遠隔作業支援システムを研究してきた<sup>5)6)7)8)</sup>。MR 技術により遠隔のユーザの実物体を仮想物として表示し, その仮想物に自分の実物体を重ねることで, 遠隔間で物体の位置姿勢を同期させることができる。これを利用して遠隔の作業者に指示を伝達することも可能となる。しかし MR 空間では CG で表示される仮想物をユーザが 3 次元的に認知することが困難であり, 正確に仮想物に実物体を重ね合わせることができないという問題があった。

本研究では, 遠隔 MR 協調作業における空間認知支援のための三つの仮想鏡を提案する。従来の VR・MR における仮想鏡は鏡面状に鏡像を 2 次元で表示するものが主だったが, 本稿で提案する仮想鏡は面対称または点対称の位置に鏡像を 3 次元で表示する, 重ね合わせのための新しい仮想鏡である。作業空間に表示された鏡像を参考にすることで正確に実物体を仮想物に重ね合わせることが可能となる。

提案手法を実現するシステムを実装し, 評価実験により従来手法と三つの仮想鏡の合計 4 手法で比較を行う。そして仮想鏡の有効性および三つの仮想鏡の違いを検討する。

<sup>†1</sup> 慶應義塾大学大学院理工学研究科  
Graduate School of Science and Technology, Keio University

<sup>†2</sup> 慶應義塾大学理工学部情報工学科  
Department of Computer and Information Science, Faculty of Science and Technology, Keio University

## 2. 関連研究

### 2.1 実物体を用いた遠隔作業支援

遠隔協調作業において実物体を用いる場合、対面環境と違ってユーザ間で同じ実物体を使う事は物理的に不可能である。そこで遠隔地にある実物体同士の状態の共有手法が重要となってくる。Braveらは電磁石を利用した実物体の状態共有を提案した<sup>3)</sup>。しかし、この手法では実物体の動きが強制的に同期してしまうので、相手の操作の影響によって作業に支障をきたすという問題がある。また葛岡らは映像によって作業空間の実物体の情報を共有する Shared View を提案したが<sup>4)</sup>、この手法は両者が実物体を扱う場面は想定していない。

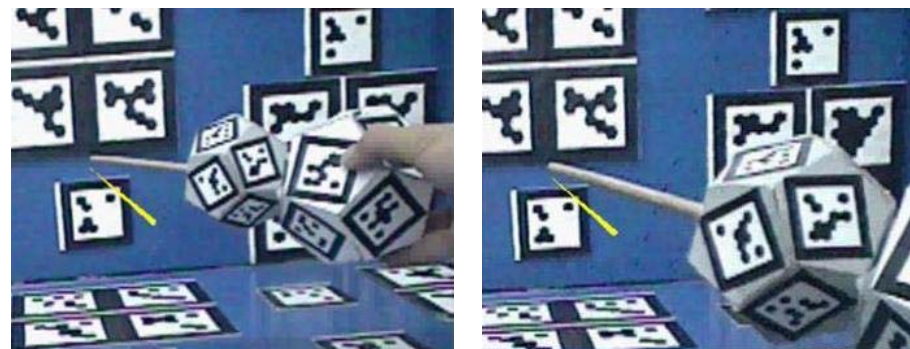
これらの問題に対し、著者らは従来研究で MR 技術を用いた実物体の状態共有を提案した<sup>5)6)7)8)</sup>。作業者はお互いに同型・同サイズの実物体を所持し、遠隔の作業者の実物体を CG で仮想物として表示する。その仮想物に自分の実物体を重ねて追従させることで、遠隔間の実物体の共有を実現する。この手法により、相手の操作の影響を受けずにお互いの実物体を共有することが可能となった。応用例として遠隔手術支援や伝統芸能の伝承を考えており、細かい実物体の操作の伝達を目指している。

### 2.2 MR における鏡

MR 環境における鏡と関連した研究は多く行われている。Kato らは HMD を装着することなく現実世界に仮想物を表示するために<sup>9)</sup>、Hosoya らはディスプレイに表示された遠隔にある物体をユーザが操作する時に鏡の表現を利用した<sup>10)</sup>。また Francois らはカメラで撮影した映像を利用して擬似的に鏡を制作し<sup>11)12)</sup>、Bimber らは実際の鏡にテーブルトップ上の仮想情報を映し出した<sup>13)</sup>。鏡を利用した空間認知を支援するシステムも研究されており、Navab らは MR 空間において仮想的に鏡を生成し、複数の視点で作業対象を見ることが出来るシステムを提案した<sup>14)15)</sup>。このシステムでは現実の鏡のように平面的に作業対象を映し出す。

### 2.3 空間認知の支援

VR・MR 環境では、ユーザが 3 次元的に空間を認知すること、特に奥行き方向を把握することが困難である。この問題を解決するために、空間認知を支援するシステムが研究されている。Osawa らは 3D の仮想物を正確に操作するために視点を自動的に調整する方法を提案した<sup>16)17)</sup>。また Sawaragi らは移動型ロボットを遠隔から指示する際に、ターゲットを正確に掴むためのインタフェースを提案している<sup>18)</sup>。より正確な操作が可能になるが、これらは MR 空間ではなく VR 空間を利用した手法である。Chastine らは MR 空間における空間



(a) 指示より奥に合わせている状態

(b) 指示より手前に合わせている状態

図 1 指示に対する実物体の重ね合わせ  
Fig. 1 Adjustment for instruction.

認知を評価し、仮想物に影をつけることで認知しやすいという結果を得た<sup>19)</sup>。しかし影を用いる場合、影を表示する平面が必要である。

## 3. 空間認知のための仮想鏡

### 3.1 遠隔 MR 協調作業における空間認知

2.1 で述べたように、著者らは遠隔 MR 協調作業支援システムによる細かい実物体の操作の伝達を目指している。しかし仮想物と実物体を正確に重ね合わせることは困難であり、実物体の操作を高精度で伝達することができないという問題がある。図 1 はいずれも作業者の視点映像であり、遠隔の指示者からの指示を示す黄色の仮想物の先端に作業者が実物体の先端を重ね合わせる場面である。図 1(a) では指示よりも奥の位置、図 1(b) では手前の位置と作業者はそれぞれ違う場所を指しているが、どちらの場合も指示通りに指しているように見える。このようにユーザは仮想物に対して特に奥行き方向の認識が困難であり、遠近感がわかりにくくなっている。またヘッドマウントディスプレイを通して見る MR 空間ではディスプレイの解像度や遅延等の影響を受け、裸眼に比べて空間の立体的な認知が困難となる。以上の要因から、ユーザは MR 空間において仮想物に実物体を正確に重ね合わせる事ができない。この問題を解決するためには、3 次元的な空間認知を支援する手法が必要で

ある。空間認知の支援として過去に MR 空間の仮想物の影を用いた手法が考えられたが<sup>19)</sup>、影を表示する平面が存在する場面でしか有効でない。指示位置に実物体を正確に重ね合わせるために別の空間認知支援手法が求められる。

### 3.2 仮想鏡を用いた空間認知の支援

著者らは空間認知支援のために鏡の別の視点から見るができるという特性を利用できると考えた。従来の VR, MR における鏡は鏡面上に鏡像を 2 次元で表示させるものが主であったが、それに対し 3 次元空間において面対称あるいは点对称の位置に鏡像を表示する空間認知支援のための新しい仮想鏡を提案する。遠隔からの指示を基準に鏡像を表示することで、指示に対する自分の実物体の位置姿勢の誤差が立体的に分かりやすくなる。その結果、3 次元 MR 空間の認知が容易となり遠隔間における高精度な指示の伝達が可能となる。本稿では図 1 のようなポインティングデバイスで指示者が指した位置を、作業員もポインティングデバイスを用いて指し示す作業を正確に達成することを目的とする。

他に空間認知の支援として、複数の映像を用いて他視点から作業対象を見ることで立体的に認知する手法が考えられるが、この場合、作業員はたくさんの映像を同時に見ながら作業を行わなければならない。本提案ならば鏡像は作業対象を中心に表示され、作業員は作業対象物のみを見ればよいので容易に立体的な認知が可能となる。また仮想物の影を表示する手法も考えられるが、この場合は影を表示する面を設定する必要があり表示面の位置によって効果も変わってくる。一方、本提案では環境の設定が必要なく、どのような場面でも適用可能である。

### 3.3 三つの仮想鏡

鏡像の提示法には対称の種類と仮想鏡の設置角度の二つの要素がある。図 2 を用いてそれぞれの要素について説明する。まず対称の種類には面対称と点对称の二つが考えられる。面対称は現実の鏡と同様、鏡面を基準にして対称の位置に鏡像を提示する。図 2(a)(b) からは仮想鏡を基準にして面対称に鏡像が表示されていることが分かる。一方、点对称は一点を基準にして鏡像を提示する。図 2(c)(d) ではポインティングデバイスの先端を基準に点对称に鏡像が提示されている。次に仮想鏡の設置角度では、設置角度が指示方向を基準とする方法と作業空間を基準とする方法の二つに分けることができる。指示方向を基準とする場合は指示を表わす仮想物の角度に応じて仮想鏡を設置する。図 2(a)(c) ではポインティングデバイスの方向に垂直となるように設置されている。一方、作業空間を基準とする場合は仮想鏡の設置位置は指示に依存するが、角度は作業空間の座標系において一定とする。空間認知において特に奥行き方向の認知が困難であることから、図 2 右上の作業員空間図のように横

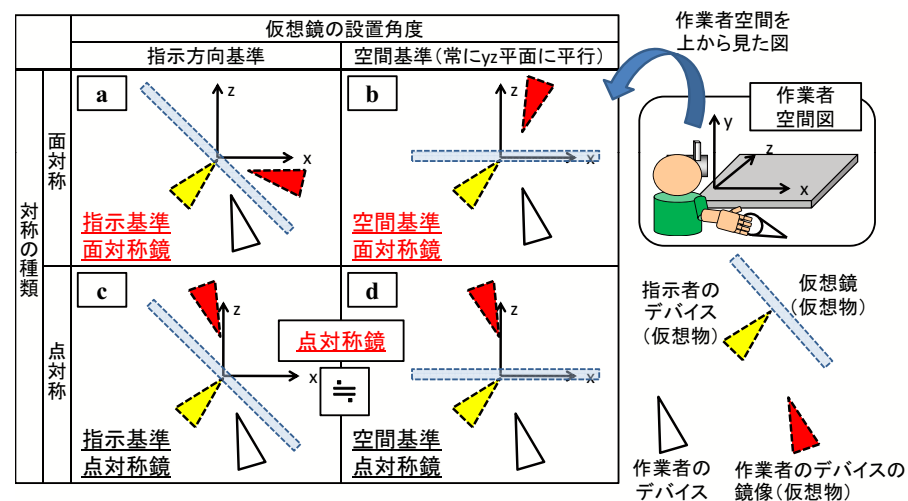


図 2 三つの仮想鏡  
Fig. 2 Three virtual mirrors.

方向に  $x$  軸、高さ方向に  $y$  軸、奥行き方向を  $z$  軸としたとき、図 2(b)(d) に示すように常に  $xy$  平面に平行となるように仮想鏡を設置している。

対称の種類二つと仮想鏡の設置角度二つから計四つの仮想鏡が考えられるが、点对称に鏡像を提示する二つの仮想鏡では図 2(c)(d) に示すように仮想鏡の角度に依らずどちらも同じ位置に鏡像が提示される。このことから今回は指示方向を基準に面対称に鏡像を提示する指示基準面対称鏡、作業空間を基準に面対称に提示する空間基準面対称鏡、そして点对称に提示する点对称鏡の三つを提案する。常に奥行き方向に鏡像が提示される指示基準面対称鏡が効果的であると期待できるが、一方で様々な角度で鏡像が提示される指示基準面対称鏡が良いとも考えられる。また点对称鏡ならば奥行き方向以外の方向においても空間認知を支援できると期待される。

### 3.4 仮想鏡を利用した遠隔 MR 協調作業

仮想鏡を用いた遠隔 MR 協調作業の流れを図 3 を用いて説明する。なお、図 3 は仮想鏡を代表して空間基準面対称鏡を使用している場面である。左が指示者、右が作業員を示しており、指示者の持っているポインティングデバイスが作業員には仮想物として見えている。図 3 は指示者の指示した位置に作業員がデバイスを合わせようとしている場面であり、指示

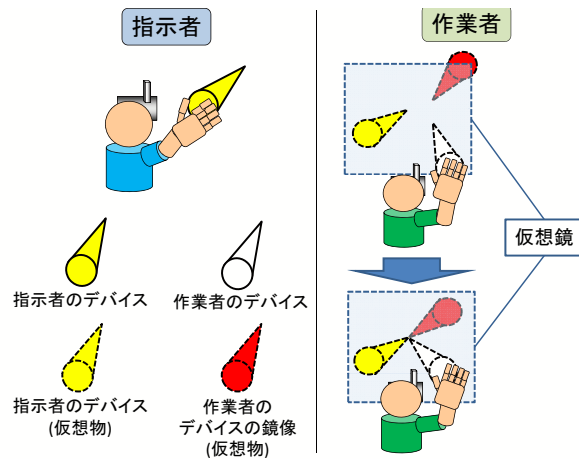


図3 仮想鏡を利用した遠隔 MR 作業支援の流れ  
Fig. 3 Workflow of remote MR cooperative work with virtual mirror.

者が指示した位置に作業者もデバイスを重ね合わせることを目的としている。このとき作業者空間において、指示者のデバイスの先端の位置を中心に仮想鏡を提示することで鏡像は仮想鏡を挟んで作業者のデバイスと対称の位置に現れる。正確に重ね合わせていないと作業者上図に示されるように指示者のデバイスと作業者のデバイス、そして鏡像の三つの先端の位置は一致しないが、正確に重ね合わせると作業者下図のように一致するため、重なりあった事をしっかりと目で見て知ることができる。仮想鏡の種類によって鏡像の表示位置は異なるが、いずれの鏡においても正確に位置が重なったときにはデバイスの先端が一致する。仮想鏡により、指示に対して正確に実物体を重ね合わせることが可能となる。

#### 4. 空間認知のための仮想鏡

##### 4.1 システム概要

本提案システム構成を図4に示す。MR環境構築部はキャノン株式会社のMRプラットフォームを利用し、それに著者らが遠隔同期管理部を組み込むことでシステムを構築した。

MR環境構築部は両眼ビデオシースルー型HMDで得た映像から2次元マーカを認識することで作業空間や実物体の位置検出を行い、CGを重ねた映像をHMDに映し出すことで

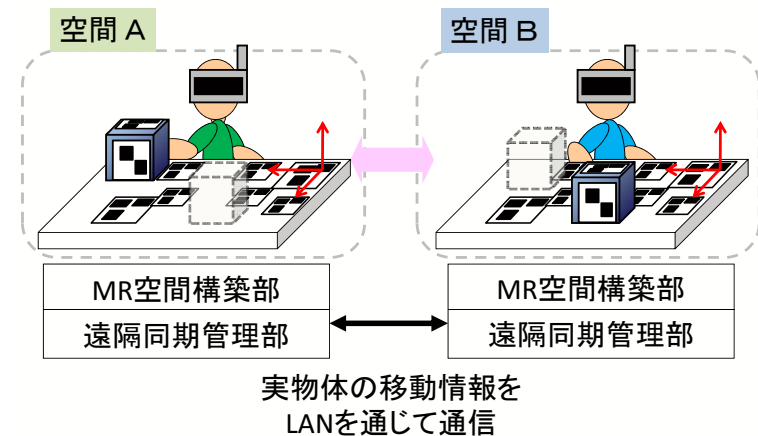


図4 遠隔 MR システム構成  
Fig. 4 Architecture of remote MR system.

MR環境を構築する。なおHMDはキャノン株式会社製のVH-2002を使用している。遠隔同期管理部では一方の空間で物体の状態が変化したときに、もう一方の空間にその情報を送信する。送信された情報を元に仮想物を表示することで、遠隔間の実物体と仮想物の同期をとる。本システムは以上の二つの機能をリアルタイムで処理しながら約30fpsで動作する。なお、本稿の評価実験は一方の空間でのみ実施した。

##### 4.2 仮想鏡の実装アルゴリズム

鏡像の位置の求め方について、初めに指示基準面対称鏡から図5を用いて説明する。作業空間のある一点を基準とした世界座標系から実物体への位置ベクトルを $\vec{A}$ 、仮想鏡への位置ベクトルを $\vec{B}$ 、鏡像への位置ベクトルを $\vec{A'}$ とすると次式が成り立つ。

$$\vec{A'} = \vec{B} + (\vec{A} - \vec{B}) \quad (1)$$

仮想鏡から鏡像への位置ベクトル $\vec{A'} - \vec{B}$ は仮想鏡から実物体への位置ベクトル $\vec{A} - \vec{B}$ を鏡面に対して対称に変換したベクトルなので、仮想鏡の座標系を基準として $\vec{A} - \vec{B}$ のz座標をマイナスに変換して $\vec{A'} - \vec{B}$ を得ることで $\vec{A'}$ を算出し、鏡像の位置を求めることができる。次に空間基準面対称であるが、これは指示基準面対称において仮想鏡の角度が常に世界座標系のxy平面に平行である場合である。そこで $A(x_a, y_a, z_a)$ ,  $B(x_b, y_b, z_b)$ ,  $A'(x, y, z)$ とおくと式1



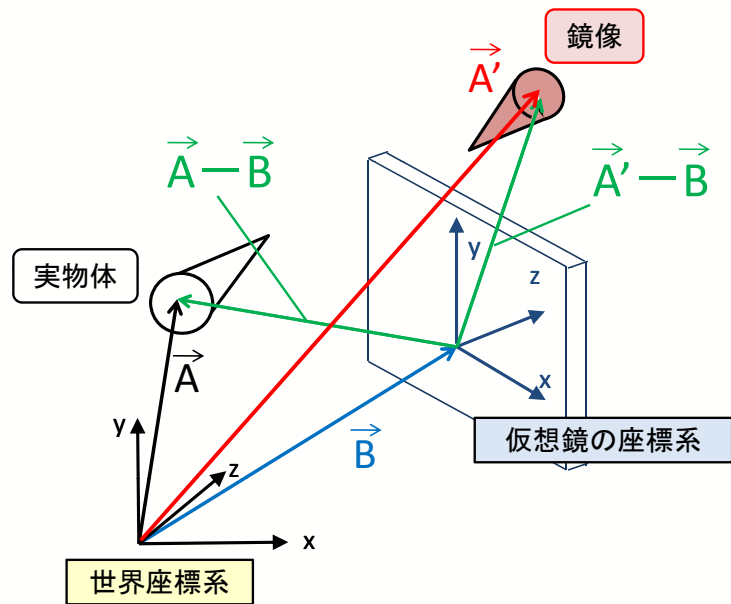


図5 面対称の実装アルゴリズム  
Fig.5 Algorithm of plane symmetry mirror.

より

$$\begin{aligned} x &= x_b + (x_a - x_b), \\ &= x_a. \\ y &= y_b + (y_a - y_b), \\ &= y_a. \\ z &= z_b + (z_a - z_b) \times (-1), \\ &= 2z_b - z_a. \end{aligned}$$

となる。また点対称鏡においては鏡の角度に関わらず基準点に対して全ての成分を反転させればよいので、空間基準面対称鏡と同様の方法で

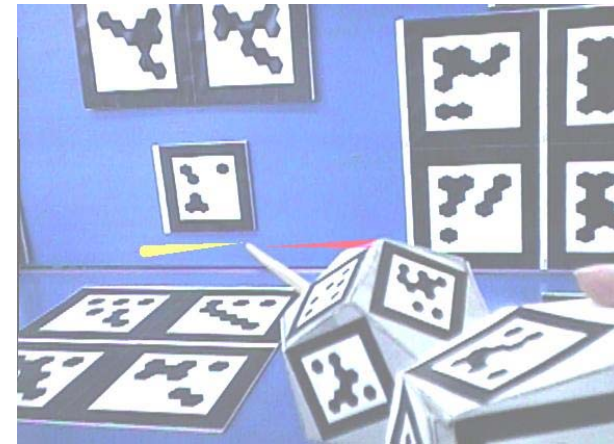


図6 被験者視点映像  
Fig.6 View of a participant.

$$\begin{aligned} x &= 2x_b - x_a, \\ y &= 2y_b - y_a, \\ z &= 2z_b - z_a, \end{aligned}$$

と書ける。以上のようにして求めた位置に鏡像を表示する。このとき基準となる面あるいは点で対称になるように描画する。

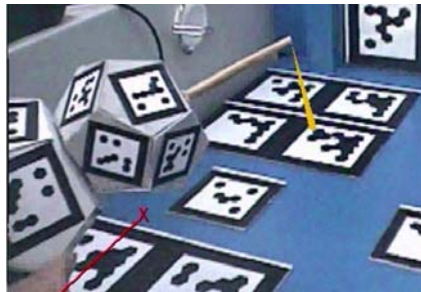
## 5. 空間認知のための仮想鏡

指示基準面対称鏡・空間基準面対称鏡・点対称鏡を使う3種類の条件と従来の手法である仮想鏡がない条件の合計4種類の条件で、仮想物に対する実物体の重ね合わせの正確性および容易性に関して比較検討を行った。

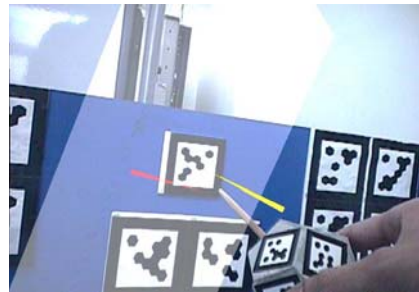
### 5.1 評価実験方法

評価実験の想定場面としては被験者は作業員役であり、指示者の指示を示す仮想物に対して実物体を重ね合わせると言う作業をしてもらった。作業回数は各条件において10回であり、指示は10回とも違う位置、違う向きに表示されるように配慮してある。

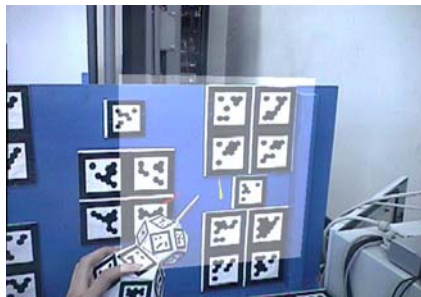
実験の手順は以下の通りである。被験者はポインティングデバイスを所持しており、実験



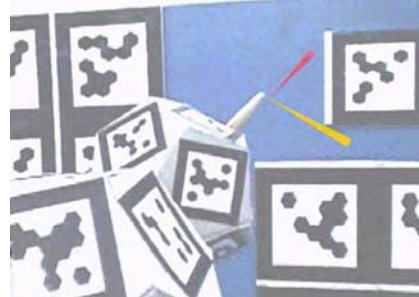
(a) 仮想鏡なし



(b) 指示基準面対称鏡



(c) 空間基準面対称鏡



(d) 点対称鏡

図 7 各条件における被験者の視点映像  
Fig. 7 Views of a participant in the cases.

開始と同時に仮想物が表示されるので、それに対し重ね合わせを行う。被験者が指示に対し重ね合わせることができたと判断したら合図を出してもらい、その瞬間の指示との誤差を取得する。その直後に次の位置に仮想物が移動するので、それに対し再び重ね合わせてもらう。この作業を合計 10 回行くと実験終了となる。一つの条件に対する測定項目は重ね合わせの誤差 10 回分と 10 回作業を行ったときにかかった時間である。誤差はマーカによる位置検出によって  $x$ ,  $y$ ,  $z$  の三つの成分で測定した。図 2 と同様に、被験者の初期姿勢にお

いて横方向に  $x$  軸、高さ方向に  $y$  軸、奥行き方向に  $z$  軸となっている。

図 6 は被験者の視点映像である。黄色い仮想物が指示者の指示を示しており、これの先端にポインティングデバイスの先端を合わせる。また図 6 は空間基準面対称鏡を使用している場面であり、赤い鏡像が表示されている。この図では指示に対して正確に重ね合わせているので、デバイス、指示、鏡像の先端が一点で重なっていることが分かる。

次に図 7 は各条件の違いを示している。図 7(a) は従来手法である仮想鏡がない条件である。指示を示す仮想物とデバイスの木の部分の長さは同じであり、仮想鏡がない条件では被験者にはそれを参考にして重ね合わせを行ってもらおう。図 7(b) と図 7(c) では面対称鏡を使用している。図 7(b) では鏡面を表わす白い仮想物が指示に対して垂直となっており被験者の視点からは斜めに見えていること、そして図 7(c) では鏡面が  $xy$  平面に平行になっていることが分かる。図 7(d) では点対称鏡を使用している。デバイスに対する赤い鏡像が通常の鏡と異なり点対称の位置に表示されていることが示されている。

## 5.2 実験結果と考察

本実験には学生 15 名が被験者として参加した。男性が 13 名、女性が 2 名、また MR 空間での作業に慣れている学生は 3 名である。

表 1 指示に対する誤差  
Table 1 Location error.

	指示に対する誤差 [mm]		
	$x$ 軸	$y$ 軸	$z$ 軸
仮想鏡無し	13.2	25.1	68.5
指示基準面対称鏡	4.9	3.8	5.1
空間基準面対称鏡	4.3	3.8	6.0
点対称鏡	4.6	7.5	15.0

表 2 作業時間  
Table 2 Completion time.

	時間 [秒]
仮想鏡無し	86.7
指示基準面対称鏡	146.9
空間基準面対称鏡	144.2
点対称鏡	123.2

表 1 は各条件における指示に対する誤差の平均を示している。x 軸, y 軸, z 軸全てにおいて仮想鏡がある条件の方が仮想鏡のない条件よりも誤差が小さくなり, Tukey 法により分析を行った結果, 有意水準 5% 未満で差が認められた。指示に対する重ね合わせの精度が向上したことから, 仮想鏡がユーザの空間認知の支援に役立つと言える。なお 3 つの仮想鏡の間で有意差は見られなかった。また表 2 では各条件における 10 試行の合計作業時間の平均を示している。仮想鏡がある条件の方が仮想鏡がない条件よりも時間がかかると言う結果となった。これは仮想鏡がある条件では被験者が正確に重ねるために時間を使うのに対し, 仮想鏡がない条件では正確に重ねられているかが被験者に分からないので時間をかけても無駄であると判断し, すぐに合図を出してしまったことが原因だと考えられる。なお作業時間においても三つの仮想鏡の間で有意差は見られなかった。

## 6. おわりに

著者らは遠隔 MR 協調作業において, 遠隔地の実物体を仮想物で表わすことで細かい指示の伝達を目指している。しかし MR 環境では CG などの仮想物を立体的に, 特に奥行き方向に関して位置を認知することが難しく, 仮想物と実物体を正確に重ね合わせる事は困難である。

そこで本稿では指示基準面対称鏡, 空間基準面対称鏡, 点対称鏡という三つの仮想鏡を用いた遠隔 MR 作業支援を提案した。仮想鏡は指示位置を基準にして実物体の位置に対応した位置に鏡像を 3 次元的に表示する。指示に対して実物体を正確に重ね合わせたときは物体と指示と鏡像の三つの先端が重なり合うので, 指示に対する自分の物体の位置の誤差が視覚的に分かりやすくなる。本研究では実物体と仮想物の重ね合わせを正確に行う事を目標とした。

そして本提案を実現するシステムを実装し, 評価実験を行った。従来手法と三つの仮想鏡の合計 4 手法で比較を行った結果, 三つの仮想鏡いずれにおいても従来手法より指示に対する誤差が小さくなった。このことから仮想鏡がユーザの空間認知の支援に効果があることが分かった。以上から三つの仮想鏡全てが遠隔 MR 協調作業において有効であるという結論を得ることができた。

**謝辞** 本研究の一部は文部科学省科学研究費補助金 (B) 課題番号 23300049 (2011 年), またキヤノン株式会社の支援により行われた。

## 参考文献

- 1) 福井健太郎, 喜多野美鈴, 岡田謙一: 仮想空間を使った多地点会議システム: e-MulCS, 情報処理学会論文誌, Vol.43, No.11, pp.3375-3384 (2002).
- 2) Wesugi, S. and Miwa, Y.: Facilitating interconnectedness between body and space for full-bodied presence - Utilization of Video projection "Lazy Susan" communication system -, *7th Annual International Workshop on Presence (PRESENCE2004)*, pp.208-215 (2004).
- 3) Brave, S., Ishii, H. and Dahley, A.: Tangible interfaces for remote collaboration and communication, *In Proceedings of the 1998 ACM conference on Computer supported cooperative work (CSCW '98)*, pp.169-178 (1998).
- 4) Kuzuoka, H.: Spatial Workspace Collaboration: A Shared View Video Support System for Remote Collaboration Capability, *In Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems (CHI '92)*, pp.533-540 (1992).
- 5) 玉木秀和, 坂内祐一, 山本 峻, 岡嶋雄太, 岡田謙一: MR 空間における準同期的な実物体共有による遠隔作業支援, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.12, No.4 pp.529-536 (2007).
- 6) 岡嶋雄太, 松山岳史, 坂内祐一, 岡田謙一: 視点座標を基準にした遠隔作業指示, 情報処理学会論文誌「サイバーコミュニケーション環境を実現するネットワークサービス」特集, Vol.51, No.2, pp.284-292 (2010).
- 7) 岡嶋雄太, 山本峻, 坂内祐一, 岡田謙一: 遠隔ユーザの注意を作業物体上に反映する MR 遠隔コラボレーション, 日本 VR 学会論文誌特集号, Vol.14, No.2, pp.185-192 (Jun.2009).
- 8) 松山岳史, 亀井銀河, 坂内祐一, 岡田謙一: チェックイン・チェックアウトモデルを適用した MR 遠隔協調作業システム, 情報処理学会論文誌, Vol.52, No.1, pp.284-292 (2011).
- 9) Kato, N. and Naemura, T.: Mixed Reality Environment with a Mirror, SIGGRAPH'06 (Jul 2006).
- 10) Hosoya, E., Kitabata, M., Sato, H., Harada, I., Nojima, H., Morisawa, F., Mutoh, S. and Onozawa, A.: A Mirror Metaphor Interaction System: Touching Remote Real Objects in an Augmented Reality Environments, *The Second IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, pp.350 (2003).
- 11) Francois, A. and Kang, E.: A handheld mirror simulation, *2003 International Conference on Multimedia and Expo - Vol.2 (ICME '03)*, pp.745-748 (2003).
- 12) Francois, A., Kang, E. and Malesci, U.: A handheld virtual mirror, *In ACM SIGGRAPH 2002 conference abstracts and applications (SIGGRAPH '02)*, pp.140 (2002).
- 13) Bimber, O., Encarnacao, L.M. and Schmalstieg, D.: Real mirrors reflecting virtual worlds, *IEEE Virtual Reality Conference 2000 (VR 2000)*, pp.21-28 (2000).
- 14) Bichlmeier, C., Heining, S.M., Feuerstein, M. and Navab, N.: The Virtual Mirror: A New

Interaction Paradigm for Augmented Reality Environments, *Medical Imaging, IEEE Transactions on*, Vol.28, no.9, pp.1498–1510 (2009).

- 15) Navab, N., Feuerstein, M. and Bichlmeier, C.: Laparoscopic Virtual Mirror New Interaction Paradigm for Monitor Based Augmented Reality, *IEEE Virtual Reality Conference 2007 (VR'07)*, pp.43–50 (2007).
- 16) Osawa, N.: Automatic adjustments for efficient and precise positioning and release of virtual objects, *In Proceedings of the 2006 ACM international conference on Virtual reality continuum and its applications (VRCIA '06)*, pp.121–128(2006).
- 17) Osawa, N. and Asai, K.: Adjustment and control methods for precise rotation and positioning of virtual object by hand, *In Proceedings of the 9th ACM SIGGRAPH Conference on Virtual-Reality Continuum and its Applications in Industry (VRCIAI '10)*, pp.131–138 (2010).
- 18) Sawaragi, T. and Horiguchi, Y.: Ecological interface enabling human-embodied cognition in mobile robot teleoperation, *intelligence*, Vol.11, Issue.3 (Sep 2000).
- 19) Chastine, J. and Zhu, Y.: The Cost of Supporting References in Collaborative Augmented Reality, *In Proceedings of graphics interface 2008 (GI '08)*, pp.275–282 (2008).