

# 残像を用いたMR遠隔協調作業における 相互的な位置関係の提示

古矢真之介<sup>†1</sup> 大寺賢<sup>†1</sup> 岡田謙一<sup>†2</sup>

近年、現実空間にCGや文字などの電子データを重畳する技術である複合現実感(MR)を用いた作業支援に関する研究が盛んに行われている。我々は先行研究としてMR組立作業支援に、ある一つの作業物体を基準とする座標系である物体座標系と残像の概念を導入した。基準物体に対する他の作業物体の動かし方を、作業物体を模した複数の残像仮想物で表示することで作業指示を行う。このとき作業者は残像仮想物群に作業物体を重ね合わせながら作業を進めていくため、自分の作業物体と仮想物の特徴点を比較し位置姿勢合わせをする機会が多くなってしまい、作業時間、ユーザのストレスが増大してしまう。そこで残像を用いたMR遠隔協調作業における相互的な位置関係の提示を提案する。基準物体を基準とした残像仮想物だけではなく、残像仮想物を基準とした基準物体の位置の提示を行う。これにより作業者は作業物体と仮想物の特徴点比較を行う必要がなくなり、作業時間の改善をすることが可能になる。

## Indication by Mutual CG Presentation Using Afterimages at MR Remote Cooperation

FURUYA SHINNOSUKE<sup>†1</sup> ODERA SATOSHI<sup>†2</sup>  
KENICHI OKADA<sup>†3</sup>

Abstract: There are many study about work supporting with Mixed Reality. We present object-origin coordinate system and afterimages with MR assembly work support as prior research. System indicate how to work with some virtual afterimage objects. Then worker work by overlaying object on CG, he have to position and posture alignment many time. Because of this, work time and his stress increases. We present indication by mutual CG presentation using afterimages at MR remote cooperation. System presents not only afterimage CGs based on base object, but also CG based on an afterimage. Worker doesn't have to compare characteristic for alignment, and he can decrease work time and stress.

### 1. はじめに

近年、現実空間にCGなどを重畳する技術である複合現実感(Mixed Reality: MR)を用いた作業支援に関する研究が盛んに行われている。作業支援は非同期作業支援と同期作業支援の2種類がある。同期作業支援の中でも特に、お互いが遠隔地にいてもリアルタイムに協調作業の支援をする遠隔協調作業支援に関する研究が注目を浴びている。

我々は先行研究として、遠隔協調作業支援に物体座標系と残像の概念を導入した。物体座標系とはある一つの作業物体(以下「基準物体」)を基準とする座標系である。他の作業物体と基準物体の相対的な位置姿勢関係を伝達することで、基準物体を基準にお互いの作業状態を共有する。この時、仮想物の動作の軌跡を残像仮想物群としてユーザに提示することでユーザは作業を一覧することができ、複雑な作業内容でも把握が容易となった。しかしユーザは指示仮想物に追従して作業を進めていくため、残像仮想物群を提示することにより、ユーザは自分の作業物体と仮想物を比較する機会が多くなってしまい、作業時間、ユーザのストレスが共に増大してしまう。

そこで残像を用いたMR遠隔協調作業における相互的な位置関係の提示を提案する。ユーザの作業時間、ストレスの増大の根本的な原因は実物体とそれに対応する仮想物の特徴点の比較が困難であるからである。そこでユーザに対して、基準物体を基準とした残像仮想物だけではなく、残像仮想物を基準とした基準物体の位置の提示を行う。これによりユーザは残像仮想物と作業物体、さらに基準物体とそれに対応する仮想物の位置を合わせるだけで作業を完遂することができる。これにより作業時間とストレスの軽減が見込まれる。

以降2章では本提案の背景および関連研究について記述する。3章では提案手法について、4章ではシステムの構成について述べる。5章では実験内容について、6章では結果と考察、7章にてまとめを述べる。8章にて今後の展望を述べる。

### 2. 関連研究

#### 2.1 MR組立作業支援と物体座標

MRを作業支援に用いる研究が数多くなされている[1]。MRを作業支援に使用すると、紙媒体や映像での指示と異なり、現実世界に直接指示が表示されるので作業内容の伝達が容易になる。川島ら[2]の研究は組み立て作業作業において紙や映像のマニュアルと比較し、MRのマニュアルは組み立てミス回数が少ないことを示している。Steven[3]ら

<sup>†1</sup> 慶應義塾大学大学院  
Keio University graduate school.

<sup>†2</sup> 慶應義塾大学  
Keio University graduate school.

はエンジン部品の組み立て作業にMR技術を取り入れている。組み立て時の細かいコツや注意、作業の進行度を作業者に伝達するため、矢印のようなアイコン及びその濃度や文字、ラベルといった文字情報などを提示する手法である。作業者はこれらの指示により作業内容を迅速に理解、把握し作業時間の軽減およびミスの軽減が確認された。遠藤ら[4]は遠隔地にいる指示者のレプリカを使用した作業の様子を、作業者の空間に同じ形をした仮想物を表示し、その動きで組立作業指示を伝達する手法を提案した。このとき、片方の実物体(基準物体)を基準にして、仮想物でもう一方の実物体(作業物体)の動かし方を表示している。このように、仮想物を空間の一点を基準に表示するのではなく、動く物体の一点を基準として表示する座標系を物体座標と呼ぶ。組立作業支援の場合、物体座標にすることで仮想物の数を減らしたり、作業物体と指示仮想物の位置姿勢あわせをしたりするだけで作業を完遂することができる。世界座標の場合は実物体と仮想物を見比べのような作業内容なのかを見極めるか、2つの仮想物と実物体を重ね合わせる必要がある必要がある。

## 2.2 作業支援と残像概念

okajimaら[5]は遠隔MR作業支援において、指示者の実物体の軌跡を作業者空間に残像仮想物群で表示する手法を提案した。我々の先行研究[6]では、MRマニュアルでタイミングよく指示を提示するため、そして作業内容を一目で認識できるようにこの残像の概念と前述した物体座標をMRマニュアルに利用している。この結果作業内容の理解が促進されたり、学習効果が上昇したりといった傾向が見られた。

## 2.3 MR遠隔作業支援

遠隔協調作業では相手の意図や行動を高レベルで理解することが求められている。そこでXinguら[7]はARとテレプレゼンスの技術の融合により遠隔間のデザイナー同士の分散認知を高めるための遠隔共同設計システム、TeleARを提案している。遠隔協調作業において相手の状況理解は非常に重要であると言える。

## 3. MR作業支援での相互的な位置関係の提示

### 3.1 物体座標

遠隔協調作業支援システムにおいては遠隔間において作業状態を共有する必要がある。しかし二つの物体を対象とする作業において、作業空間の固定された一点を基準として互いの作業状況を仮想物で表現する従来の手法(世界座標系)では、提示される仮想物を別の角度から確認するにはユーザが自分で移動する必要がある。また基準物体と作業物体の二つの位置姿勢を同時に仮想物に合わせなければならぬため、物体の持ち方、位置が限定されてしまいユーザの自由度が大きく損なわれてしまう。

そこで前述したように、遠藤ら[4]は一つの作業物体を基

準とする物体座標系を用いた作業状況の共有手法を提案した。遠隔にある作業者と指示者の空間にはそれぞれ二つの実物体が存在するとき、作業者の空間にある実物体をA, B, 指示者の空間にある実物体をa, bとそれぞれ定義する。Aとa, Bとbは同型・同サイズであり、実物体Aに対して実物体Bを組み込むといった作業を想定する。このとき作業者空間には実物体Aを基準に、指示者空間における実物体aとbの相対的な位置姿勢関係を反映する形で、実物体Bに対応する指示仮想物が提示される。作業者はこの仮想物に実物体Bを追従させることで作業を進めていく。このように片方の実物体を基準とする座標系が物体座標である。

指示伝達に有利な物体座標系だが、位置姿勢あわせの必要性は残っているため改善の余地があった。

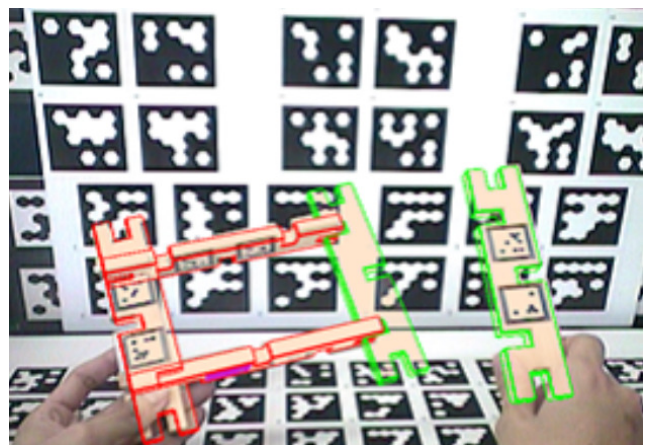


図1 物体座標系による作業支援

### 3.2 作業指示の軌跡の残像表現

MRを用いた作業支援においては作業者は指示として提示される仮想物に対して自分の作業物体を追従していく形で作業を進めていくことが多い。このとき、作業者が作業を見逃してしまったり作業についての理解が不足したりしたとき、作業者は作業について間違っただけで学習してしまうか指示の再演を要求する必要がある。

我々の先行研究[6]では、指示として提示される仮想物の動作の軌跡を複数の残像仮想物からなる残像仮想物群として残し、作業者に提示した。作業者は作業全体の流れを一覧することができ、自らのペースで作業内容の把握が可能である。さらに残像仮想物の密度により作業の時間的な変遷も視覚的に一覧することが可能となる。残像は組み立て作業支援の指示伝達に有効であるといえる。

### 3.3 MR環境における仮想物への追従

実物体を用いた遠隔協調作業では、基本的に作業者は仮想物に対して自分の持つ作業物体を重ねるようにすることで追従し、作業を行っていく。この仮想物に対して実物体を重ねるといった行為は二つのフェーズに分けることが可能である。

- 実物体と仮想物の位置あわせ

仮想物や実物体の向きに対しては意識を向けず、単純に仮想物と実物体の位置を合わせる。

- 実物体と仮想物の向き修正

実物体と仮想物の向きを合わせる。この時、ユーザは主に作業物体と仮想物の形状の特徴点を比較しながら向きが正しいかどうかを判断する。

基本的にこの二つのフェーズは順不同である。先に大まかに実物体の位置と仮想物の位置を合わせたあとに、向きの修正を行うユーザもいれば、仮想物をよく観察し、向きをあわせた後作業を進めるというユーザもいる。

仮想物に対して実物体を重ねるという作業における遅延、ミスの大きな要因として実物体と仮想物の向きの調整において、正誤の判断に時間を要するか、誤ってしまうということが挙げられる。これはそもそもユーザがMR環境や仮想物と実物体の比較に慣れておらず発生する場合と、下の図のように類似的な形状が一つの物体に内包されており向きの判断が困難な場合に多く起こる。前者については仮想物の質を向上させることで多少の改善が期待できるが相応のコストが必要となる。後者の場合においては実際の作業物に対して新たな特徴を加えるといった作業をしなければならない。この問題は残像を用いて指示伝達を行う場合、重ねるべき仮想物数が増加するため非常に重要なものとなる。

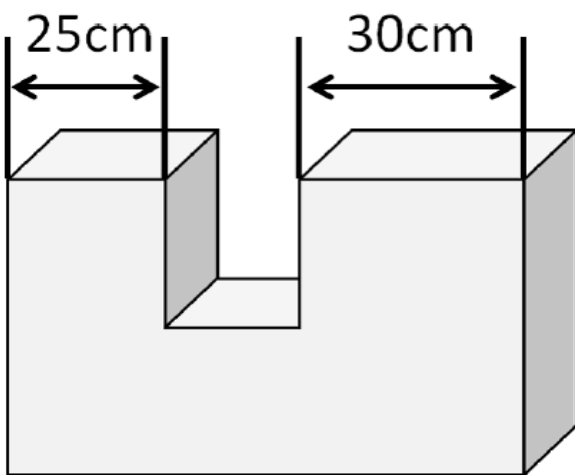


図 2 類似特徴点を内包した物体例

### 3.4 残像仮想物と基準物体の相互的な位置関係の提示

本稿では、残像を用いたMR遠隔協調作業における相互的な位置関係の提示手法を提案する。先行研究と同様、遠隔ユーザが同形・同サイズの物体を二つ以上用いる作業環境を想定する。指示者と作業者は基準物体を基準に互いの作業状況を共有する。またこの時、指示者の基準物体に対する作業物体の軌跡が作業環境において基準物体を基準に残像仮想物として提示される。

この時、作業環境では基準物体を基準とした残像が表示されるだけでなく、次に重ねるべき残像と基準物体の位置関係が作業物体を基準に仮想物で提示される。以下この仮想物を「仮想基準物」とする。指示者環境における基準物体と作業物体の位置関係を、基準物体を基準として提示するだけではなく、作業物体を基準に基準物体の位置も相互的に提示するのである。作業者は提示される基準物体を基準とした残像仮想物の位置に作業物体を移動させ、作業物体を基準とした仮想基準物を自分の環境にある基準物体の位置に合わせることによって作業を進めていく。2つの仮想物はそれぞれの位置関係を反映しているため、2つの仮想物の位置を合わせるだけで作業者は作業を進めることが可能となる。これにより作業者は上記の作業フェーズにおける「実物体と仮想物の向き修正」を経ることなく作業を完遂することが可能となり作業時間の短縮が期待できる。

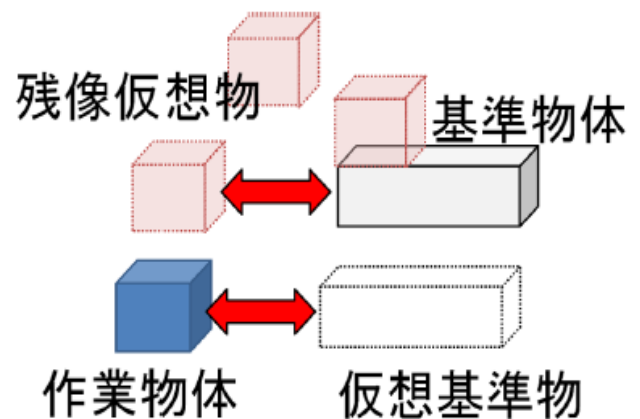


図 3 残像仮想物と仮想基準物

本提案である残像仮想物と基準物体の相互的な位置関係の提示の詳細とその効果について述べる。まず本提案の利用イメージを次の図に示す。MR環境での作業指示において遅延、ミスの大きな要因として仮想物と実物体の比較が困難であるということが挙げられる。そこで本提案では基準物体を基準とした作業物体の指示である残像仮想物とそれを基準とした仮想基準物の提示を行う。2つの物体の組み立て作業において作業者が基準物体を基準とした仮想物に対して作業物体を重ねる際、作業物体の方向を誤ってしまったとする。従来のシステムにおいてはシステムか指示者によってアウェアされ初めて誤りを自認する。しかし本提案システムを用いることで作業者は重ね始める位置合わせの段階において、仮想基準物の位置が自身の持つ基準物体の位置と大きくずれていることを認識し、アウェアされる前に誤りを自認することが可能である。また誤りを認識した後の修正の段階においても、作業者は作業物体を回転させ、仮想基準物を基準物体の位置に移動させるだけで修正は完了となる。また作業者だけでなく指示者側において

も作業空間における作業物体、残像仮想物、仮想基準物  
 を表示させることで作業者の誤りに気づくことが容易となる。

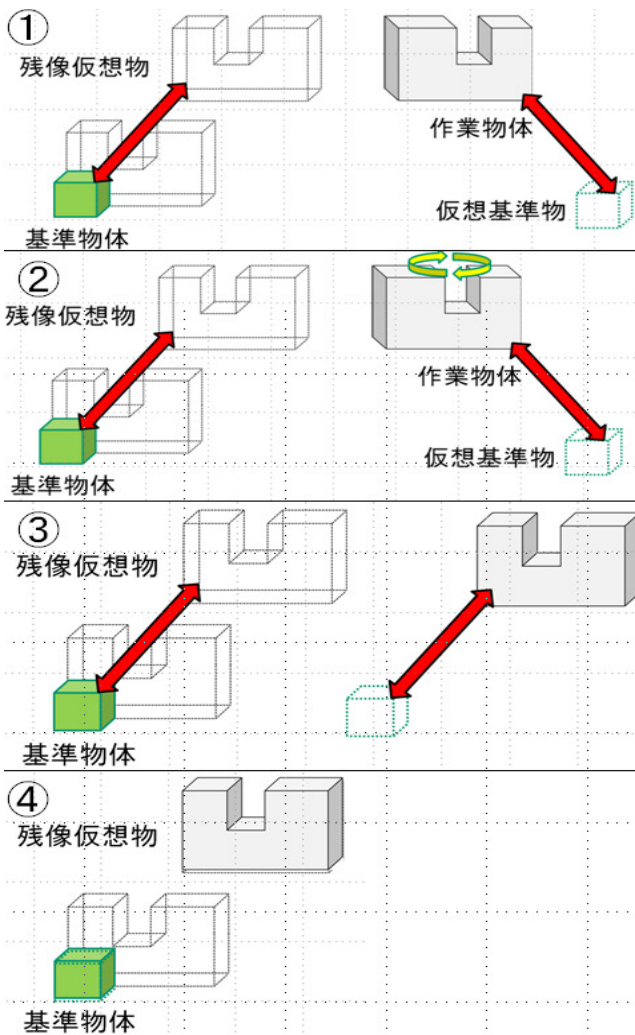


図 4 本提案のシステム概要

## 4. システムの実装

### 4.1 MR を利用した作業空間の構築

本提案では MR 環境を構築する手段として、CANON 社が開発した MR Platform IV システムを用いた。また実物体の位置を検出するために MR マーカを、そして仮想物体を観察するためのデバイスとしてビデオシースルーHMD を用いた。



図 5 MR マーカによる作業空間と HMD

### 4.2 物体座標系による表示

本提案システムでは、指示者と作業者が互いの作業状況を共有する際に、物体座標系を用いて実装を行った。物体座標系とはある一つの作業物体（基準物体）を基準とした座標系のことである。基準物体とその他の作業物体の相対的な位置姿勢を相手に送信することで作業状態を共有する。ある基準物体を中心に遠隔にいるユーザの作業物体が遠隔空間における位置姿勢関係を反映した位置姿勢で描画される。これによりユーザは基準物体を自由に動かすことで好きな角度から遠隔ユーザの作業状況を確認できる。

今回使用したシステムでは実際の作業の推移に従って空間内の原点を実際に移動させる（原点として登録しているマーカを変更する）のではなく、システム内では世界座標としてある一つのマーカを原点として扱いながら、行列計算によって原点の位置を移動させているようにみせる疑似的な物体座標系を用いている。指示者空間の各フレームにおける作業物体と基準物体の相対位置、基準物体の姿勢（角度）ベクトル、および作業物体の姿勢（角度）ベクトルを基にして、それぞれ移動行列 A、回転行列 B、回転行列 C、および作業空間における基準物体の位置ベクトルおよび姿勢ベクトルを基に移動行列 D、回転行列 E を算出する。これらの移動行列 A、回転行列 B、回転行列 C、移動行列 D、回転行列 E を用い以下の変換行列式を作業空間での基準物体の世界座標系における位置姿勢に適応することで世界座標の原点から見た基準物体を基準とした残像仮想物の位置を得ることができる。

$$A^{-1}B^{-1}CDE$$

### 4.3 残像仮想物と仮想基準物の生成

本提案システムにおいては遠隔協調作業の作業中、指示者の操作に応じてリアルタイムに残像仮想物を生成する。各フレームにおける指示者空間の基準物体と作業物体の世界座標系における位置姿勢情報を常に送信し続ける。この時、各環境において 20 フレーム毎にこの情報を記録する。この情報を元に、指示者空間における基準物体と作業物体の相対的な位置姿勢情報を計算し、それぞれの環境において残像仮想物を生成する。残像仮想物の数が増えすぎて視界的に煩雑にならないように残像仮想物の生成量は 5 個を上限とした。また、指示者空間における基準物体と作業物体の相対的な位置関係を利用し上記の物体座標系において逆の処理を行うことで作業物体を基準とした仮想基準物の描写が可能となる。作業者は表示される残像仮想物に対して時間的に古い残像仮想物から順々に作業物体を重ねていく。正しく作業物体が重畳された仮想物は消去される。作業者に対する正誤の Awareness をすると共に、指示者空間でも残像仮想物の状況を共有することで作業状態の進捗状況を確認することができる。

#### 4.4 作業の流れ

本提案システムにおける作業の流れを次に示す。本提案システムは複数の物体の組み立て作業を対象としている。ここで作業に内包されている一つ一つの物体の組み立てといった細かい作業をタスクと定義する。

##### (1) 初期状態

遠隔にいる作業者と指示者の空間には同型・同サイズの実物体が存在する。

##### (2) 作業開始

指示者と作業者が基準物体と作業物体の二つを手にとることで作業及び各タスクの開始が開始される。指示者が手にとった順に基準物体、作業物体としてシステムに登録される。

##### (3) 作業中

指示者が組み立て作業を実演することで指示を行う。両者の空間では基準物体を中心に互いの作業物体を表示するのに加え基準物体を中心に残像仮想物が描画される。さらに作業空間では作業物体を中心に仮想基準物を、指示者空間には指示者の作業物体を表す仮想物を中心に仮想基準物を提示する。作業者が残像仮想物に作業物体を重畳して作業を進めていき、作業の進捗度合いによって両方の空間に表示される残像仮想物が順々に消えていく。

##### (4) 作業遷移

指示者が作業の指示を終え、作業者がすべての残像仮想物を消去したときを一つのタスクの終了とし、再び指示者と作業者が作業物体を手にとった時、次のタスクに遷移する。

##### (5) 作業終了

すべてのタスクを終え作業を完了する。

作業空間（奥行き約 60cm）は二つの領域に分けられており、作業空間の手前半分を作業領域、奥側半分を待機領域とする。作業物体は初期状態においては全て待機領域に存在し、待機領域から作業領域に移動した際、その作業物体を手にとったと判定される。指示者は基準物体、作業物体の順で作業領域に移動させる。するとそれぞれ作業領域に移動させるタイミングで作業空間にある基準物体は青く、作業舞台は赤くハイライトされ作業者にアウェアする。

残像仮想物に対する重畳判定においては、上記で求めた残像仮想物の世界座標における 3 次元的位置の距離の比較をすることで位置の判定を行い、基準物体と作業物体、基準物体と残像仮想物の位置姿勢関係における法線ベクトルの内積の値を比較することにより向きの判定を行っている。

## 5. 実験

### 5.1 目的

残像を用いた遠隔 MR 環境において提案概念である相互

的な位置関係の提示手法を、相互的な位置関係の提示をしない従来手法と比較し、本提案が作業効率に与える影響を検証する事を目的とする。本提案の有効性を検証するにあたり、従来手法に対して、作業時間とミスの回数を計測しどの程度差が出るかを評価する

### 5.2 実験対象

本実験においては工業製品の組み立て作業のモデルとして 6 Burr Puzzle の 4 つの部品の組み立て作業を実験対象とした。これら 4 つの部品は図のように筒状の部品に加え、左右に類似した形状を持つが対称ではない部品の 3 つを採用した。作業内容として筒状の部品に対してその他の部品を組み込むような作業内容となっている。作業内容として組み立てのパターン (a, b) を 2 種類用意した。部品の組み込み方の左右を入れ替えたものであり難易度の違いは生じないと考えられる。

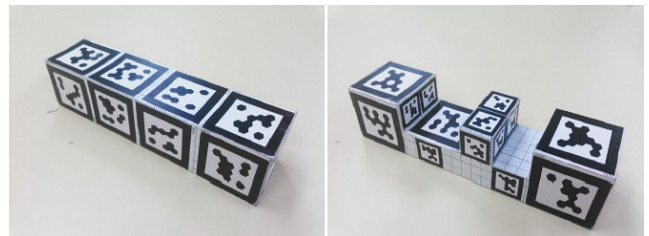


図 6 筒状部品と類似した特徴点を含む部品 A

### 5.3 実験方法

実験は指示者役、作業者役の 2 人 1 組となって行う。指示者役は作業の練習および MR 環境での作業経験を積んだ実験者 1 名が固定で行い、被験者には作業者役で実験を行ってもらった。作業者と指示者の作業環境内には同形・同サイズの 6 Burr Puzzle の上記部品が 4 つ存在し、この 4 つの部品を組み立て作業を行っていく。なお、実験中の音声会話は可能となっている。

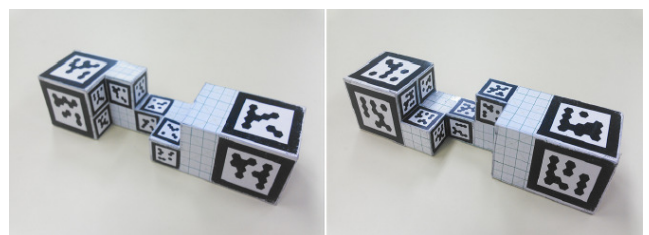


図 7 部品 B と部品 C

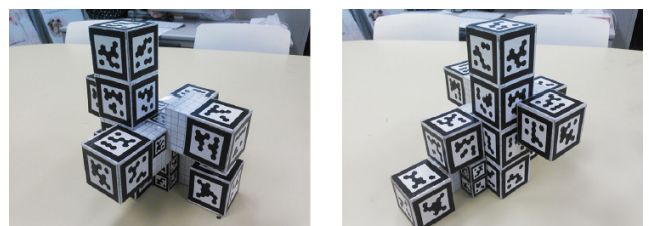


図 8 2 つの組み立てパターン

まず作業内容及び MR 環境に対する説明を行った後、被

験者をグループ A とグループ B に分ける。グループ A の被験者には最初に提案手法を用いて実験を行った後、従来手法を用いた実験を行ってもらった。グループ B の被験者には最初に従来手法を用いて実験を行った後、提案手法を用いた実験を行ってもらった。さらにそれぞれのグループで組み立てパターン a から始めるグループとパターン b から始める 2 つのグループに分けることで順序効果に配慮した。20代の MR 環境に習熟していない情報工学生 10 名に対して計測項目として組み立て作業の開始時点、具体的には作業者が指示者による指示を受け、最初の 2 つの部品を作業領域に入れた瞬間から作業の終了時点、作業者がすべての部品を組み込み終わった瞬間までの時間を計測する。また残像仮想物に対して実物体を誤って重ねて指示者及び作業者が修正した回数を計測する。また実験後には 5 段階評価のアンケートを実施した。

## 6. 結果

### 6.1 作業時間

被験者がパズル部品の組立作業に要した作業時間のミス平均は次の表の通りである。

表 1 実験結果

	平均作業時間(秒)	平均ミス回数(回)
提案手法	157.8	2.1
既存手法	245.2	3.9

作業時間の及びミス回数の平均は提案手法の場合は 136.8 秒、2.1 回、従来手法の場合は 245.2 秒、3.9 回となった。なお作業時間及びミス回数の平均結果は提案手法である物体座標系による組立指示提示と従来手法である世界座標系による組立指示との間で、いずれの項目においても t 検定で 1 %水準の有意差が得られた。

### 6.2 アンケート

実験を行った後に被験者に対して行ったアンケートの結果を表に示す。このとき被験者には、アンケートに対する評価として次の 1~5 を選んで一つを回答してもらった。[1. 全くそう思わない 2. あまりそう思わない 3. どちらとも言えない 4. そう思う 5. 強くそう思う]

アンケート結果は提案手法と既存手法の間において t 検定で 1 %水準の有意差が得られた。

表 2 アンケート結果

	ストレスを感じた
提案手法	2.3
既存手法	3.9

### 6.3 考察

実験結果から、提案手法により、従来手法と比べ有意に作業時間短縮およびミスの減少が認められた。この要因として、作業者及び指示者がミスに対して早期に気づくこと

ができたことが挙げられる。従来手法においては作業者はまず大まかに作業物体と残像仮想物の位置を合わせた後、向きの調整を行う。この時初めてシステム及び指示者から誤りをアウェアされることとなる。また指示者側においても、作業者が作業物体を移動させている時点では、作業者の作業状態を共有しているといっても仮想物は常に動き続けており、作業者が正しく重ねようとしているか判断するのは難しい。作業者が位置合わせを終え、一旦停止してから作業者の作業物体の向きが正しいか、誤っていればどのように修正するべきかといった判断を下す場面が多々生じた。

そこで本提案を用いることで作業者は作業物体を移動させ位置をあわせる段階において既に仮想基準物の位置から指示仮想物との整合性がとれていないことに気づく事ができる。また指示者側においても作業者側に表示されている仮想基準物の位置を確認することで作業者が現在どのような向きで作業物体を持っているかを予想することができる。

またアンケートの結果からユーザストレスの軽減されていることもわかる。これの関してもやはり上述した作業者及び指示者がミスに対して早期に気づくことができたことが最も大きな要因であると考えられる。ユーザストレスの最も大きな原因はミスが発生した場合でもミスに気づくことがなく修正方法もわからないという状態である。しかし本提案手法においてはユーザのミスの早期発見を促進し、修正方法のわかりやすい提示を行っている。このことからユーザストレスの軽減につながったのではないかと考えられる。

## 7. まとめ

近年、現実空間に複合現実感を用いた作業支援に関する研究が盛んに行われている。多くの MR を用いた作業支援システムではアイコンや作業対象である物体を模した仮想物といった CG を用いて、場所の指定や作業内容の提示をすることによってユーザの支援を行っていく。作業支援も大別して二つあり、一つは予め設定されたシステムの指示にしたがって作業者が作業を進めていく非同期作業支援。もう一つは指示者がリアルタイムに作業者に対してアドバイスや指示を行い支援していく同期作業支援である。後者は協調作業支援とも呼ばれ、特にお互いが遠隔地にいてもリアルタイムに協調作業を行うことを支援する遠隔協調作業支援に関する研究が注目を浴びている。

我々は先行研究として、遠隔協調作業支援に物体座標系と残像の概念を導入した。物体座標系とはある一つの作業物体を基準とする座標系である。他の作業物体と基準物体の相対的な位置姿勢関係を遠隔に伝達することで、基準物体を中心にお互いの作業状態を共有する。これにより作業者、指示者は基準物体を自由に扱いながらの遠隔コラボレ

ーションが可能となる。

また遠隔協調作業支援では、作業者が持つ作業物体を模した仮想物を遠隔地にいる指示者が操作して、その動作をユーザに提示することにより、作業を指示する手法がよくとられている。この時、仮想物の動作の軌跡を残像仮想物群としてユーザに提示することでユーザは作業を一覧することができ、複雑な作業内容でも把握が容易となった。しかしユーザは指示、残像仮想物に追従して作業を進めていくが、残像仮想物を提示することにより、ユーザが自分の作業物体と仮想物を比較する機会が多くなってしまい、作業時間、ユーザのストレス、ともに増大してしまう。

そこで私は残像を用いた MR 遠隔協調作業における相互的な位置関係の提示を提案する。ユーザの作業時間、ストレスの増大の根本的な原因はユーザが持っている物体と提示されている仮想物の特徴点の比較が困難であるからである。特に工業製品のように類似的な形状が一つの物体に内包されている場合、この問題が顕著に現れる。そこで私はユーザに対して、基準物体を中心とした残像仮想物だけではなく、残像仮想物を基準とした基準物体の位置の提示を行う。これによりユーザは残像仮想物と作業物体、さらに基準物体の位置を合わせるだけで作業を完遂することができる。つまり作業物体と仮想物の特徴点の比較を行う必要がなくなり、作業時間の減少が期待できる。

相互的な位置関係提示を行わない残像を用いた MR 遠隔協調システムとの比較を行った結果、作業時間の短縮、及びミスが減少が認められた。以上のことから本提案システムを用いることによって効率的に仮想物との重畳作業が進められるといえる。

## 8. 今後の展望

今回は遠隔協調環境での実装を行ったが、本提案は MR マニュアルなどでも利用できる手法である。今後の展望としては、残像を用いた MR マニュアルに本手法を用いることで、残像マニュアルの利点をうまく活かし、よりよいマニュアルに改善することに取り組みたい。

**謝辞** 本研究の一部は文部科学省科学研究費補助金 (A) 課題番号 22243037 (2015 年)、またキャノン株式会社の支援により行われた。

## 参考文献

- 1) 伴好弘, 和田誠一郎, 佐藤宏介, 千原国宏: 協調現実感による電子部品検査の作業支援; 日本バーチャルリアリティ学会論文誌 Vol.3, No.3, 1998
- 2) 川島高志, 加藤博一, 橋啓八郎: 拡張現実感を用いた3次元部品組み立てマニュアルとその評価; 社団法人 電子情報通信学会
- 3) Henderson, S. J., Feiner, Steven K, Augmented reality in the psychomotor phase of a procedural task Mixed and Augmented Reality (ISMAR), 2011 10th IEEE International Symposium, pp.191-200, 2011.
- 4) 遠藤裕之, 多々良樹, 岡田謙一: 被作業物の切り替わる組立作業における物体座標系による作業指示; 情報処理学会第21回マル

チメディア通信と分散処理ワークショップ, pp.276-283, 2013 年 12 月.

5) Yuta Okajima, Shun Yamamoto, Yuichi Bannai, Kenichi Okada, An Instruction Method for Displaying Trajectory of an Object in Remote Collaborative MR on the Basis of Changes in Relative Coordinates, SAINT 2009, pp.43-49, July 2009.

6) 遠藤裕之, 古矢真之介, 岡田謙一, "仮想物を残像として用いた MR マニュアルとそのオーサリングツール", 情報処理学会 マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO 2014)シンポジウム, pp.945-951, 2014 年 7 月.

7) X Wang, PED Love, MJ Kim, W Wang, Mutual awareness in collaborative design: An Augmented Reality integrated telepresence system Computers in Industry, Volume 65, Issue 2, February 2014, Pages 314-324.