

# 複合現実空間における仮想物に関する情報を用いた 作業分析支援

宮狭 和大\* 坂内 祐一† 宮田 章裕\* 本田 研作\* 重野 寛\* 岡田 謙一\*

複合現実感技術を用いて現実空間に仮想物を重畳させることで、産業分野などにおける作業をシミュレーションすることができる。そのような作業の映像記録を参照することで作業の分析が可能であるが、作業映像のみからの分析では、作業把握に有効な場面を知る指標が得られず、また空間的分析が不可能なため、十分な分析を行うことが難しい。そこで本稿では、作業者が装着しているビデオスルー HMD の映像に仮想物に関する情報を関連付けて可視化することにより、MR 空間における作業分析を支援することを提案する。そして提案概念を実現する作業分析支援システム MR Quick Analyzer を構築し、その有用性を評価した。

## A Visualization Method of Work Analysis Support System Using Information about Virtual Objects in Mixed Reality

Kazuhiro MIYASA\* Yuichi BANNAI† Akihiro MIYATA\*  
Kensaku HONDA\* Hiroshi SHIGENO\* Kenichi OKADA\*

Mixed Reality technology, which merges virtual objects into the real world, enables to simulate several works. Though it is possible to get the video from the video-see-through HMD that the user is wearing, it is not sufficient to analyze the work. We propose a new method to analyze the work in Mixed Reality space visualizing information about virtual objects connected with the video. We have implemented a work analysis support system called MR Quick Analyzer, and we evaluated the usability of the system.

### 1 はじめに

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 (Mixed Reality: MR) 技術は、現在、産業分野における作業支援 [1][2] やエンターテインメント [3]・医療技術 [4] など様々な分野に応用されている。特に作業支援においては、作業者が MR 空間内で仮想物とインタラクションをすることによって様々な作業をシミュレーションすることができる。

このような MR 空間における作業シミュレーションの内容を記録し、後に作業記録から内容分析を試みるという状況を想定する。このとき、一般的には作業者が作業を行う様子をビデオ映像の記録として取得可能である。しかし、作業映像のみを材料とし

て作業を分析する方法では、映像全体から作業把握に有効な場面を知る指標が得られず、また作業環境に関する空間的分析が必要となる場合、2 次元的な映像からはそれが不可能であるため、十分な分析を行うことが難しい。

そこで本研究では、MR 空間における作業記録からの作業分析を支援するため、MR 空間で行われる作業情報として得られる、仮想物に関する情報を利用した作業分析支援を提案する。

この情報を作業時に得られたビデオ映像と関連付けて可視化することにより、作業映像を確認する際に分析者はより効率の良い十分な分析が可能となることが期待される。

本研究では、この提案を実現するシステム MR Quick Analyzer を構築し、その有用性を評価した。以降 2 章では本提案の背景及び従来手法の問題点を述べる。3 章では MR Quick Analyzer の設計、4 章では MR Quick Analyzer の実装について述べる。5 章では提案概念を評価するための実験について述べ

\* 慶應義塾大学 理工学部 情報工学科  
Department of Instrumentation(Information), Faculty of  
Science and Technology, Keio University

† キヤノン (株) MR システム開発センター  
MR Systems Laboratory, Canon Inc.

## Mixed Reality(MR)空間

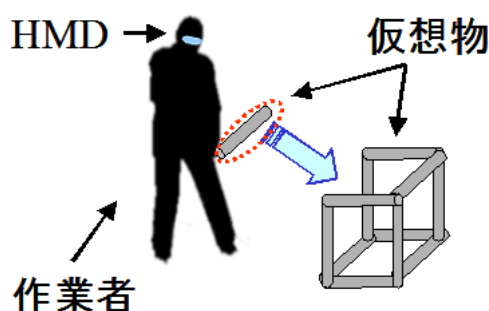


図 1: MR 空間における仮想物とのインタラクション

る．最後に 6 章で本研究の結論と今後の展望について述べる．

## 2 提案背景と従来の問題点

### 2.1 MR 空間における作業シミュレーション

現実空間で作業設計を行うことを考えた場合，作業環境実現にあたって時間やコストを要するもの，或いは危険を伴うものに関しては，その作業をシミュレーションすることができれば，実際に作業を行わずとも内容の把握・分析が可能となる．或いは，作業環境のレイアウトの検討などにおいては，作業レイアウトを変えながらシミュレーションを重ね，分析する必要がある．

このような作業のシミュレーションを実現するために，現実空間に CG や文字などの電子データを重ねる技術である複合現実感技術の利用が有効であると考えられる．この技術を利用することで，図 1 のように HMD (Head Mounted Display) を装着した作業者は，MR 空間内で仮想物を実物に見立ててインタラクションすることが可能である．

その一つとして，部品を組み立てる作業設計シミュレーションにおいて，実物の作業台の周囲に仮想の部品棚を配置し，部品棚のレイアウトを自由に変更して最適配置を求める例などが考えられる．このように，VR (Virtual Reality) とは異なり実空間で作業者自身の動作でシミュレーションできるのが MR の最大の利点である．

### 2.2 現状の作業分析の問題点

上述のような MR 空間における作業シミュレーションの内容を記録し，後に分析・把握することを

考える．

通常，作業記録からの作業分析を考えた場合，作業映像を用いることが一般的であり，記録された作業映像を解析し，様々な形で再生することで作業習得・改善に役立っている [5]．

しかし，作業映像のみを材料にして作業分析を試みる方法では，次のような点で作業把握のために有益な情報を得ることが困難であるといえる．

- ビデオ映像はシーケンシャルなパターン情報なので，作業把握に必要な場面を見つけるためのインデックスを持たない．
- ビデオ映像は 2 次元の情報なので，位置や距離が直接的に把握できない．

前者から，特に作業時間が長ければ長いほどそのビデオ映像の中から作業内容の把握に必要な場面を見つけにくくなり，効率の良い分析が困難であるといえる．

また後者から，例えばマシンの動力部の操作作業など，作業者の身に危険が及ぶ作業においては，作業者が一定の範囲内に近づいてはならない区域や物体が存在する可能性があり，そのような場合には，作業分析の際に作業者と危険領域・危険物についての空間的な分析が必要となるが，それが困難であるといえる．

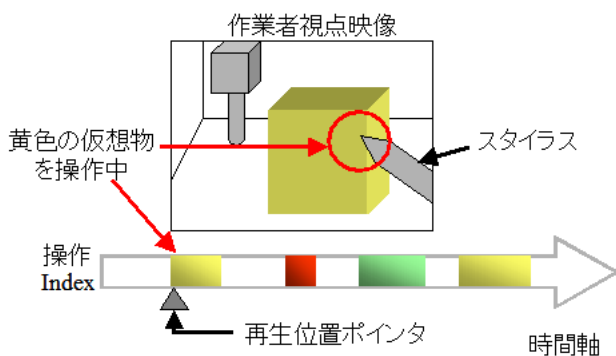
## 3 MR Quick Analyzer の設計

### 3.1 MR 空間における仮想物に関する情報を利用した作業把握支援の提案

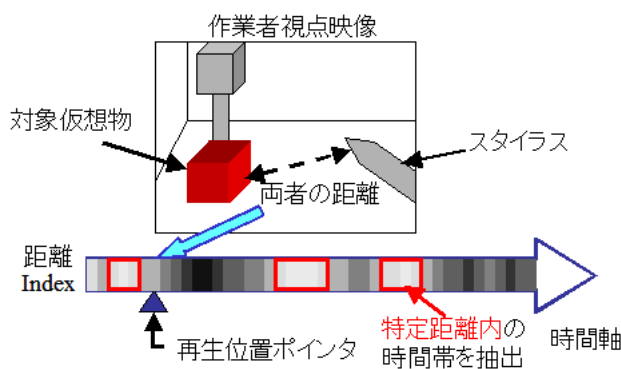
MR 空間において作業者が仮想物を操作している場面は作業場面全体の中で非常に重要な部分であり，それを知ることができれば，作業内容の把握のための大きな指標になると考えられる．

また，作業者と危険領域についてなどの空間的な分析が必要な場合には，作業者と仮想物との距離情報を知ることができれば，それは空間的分析の重要な要素になると考えられる．

本研究では MR 空間における仮想物に関する情報を利用した作業分析支援を提案する．仮想物に関する情報とは，作業者がどの仮想物をどの時間に把持していたかという操作情報及び作業者と仮想物との距離情報を指す．本提案ではこれらの情報を作業時に記録し，作業映像と関連付けて可視化することにより，作業者による仮想物操作情報及び作業者と仮想物との距離情報を基にした作業映像の確認を可能



(1) 仮想物操作Index



(2) 仮想物距離Index

図 2: 仮想物情報の可視化の概念図

にすることで、MR 空間における作業についての分析支援を試みた。

そして、これを実現するためのシステム MR Quick Analyzer を構築した。MR Quick Analyzer では作業映像として、記録を確認する際に作業者の立場になって内容を把握できるように、作業者が装着している HMD の視点映像を取得した。

### 3.2 仮想物情報による作業映像の Index

仮想物に関する情報を作業者視点映像と関連付けて可視化する一つ的手段として図 2 に示すように作業映像の時間軸に沿ってそれらの情報を付加したラベルをマッピングすることによって作業映像へのインデックスとして表示する方法を用いる。

このような仮想物情報の可視化方法は、他の文字や数値などによる情報の表示に比べて省スペースであり、また直感的に情報を把握できるので、作業映像へのアクセシビリティが高いという特徴を持つ。

#### 3.2.1 仮想物操作情報の可視化

作業者による仮想物操作情報として、具体的には作業者がどの仮想物をどの時刻につかみどの時刻に離れたかという情報を取得する。作業者がどの仮想物を操作したかを表す情報として、仮想物の色情報を表現したラベルを用いた。

分析者は図 2 の (1) のように、仮想物の操作情報を可視化した仮想物操作 Index をキーにして、指定した仮想物の操作シーンにアクセスすることができる。

#### 3.2.2 仮想物との距離情報の可視化

作業者と仮想物との距離情報としては、作業者が仮想物操作に用いるスタイラスと仮想物との距離を取得する。このとき、距離情報の大小を色の明暗で表現したラベルを用い、距離が近いほど明るい色で表現するようにした。

分析者は図 2 の (2) のように、作業者と仮想物の距離情報を可視化した仮想物距離 Index をキーにして、そのときの作業映像にアクセスすることができる。或いは、仮想物距離 Index を見ることで再生中のシーンにおける距離情報を把握することができる。また、作業者がどの程度危険領域に入ったかなどを分析できるように、距離情報が特定の値以内のときの時間帯を抽出することを可能にした。

## 4 MR Quick Analyzer の実装

### 4.1 MR 空間における作業環境の構築

MR 空間における作業環境を構築する手段として、CANON 社が開発した MR Platform システムを用いた [6]。MR Platform システムでは、MR 空間を表示するデバイスとしてビデオシースルー HMD を、現実空間と仮想空間の位置合わせの手段として磁気センサ及びマーカによるハイブリッド手法を、そして仮想物操作環境のためのデバイスとして磁気センサのレシーバを搭載したスタイラスを用いている。

仮想物を操作可能な環境を構築するために、磁気センサのレシーバとしての機能も兼ねている Polhemus 社製のスタイラスをデバイスとして使用した。

このスタイラスにはボタンが一つ付いており、このボタンを押した瞬間及び放した瞬間に様々な処理を行うことができる。また、スタイラスは磁気センサのレシーバとしての機能を備えているため、6 自由度位置姿勢を検出可能である。従って、スタイラスのボタンを押した/離れた瞬間に現在のスタイラスと仮想物との距離を導き出すことが可能であり、そ

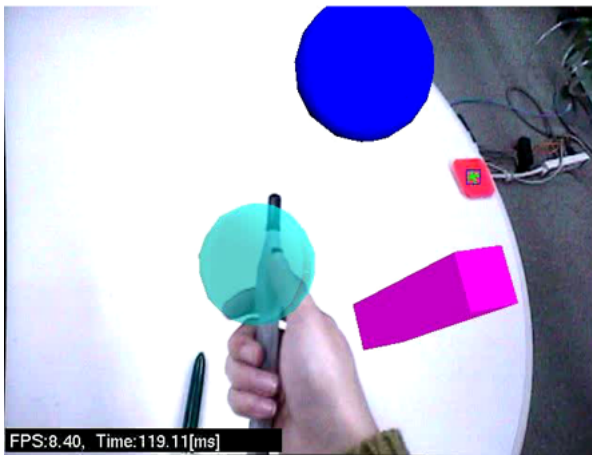


図 3: 仮想物把持可能範囲の可視化

れを利用してスタイラスの中心から半径 5cm の範囲内に仮想物が入った時に作業者は仮想物をつかむことのできる環境を構築した。もし、その範囲内に複数の仮想物が含まれた場合には、その中で最もスタイラスとの距離が近いものを操作対象とする仕組みにした。それは、MR 空間における作業を基本的に一回の仮想物の操作では一つの物しかつかまないと想定したためである。さらに、図 3 のように仮想物把持可能範囲を透明の水色で可視化することで、作業者が仮想物をつかめる範囲を明確にし、現実にもつかむような感覚で仮想物を把持できる環境を実現した。

#### 4.2 作業情報の記録及び関連付け

本システムでは、仮想物に関する情報を作業者視点映像と関連付けるために、作業者視点映像をキャプチャすると同時に、その時の仮想物情報を取得した。仮想物操作情報に関しては、まず映像のキャプチャの瞬間に作業者が仮想物を把持しているかどうかの判定を行い、結果が YES の場合には、さらに把持されている仮想物の色情報を記録した。仮想物距離情報に関しては、画像キャプチャの瞬間にスタイラス及び指定された仮想物の 3 次元位置座標を記録し、2 者間の距離を算出した。

このように、映像をキャプチャするたびに仮想物に関する情報を記録することで、ある作業映像と仮想物操作情報及び仮想物距離情報の関連付けを実現した。

#### 4.3 作業分析インターフェース

3.2 で作成した仮想物情報による作業映像の Index を利用して、MR 空間で行われた作業の分析を支援

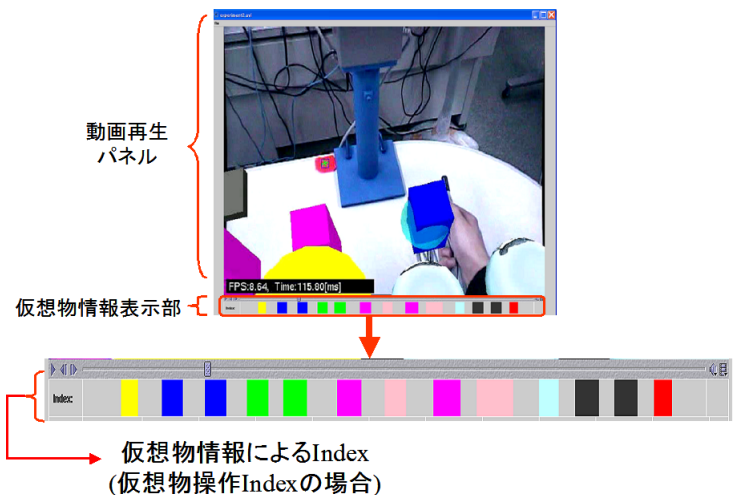


図 4: 作業分析インターフェース

するためのインターフェースを作成した。図 4 に示すように、インターフェースは上部の動画再生パネル、下部のメディアコントローラ及び仮想物情報表示部から成る。

仮想物操作情報を分析に用いる場合、図 4 のように、メディアコントローラのシークバーの真下に仮想物情報 Index が表示されるので、それをキーにして知りたい映像にアクセスすることができる。仮想物距離情報を分析に用いる場合、距離情報が知りたい仮想物を選ぶと、仮想物操作 Index と同様に仮想物距離 Index が表示されるので、それを確認することで、各場面ごとに作業者からの距離情報を確認することができる。

### 5 実験：作業内容の把握確認実験

本実験では、仮想物に関する情報のうち、仮想物操作情報を用いた作業把握支援の確認を実験目的とした。

#### 5.1 実験内容

実験の準備段階として、あらかじめ MR 空間において作業を行った。ここでは、一般に考えられる部品の組立作業を模した一例として、ロボットを組み立てる作業のシミュレーションを行った。実際には、作業者は人型ロボット及び犬型ロボットの 2 パターンの組立作業を行った。

組立作業の詳細は、デスク上に等間隔に配置された仮想部品 (合計 15 個) から順番に部品を選び、それを一箇所に組み立てていくという内容である。その際、最初の組立部品以外の部品に関しては、既に

組み立てられた仮想部品のどれか一つ以上に必ず接続されるようにした。

この作業の一部始終の作業映像を両作業共に、HMD から見える作業者視点映像の動画として取得した。動画の合計時間は両方とも約 2 分間であり、組立作業の内容以外は全て同じ条件とした。

#### 被験者へ課したタスク

被験者には各作業映像について、制限時間 4 分間でその動画を見ながら問題に解答するというタスクを課した。出題した問題の内容は、各作業映像について仮想部品が組み立てられた順に、その初期位置及び接続先の仮想物の色・形状を回答する、というものにした。その具体的な説明を以下に述べる。

- 初期位置について

被験者は、仮想部品の初期位置のモデルが載せられた表から、現在映像の中で操作中の仮想部品が最初に置かれていた位置を選び、該当する記号を回答する。

- 接続先の仮想物について

映像の中の作業者が操作中の仮想部品を別の仮想部品に接続した場合、被験者は接続された側の仮想物の色・形状を回答する。例えば、図 5 のように、次に操作する仮想物が初期位置 D の青い直方体であり、それを組み立て中の物体の上部の濃いピンク色（マゼンダ色）の球体に接続した場合、回答するのは、「マゼンダ」と「球」である。

被験者にこのようなタスクを課すことにより、動画の中の作業者が仮想部品をどこからつかんで、組立途中の物体のどの部分へ接続したかについて、被験者が制限時間内にどの程度把握できたかを確認することができる。つまり、このタスクにより被験者がいかに素早く正確に作業内容を把握できたかを定量的に判断することができる。

#### 比較

被験者には、一方の作業映像については実装した仮想物操作 Index を用いて問題を解いてもらい、もう一方の作業映像については仮想物操作 Index を使わずに映像のみを見ながら解いてもらった。Index を用いた場合の方がよい結果となることを想定し、このような比較を行うことで、仮想物操作 Index が作業把握を支援することの確認を試みた。

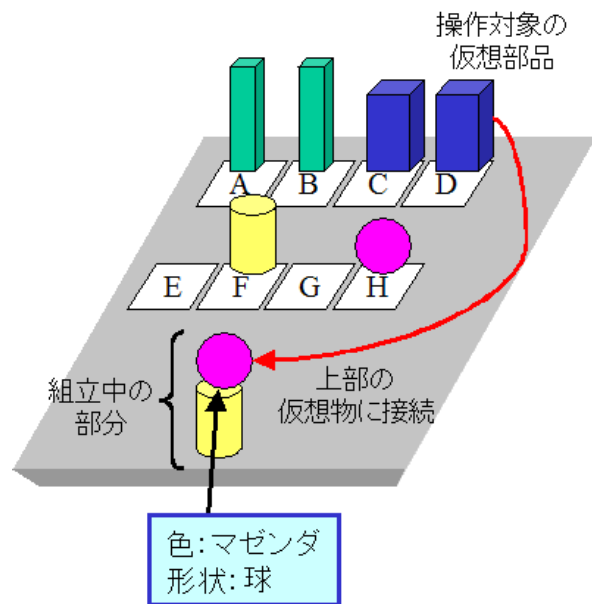


図 5: 組立作業のイメージ

表 1: 実験結果

	Index なし	仮想物操作 Index
解答欄中の空欄率	0.251	0.138
正答率	0.657	0.796

(値は全て平均値, N = 24 値)

## 5.2 実験結果と考察

まず、表 1 の解答欄中の空欄率を見ると、仮想物操作 Index を利用せずに問題を解いた場合の解答欄中に空欄が占める割合は、利用した場合の 1.8 倍にも上る。この解答欄中の空欄は、被験者が制限時間中に問題を解き終えている部分ではなく、全て時間中には間に合わず解答できなかった部分であることが、実験中の被験者の観察及び結果から判明している。従って、この結果から仮想物操作 Index を用いた場合の方が、利用しない場合よりも時間中に多くの問題を解くことができたことが分かる。言い替えると、仮想物操作 Index を用いた方が素早く作業映像を確認することができたことを意味する。

次に、表 1 の正答率の欄を見ると、仮想物操作 Index を利用した方が、利用しない場合よりも高い正答率を出している事が分かる。この差が有意なものである事を確認するために、仮想物操作 Index を利用した場合の各被験者の正答率の集合と、利用しな

い場合のそれとの間で  $t$  検定を行ったところ、棄却率  $p$  は以下ようになった。

$$p = 0.0074 \quad (N = 24, \quad p < 0.01)$$

このことから、この2群の間には有意水準1%で有意に差がある事が分かる。従って、仮想物操作 Index を利用した方が作業映像の内容をより多く確実に把握できたといえる。

この事と、先ほどの解答欄中の空欄率から得られた考察の内容を総合すると、仮想物操作 Index を用いることでより効率よく短時間で正確に作業を把握することが可能となったことが分かる。従って、仮想物操作情報の作業映像への関連付けによる可視化は、作業把握のための信頼に足る指標であるといえる。

## 6 結論と今後の展望

本稿では、MR空間における作業分析支援手段として、作業把握のための重要となる仮想物の把持に関する情報及び空間的分析のために有効となる仮想物までの距離情報を作業映像と関連付けて表示し、それらを基にした作業映像の確認を可能にすることで、作業の分析を支援のための枠組みを提案した。この提案概念を実現するためのシステムの1例として、MR Quick Analyzer を構築し、実際に、仮想物に関する情報のうち仮想物操作情報を用いた作業把握支援の有用性を実験により確認した。

今後の展望としては、今回仮想物操作情報として可視化したのはその仮想物の色情報であったが、色によって判別できない仮想物が多数ある場合には、それ以外の手段で仮想物を判別する必要がある。その例として、仮想物の形状やIDなどの表示が考えられる。従って、本システムをより多くの作業環境に柔軟に対応できるようにするには、そのような情報を付加する必要があると考えられる。また、提案におけるもう一方の仮想物情報である、仮想物距離情報を用いた作業把握支援について、作業員から危険領域までの距離情報などを例にとり、その有用性の評価を行うことで、本提案の有効性を確認する必要があると思われる。

## 参考文献

[1] Anthony Webster, Steven Feiner, Blair MacIntyre, William Massie, Theodore Krueger: "Augmented Reality in Architectural Construction, Inspection, and Renovation",

Proc. ASCE Computing in C.E., pp.913-919, 1996.

- [2] 坂内 祐一, 山本 裕之: "複合現実感による作業支援" GN-49-4, pp19-24, 2003.
- [3] 大島登志一, 佐藤清秀, 山本裕之, 田村秀行: "RV-Border Guards:複数人参加型複合現実感ゲーム" TVRSJ Vol.4, No.4, pp.699-706, 1999.
- [4] 廖洪恩, 中島勸, 岩原誠, 小林英津子, 佐久間一郎, 矢作直樹, 土肥健純: "Integral Videography を用いた手術支援リアルタイム三次元ナビゲーションシステムの開発", 日本コンピュータ外科学会誌 J.JSCAS Volume 2, pp.245-252, Number 4, 2000.
- [5] 勝呂隆男: "経営工学におけるITツール", 技術士 日本技術士会創立50周年記念特集号, pp.84-87, 2001.
- [6] S. Uchiyama, K. Takemoto, K. Satoh, H. Yamamoto, and H. Tamura: "MR Platform: A basic body on which mixed reality applications are built," Proc. IEEE and ACM Int. Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR 2002), pp.246-253, 2002.