

## 遠隔MRコラボレーションへの チェックイン・チェックアウトモデルの応用

亀井 銀河<sup>†1</sup> 松山 岳史<sup>†1</sup> 岡田 謙一<sup>†2,†3</sup>

近年、遠隔コラボレーションシステムでは複合現実感 (Mixed Reality) 技術を用いて、遠隔間でユーザが所持している実物体を機械的な仕掛けなしで状態を共有していくことが実現されている。しかし、これらのシステムは共有するという点を重要にしているため、見たくない、または見せたくない情報も共有されてしまい、このような情報を協調作業において利用できなかった。そこで本研究では「遠隔MRコラボレーションへのチェックイン・チェックアウトモデルの応用」を提案する。これまで共有空間しかなかった作業空間に、MR技術によって3次元空間として相手に干渉されない個人空間を構築することで、チェックイン・チェックアウトモデルを空間に適用する。空間の使い分けにより必要なときにみに情報を共有できる遠隔協調作業が実現でき、扱える情報や作業の幅を広げることが出来る。本研究ではこの提案概念を実現するためのシステムを実装し、評価実験によってこの提案手法の有効性を確認した。

### Application of the Check In/Out Model to Remote Collaboration with Mixed Reality

GINGA KAMEI,<sup>†1</sup> TAKESHI MATSUYAMA<sup>†1</sup>  
and KEN-ICHI OKADA<sup>†2,†3</sup>

Recently, it was realized to share real objects between remote sites without any mechanical devices by using Mixed Reality(MR) technology in remote collaboration. But, in such systems, even information that a user doesn't want to see or show was shared because the important point in these systems was to share. Thus users could't use such information in the remote collaboration. In this paper, we propose application of the check in/out model to remote collaboration with mixed reality and adapt check in/out model to 3D space to add a private space with MR into workspace which was a share space. This proposal can realize that users share only information which they want to do by choosing an appropriate space, and expand the kind of work and information which can be used in the collaboration system. This paper presents the implementation for our proposal and the evaluation of the effectiveness of it.

### 1. はじめに

実物体を用いて行う遠隔コラボレーションシステムは、遠隔間で実物体の状態をどのように同期させていくかが非常に重要となる。また近年では仮想世界へ現実世界の情報を取り込むことが可能な複合現実感 (MR) 技術を用いるコラボレーションが研究されている。<sup>1)2)</sup> このような研究では情報を共有するという点が重要であるため、常にお互いの状態を共有しているものがほとんどである。しかし協調作業の中には試行段階や秘密のノウハウなど見たくない、または見せたくない情報も存在し、従来研究ではこのような情報も常に相手と共有してしまう。この問題の解決法として個人空間の構築が研究されているが<sup>3)4)</sup>、これらは主に2次元の画面上や仮想上に構築されたシステムであり、3次元の空間では実現されていない。

本研究ではその部分に着目し、「遠隔MRコラボレーションへのチェックイン・チェックアウトモデルの応用」を提案する。これはデータベースにおいて古くから利用されているチェックイン・チェックアウトモデルの考え方<sup>5)</sup>を3次元の空間上に適用したシステムである。作業空間内に個人空間を構築することで共有したくない作業は個人空間、共有すべき作業は共有空間で行うといった空間の使い分けが出来るようになる。これにより必要な時のみ情報共有できる遠隔コラボレーションが実現でき、扱える情報や作業の幅を広げることが出来る。そのため自身のみが知りえるノウハウを扱う作業や互いに戦略を練って行う作業への応用が期待できる。本稿では、この提案概念を実現するシステムを実装し、評価実験を行うことによって提案手法の有効性を確認する。

### 2. 関連研究

#### 2.1 実物体を用いた遠隔コラボレーション

実物体を用いた遠隔コラボレーションでは、対面環境とは違い同じ実物体を共有することは物理的に不可能であるため、遠隔地にある実物同士の状態をどのように共有させるかが重要な課題となる。この課題を解決するための手法として、まず機械的な仕掛けによる実物

<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

Faculty of Science and Technology, Keio University

<sup>†3</sup> 独立行政法人 科学技術振興機構

Japan Science and Technology Agency

体の状態同期が挙げられる。<sup>6)</sup>しかしこの場合実物体の動きは常に強制的に同期されてしまい、ユーザの操作に大きな制約がかかってしまう。

著者らはこれらの問題点を解決するシステムとして、MR 技術を用いた実物体の状態同期を行ってきた。<sup>2)7)</sup>この手法では遠隔のユーザが行った実物体の操作を MR 環境において仮想物として提示することで、実物体の共有を行った。これにより両方のユーザそれぞれが実物体を所有し、それを自由に操作することが可能となった。

## 2.2 協調作業における個人空間

個人空間を持つ協調作業支援システムはこれまでも研究されている。Pinelle らはテーブルトップ上で相手からの干渉を防ぐことのできる個人空間を実現する事で協調作業の効率化を図っている。<sup>3)</sup>四宮らは共有空間であるテーブルトップ環境と個人空間であるラップトップ PC を利用する協調作業支援システムにより、個人空間で編集作業を行いつつ共有空間で検討作業を行うことを実現した。<sup>4)</sup>しかしこれらは 2 次元の画面内で行う作業を対象としており、著者らが研究してきた現実空間における 3 次元的な作業は対象とされていない。

## 3. チェックイン・チェックアウトモデルを適用した遠隔 MR コラボレーション

### 3.1 遠隔コラボレーションにおけるチェックイン・チェックアウトモデルの重要性

遠隔コラボレーションでは見えない相手と協力して目的を成し遂げなければならないため、相手から情報を守るようなチェックイン・チェックアウトモデルは一見不要のように思える。しかし、そのような協調作業の中にも、共有すべきではない作業が存在している。それらは大きく分けて、「見たくない作業」と「見せたくない作業」の二つに分類される。

「見たくない作業」は、その作業の結果が直接作業の最終目的に関与しない作業が該当する。例えば、本作業に至る前に考えながら行っている準備・試行段階の動きである。この動きはユーザにとっては本作業に至るために必要不可欠な作業ではあるが、協力して作業を行っている相手と一部始終を共有する必要はない。また、作業の合間で休憩している時の何気ない動きも該当する。相手が次の作業を想定して何気なく練習している状況が目に入ると、ユーザは邪魔に思えて集中力を欠く可能性がある。「見せたくない作業」は、作業の結果は共有してよいが、作業の過程や使用する要素は隠したい作業が該当する。例えば、自身のみが知りえる知識やノウハウを使用する作業である。知識やノウハウを使用する場面は相手に知られてはならないが、それを利用した作業結果は相手と共有する必要がある。

これらのような作業を行っていくためには、相手と基本的には共有しながらも、一時的に相手に干渉されないチェックイン・チェックアウトモデルのような仕組みが必要だと考えら

れる。しかし協調作業において 2 次元の画面上などに個人空間を構築してこれを実現した研究は存在したが、3 次元の空間において「見たくない作業」や「見せたくない作業」を隠すことのできる個人空間は研究されていない。そこで実物体を扱う 3 次元の作業空間においてチェックイン・チェックアウトモデルを実現する必要があると言える。

### 3.2 遠隔 MR コラボレーションに応用したチェックイン・チェックアウトモデルの提案

本研究では「遠隔 MR コラボレーションへのチェックイン・チェックアウトモデルの応用」を提案する。これまで共有空間しか存在していなかった作業空間に、物体の状態が共有されない個人空間を新たに併設する。これより両者が実物体を所持できるという点を維持したまま、実物体の状態を共有するしないを選択することが可能となる。1 つの空間内に個人空間と共有空間が共存するため、空間間にハードウェアの違いのような隔たりは存在せず、実物体の位置を移動させるだけでシームレスに空間の使い分けが可能となる。

個人空間に移動することがチェックイン、共有空間に移動することがチェックアウトとなる。個人空間と共有空間を使い分けて行う協調作業が可能となり、相手と分担することで互いに集中してスムーズに作業を行う遠隔コラボレーションが期待できる。また相手に見られたくない作業やデータを利用しながら相手と共有したいときのみ状態を共有できることから、従来より扱える作業やデータの種類に幅を持たせた遠隔コラボレーションの実現も期待できる。事前に空間移動のタイミングを決める等、スムーズに空間を移動することで、共有したくない作業を含んだ協調作業においても MR による直感的な情報共有を生かした効果的な作業が実現される。

本手法の応用例としては、自身しか知り得ないノウハウを利用する遠隔コラボレーションが考えられる。具体的には、複数会社で行う共同デザインや設計計画が挙げられる。この場合では、共同で一つのものに対するデザインや設計を計画していく中で、詳細の部分は互いに相手に知られたくない自社のノウハウを利用して、それぞれの完成品を持ち寄る必要がある。このような場合には、作業を分担でき、さらにその作業は相手から隠しながら行える、本提案の環境が生きてくる。

### 3.3 2 つの空間の使い分け

個人空間を共有空間と同一空間に構築することで、直感的な空間の使い分けが可能になる。ここでは、図 1 を用いて実際に空間を使い分けた場合の作業例を紹介する。SiteA と SiteB は遠隔地で、各ユーザは同型同サイズの実物体とペンダバイスを所持し、MR 環境において色塗りを行う。SiteA のユーザが塗れる色は紫色、SiteB のユーザが塗れる色は水色である。色のついた空間は個人空間を表し、灰色の空間は共有空間を示す。

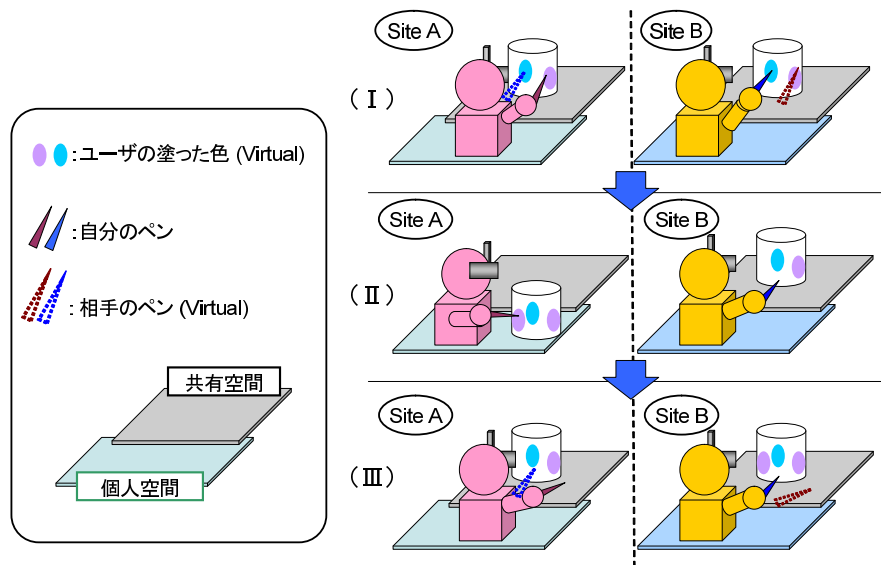


図 1 空間の使い分けの作業例

図 1(I) は両者が共有空間で作業を行う場合である。共有空間では全ての状態を相手と共有する空間である。そのため塗られた色やペンデバイスは遠隔側に仮想物として提示される。続いて図 1(II) は、SiteA のユーザが個人空間を利用する場合である。このとき SiteA のユーザが塗った色やペンデバイスといった情報は SiteB において表示されないで、「見せたくない作業」を行うことができる。また SiteB の情報も SiteA では表示されないで相手の「見たくない作業」を隠し自分の作業に集中することができる。そしてこの作業後、作業結果を統合しているのが図 1(III) である。このとき SiteA において個人空間内で行った作業の結果が SiteB に統合される。一度統合された結果はその後個人空間へ移動しても互いに消えることなく保持される。よって、個人空間で行う必要のある作業においてもユーザは定期的に共有空間に戻ることで進捗の統合を行うことができる。

例として実物体の色塗りを挙げたが実物体の組み立て等、他のタスクにおいても、実物体を移動させることで部品や使用道具等を隠すことが可能となる。

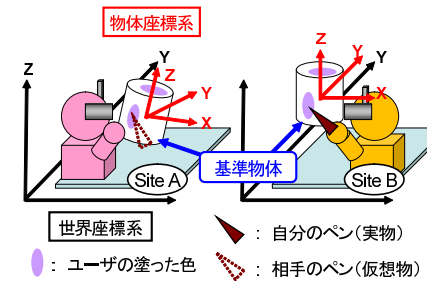


図 2 物体座標系

### 3.4 物体を基準とした状態共有

本提案では遠隔との状態共有手法として、空間のある 1 点を基準とする世界座標系ではなく、共有している実物体の内の一つを基準とする物体座標系を利用している。<sup>2)</sup> 物体座標系ではあらかじめ扱う実物体の中から基準物体を設定する。例えば遠隔地の実物体を仮想物として描画するときは、遠隔地において基準物体からの相対位置を求める。そして自分の基準物体を基準にこの求めた位置に仮想物を描画する。これにより基準物体に対して他の物体がどのような状態であるのかを見ることができる。図 2 のように色塗りを行う場合、あたかも相手と同じ物体に対して作業しているかのように相手の色やペンデバイスが表示され、相手がどこを塗ろうとしているか、塗ったのかを直感的に把握することが可能となる。また基準物体は空間上での位置が関係ないので好きなように操作でき、さらにそれを動かすことで他の物体の状態を好きな角度から見る事ができる。

## 4. 遠隔 MR 空間の実装

### 4.1 システム概要

本提案を実現するために、2 次元マーカーにより位置検出を行う遠隔 MR システムを構築した。キャノン社製の MRPlatformIV に著者らが構築した同期管理部を組み込み、遠隔の 2 地点間で通信を行う。このシステムの動作速度は 30.7fps である。MR 空間を表示するデバイスとしては、両眼ビデオシースルー HMD を用いた。

同期管理部では一方の空間で物体の位置・状態が変化したときに、その変化の情報をもう一方の空間に伝達する。そして伝達された情報を仮想物に適用することで遠隔間で物体の同期を取り、情報の共有が可能となる。今回、伝達する情報として物体の回転・平行移動によ

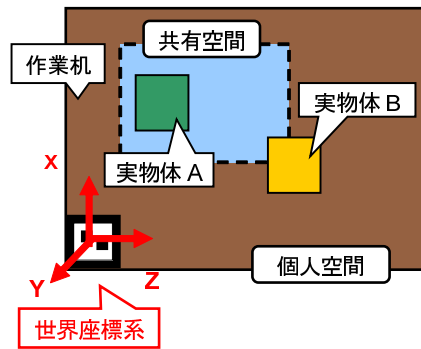


図 3 作業空間概略図

る位置姿勢に加え、後の評価実験で使用する表面の色を定義した。

#### 4.2 MR空間における個人空間の構築

本提案では個人空間を共有空間と同一空間に構築する必要がある。そこで作業空間内に境界を設けることで、これを実現する。図 3 のように実物体が二つ置かれているとする。今回、共有空間と個人空間の境界は作業機の表面上に設定した。机上の一部を共有空間（図中の青色の空間）とし、それ以外を個人空間とした。この空間間の境界はユーザが視覚的に把握できるように仮想物を描画することで表現した。どちらの空間で作業を行っているかは、共有している実物体の位置座標で判定している。共有空間内に実物体がおさまりきっていれば、それに対する作業は共有空間で行われていると判定する（実物体 A）。しかし実物体の一部が境界を越えていけば、それに対する作業は個人空間での作業となる（実物体 B）。

### 5. 評価実験

本提案の有効性を確認するために評価実験を行った。評価を行う作業としては、協力的な作業と戦略的な作業の 2 種類を用意し、個人空間がある場合とない場合の両方の作業環境でそれぞれの作業を行った。

#### 5.1 協力的な作業における評価実験

##### 5.1.1 実験方法

今回、相手と協力して行ってもらう作業として、共有する実物体に対して見本と同じように色を塗るタスクを行ってもらった。被験者は 2 人 1 組で、1 辺 15cm の立方体とハケを各

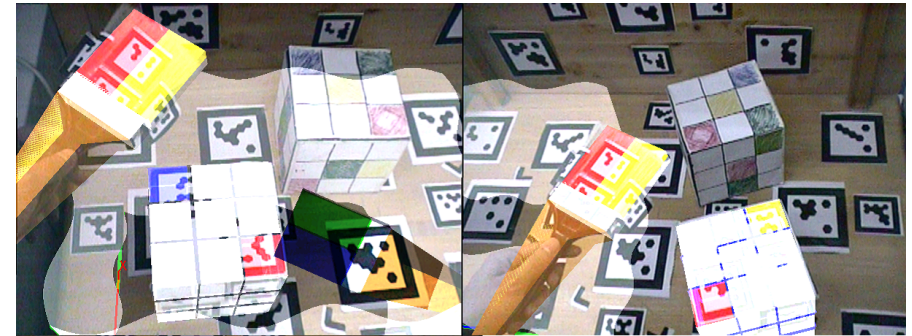


図 4 被験者の視点映像：(左) 共有空間内 (右) 個人空間内

自所持しており、それぞれには同型同サイズの仮想物が重畳して描画される。立方体の表面は各面で  $3 \times 3$  の九つの領域に分割されている。これらを利用して、制限時間 7 分以内で見本通りの色塗りの完成を目指してもらおう。

今回の実験では、協力して色を塗るという要素を含ませるために各被験者の塗れる色が異なっている。具体的には片方の被験者は赤と黄、もう片方の被験者は青と緑を塗ることができる。見本に使われている色は赤、黄、青、緑、紫、黄緑の 6 色があるので、被験者は色を組み合わせる工夫も考えながら見本通りに色を塗っていく。なお見本は実物体で用意し、各被験者の前に置く。色塗りはハケを立方体に当てることで行う。ハケの当たった領域の色が変化する。塗る色の変え方に関しては、赤と黄を塗れる被験者の場合、一度ハケを当てると赤、次に同じ領域に当てると黄、3 回目は白、4 回目は再び赤、といったアルゴリズムで行われる。図 4 は共有空間と個人空間で作業した場合の被験者の視点映像である。共有空間では塗った色やハケの位置が共有されるが、個人空間では相手のハケは表示されず塗った色も共有されない。個人空間がある環境では、被験者に対して事前に個人空間の効果と意義に関して説明を行い実験を実施している。そのとき、個人空間を使うかどうか、いつ作業結果を統合するかなどは被験者の自由とした。

比較実験には 20 代の男女 20 名を 2 人 1 組にして、10 組の被験者によって行った。それぞれの作業環境の実験で作業終了後に間違い箇所数を記録し、実験後にアンケートに答えてもらった。この実験を通じて、提案手法により「見たくない作業」を隠す事で作業効率上がるのかという事を評価する。色塗りを行う際、相手のハケの仮想物があると自分の作業に集中できないので、個人空間を利用して相手のハケに邪魔されず作業する事で利便性が上が



表 1 協力的な作業におけるアンケート結果

	共有空間のみ	共有空間+個人空間
質問 1	1.10	3.60
質問 2	2.85	3.80
質問 3	3.75	4.20
質問 4	4.20	3.55

ると期待できる。また個人空間では相手に自分の作業が伝達されないため協調作業には不向きである恐れもあるが、この点に関してもアンケートにより確認する。

### 5.1.2 実験結果と考察

各組の色塗りタスクにおける間違い箇所数を計測した。色を塗らない箇所に誤って色が塗られている場合も間違いとみなしている。間違い箇所数の平均は共有空間のみの場合は 12.9 回、個人空間がある場合は 8.8 回であった。平均値に対して t 検定を行った結果、両環境間の値に有意差は見られなかった。これは色を塗る箇所を間違えた要因が、作業環境以外にあるためだと考えられる。今回の実験を観察していたところ、相手と作業箇所が重なっていないときでも、ハケを間違った箇所に当ててしまい、色を塗り間違えるケースが目立っていた。つまり今回の色を塗り間違える要因は主に色塗りそのものの難しさによるものであったと思われる。

また被験者には実験を全ておこなった後に以下の四つの質問に 5 段階評価でアンケートに答えてもらった。

- 質問 1：相手の仮想物が邪魔ではなかった
- 質問 2：スムーズな作業が出来た
- 質問 3：相手と協力して作業が出来た
- 質問 4：相手の進行状況が把握できた

四つの質問の内、上の二つは利便性を問うもの、下の二つが協調性を問うものとなっている。評価は質問に対して 1 が「NO」を表し、5 が「YES」を示す。それぞれの質問に対して二つの環境ごとに評価点をつけてもらった。

表 1 は全被験者の評価点の平均値を表しており、質問 4 を除いて個人空間があるほうが良い評価点を示していることがわかる。それぞれの値に関して t 検定を行った結果、質問 1 と質問 2 では有意差があると判定された (有意水準 1 %未満)。特に質問 1 で提案手法は高い評価点を示している。また感想で、「共有空間のみでは相手の仮想物が煩わしかった」や「個人空間では作業に集中できた」などが得られたことから、個人空間が被験者にとって

利用価値があることが伺える。協調性の項目の質問 3 と質問 4 では有意差がなかったことから、従来の環境と同様の協調性が保てていると言える。つまり個人空間が存在することで相手と協力して作業をするという感覚が失われることはなく、常に全てを共有している環境と遜色がないと言える。

これらの考察から、提案手法は協調作業の効率を向上させるほどの効果はないものの、ユーザの作業に対する利便性の面において優れている。

## 5.2 戦略的な作業における評価実験

### 5.2.1 実験方法

戦略を練りながら行う協調作業として、実物体を利用した立体五目並べというタスクを設定した。今回の実験において立体五目並べは 5.1 節の実験でも用いた立方体に対して、2 人の被験者が交代で一つの領域ずつ色を塗っていき、自分の塗った色を連続で五つ並べれば勝ちというタスクにした。

色を塗る方法は 5.1 節の実験と同様に実際のハケを使用する。しかし今回の実験では各被験者の塗れる色は 1 色のみで、片方は赤、もう片方が青となっている。また色を重ねることもできない。ターンの交代は被験者が宣言することで行う。被験者が勝利したとき実験は終了となる。なお今回は勝利条件を縦か横に五つ色を並べるとし、斜めは除外した。5.1 節の実験と同様に、事前に個人空間の効果と意義を理解してもらっている。しかしこの実験ではお互いに個人空間にいる状態ではタスクが進まないため、個人空間を使用した場合は作業後に必ず共有空間に立方体を持っていくことを条件としている。

比較実験には 20 代の男女 20 名を 2 人 1 組にして、10 組の被験者によって行った。今回は評価項目として各被験者の考慮時間を設定した。考慮時間とは、自身のターンになってから考えた箇所に色を塗るまでの時間であり、これを毎ターン計測して平均値を利用する。それぞれの作業環境の実験で、考慮時間を記録し、実験後にアンケートに答えてもらった。この実験を通じて、提案手法により必要なときにみに情報を共有する事ができるかを評価する。立体五目並べでは、戦略を練る過程は相手に知られたくないが、自分の打った手は相手と共有しなければならない。個人空間を利用して戦略を練り、手を打った後に共有空間で情報共有する事により、「見せたくない作業」を隠しながら協調作業ができると期待できる。

### 5.2.2 実験結果と考察

各被験者の考慮時間の平均は共有空間のみの時が 16.67 秒、個人空間がある時が 35.25 秒となり、個人空間があるほうが考慮により多くの時間を要していることがわかる。この考慮時間の値は、有意水準 1 %未満で有意差があると判定された。これは、共有空間では相手が

表 2 戦略的な作業におけるアンケート結果

	共有空間のみ	共有空間+個人空間
質問 1	2.05	4.35
質問 2	2.25	4.05
質問 3	1.60	3.75

どこに塗ろうとしているかという作業過程を把握できていたため、相手の考えを早く察知することができ、すぐに自身の次の手を考えることが出来ていたが、個人空間が存在することで相手の作業過程がわからなくなり、自身の次の手を相手の作業が終わってから考えなくてはならなくなったためである。この事から個人空間は相手に見せたくない作業を行うのに非常に有効であると言える。

また被験者には実験を全て行った後に以下三つの質問に 5 段階評価でアンケートに答えてもらった。質問は作業の戦略性を問う項目となっている。

- 質問 1：相手に隠れて戦略が練れた
- 質問 2：考慮時間が多く必要だった
- 質問 3：相手の考えが不明だった

評価は質問に対して 1 が”NO”を表し,5 が”YES”を示す。それぞれの質問に対して全ての実験について評価点をつけてもらった。

アンケートの結果に関しては、全ての項目において個人空間があるほうが評価点が高くなるという結果になり、この差は全て有意水準 1%未満で有意差があると判定された。特に質問 1 は最も差が開いた結果となったが、これは感想でも「個人空間があることで隠れて仕掛けを作れた」や「相手の戦略が分かりづらくなった」などが得られていることから、提案環境の戦略を含む協調作業に対する高い適性が伺える。また質問 3 でも有意差を得られたことから、相手の作業過程が不明だったことが伺え、高い情報の秘匿性を持っていることも確認できる。提案環境は情報の秘匿性を持ちながら遠隔協調作業も不自由なく行っていることから、自身のみが知りえる知識やノウハウなどの相手に見せたくないものを含みながら必要な情報のみを共有して行う遠隔協調作業を実現出来る環境であると言える。

## 6. おわりに

MR 技術を用いることで実物体の状態を共有する遠隔コラボレーションが研究されている。しかし協調作業には相手と共有したくない情報も存在するが、従来の研究ではこのよう

な情報を扱うことができなかった。そこで本稿では、「遠隔 MR コラボレーションへのチェックイン・チェックアウトモデルの応用」を提案し、作業空間に情報を共有しない個人空間を新たに構築した。両空間間はシームレスであり、共有すべき情報だけを共有することができるので、扱える作業の幅を広げることが期待できる。

本研究ではこの提案手法を実現するシステムを実装し、遠隔コラボレーションにおけるこのシステムの有効性を評価実験によって検証した。共有空間のみしか存在しない環境との比較実験で、協力的な作業と戦略的な作業の 2 種類を被験者に行ってもらった。それぞれの実験からユーザの利便性の向上と戦略的な作業への適性を確認できる結果が得られ、チェックイン・チェックアウトモデルを応用した遠隔 MR コラボレーションシステムの有効性を確認することが出来た。

謝辞 本研究の一部はキャノン株式会社の支援により行われた。

## 参考文献

- 1) Wesugi, S. and Miwa, Y.: Facilitating Interconnectedness between Body and Space for Full-bodied Presence - Utilization of “Lazy Susan” video projection communication system -, *7th Annual International Workshop on Presence ( PRESENCE 2004)*, pp.208–215 (2004).
- 2) 玉木秀和, 山本 峻, 岡嶋雄太, 坂内祐一, 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 (2007-12-31).
- 3) Pinelle, D., Barjawi, M., Nacenta, M. and Mandryk, R.: An evaluation of coordination techniques for protecting objects and territories in tabletop groupware, *CHI '09: Proceedings of the 27th international conference on Human factors in computing systems*, New York, NY, USA, ACM, pp.2129–2138 (2009).
- 4) 四宮 龍, 小川剛史, 清川 清, 竹村治雄: テーブルトップ型協調作業環境における動的なグループ構成に対応した情報共有手法の実装, 電子情報通信学会技術研究報告 MVE2008, Vol.108, No.226, pp.73–78 (2008-09-25).
- 5) 村永哲郎, 守安 隆, 友田一郎, 水谷博之: ハイパーメディアに基づく共同文書作成環境 MuHyme, 情報処理学会論文誌, Vol.34, No.6, pp.1395–1405 (1993-06-15).
- 6) Brave, S., Ishii, H. and Dahley, A.: Tangible interfaces for remote collaboration and communication, *CSCW '98: Proceedings of the 1998 ACM conference on Computer supported cooperative work*, New York, NY, USA, ACM, pp.169–178 (1998).
- 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, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.14, No.2, pp.185–192 (2009-06-30).