

# 遠隔物体共有と存在感伝達の関連性の研究

代表研究者 中西英之 大阪大学 大学院工学研究科 准教授

## 1 はじめに

様々な遠隔コミュニケーションツールの普及により、テキスト、音声、映像を介して気軽に離れた場所にいる人と対話することができるようになった。親密な間柄の人と会話を楽しむ場合や、面接や打ち合わせなど重要な会話を行う場合には、相手の表情や振る舞い等の多様な情報を伝達するビデオ会議が用いられることが多い。しかしながら、相手と同じ空間で対話している感覚であるソーシャルテレプレゼンス[4]（以下、同室感と呼ぶ）はビデオ会議でも不十分であると考えられており、長距離の移動を行ってでも未だに対面会話が重視されている。

### 1.1 窓型ビデオ会議と鏡型ビデオ会議

通常のビデオ会議は正面のディスプレイを通して遠隔地側の空間を覗いている状況に相当するため、本研究では窓型ビデオ会議と呼ぶ（図1左）。窓型ビデオ会議では、透明な壁を隔てた別々の空間にいるという感覚によって同室感が低下している可能性が考えられる。窓型ビデオ会議をより対面会議に近づけるため、様々な工夫が提案されており、その1つとして鏡型ビデオ会議が挙げられる[8]。鏡型ビデオ会議では、

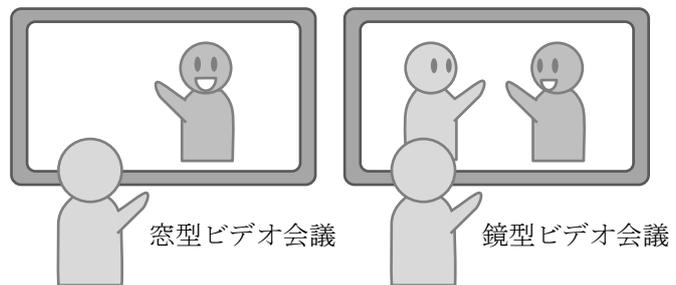


図1 窓型ビデオ会議と鏡型ビデオ会議

ディスプレイに相手の映像だけでなく自分の映像も表示することで、相手を鏡越しに見ている状況が再現される（図1右）。これにより、相手と同じ空間にいる感覚を生み出すことが期待できる。

### 1.2 鏡型ビデオ会議の可能性

グループワークや食事会等の対面会話では、他者との協働・協調のため、移動を伴う観察、席の交代、制作物の受け渡し、料理を勧める等のダイナミックな行動が数多く見られる。遠隔会議ではこれらが制限されることが、対面会話が重視される原因の一部であると考えられる。鏡型ビデオ会議は後述の通り別々の空間の映像を合成するため、窓型ビデオ会議よりも複雑な処理を必要とするが、下記で述べる性質を持つことから、このようなダイナミックな行動を再現できる可能性を秘めている。

鏡型ビデオ会議では、クロマキー合成等の技術で、一方の空間にいる人の映像をもう一方の空間の映像に合成、または、複数の人の映像を別の部屋や仮想空間の映像に合成する手法を用いることが一般的である[3][5][6][9]。鏡映像を見ながらユーザ同士が実空間を移動することで、自分がいる空間に相手が移動した感覚や、相手側の空間や仮想空間に自分が移動した感覚が得られると考えられる。本研究ではこの感覚を空間の移動感と呼ぶ。

鏡型ビデオ会議に関する研究では、別々の空間の映像を並べて表示し、1つの空間の映像に見えるように合成する手法も提案されている[8][10][12]。この手法において映像の境界部に同じ物体を繋がって見えるようにそれぞれ配置することで、別々の空間にある物体が1つの物体であるかのような感覚を創出することができる可能性がある[10]。本研究ではこの感覚を物体の共有感、境界に配置する物体を共有オブジェクトと呼ぶ。

我々は、鏡型ビデオ会議における同室感は空間の移動感や物体の共有感を強化することでより強化できると考え、対面会話でのダイナミックな行動で主要と思われる席の交代および物理的な物の受け渡しを再現する工夫を行った。本研究の目的は、高い同室感が得られる鏡型ビデオ会議システムのデザインを明らかにするため、物体の共有感と空間の移動感を強化する工夫が、それぞれどのように同室感に影響を与えるか効果や役割の違いについて検証することである。

### 1.3 空間の移動感と物体の共有感の強化

まず、空間の移動感を強化するため、相手が存在する空間にいないと感じられない感覚を提示する工夫について考えた。そのような感覚の例として、相手が座っていた場所に自分が座ることで感じられる相手の

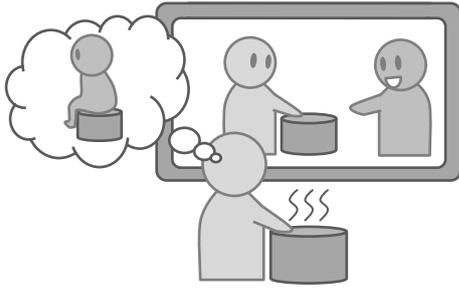


図2 対話相手の体温の痕跡を提示する工夫

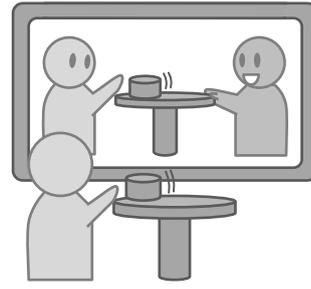


図3 物体を対話相手と共有する工夫

体温の痕跡が挙げられる。例えば、会議の場では参加者の入室や次の発表者に席を譲るなどの席の移動が行われることが多々あり、その際に、前に座っていた人の体温が感じられる。鏡型ビデオ会議において、この体温の痕跡は、椅子に装着したヒータで対話相手が座っていた場所を温めることで簡単に再現することができる(図2)。この温度によって相手が座っていた場所に自分が座っていると感じさせ、空間の移動感を強化できると考えた。

次に、物体の共有感を強化するため、共有オブジェクトの物理的な動きと鏡映像との同期を提示する工夫について考えた。共有オブジェクトを動かす必要がある例として、共有オブジェクトである回転テーブルを自分や相手が操作する状況が挙げられる。回転テーブルは中華料理店で大皿の料理を取り分ける際によく用いられるものであり、このテーブルを介して物体を自分の元へ引き寄せたり、相手に渡したりするために、複数の人が操作する。鏡型ビデオ会議において、この回転テーブルを介した物体の受け渡しは、サーボモーターで回転が同期する2つの回転テーブルを作成し、それを共有オブジェクトとして両方の空間に設置することで再現できる(図3)。これらの回転テーブルの同じ位置に同じ物体を置くことで、回転させたときに鏡映像上では同じテーブルを介して同じ物を共有しているように見えるため、物体の共有感を強化できると考えた。

空間の移動感を強化する工夫である体温の痕跡は、温度という視覚以外のモダリティを追加するものである。体温の再現は対話相手の存在を示す情報であり同室感の強化に有効であると思われるが、その情報は鏡映像と同期して提示されるものではない。一方、物体の共有感を強化する工夫である回転テーブルは、同じ空間にあるテーブルの回転と鏡映像の動きの同期が提示されるため、鏡型ビデオ会議の工夫としてより相性が良い可能性がある。しかしながら、その動きによって対話相手の存在が感じられるのは、相手がテーブルを操作した場合であり、自分が操作した場合には同室感の強化には有効では無いかもかもしれない。このような工夫の性質の違いに着目し、物体の共有感と空間の移動感を強化することによる同室感への影響について検証する。

#### 1.4 鏡型ビデオ会議の物理的矛盾

鏡型ビデオ会議では、鏡映像で対話相手を提示しても実空間には対話相手は存在しないという矛盾(Physical Inconsistency (物理的矛盾))があり、同室感を低下させる問題が指摘されている[10]。この先行研究では、その解決法をいくつか提案しており、その最も効果的な解決法は、鏡に映った対話相手がいると想像される実空間を、ユーザから見えないように衝立のような遮蔽物で遮ることである。この衝立の向こう側に対話相手が存在するかもしれないという想像によって同室感が強化される。

物体の共有感は共有オブジェクトをこの衝立の前方や衝立を通り抜けるように設置することで創出することが可能であると思われる。しかしながら、衝立は対話相手と場所を入れ替える等のインタラクションを制限するため、空間の移動感を得ることは困難になる。したがって、物理的矛盾のマイナス効果を空間の移動感を強化する工夫で打ち消し、同室感を強化できるか検証する必要がある。

## 2. 関連研究

先行研究では、様々な鏡型ビデオ会議のアプリケーションが提案されている。その多くは、ユーザがいる空間に離れた場所にいる人の映像や影を投影するものであり、井戸の水面[12]、ダンススタジオの壁面[7]、公共スペースの壁面[6]、作業スペース[16][19]、食卓[1]、ピアノ[18]に投影するものが提案されている。これらは相手が自分のいる空間を訪れている状況を再現していると言える。また、遠隔カウンセリングのた

めに患者がいる空間の映像上にカウンセラの映像を合成するものもある[9]。この場合、カウンセラにとっては患者がいる部屋を訪れている状況が再現されている。さらに、仮想空間上に別々の空間にいる人を合成するものもあり、鏡型ビデオ会議は、実在の空間だけでなく仮想空間を訪れている状況をも再現することができる[5]。しかしながら、これらのアプリケーションにおいて移動感や同室感が強化されるかは検証されておらず、同室感において窓型ビデオ会議に対する優位性は明らかになっていない。

1.4 節で述べたように、鏡型ビデオ会議の物理的矛盾の問題を解決する上で、衝立によって対話相手がいるはずの場所を物理的に遮蔽し、対話相手が存在するかもしれないという想像を喚起する方法が先行研究で提案されている[10]。さらに、この想像を促進する工夫として共有オブジェクトを用いる方法も提案されており、対話相手と一緒に腰かける長椅子や回転テーブルを共有オブジェクトとして設置し、相手が起立/着席する際の長椅子の振動や相手によって操作された回転テーブルの動きを再現すると同室感はさらに強化されることが報告されている。しかしながら、実験者が操作するだけでなく被験者が操作する場合でも同様の効果が得られるのかは明らかになっていない。鏡型ビデオ会議に関する研究において回転テーブルが共有オブジェクトとして用いられる例は他にもあり[1]、本研究においても回転テーブルを採用するが、操作されている場合と操作する場合に分けてその効果を調査し、同室感だけでなくテーブルの共有感にも着目する。

空間の移動感を重視する場合、衝立とは異なる方法で物理的矛盾による同室感の低下を補う必要がある。本研究では、移動感を強化する工夫として、対話相手が座っていた体温の痕跡の再現し、同室感の強化を試みる。鏡型ビデオ会議において移動感を強化する工夫は先行研究では提案されていない。

本研究では、まず、物理的矛盾のある通常の鏡型ビデオ会議が同室感において窓型ビデオ会議に対する優位性があるか、体温の痕跡の再現によって空間の移動感、同室感を強化できるか検証する(4.2 節)。次に、回転テーブルを介して物体を共有する状況を再現し、実験者と被験者がそれぞれテーブルを操作した場合において、物体の共有感、同室感を強化できるか検証する(4.3 節)。

### 3. 研究課題・仮説

鏡型ビデオ会議は、相手と同じ鏡を見ながら対話する状況をシミュレートする点において窓型ビデオ会議と比較して同室感を強化する効果が期待できるが、物理的矛盾がその効果を打ち消す可能性も考えられる。また、別々の空間に同じセットを用意して行う鏡型ビデオ会議において、ユーザは自分がいる空間に相手がいるように感じるのか、相手側の空間に自分がいるように感じるのかという疑問がある。さらに、鏡型ビデオ会議では相手と場所を入れ替えるような移動を伴うインタラクションが可能であり、そのようなインタラクションを行うことは移動感を強く意識させ、同室感を強化するかもしれない。そこで下記の3つの研究課題を設定した。

研究課題 1：鏡型ビデオ会議は窓型ビデオ会議と比較して同室感を強化するか。

研究課題 2：鏡型ビデオ会議の同室感は、自分が相手の空間にいる感覚、相手が自分の空間にいる感覚のいずれに近いのか。

研究課題 3：鏡型ビデオ会議において相手が座っていた場所に座ると同室感が強化されるか。

移動を伴うインタラクションにおける移動感を強化する工夫として、対話相手が座っていた場所に体温の痕跡を再現する。先行研究では、離れた場所にいる対話相手の体温を伝達する手法が提案されており[11][17]、窓型ビデオ会議において同室感が強化されることが報告されている[11]。鏡型ビデオ会議においても体温の痕跡の再現は、ここに相手が座っていたという想像を促進し同室感を強化すると考え、次の仮説を立てた。

仮説 1：鏡型ビデオ会議において相手が座っていた場所が温かいと同室感が強化される。

鏡型ビデオ会議における共有感を強化する工夫として、回転テーブルを共有オブジェクトとして設置し、そのテーブルを介した物体の受け渡しを再現する。先行研究では、鏡型ビデオ会議において共有オブジェクトを介して相手の身体動作が感じられると同室感が強化されることが分かっている[10]。回転テーブルには物体の受け渡しを仲介する機能だけでなく、テーブルを回す身体動作を伝達する機能もあり、これら2つの機能が同室感を強化すると考え、下記の3つの仮説を追加した。

仮説 2：鏡型ビデオ会議において相手から物体を渡されると同室感が強化される。

仮説 3：鏡型ビデオ会議において相手に物体を渡すと同室感が強化される。

仮説 4：鏡型ビデオ会議において相手から物体を渡されるとき、身体動作が伴うと同室感が強化される。

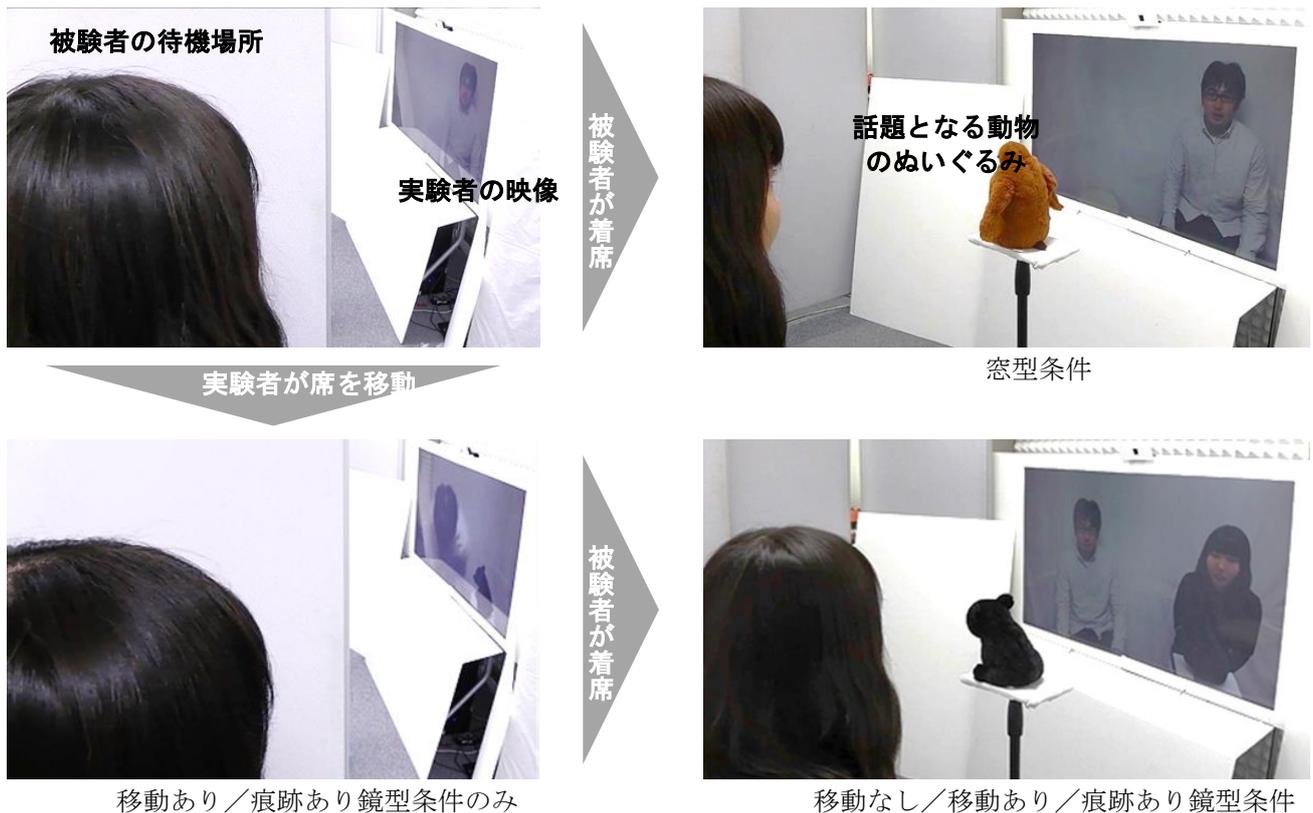


図4 実験1の実験条件：窓型条件，移動なし／移動あり／痕跡あり鏡型条件

## 4. 実験

### 4.1 タスク

後述の実験1, 2では、被験者は別の部屋にいる実験者と動物のぬいぐるみを見ながら窓型ビデオ会議や鏡型ビデオ会議で対話を行った。まず、実験者からその動物についての問題が出題され、被験者はそれに回答した。例えば、ワニについての対話では「人間にとって危険な種類のワニであるかどうかは、ワニのどの部分を見れば良いと思いますか」という問題が出題された。回答後、被験者はその正解と解説について実験者から説明を受けた。例えば、上述の問題については、「一番危険な種類であるナイルワニには口を閉じると下顎の4番目の牙が外から見えます。人を食べるワニのほとんどはこの種類のワニです」という説明を受けた。

### 4.2 実験1：体温の痕跡

研究課題1~3と仮説1を検証するため、下記の4つの条件を設定した。図4に示すように被験者は実験者の映像(1280x720)が表示された50インチのディスプレイが見える場所に待機しており、映像上の実験者の指示に基づいてディスプレイの前に設置された椅子に着席した。その椅子の前には話題となる動物のぬいぐるみが置かれた台が設置されていた。

窓型条件：通常の窓型ビデオ会議に相当する。被験者は実験者の映像を見ながら対話した。

移動なし鏡型条件：鏡型ビデオ会議に相当する。被験者側の部屋には椅子が2脚あり、鏡映像上では、左側の椅子に予め実験者が着席しており、被験者は右側の椅子に着席し、鏡映像を見ながら対話した。

移動あり鏡型条件：実験のセットは基本的に移動なし鏡型条件と同様だが、鏡映像上では、実験者は最初に右側の椅子に着席しており、被験者が見ている前で左側の椅子に移動した。その後、被験者は右側の椅子に着席し、鏡映像を見ながら対話した。

痕跡あり鏡型条件：移動あり鏡型条件において、右側の椅子の座面にヒータが埋め込まれており、座面が約40度になるように電源装置の電圧が調整されていた。実験者側の椅子の座面には圧力センサが埋め込まれており、この圧力センサのON/OFFに対応してヒータの電源がON/OFFする。つまり、実験者がもう一方の椅子に移動するとヒータの電源が切れ、温度が座面に残る仕組みになっている。その椅子に被験者を座らせる

ことで実験者の体温の痕跡を提示した。

実験1は2段階で実施した。実験1-1では、窓型、移動なし鏡型、移動あり鏡型を比較することで、研究課題1～3を検証した。実験1-2では、窓型、移動あり鏡型、痕跡あり鏡型を比較することで、研究課題1～3と仮説1を検証した。このように実験を2つに分けて実施したのは、痕跡あり鏡型による温度の提示は、他の条件間の違いのように視覚的に明確なものでは無かったため、4つの条件を被験者が体験すると痕跡あり鏡型と移動あり鏡型を混同する恐れがあったためである。

#### 4.3 実験2：物体共有

仮説2～4を検証するため、下記の3つの条件を設定した。この実験では、実験1とは異なり、実験者が座席を移動する必要が無いため、図5に示すように、鏡型ビデオ会議の同室感を強化する上で有効とされる衝立を設置した[10]。しかしながら、この衝立の向こう側に実際に実験者がいるのではないかという疑いを被験者が持つと、遠隔対話システムとしての同室感の評価が適切に行われなため、被験者には、衝立の向こう側に人がいないことを対話の前に確認させた。

静止条件：通常の鏡型ビデオ会議に相当する。共有オブジェクトとして回転テーブルを被験者側、実験者側の部屋に設置し、鏡映像上で繋がって見えるように位置を調整したが、この条件では被験者も実験者も回転テーブルは操作しない。話題となる動物のぬいぐるみはこの回転テーブル上に置いた。

自動条件：鏡型条件において、回転テーブルをリモコンで操作することができる。ぬいぐるみは被験者側と実験者側で同じ位置に置かれているため、鏡映像上においても衝立をまたいでぬいぐるみが行き来しているように見える。

手動条件：鏡型条件において、回転テーブルを手で直接操作することができる。自動条件と同様に被験者側と実験者側のぬいぐるみが回転テーブル上の同じ位置に置かれているため、テーブルを手で回転させることで、鏡映像上においても衝立をまたいでぬいぐるみを行き来させることができる。

仮説2, 3はそれぞれ、実験者または被験者が回転テーブルを操作する場合に、自動または手動が静止と比較して同室感を強化すると予想するものである。そして、仮説4は実験者が回転テーブルを操作の場合に、手動が自動と比較して同室感を強化すると予想するものである。したがって、これらの仮説には、実験者と被験者のいずれが共有オブジェクトを操作するかという操作者要因（実験者、被験者）と共有オブジェクトを操作する手法要因（静止、自動、手動）が含まれている。そこで、図5に示すように、実験2も2段階で実施することとし、実験2-1では、実験者が回転テーブルを操作し、実験2-2では被験者が回転テーブルを操作した。また、静止条件では、自動・手動条件のように対話中にぬいぐるみを移動させることはないため、予め移動後の位置にぬいぐるみを設置した。

#### 4.4 アンケート

実験後、被験者は体験した条件の印象を評価するため下記のアンケートに回答した。各項目には、1, 4, 7を「全くあてはまらない」、「どちらともいえない」、「非常によくあてはまる」に対応させた7段階のリッカート尺度で回答することとした。

##### 4.4.1 同室感

先行研究では、対話相手との同室感を評価する上で、相手と同じ部屋にいる感覚を尋ねることが有効であることが分かっている[10][11][14][15]。そこで、実験1では下記の項目を設定した。

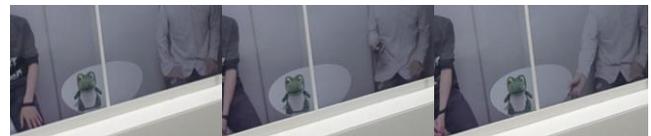
- ・ 会話相手と同じ部屋にいる感じがした。

また、実験2では、鏡型ビデオ会議同士を比較するため、より具体的に下記の項目で同室感を評価した。

- ・ 同じ部屋の中で実際に相手があなたの



実験者がテーブルを操作（実験2-1）



被験者がテーブルを操作（実験2-2）



静止条件

自動条件

手動条件

図5 実験2の実験条件：  
操作者要因（実験者、被験者）  
×手法要因（静止、自動、手動）

隣にいる感じがした。

#### 4.4.2 空間の移動感

実験1では、鏡型ビデオ会議の同室感が、自分が相手の空間にいる感覚、相手が自分の空間にいる感覚のいずれに近いのか（研究課題2）を検証する。そこで、空間の移動感を評価する下記の項目を設定した。

- ・ 自分が、あたかも会話相手の部屋にいるような感じがした。
- ・ 会話相手が、あたかも自分の部屋にいるような感じがした。

#### 4.4.3 物体の共有感

実験2では、共有オブジェクトを操作することで、操作しない場合と比較して同室感が強化されるか（仮説2~4）を検証する。この同室感の強化には、共有オブジェクトを操作することによる物体の共有感の強化が寄与すると予想し、共有感を評価するための下記の項目を設定した。また、共有オブジェクトである回転テーブルを介してぬいぐるみを受け渡しするため、ぬいぐるみの共有感について評価する項目も追加した。

- ・ 相手のテーブルと自分のテーブルは1つの物だと感じた。
- ・ 相手と同じぬいぐるみを見ている感じがした。

#### 4.5 被験者

実験の被験者は合計62人の学部生であった。実験1-1には13人（女性2人、男性11人）、実験1-2には13人（女性4人、男性8人）、実験2-1には18人（女性9人、男性9人）、実験2-2には18人（女性9人、男性9人）が参加した。いずれの被験者もいずれか1つの実験にのみ参加し、複数の実験に参加することはなかった。各実験において被験者は全ての実験条件を体験したが、体験する順番はカウンターバランスをとった。

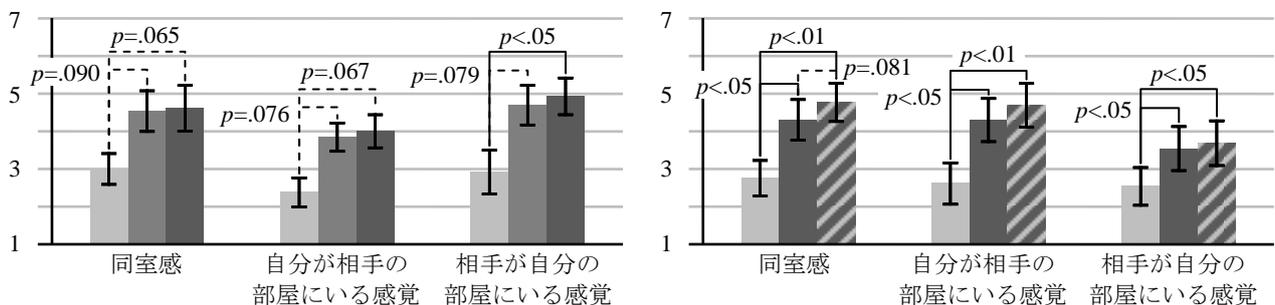
#### 4.6 結果

実験結果を図6,7に示す。各アンケート項目について、実験1では、被験者内計画1要因分散分析を行い、実験2では、操作者要因（実験者/被験者、被験者間要因）と手法要因（静止/自動/手動、被験者内要因）の混合計画2要因分散分析を行った。主効果が有意であった項目についてはボンフェローニ補正法による多重比較を行った。多重比較の結果として、有意水準5%未満の場合はその有意水準と共に実線で、有意水準5%以上10%未満は有意傾向としてそのp値と共に破線で図中に示している。

##### 4.6.1 同室感

実験1において1要因分散分析を行った結果、実験1-1 ( $F(2, 24)=6.109, p<.01$ )、実験1-2 ( $F(2, 24)=11.603, p<.001$ ) 共に主効果が有意であった。多重比較の結果、実験1-1では、移動なし鏡型 ( $p=.065$ ) と移動あり鏡型 ( $p=.090$ ) は窓型よりも高い傾向が見られた。また、実験1-2では、移動あり鏡型 ( $p<.05$ ) と痕跡あり鏡型 ( $p<.01$ ) は窓型よりも高く、痕跡あり鏡型は移動あり鏡型よりも高い傾向 ( $p=.081$ ) が見られた。

研究課題1の答えとして、鏡型ビデオ会議は窓型ビデオ会議と比較して同室感が強化される傾向があるが、その効果は明確なものではなかった。また、研究課題3の答えとして、鏡型ビデオ会議において相手が座っている場所に座るだけでは同室感を強化する効果は見られなかった。一方、相手が座っていた場所に体温の痕跡があると、窓型ビデオ会議と比較して有意に同室感が強化され、痕跡が無い場合と比較して同室感が強



実験 1-1：窓型，移動なし鏡型，移動あり鏡型の比較

実験 1-2：窓型，移動あり鏡型，痕跡あり鏡型の比較

■：窓型条件

■：移動なし鏡型条件

■：移動あり鏡型条件

▨：痕跡あり鏡型条件

図6 実験1における空間の移動感と同室感の評価

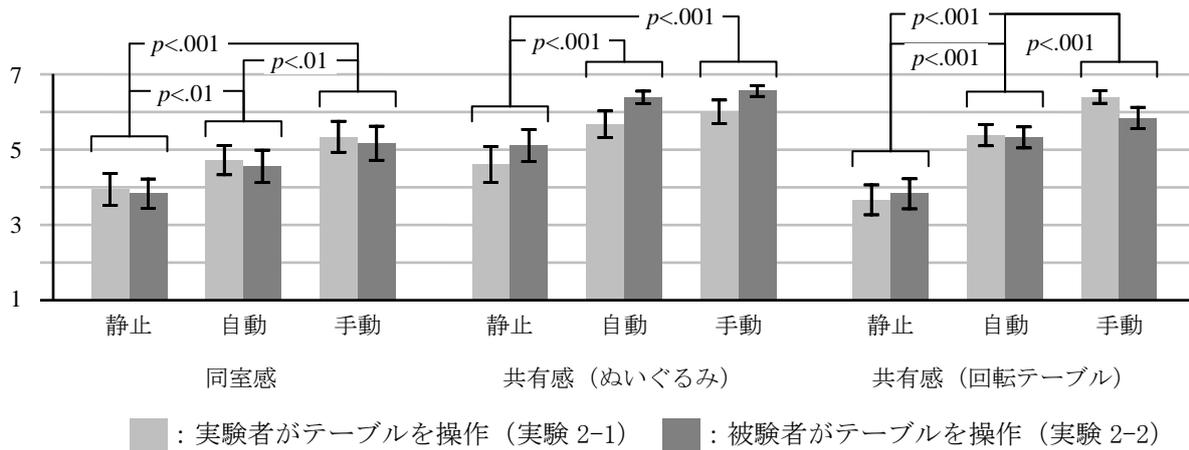


図7 実験2における物体の共有感と同室感の評価

化される傾向が見られたため、仮説1は概ね支持された。

実験2において2要因分散分析を行った結果、手法要因の主効果のみ有意であった ( $F(2, 68)=18.59, p<.001$ )。多重比較の結果、自動 ( $p<.01$ ) と手動 ( $p<.001$ ) は静止よりも有意に高く、手動は自動よりも有意に高い ( $p<.01$ ) ことが分かった。

操作者に関わらず回転テーブルを用いてぬいぐるみの受け渡しをすると同室感が強化されるため、仮説2, 3が支持された。また、この効果は、ぬいぐるみの受け渡しに身体動作が伴う手動条件が、伴わない自動条件よりも高いことから、仮説4も支持された。仮説4は対話相手である実験者の身体動作が共有オブジェクトを介して伝達されることが同室感を強化すると予想するものであったが、それに加えて、被験者が共有オブジェクトを操作した場合にも同様の効果が見られた。この理由については5.3節で考察する。

#### 4.6.2 空間の移動感

実験1において1要因分散分析を行った結果、実験1-1 ( $F(2, 24)=6.643, p<.01$ )、実験1-2 ( $F(2, 24)=12.058, p<.001$ ) 共に主効果が有意であった。多重比較の結果、実験1-1では、移動なし鏡型 ( $p=.076$ ) と移動あり鏡型 ( $p=.067$ ) は窓型よりも高い傾向が見られた。また、実験1-2では、移動あり鏡型 ( $p<.05$ ) と痕跡あり鏡型 ( $p<.05$ ) は窓型よりも高いことが分かった。

これらの結果から、鏡型ビデオ会議は、いずれの方向の移動感も創出すると考えられる。しかしながら、図6の平均値を見ると、実験1-1では、「相手が自分の部屋にいる感覚」が「自分が相手の部屋にいる感覚」よりも高いように見えるが、実験1-2では、反対に「自分が相手の部屋にいる感覚」の方が高いように見える。この傾向の違いについて、5.2節で考察する。

#### 4.6.3 物体の共有感

2要因分散分析を行った結果、回転テーブル ( $F(2, 68)=58.024, p<.001$ ) とぬいぐるみ ( $F(2, 68)=19.106, p<.001$ ) のいずれの共有感においても手法要因の主効果のみ有意であった。多重比較の結果、回転テーブルとぬいぐるみのいずれの共有感においても、自動 ( $p<.001$ ) と手動 ( $p<.001$ ) は静止よりも有意に高かった。また、回転テーブルの共有感は、自動よりも手動の方が有意に高い ( $p<.001$ ) ことが分かった。

まず、ぬいぐるみの共有感は、共有オブジェクトである回転テーブルを介して受け渡しが行われれば身体動作を伴うかどうかに関わらず強化された。一方、回転テーブルの共有感は、身体動作を伴った操作によってより強化された。

## 5. 考察

### 5.1 窓型に対する鏡型の優位性

鏡型ビデオ会議と窓型ビデオ会議の比較において、統計的に有意差は認められなかったが、鏡型が同室感を強化する傾向が見られた。サルを用いた実験では、他者とのインタラクションにおいて発火するミラーニューロンは、相手との距離が近い場合と遠い場合で異なり、透明な壁で相手と隔たりがある場合は、距離が近くても遠い場合と同様であることが分かっている[2]。窓型ビデオ会議におけるディスプレイはこの透明な

壁に相当し、物理的な隔たりを感じさせるが、鏡型ビデオ会議のディスプレイは鏡の役割を果たすことで相手と同じ空間にいるという想像を喚起し、同室感を強化したと考えられる。しかしながら、鏡型ビデオ会議には物理的矛盾の問題があり、そのマイナス効果によって同室感を強化するプラス効果が幾分打ち消されたために、明確な優位性が得られなかったと考えられる。

本研究で提案した工夫である、体温の痕跡の再現や回転テーブルの共有は、対話相手が隣にいるという想像を促進し、物理的矛盾のマイナス効果を補ったと考えられる。後述では、これらの工夫による効果について考察する。

## 5.2 体温の痕跡の効果

鏡型ビデオ会議において対話相手が座っていた場所に着席するという行動による同室感強化の効果は見られなかった。しかしながら、相手が座っていた痕跡を椅子の座面の温度で再現することで、同室感が強化される可能性が示唆された。実験 1-2 では、13 人中 8 人の被験者が椅子の温度に気付いており、8 人中 4 人が椅子の温もりを根拠に同室感のスコアを他の条件よりも高くつけていた。また、誰も座っていなかった椅子が温かいことは被験者にとって意外な状況であり不自然さを感じることに懸念されるが、温度に気付いた 8 人の被験者のうち、温もりを根拠に同室感のスコアを上げなかった残りの 4 人についても、椅子が温かい理由について特に意識しておらず不自然さには言及していなかった。実際の現象として、相手が座っていた椅子の温もりは座った瞬間に感じるものであり、次第に意識にのぼらなくなっていくことが自然であると思われる。実験においてもこれを再現するために被験者が着席した際にはヒータはオフになっていたため、座った瞬間に温度に気付かない場合や、気付いても温かい理由を解釈しなかった場合には、その後に温度の効果を体験することは無いと思われる。これが体温の痕跡の効果が有意に表れなかった原因であると考えられる。

温度の認識は一時的であったかもしれないが、同室感のスコアをある程度向上させたことから、その効果は一度意識に上ると対話中も継続していた可能性がある。移動の効果を検証した実験 1-1 では、全体的に「自分が相手の部屋にいる感覚」よりも「相手が自分の部屋にいる感覚」の方が高い傾向が伺える。しかも、そのスコアの傾向は同室感のスコアと類似している。このことから、単に相手が座っていた場所に着席した場合には、鏡型ビデオ会議における同室感は、相手が自分の部屋にいる感覚に近かった可能性がある。一方、体温の痕跡の効果を検証した実験 1-2 では、逆に「自分が相手の部屋にいる感覚」の方が高い傾向になっており、同室感に近いスコアの付け方になっている。つまり、相手がいた痕跡を温度で提示することによって、同室感は自分が相手の部屋にいる感覚に近づいた可能性が考えられる。

実験 1-2 において自分が相手の部屋にいる感覚のスコアが高い傾向は、痕跡あり鏡型条件にのみ表れるべきであるが、他の条件においても表れている。これは、痕跡あり鏡型条件を経験したことによる印象が、アンケート評価の際に、自分が相手の部屋にいる感覚の評価のベースラインを向上させたのかもしれない。このことから、温もりの効果が一時的では無いことが推察される。体温の痕跡が、相手側の空間にいる感覚に寄与することを明確にするためには、被験者間計画で再実験する必要がある。

## 5.3 物体共有の効果

回転テーブルをリモコンで操作して自動的に動いた場合でも、手で直接回した場合でも同室感が強化されたが、その効果は手で回した方が高く、アンケートでは 36 人中 14 人が自動条件よりも手動条件に高いスコアをつけていた。自由記述によると、相手が手でテーブルを回す身体動作が感じられたことや、自分がテーブルを回す速さに合わせてぬいぐるみが相手の手元に届いたことをその理由として記述していた。この理由から、同室感の強化にはぬいぐるみよりもテーブルの共有感が寄与したと考えられる。実際、ぬいぐるみの共有感は自動条件と手動条件に差は無かったが、テーブルの共有感は自動条件よりも手動条件の方が高いという同室感と類似した傾向が見られた。

実験 2 において、衝立の向こう側に対話相手がいるという想像を促進する上では、実験 2-1 で行ったように実験者が操作した回転テーブルの動きを被験者が眺めることで実験者の身体動作が感じられ、より効果的であると予想した。しかしながら、被験者がテーブルを操作した場合でも同室感を強化する同等の効果が得られた。これは、被験者がテーブルに触れて操作する場合には、被験者の触覚や運動に同期して被験者側と実験者側のテーブルが鏡映像上で一体となって動くという視触覚刺激や視覚運動刺激の同期が寄与した可能性がある。視触覚相互作用や視覚運動相互作用は、仮想空間のアバタを自分の身体であると感じる錯覚を促進する上で非常に有効であり [13]、鏡型ビデオ会議においても、被験者側の空間と実験者側の空間が繋がっているという錯覚を促進した可能性が考えられる。

## 5.4 鏡型ビデオ会議システムのデザイン指針

対話相手の体温の痕跡を再現する工夫は、窓型ビデオ会議に対する鏡型ビデオ会議の優位性をより明確にすることが分かった。しかしながら、鏡型ビデオ会議の同室感を強化する上で体温の痕跡の効果は決して大きくなかった。この原因は、5.2 節で考察したように、温度に気付くタイミングが限定されていたことが考えられるが、さらに、相手が席を移動した後、被験者が座った時点で温度を認識するため、相手の動作と触覚の同期が感じられず、視触覚刺激の効果が低下した可能性も考えられる。先行研究では、鏡型ビデオ会議において、相手と同じ長椅子に座っている状況を設定し、相手の起立／着席による長椅子の振動を再現することで、相手の動作と振動の同期を提示すると同室感を強化できることが分かっている[10]。本研究において鏡型ビデオ会議の同室感を強化した物体共有でも、対話相手側の鏡映像での出来事と被験者側の空間で起こっている出来事が同期しており、さらに被験者が共有オブジェクトを操作する場合にはその際の触覚や運動が視覚情報と同期している。以上の結果から、次のデザイン指針が挙げられる。

指針 1：鏡型ビデオ会議の同室感を強化する上で、対話相手側の鏡映像に同期した物理現象およびそれに伴う五感を再現することが有効である。

体温の痕跡の再現は、鏡型ビデオ会議における同室感に、相手側の空間にいるというバイアス（移動感）を与えられる可能性が示唆された。例えば、近年、ビデオ会議を利用した遠隔パーティが行われているが、そのようなパーティに鏡型ビデオ会議で参加する状況を想定すると、現地にいる人が鏡型ビデオ会議での参加者に席を譲り、その参加者に椅子の温もりを感じさせることや、料理の香りや現地の参加者がつけている香水等の現地にいることで感じられる嗅覚を再現することで、窓型ビデオ会議で参加するよりもパーティ会場を訪れたような臨場感を与えられる可能性がある。そこで、次のデザイン指針が考えられる。

指針 2：鏡型ビデオ会議の同室感に、対話相手側の空間にいるというバイアスを与える上で、現地にいなければ感じられない五感を再現することが有効である。

## 5.5 今後の課題

鏡型ビデオ会議システムをデザインする上で、席の交代等を再現し移動感を創出する場合には、物理的矛盾の知覚を防ぐ衝立を用いることが困難である。しかしながら、指針 1, 2 を複合的に用いることで相乗効果を生み、相手側の空間にいる移動感と共に、衝立を使用しない場合でも高い同室感が得られることを期待している。指針 1, 2 の相乗効果を確認することや、再現すべき感覚の組み合わせを検証する等、衝立を用いずに鏡型ビデオ会議の同室感を強化する手法を明らかにすることは今後の課題である。

本研究では被験者へのアンケート調査によって鏡型ビデオ会議で得られる印象を評価し、同室感を強化する上で有効なデザインを検証した。被験者の振る舞いを分析する等、より客観性のある観察データで検証することも今後の課題である。

## 6. まとめ

鏡型ビデオ会議の同室感強化に有効なデザインを明らかにするため、物体の共有感と空間の移動感に着目し、それらの感覚を強化する工夫が、それぞれどのように同室感に影響を与えるか実験を通して検証した。実験の結果、回転テーブルを介して相手と物体を受け渡しする状況を再現するなど、相手側の鏡映像に同期した物理現象を提示することや、それに伴う五感を再現し提示することで、同室感が強化されることが分かった。また、相手が鏡映像上で座っていた場所に温度で体温の痕跡を再現するなど、相手が存在したことによる五感を遅れて提示することは、鏡型ビデオ会議の同室感を強化する傾向が見られ、「相手が自分の部屋にいる感覚」よりも「自分が相手の部屋にいる感覚」を与えやすい可能性が示唆された。

現在、遠隔コミュニケーション手法として窓型ビデオ会議が広く用いられているが、鏡型ビデオ会議は上述のような工夫を利用場面に応じて施すことで、より高い同室感を生み出せる可能性を秘めている。本研究によって、窓型ビデオ会議のように手軽に利用される鏡型ビデオ会議のアプリケーション開発が促進されることを期待している。

### 【参考文献】

- [1] Barden, P., Comber, R., Green, D., Jackson, D., Ladha, C., Bartindale, T., Bryan-Kinns, N., Stockman, T. and Olivier, P. Telematic Dinner Party: Designing for Togetherness through Play and Performance. Proc. DIS2012, (2012), 38-47.

- [2] Caggiano, V., Fogassi, L., Rizzolatti, G., Thier, P. and Casile, A.: Mirror Neurons Differentially Encode the Peripersonal and Extrapersonal Space of Monkeys, *Science*, 324(5925), (2009), 403-406.
- [3] Cohen, M., Dillman, K., MacLeod, H., Hunter, S. and Tang, A. OneSpace: Shared Visual Scenes for Active Free Play. *Proc. CHI 2014*, (2014), 2177-2180.
- [4] Finn, K.E., Sellen, A.J. and Wilbur, S.B.: *Video-Mediated Communication*, Lawrence Erlbaum Associates, (1997).
- [5] Hunter, S., Maes, P., Tang, A., Inkpen, K. and Hessey, S. WaaZam! Supporting Creative Play at a Distance in Customized Video Environments. *Proc. CHI 2014*, (2014), 1197-1206.
- [6] Karahalios, K. and Donath, J. Telemurals: Linking Remote Spaces with Social Catalysts. *Proc. CHI 2004*, (2004), 615-622.
- [7] Miwa, Y. and Ishibiki, C. Shadow Communication: System for Embodied Interaction with Remote Partners. *Proc. CSCW 2004*, (2004), 467-476.
- [8] Morikawa, O. and Maesako, T. HyperMirror: Toward Pleasant-to-use Video Mediated Communication System. *Proc. CSCW 98*, (1998), 149-158.
- [9] Morikawa, O., Hashimoto, S., Munakata, T. and Okunaka, J. Embrace System for Remote Counseling. *Proc. ICMI 2006*, (2006), 318-325.
- [10] Nakanishi, H., Tanaka, K., Kato, R., Geng, X. and Yamashita, N.: Robotic Table and Bench Enhance Mirror Type Social Telepresence, *Proc. DIS2017*, (2017), 779-790.
- [11] Nakanishi, H., Tanaka, K. and Wada, Y. Remote Handshaking: Touch Enhances Video-Mediated Social Telepresence. *Proc. CHI 2014*, (2014), 2143-2152.
- [12] Roussel, N. Experiences in the Design of the Well, a Group Communication Device for Teleconviviality. *Proc. Multimedia 2002*, (2002), 146-152.
- [13] Slater, M., Spanlang, B., Sanchez-Vives, M.V. and Blanke, O.: First Person Experience of Body Transfer in Virtual Reality, *PLoS ONE*, 5(5), (2010), e10564.
- [14] Tanaka, K., Nakanishi, H. and Ishiguro, H.: Physical Embodiment Can Produce Robot Operator's Pseudo Presence, *Frontiers in ICT*, 2(8), 2015.
- [15] Tanaka, K., Nakanishi, H. and Ishiguro, H.: Appearance, Motion, and Embodiment: Unpacking Avatars by Fine-grained Communication Analysis, Concurrency and Computation: Practice and Experience, 27(11), (2015), 2706-2724.
- [16] Tang, A., Neustaedter, C. and Greenberg, S.: Videoarms: Embodiments for Mixed Presence Groupware. *People and Computers XX—Engage*, (2007), 85-102.
- [17] Vetere, F., Gibbs, M.R., Kjeldskov, J., Howard, S., Mueller, F., Pedell, S., Mecoless, K. and Bunyan, M.: Mediating Intimacy: Designing Technologies to Support Strong-Tie Relationships, *Proc. CHI2005*, (2005), 471-480.
- [18] Xiao, X. and Ishii, H.: Inspect, Embody, Invent: A Design Framework for Music Learning and Beyond. *Proc. CHI2016*, (2016), 5397-5408.
- [19] Yamashita, N., Kaji, K., Kuzuoka, H. and Hirata, K. Improving Visibility of Remote Gestures in Distributed Tabletop Collaboration. *Proc. CSCW 2011*, (2011), 95-104.

### 〈 発 表 資 料 〉

題 名	掲載誌・学会名等	発表年月
遠隔窓口システム：手書きの紙書類共有によるソーシャルテレプレゼンスの強化	情報処理学会論文誌	2019年2月
空間の移動感と物体の共有感による鏡型ビデオ会議のソーシャルテレプレゼンスの強化	情報処理学会論文誌	2019年2月

PopObject: A Robotic Screen for Embodying Video-Mediated Object Presentations	International Conference on Collaboration Technologies (CollabTech2018) Best Paper Award	2018年9月
---	--	---------