

# 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

田中 一品<sup>1</sup> 西村 庄平<sup>2</sup> 耿 星<sup>2</sup> 中西 英之<sup>2,a)</sup>

受付日 2018年4月19日, 採録日 2018年11月7日

**概要:** 鏡に見立てたディスプレイに対話相手側の映像だけでなく自分側の映像も合成して提示する鏡型ビデオ会議と呼ばれる遠隔会議の手法が提案されている。この手法では、相手と位置を交代する等移動をとまなうインタラクションを行うことで相手側の空間にいるという移動感が得られる可能性がある。また、両方の空間に同じ物体を用意して鏡映像上の同じ位置に設置することで同じ物体を共有しているという共有感が得られる可能性もある。本研究では、これらの感覚を強化することが鏡型ビデオ会議において相手と同じ部屋で対話している感覚である同室感を向上させると考え、相手が座っていた場所の体温の痕跡をヒータで再現する工夫や、回転位置が同期する回転テーブルを両方の空間に設置する工夫を行った。その結果、同室感の強化には鏡映像と同期して動く回転テーブルが有効であった。また、体温の痕跡の再現は同室感を強化する効果は大きくなかったが、相手側の空間にいるというバイアスを同室感に与えられる可能性が示唆された。

**キーワード:** ビデオ会議, テレプレゼンス, 遠隔協調作業, テレロボティクス

## Senses of Space Movement and Sharing Object Enhance Social Telepresence in the Mirror Type Videoconferencing

KAZUAKI TANAKA<sup>1</sup> SHOHEI NISHIMURA<sup>2</sup> XING GENG<sup>2</sup> HIDEYUKI NAKANISHI<sup>2,a)</sup>

Received: April 19, 2018, Accepted: November 7, 2018

**Abstract:** Most videoconferencing methods usually present only the remote partner's live video. By contrast, the method called mirror type videoconferencing simulating the situation in which the both of the users meet through a mirror has proposed. In this method, the sense of movement, that is, the feeling of that a user is visiting to the other user's space can be obtained. Furthermore, by installing the same object existing in distant spaces in the mirror image on the boundary surface of the mirror image so that it can be seen as one object, it is also possible to obtain the sense of sharing, that is, the feeling of touching on the same object each other. In this study, we considered that enhancing these feeling increases the social telepresence, that is, the feeling that the users meet face-to-face. For this purpose, we developed the chair presenting temperature suggesting the remote partner was sitting on, and the system that makes two turn-tables synchronize their rotational position for sharing them at the mirror image. As a result of experiments, the movement of the turn-tables synchronizing with the mirror image was effective for enhancing social telepresence. Furthermore, although the effect of the trace of body temperature on enhancing the social telepresence was small, there is a possibility that it could give the bias of being in the space of the partner side to social telepresence.

**Keywords:** videoconferencing, telepresence, remote cooperative work, telerobotics

<sup>1</sup> 京都工芸繊維大学情報工学・人間科学系  
Information and Human Sciences, Kyoto Institute of Technology, Kyoto 606-8585, Japan

<sup>2</sup> 大阪大学大学院工学研究科  
Department of Adaptive Machine Systems, Osaka University, Suita, Osaka 565-0871, Japan

a) nakanishi@ams.eng.osaka-u.ac.jp

## 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、面接や打ち合わせ等重要な会話を行う

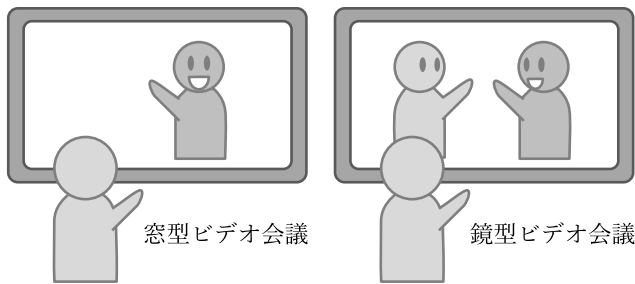


図 1 窓型ビデオ会議と鏡型ビデオ会議

Fig. 1 Window and mirror types videoconferencing.

場合には、相手の表情や振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いま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あげられる [8]。鏡型ビデオ会議では、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、移動をともなう観察、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とお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、自分があ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。

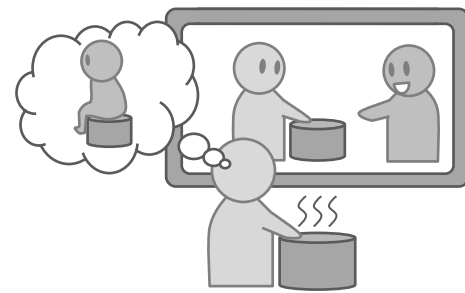


図 2 対話相手の体温の痕跡を提示する工夫

Fig. 2 Device presenting the temperature suggesting the remote partner was sitting on.

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つな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体温の痕跡があげられる。たとえば、会議の場では参加者の入退室や次の発表者に席を譲る等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ー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あげられる。回転テーブルは中華料理店で大皿

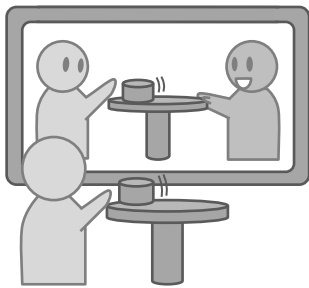


図 3 物体を対話相手と共有する工夫

Fig. 3 Device sharing an object with the remote partner.

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もとへ引き寄せたり、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ないかもしれない。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いえる。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ーの映像を合成するものもある[9]。この場合、カウンセラー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の解決するうえで、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ほ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ほかにもあり[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とまな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。

移動をとまな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、窓型ビデオ会議において紙の受け渡しを再現すると同室感が強化されることが報告されている [20]。また、鏡型ビデオ会議においても、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も分かっている [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時、身体動作がともなうと同室感が強化される。

### 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。たとえば、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よいと思いますか」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。たとえば、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(1280×720)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、左側の椅子にあらかじ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

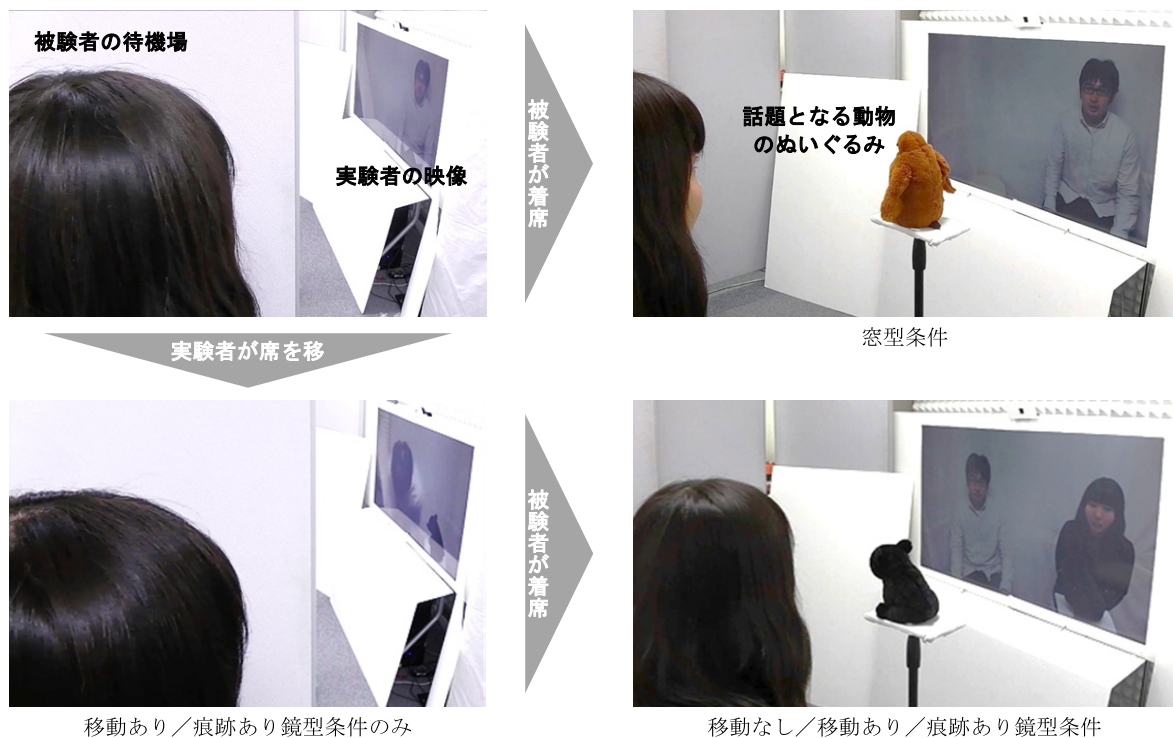


図 4 実験 1 の実験条件：窓型条件，移動なし/移動あり/痕跡あり鏡型条件

Fig. 4 Conditions of the experiment 1: the window, no-movement, movement and temperature conditions.

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なかったため，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ないため，図 5 に示すように，鏡型ビデオ会議の同室感を強化するうえ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，鏡映像上でつな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。

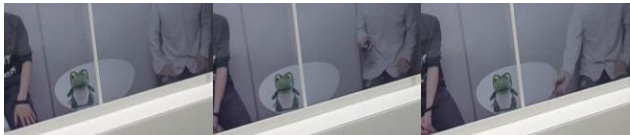
**自動条件：**鏡型条件において，回転テーブルをリモコンで操作することができる。ぬいぐるみは被験者側と実験者側で同じ位置に置かれているため，鏡映像上においても衝立をまたいでぬいぐるみが行き来しているように見える。

**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。

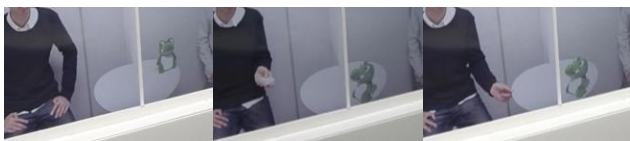
仮説 2, 3 はそれぞれ，実験者または被験者が回転テーブルを操作する場合に，自動または手動が静止と比較して同室感を強化すると予想するものである。そして，仮説 4 は実験者が回転テーブルを操作する場合に，手動が自動と比較して同室感を強化すると予想するものである。したがって，これらの仮説には，実験者と被験者のいずれが共有オブジェクトを操作するかという操作者要因（実験者，被験者）と共有オブジェクトを操作する手法要因（静止，自動，手動）が含まれている。そこで，図 5 に示すように，実験 2 も 2 段階で実施することとし，実験 2-1 では，実験者が回転テーブルを操作し，実験 2-2 では被験者が回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



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）

Fig. 5 Conditions of the experiment 2: Operator (experimenter/subject) and method (static/auto/manual) factors.

#### 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「まったくあてはまらない」、「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うえで、相手と同じ部屋にいる感覚をたず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、鏡型ビデオ会議どうしを比較するため、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すべての実験条件を体験したが、体験する順番はカウンタバランスをとった。

#### 4.6 結果

実験結果を図 6, 図 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ともに実線で、有意水準 5%以上 10%未満は有意傾向としてその  $p$  値ととも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 ( $F(2, 24) = 11.603, p < .001$ ) ととも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

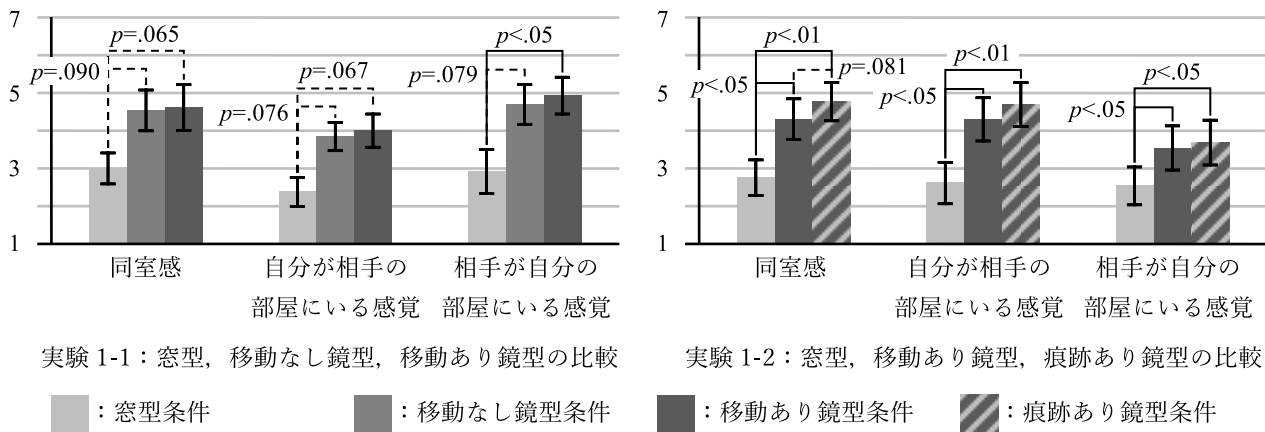


図 6 実験 1 における空間の移動感と同室感の評価

Fig. 6 Evaluation of the sense of space movement and social telepresence in the experiment 1.

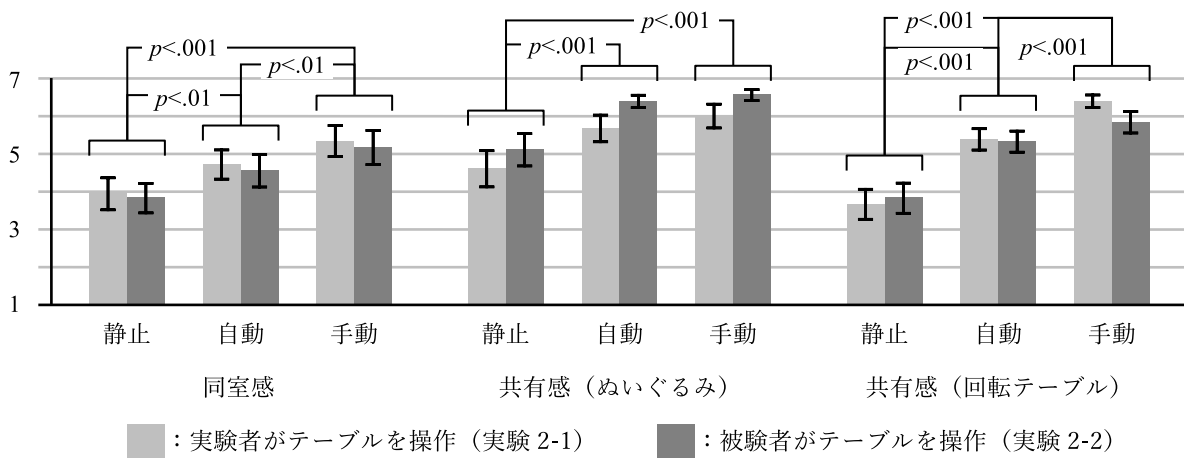


図 7 実験 2 における物体の共有感と同室感の評価

Fig. 7 Evaluation of the sense of sharing object and social telepresence in the experiment 2.

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、痕跡がない場合と比較して同室感が強化される傾向が見られたため、仮説 1 はおおむね支持された。

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。

操作者にかか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ともなう手動条件が、ともな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 ( $F(2, 24) = 12.058, p < .001$ ) ととも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とまうかどうかにかかわらず強化された。一方、回転テーブルの共有感は、身体動作をとま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が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。次節以下では、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事が懸念されるが、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ないと思われる。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 1 度意識にのぼ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」の方が高い傾向がうかがえる。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な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なかったが、テーブルの共有感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うえでは、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うえ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つな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うえで体温の痕跡の効果はけっ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あげられる。

**指針 1:** 鏡型ビデオ会議の同室感を強化するうえで、対話相手側の鏡映像に同期した物理現象およびそれにとまな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。たとえば、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うえで、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うえで、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ともに、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合せを検証する等、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、同室感を強化するうえで有効なデザインを検証した。被験者の振舞いを分析する等、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す状況を再現する等、相手側の鏡映像に同期した物理現象を提示することや、それにとまな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等、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。

謝辞 JSPS 科研費 JP26280076, JP15K12081, JP16K16140, 科学技術融合振興財団, 電気通信普及財団からの支援を受けた。

#### 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*, pp.38-47 (2012).
- [2] Caggiano, V., Fogassi, L., Rizzolatti, G., Thier, P. and Casile, A.: Mirror Neurons Differentially Encode the Peripersonal and Extrapersonal Space of Monkeys, *Science*, Vol.324, No.5925, pp.403-406 (2009).

- [3] Cohen, M., Dillman, K., MacLeod, H., Hunter, S. and Tang, A.: OneSpace: Shared Visual Scenes for Active Free Play, *Proc. CHI 2014*, pp.2177-2180 (2014).
- [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*, pp.1197-1206 (2014).
- [6] Karahalios, K. and Donath, J.: Telemurals: Linking Remote Spaces with Social Catalysts, *Proc. CHI 2004*, pp.615-622 (2004).
- [7] Miwa, Y. and Ishibiki, C.: Shadow Communication: System for Embodied Interaction with Remote Partners, *Proc. CSCW 2004*, pp.467-476 (2004).
- [8] Morikawa, O. and Maesako, T.: HyperMirror: Toward Pleasant-to-use Video Mediated Communication System, *Proc. CSCW 98*, pp.149-158 (1998).
- [9] Morikawa, O., Hashimoto, S., Munakata, T. and Okunaka, J.: Embrace System for Remote Counseling, *Proc. ICMI 2006*, pp.318-325 (2006).
- [10] Nakanishi, H., Tanaka, K., Kato, R., Geng, X. and Yamashita, N.: Robotic Table and Bench Enhance Mirror Type Social Telepresence, *Proc. DIS2017*, pp.779-790 (2017).
- [11] Nakanishi, H., Tanaka, K. and Wada, Y.: Remote Handshaking: Touch Enhances Video-Mediated Social Telepresence, *Proc. CHI 2014*, pp.2143-2152 (2014).
- [12] Roussel, N.: Experiences in the Design of the Well, a Group Communication Device for Teleconviviality, *Proc. Multimedia 2002*, pp.146-152 (2002).
- [13] Slater, M., Spanlang, B., Sanchez-Vives, M.V. and Blanke, O.: First Person Experience of Body Transfer in Virtual Reality, *PLoS ONE*, Vol.5, No.5, e10564 (2010).
- [14] Tanaka, K., Nakanishi, H. and Ishiguro, H.: Physical Embodiment Can Produce Robot Operator's Pseudo Presence, *Frontiers in ICT*, Vol.2, No.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*, Vol.27, No.11, pp.2706-2724 (2015).
- [16] Tang, A., Neustaedter, C. and Greenberg, S.: Videoarms: Embodiments for Mixed Presence Groupware, *People and Computers XX - Engage*, pp.85-102 (2007).
- [17] Vetere, F., Gibbs, M.R., Kjeldskov, J., Howard, S., Mueller, F., Pedell, S., Mecoles, K. and Bunyan, M.: Mediating Intimacy: Designing Technologies to Support Strong-Tie Relationships, *Proc. CHI 2005*, pp.471-480 (2005).
- [18] Xiao, X. and Ishii, H.: Inspect, Embody, Invent: A Design Framework for Music Learning and Beyond, *Proc. CHI 2016*, pp.5397-5408 (2016).
- [19] Yamashita, N., Kaji, K., Kuzuoka, H. and Hirata, K.: Improving Visibility of Remote Gestures in Distributed Tabletop Collaboration, *Proc. CSCW 2011*, pp.95-104 (2011).
- [20] 大城健太郎, 田中一晶, 中西英之: 遠隔地間での紙資料受け渡しによる対話相手の存在感の強化, *インタラクシオン 2017*, pp.87-96 (2017).



田中 一晶 (正会員)

2006年京都工芸繊維大学工芸学部電子情報工学科卒業。2008年同大学大学院工芸科学研究科情報工学専攻博士前期課程修了。2010年大阪大学大学院工学研究科知能・機能創成工学専攻特任研究員。2011年京都工芸繊維大学大学院工芸科学研究科情報工学専攻博士後期課程修了。博士(工学)。大阪大学大学院工学研究科知能・機能創成工学専攻特任助教等を経て、2017年より京都工芸繊維大学情報工学・人間科学系助教。人とインタラクシオンを行うエージェントやロボットの設計に興味を持つ。



西村 庄平

2015年大阪大学基礎工学部システム科学科卒業。2017年同大学大学院工学研究科知能・機能創成工学専攻博士前期課程修了。現在、三菱電機エンジニアリング株式会社に所属。



耿 星

2007年ハルビン理工大学機械工学科卒業。2014年大阪大学大学院工学研究科知能・機能創成工学専攻博士前期課程修了。現在、ファナック株式会社に所属。



中西 英之 (正会員)

1996年京都大学工学部情報工学科卒業。1998年同大学大学院工学研究科情報工学専攻修士課程修了。同年日本学術振興会特別研究員。2001年京都大学大学院情報学研究科社会情報学専攻博士課程修了。博士(情報学)。同年同専攻助手。2006年より大阪大学大学院工学研究科知能・機能創成工学専攻准教授。空間共有や存在感伝達のためのアバタやロボットに興味を持つ。2002年度情報処理学会坂井記念特別賞。2004年度テレコムシステム技術賞。2006年度科学技術分野の文部科学大臣表彰科学技術賞。