

鏡型ビデオ会議における視触覚相互作用による ソーシャルテレプレゼンスの強化

田中 一品¹ 加藤 良治¹ 中西 英之^{1,a)}

受付日 2016年7月20日, 採録日 2017年2月9日

概要: 通常のビデオ会議とは異なり, 鏡型ビデオ会議では鏡に見立てたディスプレイにユーザとその対話相手を同じ映像内に合成して表示する. 同じ鏡を見ながら相手と対話する状況を再現することで, 相手と同じ空間にいる感覚が強化される可能性があるが, 鏡に映っている相手が同じ空間に物理的に存在しないという矛盾を知覚するとその感覚が低下してしまうという問題がある. 本研究では, この問題を物理的矛盾と呼び, その解決を試みた. 相手と同じ長椅子に座って鏡型ビデオ会議を行う状況を想定して実験を行った結果, 相手が存在するはずの場所をユーザから直接見えないように衝立で隠すと, 遠隔会議であると分かっているにもかかわらず, 衝立の向こう側に相手が座っている感覚が得られることが分かった. さらに, 相手の着席/起立によって生じる振動を長椅子で再現すると, その感覚が強化されることも分かった. この視触覚相互作用により, 遠隔会議であることをユーザに知らせない場合には, 衝立の向こう側に本当に相手が座っていると信じさせることができた.

キーワード: ビデオ会議, テレプレゼンス, 視触覚相互作用

Visuotactile Interaction on Mirrorlike Videoconferencing Enhances Social Telepresence

KAZUAKI TANAKA¹ RYOJI KATO¹ HIDEYUKI NAKANISHI^{1,a)}

Received: July 20, 2016, Accepted: February 9, 2017

Abstract: Unlike normal videoconferencing, mirrorlike videoconferencing presents a synthesized live video of the user's and a remote conversation partner's images. Simulating the situation in which the user talks with the partner while looking at the same mirror might enhance the feeling that the partner is in the same space. However, there is a problem that the feeling would be decreased when the user noticed the inconsistency that the partner who is in the mirror does not physically exist in the same space. In this study, we called this problem as the physical inconsistency and tried to solve it. As the result of the experiment presuming the situation in which users sitting on the same bench while mirrorlike videoconferencing, we found that hiding the space where the partner is supposed to exist with a partition could produce the feeling of sitting together even though the subject knew the partner does not exist in the same space. We also found that reproducing the haptic sensation that is the vibration caused by the partner's sitting down on and standing up from the bench enhanced the feeling. This visuotactile interaction could make the subjects believe that the partner actually exists behind of the partition when they were not informed that the system was a telecommunications terminal.

Keywords: videoconferencing, telepresence, visuotactile interaction.

1. はじめに

1.1 鏡型ビデオ会議

ビデオ会議の形式として窓型と鏡型がある. 窓型ビデオ

会議では, ユーザの前に設置されたディスプレイは窓の役割であり, ユーザが窓越しに遠隔地を覗いている状況をシミュレートする. 一方, ディスプレイが鏡の役割を持つ鏡型ビデオ会議では, ユーザが鏡越しに遠隔地を見ている状況をシミュレートする.

広く用いられているビデオ会議の形式は, FaceTime, Skype, Google ハングアウト, Polycom など窓型である. 反

¹ 大阪大学大学院工学研究科知能・機能創成工学専攻
Department of Adaptive Machine Systems, Osaka University, Suita, Osaka 565-0871, Japan

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

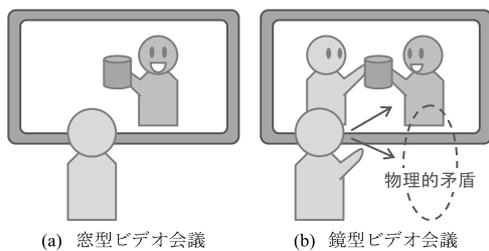


図 1 窓型/鏡型ビデオ会議システム

Fig. 1 Window/mirror like videoconferencing system.

対に、鏡型ビデオ会議は継続的に研究されているにもかかわらず広く用いられているものはない [8], [14], [16], [19], [29].

1.2 鏡型ビデオ会議における物理的矛盾

対話相手の映像をそのまま提示する窓型ビデオ会議 (図 1(a)) とは異なり、鏡型ビデオ会議は対話相手を映像として提示するだけでなく、ユーザ自身の映像も提示する (図 1(b)). したがって、鏡型ビデオ会議では、ユーザは鏡の中にも物理的な空間にも存在しているが、対話相手は鏡の中にしか存在しないという矛盾が生じる.

この物理的矛盾は、1) 対話相手の物理的な身体を生成する、2) 対話相手の映像を提示しない、3) ディスプレイ前方の空間からユーザを遠ざけるといふ 3つの方法のうち 1つでも実現できれば解決するが、これらが解決法として意味をなさないことは明白である。鏡型ビデオ会議の既存研究では、物理的矛盾の問題はいまだ解決されていない。

1.3 研究課題

鏡型ビデオ会議における物理的矛盾は、ソーシャルテレプレゼンス (遠隔地にいる相手が自分と同じ空間にいるように感じる幻想) を低下させる可能性が考えられるため、物理的矛盾の緩和はこの幻想を強化すると仮定した。対話相手の物理的な不在を知覚させない、または、対話相手が存在することによる物理現象を知覚させることが物理的矛盾を緩和すると考え、下記の 3つの研究課題を設定した。

課題 1: 対話相手と同じ空間にいないことをユーザが知っていても、その物理的な不在に注目しなければ、ソーシャルテレプレゼンスが強化されるか。

遠隔会議では、ユーザは対話相手と同じ空間にはいないという認識を持って対話しているが、従来の鏡型ビデオ会議は、物理的矛盾をつねにユーザに意識させるため、その認識を促進してしまう。対話相手がいるはずの空間をユーザから物理的に見えないようにすることで、この認識を防止する効果を観察した。

課題 2: 対話相手と同じ空間にいないことをユーザが知っていても、対話相手が存在することによる物理現象を知覚できれば、ソーシャルテレプレゼンスが強化されるか。

鏡型ビデオ会議では、対話相手が存在するはずの場所に正しくスピーカを設置すると、対話相手が声を発する際の聴覚を再現することができる。この聴覚の再現に加え、我々は触覚の再現も試みた。遠隔コミュニケーションでの触覚の再現は長きにわたって研究されているが [13]、鏡型ビデオ会議応用への応用はほとんど行われていない。我々は、触覚を再現する効果によって対話相手が物理的に存在する感覚が生み出されるか観察した。

課題 3: 対話相手の物理的な不在にユーザが気づかなければ、ソーシャルテレプレゼンスが強化されるか。

通常の鏡型ビデオ会議では、対話相手と同じ空間に存在しないことをユーザに気づかせないようにすることは困難である。しかしながら、鏡に映る対話相手がいるはずの場所 (つまりディスプレイの前の空間) をユーザから見えないように隠せば、ユーザは相手がその空間にいると信じるかもしれない。この仮説の立証は、システムに関するユーザの事前知識に依存すると思われる。たとえば、システムが遠隔会議用であるとユーザが知っていたならば、対話相手と同じ部屋にいると信じることはないだろう。我々はこの事前知識をユーザに与えないことによる効果を観察した。

2. 関連研究

2.1 鏡型ビデオ会議

対話相手を含む遠隔地の映像を提示する窓型ビデオ会議とは異なり、鏡型ビデオ会議は対話相手とユーザの両方を含んだ合成映像を提示する。この合成の最適な方法は明らかになっておらず、既存研究では様々な方法が用いられてきた。典型的な方法は、クロマキー [19] や深度画像 [8] などの技術で映像からユーザの部分映像を切り出し、もう一方のユーザがいる空間の映像に合成するものである。この方法では、ユーザか対話相手が存在するいずれか一方の空間の映像を背景として選択する必要がある。

片方の空間の映像を背景としない例としては、ユーザが用意した画像 [14]、空白 (何も表示しない) [16]、鏡の代わりに水面にユーザが映る様子をシミュレートする映像 [29] を背景として利用するものがある。また、鏡型ビデオ会議とは多少異なるが、ユーザがいる空間の床、壁、テーブルなどに対話相手の映像 [2] や黒い影 [18]、影のような映像 [37] をプロジェクタで投影するものもある。このように、様々なシステムが開発されてきたが、既存研究は物理的矛盾の問題には着目していない。

2.2 ソーシャルテレプレゼンス

ソーシャルテレプレゼンスの不足が遠隔会議で対面会議を代替するうえでのボトルネックとなっているため、それを強化する方法が数多く研究されている。ビデオ映像を用いる方法がその一般的な方法であり [9], [15]、アイコンタクトが成立するようにカメラとディスプレイを設置するこ

とや [4], [24], 立体映像, 等身大映像を用いるなどの工夫が効果的であることが分かっている [28].

近年の研究では, ユーザの視線移動によって生じる運動視差を遠隔地のカメラの移動によって物理的に再現する方法 [21] によってソーシャルテレプレゼンスが強化されることが報告されている. また, 顔のみの映像と比較して上半身の映像の提示が効果的であること [25], 対話相手の上半身を提示するディスプレイの物理的な移動 [22] によってソーシャルテレプレゼンスが強化されることが報告されている. これらすべての工夫は窓型ビデオ会議を対象としたものであり, 鏡型ビデオ会議を対象としたそのような工夫はほとんど研究されていない.

2.3 遠隔触覚

遠隔触覚は古くから研究されている [13]. そのような研究では, すべての触覚を再現するデバイスを開発することは困難であるため, 特定の触覚を伝達することに注力されている [5], [10], [11], [26], [35]. また, 触覚ではテキストや音声のように明示的な情報を伝えるができないため, 感情の状態や単純な反応のような非言語情報を伝達するチャンネルとして遠隔触覚の有効性が検証されている [1], [6], [7], [27], [33], [34].

上述の研究目的と比較し, ソーシャルテレプレゼンスの強化を目的とした遠隔触覚に関する研究が少ないのは, 次のような難しさがあるからかもしれない. 先行研究の1つは, 遠隔触覚の様々な効果を示したが, ソーシャルテレプレゼンスへの効果を示すことに失敗している [31]. ソーシャルテレプレゼンスへの遠隔触覚の効果を示した研究もあるが [3], その遠隔触覚は音声や映像のチャンネルを拡張するものではなかったため, 既存のビデオ会議や音声のみの対話を遠隔触覚によって改善できるかは不明であった. これに対し, 近年の研究において遠隔触覚が音声のみの対話 [36] やビデオ会議 [23], [32] を改善することが示された. 鏡型ビデオ会議における遠隔触覚を扱った研究も存在するが [20], その明確な心理学的効果はいまだ報告されていない.

3. 実験方法

3.1 鏡型ビデオ会議システムの開発

図 2 は我々が開発した鏡型ビデオ会議システムのモックアップである. ディスプレイの左半分はユーザ側の映像を提示し, 右半分は遠隔地にいる対話相手側の映像を提示する. このシステムは, 鏡 (ディスプレイ) の前でユーザと対話相手が長椅子に座っている状態を再現するものであり, 実際には, 誰も長椅子の右側には座っていない. 中央の衝立はユーザから右側の空間が見えないように視界を遮るものである.

2つの長椅子がディスプレイ上でつながって見えるように, それらの位置を調整した. 長椅子は空間的なつながり

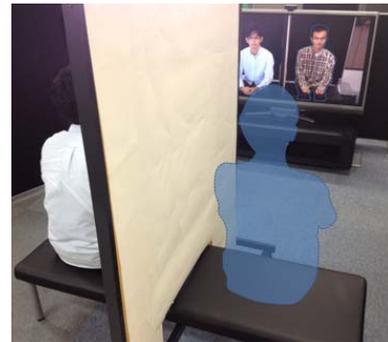


図 2 鏡型ビデオ会議システムのモックアップ
Fig. 2 Mockup of our videoconferencing system.



図 3 実験 1 の実験環境
Fig. 3 Setup of Experiment 1.

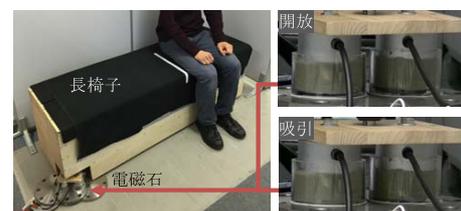


図 4 実験 2 で使用した長椅子
Fig. 4 Our bench used in Experiment 2.



図 5 実験 3 を実施した展示会のブース
Fig. 5 Exhibition booth where Experiment 3 conducted.

を示す目的だけでなく, 対話相手が座ったり立ったりする際に生じる振動を再現してユーザに提示する目的も担っている.

図 3, 図 4, 図 5 は後述の 3つの実験で使用したシステムをそれぞれ示している. これらの実験では, 我々の研究室のメンバが被験者の対話相手を務めた.

3.2 実験

1章で述べた課題 1~3 に答えるため, これらの研究課題

にそれぞれ対応する下記の実験1~3を実施した。

実験1: この実験では、長椅子の左側に座る被験者から長椅子の右側の空間が見えないようにする効果を検証した。図3に実験環境を示す。図の左側は、長椅子の左右の空間が仕切られておらず、被験者は実験者が隣にいないことを知覚することができる。一方、図の右側は、長椅子の左右の空間が衝立で仕切られており、実験者の物理的な不在を知覚することはできない。図の上側は被験者の方から見た様子、下側はディスプレイの方から見た様子である。被験者と実験者の映像は、2台のWebカメラを同じPCに接続して取得し、被験者側のディスプレイに並べて表示した。実験1では、被験者に実験装置が遠隔会議システムであることを伝え、衝立の向こう側に実験者がいないことを実際に見せて確認させたうえで、鏡型ビデオ会議での衝立の有無を比較した。

実験2: 対話相手と一緒に長椅子に座っている状況では、相手が座ったり立ったりすると振動を感じることもある。この振動は、長椅子の4本の脚の長さが微妙に異なる場合や、床があまり平らではない場合に生じる。この実験では、長椅子(4本中1本の脚が5mm短い)に2人が並んで着席し、1人が着席/起立したときにもう1人が感じる触覚(振動)の再現を試みた。図4に示すように、被験者が座る長椅子の右側の脚に電磁石(KANETEC KE-6B)を2つ取り付け、別の部屋にいる実験者が着席/起立するのに合わせて、15mmの鉄板を2枚重ねにした厚さ30mmの鉄板に約5mmのストロークで吸引/解放させた。木製の長椅子と金属製の電磁石では材質の差異による触感の違いがあるため、厚さ0.8mmの布を緩衝剤として電磁石と鉄板の間に挿入し、振動の強さを調整した。実験者の着席/起立は、実験者側の長椅子の座面に埋め込んだ圧力センサとクロック周波数16MHzのマイコンボード(Arduino Nano)で取得し、同じマイコンボードで電磁石の駆動電圧のON/OFFを制御した。映像も着席/起立動作もネットワークを介さず取得しており、映像の実験者の動作と振動がほぼ同時に感じられることを確認した。

図中の写真から分かるように、電磁石の動きは非常に小さく、生じる振動も決して大きくはない。予備実験において、電磁石が吸着するストロークを長くする、緩衝材を薄くするなどして振動を強調提示したところ、振動の不自然さがソーシャルテレプレゼンスの評価に悪影響を与えることが確認されたため、自然に感じられる程度の小さな振動で実験者が隣に存在するように感じさせることができるか検証した。実験2では、実験1と同様の操作によって被験者に実験装置が遠隔会議システムであると伝えたとうえで、実験1で使用した衝立ありの鏡型ビデオ会議において、触覚提示(振動)の有無を比較した。

実験3: この実験では、衝立を挟んだ長椅子の右側に実験者が実際に座っていると思込んでいる被験者がどのよう

な反応を示すか観察した。実験装置が遠隔会議システムであると気づかない(専門的知識を持たない)被験者で実験を行うため、この実験は展示会の一般の来場者を対象に実施した。来場者が我々の鏡型ビデオ会議を体験する前に実験装置の仕組みを知ってしまうことを防ぐため、ブースの内側に装置を設置した(図5)。実験1,2では、本学近辺に住む学部生が我々の研究室を訪れて実験に参加したが、そのような被験者と比較し、実験3では一般の来場者の素直な反応が観察できることを期待した。

実験1,2では、すべての被験者に遠隔会議システムであるという情報を事前に開示したが、実験3では、来場者の一部にのみ実験装置が遠隔会議システムであることを伝え、衝立の向こう側に実験者がいないことを実際に見せて確認させた(開示グループ)。そして、その他の被験者には、そのような情報をいっさい伝えず、衝立の向こう側を見せずに実験を行った(非開示グループ)。実験3では実験2で使用した衝立あり・触覚提示ありの鏡型ビデオ会議に対する開示グループと非開示グループの反応を比較した。

すべての実験条件には、図3中に見られる下記の工夫を施した。

- 我々の鏡型ビデオ会議は、実験者側と被験者側の映像の合成は行わず、両者の映像をディスプレイの左右に並べて表示した。このデザインは鏡型ビデオ会議の性能を低下させるかもしれないが(詳しくは5章で述べる)、合成映像の輪郭にジャギーが現れる画像処理上の問題を防ぐことが可能である。この問題がソーシャルテレプレゼンスの評価に悪影響を与えることが予備実験で確認されたため、遠隔地間の映像を左右に並べて表示する上述の方法を採用した。
- 長椅子と同様に、遠隔地間の映像の連続性を示す目的で、実験者側と被験者側の背後の壁にシャツをかけ、それらがディスプレイ上でつながって見えるように位置を調整した。遠隔地間を横切る物体としてシャツを選択した理由は、実験中の話題として衣服を設定したためである。
- ディスプレイの上部に設置した2つのカメラのうち、左が被験者側の映像を撮影するカメラであるが、右は何も撮影していないダミーである。予備実験において、右にはカメラがないことを理由に右側の映像が別の部屋のものであると予想し、ソーシャルテレプレゼンスの評価を下げた被験者がいたため、このダミーのカメラを設置した。
- 実験者が被験者の右隣から話している状態をシミュレートするため、実験者の音声を再生するスピーカは長椅子の右側に設置した。

3.3 実験手順

3つの実験に合計233人の被験者が参加した。3つの実

験に重複して参加した被験者は存在しない。前節で述べたように、実験3の非開示グループ以外の被験者には、実験者が隣にいないことを実験者と対話する前に知らせた。また、どの被験者にも長椅子の仕掛けや衝立の意図などの情報は与えなかった。その後、被験者は実験者と衣服について対話した。我々のシステムのデザインは、全身を映す鏡を備えた試着室から想到しており、ネットを介した試着室で店員と客が対話する状況を想定して実験を行った。衣服を提示しながらその説明をすることにより、被験者の注意をディスプレイに向けさせる効果がある。被験者が長椅子の左側に座っている間、実験者は、実験者側にある長椅子の右側に座る、対話を開始する、立ち上がるという手続きを行った。最後に、被験者はソーシャルテレプレゼンス（つまり、実験者が隣にいる感覚）の度合いを計測するアンケートに回答した。

4. 結果

4.1 計測

3つの実験の結果を図6、図7、図8にそれぞれ示す。各グラフはソーシャルテレプレゼンスを測るアンケートの平均値を示し、エラーバーは標準誤差を示している。実験1, 2では、「あなたの隣に本当に人がいると感じた」という項目に7段階のリッカート尺度（1：まったくあてはまらない、4：どちらともいえない、7：非常によくあてはまる）で回答させた。実験3では、「本当に隣に人がいると思ったか」という項目に0から100%の間で回答させた。実験3は展示会での一般の参加者を対象としているため、アンケートに不慣れな人でも直観的に答えられるように、リッカート尺度ではなくパーセンテージで答えさせる方法を用いた。

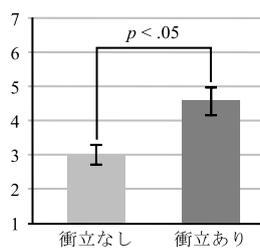


図6 実験1における相手が隣にいる感覚

Fig. 6 Feeling of being together in Experiment 1.

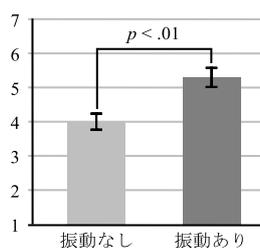


図7 実験2における相手が隣にいる感覚

Fig. 7 Feeling of being together in Experiment 2.

4.2 実験1

鏡型ビデオ会議において衝立の有無に対する被験者の反応を比較した実験1の結果を図6に示す。この実験には7人の学部生が参加した。対応あり両側t検定で比較した結果、衝立があるとソーシャルテレプレゼンスが強化されることが分かった ($t(6) = 2.976, p < .05$)。この結果は、対話相手が同じ空間に存在しないことを知っていても、衝立によってその物理的不在を意識しなければソーシャルテレプレゼンスが強化されることを意味している。

4.3 実験2

衝立ありの鏡型ビデオ会議において触覚提示の有無に対する被験者の反応を比較した実験2の結果を図7に示す。この実験には10人の学部生が参加した。対応あり両側t検定で比較した結果、触覚提示があるとソーシャルテレプレゼンスが強化されることが分かった ($t(9) = 3.284, p < .01$)。この結果は、対話相手が同じ空間に存在しないことを知っていても、触覚提示によって対話相手が存在することによる物理現象を知覚できれば、ソーシャルテレプレゼンスが強化されることを意味している。

4.4 実験3

衝立あり触覚提示ありの鏡型ビデオ会議において開示の有無に対する被験者の反応を比較した実験3の結果を図8に示す。実験3を実施した展示会の会場は非常に混雑しており騒がしい環境であったため、注意が散漫になることで長椅子の小さな振動に気づかない被験者もいることが予想された。そこで、被験者にはソーシャルテレプレゼンスに関する質問に答えさせた後、長椅子の振動に気づいたかどうか尋ねた。予想どおり、半数以上の被験者 (126/216) が振動に気づいていなかった。実験者が隣にいないという情報の開示の有無だけでなく、この気づき（感知）の有無も要因として加え、開示非感知、開示感知、非開示非感知、非開示感知の4つのグループを比較した。各グループの被験者数は順に28, 26, 98, 64人であった。開示グループの被験者が少ないのは、遠隔会議システムであるという情

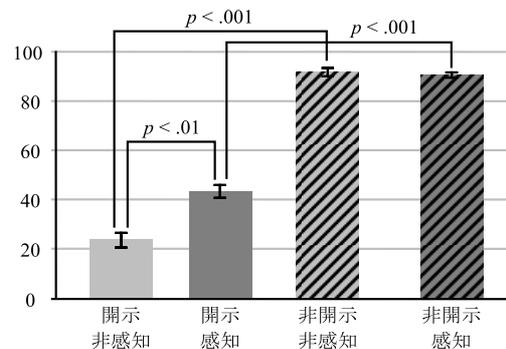


図8 実験3における相手が隣にいる感覚

Fig. 8 Feeling of being together in Experiment 3.

報の開示が我々の展示の魅力を下下させてしてしまうためである。統計分析が不要なほど非開示条件のスコアが開示条件のスコアより高いため、被験者数の偏りは実験結果に大きく影響しなかったと思われる。4つの被験者グループのスコアを被験者間2要因分散分析で比較し、TukeyHSD法で下位検定を行った。

分析の結果、開示要因 ($F(1,212) = 315.879, p < .001$) と交互作用 ($F(1,212) = 9.958, p < .01$) が有意であった。交互作用が有意であったため下位検定を行った結果、開示グループと比較し、非開示グループの方が感知 ($p < .001$) でも非感知 ($p < .001$) でも高いことが示された。つまり、対話相手が実際には隣にいないことに気づかなければソーシャルテレプレゼンスが強化されることが分かった。さらに、実験2が示唆したように、対話相手が隣にいないことを開示した場合には、振動を感知するとソーシャルテレプレゼンスが強化されることも分かった ($p < .01$)。振動により、実験2では7段階でスコアが1.3向上しており、実験3では19.7%の向上が見られたことから、我々のシステムにおいて振動は約20%ソーシャルテレプレゼンスを向上させた。非開示グループでは、感知、非感知にかかわらずほとんどの被験者が最高のスコアをつけており、天井効果が起こっていた。開示要因と感知要因の交互作用はこの天井効果によるものである。

開示グループと非開示グループでは被験者の反応にいくつかの違いが見られた。対話の最中に長椅子が動いたとき、開示グループの被験者は長椅子を見たが、非開示グループの被験者はそうしなかった。開示グループの被験者は対話相手が隣にいないのに長椅子が動いたことに驚いたが、非開示グループの被験者は対話相手の着席/起立による動きであると感じたために特に違和感を持たなかったと考えられる。また、システムを体験した後、衝立の反対側を横切ってブースを立ち去るとき、非開示グループの被験者は衝立の反対側を見てそこに対話相手がいないことに素直に驚いていたが、開示グループの被験者は衝立の反対側に注意を払うことが少なく驚くことはなかった。これらの反応の違いは、対話相手が隣にいるという幻想を持っていたかどうかによって生じたと考えられるため、対話相手の存在/不在に関する事前知識を与えないことがソーシャルテレプレゼンスを強化するというアンケート結果を支持している。

5. 考察

5.1 知見

実験1では、鏡に映る対話相手が存在するはずの空間に実際には存在しない問題（物理的矛盾）に着目した。この問題を解決するうえで、衝立でその空間を隠すことが有効であることが分かったため、これを次の実験2の統制条件とした。実験2では、対話相手の動作に基づく物理現象と

して着席/起立時の振動を長椅子で機械的に再現する効果を検証した。長椅子の振動は小さな触覚刺激であったが、ソーシャルテレプレゼンスを強化することができた。

先行研究では、鏡型ビデオ会議システムの様々な応用が行われているが、食卓 [2]、親子の遊び場 [8], [14]、ダンススタジオ [18]、カウンセリングルーム [20] など、相手と一緒にいる感覚が重要と考えられる状況をシミュレートしたものがほとんどである。本研究の知見を先行研究のシステムに適用することで物理的矛盾が解決され、相手と一緒にいる感覚を強化することが可能になる。

実験1, 2は衝立の向こう側にいる対話相手がユーザと同じ長椅子に座る状況をシミュレートしたものであったが、実際にはそこに対話相手がいないことを被験者は知っていた。実験3では、この事前知識を被験者に与えないことで、衝立の向こう側に対話相手がいると信じさせることができた。この効果は初めてシステムを体験するユーザにしか通用しないため、お化け屋敷などのアトラクションへの応用が想定されるが、鏡型ビデオ会議においてこの効果を維持する工夫については5.5節で述べる。

5.2 リアリティか想像か

実験1は、対話相手が存在するはずの空間を衝立で隠すという非常に簡単で低コストの方法が効果的であることを示した。より複雑で高コストの方法としては、ヒューマノイドロボットで対話相手のリアルな外見と振舞いを再現することがあげられる [30]。対話相手が存在するはずの空間にそのようなロボットを設置することは物理的矛盾を解決するかもしれない。この方法の最終目標は対話相手がユーザと一緒にいる状況をロボットで完全にシミュレートすることである。このリアリティに基づいたアプローチに対し、我々のアプローチはユーザの想像に基づくものである。空間を隠す方法は、対話相手がそこにいるという想像を促進すると思われる。

より効果的なアプローチとして、リアリティと想像の両方のアプローチを組み合わせることが考えられる。たとえば、擦りガラスの衝立越しに対話相手の代替となるロボットを見ることでロボットの外見の不完全性を曖昧化できるかもしれない。つまり、ロボットの不完全性に依拠してガラスの不透明性を調整すればよい。ロボットによって完全に対話相手をコピーすることは困難だが、ある程度似せることは可能であると思われる。このアプローチは空間を完全に隠してしまうアプローチよりも効果的かもしれない。

5.3 物体共有

上述の衝立は、物を共有する直接的な非言語コミュニケーションの妨げとなってしまう。対話相手の映像をユーザがいる空間の映像に合成して提示する既存研究の鏡型ビデオ会議では、映像内のオブジェクトを指し示すジェス

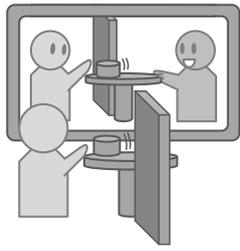


図 9 物体共有のための回転テーブルデバイス
Fig. 9 Turning table device for sharing objects.

チャが自由に使用できる。しかし、本研究のシステムでは、遠隔地間の空間が衝立によって物理的に区切られており、遠隔地間の映像がディスプレイの左右に別々に表示されているため、他方の空間にあるオブジェクトを手で指し示すことはできない。

衝立で区切られた鏡型ビデオ会議では物体共有が困難であるという問題は、衝立を通過して物体を転送する回転テーブルデバイス（図 9）によって緩和できる可能性がある。図 3 に示した長椅子やシャツのように、この回転テーブルは対話相手側とユーザ側の両方の空間に存在し、ディスプレイ上でつながって見えるように位置が調整されている。回転テーブルの軸にはサーボモータが使用されており、一方のテーブルの回転は他方のテーブルで正確に再現される。位置調整や回転の同期によって、映像では左右のユーザの中央に設置された 1 つのテーブルであるように見える。このテーブル上の同じ位置に同じ物体（図 9 では円柱）を置くと、テーブルの回転によって物体を転送することができる。

同じオブジェクトを同じ位置にどのような方法でテーブル上に設置するかという技術的問題があるが、物体を複製する 3D プリンタのような技術やロボットアームによる物体の把持・設置技術を用いれば解決可能であると考えられる。現在のシステムでは、同じオブジェクトをあらかじめ用意し、手作業で設置しなければならない。

5.4 意図的でない触覚インタラクション

本研究で開発した長椅子は、2 つの学術的貢献をもたらした：1) 鏡型ビデオ会議において触覚提示の心理学的効果が統計的に認められた唯一のデバイスであり、2) 握手 [23]、キス [32]、腕を握る [36] などの他者とインタラクションを行うことを意図した振舞いではなく、着席/起立によって自然に生じる触覚刺激（振動）を再現することでソーシャルテレプレゼンスを強化した唯一のデバイスである。

先行研究では、遠隔地間で対話相手の椅子の動きに同期して、他方の椅子が動くデバイスが提案されている [17]。このデバイスは、我々の長椅子と類似しているが、使用された椅子はロッキングチェアであり対話相手がユーザの椅子を揺らすために意図的に椅子を操作するため、本研究の

ように意図的でない触覚インタラクションを再現するものではない。

意図的でない触覚インタラクションを再現する我々の長椅子は、鏡型ビデオ会議と非常に相性が良い。窓型ビデオ会議はユーザ同士が向かい合って対話する状況をシミュレートするものであり、そのような状況では別々の椅子に座ることが普通であるため、着席/起立によって生じる椅子の振動をもう一方の椅子で再現することに意味はない。これに対し、鏡型ビデオ会議では、ユーザ同士が横に並んで同じ長椅子に座る状況をシミュレートすることは自然で簡単である。

5.5 偽物と本物の存在感の曖昧化

実験 3 は、ソーシャルテレプレゼンスにおいて鏡型ビデオ会議が窓型ビデオ会議を上回る可能性を示した。鏡型ビデオ会議は、遠隔会議システムであることをユーザが知らなければ、対話相手と同じ空間にいると信じさせることが可能である。一方、窓型ビデオ会議では、対話相手を表示するディスプレイが空間を隔てていることをユーザに印象付けてしまうため、対話相手と同じ空間にいると信じさせることは困難である。しかしながら、鏡型ビデオ会議のこの利点は、遠隔会議システムに詳しくないユーザが初めてシステムを体験するときには有効に働かないという制限がある。

この制限を緩和する方法としては、対話相手が存在するはずの空間に、実際に対話相手が訪れてたびたび対話することである。このとき、ユーザには対話相手が実際に訪れていることを対話が終わるまで秘密にする。対話相手の偽物と本物の存在感を曖昧化することで、相手がいない状態であっても本当はいるかもしれないという期待を促進できるかもしれない。この方法は、たとえば、上司と社員の遠隔会議において、出張中の上司が同じ部屋にいるように社員に感じさせる状況に適応できる。

5.6 多人数への拡張

3 つの実験では、1 人ずつユーザが存在する 2 カ所の空間を接続するという最も単純な設定で鏡型ビデオ会議を検証した。しかし、我々のシステムは多人数が存在する複数の空間を接続する、より複雑な設定にも簡単に拡張することが可能であり、本研究の知見はそのような複雑な設定にも応用可能である。

各空間に存在するユーザ数を増やすためには、複数のユーザを横に並べて表示できる長さのディスプレイと、それらのユーザが同時に座れる長さの椅子が必要である。また、空間の数を増やすためには、ディスプレイ上の映像の表示数を増やし、その映像の境界の数だけ衝立が必要となる。もちろん、端に座るユーザから反対側の端に座るユーザが見えなくなる場合や、振動が感じられなくなる場合があるなど、この拡張には限界がある。

5.7 既存のビデオ会議への応用

鏡型ビデオ会議に関する本研究の知見は、窓型ビデオ会議にそのまま応用することはできない。窓型ビデオ会議では、物理的矛盾の問題がないため衝立で隠すべき空間は存在せず、ユーザと対話相手は別々の椅子に座っているため着席/起立に基づく椅子の振動を伝達する長椅子は不要である。窓型のビデオ会議では、ディスプレイに表示されている対話相手がユーザ側の空間に物理的に存在しているように感じさせることは基本的に難しいと思われる。

上述のとおり、窓型ビデオ会議に本研究の知見を応用することは不適切であると考えられるが、我々が現在行っている実験においてその可能性が示唆された。その実験では、ディスプレイに表示されている（実際には遠隔地にいる）対話相手が、ディスプレイの裏にいて、その相手と物体の受け渡しをしていると被験者に信じさせることができた。この予想外の結果は、ディスプレイの裏に相手がいる状況をシミュレートするうえで、その相手が起こした振動を再現する触覚デバイスの有効性を示唆するものである。

そのようなデバイスの例として、対話相手が机にカップを置いたり、肘をついたりした際の振動を再現する机が考えられる。この仕掛けを用いるためには、対話相手が裏にいてと思わせる十分な大きさのディスプレイと、その裏に相手の全身が入る十分な広さの空間が必要であることに留意しなければならない。

5.8 制限事項

実験3の被験者は、遠隔会議に関する専門知識が乏しいことが予想され、展示会という環境であったため、我々のシステムをアトラクションとしてとらえていたことが考えられる。非開示グループの被験者のほとんどは衝立の向こう側に実験者がいると信じていたが、遠隔会議に関する知識や経験があった場合には、この確信を持たない可能性が考えられる。鏡型ビデオ会議において、事前知識・経験によるソーシャルテレプレゼンスへの影響を調査することは今後の課題である。

6. おわりに

本研究では、3つの実験を通して、1) 対話相手が鏡に映っている状態をシミュレートするディスプレイ、2) ディスプレイの前にいると仮定される想像上の対話相手の位置をユーザから見えないように隠す衝立、3) 衝立の向こう側にいる対話相手が座ったかのように動く長椅子、以上3つの工夫を行った我々の遠隔会議システムの有用性を示した。これらの工夫により、ユーザが遠隔会議であることを知っていても、対話相手が同じ空間にいる感覚を与えることができ、さらに、遠隔会議であることを隠蔽することで、対話相手が同じ空間にいることをユーザに確信させることもできる。本研究は、ソーシャルテレプレゼンスの強化を

目的とし、ユーザの想像力に基づくアプローチで鏡型ビデオ会議を改良する方法を明らかにした。さらに、ユーザの意図的でない振舞いが非常に有効な遠隔触覚を生み出せることを示した。

謝辞 JSPS 科研費 JP26280076, JP15K12081, JP16K16140, KDDI 財団, 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] Bailenson, J.N., Yee, N., Brave, S., Merget, D. and Koslow, D.: Virtual Interpersonal Touch: Expressing and Recognizing Emotions through Haptic Devices, *Human-Computer Interaction*, Vol.22, No.3, pp.325–353 (2007).
- [2] 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).
- [3] Basdogan, C., Ho, C., Srinivasan, M.A. and Slater, M.: An Experimental Study on the Role of Touch in Shared Virtual Environments, *Human-Computer Interaction*, Vol.7, No.4, pp.443–460 (2000).
- [4] Bondareva, Y. and Bouwhuis, D.: Determinants of Social Presence in Videoconferencing, *Proc. AVI 2004 Workshop on Environments for Personalized Information Access*, pp.1–9 (2004).
- [5] Brave, S., Ishii, H. and Dahley, A.: Tangible Interfaces for Remote Collaboration and Communication, *Proc. CSCW 98*, pp.169–178 (1998).
- [6] Brown, L.M., Sellen, A., Krishna, R. and Harper, R.: Exploring the Potential of Audio-Tactile Messaging for Remote Interpersonal Communication, *Proc. CHI 2009*, pp.1527–1530 (2009).
- [7] Chang, A., O'Modhrain, S., Jacob, R., Gunther, E. and Ishii, H.: ComTouch: Design of a Vibrotactile Communication Device, *Proc. DIS 2002*, pp.312–320 (2002).
- [8] 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).
- [9] de Greef, P. and IJsselsteijn, W.: Social Presence in a Home Tele-Application, *CyberPsychology & Behavior*, Vol.4, No.2, pp.307–315 (2001).
- [10] Fogg, B.J., Cutler, L.D., Arnold, P. and Eisbach, C.: HandJive: A Device for Interpersonal Haptic Entertainment, *Proc. CHI 98*, pp.57–64 (1998).
- [11] Furukawa, M., Kajimoto, H. and Tachi, S.: KUSUGURI: A Shared Tactile Interface for Bidirectional Tickling, *Proc. AH 2012*, pp.9:1–9:8 (2012).
- [12] Gaver, W.W., Smets, G. and Overbeeke, K.: A Virtual Window on Media Space, *Proc. CHI 95*, pp.257–264 (1995).
- [13] Haans, A. and IJsselsteijn, W.: Mediated Social Touch: A Review of Current Research and Future Directions, *Virtual Reality*, Vol.9, No.2, pp.149–159 (2006).
- [14] 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).
- [15] Isaacs, E.A. and Tang, J.C.: What Video Can and Can't Do for Collaboration: A Case Study, *Multimedia Systems*, Vol.2, No.2, pp.63–73 (1994).

- [16] Karahalios, K. and Donath, J.: Telemurals: Linking Remote Spaces with Social Catalysts, *Proc. CHI 2004*, pp.615–622 (2004).
- [17] Kashiwagi, A., Hasegawa, T. and Wesugi, S.: Basic Study on Bilateral Swinging Interaction by Moving a Chair Together, *Proc. SMC 2012*, pp.2121–2126 (2012).
- [18] Miwa, Y. and Ishibiki, C.: Shadow Communication: System for Embodied Interaction with Remote Partners, *Proc. CSCW 2004*, pp.467–476 (2004).
- [19] Morikawa, O. and Maesako, T.: HyperMirror: Toward Pleasant-to-use Video Mediated Communication System, *Proc. CSCW 98*, pp.149–158 (1998).
- [20] Morikawa, O., Hashimoto, S., Munakata, T. and Okunaka, J.: Embrace System for Remote Counseling, *Proc. ICMI 2006*, pp.318–325 (2006).
- [21] Nakanishi, H., Murakami, Y. and Kato, K.: Movable Cameras Enhance Social Telepresence in Media Spaces, *Proc. CHI 2009*, pp.433–442 (2009).
- [22] Nakanishi, H., Kato, K. and Ishiguro, H.: Zoom Cameras and Movable Displays Enhance Social Telepresence, *Proc. CHI 2011*, pp.63–72 (2011).
- [23] Nakanishi, H., Tanaka, K. and Wada, Y.: Remote Handshaking: Touch Enhances Video-Mediated Social Telepresence, *Proc. CHI 2014*, pp.2143–2152 (2014).
- [24] Nguyen, D.T. and Canny, J.: Multiview: Improving Trust in Group Video Conferencing through Spatial Faithfulness, *Proc. CHI 2007*, pp.1465–1474 (2007).
- [25] Nguyen, D.T. and Canny, J.: More than Face-to-Face: Empathy Effects of Video Framing, *Proc. CHI 2009*, pp.423–432 (2009).
- [26] O'Brien, S. and Mueller, F.: Holding Hands Over a Distance: Technology Probes in an Intimate, Mobile Context, *Proc. OZCHI 2006*, pp.293–296 (2006).
- [27] Park, Y.W., Baek, K.M. and Nam, T.J.: The Roles of Touch during Phone Conversations: Long-Distance Couples' Use of POKE in Their Homes, *Proc. CHI 2013*, pp.1679–1688 (2013).
- [28] Prussog, A., Muhlbach, L. and Bocker, M.: Telepresence in Videocommunications, *Proc. Annual Meeting of Human Factors and Ergonomics Society*, pp.25–38 (1994).
- [29] Roussel, N.: Experiences in the Design of the Well, a Group Communication Device for Teleconviviality, *Proc. Multimedia 2002*, pp.146–152 (2002).
- [30] Sakamoto, D., Kanda, T., Ono, T., Ishiguro, H. and Hagita, N.: Android as a Telecommunication Medium with a Human-like Presence, *Proc. HRI 2007*, pp.193–200 (2007).
- [31] Sallnas, E.-L., Rassmus-Grohn, K. and Sjostrom, C.: Supporting Presence in Collaborative Environments by Haptic Force Feedback, *Transactions on Computer-Human Interaction*, Vol.7, No.4, pp.461–476 (2000).
- [32] Samani, H.A., Parsani, R., Rodriguez, L.T., Saadatian, E., Dissanayake, K.H. and Cheok, A.D.: Kissenger: Design of a Kiss Transmission Device, *Proc. DIS 2012*, pp.48–57 (2012).
- [33] Smith, J. and MacLean, K.: Communicating Emotion through a Haptic Link: Design Space and Methodology, *International Journal of Human-Computer Studies*, Vol.65, No.4, pp.376–387 (2007).
- [34] Suhonen K., Vaananen-Vainio-Mattila, K. and Makela, K.: User Experiences and Expectations of Vibrotactile, Thermal and Squeeze Feedback in Interpersonal Communication, *Proc. BCS-HCI 2012*, pp.205–214 (2012).
- [35] 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).

- [36] Wang, R., Quek, F., Tatar, D., Teh, J.K.S. and Cheok, A.D.: Keep in Touch: Channel, Expectation and Experience, *Proc. CHI 2012*, pp.139–148 (2012).
- [37] 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).



田中 一晶 (正会員)

2006年京都工芸繊維大学工学部電子情報工学科卒業。2008年同大学大学院工学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学科学研究科情報工学専攻博士後期課程修了。博士(工学)。同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助教。2015年関西学院大学理工学部特任講師。2016年大阪大学大学院基礎工学研究科システム創成専攻特任助教。2017年より京都工芸繊維大学情報工学・人間科学系助教。人とインタラクションを行うエージェントやロボットの設計に興味を持つ。



加藤 良治

2013年鹿児島工業高等専門学校専攻科機械・電子システム工学専攻修了。2015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、株式会社資生堂に所属。



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ー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。