

ビデオ会議画面貫通オブジェクトによる ソーシャルテレプレゼンスの強化

大西 裕也¹ 田中 一晶² 中西 英之^{1,a)}

受付日 2019年4月19日, 採録日 2019年11月7日

概要: ビデオ会議は, リモート空間とローカル空間の境界であるディスプレイが窓のような役割を持っており 2つの空間を分離させているため, ソーシャルテレプレゼンス (遠隔地にいる相手とあたかも同じ部屋の中にいるかのような感覚になることができるという現象) が十分であるとはいえない. 本研究では, リモート空間とローカル空間にある物体が境界面でつながっているかのように提示することを「空間の連続性」を示すと定義し, 空間の連続性を示すことがソーシャルテレプレゼンスの強化にどのような影響をあたえるのか調査した. 空間の連続性を示す方法として, 境界面であるディスプレイを貫通しているように見せる物体が, 身体以外の固有の形状を持つ指示棒である手法, 固有の形状を持たないレーザーポインタの光である手法を提案し比較する実験を行った. 結果より, ロボットアームといった複雑な形状だけではなく指示棒といった単純な形状を持った物体を提示する方法でも十分な効果があること, レーザーポインタの光のような固有の形状を持たない物体を提示する方法では効果がないことが分かった.

キーワード: ビデオ会議, テレプレゼンス, テレロボティクス

An Object Breaking Through the Display in the Videoconferencing Enhances the Social Telepresence

YUYA ONISHI¹ KAZUAKI TANAKA² HIDEYUKI NAKANISHI^{1,a)}

Received: April 19, 2019, Accepted: November 7, 2019

Abstract: There is a problem that the videoconference had a window in which the surface of a display forms a separate boundary as the remote space and the local space. In addition this problem reduces social telepresence (i.e., the sense that a participant feels as if he/she meets with the conversation partner in the same place). We define showing as if the remote space and the local space are connected, as the “spatial continuity”. We compared the method of presenting objects with unique shape other than the body and the method of presenting objects without unique shape, and examine the impact on social telepresence. Specifically, we compared the gesture action of pointing an object in the local space using a pointing rod and a laser pointer, which held by the remote partner in the experiment. In the results, we found that social telepresence was enhanced by the method using a pointing rod, and it was ineffective by the method of showing an object that does not have a unique shape such as the light of a laser pointer.

Keywords: videoconferencing, telepresence, telerobotics

1. はじめに

ビデオ会議は, 実際に対面して会話するときと比べ対話相手の存在感が低下する [14]. そのためソーシャルテレプレゼンス (遠隔地にいる相手とあたかも同じ部屋の中にいるかのような感覚になることができるという現象 [3]) が欠落する恐れがある. 我々は, 遠隔地側の空間であるリモー

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

² 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

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

ト空間とユーザ側の空間であるローカル空間の境界であるディスプレイが窓のような役割を持ち、2つの空間を分離させているのではないかと考えた。この問題を解決するために、対話相手の映像とその身体の代替であるそのロボットアームがつながって見えるように提示することで、ソーシャルテレプレゼンスを強化した[19]。これは遠隔地にいる対話相手のジェスチャを別の空間に再現したデバイスであり、リモート空間とローカル空間を1つの空間であるかのように提示したことが効果的に働いた可能性がある。本研究は、ディスプレイに映し出された映像をリモート空間、それ以外のユーザ側の空間にあるものをローカル空間、ディスプレイを境界面としリモート空間とローカル空間にある物体が境界面でつながっているかのように提示することを「空間の連続性を示す」と定義し、この空間の連続性を示すことがソーシャルテレプレゼンスの強化にどのような影響を与えるのかについて調査する。

空間の連続性を示すには、リモート空間からローカル空間に境界面であるディスプレイを貫通しているように見せる物体を用意する必要がある。先行研究[19]で開発したデバイスは、ロボットアームという固有の形状を持った物体を用意する必要がある。空間の連続性を示すには、必ずしも固有の形状を持った物体が必要であるとは限らない。たとえば、固有の形状を持たない物体として風・水・光などがあげられる[6]、[20]。また、先行研究[19]で開発したロボットアームは複雑な形状であった。より単純な形状を持った物体をローカル空間に提示すること、つまりミニマルデザインにすることによる効果については確認されていない。よりミニマルなデザインを目指すのであれば、たとえば棒のような単純な形状の物体を使用する方法が考えられる[6]、[22]。以上より、固有の形状を持たない物体を用いる方法、単純な形状を持った物体を用いる方法、複雑な形状を持った物体を用いる方法を実験で比較する。これらの方法を比較するため、レーザーポインタ・指示棒・ロボットアームによって、リモート空間にいる対話相手がローカル空間の対象物を指差すジェスチャ行為を用いて検証する。実験で比較する遠隔指示のデザインを図1示す。比較する遠隔指示のデザインは以下の4つである。

水平条件：鉛直方向に設置されたディスプレイに加え水平方向にディスプレイを設置することで腕がつながって見えるようにする。画面を貫通する物体はなく対話相手の指差しは映像のみで完結している。

レーザー条件：鉛直方向に設置されたディスプレイにレーザーポインタを組み合わせた条件で、固有の形状を持たない物体で画面の貫通を提示する方法である。映像の中の対話相手がレーザーポインタを保持して、レーザーポインタの光のみが被験者側の空間に現れる。

指示棒条件：鉛直方向に設置されたディスプレイに指示棒を組み合わせた条件で、単純な形状を持った物体で画面の

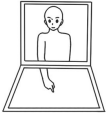
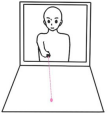
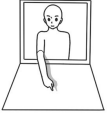
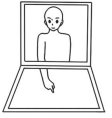
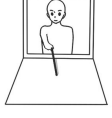
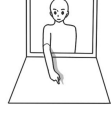
	画面を貫通する物体がない	画面を貫通する物体がある		
		固有の形状をもたない物体	固有の形状をもった物体	
			物体の形状が単純	物体の形状が複雑
実験5-1	 水平条件	 レーザー条件		 アーム条件
実験5-2	 水平条件		 指示棒条件	 アーム条件

図1 遠隔指示におけるデザイン

Fig. 1 Design of remote pointing.

貫通を提示する方法である。実体として提示するのは指示棒のみで、映像の中の対話相手が実体のある指示棒を保持して見えるようにする。

アーム条件：鉛直方向に設置されたディスプレイに加えロボットアームを組み合わせた条件で、複雑な形状を持った物体で画面の貫通を提示する方法である。映像の中の対話相手と実体のあるロボットアームがつながって見えるようにする。

ソーシャルテレプレゼンスの強化の度合いを調査するには一般的なビデオ会議と比較することが望ましい。しかし、先行研究[19]より、水平条件はビデオ会議条件よりソーシャルテレプレゼンスが強化されることが分かっている。そのため、本研究では水平映像を統制条件として設定した。本研究の調査するレーザー条件・指示棒条件は、アーム条件と同様の効果が期待できるのではないかと考えられる。本研究では実験を2つに分け、実験1では貫通オブジェクトの有無と固有の形状を持つか持たないかについて調査し、実験2では固有の形状を持つ物体でも形状が単純か複雑かについて調査した。また先行研究[19]において、ソーシャルテレプレゼンスと対話相手との距離感に相関性が示唆されていることから、対話相手との距離感も合わせて調査する。

2. 関連研究

ソーシャルテレプレゼンス強化するために様々な研究が行われている。たとえば、映像表示面を窓と見なし、窓越し映像を生成する方法[18]が提案されている。また、これまでにビデオ会議を用いて遠隔地の空間にいる人や物に対して指示する様々な方法が提案されてきた。ClearBoard[5]やVideoWhiteboard[15]ではガラスの板やホワイトボードを挟んで向かい合っている状況を設定し、それを描画面として視線や指差しを遠隔地で共有する方法が提案された。

これらの研究はシステムあるいはロボットを用いて視覚的効果を変化させるものであり、対話相手の振舞いは映像の中で完結されている。

また、机に映像を表示する方法が提案されている [10], [16]. DIGITABLE では、従来のビデオ会議に加えて机上で対話相手の腕の映像を表示することで水平面の空間を共有した [11]. また、Remote Lag という手法によりジェスチャ映像が実物や人の手などに隠れて見えなくなってしまう状況を緩和し [17], 高さの表現を付加することや、指示対象を色や形で視覚的に提示すること [4] で、ジェスチャの解釈を改善できることを示された。また、指示棒の影を投影することで遠隔地間の机上で指示を共有する投影映像を用いる方法が提案された [22]. これらの方法は、ローカルの空間の机に対話相手のジェスチャ行為を反映することはできても、これらの方法は映像のみで完結しており空間の連続性を示しているわけではない。

また、物理的に遠隔地の対象物を指し示すため、ロボットを使用する方法も提案されている [12]. 遠隔地を自由に動き回ることが可能なロボットを遠隔操作し、そのロボットに搭載した指示棒とレーザーポインタを使って指示する方法 [6] や肩にウェアラブルカメラを乗せ、そこからレーザーポインタで指示する方法 [13] が提案されている。しかし、ロボットによる指示は操作者の姿が見えないため対話相手の存在感が低下する [14]. 一方、遠隔地にいる対話相手の身体の一部を実体化する方法として、ビデオ会議に握手用のロボットハンドを組み合わせ、身体接触の機能を付加する方法 [8] やテーブルに鉛直方向に可動式のピンを格子状に配置し、そのピンの個々の高低差によって遠隔地側の腕先の形状を描写する方法が提案されている [7]. これらのデバイスは空間の連続性を提示しているが、いずれも複雑な形状となるためミニマルデザインが明らかとなっていない。また、ディスプレイの下部に窓口を設け、遠隔地間で紙資料を共有する方法が提案されている [21]. この研究では、空間の連続性について紙資料という物体と映像とで比較を行っているが、固有の形状を持たない物体については調査されていない。

以上のことから、ビデオ会議における空間の連続性を提示するデバイスは多く提案されてきたが、空間の連続性そのものに言及した研究は少ない。本研究では空間の連続性を調査する上で、固有の形状を持たない物体を用いる方法、単純な形状を持った物体を用いる方法、複雑な形状を持った物体を用いる方法を比較する。

3. 空間の連続性を示すシステムの開発

本研究の比較するレーザー条件、指示棒条件で使用するシステムをそれぞれ開発した。図 2 にデバイスの配置の概要を示す。ローカル側にはディスプレイを鉛直方向と水平方向にそれぞれ 1 枚、カメラを鉛直方向の上に 1 台設置して

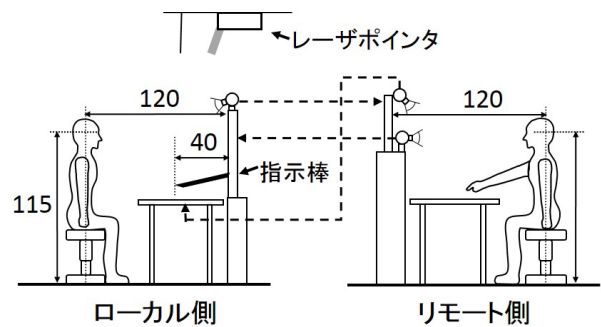


図 2 デバイスの配置 (単位: cm)

Fig. 2 Disposing the device (Length unit: centimeters).

いる。リモート側には鉛直方向のディスプレイ 1 台、カメラを 2 台設置している。リモート側にいる対話相手の正面のカメラから得られた映像をローカル側の鉛直方向に設置したディスプレイに等身大で表示する。また、リモート側に対話相手の腕を撮影するカメラを上部に設置し、ローカル側の水平方向に設置したディスプレイにリモート側の机や対話相手の腕の映像を表示する。なお、ローカル側の水平方向に設置したディスプレイに映像を表示するのは水平条件のみであり、他の条件では水平方向に設置したディスプレイの上に板を乗せ、それを机とした。

レーザー条件で使用するデバイスは、リモート側にいる対話相手が把持したレーザーポインタを使ってローカル側の対象物に照射することができる。レーザーポインタは、リモート側とローカル側それぞれ 1 つずつあり、リモート側は対話相手が把持し、ローカル側は天井に設置されている。レーザーポインタには赤いマークが付いており、リモート側に対話相手の腕を撮影するカメラの画像からレーザーポインタの座標情報を画像処理によってピクセル単位でリアルタイムに習得する。ローカル側の天井に設置されたレーザーポインタはサーボモータと接続されており、リモート側の水平映像から得た腕の座標情報に同期して動く (図 3)。これによりレーザーポインタは左右方向に照射することができる。また、被験者の頭上にレーザーポインタが設置してあることを悟られないようにするため、被験者とレーザーポインタの間には目隠しとなるカバーが設置されている。

指示棒条件で使用するデバイスは、対話相手が把持する指示棒が映像から飛び出して指差しをしているように見せることができる。このデバイスは、先行研究 [19] で開発したアーム条件のロボットアームを指示棒に入れ替えたものである。指示棒は、リモート側とローカル側それぞれ 1 つずつあり、リモート側は対話相手が把持し、ローカル側は鉛直方向のディスプレイの前に設置されている。また、指示棒は映像内で把持しているように見せ、実体として提示するのは指示棒のみとした。そのため、リモート側にいる対話相手が把持する指示棒は短く持つようにした (図 4)。ローカル側に設置された指示棒は、映像内の対話相手の動きに同期して鉛直方向のディスプレイの表示面を移動・回

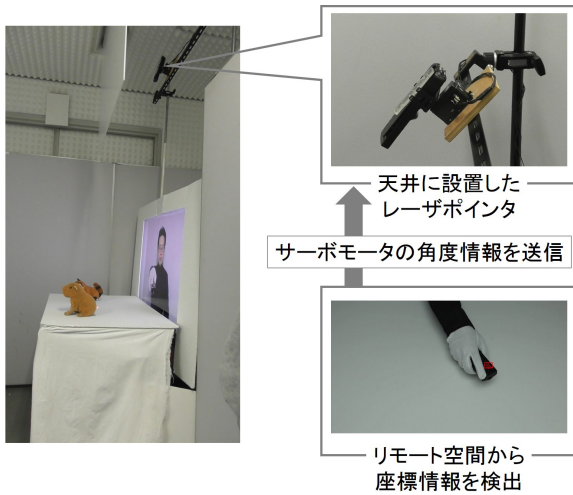


図 3 レーザポインタを用いたシステム
Fig. 3 The system with a laser pointer.

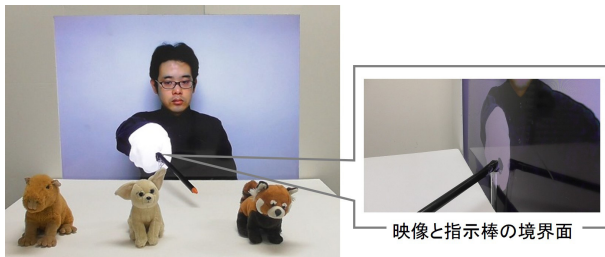


図 4 遠隔棒を用いたシステム
Fig. 4 The system with a pointing rod.

転する。鉛直方向のディスプレイの下に直動位置決め装置および回転機構を設置し、アクリルパイプを介して指示棒に接続されている。アーム条件は先行研究 [19] で開発したデバイスと同じものを使用した。

4. 仮説

本研究の目的は、空間の連続性を示すことにおいて、固有の形状を持たない物体を用いる方法、単純な形状を持った物体を用いる方法、複雑な形状を持った物体を用いる方法を比較し、ソーシャルテレプレゼンスの強化にどのような影響を与えるのかについて調査することである。先行研究 [19] より、対話相手の映像とその身体の代替であるロボットアームをつながって見えるように提示することで従来のビデオ会議よりソーシャルテレプレゼンスが強化することが分かっている。このロボットアームは対話相手の身体の一部が実体として提示しており、ディスプレイの境界面を超えて指差しをしている。しかし、レーザーポインタの光でも境界面を越えて指示することが可能である。つまり、固有の形状を持たない物体を用いることでも空間の連続性を提示することが可能である。これより以下の仮説が考えられる。

仮説 1：固有の形状を持たない画面を貫通する物体を用いて空間の連続性を提示することで、水平条件よりソーシャ

ルテレプレゼンスが強化される。

また、固有の形状を持った物体であっても、ロボットアームのような複雑な形状である必要はない。指示棒のような単純な形状の物体でも、空間の連続性を提示できれば水平条件よりもソーシャルテレプレゼンスが強化されることは十分に考えられる。

仮説 2：固有の形状を持った画面を貫通する物体を用いて空間の連続性を提示することで、水平条件よりソーシャルテレプレゼンスが強化される。

また、先行研究ではソーシャルテレプレゼンスと対話相手との距離感に相関があると示唆されていた [19]。そのため、ソーシャルテレプレゼンスの効果が確認されたときは、従来のビデオ会議のときよりも対人距離が短く感じられると考えられる。これより以下の仮説が考えられる。

仮説 3：ソーシャルテレプレゼンスと対話相手との距離感に相関がある。

5. 実験

5.1 実験環境

リモート側とローカル側の両方に、マイクとスピーカがあり、音声通話ソフトを用いて遠隔地間で会話を行うことができる。ビデオ会議において、遠隔地の人の映像を等身大で提示する方法や [9]、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方法 [2] が有効であることが分かっている。そのため、ウェブカメラより実験者の胸部から上の映像が送信され、ディスプレイに等身大で表示される。また、鉛直ディスプレイと水平ディスプレイで映像の腕がつながっているようにみせるためにウェブカメラの位置を調節した。レーザーポインタの光がぬいぐるみの背面に照射すると被験者がレーザー光を見失う可能性があったため、レーザーポインタの光の可動域をぬいぐるみの側面までとした。被験者が見える位置によって体験するシステムの印象が変わらないようにするため、すべての条件において被験者が座る位置を鉛直方向に設置したディスプレイから 120 cm に固定し、視線の高さを 115 cm になるように椅子の高さを調節した。

5.2 被験者

被験者は我々の大学キャンパスの近くに住む 18 歳から 24 歳の大学生に参加してもらった。実験 1 では 12 人 (男性 7 名, 女性 5 名), 実験 2 では 18 人 (男性 9 名, 女性 9 名) の合計 30 人が参加した。また、各被験者はいずれかの実験に参加してもらい、両方の実験を経験した被験者はいないようにした。各実験では、条件の順序による影響が起こらないようにカウンタバランスをとった。

5.3 実験 1

実験 1 では、水平条件、レーザー条件、アーム条件の比較

を行った。レーザ条件とアーム条件は、ディスプレイという境界面を越えてユーザ側の空間に指示をしているが、指示の方法が、固有の形状を持たないレーザ光か固有の形状を持ったロボットアームかという違いがある。本実験では仮説1・仮説3について調査する。

5.3.1 実験1内容

実験は被験者内実験によって行った。条件間の違いをはっきりさせる、つまりより多く腕を動かすために、指示の対象物であるぬいぐるみを多く設置することが望ましい。しかし、レーザ条件でぬいぐるみによってレーザポインタの光を見失うオクルージョンが発生したため、設置したぬいぐるみの個数は最小の2個にした。また、ぬいぐるみの種類によって被験者の印象が変化しを避けるため、すべての条件で同じぬいぐるみを設置した。実験者は会話の途中で指差す対象を変え、被験者はそれに対する説明を受けるタスクを設定した。統制された実験を行うために、すべての条件で会話時間を等しくし、被験者への質問数は等しくした。ソーシャルテレプレゼンスなどの主観評価はアンケートによって計測される [1]。本研究では先行研究 [8], [19] に基づいてアンケートの質問項目を設定した。実験のクオリティ（映像・音声・対話の分かりやすさ）に関する質問と仮説1, 仮説3に対応する質問を設定した。先行研究 [19] より、ソーシャルテレプレゼンスの強化の要因が、ユーザ側の空間を指されている感覚であることが分かっている。そのため、空間を指されている感覚について尋ねる質問項目をアンケートに加えた。アンケートでは7段階のリッカート尺度を用いた。1はまったくあてはまらない、4はどちらともいえない、7は非常によくあてはまる、に対応させた。距離感の項目の質問では、対話相手との距離を数値（単位：cm）で記入させた。また、被験者内実験は各条件の対する印象の差を調査しているため、基準となる距離を被験者に知らせなかった。アンケートには自由解答欄を用意し、被験者にスコアを付けた理由を記入してもらった。また、アンケート終了後に点数を付けた理由についてインタビューで尋ねた。

5.3.2 実験1結果

実験結果を図5に示す。棒グラフは各項目のスコアの平均値を表し、エラーバーは標準誤差を表す。また、棒グラフの凡例は、実験条件の写真の色と対応付けている。3つの条件は、一要因分散分析を用いて比較した。主効果が有意であった質問項目については、ボンフェローニ補正法による多重比較を行った。実験のクオリティに関する質問では各条件で違いがなかったことを確認した。ソーシャルテレプレゼンスの項目では、 $(F(2, 11) = 3.38, < .05)$ で有意な差が見られた。多重比較の結果、水平条件がレーザ条件よりもスコアが高いことが分かった ($p < .05$)。それに加え、アーム条件がレーザ条件よりもスコアが高い傾向であることが分かった ($p < .1$)。アーム条件のスコアをレーザ

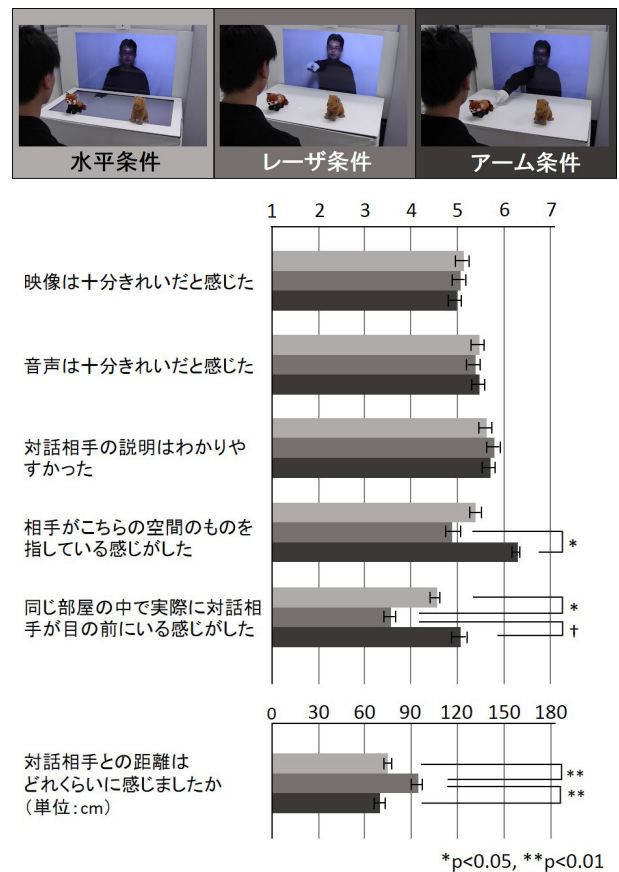


図5 実験1 アンケート結果
Fig. 5 Results of Experiment 1.

条件のスコアより低くつけた被験者が2名いたため、有意傾向となった。アーム条件のスコアを低くつけた理由として、服の色を黒くしたことで映像内の肩からロボットアームの肘が伸びているように感じた点、アーム条件・水平条件・レーザ条件の順でシステムを体験し慣れによって後に体験したシステムを高く評価した点があげられた。また、指差されている感覚の項目 ($F(2, 11) = 5.111, p < .01$) においても有意な差が見られた。多重比較の結果、アーム条件がレーザ条件よりも高いことが分かった ($p < .05$)。しかし、水平条件のスコアが高くなり、水平条件と他条件との間でスコアの差は見られなかった。相手との距離感の項目 ($F(2, 11) = 14.97, p < .01$) においても有意な差が見られ、多重比較の結果、レーザ条件が他条件より高い、つまり遠くに感じる事が分かった (それぞれ, $p < .01, p < .01$)。しかし、水平条件とアーム条件では、対人距離に大きな差は見られなかった。これは、鉛直方向に設置したディスプレイよりも腕が前に提示されていたかどうかで違いであるという先行研究 [19] と同様の解釈ができる結果となった。

5.4 実験2

実験2では、水平条件、指示棒条件、アーム条件の3条件で実験を行った。アンケートでは、実験のクオリティに

関する質問を設定し、それに加えて仮説2、仮説3に対応する質問を設定した。ユーザ側の空間を指されている感覚についての質問項目は、実験1よりレーザー光ではなく固有の形状を持った物体を提示することが効果的であることが分かったため、実験2では削除した。

5.4.1 実験2内容

実験内容はおおむね実験1と同様である。指示棒条件では、レーザーポインタの光のようなオクルージョンが発生しないため、すべての条件において指示する対象物であるぬいぐるみを3個設置した。実験者は会話の途中で指差す対象を変え、被験者はそれに対する説明を受けるタスクを設定した。実験後にアンケートを実施し、それを実験の評価として用いた。

5.4.2 実験2結果

実験結果を図6に示す。3つの条件は、一要因分散分析を用いて比較した。実験のクオリティに関する質問では各条件で違いがなかったことを確認した。ソーシャルテレプレゼンスの項目では、($F(2,17) = 12.95, p < .01$)で有意な差が見られた。多重比較の結果、アーム条件が水平条件よりも高いことが分かった ($p < .01$)。さらに、指示棒条件が水平条件よりも高いことが分かった ($p < .05$)。インタビューより、映像とロボットアームおよび指示棒との間で遅延を指摘する被験者がいないことを確認した。このことから、リモート空間とローカル空間の連続性を実体で提

示した場合、ロボットアームのような複雑な形状だけではなく、指示棒のような単純な形状の物体でも効果があることが分かった。相手との距離感の項目 ($F(2,17) = 4.47, p < .05$) においても有意な差が見られ、多重比較の結果、指示棒条件より水平条件が高い、つまり遠くに感じるということが分かった ($p < .05$)。しかし、それ以外の条件では、対人距離のスコアに大きな差が見られなかった。

6. 考察

6.1 空間の連続性の提示による効果

先行研究 [21] で比較した3つの条件（垂直条件・水平条件・アーム条件）はすべて対話相手の腕による指差しであった。本研究で追加したレーザー条件および指示棒条件は、対話相手が物を把持しユーザ側の空間に指示を行うという点、ディスプレイという境界面への意識をなくし2つの空間が一体であるように見せるという点は共通であった。しかし、実験では異なる結果を得た。実験1のインタビューより、レーザー光が被験者側の空間にあるので相手の指示動作がこちら側の空間に反映されているが、遠くから指示されているように感じた被験者がいたことから仮説1が棄却された。一方、実験2のアンケートより、指示棒を使った指差しは、固有の形状を持った指示棒がローカル空間にあったことにより、被験者は実験者が目の前にいると感じていたことから仮説2が支持された。固有の形状を持った物体がローカル空間にあった場合、指示棒でもロボットアームでもソーシャルテレプレゼンスは同等であると感じた被験者が一定数いた。空間の連続性を提示することができる場合、単純な形状である指示棒を提示するようなミニマルデザインでも効果があると考えられる。

また、指示棒やロボットアームは鉛直方向に設置したディスプレイからつながって見えるようになっていた。しかし、レーザーポインタを使用した条件では、レーザーポインタと光は直接的には連続しておらず、被験者は光のつながりを補完する必要があった。つまり、レーザー光の光跡が見えていたらソーシャルテレプレゼンスが強化された可能性が考えられる。本研究ではレーザーポインタの光を使った実験を行ったが、固有の形状を持たない物体は他にも考えられる。たとえば影などがあげられる [22]。影を提示する場合、空間を連続して提示する必要があるため、ソーシャルテレプレゼンスが強化される可能性がある。映像と固有の形状を持たない物体を連続して提示することによる効果の検証は今後の課題である。

また、先行研究 [19] と本研究で行った2つの実験結果を比較したとき、実験1の水平条件のスコアは他の実験の水平条件のスコアと一致していないことが分かる。本研究はすべて被験者内実験で行っており、被験者内実験では条件の組合せが原因で同じ条件でも実験ごとにスコアが揃わない場合がある。実験1の比較対象であったレーザー条件は、

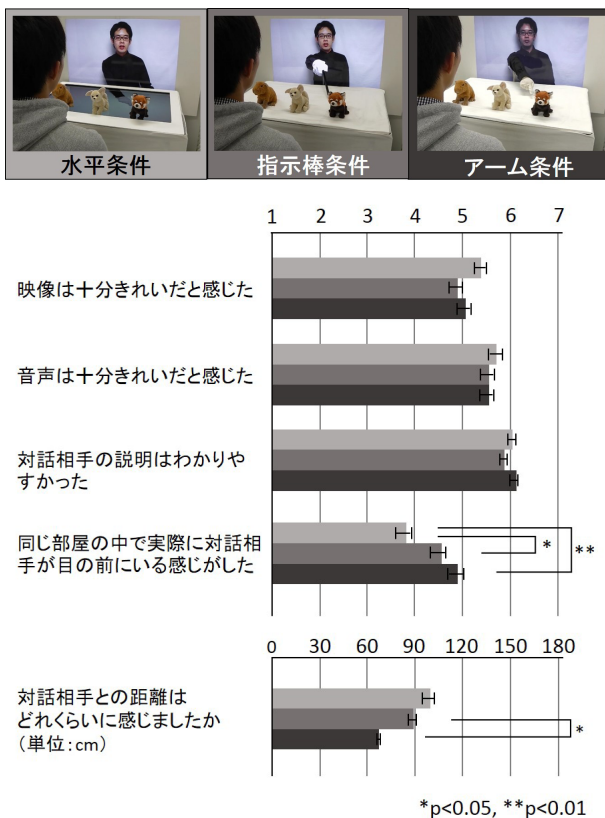


図6 実験2 アンケート結果
Fig. 6 Results of Experiment 2.

被験者側の机にレーザ光しか照射されておらず、実験者が遠くのところから指示しているという印象を被験者から受けた。そのため、実験1ではレーザ条件のスコアが低く、水平条件およびアーム条件のスコアが高くなった。この結果は、机の上に提示された腕が水平映像か固有の形状を持ったロボットアームかという違いより、レーザポインタを把持した実験者が遠くにいるという印象が強かったため発生したと考えられる。

6.2 空間を差されている感覚

遠隔地から指差されている感覚の項目では、先行研究 [19] の結果より、アーム条件が他の条件よりもスコアが上回った。実験1でも、アーム条件が他の2条件よりもスコアが上回った。インタビューによると、レーザ条件は、光で指示を行っており、他条件では腕がディスプレイよりも前に提示したため、離れた位置から指示された印象を受けたと答えた被験者がいた。遠隔地から指差されている感覚はディスプレイを境界面とした窓越しの会話に感じているかに基づくのではないかと考えられる。

6.3 距離感

実験1実験2より、ソーシャルテレプレゼンスと距離感には相関関係がある傾向となった。しかし、実験2ではアーム条件と指示棒条件の間しかスコアに有意な差が見られなかった。インタビューによると、ソーシャルテレプレゼンスに基づいて距離感を回答した被験者と、対話相手の腕の先端の位置に基づいて回答した被験者がいた。水平条件・アーム条件では鉛直方向に設置したディスプレイより手前に対話相手の腕を提示し、レーザ条件・指示棒条件では鉛直方向に設置したディスプレイ内に対話相手の腕を提示していた。そのため、目の前にあるのは指示棒であって対話相手は遠くに感じた被験者もいた。対人距離は対話相手の腕の先端からの距離に強く影響されると考えられる。以上より、仮説3は棄却されることが分かった。先行研究 [19] で調査した距離感は、一般的に使用されるビデオ会議である垂直条件 (157.5 cm) が他の条件 (水平条件: 100.4 cm, アーム条件: 66.7 cm) と比べ被験者と対話相手の距離が遠くに感じる結果となっていた。一般的なビデオ会議とレーザ条件・指示棒条件を直接比較はしていないが、本実験の結果より、一般的なビデオ会議とレーザポインタを用いた手法では対人距離は変わらないと考えられる。しかし、指示棒を用いた手法は一般的なビデオ会議より対人距離を近くに感じる可能性がある。一般的にレーザポインタと指示棒は遠くのものに指すときに使う道具であるが対人距離の感じ方に大きな違いがあることが分かった。

7. おわりに

本研究では、固有の形状を持たない物体を用いる手法で

あるレーザ条件、単純な形状を持った物体を用いる手法である指示棒条件、複雑な形状を持った物体を用いる方法であるアーム条件の比較を行った。実験1のレーザ条件および実験2の指示棒条件は、対話相手が物を把持しユーザ側の空間に指示を行うという点、ディスプレイという境界面への意識をなくし2つの空間が一体であるように見せるという点、遠くのものに指すときに使う道具である点など共通する項目が多かった。しかし、ソーシャルテレプレゼンスが強化されたのは指示棒条件のみであり、レーザ条件では効果が確認されなかった。レーザ条件では、対話相手が把持したレーザポインタとローカル空間の机に投影された光の点との間の光跡を被験者が想像で補完する必要があった。もし、レーザ光の光跡が見えていたらソーシャルテレプレゼンスが強化された可能性が考えられる。指示棒条件では、アーム条件と同様にソーシャルテレプレゼンスを強化した。したがって、空間の連続性を提示することができれば、形状を単純化したミニマルデザインでもソーシャルテレプレゼンスが強化できると考えられる。以上のことから、レーザポインタの光は空間の連続性を暗示、指示棒は空間の連続性を明示していたものであり、ソーシャルテレプレゼンスを強化するためには空間の連続性を明示することが必要であるということが明らかになった。

また、対人距離において、指示棒条件でもある程度の効果を確認することができたが、アーム条件の方がより対話相手を近くに感じさせる効果があることが分かった。そのため、対話相手との適切なパーソナルスペースに応じてデバイスを使い分けることが望ましいと考えられる。

本研究で得られた最も重要な知見は、空間の連続性を明示することによってソーシャルテレプレゼンスが強化されることである。本研究で得られた知見が、対話相手の空間との分離感を緩和し、高い存在感を創出するビデオ会議システムの開発に応用されることを期待する。

謝辞 JSPS 科研費 JP19K12081, JP19H00605, JP19K21718, JP18KK0053, 中山隼雄科学技術文化財団, 大川情報通信基金, 国立情報学研究所 公募型共同研究 19FC01 からの支援を受けた。

参考文献

- [1] Witmer, B.G. and Singer, M.J.: Measuring Presence in Virtual Environments: A Presence Questionnaire, *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, Vol.7, No.3, pp.225–240 (1998).
- [2] Bondareva, Y. and Bouwhuis, D.: Determinants of Social Presence in Videoconferencing, *Proc. AVI 2004*, pp.1–9 (2004).
- [3] De Greef, P. and Ijsselstein, W.: Social Presence in a Home Tele-Application, *Proc. Cyberpsychology, Behavior*, pp.307–315 (2001).
- [4] Genest, A. and Gutwin, C.: Evaluating the effectiveness of height visualizations for improving gestural communication at distributed tabletops, *Proc. CSCW 2012*,

- pp.519-528 (2012).
- [5] Ishii, H. and Kobayashi, M.: ClearBoard: A Seamless Medium for Shared Drawing and Conversation with Eye Contact, *Proc. CHI 1992*, pp.525-532 (1992).
 - [6] Kuzuoka, H., Oyama, S., Yamazaki, K., Suzuki, K. and Mitsuishi, M.: GestureMan: A Mobile Robot that Embodies a Remote Instructor's Actions, *Proc. CSCW 2000*, pp.155-162 (2000).
 - [7] Leithinger, D., Follmer, S., Olwal, A. and Ishii, H.: Physical telepresence: shape capture and display for embodied, computer-mediated remote collaboration, *Proc. UIST 2014*, pp.461-470 (2014).
 - [8] Nakanishi, H., Tanaka, K. and Wada, Y.: Remote Handshaking: Touch Enhances Video-Mediated Social Telepresence, *Proc. CHI 2014*, pp.2143-2152 (2014).
 - [9] Onishi, Y., Tanaka, K. and Nakanishi, H.: Embodiment of Video-mediated Communication Enhances Social Telepresence, *Proc. HAI 2016*, pp.171-178 (2016).
 - [10] Ou, J., Chen, X., Fussell, S. and Yang, J.: DOVE: Drawing over Video Environment, *Proc. Multimedia 2003*, pp.100-101 (2003).
 - [11] Pauchet, A., Coldefy, F., Lefebvre, S., Louis Dit Picard, S., Perron, L., Bouguet, A., Collober, T.M., Guerin, J. and Corvaisier, D.: TableTops: Worthwhile Experiences of Collocated and Remote Collaboration, *Proc. TABLETOP 2007*, pp.27-34 (2007).
 - [12] 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).
 - [13] Sakata, N., Kurata, T., Kato, T., Kouroggi, M. and Kuzuoka, H.: WACL: Supporting Telecommunications Using Wearable Active Camera with Laser Pointer, *Proc. Wearable Computers 2003*, pp.53-56 (2003).
 - [14] Tanaka, T., Nakanishi, H. and Ishiguro, H.: Comparing Video, Avatar, and Robot Mediated Communication: Pros and Cons of Embodiment, *Proc. CollabTech2014*, pp.96-110 (2014).
 - [15] Tang, J. and Minneman, S.: VideoWhiteboard: Video Shadows to Support Remote Collaboration, *Proc. CHI 1991*, pp.315-322 (1991).
 - [16] Tang, A., Pahud, M., Inkpen, K., Benko, H., Tang, C.J. and Buxton, B.: Three's Company: Understanding Communication Channels in Three-way Distributed Collaboration, *Proc. CSCW2010*, pp.338-348 (2010).
 - [17] 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).
 - [18] 石井 亮, 小澤史朗, 川村春美, 小島 明, 中野有紀子: 窓越しインタフェース MoPaCo による指示作業への効果検証, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J96-D, No.12, pp.3044-3054 (2013).
 - [19] 大西裕也, 田中一晶, 中西英之: 身体映像の部分的実体化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, Vol.57, No.1, pp.228-235 (2016).
 - [20] 澤田枝里香, 淡路達人, 森下圭介, 古川正紘, 有賀友恒, 木村秀俊, 藤井智子, 武市隆太, 清水紀芳, 井田信也, 常磐拓司, 杉本麻樹, 稲見昌彦: 風を利用した入出力インタフェース: ビュー・ビュー・View, 日本 VR 学会論文誌, Vol.13, No.3, pp.375-383 (2008).
 - [21] 田中一晶, 大城健太郎, 山下直美, 中西英之: 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, Vol.60, No.2 (2019).
 - [22] 渡辺貴文, 上杉 繁, 三輪敬之: 異なる空間への指示行為

が可能な仮想の影による道具インタフェースの開発, 情報処理学会論文誌, Vol.48, No.12, pp.3919-3930 (2007).



大西 裕也 (学生会員)

2012年神戸大学工学部電気電子工学科卒業。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、大阪大学大学院工学研究科知能・機能創成工学専攻博士後期課程。遠隔コミュニケーション、

HAIに興味を持つ。



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。



中西 英之 (正会員)

1996年京都大学工学部情報工学科卒業。1998年京都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。