

遠隔指示において実体はどこまで必要なのか？

How Important is the Embodiment for the Remote Pointing?

大西裕也¹ 田中一晶¹ 中西英之¹

Yuya Onishi¹ Kazuaki Tanaka¹ Hideyuki Nakanishi¹

¹大阪大学大学院工学研究科 知能・機能創成工学専攻

¹Department of Adaptive Machine Systems, Osaka University

Abstract: We can consider several ways to point a remote space in video conference: points it by the vertical display, which is the ordinary video conference, displays the remote partner's arm on a table, uses a laser pointer, uses a pointing stick and embodying a part of a remote partner's body. In this paper, we compared these pointing methods to verify the effect of social telepresence. Through the experiment, we found that the design, which is embodied the remote partner's behavior enhanced social telepresence.

1. はじめに

ビデオ会議を用いた遠隔コミュニケーションにおいて、遠隔にいる人の体を実体化する利点をいくつか挙げる事ができる。それは、実体として物理的に提示すること、身体接触を伴わせること、ソーシャルテレプレゼンス（遠隔地にいる相手と同じ部屋の中で対面している感覚[2]）を向上させることである。先行研究では、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ことによってソーシャルテレプレゼンスの強化を行った[8]。さらに、対話相手の映像とその身体の一部がユーザ側の空間にあるように感じさせたことが効果的に働いた可能性がある。つまり、遠隔地の空間とユーザ側の空間の連続性を示すことでソーシャルテレプレゼンスが強化されるかもしれない。本研究の目的は、遠隔地である対話相手の空間とユーザ側の空間の連続性を示した上で、実体化することがソーシャルテレプレゼンスにどこまで有効に働くのかを明らかにすることである。

身体の一部を実体化して提示することが有効に働く状況として、遠隔地にいる対話相手がユーザ側の空間を指示するインタラクションが挙げられる。これまでにビデオ会議を用いた遠隔地へ指示する様々な方法がされてきた。ClearBoard [4]や Video

Whiteboard [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示を遠隔地で共有する方法が提案された。また、机の上に映像を表示する方法が提案されている[5,11,16]。DIGITABLEでは、従来のビデオ会議に加えて机に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]。VideoArmsでは、スタイラスペンと映像を組み合わせることで接触跡を追加しスケッチを可能にした[16]。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 [3]、指示対象を色や形で視覚的に提示することで[10]、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[18]。しかし、これらの方法による指示行為はリモートの空間とローカルの空間の連続性を向上することはできても、いずれも実体として提示されていない。

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。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レーザーポインタで指示する方法[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、ロボットによる身体動作の提示は、操作者の姿を提示しないため、ソーシャルテレプレゼンスが低下することが知られている[14]。

また、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 [9]やテ



図1 システムの外観

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]。これら実験で使用した装置は、対話相手がディスプレイの外側に遠隔地の人の腕を実体化したものであった。

以上のことから、ビデオ会議を用いた遠隔地へ指示する方法はいくつか考えることができる。通常のビデオ会議で指示する方法、正面映像に加え机上にも対話相手の身体映像を表示し指示する方法、レーザーポインタを用いて指示する方法、指示棒を実体として提示し指示する方法、遠隔地に指示者の身体の一部を実体として再現し指示する方法である。本研究では、これらを比較することでソーシャルテレプレゼンスに与える影響を調査する実験を行った。

2. 遠隔間における指示のデザイン

2.1 遠隔指示の実体化

我々は先行研究で、対話相手の映像とロボットによる指示動作を両方提示できるロボットアームを開発した(図1)。このロボットアームは、ユーザの映像と同期してロボットアームが画面上を移動・回転・伸縮することにより、相手の腕が映像から飛び出して指示しているように見せるシステムである。対話

相手の映像を等身大でディスプレイに表示し、そのディスプレイの下に直動位置決め装置を設置する(図2(a))。その位置決め装置は、指示するにあたり腕を振る最高速度に追従するように設計している。アームが最高速度のまま移動するとロボットらしさが出てしまうため腕振りの終点位置には移動速度を遅くするように制御した。また、直動位置決め装置には、肘から先のロボットアームが亚克力板を介して接続されている。ロボットアームは根本に回転する機構を備えている。位置決め装置とロボットアームの回転機構により、映像内の対話相手の腕の動きに同期してロボットアームがディスプレイの表示面を移動・回転する。その際、画面から飛び出している部分の長さが変化するため、伸縮機構によってロボットアームの長さを調整する(図2(b))。これは、ワイヤを巻き取り装置で引くことで伸縮させる機構であり、ワイヤは目立たないように亚克力板のふちに沿わせるようにする。対話相手の腕の動きは画像解析によってリアルタイムに取得し、映像の腕とロボットアームが同期して動く。映像とロボットアームとの境界面から先の腕の映像は不要であるため、クロマキー合成等の映像合成によって消去する(図2(b))。消去した部分の映像は、予め用意した背景の映像で埋める。

2.2 実験環境

被験者側の空間は、ディスプレイの下にロボットアームの直動位置決め装置を設置する。このとき被験者から直動位置決め装置を見えないようにするため、机の側面は布で覆った。直動位置決め装置はサーボによって駆動しており機械音が発生するため、位置決め装置の周りを吸音材で覆い防音させた。実験者側と被験者側の両方に、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。被験者側のスピーカは画面の方向から音声聞こえるように、ディスプレイの後ろに設置した。被験者側のディスプレイは、50インチのワイド画面のディスプレイに枠を取り付け、テーブルで下部を遮った。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[10]、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[1]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わかっている。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、ディスプレイに表示される。ディスプレイに表示される実験者を等身大の映像にするため、顔の縦の長さが22cmでとなるように調節した。実験者と同じ部屋にいる感覚を増すために、実験者の服とロボットアームの袖を同じ服で統一し、ディスプレイの枠

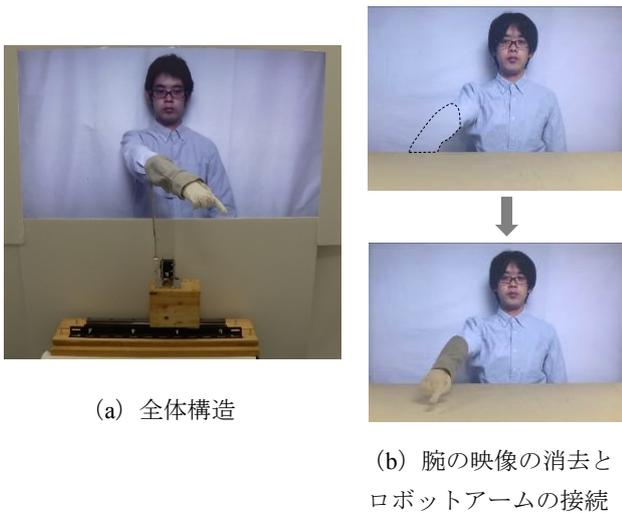


図2 ロボットアームの構造

は実験者側の背景の色と合わせて白くした。テーブルは、実験者側の背景と同じ色である白い布で覆い、ディスプレイのテーブルより下の部分を隠せるようにした。テーブルとディスプレイに隙間はあまりなく、ロボットハンドがディスプレイから出ていることを意識させるようにした。

実験の比較対象である机上で対話相手の身体映像を表示する方法では、垂直ディスプレイ、水平ディスプレイそれぞれに対して同じ性能のウェブカメラを用意した。また、垂直ディスプレイと水平ディスプレイで腕が繋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、水平ディスプレイの高さは、対話相手の腕が自然に見えるように調節した。

指示棒を使用する方法では、ロボットアームを使用するシステムをそのまま用いてロボットアームを指示棒に置き換えた。この時、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。

レーザーポインタを使用する方法は、被験者の頭上に設置したレーザーポインタにサーボモータを接続し、ロボットアームのトラッキングシステムの手法を応用し、対話相手の映像を映したまま、対話相手の腕とレーザーポインタの動きを同期させた。

3. 実験

ビデオ会議を用いた遠隔地へ指示する方法はいくつか考えることができる。本研究ではこれらを比較することでソーシャルテレプレゼンスに与える影響を調べる。本研究で比較する条件は以下の5つである。

- ・ **垂直条件**：従来のテレビ会議である垂直方向に設置したディスプレイのみを使用する条件である。
- ・ **水平条件**：垂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事で腕が繋がって見えるようにする。
- ・ **アーム条件**：垂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、映像の中の対話相手と実体のあるロボットアームが一体化して見えるようにする。
- ・ **レーザー条件**：垂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、映像の中の対話相手がレーザーポインタを把持して、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**：垂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、映像の中の対話相手が実体のある指示棒を把持して見えるようにする。

全ての条件を1つの実験で比較することが困難であったため、3つの実験を実施し、段階的に評価を行った。

3.1 実験1

実験1では、垂直条件、水平条件、アーム条件の3条件で実験を行った。アーム条件で使用するロボットアームは、遠隔地にいる対話相手の腕を実体化するシステムである。そこで、遠隔地にいる対話相手の体の一部を実体として提示することでソーシャルテレプレゼンスにどのような影響があるのかを検証する。ロボットアームは、対話相手の腕をロボットアームとして提示しており、ディスプレイの境界面を超えて指示していると考えられる。また、指差しを行う場合の対人距離は指先からの距離に強く影響されると考えられるので従来のビデオ会議よりも対話相手との距離が短く感じられると考えられる。そして、ロボットによるジェスチャが本物の人間によって行われたというリアリティを生み、ソーシャルテレプレゼンスが向上することが考えられる。これより以下の仮説が考えられる。

仮説1：指示動作を実体で提示することで、ソーシャルテレプレゼンスが強化される。

仮説2：指示動作を実体で提示することで、自分のいる空間を指されているように感じる。

仮説3：指示動作を実体で提示することで、相手との距離を短く感じる。

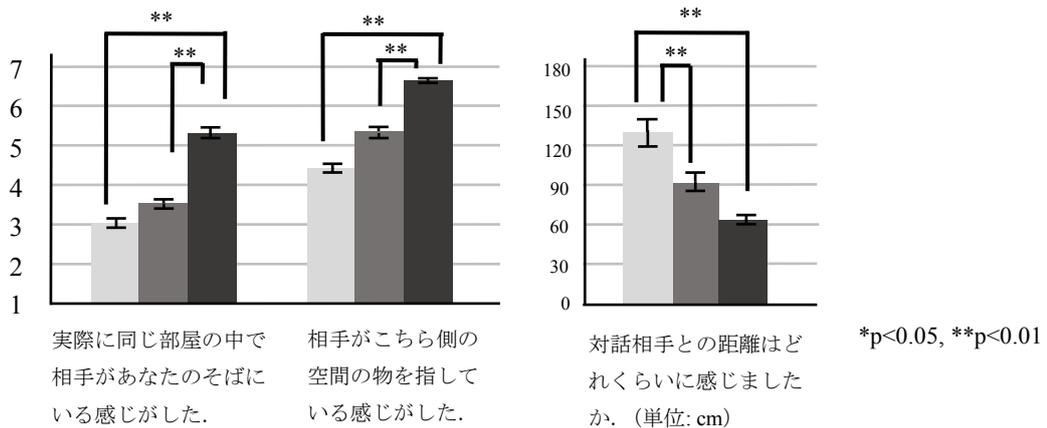


図3 実験1のアンケート結果

これらの仮説を明らかにするため、3条件を被験者内実験で比較を行った。本実験の被験者として、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18名(男性9名、女性9名)に実験に参加してもらった。このとき実験条件の順序による影響が起らないようにカウンタバランスをとった。

3.1.1 実験内容

全ての条件において、指示する対象物であるぬいぐるみを2個設置し、それに関して簡単な会話と質問をした。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は、全ての実験で、会話時間を等しくする必要がある。会話が長いことや、会話中の質問が多くなると、そばにいる感じで高いスコアがつけられやすくなり、天井効果が発生しやすくなるため、会話は短く、会話中の質問の数は少なくした。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。仮説を検証するためそれぞれの仮説に対応するように以下の質問項目を設定した。

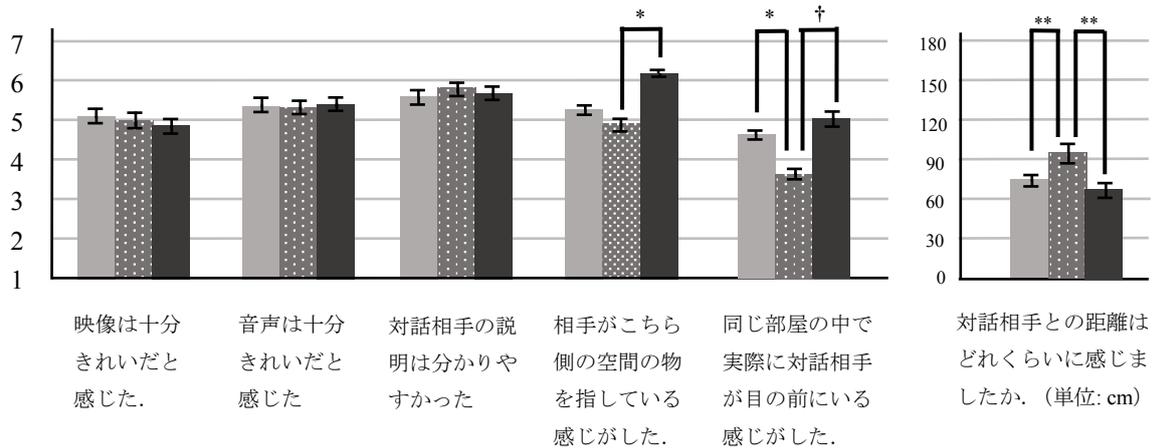
- ・ 実際に同じ部屋の中で相手があなたのそばにいる感じがした。
- ・ 相手がこちら側の空間の物を指している感じがした。

- ・ 対話相手との距離はどれくらいに感じましたか。

1, 2番目の項目では7段階のリッカート尺度を用いた。3番目の項目の質問では、対話相手との距離を数値(単位: cm)で記入させた。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。

3.1.2 実験結果

実験結果を図3に示す。3つの条件は、一要因分散分析を用いて比較した。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。その結果、そばにいる感覚の項目では、 $(F(2,17)=12.698, p<.01)$ で有意な差が見られた。多重比較の結果、アーム条件が他条件よりも高いことが分かった(それぞれ、 $p<.01, p<.01$)。また、指差されている感覚の項目($F(2,17)=14.061, p<.01$)においても有意な差が見られた。多重比較の結果、アーム条件が他条件よりも高いことが分かった(それぞれ、 $p<.01, p<.01$)。これは指差しを实体として提示することで空間を越えて指差されている感覚が強化されたと考えられる。相手との距離感の項目($F(2,17)=8.465, p<.01$)においても有意な差が見られ、多重比較の結果、垂直条件より他条件が高い、つまり遠くに



†p<0.1, *p<0.05, **p<0.01

図4 実験2のアンケート結果

感じる事が分かった (それぞれ, $p<0.01$, $p<0.01$). しかし, 水平条件とアーム条件では, 対人距離に大きな差が見られなかった. 以上から, 被験者と遠隔地にいる対話相手との距離は, 垂直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が現れる結果になった.

3.2 実験2

実験2では, レーザ条件と他の条件の比較を行った. 実験1より, 通常のビデオ会議である垂直条件は, アンケートの全てのスコアが他の条件に比べ下回る結果となった. そのため実験2では, 垂直条件を排除し, 水平条件, レーザ条件, アーム条件の3条件で実験を行った. 遠隔地にいる対話相手の体の一部を実体として提示するのはアーム条件のみであり, ロボットによるジェスチャが本物の人間によって行われたというリアリティを生み, ソーシャルテレプレゼンスが向上することが考えられる. このことから, 実験1と同様の仮説で実験を行った. 本実験の被験者として, 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12名(男性7名, 女性5名)に実験に参加してもらった. このとき実験条件の順序による影響が起らないようにカウンタバランス

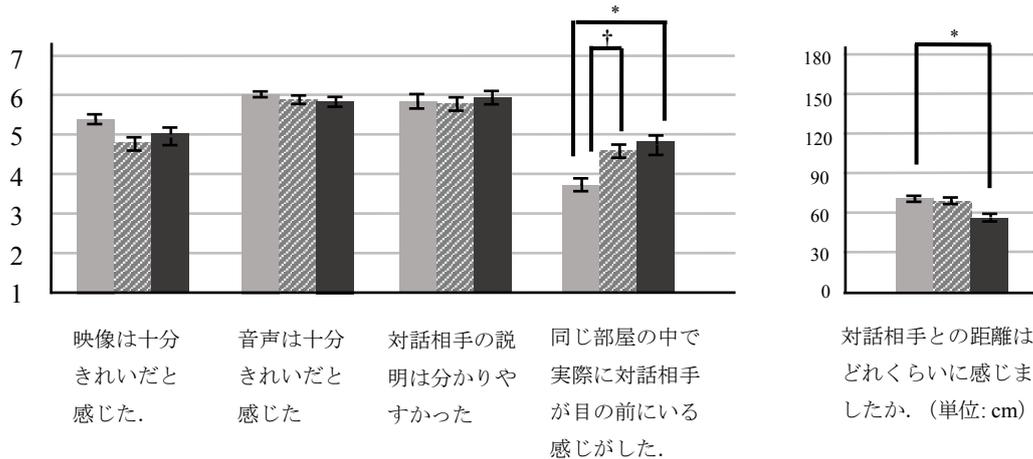
をとった.

3.2.1 実験内容

全ての条件において, 指示する対象物であるぬいぐるみを2個設置し, それに関して簡単なクイズ形式で会話と質問をした. ぬいぐるみの種類によって被験者の印象が変化しアンケートのスコアに影響を与えることを避けるため, この実験から全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, 全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. 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. アンケートでは, 実験のクオリティに関する質問と仮説に対応する質問を設定した.

クオリティに関する質問は以下の3項目である.

- ・ 映像は十分きれいだと感じた.
 - ・ 音声は十分きれいだと感じた.
 - ・ 対話相手の説明は分かりやすかった.
- これらの項目では7段階のリッカート尺度を用いた. また仮説に対応する質問は以下の3項目である.
- ・ 同じ部屋の中で実際に対話相手が目の前にい



†p<0.1, *p<0.05

図5 実験3のアンケート結果

る感じがした。

- ・ 対話相手がこちら側の空間の物を指している感じがした。
- ・ 対話相手との距離はどれくらいに感じましたか。

1, 2番目の項目では7段階のリッカート尺度を用いた。3番目の項目の質問では、対話相手との距離を数値(単位:cm)で記入させた。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。

3.2.2 実験結果

実験結果を図2に示す。3つの条件は、一要因分散分析を用いて比較した。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。実験のクオリティに関する質問では各条件で違いが無かったことを確認した。ソーシャルプレゼンスの項目では、($F(2,11)=3.38, p<.1$)で有意な差が見られた。多重比較の結果、水平条件がレーザー条件よりもスコアが高いことが分かった($p<.1$)。それに加え、アーム条件がレーザー条件よりもスコアが高いことが分かった($p<.05$)。被験者の中にはアーム条件に違和

感を覚えたことからスコアを低く付け、結果に違いがでてしまった。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ー条件よりも高いことが分かった($p<.1$)。しかし水平条件は実験1に比べスコアが高く、他条件との差が見られなかった。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、レーザー条件より他条件が高い、つまり遠くに感じるということが分かった(それぞれ、 $p<.01, p<.05$)。しかし、水平ディスプレイを用いた条件とロボットアームを使用した条件では、対人距離に大きな差が見られなかった。これは、垂直ディスプレイよりも腕が前に提示されていたかどうかの違いであるという実験1と同様の解釈ができる結果となった。

3.3 実験3

実験3では、指示棒条件と他の条件の比較を行った。実験2より、レーザー条件は、アンケートの仮説に対応する質問の全てスコアが他の条件に比べ下回る結果となった。そのため実験3では、垂直条件及びレーザー条件を排除し、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。またこれまでの

実験と同様に、実験 1 の仮説を基に実験を行った。本実験の被験者として、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 11 名（男性 5 名、女性 6 名）に実験に参加してもらった。このとき実験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。

3.3.1 実験内容

全ての条件において、指示する対象物であるぬいぐるみを 3 個設置し、それに関して簡単なクイズ形式で会話と質問をした。ぬいぐるみの種類によって被験者の印象が変化しアンケートのスコアに影響を与えることを避けるため、この実験から全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、全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。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。アンケートでは、実験のクオリティに関する質問と仮説に対応する質問を設定した。これらは実験 2 と同様の質問内容である。しかし、対話相手がこちら側の空間の物を指している感覚については、これまでの実験で検証ができたため、実験 3 では排除した。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。

3.3.2 実験結果

実験結果を図 5 に示す。3 つの条件は、一要因分散分析を用いて比較した。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。実験のクオリティに関する質問では各条件で違いが無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、 $(F(2,10)=11.59, p<.01)$ 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 ($p<.05$)。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 ($p<.05$)。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、実体化の手法にかかわらずソーシャルテレプレゼンスを強化する傾向があることが分かった相手との距離感の項目 ($F(2,10)= 6.16, p<.05$)においても有意な差が見られ、多重比較の結果、水平条件よりアーム条件が高い、つまり遠くに感じる事が分かった ($p<.05$)。しかし、それ以外の条件では、対人距離に大きな差が見られなかった。また、他の実験ほどスコアに大きな差が見られなかった。

4. 考察

4.1 遠隔指示の実体化の効果

本研究では、垂直条件、水平条件、アーム条件、レーザ条件、指示棒条件の 5 種類の比較を 3 つの実験で段階的に評価を行った。

実験 1 の結果より、通常ビデオ会議である垂直条件は、アンケートの全てのスコアが他の条件に比べ下回る結果となった。これは、垂直条件は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を分離している印象を被験者に与えたことが原因だと考えられる。また、遠隔地にいる対話相手の腕を実体化することによる効果もこの実験から検証することができた。

実験 2 では、水平条件、レーザ条件、アーム条件の 3 条件で実験を行った。これらの条件はリモート空間とローカル空間の連続していることを示しており、映像・光・実体の比較となった。結果より、レーザ条件は、アンケートの全てのスコアが他の条件に比べ下回る結果となった。インタビューによると、全ての条件で指示方法の仕組みに気づいた被験者はおらず、それによるスコアの低下は無かった。レーザポインタの光は空間を越えて指示することができるが、空間のつながりが離散的に見えたからだと考えられる。

実験 3 では実験者の指示行為を実体として提示するのは指示棒条件とアーム条件であり、実体の提示方法の違いを検証した。実験結果より、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、実体化の手法にかかわらずソーシャルテレプレゼンスを強化する傾向があることが分かった。アンケートによると、指示棒よりアームで指示された方がより近くにいるような感覚がしたと答えた被験者もいた。しかし、指示が実体化された場合、指示棒でも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多かった。

4.2 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、実験 1 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。これは垂直条件ではディスプレイを境界面とした窓越しの指示動作であったからだと考えられる。また、水平条件では、遠隔地にいる対話相手の腕が垂直ディスプレイより前に表示されている。アンケートによると、水平ディスプレイ上でもディスプレイを境界面として腕が見えているため、被験者は対話相手が机の下で指示動作を行ったように見えたと考えられる。実験 2 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。このことから、遠隔地にいる対話相手の腕が画面から飛び出しているかのように見せることが遠隔地から指差されている感覚を向上させたと考えられる。

4.3 距離感

距離感に関する項目では、実験 1 の結果より、垂直条件が他の条件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た。また、実験 2 の結果でも、レーザ条件が他の条件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た。このことから、対話相手の腕が垂直ディスプレイより手前に提示することで、映像と実体の境界面より対話相手を近くに感じ、逆に対話相手の腕が垂直ディスプレイ内の映像として提示すると、映像と実体の境界面より対話相手を遠くに感じる事が分かった。また、実験 3 では、全ての条件で垂直ディスプレイより手前に提示をした。結果より、水平条件とアーム条件に有意な差が見られたものの、他の実験ほどスコアに大きな差が見られなかった。このことから、垂直条件が他の条件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た。これは、指差しを行う場合の対人距離は対話相手の指示の先端からの距離に強く影響されると考えられる。

5. おわりに

本研究は、遠隔地である対話相手の空間とユーザ側の空間の連続性を示した上で、対話相手の一部を実体化することがソーシャルテレプレゼンスにどこまで有効に働くのかを検証した。過去の研究成果より、対話相手の映像と実体のつながりが示されていない場合よりも、身体の代替であるロボットアームが映像から飛び出して見えるほうがソーシャルテレプレゼンスは強化されることが分かっている[10]。遠隔地である対話相手の空間とユーザ側の空間の連続性を示すことができる方法として、対話相手の正面映像と机に表示された腕の映像、レーザポインタの光、実体であるロボットアームや指示棒と従来のビデオ会議システムの比較をする実験を行った。実験結果として、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、実体化の手法にかかわらずソーシャルテレプレゼンスを強化する傾向があることが分かった。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP26280076, JP15K12081, KDDI 財団, 科学技術融合振興財団, 電気通信普及財団, 立石科学技術振興財団からの支援を受けた。

参考文献

- [1] Bondareva, Y. and Bouwhuis, D.: Determinants of Social Presence in Videoconferencing, Proc. AVI 2004, pp.1-9, (2004)
- [2] De Greef, P. and Ijsselsteijn, W.: Social Presence in a Home Tele-Application, In Proceedings of Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking 2001, pp. 307-315, (2001)
- [3] 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)
- [4] Ishii, H. and Kobayashi, M.: ClearBoard: a Seamless Medium for Shared Drawing and Conversation with Eye Contact, Proc. CHI 1992, pp.525-532, (1992)
- [5] Izadi, S., Agarwal, A., Criminisi, A., Winn, J., Blake, A. and Fitzgibbon, A.: C-Slate: a Multi-touch and Object Recognition System for Remote Collaboration using Horizontal Surfaces, Proc. Tabletop 2007, pp.3-10, (2007)
- [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. HAI2016, pp.171-178. (2016)
- [1 0] Ou, J., Chen, X., Fussell, S. and Yang, J.: DOVE: Drawing over Video Environment, Proc. Multimedia 2003, pp.100-101. (2003)
- [1 1] Pauchet, A., Coldefy, F., Lefebvre, S., Louis, S., Perron, L., Bouguet, A., Collober, and t M., Guerin, J. and Corvaisier, D.: TableTops: Worthwhile Experiences of Collocated and Remote Collaboration, Proc. TABLETOP 2007, pp.27-34. (2007)
- [1 2] Sakamoto, D., Kanda, T., Ono, T., Ishiguro, H. and Hagita,

- N.: Android as a Telecommunication Medium with a Human-like Presence, Proc. HRI2007, pp. 193–200, (2007)
- [1 3] 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)
- [1 4] 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)
- [1 5] Tang, J. and Minneman, S.: VideoWhiteboard: Video Shadows to Support Remote Collaboration, Proc. CHI 1991, pp. 315-322, (1991)
- [1 6] 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)
- [1 7] 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)
- [1 8] 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)