

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

大西 裕也¹ 田中 一晶¹ 中西 英之^{1,a)}

受付日 2015年4月10日, 採録日 2015年10月2日

概要: ビデオ会議はディスプレイを境界面とした窓越しのコミュニケーションシステムであるためソーシャルテレプレゼンス（遠隔地にいる人と対面している感覚）が十分であるとはいえない。本研究の目的は、対話相手の映像から境界面であるディスプレイを超えて身体の一部が実体化したかのように見えるデザインがソーシャルテレプレゼンスに与える影響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あげられる。そこで我々は、ビデオ会議に指差し用ロボットアームを取り付けた PopArm を開発した。PopArm は、映像内の対話相手の指示行為に同期してディスプレイ上を動くロボットアームである。実験では、映像から人の腕が飛び出したかのように見えるデザインがソーシャルテレプレゼンスを強化することが分かった。さらに、このロボットアームを用いることで、映像を介して指示する場合よりも、映像内の対話相手との距離をより近く感じさせ、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。

キーワード：テレプレゼンス, ビデオ会議, ロボット

Embodying a Part of Remote Partner's Video Enhances Social Telepresence

YUYA ONISHI¹ KAZUAKI TANAKA¹ HIDEYUKI NAKANISHI^{1,a)}

Received: April 10, 2015, Accepted: October 2, 2015

Abstract: Video conferencing is a communication system through a window in which the surface of a display forms a boundary. Therefore, video conference reduce social telepresence, i.e., the sense of resembling face-to-face interaction. The purpose of this study is to clarify the influence that the design seems the part of body embody from the partner's video beyond the display gives to social telepresence. As a situation that works effectively presented by embodying the part of the remote partner, we consider remote person's pointing interaction. We developed remote pointing system PopArm which remote instructor's arm seems to pop out from the video. PopArm is the robotic arm, which synchronizes with the user's arm movements and moves on the user's video. By the result, the design, which the remote instructor's arm seems to pop out from video, enhance social telepresence. In addition, we found that, compared to pointing through a conventional video, the feeling of distance to the remote partner seems closer and social telepresence is further enhanced.

Keywords: telepresence, videoconferencing, robot

1. はじめに

対面での人と人のコミュニケーションにおいて、手を使ったインタラクションが多く使用されている。また、遠

隔地間においてもビデオ会議を使用することで、映像を介して手を使ったコミュニケーションをとることができる。しかし、ビデオ会議はディスプレイを境界面とした窓越しのコミュニケーションシステムであるため、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 [4]）はまだ十分とはいえない。そこで、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

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

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 [14]. この実験で使用した装置は、対話相手がディスプレイの下から手を出している位置にロボットハンドを設置したものであった. 映像とロボットハンドがつながって見えるデザインにしたことによって、相手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、身体接触を行わなくても、対話相手の映像とその身体の代替であるロボットがつながっているように見えるだけでも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、対話相手の映像から境界面であるディスプレイを超えて身体の一部が実体化したかのように見えるデザインがソーシャルテレプレゼンスに与える影響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あげられる.

先行研究では、そのようなインタラクションを支援する様々な方法が提案されてきた. ClearBoard [9] や Video-Whiteboard [22] 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、Video-Draw [21], VideoArms [23], DIGITABLE [17] などの研究では机に対話相手の腕の映像を表示し、ジェスチャの有用性を検証した [1], [10]. 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 [17]. 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 [23]. 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 [24], 高さの表現を付加することや [5], [6], 指示対象を色や形で視覚的に提示することで [7], ジェスチャの解釈を改善できることが示された. 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 [26]. しかし、これらの方法による指示行為は映像で提示されているため、依然として窓越しのコミュニケーションである.

また、映像による指示は平面的であり、立体的に対象を指し示すため、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 [11] 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 WACL [19] 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 [20].

ソーシャルテレプレゼンスを強化するために様々な研究が行われている [3], [8]. 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 [18], アイコンタク



図 1 システムの外観

Fig. 1 Appearance of system.

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], [15] 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分かっている. また、ビデオ会議とロボットを組み合わせることによる効果がいくつかの先行研究で調査されており、カメラの前後移動によって生じる運動視差や [12], 対話相手の前後移動に同期したディスプレイの物理的な移動が [13], ソーシャルテレプレゼンスを強化することが分かっている. これらの研究は、ロボットを用いて映像の視覚的效果を変化させるものであり、ロボット自体を相手の身体として提示するものではない.

我々は、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 PopArm を開発した (図 1). PopArm 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. まず、予備実験において PopArm の適切なデザインを明らかにするため、映像とロボットの同期、映像とロボットをつなげる位置について検討した. そして、PopArm がソーシャルテレプレゼンスを強化するかを調べるため、従来のビデオ会議や先行研究で提案された指示動作の提示手法と PopArm を比較する実験を行った.

2. PopArm の構造

PopArm とは、ユーザの映像を表示したディスプレイ上を、ユーザの腕の動きに同期して移動・回転・伸縮するロボットアームである. 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.

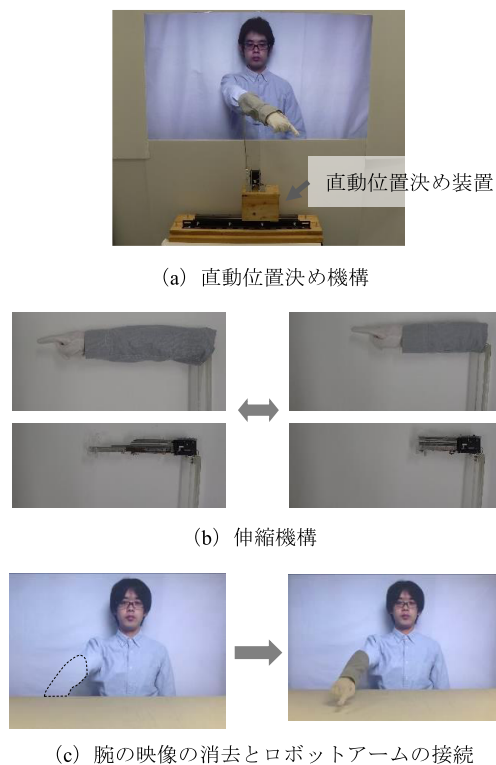


図 2 PopArm の構造
Fig. 2 The structure of PopArm.

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アクリル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。さらに、伸縮機構によってロボットアームの長さを調整することで、画面から飛び出している部分の長さを変化させる (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アクリル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することで、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、クロマキー合成などの映像合成によって消去する (図 2(c))。消去した部分の映像は、あらかじめ用意した背景の映像で埋めている。

3. 実験

予備実験において PopArm の適切なデザインを明らかにするため、映像とロボットの同期、映像とロボットをつなげる位置について検討した。そして、PopArm がソーシャルテレプレゼンスを強化するかを調べるため、従来のビデオ会議や先行研究で提案された指示動作の提示手法と PopArm を比較する実験を行った。被験者は予備実験、本

実験それぞれ 10 人、12 人の合計 22 人に参加してもらった。

3.1 予備実験

PopArm の有用性を検証するにあたり、対話相手の映像から境界面であるディスプレイを超えて身体の一部が実体化したかのように見えるデザインがソーシャルテレプレゼンスにどのような影響を与えるかを検証する。まず、予備実験において PopArm の適切なデザインを明らかにするため、映像内での腕の提示、また映像とロボットをつなげる位置について、最も違和感を与えないデザインはどの条件であるのかを検討した。

3.1.1 仮説

映像の中の腕とロボットアームがつながって見えるようにした場合、映像の中の対話相手とその身体の代替であるロボットアームが一体化するのではないかと考えられる。このことから、以下のような仮説をたてた。

仮説 1: ロボットハンドと映像の腕が一致しているように見えた方がより自然な対面インタラクションを提供する。

また、ロボットハンドをディスプレイの外側に置いた場合より、内側に置いた場合の方が自然な体勢で手を出しているように見えると考えたことから、以下の仮説を立てた。

仮説 2: ロボットハンドをディスプレイの画面上に設置した方がより自然な対面インタラクションを提供する。

以上の仮説を明らかにするために、対話相手の映像内の腕の位置 (ロボットアームの設置位置と一致させる、もしくはロボットアームと同期しているように見せる) と、ロボットハンドを設置する位置 (ディスプレイの内側: 映像を表示するディスプレイ上、もしくはディスプレイの外側: 映像を表示しないディスプレイのまわりの枠) に要因を分け、4 条件の被験者内実験で比較を行った (図 3)。以下がその 4 条件である。

- 内側一致条件: 対話相手の映像を表示したディスプレイ上にロボットアームを設置し、映像内の対話相手の腕の位置は、ロボットアームの設置位置と一致させる。
- 内側同期条件: 対話相手の映像を表示したディスプレイ上にロボットアームを設置し、映像内の対話相手の腕は、操作している様子が被験者に見えるようにする。
- 外側一致条件: 対話相手の映像を表示したディスプレイの外側である枠にロボットアームを設置し、映像内の対話相手の腕の位置は、ロボットアームの設置位置と一致させる。
- 外側同期条件: 対話相手の映像を表示したディスプレイの外側である枠にロボットアームを設置し、映像内の対話相手の腕は、操作している様子が被験者に見えるようにする。

3.1.2 実験内容

本研究で開発した PopArm は遠隔地にいる対話相手の腕



図 3 予備実験の実験条件
Fig. 3 Condition of the preliminary experiment.

を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。指示行為を行うにあたり、遠隔地にいる対話相手の腕の動きに合わせてロボットアームを動かす必要がある。

しかし、ロボットハンドを設置する位置がディスプレイの外側にあった場合、腕を動かしながら指示行為を行うことが困難であることから、固定するタスクが必要となる。映像内の腕やロボットアームの位置を固定したまま指示行為を行うと腕の位置や動かし方が実験結果に影響を及ぼしてしまう恐れがある。このことから予備実験では、ビデオ会議を行いながら腕を固定して指相撲を行うタスクを設定した。最初の条件で指相撲のルールを説明した後、3回勝負を行った。ロボットアームを操作する方法として、遠隔地にいる対話相手のグローブにセンサを取り付け、実際の指の動きと同期させる。親指の先に加速度センサを設置し、左右への傾きの角度から親指の左右方向の動作を取得する。指先側の2関節の屈伸運動は曲げセンサを用い、関節の曲げ具合を取得するように設計した [25]。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。アンケートには以下の質問項目を設定した。

- 実際に同じ部屋の中で相手と指相撲をしている感じがした。
- 実際に同じ部屋の中で相手と話している感じがした。
- 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。

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、2はあてはまらない、3はややあてはまらない、4はどちらともいえない、5はややあてはまる、6はあてはまる、7は非常によくあてはまる、に対応させた。すべての項目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。

3.1.3 被験者

我々の大学のキャンパス付近に住む18歳から24歳の大学生10人(男性5人、女性5人)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

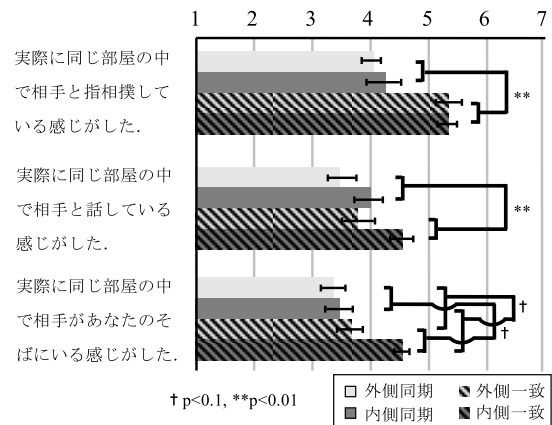


図 4 予備実験のアンケート結果
Fig. 4 Results of the questionnaire in preliminary experiment.

にカウンタバランスをとった。

3.1.4 実験結果および考察

実験結果を図4に示す。棒グラフは平均値で、バーは標準誤差を表す。映像内における対話相手の腕の位置の要因と、ロボットハンドの設置する位置の要因を、それぞれ映像要因、ロボットハンド要因とし、2要因分散分析を行った。その結果、映像要因において、指相撲をしている感じ ($F(1,9) = 10.32, p < .01$)、話している感じ ($F(1,9) = 5.65, p < .05$)、の主効果で有意、そばにいる感じ ($F(1,9) = 3.36, p = 0.099$) の項目で主効果が有意傾向であった。この結果は、映像内の対話相手の腕をロボットアームと同期しているように見せる場合よりも、ロボットアームの設置位置と一致させている場合の方が違和感を与えないことを示しており、仮説1を支持している。理由として、アンケートの後に行ったインタビューによると、操作する腕を見せていたことによって対話相手の腕が2本に見えしまうことによる違和感であることが分かった。この結果から、ロボットアームがどのように操作されているのかよりも、映像から腕が飛び出しているように見せることが最も違和感を与えないデザインであると考えられる。

また、ロボットハンド要因において、そばにいる感じ ($F(1,9) = 5.00, p = 0.052$) の項目で主効果が有意傾向であった。この結果は、ロボットハンドをディスプレイの外側に設置した場合よりも、内側に設置した場合の方が違和感を与えないことを示しており、仮説2をおおむね支持している。仮説2を支持した理由として、ディスプレイの枠からロボットハンドが出ていることで、被験者が枠のことを内側に設置した場合よりも強く意識したことで、違和感を与えてしまったと考えられる。以上のことから、対話相手の映像とロボットアームの接続位置を一致させ、さらにディスプレイの内側から腕を飛び出させるように見せることが最も違和感を与えないデザインであることが分かった。

3.2 仮説

予備実験では、遠隔地にいる対話相手の映像から腕が直接飛び出したかのように見える条件が最も違和感を与えないことが分かった。そこで予備実験の結果をふまえ、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。本実験で行う指示行為は身体接触をとみなさない。しかし、予備実験ではすべての条件において接触をとまった実験を行った。このことから、予備実験での身体接触が本実験に影響を及ぼさないようにするため、本実験の被験者と予備実験の被験者は異なる被験者に実験に参加してもらった。PopArm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ロボットアームの指先と被験者との間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。

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。以下がその3つの条件である。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。水平ディスプレイ条件：既存研究で提案されている条件で、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ことで腕がつながって見えるようにする。実体条件：本研究で提案する垂直方向に設置されたディスプレイに加えPopArmを組み合わせた条件で、予備実験の結果より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。

3.3 実験環境

実験環境を図5示す。図5に示すように、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

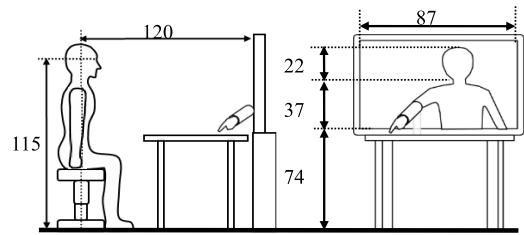


図5 実験環境 (単位: cm)

Fig. 5 Experimental conditions and setup (length unit: centimeters).

取り付け、テーブルで下部を遮った。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22 cm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垂直ディスプレイと水平ディスプレイを組み合わせた条件では、腕がつながっているように見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。また、水平条件と実体条件において、垂直ディスプレイから飛び出ている腕の長さは実験者が正面を指差しているときに40 cmに統一した。

3.4 実験内容

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るタスクを設定した。統制された実験を行うためには、すべての実験で、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。これは、予備実験で行った評価方法と同じものである。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。すべての項目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。

3.5 被験者

本実験に参加した被験者は、予備実験に参加した被験者とは異なる被験者に参加してもらった。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12人（男性6人、女性6人）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。

4. 実験結果および考察

4.1 実験結果

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。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、 $(F(2, 11) = 24.792, p < .01)$ で有意な差が見られた。多重比較の結果、実体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 $(F(2, 10) = 13.174, p < .01)$ においても有意な差が見られた。多重比較の結果、実体条件が他条件よりも高いことが分かった（それぞれ、 $p < .01, p < .01$ ）。これは指差しを実体として提示することで空間を超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 $(F(2, 11) = 7.57, p < .01)$

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PopArm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。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。

4.2 考察

そばにいる感覚の項目では、従来の研究などで提案されていた遠隔地にいる対話相手の腕の映像を机面上で表示することで、ビデオ会議よりもそばにいる感覚が向上することが分かった。さらに、PopArmを使用した条件では、他の条件よりもさらにそばにいる感覚が向上することが分かった。アンケートの後に行ったインタビューによると、同じ部屋に対話相手である実験者が存在していないにもかかわらず、ロボットアームを提示することによって、実験者が本当に同じ部屋にいるように感じられたと指摘された。このことより、仮説1を支持する結果が得られた。

遠隔地から指差されている感覚の項目では、実体条件が他の2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を垂直ディスプレイより前に表示されている。しかし、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。さらに、

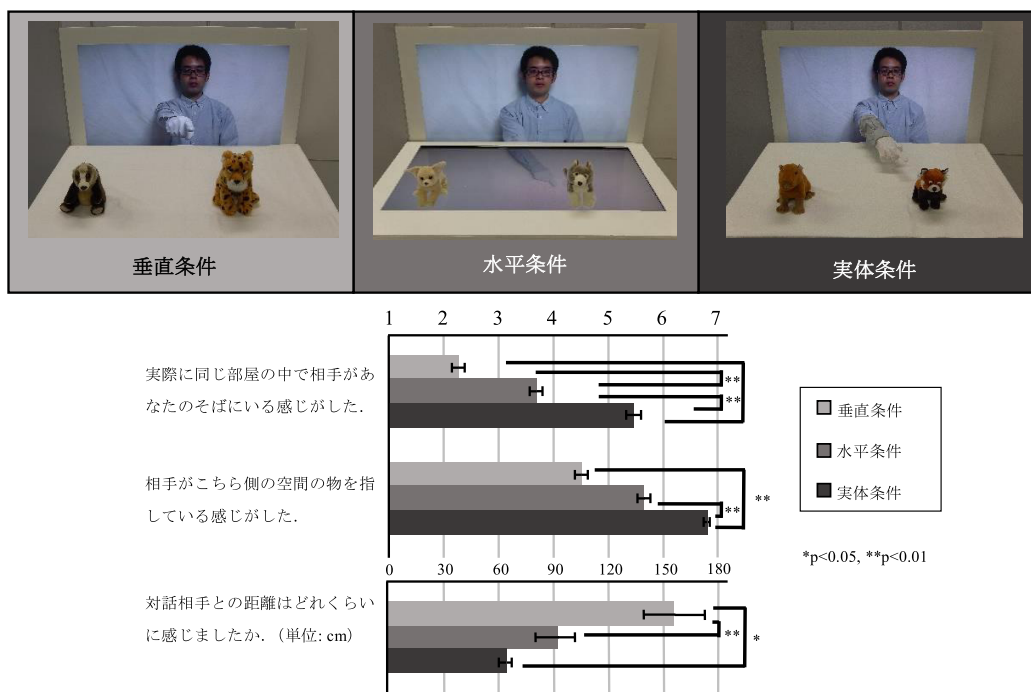


図6 アンケート結果

Fig. 6 Results of the questionnaire.

アンケートの後に行ったインタビューによると、実体条件が他の条件に比べスコアが上回った結果は、対話相手の腕を実体として提示することによって、被験者のパーソナルスペースに対話相手の腕が干渉したなどの理由があげられた。このことから、仮説2を支持する結果が得られたと考えられる。

距離感に関する項目では、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を感じる結果となった。また、実験中被験者には明かしていないが、垂直ディスプレイと被験者の距離は120cmであった。これは、垂直ディスプレイの位置がアンケート結果である垂直条件と水平条件の間であったことを意味する。このことから、対話相手の腕を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、逆に対話相手の腕を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感じる事が分かった。これは、指差しを行う場合の対人距離はロボットアームの指先と被験者との間の距離に強く影響されるためであると考えられる。実体として提示する腕の長さが短くなったとき、実験者が後退しているように見えることから、対話相手との距離を遠く感じる事が考えられる。逆に実体として提示する腕の長さが長くなったとき、実験者が前進しているように見えることから、対話相手との距離を短く感じる事が考えられる。また、腕の長さを長くしていったとき、実際の人の腕の長さよりも長くなるとソーシャルテレプレゼンスが低下してしまうことも考えられる。実体として提示する身体部位の長さの変化によって対人距離が変化、また対人距離とソーシャルテレプレゼンスに相関があるのかを検証していくこと今後の課題である。また、垂直ディスプレイと被験者の距離は120cmという情報は被験者には明かしていない。そのため、基準となる距離を明かしたうえで対話相手との距離感にどのような影響を与えるのか調査することも今後の課題である。

遠隔地の相手に指示を行うにあたり、対話相手の腕を置き換えたロボットアームではなく、指示棒を映像から飛び出させる方法も考えられる。しかし、この方法では、対話相手の身体が境界面であるディスプレイから飛び出てくることはないため、対人距離が遠くなると考えられる。対話相手が所持している指示棒を映像から飛び出させることによって対人距離およびソーシャルテレプレゼンスにどのような影響があるか調べることも今後の課題である。

また、遠隔指差し行為において、映像とロボットアームとの同期と動きのダイナミックさによって、対話相手のソーシャルテレプレゼンスが向上するという示唆を得ている[16]。このことから、上下に移動する直動機構を追加することにより、動きを左右方向のみではなく様々な方向へ動作可能にすることにより、動きをダイナミックにすることが必要である。また、現在の機構では指示を行ったまま

になっている。そのため、腕を実体として提示する部分をなくすことなども必要と考えられる。これらの機構を追加することによってソーシャルテレプレゼンスに与える影響を検討していくことも今後の課題である。

5. おわりに

本研究では、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として指示行為に着目し、映像の表示面にロボットアームを取り付けたPopArmを開発した。予備実験により、ディスプレイ面から対話相手の腕を飛び出するようなデザインがより違和感のない対面インタラクションを提供することが分かった。この結果を基に、対話相手の映像から境界面であるディスプレイを超えて身体の一部が実体化したかのように見えるデザインがソーシャルテレプレゼンスにどのような影響を与えるか検証する実験を行った。実験結果より、PopArmを使用することで通常のビデオ会議より遠隔地から指差されている感覚が向上し、さらに、同じ部屋の中でそばにいる感覚が向上することが分かった。先行研究では、ビデオ会議に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することが報告されている[14]。しかし、本研究の実験結果より、身体接触を行わなくても、対話相手の映像とその身体の代替であるロボットをつながって見えるように提示することのみでソーシャルテレプレゼンスが強化されることが明らかになった。さらに、映像を介して指示する場合よりも、遠隔地にいる対話相手の腕を垂直ディスプレイから飛び出して見えることで対話相手との距離をより近く感じさせることが分かった。対話相手との距離感はロボットアームの指先と被験者との間の距離に強く影響されると考えられることから、対人距離とソーシャルテレプレゼンスに相関があるのかを検証していくこと今後の課題である。

謝辞 本研究は、基盤研究(B)「ソーシャルテレプレゼンスのためのロボットエンハンスドディスプレイ」、挑戦的萌芽研究「気配伝達型ソーシャルテレプレゼンスの研究」、立石科学技術振興財団研究助成(C)「ビデオ会議を拡張する遠隔指差しロボットアームの開発」からの支援を受けた。

参考文献

- [1] Alem, L. and Li, J.: A Study of Gestures in a Video-Mediated Collaborative Assembly Task, *Advances in Human-Computer Interaction, Proc. HCI 2011* (2011).
- [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, and Social Networking 2001*, pp.307-315 (2001).
- [4] Finn, K.E., Sellen, A.J. and Wilbur, S.B.: *Video-Mediated Communication*, Lawrence Erlbaum Associates, Inc. (1996).

ciates, *Proc. CSCW 1999*, pp.299-301 (1997).

[5] Fraser, M., McCarthy, M., Shaikat, M. and Smith, P.: Seconds Matter: Improving Distributed Coordination by Tracking and Visualizing Display Trajectories, *Proc. CHI 2007*, pp.1303-1312 (2007).

[6] 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).

[7] Gutwin, C. and Penner, R.: Improving interpretation of remote gestures with telepointer traces, *Proc. CSCW 2002*, pp.49-57 (2002).

[8] Isaacs, E.A. and Tang, J.C.: What Video Can and Can't Do for Collaboration: A Case Study, *Proc. Multimedia 1993*, pp.199-206 (1993).

[9] Ishii, H. and Kobayashi, M.: ClearBoard: A seamless medium for shared drawing and conversation with eye contact, *Proc. CHI 1992*, pp.525-532 (1992).

[10] Kirk, D., Rodden, T. and Fraser, S.D.: Turn it this way: Grounding collaborative action with remote gestures, *Proc. CHI 2007*, pp.1039-1047 (2007).

[11] Kuzuoka, H., Oyama, S., Yamazaki, K., Suzuki, K. and Mitsuishi, M.: GestureMan: A mobile robot that embodies a remote instructor's actions, *Proc. ACM Press 2000*, pp.155-162 (2000).

[12] Nakanishi, H., Murakami, Y., Nogami, D. and Ishiguro, H.: Minimum Movement Matters: Impact of Robot-Mounted Cameras on Social Telepresence, *Proc. CSCW 2008*, pp.303-312 (2008).

[13] Nakanishi, H., Murakami, Y. and Kato, K.: Movable Cameras Enhance Social Telepresence in Media Spaces, *Proc. CHI 2009*, pp.433-442 (2009).

[14] Nakanishi, H., Tanaka, K. and Wada, Y.: Remote Handshaking: Touch Enhances Video-Mediated Social Telepresence, *Proc. CHI 2014* (2014).

[15] Nguyen, D.T. and Canny, J.: Multiview: Improving Trust in Group Video Conferencing through Spatial Faithfulness, *Proc. CHI 2007*, pp.1465-1474 (2007).

[16] Onishi, Y., Tanaka, K. and Nakanishi, H.: PopArm: A Robot Arm for Embodying Video-Mediated Pointing Behaviors, *Proc. CTS2014*, pp.137-141 (2014).

[17] Pauchet, A., Coldefy, F., Lefebvre, S., Louis, S., Perron, L., Bouquet, A., Collobert, M., Guerin, J. and Corvaisier, D.: TableTops: Worthwhile experiences of collocated and remote collaboration, *Proc. TABLETOP 2007*, pp.27-34 (2007).

[18] Prussog, A., Muhlbach, L. and Bocker, M.: Telepresence in Videocommunications: A study on stereoscopy and individual eye contact, *Proc. Annual Meeting of Human Factors and Ergonomics Society*, pp.25-38 (1994).

[19] Sakata, N., Kurata, T., Kato, T., Kourogi, M. and Kuzuoka, H.: WACL: Supporting Telecommunications Using Wearable Active Camera with Laser Pointer, *Proc. Wearable Computers 2003* (2003).

[20] 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).

[21] Tang, J. and Minneman, S.: VideoDraw: A video interface for collaborative drawing, *Proc. CHI1990*, pp.313-320 (1990).

[22] Tang, J. and Minneman, S.: VideoWhiteboard: Video shadows to support remote collaboration, *Proc. CHI 1991*, pp.315-322 (1991).

[23] Tang, A., Neustaedter, C. and Greenberg, S.:

Videoarms: Embodiments for mixed presence groupware, *Proc. HCI 2006*, pp.85-102 (2006).

[24] 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).

[25] 塩崎恭平, 田中一晶, 中西英之: ビデオチャットを指相撲ロボットハンドによって拡張したシステムのデザインがソーシャルテレプレゼンスに与える影響, 第27回人工知能学会全国大会, 1G5-2in (2013).

[26] 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、ユーザインタフェースに興味を持つ。



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。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)。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年より関西学院大学理工学部特任講師。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。