

## PopArm: 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<sup>†1</sup> 田中 一晶<sup>†1†2</sup> 中西 英之<sup>†1</sup>

**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。本研究では、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を強化するか検証する。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による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。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。実験の結果、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。

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

YUYA ONISHI<sup>†1</sup> KAZUAKI TANAKA<sup>†1†2</sup>  
HIDEYUKI NAKANISHI<sup>†1</sup>

**Abstract:** Video conference is a communication system through a window that has a boundary surface as the display. Therefore, video conference reduce social telepresence, i.e., the sense of resembling face-to-face interaction. In this study, we examine whether the design seems the part of body embody from the partner's video beyond the display which has boundary surface enhances 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 of experiment, the design which the remote instructor's arm seems to pop out from video enhance social telepresence. In addition, by using the robotic arm, we got a suggestion that participant feel the distance more closely between instructor in the video, and enhance social telepresence than pointing through the video.

### 1. はじめに

遠隔コミュニケーションにおいて、ソーシャルテレプレゼンスを生み出す一般的な方法はビデオ会議である。ソーシャルテレプレゼンスとは、離れた場所にいる人とあたかも対面している感覚であり[4]、これを評価した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[19]、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][16]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。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、相手と同じ部屋の中で対面している感覚はまだ十分とは言えない。我々の先行研究では、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を強化されることを明らかにした[15]。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繋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繋がっているように見えるだけ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、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を強化するか検証することである。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による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。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[1][9][11][12][20][21][23][24]。ClearBoard ではガラスの板を挟んで向かい合っている状況を設定し、そのガラスを描画面として視線や指示を遠隔地で共有する方法[9]が提案された。また、VideoArms [25]、C-Slate [10]、DIGITABLE[19]などの机の上に映像を表示する方法が提案された。

<sup>†1</sup> 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

<sup>†2</sup> 独立行政法人科学技術振興機構 CREST  
CREST, Japan Science and Technology Agency

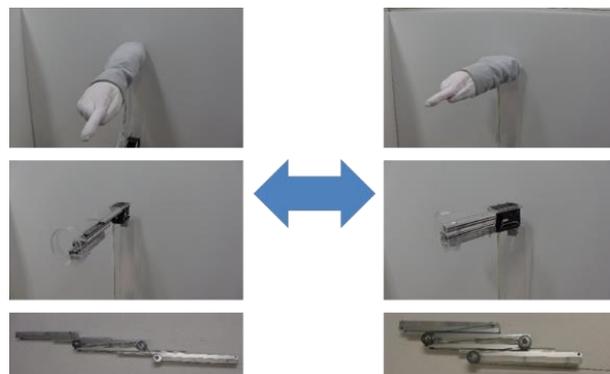
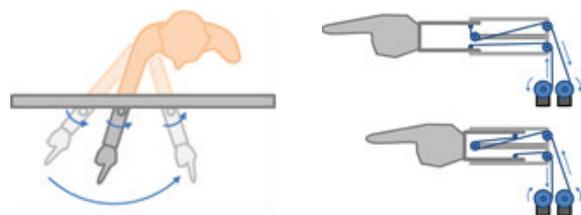


図 1 PopArm のデザイン  
Figure 1 Design of PopArm.

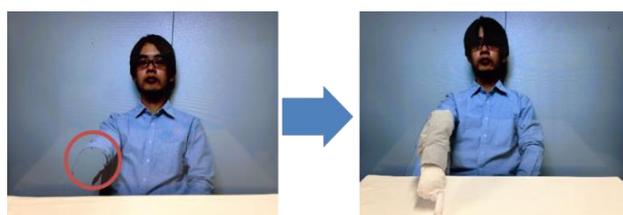
DIGITABLE では、従来のビデオ会議に加えて机上で対話相手の腕の映像を表示することで水平面の空間を共有した[19]。VideoArms では、スタイラスペンと映像を組み合わせることで接触跡を追加しスケッチを可能にした[25]。また、Remote Lag という手法によりジェスチャ映像が実物や人の手などに隠れて見えなくなってしまう状況を緩和し[26]、高さの表現を付加することや[5][6]、指示対象を色や形で視覚的に提示することで[7]、ジェスチャの解釈を改善できることを示された。また、指示棒の影を投影することで遠隔地間の机上で指示を共有する投影映像を用いる方法が提案された[28]。しかし、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ポインタで指示する方法[12]や、肩にウェアブルカメラを乗せ、そこからレーザポインタで指示する WACL[21]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



(a) 直動位置決め機構



(b) 回転・伸縮機構



(c) クロマキー合成

図 2 PopArm の構造  
Figure 2 Mechanism of PopArm.

下することが知られている[22]。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。

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[13]、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[14]、ソーシャルテレプレゼンスを強化することがわかっている。これらの研究は、ロボットを用いて映像の視覚的効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。

本研究では、遠隔地にいる対話相手の腕をロボットアームに置き換えて実体化するデザインが、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。まず、PopArmの適切なデザインを明らかにするため、予備実験において映像とロボットの同期、映像とロボットを繋げる位置について検討した。そして、この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。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。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(c))。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。この装置で行える指示行為は左右方向のみであるが、位置決め装置を二軸にすることにより、上下方向の指示行為も可能になる。

## 3. 実験

### 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検証する予備実験を行った。

#### 3.1.1 仮説

映像の中の腕とロボットアームが繋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よう感じ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ればソーシャルテレプレゼンスが強化される。

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制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内側に設置するとソーシャルテレプレゼンスが強化される。

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・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・外側)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

予備実験では、被験者にディスプレイを用いてビデオチャットを行いながら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[27]。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。



図3 予備実験の実験条件

Figure 3 Condition of the preliminary experiment.

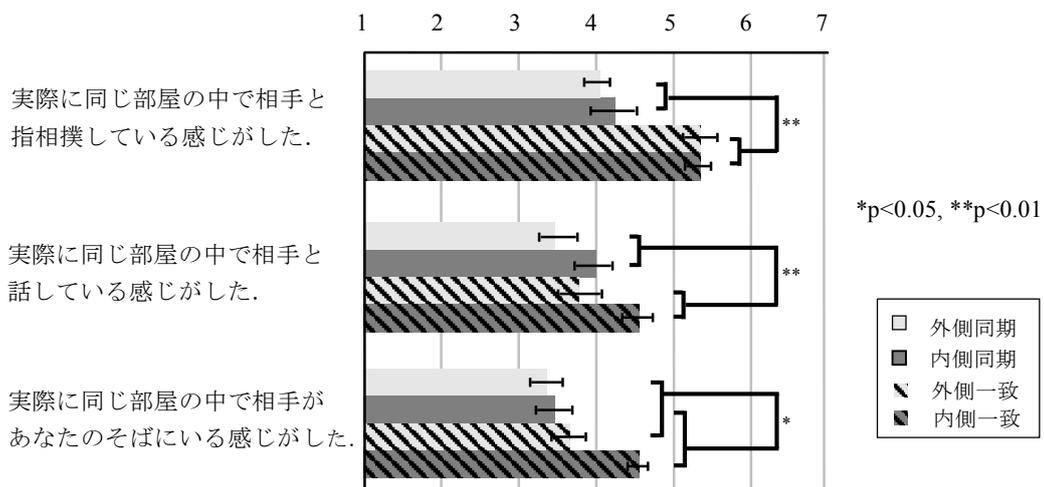


図4 予備実験のアンケート結果

Figure 4 Result of the preliminary experiment.

- ・ 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は全くあてはまらない, 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。全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にカウンタバランスをとった。

### 3.1.4 実験結果及び考察

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 ( $F(1,9)=10.3211, p<.01$ ), 話している感じ ( $F(1,9)=5.6512, <.01$ ), の2項目で有意, そばにいる感じ ( $F(1,9)=3.3664, p<.05$ ) 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

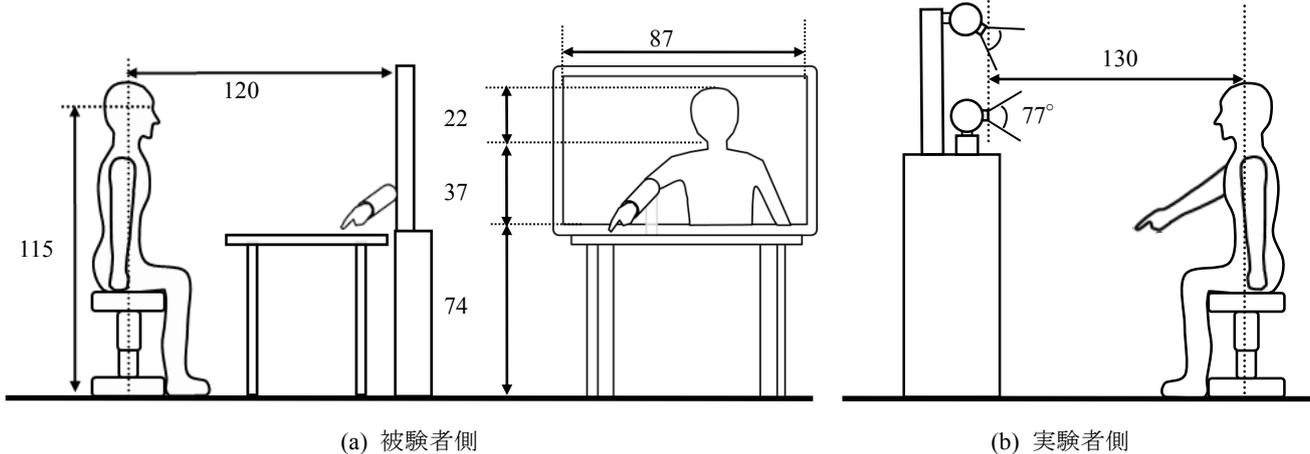


図5 実験環境(単位: cm)

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

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ソーシャルプレゼンスを強化するというを示しており、仮説1を支持している。同期しているように見せた場合よりも、一致しているように見せた場合の方がソーシャルプレゼンスを強化された理由は、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ソーシャルプレゼンスに影響するものと考えられる。また、ロボットアームの同期と一致条件の中間条件として映像内の腕の手先は隠すことによって、映像内の腕とロボットアーム繋がっていない状態が考えられる。本実験では、腕が映像から直接飛び出しているように見せることに着目したが、中間条件でもソーシャルプレゼンスの強化が有効となる可能性がある。この条件の検証は今後の課題である。

また、ロボットハンド要因において、そばにいる感じ ( $F(1,9)=5.0000, p<.05$ ) 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ソーシャルプレゼンスを強化するというを示しており、仮説2を概ね支持している。内側にロボットハンドを設置した場合の方が、外側にロボットハンドを設置した場合よりもソーシャルプレゼンスが強化された理由として、ディスプレイの外側に設置した場合に、ロボットハンドが枠から出ているように設置していたことが考えられる。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、ソーシャルプレゼンスが低下したと考えられる。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でソーシャルプレゼンスを強化することが分かった。

### 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境界面であるディスプレイを超えて身体の一部が飛び出したかのように見えることでソーシャルプレゼンスが強化されることが分かった。本研究で開発した PopArm は、画面上を自由に移動できることから指示行為に着目し、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プレゼンスにどのような影響があるのかを検証する。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。

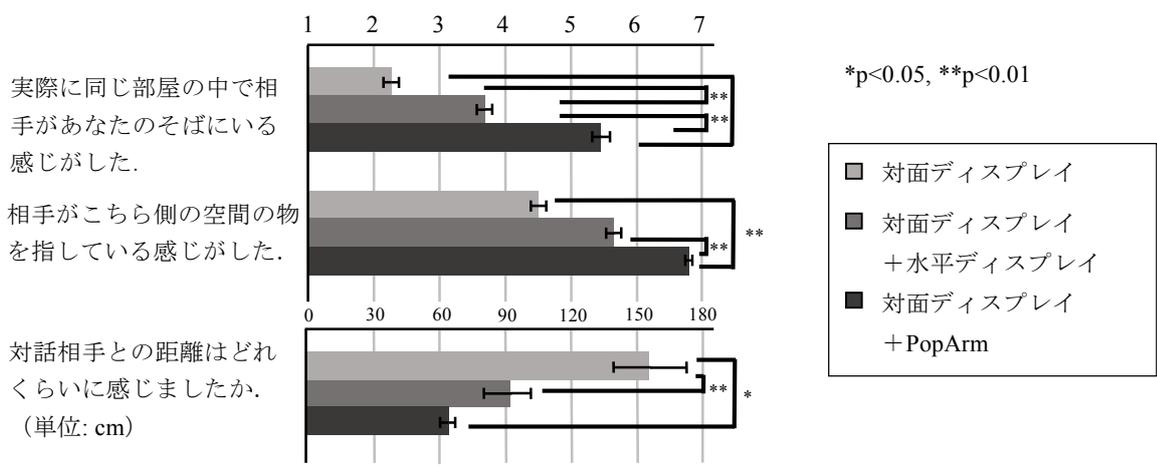


図6 アンケート結果

Figure 6 Results of the experiment.

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。対面ディスプレイ条件：従来のテレビ会議である対面ディスプレイのみを使用する条件である。対面ディスプレイ+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、対面ディスプレイと水平ディスプレイで腕が繋がって見えるようにする。対面ディスプレイ+PopArm条件：本研究で提案する対面ディスプレイと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(a)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22cm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。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。実験の比較対象である対面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、対面ディスプレイ、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(図5(b))。また、対面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。また、対面ディスプレイ+水平ディスプ

レイ条件と対面ディスプレイ+PopArm 条件において、対面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時で 40cm に統一した。

### 3.4 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。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。全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

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 6 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らないようにカウンタバランスをとった。

## 4. 実験結果及び考察

### 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、ソーシャルテレプレゼンスの項目では、( $F(2,11)=24.792, p<.01$ )で有意な差が見られた。多重比較の結果、PopArm を用いた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、PopArm を用いた条件は、他条件よりも高いことが分かった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 ( $F(2,11)=7.57, p<.01$ ) においても有意な差が見られ、多重比較の結果、対面ディスプレイのみの条件より、他条件が高い、つまり遠くに感じる事が分かった (それぞれ、 $p<.01, p<.05$ )。しかし、水平ディスプレイを用いた場合と PopArm を使用した場合には、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、対面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

ソーシャルテレプレゼンスの項目では、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 を使用した場合には、他の条件よりもさらにソーシャルテレプレゼンス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、対話相手の腕が実体として提示することによる違和感があったが相手が本当に同じ部屋にいるように感じられたことが考えられる。これにより、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を検証することができた。また、実験の初期段階では映像内に映されていた腕と PopArm が一致しておらず、このずれが原因で PopArm 条件のスコアが下がることがあった。本実験では、アームの追従精度を上げることによりこの問題を解決したが、別の解決方法として、映像内の手先を隠すことにより、映像内の腕と PopArm が直接繋がっていないデザインも考えられる。このデザインでもソーシャルテレプレゼンスが向上することが分かると、映像内の腕と PopArm のずれを緩和できると考えられる。このデザインの検証については今後の課題である。

遠隔地から指差されている感覚では、PopArm が他の 2 条件よりもスコアが上回った。これは対面ディスプレイ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、対面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、遠隔地にいる対話相手の腕が対面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、アンケートの後に行ったインタビューによると、対話相手の腕が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挙げられた。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。

距離感に関する項目では対面ディスプレイ条件が、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、実験中被験者には明かしていないが、対面ディスプレイと被験者の距離は 120cm であった。このこと



腕の長さ: 0cm (映像)

腕の長さ: 20cm

腕の長さ: 40cm

図7 今後の実験予定

Figure 7 Experiment of future work.

から、対話相手の腕が対面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対面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。これは、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。実体として提示する腕の長さが短くなったとき、対話相手の距離が短くなり、また実体として提示する腕の長さが長くなったとき、対話相手の距離が長くなる事が考えられる(図7)。腕の長さを長くしていった時、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、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、対人距離が遠くになると考えられる。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。

## 5. おわりに

本研究では、遠隔地にいる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飛び出したかのように見えるロボットアームを開発した。予備実験により、ディスプレイ面から対話相手の腕が飛び出るような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。この結果を基に、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による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とから指示行為に着目し、映像の表示面にロボットアームを

取り付けした PopArm を開発した。対話相手は、この PopArm によって遠隔地の空間を実体として指差すことができる。これにより、PopArm を使用することによって遠隔地から指差されている感覚が向上し、さらに、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繋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分かった。さらに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ることが分かった。しかし、対話相手との距離感は指先からの距離に強く影響されたと考えられる。さらに遠隔地にいる対話相手が指示棒を映像から飛び出させることによって距離感に影響を与えることが考えられることから、対話相手との距離感の変化の要因を明らかにすることが今後の課題である。また、指差し行為において、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、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示唆を得ている[17]。さらに、現在の機構では常に支持行為を行ったままの設計となっている。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腕を机の上に置くことや、動きを左右方向のみではなく様々な方向へ指し示すことにより、動きをダイナミックにすることが必要である。本研究では、遠隔地にいる対話相手である実験者側から被験者側への片方向のみに焦点を当てた実験を行ったが、将来的には双方向になるように想定し実験を行っていく予定である。

**謝辞** 本研究の予備実験は、塩崎恭平氏が行った実験に基づくものである。本研究は JST CREST「人の存在を伝達する携帯型遠隔操作アンドロイドの研究開発」、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」、SCOPE「遠隔身体インタラクションインタフェースの研究開発」、大阪大学と NTT との共同

研究「遠隔地間で同じ部屋にいる状態を作り出す次世代コミュニケーション環境の研究」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, *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] 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).
- [11] Kirk, D., Rodden, T., Fraser, S. D.: Turn it this way: grounding collaborative action with remote gestures, *Proc. CHI 2007*, pp. 1039-1047, (2007).
- [12] 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).
- [13] 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).
- [14] Nakanishi, H., Murakami, Y. and Kato, K.: Movable Cameras Enhance Social Telepresence in Media Spaces. *Proc. CHI 2009*, pp.433-442, (2009).
- [15] Nakanishi, H., Tanaka, K. and Wada, Y.: Remote Handshaking: Touch Enhances Video-Mediated Social Telepresence. *Proc. CHI 2014*, (2014).
- [16] Nguyen, D.T. and Canny, J.: Multiview: Improving Trust in Group Video Conferencing through Spatial Faithfulness. *Proc. CHI 2007*, pp.1465-1474, (2007).
- [17] Onishi, Y., Tanaka, K. and Nakanishi, H.: PopArm: A Robot Arm for Embodying Video-Mediated Pointing Behaviors. *Proc. CR-HRI 2014*, pp. 137-141, 2014, (2014).
- [18] Ou, J., Chen, X., Fussell, S. and Yang, J.: DOVE: Drawing over video environment, *Proc. Multimedia 2003*, pp. 100-101, (2003).
- [19] Pauchet, A., Coldefy, F., Lefebvre, S., Louis, S., Perron, L., Bouguet, A., Collober, M., Guerin, J. and Corvaisier, D.: TableTops: worthwhile experiences of collocated and remote collaboration, *Proc. TABLETOP 2007*, pp. 27-34, (2007).
- [20] Prussog, A., Muhlbach, L. and Bocker, M.: Telepresence in Videocommunications, *Proc. Annual Meeting of Human Factors and Ergonomics Society*, pp.25-38 (1994).
- [21] 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).
- [22] 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).
- [23] Tang, J. and Minneman, S.: VideoDraw: a video interface for collaborative drawing, *Proc. CHI1990*, pp. 313-320, (1990).
- [24] Tang, J. and Minneman, S.: VideoWhiteboard: video shadows to support remote collaboration, *Proc. CHI 1991*, pp. 315-322(1991).
- [25] Tang, A., Neustaedter, C. and Greenberg, S.: Videoarms: embodiments for mixed presence groupware, *Proc. HCI 2006*, pp. 85-102, (2006).
- [26] 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).
- [27] 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 (2013).
- [28] 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).