

PopArm: 映像上の指示行為を実体化するロボットアームの開発

大西裕也^{†1} 田中一晶^{†1†2} 中西英之^{†1}

遠隔コミュニケーションにおいて相手側の空間にある物を指し示すために、ロボットを使用する方法が提案されている。しかし、ロボットによる指示ではその操作者の姿を見ることができないため、操作者の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）が低下する恐れがある。この問題を解決するため、我々は、映像から人の腕が飛び出したかのように見せる PopArm を開発した。PopArm は、映像内の操作者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。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、映像内の操作者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: Development of the Robotic Arm for Embodying Video-Mediated Pointing Behaviors

YUYA ONISHI^{†1} KAZUAKI TANAKA^{†1†2}
HIDEYUKI NAKANISHI^{†1}

In remote communication, to point the object in the remote space, method using a teleoperated robot is suggested. However, we cannot see the appearance of the remote operator by using a teleoperated robot. Therefore, The robotic gesture has a risk that reduce remote instructor's social telepresence, i.e., the sense of resembling face-to-face interaction. To solve this problem, 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 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

遠隔地コミュニケーションにおいて、遠隔の人の動きを提示する一般的な方法はビデオ会議である。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。特に、映像上の指差し行為は、遠隔地から指示が出されているように見える問題がある。この問題を解決するために、遠隔地の空間を指示する方法として、遠隔操作ロボットを用いる方法が提案されている [7]。しかし、ロボットによるジェスチャは、操作者の姿を見ることができないため、本物の人間によって行われたというリアリティが低下する恐れがある。我々は操作者の映像からディスプレイが境界面を超えて腕が飛び出したかのように見える遠隔指差しシステムを提案する。これまでに指示行為を支援するシステムが様々な研究が提案されてきた [5][11][13][14][15]。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 [5] が提案された。また、VideoArms [16]、C-Slate [6]、DIGITABLE [12] などの机の上に映像を表示する方法が提案された。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 [12]。VideoArms では、スタイラスペンと映像を組み合



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

^{†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
^{†2} 科学技術振興機構 CREST
CREST, Japan Science and Technology Agency

わせて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[2]、[3]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[18]。しかし、これらの方法による指示行為は平面的であり、実体として対象を指し示すものではなかった。指示行為を実体的に行う方法としては、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が提案されている[7]。しかし、これらのジェスチャは、操作者の姿を見ることができないため、本物の人間によって行われたというリアリティがないことが懸念される。

また、ビデオ会議において遠隔地の人の等身大映像には、ソーシャルテレプレゼンス（相手と対面している感覚の度合い[1]）を強化する効果があることが報告されている[13]。さらに、カメラの前後移動によって生じる運動視差[8]や、対話相手の前後移動に同期したディスプレイが移動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が分かっている[9]。そして、握手のような共有触覚感覚が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[10]。

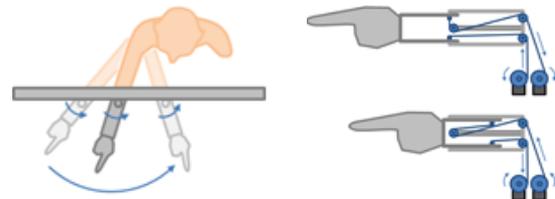
本研究では、ビデオ会議にロボットアームを取り付けた PopArm を開発した（図 1）。PopArm は、ユーザの映像と同期してロボットアームが画面上を移動・回転・伸縮することにより、立体的な指示動作を可能とし、遠隔地の空間を直接指示することができる。さらに、遠隔地にいるユーザの肘から先をロボットアームに置き換えて画面から飛び出しているかのようなデザインにすることによって、ロボットによるジェスチャが本物の人間によって行われたというリアリティを生み、ソーシャルテレプレゼンスが向上することが期待される。以上より、相手の体の一部を実体として提示することでソーシャルテレプレゼンスが強化するかどうかを検証する実験を行った。

2. PopArm の構造

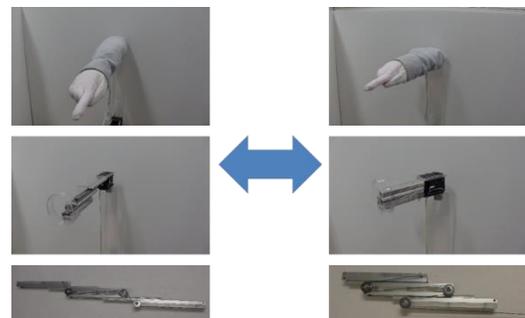
PopArm とは、ユーザの映像を表示したディスプレイ上を、ユーザの腕の動きに同期して移動・回転・伸縮するロボットアームである。対話相手の映像を等身大でディスプレイに表示し、そのディスプレイの下に直動位置決め装置を設置する（図 2 (a)）。その位置決め装置には、肘から先のロボットアームがアクリル板を介して接続されている。ロボットアームは根本に回転する機構を備えている。位置決め装置とロボットアームの回転機構により、映像内の対話相手の腕の動きに同期してロボットアームがディスプレ



(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.

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。

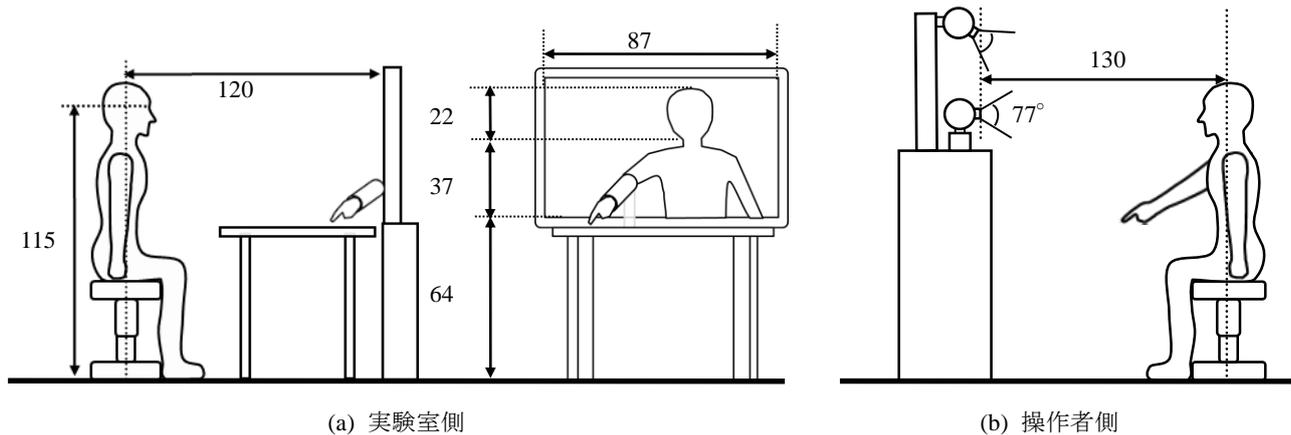


図3 実験環境(単位: cm)

Figure 3 Experimental conditions and setup (length unit: centimeters).

3. 実験

3.1 仮説

本研究で開発した PopArm は、対話相手の指示動作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。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、従来のテレビ会議である対面ディスプレイのみの条件、既存研究で提案されてい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、そして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の 3 条件を被験者内実験で比較を行った。

3.2 実験環境

実験環境を図 3 示す。図 3 (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機構を設置する。操作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。ウェブカメラより操作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操作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。操作者と同じ部屋にいる感覚を増すために、操作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操作者側の背景の色と合わせて白くした。テーブルは、操作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がか聞こえるように、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る条件では、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 3 (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た。

3.3 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し対象を変えた。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。

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。

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。また, アンケート終了後にインタビューを実施した。

また, 被験者は我々の大学キャンパスの近くに住む18才から24才の大学生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4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場合とPopArmを使用した場合は, 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。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。

遠隔地から指差されている感覚では, PopArmが他の2条

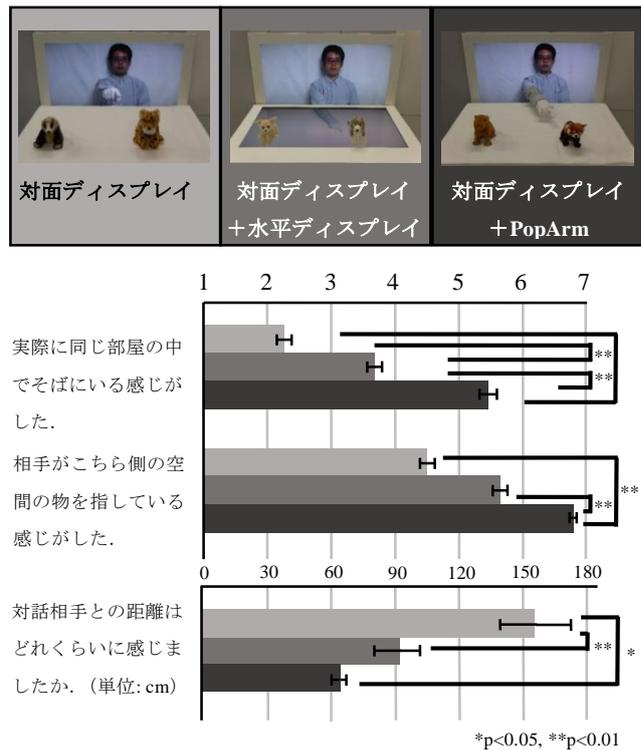


図4 実験結果

Figure 4 Result of the experiment.

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。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。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身体部位の長さの変化によって対人距離が変化するのかを検証するのが今後の課題である。

5. おわりに

本研究では, 遠隔地にいる対話相手の腕が映像から飛び出したかのように見える遠隔指差し用のロボットアームである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ることができる。これにより, 映像を介して指示する場合よりも, 映像内の操作者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。しかし、対話相手との距離感是指先からの距離に強く影響されたと考えられる。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。

謝辞 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（研究領域：共生社会に向けた人間調和型情報技術の構築）」、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」からの支援を受けた。

参考文献

- 1) Finn, K.E., Sellen, A.J. and Wilbur, S.B., "Video-Mediated Communication, Lawrence Erlbaum Associates," (1997).
- 2) Fraser M., McCarthy M., Shaukat M., and Smith P., "Seconds Matter: Improving Distributed Coordination by Tracking and Visualizing Display Trajectories," Proc. CHI 2007, pp. 1303-1312, (2007).
- 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) Gutwin C. and Penner R., "Improving interpretation of remote gestures with telepointer traces," Proc. CSCW 2002, pp. 49-57, (2002).
- 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) Izadi S., Agarwal A., Criminisi A., Winn J., A. Blake, 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).
- 7) Kuzuoka H., Oyama S., Yamazaki K., Suzuki K., and Mitsuishi M., "GestureMan: a mobile robot that embodies a remote instructor's actions," In Proc. ACM Press 2000, pp. 155-162, (2000).
- 8) 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).
- 9) Nakanishi, H., Murakami, Y. and Kato, K.: Movable Cameras Enhance Social Telepresence in Media Spaces. Proc. CHI 2009, pp.433-442, (2009).
- 10) Nakanishi, H., Tanaka, K. and Wada, Y.: Remote Handshaking: Touch Enhances Video-Mediated Social Telepresence. Proc. CHI 2014, (2014).
- 11) Ou J., Chen X., Fussell S., and Yang J., "DOVE: Drawing over video environment," Proc. Multimedia 2003, pp. 100-101, (2003).
- 12) Pauchet A., Coldefy F., Lefebvre S., Louis Dit Picard S., Perron L., Bouguet A., Collobert M., Guerin J. and Corvaisier D., "TableTops: worthwhile experiences of collocated and remote collaboration," Proc. TABLETOP 2007, pp. 27-34, (2007).
- 13) Prussog, A., Muhlbach, L. and Bocker, M.: Telepresence in Videocommunications. Proc. Annual Meeting of Human Factors and Ergonomics Society, pp.25-38 (1994).
- 14) Tang J. and Minneman S., "VideoDraw: a video interface for collaborative drawing," Proc. CHI1990, pp. 313-320, (1990).
- 15) Tang J. and Minneman S., "VideoWhiteboard: video shadows to support remote collaboration," Proc. CHI 1991, pp. 315-322(1991).
- 16) A. Tang, C. Neustaedter, and S. Greenberg, "Videoarms: embodiments for mixed presence groupware," Proc HCI 2006, pp. 85-102, (2006).
- 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) 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).