

腕を実体化する身体拡張型ビデオ会議による同室感の強化

大西裕也^{*1} 小峯俊彦^{*2} 中西英之^{*1}

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、二つの空間を分離させているため、対話相手と同じ空間にいる感覚が低下する。この問題を解決するため、我々はビデオ会議に身体の代替であるロボットアームを組み合わせることで同室感の強化を図る。本研究では、ローカル側にいる自分の腕、及びリモート側にいる相手の腕を2つの空間の境界として、それぞれ異なる身体の実体化の手法を行い、被験者内実験によって比較を行った。結果より、身体の実体化の手法は双方とも従来のビデオ会議に比べ同室感が強化されるが、相手の腕を実体として提示することがより同室感を強化することがわかった。

Embodying User's Arm in the Body Expansion Type Videoconferencing Enhances Social Telepresence

YUYA ONISHI^{*1} TOSHIHIKO KOMINE^{*2}
HIDEYUKI NAKANISHI^{*1}

Abstract: Videoconference has a display, which separates the remote space and the local space. In addition, this boundary reduces the sense that a participant feels as if he/she meets with conversation partner in the same room. To solve this problem, we tackled to embody the user's body in videoconference to enhance social telepresence. In this research, we set the boundary at the local user's arm and the remote user's arm, and we set the different embodied mechanism. We compared these designs by the within-subjects experiment. We found that both designs enhance social telepresence than ordinary videoconference, and embodying remote partners arm enhances social telepresence than embodying participant's arm.

1. はじめに

ビデオ会議は、実際に対面して会話する時と比べ対話相手の存在感が低下する[14]。そのため、遠隔地にいる人と同じ部屋にいる感覚[3]が欠落する恐れがある。我々は、遠隔地側であるリモート空間とユーザ側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、二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、ビデオ会議に握手用ロボットアームを組み合わせ、身体接触を負荷することによって同室感を強化させ[6]、さらに、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のみでも、同室感を向上することを分かっている[7]。これらの研究はリモート空間にいる対話相手の身体の一部がローカル空間に実体として提示されたことによって、同室感に有効に働いたと考えられる。しかし、ローカル空間にいるユーザの身体がリモート空間に実体として提示されたことによる効果は明らかになっていない。本研究ではビデオ会議におけるリモート空間での身体の実体化とローカル空間での身体の実体化の双方を比較することで同室感に与える影響を検証する。

対話相手の映像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提案されてきた。ClearBoard [4]や Video Whiteboard [12]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、机に映像を表示する方法が提案されている。DIGITABLE では、従来のビデオ会議に加えて机上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[9]。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、身体の実体提示をすることで同室感を強化するために様々な研究が行われている。ビデオ会議に相手の身体や把持している物を実体化する方法[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[5]。また、HMD を使用して遠隔地にあるロボットを操作し、ロボットの身体接触を操作者にフェードバックさせる方法なども提案されている[10]。しかし、これらの方法は、片方の空間にいるユーザに対してしか評価が行われていない。

^{*1} 大阪大学大学院 工学研究科 知能・機能創成工学専攻

^{*2} 大阪大学 工学部 応用理工学科



図1 身体実体化の2つのデザイン
Figure 1 Two designs of the embodying user's arm.

我々が開発したデバイスは、ビデオ会議と身体の代替となるロボットアームを組み合わせたシステムである。リモート空間を映すディスプレイは、対話相手の上半身を等身大で映す。ロボットアームはローカル空間とリモート空間の境界に応じて提示の方法が異なる。システムの概念図を図1に示す。以下、ローカル側にいる実験の参加者を被験者、リモート側にいる対話相手を実験者と記す。2つの空間の境界を被験者側に設定した場合は、被験者の腕を空間の境界とし、実験者側の空間である映像内に被験者の動きと同期したロボットアームが表示される（身体拡張条件）。2つの空間の境界を被験者側と実験者の中間に設定した場合は、被験者と実験者の両方の空間にロボットアームを使用しない（ビデオ会議条件）。ビデオ会議条件は従来のビデオ会議と位置づけ統制条件として設定した。2つの空間の境界を実験者側に設定した場合は、実験者の腕を空間の境界とし、被験者側の空間に実験者の動きと同期したロボットアームが設置されてある（実体提示条件）。

身体拡張条件では、被験者の指示動作がリモート空間に反映される。これはラバーハンドイリュージョン[2]のように別の空間にある腕を自身の腕である錯覚を発生させることで、被験者がリモート空間にいる感覚を向上させ同室感が強化されると期待できる。一方で、実体提示条件では、実験者の指示動作がローカル空間に反映されることで、実験者がローカル空間にいる感覚を向上させ同室感が強化されると考えられる。本研究では、これらの3条件を被験者内実験によって比較することで、それぞれの条件が同室感に与える影響を検証する。

2. 構造

2つの空間の境界を被験者側に設定した場合（身体拡張条件）では、ロボットアームはリモート空間に設置し、被験者の指示行為に同期してローカル空間のディスプレイに映し出されたロボットアームが同期して動く。被験者がロボットアームを動作させている様子を図2に示す。ローカル空間のディスプレイの上にKinectを設置し、骨格検知の機能によって被験者の右腕の動きをトラッキングする。検

知された右腕の肩と指先の位置情報を基に、被験者の右腕の動きとリモート空間にあるロボットアームに同期させる。ロボットアームは、腕を上下に動かすピッチ方向と腕を左右に動かすヨー方向の2自由度で動く。被験者は自身が腕を上げた時にロボットアームを映像内で確認することができ、右腕を左右に振ることでロボットアームの同期を確認することができる。

2つの空間の境界を被験者側と実験者の中間に設定した場合（ビデオ会議条件）は、一般的なビデオ会議と同じ状況となる。そのため両空間にロボットアームは設置しない。

2つの空間の境界を実験者側に設定した場合（実体提示条件）では、ロボットアームはローカル空間に設置し、位置決め装置とロボットアームの回転機構の2自由度で動く。実験者がロボットアームを動作させている様子を図3に示す。ローカル空間のディスプレイの下に直動位置決め装置を設置し、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ヨー方向に回転する機構を備えている。実験者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、映像内の実験者の腕はクロマキー合成によって消去する。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。

3. 実験

本研究で被験者の空間と実験者の空間の境界に応じて、同室感にどのような影響を及ぼすのかを検証する。実験では図4に示す3つの条件を被験者内実験により比較する。

3.1 実験内容

実験では、ぬいぐるみに関してクイズを含む簡単な会話をし、その間実験者と被験者の双方が指差しを行うタスクに設定した。また身体拡張条件において、被験者が右腕を上げないと映像内のロボットアームを見ることができない。そのため、映像内の表示されたロボットアームが自身の腕と同期して動くことを事前に被験者に確認させた。また、全条件で被験者に腕を上げて指示をしてもらうように促し

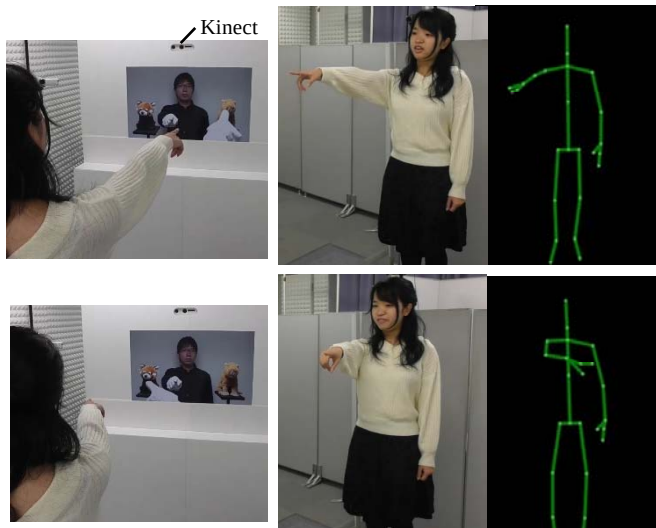


図2 実験の様子（身体拡張条件）

Figure 2 Snapshots of experiment (Body Expansion).



図3 実験の様子（実体提示条件）

Figure 3 Snapshots of Experiment (Embodying Arm).

た。被験者に3つの条件を体験してもらったが、順序効果による影響を避けるために、カウンタバランスをとり実験を実施した。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、同室感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くした。

3.2 実験環境

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った。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。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[11]、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、同室感が強化されることがわかっている。そのため、実験前に被験者の目線の高さを測定し、実験者と被験者の目線の高さが一致するように、実験中は被験者の目線の高さを175cmで統一した。また、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、実験者の顔の縦の長さが22cmとなるように調節した。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。また、被験者の立つ位置は、Kinectが被験者の腕の動きを十分に検知できるようにするためディスプレイから180cmの位置に設定した。

3.3 アンケート

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、条件間での映像や音声、会話内容、実験者の指示行為のクオリティの差が実験結果に影響を与えなかったことを確かめるため、下記の質問項目を設定した。

Q1 映像は十分にきれいだと感じた。

Q2 音声は十分にきれいだと感じた。

Q3 対話相手の説明は分かりやすかった。

Q4 対話相手がどこを指しているか分かりやすかった。

また同室感に関して尋ねる質問として、以下の質問項目を設定した。

Q5 あたかも同じ部屋の中で対話相手が目の前にいるように感じた。

Q6 あたかも同じ部屋の中で対話相手と会話しているように感じた。

Q7 あたかも相手の部屋に自分がいるように感じた。

Q8 あたかも自分の部屋に相手がいるように感じた。

Q9 対話相手との距離はどのくらいに感じましたか。

質問項目では7段階のリッカート尺度を用いた。また最後の距離感の質問項目では、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。

3.4 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18名（男性9名、女性9名）に実験に参加してもらった。

3.5 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。

被験者に各条件の違いを確認するために、アンケート後のインタビューの冒頭で、「3回システムを体験しましたがそれぞれどのような状況であったか違いを説明してください」と「n回目（身体拡張条件）の時、対話相手から見たらどのように見えていたと思いましたか」と質問をした。すべての被験者は身体拡張条件と実体提示条件は対の関係、つまり逆の状況であったと認識していたことを確認した。

アンケートの結果より、実験の映像、音声、会話内容、実験者の指示行為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、それによって他の質問に影響がなかったことを確認した。

同じ部屋で目の前にいる感覚であるQ5では、

($F(2,17)=16.24, p<.01$)で有意な差が見られた。多重比較の結果、身体拡張条件がビデオ会議条件よりも高いことが分かった ($p<.01$)。さらに、実体提示条件がビデオ会議条件よりも高く ($p<.01$)、身体拡張条件よりも高いことが分かった ($p<.05$)。また、同じ部屋で会話している感覚である Q6 では、($F(2,17)=10.49, p<.01$)で有意な差が見られた。多重比較の結果、ビデオ会議条件が他の条件よりも低いことが分かった (共に $p<.01$)。また、相手の部屋に自分がいる感覚である Q7 で ($F(2,17)=13.41, p<.01$)で有意な差が見られた。多重比較の結果、身体拡張条件が他の条件よりも高いことが分かった (身体拡張条件－ビデオ会議条件間で $p<.01$, 身体拡張条件－実体提示条件間で $p<.05$)。さらに、自分の部屋に相手がいる感覚である Q8 で ($F(2,17)=25.06, p<.01$)で有意な差が見られた。多重比較の結果、実体提示条件が他の条件よりも高いことが分かった (共に $p<.01$)。

対話相手との距離感である Q9 においても有意な差が見られ($F(2,17)=12.56, p<.01$)、多重比較の結果、ビデオ会議条件が他条件より高いつまり相手を遠くに感じる事が分かった (ビデオ会議条件－身体拡張条件間で $p<.05$, ビデオ会議条件－実体提示条件間で $p<.01$)。

4. 考察

同じ部屋で目の前にいる感覚 (Q5) 及び同じ部屋で会話している感覚 (Q6) の質問項目では、身体を実体化した身体拡張条件と実体提示条件がビデオ会議条件よりスコアが高くなった。さらに対話相手との距離感 (Q9) の質問項目でも身体を実体化した身体拡張条件と実体提示条件が従来のビデオ会議より対話相手を近くに感じたことがわかった。これにより従来のビデオ会議より身体を実体化することが同室感を強化することが分かった。しかし、目の前にいる感覚では身体拡張条件が実体提示条件より低くなった。インタビューより、身体拡張条件が実体提示条件よりスコアが低くなった理由として、ディスプレイ内に映されたロボットアームと自身の腕が2つ見えてしまったこと、服の色が異なっていたことが挙げられた。これらの問題を解決することで身体拡張条件は実体提示条件と同等の同室感を得られるポテンシャルを秘めていることがわかった。一方で、身体拡張条件において自身の腕と映像内のロボットアームが同期したことによって、まるでリアルな一人称視点のゲームをしているようであると答えた被験者がいた。本実験では短い時間の会話を行うタスクを設定したが、ロボットアームを動かす時間を長くすることで、同室感を強化できる可能性がある。

また、実体提示条件のみぬいぐるみが被験者側の空間に置いてあった。そのため、条件の要因は身体の代替であるロボットアームの提示方法の違いと、ぬいぐるみが置いてある場所の違いになった。インタビューにおいて、ぬいぐるみの置いてあった場所が実験者側の空間か被験者側の空

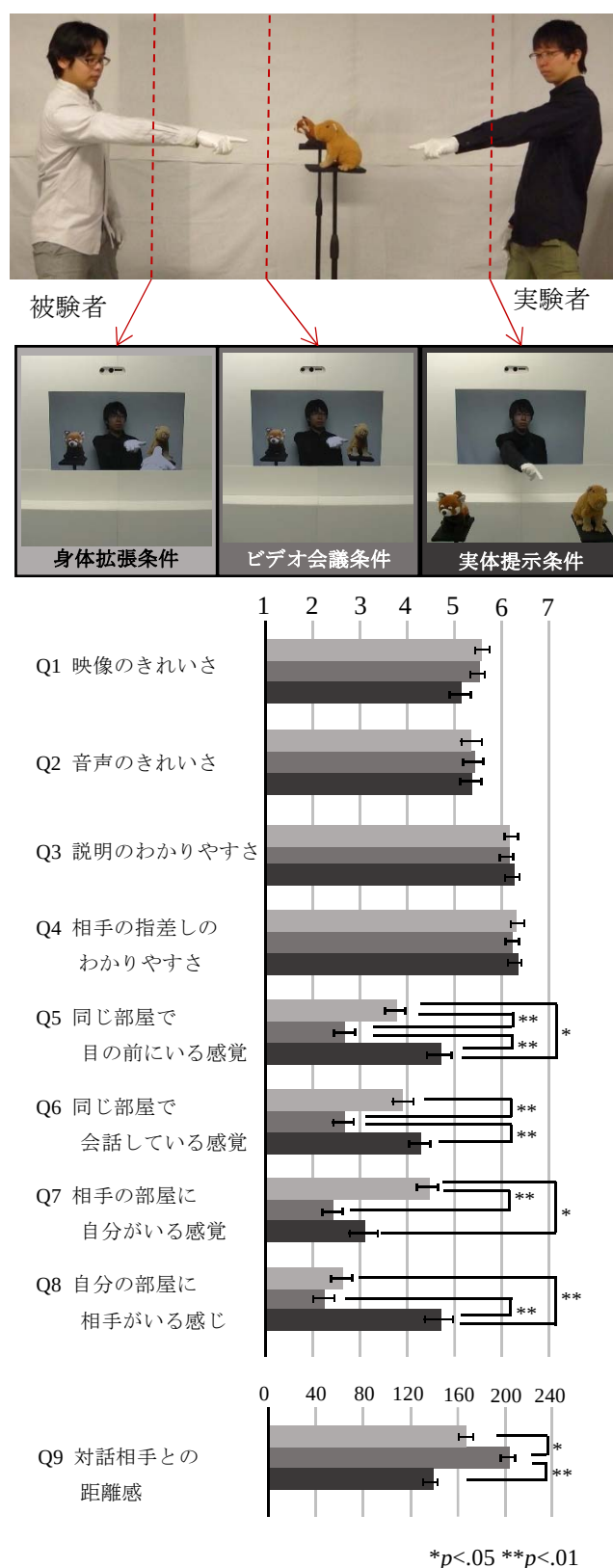


図4 実験のアンケート結果

Figure 4 Results of Experiment.

間かの違いによって同室感 (Q4, Q5) のスコアに影響しなかったことをほぼすべての被験者から確認したが、距離感 (Q9) のスコアに影響した被験者もいた。ぬいぐるみが置

いてある位置による同室感及びその他の質問項目への影響を調べることは今後の課題である。

また、相手の部屋に自分がいる感覚（Q7）では身体拡張条件が、自分の部屋に相手がいる感覚（Q8）では実体提示条件が他のスコアよりも高くなった。このことから、ロボットアームによる身体の実体化がビデオ会議に有効であることを示された。つまり、ローカル空間にいるユーザにどのような錯覚をさせたいかという目的によってロボットアームの表現方法を変えることが有効である。

5. おわりに

本研究では、ビデオ会議におけるローカル空間とリモート空間の境界を自分の腕（身体拡張条件）、自分と相手の中間（ビデオ会議条件）、相手の腕（実体提示条件）の3種類に設定し、境界に応じて異なるロボットアームの提示を行った。実験より、ロボットアームを提示した2つの条件が従来のビデオ会議の条件より同室感を強化することがわかった。さらに実体提示条件は身体拡張条件より同室感が強化されることがわかった。身体の実体提示が同室感に強く影響することがわかったが、実体の提示方法の違いによって同じ部屋の定義が、自分がいる空間に基づくのか相手がいる空間に基づくのか異なることもアンケートやインタビューから得ることができた。ローカル空間にいるユーザにどのような錯覚をさせたいかという目的によってロボットアームの提示方法を変えることが有効である。

謝辞 本研究は、JSPS 科研費 JP26280076、科学技術融合振興財団、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] Botvinick, M., and Cohen, J.: "Rubber hands 'feel' touch that eyes see," Nature, 391,756, (1998)
- [3] De Greef, P. and Ijsselstein, W.: Social Presence in a Home Tele-Application, In Proceedings of Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking 2001, pp. 307-315, (2001)
- [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] 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)
- [6] Nakanishi, H., Tanaka, K. and Wada, Y.: Remote Handshaking: Touch Enhances Video-Mediated Social Telepresence. Proc. CHI 2014, pp.2143-2152, (2014)
- [7] Onishi, Y., Tanaka, K. and Nakanishi, H.: Embodiment of Video-mediated Communication Enhances Social Telepresence, Proc. HAI2016, pp.171-178, (2016)
- [8] Onishi, Y., Tanaka, K., and Nakanishi, H.: Spatial Continuity and Robot-Embodied Pointing Behavior in Videoconferencing. Proc. CRIWG2017, pp. 1-14, (2017)
- [9] 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)
- [10] Susumu, T., Telexistence: Enabling Humans to be Virtually Ubiquitous, Computer Graphics and Applications, vol. 36, No.1, pp.8-14, (2016)
- [11] 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)
- [12] 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)