

## 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

### Development of a Robot Arm for Embodying Video-Mediated Pointing Behaviors

2157002



研究代表者

大阪大学

博士後期課程

大西 裕也

#### [研究の目的]

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。そのため、遠隔地にいる人と同じ部屋にいる感覚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。これまでの研究では、身体の代替であるロボットアームをビデオ会議に組み合わせることにより、ソーシャルテレプレゼンス（遠隔地にいる相手とあたかも対面している感覚）の強化を図ってきた（図1）。これは、対話相手の映像と実体として提示したロボット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、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。また、この研究ではあらかじめ対話相手を表示するディスプレイの前にデバイスが置かれたままであった。また、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かった。

本報告書では、以下の3つの内容を検証した。  
1. 遠隔地の空間とユーザ側の空間の連続性を示した上で、身体の実体化以外の手法と比較しソーシャルテレプレゼンスに与える影響を検証した。  
2. 映像内で提示されていた物や相手の身体の一部が会話の途中で実体として出現する実体重量型ビデオ会議を開発・評価を行った。  
3. 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ソーシャルテレプレゼンスに与える影響を検証した。

#### [研究の内容、成果]

##### 〈研究1〉

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



図1 提案するシステムの外観

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。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つの被験者内実験を実施し、段階的に評価を行った。被験者は実験1では18人、実験2では12人、実験3では11人の合計41人に参加してもらった。また、各被験者は実験1-3のいずれかに参加してもらった。実験では、指示する対象物であるぬいぐるみを設置し、それに関して簡単な会話と質問をするタスクを設定した。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。代表的なアンケート結果を図2に示す。上図、中図、下図はそれぞれ実験1、実験2、実験3に対応する。それぞれの実験において、3つの条件は、一要因分散分析を用いて比較した。質問項目では7段階のリッカート尺度を用いた。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1の結果より、通常のビデオ会議である垂直条件は他の条件に比べスコアが下回る結果となった ( $F(2,17) = 12.698, p < .01$ )。多重比較の結果はそれぞれ、 $p < .01, p < .01$ )。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。実験2では、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、レーザー条件は、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 ( $F(2,11) = 5.111, p < .01$ )。多重比較の結果はそれぞれ  $p < .05, p < .1$ 。これは、レーザー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の結果より、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 ( $F(2,10) = 11.59, p < .01$ )。多重比較の結果はそれぞれ、 $p < .05, p < .1$ )。インタビューによると、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。

## 〈研究2〉

これまでの実験で使用したデバイスは、遠隔地の空間とユーザ側の空間の視覚的な差異を少なくし、実体として提示ことで相手の存在感を強化してきた。つまり、相手空間の人・物を実体化することによって存在感が向上し、ソーシャルテレプレゼンスを強化することができる可能性がある。本研究は、物・人さらにそれらが映像から出現する時の存在感を調査することで、ソーシャルテレプレゼンスを強化する要因を明らかにする。

システムの構造について説明する。遠隔地にいる対話相手の空間を映す2つのディスプレイは顔映像と手元映像を表示し、さらに遠隔対話

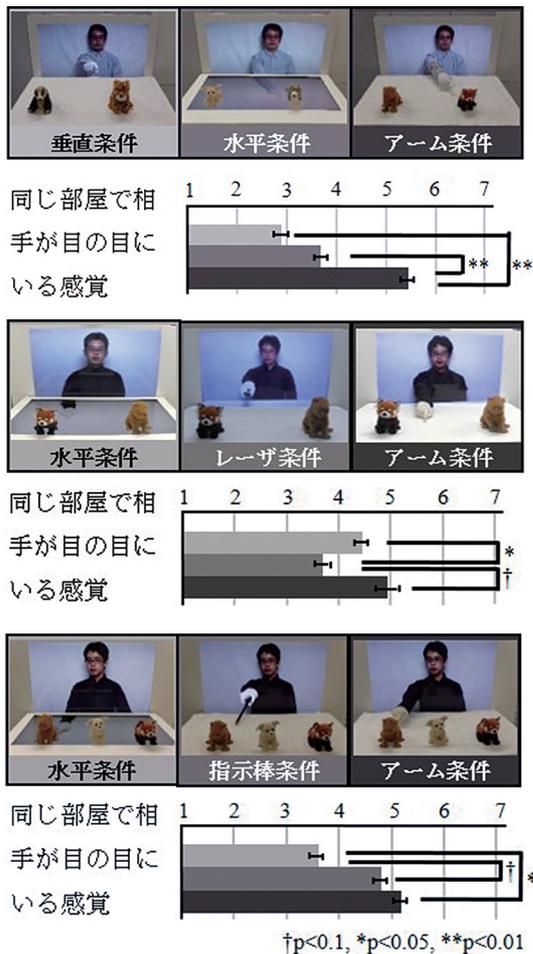


図2 研究1のアンケート結果

相手とユーザの間には机を設置し、手元映像を映すディスプレイにもそれを表示している。ロボットアームは手元を映すディスプレイに遮られて見ることができない位置に設置している。図3にシステムの外観を示す。ロボットアームは、スライドレールを含むリンク機構で構成されており、サーボモータの回転により手前や奥方向に伸縮する。

システムの有効性を評価するため、実体の出現する範囲を要因とした1要因3条件で被験者内実験を実施した。各条件を体験した後、アンケートとインタビューを実施した。代表する結果を図4に示す。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。結果より、スコアに有意な差が見られ ( $F(2, 15) = 18.8, p < .01$ )、多重比較の結果、物+人実体条件が他条件より高いことが分かった (それぞれ、 $p < .01, p < .05$ )。さらに、物実体条件が映像条件よりも高いことがわかった ( $p <$

.05)。これより、何らかの物体の実体として提示するによって相手の動作が想像される場合には、同室感が強化されることが分かった。また、実体であるぬいぐるみやロボットアームが出現した時にぬいぐるみに触れようとする被験者が8名いたことから、存在感や同室感が強化される他に、映像のみでは発生しない心理が働く可能性が考えられる。

### 〈研究3〉

先行研究では、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。本システムでは、身体を実体化する側(身体拡張型)と身体を実体化される側(身体提示型)の2つデザインがあり、ロボットアームの提示の方法がそれぞれ異なる(図5)。身体拡張型では、ロボットアームはリモート空間に設置し、ディスプレイの上にKinectを設置してある。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



図3 実体重畳型ビデオ会議の外観

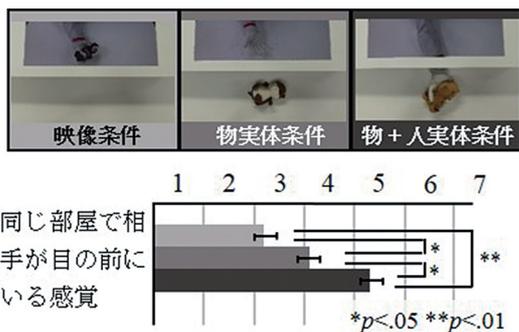


図4 研究2のアンケート結果

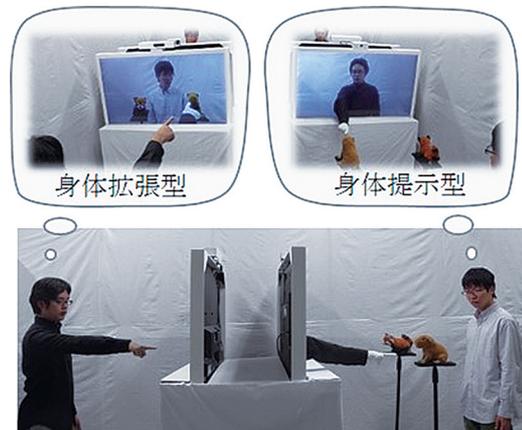


図5 実体化の2つのデザイン

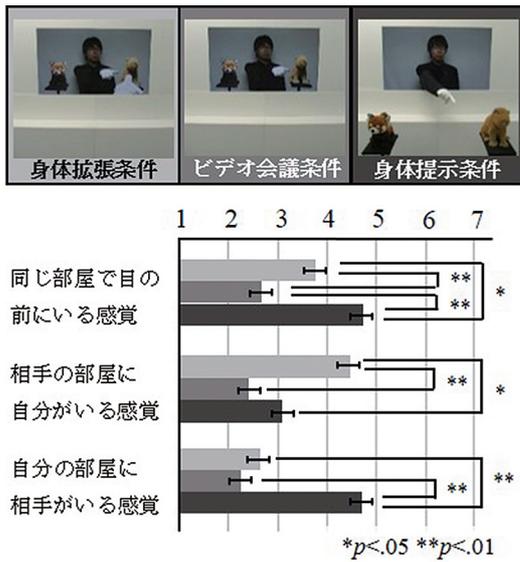


図6 研究3のアンケート結果

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。身体提示型では、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。これは、これまでの研究で開発したデバイスと同様のシステムである。

実験者と被験者の2人の境界位置を要因とした1要因3条件で被験者内実験を実施した。代表する結果を図6に示す。同じ部屋で目の前にいる感覚では、 $(F(2,17)=16.24, p<.01)$ で有意な差が見られた。多重比較の結果、ビデオ会議条件よりも提案する2つの条件が高いことが分かった(共に $p<.01$ )。さらに、身体拡張条件よりも身体提示条件のスコアが高いことが分かった( $p<.05$ )。また、相手の部屋に自分がいる感覚では、 $(F(2,17)=3.41, p<.01)$ で有意な差が見られ、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(それぞれ $p<.01, p<.05$ )。さらに、自分の部屋に相手がいる感覚では、 $(F(2,17)=25.06, p<.01)$ で有意な差が見られた。多重比較の結果、身体提示条件が他の条件よりも高いことが分かった(共に $p<.01$ )。インタビューより、目の前にいる感覚において身体拡張条件が身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や服の色が異なっていたことなどが挙げられた。これらの問題を解決することで身体拡張条件は身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。また、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。

#### [今後の研究の方向, 課題]

本研究では、身体以外での空間連続性を示した上で身体の実体化以外の手法との比較、実体重畳型ビデオ会議の開発・検証、2者間境界位置の違いによる同室感の評価を行った。これらの研究はいずれもシステムを初めて見た人を被験者とし評価を行ってきた。そのため、これらのデバイスを継続的に使用した場合、本報告書で述べた結果が持続するとは限らない。提案するシステムを長期的に使用した場合の効果について調査することも今後の課題である。

#### [成果の発表・論文等]

##### 〈論文誌〉

1. 大西裕也, 田中一品, 中西英之, 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, 情報処理学会論文誌, Vol. 57, No. 1, pp. 228-235, 2016.

##### 〈査読付き国際会議〉

1. Onishi, Y., Tanaka, K. and Nakanishi, H.: Spatial Continuity and Robot-Embodied Pointing Behavior in Videoconferencing, Proc. CRIWG 2017, pp. 1-14. **採択率 57.6%, Best Student Paper Award 受賞**
2. Onishi, Y., Tanaka, K. and Nakanishi, H.: Embodiment of Video-mediated Communication Enhances Social Telepresence, Proc. HAI2016, pp. 171-178. **採択率 43.9%**

##### 〈査読なし国内会議〉

1. 大西裕也, 田中一品, 中西英之, 映像から身体が出現する実体重畳型ビデオ会議による同室感の強化, HAI シンポジウム 2017.

- 学生奨励賞受賞
2. 大西裕也, 田中一晶, 中西英之, 遠隔指示において実体はどこまで必要なのか?, HAI シンポジウム 2016, G-10, 2016.
3. 猪股誠至, 大西裕也, 中西英之, 対面会話感覚創出のための回転物体遠隔操作システム, 第 30 回人工知能学会全国大会, 1E2-4in1, 2016.
- 〈ワークショップでの発表〉
1. Yuya Onishi, Kazuaki Tanaka, and Hideyuki Nakanishi. Appearance of Physical Embodiment in Overlay-Type Videoconferencing. HAI2017 Workshop on Next Generation Human-Agent Interaction (NGHAI2017), 2017.
  2. 大西裕也, 小峯俊彦, 中西英之, 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, インタラクション 2018.  
プレミアム発表 (採択率 **18.6%**)
  2. Yuya Onishi, Takahiro Yamaguchi, Kazuaki Tanaka, and Hideyuki Nakanishi, Robot Arms for Embodying Video-Mediated Nonverbal Communication, The 24th International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN 2015), 2015.