

小型遠隔対話用ディスプレイの運動が社会的テレプレゼンスに与える影響に関する研究

遠藤優^{†1} 川口一画^{†1} 葛岡英明^{†1} 鈴木雄介^{†2}

映像を用いた遠隔対話において、遠隔参加者を表示した大型のディスプレイを前後に動かすことによって、遠隔参加者の社会的テレプレゼンスが向上することが知られている。本研究では、遠隔者の動きに同期して、小型ディスプレイの前後運動と回転運動を行う装置を作成し、その動作の種類と大きさが社会的テレプレゼンスに与える影響について調査を行った。その結果、ディスプレイの 50 mm の前後運動と 20 ° の回転運動が社会的テレプレゼンスの向上に十分であることが明らかとなった。

Study on Effects of Small-Display Movement on Social Telepresence

YU ENDO^{†1} IKKAKU KAWAGUCHI^{†1}
HIDEAKI KUZUOKA^{†1} YUSUKE SUZUKI^{†2}

It is pointed out that, for video communication, the movement of a large display that shows the remote participant enhance social telepresence. In this study we developed a display that moves back and forth and rotates right and left in synchronization with the remote participant's movement, and investigated the effect of types and amount of a small display's movement on social telepresence. As a result, we found that 50 mm back and forth movement and 20 degrees rotation of the display were enough to enhance social telepresence.

1. はじめに

情報通信技術の発達に伴い、映像と音声を用いた遠隔対話システムが広く普及し、日常的な会話から、仕事での会議など様々な場面で使用されている。従来の遠隔対話システムでは対話者を表示したディスプレイは静止しているのが一般的であるが、ディスプレイの中に表示される対話者の動作は、同じ部屋に対話者がいる場合と比較して目立ちにくいという問題点がある[1]。

そこで、従来の遠隔対話システムの発展した形としてテレプレゼンスロボットが多く開発されている[6][7]。テレプレゼンスロボットは、対話者を表示したディスプレイの回転やロボット全体の移動などによって対話者の身体的動作を表現することができるため、映像のみでは目立ちにくい身体的動作などの非言語情報の伝達や対話者の存在感の向上などの効果が期待されている。その中でも特に、「実際に同じ空間で対話しているような感覚の度合い」である社会的テレプレゼンス[2]は遠隔地の人との対話において重要な要素の一つである。

社会的テレプレゼンスに関する研究として、中西らはディスプレイの前進・後退に着目し、遠隔参加者を表示した 30 インチのディスプレイの 6 cm の前進・後退が、遠隔参

加者の動きに同期しているかどうかに関わらず、遠隔参加者の社会的テレプレゼンスの向上に効果があると述べている[3]。しかし、この研究で使用されたディスプレイは、動作させるには大きく、実際の遠隔対話では汎用性の点で問題があると考えられる。また、ディスプレイの動作は 60 mm の前進・後退のみに限定されており、動作の種類や大きさによる効果の違いについては調査されていない。

そこで我々は、テレプレゼンス用のディスプレイとして広く使われている 10 インチ程度のディスプレイを用いて、対話者の前後運動と、左右の振り向き動作をディスプレイの動作によって表現することで、社会的テレプレゼンスがどの程度向上するかを調査することとした。このとき、各動作の動作幅による影響の違いを細かく検証することで、卓上などの限られたスペースで動作するテレプレゼンスロボットの開発に有用な知見が得られると考えた。そこで本研究では、比較的小型のディスプレイを使用し、対話者に同期したディスプレイの前進・後退と左右への回転運動が社会的テレプレゼンスに与える影響を調査することを目的とする。また、それぞれの動作でいくつかの動作幅を設定し、動作の大きさによる影響の違いについても調査する。

2. 関連研究

遠隔対話を支援するシステムとして、遠隔地にいる対話者の移動やジェスチャを表現するテレプレゼンスロボットの研究が行われてきた。Paulos ら[4]は、PRoP を開発し、遠隔地とのコミュニケーションとテレプレゼンスの関係について報告している。葛岡ら[5]は、GestureMan を開発し、

^{†1} 筑波大学大学院システム情報工学研究科
Graduate School of System and Information Engineering,
University of Tsukuba

^{†2} 沖電気工業株式会社 研究開発センター
Oki Electric Industry Co.,Ltd. Corporate Research and Development Center

ロボットの頭部が遠隔者の頭の向きと連動して視線の向きを表現することの効果について報告している。しかしこれらの遠隔対話ロボットは大きく、限られたスペースで行われる小規模な遠隔対話には導入が困難であると考えられる。

一方、Yankelovich ら[6]が開発した Porta-Parson は卓上で使用できる大きさである。これは、遠隔者の顔を表示したディスプレイとカメラが左右に回転し、操作者の視線方向を示す。また、Adalgeirsson ら[7]は Mebot を開発した。これもまた、卓上で使用を想定した大きさのテレプレゼンスロボットであり、遠隔者の操作に同期して腕と頭部が動作することで、身体動作を表現することが可能である。Adalgeirsson らは、Mebot を用いてロボットが遠隔者のジェスチャを表現することによる効果を報告している。しかしこれらの研究では、ディスプレイの回転や移動による社会的テレプレゼンスへの影響については議論されていない。

このように、遠隔地にいる人とのコミュニケーションを支援するロボットが開発され、ロボットの様々な動作による効果が研究されている。しかし、大きなロボットは使用できる場所が限られ、小規模な遠隔対話には向いていない。また、卓上で使用できるような比較的小さなテレプレゼンスロボットも開発されているが、搭載されたディスプレイの動作が社会的テレプレゼンスに与える影響については検証されていない。そこで本研究では、卓上で遠隔対話に利用可能な小型のテレプレゼンスロボットの開発を想定し、10 インチ程度のディスプレイの動作が社会的テレプレゼンスに与える影響を実験によって検証する。

3. 実験

遠隔対話における小型ディスプレイの前後運動・回転運動が社会的テレプレゼンスに与える影響を調べるために行った被験者実験について述べる。動作の種類と大きさによる影響の違いを調べるため、前後・回転運動それぞれで動作の大きさを変えて実験を行った。なお、本実験で設定したタスクや評価方法は、大型ディスプレイを用いて同様の調査を行った中西らの実験方法を参考にして計画した[3]。被験者は大学内の大学生・大学院生 13 名(全員男性, 22~24 歳)である。

3.1 実験の概要

遠隔対話の中で人の前進・後退や回転運動を自然に行うために、写真を用いて研究室内のロボットの説明を複数回繰り返すというタスクを設定し、実験者が説明者を演じた。説明者とディスプレイの動作を図 1 に示す。前後運動を行う場合は、説明者は椅子を引いて後退し、後方においてあるロボットの写真を取ってから前進して元の位置に戻り説明を始める。この時の説明者の前後運動の距離は 100 cm とした。回転運動を行う場合は、説明者は椅子を回転させて右を向き、横においてあるロボットの写真を取ってから

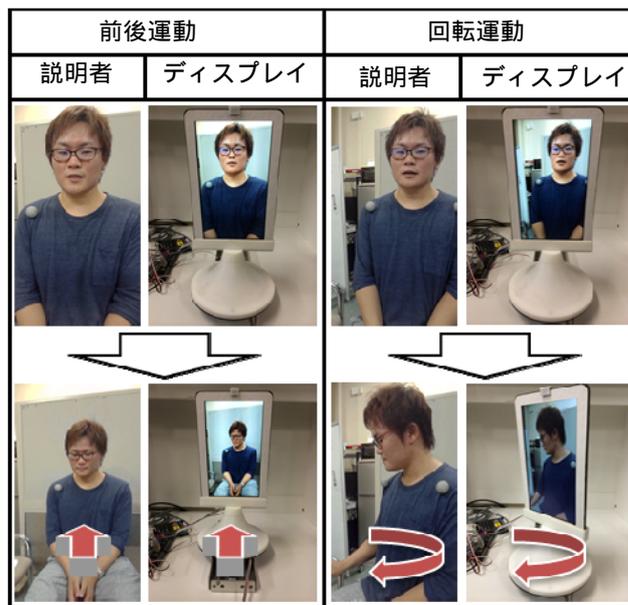


図 1 説明者とディスプレイの動作
 Figure 1 Movement of explainer and display

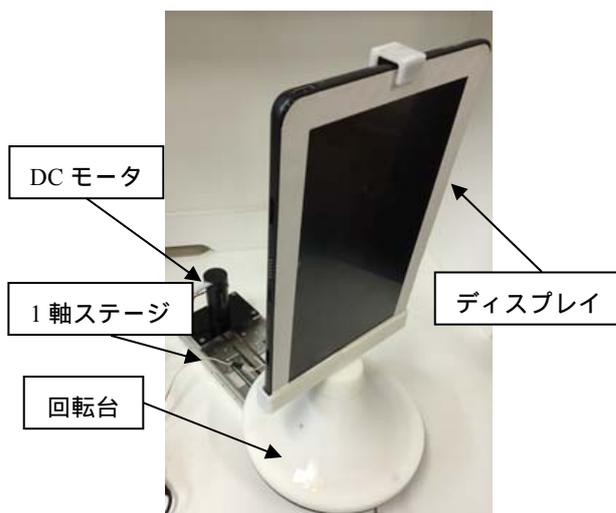


図 2 実験装置
 Figure 2 Equipment for the experiment

正面に向き直って説明を始める。この時の説明者の回転運動の角度は 45° とした。説明者を表示したディスプレイは、説明者の動作に合わせて前後運動・回転運動させた。説明者の移動時間や動作の大きさを一定にし、対話環境のばらつきによる印象の変化をなくすために、予め遠隔対話を想定した環境で説明者の動画を撮影し、被験者がその動画を視聴することで擬似的な遠隔対話を行った。

3.2 実験装置

今回作成した実験装置を図 2 に示す。装置後方に取り付けられた DC モータによってタイミングプーリーを回転させ、タイミングベルトによって装置上部を前後に動かすことができる。また、ディスプレイを取り付ける回転台にサ

ーボモータとギヤが内蔵されており、上部に取り付けられたディスプレイを回転させることができる。前後運動と回転運動を一つの装置で行ったのは、装置を変えることでディスプレイの動きが変わることを被験者に想定させないためである。ディスプレイには 10.8 インチのタブレット PC(Dell Venue 11Pro)を使用した。

説明者がロボットについて説明する動画を撮影する際に、説明者にマーカを付け、ステレオラベリングカメラ(CvVerse SLC-C02)を用いて説明者の移動距離・回転角度を計測した。各モータを、計測された移動距離もしくは回転角度に比例した動作量で動かすことにより、映像中の説明者の動作と実験装置の動作を同期させた。

3.3 実験環境

実際の実験環境を図 3 に示す。大学の研究室を実験環境とし、被験者はディスプレイの基準位置から正面方向に 50 cm 離れた位置に設置した椅子に座った。被験者は実験装置のディスプレイに接続されたイヤフォンを通して実験者の発話を聞いた。この際、イヤフォンの上からヘッドフォン型の耳栓(PELTOR OPTIME2)を装着することで装置のモータ音や外部雑音を遮断した。

3.4 実験条件

ディスプレイの前後運動と回転運動の 2 つの要因について、動作の大きさによる社会的テレプレゼンスへの影響の違いを調べるため、それぞれ 4 つの条件で実験を行った。前後運動については、固定、25 mm 移動、50 mm 移動、75 mm 移動の 4 条件とした。また、回転運動については固定、10° 回転、20° 回転、30° 回転の 4 条件とした。各条件における試行の中で、説明者は 3 種類のロボットについての説明を連続して行う。この際、説明者はそれぞれのロボットの説明の前に、そのロボットの写真を取りに行く動作を行うため、1 回の試行の中でディスプレイは 3 回動作を行う。条件間でディスプレイの動作以外の環境を等しくするため、前後運動と回転運動それぞれで説明者の映像は同じ

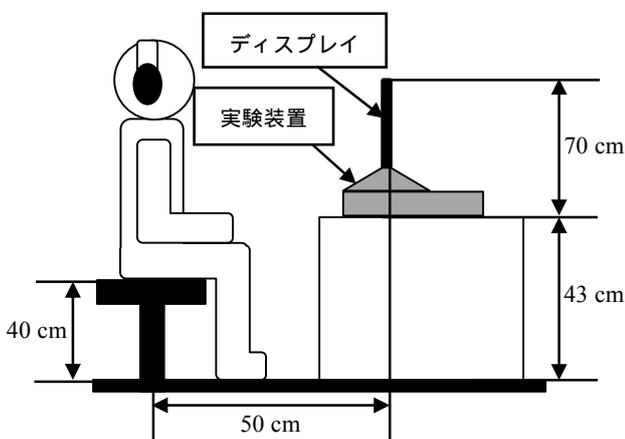


図 3 実験環境

Figure 3 Experimentally environment

ものを使用した。なお、3.1 で述べたとおり、映像中の説明者の前後運動の最大移動距離は 100 cm、最大回転角度は 45° である。各条件の動作幅は、説明者の最大移動距離もしくは最大回転角度に対応したディスプレイの動作の大きさであり、0 mm をディスプレイの基準位置、0° を被験者に対する正面とし、説明者の動きの大きさに比例して動作させた。例えば、50 mm 移動条件の場合、ディスプレイの動作は説明者の動きの大きさの 20 分の 1 になり、説明者が 50 cm 椅子を引いた時にディスプレイは 25 mm 移動する。実験はまず前後運動について 4 条件の試行を行った後、回転運動についても同様に 4 条件ずつの試行を行い、各被験者は合計 8 回の試行を行った。この際、順序効果による影響を避けるため、各動作要因における 4 条件の順序は被験者毎にランダムとした。1 試行あたりの所要時間は約 1 分であり、全体で 15 分程度であった。

3.5 評価方法

被験者には、各条件の実験に対して「社会的テレプレゼンス」に関するアンケートに回答させた。質問項目は、「社会的テレプレゼンスに関する質問項目」を参考にした[3]。アンケートは 9 段階リッカート尺度を用い、1, 3, 5, 7, 9 をそれぞれ「まったくあてはまらない」、「あてはまらない」、「どちらともいえない」、「あてはまる」、「非常にあてはまる」に対応させた。アンケートの質問項目を表 1 に示す。

表 1 社会的テレプレゼンスに関するアンケート

Table 1 Questionnaire for social telepresence

Q1	同じ部屋の中で実際に会話している感じがした
Q2	同じ部屋の中で実際に説明者を眺めている感じがした
Q3	同じ部屋の中で実際に説明者に眺められている感じがした
Q4	同じ部屋の中で実際に写真を眺めている感じがした

4. 実験結果

実験後に行ったアンケート結果をディスプレイの前後運動、回転運動それぞれについて、実験条件(4水準)の 1 要因で分析を行った。今回得られたアンケート結果には正規性が認められず、等分散性も確認できなかったためノンパラメトリック手法である Friedman 検定を行った。有意差が認められた項目に関しては下位検定として Bonferroni 法による多重比較を行った。

前後運動に関して行った実験のアンケート結果を図 4 に示す。Friedman 検定の結果、同じ部屋の中で実際に会話している感覚(Q1)、説明者を眺めている感覚(Q2)、説明者に眺められている感覚(Q3)、写真を眺めている感覚(Q4)、全てについて有意差($p < 0.05$)が認められた。さらに下位検定として多重比較を行った結果、会話している感覚(Q1)、説明者を眺めている感覚(Q2)、説明者に眺められている感

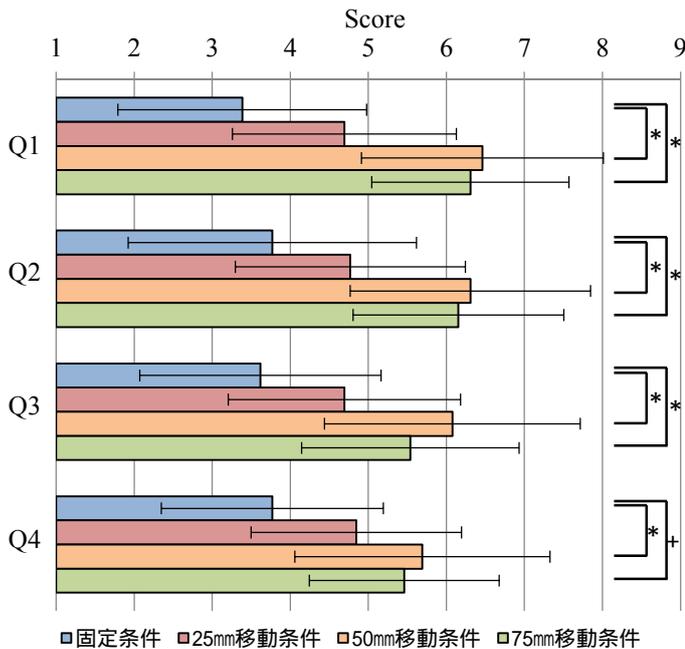


図 4 前後運動についての全回答の平均

Figure 5 Average of all responses for
 back and forth movement

覚 (Q3)について「固定条件- 50 mm 移動条件間」と「固定条件- 75 mm 移動条件間」に有意差 ($p<0.05$) が認められた。写真を眺めている感覚 (Q4)については「固定条件- 50 mm 移動条件間」に有意差 ($p<0.05$) ,「固定条件- 75 mm 移動条件間」に有意傾向 ($p<0.1$) が認められた。

次に、回転運動に関して行った実験のアンケート結果を図5に示す。Friedman 検定の結果、同じ部屋の中で実際に会話している感覚 (Q1)、説明者を眺めている感覚 (Q2)、説明者に眺められている感覚 (Q3)、写真を眺めている感覚 (Q4)、全てについて有意差 ($p<0.01$) が認められた。下位検定として多重比較を行った結果、会話している感覚 (Q1) と説明者に眺められている感覚 (Q3)について「固定条件- 20°回転条件間」に有意差 ($p<0.05$) が認められた。説明者を眺めている感覚(Q2)と写真を眺めている感覚(Q4)については「固定条件- 20°回転条件間」と「固定条件- 30°回転条件間」に有意差 ($p<0.05$) が認められた。また、説明者に眺められている感覚(Q3)については「固定条件- 30°回転条件間」で有意傾向 ($p<0.1$) が認められた。

5. 考察

5.1 ディスプレイの前後運動

アンケートの分析の結果、全ての評価項目で固定条件より 50 mm 移動条件、75 mm 移動条件の評価が有意に高いことが示された。また、50 mm 以上の移動に関しては、50 mm 移動条件と 75 mm 移動条件の結果にほとんど差が見られなかった。これらの結果から、遠隔者に同期したデ

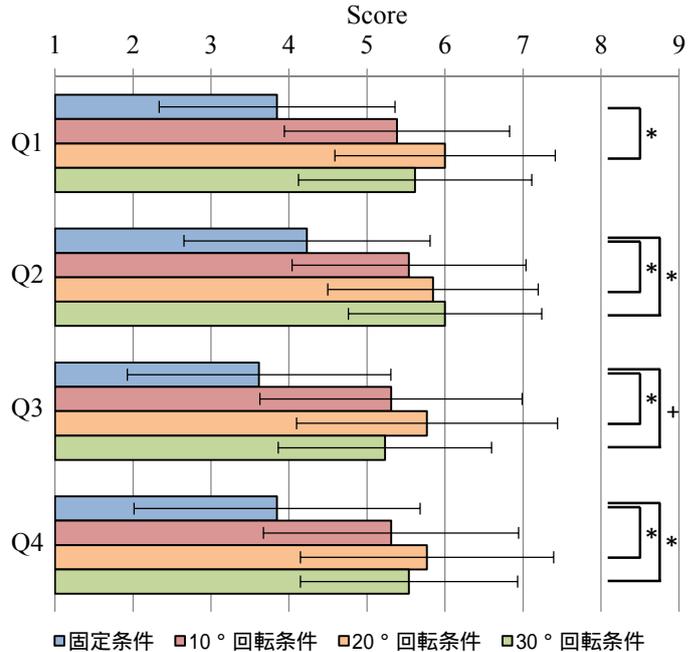


Figure 5 Average of all responses for
 rotational movement

ィスプレイの前後運動が社会的テレプレゼンスの向上に効果があるのは 50 mm 程度までであることがわかった。

また全回答の平均を見ると、高くても 6 前後、つまり「どちらともいえない」と「あてはまる」の間であった。これは今回の実験において、被験者間でのおぼつきを抑えるために予め録画した映像を使用したことに加え、各条件で全く同じ説明を繰り返したことで生じた違和感が結果に影響した可能性がある。また、ディスプレイが小型であったことに起因する可能性も高い。

5.2 ディスプレイの回転運動

アンケートの結果、全ての評価項目で固定条件より 20° 回転条件の評価が有意に高いことが示された。また、説明者を眺めている感覚、説明者に眺められている感覚、写真を眺めている感覚については、固定条件より 30° 回転条件が有意に高い、もしくはその傾向があることが示された。また、20° 以上の回転運動に関しては、20° 回転条件と 30° 回転条件の間にほとんど差が見られなかった。これらの結果から、遠隔者に同期したディスプレイの回転運動が社会的テレプレゼンスの向上に効果があるのは 20° 程度までであることがわかった。

また、前後運動と同様に回転運動についての全回答の平均も、高くても 6 前後である。これについても、予め録画された映像を使用したことに加え、各条件で全く同じ説明を繰り返したことで違和感が生じ、結果に影響した可能性がある。また、前後運動の場合と同様に、ディスプレイが小型であったことに起因する可能性も高い。

6. おわりに

本研究では、遠隔者を表示した小型のディスプレイの運動による社会的テレプレゼンスへの影響を調べるため、遠隔者の動きに同期した、ディスプレイの前後運動と回転運動を行う実験装置を作成し、擬似的な対話実験を行った。実験にあたっては、動作の大きさによる影響の違いを明らかにするために、前後運動と回転運動についてそれぞれ3種類の動作条件を用意し、固定条件を含めた4条件で社会的テレプレゼンスへの影響を比較した。分析の結果、遠隔者に同期したディスプレイの50mmの前後運動と20°の回転運動が社会的テレプレゼンスの向上に十分であることが明らかになった。なお、今回の実験ではディスプレイの動作を一定にし、被験者間での実験環境のばらつきを抑えるために、予め録画された動画を視聴することによる擬似的な遠隔対話を行ったことに加え、各条件で全く同じ説明を繰り返したことによる違和感が生じていた可能性がある。今後は本研究で得られた知見を利用し、実際に遠隔対話を行いながら、ディスプレイの動作による社会的テレプレゼンスへの影響を検証する必要がある。また、今回は前後運動と回転運動について分けて実験を行ったが、実際の人の動きは2つの動作が組み合わさっている場合もあるため、前後運動と回転運動を組み合わせたディスプレイの動作についても検証する必要がある。

参考文献

- 1) Heath, C. and Luff, P.: Media Space and Communicative Asymmetries: Preliminary Observations of Video-Mediated Interaction, *Human-Computer Interaction*, Vol. 7, No. 3, pp. 315-346 (1992).
- 2) Finn, K.E., Sellen, A.J. and Wilbur, S.B.: *Video-Mediated Communication*, Lawrence Erlbaum Associates (1997).
- 3) Nakanishi, H., Kato, K. and Ishiguro, H.: Zoom Cameras and Movable Displays Enhance Social Telepresence, *Proc. CHI 2011*, pp. 63-72 (2011).
- 4) Paulos, E. and Canny, J.: Social Tele-Embodiment: Understanding Presence, *Autonomous Robots*, Vol. 11, No. 1, pp. 87-95 (2011)
- 5) Kuzuoka, H., Yamazaki, K., Yamazaki, A., Kosaka, J., Suga, Y. and Heath, C.: Dual Ecologies of Robot as Communication Media: Thoughts on Coordinating Orientations and Projectability, *Proc. CHI 2004*, pp. 183-190 (2004).
- 6) Yankelovich, N., Simpson, N., Kaplan, J. and Provino, J.: Porta-person: telepresence for the connected conference room, *CHI'07 extended abstracts on human factors in computing systems*, pp. 2789-2794 (2007).
- 7) Adalgeirsson, S.O. and Breazeal, C.: MeBot: A robotic platform for socially embodied telepresence, *5th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*, pp. 15-22 (2010).