

人の移動の表現方法：ズームカメラと移動ディスプレイによる社会的テレプレゼンスの向上

田中 一晶^{1,2,a)} 加藤 慶¹ 中西 英之¹ 石黒 浩³

受付日 2011年6月26日, 採録日 2011年10月3日

概要: 遠隔地間の対話において対話者の移動を表現する方法として, (a) 対話者のカメラへの接近・後退, (b) カメラのズームイン・アウトによる対話者の映像の拡大・縮小, (c) 対話者を表示したディスプレイの前進・後退の3通りが考えられる. 本論文では, これらの方法を用いて対話者の移動を強調することで, 社会的テレプレゼンスが向上することを示す. これら3つの方法の関係と, これらの方法を用いることによる社会的テレプレゼンスへの影響を明らかにするため, 我々は被験者実験を行った. その結果, 対話者の移動と, 対話者の移動に同期しないカメラのズームは社会的テレプレゼンスを低下させるが, 対話者の移動に同期したカメラのズームは社会的テレプレゼンスを向上させることが分かった. さらに, 対話者の移動に同期するかどうかにかかわらず, 6cmのディスプレイの移動が社会的テレプレゼンスを向上させることも分かった.

キーワード: 社会的テレプレゼンス, ビデオ会議, テレロボティクス

Representation of Human Movement: Enhancing Social Telepresence by Zoom Cameras and Movable Displays

KAZUAKI TANAKA^{1,2,a)} KEI KATO¹ HIDEYUKI NAKANISHI¹ HIROSHI ISHIGURO³

Received: June 26, 2011, Accepted: October 3, 2011

Abstract: There are three possible ways of representing a remote person's movement toward the user in visual communication: a) the remote person's movement toward the remote camera, b) the remote camera's zooming in to enlarge the remote person's picture, and c) a forward movement of the display that is displaying the remote person. This paper shows that a remote person's positional movement that is augmented by using these three ways enhances social telepresence. We conducted an experiment to see the relationship among these three ways and the effects of these three ways on social telepresence. In the experiment, we observed that the remote person's movement and the remote camera's zooming lowered social telepresence. However, social telepresence was enhanced when both the person's movement and the camera's zooming occurred simultaneously. We also observed that a 6-centimeter movement of the display enhanced social telepresence, whether the movement synchronized with the remote person's movement or not.

Keywords: social telepresence, videoconferencing, telerobotics

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, Graduate School of Engineering, Osaka University, Suita, Osaka 565-0871, Japan

² 独立行政法人科学技術振興機構, CREST
CREST, Japan Science and Technology Agency, Chiyoda, Tokyo 102-0076, Japan

³ 大阪大学大学院基礎工学研究科システム創成専攻
Department of Systems Innovation, Graduate School of Engineering Science, Osaka University, Toyonaka, Osaka 560-8531, Japan

1. はじめに

遠隔地にいる対話者が, 相手に向かって接近・後退する動きを視覚的に表現する方法として次の3つが考えられる.

- (a) 対話者のカメラへの接近・後退
- (b) カメラのズームイン・アウトによる対話者の映像の拡大・縮小

a) tanaka@ams.eng.osaka-u.ac.jp

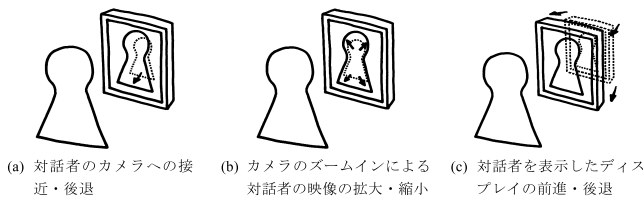


図 1 遠隔地の対話者の移動を表現する 3 つの方法

Fig. 1 Three ways of representing a remote person's movement.

(c) 対話者を表示したディスプレイの前進・後退

本論文では、これら 3 つの方法の関係と、これらの方法を用いることによる社会的テレプレゼンスへの効果について明らかにする [14]. 社会的テレプレゼンスとは、遠隔地間の対話において、対面でのインタラクションとの近さを示す度合いである [4].

まず、カメラへの接近・後退は、3 つの方法の中で最も基本的である。対話者がカメラに接近すると、相手はディスプレイ上で対話者の動きを確認することができる (図 1 (a)). しかし、このような視覚的な動きは、同じ部屋で見られる物理的な動きほど目立たないことが知られている [6].

次に、カメラのズームイン・アウトは、映画やテレビ番組でよく用いられる一般的な映像効果である。人がカメラに接近するとき、人の映像はカメラの画角に従って拡大する。このとき、人の前進に同期してカメラがズームインして画角を狭めると、人の映像の拡大が増幅される (図 1 (b)).

最後に、ディスプレイの前進・後退は、近年、様々なテレプレゼンスロボットが市販されるようになったことで、人の移動を表現する方法として一般的になっている (図 1 (c)). テレプレゼンスロボットは、カメラ、ディスプレイ、マイク、スピーカを搭載した遠隔操作ロボットであり、外見こそ様々であるが、その仕組みはほとんど同じといえる。テレプレゼンスロボットは、その操作者に代わって遠隔地を移動する。ロボットが人に接近するとき、人はあたかもロボットの操作者が接近してきたように感じるのではないかと期待されているが、我々は、このような感覚が実際に得られるのかどうかを実験的に検証する。

2. 関連研究

本研究は、ビデオ会議およびテレロボティクス、2 つのテレプレゼンスに関する研究分野が関わる場所に位置している。

ビデオ会議に関する研究では、ビデオ映像が社会的テレプレゼンスに与える様々な効果が示されている [2]. 基本的にビデオ映像は遠隔地の対話者の存在感を伝達することができる [3], [7]. さらに、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と、社会的テレプレゼンスが向上することが知られている [1]. また、先行研究では、ステレオ映像と等身大映像が社会的テレプレゼンスを向上させることが示されている [17]. 近年の研究では、

人の目の位置に応じて遠隔地のカメラを動かす方法で実現された視点の動き [5] が社会的テレプレゼンスを向上させることが報告されている [13]. 本論文では、ビデオ映像を用いて社会的テレプレゼンスを向上させる新しい方法として、カメラのズームとディスプレイの移動を提案する。遠隔地のカメラを動かす方法と、本論文で提案するディスプレイを移動させる方法は組み合わせて用いることが可能である。

テレロボティクスに関する研究では、様々な種類のテレプレゼンスロボットが開発されてきた。その中には、操作者の顔をディスプレイに映す代わりにロボットの顔が用いられているものがある [10], [12], [18]. 操作者の顔を表示するディスプレイが備わっているものもあるが、一般的にそのサイズは小さく [8], [9], [16], [19], 縮小された操作者の映像か、等身大の頭部の映像を表示する。しかし、人物の縮小映像や、頭部だけの映像は社会的テレプレゼンスを低下させることが知られている [15]. 本研究では、大型ディスプレイ (30 インチワイド画面) を縦置きにして使用し、人物の上半身全体を等身大に近い大ききで表示した。この大型ディスプレイを用いることで、前章で述べた 3 つの方法 (図 1 (a)~(c)) の関係を調べることができた。

3. 実験

カメラのズーム (図 1 (b)) とディスプレイの移動 (図 1 (c)) という遠隔地の対話者の移動を表現する 2 つの方法の効果を明らかにするため、被験者実験を行う。

単純なカメラのズームは見慣れた視覚効果であるため、対話者の移動を十分に表現できず、社会的テレプレゼンスにほとんど影響しないと予想している。一方、対話者のカメラへの接近・後退に同期したカメラのズームイン・アウトは、社会的テレプレゼンスを向上させることを期待している。対話者の映像の拡大縮小は、対話者とカメラの距離が変化することによって生じるが、この距離の変化に同期してカメラをズームイン・アウトさせることにより、さらに拡大縮小を増幅する。我々は、この増幅が対話者の移動を強調する効果があると考えた。カメラのズームに関する仮説は以下のとおりである。

仮説 1: 遠隔地の対話者のカメラへの接近・後退に同期して、カメラがズームイン・アウトするとき、カメラのズームは社会的テレプレゼンスを向上させる。

テレプレゼンスロボットの移動は、そのロボットに相対する人にとって、ロボットの操作者 (遠隔地にいる対話者) の移動と解釈されることが期待される。この場合、ロボットと人との距離が、対人距離として表現されることになる。つまり、ロボットが遠隔地にいる対話者の代わりに移動するため、対話者は実際に移動する必要はないと考えられる。ディスプレイの移動に関する仮説は以下のとおりである。

仮説 2: 遠隔地の対話者の移動に同期しているかどうかにか

かわらず、ディスプレイの前後移動は社会的テレプレゼンスを向上させる。

3.1 実験タスク

仮説1, 2を検証するためには、人が前後移動を数回繰り返すタスクが適していると考えた。本研究では、本の説明というタスクを設定し、実験者の1人が説明者を演じた。図2(a)に示すように、説明者の背後にホワイトボードを設置し、ホワイトボードに3冊の本を立てかけた。説明者は、座ったままキャスタ付きの椅子を滑らせて後退し、1冊の本を取る。そして、再び椅子を滑らせて元の位置まで前進し、被験者に本の説明を行う。

図3に実験タスクの流れを示す。説明者は本を取る動作を3回繰り返す、3冊の本の説明を行う。それぞれの本の

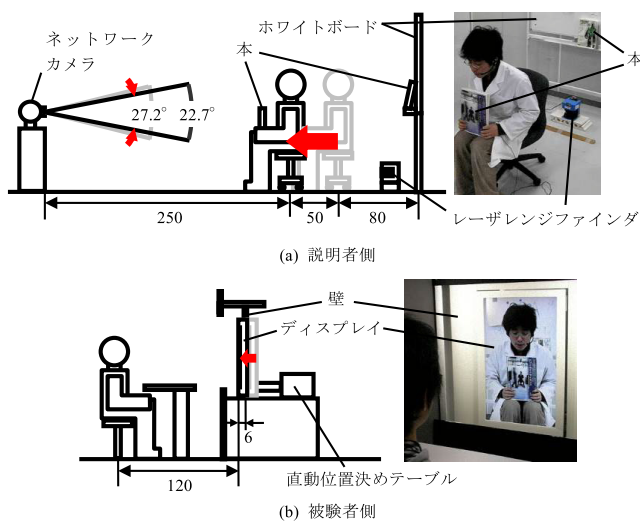


図2 実験環境 (単位: cm)

Fig. 2 Setup of the experiment (length unit: cm).

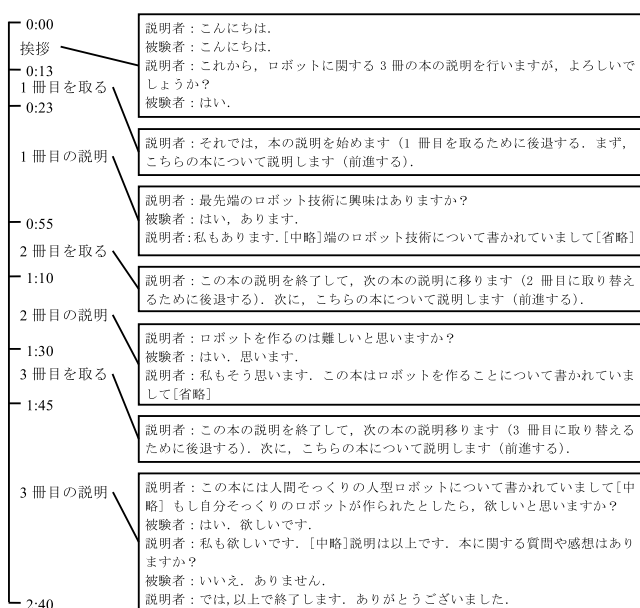


図3 実験タスクの流れ

Fig. 3 Flow of the experimental task.

説明は約30秒であり、被験者との会話時間は合計で2, 3分となった。

3.2 実験環境

図2(a)のネットワークカメラから説明者のビデオ映像が被験者側に送信され、図2(b)のディスプレイに表示される。仮説1, 2の検証のため、実験ではディスプレイとカメラの機能を次のように設定した(図2では、説明者側のディスプレイと被験者側のカメラを省略している)。

仮説1を検証するため、説明者の動きに同期して、カメラをズームイン・アウトさせる。具体的には、図2(a)に示すように、説明者が椅子を滑らせて前進したとき、カメラの垂直画角は27.7°から22.7°まで縮小する。同様に、説明者が椅子を滑らせて後退したとき、カメラの垂直画角は22.7°から27.2°まで拡大する。説明者の移動はホワイトボードの前に設置したレーザーレンジファインダを用いて検出した。

仮説2を検証するため、ディスプレイを直動位置決めテーブルに接続し、前後に稼働するように設置した。図2(b)に示すように、説明者が椅子を滑らせて50cmの距離を前進後退するのに同期し、ディスプレイは6cm前後に移動する。つまり、ディスプレイの移動距離は説明者の移動距離に比べて非常に短く設定した。また、説明者の上半身映像をほぼ等身大で表示するため、30インチのワイド画面のディスプレイを縦置きにして使用した。カメラの解像度はCIF(352×288)、ディスプレイの解像度は352×220とした。被験者はこのディスプレイから120cm離れたところに着席させた。

3.3 実験条件

仮説1を検証するため、カメラのズームの有無(ズームカメラ要因)と説明者の動作(人移動要因)の2要因の効果を調べた。その方法として、下記の4条件(統制条件、人移動条件、単純ズームカメラ条件、同期ズームカメラ条件)を比較した。図4の(a)~(d)に、各条件における被験者側から見た説明者の様子を示す。

説明者の動作は、図4(i)および(ii)に示す2種類とした。(i)では、移動と方向転換を同時に行うものとする。つまり、説明者は後退しながらホワイトボードの方を向く。本を取った後は、前進しながらカメラの方に向き直る。一方、(ii)では、移動と方向転換を別々に行うものとする。つまり、説明者はカメラの方を向いたまま後退し、ホワイトボードの前で振り返る。本を取った後は、カメラの方に向き直ってから前進する。この動作により、被験者は説明者の移動をはっきりと認識できた。

統制条件: 最も基本的な条件であり、カメラのズーム、ディスプレイの移動はない。また、説明者の動作は(i)とする(図4(a))。

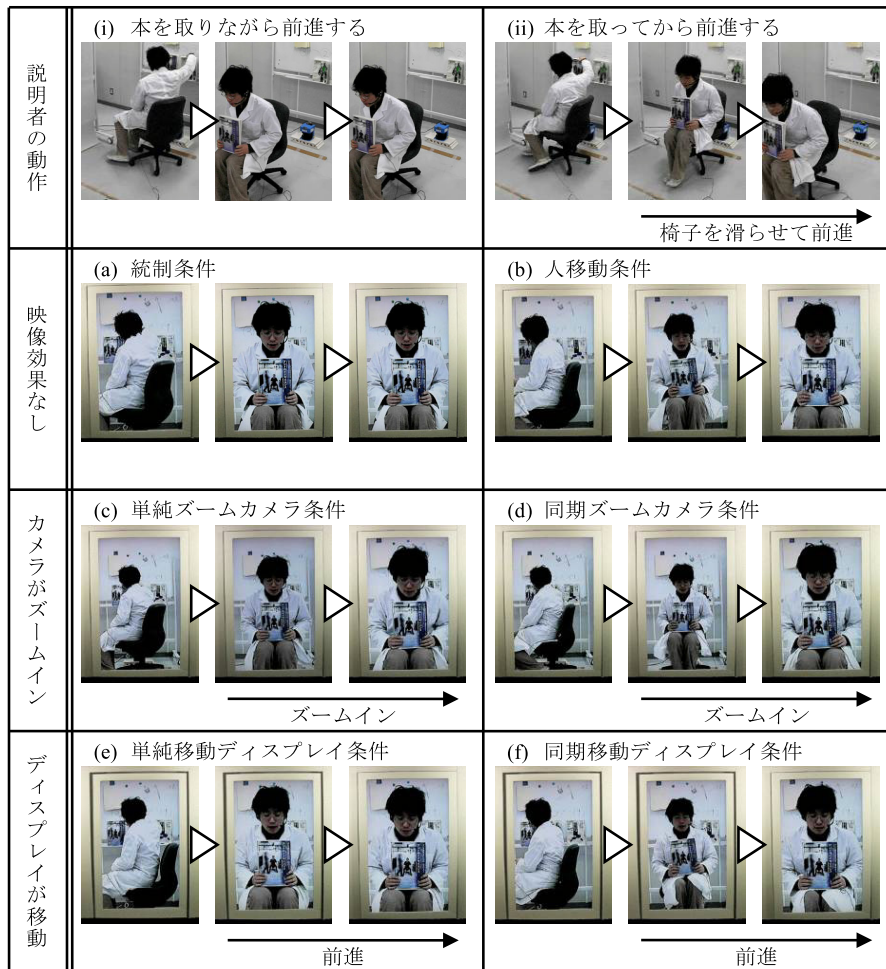


図 4 実験条件

Fig. 4 Conditions of the experiment.

人移動条件：統制条件と同様に，カメラのズーム，ディスプレイの移動はない．説明者の動作は (ii) とする (図 4 (b)).

単純ズームカメラ条件：説明者の動作は統制条件と同様に (i) であるが，この条件では，カメラがズームイン・アウトする (図 4 (c)). カメラの画角は，説明者が本を取る直前に拡大し，取った直後に縮小する．つまり，カメラの画角が変化している間に，説明者はまったく移動しない．画角の拡大・縮小にはそれぞれ 3 秒かかる．

同期ズームカメラ条件：説明者の動作は人移動条件と同様に (ii) であるが，説明者の移動に同期してカメラがズームイン・アウトする (図 4 (d)). カメラの画角は，説明者が後退するのに同期して拡大し，説明者が前進するのに同期して縮小する．画角の拡大・縮小に要する時間は単純ズームカメラ条件と同様に 3 秒である．

仮説 2 を証明するために，ディスプレイの移動の有無 (移動ディスプレイ要因) と説明者の動作 (人移動要因) の 2 要因の効果を調べた．その方法として，下記の 4 条件 (統制条件，人移動条件，単純移動ディスプレイ条件，同期移動ディスプレイ条件) を比較した．図 4 の (a), (b), (e),

(f) に，各条件における被験者側から見た説明者の様子を示す．

統制条件：仮説 1 の検証と共通 (図 4 (a)).

人移動条件：仮説 1 の検証と共通 (図 4 (b)).

単純移動ディスプレイ条件：単純ズームカメラ条件において，カメラがズームする代わりに，ディスプレイが移動する (図 4 (e)). ディスプレイは，説明者が本を取る直前に後退し，取った直後に前進する．ディスプレイが移動している間に，説明者はまったく移動しない．ディスプレイの前進・後退にはそれぞれ 3 秒かかる．

同期移動ディスプレイ条件：同期ズームカメラ条件において，カメラがズームする代わりに，ディスプレイが移動する (図 4 (f)). ディスプレイは，説明者が後退するのに同期して後退し，説明者が前進するのに同期して前進する．ディスプレイの移動に要する時間は単純移動ディスプレイ条件と同様に 3 秒である．

仮説 1 と 2 の検証において，統制条件および人移動条件が共通の条件であるため，合計 6 条件で実験を行った．これらすべての条件において，説明者が本の説明を行っている間，ディスプレイは被験者に最も近づいた位置にあり，

カメラの画角は最小となる。つまり、説明者が本を取る動作を行っている間のみ、カメラの画角およびディスプレイ位置は変化する。

実験は被験者間計画で行った。被験者は我々の大学の近くに住む学部生を採用した。実験には1条件につき10人、合計60人の被験者が参加した。

3.4 アンケート

実験後、被験者には、「説明の品質」および「社会的テレプレゼンス」に関する9段階リッカート尺度のアンケートに回答してもらった。1, 3, 5, 7, 9は、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。

まず、「説明の品質」に関する3つの評価項目を以下に示す。

- 映像は十分きれいだと感じた。
- 音声は十分きれいだと感じた。
- 説明は分かりやすかった。

次に、「社会的テレプレゼンス」に関する4つの評価項目を以下に示す。

- 同じ部屋の中で実際に説明者を眺めている感じがした。
- 同じ部屋の中で実際に本を眺めている感じがした。
- 同じ部屋の中で実際に説明者が目の前にいる感じがした。
- 同じ部屋の中で実際に会話している感じがした。

「眺めている感覚」および「会話している感覚」の評価項目は、先行研究 [13] において社会的テレプレゼンスを効果的に測ることができたため、本研究でも利用した。さらに、本研究では「目の前にいる感覚」の評価項目を追加した。予備実験で行ったインタビューによると、この評価項目は「眺めている感覚」とほぼ同じであったが、単なる視覚的な側面ではなく、人と人との主観的な距離感を測ることができた。

4. 実験結果

4.1 ズームカメラ要因と人移動要因の効果

アンケート結果について、統制条件、人移動条件、単純ズームカメラ条件、同期ズームカメラ条件を、ズームカメラ要因と人移動要因の2要因分散分析で比較した。図5(a)にアンケート結果と統計分析の結果をあわせて示す。

映像のきれいさ ($F(1,36) = 4.739, p < .05$)、音声のきれいさ ($F(1,36) = 6.096, p < .05$)、説明者を眺めている感覚 ($F(1,36) = 7.003, p < .05$)、目の前にいる感覚 ($F(1,36) = 8.341, p < .01$)、会話している感覚 ($F(1,36) = 14.642, p < .001$) に交互作用が認められた。また、本を眺めている感覚の交互作用は有意傾向であった ($F(1,36) = 3.842, p = .058$)。その他の評価項目に主効果および交互作用は認められなかった。

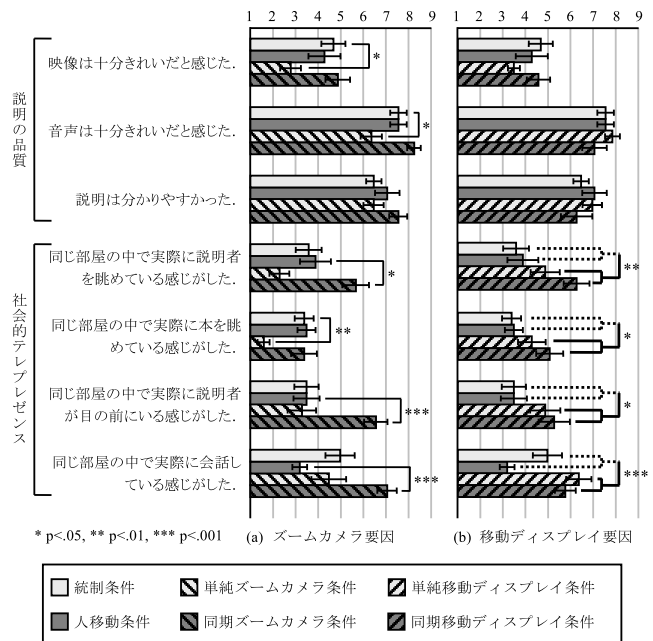


図5 アンケート結果
Fig. 5 Results of the questionnaire.

交互作用が認められた（または、有意傾向があった）以上の評価項目について、Bonferroni補正法を用いてズームカメラ要因の単純主効果の検定を行った。まず、人移動条件と同期ズームカメラ条件の比較において、説明者を眺めている感覚 ($F(1,36) = 4.722, p < .05$)、目の前にいる感覚 ($F(1,36) = 14.722, p < .001$)、会話している感覚 ($F(1,36) = 23.007, p < .001$) に有意差が認められた。つまり、同期ズームカメラ条件は、社会的テレプレゼンスに関する評価を有意に向上させた。

次に、統制条件と単純ズームカメラ条件の比較において、映像のきれいさ ($F(1,36) = 5.474, p < .05$)、音声のきれいさ ($F(1,36) = 4.863, p < .05$)、本を眺めている感覚 ($F(1,36) = 8.614, p < .01$) に有意差が認められた。つまり、単純ズームカメラ条件は説明の品質に関する評価、および、社会的テレプレゼンスに関する評価を有意に低下させた。その他の項目には、ズームカメラ要因による有意差は認められなかった。

以上の結果は、仮説1:「遠隔地の対話者のカメラへの接近・後退に同期して、カメラがズームイン・アウトするとき、カメラのズームは社会的テレプレゼンスを向上させる」を支持する。さらに、人の移動に同期しない単なるズームイン・アウトは説明の品質を低下させることも分かった。

4.2 移動ディスプレイ要因と人移動要因の効果

アンケート結果について、統制条件、人移動条件、単純移動ディスプレイ条件、同期移動ディスプレイ条件を、移動ディスプレイ要因と人移動要因の2要因分散分析で比較した。図5(b)にアンケート結果と統計分析の結果をあわせて示す。

同じ部屋の中で実際に説明者を眺めている感覚 ($F(1,36) = 9.456, p < .01$), 本を眺めている感覚 ($F(1,36) = 6.399, p < .05$), 目の前にいる感覚 ($F(1,36) = 7.089, p < .05$), 会話している感覚 ($F(1,36) = 16.438, p < .001$) に移動ディスプレイ要因の主効果が認められた。つまり, 単純移動ディスプレイ条件および同期移動ディスプレイ条件は社会的テレプレゼンスに関する評価を有意に向上させる。また, 会話している感覚 ($F(1,36) = 5.918, p < .05$) に人移動要因の主効果が認められた (図が複雑化するのを避けるため, 人移動要因の主効果については図 5(b)に記載していない)。つまり, 人移動条件および同期移動ディスプレイ条件は, 同じ部屋で会話している感覚を有意に減少させる。その他の評価項目に主効果および交互作用は認められなかった。

以上の結果は, 仮説 2:「遠隔地の対話者の移動に同期しているかどうかにかかわらず, ディスプレイの前後移動は社会的テレプレゼンスを向上させる」を支持する。さらに, 説明者が移動と方向転換を別々に行う動作 (説明者が移動していることを被験者に認識させる動作) は同じ部屋で会話している感覚を減少させることも分かった。

5. 考察

本研究では, 1章で説明した遠隔地の対話者の移動を表現する 3通りの方法 ((a) 対話者のカメラへの接近・後退, (b) カメラのズームイン・アウトによる対話者の映像の拡大・縮小, (c) 対話者を表示したディスプレイの前進・後退) の関係と社会的テレプレゼンスへの効果を明らかにするため, 被験者実験を通して検証した。本章では, 実験結果 (4章) に基づき, これらの方法が説明の品質および社会的テレプレゼンスに与える影響について考察する。

5.1 人の移動

(a) の方法である人の移動は, 社会的テレプレゼンスに関する評価項目である「同じ部屋の中で実際に会話している感覚」を低下させることが分かった。

被験者へのインタビューでは, 説明者が後退してカメラから遠ざかったとき, 説明者が離れた位置にいるように感じたという意見が得られた。この感覚が同じ部屋で会話している感覚を低下させた可能性がある。

5.2 カメラのズーム

(b) の方法であるカメラのズームは, 人の移動に同期してズームイン・アウトする場合 (同期ズームカメラ条件) のみ, 社会的テレプレゼンスを向上させることが分かった (3章, 仮説 1)。人の移動に同期しない単純なズームイン・アウト (単純ズームカメラ条件) は説明の品質および社会的テレプレゼンスを低下させた。

興味深いことに, (a) の方法と, 単純ズームカメラ条件は

社会的テレプレゼンスを低下させたにもかかわらず, 両者を組み合わせることで, 社会的テレプレゼンスを向上させることができた。単純ズームカメラ条件では, ズームアウトによって本や説明者の映像が縮小して表示されるが, 被験者へのインタビューによると, この縮小された映像が, 映像のきれいさと, 本を眺めている感覚を低下させた原因であると思われる。また, 音声に関する評価が低下した原因は, 映像に関する評価の低下が, 音声にも影響したのではないかと推測される。

同期ズームカメラ条件においても, 説明者がカメラに接近・後退するうえ, ズームアウトによって映像は縮小して表示されるが, それらを同期させることで, 社会的テレプレゼンスは向上する。この理由について, 次のように考察する。

単純ズームカメラ条件では, 10人の被験者のうち, わずか 2人しかカメラがズームしたことを記憶していなかった。これに対し, 同期ズームカメラ条件では, 10人中 6人がカメラのズームを記憶しており, そのうち 3人が, 説明者の移動に注目したと述べていた。このインタビューの結果から, 同期ズームカメラ条件では, 説明者の移動とカメラのズームの同期によって擬似的に有効視野の収縮が発生したのではないかと推測される。

カメラに向かって人が接近するとき, その距離に応じて人の映像が拡大される。人の移動距離は周囲の映像に対して人の映像がどれだけの領域を占めているかという割合に基づいて認識される。同期ズームカメラ条件では, 移動による拡大に加え, ズームインによってさらに説明者の映像が拡大される。この被験者の予想を超えた拡大によって, 有効視野内に見られる人の領域が縮小するため, 被験者は有効視野が収縮したように感じるのかもしれない。注目の度合いと有効視野の大きさには, 反比例の関係があることが知られており [11], 有効視野の収縮感によって引き起こされる「注目している感覚」が社会的テレプレゼンスを向上させたのだと我々は考えている。

5.3 ディスプレイの移動

(c) の方法であるディスプレイの移動は, カメラのズームとは異なり, 人の移動に同期しているかどうかにかかわらず, 社会的テレプレゼンスを向上させることが分かった (3章, 仮説 2)。

単純移動ディスプレイ条件の被験者は, インタビューにおいて, 説明者が近づいてきたように感じたと述べており, ディスプレイの移動は説明者が実際に移動していなくても, 移動しているかのような感覚を与えるのだと考えられる。驚くべきは, この感覚が, 被験者の視点から 1.2m も離れたところに設置した 30 インチディスプレイのたった 6cm の移動によって引き起こされたということである。つまり, 人は物理的な装置の移動に敏感であり, 対話者が前

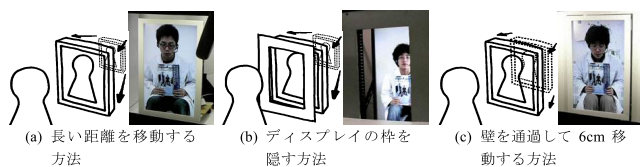


図 6 予備実験における移動ディスプレイのデザイン

Fig. 6 Designing a movable display in the preliminary experiments.

後に移動している感覚を与えるだけならばテレプレゼンスロボットほどの可動性は必要ないといえる。

この 6cm という距離は予備実験の結果から導き出した。6cm よりも長いディスプレイの移動は、被験者に機械的な印象を与えた (図 6(a))。そこで、ディスプレイの枠を隠す壁を被験者の前に設置し、映像のみ見えるようにしたところ、機械的な印象を与えることはなくなった (図 6(b))。しかし、ディスプレイが 6cm よりも十分に長い距離を移動しているにもかかわらず、被験者はその移動に気づくことはなく、社会的テレプレゼンスへの影響もなかった。以上の結果から、本研究で採用した、ディスプレイが壁を通過して 6cm 移動する方法にたどり着いた (図 6(c))。この方法において、6cm よりも短い距離でも実験を行ったが、被験者がディスプレイの移動に気づくことはほとんどなく、社会的テレプレゼンスへの影響もわずかであった。

6. 結論

遠隔地の対話者の移動を表現する方法として、(a) 対話者のカメラへの接近・後退、(b) カメラのズームイン・アウトによる対話者の映像の拡大・縮小、(c) 対話者を表示したディスプレイの前進・後退の 3 通りが考えられる。(a) の方法は、相手と同じ部屋にいるときの相手の物理的な動きに比べて目立たないことが知られているが [6]、我々は、(b) および (c) の方法を用いることで対話者の動きが強調され、社会的テレプレゼンスが向上すると考えた。本研究では、これらの方法の関係と、これらの方法を用いることによる社会的テレプレゼンスへの影響を調べるため、被験者実験を行った。実験結果は以下のとおりである。

- (a) 人の移動：社会的テレプレゼンスを低下させた。
- (b) カメラのズーム：人の移動に同期しないカメラのズームは、説明の品質および社会的テレプレゼンスを低下させた。しかし、人の移動に同期したカメラのズームは社会的テレプレゼンスを向上させた。
- (c) ディ스플레이の移動：人の移動への同期・非同期にかかわらず、ディスプレイのわずか 6cm の移動で、社会的テレプレゼンスを向上させた。

以上の実験結果から、(a) と (b) を組み合わせる方法、および、(c) の方法が社会的テレプレゼンスを向上させることが分かった。これらの方法は、1 対 1 の会話において、ディスプレイを正面から見る場合に適用可能である。

本研究では、(b) と (c) を組み合わせる方法や、(a)~(c) すべてを組み合わせる方法については、実験を行っていない。人の移動に同期しない (b) の方法が社会的テレプレゼンスを低下させたことから、人の移動に同期しない (b) と (c) の組合せは、社会的テレプレゼンスを低下させると我々は予想している。一方、(a)~(c) すべてを組み合わせる方法は、社会的テレプレゼンスを向上させることが期待される。この 2 つの仮説の検証については、今後の課題である。

謝辞 実験に協力していただいた妹尾岳氏、浅野立弥氏に感謝する。本研究は、若手研究 (A) 「テレロボティクメディアによる社会的テレプレゼンスの支援」、基盤研究 (S) 「遠隔操作アンドロイドによる存在感の研究」、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)」、グローバル COE プログラム 「認知脳理解に基づく未来工学創成」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 Workshop on Environments for Personalized Information Access*, pp.1-9 (2004).
- [2] Buxton, W.A.S.: Telepresence: Integrating Shared Task and Person Spaces, *Proc. Graphics Interface 92*, pp.123-129 (1992).
- [3] de Greef, P. and Ijsselstein, W.: Social Presence in a Home Tele-Application, *CyberPsychology & Behavior*, Vol.4, No.2, pp.307-315 (2001).
- [4] Finn, K.E., Sellen, A.J. and Wilbur, S.B.: *Video-Mediated Communication*, Lawrence Erlbaum Associates (1997).
- [5] Gaver, W.W., Smets, G. and Overbeeke, K.: A Virtual Window on Media Space, *Proc. CHI 95*, pp.257-264 (1995).
- [6] 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).
- [7] Isaacs, E.A. and Tang, J.C.: What Video Can and Can't Do for Collaboration: A Case Study, *Multimedia Systems*, Vol.2, No.2, pp.63-73 (1994).
- [8] Ishiguro, H. and Trivedi, M.: Integrating a Perceptual Information Infrastructure with Robotic Avatars: A Framework for Tele-Existence, *Proc. IROS 99*, pp.1032-1038 (1999).
- [9] Jouppi, N.P.: First Steps Towards Mutually-Immersive Mobile Telepresence, *Proc. CSCW 2002*, pp.354-363 (2002).
- [10] 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).
- [11] Miura, T.: Behavior Oriented Vision: Functional Field of View and Processing Resources, *Eye Movements: From Physiology to Cognition*, O'Regan, J.K. and Levy-Schoen, A. (Eds.), pp.563-572, Elsevier (1987).
- [12] Morita, T., Mase, K., Hirano, Y. and Kajita, S.: Re-

- reciprocal Attentive Communication in Remote Meeting with a Humanoid Robot, *Proc. ICMI 2007*, pp.228-235 (2007).
- [13] Nakanishi, H., Murakami, Y. and Kato, K.: Movable Cameras Enhance Social Telepresence in Media Spaces, *Proc. CHI 2009*, pp.433-442 (2009).
- [14] Nakanishi, H., Kato, K. and Ishiguro, H.: Zoom Cameras and Movable Displays Enhance Social Telepresence, *Proc. CHI 2011*, pp.63-72 (2011).
- [15] Nguyen, D.T. and Canny, J.: More than Face-to-Face: Empathy Effects of Video Framing, *Proc. CHI 2009*, pp.423-432 (2009).
- [16] Paulos, E. and Canny, J.: Social Tele-Embodiment: Understanding Presence, *Autonomous Robots*, Vol.11, No.1, pp.87-95 (2001).
- [17] Prussog, A., Muhlbach, L. and Bocker, M.: Telepresence in Videocommunications, *Proc. Annual Meeting of Human Factors and Ergonomics Society*, pp.180-184 (1994).
- [18] Roussou, M., Trahanias, P., Giannoulis, G., Kamarinos, G., Argyros, A., Tsakiris, D., Georgiadis, P., Burgard, W., Haehnel, D., Cremers, A., Schulz, D., Moors, M., Spirtounias, E., Marianthi, M., Savvaides, V., Reitelman, A., Konstantios, D. and Katselaki, A.: Experiences from the Use of a Robotic Avatar in a Museum Setting, *Proc. VAST 2001*, pp.153-160 (2001).
- [19] Vespa, P.M., Miller, C., Hu, X., Nenov, V., Buxey, F. and Martin, N.A.: Intensive Care Unit Robotic Telepresence Facilitates Rapid Physician Response to Unstable Patients and Decreased Cost in Neurointensive Care, *Surgical Neurology*, Vol.67, No.4, pp.331-337 (2006).



田中 一晶 (正会員)

2006年京都工芸繊維大学工芸学部電子情報工学科卒業。2008年同大学大学院工芸科学研究科情報工学専攻博士前期課程修了。2011年同大学院工芸科学研究科情報工学専攻博士後期課程修了。博士(工学)。同年より、大阪大学大学院工学研究科知能・機能創成工学専攻特任助教として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」に従事。人とインタラクションを行うエージェントやロボットの設計に興味を持つ。FIT2007論文賞。



加藤 慶

2009年大阪大学工学部応用理工学科卒業。2011年同大学大学院工学研究科知能・機能創成工学専攻博士前期課程修了。社会的テレプレゼンスに興味を持つ。現在、ダイキン工業株式会社空調生産本部圧縮機グループに所属。



中西 英之 (正会員)

1996年京都大学工学部情報工学科卒業。1998年同大学大学院工学研究科情報工学専攻修士課程修了。同年日本学術振興会特別研究員。2001年同大学院情報学研究科社会情報学専攻博士課程修了。博士(情報学)。同年同専攻助手。2005年ジョージア工科大学客員研究員。2006年より大阪大学大学院工学研究科知能・機能創成工学専攻准教授。遠隔会議を改善するアバターやロボットに興味を持つ。2002年度情報処理学会坂井記念特別賞。2004年度テレコムシステム技術賞。2006年度科学技術分野の文部科学大臣表彰科学技術賞。



石黒 浩 (正会員)

1991年大阪大学大学院基礎工学研究科物理系専攻修了。工学博士。同年山梨大学工学部情報工学科助手。1992年大阪大学基礎工学部システム工学科助手。1994年京都大学大学院工学研究科情報工学専攻助教。1998年同大学院情報学研究科社会情報学専攻助教。この間、1998年より1年間、カリフォルニア大学サンディエゴ校客員研究員。2000年和歌山大学システム工学部情報通信システム学科助教。2001年同大学教授。2002年大阪大学大学院工学研究科知能・機能創成工学専攻教授。2009年より同大学院基礎工学研究科システム創成専攻教授。1999年ATR知能映像研究所客員研究員。2010年よりATR知能ロボティクス研究所フェロー。知能ロボット、アンドロイドロボット、知覚情報基盤の研究に興味を持つ。