

可動式カメラによる社会的テレプレゼンスの強化

加藤 慶^{†1} 村上 友樹^{†1,*1} 中西 英之^{†1}

社会的テレプレゼンスとは遠隔地の人とあたかも同じ部屋にいるかのような感覚である。メディアスペースは遠隔地の部屋どうしを接続する技術として期待されているが、いまだ完成されていない。そこで、我々はユーザがディスプレイに近づくと遠隔地にあるカメラが前方に移動する機能を開発した。この単純な機能により運動視差をともなって遠隔地の人の映像が拡大される。この可動式カメラが社会的テレプレゼンスを強化することを被験者実験によって観測した。カメラが移動しているにもかかわらず、被験者はカメラが動いているのではなくズーム機能によって人の映像が拡大されていると感じた。しかし、可動式カメラの代わりにズーム機能によって人の映像を拡大した場合、社会的テレプレゼンスを強化する効果は観測されなかった。これはズーム機能による映像の拡大には運動視差がともなわないからであると考えられる。被験者はカメラの機能について何も説明されていなかったが、ほとんどの被験者は自分の歩く動作に合わせて映像が拡大されているということに気付いていた。また、カメラの移動を遠隔地の人が操作した場合、社会的テレプレゼンスは強化されなかった。

Movable Cameras Amplify Social Telepresence

KEI KATO,^{†1} YUKI MURAKAMI^{†1,*1}
and HIDEYUKI NAKANISHI^{†1}

Social telepresence is the feeling of facing a remote person in the same room. Media space is a promising but still immature technology to connect distributed rooms. There, we developed a simple additional function that moved a remote camera forward when a local user approached a display so that the approach was amplified by a remote person's expanding image accompanied by motion parallax. We conducted an experiment in which we observed that a movable camera enhanced social telepresence. Despite the camera's movement, subjects believed that the camera did not move and a zoom-in function expanded the image. Surprisingly, a zoom-in camera that expanded the image as the movable camera did, however, was ineffective probably because of a lack of motion parallax. Although we explained nothing about the camera, most subjects noticed that their walking caused the view's expansion. If a remote person initiated the camera's movement, social telepresence could not be enhanced.

1. はじめに

メディアスペース¹⁾によって、対面環境のようなインフォーマルな社会的インタラクションが、遠隔地間において促進されることが期待されている。しかし、それは完全には実現されていない⁹⁾。対面環境で実際に人と出会った場合、メディアスペースを通して出会った場合より頻繁に会話が行われるという報告がある⁴⁾。メディアスペースによって2つのオフィスを接続した場合においても、別のオフィスにいる人との会話より、同じオフィスにいる人との会話の方が多いということが報告されている¹²⁾。また、メディアスペースにおいては、映像の中の人間の体の動きは、実空間での体の動きよりも目立たないので、遠隔地の人の行動を把握するのは難しい⁶⁾。以上のことは、メディアスペースは対面環境より人と対面している感覚が小さいということを示している。

メディアスペースの古典的な研究における主題は、離れたオフィス間のアウェアネス支援だった。近年においては、アウェアネス支援に加えて、遠隔地間インタラクションの社会的側面に着目した研究がなされている。たとえば、離れたパーティ会場間においてパーティの雰囲気共有のために、卓上水平ディスプレイを用いたという研究がある¹⁹⁾。ユーザにテーブルの周りに集まるという行動をさせることで、自然に何人かが集まって話しをするようなインフォーマルなインタラクションを促進させる。また、ユーザが画面に近づくとユーザの映像を鮮明にするという機構によって、体と体が接近するという感覚を増幅するという研究もある²⁰⁾。体を動かすことを誘発するようなシステム設計にすることで、ユーザをより社会的にすることも提案されている¹⁰⁾。ユーザが実際に体を動かして遠隔地間でスポーツができるようなインタフェースを用いた際に、ビデオ映像を用いたインタラクションがより社会的になったということも観測されている¹⁴⁾。これらの研究は、ディスプレイの周りにおけるユーザの自発的な動きを利用することによって、ビデオ映像を用いたインタラクションを改善することを目的としていた。本研究においては、そのようなユーザの動きを用いて、ユーザが遠隔地の対話者と対面している感覚を強める方法を示す¹⁶⁾。

リアルタイムのビデオ映像が社会的テレプレゼンスを強化することが知られてい

^{†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

*1 現在、ダイキン工業株式会社ソリューション商品開発センター

Presently with Solutions Product Development Center, Daikin Industries, Ltd.

る．本論文で着目している社会的テレプレゼンスとは遠隔地の人間と同じ空間で対面しているような感覚，あるいは単純に対面環境にどれほど近いかの度合い³⁾である．社会的テレプレゼンスはアイコンタクト²⁾，等身大映像，立体視映像¹⁸⁾によって強化される．等身大の映像を用いると，4分の1の映像を用いる場合より会話が促進されたという報告がある¹²⁾．しかし，アイコンタクトや等身大映像に比べて，立体視映像を用いたメディアスペースの実装例は少ない．これは，立体視用の眼鏡をかけることは煩わしく，また，大型で眼鏡不要な立体視ディスプレイは依然として高価であるためである．

奥行き情報は立体視映像以外に，運動視差によっても伝達することができる．ラリーカーの操縦席に設置したカメラの映像を見た被験者は，立体視映像を見る場合よりも大きな没入感を感じたという報告がある⁷⁾．我々の先行研究においても，カメラを搭載したロボットの移動が引き起こす運動視差が遠隔地の対話者の存在感を増幅することが示されている^{17),23)}．この先行研究のもう一つの重要な点は，運動視差による存在感の増幅は，ロボットが自動的に移動した場合には見られなかったという点である．社会的テレプレゼンスには3つの独立した要素がある．それは知覚情報，センサのコントロール，環境変更能力である²¹⁾．おそらく，ロボットが自動的に移動した場合，センサのコントロール，環境変更能力の2つの要素が欠けることになるため，存在感が増幅されなかったのであろうと考えられる．また，神経学的な既存研究によると，人が自己発生的動作と外部発生的動作を区別することができる理由は，予測フィードフォワードモデルによって説明できるとされている²²⁾．このことから，ロボットが自動的に移動する場合は，ユーザはその移動が予測できないので，移動は外部発生的動作であると認識されるため，社会的テレプレゼンスが強化されないのではないかと考えられる．

本研究ではメディアスペースにおいて，移動可能なカメラを用いることで社会的テレプレゼンスを強化することを目的とする．本研究で想定しているメディアスペースとは，ディスプレイに近づくだけで使用可能で，ビデオ会議を始める際の呼び出し操作などは必要としないものである．先行研究では，カメラ搭載のロボットを遠隔操作することで対話者の存在感を増幅することが示されているが，我々はユーザに特別な装置の装着を要求したり，特別な操作を要求したりせず，ユーザがディスプレイに近づくだけで使用可能であるという利点を損なわずに対話者の存在感を増幅することを試みた．社会的テレプレゼンスを強化するには，カメラの移動はユーザが予測できるものでなければならない．しかし，カメラは操作されるべきではない．我々はユーザのディスプレイへの接近動作を利用することで，この問題を解決した．

2. システム設計

我々は以下の3つの要求に従ってメディアスペースを設計した．1) ユーザの動きを取得してカメラを移動させ，それによって生じる運動視差により，対話者の存在感を増幅する．2) ユーザがビデオ映像の変化を予想でき，ユーザ自身が映像の変化を引き起こしたと感ずることができるように，カメラの移動はユーザに同期させる．3) キーボードやマウスなどを用いた操作は付け加えず，通常メディアスペースと同様に使用できるものとする．

概念設計を図1に示す．カメラはもう一方の部屋のユーザとディスプレイとの間の距離に従って移動する．ユーザとディスプレイとの距離が小さくなるとカメラは前方に移動し，大きくなるとカメラは後方に移動する．図1は，ユーザAがディスプレイに近づき，ユーザBの部屋のカメラが前方に移動している状態を示している．ディスプレイの中のユーザの映像は両方の部屋で大きくなるが，カメラが動くのはユーザB側の部屋のみである．よって，運動視差が生じるのはユーザA側のディスプレイの中のユーザBの映像のみである．図中の箱の絵が運動視差の発生を表現している．ユーザB側のディスプレイにおけるユーザAの映像の拡大は，ユーザAの接近動作によるものであり，運動視差をとみなさない．したがって，ユーザAの感じるユーザBの存在感のみが運動視差によって強化される．以下，設計の方針を示す．

2.1 ユーザの動作の増幅

メディアスペースを使用する際，ユーザはディスプレイへと接近する．我々は，メディア

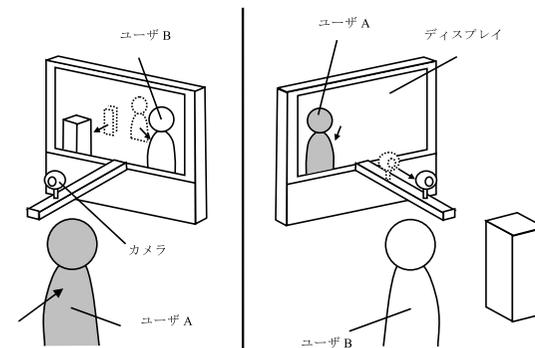


図1 拡張したメディアスペースの概念設計

Fig. 1 Conceptual design of an extended media space.

スペースを使用する際に自然に行われるこの動作を増幅することにした．カメラの移動はユーザの動きに比例するように設定した．これにより，ユーザの目に映るもう一方のユーザの映像が拡大され，ユーザの接近動作が増幅される．

2.2 知覚インタフェース

ビデオ会議において，視点を動かす方法が3つある．1) ユーザが直接カメラの位置を操作する¹¹⁾．2) ユーザの行動をウェアラブルなセンサによって取得し，その値を用いる¹³⁾．3) ユーザの行動を環境中のセンサによって取得し，その値を用いる⁵⁾．我々は通常のメディアスペースと同様に使用できるように，3)の方法を選択した．

2.3 カメラの可動範囲の最小化

本論文で提案するメディアスペースを容易に導入できるように，我々はカメラの可動範囲を最小化した．まず，カメラの移動は前後移動のみの一次元にし，ユーザの動きをディスプレイに垂直な向きに同期させた．ユーザがディスプレイの前を動き回る際，ユーザは垂直方向だけではなく水平方向にも動くので，それを利用してカメラを左右に動かすこともできる⁵⁾．二次元の動きはより大きな運動視差を発生させることができるが，可動範囲が大きくなってしまいますので，水平方向の動きは用いないことにした．移動距離に関しては，我々の先行研究においてはカメラを1m移動させていたので，より短い750mmとした．

2.4 ユーザとの同期

我々はユーザのディスプレイへの接近動作に同期させてカメラを移動させた．これはユーザにカメラの移動操作をさせずに，相手の映像が拡大されることを予測させるためである．ユーザに同期する場合とユーザが操作する場合との違いで最も重要なことはユーザの意図があるかどうかである．ユーザがカメラを操作する場合，人や物を見ようというユーザの意図が存在するが，カメラがユーザの動作に従って自動的に移動する場合，ユーザは単に自分の動きとカメラの移動が関係していることに気づくだけであり，カメラが移動する目的は知らない．本論文で提案するメディアスペースにおいては，ユーザが可動式カメラのメカニズムを知る必要はない．後に述べる実験においては，我々は実験が終了するまでは被験者に対してカメラが移動することは伝えなかった．

3. 実験

図2に実験環境を示す．被験者側の部屋には通常のネットワークカメラを設置し，説明者側の部屋には可動式カメラを設置した．可動式カメラはネットワークカメラを直動位置決めテーブルに装着したものである．直動位置決めテーブルは，被験者側の部屋の机の上に

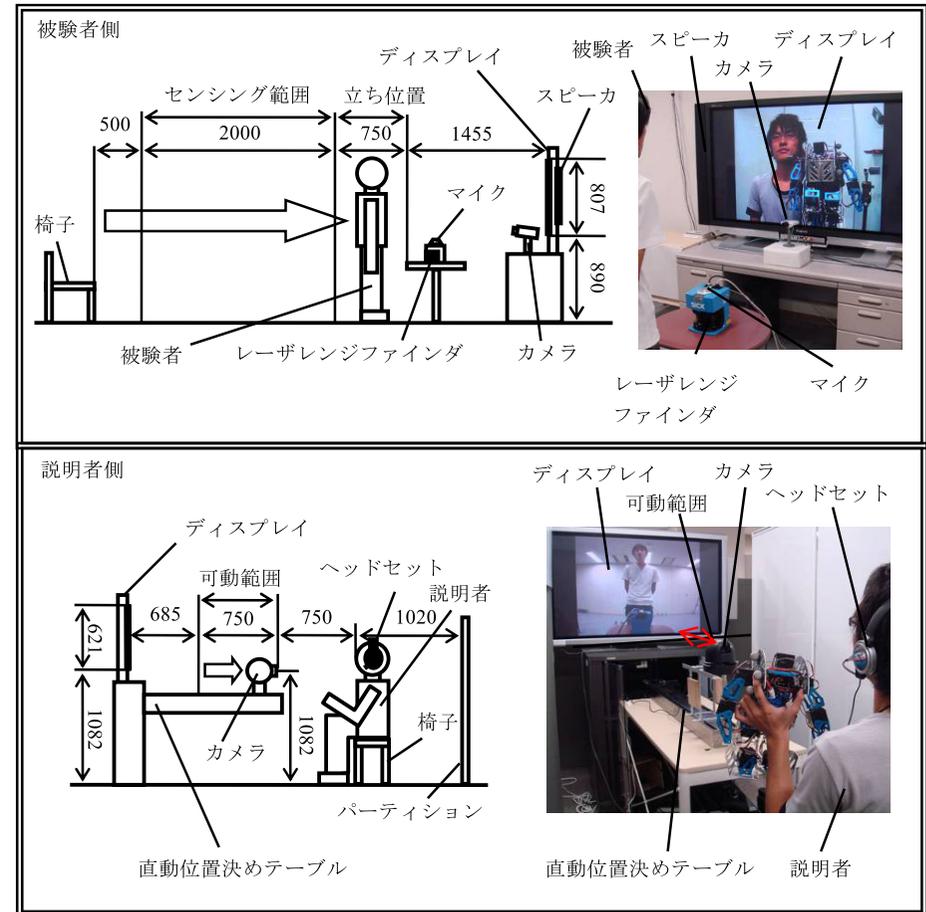


図2 実験環境 (単位: mm)

Fig. 2 Setup of the experiment (the unit of length is the millimeter).

設置したレーザレンジファインダの値に従って動作する．机の約1.2m後ろには65インチのプラズマディスプレイを設置した．ディスプレイには可動式カメラからのリアルタイム映像を表示した．映像の解像度は704×480ピクセルであり，フォーマットはMotion JPEGである．各画像は約17キロバイトでフレームレートは26fps，水平画角は52度であった．

予備実験において、アイコンタクトが社会的テレプレゼンスを強化し²⁾。アンケートにおける天井効果を引き起こすことを観測した。よって、アイコンタクトの成立を避けるために、説明者がディスプレイ上部に映った被験者の映像を見たときに、視線が上を向くように、説明者は目の高さが低くなるように着席した。

学部生の被験者に、研究室とは別の部屋から、メディアスペースを用いて説明者から3台のロボットの説明を聞くというタスクを行ってもらった(図3)。被験者は実験開始時には机から3m以上離れた位置にある椅子に座っていた。実験開始後、説明者はロボットを説明する前に、被験者にディスプレイに近づくように言った。ロボットの説明を受けている最中は、被験者は机の前の立ち位置に立っていた。机の前から750mmの位置から2,750mmの位置の間の2mの範囲において、被験者の位置をレーザレンジファインダで取得した。説明者はロボットの説明が終わるたびに、被験者にもう1度椅子に座るように言った。説明者は3台のロボットを説明したので、被験者は3回ディスプレイへの接近動作を行った。

3.1 仮説と実験条件

実験では4つの条件を比較した。各条件において実験環境は同様であり、被験者のディスプレイへの接近動作とカメラの移動との関係のみが各条件で違った。

本論文で提案した設計をそのまま反映した条件として、同期条件を設定した。この条件においては、カメラは被験者のディスプレイへの接近動作に比例して750mm移動する。カメラが説明者から最も遠い状態と最も近い状態を比較すると、被験者が見る説明者の映像は約2倍になっていた。

我々は3つの仮説を立てた。1つ目の仮説はカメラが被験者のディスプレイへの接近動作に合わせて前後移動すると、被験者の感じる社会的テレプレゼンス、すなわち説明者と同じ部屋で対面している感覚が強化されるというものである。この仮説を示すために、我々は固定条件を設定し、同期条件と比較した。固定条件においては、被験者の位置にかかわらずカメラはつねに説明者に最も接近した状態であった。

2つ目の仮説は、被験者がカメラの移動が自己発生的でないと認識すると仮説1の効果は消えるというものである。カメラの移動が外部発生的である場合、被験者は運動視差の効果を予測できず、社会的テレプレゼンスは強化されないと考えられる。この仮説を示すために、我々は非同期条件を追加した。非同期条件では、カメラは被験者の接近動作と同期させず、被験者には説明者がカメラを移動させたことと認識させた。具体的には、被験者がディスプレイへの接近を完了した後、説明者はカメラに向けてリモコンのボタンを押す動作を行った。カメラはその説明者の動作の直後に前進した。カメラは同期条件と同じ距離だけ移動し

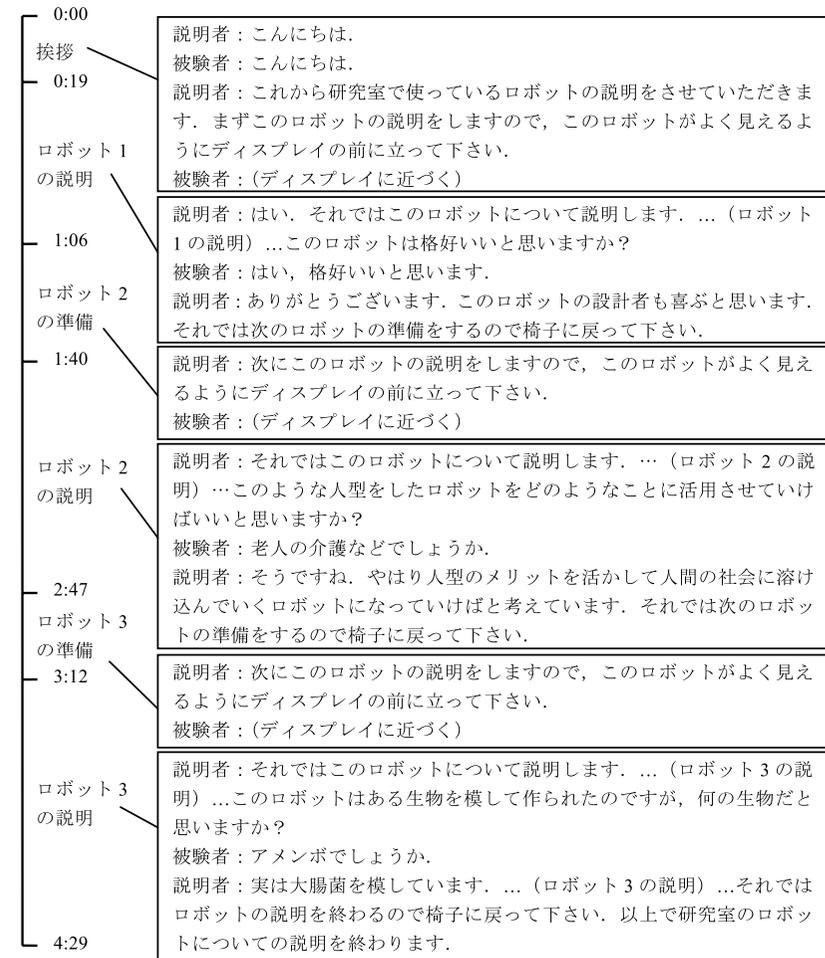


図3 タスクの流れ
Fig. 3 Flow of the task.

たが、説明者の映像の拡大を印象づけるために、カメラの移動時間を、被験者の移動時間に依存する同期条件よりも少し短い2秒とした。

3つ目の仮説はカメラの前後移動ではなくズームイン、ズームアウトで説明者の映像の拡

大縮小を行った場合、仮説 1 の効果はなくなるというものである。ズームインによって、説明者の映像は拡大するが、運動視差は発生しない。したがって社会的テレプレゼンスは強化されないと考えられる。この仮説を確かめるためにズーム条件を追加した。ズーム条件ではカメラは被験者のディスプレイへの接近動作に連動してズームイン、ズームアウトを行った。最もズームインした際に、被験者から見た説明者の映像が同期条件と同様に約 2 倍になるように設定した。このとき、カメラの水平画角は 29 度であった。カメラがズームアウトした際の水平画角は、他の条件と等しく、52 度であった。

図 4 はズーム条件と同期条件における、被験者から見た説明者の映像の見え方の遷移を表している。左端の列は被験者の位置を示している。また、右端の列は同期条件におけるカメラの位置を示している。図の写真のように、同期条件では運動視差が発生するが、ズーム条件では最初の映像が拡大されるのみで運動視差は発生しない。固定条件では、同期条件の一番下の写真と同じ映像を被験者はつねに見ていた。非同期条件では図 5 に示すように、説明者がリモコンのボタンを押す動作をした後に、被験者は同期条件と同じような映像の遷移を見た。

3.2 実験結果

固定条件、ズーム条件、非同期条件、同期条件を比較した結果を述べる。各条件 7 人ずつの被験者にメディアスペースを使用してもらい、実験後のアンケートによる主観評価を用いて比較した。前半の質問項目では、映像や音声などの質に関して各条件間で違いがないかを調べた。後半の質問項目では、社会的テレプレゼンスを、同じ部屋の中で実際に会話している感じ、説明者を眺めている感じ、説明者に眺められている感じ、ロボットを眺めている感じの 4 つに分けて調べた。アンケートは各項目に対して 9 段階のリッカート尺度を用いた。4 つの条件は被験者間要因の一元配置の分散分析と Tukey の多重比較を用いて比較した。図 6 に各条件を比較した結果を示す。

同じ部屋の中で実際に会話している感じがしたという項目に有意差が見られた ($F(3, 24) = 8.980, p < 0.001$)。多重比較によると、この感覚は同期条件の場合に固定条件 ($p < 0.001$)、ズーム条件 ($p < 0.01$)、非同期条件 ($p < 0.01$) のどの条件よりも有意に強かった。他の条件間には有意差は見られなかった。同じ部屋の中で実際に説明者を眺めている感じがしたという項目にも有意差が見られた ($F(3, 24) = 5.398, p < 0.01$)。多重比較によると、この感覚は同期条件の場合に固定条件 ($p < 0.05$) と非同期条件 ($p < 0.01$) よりも有意に強かった。他の条件間には有意差は見られなかった。さらに、同じ部屋の中で実際にロボットを眺めている感じがしたという項目にも有意差が見られた ($F(3, 24) = 5.746, p < 0.01$)。多重



図 4 説明者の映像の拡大

Fig. 4 Expansion of the presenter's image.



図 5 リモコンのボタンを押す動作

Fig. 5 Pushing the button of a remote controller.

比較によると、この感覚は同期条件の場合に固定条件 ($p < 0.05$)、ズーム条件 ($p < 0.01$)、非同期条件 ($p < 0.05$) のどの条件よりも有意に強かった。他の条件間には有意差は見られなかった。

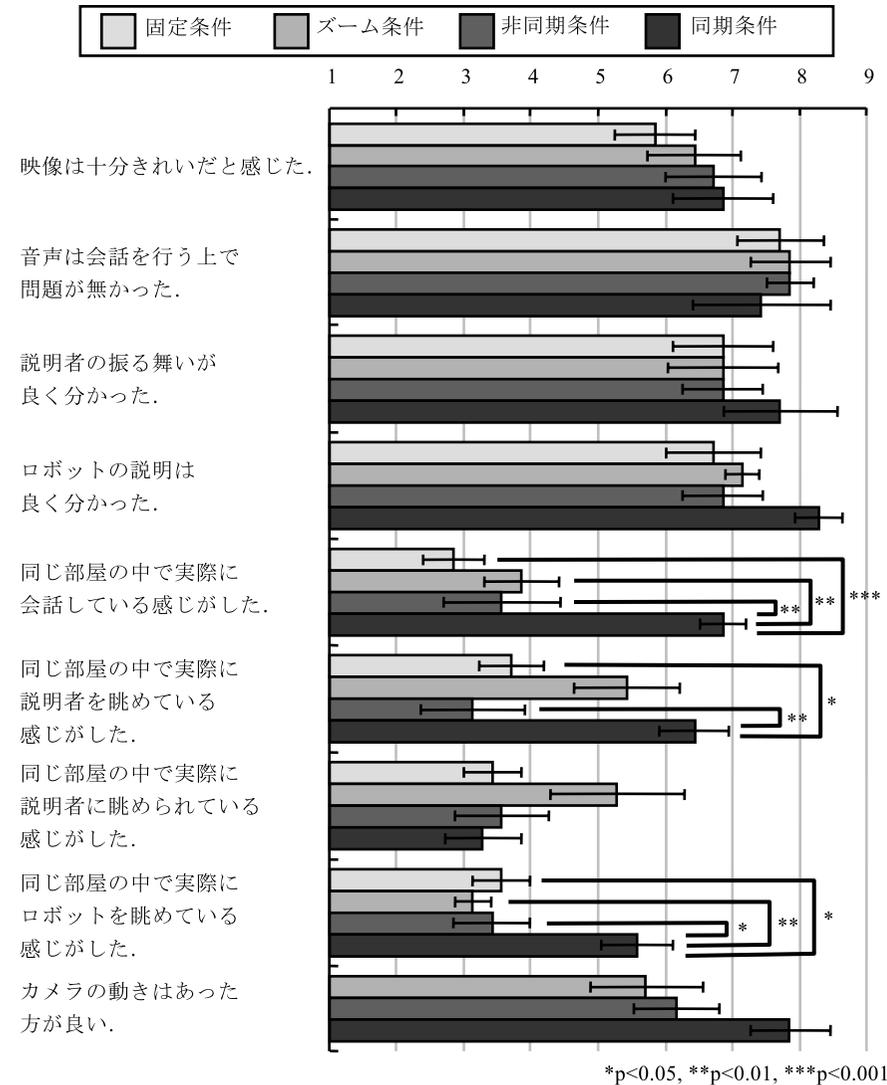


図 6 アンケート結果
Fig. 6 Result of a questionnaire.

以下の項目に関しては有意差が見られなかった。映像は十分綺麗だと感じた ($F(3, 24) = 0.417$)。音声は会話を行ううえで問題がなかった ($F(3, 24) = 0.085$)。説明者の振舞いがよく分かった ($F(3, 24) = 0.321$)。ロボットの説明はよく分かった ($F(3, 24) = 1.917$)。このことから、映像や音声、説明の分かりやすさは、社会的テレプレゼンスに影響を与えていないと考えられる。

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という項目にも有意差が見られなかった ($F(3, 24) = 1.788$)。本実験では天井効果を防ぐために説明者は被験者とのアイコンタクトが成立しないようにしていた。しかし、ズーム条件は他の条件よりカメラと説明者の距離が大きくなるので、説明者の視線の向きとカメラの向きとの角度が他の条件よりも小さくなる。その結果、一部の被験者がアイコンタクトは成立していたと感じてしまい、有意差が見られなくなったと考えられる。

以上の結果はすべての仮説を支持するものである。遠隔地の人とあたかも同じ部屋にいるような感覚は、ユーザの動きに合わせてカメラを前後に移動させた場合に強化される。しかし、カメラの移動が自己発生的でないユーザが判断した場合は、この効果はなくなる。また、カメラを移動させる代わりにズーム機能によって遠隔地の人の映像を拡大した場合も、この効果はなくなる。

上記の質問項目を書いたアンケートに答えた後に、固定条件以外の被験者にはもう1つのアンケートに答えてもらった。このアンケートではまず、説明者側のカメラが動いていたことに気がついたかどうかについて、次の4つの選択肢から選んでもらった。1. 気づかなかった。2. カメラ本体が前後に移動していた。3. カメラがズームイン、ズームアウトしていた。4. その他。その結果、すべての被験者がカメラはズームイン、ズームアウトしていたと思ったと答えた。我々は質問で「カメラが動いていた」という表現を用い、さらに、カメラ本体が前後に移動していたという選択肢をズームイン、ズームアウトしていたという選択肢よりも上に配置した。それにもかかわらず、カメラが実際には前後に移動していた条件である、同期条件、非同期条件の被験者も、全員がカメラはズームイン、ズームアウトしていたと答えた。

加えて、どのような規則でカメラが動いていたと思ったかを聞いた。その結果、我々はカメラについて被験者に何も説明しなかったにもかかわらず、ほとんどの被験者は、自分がディスプレイに近づいたり離れたりすることに合わせて説明者の映像が拡大、縮小されているということを理解していた。同期条件においては、被験者がディスプレイ前方の立ち位置に到着してから映像変化が終了するまでに約0.5秒の遅延が生じていたが、同期条件の被験

者が遅延を指摘することはなかった。同期の遅延は実験結果に大きな影響は与えなかったと考えられる。

最後に、カメラの動きはあった方がよいかを尋ねた。この質問項目についても9段階のリッカート尺度を用いた。その結果、この項目について有意傾向が見られた ($F(2, 18) = 2.630$, $p < 0.1$)。多重比較によると、同期条件の場合の方がズーム条件の場合より映像の変化が好意的に受け取られる傾向があった ($p = 0.103$)。

4. 考 察

同期条件の被験者もズーム条件の被験者もともに自分の動きに合わせてカメラがズームしていたと感じていたにもかかわらず、同期条件の場合のみ被験者の感じる社会的テレプレゼンスが強化されていた。この結果から、同期条件の被験者は、意識的にはカメラの移動による運動視差を認識していないが、潜在意識下では運動視差を認識しているのではないかと推測できる。ズーム条件の被験者にディスプレイに近づくとカメラが前進すると説明した場合、上記の関係を反転させることができると考えられる。すなわち、意識的には運動視差を認識しているが、潜在意識下では認識していないという条件である。このような条件の被験者が感じる社会的テレプレゼンスが強化されなかった場合、潜在意識下の運動視差の認識が社会的テレプレゼンスを強化するという仮説を補強できると考えられる。

同期条件の方がズーム条件の場合より映像の変化が好意的に受け取られる傾向があった。これは本実験では被験者のディスプレイへの接近動作を増幅したからであると考えられる。被験者の注視を増幅した場合はズーム条件の方が好意的に受け取られる可能性がある。被験者の注視を増幅するカメラのズームが社会的テレプレゼンスを強化するという報告がある¹⁵⁾。

同期条件では、説明者だけでなくロボットを見ている感じも強化された。この結果は次のように解釈することができる。カメラの移動による運動視差が奥行き情報を伝達することで、被験者はロボットや説明者の形を把握しやすくなり、その結果それらを見ている感じが強くなった。そして、それによって説明者の話している感じが強くなったと考えられる。実際、予備実験において環境の奥行き情報も重要であることが分かっている。説明者側の部屋の明かりを消して暗い環境下で実験を行ったり、説明者の背景をホワイトボードのみの単一平面にしたりした場合、社会的テレプレゼンスはあまり強化されなかった。しかし、図6のように実際に会話している感じは、見ている感じや見られている感じよりも、同期条件と他の条件との差が明確に出ている。そこで、奥行き情報と会話による説明者とのインタラク

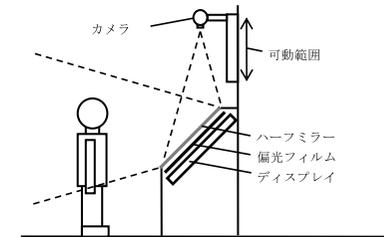


図 7 邪魔にならない設計案
Fig. 7 Less obstructive version.

ションの相乗効果により会話している感じが強化され、それによって見ている感じと見られている感じが強化されたとも解釈できると我々は考える。どちらの解釈が正しいかを判断するにはさらなる研究が必要である。

我々は極端なデザインのシステムを用いて実験を行った。しかし、中間的なデザインも考えられる。我々は前進移動とズームを別々に観測した。それらを組み合わせると、より短い距離で遠隔地のユーザの映像を拡大することができる。この組合せによって運動視差は減少するので、社会的テレプレゼンスの強化の程度は減少するはずである。別の例としては、ユーザの何らかの振舞いをきっかけにカメラを動かす方法が考えられる。これは同期条件と非同期条件の中間に位置する。たとえば、ユーザがディスプレイを見たときや、ユーザがディスプレイの前に立ち止まったときなど、ユーザの自然な動作をきっかけに、カメラを前進させる。この動きは同期条件よりも簡単なメカニズムで実現できる。ユーザがカメラの動きが自分の振舞いに起因していると判断しさえすれば、このような簡単なメカニズムでも社会的テレプレゼンスを強化できる可能性がある。

図1で提案した設計では、ディスプレイ面に垂直方向に取り付けられた直動位置決めテーブルが視界に入り、邪魔なものとなっている。図7は、直動位置決めテーブルを壁面に取り付けるという設計である。カメラは前後方向に移動する代わりに上下方向に移動する。この設計では、ディスプレイを眺めているユーザの正面映像をカメラで取得するために、傾けたディスプレイにハーフミラーと偏光フィルムを貼っている⁸⁾。この設計を用いることで、カメラと直動位置決めテーブルにカバーを被せ、ユーザから見えないようにすることができる。また、カメラの動きを、ユーザの接近を遠隔地の対話者に知らせるアウェアネス支援機能として利用する代替設計も考えられる。どの設計が受け入れられるのかを究明するには、さらなる研究が必要である。また、運動視差をデジタル処理で発生させるカメラアレイは可

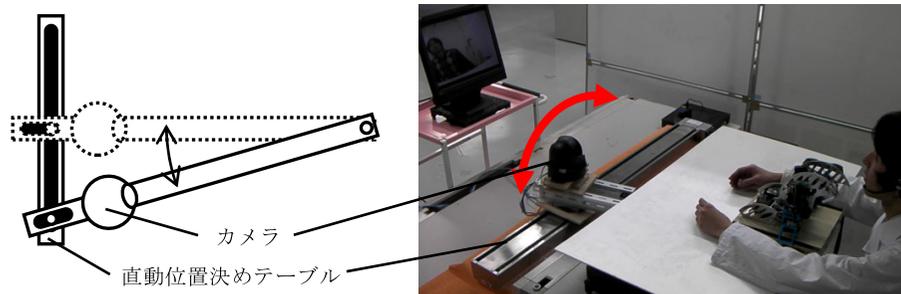


図 8 追加実験の実験環境

Fig. 8 Setup of the additional experiment.

動式カメラの代わりになるかもしれない。これは、直動位置決めテーブルが邪魔になるという問題に対する別の解決策である。

図 1 で提案した設計では、ユーザがディスプレイに向かって前後に移動したときに運動視差が発生するが、運動視差は左右移動でも発生する。左右移動による運動視差の発生による社会的テレプレゼンス強化の効果を検証するため、我々はビデオ会議において、左右方向の視点移動を可能にしたシステムを開発した。ユーザの頭の位置をカメラでとらえ、それを画像認識によって追跡し、それに連動して遠隔地のカメラを移動させる。このシステムを用いて左右方向の運動視差の効果を調べる追加実験を行った。図 8 に実験環境を示す。実験タスクは同様にロボットの説明とした。カメラが移動してもつねにロボットをカメラの中心にとらえられるように、カメラがロボットを中心とした同心円上を移動するようにした。上記の条件をカメラ回転条件とし、これに加えて台回転条件を追加した。台回転条件では説明者側のカメラが移動する代わりに、被験者の頭の左右移動に連動して、ロボットを乗せた台が回転した。2 条件でロボットの見え方は変わらないが、カメラ回転条件では、ロボット以外の説明者や机の見え方が運動視差をともなって変化する。よって、カメラ回転条件は台回転条件よりも社会的テレプレゼンスを強化すると予想した。しかし、今回の実験ではその効果は観測されなかった。その原因の 1 つとして、2 条件で映像変化の差が小さかったことが考えられる。左右方向の運動視差によるテレプレゼンスへの影響に関してはさらなる実験が必要である。

5. おわりに

本論文では、メディアスペースにおいて、遠隔地にあるカメラをユーザのディスプレイへ

の接近動作に合わせて前後移動させることにより、ユーザが感じる社会的テレプレゼンスを強化できることを示した。本論文で着目している社会的テレプレゼンスとは、遠隔地の人間と同じ空間で対面しているような感覚のことである。

遠隔地の対話者がカメラを動かしていると被験者が認識した場合は、社会的テレプレゼンスは強化されなかった。これは我々の先行研究を支持する結果である^{17),23)}。先行研究では示されておらず、今回の実験で見られた重要な知見としては、ユーザがカメラの動きを操作しなくても、ユーザが映像は自分の動きに同期して変化しているということを認識すれば、社会的テレプレゼンスが強化されることである。このとき、ユーザはカメラの位置の変化に気づく必要はない。さらに、ユーザが、カメラは移動しているのではなく、単にズームしているだけだと思い込んでいてもかまわない。ユーザがカメラを操作する場合、システムに関する事前説明を受ける必要があるが、本研究で開発したシステムでは事前説明を受ける必要がない。よって、実験でカメラの移動とズームを比較することができた。カメラを移動させる代わりにズームさせただけでは運動視差が発生しないため、少なくとも我々が行った実験においては社会的テレプレゼンスの強化は確認されなかった。メディアスペースにおいて、可動式カメラを用いて社会的テレプレゼンスを強化するには、少なくとも、カメラの動きをユーザに同期させることが必要であると考えられる。

謝辞 可動式カメラの構築に協力していただいた松村礼央氏に感謝する。本研究は、若手研究 (A)「テレロボティッ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」(代表研究者: 石黒浩)、科学技術振興調整費「先端融合領域イノベーション創出拠点の形成: ゆらぎプロジェクト」からの支援を受けた。

参 考 文 献

- 1) Bly, S.A., Harrison, S.R. and Irwin, S.: Media Spaces: Bringing People Together in a Video, Audio, and Computing Environment, *Comm. ACM*, Vol.36, No.1, pp.28-46 (1993).
- 2) Bondareva, Y. and Bouwhuis, D.: Determinants of Social Presence in Videoconferencing, *Proc. AVI2004 Workshop on Environments for Personalized Information Access*, pp.1-9 (2004).
- 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) Fish, R.S., Kraut, R.E. and Chalfonte, B.L.: The VideoWindow System in Informal Communication, *Proc. CSCW'90*, pp.1-11 (1990).
- 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) Ijsselstein, W., de Ridder, H., Freeman, J., Avons, S.E. and Bouwhuis, D.: Effects of Stereoscopic Presentation, Image Motion and Screen Size on Subjective and Objective Corroborative Measures of Presence, *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, Vol.10, No.3, pp.298–311 (2001).
 - 8) Ishii, H., Kobayashi, M. and Arita, K.: Iterative Design of Seamless Collaboration Media, *Comm. ACM*, Vol.37, No.8, pp.83–97 (1994).
 - 9) Jancke, G., Venolia, G.D., Grudin, J., Cadiz, J.J. and Gupta, A.: Linking Public Spaces: Technical and Social Issues, *Proc. CHI2001*, pp.530–537 (2001).
 - 10) Karahalios, K. and Donath, J.: Telemurals: Linking Remote Spaces with Social Catalysts, *Proc. CHI2004*, pp.615–622 (2004).
 - 11) 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. CHI2004*, pp.183–190 (2004).
 - 12) Mantei, M.M., Baecker, R.M., Sellen, A.J., Buxton, W.A.S., Milligan, T. and Wellman, B.: Experiences in the Use of a Media Space, *Proc. CHI'91*, pp.203–208 (1991).
 - 13) Morita, T., Mase, K., Hirano, Y. and Kajita, S.: Reciprocal Attentive Communication in Remote Meeting with a Humanoid Robot, *Proc. ICMI2007*, pp.228–235 (2007).
 - 14) Mueller, F., Agamanolis, S. and Picard, R.: Exertion Interfaces: Sports over a Distance for Social Bonding and Fun, *Proc. CHI2003*, pp.561–568 (2003).
 - 15) Nakanishi, H., Kato, K. and Ishiguro, H.: Zoom Cameras and Movable Displays Enhance Social Telepresence, *Proc. CHI2011* (2011).
 - 16) Nakanishi, H., Murakami, Y. and Kato, K.: Movable Cameras Enhance Social Telepresence in Media Spaces, *Proc. CHI2009*, pp.433–442 (2009).
 - 17) Nakanishi, H., Murakami, Y., Nogami, D. and Ishiguro, H.: Minimum Movement Matters: Impact of Robot-Mounted Cameras on Social Telepresence, *Proc. CSCW2008*, pp.303–312 (2008).
 - 18) Prussog, A., Muhlbach, L. and Bocker, M.: Telepresence in Videocommunications, *Proc. Annual Meeting of Human Factors and Ergonomics Society*, pp.25–38 (1994).
 - 19) Roussel, N.: Experiences in the Design of the Well, a Group Communication Device for Teleconviviality, *Proc. Multimedia2002*, pp.146–152 (2002).
 - 20) Roussel, N., Evans, H. and Hansen, H.: Proximity as an Interface for Video Communication, *IEEE Multimedia*, Vol.11, No.3, pp.12–16 (2004).

- 21) Sheridan, T.B.: Teleoperation, Telerobotics and Telepresence: A Progress Report, *Control Engineering Practice*, Vol.3, No.2, pp.205–214 (1995).
- 22) Vogeley, K. and Fink, G.R.: Neural Correlates of The First-Person-Perspective, *Trends in Cognitive Sciences*, Vol.7, No.1, pp.38–42 (2003).
- 23) 村上友樹, 中西英之, 野上大輔, 石黒 浩: ロボット搭載カメラの移動がテレプレゼンスに与える影響, *情報処理学会論文誌*, Vol.51, No.1, pp.54–62 (2010).

(平成 22 年 6 月 28 日受付)

(平成 23 年 1 月 14 日採録)



加藤 慶

2009 年大阪大学工学部応用理工学科卒業。現在、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在学中。社会的テレプレゼンスに興味を持つ。



村上 友樹

2008 年大阪大学工学部応用理工学科卒業。2010 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。情報処理推進機構 2007 年度第 II 期末踏ソフトウェア創業事業「コピキタス環境技術を用いた超越体験メディアの開発」開発代表者。現在、ダイキン工業株式会社ソリューション商品開発センターに所属。



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 年京都大学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。遠隔インタラクシオンに興味を持つ。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。