

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

村上友樹^{†1} 中西英之^{†1}
野上大輔^{†1,*1} 石黒 浩^{†2}

近年、ビデオ会議が可能な遠隔操作ロボットが多数販売されている。本論文ではそのようなロボットの移動が操作者の感じるテレプレゼンスを強化することを示す。ロボットに搭載されたカメラの移動パターンを変えて比較実験を行った。具体的には、カメラを固定する場合、操作者の操作によりカメラが回転する場合、前後移動する場合、回転と前後移動の両方を行う場合、操作者は操作せずにカメラが自動的に移動する場合を比較した。その結果、カメラの前後移動が有意にテレプレゼンスを強化することが分かった。回転のみの場合や、カメラが自動的に移動する場合は効果が見られなかった。このことから、我々はカメラの可動性を映像コミュニケーションシステムの基本機能として提案する。

Effects of Robot-mounted Cameras' Movement on Telepresence

YUKI MURAKAMI,^{†1} HIDEYUKI NAKANISHI,^{†1}
DAISUKE NOGAMI^{†1,*1} and HIROSHI ISHIGURO^{†2}

Recently, various robots capable of having a video chat with distant people have become commercially available. This paper shows that movement of these robots enhances distant people's presence that the robot operator feels. We conducted an experiment to compare the degrees of telepresence produced by fixed, rotatable, movable, and automatically moving cameras. In this experiment we found that forward-backward movement of the camera significantly contributed to telepresence, while rotation did not. We also found that this effect disappeared when the camera moved automatically. We propose the user-controllable movement of cameras as a fundamental function for video-based communication systems.

1. はじめに

テレプレゼンスロボットの様々な利点が既存研究により明らかにされている。たとえば、ロボット搭載カメラの広い視野角の映像による没入感が対面環境に近いコミュニケーションを行ううえで重要であり^{(8),(21)}、ロボットの身体性が非言語的の手がかり(たとえば指示⁽⁹⁾、唇の動き⁽¹⁸⁾、頭の動き⁽¹⁰⁾、体の動き⁽¹⁴⁾)を用いたコミュニケーションを可能にする。そして、ロボットの機動性は人が多くいる環境(たとえば大学内の建物^{(7),(15)}や博物館^{(17),(19)})内で偶然出会った人とのインフォーマルコミュニケーションを生み出す。しかし、これらの既存研究では明らかに没入感、身体性、機動性が必要なタスクにテレプレゼンスロボットが使用されており、検証された利点はある程度タスクに依存している。

近年、自宅警備、ペットの安全確保、そして家族や同僚との会話などを目的とした様々な家庭用テレプレゼンスロボット^{(24)–(28)}が販売されている。それらが持つ機能は、遠隔地を映すカメラ、音声チャットのためのスピーカとマイク、そして遠隔地を見ながらロボットを操作しつつ音声チャットを行うためのウェブインタフェースなどである。カメラの映像は視野角が狭く立体映像ではないため、あまり没入感がない。加えて、ロボットに身振り手振りの機能がない場合や、車輪が小さすぎて大学内の建物や博物館などの広い公共空間を巡回できない場合が多い。このように家庭用テレプレゼンスロボットには没入感、身体性、機動性を十分に発揮する機能は備わっておらず、上述の既存研究で示された利点を発揮できるかは疑問である。

本論文では、家庭用テレプレゼンスロボットでも、テレプレゼンスを強化することができることを示す⁽¹²⁾。テレプレゼンスとは遠隔地の対話者と同じ空間で対面している感覚、すなわち対面環境にどれだけ近いかということである。ロボットを介した相互作用の分野におけるテレプレゼンスの標準的定義は、ロボット操作者の存在感を遠隔地の対話者へ伝達することである。既存研究では、ロボットと対面した被験者が、そのロボットの操作者の存在感をどの程度感じたかを実験後のアンケートで計測している⁽¹⁸⁾。その場合、ロボットの身体性が主な役割を果たすと考えられる。本研究では逆に、どのようにすれば対話者の存在感をロボット操作者に伝達できるかを課題とする。我々は、没入感、身体性、機動性に加えて、

^{†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

^{†2} 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

*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.

ロボット操作者が感じるテレプレゼンスもテレプレゼンスロボットの利点の1つであると考え、これに着目した。

2. 仮説

本研究では、家庭用テレプレゼンスロボットをロボットに搭載されたカメラとしてモデル化した。一般的な家庭用テレプレゼンスロボットと同様に、ロボットの動作は前後移動と回転のみとし、また、カメラの視野角は狭く、立体視は用いなかった。

基本的にビデオ映像はテレプレゼンスを強化する³⁾。そして、アイコンタクト²⁾、対話者の等身大映像、立体映像¹⁶⁾によってさらに強化される。アイコンタクトや等身大映像はロボット搭載カメラかどうかとは独立した要因であるため本研究では扱わない。ロボット搭載カメラの映像は立体映像ではないが、移動することで別の奥行き情報である運動視差を生み出す。ラリーカーの運転席に設置したカメラの映像を見た被験者が運動視差によって立体映像よりも現地にいるような感覚、すなわち没入感を感じたという報告がある⁶⁾。この研究においては、被験者が遠隔地の空間にいるような感覚のみを検証しており、本論文におけるテレプレゼンス、すなわち遠隔地の対話者と同じ空間で対面している感覚は測定していなかった。我々はこの運動視差による没入感の強化によって、テレプレゼンスを強化できると考えた。ロボットの前後移動は運動視差を発生させ、回転動作は運動視差を発生させない。したがって、回転動作の有無に関係なく、ロボットが前後移動する場合にテレプレゼンスが強化されると予想できる。以上のことから次のような仮説を立てた。

仮説1：回転動作の有無に関係なく、ロボットの動作に前後移動が含まれていればテレプレゼンスが強化される。

テレプレゼンスにはセンサ情報、センサ制御の自由度、環境変更能力という3つの独立要素がある²⁰⁾。センサ情報とは映像や音声などによってユーザに伝達される知覚情報の種類の多さである。運動視差によるテレプレゼンスへの効果は実証されていないが、我々は仮説1で問題にしている運動視差がこの知覚情報に対応すると考えた。センサ制御の自由度とはカメラやマイクなどを操作者が操作するときの自由度や可動範囲であり、環境変更能力とは遠隔地の人や物体などに操作者がアクチュエータなどを用いてロボットの周囲に変化を与えるときの変化の量である。これら、センサ制御の自由度と環境変更能力は、ここではロボットの操作の度合いに対応する。操作の度合いが高い、つまりロボットを自分で操作できる場合は、度合いの低い、つまりロボットを操作できない場合よりもテレプレゼンスを強化すると予想できる。また、神経学分野の既存研究によれば、人が自己発生的動作と外部発生的動作を区別で

きる理由は予測フィードフォワードモデルにより説明できるとされている²²⁾。この知見をテレプレゼンスロボットにあてはめると、操作者が自らロボットを操作する場合はロボットの動作は予測できるので、操作者はロボットの動作を自己発生的動作であると判断すると考えられる。また、ロボットを操作しない場合は、ロボットの動作が予測不可能なので、操作者はロボットの動作を外部発生的動作であると判断すると考えられる。それゆえ操作者がロボットを自ら操作する場合、操作者はロボットの移動を自分の身体の移動として認識し、その結果テレプレゼンスが強化されると考えた。以上のことから次のような仮説を立てた。仮説2：操作者が自らロボットを操作した場合、ロボットが自動的に移動した場合よりテレプレゼンスが強化される。

3. 実験の詳細

3.1 タスク

被験者は学部生で、研究室とは別の操作室からテレプレゼンスロボットを操作して見学を行い、3台の卓上ロボットの説明を聞く(図1)。卓上ロボットは別々のテーブルの上であり、それぞれの卓上ロボットの説明のたびに説明者は次のテーブルへと移動した。そして、被験者は説明を聞くために、毎回卓上ロボットの方へとテレプレゼンスロボットを移動させた。図2に卓上ロボット見学タスクの流れを示す。各卓上ロボットの説明はそれぞれ3分

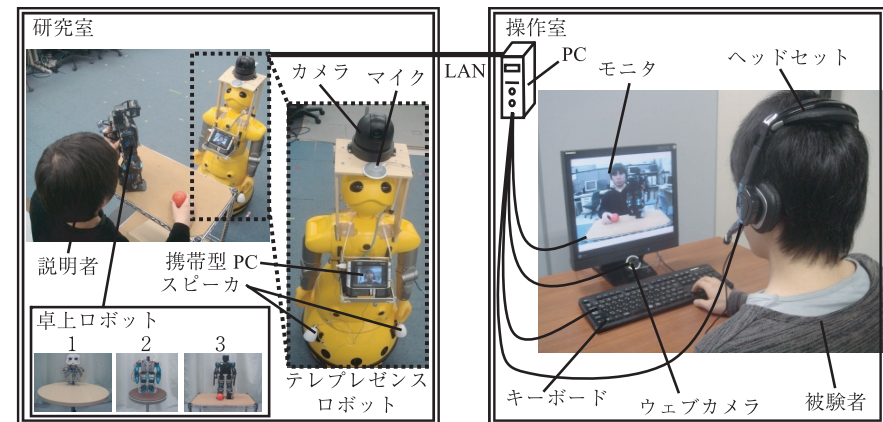


図1 実験環境

Fig. 1 Setup of the experiment.

56 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

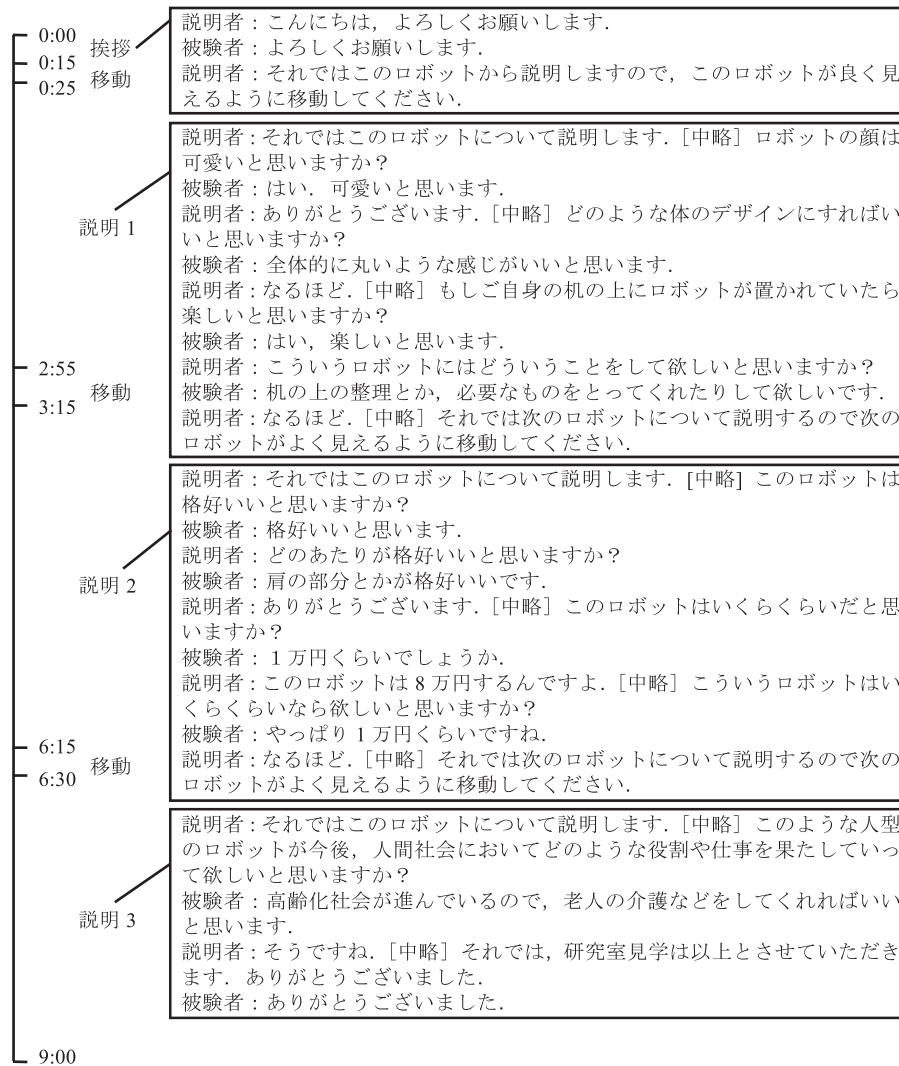


図 2 タスクの流れ
Fig. 2 Flow of the task.

弱, タスク全体の時間は 10 分弱であった。卓上ロボットの説明中, 説明者は図 2 に示す質問を被験者に行った。また, 後に記す実験条件すべてにおいて, 被験者がテレプレゼンスロボットを次のテーブルまで移動させるのに, 通常 20 秒弱の時間を要した。

3.2 実験環境

実験は 2008 年 3 月上旬から 4 月上旬に行い, 大学キャンパス内の同じ建物の別々の階にある 2 つの部屋を使用した。操作室では被験者が机の前に座ってキーボードによってロボットを操作した。そして, モニタに表示されるテーブル上の卓上ロボットと説明者の上半身の映像を見ながら, ヘッドセットを用いて説明者と会話した。研究室では説明者がテーブルの前に座り, ロボットに向かって卓上ロボットを紹介した(図 1)。

操作室の PC にはキーボード, ヘッドセット, ウェブカメラ, そしてモニタが接続されている。テレプレゼンスロボットは, インターネットを通して操作可能な家庭用ロボット²⁹⁾にネットワークカメラ (AXIS 215 PTZ), インターネット電話ソフト (Skype) を動作する携帯型 PC, マイク, スピーカを装着したものである。また, ロボット搭載カメラは被験者が説明者の顔と卓上ロボットを同時かつ自然に見るために説明者の顔と同じ高さにした。そして, アイコンタクトのテレプレゼンスへの影響²⁾を排除するために, 被験者の顔を表示する携帯型 PC の位置を適度に低くし, 説明者はその PC のモニタを見続けた。予備実験においてアイコンタクトがつねに成立するような設定にしたところ, アンケートの各質問に対するスコアがすべての条件において高くなり天井効果が発生したので, アイコンタクトは必ず成立しないような設定にした。この結果, 被験者のほぼ全員が, アイコンタクトが成立していなかったと実験後のインタビューで答えている。

ロボット搭載カメラの映像の仕様は以下のとおりである。解像度は 352 × 240 で, これを 17 インチのモニタに全画面で表示した。フォーマットは Motion JPEG, 画像 1 枚あたりのサイズは約 15 キロバイト, フレームレートは秒間 30 フレームである。水平視野角は 51 度, 遅延は 0.2 秒以下であった。これら映像のパラメータを上げることでテレプレゼンスを強化できると考えられる²⁰⁾。実際, 予備実験において, 高い解像度の方がテレプレゼンスは強化される傾向が見受けられたが, これはほぼ自明であると考えて本実験では比較しなかった。他の仕様については, 音声通信の遅延が 0.3 秒以下, ロボットの回転速度が秒速 30 度, 前後の移動速度が秒速 0.3 m であった。

3.3 実験条件

先の 2 つの仮説を検証するために我々は, 固定, 回転, 前後, 回転前後, 自動回転前後の 5 条件を用意した。図 3 に各条件におけるテーブルの配置とロボットの動き, 2 つ目から

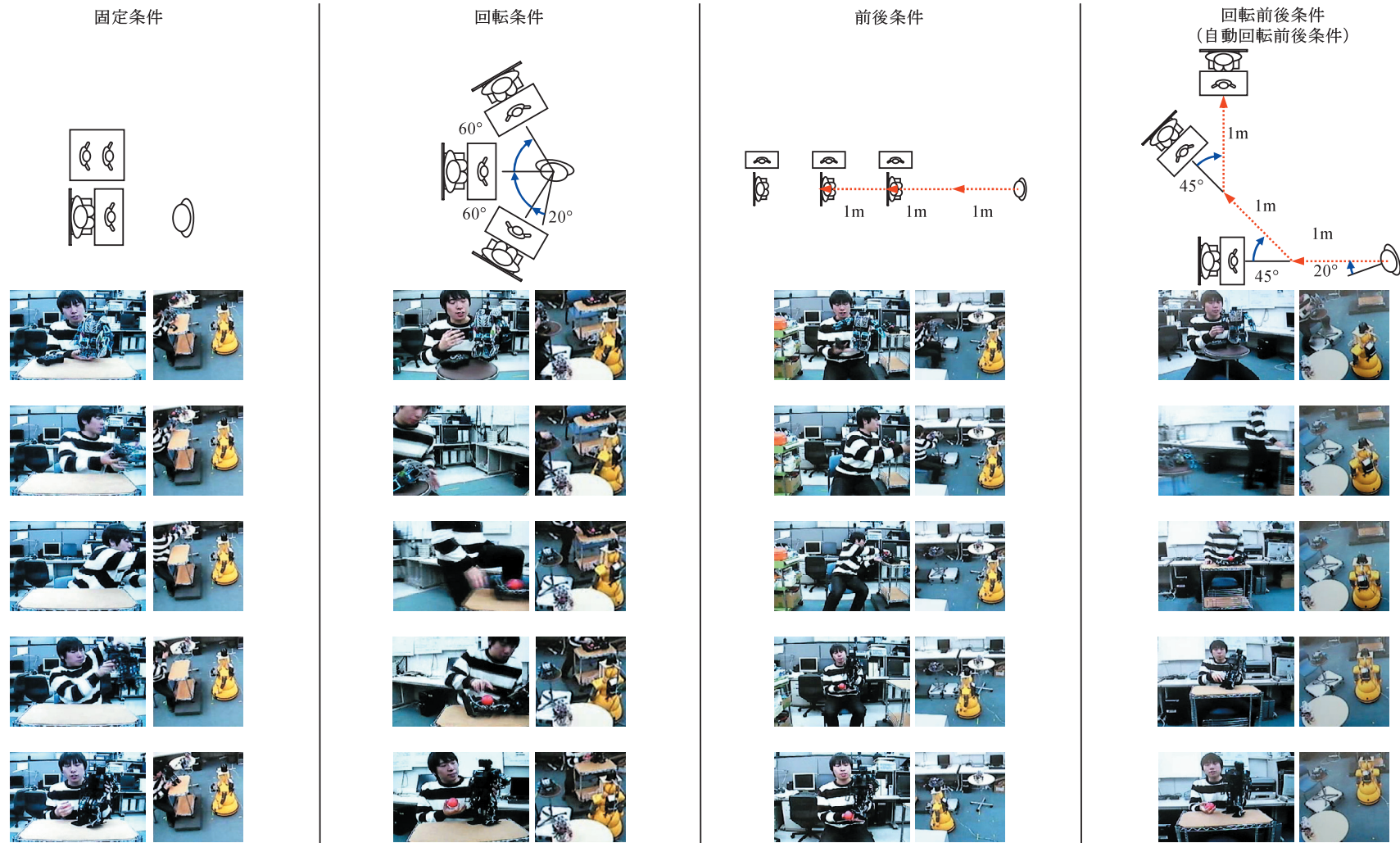


図 3 各条件におけるロボットの動き

Fig. 3 Rotation and movement of the telepresence robot in the five conditions (the fourth column describes two conditions).

3 つ目のロボットの説明への遷移を示す。左側は被験者がモニタで見るビデオ映像、右側は研究室の天井に取り付けたカメラのビデオ映像の写真である。各条件の詳細を以下で述べる。固定条件：ロボットの位置と角度を固定したのでビデオ会議システムと同様である。説明者はロボットの前に置いたテーブルで3つの卓上ロボットを説明した。

回転条件：被験者はロボットを回転できるが、前後移動はできない。3つのテーブルはロボットに向けて円形に配置され、説明者は各卓上ロボットを各テーブルで説明した。被験者は1つ目のテーブルに向くためにロボットを約20度回転させ、続いて2つ目と3つ目のテーブルに向くためにそれぞれ約60度ずつ回転させた。

前後条件：被験者はロボットを前後移動できるが、回転はできない。3つのテーブルは同一直線上に配置され、説明者は各テーブルから各卓上ロボットを手にとって説明した。被験者は説明者に近づくためにそれぞれ1mずつ移動した。

回転前後条件：被験者はロボットの回転と前後移動を自由にできる。3つのテーブルは被験者が回転と前後移動の両方の操作を必要とするように配置され、説明者は各卓上ロボットを各テーブルで説明した。被験者は右に約20度回転し、約1m前進して1つ目のテーブルに向き、続いて2つ目と3つ目のテーブルに向くためにそれぞれ右に約45度回転し、約1m前進するという操作が典型的であった。

自動回転前後条件：説明者とは別の実験者が回転前後条件における被験者の操作を正確に模倣してロボットを操作する。上述のように回転前後条件におけるロボットの移動は十分単純であるので、実験者は毎回正確にロボットの動きを再現できた。被験者にはロボットは自動的に移動すると説明し、実験後のインタビューによって、被験者はロボットが自動的に移動していたと思いついていたことを確認した。ロボットが自動的に移動する条件として、前後条件ではなく回転前後条件を自動化したのは、より操作の種類が多い回転前後条件の方が、ロボット操作の有無の効果を観測しやすいと考えたためである。

3.4 被験者と実験手順

我々の大学の近くに住む学部生35人を被験者とした。被験者間計画で実験を行った。各条件につき7人が参加し、固定条件、回転条件、前後条件には3人の女性と4人の男性が参加し、回転前後条件と自動回転前後条件には2人の女性と5人の男性が参加した。

所要時間は1人あたり約1時間であった。被験者が操作室に到着すると同意書に署名してもらい、テレプレゼンスロボットと同じロボットを見せた。次に、ロボット搭載カメラの映像が操作室のモニタに表示され、ウェブカメラで撮られた被験者の映像がロボットに装着されている携帯型PCのモニタに表示されることを説明した。この際、被験者と説明者がお

互いの顔を見ることができるところを強調した。被験者がロボットを操作できる条件では操作方法の説明も行い、説明中を含めてつねにロボットを操作してよいことを強調した。そして、タスクを開始するように被験者に伝えた。タスク終了後、被験者はアンケートに答え、研究室に移動してインタビューを受けた。

3.5 分析

アンケートでは全質問に9段階のリッカート尺度を用いた。1はまったくあてはまらない、3はあてはまらない、5はどちらともいえない、7はあてはまる、9は非常にあてはまる、に対応していた。

- 映像は十分綺麗だと感じた。
この質問で映像の質に違いがないことを確認した。
- 相手の振舞いがよく分かった。
- 相手の部屋の中の状況がよく分かった。
これらの質問によって、各条件間で研究室の様子や物体の位置関係などの把握しやすさに差がないかを調べた。
- 同じ部屋の中で実際に会話している感じがした。
- 同じ部屋の中で実際に相手を眺めている感じがした。
- 同じ部屋の中で実際に相手に眺められている感じがした。
- 相手の存在感を感じた。
これらの質問でテレプレゼンスの程度を調べた。

各質問項目は、予備実験において被験者に各質問のスコアを付けた理由を記述してもらい、不適当な要因によるアンケートへの影響や解釈の分かれる質問などを修正していくことで決定した。テレプレゼンスに関する質問群においては、スコアの低い被験者の多くがモニタ画面を意識した、テレビ電話のようだったという答えをしたが、高い被験者はそのようなシステムを意識する答えをしなかったため、相手と同じ空間にいる感覚、すなわちテレプレゼンスの度合いを計測できていると考えた。

我々は2つの統計分析を行った。まず、回転と前後移動の効果を別々に解析するため、固定条件、回転条件、前後条件、回転前後条件に対し2要因分散分析を行った。次に、操作の有無による効果を調べるため、固定条件、自動回転前後条件、回転前後条件に対して1要因分散分析とTukeyの多重比較を行った。

また、回転操作と前後移動操作の間に操作性の違いがないかを調べるために回転条件と前後条件において以下の質問を行い、t検定で比較した。

- ロボットを簡単に操作することができた。

4. 実験結果

固定条件, 回転条件, 前後条件, 回転前後条件の比較結果を図 4(a) に示す. 棒グラフは平均値で, バーは標準誤差を表す.

各条件の比較から, テレプレゼンスにおける前後移動の主効果が強く出た. 前後移動により, 同じ部屋の中で実際に会話している感覚 ($F(1, 24) = 15.753, p < 0.001$), 同じ部屋の中で実際に相手を眺めている感覚 ($F(1, 24) = 18.951, p < 0.001$), 同じ部屋の中で実際に相手に眺められている感覚 ($F(1, 24) = 6.57, p < 0.05$), そして相手の存在感 ($F(1, 24) = 5.095, p < 0.05$) が有意に増加した.

すべての質問において, 回転の主効果は見られなかった. また, 回転と前後移動の交互作用も見られなかった. ビデオ映像の画質および相手の振り舞いや相手の部屋の中の状況の分かりやすさには有意差は見られなかった. したがって, 条件間の画質の違い, 研究室の様子や物体の位置関係などの分かりやすさの違いが, 結果に影響を与えているわけではないと考えられる.

このように, 回転動作の有無に関係なくロボットの前後移動がテレプレゼンスを強化しているため, 上記の結果は仮説 1 を支持する. 回転の効果が現れないのは回転操作が前後移動操作よりも困難であったからとも考えられるが, 図 4 から回転操作の方が簡単である傾向があったため ($t(12) = 1.681, p = 0.12$), ロボットの操作性が原因ではないと考えられる.

次に, 固定条件, 自動回転前後条件, 回転前後条件の比較結果を図 4(b) に示す. 同じ部屋の中で実際に会話している感覚 ($F(2, 18) = 13.566, p < 0.001$) に有意差が見られた. また, 多重比較により回転前後条件では固定条件 ($p < 0.001$) と自動回転前後条件 ($p < 0.05$) よりも有意に増加することも分かったが, 固定条件と自動回転前後条件の間に有意差は見られなかった.

さらに, 同じ部屋の中で実際に相手を眺めている感覚 ($F(2, 18) = 18.314, p < 0.001$) にも有意差が見られた. 多重比較により, 先と同様に回転前後条件では固定条件 ($p < 0.001$) と自動回転前後条件 ($p < 0.001$) よりも有意に増加することが分かったが, 固定条件と自動回転前後条件の間に有意差は見られなかった. 他の質問に関しては有意差が見られなかった.

このように, 操作者が自らロボットを操作する場合はロボットが自動的に移動する場合よりもテレプレゼンスが強化されているため, 上記の結果は仮説 2 を支持する. しかしこれは, 自動回転前後条件と固定条件では被験者がつねにモニタを見ているわけではなかったこ

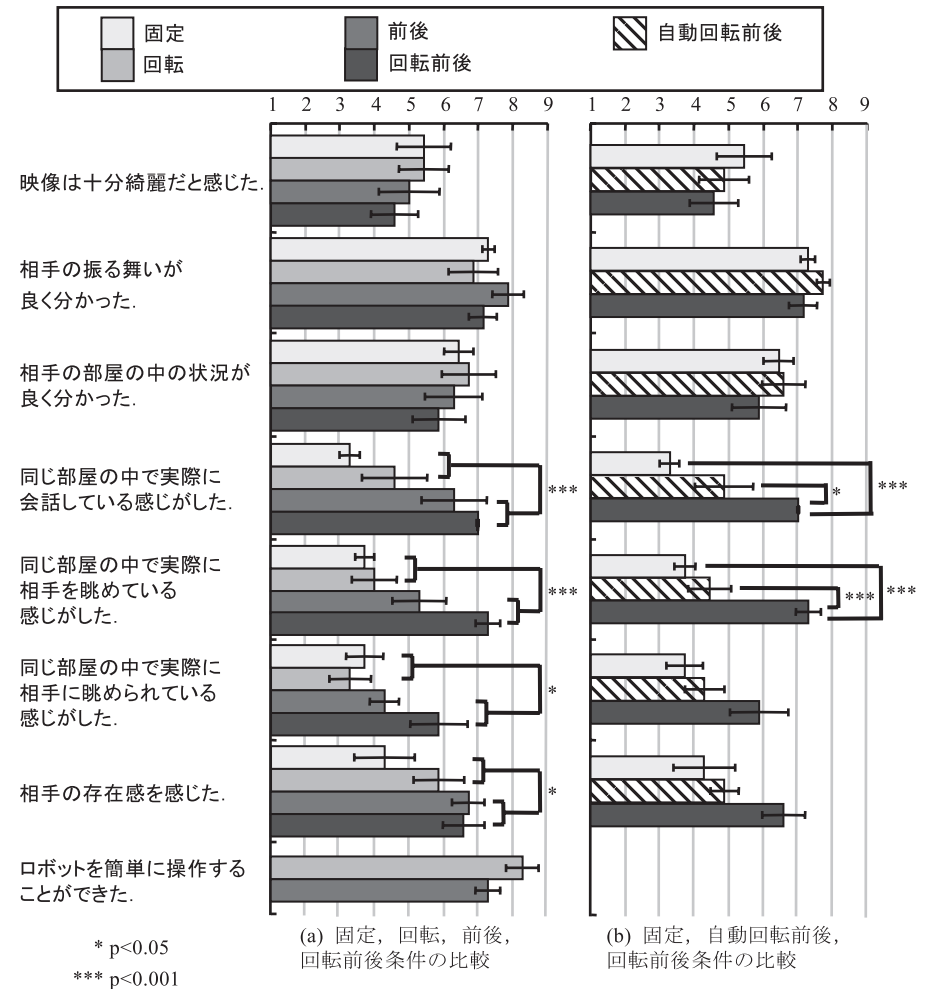


図 4 実験結果
Fig. 4 Results.

とが原因であるとも考えられる. そこで我々はタスク実行中の被験者を記録したビデオを調べた. その結果, すべての被験者はタスク実行中つねにモニタを見ていることが確認され

た．したがって、ビデオ映像への注意の度合いの違いが原因ではないと考えられる．

5. 考 察

実験によって、遠隔地のカメラを操作者が自ら操作することで、遠隔地にいる対話者と同じ部屋で対面しているような感覚が増加したことが分かった．前後条件の被験者へのインタビューにおいて、3人の被験者は自分が実験者の部屋にいるように感じたと答え、1人の被験者は実験者が自分の部屋にいるように感じたと答え、3人の被験者はどちらも感じないと答えたと答えた．共有空間が自分の側になるか相手の側になるかという問題は、標準的定義におけるテレプレゼンスにはない、操作者の感じるテレプレゼンスに特有の問題である．

実験結果は、遠隔コミュニケーションに一般的に用いられている固定カメラやパンチルトズームカメラでは、運動視差が生じないためにテレプレゼンスが強化されないことを示している．カメラの位置が移動可能であること、すなわち「可動性」が将来的に映像コミュニケーションシステムの重要な要素になるかもしれない．実験では3回の1mの前進移動の効果しか調べていないが、どの方向の移動でも運動視差が発生するため、どの方向でもテレプレゼンスは強化されうると思われる．これを確かめるため、3人の新たな学部の被験者に対して1mごとの右方向の横移動の効果を分析する小規模な実験を行ったところ、前進移動と同様の効果があるようだった．移動方向はテレプレゼンスの強化度合いに影響しないと思われるが、移動距離は影響する可能性があり、今後1m以下の移動距離の効果を分析する必要がある．

実験から、テレプレゼンスの強化には、カメラの移動は機械や他人によるものではなく入力操作を反映したものでなければならないことが分かった．実験では、キーボードによる操作のみであったが、他の入力方法として歩行インタフェース²³⁾や、音声認識インタフェース、あるいはブレインコンピュータインタフェースなどがある．入力方法による違いの検証は今後の課題である．

6. 設 計 案

本研究では実験にテレプレゼンスロボットを用いたが、実験中に被験者はロボットの身体を見ていないことから、テレプレゼンスロボットは位置の移動が可能なカメラとしてモデル化できると考えられる．そこで、実験で得られた知見をもとに、カメラの位置が移動する機能が追加された映像コミュニケーションシステムを提案する．ユーザに広い視野と奥行き情報を与えるために移動可能なカメラを用いたビデオ会議システムの既存研究⁴⁾があるが、

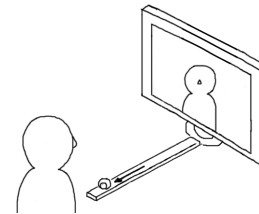


図5 可動ウェブカメラ
Fig. 5 Movable webcam.

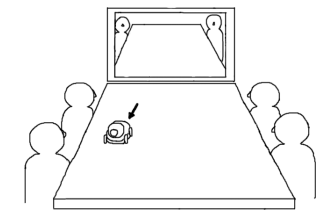


図6 可動カメラ付きビデオ会議室
Fig. 6 Videoconferencing room with a movable camera.

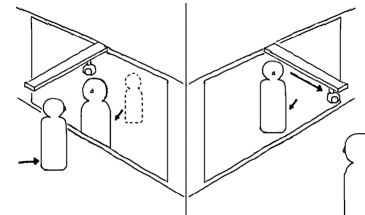


図7 可動カメラ付きメディアスペース
Fig. 7 Media space with movable cameras.

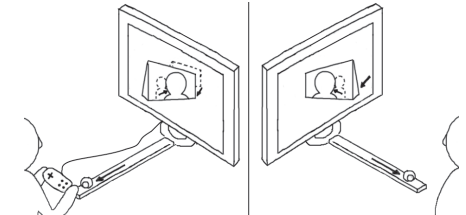


図8 可動カメラ付き仮想空間
Fig. 8 Virtual space with movable cameras.

我々は同様の機構がテレプレゼンスにも有用であると主張する．

可動ウェブカメラ：図5に可動ウェブカメラを示す．遠隔地の対話者はユーザのモニタに取り付けられたレールに沿ってウェブカメラを操作できる．対話者がユーザを近くから見るためにカメラの位置を調整すると、副次的効果として対話者が感じるユーザの存在感が強化される．可動カメラ付きビデオ会議室：図6に可動カメラ付きビデオ会議室を示す．遠隔地の対話者はテーブル上のカメラを操作できる．対話者の1人が部屋の中の人に話しかけるためにカメラを移動させると、副次的効果として対話者の感じるテレプレゼンスが強化される．可動カメラ付きメディアスペース：メディアスペースとは、典型的なものとしては大型スクリーンを用いて離れた2地点を接続するというものである¹⁾．図7に可動カメラ付きメディアスペースを示す．左側の人がスクリーンに近づくと右側のカメラは前進し、離れると後退する．つまり、人とスクリーンの距離が他方のカメラの位置を決定する．このようにメディアスペースを利用するユーザにとって自然な動作であるスクリーンへの接近動作がカメラの前進移動によって仮想的に増幅される．この設計案に関しては、我々は実際に開発を行っ

た．そして，被験者実験において本論文を支持する結果を得た¹³⁾．

可動カメラ付き仮想空間：ビデオチャットのための仮想空間では3次元ビデオウィンドウとしてユーザが表示される^{5),11)}．図8に可動カメラ付き仮想空間を示す．仮想空間で他人のビデオウィンドウとの距離が近くなるとカメラは前進し，遠くなると後退する．左側のユーザが仮想空間内で相手に近づくと，お互いのディスプレイに表示されるビデオウィンドウが大きくなり，同時にその中に表示されるお互いの顔がカメラの前進移動により運動視差をともなって大きくなる．顔が運動視差をともなって大きくなるのが左側のユーザが感じる右側のユーザの存在感を強化する．このシステムは上記の可動カメラ付きメディアスペースと似ているが，ビデオウィンドウ自体がアバタとして認識される可能性があるため，アバタの中の人間が動くことはやや奇妙であると思われる．

7. おわりに

実験では家庭用テレプレゼンスロボットでも操作者が感じるテレプレゼンスを強化できることが分かった．テレプレゼンスロボットに関する研究で焦点が当てられてきた没入感，身体性，機動性に加えて，テレプレゼンスを強化する「可動性」がさらなる利点となることを本研究で示した．可動性は，没入感に必要な広い視野角や立体映像を必要とせず，車輪やレールにカメラを取り付けるだけで得られる性質である．また，カメラが近くの人に単に近づきだけでテレプレゼンスが増すため，機動性よりも十分短い可動範囲で済む．

テレプレゼンスは，操作者と対話者との会話および非言語による意思伝達など，様々な社会的相互作用において重要であると考えられる．したがって，テレプレゼンスを強化する可動性を，映像コミュニケーションシステムの基本機能にすべきであると考えられる．映像コミュニケーションシステムにおいて，テレプレゼンスがユーザ間の社会的相互作用に与える具体的な影響についての検証は今後の課題である．

謝辞 本研究における実験環境の一部は，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の支援を受けて開発された．田中二郎プロジェクトマネージャに感謝する．また，本研究の一部は，文部科学省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」の研究助成によるものである．ここに記して謝意を表す．

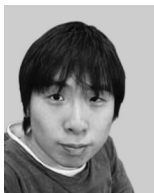
参 考 文 献

- 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) Gaver, W.W., Smets, G. and Overbeeke, K.: A Virtual Window on Media Space, *Proc. CHI95*, pp.257–264 (1995).
- 5) Han, J. and Smith, B.: CU-SeeMe VR Immersive Desktop Teleconferencing, *Proc. ACM Multimedia*, pp.199–207 (1996).
- 6) 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).
- 7) Ishiguro, H. and Trivedi, M.: Integrating a Perceptual Information Infrastructure with Robotic Avatars: A Framework for Tele-Existence, *Proc. IROS99*, pp.1032–1038 (1999).
- 8) Jouppi, N.P.: First Steps Towards Mutually-Immersive Mobile Telepresence, *Proc. CSCW2002*, pp.354–363 (2002).
- 9) 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).
- 10) 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).
- 11) Nakanishi, H., Yoshida, C., Nishimura, T. and Ishida, T.: FreeWalk: A 3D Virtual Space for Casual Meetings, *IEEE MultiMedia*, Vol.6, No.2, pp.20–28 (1999).
- 12) 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).
- 13) Nakanishi, H., Murakami, Y. and Kato, K.: Movable Cameras Enhance Social Telepresence in Media Spaces, *Proc. CHI2009*, pp.433–442 (2009).
- 14) Ogawa, H. and Watanabe, T.: InterRobot: Speech-Driven Embodied Interaction Robot, *Advanced Robotics*, Vol.15, No.3, pp.371–377 (2001).
- 15) Paulos, E. and Canny, J.: Social Tele-Embodiment: Understanding Presence, *Autonomous Robots*, Vol.11, No.1, pp.87–95 (2001).
- 16) Prussog, A., Muhlbach, L. and Bocker, M.: Telepresence in Videocommunications, *Proc. Annual Meeting of Human Factors and Ergonomics Society*, pp.25–38 (1994).

- 17) 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. VAST2001*, pp.153-160 (2001).
- 18) Sakamoto, D., Kanda, T., Ono, T., Ishiguro, H. and Hagita, N.: Android as a Telecommunication Medium with a Human-like Presence, *Proc. HRI2007*, pp.193-200 (2007).
- 19) Schulz, D., Burgard, W., Fox, D., Thrun, S. and Cremers, A.B.: Web Interfaces for Mobile Robots in Public Places, *IEEE Robotics & Automation Magazine*, Vol.7, No.1, pp.48-56 (2000).
- 20) Sheridan, T.B.: Teleoperation, Telerobotics and Telepresence: A Progress Report, *Control Engineering Practice*, Vol.3, No.2, pp.205-214 (1995).
- 21) Tachi, S., Komoriya, K., Sawada, K., Nishiyama, T., Itoko T., Kobayashi, M. and Inoue, K.: Telexistence Cockpit for Humanoid Robot Control, *Advanced Robotics*, Vol.17, No.3, pp.199-217 (2003).
- 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) Yano, H., Noma, H., Iwata, H. and Miyasato, T.: Shared Walk Environment Using Locomotion Interfaces, *Proc. CSCW2000*, pp.163-170 (2000).
- 24) ConnectR. <http://www.irobot.com/>
- 25) NetTansor. <http://www.roboken.channel.or.jp/>
- 26) Roborior. <http://www.robrior.com/>
- 27) Rovio. <http://www.wowwee.com/>
- 28) Spykee. <http://www.spykeeworld.com/>
- 29) wakamaru. <http://www.mhi.co.jp/kobe/wakamaru/english/>

(平成 21 年 4 月 20 日受付)

(平成 21 年 10 月 2 日採録)



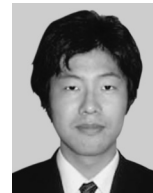
村上 友樹 (学生会員)

2008 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。コミュニケーション支援、インタフェースデザインに興味を持つ。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「ユビ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。



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。テレプレゼンスに興味を持つ。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。



野上 大輔

2007 年大阪大学工学部応用理工学科卒業。2009 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。ネットワークシステムに興味を持つ。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先行商品開発グループに所属。



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授。1998 年同大学大学院情報学研究科社会情報学専攻助教授。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授。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。2002 年より ATR 知能ロボティクス研究所客員室長。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。