

## 事例紹介

## ソーシャルテレプレゼンスとロボティクス

Social Telepresence and Robotics

中西 英之\* \*大阪大学

Hideyuki Nakanishi\* \*Osaka University

## 1. テレプレゼンスロボット

テレプレゼンスロボットとは、地理的に遠く離れた場所にいる人間との擬似的な対面会話を可能にするロボットである。テレプレゼンスロボットの研究は10年以上前から行われてきており[2][3][6]、数年前から製品化が盛んに行われるようになった。これらの研究および製品化された数々のテレプレゼンスロボットは、形状こそ多種多様であるが、構成はほぼ共通しており、おおむね次のようなものである。まず、音声対話のためのマイク・スピーカと、遠隔操作者が現地の様子を眺めるためのカメラが必ず備わっている。さらにほとんどの場合は、遠隔操作者の顔を映し出すためのディスプレイが備わっている。そして、これらが遠隔操作可能なロボット台車の上に乗っている。つまり、テレプレゼンスロボットとは、現地の物理空間を動き回る機動性を持ったビデオ会議端末である。

通常のビデオ会議端末は人間のように動き回ることはいできない。人間のように対面会話をを行うためには、動き回ることのできる機動性がビデオ会議端末に必要なかもしれない。テレプレゼンスロボットが研究開発されてきた動機はこのようなものであろう。しかしながら、テレプレゼンスロボットがコミュニケーションに及ぼす具体的な影響を解明した研究はこれまでにほとんどなく、機動性の効果はあまり明らかにされていない。テレプレゼンスロボットの製品化を一過性の現象で終わらせないためには早急にそのような効果を解明し、単に動き回ることが可能であれば良いという段階を越えて、本当に必要な機能を明らかにするべきと考える。

以下に紹介する実験は、テレプレゼンスロボットの機動性がソーシャルテレプレゼンスを強化することを実証したものである[4][8]。ソーシャルテレプレゼンスとはメディアを介して行われる擬似的な対面会話のリアリティのことであり、実際には離れた場所にいる会話相手があたかも目の前にいるかのように感じる感覚のことである[1]。過去のビ

デオ会議の研究によって、等身大映像や立体映像はソーシャルテレプレゼンスを強化することが分かっているが[7]、機動性にそのような効果のあることを示したのは以下の実験が初めてである。

## 2. 実験 A：ロボット搭載カメラの効果

この実験では図1に示すように、テレプレゼンスロボットの遠隔操作における左右回転の有無と前後移動の有無の二つを要因とする4条件の比較を行った。被験者に与えられたタスクは三つのテーブルそれぞれに置かれた小型ロボットの説明を聞くというもので、テーブルの配置を変えて4種類の移動軌跡を発生させた。回転&前進条件では右回転と前進を組み合わせてテーブル間を移動する必要があったが、回転条件ではテーブルが円環状に並んでいたため右回転だけで済み、前進条件ではテーブルが一直線に並んでいたため前進だけで済んだ。静止条件では同じテーブルで3体のロボットの説明すべてが行われたので、遠隔操作の必要はなかった。

多くのテレプレゼンスロボットは左右回転と前後移動の組み合わせで動き回るようになっている。このうち、前後

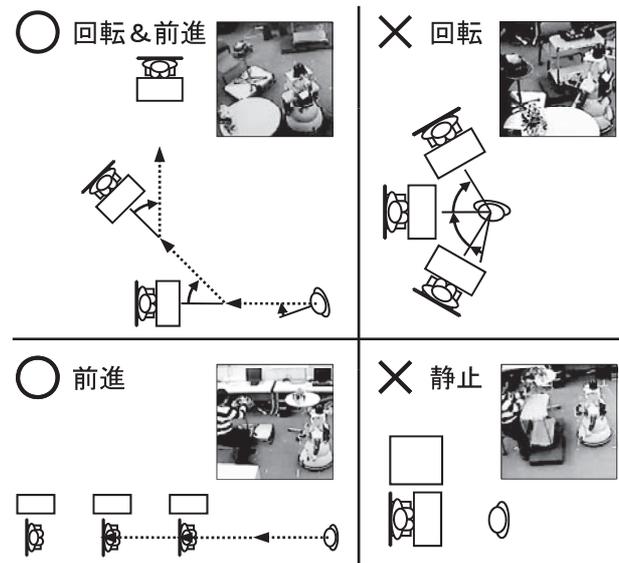


図1 実験 A におけるロボットの移動軌跡

原稿受付 2010年10月14日

キーワード: Telepresence, Videoconferencing, Telerobotics

\*〒565-0871 吹田市山田丘2-1

\*Suita-shi, Osaka

移動にソーシャルテレプレゼンス強化の効果があるという仮説を立てた。なぜなら、両眼視差を利用する立体映像に効果のあることが分かっているのだから、同様に奥行き情報を伝える視差である運動視差を発生させることになるカメラの位置の変化にも効果があるのではないかと考えたからである。前進条件と回転&前進条件は軌跡に前進を含んでおり、カメラの位置が変化するので、ソーシャルテレプレゼンスが強化されると予想した。そして、結果はそのとおりになった。

### 3. ミニマルデバイスによる効果の再現

上述の実験によって、遠隔操作者がテレプレゼンスロボットを移動させることでカメラの位置が変化し、それによってソーシャルテレプレゼンスが強化されることが判明した。では逆に、この効果を出すのに果たしてテレプレゼンスロボットは必須なのであろうか。もっと機能が限定された単純なデバイスでも同じ効果を出せるかもしれない。以下に紹介する実験は、この問いに答えたものであり、ユーザのディスプレイへの接近に連動して遠隔側のカメラが前進するだけでも同じ効果が現れることを実証したものである [5]。

このような最小限度のデバイス（ミニマルデバイス）を開発することには次のような意味がある。まず、製作や利用にかかるコストが低くなる。また、技術の汎用性が増すことによって、多様なビデオ会議端末の拡張に利用できるようになる。

### 4. 実験 B：可動式カメラの効果

この実験では図 2 に示すように、被験者がディスプレイに向かって歩いて行くときに 3 種類の映像変化を発生させて比較した。被験者に与えられたタスクは別の部屋にいる説明者からビデオ会議システムを通して 3 体のロボットの説明を聞くというものである。各ロボットの説明の前の準備の間、ディスプレイから離れたところにある椅子で休憩してもらった。そして、ロボットの説明を開始するたびに、ディスプレイの前まで歩いて来てもらった。よって、被験者は映像変化を計 3 回見るようになった。映像変化については一切事前に説明しなかった。前進条件ではディスプレイへの接近に同期して遠隔側のカメラが前進し、説明者の映像が約 2 倍に拡大した。ズーム条件ではカメラを前進させる代わりにズームインを用いて約 2 倍に拡大した。無変

## ○ 前進



## × ズーム



## × 無変化



図 2 実験 B における説明者の見え方の変化

化条件では常に拡大された状態であった（ディスプレイから離れて椅子に向かう際に、カメラが後退またはズームアウトして元の大きさの映像に戻った）。

等身大映像はソーシャルテレプレゼンスを強化するので、映像クオリティの観点からは常に映像が拡大されている無変化条件が最も有利である。にもかかわらず、前進条件では無変化条件よりもソーシャルテレプレゼンスが強かった。一方で、前進条件とほぼ同様に映像が拡大したズーム条件と無変化条件との間には差が見られなかった。そして、ズーム条件は前進条件よりもソーシャルテレプレゼンスが弱かった。このように、運動視差を発生させるカメラの位置の変化にソーシャルテレプレゼンスを強化する効果のあることが再確認された。

### 5. トップダウン設計からボトムアップ設計へ

実験 A では、テレプレゼンスロボットにおける「カメラが移動する」という要因がソーシャルテレプレゼンスを強化することが示された。そして、実験 B ではこの効果を、テレプレゼンスロボットよりも単純で最小限度の機能しかないミニマルデバイス「可動式カメラ」によって再現できることが示された。テレプレゼンスロボットにはカメラの移動以外にも、ソーシャルテレプレゼンスの強化につながる様々な要因が隠れていると思われる。そして、それらの要因がもたらす効果についても、カメラ移動と同様にミニマルデバイスで再現できると予想される。ミニマルデバイスを数多く開発して組み合わせることによって、通常のテレプレゼンスロボットとはデザインが異なるが、同じ効果を与えることのできる新種のテレプレゼンスロボットを作れる可能性がある。これはボトムアップ的な設計手法である。これに対して、従来用いられてきたのはトップダウン的な設計手法である。すなわち、より人間に近いビデオ会議端末を目指して、人間のように動き回ることのできるビデオ会議端末を作る、という設計手法である。単に鳥のような機械を作るという設計手法からは飛行機が生まれなかったように、単なるトップダウン設計では真に有用なテレプレゼンスロボットが実現しない危険性があると考えられる。

テレプレゼンスロボットのボトムアップ設計を遂行するためには、二つのハードルを越えなければならない。一つ目のハードルは、ソーシャルテレプレゼンスの強化につながる様々な要因を見つけ出し、それらの要因の効果をミニマルデバイスで再現することである。上述の二つの実験では、「カメラが移動する」というたった一つの要因の効果を再現するデバイスを開発しただけであり、このようなデバイスをほかにいくつも開発する必要がある。以下に紹介する実験は、テレプレゼンスロボットの「身体が移動する」という要因をディスプレイの微小な移動によって再現し、それがソーシャルテレプレゼンスを強化することを実証したものである。

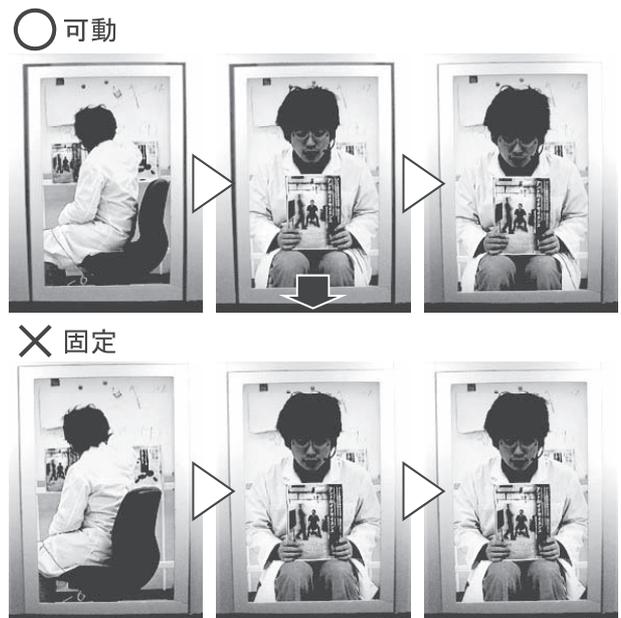


図 3 実験 C における説明者の表示方式

### 6. 実験 C：可動式ディスプレイの効果

この実験では図 3 に示すように、ディスプレイが壁の中から迫り出してくる可動条件と、常に迫り出した位置にある固定条件とを比較した。被験者に与えられたタスクは別の部屋にいる説明者からビデオ会議システムを通して 3 冊の本の説明を聞くというものである。説明者の背後に設置されたホワイトボードのトレイに 3 冊の本が立て掛けられており、説明者は 3 回、後ろに振り返って本を取り、前に向き直って説明を始める、という行動を繰り返して行った。その際、可動条件では説明者が前に向き直った直後にディスプレイが 6 [cm] だけ前に移動し（後ろに振り返る際に 6 [cm] 後退）、固定条件ではディスプレイは常に手前の位置にあって動かなかった。

ディスプレイのサイズは 30 インチであり、被験者とは 1.2 [m] も離れた壁に設置されていたので、6 [cm] という移動距離は十分に地味なものであった。にもかかわらず、可動条件では固定条件よりもソーシャルテレプレゼンスが強くなった。インタビューにおける被験者のコメントから、ディスプレイの前進は、そこに映し出されている説明者が前進したような印象を与え、それによって実際に目の前に説明者がいるかのような感覚を与えたことが分かった。

### 7. ボトムアップ型テレプレゼンスロボットの実現に向けて

テレプレゼンスロボットのボトムアップ設計を遂行する上での二つ目のハードルは、各種効果を再現するミニマルデバイス群を組み合わせることで一体のテレプレゼンスロボットとしてまとめ上げることである。各デバイスにソーシャ

ルテレプレゼンス強化の効果があるからといって、それらを単純に合体させればさらに効果が増すとは限らず、単体では発揮できていた効果が合体によって消えてしまう可能性すらあるので、このハードルを越えるのは容易ではない。

可動式カメラと可動式ディスプレイを合体させる場合を考える。単純に合体させると、ユーザがディスプレイに向かって移動するのに同期して遠隔地のディスプレイおよびカメラが前進する機能の付いたビデオ会議端末となる。この可動式の端末を使って遠隔地間における二者対話を行うとする。片方のユーザだけが移動する場合は問題なく両デバイスの効果が合算されると予想できる。なぜなら、移動したユーザには可動式カメラの効果だけが、移動していないユーザには可動式ディスプレイの効果だけが及ぶからである。一方で、両方のユーザが一斉に移動した場合は問題である。両側の端末において、遠隔カメラの前進による映像変化とディスプレイの前進が同時に発生する。このとき、各ユーザが感じる擬似的対面会話のリアリティがどう変化するのかは、改めて実験を行ってみないと分からない。このような実験は今後の課題である。

謝辞 本稿の執筆にあたっては、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」、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] K.E. Finn, A.J. Sellen and S.B. Wilbur: Video-Mediated Communication. Lawrence Erlbaum Associates, 1997.
- [2] H. Ishiguro and M. Trivedi: "Integrating a Perceptual Information Infrastructure with Robotic Avatars: A Framework for Tele-Existence," Proc. IROS99, pp.1032-1038, 1999.
- [3] N.P. Jouppi: "First Steps Towards Mutually-Immersive Mobile Telepresence," Proc. CSCW2002, pp.354-363, 2002.
- [4] H. Nakanishi, Y. Murakami, D. Nogami and H. Ishiguro: "Minimum Movement Matters: Impact of Robot-Mounted Cameras on Social Telepresence," Proc. CSCW2008, pp.303-312, 2008.
- [5] H. Nakanishi, Y. Murakami and K. Kato: "Movable Cameras Enhance Social Telepresence in Media Spaces," Proc. CHI2009, pp.433-442, 2009.
- [6] E. Paulos and J. Canny: "Social Tele-Embodiment: Understanding Presence," Autonomous Robots, vol.11, no.1, pp.87-95, 2001.
- [7] A. Prussog, L. Muhlbach and M. Bocker: "Telepresence in Videocommunications," Proc. Annual Meeting of Human Factors and Ergonomics Society, pp.25-38, 1994.
- [8] 村上, 中西, 野上, 石黒: "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.



中西英之 (Hideyuki Nakanishi)

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。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。マルチユーザインタラクションの研究に従事。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。