

# 遠隔会議における遠隔参加者の参与を支援する テレプレゼンスロボットシステムの開発

川口 一画<sup>†1</sup> 遠藤 優<sup>†1</sup> 大槻 麻衣<sup>†1</sup> 葛岡 英明<sup>†1</sup> 鈴木 雄介<sup>†2</sup>

**概要:** 複数人が参加するハブオフィスに遠隔から1名のテレワーカーが参加する際、テレワーカーの参与が低くなるという課題が指摘されている。本研究では、遠隔参加者側のインタフェースの改善と、ローカル環境側への情報提示システムの改善という2つのアプローチでこの課題の解決を図った。遠隔参加者側のインタフェースの改善については、想定される会議の状況に合わせた複数のインタフェースを開発した。また、ローカル環境側への情報提示システムの改善については、視線および身体方向を提示可能なヒューマノイド型のテレプレゼンスロボットを開発した。

## Development of a Telepresence Robot System Supporting the Participation of the Remote Participant in the Teleconference

IKKAKU KAWAGICHI<sup>†1</sup> YU ENDO<sup>†1</sup> MAI OTSUKI<sup>†1</sup>  
HIDEAKI KUZUOKA<sup>†1</sup> YUSUKE SUZUKI<sup>†2</sup>

**Abstract:** When teleworker participates meeting in the hub office, participation of the teleworker becomes low. In this study, we try to solve this problem using two kinds of approach, improve the interface for remote participant, and develop the system which can transmit the nonverbal information to local site. In former approach, we developed several interfaces which are suitable for different meeting situations. In later approach, we developed the humanoid telepresence robot which can transmit remote participants gaze and body orientation.

### 1. はじめに

音声・映像通信を利用した遠隔対話システムに関する研究では、複数人が対面したハブオフィスで開かれる会議に1名のテレワーカー（以下、遠隔参加者）が遠隔から参加する場合、遠隔参加者はハブオフィス側（以後、ローカル環境）の参加者に比べて対話への参加度が低くなり、議論から取り残されることが指摘されている[1]。この原因として、従来の遠隔対話システムではカメラが固定されており、遠隔参加者が会議室内の参加者やその他の共有すべき情報（ホワイトボード等）に十分にアクセスできないという遠隔参加者側のインタフェースの課題と[2]、ディスプレイに表示された遠隔参加者の注視方向が正しく伝達されないことにより、非言語的情報を用いたコミュニケーションが成立しないというローカル環境側の提示システムの課題が挙げられる[3]。

このような遠隔コミュニケーションにおける課題に対して、テレプレゼンスロボットを用いた研究が行われている[4,5]。これらの研究では、遠隔参加者側からのカメラ操作を可能とする機構と操作インタフェースの実装や、遠隔参加者の注視方向をディスプレイの回転によりローカル環境側へ提示する機構の実装によって、遠隔参加者の存在感や親近感を向上させることが可能であることが明らかになっている[6]。ただし、遠隔参加者の参与が低くなるという

課題は依然として解決されていない[7]。この原因として、遠隔参加者側のインタフェースがローカル環境を把握するのに必要な情報を十分に提示出来ていなかった点と、ディスプレイの回転による視線の提示では視線方向の伝達精度が低くなるという点が考えられる。そこで本研究では、遠隔参加者側のインタフェースの課題と、ローカル環境側の提示システムの課題を解決するテレプレゼンスロボットシステムの提案を行う。

なお、このようなシステム構築においては、想定する会議の特性に合わせて必要となる要素が異なる。代表的な例として、ホワイトボードや配布資料等の対象物を交えた会議（以後、資料共有型会議）においては、会話の流れに合わせて適切な場所の視覚情報を素早く取得することが可能なインタフェースが重要となるが、資料を交えない会議が中心の会議（以後、会話中心型会議）においては、参加者の視線や身体方向の提示により互いの注意の方向を共有することが重要となる。そこで本研究では、これらの2つの状況に合わせた2種類のシステム構成を提案する。

### 2. 関連研究

#### 2.1 従来のテレプレゼンスロボットにおける課題

遠隔参加者に視覚情報を伝達するインタフェースとして、Jacobらはマウス操作でカメラのついたディスプレイを左右に回転させ、周囲を見回すことができるテレプレゼ

<sup>†1</sup> 筑波大学 システム情報工学研究科  
Graduate School of System and Information Engineering, University of Tsukuba  
<sup>†2</sup> 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

ンスロボットを用いて遠隔対話実験を行い、視野が固定されている条件との比較を行ったが、遠隔参加者の対話への参与度やタスクへの貢献度に差は見られなかった[7]。このような結果となった理由として、マウスによる視野の操作だけでは、ローカル環境を十分に把握できていないことが原因である可能性が考えられる。すなわち、ローカル環境内のどこに誰がいるのか、どこを見れば共有すべき情報にアクセスできるのかということがわからないために、それらを探するのに時間がかかってしまうことが考えられる。

また、ディスプレイ回転による注視方向伝達について、筆者らはその精度を評価する実験を行った。実験では、ディスプレイと、その中に提示する顔画像の回転を組み合わせた複数種類の提示方法を比較した。その結果、従来のテレプレゼンスロボットで用いられているディスプレイ回転による視線方向の伝達は精度に課題があることがわかった[8]。

## 2.2 資料共有型会議支援の要件

資料共有型会議においては遠隔参加者がローカル環境側の任意地点を自由に見回せるシステムの構築が有効である。これに対して、Johnson らは 360°の全周囲画像を遠隔操作者に提示することで、自由に任意地点を見ることが可能なシステムを実装し、その有効性を示した[9]。ただし、このシステムでは 360°画像を一般的な卓上サイズのディスプレイに提示するため、詳細な情報の取得は困難である。これに対して、Norris らは、Focus & Context という広角画像と詳細画像を同時に提示する手法を提案した[10]。

また Kuzuoka らは、遠隔協調作業において、遠隔参加者への十分な視覚情報提示だけでなく、ローカル環境側の参加者に対して遠隔参加者の注視方向を伝達することの重要性を指摘している[11]。なおこの研究においては注視方向の伝達のため、ロボットの頭部をインジケータとして用いており、その効果が示されている。

これらの知見に基づき本研究では、資料共有型会議の支援を想定する場合には、以下の要件を満たすシステム構築を行う。

- ・ Focus & Context の概念に基づく詳細・広域情報の同時提示
- ・ 遠隔参加者の自然な動作を遠隔地側に伝達する操作インタフェースの実装
- ・ ローカル環境側に注視方向を伝達するインジケータとしてロボットの頭部を用いる

## 2.3 会話中心型会議支援の要件

複数人での会話における重要な概念として、Goffman らは参与構造という概念を定義した[12]。参与構造は、複数人の会話において、参加者が非言語的情報（視線、身体方向等）を用いて互いの役割を調整し、その役割に応じて話者交替が行われるという概念である。この概念によれば、参加者が発話権を得るためには、視線や身体方向を話し手に

向け、強い関心を示すことが重要である。これに対して従来のテレプレゼンスロボットにおいては、ディスプレイ回転による視線方向の伝達以外の非言語的情報の伝達が行われておらず、視線方向の伝達精度にも課題があった。また、遠隔参加者側はディスプレイ中の映像以外にローカル環境側の情報を得られず、非言語的情報が伝達されないという課題があった。これらの課題により、遠隔参加者は参与構造の調整に参加できず、発話権の獲得が困難となっていたと考えられる。そこで本研究においては、会話中心型会議の支援を想定する場合には、以下の要件を満たすシステム構築を行う。

- ・ ロボットを用いて、参与構造の調整に必要な非言語的情報である視線と身体方向を伝達する
- ・ ローカル環境側だけでなく遠隔参加者側にもロボットを置く双方向型のシステムとすることで、遠隔参加者に対しても非言語的情報を伝達する

## 3. 提案システム

前章で示した設計要件に基づき、資料共有型会議と会話中心型会議のそれぞれに適応した 2 種類のテレプレゼンスロボットシステムを開発した。それぞれのシステムは、共通したテレプレゼンスロボットを用いるが、その操作インタフェースを含めたシステム構成が異なる。本章では、3.1 節において、開発したテレプレゼンスロボットについて説明した後、3.2 節で資料共有型会議、3.3 節で会話中心型会議のシステム構成について説明を行う。

### 3.1 視線および身体方向を明示する身体性を有したテレプレゼンスロボット

本研究では、視線および身体方向を明示するため、人間に近い身体性を持ったヒューマノイド型のテレプレゼンスロボットを開発した。ロボットの外観を図 1 に示す。ロボットは頭部、胴体、腕、足を持った外観となっている。頭部の外観については、流線型のフォルムと後頭部の突起により指向性を強調した。また、2つのサーボモータ (HiTEC 社 HS-5045HB) を使用し pan-tilt 方向の回転動作を行うことができる。胴体部分はサーボモータ (近藤科学社 KPS4014HV) を使用し pan 方向の回転動作を行うことができる。胸部にはウェブカメラ (Logicool 社 Qcam Pro for Notebooks) を設置し、ロボットに接続された PC を通してローカル環境の映像を遠隔地に送信する。遠隔参加者は胴体内部のモータを操作することで、胸のカメラごと左右に回転させることができる。胴体部分に内蔵されたモータの最大回転角度は-120~120°であり、ローカル環境を十分に見渡すことができる。各サーボモータの制御はロボット内部のマイコン (Arduino Pro Mini) で行い、マイコンに接続されたノート PC を通して遠隔地からデータの受信を行う。また、頭部には小型のディスプレイを設置し、操作者の顔画像を提示する。



図 1. テレプレゼンスロボットの外観  
 Figure 1. Apparatus of telepresence robot

### 3.2 資料共有型会議を支援するシステム構成

資料共有型会議を支援するシステムとして、本研究ではデスクトップ型およびタブレット型の2種類のインタフェースを実装した。これらのシステムでは、遠隔操作者によるローカル環境側の任意地点の視覚情報取得を支援することにより、遠隔参加者の会話への参与の向上を図る(図2)。

#### 3.2.1 デスクトップ型操作インタフェース

デスクトップ型操作インタフェースの構成を図3に示す。このインタフェースはローカル環境の映像を表示するディスプレイと遠隔参加者の視線を計測するアイトラッカー(The Eye Tribe)、視野の操作を行うマウスで構成される。また、ローカル環境側のロボット上部に広画角のカメラを設置する。ディスプレイには、ロボット胸部に取り付けられたカメラで取得した一般的な画角の映像(以下、狭角映像)を全画面表示し、ロボット上部に設置した広角カメラの映像(以下、広角映像)をディスプレイ上部中央に合成した。さらに、狭角映像の視野に相当する範囲を広角映像上に赤い枠で描画した。ロボットの身体方向の操作はマウスの左右の移動によって行い、ロボットの回転による狭角映像の視野の変化に伴って、広角映像上の枠が追従して移動する。これにより、遠隔参加者はディスプレイ上部の広角映像でローカル環境全体を見て参加者や共有物の位置を把握しながら狭角映像の視野を操作し、より詳細な情報に素早くアクセスすることができる。また、アイトラッカーにより遠隔参加者の視線情報を計測し、ディスプレイ上の注視点を赤い円で描画した。注視点の座標をロボット頭部の注視方向(上下・左右の回転角)に変換し、ロボットの頭部を遠隔参加者の狭角映像上の注視点に追従させることで、遠隔参加者の視線を伝達する。

資料共有型会議において、遠隔参加者はローカル環境側の参加者と対象物を交互に見回す必要があり、広角映像を

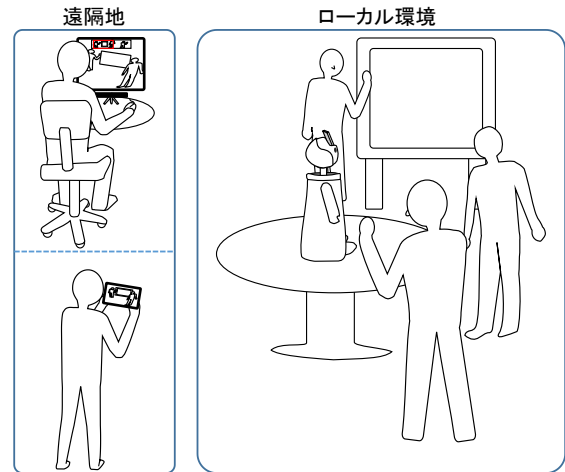


図 2. 資料共有型会議を支援するシステム構成  
 Figure 2. System for document base meeting

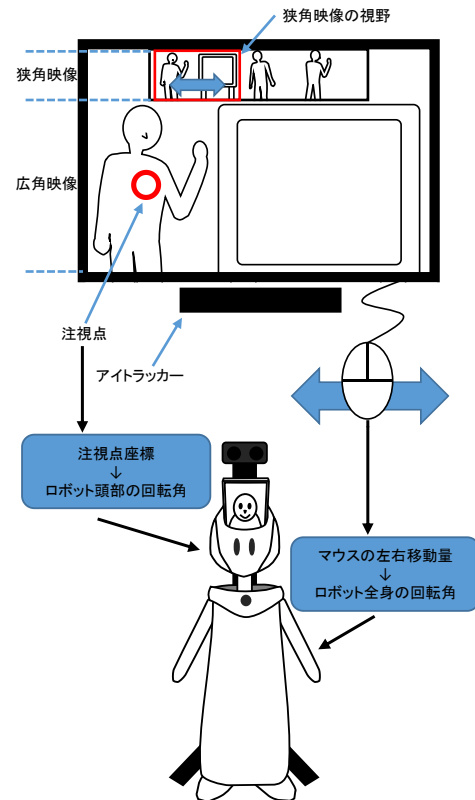


図 3. デスクトップ型操作インタフェースの概要  
 Figure 3. Control interface using desktop PC.

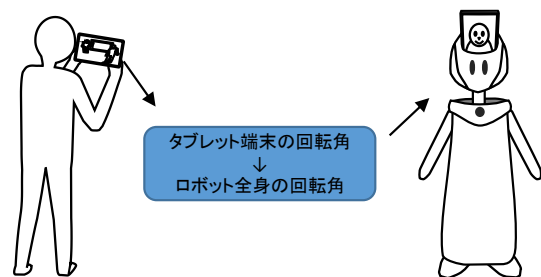


図 4. タブレット操作インタフェースの概要  
 Figure 4. Control interface using tablet PC.

参照しながら素早く視野を操作できるインタフェースが対話を円滑に進める上で有効であると考えられる。また、遠隔参加者の視線を正確に表現することができるため、遠隔参加者がどこを見ながら対話しているかの情報が遠隔地に伝達され、共同注意が達成される。これにより、遠隔コミュニケーションの円滑化が期待される。

### 3.2.2 タブレット操作インタフェース

タブレット操作インタフェースは、タブレット PC やスマートフォンなどのタブレット端末を手に持ち、端末の回転角を利用してロボットを操作するインタフェースである(図4)。タブレット端末のディスプレイにはデスクトップ型操作インタフェースと同様に狭角映像と広角映像を表示し、狭角映像の視野に相当する範囲を赤い枠で広角映像上に描画している。デスクトップ型ではマウスで狭角映像の視野を操作していたが、タブレット操作インタフェースでは端末を持った遠隔参加者の身体方向をタブレット端末内の角加速度計を利用して計測し、ロボットの身体方向に同期させることで、遠隔参加者の左右の振り向き動作による狭角映像の視野の操作を行うことができる。しかし、タブレット端末と遠隔参加者の頭部の相対位置は持ち方により変化する可能性があるため、アイトラッカーによる視線の計測は行わず、ロボット頭部は身体方向の正面を向き続けるようにした。

タブレット操作インタフェースでは、資料共有型会議において、より直感的で素早い操作を実現する。タブレット端末の回転角や移動量に同期して表示内容を変化させるインタフェースについてはCG空間の操作やメニュー選択などに応用されており、身体的な動作を伴う運動記憶が操作時間短縮に有効であることが示されている[13]。遠隔対話においても、タブレット操作による運動記憶がローカル空間内の位置関係などの把握を支援し、素早い操作に効果があると考えられる。

### 3.3 会話中心型会議を支援するシステム構成

会話中心型会議の支援に当たっては、遠隔参加者に対してもローカル環境側からの非言語的情報を提示するため、遠隔参加者側の空間にもロボットを配置する双方向型のシステムを構築する。システム構成を図5に示す。ここでは、ロボットは身体方向と視線方向を明示可能なヒューマノイドロボットを用いる。このシステムでは、遠隔対話に参加する人数分のロボットを使用し、それぞれの参加者の代理として双方にロボットを配置する。各参加者は頭部と胸部に3軸角加速度センサを搭載した計測装置を装着する。2つの計測装置はそれぞれ参加者の頭部と胸部の角加速度から回転角を算出し、対応する遠隔地のロボットの頭部方向、身体方向に反映させる(図6)。これにより、参加者は特に意図的な動作を行うことなくロボットを操作することができる。自然で無意識な身体動作をロボットに反映させることができる。

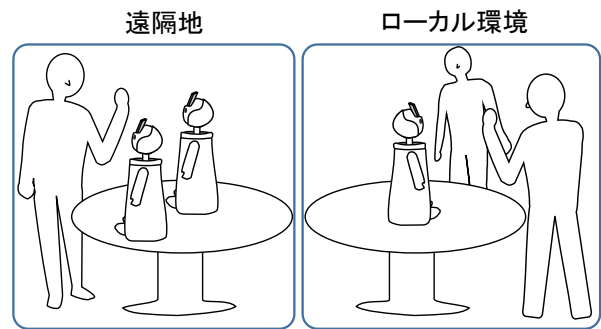


図5. 会話中心型会議を支援するシステム構成

Figure 5. System for conversation base meeting.

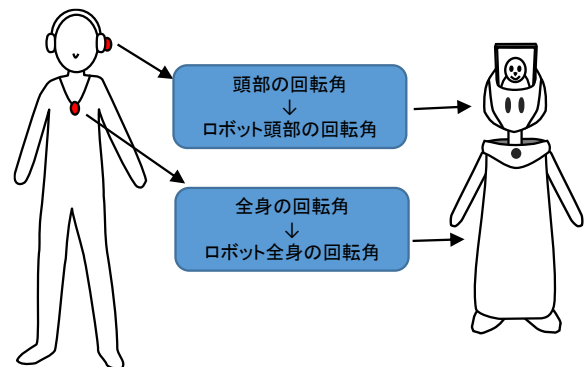


図6. 装着型操作インタフェースの概要

Figure 6. Control interface using wearable sensor.

このような双方向型のシステム構成とすることで、遠隔地間で視線方向と身体方向が共有され、遠隔参加者を交えた参与構造の構築が行われると考えられる。これにより、遠隔参加者の会話への参与の向上が期待される。

## 4. まとめ

本研究では、複数人が参加するハブオフィスに遠隔から1名のテレワーカーが参加する際、ローカル環境側の参加者に比べて参与が低くなるという課題を解決するため、会議の状況に合わせた複数のテレプレゼンスロボットシステムの提案を行った。今後はそれぞれのシステムについて、想定する状況で実際にシステムを用いた遠隔対話実験を行い、提案システムの効果を検証していく予定である。

### 参考文献

- 1) Voids, A., Bos, N.D., Olson, J.S., Olson, G.M. and Dunning, L.: Cross-cutting faultlines of location and shared identity in the intergroup cooperation of partially distributed groups; In Proc. CHI 2012, ACM Press, pp.3101-3110(2012).
- 2) Gaver, W., Sellen, A., Heath, C. and Luff, P.: One is Not Enough: Multiple Views in a Media Space; In Proc. CHI 1993, ACM Press, pp.335-341(1993).
- 3) Heath, C., Luff, P.: Disembodied conduct: communication through video in a multi-media office environment; In Proc. SIGCHI 1991, ACM Press(1991)
- 4) Sirkin, D., Venolia, G. Tang, J.C., Robertson, G.G., Kim, T., Inkpen, K., Sedlins, M., Lee, B., and Sinclair, M.: Motion and attention in a kinetic videoconferencing proxy; In Proc. INTERACT 2011. IFIP, pp.162-180(2011).

- 5) Yankelovich, N., Simpson, N., Kaplan, J. and Provino, J.: Porta-person: telepresence for the connected conference room; Ext. Abstracts CHI 2007, ACM Press, pp.2789-2794(2007).
- 6) Nakanishi, H., Kato, K. and Ishiguro, H.: Zoom Cameras and Movable Displays Enhance Social Telepresence; In Proc. CHI 2011, ACM Press, pp.63-72 (2011).
- 7) Jacob, T.B., Daniel, A. and Anthony, D.: Not Really There: Understanding Embodied Communication Affordances in Team Perception and Participation; In Proc. CSCW 2015, ACM Press, pp.1567-1575(2015).
- 8) Kawaguchi, I., Kuzuoka, H. and Suzuki, Y.: Study on Gaze Direction Perception on Face Image Displayed on Rotatable Display; In Proc. CHI 2015, ACM Press, pp.1729-1737(2015)
- 9) Johnson, S., Rae, I., Mutlu, B. and Takayama, L.: Can You See Me Now? How Field of View Affects Collaboration in Robotic Telepresence; In Proc. CHI 2015, ACM Press, pp.2397-2406(2015)
- 10) Norris, J., Schnadelbach, H. and Luff, P.: Putting things in focus: establishing co-orientation through video in context; In Proc. CHI 2013, ACM Press, pp.1329-1338(2013)
- 11) Kuzuoka, H., Kosaka, J., Yamazaki, K., Suga, Y., Yamazaki, A., Luff, P and Heath, C.: Mediating Dual Ecologies; In Proc CSCW 2004, ACM Press, pp.477-486(2004)
- 12) Goffman, E., Replies and Responses, Language in Society, No.5, pp.257-313(1982)
- 13) Li, F., Dearman, D. and Truong, K.: Virtual Shelves:Interactions with Orientation-Aware Devices; In Proc UIST 2009, ACM Press, pp.125-128(2009).