

論文の内容の要旨

論文題目 顔ディスプレイを用いたテレプレゼンスシステムに関する研究

氏名 三澤加奈

テレプレゼンスは Marvin Minsky によって提唱された概念である。ある現地に対して遠隔地にいる人物（以降、遠隔ユーザと呼ぶ）が、現地にある自身の手や眼の代わりになる機械を身体の一部として遠隔操作することで、現地にいるかのような感覚を得ることを目指している。ビデオコミュニケーションの普及により、遠距離間でのコミュニケーション需要が増すと、現地で遠隔ユーザと会話する対話者も遠隔ユーザの存在感を感じることを求められるようになった。つまりテレプレゼンスは、二つの意味がある。一つは、遠隔ユーザ自身がある現地にいるように感じる存在感である。もう一つは、現地にいる対話者が同じ空間に感じる遠隔ユーザの存在感である。本博士論文の研究は、後者の遠隔ユーザの存在感の伝達を目指している。

遠隔ユーザの存在感を伝達するために、遠隔ユーザを物理的に具現化させる研究がある。遠隔ユーザの分身としてシステムに顔を映すディスプレイや身体を模した機構を持たせ、外観や動作の擬人化を行う。しかし、システムにその人に特化した外観と動作を兼ね備えさせることは難しい。本博士論文は、開発コストや導入コストを上げずに、遠隔ユーザらしさを提示し、存在感を伝達するテレプレゼンスシステムをコミュニケーションの形式別に論じる。遠隔ユーザの存在感を伝達するために、その人が誰であるか特定する顔と非言語情報に着目した。言語学の研究では、対人コミュニケーションは、言語以上に非言語情報によって成り立つと言われている。非言語情報は、身体動作（身振り、姿勢、表情、凝視など）、空間行動（対人距離、なわばり、個人空間など）、身体接触がある。人は、言語情報だけでなくこれらの非言語情報も使って意思疎通や対人関係の構築を行っている。人が対面コミュニケーション上で行っているこれらの情報のやり取りを、テレプレゼンスシステムでも伝達することができれば、遠隔ユーザの存在感は伝達されると考えた。

同じ空間で行われるコミュニケーションを人の状態に応じて大別すると、

人々が向かい合って静的に話す状態と、動的に移動しながら話す状態の二つがある。これらをテレプレゼンスシステムで再現すると、三種類の形式が考えられる。一つは、対面形式で会話する固定型である。そして、移動しながらの会話形式として、装着型、自律移動型の二つの形式がある。装着型システムは、現地にいる人の身体にシステムを装着してもらい、コミュニケーションをとる。自律移動型システムは、遠隔ユーザが可動性のあるシステムを遠隔操作し、コミュニケーションをとる。本博士論文では、特に固定型と自律移動型システムについて論じる。

まず、固定型システムの問題を述べる。既存システムは、遠隔ユーザの顔を映し出すために平面ディスプレイが用いられることが多い。しかし、平面ディスプレイは表情や外見的特徴、色彩といった非言語情報を伝えることができるが、空間的な位置把握が必要な頭部動作や視線方向の伝達が困難である。頭部動作は注視方向を向き、会話における同意や否定の意志を表現する非言語情報の一つであり、視線は、会話のターンテイキングやアイコンタクトをとるために重要な役割を持った非言語情報である。そこで、本研究はこれらの非言語情報を伝達するために、遠隔ユーザの顔形状のスクリーンを持ち、遠隔ユーザの頭部動作に応じて駆動するテレプレゼンスシステム (LiveMask) を提案する。既存研究に、顔形状のスクリーンを持つテレプレゼンスシステムが存在するが、スクリーンの形状による効果は明らかではない。LiveMask は、カメラにより遠隔ユーザの顔をトラッキングして頭部運動と顔領域を抽出する。そして、頭部運動に応じて三軸で動く機構により、頷きや首振り動作が可能である。その人の顔型から作製した顔スクリーンに切り替え、顔映像を投影することで、本人のような外観を再現し、平面形状ではできない正確な視線伝達を目指す。スクリーン形状による効果を調べるため、LiveMask に顔スクリーンと平面スクリーンを交互に取り付け、比較実験を行った。実験の結果、顔スクリーンは遠隔ユーザの向いている方向を適確に伝え、意思疎通や話者交代を円滑化する視線の伝達を可能にすることが分かった。さらに、顔の実寸サイズから 1/14 に小型化した顔スクリーンを作製し、実験で顔スクリーンのサイズが変わっても視線伝達できることを示した。これにより、顔スクリーンはサイズに規定されない様々なテレプレゼンスシステムに応用できることが分かった。特に、小型軽量が求められる装着型テレプレゼンスシステムへの搭載が可能になる。装着型システムは、親密なコミュニケーションで用いられることが多いため表情や視線が伝

えやすい顔スクリーンは有効である。

次に、自律移動型システムの問題について述べる。テレプレゼンスロボットを遠隔操作することで、空間内を移動しながらコミュニケーションを取ることが可能になった。テレプレゼンスロボットは、市販化されたシステムであり、遠隔ユーザの顔を映すタブレットが高さ調節できるポールなどに設置され、足下に車輪を搭載した簡易な機構を持つ。しかし、背丈の調節と移動以外の動作ができず、人の完全な代わりになるには機能に制約が多い。また、人らしい外見のロボットは対話者の親近感が増すとされているが、人と外観が大きく異なるため、人ではなく“モノ”として認識される。一方、人間そっくりの外見を持つロボットにアンドロイドロボットがある。遠隔操作することでテレプレゼンスシステムとして用いることがある。しかし、“外観”として人の身体を持つが、人間の多様な“動作”ができるわけではない。また、一体当たりの開発コストが高く、すべての人が自身のアンドロイドロボットを持つことは現実的ではない。

人間の身体に近い外見と動作の追求は、トレードオフであり、一部動作が機械的に再現できても、汎用性を担保したまま人間の外観を兼ね備えさせることは難しい。そこで、本論はテレプレゼンスロボットを操作する代わりに、“人”を遠隔操作することでコストをかけず、遠隔ユーザが望む外観や動作を実現する。人は元から身体の外観と全身動作ができる身体能力を持ち合わせる。遠隔ユーザの代理となる人(以降、*surrogate* と呼ぶ)に遠隔ユーザの顔を表示する仮面型テレプレゼンスシステム、*ChameleonMask* を被ってもらうことで、人間の身体としての存在感と遠隔ユーザの顔による社会的な存在感を提示することができると考えた。近年、テレプレゼンスシステムの使用用途は多様化しており、従来のように危険地域での作業や、単調な機械的作業以外にも用いられている。これらの作業は、テレプレゼンスロボットを使用すべきであるが *ChameleonMask* は、人がすべき仕事、例えば楽しみを伴う仕事などをロボットではなく、人に開放することで雇用を生むと同時に、人に頼ることで高い品質の作業を目指すものである。

本博士論文では、この遠隔ユーザが現地の人 (*surrogate*) を操作する形式である *Human-Human* 型テレプレゼンスシステムの基礎検討を行った。*ChameleonMask* は、タブレットディスプレイに一眼 HMD(ヘッドマウントディスプレイ)を搭載したシステムであり、*surrogate* はこれを頭部に装着する。

Surrogate は、HMD にセットしたスマートフォンの外側のカメラから視界を確保しており、見ている映像は遠隔ユーザにリアルタイムで送信される。遠隔ユーザはこの映像を元に、surrogate、現地にいる人々とコミュニケーションを図る。

次に、ChameleonMask の実現可能性を調べた。これまで遠隔ユーザの顔がストリーミングされたディスプレイを人が被る、仮面型テレプレゼンスシステムに関する研究は行われていない。そこで、フィジビリティテストを行った。まず、遠隔ユーザを知らない人が ChameleonMask を被った surrogate を遠隔ユーザ本人と見なすか調べるタスクを行った。次に、遠隔ユーザのことを認知している人が surrogate を遠隔ユーザ本人だと見なすか調べるタスクを行った。行動観察を行った結果、人は ChameleonMask を被った surrogate を本人だと思いう傾向が出た。そこで、非言語情報の一つである接触が ChameleonMask で実現可能か調べた。接触が許容される身体の領域は、人間関係によって異なる研究報告があるため、被験者にとって遠隔ユーザが知人/他人、surrogate が知人/他人で接触に対する印象が変わると仮説を立て、4 条件に分けて握手の比較実験を行った。実験の結果、遠隔ユーザ、surrogate とも知人の時に握手をした効果が高く出た。

最後に、人にとって ChameleonMask がどのような体験を生むものなのか議論した。特に、Human-Human 型テレプレゼンスシステムは surrogate 役がないと成立しない。そこで、それぞれの役割を被験者に体験してもらう実験を行った。遠隔ユーザ役は、surrogate とテレプレゼンスロボットの操作を比較した。テレプレゼンスロボット使用時は、衝突を避けようと操作に集中する傾向があり、時間がかかっていたが、surrogate 操作時は、初めての人でも上手く指示を伝えることができていた。また、surrogate 役の被験者は遠隔ユーザの指示を多く欲しがる傾向があり、誰かの surrogate になることに対し肯定的に捉え、アルバイトとして成立すると答えた。これらの結果を踏まえ、ChameleonMask の課題と今後の可能性について論じた。