

テレプレゼンスロボットの行動による 遠隔地間での共同注意の生成

Automatic Joint Attention Generation between Local and Remote Persons through Telepresence Robot's Behavior

生駒 響^{1*} 竹内 勇剛¹
Hibiki Ikoma¹ Yugo Takeuchi¹

¹ 静岡大学

¹ Shizuoka University

Abstract: COVID-19 の影響や技術の発達などから、オンライン会議のような遠隔地間コミュニケーションの機会が多く見られ始めている。それに伴い、遠隔地間においても同じ場所を共有しているように感じさせる技術「テレプレゼンスアバターロボット」が注目されている。テレプレゼンスアバターロボットは、カメラの機動性や話者へのアイコンタクトなどの技術を取り入れることで、会話の臨場感を演出しコミュニケーションをサポートするアプローチを取っている。しかしそれらのアプローチは、人が無意識的に行っている動作についても意識的に操作しているため、対面のコミュニケーションと比べてロボット操作者の臨場感が得られにくい。これに対して本研究では、ロボットに人間が無意識に行う共同注意と同様の自律動作を実装し、この自律動作によってロボット操作者が共同注意を行ったと感じ臨場感を得るか検証した。共同注意とは対面での会話において互いの注意物を共有し合うインタラクションであり、コミュニケーションにおいて無意識に行われる。この動作をロボットが自律的に行うことによって、ロボットに対するロボット操作者の没入感が高まると同時に、ロボットに対峙する人物や遠隔地の環境への意識が高まり臨場感が演出されると推察した。実験の結果、自律動作によって共同注意の視線意図推定が発生し、ロボット操作者が臨場感を得る上で本アプローチが有用な手法である可能性が示唆された。

1 はじめに

インターネット技術の発展やスマートフォンの普及に伴い、遠隔地間でのコミュニケーションは我々の日常に深く浸透している。最近では COVID-19 の影響もあり、オンライン会議やオンライン飲み会のように遠隔地間対話システムの利用機会はますます多くなってきている。しかし、これらの会話では五感の情報を制限した上で送受信しているため、実際に対面して行うコミュニケーションと比べて情報が少なく、臨場感が失われていることは明らかである。このような背景から、ソニー開発の「窓」(図 1) や IPresence 開発の「temi」(図 2) のような、離れている人とも臨場感を共有させる

技術、テレプレゼンスシステムが注目されてきている。

テレプレゼンスシステムは、音声のみの通話や固定された PC 画面によるビデオ通話だけでなく、視線に対する動作や画面の操作性を追加することで、オンライン通話におけるコミュニケーションの要素を増やし会話の臨場感を持たせている。この技術は、遠隔会話の向上につながることは勿論、臨場感を共有することで教育現場や老人介護、医療施設などの対人関係の構築が必要となる場所における遠距離間での会話を支援することが出来る。

本稿では、テレプレゼンスロボットを操作して会話を行う人物のことを「Remote Person(RP)」, そのロボットと同じ空間にしながら RP と会話を行う人物を「Local Person(LP)」と呼ぶ。現在のテレプレゼンスシステムでは、RP から情報を取得しそれをロボットに適用することで、RP 自身がロボットを操作している

*連絡先：静岡大学情報学部
〒432-8011 静岡県浜松市中区城北 3-5-1
E-mail: ikoma.hibiki.19@shizuoka.ac.jp



図 1: ソニー開発「窓」の実物画像
<https://www.sony.com/ja/SonyInfo/research/projects/mado-project>



図 2: IPresence 開発「temi」の実物画像
<https://ipresence.jp/temi>

ように感じさせるアプローチが注目されている。このアプローチは、テレプレゼンスアバターロボット(テレグジスタンス)と呼ばれており、柏原(2012)が紹介していた「TEROOS」等が一例として挙げられる [1]。TEROOS は RP の動作に応じてロボットの首や胴体部分が動くため、RP の意思をロボットに反映することを実現できている。しかし、操作をしているという感覚は、対面でのコミュニケーションにて自分の体を動かしている場合より、どうしても RP の臨場感を低下させてしまう。そのため近年では、操作伝達の遅延を減らす、ロボットの機動可能箇所を増やす、などの手段によって、その臨場感を抑える研究が多く行われている。箱ら(2012)の「TELESAR V」は、頭部、胴体、腕、手の4つの部位を遠隔操作することができ、視聴覚に加え触覚の伝達をも実現していた [2]。

しかしながら、我々人間の体は五感を通して膨大な情報を取り扱っている。これらを全て、機械で検出、再現することは難しい。従って現在は、RP が情報の不足を感じない程度の情報量を送受信する試みが多く実践

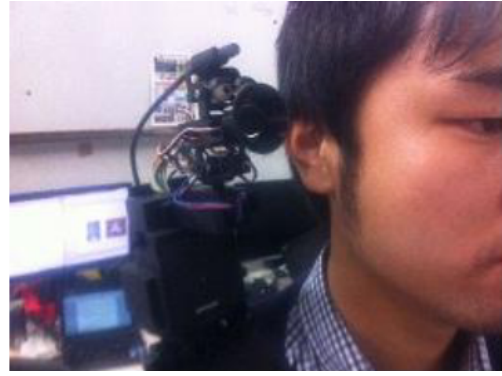


図 3: 「TEROOSE」の実物画像 ([1] より引用)

されているが、依然として対話の臨場感を保つ効果的な手法は見つかっていない。

ここまで、テレプレゼンスロボットを介した遠隔会話において、RP からの情報だけでは臨場感を維持することが困難であると述べた。これより本研究では、ロボットに RP の無意識動作を自律的に行わせることによって、まるで自分の意思でロボットが動いたのだと RP に感じさせ、RP はロボットのいる離れた空間に対して臨場感を得る、というアプローチを提案する(図 4)。

従来のアプローチに比べて、この手法では RP がロボットに対して情報を与えるのではなく、ロボットが対面の環境から自律的に動作した上でその結果を受け取ることとなる。ロボットの行動が RP の意思と一致した無意識行動であった場合、RP はそれを自分の行動であるように感じると予測される。これが実証されれば、RP から取得する情報を減らすことができ、また自律的な無意識動作を知覚するために RP 自身の無意識動作が省かれることとなる。よって、より直接的な情報のやり取りによって互いの存在感を感じ合う事ができ、対面コミュニケーションに近い遠隔地間対話の達成が期待される。

ロボットの自律動作によって表す無意識動作として、共同注意に注目する。共同注意とは、人が空間内の対象物に対して他の人と同じように注意を向けることをいい、この時、同じものを見るだけでなく互いに注意を向けていると知っている場合の事を指す [3]。これは人間同士の対面会話で自然と行われる機能であり、対話者や対話空間内の物体との共有を行う事も踏まえて、会話の臨場感を増やすために効果的な要素であるといえる。

よって本研究は、共同注意を人間の無意識動作として、それを再現した自律動作をロボットに行わせること

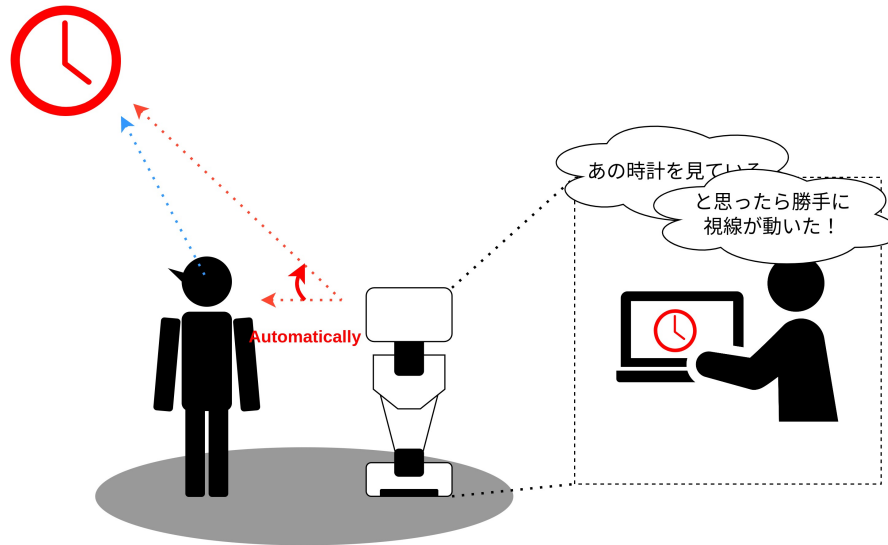


図 4: 提案するアプローチの例
 操作者はテレプレゼンスロボットの自律的な動作を自らの意思による動作であると錯覚する

で、提案したアプローチを検証する。具体的には、自律的に行われた共同注視とアイコンタクトに対して、RPは自分が共同注意を行ったものだと感じ、共同注意による効果が表れるのかを検討する。これが立証された場合、対面と同様の共同注意効果が発生することで従来のテレプレゼンスアバターロボットよりも臨場感が得られることが期待される。

2 関連研究

2.1 テレプレゼンスシステム

テレプレゼンスシステムの多くは、遠隔地にいる人間に対して対面での会話と同様の臨場感を提供できるようにアプローチをしている。Furlanettoら(2013)が示すように、人間の精神が二つの場所に定位することができる[4]。テレプレゼンスにおける臨場感とは、その際に遠隔地へ定位している感覚を強めることで得られる。

その中でもテレプレゼンスアバターロボットは、RPのアバターとしてロボットを遠隔地に用意し、そのロボットを操作しながら遠隔地の情報を受け取ることで、現場にいるような臨場感を感じることができ、また遠隔地にいるLPにも存在感を与えることのできる技術のことである。なお、これに似た言葉としてテレイグジスタンスがある。館(2012)よりテレイグジスタンスは、遠隔のロボットを自分の分身として利用し人間の時空の制約を開放しようとする試みのことだと示され

ている[2]。本稿ではこれをテレプレゼンスアバターロボットと同じ言葉として扱うこととする。この分野では、ロボットを通して対面と同様の情報をRPが扱えるように、通信のタイミングや五感の再現などに注目して研究を行っている。これに対して本研究では、RPや環境からの情報を入出力するだけでなく、その間を繋ぐロボットが自律的に双方へ情報を出力するアプローチを提案する。

これに近いものとして、木下ら(2016)が“transcendent telepresence”と呼称していたアプローチがある[5]。会話の間にロボットを介することで遠隔地間対話による非言語情報を変換し、ポジティブな心理的效果を高める、ネガティブな効果を抑制する、などの効果を付与した結果、本来の会話以上の利益をユーザに与える、というものである。非言語情報を拡張して効率的にユーザへ情報を伝えるこの手法は、円滑なコミュニケーションを実現する事に繋がり、より臨場感のある会話を演出できると期待される。本研究においては、非言語情報をロボットが自律的に発生させ、その自律動作による情報をRPとLPにそれぞれ与えることで、より臨場感を演出できるのではないかと推察している。

この時、臨場感を演出する非言語情報とは、人間が無意識に行う動作に関わる情報を指している。つまり、対面において無意識に行われる動作を自律的にロボットが再現することにより、その無意識動作を自分が行ったものだとRPが感じ、対面と同様に動作が行われたことで臨場感を得られるのではないかと推察してい

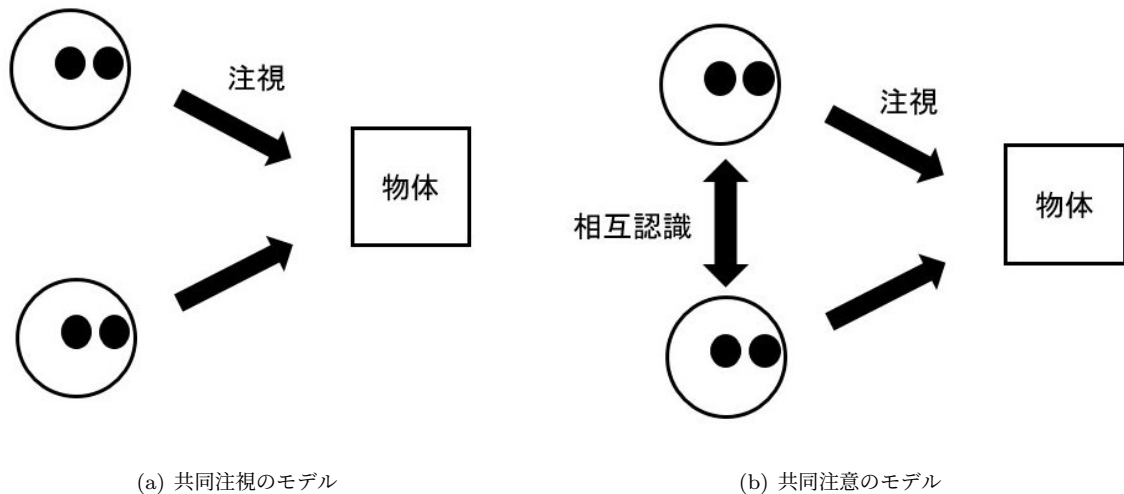


図 5: 共同注視と共同注意のモデルの違い

る。無意識動作に限定しているのは、自律動作が逆に臨場感を阻害するという問題点に関わっており、詳細は後述する。

自律的に発生させる非言語情報に関わる非言語媒体として、表情、視線、身体の動き、身体接触、などの様々な種類が選択できるが、本研究ではその中でも視線について特に注目する。現在のテレプレゼンスロボットにも視線は重要な要素として注目されており、アイコンタクトや視線制御などの様々なアプローチが実践されている。視線制御については、Zhangら(2019)が運動障害を持つ人間を考慮し、視線から意図を読み取りテレプレゼンスロボットを制御するシステムの開発を行っていた[6]。アイコンタクトについても、松田ら(2016)は人によって視線の高さを変えて目線を合わせるシステム[7]、葛岡ら(2018)はロボットが挨拶を行う際の動作を模倣したシステム[8]の実装をテレプレゼンスに対して行っていた。

また、ロボットの自律動作を考える上で、三項関係についても注目した。三項関係は人間がコミュニケーションにおいて認識する「自分」「相手」「物」の関係のことを指し、この関係における行動は主に無意識的に行われる上に、その場にある「相手」や「物」への関係を補助することで臨場感を与えると期待される。よってこの効果は、RPの無意識動作を代替し、遠隔地からの臨場感を得る上で有用な手法である。

これより本研究では、三項関係の代表例であり視線を非言語媒体として利用する、「共同注意」と呼ばれる視線行動について注目する。

2.2 共同注意の定義

第1章でも述べたように、共同注意とは対話者と同一のものに互いに意識を向ける行為の事を指す。しかし、この際に同一のものを注視しているだけでは共同注意に該当しない。共同注意の定義とは図5のように、互いが意図を持った注視である「注意」を行い、この意図をお互いに認識し合った上で注意物が同じものだった場合のことを指している[9]。また、常田ら(2008)は「共同注視」を物理的対象への同時注視の状態を意味するものとして、「共同注意」をある対象を同時に見るだけでなく情動的メッセージを相手に伝えることにより心内対象を共有している状態を指すものとして区別している[10]。つまり、共同注意では他者の視線を追従するだけでなく他者と注意を共有する必要があり、そのためには、話者と対象の両方に注意を向けつつ、対象注視後に再び話者へアイコンタクトを行う、発話を行う、などの手段から情動表出を行う必要がある。

このように共同注意は視線の持つ意図を推定したうえで、自身も対象物に注意している事を共有している状態を指す。山口ら()は、対話しているロボットが相槌を行うことで、相手は傾聴しているように感じて共感することを示唆していた[11]。これは相手に自身の意図が伝わったと感じることで共感が発生すると示しており、同じ効果が視線の意図を推定する共同注意の場合でも発生すると期待される。また、米澤ら(2007)の研究では、実際に共同注意効果を持ったぬいぐるみによるコミュニケーションシステムの提案が行われていた[12]。実験では共同注意とアイコンタクトによっ

てユーザの印象が上がることで、共同注意にはユーザの無意識的な興味を引くことが示されていた。Huangら(2011)の研究でも、共同注意に反応するロボットは、タスクパフォーマンスを向上させ、より社会的な相互作用があると認識されると示されていた[13]。このことから、ロボットとのインタラクションにおいても、共同注意による印象変化の効果が現れることが分かる。

以上より、共同注意は相手の意図を理解し合った上で共同注視を行うものであり、相手からの印象を向上させる効果や共感を促す効果が期待される。これらのことから、ロボットが自律的に共同注意を促すことで、相手が意図を持っているのだとRPが推定し、印象の向上や共感の発生、三項関係による環境の認識といった要素から、臨場感が発生するのではないかと考えられる。

2.3 共同注意の演出を実装

よって本研究では、テレプレゼンスアバターロボットへ共同注意の手順通りに視線追従による共同注視とアイコンタクトを半自律的に行うシステムを実装する。これによって、共同注意と同様の手順が再現されるため、RPが共同注意を行ったと感じると推察される。

すでに、テレプレゼンスシステムロボットへ共同注意を導入するような試みは行われてはいる。井上ら(2022)は可動式の広角レンズカメラと固定式の魚眼レンズカメラをそれぞれ使用し、遠隔地間対話を行っているユーザの注意対象に応じてそれぞれのカメラを動かすことで、注意を共有し、共同注意を実現するシステムの提案を行っていた[14]。しかし、これは遠隔地同士のユーザが見ているものを共有しているものであり、各ユーザの視線の動きを模倣した結果、共同注意が擬似的に発生している。これに対して本研究では、LPの注意に対して、適切な共同注意をシステムが半自律的に行う“transcendent telepresence”としてのテレプレゼンスのアプローチに注目している[5]。よってLPは、RPやLPの注視対象にかかわらず共同注意効果を体験できると期待される。以上が本研究の新規性であり、この研究はより円滑なコミュニケーションを演出するテレプレゼンスロボットへの研究に貢献するものになると考えられる。

この時、自律動作による行為主体感並びに身体所有感の低下には注意する必要がある。奥岡ら(2017)が指摘しているように、随意運動に対して自律動作が行われた場合、意図が衝突し、RPに不快感が与えられる[15]。これは、自分の行動とロボットの動作が一致しな

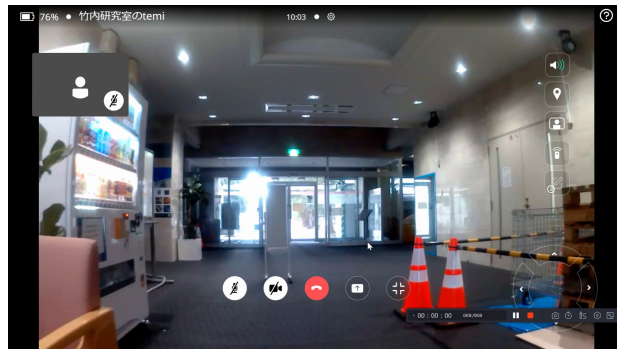


図 6: temi center の操作画面

いことによる、行為主体感と身体所有感の減衰が原因である。そのため、本研究では人間が対面における会話にて無意識に行う動作を、自律動作としてロボットに行わせる。コミュニケーションにおいて人間は全ての動作を意識的には行っておらず、無意識的に行っている動作であれば自律的に行っても行為主体感並びに身体所有感は失われたいのではないかと推察する。

3 実装

本章では、共同注意をRPが行ったと感じさせるための、テレプレゼンスアバターロボットの自律動作の仕様を述べる。

3.1 使用機器

共同注意を実装するテレプレゼンスアバターロボットとしては、第1章にて述べた「temi」を採用した。temiはAI搭載の自律移動型テレプレゼンスアバターロボットである。カメラから目の前の人間を認識して自動で追跡することができ、移動することでAIがマップを作成して指定した箇所に自動で移動することも可能である。活用例としては、オンラインツアーやイベント案内などの場面で使用されている。

また本実験では、temiを遠隔制御するシステム「temi center」を利用する。図6のように、RPはtemiに搭載されているカメラからの映像をPCで確認することが出来、その画面をクリックすることでtemiの胴体部分とモニター部分の傾きを操作することが可能となる。また、画面の右下に設置されている矢印をクリック長押しすることで、胴体部分の左右の傾き、前後の機動についても操作することが可能である。



図 7: 実験環境

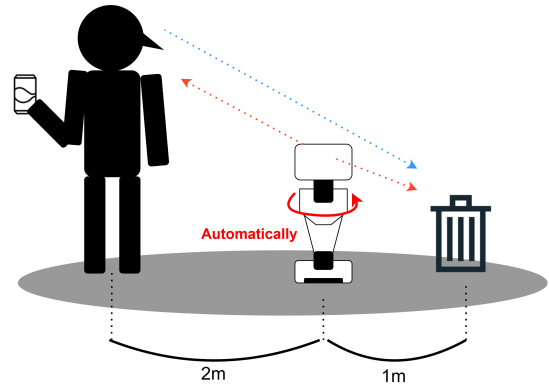


図 8: 実験内容

3.2 共同注意を発生させるための動作

本研究では、共同注意と同様の手順で自律動作を行うことで、共同注意を発生するかを検証する。そのため、Tomasello(2009)が示した視線追従によって発生する共同注意を参考に自律動作を決定する [16].

視線追従による共同注意について、本実験環境下では 2.2 節の共同注意の定義も踏まえて以下のようなプロセスを通して行われると推察される。

- (1) RP が LP の顔を目視し、LP も RP の顔を確認する (アイコンタクトによる相互認識)
- (2) LP が対象物への注視を開始
- (3) RP が LP の注視方向へ注視を行う (視線追従の発生)
- (4) RP が LP の顔を再度確認し、注視の継続を視認する

これらの動作の内、(1)(2)の動作については RP の動作が大きく関係せずに発生する。対して (3)(4)の動作は、RP が意識的に操作しなければ発生しない動作であり、対面においては無意識に発生する動作である。よって、この (3)(4)の動作を自律的に発生させることで、RP に共同注意が発生すると期待される。

4 自律動作による共同注意の発生に関する実験

4.1 目的

本実験では、RP が操作するテレプレゼンスアバターロボットに対して、LP が対象物体 (本実験においてはゴミ箱) へ注意を行う。その際に、共同注意を示唆する

自律動作を発生させることで、共同注意を自分が行ったものだと RP が感じ、共同注意による視線意図推定の効果が表れるのかを検証する。

4.2 実験環境

実験は、temi のいる空間と、RP が temi に設置されたカメラ映像を確認することの出来る空間にて実施する。temi のいる空間は $4\text{m} \times 2\text{m}$ 程の長方形の広さであり、空間内にはゴミ箱が設置されている (図 7)。temi は自律動作を正確に行うために平らな地面が必要であるため、 $1\text{m} \times 1\text{m}$ のマットを配置し課題前には temi をそこに設置する。また、RP は 3.1 節にて前述した「temi center」によって temi の胴体部分とモニター部分を操作可能である。

4.3 実験条件

実験は以下の 2 条件を要因とした、1 要因被験者間計画で行う。

- (A) 課題中に temi が自律動作を行う (自律的に視線追従が行われる)
- (B) 課題中に temi が自律動作を行わない

以降、条件 (A) を自律あり条件、条件 (B) を自律なし条件と呼称する。これらを比較することで、自律的な動作によって共同注意の効果が発生するのかを観測する。

有意差は見られなかったという事は、今回の実験にて視線意図推定が行われたとは言えない。しかし、避けた人数と避けなかった人数の比率を見る限り全く差が無かったとは捉えられない。仮説による視線意図推

定効果が、有意差として見えるレベルではないが存在する可能性がある。

4.4 実験方法

1名の実験参加者をRPとして、temiを通して操作を行わせる。なお、本実験にて観測したい対象はRPのみであるため、LPはサクラとする。

この実験では、temiの操作練習をRPに行わせたのちに、視線意図推定課題を行う。視線意図推定課題は、RPがLPの視線の意図を推定できるかを観測することを目的としている。この課題では、LPは空間内に配置されているゴミ箱へ注意を行う。RPがその注意行為を視認した際に、LPの意図が推定されるかを観測する。

4.4.1 操作練習

課題前にRPにはtemiの操作練習を行わせる。具体的には、操作方法を説明した後に、実験環境内において3分間自由に操作させる。明示はしないが空間内には既にゴミ箱が設置されており、RPはゴミ箱の位置を確認できるように操作練習を行わせる。

4.4.2 視線意図推定課題

操作練習後、ゴミ箱から1m離れた場所に、ゴミ箱に背を向けるようにしてtemiを配置する。その後、temiから2m離れた場所に、temiの正面に相対するようにしてLPが立つ。LPはtemiに搭載されたカメラを2秒注視した後に、temiの奥にあるゴミ箱への注視を開始する。この時、LPには空き缶をtemiのカメラに映るように持たせる(図8)。LPの注視後、RPにはtemiを自由に操作してもらい、その振る舞いを観測する。

LPがゴミ箱への注視を行った際に、自律あり条件の場合のみ共同注意を示唆する自律動作が行われる。これによって4.5節にて後述する仮説のように、RPがLPのゴミを捨てたいという意図を推定し、避けるという動作を行うと推察される。課題中はカメラにて撮影を行い、実験参加者の操作するtemiがLPとゴミ箱の間から移動した時、これを避けたと判定することとする。

4.5 仮説

実装した機能が働いた場合、RPは共同注意を自分で行ったと感じるため、対面における共同注意と同様の

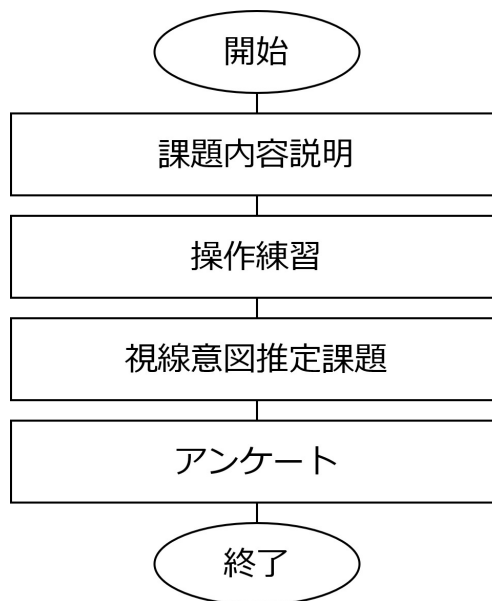


図9: 実験手順

効果が現れると予測される。2.2節でも述べたように、共同注意では視線の意図を互いに推定する。よってRPは、ゴミ箱を注意しているLPの視線の意図を推定し、LPとゴミ箱の間にいる自分が邪魔になっているという関係性を認識した上で、その場から離れて避けると予測される。

ここでの避けるという動作は、LPとゴミ箱とtemiとの空間内における三項関係を認識しなければ発生しない動作である。よって自律動作が発生した際に退く動作が多く観測された場合、視線意図推定によって三項関係が強く認識され、実際の共同注意と同様の効果がみられると予想される。

4.6 実験手順

実験の全体の手順は図9のようになっている。意図を推定した行動を観測するため、視線意図推定課題は1回の実施となる。課題内容説明では、RPに対してtemiの操作方法や実験内容の説明を行うが、視線意図推定課題の内容については説明せずに伏せておく。

課題後には実験参加者にアンケートを実施し、行動の意図やLPの視線推定の有無について答えさせる。これは本実験の検証に関わる観測事項ではないが、結果の考察に使用するために取得した。

実験条件	避けた人数	避けなかった人数
自律あり条件	7	3
自律なし条件	5	6

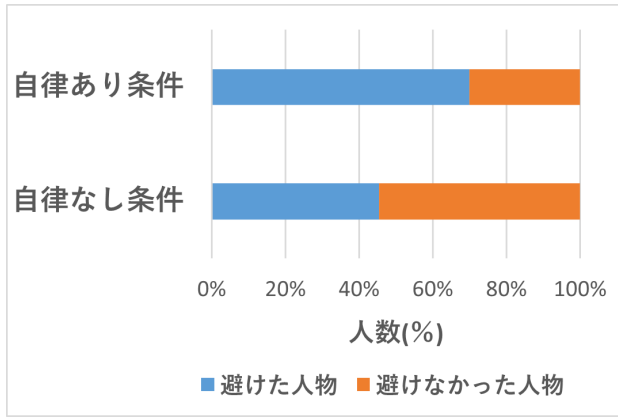


図 10: 課題結果のグラフ

5 実験結果

第 4 章の実験より、実装した自律動作が共同注意の効果である視線意図推定を発生させるのか検証した。21 名の大学生が実験に参加した。その結果、自律あり条件では 7 名、自律なし条件では 5 名の実験参加者が避ける動作を行っていた (表 1 図 10)。またこのデータに対して、自律動作の有無と避ける動作の発生に関連があるかを確認するために、フィッシャーの正確確率検定を片側検定で行った。結果、($p=0.2449$ n.s.($p < .10$)) となった。また、効果量の値については相関関係の一種である Phi の値を参照し、($\Phi=0.151$) となった。

6 議論

表 1 と図 10 の結果より、自律あり条件の参加者において全体の 70% が避けた動作をしていることに対して、自律なし条件の参加者においては 45% 程度しか避けた動作をしなかったことが分かる。本課題において RP には自由な振る舞いを行わせたため、避ける動作の発生するチャンスレベルは 50% であると予測される。自律なし条件はこのチャンスレベルに対して 5% の差であるのに対して、自律あり条件は 20% の差が現れている。したがって、テレプレゼンスロボットの自律動作による挙動は RP の行動決定に関与している可能性がある。人の行動は何らかの意図に基づいて生成され

ている。本実験において RP が回避動作を示したことは、それ以前に与えられていた刺激、すなわちテレプレゼンスロボットの自律的な視線追従が、遠隔地間での共同注意を促し、LP の視線意図を RP に伝達することに寄与していたと考えることができる。また、自律あり条件にて避ける動作を行った RP は、その動作は意図を推定して行ったとアンケートで一部回答していた。しかし、自律なし条件にて避ける動作を行った RP にはその回答は見受けられず、環境的要因における動作であったという回答をしていた。このことも自律動作による意図推定の効果が発生している可能性を示唆する。

2.2 節でも前述したように、共同注意は他者と自身と注意対象の三項関係を表す動作である。共同注意が自律動作によって発生した場合、RP は遠隔地の LP と注意対象との三項関係を強く意識し、臨場感が増すことが期待される。これは従来の臨場感を高めるアプローチとは異なり、臨場感の演出に RP の意識的な操作を必要としない。したがって、従来のアプローチで懸念されていた情報伝達の遅延や機動可能箇所の不足などの問題は発生しない上に、操作するという RP の意識を排除した直接的な操作主体感や身体所有感が得られると推察される。また、本研究のアプローチでは無意識動作を RP の意識的な操作なしで発生させている。これは対面状況での会話における人の振る舞いを再現するものである。この観点においても、本研究のアプローチは遠隔地間対話における臨場感の向上に貢献することが期待される。

本実験では意図推定の検証として避けるという動作を観測していたが、この避ける動作は操作しているロボットの身体性を意識するものでもあった。身体性の意識はロボットを自身の身体と意識することで発生する。よって、自律動作が避ける動作を発生させたということは、共同注意の発生による臨場感の向上が見られた可能性もある。

7 まとめ

本稿では、テレプレゼンスアバターロボットに自律的な共同注意を実装する手法について検討を行った。ロボットが人間の無意識動作を自律的に代替した場合でも臨場感が得られるのだとすれば、人間の動きをロボットで再現する以外のアプローチも可能となる。よって、従来のテレプレゼンスシステムに加えることで、より

臨場感を与えることが可能であると期待される。本稿における実験では有意差が出なかったが、自律動作による共同注意の効果は見られた。より正確に検証を行う為、実験を続けてサンプル数を増やす予定である。これらの研究はテレプレゼンスロボットを介したコミュニケーションによって、会話の円滑化や人間同士の関係に影響を与えることが期待でき、遠隔地間対話の分野に貢献するものであると考える。

参考文献

- [1] Tadakazu Kashiwabara, Hirotaka Osawa, Kazuhiko Shinozawa, and Michita Imai. Teroos: a wearable avatar to enhance joint activities (video preview). In *CHI'12 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, pp. 1433–1434. 2012.
- [2] Charith Lasantha Fernando, Masahiro Furukawa, Tadatoshi Kurogi, Kyo Hirota, Sho Kamuro, Katsunari Sato, Kouta Minamizawa, and Susumu Tachi. Telesar v: Telexistence surrogate anthropomorphic robot. 2012.
- [3] Maria Staudte and Matthew W Crocker. Investigating joint attention mechanisms through spoken human–robot interaction. *Cognition*, Vol. 120, No. 2, pp. 268–291, 2011.
- [4] Tiziano Furlanetto, Cesare Bertone, and Cristina Becchio. The bilocated mind: new perspectives on self-localization and self-identification. *Frontiers in human neuroscience*, Vol. 7, p. 71, 2013.
- [5] Yuki Kinoshita, Masanori Yokoyama, Keita Suzuki, Takayoshi Mochizuki, Tomohiro Yamada, Sho Sakurai, Takuji Narumi, Tomohiro Tanikawa, and Michitaka Hirose. Transcendent telepresence: tele-communication better than face to face interaction. In *International Conference on Distributed, Ambient, and Pervasive Interactions*, pp. 429–438. Springer, 2016.
- [6] Guangtao Zhang, John Paulin Hansen, and Katsumi Minakata. Hand- and gaze-control of telepresence robots. 2019.
- [7] Akira Matsuda and Jun Rekimoto. Scalable-body: A telepresence robot supporting socially acceptable interactions and human augmentation through vertical actuation. 2016.
- [8] Hideaki Kuzuoka, Yuki Kodama, Jianfeng Xu, Emi Myodo, Etsuko Harada, and Hirotaka Osawa. Telepresence robot’s salutations to trigger informal conversation with teleworkers. 2018.
- [9] Frederic Kaplan and Verena Hafner. The challenges of joint attention. *Interaction Studies*, Vol. 7, , 09 2004.
- [10] 常田美穂, 陳省仁. 乳児と共同注意行動の発達に寄与する養育者の行動特徴: モノから相手への注意のシフトをもたらす養育者の発話と行動に焦点を当てて. 北海道大学大学院教育学研究紀要, Vol. 106, pp. 135–147, 2008.
- [11] 山口貴史, 井上昂治, 吉野幸一郎, 高梨克也, Nigel G. Ward, 河原達也. 傾聴対話システムのための言語情報と韻律情報に基づく多様な形態の相槌の生成. 人工知能学会論文誌, Vol. 31, No. 4, 2016.
- [12] Tomoko Yonezawa, Hirotake Yamazoe, Akira Utsumi, and Shinji Abe. Gaze-communicative behavior of stuffed-toy robot with joint attention and eye contact based on ambient gaze-tracking. 2007.
- [13] Chien-Ming Huang and Andrea L. Thomaz. Effects of responding to, initiating and ensuring joint attention in human-robot interaction. In *2011 RO-MAN*, pp. 65–71, 2011.
- [14] Yasuyuki Inoue and Michiteru Kitazaki. Telepresence robot with novel stereoscopic camera configuration. In *Augmented Humans 2022*. Association for Computing Machinery, 2022.
- [15] 奥岡耕平, 大澤正彦, 滝本佑介, 今井倫太. 半自律テレプレゼンスロボットによる自律化が与える遠隔操作者への影響調査. 人工知能学会第二種研究会資料, Vol. 2017, No. AGI-006, p. 08, 2017.
- [16] Michael Tomasello. *The cultural origins of human cognition*. Harvard university press, 2009.