

テレプレゼンスアバターロボットにおける 自律的な視線追従による没入感の向上

Enhancing Presence in Telepresence Avatar Robots through Autonomous Gaze Tracking

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増加しつつある。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、カメラの動作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、会話の臨場感を生成し遠隔地間コミュニケーションを支援するアプローチを取っている。しかしこのアプローチでは、ロボットを操作する人物の情報が対面と比べて減衰するため操作者の没入感が減衰し、円滑なコミュニケーションが達成されない可能性が危惧される。これに対し本研究では、人間の行為意思がポストディクッションによっても認知されることから、ロボットに人間の無意識動作である視線追従動作を自律動作として行わせることで、操作者の没入感を向上させるアプローチを提案した。実験の結果、自律動作によってロボット操作者が遠隔地の環境を強く認識した可能性が示され、操作者の遠隔地への没入感が向上したことを示唆する結果が得られた。

1 はじめに

インターネット技術の発展に伴い、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。近年ではCOVID-19の影響もあり、遠隔地間コミュニケーションシステムの利用機会はますます多くなってきている。これに伴い、IPresence開発の「temi」(図1)のような、離れている人間の情報を補完することで臨場感を生成する技術、テレプレゼンスシステムが注目されてきている [1]。

これらの技術では、図2のように、操作者 (RO: Remote Operator) の入力を遠隔地のロボット (ROR: Remote Operated Robot) に適用することで、RORをROのアバターとして扱うアプローチが用いられる。この手法は、テレプレゼンスアバターロボット (テレレグジスタンス) と呼ばれる [2]。このアプローチでは、RORをROのアバターとすることで、遠隔地の人物 (LW: Local Worker) と空間を共有し、ROの情報をLWに伝達することで、ROとLW双方に臨場感を与える。以上のように本稿では、「RO (Remote Operator)」「LW



図 1: IPresence 開発「temi」の実物画像
<https://ipresence.jp/temi>

*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

(Local Worker)」「ROR (Remote Operated Robot)」の呼称を用いる。

しかし、従来の手法ではテレプレゼンスアバターロボットにおいてROがLWと円滑なコミュニケーションを行うことは難しい。これは、遠隔地の環境情報がROへ伝える過程で、情報の減衰や情報伝達の遅延が発生することで、ROの「遠隔地にいる感覚(以降「没入感」と呼称する)」が減衰していることが原因としてあげられる[3][4]。これに対し館ら(2012)のように操作伝達の遅延を減らす、RORの動作可能箇所を増やす、などの手法が取り入れられているが[5]、対面と同様の精度での情報交換は実現していない。

そこで本研究では視線追従動作による共同注視という人間の振る舞いに注目し、これをシステムに自律的に行わせることで、ROの没入感を向上させるアプローチを提案する。視線追従動作による共同注視とは人間が対面のコミュニケーションにおいて無意識的に行う動作であり、同じ対象を注視することで環境情報を共有する[6][7]。テレプレゼンスアバターロボットにおいて視線追従動作を自律的に発生させることで、ROはその動作を自分が行ったと感じ、ROの没入感を向上させる効果を期待する。

本仮説を検証するため、自律的にLWの視線を追従するシステムをRORに実装し、ROとLWの共同注視がROの没入感の向上に寄与する可能性を実験にて検証した。

2 提案手法

2.1 テレプレゼンスアバターロボットにおけるROの没入感

本研究においてテレプレゼンスアバターロボットによる臨場感は、ROが遠隔地の環境に対して没入感を感じることで、LWがロボットに対して人のような存在感を感じることを両方を指しており、本研究では特にROの没入感に注目する。

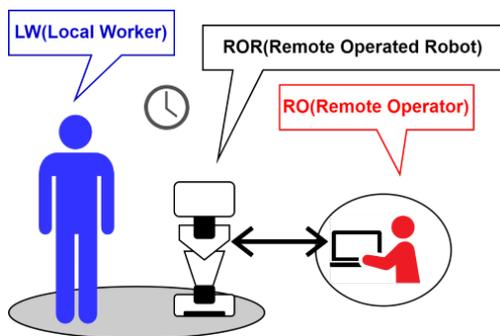


図 2: ROR,RO,LW の定義

ROの没入感はGallagher(2000)の示す身体所有感と運動主体感によって生成される[8]。これらの感覚は遠隔地に存在するロボットが自分の体であると認識する感覚であり、この感覚が強まることによってそのロボットへのROの没入感が高まり、臨場感が生成される。身体所有感と運動主体感を得るためには、ROが対面において感じる感覚とテレプレゼンスアバターロボットによる感覚との差異を減らす必要がある。そのために館ら(2012)のように、操作伝達の遅延を減らす、ロボットの動作可能箇所を増やす、などの手法が取り入れられている[5]。これら従来の手法に対し、システムの自律動作を利用したアプローチは、ROのRORに対する身体所有感や行動主体感を低下させる考えられてきたため、十分に検討されてこなかった。

実際に中道ら(2016)は、人間の振る舞いをRORが自動的に行った場合、ROの意図とRORの自動動作が衝突することでROのRORに対する行動主体感が低下することを示している[9]。一方で奥田ら(2017)の研究では、人間の不随意運動を自律動作として扱った場合は、ROの意図を無視するようなシステムの自律動作が行われたとしても操作不一致による不快感がROに対して強く発生しなかったことが示されている[10]。ここでの不随意運動とは人間が意識せず行う振る舞いの事を指す。この結果は、ROが本来無意識に行う振る舞いをRORに自律動作として行わせた場合、ROの意図とRORによる自律動作の衝突が発生せず、ROのRORに対する身体所有感や行動主体感が減衰しないことを示している。

本研究ではこの現象について、無意識動作を自律動作としてRORに代替させた場合、ポストディクションによる行為意思の認知が発生することでROの没入感が減衰せず、むしろ期待される動作が行われることで没入感が向上すると仮定する(図3)。

2.2 ポストディクションによる行為意思の認知

人間は意識的な思考が伴わない場合でも、発生した動作を自分の行為として受け入れることがある。この現象は、発生した事象を後から解釈し原因や意図を付与する「ポストディクション(Postdiction)」として説明される。

ポストディクションはGeldard(1972)やEagleman(2000)が示すように、比較的短時間の刺激に対して発生する事象として知られている[11][12]。これに対して、本研究ではより長い時間スケールで行為の主体を認知する場合のポストディクションに着目する。

Wegner(1999)は、意識的な思考が行為との因果関係を必ずしも反映していない可能性を指摘し、強制的に

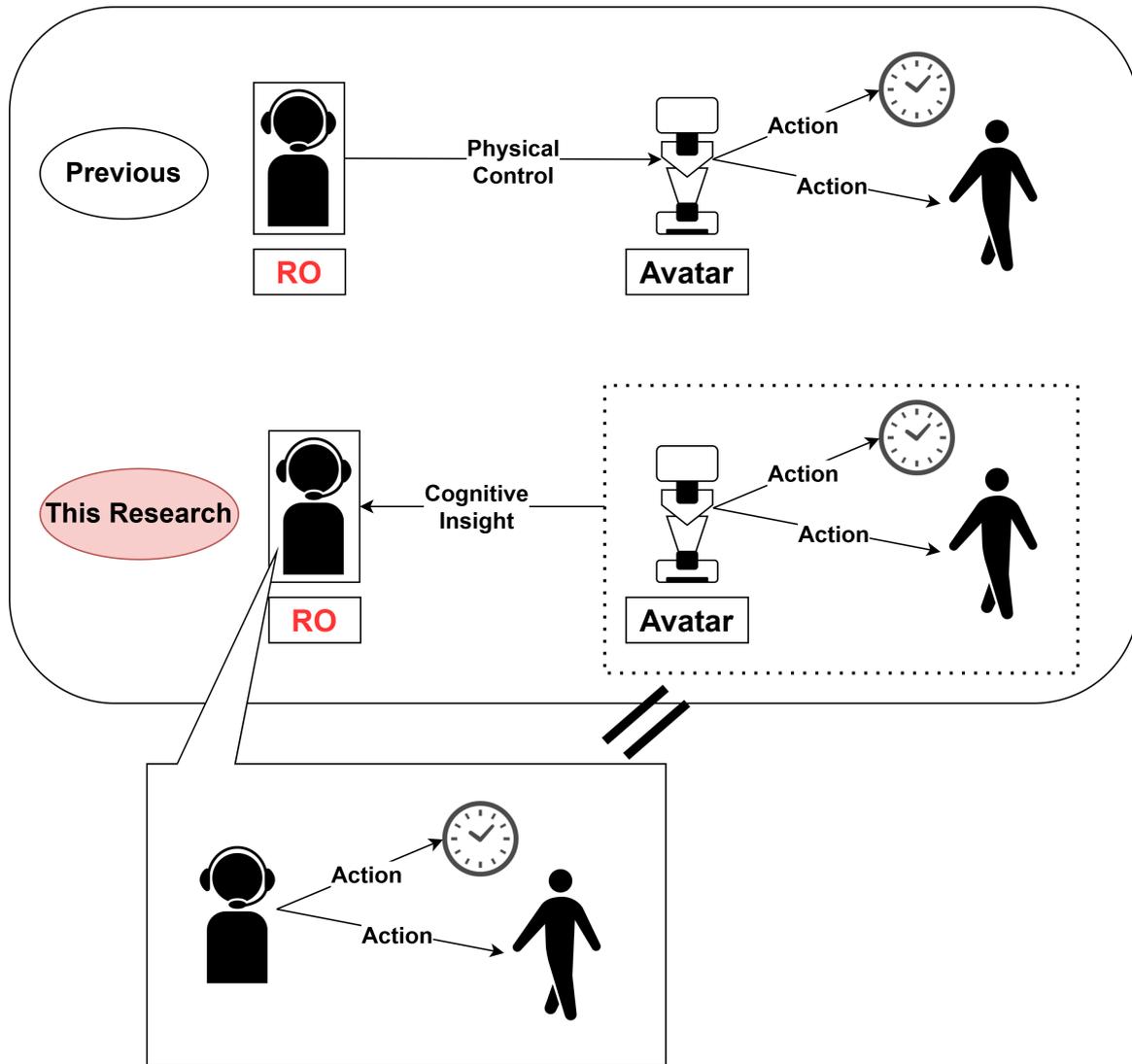


図 3: 提案仮説
ROR の振る舞いが RO のイメージする動きと一致していれば、RO の行為意思は後から発生する

行われた行為であっても、自分が行ってもおかしくないものであれば自分の意思で行ったと誤認する可能性があることを実験を通じて示した [13]. また, Libet(1985) は, 行為に関する意識的な思考の発生が, 行為に伴う脳の信号の発生よりも遅れることを確認し, このことから行為の直接的な要因が意識的な思考ではない可能性を示した [14]. これらの知見は, 発生した行為をもとにその行為の主体が後付けて解釈されている可能性を示しており, ポストディクションが人間の行為主体の認知において重要な役割を果たしている可能性を示唆している. 以上を踏まえると, ROR の自律動作を RO が主体的に動かしたと感ずることができれば, 自身の操作と発生した動作が一致し, 2.1 節で述べたように没入感が向上する可能性があるかと推察される.

自分の思考が行為を引き起こしたと感ずるためには,

以下の三つの要因が重要であると Wegner(1999) は指摘している [13].

- “Priority” 思考が行為より先に発生すること
- “Consistency” 行為が思考の内容と一致していること
- “Exclusivity” 行為に他の原因が存在しないこと

これらの要因を基にすると, ロボットの自動動作が RO に受け入れられるためには, その動作がこれらの要素を満たしている必要がある. 本研究では, これらを満たす動作として人間の無意識動作である視線追従による共同注視に注目する.

2.3 共同注視による他者の意図の認知

他者の視線に対する視線追従動作による共同注視は、他者の意図を認知するうえで人間が幼少期に獲得する基本的な能力である。

この視線追従による共同注視は、人間のコミュニケーションにおいて他者の視線や頭の方角に反応することで、意識的な思考がない場合でも行われると示されている [15][16]。この動作は行為前の意識的な思考を必要としないことから、自動動作で再現する場合であっても2.2節で述べた“Priority”“Consistency”が満たされる。また、目の前の人間が向いている方向に追従する動作は、状況に応じた妥当性を保証するため“Exclusivity”も満たされると予測する。

加えて、共同注視は互いの意識を共有することに繋がると示されており [17]、このような意識の共有はその後の会話を円滑に進める上で有効である [18]。この観点からも、自律動作による RO と LW の共同注視を行う本研究のアプローチは、コミュニケーションの円滑化にも寄与すると期待する。

3 視線追従についての自律動作

3.1 使用機器

自律動作を実装するテレプレゼンスアバターロボットとして、第1章にて述べた「temi」(図1)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。これに加えて、実験ではヘッドマウントディスプレイとジョイスティックも機器として使用した。ヘッドマウントディスプレイは図4(a)に示す「VIVE Pro 2」を採用し、ジョイスティックは図4(b)に示す「ロジテック Extreme 3D Pro」を採用した。実験では、ここで示したヘッドマウントディスプレイと360°カメラを接続し図5のように360°カメラをRORに設置することで、RORから見える風景をROは首振りによって観測できるように実装した(図6)。また、RORの前後左右やその場での回転はジョイスティックにて行うように実装した。

3.2 実装するシステムの自律動作

実験では、対面における視線追従動作による共同注視と同様の動作をRORに自律動作として行わせる。そのため、Tomasello(2009)が示した視線追従動作による共同注視の手順を参考にシステムの自律動作を決定する [6]。



(a) 実験で使用したヘッドマウントディスプレイ (b) 実験で使用したジョイスティック

図4: 実験における使用機器



図5: 360°カメラを設置した temi

仮にそれぞれの人をH1,H2としたときに、対面における視線追従動作による共同注視について、以下のようなステップを踏んで行われると定義する。なお、これはH1を主体としたH2の視線に対する共同注視である。

- (S1) H1がH2の顔を目視し、H2もH1の顔を確認している(共同注視の開始状態)
- (S2) H2が対象物への注視を開始する
- (S3) H1がH2の注視方向へ注視を行う(視線追従の発生)
- (S4) H1がH2の顔を再度確認し、注視の継続を視認する

本研究はLWの視線に対するROの視線追従に注目しているため、第4章の実験ではH1の動作をROが、H2の動作をLWが行う必要がある。これらの動作の



図 6: ヘッドマウントディスプレイの映像画面

内, (S1)(S2)の動作についてはH1の動作とは大きく関係せずに発生する. 対して(S3)(S4)の動作は, テレプレゼンスアバターロボットにおいてH1が意識的に操作する動作であり, (S3)の視線追従については対面において無意識に発生する動作である. そのため, この(S3)(S4)の動作をRORには自律的に動作させた.

これより, 実験での自律動作は図7のように以下の手順で行った.

(E1) 注視点を定める

(E2) 注視点を向くようにVRによる映像が移動する.

(E3) (E2)と逆の動作をし, 元の視界へ戻る.

(E1)はPCからRORに注視点とする場所の座標を送る手順である. 実験では, 自律動作を発生させるタイミングで, 実験者が背後の座標(正面座標からx軸に180°回転させた座標)をRORへ入力していた.

(E2)は前述したプロセスにおける(S3)の動作を考慮している.(E1)にて取得した注視点の座標を元に, ROのしている景色を直接動かした. 具体的には, 注視点の座標がVRにおける視界の中心に当たるように, 景色を出力しているオブジェクトを回転させることで実装した. 実験ではROの背後を注視点とし, 約1秒間かけて(E2)を行ったのちに, 3秒画面の動作を停止させた. これは, 振り返った先の視界をROに認識させるためである. 注視点はROの背後であるため, 180°振り返るようにROの視界を動かしていた. その後, (E3)の視界を戻す際も同様に約1秒かけて動作した.

4 実験

本実験は静岡大学倫理審査委員会の審査を通っている. また, 本実験参加者には, 研究目的, 方法, 参加

は自由意志で拒否による不利益はないこと, 及び個人情報保護について, 文書と口頭で説明を行い書面にて同意を得た.

4.1 目的

提案した仮説を検証するため, 34名の大学生を対象に本実験を実施した. 本実験の目的は, システムの自律動作によるROとLWの共同注視が, ROの没入感に影響を及ぼすかを検証することである. 没入感が向上した場合, ROは遠隔地の環境に自分が存在しているという認識が強くなる. これを客観的に評価するため, 本実験では視線意図認知課題と危険反応課題の二つを実施した.

4.2 実験環境

実験は, RORとLWのいる空間と, ROがRORに設置されたカメラ映像をヘッドマウントディスプレイによって確認することのできる空間にて実施した. 壁やロッカーとテープによる仕切りを空間内に設置することで, RORとLWのいる実験環境は5m×1.5mの長方形の広さに限定した.

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った.

- (A) 課題中にシステムによる自律動作を発生させる(自律的に視線追従が行われる)
- (B) 課題中にシステムによる自律動作を発生させない

以降, 条件(A)を自律動作あり条件, 条件(B)を自律動作なし条件と呼称する.

4.4 実験方法

実験参加者をROとして, RORを通して操作を行わせた. 本実験にて観測したい対象はROのみであるため, LWはサクラとした.

本実験は, RORの操作説明をROに行ったのちに, 視線意図認知課題を2回, 危険反応測定課題を1回行った. 視線意図認知課題では, ROが操作するRORの前にLWを立たせ, LWはRORの背後へ注視を行う. ROがその注視行為を視認した際に, LWの「RORの奥へ進行したい」という意図を推定した振る舞いを行うか観測した. 危険反応測定課題では, RORに刃物を

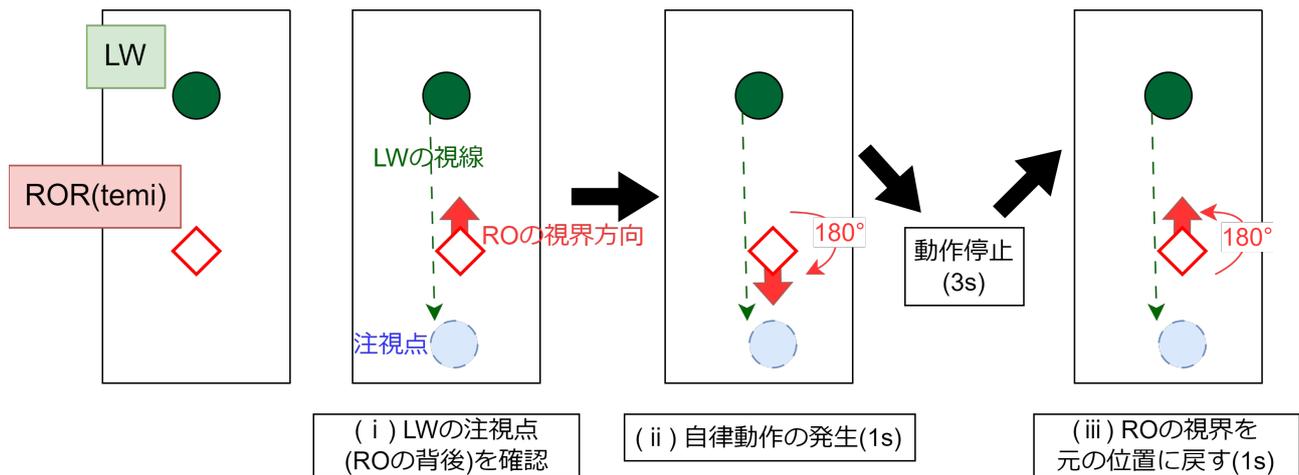


図 7: 実験における自律動作

近づけることで、本来その場にはいない RO が ROR に対して近づかれた刃物を危険物だと認識し、距離を取るかという点を観測した。

なお、視線意図認知課題を 2 回行ったのは、危険反応測定課題における没入感の向上効果をより顕著に表すためである。ただし、多く課題を行うと RO が実験を意識する可能性がある。そのため、回数は 2 回に留めている。

4.5 実験課題

本課題では、RO に対して 10 分間の操作練習を行うというカバーストーリーを伝え、後述する課題は 10 分間の操作練習時間にて行った。なお、事前の課題内容説明では RO に対して ROR の操作方法や実験内容の説明を行うが、後述する課題内容や課題の開始については説明していない。

4.5.1 視線意図認知課題

操作練習開始後、ROR の配置している空間に LW とする実験者を入れる。これについて RO には事前に、人が出入りすることがあるが気にせず操作練習を続けるように指示していた。

LW は空間内を動き回りながら、120 秒に 1 回のペースで ROR から約 1m 離れた正面に相対するようにして静止する。その際に、LW は ROR に取り付けられたカメラを 2 秒注視した後に、ROR の背後への注視を開始する。RO の操作する ROR が LW から大きく (約 1m を指標とする) 離れるか左右の移動をする、またはそれらの動作が無く 15 秒が経過するまで、LW には静止し続けさせその間の RO の振る舞いを観測した (図 8)。

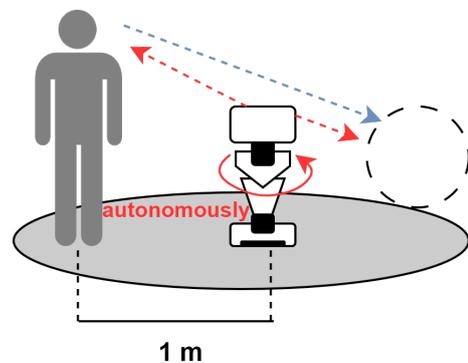


図 8: 視線意図認知課題の内容

LW が ROR の背後を注視した際、自律動作あり条件の場合のみシステムによる自律動作が行われる。この時、RO は自律動作を自身が行ったと感じることで没入感が向上すると予想する。さらに、LW の「ROR の奥へ進行したい」という意図に RO が注目することで、RO 自身が LW の進行の邪魔になっていることに気づき、道をあけるように ROR が離れる振る舞いを行うと予想される。この際に発生するシステムによる自律動作は、3.2 節で述べた動作に基づいている。

課題中は定点カメラにて撮影を行い、RO の操作する ROR が LW の進行を避けるように左右に移動するか、道をあけるように下がる動きをした場合、これを離れたと判定することとする。この判定は、LW の体よりも左右に移動するか、約 1m 以上下がった場合と定義している。前述した離れた動作が発生せずに 15 秒が経過した場合、これを離れなかったと判定する。

図 9 は実際の実験にて「離れる振る舞い」と「離れない振る舞い」が見られた場合の様子を表している。図



(a) 離れる振る舞いが行われた様子 (実験)



(b) 離れる振る舞いが行われていない様子 (実験)

図 9: 実験課題中の ROR の挙動

9(a) では LW の正面から見て左側に ROR が動いており、その移動によって LW の進行を避けているため「離れる振る舞い」として判定している。対して、図 9(b) では LW に背を向ける動きをしており、その場から全く動かないため「離れない振る舞い」として判定している。

4.5.2 危険反応測定課題

視線意図認知課題を 2 回行った後に、RO に対して LW が危険性のある物体として刃物を近づけた。これにより、RO のこの危険物に対する反応時間やその後の ROR による振る舞いを観測することで、環境に対する没入感を計測した。ここで危険反応を観測対象としたのは、前述したように没入感における身体所有感に注目したためである。ROR を自身の身体であると認識した場合、ROR に対する危険に対しても RO は反応すると予想する。

視線意図認知課題と同様に、操作練習のカバーストーリー中に RO に危険反応測定課題も行わせた。RO の背後に LW は刃物を近づけ、RO のヘッドマウントディスプレイにおける映像に刃物が映ったタイミングで RO の反応時間の計測、および ROR の振る舞いの観測を行った。

振る舞いについては、刃物に対して離れる行動をするか、気に留めない行動をするかを観測した。また反応時間の計測では、刃物が RO の装着したヘッドマウントディスプレイ上に映ったタイミングから、ROR が振る舞いを行うまでの時間を反応時間として計測した。



図 10: 危険反応測定課題の RO 視点

5 実験結果

5.1 結果内容

34 名の大学生が、各条件 17 人ずつ実験に参加した。この際、2 回の視線意図認知課題の結果は表 1、その結果から各条件間の離れる振る舞いが行われた割合を表したものが図 11 である。危険反応測定課題の振る舞いについての結果は表 2 のようになった。また、課題内の RO の危険物に対する反応時間についての結果をヴァイオリンプロット、箱ひげ図で表したのは図 12 である。

視線意図認知課題は危険反応測定課題において RO の没入感の変化を検証するために、2 回行っていった。そのため、ここでの視線意図認知課題における結果は、1 回目の課題結果のみを採用している。

危険反応測定課題では、RO の反応時間と ROR の振る舞いについて各参加者の結果を表している。反応時間は秒数を記載しており、小数第 2 位以下を四捨五入、15 秒以上経過したものは「15+」と記述したうえで離れなかったと判定している。ここで反応時間を小数第 2 位以下で四捨五入したのは、RO が危険に反応してから操作に移るまでに遅延があり、厳密な時間を計測したとしてもその遅延による誤差が発生するためである。

また視線意図認知課題のデータに対して、システムによる自律動作の有無と ROR の離れる振る舞い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、($p = 0.0399$ ($.05 > p$)) で有意差が見られた。また、効果量の値については相関関係の一種である Φ の値を参照し、($\Phi = 0.7352$) となった。

危険反応測定課題のデータに対しても、システムによる自律動作の有無と反応速度に関連があるか検討するため統計分析を行った。本実験環境での反応速度は正規分布に従わないため、 t 検定ではなくポアソン回帰分析を採用した。結果は表 3 のようになり、($p = 0.0327$ ($p < .05$)) で有意差が見られた。

表 1: 視線意図認知課題の結果

	離れた	離れなかった	総数
自律動作あり条件	13	4	17
自律動作なし条件	7	10	17

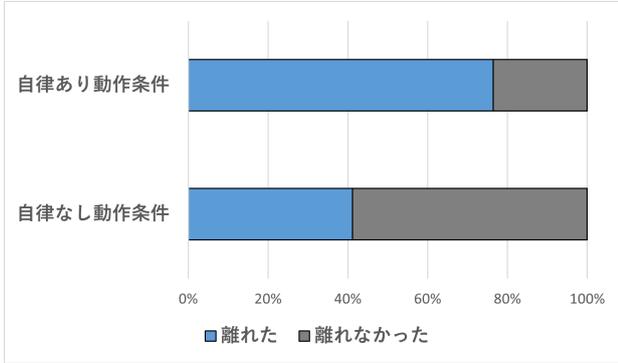


図 11: 視線意図認知課題結果の割合

5.2 考察

表 1 と正確確率検定の結果より、テレプレゼンスアバターロボットにおけるシステムの自律動作が RO に ROR を通してその場から離れる振る舞いを促すことが分かった。この結果は、システムによる自律動作が RO の行動決定に関与している可能性を示唆している。この離れる振る舞いは、LW の視線に含まれる意図を RO が認知することで実行されると想定していた振る舞いであるため、視線追従動作による共同注視によって LW の視線に含まれる意図を RO が認知した可能性を示唆するものだった。これより、4.5.1 項で述べた仮説を満たされたと考えられるため、RO の没入感が向上し、RO の遠隔地にいる感覚が強まった可能性も示唆される。以上の結果から、本稿にて提案したシステムの自律動作による共同注視のアプローチを支持する結果になったといえる。

加えて、危険反応測定課題では、表 3 のように自律動作の有無と反応時間について有意水準 5% で有意差が見られた。表 2 から分かるように事前に想定していた危険物に対して離れる振る舞いは明確に見られなかったが、これは、自律動作が発生した実験群のほうが、自律動作が発生していない統制群よりも、RO が危険物に対して即座に反応していたことを示唆する。

本実験における危険反応測定課題では、RO の遠隔地に対する没入感が高い場合、ROR に対する危険物に RO が反応を示すと予想していた。そのため、本実験結果は自律動作の発生によって RO の没入感が向上する可能性を示しており、これはテレプレゼンスアバターロボットにおける没入感の向上に本アプローチが有用

表 2: 危険反応測定課題の結果

	離れた	離れなかった	総数
自律動作あり条件	5	12	17
自律動作なし条件	4	13	17

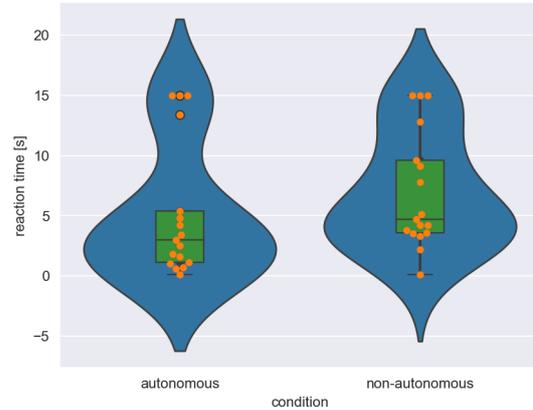


図 12: 危険反応測定課題における反応時間

であるという仮説を支持する。

視線意図認知課題の結果と併せると、自律動作の発生が RO の遠隔地に対する没入感を向上させた可能性が示唆される。

6 まとめ

本研究では、テレプレゼンスアバターロボットに視線追従動作による共同注視を自律動作としてシステムに実装する手法について検討した。この手法は、システムが人間の無意識動作を自律動作として行うことで、RO がポストディクショナルにその動作の主体を自分であると認知するという仮説に基づいている。実験の結果、システムの自律動作の有無が RO のその場から離れる振る舞いの発生に影響を与えた可能性が示唆され、システムの自律動作による共同注視が RO に LW の意図を認知させた可能性を示す結果となった。これにより、RO が遠隔地にいる感覚を強め、没入感の向上に寄与した可能性があると考えられる。また、危険反応についても RO の ROR に対する危険物への反応速度がシステムの自律動作によって向上し、これも没入感の向上を示唆する結果であった。

以上より、自律動作が RO の没入感を向上した可能性が示された。しかし、本実験の内容だけでは RO の内部状態まで観測できていないため、発生した自律動作を RO が自分のものだと感じていたかどうかは考察

表 3: 反応時間に対するポアソン回帰分析

	Estimate	Std. Error	z value	p value
(Intercept)	1.655	0.106	15.617	<.001
groupB	0.299	0.140	2.136	0.033

の範囲である。

また、自律動作による共同注視の生成は、RO の没入感の向上だけでなく RO と LW の共同作業効率や RO の LW に対する印象の向上にも波及することが期待される。2.4 節で記述したように、共同注視による他者の意図を認知することは他者との意識の共有に繋がることが示されている [17]。これより遠隔地間の共同注視でもこの意識の共有が行われると推察される。この意識の共有は、遠隔授業やオンライン会議などの LW と RO が共同で作業する状況において、LW の注意対象を RO が共有することで共同作業の効率を向上させる効果が期待される。加えて、共同注視には相手の印象を向上させ活発な会話を引き起こす効果も示されていた [19][20]。これより、介護現場や医療現場のような遠隔地の人間との関係性の構築が重要となる状況において、互いの印象を向上させることでコミュニケーションにおける信頼の構築を支援する可能性も期待される。

参考文献

- [1] Marvin Minsky. Telepresence. *OMNImagazine*, 1980.
- [2] Susumu Tachi, Kazuo Tanie, Kiyoshi Komoriya, and Makoto Kaneko. Tele-existence (i): Design and evaluation of a visual display with sensation of presence. In *Theory and Practice of Robots and Manipulators: Proceedings of RoManSy'84: The Fifth CISM-IFTToMM Symposium*, pp. 245–254, 1985.
- [3] Christian Heath and Paul Luff. Disembodied conduct: Communication through video in a multi-media office environment. In *Proceedings of the SIGCHI conference on human factors in computing systems*, pp. 99–103, 1991.
- [4] Jens Edlund, Samer Al Moubayed, and Jonas Beskow. The mona lisa gaze effect as an objective metric for perceived cospatiality. In *Intelligent Virtual Agents: 10th International Conference, IVA 2011, Reykjavik, Iceland, September 15-17, 2011. Proceedings 11*, pp. 439–440. Springer, 2011.
- [5] Charith Lasantha Fernando, Masahiro Furukawa, Tadatoshi Kurogi, Kyo Hirota, Sho Kamuro, Katsunari Sato, Kouta Minamizawa, and Susumu Tachi. Telesar v: Telexistence surrogate anthropomorphic robot. In *ACM SIGGRAPH 2012 Emerging Technologies*, pp. 1–1. 2012.
- [6] Michael Tomasello. *The cultural origins of human cognition*. Harvard university press, 2009.
- [7] Henry M Wellman, David Cross, and Julianne Watson. Meta-analysis of theory-of-mind development: The truth about false belief. *Child development*, Vol. 72, No. 3, pp. 655–684, 2001.
- [8] Shaun Gallagher. Philosophical conceptions of the self: implications for cognitive science. *Trends in cognitive sciences*, Vol. 4, No. 1, pp. 14–21, 2000.
- [9] 中道大介, 西尾修一. 遠隔操作型コミュニケーションロボットにおける顔き動作の半自律化による操作主体感への影響. 人工知能学会論文誌, Vol. 31, No. 2, pp. H-F81.1, 2016.
- [10] 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.
- [11] Frank A Geldard and Carl E Sherrick. The “cun- taneous” rabbit”: a perceptual illusion. *Science*, Vol. 178, No. 4057, pp. 178–179, 1972.
- [12] David M Eagleman and Terrence J Sejnowski. Motion integration and postdiction in visual awareness. *Science*, Vol. 287, No. 5460, pp. 2036–2038, 2000.
- [13] Daniel M Wegner and Thalia Wheatley. Apparent mental causation: Sources of the experience of will. *American psychologist*, Vol. 54, No. 7, p. 480, 1999.
- [14] Benjamin Libet. Unconscious cerebral initiative and the role of conscious will in voluntary action. *Behavioral and brain sciences*, Vol. 8, No. 4, pp. 529–539, 1985.

- [15] Wataru Sato, Takashi Okada, and Motomi Toichi. Attentional shift by gaze is triggered without awareness. *Experimental Brain Research*, Vol. 183, pp. 87–94, 2007.
- [16] Manon Mulckhuysse and Jan Theeuwes. Unconscious attentional orienting to exogenous cues: A review of the literature. *Acta psychologica*, Vol. 134, No. 3, pp. 299–309, 2010.
- [17] Malinda Carpenter and Kristin Liebal. Joint attention, communication, and knowing together in infancy. *Joint attention: New developments in psychology, philosophy of mind, and social neuroscience*, pp. 159–181, 2011.
- [18] 西田豊明. 社会技術を支える先進的コミュニケーション基盤としての会話型知識プロセス支援技術. 社会技術研究論文集, Vol. 1, pp. 48–58, 2003.
- [19] 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. In *Proceedings of the 9th international conference on Multimodal interfaces*, pp. 140–145, 2007.
- [20] 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. IEEE, 2011.