

テレプレゼンスアバターロボットにおける 自律的な共同注視による没入感の生成

Generating Immersion through Autonomous Motion in Telepresence Avatar Robots

生駒 響[†], 竹内 勇剛[†]
Hibiki Ikoma and Yugo Takeuchi

[†] 静岡大学

Shizuoka University

ikoma.hibiki.19@shizuoka.ac.jp

概要

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。これらの技術において、遠隔地のロボットを自己の身体であると認知するプロセスには、他者や環境とのインタラクションが深く関わっている可能性がある。これを検証するため本研究では視線追従動作を操作者の意思とは別の自律動作として実装し、この自律動作によってロボット操作者によるロボットへの没入感が向上するか検証した。実験の結果、本仮説を示唆する結果が得られた。

キーワード：テレプレゼンスアバターロボット、共同注視、没入感、視線追従、無意識動作

1. はじめに

インターネット技術の発展や COVID-19 の影響によって、遠隔地間コミュニケーションシステムの利用機会が多くなってきている。これに伴い、遠隔地のロボットを自分の身体のようにアバターとして扱う技術、テレプレゼンスアバターロボットが注目されている (Tachi, 1985; Kashiwabara, 2012)。本稿では、テレプレゼンスアバターロボットを操作して会話を行う人物のことを「Remote Operator(RO)」、RO の操作するロボットを「Remote Operated Robot(ROR)」, ROR と同じ空間にしながら RO と会話を行う人物を「Local Worker(LW)」と呼ぶ。

テレプレゼンスアバターロボットでは、図1のように RO による操作を遠隔地にある ROR に適用することで、ROR を RO のアバターとしている。これにより、ROR と同じ空間にいる LW と遠隔地にいるはずの RO、それぞれが同じ空間を共有している感覚(臨場感)を得る。

ここでの臨場感には RO の感じる「没入感」と、LW の感じる「存在感」の二種類が存在するが、本研究では没入感について注目する。RO の操作に対して遠隔

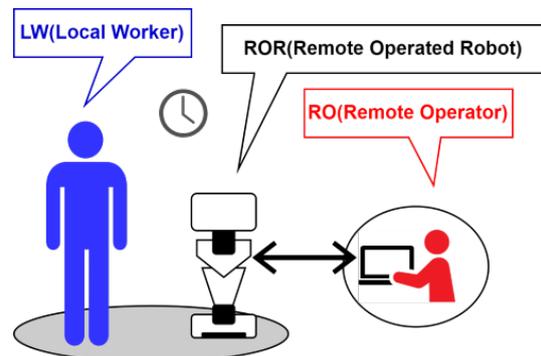


図1 ROR, RO, LW の定義

操作する ROR の動作が一致した場合、RO は自身が遠隔地にいるような感覚(本稿ではこれを「没入感」と定義している)を強く感じる。Furlanetto ら (2013) によれば、人は意識を2つの場所に定位させることができ、遠隔地の ROR に定位する感覚を強めることで RO は没入感を得ている。

この RO の没入感の向上は、RO による自己の身体の認知が他者や他者と共有する環境とのインタラクションを通して行われているために、発生すると予想する。Botvinick ら (1998) のラバーハンド現象でも示されるように、人は環境から刺激を受け取ることで自身の身体を認知することができる。Gallagher(2000) も自己を構成する最小の要素は、この体が自分自身であると感じる感覚(身体所有感)と運動を引き起こしているのは自分であるという感覚(行為主体感)であり、人が自己の身体を認知するのは動作においてこれらの感覚を感じるためだと述べている。

以上のことより、実体として人が持つ「身体」は一つの媒体に過ぎず、実際は環境などの外部から取得する情報が自己の身体を認識する上で重要であると考えられる。そのため、人の持つ自己の身体の認知とは、環境や他者などの外部要因とのインタラクションを通じて形成されるのではないかと予測する。

この仮説を検討するため、本研究では人の視線追従

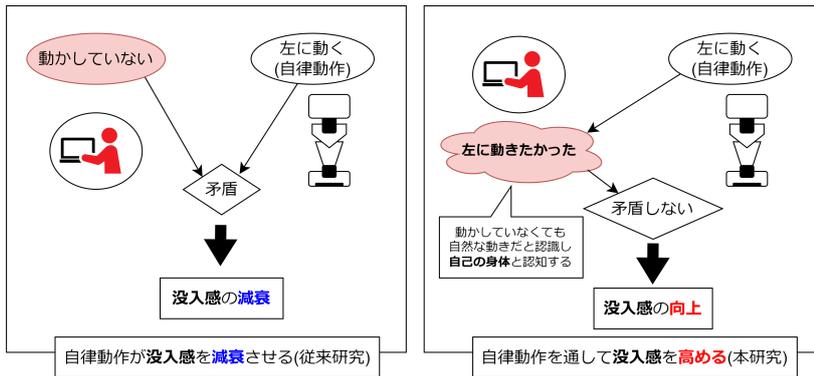


図2 提案する仮説



図3 360°カメラを設置した temi

による共同注視をシステムに自律的に動作させることで、ROの没入感に変化が現れるかを検証した。視線追従動作による共同注視とは人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 (Sato, 2007; Mulckhuysen, 2010), この動作によって他者と同じ対象を注視することで、他者の意図を推定し会話を円滑に行うことができる (Tomasello, 2009; Wellman, 2001)。

従来の研究では、操作者の操作する意思を無視した自律動作は身体所有感および行為主体感を失わせるとされていた。しかし、前述した仮説が正しければ、ROによる自己の身体の認知は外部の刺激からも達成される。そのため、他者の注視を共有させる共同注視を自律的に動作させた場合、他者とのインタラクションを通して自己を認識することで、自律動作であってもROの遠隔地への没入感を高めるのではないかと予想する (図2)。

2. 実験

2.1 目的

仮説を検証するため、34名の大学生を対象に実験を実施した。本実験は、システムの自律動作によってROの遠隔地に対する没入感が向上するかを検証することが目的である。客観的に観測を行うため、本実験では後述する危険反応測定課題を通し、危険物に対する振る舞いを計測することで没入感の変化を検証した。

2.2 実験環境

実験におけるRORとして、IPresence開発の「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。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、360度カメラも機器として使用した。ヘッドマウントディスプレイと360度カメラを接続し360度カメラを

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。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 (図3)。

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。

2.3 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。

2.4 実装するシステムの自律動作

自律動作あり条件にて実施する自律動作の詳細をここで述べる。仮にそれぞれの人をP1, P2としたときに、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、対面における視線追従による共同注視は以下のようなステップを踏んで行われると推察される。

- (S1) P1とP2が互いに顔を視認している
- (S2) P2が対象物への注視を開始する
- (S3) P2の注視方向へP1が注視する
- (S4) P1がP2の顔を視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、実験ではP1の動作をROが、P2の動作をLWが行う必要がある。これらの動作の内、(S1)(S2)の動作についてはP1の動作とは大きく関係

せずに発生するのに対し、(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P1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。後述する実験では(S3)(S4)の動作を自律的に動作させた。

これより、本実験での自律動作は以下のような手順で行われた。

(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RORの背後の座標(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。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。

2.5 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。本実験における観測対象はROのみであるため、LWはサクラとした。

本実験は、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、その後実施した10分間の操作練習時間にて、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。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、課題内容や課題の開始については説明していない。

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RORの背後へ注視を行い、この際に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(Ikoma, 2023)。この課題の詳細については本稿の議論には大きくかわからないため、ここでは省略する。危険反応測定課題では、RORに刃物を近づけることで、ROのRORに対して近づかれた刃物に対する反応を観測した。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ため、回数は2回に留めている。



図4 危険反応測定課題のRO視点

2.5.1 危険反応測定課題

本課題では、ROの遠隔地に対する没入感が自律動作の有無によって向上するか検証することが目的である。第一章で述べたように、ここでの没入感とはROが遠隔地のRORを自分の体のように認識する感覚のことであり、身体所有感と運動主体感(行為主体感)によって得ることができる(Gallagher, 2000)。本課題では特にROの身体所有感に注目し、遠隔地のRORに対する危険への反応を観測した。ROは自身の身体である感覚を強く感じていた場合に、危険に対するアクションを瞬時に行うと予測する。

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。

ROの背後にLWは刃物を近づけ、図4RO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の反応時間の計測を行った。反応時間の計測では、刃物が映ったタイミングからROがJoystickの入力を行うまでの時間を反応時間として計測した。

3. 実験結果

3.1 結果

34名の大学生を対象に、各条件17人ずつ実験を実施した。この際、危険反応測定課題について、各条件におけるROの反応時間についてヴァイオリンプロット、箱ひげ図で表した図が図5である。

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

表 1 反応時間に対するポアソン回帰分析

	Estimate	Std. Error	z value	p value
(Intercept)	1.6554	0.1060	15.617	<.001
groupB	0.2989	0.1399	2.136	0.0327

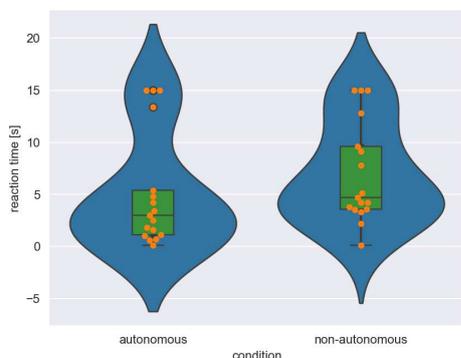


図 5 危険反応測定課題における反応時間

である。

この結果に対し、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 1 のようになり、($p = 0.0327$ ($p < .05$)) となった。

3.2 考察

結果より、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 ($p = 0.0327$)。これは、自律動作が発生した条件の方が、RO は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 ROR に対する身体所有感が高い場合、ROR に対する危険から離れる反応を示すと予想していた。よって、本実験結果は自律動作が発生したほうが RO の身体所有感が向上する可能性を示しており、これはつまり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稿にて提案するアプローチが有用であることを示唆する。これより、自己の身体の認知が外部とのインタラクションを通じて形成されるという本稿の仮説を示唆する結果となった。

4. 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動作させる手法について検討した。システムに自律的な共同注視を行わせた場合でも対面と同様の没入感が得られるのであれば、RO と LW のコミュニケー

ションを円滑に進めることが可能となる。実験より、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た可能性が示され、これは RO の没入感の向上を示唆する結果であった。

本稿で提案するアプローチは従来とは異なり、RO の没入感の生成に RO の意識的な操作を必要としない。嶋田ら (2009) が示していたように、操作の反映に遅延が 200ms 以上であると秒数に応じて RO の ROR に対する身体所有感が失われる (Shimada, 2009)。しかし本稿のアプローチは、従来のアプローチで懸念されていた情報伝達の遅延や動作可能箇所の不足などの問題は発生しない。将来的には、RO の操作するという意識を排除した直接的な操作主体感や身体所有感の獲得手法としても期待される。

文献

- Tachi, S., Tanie, K., Komoriya, K., & Kaneko, M. (1985). Teleexistence (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-IFTOMM Symposium* (pp. 245-254).
- Kashiwabara, T., Osawa, H., Shinozawa, K., & Imai, M. (2012). Teroos: A wearable avatar to enhance joint activities. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '12* (pp. 2001-2004).
- Furlanetto, T., Bertone, C., & Becchio, C. (2013). The bilocated mind: new perspectives on self-localization and self-identification. *Frontiers in human neuroscience*, 7, 71.
- Botvinick, M., & Cohen, J. (1998). Rubber hands 'feel' touch that eyes see. *Nature*, 391(6669), 756-756.
- Gallagher, S. (2000). Philosophical conceptions of the self: implications for cognitive science. *Trends in Cognitive Sciences*, 4(1), 14-21.
- Sato, W., Okada, T., & Toichi, M. (2007). Attentional shift by gaze is triggered without awareness. *Experimental Brain Research*, 183, 87-94.
- Mulckhuyse, M., & Theeuwes, J. (2010). Unconscious attentional orienting to exogenous cues: A review of the literature. *Acta Psychologica*, 134(3), 299-309.
- Tomasello, M. (2009). *The cultural origins of human cognition*. Harvard University Press.
- Wellman, H. M., Cross, D., & Watson, J. (2001). Meta-analysis of theory-of-mind development: The truth about false belief. *Child Development*, 72(3), 655-684.
- Ikoma, H., & Takeuchi, Y. (2023). Automatic Joint Attention Generation between Local and Remote Persons through Telepresence Robot's Behavior. In *2023 32nd IEEE International Conference on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN)* (pp. 2106-2111).
- Shimada, S., Fukuda, K., & Hiraki, K. (2009). Rubber hand illusion under delayed visual feedback. *PLoS One*, 4(7), e6185.