



共有身体アバターにおける 1 人称視野の共有が co-embodiment に与える効果

Effect of Sharing First-person Perspective View for Co-embodiment on Shared-Body Avatar

井上康之¹⁾, 北崎充晃²⁾

Yasuyuki INOUE, and Michiteru KITAZAKI

1) 富山県立大学 情報システム工学科 (〒939-0398 富山県射水市黒河 5180, inoue.yasuyuki@pu-toyama.ac.jp)

2) 豊橋技術科学大学 情報・知能工学系 (〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘 1-1, mich@tut.jp)

概要：複数ユーザが同じアバターを同時操作する共有身体システムにおいて、各ユーザが互いの視野方向を知ることが協調作業における課題成績と共在感に与える効果を調べた。同時に 2 名のユーザが両眼視テプレゼンスできる 3 眼アバターロボットを用いて、ランダムに点灯する LED の属性（色・方向）を判断するターゲット探索課題を、協調および視野の共有の有無を操作して実験を行った結果を、共同注意や社会的促進の観点から議論する。

キーワード：テプレゼンス・共有身体・アバター・co-embodiment

1. はじめに

仮想の VR 世界や遠隔の現実世界においてユーザの代理となるアバターは通常 1 人のユーザに占有される。それに対して 1 体のアバターを複数のユーザが同時に利用・操作する共有身体型のアバター操作方式が提案され、ひとつの身体に融合したユーザどうしの運動協調や身体性の変化、タスク成績に与える影響などが調べられている[1][2][3]。アバターとユーザの動きが一对一で対応する通常の操作方式と異なり、共有身体アバターの動きは各ユーザ動作の荷重平均や左右肢ごとの役割分担などによって合成されるため、実際に現れるアバターの動きはどのユーザの動きとも異なるが、各ユーザはそのアバターに対する身体所有感や行為主体感を生じ、リーチング動作などの行動課題においては各ユーザが単独で実行するよりも複数ユーザで実行した方がパフォーマンスが高いことが示されている。

ひとつの身体を複数のユーザの意思で協調動作させる類似研究が XR 技術を使った遠隔作業支援システムで試みられている[4][5]。現地で実作業を行う作業従事者に対して、ネットワークでつながった遠隔支援者が同じ作業現場を VR 体験しながら、アバターハンドのジェスチャや注視位置の視線カーソルなどを使ったナビゲーション情報を作業従事者の装着した AR デバイスに重畳提示することで、遠隔支援者の意図や運動スキルなどが現場の作業従事者に伝達・共有され、作業の効率性や正確性が向上することが示されている[4][5]。

共有身体アバターや XR 遠隔作業支援において、各ユーザは共に作業を行う他のユーザと視界や身体の動作、課題の目標などを相互に共有しながら遠隔行動するため、別の空間にいるパートナーの存在や視線を意識することがタスク成績に影響する可能性がある。

社会的促進 (social facilitation) はタスク遂行時に他者が存在することでタスク成績が向上する心理的効果である[6]。社会的促進は人どうしが直接対面する状況だけでなく、カメラ越しにいる他者の存在[7]やロボットの視線[8]、VR 空間内の仮想エージェント[9]などバーチャルな状況でも生じ、VR 環境やリモート環境における社会的促進が調べられている。その一方で、自分と他者が一緒に同じ場所にいる感覚を共在感 (sense of co-presence) といい[10]、バーチャルな状況における共在感の生起と社会的促進との関係性が議論されている[9]。

他者が一緒にいるという共在感とは、人やアバターの姿が目に見える 3 人称的な状況だけでなく、自己と他者が同一視点に重なりその姿が直接見えない 1 人称的な状況においても、他者の存在を示す手がかり情報が示されることで共在感が生じることが報告されている[4]。Bai et al.[4]は、遠隔作業支援システムにおいてユーザどうしのハンドジェスチャや視線カーソルを可視化して共有することで共同作業するユーザどうしの共在感が高まり、それに合わせてタスク成績も向上することを示した。

このことは、遠隔作業支援システムと同様に、同じアバ

ターを共同で遠隔操作する共有身体アバターのユーザ間にも共在感が生じること、それによって行動課題のタスク成績が向上する可能性を示唆する。しかし、このようなシステムを通じて共同作業に従事するユーザに生じる行動の変化やタスク成績の向上は、パートナーの存在を意識することによる社会的促進によるものなのか、それとも身体ジェスチャや視線カーソルなどの手掛かり情報を利用したものかを区別することは難しい。

ターゲット探索課題を用いた Brennan et al.[11] の研究では、手の動きなど身体ジェスチャを含まない純粋な視線情報の共有（共同注視）によっても、タスク遂行中のユーザどうしに非言語的な協調が生じてタスク成績が向上した。これと同様に、身体共有システムや遠隔支援システムにおいて共同パートナーの空間的な注意を可視化することで相互的なインタラクションが促進され、タスク効率や成績向上に寄与すると考えられる。しかし、他のユーザに対する共在感の大きさそれ自体がユーザの行動に与える影響については依然として不明確である。

こうした背景から、本研究では共有身体アバターを使って行動タスクを一緒に行うユーザどうしの視野の共有することが行動成績と共在感に与える影響を調べることを行った。同じ身体を共有する他者の存在に気付くだけで行動に変化が起きるのか、それともタスク実行に関わる身体的な情報が共有されることで生じる相互的なインタラクションが重要なのかを明らかにすることは co-embodiment に関する新たな知見をもたらすことが期待される。

2. システム構成

2.1 3眼アバターロボット

2名のユーザが相互の視野を共有したテレプレゼンスを実現する3眼アバターロボットの概要を図1に示す。これは著者らの先行研究で提案した2人3眼式テレプレゼンスシステム[12]であり、ユーザどうしの視野方向やその視点映像を相互に共有する機能を持つ。

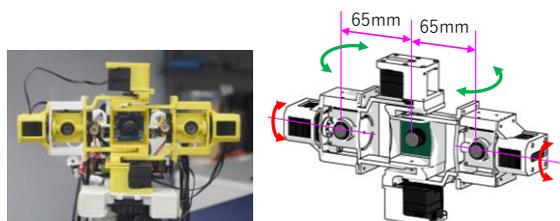


図1: 3眼アバターロボットの概要。左: 実機の外観。右: カメラの空間配置。左右の側方カメラは中央カメラの光学中心を基準に半径65mmのYaw軸回転を行い、更に光軸を上下に傾斜させるPitch軸回転を行う。

本研究では、各ユーザに対して個別の両眼ステレオ映像と共に、もう一方のユーザの頭部方向に対応するカーソルを視野内に表示することで、共同パートナーの空間的な注視点を可視化してユーザどうしの共同注意を促すシステム

を実現した(図2)。ただし、アイトラッカーによる眼球測定を利用する他の既存研究に対して、本システムはHMDで計測するユーザの頭部方向を同一の1人称視点の主観映像内で共有するものであり、システムが提供する非言語情報の性質は若干異なっていた。また、各ユーザの視野の中央に常に表示される自己カーソルは後述のターゲット探索課題における参照点として利用された。

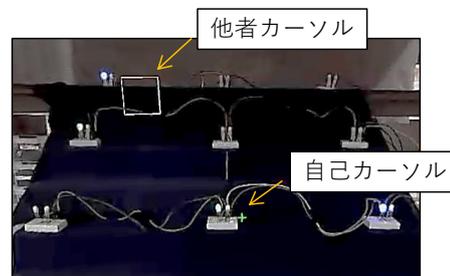


図2: 実験参加者の主観視点映像。異なる色のLEDで示されたターゲット探索課題に従事する間、自己カーソルと他者カーソルは常に各参加者の現在の頭部方向を反映した視野内の位置(注視点)に移動する。

3. 実験

3.1 実験参加者

正常視力を有する成人20名(10ペア)を実験参加者にすることを予定した。実験実施にあたっては富山県立大学における人を対象とした研究に関する倫理審査の承認を受けた。例数設計にはG*Power 3.1.9.7を用いた(反復測定参加者内ANOVA, 効果量 $f=0.25$, 有意水準 $\alpha=0.05$, 検出力 $1-\beta=0.8$, 群数=1, 計測数=6)。なお、研究開始する上で必要な倫理審査の承認が遅れたため、投稿時点で十分なデータが集まらなかった。そのため、本予稿は実験の計画のみを示すものとする。

3.2 実験装置

2台1組のデスクトップPC(iiyama社, OS: Windows 10 Pro, CPU: Core i7-7700K @ 4.2 GHz, RAM: 16GB, GPU: NVIDIA GeForce GTX 1060 3GB)およびHMD(HTC VIVE PRO, 片眼 1440×1600 pixel @ 90Hz, FoV=110°)を用いて、3眼アバターロボットの提供する3Dテレプレゼンス映像を2名のユーザ(実験参加者)に没入提示した。実験刺激として利用するLEDランプ(後述)の光点明滅の制御には、1台のノートPC(iiyama社, OS: Windows 10 Pro, CPU: Core i7-6700HQ @ 2.6GHz, RAM: 16GB)およびマイコンボード(Arduino Uno R3)を用いた。実験プログラムの開発および実験の制御にはゲームエンジンUnityを利用した。各PCおよびアバターロボットどうしを接続には有線LANを用いて、映像データやモーションデータ、制御データの同期通信を行った。

3.3 実験刺激

アバターロボットの前前方65cmに設置された9つのLEDランプを刺激提示に用いた。ひとつのランプは3.5cm×4.5cm角の小型ブレッドボード(BB-601)に7色LED

(OST4ML5B32A)が1cm間隔で2本並んでいた(図3左)。このランプを格子状に配置することで、赤・緑・青のいずれかの色属性の光点ターゲットをランダムに出現させる刺激提示装置として利用した。さらに、各ランプにある2つのLEDの一方のみを点灯させることで、色属性に加えて方位属性(左・右)を光点ターゲットに付与した。

9つのランプは高さ50cm、幅55cmの5段組の雛壇に3×3で整列して並べられた(図3右)。それぞれのランプどうしの間隔は横25cm、高さ5cm、奥行き20cmであった。LEDの点灯・消灯はPCによって制御され、9箇所にかかれたランプのうち最大4箇所のランプが特定の色(赤・緑・青)と方向(左・右)で同時に点灯することで、探索ターゲットの光点刺激として利用した。出現した各ターゲット刺激に対して実験参加者が所定の判別課題(後述)を行うことでその箇所のLEDが消灯した。

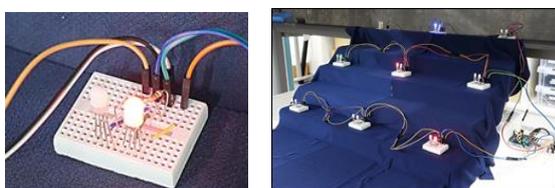


図3: 実験刺激提示装置の外観。左: 光点ターゲット刺激を提示するLEDランプ。右: 雛壇の上に等間隔で並べられたLEDランプ。

3.4 刺激条件

刺激条件は、視線共有の有無2水準×タスクの種類3水準の合計6条件があった。図4にそれぞれの刺激条件における出現ターゲットの構成と担当ユーザの関係を模式的に示す。

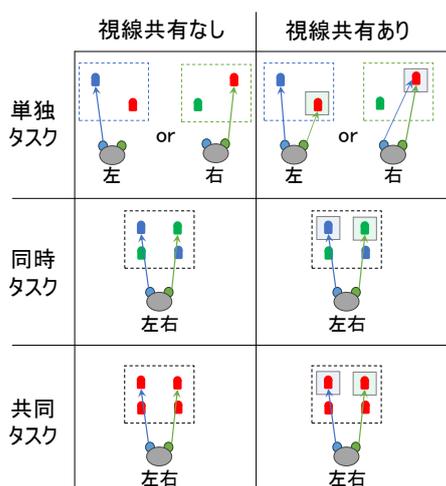


図4: 6種類の刺激条件。単独タスクは左ユーザまたは右ユーザのどちらか片方が行い、同時タスク・共同タスクは左右ユーザが一緒に行う。

図4において、左側のカメラを占有するユーザ(以下、左ユーザ)は事前に青ターゲットまたは赤ターゲットに注目するよう教示され、右側のカメラを占有するユーザ(以下、右ユーザ)は同じく事前に緑ターゲットまたは赤ター

ゲットに注目するよう教示された。すなわち、青ターゲットは左ユーザが専任で探索する対象であり、緑ターゲットは右ユーザの専任である。それに対して、赤ターゲットは両方のユーザが共通で探索する対象であり、この役割の違いによって探索タスクの種類を定義した。

視線共有の有無に関して、共有無しの場合は各ユーザは自分のカーソルしか見えないのに対して、共有有りの時には相手のカーソルの動きも見ることができた。

タスクの種類に関しては、左右どちらか一方のユーザだけがターゲット探索課題に従事する単独タスクと、両方のユーザが同時に探索課題を実行する同時タスク・共同タスクがあった。単独タスクでは、そのタスクを担当するユーザの専任ターゲット(青または緑)および共通ターゲットのどちらかがランダムな位置に2か所出現し、後述のターゲット属性判断を行った。同時タスクでは、左右ユーザそれぞれの専任ターゲット(青・緑)がランダム位置に2箇所ずつ出現し、各ユーザは同時にそれぞれの専任ターゲットに対する属性判断を行った。共同タスクでは、各ユーザの共通ターゲット(赤)がランダム位置に4箇所出現し、各ユーザは協力して共通ターゲットに対する属性判断を行った。

3.5 手続き

2名の実験参加者がそれぞれPCの前に座り、HMDを装着して右手にマウスを持った。実験者がPCを操作しアバター接続プログラムを起動すると、各参加者に3眼アバターロボットからの同じ視点映像が提示される2人3眼テレプレゼンスが開始された。6つの刺激条件のうち1条件がランダムに選択されて、片方または両方の参加者がターゲット探索課題を行うよう指示された。各参加者に探索課題を教示した後、実験者が実験制御プログラムを起動するとLEDランプの点灯が開始した。

ターゲット探索課題における参加者の課題は、探索対象として割り当てられた色のLEDの発光箇所を見つけ出し、そのLEDに頭部を向けてその場所を自カーソルでポインティングした後、点灯LEDの方向をマウスの左右クリックでできるだけ正確に、かつ、できるだけ早く回答することであった。LEDランプは8秒周期で一斉に点灯し、各ユーザは点灯と同時にターゲット探索と方向判別を合計10回繰り返した。ターゲット探索課題の終了後、共在感に関する主観評価アンケート(後述)の回答画面に切り替わり、マウスを使って各項目の質問に回答するのを1セッションした。セッションが終わるごとに休憩を入れながら刺激条件をランダムな順で変更して、6つの刺激条件を2回繰り返した。なお、単独タスクは1回目と2回目で探索課題に従事する参加者を入れ替えて各ユーザが全ての条件をそれぞれ行うようにした。また、単独タスクの時に探索課題に従事しない方の参加者に対しては、探索ターゲットの左右属性判断ではなく、ランダムに出現する赤ターゲットが左右それぞれ何回出現したかを数えさせるダミー課題を教示した。これは単独タスクの視線共有条件において他

者カーソルが静止しないようにすることが目的であった。

3.6 データ取得

ターゲット探索課題においてLEDが一齐に点灯した時点から各ユーザが担当ターゲットを全て探索・属性判別するまでの反応時間とその正答率をユーザごとに算出した。

探索課題後の主観評価アンケートは Podkosova & Kaufmann[13]を参考に表1の6項目を7段階のリッカート尺度で取得した。

表 1: 主観評価アンケート項目の一覧

分類	項目
共在 Q1	遠隔環境に他のユーザが自分と一緒にいるような感覚はどのぐらいでしたか
共在 Q2	他のユーザと一緒にいる感覚は、現実世界で他の人と一緒にいる感覚にどれだけ似ていましたか
注意 Q1	あなたは他のユーザの存在に注意を払っていましたか
注意 Q2	他のユーザはあなたの存在に注意を払っていましたか
関与 Q1	あなたの行動は他のユーザの行動に影響されましたか
関与 Q2	他のユーザの行動はあなたの行動に影響されましたか

4. 結果

前述した通り、本稿執筆時点で十分なデータが得られなかった。学会発表において実験結果を示す予定である。

5. むすび

本研究は、共有身体アバターにおけるユーザ間の協調によるタスク成績の変化と共在感の関係を調べた。同じ遠隔環境で2名が一緒に行うターゲット探索課題において、視野内に提示した視点カーソルの機能的な役割（存在感の提示／注意手がかりの提示）を操作することで、遠隔での協調作業における社会的促進と共同注意の影響を検討した。

参考文献

- [1] Takayoshi Hagiwara, Gowrishankar Ganesh, Maki Sugimoto, Masahiko Inami, and Michiteru Kitazaki. Individuals prioritize the reach straightness and hand jerk of a shared avatar over their own. *iScience*, 23(12):101732, 2020.
- [2] Rebecca Fribourg, Nami Ogawa, Ludovic Hoyet, Ferran Argelaguet, Takuji Narumi, Michitaka Hirose, and Anatole L'écuyer. Virtual coembodiment: Evaluation of the sense of agency while sharing the control of a virtual body among two individuals. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 27(10):4023–4038, 2021.
- [3] Takayoshi Hagiwara, Takumi Katagiri, Hikari Yukawa, Itsuki Ogura, Ryohei Tanada, Takumi Nishimura, Yoshihiro Tanaka, and Kouta Minamizawa. Collaborative avatar platform for collective human expertise. In *SIGGRAPH Asia 2021 Emerging Technologies*, SA '21 Emerging Technologies, New York, NY, USA, 2021.
- [4] Huidong Bai, Prasanth Sasikumar, Jing Yang, and Mark Billinghurst. A User Study on Mixed Reality Remote Collaboration with Eye Gaze and Hand Gesture Sharing, In *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '20)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 1–13, 2020.
- [5] Eimei Oyama, Kohei Tokoi, Ryo Suzuki, Sousuke Nakamura, Naoji Shiroma, Norifumi Watanabe, Arvin Agah, Hiroyuki Okada and Takashi Omori. Augmented reality and mixed reality behavior navigation system for telexistence remote assistance, *Advanced Robotics*, 35:20, 1223-1241, 2021.
- [6] Charles F. Bond and Linda J. Titus. Social facilitation: A meta-analysis of 241 studies. *Psychological Bulletin*, 94 (2): 265–292, 1983.
- [7] John R. Aiello and Carol M. Svec. Computer Monitoring of Work Performance: Extending the Social Facilitation Framework to Electronic Presence. *Journal of Applied Social Psychology*, 23: 537-548, 1993.
- [8] Nina Riether, Frank Hegel, Britta Wrede, and Gernot Horstmann. Social facilitation with social robots? In *Proceedings of the seventh annual ACM/IEEE international conference on Human-Robot Interaction (HRI '12)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 41–48, 2012.
- [9] Paweł M. Strojny, Natalia Dużmańska-Misiarczyk, Natalia Lipp and Agnieszka Strojny. Moderators of Social Facilitation Effect in Virtual Reality: Co-presence and Realism of Virtual Agents. *Frontiers in Psychology*, 11:1252, 2020.
- [10] Saniye Tugba Bulu. Place presence, social presence, co-presence, and satisfaction in virtual worlds. *Computers & Education*, 58 (1), 154-161, 2012.
- [11] Susan E. Brennan, Xin Chen, Christopher A. Dickinson, Mark B. Neider and Gregory J. Zelinsky. Coordinating cognition: The costs and benefits of shared gaze during collaborative search, *Cognition*, 106 (3), 1465-1477, 2008.
- [12] 井上康之, 北崎充晃. 3眼アバターロボット: ユーザの視野を相互共有するテレプレゼンスシステム. 第27回日本バーチャルリアリティ学会大会予稿集, 2022年.
- [13] Iana Podkosova and Hannes Kaufmann. Co-presence and proxemics in shared walkable virtual environments with mixed colocation. In *Proceedings of the 24th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*. 1–11. 2018.