



融合身体における二者間の相互作用

–リアルタイムでの融合と事前記録との融合–

Interaction between Two Persons in Virtual Co-Embodiment
the Fusion Types of Real-Time and Pre-Recording

中村哲朗¹⁾, 森田磨里絵²⁾, 郷原皓彦²⁾⁴⁾, 松室美紀³⁾,
柴田史久³⁾, 木村朝子³⁾, 北川智利²⁾⁵⁾

Tetsuro NAKAMURA, Marie M. MORITA, Akihiko GOBARA, Miki MATSUMURO,
Fumihisa SHIBATA, Asako KIMURA, and Norimichi KITAGAWA

- 1) 立命館大学大学院 情報理工学研究科 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1)
- 2) 立命館大学 BKC 社系研究機構 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1)
- 3) 立命館大学 情報理工学部 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1)
- 4) 大阪大学大学院 人間科学研究科 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 1-2)
- 5) 吉賀心理学研究所 (〒699-5502 島根県鹿足郡吉賀町田野原 107)

概要: VR 空間において 2 人が 1 つの身体を共有する環境 (融合身体) では, 1 人で身体を動かすときよりも, 2 人で動かしたときの方が効率の良い身体運動が可能になるという報告がある. そこで本研究では, 融合身体における運動パフォーマンスの変容が二者間のリアルタイムな相互作用によるものなのかを検証した. 結果として, リアルタイムな相互作用があることによって, 参加者が互いに動作を調整し共同行為が成立していることが示唆された.

キーワード: 融合身体, 共同行為, we-mode

1. はじめに

一人称視点でのアバタの動作を他者と協働して行う融合身体という技術が開発されている. ここでの「融合」とは, 自己の動作と他者の動作を合成した動作が反映されたアバタを操作することを指す (図 1). 融合身体の特徴として, 一人称視点のアバタの身体動作を複数の人物が操作することが挙げられ, その際に共同行為 (joint action) や we-mode が生じている可能性が考えられる [1].

Sebanz et al. [2] は, 共同行為を, 2 人以上の個人が時間的・空間的に行為を調整することで環境に変化をもたらす社会的インタラクションと定義した. 共同行為の成立には 2 人以上の個人が互いに行為を調整することが重要であると考えられる. we-mode とは, インタラクションする人物同士が, 自身の共同行為への役割を「私個人」ではなく「我々」として認識し, 集団の一員として物事に取り組む集合的な認知である [3]. 共同行為をしているときには, we-mode が成立していると言われている.

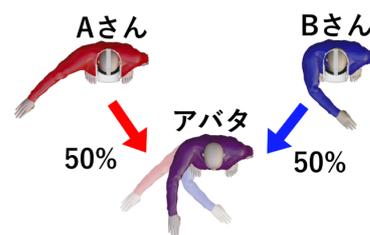


図 1: 融合身体イメージ

2. 関連研究

2.1 融合身体下での融合割合の変化と行為主体感

これまでの研究では, 知覚や行為の不一致が行為主体感に与える影響について検討されており, 実験参加者は他者の行為に対して行為主体感を感じることが可能であると示唆された [4]. しかし, 実験参加者は融合身体下でのアバタの融合割合 (運動制御の割合) が変動することで行為主体感を得られるのか不明であった. そこで Fribourg et al. [5] は, 5 段階の融合割合と 3 種類の動作で仮想物体に

触れる実験を行った。実験の結果、行為主体感は融合割合の増加に伴い大きくなり、一部の動作では行為主体感を過大評価していた。この実験では触覚的なフィードバックや言語コミュニケーションがなくとも実験参加者は共通の目標に向かって行為を調整することができたことから、2人の個人が1つのアバタを共同で操作する融合身体では、自己と他者の行為が相互に協調することで **we-mode** が形成され得ると考えられる。これらの結果から、リアルタイムでの他者の動作との融合に関する研究では、共同行為の研究に貢献する可能性が示唆された。

2.2 融合身体下での身体動作の変容

融合しているアバタを使って身体動作を行う際、アバタを操作する各個人の動作にも影響するのか、またどのような影響を受けるのか不明であった。そこで Hagiwara et al. [6]は、2人の実験参加者の融合割合を50%にしたアバタを使用する条件と、融合をせず個人で操作するアバタを使用する条件においてリーチングタスク（腕を伸ばして標的に触れる課題）を実施し、その成績を比較した。通常、手の運動軌跡は直進性と躍度（加速度変化率）が個人ごとに最適化される [7] が、実験の結果、融合したアバタの手の運動軌跡は、2つの条件における各実験参加者の実際の手の運動軌跡よりも直進的かつ躍度が小さくなった。また、融合したアバタを使用した方が融合なしの場合に比べ反応時間がより短くなっていった。これらの結果から、実験参加者は自身の手の運動軌跡でなく、融合したアバタの手の運動軌跡を優先して最適化していることが示唆された。

3. 研究目的

融合身体は、複数人が一人称視点でアバタを協働して操作することが特徴である。しかしながら、どのような要素が融合身体下での運動パフォーマンスに影響を与えるのか、まだ明らかになっていない。そこで本研究では、アバタと一緒に操作する二者間の相互作用に着目し、二者の動作をリアルタイムに融合する場合と、事前に記録された他者の動作と融合する場合におけるリーチングの成績を比較することで、融合身体における相互作用の効果を検討することを目的とする。

リアルタイムで他者の動作と融合する場合、二者の動作を合成したアバタの動作は自己と他者の双方にフィードバックされ、そのフィードバックから自己と他者は行為を調整する。本研究では、このような状況下では相互作用があると定義する。一方で、事前に記録された他者の動作と融合する場合、自己の動作と事前に記録された他者の動作を合成したアバタの動作は、自己に対してのみフィードバックされる。つまり、フィードバックから自己の行為の調整は行われるが、事前に記録された他者の動作はフィードバックから行為の調整を行わない。ゆえに、このような状況下では相互作用がないと定義する。



図 2: 実験タスク時の基本姿勢

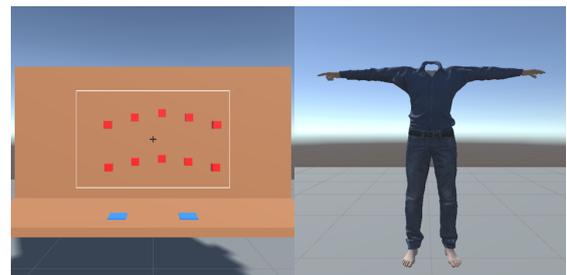


図 3: VR 空間の外観

4. 実験

4.1 実験概要

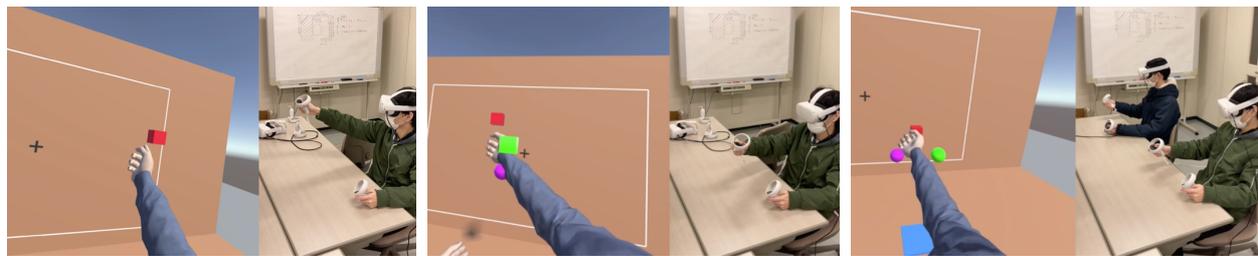
本実験ではリーチングタスクを用いた課題を行った。実験参加者はヘッドマウントディスプレイ (HMD; Oculus Quest 2) とコントローラを装着し、着座姿勢でリーチングタスクを行った (図 2)。各試行では、実験参加者は 10 箇所の標的位置のいずれか 1 箇所に呈示される標的に向かって腕を伸ばし、アバタの右手人差し指で触れる動作を 5 分間行った。5 分経過後、行為主体感と身体所有感についての質問に回答させた。融合条件は、ソロ条件、プレレコーディング条件、リアルタイム条件の 3 つで行った。実験では、リーチングした際の個人の右手とアバタの右手の運動軌道とリーチングにかかる時間を測定し、軌道の直進性とリーチングの所要時間を分析した。

4.2 実験条件

本実験のアバタの身長は約 175cm、腕の長さは約 70cm であった (図 3)。動作の融合条件にて、ソロ条件、プレレコーディング条件、リアルタイム条件の 3 つを設定した。

ソロ条件では、他者とは融合せず、自己の動作のみがアバタの動作に 100% 反映された。標的は 2 人の実験参加者で異なる位置に出現した (図 4 (a))。

プレレコーディング条件では、自己の手の動きと事前に記録された他者の手の動きを 50% ずつ融合したアバタを操作して標的に触れる課題を行った。標的は、2 人の実験参加者で異なる位置に出現した。事前に記録された他者の手の動きには、ソロ条件で 10 箇所の標的位置に最初に標的が呈示された際の手の動きを記録し利用した (図 4 (b))。



(a) ソロ条件

(b) プレレコーディング条件

(c) リアルタイム条件

図 4: 融合時の模式図 (紫の球体は自己の手の位置を, 緑の立方体と球体は各条件における他者の手の位置を表す)

リアルタイム条件では, 参加者は自己の手の動きと他者の手の動きをリアルタイムで 50%ずつ融合したアバタを操作して標的に触れる課題を行った。標的は, どちらの実験参加者も同じ位置に出現した (図 4 (c))。

4.3 実験参加者

実験参加者は, 立命館大学所属の学生 (男性 13 名, 女性 5 名, 平均 21.50 歳) であった。実験参加者のうち, 右利きは 15 名, 両利きは 0 名, 左利きは 3 名であった。

4.4 実験手順

始めに, 実験参加者を指定の位置の椅子に座らせ, 実験参加者の年齢, 性別, VR 体験について尋ねる課題前アンケートと日本語版フランダース利き手テスト [8] に回答させた。その後, 事前にリーチングの動画を見せ, 動画内での速度と同程度の速さでリーチングをするよう教示し, リーチングタスクの練習を行った後, 本試行を実施した。

各試行の実施前にはあらかじめアバタの融合条件について教示し, 5 分間のリーチングタスクを行った。リーチングする標的は, 先行研究 [6] を参考に, 1 辺が 5cm の赤い立方体とした。標的の呈示位置は, アバタの肩の位置から水平方向に $\pm 70^\circ$, 垂直方向に 45° かつ, 半径 35cm から半径 65cm の範囲内の 10 箇所とした。標的は, アバタの右手人差し指が触れると消滅し, 4 秒後に新たな標的が呈示され, 再び標的に触れる動作を繰り返した。5 分経過後, 行為主体感と身体所有感に関する質問に回答させた。

試行回数は, それぞれの融合条件で 4 回ずつ, 計 12 試行であった。1 ブロックでは, 3 つの条件を 1 試行ずつ実施し, 合計 4 ブロック実施した。プレレコーディング条件では, ソロ条件のデータを事前に記録された他者の手の動きとして用いるため, 各ブロックの 1 試行目はソロ条件とした。2 試行目と 3 試行目は, リアルタイム条件とプレレコーディング条件をランダムな順番で行った。ブロックの終了から次のブロックの開始までに 2 分間休憩を取った。

5. 結果と考察

標的が出現してから, 消滅するまでの右手の運動軌道を測定することでリーチング軌道を算出し, そのリーチング軌道の距離とリーチングの始点から終点までの直線距離との差をリーチング軌道の直進性とした。リーチング軌道と直線距離との差が小さい場合, リーチング軌道の直進性が向上していることを示す。実験の結果を図 5 (a) に示す。

これに対して Friedman 検定を行ったところ, プレレコーディング条件 (プレレコ) に比べ, リアルタイム条件の個人の右手にてリーチング軌道の直進性がより優れていた (主効果: $\chi^2(4) = 37.2, p < .001$, 多重比較: $ps < .05$)。

標的が出現してから, 右手で触れて消滅するまでの時間を計測することで, リーチングにかかる時間を算出した。実験の結果を図 5 (b) に示す。これに対し Friedman 検定を行ったところ, プレレコーディング条件とリアルタイム条件では, リアルタイム条件の方がリーチングにかかる時間が短くなった (主効果: $\chi^2(2) = 16.8, p < .001$, 多重比較: $ps < .01$)。これらの結果は, 相互作用があることで融合身体下での身体動作に影響があったと考えられる。相互作用の結果, 参加者同士が自己の動作を調整することで, 融合身体では共同行為が成立することが示唆された。

各融合条件における行為主体感と身体所有感の主効果はいずれも有意であった (Friedman 検定: $\chi^2(2) = 29.10, p < .001$; 一要因参加者内分散分析: $F(2,34) = 66.64, p < .001, \eta_p^2 = .80$; 図 5 (c), (d))。また, プレレコーディング条件とリアルタイム条件との間で, 行為主体感, 身体所有感の双方に有意差は見られなかった。これらの結果は, どちらの融合条件でも自身の意図しない動作がアバタの動作として反映されているからであると考えられる。

6. まとめ

本研究では, VR 空間にある 1 つのアバタを複数人で操作する融合身体という技術を使った身体動作の分析を行った。本実験では, 指定の範囲内に現れる標的に対してアバタの右手を伸ばして触れる, リーチングタスクを実施した。各融合条件 (ソロ条件, プレレコーディング条件, リアルタイム条件) における個人の右手の動きとアバタの右手の動きを評価・分析し, 相互作用があることでどのような結果が得られたかの考察を行った。また, 各融合条件での行為主体感や身体所有感といった主観指標についても考察を行った。

実験の結果, 個人の右手でのリーチング軌道の直進性は, ソロ条件よりもリアルタイム条件の方が有意に大きく, プレレコーディング条件よりもリアルタイム条件の方が有意に大きく, ソロ条件とプレレコーディング条件には有意差がなかった。このことは, 二者間の相互作用がリーチングの直進性を向上させることを示している。融合身体下で

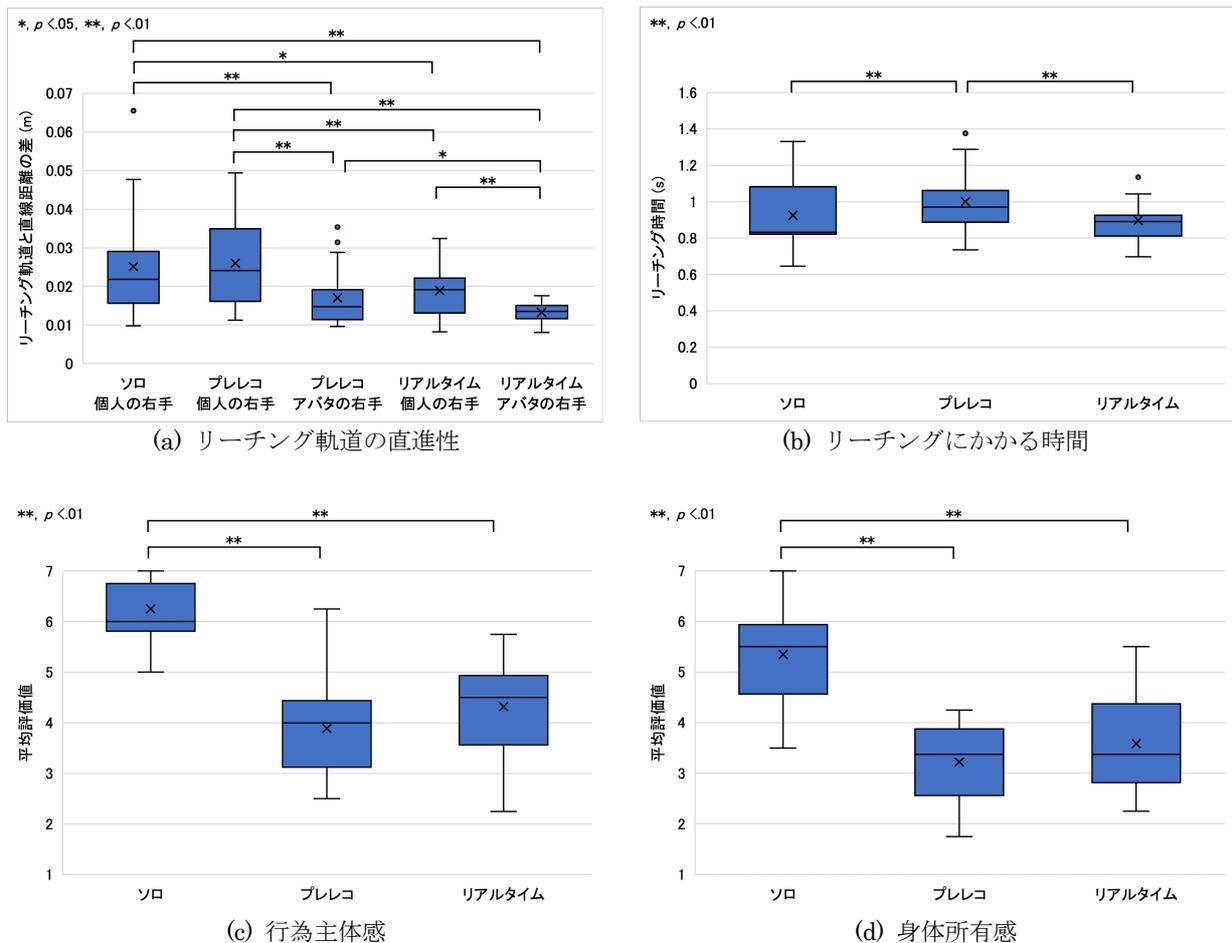


図 5: 融合身体の実験結果

は、相互作用により参加者同士が自己の動作を調整する、すなわち共同行為や **we-mode** が成立することが示唆された。本実験で扱った指標だけでは相互作用により運動パフォーマンスそのものが向上したと結論づけることはできないが、融合身体下では二者間の相互作用が運動パフォーマンスに影響を及ぼすことを明らかにした。

今後の展望として、どの融合条件がアバタの動作として反映されているのかについての参加者の認識（メタ認知）との関連の検討が挙げられる。実際の融合条件と参加者の融合条件の認識が異なる場合に、本研究で確認された相互作用による効果や共同行為の成立に影響があるのか、運動パフォーマンスに変容が生じるかを検討する必要がある。

本研究は科研費・基盤研究 (S) 19H05661 の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] 伊東亮太, 小川奈美, 鳴海拓志, 廣瀬通孝: 融合身体を用いた身体スキル伝達に関する基礎調査, 日本バーチャルリアリティ学会第 25 回大会論文集, 2020.
- [2] N. Sebanz, H. Bekkering, and G. Knoblich: Joint action: bodies and minds moving together, *Trend in Cognitive Sciences*, Vol. 10, No. 2, pp. 70 - 76, 2006.
- [3] M. Gallotti, and C. Frith: Social cognition in the we-mode, *Trends in Cognitive Sciences*, Vol. 17, No. 4, pp. 160 - 165, 2013.
- [4] D. M. Wegner, B. Sparrow, and L. Winerman: Vicarious Agency: Experiencing Control Over the Movements of Others, *Journal of Personality and Social Psychology*, Vol. 86, No. 6, pp. 838 - 848, 2004.
- [5] R. Fribourg, N. Ogawa, L. Hoyet, F. Argelaguet, T. Narumi, M. Hirose, and A. Lécyer: Virtual Co-Embodiment: Evaluation of the Sense of Agency while Sharing the Control of a Virtual Body Among Two Individuals, *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 27, No. 10, pp. 4023 - 4038, 2021.
- [6] T. Hagiwara, G. Ganesh, M. Sugimoto, M. Inami, and M. Kitazaki: Individuals Prioritize the Reach Straightness and Hand Jerk of a Shared Avatar over Their Own, *iScience*, Vol. 23, No. 12, 2020.
- [7] T. Flash, and N. Hogan: The coordination of arm movements: an experimentally confirmed mathematical model, *Journal of Neuroscience*, Vol. 7, No. 7, pp. 1688 - 1703, 1985.
- [8] 大久保街亜, 鈴木玄, Nicholls, Michael E. R.: 日本語版 FLANDERS 利き手テスト-信頼性と妥当性の検討-, *心理学研究* Vol. 85, No. 5, pp. 474 - 481, 2014.