

二者で協働してアバタを操作する融合身体体験

久保田 翔帆^{*1} 米澤 正真^{*1} 丹羽 一貴^{*1} 板垣 良摩^{*1}

森田 磨里絵^{*1} 柴田 史久^{*1} 木村 朝子^{*1}

Virtual Co-embodiment Experience: Co-operating an Avatar with a Partner

Kaho Kubota^{*1}, Shoma Yonezawa^{*1}, Kazuki Niwa^{*1}, Ryoma Itagaki^{*1}

Marie M. Morita^{*1}, Fumihisa Shibata^{*1} and Asako Kimura^{*1}

Abstract - Virtual co-embodiment allows multiple users to control a single virtual reality (VR) avatar simultaneously. Previous studies mainly adopted a simple motor control task, in which users reach fixed objects with a co-embodied avatar to investigate movement characteristics under co-embodiment. In this study, we present a virtual co-embodiment system in which two users experience a variety of motor tasks, including reaching for dynamic objects, tracing designated trajectories, and selecting a correct option from multiple choices, both with and without co-embodiment. We propose a novel form of interaction in VR environment through the co-operating experiences in complex tasks such as motion prediction and movement accuracy.

Keywords: Virtual Co-embodiment, Virtual Reality, Cooperation, and Communication

1. はじめに

VR 技術の普及により、協力型ゲームの開発が活発化している。こうしたゲームにおける協力のスタイルには、複数人が同じタスクを同時に実行する形や、タスクを細かく分割してそれぞれが役割を担う形など、さまざまなアプローチが存在する。近年、他者とアバタを共有して操作することができる、「融合身体」という技術に関する研究が行われている。ここでの融合とは、自己と他者の動作を平均した動作をアバタに反映させることを指す。融合身体を用いた際の身体動作について検討した研究では、他者と融合してアバタを操作すると、一人きりで操作する場合に比べ、各個人の物理身体の動作が効率的になることや[1]、動作の学習成績が向上すること[2]が報告されている。

融合身体に着目した研究で用いられてきた身体動作は、静止したオブジェクトに対して直線的に手をのばすなど、比較的単純なものが対象となっていた。動作が単純であると、他者と融合してもしなくても個人間で動作のばらつきが少なくなるため、他者と融合していることが感じにくい可能性があると考えられる。しかし、あまりに複雑な動作であると他者と融合しての動作が困難となり、融合身体を用いた場合の利点が失われる可能性も考えら

れる。

そこで本研究では、動作の複雑性に関わると考えられる要素を3種類想定し、それらに対応する動作を他者と融合して行うことができるデモ作品を開発した(図1)。本作品では、動くオブジェクトに対して手を伸ばしたり複数の選択肢から正しいものを選ぶなど、従来よりも複雑であると考えられる様々な動作を融合した状態で体験することができる。さらに、それぞれの動作を、体験者が一人きりで行う場合と、他者と融合して行う場合の2つを体験できる構成とし、他者と融合したときの感覚がより体験しやすいよう設計した。また、本作品をVR技術に馴染みのない一般の方に体験してもらい、より複雑な動作でも融合しての動作が可能かどうかを確認した。

2. 関連研究

Hagiwara et al. [1]は、複数人が融合して1つのアバタを操作する際の、各個人の身体動作の変容について実験的に検討した。この実験では、2名の参加者が融合してアバタを操作する融合条件と、各参加者が単独でアバタを操作するソロ条件の2条件が設定されていた。参加者は、自身の腕を動かしてアバタの腕を操作し、VR空間内に1つ提示されるターゲットにアバタの手で触れるリーチングタスクを、融合条件とソロ条件の両方で実施した。各参加者の腕の運動軌跡を分析することで、各条件下での動作成績を評価した。その結果、ソロ条件よりも融合条件でタスクを行ったときのほうが、各個人の手の運動軌道が直線的になり、腕の動きがより滑らかになることを示した。このことは、他者と融合することで各個人の身

^{*1}: 立命館大学 情報理工学部

^{*1}: College of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University

体動作の成績が向上することを示している。

Kodama et al. [2]は、融合身体が身体動作の学習にも有効であることを示した。実験では、参加者は、右手で五芒星、左手で七芒星を同時に描くというデュアルタスクを実施した。同一半径の円周上に等間隔で5つまたは7つのターゲットが表示されている刺激セットをアバタの左右に1つずつ配置し、参加者はアバタの左右の手で適切なターゲットに触れることにより五芒星と七芒星を描いた。このタスクを、タスクに熟練した教師と融合する場合、各参加者が一人きりで行う場合、教師の手の位置が参加者のVR空間内に重畳描画される場合とで練習させた。練習の前後で参加者が一人きりで同タスクを行い、練習の前後で正しいターゲットに触れることができた数に基づき成績を評価した。その結果、教師と融合して練習を行った参加者は、練習後に正しいターゲットに触れられた回数が最も多く、学習効率が最も高いことを示した。

融合身体を用いた身体動作に着目した関連研究で用いられているタスクは、VR空間に表示されるターゲットにアバタの手で触れるリーチングタスクを基本としている。また、ターゲットが複数個提示されている場合でもターゲットの位置は固定であるため、課題を達成するための動作計画が比較的容易に行えると考えられる。

3. 作品の説明

本作品は、2人1組でアバタを操作することによって、融合身体によるさまざまなタスクを体験できるよう構成されている。2名の体験者が協力してアップルパイを作るというゲーム的要素に沿って、3つの工程（タスク）を体験する。各タスクでの動作は、目標となる動作に対する運動計画のしやすさ、動作の正確性、体験者ペア間での動作予測の3つの観点に基づき設計した。

3.1 システム構成

本システムは、2台のヘッドマウントディスプレイ

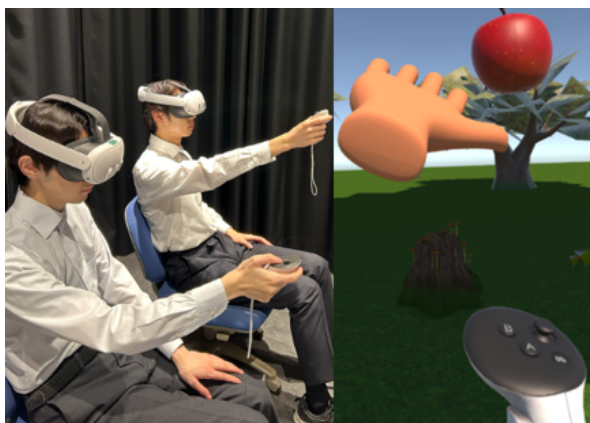


図1 体験の様子

(Meta Quest 3; HMD)、2組のコントローラ（Meta Quest Touch Plus コントローラー）、2台のコンピュータ（GALLERIA XA7C-R48S）で構成した。アバタに反映させる座標の計算や仮想物体の描画には、Unity6（6000.0.41f1）を使用した。システム構成図は以下の通りである。

各体験者の腕の動きは、各体験者が両手に握ったコントローラで取得した。コントローラでの動作のサンプリング周波数は、72Hzとした。取得した動作は、体験者に1台ずつ割り当てたコンピュータにて受信した。2台のコンピュータはスイッチングハブを介して有線で接続し、各参加者のコントローラの情報をコンピュータ間で送受信した。受信した相手のコントローラ座標と自身のコントローラ座標の平均は、各コンピュータで独立に計算し、アバタに反映させた。

3次元空間および仮想アバタは、各体験者が装着したHMDに呈示した。HMDのリフレッシュレートは72fpsであった。HMDへの映像呈示の遅延を最小限にするため、HMDとPCを有線で接続した。

各体験者に割り当てたコンピュータ間での同期通信には、Mirrorを使用した。Mirrorを使用することで、ゲームオブジェクトの位置などの変数を同期したり、特定の処理をサーバーやクライアント間で実行させることが可能となる。Mirrorを用いて、体験者のコントローラ位置（x, y, z）と回転（x, y, z, w）、各タスクにおけるオブジェクト出現位置等を通信することで、各体験者に割り当てたコンピュータ間での同期を実現した。

3.2 融合状態・非融合状態

各タスクでは、他者と融合してアバタを操作する融合状態と、他者と融合せず各体験者が個別にアバタを操作する非融合状態を実装した。融合状態・非融合状態ともに、VR空間に自身のコントローラとアバタの手が表示される。融合状態では、2人のコントローラの位置・回転を平均してその位置にアバタの手を表示した。したがって、自身のコントローラの位置・回転とアバタの手の位置・

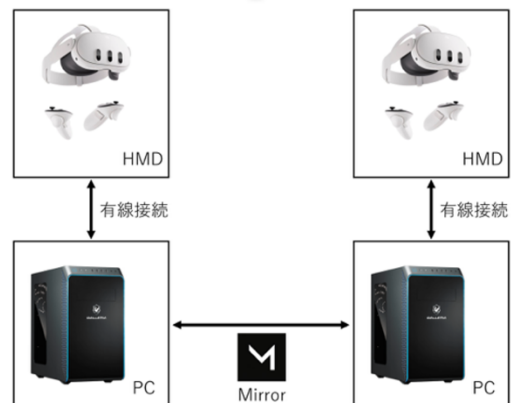


図2 システム構成

回転は必ずしも一致しない。非融合状態では、自身のコントローラの位置・回転と一致してアバタの手の位置・回転を表示した。よって、自分のコントローラと手のオブジェクトは同じ動作をする。

3.3 動作の種類

3.3.1 目標動作の運動計画（リーチングタスク）

1 つ目の動作として、目標となる動作の運動計画のしやすさを想定し、落下している物体に向かって自身の手を伸ばし、アバタの手で触れるリーチングタスクを設計した（図3）。体験者が、アップルパイを作るための食材を調達するという工程に相当する。このタスクでは、落下の軌道が異なる 2 種類のオブジェクト（リンゴとハーブ）を設定することによりオブジェクトの動きの予測しやすさを操作し、それに応じた動作計画のしやすさを操作した。

落下するオブジェクトの動きは、リンゴは垂直に落下し、ハーブは風に揺られ左右に動く様子を再現した。リンゴは、Unity 内で標準で実装されている重力に従って垂直に落下させた。ハーブは、重力に従って落下しながら、Perlin ノイズによって生成される力で左右に不規則に移動させた。Perlin ノイズとは、なだらかな丘や山脈、雲や炎といった流体のリアルな視覚効果を再現する際に広く採用されているものであり、これをハーブの軌道に適用することで、風が吹いたり止んだりした際のゆらぎを再現した。リンゴは直線的な軌道であるため、軌道の予測と目標動作の計画が容易である一方、ハーブは軌道の予測が難しいため目標動作の計画が複雑であると言える。

どちらのオブジェクトも、アバタの手が触れるか、オブジェクトが出現してから一定時間が経過すると消滅した。アバタがオブジェクトに触れた際は、体験者にコントローラで振動フィードバックを提示した。

3.3.2 動作の正確性（なぞりタスク）

2 つ目として動作の正確性が要求される動作を想定し、ナイフのオブジェクトを操作し VR 空間内に提示される点線をなぞるタスクを設計した（図4）。アップルパイ作りにおいて、集めた食材をカットする工程に相当する。点線の長さは、縦の場合は約 25cm 及び 45cm、横の場合は約 40 及び 90cm、斜めの場合は約 35cm および 65cm とした。なぞる方向は、縦、横、斜めの 3 種類とした。点線を構成する個々のキューブ型のオブジェクトに当たり判定を設定し、ナイフの先が触れるとキューブを消滅させた。すべてのキューブが消滅すると、次の点線が表示され体験が進行した。ナイフをキューブに連続的に当てることで、正確な身体動作を促すようにした。

なぞる方向となぞり始めの位置は、音声と VR 空間に表示される矢印で示した。

また、ナイフがキューブに触れた際は音によるフィードバックを体験者に提示した。

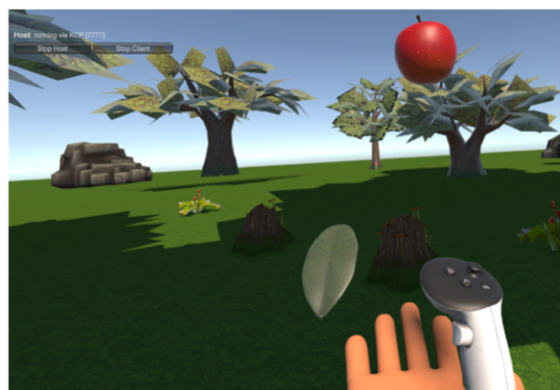


図3 落下物に対するリーチングの様子

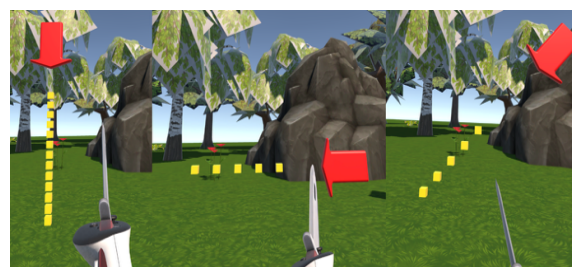


図4 指定された線をなぞるタスクの様子



図5 指定された要素を選択するタスクの様子

3.3.3 体験者ペア間の動作予測（選択タスク）

3 つ目の動作として、同時に参加する体験者 2 名の間の動作予測が必要となる動作を想定し、複数のオブジェクトから正しいものを 1 つ選択するタスクを設計した。アップルパイを作るために使う正しい材料を選択する工程に相当する。このタスクで、体験者は画面上方に提示される材料と同じものを、3×3 の 9 マスの盤面の中から選択しアバタの手で触れる（図5）。その際、選択すべき材料が盤面上で 1 つだけ表示される場合と 2 つ表示される場合を設けた。盤面に材料が 2 つ表示される場合は、体験者が互いに選択するマスの予測をしなければ、意図しないマスが選択されてしまうことになる。

選択したマスが正しいか間違っているかに関わらず、盤面上のマスを選択すると、盤面に表示される材料が更新される。正しい材料のマスが選択された場合には画面

上方の材料も更新される。盤面に材料が2つ表示される場合は、どちらのマスを選択しても正解となる。選択した材料の正誤に応じて、色と振動、音によるフィードバックが体験者に提示される。

3.4 体験の流れ

3つのタスクの体験時間は各1分間である。各タスクの前半30秒は非融合状態で体験者が単独で動作を行い、後半30秒は融合状態となり体験者2人が協力して動作を行う。各タスク開始後30秒経過すると画面が暗転・明転し、融合状態に切り替わる。体験者は、リーチングタスク、なぞりタスク、選択タスクの順番で、非融合状態と融合状態を体験する。

4. 作品展示

本作品は、2025年5月18日に立命館大学大阪いばらきキャンパスにて開催された「いばらき×立命館DAY2025」にて展示された(図6)。VR技術に馴染みのない一般の方、合計50組100人が体験した。多くの体験者が問題なく各タスクを遂行できていたことから、従来の融合身体研究にて用いられてきたタスクよりも複雑なタスクを用いた場合でも、他者と融合しての動作が可能であると考えられる。体験後にタスクを実施した感想を聴取したところ、最も楽しかったタスクとしてリーチングタスク、最も難しかったタスクと最も他人と融合している感覚が強く感じられたタスクとして選択タスクを挙げた体験者が多かった。体験者同士が互いの選択を予測し合い、その成否によって融合の感覚が強く生起するのかもしれない。

5. まとめ

本研究では、従来の融合身体研究にて用いられてきたタスクよりも複雑な複数種類の動作を融合身体で体験できる作品を開発した。本作品では、2人の体験者が1つのアバタを協力して操作し、様々なタスクを遂行する。動作の複雑さには、目標となる動作に対する運動計画のしやすさ、動作の正確性、体験者ペア間での動作予測の3つが関連していると想定し、これらの観点に対応するタスクを設計した。目標となる動作に対する運動計画のしやすさを操作したタスクとして、様々な軌道で落下するオブジェクトに対するリーチングタスク、動作の正確性を操作したタスクとして、指定された点線をなぞるタスク、体験者ペア間での動作予測を操作したタスクとして複数の選択肢の中から正しいものを選択するタスクを構築した。体験は、最初に体験者が個別にアバタを操作した後



図6 いばらき×立命館DAY2025での体験の様子

に、体験者同士が融合してアバタを操作する順序で進行し、複数人でのアバタの共有・操作の感覚をより実感しやすくした。

これらのタスクを50組100名に体験してもらったところ、一人きりでタスクを実行した場合とは異なる感覚が生じるという感想を得た。また、VR技術に馴染みのない参加者でも、より複雑な動作であると考えられる3つのタスクを十分に遂行することができた。このことから、より複雑な動作の予測や判断が必要な動作でも、他者と融合してタスクを行うことができる可能性がある。今後は、各タスクにおける体験者の課題成績や、融合中の感覚を生じさせる要因などについて詳細に分析することで、VR空間における新たなコミュニケーションのあり方やその理解を明らかにできると期待される。

謝辞

本システムの開発において協力していただいた立命館大学情報理工学部情報理工学科所属の太田怜志、斎藤楓太、中村遼平、穂積佳歩の諸君らに感謝します。

本研究は、科研費・基盤研究(A)24H00706と若手研究24K21069の助成を受け実施された。

参考文献

- [1] Hagiwara, T., Ganesh, G., Sugimoto, M., Inami, M. and Kitazaki, M.: Individuals Prioritize the Reach Straightness and Hand Jerk of a Shared Avatar over Their Own, *iScience*, Vol. 23, No. 12, p. 101732 (2020).
- [2] Kodama, D., Mizuho, T., Hatada, Y., Narumi, T. and Hirose, M.: Effects of collaborative training using virtual co-embodiment on motor skill learning, *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 29,