



身体融合アバターによる田植え技能伝承に向けたトライアル

A Trial of Rice Planting using Collaborative Avatar toward Human Skill Transfer

萩原隆義¹⁾, 湯川光²⁾, 田中由浩²⁾, 南澤孝太¹⁾

Takayoshi HAGIWARA, Hikari YUKAWA, Yoshihiro TANAKA, and Kouta MINAMIZAWA

- 1) 慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科 (〒 223-8526 横浜市港北区日吉 4-1-1, hagiwara, kouta@kmd.keio.ac.jp)
2) 名古屋工業大学 (〒 466-8555 名古屋市昭和区御器所町, yukawa.hikari, tanaka.yoshihiro@nitech.ac.jp)

概要: 2022 年 5 月, 農林水産省の YouTube チャンネル BUZZMAFF において, 2 人が 1 つのロボットアバターに融合する身体融合を用いた, 農業の技能伝承に関する動画が公開された. 米農家と初心者が 1 つのロボットに融合して田植えを行い, 技能を伝えることを試みた. 本稿では本プロジェクトの経緯を紹介し, 田植えの技能伝承を題材に, 身体融合を用いることによる, 職人や熟練者との感覚, 運動共有における可能性を論ずる.

キーワード: 融合身体, 感覚共有, 技能伝承, サイバネティックアバター

1. はじめに

トレイグジスタンスなどのロボットアバター技術は, 現地にあるロボットを遠隔から操作でき, 人間の身体の時空間的な制約を超えることができる. 全身の運動を遠隔地に伝達可能なロボットアバターシステム [1] では, 全ての指への触覚フィードバックが組み込まれており, 高い没入感での遠隔作業を可能にする. これらの技術は, 1 人のユーザがロボットを操作するもので, 個人の能力や身体を補綴することに重点を置いてきた.

さらに近年では, VR アバターやロボット技術によって, 複数人の間で身体運動や感覚を融合する研究が興隆している. VR 空間ではすでに, 2 人が 1 つのアバターに融合した場合における, 融合アバターに対する認知と運動パフォーマンスについての研究が行われている. VR アバターの右腕に 2 人が融合して操作するシステム [2] では, 2 人の目標と運動軌跡の両方が一致している場合に, 操作している感覚が増加することが明らかになっている. また, 融合アバターを用いてリーチングタスクを行った研究 [3] では, 融合アバターの運動が滑らかで直線的になるだけでなく, 操作しているユーザ自身の運動も同様に滑らかで直線的になることが明らかになっている.

こうした VR アバターを通した融合だけでなく, 実空間での身体融合によって, 2 人が協調して作業を行うという展開が出てきている. ロボットアームに 2 人が融合するシステム [4] では, そのユーザビリティについて研究が行われている. このシステムでは, 1 人でロボットアームを操作するよりも, 2 人で融合して操作したほうが, 安定した動作が行えることや, 安心感があるといったことが観測された. このように, 身体融合により, 1 人でロボットアームを操作する場合とは異なる認知や運動戦略が生起することが示唆さ

れている.

こうしたシステムを通して, 実空間のロボットアームを用いた身体融合を行うことで, 物理的な作業対象へのアプローチが可能になるだけでなく, ユーザとロボット間での触覚を通した感覚的な接続により, 作業への柔軟なインタラクションが可能になると考えられる. また, 身体を融合することで, より身体的な技能伝承や他者との共創を実現できる可能性がある. 従来の技能伝承は, 初心者が熟練者の動きを見て真似ることや, 動作におけるコツのようなものを口頭で伝えるということが一般的であった. 一方身体融合による操作は, 熟練者の技能を自分の身体感覚として学習することを可能にするため, 視覚情報だけでは伝えることが難しい動作や, 言語化しにくい情報を伝達することが可能になると考えられる. こうした技能を身体的な情報として受け取ることにより, より効率的な学習につながることを期待できる.

そこで本稿では, 田植えを題材にした身体融合による技能伝承のトライアルを行った. 稲を植える動作はシンプルでありながら, 細かい感覚やタイミングを伝えることが難しいだけでなく, 農家における後継者不足問題もあり, 技能伝達の方法を得ることが重要になる. 実際の農家である横田農場の横田氏に協力いただき, 農業における熟練者と初心者が身体融合した際の技能伝承の可能性について検討を行った. また, 本トライアルは, 農業と技術を組み合わせることによる新たな知見を得ることを目的とし, 農林水産省の YouTube チャンネルである BUZZMAFF にて動画公開された¹⁾.

¹⁾<https://youtu.be/6U-nh-POyuU>

2. 身体融合ロボットアバター

本トライアルでは、2人の動きを任意の比率で統合し、1つのロボットアバターに身体化するシステムである Collaborative Avatar[4]を用いた。使用したロボットアームの先端位置と回転は、操作者1と2の手の位置と回転に任意の割合を乗じた値をそれぞれ足し合わせることで計算した。ロボットアーム先端には、物体把持を行うためのグリッパーを取り付けた(図1A)。

各操作者がロボットアバターを操作するために、2つのインタフェースを使用した。1つは操作者の手の位置と回転をトラッキングするための再帰性反射マーカと、振動触覚アクチュエーターからなるインタフェースであり、操作者の手の甲に装着した。参加者の手の位置トラッキングから速度を計算し、もう片方の参加者へ振動として提示することで、お互いの運動を直感的に認識することを可能にした。もう1つはグリッパー制御用のインタフェースであり、グリッパーの開閉制御と、グリッパーの先端部に装着したマイクで取得した物体把持時の触覚を提示した(図1B)。ロボットアーム本体の制御と同様に、グリッパーの開閉も、それぞれの操作者が持つインタフェースの開閉値に任意の割合を乗じたものの足し合わせで計算した。

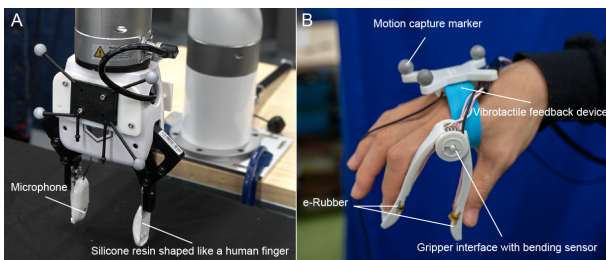


図1: システム構成 (A) ロボットアーム先端に取り付けたグリッパー。先端には人の指の形を模したシリコンモデルが取り付けられており、片方にマイクが埋め込まれている。(B) 参加者の手の動きを追跡するための再帰性反射マーカと振動触覚フィードバック装置およびグリッパーの開閉制御と指先への触覚提示デバイス

3. 農家と初心者の融合による田植えのトライアル

融合ロボットアバターを用いて、プラスチック製の容器に入れた実際の土に稲を植えるトライアルを行った。グリッパーでの適切な把持を可能にするため、約15mm程度のブロック状に稲を切り分けた。その他、実際の田植え環境に可能な限り近くなるよう調整を行った。ただし今回のトライアルでは、ロボットアバターが押し込む力とグリッパーの形状を考慮し、やや固めの土になるよう、含まれる水分量を減らした。

田植えに慣れている実際の農家と、初心者がロボットアバターに融合してトライアルを行った(図2)。2人の運動を50%ずつ足し合わせることでロボットアバターを操作した。操作者はロボットアバターの左右後方から目視で作業を行った。

トライアルの結果、融合ロボットアバターを用いて稲を植えることが可能であることが確認できた(図3)。また、初心者は農家と一緒に田植えを行うことで、作業に慣れていないのにも関わらず、比較的安定して稲を植えることが観測されただけでなく、サポートが入ることによる安心があったことがわかった。初心者は、稲を植える際の動作のコツなどを、事前に農家から口頭で教示されていたが、実際どのような動かすのかといったことのイメージがわかっていなかった。特に、稲を土に入れた後に「稲をしっかりと固定するために、土に稲を押し付けるようにする」という動作について、どの程度の力でどのくらい深く押し付けるのか、といった詳細について理解ができていなかった。しかし、本融合ロボットアバターを用いることで、自分の身体感覚としてコツを認識することができ、口頭では伝わっていなかった動作を直感的に理解することができるということが観測された。また、初心者は1人で動作を試した際、比較的ゆっくりと土に稲を植える動作をしていた。これは、動作に慣れていないため、探索的に稲と土の状態を確認しようとしていたためであった。一方で熟練者は、数回のトライアルで土の状態を把握しただけでなく、さらにはロボット操作にも慣れ始めていたため、初心者よりも動作が速く、スムーズな田植えを行っていた。融合によって、このような熟練者ならではの動作の速度を感じる事ができ、素早く植えることで稲への余計な負荷を減らし、効率よく田植えを行えることを身体的な感覚として得ることができるといったことが観測された。



図2: トライアルの様子。操作者2人(左: 農家, 右: 初心者)が1つのロボットアバターに融合して土に稲を植えている。ロボットアバターの運動は2人の運動をそれぞれ50%ずつ足し合わせて計算した。

4. 考察

融合ロボットアバターを用いて、田植え作業を行うことが可能であることが観測された。また、熟練者が持つ動作を初心者がより直感的に理解することができる可能性が示唆された。熟練者の動作や職人の技能などは、方法論化や言語化がされていない場合が多く、他人へ伝承することが



図 3: 融合ロボットアバターを用いて植えた稲の様子

困難であると考えられる。しかし、身体融合を通して、こうした技能を直接身体感覚として伝えることで、言語では伝わらない情報を得ることができると考えられる。また、日常生活での人間の動作は、無意識に行っていることが多いと考えられるが、身体融合によりこの運動の無意識部分を他人に委ねることが可能になり、より自然な動作や安定した動作、安心感につながると考えられる。さらに、本トライアルでは 2 人の運動の反映割合はそれぞれ 50% ずつであったが、初心者が作業に慣れていないときは熟練者の運動反映割合を多くし、慣れに応じて徐々に割合を変化させていくといった、動的な調整を行うことで、より効率的な技能習得が行えるのではないかと考えられる。一方で、土に触れた際の固さや、稲を押し付ける際の力の強さに関する力覚フィードバックは搭載していないため、人の手で植える場合とは異なる運動戦略が生じていたと考えられる。しかし、ロボットアバターの動きの大きさや、自分の運動との差分から、力の強さをある程度推定することが可能であるとされる。こうした触覚情報により操作精度の向上やロボットアバターへの身体認識の向上が期待できるため、検討を進めたい。

5. まとめ

実際の農家である熟練者と初心者の運動を 1 つのロボットアバターに融合し田植えを行った結果、安定した動作や安心感が得られることが観測された。また、言語化が難しい熟練者の技能を初心者が直感的に理解できる可能性があることが示唆された。本システムは、サイバーフィジカル社会における新しい協調作業方法への応用が可能であるとともに、技能伝承における新たな手法となることが期待で

きる。

謝辞 本トライアルを行うにあたり、農林水産省大臣官房広報評価課の松岡慧さんと白石優生さんとは、事前に多くの議論をさせていただき、農業と技術をつなぐことに対する様々なアドバイスをいただいただけでなく、トライアル当日の円滑な進行と動画撮影、編集を行っていただいた。有限会社横田農場の横田修一代表取締役とは、田植えを行うにあたり、稲や土の管理、稲の植え方など様々なアドバイスをいただき、田植えにおける熟練者としてロボットアーム操作に協力いただいた。本トライアルは、JST ムーンショット型研究開発事業 Cybernetic being プロジェクト (JPMJMS2013) および JST 次世代研究者挑戦的研究プログラム (JPMJSP2123) の支援を受けて行われた。

参考文献

- [1] Susumu Tachi, Yasuyuki Inoue, and Fumihiro Kato. Telesar vi: Telexistence surrogate anthropomorphic robot vi. *International Journal of Humanoid Robotics*, 17(05):2050019, 2020.
- [2] Rebecca Fribourg, Nami Ogawa, Ludovic Hoyet, Ferran Argelaguet, Takuji Narumi, Michitaka Hirose, and Anatole Lécuyer. 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*, 27(10):4023–4038, 2021.
- [3] 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.
- [4] 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. Association for Computing Machinery.