



THE VIRTUAL REALITY SOCIETY OF JAPAN

# ロボットアバターを介した身体融合における運動共有の基礎検討

A Basic Study of Motion Sharing in Body Integration through a Robotic Avatar

萩原隆義<sup>1)</sup>, 片桐拓海<sup>2)</sup>, 湯川光<sup>2)</sup>, 田中由浩<sup>2)</sup>, 南澤孝太<sup>1)</sup>

Takayoshi HAGIWARA, Takumi KATAGIRI, 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 神奈川県横浜市港北区日吉 4-1-1,

hagiwara@kmd.keio.ac.jp, 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,

t.katagiri.753@nitech.jp, yukawa.hikari@nitech.ac.jp, tanaka.yoshihiro@nitech.ac.jp)

**概要:** 本研究では、複数人が1つのアバターを操作して互いの感覚を共有し動作を融合する身体融合によって、異なる技能や経験を有する他者との身体的な共創を実現することを目指し、1つのロボットアームを2人の操作者が同時に操作し、協調作業を行うシステムを提案する。双方の運動を一定の割合で融合することにより、熟練者から初心者への技能伝達や、遠隔地にいる人同士での協調作業、異なる技能を持つ人同士の共創を誘発するなど、サイバーフィジカル社会における新しい共同作業の手法としての応用が考えられる。

**キーワード:** 融合身体, 感覚共有, 技能共創, サイバネティックアバター

## 1. はじめに

人は1人1人独立の身体を持つというのが現在の一般的な通念であるが、VRアバターやテレグジスタンス・アバターの技術を用いることで、ネットワークを介して複数人の間で身体運動や感覚を融合することが可能になりつつある[1]。このような身体融合を通じて、物理的な身体の独立性を超えて運動や感覚を共有し、異なる技能を持つ他者と互いの長所を生かしながら協働できるようになる可能性があるのではないかと。

本研究では、このような、人と身体との新たな関係性を構築するサイバネティック・アバターの概念のもと、1つのアバター身体を複数人が共有することで生じる技能や経験の拡張可能性を研究するにあたり、簡易なシステムを構築し基礎的な検討を行う。

複数人がアバターを通じて身体を融合することで、主観的な身体感覚を共有した技能伝承や他者との共創を実現できる可能性がある。これまでの技能学習は、熟練者の運動を見て真似るといったことが一般的であり、感覚についても口頭で伝えるといった、視覚的、言語的な方法で行われてきた。身体融合により、初心者は熟練者の技能を自分の身体感覚として学習することが可能になり、身体的な情報として受け取ることで、より効率的に技能を習得することが期待できる。身体運動が反映される割合を任意に調整することで、学習初期には熟練者の運動割合を多くし、徐々に自分の割合を多くしていくという学習方法も可能になると考えられる。また、遠隔地にいる熟練者と融合することで、

場所に依存しない協調作業も可能になるだろう。今後、遠隔作業の需要が高まると考えられ、従来の画面越しでの遠隔作業といった技能学習や他者とのコミュニケーションが取りにくい状況での利用が期待できる。また、遠隔操作は宇宙空間での修理作業や深海探索など、限られた環境や失敗することができない状況でも行われ、その際に融合したアバターやロボットを使用した協調作業を行うことが可能になるだろう。さらに、複数人がそれぞれ異なる運動をすることで、通常の身体では描くことが難しい複雑な図形を描くなど、身体融合を用いた新たな表現や創造性を増強すると考えられる。

VR空間においては既に、複数人が1つの身体に融合した場合における、融合した身体に対する行為主体感や身体所有感、運動パフォーマンスについて、いくつかの研究が行われている。Fribourgら[1]は、VRアバターの腕を2人が共有して操作するシステムにおいて、2人の目標と移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を明らかにした。VRアバターを2人で共有し、リーチングタスクを行った研究[2]では、共有身体の運動が滑らかで直線的になることが明らかにされ、身体融合に伴い個々の操作者の動き自体が変容する可能性が明らかになっている。

一方、実体のあるロボットと人との円滑に協調する際には、ロボットが人間の行動を認識し、人間がロボットの状態を認識するという相互認識が不可欠である。これを実現するため、人とロボット間で触覚を共有し、協調作業を行う

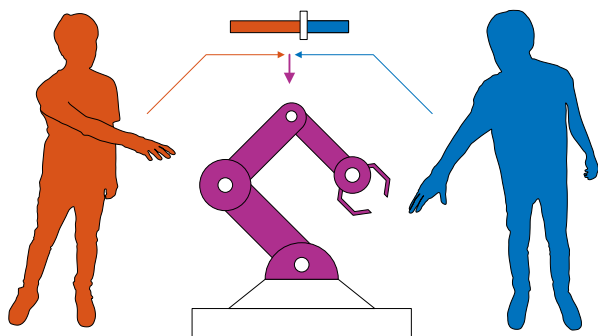


図 1: 運動融合によるアームアバターの制御

システムが開発されている [3]. このシステムでは、ロボットからの触覚フィードバックがある場合、タスク完了時間が有意に短いことが示されている。

では、自律的に動くロボットではなく、トレイグジスタンスアバターのように入とロボットが感覚的に接続される場合において、複数人の身体融合を行うと、人の行動にどのような変化が生まれるのであろうか。そこで、本研究では、複数人が 1 本のロボットアームを操作できる環境を構築し、これを用いたロボットアームを介する身体融合について、その効果を予備的実験により確認した。ロボットアームの制御については、位置と姿勢を分担することによる役割分担と、複数人の運動を任意の割合で融合するという 2 つのモードを想定し、本稿では後者の運動融合モードについて検討を行う。

## 2. 提案手法

本研究では、2 人のユーザが 1 つのロボットアームに融合し作業を行うプラットフォームを開発した。ロボットアームは参加者の腕と対応するアームアバターとして操作した。

### 2.1 設計

アームアバターは、参加者 2 人の運動を任意の割合で合成し、1 つの動きとして制御した (図 1)。それぞれの反映割合は任意に調整可能であったが、2 人の割合の合計が 100% となるようにした。参加者はアームアバターの後方に立ち、アームアバターの動作を目視で確認しつつ制御した (図 2)。アームアバターの先端には、物体を把持するためのグリッパーが取り付けられていた。また、相手の運動および姿勢の速度をもとに計算した振動フィードバックを互いの腕に、物体がグリッパーに触れた際の圧力をもとに計算した腕を締める刺激を、把持力フィードバックとして両者に提示した。

### 2.2 実装

参加者は 2 人 1 組で作業を行った。2 人の参加者の動きはモーションキャプチャシステム (OptiTrack Prime 13W, 8 cameras, 1280 × 1024 pixels, 240 fps, lens: 3.5mm F/2.4, field of view: 82 deg (Horizontal) and 70 deg (Vertical)) で計測し、コンピュータ (FRONTIER FRGAH470, Windows 10, Core i7-10700F, 32GB, Quadro P2200) で処理した。その後、参加者 2 人の手の剛体の座標と回転データを別の

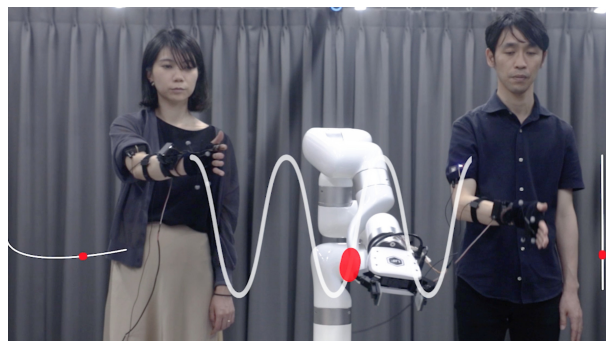


図 2: 2 人の運動融合によるアームアバターの動作

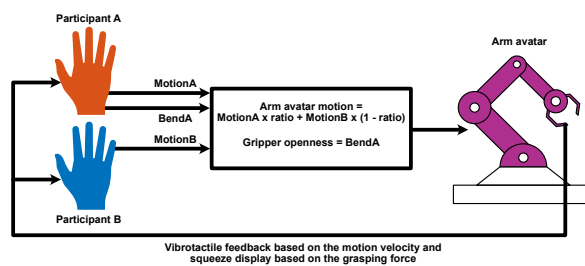


図 3: システム構成

コンピュータ (FRONTIER FRGAH470F/SG2, Windows 10, Core i9-10900F, 32GB, GeForce RTX 3070) で受け取り、2 人の運動に任意の割合を乗じて加算したデータを計算した。このデータをロボットアーム (xArm 7, reach: 700mm, DoF: 7, repeatability:  $\pm 0.1$ mm, maximum speed: 1m/s) の先端座標と角度として適用した (図 3)。グリッパー (xArm Gripper) の開閉制御は、片方の参加者の人差し指に装着した曲げセンサー (Spectra Symbol FS-L-0055-253-ST) によって行い、人差し指を曲げるとグリッパーが閉じ、伸ばすと開くように制御した。また、それぞれの参加者の手先の位置と姿勢の時間変化から速度を計算し、スカラー量として取得した。この値に応じて、200[Hz] の正弦波を振幅変調させ、運動の速度情報を振動として相手の腕に取り付けた振動装置を用いて提示した。把持力フィードバックは、グリッパーの物体接触面に取り付けた圧力センサー (xuuyuu RP-C10-ST) から把持力を取得し、DC サーボモータとゴム紐から構成された締め付け式触覚提示装置を使用して 2 人の参加者の腕に提示した (図 4)。

## 3. ユーザビリティテスト

融合アームアバターの操作性、可能性を検討するため、2 つのタスクを行った。まず、融合アームアバターを用いることで、1 人で作業する場合と比較して運動がどのように変化するかを検証した。日常生活での使用を想定し、食材を切るタスクを行った。グリッパーを使用して包丁をつかみ、アームアバターの固定面と同じ高さの机の上にまな板と食材を設置した (図 5)。参加者はまず、1 人でアームアバター

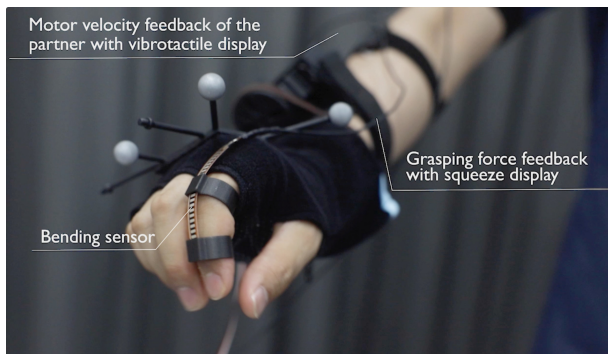


図 4: 参加者の腕に装着した触覚フィードバック提示装置

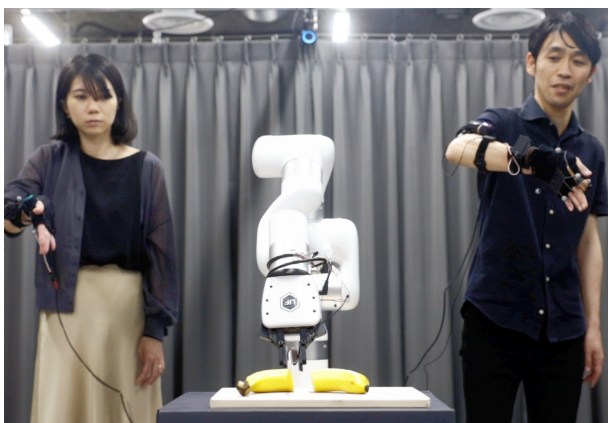


図 5: 安定した動作で食材を切る

を操作し、食材を切ったあと、別の参加者と2人でアームアバターに融合し、同様の操作を行った。その結果、1人の場合では食材の切り口が荒く、スムーズに切ることができなかったのに対し、融合した場合は切り口が滑らかで、包丁の動きが安定していることが観測された。また、参加者からは、1人で切るよりも2人で融合している場合の方が安心して切ることができた、というフィードバックを得た。

次に、融合アームアバターを用いることで、1人では表現することが難しい動きや安定した描画が行えるのではないかとこのことを検証するため、図形を描くタスクを行った。グリッパーを使用して絵の具をつけた筆を持ち、アームアバター正面に立てた紙に図形を描いた(図6)。その結果、融合した場合、曲線を描く際の動作が安定することや、描画終端の筆をはらう動作をきれいにできることが観測された。また、2人が異なる動作(縦方向動作のみと横方向動作のみ)を行うことも可能であり、波状の線など、1人では一定の間隔や速度で描くことが難しい図形描画も行えることが観測された。

#### 4. 考察

融合アームアバターを使用して食材を切るタスクを行ったところ、1人で切る場合よりも切り口が滑らかになることから、包丁の動きが安定することが観測された。また、図形を描くタスクでは、安定した曲線を描けることが観測さ

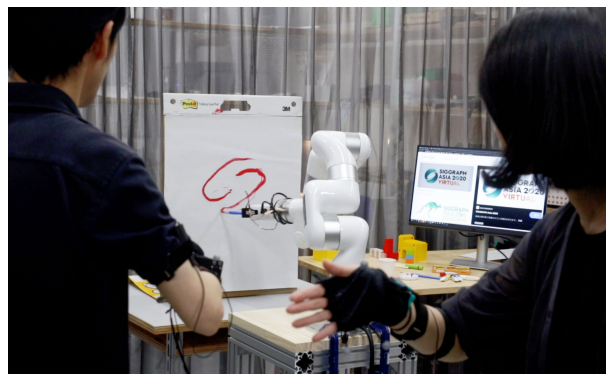


図 6: 融合アバターを用いた創造的行為の共創

れた。これは、相手の動きと混ざっていると感じることで、相手の動きに合わせて無意識のうちに運動を調整するためだと考えられる。人間の行動における逆モデルは、他者の行動を観察することでも生起し、リアルタイムの社会的相互作用においては、自分と相手の内部モデルのカップリングが行動予測や運動学習を促進させる[4]。そのため、融合アームアバターによって、意図を共有し運動調整をした可能性がある。また、相手と身体を共有しているという認知が、通常的身體認知とは別に生成すると考えられ、協調作業のための身体操作方法に適応させたことも考えられる。相手がいることで安心して作業が行えるというフィードバックから、包丁を使うという作業の際の緊張を緩和し、安定した動作に結びついた可能性も考えられる。

また、参加者への運動情報のフィードバックの提示方法についてもいくつかの方法が考えられる。今回のようにお互いの運動を認識するための方法や、参加者2人間の位置と姿勢の差をフィードバックする方法がある。いずれの場合も運動に関する情報認識を通して相手の存在を感じ取ることができ、運動調整に作用する要因の1つだと考えられる。特に、素早い判断を求められるような状況では、視覚によるアームアバターや相手のフィードバックよりも、触覚によるフィードバックの方が直感的に行動でき、よりスムーズな協調作業を可能にすると考えられる。また、アームアバターと環境との力学的インタラクションの結果として、触覚情報のフィードバック(本項では把持力)を参加者が得る。触覚情報取得により操作精度の向上やロボットアームへの身体認識の向上が期待できる。今後、運動や触覚情報のフィードバックの効果について詳細に検討を進めたい。

#### 5. まとめ

2人の運動を任意の割合で融合するアームアバターを開発し、その操作性や運動の変化についての基礎検討を行った。食材を切る、図形を描画するというタスクにおいて、アームアバターの動作が滑らかで安定することが観測された。こうした融合アバターは、運動パフォーマンスの向上や、様々な技能を持つ人同士の多様な協調を誘発し、サイバーフィジカル社会での新しい共同作業方法となることが期待できる。

謝辞 本研究は、JST ムーンショット型研究開発事業 Cybernetic being プロジェクト (JPMJMS2013) の一環として行われた。

#### 参考文献

- [1] Rebecca Fribourg, Nami Ogawa, Ludovic Hoyet, Ferran Argelaguet, Takuji Narumi, Michitaka Hirose, and Anatole Lecuyer. 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*, pp. 1–1, 2020.
- [2] 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*, Vol. 23, No. 12, p. 101732, 2020.
- [3] Katayama Kazuki, Pozzi Maria, Tanaka Yoshihiro, Minamizawa Kouta, and Prattichizzo Domenico. Shared haptic perception for human-robot collaboration. In *Haptics: Science, Technology, Applications*, pp. 536–544, Cham, 2020. Springer International Publishing.
- [4] Daniel Wolpert, Kenji Doya, and Mitsuo Kawato. A unifying computational framework for motor control and social interaction. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*, Vol. 358, pp. 593–602, 2003.