



拡張身体の身体化に関する研究

—第二報：身体性誘発による要求注意量の低減とパフォーマンス向上効果の検証—

西田野々香¹⁾, 岩崎悠希子²⁾, 加藤史洋¹⁾, Ganesh Gowrishankar²⁾, 岩田浩康¹⁾

Nonoka NISHIDA, Yukiko IWASAKI, Fumihiko KATO, Gowrishankar GANESH, and Hiroyasu IWATA

1) 早稲田大学 創造理工学研究科 (〒 162-0056 東京都新宿区若松町 2-2, nishida-nonoka@akane.waseda.jp)

2) UM-CNRS Laboratoire d'Informatique, de Robotique et de Microelectronique de Montpellier (LIRMM)
(161, Rue Ada, Montpellier, France, ganesh.gowrishankar@lirmm.fr)

概要: 人間に新たな部分身体を装着して機能を拡張する拡張肢システムを自分の身体のように扱う試みがなされている。本研究では拡張肢の身体化によるパフォーマンスへの影響を明らかにすることをめざした。被験者 6 名で検証したところ、拡張肢の身体化により拡張肢に要する注意量を低減でき、拡張肢の装着部位に近い上肢の反応時間が改善する可能性が示唆された。

キーワード: 拡張身体, 身体性, 注意分配

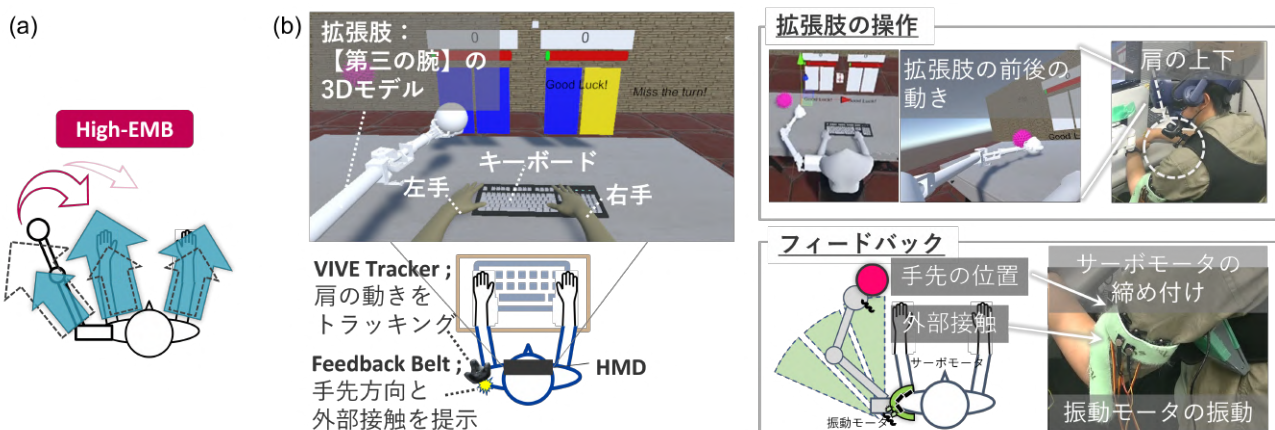


図 1: (a) 拡張身体の身体化による注意分配のイメージ, (b) 拡張身体の身体化によるパフォーマンス検証のための実験環境

1. はじめに

人間の身体にロボットアームを装着して拡張肢として用いるシステムが提案されている。拡張身体システムは使い続けると身体化し、認知に影響を及ぼす可能性がある [1] [2]。これまで拡張肢の身体化を促進するシステム設計や使用方法が提案されている。生来の身体と独立に制御可能な“sixth finger”を身体化できたという報告がある [3]。拡張肢の操作とフィードバックを同期させることで身体性の構成要素である Agency と Ownership を誘発できることが示唆されている [4]。身体化によって行動や認知にどのような影響があるかについては、拡張肢ではないロボットアームの身体化によってパフォーマンスが向上する可能性が示唆されている [5]。これが拡張身体への身体性誘発にも適用されるか

どうかは不明であり、本研究では拡張肢の身体化がパフォーマンスに及ぼす影響を検証する。拡張肢の身体化による影響を明らかにすることは、拡張肢を実環境に導入する際にパフォーマンスを最大化するための設計要素を提案できるという意義があると考えられる。

人間の注意資源には上限がある [6]。生来の腕に加えて拡張肢を操作すると拡張肢に注意がとられて生来の身体に分配できる注意量が減り、パフォーマンスを低下させる可能性がある。一方で熟練者は身体動作に注意を集中させずに高いパフォーマンスを発揮できるという報告 [7] がある。拡張肢についても身体化することによって拡張肢に注意を集中させずに生来の身体へ注意を分配し、より少ない注意量で拡張肢のパフォーマンスを維持できると予想される。本

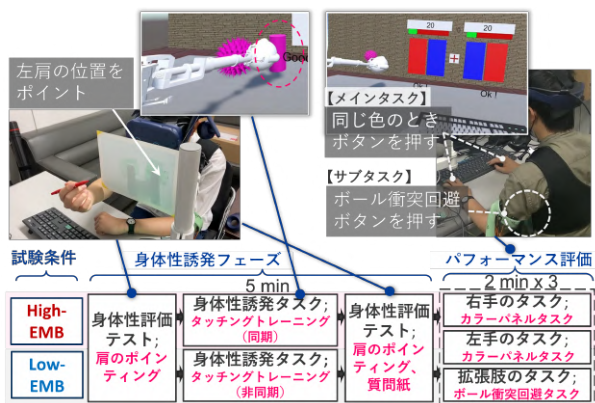


図 2: 試験手順とタスクの概要

研究では、拡張肢が身体化されていれば拡張肢に要求される注意量が減り、自然身体のパフォーマンスが向上するという仮説を立てた。

2. 検証試験

拡張肢を自分の身体と感じられる条件 (High-EMB) と感じられない条件 (Low-EMB) を比較し、拡張肢と生来の身体とのデュアルタスクのパフォーマンスが向上するかを検証する試験を行った。6名の被験者 (男性6名, 平均年齢24.0歳, SD = 3.6) が実験に参加した。検証の第一段階として【第三の腕】[8]をVRシミュレータに再現したモデル (以下, VRアーム) を用いて実験を行う。VRアームの全長は100cmとした。

2.1 試験環境と試験条件

試験は図1(b)に示すVRシミュレータ環境で行った。映像提示には頭部搭載型ディスプレイ HTC VIVE Pro Eye [9]を用いた。VIVEトラッカーが左肩に装着され、第三の腕の固定部である被験者の肩の位置を取得する。操作については左肩の上下の動きをそれぞれVRアームの前後の動作に対応させた。フィードバックについては、サーボモータに取り付けたホーンの回転により上腕の皮膚を押し込むことで、腕をのばした際に装着部で感じる重量感の提示を狙った。VRアームの手先が外部の物体と接触した際に上腕に取り付けた振動モータが振動する。

High-EMB条件では操作とフィードバックを同期させた。Low-EMB条件では操作とフィードバックがランダムな時間遅れ1.0, 1.25, 1.5, 1.75, 2.0秒をもって動き、動作方向はランダムとした。

2.2 身体性誘発タスク: タッチングトレーニング

拡張身体に身体性を誘発することをめざし、VRアームの操作とフィードバックを体験するタッチングトレーニングを行った。3分間の練習ののち5分間でVRシミュレータ内のオブジェクトを拡張肢を操作して触るタスクを課した。

2.3 身体性評価テスト: ポインティングテスト

身体性誘発の評価指標のひとつとして、肩のポインティングテストを行った。ラバーハンド錯覚ではラバーハンドに身体性を感じているときに自己受容感覚ドリフトが起

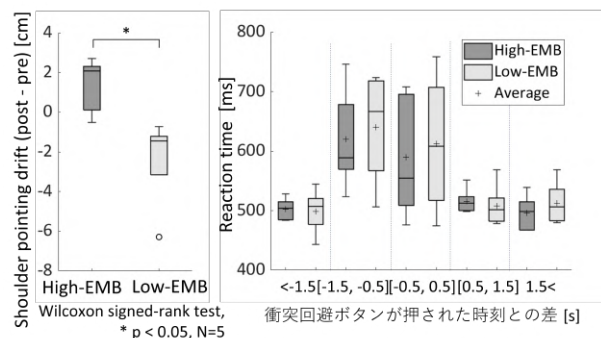


図 3: トレーニング前後の肩の位置感覚の変化 (左) とカラーパネルゲームの反応時間 (右)

るとされる [10]。拡張肢の身体性誘発についても、拡張身体に身体性を誘発できていれば左肩の位置が外側へずれることが予想される。

2.4 パフォーマンス評価: カラーパネルゲーム

身体性誘発フェーズ実施後に生来の腕と拡張肢のデュアルタスクを行った。常に注意を払わなければならないメインタスクとして、右手と左手ではパネルの色が同じになった瞬間にボタンを押してもらい、サブタスクとして、拡張肢ではランダムなタイミングで近づいてくるボールが当たらないように左脇に設置した衝突回避ボタンを押してもらい。

2.5 試験手続き

試験ではカラーパネルゲームの2分間の練習を2回行い、図2に示すように各試験条件についてPreテストとしてポインティングテストを実施した。続けて身体性誘発のためのタッチングトレーニングを実施し、身体性誘発の確認のためのPostテストとしてポインティングテストと主観評価を実施した。その後カラーパネルゲームを実施した。試験条件の実施順はランダムとした。

3. 結果と考察

3.1 身体性誘発の程度による実験条件の区別

ポインティングテストの結果を図3左に示す。被験者6名のうち、肩の位置感覚の変化の差が異常値であった1名の被験者を解析の対象から除いた。ウィルコクソンの符号順位検定の結果、High-EMB条件はLow-EMB条件と比較して肩の位置感覚が拡張身体側にずれる傾向にあった ($p < 0.05$)。操作とフィードバックの同期によって肩の自己受容感覚が拡張肢側へ拡張した可能性が考えられる。High-EMB条件とLow-EMB条件をそれぞれ身体性が高い条件、低い条件として区別できていたことが示唆された。

3.2 デュアルタスクのパフォーマンス

カラーパネルゲームのデュアルタスク発生時の左手の反応時間を図3右に示す。統計的な差はみられなかったものの、拡張肢の衝突回避ボタンが押された前後0.5秒のあいだの左手の反応時間が改善する傾向がみられた。右手と拡張身体のパフォーマンスには違いがみられなかった。High-EMB条件では左手のタスクにより多くの注意を割けるようになった可能性が考えられる。身体化によって拡張肢で同じパフォー

マンスを発揮するのに必要な注意量が減少し、その分を左手に割り当てられた可能性が示唆された。

4. むすび

本研究は拡張肢の身体化によりパフォーマンスが向上するかを検証する試験を行った。肩の位置感覚が拡大した条件、すなわち身体性が高いと考えられる条件において拡張肢と生来の身体のデュアルタスクを行うと、拡張肢装着側の反応時間が改善することが示唆された。拡張肢の身体化によって拡張肢で同じパフォーマンスを発揮するのに必要な注意量が減少し、生来の身体のパフォーマンス向上に寄与したと考えられる。今後、注意の再分配の空間的特性を検証し、身体化した拡張肢とのパフォーマンスを最大化するためのシステムデザインの提案をめざす。

謝辞 本稿は、科学技術振興機構戦略的創造研究推進事業 ERATO JPMJER1701 および早稲田大学グローバルロボットアカデミア研究機構の支援を受けたものである。

参考文献

- [1] K. Arai, H. Saito, M. Fukuoka, S. Ueda, M. Sugimoto, M. Kitazaki, and M. Inami, "Embodiment of supernumerary robotic limbs in virtual reality", *Scientific Reports* 2022 12:1, vol. 12, no. 1, pp. 1–12, Jun. 2022.
- [2] P. Kieliba, D. Clode, R. O. Maimon-Mor, and T. R. Makin, "Robotic hand augmentation drives changes in neural body representation," *Science Robotics*, vol. 6, no. 54, May 2021.
- [3] K. Umezawa, Y. Suzuki, G. Ganesh, and Y. Miyawaki, "Bodily ownership of an independent supernumerary limb: an exploratory study," *Scientific Reports* 2022 12:1, vol. 12, no. 1, pp. 1–11, Feb. 2022.
- [4] 西田野々香, 岩崎悠希子, 加藤史洋, Ganesh Gowrishankar, 岩田浩康, "拡張身体の身体化に関する研究 —第一報: 装着型ロボットアームの能動制御と手先方向提示による身体幅感覚への影響—," *日本バーチャルリアリティ学会 第26回大会*, 2021.
- [5] Y. Iwasaki, B. Navarro, H. Iwata, and G. Ganesh, "Embodiment modifies attention allotment for the benefit of dual task performance," *Communications Biology* 2022 5:1, vol. 5, no. 1, pp. 1–7, Jul. 2022.
- [6] T. Strobach, M. Wendt, and M. Janczyk, "Editorial: Multitasking: Executive Functioning in Dual-Task and Task Switching Situations," *Frontiers in Psychology*, vol. 9, no. FEB, p. 108, Feb. 2018.
- [7] S. L. Beilock, T. H. Carr, C. MacMahon, and J. L. Starkes, "When paying attention becomes counterproductive: Impact of divided versus skill-focused attention on novice and experienced performance of sensorimotor skills," *Journal of Experimental Psychology: Applied*, vol. 8, no. 1, pp. 6–16, 2002.
- [8] 岩崎悠希子, 渡辺貴文, 岩田浩康, "随意操作が可能な【第三の腕】に関する研究 —第一報: 顔面ベクトルによる目標物指示性の VR 内における検証—," *日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会*, 2016.
- [9] "VIVE Pro Eye 概要 — VIVE 日本." <https://www.vive.com/jp/product/vive-pro-eye/overview/> (accessed Jul. 22, 2022).
- [10] M. Botvinick and J. Cohen, "Rubber hands 'feel' touch that eyes see," *Nature*, vol. 391, no. 6669, p. 756, Feb. 19, 1998.