

仮想現実環境における4本腕アバター操作時の脳活動計測 Measuring brain activity during four-armed avatar manipulation in virtual reality environments.

成田 真輝[†], 仁藤 晴暉[‡], 肥後 克己[‡], 嶋田 総太郎[¶]
Masaki Narita, Haruki Nito, Katsuki Higo and Sotaro Shimada

[†]明治大学大学院理工学研究科, [‡]明治大学研究・知財戦略機構, [¶]明治大学理工学部
Graduate School of Electrical Engineering, Meiji University,
Organization for the Strategic Coordination of Research and Intellectual Properties, Meiji University,
School of Science and Technology, Meiji University
ce221057@meiji.ac.jp

概要

本研究では1つのアバターを2人で共有する場合に、もう1人の操作者との目標共有が自己身体認識に与える影響について検討を行った。本実験では4本の腕を持つアバターを用い、一对の腕を被験者が、もう一对の腕を実験者が操作した。実験条件には、もう一对の腕が課題遂行のために動く目標共有条件と、課題遂行と関係のない動きをする非目標共有条件を設けた。アンケートと脳活動計測の結果、目標を共有することでアバターに対する自己感を高められることが示された。

キーワード：自己身体認識, NIRS, Virtual Reality

1. はじめに

近年、人間の身体を拡張する、さらにその拡張された身体を他者が操作するといった技術の研究が進められている。例えば、複数人での動作や技能を共有するため、ロボットヘッドとロボットアームを搭載した遠隔共同作業システムなどが開発されている[1]。これらの技術を用いる上で、拡張され、他者と共有した身体部位を自身のものだと感じることができかどうかは重要な問題である。自己の身体を自分のものだと感じられる、この認識のことを自己身体認識と呼ぶ。この認識はプロジェクションの一種であるといえる[2]。自己身体認識の基礎となる自己感として、身体所有感と運動主体感の2つがあると考えられている[3]。身体所有感は身体部位が自分自身に属するという感覚であり、運動主体感はその運動を引き起こしたのは自分であるという感覚である。運動主体感が生じるためには、主体が運動に関して事前に運動意図(=目標)を持っていること(事前性)が必要な要素であることが報告されている[4]。仮に、自分の身体が動いたとしても事前に目標がなければ運動主体感が生起しない。もし他者と身体を

共有し、同じ目標を持っていた場合、他者が操作した腕は自分の意図通りに動くことになる。そのような場合、事前性が満たされているため、他者が操作する腕に対しても自己身体認識が生起する可能性があると考えられる。

本研究では、2名の操作者がVR環境で4本の腕を持つアバターの腕を一对ずつ操作し、他者と身体を共有している際に、操作していない一对の腕に自己身体認識が生じるのかについて検討した。また、もう一人の操作者と目標を共有することが、自己身体認識にどのような影響を与えるかについて検討した。

2. 実験方法

2.1 被験者

25名の健康な男性が実験に参加した(平均21.24±1.33歳、平均±標準偏差)。感想の項目に未回答があったのでアンケートの感想の分析から1名を除外した。また、NIRS計測位置の記録に不明瞭な点があったのでNIRSのチャンネル位置の推定から2名のデータを除外した。

2.2 実験機器

被験者には仮想環境を映像呈示するためにヘッドマウントVRデバイス(HTCVIVE)を装着してもらった。また被験者と実験者の腕の動きを反映させるために、モーションキャプチャーデバイス(HTCVIVEコントローラー)をそれぞれ両手に持ってもらった。被験者に見せる仮想空間はゲームエンジン(unity2017.4.28f1)で作成した。被験者は座位にて実験を行った。脳活動計測には、近赤外分光装置(near-infrared spectroscopy: NIRS, OMM-3000, 島津製作所, 日本)を用いた。NIRSによる各チャンネルの測定部位を推定するため、3次元デジタルタイザー(FASTRAK, Polhemus, アメリカ)を用いた。

2.3 実験環境

実験で使用したアバターを図1に示した。以降、このアバターを4本腕アバターと呼び、青色の腕をメインアーム、赤色の腕をサブアームと呼ぶ。メインアームを被験者が、サブアームを実験者が操作した。

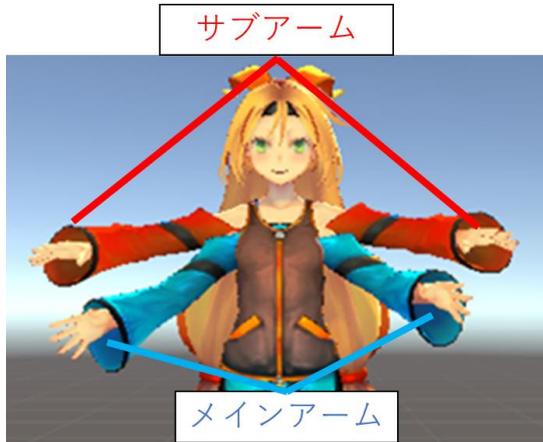


図1 実験で使用した4本腕アバター

実験で使用したボタンは4つ配置され、青と赤の二色に光るように設定した。青色のボタンを被験者が押すように指示し、赤色のボタンは実験者が押した。

2.4 実験手順

本実験は学習フェーズ、トライアルフェーズ、アンケートの順に行った。学習フェーズは3分間(36試行)、トライアルフェーズは2分間(12試行)行った。アンケートはトライアルフェーズ終了後に実施したが、学習フェーズでのサブアームおよびアバターの動きに対して回答するよう求めた。

本実験は2条件の構成であり、1人の被験者が2条件とも行った。アンケート後に4分の休憩をはき、残りの条件についても同様に行った。実験条件の順番は全被験者でカウンターバランスをとった。

2.5 実験条件

本実験は目標共有条件と非目標共有条件の2条件の構成であった。目標共有条件はメインアームの操作者(被験者)とサブアームの操作者(実験者)が目標を共有している条件、非目標共有条件は目標を共有していない条件として設定した。

最初に行う学習フェーズでは被験者はどちらの条件でもボタンが青く光った時にそのボタンを押した。実験者は目標共有条件の時、ボタンが赤く光るとそのボタンを押した(図2)。以降これを **correct** 行動と呼ぶ。ま

た非目標共有条件の時、ボタンが赤く光ると実験者は光ったボタンとは異なるボタンを押した(図3)。以降これを **error** 行動と呼ぶ。

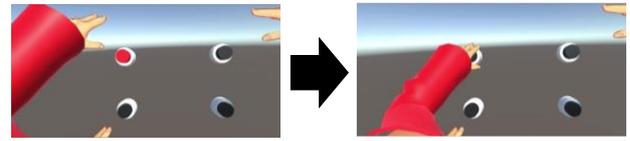


図2 correct 行動

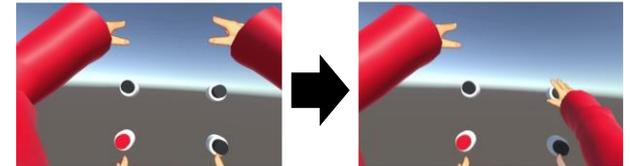


図3 error 行動

トライアルフェーズでは被験者は学習フェーズと同じく、どちらの条件でも青くボタンが光った時、そのボタンを押すことを求められた。また、実験者はどちらの条件でも正常な行動(**correct** 行動)とエラー行動(**error** 行動)を同じ回数行った。

2.6 評価方法

(1) アンケート

本実験ではアンケートと NIRS による脳活動計測を用いて評価を行った。

トライアルフェーズ後、自己身体認識に関するアンケートを行った。このアンケートは先行研究[5]の自己身体認識に関するアンケートを参考に、本実験の内容に即すように作成した。このアンケートは、「とても思う(6)」から「まったく思わない(0)」までの7段階リッカート尺度を用いた。アンケート項目は身体所有感が4項目、運動主体感が4項目、他にダミー項目が含まれた。表1にアンケート中の主要な項目を示した。

表1 アンケート項目

身体所有感 (メインアーム)	青色の腕が自分の腕のように感じた
	青色の腕は身体の一部のように感じた
身体所有感 (サブアーム)	赤色の腕が自分の腕の一部のように感じた
	赤色の腕は身体の一部のように感じた
運動主体感 (メインアーム)	青色の腕の動きを自分がコントロールしていた
	青色の腕は自分の意思に従い、思い通りに動いた
運動主体感 (サブアーム)	赤色の腕の動きを自分がコントロールしていた
	赤色の腕は自分の意思に従い、思い通りに動いた

(2) 脳活動計測(NIRS)

本実験では、トライアルフェーズ中に NIRS を用いて脳活動を計測した。本実験で使用した計測チャンネル位置(左右各 24 チャンネル)を図4に示した。測定した各チャンネルに該当する脳領域を調べるため、3D デジタイザーによる 3 次元空間座標の測定とブロードマンの脳領域の推定を行った[6]。

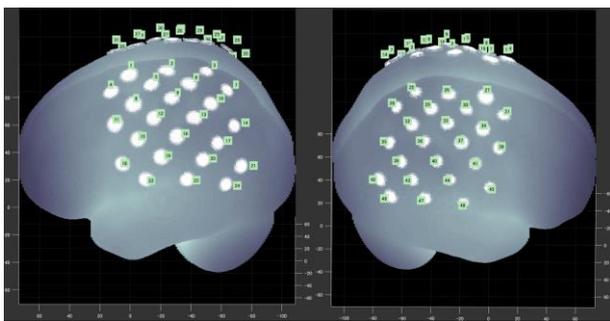


図4 計測チャンネル位置

3. 解析方法

3.1 アンケート

身体所有感と運動主体感について、実験条件(目標共有条件 - 非目標共有条件) × 部位(メインアーム - サブアーム) の二要因分散分析を行った。

3.2 脳活動計測

NIRS によって得られたデータの解析にあたり、oxy-

Hb のデータを解析に使用した。解析方法には GLM 解析を用いて行った。GLM 解析を用いてモデルとのフィッティングを表す t 値を算出し、二要因(条件(目標共有条件-非目標共有条件) × トライアルフェーズ)におけるサブアームの動作(correct 行動-error 行動))分散分析を行った。本実験では、サブアームがボタンを押した際の脳活動について分析を行った。

4. 結果

グラフ中のエラーバーは標準誤差を示す。

4.1 アンケート

身体所有感(図 5)では、実験条件の主効果がみられ、目標共有条件が非目標共有条件に比べて有意に高いスコアを示した($F(1, 24)= 8.36, p=0.008, \eta^2_c=0.26$)。さらに部位の主効果もみられた($F(1, 24)=73.16, p<0.001, \eta^2_c=0.75$)。

運動主体感(図 6)では、実験条件の主効果がみられ、目標共有条件が非目標共有条件に比べて有意に高いスコアを示した($F(1, 24)= 6.10, p=0.021, \eta^2_c=0.20$)。また、部位の主効果もみられた($F(1, 24)=, p<0.001, \eta^2_c=0.95$)。さらに交互作用がみられた($F(1, 24)=9.73, p=0.004, \eta^2_c=0.29$)。単純主効果の検定を行った結果、サブアームで実験条件の単純主効果がみられた($F(1, 24)= 9.18, p=0.006, \eta^2_c=0.28$)。

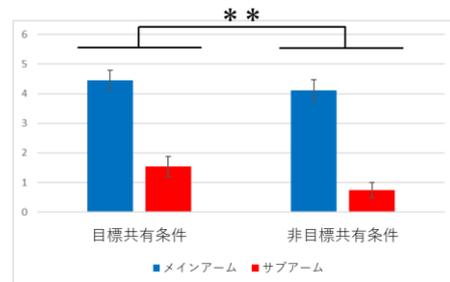


図5 身体所有感のアンケートの平均スコア

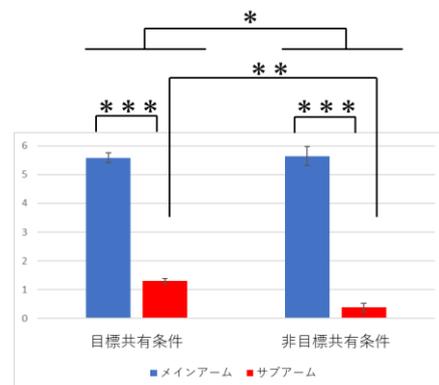


図6 運動主体感のアンケートの平均スコア

4.2 NIRS 脳活動計測

右縁上回 (ch40(MNI X:64.00 Y:-35.33 Z:50.33), ch44 (MNI X:69.00 Y:-27.00 Z:39.00)) の条件ごとの t 値を図 7, 図 8 に示した. 脳活動計測の結果, 右縁上回(ch40 : $F(1, 24)=5.70$, $p=0.025$, $\eta^2=0.03$, ch44 : $F(1, 24)=9.29$, $p=0.006$, $\eta^2=0.03$)では条件×サブアームの動作についての交互作用がみられた. 交互作用がみられたので単純主効果の検定を行った結果, ch40 では, correct 行動における学習フェーズの効果がみられた ($F(1, 24)=3.25$, $p=0.084$, $\eta^2=0.05$). ch44 では, error 行動における学習フェーズの効果がみられた ($F(1, 24)=4.23$, $p=0.050$, $\eta^2=0.04$).

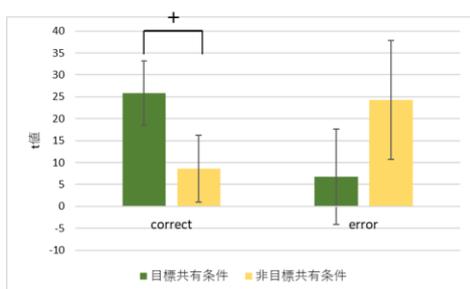


図 7 ch40 の条件ごとの t 値

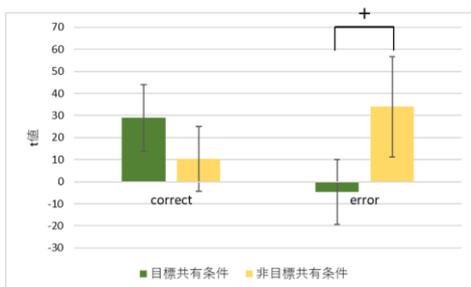


図 8 ch44 の条件ごとの t 値

5. 考察

本研究では 4 本腕アバターに対する自己身体認識について検討した. アンケートの結果より, 目標共有条件のスコアが非目標共有条件のスコアより有意に高いことが確認された. また, サブアームの運動主体感において, 目標共有条件のスコアが非目標共有条件のスコアより有意に高かった. これらの結果より, 主観評価であるアンケートの結果からもう一人の操作者と目標を共有することでサブアームに対する運動主体感が生起する可能性が示唆された.

また, 右縁上回(ch40)で, 学習フェーズで目標共有条

件(もう一人の操作者と目標を共有していると学習した)後に, トライアルフェーズで correct 行動を観察した時に脳活動が増加することが確認された. これは, 学習フェーズ・トライアルフェーズ共に, 被験者と実験者の目標が共有されている場合, 脳活動が増加することを示している. 先行研究より右縁上回は運動主体感と関連することが示されている[7]. よって, 目標の共有により, 他者の操作する腕に対して運動主体感が生起したことを反映していると考えられる.

右縁上回(ch44)では非目標共有条件時の, トライアルフェーズで error 行動を観察した時に脳活動が増加することが確認された. この結果は, 意図の不明な動作に対して慣れが生じ, 脳活動が増加したと考えられる.

アンケートと脳活動計測の結果から, 目標を共有することにより, 他者が操作する身体部位に対しても身体所有感と運動主体感が生起する可能性が示された.

参考文献

- [1] Saraji, M. Y., Sasaki, T., Matsumura, R., Minamizawa, K., & Inami, M. (2018). "Fusion: full body surrogacy for collaborative communication." ACM SIGGRAPH 2018 Emerging Technologies.
- [2] 鈴木宏昭(2019). "プロジェクション科学の目指すもの", 認知科学, 26(1), 52-71.
- [3] Gallagher, S. (2000). "Philosophical conceptions of the self: implications for cognitive science." *Trends in cognitive sciences*, 4(1), 14-21
- [4] Wegner, D. M. (2002). "The illusion of conscious will." *MIT press*.
- [5] Kalckert, A., & Ehrsson, H. H. (2012). "Moving a rubber hand that feels like your own: a dissociation of ownership and agency." *Frontiers in human neuroscience*, 6, 40.
- [6] Singh, A. K., Okamoto, M., Dan, H., Jurcak, V., Dan, I. (2005). "Spatial registration of multichannel multi-subject fNIRS data to MNI space without MRI." *Neuroimage*, 27, 842-851.
- [7] Ohata, R., Asai, T., Kadota, H., Shigemasa, H., Ogawa, K., Imamizu, H. (2020). "Sense of Agency Beyond Sensorimotor Process: Decoding Self-Other Action Attribution in the Human Brain," *Cerebral Cortex*, Volume 30, 4076-4091