

多自由度ロボットアームの二人協調操作における共同運動主体感 The Sense of Joint Agency in two-person cooperative manipulation of a multi degrees of freedom robot arm

川俣 亮悟*, 世良 菜那見*, 肥後 克己*, 萩原 隆義^{†1}, 田中 由浩^{†2}, 嶋田 総太郎*

*明治大学, ^{†1}慶応義塾大学, ^{†2}名古屋工業大学

Meiji University,

Keio University,

Nagoya Institute of Technology,

ce231023@meiji.ac.jp

概要

私たちは日々の生活の中で他者とインタラクションしながら生活している。その中で、他者と共同で何かを行った際に、「この運動を引き起こしたのはわれわれである」と感じることを共同運動主体感とよぶ。本研究ではロボットアームを2人で操作した際の共同運動主体感とパフォーマンスについて調査した。2人での操作には、それぞれ異なる役割を担当する役割分担条件と、2人の操作をそれぞれ50%ずつロボットアームに反映させる操作融合条件があった。その結果、役割分担条件と操作融合条件のどちらにおいても共同運動主体感が生起することが示された。

キーワード：共同運動主体感 (sense of joint agency), ロボットアーム, (robot arm) 協調操作 (cooperative manipulation)

1. はじめに

共同運動主体感は、複数人で協調行為をしたとき、自分一人ではなく「この運動は我々が引き起こした」と感じる感覚のことと定義される[1]。先行研究より、互いに協調しているときの方がそうでないときよりも共同運動主体感が高まることが報告されている[2]。近年、共同作業の場として遠隔操作ロボットが着目されている。1人の遠隔操作では限度があるが、複数人数で協調して操作することによって、より高度な動作ができるシステムが開発されている。小倉ら(2022)は1つのロボットアバターを2人の実験参加者が操作するシステムを用いて評価実験を行った。その結果、2人の入力情報を50%ずつロボットに反映させる(融合する)ことでタスクパフォーマンスや操作に対する自己運動主体感が向上することが示された[3]。本研究では、多自由度ロボットアームを用いた2人による協調操作時の共同運動主体感について調査することを目的とした。2人の協調操作については、アームの操作を2人で分担する(リーチングとグラスピング)役割分担条件と2人が行う同じ操作を一定割合で融合させる操作融合条件の2種類の操作方法を設け、比較した。

2. 実験

2.1. 被験者

同性同士の19ペア38名(女性5ペア, 男性12ペア)が参加した(21.2±2.1歳, 平均±標準偏差)。また、被験者の利き手を判別するために、先行研究[4]の利き手判別テストを行った。その結果、強い右利きが32名, 右利きが1名, 弱い右利きが1名, 弱い左利きが1名, 強い左利きが3名であった。ロボットの操作は、被験者が操作しやすい方の手でいった。

2.2. 実験手順

実験では、2人の被験者が多自由度ロボットアームを協調操作してブロック移動課題を行った。実験条件は、コントロール条件、役割分担条件、操作融合条件の3つの条件を設けた。実験は被験者内デザインであった。コントロール条件では1人が1台のアームを別々に操作した。役割分担条件は2人で1台のアームを操作し、一方はアームの位置の操作(リーチング)、もう一方は掴み操作(グラスピング)を担当した。操作融合条件は2人の操作を50%ずつし合わせて1台のアームに反映して操作した。ペアの2人は、それぞれのロボットアームの後方に着席し、利き手の甲にアームの手先位置を制御するマーカーデバイスを装着し、ロボットアームの掴み動作を制御するグラスピングデバイスを親指と人差し指で持った

(図1(a))。アームの前方の35cm, 50cmの地点に3箇所ずつ計6箇所の印をつけた。3箇所の印の間は12cmであった。アームから50cmの位置にある3つの印の上に、立方体ブロックを配置した。参加者はタスクの開始とともに、アームを使用して一番右のブロックから順に手前の印へとブロックを移動させた。3つのブロックをすべて手前に移動させ終わったら、再

度一番右のブロックから順に奥の印へブロックを移動させた。この操作を3分間繰り返した。各条件の最後に共同運動主体感および操作感に関するアンケートを行った(図1(b))。

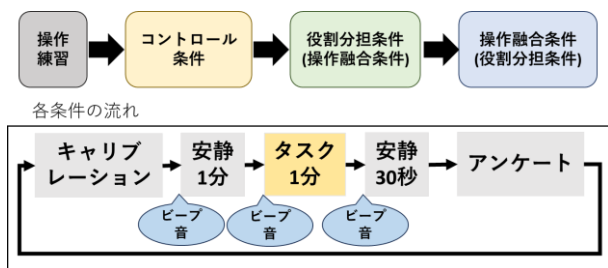
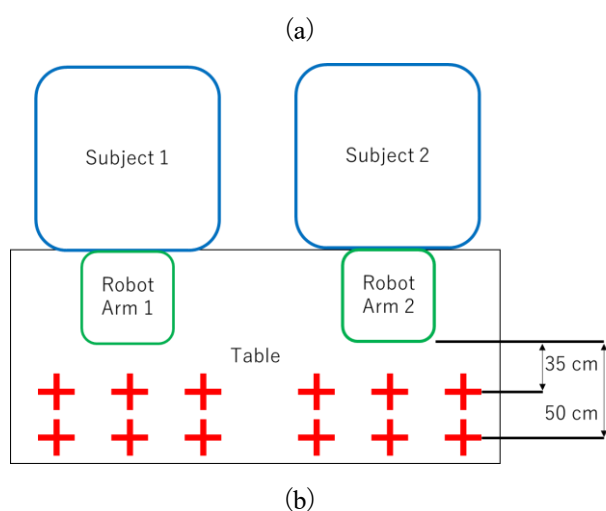


図1 実験風景 (a) , ロボットアームとブロックの配置図 (b) と実験手続き (c)

2.3. 評価方法

本実験ではアンケートとブロック移動回数を用いて評価を行った。各操作条件においてタスク終了後、共同運動主体感、操作感に関するアンケートを行った。このアンケートは、共同運動主体感について先行研究[2]より1項目(項目番号3)とオリジナル

の3項目(項目番号1,2,4),合わせて4項目、操作感について先行研究[5]より1項目(項目番号5)が含まれた。表1にアンケート項目を示した。操作感に関しては0~100%で、その他の項目では「とても思う(3)」から「まったく思わない(-3)」までの7段階リッカート尺度を用いた。

表1 アンケート内容

項目	アンケートの内容
共同運動主体感	1. 共同被験者が正確にロボットアームを操作してくれると期待した
	2. ロボットアームをよりコントロールしていたのは (『自分』, 『相手』)
	3. ロボットアームを (『1人で操作したように感じた』, 『2人で操作したように感じた』)
	4. ロボットアームの操作にストレスを感じた
操作感	5. ロボットアームを操作したという感覚はどのくらいあったか(0~100%で回答)

3. 実験結果

3.1. 共同運動主体感

各条件における共同運動主体感スコアを図2に示す。シャピロウィルク検定の結果、正規性が確認できなかったため、フリードマン検定を行った。その結果、3つの条件間で有意差が確認されたので、多重比較としてウィルコクソンの符号付き順位検定を行った。その結果、役割分担条件と操作融合条件においてコントロール条件よりも有意に共同運動主体感が高かった(役割分担条件-コントロール条件, $V=0, p<0.001, r=0.83$, Bonferroni-corrected; 操作融合条件-コントロール条件, $V=0, p<0.001, r=0.82$, Bonferroni-corrected)。また、役割分担条件において操作融合条件よりも有意に共同運動主体感が高かった($V=361, p=0.024, r=0.36$, Bonferroni-corrected)。

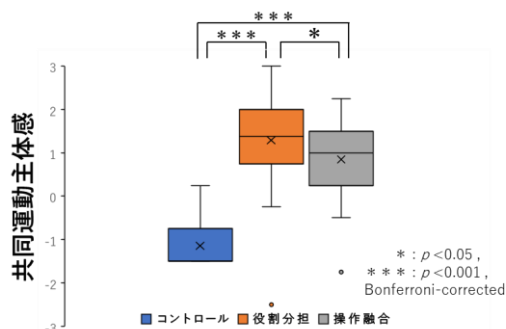


図 2 各条件における共同運動主体感のスコア

3.2. ロボット操作感

各条件におけるロボット操作感のスコアを図3に示す。シャピロウィルク検定を行ったところ、データの非正規性が確認された。そこでフリードマン検定を行ったところ、条件間で有意差があることが確認されたため、ウィルコクソンの符号付き順位検定を行った。その結果、役割分担条件や操作融合条件においてコントロール条件よりも有意にロボットを操作している感覚が低かった（コントロール条件－役割分担条件, $V=597.5, p<0.001, r=0.48$, Bonferroni-corrected; コントロール条件－操作融合条件, $V=524.5, p<0.001, r=0.36$, Bonferroni-corrected）。また、各条件において、一標本のウィルコクソン符号付き順位検定を行ったところ、すべての条件で操作感は50%より有意に高いことが示された（コントロール条件, $V=699.5, p<0.001, r=0.61$; 役割分担条件, $V=369, p<0.001, r=0.23$; 操作融合条件, $V=451.5, p<0.001, r=0.52$ ）。

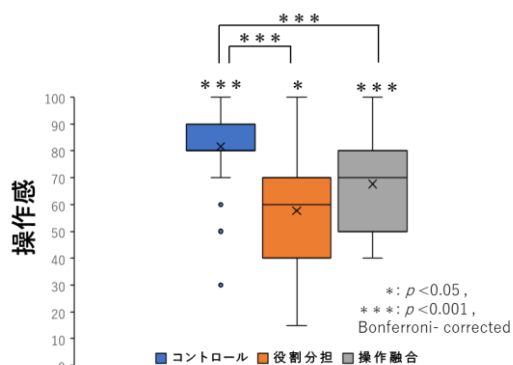


図 3 各条件におけるロボット操作感のスコア

3.3. ブロック移動回数

各条件においてタスク中にブロックを移動させた回数を図4に示す。コントロール条件におけるブロック移動回数は被験者ペア2人のブロック移動回数の平均値とした。シャピロウィルク検定の結果、正規性が確

認できなかったため、フリードマン検定を行ったところ、条件間に有意差があることが確認された。そこで、ウィルコクソンの符号付き順位検定を行った結果、役割分担条件はコントロール条件に比べて有意に移動回数が多かった ($V=4.5, p<0.001, r=0.70$, Bonferroni-corrected)。また、操作融合条件もコントロール条件に比べて有意に移動回数が多かった ($V=0, p<0.001, r=0.81$, Bonferroni-corrected)。

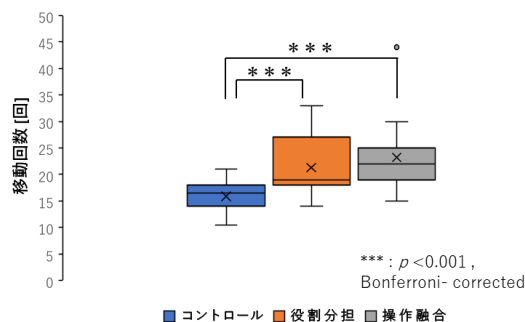


図 4 各条件におけるブロック移動回数

4. 考察

本研究は、多自由度ロボットアームを役割分担、もしくは操作融合して操作した場合の共同運動主体感の生起について調べることを目的として実験を行った。結果として、共同運動主体感のアンケートから、2人で協力して課題を行う役割分担条件および操作融合条件で共同運動主体感を感じるようになった。さらに、2人で協力して課題を行う条件であっても、操作方法により結果は異なり、役割分担条件の方が操作融合条件よりも共同運動主体感が高まることが分かった。これは、1人1人が異なる役割を担うことによってパートナーが何に注意を向けるかが明確であり相手の行動を予測できたためと考えられ、この結果はBocklerら(2012)の「パートナーが何に注意を向けるかが特定されることによってパートナーの注意の対象を自身に取り込む」という報告を裏付けるものであると考えられる[6]。つまり、1人1人が異なる役割を担うことによって、実験参加者は、パートナーが何に注意を向けているかが明確になった。これにより、次のパートナーの行動を予測できたため、より協調して課題を行うことができたと考えられる。

また、ロボットの操作感について、どの条件においても有意に50%よりも大きいことが分かった。特に、

操作融合条件では一人一人の役割は同じで、ロボットアームに反映される動きも50%ずつであるにもかかわらず、「自分が操作した」という主観的な感覚は50%よりも有意に大きいという結果が得られた。このことから、2人の動きを融合して1台のロボットを使う操作融合条件において、実験参加者は、ロボットの操作感がある程度保ちつつ、パートナーからサポートを受けられたと考えられる。つまり、操作融合条件のような参加者の操作感とサポートの影響度合いを50%ずつにすることで、この操作を行ったのは自分だと認識させながらよりパフォーマンスが向上するサポートを反映させることができると考えられる。

最後に、ブロックの移動回数について、2人で1台のアームを操作する条件の方が、1人で1台のアームを操作する条件よりも有意にブロックを移動した回数が増加した。この結果は、操作融合条件では一人のアーム操作をもう一人が補正することによってアームの正確な操作が可能になり、ブロックの移動回数が増加したことを示していると考えられる。一方で役割分担条件では、それぞれが自身の役割に集中でき、認知負荷が減ったためブロックの素早い移動が可能になったことを示していると考えられる。

これらの結果から、役割分担条件では異なる働きを担うことによって共同で作業していることを認識しやすいのに対して、操作融合条件は自分が動かしているという感覚をある程度保持したまま他者から運動の補助を受けることができるといえる。操作者の主体感を維持したまま他者が補助することができる操作融合は、今後熟練者から初心者への技能伝達など応用の可能性があると見える。

謝辞

本研究は、JST ムーンショット型研究開発事業 JPMJMS2013 の支援を受けたものです。

参考文献

- [1] Dewey, J. A., Pacherie, E., & Knoblich, G., (2014) “The phenomenology of controlling a moving object with another person”, *Cognition*, Vol. 132, No. 3, pp. 383-397.
- [2] Bolt, N. K., Poncelet, E. M., Schultz, B. G., & Loehr, J. D., (2016) “Mutual coordination strengthens the sense of joint agency in cooperative joint action”, *Consciousness and Cognition*, Vol. 111, pp. 173-187.
- [3] 小倉樹, 岨野太一, 大澤博隆, 湯川光, 南澤孝太, 田中由浩, (2022) “身体融合ロボットアバターにおける役割分担割合と主体感および操作感の関係調査”, 日本バー

- チャルリアリティ学会大会, Vol. 27, pp. 3D1-3.
- [4] Coren, S., (1992) ” The left-hander syndrome: The causes and consequences of left-handedness.”, Free Press
 - [5] Hagiwara, T., Ganesh, G., Sugimoto, M., & Kitazaki, M., (2020) “Individuals prioritize the reach straightness and hand jerk of a shared avatar over their own”, *iScience*, Vol 23, Issue 12, 101732.
 - [6] Bockler, A., Knoblich, G., & Sebanz, N., (2012) . “Effects of a Coactor's Focus of Attention on Task Performance.”, *Journal of Experimental Psychology-Human Perception and Performance*, Vol 38, No 6, 1404-1415.