



# 時間的差異のある複数アバター映像呈示の自己身体認識 に対する影響に関する研究

A Study on the Effect of Multiple Avatar Images with Temporal Difference on Self-Body Recognition

井岡裕也<sup>1)</sup>, 大山英明<sup>2)</sup>, 岡田浩之<sup>3)</sup>, 嶋田総太郎<sup>1)</sup>

Yuya IOKA, Eimei OYAMA, Hiroyuki OKADA and Sotaro SHIMADA

1) 明治大学 理工学部 (〒214-8571 神奈川県川崎市多摩区東三田 1-1-1, sshimada@meiji.ac.jp)

2) 産業技術総合研究所 (〒305-8568 茨城県つくば市梅園 1-1-1, eimei.oyama@aist.go.jp)

3) 玉川大学 工学部 (〒113-0032 東京都文京区弥生 2-11-16, h.okada@eng.tamagawa.ac.jp)

**概要:** テレイグジスタンス型ロボット操縦において、ロボットの動作の遅延は、ロボット機体に対する自己身体認識を劣化させる。700ms 遅延して動作する、実機を模擬した VR 空間中のロボットアームに対して、遅延無く動作する仮想アームや、遅延があるものの実機よりも遅延が少ない仮想アームを呈示した状態でタスクを行うと、どのように自己身体認識が変化するかを、人間工学実験により調査した。仮想アームの提示により運動主体感が強化されることが判明した。

**キーワード:** 感覚・知覚, 身体保持感, 運動主体感, テレイグジスタンス

## 1. 緒言

自己身体認識とは、自分自身の身体を自分自身のものであると認識することであり、「身体保持感」と「運動主体感」という2つの感覚から構成される[1,2]。身体保持感(Sense of body ownership)とは、この身体が自分のものであるという感覚であり、身体所有感とも呼ばれる。運動主体感(Sense of agency)とは、身体の運動を引き起こしているのは自分であるという感覚であり、行為主体感とも呼ばれる。自己身体認識に関する錯覚に、視覚情報と運動情報の統合によりバーチャルハンドに対して自己身体認識が生起するロボットハンド錯覚があり、先行研究において、ハンドの開閉運動については、遅延が 490ms 以上で自己身体認識が消失することが示されている[3-5]。

テレイグジスタンスは、ロボットの感覚情報のフィードバックとロボットによる操縦者の動作の追従制御により、遠隔地のロボットを操縦者自身の身体のように操縦する技術である[6]。宇宙ステーション等で作業するロボットの開発が進められているが[7]、テレイグジスタンスの場合、通信時間遅れにより、ロボットの機体に対する操縦者の自己身体認識が劣化することが予測され、特に運動主体感の劣化により、操縦者による運動の学習が劣化するおそれがある[8]。

本研究では、通信時間遅れが存在するテレイグジスタンス型ロボット操縦システムにおいて、通信時間遅れの操縦性への悪影響を低減するための予測ディスプレイ [9]を基に、操縦者の動作に遅れなく追従して動作する予測ディスプレイのための仮想アームを含めて、実機に先行して動

作する複数の仮想アームによって、どのように自己身体認識が変化するかを行動実験によって調査した。

## 2. 実験方法

VR 空間中に、操縦者の動作に追従するが、遅れて動作する、プリメイド AI を模したテレイグジスタンスロボットと作業対象を、Unity (Ver 2018.4.30f1, Unity Technologies) を用いて構築した。プリメイド AI の操縦プログラムには、github 上のオープンソースソフトウェア[10]を利用した。

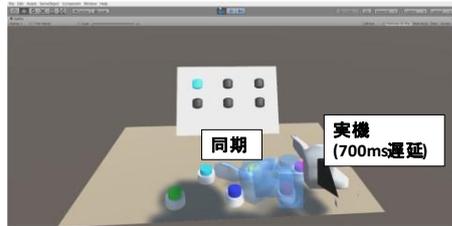
図 1 に示すように、ロボット実機の動作の時間遅れに対応するために、操縦者の動作に遅れなく追従して動作する、青い、半透明の予測ディスプレイのための仮想アームと、それに遅れて動作するが、実機よりは先行して動作する仮想アームを複数準備する。実機よりも遅延の少ない仮想アームを複数呈示することで、実機に対する自己身体認識を強化できるかどうかを調査することが、本実験の目的である。

今回の実験では、青色の仮想アームの提示条件として、0 本条件、1 本条件、2 本条件、3 本条件の 4 条件を用意した。0 本条件は、仮想アームを表示せず、700ms 遅れて動作する実機のみを呈示するものである。1 本条件では、実機に加えて、操縦者の動きと同期して動作する仮想アームを提示した。2 本条件では、実機に加えて、同期した仮想アームと 350ms 遅延して動作する仮想アームを加えて、提示し、3 本条件では、実機に加えて、同期したアームと 300ms 遅延した仮想アーム、500ms 遅延した仮想アームを提示した。すべての遅延は内在遅延 40ms を含んだ値である。仮

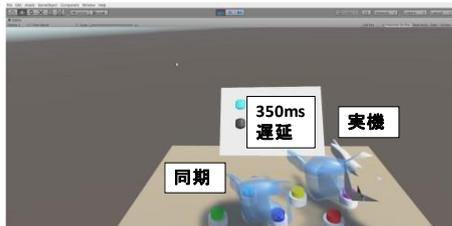
想アームが0本の条件では、実機のみが提示され、仮想アームが1本以上の条件では2種類のアーム(実機 = 白と黒、仮想 = 青) が提示されている。



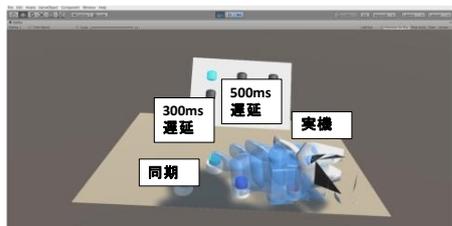
(a)0 本条件



(b)1 本条件



(c)2 本条件

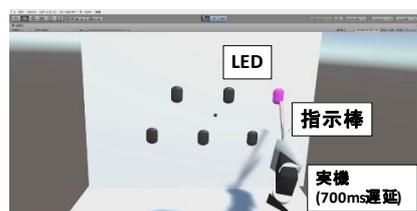


(d)3 本条件

図1 複数仮想アームの提示条件

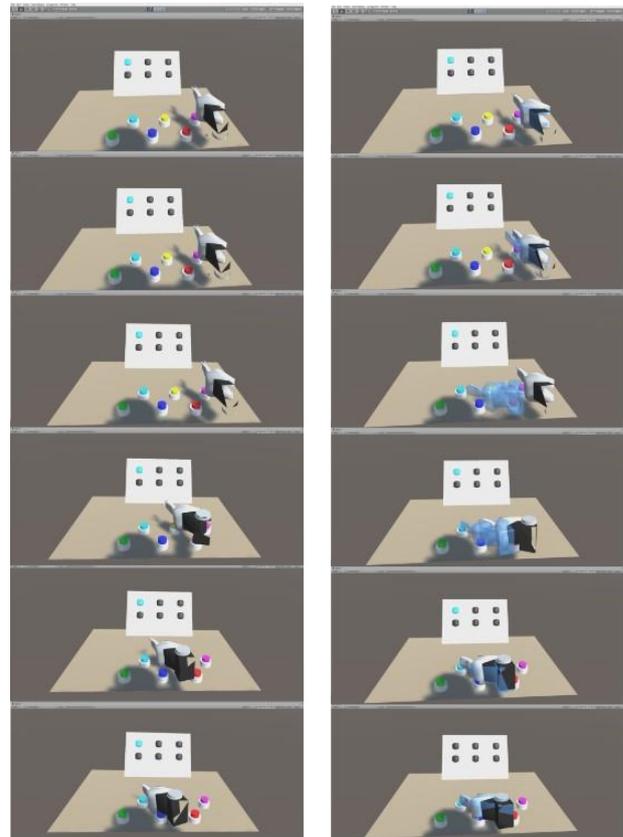


(a) Task1



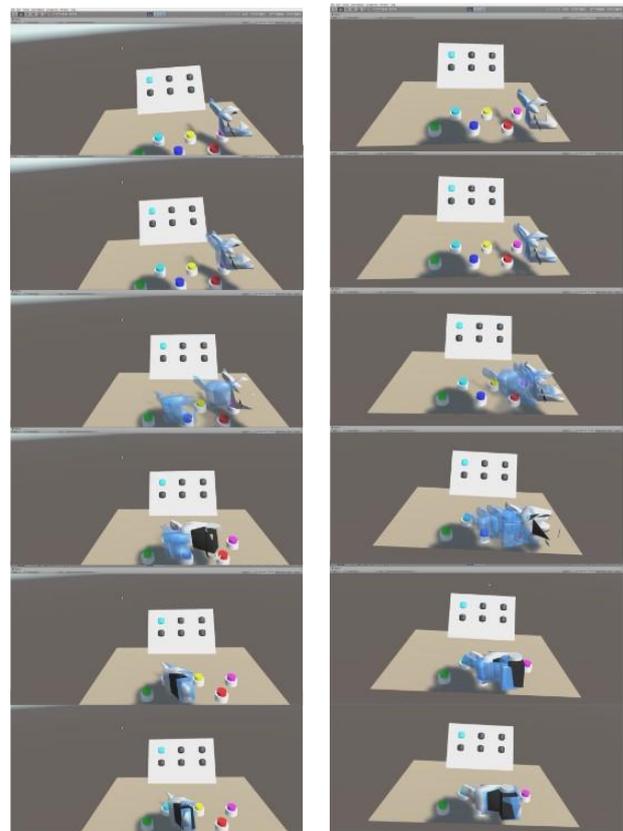
(b)Task2

図2 実験用 VR 環境



(a)0 本条件

(b)1 本条件



(a)2 本条件

(b)3 本条件

図3 仮想アーム提示による作業の様子

VR空間上に2種類のタスク Task1, Task2のための作業環境を構築した。図2にその様子を示す。Task1とTask2

の双方で、白い壁上の6つの黒色のLEDのうち1つが点灯する。6つのLEDには、水色、黄、ピンク、緑、青、赤がそれぞれ割り当てられ、点灯の順番は無作為である。図2(a)に示すように、Task1では点灯したLEDと同色のボタン・スイッチをロボットの右アームの指先で押しもらった。図2(b)に示すように、Task2では点灯したLEDを右アームに持つ指し棒の先端でタッチしてもらった。Task1は精密さが不要な単純作業、Task2は精密さが必要な単純作業であり、精密さの有無で自己身体認識の生起の仕方がどう変わるかを調べることが目的である。

被験者には、16人の右利きの男女(22.2 ± 1.3歳、平均 ± 標準偏差、女性4人)が参加した。被験者にはヘッドマウントディスプレイとコントローラー(Oculus Rift S, Oculus Touch, Facebook Technologies, LLC.)を装着してもらい、転倒等を防ぐため椅子に座った状態でタスクを行ってもらった。2種類のタスクについて、仮想アームの本数が、0本、1本、2本、3本となる条件について、作業を行ってもらった。図4に、それぞれの条件について、Task1のボタンを押す作業の様子を示す。これは、LEDの点灯時より、500ms置きに動画をキャプチャしたものである。被験者には、各条件について60秒間タスクを行ってもらい、その後、実機と仮想アームの両方に対して主観評価アンケート[11]に答えてもらった。本実験は明治大学理工学部倫理委員会で承認されている。

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 身体保持感

図4にTask1, Task2における腕の本数および種類毎の身体保持感の主観評価アンケートの平均スコアを示した。エラーバーは標準誤差を表す。

Task1およびTask2の実機のすべての条件において有意に0より小さいスコア値が見られた(Task1, 0本, 1本, 2本,  $p < 0.001$ ; 3本,  $p < 0.05$ ; Task2, 0本,  $p < 0.005$ ; 1本,  $p < 0.001$ ; 2本,  $p < 0.01$ ; 3本,  $p < 0.05$ )。Task1の仮想アームでは1本条件で有意に0より大きいスコア値が見られた( $p < 0.05$ )。条件間での差を詳しく見るため、Task1およびTask2の各条件において、[仮想アームの本数(0本, 1本, 2本, 3本), 腕の種類(実機, 仮想)]の対応のある2要因分散分析を行った。Task1およびTask2の実機-仮想アーム間において主効果が見られ(Task1,  $F(1, 15) = 19.45$ ,  $p < 0.001$ ; Task2,  $F(1, 15) = 12.00$ ,  $p < 0.005$ )、さらに交互作用が見られた(Task1,  $F(2, 30) = 3.35$ ,  $p < 0.05$ ; Task2,  $F(2, 30) = 3.60$ ,  $p < 0.05$ )。下位検定を行ったところ、Task1の1本, 2本, 3本条、Task2の1本条件および2本条件の実機-仮想アーム間において単純主効果が見られ(Task1, 1本, 2本, 3本,  $p < 0.05$ ; Task2, 1本, 2本,  $p < 0.05$ )、これらの条件すべてにおいて仮想アームのスコアのほうが大きかった。

Task1では仮想アームの表示がある条件すべてで、Task2では1本条件および2本条件で実機より仮想アームのスコアが有意に大きく、またTask1とTask2両方の仮想アーム

が表示される条件で実機の身体保持感が有意に0より小さいことから、仮想アームを呈示しても実機に対する身体保持感は生起しないことが示唆された。

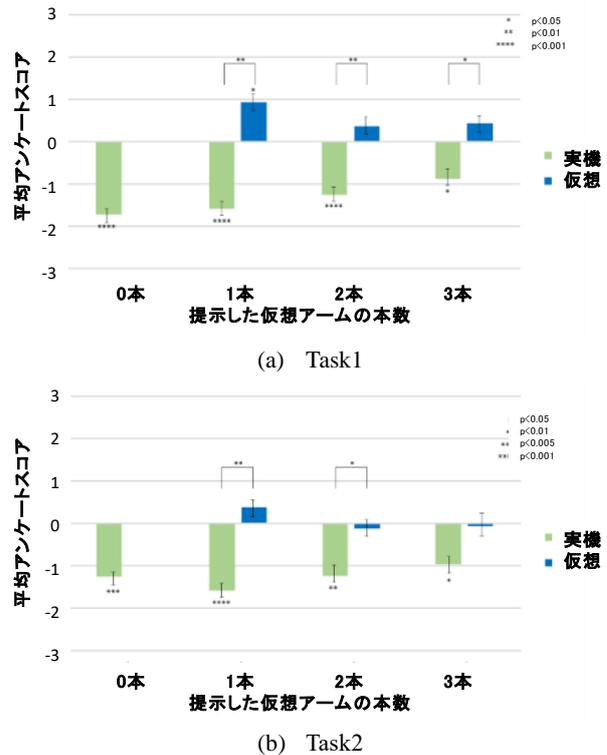


図4 身体保持感のスコア

#### 3.2 運動主体感

図5にTask1, Task2における仮想アームの本数および種類毎の実機および仮想アームに対する運動主体感の主観評価アンケートの平均スコアを示した。エラーバーは標準誤差を表す。Task1およびTask2のすべての条件の実機と仮想アームにおいて有意に0より大きいスコア値が見られた( $p < 0.05$ )。

条件間での差を詳しく見るため、実機に関する運動主体感について、仮想アームの本数の4条件において対応のある1要因分散分析を行ったところ、Task2の仮想アームの本数条件間で主効果が見られた( $F(3, 45) = 4.673$ ,  $p < 0.01$ )。下位検定を行ったところ、0本条件と2本条件間および0本条件と3本条件間において有意差が見られた(0本-2本間,  $p < 0.05$ ; 0本-3本間,  $p < 0.01$ ; Tukey-Kramer's HSD)。また、仮想アームが複数本の条件において2要因分散分析を行ったところ、Task1およびTask2の実機-仮想アーム間で主効果が見られ(Task1,  $F(1, 15) = 7.363$ ,  $p < 0.05$ ; Task2,  $F(1, 15) = 9.409$ ,  $p < 0.01$ )、さらにTask2において交互作用が見られた( $F(2, 30) = 4.730$ ,  $p < 0.05$ )。下位検定を行ったところ、Task2の2本条件の実機-仮想アーム間で単純主効果が見られた( $p < 0.05$ )。これらのすべての条件において、仮想アームのスコアのほうが大きかった。Task1とTask2両方において、仮想アームが存在する条件で実機の運動主体感のスコアが有意に大きいこと、また、Task2にお

いて0本条件と2本条件間および0本条件と3本条件間に有意差があることから、実機と仮想アームを同時に呈示すれば実機に対する運動主体感が増強されること、精密さがが必要な作業では運動主体感がより強まることが示唆された。

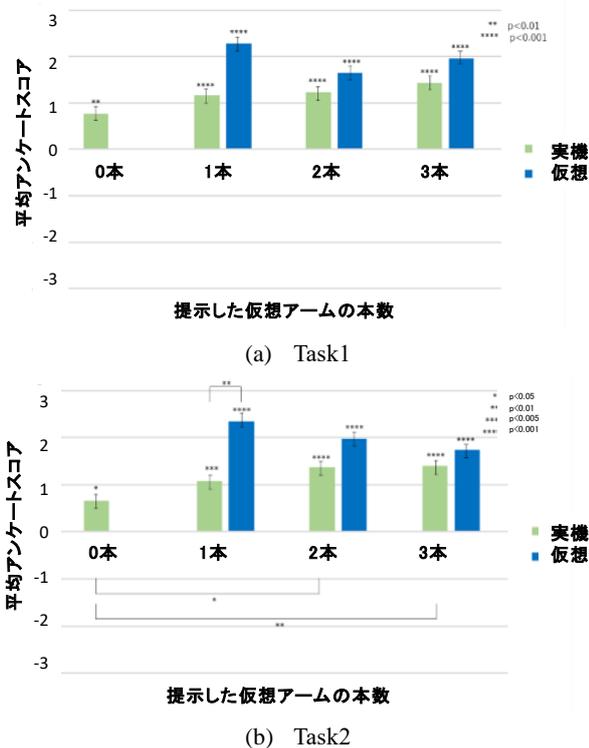


図5 運動主体感のスコア

#### 4. 結言

本稿では、トレイグジスタンス型ロボット操縦において、700ms 遅延して動作するロボット実機を模擬したアームと実機よりも遅延が少ない、仮想アームを呈示した状態でタスクを行った場合、どのように自己身体認識が行われるかを調査した。その結果、実機よりも遅延が少ない仮想アームを呈示しても実機に対して身体保持感は生起しないが、実機に対する運動主体感は増強され、精密さがが必要な作業ではより運動主体感が強まることが示唆された。今後、自己身体認識が消失しないトレイグジスタンス型

操縦システムへの応用を進める予定である。

#### 参考文献

- [1] S. Gallagher, Philosophical conceptions of the self Implications for cognitive science, Trends in Cognitive Sciences, 4, 1, pp. 14-21, 2000.
- [2] M. Tsakiris, S. Schutz Bosbach and S. Gallagher, On agency and body ownership: Phenomenological and neurocognitive reflections, Consciousness and Cognition, 16, pp. 645-660, 2007.
- [3] M. Arif Fahmi Ismail and S. Shimada, 'Robot' Hand Illusion under Delayed Visual Feedback: Relationship between the Senses of Ownership and Agency, PLoS ONE 11(7):e0159619, 2016. doi:10.1371/journal.pone.0159619.
- [4] 井岡裕也, 嶋田総太郎, “ロボットハンド錯覚における視覚フィードバックの時空間的整合性の影響”, 日本認知科学会第36回大会, 2019.
- [5] Yuya Ioka, Sotaro Shimada, “The effect of distorted temporal-spatial visual feedback on Robot Hand Illusion”, Society for Neuroscience 2019, 2019.
- [6] S. Tachi, Telexistence, 2nd edition, World Scientific, 2014.
- [7] GITAI, <https://gitai.tech/2019/03/25/gitai-developers-of-a-human-substitute-robot-for-space-stations-sign-joint-research-agreement-with-jaxa/>, 2019.
- [8] K. Matsumiya, Awareness of voluntary action, rather than body ownership, improves motor control, Scientific Report 11, 418, 2021. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-79910-x>
- [9] M. V. Noyes and T. B. Sheridan, A novel predictor for telemanipulation through a time delay. In Proceedings of Annual Conference on Manual Control. NASA Ames Research Center, 1984.
- [10] Izm, PremaidAI\_TechVerification, [https://github.com/neon-izm/PremaidAI\\_TechVerification](https://github.com/neon-izm/PremaidAI_TechVerification), 2021年4月1日参照
- [11] M. Botvinick and J. Cohen, Rubber hands feel touch that eyes see. Nature, 391, pp.756-756, 1998.