



# ラバーハンド錯覚による身体所有感, 固有受容感覚, サッカード眼球運動の関係

Illusory body ownership, proprioceptive drift, and saccadic eye movements in the rubber hand illusion

小森 匠<sup>1)</sup>, 石本 浩気<sup>1)</sup>, Gowrishankar Ganesh<sup>2)</sup>, 杉本 麻樹<sup>3)</sup>, 稲見 昌彦<sup>4)</sup>, 北崎 充晃<sup>1)</sup>  
Takumi Komori, Hiroki Ishimoto, Gowrishankar Ganesh, Maki Sugimoto, Masahiko Inami, and Michiteru Kitazaki

- 1) 豊橋技術科学大学 (〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘 1-1, komori.takumi.op@tut.jp, mich@cs.tut.ac.jp)  
2) CNRS-UM Laboratoire de Informatique, de Robotique et de Microélectronique de Montpellier (LIRMM)  
3) 慶応義塾大学理工学部 (〒223-8522 神奈川県横浜市港北区日吉 3-14-1, sugimoto@ics.keio.ac.jp)  
4) 東京大学 工学系研究科 (〒113-0033 東京都文京区本郷 7-3-1)

**概要:** ラバーハンド錯覚に代表される身体所有感の錯覚では身体位置の固有受容感覚に影響があることが知られている。本研究では、それに加えて身体所有感が生じた部位への眼球運動にも影響があるかを調べた。その結果、身体所有感の主観評定と固有受容感覚では所有感の錯覚の効果が見られたが、サッカード眼球運動の到達時間では効果が見られなかった。

**キーワード:** ラバーハンド錯覚, 身体所有感, サッカード眼球運動

## 1. はじめに

手を衝立で見えなくし、衝立の手前に手と同じ向きにゴムの手を置き、同時に筆でなぞると、しばらくゴムの手を見ているとゴムの手があたかも自分の手のように感じる。これを、ラバーハンド錯覚という [1][2]。このような身体所有感の錯覚は、バーチャル空間内のアバタの手や身体に対しても生じる[3][4]。

ラバーハンド錯覚の計測方法には「質問紙を用いた主観評定」に加えて「固有受容感覚のドリフト」が計測されることが多い。また、生理手法としては、「脅威刺激に対する皮膚電位コンダクタンス反応」が用いられる。

我々は、サッカード眼球運動が身体所有感の錯覚の計測手法となり得るかについて検討し、身体所有感がある場合よりもない場合にサッカード眼球運動の速度が上がることを報告したが、統計的には有意ではなかった[5]。そこで、本研究では、ラバーハンド錯覚をより強くした状態で同様の計測を行い、再検証を試みる。

また、最近では、身体所有感と瞳孔径の間に正の相関があることが報告されている[6]ことから、瞳孔径についても分析する。

## 2. 方法

### 2.1 参加者

実験の目的を知らない 24 人の被験者が参加した。本実験は、「豊橋技術科学大学 人を対象とする研究倫理審査委

員会」の承認を得て、その規則に基づいて実施された。全ての被験者実験同意書を理解・合意し、署名したのちに実験に参加した。

### 2.2 装置

ヘッドマウントディスプレイ (HMD, HTC Vive Pro Eye, 1440x1600pixel (単眼), 視野角対角 110deg, 90Hz) に視覚刺激を提示し、コンピュータで Unity を介して制御した。触覚刺激は、Vive コントローラーに固定した絵筆を用い、VR 空間にも絵筆を提示した。

### 2.3 刺激と条件

被験者は、椅子に座り左手を机において実験を行った。その手の 20cm 内側にバーチャルな手を提示した (図 1)。実験者が筆で被験者の手の 5 指をなぞると、VR 空間でも、筆がバーチャルな手の対応する指をなぞった。

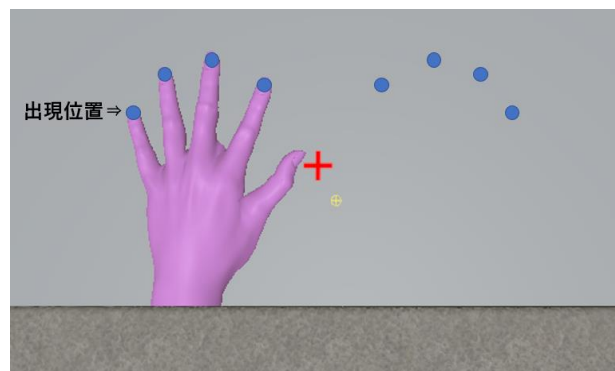


図 1 視覚刺激：左手の指先あるいは右手指先に対応する

場所（実際には非表示の青丸）のどこかに光点が出現した。

筆が同期してなぞる条件（同期条件）と 2s 遅延してなぞる条件（非同期条件）を設定した。各試行では、左手の指先あるいは右手指先に対応する場所のどこか 1 つがランダムに選択され、光点が出現した。（左右各 20 試行、計 40 試行）。

### 2.4 手続き

視触覚の同期・非同期条件はブロック化して行われた。事前の固有受容位置感覚の計測として、暗黒状態で使用する手の位置を反対側の手で机の下から示す方法で 3 回計測した。次に、実験者がその手を 3 分間筆でなぞった。その後、光点が左手指の部位、右手指に対応する部位のどこかに現れ、被験者はその光点へサッカード眼球運動することが求められた。計 40 試行の光点出現の間では、再度筆で同期・非同期でなぞり、ラバーハンド錯覚の維持を行った。課題終了後、再び固有受容位置感覚の計測を 3 回計測した。最後に身体所有感の主観評定を行った。項目は 3 間で、リッカート尺度 7 件法とした（Q1. 筆でなぞられている触覚を、見ているバーチャルハンドの位置に感じた。Q2. バーチャルハンドがまるで自分の手のように感じた。Q3. バーチャルハンドが右にずれてくるように感じた。2 分以上の休憩の後、次のブロックに移行した。各被験者は触覚の同期・非同期 2 水準を各 2 ブロックずつカウンターバランスした順で行った。

### 3. 結果

主観評定の結果から、同期条件では非同期条件よりもバーチャルな手に身体所有感を感じ、触覚がそこにあるように感じる事が示された（図 2）。つまり、VR 環境でラバーハンド錯覚は追試された。

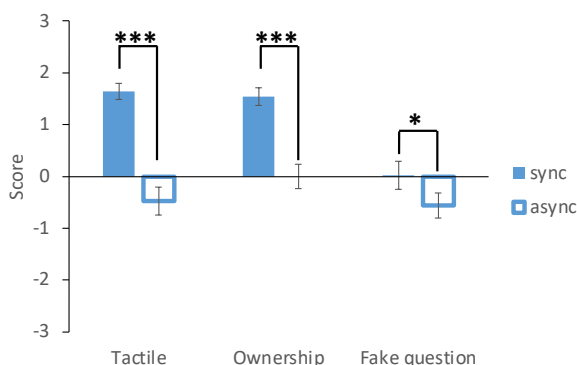


図 2 主観評定の結果：左から質問項目 1, 2, 3。エラーバーは標準誤差。\* $p < .05$ , \*\* $p < .01$ , \*\*\* $p < .001$

固有受容位置感覚の試行前後の差分を算出したところ、同期条件では非同期条件よりも手の位置がラバーハンドの手がある方向にドリフトしたことが示された（図 3）。

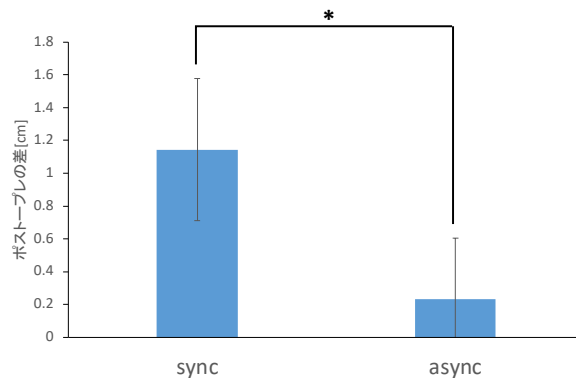


図 3 固有受容位置感覚の結果：左は同期条件，右は非同期条件。エラーバーは標準誤差。\* $p < .05$

右手の対応部位（実際に手は表示されない）に光点が出たときの反応時間と左手指の上に光点が出たときの反応時間の差を従属変数として、光点の左右位置と同期非同期条件の被験者内要因 2 元配置分散分析を行ったところ、いずれの主効果、交互作用は見られなかった。

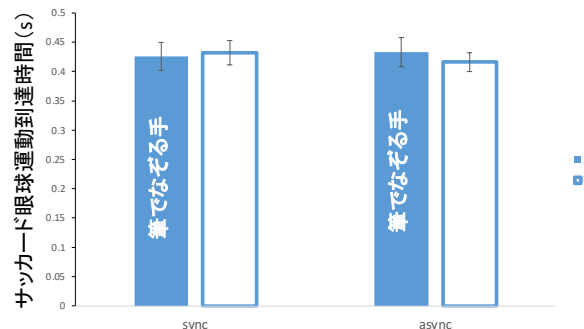


図 4 サッカード眼球運動の結果：左は同期条件，右は非同期条件。青棒は左手（錯覚が誘発されている手），白棒は手が表示されていない側。エラーバーは標準誤差。

3 分間のラバーハンド錯覚誘発において、最初の 5s の平均瞳孔径を、最後の 1 分間の平均瞳孔径から引いたものを瞳孔反応として分析したところ同期条件と非同期条件の間には差は無かった（図 5）。

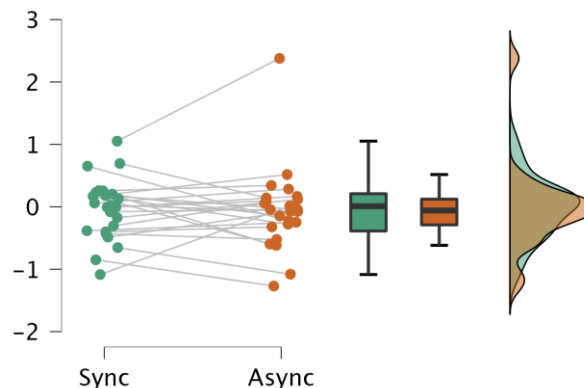


図 5 瞳孔径の結果：左は同期条件，右は非同期条件。縦軸は、瞳孔径変化量 (mm)。\* $p < .05$ , \*\* $p < .01$ , \*\*\* $p < .001$

#### 4. 考察

VR 空間内のバーチャルな手への身体所有感は、主観評定および固有受容位置感覚の変化として示された。一方、サッカード眼球運動、瞳孔径については身体所有感による効果は見られなかった。

瞳孔径については先行研究と矛盾する結果であり、今後の検討が必要である。また、同期条件では瞳孔径の個人差が大きいことから、錯覚の量との相関を調べる必要があると考えられる。

**謝辞** 本研究は、JST ERATO Grant Number JPMJER1701 (稲見自在化身体プロジェクト)およびJSPS 科研費 (JP 20H04489) の補助を受けて行われた。

#### 参考文献

- [1] Botvinick, M., & Cohen, J. (1998). Rubber hands 'feel' touch that eyes see. *Nature*, 391(6669), 756-756.
- [2] Tsakiris, M., & Haggard, P. (2005). The rubber hand illusion revisited: visuotactile integration and self-attribution. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 31(1), 80-91.
- [3] Yuan, Y., & Steed, A. (2010, March). Is the rubber hand illusion induced by immersive virtual reality?. In 2010 IEEE Virtual Reality Conference (VR) (pp. 95-102). IEEE.
- [4] IJsselsteijn, W. A., de Kort, Y. A. W., & Haans, A. (2006). Is this my hand I see before me? The rubber hand illusion in reality, virtual reality, and mixed reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 15(4), 455-464.
- [5] 小森匠, 石本浩気, Gowrishankar Ganesh, 杉本麻樹, 稲見昌彦, 北崎充晃(2021). 身体所有感が注意・眼球運動に及ぼす効果, 第 26 回日本バーチャルリアリティ学会年次大会, 1B3-7.
- [6] Falcone, S., Brouwer, A. M., Heylen, D., Van Erp, J., Zhang, L., Pradhan, S. S., ... & Englebienne, G. (2022). Pupil Diameter as Implicit Measure to Estimate Sense of Embodiment. In Proceedings of the 44<sup>th</sup> Annual Meeting of the Cognitive Science Society, 2446-2453.