



# 没入型 VR システムを介した運動観察が身体意識に及ぼす影響

長嶺 伸<sup>\*1</sup> 矢野 史朗<sup>\*1</sup> 近藤 敏之<sup>\*1</sup>

The Effect of Motor Observation through an Immersive VR Sytem on Bodily Self-Consciousness

Shin Nagamine<sup>\*1</sup>, Shiro Yano<sup>\*1</sup> and Toshiyuki Kondo<sup>\*1</sup>

**Abstract** – In recent research on brain-computer interfaces (BCIs), motor observation is considered to become a promising methodology for the BCI neurofeedback training, because it is believed to induce stronger bodily self-consciousness such as sense of agency, or sense of ownership. Thus it can cause a reliable electroencephalogram (EEG) feature for the BCI. However the rational relationship between the motor observation and bodily self-consciousness has not yet been clarified. To investigate whether motor observation from the first person point of view can modulate bodily self-consciousness, we developed an immersive virtual reality (VR) system, and executed a psychophysical experiment using the system. Experimental results demonstrate that the developed VR system enables subjects to have stronger bodily self-consciousness. It suggests that motor observation from the first person viewpoint contributes to neurofeedback training of motor imagery-based BCI.

**Keywords** : virtual reality, sense of agency, sense of ownership, bodily self-consciousness

## 1. はじめに

近年,考えるだけで電動義肢や電動車いす,文字入力装置を操作でき,肢体不自由者の活動性や機会を回復することが可能なブレイン・コンピュータ・インタフェース (brain-computer interface; BCI) 技術が注目を集めている.

BCI 研究で広く用いられる脳波特徴のひとつに事象関連脱同期/同期 (event-related desynchronization/synchronization; ERD/S) がある.これは運動に関連する脳活動を反映していると考えられており,運動実行 (motor execution; ME) だけでなく,運動想起 (motor imagery; MI) や運動観察 (motor observation; MO) の際にも観察される脳波特徴である. ERD/S は, 波帯 (8-13 Hz) と 波帯 (14-26 Hz) という特定の周波数帯域における相対的なパワーの減少/増加として定量化することができる. ERD を用いた運動想起型 BCI は有効であるが,その命令識別精度は個人の ERD 生成技能に依存する. このため,自在に使用するには十分なニューロフィードバックトレーニングが必要である. これに対し,視覚フィードバックを用いた運動想起型 BCI のための運動想起訓練に関する研究が行われている [1]~[3].

ニューロフィードバックトレーニングの手法の中でも,運動観察は脳波リズムを調節することができることから [4], BCI 訓練に有効であると考えられてい

る [1],[2],[5]. 我々の以前の研究 [1] では,静止している手と,運動している手,という二つの異なる視覚刺激の観察が訓練効果に及ぼす影響を比較し,一人称視点からの運動観察が ERD/S 生成技能の向上に貢献すると報告した. これは運動観察によって身体意識 (運動主体感, 身体保持感の総称) が高まり, その結果, ERD 生成技能の学習が促進されたためであると考察されたが,実際に運動観察が身体意識に影響を及ぼすか否かについては調査されていない.

そこで,本稿では,一人称視点の運動観察と身体意識の関係性について調査する. 調査を行うにあたり,没入型ヘッドマウントディスプレイ (head mounted display; HMD) を使用して没入型バーチャルリアリティ (virtual reality; VR) システムを開発したので,あわせて報告する.

## 2. 実験方法

### 2.1 被験者

右利きの健常者 10 名 (19-23 歳, 男性 8 名, 女性 2 名) を対象に実験を行った. 被験者は全員,裸眼もしくは矯正により正常な視力を持っており,神経学的または精神医学的な疾病歴はないことを確認している. なお,本実験は,国立大学法人東京農工大学ヒトを対象とする研究に関する倫理委員会の承認を得て実施した.

### 2.2 実験装置

一人称視点の視覚刺激を呈示するために, HMD(Oculus Rift DK2<sup>TM</sup> [8]) と統合開発環境

\*1: 東京農工大学

\*1: Tokyo University of Agriculture and Technology

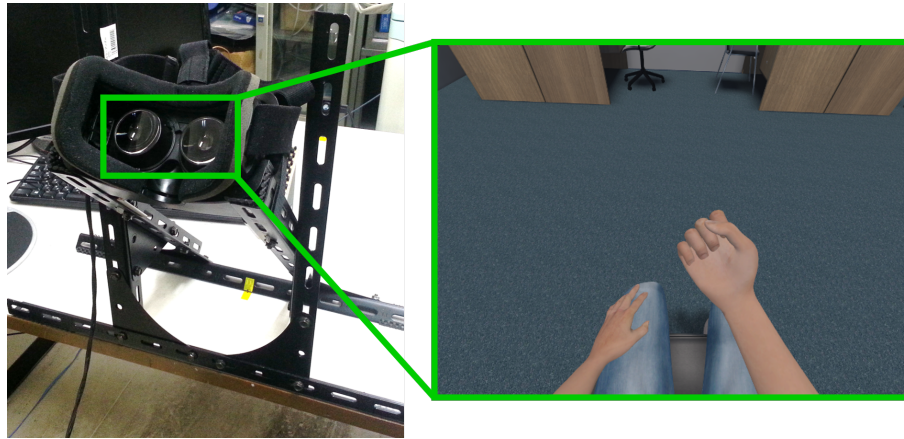


図1 没入型 VR システム (左) と視覚刺激 (右)  
Fig. 1 Immersive VR system (left) and a visual stimulus (right).

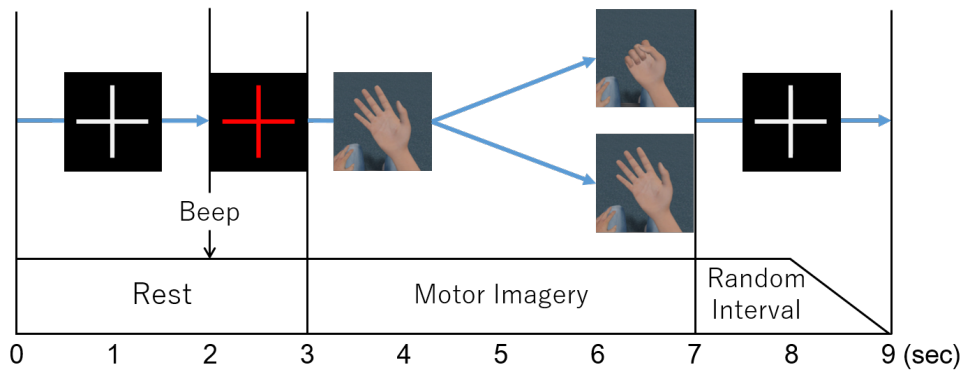


図2 実験セッションの流れ  
Fig. 2 An Experimental Session Procedure.

を兼ね備えたゲームエンジンの Unity<sup>[9]</sup> を用いて、没入型 VR システムを開発した (図 1)。同図に示すように、被験者は VR システムを介して仮想の人体を一人称視点で観察することができる。仮想の人体モデルは MakeHuman<sup>[10]</sup> と Blender<sup>[11]</sup> を用いて作成した。仮想の手の自然な動きを実現するには、グラフィック性能の高い、高性能なコンピュータが必要となる。没入型 VR システムの開発環境を表 1 に示す。

表 1 VR システムの開発環境  
Table 1 Specification of the Developed System.

PC	OS	Windows 7 Professional 64 bit
	CPU	Intel Xeon E5-2603
	GPU	NVIDIA Quadro K620
	Memory	32.0 GB RAM
HMD		Oculus Rift DK2
Software		Unity 5.3.1p2
		Blender 2.76b
		MakeHuman 1.0.2

### 2.3 実験手順

本実験では、被験者に背もたれのある椅子に座ってもらい、実験中は目の前に設置された没入型 VR シス

テムを覗くように指示した。

図 2 に示すように、各セッションはランダム長のレスト期間と 4 秒間のタスク期間から構成される。被験者はレスト期間中、白十字 (注視点) を注視しながら、リラックスするように指示された。また、タスク期間中は視覚刺激 (静止している手 (Static 条件)、または運動している手 (Moving 条件)) を観察しながら運動想起を行うように指示された。タスク開始のタイミングは、タスク開始の 1 秒前に注視点の色が白から赤に変化し、同時にビープ音が鳴ることで通知された。これらのセッションは実験条件ごとに 25 回ずつ繰り返してもらった。被験者の半分には最初に Static 条件を、もう半分には最初に Moving 条件を実施することで、順序効果を相殺した。

VR システムを使用する上で、VR 酔いは考慮すべき重大な問題の一つである。そこで、我々が開発した VR システムによる VR 酔いの程度を評価するために、被験者には表 2 に示すアンケートに 7 段階リッカート尺度 (-3: 全くそう思わない - +3: とてもそう思う) で回答してもらった。さらに、身体意識 (運動主体感

表 2 VR 酔いについてのアンケート  
Table 2 Questionnaire for VR Motion Sickness.

	質問
Q1	HMD を介して 3D モデルの手を見ていて、乗り物酔いのような感覚になりましたか？
Q2	通常のディスプレイを同時使用したときに比べ、目が疲れたように感じましたか？

表 3 身体意識についてのアンケート [6]  
Table 3 Questionnaire for Bodily Self-Consciousness [6].

	質問
Q1	自分の意思が 3D モデルの手の運動を引き起こしているように感じましたか？
Q2	3D モデルの手を制御できたように感じましたか？
Q3	3D モデルの手を自分の意思で自由に動かすことができましたか？
Q4	3D モデルの手が自分の意思を制御しているように感じましたか？
Q5	3D モデルの手が意思を持って動いているように感じましたか？
Q6	3D モデルの手が自分を制御しているように感じましたか？
Q7	自分自身の手を見ているように感じましたか？
Q8	3D モデルの手が自分の身体の一部であるように感じましたか？
Q9	3D モデルの手が自分の手であるように感じましたか？
Q10	自分の右手が 2 本以上あるように感じましたか？
Q11	自分の右手が消失したように感じましたか？
Q12	自分の右手が 3D モデルに変わってしまったように感じましたか？

と身体保持感)の程度を定量化するために、各条件の実験後、被験者には表 3 に示すアンケートに、7 段階リッカート尺度で回答してもらった。このアンケートは Botvinick らの先行研究 [6] を参考に作成した。Q1-Q3 は運動主体感に関連しており、Q7-Q9 は身体保持感に関連している。それ以外の質問は対照質問となっている。アンケート結果は、Wilcoxon の符号順位検定を用いて、被験者内の実験条件間の差を評価した。

### 3. 実験結果

図 3 は VR 酔いについてのアンケートの回答分布を表している。2 つの質問 (Q1: VR 酔いについて、Q2: 目の疲れについて) の回答を対応のある t 検定で分析したところ、どちらも Static 条件と Moving 条件の間に有意差はなかった ( $p > 0.05$ )。また、回答が 0 以下に分布していることから、没入型 VR システムによって引き起こされる VR 酔いや目の疲れは小さいと考えられる。

図 4 は、身体意識についてのアンケートにおける条件間の回答の変化を表している。この結果について Wilcoxon の符号順位検定を用いて分析したところ、Moving 条件において、被験者の運動主体感と身体保持感が Static 条件よりも有意に増加することが確認された ( $p < 0.05$ )。

### 4. 考察

本稿では、一人称視点の運動観察が身体意識に及ぼす影響を調査するために、没入型 VR システムを開発した。実験の結果から、開発した没入型 VR システムによって引き起こされる VR 酔いは十分に小さいことを確認した。さらに、没入型 VR システムを介し

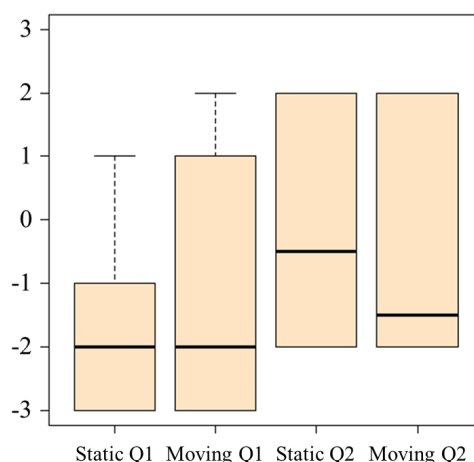


図 3 VR 酔いに関するアンケートの結果  
Fig.3 Result of VR Motion Sickness Questionnaire.

た運動観察によって、運動主体感と身体保持感の両方が高められることが示唆された。したがって、運動観察を用いた BCI 訓練は、運動想起型 BCI のニューロフィードバックトレーニングに有効である可能性がある。特に、Ortiz-Catalan らが研究しているような筋電 (electromyogram; EMG) インタフェース [7] との併用は、脳卒中患者のための有望なニューロリハビリテーションアプローチになると考えられる。

謝辞

本研究は JSPS 基盤研究 (B) 16H03219、新学術領域研究 26120005 の助成を受けたものです。ここに謝意を表します。

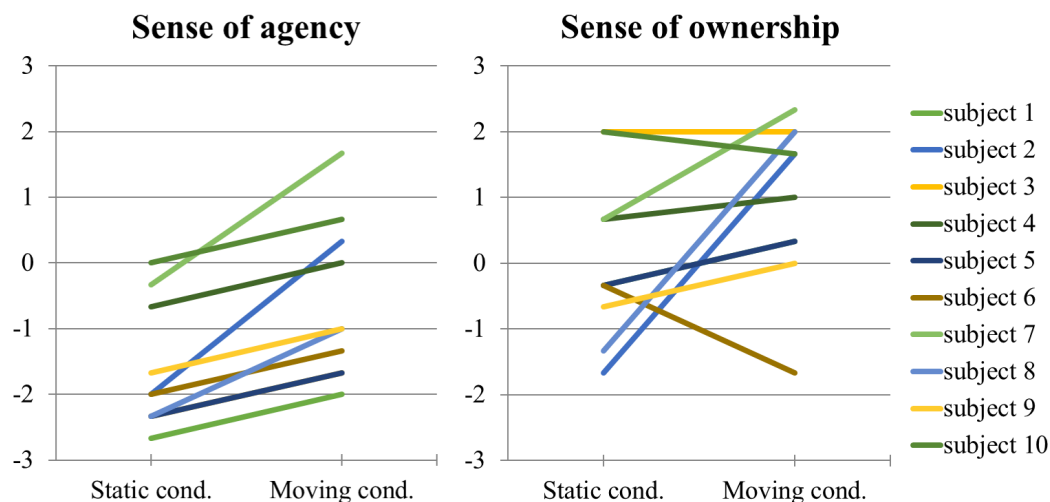


図 4 条件による身体意識の変化  
Fig. 4 Change of Bodily Self-Consciousness.

#### 参考文献

- [1] Kondo,T., Saeki,M., Hayashi,Y., Nakayashiki,K., and Takata,Y.: Effect of instructive visual stimuli on neurofeedback training for motor imagery-based brain-computer interface; Human Movement Science, **Vol.43**, pp.239-249 (2015).
- [2] Ono,T., Kimura,A., and Ushiba,J.: Daily training with realistic visual feedback improves reproducibility of event-related desynchronisation following hand motor imagery; Clinical Neurophysiology, **Vol.124**, No.9, pp.1779-1786 (2013).
- [3] Neuper,C., Scherer,R., Wriessnegger,S., and Pfurtscheller,G.: Motor imagery and action observation: modulation of sensorimotor brain rhythms during mental control of a braincomputer interface; Clinical Neurophysiology, **Vol.120**, No.2, pp.239-247 (2009).
- [4] Pfurtscheller,G., Scherer,R., Leeb,R., Keinrath,C., Neuper,C., Lee,F., and Bischof,H.: Viewing Moving Objects in Virtual Reality Can Change the Dynamics of Sensorimotor EEG Rhythms; Presence: Teleoperators and Virtual Environments, **Vol.16**, No.1, pp.111-118 (2007).
- [5] Alimardani,M., Nishio,S., and Ishiguro,H.: Effect of biased feedback on motor imagery learning in BCI-teleoperation system; Frontiers in Systems Neuroscience, **Vol.8**, doi:10.3389/fnsys.2014.00052 (2014)
- [6] Botvinick,M., and Cohen,J.: Rubber hands 'feel' touch that eyes see; Nature, **Vol.391**, pp.756-756 (1998)
- [7] Ortiz-Catalan,M., Sander,N., Kristoffersen,M B., Hakansson,B., and Braanemark,R.: Treatment of phantom limb pain (PLP) based on augmented reality and gaming controlled by myoelectric pattern recognition: A case study of a chronic PLP patient; Frontiers in Neuroscience, **Vol.8**, No.8 FEB, pp.1-7 (2014)
- [8] <https://www.oculus.com/>
- [9] <https://unity3d.com/>
- [10] <http://www.makehuman.org/>
- [11] <https://www.blender.org/>