

AstoroNeuroBlade: 生体信号が紡ぐ VR 体験

丹羽 涼太^{*1} 渡辺 佑斗^{*1} 小松 遼也^{*1} 二川 日花里^{*2}
中村 歩暉^{*2} 大津 耕陽^{*2} 伊藤 雄一^{*2}

AstoroNeuroBlade: VR experience spun by biometric signals

Ryota Niwa^{*1}, Yuto Watanabe^{*1}, Ryoya Komatsu^{*1}, Hikari Nikawa^{*2},
Ayuki Nakamura^{*2}, Kouyo Ostu^{*2}, and Yuichi Itoh^{*2}

Abstract – We propose an immersive virtual reality (VR) system that uses multimodal biosignals—including EEG, ECG, and EMG—to dynamically enhance user interaction. Participants wear these sensors with a head-mounted display (HMD) and engage in VR scenarios where physiological states affect in-game elements. In one scenario, users wield a sword-like weapon whose length, shape, and thickness change in real time based on EEG, ECG, and EMG signals. This requires maintaining high concentration and physiological stability to gain advantages against computer-controlled opponents. The VR environment also includes distracting stimuli, such as notification sounds and visual banners, to simulate real-world attention challenges and promote concentration training. In another scenario, users manipulate large virtual objects through gestures and concentration thresholds detected via biosignals and accelerometers. This work advances the integration of physiological monitoring and VR interaction, enabling new approaches for attention enhancement and immersive control.

Keywords : Sensing, EEG, EMG, ECG, VR, BCI, Biosignal interaction

1. はじめに

2024 年度に総務省が行った、“情報通信メディアの利用時間と情報行動に関する調査”によると、スマートフォンの利用時間が増加している一方で、1つあたりのコンテンツにかかる時間は減少している^[1]。特に若年層では、1回あたりの動画視聴持続時間は5分以下が大多数になっていて、短尺動画や短文コンテンツを好み、長時間の動画視聴や、読書を敬遠する傾向がある。Microsoft Canada が 2015 年に実施した調査では、2000 年代初頭には約 12 秒だった人間の平均注意持続時間が、2015 年時点で、約 8 秒と大幅に減少しており、金魚より短くなっていると報告している^[2]。これらの背景を踏まえ、本企画では脳波センサを用いてユーザの集中度を推定し、その集中度をバーチャル空間上のインタラクションに反映させることで、注意継続時間の強化を目指すトレーニングアプリケーションを提案する。

2. 関連研究

2.1 生体センサを用いた VR インタラクション

本節では、生体センサを活用した VR インタフェースに関する先行研究を紹介し、それぞれの手法の特徴と課題を整理することで、本企画の位置づけを明確にする。

近年、脳波を用いた Brain-Computer Interface (BCI) 技術は、バーチャル空間との統合により新たなユーザインタラクション手法として注目されている。例えば、Punsawad らは脳波センサを用い、ユーザの表情変化や集中状態に応じたオブジェクト操作を実現したシステムを提案し、2D 環境と比較してバーチャル空間での操作成功率が向上することを示した^[3]。これらの研究は、ユーザの内在的状态をインタラクションに反映する点で有用であるものの、操作自体が目的であり、注意持続の支援や訓練への応用は十分に検討されていない。

一方、筋電図センサを用いた研究では、腕や手の筋活動からジェスチャを検出し、コントローラレスな操作を可能にしている。Chowdhury らは、EMG 信号と視覚情報の統合により、屋外などノイズ環境下でも高精度なジェスチャ認識を実現している^[4]。こうした手法は入力手法としての拡張性に優れるが、ユーザの認知状態の変化に基づくインタラクション制御には十分

*1 青山学院大学 大学院理工学研究科

*2 青山学院大学 理工学部

*1 Graduate School of Science and Engineering, Aoyama Gakuin University

*2 Aoyama Gakuin University

対応できていない。

このように、脳波を用いた VR インタラクションの実現や生体信号によるユーザ状態推定の研究は多いものの、集中状態に着目し、それをリアルタイムにインタラクションに反映して注意持続のトレーニングに繋げる研究はまだ少ない。本企画は、脳波センサによって推定される集中度をバーチャル空間内で視覚的かつ動的にフィードバックし、ユーザ自身が注意の変化に自覚的に介入できる環境を構築する点で、従来研究とは異なる独自性を有している。

2.2 生体センサを用いたインタラクション

近年、生体センサを用いて、ユーザの意図や認知状態を検出し、インタラクションに活用する研究が多数なされている。AlQahtani らは、脳波センサと機能的近赤外分光分析法を用いて、ユーザの脳活動を解析し、義肢の直感的制御を実現している^[5]。Gramann らは、脳波センサを用いて、実際の歩行や動作中における脳と身体の同期的な動態を計測・解析し、現実的な環境下での脳波信号取得の有効性を示している。従来の静止環境に限定されていた脳波計測の課題を克服し、動的なインタラクションの基盤を構築している^[6]。

しかし、これらの研究において高精度な脳波や生体信号の計測環境を実現するには、装置が複雑かつ大型になってしまい、VR のような動的かつ実用的な環境で直感的な操作を行うには、技術面・装着面で課題がある。そこで本企画では、多様なセンサを搭載できる生体信号取得キット“BITalino”を用いる。利点として、携帯性と使いやすさに優れ、約 8 時間の連続計測が可能なバッテリー駆動である点に加え、多数のセンサ情報を同時に取得可能な点がある。これにより、脳波、筋電図、加速度、心電図センサを組み合わせ、ユーザの集中状態やジェスチャを検出し、実用的なアプリケーションを実装できる。

3. 実装計画

本企画では、生体信号取得キット“BITalino”を用いて、複数のセンサを組み合わせた実用的なインタラクションシステムの構築を目指す。脳波センサ、筋電図センサ、加速度センサ、心電図センサを活用し、ユーザの生体情報や動作情報を取得・解析することで、バーチャル空間における直感的な操作を実現することを目的とする。頭部に脳波センサを、手首に筋電図センサを装着し、筋活動の強度やパターンを計測する。さらに、加速度センサを用いてジェスチャ認識を行い、これにより VR 内での手の動きをトラッキングすることを目指す。心電図センサはユーザの生理的状态を把握し、インタラクションのフィードバックとして色の変化など視覚表現に活用する。これらのセンサデータは

表 1 剣型武器のパラメータ

センサ	変化する武器のパラメータ
脳波 (EEG)	長さ
心電図 (ECG)	形
筋電図 (EMG)	太さ

Arduino 互換の開発環境で統合的に取得され、リアルタイムで状態推定をする。脳波信号は、前処理と特徴抽出を経て、ユーザの集中度や感情状態の分類に用いる。加速度センサや筋電図センサは、動作の認識・評価に用いる。心電図センサは、心拍変動の解析を通じて、バーチャル空間における視覚的表現の制御に用いる。

4. 体験プラン

体験者は、脳波センサ (EEG)、心電図センサ (ECG)、筋電図センサ (EMG) を装着した状態で HMD を装着し、バーチャル空間に入る。図 1 に、体験イメージ図を示す。本企画では、下記の 2 つのシナリオを作成する。

4.1 体験シナリオ 1

体験者は、VR 内で剣型武器を操作し、コンピュータ制御の敵と対戦する。剣型武器のパラメータは、表 1 に示すように、各センサの生体信号に応じて動的に変化する。具体的には、脳波は武器の長さ、心電図は形状、筋電図は太さに影響を与える。体験者は武器を駆使して目の前の敵と戦い、勝利を目指す。武器の性能が生体信号に依存するため、対戦を有利に進めるには高い集中度や身体状態の維持が求められる。武器の長さが変化することで攻撃範囲が拡大・縮小し、戦術の幅が広がる。形状や太さの変化は剣の扱いやすさや攻撃の威力に影響し、体験者は常に自身の生理状態を意識しながら戦うことを強いられる。しかし、バーチャル空間内では注意を妨げる通知音やバナーが発生し、集中度の維持の難易度が意図的に高められている。通知音は突然鳴り響き、体験者の集中を断ち切る役割を果たす。バナーは視界の隅に表示され、視覚的に気を散らすよう設計されている。これらの妨害要素は、現実世界での注意散漫を模擬し、集中度の強化効果を高めるために用いる。

4.2 体験シナリオ 2

体験者は、バーチャル空間上で、惑星という動かすのが非現実的な物体を、手で触れずに遠隔から自在に動かす体験をする。バーチャル空間上で、巨大な惑星をジェスチャで引き寄せたり、押し出したりする。加えて、遠くにあるドアを手の動きで開閉する。この時、脳波センサから集中度を測定し、一定の閾値を超えると、操作が有効化され、物体が動き出す。集中度が下がると動作が停止する。加速度センサから加速度データを、筋電図センサから電気信号を取得し、表 2 に推

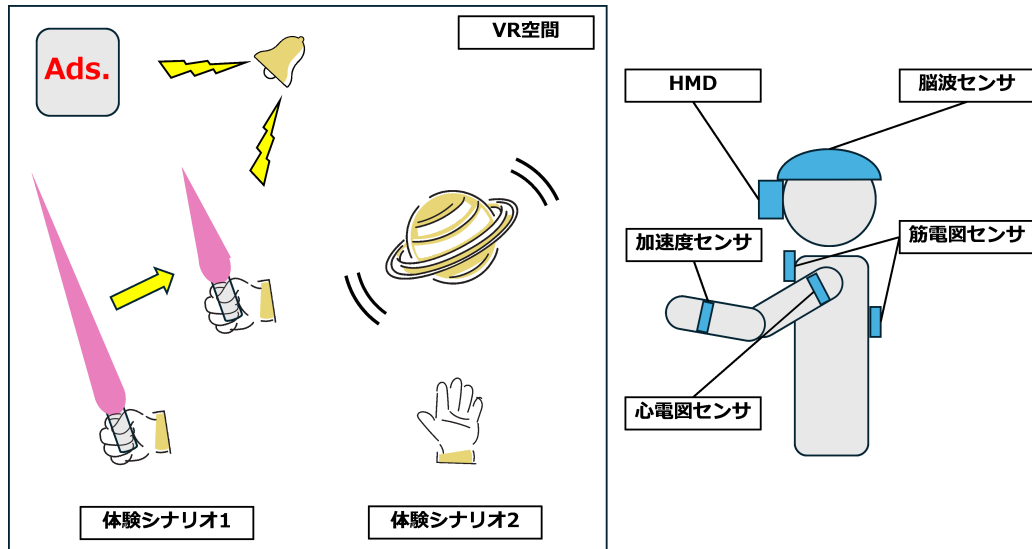


図1 体験シナリオ図

表2 ジェスチャと対応するバーチャル空間での体験内容

ジェスチャ	体験内容
腕を前に押し出す	惑星や物体を遠くへ押し出す
腕を引く	惑星や物体を自分側に引き寄せる
手首を回す	惑星や物体の回転
腕を上下に振る	惑星や物体の上下移動
手のひらを開く	遠くのドアを開ける
手のひらを閉じる	遠くのドアを閉める

参考文献

- [1] 総務省 情報通信政策研究所, "令和5年度情報通信メディアの利用時間と情報行動に関する調査", 総務省 情報通信政策研究所, 2024年3月, https://www.soumu.go.jp/main_content/000976455.pdf (最終アクセス: 2025-05-19).
- [2] Insights Consumer, "Attention spans", Microsoft Canada, Spring 2015.
- [3] Reza Abbasi-Asl, Mohammad Keshavarzi, Dorian Yao Chan, "Brain-Computer Interface in Virtual Reality", 2019 9th International IEEE/EMBS Conference on Neural Engineering (NER), 2019, pp.1220-1224.
- [4] Enea Ceolini, Gemma Taverni, Lyes Khacef, Melika Payvand, Elisa Donati, "Sensor fusion using EMG and vision for hand gesture classification in mobile applications", 2019 IEEE Biomedical Circuits and Systems Conference (BioCAS), 2019, pp.1-4.
- [5] Nouf Jubran AlQahtani, Ibraheem Al-Naib, Murad Althobaiti, "Recent progress on smart lower prosthetic limbs: a comprehensive review on using EEG and fNIRS devices in rehabilitation", Frontiers in Bioengineering and Biotechnology, vol.12, 2024, article 1454262.
- [6] Klaus Gramann, Joseph T Gwin, Daniel P Ferris, Kelvin Oie, Tzyy-Ping Jung, Chin-Teng Lin, Lun-De Liao, Scott Makeig, "Cognition in action: imaging brain/body dynamics in mobile humans", Walter de Gruyter, 2011.

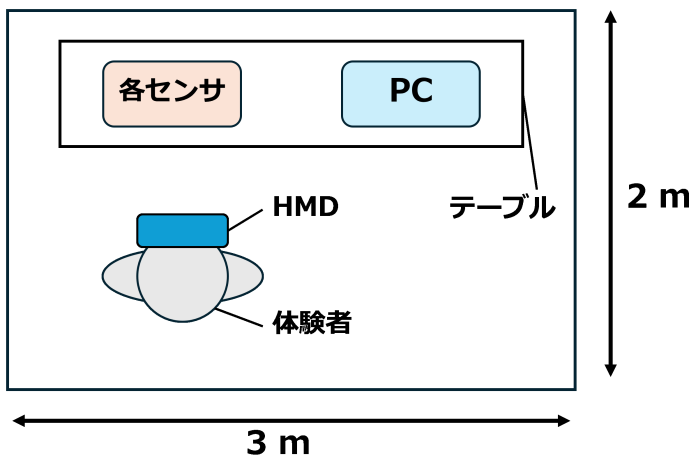


図2 フロアプラン

定する6種類のジェスチャを示す。

4.3 フロアプラン

フロアプランを図2に示す。本企画ではHMDを用いた体験シナリオを想定している。2m×3mのスペースを想定し、テーブルの上に体験で使用する各センサやパソコンを配置する。体験者はテーブルの前に立ち、身体に各センサを取り付け、HMDを装着する。