

令和 4 年 5 月 20 日現在

機関番号：57501

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K12075

研究課題名（和文）運動準備電位を用いた時間差力覚制御を用いた仮想空間での感覚異常機構の解明と応用

研究課題名（英文）Elucidation and application of balanced sense abnormality mechanism in virtual space by force controller triggered by Bereitschafts potential detection

研究代表者

鶴 浩二（Tsuru, Koji）

大分工業高等専門学校・情報工学科・教授

研究者番号：70390549

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000円

研究成果の概要（和文）：コンピュータで作成されたゲームや映像を見る時、体は動いていないのに急速に動いているような感覚を感じ、乗り物酔いに似た症状であるVR酔いを感じる人が多い。この現象を脳波から動きを事前に予測して刺激を与えることで低減しようとしたが、脳波による手足の動きの推定は困難であった。そこで、重心や姿勢、脳波、脳血流の変化からVR酔いを表す指標を明らかにした。この指標を用いて、映像と連動して振動を与える疑似力覚装置を両手に取り付けることによって、VR酔いを低減できることを示した。また、動きの激しいゲームなどでは、後頭部の脳波がVR酔いの指標になることも明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ディスプレイなどに映し出される仮想現実の視聴で、乗り物酔いに似た症状である仮想現実酔い（VR酔い）を感じる場合がある。操作技術習得シミュレータやゲームなどで、VR映像は、広範囲に利用されている。このVR酔いを抑えることができれば、仮想空間での作業や学習も可能になり、人の活動できる領域も広がる。VR酔いを低減するには、個々人の主観的なVR酔いの状態を客観的に評価できる方法が必要である。そのため、本研究で体の重心移動や姿勢の変化から、VR酔いの程度を評価できることを明らかにした。また、動きを伴う映像視聴の際には、重心移動や姿勢での評価は難しく、脳波の変化からVR酔いを評価できることを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：When viewing virtual reality displayed on a display, you may feel virtual reality sickness (VR sickness), which is a symptom similar to motion sickness. Virtual reality images are widely used in simulators for learning operation techniques, and 3D games. If this VR sickness can be suppressed, it will be possible to work and learn in virtual space, and the area where people can work will expand. In order to reduce VR sickness, we need a method that can objectively evaluate the subjective state of VR sickness of each individual. Therefore, in this study, it was clarified that the degree of VR sickness can be evaluated from the movement of the center of gravity of the body and the change of posture. In addition, it was difficult to evaluate VR sickness from the movement of the center of gravity and posture when body movements such as device operation are involved while watching virtual reality images, but it was possible to evaluate VR sickness from changes in occipital brain waves.

研究分野：脳波応用

キーワード：脳波 VR酔い 疑似力覚 重心揺動 姿勢変位 SSQ 脳血流 集中度

## 1. 研究開始当初の背景

コンピュータの処理速度向上とソフトウェア技術の向上によって、人が違和感を覚えない速度で、動画をリアルタイムで生成できるようになり、仮想現実(Virtual Reality: VR)技術が進化した。VR 技術は、当初ゲーム業界が牽引してきたが、近年では遠隔医療や装置・システムの操作技術習得、店内案内、仮想新車試乗、仮想不動産内見など幅広い分野で利用されている。しかし、VR 映像を見ていると、感覚に違和感を覚えたり、不安感を持ったりする現象が発生する。これは、一般に『VR 酔い』と呼ばれ、比較的多くの利用者が感じる事がわかり、20 年ほど前から、ゲーム業界や学会で原因の解明と対策が検討されてきた。ゲーム業界でも、ゲーム作成のガイドラインを策定して対策をとるようになり、国でも「映像酔いを軽減するための人間工学的要求事項」という国際標準化の検討されている。しかし、根本的な解決方法は見つかっていない。VR 酔いの原因は、視覚から入ってくる情報と実社会で過去に体験した経験(記憶)に基づいて予想する力覚や慣性力、平衡感覚に対する現実の感覚差異が原因と考えられている。しかし、人が現実社会で感じることを全てを、仮想空間上での力覚装置で再現することには限界があり、また、VR コンテンツ情報と連動して力覚をシミュレートすることも、感覚に個人差があり、一定数の VR 感覚不一致を発生させる。そこで、動作の起こる前に個々人で発生する運動準備電位と意識との時間差を利用して、疑似力覚を提示することで VR 酔いの抑制機構を解明し、さらに疑似力覚による脳の錯覚と馴化による感覚不一致を低減する技術の開発を目的とする。遠隔手術や機器操作習得時には、力触覚を必要とするため、高価なマニピュレータや力覚提示シミュレータを用いる。この時、発生する感覚不一致はシミュレータ酔いと言い、ヘッドマウントディスプレイを装着して 3 次元 VR を体験する場合に生じる VR 酔いと区別する場合がある。本研究では、主に視覚による感覚不一致を対象とし、VR 酔いの抑制技術についての研究を行う。

## 2. 研究の目的

本研究では、従来研究代表者が行っていた脳波個人認証の手法を応用し、脳波側性解析により、運動準備電位の賦活位置を特定し、賦活位置の遷移状態から四肢動作の推定を行う。その結果を用いて、疑似力覚装置によるフィードフォワード制御により、感覚不一致感を低減する要因を解明し、実際の VR 体験機器に応用することを目的に以下の 3 点に重点をおいて研究を行う。

- (1) 複数電極による脳波測定により特定した運動準備電位の脳賦活領域の情報から、四肢動作部位を推定する動作推定手法の開発
- (2) 主観的な感覚である VR 酔いを、外部計測装置を用いて客観的に評価する方法と VR 酔いの指標の確立
- (3) 疑似力覚の提示で、VR 酔いの意識と感覚の不一致を減らす錯覚と馴化による効果の VR 酔いの指標による検証

## 3. 研究の方法

本研究では、まず脳波測定により運動準備電位の賦活位置を特定し、賦活位置の遷移状態から四肢動作の推定を行う。次にその結果を用いて、疑似力覚装置によるフィードフォワード制御により、感覚不一致感を低減する要因を解明し、実際の VR 体験機器に応用することを目的に実験を行う。運動準備電位の減少割合を特徴量として四肢動作を推定するとの報告があり、本実験では、脳波賦活位置である運動前野、補足運動野、一次運動野、体性感覚野の両側位置に電極を設置して、運動野の両側性賦活および対側優位の電位変化から四肢の運動を推定する。本研究では、被験者に映像を見てもらい、左右の指でボタンを押したときの運動準備電位を測定し、それらを脳波電極毎に解析して、賦活位置から両腕活動部位を推定する。推定には機械学習の手法を適用する。

主観的な VR 酔いを外部測定装置から客観的に評価する手法を開発する。本実験では、被験者がディスプレイから離れて見るか、ヘッドマウントディスプレイ(HMD)を装着して見る状態で、自動運転のドライビングシミュレータの映像を立位や座位で見てもらった。その時の重心揺動と、深度カメラによる姿勢変位を計測する。そして、被験者自身が感じた感覚をアンケート(Simulator Sickness Questionnaire :SSQ)で調べ、機器によって測定したデータとの比較により、VR 酔いの指標作成を検討する。

VR 酔いを引き起こす主な原因として、視覚情報と平衡感覚の不一致、予測している感覚や記憶している感覚のずれの二つであると考え、これらを改善することで VR 酔いの低減につながると考えた。そこで、これを検証するために映像として、仮想ハンドルを空中で操作できるように改良したドライビングシミュレーションを独自に作成し、被験者がデバイスを何も付けずに視聴した場合と、運転状況に合わせて振動して疑似力覚を感じることができるグローブ型のハプティクスデバイスを装着した場合とで、VR 酔いを比較した。また、VR 酔いの測定方法として、重心動揺や脳波、前額部の脳血流による解析を行った。乗り物酔いでの被験者の脳波、心電図の変化と乗り物酔い発症との関連があることが報告されているので、本実験でも被験者アンケートと後頭部脳波および前額部脳血流動態の測定により VR 酔いの状態を評価する。

## 4. 研究成果

- (1) 動作の起こる前に発生する脳波の一種である運動準備電位を用いて、この脳波と意識との時間差を利用して、疑似力覚を提示することで VR 酔いの抑制を目的として、実験を行う

た。まず初めに、複数の被験者に協力していただき、運動準備電位の測定を実施した。しかし、被験者によっては、運動準備電位の検出が難しく、観測できたのは、参加していただいた被験者の約半数だけであった。また、左右の指を動かす実験より、運動準備電位が出やすい電極は、国際 10-20 法で、C4, Fz, Pz, P3 の位置であることが分かったが、左右腕の運動の違いを電極位置での脳波の差異から推定することは困難であった。

(2) 主観的な現象である酔いを、外部から客観的に評価できる VR 酔いの指標を構築することを目的に実験を行った。使用した方法は、重心揺動測定と深度カメラ(Kinect)による身体揺動および上半身の回旋などの計測データと VR 酔いの主観評価に使われている SSQ アンケートをもとに評価した。実験で被験者は、重心揺動測定器の上に立ってもらい、CG で作成した荒れた道を行く車両助手席から映像を HMD で見てもらった。その時の前後左右方向の重心変位を測定した。また、深度カメラを用いた測定でも、同様の動画を立位で HMD 越しに見てもらい、その時に取得した全身画像から姿勢推定を行い、揺動などを測定した。その結果、実験から求めた姿勢揺動や体の回旋と主観アンケートの結果より、姿勢揺動などを測定することでも VR 酔いの程度を判別できることを確認し、VR 酔いの指標として有効であることを明らかにした。

(3) ドライビングシミュレータを、疑似力覚の提示装置としてグローブ型ハプティクスデバイスを用いて VR 酔いを低減する実験を行った。重心揺動の測定では、ハプティクスデバイスを用いた時のほうが、左右への振れ幅が大きいことが分かった。これは、ハプティクスデバイスを使うことによって、ドライビングシミュレータへの没入感が高まったためだと考えた。一方、後頭部の脳波測定では、映像のみの場合は、脳波の振幅が大きく、疑似力覚デバイスを用いた場合は脳波の振幅は小さくなった。アンケートによる主観的な評価と後頭部の脳波の比較から、VR 酔いを後頭部の脳波測定で評価できることを確認した。動きを伴うゲームなどに対しては、重心揺動よりも、後頭部脳波の測定によって、VR 酔いの程度を測定できることを明らかにした。しかし、VR 酔いでの後頭部脳波の振幅が大きくなる現象の理由を解明できていない。今後、どのような関連があるか明らかにする。また、前額部脳血流動態の測定では、VR 酔いと的相关は観測できなかった。前額部脳血流で被験者の集中度が測定できることが分かっているので、集中度と VR 酔いの関係についても今後明らかにする。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 K. Tsuru, A. Inoue	4. 巻 1
2. 論文標題 Real-time concentration measurement through forehead cerebral blood flow dynamics using NIRS	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 2021 9th International Winter Conference on Brain-Computer Interface (BCI)	6. 最初と最後の頁 221-226
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/BCI51272.2021.9385327	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 井上晴天, 坂口冨太郎, 霧 浩二	4. 巻 C1
2. 論文標題 姿勢揺動によるVR酔いの検出	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 火の国情報シンポジウム2020 講演論文集	6. 最初と最後の頁 p.1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 小野 稜太, 秦 眞翔, 霧 浩二	4. 巻 B22-5
2. 論文標題 指先ハプティクス技術を用いたVR酔い低減効果の脳波による評価	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 火の国情報シンポジウム2022	6. 最初と最後の頁 p.1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 壹岐 琉晟, 霧 浩二
2. 発表標題 運動準備電位測定方法の検討
3. 学会等名 2019年度 電子情報通信学会九州支部第27回学生会講演会 (九州工業大)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 阿部大雅, 靄 浩二
2. 発表標題 加速度を感じさせるステレオ音によるVR酔いへの影響
3. 学会等名 2020年度 電子情報通信学会九州支部第28回学生会講演会 (オンライン)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 矢野海結, 靄 浩二
2. 発表標題 VRユーザインタフェースとしてのSSVEPの利用
3. 学会等名 2020年度 電子情報通信学会九州支部第28回 学生会講演会 (オンライン)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 坂口冴太郎, 井上晴天, 靄 浩二
2. 発表標題 VR酔い指標の開発
3. 学会等名 2019年度 電子情報通信学会九州支部 第27回学生会講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 井上晴天, 坂口冴太郎, 靄 浩二
2. 発表標題 姿勢揺動によるVR酔いの検出
3. 学会等名 2019年度 電子情報通信学会九州支部 第27回学生会講演会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

大分工業高等専門学校 情報工学科 情報セキュリティ研究室  
[http://onct.oita-ct.ac.jp/seigyo/tsuru\\_hp/index.html](http://onct.oita-ct.ac.jp/seigyo/tsuru_hp/index.html)

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------