

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

小野 稜太¹ 秦 眞翔¹ 轟 浩二^{1,a)}

概要: VR技術は、ゲームなどのアミューズメントで多く使われている。最近では、医療や乗り物制御などへの利用などが研究されている。しかし、それらのシステムの利用者は、乗り物酔いと似たVR酔いを感じる人が少なくない。本研究では、擬似的に力覚を感じさせる技術であるハプティクス技術を用いてVR酔いの低減を目指すとともに、脳波による評価を行った。実験の結果、指先振動型のハプティクスデバイスを用いることで、ドライビングシミュレータでVR酔いを低減することが確認できた。

キーワード: 仮想現実, VR 酔い, ハプティクスデバイス, SSQ アンケート, 脳波

Evaluation of VR Sickness Reduction Effect using Fingertip Haptics Technology by EEG

RYOTA ONO¹ MANATO SHIN¹ KOJI TSURU^{1,a)}

Abstract: VR technology is often used in amusement such as games. Recently, its use in medical treatment and vehicle control has been studied. However, there are many people who feel VR sickness with those systems. In this study, we aimed to reduce VR sickness by using haptics technology, which is a technology that makes us feel a pseudo-force, and evaluated it by brain waves. As a result of the experiment, it was confirmed that VR sickness can be reduced by the driving simulator by using the fingertip vibration type haptics device.

Keywords: Virtual reality, VR sickness, haptics device, SSQ questionnaire, EEG

1. はじめに

現在、仮想現実(Virtual Reality 以下 VR)と呼ばれる技術は、ゲームや動画視聴をはじめとするアミューズメントだけでなく医療や乗り物シミュレーションへの利用などさまざまな用途で活用されている。2016年にOculus社のOculus RiftやHTC社のHTC VIVEなどの一般消費者向けのVRデバイスが発売されたことを契機に、その年がVR元年と呼ばれるようになった程にVRの普及が加速した。VRデバイス

は主にヘッドマウントディスプレイ(Head Mount Display, HMD)やヘッドセットと呼ばれ、装着することで仮想空間をあたかも現実世界であるかのように体験することができる。このVR以外にも拡張現実(Augmented Reality, AR)と呼ばれるものがある。ARとは、ユーザが見ている現実のシーンにコンピュータグラフィックス(Computer Graphics, CG)によって描かれた仮想物体を重畳表示することで、ユーザがいる場所に応じた情報を直感的に提示する技術のことである[1]。本報告では、VRに特に注目した。

人間は生活するうえで、目から得る視覚情報の処理と、耳の平衡器官による体のバランス保持を並行している。一人称視点のVRゲーム等のVR空間内で動きを伴うシステムの場合、視覚情報によって自分自身は動いていると知覚し

¹ 大分工業高等専門学校 情報工学科
National Institute of Technology, Oita College, 1666 Maki, Oita-city,
Oita 870-0152, Japan
a) tsuru@oita-ct.ac.jp

ているのに対して平衡器官は変化していないため感覚のずれ違いが生じる。VR酔いが引き起こされる原因については諸説あり、その1つがこのずれ違いによる「感覚不一致説 (Sensory conflict theory)」である[2]。これは「Poison theory」という説とも似ていて、感覚の不一致の原因は毒を食べたり飲んだりしてしまっただけで幻覚を見ているため、毒を吐き出そうという防御機構が人間の進化の過程で備わっているためだという考え方である。平柳要らの報告である「乗り物酔い(動揺病)研究の現状と今後の展望」[3]において、動揺病は『乗り物などで身体が揺らされ続けると、あくび・気怠さ・頭重感・唾液分泌の充進・心窩部違和感などから次第に顔面蒼白・冷汗・悪心(吐き気)などの症状を伴い、挙句の果てには嘔吐に至るといった経過を辿るのが乗り物酔い(motion sickness)である』と定義されている。VR酔いの症状が乗り物酔いと似ていることから、感覚不一致説や Poison theory が有力視されている。また、この脳の知覚と平衡感覚のずれ以外のVR酔いの原因として、自分が予測している感覚や記憶している感覚の間のずれ等も知られている[2]。

これまでに、VRコンテンツの開発を行ってきたメーカーである Valve 社や Oculus 社、Google 社、またゲームエンジンを開発している Unity Technologies 社や Epic Games 社のような各社が VR酔いしにくいコンテンツ制作のためのテクニックを公開した。その中では主に、VR空間内でのプレイヤーの視点切り替えにワープ移動を用いる等の、映像技術による対処が検討されてきた。しかし、VRでワープ移動を用いると、VR空間を移動しているといったVR体験の没入感が大幅に削がれてしまうという問題がある。

そこで本研究では、ハプティクス技術を用いて VR ユーザに直感的な操作感と高い没入感を与えることで VR酔いの低減を目指した。ドライビングシミュレーションの使用時における被験者の脳波を測定した結果、ハプティクスデバイスが VR酔い対策として有効であることがわかった。

2. 実験方法

2.1 実験の概要

2.1.1 実験の動機付け

VR酔いを引き起こす主な原因として、

- ① 視覚情報と平衡感覚の不一致、
- ② 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、そ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。作成したシステムは、グローブ型のハプティクスデバイスを用いたドライビングシミュレーションである。①について、VR環境内のハンドルを握った際にグローブが振動し、実際に手に持っているかのような感覚を再現することで VR空間と現実世界での不一致を少なくし、没入感を高めることで改善を図る。②について、VR環境内のハンドルを用いて自動車の操作方法を現実世

界の自動車等と同じにすることで、ユーザが直感的に操作できるようにした。

2.1.2 実験方法

2.1.2.1. SSQ アンケートによる測定

VR酔いの程度の測定方法としては、表1に示す Simulator Sickness Questionnaire (以下 SSQ)というアンケートを用いる。SSQアンケートは、Kennedyらがシミュレータ酔い(VR酔いとほぼ同義)に対してその影響度の程度を主観的に評価するために開発されたものである[5]。16項目の症状について、全くなければ0、少しあれば1、中程度にあるならば2、大いにあるならば3といったスコアを表の○の部分に記入する。それぞれのSSQコンポーネントは7つの症状のスコアを足し合わせて、重みを掛け合わせることで得られる

- ① 吐き気：吐き気や胃部不快感を表す
スコア：[1]×9.54
- ② 動眼神経：眼精疲労やかすみ目等目の疲れを表す
スコア：[2]×7.58
- ③ 失見当識：めまいなど体のふらつき感を表す
スコア：[3]×13.92
- ④ トータルスコア：([1]+[2]+[3])×3.74

数値が0に近い程VR酔いの程度が小さいことを示す。

表1 SSQ アンケート
 Table 1 SSQ questionnaire.

SSQアイテム	吐き気	動眼神経	失見当識
1.一般的な不快感	○	○	
2.倦怠感		○	
3.頭痛		○	
4.眼精疲労		○	
5.焦点を合わせるのが難しい		○	○
6.唾液分泌の増加	○		
7.発汗	○		
8.吐き気	○		○
9.集中力の低下	○	○	
10.頭の膨満感			○
11.かすみ目		○	○
12.めまい(目を開ける)			○
13.めまい(目を閉じた)			○
14.めまい			○
15.胃の認識	○		
16.げっぷ	○		
合計	[1]	[2]	[3]

2.1.2.2. 脳波による測定

VR酔いの測定として脳波による解析も行う。細田らは、動揺暴露中の被験者の脳波、心電図の変化と乗り物酔い発症との関連について報告している[6]。後頭部の脳波の波形解析結果より、乗り物酔い発症者の脳波は乱れ、規則性が消失することを示している。この研究結果と乗り物酔いを起こす原因とVR酔いを起こす原因が似ていることから、後頭部の脳波解析を行い、脳波の乱れを評価することでVR

酔い低減効果の評価ができると考えた。

2.2 実験環境

2.2.1 実験に使用した装置

(1) HTC VIVE

図1に示すデバイスが、2016年にHTC社から発売されたVRヘッドセットである。リフレッシュレートは90Hz、解像度は片目あたり1080×1200ピクセル、視野角は110°である。VR用のHMDはスマートフォンのジャイロ機能や映像を用いる「スマホセットタイプ」、PCやゲーム機などの外部の機器を利用する「PC・ゲーム機連動タイプ」、スマートフォンやPCやゲーム機を必要とせず単独で動作する「スタンドアロンタイプ」の三種類に分類することができ、このHTC VIVEは「PC・ゲーム機連動タイプ」である。



図1 HTC VIVE ヘッドセット
Figure 1 HTC VIVE Headset.

(2) MANUS Haptic Prime X

図2に示すデバイスが、2021年にMANUS VR社から発売されたグローブ型のハプティクスデバイスである。ハプティクスデバイスとは、コンピュータの中の仮想空間に置かれている物体と接触時の触覚を実世界にあったかのように操作者に提示する装置のことである。本実験で使用したMANUSでは、指先に装着されている振動アクチュエータによって、VR空間内でオブジェクトに触れた際に実際に触れているような感覚が再現される[7]。後述するUnityに対しても開発用のプラグインが提供されており、グローブ用の設定が容易になっている。

(3) VIVE Tracker

図2に示すMANUSの甲の部分に装着しているデバイスが、VIVE社から発売されているトラッカーである。接続することで自己位置のリアルタイムトラッキングを行うことができ、SteamVRに接続し使用することで、Unity上でMANUSを現実世界と同じように動かすことができる。



図2 MANUS Haptic Prime X と VIVE Tracker
Figure 2 MANUS Haptic Prime X with VIVE Tracker.

(4) 使用PCスペック

OS : Windows10 バージョン 20H2

プロセッサ : Intel Core i5-8400 2.8GHz

RAM : 16.0GB

ディスプレイ-リフレッシュレート : 240Hz

グラフィックボード : NVIDIA GeForce GTX 1060 6GB

PCのスペック不足によってフレームレートが下がり、仮想空間に反映される現実世界での動作が遅れ、脳が予測する次の瞬間の認識と、視覚情報が捉える実際の動きにズレが生じることでVR酔いを引き起こしやすくなることがある。本実験で使用したPCはVIVE社の推奨PCスペックを満たしているため、実験結果に影響を与えないものと考えられる。

(5) Emotiv EPOC 脳波計

脳波測定用の装置が、Emotiv社Emotiv EPOC脳波計である。Emotiv EPOCは14チャンネルの電極を持ち、国際臨床神経生理学会連合(IFCN)により推奨されている国際10-20電極配置法に従って配置されている。本実験ではVR酔いの程度の評価を行うために、後頭部に配置されたP7, O1, O2, P8の4つの電極を用いて計測を行う。

(6) Wii board

重心揺動計の測定には、バランスWiiボードを使用した。重心揺動計にするために兵頭勇己氏によって作成されたバランスWiiボードの重心揺動計ソフトウェアWBSS_Analysis [8]を導入している。これにより重心揺動を測定する。

2.2.2 実験1で使用したVRコンテンツ

VR酔いの影響を調べる実験のために、MANUS VR社が提供するMANUSのUnity用のプラグインを用いて、図3に示すハンドシミュレーションを作成した。VR環境内では①球体、円柱、立方体を持ち上げる②スイッチやボタンを

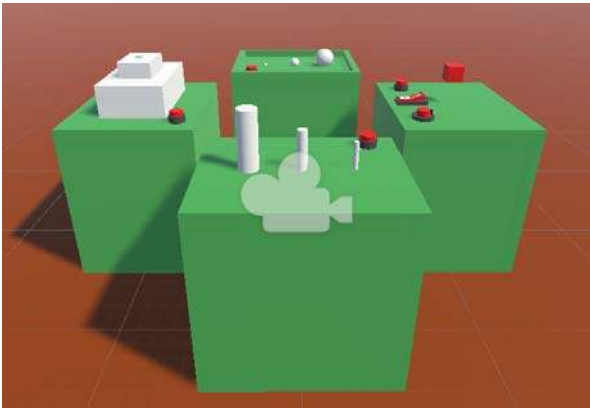


図3 実験1で使用したVRコンテンツ
Figure 3 VR content used in Experiment 1.

押すことができる。

2.2.3 実験2で使用したVRコンテンツ

Unity Technologies 社が提供するゲーム開発用プラットフォームである Unity を用いて VR 酔い程度の計測するために作成したドライビングシミュレーションを図4に示す。画面中央にあるハンドルを左右に回転させることでタイヤの向きを調節することができ、画面右側にあるボタンによって前進と後退を切り替えることができる。シミュレーションを行う舞台は、Unity で作成した。



図4 実験2で使用したVRコンテンツ
Figure 4 VR content used in Experiment 2.

2.2.4 実験3で使用したVRコンテンツ

実験3で使用したVR映像は、以前の研究で使用したドライビングシミュレーションを使用した[9]。このライビングシミュレーションの走行ルートを図5に示す。このドライビングシミュレーションは自動操縦で決められたコースの上を周回し続ける。このときハプティクスデバイスによりハンドルを持っている感覚を感じられるように振動を与えるため、ドライビングシミュレーションを改造して、コースを走る車の速度やルートの調整した。また、ハンドルを持っている感覚を与えても視覚的な違和感が無いように、表示画面上に簡易的なハンドルが表示されるように改造した。



図5 実験3で使用したドライビングシミュレータ
Figure 5 Driving simulator used in Experiment 3.

3. 実験と考察

3.1 被験者

実験を行うにあたって、被験者にヒアリングを行い体調が良好である事を確認して、実験の目的と測定方法をあらかじめ伝えた。また、「大分高専 ヒトおよび動物を対象とする研究に関する倫理審査規定」に基づいたインフォームドコンセントを被験者から得て、実験に協力していただいた。SSQ アンケートは主観評価となっているため、事前に実験内容を理解しているかによって実験結果が左右される。本実験では被験者に実験前後の状態を意識してもらったことで、有用なデータを得ることができたと言える。

3.2 実験1

予備実験として、グローブ型のハプティクスデバイス(以下 MANUS)を用いることで VR 酔いの程度に影響があるかを調べるために、2.2.2 に示す VR 環境を用いて測定を行った。

3.2.1 実験1の方法

実験内容としては、被験者は①VR映像のみを見ている場合、②実際に操作している場合の2パターンでSSQアンケートによるVR酔いの程度の測定を行う。

被験者が見る映像として、辺りを見回したり物を持ち上げたりする映像をVR用に撮影した。VR酔いを誘発させるために、それぞれの動作を大きめに実行した。例として、視点の移動を早くすることで視覚情報と平衡感覚のずれを意図的に誘発させた。

実際の測定では、図5に示すように被験者に十分なスペースを確保し立位で行った。実験中に被験者がHMDとPCを接続するためのコードに足を引っ掛けると危険なので、その都度声かけを行った。

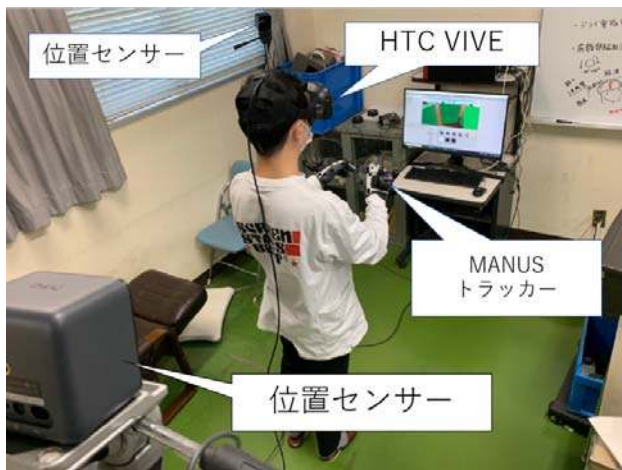


図5 実験1の測定環境

Figure 5 Measurement environment of Experiment 1.

3.2.2 実験1の結果

被験者は健康な男性3名とし、測定回数はそれぞれ1回ずつである。実験1から得られた結果を表1に示す。表2の各SSQ項目においてNは吐き気(Nausea), Oは動眼神経(Oculomotor), Dは失見当識(Disorientation), Totalはトータルスコアを表す。実験結果のトータルスコアに着目すると、映像のみの場合よりも、MANUSによる操作ありの方がVR酔いをしにくい傾向にあることが分かった。

表2 実験1でのSSQアンケート結果

Table 2 SSQ questionnaire results in Experiment 1.

SSQ項目		被験者1	被験者2	被験者3
映像のみ	N	0.00	9.54	28.62
	O	22.74	15.16	45.43
	D	13.92	13.92	69.60
	Total	14.96	17.70	52.36
操作あり	N	0.00	9.54	9.54
	O	7.58	7.58	30.32
	D	13.92	13.92	69.60
	Total	7.48	11.22	37.40

3.2.3 実験1の考察

SSQトータルスコアを映像のみの場合とMANUSを用いた操作ありの場合で比較すると、トータルスコアが減少していることから、ハプティクスデバイスによってVR酔いを低減できたと考えられる。しかし、失見当識のスコアが改善されていないことから、単に没入感を高めただけで改善されない問題がVRヘッドセットそのものにあると考え、それがVRヘッドセットの「目の前にディスプレイがあり、強い光を浴びる」という特性によるものであると考えた。

また、SSQアンケートは主観評価であるので個人差がス

コアに大きく影響を及ぼす。被験者1と被験者2は車酔いを感じにくくVRを体験したことがあり、被験者3は車酔いをしやすくVRを体験したことがない人物である。被験者3のスコアに着目すると、被験者1と被験者2に比べてスコアが大きくなっている。このことから、乗り物酔いとVR酔いの発症しやすさには相関があることが分かった。これは、VR酔いを発症する原因と乗り物酔いを発症する原因が似ていることに起因すると考えた。

3.3 実験2

MANUSを用いて作成したドライビングシミュレーションを用いてVR酔い程度の計測を行った。ドライビングシミュレーションを用いた理由は、主なVR酔いの原因となっている「視覚情報と平衡感覚のずれ」や「自分が予測・記憶している感覚とのずれ」を再現するためである。車に乗っていることを視覚情報から認識させ、加速・減速やカーブなどによって平衡感覚にずれを生じさせるためである。

3.3.1 実験2の方法

実験内容は、被験者は①MANUSを用いてドライビングシミュレーションを行った場合と②VR映像のみの場合の2パターンでSSQアンケート及び後頭部の脳波測定によってVR酔い低減効果の評価を行った。

ドライビングシミュレーションを用いて測定を行ったため、実験中の体勢は図6に示すような座位とした。また、VRヘッドセット使用中の脳波測定方法として、Emotiv EPOCを用いて図6に示すようにリアルタイムで脳波測定を行った。頭を覆う形で使用するEmotiv EPOCとHMDを併用するため、Emotiv EPOCで使用している電極にあるフェルト部に十分に食塩水をなじませて、HMD装着時にEmotiv EPOCが初期の安定位置からずれても安定して脳波を読み取れるように調整した。

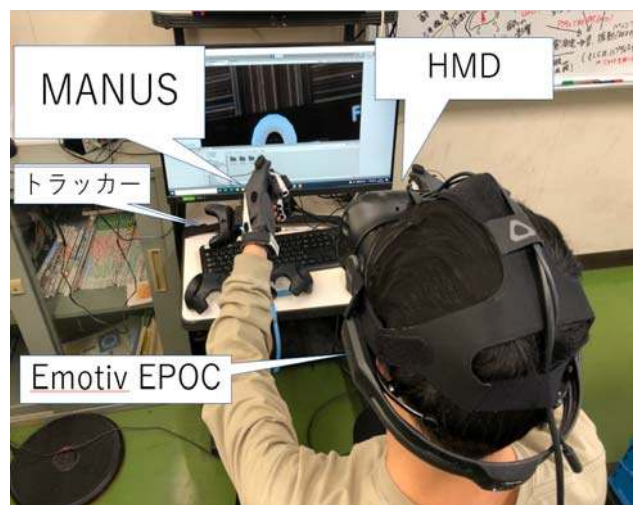


図6 実験2の測定環境

Figure 6 Measurement environment of Experiment 2.

3.3.2 実験2の結果

被験者は健康な 20 歳の男性 5 名とし、慣れを防ぐために、測定回数はそれぞれ 1 回とする。図 7 に被験者全体の平均値を計算した SSQ アンケートの結果を示す。

脳波の測定は、脳波測定用電極とグランド電極との電位差で測定した。5 人の後頭部脳波の測定結果の平均値を算出し、ハプティクスデバイスありの場合を図 8 に、映像のみの場合を図 9 に示す。

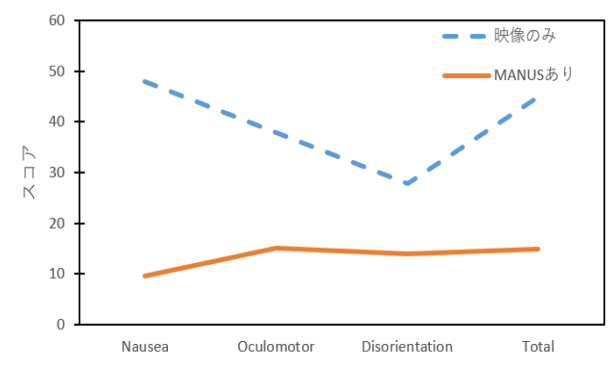


図 7 実験 2 での SSQ アンケート結果

Figure 7 SSQ questionnaire results in Experiment 2.

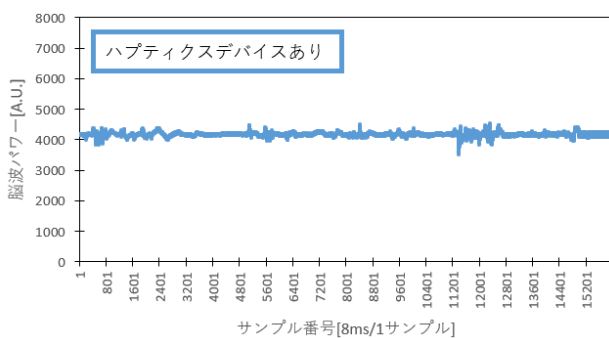


図 8 MANUS 装着した被験者 5 人の後頭部脳波平均値

Figure 8 Mean value of occipital EEG of 5 subjects wearing MANUS

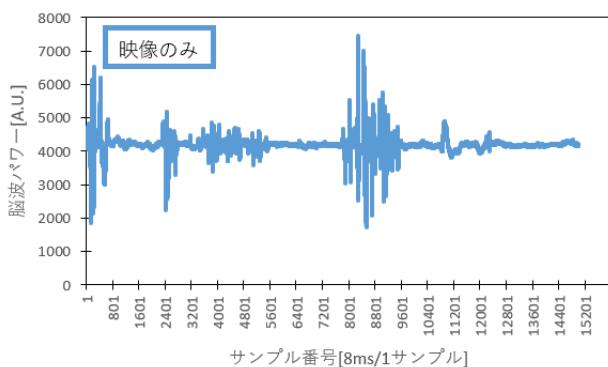


図 8 MANUS 未装着被験者 5 人の後頭部脳波平均値

Figure 8 Mean value of occipital EEG of 5 subjects without MANUS

3.3.3 実験2の考察

いずれの電極から得た脳波からも、MANUS を用いてドライビングシミュレーションを行った結果、映像のみの場合の、4 つの電極から取得した脳波パワーの平均振幅は 1282.44 であったのに対して、MANUS を用いると脳波パワーの平均振幅は 5703.72 であった。このことから、MANUS を用いたことで脳波の振幅（乱れ）が 20%程度まで軽減されたことが分かる。また、SSQ アンケートの結果から MANUS を用いることで映像のみの場合に比べて VR 酔いを低減できたことが確認できた。このことから、VR のドライビングシミュレーションにおける「視覚情報と平衡感覚のずれ」や「自分が予測・記憶している感覚とのずれ」を、MANUS を用いて解決することで VR 酔い低減効果が得られたと言える。

また得られた脳波の波形について、VR 映像のみの場合のサンプル番号 8000~9000 付近の脳波に大きな揺らぎが見られる。実験中に Emotiv EPOC の接続が安定していたことを確認しているため、脳波の乱れが電極のズレによるものではないと言える。車が壁に衝突しそうになった際に衝撃を予測して興奮・緊張したことが脳波に影響を与えたことが原因であると考えた。

3.4 実験 3

3.4.1 実験 3 の方法

実験 3 では VR の世界への事前の慣れを行わずに実験し、VR 映像のみと VR 映像とハプティクスデバイスの 2 パターンで測定を行い、重心揺動の結果をキャプチャし、それぞれの軌跡を記録した。

実際の測定環境は図 10 のようになっている。重心揺動計を同じ高さの椅子を 2 個並べて設置した。図 10 のモニター映像が、実際に被験者の VR ゴーグルの映像である。また、ハンドルを可視化し VIVE Tracker と MANUS Core Dashboard という MANUS Prime X Haptic VR を動かすためのアプリを用いて画面上に手を映し出している。

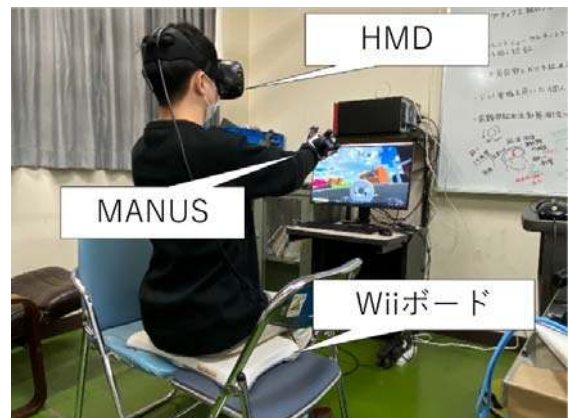


図 10 実験 3 の測定環境

Figure 10 Measurement environment of Experiment 3.

3.4.2 実験3の結果

実験結果を図に示す。図 11 と図 12 を比較すると、ハプティクスデバイスを用いたことで左右のぶれが増加していることが分かる。



図 11 VR 映像のみ視聴時の重心揺動の測定

Figure 11 Measurement of center of gravity fluctuation when watching only VR video.

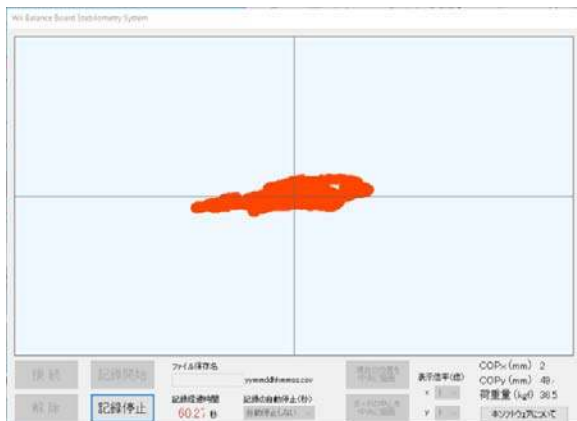


図 12 ハプティクスデバイスを用いて VR 映像視聴時の重心揺動の測定

Figure 12 Measurement of center of gravity fluctuation when watching VR video using a haptics device

3.4.3 実験3の考察

重心のぶれは上下でほとんど変わらず左右のぶれだけが大きく変化している。これはドライビングシミュレーションということもありハプティクスデバイスを利用することでハンドルを動かしている感覚を与えているため、ハンドル操作をしようとしている体のぶれが重心揺動のぶれへ影響を与えたと考えられる。実験する映像とハプティクスデバイスの兼ね合いにより、ドライビングシミュレーションでの VR 酔いの検出において、重心揺動計を用いる方法は有効ではなかった。しかし、重心揺動のぶれの大きさが VR 空間への没入率の高さに反映されると考える。

4. 結言

本研究では、指先ハプティクスデバイスである MANUS を用いて VR 酔いを低減する事を目的として研究を行った。その結果、SSQ アンケートによる主観的な評価からも、後頭部の脳波からも、VR 酔いが低減できたことを確認した。しかし、重心揺動の測定から、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。動きを伴うゲームなどに対しては、重心揺動よりも、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。

謝辞 多くの知識やご指摘を下さいました研究室の皆様へ深謝いたします。また、本実験に被験者として協力して頂いた皆様に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- [1] 神原誠之, 基礎 1 拡張現実感(Augmented Reality:AR)概論. 情報処理学会論文誌, Vol. 51, No. 4, p.367-372 (2010).
- [2] “VR 酔い対策について”. FRAME SYNTHESIS, <https://framesynthesis.jp/tech/motionsickness/>, (参照 2022.02.14).
- [3] 平柳要, 乗り物酔い(動揺病)研究の現状と今後の展望, 人間工学, Vol. 42, No. 3 (2006).
- [4] 財団法人 機械システム振興協会, 映像酔いガイドライン検証システムの実用化に関するフィージビリティスタディ報告書 (2008).
- [5] Kennedy R.S., Lane N.E., Berbaum K.S., Lilienthal M. G., Simulator Sickness Questionnaire: An Enhanced Method for Quantifying Simulator Sickness, The International journal of aviation psychology, 3 (3), p.203-220 (1993).
- [6] 細田龍介, 有馬正和, 桜井秀一, 貴田昭臣, 船舶の乗り心地評価に関する研究(第3報)—乗り物酔い発症時の生理的变化の計測—, 日本造船学会論文集, 176, p.517-524 (1995).
- [7] 黄健, 次世代マルチメディアサービスへの期待:ハプティクスデバイスによる力感覚の提示とその応用, 近畿大学次世代基盤技術研究報告書, Vol.1, p.45-50 (2010).
- [8] 兵頭勇己: WBBSS Ver_2.1, <https://researchmap.jp/yhyohdoh> (参照: 2022年2月14日).
- [9] 井上晴天, 坂口冨太郎, 鶴 浩二, 姿勢揺動による VR 酔いの検出, 火の国情報シンポジウム 2020 (九州工業大), 講演論文集 C1-3 (2020).