

愛知工業大学大学院経営情報科学研究科

博士論文

VR 酔い抑制の研究

仮想水平フレームと視野制限によるシステムの開発

**Research on VR Sickness Suppression
Development of a System Utilizing Virtual Horizontal Frames
and Field of View Restriction**

2024 年 3 月

B18803 黄赫曦

指導教員：鳥居一平 教授

目次

序章	1
第1章 仮想現実環境における研究概要と枠組み	3
第1節 本研究の背景	3
1 仮想現実（VR）の概要	3
2 メタバースとVRの関連性	3
3 VRがメタバース形成に果たす役割	4
4 異なる分野でのVRの潜在的な貢献	6
5 VRの課題と挑戦	9
第2節 本研究の目的	10
1 VR酔いとは	10
2 本研究における着目点	11
3 本研究で最終的に解決する目標	12
第3節 本論文の構成	13
参考文献	15
第2章 VR酔いと症状抑制の原理	16
第1節 VR酔いと動揺病について	16
第2節 VR環境が身体に及ぼす健康被害の主要因	17
1 光刺激負荷型について	18
2 空間情報混乱型について	19
第3節 VR酔いの原因	20
1 視覚誘導性自己運動感覚(ベクシオン)	20
第4節 VR酔いの抑制方法	21
1 VR環境と自然環境の一致	22
2 周辺視野の調整	22
3 注視点の設置	24
第5節 国内外の研究状況	25
1 国外	25
2 国内	27
参考文献	30
第3章 酔いを誘発するコンテンツ作成	32
第1節 コースターの作成	34
第2節 シューティングコンテンツの作成	39

第3節	アクションゲームの作成	41
	参考文献	44
第4章	仮想フレームの開発	45
第1節	仮想水平フレームのシステム	45
第2節	フレーム回転プログラム	54
第3節	フレーム設定プログラム	56
第5章	実験	59
第1節	実験手順	59
第2節	SSQの計測	61
第3節	脳血流の測定	63
第4節	心拍数によるVR酔いの生理的指標計測	64
	参考文献	71
第6章	実験結果	72
第1節	SSQによる評価	72
第2節	脳血流の結果	75
第7章	総括	81
第1節	まとめ	81
第2節	今後の展望	82
	参考文献	85
	謝辞	86
	研究業績	87

表 1	VR 技術の分野別影響.....	6
表 2	VR 酔いの主な症状と不快指数.....	17
表 3	動揺病の分類.....	17
表 4	SSQ の主観評価項目.....	62
表 5	実験の手順.....	67
表 6	被験者グループ A の平均心拍, 最大心拍.....	69
表 7	被験者グループ B の平均心拍, 最大心拍.....	70
図 1	PTSD 治療.....	7
図 2	新加坡都市計画と建設のコンセプト図[7].....	8
図 3	育碧会社のノートルダム大聖堂の画像[8].....	9
図 4	VR 酔いの主な症状と不快指数.....	17
図 5	感覚矛盾説.....	20
図 6	人間の視野.....	24
図 7	ヨー, ピッチ, ロール軸に対する回転運動.....	33
図 8	ヨー, ピッチ, ロール軸に対する回転が映像で与えられた場 合の回転速度に対する映像酔い主観評価値.....	33
図 9	ジェットコースター α	34
図 10	ジェットコースター α の鳥瞰図.....	34
図 11	ピッチ軸回転 急降下, 一回転.....	35
図 12	ロール軸左回転.....	35
図 13	ヨー軸右回転.....	35
図 14	ヨー軸左回転.....	36
図 15	全体図(コースのみ).....	37
図 16	ロール軸回転.....	37
図 17	ピッチ軸回転.....	38
図 18	ヨー軸左回転.....	38
図 19	ヨー軸右回転.....	39
図 20	コースの全体図.....	40
図 21	ロール軸回転.....	40
図 22	ピッチ軸回転.....	40
図 23	ヨー軸左回転.....	41

図 24 直進	41
図 25 全体図	42
図 26 プレビュー	42
図 27 しゃがみで通れる障害物	43
図 28 ジャンプで通れる障害物	43
図 29 水平線部分	45
図 30 リング部分	45
図 31 仮想水平フレーム	46
図 32 視界での仮想フレーム 1	47
図 33 仮想フレーム 2	48
図 34 仮想フレーム 2	48
図 35 仮想フレーム 3	49
図 36 フレームのデザイン案	49
図 37 全画面画像配置型	50
図 38 全画面画像配置型	51
図 39 全方向包囲型	52
図 40 全方向包囲型	52
図 41 左右付き水平リング型	53
図 42 実際の視界での仮想水平フレーム	53
図 43 水平リングのデザイン	54
図 44 プログラムのフローチャート	55
図 45 回転機能のソースコード (一部抜粋)	56
図 46 位置調整のソースコード (一部抜粋)	58
図 47 実験の手順	61
図 48 脳血流計(NIRS)	63
図 49 心拍数計 Garmin ForeAthlete235J	65
図 50 血管の収縮時の光の動き	65
図 51 血管の拡張時の光の動き	66
図 52 実験風景	67
図 53 被験者グループ A の心拍数	69
図 54 被験者グループ B の心拍数	70
図 55 【コースター α 】 SSQ の各項目の平均	73
図 56 【コースター β 】 SSQ の各項目の平均	74

図 57	【シューティング】 SSQ の各項目の平均.....	74
図 58	【アクションゲーム】 SSQ の各項目の平均.....	75
図 59	【コースター α 】 の oxy-Hb の平均.....	76
図 60	【コースター β 】 の oxy-Hb の平均.....	77
図 61	【シューティング】 の oxy-Hb の平均.....	77
図 62	【アクションゲーム】 の oxy-Hb の平均.....	78
図 63	【コースター α 】 oxy-Hb の波形.....	78
図 64	【コースター β 】 oxy-Hb の波形.....	79
図 65	【シューティング】 oxy-Hb の波形.....	79
図 66	【アクションゲーム】 oxy-Hb の波形.....	80

序章

VR（仮想現実）技術は、21 世紀の先端技術として注目されている。これは物理環境を驚くほどリアルにシミュレートし、コンピューターが生成する仮想の世界にユーザーを没入させ、まるで実際にその場に存在しているかのような感覚を提供する画期的な技術である。この技術の進展は、教育、医療、エンターテインメントなど多岐にわたる分野で新たな可能性を切り開き、ユーザーエクスペリエンスを根本的に変革する可能性を秘めている。

しかしながら、VR の進化と共に新たな問題が浮かび上がってきた。その中でも特に注目されているのが、VR 酔いと呼ばれる問題である。VR 酔いは、VR 体験において発生する症状であり、主に眼精疲労、視覚障害、そして空間認識機能の混乱などが挙げられる。これらの症状は、仮想空間での動きが現実と異なることや、視覚と平衡感覚の不一致から引き起こされるものとされている。

VR 酔いの問題は、VR 技術の普及において大きな制約となっている。この問題を解決するために、世界中で様々な研究が行われており、その中には異なるアプローチが提案され、有効性が検証されている、本研究もその一環として位置づけられる。具体的には、仮想水平フレームと視野制限を組み合わせたシステムを構築し、VR 酔いの症状を軽減することを目指している。

研究手法としては、シミュレーター酔いアンケート（SSQ）や心拍数、脳血流など、複数の客観的な測定手法が導入される。これにより、提案されたシステムの有用性が評価され、既存のアプローチとは異なる新たな解決策の可能性が提示されるであろう。

本論文は総じて全 7 章から構成されている。第一章では、進化する VR 技術に伴って生じた新たな課題に焦点を当て、それに対処するための本研究の位置づけを明確にした。続いて、VR 酔いの問題に焦点を当て、既存の研究動向や問題点に触れ、仮想水平フレームと視野制限といった新たなアプローチを紹介した。

また、本文の具体的な構造について、第一章で紹介した問題に対処するための手法と各章の内容を概説する。各章が論文全体の流れにどのように貢献するかを示した。本研究が提供する新しい知見が、VR 酔いの問題への理解を深め、VR 技術の可能性を拓く一助となることが期待される。

課題研究の展望として、本研究の成果が今後の VR 技術の発展にどのように寄与するかについて考察する。VR 技術は教育、医療、エンターテインメント分野で大きな変革をもたらす可能性がありますが、その一環として VR 酔いの問題に対処することが重要である。

最後に、第一では本論文の構成について詳細に紹介し、各章が論文全体の流れにどのように貢献するかを示した。この研究を通じて、VR 酔いの問題に焦点を当て、その解決に向けた新しい知見を提供し、VR 技術の持つ可能性を広げることが本研究の目標となっている。

第1章 仮想現実環境における研究概要と枠組み

第1節 本研究の背景

1 仮想現実 (VR) の概要

仮想現実 (VR) は、物理環境をシミュレートするコンピューター生成の世界にユーザーを没入させる技術である。ユーザーが仮想世界の中にいるような臨場感を生み出し、現実世界と同じようにオブジェクトや環境とやり取りする。VR テクノロジーは、ハードウェアとソフトウェアの組み合わせを使用し、存在感を生み出すことができる。

VR の主要コンポーネントは、ユーザーに画像や音声を投影するウェアラブル デバイスであるヘッドマウントディスプレイ (HMD) である。これは通常、ユーザーの目の近くに配置された1つまたは複数のスクリーンで構成され、わずかに異なる 2 つの画像を投影して立体効果を生み出すことができる。これにより、ユーザーは奥行きを知覚し、3 次元空間にいるような感覚を得ることができると考えられる。VR システムは、HMD に加え、ハンドコントローラーやボディースーツなどのさまざまな入力デバイスも使用して、ユーザーがより自然で直感的な方法で仮想環境と対話できるようにした。入力デバイスには通常、ユーザーの動きを追跡してコンピューターシステムに送信するセンサーが装備されており、コンピューター システムはそれに応じて仮想環境をリアルタイムで調整する。

VR テクノロジーのもう1つの重要なコンポーネントは、仮想環境を生成およびレンダリングするコンピューターソフトウェアである。このソフトウェアは、環境とその中のオブジェクトのデジタルシミュレーションを作成し、リアルタイムでレンダリングして、ユーザーにスムーズで応答性の高いエクスペリエンスを作成する。このソフトウェアは、仮想世界内のオブジェクトの物理と動作をシミュレートし、現実世界と同じように動作させるように設計されている。

VRは近年ますます重要性を増しており、その潜在的なアプリケーションはエンターテイメントやゲームの領域を超えて広がっている。その一つが「メタバース」である。

2 メタバースと VR の関連性

メタバースという言葉は、メタ（ギリシャ語の接頭辞でポスト、後、またはその先を意味する）とユニバースという 2 つの構成要素を含む閉じた複合語である。言い換えれば、

メタバースはポスト現実の宇宙であり、物理的現実とデジタル仮想性を融合した永続的かつ永続的なマルチユーザー環境である[1]。メタバースは、より高度で相互接続されたデジタル領域を提供する、インターネットの将来を構想する先見的な概念を表している。これは、個人が単一のデジタル環境内で仕事、レジャー、ショッピング、社交、創造的な追求の間をシームレスに移動できる、変革的なコンセプトである。このメタバースの正確な性質と構造は、現在進行中の議論対象である。特に、Meta（旧 Facebook）のような企業は、メタバース内での没入型エクスペリエンスの作成に多大な投資を行っている。この没入型エクスペリエンスにより、ユーザーはウェアラブル ハードウェアを通じて仮想現実を受け入れ、物理的な現実を超えてアバターを通じて他のユーザーと交流できるようになる。

メタバースは人工知能（AI）と組み合わせることでさらに大きな可能性を秘めている。例えばAI技術は、例えばAI技術は、コンテンツを厳選し、アクティビティを提案し、個人の好みに適応することを目指している。これにより、メタバース内で、パーソナライズされたエクスペリエンスを享受できる可能性がある。

このようにメタバースが進化し続けるにつれ、メタバースは生産性、創造性、社会的接続性のハブとなる可能性がある。AI の支援により、個人はメタバースを活用して生産性を向上させ、他のユーザーと協力し、個人の成長と充足のための新しい道を切り開くことができる。

3 VR がメタバース形成に果たす役割

メタバースの拡大において、VR は重要な役割を果たす。メタバースにおけるVRの重要な機能の1つは、ユーザーが仮想環境で相互に対話できる没入型仮想体験を提供することである。例えば触覚技術を使用することで、VR はユーザーによりリアルな体験を提供し、仮想世界に実際に存在しているかのように感じさせることができる。

VR 技術の主要コンポーネントである HMD は、2016 年以降、比較的低価格の HMD が数多くリリースされたことで、一般大衆にとってより身近なものになった。その結果、家庭用ゲームやアミューズメント施設などの形で VR コンテンツが広く利用されるようになった。これにより、VR コンテンツの一般的な認知度が高まり、VR テクノロジーの主流採用に貢献した。

ここで、VRの具体的な利用例とその将来性に関して述べる。例えば、VR を使用して仮想市場やオンライン ショッピング体験を提供することができる。より多くの企業やブランドがメタバースに参入するにつれて、VR により、消費者はより没入型でインタラクティブな方法で仮想製品やサービスを探索できるようになっている。これにより、オンラ

インでの買い物やブランドとのやり取りの方法が変わる可能性がある。

別の例として、VR は医療や教育などの分野でも大きな可能性を秘めている。医療分野では、VR はトレーニング目的で使用でき、医療専門家はシミュレートされた環境で複雑な手順を練習できる。教育では、VR は没入型の学習体験を生み出し、学生が歴史的または科学的な概念をよりインタラクティブな方法で探求できるようにする。名古屋大学の Katashi Nagao 教授が実施した研究では、教育メタバースの模範的な事例として大学キャンパスの仮想化が紹介されている。具体的には、学生が VR 講義やトレーニング活動に参加できるデジタル キャンパスを作成することで、臨場感や双方向性の欠如などのオンライン教育の限界に対処している。この研究は、VR とメタバースの深い関係に焦点を当てており、学生の参加と学習成果を最適化する仮想空間の作成を通じて、VR がいかに教育に革命をもたらす力を持っているかを示している[2]。

メタバースを強力に推進している Facebook は、2021 年 10 月 28 日に社名を Meta に変更した。このブランド変更の背後にある主な目的は、主にソーシャル メディア プラットフォームからメタバース開発のリーダーになることへの同社の焦点の移行を反映することであった。彼らが言うところのメタバースは、物理世界とデジタル世界を融合した集合的な仮想共有スペースであり、拡張現実 (AR)、仮想現実およびその他の没入型テクノロジーが含まれている。Meta の CEO である Mark Zuckerberg は、社名変更は会社の新しいビジョンを意味すると説明し、テクノロジーとコミュニケーションの未来を形作る上でのメタバースの重要性を強調した[3]。

メタバースの重要性は、工業情報化部、教育部、文化観光部、国家政府を含む中国のさまざまな政府機関が 2023 年 8 月 29 日に発行した「メタバース産業革新発展 3 年行動計画 (2023 年～2025 年)」公式通知によって強調されている[4]。この通知では、メタバースの重要性を強調し、イマージブ ディスプレイ 端末の普及やメタバース関連コンテンツの作成など、さまざまな側面をカバーするメタバースに関連する複数の開発目標を提示している。さらに、この通知は、VR デバイスの利用と、補完的なメタバース コンテンツの同時開発に関連する計り知れない可能性を強調している。

イノベーション、経済成長、文化発展の中心としてメタバースを公式に承認したことは、研究テーマとしての関連性をも強調している。また、主要な世界的プレーヤーとしての中国の地位を考慮すると、メタバース開発が中国国内だけでなく世界規模で広範に影響することも指摘している。中国のメタバース市場は巨大であり、参加したい人は誰でもこのガイダンスに関連すると考えられる。これらの発展を考慮すると、メタバース、VR デバイス、およびコンテンツ開発に関連するトピックのこのホワイト ペーパーの探求は、非常に適切でタイムリーである。

VR は、メタバースの概念を実現するための極めて重要なツールであり、将来の社会の発展、技術の進歩、人間社会の向上において、その役割はますます重要になると考えられる。ここではVRの領域と影響、および具体例（表1）を挙げることで、その役割に関して述べる。

4 異なる分野での VR の潜在的な貢献

表1 VR技術の分野別影響

領域	影響	具体例
(1) 没入感とインタラクション強化	個人はデジタル環境に没頭でき、より深い体験可能	学生の歴史探索、スキル開発のシミュレーション、仮想交流
(2) 経済的機会	仮想店舗やリモートワークによる新収益源	企業の仮想店舗、リモートワークの促進
(3) ヘルスケアとセラピー	メンタルヘルス治療、リハビリの新しい手段	恐怖症治療、新型コロナ関連のVRET介入
(4) 都市計画と建築	都市景観の作成と建築プロセスの効率向上	「バーチャル シンガポール」の都市計画利用
(5) 文化の保存と遺産	文化遺産のデジタル保存と探索	ユービーアイソフトによるノートルダム大聖堂のデジタル保存
(6) 環境保護の観点から	環境問題への意識向上と訓練の具体的な促進	EPA による環境保護シナリオのVR訓練
(7) 包括性とアクセシビリティ	障害者に包括的な経験の提供	障害者に対する観光のアクセシビリティ向上

(1) 没入感とインタラクションの強化: VRテクノロジーにより、個人はデジタル環境に没頭でき、より奥深いインタラクティブな体験を提供できる。この没入感は、教育、エンターテインメント、トレーニングなどのさまざまな分野に大きな影響を与えるであろう。たとえば、学生は仮想世界で歴史的出来事を探索でき、専門家はスキル開発のために複雑なタスクをシミュレートでき、ユーザーは仮想空間で交流し、物理的な距離に関係なく人々の距離を近づけることができる。

(2) 経済的機会: VR によって実現されるメタバースは、数多くの経済的機会をもたらす。企業は仮想店舗とサービスを確立し、新たな収益源を生み出すことができる。VR テクノロジーは、リモートワークとコラボレーションを促進し、地理的な障壁を減らし、生産性を向上させる。その結果、雇用の機会と経済成長が拡大する可能性がある。

(3) ヘルスケアとセラピー: VR はすでにヘルスケアとセラピーの分野で進歩しており、メンタルヘルスの問題や身体的リハビリテーションを治療するための新しい方法を提供している。VR の没入型の性質は、恐怖症の治療、PTSD の治療、痛みの管理に役立つ。これは個人の全体的な幸福の向上に大きく貢献する。例えば、仮想現実暴露療法 (VRET) は、恐怖症や不安障害の治療において人気が高まっている。一例として Zhang らは、新型コロナウイルス感染症への恐怖を主訴とする精神疾患への介入における VRET の役割を探る研究を実施した。VRET 介入により、新型コロナウイルス感染症への恐怖によって引き起こされる関連症状が大幅に軽減された [5]。米軍でも戦後の兵士の心のケアに頻繁に VRET を使用している。仮想現実暴露療法の非常に成功した例の 1 つは、PTSD 治療システム Virtualira である。患者はヘッドマウント ディスプレイとゲーム パッドを使用して、イラク、アフガニスタン、米国での仮想レクリエーションを通じてハンビーを操作する。外傷性の環境に安全にさらされることで、患者は不安を軽減することを学んだ。バーチャル イラクの歴史を振り返ると、ある研究では、バーチャル イラクによって PTSD 症状が平均 50 パーセント軽減され、参加者の 75 パーセント以上が治療後に PTSD で失格となったことがわかった [6] (図1)。



図1 PTSD 治療[6]

(4) 都市計画と建築: VR は都市計画と建築において重要な役割を果たす。都市計画者は VR を使用して都市景観を作成および視覚化し、持続可能で効率的な都市設計を促

進できる。建築家は、建設前に仮想空間で建物を設計して展示できるため、コストとエラーを削減できる。例えば、「バーチャル シンガポール」は、都市計画における先進テクノロジーの統合を例として示している。これはシンガポールの 3D デジタル レプリカであり、地形データとリアルタイムの動的データの両方を使用して構築されており、都市計画のさまざまな課題に対処するためのシミュレーションと仮想テストを可能にする。この例は、都市開発の未来を形作る VR の変革力を示している[7](図 2)。



図 2 新加坡都市計画と建設のコンセプト図[7]

(5) 文化の保存と遺産: VR により、文化遺産の保存と探索が可能になっている。史跡や遺物をデジタル的に再構築することで、人々がインタラクティブな方法で歴史を体験できるようになり、将来の世代への文化の保存が保証される。例えば、パリのノートルダム大聖堂火災に対し、ユービーアイソフトは開発のためのデジタル スキャン、していた大聖堂の 3D モデル(図3)を提供し、その後の復元作業において極めて重要な役割を果たした。ユービーアイソフトはこのデータを一般の人々がアクセスできるようにし、興味のある人なら誰でも大聖堂の神聖な広間を巡る仮想の旅に乗り出せるようにした[8]。文化財への物理的なアクセスが制限されることがある時代において、このようなデジタルリソースは、世界中の人々にとって、自宅から出ることなくノートルダムのみならず歴史的重要性を賞賛する素晴らしい機会を提供することができる。



図3 育碧公司のノートルダム大聖堂の画像[8]

(6) 環境保護の観点から：VRは、環境保護の実際の取り組みに貢献するために使用できる。環境問題への認識向上だけでなく、具体的な環境保護行動の奨励を通じて、環境保護に対する直接的な影響をもたらすのに役立つ。たとえば、米国環境保護庁（EPA）はノースカロライナ州公安局およびローリー市消防局と協力して、費用対効果の高い訓練シミュレーターを開発した。このシミュレーターは、市販のソフトウェアとハードウェアを活用して、本物のようなトレーニング環境を作成する。これは、化学的、放射線学的、または生物学的事故の後にサンプルを収集し、除染を行う必要がある対応者の訓練効果と状況認識を高めるように設計されている。この環境は、本格的な災害訓練に伴う物流上の課題を軽減するだけでなく、生物表面サンプリング方法と関連手順の使用について救急隊員を訓練するための包括的なツールとしても機能する[9]。

(7) 包括性とアクセシビリティ：VRには、社会をより包括的でアクセスしやすいものにする可能性がある。これにより、障害を持つ個人に、他の方法ではアクセスできない場所や経験を探索する機会を提供し、公平性と包括性を促進できる。前述した文化遺産の保護に関する例は、観光にも適用可能であり、身体障がいのある人々にとって、外出せずに体験を享受することが容易になる。

5 VRの課題と挑戦

結論として、VRはメタバースの文脈において、社会の発展を促進し、技術の進歩を促進し、人間の状態を改善する上で極めて重要な役割を果たす多用途のツールである。さまざまな業界に革命を起こし、没入型でインタラクティブな体験を提供するその潜在力は、相互接続されたデジタル世界と物理世界の未来を形作るのに役立つ。

VR が世界中で広く使用されるようになるにつれて、その課題も徐々に明らかになっている。一例として、ユーザーは、「VR 酔い」として知られる乗り物酔いや 3D 酔いに似た症状を経験することがある。これらの症状には、不快感、吐き気、めまい、頭痛などがある。VR 酔いの重症度と期間は、個人によって大きく異なっている。まったく症状がない人もいれば、数分以内に症状が現れ、回復するのに時間がかかる人もいる。乗り物酔いの頻度もコンテンツによって大きく異なり、急激な動きや視点の切り替えが多い場合にVR 酔いが発生しやすくなる傾向がある。

VR酔い以外にも、VR技術が直面する課題は多岐にわたり、それらに対処することがVRの本格的な展開に向けた不可欠なステップとなった。

まず、VR技術の普及においてはコンテンツの制作と多様性が大きなポイントである。現在、VRの利用者が増加しているにも関わらず、魅力的で多様なコンテンツが限られている。これには技術的な制約や制作コストの高騰が影響している。VRの利用者が様々な興味や需要に対応できるようなコンテンツの増加が求められ、これにはクリエイターと技術者の協力が欠かせなかった。

さらに、VRのハードウェア自体における改善が課題として挙げられる。現行のVRヘッドセットは、一部のユーザにとってはまだまだ大型で重たく、装着感に課題が残る。軽量で快適なハードウェアの開発がVRの利用を一般化するためには重要であり、これには先進的な素材科学やエルゴノミクスの知見が必要である。

また、VR空間におけるセキュリティとプライバシーの問題も深刻である。VRは現実感のある体験を提供するがゆえに、ユーザの個人情報が特に敏感に扱われることになった。これに対処するためには、堅牢なセキュリティプロトコルと法的なフレームワークの整備が必要である。

さらに、VRの教育分野への統合にも課題が潜んでいる。技術の導入とそれを活かした教育方法の開発、教育機関や教師のトレーニングが必要である。これによって、より実践的で没入感のある学習環境が構築されることが期待される。

これらの課題に取り組むことで、VR技術はより安定し、幅広い分野での有益な応用が可能となるであろう。継続的な研究と協力が、VRが社会においてポジティブな変化をもたらすために不可欠である。

第2節 本研究の目的

1 VR 酔いとは

仮想現実技術の出現は、ユーザーに新しい形のエンターテインメントと没入型体験をも

たらした。しかし、VR 酔いの問題は、このテクノロジーの楽しみとアクセシビリティを制限するため、大きな懸念事項となっている。そのため、この研究の研究目的は、VR 酔いの原因をより深く掘り下げ、この問題を軽減できる効果的な解決策を調査することである。

VR 酔いは、ユーザーが自分の体の動きと仮想環境で提示される視覚情報との間に感覚的な不一致を経験したときに発生する乗り物酔いの一種である。これにより、吐き気、めまい、見当識障害など、さまざまな症状が生じる可能性がある。これらの症状は、個人によって重症度と期間が異なり、まったく症状がない人もいれば、深刻な影響を受ける人もいる。VR 酔いの頻度と強度は、視聴しているコンテンツによっても影響を受ける可能性がある。例えば、VR 環境で急激な動きや突然の変化が多い場合、VR 酔いがより頻繁に引き起こされる可能性がある。このため、VR コンテンツの開発者は、VR 酔いを誘発しない魅力的で没入型の体験を作成する方法を見つける必要がある。

VR 酔いについては多くの研究が行われているが、有効な解決策はまだ見つかっていない。その理由の1つは、VR はまだ比較的新しい技術であり、VR における乗り物酔いの原因は従来の乗り物酔いとは異なった。さらに、VR に使用されるハードウェアとソフトウェアに関して標準化が行われていないため、VR 酔いの原因となる特定の要因を特定することが困難になる可能性がある。

2 本研究における着目点

VR 酔いの原因と影響を理解するために、さまざまな設定で多くの研究が行われてきたが、問題に効果的に対処する決定的な解決策はまだなかった。これは、VR が比較的新しい技術であり、VR 酔いの根本的な原因が従来の乗り物酔いとは異なるという事実によるものである。

VR 酔いの問題に取り組むために、研究者はその影響を軽減できる可能性のある解決策を調査し、探求し続ける必要がある。これには、心理学、神経科学、工学などの分野の専門家が関与する学際的なアプローチが必要である。VR 酔いの問題に取り組むために、研究者はその影響を軽減できる可能性のある解決策を調査し、探求し続ける必要がある。これには、心理学、神経科学、工学などの分野の専門家が関与する学際的なアプローチが必要である。

これらの課題にもかかわらず、研究者は VR 酔いの問題に対する潜在的な解決策を模索し続けている。いくつかのアプローチには、VR コンテンツの視野またはフレームレートを調整すること、動きや回転の強度を減らすこと、より没入型で説得力のある VR を開発することが含まれる。VR 技術の開発が進むにつれて、VR 酔いに対する効果的な解決策を見つけることは、この技術をユーザーにとってより広く利用しやすくし、楽しめるものにするために重要である。

3 本研究で最終的に解決する目標

我々の最終的な目標は、VR テクノロジーの全体的なユーザーエクスペリエンスを向上させ、より多くの視聴者がアクセスできるようにすることである。VR 酔いの根本原因を理解し、効果的な解決策を開発することで、VR 技術の進歩に貢献し、世界中のユーザーが VR 酔い体験を存分に楽しめるようにしたいと考えている。コンピューターの処理パフォーマンスと使用環境も VR 酔いに寄与する可能性があることは認識しているが、この研究は主に感覚の不一致の問題に焦点を当てている。我々の研究は、この重要な問題に対する貴重な洞察を提供し、仮想現実技術の分野におけるさらなる進歩への道を開くのに役立つと信じている。

VR 酔いの問題に対処するには、主に2つの方法がある。物理的な刺激と視覚情報への補足情報の提供である。これを実現する1つの方法は、ビデオエフェクトとフィルターをVR コンテンツに適用することである。私たちの研究は、VR を使用するために必要な環境内だけで実現できるため、追加の特別な機器を必要とせずに簡単に実装できるソリューションの開発を目指している。

映像効果やフィルターによる補足情報を提供することで、VR 酔いの主な原因である身体の動きと仮想環境から受け取る視覚情報のミスマッチを軽減することを目指している。我々のソリューションは、VR テクノロジーの全体的なユーザーエクスペリエンスを向上させ、より多くの視聴者にとってアクセスしやすく、楽しめるようにすることを目指している。

追加の機器やリソースへの多額の投資を必要としない効果的なソリューションを提供することの重要性を認識している。これは、多くの場合、新しいテクノロジーの広範な採用に対する障壁になる可能性があるためである。私たちの目標は、その有効性を損なうことなく、簡単にアクセスでき、費用対効果の高い方法で実装できるソリューションを作成することである。

我々の研究では、VR コンテンツに新しいフレームを作成して実装することで、VR 酔いを軽減する新しいアプローチを開発した。飛行機で使用される水平ディスプレイのコンセプトに着想を得て、乗り物酔いを効果的に軽減できると信じているいくつかのフレームを開発した。これらのフレームを仮想水平フレームと名付け、その有効性を検証するために広範な測定を実施した。

我々の研究は、VR 酔いの問題に対処するための実用的かつ効果的なソリューションを提供することを目的としている。実験と測定を通じて、VR 酔いを軽減するのに特に効果的でないいくつかの仮想水平フレームを特定した。我々の調査結果は、VR テクノロジーの開発に重要な意味を持ち、VR テクノロジーの全体的なユーザーエクスペリエンスの向上に貢献する

可能性がある。

我々の研究では、乗り物酔いを軽減するために仮想フレームを作成しただけでなく、その効果を測定するために包括的な分析も行った。VR 技術によるシミュレータ酔いの程度を数値化するために、シミュレータ酔いアンケート (SSQ) を指標として使用した。仮想フレームなしの VR コンテンツを視聴した後、仮想フレームありの VR コンテンツを視聴した後、被験者にリラックスした状態で SSQ を完了してもらった。結果を比較することで、仮想フレームによる乗り物酔いの軽減効果を検証することができた。

仮想フレームの効果をさらに確認するために、脳血流計を使用して、同じ条件下で生理学的指標を測定した。主観的評価と生理学的測定を組み合わせることにより、仮想フレームの有効性をより包括的に評価することを目指した。

また、さまざまな VR コンテンツを使用して実験を行い、さまざまなタイプのコンテンツで仮想フレームが有効であることを確認した。我々の目標は、広く適用でき、さまざまな VR 体験でユーザーに利益をもたらすソリューションを提供することである。これらの実験を行うことで、VR 技術の発展に貢献し、全体的なユーザー エクスペリエンスを向上させたいと考えている。

第3節 本論文の構成

この論文は、VR 酔いの解決策として仮想水平フレームワークを開発し、検証することを目的としている。この論文全体を通して、実験結果について報告するだけでなく、各仮想水平フレームワークの長所と短所についても報告する。本論文は、序章、第1章「仮想現実環境における研究概要と枠組み」、第2章「VR 酔いと症状抑制の原理」、第3章「酔いを誘発するコンテンツ作成」、第4章「仮想フレームの開発」、第5章「実験」、第6章「実験結果」、第7章「総括」により構成されている。

序章では、本研究の背景と目的について概説し、これらの要素が後続の章で具体的にどのように探究されるかを予告する。

第1章「仮想現実環境における研究概要と枠組み」では、仮想現実 (VR) の概要に深く迫り、またメタバースとの関連性を探す。VR がメタバース形成に果たす役割や、異なる分野での VR の潜在的な貢献に焦点を当てる。同時に、VR が直面する課題と挑戦にも言及する。これらの要素を探究することで、現代の技術的背景における VR の包括的な理解を構築している。

第2章「VR 酔いと症状抑制の原理」では、序論で示した背景や目的に基づき、VR 酔いと乗り物酔いの原理を解説し、それが VR 環境における健康被害に及ぼす影響を探求する。

前章で提示された研究目的に対して、VR酔いの軽減方法に焦点を当てた先行研究も紹介し、これに基づいて本研究の位置づけや革新性を提示する。

第3章「酔いを誘発するコンテンツ作成」では、VR酔いを引き起こす可能性のある特定のコンテンツ制作に焦点を当て、これらのコンテンツが酔いを引き起こすメカニズムや特性を明らかにする。これによって、本研究が具体的なVRコンテンツの制作においてどのように貢献するかを強調する。

第4章「仮想フレームの開発」では、前章で特定されたVR酔い軽減の手法や理論に基づいて、具体的な仮想水平フレームの設計や回転手順、その他の技術的な側面に焦点を当てる。この章が、本研究の実践的な側面と理論的な基盤を結びつける。

第5章「実験」では、開発された仮想水平フレームの効果を検証するための具体的な実験方法やシーケンスについて説明する。これにより、仮想水平フレームがVR酔い軽減に実際にどれほど効果的であるかを確認する。

第6章「実験結果」では、実施された実験の結果を具体的に分析し、VR酔いの軽減に対する仮想水平フレームの効果について議論する。この章が、理論や設計から得られた知見を実証する役割を果たす。

最後に、第7章「総括」では、各章で得られた結果と示唆を総括し、仮想水平フレームを用いたVR技術の未来展望について述べる。これにより、研究全体のまとめと将来的な研究方向を提示する。

参考文献

-
- [1] Metaverse, Stylianos Mystakidis, Encyclopedia 2022, 2(1), 486-497
- [2] Katashi NAGAO ,Virtual Reality Campuses as New Educational Metaverses 2023 Volume E106.D Issue 2 Pages 93-100
- [3] Meta, "Social Metaverse Company", <https://about.meta.com/> (Until October 7, 2023)
- [4] Chinese government, https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202309/content_6903023.htm (Until October 7, 2023)
- [5] Wanling Zhang , Dhirendra Paudel , Rui Shi , Jie Liang , Jingwen Liu , Xiansheng Zeng , Yunfei Zhou , Bin Zhang, : Virtual Reality Exposure Therapy (VRET) for Anxiety Due to Fear of COVID-19 Infection: A Case Series. Neuropsychiatric Disease and Treatment 2020 Nov 6:16:2669-2675.
- [6] 仮想現実療法, 百科事典, <https://academic-accelerator.com/encyclopedia/jp/virtual-reality-therapy> (Until October 7, 2023)
- [7] Virtual Singapore, Singapore Land Authority, <https://www.sla.gov.sg/geospatial/gw/virtual-singapore> (Until October 7, 2023)
- [8] Ubisoft Company, <https://www.ubisoft.com/en-us/> (Until October 7, 2023)
- [9] Virtual Reality: A Training Tool for Biological Sampling Webinar, U.S. Environmental Protection Agency, <https://www.epa.gov/emergency-response-research/virtual-reality-training-tool-biological-sampling-webinar> (Until October 7, 2023)

第2章 VR酔いと症状抑制の原理

第1節 VR酔いと動揺病について

近年、仮想現実（VR）は、現実世界を疑似体験できる没入型の技術として普及が進んでいるが、VRの普及に伴い、VR酔いも増加している。VR酔いは、強い不快感を伴う頭痛、めまい、吐き気などの症状を特徴とする乗り物酔いの一種（図4）[1]、VRに対する嫌悪感など[2]。理解を深めるために、図4を表（表2）に示す。

一方、乗り物酔いは、視覚、前庭、体性感覚に関わる病気の種類で（表3）、船酔い、乗り物酔い、シミュレーター酔いなどとして一般的に知られている[3]。乗り物酔いは、発症する環境が異なる。乗り物酔いは一般的に自然環境で発生し、視覚、前庭、体性感覚からの空間情報に物理法則の矛盾はない。船などの環境は、人間が適応してきた自然環境と大きく異なるため、人間の空間情報統合能力や適応能力が誤作動し、乗り物酔いを引き起こす[2][4]。

一方、VR酔いは、VR環境からの視覚情報と自然環境からの空間情報との間の物理法則の矛盾によって発生する。人間の空間情報統合能力は、VR環境からの視覚情報と感覚情報を統合しようとする。自然環境。しかし、異なる環境からの空間情報は一致することができず、乗り物酔いを引き起こす可能性がある[2]。

結論として、VRは没入型の体験を提供するが、VR酔いを引き起こす可能性もあり、ユーザーに身体的および心理的な悪影響を及ぼす。VR酔いの原因を理解することは、その発生を最小限に抑え、ユーザーのために改善するための戦略の開発に役立つ。

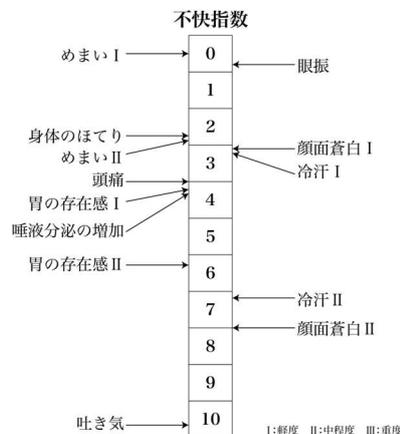


図4 VR酔いの主な症状と不快指数

表2 VR酔いの主な症状と不快指数

不快指数	症状
0	めまいⅠ，眼振
1	
2	身体のほてり，めまいⅡ
3	顔面蒼白Ⅰ，冷や汗Ⅰ，頭痛
4	唾液分泌の増加，胃の存在感Ⅰ
5	
6	胃の存在感Ⅱ
7	冷や汗Ⅱ
8	顔面蒼白Ⅱ
9	
10	吐き気

I=軽度 II=中程度 III=重度

表3 動揺病の分類

種類	発症時の状況	影響の主要因
乗り物酔い	船，車，列車，飛行機など	振動
宇宙酔い	宇宙飛行	重力の欠如
VE酔い	シミュレータ	主に技能訓練用 (操縦や操作手順)
	汎用	産業，医療応用，芸術表現 など
		実体験との不一致
		実体験，予測との不一致

第2節 VR環境が身体に及ぼす健康被害の主要因

バーチャルリアリティ（VR）は、さまざまな業界でますます人気が高まっており、エンターテインメント、教育、トレーニング、および治療に役立つツールであることが証明され

ている。しかし、VR 環境に長時間さらされることによる潜在的な健康リスクへの懸念が高まっている。田中信久氏によると、VR 環境による健康被害には大きく 2 つの要因があるとのことである。

1 つ目の要因は「光刺激負荷型」で、VR 映像からの光刺激が目や関連する脳機能にストレスを与え、健康被害を引き起こすことを指す。VR 環境での強い視覚刺激は、眼精疲労、頭痛、さらには網膜の損傷を引き起こす可能性がある。VR に長時間さらされると、目の疲労や、ぼやけや複視などの視覚障害を引き起こす可能性もある。特筆すべきは、光刺激によって引き起こされる光感受性てんかんは、通常、バーチャルリアリティ (VR) および 3D イメージにおいては良性の反応を示すことである。特定の刺激的なコンテンツがない限り、これは事実上、VR の適用範囲を拡大させている [5]。

2 つ目は「空間情報混乱型」で、3 次元の空間情報が人間の空間認識機能を混乱させることによる健康被害である。VR 環境は、体のバランス感覚や空間的方向性と競合する動きや動きの感覚を生み出す可能性がある。これは、移動中の乗り物やボートで経験する乗り物酔いの症状と同様に、乗り物酔い、めまい、吐き気を引き起こす可能性がある。

これらの潜在的な健康上のリスクを軽減するために、VR 開発者とユーザーは特定の予防策を講じる必要がある。たとえば、ユーザーは目を休ませて現実世界に順応させるために頻繁に休憩を取ることができる。開発者は、視覚刺激の量を最小限に抑え、乗り物酔いを引き起こす動きを減らし、明確な視覚的合図を提供してユーザーが空間的な方向性を維持できるようにすることで、VR コンテンツを最適化することもできる [2]。

1 光刺激負荷型について

光刺激過負荷型の主な健康被害は、視覚表示端末 (VDT) 症候群および光過敏性てんかんを引き起こすことが知られている。光過敏性てんかんについては、前文で触れましたが、本文とはほとんど関連性がないため、ここでは説明しない。VDT 症候群は、眼精疲労、目の充血、痛み、ドライアイなどのさまざまな症状を引き起こす。ひどい場合は、胃もたれや吐き気などの症状が出ることもある。これらの症状のほとんどは一時的なものであり、休憩を取ることで軽減できる [6]。しかし、研究では、光刺激過負荷に長時間さらされると、白内障や精神障害も引き起こす可能性があることが示唆されている [7]。

VDT 症候群は、コンピューターのディスプレイ画面を長時間見つめる作業環境や、バーチャル リアリティ (VR) デバイスの使用時に発生する可能性があることが確認されている [8]。VR 環境では、「時分割型立体視による映像のちらつき」や「輻輳と水晶体調整の矛盾」が VDT 症候群の原因となる [9]。

「時分割型立体視による映像のちらつき」は、両眼時分割立体視映像を使用した VR 環境で発生する可能性がある。この立体視表示方法は、フリッカー融合周波数（約 55Hz）よりも高いリフレッシュレートで映像を見ると、フリッカーを感じないという人間の知覚特性を利用したものである。しかし、ちらつきの融合頻度は個人差や疲労によって変動するため、人によってはちらつきを感じて VDT 症候群を発症する場合がある[9]。

VR における VDT 症候群のもう 1 つの原因は、「輻輳と水晶体調整の矛盾」である。これは、立体画像で、右目用の視覚オブジェクトと左目用の画像が画面の前（または後ろ）にずれている場合に発生する。一方、水晶体調整は、画像の焦点が合っている画面の位置に焦点を合わせることによって引き起こされる。この 2 つの機能の調整位置の矛盾は、目の負担となり、VDT 症候群を引き起こす可能性がある [10][11]。

本研究では、光刺激負荷型の「時分割型立体視による映像のちらつき」を回避するために、高解像度でリフレッシュレート 90Hz の Vive Cosmos を用いたシステムの開発を目指す。これにより、VR 環境での VDT 症候群のリスクを軽減し、ユーザーにより快適で安全な体験を提供できる。

2 空間情報混乱型について

見当識障害は、空間情報混乱型に該当するよく知られた健康被害である。見当識障害の症状には、方向感覚の喪失、上と下の混乱、かすみ目、めまい、錯乱などがあがる。VR 環境の使用は、空間認識を仮想環境から自然環境に移行させる知覚処理機能により、乗り物酔いを引き起こす可能性がある。簡単に言えば、人が HMD を装着したまま VR コンテンツ内を移動すると、VR 環境からの視覚情報と、前庭や体性感覚からの感覚情報との間に矛盾が生じ、空間認識機能に混乱が生じ、最終的には VR 酔いを引き起こす[2]。

通常、光刺激過負荷型や空間情報錯乱型の症状の多くは一過性で、安静にすると回復するが、VR 酔いは VR 体験後数時間続く重度の症状を引き起こすことがある。さらに、VR 酔いによって引き起こされる症状は、人の身体的および心理的幸福に悪影響を及ぼし、VR 技術の普及を妨げる可能性がある[3]。

そこで本研究では、空間情報混乱型に対処し、VR 酔いを軽減できるシステムの開発を目指している。このシステムは、ユーザーが仮想環境をよりよく認識し、VR 環境からの視覚情報と前庭および体性感覚からの感覚情報との間の矛盾を回避するのに役立つ。そうすることで、より快適で安全な VR 体験をユーザーに提供することができ、最終的には VR 技術の採用を増やすのに役立つ。

第3節 VR酔いの原因

VR酔いと乗り物酔いは症状が似ていることから、乗り物酔いの原因は乗り物酔いと同じだと考えられる[2][3]。これは、2つの現象の根底にあるメカニズムが類似している可能性があり、乗り物酔いの既存の治療法がVR酔いにも有効である可能性があることを示唆している。

乗り物酔いの原因の一つに、人間の三半規管から得られる平衡感覚情報と目から得られる視覚情報との間に矛盾が生じるという感覚矛盾説がある。この矛盾が脳内の感覚情報の蓄積につながり、最終的には乗り物酔いにつながる[12][13][14]。

VR酔いを軽減するためには、既存の乗り物酔い軽減メカニズムをVRに適用し、その効果を探る必要があるかもしれない。これには、VR環境における視覚情報と前庭情報の間の感覚的矛盾を軽減するための感覚順応や慣れなどの手法の使用が含まれる場合がある。さらに、調査によると、視覚的に誘発された自己運動感覚(ベクシオン)がVR酔いの原因の1つであることも示されている[2](図5に示す)。

VR酔いの根本的な原因を理解し、乗り物酔いに既存の治療法を適用することで、VR酔いを軽減し、VR環境での全体的なユーザーエクスペリエンスを向上させるための効果的な介入を開発できる可能性がある。

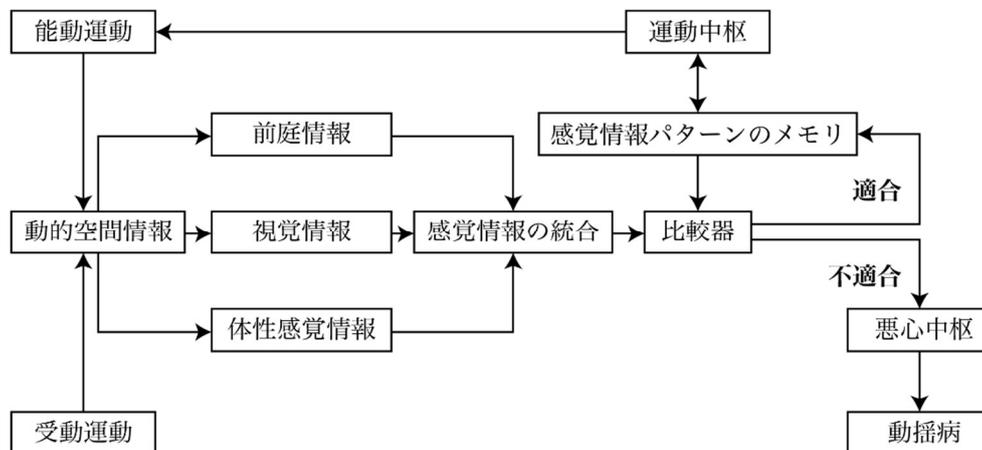


図5 感覚矛盾説

1 視覚誘導性自己運動感覚(ベクシオン)

視覚誘発自己運動感(以下ベクシオンという)は、個人が静止しているにもかかわらず、視覚情報のみによって引き起こされる動きの感覚を感じる現象である。この動きの錯覚は、等速運動の刺激が広い視野で提示されたときに発生し、刺激の動きとは反対の方向に身体

の動きの感覚を生み出す。これは、身の回りや外部環境にある視覚的な物体によって、物理的に静止していても動いているように感じることを意味する[15][16]。

ベクシオンには、直線的に移動する視覚刺激によって引き起こされる自己線形運動感覚 (LV) と、回転する視覚情報によって生成される自己回転運動感覚 (CV) の 2 種類がある[17]。一般的な VR コンテンツで乗り物酔いを軽減するには、LV と CV の両方の自己運動感覚を考慮する必要がある。VR では、前庭情報や体性感覚情報などの感覚情報と視覚情報との矛盾がベクシオンを引き起こし、VR 酔いを引き起こすと考えられている[2]。

したがって、VR を使用する際に乗り物酔いを防ぐには、ベクシオンを抑制することが重要である。視覚情報と前庭情報の間の感覚的競合を軽減するための感覚順応や慣れなどの手法により、ベクシオンを低減または排除するいくつかの方法があるかもしれない。VR 酔いを軽減し、VR 環境での全体的なユーザー エクスペリエンスを改善するための効果的な介入を開発することで、個人は仮想現実技術のエキサイティングな進歩から恩恵を受け続けることができる。動きの知覚は、たとえ静止していても、もっぱら視覚情報によって誘発される。この運動の錯覚は、一貫した視覚運動刺激が広い視野に提示されたときに発生し、視覚運動とは反対方向の運動の身体感覚をもたらす。本質的には、物理的に静止しているにもかかわらず、周囲や外部環境の視覚的刺激によって身体が動いている感覚を生み出す。

ベクシオンには、直線的に移動する視覚刺激によって引き起こされる自己線形運動感覚 (LV) と、回転する視覚情報によって生成される自己回転運動感覚 (CV) の 2 種類がある [17]。一般的な VR コンテンツで乗り物酔いを軽減するには、LV と CV の両方の自己運動感覚を考慮する必要がある。

したがって、VR を使用する際に乗り物酔いを防ぐには、ベクシオンを抑えることが重要である。私たちは、視覚情報と前庭情報との間の感覚的対立を軽減するための感覚順応や慣れなどの手法を通じて、ベクシオンを軽減または排除する方法を模索している。VR 酔いを減らし、VR 環境での全体的なユーザー エクスペリエンスを改善するための効果的な介入を開発することで、個人は仮想現実技術のエキサイティングな進歩から恩恵を受け続けることができる。

第 4 節 VR 酔いの抑制方法

要約すると、視覚情報と空間情報の不一致を最小限に抑えるのに役立つため、ベクシオンを減らすことは VR 酔いを軽減するための重要なステップである。これは、VR 酔いの症状の根底にある感覚の葛藤を緩和するのに役立つ。ベクシオンを抑制するために使用できる方法があり、VR 環境で提示される視覚刺激を変更する方法もあれば、ユーザーが空間的

方向性を維持するのに役立つ追加の感覚的合図を提供する方法もある。これらのさまざまなアプローチを検討することで、VR 酔いの発生率と重症度を軽減し、VR 環境での全体的なユーザー エクスペリエンスを向上させる効果的な介入を開発できる可能性がある。両方の方法について以下に説明する。

1 VR 環境と自然環境の一致

VR 酔いを軽減する有望な方法の 1 つは、VR 環境と自然環境の間の空間情報を一致させることである。このアプローチは、ベクシオンを引き起こし、最終的に VR 酔いにつながる視覚入力と前庭/体性感覚入力の間 mismatches を排除することを目的としている。

これを実現する 1 つの方法は、マシンを使用して、VR 環境からの視覚情報を運動情報として前庭系と体性感覚系に伝えることである。そうすることで、VR 環境と自然環境の空間情報をマッチングさせ、ユーザーは仮想世界と現実世界の一体感を体験することができる。たとえば、板口典弘らは VR 環境でオートバイを開発し、エンジン音と振動の大きさを視覚画像と同期させ、VR の乗り物酔いを減らした[18]。

ただし、この方法にはいくつかの課題がある。主な制限の 1 つは、マシンを VR 環境に導入するために十分に確保された可動範囲が必要なことである。これにより、この方法の適用範囲が特定の場所や環境に制限され、実用性が低下する。さらに、これらのマシンを導入するためのコストは高く、多くの VR アプリケーションでは実行できない可能性がある。さらに、VR 環境で自然環境を再現すると、体験できるコンテンツが制限される可能性があり、このアプローチの有用性がさらに制限される。

要約すると、VR 環境と自然環境の間で空間情報を一致させることは、VR 酔いを軽減するための有望な方法ですが、それが広く実装される前に対処する必要があるいくつかの実用的および技術的な課題がある。

2 周辺視野の調整

ベクシオンを防ぐための 2 つ目の戦略は、平衡感覚と空間認識に密接に関連する周辺視野で利用できる情報を操作または制限することである。視野とは(図 6)、肉眼で物体を見ることができる全領域を指す。この視野は、頭を前に向けたときに水平方向に約 200 度、垂直方向に 125 度広がり、中心視野と周辺視野の両方を網羅する。この視野内で得られる情報を調整することで、ベクシオンの発生とそれに伴う症状を軽減できる可能性がある。

- ① 弁別視野は視力や色弁別などの視機能が優れている中心領域(約 5° 以内)
- ② 有効視野は眼球運動だけで瞬時受容可能領域(水平約 30° , 垂直約 20° 以内)

③ 安定注視野は眼球・頭部運動で無理なく注視できる領域(水平 60° ~ 90° , 垂直 45° ~ 70° , 効果的情報受容が可能な範囲)

④ 誘導視野は識別能力が低い、空間座標系に視角情報が影響を及ぼす領域 (水平 30° ~

100° , 垂直 20° ~ 85° の範囲で影響が大きい),

⑤ 補助視野 (周辺視野) は刺激の存在がわかる程度の領域 (水平 100° ~ 200° , 垂直 85° ~ 130°) [19]

中心窩とも呼ばれる人間の目の中心視野は、高解像度の視覚を担っており、オブジェクトの色、形、詳細などの特定の情報を識別する際に周辺視野よりも優れている。これは、この領域で高い視力を可能にする高密度の光受容細胞によるものである。しかし、中心視野は細かい視覚的識別に重要であるが、周辺視野は物体の位置や形状の変化を検出し、動きを知覚するために重要である[20]。

実際、ベクシヨンの発生には周辺視野が重要な役割を果たしている。ベクシオンは、静止している観察者が実際の動きがない場合に自己の動きを知覚するとき発生する知覚現象である。これは、動く視覚パターンや回転するプラットフォームなど、動きの錯覚を生み出す特定の視覚刺激に個人がさらされたときに発生する可能性がある。周辺視野は、空間的方向性と運動知覚に関連する重要な視覚的手がかりを提供するため、ベクシヨンの発生と密接に関連していることが示されている。

しかし、平衡情報や空間認識に関わる周辺視の情報を遮断したり調整したりすることで、ベクシヨンの発生を抑えることができる。実際、研究では、周辺視野を覆い隠すマスク領域を追加すると、ベクシオンが発生しにくくなる可能性があることが示されている[21]。これは、周辺視覚情報の操作を使用してベクシヨンの発生を制御および軽減できることを示唆しており、これは仮想現実や乗り物酔いの防止などの分野で実用的な用途がある可能性がある。

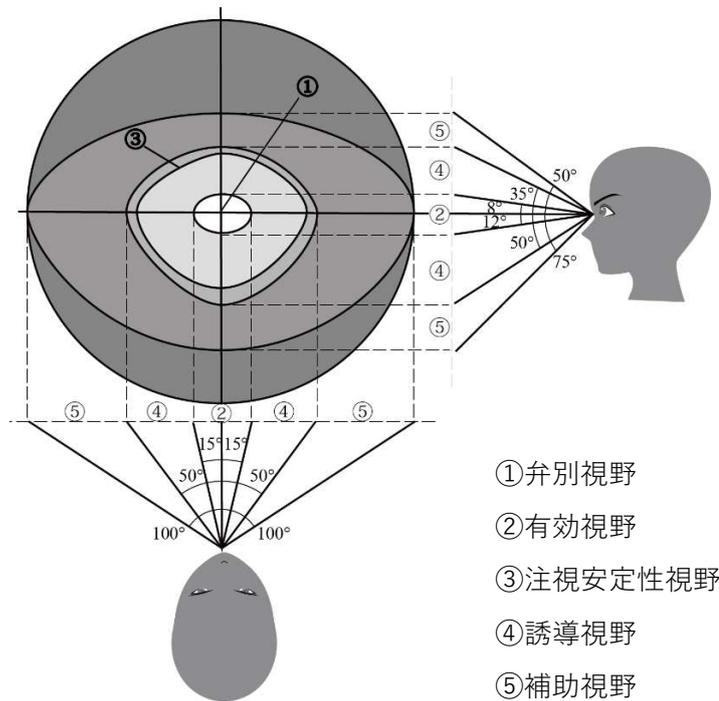


図6 人間の視野

3 注視点の設置

VR の乗り物酔いを軽減するために、さまざまな方法が提案され、テストされている。これらの方法の 1 つは、VR コンテンツに注視点を設定することである。これにより、ベクシヨンの発生が減少し、乗り物酔いの症状が緩和されることが示されている。たとえば、三浦直樹らは、注視点の存在が主観的な存在感を改善し、ヘッドマウントディスプレイを使用している参加者の乗り物酔いを軽減することを発見した[22]。また、別の論文で注視ポイントの VR 乗り物酔い抑制効果は、特定の方向に視線を保つよりも、特定のターゲットに視線を保つ方が効果的であることを示している[23]。

この研究では、周辺視野のベクシヨンを抑制し、関心のある点からの視線誘導を使用することにより、乗り物酔いを軽減する手段としての仮想フレームの可能性を探ることを目的としている。具体的には、仮想フレームを作成し、さまざまな仮想フレーム デザインの有効性を調査し、乗り物酔いの軽減への影響を比較する予定である。VR コンテンツに仮想フレームを組み込むことで、乗り物酔いの症状を誘発しにくく、より快適で没入感のある体験をユーザーに提供したいと考えている。

第5節 国内外の研究状況

1 国外

Mengli Yu らによって実施された研究では、研究者らは8つの異なるVRグラスと7つのモバイルアプリケーションをテストした参加者の自己報告とパフォーマンスを調査した。この調査は、VRメガネシステムとモバイルアプリケーションの両方のユーザーエクスペリエンスの品質を評価することを目的としている。

ユーザーエクスペリエンスの品質を測定するために、研究者らは2つのアンケートを作成した。1つはVRメガネシステムのハードウェアを評価するための9項目のアンケート、もう1つはアプリケーションを評価するための10項目のアンケートである。これらのアンケートにより、研究者はVRメガネとモバイルアプリケーションに対する参加者の認識について貴重な洞察を収集することができた。

この研究では、モバイルアプリケーションが参加者の乗り物酔いの予測に重要な役割を果たしていることが明らかになった。VRメガネシステムのハードウェアは、インタラクティブな操作とともに、ユーザーがVRモバイルアプリケーションインターフェイスを操作できる環境を提供した。モバイルアプリケーションの設計は、ユーザーの乗り物酔いに顕著な影響を与えた。

研究者らは、その調査結果に基づいて、特定の設計機能を備えたモバイルアプリケーションがユーザーエクスペリエンスの知覚品質を向上させ、乗り物酔いを軽減できると結論付けた。これは、VRコンテキストでモバイルアプリケーションのデザインと機能を最適化することで、乗り物酔いの発生を最小限に抑え、より快適で楽しいユーザーエクスペリエンスに貢献できることを意味する。Mengli Yu らによって実施された研究では、研究者らは8つの異なるVRグラスと7つのモバイルアプリケーションをテストした参加者の自己報告とパフォーマンスを調査した。この調査は、VRメガネシステムとモバイルアプリケーションの両方のユーザーエクスペリエンスの品質を評価することを目的としている。

ユーザーエクスペリエンスの品質を測定するために、研究者らは2つのアンケートを作成した。1つはVRメガネシステムのハードウェアを評価するための9項目のアンケート、もう1つはアプリケーションを評価するための10項目のアンケートである。これらのアンケートにより、研究者はVRメガネとモバイルアプリケーションに対する参加者の認識について貴重な洞察を収集することができた。

この研究では、モバイルアプリケーションが参加者の乗り物酔いの予測に重要な役割を果たしていることが明らかになった。VRメガネシステムのハードウェアは、インタラクティブな操作とともに、ユーザーがVRモバイルアプリケーションインターフェイスを

操作できる環境を提供した。モバイル アプリケーションの設計は、ユーザーの乗り物酔いに顕著な影響を与えた。

研究者らは、その調査結果に基づいて、特定の設計機能を備えたモバイル アプリケーションがユーザー エクスペリエンスの知覚品質を向上させ、乗り物酔いを軽減できると結論付けた。これは、VR コンテキストでモバイル アプリケーションのデザインと機能を最適化することで、乗り物酔いの発生を最小限に抑え、より快適で楽しいユーザー エクスペリエンスに貢献できることを意味する[24]。

この論文は VR 酔いに対する直接的な解決策を提供するものではない、VR 酔いはハードウェアではなくソフトウェアの影響を受けると結論付けている。この発見は我々の研究の方向性と一致している。この論文では、VR コンテンツの品質を下げることで症状が軽減される可能性があることも示唆している。ただし、我々の研究は、高品質のコンテンツを提供しながら、症状に対処して軽減することを目的としている。ユーザーが不快感や乗り物酔いをせずに没入感を楽しめるバランスが実現できると考えている。技術の進歩とコンテンツ設計によるユーザー エクスペリエンスの向上に重点を置くことで、VR 酔いを最小限に抑え、ユーザーにとってより楽しく魅力的な VR 環境を作成することを目指している。

Weech、Moon、Troje、および彼らのチームの調査は、VR 環境におけるシミュレーター酔いを改善する前庭刺激技術の可能性に焦点を当てている。彼らの研究は、VR 体験に伴う不快感を軽減するための前庭求心性神経の電気刺激（電気前庭刺激；GVS）の効果的な使用に基づいていた。私自身の研究は画像処理の領域を中心としているが、彼らの革新的なアプローチが代替戦略として骨振動によるノイズのある前庭刺激を導入することで研究の状況を変えたことは言及する価値がある。我々の研究の焦点は彼らの研究とは異なるが、この新しいアプローチの探求は、VR 酔いの軽減を目的とした幅広い戦略に貢献する。研究アプローチの多様性により、VR 研究者や開発者が利用できるツールキットが充実し、VR 環境でのユーザー エクスペリエンスを強化できる新しい技術につながる可能性がある[25]。

Su Han Park、Bin Han、Gerard Jounghyun Kim の研究は[26]、仮想現実（VR）テクノロジーが広く受け入れられる上での重要な障害の 1 つであるシミュレーター酔いを軽減することを目的とした先駆的なアプローチを掘り下げている。彼らの研究は、仮想ナビゲーション中に経験される自己運動の説得力のある錯覚であるベクションに対処することに重点を置いている。

彼らの研究手法には、仮想的な視覚的な動きの逆方向に移動するオプティカル フローパターンを視覚的にブレンドするという革新的なコンセプトが含まれている。このユニークなアプローチは、人工的な逆流混合の導入によりキャンセル効果が引き起こされ、視覚的手がかりと前庭的手がかりの間の感覚的矛盾が効果的に軽減され、その結果、シミュレータ

一酔いに伴う不快感が軽減されるという仮説に基づいている。

彼らの仮説を実証するために、研究チームは逆オプティカル フローをレンダリングするためのリアルタイム アルゴリズムを作成し、7 つの仮想ナビゲーション シナリオにわたる包括的な実験を実施した。彼らの厳密な調査の結果は、シミュレーター酔いのレベルが統計的に有意に減少していることを実証し、VR 環境内で全体的なユーザー エクスペリエンスを向上させる潜在的なソリューションについての重要な洞察が約束された。

著者らの探求は、背景コンテンツに対して高い視覚的コントラストを持つ人工的に追加された逆オプティカル フロー パターンの導入の意味にも光を当てており、それによってこのアプローチの実装に関連する課題と考慮事項を強調していることを強調することが重要である。重要なのは、この研究結果により、人工的に組み込まれた逆オプティカル フロー パターンが背景コンテンツと高い視覚的コントラストを示した場合にのみ、かなりの気が散り、臨場感や没入感に対する顕著な悪影響が観察されることが明らかになった。VR 環境における視覚的要素が重視されることを考えると、この観察は特に関連性がある。この関連研究の文脈では、シミュレーター酔いに対処するために VR 内の視覚要素を操作する際に伴う潜在的なトレードオフについて貴重な洞察が得られる。

この発見は、VR 酔いを軽減するためにビデオ コンテンツに仮想フレームを組み込むことで VR でのユーザー エクスペリエンスを向上させることに重点を置いた、私自身の研究の焦点と共鳴する。これは、視覚要素とそれが VR 体験全体に及ぼす影響を慎重に検討することの重要性を強調している。

2 国内

Rentaro Ono M.E., Yasuyuki Matsuura Ph.D (Science), Kohki Nakane M.E., and Hiroki Takada Ph.D (Science) は、3D ビデオコンテンツのアクセシビリティの向上に対応して、視覚誘発運動などの症状に関する懸念を引き起こした研究を実施した[27]。視聴者の中には、VIMS（視覚誘発運動などの症状）や目の疲れを報告する人もいる。VIMS の原因を説明するためにさまざまな理論が提案されていますが、依然として包括的な調査が必要であった。

以前の研究で、著者らは画像の背景が 3D ビデオ クリップを見ている個人の平衡機能に影響を与える可能性があることをすでに特定していた。この研究では、特に投影された画像の背景内の視野のサイズと視覚ターゲットの速度に焦点を当て、特定の画像要素の影響をさらに深く掘り下げた。これらの影響を評価するために、研究者らは機能的近赤外分光法（fNIRS）を使用して体の揺れ、心電図信号、脳血流などのさまざまな生理学的パラメータ

一を測定した。

彼らの発見により、軌跡の全長と背景の視野の幅の間に有意な相関があることが明らかになった。具体的には、より広い背景フィールドを持つビデオクリップを視聴すると、軌跡の全長が増加し、視覚情報の量の減少が身体の姿勢制御システムの安定性の向上につながったことを示唆している。

この研究は、VIMS に影響を与える画像要素の役割を明らかにし、3D ビデオ コンテンツでの視聴者のエクスペリエンスを向上させるための潜在的な戦略について貴重な洞察を提供する。この研究は、ビデオ コンテンツに仮想フレームを導入することで VR 環境でのユーザー エクスペリエンスを向上させることに焦点を当てた私自身の研究と共鳴する。全体的なユーザー エクスペリエンスに対する視覚要素の影響を慎重に考慮することの重要性は、両方の調査に共通している。

Masaki Omata と Atsuki Shimizu は、VR 環境に目立たない補助図形を導入することで、仮想現実 (VR) 酔いを軽減することを目的とした研究を実施した。^[28] これらの図形には、ユーザーの視野の中心に位置する「注視点」、視野の四隅に配置された「点」、ユーザーの頭の動きに連動する「ユーザーの水平線」、そして実際の地平線にリンクする「世界の水平線」が含まれている。

これらの介入の有効性を評価するために、研究者らは VR 設定でヘッドマウント ディスプレイ (HMD) を使用した実験を実施した。彼らは、シミュレーター酔いアンケート (SSQ) を使用して VR 酔いを測定し、ユーザーの手のひらの皮膚コンダクタンス (SC) を監視した。

研究結果は、補助図形として「ドット」を導入すると VR 酔いを軽減する傾向があることを示している。この調査は、VR 酔いの問題に対処することで、VR 環境でのユーザー エクスペリエンスを向上させるための潜在的な戦略について貴重な洞察を提供する。これらの発見は、ビデオ コンテンツに仮想フレームを組み込むことによって VR でのユーザー エクスペリエンスを向上させることに焦点を当てた私自身の研究に関連しており、VR ユーザー エクスペリエンスを向上させるという共通の重点を強調している。

関連する国内外の研究を調査する中で、私たちは既存の学術成果を掘り下げるだけでなく、仮想現実 (VR) のさまざまなアプリケーションや技術的側面についてのさまざまな洞察も発掘した。この包括的な分析により、VR テクノロジーに対する理解が広がり、研究に貴重な指針とインスピレーションが与えられた。さらに、国際的な学術コミュニティとの交流を通じて、異なる文化や学術的伝統の強みを引き出し、学ぶことができ、グローバルな視点を提供してきた。我々は、仮想現実テクノロジーの将来には計り知れない可能性がある一方で、多くの課題も抱えていることを認識している。関連する国内外の研究の分野では、

これらの課題に対処する希望と可能性が見える。

参考文献

-
- [1] 中川千鶴：生理反応を用いた動揺病の評価に関する研究（2008）
- [2] 田中信壽：VR酔い対策の設計に求められる知見の現状 日本バーチャルリアリティ学会誌論文誌(2005)Vol. 10, No. 1, pp. 129-138.
- [3] 田中信壽, 高木英行：臨場感とVR酔いを考慮した人工現実感環境設計システム 日本バーチャルリアリティ学会誌論文誌 Vol. 11, No. 2, pp. 301-312(2006)
- [4] 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)
- [5] Robert S. Fisher, Jayant N. Acharya, Fiona Mitchell Baumer, et al. : Visually sensitive seizures: An updated review by the Epilepsy Foundation, *Epilepsia* Volume 63, Issue 4 Apr 2022 Pages i-vii, 739-1019, e35-e41
- [6] NIRAV MODI, GADRE GIRISH A. : Assessment of Risk Factors Involved with Video Display Terminal Syndrome. *International Journal of Pharmaceutical Research* (09752366). Jan-Mar2020, Vol. 12 Issue 1, p1115-1120. 6p.
- [7] 西川勝夫 Braian Pearce 編著：OA症候群 VDT労働による健康被害, 啓学出版
- [8] Stanney, K. M Kennedy, S : The psychometrics of cybersickness, *Communication of the ACM* Vol. 40, No. 8, pp. 66-68(1997)
- [9] 泉武博監修：3次元映像の基礎, オーム社（1995）
- [10] Stone, B. : Concerns raised about eye strain in VR system, *Real Time Graphics*, Vol. 2, No. 4, pp. 1-13(1993)
- [11] Sugihara, T., Miyasato, T., Nakatsu, T. An Evaluation of Visual Fatigue in 3-D Displays : Focusing on the Mismatching of convergence and accommodation, *IEICE TRANS. ELECTRON.*, Vol. E82-C, No, 10, pp. 1814-1822(1999)
- [12] J. T. Reason, and J. J. Brand : "Motion sickness", Academic Press Inc. (1975)
- [13] K. E. Money, : "Motion sickness", *The American Physiological Society*, 50, 1, pp. 1-39(1970)
- [14] 北川悦司, 田中成典, 安彦智史, 塚田義典, 塩見和真：乗り物内でのメディア利用時における動揺病抑制システムに関する研究開発 映像情報メディア学会誌 Vol. 67, No. 11, pp. J388-J399(2013)
- [15] 妹尾武治：ベクションとその周辺の近年の動向 *Cognitive Studies*, 21(4), 523-530. (Dec. 2014)
- [16] 矢野澄男：映像と身体の反応 *テレビジョン学会誌*, 00050(00004), 429-435. (1996)
- [17] 呉景龍, 于英花, 楊家家：視覚誘導自己直線運動感覚の空間特性の輝度依存性 人間工学 Vol. 49, No. 1 pp. 18-24(2013)

-
- [18] Sawada, Y., Itaguchi, Y., Hayashi, M. et al. Effects of synchronized engine sound and vibration presentation on visually induced motion sickness. *Sci Rep* 10, 7553 (2020)
- [19] 畑田豊彦(東京工芸大学):情報受容と視野特性の計測 *人間工学* 第 29 卷 特別号 pp86-88
- [20] 岸下直弘, オーロスキジェーション, 清川清, 間下以大, 竹村治雄: 広視野シースルー HMD を用いた情報提示における周辺視野の影響の調査 *日本バーチャルリアリティ学会誌論文誌* Vol. 19, No. 2, pp121-130(2014)
- [21] 柳在鎬, 橋本 直己, 佐藤 誠: 没入型ディスプレイにおける視覚誘導自己運動の分析, *電子情報通信学会技術研究報告, マルチメディア・仮想環境基礎* Vol, 103, pp63-68(2003)
- [22] N. Miura, H. Ujike, M. Ohkura: "Influence of fixation point movement on visually induced motion sickness suppression effect", *International Conference on Applied Human Factor and Ergonomics*, Springer, Cham, pp. 277-288(2018)
- [23] 三浦直樹, 氏家弘裕, 大倉典子, 木村昌臣: 特定方向への視線の維持が VR 酔いに与える影響 *第 24 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集* 4C-03(2019)
- [24] Mengli Yu, Ronggang Zhou, Huiwen Wang, Weihua Zhao, An evaluation for VR glasses system user experience: The influence factors of interactive operation and motion sickness, *Applied Ergonomics* Volume 74, January 2019, Pages 206-213
- [25] Weech S, Moon J, Troje NF (2018) Influence of bone-conducted vibration on simulator sickness in virtual reality. *PLoS ONE* 13(3): e0194137.
- [26] Su Han Park, Bin Han, Gerard Jounghyun Kim, Mixing in Reverse Optical Flow to Mitigate Vection and Simulation Sickness in Virtual Reality *CHI '22: Proceedings of the 2022 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* April 2022 Article No.: 189 Pages 1–11
- [27] Rentaro Ono M.E., Yasuyuki Matsuura Ph.D (Science), Kohki Nakane M.E., Hiroki Takada Ph.D (Science), Physical effects of motion sickness for comfortable VR viewing. *IEEJ Transactions on Electronics, Information and Systems (Denki Gakkai Ronbunshi C)*, Volume 141 Number 9, 09 October 2021, pages 940–947, DOI: 10.1541/ieejieiss.141.940
- [28] Masaki Omata, Atsuki Shimizu, A Proposal for Discreet Auxiliary Figures for Reducing VR Sickness and for Not Obstructing FOV. *Human-Computer Interaction – INTERACT 2021* pp 95–104

第3章 酔いを誘発するコンテンツ作成

この研究では、周辺機器や特別なツールを必要とせずに、視覚的な手段だけで VR による乗り物酔いを軽減することに焦点を当てている。これを実現するために、乗り物酔いを軽減するように設計された特定のコンテンツが VR ビデオに組み込まれている。そうすることで、この研究の目的は、乗り物酔いの発生を減らす視覚的な合図の可能性を探ることである。これは、将来の VR アプリケーションとコンテンツの開発に実際的な影響を与える可能性がある。

本研究では VR 酔いを軽減するコンテンツの開発を目的としており、その第一歩として Unity を用いて VR 酔いを誘発する動画を作成した。VR 酔いは、視覚情報の内容、視覚情報の提示方法、視覚情報の提示など、いくつかの要因によって引き起こされる。観察者の要因、視覚情報の内容に関して、調査によると、身体を物理的に回転させずに、ヨー軸、ピッチ軸、ロール軸に関する身体回転情報を提供すると、酔いを引き起こす可能性がある(図7)。軸上の回転速度と周波数および往復回転運動の振幅(30 ~ 60 deg/s 程度)も酔いに大きな影響を与える(図8)。さらに、動きの速度と 3D 画像の複雑さも VR 酔いに寄与する可能性がある。

視覚情報の提示については、画像の大きさ(特に視覚の大きさ)について調査が行われており、ある大きさ以上で飽和点が存在するという研究結果が報告されているが、他の研究では、表示サイズが特定のサイズを超えると飽和点が生じることが報告されている。レベル(34x26deg)では、サイズが小さい場合よりも乗り物酔いへの影響が大幅に大きくなる。この研究では、ディスプレイを目の前に広げた HMD を使用したため、小さいディスプレイよりも乗り物酔いを誘発する可能性が高くなる[1]。

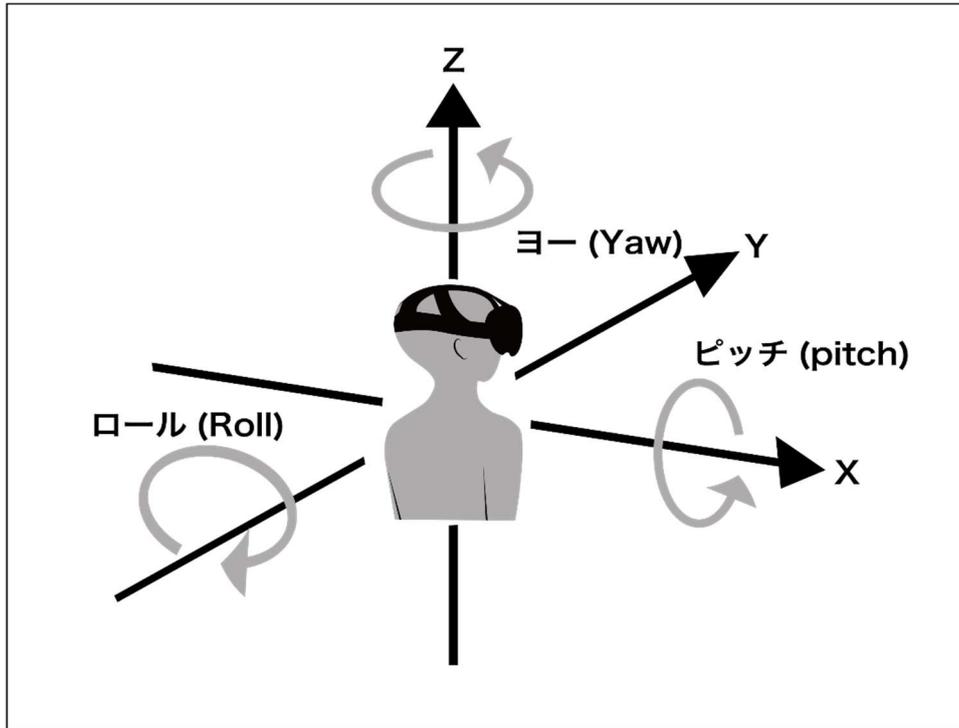


図 7 ヨー、ピッチ、ロール軸に対する回転運動

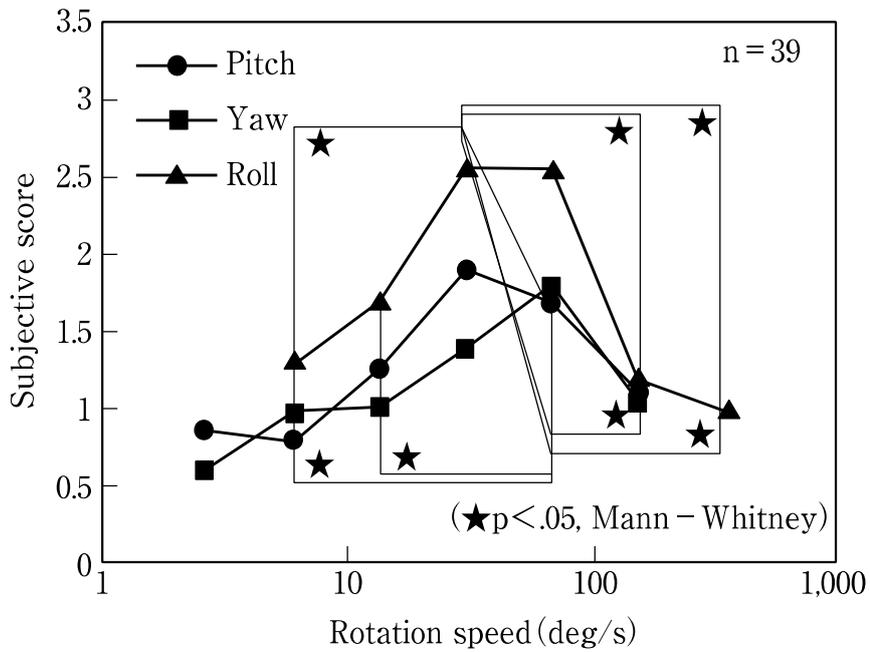


図 8 ヨー、ピッチ、ロール軸に対する回転が映像で与えられた場合の回転速度に対する映像酔い主観評価値[2]

第1節 コースターの作成

VR 環境で乗り物酔いを誘発するために、我々は、ヨー軸、ピッチ軸、ロール軸の回転運動と、不均一に動く画像を含むシミュレートされたジェット コースターの乗り物を作成することを選択した。これを実現するために、我々は Unity のアセット Animated_Steel_Coaster を利用した。これは、カスタマイズされたコースを作成するために組み合わせることができる、事前に設計されたレール パターンを提供する。私たちは設定を操作することで、ジェット コースターに乗っているような体験を再現し、VR ユーザーに乗り物酔いを誘発するイメージを作成することができた。ここではこのジェットコースターはコースター α と呼んでいる(図 9、10、11、12、13、14)。

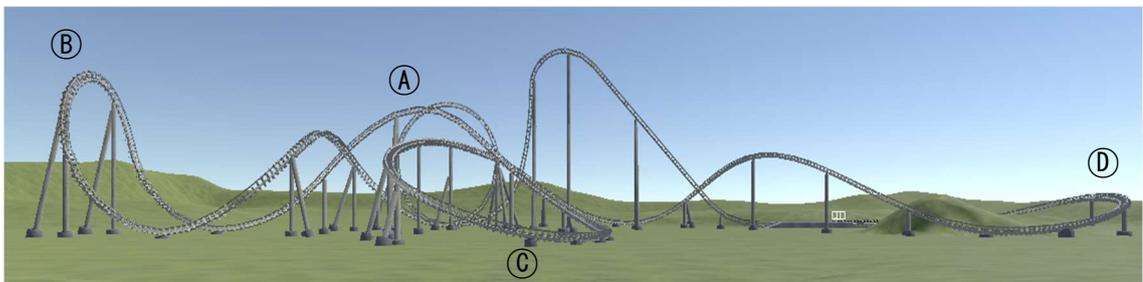


図 9 ジェットコースター α

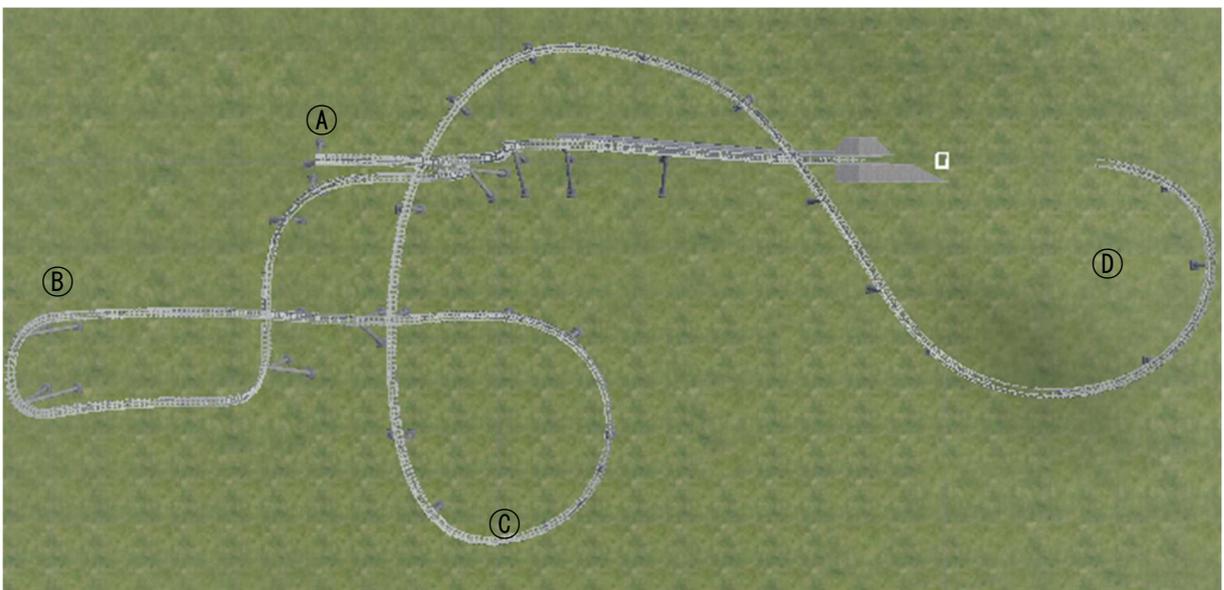


図 10 ジェットコースター α の鳥瞰図



図 11 ピッチ軸回転 急降下, 一回転

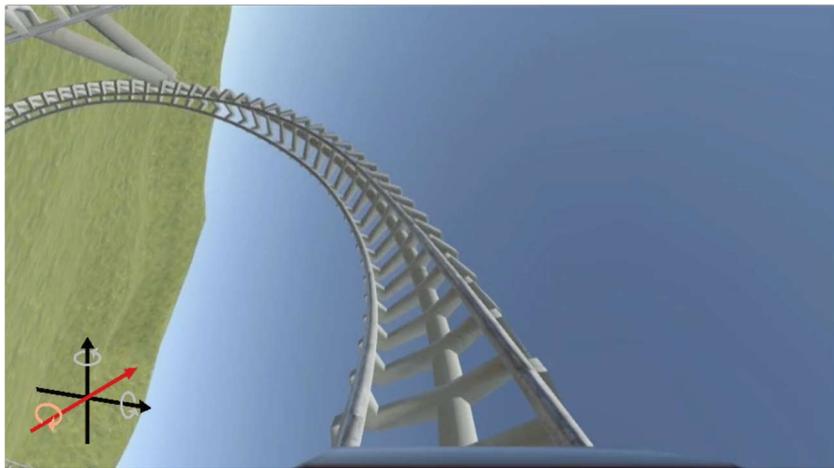


図 12 ロール軸左回転



図 13 ヨー軸右回転



図 14 ヨー軸左回転

VR 酔いを誘発するジェットコースターに加え、バーチャルフレームの有効性をさらに調査するために、さらに3つのタイプのコンテンツを作成することにした。研究の妥当性を確認するには、複数の異なる内容をテストする必要があると考えられた。

最初に作成されたコンテンツは、現実にはあり得ないジェットコースターでした。このタイプのコンテンツは、仮想フレームが現実世界とは根本的に異なる環境で有効かどうかをテストすることを目的としていた。物理法則に逆らうジェットコースターを作成することで、研究チームは仮想フレームがまったく新しい状況で乗り物酔いを軽減できるかどうかを調べることができた。

VRテクノロジーが進化し続けるにつれて、利用可能なコンテンツの量は大幅に増加している。これを念頭に置いて、ジェットコースター体験に統合されたインタラクティブなシューティングゲームを作成することにした。コントローラなどのインタラクティブな要素を元のジェットコースターコンテンツに追加することで、仮想フレームがより没入型でインタラクティブな環境で乗り物酔いを軽減する効果があるかどうかを調べることができた。

最後に、シューティングゲームと非現実的なデザインの両方を組み込んだバージョンのジェットコースターを作成した。このハイブリッドコンテンツは、現実とは根本的に異なるインタラクティブな環境で、仮想フレームが乗り物酔いを効果的に緩和できるかどうかをテストすることを目的としていた。

全体として、これらの追加コンテンツの作成により、さまざまなタイプのVRコンテンツにおける仮想フレームの有効性を徹底的に調べることができた。この研究では、複数のシナリオで仮想フレームをテストすることにより、この技術がVR酔いを軽減する可能性について貴重な洞察を提供する。

最後に、コントローラーを使って移動やジャンプができるコンテンツを作成し、合計4つのコンテンツで実験した。

我々がコースターβと呼んだコースターのジェットコースターコースは、速い直線運動と回転運動が混在する複数のセクションを持つように設計されている。この動きの組み合わせは、被験者に乗り物酔いを誘発するのに特に効果的であると信じていた。ロール軸、ピッチ軸、ヨー軸の複数の回転を含めることで、視覚刺激による自己運動感覚である強いベクシオン感の創出を目指した。コース全体で強い方向感覚を維持するために、リアルな雪山のオブジェクトを環境に配置した(図15、16、17、18、19)。これにより、ジェットコースターの多くの紆余曲折にもかかわらず、被験者は上下の感覚を維持することができた。

ジェットコースターのコースを作成するために、UnityのTrack_and_Railsアセットを利した。これにより、1ラウンドあたり約1分30秒のコースを設計できた。このアセットは、独自のコースを作成するために組み合わせることができるさまざまなレールパターンを提供した。



図15 全体図(コースのみ)

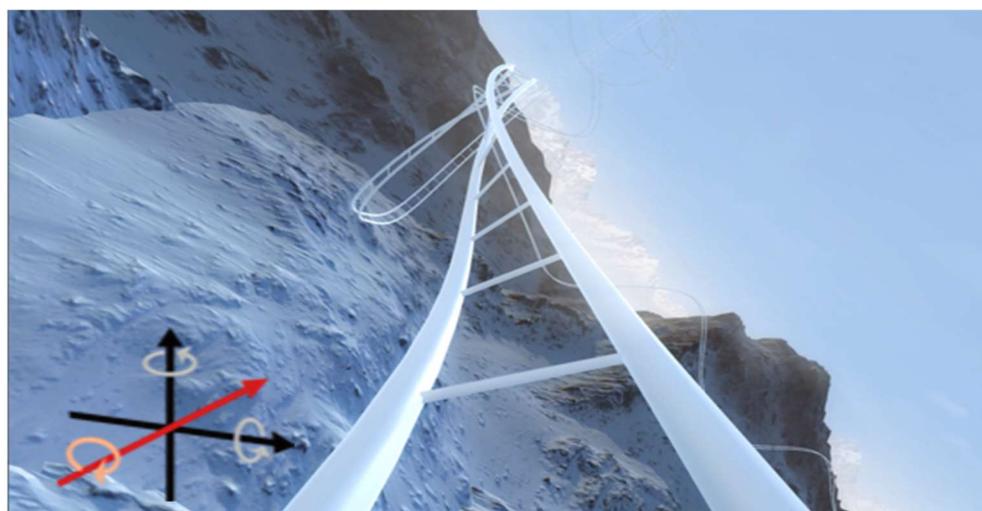


図16 ロール軸回転

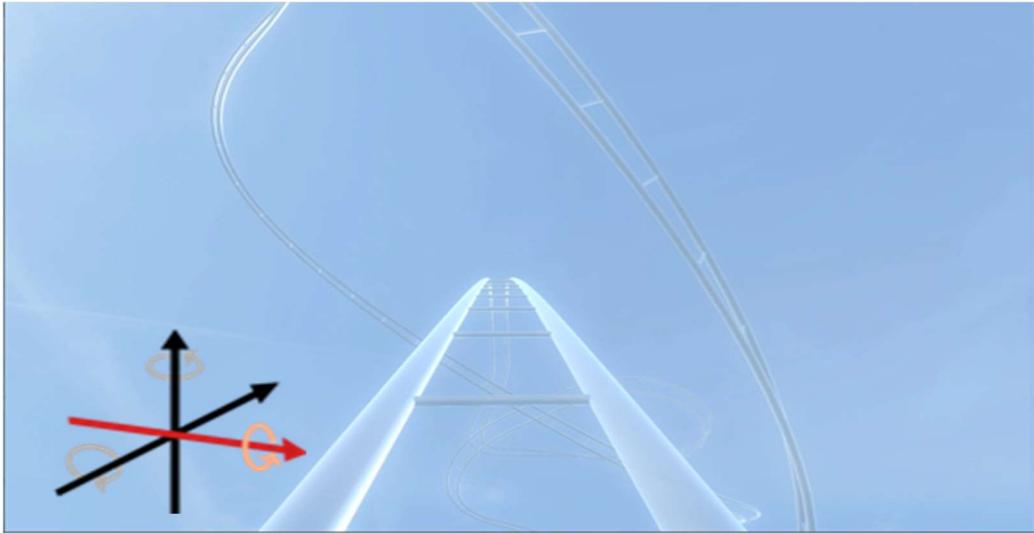


図 17 ピッチ軸回転



図 18 ヨー軸左回転



図 19 ヨー軸右回転

第2節 シューティングコンテンツの作成

色々試した結果、被験者に乗り物酔いを誘発するのに最も効果的なコンテンツはジェットコースターであるという判断した。ただし、視点の動きは一定であることに気付いた。この問題に取り組むために、コースに沿ってターゲットを配置して視点の動きを増やし、より強い視覚刺激を生み出すことにした。

ジェット コースター以上の体験と酔いをさらに高めるために、単純なシューティングゲームを乗り物に組み込むことにした。そうすることで、より魅力的でインタラクティブな体験をユーザーに提供でき、病気を誘発する可能性が高まる可能性がある。

シューティング ゲームの作成には、Unity アセットの Tracks と Rails を使用して、1 ターンあたり約 1 分かかるシューティング コースを作成した。これをもとに、コースを移動しながら的を射るオリジナルのシューティングゲームを開発した。ゲームは 3 周の最後にプレイヤーのスコアを記録する。これは、競争力を高めるだけでなく、プレイヤーがゲームに集中するのにも役立つ。

全体として、ジェット コースターとシューティング ゲームの組み合わせは、ユニークでスリリングな体験をユーザーに提供し、乗り物酔いを誘発する可能性を高める。ターゲットとシューティング ゲーム（図 20、21、22、23、24）を追加することで、乗り物酔いの研究に役立つ、より効果的で魅力的な体験を作成できる。

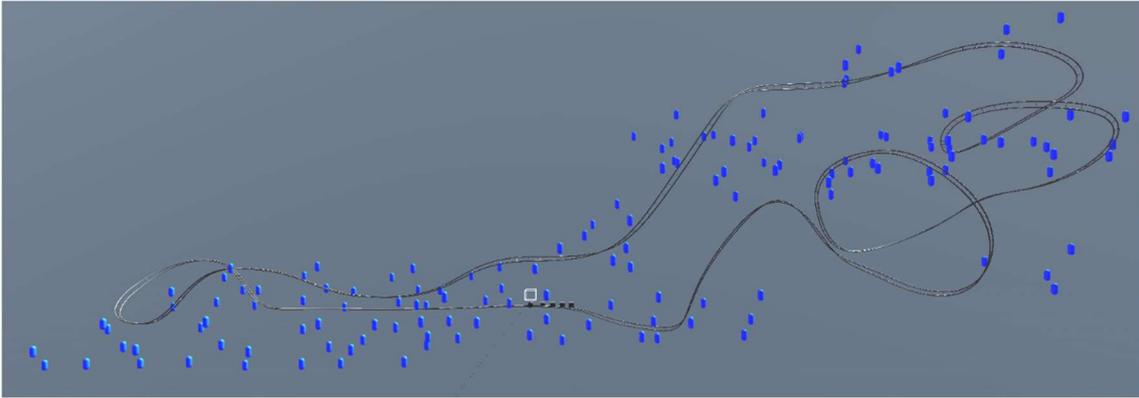


図 20 コースの全体図

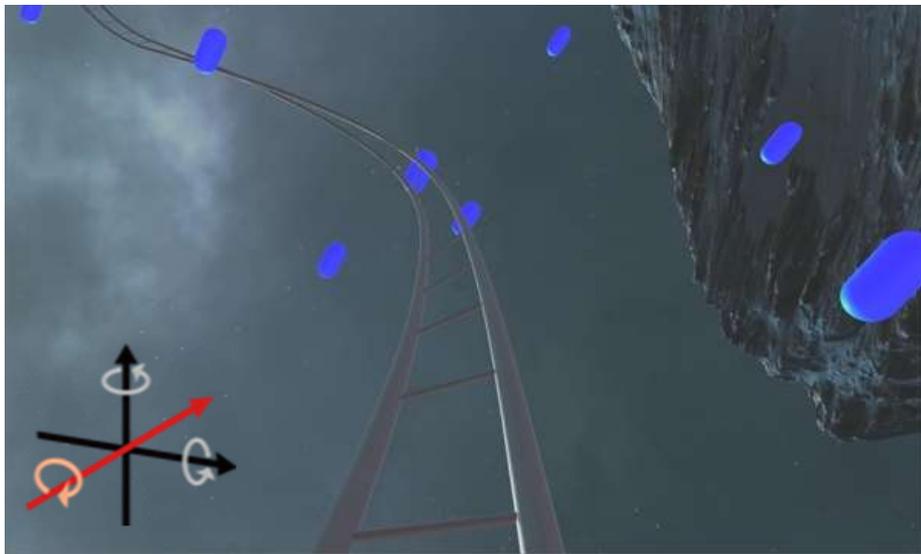


図 21 ロール軸回転



図 22 ピッチ軸回転

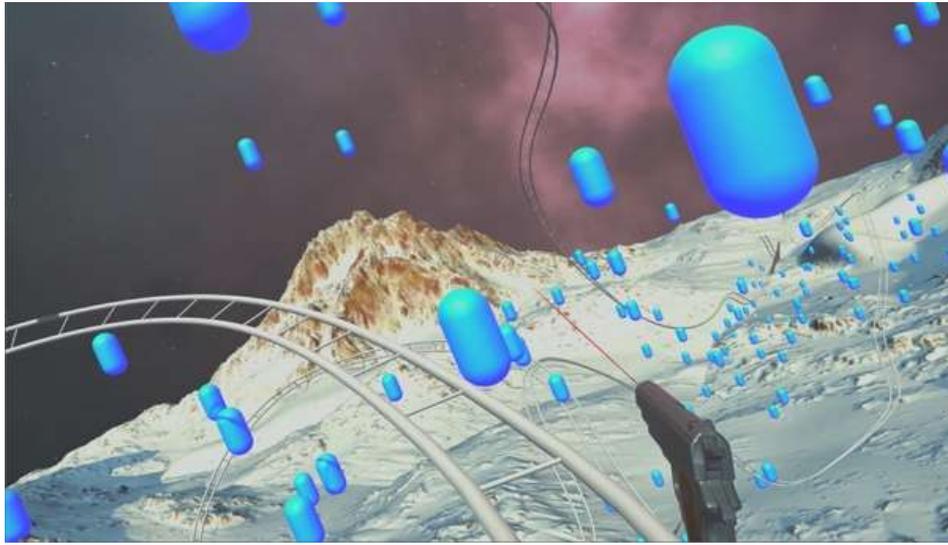


図 23 ヨー軸左回転



図 24 直進

第3節 アクションゲームの作成

ジェット コースターやシューティング ゲームを作成するだけでなく、プレイヤーが VR で自分の動きをコントロールできるようなコンテンツを提供したいと考えた。これを実現するために、スライド運動を利用したゲームを開発することにした (図 25、26、27、28)。

これは、直線運動と回転運動によってベクシオンを誘発するのにより効果的であると考えていた。

ゲームのコンセプトはシンプルで、プレイヤーはコントローラーでアバターを操作し、マップをナビゲートしてアイテムを収集する。スライドの動きに加え、しゃがむ、ジャンプ、ダッシュ ボタンなどの他の要素も組み込んで、ゲームプレイを強化し、より没入感のある体験を提供する。これらのアクションは、特に過度に実行された場合、乗り物酔いを誘発する可能性があると考えた。

ゲームを作成するために、Unity のアセットの RPG/FPS Game Assets for PC/Mobile のマップを使用した。また、マップにさまざまな障害物やチャレンジを追加して、難易度を上げ、ゲームプレイに多様性を加えた。ゲームの目的は、制限時間内にできるだけ多くのアイテムを収集することでした。スコアリング システムを組み込んで、競争力を高め、プレイヤーがゲームを繰り返しプレイできるようにした。

このゲームの結果には満足している。プレーヤーにユニークな体験を提供しただけでなく、動きのメカニズムとアクションによって VR 酔いを効果的に引き起こしたからである。全体として、このゲームを VR コンテンツのラインナップに追加することで、ユーザーの全体的なエクスペリエンスが向上すると考えた。



図 25 全体図



図 26 プレビュー



図 27 しやがみで通れる障害物



図 28 ジャンプで通れる障害物

参考文献

-
- [1] 近江政雄, 氏家弘裕. 映像情報による自己定位と映像酔い(2004)pp.32-39
 - [2] 氏家弘裕, 映像酔い 映像情報メディア学会誌(2007)Vol.61.No.8 p.1124

第4章 仮想フレームの開発

第1節 仮想水平フレームのシステム

VR酔いや空間識失調を防ぐために、Unity を使用して仮想水平フレームを作成し（図29、30、31）、VR 画面に表示することにした。このフレームは、空間認識機能におけるベクションの発生や混乱を抑えるように設計されている。フレームの作成には Adobe Photoshop CS6 を使用し、スプライトとして Unity にインポートした。フレームは、C# スクリプトを介して頭の動きと同期して回転するようにプログラムされており、空間的な向きを維持しながら、ユーザーの没入感を高める。



図 29 水平線部分

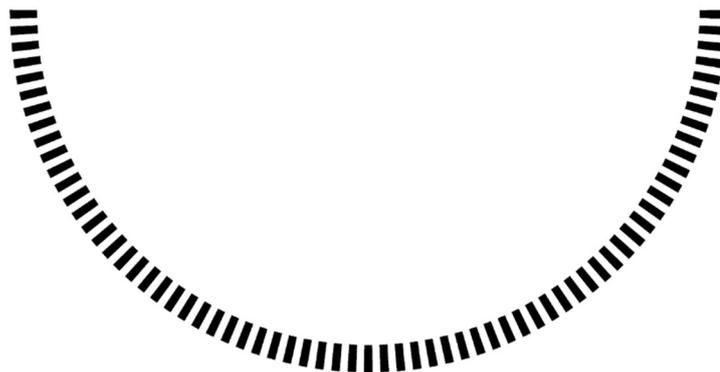


図 30 リング部分

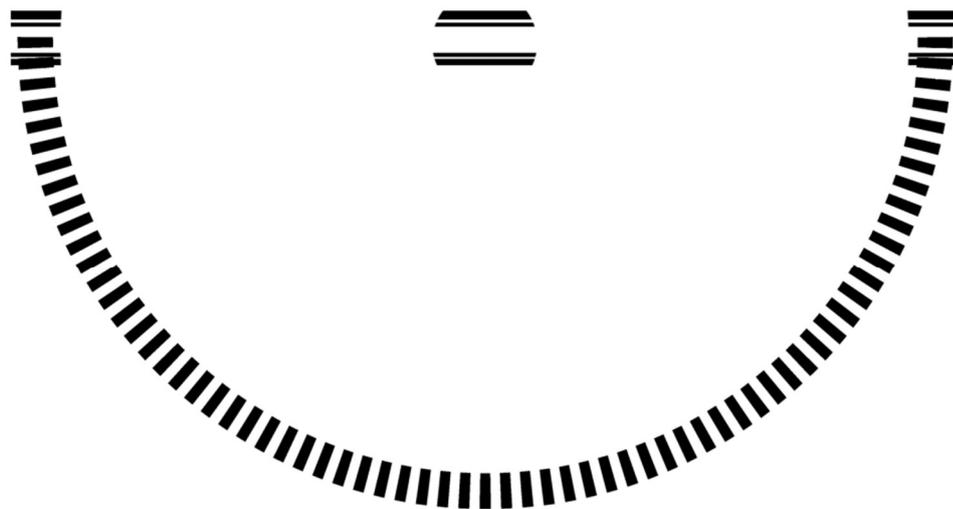


図 31 仮想水平フレーム

VRにおける酔いの主な原因の1つは、視覚信号と前庭（内耳）信号の不一致である。視覚系が動きを認識しても、前庭系が対応する加速または減速を検出しない場合、不快感や吐き気を引き起こす可能性がある。仮想水平フレームを使用すると、視覚系に安定した基準点を提供できる。

Unityで作成した仮想水平フレームは、ベクシヨンの発生を抑え、酔いを軽減するシンプルで効果的なソリューションである。フレームは、VR画面に表示される水平線と回転リングで構成される。線は常に画面上に固定されており、ユーザーの頭の向きに応じて移動することはない。これにより、ユーザーは視野の水平位置を常に認識できるようになり、酔いの原因となる方向感覚の喪失を軽減するのに役立つ。

一方、回転リングは、ユーザーの頭の動きに反応して動く。ユーザーの頭が傾いたり回転したりすると、リングが回転し、水平線に向かってゆっくりと戻る。この動きは、ユーザーの頭の水平位置と傾斜角度を視覚的に表し、VR酔いの原因となる空間認識のギャップを解消するのに役立つ。また、フレームのリング部分が周辺視野を隠し、酔いの原因となるベクシヨンの発生を抑える働きがある。

仮想水平フレームは、VR酔いを軽減する効果的なツールであるが、いくつかの欠点もあることに注意することが重要である。たとえば、フレームを表示すると視界が遮られ、没入感が低下する可能性がある。この影響を最小限に抑えるには、ユーザーのエクスペリエンスをできるだけ妨げないようにフレームを設計することが重要である。全体として、仮想水平フレームはVR酔いを軽減するための便利なツールになる可能性があり、その設計と効果

を最適化するにはさらなる研究が必要である。以下、このフレームをフレーム 1 とする (図 32)。



図 32 視界での仮想フレーム 1

仮想水平フレームの水平線やリングが、VR 酔いの抑制に効果的であることを証明するために、比較用の仮想フレームを作成した。比較用仮想フレームの詳細を提供するために、周辺視野を覆い隠し、固定点を提供するように設計されている。これは、VR コンテンツの没入感を妨げない注視点として機能する、水平線を黒い円に置き換えることによって行われた。ただし、これにより、視野の水平位置を決定することが困難になった。それにもかかわらず、注視点は依然としてその意図された役割を果たした。

このフレームを仮想の水平フレームと比較することで、水平線による VR 酔い抑制効果を検証することができた。この比較分析は、VR 酔いを軽減する仮想水平フレームの有効性を判断する上で重要であった。

さらに、我々はリングの回転機能を削除し、破線を実線に変更して、周辺視野のみをカバーする別のフレームを作成した (図 33、34)。フレーム 2 と呼ばれるこのフレームにより、リングの回転が周辺視野の VR 酔いを抑制する効果を評価することができた。この分析の結果を仮想水平フレームの結果と比較することで、VR 酔いの抑制の根底にあるメカニズムについてより深い洞察を得ることができた。



図 33 仮想フレーム 2

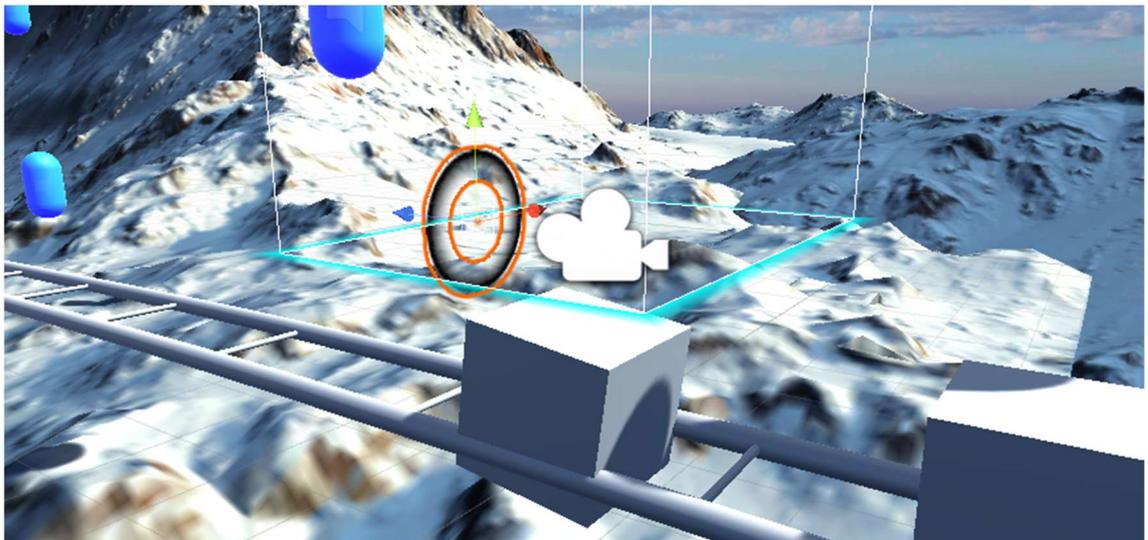


図 34 仮想フレーム 2

フレーム 1 とフレーム 2 で実験を行った後、2つの融合である新しい仮想水平フレームを作成することに着想を得た。この新しいデザインは、フレーム 1 からの水平線とリングの回転機能を組み合わせながら、フレーム 2 からの水平線の干渉の減少も考慮に入れている。

水平線のデザインを簡素化し、コンテンツへの干渉が少ないと推測した。周辺視野を覆い隠し、ベクシオンを抑えるために、半円形のリングを円形に変更した。円の上半分のグラデーションを下半分のグラデーションと境界線として使用することで、新しい水平線として新しい境界線を作成した。

フレーム 3 と呼ばれるこの新しいデザインは (図 35)、没入感を維持しながら VR 酔いを抑える効果的なツールを提供することを目的として開発された。フレーム 3 は、回転機能

とシンプルな横線デザイン、リングの円形デザインの組み合わせにより、VR 酔いの問題を効果的に解決できると考えている（図 36）。



図 35 仮想フレーム 3

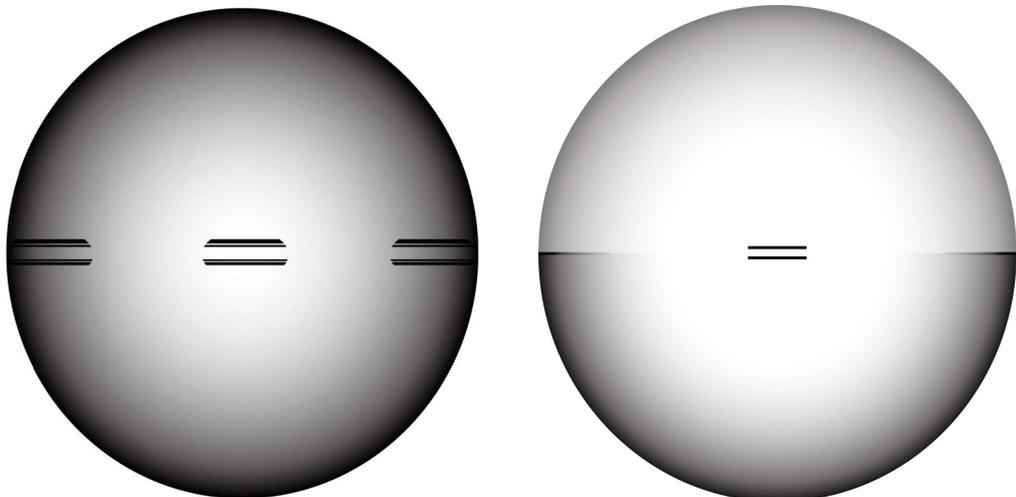


図 36 フレームのデザイン案

開発プロセスでは、仮想水平フレームのデザインは、最終的なデザインが完成するまで何度も繰り返された。

早い段階で、どの方向を見ているのか分かりやすいことを重視したフレーム設計を考えていた。これには、フレームの配置、サイズ、向きに関するさまざまなオプションを検討することが含まれていた。丸、四角、四角などの形や、黒、白、透明など色や質感を変えて

みた。また、画面の端や中央など、フレームのさまざまな位置や、小さいものから大きいものまで、さまざまなサイズのフレームを試してみた。

我々が検討したデザインの 1 つは、画像または 3D オブジェクトを画面全体に等間隔で配置し、それら自体の傾きに関係なくワールド座標で常に水平方向を維持する、全画面画像レイアウト タイプでした。これにより、自分の水平方向が視覚的に分かりやすくなり、VR 酔いの防止や空間認識力の向上に役立つ。しかし、画面全体にオブジェクトを配置することは、VR コンテンツを視聴する上で大きな障害になることが判明した。我々はこのフレームを全画面画像配置型と呼んでいる(図 37、38)。

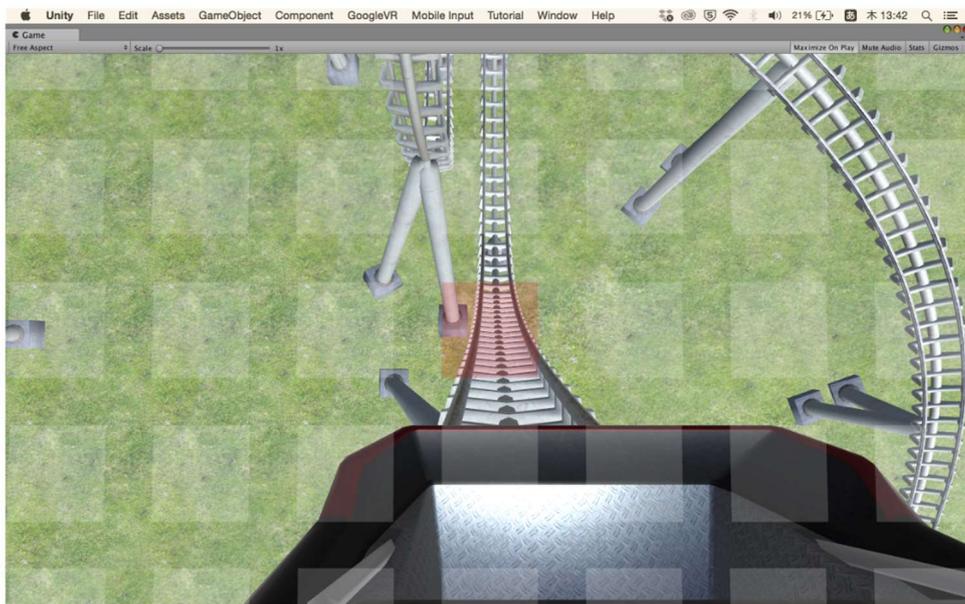


図 37 全画面画像配置型

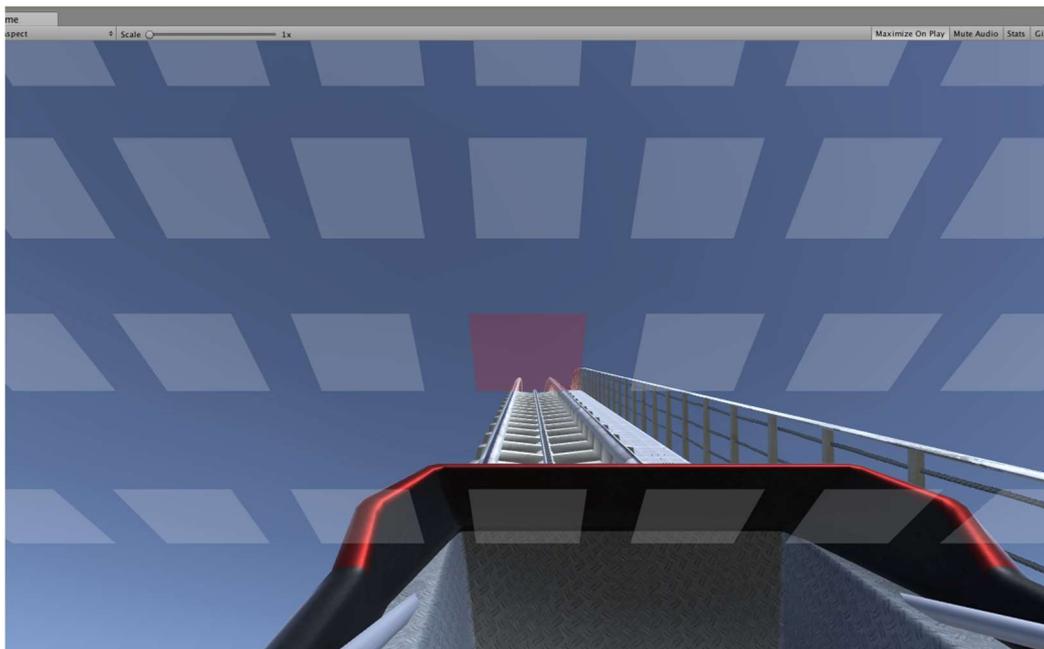


図 38 全画面画像配置型

全画面画像配置タイプの限界を認識した後、カメラの周りに球形のフレームを使用するアイデアを検討し始めた。Unity 内のカメラの周りに対し、球体内部にアルファ透過を施したテクスチャを配置、または 3D オブジェクトを周り一帯に配置したものである。

この新しいデザインは、カメラの動きに合わせて動かず、固定されたオブジェクトを視野に入れることで、ユーザーが見ている方向を認識できるようにした。また、球体の形状により、フレームの向きと仮想世界内のユーザーの位置が理解しやすくなった。このフレームを全方向包囲型と呼んでいる（図 39、40）。

ただし、以前の設計と同様に、このアプローチにもいくつかの課題があった。球形フレームの視覚的に魅力的なテクスチャを作成するには、多くの試行錯誤が必要でした。さまざまなデザインやテクスチャを試して、VR コンテンツの表示を妨げることなく、邪魔にならず、必要な視覚的合図を提供するものを見つけるのは困難である。

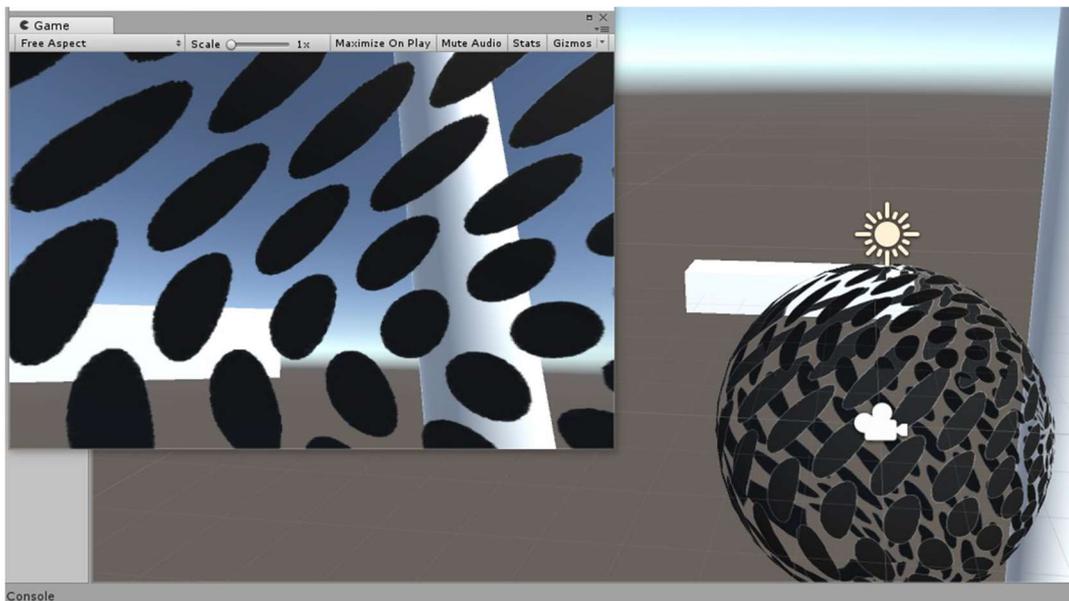


図 39 全方向包囲型

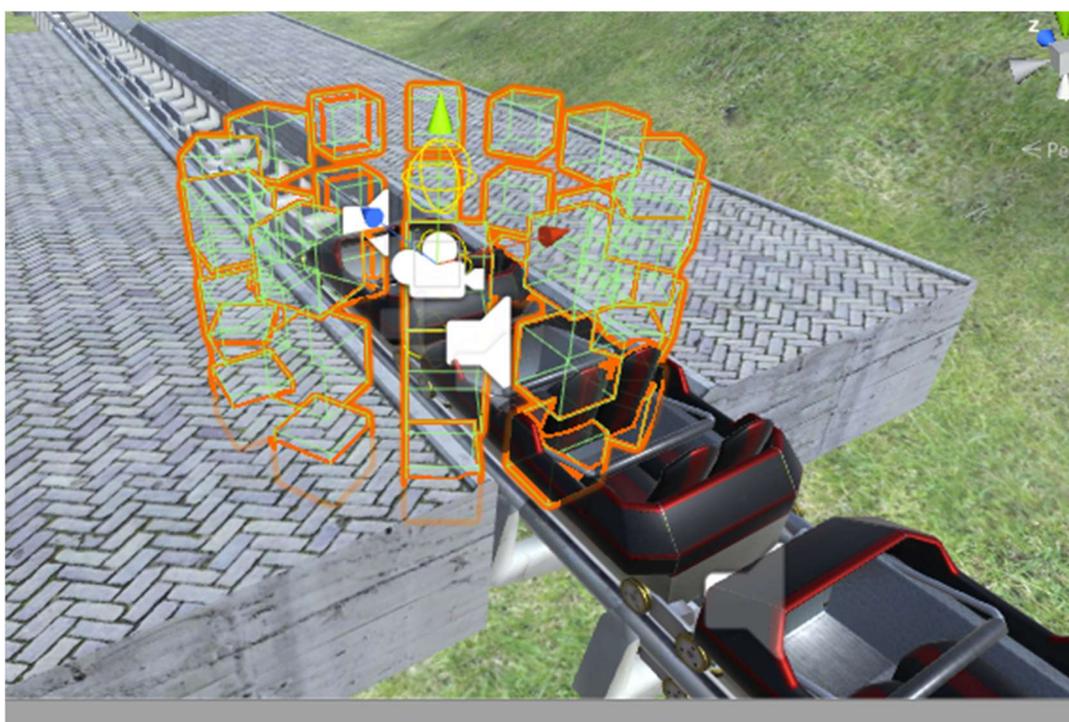


図 40 全方向包囲型

フレーム設計の最初の段階で、最も重要な要素は画角を理解しやすくすることであることに気付いた。これにより、最終的なデザインの基礎となった水平リングタイプが開発された。元々のデザインはリングを左右に配置して上下の傾きを表現していたのであるが（図 41）、円形のHMDで視界を遮っていた（図 42）。

この問題を克服するために、さまざまなデザイン パターンを検討し (図 43)、最終的に単一のリングと水平線のデザインを試すことにした (図 40)。このデザインは、視認性の確保と水平状態の可視化に最も効果的であることがわかった。リングはカメラとともに移動し、水平線に向かってゆっくりと回転し、水平位置と傾斜角度を視覚的に示す。固定された水平線により、ユーザーは視野内の水平位置を常に把握できる。最終の完成品はフレーム 1 である。(図 3 2)



図 41 左右付き水平リング型

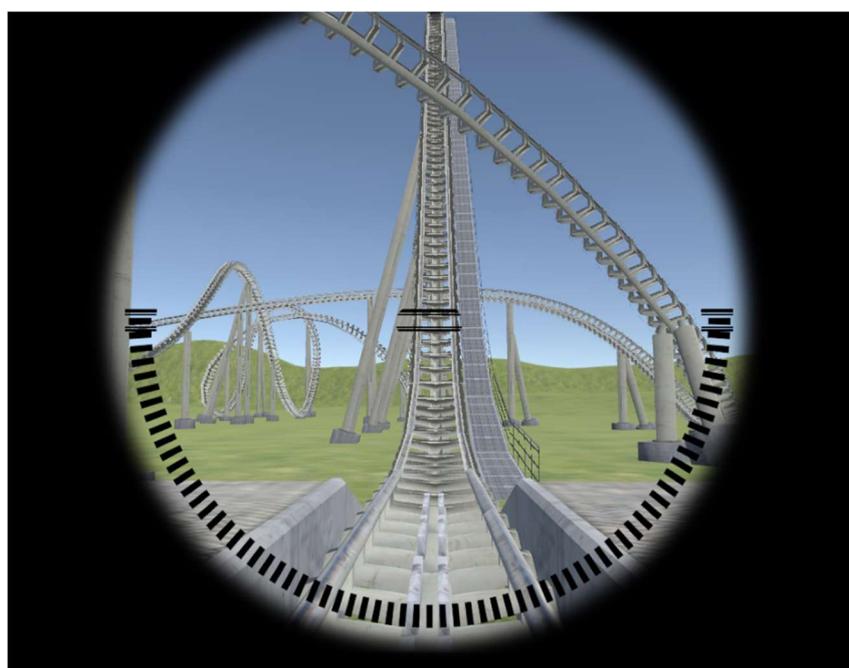


図 42 実際の視界での仮想水平フレーム

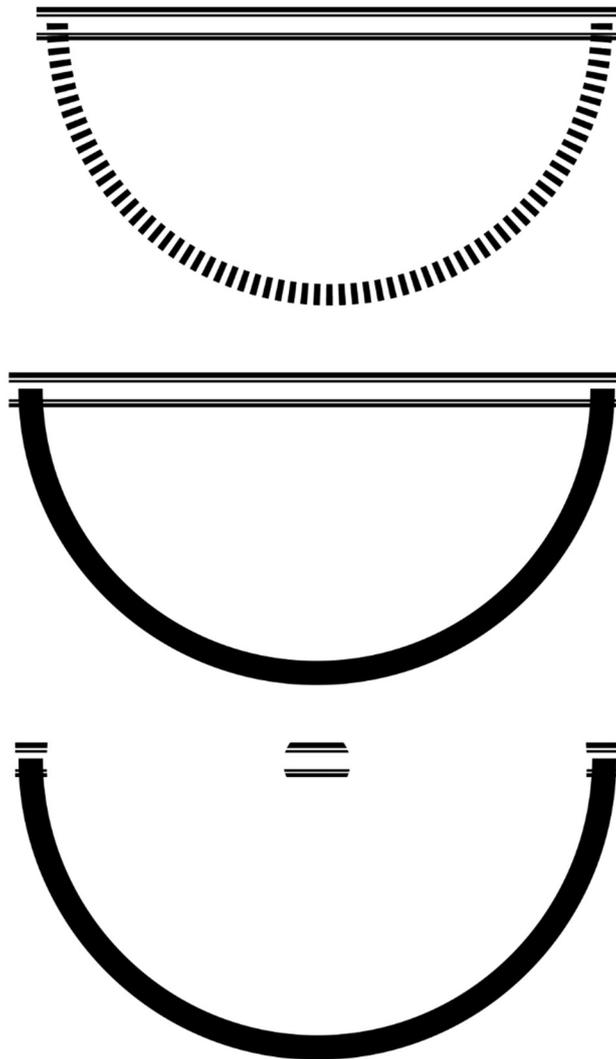


図 43 水平リングのデザイン

第 2 節 フレーム回転プログラム

VR コンテンツの開始時、リアルタイムのヘッドトラッキングにより、ユーザーの頭の向きに合わせてカメラが動く。処理手順としては(図 44)、現在のカメラアングルを取得し、変数に格納されている前フレームのカメラアングルとの差分を計算する。この差分だけ仮想水平フレームのリング部分がカメラの回転と逆方向に回転する(図 45)。これにより、ペアレネィングを通じてカメラを追跡する仮想フレームの水平線部分のみがカメラの回転の影響を受けるようになる。

逆回転処理が終了すると、現在の角度が変数に格納され更新される。その後、リングが徐々に水平位置に戻るための回転角度が計算され、それに応じてリングが回転される。この

プロセスにより、ユーザーの頭の動きに応じて仮想フレームをスムーズかつ継続的に調整できる。これらの正確で応答性の高い動きを実装することにより、ユーザーの臨場感と VR 環境への没入感が向上する。

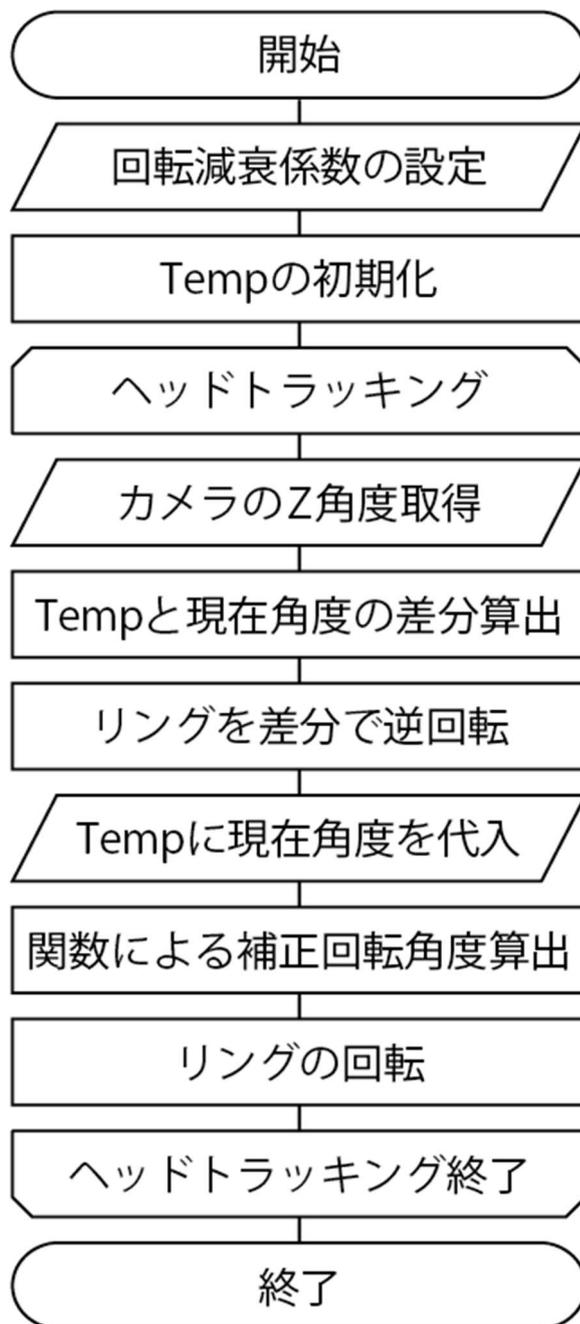


図 44 プログラムのフローチャート

ここでの Temp は、一時変数を定義するために使用される。これは、temporary 英語の単語一時の最初の 4 文字である。

```

1  using System.Collections;
2  using System.Collections.Generic;
3  using UnityEngine;
4
5  public class Sp_Rotate_Front : MonoBehaviour
6  {
7      // Start is called before the first frame update
8      //別オブジェクト参照
9      Transform target_Cam, target_nullpoint;
10
11     void Start(){
12         target_Cam = GameObject.Find("Camera").transform;
13         //Image回転方向の0方向設定
14         target_nullpoint = GameObject.Find("Image_Stop").transform;
15     }
16
17     //減衰回転用
18     [SerializeField] float speed = 35f;
19     float temp_Cam = 0f;
20
21     // Update is called once per frame
22     void Update(){
23         //カメラのz回転の影響を消して水平に
24         var eulerRotation = transform.rotation.eulerAngles;//現在の角度
25
26         //カメラの-方向に回転
27         eulerRotation.z +=
28             -1*(target_Cam.transform.localEulerAngles.z - temp_Cam);
29         transform.rotation = Quaternion.Euler(
30             eulerRotation.x,
31             eulerRotation.y,
32             eulerRotation.z
33         );
34         temp_Cam = target_Cam.transform.localEulerAngles.z;
35
36         //指定した方向にゆっくり回転する
37         float step = speed*Time.deltaTime;
38
39         transform.rotation = Quaternion.RotateTowards
40             (transform.rotation,target_nullpoint.rotation,step);
41         //(from_A,to_B,speed)
42     }
43 }

```

図 45 回転機能のソースコード（一部抜粋）

第3節 フレーム設定プログラム

VR を用いた実験を行う際に、HMD の画面と目の距離などに個人差があるため、仮想フレームの表示される位置の調整や焦点距離の調整が必要である。焦点距離の調整は HMD のダイヤルを回すことで調整が可能である。しかし、仮想フレームの位置を調整する機能は HMD

に備わっていない。仮想フレームの位置の調整に加え（図 46）、VR 酔いの抑制に影響を与える可能性があるため、フレームのサイズを考慮することも重要である。そこで、被験者が仮想フレームのサイズも調整できるプログラムを開発した。Vive Cosmos コントローラーを使用すると、被験者は仮想フレームを拡大または縮小してサイズを調整できる。

さらに、実験の精度と再現性を確保するために、このプログラムでは、被験者は快適になるまで仮想フレームを調整するように求められ、プログラムはその被験者の仮想フレームの位置とサイズを記録する。これにより、後続の実験で各被験者の一貫した正確な調整が可能になる。

要約すると、VR 実験を実施して被験者の快適な体験と、結果の正確さと再現性を確保するには、仮想フレームの位置とサイズを調整することが重要である。当社のプログラムでは、HMD の位置や被写体の好みの個人差に合わせて簡単にカスタマイズ可能な調整が可能である。

```

6 public class Pos_Change : MonoBehaviour
7 {
8     public Transform rectpos;
9     public SteamVR_Input_Sources handType,handType2;
10    public SteamVR_ActionSet myAction;
11
12    // Start is called before the first frame update
13    void Start()
14    {
15        rectpos = GameObject.Find("Pos").transform;
16        myAction.Activate(SteamVR_Input_Sources.Any);
17    }
18    public SteamVR_Action_Boolean Button_Y;
19    public SteamVR_Action_Boolean Button_X;
20    public SteamVR_Action_Boolean Button_A;
21    public SteamVR_Action_Boolean Button_B;
22    public SteamVR_Action_Boolean Button_L1;
23    public SteamVR_Action_Boolean Button_R1;
24
25    float cx,cy,cz;//x,y,z軸の変化量
26    [SerializeField]public float rx,ry,rz;//x,y,z軸の座標収納
27    bool flag_x = false,flag_y = false, flag_z = false;//
28
29    // Update is called once per frame
30    void Update()
31    {
32        handType = SteamVR_Input_Sources.LeftHand;
33        handType2 = SteamVR_Input_Sources.RightHand;
34
35        //左手のボタン設定
36        //フレームのy軸の設定
37        if(Button_Y.GetStateUp(handType) == true){//フレームを上移動
38            cy = 1;
39            ry += cy/100;
40            Debug.Log("Y座標:"+ry);
41        }
42
43        if(Button_X.GetStateUp(handType) == true){//フレームを下移動
44            cy = -1;
45            ry += cy/100;
46            Debug.Log("Y座標:"+ry);
47        }
48
49        if(Button_L1.GetStateUp(handType) == true){//フレームを左移動
50            cx = -1;
51            rx += cx/100;
52            Debug.Log("X座標:"+rx);
53        }
54

```

図 46 位置調整のソースコード（一部抜粋）

第5章 実験

第1節 実験手順

VR酔いの評価にはSSQ(Simulator Sickness Questionnaire)や脳血流測定が用いられる。シミュレータ酔いアンケート(SSQ)は、仮想現実の分野で重要な手段として機能し、研究者や専門家がシミュレータ酔いの問題を評価して対処できるようにする。これは、仮想環境におけるユーザーの不快感や症状を数値化することで、ユーザーの健康状態を監視する上で重要な役割を果たす。

長年にわたり、SSQは進化し、シミュレータ酔いのさまざまな側面を網羅するようにその範囲を拡大してきた。研究者らは、没入型ゲーム、トレーニングシミュレーション、医療アプリケーションなど、さまざまなタイプの仮想現実体験を考慮してアンケートを修正および適合させた。その多用途性により、VRによって引き起こされる不快感の一因となる可能性のあるさまざまな要因を理解する上で非常に貴重なツールとなる。たとえば、Volkan Sevinc と Berkman Mehmet Ilker は被験者内実験計画を実施し、9つのセッションにわたって32人の参加者が参加する7つの異なる仮想環境(VE)を評価した。この総合評価の結果、16項目のシミュレータ酔いアンケート(SSQ)に288件の回答があった。この研究は、SSQの心理測定の品質をアンケートのこれらのバリエーションと比較し、構成概念の妥当性、判別妥当性、内部信頼性、テストと再テストの信頼性、感度などの側面を評価することを目的としていた。彼らの調査結果は確かに肯定的であり、サイバーシックに関連するVEの適用面を区別する上でSSQとその亜種が有効であることを示している[1]。

さらに、SSQの適用は米国に限定されない。国際的に認知されており、世界中のVR研究や応用に使用されている。この世界的な導入は、SSQの普遍的な関連性と、文化や地域を越えてユーザーのVRエクスペリエンスを向上させる役割を強調している。

結論として、シミュレータ酔いアンケートは、多様な仮想現実状況におけるシミュレータ酔いの評価を支援する、普遍的で適応可能なツールとして機能する。その継続的な使用と進化は、VR研究分野におけるその永続的な重要性和、仮想現実体験の全体的な品質向上への継続的な貢献を示している。

参加者はVRコンテンツを体験する前と後のアンケートに記入し、症状を比較する。この方法は、仮想現実が参加者にどのような影響を与えるか、またさまざまな介入が乗り物酔いの軽減にどの程度効果的かを特定するのに役立つ。

VR酔いを評価するための生理学的指標として、SSQに加えて脳血流測定が使用される。脳内の血流は神経活動の重要な指標であり、脳がVR環境にどのように反応するかについ

での洞察を提供する。脳血流は、脳内の酸素化された血液と脱酸素化された血液の量を測定する非侵襲的技術である NIRS（近赤外分光法）を使用して測定される。

脳血流以外の生理学的指標を使用しなかった理由は、Graybiel らによって行われた研究などの以前の研究では、動揺病の発症と生理学的指標の変動の減少に有意な傾向が見出されなかったためである。^[2]この違いを検証するために心拍数を測定することも検討されましたが、失敗した。詳細については後述する。

一方、Seraglia らは、VR と NIRS 測定を組み合わせた実験により、VR を体験しながら脳血流を正確に測定できることを実証した^[3]。そこで本研究では、VR 酔いを評価するための生理学的指標として脳血流を検証する。主観的評価と生理学的評価を組み合わせることで、人間の知覚と生理機能に対する VR の影響をより包括的に理解できるようになる。

研究の参加者を募集するために、男女合計 20 人の被験者が選択され、4 つのコンテンツの 1 つに割り当てられた（1 グループあたり 5 人の被験者）。各被験者は、フレームなし、フレーム 1、フレーム 2、およびフレーム 3 で VR のコンテンツを体験するように求められた。各体験の後、被験者は、各フレームの有無にかかわらず VR 酔いの程度を評価するために、シミュレーター酔いアンケート（SSQ）に回答するように求められた（図 47）。

SSQ に加え、被験者には VR 装着時に脳血流計（NIRS）を装着してもらい、各フレームの有無における脳血流の変化を比較した。この目的は、生理学的指標として脳血流を測定し、VR 酔いの客観的な評価として将来の研究に使用できる可能性を評価することでした。

より主観的なフィードバックを収集するために、研究で使用されたフレームの追加評価を収集するための簡単なアンケートを実施した。これにより、被験者の経験や好みをより包括的に理解することができた。

測定環境を標準化し、正確な結果を保証するため、すべての測定は晴れた日、食後少なくとも 2 時間経過し、室温を 25° C に設定して実行された。これらの条件は、被験者の経験や生理学的反応に対する外部要因の影響を最小限に抑えるために選択された。

短期間に複数回 VR コンテンツに触れることで、被験者がその内容に対して抵抗力を持つ可能性があるため、また、実験の場所や被験者の都合を考慮して、各実験グループの間隔を 5-7 日に拡大した。これにより、被験者が短期間で頻繁に VR に接することによる慣れを防ぎ、測定結果への影響を最小限にすると同時に、実験の信頼性と有効性を向上させた。

この時間間隔の拡大は、VR テストに参加する被験者にとっても好都合であり、実験への参加を促進する効果が期待される。特に、短期間で連続的な VR 体験が被験者に与える影響を正確に評価するためには、被験者が新鮮な状態で実験に参加することが重要である。この拡大された間隔により、被験者は各実験セッションでよりリフレッシュされ、VR 体験に対して未だ慣れていない状態で臨むことができる。

さらに、被験者が実験に参加する際には、VR コンテンツに対する新奇性が維持され、被験者がより意識的に VR 体験に臨むことが期待される。これは、実験結果がより客観的で信頼性の高いものとなることに繋がる。拡大された間隔により、被験者が VR コンテンツに対して新鮮で感度が高まった状態で実験に臨めるため、より精緻なデータが収集されるであろう。

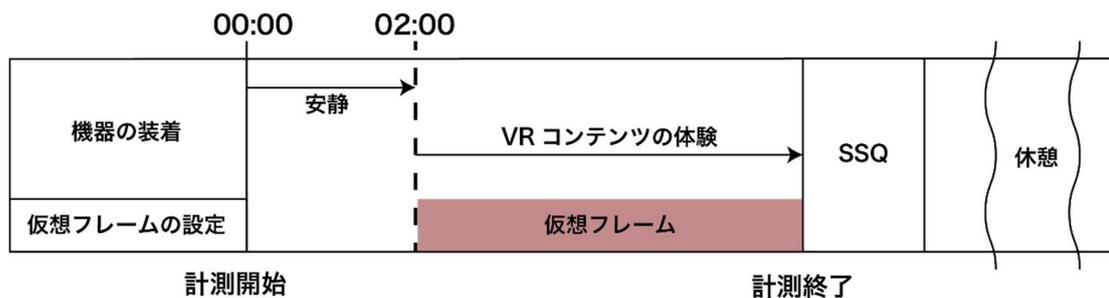


図 47 実験の手順

第 2 節 SSQ の計測

シミュレーター酔いアンケート (SSQ) は、仮想現実環境における乗り物酔いを評価するために広く使用されているツールである。この質問票は当初 Kennedy らによって開発された。米国では、運転シミュレーターや飛行機シミュレーターでの VR 酔いの診断で使用されている。アンケートはシミュレータ酔いに有効と思われる 16 項目の主観評価項目から構成されており、これらの項目は多数のシミュレータ利用者から得られた主観評価結果を因子分析することにより抽出したものである。16 項目のそれぞれを 0 (無症状) から 3 (重篤な症状) までの 4 段階で評価し、その評価値を用いて式 (1) により評価値を算出する。 α は重みである。気持ち悪さ (N: Nausea)、目の疲れ (O: Oculomotor)、ふらつき感 (D: Disorientation) の症状を 1 とし、これらの症状がないものを 0 とする。また、合計点 (TS: Total Score) は式 (2) により算出され、VR 酔いの総合的な指標となる (表 4)。SSQ は、VR ユーザーが経験する不快感のレベルを評価するのに役立つツールであり、その有効性は多くの研究で実証されている [2][4]。

表 4 SSQの主観評価項目

i)酔いの徴候・症状	評価値 $x_i(0\sim3)$	気持ち悪さ N_i	目の疲れ O_i	ふらつき感 D_i
1)一般的な不快感		1	1	0
2)疲労感		0	1	0
3)頭痛の程度		0	1	0
4)目の疲れ		0	1	0
5)目の焦点の合わせ辛さ		0	1	1
6)唾液の増加		1	0	0
7)発汗量		1	0	0
8)吐き気の程度		1	0	1
9)集中力の低下度		1	1	0
10)頭が重く感じる程度		0	0	1
11)目のかすみ		0	1	1
12)眩暈感(開眼状態)		0	0	1
13)眩暈感(閉眼状態)		0	0	1
14)平衡感覚の低下の程度		0	0	1
15)胃の違和感, 不快感		1	0	0
16)げっぷが出る		1	0	0

$$\begin{aligned}
 N_s &= \alpha_N \sum_{i=1}^{16} N_i x_i \\
 O_s &= \alpha_O \sum_{i=1}^{16} O_i x_i \\
 D_s &= \alpha_D \sum_{i=1}^{16} D_i x_i
 \end{aligned} \tag{1}$$

$$T_s = \alpha_T \sum_{i=1}^{16} (N_i + O_i + D_i) x_i \tag{2}$$

$$\alpha_N = 9.54, \quad \alpha_O = 7.58, \quad \alpha_D = 13.92, \quad \alpha_T = 3.74$$

わかりやすくするために、次のように表すこともできる。

$N=9.54 \times (1 \text{ の評価} + 6 \text{ の評価} + 7 \text{ の評価} + 8 \text{ の評価} + 9 \text{ の評価} + 15 \text{ の評価} + 16 \text{ の評価})$

(1)

$O=7.58 \times (1 \text{ の評価} + 2 \text{ の評価} + 3 \text{ の評価} + 4 \text{ の評価} + 5 \text{ の評価} + 9 \text{ の評価} + 11 \text{ の評価})$

$D=13.92 \times (5 \text{ の評価} + 8 \text{ の評価} + 10 \text{ の評価} + 11 \text{ の評価} + 12 \text{ の評価} + 13 \text{ の評価} + 14 \text{ の評価})$

$TS=3.74 \times (N, O, D \text{ の } 16 \text{ 項目の評価の合計}) \dots (2)$

第3節 脳血流の測定



図 48 脳血流計(NIRS)

この研究では、VR 疾患の生理学的指標として脳血流が使用され、脳血流モニター(NIRS)によって測定された。NIRSは、脳内の血液量を非侵襲的に測定し、前頭葉の血液量の変化を可視化する装置である。血液の成分であるヘモグロビンは光を散乱し、酸素が結合すると散乱量が増加する。近赤外波長領域の光の吸収は、異なる吸収スペクトルを持つ酸化ヘモグロビン(oxy-Hb)と脱酸素ヘモグロビン(deoxy-Hb)によって引き起こされる。

NIRSの測定プロセスは、頭皮に垂直に設置した光源から脳組織を通して近赤外光を放射し、脳組織で吸収・散乱した後に放射され、頭皮に垂直に設置した光検出器で受光するというものである。

2つ以上の波長で吸光度の変化を測定することで、酸素HbとデオキシHbの濃度変化を計算し、脳血液量マップをソフトウェア上に即時に表示できる。これにより、VR体験中の脳血流の変化を解析し、フレームありとフレームなしで比較することが可能になった。この手法はVRめまいの定量的な指標として利用でき、より快適なVR環境の構築に貢献することが期待される[5]。

Seragliaらは、VRとNIRSの測定を組み合わせ、VR活動中の頭頂葉と後頭葉の脳活動を測定する研究を実施した。その結果、VR体験中でも正確に脳血流を計測でき、オキシヘモグロビンの変化が脳活動を反映するパラメータとして利用できることが分かった[3]。

また、自発的な運動など、自分の意思で積極的に運動をしていると、オキシ-Hb値が上昇することがわかっている。しかし、外部からの影響による意図と無関係な運動中は、オキシ-Hbの有意な変化は観察されない[3][6]。これは、オキシヘモグロビンの変化が意図的な脳活動の信頼できる指標となり得ることを示唆している。

第4節 心拍数によるVR酔いの生理的指標計測

前述のVR酔いの生理的評価基準については、心拍数とVR酔いの関係を実験により関連付けることを試みましたが、しかし、本格的な実験を行うにはコストがかかるため(表5)、フレームありとフレームなしを比較する予備実験を行いた。ここで使用するフレームはframe1である。

この研究で使用された心拍数モニターは、手首に装着する非侵襲性デバイスであるGarmin光学式心拍数モニター(ForeAthlete235J)でした(図49)。センサーは緑色の光を発生し、血液中のヘモグロビンの光吸収と反射率の変化を検出することで心拍数を測定する。ヘモグロビンによって輸送される酸素の量はその光の吸収と反射率に影響し、動脈内の血流は心臓の収縮と拡張に応じて規則的に変化し、その結果光の吸収率が高くなる。逆に、動脈が拡張するとヘモグロビンの密度が減少し、緑色光の吸収率が減少する(図50、51)。これにより、心拍数モニターは胸部ストラップやその他の侵襲的な装置を必要とせず心拍数を正確に測定できる。ForeAthlete235Jはアスリートの間で人気のデバイスであり、その精度と信頼性で知られている。



図 49 心拍数計 Garmin ForeAthlete235J

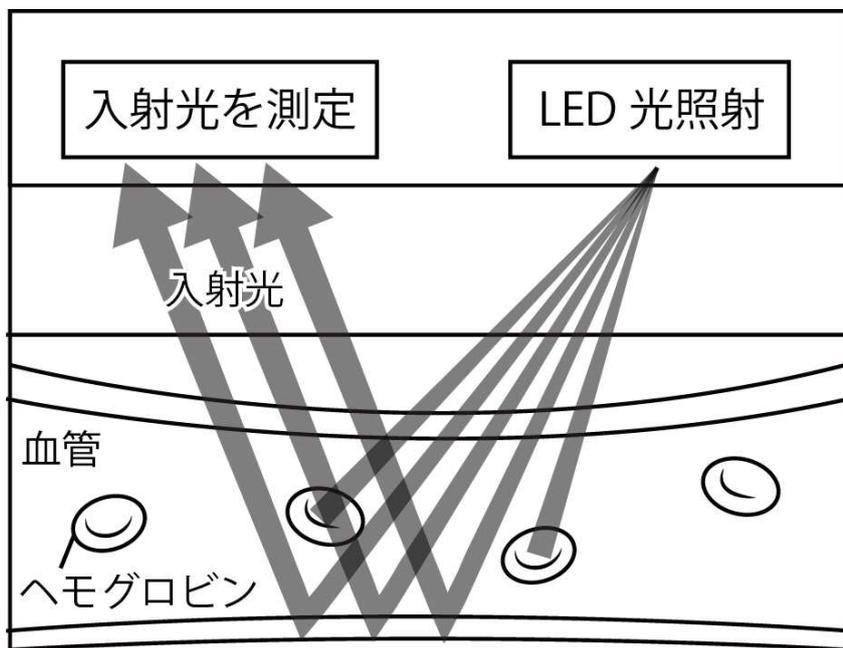


図 50 血管の収縮時の光の動き

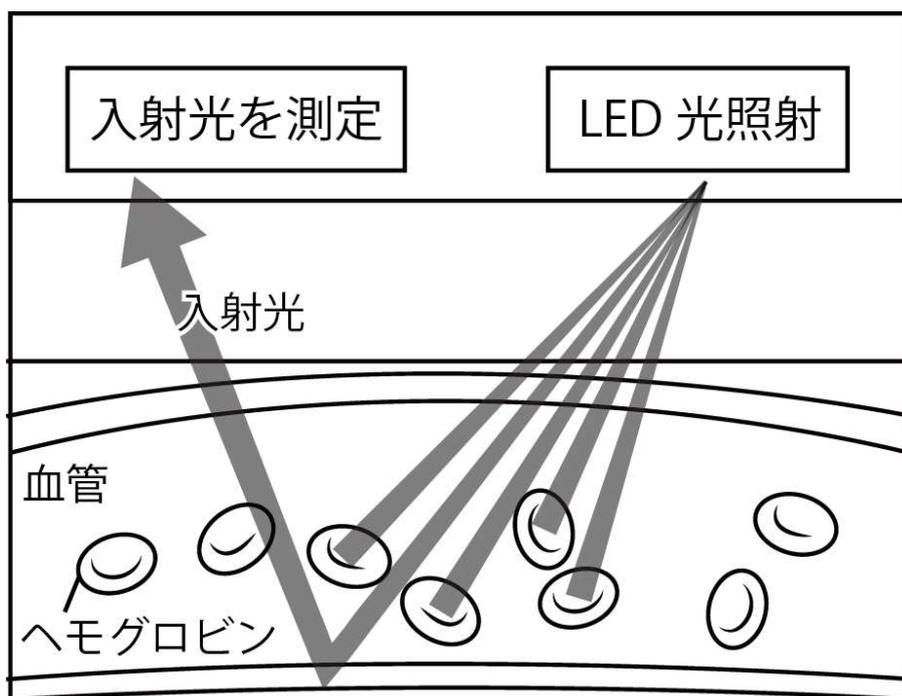


図 51 血管の拡張時の光の動き

実験に参加した 10 人は VR 酔いのしやすさに基づいてグループ A とグループ B の 2 つのグループに分けられた (図 52)。この分割は、VR 酔いの感受性の個人差によって実験結果が偏らないようにするために行われました。グループ A のメンバーは VR 酔いを経験しやすいと報告し、グループ B のメンバーは VR 酔いを経験しにくいと報告した。

表 5 実験の手順

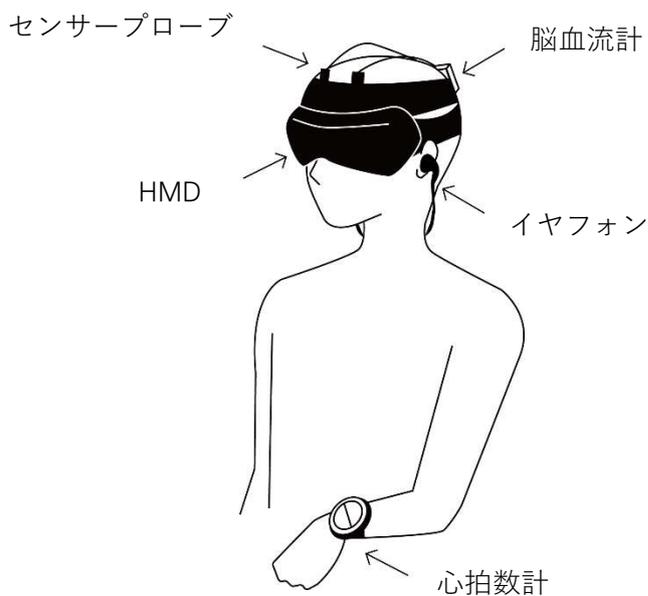


図 52 実験風景

研究で得られたグラフは、AB 2 グループの被験者がリラックスした状態にあるときの心拍数を示している。後のグラフは、仮想水平フレームを使用せずにジェットコースター映像を視聴した場合と、仮想水平フレームを使用した場合の被験者の平均心拍数と最大心拍数を示している（表 6、7）。これらのグラフから得られたデータは、2 つのシナリオで被験者の心拍数を比較するために使用された（図 53、54）。この比較は、仮想水平フレームの使用が被験者の心拍数に及ぼす影響や、VR 酔いに影響を与えるかどうかを理解するのに役立つ。

SSQ-TS 値は、参加者が経験する VR 酔いの客観的な測定値を提供する。最初の測定における被験者グループ A の高い平均 SSQ-TS 値は 100.98 であり、このグループが高レベルの VR 酔いを経験したことを示している。ただし、2 回目の測定後、平均 SSQ-TS 値は 26.18 まで大幅に減少し、このグループの VR 酔いが時間の経過とともに減少したことを示している。

一方、被験者グループ B は、最初の測定で SSQ-TS の平均値が 26.18 と低く、このグループの病気が少ないことを示した。2 回目の測定では、SSQ-TS の平均値がさらに 14.96 に減少した。これは、このグループが VR 酔いの傾向がさらに低いことを示している。グループ A とは対照的に、グループ B の 3 つの測定値には有意差は観察されなかった。

仮想水平フレームがない状態の前半のみにグループ B で観察された大きな起伏は、このグループが仮想環境での視覚参照の欠如により不快感を感じたことを示唆している。実験後のインタビュー調査では、B グループの 2 人がジェットコースターが苦手と回答しており、それが VR 環境における不快感の一因となっている可能性がある。注目に値するのは、実験中に不快感を報告したグループ B の 2 人に加え、グループ B の他の 3 人の参加者は実験中ずっと正常に行動し、重大な不快感や悪影響を経験しなかったことである。

これらの結果にもかかわらず、グループ B は 1 回目と 2 回目の測定の後半で同様の心拍数の波を示しており、グループ A よりも VR 環境に適応できていることがわかった。心拍数の波打ちは心理的要因によるものであることが示唆される。VR 酔いではなく、興奮などのその他の要因である。

心拍数の測定では、結果に影響を与える可能性のある要因がいくつかあることに注意することが重要である。まず、体調の個人差が心拍数の変動につながる可能性がある。これには、年齢、性別、体重、全体的な健康状態などの要因が含まれる場合がある。次に、ストレス、不安、興奮などの心理的要因も心拍数に影響を与える可能性がある。最後に、騒音レベル、照明、温度などの周囲環境の違いが心拍数の測定に影響を与える可能性がある。これ

らの微妙な違いにより、心拍数測定において効果的で一貫した結果を得ることが困難でした。

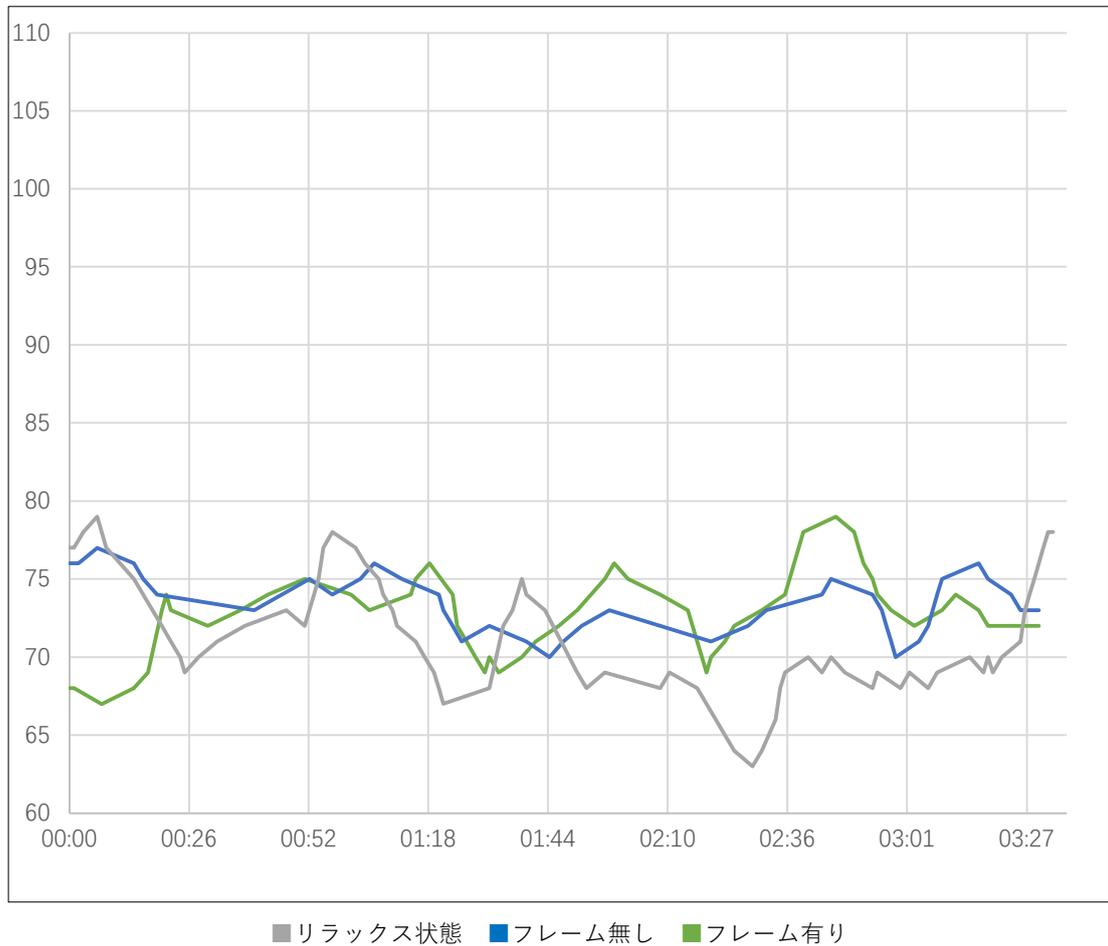
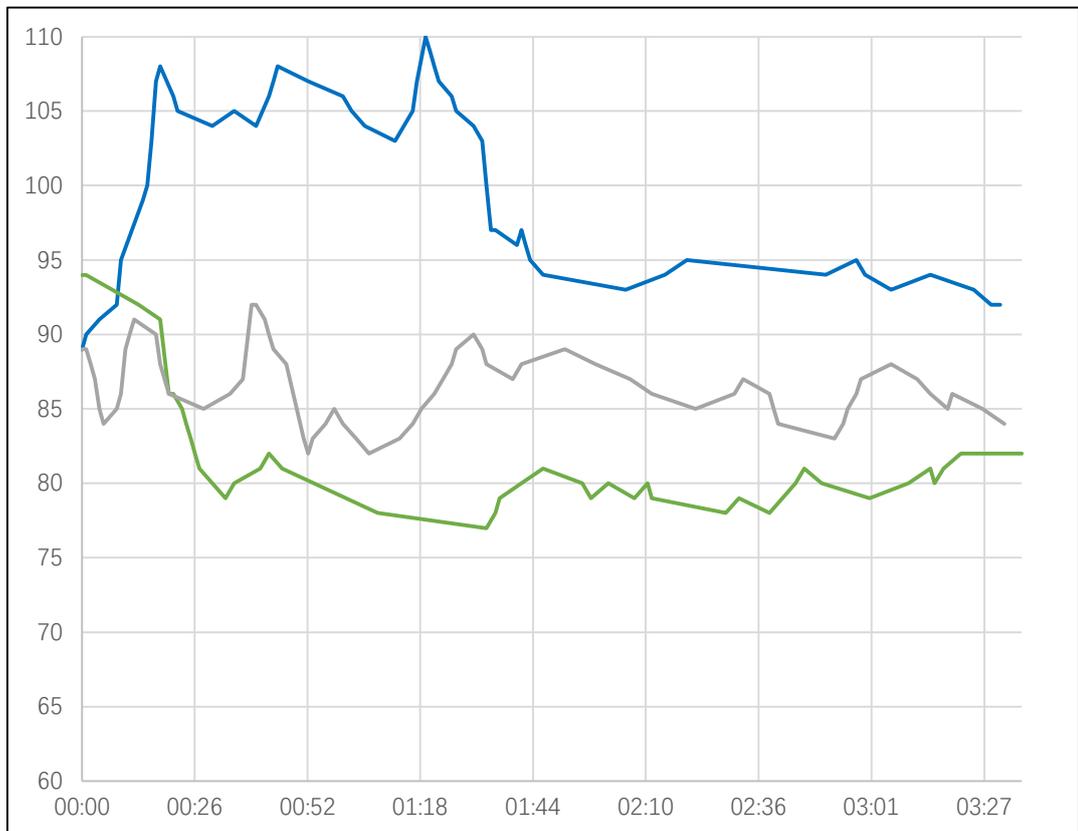


図 53 被験者グループ A の心拍数

表 6 被験者グループ A の平均心拍，最大心拍

	リラックス状態	フレーム無し	フレーム有り
平均心拍	71	73	73
平均最大心拍	79	77	79



■リラックス状態 ■フレーム無し ■フレーム有り

図 54 被験者グループ B の心拍数

表 7 被験者グループ B の平均心拍, 最大心拍

	リラックス状態	フレーム無し	フレーム有り
平均心拍	86	98	81
最大心拍	92	110	94

参考文献

- [1] Volkan Sevinc, Berkman Mehmet Ilker, Psychometric evaluation of Simulator Sickness Questionnaire and its variants as a measure of cybersickness in consumer virtual environments. *Applied Ergonomics*, Volume 82, January 2020, 102958
- [2] Graybiel, A. and Lackner, J. R. : Evaluation of the Relationship between Motion Sickness Symptomatology and Blood Pressure, Heart Rate, and Body Temperature. , *Aviat. Space and Environ. Med.*, 51, 211-214(1980)
- [3] B. Seraglia, L. Gamberini, K. Priftis, P. Scatturin, M. Martinelli, and S. Cutini, "An exploratory fNIRS study with immersive virtual reality : A new method for technical implementation, " *Frontiers in Human Neuroscience*, 5, p. 176 (2011).
- [4] Kennedy, R.S., Lane, N.E., Berbaum, K.S. "Simulator sickness questionnaire: an enhanced method for quantifying simulator sickness", *The International Journal of Aviation Psychology*,(1993)3, pp.203-220
- [5] 島津製作所：脳機能イメージング
<https://www.an.shimadzu.co.jp/apl/lifescience/invivo.htm>, (参照 2020-10-24)
- [6] 平山健太, 綿貫啓一, 楓和憲：NIRS を用いた随意運動および他動運動の脳賦活分析
日本機械学会論文集 (C 編) 78 巻 795 号(2012-11)

第6章 実験結果

第1節 SSQによる評価

フレームなしでコンテンツを体験した場合、フレーム1でコンテンツを体験した場合、フレーム2でコンテンツを体験した場合、フレーム3でコンテンツを体験した場合の4つのコンテンツ体験ごとのSSQアンケートの結果を分析し、グラフにまとめた。これらのグラフは、VR酔いに対する仮想フレームの影響に関する貴重な洞察を提供し、これらのフレームを使用して全体的なVRエクスペリエンスを向上させる方法をより深く理解できるようになった。

コースター α のSSQ結果を図55に示す。フレーム1のN、O、D、TSの値は、フレームなしの場合と比べて大幅に低くなった。これは、仮想フレームの追加がVR酔いの症状の軽減に役立つ可能性があることを示唆している。フレーム2では、値はフレーム1から減少していないが、全体的には減少している。フレーム3では、D値が大幅に減少し、TS値はフレーム2から減少したが、フレーム1からは減少しなかった。これらの結果は、仮想フレームの追加が、特にフレーム1でVR酔いの症状にプラスの影響を与える可能性があることを示唆している。

コースター β のSSQ結果を図56に示す。DとTSの値はすべてのフレームで減少し、フレーム2での減少が最も大きくなった。Oの値はフレーム2でのみ減少し、フレーム3で増加しましたが、Nの値はすべてのフレームで増加した。これらの発見は、仮想フレームが、特にフレーム2におけるVR酔いの症状の重症度を軽減するのに役立つことを示唆している。さらに、Coaster β によって提供されるコンテンツが、フレームなしと比較してすべてのフレームでN値が増加していることから、よりエキサイティングであることが示されている。これは、Coaster β がユーザーにとってより魅力的なVR体験を提供する可能性があることを意味している。

図57はシューティングゲームのSSQの結果である。フレーム1では、フレームなしと比較して全体の値が減少し、Dの値が大幅に減少した。フレーム2では、N、D、TSの値が減少し、Oがわずかに増加した。フレーム3では、フレームなしの場合と比べてすべての値が減少し、フレーム1よりもさらに減少した。これらの結果は、仮想フレームがすべてのフレーム、特にフレーム1と3でVR酔いの症状を軽減するのに効果的である可能性があることを示唆している。

図58はアクションゲームのSSQの結果である。フレームを追加すると、フレームなしの場合に比べて、N、O、D、TSの値がいずれも減少した。フレーム2は他のフレームに

比べて減少が小さくなった。フレーム 1 と 3 の間では、N と D の値はフレーム 1 で最も減少し、O の値はフレーム 3 で最も減少し、TS の値も同様でした。これらの結果は、仮想フレームがすべてのフレーム、特にフレーム 1 と 3 で VR 酔いの症状にプラスの影響を与える可能性があることを示唆している。

各コンテンツ体験の具体的な結果に加え、分析により、フレームがない場合、すべての D の値が大きいたことが示された。ただし、フレームを追加することにより、すべてのコンテンツで D 値の減少が観察された。これは、仮想フレームがさまざまなコンテンツ体験にわたって VR 酔いの症状を軽減するのに効果的である可能性があることを示唆している。

全体として、グラフは、フレームなしの場合と比較して、すべてのフレームで全体として SSQ の値が減少することを示した。このことから、さまざまなコンテンツに対して仮想フレームを利用するシステムが VR 酔いを抑制する効果があることが確認できた。さらに、フレーム 1 と 3 はフレーム 2 よりも SSQ 値が大きく低下していることがグラフからわかり、これらのフレームで使用されている水平ラインが効果的であると考えられる。これらの結果は、より快適で楽しい VR 体験の作成を目指す開発者にとって貴重な洞察を提供する。

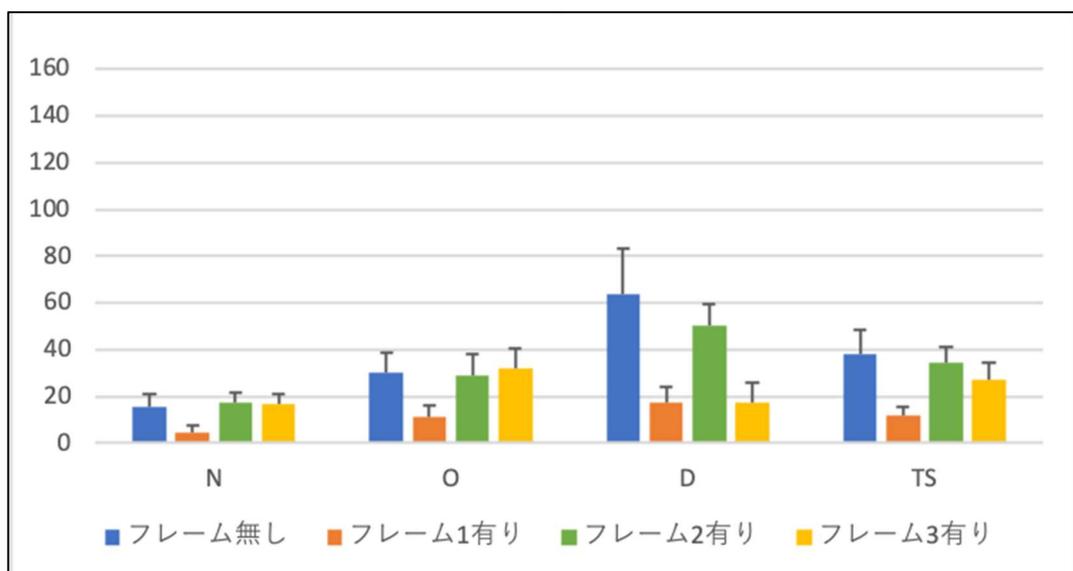


図 55 【コースターα】SSQの各項目の平均

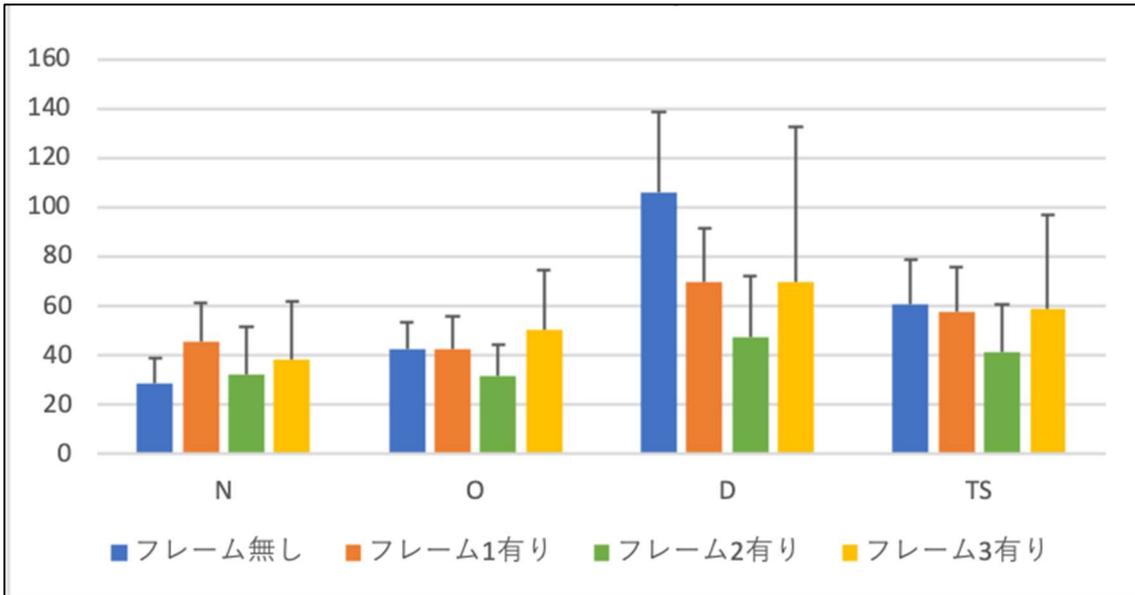


図 56 【コースターβ】 SSQ の各項目の平均

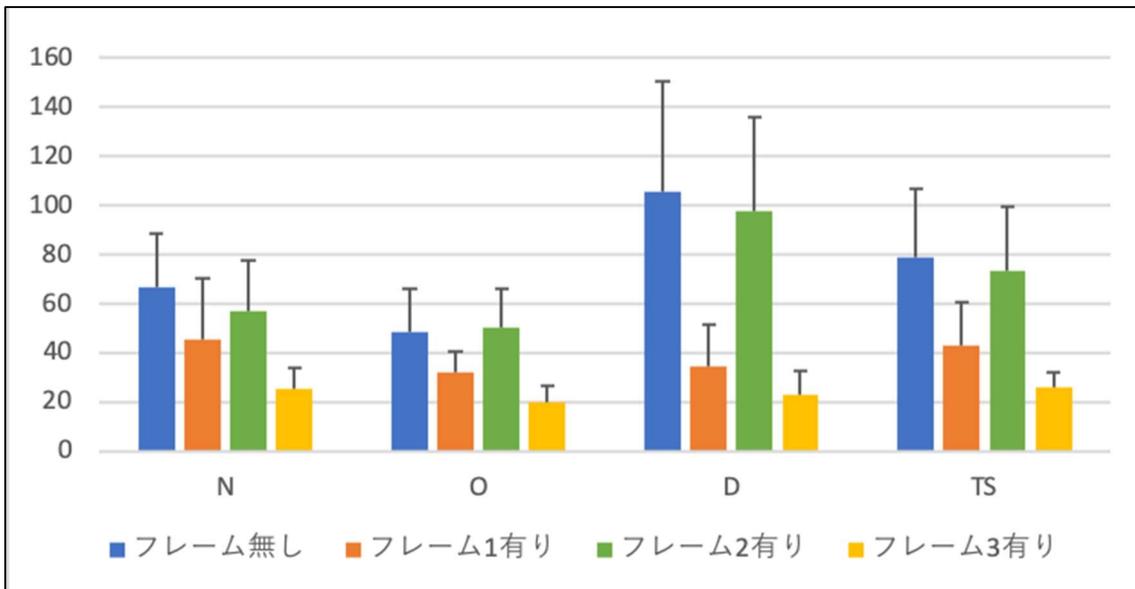


図 57 【シューティング】 SSQ の各項目の平均

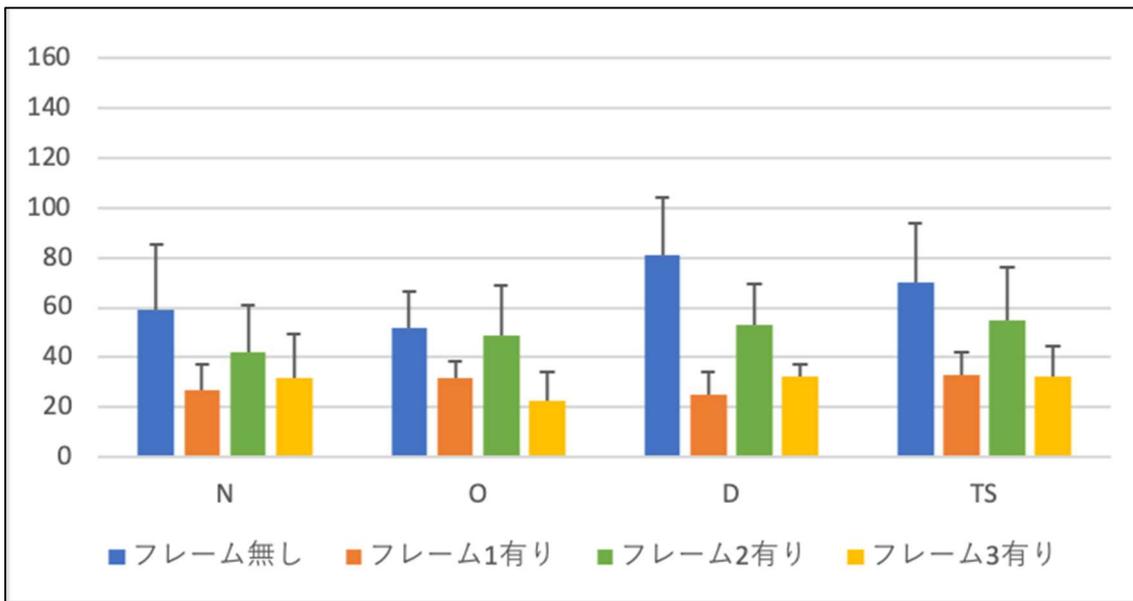


図 58 【アクションゲーム】SSQ の各項目の平均

SSQ テストの結果に基づいて、フレーム 1 と 3 では水平線が使用されているため、フレーム 2 に比べて SSQ 値を下げる効果が高いと結論付けることができる。これは、仮想フレームの使用が VR 酔いを軽減する効果的な方法である可能性があることを示唆している。

さらに、フレーム 3 がフレーム 2 よりも優れたパフォーマンスを示した以前のデータを考慮して、脳血流を測定する際にはフレーム 2 の優れた代替品としてフレーム 3 を使用することが決定された。これは、フレーム 3 が VR 酔いの症状を軽減する効果がより高いことが判明したためであり、ユーザーにとってより快適で楽しい VR 体験につながる可能性がある。

さらに、フレーム 1 とフレーム 3 がさらなる実験の対象として選択された。これは、これらのフレームが SSQ 値を下げ、VR 酔いの症状を軽減するのに最も効果的であることが判明したためである。これらのフレームを使用してさらに実験を行うことで、研究者は VR 酔いと脳血流の関係、およびユーザーの VR 体験を向上させるために仮想フレームをどのように使用できるかをより深く理解できるようになる。

第 2 節 脳血流の結果

VR 酔いの抑制における仮想フレームの使用の有効性をさらに調査するために、脳血流を測定する追加の実験が行われた。実験では被験者のリラックス状態と VR 体験中の状態を測定し、精度を確保するために 3 回記録した。

その結果、バーチャルフレームを装着することで、脳血流の指標である oxy-Hb (図 59、60、61、62) の増加を抑制し、その変動を軽減できることがわかった。これは、被験者がリラックスした状態で VR コンテンツを体験していることと、仮想水平フレームの利用により VR 酔いの指標となる自律神経の乱れが軽減されていることを示している。

仮想フレームの有効性をよりよく理解するために、実験ではフレーム 1 とフレーム 3 を装着した被験者の oxy-Hb 波形を比較した (図 63、64、65、66)。その結果、oxy-Hb の波形はフレーム 1 の方が小さいことが示された。これは、水平線と水平線を使用したフレームが効果的であることを示している。リングはフレーム 3 よりも VR 酔いの抑制に効果的である。

これらの調査結果は、以前の SSQ テスト結果を裏付けている。これは水平線とリングを含む仮想フレームを使用すると VR 酔いを効果的に抑制し、ユーザーにとって VR 体験をより快適で楽しいものにすることができることを示した。

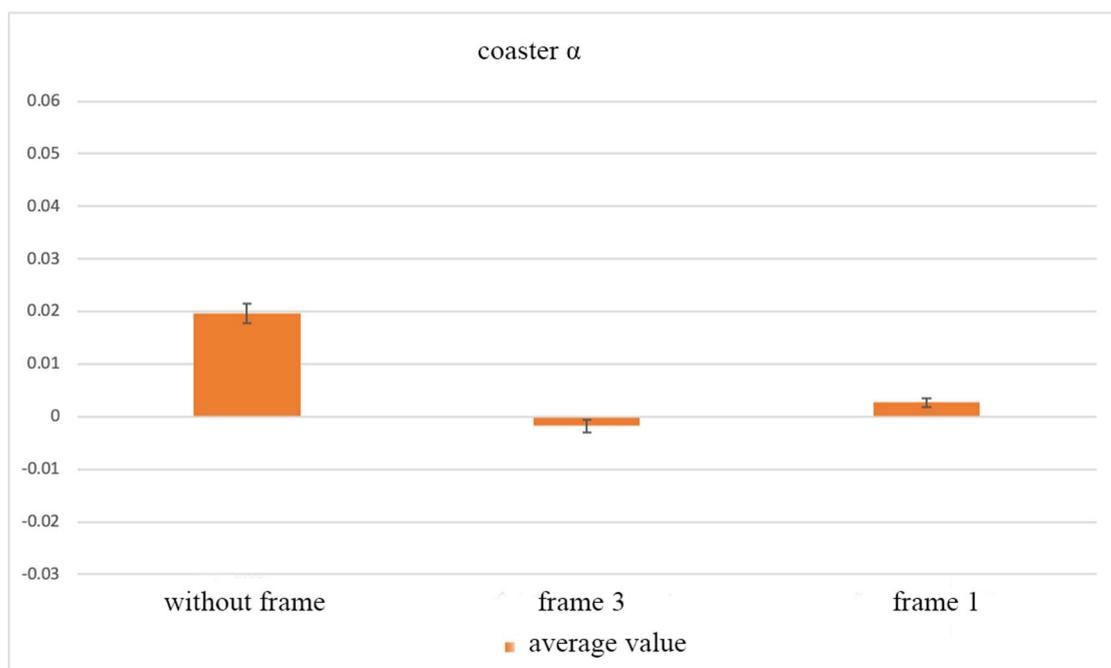


図 59 【コースター α】の oxy-Hb の平均

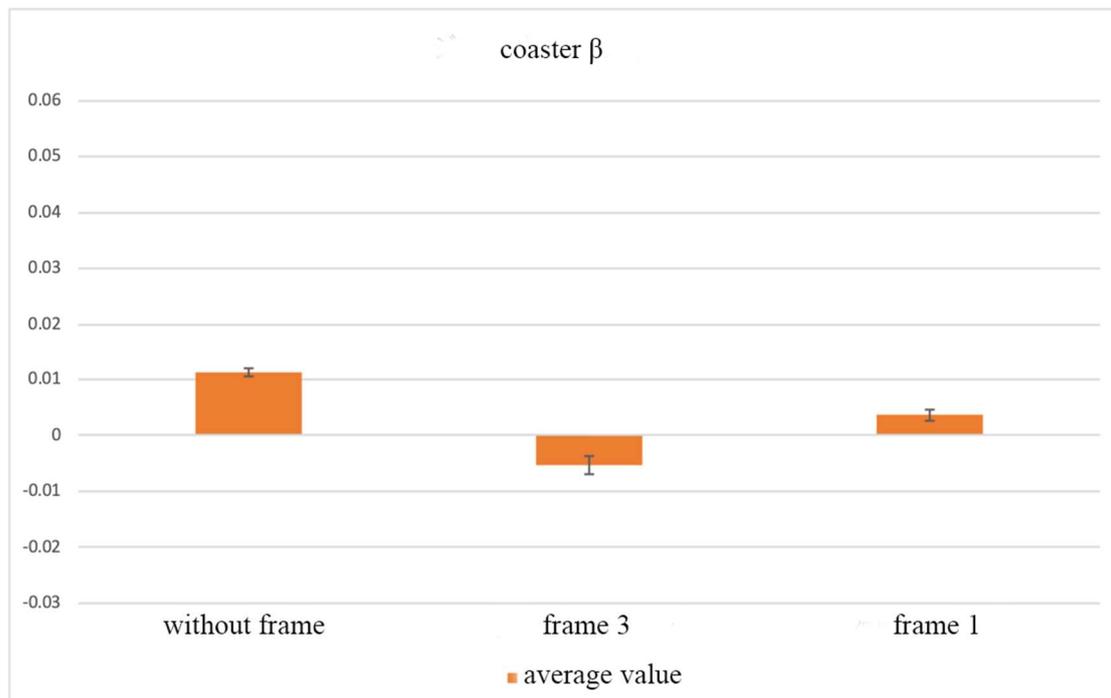


図 60 【コースターβ】の oxy-Hb の平均

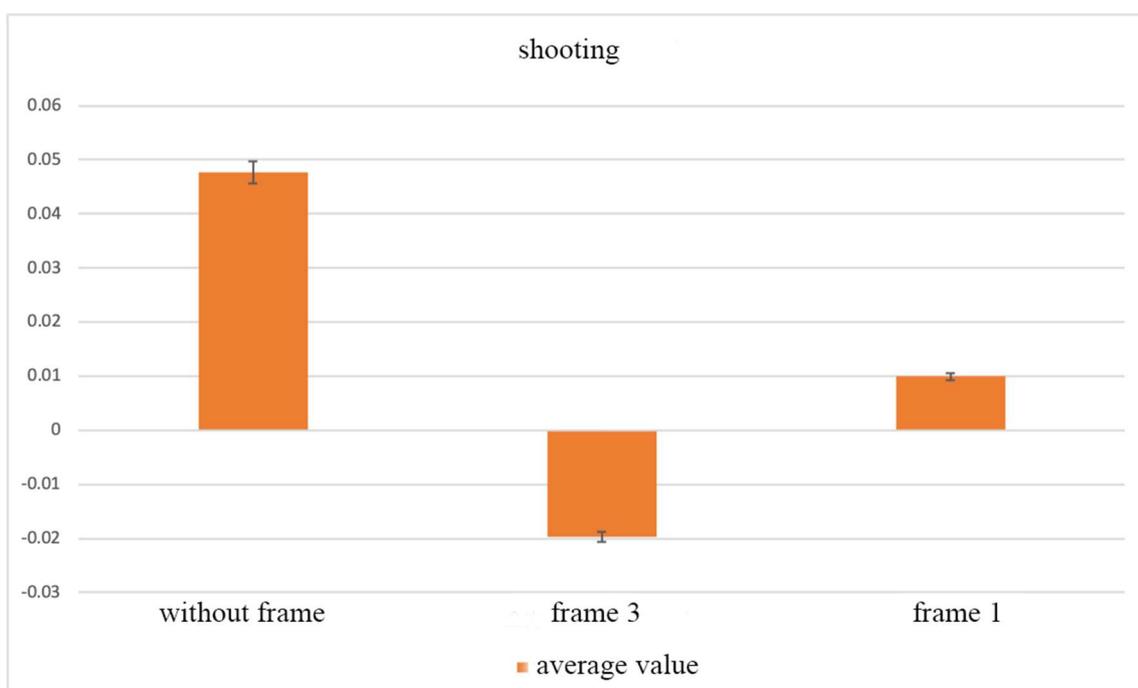


図 61 【シューティング】の oxy-Hb の平均

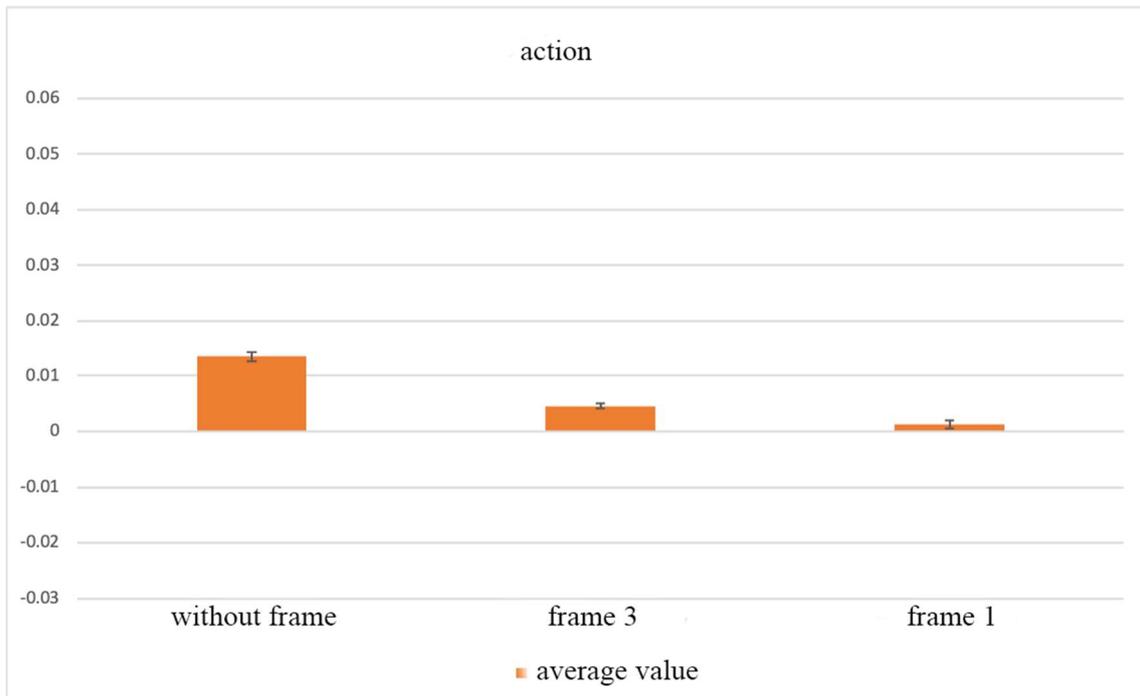


図 62 【アクションゲーム】の oxy-Hb の平均

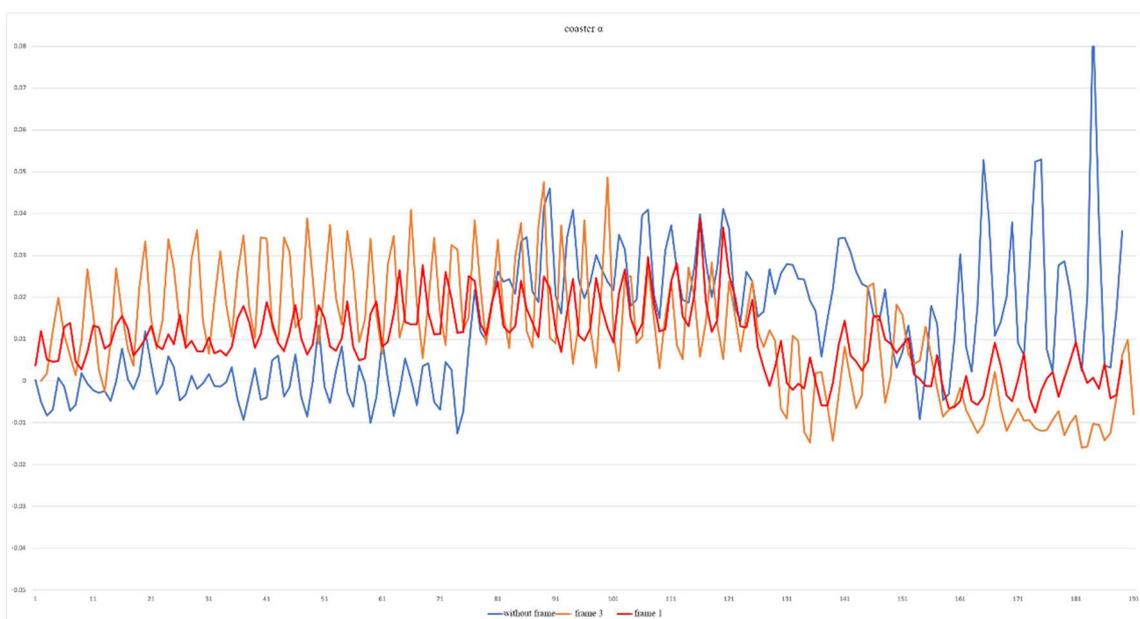


図 63 【コースターα】oxy-Hb の波形

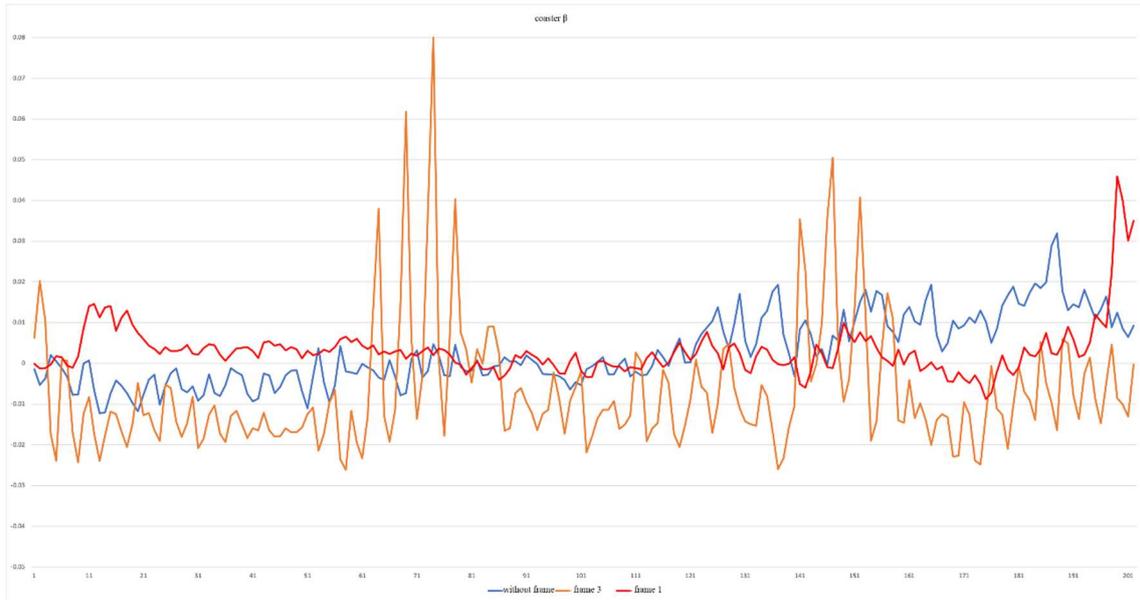


図 64 【コースター β】 oxy-Hb の波形

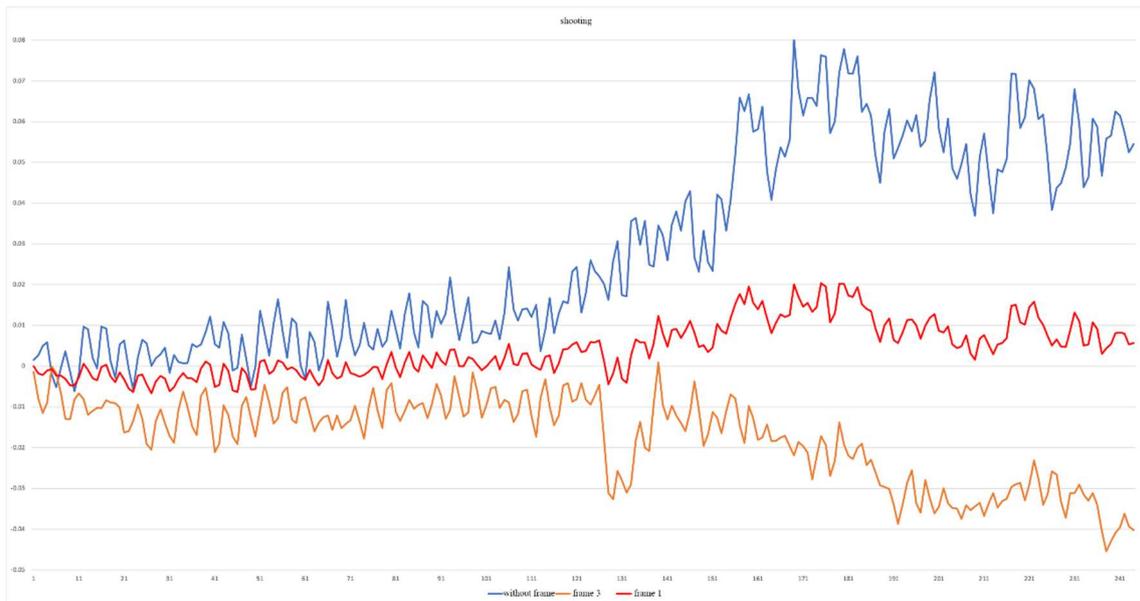


図 65 【シューティング】 oxy-Hb の波形

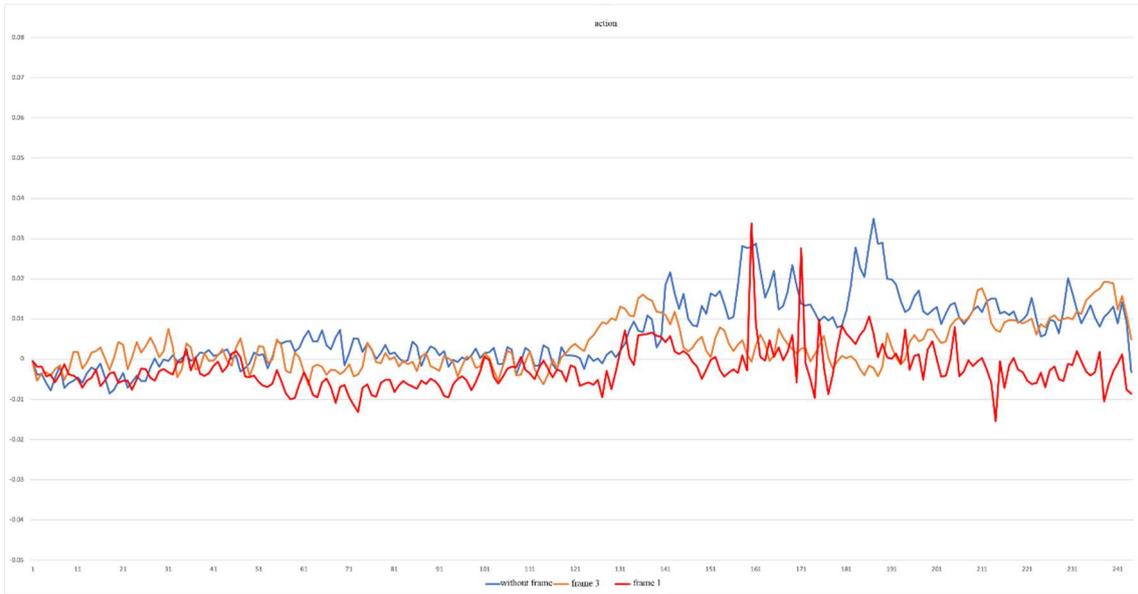


図 66 【アクションゲーム】oxy-Hb の波形

第7章 総括

第1節 まとめ

仮想現実 (VR) テクノロジーは、エンターテインメント、教育、トレーニングなどのさまざまな用途でますます人気が高まっている。ただし、乗り物酔いは VR 技術の大きな欠点であり、実際の応用が制限されている。この研究は、支援装置を使用せずに乗り物酔いを軽減し、ユーザー エクスペリエンスを向上させることができる VR 乗り物酔い軽減システムを開発することを目的としていた。

この目標を達成するために、人気のゲーム エンジンである Unity を使用して仮想レベル フレームが設計された。バーチャル水平フレームは、VR 酔いの主な原因であるベクシオンを防止することを目的としている。効果的な仮想レベル フレームを作成するために、設計プロセス中にさまざまなパターンが検討された。

仮想水平フレームの有効性を評価するために、シミュレーター酔いアンケート (SSQ)、心拍数、脳血流などのいくつかの測定が実施された。その結果、仮想水平フレームは VR 視聴時のめまいやストレスを軽減する効果があることがわかった。バーチャル水平フレームは VR 酔いの抑制効果が高く、水平線とリングは VR 酔いの抑制効果が顕著でした。さらに、仮想フレームを使用すると、さまざまなコンテンツを体験した後の SSQ スコアが大幅に低下した。

また、没入感を妨げず、仮想水平フレームと同等の効果を発揮し、より実用的な新設計フレームを開発した。この新しいフレームはさまざまな VR アプリケーションで使用でき、ユーザーにより快適な体験を提供する。

ただし、心拍数の結果は、仮想水平フレームの有効性を完全に評価するには不十分でした。したがって、今後の研究では、より効果的な評価方法を確立する必要がある。

Su Han Park、Bin Han、Gerard Jounghyun Kimの研究と比較して、本研究では、仮想水平フレームの利用により、追加の機器が不要であり、かつより安定した結果が得られた。これにより、先行研究に対してより効果的な解決策が提案された。今後、この手法が広く応用され、仮想現実体験の向上に貢献することが期待される。

Masaki Omata と Atsuki Shimizu の研究では、目立たない補助図形の導入により VR 酔いを軽減する手法が提案された。彼らは注視点、四隅の点、ユーザーの水平線、そして実体などの図形を使用し、これらの補助図形の有効性を検証するために HMD を使用した実験を行った。研究結果は、「ドット」などの補助図形の導入が VR 酔いを軽減する傾向があること

を示している。この結果から、彼らの点線研究の効果は明確ではなく、我々の研究がより明らかで観察可能な効果を示していることが示唆される。

Rentaro Ono M.E.、Yasuyuki Matsuura Ph.D (理学)、Kohki Nakane M.E.、および Hiroki Takada Ph.D (理学) の研究では、軌跡の長さとは背景の視野の幅との間に有意な相関が見られた。しかし、彼らの研究は大まかな方向性の結果を示すに留まり、実際に仮想画像コンテンツを制作して実験に使用するという私のような実践的なアプローチは取られていないでした。

対照的に、私の研究では仮想水平フレームワークを具体的に制作し、VR ユーザーの酔い症状に対する効果を実験で検証した。この実践的なアプローチにより、研究結果はより具体的で、仮想現実技術の使用における快適性向上に寄与している。

結論として、この研究は(1)補助装置を使用せずに VR 酔い軽減システムを開発することに成功した。(2)バーチャルレベルフレームは乗り物酔いを軽減し、ユーザーエクスペリエンスを向上させるのに効果的でした。この研究はまた、(3)乗り物酔いを軽減する上での仮想フレームの重要性を強調し、VR 酔いを軽減するためのより実用的で効果的な方法についての洞察を提供した。本研究の成果は、VR コンテンツのデザイナーや開発者がユーザーにとってより楽しく快適な体験を生み出すのに役立つ、VR 技術の発展に貢献する可能性がある。

第2節 今後の展望

本研究で開発した VR 酔いの低減を目的としたオプティカルフローは、一定の成果を得られることができた。しかしこれに類する研究の課題として、酔いを低減させることはできるものの、コンテンツの没入感を低減させる恐れがあることも分かっている。

ゲーム中の映像酔いを防ぐディスプレイ周辺エフェクトの提案 (大村一樹ら, 2023 年) [1]や、オプティカルフローに応じた非円形視野制限による VR 酔い軽減手法 (萱場大貴ら, 2023 年) [2]では、解決策は提示できていない。

Coarse Pixel Shading を用いた VR 酔い対策のための描画の高速化技法 (橘康貴ら, 2018 年) [3]は、視野周辺の描画の解像度を低下させるアプローチを行なっているが、コンテンツ自体の精度低下に繋がると考えられる。

VR 酔いを発生させる振動の効果についての実験的検討 (齋藤真理ら, 2020 年) [4]では、強いベクシオンを感知した際に VR ゴーグルや椅子の振動を加えて、酔いの発生を遅らせている。今後の課題として、オプティカルフローを強いベクシオンや、首の回転や傾き・

上下、また、映像の中の揺れの激しさや傾き・上下運動を感知した場合に表示させることを検討する。

近年の人工知能 (AI) の発展は目覚ましいものがある。画像やビデオの生成など、さまざまな分野で大きな進歩を遂げた。AI アルゴリズムは、本物と区別するのが難しいリアルな画像やビデオを生成できるようになった。さらに、AI はユーザーが提供した簡単なキーワードの説明に基づいてこれらの結果を生成できる。例えば、Lumen5 [5]は、人工知能テクノロジーを利用してテキスト、画像、音楽を迅速にビデオに変換するオンラインビデオ作成ツールである。ブログ記事、ソーシャル メディア コンテンツなどを魅力的なビデオに変換するのに役立ち、それによってブランドの知名度とソーシャル メディア エンゲージメントが向上する。AI によって生成された画像の精度は完璧ではないが、改善の可能性は大きく、AI 開発の見通しは非常に明確である。

AI が特に役立つ分野の 1 つは、仮想現実体験によって引き起こされる乗り物酔いを軽減または排除することである。この問題に対処するアプローチとして、仮想の水平フレームを使用する。この背後にある考え方は、仮想環境内に安定した視覚基準点を提供することで、動きの知覚を軽減または排除することである。ただし、このアプローチではユーザーの視野が妨げられる可能性があり、没入感に悪影響を与える可能性がある。

しかし、この問題に対処する新しい方法は、AI を使用して画面を微調整し、乗り物酔いを引き起こさない画像を生成することである。AI アルゴリズムを使用して安定した視覚参照を生成することで、仮想的な水平フレームの必要性を減らし、没入型エクスペリエンスへの悪影響を最小限に抑えることができる可能性がある。この分野における将来の研究は、追加の補助装置を必要とせずに VR 酔いを効果的に軽減または排除できる AI を活用した画像生成テクノロジーの開発に焦点を当てることになるであろう。VR 酔いを防ぐために設計された VR コンテンツのコンテキストで AI 生成ビデオの適用を検討すると、いくつかの固有の制限が明らかになる。

創造性と感情の深さ: AI によって生成されたビデオには、人間のクリエイターが作品に注入できる創造性と感情の共鳴の深さが欠けていることがよくある。乗り物酔いの軽減を目的とした VR コンテンツでは、多くの場合、ユーザーの快適さを維持するために革新的で感情を揺さぶるソリューションが必要である。AI の定型的なアプローチでは、これらの重要な要素を実現できない可能性がある。

複雑さと物語のニュアンス: VR 体験には、複雑な物語、抽象的な概念、微妙なストーリーテリングが含まれることがよくある。AI ツールは通常、単純なビデオ タスクにより適しており、VR コンテンツに必要な複雑さの処理に苦勞する可能性がある。この制限により、

豊かな物語と魅力的なストーリーテリングを維持しながら、乗り物酔いに効果的に対処する VR 体験を作成する能力が制限される。

品質の一貫性: AI で生成されたビデオの品質は、使用される特定の AI ツールやデータセットなどの要因によって異なる。精度とシームレスさが最優先される VR のコンテキストでは、ビデオ品質の変動は不快感や乗り物酔いを引き起こす可能性があり、VR コンテンツ作成者の目標に直接反することになる。

要約すると、AI はビデオ制作において大幅な進歩を遂げてきたが、現在の限界により、乗り物酔いを防止することを目的とした VR コンテンツの作成には課題が生じている。VR 酔いの軽減には、独特で感情を惹きつける、非常に微妙な性質があり、人間らしいタッチと創造的な問題解決が求められるが、AI 生成のビデオではまだ完全にエミュレートできていない。

全体として、AI の発展は仮想現実テクノロジーの将来に大きな期待をもたらす。AI が生成した画像の精度とリアリズムを向上させることで、開発者はユーザーにとってより楽しく快適な仮想現実体験を作成できる。AI を使用して VR 酔いに対処することは、仮想現実環境における全体的なユーザー エクスペリエンスを向上させるこのテクノロジーの潜在的な応用例の 1 つにすぎない。非常にリアルで没入感のある画像やビデオを生成する AI の機能により、VR コンテンツの作成方法と消費方法に革命を起こす可能性がある。

参考文献

- [1] ゲーム中の映像酔いを防ぐディスプレイ周辺エフェクトの提案, 大村一樹, 西田健志, 寺田努, 2023, 情報処理学会, IPSJ EC2023
- [2] オプティカルフローに応じた非円形視野制限による VR 酔い軽減手法, 萱場大貴, 宮下芳明, 2023, 情報処理学会, 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI)
- [3] Coarse Pixel Shading を用いた VR 酔い対策のための描画の高速化技法
A Fast rendering techniques for VR sickness prevention using Coarse Pixel Shading, 橘康貴, 今給黎隆, 2018, 情報処理学会, IPSJ SIG Technical Report
視野周辺の解像度を低下させるレンダリングを行うことにより、VR 酔いを生じさせない描画方法の提案。
- [4] VR 酔いを発生させる振動の効果についての実験的検討, Experimental study on the effect of vibration to delay the VR sickness, 齋藤真理, 原田竜彦, 前田佑輔
2020, 第 25 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集
- [5] <https://lumen5.com/> (Until October 7, 2023)

謝辞

本論文をまとめるにあたり、指導教員である愛知工業大学情報科学部 鳥居一平教授が、その揺るぎないサポート、指導が私の学問の旅の基礎となってくれたことに、深く感謝の意を表したいと思います。私の学術的 pursuit だけでなく、特に日本の独特な環境に適応する留学生としての私の個人健康にも真の気遣いを示していただきました。

また、愛知工業大学経営学部 吉成亮教授および情報科学部 森本正志教授には、多大なる有益なご指導・ご助言をいただきました。あわせて心より感謝申し上げます。

私は先輩の丹羽氏に深く感謝しています。丹羽氏の寛大な知識の共有と揺るぎない支援により、私の研究の質は大幅に向上した。洞察と指導を提供してくれる彼の意欲は、私の学術研究を形作る上で役立ってくれた。

私は、友情を深め、専門知識を共有し、私の研究の成功に献身的に貢献してくれた鳥居研究室のメンバーに謙虚に感謝しています。知識の追求に対する皆さんの献身的な取り組みと研究室内の協力精神は、継続的なインスピレーションとモチベーションの源となっています。

最後になりましたが、両親に心より感謝の意を表したいと思う。彼らの絶え間ないサポート、励まし、そして私の能力に対する信念が、私の学業成績の原動力となっている。彼らの犠牲と私の願望に対する揺るぎない信念が、私という人間を形作ってきます。

この論文は、これらの人々だけでなく、私の学問的および個人的な成長に影響を与えた無数の人々の努力、支援、励ましの結集の証である。この旅を可能にし、有意義なものにしたのは、彼らの団結した貢献です。

研究業績

(1) HeXi Huang, Development of VR Sickness Reduction System by Virtual Horizontal Frame.

International Journal of Advance Computational Engineering and Networking (IJACEN)

DOI ONLINE NO - IJACEN-IRAJ-DOIONLINE-17219

(2) HeXi Huang, Develop a horizontal virtual frame by adding field of view restrictions to reduce VR sickness.

Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing pp 13–29

Part of the Studies in Computational Intelligence book series (SCI, volume 1074)

DOI:10.1007/978-3-031-19604-1_2

(3) HeXi Huang, Verification of the effect of horizontal virtual frame on VR sickness reduction by SSQ and cerebral blood flow measurement

International Journal of Research in Engineering and Science (IJRES)

ISSN (Online): 2320-9364, ISSN (Print): 2320-9356 www.ijres.org Volume 11 Issue 4 | April 2023

|| PP. 283-291