

# 博士学位論文

(内容の要旨及び論文審査の結果の要旨)

氏名	Huang Hexi 黄赫曦
学位の種類	博士 (経営情報科学)
学位記番号	博 甲 第 44 号
学位授与	令和 6 年 3 月 23 日
学位授与条件	学位規程第 3 条第 3 項該当
論文題目	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
論文審査委員	(主査) 教授 鳥居 一平 <sup>1</sup> (審査委員) 教授 森本 正志 <sup>1</sup> 教授 吉成 亮 <sup>2</sup>

## 論文内容の要旨

### 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)

第 1 章では、バーチャルリアリティ (VR) 技術に焦点を当て、コンピュータが生成する仮想の世界にユーザーを没入させる能力を強調した。主要な構成要素には、ヘッドマウントディスプレイ、入力デバイス、および仮想環境を生成するソフトウェアがある。VR と“メタバース”の関係が重要性を増しており、AI 技術と組み合わせることで、メタバースはエンターテインメント、教育、医療などの様々な分野で広く利用されている。VR は医療や教育の分野でも潜在的な可能性があり、手術のシミュレーショントレーニングなどに応用されている。しかし、VR 酔いは課題の一つであり、本研究はその原因を掘り下げ、ビデオ効果やフィルターを用いて低コストで実装可能な解決策を提供し、ユーザーエクスペリエンスの向上と VR

技術の進歩に寄与することを目指している。

第 2 章では、VR の普及に伴い増加する VR 酔いに焦点を当て、その原理を解説する。VR 酔いは乗り物酔いの一種で、VR 環境の視覚情報と自然環境の空間情報の矛盾が原因である。異なる空間情報が一致しないことが VR 酔いの課題である。身体に及ぼす健康被害の主因は、光刺激負荷型と空間情報混乱型で、眼精疲労や視覚障害、空間認識機能の混乱を引き起こす可能性がある。対策として、VR 開発者とユーザーが注意すべきポイントが述べられている。VR 酔いは主に見当識障害に関連し、視覚情報と身体感覚の矛盾が原因である。ベクションを抑制する手法が提案され、注視点の設置や周辺視野の調整が有望。これにより、VR 酔いの発生率や重症度を軽減し、全体的な VR 体験の向上が期待される。VR 酔いの抑制研究では、VR 環境と自然環境の一致が有望。視覚情報を前庭系と体性感覚系に伝える手法が提案され、周辺視野の調整や注視点の設定も有効。これらのアプローチを組み合わせ、VR 酔いの発生率と重症度を軽減できる可能性がある。技術

<sup>1</sup> 愛知工業大学 情報科学部 情報科学科 (豊田市)

<sup>2</sup> 愛知工業大学 経営学部 経営学科 (名古屋市・豊田市)

的な課題があるが、国内外の研究で様々なアプローチが提案され、今後の発展が期待される。例えば、Su Han Park、Bin Han、Gerard Jounghyun Kimの研究チームは、仮想現実の中での移動に伴う身体の錯覚である「ベクション」に焦点を当て、逆向きのオプティカルフローパターンを導入することで、この問題に取り組んでいる。また、OmataとShimizuは、VR環境での酔いを軽減するため、目立たない補助図形を導入する研究を行いた。

第3章では、特別な機器なしにVRによる乗り物酔いを視覚的手段だけで軽減することに焦点を当てている。特定のコンテンツをVRビデオに組み込むことで、乗り物酔いの発生を減らす視覚的な合図の可能性を探求している。研究はUnityを使用してVR酔いを誘発する動画を作成し、視覚情報の内容や提示方法が酔いに与える影響を調査している。また、ジェットコースターの乗り物をシミュレートし、異なるコンテンツを組み合わせることでVR酔いの有効性を検証している。最後に、ユーザーが動きを制御できるゲームも開発し、アクションや動きのメカニズムがVR酔いを効果的に引き起こす可能性を検証している。これにより、異なるタイプのVRコンテンツでの仮想フレームの有効性に関する貴重な洞察が得られると期待される。

第4章では、Unityを使用し、Adobe Photoshop CS6でデザインされた仮想水平フレームは、C#スクリプトによって頭の動きに追従し、VR酔いや空間識失調を軽減するために構築された。水平線と回転リングから成るこのフレームは、ユーザーの視野の水平位置を維持し、ベクションの発生を抑える役割を果たす。フレーム1の水平線とリングの組み合わせが、他の仮想フレームと比較して特に効果的で、VR酔いの問題に対する解決策として提案された。プログラム側では、リアルタイムのヘッドトラッキングに基づく回転プログラムが実装され、ユーザーの頭の向きに合わせてフレームが調整される。さらに、位置とサイズを調整するプログラムも開発され、被験者が快適な体験を得るためにカスタマイズ可能である。

第5章では、主にバーチャルリアリティ（VR）におけるシミュレーター酔いの評価に焦点を当て、SSQ（Simulator Sickness Questionnaire）や脳血流測定を使用した。SSQは進化し、多様なVR体験に対応できる普遍的で適応可能なツールとなり、その使用がVR研究分野で重要とされている。脳血流測定と組み合わせ、主観的・

客観的な評価を一体化させ、VRの影響を包括的に理解できた。研究結果から、この手法はVR環境の快適性向上に寄与する可能性が示唆される。

第6章の実験結果では、仮想フレームがVR酔いの症状に及ぼす影響を評価した。SSQアンケートによる評価では、仮想フレームを使用することで全体的にVR酔いの症状が減少する傾向が見られた。特にフレーム1と3が効果的であり、水平ラインやリングを使用することが有益であることが示唆された。脳血流の結果では、仮想フレームを装着することでoxy-Hbの増加を抑制し、被験者がリラックスした状態でVRコンテンツを体験できることが示された。フレーム1と3の比較では、水平ラインを使用するフレーム1がより効果的であることが示唆された。これらの結果から、仮想フレームの使用がVR酔いの軽減に寄与し、特に水平ラインを使用することが有益であることが示された。これは、ユーザーにとってより快適で楽しいVR体験を提供するための重要な洞察を提供している。

第7章の総括では、補助機器を使用せずにVR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を目的としている。先行研究で逆向きのオプティカルフローや目立たない補助図形を使用してVR酔いを緩和する方法と比較して、私の研究はよりシンプルで実用的な解決策を提供できると言える。Unityという人気のあるゲームエンジンを使用して、主にVR酔いの原因である方向感を防ぐことを目指した仮想水平フレームが設計された。SSQ（シミュレーター酔いアンケート）、心拍数、脳血流などの複数の測定を使用して、仮想水平フレームの効果を評価した。その結果、仮想水平フレームはVR鑑賞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。新しいデザインのフレームは没入感を損なうことなく、仮想水平フレームと同等の効果を発揮した。この研究は、VRコンテンツのデザイナーや開発者がより快適な体験を提供するのに役立つ成果を上げ、VR技術の進歩に寄与する可能性がある。将来の研究では、追加の補助機器を必要とせずにVR酔いを効果的に軽減できる、AIを活用した画像生成技術の開発に焦点を当てることが期待される。

論文審査の結果の要旨

黄赫曦君の論文「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」は、先端技術として注目されているVR(仮想現実)技術について述べ、その問題点であるVR酔いを解決するためのシステム構築とその評価の研究を行った結果をまとめたものである。

VR酔いは眼精疲労や視覚障害、空間認識機能の混乱を引き起こす。VR酔いの抑制研究では、国内外の研究で様々なアプローチが提案されており、本研究ではVR酔いの抑制を仮想水平フレームと視野制限で軽減するシステムを構築し、SSQ(シミュレーター酔いアンケート)、心拍数、脳血流などの複数の測定を使用して有用性を実証している。

本論文は全7章から構成されている。序章では、本論文の背景、目的、本論文の構成について述べた。この課題研究と今後のVRについて考察していく。

第1章では、バーチャルリアリティ(VR)技術に焦点を当て、コンピュータが生成する仮想の世界にユーザーを没入させるVRの能力を述べた。

VRの主要な構成要素には、ヘッドマウントディスプレイ、入力デバイス、および仮想環境を生成するソフトウェアがあり、“メタバース”の登場により、AI技術と組み合わせることで、メタバースはエンターテインメント、教育、医療などの様々な分野で広く利用され、例えば手術のシミュレーショントレーニングなどに応用されている。しかし、VR酔いが大きな障害になっており、本研究はその原因を掘り下げ、ビデオ効果やフィルターを用いて低コストで実装可能な解決策を提案し、ユーザーエクスペリエンスの向上とVR技術の進歩に寄与することを目指した。

第2章では、VRの普及に伴い増加するVR酔いに焦点を当て、その原理を解説した。VR酔いは乗り物酔いの一種で、VR環境の視覚情報と自然環境の空間情報の矛盾が原因で、異なる空間情報が酔いを引き起こす。光刺激負荷型と空間情報混乱型が、眼精疲労や視覚障害、空間認識機能の混乱を引き起こす。VR酔いは主に見当識障害に関係する視覚情報と身体感覚の矛盾が原因である。そこで、ベクジョンを抑制する手法により、注視点の設置や周辺視野の調整を行い、VR酔いの発生率や重症度を軽減することに着目した。

VR酔いの抑制研究では、視覚情報を前庭系と体性感覚系に伝える手法が提案されており、周辺視野の調整や注

視点を設定し、これらのアプローチを組み合わせ、VR酔いの発生率と重症度を軽減させており、国内外の研究で様々なアプローチが提案され、今後の発展が期待されている。例えば、Su Han Park, Bin Han, Gerard Jounghyun Kimの研究チームは、仮想現実の中での移動に伴う身体の錯覚である「ベクジョン」に焦点を当て、逆向きのオプティカルフローパターンを導入することで、この問題に取り組んでいる。また、OmataとShimizuは、VR環境での酔いを軽減するため、目立たない補助図形を導入する研究を行なっている。それら先行研究との比較は7章で述べている。

第3章では、特別な機器なしにVRによる乗り物酔いを視覚的手段だけで軽減することに焦点を当てている。特定のコンテンツをVRビデオに組み込むことで、乗り物酔いの発生を減らす視覚的な手法を探求した。Unityを使用してVR酔いを誘発する動画を作成し、視覚情報の内容や提示方法が酔いに与える影響を調査した。また、ジェットコースターの乗り物をシミュレートし、異なるコンテンツを組み合わせることでVR酔いの有効性を検証した。最後に、ユーザーが動きを制御できるゲームも開発し、アクションや動きのメカニズムがVR酔いを効果的に引き起こす可能性を検証している。これにより、異なるタイプのVRコンテンツでの仮想フレームの有用性の裏付けが得られた。

第4章では、VR酔いや空間識失調を軽減するためにUnityを使用し、Adobe Photoshop CS6でデザインした、仮想水平フレームをC#スクリプトによって頭の動きに追従させるシステムを構築した。水平線と回転リングから成るこのフレームは、ユーザーの視野の水平位置を維持し、ベクジョンの発生を抑える役割を果たした。

様々なフレームの中で、フレーム1の水平線とリングの組み合わせが、他の仮想フレームと比較して特に効果的で、VR酔いの問題に対する解決策とした。プログラム側では、リアルタイムのヘッドトラッキングに基づく回転プログラムを実装し、ユーザーの頭の向きに合わせてフレームを調整させる。さらに、位置とサイズを調整するプログラムも組み込み、被験者が快適な体験を得るために、各自がカスタマイズできるよう設計した。

第5章では、主にバーチャルリアリティ(VR)におけるシミュレーター酔いを、SSQ(SimulatorSickness

Questionnaire) や脳血流測定 (NIRS) を使用し、評価を行った。

SSQ は、ユーザーの不快感や症状を数値化することで、ユーザーの状態を、9 つのセッションにわたり、32 人の参加者が参加する 7 つの異なる仮想環境 (VE) をそれぞれ評価した。脳血流測定と合わせ、主観的・客観的な評価を一体化させ、VR の影響を包括的に理解した。この結果から、本システムは VR 環境の快適性向上に寄与する可能性が示唆された。

第 6 章の実験結果では、仮想フレームが VR 酔いの症状に及ぼす影響を評価した。SSQ アンケートによる評価では、仮想フレームを使用することで、全体的に VR 酔いの症状が減少する傾向が見られ、特に水平ラインやリングを使用することが有益であることが示唆された。

脳血流の結果では、仮想フレームを装着することで oxy-Hb の増加を抑制し、被験者がリラックスした状態で VR コンテンツを体験できることが示された。水平ラインを使用するフレームがより効果的であることが示唆され、これらの結果から、仮想フレームの使用が VR 酔いの軽減に寄与し、特に水平ラインを使用することが有益であることが示された。これは、ユーザーにとってより快適で酔いもなく楽しい VR 体験を提供するための重要なシステムを提案している。

第 7 章の総括では、補助機器を使用せずに VR 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を述べ、先行研究との優位性を述べている。

先行研究では、逆向きのオブティカルフローや目立たない補助図形の導入による VR 酔い軽減法や、注視点、四隅の点、ユーザーの水平線、実体などの図形を使用した点線研究もあるが、その補助図形の導入が VR 酔いを軽減する効果は明確ではない。比較すると、本研究の仮想水平フレームは、シンプルで実用的であり、より明らかで観察可能な効果を示していると考えられる。

新たに、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できる実用的な新設計仮想フレームのデザインを設計し、同等の効果を発揮した。この本研究が、VR 技術の進歩に寄与し、将来の研究では補助機器を必要とせずに VR 酔いを効果的に軽減でき、AI を活用した画像生成技術の開発に発展させていくことが今後の課題になると考えられる。

このように、黄赫曦君の論文「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」は、バーチャルリアリティ (VR) 技術における VR 酔いに焦点を当て、その抑制を仮想水平フレームと視野制限で軽減するシステムを構築し、SSQ (シミュレーター酔いアンケート)、心拍数、脳血流などの複数の測定を使用して有用性を実証している。

この研究は独創性に富むとともに、学術上、産業応用上寄与する様々な内容を含んでいる。以上を鑑みて、本研究は高い水準の優れた論文であると評価することができ、本論文の著者黄赫曦君は博士 (経営情報科学) の学位を受けるに十分な資格を有するものと判断される。