

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^{†1} 西田健志^{1,†1} 寺田 努^{1,†1}

概要: 視点移動の激しいゲームでは吐き気や頭痛など、映像酔いと呼ばれる症状を発症することがある。その対策として映像酔いの原因といわれるベクジョンを誘発しやすい部分に加工を加える方法が検討されているが、ゲーム中の画面の一部に手を加えることはゲームコンテンツへの没入感を阻害する可能性が高い。そこで、本研究ではゲーム中のディスプレイの周辺にベクジョンを減らす映像エフェクトを表示させる方法を提案し、評価する。

1. はじめに

3次元空間のキャラクターを自由に動かすようなゲームを遊ぶ際、吐き気や頭痛など乗り物酔いに似た症状を感じる人がいる。このような症状は「映像酔い」と呼ばれ、その原因の究明や対策方法の研究が行われている [1]。映像酔いの主な原因は、ゲームのキャラクターが移動している視点の映像を見ることでプレイヤー自身も移動していると錯覚し、移動しているという視覚情報と止まっているという中枢神経系からの情報に食い違いが発生し脳が混乱することだとする説が有力である [2,3]。視覚情報による誘発される移動感覚はベクジョンといい、画面内の物体の動きであるオプティカルフローによって誘発されることがわかっている [4]。映像酔いを防ぐ手法としてオプティカルフローの影響を小さくし、ユーザが感じるベクジョンを抑える手法が数多く研究されている。例えば、オプティカルフローの大きい部分を隠すことで酔いを防ぐ手法や [5]、図 1(a) のようにオプティカルフローが発生する部分に逆向きのオプティカルフローが発生するようなドットを表示させ、オプティカルフローを打ち消すような手法 [6,7] が検討されており、映像酔いに効果的であるとされている。しかし、ゲームプレイ中の画面に手を加えるような手法はプレイヤーの没入感を阻害してしまう可能性が高い。没入感はゲームコンテンツにおいて非常に重要な要素であるため、没入感を損なわず映像酔いを抑える手法が望まれる。

そこで本研究では図 1(b) のようにディスプレイの周辺にゲーム画面のオプティカルフローと逆向きのオプティカルフローを表示し、打ち消すことで映像酔いを軽減する手

法を提案する。この手法により、ゲームコンテンツには直接手を加えることなく映像酔いを軽減できると考えられるため、プレイヤーの没入感を損なわない可能性が高い。

本稿では、提案手法のプロトタイプシステムを実装し、実際にゲームを遊んでもらう実験を行った。2章では関連研究を紹介し、3章で実験用システムについて説明する。4章で実験、5章で結果、6章で考察について述べ、7章で本稿をまとめる。

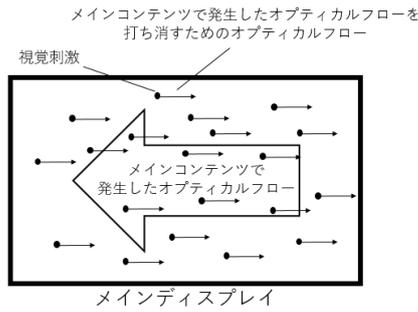
2. 関連研究

2.1 映像酔い

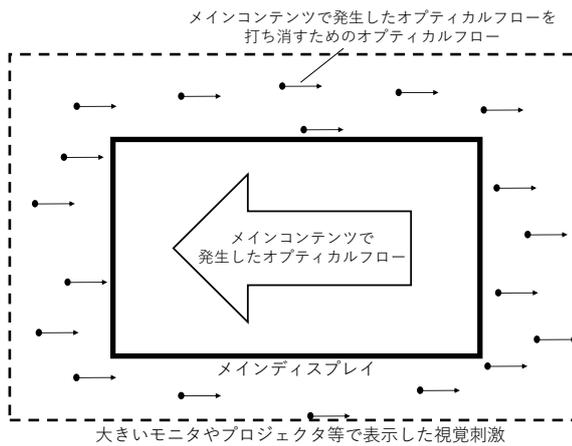
映像酔い (Visually Induced Motion Sickness) とは映像によって誘発される乗り物酔いのような症状で、映画やテレビ、ゲームなど様々な映像コンテンツで発症する可能性がある [8]。また、VR(Virtual Reality) 環境でも同様の症状を発症することがわかっており [9]、特に「VR酔い」と呼ばれている。映像酔いの原因は未だ解明はされていないが、主に3つの説がある。1つ目に映像のオプティカルフローによって発生する急速な眼球運動が酔いを引き起こすという眼球運動説 (eye movement theory) [10]、2つ目に体の揺れにより姿勢の安定性を制御する能力を失うことが原因とする姿勢不安定説 (postural instability theory) [11]、3つ目に視覚情報と前庭感覚や体性感覚とずれによって酔いが生じるという感覚矛盾説 (sensory conflict theory) [3,12] である。特に、感覚矛盾説は最も有力な説ともいわれており、これに基づいて映像酔いを軽減する手法が検討されている。

¹ 情報処理学会

^{†1} 現在、神戸大学



(a) 従来手法の1例



(b) 提案手法

図1 ゲームコンテンツに直接手を加えない映像酔い低減手法

2.2 ベクシオン

ベクシオン (視覚誘導性自己運動感覚) とは、移動しているように見える視覚情報を観察した観察者が、止まっているにも関わらず移動しているように感じる感覚のことである。ベクシオンは視覚刺激の移動方向とは反対方向に感じることが知られており、右から左に動くランダムドットを観察した場合、観察者は右方向のベクシオンを感じる [4]。感覚矛盾説ではベクシオンと映像酔いは深く関係していることが報告されており、Palmisano らの研究ではベクシオン強度と映像酔いの強度の関係には正の相関があることや [13], Keshavarz らの研究ではユーザにベクシオンが誘発された際に映像酔いが発生する確率が高くなることがわかっている [14]。

2.3 没入感

映像コンテンツにおいて没入感是非常に重要な要素である。映像の提示領域と没入感の関係を調査した研究では、映像の提示領域が大きくなると没入感が高まることが知られている [15]。つまり、ディスプレイ周辺に視覚刺激を提示する提案手法はユーザの没入感を高められる可能性がある。また、ディスプレイ周辺に視覚的なエフェクトを表示し、ユーザの没入感を高めるデバイスとして Philips Hue



図2 Philips Hue Play HDMI Sync Box

Play HDMI Sync Box [16] がある。これはディスプレイに表示されている映像の情報を取得し、映像の世界観に合わせた視覚的エフェクトを表示するものである。提案手法は将来的にこのようなデバイスに追加される機能として想定している。

2.4 本研究の貢献

映像から感じる移動感覚であるベクシオンを低減することにより、感覚の矛盾を少なくして映像酔いを防ぐ手法が研究されている。ベクシオンを低減する手段の1つにベクシオンを誘発するオプティカルフローが大きい部分を隠す方法がある。萱場らはVR酔いを防ぐ方法としてオプティカルフローの大きい部分を検出して視野制限マスクで隠す手法を提案し、その有効性を示している [5]。他にも画面内のオプティカルフローとは反対方向のオプティカルフローを画面内に表示し打ち消す手法も検討されており、VR酔いに効果的であるとしている [6,7]。これらの研究にはVR酔いを低減する効果は見られるものの、コンテンツの主要部分を隠したり上書きしてしまうことになるために没入感を損ねてしまう可能性がある。これらの研究にはVR酔いを低減する効果は見られるものの、コンテンツの主要部分を隠したり上書きしてしまうことになるために没入感を損ねてしまう可能性がある。それに対して本研究ではVRではなく2次元平面ディスプレイにおいて没入感を高めたまま映像酔いを低減する手法を検討する。2次元平面ディスプレイにおいてディスプレイ周辺から映像酔いに対してアプローチが有効であることが分かれば、今後VRコンテンツへ応用されることも期待している。

3. 実験用システム

提案手法が映像酔いに有効かを調査するために提案手法を実装した実験用ゲームとプロトタイプシステムを開発した。

3.1 実験用ゲーム

3.1.1 実験用ゲームの概要

実験を行うために被験者にプレイさせるゲームのプレイ画面を図3に示す。実験用ゲームは一般的に酔いやすいといわれる3次元空間を一人称視点で移動するもので、フィールド内に発生するモンスターをプレイヤーの持つ剣で



図 3 実験用ゲーム

倒すというコンセプトをである。実験用のゲームは実験の目的が達成されやすいように以下の3つの要素を満たすように設計した。1つ目は酔いやゲームであることだ。本実験では提案手法が映像酔いに有効かを調べる。そのため、実験用ゲームをプレイした被験者はある程度の映像酔いを感じる必要がある。2つ目はゲームの難易度が一定にすることだ。ゲームの難易度がプレイするごとに変化し試行回数によって被験者の酔い具合に影響を与えると、提案手法の有効性を正しく評価できない可能性がある。3つ目にゲームに没入できる要素があることである。本研究の提案手法はゲームの映像酔いを軽減するとともにコンテンツへの没入感を高める目的がある。ゲームに没入できない要素がないと、没入度の測定結果が正しく反映されない可能性がある。以上のことを踏まえ作製した実験用のゲームの詳細を以下に示す。

3.1.2 キャラクタと操作

プレイヤーは一人称視点で自身のキャラクターを操作する。操作は直観的に操作しやすいパッドコントローラで行い、左スティックで移動、右スティックで視点移動、右手人差し指でいつでも不自由なく押せるボタンで攻撃が可能である。プレイキャラクターは体力ゲージを持っており、モンスターに接触すると体力ゲージが減少し、体力ゲージがなくなるとゲームオーバーとなる。ゲームオーバー要素を追加することで被験者が作業感覚でゲームをプレイすることを防ぎ、ゲームに対して没入できる要素を作った。

3.1.3 モンスター

実験用ゲームではフィールドに出現するモンスターを倒すゲームである。出現するモンスターの移動速度は一定で、数秒ごとにランダムに移動方向を変える。これによって被験者がモンスターを追う際にはランダムに視点移動することになる。また、モンスターは2回の攻撃で倒れることやランダム位置にモンスターが発生するように設定することでキャラクターが一点にとどまり、視点移動が小さくなることを防いだ。加えてフィールド上に発生するモンスターの数は一定で、ゲームの難易度が被験者のスキルや各試行ご

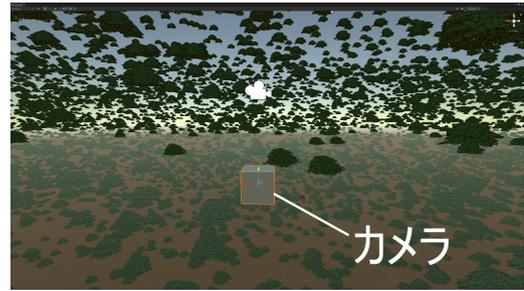


図 4 プロトタイプシステム



図 5 プロトタイプシステム使用時の様子

とに変化しないようにした。

3.1.4 フィールド

フィールド内にはメインのキャラクターの動作が不自由にならない程度に木や茂みを配置し、画面内に多くのオブティカルフローが多く発生するようにした。画面内に多くのオブティカルフローを発生させることで被験者はベクションを知覚しやすくなり映像酔いを誘発しやすと考えられる。

3.2 プロトタイプシステム

提案手法を実装したプロトタイプシステムの様子を図4に示す。プロトタイプシステムはUnityで開発した。プロトタイプシステムにおいてオブティカルフローを発生させる視覚刺激には実験用に作製したゲームと同様のアセット内にある茂みオブジェクトを使い、実験用ゲームの雰囲気に合わせて。プロトタイプシステムの使用時の様子は図5のようになっており、手前のメインディスプレイで実験用のゲームを、背面の大きなサブディスプレイにプロトタイプシステムを表示している。

3.2.1 オプティカルフローの発生方法

提案手法においてオブティカルフローを発生させる視覚刺激の模式図を図6に示す。ランダムにオブジェクトが配置された3次元空間の中心にカメラを配置し、視覚刺激内のカメラが動くことでオブティカルフローを発生させる。例えば、視覚刺激内のカメラが前方向に移動するとカメラが捉えている映像は前方向のオブティカルフローをもつ映像になる。このカメラの映像をディスプレイ周辺に表示さ

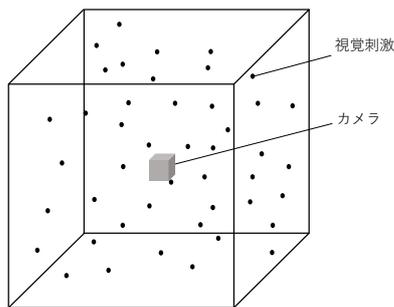


図 6 視覚刺激

せることで、提案手法を実現する。同様にディスプレイ周辺に後退するオプティカルフローを表示させたいときはカメラも後ろ、右なら右、左なら左といったようにカメラを移動させる。

3.2.2 プロトタイプシステムの動作

本節ではプロトタイプシステムが実験用ゲームに対してどのように動作するかを説明する。プロトタイプシステムで発生させるオプティカルフローは先行研究 [6, 7] 同様にメインディスプレイ内のオプティカルフローと反対方向に打ち消すように動作させる。そこで本システムでは実験用ゲームのキャラクターの移動と視点移動にシステムの動作を連動させる手法を取る。ゲームのオプティカルフローは基本的に操作キャラクターの移動や視点移動によって発生し、その方向はキャラクターの動作によって決まっている。つまり、ユーザのキャラクター操作とのシステムの動作と連動させることで、プロトタイプシステムを実験用ゲームのオプティカルフローを打ち消すように的確に動作させることができる。例えば、実験用ゲームで前進するオプティカルフローが発生するキャラクターの前進時に、プロトタイプシステムを後退するオプティカルフローを発生させるように連動させる。同様にゲームのキャラクターが右に移動するときは左、左に移動するときは右、後退するときは前進するオプティカルフローが発生するようにプロトタイプシステムを連動させる。

また、ゲームのキャラクターが右方向に視点移動する場合にはゲームの風景は左方向に動くため、左方向のオプティカルフローが発生する。このときシステムは右方向のオプティカルフローが発生するように連動させる。同様にゲームのキャラクターの視点移動が左なら左、上なら上、下なら下にオプティカルフローが発生するようにシステムを連動させる。このようにキャラクターの移動と視点移動にシステムの動作を連動させることで、キャラクターの複雑な動作によって発生するあらゆるオプティカルフローに対して的確にシステムを動かせる。

3.2.3 プロトタイプシステムの実装

プロトタイプシステムと実験用ゲームは独立したソフトで、プロトタイプシステムの実装方法として実験用ゲームのバックグラウンドで動作することを想定している。そこ

でプロトタイプシステムと同じ PC 上のメイン操作の入力をフックする機能を追加し、非アクティブ状態のバックグラウンドでも動作するようにした。この機能によりプロトタイプシステムは被験者のゲームへの入力を取得し、半自動的に映像酔いを防ぐように動作する。またプロトタイプシステムの入力フック機能による動作は実験用ゲームと同様の操作系のゲームに適用できるので、プロトタイプシステムは実験用に限ったシステムではなく他のゲームにも適用できる。

4. 評価実験

本実験では提案システムがゲーム中の映像酔いの軽減に効果的かと、没入感を向上させるかの 2つの項目について調査する。

4.1 実験概要

本実験の目的は 2つある。1つ目に提案手法であるゲームの映像酔いを防ぐためにゲームから感じるオプティカルフローと反対方向のオプティカルフローをディスプレイ周辺に表示させる手法が有効かを調べることである。2つ目に提案手法がゲームをプレイするユーザのゲームへの没入感を高められるかを調査することである。被験者にプロトタイプシステムありの場合となしの場合でゲームをさせ、酔い具合を測る質問紙、没入感を測る質問紙を回答させた。先行研究の画面内に映像酔いを防ぐ視覚刺激を表示する従来手法 [6, 7] と同様に画面周辺に映像酔いを防ぐ視覚刺激を表示させる手法が有効であれば、プロトタイプシステムなしよりもありのほうが被験者の酔い具合が低いと考えられる。またプロトタイプシステムなしよりもありのほうがユーザの視覚に入る映像領域が大きいため、没入感が高まると考えられる。実験の順序が実験結果に影響を与えないように、実験はプロトタイプシステムあり→なし、なし→ありの 2つのグループに分けて行った。

4.2 被験者

被験者は大学生及び大学院生の 9名 (男性 5名, 女性 4名) で、同研究室の学生の中から募集した。実験に参加させる前に、一人称視点のゲームのプレイ経験はあるか、映像酔いしたことがあるか口頭で質問した。

4.3 測定項目と評価方法

本実験では提案手法を用いたプロトタイプシステムが映像酔いの軽減に効果的かと没入感を高められるかを調査するために以下の 3つの項目を測定する。

- SSQ-TS(Simulator Sickness Questionnaire Total Score)
- 不快スコア
- IPQ_avg(Igroup Presence Questionnaire)



図 7 実験の様子

1 つ目の SSQ_TS は回答者の酔い具合を総合的に評価するスコアである [17]. これは 16 項目の質問について 4 段階で回答するアンケートで、実験終了後に 1 度回答する. 2 つ目は不快スコアと呼ばれる実験中被験者の酔い具合を評価するものである [18]. 本実験では 10 分間の実験中、2 分ごとに「今の気分はどうですか?」という口頭での質問に対し、1(実験開始時の状態)、10(直ちに中止したい状態)の 10 段階で回答させた. これは VR 酔いに関する研究で用いられる手法の応用で、本来は数回に分けられたタスクごとに回答する [5] が、本実験に合わせて 2 分ごとに回答するものとした. 3 つ目は IPQ アンケートと呼ばれる被験者の没入度を評価する IPQ アンケートのスコアの平均値である [19]. これは 14 項目の質問に対して 7 段階の尺度で回答するもので、実験終了後に 1 度回答させた.

4.4 実験の手順

実験の様子を図 7 に示す. はじめに被験者に実験に関する説明を行い、体調が悪くなる可能性があること、体調に応じていつでも実験を中止し、参加を取りやめることができることを伝えた、その後実験用のゲームの操作方法を伝え、1 分程度練習する時間を設けた. その後被験者にフィールド上に発生するモンスター倒すように指示し、10 分間プレイさせた. 実験中は 2 分ごとに不快スコアを回答させ、実験終了後 SSQ アンケートと IPQ アンケートを回答させた.

実験回数は提案手法ありとなしの 2 回でプロトタイプシステムあり→なし、なし→ありの 2 つのグループに分けて行った. また 2 回の実験の間隔はゲームに対しての慣れや被験者の体調を考慮して 24 時間以上の間隔を置いて行った.

実験で用いたゲーム用のメインディスプレイは 23 インチ (iiyama prolight x2380HS) で、プロトタイプシステムを表示した背面のディスプレイは 50 インチディスプレイ (JAPANNEXT JN-VT5001UHDR) である. 被験者の顔とメインディスプレイとの距離はおおよそ 80cm で、メインディスプレイと背面ディスプレイの距離はおおよそ 30cm である. 背面ディスプレイは被験者からみてメインディスプレイの周囲に映像が見えるように配置した. 実験用のゲー

表 1 SSQ_TS

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I |
|----|------|------|------|------|------|------|---|-----|------|
| なし | 11.2 | 26.2 | 33.7 | 82.3 | 56.1 | 97.2 | 0 | 3.7 | 7.5 |
| あり | 56.1 | 3.7 | 11.2 | 18.7 | 29.9 | 97.2 | 0 | 3.7 | 15.0 |

表 2 不快スコア

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---|-----|
| なし | 3.4 | 2.8 | 2.4 | 3 | 4.6 | 4 | 1 | 1 | 1.2 |
| あり | 2.8 | 1.4 | 1.2 | 1.8 | 3.2 | 4.6 | 1.4 | 1 | 5.2 |

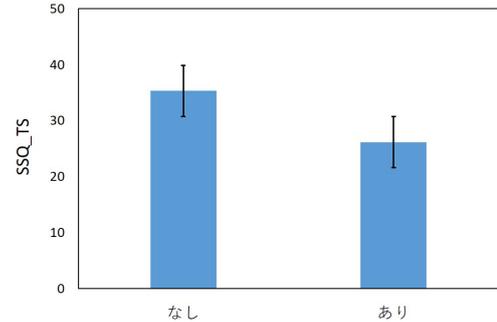


図 8 SSQ_TS の平均と分散誤差

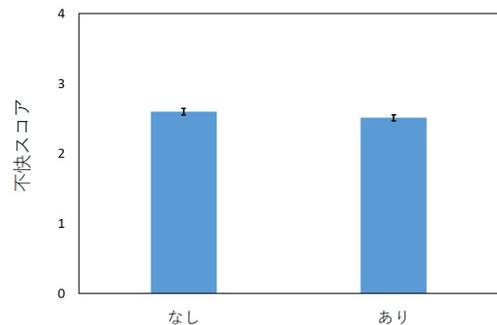


図 9 不快スコアの平均と分散誤差

ムのコントローラには xbox 純正コントローラ (マイクロソフト社) を用いた.

5. 結果

本実験において実験を途中で中止した被験者はいなかった. 本実験では映像酔いの評価に SSQ_TS と不快スコア、没入感の評価に IPQ_avg を測定した. 各評価方法で得られた結果は有意差を調べるために対応のある t 検定による分析を行った.

5.1 映像酔い

映像酔いの評価項目である SSQ_TS、不快スコアの結果を表 1, 2 に示す. 各評価項目で得られた結果に対して有意差を調べるために参加者内で t 検定による分析を行った結果、どちらも有意差は見られなかった (SSQ_TS は $p > 0.10$, 不快スコアは $p > 0.10$). また、それぞれの平均値をグラフにしたものを図 8, 9 に示す. 図の横軸は提案手法の有無を表しており、エラーバーは分散誤差を表している.

表 3 IPQ_avg

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| なし | 1.9 | 2.2 | 2.4 | 2.1 | 2.9 | 2.2 | 2.1 | 2.7 | 2.2 |
| あり | 3.4 | 1.9 | 3.5 | 1.9 | 2.8 | 2.5 | 2.4 | 3.2 | 2.1 |

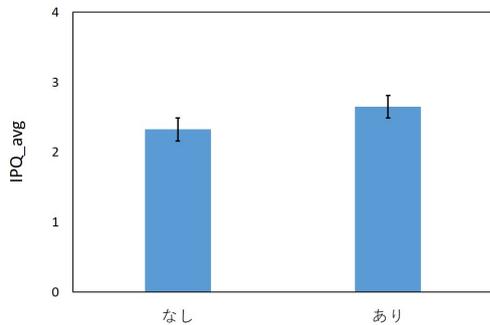


図 10 IPQ_avg の平均と分散誤差

5.2 没入感

没入感の評価項目である IPQ_avg の結果を表 3 に示す。得られた結果に対して有意性を調べるために参加者内で t 検定による分析を行った結果、有意性は見られなかった ($p > 0.10$)。また、IPQ_avg の平均を図 10 に示す。図の横軸は提案手法の有無を表しており、エラーバーは分散誤差を表している。

6. 考察

5 章の実験結果と分析を踏まえて、実験結果の考察と議論を行う。

6.1 映像酔い

評価実験において SSQ_TS や不快スコアに有意差は見られなかった。提案手法に期待した効果が得られなかった原因を考察する。提案手法であるメインディスプレイのオプティカルフローを打ち消すためにオプティカルフローを周囲に表示する手法が、特定の被験者には悪影響を与えた可能性がある。例えば表 1, 2 において被験者 B, C, D, E を見ると提案手法が効果的に作用した一方で、被験者 I の結果を見ると提案手法ありのほうが酔い具合が非常に大きくなっている。これは提案手法のオプティカルフローによってより大きなベクションが発生し、酔い具合を大きくしてしまった可能性がある。実際に周辺視野に対する視覚刺激はベクションを誘発しやすいとの報告もあるため??、ユーザに対しどの程度提案手法の視覚刺激が視界に写るのかは検討の余地がある。

また、被験者 F, G, H のように提案手法あり、なしに関わらず酔い具合がほとんど変化しなかった被験者がいたことも実験結果に有意差が現れなかった原因とも考えられる。また、酔い具合がほとんど変化しなかった原因として、酔いに対して耐性のある被験者であることやプロトタイプシステムで用いた視覚刺激が視覚刺激として不十分だった

可能性がある。プロトタイプシステムの視覚刺激はゲームの世界観に合わせ、ゲームのオブジェクトを用いたが、より目立つ視覚刺激を用いることで映像酔い軽減効果を得られた可能性がある。

6.2 没入感

評価実験において IPQ_avg の結果に有意差は見られなかったが、実験結果から提案手法は没入感を阻害しない手法と考えられる。むしろ、9 人の被験者のうち 5 人の被験者の没入感が高まったことや、図 10 を見ても提案手法ありのほうが数値が高く、提案手法はゲームに対する没入感を高められる効果が期待できる。つまり、ユーザの没入感を高める方法としてコンテンツの提示領域を大きくすることは非常に有効であることが分かった。一方で没入感を阻害したように感じた被験者がいた原因として、被験者によってはディスプレイ周囲の視覚刺激がゲームコンテンツの世界観を壊した可能性がある。例えば、プロトタイプシステムで用いた視覚刺激では茂みが宙に浮いていることや、ゲームの風景に対してディスプレイ周辺は反対方向に動くなど現実世界とはかけ離れた挙動が被験者の没入感に悪影響を与えた可能性がある。多くのユーザに対して没入感を高めるためにはゲームの挙動として自然な視覚刺激を用いてオプティカルフロー打ち消す手法を考える必要がある。

7. まとめと今後の展望

本研究では映像酔いを防ぐ方法としてディスプレイ周辺に映像酔いを軽減するオプティカルフローを提示する手法を提案した。実験用のゲームと提案手法を実装したプロトタイプシステムを用いて、提案手法の有効性を調査する評価実験を行った。その結果、提案手法は映像酔いの軽減効果、没入感の向上効果に有意的な結果は見られなかったが一部の被験者で期待した効果が得られた。

今後の展望として、プロトタイプシステムの効果を向上させるためにゲームのオプティカルフローを的確に減少させる方法を模索し、より効果的なシステムの動作や視覚刺激、被験者の視界に入る映像酔い軽減オプティカルフローの範囲を大きくするなど、システムの改善を行う。また実験方法についてもデータのばらつきを抑えるために、事前アンケートにより映像酔いしやすい被験者を選んで実験を行う。

参考文献

- [1] 氏家弘裕: 映像酔い, 映像情報メディア学会誌, Vol. 61, No. 8, pp. 1122-1124 (2007).
- [2] LaVoila, J. J: A Discussion of Cybersickness in Virtual Environments, *Association for Computing Machinery*, Vol. 32, No. 1, pp. 47-56 (2000).
- [3] Hettlinger, Lawrence J., et al: Vection and Simulator Sickness, *Military Psychology*, Vol. 2, No. 3, pp. 171-

- 181 (1990).
- [4] Palmisano, S., Allison, R.S., Schira, M.M. and Barry: Future Challenges for Vection Research: Definitions, Functional Significance, Measures, and Neural Bases, *Frontiers in Psychology*, Vol. 6, pp. 193 (2015).
 - [5] 萱場大貴, 宮下芳明: オプティカルフローに応じた非円形制限による VR 酔い軽減手法, 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション, Vol. 2023, No. 36, pp. 1-8 (2023).
 - [6] Park, Su Han, Bin Han, and Gerard Jounghyun Kim: Mixing in Reverse Optical Flow to Mitigate Vection and Simulation Sickness in Virtual Reality, *Proceedings of the 2022 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, Vol. 2022, No. 189, pp. 1-11 (April 2022).
 - [7] 笹山琴由, 五味田啓, 加藤嘉明, 城和貴: 仮想風景における VR 酔い低減のための一手法, 情報処理学会論文誌数理モデル化と応用 (TOM), Vol. 14, No. 2, pp. 13-23 (2021).
 - [8] Kennedy, Robert S., Julie Drexler, and Robert C. Kennedy: Research in Visually Induced Motion Sickness, *Applied Ergonomics*, Vol. 41, No. 4, pp. 494-503 (2010).
 - [9] LaViola Jr, Joseph J: A Discussion of Cybersickness in Virtual Environments, *ACM Sigchi Bulletin*, Vol. 32, No. 1, pp. 47-56 (2000).
 - [10] Ebenholtz, S.M.: Motion Sickness and Oculomotor Systems in Virtual Environments, *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, Vol. 1, No. 3, pp. 302-305 (1992).
 - [11] Riccio, G.E. and Stoffregen, T.A: An Ecological Theory of Motion Sickness and Postural Instability, *Ecological Psychology*, Vol. 3, No. 3, pp. 195-240 (1991).
 - [12] Reason, J.T: Motion Sickness Adaptation: A Neural Mismatch Model, *Journal of the Royal Society of Medicine*, Vol. 71, No. 11, pp. 819-829 (1978).
 - [13] S., Bonato, F., Bubka, A. and Folder, J.: Vertical Display Oscillation Effects on Forward Vection and Simulator Sickness, *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, Vol. 78, No. 10, pp. 951-956 (2007).
 - [14] Keshavarz, B., Riecke, B.E., Hettlinger, L.J. and Campos, J.L.: Vection and Visually Induced Motion Sickness: How are They Related?, *Frontiers in Psychology*, Vol. 6, pp. 472 (2015).
 - [15] 柳在鎬, 橋本直己, 佐藤誠: 没入型ディスプレイの映像提示領域による没入感への影響, 映像情報メディア学会誌, Vol. 59, No. 7, pp. 1051-1058 (2005).
 - [16] Philips 社: Philips Hue Play HDMI Sync Box (online), available from <http://www.ipsj.or.jp/03somu/teigen/museum200702.html>.
 - [17] Kennedy, R. S., Lane, N. E., Berbaum, K. S. and Lilienthal, M. G.: Simulator Sickness Questionnaire: An Enhanced Method for Quantifying Simulator Sickness, *The International Journal of Aviation Psychology*, Vol. 3, No. 3, pp. 203-220 (1993).
 - [18] Rebenitsch, L. and Owen, C.: Individual Variation in Susceptibility to Cybersickness, *Proceedings of the 27th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, pp. 309-317 (2014).
 - [19] igroup.org: Igroup Presens Questionnaire (IPQ) Overview (online), available from <http://www.igroup.org/pq/ipq/>.
 - [20] T. Brandt, J. Dichgans, and E.: Koenig: Differential Effects of Central Versus Peripheral Vision on Egocentric and Exocentric Motion Perception, *Experimental Brain Research*, Vol. 16, No. 5, pp. 476-491 (1973).