



特定方向への視線の維持が VR 酔いに与える影響

Effects of sustained gaze in a direction on VR sickness

三浦直樹^{1,2)}, 氏家弘裕²⁾, 大倉典子^{2,3)}, 木村昌臣^{2,4)}

Naoki MIURA, Hiroyasu UJIKE, Michiko OHKURA, Masaomi KIMURA

- 1) 芝浦工業大学大学院 理工学研究科 (〒135-8548 東京都江東区豊洲 3-7-5, ma18094@shibaura-it.ac.jp)
- 2) 国立研究開発法人 産業技術総合研究所 (〒305-8566 茨城県つくば市東 1-1-1 中央第 6, h.ujike@aist.go.jp)
- 3) 中央大学大学院 理工学研究科 (〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27, ohkura@sic.shibaura-it.ac.jp)
- 4) 芝浦工業大学 工学部 (〒135-8548 東京都江東区豊洲 3-7-5, masaomi@sic.shibaura-it.ac.jp)

概要：注視点の VR 酔い軽減効果の機序を明らかにするために、著者らはこれまでに「特定対象への視線の維持」の効果を報告した。本研究では注視のもう 1 つの要因である「特定方向への視線維持」の効果を検証した。実験の結果、主観評価の高得点群では、特定方向に視線誘導する条件での VR 酔いの主な主観評価値は、視線方向を統制しない条件よりも有意に低く、点を注視し続ける条件よりも有意に高い結果となった。したがって「特定方向への視線維持」は、VR 酔い軽減に一定の効果をもたらすが、「特定対象への視線維持」ほどの効果はないと考えられる。

キーワード：VR 酔い, 注視点, 視線

1. 研究背景と目的

Virtual Reality (VR) 環境における動揺病, すなわち, VR 酔いが知られている。具体的な症状として, ほてり感, 倦怠感, 唾液の増加, 冷や汗, 顔面蒼白, 眠気, 胃の不快感, めまいや頭痛, 吐き気やひどい場合には嘔吐といった症状が知られている。VR を安全かつ快適に体験するためには, VR 酔いの軽減あるいは排除が必要不可欠であり, そのためには VR 酔いや関連する映像酔いの特性を明らかにすることが重要である。実際に, VR 酔いや関連するシミュレータ酔い, 映像酔いなどについて, これまでに数多くの報告が行われている[1,2,3]。

VR 酔いや映像酔いは, 映像中に注視点を設けることで軽減することが知られている[4]。しかし, 注視点の VR 酔い軽減効果に関する機序は明確にされていない。注視に関わる要因として「特定対象への視線を維持すること」と「特定方向への視線を維持すること」の 2 つが考えられる。著者らはこれまでに, 前者の要因が VR 酔いの軽減に効果をもたらすことを報告した[5]。本研究では, 後者の要因による影響を明らかにするために, 特定方向に視線を誘導する流動パターンを用いて, 注視点を設けずに視線を一定方向に維持する条件を設定し, 注視点を提示した条

件や注視点を提示せずに視線を統制しない条件とで, 映像酔いの評価指標に与える影響を比較した。

2. 実験方法

2.1 実験映像提示装置及び実験映像

Windows PC 及び視線追跡型ヘッドマウントディスプレイ (HMD) である FOVE 0 (FOVE, Inc.) により, 実験映像を提示した。視野サイズは約 100 deg (カタログ値), 映像のフレーム周波数は 70 fps とした。

VR コンテンツは, 統合ゲーム開発エンジン Unity を用いて作成した。VR コンテンツは, 丘陵地帯の雪原のような風景 (図 1 参照) の中を, あらかじめ決められたコースを一人称視点で移動する VR 映像とした。150 秒間の静止の後, 270 秒間風景内を移動する。移動の終了後, グレーアウトとともに開始地点に戻り, 120 秒間静止する。よって, 合計の観察時間は 540 秒であった。映像の正面 (HMD を実験時の正面に向けた場合に観察される方向) は, 常に移動方向正面となるように設定した。このため映像には実験参加者に対しヨー軸 (図 2) 回りの視覚的回転が含まれた。またこれに加えて, 映像にロール軸の一定周期の視覚的回転 (振幅: 6.0 deg, 周波数: 0.8 Hz) を加えた。

また、視界正面の周囲から見かけの初期速度は約 34 deg/s で中央へと流動しながら収束するパーティクルを移動風景に重ねて提示した。これにより、注視点など注視する対象を用いることなく実験参加者の視線を特定方向に誘導することが可能となり、視線を特定方向に向け続けることによる VR 酔いへの影響を明らかにするための条件設定を行うことが可能となる。また、次節で述べる条件に応じて正面中央に注視点（直径 0.48 deg の赤い点）を提示した。なお、流動するパーティクルは画面中央の直径 0.48 deg の範囲まで近づくと消失するように設定し、一点に収束したパーティクルが見かけ上の注視点となることを避けた。

2.2 実験条件

以下に述べる 3 つの実験条件を設定した。すなわち、視線方向を統制することなく実験参加者が映像を自由に観察する No-Fixation 条件、画面正面に提示された注視点を実験参加者が注視しながら映像を観察する Fixation 条件、パーティクルの収束する方向に実験参加者が視線を向け続けながら映像を観察する Gaze-Guidance 条件の 3 つである。いずれの条件でも画面周囲から中央へと流動し収束するパーティクルが風景に重ねて提示された。なお実験は、PC 画面等の光以外は消灯した暗室にて実施した。

2.3 計測項目及び計測装置

VR 酔いの計測として、心理的計測と生理的計測を行った。心理的計測として、VR 映像の観察前後にシミュレータ酔いアンケート（SSQ[6], Simulator Sickness Questionnaire）と、VR 映像提示開始 15 秒後から 30 秒ごとに VR 酔いに関する 5 段階(0~4)の主観評価計測を実施した。SSQ は用紙への記入により、また 5 段階の主観評価は応答ボックスのボタン押しにより行った。一方生理的計測として、映像観察中の心電(ECG, Electrocardiogram)計測を、胸部 3 箇所 に電極を装着することにより計測した。電極からの電圧信号は、サンプリング周波数 1 kHz、16bit 分解能にて、データ収録システム MP-150, ECG100C (いずれも BIOPAC Systems, Inc.) により記録した。

さらに、FOVE 0 によって映像観察中の実験参加者の眼球運動を計測した。本実験では、頭部の回転による前庭動眼反射を避けるために実験参加者の後頭部に首枕を装着した。映像観察の様子を図 3 に、システム構成図を図 4 に示す。

2.4 実験手順

実験参加者は、各 45 分間の休憩を挟んで 3 つの条件いずれにも参加した。実験条件の提示順序は、実験参加者間でランダムとした。

条件ごとに、実験参加者は実験開始直後にまず SSQ のアンケート記入を行い、次に心電計測のための電極と HMD とを装着した後、実験映像が 540 秒間提示された。実験映像観察中は、開始後 15 秒後から音の合図に応じて VR 酔いに関する 5 段階の主観評価をボタン押しにより実施した。提示終了後、電極と HMD とを外して、SSQ のアンケート記入を行った後、次の条件実施まで 45 分間の休

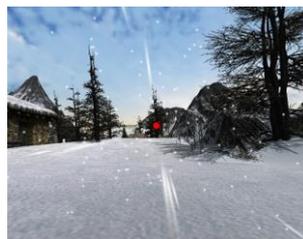


図 1: VR コンテンツ

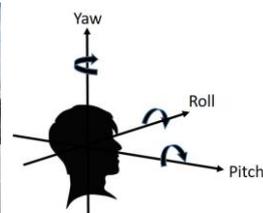


図 2: 回転軸



図 3: 観察中の様子

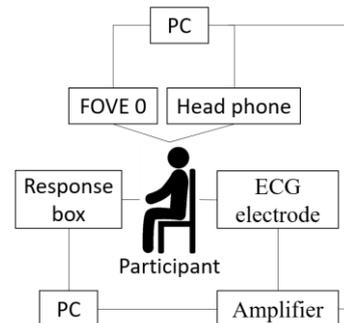


図 4: システム構成図

憩とした。

2.5 実験参加者

実験参加者は 28 名（男性：10 名、女性：18 名；年齢 20~51 歳）で、いずれも裸眼またはソフトコンタクトレンズの着用により正常視力、立体視機能を有する。実験に先立ち、産業技術総合研究所人間工学実験委員会の承認のもと、同意書の記入を得た。

ただし、以下の状況が生じた実験参加者のデータは、本報告における結果の分析から除いた。

1. 映像観察試行直前に計測した SSQ-TS の値のいずれかが、15 以上となった実験参加者
2. 映像観察時の方法が、指示通りに行われなかった実験参加者（後述）

以上により、本発表での分析対象は 15 名となった。

3. 実験結果

3.1 眼球運動

Fixation 条件や、とりわけ Gaze-Guidance 条件において、移動に伴うオブティク・フローや正面中央に流動する個々のパーティクルに視線が誘導され、安定した視線の維持が損なわれていないかを、眼球運動データ（左眼）により確認した。具体的には、300 deg/s 程度のサッカード[7]に相当するサンプリング間あたり 4.0 deg 以上の変化の発生割合を確認した。その結果、Fixation 条件に比べて Gaze-Guidance 条件にて、上記変化の発生割合がとりわけ高かった 1 名のデータを分析から除外した。また、3 つの条件について、サッカードの発生回数を分散分析した結果（図 5 参照）、Fixation および Gaze-Guidance 条件は、No-Fixation 条件に比べてサッカードが発生した回数が有意に少ないことが示された($p < .01$)。

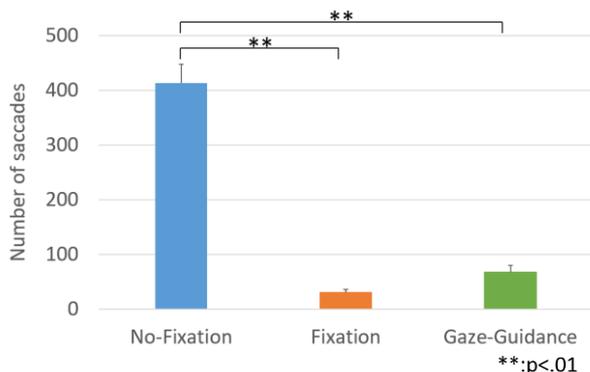


図 5: サッカード発生回数の比較

3.2 心理計測データ

酔いの総合的な心理指標として用いられる SSQ の Total-score および 3 つのサブスコア Nausea, Oculomotor, Disorientation の結果を図 6(a)-(d)にそれぞれ示す. 結果の分析にあたり, VR 酔いが相対的に強く出た人とそうでない人とで結果を分けて検討するために, No-Fixation 条件での Total-score に基づいて, 50 パーセントで高得点群 (8 名) と低得点群 (7 名) に分類した. また, 映像観察中の VR 酔いに関する 5 段階の主観評価結果のうち, 高得点群の結果を図 7 に示す. 分散分析の結果, 高得点群において Gaze-Guidance 条件は, SSQ の Nausea スコアや観察中の主観評価結果が No-Fixation 条件より有意に低

くなった($p < .05$). また, SSQ の Total-score や観察中の主観評価スコアは, No-Fixation 条件が最も高く, 次いで Gaze-Guidance 条件, 最もスコアが低かったのは Fixation 条件であった.

3.3 生理計測データ

映像観察中の ECG データから, 交感神経活動指標である LF/HF 比を算出した. LF/HF 比は, 酔いの程度が重くなると同時に値が増加する傾向にあることが報告されている [8, 9]. LF/HF 比の算出にあたっては, ECG の R 波の 2 分間の間隔変動の低周波成分 (0.04~0.15 Hz) と高周波成分 (0.15~0.4 Hz) とを lomb-scargle 法を用いて算出し, その比を観察中の主観評価に対応させて 30 秒間隔で求めた.

高得点群の実験参加者の LF/HF 比を平均したものを図 8 に示す. グラフでは標準誤差が大きく見られ, 条件間に有意な差は見られなかった.

4. 考察

眼球運動の分析の結果, Gaze-Guidance 条件は Fixation 条件と同等にサッカードの発生を抑制したことが示され, 注視点を用いることなく特定方向への視線を維持するという条件を満たした観察となっていたと考えられる.

酔いに関する複数の心理指標の結果から, 特定方向に視線を維持することで VR 酔いを軽減し得ることが示唆された. すなわち, 注視点に関わる要因の一つである「特定

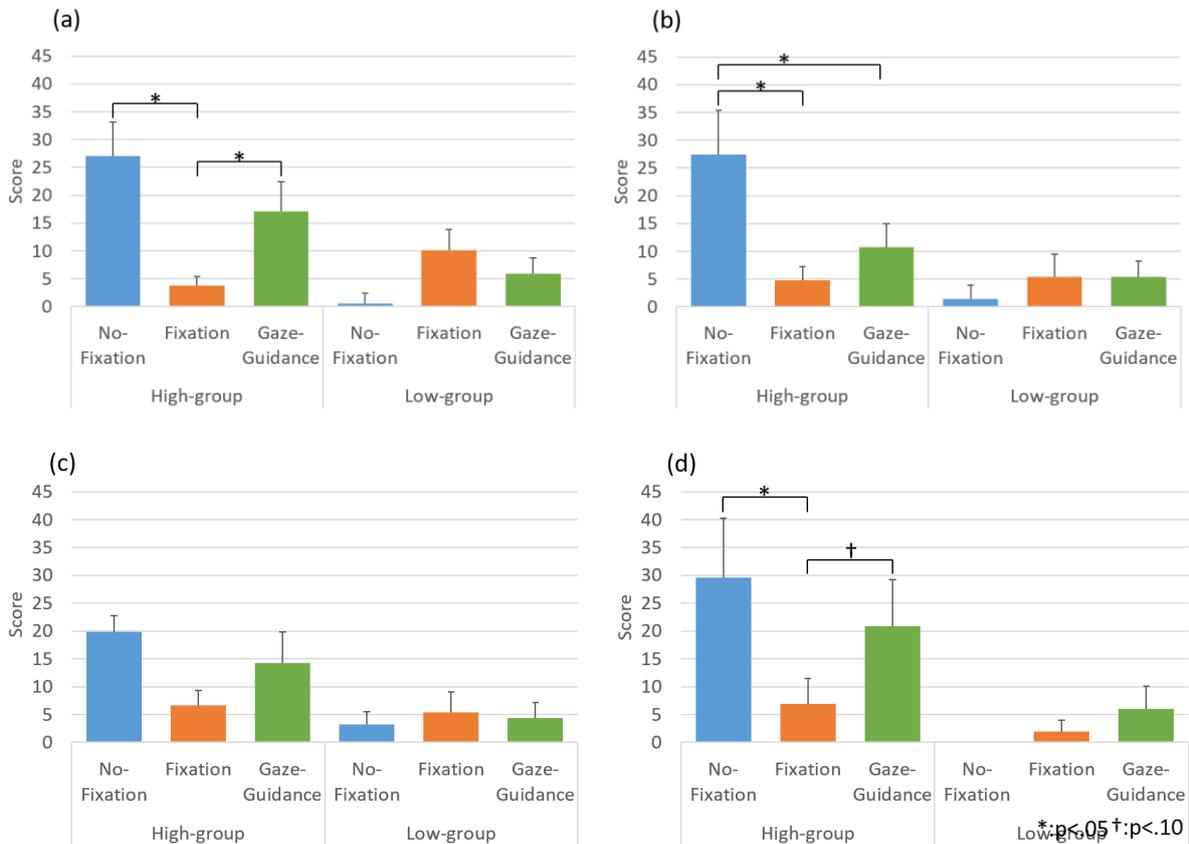


図 6: SSQ の結果

(a) Total-score (b) Nausea (c) Oculomotor (d) Disorientation

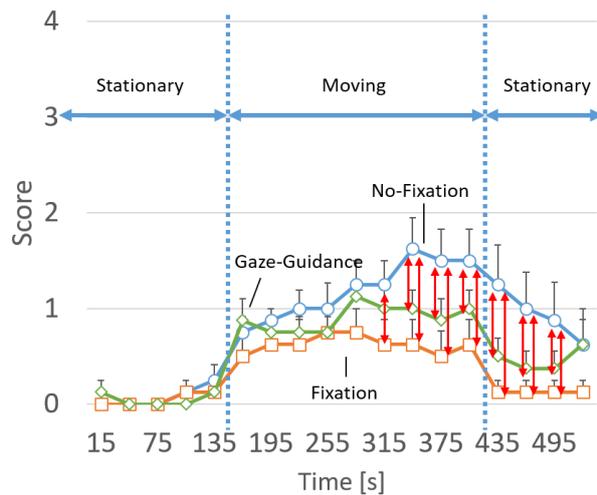


図 7: VR 酔いに関する主観評価 (0~4)

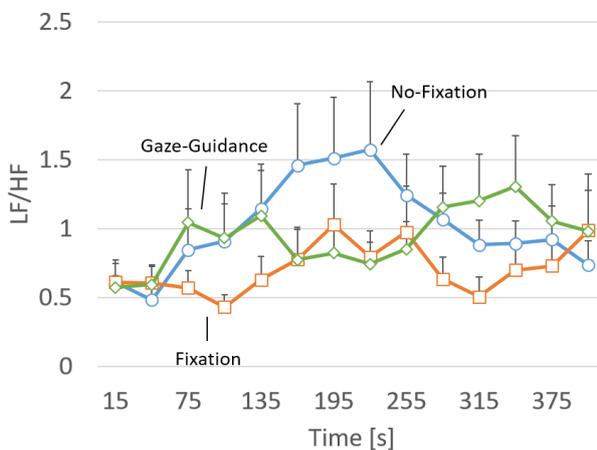


図 8: LF/HF 比

方向への視線の維持」は VR 酔いの軽減に寄与すると考えられる。その一方で、Fixation 条件と比較すると、その効果は限定的であった。

先行研究[4]では、注視に関わるもう一つの要因である「特定対象への視線の維持」による VR 酔い軽減効果を明らかにした。この報告では、視野内で移動する特定の対象を注視することによっても、従来の固定した注視点と同等の軽減効果が示された。したがって、注視点の VR 酔いの軽減効果は、特定対象に視線を維持することによる寄与が相対的に大きいと考えられる。

5. まとめ

本研究では、注視点がなぜ VR 酔い軽減に効果を有するかを明らかにするために、視線を特定方向に誘導する VR 映像を用いて「特定方向への視線の維持」に関する効果の検証を行った。実験の結果、視線を特定方向に維持することによって VR 酔いが軽減されることが示された。ただ

し、注視点を注視する場合と比べると軽減効果は限定的で、小さいものであった。この結果と先行研究[5]での結果から、注視点の VR 酔い軽減効果は「特定方向への視線の維持」よりも相対的に「特定対象への視線の維持」が寄与していると考えられる。

謝辞

本研究は平成 31 年度「経済産業省戦略的国際標準化加速事業（政府戦略分野に係る国際標準開発活動）」（ヘッドマウントディスプレイの人間工学的要求事項に関する国際標準化）にて実施された。

参考文献

- [1] C. Nakagawa, M. Ohsuga: "The present situation of the studies in VE-Sickness and its close field," *Journal of the Virtual Reality Society of Japan*, vol. 3, no. 2, pp.31-39, 1998.
- [2] N. Tanaka: "A Survey of Countermeasure Design for Virtual Reality Sickness," *Journal of the Virtual Reality Society of Japan*, vol.10, no.1, pp.129-138, 2005.
- [3] B. Keshavarz, H. Hecht, B.D. Lawson, "Visually Induced Motion Sickness: Causes, Characteristics, and Countermeasures," in K.S. Hale, K.M. Stanney (eds.), *Handbook of Virtual Environments, Design, Implementation, and Application*, CRC Press, pp.647-698, 2015.
- [4] N. A. Webb, M. J. Griffin: "Optokinetic stimuli: motion sickness, visual acuity, and eye movements", *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, vol. 73, no. 4, pp. 351-358, 2002.
- [5] N. Miura, H. Ujike, M. Ohkura: "Influence of fixation point movement on visually induced motion sickness suppression effect", *International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics*, Springer, Cham, pp. 277-288, 2018.
- [6] R. S. Kennedy et al: "Simulator sickness questionnaire: An enhanced method for quantifying simulator sickness", *The International Journal of Aviation Psychology*, vol. 3, no. 3, pp. 203-220, 1993.
- [7] 大山 正, 今井 省吾, 和気 典二: 『新編 感覚・知覚心理学ハンドブック』, 誠信書房, 1994.
- [8] M. Emoto., M. Sugawara, Y. Nojiri: "Viewing angle dependency of visually-induced motion sickness in viewing wide-field images by subjective and autonomic nervous indices", *Displays*, vol. 29, no. 2, pp. 90-99, 2008.
- [9] H. Watanabe, W. Teramoto, H. Umemura: "Effect of predictive sign of acceleration on heart rate variability in passive translation situation: preliminary evidence using visual and vestibular stimuli in VR environment", *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 4, 1, 36, 2007.