

視点移動映像視聴時の注視と予告の 酔いと速度感および注視行動への影響

磯部 祐輔^{*1} 藤田 欣也^{*1}

Influence of Visual Target and Predictive Visual Cue on Cybersickness, Speed Sense
and Gaze Behavior in Virtual Environment

Yusuke Isobe^{*1} and Kinya Fujita^{*1}

Abstract — The influences of visual target and predictive visual cue on gaze behavior and cybersickness were experimentally evaluated, in order to maintain the presence and reduce the cybersickness. The severity of sickness and the sense of velocity were evaluated using simulator sickness questionnaire and method of reproduction. The eye movement was also monitored using an eye tracking camera. The results suggested that the visual target at the optical flow center has more cybersickness reduction effect than the fixed visual target, and the predictive visual cue increases the reduction effect of the target further, while the sense of velocity does not significantly differs among the visual conditions. The feasibility was suggested that presenting predictive visual cue via visual target can reduce cybersickness without impairing sense of velocity.

Keywords: cybersickness, visual cue, gaze, eye movement

1 はじめに

投影型やパネル型の映像提示装置の普及に伴い、日常生活において大画面で動画を鑑賞する機会が増えている。特にアミューズメント施設に多く見られる視点移動を伴う映像コンテンツにおいては、広い視野角により高い臨場感を楽しむことができる。

臨場感を高める要素の一つに移動感があり、映像速度や視野角の大きさ、奥行きなど関係があるとされている[1]。移動感の強度の概念の中には、運動感覚の大きさ・安定性・生起しやすさ・速度感などが含まれ、その評価には、質問紙による主観評価や重心動揺[2]、眼球運動[3]などが用いられている。

反面、移動感の強化は酔いを増強する可能性が懸念される[1]。酔いは、過去の研究において、その評価手法、発症要因、対策方法など様々な検討が行われてきた。酔いの評価には、Simulator Sickness Questionnaire[4] (以下、SSQ) のような質問紙による主観評価が用いられることが多いが、一方では、心電図や呼吸[5]、血圧[6]、胃電図[7]、眼球運動[8]など生体計測による客観的評価も試みられている。

酔いの発症や程度に影響する要因としては、映像の画角や視距離、視聴者の年齢・性別などが指摘さ

れている[9]。また、映像の動きに関しても、運動パターンによる酔いの程度の比較[8]や、生体に影響を及ぼした映像の動きベクトル特徴[10]に関する報告などがある。これらの知見からは、画角や映像刺激の動きを小さくすることで酔いが軽減される可能性が期待される。しかし、画面の小型化や動きの低減は、移動感については臨場感が損なわれる可能性も考えられる。そのため、移動感を損なわずに酔いを軽減する映像提示手法の検討が望まれる。

そこで、視点移動映像視聴時の酔い軽減手法の一つとして、本研究では運動の予測補助を考える。酔いの発症メカニズムとして提唱されているものに、Neural Mismatch Model があり[11]、このモデルでは、各種感覚情報の不一致[12]に加え、予測と実際の運動の矛盾が酔いを引き起こすとされている。すなわち、映像により知覚された運動から予測される将来の運動と、実際に知覚された運動との間に矛盾が生じた場合、酔いの発症原因となりえるという説である。この仮説に従うと、予測が補助されるような予告情報を与えることで運動予測を支援すれば、予測と実際の運動の矛盾が低減され、酔いが軽減されるものと期待される。

予告情報の酔いへの影響を調べた研究としては、道路の提示が酔いを軽減する可能性[13]や、加速度の発生を予告する視覚的サインの自律神経系への影

*1: 東京農工大学大学院

*1: Graduate School of Tokyo University of Agriculture and Technology

響[14]などが報告されている。筆者らも、映像中に視聴者の注視を誘起する固視点を提示し、固視点を先行して運動させることで予告情報を与え、その酔いの軽減効果を実験的に検討してきた[15]。しかし、固定した固視点の注視が酔いを軽減するとの報告もあり[16]、酔いの軽減効果が、固視点注視と予告のいずれによるものか、明らかにする必要があった。

また、固視点注視は移動感や眼球運動にも影響を与える可能性があり、固視点注視による立位時の重心動揺の減少[17]や、固定固視点注視による眼球運動の視運動性眼振（OKN）の抑制と酔いの軽減[18]などが報告されている。そのため、固視点を用いた予告によって酔いの軽減を図る場合には、酔いだけでなく、速度感や眼球運動も含めて、注視と予告の影響を総合的に評価する必要が生じる。

そこで、本研究では、固視点を先行運動させたときの、酔いと速度感および眼球運動への注視と予告の影響を検討することを目的に、SSQによる酔いの評価、および調整法を用いた速度感の評価を行った。さらに眼球運動を計測し、酔いや速度感との関連を調査したので報告する。

2 SSQによる酔いの評価実験

2.1 実験環境

提示映像は、森の中を1.6mの高さで前進しながら、ときおり左右にヨー回転あるいは進行方向まわりにロール回転し、前進速度が130, 195, 260, 390km/hの4段階に変化するCG映像を用いた。ロール回転時の回転角速度は7.0rad/sとし、ヨー回転時の回転角速度は、後述のOF中心が画面外に出ないように、速度に応じて0.17rad/sから0.52 rad/sまで変化させた。120インチスクリーンにプロジェクタ（LP-XT10, 三洋製, 2500ルーメン）で映像を背面投影し、被験者にはスクリーンの手前1.10mの位置に設置した椅子に座り映像を視聴させた。着座位置における画角は、水平



図1 酔いの評価実験風景

Fig.1 Experimental set-up for cybersickness evaluation

画角97度、垂直画角80度で、CG描画におけるパースペクティブ設定値と一致させた。また、臨場感を高めるために椅子に取り付けたスピーカからエンジン音状の雑音を提示した。実験風景を図1に示す。

2.2 刺激条件

先に述べたように、これまでの研究では、注視と予告の影響、さらに固視点注視によるOKNの抑制の影響が混在した状態で評価されており、これらを分離して評価する必要がある。そこで、本研究では、①通常の視点移動映像である「固視点なし」、②星型の固視点を画面中央に提示する「固定固視点」、③固視点を進行方向であるOptical Flow（以下、OF）中心に提示する「OF中心固視点」、④OF中心固視点が0.6秒先行運動する「OF中心先行固視点」の4条件を設定した。OF中心位置は、視距離をCG描画の近点と遠点の中間55mと仮定して近似的に算出し、算出位置の妥当性を視覚的に確認した後に実験を実施した。また、2.1で述べたように、OF中心が画面外に出ないように速度と回転角速度を設定した。表1に、各注視条件の特徴比較を示す。①固視点なしと②固定固視点を比較することで固視点提示によるOKN抑制の影響を、①固視点なしと③OF中心固視点から固視点のOF中心反映の影響を、さらに、③OF中心固視点と④OF中心先行固視点を比較するこ

表1 注視条件の特徴比較

Table 1 Comparison among gaze conditions

注視条件	固視点提示の相違		
	提示	OF中心の反映	先行
①固視点なし	無	—	—
②固定固視点	有	無	無
③OF中心固視点	有	有	無
④OF中心先行固視点	有	有	有

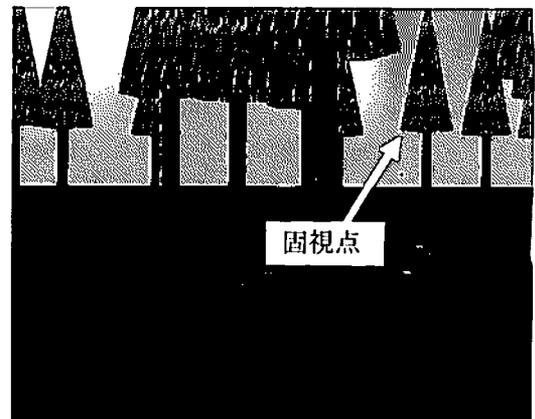


図2 刺激映像と固視点

Fig.2 Visual stimulus and gaze target

とで、固視点の先行運動による予告の影響を検討することが可能になるものと考えられる。

なお、固視点は、進行方向まわりの回転が視認できるように、被験者から見たときに星形になる錐形状とし、さらに、図2に示すように、周辺映像の遮蔽を極力避けるため、進行方向周りの回転が視認できる範囲で、できるだけ小さなものとした。また、OF中心先行固視点での先行時間は、短いと予告効果が小さくなり、長いと速度感を損なう、あるいは予告と認知されなくなる可能性が懸念される。そこで、本研究では、これまでの実験結果[15]をもとに、先行時間を0.6秒に設定した。

2.3 実験方法

被験者は、書面によりインフォームドコンセントを得た健康成人男性35名、女性2名の計37名である。被験者には、固視点が提示されない映像の場合は映像の進行方向を、固視点が提示される映像の場合は周視点を、頭を動かさずに眼球だけを動かして見るように教示した。

映像提示時間は各刺激条件でそれぞれ10分とし、20分の休憩を挟みながら、被験者ごとにランダムな順序で行った。また、実験の前後にSSQ[4]を用いた主観評価を実施し映像刺激による変化量を求めた。

2.4 結果

実験では、被験者1名が「固視点なし」条件で、重度の酔いのために実験を中断し、別の被験者1名において、休憩時間を越える刺激効果の残留(刺激開始前SSQスコアの上昇)が認められた。そこで、これらの被験者2名を除いた35名の被験者のSSQにおける16項目の主観評価値から、スコアの算出式に従って重み付け加算をおこない、「吐き気」、「眼精疲労」、「空間識失調」および「トータルスコア(TS)」を求めた。

被験者35名の平均スコアと標準偏差を図3に示す。吐き気およびTSは、「固視点なし」、「固定固視点」、「OF中心固視点」、「OF中心先行固視点」の順に低くなり、眼精疲労と空間識失調は、「固視点なし」に比較して固視点提示の3条件間が低い値を示した。

各SSQスコアに対してt検定をおこなった結果、吐き気のスコアでは「固定固視点」と「OF中心固視点」の組み合わせ以外の全条件間で、危険率1%または5%の有意差が認められた。眼精疲労および空間識失調のスコアは、「固視点なし」と固視点提示3条件間で、それぞれ危険率1%あるいは5%の有意差が認められた。TSも、同じく「固視点なし」と、固視点提示3条件間で危険率1%または5%の有意差が認められた。

しかし、各被験者のSSQスコアは個人差が大きく、

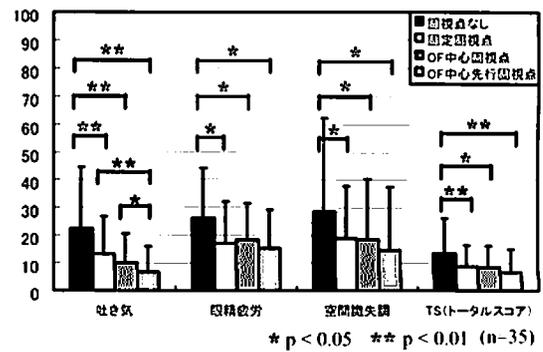


図3 平均SSQスコア (35名)

Fig.3 Average of SSQ scores (35 subjects)

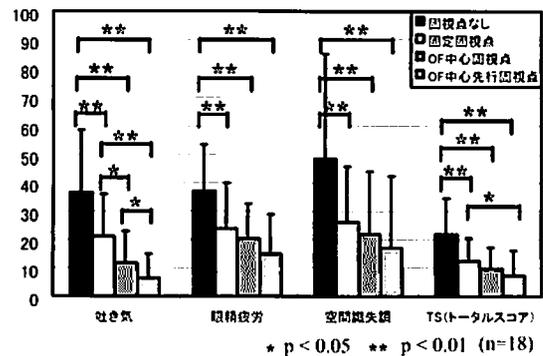


図4 強い酔いの群のSSQスコア (18名)

Fig.4 Average of SSQ scores (18 subjects with severe sickness)

一部に酔いを発症していないと見られる被験者がいたことから、明確に酔いを発症していると考えられる被験者に限定して評価を行うため、「固視点なし」のTSの中央値(=9.61)を用いて、被験者を酔いの強弱による2群に分けた。酔いが強い群の被験者18名の平均スコアを図4に示す。全ての評価指標において、「固視点なし」、「固定固視点」、「OF中心固視点」、「OF中心先行固視点」の順に平均値が低くなる様子が見られる。

酔いが強い群のSSQスコアに対してt検定を行ったところ、吐き気のスコアは、各条件の組み合わせすべてに有意差が認められた。眼精疲労・空間識失調では、強い酔いの群においても、固視点提示の3条件間に有意差はみられなかったが、吐き気と同様に、「固視点なし」、「固定固視点」、「OF中心固視点」、「OF中心先行固視点」の順にスコアが低くなった。また、TSは、「固視点なし」と「OF中心固視点」の条件間で有意差が1%と強くなり、「固定固視点」と「OF中心先行固視点」の条件間で新たに危険率5%の有意差が認められた。以上の結果より、固視点の提示は、酔いの症状すべての軽減に効果を有し、固視点のOF中心に連動した運動や、固視点の先行に

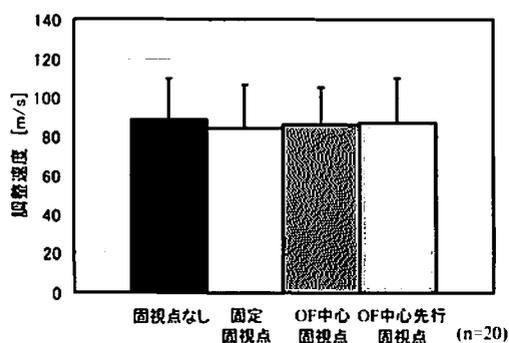


図5 調整速度の平均値(20名)

Fig.5 Average of adjusted velocity(20 subjects)

よる予告は、主に吐き気の軽減に有効であることが示された。

3 調整法による速度感の評価実験

3.1 実験方法

速度感を定量的に評価するため、調整法を用いた評価実験を行った。刺激映像は、酔いの評価実験と同じく森林の中を移動するCG映像であるが、速度感の評価を行うために前進速度（仮想空間内の視点移動速度）は一定とした。刺激条件は酔いの評価実験と同じ4条件とし、映像の提示時間はそれぞれ1分とした。被験者には提示中の速度感を記憶させ、刺激映像の提示終了直後に、ランダムドット映像中を直進する映像を提示し、森林CG映像の刺激提示映像で記憶した速度感を、マウスのホイール操作による速度調整で再現させた。なお、森林映像の場合は酔いの評価実験と同じく、固視点が提示されない映像は進行方向を、固視点が提示される映像の場合は固視点を見るように教示した。さらに、ランダムドット映像の場合は、画面中央を注視するよう教示した。

ランダムドット映像の初速は、「停止状態」と、「提示速度の2倍」の2種類とし、各初期条件に対して4条件の刺激映像を提示したため、計8条件を1セットとした。そして、10分間の休憩をはさんで、3セットの実験を実施した。被験者は酔いの評価実験にも参加した成人男性19名、成人女性1名の計20名である。また、実験後に速度感に違いがあったか内観報告を行わせた。

3.2 実験結果

実験は3セット行ったが、課題への習熟を考慮し、2セット目と3セット目の結果のみを用いて調整速度の平均値を求めた。被験者が調整に要した時間は、1回あたり20秒程度であった。結果を図5に示す。個人差が大きく、全体的に低く調整する者と高く調



図6 眼球運動計測の風景

Fig.6 Experimental set-up for eye movement measurement

整する者が見られた。各刺激条件の調整速度の平均値に対してt検定を行ったが、有意差はみられなかった。また、内観報告においても、速度感に大差はなかったと報告された。

4 眼球運動計測実験

4.1 実験方法

刺激映像・刺激条件はこれまでの実験と同様である。被験者は健常成人男性10名で、図6のように頭部に眼球運動計測装置（EYELINK II, SR Research製）を装着し、61インチ型プラズマディスプレイの前方0.8mに設置した固定台に頭部を固定した状態で刺激映像を視聴した。刺激提示時間は90秒とし、酔いの評価実験と同様の教示を与えたときの眼球運動を計測した。着座位置における画角は、水平画角77度、垂直画角53度である。

4.2 実験結果

実験を行った被験者10名の眼球運動に同様の傾向がみられたため、左右左と連続してカーブする視点運動映像を提示したときの眼球運動波形の典型例を図7(a~d)に示す。図7(a)の「固視点なし」では、視運動性眼振(OKN)の発生が確認され、さらに注視位置がOF中心、すなわち進行方向と大きくずれている样子が確認される。図7(b)の「固定固視点」では、固視点を提示した画面中央への注視に加えて、先行研究[18]によって報告されているようにOKNの抑制が確認される。図7(c)の「OF中心固視点」と図7(d)の「OF中心先行固視点」では、OKNの抑制に加えて、OF中心と注視位置のずれが軽減されていた。さらに、「OF中心先行固視点」は、固視点の先行による、OF中心に対する注視位置の先行が観察される。図8に、被験者10名のOF中心と注視位置のずれの平均値を示す。

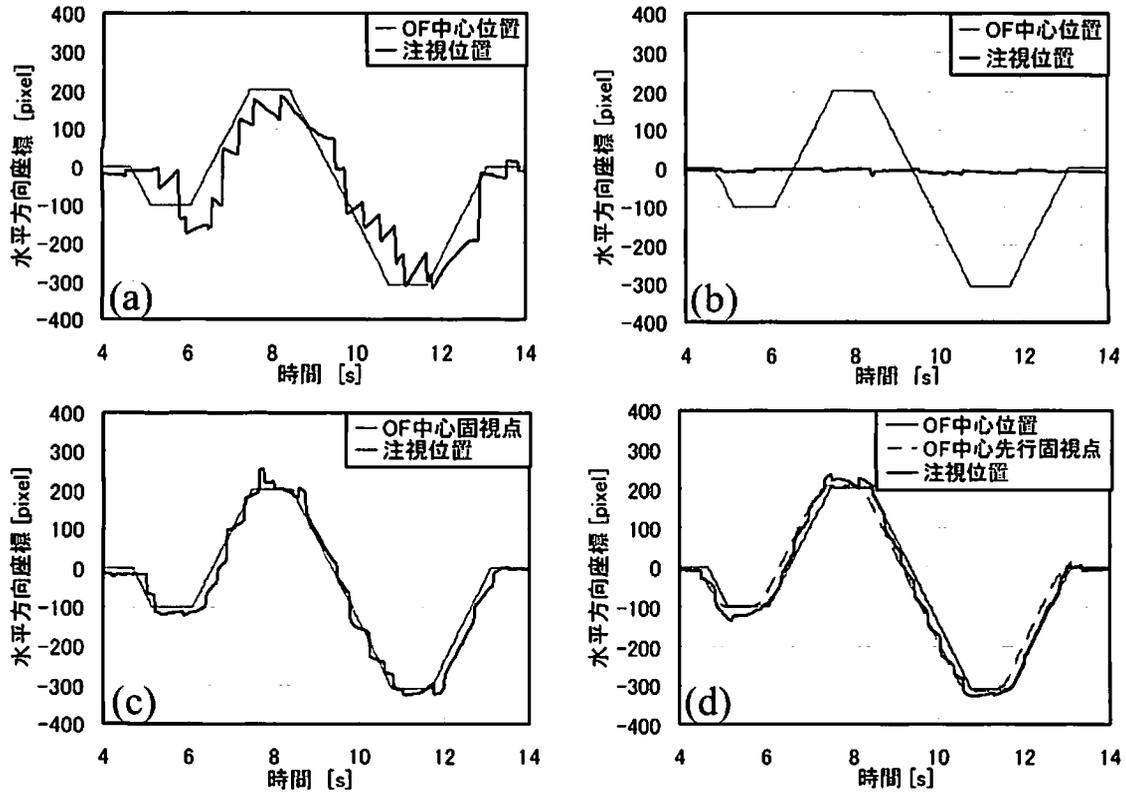


図7 固視点と注視位置の関係

Fig.7 Relation between gaze conditions and gaze point ((a):No gaze target, (b): Fixated gaze target, (c): Gaze target at center of optical flow, (d):Gaze target that precedes center of optical flow)

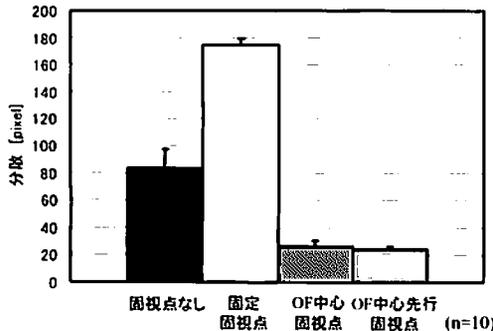


図8 OF 中心と注視位置のずれ(10名)

Fig.8 Position error between the center of optical flow and gaze point (10 subjects)

5 考察

本研究の3つの実験から得られた結果の関係を整理したものを、表2に示す。「固視点なし」に対して「固定固視点」では図7のように固視点の注視によってOKNが抑制され、同時に酔いが軽減される結果となった。この結果は、先行研究[18]の報告と一致する。

さらに、「OF中心固視点」では、図8に見られるようにOF中心と注視位置のずれが「固視点なし」よりも減少し、吐き気が有意に軽減された。固視点

表2 実験結果のまとめ

Table 2 Summary of the obtained results

注視条件	眼球運動	酔い	速度感
① 固視点なし	・OKNが発生 ・OF中心と注視位置のずれ大	酔い大	大差なし
② 固定固視点	・OKNが抑制 ・OF中心と注視位置のずれ大	①より軽減	
③ OF中心固視点	・OKNが抑制 ・OF中心と注視位置のずれ減少	②より吐き気軽減	
④ OF中心先行固視点	・OKNが抑制 ・OF中心と注視位置のずれ減少(OF中心固視点が先行運動)	③より吐き気軽減	

を提示しない条件では、注視点はOF中心に対してずれているため、網膜上の中心視領域におけるOFは放射成分に加えて並進成分を有する。これに対して、OF中心への固視点提示によって適切に注視点を誘導すれば、中心視領域のOFは放射成分のみとなる。すなわち、このOF並進成分の軽減によって、吐き気が軽減された可能性が考えられる。

「OF中心先行固視点」は、図7のように「OF

中心固視点」と同様の眼球運動波形を示しており、図8のように、OF 中心とのずれも同程度であった。他方、吐き気のスコアは「OF 中心先行固視点」で有意に軽減された。これは、先行研究から期待したように、固視点の先行によって自己運動の予測が補助され、その結果として予測と実際の運動の矛盾が軽減され、吐き気が軽減されたものと考えられる。

一方で、中心視領域における OF 並進成分の強度の相違は、速度感に影響を与える可能性も予想されたが、図5に示す調整法を用いた速度感の評価実験では、4 条件間に大差はなかった。これは、速度感の発生には周辺視が寄与するところが大きい[1]ためと考えられる。

以上のように、固視点注視による OKN 抑制や OF 中心認知の支援、および固視点先行による予告は、それぞれが酔いの軽減効果を有し、速度感にはほとんど影響を与えないという結果が得られた。これは、固視点を先行運動させることで速度感を損なわずに酔いを軽減する可能性を示唆するものと言える。また、本研究では注視と予告の影響を調査する目的から、単純な形状の固視点を用いたが、娯楽等を目的とした映像コンテンツにおいては、コンテンツと無関係な固視点の提示は不自然であるため、先導あるいは逃避するキャラクタを提示するなど、コンテンツを損なわない設定をした上で、視聴者の視点を誘導するなどの方法が考えられる。

6 まとめ

注視位置の制御をおこない、注視と予告の酔いと速度感および注視行動への影響を調べた。その結果、固視点の提示によって OKN が抑制され、酔いが軽減される事が確認された。また、OF 中心に固視点を提示し注視させることで、OF 中心と注視位置のずれが減少し、吐き気が軽減される事、さらに、固視点を先行運動させることで予測が補助され、より吐き気が軽減される事が実験的に示された。他方、速度感に固視点や予告の有無によって大きな差が見られなかった。視点移動を伴う映像コンテンツにおいて、コンテンツを損なわない範囲で、OF 中心に先行して運動する何らかの物体を提示することで、速度感を損なわずに酔いを軽減できるものと期待される。

謝辞

本研究の一部は、文部科学省特別教育研究費共生情報工学研究推進経費によるものである。ここに記して感謝する。また、第1著者が本研究をはじめのきっかけを与えてくれた、大阪工業大学大須賀美恵子教授に、この場を借りて感謝する。

参考文献

- [1] 近江:自己運動感覚, 館・伊富部編「人工現実感の基礎」, 培風館, 73/87, 2000
- [2] 竹田, 金子: 広視野映像が重心動揺に及ぼす影響, テレビジョン学会誌, Vol.50, No.12, 1935/1940, 1996
- [3] 寺本, 喜多, 渡辺, 梅村, 松岡: 視運動性眼振を指標とした視覚誘導性自己運動感覚の他覚的評価, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.9, No.1, 51/60, 2004
- [4] Kennedy RS, Lane NE: Simulator Sickness Questionnaire: An Enhanced Method for Quantifying Simulator Sickness, The international journal of aviation psychology, Vol.3, No.3, 203/220, 1993
- [5] 中川, 大須賀, 竹田: 映像と動きに誘発された「酔い」における生理反応の基礎的検討—大型 4 面立体映像提示装置と 6 軸モーションを用いて—, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.6, No.1, 27/36, 2001
- [6] 吉澤, 田中, 杉田, 阿部, 山家, 仁田: 生理的パラメータの相互相関を用いた映像の生体影響評価法, BME, Vol.18, No.1, 8/13, 2004
- [7] Stern RM, Koch KL, Leibowitz HW, Lindblad IM, Shupert CL, Stewart WR: Tachygastria and Motion Sickness, Aviat.Space and Environ.Med, 56, 1074/1077, 1985
- [8] 近江, 氏家: 映像情報による自己定位と映像酔い, BME, Vol.18, No.1, 32/39, 2004
- [9] 中川, 大須賀: VE 酔い研究および関連分野における研究の現状, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.3, No.2, 31/39, 1998
- [10] 野村, 木竜, 中村, 飯島, 坂東: 生体信号から推定した映像酔いとそのきっかけとなった映像の動きベクトルの特徴, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J89-D, No.3, 576/583, 2006
- [11] Reason JT: Motion sickness adaptation: a neural mismatch model, J R Soc Med, Vol.71, No.11, 819/829, 1978
- [12] Reason JT, Brand JJ: Motion Sickness, Academic Press.London, 1975
- [13] Jeng-Weei Lin J, Parker DE, Lahav M, Furness TA: Unobtrusive vehicle motion prediction cues reduced simulator sickness during passive travel in a driving simulator, Ergonomics, Vol.48, No.6, 608/624, 2005
- [14] 渡邊, 寺本, 梅村, 松岡: 予告サインによる動揺病低減手法の開発, 日本バーチャルリアリティ学会第 10 回大会論文集, 195/198, 2005
- [15] 河口, 藤田: 仮想環境における視覚誘導自己運動感覚への注視の影響, 第 16 回生体・生理工学シンポジウム論文集, 131/134, 2001
- [16] Stern RM, Hu S, Anderson RB, Leibowitz HW, Koch KL: The effects of fixation and restricted visual field on vection-induced motion sickness, Aviat Space Environ Med, Vol.61, NO.8, 712/715, 1990
- [17] 藤田, 佐藤: HMD を用いた視覚刺激が立位姿勢安定性と足関節スティフネスにおよぼす影響, 医用電子と生体工学, Vol.37, No.2, 133/139, 1999
- [18] Webb NA, Griffin MJ: Optokinetic stimuli: motion sickness, visual acuity, and eye movements, Aviat Space Environ Med, Vol.73, No.4, 351/358, 2002

(2007年12月14日受付)

[著者紹介]



磯部 祐輔 (学生会員)

2006年大阪工業大学情報科学部情報メディア学科卒業。2008年東京農工大学大学院博士前期課程情報工学専攻修了。在学中に、注視と予告による酔いや速度感および眼球運動への影響解析の研究に従事。



藤田 欣也 (正会員)

1988年慶應義塾大学大学院理工学研究科修了。相模工業大学、東北大学医学部、岩手大学を経て、現在東京農工大学大学院共生科学技術研究院先端情報科学部門教授。遠隔共有仮想空間および力触覚や歩行感覚の提示、ならびにVR空間を利用した教育や訓練に関する研究に従事(工学博士)。