

AR を利用した感覚不一致を遮減させる トレーニングシステムの開発およびその評価

福井大学	高田宗樹
(共同研究者) 名古屋産業科学研究所	宮尾 克
青山学院大学	塩澤友規
四日市看護医療大学	高田真澄
株式会社 ニューロスカイ	伊藤菊男

Development and Evaluation of a Training System to Reduce Sensory Conflict Using Augmented Reality

by

Hiroki Takada

University of Fukui

Masaru Miyao

Nagoya Industrial Science Research Institute

Tomoki Shiozawa

Aoyama Gakuin University

Masumi Takada

Yokkaichi Nursing and Medical Care University

Kikuo Ito

Neuro Sky Co. Ltd.

ABSTRACT

Walking is well known as an aerobic exercise to prevent from the health risk involved in the lifestyle diseases. Indoor training using a treadmill or ergometer can be mentioned as a substitute for outdoor walking. However, a sensory conflict between

the vestibular and visual systems may be occurred, which induced symptoms of the motion sickness. In addition, virtual reality (VR) can be used to give subjects a sense of realism in outdoor walking. The aim of this study is to develop a VR system that reduces the sensory conflict, and to evaluate it with use of bio-signal. As a result, we obtained knowledge involved in the VR video clips that could reduce the sensory conflict.

要 旨

ウォーキング（歩行）は、生活習慣病の予防に役立つ有酸素運動としてよく知られている。屋外歩行の代用としてトレッドミルや、エルゴメータを利用した屋内トレーニングを挙げることができる。しかし、そこでは前庭系と視覚系の感覚不一致が生じて動揺病症状が誘発される可能性がある。また、屋外歩行の臨場感を演出するために、仮想現実を利用することができる。そこで本研究では、感覚不一致を軽減させる仮想現実（VR）システムを開発して、生体評価を行うことを本研究の目的とする。その結果、感覚不一致を軽減させることができるVR映像に関して知見が得られた。

緒 言

ウォーキング（歩行）は、生活習慣病の予防に役立つ有酸素運動としてよく知られている¹⁾。屋外歩行の代用としてトレッドミルや、エルゴメータを利用した屋内トレーニングを行う際、臨場感を演出するために仮想現実を利用できる。仮想現実（VR:HMDを用いた3D映像視聴）とトレッドミルの運動を組み合わせた治療法は、脳の活動を変化させたり、パーキンソン病や神経変性疾患患者の転倒事故を劇的に減少させるという先行研究²⁾がある。また、屋外歩行の代用としてトレッドミルやエルゴメータを利用したトレーニングも、コロナ禍の世界で流行を迎え、海外ではスマートフォンを用いたVRによるトレーニング用のアプ

リもある³⁾。

一方で、VRでは3D映像を用いるが、3D映像視聴によって、眼疲労や酔いなどの不快な症状が引き起こされるなど、健康上の懸念は未解決のまま残っている⁴⁾。

映像酔いは、聴覚⁵⁾、視覚^{6,7)}、嗅覚⁸⁾、深部感覚⁹⁾などの影響を受ける。初期の研究では、動揺病発症メカニズムは、過剰刺激理論によって説明されていた。この説によると、乗り物の加速によって内臓や前庭器官が過剰に刺激されて、視床下部が興奮する。前庭-自律神経反射が誘発され、乗り物酔いのさまざまな症状が発生するとされている。しかし、20世紀後半に微小重力環境でも乗り物酔いが発見されたことから、過剰刺激説は否定されて、動揺病の機序を解明する必要が生じた。

感覚不一致説^{10,11)}によると、視覚、前庭、体性感覚などの実際の感覚情報が、中枢神経系の過去の経験の情報と比較される。感覚情報の組み合わせが、記憶から予想されるものと異なる場合にのみ、動揺病が誘発されるとされる¹²⁾。前庭刺激は、前庭-自律神経系を介して延髄の嘔吐中枢に伝達される。前庭神経系と自律神経系は、解剖学的にも電気生理学的にも密接につながっており、動揺病の不快な症状との関係が強く示唆されている¹³⁾。ラットに動揺病を誘発する回転負荷を与えると、脳幹と視床下部のヒスタミンレベルが上昇し、これが動揺病発症時の嘔吐に関係していることが分かっている¹⁴⁾。

動揺病の重症度は、平衡系の出力と考えられる重心動揺の分析に従って定量的に評価することができる。一般的に、視覚情報は被験者が直立姿勢を保つのに役立つため、開眼検査で、重心動揺図から外周面積、総軌跡長、単位面積総軌跡長などの動揺量に関する有意差を得ることは困難であると考えられる¹⁵⁾。最近では、重心動揺の数理モデルに関する数値解析により、開眼検査で有意差が得られる可能性が示されている¹⁶⁾。加えて、動揺病の重症度を追跡する際、自律神経動態を計量する研究がある^{17, 18)}。その初期症状として、副交感神経活動の亢進に伴うものがみられる¹⁸⁾。一方、機序は不明であるが、立体視による疲労の原因として、個人の視覚機能の違い以外に、「輻輳と水晶体調節の不一致」や「過剰な視差の影響」という説が提案されている。前者は、輻輳距離と水晶体調節距離の不一致が視覚疲労の原因となり、調節負荷も増大するとしている。我々はこの通説が立体映像酔いの原因とならないことを水晶体・輻輳調節の同時計測に基づいて示している¹⁵⁾。後者は、立体感を強調するために両眼視差が大きくなるとしている。

2眼式立体ディスプレイ・システムが我々の身体に及ぼす影響について、「輻輳と水晶体調節の不一致」により説明されている。立体視の際には、ディスプレイの表面に焦点を合わせるだけで、同時にそこから飛び出してくる立体物に輻輳を合わせるため、輻輳と水晶体調節が矛盾する^{19, 20)}。多くの研究者は、立体視の際には、輻輳距離と調節距離の間には乖離があると考えているが、著者らは、立体視の際に水晶体調節はディスプレイの表面に必ずしも固定されていないと報告している²¹⁾。VR視聴と酔いの発生機序はVR視聴端末のタイプによって変化すると考えられる。特に、近年急増しているヘッドマウントディスプレイ(HMD)を用いたVR視聴の研究例は非常に限られている。

表1 視聴法による特性

	全立体角	走行上下動の同期	3D映像の投影
スクリーン	△	○	液晶シャッター
液晶テレビ	×	○	円偏向等
拡張現実AR	△	△	HMD
VR	○	×	HMD

仮想現実とトレッドミルを組み合わせた運動法の有効性は表1のようにまとめられる。VRを利用しない場合は、投影方向が限られたり、実験室の構造から著しく歪みが生じるなどの欠点がある。これに対し、VR視聴はゴーグルを装着して外界の情報が完全に遮断されるため、走行時の上下動が伴わず、自然な見え方とは異なる。さらに、VR視聴の不快症状と屋内用シミュレーショントレーニングシステム(トレッドミルやエルゴメータ)の関係について研究した例はほとんどない。しかし、当該分野の産業の発展および、これらの治療法を広範に活用するためには、VR視聴との関連について検討するとともに、感覚不一致を軽減させるVRシステムを開発する必要がある。

そこで、本研究では、VRと屋内用シミュレーショントレーニングシステムを組み合わせた以下の実験を行い、前庭系と視覚系の感覚不一致による生体への影響を検討する。

1. 方 法

本研究は、福井大学大学院工学研究科知能システム工学専攻・人を対象とする研究倫理委員会の承認を得て実施した(H2021002)。

本研究では、8名の健康若年者(平均±標準偏差: 22.7 ± 0.8歳)を対象として実験を行った。

被験者にヘッドマウントディスプレイを装着させ、映像を視認させながらトレッドミル上を歩行させた(図1)。実験ではトレッドミル上を時速5kmで300秒間歩行させながら、装着させたHMDにて1人称視点の走行時における映像を視認させた。視認させる映像の撮影には全方位ポータブルアクションカムL-FL360(LET'S)を用い



図1 実験風景

て、福井大学文京キャンパス内を、

- ①時速0km（静止画）
- ②時速3km
- ③時速5km
- ④時速8km

にて定速走行したものを独自に制作した（図2）。

尚、これらの映像は任意の順で視認させた。

本研究では、歩行時におけるVR視聴の生体

影響を調査するため、検査項目を重心動揺検査、Webカメラを用いたモーションキャプチャー、脳波・心電図および主観評価（SSQ）とした。実験プロトコルを図3に示す。歩行前後において重心動揺検査およびモーションキャプチャーの計測を行う他、SSQサブスコアの変化量を追跡した。モーションキャプチャーによって得られたデータからPoseNetを用いて評価を行い、被験者の身体の傾きや歩幅・歩行速度を推定した。PoseNetはTensorFlow.js（Google）を用いて身体のスケルトン化を行い、17関節の位置を自動で推定することができるビジョンモデルである（図4）。

ここでは、酔いの度合いを計量することを目的とするため、上述の検査方法のうち、重心動揺検査およびSSQについて報告する。重心動揺検査ではWii Balance Board（Nintendo）を使用した。サンプリング周波数を100Hzとし、20Hzで



図2 走行映像の典型例

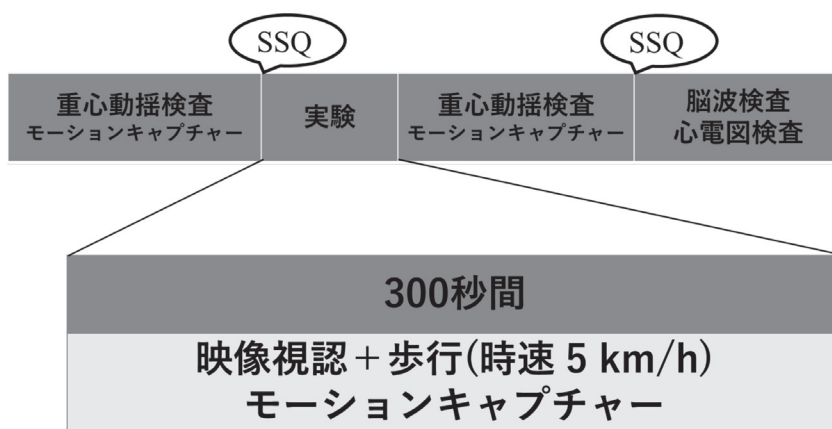


図3 実験プロトコル



図4 身体のスケルトン化

リサンプリングした。実験姿勢は立位ロンベルグ姿勢として、歩行前後にて開眼および閉眼でそれぞれ60秒間の計測を行った。尚、本研究ではWilcoxonの符号付き順位検定で統計的比較を行うものとし、多重比較においてHolm法にて調整を行った。

2. 結果

それぞれのVR映像視聴を伴う歩行前後で、重心動揺検査（図5）およびSSQによる主観評価を行った（図3）。ここでは、酔いの度合いを計量することを目的とするため、SSQサブスコアの変化量を比較した（図6）。

SSQサブスコアでは、④時速8kmの視認映像曝露時を除いて高値を示した。これは静止画を含むVR映像視認に伴う影響を受けて、コントロール（運動前）と比較して主観評価の値が増大したことを示している。特に、SSQ-N（吐き気）やSSQ-D（失見当識）において統計的有意差がみられ（ $p<0.05$ ）、④時速8kmの映像視認により、上述の主観評価値の増大が抑制されている。

次に、重心動揺検査で得られた動揺図にもとづいて、総軌跡長、外周面積、単位面積軌跡長²²⁾

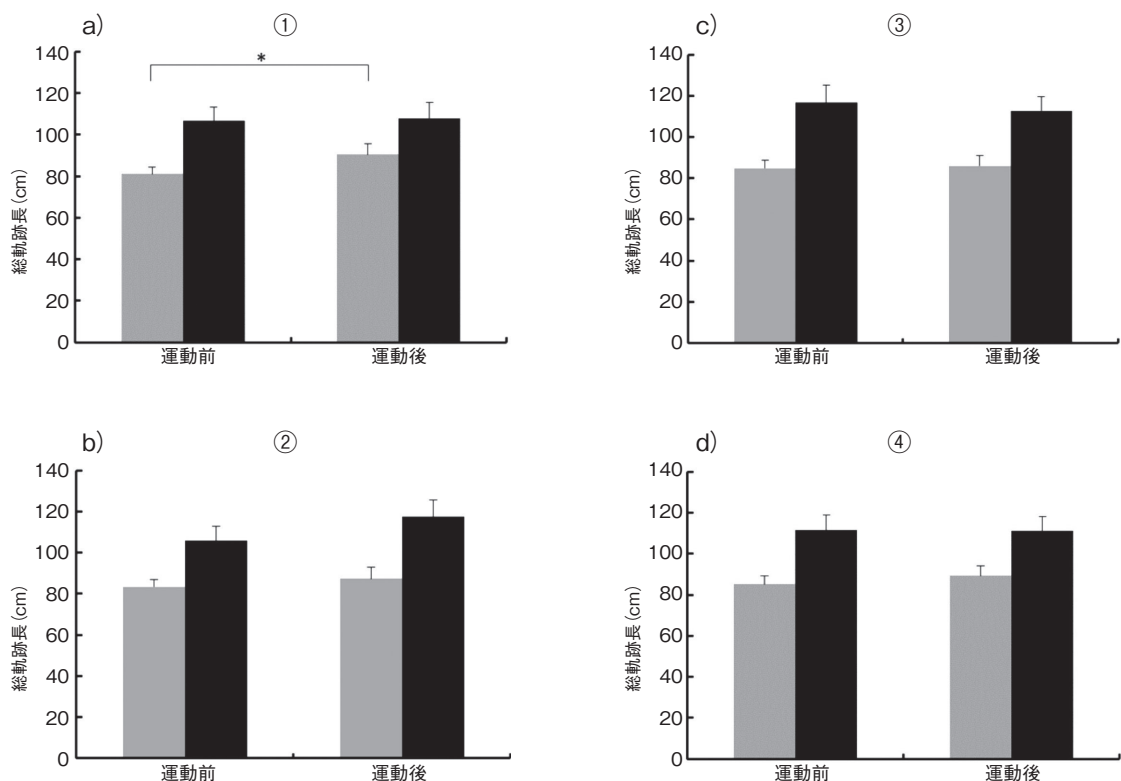


図5 総軌跡長の変化。灰色は開眼検査、黒色は閉眼検査の結果を表す。

a) 静止画視認前後、b) 時速3km定速走行のVR映像視認前後、
c) 時速5km定速走行のVR映像視認前後、d) 時速8km定速走行のVR映像視認前後

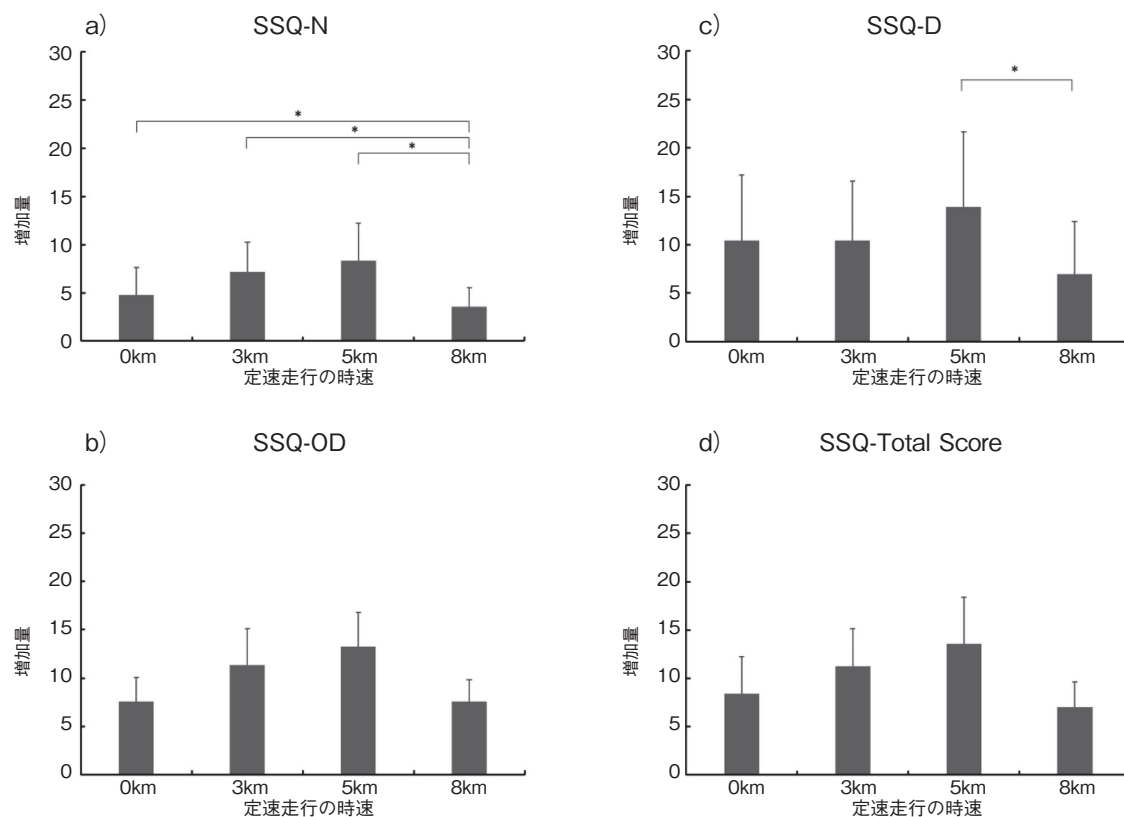


図6 SSQスコアの変化量
a) SSQ-N (吐き気), b) SSQ-OD (眼疲労), c) SSQ-D (非見当識), d) SSQ-TS (総合)。

および疎密度²³⁾を算出した。開眼検査の動揺量と比較して閉眼検査の単位面積軌跡長を除く動揺量は増大し、立位姿勢が不安定になる傾向がある。これは立位姿勢保持に視覚情報を利用しているからである。また、歩行前後の動揺量の変化を比較すると、歩行後において単位面積軌跡長を除く動揺量は増大し、立位姿勢が不安定になる傾向があった。このうち、開眼検査時における総軌跡長については、静止画①の視認に伴って有意差がみられた ($p<0.05$)。しかし、閉眼検査時には有意差を認めなかった (図5)。

3. 考 察

トレッドミルやエルゴメータを利用した屋内トレーニングを行う場合、前庭系と視覚系の感覚不一致がみられる。そこで本研究では、

仮説「屋内用シミュレーショントレーニングシステムを利用して歩行する被験者の前庭系と視覚系の感覚不一致に伴う副交感神経活動の亢進がある」¹⁸⁾

のもとに、被験者が歩行直後に動揺病症状をきたす可能性を検証して、感覚不一致を通減させるVR映像を制作した。被験者のシミュレータ上の走行速度に応じたVR映像③を制作した。比較のため、静止画①の他、被験者のシミュレータ上の走行速度より遅いVR映像②と速いVR映像④も制作した。

被験者には、5分間、VR映像①-④を任意の順で視認させながらトレッドミル上で歩行させた。その前後において、生体評価を行った。ここでは、酔いを計量するために歩行前後における重心動揺検査の結果を比較検討した。その結果、開眼検査

時における総軌跡長については、静止画①の曝露に伴う歩行後において有意に増大した ($p<0.05$)。これは上述の仮説が成立していることを裏付けている。しかし、閉眼検査時においては有意差を認めなかった (図5) ことから、酔いの度合いは過度に大きくないと考えられた。

また、その他の映像視認に伴った有意な増大はみられなかったことから、本研究で制作したVR映像②-④は被験者の前庭系と視覚系の感覚不一致を遁減するのに効果があった。このうち、被験者の歩行速度と同じ速度で撮影されたVR映像③でなく、VR映像④の視認に伴った動揺量の変化が最も小さかった (図5.d) ことは興味深い。VRによる視認のため、歩行に伴った視覚情報の上下動がないことや、映像撮影の高度が被験者の目の高さと同じでないことも、その原因として挙げられる。しかし、実際の歩行速度よりも速い速度に適用するためのフィードフォワード型の運動-感覚制御が優位に働いているのかも知れない。主観評価については、以上の結果を支持するものになっている (図6)。

立体映像酔いの機序については諸説ある。このうち、水晶体調節のピントの合った領域の前後の領域において、ピントが合っているように見える範囲について議論するものがある。これは被写界深度 (DOF) と呼ばれ、人間では概ね $\pm 0.2-0.3$ ディオプター (D) 程度である^{24, 25)}。DOF内に立体物が提示されていれば、輻輳と水晶体調節の間に不整合を感じることはないだろう²⁶⁾。これにより、立体視時の不整合の問題も解消され、いくつかの研究で観察された不快感が抑制された^{27, 28)}。一方で、別の研究では、DOF内での変化であるにもかかわらず、一時的な両眼視差の変化があると疲労が生じた^{29, 30)}。一説によると、輻輳と水晶体調節が同時に逆方向に変化しているため、視機能が不安定になり、両眼で作られた映像を融合させようとする努力が疲労の原因になっていると推

測されている³¹⁻³³⁾。また、実験環境の照度についても予備実験を行い、これまでの実験データを解釈している。環境の照度が増加すると、瞳孔径に影響が出る。照度が低くなると、瞳孔径が大きくなり、DOFが浅くなる。我々は、DOFの範囲に含まれない水晶体調節とディスプレイの表面との間にズレが生じることにより、酔いが誘発されると考えている^{15, 34)}。本研究で開発したVRシステムの照度環境については、VR酔いを誘発せずに、前庭系と視覚系の感覚不一致を遁減させているものと考えられる。

一方、室内平地歩行とトレッドミル歩行のエネルギー消費の相違に関する報告がある。また、両歩行速度を一定にした条件下で呼気ガス分析を行い、屋外歩行とトレッドミル歩行とを比較することにより、屋外歩行は主観的運動強度 (RPE) 及び呼吸商 (RQ) においてトレッドミル歩行より低値を示したことから、有酸素運動として適していることを示唆した報告もある³⁵⁾。しかし、この原因は心理的な影響として捉えられており、限界がある。本研究で開発したVRシステムは新奇性があるばかりでなく、立体映像酔いの研究資料としても価値がある。

「我が国におけるデータ駆動型社会に係る基盤整備」報告書³⁶⁾では当該分野の産業の発展のために、この不快症状惹起の解明が必要であると指摘されており、5Gによる不特定多数への視聴サービスを運用するにあたって喫緊の課題となっている。今後は、被験者の動作をWebカメラにて計測したデータに基づいて、シミュレータ上の走行速度を推定し、推定走行速度に応じて2D映像の再生速度を変化させるシステムを構築することが考えられる。歩行速度の推定については、機械学習に着目し、姿勢推定ディープラーニングモデル PoseNetを利用する。当該の人工知能を利用した研究は既に、リハビリテーション分野に応用されはじめている³⁷⁾。我々は、生体信号処理を行う

ための数理モデル・アルゴリズム・人工知能（競争的ニューラルネットワーク）等を構築しており、本研究の生体評価にも応用できる³⁸⁾。また、屋外における歩行時の計測は難易度が高いが、共同研究を行っている株式会社ニューロスカイのプリアンプリファァを更に進化させた技術により、本研究を発展させて遂行することができる。

4. 結 語

トレッドミルやエルゴメータを利用した屋内トレーニングを行う場合、前庭系と視覚系の感覚不一致がみられる。本研究では、被験者が歩行直後に動揺病症状をきたす可能性を検証して、感覚不一致を軽減させるVR映像を制作した。特に歩行速度と、1人称視点のVR映像を制作する際の走行速度との関係について比較検討を行い、有意義な知見が得られた。

AR視聴は、その利便性から様々な領域で活用されつつある。特に、コロナ禍の現在においては、AR視聴の機会は増加しつつあり、トレッドミルやエルゴメータを利用した屋内トレーニングは流行を迎えている。また、テレワークなどが増えて、運動不足になっている現状において、屋内トレーニングは心身の健康に必要なものである。そのため、本研究によってVR/AR視聴の安全基準の基礎資料を提供し、トレーニング時の安全・安心を担保することは今後の社会において重要であるだけでなく、技術発展の一助にもなりうる。

謝 辞

本研究に対し助成を賜りました公益財団法人石本記念デサントスポーツ科学振興財団に厚く御礼申し上げます。また、実験に参加された被験者の皆様、福井大学工学部非線形科学研究室の宇佐美雄也氏および塚本圭祐氏にも深く感謝申し上げます。

文 献

- 1) 武井正子. 運動による健康づくり：気軽に歩いて、今日も元気, 順天堂医学, 48 (3) : 330-334 (2002)
- 2) Mirelman A., Rochester L., Maidan I., Din S. D., Alcock L., Nieuwhof F., Rikkert M. O., Bloem B. R., Pelosin E., Avanzino L., Abbruzzese G., Dockx K., Bekkers E., Giladi N., Nieuwboer A., Hausdorff J. M., Addition of a non-immersive virtual reality component to treadmill training to reduce fall risk in older adults (V-TIME) : a randomised controlled trial, *Lancet*, 388 (10050) :1170-1182 (2016) . Doi: 10.1016/S0140-6736 (16) 31325-3
- 3) 総務省. 平成30年版情報通信白書, 6-16 (2018)
- 4) 氏家弘裕. 映像の生体安全性に関する ISO国際ワークショップ報告, 143-145 (2006)
- 5) Takane S., Suzuki Y., Sone T., Kim H-Y., A study on control of distance perception by simulation of HRTF, Proc. Virtual Reality Soc., *Japan Annual Conference*, 1: 55-58 (1996)
- 6) Inoue T., Eye Movement and accommodation when viewing 2D and 3D images, *J. Ins. Television Engineers of Japan*, 50 (4) : 423-428 (1996)
- 7) Kennedy R. S., Berbaum K. S., Dunlap W. P., Hettinger L. J., Developing Automated Methods to Quantify the visual stimulus for cybersickness, *Hum. Fac. Ergo. Soc. Ann. Meet.*, 40 (2) :1126-1130 (1996)
- 8) Ohsuga M., Tatsuno T., Shimono F., Hirasawa K., Oyama H., Okamura H., Bedside Wellness - Development of a virtual forest rehabilitation system, *Stu. Health Tech. Inform.*, 50: 168-174 (1998)
- 9) Kolasinski E. M., Simulator sickness in virtual environments (ARI Technical Report 1027), *U.S. Army Research Institute for the Behavioral and Social Sciences*, Alexandria (1995)
- 10) Reason J. T., Brand J. J., Motion sickness, *Academic Press Inc*, London (1975)
- 11) Balaban C. D., Porter J. D., Neuroanatomic substrates for vestibulo - autonomic interactions, *J. Vestibular Research*, 8: 7-16 (1998)
- 12) Hirayanagi K., A present state and perspective of studies on motion sickness, *Jap. J. Ergo.*, 42 (3) : 200-211 (2006)
- 13) Barmack N. H., Central vestibular system: vestibular nuclei and posterior cerebellum, *Brain Research*

- Bulletin*, **60**: 511-541 (2003)
- 14) Takeda N., Morita M., Kubo T., Yamatodani A., Watanabe T., Wada H., Matsunaga T., Histaminergic mechanism of motion sickness neurochemical and neuropharmacological studies in rats, *Acta Otolaryngologia*, **101**: 416-421 (1986)
 - 15) Matsuura Y., Takada H., Evaluation studies of motion sickness visually induced by stereoscopic films, *Adv. Sci., Tech. Eng. Systems J.*, **6** (4) : 241-251 (2021)
 - 16) Kinoshita F., Takada H., Numerical analysis of SDEs as a model for body sway while viewing 3D video clips, *Mech. Syst. Control*, **47** (2) : 98-105 (2019)
 - 17) 西池季隆, 渡邊洋, 松岡克典, 大山晴三, 秋月裕則, 武田憲昭. Virtual realityに対する自律神経反応, 宇宙航空環境医学, **42** (4) : 22 (2005)
 - 18) 中川千鶴. 生理反応を用いた動揺病の評価に関する研究, 慶応義塾大学大学院理工学研究科基礎理工学専攻博士論文, pp.63, 2007. <http://iroha.scitech.lib.keio.ac.jp:8080/sigma/handle/10721/2269>
 - 19) Toates F. M., Vergence eye movements, *Doc. Ophthalm.*, **37**: 153-214 (1974)
 - 20) Ultra-Realistic communications forum, Ultra-experience design and evaluation section, Working group of evaluation of 3D images, Report of evaluation about visual fatigue of stereoscopic video revised edition (2013)
 - 21) Miyao M., Ishihara S., Saito S., Kondo T., Sakakibara H., Toyoshima H., Visual accommodation and subject performance during a stereographic object task using liquid crystal shutters, *Ergo.*, **39** (11) : 1294-1309 (1996)
 - 22) Japan Society for Equilibrium Research, Standard of Stabilometry, *Equil. Res.*, **42**: 367-369 (1983)
 - 23) Takada H., Kitaoka Y., Ichikawa M., Miyao M., Physical meaning of geometrical index for stabilometry, *Equil. Res.*, **62** (3) : 168-180 (2003)
 - 24) Cambell F. W., The depth of field of the human eye, *J. Modern Optics*, **29**: 157-164 (1957)
 - 25) Charman W. N., Whitefoot H., Pupil diameter and depth-of-field of human eye as measured by laser speckle, *Optica. Acta.*, **24**: 1211-1216 (1977)
 - 26) Kawai T., Morikawa H., Ohta K., Abe N., Basic principles and production technology of stereoscopic images, *Ohmsha*, Tokyo (2010)
 - 27) Hiruma N., Fukuda T., Viewing conditions for binocular stereoscopic images base on accommodation response, *IEICE Trans. Info. Syst.*, **D-2**, **73** (12) : 2047-2054 (1990)
 - 28) Nojiri Y., Yamanoue H., Hanazato A., Okano F., Measurement of parallax distribution and its application to the analysis of visual comfort for stereoscopic HDTV, *Proc. SPIE.*, 5006: 195-205 (1993)
 - 29) Yano S., Emoto M., Mitsuhashi T., Two factors in visual fatigue caused by stereoscopic HDTV images, *Displays*, **25**: 141-150 (2004)
 - 30) Speranza F., Tam W. J., Renaud R., Hur N., Effect of disparity and motion on visual comfort of stereoscopic images, *Proc. SPIE*, 6055: 94-103 (2006)
 - 31) Emoto M., Masaoka K., Yamanoue Y., Sugawara M., Nojiri Y., Horizontal binocular disparities and visual fatigue while viewing stereoscopic display, *VISION*, **17** (2) : 101-112 (2005)
 - 32) Ukai K., Howarth P. A., Visual fatigue caused by viewing stereoscopic motion images: background, theories and observations, *Displays*, **29**: 106-116 (2008)
 - 33) Lambooji M., Ijsselstein W., Fortuin M., Heynderickx I., Visual discomfort and visual fatigue of stereoscopic displays: a review, *J. Imaging Sci. Tech.*, **53** (3) : 1-14 (2009)
 - 34) Takada H., Miyao M., Sina F., Eds, *Stereopsis and Hygiene*, Springer, Singapore (2019)
 - 35) 高原隆志, 宮前篤, 小林準, 赤星和人, 永田雅章. 屋外歩行とトレッドミル歩行における生理的反応の比較, 理学療法学, **36** (S2) : A3P1085 (2009) doi:10.14900/cjpt.2008.0.A3P1085.0
 - 36) VR/AR 検討委員会. 我が国におけるデータ駆動型社会に係る基盤整備－新たな社会ニーズを发掘するためのコンテンツ制作基盤・環境整備調査研究報告書, 経済産業省商務情報政策局, 一般財団法人デジタルコンテンツ協会 (2017)
 - 37) 宇佐美雄也, 高田宗樹, 平田隆幸. 立ち上がりテストのためのAI画像処理分析, *Proc. 2021 Ann. Conf. Elect. Info. Syst. Soc. IEE Jpn*: 869-871 (2021)
 - 38) Nakane K., Ono R., Takada H., Numerical analysis for feature extraction and evaluation of 3D sickness, *Adv. Sci. Tech. Eng. Systems J.*, **6** (2) : 949-955 (2021)