

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 23 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16H02887

研究課題名(和文)人工的立体視のリスク軽減と臨場感・迫真性増強方法に関する研究

研究課題名(英文)Risk Reduction and Enhancement of Presence and Reality in Artificial Stereoscopic Vision

研究代表者

吉澤 誠 (Yoshizawa, Makoto)

東北大学・サイバーサイエンスセンター・教授

研究者番号：60166931

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,500,000円

研究成果の概要(和文)：近年のバーチャルリアリティ用の映像装置の広視野化と高精細化は、臨場感や迫真性を与える反面、映像酔いなどの生体影響のリスクを増やす可能性がある。本研究では、このリスクを最小にしながら臨場感・迫真性を増強するための方法を検討し、次の結果を得た。1)3D映像における不自然な眼球運動と視野闘争が不快感を誘発することが示唆された。2)能動的視聴が受動的視聴に比べ、映像酔いを有意に軽減させることが分かった。3)頭部を回転させ頭部にかかる重力加速度を変化させることで前庭感覚を提示する手法を開発した結果、実際の加速度変化に連動した頭部動揺を与えたほうが、酔いの感覚を軽減させることが定量的に明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、映像装置の3D化と高精細化(4K・8K化)が急速に進んでいる。これらは、人間に臨場感や迫真性を与えることができる反面、映像酔いなどの望ましくないリスクを与える可能性がある。そこで本研究では、このようなリスクを最小にしながら臨場感・迫真性を最大限に引き出すための方法を得るための基礎的な検討を行うとともに、映像酔いを軽減する新しい頭部動揺を使った前庭感覚提示装置を開発し、その評価を行った。

研究成果の概要(英文)：Wide-viewing and high-definition image devices for virtual reality can give humans a sense of presence and reality, but may increase the risk of biological effects such as visually induced motion sickness. In this study, we examined the method to enhance the presence and the reality while minimizing this risk, and obtained the following results. 1) It was suggested that unnatural eye movement and binocular rivalry in 3D images induce discomfort. 2) It was found that active viewing significantly reduces motion sickness compared to passive viewing. 3) As a result of developing the method of presenting the vestibular sensation by rotating the head and changing the gravitational acceleration applied to the head, it was quantitatively shown that the head sway linked to the actual acceleration change can reduce the sensation of sickness.

研究分野：生体制御工学

キーワード：バーチャルリアリティ 3D酔い 臨場感 迫真性 映像酔い 視野闘争 前庭感覚 能動的視聴

1. 研究開始当初の背景

近年、映画・テレビジョン・テレビゲームの3D化が急速に進んでいる。特にテレビジョンでは4Kから8Kに至る大幅な高精細化が進行している。しかし、映像デジタルコンテンツには、光過敏性発作・映像酔い・眼精疲労などのような人間にとって望ましくない影響を与える懸念がある。映像環境の3D化と高精細化がもたらす恩恵を享受するためには、上記の問題への対処が不可欠である。

大画面ディスプレイで誘発される映像酔いや、3Dディスプレイの使用に伴う眼精疲労に関しては、これらを誘発する原因がかなり複雑であり依然として未解明な部分が多い。特に、いわゆる「3D酔い」は映像酔いと眼精疲労が複合・相乗して生じる可能性がある。

2D映像に対しては、その危険度を映像に含まれる動きベクトルを基に定量的・連続的に算出する方法が既に提案されている。しかし2Dとは異なり、3D映像の場合、映像の奥行視差や3次元空間における回転と平行移動に関する多自由度運動に関する複雑な構成要素の情報ばかりでなく環境条件や個人の特性（個人条件）によっても影響が大きく異なるため、眼精疲労や3D酔いを予測することができるモデルは未だ確立されていない。

米国ではKennedyらによって、戦闘機パイロットの養成上重大であるシミュレータ酔いの研究が進んだが、前庭感覚刺激のある環境の結果が大部分であり、民生用映像機器の映像酔いに関する体系的な研究が少なかった。一方、立体視による眼精疲労は、頭部搭載型ディスプレイ(HMD)を多用するバーチャルリアリティの分野で問題視され国内外で研究が進んだが、この場合も頭部運動などの前庭刺激や表示装置の時間遅れの問題が重視されていた。

これに対し、家庭用3Dテレビジョンを視聴する場合には頭部運動や表示遅れはなく、焦点調節と輻輳調節の矛盾による眼精疲労と映像酔いが主要な懸念要素とされている。この点に関しBanksらのグループは、焦点距離と輻輳距離における不快感の限界領域を求めた。また、これらを脳波やfMRIの解析で実証する研究もある。しかし、リスクを最小にしながら臨場感・迫真性を最大限に引き出すための具体的な方法に関する研究は少なく、注視点付近以外をぼかす手法などがあるだけである。

2. 研究の目的

上述のように最近のテレビジョンは、4K放送の開始や8Kの実用化がなされるなど、高精細化がますます進むとともに、大画面での視聴が臨場感や迫真性を増強させる可能性がある反面、広視野化と高精細化が映像酔いや3D酔いなどのリスクをさらに増やす可能性がある。ここで、「臨場感」とは自分があたかもその空間に居るといった感覚であり、「迫真性」とは対象物がまさしく現実のもののように感じることである。

そこで本研究では、生体影響のリスクを最小にしながら臨場感・迫真性を最大限に引き出すための方法を得るために、次を目的とした。1) 3D映像のリスクの原因に関する仮説を検証し、発症条件を明らかにする。2) 3D表示における広視野・高精細化による臨場感・迫真性の客観的評価と増強方法を開発する。

3. 研究の方法

(1) 実験1【3D映像における垂直視差と不快感】

人工的立体視(3D)映像が生体へ悪影響を及ぼす要因の1つに、頭部の傾斜によって発生する垂直方向の網膜像のズレ(垂直視差)がある。そこで、垂直視差を含む3D映像を視聴した際の眼球運動を解析することにより、垂直視差が生体に及ぼす影響を検討した。

被験者は20~25歳の成人10名(男性8名、女性2名)であった。視覚刺激(映像)には図1のような赤い凝視点を含むランダムドットが描かれた指標を使用した。指標は視差角 $-2\sim 2\text{deg}$ 、0.1Hzで前後方向に正弦波状に運動する。この映像を頭部の傾斜角が 0deg の場合の映像と定義し、頭部の傾斜角が $0, 15, 30, 45, 60\text{deg}$ とする5種類の映像を作成した。各試行でそれらの1つを被験者に提示した。提示中には視線追跡装置によって眼球運動を計測した。また各映像提示後には不快感を5段階で測定した。計測した眼球運動から、左右眼の垂直方向運動速度の差分信号における0.1Hz近傍のパワースペクトル密度(逆相信号強度)を計算した。

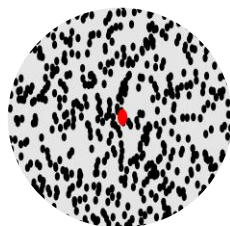


図1 使用した指標

(2) 実験2【能動的視聴による映像酔いの低減効果】

リスクを最小にしながら臨場感・迫真性を最大限に引き出すための方法を検討した。

映像酔いの原因としては、視覚と前庭感覚の矛盾が映像酔いを引き起こすという感覚不一致説が唱えられている。そこで、このような感覚不一致状態が緩和できるような、映像の動きに合わせて能動的に頭部を動かす能動的視聴と、頭部を常に固定した状態で同じ映像を視聴する受動的視聴とを、映像酔いと臨場感について比較した。

図2のように、実験ではUnity5で作成した映像 (Destroyed City Full) を使用した。実験映像はHMD(Oculus Rift CV1, Oculus Rift社)に出力され、被験者はこれを視聴する。映像は周期的に仰角45 deg, 俯角45 degの振幅90 degで上下振動を続ける。回転速度としては、先行研究を参考に酔いを誘発しやすいとされる45 deg/sおよびこれより速い72 deg/sの2種類を用意した。周波数に換算するとそれぞれ0.25 Hz, 0.40 Hzとなる。同図上段が能動的視聴であり、被験者は映像に合わせて頭部を矢状面内で上下に回転させる。同図下段が受動的視聴であり、映像に対して頭部を固定する。あわせて、酔いの他の客観評価として、Wii Balance Board (任天堂社)を用いた重心動揺量を測定し、その総距離長の大きさによるふらつきの有無を調べた。

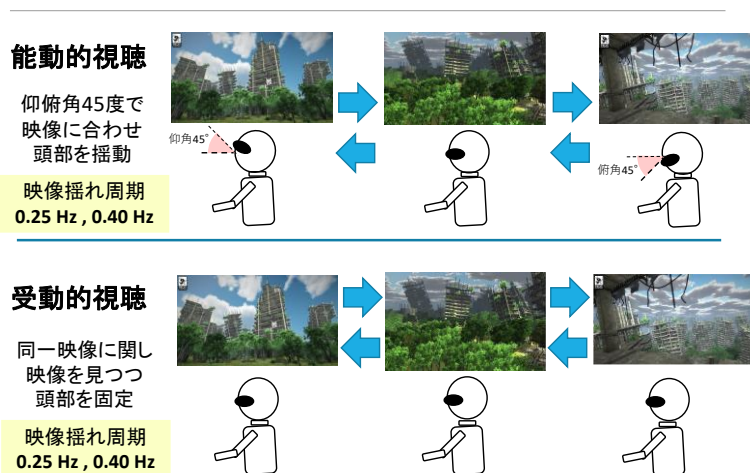


図2 能動的視聴と受動的視聴

(3) 実験3【頭部動揺装置による映像酔いの低減効果】

(2)と同様に、感覚不一致状態を緩和することが臨場感・迫真性を高めることに寄与するという仮説を立て、この仮説を検証できるような実験系を新たに構築し、その有効性を検討した。

すなわち、図3のように、頭部を回転させ頭部にかかる重力加速度を変化させることで使用者に前庭感覚を提示する手法を提案した。開発した装置では、ヘッドギアの前左右に接続した4本のワイヤをそれぞれモータで引くことで頭を前後左右に傾けることを可能とした。モータは変換アダプターを通してPCに接続されており、PCから各モータのトルク制御を行い、モータごとのトルクの差によって揺動を提示することができる。

まずVRソフトのUnityで生成した映像の動きに合わせて加速度情報をPC内で定義する。次に、加速度情報をモータ制御情報に変換する。そして得られた制御情報をモータドライバに入力し、各モータを動かすことで提示を行う。

20代の被験者3名を対象として、試作した装置に置いて車が加減速する映像を提示し、①頭部傾きを与えない場合、②映像の加速度と矛盾した頭部傾きを与えた場合、③映像の加速度を再現した頭部傾きを与えた場合の3条件を体験させた。さらに、各条件下において、「目標位置で停止」及び「停止位置を予測する」の2種類のタスクを実施し、VR内における空間認知の正確さを評価した。各タスク終了後には、臨場感・加速感に関するアンケートに回答してもらった。



頭部を4点から引くことで
頭を傾ける方式

背中を押し付けて使用

トルク制御、位置制御の
組み合わせで動きを表現

ヘッドギアの上からHMDを着用

図3 実験装置

4. 研究成果

(1) 実験 1 【3D 映像における垂直視差と不快感】

傾斜角の変化に対する規格化した逆相信号強度と不快感の関係を図 4 に示す。規格化は、被験者および方向ごとに、最大値が 1、最小値が 0 となるように行った。図 4 より、垂直方向の逆相信号強度は、傾斜角が 0~15deg の場合には低いですが、傾斜角の増大とともに増加し、45 deg で最大となった。この領域で不快感が増加したのは、水平輻輳運動と比較して、垂直方向に逆位相に眼球を動かすことが通常行わない不自然な運動制御であるからだと思われる。

一方、傾斜角が 60 deg になって逆相信号強度が減少した理由は、視差が大きすぎてもはや映像が維持できず、視差の補正ができなくなり、眼球運動制御の有効性が減少したためだと思われる。この状態では複視による視野闘争による不快感が生じている可能性がある。

以上のように、3D 映像の垂直視差による生体影響を、左右眼球運動の逆相信号強度によって評価した。その結果、不自然な眼球運動と視野闘争が不快感を誘発することが示唆された。

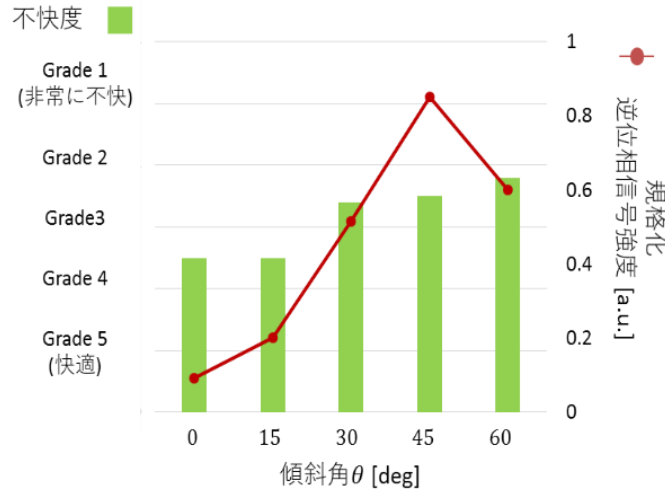


図 4 傾斜角と逆相信号強度・不快感の関係

(2) 実験 2 【能動的視聴による映像酔い低減効果】

図 5 のように、シミュレータ酔い評価アンケート SSQ に基づいた主観的評価の結果、受動的視聴に比較して能動的視聴の方が、視聴前の変化量が少なく、映像酔いが少なく臨場感が向上することが分かった。また、重心動揺量を測定した結果でも能動的視聴時のふらつきが少なかった。これらから映像酔いの低減と臨場感の向上にはやはり能動的視聴が有効であることが明らかとなった。

すなわち、能動的視聴が映像酔いを軽減し、かつ臨場感を向上させるという仮説の検証を行った結果、能動的視聴が受動的視聴に比べ、映像酔いを有意に軽減させ、臨場感・迫真性を有意に向上させることが分かった。

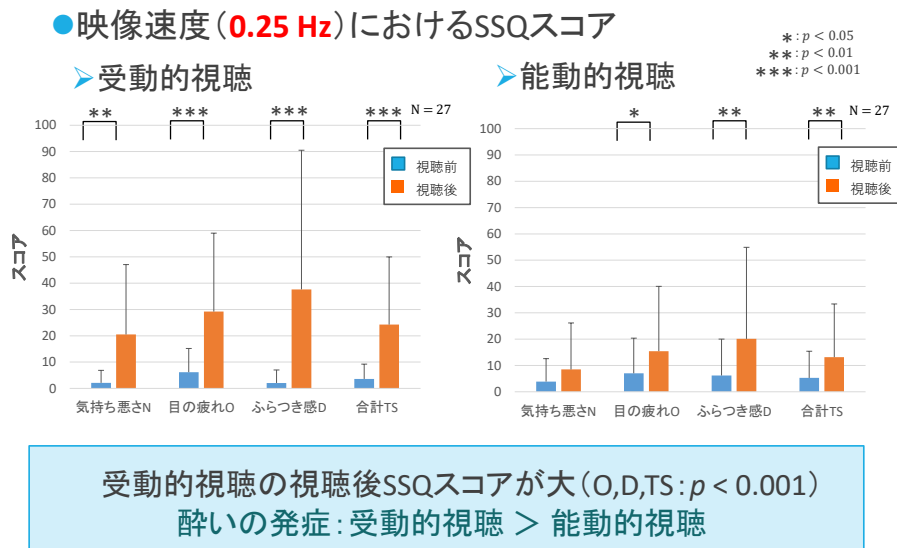


図 5 シミュレータ酔い評価アンケート SSQ に基づいた主観的評価値

(3) 実験3【頭部動揺装置による映像酔い低減効果】

本実験系では、実際に装置を用いて実験を行う際、人によって揺動の大きさや程度に個人差があるという問題点がある。そのため、使用者ごとにキャリブレーションを行う必要があると考えられ、加速度センサ情報に基づいた適切なキャリブレーションの方法を別途開発する必要があることが明らかとなった。

また、図6のように、自動車走行を模擬した環境でこの装置を用いた被験者実験を行った結果、被験者が見積もった自動車停止位置について、頭部動揺を与えないときより、与えたときの方がその精度が向上した。また、シミュレータ酔いの評価に使われるアンケートであるSSQの値から判断して、実際の加速度変化に連動した頭部動揺を与えたほうが、酔いの感覚を軽減させることが定量的に明らかとなった。

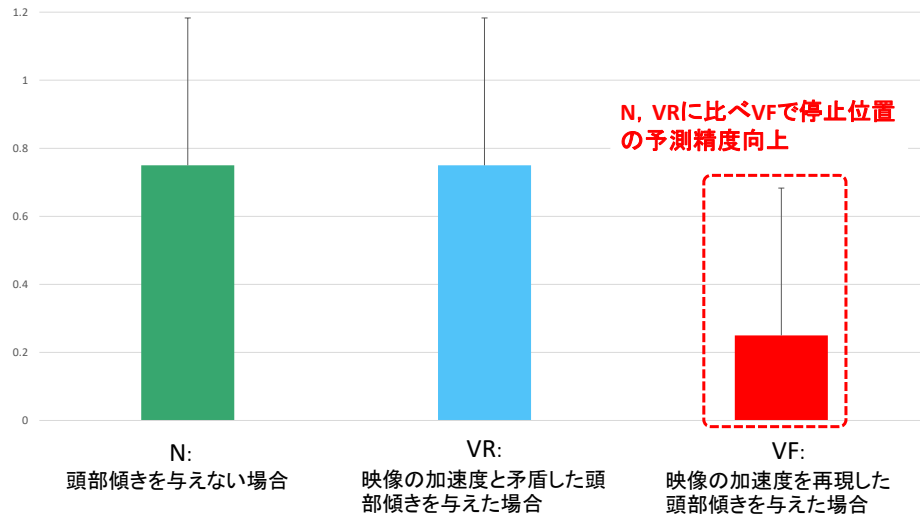


図6 自動車走行における実際の停止位置と予測した停止位置の間の誤差

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Norihiko Sugita, Metin Akay, Yasemin Akay, Makoto Yoshizawa	4. 巻 1
2. 論文標題 Noise reduction technique for single-color video plethysmography using singular spectrum analysis	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/JBHI.2019.2949883	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 Norihiko Sugita, Katsuhiko Sasaki, Makoto Yoshizawa, Kei Ichiji, Makoto Abe, Noriyasu Homma, Tomoyuki Yambe	4. 巻 印刷中
2. 論文標題 Effect of viewing a three-dimensional movie with vertical parallax	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Displays	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.1016/j.displa.2018.10.007	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Norihiko Sugita, Makoto Yoshizawa, Makoto Abe, Akira Tanaka, Noriyasu Homma, Tomoyuki Yambe	4. 巻 1
2. 論文標題 Contactless Technique for Measuring Blood-Pressure Variability from One Region in Video Plethysmography	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Medical and Biological Engineering	6. 最初と最後の頁 1-10
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.1007/s40846-018-0388-8	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 杉田典大, 小川健太, 吉澤誠, 本間経康, 関和則, 半田康延	4. 巻 23
2. 論文標題 足こぎ車いすの実走行追体験システムの開発	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 日本バーチャルリアリティ学会論文集	6. 最初と最後の頁 3-11
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yoshizawa M, Ohuchi H, Nunokawa K, Taniuchi K, Okaniwa T, Sugita N, Abe M, Homma N, Yambe T	4. 巻 2
2. 論文標題 A Tele-Electrocardiographic Monitoring System for Patients with Chronic Diseases at Home	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Austin Emergency Medicine	6. 最初と最後の頁 1031-1034
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 山口倫尚, 杉田典大, 吉澤誠
2. 発表標題 前庭感覚提示可能なHMDの開発に関する研究
3. 学会等名 第53回日本生体医工学会東北支部大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山口 倫尚, 吉澤 誠, 杉田 典大
2. 発表標題 前庭感覚提示可能なHMDの開発
3. 学会等名 第23 回日本バーチャルリアリティ学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高野 寛己, 杉田 典大, 吉澤 誠
2. 発表標題 能動的視聴と受動的視聴が映像酔いと臨場感に与える影響の差異
3. 学会等名 第22回日本バーチャルリアリティ学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐々木克浩, 杉田典大, 吉澤誠
2. 発表標題 眼球運動を用いた垂直視差の生体影響評価
3. 学会等名 第50回日本生体医工学会東北支部大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Makoto Yoshizawa, Norihiro Sugita Makoto Abe, Akira Tanaka, Kazuma Obara, Tsuyoshi Yamauchi, Noriyasu Homma, Tomoyuki Yambe
2. 発表標題 Blood Perfusion Display Based on Video Pulse Wave
3. 学会等名 38th Annual Conference of IEEE Engineering in Medicine Biology Society 2016
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 吉澤誠, 杉田典大	4. 発行年 2019年
2. 出版社 シーエムシー出版	5. 総ページ数 256
3. 書名 ビデオカメラによる遠隔非接触的自律神経・血圧情報モニタリング(第10章), IoHを指向する感情・思考センシング技術	

〔出願〕 計0件

〔取得〕 計2件

産業財産権の名称 生体情報計測装置、生体情報計測プログラム、及び生体情報計測方法	発明者 吉澤誠、杉田典大	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、6620999	取得年 2019年	国内・外国の別 国内
産業財産権の名称 生体情報計測装置、生体情報計測方法及び生体情報計測プログラム	発明者 吉澤誠、杉田典大、 他6名	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、6683367	取得年 2019年	国内・外国の別 国内

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
連携研究者	本間 経康 (Homma Noriyasu) (30282023)	東北大学・医学系研究科・教授 (11301)	
連携研究者	杉田 典大 (Sugita Norihiro) (90396458)	東北大学・工学研究科・准教授 (11301)	
連携研究者	山家 智之 (Yambe Tomoyuki) (70241578)	東北大学・加齢医学研究所・教授 (11301)	
連携研究者	田中 明 (Tanaka Akira) (10323057)	福島大学・共生システム理工学類・教授 (11601)	
連携研究者	阿部 誠 (Abe Makoto) (90604637)	信州大学・学術研究院工学系・准教授 (13601)	