

生体反応に着目した VR 型運転再現システムの設計

G21601 安西瑠輝

1. はじめに

本研究では、VR 型運転再現システムの構築を行なった。これは 360 度カメラで撮影した運転映像を VR 環境内で閲覧すると同時に、実際の運転時に感じた心的状態を再現することが可能である。心的状態はスマートウォッチの心拍センサを利用して計測を行ない、実際に運転した場合の心的負荷を映像に対するフィルターとして表現した。本研究では、どのようにフィルターを利用することで、実際の運転時の心的状態を VR 環境内で再現可能であるかを検証した。

2. VR 型運転再現システム



図 1 VR 型運転再現システムの構成

図 1 は VR 型運転再現システムの構成である。VR 環境は HTC 社の VIVE Pro Eye を利用し、システムはゲーム開発環境である Unity を利用して構築した。VR 環境にて閲覧する運転映像は RICHIO 社製 THETA V より実際に運転している様子を 360 度映像で撮影し、Unity に組み込むことで利用者が VR 上にて運転映像を見渡すことができる。

図 1 のスマートウォッチは JSBP 社製 Kingwear KW88 であり、心拍センサの光センサ（緑色）を用いて血流を読み取り心拍を測定する。インストールしたアプリケーションにより心拍センサの値を出力する構造になっている。

このアプリケーションを起動した状態で、実際の運転中と VR 映像を見る際の心拍計測を行い、心的状態を把握するために LF/HF の算出を行った¹⁾。LF は交感神経の活性度であり、緊張状態などを表す指

標である。また、HF は副交感神経の活性度であり、リラックス状態などを表す指標である。これらの指標の比として計算される LF/HF は自律神経系機能の評価指数とされ、被験者の心的状態を把握することができる。

3. 視覚的フィルターと LF/HF との関係

これまでの研究にて VR 型運転再現システムを利用し、色のついたフィルターを映像にかけることで、心的状態の再現を目的とする実験を行った²⁾。

その結果、濃いフィルターがかかった瞬間に、LF/HF が急激に上昇し、一時的な緊張状態を表すことが可能となった。この実験により、フィルターによる一時的な緊張状態を作り出したことによる心的状態の再現が可能となったが、瞬間的に LF/HF が上がった後、なだらかに値が下がり、フィルターとしての効果を発揮していなかった。そこで、フィルターがかかった瞬間に LF/HF が上昇した点に着目し、それぞれ新しいフィルターによる実験を行った。

4. 実験 1

本研究では 2 種類のフィルターの利用方法について比較を行なった。一つは、実際の運転時の LF/HF の値に閾値を設定し、閾値を超えた場合に、一気に濃いフィルターをかける方法（方法 1）である、もう一つは、設定した閾値までの間に、徐々にフィルターの濃さを濃くしていく方法（方法 2）である。二人の被験者（成人男性 2 名（50 代男性、20 代男性））に対して、本システムを利用してもらい、利用時の LF/HF の値を計測した。その際に、フィルター無し の状況と 3 種類の閾値（1.0, 2.0, 3.0）により実験を行い、実際の運転時の LF/HF との相関を計算することで評価を行なった。また、REAL と閾値 1.0, 2.0, 3.0 による LF/HF の相関を求めた。

表 1 は方法 1 の相関値、表 2 は方法 2 の相関値を示している。それぞれ、実際の運転時の LF/HF とフィルターなし (non)、および、それぞれの閾値 1.0 (1.0), 2.0 (2.0), 3.0 (3.0) の場合の相関値を示している。平均 (AVG) は 3 つの閾値の平均である。

表1 方法1によるLF/HFの相関関係

	non	1.0	2.0	3.0	AVG
被験者1	0.14	0.24	0.23	0.50	0.32
被験者2	0.15	0.36	0.44	0.36	0.38

表2 方法2によるLF/HFの相関関係

	non	1.0	2.0	3.0	AVG
被験者1	0.14	0.13	0.43	0.27	0.28
被験者2	0.15	0.45	0.27	0.25	0.32

方法2の閾値1.0以外は全てフィルターなしの状態(non)より高い相関関係を表しており、フィルターをかけた映像による実験は有効だと考えられる。また、方法1では被験者1は閾値3.0、被験者2では閾値2.0がREALとの相関値が高くなっており、AVGは方法2より高い値となった。方法2では被験者1は閾値2.0、被験者2は閾値1.0がREALとの相関値が高くなっているがAVGは方法1より低い値となった。

方法2の閾値1.0以外は全てフィルターなしの状態(non)より高い相関関係を表しており、フィルターをかけた映像による実験は有効だと考えられる。方法1と方法2を比較すると、平均では方法1の方が高い相関を示している。これは、急激な視覚的变化によって、より心的状態を再現できたことを意味する。

しかし、閾値を1.0, 2.0, 3.0と固定している影響により方法1で最も相関値が高い閾値3.0は、VR映像にほとんどフィルターがかかっておらず、フィルターによる心的状態の再現とは言えない結果となった。方法2では閾値1.0ではフィルターが不透明である時間が続きすぎており、主観では閾値3.0が認識しやすいと感じられた。

5. 実験2

実験1ではそれぞれ閾値を変えることでどのような心的状態の変化が行われるか実験を行ったが、閾値の変化による影響はあまり見られなかった。そのため閾値を高い値に設定してしまうとフィルターによる影響なのか判断が難しい。そこで閾値をREALのLF/HFの平均(1.36)を固定値とし、回数を増やして実験を行なった。実験1では、方法1の方が一気にフィルターがかかるため相関は高いが、方法2の方が変化の様子が視覚的に理解しやすいといった特徴があった。そのため、その両方を考慮した新しいフィルターの作成を行なった。

VR型運転再現システムでは3種類のフィルターを用意した。実験1にて利用した方法1,2に加え、実際の運転時のLF/HFの1秒間ごとの変化率の平均を閾値とし瞬間的にフィルターをかける方法(方法3)を利用した。二人の被験者に対して、本システムを利用してもらい、VR環境におけるLF/HFの値を測定した。その際に、フィルター無しの状況と3種類のフィルター(方法1,2,3)による実験を3回ずつ行い、実際の運転時のLF/HFとの相関を計算することで評価を行なった。また、それぞれの相関値の平均(AVE)と標準偏差(STD)を計算した。

表3 被験者1によるLF/HFの相関関係

	1回目	2回目	3回目	AVE	STD
Non	0.11	0.43	0.32	0.29	0.16
方法1	0.44	0.52	0.30	0.42	0.11
方法2	0.13	0.41	0.56	0.37	0.22
方法3	0.27	0.30	0.29	0.29	0.02

表4 被験者2によるLF/HFの相関関係

	1回目	2回目	3回目	AVE	STD
Non	0.12	0.17	0.51	0.27	0.21
方法1	0.63	0.66	0.39	0.56	0.15
方法2	0.60	0.14	0.12	0.29	0.27
方法3	0.31	0.33	0.45	0.36	0.07

表3は被験者1の相関値、表4は被験者2の相関値を示している。それぞれ、実際の運転時のLF/HFとフィルターなし(Non)、方法1、方法2、方法3の相関値を示しており、それぞれ3回の平均(AVE)、標準偏差(STD)を示している。Non(フィルター無し)は、被験者1の方法3とLF/HFの相関値の平均が同値であるが、それ以外の方法1,2,3は全てnonより高い相関関係を表しており、フィルターをかけた映像による実験は有効だと考えられる。

方法1に着目すると、両方の被験者において、最も高い平均値を示しているが、標準偏差が小さいとも言えず、ある程度ばらつきがみられた。方法2では、両方の被験者において、平均値が高いとは言えず、また標準偏差においてほかの方法より値のばらつきが多くみられた。方法3では、両方の被験者において、平均値が高いとは言えず、また被験者1の平均値がフィルターなしの場合より低い値になっている。標準偏差に関しては、どの方法よりも小さい値になっており、ばらつきが少ない結果になった。

図2は上からREAL、方法1、方法2、方法3、Nonとなっており、このグラフは被験者1,2のそれぞれの方法による相関の最高値から選択し比較した。REALと各方法のグラフの部分的な形を比較する

と、方法1では20, 40, 60, 90秒付近で緊張の形が
 っている。方法2, 3, Non フィルターは40, 90秒付近
 で緊張の形はあっているが他の TIME では緊張の形
 があっているとこはみられなかった。REAL と各方
 法のグラフの全体の形を比較すると方法1はグラフ
 の形があっているように見えるが、他の方法はグラ
 フの形があっているようには見られなかった。

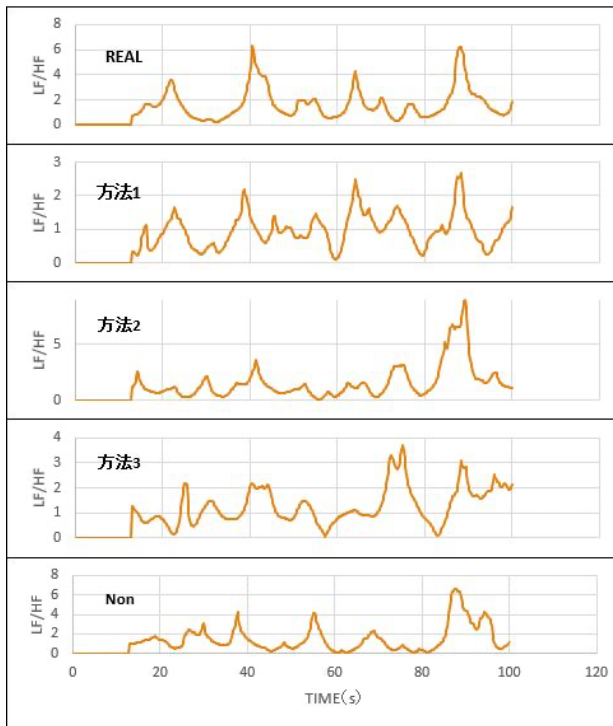


図2 REAL, 方法1, 2, 3, non フィルターによるグ
 ラフ比較図

6. 実験3

これまでフィルターによるストレス (LF/HF) の再
 現を行ってきたが、心拍センサより心拍データを取
 得しているため、呼吸によりストレスの値を意識的
 に変化させることが可能ではないかという疑問が浮
 かび、呼吸による実験を行った。呼吸と心拍の關係
 について RSA(respiratory sinus arrhythmia) : 呼吸
 性洞性不整脈とよばれる現象があり、息を吸うとき
 は心拍数が増加し、息を吐くときは心拍数が減少す
 る³⁾現象を利用し、RSAを用いて呼吸を意図的に変化
 させることでLF/HFの値を意識的に変化させること
 が可能であるか再現実験を行った。

被験者1, 2の2名(50代男性, 20代男性)を対象
 に60秒間指示された秒数の呼気と吸気を繰り返す間、
 スマートウォッチの心拍センサを用いて、呼吸時の
 心拍数を測定し、LF/HFを算出する。60秒はスマー
 トフォンのストップウォッチにより測り、指示され
 た秒数の呼気と吸気のタイミングを合わせる為、ス

マートフォン用アプリ「Metronome Beats」により
 設定されたメトロームの拍数(60秒60拍鳴らすよ
 うに設定)を設定し、音が鳴るタイミングで呼気と吸
 気を入れ替えることで実験を行った。また、指示する
 呼吸の間隔は以下の5通りにより行った。

- 1秒吐いて、1秒吸う(基本的な呼吸)
- 3秒吐いて、3秒吸う(基本的な呼吸)
- 5秒吐いて、5秒吸う(基本的な深呼吸)
- 1秒吐いて、5秒吸う(呼吸と深呼吸の混合)
- 5秒吐いて、1秒吸う(呼吸と深呼吸の混合)

呼気時に緊張し、吸気時にリラックスすると考え
 られているため、それぞれ呼気と吸気の秒数を変え
 ることで意識的に緊張とリラックスの制御を行う。

結果として、それぞれの呼吸法によるLF/HFの急激
 な増減は被験者1, 2どちらからもみられず、本手法
 ではRSAの状態を再現できなかった。

つまり、意識的な呼吸によって緊張状態の制御は
 難しいと考えられる。これまでのフィルターによる
 視覚的なアプローチの方が有効だと考えられる。

7. 実験4

VR型運転再現システムを利用する上で、呼吸のほ
 かに聴覚による既存のVR映像から流れる音に対し
 て、心的状態の操作が可能であるか検証すべく実験
 を行った。過去の研究にて、騒音レベル(騒音値(dB))
 を変化させたときに作業量と心拍数がどのように変
 化するのか実験が行われ、騒音レベルが増加するに
 つれ、心拍数の増加が認められた⁴⁾。

騒音値が高ければ高いほど被験者の心拍数が増加
 することによって、LF/HFが増加し、緊張状態にな
 ることが考えられる。そこで実験としてVR型運転
 再現システムにより、3種類の音の強さがあるノイズ
 音源(60, 70, 80dB)を加えることで被験者のLF/HF
 が急激に変化するかの実験を行なった。

実験方法として、VR型運転再現システムを起動し、
 被験者1, 2の2名(50代男性, 20代男性)にVR映
 像を閲覧させ、ノイズ音源無し(non)と、3種類のノ
 イズ音源(60, 70, 80dB)を流すことでスマートウ
 ヲッチにより測定された心拍数よりLF/HFを算出し、
 どのように変化するか実験を行った。また、ノイズ
 音源を流すタイミングはスタートから35秒後とし、
 スタートから1分後にノイズを切ることにした。

実験結果より、ノイズ音源の音の強さ(60, 70,
 80dB)によるLF/HFの変化は、被験者1, 2どちら
 も特徴的な変化はみられなかった。そのため、音の
 強さによる意識的な緊張の制御は難しいと考えられ

る。今回の実験ではノイズ音源の音の強さにより、心的状態の変化があるか実験した。他の音を利用した場合（例、クラクション）、運転再現として考えるとあまり現実的ではないと考えられ、変化の割合は視覚によるアプローチが高いためそちらのほうで実験を進めていく。

8. 実験5

実験2より、実際の運転時のLF/HFの平均値を閾値とし、一気に濃いフィルターを利用する方法1が、もっとも実際の運転の緊張状態の再現に最も近づけることができることがわかった。

本章では、方法1の有効性を検証するために、被験者を2名から9名に増やし実験を行った。新たに9名の被験者（20代男性）に対して、実際に運転した場合の心的状態とVR型運転再現システムを利用した状態での心的状態を比較し、解析を行った。実際に運転した場合の心的状態は実験1にて組み込んだ被験者1のLF/HFを利用した。VR型運転再現システムでは方法1のフィルターのみを利用した。1人につき実験を3回ずつ行い、実際の運転時のLF/HFとの相関を計算することで評価を行なった。また、それぞれの相関値の平均(AVE)と標準偏差(STD)を計算した。

表5 被験者A, B, C, D, E, F, G, H, IによるLF/HFの相関関係

	1回目	2回目	3回目	AVE	STD
被験者A	0.12	0.07	0.10	0.10	0.03
被験者B	0.20	0.12	0.03	0.11	0.09
被験者C	0.18	0.40	0.20	0.26	0.12
被験者D	0.37	-0.05	0.18	0.17	0.21
被験者E	0.11	0.52	0.52	0.38	0.24
被験者F	0.11	0.27	0.08	0.15	0.10
被験者G	0.21	-0.01	0.39	0.19	0.20
被験者H	0.51	0.32	-0.13	0.23	0.33
被験者I	0.00	-0.08	0.43	0.11	0.27

表5は被験者A, B, C, D, E, F, G, H, Iの相関値を示している。REALと方法1の相関値を示しており、それぞれ3回の平均(AVE)、標準偏差(STD)を示している。被験者A, B, FはAVGが0.20未満でSTDが0.11未満となり、AVGは低くSTDは低く、ばらつきが少ない結果となった。被験者D, G, IはAVGが0.20未満でSTDが0.11以上となり、AVGは低くSTDは高くばらつきが、ある程度見られる結果となった。被験者C, E, HはAVGが0.20以上STDが0.11以上となり、AVGは高くSTDも高く、ばらつき

がある程度みられる結果となった。各被験者の中で最もAVGが高い結果は被験者Eであった。実験2の方法1の結果と比較して、実験2の被験者1のAVG(0.30)を超えるAVGを算出された被験者は被験者Eであった。実験2の被験者2のAVG(0.56)を超えるAVGを算出された被験者はいなかった。STDは6人の被験者においてある程度ばらつきがみられ、全体の結果として安定しているとはいえなかった。

9人の被験者に対して3人の被験者でAVGが比較的高い結果となった。しかし、STDが高い結果が算出されてしまいばらつきがある程度みられる結果となった。

各被験者の一番良い相関値をピックアップして考えると、実験2の被験者1の平均値である3.0を超える人は6人であり、また、全体の平均では0.36となり、比較的高い相関を示している。そのため、フィルターによる効果が常に発揮できるは言えないが、方法1による視覚的フィルターによる影響を与えることは可能であることが示された。

9. まとめ

本研究ではこのVR型運転再現システムを利用して被験者の心的状態の再現実験を行い、どのようにフィルターを利用することで、実際の運転時の心的状態をVR環境内で再現可能であるかを検証した。

上記実験より、一気に濃いフィルターをかける方法1により視覚的なアプローチが実際に運転した場合の心的状態の再現が行われ、フィルターによる影響がある程度心的状態に作用する可能性が示唆された。今後は被験者の視線による対象物への眼球運動に着目し、被験者の認知能力の評価が可能となるシステム構築や実験を目標とする。

参考文献

- 1) 秋山 早弥香, 加藤 由花, “QOL 可視化システムのための脈拍センサを用いたストレス状態推定手法”, 第77回全国大会講演論文集, Vol.2015, No.1, pp.129-130, 2015.3.
- 2) 宮原 亘, “全方位映像を利用した簡易ドライブシミュレータ設計”, 足利大学創生工学科システム情報分野卒業論文, 2021.
- 3) 早野 順一郎, 山田 眞己, 藤浪 隆夫, “心拍変動と自律神経機能” 生物物理, 1988, vol.28, no.4, pp.198-202.
- 4) 梅村 守, 本多 薫, “騒音が精神作業のperformanceおよびworkloadに及ぼす影響”, 日本人間工学雑誌, 1990, vol.26, pp.340-341.