

脈拍データを用い風で刺激する脈拍上昇抑制システムの開発

宗森 純^{1,a)} 堤野 理貴² 伊藤 淳子³

受付日 2021年4月29日, 採録日 2021年11月2日

概要: 本研究では自動車運転のゲームを使用し, ストレス評価の指標として脈拍データを用い, 運転時に脈拍数が上昇した際に顔に風を当てるシステムを提案する. 脈拍数が上昇した際に風を当てることが被験者にどのような影響を与えるのか分析するために, システムを使用した場合, ランダムに風を当てる場合, 風を当てない場合の3種類の実験を行った. 実験には, 自動車運転のゲームアプリケーションとハンドルやブレーキのあるコントローラを用いた. 実験の結果下記のことが分かった. (1) 安静時の脈拍数 +10 拍/分から +30 拍/分で脈拍の上昇が適切に多く検知できる. (2) 脈拍の上昇時に風を当てると, 脈拍数が元 (+10 拍/分未満) に戻るのにかかる時間が, 有意差があるほど早くなった. (3) 脈拍の上昇時に風を当てると, ランダムに風を当てた場合と比較して脈拍数は有意差があるほど低くなった. (4) システム使用時に風は適切なタイミングで当てられたと感じた.

キーワード: 自動車運転ゲーム, 脈拍, ストレス, 検知, 風を当てる

Development of a Pulse Rate Rise Suppression System That Stimulates with Wind Using Pulse Data

JUN MUNEMORI^{1,a)} RIKI TSUTSUMINO² JUNKO ITOU³

Received: April 29, 2021, Accepted: November 2, 2021

Abstract: In this study, we propose a system that uses a car driving game, uses pulse data as an index for stress evaluation, and blows the wind on the face when the pulse rate rises during driving. In order to analyze how applying wind when the pulse rate rises affects the subject, we conducted three types of experiments: using the system, randomly applying wind, and not applying wind. For the experiments, we used a car driving game application and a controller with steering wheel, gas pedal, and brake. As a result of the experiment, the following was found. (1) A pulse rate of +10 beats/min to +30 beats/min at rest could detect an appropriately large number of pulse increases. (2) When the wind was applied when the pulse rate was rising, the time it took for the pulse rate to return to its original level (less than +10 beats/min) became faster with a significant difference. (3) When the wind was applied when the pulse rate was rising, the pulse rate was significantly lower than when the wind was applied randomly. (4) We felt that the wind was applied at the right time when using the system by a result of the questionnaire.

Keywords: car driving game, pulse, stress, detection, blow the wind

1. はじめに

近年, IT, ICT の発展により, 自動車の安全運転支援システムの発展が著しく, なかでも自動車自体の安全運転を支援するシステムの研究がさかんである [1]. 一方, 運転手の居眠り事故防止など, 運転する人を中心とした安全運転の研究も進んでいる [2]. しかし, 近年問題となっている煽り運転自体の研究はあるが [3], [4], その防止をめざした研

¹ 放送大学和歌山学習センター
Wakayama Study Center, The Open University of Japan,
Wakayama 641-0051, Japan

² 和歌山大学大学院システム工学研究科
Graduate School of Systems Engineering, Wakayama Uni-
versity, Wakayama 640-8510, Japan

³ 和歌山大学システム工学部
Faculty of Systems Engineering, Wakayama University,
Wakayama 640-8510, Japan

a) j.munemori@ouj.ac.jp

究はまだ少ない [5]. そこで、煽り運転の原因の 1 つと考えられるストレス [6] を抑える方法を、脈拍をパラメータとして検討する。

一般的に自動車運転時は座位安静時に比べ、走行時に、より精神負荷 (ストレス) が大きいという報告がある [7]. また、心拍数がストレス評価の指標になることが報告されている [8].

心拍数と脈拍数とはほぼ等しいため、本研究では、脈拍データを用い風で刺激する脈拍上昇抑制システムを提案する。実際に自動車を運転するのではなく、自動車運転のゲームで実験を行う。まず、運転者のストレスが大きな状態 (ストレス状態) をどのように検知するかを検討する (課題 (a)). 次に、ストレスが小さな状態に戻すためにはどのようなことをすれば良いのか (課題 (b)) を検討する。さらに、どのように風を当てれば効果的かを検討する (課題 (c)).

本システムを利用して被験者の脈拍数が高いときに電動ファンを作動させて風を顔に当てる場合とランダムに風を当てる場合およびまったく風を当てない 3 つの比較実験を行い、被験者にどのような効果があるか検証する。

本研究の目的は、運転時の脈拍をもとにストレスが大きい状態を検出し、外的刺激を与えストレスが小さい状態にできるかを検証することである。

2 章では、脈拍上昇抑制システムに関する知見を、心拍とストレスとの関係、運転中の心拍の変動について述べる。3 章ではそれらの知見をふまえ、脈拍データを用い風で刺激する脈拍上昇抑制システムを提案する。4 章では、実験および実験結果について述べ、5 章では考察について述べる。6 章は本論文の結論を述べる。

2. 関連研究

2.1 心拍数とストレスの関係

高津らの研究発表時の心拍変動による精神的ストレスの評価についての検討 [8] では主観的ストレス値と心拍の変動の関係を調べている。この研究では、実験後のアンケートにより被験者それぞれが感じたストレスの大きさとして主観的ストレス値を決める。この主観的ストレス値は、安静、発表練習、研究発表と質疑の順で大きくなることが分かった。各々の場面の心拍数について t 検定を行ったところ、発表と質疑には有意差は認められなかったものの、安静と発表練習、発表練習と研究発表、および発表練習と質疑にはいずれも $p < 0.01$ でストレス値に有意差が認められた。また、主観的ストレス値と RRI (心拍のピークの間隔) との間には -0.637 の負の相関があることが分かっている。つまり、心拍数が大きくなるほどストレスが大きくなる傾向があり、心拍数がストレス評価の指標となる可能性が示唆されている。

2.2 運転中の心拍の変動

心拍数を運転中に計測した研究として“自動車運転時の心理的負担の定量的評価” [7] がある。この研究の目的は走行環境が自動車運転時に与えるストレスの要因を明らかにすることである。この研究では心拍の変動を、計測装置の小型化・可搬化により非侵襲的に計測することが可能で計測器によるストレスを感じにくい指標であるとし、長距離運転時に心拍数を測定し、走行環境の変化に対するストレスを評価する。運転時間が長く、走行距離も長い道路を対象に、「交通量が多く道幅が広い道路」と「交通量が少なく道幅が狭い道路」の 2 つの走行ルートの比較を行ったところ、どちらの場合も自動車運転時、停止しているときに比べ加速・減速・徐行・走行のときの方が、RRI の値が小さくなる (心拍数は大きくなる) ことが分かった。つまり、停止時に比べ、加速・減速・徐行・走行のときの方がストレスは大きいことが分かった。

3. 脈拍データを用い風で刺激する脈拍上昇抑制システムの開発

3.1 設計方針

サーキット走行のシミュレーションでストレスを与える実験を実施し、以下の項目を明らかにする。

(1) 脈拍の上昇をどのようにすれば適切に数多く検出できるかを明らかにする。これは、風を多数回当てないとその効果が分かりにくいことが予測されるため、運転者のストレスが大きな状態 (ストレス状態) をどのようにに多数検出するかという課題に対する対応策である (課題 (a) に対応)。

(2) 脈拍数があらかじめ決定した値以上になった場合に風を顔に当てると脈拍数が風を当てない場合より早く下がるかどうか明らかにする。これは早くストレスを小さな状態に下げることができれば良いのかという課題に対する対応策である (課題 (b) に対応)。

(3) 脈拍数があらかじめ決定した値以上になった場合に風を顔に当てるとランダムに風を当てた場合より脈拍が下がるかどうかを明らかにする。これは脈拍数を下げるためにはどのように風をあてれば良いのかという課題に対する対応策である (課題 (c) に対応)。

3.2 使用機器

本システムには以下の機器を使用した。

- PC (Intel(R) Core(TM) i5-3470 CPU @ 3.20 GHz) (システム開発)
- Arduino UNO R3 および Arduino.org Arduino IDE (システム開発)
- 脈拍センサ (SparkFun 製 Pulse Sensor SEN-11574) [9] (図 1)。

最近外出時に腕時計をしない者が過半数を超える [10].

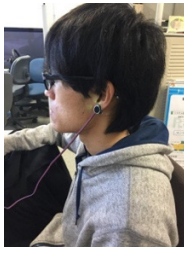


図 1 耳に装着した脈拍センサ
Fig. 1 Ear-worn pulse sensors.

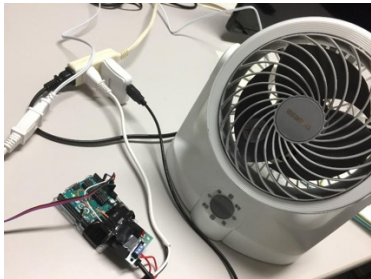


図 2 本システムの概観
Fig. 2 Overview of this system.

本研究では自動車運転のゲームでハンドルを使うために手にスマートウォッチなどの腕時計状の脈拍センサを装着せず、被験者には負担となるが、耳に脈拍センサを装着し脈拍数の計測を行う。また、スマートウォッチは脈拍の取得方式などがブラックボックス化されており計測間隔などが公表されていないため、脈拍数の計測に本方法を使用する。脈拍数は心臓が血液を送り出すことにともない発生する血管の容積変化の反射光や透過光から血管容積の変化を読み取ることによって計測している。本システムの計測間隔は2msecである。本システムは脈拍計測の信頼性が高いスマートウォッチのLG G Watch R [11], [12] の取得データと近い値をとる [5]。

- 電動ファン (アイリスオーヤマのコンパクトサーキュレータ PCF-HD15N-W) [13]。電動ファンは被験者前面から風をあてる。最大風力 5.4m/s で女性の前髪が逆立つ程度の強さである。風をあてる長さは脈拍数によって制御される。

3.3 電動ファンの制御と適用

本システムは Arduino 言語を用いた 35 行のプログラムである。脈拍センサの信号受信と電動ファンの制御の処理を行う。

電動ファンの制御は、任意の脈拍数にて作動するように、脈拍数の範囲を指定できる。電動ファンの駆動電圧は 100 V であるためコンセントから給電しているが、脈拍センサで取得する脈拍数に応じて制御するため、100 V 電源用のリレーを使用する。電動ファンの 100 V 電源にリレーを挟み、このリレーを Arduino にて制御する。図 2 は本

システムの概観を示す。図 2 左は Arduino とリレー、右は電動ファンである。

実験の前に電動ファンの作動範囲を設定する必要がある。これは被験者それぞれ異なる。まず、5 分間の安静時間を取り、その後脈拍数を計測する。30 秒間隔で 5 回計測し、脈拍数の中央値をとる [14]。

3.4 自動車運転シミュレーション用機器

本研究の実験では、実際の自動車の運転に近づけるよう、ハンドルコントローラであるドライビングフォース G29 [15] を用いてアプリケーションの操作を行う。このコントローラは、ハンドル操作時に負荷を感じる仕様になっている。実験で使用したアプリケーションは、レースやフリー走行などで様々な運転状況を体験できる PlayStation3*1 のアプリケーションであるグランツーリスモ 6 [16] である。市街地での 2 台での煽り運転をシミュレーションするようなアプリを選択せずこのアプリを選んだ理由は、市街地では前の車の動向、信号待ちや右折、左折、などといった影響するパラメータが多いため、ストレスと脈拍との因果関係が簡単には分かりにくくなる可能性があると考え、高速で走行するサーキットで、影響するパラメータが少ない単純な状況のシミュレーションで緊張状態を作り出し、このストレスにより脈拍が変化する因果関係を明らかにできるのではないかと考えたためである。

4. 実験

4.1 実験概要

複数台の車がサーキットにおいてレースを行う場面を使用する。競走し他の車を追い越すシーンなどがある。ストレスが掛かる緊迫した状況を再現できる可能性があるためこのサーキットのシーンを選択する。

実験は脈拍の上昇をどのようにすれば適切に多く検出できるか (課題 (a) に対応)、脈拍数があらかじめ決定した値以上になった場合に風を顔に当てると脈拍が風を当てない場合より早く下がるか (課題 (b) に対応)、脈拍数があらかじめ決定した値以上になった場合に風を顔に当てるとランダムに風を当てた場合より脈拍が下がるか (課題 (c) に対応) を検討するために行う。ランダムに風を当てるとするのは、被験者には見えない場所にあるスイッチを用い、手で電動ファンを作動させる。その場合の作動回数は、各被験者のシステムありの実験でシステムが作動した回数に合わせる。また、風が当たっている時間もおおよそシステムありの場合と合わせている。各被験者ごとにシステムありの場合と同じ回数作動したら終了する。

*1 PlayStation3 は株式会社ソニー・コンピュータエンタテインメントの登録商標である。

表 1 電動ファン範囲別平均作動回数

Table 1 Average number of operations by electric fan range.

電動ファン作動範囲	平均作動回数
安静時+5 拍/分～安静時+30 拍/分	2.6
安静時+10 拍/分～安静時+30 拍/分	8.3
安静時+15 拍/分～安静時+30 拍/分	2.3

4.2 予備実験

この実験では、風の効果に鑑み、脈拍の上昇をどのようにすれば適切に多く検出できるか（課題 (a) に対応）調べるため、上限と下限について、安静脈拍数の中央値を元に3つのデータ「安静時+5 拍/分～安静時+30 拍/分」、「安静時+10 拍/分～安静時+30 拍/分」、「安静時+15 拍/分～安静時+30 拍/分」をそれぞれ作製し、実験を行った。上限を安静時+30 拍/分としたのは、歩いたり走ったりしなければこの値を超えることがなく、雑音などの誤ったデータを排除するために設定した。

下限を5 拍/分単位で設定したのは、安静時においても脈拍は一定ではなく変化するため2~3 拍/分程度では風を与えることによる変化以外のものを取得する可能性があり [17]、歩いたりするなどの物理的な運動をしなければ10 拍/分単位では増加しない [18] と考えてこの値に決定した。

たとえば安静時70 拍/分の人では、「安静時+10 拍/分～安静時+30 拍/分」では80 拍/分から100 拍/分の間で電動ファンが作動する。この実験の被験者は和歌山大学の学生3名（男性）である。実験では始めに3 週の練習を行い操作に慣れ、その後本システムを用い2 周走行して作動回数を求めた。実験結果は表 1 のようになった。

表 1 より、最も作動回数が多かった「安静時+10 拍/分～安静時+30 拍/分」の範囲で電動ファンを作動させて実験に使用することとした。作動回数が最も多い場合を選んだのは、与えた刺激と脈拍の変化との間の因果関係をはっきりさせるためである。平均作動回数が2~3 回では因果関係がはっきりしない可能性があるからである。安静時から+10 拍/分まではストレスが小さな状態、それ以上は必要以上のストレスがかかっている状態と考えている。

4.3 本実験

本実験では、脈拍数があらかじめ決定した値以上になった場合に風を顔に当てると脈拍が風を当てない場合より早く下がるか（課題 (b) に対応）、脈拍数があらかじめ決定した値以上になった場合に風を顔に当てるとランダムに風を当てた場合より脈拍が下がるか（課題 (c) に対応）を検討する。

実験の被験者は、和歌山大学の学生9名（男性8名、女性1名）である。被験者全員が普通免許所有者である。被



図 3 実験の様子

Fig. 3 State of the experiment.

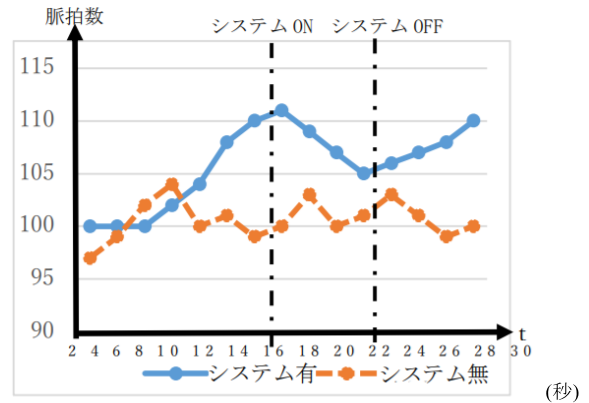


図 4 脈拍数の比較例

Fig. 4 Example of pulse rate comparison.

験者を9名とした理由は、ユーザビリティ問題に関しては、反論もあるが、5名の参加で十分であるという主張があり、これを上回る人数とした [19]。脈拍の中央値に10 拍/分の数値を加算し、電動ファンが作動する下限とする。電動ファンの作動上限は、下限に20 拍/分の数値を加算したものとす。ゲームはそれぞれの実験で、始めに3 週の練習を行い操作に慣れ、その後本システムを用いる場合とランダムに風を当てる場合、および本システムを用いない場合で2 周ずつ走行して実験終了とした。各実験の直後にアンケートを実施した。図 3 は実験の様子である。

実験中の被験者の脈拍数の変化を分析した。ある被験者でシステムありとシステムなしの場合を比較したとき、システムありの場合に電動ファンが回ったときの前後30 秒とコース上のほぼ同じ場所にて、風なしの場合の脈拍の変化の一例を表示する（図 4）。この2つを選んだのは、ほぼ同じ場所で、比較した2つの場面はともに他に車がないような独走状況で同じカーブを曲がり始めて同区間を走り抜けたときの場面であるためである。システムありの場合にはシステムを ON にした場合、脈拍数が下がっていることが分かる。また、電動ファンが止まった後に再び脈拍が上昇しており、様々な変化の可能性がある。

次に、実験全体で被験者全員分の電動ファンの平均作動時間を確認する。結果を表 2 に示す。風をまったく当てない実験の電動ファンの作動時間の算出は、被験者の脈拍

表 2 脈拍上昇時に風を当てた場合と風なしの場合の比較

Table 2 Comparison between airflow and no airflow during pulse rise.

被験者	システム有り (秒)	風なし (秒)
A	11.0	10.6
B	8.8	10.5
C	7.8	8.1
D	10.1	10.8
E	9.2	9.1
F	8.4	8.6
G	9.1	12.1
H	8.7	12.8
I	8.3	11.2
被験者平均	9.0	10.4

数がそれぞれの安静時の中央値に 10 拍/分~30 拍/分追加したものになった時間を計測している。たとえば被験者 A の安静時が 82 拍/分であるが、その場合 92~112 拍/分に入った時間を計測する。この結果、脈拍上昇時に風を当てない場合の +10 拍/分に戻るのにかかる時間は平均 10.4 秒かかるのに対して、脈拍上昇時に風を当てた場合の +10 拍/分までに戻る時間の平均値が 9.0 秒であった。対応のある t 検定を行った結果、有意差があることが分かった ($P = 0.034 < 0.05$)。

次に、本システムありとランダムにスイッチを入れた場合の電動ファンの ON・OFF 前後の脈拍の 9 名全体の結果を表 3 に示す。いずれも電動ファンの回転前 30 秒と回転後 30 秒の脈拍数とを比較したものである。

システムありの場合、電動ファンの回転は平均 9.0 秒 (分散 2.45)、ランダムの場合は平均 9.6 秒 (分散 0.51) である。

ON/OFF 前後で脈拍数が低下している回数はシステムありで 50 回/50 回、ランダムで 25 回/50 回である。また、

表 3 脈拍の変化 (拍/分)

Table 3 Change in pulse (beat/minute).

被験者	システム有		ランダム	
	回転前	回転後	回転前	回転後
A	92	85	90	85
	102	85	108	86
	99	84	86	84
	110	89	69	82
	96	87	89	90
	95	84	82	78
	98	83	83	84
B	105	97	92	97
	100	95	103	101
	102	96	105	108
	103	97	103	101
	101	93	98	100
	105	98	103	107
C	94	78	109	110
	88	83	77	86
	95	80	83	82
	96	83	86	83
	89	77	112	118
	90	86	90	86
D	91	76	80	82
	85	73	86	84
	88	71	90	90
	91	82	83	82
	83	73	88	88

E	103	84	83	84
	99	88	89	88
	100	91	100	101
	103	92	93	91
	104	91	94	91
F	90	83	80	83
	96	87	86	87
	90	88	80	81
	91	87	81	87
	95	86	85	86
G	92	88	91	89
	91	85	89	88
	90	79	83	82
	95	84	88	85
	92	81	81	81
	90	86	80	82
H	96	87	80	82
	92	84	88	84
	106	88	89	88
	98	89	85	82
I	95	86	90	89
	92	83	91	89
	90	84	89	90
	91	79	88	86
	89	80	90	91
	88	81	88	84

平均値と分散はそれぞれ以下のとおりである。
 システムあり回転前：平均 95.1 拍/分，分散 35.9
 システムあり回転後：平均 85.1 拍/分，分散 36.3
 ランダム回転前：平均 89.1 拍/分，分散 75.5
 ランダム回転後：平均 88.9 拍/分，分散 71.0

本システムを使う（システムあり）と t 検定で 1% ($p < 0.01$) で ON・OFF 前後の脈拍数に有意差があった。しかし、ランダムに電動ファンを回した際は ON・OFF で脈拍数に有意差がないことが分かった ($P = 0.739 > 0.05$)。

5. 考察

5.1 脈拍数の観点

本システムを利用し風を当てた場合と、ランダムに風を当てた場合、および本システムを利用せずまったく当てなかった場合で実験結果を比較した結果、以下のことが分かった。

(1) 安静時の脈拍の中央値の +10 拍/分~+30 拍/分の範囲内でコースを 2 周する間に 4 回から 7 回、脈拍の上昇がとらえられた。

(2) 本実験の実験全体で被験者全員分の電動ファンの平均作動時間を、本システムを使用した場合と使用しなかった場合とで比較すると、本システムを使用して風を当てたすべての場合、脈拍数が +10 拍/分まで減少するのにかかる時間の平均が 10.4 秒から 9.0 秒に減少し、有意差があった ($p = 0.034 < 0.05$)。

(3) ゲーム全体で脈拍上昇時に本システムを使用して風を当てた場合とランダムに風を当てた場合とを比較すると、本システムを使用した場合、電動ファンの回転前 30 秒と回転後 30 秒の脈拍数の減少に有意差があったが ($p < 0.01$)、ランダムで風を当てた場合は有意差はなかった ($p = 0.739 > 0.05$)。電動ファン回転後、30 秒後の値をとった理由として、平均の電動ファンの作動時間は 9.0 秒なので 30 秒後は直接電動ファンの風の影響を受けない時間と考えたからである。また、図 4 のように再び 30 秒の間に脈拍は増加することがあるので、必ずしも脈拍は減少し続けるわけではないためである。

これらの結果から、脈拍数が上がったタイミングで風を当てると何もしない場合と比較して早く下がり、ランダムに当てると比較しても確実に下がることから、ストレスを早く低減できることが推測される。

5.2 アンケート結果の観点

アンケート結果を表 4 に示す。本実験の 3 種類の実験（システムあり、ランダム、システムなし）に共通する質問項目「実験は楽しかったですか」の評価結果を検定（ウィルコクソンの符号付順位検定を使用しライアンの方法による多重比較）したところ、システムありとランダムで有意差があった ($p = 0.018 < 0.05$)。システムありとランダム

表 4 アンケート結果の比較

Table 4 Comparison of questionnaire results.

質問項目	システム 有り	ランダム	システム 無し
実験は楽しかったですか	4.8	3.8	4.5
風があることでゲームが面白くなった	3.9	3.6	-
耳に装着する脈拍センサーは痛かった	2.6	2.6	-
風が吹く時は合っていたと思いますか	4.1	2.5	-
風を当てられて興奮を抑えることができた	3.6	3.1	-
風を当てられて冷静になった	3.5	3.6	-
風を当てられて集中が削がれた	2.5	2.5	-
風を当てられて運転に支障が出た	2.0	2.0	-
風を当てられて気分が良くなった	3.9	3.8	-
風を当てることに効果があると思いますか	4.0	3.9	-
風はもっと冷たいほうが良いですか	2.6	2.7	-
風はもっと熱いほうが良いですか	1.9	1.8	-
本システムを使用してもう一度プレイしたいですか	4.3	4.5	4.5
実験は面白かったですか	4.9	4.9	4.5

を比較すると質問項目「風が吹く時は合っていたと思いますか」では明らかにシステムありの方が評価が高く有意差があった ($p = 0.0004 < 0.01$)。また、質問項目「風を当てられて興奮を抑えることができた」ではシステムありの方がランダムと比べてやや評価は高いが有意差はなかった ($p = 0.272 > 0.05$)。

5.3 まとめ

実験の脈拍数の変化の状況から、単にランダムに風を顔に当てただけではなく、脈拍数の上がったときに風を当てると脈拍数が風を当てない場合より早く下がることが分かり、ストレスが早く低減できることが推測される。アンケート結果からは、システム使用時は風が適切に当てられていると感じられ、実験が楽しいと感じられたことが分かった。

6. おわりに

本研究では、脈拍データを用い風で刺激する脈拍上昇抑

制システムを開発し、適用実験を行った。本システムは、運転中（シミュレーション）の脈拍数に応じてリアルタイムで電動ファンを制御し、顔に風を当てることで、顔を風により冷やすことが運転中のストレスを減らすことができるかを検証することを目的としている。実験の結果、下記のことから分かった。

- (1) 安静時の脈拍数 +10 拍/分から +30 拍/分で脈拍の上昇がコースを 2 周する間に 4 回から 7 回検知できることが分かった（課題 (a) への対応）。
- (2) 刺激後に安静時の脈拍数の +10 拍/分から +30 拍/分に上昇した間で風を当てると、すべての場合の脈拍数が元（+10 拍/分未満）に戻るのにかかる時間の平均が、風を当てない場合が 10.4 秒に対して 9.0 秒となり、有意差があるほど早くなった ($p = 0.034 < 0.05$)（課題 (b) への対応）。
- (3) 脈拍上昇時に本システムを使用して風を当てた場合とランダムに風を当てた場合とを比較すると、本システムを使用した場合、電動ファンの回転前 30 秒と回転後 30 秒の脈拍数の減少に有意差があったが ($p < 0.01$)、ランダムに風を当てた場合は有意差はなかった ($p = 0.739 > 0.05$)（課題 (c) への対応）。
- (4) アンケートの結果、システム使用時はランダム時と比較して風は適切なタイミングで当てられたと感じられた ($p = 0.0004 < 0.01$)。

これらから、脈拍数の上がったときに風を当てると脈拍数が風を当てない場合より早く下がり、ストレスが早く減少することが推測され、アンケート結果より、風は適切に当てられたことが分かった。

今後の展望として、本システムを用いて市街地での 2 台での煽り運転のシミュレーション実験を行い [5]、風を脈拍数が上がった場合に当てるとストレスに影響を与えるかどうかを検討する予定である。

また、現状はシミュレータによるシミュレーションのレベルであり、風を当てると脈拍が下がるという現象が確認できたに過ぎない。シミュレータと実車上ではドライバの脳への影響が同じ部分だけでなく異なる部分もあると報告されている [20]。安全運転のための脈拍上昇抑制システムを完成するためには、最終的には実車で実験する必要がある。

参考文献

- [1] 国土交通省：「運転支援技術・自動運転技術の進化と普及」, 入手先 (<https://www.mlit.go.jp/common/001213451.pdf>) (参照 2021-04-25)。
- [2] 松尾治夫, キアット・アブデジャス：居眠り運転の計測と眠気の度合い評定, および眠気の指標の評価, 計測と制御, Vol.55, No.3, pp.259–263 (2016)。
- [3] 川井 明, 王 石祥：運転中のストレスと怒りに関する調査と分析, 情報処理学会研究報告, 2020-ITS-80, pp.1–7 (2020)。

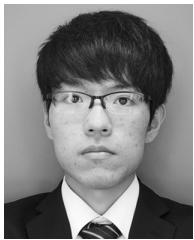
- [4] 若穂園知己, 今村 孝, 棚橋重仁：心拍間隔変動によるストレス状態評価を併用した異常運転再現方法の基礎検討, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会, Vol.2020, 1P1-O10 (2020)。
- [5] 堤野理貴, 伊藤淳子, 宗森 純：脈拍データを使い風を当てる安全運転支援システムの開発, 情報処理学会研究報告, 2021-CDS-30, pp.1–6 (2021)。
- [6] 川本哲郎：交通犯罪としての「あおり運転」の抑止に向けて, 同志社法學, No.71, Vol.2, pp.761–781 (2019)。
- [7] 今村友弥, 坂本将吾：心拍変動における自動車運転時の心理的負担の定量的評価, 土木計画学研究, pp.44–47 (2011)。
- [8] 高津浩彰, 宗俊光男, 小関 修, 横山清子, 渡辺典作, 高田和之：心拍変動による精神的ストレスの評価についての検討, 電気学会論文誌 C, Vol.120, No.1, pp.104–110 (2000)。
- [9] 脈拍センサー, 入手先 (<https://www.switch-science.com/catalog/1135/>) (参照 2021-04-25)。
- [10] DIMSDRIVE：腕時計に関するアンケート, 入手先 (<https://www.dims.ne.jp/timelyresearch/2018/180618/>) (参照 2021-08-07)。
- [11] Phan, D. et al.: Smartwatch: Performance evaluation for long-term heart rate monitoring, 2015 International Symposium on Bioelectronics and Bioinformatics (ISBB), pp.144–147, IEEE (2015)。
- [12] LG G Watch R, available from (<https://www.lg.com/jp/mobile-accessories/lg-W110>) (accessed 2021-04-25)。
- [13] 電動ファン, 入手先 (<https://www.irisplaza.co.jp/index.php?KB=SHOSAI&SID=H271116F>) (参照 2021-04-25)。
- [14] 三宅晋司 (監修), 日本人間工学会 PIE 研究部会 (編集)：商品開発・評価のための生理計測とデータ解析ノウハウ—生理指標の特徴, 測り方, 実験計画, データの解釈・評価方法, エステイーエス (2017)。
- [15] ドライビングフォース G29, 入手先 (<https://www.logicool.co.jp/ja-jp/press/press-releases/11963>) (参照 2021-04-25)。
- [16] グランツーリスモ 6, 入手先 (<https://www.gran-turismo.com/jp/products/gt6/>) (参照 2021-04-25)。
- [17] 新原弘明, 伊藤淳子, 宗森 純：心拍の伝達がオンラインゲームの相手および自分に及ぼす効果, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2015) シンポジウム, pp.983–990, (2015)。
- [18] 小形紘右, 伊藤淳子, 宗森 純：スマートデバイスのセンサを用いた休憩奨励機能を持つ観光支援システムの開発, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2019) シンポジウム, pp.1212–1219 (2019)。
- [19] トム・タリス, ビル・アルバート (著), 篠原稔和 (訳)：ユーザエクスペリエンスの測定, 東京電機大学出版局 (2014)。
- [20] 李 曙光ほか：fNIRS を用いた実車とドライビングシミュレータ運転時のドライバの脳活動と走行データの比較, 生産技術, Vol.62, No.2, pp.161–165 (2015)。



宗森 純 (正会員)

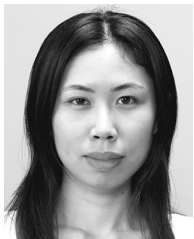
1979年名古屋工業大学電気工学科卒業。1981年名古屋工業大学大学院工学研究科修士課程修了。1984年東北大学大学院工学研究科電気及通信工学専攻博士課程修了。工学博士。同年三菱電機(株)入社。鹿児島大学工学部

助教授, 大阪大学基礎工学部助教授, 和歌山大学システム情報学センター教授を経て, 2002年同大学システム工学部デザイン情報学科教授。2017年同大学システム工学部長。2021年放送大学和歌山学習センター特任教授(所長)。1997年度本会山下記念研究賞, 1998年度本会論文賞, 2005年KES'05 Best Paper Award, 2014年度日本創造学会論文賞をそれぞれ受賞。本会グループウェアとネットワークサービス研究会主査, 本会理事等を歴任。グループウェア, 形式的記述技法, 神経生理学等の研究に従事。IEEE, ACM, 電子情報通信学会, 日本創造学会各会員, 本会フェロー。



堤野 理貴

2021年和歌山大学大学院システム工学研究科博士前期課程修了。同年株式会社SUBARU入社。2019年度情報処理学会関西支部支部大会学生優秀発表賞受賞。在学中安全運転支援システムに関する研究に従事。



伊藤 淳子 (正会員)

2001年大阪大学大学院基礎工学研究科情報数理系専攻博士前期課程修了。2005年京都大学大学院情報学研究科知能情報学専攻博士課程単位取得退学。同年和歌山大学システム工学部助手。2007年より同大学助教。2019年

大阪大学博士(工学)。2006年度本会第63回GN研究会優秀発表賞, 2014年度日本創造学会論文賞をそれぞれ受賞。対人コミュニケーション, 対話における非言語情報とその表現, モバイルグループウェアに関する研究に従事。