脈拍データを用い風で刺激する安全運転支援システムの開発

堤野理貴[1]　伊藤淳子[1]　宗森　純[1]

概要：近年，安全運転支援システムの発展が著しい．安全運転支援システムとは運転時の人的ミスを車両側が補佐するシステムである．長距離の運転などで疲労状態に陥ると，運転中に睡魔に襲われることもあり危険である．逆に渋滞などでイライラして興奮状態に陥った場合は正常な判断ができなくなる可能性があり，同じく危険である．運転中は冷静を保つことが安全運転に繋がる．しかし既存の安全運転支援システムの中には，運転者の状態に応じて冷静にさせるシステムは少ない．そこで本研究では，運転者の脈拍数を計測することで運転者の興奮状態などを検知し，冷静を保つことができる安全運転支援システムの開発をめざす．本システムは脈拍センサーを用いて脈拍数の計測を行い，運転者の脈拍数が高い時に電動ファンを作動させて冷風を身体に当てる．自動車の運転にはシミュレーターを使用した．本研究の目的は，運転時の脈拍をもとに興奮状態を検出し，外的刺激を与え冷静になるかの検証である．脈拍数に基づいて風を当てる実験，ランダムに風を当てる実験，および風を当てない実験を行い比較した結果，脈拍数に基づいて風を当てた場合，有意差があるほど脈拍数が下がり，風を当てる実験の評価は高かった．

Development of a Safe Driving Support System That Stimulates with Wind Using Pulse Data

RIKI TSUTSUMINO[1]　JUNKO ITOU[1]　JUN MUNEMORI[1]

1. はじめに

近年，安全運転支援システムの発展が著しい．自動車運転時は精神負荷が大きいという報告がある[1]，[2]．長距離の運転などで疲労状態に陥ると，運転中に睡魔に襲われることもあり危険である．逆に渋滞などでイライラして興奮状態に陥った場合は正常な判断ができなくなる可能性があり，同じく危険である．運転中は冷静を保つことが安全運転に繋がる．しかし既存の安全運転支援システムの中には，運転者の状態に応じて冷静にさせるシステムは少ない．そこで本研究では，運転者の脈拍数を計測することで運転者の興奮状態などを検知し，冷静を保つことができる安全運転支援システムの開発をめざす．本システムを利用し，脈拍数が上昇した場合に風を当てた場合，ランダムに風を当てた場合，および風を当てない場合の3種類の実験を行った．風を当てる前後の脈拍数の比較とアンケート結果を比較し，脈拍数の変化に対する風を当てることの効果を検証した．

2. 安全運転支援システムに関する知見

高度安全支援システムとは，高速道路での定速走行や車線逸脱防止システム，車間距離制御などから自動運転システムを含む[3]ものまであり，これらのシステム開発が世界各国で盛んに進められ，標準で搭載される車種も多い[4]．

現在実際に市販車に搭載されている安全運転支援システムであるDMSを紹介する．

「DMS」は，Driver Monitor Systemの略であり，運転中のドライバーの状態を監視する装置のことである．操舵角センサーの操舵情報をもとにドライバーの運転状況を把握し，メーター部に警告表示するシステムが一般的であるが，車室内の近赤外線カメラによるドライバーの顔認証を行なう乗員検知システムも普及し始めている[5]．

DMSに使用されるモニタリングシステムは，近赤外線カメラが多い．意識状態と閉眼時間やまばたきの変化などから得られる特徴には，強い相関があることが報告されているからである[6]．しかし，実際に眠くなる以前の，疲労感や不快・だるさを感じているということまでモニタリングするシステムの実用化例はほとんど認められていない．疲労感や眠気を感じているときは心拍の分散が大きくなるという報告がある[7]．また，運転時に心拍の変化の時系列から得られるパラメータを重回帰分析することで，「ねむけ」，「不安定」「不快」「だるさ」の推定の可能性が得られた報告がある[8]．しかし，興奮を抑えるようなシステムは少ない．

3. 風を用いた安全運転支援システム

3.1 設計方針

現在，人間の状態，例えば，脈拍を用いた安全運転支援システムの実用化例がほとんどない．特に，興奮状態にある場合に冷静にするシステムが実用化にいたっていない．しかし昨今では，高速道路でのあおり運転など，興奮状態に陥ったドライバーの運転が問題になっている．それらを解決するために，興奮状態を冷静にするための一手法として風を当てることを提案する．

1 和歌山大学，Wakayama University

© 2019 Information Processing Society of Japan

本システムは，脈拍センサーを用いて，ドライバーの状況を風により刺激を与える安全運転支援システムである．自動車の運転時において脈拍数が上昇したときに電動ファンが回り，風が身体に当てられる．自動車の運転を疑似体験できるように，ドライブシミュレータとハンドルコントローラーを使用する．脈拍センサーのデータの受信，電動ファンの作動範囲の制御を Windows PC で行うことを可能にするため Arduino を使用した電子回路を作成した．Windows PC と Arudino の通信方法はシリアル通信とする．

3.2 システム構成

本節では，本システムの開発環境とシステム全体の構成について述べる．

3.2.1 開発環境

脈拍センサーは sparkfun 製 Pulse Sensor SEN-11574 [9]を耳に装着して使用した．電動ファンはアイリスオーヤマのコンパクトサーキュレーター PCF-HD15N-W [10]を使用した．

3.2.2 システムの構成

本システムは Arduino を使用した入出力回路で構成されている．Arduino IDE を使用し，Arduino 言語を用いた 39 行のプログラムである．脈拍センサー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ものを作製した．電動ファンの駆動電圧は 100V であるためコンセントから給電しているが，脈拍センサーで取得する脈拍数に応じて制御するため，100V 電源用のリレーを使用する．電動ファンの 100V 電源にリレーを挟み，このリレーを Arduino にて制御する．これにより Arduino で駆動電圧の高い電動ファンを制御できる．図 1 は本システムの概観である．図 1 左下にあるハート型の部分が脈拍センサーである．

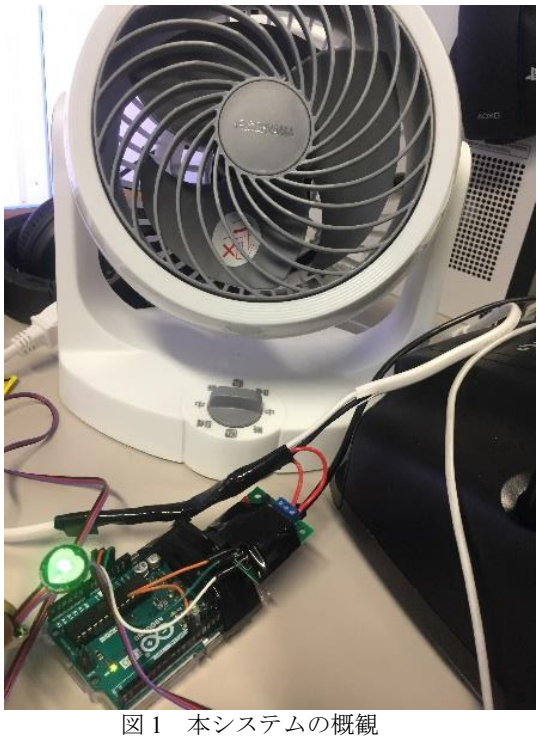

図 1　本システムの概観

4.　実験と考察

4.1　予備実験 1

4.1.1　目的

予備実験 1 の目的は，運転時の脈拍の変動と運転状況の確認とシミュレーターの有用性の確認である．

4.1.2　概要

本実験の前に，自動車の運転時に脈拍がどの程度変動するのかという点と，本実験で使用するシミュレーターで脈拍数が変動するのかという点が未確認であったため，予備実験を行うこととした．シミュレーターは，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 のグランツーリスモ 6 [11]を使用した．実際の自動車の運転に近づけるよう，Logicool のハンドルコントローラーである，ドライビングフォース G29[12]にて操作を行う．このコントローラーは，ハンドル操作時に負荷を感じる仕様になっている．脈拍センサーは脈拍計測の信頼性が高い[13]スマートウォッチの LG G Watch R[14]を使用する．脈拍センサーを腕に装着し，10 分ほどゲームをプレイする．その間の脈拍データと運転状況を動画撮影し記録した．

運転中に脈拍数を確認できるよう，スマートフォンとスマートウォッチは Bluetooth を介して接続し，計測した脈拍数を表示させた．表示には Android アプリケーションを使用した．開発ソフトは Android Studio，言語は Java を用いた．クライアントであるスマートフォンには，LG Nexus5 を使用した．図 2 はシミュレーターを用いた実験の様子である．

図 2　実験の様子

4.1.3 結果

実験ではゲーム内でさまざまなシチュエーションを体験した．その中でも脈拍の変動が大きかったシーンを抜粋し，以下に示す．10 秒間に 10 拍/分以上の変動があった場合を「脈拍の変動が特に大きかった状況」とし，10 秒間に 4～6 拍/分程度の変動があった場合を「脈拍の変動が大きかった状況」とする．

(1)脈拍の変動が特に大きかった状況
- レース中，コーナーにて，前車を追い越そうと縁石に乗り上げた時にバランスを崩しクラッシュ
- レース中，出口が見えないコーナーに全開で飛び込み，複数の遅い車が走行しているため急ハンドルを切った

(2)脈拍の変動が大きかった状況
- 高速域での追い越し

(3)脈拍の変動が見られなかった状況
- 独走(レース，フリー走行関係なく)

脈拍の変動が特に大きかった状況では脈拍数がその状況に陥る前後で 10～15 拍/分程度上昇している．

これらから，緊張する状況を疑似体験できることがわかった．

© 2019 Information Processing Society of Japan

4.1.4　考察

ゲーム中に想定外の状況に陥り，危険を回避する状況や，ハンドルを想定以上に大きく操作する必要があるときのように，緊張感が高いと感じられた場合は脈拍数に乱れが生じる．しかし，ややリラックスしている状態やハンドルの操作も落ち着いている場合は，脈拍数が安定している．脈拍数に乱れが出る場合は，その多くが脈拍数の上昇ということで乱れが生じた．

これらの結果より，危険を察知した場合や想定外の場合に，脈拍数が上昇する傾向にあると考えられる．逆に，リラックス状態で運転しているときは，脈拍数が安定しているので，脈拍数の上昇を抑えることができれば，危険を察知した場合や想定外の場合に，冷静に対応できるのではないかと推測される．

そこで，脈拍数が上昇した場合，風を当てることで脈拍上昇を抑え，冷静さを保つことができるのではないかと考えた．図 3 は耳に脈拍センサーをつけて本システムで計測した場合と，LG G Watch R で同時に脈拍を計測した例である．計測される脈拍数より，両機器の誤差はほとんどないとわかる．なお，脈拍センサーでの脈拍数は PC 画面に表示されており，下から上へ更新されていく．

図 3 脈拍センサーと G Watch R を使用して同時に脈拍計測を行う様子

4.2　予備実験 2

本節では，電動ファンの適正作動範囲を調査した予備実験 2 について述べる．

4.2.1　目的

予備実験 2 の目的は，電動ファンの適正作動範囲の調査である．

4.2.2　概要

本システムの開発時に，電動ファンの適正作動範囲を調べるため，上限と下限について，「安静脈拍数の中央値に下限を 5 拍/分追加したもの～25 拍/分追加したもの」，「中央値に下限を10拍/分追加したもの～30拍/分追加したもの」，「中央値に下限を 15 拍/分追加したもの～35 拍/分追加したもの」をそれぞれ作製し，実験を行った．たとえば安静時 70 拍/分の人では，「中央値に下限を 10 拍/分追加したもの～30 拍/分追加したもの」では 80 拍/分から 100 拍/分の間で電動ファンが作動する．

4.2.3　結果

最も作動回数が多かった「中央値に下限を 10 拍/分追加したもの～30 拍/分追加したもの」の範囲を本実験にて使用する．表 1 は予備実験 2 の結果である．

表 1　電動ファン動作指定範囲別の平均作動回数

電動ファン作動範囲	回数
中央値に 5 拍/分追加したもの~25 拍/分追加したもの	2.6
中央値に 10 拍/分追加したもの~30 拍/分追加したもの	8.3
中央値に 15 拍/分追加したもの~35 拍/分追加したもの	2.3

4.3　本実験

本節では，本システムを実際に利用した実験について述べる．本研究では，脈拍数に応じて身体に風を当てる場合と，風をランダムに当てる場合，および風を当てない場合の 3 種類の実験を行い，それぞれの結果を比較する．

4.3.1　目的

本実験の目的は，運転時の脈拍の変動を検知し風を送ることで，興奮状態から冷静にできるかの検証である．

4.3.2　実験環境

実験は和歌山大学システム工学部棟 A805(グループウェア研究室)で行った．

本実験の被験者は，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．それぞれ脈拍センサーを耳に装着したまま実験を実施した．実際にゲームをプレイする前に，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，脈拍数の中央値を取る．そこで得られた中央値に 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る．ゲームはそれぞれの実験で，始めに 3 周の練習を行い操作に慣らし，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．

4.3.3　本実験結果

システムを使用して風を当てた場合の電動ファン回転前後の脈拍の変動と，ランダムに風を当てた場合の電動ファン回転前後の脈拍の変動をまとめたのを表 2 に示す．ただし，ランダムの場合のデータ数はシステム有りに合わせている．また，図 4 は被験者 A におけるシステムを使用して風を当てた場合の脈拍の変化，図 5 はランダムに風を当てた場合の脈拍の変化を表したものである．いずれも 2 秒ごとの脈拍数を示している．

© 2019 Information Processing Society of Japan

表 2　電動ファン回転前後の脈拍変動

	シス有		ランダム	
被験者	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

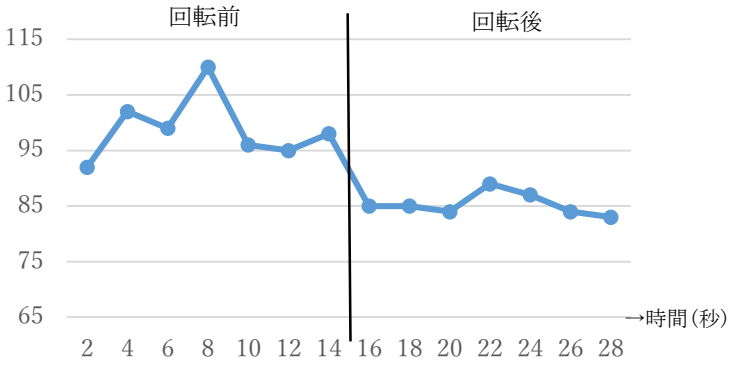

図 4　システム使用時の脈拍数の変化

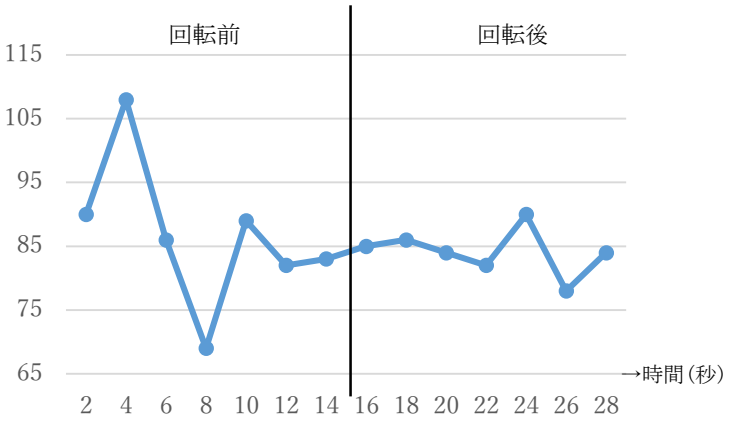

図 5　ランダムに風を当てた場合の脈拍数の変化

© 2019 Information Processing Society of Japan

表 2 に対し，システムを用いた場合とランダムに風を当てた場合で，電動ファン回転前後の脈拍の変動の有意差があるかマンホイットニーの U 検定を用いて検証した．その検定結果を表 3 に示す．検定の欄の記号について，「**」は有意水準 1%で有意差があること，「*」は有意水準 5%で有意差があること，「n. s.」は有意差がないことを示す．

表 3 システムを用いた場合とランダムで風を当てた場合の脈拍の変動の検定結果

被験者	システム有り	ランダム
A	**	n. s.
B	**	n. s.
C	**	n. s.
D	**	n. s.
E	**	n. s.
F	**	n. s.
G	**	n. s.
H	*	n. s.
I	**	n. s.

実験終了後に行ったアンケートの結果を表 4 から表 6 に示す．なお，アンケート結果は，特筆した項目を除き，5 段階評価(1：非常に同意しない，2：同意しない，3：どちらともいえない，4：同意する，5：非常に同意する)による評価結果である．

表 4　システムを用いた実験のアンケート結果

質問項目	平均値	中央値	最頻値
実験は楽しかった	4.8	5	5
風があることでゲームが面白くなった	3.9	4	4
風が吹く時は合っていたか	2.6	2.5	4
ファンの風は適切なタイミングで吹いたか (1：かなり遅い，2：遅い，3：適切，4：早い，5：かなり早い)	4.1	4	4
風力は適切だと感じたか (1：かなり遅い，2：遅い，3：適切，4：早い，5：かなり早い)	2.9	3	3
風を当てられて興奮を抑えることができた	3.1	3	3
風を当てられて冷静になった	3.6	4	4
風を当てられて集中が途切れた	3.6	4	4
風を当てられて運転に支障が出た	2.5	2	2
風を当てられて気分が良くなった	2.0	2	2
風を当てることに効果があると思う	3.9	4	4
本システムを使用してもう一度プレイしたい	4.0	4	4
実験は面白かった	2.7	2.5	2

表 5　システムを用いずランダムに風を当てた実験のアンケート結果

質問項目	平均値	中央値	最頻値
実験は楽しかった	4.8	5	5
風があることでゲームが面白くなった	3.3	3	3
風が吹く時は合っていたか	2.6	2.5	2
ファンの風は適切なタイミングで吹いたか (1：かなり遅い，2：遅い，3：適切，4：早い，5：かなり早い)	1.3	1	1
風力は適切だと感じたか (1：かなり遅い，2：遅い，3：適切，4：早い，5：かなり早い)	2.9	3	3
風を当てられて興奮を抑えることができた	3.6	4	4
風を当てられて冷静になった	3.5	4	4
風を当てられて集中が途切れた	2.5	2	2
風を当てられて運転に支障が出た	2.0	2	2
風を当てられて気分が良くなった	3.1	3	3
風を当てることに効果があると思う	3.5	4	4
本システムを使用してもう一度プレイしたい	4.3	4,5	5
実験は面白かった	4.9	5	5

表 6　風を全く当てなかった実験のアンケート結果

質問項目	平均値	中央値	最頻値
実験は楽しかった	4.5	5	5
興奮を抑えることができた	2.5	3	3
冷静になった	2.4	2	2
集中が途切れた	2.3	2	2
気分がよくなった	2.8	3	3
もう一度プレイしてみたい	4.5	4	4
実験は面白かった	4.5	5	5

3 つの実験で採った共通の質問項目に対し，クラスカル＝ウォリス検定を用いて有意差があるかを検証した．その結果を表 7 に示す．各実験の値はそれぞれの質問項目の平均値を示す．検定の欄の記号について，「**」は有意準 1%で有意差があること，「*」は有意水準 5%で有意差があること，「n. s.」は有意差がないことを示す．なお，各質問項目の「(風を当てられて)」は風ありの場合のみについてである．

表 7　システムを用いた場合とランダムで風を当てた場合及び風なしの場合での脈拍変化の検定結果

質問項目	シス有	ランダム	風なし	検定
この実験は楽しかった	4.8	4.8	4.5	n. s.
(風を当てられて)興奮を抑えることができた	3.6	3.6	2.5	**
(風を当てられて)冷静になった	3.6	3.5	2.4	**
(風を当てられて)集中は続いた	2.5	2.5	2.3	n. s.
(風を当てられて)気分がよくなった	3.9	3.1	2.8	**
もう一度プレイしたい	4.5	4.3	4.5	n. s.
実験は面白かった	4.9	4.9	4.5	n. s.

© 2019 Information Processing Society of Japan

4.3.4 考察

システムを用いて風を当てた場合とランダムで風を当てた場合の脈拍の変動について比較した結果を述べる．システムを使用した場合は全ての場合において脈拍数が減少した．しかし，ランダムに風を当てた場合では回転前の方が脈拍数は低い場合がいくつか見られた．これにより，脈拍数が上昇していない場合に風を当てるより，脈拍数が上昇した場合に風を当てることで脈拍数は減少するということがわかる．

次に，システムを用いて風を当てた場合とランダムで風を当てた場合，および風を当てなかった場合で共通に採った質問項目について，クラスカル＝ウォリス検定を用いて比較した結果を述べる．$p<0.01$ が見られたのは，「(風を当てられて)興奮を抑えることができた」，「(風を当てられて)冷静になった」，「(風を当てられて)気分が良くなった」の 3 つの質問についてである．

これら脈拍数の変化とアンケート結果より，脈拍数が高いときに風を当てると脈拍数が下がり，その結果，興奮が抑制され，冷静になり気分がよくなったと感じると推測される．

5. まとめ

本研究では，風で刺激する安全運転支援システムの開発を行った．本システムは，運転中の脈拍数に応じてリアルタイムで電動ファンを制御し，身体に風を当てることで，身体を風により冷やすことが運転中の興奮を抑え，冷静にすることができるかを検証することを目的としている．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全く当てなかった場合で比較実験を実施した結果，以下のことが分かった．

(1)システムを利用して風を当てる場合は，風を当てた前後で全員に有意差が出たが，ランダムに風を当てた場合は有意差が出なかった．このことから，脈拍数に基づいて風を当てると脈拍数が下がることがわかった．

(2)アンケート結果より風を当てると興奮を抑え，冷静になると感じられたが，特に脈拍数に基づいて風を当てると気分がよくなると感じられた．

これらより，脈拍数が高いときに風を当てると脈拍数が下がり，その結果，興奮が抑えられ，冷静になり気分が良くなったと感じると推測できる．

今後の方針として，脈拍センサーを改良すると共に，脈拍数に応じて風力が変わる機能や，視覚的にも興奮状態が認知できる要素の追加により自分の緊張状態の確認能力がさらに向上することを目指す．また，興奮状態だけでなく，疲労状態に陥った場合にも本システムが作動するようにする必要があると考えている．

参考文献

[1] 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).

[2] 杉江亮輔，荒川俊也，小塚一宏：心拍による長距離運転時の疲労評価および推定・制御の可能性，産業応用工学会全国大会講演論文集，pp.4-5 (2015).

[3] 平林祐司，吉澤 顕，近藤賢志：デンソーの情報通信技術動向，デンソーテクニカルレビュー，Vol. 18，pp. 139-148 (2013).

[4] 浜本貴史，樋口祐介，羅 芝賢：自動車運転技術に関する現状調査と提言，GraSPP ポリシーリサーチ・ペーパーシリーズ，事例研究 2013 年度 (2014).

[5] 矢野経済研究所：2015-2016 車室内・乗員検知システム/センサデバイスの市場展望，C5711930，pp.2-101 (2015).

[6] 佐竹敏英，下谷光生，西田 稔：覚醒低下評価法の検討，自動車技術会学術講演会前刷集 996，pp.29-32 (1996).

[7] 早野順一郎，藤浪隆夫，横山清子：心拍変動と自律神経機能，生物物理，Vol. 28，No.4，pp. 32-36 (1988).

[8] 横山清子，高橋一誠：心拍変動時系列による自動車運転時の主観的疲労感推定の基礎的検討，電子情報通信学会論文誌，Vol. J96-A，No. 11，pp. 756-762 (2013).

[9] 心拍センサー https://www.switch-science.com/catalog/1135/(参照日 2019 年 5 月 10 日)

[10] 電動ファン https://www.irisplaza.co.jp/index.php?KB=SHOSAI&SID=H271116F(参照日 2019 年 5 月 10 日).

[11] グランツーリスモ 6，https://www.gran-turismo.com/jp/products/gt6/(参照日 2019 年 5 月 10 日).

[12]ドライビングフォース G29https://www.logicool.co.jp/ja-jp/press/press-releases/11963 (参照日 2019 年 5 月 10 日).

[13] Phan.D, Siong.L.Y, Pathirana, P.N., and Seneviratno, A:Smartwatch：Performance evaluation for long-term heart rate monitoring, IEEE 2015 International Symposium on Bioelectronics and Bioinformatics (ISBB), pp.144-147 (2015).

[14] G Watch R, https://www.lg.com/jp/mobile-accessories/lg-W110(参照日 2019 年 5 月 10 日

© 2019 Information Processing Society of Japan