

## 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年5月14日現在

機関番号：13301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2012

課題番号：23650349

研究課題名（和文） 安全運転支援の為に先進生体計測技術融合型車内健康スクリーニングシステムの開発研究

研究課題名（英文） Development of a new health screening system for safer driving based on cardiovascular measurements in a finger using the volume-oscillometric principle

研究代表者

山越 健弘 (YAMAKOSHI TAKEHIRO)

金沢大学・機械工学系・博士研究員

研究者番号：70444205

研究成果の概要（和文）：光電容積信号を用いた容積振動法に基づき、血圧、脈圧、心拍数、血管緊張度、および血管弾性度の5生理指標を、指一本から同時かつ簡便に取得可能なプロトタイプを開発した。そしてこの動作性能評価を行い、次いで上記5指標から体調の善し悪しを判別可能かどうかのパイロット・スタディを行った。また、飲酒運転防止を目的とし、光電容積信号を利用した血中アルコール濃度計測の可能性を *in vitro*（アルコール吸光特性試験）及び *in vivo*（飲酒負荷試験）下で予備検討した。

研究成果の概要（英文）：A simplified system for health screening from cardiovascular parameters obtained non-invasively in a finger using the volume-oscillometric technique was developed and its preliminary assessment was conducted. An automated instrument made simultaneous measurements of key cardiovascular parameters, including blood pressure, pulse pressure, heart rate, normalized pulse volume as an index of  $\alpha$ -adrenalin-mediated sympathetic activity, and finger arterial elasticity. We tested a prototype instrument in healthy volunteers during day-to-day living, including a sleep deprivation as physiological challenge. In conclusion, the system we have developed has allowed the periodic collection of physiological data in a convenient and expeditious way without any failure, demonstrating the possibility to detect an adverse effect on health. In addition to this study, blood alcohol measurement using the optical principle was investigated in order to reduce health- and alcohol-related motor vehicle accidents as novel vehicle safety-locks.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	2,900,000	870,000	3,770,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学・リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：安全科学, 健康・福祉工学, 生体情報計測, 情報システム, 電子デバイス・機器

### 1. 研究開始当初の背景

“自動車社会”と呼ばれるように、車は日常生活の必需品の一つになっている。(財)自動車検査登録情報協会の統計によると、日本にお

ける車の保有台数は一世帯当たり 1.1 台と報告されており、通勤、レジャーと毎日車に乗る機会が多い。それに伴い、交通事故は増加の一途をたどっており、深刻な社会問題にもなっている。そこで、運転する直前の健康状

態（例えば、血圧、心拍数、血中酸素飽和度、血糖値、血中アルコール濃度、ストレス度、血管健康度など）を「指1本」から「短時間」かつ「簡便」に走行前あるいは停車中にチェックし、運転者自身のその時点における健康状態を知った上で、運転に対する安全運転意識の向上に役立たせることは、交通事故防止という観点、さらに日々の健康管理という観点からも今後の社会的要請は確実に高まって行くと思われる。

## 2. 研究の目的

本研究課題では、我々が従来までに開発してきた各種非侵襲生体計測技術を融合し、新たな健康スクリーニングシステムを提案・試作・検証して実用化に結びつけることを最終目標としている。

そのために本研究では、まず、使い易さを念頭に置いた装置システムの全体構想を行い、計測原理が確立されており、かつ重要な生理指標である血圧（systolic, mean, and diastolic blood pressure; SBP, MBP, DBP）、脈圧（pulse pressure; PP）、心拍数（heart rate; HR）、ストレス度（基準化容積脈波: normalized pulse volume; NPV）、および血管健康度（手指血管弾性指標: finger-artery elasticity index; FEI）の5指標を同時に取得できるようなプロトタイプを開発を行うことを第一の目的とした。次いで、このプロトタイプの動作性能評価として、明らかに健康状態が悪くなった場合（本研究では断眠後に着目）に当該生理指標に表れうるかどうか、そして5指標から体調の善し悪しを、線形判別分析にて判別可能かどうかのパイロット・スタディを行い、今後の研究課題を明らかにすることを第二の目的とした。

上記と平行して、近赤外領域における複数波長の光電容積信号（脈波）を利用した血中アルコール濃度（blood alcohol concentration; BAC）計測の可能性を *in vitro*（アルコール吸光特性評価）および *in vivo*（アルコール負荷試験）条件下で予備検討することを第三の目的とした。

## 3. 研究の方法

被験者試験に関しては、金沢大学医学部倫理委員会の承認を得た後、十分な実験主旨説明を受け、所定の同意書にサインした健常者を対象とした。

(1) プロトタイプの開発：我々のグループでこれまでに開発してきた光電容積信号（特に光電容積脈波）を基盤とした生体計測技術を利用し、BPとPP（=SBP-DBP）は容積振動法（Yamakoshi *et al.*, *Med Biol Eng Comput*,

20(3), 307-13 & 314-8, 1982) を、ストレス度は末梢血管緊張度を指標とする NPV (Sawada *et al.*, *Int J Psychophysiol*, 41(1), 1-10, 2001) を、血管健康度は PP と NPV を関数とする FEI (Tanaka *et al.*, *Physiol Meas*, 32(11), 1869-83, 2011) をそれぞれ利用し、これらの情報を手指から同時かつ1分以内に取得可能な卓上型の装置を試作した。また同時に、計測波形や解析値を PC 上でリアルタイムに演算・表示できるようなソフトの開発も行った。

(2) 動作性能評価試験：健常若年・中年成人男女5名の参加者を対象として、2週間に渡る日常生活下の計測を行い、またその期間中に4名の参加者に対しては33時間断眠により健康状態を意図的に操作し、本提案システムの動作性能と断眠期間の生理指標の変動を確認した。なお、本指式容積振動法 BP の計測精度の確認として、上腕式カフ振動法 BP (HEM-907, オムロンヘルスケア(株)) も参考値として計測した。

(3) 体調判別検証試験：健常若年成人男性10名 ( $21.8 \pm 0.8$  SD 歳) の参加者を対象として、10日間に渡る日常生活下の計測を行い、またその期間中に30時間断眠により健康状態を意図的に操作し、本提案システムによって得られる5指標を線形判別分析することで、体調の善し悪しが判別可能かを検証した。

(4) 光学式 BAC 計測の可能性探索：まず、近赤外領域におけるアルコール固有の吸光特性を分光分析器 (Spectrum One NTS, (株) パーキンエルマー・ジャパン, 神奈川: 波長範囲 800-2500 nm) にて確認した。次いで、そのアルコール固有の吸収波長の光電容積脈波を利用した新計測原理 (パルス・アルコメトリと命名) を提案し、その原理に基づく試作機を開発し、飲酒負荷試験により原理の予備検証を行った。

## 4. 研究成果

(1) プロトタイプの開発：全体システムの外観を図1に示す。試作システムは机上に設置できる程度のコンパクトな設計と成っており、(i) 透過型光電容積センサ（以下、光電センサと略）、(ii) アクチュエーター、(iii) 記録処理部（以下、計測ユニットと略）、及び (iv) 計測表示・制御部 (vostro1200, Dell Inc.)

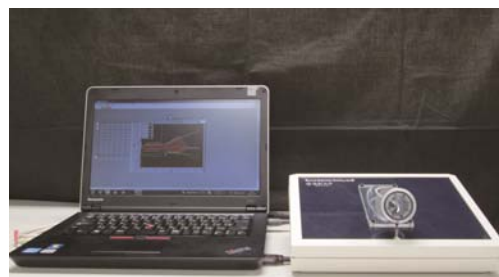


図1 全体システムの外観

(以下、PC と略) から成る。計測ユニット内のセンサ部は手指が挿入できるような筒状になっており、その中の全周カフに光電センサとして、近赤外発光ダイオード (LED: SMC810, Epitex Inc., 波長: 810 nm) とフォトダイオード (PD: BPW34FAS, OSRAM GmbH) が対向して組み込まれている。また、手指を挿入すると基節および中節部分がカフによって全周圧迫される機構となっており、光電センサの位置は指基節部付近になるように配置されている。

計測は、手指を挿入し、PC 側からのコマンド送信により開始され、一定カフ圧にて基準化容積脈波 (NPV) と心拍数 (HR) 測定が行われる。その後、予め設定された加圧上限値までカフ圧を上昇させ、この加圧過程で容積振動法による血圧 (BP) 計測と指動脈弾性指数 (FEI) 計測が行われる。これらの計測中は、PC 側に光電センサからの光電容積信号の直流成分 ( $PG_{dc}$ ) と交流成分 ( $PG_{ac}$ )、及び圧センサからのカフ圧の各信号が送信され、リアルタイムで波形表示、そしてそれぞれの計測原理に基づき血圧値、FEI 値等が演算され、結果が表示される (LabVIEW 2009, National Instruments Corp.)。

計測ユニットでは LED を 300 Hz のパルス電流により駆動し、これに対応する信号をプリアンプで増幅後、検波器、直流増幅器、交流増幅器 (周波数特性 1~20 Hz (-3 dB)) を通して、 $PG_{dc}$  と  $PG_{ac}$  を取り込む。このとき外乱光除去制御器の出力により、PD 出力に含まれる外乱光成分が除去される。なお、 $PG_{dc}$ 、 $PG_{ac}$ 、及びカフ圧は、量子化数: 12 bit、サンプリング周波数 300 Hz の条件でマイクロプロセッサの AD 変換部に入力され、LED の駆動パルスに同期してデジタル変換し、MPU に取り込まれる。その後、ソフトウェア的にハムフィルタ処理を行い、データ数を 1/3 に間引いたサンプリング周波数: 100 Hz の信号として、USB を介して PC へ送信される。

(2) 動作性能評価試験: 試作システムは期待通りに動作し、循環系の総合的指標である BP、心臓活動の指標である HR、その背後を成す自律神経系の指標である NPV、及び細動脈血管の硬さの指標である FEI を指一本から同時計測することができた。また、日常生活下における 2 週間の連日測定予備実験の結果からは、本機は繰り返し安定して計測可能であり、主観的な眠気や疲労に応じて各種生理指標が変化している様子を確認した。参考までに、従来から一般的に使用されている上腕式カフ振動法による BP と本法による BP の偏差 (上腕-本法) の平均  $\pm S.D.$  を全計測数 (5 名  $\times$  125 データ = 625 データ) で算出すると、SBP が  $-5.4 \pm 7.0$  mmHg、MBP が  $-2.5 \pm 9.0$  mmHg、DBP が  $-1.1 \pm 9.7$  mmHg であった。バ

イアスが 3 指標共に負となっており、本法の方が高値を示す傾向であったが、そもそも一般にカフ圧迫法の原理による間接 BP 計測は、カフ加圧 (あるいは減圧) 速度に由来した誤差は避けられないものであり、その計測誤差 (上腕:  $\pm 3$  mmHg; 本法:  $\pm 5$  mmHg; 即ち、両者の差を考えた場合、最大で  $\pm 8$  mmHg の誤差を与える場合がある) を考慮すると、本法による手指 BP は、色々な計測条件下においても上腕部による間接 BP を十分反映していると考えられた。

(3) 体調判別検証試験: 10 日間に渡る日常生活下の計測を行い、各被験者のデータのうち、実験 4 日目 (断眠後) の 7 時、10 時、13 時、16 時の計測データを「断眠後の生理状態 SD (sleep deprivation)」, それ以外を「通常の生理状態 BL (baseline)」と分類し、線形判別分析を行った。その結果を表 1 に示す。表 1(a) には、各指標の標準化判別係数、判別への影響度を示す  $F$  値及び  $p$  値が示されており、表 1(b) には、判別式による判別の中率 (感度・特異度) と陽性・陰性的中率が示されている。表から、今回の条件下では、HR の  $F$  値が最も高く、断眠後の生理状態の判別において重要な指標であること、また判別の中率が全体 (感度と特異度の平均) で 72.3% であり、良好な結果が得られていることが判る。以上より、本装置から得られる指標を総合的に分析することで、運転に好ましくない体調の一つである断眠後の体調不良を判別できる可能性が高いことが示唆された。

表 1 全被験者の線形判別分析結果

(a) Linear discriminant function			
Indices	Standardized coefficient	$F_{1,254}$	$p$ -value
MBP	0.0604	0.22	n.s.
PP	-0.0712	0.34	n.s.
HR	0.8148	55.48	<.01
NPV	0.5574	18.32	<.01
FEI	-0.3794	7.73	<.01

(b) Result				
		Predicted		% -Correct classification
		BL	SD	
Observed	BL	172	48	Specificity 78.2%
	SD	9	31	Sensitivity 77.5%
% -Correct prediction	Negative predictive value			
	95.0%	Positive predictive value	39.2%	

(4) 光学式 BAC 計測の可能性探索：光学的手法による BAC 計測法開発のために、まず *in vitro* 条件下による基礎実験を行い、生理的許容範囲のエチルアルコール濃度で、アルコール固有の吸収波長 (905 nm, 1185 nm, 及び 1690 nm) を利用して線形重回帰分析による濃度予測を行った。その結果、血中に巡る程度の極めて低い濃度のエチルアルコールの定量が可能 (重相関係数=0.99, 平均予測誤差=0.12 mg/ml) であることが確認された。また、濃度予測の妨害となり得るグルコースとアルコールの代謝物であるアセトアルデヒドが共存する条件下でもエチルアルコールの濃度予測が可能 (重相関係数=0.98, 平均予測誤差=0.19 mg/ml) であることが示された。

次いで、そのアルコール固有の吸収波長の光電容積脈波を利用した新計測原理 (パルス・アルコメトリ) を提案し、その提案原理に基づく試作機、すなわち、アルコール固有の吸収波長である 1185 nm と、その前後直近の 1150 nm, 1220 nm の 3 波長を同時に取得可能な指先部光電容積脈波計測装置を新たに開発した。さらに *in vivo* 条件下において本装置の予備検証を行い、同一個人内においては BAC の予測が可能 (3 名の平均で、相関係数=0.82, 平均予測誤差=0.23 mg/ml) であることが示された。この結果は、光学式の BAC 簡易計測の実現可能性を示唆するものであった。

今後は本システムを用いて実使用場面で同様の実験を行い、温熱環境の変化による判別への影響を検証すると共に、断眠以外の運転に好ましくない状況における生理状態のデータも収集しながら、「車内」「運転開始前」という状況にて正確に体調を判別する手法 (汎用性の高い評価関数の作成等) について探究することが今後の重要な課題である。また、健康スクリーニングに加えて、簡便にアルコールスクリーニングできるような新技術が全世界的に求められていることから、この具現化に向けた更なる検証が必要である。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

- (1) 山越健弘<sup>§</sup>, 小川充洋, 松村健太, 宮崎慎平, 板坂優希, 井田孝之, 山越康弘, 廣瀬元, 山越憲一, 血中アルコール濃度の非侵襲光学的計測法確立に向けた基礎的検討—近赤外領域における希薄エチルアルコール溶液濃度の定量化—, 電気学会論文誌 C (電子・情報・システム部門誌), 査読有り, 132 巻, 12 号, 2012, pp.2059-2064

DOI: 10.1541/ieej.iss.132.2059  
<http://dSPACE.lib.kanazawa-u.ac.jp/dSPACE/handle/2297/33435>

- (2) M. Ogawa<sup>§</sup>, T. Yamakoshi, K. Motoi, K. Nishida, Y. Yamakoshi, K. Yamakoshi, Determination of concentrations of glucose and human serum albumin in mixtures in phosphate-buffered solution by near-infrared spectroscopy, *Sensors and Materials* (0.34 Impact Factor), Peer-reviewed, Vol.24, No.6, 2012, pp.323-333
- (3) 山越健弘<sup>§</sup>, 小川充洋, 松村健太, 板坂優希, 宮崎慎平, 山越康弘, Peter ROLFE, 廣瀬元, 山越憲一, 光電容積脈波式血中アルコール濃度計測装置の開発—*in vivo* 試験による予備的検討—, 生体医工学, 査読有り, 50 巻, 2 号, 2012, pp.237-247  
 JOI: DN/JST.JSTAGE/jsmbe/50.237  
<http://dSPACE.lib.kanazawa-u.ac.jp/dSPACE/handle/2297/31955>
- (4) 山越健弘<sup>§</sup>, 松村健太, 花木翔太, 五十嵐朗, Peter ROLFE, 李知炯, 山越康弘, 廣瀬元, 山越憲一, 安全運転支援・健康管理のための各種循環生理指標簡易同時計測システムの開発, 生体医工学, 査読有り, 50 巻, 2 号, 2012, pp.227-236  
 JOI: DN/JST.JSTAGE/jsmbe/50.227  
<http://dSPACE.lib.kanazawa-u.ac.jp/dSPACE/handle/2297/31954>
- (5) 松村健太<sup>§</sup>, 山越健弘, 作業検査式イグニッション・インターロック装置開発に向けた標準的な検査性能評価法の提唱, 認知心理学研究, 査読有り, 9 巻, 2 号, 2012, pp.125-135  
 DOI: 10.5265/jcogpsy.9.125
- (6) 野川雅道, 山越健弘<sup>§</sup>, 松村健太, 田中志信, 小川充洋, 本井幸介, 山越憲一, 圧-容積曲線変曲点に着目した容積振動型収縮期・拡張期血圧決定法の提案, 生体医工学, 査読有り, 49 巻, 6 号, 2011, pp.968-976  
 JOI: JST.JSTAGE/jsmbe/49.968

[学会発表] (計 6 件)

- ① 花木翔太, 松村健太, 山越憲一, 五十嵐朗, Peter Rolfe, 李知炯, 田中志信, 野川雅道, 山越康弘, 山越健弘, 車内ヘルス・スクリーニングシステムの研究開発—体調の判別に関する基礎的検討—, 日本生体医工学会北陸支部大会論文集 (福井), 2012 年 12 月, pp.9-10  
 ※平成 24 年度日本生体医工学会北陸支部大会研究敢闘賞受賞課題
- ② T. Yamakoshi, K. Matsumura, S. Hanaki, A. Ikarashi, P. Rolfe, J.H. Lee, Y. Yamakoshi, H.

Hirose, K.H. Kim, K. Yamakoshi,  
Development of an in-car health screening  
system based on the simultaneous  
measurement of cardiovascular variables, In:  
Proceeding of the IFMBE - World Congress  
2012 on Medical Physics and Biomedical  
Engineering (Beijing; China), Vol.39, May  
2012, TH.17/04.3P-03

- ③ 花木翔太, 松村健太, 山越憲一, 五十嵐  
朗, Peter Rolfe, 小西英明, 田中志信, 野  
川雅道, 小川充洋, 本井幸介, 李知炯, 山  
越康弘, 廣瀬元, 山越健弘, 安全運転支  
援・体調管理を目指した各種循環生理指  
標簡易同時計測システムの試作と予備評  
価, 第51回日本生体医工学学会大会生体医  
工学論文集(博多), 50巻, 1号, 2012年5  
月, O3-06-1
- ④ 宮崎慎平, 山越健弘, 小川充洋, 松村健  
太, 板坂優希, 山越康弘, Peter Rolfe, 廣  
瀬元, 山越憲一, 光電容積脈波式血中ア  
ルコール濃度計測法の提案と *in vivo* 試験  
による予備評価, 第51回日本生体医工学  
学会大会生体医工学論文集(博多), 50巻, 1  
号, 2012年5月, P1-04-1
- ⑤ 花木翔太, 松村健太, 山越憲一, 五十嵐  
朗, Peter Rolfe, 小西英明, 田中志信, 野  
川雅道, 小川充洋, 本井幸介, 李知炯, 山  
越康弘, 廣瀬元, 山越健弘, 安全運転支  
援・体調管理のための各種心血管系指標  
簡易同時計測システムの試作とその予備  
評価, 日本生体医工学学会北陸支部大会論  
文集(金沢), 2011年12月, pp.5-6  
※平成23年度日本生体医工学学会北陸支  
部大会研究奨励賞受賞課題
- ⑥ M. Ogawa, K. Motoi, T. Yamakoshi, M.  
Nogawa, Y. Yamakoshi, M. Shibata, K.  
Yamakoshi, A new proposal of tailored  
bioinstrumentation using rapid prototyping  
and three-dimensional CAD -First trial to  
develop individually designed cuff-units for  
continuous blood pressure measurement-, In:  
Proceeding of the 33rd Annual International  
Conference of the IEEE Engineering in  
Medicine and Biology Society (Boston;  
USA), Sept 2011, pp.3994-3997

[図書] (計1件)

- (1) M. Ogawa, T. Yamakoshi<sup>§</sup>, K. Matsumura,  
K. Motoi, K. Yamakoshi, IGI Global, A  
new non-invasive *in vivo* optical blood  
glucose measurement technique using  
near-infrared radiation named "Pulse  
Glucometry" and proposal of blood  
constituents measurement "Pulse  
Hemo-photometry", Wu J ed,  
Technological Advancements in  
Biomedicine for Healthcare Applications,

Pennsylvania, USA, IGI Global, 2012,  
pp.18-26  
DOI: 10.4018/978-1-4666-2196-1.ch003.

[その他]

- ① 平成23年10月25日 北國新聞にて「運  
転前指1本で健康チェック」が掲載。  
[http://www.toyama.hokkoku.co.jp/subpage/  
H20111025103.htm](http://www.toyama.hokkoku.co.jp/subpage/H20111025103.htm)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

山越 健弘 (YAMAKOSHI TAKEHIRO)  
金沢大学・機械工学系・博士研究員  
研究者番号: 70444205

### (2) 研究分担者

山越 憲一 (YAMAKOSHI KEN-ICHI)  
金沢大学・機械工学系・教授  
研究者番号: 40014310

松村 健太 (MATSUMURA KENTA)  
金沢大学・機械工学系・博士研究員  
研究者番号: 30510383