

## ドライバーの覚醒低下警告・防止に向けた技術開発

金子成彦\*      藤田悦則\*\*

わが国では最近の度重なる居眠り運転事故によってその悲惨さが認知され、居眠り運転の防止に社会的関心が高まっている。居眠り運転を防止するためには危険な状態を検知し、警告することが有効である。しかし、居眠り自体を検知できたとしても、すでに事故が起こっている可能性が高いため、事故防止効果は薄い。このため入眠に至る前の入眠の予兆現象を検知する必要がある。本稿では、入眠の予兆現象の検知に関する筆者らのグループによる研究開発の経緯と現状について、解説を行う。

### Research and Development for Preventing Deterioration in the Driver's Level of Arousal and Maintaining the Level of Arousal

Shigehiko KANEKO\*      Etsunori FUJITA\*\*

Due to a series of recent tragic car accidents caused by drowsy driving in Japan, the prevention of drowsy driving is drawing increasing attention. One effective approach to preventing drowsy driving could be to monitor the driver's health, detect the driver's state, and give warning to the driver. However, even if the driver's state is successfully detected, a car accident may have already been caused by drowsy driving. Therefore, detecting the driver's state is not a practical solution. In this context, it is vital to detect symptoms before the driver falls into a drowse. This paper summarizes the history of research and development by the author's group on detecting symptoms of drowsiness.

#### 1. まえがき

2012年4月29日に関越自動車道でツアーバスの運転手が居眠り運転をしたことにより防音壁に衝突し、7人が死亡、39人が重軽傷を負う事故が起こった。総務省が平成21年に貸切バス運転手136人に行った調査では、運転手の89%が運転中、睡魔に襲われたり居眠りしたりした経験があると答えた<sup>1)</sup>。このことから、この居眠り運転事故は特殊な事例ではなく、

いつでも起こりうる事故であると考えられる。居眠り運転事故の悲惨さが認知され、居眠り運転の防止に社会的に関心が高まっている。

居眠り運転を防止するためには危険な状態を検知し、警告することが有効である。しかし、居眠り自体を検知できたとしてもすでに事故が起こっている可能性が高いため、事故防止効果は薄い。このため入眠に至る前の入眠の予兆である現象（以下、入眠予兆現象）を検知する必要がある。また、運転者の眠気は運転時間中に徐々に上昇し、我慢ができなくなった時点で入眠すると考えられるので、運転者の眠気の推移を検知することも同様の効果が期待できる。

筆者らの研究グループは、ドライバーの状態見守りシステム(**Fig.1**)を構築し、安心・安全社会実現に

\* 東京大学大学院工学系研究科機械工学専攻教授  
Professor, Dept. of Mechanical Engineering,  
The University of Tokyo

\*\* (株)デルタツーリング常務取締役  
Executive managing director,  
Delta Tooling Co.  
原稿受理 2013年3月21日





Fig. 2 着座センサーシート

長時間運転時にドライバーの生体信号を、運転の邪魔にならないシートバック部分から着座センサーによって取得するためのシートの開発を提案し開発した(Fig.2)。このシートの背面には、一対の着座センサー(図中では導波管型センサー)が装着されている。以下に、着座センサーの詳細について紹介する。

着座センサーに用いられている振動を伝えるフィルムはポリエステル系ウレタンエラストマーシートで、内部にはメカニカルフィルターとしての機能を持った三次元立体編物(以下、3Dネット)が装入され、ウレタンエラストマーシートと3Dネットの間には空気層が確保されている。3Dネットは、ばねゼロを作ることに寄与しており、衣服の影響を受けない状態での脈波の測定を可能にしている。また、着座センサー内の圧力変動はマイクログフォンで電気信号に変換される。

### 2-2 背部大動脈脈波の揺らぎ信号検知アルゴリズム

着座センサーによって得られた生体信号波形の一例をFig.3に示す。呼吸成分由来と思われる長周期大振幅の成分と、脈波由来と思われる短周期小振幅の成分と、電氣的・機械的なノイズと思われる成分が含まれていることが分かる。また、Fig.4には、指先に取り付けたプローブによって測定された指尖容積脈波波形を、着座センサーによって得られた生体信号波形との比較のために示す。

本研究では、脈波成分のみを検討対象としているため、呼吸由来の成分や電氣的・機械的ノイズ成分を除去する必要がある。脈波成分を強調するためにはセンサー信号の原波形の2階微分をとり、電氣的・機械的ノイズ成分を除去するために、高周波成分を

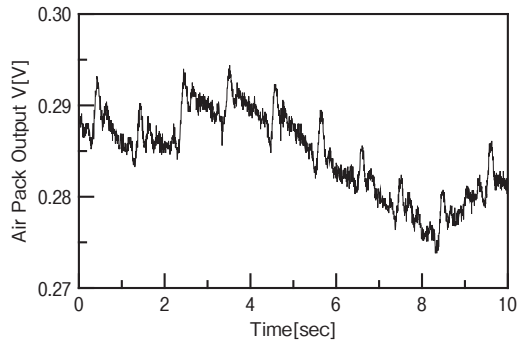


Fig. 3 着座センサーによって取得された生体信号

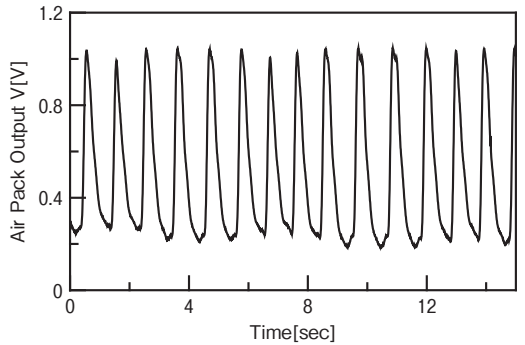


Fig. 4 指尖容積脈波波形

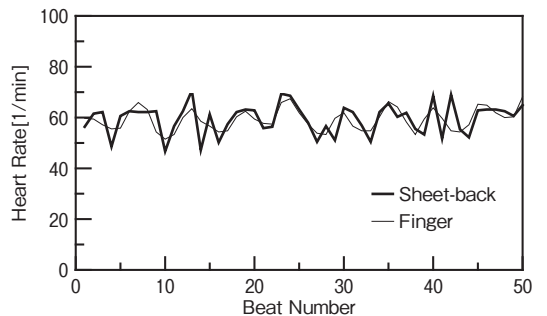


Fig. 5 指尖容積脈波と着座センサー信号から求めた心拍数の比較

カットするフィルタリング操作を行った。また、最終的に得たい心拍変動を求めるときには、機械システムの故障診断に用いられる手法を参考にして、同期加算、絶対値処理、ヒルベルト変換の3種類の信号処理手法を用いて結果を比較検討し、最適な手法を採用することとした。ヒルベルト変換を用いた結果と絶対値処理によるものを比較したところ、ほとんど差がなく、絶対値処理が適当と判断し、この方法を採用している<sup>5,6)</sup>。

Fig.5は、指尖容積脈波と着座センサー信号から求めた心拍数を比較して示したものである。このように、着座センサーからの信号に適切な信号処理を施

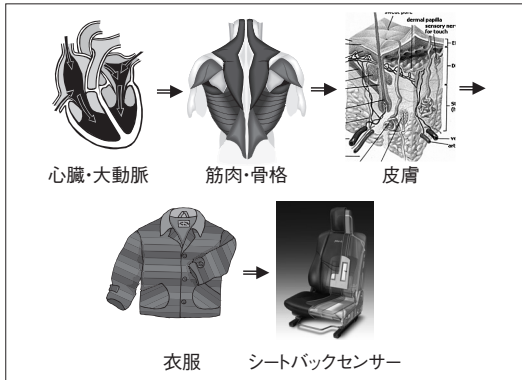


Fig. 6 脈波が着座センサーに到達するまでの信号の流れ

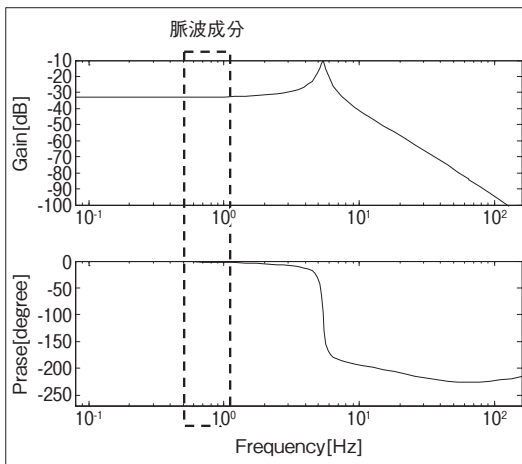


Fig. 7 背部大動脈の血圧変動に対するセンサー内圧変動の伝達関数

すことによって、心拍数の変化をほぼ正確に把握することができることが分かる。

### 2-3 伝達関数による着座センサーの動特性

脈波が着座センサーに到達するまでの信号の流れを、Fig.6に示す。背部大動脈の血圧変動が、筋肉・骨格を通して皮膚を加振し、衣服を経由して着座センサーを振動させる。その振動は、圧力変化として計測される。背部大動脈の血圧変動が皮膚を加振する部分を粘弾性モデル、また、衣服の効果も粘弾性モデルを仮定し、着座センサーの振動が圧力に変換される部分には圧力伝播モデルを仮定して、これらのモデルを結合することで、背部大動脈の血圧変動に対するセンサー内圧変動の伝達関数を求めることが可能となる。求められた伝達関数の一例をFig.7に示す。

脈波成分の周波数帯域である0.5~2.0Hz付近ではゲインも位相も変化が小さく、フラットな特性が得

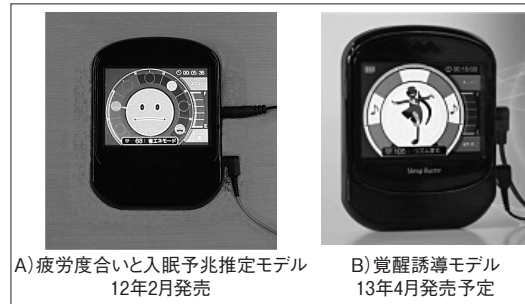


Fig. 8 トラック・バスドライバー用に販売開始した状態推定・覚醒誘導装置

られていることが分かる。衣服の影響をばね定数の変化と仮定して計算しても共振周波数の変化の程度は小さく、測定対象となる周波数帯ではその影響を受けにくいことが判明している。これら、一連の研究によって、指先で測定した指尖容積脈波から得られる脈波の揺らぎ情報と同等の情報を、シートに取り付けた着座センサーによって、取得できることが確認された。

## 3. トラック運転手用体表脈波計測装置への展開

### 3-1 研究の背景

近年、国土交通省の「運輸安全マネジメント制度」<sup>7)</sup>の導入等により経営トップから現場まで一丸となって安全管理体制の構築・改善を図る活動が行われてきた。しかし、大手事業者と中小事業者の間には、安全意識・安全対策にギャップが存在し、中小事業者の安全対策のレベルを上げることが課題となっている。そこで、中小事業者が容易に導入することができ、運転者の体調管理や走行中に生じるさまざまな事故の要因を軽減するシステムの開発が望まれている。

筆者らのグループは、シートではなく運転席の背もたれ部分に設けたセンサーマットから非拘束で取得される、体表脈波による体調管理システムを提案している<sup>8,9)</sup>。

### 3-2 装置と信号処理方法

Fig.8は、トラック・バスドライバー用に販売開始した状態推定・覚醒誘導装置を示す。背中からの体表脈波や呼吸、および体動を含んだ圧力変動波形を、マイクロフォンを用いたセンサーユニットから5 msecの時間間隔でA/D変換を行い、内部CPUで眠気や疲労等の状態推定の演算をリアルタイムで行っている。

その手順は以下のとおりである。まず、センサー



Fig. 9 システムのトラックへの装着状態

ユニットで得られた圧力変動波形に平滑化2階微分を適用する。平滑化2階微分を適用することで、呼吸や体動といった低周波帯域と高周波帯域のノイズ成分を同時に除去し、1拍ごとの変動成分を強調する。次に、平滑化2階微分波形に全波整流を適用し、尖頭波検波を検出するためのピークを作成する。最後に、全波整流波形に検波を適用後、所望の帯域である0.5~3.0Hzのローパスフィルタとハイパスフィルタを組み合わせて、体表脈波の検出を行う。

### 3-3 トラック運転手の体調推定法

事業用のトラック・バスの運転手による交通事故件数は比較的少ないものの、事故が発生した場合、重大事故に結び付きやすい。そこで筆者らは、運転席の背もたれ部分に設けたセンサーマットから非拘束で体表脈波を計測し、運転手の体調の変化、集中力の有無、眠気の発生、入眠予兆現象を把握可能な常時モニタリングシステムを開発し、トラックの運転台に装着した(Fig.9)。その後、トラック・バス事業者への実証実験により、事業者・運転手が本システムを活用し易くするための改善も行った<sup>10)</sup>。

## 4. 眠気推定関数による入眠予兆

別の方向からの研究として、筆者らは脈波の揺らぎから算定できる平滑化したRR間隔<sup>\*1</sup>と主観的な眠気の強さには相関があることを見つけ<sup>11)</sup>、この関係を定量化するために、被験者毎に得られる眠気推定関数 $S(x)$ から、眠気の強さ、睡眠中の時間帯を推定することを目指して研究を行った。

### 4-1 実験

実験ではRR間隔と眠気の間を検討するために、RR間隔を測定しながら、眠気の時間変化を記録する実験を行うこととした。RR間隔は脈波を計測することで、測定する。眠気の変化を記録する方法として、主観的眠気評価尺度Visual Analogue Scale(VAS)を用いる。このVASに記録した被験者の主観的な眠気は0~100点に変換され、0点が「とても目覚めている」

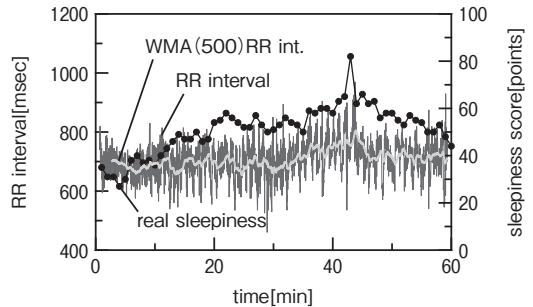


Fig. 10 被験者AのRR間隔とそのWMAの推移および眠気得点の推移

を、点数が上がるにつれて眠気が強いことを、そして100点が「とても眠い」を表す。

実験は、RR間隔の日内変動の影響を軽減するために、14時~16時の時間帯で行うこととした。また、同様の理由で、実験2時間前から、被験者の飲食、喫煙を禁止した。被験者は、指先に脈波測定器を装着し、自動車用シートに座り、目の前のタイマーを見ながら1分毎にVASに眠気を記録させた。なお、実験時間は60分とした。

### 4-2 結果と考察

上記の実験を、22~23歳の男性被験者A~Fの6人に対して行った。Fig.10に被験者AのRR間隔、平滑化したRR間隔および眠気得点の推移を示す。図中の平滑化したRR間隔は、式(1)に示す、データ点数 $m=500$ のときの線形加重移動平均(WMA)である。

$$WMA_i = \frac{mp_i + (m-1)p_{i-1} + \dots + 2p_{i+2} + p_{i+1}}{m + (m-1) + \dots + 2 + 1} \dots\dots(1)$$

被験者A~Fの実験結果において、平滑化したRR間隔と眠気得点の相関の強さを定量的に評価するために、500点WMAと眠気得点の相関係数を求めたところ、被験者C以外においては高い相関係数が得られた。

また、RR間隔の $m$ 点WMAと眠気得点の相関係数は、 $m=1000$ のときに、比較的高いことが分かった。そこで、Fig.11に、RR間隔の1000点WMAと眠気得点の散布図を示し、最小2乗法によって両指標から近似した1次関数を描いている。図より、この1次関数は、各被験者固有の関数であることが分かる。次に、この各人固有の1次関数を眠気推定関数 $S(x)$ としたとき、この関数を用いてRR間隔のWMAから

\*1 心臓が収縮するときに発生する電気の流れを示すR波の間隔を表す。

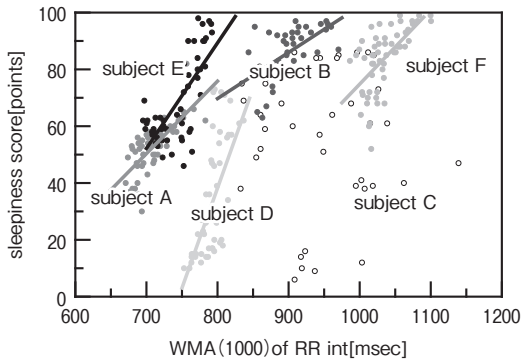


Fig. 11 各被験者の1000点WMAと眠気得点の散布図および両指標を最小2乗法により近似した1次関数

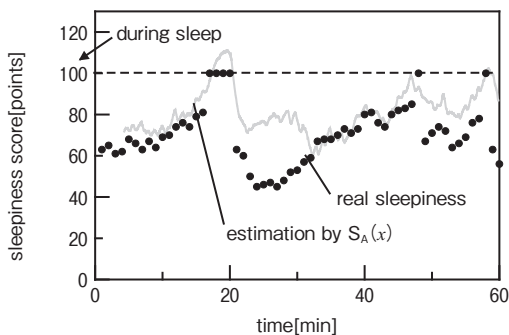


Fig. 12 被験者Aの2回目の実験における眠気得点と $S_A(x)$ より求めた眠気

眠気得点を推定することが可能であるか確かめる。

被験者Aに2回目の実験を行い、2回目の実験の眠気得点と、1回目の実験結果から得られた $S_A(x)$ を利用して推定した眠気得点を比較した。それらの比較をFig.12に示す。この図より、すべての睡眠中の時間帯が推定できていることが分かる。

このように、眠気の程度とRR間隔の間には強い相関があり、この情報を活用すれば、眠気の到来が近いことをドライバーに伝えることができる。ただし、眠気推定関数は個人に依存するため、脈波から得られる情報を用いて個人差によらない眠気推定を行うことを目標としたベイズ推定を用いた入眠予兆の研究を現在進めているところである。

## 5. おわりに

本稿では、入眠予兆や眠気推定を実現するためのハードとソフト両面にわたるアイデアからシステム開発までの流れについて概略を述べた。今後、予測精度を高めるためには、データ数を増やし検証を重ねる必要がある。また、複数の指標を基にしたベ

ズ統計理論に基づいた入眠予兆判定を取り入れるなどして、さらなる精度向上を可能とするアルゴリズムの改善が望まれている。

[謝辞]

本研究の初期の頃の成果は、JRTTの運輸分野における基礎的研究推進制度(2004-02)「入眠予兆検知着座センサーによる居眠り運転防止技術の開発」のご支援によるものである。また、多くの被験者のご協力を得て有意な知見が得られたものであり、この場を借りて感謝申し上げる次第である。なお、トラックドライバーの体調推定の部分は、平成22年度国土交通省運輸安全パイロット事業「先進安全技術の活用等による運輸安全対策事業」の支援を受けて実施されたものである。実験にご協力いただいたトラック事業者および運転手の皆様に感謝いたします。

## 参考文献

- 1) 産経ニュース「【高速バス衝突】旅行会社→バス会社→運転手 強要の連鎖、しわ寄せは『安全』に」▶<http://sankei.jp.msn.com/affairs/print/120501/dst12050100300001-c.htm> 2012年5月1日アクセス
- 2) 金子成彦他「研究開発の目的と実施体制」『研究成果(最終版)入眠予兆検知着座センサーによる居眠り運転防止技術の開発』p.3、2004年
- 3) 金子成彦、山崎由大「脈波計測の意義の物理的検証と計測法の妥当性を裏付けるための根拠調査」『研究成果(最終版)入眠予兆検知着座センサーによる居眠り運転防止技術の開発』pp.35-85、2004年
- 4) 藤田悦則他「覚醒状態を維持する着座姿勢とシート構造に関わる研究」『研究成果(最終版)入眠予兆検知着座センサーによる居眠り運転防止技術の開発』pp.160-200、2004年
- 5) 金子成彦、三好竜介「シートに取り付けた脈波計測用エアパックセンサーのモデリング」『日本機械学会福祉工学シンポジウム2008講演会講演論文集』No.08-28、pp.185-188、山口大学工学部、2008年
- 6) 金子成彦、馬場智紹「シートに取り付けた脈波計測用エアパックセンサーの設置位置と精度の検討」『福祉工学シンポジウム2009講演論文集』日本機械学会No.09-3109、09.24-26、高知工科大、pp.71-74、2009年
- 7) ▶<http://www.mlitt.go.jp/unyuanzen/outline>.

html

- 8) 前田慎一郎、小倉由美、藤田悦則、村田幸治、亀井勉、吉栖正生、金子成彦「トラック運転手用体表脈波計測装置の開発」『日本人間工学会中国・四国支部、九州・沖縄支部合同開催支部大会講演論文集』pp.98-99、2011年
- 9) 落合直輝、延廣良香、内川竜一、小島重行、小倉由美、藤田悦則、村田幸治、亀井勉、金子成彦、吉栖正生「体表脈波を用いたトラック運転手の体調推定法」『日本人間工学会中国・四国支部、九州・沖縄支部合同開催支部大会講演論文集』pp.68-69、2011年
- 10) 落合直輝、前田慎一郎、内川竜一、小倉由美、藤田悦則、村田幸治、亀井勉、金子成彦、吉栖正生「体表脈波を用いた長距離運転手の業務管理ソフトの開発」『日本人間工学会中国・四国支部大会講演論文集』pp.162-163、2012年
- 11) 福島怜、金子成彦「RR間隔と眠気の強さの相関関係を利用した眠気推定手法の考案」日本機械学会福祉工学シンポジウム、2010年