

自動車運転における体調管理*

Monitoring the Physical Condition of Drivers as they Drive

中川 剛
Tsuyoshi NAKAGAWA

河内 泰司
Taiji KAWACHI

ニツ山 幸樹
Kouki FUTATSUYAMA

西井 克昌
Katsuyoshi NISHII

To reduce traffic accidents caused by sudden abnormalities in the physical condition of drivers, we developed a steering-wheel type driver's vital signs sensor to monitor their physical condition. This sensor measures the driver's electrocardiogram and pulse wave when he or she holds the steering wheel with both hands. It detects heart rate and blood pressure, the performance indices of the circulatory organs. Using this sensor, in real time, we can find warning signs or abnormalities in the physical condition of drivers. Our goal is to monitor the driver's physical condition, so that support can be provided before a physical abnormality prevents him or her from being able to drive.

Key words :

drivers' physical condition, traffic accident, vital signs sensor, electrocardiogram, pulse wave, heart rate, blood pressure, autonomic nerve activity, circulatory organ status, automatic driving

1. はじめに

近年、運転中の体調異常が原因となる交通事故が顕在化しつつある。過去にはクレーン車を運転中に意識を失い登校中の小学生の列に突っ込み、6人を死亡させた痛ましい事故や、最近では大阪梅田で発生したドライバーの動脈解離が原因で意識を失い、車が暴走して歩行者を次々とはね死傷させた事故は記憶に新しい。このようにドライバーの体調異常が原因となって発生する事故はドライバーが何の予兆も感じないまま突然意識を失うケースや、何らかの疾病の自覚症状があっても運転には支障がないと勝手に判断してしまい、突然運転不能状態に陥るケースが考えられる。

また、運転中の体調異常は一般的に若年者より高齢者で起きることが多く、今後高齢者ドライバーの人口が増加することから運転中の体調異常が原因で起きる交通事故は今後も増加すると考えられる。

我々は体調異常を原因とする交通事故を防ぐため、ドライバーのバイタルサインをリアルタイムに測定して体調をモニターできる車載用バイタルサインセンサの開発を行った。

2. 健康状態が起因する交通事故実態

自動車における安全技術の進歩や改正道路交通法による罰則の強化により、交通事故発生件数は年々減少しつつある。警察庁交通局「交通事故統計年報」¹⁾によると、国内の全自動車事故による負傷者数は平成16年の1,183,120人をピークに、平成23年には854,493人に減少している。死者数については平成2年の11,227人をピークに減少し続け、平成23年においては4,612人にまで減少した (Fig. 1)。

一方、業務運行におけるドライバーの健康状態に起因する事故件数は年々増加していることが国土交通省から

*一般社団法人日本医療機器学会の承認を得て「医療機器学」2013年8月号 特集「非拘束モニタリングの時代」の「ドライブ中の体調管理」より一部加筆して転載

発表されている²⁾ (Fig. 2).

平成 23 年における大事故に係る主な原因の中で健康状態が関係した事故の割合は一般車も含めると、診断できたものだけで全事故の約 8% に及んでいる³⁾。また実際には事故に至らずとも、運転中に体調異常や体調不良となったがあやうく難をのがれたという、いわゆる「ヒヤリハット」のケースは更に多いと推察される。

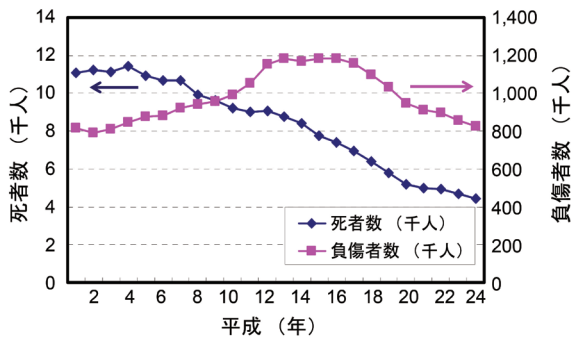


Fig. 1 Casualties in motor vehicle accidents

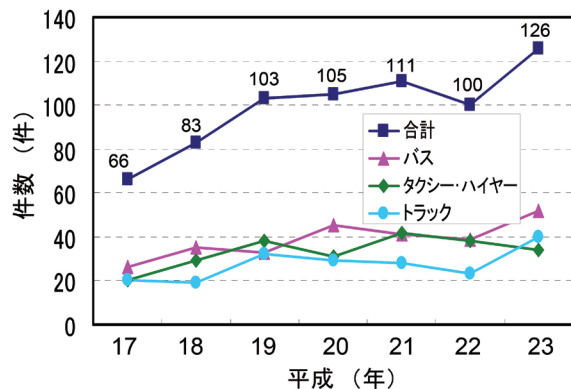


Fig. 2 Number of accidents caused by commercial vehicle driver health problems

出展：国土交通省
「事業用自動車の運転者の健康管理マニュアル」より引用

体調異常が普段の生活で起きた場合と運転中に起きた場合との違いは、運転中の場合は周りを巻き込む大きな事故に繋がる危険を含んでいることである。また、運転そのものが肉体的および精神的な負荷となり、体調異常が発生する確率も普段の生活と比較して高くなることが予想される。特に何らかの疾患で既往症がある人はなおさらである。

国土交通省によるドライバーの健康状態に起因した交通事故調査結果によると、「脳疾患」、「心臓疾患」、「血管疾患」、いわゆる循環器系疾患が半数を占めている³⁾

(Fig. 3-1)。更にこの事故の直前、または後に死亡した運転者の疾患別割合は心疾患が過半数を占めている (Fig. 3-2)。

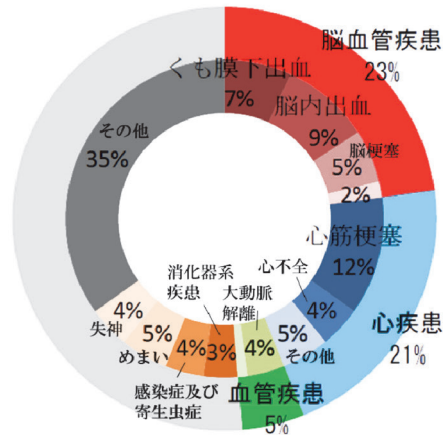


Fig. 3-1 Percentage of disease-caused traffic accidents

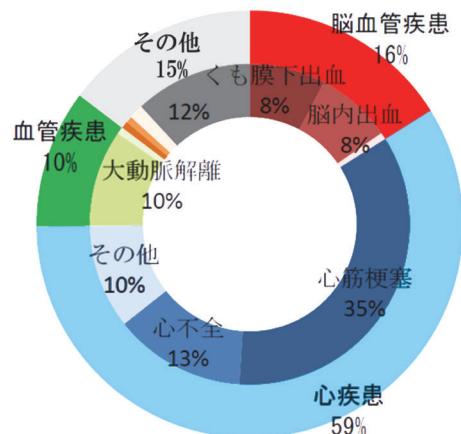


Fig. 3-2 Percentage of diseased drivers who have died

出展：国土交通省
「事業用自動車の運転者の健康管理マニュアル」より引用

このことから体調異常が原因となる交通事故を削減するためには、特に事故率、致死率が高い脳血管疾患や心疾患の発症を事前に検知し、適切なアドバイスや安全運転支援を行うシステムの構築が重要である。

3. 健康起因による交通事故の削減に向けて

健康に起因する交通事故を減らすため、国土交通省は平成 22 年に「事業用自動車の運転者の健康管理に係る

マニュアル」(健康管理マニュアル)を公表した⁴⁾。そこでは、「運転者が自分自身の健康管理に十分に注意するのみならず、自動車運送事業者が運転者の健康状態を十分に把握した上で、その健康管理を適切に行う必要があると謳われている。定期健康診断結果や乗務前の点呼によって健康状態を確認し、乗務に係る判断することが求められている。ただし運転中に突然発症した体調異常への具体的な対応方法については手付かずの状態である。

運転中に突然発症する体調異常への対応方法としては、日ごろの健康状態の確認や運転前の体調チェックだけでは不十分である。運転中の体調をリアルタイムに監視し、体調の急変に備えるシステムが重要である。そのためには運転を妨げずにバイタルサインを計測することが必要である。

4. 車載用バイタルサインセンサの開発

運転中の体調異常を早期に検出する手法として、心拍数や自律神経活動、血圧といった循環器系の情報が有用である。

心拍を検出するセンサは世の中でも研究例が多い。圧力センサをシート座面に敷き、圧力変化から心拍数を検出するものや、特定波長の電磁波を身体に当て、反射波のドップラーシフトを使って心拍数を検出するものがある。しかし運転中の振動や体の動きが大きなノイズとして重畳してしまう課題がある。

我々はドライバーがステアリングを握るだけで心電図と脈波を計測することが可能なステアリング型バイタルサインセンサを開発した (Fig. 4)。

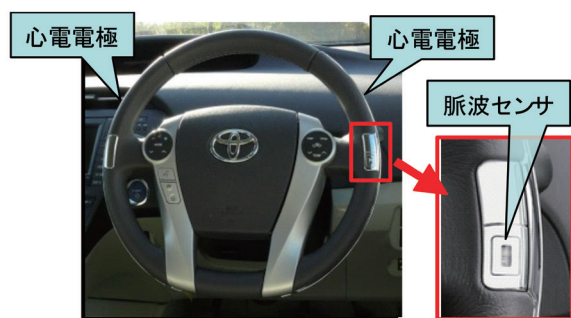


Fig. 4 Steering wheel type vital signs sensor

心電図を計測するために、ステアリングの両サイドに心電図測定用の電極を設置した。電極の材料には自動車の装飾等に使用されているCrメッキABS樹脂を選定した⁶⁾。両手で左右の電極を握ることにより、第I誘導相当の心電図を計測することが可能である。

心電図からは心拍数の他に、不整脈の情報、心拍ゆらぎ解析による自律神経活動を得ることができる。また心拍ゆらぎの長期的な変動を利用した心血管イベント予知についても研究している⁷⁾。

脈波の計測はステアリング上に設置した光電式の脈波センサを使用して行う。ステアリングを握った時に掌が当たる部位にLEDとPD (フォトディテクタ) を配置し、皮膚に照射したLED光の反射量から脈波を計測している。Fig. 5に脈波センサの概略図を示す。

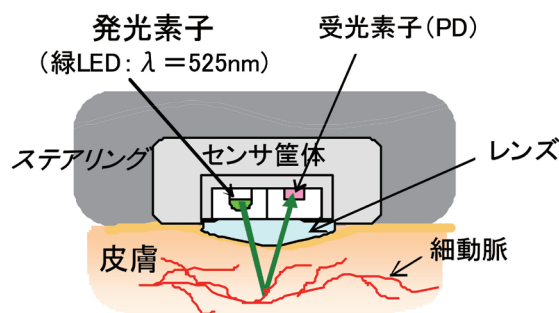


Fig. 5 Schematic representation of the pulse wave sensor

臨床現場で利用されている脈波センサとして、血中酸素飽和度センサ (SPO2センサ)がよく知られている。SPO2センサでは皮膚に照射したLED光の透過量を見ており、皮膚を透過しやすい赤色光と近赤外光のLEDが用いられている。この方式の場合、指あるいは手をLEDとPDで挟む必要があるため、運転操作を妨げる要因となる。今回我々は緑色光を用いた反射型の脈波センサを採用し、センサに掌を軽く押し当てるだけで脈波が検出できる構造を採用した。

ドライバーの体調を判定する重要な指標の一つが血圧である。我々は心電と脈波から血圧を推定する技術を開発した。これは、心電信号と脈波信号の時間差である脈波伝播時間を利用した技術であり、それぞれの心拍に対して血圧を推定することができる (Fig. 6)。具体的には、

血圧が高ければ脈波伝搬時間は短くなり、低ければ永くなる特徴を用いている。

従来の血圧計では上腕にカフを巻き、腕を締め付けて血圧を計測しているが、運転中に腕を締め付けられると、ステアリングの操作ができなくなってしまう。また、血圧の測定間隔も一般的には30分に1回程度である。

心電と脈波から血圧を推定する手法ではカフによる締め付けがないため、運転の妨げにならないメリットがある。さらに一つ一つの心拍に対して血圧を推定するため、時々刻々と変化する血圧を連続的に測定することも可能となる。

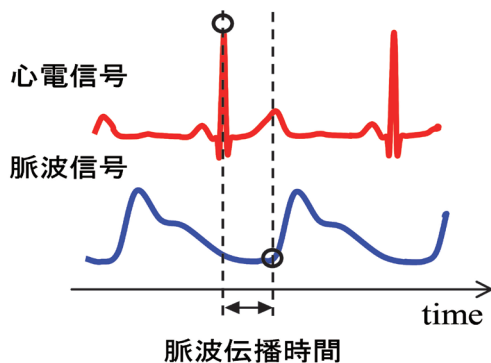


Fig. 6 Pulse transit time using ECG(electrocardiogram) sensor and PPG(Photoplethysmography) sensor

5. ドライブ中の体調管理システム

「日本医科大学、トヨタ自動車、デンソーで共同開発したドライバー体調管理システムを「第77回日本循環器学会学術集会」にてデモ展示した (Fig. 7)。

ステアリング型バイタルセンサを車両搭載し、ドライバーの心電図、脈波を計測すると同時に、解析した心拍数、自律神経活動量、血圧値をナビゲーション画面に表示している (Fig. 8)。



Fig. 7 Vital signs measurement of the driver

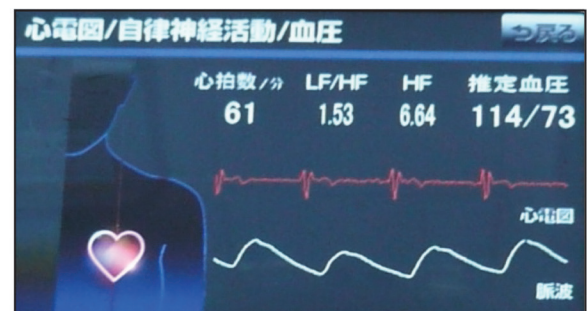


Fig. 8 Vital signs monitor screen

バイタルサインに異常が検出された場合には、ドライバーに報知し、最寄りの病院案内やオペレータとの通話などの支援をすることも可能である (Fig. 9)。

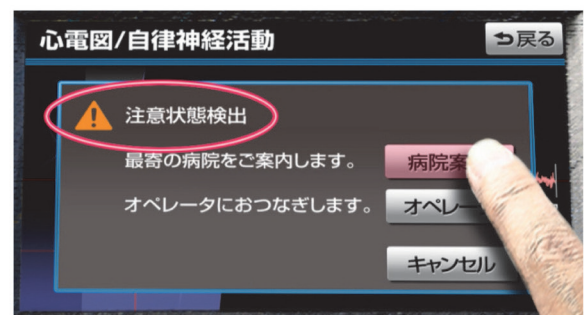


Fig. 9 Navigator interlock support (concept) during physical condition abnormality detection

心拍数や血圧、危険不整脈の判定といった手法の他に、血圧と心拍数の循環動態バランス (Fig. 10) を使った体調判定を検討している。心拍数や血圧の上昇といった体調変化をとらえるだけでなく、もっと手前の時点で予測することが可能になることを期待している。

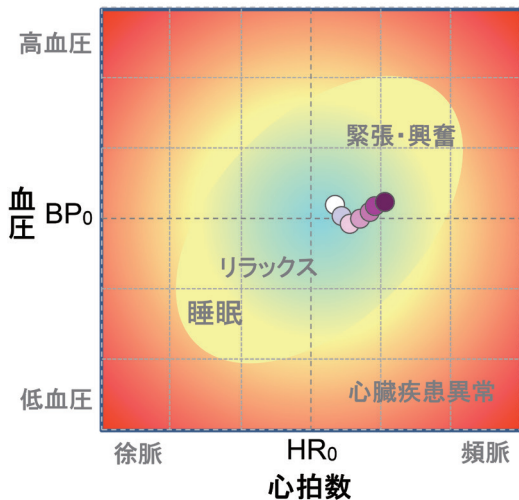


Fig. 10 Using heart rate and blood pressure to estimate physical condition

これらの技術を活用することにより、運転不能状態に陥る前にドライバーに体調異常を知らせて、事故を防ぐシステムが可能となると考えている。将来的には自動運転システムと連携し、万が一の時には自動的に車を安全な場所へ止めてくれると同時にドライバーの救命通報を行うシステムの実現も視野に入れて開発を進めている。

このシステムは運転中の体調異常を検出するだけでなく、健康管理ツールとしても利用可能である。日々の健康状態を観察するデータは毎日同じ時間に、同じ姿勢で測定することが望ましい。車を通勤に使うドライバーにおいてはほぼ決まった通勤時刻に、一定の運転姿勢で毎日の計測データを蓄積することができる。蓄積したデータを携帯端末にダウンロードして個人で日常の健康管理に利用したり、データを医療機関と共有して健康診断等に利用したりすることが可能となる。また、運転が体に与える負荷を利用し、運転中の心拍変動や血圧変動を観察することにより、負荷心電図のような詳細な健康診断データを自動で蓄積するといった利用方法も考えられる。

更に、運転中のバイタルサインは体調変化の検出や健康管理データとしてだけでなく、運転中に発生する「眠気」の判定にも有効である。これまでも自動車分野において心拍情報と運転中の「眠気」との関係について報告がなされている⁸⁾。

このようにバイタルサインセンサを車載化して運転中の生体信号を監視することにより、体調異常や居眠りなどの運転不適状態に陥る前にドライバーに警告し、最適な運転支援を行うことが可能となる。

6. おわりに

今回述べた車載用ステアリング型バイタルサインセンサでは、心電図を計測するために両手でステアリングを把持する必要があることと、脈波を計測するために脈波センサ設置部位に掌を当てる必要がある。高速道路等での安定した運転状態でドライバーが両手でステアリングを操作しているシーンでは計測可能であるが、ハンドル操作を頻繁に行うようなシーンや、片手運転となるシーンでは計測できないといった課題がある。片手運転の状態でも心電図を検出する技術や⁹⁾、カメラを用いて脈波を非接触で検出する技術など、非拘束センシングの技術探索、研究を進め、実用化を目指したい。

参考文献

- 1) 警察庁交通局「交通事故統計年報」
<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?lid=000001108012>
- 2) 国土交通省「健康状態に起因する」事故件数
<http://www.tb.mlit.go.jp/chubu/gian/jikosemina2011/siryou2.pdf>
- 3) 国土交通省 自動車運送事業に関わる交通事故要因分析検討会報告書（平成25年度）
http://www.mlit.go.jp/jidosha/anzen/03analysis/resource/data/h25_2.pdf
- 4) 「事業用自動車の運転者の健康管理に係るマニュアル」（健康管理マニュアル）
http://www.mlit.go.jp/jidosha/anzen/03analysis/resource/data/h21_2_1.pdf
- 5) Futatsuyama K, Mitsumoto N, Kawachi T, and Nakagawa T. "Noise Robust Optical Sensor for Driver's Vital Signs," SAE Technical Paper. 2011-01-1024, 2011, doi:10.4271/2011-01-1024.
- 6) Osaka M, Murata H, Fuwamoto Y, Nanba S, Sakai K, Katoh T. Application of heart rate variability analysis to electrocardiogram recorded outside the driver's awareness from an automobile steering wheel. *Circ J* 2008; 72: 1867-1873.
- 7) Osaka M, Watanabe E, Murata H, Fuwamoto Y, Nanba S, Sakai K, Katoh T. V-Shaped Trough in Autonomic Activity Is a Possible Precursor of Life-Threatening Cardiac Events. *Circulation Journal*, September, 2010, Vol. 74, p. 1906-1915
- 8) 運転状態推定技術の開発 — 心拍解析による眠気状態の検出 — PIONEER R&D Vol. 14 No. 3
- 9) Sakai, K., Yanai, K., Okada, S. and Nishii, K., "Design of Seat Mounted ECG Sensor System for Vehicle Application," SAE Int. J. Passeng. Cars – Electron. Electr. Syst. 6(1):2013, doi:10.4271/2013-01-1339.

著者



中川 剛

なかがわ つよし

研究開発1部
生体センシング技術の研究開発に従事



ニッ山 幸樹

ふたつやま こうき

新事業推進部
ヘルスケア事業の製品開発に従事



河内 泰司

かわち たいじ

新事業推進部
ヘルスケア事業の製品開発に従事



西井 克昌

にしい かつよし

ADAS 推進部
自動車コックピットのHMIシステム開発
に従事