

# 眠気予測技術の開発

## Method for Predicting Drowsiness

柳平 雅俊, 安土 光男

Masatoshi Yanagidaira, Mitsuo Yasushi

**要 旨** 眠気を早期に予測する技術は、居眠り運転を防止する上で有効である。眠気の兆候は、心拍数の低下傾向の中に見ることができる。心拍数は、周囲温度、姿勢、精神状態などによって変化するが、運転中は眠気などの精神状態に影響される。この特性を応用して眠気予測センサを開発した。

眠気予測センサはハンドル把持部の左右に電極を装着し、電極から心拍を検出し、検出した心拍信号から、心拍数の算出、補間・FIRフィルタ処理、および眠気予測処理をした。

試作機を用いてユーザ評価を実施したところ、評価者全員が、運転中の心拍に関心を示し、8割の評価者が本機の性能に対して信頼していることが分かった。

**Summary** We developed a method for predicting drowsiness in drivers based on changes in the heart rate. The ability to predict drowsiness early when drivers do not yet feel drowsy, even if they show signs of drowsiness, is useful for preventing drivers from falling asleep at the wheel. The heart rate is affected by the ambient temperature, the posture of drivers, and their mental state. Furthermore, signs of drowsiness can be seen in decreasing heart rate. And drowsiness is the critical factor for drivers because most of the time ambient temperature or posture do not change much while driving. Previous research focused on detecting the napping propensity of drivers. And, the detection time for that method is often too long to prevent napping because drivers may already feel drowsy by the time detection is complete. To measure the heart rate of drivers easily, we placed electrodes on both sides of a steering wheel or steering wheel cover and devised a method for predicting drowsiness based on changes in the heart rate. This paper describes the structure and operation of the device, and reports the result of user test. It revealed that these subjects had strong interest of watching their changes of heart rate while driving. And we obtained reasonable results on the reliability of this device.

キーワード : 安全, 予防安全, 居眠り運転, 眠気, 心拍, 心拍数, 運転支援

### 1. まえがき

居眠り運転は重大な事故を引き起こす原因の一つで、居眠り防止技術は安全走行に必要な技術として各方面で研究されている。居眠り運転を防止する上で、眠気を早期に予測する技術は有効である。眠気の予測に心拍数の変化を測定する方法がある。心拍数は、周囲温度、姿勢、精神状態などによって変化するが<sup>(1)</sup>、運転中は眠気などの精神状態に影響される。そして眠気の兆候は、心拍数の低下傾向の中に見ることができる。

眠気予測とは、身体が眠気に向かう信号を出していても、まだそれが感じられていない状態を検出することである。これまで、生体信号として心拍数変化を利用することの有効性について報告してきた<sup>(2~6)</sup>。

今回我々は、車両走行中の心拍検出性能を向上させるための信号処理を開発し、スタンドアロンタイプの眠気予測センサを試作した。

以下に試作したセンサの構成および動作を示し、以降で本機に対するユーザ評価結果について報告する。

## 2. システムの概要

今回開発した眠気予測センサを運転席に装着した写真を図1に示す。また、図2に眠気予測センサの構成を示す。

センサユニットの作製では、ハンドル把持部の左右にそれぞれ電極を設ける。これらの電極は、銀を含む導電性接着剤をハンドルもしくはハンドルカバーに塗布した後に、特定の温度で焼成したものである。塗布する範囲は、左右の手がどの位置に触れていても心拍が検出できるように、それぞれなるべく広いことが望ましい。しかし、電極を形成することによってハンドルの美観が損なわれることがあるので、運転席側から電極部分が見えないように、ハンドルやカバーの裏面部だけに塗布した。

センサユニット内では、両手が触れているときに

電極間に発生する電位差を、生体アンプにより増幅し、フィルタ処理を行うことで、心拍信号が得られる。得られた心拍信号は無線でメインユニットまで伝送される。なお、ステアリングコラム内部を通っている予備信号線を利用して有線伝送することも可能であるが、全車種に対応できないことから無線方式を採用した。

メインユニットでは、受信した心拍信号より、心拍数の算出、補間・FIRフィルタ処理、および眠気予測処理を行っている。また、メインユニットには、心拍数のグラフ表示、および眠気・緊張度のバーグラフ表示を示し、ユーザに運転時の状況を認識できるようにした(図3)。さらに、シリアル・インタフェースを介してPCにデータを送信し、図4に示すように運転中の心拍波形、心拍数変化、眠気レベル変化などを画面上でモニタできるようにした。



図1 眠気予測ハンドルセンサの試作機の外観

Fig.1 Prototype of steering wheel sensor for predicting drowsiness

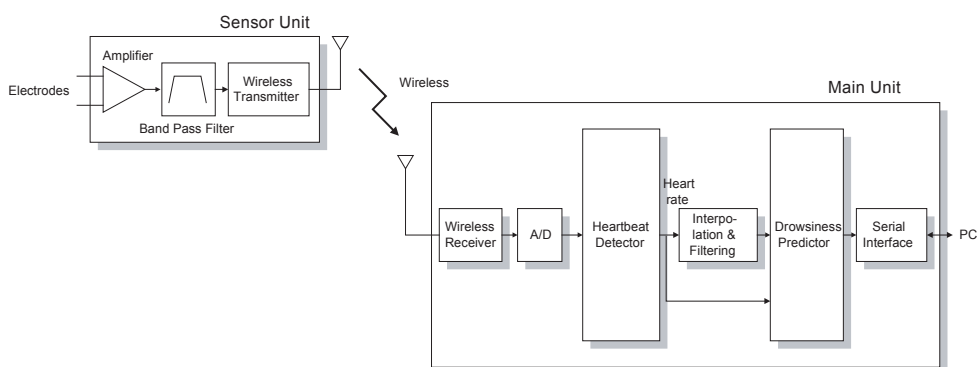
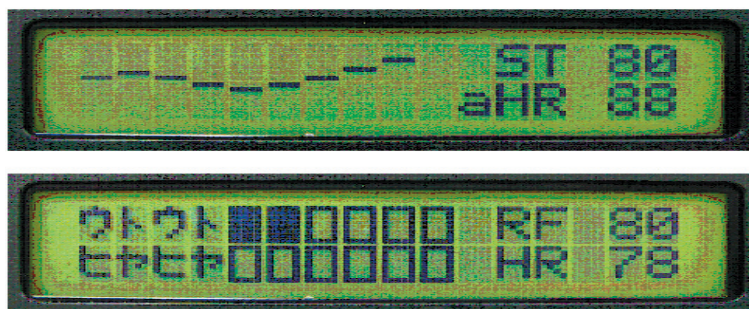


図2 眠気予測ハンドルセンサのブロック図

Fig.2 Block diagram of steering wheel sensor



(上) 心拍数のグラフ表示, (下) 眠気・緊張度のバーグラフ表示

図3 画面表示例

(upper)graph of heart rate, (lower)bar graphs of drowsiness and tense level

Fig.3 Display examples of steering wheel sensor

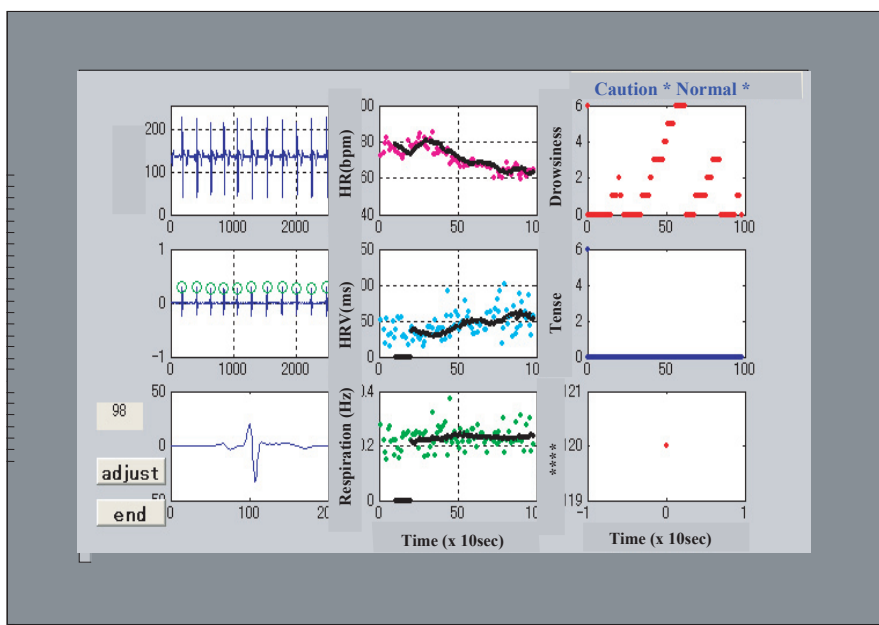


図4 試作機のモニタ画面

Fig.4 Example of PC screen for monitoring electrocardiogram(ECG), changes of heart rate, and drowsiness

### 3. センサ各部の構成と動作

#### 3.1 心拍検出部の処理

心拍検出処理のブロックを図5に示す。センサから送信された心拍信号から心拍数を得る。心拍数は瞬時心拍数として算出する。瞬時心拍数は、図6に示した心電図のR波と呼ばれる波形部分のピーク位置を求め、これらのピーク間隔を一分間あたりの心拍数に換算したものである。

運転中にハンドルセンサから心拍を計測する場合、一般にノイズ混入が増加する。これは、車両の振動やハンドル操作などにより、電極と皮膚表面の接触抵抗

の変化や、筋電など心拍以外の生体信号が検出されるためである。このため、ノイズ成分の多い信号の中からR波を精度よく検出するために、テンプレート(参照波形)を用いた相互相関処理を行う。

心拍検出処理では、まず心電図の基線変動を除くために微分処理を行う。次にR波を含む波形部分について、平均的なデータをテンプレートとしてあらかじめ用意しておき、微分処理後の心電図波形とテンプレートとの相互相関によりR波を強調する。強調精度を上げるため、個人毎のR波を抽出し、新たなテンプレートとして入れ替えることを行う。図6に示すよう

に、テンプレート用のR波を抽出するため、ノイズの少ない信号区間のR波の波形部分を複数抜き出す。さらに、これらをピーク位置で重ねあわせた後に平均化し、この波形の中央部分を強調するために窓関数をかけている。

R波が強調された心拍信号より、ピーク位置を決定する。ピーク位置は、その位置の振幅がしきい値より大

きいことと、その位置前後の一定区間内において、その位置の振幅が最大であることを条件として決定している。図7にR波の強調、およびピーク検出例を示した。

### 3.2 補間・FIR フィルタ部の処理

次に、3.1で算出した心拍数について、データの補間とFIR(=Finite Impulse Response)フィルタ処理を行う。

これらの処理には2つの目的がある。ひとつは、デー

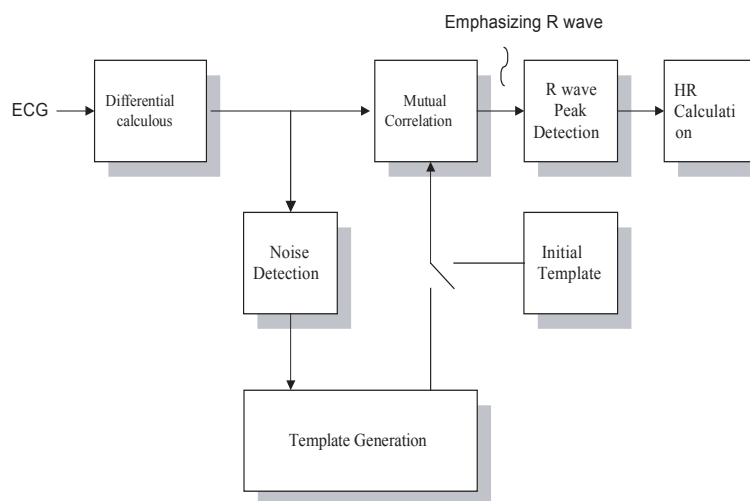
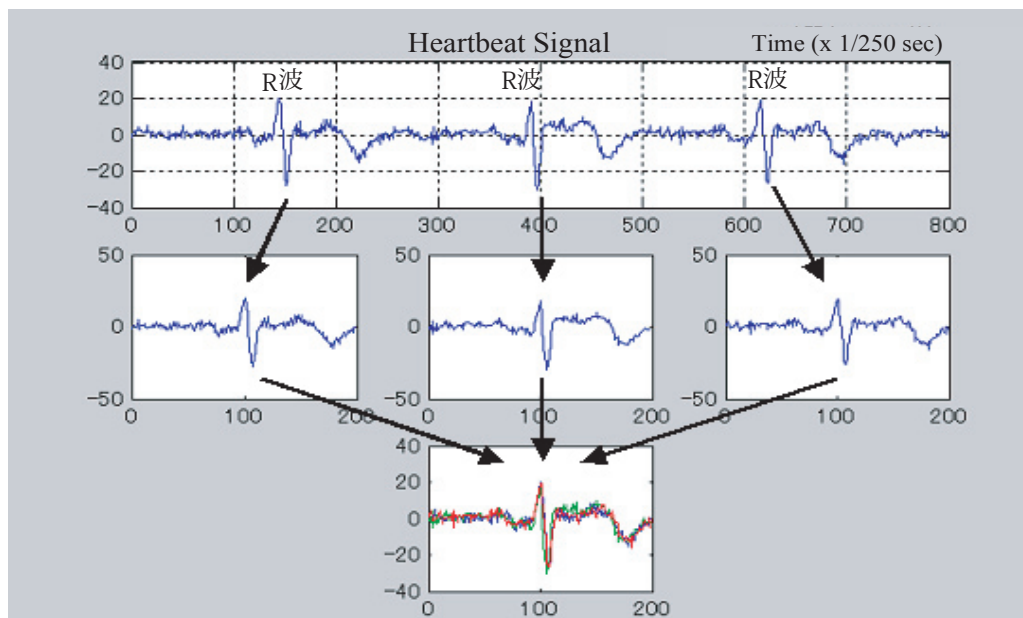


図5 心拍検出部の処理のブロック

Fig.5 Block diagram of heartbeat processing



(上段) 微分処理後の心電図 (中段) R波を含むブロックの抽出 (下段) テンプレートの生成

図6 テンプレートの作成

(upper) heartbeat signal processed by differential calculus (middle) extracted wave pattern including R-wave (lower) template

Fig.6 Extracting and averaging plural wave pattern including R-wave to make template

タの短時間変動を除き、トレンド変化を抽出するフィルタ本来の役割である。もうひとつは、片手保持によるハンドル操作などにより心拍が検出できなくなっても、過去の心拍データから予測値を代わりに出力することである。補間・FIRフィルタの動作例を図8に示す。具体的には、FIRフィルタの次数に相当する一定数の過去データのうち、有効データが半数以上ある場合、この間の欠落データを有効データの平均値で補間してから、フィルタ処理を行う。有効データが半数以

下のときは、何らかの原因で運転者とセンサが正しく接していない状況と判断し、フィルタ処理を停止し、眠気予測処理を中断する。再び運転者とセンサが正しく接することにより、有効データ数が条件を満たせば、処理を再開し、予測結果を出力する。なお、前述した図5に示すように、フィルタ処理前の心拍数も同時に処理している。これは心拍数の瞬時の上昇をみることによって、いわゆる「ヒヤリハット状態」の検出も行うためである。

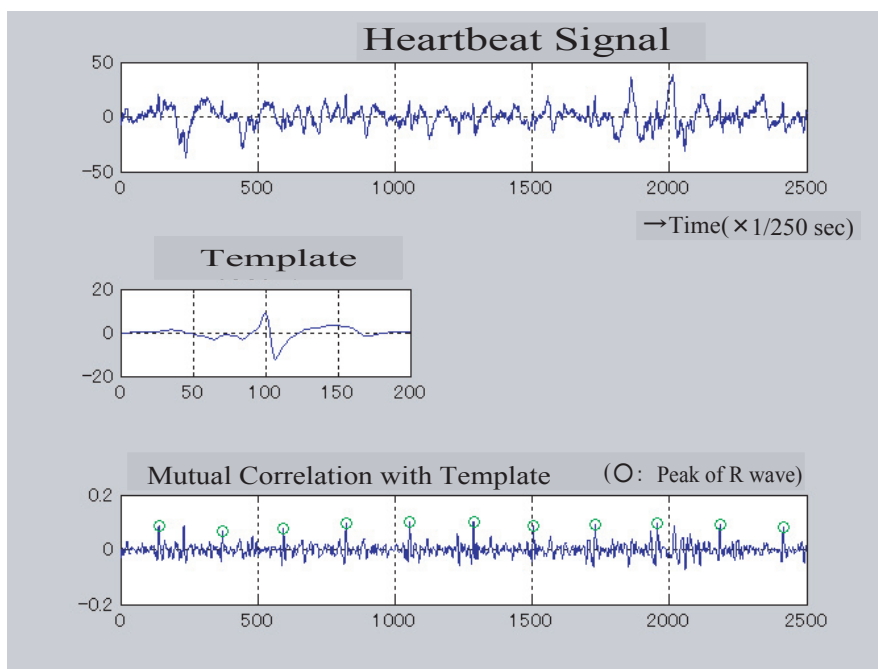


図7 R波の強調とピーク検出例

Fig.7 Detection of time at each peak

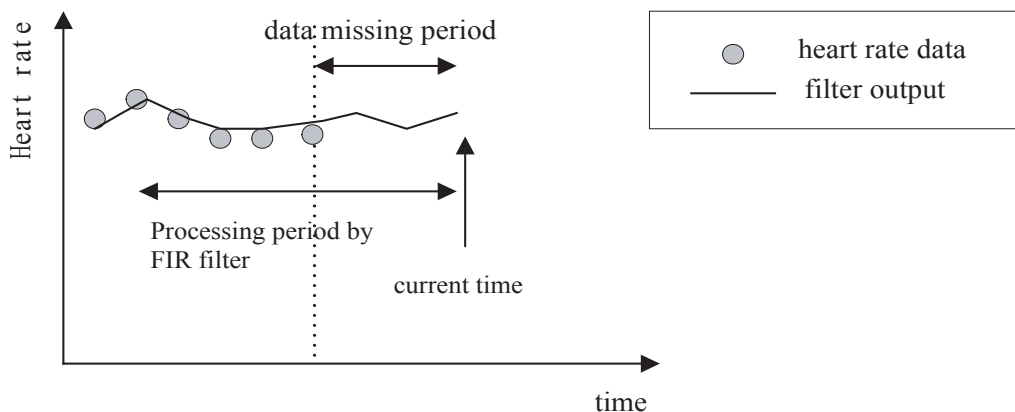


図8 補間・FIRフィルタ部の動作例

Fig.8 Operation example of interpolat

### 3.3 眠気予測部の処理

#### 3.3.1 運転者の状態判別

本測定に先立ち、運転者の状態を的確に判断するために、前測定で初期心拍数を求め、それに基づいてしきい値を決定している。前測定は、心拍データを一定の数だけ取得するまで行う。また初期心拍数は、前測定で取得した心拍数の平均値より求める。また、しきい値は、初期心拍数にオフセット分を加えた値としている。

前測定の後に本測定を開始し、運転者の状態を監視する。運転者の状態は、平常、眠気、緊張のいずれかとし、これらの間を遷移しているものとした。眠気が予測される状態は、処理上、眠気状態に含める。

平常状態から眠気状態に遷移する場合は、補間・FIRフィルタ部で処理した心拍数について、一定数の過去データが全てしきい値以下であり、これらの変化が低下傾向であることを条件としている。なお、しきい値は、緊張状態と区別するために用いる。たとえば、追い越しなどにより一時的な緊張や興奮が起こると心拍数が上がるが、このあと元の状態に戻るときの心拍数の低下を眠気と判断してしまうことがある。このため、このような誤判断を防ぐためにしきい値を利用する。

これとは逆に、眠気状態から平常状態に復帰する場合は、一定数の過去データの変化が上昇傾向であることを条件としている。

#### 3.3.2 眠気予測の方法

運転者の状態が眠気状態のモードにあるとき、「う

とうと度」の算出を行う。これは一定範囲の整数であり、この数値が高いほど眠気が強いことを表す。

次に、うとうと度の算出方法を述べる。図9に示すように、まず心拍数の低下量算出のための基準心拍数を求める。運転者の覚醒度合いは常時変動しているため、この基準心拍数は随時変更する。たとえば、心拍数の変化が低下傾向であることを判別した場合、このときの心拍数を初めの基準心拍数1とする。この時点より、心拍数の上昇傾向が判別され眠気状態から平常状態に戻るまでの間について、補間・FIRフィルタ処理後の計測心拍数と基準心拍数との差分より心拍数の低下量を求める。そして以降再び低下傾向が判別された場合には、あらたな基準心拍数を設けて同様に低下量を求める。これら以外の場合は低下量を0とする。

うとうと度は、心拍数の低下量に感度をかけ合わせた値に応じて判定している。

$$\text{うとうと度} = (\text{基準心拍数} - \text{計測心拍数}) \times \text{感度}$$

(ただし、基準心拍数 > 計測心拍数)

そして平常状態より眠気状態のモードに遷移し、うとうと度が1となる時点をも、眠気予測のタイミングとしている。

## 4. ユーザ評価

30～40代の男性社員10名を対象にユーザテストを実施した。試作機を各々の自家用車に取り付け、通勤時の使用を中心に約2週間評価してもらった。

テスト後に実施したアンケート結果を図10に示す。

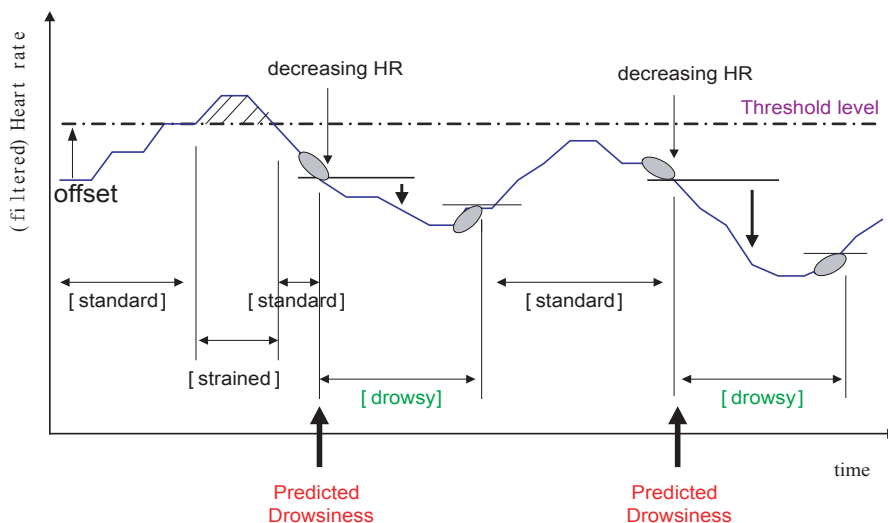
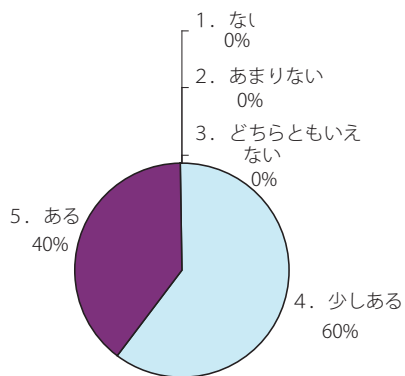
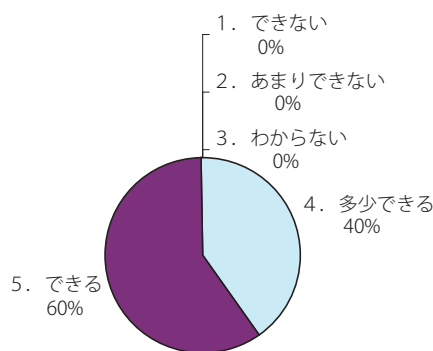


図9 心拍数低下量の算出方法

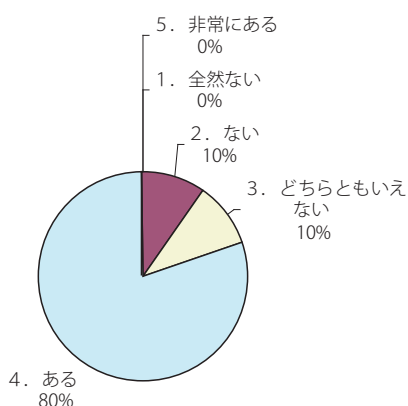
Fig.9 Calculation of decrease of heart rate



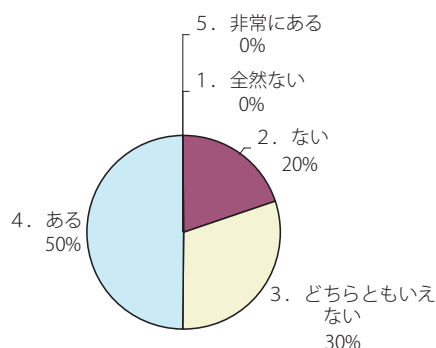
Q 1. 運転中のHR表示に関心がありますか？(N=10)



Q 2. 表示されたHRは信頼できますか？(N=10)



Q 3. 全体的な信頼度は？(N=10)



Q 4. 全体的な満足度は？(N=10)

図 10 ユーザ評価の結果 (N=10)

Fig.10 Results of user test(N=10)

このうち運転中の心拍表示に対する関心について、「ある」が4割、「少しある」が6割となり、全員が関心ありと回答した。また表示された心拍数に対する信頼という点では、「できる」が6割、「多少できる」が4割であった。一方、眠気予測を含めた全体的な信頼度について「ある」が8割と高かったのに対し、全体的な満足度については5割となり、改善の余地があることがわかった。

この理由として、ハンドル電極に触れてから心拍数が表示されるまでの時間が長いという問題があった。心拍検出の所要時間(10秒)については、おもに高速道路での用途に合わせて開発したが、今回のテストでは大半が一般道路で行われた。一般道路ではハンドル操作が多く、この間は心拍数が表示されないことから、この問題点が指摘された。このため検出所要時

間を従来の半分以下に短縮し、現在では良好な評価を得ている。

また眠気予測精度についても、精度向上が必要であることがわかった。現在のところ、7割以上の精度であることを先に報告したが<sup>(2~6)</sup>、センサ感度を個人毎に最適化するなど今後さらに改善をはかる必要がある。

## 5. まとめ

スタンドアロンタイプの眠気予測センサを開発し、その構成と動作について報告した。さらに信頼性について評価するため、ユーザテストを実施した。この結果、モニタは運転中の心拍変化に関心をもち、表示された心拍数に対する信頼度が高いことがわかった。眠気予測精度については、今後さらに精度向上を図る必要があると思われる。必要な精度の目安として、天気予報などの精

度が参考になるかもしれない。たとえば、降水予報の的中率は1945年には70%くらいだったが、2005年には85%くらいまで向上している<sup>(7)</sup>。またセンサ開発とともに、眠気時にリフレッシュできるアプリケーションが非常に重要な部分である。よって、今後これらを統合したシステムを実現していきたい。

#### 参 考 文 献

- (1) 宮田洋：新生理学，京都，北大路書房，p.328,1998
- (2) 柳平，安士：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－，パイオニア R & D，Vol.14, No.3, p.17-27,2004
- (3) M.Yasushi, M.Yanagidaira, Estimating Sleepiness during Expressway Driving, The Conference Proceedings of XVth Triennial Congress of the International Ergonomics Association, 2003
- (4) 柳平，安士：車両における複合情報計測による安全運転支援技術－生体計測とカーナビゲーション技術の連携による居眠り予防に向けて－，(社)計測自動制御学会，計測と制御 Vol.33 No.3, 2005.
- (5) 柳平，安士：“眠気予測ハンドルセンサ技術” 車載用センサ/カメラ技術全集，技術情報協会，p.134-147, 2005.
- (6) M.Yanagidaira, M.Yasushi: Method for predicting drowsiness, The Conference Proceedings of FISITA, 2006, No.2006D034.
- (7) 気象庁 HP：この半世紀の予報精度－東京地方の予報精度(夕方発表の明日予報)－

#### 筆 者 紹 介

柳 平 雅 俊 (やなぎだいら まさとし)

技術開発本部 モーバイルシステム開発センター。現在、生体情報技術の研究に従事。

安 士 光 男 (やすし みつお)

技術開発本部 モーバイルシステム開発センター。現在、生体情報技術の研究に従事。