

赤外線センサを用いた車内における居眠り検知

吉村 春信^{†1} 吉田 隆一^{†1}

本研究の目的は、車内における居眠り運転を防止するために、赤外線センサを用いて入眠前に現れると言われている入眠予兆動作を検知することである。センサ出力の振幅を動作強度と定義し、これを検知の特徴値として用いた。また、入眠予兆時の動作強度は時間と共に減少していく傾向があることから、現在の動作強度が閾値以下になったら警告を行うシステムを考案した。システムの試作は性能の低いマイコンを用い、メモリや処理速度が小さくても検知可能かどうか検証した。その結果として、焦電型赤外線センサと組み込みシステムを用いたシステムで、入眠予兆動作の検知は5分程度観測すれば可能であることがわかった。

the Prediction of a falling asleep in driving with infrared sensor

HARUNOBU YOSHIMURA ^{†1} and TAKAICHI YOSHIDA ^{†1}

This paper proposes the prediction system of falling asleep in driving that uses infrared sensor and a low specification microcontroller. We use strength of human behavior obtained from a waveform of the sensor as a feature value for detection. Strength of human behaviors tend to decrease before sleep. Therefore, we developed the system to warn when strength of human behavior is below a certain threshold. As a result, it was found that the prototype system can detect sleepiness behavior in less than five minutes.

1. はじめに

近年の車社会において、我々は常に交通事故の危険性にさらされている。交通事故の原因

の中でも、居眠り運転による事故は他の事故と比べて被害の程度が大きく、死亡事故や重傷事故につながる割合も非常に高くなっている。

この居眠り運転を防止するため、これまで様々な研究が行われてきた。例えば、カメラを用いてまぶたの閉じ具合や顔の向きを検知する手法¹⁾ や、圧力センサや磁気センサ付きシートを用いて運転者の入眠前に特徴的な血流を検知する手法²⁾ などがある。しかし、カメラを用いた手法ではまぶたを閉じてから検知して警告しても遅く、適切なタイミングで運転者に警告出来ない恐れがある。また、検知のためには画像処理が可能な組み込みシステムが必要となり、コストが高くなるという問題もある。一方、圧力センサや磁気回路センサ付きシートを用いた手法では、センサを座席に内蔵させているため設置のためのコストが高く、多くの車に搭載し普及させる事は非常に難しい。

そこで、上記のようなカメラ等の高分解能センサや多くのセンサ類を使わずに、安価な赤外線センサだけを用いて車内における居眠り検知する方法を提案する。しかし、居眠り検知システムには検知に求められる時間の短さや、車内におけるノイズの問題、またシステムの小型化・低コスト化のためには性能の低い組み込み機器特有の問題が存在し、そういった問題を解決した居眠り運転システムの開発が必要である。そこで本研究では、焦電型赤外線センサの NaPiOn と 8bit マイコンを用いた開発プラットフォーム Arduino を用いて、車内における人間の睡眠前の予兆を捉えることが出来る検知システムの試作を行った。

本論文での以降の構成は以下の通りである。まず、第2節で本研究において実験に用いたセンサとマイコンの様な実験装置について示す。次に、第3節で安全な居眠り検知のために検知すべき行動として入眠予兆動作というものを取り上げ、入眠予兆動作の検知に用いる特徴値を示す。また、第4節で車内において焦電型赤外線センサの出力に生じるノイズによる特徴値への影響について考察を行う。次に、第5節で、具体的な入眠予兆動作の検知方法を、第6節で試作した検知システムを用いた実験についての実験環境やその結果を示し、第7節で考察を述べ、第8節でまとめを行う。

2. 実験装置

本研究は、赤外線センサと組み込みシステムを用いて居眠り検知システムを試作した。ここでは使用した焦電型赤外線センサと、8bit マイコンについて説明を行う。

2.1 焦電型赤外線センサ NaPiOn

焦電型赤外線センサは焦電効果を利用して赤外線を感知するセンサである。焦電効果とは、受光素子表面に入射する赤外線量の変化に反応し、起電力が生じる現象のことである³⁾。

^{†1} 九州工業大学院 情報工学府 情報創成工学専攻
Department of Creative Informatics, Graduate School of Computer Science and System Engineering, Kyushu Institute of Technology

センサ値はこの焦電効果による電圧の変化を表し、人間の動作の大きさに応じて変化する。焦電型赤外線センサは旧パナソニック電工製 NaPiOn を使用した。特徴をリファレンス⁴⁾を参考にして以下に示す。表 1 に NaPiOn の電気的特性を、表 2 に NaPiOn の観測対象の条件を示す。

表 1 NaPiOn の電気的特性
Table 1 Electrical characteristics of NaPiOn

動作電圧	最小	DC4.5V
	最大	DC5.5V
消費電流	平均	170 μ A
	最大	300 μ A
出力電流	最大	50 μ A
出力電圧範囲	最小	0V
	最大	動作電圧

表 2 検出対象の条件
Table 2 Conditions of Measuring object

検出できる対象のサイズ	700 × 250mm
検出できる対象の移動スピード	0.5 ~ 1.5m/s
検出出来る対象と背景との温度差	4
検出最大距離	5m

2.2 8bit マイコン Arduino Duemilanove

組み込みシステムとして自立駆動させるため、Arduino Duemilanove⁵⁾ を利用しシステムの試作を行った。Arduino プロジェクトはフィジカルコンピューティングのためのオープンソースプラットフォームで、

- ハードウェアの統一
- gcc によるサポート
- 使いやすい IDE

といった特徴があり、簡単に電子回路を試作することが出来る。

Arduino Duemilanove は ATMEL 社の ATmega328 という RISC の 8bitCPU を使用し、クロック周波数は 16MHz で動作する。リファレンス⁶⁾を参考にして ATmega328 の性能を表 2.2 に、動作環境を表 2.2 に示す。

3. 入眠予兆動作検知のための特徴値

本節では、居眠り運転防止のために検知する対象はどのようなものかを定義し、その対象を検知するために用いるの特徴値について説明する。また、車内において焦電型赤外線センサを設置し、居眠り動作時におけるセンサ値を収集し、普段の起きている時のセンサ値と比較することで、特徴値に違いがあるかどうかを検証する。

表 3 ATmega328 の性能
Table 3 Performances of ATmega328

SRAM	2Kbyte
PFlashRAM	32Kbyte
EEPROM	1Kbyte
DIO	23DIO
AD	6ch/10bit
Serial	i2c/SPI/RS-232C
8/16bit Timer	2/1'

表 4 ATmega328 の動作環境
Table 4 Operating environments of ATmega328

動作温度	最小	-40[]
	最大	85[]
動作電圧	最小	1.8[V]
	最大	5.5[V]
動作速度	0-4MHz	1.8-5.5[V]
	0-10MHz	2.7-5.5[V]
	0-20MHz	4.5-5.5[V]
代表消費電力 (1MHz, 1.8V, 25)	標準動作	0.2[mA]
	最大	300[μ A]

3.1 居眠り運転防止システムにおける適切な検知のタイミング

居眠り運転防止システムの構築において注意すべき点の一つに、検知する動作の対象やタイミングをどうするかという問題が挙げられる。

例えば、60km/h で走行中の自動車は 1 秒間に 16m も進み、ブレーキを踏んでから自動車が完全に停止するまで 27m も進んでしまう。この時、意識を失った瞬間の動作を検知しようとしても、その検知に 3 秒かかるとすると、意識を失ってから自動車が停止するまでに合計 75m も進んでしまい、非常に危険である。この様に、眠ってしまい意識を失うまで時間に猶予があるものを検知出来なければ、安全な居眠り運転防止システムとは言えない。

そこで、本研究では睡眠状態になる前だが意識のある時間に、普段の動作とも睡眠中の動作とも大きさの違う特徴的な動作が現れる事に着目した。

例えば、非常に眠たくとも意識のある状態において、頭が船を漕ぐ様な挙動を見せることがある。このような状態は入眠して意識を失うおよそ 10 分前から現れると言われており²⁾、この動作を入眠予兆動作と定義し、入眠予兆動作をセンサで検知することで、運転者に余裕を持って居眠り運転に対する注意を促すシステムの構築を目指す。

3.2 センサデータの収集

実験のため、走行している車に乗車している人を対象にセンサ値の収集を行う。しかし、実際に運転者を対象にデータを収集することは非常に危険であるため、今回の実験では助手席に座っている人を対象にデータ収集を行った。また、焦電型赤外線センサのサンプリング周波数は 10Hz とした。

実験環境を図 1, 2 に示す。主に被験者の頭の動きだけを捉えるようにするため、赤外線センサの周りにシールドを取り付け検知範囲に制限をかけている。



図 1 車内における赤外線センサ取り付けの様子
Fig.1 Example of an infrared sensor mounted in the car

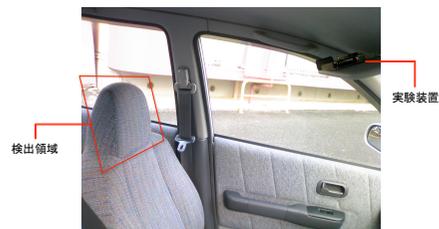


図 2 赤外線センサの検知範囲
Fig.2 Detection area of an infrared sensor

3.3 入眠予兆動作の検知

入眠予兆動作を検知する方法を考案するために、3.2 節に示した方法で、実際に走行している車内で居眠りしている人を対象にセンサ値を収集した。走行中に被験者には居眠りをしてもらいデータを取得し、起きている時のデータとの比較を行う。入眠予兆動作は居眠りで意識を失うおよそ 10 分前から現れると言われているので、被験者が居眠りで意識を失う前の 10 分間のデータを入眠予兆動作としてデータ収集を行った。

この方法で走行中に助手席で起きている人を対象にデータの収集を行った。図 3 に出力波形の例を示す。センサ定常の出力は約 500 で、人間の動作によってその値が上下するような波形が得られた

3.4 焦電型赤外線センサの特徴値

入眠予兆時の動作と起きている状態の動作では動作の大きさが異なるので、焦電型赤外線センサの出力値から、動作の大きさを捉えることが出来る特徴値を抽出する。今回研究では人間の動きの大きさを示す尺度として動作強度を定義し、これを検知に用いる。

動作強度とは 1.0 秒間におけるセンサ値の最大値と最小値の差 (振れ幅) である。焦電型赤外線センサの出力は人間の動作の大きさによって変化するので、この動作強度が大きいほど人間の動作も大きいことを表している。焦電型赤外線センサの出力値を Arduino 上で A/D 変換した時、値は 0 から 1023 の値で変化するので、同様に動作強度も 0 から 1023 の値を取る。図 3 の波形から動作強度を抽出した例を図 4 に示す。

3.5 入眠予兆時と普段の特徴値の比較

3.2 節で示した方法で、起きている時のセンサ値から抽出した動作強度の時間推移を図 5 に、車内で取得した入眠予兆時のセンサ値から抽出した動作強度の時間推移を図 6 に示す。

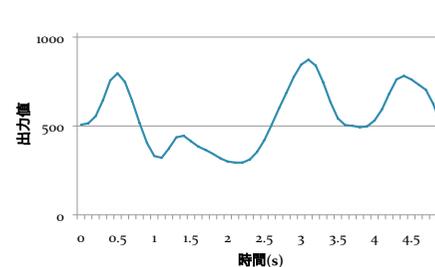


図 3 焦電型赤外線センサの出力波形
Fig.3 Output waveform of infrared sensor

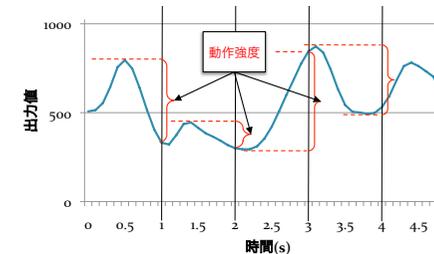


図 4 動作強度の抽出
Fig.4 Extract strength of human behaviors from waveform

入眠予兆時では起きているときに比べて動作強度の値が全体として小さく、また、時間と共に徐々に減少している傾向にあるということが分かる。動作強度の推移を調べることは、車内における検知において有効であると考えられる。

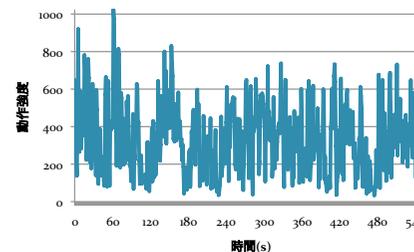


図 5 起きている時の動作強度の時間推移
Fig.5 Temporal transitions of strength of human behavior of waking time

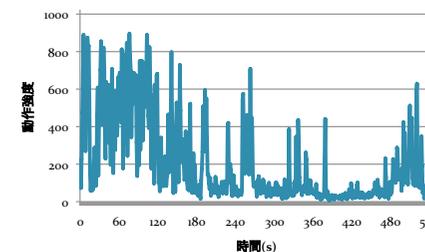


図 6 入眠予兆時における動作強度の時間推移
Fig.6 Temporal transitions of strength of human behavior before falling asleep

4. 車内におけるノイズ

本節では、車内において焦電型赤外線センサの出力に生じるノイズについて考察を行う。第 3 節で動作強度を特徴値に用いることで、入眠予兆動作が検知できる可能性があるが、車内における様々なノイズによって、センサデータから得られる特徴値に影響があるかもしれない。車内におけるノイズには様々な原因が考えられるが、今回の研究では以

下の二つについて主に検証を行う．

- 光量変化によるノイズ
- エンジンの振動によるノイズ

それぞれについて 3.2 節に示した方法でセンサデータを収集した．ノイズの影響が強くなるように、被験者にはなるべく動かないようにしてもらい、データ収集を行った．この様にして収集した出力波形から動作強度を調べ、ノイズの影響がどの程度現れているかを調べる．

4.1 光量変化によるノイズ

今回の研究に用いる焦電型赤外線センサは、検出ゾーンに入る赤外線量の変化を捉えるセンサなので、車内においては光量変化によってセンサ出力にノイズが乗ってしまう可能性がある．例えば、夜間に比べて日中は太陽光による影響が大きく、光量変化によるノイズを大きくうけると考えられる．

図 7 に日中停車時に取得した 1 分間のセンサ出力の例を、図 8 に日中停車時におけるセンサ出力から抽出したセンサ出力の振れ幅の時間推移を示す．

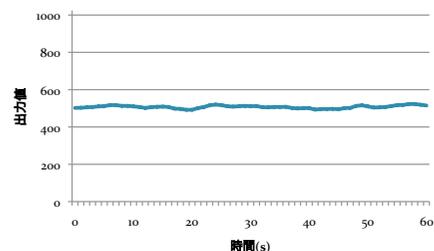


図 7 日中停車時におけるセンサ出力
Fig.7 Output waveform of infrared sensor in daytime

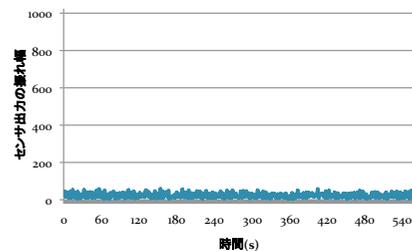


図 8 光量変化によるノイズの動作強度への影響
Fig.8 Impact on strength of behavior of the noise in daytime

図 7 より、センサ出力波形には大きな変化が見られず、図 8 を見ても、センサ出力の振れ幅は非常に小さい値を示している．図 5 の走行中に起きている時の動作強度や、図 6 の入眠予兆時における動作強度と比べて非常に小さく、光量変化によるノイズが検知に影響がないことを確認した．

4.2 エンジンの振動によるノイズ

走行中の車はエンジンの回転によって常に振動しており、それが被験者の体やセンサ自体

を揺らして、センサ出力にノイズが乗ってしまう可能性がある．そこで、日光の影響が少ない夜間にアイドリング中に取得したセンサ値を収集し、ノイズの影響を調査した．

図 9 に夜間のアイドリング時に取得した 1 分間のセンサ出力を、図 10 に夜間アイドリング時におけるセンサ出力から抽出したセンサ出力の振れ幅の時間推移を示す、

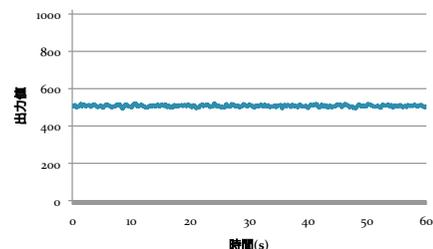


図 9 夜間アイドリング時におけるセンサ出力
Fig.9 Output waveform of infrared sensor during idling

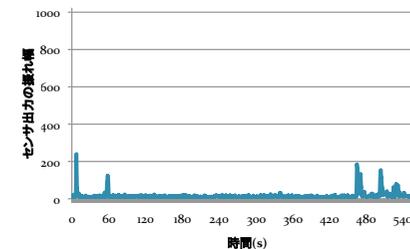


図 10 エンジンの振動によるノイズの動作強度への影響
Fig.10 Impact on strength of behavior of the noise during idling

図 9 より、センサ出力波形には大きな変化が見られず、図 10 を見ても、動作強度は非常に小さい値を示している．図 5 の走行中に起きている時の動作強度や、図 6 の入眠予兆時における動作強度と比べて非常に小さく、エンジンの振動によるノイズが検知に影響がないことを確認した．

アイドリング時のエンジンの回転数は約 1000rpm なので約 16Hz のノイズを発生している．人間の動作が現れる周波数帯よりも高周波領域でのノイズなので、この点からも検知には影響しないと考えられる．

5. 入眠予兆の検知

本章では、第 3 章、第 4 章の結果をもとに、入眠予兆動作の検知方法について説明する．検知方法として求められる条件を挙げ、それらの条件を満たすような検知方法を考える．

5.1 検知方法

以上の結果から、具体的な検知方法を考案する．検知方法には求められる条件として、以下のことが求められる．

- 入眠予兆を 10 分以内に検知できること

入眠予兆動作の長さは 10 分間なので、その間に警告を行わないと運転者が意識を失ってしまう。

- 組み込みシステム上でも動作可能であること

メモリを大量に使用したり、処理時間がかかるアルゴリズムは使用できない。

入眠予兆時の動作強度は時間と共に動作強度が減少していく傾向があることから、現在の動作強度が一定の閾値以下になったら警告を行うシステムを考えた。

閾値は、動作強度が減少していく過程で検知することが出来る値に設定する必要がある。例えば、入眠予兆時の動作強度の平均が有効な閾値であると考えられる。今回は 3.5 節に収集した 10 分間の入眠予兆動作中のデータ 2 個から平均を計算し、その付近で閾値を変化させ、適切な閾値を検証する。

また、動作強度は時間と共に細かく変化しているので、このまま閾値と比べてしまうと誤検知が多くなってしまふことが考えられる。そこで時間と共に移動する窓を用意し、そのなかで平均値を計算して閾値と比較する。例えば、大きさが 1 分間の窓では過去 1 分間のデータの平均を計算し、その結果が閾値より小さくなら警告を行う。窓の大きさについては最適なものがわからないため、実験の中で窓の大きさを 10 から 300 秒までの間で変化させ、適切な窓の大きさを検証する。

5.2 組み込みシステム上での動作

今回の実験では、このアルゴリズムが性能の低い組み込みシステム上で動作可能かどうかを検証する。そのために電子回路の設計が簡単に行える Arduino を用いて試作を行った。

今回の実験では最大の窓の大きさが 300 秒なので、最大で 300 個の動作強度を記憶しておく必要がある。ATmega328 の SRAM の大きさは 2Kbyte で 2byte の整数を最大 1024 個記憶出来るため、記憶領域は十分である。またクロック周波数は 16MHz で、サンプリング周波数の 10Hz に比べて十分小さく、速度も十分である。これを踏まえ、Arduino 上でも動作可能なアルゴリズムであると判断し、実際に試作を行った。

6. 実験・結果

本節では、第 5 節で試作した入眠予兆動作システムについて、その検知能力を測るための実験の説明と実験の結果を示す。

6.1 実験環境

実験データの収集は 3.2 節の実験と同環境で行った。また、車の揺れの影響が少なく、居眠りが起こりやすいと予想される、直線の多いバイパス道路を利用してテストデータの収集

を行った。

6.2 実験

上記の様に収集したデータを用いて実験を行った。

実験に使用したテストデータについて以下に示す。閾値は入眠動作中の動作強度 10 分間の平均値が 187 であったので、その付近で値を変化させ適切なものを探す。また、窓の大きさは 10 秒から 300 秒の間で値を変化させ、適切なものを探す。

表 5 テストデータ詳細
Table 5 Test data

被験者	4 人
入眠予兆時のデータ	10 分 × 6 個
起きている時のデータ	160 分
閾値	50, 100, 150, 187, 200, 250, 300
窓の大きさ [s]	10, 20, 30, 60, 90, 120, 187, 240, 300

以上のデータを、5.1 節で作成した検知システムに入力し、検知の精度を調べた。

6.3 評価方法

評価方法には、正答率と誤答率を用いる。

正答率は、入眠予兆動作を正しく検知出来た割合で、

正答率 = 入眠予兆と判断したデータ数 / 入眠予兆時のデータ数
で表される。

誤答率とは、起きている時のデータを間違えて検知してしまった割合で、

誤答率 = 入眠予兆と判断したデータ数 / 起きている時のデータ数
で表される。

この正答率と誤答率は検知の窓の大きさによる影響を受けて変化すると考えられる。例えば、検知の窓の大きさを小さくすると過去の動作強度の影響を受けにくいので、動作強度の変化への対応が早くなり、検知までの時間が短くなるが誤答率が上がってしまうと予想される。一方、検知の窓の大きさを大きくすると過去の動作強度の影響を大きく受けるので、動作強度の変化への対応が緩やかになり、誤答率は下がるが検知までの時間が長くと予想される。

また、閾値を小さくすると検知の感度が下がり、誤答率が下がるが検知までの時間が長くなると予想される。逆に、閾値を大きくすると検知の感度が上がり、検知までの時間が短く

なるが誤答率が上がってしまうと予想される．この2つの指標を用いて適切な窓の大きさと閾値を判断する．

6.4 結果

入眠予兆時のデータについて入眠予兆を検知するまでの時間を計測し、各経過時間における正答率と、起きている時のデータの誤答率を求めた．

結果として、各閾値、窓の大きさにおける、正答率が100%になるまでの時間と誤答率を表6に示す．括弧中に誤答率の中でも走行中に誤答したものを示している．

走行中の誤答率が0%のものの中で最も早く正答率が100%になったものは、窓の大きさを20秒として、閾値を150としたものであった．

表6 実験結果
 Table 6 Test result

		閾値							
		50	100	150	187	200	250	300	
窓の大きさ[s]	10	検知までの時間 [s] 誤答率(走行中の誤答率)[%]	368 1.8(0.0)	235 8.1(0.0)	77 11.7(1.4)	76 14.7(4.4)	76 15.7(5.3)	75 20.8(10.4)	75 26.0(15.7)
	20	検知までの時間 [s] 誤答率(走行中の誤答率)[%]	428 0.8(0.0)	269 6.5(0.0)	234 10.1(0.0)	231 13.0(2.7)	193 14.0(3.7)	189 19.1(8.8)	185 25.3(15.0)
	30	検知までの時間 [s] 誤答率(走行中の誤答率)[%]	600秒以上 0.4(0.0)	279 5.3(0.0)	240 9.2(0.0)	238 11.2(0.9)	235 12.6(2.3)	201 18.3(8.0)	191 24.4(14.1)
	60	検知までの時間 [s] 誤答率(走行中の誤答率)[%]	600秒以上 0.0(0.0)	600秒以上 4.3(0.0)	273 7.3(0.0)	264 9.6(0.0)	262 10.6(0.2)	231 16.2(5.8)	220 23.0(12.7)
	90	検知までの時間 [s] 誤答率(走行中の誤答率)[%]	600秒以上 0.0(0.0)	600秒以上 3.4(0.0)	505 6.1(0.0)	280 9.1(0.0)	269 10.0(0.0)	253 15.6(5.2)	239 21.0(10.6)
	120	検知までの時間 [s] 誤答率(走行中の誤答率)[%]	600秒以上 0.0(0.0)	600秒以上 2.6(0.0)	525 5.8(0.0)	292 8.1(0.0)	289 9.2(0.0)	273 14.6(4.2)	258 20.6(10.2)
	180	検知までの時間 [s] 誤答率(走行中の誤答率)[%]	600秒以上 0.0(0.0)	600秒以上 1.9(0.0)	546 3.9(0.0)	520 7.4(0.0)	341 9.1(0.0)	320 13.6(3.2)	293 20.6(10.2)
	240	検知までの時間 [s] 誤答率(走行中の誤答率)[%]	600秒以上 0.0(0.0)	600秒以上 1.5(0.0)	600秒以上 4.0(0.0)	564 6.5(0.0)	548 8.0(0.0)	348 12.3(2.0)	319 19.4(9.0)
	300	検知までの時間 [s] 誤答率(走行中の誤答率)[%]	600秒以上 0.0(0.0)	600秒以上 1.2(0.0)	600秒以上 3.6(0.0)	600秒以上 5.6(0.0)	600秒以上 7.3(0.0)	325 11.4(1.0)	328 18.4(8.0)

閾値を表6の中で最も結果が良かった150として、窓の大きさを変化させた実験結果を図11、12に示す．

図11に窓の大きさと誤答率の推移を示す．縦軸は誤答率で横軸は窓の大きさである．

また、誤答したデータのうち停車中に誤答したものを白、走行中に誤答したものを黒で示している．今回の実験では、停車中は走行中に比べてセンサ値が極端に小さくなってしまい、誤答が頻発してしまった．しかし、他のセンサや車載機器から速度などのデータを取得し、停車中は警告を停止するようにすればこの誤答を無くすことが出来る．そのため、今回は走行中の誤答に注目して評価を行う．

結果より、窓の大きさを20秒より大きくすれば走行中に誤答することは無くなるのが分かった．

次に、図12に窓の大きさと正答率の推移を示す．縦軸は正答率が100%に達するまでの時間で、横軸は窓の大きさである．結果より、窓の大きさが60秒以下の時、300秒までに全ての入眠予兆動作を検知することが出来た．逆に、窓の大きさを60秒以上にすると、大幅に検知までの時間が長くなっていることが分かる．特に、窓の大きさを240秒以上とした場合、最後まで正答率100%に達することが無かった．

以上の結果より、窓の大きさは20秒とするのが適切である事が分かった．

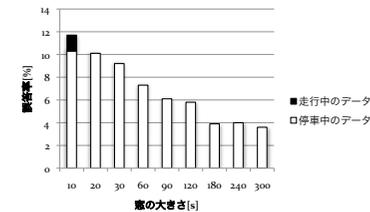


図11 窓の大きさと誤答率の推移
 Fig. 11 Relationship between the window size and error rates

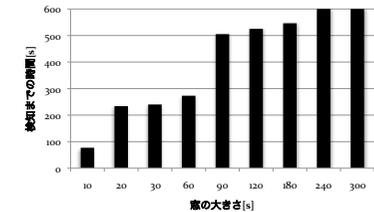


図12 窓の大きさと検知までの時間の推移
 Fig. 12 Relationship between the window size and times to detection

窓の大きさを表6の中で最も結果が良かった20秒として、閾値を変化させた結果を図13、14に示す．

図13に閾値と誤答率の推移を示す．縦軸は誤答率で横軸は閾値である．また、誤答したデータのうち停車中に誤答したものを白、走行中に誤答したものを黒で示している．結果より、閾値が入眠予兆中の動作強度の平均値187までは走行中の誤答が発生しているが、150からは走行中の誤答が無くなるという事が分かった．

図14に閾値と正答率の推移を示す．縦軸は正答率が100%に達するまでの時間で、横軸

は閾値である。結果より、閾値が 100 以上の時、300 秒までに全ての入眠予兆動作を検知することが出来た。また、閾値を小さくすると検知までの時間が長くなっていることが分かる。以上の結果より、閾値は 150 とするのが適切である事が分かった。

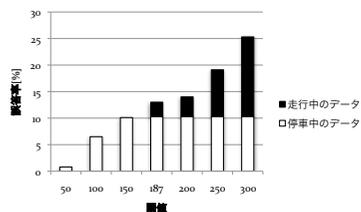


図 13 閾値と誤答率の推移

Fig. 13 Relationship between the threshold value and error rates

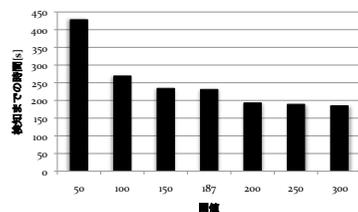


図 14 閾値と正答率の推移

Fig. 14 Relationship between the threshold value and times to detection

7. 考 察

本研究では車内における人間の睡眠前の予兆を、赤外線センサから得られるセンサ値と組み込みシステムを用いて、どの程度の時間と精度で検知出来るかを検証した。本節では第 6 節での結果を踏まえ、検知に用いる窓の大きさと閾値、検知時間、組み込みシステム上での動作について考察を行う。

7.1 適切な窓の大きさと閾値について

検知の誤答率が低く、かつ検知までの時間が短くなるような窓の大きさと閾値の組み合わせを考える。

誤答については、ほとんどが停車中に被験者の動作が小さくなってしまった結果発生した誤答で、全体的に走行中に発生した誤答は少なかった。しかし、6.3 節で予想したとおり、窓の大きさを小さくしたり閾値を大きくすると誤答率は大きくなり、走行中にも多くの誤答が発生した。このことから、今回は走行中の誤答が出来るだけ少ないものの中から最も検知までの時間が短い組み合わせを探す。

表 6 より、走行中の誤答が 0 % のものに注目し、その中で最も検知までの時間が短かったものは、窓の大きさを 20 秒として、閾値を 150 としたものであった。よって、窓の大きさは 20 秒、閾値は入眠予兆動作の動作強度全体の平均より少し低い 150 とするのが適切で

ある。

7.2 検知時間について

参考文献²⁾より、人間の入眠予兆は入眠前の 10 分前程度から表れることがわかっている。この入眠予兆を少なくとも 5 分間で検知できれば、運転者に十分余裕を持って居眠りの警告を行うことが出来る。

今回の実験より、焦電型赤外線センサを用いて 5 分間の計測をすれば確実に検知が可能であるとわかった。この結果より、検出時間の面で十分居眠り運転防止システムとして有用であると言える。

7.3 組み込みシステム上での動作について

8bit マイコンである Arduino Duemilanove を用いてシステムを試作し実験を行い、性能が低いマイコンでも検知が十分可能である事がわかった。

今回のアルゴリズムでは、窓の大きさが 20 秒であれば 20 個の整数を記憶しておけばよく、他の定数や変数を含めても小さなメモリで十分動作可能である。また、必要な計算も整数演算のみで、複雑な処理が必要なく、処理速度に限界があるマイコンでも十分動作可能である。

8. ま と め

本研究では、焦電型赤外線センサから得られるセンサ値から、人間の入眠予兆動作を検知する方法を提案した。一定時間ごとのセンサ出力の振れ幅を動作強度と定義し、これを検知の特徴値として用いた。また、ノイズの影響について考察を行い、動作強度が光量変化によるノイズやエンジンの振動によるノイズの影響を受けないことを確認した。

検知の方法としては、入眠予兆時の動作強度は時間と共に動作強度が減少していく傾向があることから、現在の動作強度が一定の閾値以下になったら警告を行うシステムを考えた。閾値は、収集した入眠予兆時の動作強度 10 分間の平均付近から決定することで、動作強度が減少していく過程で警告できるようにした。また、誤検知の対策として、一定の大きさの窓を用意し、そのなかで平均値を計算して閾値と比較する方法を考え、システムの試作を行った。

システムの試作は性能の低いマイコンを用い、メモリや処理速度が小さくても検知可能かどうかを検証した。

その結果として、焦電型赤外線センサと組み込みシステムを用いたシステムで、入眠予兆の検知は 5 分程度観測すれば可能であることがわかった。

謝辞 今回の実験の実施に際してご協力を頂いた、九州工業大学院情報工学府吉田研究室の陣内さん、古谷さん、衛藤さんに心より感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) トヨタ自動車：プリクラッシュセーフティシステム（前方対応），
http://www2.toyota.co.jp/jp/tech/safety/technologies/pre_crash/system.html
- 2) 金子成彦：居眠り運転防止シート，日本機械学会誌,111(1075),pp.500-501,Jun.2008.
- 3) 島田義人：熱エネルギー変化を捉える焦電型赤外線センサを使った人体検知器の製作，トランジスタ技術,2003年12月号.
- 4) Panasonic Corporation：焦電型 MP モーションセンサ NaPiOn,
<http://www3.panasonic.biz/ac/j/control/sensor/human/napion/index.jsp>
- 5) Arduino :Arduino Software, Arduino Duemilanove, <http://arduino.cc/en/>
- 6) ATMEL ATmega328 : <http://www2.atmel.com/>