

平成21年 4月 23日現在

研究種目：基盤研究（C）
研究期間：2007～2008
課題番号：19500400
研究課題名（和文）
メガネ装着型まばたきセンサと安全等のための居眠り検知アルゴリズムの基礎研究
研究課題名（英文） Study of glasses-mounted eye blink sensor and drowsiness detection algorithm for safety
研究代表者
小関 修（OZEKI OSAMU）
豊田工業高等専門学校・電気・電子システム工学科・教授
研究者番号：50280392

研究成果の概要：人が移動する場合にもまばたきが検出できるメガネ装着型まばたきセンサを開発した。このセンサは、視野妨害が少なく、かつ1000ルクスの蛍光灯照明下で使用できる。しかし、間接太陽光の照度である2000ルクスでは使用できない。居眠り時の表情から決定した真の居眠り度を、まばたき特徴量－瞬時まばたき数、長いまばたきの累積時間、および全閉眼時間－から推定する式を作成した。その結果、3名の被験者のうち、1名で軽度の居眠りが良好に推定できた。しかし、2名は不十分な結果であった。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	600,000	180,000	780,000
2008年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
年度			
総計	1,100,000	330,000	1,430,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学・医用生体工学・生体材料学

キーワード：まばたき、メガネ、センサ、変調、居眠り検知、多重回帰、アルゴリズム

1. 研究開始当初の背景

運転の安全や監視・選別作業の信頼性向上のために、人の居眠りを検出できることが望まれる。居眠りはまばたきに反映されるが、従来のまばたきセンサは顔画像を用いており、人が移動する場合には使えない。また、検知すべき居眠りの程度は、身体がゆるるような重度の居眠りではなく、ゆっくりしたまばたきが増える程度の軽度の居眠りである必要がある。

2. 研究の目的

(1)人が移動しても安定にまばたきが検出できるメガネ装着型まばたきセンサを開発する。このセンサ開発においては、外乱光の影響が低減でき、かつ視野を妨げにくい赤外線送受光方式の「メガネ装着型まばたきセンサ」の基本構成（メカニズム、および信号処理回路）、性能、および問題点を明らかにすることを目的とする。

(2) メガネ装着型まばたきセンサの信号に基づいて、軽度の居眠りを検知するための基本アルゴリズムを考案する。そして、実験により、アルゴリズムの能力と問題点を明らかにする。

3. 研究の方法

(1) メガネ装着型まばたきセンサの開発

平成 18 年度までの研究で製作したまばたきセンサ（これを一次試作機という）は、赤外光を連続投射するため、外乱光の影響を受ける。また、眼の前方に送受光部があるため、視野が妨害される。

①外乱光の影響の低減：外乱光の影響の低減を図るために、一次試作機の赤外光をパルス変調する方式に改良し（これを二次試作機という）、その性能を評価する。

②視野妨害の低減：送受光部の配置を検討し、視野妨害の少ない送受光部を設計する。実際に送受光部を製作し（これを三次試作機という）、性能を評価する。

③位置調節機構の組み込み：人により顔の形状が異なっているため、まばたきセンサの位置が調節できる機構が必要である。視野妨害の低減を考慮した上で、位置調節機構を設計し、三次試作に組み入れる。

(2) 居眠り検知基本アルゴリズム

メガネ装着型まばたきセンサから得たまばたき信号に基づいて、居眠り検知を行うための基本アルゴリズムを作成する。人に居眠りを発生させる負荷には、別途開発するドライビングシミュレータを利用する。居眠りの客観指標（真の居眠り度）には、「表情を目視観察して得た居眠り度」を用いる。居眠り度を推定するためのまばたき特徴量としては、瞬時まばたき回数、長い閉眼時間等のまばたきに関する複数の指標を取り上げる。これら特徴量により居眠り度を推定する式を作成し、真の居眠り度と比較する。

4. 研究成果

(1) メガネ装着型まばたきセンサ

①外乱光の影響の低減

外乱光の影響を低減させるために、赤外光をパルス変調して眼に投射する方式の二次試作機を製作した（図 1）。変調周波数は 200Hz である。反射光は組み込み用マイコン（PIC マイコン）で同期検波し、復調する。まばたき信号は RS232C でパソコンに読み出すことができる。

二次試作機の耐外乱光性能を評価するために、外乱光を変化させたときの出力を観測した。外乱光は蛍光灯で与え、被験者が顔を正面から右方向に 90° に動かすことで、外乱光の入射条件を変化させた。被験者周辺の外乱光の照度は、机上作業の標準照度である

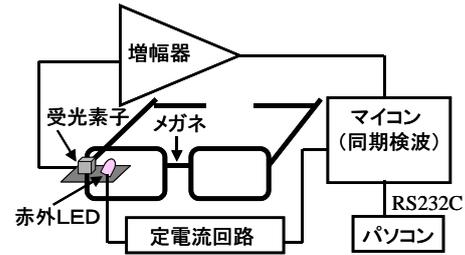


図 1 まばたきセンサ二次試作機の構成

750 ルクスを上回る 1000 ルクスとした。実験は赤外光を連続投射した場合と変調した場合の二通りを行い、比較した（図 2 (a), (b)）。連続投射の場合は、顔の向きによる外乱光入射量の変化が信号として検出されるため、まばたき信号がセンサ出力に現れない場合があった（同図 (a) の a で示した部分）。これに対し、変調した場合は、外乱光入射量の変化は検出されないため、まばたき信号が安定して得られた（同図 (b)）。この結果より、変調を行うことで、外乱光の影響を低減できることが確認できた。しかし、外乱光の強さの上限は、1000 ルクス程度であり、太陽光が間接光として投射された場合（2000 ルクス以上）には、センサ信号出力が飽和し、まばたき信号が検出できないことが分かった。

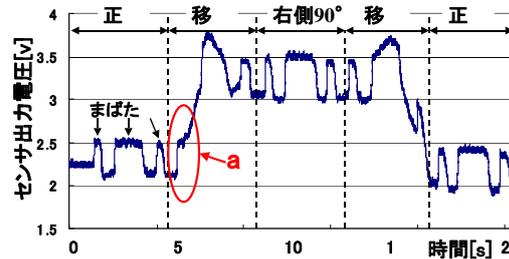


図 2 (a) 赤外光を連続投射した場合

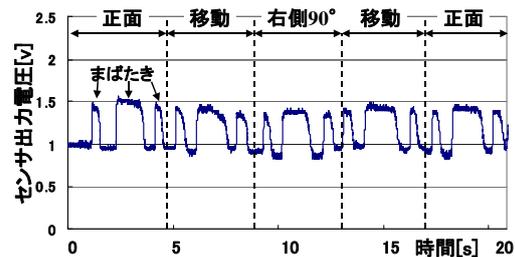


図 2 (b) 赤外光をパルス変調した場合

②視野妨害の低減

二次試作機では、赤外光の送受光部を図 1 に示すように眼前におき、まぶたと眼球の反射率の違いによりまばたきを検出した。三次試作機においては、視野妨害を減らすために、送受光部を眼球の左右に分けて置くように設計変更した（図 3）。したがって、三次試作

機では、赤外光がまぶたにより遮断されることにより、まばたきを検出されることになる。このような構成により、視野妨害の程度は大幅に低減できた。

③位置調節機構の組み込み

人によらず安定にまばたき信号を得るために、三次試作機には位置調節機構を設けた(図3)。この位置調節機構内には、LED3個を縦に並べたアレー状の送光部を組み込んだ。これは、調節機構の稼動範囲(縦方向に5mm)が不足して、眼の中央部にLEDアレーが来ない場合でも、いずれかのLEDからの光がまぶたで遮断されるようにするためである。三次試作機の外観を図4に示す。

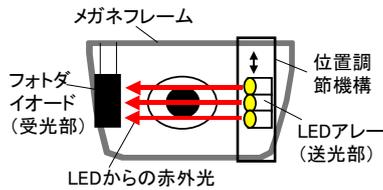


図3 三次試作機の構成



図4 三次試作機の外観

④三次試作機によるまばたき検出実験

試作した三次試作機の性能評価のためにまばたき検出実験を行った。三次試作機は二次試作機と同じ原理のパルス変調を組み込んだので、実験は蛍光灯照明下(1000ルクス)で行った。居眠りが生じると、視線が下方に向く傾向があるので、視線方向を正面から下方30度まで、7.5度きざみで変化させて、まばたき信号を観測した。被験者は3名とした。位置調節機構で調整を行った後の結果の一例を図5に示す。同図(a)より、いずれの視線方向においてもまばたきを表す信号が得られていることがわかる。同図(b)は、正面での信号の拡大図であり、この波形におけるまばたき時間は図の t_D である。正面の場合、眼を閉じるときと開くときにLEDの光をまつ毛が2回遮断し、このとき電圧が急減するため図のような波形となる。同図(c)は、下方30度での信号の拡大図である。この場合、眼を閉じたときに電圧が増加する特性となり、まばたき時間は図の t_D となる。この特性は以下のように説明できる。まず、下方を見ると、まぶたにより全てのLEDからの光が遮断

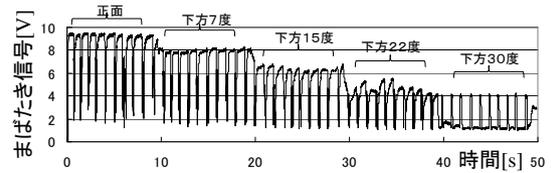


図5(a) 測定したまばたきデータの一例

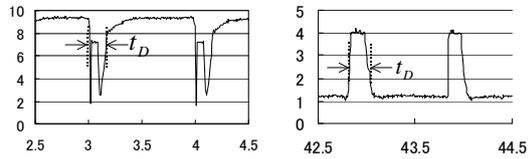


図5(b) 拡大図(正面) 図5(c) 拡大図(30度)

される。この状態でまばたきを行うと、まぶたがより下方に引っ張られるため、一番下側のLEDの光が受光素子に入りようになり、電圧が増加する。まばたきが終了すると、再び全てのLEDがまぶたにより遮断され電圧は減少する。

図5に示すようなまばたきデータは、位置調節機構による調節を行うことで、他の一人の被験者についても概ね同様に得られた。しかし、もう一人の被験者については、調節機構の稼動範囲が不足し、視線方向によってはまばたきが認識できない波形となった。

以上のように、三次試作を行うことで、外乱光の影響を低減した、視野妨害の少ないまばたきセンサが実現できた。位置調節機構は一応の成果があったが、人によっては調節が十分に行えないことがわかった。今後の課題としては、調節範囲を広くするための調節機構の改良と、視線方向により異なるまばたき波形から、まばたき時間 t_D を正確に検出するアルゴリズムの開発が挙げられる。

(2) 居眠り検知基本アルゴリズム

居眠り検知基本アルゴリズムの開発と評価のために、まばたき時間測定アルゴリズムの作成、居眠り度の客観指標の定義、居眠り度推定式作成のためのまばたき指標の定義、および推定式の作成と評価を行った。なお、居眠り検知基本アルゴリズムの研究には、まばたきセンサの一次試作機を用いた。これは、まばたきセンサ開発と居眠り検知基本アルゴリズム開発を並行して進めたため、アルゴリズムの研究に二次試作機、あるいは三次試作機が間に合わない可能性があったためである。

①まばたき時間測定アルゴリズム

一次試作機のまばたき信号は、図6(a)に示すように、閉眼により電圧が増加するので、その差分信号(同図(b))を求め、それに閾値を設定して、まばたき時間 t_D (同図(c))を測定した。

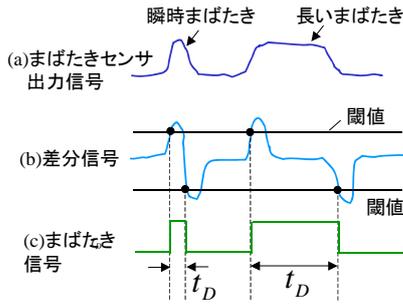


図6 まばたき信号の検出アルゴリズム

②居眠り度の客観指標の定義

居眠り度の客観指標には、「被験者の表情を目視観察して判定した居眠り度」を用いる。この居眠り度は、後述する居眠り実験において、ビデオカメラで撮像した被験者の表情を、実験終了後に目視観察して点数化して得る。点数は、10[s]ごとに、

- ・覚醒している…0点、
- ・少し眠い（軽度の居眠り：ゆっくりとしたまばたきが発生、あくびをする）…1点、
- ・かなり眠い（重度の居眠り…長いまばたきが発生、身体の揺れ、こっくりする）…2点
- ・眠る…3点

とする。この点数の1分間の平均値を居眠り度の客観指標 D_{ROW} とする。

③居眠り度推定式の作成と評価

③-1 まばたき特徴量

居眠り度推定式作成のためには、推定式の入力となるまばたき特徴量が必要である。そのために、まず、まばたきの種類として以下の2種類を定義した。

- ・瞬時まばたき：図6(c)において、閉眼時間 t_b が 0.3[s]未満のまばたきを示す。
- ・長いまばたき：閉眼時間 t_b が 0.3[s]以上のまばたきを示す。

この2種類のまばたきを用い、以下の三つのまばたき特徴量を定義した。

- (i) 瞬時まばたき数 (N_{INS} と表す)：1分間に発生する瞬時まばたきの回数。
- (ii) 長いまばたき累積時間 (T_{LONG} と表す)：1分間に発生する長いまばたきによる閉眼時間の累積
- (iii) 平均まばたき時間 (T_{AVE} と表す)：1分間に発生する瞬時まばたきと長いまばたきの閉眼時間の合計

③-2 居眠り実験

被験者に居眠りを生じさせる負荷には、この研究のために製作したドライビングシミュレータ(図7)を用いる。被験者はまばたきセンサを装着し、5分間の安静の後、一定速度でドライビングシミュレータを運転し、



図7 ドライビングシミュレータの外観

模擬走行を行う。実験時間は最長60分間とし、運転途中に明らかに入眠したと判断される場合は、その時点で実験を終了する。まばたきセンサからのデータは2[ms]間隔でパソコンに収録される。実験中、被験者の顔をビデオ撮影する。室温は28℃前後とした。被験者は3名とし、4ヶ月をおいてそれぞれ2回の実験を行った。

図8は結果の一例(被験者Bの1回目)であり、時間経過に対する三つのまばたき特徴量と居眠り度の変化を示している。図より、この被験者の場合、実験開始直後から居眠り度 D_{ROW} が上昇し、約4分間後にかなり眠い状態に達している。このような居眠りの進行に対し、瞬時まばたき数 N_{INS} は実験開始から3分間は増加し、その後急速に低下している。これは、始めのうちは、眠気に対抗してまばたきを繰り返すが、対抗し切れなくなると瞬時まばたきをしなくなることを示している。一方、長いまばたき累積時間 T_{LONG} は、始めのうちは発生しないが、眠気が増すにつれ増加し、やがて、1分間に15秒程度の累積時間に達している。平均まばたき時間 T_{AVE} は、 N_{INS} と T_{LONG} の両方の特徴を備えており、比較的、居眠り度 D_{ROW} に対応した変化を示している。

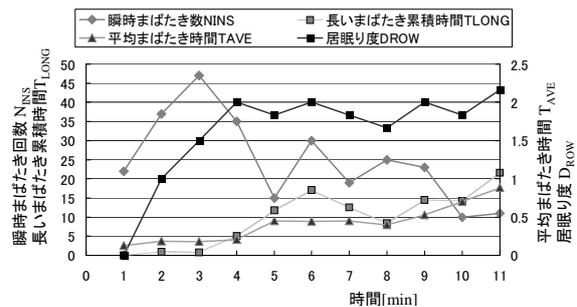


図8 時間経過に対する三つのまばたき特徴量と居眠り度の変化の例(被験者B1回目)

③-3 居眠り度推定式と評価

図8の結果は、定義したまばたき指標による居眠り度推定の可能性を示していると判断し、1回目の実験で得たデータを用い、まばたき特徴量 (N_{INS} 、 T_{LONG} 、 T_{AVE}) を入力、居眠り度の客観指標である D_{ROW} を出力とする推定式を、重回帰分析を用いて、被験者ごとに作成した。次いで、得られた推定式に、

2 回目の実験データから得たまばたき特徴量 (N_{INS} 、 T_{LONG} 、 T_{AVE}) を入力し、居眠り度 D_{ROW} の値を推定し、それらを実際の測定値と比較した。3 名の被験者についての結果を図 9 に示す。図には作成した居眠り度推定式も示した。

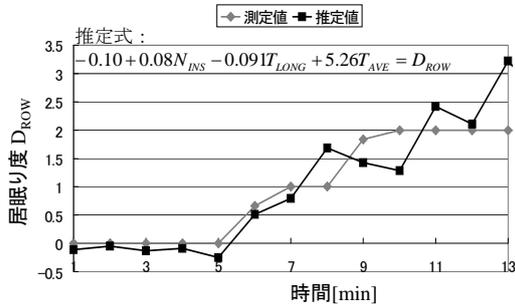


図 9(a) 被験者 A 居眠り度の推定結果

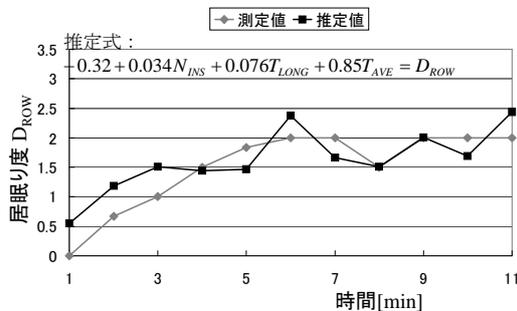


図 9(b) 被験者 B 居眠り度推定結果

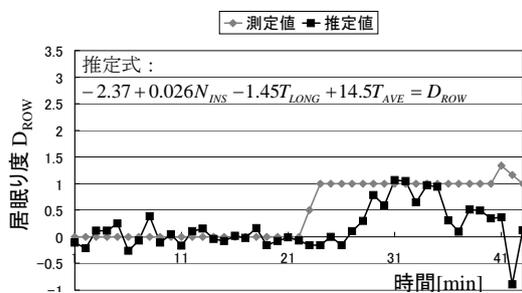


図 9(c) 被験者 C 居眠り度推定結果

同図(a)より、被験者 A については、軽度の居眠りである居眠り度 1 までは、推定値と測定値の差 ε は 0.2 程度であり、精度は高い。居眠りが進行し、居眠り度 2 に達すると、 ε は 0.5 程度に増加し、精度が低下している。これに対し、同図(b)の被験者 B については、実際の居眠り度が増加する前に、推定値が増加する結果となり、軽度の居眠りにおける ε は 0.5 と大きくなった。同図(c)の被験者 C の測定値の場合は、覚醒した状態が 22 分間ほど続き、その後、軽度の居眠りが発生している。これに対し、その推定値は、測定値が軽度の居眠りを示してから 5 分後に軽度の居

眠りが発生したと推定している。この 5 分間の遅れは実用を考えると、大きな値である。被験者 C は、居眠りを生じにくいタイプであり、まばたきの発生の仕方が、他の被験者に比べ安定していないことが目視観察された。このような被験者には、今回作成した重回帰分析による推定式では、推定精度が不十分であることがわかった。

以上のように本研究では、居眠り検知基本アルゴリズムとして、瞬時まばたき数、長いまばたき累積時間、および平均まばたき時間を入力とする、重回帰分析に基づく居眠り度推定式を作成した。実験を行って、この推定式を評価したところ、目的とする軽度の居眠りの推定については、3 名の被験者のうち、1 名が概ね良好、2 名が不十分という結果となった。

今後、推定精度の向上についての取り組みを行う必要があるが、それに当っては、居眠り度をより反映するまばたき指標の探索と個人差をより吸収できる推定式の求め方が課題になる。前者については、三次試作のまばたきセンサにおいて得られる、視線方向によるまばたき波形の違い（居眠りが進むにつれ視線が下方になり、それにより波形に特徴が現れる）の利用が考えられる。

本研究を行うことで、人が移動する場合にもまばたきを検出できるメガネ装着型まばたきセンサの基本形を固めるとともに、その性能と課題が明らかにした。このようなタイプのまばたきセンサは世の中では提案されておらず、今後、性能改善を進め、しかるべき用途への提案へと発展させたい。

居眠り検知アルゴリズムについては、目標とする軽度の居眠りの推定において、満足できる精度を得ることはできなかった。今回、明らかになった軽度の居眠り推定の信頼性は、顔画像からまばたきを検出し、居眠り推定を行っている先行研究と同等あるいはそれをやや下回る程度と考えられる。しかし、「軽度の居眠り検知」を明確な目標に据えた先行研究は見当たらず、この研究の意義は大きいと考えている。今後、アルゴリズムの改善による信頼性向上を目指して、検討を進める。

5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計 2 件)

- ①岡田晋作、羽佐田泰之、大野互、小関修：「居眠り検知用メガネ装着型まばたきセンサの開発」2009 年電子情報通信学会全国大会、D-7-9、2009. 3. 17、愛媛大学
- ②揚妻千恵、神部貴仁、大野互、小関修：「変復調式メガネ装着型まばたきセンサの試作と特性評価」平成 19 年度電気気関係学会東海支部連合大会、P-057、2008. 9. 27、信州

大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小関 修 (OZEKI OSAMU)

豊田工業高等専門学校・電気・電子システム工学科・教授

研究者番号：50280392

(2) 研究分担者

大野 互 (OHNO WATARU)

豊田工業高等専門学校・電子・電気システム工学科・准教授

研究者番号：60321444