

画像方式を用いたまばたき計測による意識低下検知

杉山和彦, 水野守倫, 中野倫明, 山本新

Drowsiness Level Detection by Measuring Blinks Utilizing Image Processing

Kazuhiko Sugiyama, Morimichi Mizuno, Tomoaki Nakano, Shin Yamamoto

要 旨

近年, 自動車の予防安全への関心が高まり, 運転中のドライバの居眠りあるいは意識低下を検知するシステムが強く望まれている。意識低下を検知する方法として, 車両情報を用いる方法と生体情報を用いる方法があるが, 生体情報のなかで, まばたきを検出する方法は意識低下を早期に検知できる可能性があることから有望視されている。

そこで, 本研究では, 自動車を運転中のドライバの意識低下を非接触に信頼性良く検知するため, TVカメラでドライバの顔を撮像した画像からまばたきを検出し, まばたきの閉眼時間から意識低下を推定する方式を開発した。提案した方式は以下の3つの部分からなる。

(1) 昼夜にわたり使用可能であり, 屋外での照度

変化や外乱光の影響に強い撮像法を開発し, その効果を確認した。ドライバの顔を照明する赤外光源を設け, 電子シャッター動作するTVカメラの蓄積時間に同期させてパルス発光する方式とした。

(2) ドライバの顔の造りの個人差の影響に強いまばたき検出法を開発し, その効果を確認した。1次元の濃淡処理を繰り返すことにより眼の開度を計測し, まばたきの閉眼時間を求める方式を考案した。

(3) 閉眼時間の変化から意識低下を推定する方式を提案し, その効果を確認した。閉眼時間と車両の横偏位量から回帰直線を算出して推定を行う。走行時にはその回帰直線の更新を繰り返して, 個人差に対応する方式とした。

Abstract

In recent years, numbers of traffic accidents have been caused by drivers' drowsiness. For preventing traffic accidents, such a system as to detect the drowsiness level without putting any sensor on the driver was developed. According to various reports, as the drowsiness level of a driver decreases, the blinking duration becomes longer than his normal arousal level. In this report, therefore, we propose a highly reliable method of noncontact measurement for the driver's drowsiness level during driving. The our method consists of the following three parts :

1. We have devised an imaging unit which is less affected by ambient light. We provided an infrared light

source which lights the driver's face; this light source emits pulses of light synchronizing with the storage time of a TV camera in electronic shutter mode.

2. We have devised a method of measuring the blinking duration which is independent of the driver's facial features. The blinking duration is calculated from the result of eye-opening measurement using simple gray scale processing.

3. We have proposed a method of estimating the drowsiness level from a change in blinking duration. In this method, the regression line for estimation is repeatedly renewed during driving to respond to individual drivers' differences.

キーワード

自動車, 安全, 居眠り検知, 意識低下, まばたき(瞬目), 画像処理

1. はじめに

近年、交通事故の増加に伴い自動車の予防安全への関心が高まっており、様々なシステムが検討されている。そのなかで、ドライバの状態を検知するシステムの一つとして、運転中のドライバの居眠りあるいはその前段階である意識低下を検知するシステムが考えられる¹⁾。ドライバにとって長時間運転や単調な走行環境下での運転機会が増えるにつれて、居眠り運転による事故が重大な問題となっており、安全向上の観点からドライバの居眠りまたは意識低下を検知するシステムが強く望まれている²⁾。

意識低下を検知する主な方法には、車両情報を用いる方法と生体情報を用いる方法がある³⁾。車両情報を用いる代表的な方法として、操舵特性の変化を検知してドライバの意識低下を推定する方法⁴⁻⁶⁾が行われている。

一方、生体情報による方法には、脳波、皮膚電位、心電位、眼球運動、まばたきなどを計測する方法があり、意識低下を含む生体反応を直接計測できるという利点から、多くの研究がなされてきた^{2, 3, 7-10)}。そのなかでも、まばたきを検出する方法は他の方法に比べて意識低下をより端的に反映することが知られ、意識低下を早期に検出できる可能性があることから有望視されている^{6, 11)}。

従来、まばたきを検出する方法として、EOG (Electro-Oculogram) が用いられてきたが⁶⁾、目の付近に電極を貼り付けるため拘束感が強く、長時間ドライバの状態を監視することは難しい。そこで、ドライバに拘束感を与えない非接触な方法として、インストルメントパネル等に設置したTVカメラによりドライバの顔を撮像し、その画像からまばたき情報を検出する方式が考えられている¹³⁾。まばたきの情報としては、まばたきの発生間隔¹²⁾、閉眼状態の出現頻度¹³⁾、あるいは1回あたりのまばたきに要する時間 (閉眼時間)^{6, 9, 14)}などが検討されてきたが、このなかでは閉眼時間が有効との報告が多い。これは、意識低下が進むにつれて、まばたきの閉眼時間が長くなるという知見に基づくものである。

自動車の運転環境で非接触にまばたきを検出す

るには、昼夜を問わず良好な顔の画像が得られること、ならびに、ドライバの顔の個人差 (主として顔の造りの個人差) に強いことなどが不可欠である。最近では、画像処理を用いた非接触なまばたき検出に関する報告がなされているが^{13, 15)}、運転環境における照度変化やドライバの個人差まで考慮した報告は見当たらない。また、検出したまばたきの情報から意識低下を推定するには、ドライバごとの個人の特性の違いを考慮することが欠かせないが、この点を含めた意識低下推定法に関する報告も見当たらない。

本研究では、TVカメラで運転中のドライバの顔を撮像し、その画像から非接触にまばたきを検出するため、運転環境での昼間の太陽光や夜間の他車の前照灯などの照度変化や外乱光の影響に強い撮像法と顔の個人差によらないまばたき検出法を考案した。本方式による撮像部では、赤外光源により照明することで昼夜にわたり顔画像を得ることができ、さらにTVカメラの電子シャッター制御に同期してパルス発光することで、照明光と外乱光とのSN比を上げ、良好な顔画像を得ることができる。また、まばたき検出では画像を二値化せず濃淡画像処理を行うことにより、個人差に起因する様々な顔の濃淡の変化によらずまばたきを検出できる。さらに、意識低下推定方式においては、閉眼時間の变化から意識低下の推定を行うが、運転中に推定に用いる回帰直線の更新を繰り返すことにより、個人差に対応する方式とした。

2. 意識低下検知の概要と技術課題

Fig. 1に、意識低下検知の概要を示す。まず、車のインストルメントパネルなどに設置した撮像部によりドライバの顔画像を非接触に撮像する。その画像を処理することによりドライバのまばたきを検出し、まばたきの閉眼時間を計測する。ドライバの正常時の閉眼時間に対する変化から意識低



Fig. 1 Outline of driver's drowsiness level detection by measuring blinking duration.

下を推定し、ドライバへ警報したり刺激を与えて覚醒させたりする。顔画像の撮像、まばたき検出、および意識低下推定の各過程で、以下の課題が考えられる。

顔画像の撮像では、まず夜間やトンネルなどの低照度時に適用できる必要がある。また、昼間の太陽光や夜間の他車の前照灯の直射などにより、ドライバの顔に車体の構造物（ピラーなど）の影ができることが多い。この場合には、顔画像は影と直射部分とでムラになるため、良好な顔画像は得られない。そこで、昼夜にわたり撮像でき、顔に対する屋外の外乱光の影響を低減できる撮像法が必要になる。

まばたき検出では、顔の造りの個人差により検出が困難な場合が考えられる。Fig. 2は、7人の顔画像から、目の付近の濃淡の違いをまとめたものである。通常目の画像（まぶたと眼球の境界線、虹彩、瞳孔）のほかに、眼球の膨らみによる影などが生じ、これらがノイズとなってまばたきを検出できなかつたり、まばたきしていない場合をまばたきと誤ったりすることが起こりやすい。このような目の付近の濃淡の変化は、運転中の顔の向きや姿勢が変わると一層顕著になる。そこで、顔の造りの個人差の影響に強い検出法が重要になる。

意識低下推定では、計測したまばたきの閉眼時間と意識低下との間の相関関係を把握すること、さらにその相関関係には個人の特性の差があることを踏まえて、個人差を考慮した意識低下推定法が必要である。

3. まばたきの検出方法

3.1 顔画像の撮像法

まず、低照度時に対応するために、ドライバの

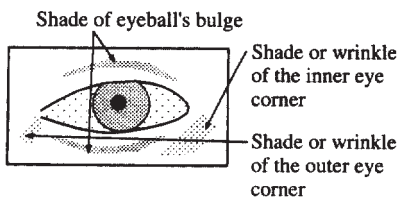


Fig. 2 Differences of individual facial feature.

顔を照明する光源を設ける。この光源は、ドライバにまぶしさを与えないため近赤外光とする。さらに、この照明光に対する外乱光の影響を低減させるために、TVカメラを電子シャッター動作させ、これと同期させてパルス発光する方式とした。パルス発光により、連続的に発光させる場合よりもピーク時の光量を得ることができ、発光強度を上げることができる。また、TVカメラでは発光期間中のみ露光することになり、CCDに蓄積される電荷のうち外乱光の割合を減らして、照明光と外乱光とのSN比を上げる効果がある。Fig. 3は、試作した撮像部の構成を示したものであり、TVカメラ、発光部、および発光制御部からなる。発光部は、CCDの分光感度を考慮し、中心発光波長が850nmの近赤外LED（8行8列計64個）を用いている。この発光部では、安全基準¹⁶⁾を考慮しながら、ドライバの顔の撮像に必要な光量を確保している。

この撮像部により得られる顔画像の良否を確認するため、実際に自動車に撮像部を設置し実験を行った。Fig. 4はその代表的な画像を示したものであり、同じ運転環境で光源を設けずに撮像した場合の画像と比較する。発光部の動作条件はパルス発光時間が1/4000s、LEDのピーク順電流は0.4Aである。Fig. 4の4枚の顔画像のうち、Fig. 4(a)（上半分）は、晴天下、昼間において太陽直射により車体のAピラーの影が顔の上に生じている場合である。車外での照度は約11,000luxにも達し、撮像部にとってはかなり厳しい条件となっている。Fig. 4(a)の2枚の画像で、顔の上の直射部分と影の部分の濃度比を算出すると、左の光源がない場合では平均約9、右の本撮像部の場合では、平均約3であり、

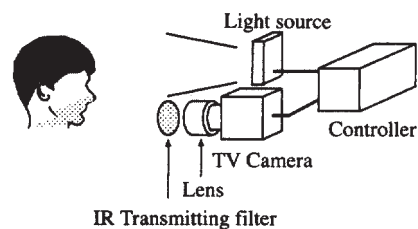


Fig. 3 Configuration of imaging unit.

顔画像の濃度ムラが改善されている。また、Fig. 4(b) (下半分)は、夜間において他車の前照灯の直射により顔半分が照らされている場合である。前照灯による照度は、たかだか約140lux程度であるため、Fig. 4(a)の昼間の実験結果に比べると改善効果がより顕著である。いずれの場合においても、右側の本撮像部による画像の方が外乱光の影響がよく低減されており、運転環境の照度変化によらずに良好な顔画像が得られることがわかる。

3.2 まばたきの閉眼時間の計測法

Fig. 5に近赤外光による目の画像を示す。Fig. 5(a)は実際の画像の一例であり、Fig. 5(b)は模式的に示した図である。人間の黒目は絞りに相当する虹彩と開口部の瞳孔からなっている。可視光による画像では、両者ともほぼ一様に黒く見えるが、近赤外光による画像では、虹彩での反射率が高いため、瞳孔だけが暗く、虹彩は眼球の白目より若干暗い

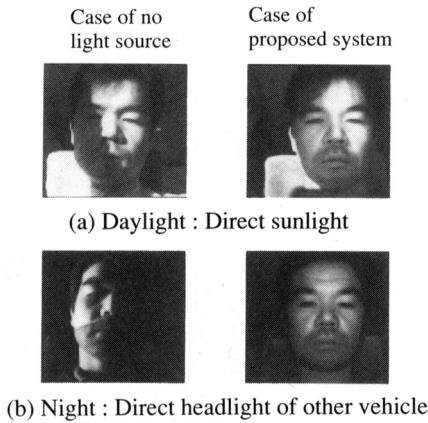


Fig. 4 Example of facial images.

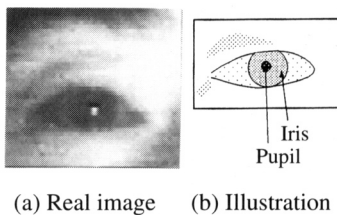


Fig. 5 Example of infra red eye image.

程度の明るさである。すなわち、近赤外光による画像では、瞳孔が一番暗く、次に虹彩、白目、まぶたなどの皮膚の順に明るくなる。そこで、このような特徴を持つ目の画像において、次のようにまばたきを検出して、閉眼時間の計測を行う。

Fig. 6は、まばたきの閉眼時間計測の処理の流れを示したものである。まず、Fig. 5(a)で示したような、目の付近の小領域を切り出し、その画像から眼の開き度合いを表す上下まぶたの間隔（以下、眼の開度と呼ぶ）を画像処理により計測する。次に、1フレームごとの眼の開度計測から、眼の開度の時間変化を示す波形（瞬目波形と呼ばれる）を作成する。ドライバがまばたき動作を行うと、眼の開度が一瞬小さくなるので、この波形において、まばたきした区間は、下向きのパルス状の部分として検出される。最後に、まばたき区間について、1回のまばたきに要する時間（閉眼時間）を計算する。この時間は、眼を閉じ始めてから閉眼状態になり、眼を開き終わるまでの時間である。

Fig. 6のまばたきの閉眼時間計測において、Fig. 2

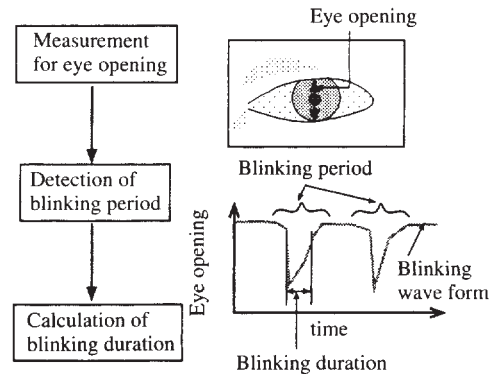


Fig. 6 Method of measuring blinking duration.

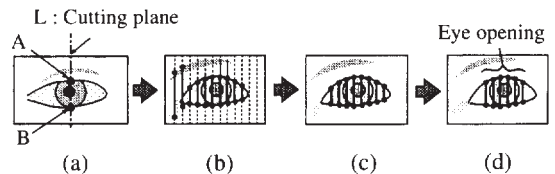


Fig. 7 Measurement for eye opening.

に示したような顔の個人差の影響を受け易いのは主として眼の開度の計測である。従来の二値画像やエッジ画像を用いて、まぶたと眼球の境界線を検出する方法¹⁷⁾では常に信頼性よく眼の開度計測を行うことは難しいため、新しい方法を考案した。

Fig. 7に、個人差に強い眼の開度計測の方法を示す。まず、眼を含む小領域の画像において、垂直方向の1列ごとに上まぶたと眼球の境界点Aおよび下まぶたと眼球の境界点Bを検出する[Fig. 7(a)]。その方法について、上まぶたに影がある場合を例にしてFig. 8を用いて具体的に説明する。

垂直方向の1列 (Fig. 8(a)の断面L) の濃度分布 [Fig. 8(b)]について、微分値を求める[Fig. 8(c)]。Fig. 8(c)で、値が正で極大値となる点 P_i ($i = 0, 1, 2, \dots$)、ならびに値が負で極小値となる点 M_i ($= 0, 1, 2, \dots$) を求める (以下、両者あわせて極値点と呼ぶ)。これらの極値点のうち、Fig. 8(b)の濃度分布のうち最も暗い点Cを挟む最も内側の極値点の組み合わせを P_i と M_i から一つずつ選ぶ。Fig. 8(c)の場合には P_0 と M_0 の組み合わせがこれに相当する。 P_0 と M_0 の組み合わせの外側に、同じような組み合わせがあるか否かを調べる。Fig. 8(c)の場合には P_1 と M_1 の組み合わせが存在する。同様にして、さらにその外側に同じ様な組み合わせを探索する。ただし、組み合わせ P_i と M_i において、 P_i と P_{i+1} の間には符号の反転した極値点 M_j がないこと、および M_i と M_{i+1} の間にも符号の反転した極値点 P_k がないことが条件である。このようにして新たな組み合わせ P_i と M_i が見つからなくなるまで探索する。Fig. 8(c)では、 P_1 と M_1 の組み合わせの外側

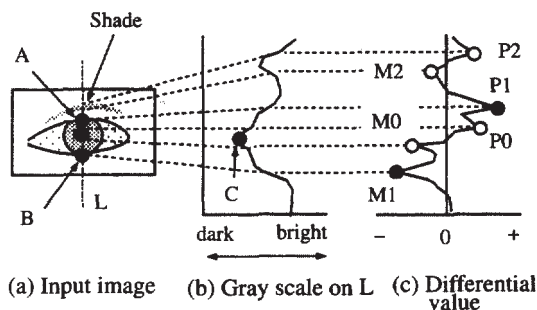


Fig. 8 Detection of boundary points A and B.

は新たなエッジ極値点の組み合わせはないため探索を終了し、 P_1 と M_1 を上下まぶたと眼球の境界点とする。このような探索アルゴリズムを用いることにより、個人差に起因する影がある場合でも対応できる。すなわち、上まぶたまたは下まぶたに影がある場合には、 P_i と M_i の組み合わせの外側に符号の反転した極値点 (Fig. 8(c)では M_2) が存在するため、この P_i と M_i の組み合わせが上下まぶたと眼球の境界点となるからである。

これまでの説明では、Fig. 7(a)の断面Lは眼を縦断するものとして説明を行ったが、入力とした小領域の画像の中で眼の位置は一般的には不明である。そこで、画像全体に渡って、適当な間隔ごとの各列で上述の境界点検出を繰り返すことにした。この方法によれば、あらかじめ眼の位置の検出を行わなくとも開度の計測を行うことができる。境界点検出処理の繰り返しによる開度計測を次に説明する。まず、Fig. 7(b)に示すように、水平方向の適当な間隔ごとで上述の境界点検出を繰り返す。さらに、垂直方向の位置により、境界点をグループ化し、グループ化された境界点群の中で、最も多数の境界点を持つグループを上下まぶたと眼球との境界点をなす境界点群とする[Fig. 7(c)]。次に、眼の開度を上下の境界点の高さの差の平均として求める。平均化の対象は、Fig. 7(d)のようにFig. 7(c)で求めた最大のグループの中の中央付近の数本に限定している。これは、閉眼時と開眼時の差をできるだけ大きく取るためである。ドライバの頭部の動きを追跡するため、平均化の対象とした境界点群の重心を眼の中心位置として求め、次のフレームでは、この眼の位置を用いて眼を含む小領域の画像の切り出しを行っている。本報告では眼を含む小領域の画像の大きさは幅80画素、縦25画素 (ただし、アスペクトは水平 : 垂直 = 1 : 2である)、水平方向の処理間隔は2画素であり、すなわち1画素おきに処理を行った。

この方法は、画像を二値化せず1次元での簡単な濃淡処理を画像全体に繰り返すことにより、個人差による様々な画像の濃淡の変化に強く、更に処理時間的にも実現可能な方法であることが特徴である。

このような眼の開度の計測を撮像部から1/30秒

ごとに得られる画像について繰り返して行い、眼の開度の時間変化波形である瞬目波形を作成する。最後に、この瞬目波形よりまばたき区間を切り出して、閉眼時間の計算を行う。

4. まばたき検出の評価実験

4.1 実験方法

考案したまばたき検出法の個人差への耐性を調べるため実験室内で、以下の実験を行った。実験システムは、前述の撮像部、ドライバの顔画像を記録するビデオレコーダ、まばたき検出を行う画像処理部（画像処理装置、TVモニタ、パソコン）からなる。まばたき検出のための画像処理は、ビデオレコーダに記録された顔画像を1フレームごとにコマ送りし、すべてソフトウェア処理により行った。また、眼の領域の指定は、最初の1フレーム目のみ人手により指定を行い、その後の各フレームは自動的に眼の領域を追跡する方法とした。処理時間は、1フレーム約1.2秒（うち、ビデオレコーダのコマ送りなどの制御に0.3秒程度）である。実験の方法は、運転中での姿勢の変化を考慮するため、前方正面および正面から上下20度の方向を注視してもらい、そのときの顔画像を撮像して記録した。被験者は、6人（ただし、眼鏡をかけていない20代～40代の男性）とした。Fig. 9にその1例として、眼の付近を拡大した画像を示す。Fig. 9(a)は眼の付近の陰影が比較的少ない例であり、Fig. 9(b)は陰影が目立った例である。両者を比較すると、Fig. 9(b)の方が眼の付近での濃度ムラが多く、特に、上まぶたの上の眼球ふくらみによる影や、頬部上端から眼下部にかけての影が顕著である。実験は、各被験者について、正面1分間、上下方向それぞれ30秒間ずつ、延べ12分間の画像を切り出し、前述

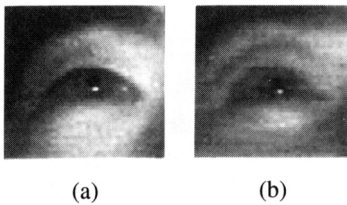


Fig. 9 Example of eye area image.

の方法でまばたきの検出を行った。この結果を、ビデオの画像を目視で解析した結果と比較し、まばたきを検出できなかった場合と誤ってまばたきと判定した場合を調べた。

4.2 実験結果

実験の結果をまとめると、合計313回のまばたきに対して、検出率は97%であり、限られた被験者での実験ではあるが、本方式により個人差によらずまばたき検出ができることを確認した。Fig. 10に実際の瞬目波形の一例を示す。まばたきが下向きのパルスとして検出されている。また、処理画像の例をFig. 11に示す。Fig. 11で左上が顔部も含めた処理画像（ただし、顔下部、および顔部向かって右半分は省略してある）、右が1次元の微分画像、左下が処理結果の拡大画像である。拡大画像

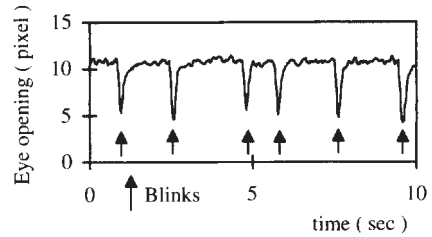


Fig. 10 Example of blinking wave form.

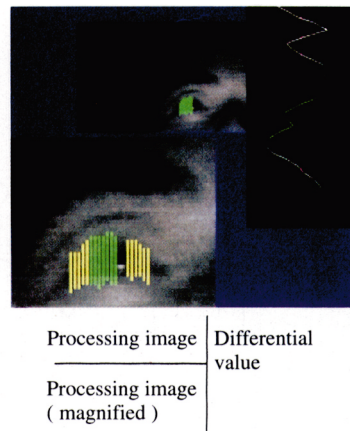


Fig. 11 Example of processing image.

の中には、検出された眼の開度を境界点を端点とする黄色と緑色の垂直線分で示してある。このうち、緑色の線分が眼の開度の計測に用いた線分である。

以下、検出できなかった場合の原因を考察する。まず、まばたき区間を検出できなかった場合としては、速いまばたきに対して33msecのフレームレートではサンプリングレートとして不足する場合、また、下向きで伏し目がちのとき開眼時の眼の開度が小さくなり、閉眼時の眼の開度との差が小さくなる場合、さらに、下向きで閉眼時にまつ毛の影響で開度が大きめとなった場合などがある。また、誤ってまばたき区間と判定した場合としては、上向きの時の上まぶた側と下向きの時の下まぶた側の眼球との境界線がそれぞれ検出されにくい場合などがある。これらについては今後の課題である。

5. 意識低下の推定方法

5.1 まばたきの閉眼時間と意識低下の関係

意識低下を推定するためには、まばたき検出により得られた閉眼時間と意識低下との関係を把握するとともに、その関係が個人の特性の違いによってどの程度変化するかを知る必要がある。

まばたき閉眼時間と覚醒度との関係を定量的に把握するため、ドライビングシミュレータにより走行実験を行った。Fig. 12に実験システムの構成を示す。このシステムはドライビングシミュレータ、まばたきをEOGにより検出するための検出電極、およびデータレコーダからなる。前方のスクリーンには、被験者の操舵操作に連動した走行路面の映像が液晶プロジェクタにより投影される。

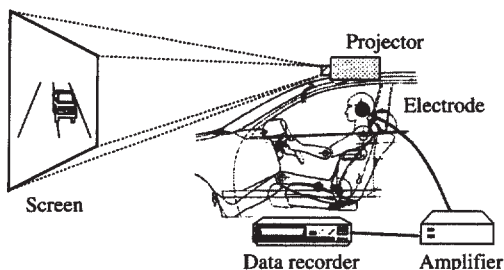


Fig. 12 Configuration of experimental system.

被験者には、投影される3車線の直線道路のうち、中央車線を一定車速、ペダル操作はなしで操舵操作のみで走行するように指示し、1回1時間程度の実験を行った。ただし、それ以前でも意識低下により居眠り運転状態となり、車線からの逸脱や蛇行が頻繁に生じる場合には実験を終了した。このような実験で、車両走行軌跡とまばたき閉眼時間を測定した。今回、走行実験の条件を単純化してあることから、意識低下の指標として車両の平均横偏位を用いた。この平均横偏位とは、車両走行軌跡より求めた車両の横方向平均位置を目標位置とみなした場合の、そこからの偏差の絶対値の平均を算出したものであり、車両の蛇行の程度を表すものである¹⁴⁾。また、4章で述べた画像処理装置は実時間処理を行うものではないため、今回は、まばたき閉眼時間の測定はEOGにより行い、データレコーダに記録した。

Fig. 13に走行実験の一例を示す。これは約60分間の走行において、1分間ごとの平均横偏位と平均閉眼時間を示したものである。走行開始から時間の経過につれて意識低下が次第に進み、それに伴って平均横偏位と平均閉眼時間が増加していく様子がよくわかる。また、走行開始後50分付近以降では、隣接車線にはみ出るほどの蛇行運転が目立ち、運転不能の状態に達している。Fig. 14に、この被験者が正常な状態から意識低下により運転不能な状態に至るまでの平均横偏位と平均閉眼時間の散布図を示す。Fig. 14で回帰直線を求めると、

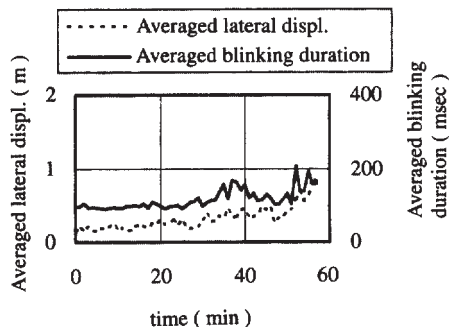


Fig. 13 Experimental result : driving on simulator.

両者には良い相関があることがわかる。

同様に、Fig. 15に被験者5人の実験結果から求めた回帰直線を示してある。縦軸の閉眼時間比には正常時の値で除算して正規化した閉眼時間の比を示してある。さらに、Table 1には相関係数を示す。なお、Fig. 13ならびにFig. 14の被験者はFig. 15および表1の中では被験者Aとしてある。Table 1を見ると被験者5人とも良い相関があることからまばたきの閉眼時間を用いることにより、意識低下により運転不能に至るまでの各段階の推定ができると考えられる。しかしながら、回帰直線には個人差があり意識低下推定の際の大きな課題となる。

5.2 意識低下の推定方式

前節で述べたような各個人ごとの回帰直線が求められれば、意識低下の推定は可能である。しかし、一般的にはこのような回帰直線は各個人につ

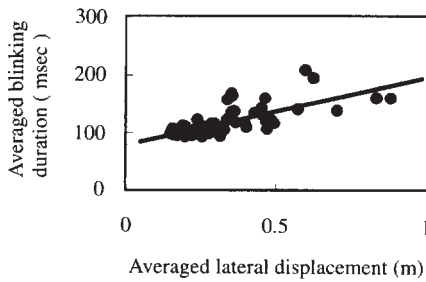


Fig. 14 Correlation between lateral displacement and blinking duration.

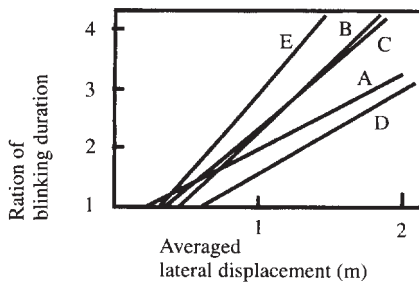


Fig. 15 Correlation between lateral displacement and blinking duration for each subject.

いて未知であり、あらかじめ実験等によって求めるのは実用的でない。そこで、走行時に閉眼時間と横偏位を同時に計測し、走行開始時からその時点までに得られたデータにより推定のための回帰直線の更新を繰り返して推定を行うこととした。

Fig. 16に覚醒度推定の基本方式を示す。走行時間の経過により、Fig. 16(a), Fig. 16(b), Fig. 16(c)の順で意識低下が進んだとする。Fig. 16(a)の時点ではドライバは正常(覚醒状態)であり、平均閉眼時間と平均横偏位は小さいため、プロットは左下に集中する。Fig. 16(b)ではドライバが少し意識低下を起こし、右上の領域にプロットが現れ有意な回帰直線が得られ始める。Fig. 16(c)の意識低下が進んだ状態に至れば、右上領域のプロットが増加し、Fig. 13のような意識低下により運転不能な状態まで実験を行った場合とほぼ同一な回帰直線が得られる。

Fig. 17にこの覚醒度推定方式の有効性を示す。この図は、Fig. 13に示した走行実験のデータ(車両横偏位と閉眼時間)を用いて、その時点での回帰直線の傾きを計算したものである。回帰直線の傾きは走行時間につれて増加するが、走行開始後45

Table 1 Correlation coefficient.

Subject	Correlation coefficient
A	0.72
B	0.95
C	0.71
D	0.84
E	0.82

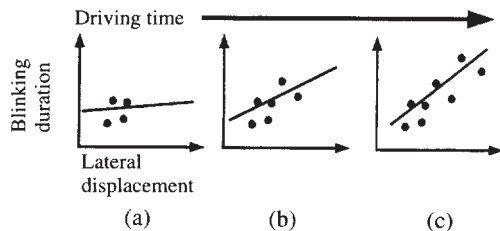


Fig. 16 Method of estimating drowsiness level.

分ほど増加は止まり安定する。これは、意識低下により運転不能に陥る走行開始後55分より以前に、ドライバの特性を表す回帰直線が得られることを意味している。

さらに、他の被験者の例をFig. 18に示す。これは、Fig. 15およびTable 1の中では被験者Bとした被験者についての計算結果である。この被験者の場合、走行開始後4分後から、急激に意識低下が進み、走行開始後10分以降では（ただし、Fig. 18中には示していない）平均横偏位が1m以上、時には2mに達し、走行開始後30分で実験を中止した例である。このように急激に意識低下が進行する場合におい

ても、運転不能に陥る以前（Fig. 18では、走行開始後7分ほど）にドライバの特性を表す回帰直線は得られている。

Fig. 19に、居眠り検知システムにおける覚醒度推定部の基本構成を示す。車両情報として横偏位、生体情報としてまばたきの閉眼時間をそれぞれ計測し、信頼度検定による回帰計算からドライバの特性を求めて意識低下を推定するものである。この意識低下推定部では、個人ごとの事前の登録や実験は不要であり、さらに、その運転時のデータを使用するので各個人の経時変化にも対応できる利点がある。

6. むすび

自動車を運転中のドライバの意識低下を非接触に信頼性良く検知するため、TVカメラでドライバの顔を撮像した画像からまばたきを検出し、まばたきの閉眼時間から意識低下を推定する方式を開発した。提案した方式は以下の3つの部分からなる。

(1) 昼夜にわたり使用可能であり、屋外での照度変化や外乱光の影響に強い撮像法を開発し、その効果を確認した。ドライバの顔を照明する赤外光源を設け、電子シャッター動作するTVカメラの蓄積時間に同期させてパルス発光する方式とした。

(2) ドライバの顔の造りの個人差の影響に強いまばたき検出法を開発し、その効果を確認した。1次元の濃淡処理を繰り返すことにより眼の開度を計測し、まばたきの閉眼時間を求める方式を考案した。

(3) 閉眼時間の変化から意識低下を推定する方式を提案し、その効果を確認した。閉眼時間と車両の横偏位量から回帰直線を算出して推定を行う。走行時にはその回帰直線の更新を繰り返して、個人差に対応する方式とした。

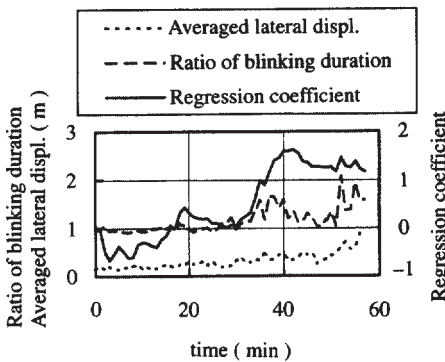


Fig. 17 Experimental results (subject A) : estimation of drowsiness level.

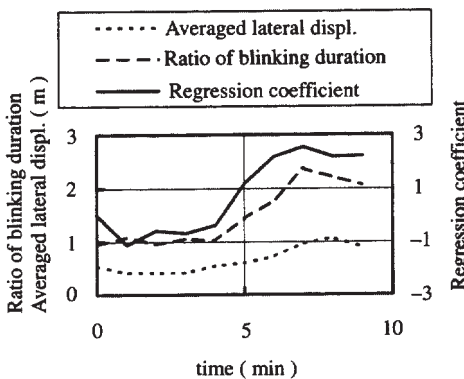


Fig. 18 Experimental results (subject B) : estimation of drowsiness level.

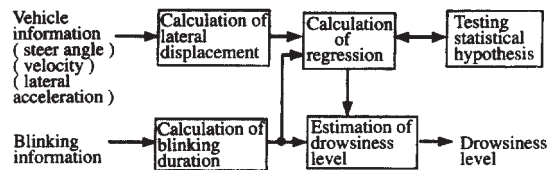


Fig. 19 Block diagram of drowsiness level estimating unit.

現時点では、撮像から意識低下推定までの基礎的な技術開発を行い、様々な運転環境とドライバに対して、基本的な計測が可能になった段階である。居眠り運転事故の防止のための警報あるいは覚醒システムとしての評価は、実時間で動作する実験システムが必要であり、今後の課題である。

最後に、本研究を進めるにあたりご協力、ご指導をいただきましたトヨタ自動車(株)第1FP部、およびアイシン精機(株)第1開発部の関係各位に感謝いたします。なお、ドライビングシミュレータによる実験では機械2部人間機械系研究室福井勝彦氏に協力していただきました。また、システム1部感性情報研究室石原利員氏には、意識低下推定のための基礎データの提供と助言をいただきました。

参考文献

- 1) 岡田和義, 保坂明夫, 倉見邦彦, 飯塚晴彦, 津田寛, 上島宏幸: "予防安全システムへの電子技術の応用", 日産技報, 27-6(1990), 148
- 2) 世古恭俊: "ドライバの居眠り状態を検出する技術の現状", 自動車技術, 38-5(1984), 547
- 3) 阿久津英作: "意識低下検知技術の開発状況", 自動車技術, 49-7(1995), 14
- 4) 福田準一, 阿久津英作, 青木啓二: "修正操舵認識による意識低下推定法の検討", 自動車技術会1994年春季大会学術講演会前刷集, 941(1994), 33
- 5) 福井勝彦: "連続運転時における操舵機能低下の評価法", 豊田中央研究所R&Dレビュー, 30-3(1995), 57
- 6) 山本恵一, 樋口伸一: "大型トラックの長時間運転時の覚醒度評価の検討", 自動車技術, 46-9(1992), 23
- 7) 川上祥央, 神谷公一, 濱谷克則: "運転者の覚醒度低下", 自動車技術, 46-9(1992), 29
- 8) 渥美文治: "心拍計測によるドライバの意識状態評価 - 自律神経指標を用いた緊張感と眠気の計測 -", 自動車技術会1994年秋季大会学術講演会前刷集, 946(1994), 133
- 9) 西村千秋, 小坂明生, 常光和子, 吉沢修治, 南雲仁一: "皮膚電位水準による自動車運転時の覚醒水準評価の試みII - 諸生理量の比較 -", 人間工学, 23-2(1987), 111
- 10) 児玉悟, 伊藤正彦, 亀井智成, 中島浩二, 小野伸幸, 坂口正雄, 大橋俊夫: "皮膚電位を用いた覚醒度検出装置の開発", 自動車技術会1991年春季大会学術講演会前刷集, 912(1991), 1.213
- 11) 黒木康之, 麻生勲: "いねむり運転警報装置の一試案", 自動車技術会1977年春季大会学術講演会前刷集, 772(1977), 393
- 12) 保坂良資, 渡辺瞭: "まばたき発生パターンを指標とした覚醒水準評価の一方法", 人間工学, 19-3(1983), 161

- 13) 金田雅之, 上野裕史, 月野正隆: "居眠り検出技術に関する研究", 自動車技術会1994年春季大会学術講演会前刷集, 941(1994), 29
- 14) 石原利員, 福井勝彦: "自動車運転中の覚醒度の検出", 自動車技術会1995年春季大会学術講演会前刷集, 951(1995), 193
- 15) 田辺喜一, 杉山誠: "色度と明度情報を用いた瞬目抽出法の提案", 電子情報通信学会論文誌(D-II), J77-D-II-2(1994), 470
- 16) 通産省工業技術院, 光産業技術振興協会: "レーザ安全ガイドブック(改訂版)", (1992), 18, 新技術コミュニケーションズ
- 17) 坂本静生, 宮尾陽子, 田島讓二: "顔画像中からの目の特徴点抽出", 電子情報通信学会論文誌(D-II), J76-D-II-8(1993), 1796

著者紹介



杉山和彦 Kazuhiko Sugiyama

生年: 1960年。

所属: 画像情報研究室。

分野: 自動車におけるヒューマンインタフェース分野の研究・開発。

学会等: 自動車技術会会員。



水野守倫 Morimichi Mizuno

生年: 1965年。

所属: 画像情報研究室。

分野: 自動車におけるヒューマンインタフェース分野の研究・開発。

学会等: 電子情報通信学会会員。



中野倫明 Tomoaki Nakano

生年: 1956年。

所属: 画像情報研究室。

分野: 画像処理による計測・検査および自動車におけるヒューマンインタフェース分野の研究・開発。

学会等: 電子情報通信学会, 電気学会, 自動車技術会会員。

工学博士。



山本新 Shin Yamamoto

生年: 1942年。

所属: 画像情報研究室。

分野: 画像処理による計測・検査および自動車におけるヒューマンインタフェース分野の研究・開発。

学会等: 電子情報通信学会, 計測自動制御学会, 日本ロボット学会会員。

1984年IEEE-VTS Paper Award受賞。工学博士。