

画像センサによる眠気状態推定と ドライバーステータスマニターの開発*

Detecting Drowsiness with the Driver Status Monitor's Visual Sensing

大見 拓寛

Takuhiro OMI

Recently human error, including distracted and inattentive driving, has been causing an increasing number of traffic accidents. A system for monitoring the safe condition of drivers needs to be developed. This study focuses on a driver drowsiness detection system that will prevent drivers from causing accidents due to drowsy driving. In this paper, various research trends regarding driver drowsiness detection are introduced. We also describe the Driver Status Monitor (DSM) we developed. It consists of a camera, illuminators, and an image processing ECU. The ECU outputs the eyelid opening ratio. We extracted the blink features that correspond to the various levels of drowsiness. We used this eyelid behavior to derive a drowsiness estimate function. Then we evaluated its accuracy with experiments. As a result, the average correlation among 10 cases was over 0.90. Furthermore, for in-vehicle equipment, robustness in ambient light is indispensable. This paper also describes our optimization of the imaging technology

Key words :

Driver Status Monitor, Drowsiness, Sleepiness, Camera, Image Processing, Infrared,

はじめに

最近の交通事故の特徴として、健康起因事故や居眠りなどの漫然運転、脇見運転など、ドライバーのヒューマンエラーに起因するものが増加しており、年間2,000件近くの死亡事故（全死亡事故の43%）が発生している。特に大型車両では多くが事業用として使われ、運行距離・時間が長く単調な高速道路を走行することが多いため直進等速での事故が大多数を占め、死亡事故原因の50%以上が漫然運転、脇見運転、安全不確認となっている¹⁾。大型車両は車両重量が大きいため被害が甚大化しやすくバスにおいては乗客をのせて運行するため多くの死傷者が発生する恐れがある。これら傾向は日本に限らず、米国では大型トラック事故の41%、乗用車事故の46%²⁾、

ドイツでは全死亡事故の25%以上が居眠り・不注意に起因する死亡事故との報告がある。また、全事故の10%強がスマホなどの機器操作が原因であるとの事故当事者の申告がある³⁾。安全支援装置の普及とインフラの整備によって「車」「道」に起因する事故が減少し、相対的に「人」に起因する事故が増加していると理解できる。リスク・ホメオスタシス理論⁴⁾によると、自動車が安全になれば、その分、ドライバーはリスクを負って危険な運転をする可能性があるともいわれており、折角の運転支援システムが効果を発揮できない可能性もある。

そこで重要になるのがドライバーの状態を監視するシステムである。車両がドライバー状態を理解することで、脇見を検知して適切に警報したり、表情から内面状態を推定し適切な情報提供や車両制御を行うなど、交通事故

*技術情報協会の了解を得て、「ドライバ状態の検出、推定技術と自動運転、運転支援システムへの応用 第4章 第4節」より一部加筆して転載

の未然防止に役立てることが可能となる⁵⁾。さらに、意識喪失など運転不能な状態が検知できれば、衝突被害軽減ブレーキ（PCS）や車線維持アシスト（LKA）などの応用で車両を安全なエリアに退避して停止させたり、SOS自動通報で医工連携による救命救急活動の迅速化を図るなど、シームレスな車両安全を実現することができると期待されている。ここではドライバーの眠気状態センシングについて開発動向を概説するとともに、我々が開発した、画像センサを用いたドライバー状態検知システム「ドライバーステータスマニター」について紹介する。

1. 眠気状態センシング

1.1 眠気状態のセンシング手法

交通事故統計によると、高速道路のような高規格な道路ほど、漫然運転による事故が多くなっている⁶⁾。高速道路での運転は車両挙動が穏やかで順調な走行ができるため、ドライバーによる意識的な制御を必要とせず、無意識下の制御により遂行できるようになる。このような無意識下での制御が続くことにより覚醒度が低下し、漫然状態になると考えられる。

ドライバーの眠気状態検出方法は、車両情報や操作情報を用いる方法と、ドライバーの生体情報を用いる方法に大別される。車両信号から覚醒度を推定する方法では、ステアリング操舵角を用いる方法⁷⁾、生体情報から覚醒度を推定する方法は、脳波、心拍、皮膚コンダクタンス、呼吸、瞬目、それら複数の情報を用いる方法⁸⁾⁹⁾、といった研究例がある。いずれも真の眠気を直接計測しているわけではなく、眠気と相関がある物理量を計測することで眠気状態を推測している。

車両情報を用いる方法では、ステアリングの操舵パターンなどから推定する方法¹⁰⁾がよく知られ、1983年には早くも製品化されている。これは操舵パターンや走り始めてからの運転積算時間などからマイコンがドライバーの状態を推定し、休憩を促すシステムであった。最近では、カメラにより車線内での蛇行運転を検出しその周波数と振幅の特徴から覚醒状態を推定するシステム¹¹⁾や白線認識カメラやレーザレーダ、その他のセンサを組み合わせて、蛇行率・操舵量・操舵の単調度からドライバー

の注意力レベルを判断し、必要に応じて音声で注意を促すシステムが開発されている¹²⁾。この方法は簡便ではあるが、ファジー推論の学習に数時間を要すると言われており、また、マイクロスリープなど突発的な眠気の検出が困難であるなど、課題も多い。最近のフォルクスワーゲンの車には、ドライバーのステアリング入力や角度をモニタリングするシステム（ドライバー疲労検知システム）が搭載されている¹³⁾。疲労や眠気による急なステアリング操作など、通常の運転パターンと異なる動きを検知して、マルチファンクションインジケータの表示とブザーで休憩を促す機能を持っている。

一方、生理指標を計測するものとしては、循環系・呼吸系・中枢神経系・視覚系・基礎代謝系など、さまざまな方式が提案されている。循環系では心電図（ECG）による心拍や、血圧・脈圧、呼吸系では換気量、中枢神経系では脳電図（EEG）による脳波、視覚系では眼電図（EOG）による眼球運動や瞬目、基礎代謝系では皮膚電気活動（EDA）や体温、発汗、内分泌系ではコルチゾールやアドレナリンといった具合に様々な生理指標から覚醒度を推定する多くの研究がなされている¹⁴⁾。

車載実用化に向けた開発が行われているものとしては、心拍センサを使った眠気状態検出装置がある¹⁵⁾。これは、ステアリングやシートなどに設置した電極を触れることで心拍信号を計測し、心拍数の低下量で眠気の兆候を、心拍ゆらぎの高周波成分であるHFの上昇により眠気発生を検出するものである。非接触、非拘束ではないが比較的自然的な運転動作で検出できることから車載に適するが、車両振動や体動がある中で一定時間以上の連続した心拍信号データを安定して取得するためには電極配置上の工夫や、車両内の電気ノイズ下で微弱信号を処理するための電子回路上の課題も多い。

また、リアルタイムな眠気検出手法ではないが、産学研究グループ・入眠予兆研究会から入眠予兆検知着座センサによる居眠り運転防止シートが提案されている。これは、覚醒時の入眠予兆を脈波や呼吸数といった生体信号から検出するもので、入眠状態になる10分程度前に一定の前兆信号が現れることを突き止めたとの発表¹⁶⁾があり、ユニークな技術として期待される。

様々な手法が提案されている中で、実用に向けて最も有望視されているのは瞬目を用いる方法¹⁷⁾である。これ

Table 1 Sleepiness Scale and the Feature

Sleepiness Scale		Method	Concern
Subjectivity	Self Report	Push button / Question Vote	Light Sleepiness without Awareness Individual Difference
	Observer Rating	Subjectivity Judgment of Movie by skilled persons	Skill of rater is necessary Large Man-Power is need
Biometric	EEG (Brain Activity)	Ratio of Alpha Wave and θ wave is Changed	Influence of Noise and Artifact
	ECG (Heart Activity)	Communion / Parasympathetic Nerve Predominance by LF/HF	Changes with a Psychology Factor, Information Processing Load
	Blood Pressure	Elevated Blood Pressure by Sleepiness	Consecutive Measurements in True Environment
	Respiration	Sleepiness Time Irregularity including Transient Deep Breathing	Individual Difference
	Skin Electric Activity	Reaction Transient in Mental Sweating Part	Change only Awakening Degree Improvement
	Skin Temperature	Changes by Vasoconstriction	Latency is Long
	EOG (Eye Movement)	Low Frequency Ingredient Content Relates to Sleepiness	Influence of Noise and Artifact
	Eyelid Behavior	Closed Eyes Rate	Sensitivity at Light Sleepiness
	Pupil Diameter	Pupil Area Changes Depending on Arousal	Influence of Ambient Light
Work Performance	Drift of Steering	Frequency Change of Revision Steerage	Sensitivity at Light Sleepiness
	Reaction Time	Latent time by the random workload	Sensitivity at Light Sleepiness

は他の方法に比べて覚醒度低下をよく反映することが知られ、眠気を早期に検知できる可能性があると期待されている。

瞬目を正確に計測する方法としてはEOG (Electro-Oculogram) がよく用いられ、EOG を解析することで、覚醒低下時において、視覚依存性の強い作業下で高頻度に自発発生するサッケード眼球運動が徐波化（低周波成分の増加）することが確認されている。これを応用して眠気状態を推定することが期待されるが、計測のためには電極を眼瞼部近傍に設置する必要がある、ドライバーへの煩わしさから現実的ではない。ウェアラブルタイプの眼電位センサも開発されている¹⁸⁾が、安定的に皮膚に接触させるにはまだ課題がある。それを解決する方法として、メガネフレームに搭載した近赤外LEDとフォトダイオードで眼球運動に伴う受光量変化を計測しサッケード眼球運動を検出する方法¹⁹⁾や、瞬きに伴う受光量変化により瞬目速度と振幅を検出し、詳細解析することで眠気を推定する方法なども検討²⁰⁾されているが、いずれの方式も計測器を着用することへの抵抗感がある。

そこで、インストルメントパネル等に設置したカメラにより、ドライバーの顔画像を撮像し、画像処理により眠気に相関がある物理量を検出する方式が考えられている。具体的には、瞬目時間（閉眼時間）や眼の開度、瞬目回数などから推定する方法であるが、長い閉眼時間の

出現比率や一定時間にドライバーが眼を閉じている時間割合（PERCLOS : Percent of Eyelid Closure）²¹⁾が有効との報告が多い。これは、眠気が増すと瞬目の閉眼時間が長くなるという知見に基づくものである。PERCLOSによる眠気推定を簡便に行う事例としてユニークな研究がある。それは、顔画像撮影時に照射する近赤外光の光源位置をカメラに対して同軸と非同軸の2箇所設け、発光位置を交互に変えることで意図的に明瞳孔と暗瞳孔を出現させ、それら画像の差分を取ることで瞳孔の位置を簡単に抽出することができることを利用し、瞳孔の有無で開眼／閉眼を検出するというものである。ただし、この現象を出現させるためには夜間など周囲環境が暗いことが求められ、実用上の制約がある。

以上、様々な視点から眠気推定技術を紹介したが、各手法にはそれぞれ得意不得意があるため、より信頼性を高めるためには複数の検出手法を組み合わせたマルチモーダル化することが有用と考えられる。

1.2 眠気状態の評価指標

眠気状態センシング手法を評価するには外的基準が必要であるが、センシング手法と評価方法は表裏一体の関係にあり、眠気指標として定まったものはいまだ存在しない。よく用いられる眠気指標をTable 1²²⁾に示す。眠気指標としてある程度認知されたものにスタンフォード眠気尺度 (SSS)、カロリンスカ眠気尺度 (KSS)、Visual

Analog Scale (VAS) などがあるが、いずれも自覚的な評価法であるため様々な要因で影響を受けやすく同一尺度での評価には問題がある。そこで、最も多用されているのは、ドライバーの顔表情画像を第三者が観察して眠気レベルを推定する「顔表情評定」である。「顔表情評定」は、実験参加者に実験途中での覚醒を促すタスクがないメリットがあり、特に北島らの評定手法²³⁾は、自覚的な評価との高い相関も確認されており、我々もこの手法を用いている。

2. ドライバーステータスマニターの開発

2.1 眠気状態センシング手法の選定

デンソーでは、ドライバーの状態をセンシングする車載装置としてドライバーステータスマニターを開発している。前章でも述べた通り、眠気状態センシングは様々な手法が提案されているが、車載要件として以下の観点を考慮して最適なセンシング方法を検討した。その結果、カメラを用いてドライバーの顔画像から眠気状態を推定する方式が最も実現性が高いと考えた。

- ①ドライバーの安全運転環境を妨げないこと
視界を妨げないこと、煩わしさが少ないこと（非拘束、非接触が望ましい）、生体安全性が確保されること、衝突時に人体にダメージを与えないこと、など。
- ②車両搭載が物理的に可能で厳しい使用環境に耐えること
車両搭載可能なサイズ、電磁波ノイズの厳しい車両環境で誤動作しないこと、広範囲に亘る温度・湿度、振動環境に長期間耐える信頼性の高いハードウェアであること、など。
- ③常時、リアルタイムにセンシングが可能なこと
運転開始直後からセンシング可能なこと、昼夜問わず常時センシングが可能なこと、など。
- ④浅い眠気から深い眠気まで検出レンジが広く、また瞬眠も判定可能なこと
覚醒支援可能な浅い眠気センシングが可能であること、平均的な眠気推定だけでなく瞬眠についても瞬時判定可能なこと、など。
- ⑤センシング対象とするドライバーを限定しないこと

睡眠時無呼吸症候群（SAS）患者は国内に数百万人、潜在患者は5人に1人と言われる。多くは無呼吸低呼吸指数（AHI）およびエプワース眠気尺度（ESS）で軽度と分類されるが、自覚がほとんどないドライバーも多く、センシング対象は広いほど良い。

- ⑥低コストで他のアプリケーションへの拡張性が高いこと
車種グレード、トラック・乗用車等の種別に関係なく、広く普及させるために低コストで実現可能であること。

なお、ここでは便宜上、「眠気（覚醒）」という言葉を使用した。眠気（覚醒）の外的基準が存在しない中、眠気をセンシング対象とする商品には様々な障壁があるため、実際の製品には眠気という言葉を用いていない。

2.2 ドライバーステータスマニター

ドライバーステータスマニターは、撮像・投光部、画像処理部、ドライバー状態推定処理部の3つの機能ブロックで構成され、メータ近傍に設置される（Fig. 1）²⁴⁾。撮像部により撮像された顔画像はECU内の画像処理部にてドライバーの顔を認識し、その開眼度情報をもとにドライバー状態検出部で眠気状態を推定する。眠気推定結果が閾値レベルを超えた場合には、アクチュエータを介して注意喚起や警報などをドライバーに伝達する仕組みである。

撮像部はカメラと投光器で構成される。カメラは、画素数VGA（640×480）、フレームレート30fpsの一般的な安価なCMOS（相補型金属酸化膜半導体）イメージャを用いた。光学系はドライバーの体格や姿勢が変化しても常に視野に収まるよう水平角を約45度とした。また、太陽光の影響を低減し安定した画像を取得するために、投光器の発光波長以外の入射光を遮るよう可視光カットフィルタをレンズに付加した。撮像の際は昼夜を問わずLEDにより近赤外光（860nm付近）を照射し、夜間など低照度時の撮像感度を補助するとともに、昼間における外乱光の影響を低減し、S/N比を上げている。投光器に近赤外光を用いているのは、夜間においてもドライバーに煩わしく感じないように配慮したためである。投光タイミングはカメラの露光時間に同期させるようパルス発光とした。そうすることで不要な点灯によるエネルギー消費を抑えるとともに、LEDに印加するピーク電

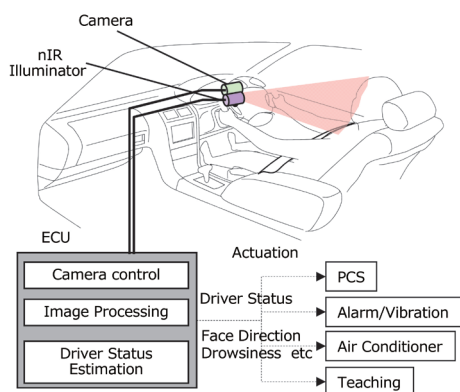
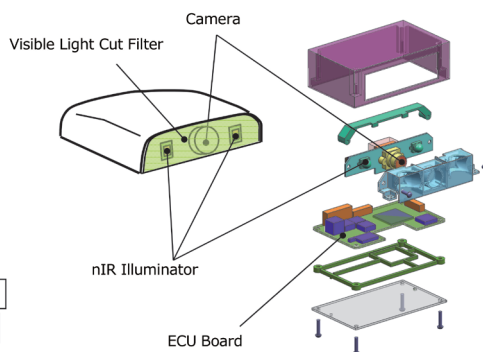


Fig. 1 Driver Status Monitor



流を増やすことができ、発光強度を上げることができる。また LED 光が及ぼす生体安全性にも十分配慮し、国際規格である IEC62471 に準拠している。画像処理性能は画質の善し悪しに大きく左右されるため、常に画像処理に適した画像を取得できるように、認識系と連携した撮像系制御を行っている。これは、環境光変化など外乱要因の影響を受けやすい実車環境でのロバスト性向上に有効な手段となっている。

2.3 画像認識アルゴリズム

Fig. 2 に画像認識アルゴリズムの処理フローを示す。まず、取得画像から顔の領域を特定する。このプロセスでは画像全体の画素値分布を解析することで顔のおおまかな位置を推測する。本システムではドライバーに照明を当てその反射光を撮像しているため、顔からの反射光が画像全体の画素値分布の中で相対的に明るくなる。これに着目し、撮像画像を輝度と投影することで顔の存在する領域にピークが現れるため、顔の大雑把な位置を簡便に知ることができる。

顔位置候補がわかると、その領域での眼、鼻、口といった顔の特徴部位の存在領域が推測できる。その位置を探索領域として、顔部品を検出する。顔部品の形状や特徴量は顔の骨格、性別、年齢など個人差があるが、標準テンプレートによりひとたびそのドライバーの特徴量が得られると、そのドライバーに合ったテンプレートを新規に生成することで、次回以降の検出の安定性を高めている。また、一度見つかった顔部品を追跡（トラッキング）処理することで処理負荷を軽減するとともに認識率を高めており、現時点では 95% 以上の認識率が実現できて

いる。

上下まぶたの形状および上下まぶた間の距離から開眼度を検出する。ドライバー毎の眼の開閉状態を学習し、開眼状態と閉眼状態における値を正規化することで個人差を吸収している。また、開眼度や眼形状は顔向き角度により変化するが、顔向きを考慮した補正処理を行うことで、一定範囲の顔向きに対しては開眼度を安定して出力している。

検出した開眼度変化の例を Fig. 3 に示す。縦軸は開眼度を示し、図中で下に凸となっている部分が瞬目を表し、開眼／閉眼は開眼度に対する閾値で判別している。

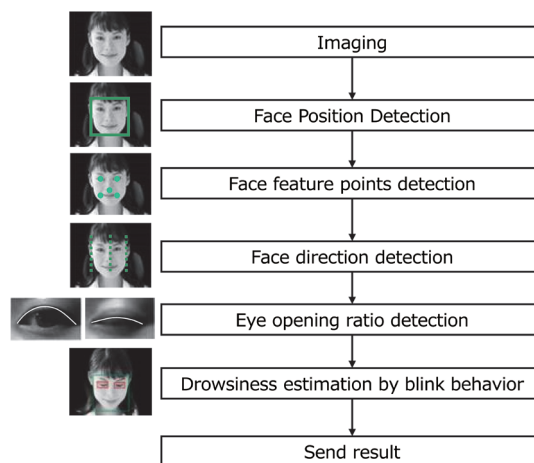


Fig. 2 Driver Status Detection by Image Processing

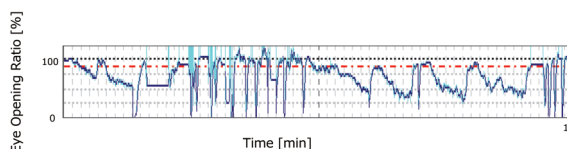


Fig. 3 Detection Example of Blink Behavior while Driving

2.4 画像センサを用いた眠気推定技術の開発

閉眼時間に着目した眠気推定アルゴリズムは従来から各種考案されており、PERCLOS が有名である。これは、一定時間内における瞳孔が隠れる程の閉眼状態の時間合計をパーセントで表したものである。この手法は、EOG, EEG, ECG などの生体信号から推定した眠気レベルとの相関が高く有用なアルゴリズムと言える。しかしながら、筆者らの検討では PERCLOS アルゴリズムは、強い眠気に対する感度・精度は高いが、浅い眠気に対しては感度が低いことが明らかになった。そこで我々は、瞬目時の挙動をさらに詳細に解析することで推定精度を高める検討を進めた²⁷⁾。

2.4.1 眠気時の特徴量抽出

瞬目の一連動作を分析すると、閉眼動作⇒閉眼状態⇒開眼動作に分割され、それぞれの挙動は目の周囲にある眼輪筋や眼瞼挙筋が関与しており、開眼は眼瞼挙筋（動眼神経）、閉眼は眼輪筋（顔面神経）の作用による。Magoun らは脳幹の刺激により脳波に覚醒反応が起き、破壊によって昏睡を起こすことから、脳幹網様体には大脳皮質を賦活する機能が存在することを明らかにし、脳幹網様体賦活系の概念を提唱した。つまり、覚醒と睡眠の調節は視床を介して網様体が深く関わっているとされ、眼輪筋や眼瞼挙筋がどのような機序で脳幹網様体からきているかは不明な点が多いが、結果としては眼輪筋や眼瞼挙筋の作用が瞬目挙動に現れる (Fig. 4)。また、一言で瞬目といっても、意思の関与が明確な随意性瞬目や外的反射誘発刺激が明確な反射性瞬目のほか、随意性でも反射性でもない自発性瞬目など働き異なる瞬目が存在する。我々は、眠気を推定する上で瞬目挙動を改めて注意深く観察し、眠気と相関の高い挙動を抽出することとした。高速度カメラを用いて 125fps で撮影した瞬目画像により、覚醒時の画像と眠気状態での画像を比較して眠気時に現れる特徴を多数抽出した²²⁾。その中には、瞼挙動以外のファクター、例えば、瞳孔サイズや眼球位置、眼球移動方向²⁵⁾なども含まれたが、我々は、ここで抽出したファクターが実用的なハードウェアで検知可能であることを条件に絞込みを行い、被験者実験により、抽出したそれぞれのファクターの寄与率を定量化した²⁶⁾。特徴因子の一例を Fig. 5 に示す。

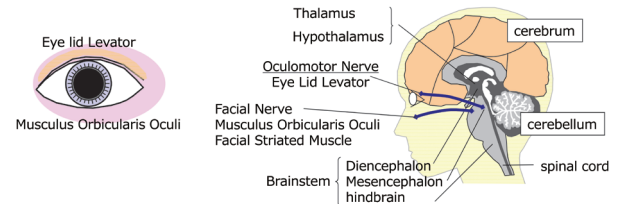


Fig. 4 Relationship between Brain and Blink Behavior

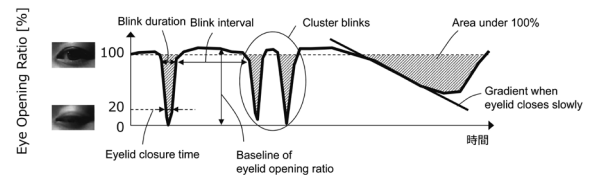


Fig. 5 Effective Blinking Characteristic Factors for Estimate Drowsiness

2.4.2 瞬目特徴量を用いた眠気推定

シミュレータ実験のデータを用いて重回帰分析を行うことで、眠気レベル D_p を算出する眠気推定関数を導出した。

眠気レベル $D_p = f_1$ (開眼時の開眼度) + f_2 (平均瞬目時間) + f_3 (継続閉眼時間の分布) + f_4 [PERCLOS (閉眼割合)] + f_5 (瞬目回数) + ... + f_n (その他) とした。

ここで D_p は、全く眠くなさそう (レベル 1) ~ 眠っている (レベル 6)、の 6 段階スケールに合うように設定した。 f_n は寄与率を考慮した係数で、顔表情評定と最も相関が高くなるよう回帰分析により求めた。

2.4.3 眠気推定手法の評価結果

実験は、防音暗室内に設置した実車と同一のシート、メータ、ステアリングを有するドライビングシミュレータを使用し、カメラはドライバー正面のメータ内に設置した。コースは高速道路を模した片側 2 車線、他車・標識のない単調サインカーブとし、ステアリング操作に連動した道路環境が正面スクリーンに投影されるようにした。車速は時速 100km に固定し、実験参加者には走行車線側を走るようにステアリング操作のみをタスクとして与えた。実験時間は 1 時間とし、実験参加者には眠らないように指示したが、抗しきれず完全に居眠りしたらその時点で中途終了にした。実験は、自発的参加意思のある健康な 34 ~ 44 歳までの男女 5 名の協力を得て、サーカセミアリズムが出現しやすい昼食後の時間に実

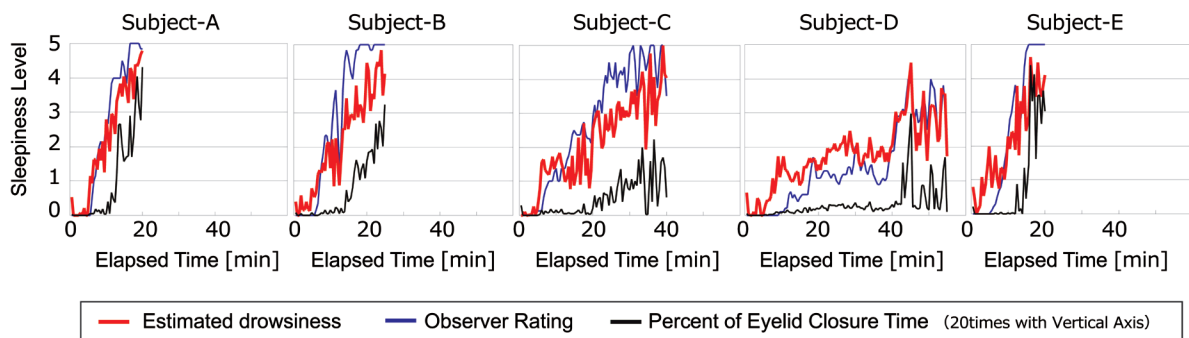


Fig. 6 Comparison with Estimated Drowsiness, Observer Rating and PERCLOS

施した。

眠気推定関数によりリアルタイムに求めた推定結果を時系列的に **Fig. 6** に示す。ここで併記した眠気基準は顔表情評定によりレベル分けしたもので、前述した眠気レベル 0-5 の 6 段階である。図より、浅い眠気から深い眠気に亘って感度よく追従していることがわかる。両者の相関係数は平均で 0.91 と高い値を示し、標準偏差も 0.03 と個人差の影響が小さく安定して推定できていることがわかる。また、詳述しないが、感度・特異度の値も 80% 以上と高かった。比較のため PERCLOS により求めた眠気推定結果も併記した。相関係数は 0.81 と高い結果を示したものの浅い眠気レベルに対する感度が良くないことがわかる。

以上より、瞬目特徴量を用いた眠気推定は、閉眼継続時間や PERCLOS を用いた眠気状態推定よりも精度が高くかつ計測レンジの広い眠気推定を行えるポテンシャルを持っていると考えている。ただし、今回開発した眠気推定関数はドライビングシミュレータという管理された環境で作られた統計データを用いて構築しており、今後車両や道路環境、人種や年齢・性別などによる個人差、個人内差に関する知見を蓄積し、改善していくことが必要であると考えている。

3. 実車環境の課題と課題克服への取り組み

最後に、実用化に向けた課題への取り組みについて述べる。

実車環境で眠気状態センシングを実現するためには安定した画像認識性能を得る必要があり、①光環境変化、

②ドライバー（顔）の個人差や着用物への対応、③姿勢変化・カメラ搭載自由度への対応が必要である。様々な角度・強度で顔に太陽光などの外乱光があたるため、同じドライバーであっても顔部品の見え方が常に変化し、未検出や誤検出が生じやすい。また、ドライバーの顔は多様であり、運転中の姿勢も変化するため、画像認識アルゴリズムには高いロバスト性が求められる。我々は、実車環境の課題を解決するため、撮像方法と認識アルゴリズムの両面から検討を行い、安定してドライバーの状態を検出できる技術を開発した²⁷⁾。以下に我々が考案した対策事例を紹介する。

3.1 光学フィルタによる不要波長光の除去

カメラ内部にバンドパスフィルタ (BPF) を内蔵し、近赤外照明光の波長成分以外の不要光をカットすることで、日中における画像の S/N (信号雑音) 比を向上させている。また、近赤外 LED から照射される赤色波長成分を除去するために、前面に可視光カットフィルタを設置している (**Fig. 7**)。環境光を撮像に利用しないため昼夜安定した画像が得られ、認識処理が有利に働く反面、投光器にかかる負荷は大きく、そのため LED はハイパワータイプの LED を採用している。さらに、この構造とすることで、サングラスを着用していても目を良好に認識することが可能となっている。

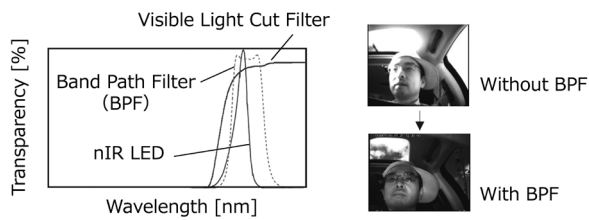


Fig. 7 Unnecessary Wavelength Light Removal with Optical Filter

3.2 撮像タイミングに同期した近赤外照明のパルス発光

グローバルシャッター方式の CMOS イメージャを採用し、その露光タイミングに同期して近赤外照明を点灯させることで、LED の定格上、瞬間的に強く発光させることが可能となり、S/N 比を向上させている。その結果、眼鏡レンズへの風景の写りこみを低減し認識性能を高めている (Fig. 8)。なお、近赤外光の照射強度については、IEC62471 に基づき生体安全性には十分配慮している。

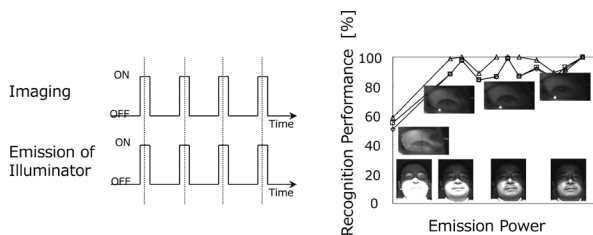


Fig. 8 Synchronization Method of Imaging and Illumination, and the effectiveness

3.3 画像処理結果をフィードバックした撮像制御

顔の特定部位を追跡し、その部位の現撮像フレームの明るさから次の撮像フレーム (33msec 後) の撮像目標値を算出し、顔面の明るさが常に一定範囲に収まるようにカメラのシャッター時間やゲインをフィードバック制御している。通常のカメラは全体測光やスポット測光など被写体の位置に関わらず固定部位の明るさによって撮像制御するため、ドライバーの着座姿勢や体動によって顔面の照度が大きく変化するのに対し、本カメラでは顔認識に適した画像を安定して得ることができる (Fig. 9)。

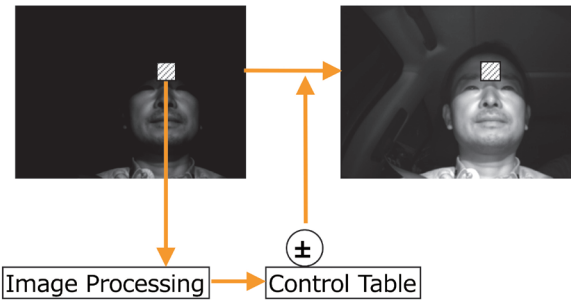


Fig. 9 Feedback imaging control adopting recognition results

おわりに

ドライバーの状態センシング技術について最近の研究事例を交え広く紹介した。さまざまなドライバー起因の事故を減らすため、様々な取り組みがなされ、様々な生理指標を組み合わせることで状態推定の技術開発が行われている。また、自動車運転中のドライバーの眠気を非接触・非拘束・非侵襲にリアルタイムで推定する技術として、カメラと画像処理技術を用いたドライバーステータスマニターを紹介した。瞬目に伴う様々な特徴を抽出し、それらを多変量解析することで、浅い眠気から深い眠気まで広範囲にわたって相関の高い眠気推定が行えることを被験者実験で明らかにした。低レベルの眠気検出は、まだ課題があると考えており、さらに顔の表情から、低レベルの眠気を検出しようとする試みも行っている²⁸⁾。顔表情を作る表情筋の動きと眠気は相関があり、表情筋の長さはカメラでも計測できることから、ドライバーステータスマニターとの相性も良く、非接触で計測できる可能性が高い。

クルマは日々進化しており、条件付きで自動運転が実現される日も近い。その時にはクルマとドライバーの役割分担が大きく変化することになり、権限授受のために自動運転中のドライバー状態をモニタする必要があると考えている。ドライバーを監視するというネガティブな発想ではなく、いざという時に運転復帰できる状態の維持を担保することで最大限ドライバーにリラックスできる環境を提供することで、ストレスなく快適な移動手段を提供できるとともに事故低減に貢献できると考えている。「世界の命を、技術で守りたい」をモットーに、世界の交通事故ゼロを目指して技術開発に邁進していきたい。

参考文献

- 1) 全日本トラック協会：「事業用貨物自動車の交通事故の傾向と事故事例」 2015年8月発行
- 2) R. Craft, B. Preslopsky, Distraction/Inattention in Large Truck and Passenger Vehicle Studies, Federal Motor Carrier Safety Administration, USDOT, Sep 28 (2009)
- 3) 自動車運転中の機器操作についての調査 (2012). Available from: http://www.toshiba-tag.co.jp/enq/enq_22/
- 4) 芳賀 繁：リスク・ホメオスタシス説 ―論争史の解説と展望―. 交通心理学研究 9: 1-10, 1993
- 5) 小島信彦, 辰本恒一郎：ドライバモニタを活用した安全システムの開発. 自動車技術 68: 55-9, 2014
- 6) 田久保宣晃：交通事故データによる運転者のヒューマンエラーと心的負荷の一考察, 国際交通安全学会誌 Vol.30, No.3, pp.299-308(2005)
- 7) 江副俊樹, 西智樹, ポングテップ アンキティテラクル, 吉田浩之, 坂口靖雄, 寺島立太：操舵特性の変化に基づく覚醒低下検出, 自動車技術会学術講演前刷集, No103-10, pp.7-10(2010)
- 8) 大須賀美恵子, 鎌倉快之, 井上裕美子, 野口祥宏, 嶋田敬士, 三代真己：多次元生理指標を用いたドライバの覚醒状態推定 (2), 自動車技術会学術講演前刷集, No74-11, pp.21-26(2011)
- 9) 松永真也, 内藤貴博, 加藤友和, 小栗宏次：車両信号と心拍情報を用いたドライバの運転状態推定技術, 自動車技術会学術講演前刷集, No152-5759, (2011)
- 10) 世古恭俊, 片岡幸郎, 妹尾哲夫：覚醒度低下時の運転操作解析. 自動車技術会学術講演会前刷集. No.841, 69-74, 1984
- 11) 小山哉, 荒川俊也, 自動車技術, 58 (12), 89-94 (2004)
- 12) 山本恵一：運転注意力モニタのヒューマンインターフェース. 自動車技術 56: 74-8, 2002
- 13) Available from: http://www.volkswagen.co.jp/cars/tiguan/features_safety.html
- 14) 望月正人, 杉浦康司：ヒューマンインタフェース 実車走行評価に応用可能な生理計測・評価技術. 自動車技術 56:33-8, 2002
- 15) 柳平雅俊, 安土光男, 自技会学術講演会前刷集, No.51-04, pp.11-16 (2004)
- 16) 入眠予兆研究会 Available from: <http://www.jrtt.go.jp/02Business/Research/PDF/sympoSeikaH20-01b.pdf>
- 17) 中野倫明, 杉山和彦, 水野守倫, 他：居眠り検知のための瞬目検出と覚醒度推定. 電子情報通信学会技術研究報告 95: 73-80, 1995
- 18) JINS-MEME. Available from: <http://pdf.irpocket.com/C3046/YWWN/f5a2/yKcN.pdf>
- 19) A. Ueno, Y. Uchikawa, An approach to quantification of human alertness using dynamics of saccadic eye movement, 8th International Conference on Mechatronics Technology, (Hanoi, Vietnam), pp.563-568 (2004-11)
- 20) Sleep Diagnostics 社ホームページ Available from: <http://www.optalert.com>
- 21) W. W. Wierwille et al., Research on vehicle -based driver status-performance monitoring: development, validation and refinement of algorithms for detection of driver drowsiness, National Highway Traffic Administration Final Report: DOT HS 808 247 (1994)
- 22) 大見拓寛：居眠り運転防止のためのセンシング技術. 眠りの科学とその応用II, 本多和樹監修, シーエムシー出版, 東京, 2011, 107-21
- 23) 北島洋樹, 沼田伸穂, 山本恵一, 他：自動車運転時の眠気の予測手法について (第1報, 眠気表情の評定法と眠気変動の予測に有効な指標について). 日本機械学会論文集 (C編) 63: 3059-66, 1997
- 24) デンソー, 商用車向けにドライバーの運転状態を検出する「ドライバーステータスマニター」を開発. Available from: <http://www.denso.co.jp/ja/news/newsreleases/2014/140403-01.html>
- 25) Torch W, Cardillo C: Oculometric Measures as an Index of Driver Distraction, Inattention, Drowsiness and Sleep Onset. Driver Distraction and Inattention Conference, 2009
- 26) Nagai F, Omi T, Komura T: Driver Sleepiness Detection by Video Image Processing. F2008-08-037, 2008 32ND. FISITA World Automotive Congresses (CD-ROM版), 2008
- 27) 志村 敦, 渡邊泰斗：車載環境に対応したカメラを用いたドライバモニタ技術の開発. 自動車技術会学術講演会前刷集, No.35-12, 15-8, 2012
- 28) S. Hachisuka et al., Facial Expression Measurement for Detecting Driver Drowsiness, 14th International Conference HCI International 2011, pp.135-144 (2011)

著者



大見 拓寛

おおみ たくひろ

情報通信技術 2 部

ドライバーステータスマニターの開発に
従事