

特集：新型MAZDA3

21

カメラを用いたドライバー・モニタリングの開発
Development of Driver Monitoring Using Camera

後藤 誠二*1 Seiji Goto	峯岸 由佳*2 Yuka Minegishi	山本 直樹*3 Naoki Yamamoto
森谷 貴行*4 Takayuki Moritani	中村 創*5 Hajime Nakamura	片山 翔太*6 Shota Katayama

要約

危険な状況に陥ってから対処するのではなく、危険自体を回避する「MAZDA PROACTIVE SAFETY (マツダ・プロアクティブ・セーフティ)」は、ドライバーの認知・判断・操作をサポートし、事故のリスクを最小限に抑えるマツダの安全思想である。この安全思想に基づき、ドライバーに危険を気づかせて安全運転をサポート、または事故の被害を軽減する先進安全技術「i-ACTIVSENSE」を2012年に市場導入し、それ以降も機能進化を続けている。

ドライバーの認知・判断・操作をサポートするためには、ドライバーの危険な状態・行動を検知し、いち早く危険な状況に気づかせる安全技術が必要となる。今回、ドライバーの顔表情・視線をとらえることが可能なカメラ技術の採用により、ドライバー状態とドライバー行動の検知を行う新技術「ドライバー・モニタリング」を、新型MAZDA3へ新たに導入したので、その開発成果を紹介する。

Summary

“Mazda Proactive Safety” is Mazda’s safety philosophy to support the driver’s perception, judgment and operation, and minimize the risk of an accident. Mazda aims to make a driver be able to avoid potential hazards instead of taking an action after being in a critical condition. Based on this philosophy, “i-Activsense”, an advanced safety technology, which supports the driver’s safety by alerting him/her and minimizes damage from the accident was introduced to the market in 2012, and has been continuing to evolve.

To support the driver’s perception, judgment and operation, we need the safety technology to help the driver to avoid the risk by detecting the driver’s dangerous condition/behavior. We adopted a new technology, “Driver Monitoring” to the All-New Mazda3, which detects the driver’s condition and the driver’s behavior by the adoption of new camera technology which can capture the driver’s face expression and gaze direction. This article describes this new technology.

Key words : Human Engineering, Driver Condition, Drowsiness, Fatigue/Burden, Distraction, Warning System, Driver Sensing/Driver Monitoring

1. はじめに

マツダは、「MAZDA PROACTIVE SAFETY」の思想に基づき、安全技術の進化を追究している。その取り組みの一つとして、人間の認知・判断・操作をサポートし、ドライバーに起因するヒヤリ・ハットを減らすための安全技術の開発を進めている。そのためには、ドライバーにいち早く危険な状況を気づかせ、安全運転をサポー

トする技術により、ドライバーが『正しい「認知」→「判断」→「操作」のサイクルを繰り返している状態』を提供することが必要である。このような背景の下、「i-ACTIVSENSE」の技術の一つとして、ドライバー・アテンション・アラート (DAA) ⁽¹⁾を2012年に市場投入した。

今回、新型MAZDA3では、ドライバーモニタリングカメラを搭載し、ドライバーの顔表情・視線をとらえるこ

*1~3 情報制御モデル開発部
Infotainment and Control Model Development Dept.

*4~6 電子基盤開発部
Electronic Platform Development Dept.

とで、その人の特性に沿った認知・判断・操作の支援を可能とする技術「ドライバー・モニタリング」を市場導入した。「ドライバー・モニタリング」は、ドライバーの眠気を検知した場合に、2段階の警報により休憩を促す。また、対象物への衝突の可能性があるときに、ドライバーが正面を注視していないと判断した場合に、通常より早期に衝突警報を行うことで、ドライバーにいち早く危険な状況気づかせ、衝突回避をサポートする技術である。その技術内容について以下紹介する。

2. 開発のねらい

2.1 事故の実態

国内の交通死亡事故発生件数を法令違反別（第1当事者）にみると、安全運転義務違反が55.0%を占め、中でも漫然運転（15.9%）、運転操作不適（13.2%）、わき見運転（11.1%）、安全不確認（9.6%）が多い（Fig. 1）^②。

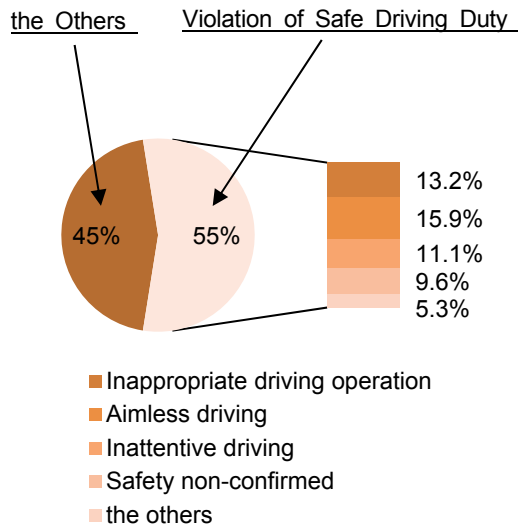


Fig. 1 Number of Fatal Accident Per Violation of Law, 2016 (This Target is the First Party)^②

これらの中で、ドライバーの注意力の低下が要因で引き起こされる漫然運転・わき見運転・安全不確認については、死亡事故全体の1/3を占めている。

また、交通事故発生件数を事故類型別にみると、追突が37.0%を占めている^②。正面を注視していれば防げた可能性のある事故が多いといえる。

2.2 開発のねらい

事故の実態を踏まえると、死亡事故を減少させるためには、運転中のドライバーの注意力低下を検知し、人・車それぞれをリスクに近づかせないようにする必要がある。よって、新型MAZDA3から導入した「ドライバー・モニタリング」では、ドライバー起因の事故の主要因で

ある、眠気・わき見を検知し、ドライバーにいち早く危険な状況気づかせることを目標とした。

3. ドライバー・モニタリング手法の検討

3.1 ドライバー状態・行動検知手法

運転能力は個々人のスキルや運転経験のみで規定されるものではなく、ストレスなどの心理的要因や覚醒度などの生理的要因といったドライバーの心身状態の影響を受けることが知られている。ドライバー状態と行動の検知手法には、運転操作や安全確認行動などを観察する手法、脳波や心拍といった生体情報を計測する手法、本人の主観報告などがあるが、検知精度や測定自体の簡便さ、測定装置の車載適合性の観点で一長一短である。このため、ドライバー状態・行動検知手法は測定するドライバーの状態や目的に応じて適切に選択する必要がある。新型MAZDA3のドライバー・モニタリングの開発では、事故の実態に基づき眠気・わき見に適した検知手法について検討した。

3.2 眠気・わき見の検知手法とセンシングデバイス

眠気の検知手法としては、ドライバーの生体情報を用いる手法と、ドライバーの運転行動や車両挙動を用いる手法がよく知られている。生体情報を用いる手法は、ドライバー自身の反応を直接計測することから多くの研究知見があるが、眠気を反映する多くの生体情報のなかでも、瞬目活動は眠気の変動をよく反映することが知られており、その有効性が確認されている^③。

次に、わき見を検知するためには、ドライバーがどこを見ているかを知る必要がある。視線を検知する手法としては、眼鏡型などの装着型装置を用いるものや、顔映像の画像処理結果から算出する手法などが一般的である。これらの知見から、眠気、わき見ともにドライバーの顔映像から検知する手法が有望である。

次に、公道を走行する車両に搭載するための要件について検討した。運転中のドライバーの状態・行動を安全に検知するためには、ドライバーに煩わしさを感じさせることなく測定可能であること、運転に伴う認知・判断・操作を妨げないことが必要となる。これらの条件に合致するセンサーとしては、非接触・非装着状態で、なおかつドライバーにセンサーの存在を気にさせることなく測定可能なドライバーモニタリングカメラやシート埋め込み型の生体センサーなどが挙げられる。眠気とわき見を検知するためには顔映像を用いる手法が有望であるとした前述の検知手法の検討結果を踏まえると、ドライバー・モニタリングの機能を実現するセンサーとしてはドライバーモニタリングカメラが最も適していると考え、これを採用した。

4. システム構成

ドライバー・モニタリングのシステムは、ドライバーモニタリングカメラ、眠気・わき見検知等を実行するための電子制御ユニット（ECU）、及び警報ユニットで構成される（Fig. 2）。

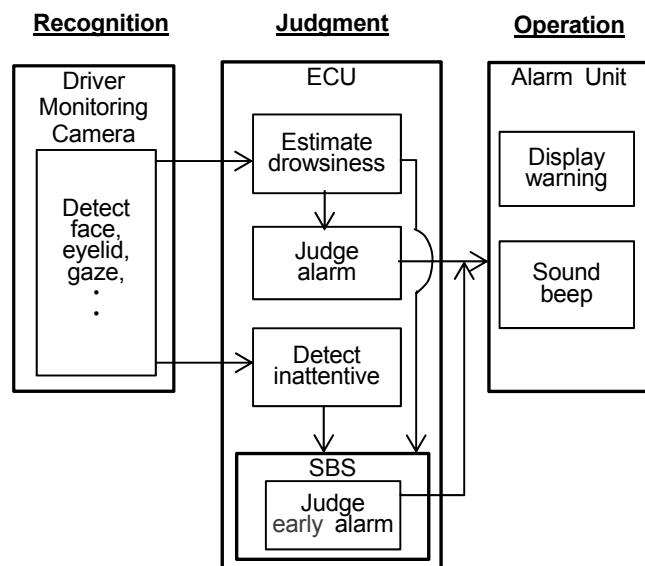


Fig. 2 System Architecture

車室内に搭載されたドライバーモニタリングカメラにて、ドライバーの顔表情をとらえる。そして、その情報を元に眠気を検知し、眠気の充進よりドライバーがリスクに近づいていると判定した場合は、メーターに休憩を促す表示を行い、かつ警報音を吹鳴する。また、眠気・わき見を検知した際に、衝突のリスクが迫っていた場合は、スマート・ブレーキ・サポート（SBS）の警報を早期化することで、ドライバーにいち早くその状況を知らせる。

これらの機能について、詳細を以下に述べる。

5. センシング

5.1 ドライバーモニタリングカメラ

カメラによる顔映像からの瞬目活動や視認行動のセンシングに必要な要件として、以下の3点が挙げられる。

①昼夜を問わずセンシングできること、②瞼や視線の動きをとらえられる位置に配置すること、③瞼や視線の動きをとらえるために十分な空間分解能・時間分解能を満たしていることである。

上記の要件を満たすシステムとして、近赤外領域のカメラとLEDから構成されるドライバーモニタリングカメラを導入し、センターディスプレイに配置した（Fig. 3）。

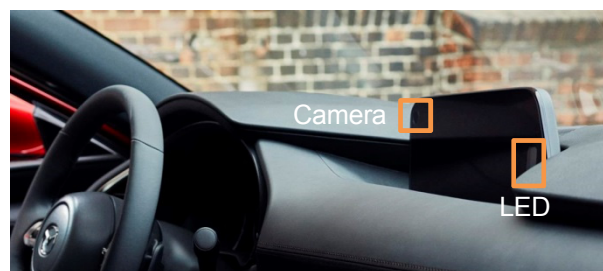


Fig. 3 Driver Monitoring Camera

①昼夜を問わずセンシングできるという要件に対して、通常の可視光領域ではなく、近赤外光領域の感度を高めたカメラを利用することにした。また、外光に影響を受けずドライバーを照らすために、近赤外光を発光するLEDを利用している。この時、ドライバーを照らす近赤外光領域として、乗員に目視されず、太陽光に含まれる近赤外線の影響をできるだけ排除するために、スペクトル強度が低い波長帯の940nmを採用した。

②瞼や視線の動きをとらえられる位置に配置するという要件に対しては、センシング対象であるドライバーの目がまつ毛や前髪によって隠れないように、カメラを目の高さより少し低い場所に配置した。その上で、クルマのインテリア（ハンドル等）やドライバーの運転中の行動によりセンシング対象が遮蔽されにくい、センターディスプレイに内蔵することとした。

③瞼や視線の動きをとらえるために十分な空間分解能・時間分解能を満たしているという要件に対しては、眠気・わき見検知モデルの特性から、必要な空間分解能・時間分解能を検討し、決定した。カメラの解像度は、センターディスプレイに配置した場合も、ドライバーの顔・瞼・視線・口等を撮影できる必要がある。また、カメラの処理能力は、ドライバーの瞬目活動や視認行動を一定間隔でセンシングできる必要がある。

これらの要件を満たしたカメラを用いて、いかなるドライバー、いかなる運転シーンに対してもロバストにセンシングできるよう、性能改善に取り組んだ。具体的には、まず、センシングアルゴリズムの特性から、ドライバーの外見（人種、年齢、ヘアスタイル、アクセサリ、化粧など）やドライバーの行動（ドライビングポジション、安全確認行動など）、運転シーン（走行場所、走行時間帯など）を誤差因子として抽出した。更に、リスク分析の手法を参考に、誤差因子ごとに影響度と発生頻度を検討し、重要度を整理した。その上で、これらの誤差因子に対してロバストなアルゴリズムとなるように、評価・検証を繰り返した。その結果、さまざまなドライバーの外見や行動、運転シーンへ対応した。

5.2 眠気検知

人間は眠くなるると覚醒時と比べて瞬目の挙動が変化する。例えば、単位時間あたりの閉眼時間の割合 (PERCLOS: Percent of the time eyelids are closed, Fig. 4) は瞬目の挙動を表す指標の一つとしてよく知られている⁽⁴⁾。しかし、PERCLOSは、強い眠気に対する感度・精度は高いが、弱い眠気に対しては感度が低い⁽⁶⁾という特性がある。このように単一の指標でドライバーの眠気状態を正確に検知することは出来ない。そこでマツダでは、瞬目の波形から複数の眠気指標を定量化し、ドライバーの眠気が弱い状態から強い状態まで正確に検知するモデルの構築に取り組んだ。

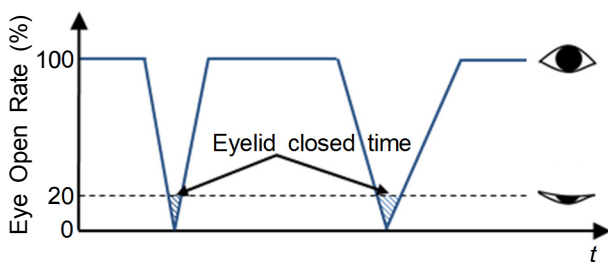


Fig. 4 Eyelid Closure (PERCLOS)

ドライバーの眠気の状態を検知するモデルを構築するためには、ドライバーの眠気が実際にどの程度であったかを表す正解値が必要になる。眠気状態の正解値は、熟練した2名の評定者が運転中のドライバー表情を撮影した映像を観察し、評定する方法 (顔表情評定) を採用した⁽⁶⁾。顔表情評定はドライバーの主観的な眠気、脳波などの生体情報や車両挙動など、従来から知っている眠気の指標との相関があり、その有効性が示されている⁽⁷⁾。また、ドライバーに眠気の報告を求めるなどのタスクを課す必要がなく、自然な運転中の眠気を知ることができるという利点がある。

顔表情評定は以下の5段階の 카테고리に従って実施する⁽⁶⁾ (括弧内には各カテゴリで表出する行動例を示す)。

1. 全く眠くなさそう
(視線の移動が速く、頻繁である。瞬きの周期は安定している。動きが活発で体の動きを伴う。)
2. やや眠そう
(視線移動の動きが遅い、唇が開いている。)
3. 眠そう
(瞬きがゆっくりと頻発。口の動きがある。座り直しあり。顔に手をやる。)
4. かなり眠そう
(意識的と思われる瞬きがある。頭を振る。肩の上下動など無用な体全体の動きあり。あくびは頻発

し、深呼吸も見られる。瞬きも視線の動きも遅い。)

5. 非常に眠そう

(顔を閉じる、頭が前に傾く。頭が後ろに倒れる。)

5段階の眠気評定結果 (正解値) を目的変数、瞬目波形から定量化した眠気指標の値を説明変数とした眠気レベル検知モデルを構築した。まず、実際の運転環境に起因するノイズの影響を除外したドライビングシミュレーター (DS) 環境で取得した瞬目波形データを用いて検知モデルを構築し、次に実車走行で取得したデータを用いて検知モデルの検証を実施した。

検証の結果、実車走行では安全確認行動や同乗者との会話、太陽光の変化など、運転時の環境やドライバーの行動などが眠気検知精度低下の要因となることを確認した。これらの要因については、ドライバーモニタリングカメラのセンシング性能向上と画像処理技術の向上、及び眠気検知精度低下要因となるドライバー行動に対応するアルゴリズム構築によりその影響を低減している。

5.3 わき見検知

わき見を前方に注意を向けていない状態と定義するが、常に前方に注意を向け続けることが正しいとは限らない。具体的には、安全確認のために、前方ではなく、周囲に注意を向けている場合もある。また、前方以外に注意を向けていたが、周辺視で前方の変化をとらえ、前方に注意を向けようとしている場合もある。これらの、ドライバーの意図を反映した、わき見検知モデルの構築に取り組んだ。

まず、前方の注意を向けるべき領域が、ドライバーの視野領域に含まれていない場合を、前方に注意を向けていない状態としてリアルタイムに検知している。

このとき、前方の注意を向けるべき領域を、車両に搭載されたセンサーから計算される走行路の曲率と車速から、先行車両が存在すると想定される領域と定義した (Fig. 5)。その上で、視野領域の中心は、ドライバーモニタリングカメラから出力される視線向きとした。また、視野領域の大きさは、車両の速度が高速になるほど狭くなる⁽⁸⁾人間特性に沿った範囲とした (Fig. 6)。

その一方、安全確認のために周囲へ注意を向けている状態を全てわき見として検出しては、必要な安全確認を阻害してしまう。よって、前方の注意を向けるべき領域が視野領域に一定時間以上含まれていない場合のみ、わき見として検知している。同様に、周辺視で前方の変化をとらえ、前方に注意を向けようとしている場合でも、わき見として検出しては、ドライバーの意思を尊重することができず、煩わしさを感じさせてしまう。よって、前方の注意を向けるべきポイントが周辺視の領域に含ま

れていて、かつ、前方に注意を向けようとする眼球運動がみられた場合には、わき見として検知しない。

上記の考えに基づいて開発したわき見検知モデルを、さまざまなドライバー（人種・性別・年齢など）が、さまざまな交通環境（国内外の高速道路・住宅地など）を実際に走行したデータを用いて評価した。

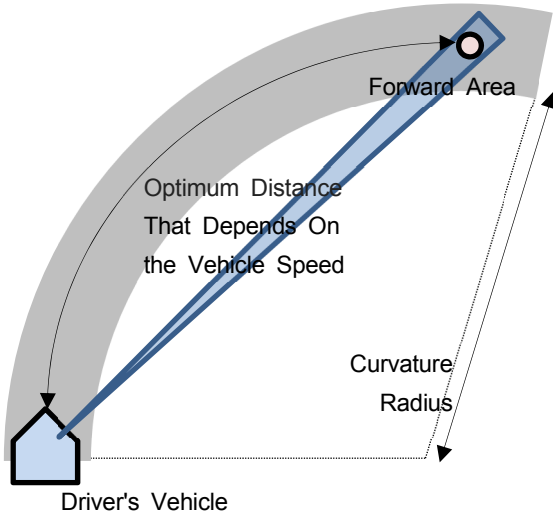


Fig. 5 Forward Area That Depends on the Vehicle Speed and Curvature Radius

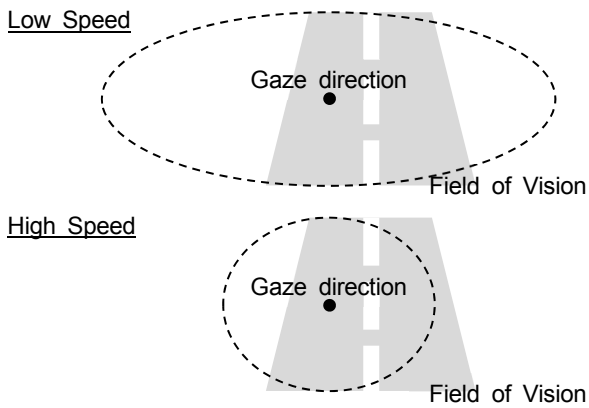


Fig. 6 Field of Vision That Depends on the Vehicle Speed

6. ドライバーへの働きかけ

6.1 眠気に応じた警報

ドライバーの眠気の状態に合わせて最適なタイミングで警報を行うことで、人間の感覚に合いなおかつ煩わしさを感じさせることなくドライバーに休憩を促す機能の実現を目指して開発を進めた。

上記に基づき次の2段階の警報を設定した。注意喚起

(Attention) 段階では、眠気が充進し今後事故が生じるおそれがある状態を検出し、休憩を促すための警報を出力する。また、警告 (Warning) 段階ではいつ事故が生じてもおかしくない状態を検出し、休憩を促す。警報は、各警報段階に応じて設定したメーター内の表示と警報音でドライバーに伝える (Fig. 7)。

警報の出力は、検知した眠気レベルの推移から判定する。警報出力判定の基準は、国内外の公道走行データに顔表情評定を用いて眠気の正確値をタグ付した結果を解析し、眠気の推移や変動のパターンに基づいて決定した。警報が主観的な眠気と合致しない場合ドライバーに煩わしさを感じさせるおそれがあるため、眠気レベル検知結果から最適なタイミングで警報出力判定がなされるように判定基準を調整した。



Fig. 7 Examples of Alert Display and Sound (Left: Attention, Right: Warning)

6.2 スマート・ブレーキ・サポート (SBS) 連携

「2.1 事故の実態」で言及したとおりに、ドライバーが正面を注視していないことが、多くの重大事故の発生要因となっている。しかしドライバーが正面を注視していないことを検出するたびに警報を出すことは適切ではない。そのため、対象物への衝突の可能性があるときに、ドライバーが正面を注視していないと判断した場合は、通常より早期に衝突警報を行うことで、ドライバーにいち早く危険な状況を気づかせ、安全運転をサポートする機能を搭載した。

具体的には、衝突の可能性がある状態まで先行車や障害物と接近した場合 (Fig. 8) に、前方不注意状態 (眠気やわき見を検知) であれば、警報とディスプレイの表示で、ドライバーに衝突の危険性を早期に知らせ、ブレーキ操作を促す。この機能により、発見の遅れによる衝突事故を低減する効果を更に高めることができる。

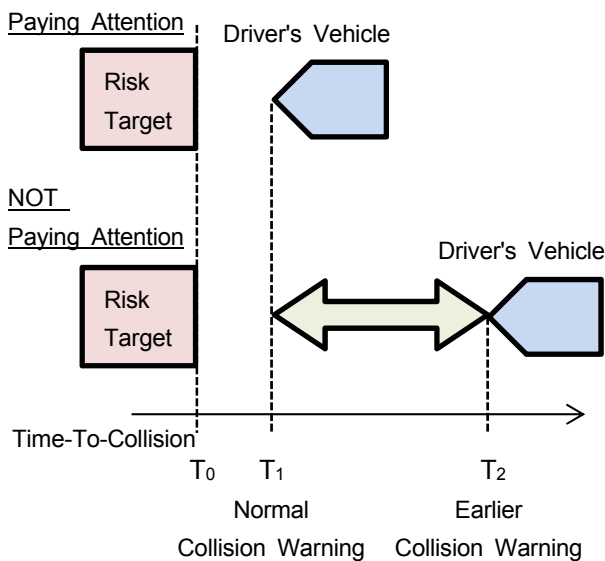


Fig. 8 Collision Warning Timing

7. おわりに

今回、新型MAZDA3に搭載した先進安全技術「カメラを用いたドライバー・モニタリング技術」を紹介した。新型MAZDA3では、運転中のドライバーの眠気・わき見を検知することで、交通死亡事故の実態の中でも、その要因比率が高い、危険な状態・行動について、ドライバーに早期に気付かせる技術を開発した。

今後は、マツダの2030年を見据えた技術開発の長期ビジョン「サステイナブル“Zoom-Zoom”宣言2030」に基づき、安心・安全なクルマと社会の実現により、全ての人が全ての地域で自由に移動し、心豊かに生活できる仕組みを創造し築いていく。そのために、ドライバーのさまざまな状態・行動を検知し、その状況に応じて適切に運転をサポートする技術の研究・開発を続けていく所存である。

参考文献

- (1) 中村ほか：マツダの先進安全技術「i-ACTIVSENSE」の進化，[マツダ技報, No.32, pp.216-221 \(2015\)](#)
- (2) 平成29年版交通安全白書 全文（内閣府）
（https://www8.cao.go.jp/koutu/taisaku/h29kou_haku/zenbun/genkyo/h1/h1b1s1_2.html）を加工して作成
- (3) 式井ほか：瞬目分析に基づく眠気推定の高精度化，自動車技術会2017年春季大会学術講演会講演予稿集，pp.2638-2641 (2017)
- (4) Dinges, D., Grace, R.: PERCLOS: A Valid Psychophysiological Measure of Alertness As Assessed by Psychomotor Vigilance, TechBrief

NHTSA, No.FHWAMCRT-98-006 (1998)

- (5) 大見拓寛：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，[デンソーテクニカルレビュー, vol.21, pp.93-102 \(2016\)](#)
- (6) 北島ほか：自動車運転時の眠気の予測手法についての研究（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），63-613, pp.93-100 \(1998\)](#)
- (7) 寺田ほか：自動車運転時のドライバ眠気レベル推定モデルに関する検討，[自動車技術会2012年春季大会学術講演会講演予稿集, pp.9-14 \(2012\)](#)
- (8) 一般社団法人 交通工学研究会：[道路交通技術必携 2018, 東京, 一般社団法人 交通工学研究会, p.58 \(2018\)](#)

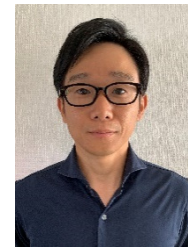
■ 著 者 ■



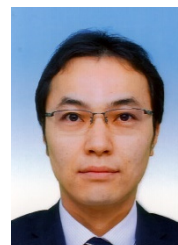
後藤 誠二



峯岸 由佳



山本 直樹



森谷 貴行



中村 創



片山 翔太