

技術論文

ドライバモニタカメラ技術と応用

大須賀 晋
Shin Osuga内藤 剛
Takeshi Naito

概要

居眠りや脇見などのヒューマンエラーによる事故防止や、自動運転車の必須機能として、ドライバモニタリングがますます重要視されている。

安全機能としてのドライバモニタカメラ開発や、居眠り検知とその警報システムにかかわる研究、また利便機能としての読唇技術や自動運転HMIの取り組みについて紹介する。

1. はじめに

近年、日本の交通事故による死者数は減少傾向にあるが、警察庁がまとめた「平成26年中の交通事故の発生状況」¹⁾によると、年間4113人で依然憂慮すべき状況にある(図1)。交通事故件数を法令違反別にみると、安全不確認が約30%を占め最も多く、居眠りを含む漫然運転の事故件数は約8%で原因の4番目となっているが、事故件数を死亡事故に限定すると、1位は漫然運転の約18%となる(図2)。平成24年の関越自動車道高速バス居眠り運転事故など、居眠り運転は大きな事故に繋がる可能性が高く、社会的にもその対応が強く望まれている。

本稿では、居眠り運転防止への取り組みとして、ドライバモニタカメラ開発や、長時間閉眼による居眠り検知の考え方、ブザー警報による事故防止の有効性検証について紹介する。

また、近年では自動運転技術の隆盛に伴って、自動運転車とドライバ間での安全かつスムーズな運転権限移譲を行うためのドライバモニタ技術が注目を浴びている。ドライバに周辺監視義務が課される制限された自動運転車では、本やスマートフォン、景色などへの脇見や、ドライバの車両周辺への安全確認行動の有無を確認する必要があるため、ドライバモニタカメラによる注視方向推定技術についても紹介する。

さらに、ドライバの顔画像が含むあらゆる情報を分析できる可能性を持つドライバモニタカメラはヒューマンマシンインタフェース(HMI)分野での応用も期待されている。その例として顔画像処理技術を応用したマルチモーダル音声認識技術とマルチモーダル対話型自動運転について紹介する。

2. ドライバモニタカメラ

当社では、2006年からドライバの顔向きを検知するドライバモニタカメラを製品化し、2008年には瞼開度検出の機能追加を実施している。現状は、予防安全システムの付加機能として、ドライバの顔向きや瞼開度の情報によりドライバの注意力低下を判断し、前方車への衝突の可能性を知らせる警報タイミングを早めることで安全性を高めることに貢献している。現在、閉眼状態や脇見等を確実に検知できるよう、新規アルゴリズムの採用と光学特性の見直しによる性能向上を進めている。

開発中のドライバモニタカメラは、撮像部と画像処理部を一体化することで小型化を実現し、

図3に示すようにコラムカバー上面に配置され、常時ドライバの顔を撮影する。撮影された顔画像から、画像認識によってドライバの瞼開度を認識し、瞼の開閉を判断する。夜間など暗所でも撮影する為、近赤外照明を内蔵している。

交通事故発生状況の推移

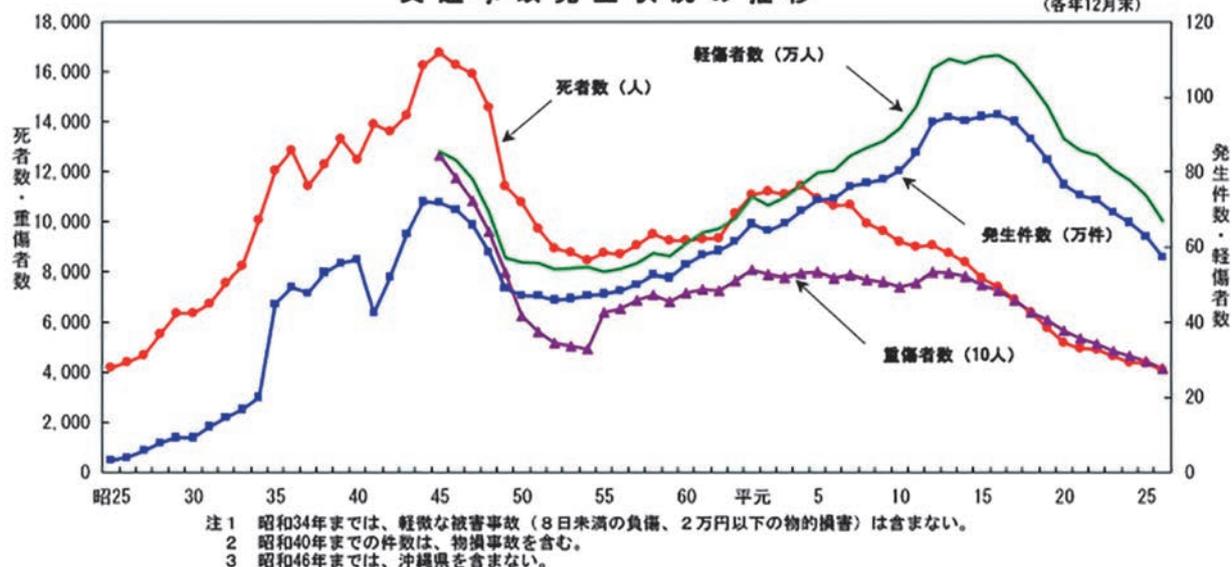


図1 交通事故発生状況

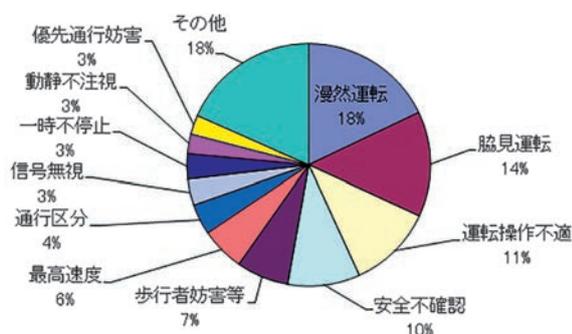


図2 交通事故発生状況

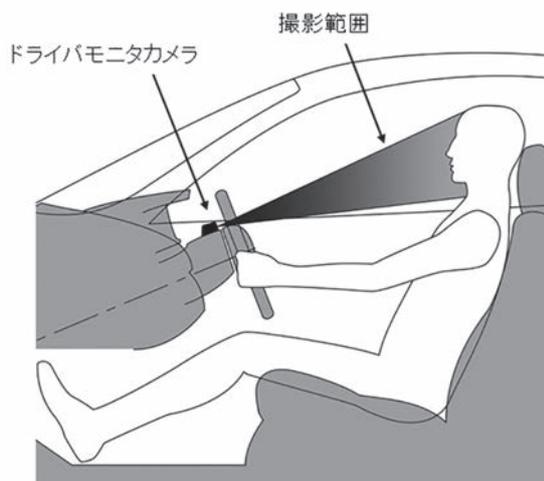


図3 ドライバモニタ搭載

図4に概略の構成を示す。

図5に画像認識アルゴリズムの処理フローを示す。まず、撮影された顔画像から顔の領域を特定し、その中から眼や鼻などの顔部品を検出する。次に、検出した顔部品と、あらかじめ学習した3D顔モデルをフィッティングさせることで、顔の移動や環境の変化がある状況でも確実に眼、鼻などの顔度を検出し瞼の開閉を判断すること

や、視線方向を推定して脇見や左右安全確認の有無を判断することができる。2020年向けに開発している画像認識アルゴリズムでは、本フローに人工知能技術を全面的に取り入れることにより、飛躍的に閉眼検出、顔・視線角度推定の性能を向上するだけでなく、写真を用いたドライバ成り済みの検出やカメラ汚れ検出などの新機能を追加している。通常であれば計算量が膨大な人工知能モデルを、車載向けの安価なCPUに搭載する為、モデルサイズの軽量化、組み込みソフトウェアの最適化や機械語まで踏み込む高速化をIdein社（2018年より当社と資本業務提携した人工知能開発のパートナー）と取り組む事で実現した。また、実車環境でのロバスト性向上のため光学特性の見直しも実施している。特に、様々な光環境の下で安定した画像が取得できるよう、近赤外照明の強度アップと、それに合わせた光学フィルタの最適化を行った。これにより顔に差し込む影や、眼鏡への風景の写りこみを低減し、認識性能を高めることができた。

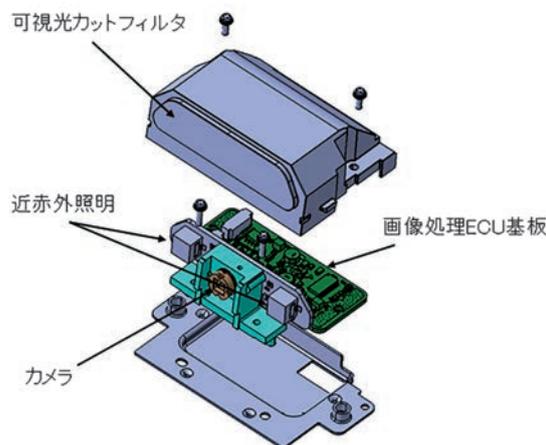


図4 ドライバモニタカメラ構成

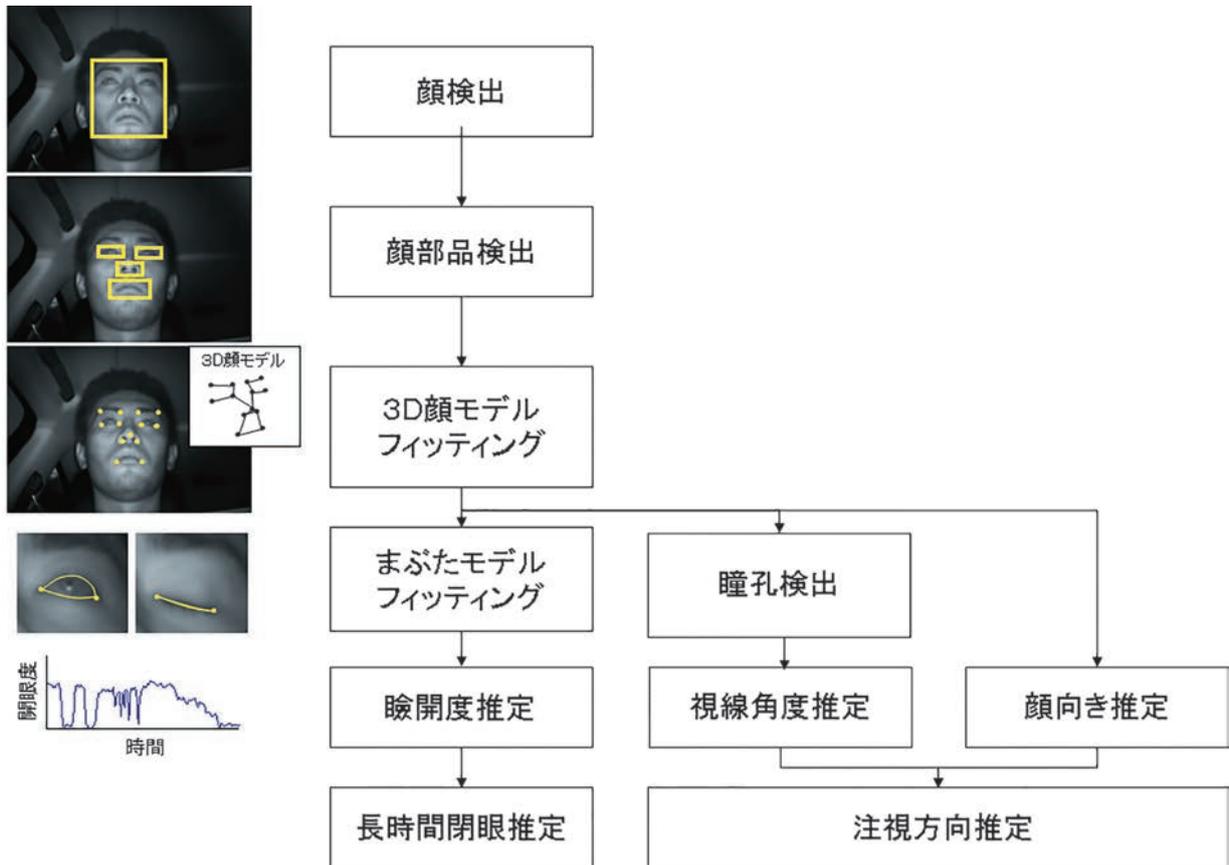


図5 処理フロー



図6 正面タイプ,横方向タイプ

搭載自由度をまし,より市場にドライバモニタカメラを普及させることを目指し,従来のドライバ正面から顔を撮像するタイプに加えて,横方向(センターコンソールやAピラー等)から顔を撮像するタイプのドライバモニタカメラの開発も行っている(図6).

3. 居眠り検知

以前からドライバの眠気を脳波や心拍など,人間の生理指標から推定する手法が様々な提案されてきた(表1). 当社でも図7に示すような,圧電フィルムをシートに埋め込むことで,心拍や呼吸,体動などを検知するセンサの開発も実施しているが,近年では,ドライバの状態をカメラで撮影し眠気を推定する取り組みが活発になっている.

表1 ドライバ眠気推定の研究事例

生理指標	推定手法
脳波	覚醒低下, 快適, リラックスでα波増大
心拍	覚醒低下や快適でLF/HF低下
血流	覚醒低下で血流量低下
呼吸	疲労や覚醒低下で増加
脈拍	覚醒低下や快適でLF/HF低下
皮膚温	覚醒低下で皮膚温上昇
皮膚抵抗	覚醒低下で皮膚抵抗上昇
瞬き	疲労や覚醒低下で増加
眼球運動	覚醒低下で移動速度低下
瞳孔	覚醒低下で瞳孔縮小
体動	緊張や疲労で増加

一般的に、脳波や心拍などの計測には、電極式や振動検出式といったドライバとの接触が必要であるのに対し、カメラは非接触で計測可能であることが最大のメリットと考えられる。運転中のドライバへの負担を考えると、センサは非接触、非拘束が重要と考え、我々もカメラを使った眠気推定の検討に注力してきた。

カメラで検知可能な生体指標として、視覚運動系の瞬目や眼球運動などが挙げられるが、特に瞬目の変化は眠気との関連性が高いことが知られている。瞬目と眠気の関係性を明らかにするため、瞬目の速度や間隔、閉眼時間などの物理量と眠気の実験的に検証した。実験では、車両にドライバを撮影するカメラを搭載し、被験者9名が1周7.9kmのコースを80分、クルーズコントロールの下、時速60kmで走行した。撮影した映像から、表2に示すNEDOの評定手法²⁾で眠気レベルを判定するとともに、表3に示す瞬目の物理量が眠気とともに変化するかを調査した。

評定した眠気レベル間で、調査した物理量に有意差があるか検証した結果、運転に支障があると考えられる眠気レベル4以上とそれ以外で、閉眼時間最大値、閉眼時間積算値、閉眼及び開眼速度平均値、瞼位置平均値で差があることを有意水準0.1%で確認できた。また、瞬き間隔や瞬き周波数では有意差が見られなかった³⁾。

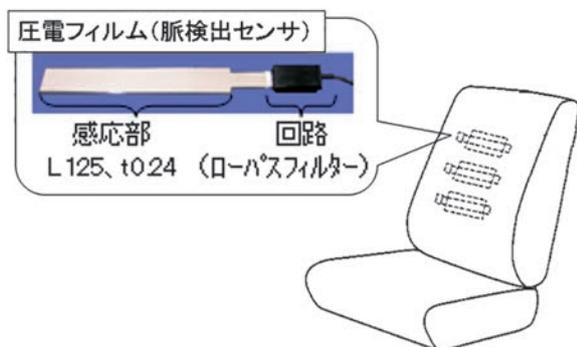


図7 脈拍検出センサ

この結果から、眠気レベルと相関の高い物理量の中で、比較的安定して検出可能と考えられる閉眼時間最大値を居眠り運転の判定指標として選定した。居眠り判定時にドライバに警報することを考えると、あまり早いタイミングではドライバに煩わしさを与えるため、眠気レベル3以下で警報しないような閉眼時間を設定した。実験より、眠気レベル2での閉眼時間最大値の3σが0.93秒となることから、閉眼時間1秒以上を居眠り運転の判定基準とした。

表2 顔面表情評定レベル

レベル	基準	特徴
1	全く眠くなさそう	・視線の移動が早く頻繁である ・瞬きは2秒に2回位の動きが活発で身体の動きを伴う
2	やや眠そう	・唇が閉じている ・視線移動の動きが遅い
3	眠そう	・瞬きはゆっくりと頻発 ・口の動きがある ・座り直し有り ・顔に手ぎやる
4	かなり眠そう	・意識的と思われる動きがある ・顔を揺る・肩の上下動などの無用な身体全体の動きがある ・あくが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	・瞼を開ける ・顔が前に傾く ・顔が後ろに倒れる

表3 眠気との関連を調査した物理量

眠気増加での変化	物理量
瞬き間隔が短くなる	・瞬き間隔
瞬き周波数が増加	・瞬き周波数
閉眼時間が長くなる	・閉眼時間平均値 ・閉眼時間最大値 ・閉眼時間積算値
瞬き速度が遅くなる	・閉眼速度平均値 ・開眼速度平均値
瞼開度が狭くなる	・瞼位置平均値

4. 居眠り警報

開発したドライバモニタカメラを使って居眠り警報の有効性を確認した。

ドライバの眠気を解消する手段として、音や光、振動などの刺激をドライバに与える手法が提案されている。今回、覚醒刺激として最も簡単に実現可能なブザー警報の有効性を実車で確認した。

実験では、セダンタイプの車両に自社で開発した閉眼状態を検知する装置を搭載し、被験者10名が1周7.9kmのコースを2時間、クルーズコントロールの下、時速60kmで走行した。実験時の開眼、閉眼の検出状況を図8に示す。

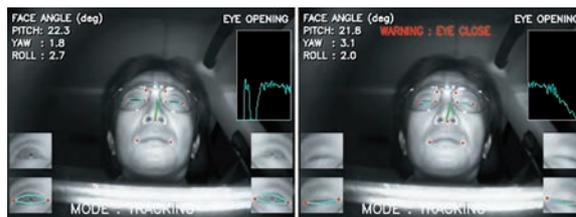


図8 画像処理で瞼の開閉を検知した様子

実験では、居眠り警報の有効性を検証するため、運転中の長時間閉眼（1秒以上の閉眼）をドライバに警報する場合としない場合の2パターンでそれぞれ1回ずつ走行してもらい、長時間閉眼の発生回数を記録した。また車線維持能力に対する効果も評価するため、タイヤが車線を踏んだ回数も記録した。実験結果を図9に示す。

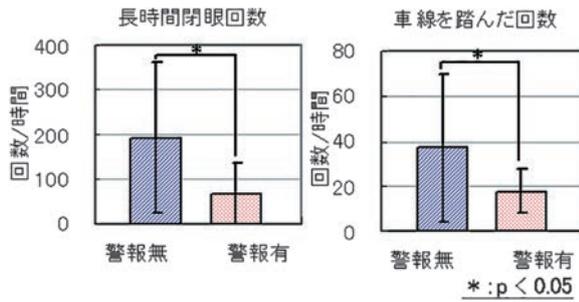


図9 居眠り警報実験結果

警報を行うことで長時間閉眼の回数および車線を踏んだ回数共に減少することを有意水準5%で確認できた。加えて試験走行中、警報無しでは起きていられずに眠ってしまい、運転の継続が不可能であった被験者が、警報有では2時間の試験を走りきることができたなど、警報が有効である事例が認められた。

これらのことから閉眼時間をトリガとしたブザー警報による居眠り運転防止の有効性が示唆された。今後もドライバの高齢化が進む中でドライバのヒューマンエラーに起因した事故は更なる増加が予想される。居眠り実験において、長時間閉眼を伴わず反応時間が遅れる事例や、ブザー警報だけでは覚醒しない事例も認められるため、他の生理指標の活用や振動刺激による覚醒など、引き続き検討を進め交通事故ゼロ社会の実現に貢献していきたい。

5. 注視方向推定

脇見や左右安全確認を検知するためには注視方向の推定が有効である。ドライバの注視方向は視線角度を推定することで検出することができる。

開発中のドライバモニタカメラでも瞳孔などを検出することにより視線角度を推定することができる(図6センチタイプ)。画像処理技術を用いた視線角度推定技術として、暗瞳孔法、明瞳孔法、眼球モデル法、角膜反射法など様々な手法が提案されている。しかし、実環境ではいずれの手法を利用したとしても、目の開き具合、直射光など光環境の厳しさ、赤外線をカットする眼鏡やサングラスの装着、顔とカメラの相対位置関係などの様々な要因で、視線検出が困難になるケースが多い。そこで、視線や顔向きの角度を含む様々な顔情報を入力とし、注視方向を推定することができる多変量時系列モデルを構築した。これにより、瞳孔位置が検出できないケースでも顔向きなどの時系列的な変化を利用して注視方向をシームレスに推定することができるようになった。

例えば、スマートフォンの利用などドライバモニタカメラから相対的に下方向に脇見をする際には、カメラ画像としては目が非常に細く映るため瞳孔位置及び視線検

出が難しいケースが発生する。先の変量時系列モデルを利用してこのようなケースでも9割以上の成功率で下方向への注視行動を検出できるようになった。

6. マルチモーダル音声認識

ドライバの顔画像が含むあらゆる情報を分析できる可能性を持つドライバモニタカメラはヒューマンマシンインタフェース(HMI)分野での応用も期待されている。例えば顔画像を用いた個人認証、感情推定、性別・年齢推定やジェスチャ認識など様々な応用が幅広く提案されている。ここではドライバモニタカメラのHMI応用に関する取り組みの1つとして、顔画像処理と連携した音声認識技術の開発について紹介する。

近年、携帯電話での検索機能、カーナビゲーションシステムの音声操作などで、音声認識技術が利用されている。音声による操作や情報検索の最大の利点は、ユーザのリテラシーに関係なく、誰でも簡単にそれらの機器を扱うことができる点にある。しかし、実環境では、周囲の雑音が大きき場所で音声認識が利用されることが多い。そこで、音声情報と画像情報を用いたマルチモーダル音声認識による、雑音環境に頑健な音声認識が研究されている⁴⁾。当社においても顔画像処理を用いた読唇技術を応用し、厳しい雑音下にある実車環境でも利用できる音声認識技術を開発している。

被験者がカメラの前で指定された単語を音読したデータを収集し、音楽やロードノイズなど実車環境の雑音を印加した上で、単語認識性能を評価した結果を図10に示した。画像のみを用いた音声認識(読唇)での単語認識率は70%弱となった。音声のみを用いた音声認識では雑音を印加しないクリア音声で98%以上となったが、SN比が低下するにつれ認識率が低下し、-5dBではほぼ単語を認識できなくなってしまった。音声と画像を組み合わせたマルチモーダル音声認識では単語認識率がSN比低下による影響をあまり受けず、-5dBでも75%程度の単語認識率となった。これにより、実車の非常に厳しいノイズ環境下におけるドライバモニタカメラを用いたマルチモーダル音声認識技術の有効性が示唆された。

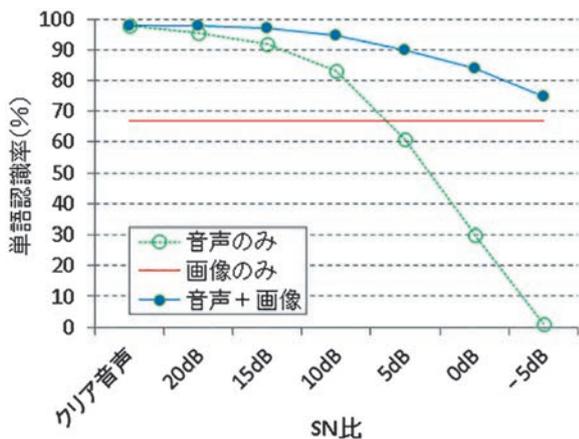


図10 マルチモーダル音声認識性能

7. マルチモーダル対話型自動運転

自動運転車の研究開発は急速に進展し、周囲センシングや車の制御などの技術は進展している一方で、実際に一般の人が、どのように「自動運転車を操作する」のかについての検討は、社会的にあまり行われてこなかった。そこで、新しい自動運転車とのやり取りを提案するため、名古屋大学、徳島大学らと共同で、「人対人のコミュニケーション」から発想を得た世界初の『マルチモーダル対話型自動運転車』(図11)の開発に取り組み、実証実験を成功した(図12)。「モダリティ/モーダル」とはそれぞれの感覚入力の種類(視覚や聴覚など)を指す言葉で、複数の入力を統合理解することをマルチモーダルシステム、特に音声対話を含む場合にマルチモーダル対話システムと言う。

今回開発した自動運転車においては、ドライバーの音声、ジェスチャ、口動作、視線などが、音声認識、深度センサ、顔画像処理を用いて認識され、かつこれらが統合理解されドライバーの意図がくみ取られる。



図11 自動運転車両



図12 実験風景

実現したマルチモーダル対話の1つとして、ドライバーがある建物を見ながら「あれは何?」と尋ねれば、「あれ」と言いながら見ているモノが何かを教えてほしいという意図をくみ取り、システムが建物名称を教える(図13)。この際、自動運転車側は、内部に持っている3Dマップ上の建物と視線方向のマッピングを行い、注視されている建物名をピックアップして、音声合成技術を用いて建物名を教える。本技術の発展として、「あそこに停めて」とドライバーが訪ねた際に自動で駐車をする機能も開発した。他の動作例として、「速度を上げて」という発声に対し音声認識で発話者の意図をくみ取ると同時に、画像処理を用いた口動作検出で指示の主体がドライバーであることを確認し、実際に自動車は運行速度を上げる(図14)。

このように、研究レベルではあるが複数のモダリティを統合的に理解し、実際に自動車の制御を行いながら応答するマルチモーダルインタフェースを備えた自動運転車を開発することができた(図15)。2018年10月末に名古屋大学、徳島大学と当社の3者共同で本成果のプレスリリースを実施し、複数のメディアに紹介を頂き、クルマとドライバーのコミュニケーションをつかさどる眼としてのドライバーモニタシステムの更なる応用を世の中に提案することができた。本実証実験の様子は、動画としてインターネットにアップロードされている。(日本語版：<https://www.youtube.com/watch?v=EkVdZUEEFM>、

英語版：<https://www.youtube.com/watch?v=Mesx4qgONqs>)



図13 マルチモーダル情報案内



図14 対話によるスピード制御

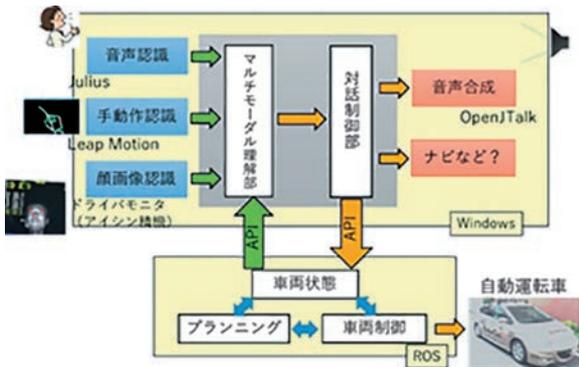


図15 システム構成図

- 3) 河野貴士ほか: Relationship Between Drowsiness and Eyelid Movements in Real Car Environment. 16th World Congress on ITS, 2009
- 4) 田村哲嗣ほか: 尤度比最大基準によるストリーム重み最適化を用いたマルチモーダル音声認識の性能評価. 日本音響学会春季講演論文集, pp.123-124, 2004.

筆者



大須賀 晋
走行安全第一制御技術部



内藤 剛
走行安全第一制御技術部

8. おわりに

本稿では、ドライバモニタカメラ技術やその応用として、走行安全や自動運転に貢献するための居眠り検知技術と注視方向推定技術、HMIの利便性向上のためのマルチモーダル音声認識技術や自動運転HMI実証実験を紹介した。今後、自動車にはますます多様なセンサや人工知能技術が搭載され、ヒトにとって最も身近なロボットとして発展することが予想される。そのようなセンサの中でドライバモニタカメラはヒトと自動車間のコミュニケーションにおける重要なキー技術となる。

私たちの視知覚は、安全な移動を担保するために障害物や道などを特定する環境認識機能を担っている一方で、ヒトとヒトとのコミュニケーションを成立させるために他者の気持ちや意図を理解する“心の理論”機能も担っている。今後、我々と同様のレベルでヒトの状態、気持ちや意図を正しく理解するセンサ開発を目指し、スムーズな機械とのコミュニケーションを実現し、より安全な交通社会や心の通うようなロボットカーの実現に貢献してゆく。

参考文献

- 1) 警察庁交通局:平成26年中の交通事故の発生状況. 平成27年3月19日掲載.
<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?lid=000001132129>
- 2) 人間感覚計測マニュアル 第一編(人間感覚評価指標・ガイドライン). 産業科学技術研究開発プロジェクト「人間感覚計測応用技術」.