

特集：MAZDA CX-60

18

CX-60 ドライバー異常時対応システムの開発

Development of Driver Emergency Assist for CX-60

濱田 隆史^{*1} 山下 良幸^{*2} 西條 友馬^{*3} 休坂 慎也^{*4} 辻 雄太^{*5}
 Takashi Hamada Yoshiyuki Yamashita Yuma Nishijo Shinya Kyusaka Yuta Tsuji
 高田 淳平^{*6} 中畑 洋一朗^{*7} 山本 直樹^{*8} 尾崎 昂^{*9} 野中 信宏^{*10}
 Jumpei Takata Youichiro Nakahata Naoki Yamamoto Takashi Osaki Nobuhiro Nonaka

要約

マツダは、安全思想「MAZDA PROACTIVE SAFETY」に基づき、先進安全技術「i-ACTIVSENSE」を開発してきた。しかし、事故のない社会の実現には、超えるべき山が沢山ある。とりわけ運転中にドライバーが運転不能に陥った場合は重大事故につながり易く、社会的影響も大きい。このような事故の対策に対して、日本ではASV (Advanced Safety Vehicle) の枠組みに基づき検討が進み国土交通省により“ドライバー異常時対応システム基本設計書”が策定された。また国連法規でもリスク軽減機能 (Risk Mitigation Function) が策定されるなど開発が進展しつつある。今回、ドライバーの内因性疾患、体調急変時、すなわちドライバーが運転不能に陥った際の支援機能として自動車を緊急停車させるドライバー異常時対応システム (Driver Emergency Assist; DEA) を開発し、CX-60 に搭載したので、そのシステムの概要を紹介する。

Abstract

Based on Mazda's safety philosophy "Mazda Proactive Safety", Mazda has been developed advanced safety technology "i-Activsense". However, there are still many mountains to be climbed in order to realize an accident-free society. Especially, when a driver cannot drive a car due to falling a sudden sickness, it may cause a serious accident, and the social influence is big while aging advances. For the measures of such an accident, in Japan, technical requirement for Emergency Driving Stop System is established by MLIT, and also Risk Mitigation Function is issued as United Nations law. This time, we develop Driver Emergency Assist; DEA, and implement to CX-60. This paper introduces DEA system summary.

Key words : Safety, Driving support/driver support, Advanced Driver Assistance Systems (ADAS), Driver Emergency Sudden Sickness, Emergency Driving Stop System (EDSS), Driver Emergency Assist (DEA)

1. はじめに

マツダはドライバーを尊重する安全思想「MAZDA PROACTIVE SAFETY (マツダ・プロアクティブ・セーフティ)」に基づき開発した先進安全技術「i-ACTIVSENSE」を2012年より市場導入している。今回新たに、ドライバーの状態検知を基に運転継続が困難とシステムが判断した場合に、車両を減速・停車させる「ドライバー異常時対応システム (Driver Emergency Assist, 以後 DEA)」をCX-60より市場導入した。その技術内容について紹介する。

2. 開発のねらい

近年、自動車における先進安全技術の普及と進化により、日本では交通事故死者数は年々減少している (Fig. 1)⁽¹⁾。しかしながら、事故のない社会の実現に向けては、未だ多くの超えるべき山があり、日々悲惨な事故の報道が後を絶たない。特に、重大事故につながりやすいドライバーの体調急変に起因する事故が、大きな社会問題となっている。

*1~6,10 電子基盤開発部
Electronic Platform Development Dept.

*7,8 情報制御モデル開発部
Infotainment and Control Model Development Dept.

*9 電子性能開発部
Electrical & Electronics Performance Development Dept.

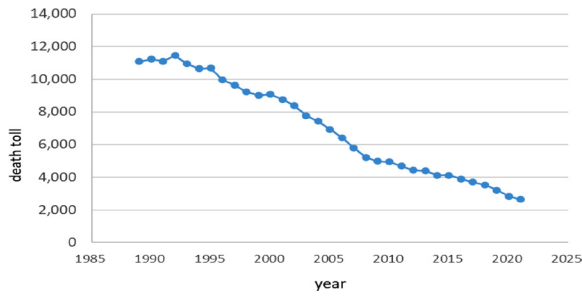


Fig. 1 Number of Fatalities in Traffic Accidents

体調急変（発作／急病）に起因する事故は、年間 200～300 件程度発生しており、年々増加傾向にある。‘発作／急病あり’における死者・重傷者の割合は、‘なし’と比較して約 14 倍となっており（Fig. 2）、事故を起こした際に重大事故になる危険性が高い。また、発作・急病などの体調急変の事故は、危険認知速度 60kph 以下での発生が全体の 95.8%を占めており（Table 1）、高速自動車国道を除く幹線道路及び一般道での発生が 98.4%を占めている（Table 2）⁽²⁾。

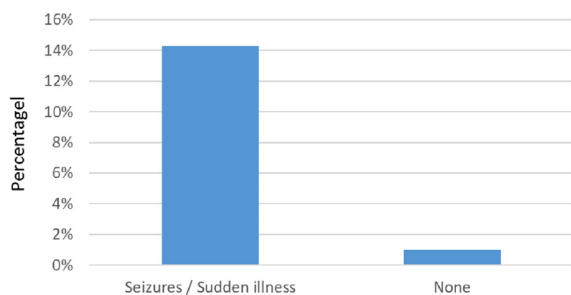


Fig. 2 Percentage of Accidents due to Seizures/Sudden Illness (Total of 2007-2012 Year)

Table 1 Number of Accidents by Danger Recognition Speed (Total of 2007-2012 Year)

Danger recognition speed	Number of accidents
Less than 10kph	151
～20kph	193
～30kph	259
～40kph	403
～50kph	241
～60kph	100
～70kph	25
～80kph	19
～90kph	6
～100kph	7
Greater than 100kph	2

Table 2 Number of Accidents due to Seizures/Sudden Illness by Road Type (Total of 2007-2012 Year)

Road type	Number
Expressway	24
National Route	930
General Road	520
Other	43

これら事故実態を踏まえ、国土交通省により策定された「ドライバー異常時対応システム 基本設計書 減速停止型及び路肩等退避型（高速道路版）」⁽³⁾に準じて DEA を開発した。

ドライバーの体調急変を想定した場合、ドライバー自身のスイッチ操作によるシステム作動は期待しにくく、また適切な車間や走行車線の維持など支援する運転支援システムの作動中とは限らない。そのため、今回開発した DEA は、ドライバーの異常を自動検知するシステムとし、運転支援システムの作動／非作動状態にかかわらず作動するシステムとして開発した。また体調急変による事故は一般道で発生するケースが多いことから、一般道での作動を可能とした。加えてシステムが高速自動車国道を含む自動車専用道路を走行していると判断し、かつ路肩に隣接する車線を走行していると判断できた場合は、可能な範囲で路肩に寄せながら、減速・停車させるシステムとして開発した。この間、周囲の交通流を乱すことで発生する二次衝突リスクを下げるため交通参加者への注意喚起報知を行う。

3. システム概要

3.1 機能

DEA はドライバー異常検知（機能①）、及び車両制御と車内外への報知（機能②、③、④、⑤）により構成される。機能概要を Fig. 3 に示す。

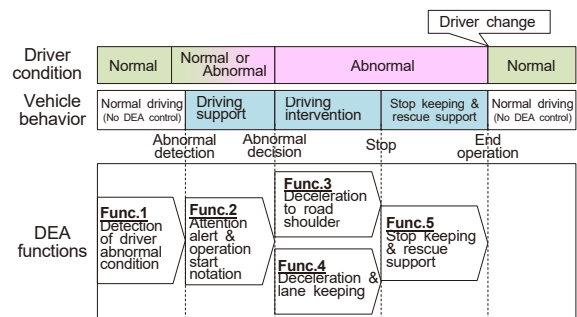


Fig. 3 Overview of DEA Functionality

機能① ドライバー状態検知：ドライバーモニタリングカメラから取得するドライバーの運転姿勢や目の開閉状態、及びハンドル操作状態からドライバーが正常運転で

きる状態であるかを常時判定する。ドライバーが正常運転できない状態に陥ったと判定した場合、自動的にDEAの車両制御機能と車内外への報知機能を作動させる。また、SOSスイッチ操作後に続けて電動パーキングブレーキ（EPB）スイッチを引き上げると手動でも作動できる。

機能② 注意喚起／作動開始通知：ドライバー異常検知後、自車周辺の交通参加者に対して非常点滅表示灯の点滅により注意喚起を行う。ドライバーや乗員に対してはセンターディスプレイ等への表示により、間もなく減速を開始することと、DEAのキャンセル方法を通知する。またこの時、車線維持可能と判断した場合は、車線維持する。

機能③ 路肩に寄せる：高速道路や自動車専用道路の路肩に隣接する車線を走行中であり、システムが路肩に寄せることが可能と判断した場合は、5kphまで減速後、左方向指示器を点滅させながら路肩に寄せ、その後減速・停止させる。

機能④ 減速／車線維持：路肩に寄せることができない状況の場合は、減速・停止させる。この時、車線維持可能と判断した場合は、車線維持しながら減速・停止させる。

機能⑤ 停止保持／救護支援：停止後は非常点滅表示灯と制動灯の点滅及びホーンの吹鳴を継続するとともに、自動的に電動パーキングブレーキの作動、ドアの解錠、エマージェンシーコールへの接続を行うことで、周囲への注意喚起とドライバーの救護支援を行う。

3.2 システム構成

DEAのシステムは、①外部環境、ドライバー状態、車両状態を検知するセンサー群（フロント・レーダー（FR）、フォワード・センシング・カメラ（FSC）、フォワード／リア・サイド・レーダー（FSR/RSR）、超音波センサー（Sonar）、ドライバーモニタリングカメラ（OMS））、②検知情報からDEAの作動要否や作動目標を設定し、車両や報知の制御指令を出力する電子制御ユニット（VCM）、③制御指令に基づき車両挙動や車内外報知を制御するアクチュエータ群（パワートレイン・コントロール・モジュール（PCM）、ダイナミック・スタビリティ・コントロール・ユニット（DSC）、電動パワーステアリングユニット、ボディー・コントロール・モジュール（BCM）、車載通信ユニット（TCU）、接続ティビティ・マスタ・ユニット（CMU））で構成される（Fig. 4）。ハードウェア及びその構成は既存のi-ACTIVSENSEと共通として、DEAで新規となるドライバー異常検知機能、路肩に寄せる機能、車内外への報知機能などはECUへのソフトウェア追加により実現している。

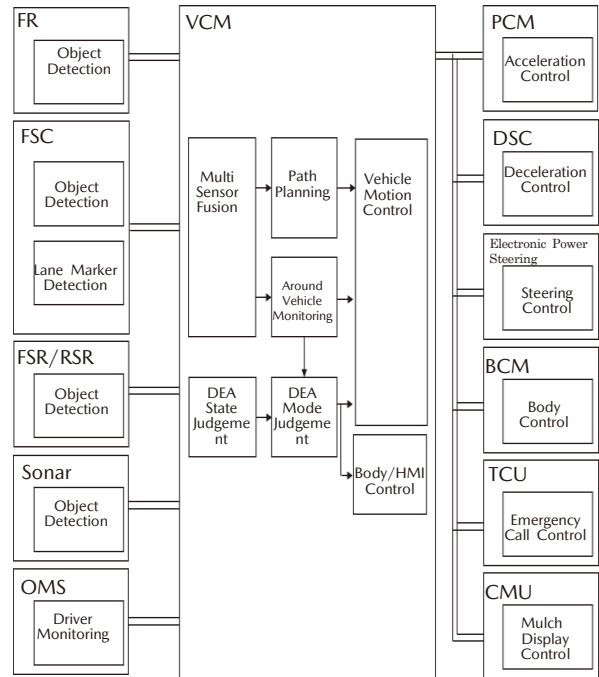


Fig. 4 DEA System Configuration

4. ドライバー異常検知

4.1 異常姿勢検知

「ドライバー異常自動検知システム 基本設計書」⁽⁴⁾ で定義されている姿勢崩れの検知パターンを示す（Fig. 5）。

Posture pattern	Image	Description
Fall forward		Driver's head fell forward near the steering wheel and maintains this posture.
Droop head		Driver's head faced down, and maintains this posture.
Lay back		Driver's upper body tilted backward with the head facing upward, and maintains this posture.
Rigid posture		Driver's upper body bended with the head facing upward, and maintains this posture.
Lean head		Driver's head is tilted to the left or right, and maintains this posture.
Flop side		Driver's upper body is tilted to the left or right, with the head tilted in the same direction, and maintains this posture.
Lean side		Driver's upper body is tilted to the left or right, and maintains this posture.

Fig. 5 Detection Target of Posture Pattern

ドライバー異常自動検知システムとして、とらえるべきドライバー異常には、ドライバー自身があらかじめ予測することが困難な体調急変である突然の脳疾患、心疾患、失神などがある。これらの体調急変に陥ったドライバー状態の一つとして急な意識消失があり、意識消失することで筋弛緩となり、姿勢が崩れるパターンがある。意識消失による姿勢崩れの発生メカニズムは、脳へ至る血流が乱れることによって脳の全体的な機能低下が発生し、その結果、脳幹部の姿勢維持機能が低下することで筋緊張が弛緩し、姿勢崩れに至る⁽⁵⁾。一方で、走行中は、ハンドル操作しながら、グローブボックスや助手席の床の荷物に触る等の、ドライバーの異常類似姿勢も発生する。よって、ハンドル無操作を組み合わせることで、異常姿勢とそれに類似する姿勢を区別している。

異常姿勢を検知するための評価指標は、「ドライバー異常自動検知システム 基本設計書」を基に、顔向き（ロール角、ピッチ角）、及び、顔位置（X、Y、Z方向）を用いて、異常姿勢を検知している。閾値に関しては、人間の骨格、関節の可動域や、順動力学による人体モデルシミュレーションである乗員安全解析ソフトウェアを使い、正検知（ドライバーの異常状態をシステムが異常と判定すること）と誤検知（ドライバーの正常状態を異常として判定すること）の双方を考慮した閾値を決定した。

4.2 居眠り検知

マツダでは、2018年に発表したMAZDA3から、ドライバーモニタリングカメラを用いた眠気警報機能を搭載している。今回、DEAの開発にあたり、新たにドライバーの居眠り状態の検知技術を開発した。眠気警報は、ドライバーの眠気が亢進した場合に警報でお知らせし、休憩取得をサポートする。一方、居眠り状態に陥ると、ドライバーは眠気に抗うことができず、運転を継続することが困難となる。このため、居眠り状態のドライバーに対してはDEA機能によるサポートを行う。

居眠り状態の検知技術を開発するにあたり、ドライビングシミュレーターや国内外の公道での走行データから、ドライバーの眠気の推移に伴う行動の変化や居眠り発生時の行動について分析した。また、国立大学法人東京農工大学で開発が進められているヒヤリハットデータベース⁽⁶⁾などの公道走行データから、居眠り起因の交通事故・ヒヤリハット事例におけるドライバー行動を抽出し、実際の交通環境におけるドライバーの居眠り行動の分析を実施した。この結果、居眠り運転時のドライバーは、その多くで数秒程度の閉眼を伴い、ハンドル操作などの運転行動が減少することがわかった。これらの分析結果に基づき、居眠り状態の検知には、ドライバーの閉眼状態と運転操作情報を用いている。

4.3 ドライバー異常検知性能評価

ドライバー異常検知性能について、正検知、誤検知の観点から性能評価を実施した。正検知性能については、試験場内での実車走行、ドライビングシミュレーターを使ったデータ計測と机上でのオフライン分析から性能を評価し、想定されるドライバー異常状態を検知可能であることを確認した。

一方、誤検知性能に関しては、お客様のさまざまな使われ方を考慮し、一般の被験者の運転行動データ群（被験者：約170名、総走行距離約40000km）の多様な運転シーンの計測データを用いて、オフライン検証モデルによる解析結果からドライバー異常の誤検知が発生しないように対策を講じた。具体的には、姿勢崩れの誤検知と居眠り状態の誤検知へ対策を施した。姿勢崩れに関しては、低車速や停車時には、運転に関する余裕度が高まり、異常姿勢類似行動が発生しやすくなることから、システム作動車速や判定時間を調整することで、誤検知を抑制する対策を実施している。また、居眠り状態の検知については、笑顔や眩しさなどによりドライバーが目を細める、下を見るなどの自然と目が細まる場面において、ドライバーの開眼状態を閉眼と誤検知するケースがあるため、そのようなドライバー行動を検出することで対策を施している。

5. 車両の制御

DEAはドライバー状態推定の結果及びドライバーとのインタラクションにより運転不能を判定し、運転不能状態においても、できる限り安全な制御の実現が必要となる。そのために以下の環境認識、車両制御、ユーザーインターフェースの技術を開発した。

5.1 環境認識

DEAは、フォワード・センシング・カメラ、フロント・レーダー、サイド・レーダー、超音波センサーを使って常に周囲を監視している。各センサーの認識性能の特徴を組み合わせることで走行リスクをとらえ、適切な判断を行う。フォワード・センシング・カメラでは車線境界線や道路の境界線や標識などを認識し、フロント・レーダー、サイド・レーダーで周辺車両や障害物などを認識する。カメラ画像とレーダー反射電波を組み合わせるフュージョン技術、更に自車が低速のときは超音波センサーも使用して障害物を認識することで、ロバスト性を高めている。特に路肩に寄せる時には、路肩に停車可能なスペースがあり、自車の進入ルートに障害物がないことや、後方から車両が接近していないことを監視し、安全に停車できるように設計している（Fig. 6）。



Fig. 6 Multi Sensor Fusion View

5.2 車両制御

DEA は、車両の走行状態、ドライバーの状態によるシステム制御状態、環境認識情報を基に、車両制御モードを決定し、縦横制御を行う。

(1) 車線維持、路肩に寄せる

車両の横方向制御は、自車の走行経路に基づき、滑らかな車両挙動となるような操舵量を算出し、ステアリング制御を実施している。

①両側白線があり、緩やかな道路で車線維持制御を開始し、可能な限り車線内を維持させることで、異常時の運転支援を行っている。DEA では、車線維持機能などをドライバーが使っていないときでも、車線逸脱抑制制御により、車線逸脱前にステアリングの反力がかかるようにしている。加えて交差点等、車線を維持することで危険になり得るシーンでは、そのシーンの手前で車線維持をキャンセルさせ、縦制御のみを行う。これらの制御をドライバー異常検知後から開始することで、運転不能時の運転支援を行っている。

②高速道路または自動車専用道路において第一走行車線や登坂車線など路肩に隣接する車線を 60kph 以上で走行している場合、可能な範囲で路肩に寄せる機能を作動させる。車線境界線の種類、周辺の交通参加者の有無、走行環境（工事、合流など）を監視し、路肩への移行開始を判断する。路肩に寄せる機能の横移動は、急な車両挙動とならないように制御している。

(2) 車速制御（アクセル無効化含む）、減速制御

車両の縦方向の制御は、自車の走行計画に基づき駆動制御と制動制御を行う。制動制御は、緊急時を除き、後続車両のドライバーの回避性を考慮して、減速度を設定した。

①ドライバー異常検知後、減速開始するまで速度抑制を実施し、ドライバーへの注意喚起及び、走行状態を維持する目的でアクセル操作の無効化を行う。また、緊急時に備え、ブレーキプレフィル機能を作動させる。

②路肩に寄せる場合は車速を 5kph（クリーブ相当）まで減速し、速度を維持する。

③減速・停車する機能が作動する時の減速度は、後続車に対する追突リスク回避と、早く救護するための減速停車までの時間を両立させることを考慮し、最大減速度

を 1.7m/s^2 に設定した。これは国内主要 4 都市の走行データ分布において、ドライバーが一般的に使用する減速度の 2σ の範囲内であることを確認しており、自車が速やかに減速停止できるとともに、後続車から追突されるリスクを最小限に抑えるねらいがある（Fig. 7）。

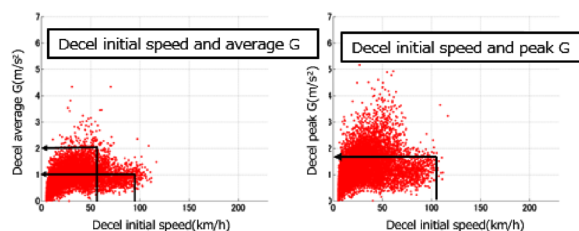


Fig. 7 Distribution of Deceleration in Japan

④路肩に寄せる時に、路上物及び交通参加者を検知した場合は車速維持をキャンセルし、速やかに減速を開始し停車する。

(3) 停車保持及び救護支援

自車が停車した後は、停車状態を維持するため電動パーキングブレーキ（EPB）を自動的に作動させる。その際、意図せず電動パーキングブレーキ（EPB）が解除しないよう、アクセル操作での解除は無効としている。くわえてエマージェンシーコールによる救助要請と、全席ドアとリフトゲートを自動で解錠することで救助活動を支援する。

5.3 ユーザーインターフェース（UI）

DEA 作動において、影響が及ぶドライバー、同乗者、周囲の交通参加者が適切な行動がとれるよう配慮する必要がある。また、緊急時におけるシステム作動解除の分かりやすさも重要と考え、UI を検討した。

(1) ドライバーに対する UI

DEA はドライバー状態推定によるドライバー異常検知と、その後のドライバーへの応答確認により、ドライバー異常を確定するシステムである。よって、ドライバー異常を誤って検知した場合への対処として確実にシステムを解除することも必要となる。

ドライバーの運転姿勢やステアリング操作などの運転操作の組み合わせでも解除できる仕組みに加え、確実に解除するための手動解除スイッチが必要と考えた。そこで、非常点滅表示灯が点滅時のドライバー行動を分析し、自然に操作しやすいハザードスイッチを解除スイッチとして選定した。加えて、確実な解除操作を実現するために、ディスプレイ上にスイッチの絵を図示し（Fig. 8）、その背景を明滅することで誘目性を向上させた。

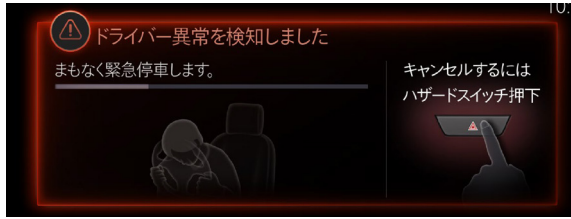


Fig. 8 Human Interface for Driver



Fig. 9 Indication for Passengers

ドライバー異常検知後、異常確定に要する時間については、ドライバー応答時間のデータ計測の結果から、初見のドライバーでも最大 13 秒あればキャンセル操作が可能と確認できた (Table 3)。そこで、高速道路または自動車専用道路を 60km/h 以上で作動する居眠り検知による DEA については、ドライバー異常検知後、異常確定前に 13 秒間のシステム介入及びキャンセル待機時間を確保した上で、応答がない場合のみ減速停止するようにした。

Table 3 Driver Response Time

Participant			Result (sec)
No.	gender	year	
1	woman	30s	7.0
2	man	30s	10.0
3	man	20s	4.0
4	man	20s	9.0
5	man	50s	6.0
6	man	50s	5.0
7	man	30s	4.0
ave + 3 Σ :			13.01

ただし、一般道でも作動するドライバー異常姿勢検知においては、速やかに停車させて救護することを優先し、キャンセル待機時間を 5 秒間に短縮している。

(2) 同乗者に対する UI

ドライバー運転不能時に車両を制御する DEA では、パニックに陥った同乗者による不必要な操作介入が発生する可能性がある。そこで同乗者に今後の車両挙動を予知させることで、安心感を与え、不要な操作介入を抑制する。そのために車両制御までの猶予時間及び今後の車両挙動を表示し、不要な運転操作の介入をしないよう促す。

また、ドライバーの異常確定後についても、同乗者による不要な操作介入と作動による不安を抑制することをねらい、車の制御状態と車の注意喚起の状態をセンターディスプレイにグラフィック表示をする (Fig. 9)。

(3) 周辺の交通参加者に対する UI

DEA は車外への報知により、自車周辺の交通参加者の回避行動に期待するシステムである。つまり交通参加者に対して、緊急事態が発生していることを知らせ、自車に近づかせない行動を促す必要がある。

そのためにドライバー異常検知後に非常点滅表示灯の点滅による報知を開始、異常確定後はこれに加えてホーンの断続吹鳴、制動灯の点滅による報知を行う。

DEA 作動後、路肩に寄せる機能が働くときは非常点滅表示灯の点滅から方向指示器の点滅へ切りかえるため、異常の発生していない一般の車と見分けがつかず、緊急事態発生に気付きづらいと考えられる。これにより後方の交通参加者が適切な回避行動をとれないことが懸念されるため、制動灯を点滅させることによって、自車の緊急事態を認知できる仕組みを採用した。

6. おわりに

本稿では、DEA の技術について紹介した。3 章では機能概要を説明し、4 章ではドライバー異常検知の技術をし、5 章では車両制御について述べた。DEA の開発では、これまで積み重ねてきた先進安全技術を最大限活用しつつ、ドライバーが運転不能に陥った際の事故被害の軽減を支援するという DEA ユニークな課題に対し、運転不能を検出するためのドライバー異常検知技術、また周囲の交通参加者の受容性を確保するために車外報知の開発に取り組んだ。加えて同乗者の安心感の醸成へも配慮したシステムとして設計した。

今後、対応可能なシーンの拡大のために、ドライバーの状態を正確に理解する技術の進化や自車周辺状況の検知性能、ロバスト性の向上が課題となる。また、効果を最大化するためには、自動車側の対応だけでなく、全ての道路ユーザーも含めた社会システムとして成立させることが重要であり、開発活動と並行して社会への周知活動についても検討していく。

参考文献

(1) 警察庁 HP: 令和 3 年中の交通事故死者数について、
<https://www.npa.go.jp/news/release/2022/20220104001jiko.html> (参照 2022.05.27)

(2) 疾患・服薬と事故の関係の調査分析、一般社団法人日本自動車工業会、公益財団法人 交通事故総合分

析センター

- (3) 国土交通省自動車局：国土交通省自動車局 先進安全自動車推進検討会，ドライバー異常時対応システム基本設計書 減速停止型及び路肩等退避型（高速道路版）
- (4) 国土交通省自動車局：国土交通省自動車局 先進安全自動車推進検討会，ドライバー異常自動検知システム基本設計書（2020）
- (5) 後藤淳：筋緊張のコントロール，特集1 理学療法基本技術 関西理学，pp. 21-31（2003）
- (6) 国立大学法人東京農工大学：スマートモビリティ研究拠点，ドライブレコーダデータセンター，<https://web.tuat.ac.jp/~smrc/drcenter.html>（参照2022.05.24）

■著者■



濱田 隆史



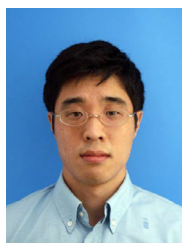
山下 良幸



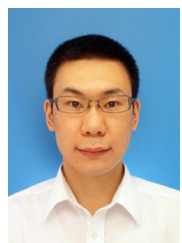
西條 友馬



休坂 慎也



辻 雄太



高田 淳平



中畑 洋一郎



山本 直樹



尾崎 昂



野中 信宏