

論文・解説

38

## マツダの先進安全技術「i-ACTIVSENSE」の進化 Evolution of Mazda Advanced Safety Technology “i-ACTIVSENSE”

中村 正\*1      内海 将司\*2      朝日 雅博\*3  
Tadashi Nakamura   Masashi Utsumi   Masahiro Asahi

古山 貫一\*4      三戸手 亮太\*5  
Kanichi Koyama      Ryota Mitote

### 要 約

マツダは、技術開発の長期ビジョン「サステイナブル“Zoom-Zoom”宣言」にて、『マツダ車をご購入いただいた、すべてのお客様に「走る歓び」と「優れた環境・安全性能」を提供する』ことを宣言している。このビジョン実現のため、安全性能領域では、マツダが目指す安全性能の考え方「MAZDA PROACTIVE SAFETY」に基づき、運転する環境が変化しても、正しく認知・判断することをサポートし、「安全に安心して運転している状態」を提供すること。また、万が一のドライバーのミスにも対応できるよう、事故被害を回避・軽減することをサポートする技術を開発・提供していくことを掲げている。そして、その考えに基づき開発した先進安全技術「i-ACTIVSENSE」を2012年に市場へ導入し、安全装備の普及に努めた。車線逸脱警報システムやハイビームコントロールなどである。更により良い理想状態の実現のために、夜間視界、車線維持支援、疲労・注意力検知等、安全な運転に必要な不可欠な領域で更なる技術革新を推し進め、さまざまな先進安全技術を開発している。今回その開発成果の一端をアテンザ、CX-5へ新たに導入したので内容を紹介する。

### Summary

In our long-term strategy “Sustainable Zoom-Zoom Announcement”, Mazda commits to providing “driving pleasure” and “excellent environmental/safety performance” to all customers who purchase Mazda’s vehicles. To achieve this vision, we aim to support drivers’ recognition/decision so as to keep “safe driving condition” even when the driving environment changes and develop safety features to avoid/mitigate accident even in case of driver’s mis-operation. The i-ACTIVSENSE, a series of advanced safety features developed based on this vision, was put into market in 2012. It includes the Lane Departure Warning system and the High Beam Control system. In order to further approach the ideal, various advanced safety features have been developed for night time visibility, lane keeping support, fatigue detection, and so on. This paper describes those technologies adopted by new Atenza and CX-5.

### 1. はじめに

マツダは、「サステイナブル“Zoom-Zoom”宣言」で、『マツダ車をご購入いただいた、すべてのお客様に「走る歓び」と「優れた環境・安全性能」を提供する』というビジョンを掲げ、技術開発を進めてきた。安全性能領域においては、ドライバーを尊重した『Mazda Proactive Safety』に基づき、2012年にi-ACTIVSENSEを市場に導入した。ここで開発したシステムを更に進化させ、夜間視界の大幅な改善を狙ったアダプティブ・LED・ヘッドライト (ALH) や路外逸脱事故を未然に防ぐレーンキープ・アシス

ト・システム (LAS)、ドライバー・アテンション・アラート (DAA) また、前進時に加え、後退時の衝突被害を軽減させるスマート・シティ・ブレーキ・サポート [後退時] などを開発した。これらの技術内容について、以下紹介する。

### 2. アダプティブ・LED・ヘッドライト (ALH)

マツダは夜間でも安全・安心に走行できる視界環境を、『昼間と同じ運転視界』と定義し、夜間でのドライバー視認性をサポートする先進ヘッドランプ制御システムALHを、新型アテンザ、CX-5より導入した。

\*1, 2, 4, 5 車両システム開発部  
Vehicle System Development Dept.

\*3 装備開発部  
Interior & Exterior Components Development Dept.

死亡事故のうち、歩行者事故は全体の約35%を占めており、特に夜間においてその死亡事故率が高くなる傾向にある (Fig. 1)。ALHは、ドライバーの認知によって事故を未然に防ぐことを目的とし、グレアフリー (防眩) ハイビーム、ワイド配光ロービーム、ハイウェイモードの3機能を使って、走行環境に応じて配光を可変にすることで、視認性を向上させている。次項で各機能を紹介します。また、ヘッドランプの光源はすべてLEDとし、省電力かつ高輝度を実現している (Fig. 2)。

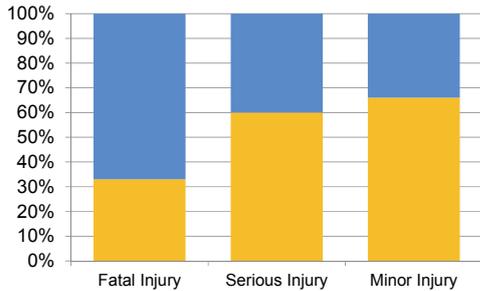


Fig. 1 Pedestrian Accident Analysis<sup>(1)</sup>

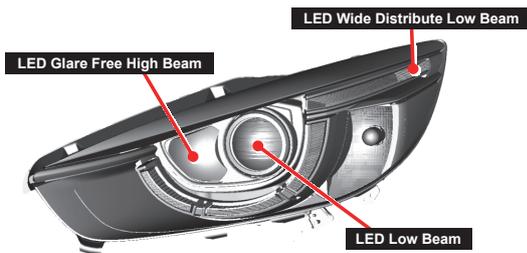
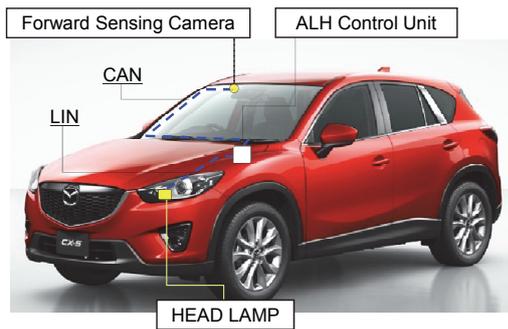


Fig. 2 System Architecture

2.1 グレアフリー (防眩) ハイビーム

前方車に眩惑を与えずにハイビームでの走行を可能にする機能。フォワード・センシング・カメラ (FSC) で前方車両の位置を検出し、その情報に基づき、左右のハイビームを可変する。ハイビームは片側4つのエリア (Fig. 3) を独立で点消灯制御でき、Fig. 4に示すように前方車の位置のハイビームだけを消灯することで、前方車に眩惑を与えることなく、周囲をハイビームで照射することができる。これにより路肩の歩行者や遠方の路面の視認性を向上させることができる。

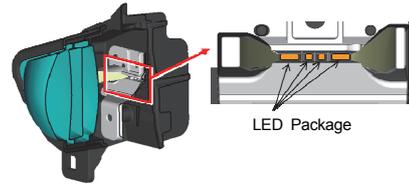


Fig. 3 Glare Free High Beam Module

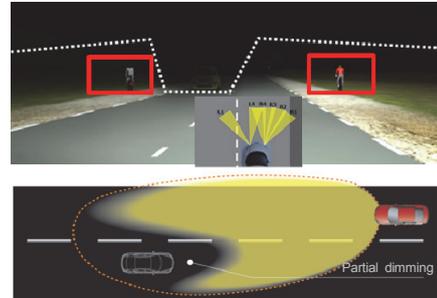


Fig. 4 System Perform Example

2.2 ワイド配光ロービーム

市街地等での低速走行中に、ロービームを側方 (前方から60度) へ照射する機能。これにより交差点横断中の歩行者など車両近傍の視認性を向上させることができる。また、高速走行中は減光し、ドライバーへの煩わしさを軽減している (Fig. 5)。

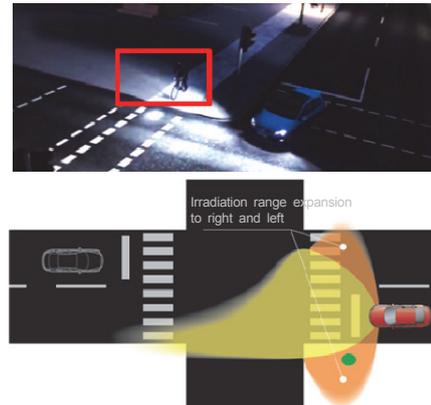


Fig. 5 Wide Distribute Low Beam

2.3 ハイウェイモード

高速走行中 (95km/h以上) に車速に応じてヘッドランプの光軸を上下させる機能。これによりヘッドランプの光をより遠方まで照射し、遠方の路面や障害物等の視認性を向上させることができる (Fig. 6)。

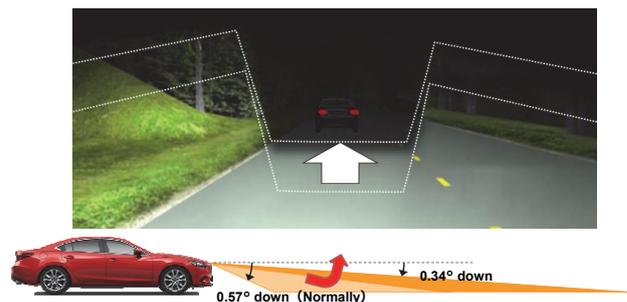


Fig. 6 Activation of Highway Mode

### 3. レーンキープ・アシスト・システム (LAS)

フロントガラスに装着されたフォワード・センシング・カメラ (FSC) により白線を検知し、車両と車線との相対関係を推定した上で、車線内に車両を維持するように電動パワーステアリングコントロールユニットに目標制御量を伝達し、運転を支援する。今回、①車線中央への常時誘導、②車線逸脱時回避支援の2機能に加えステアリング振動警報制御を開発した。警報のみの場合に対し、認知、判断、操作遅れ時間を減少させ、低覚醒時や不注意による車線逸脱事故の低減を狙いとしている (Fig. 7, 8)。作動条件：車速約60km/h以上 (手放し運転状態では非作動)

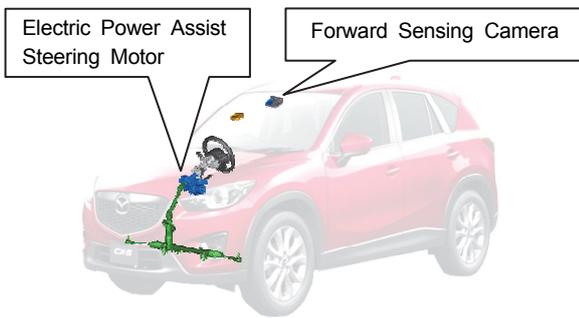


Fig. 7 System Architecture

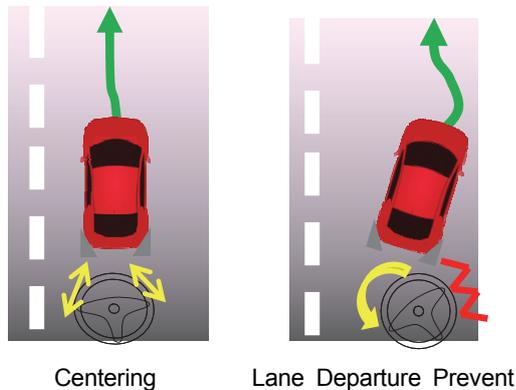


Fig. 8 Mazda Lane-keep Assist System

#### 3.1 開発の狙い

マツダにおけるレーンキープ・アシスト・システム (LAS) 制御では、ドライバーのステア操作フィールを優先させることとし、その上で車線維持性能を満足させることを狙いとした。通常、自動操舵等精密制御の必要な分野では、強力なハンドル角サーボにより操舵系の非線型性を補償し、追従性を確保する手法をとるが、これではドライバーの操舵フィールを阻害する。このため今回は舵角サーボを採用せず、代わりにトルクを制御目標量とする

しかし、一般に操舵系は非常に強い非線型性をもつため、

舵角のサーボ系をもたないシステムの場合、多様な車両運動状況により目標制御量に対する追従性が悪化する。

そこで車両ダイナミクスモデルに基づき操舵トルクを推定するオブザーバを開発し、目標制御量をリアルタイムで予測補正するフィードフォワード制御を行い目標追従性と操舵フィールの双方を高い次元で確保した。

#### 3.2 制御アルゴリズム

制御アルゴリズムをFig. 9に示す。LASの作動領域はライントレースしている緩やかな操舵と逸脱回避支援時の比較的早い操舵があり、舵角速度、舵角量ともに非常に範囲が広く、ロバストな制御が求められる。ところが操舵系の制御外乱 (セルフアライニングトルク、以下SAT) は、舵角速度、舵角量に応じて非線型性が非常に高くヒステリシスも存在する上に、車両ダイナミクスの影響を強く受けるのでマップベースのフィードフォワード制御ではステア応答の遅れによるハンチングや誘導遅れによる逸脱が発生する。この課題を解決するため、オブザーバによる状態フィードバック制御を導入した。

#### 3.3 オブザーバ車両モデル

オブザーバ構築にあたっては量産ハードウェアの演算処理速度の制約を考慮する必要があるため、LASが作動する領域における車両挙動を分析の上、比較的処理負荷の少ない2輪モデルを採用することとした (Fig. 9, 10)。

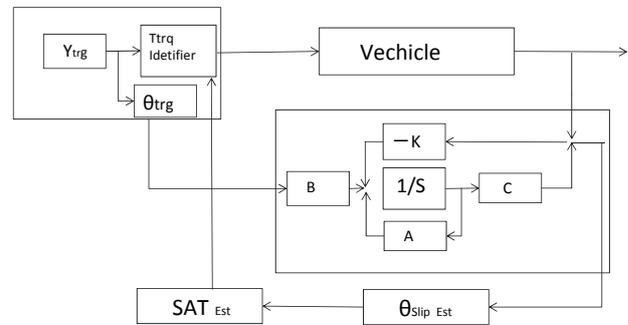


Fig. 9 Algorithm of Lane-keep Assist System

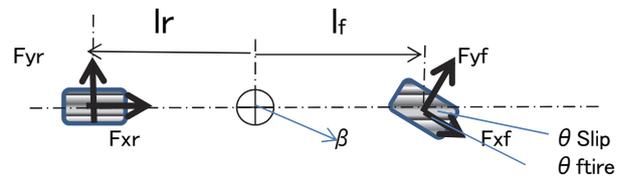


Fig. 10 By Cycle Model

ここで、 $y$ を車両ヨーレイト、 $\beta$ を車体滑り角、車両の慣性モーメントを $I$ 、フロント、リヤそれぞれのタイヤ位置と重心点との距離を $l_f$ 、 $l_r$ とする。この場合線型性を担保できる領域では、以下のように車両状態を記述できる。

$$\begin{aligned}
 MV(\beta + \gamma) &= Fyfr + Fyfl + Fyrr + Fyrl \\
 Iy &= lf(Fyfr + Fyfl) - lr(Fyrr + Fyrl) + N \\
 N &= d/2(Fxfr - Fxfl + Fxrr - Fxrl) \quad (1)
 \end{aligned}$$

ここで得られた車体滑り角からフロントタイヤ滑り角 $\beta f$ は、以下のように記述できる。

$$\theta_{Slip\ Est} = \beta + (lf/V) \gamma - \theta_{Tier} \quad (2)$$

SATと $\theta_{Slip}$ の関係は一般には強い非線型性をもつが、舵角の小さい領域でのみ制御するLASのシステム特性を生かし以下の線型式に簡素化した。

$$SAT\ est = \alpha(V) \theta_{Slip\ Est} \quad (3)$$

$\alpha(V)$ は車速、車種をパラメータにもつMapであるが、実車評価及びシミュレーションにより確定した。

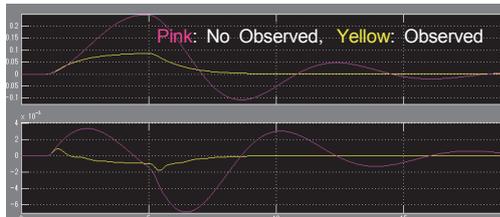


Fig. 11 Result of Simulation

横位置とYaw角の収斂性をシミュレーションし、オブザーバによる高応答性を確認した (Fig. 11)。

実車評価によりアウトバーンのような高速域でも高応答性が確保されていることを確認した。

#### 4. ドライバー・アテンション・アラート (DAA)

事故が発生する直前だけでなく、ドライバーに疲労や注意力低下が要因で発生する事故のリスクが増加していることを知らせるシステムとして、ドライバー・アテンション・アラートを開発した。ドライバーの疲労や注意力低下を推定する手法として心拍・脳波などの生体量を用いて推定する手法があるが、生体量を計測する装置を着用する必要があるため、ドライバーの快適な運転を妨げてしまう問題があった。そこで、Fig. 12に示すようにハンドル操作、アクセル操作、フォワード・センシング・カメラ (FSC) の画像情報などから得られる車両挙動を、覚醒状態の運転時の車両挙動と比較するアルゴリズムによって、疲労や注意力低下を推定する手法を開発した。

##### 4.1 疲労・注意力低下推定アルゴリズム

疲労や注意力低下状態の運転と、覚醒状態の運転と比較するためには、運転するドライバー個人の特性を考慮する必要がある。そのため、ドライバーの運転状態が変化したこと

を正しく判定するアルゴリズムとして、品質工学で多く用いられているMTシステム (Mahalanobis-Taguchi System) を拡張したシステムの開発を行った (Fig. 13)。

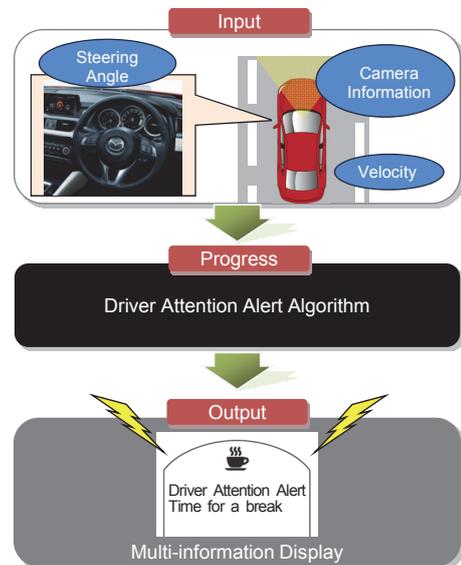


Fig. 12 Driver Attention Alert System

本システムでは、ハンドル操作、アクセル操作、フロントセンシングカメラの画像情報などの多要素をマハラノビス距離の単位空間へ計算する。運転開始から約20分間はドライバーが覚醒状態であるとしてドライバー運転特性を学習結果として設定する。その後、ドライバーの疲労や注意力低下監視状態に移り、随時ドライバーの運転挙動を学習結果との距離値で比較する。距離値が一定のしきい値以上であった場合は、疲労や注意力低下の危険な運転状態であることが推定されるため、ディスプレイ表示とブザーでドライバーに休憩を促す。

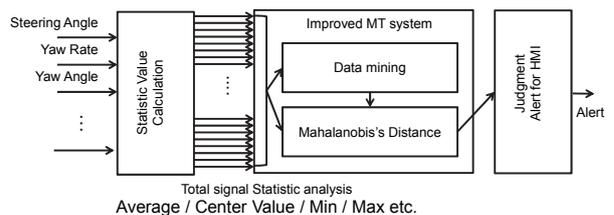
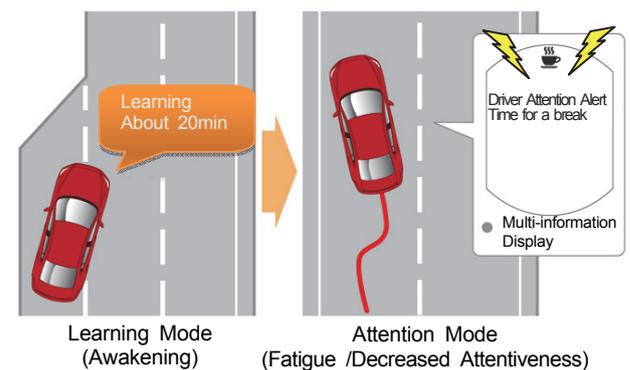


Fig. 13 Driving State Estimation

4.2 システム性能検証

複数人のドライバに5分ごとに疲労・注意力の低下を申告してもらい、その時の車両挙動データを用いてシステム性能検証を行った。システムの距離値がしきい値を超えたイベントと、ドライバが実際に疲労や注意力が低下したと申告したイベントを比較した一例をFig. 14とFig. 15に示す。Fig. 14のしきい値は20分間のドライバの運転特性を学習した結果から算出され、このしきい値を超える状態になった場合、疲労や注意力が低下していると判断する。Fig. 14のドライバ申告と比較すると、システムが疲労・注意力の低下を適切に検知できていることがわかる。

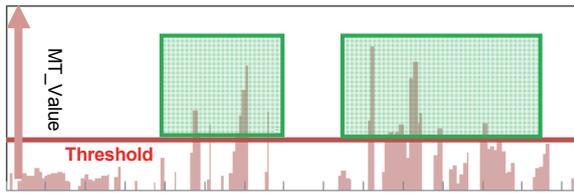


Fig. 14 MT Value & Threshold

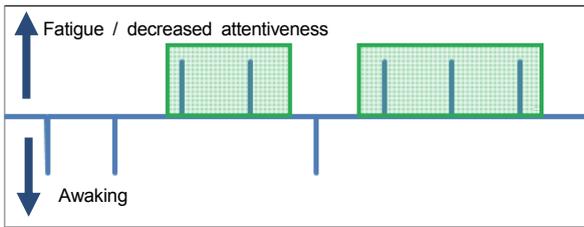


Fig. 15 Ground Truth Data

5. スマート・シティ・ブレーキ・サポート  
 [後退時] (SCBS R)  
 & AT 誤発進抑制制御 [後退時]

現在、前進低速走行中、わき見運転などによる前方車両への衝突被害を軽減するスマート・シティ・ブレーキ・サポート [前進時] (SCBS F) を既に導入している。これに加え、車両後方の障害物に気づかず後退してしまったり、ブレーキペダルを踏むつもりが誤ってアクセルペダルを踏んでしまったことによる車両後方の障害物への衝突被害を軽減するシステムを新たに開発した。

5.1 システムの機能

システムは、車両後方の障害物との衝突の危険性が高まった場合に、自動ブレーキ制御、あるいは、エンジントルク抑制を行うことで衝突被害を軽減するシステムである。大きく分けて、以下の2つの機能がある。

(1) SCBS R

約2~8km/hで後退している際に、車両後方障害物との衝突時間を計算し、衝突の危険性が高まっていると判断し

たときに衝突被害軽減ブレーキを作動させ、車両を減速させることで、衝突による事故被害を軽減する (Fig. 16)。

(2) AT 誤発進抑制制御 [後退時]

10km/h以下の後退中 (停止中含む)、車両後方の障害物をシステムが認識している状態で、アクセルペダルが所定以上に踏み込まれた場合、ペダル操作やギア操作ミスと判断して、音と表示によってドライバに警報するとともに、エンジンのトルクを抑制し、急発進による衝突被害を軽減する (Fig. 17)。

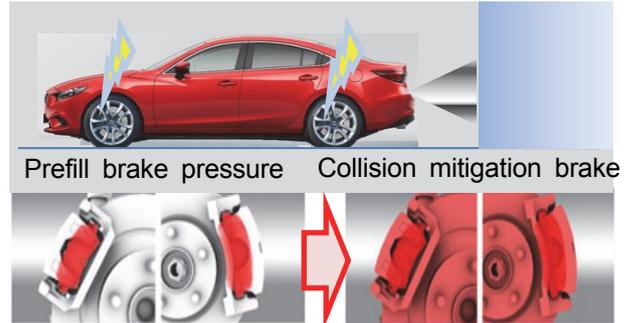


Fig. 16 Autonomous Braking



Fig. 17 Acceleration Control for AT

5.2 システムの構成

システムはソナー・センサ/パーキングセンサモジュール (PSM)、ダイナミック・スタビリティ・コントロール (DSC) ユニット、パワートレイン・コントロール・モジュール (PCM)、ボディ・コントロール・モジュール (BCM) 及びメータで構成される (Fig. 18)。

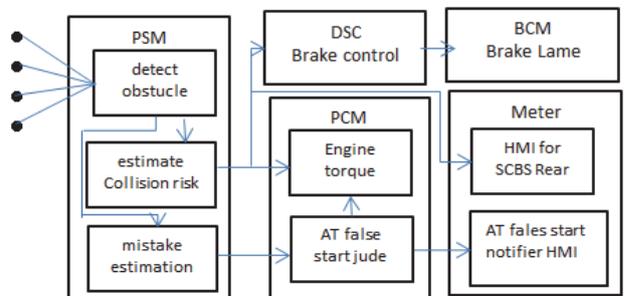


Fig. 18 System Architecture

リヤ・バンパに設置されているソナー・センサと、車室内に設置されている PSM により、車両後方の障害物を検知

する。障害物の検知には超音波を採用している。PSM の指令によってソナーが送波した超音波が車両後方障害物より反射し、その反射波の情報を PSM 内で処理することにより、障害物の位置を認識する。障害物の種類や形状にもよるが、センシングの範囲は、車両であれば数 m 程度の検知が可能である。

また、PSM は前述の物標検知機能に加え、SCBS R における、衝突危険性判断機能や、操作ミス判断機能を併せもつ。具体的には、認識した車両後方の障害物の情報と自車両の情報（車速、舵角、アクセル開度、等）を基に衝突の危険性判断や、操作ミス判断を行い、衝突の可能性が高いと判断した場合に、DSC への自動ブレーキ要求や、PCM への自動エンジントルクダウン要求などを行う。

### 5.3 システムの性能

#### (1) SCBS R

##### ① 物標検知

後退時に発生している事故を分析した結果、停止車両に対する衝突による人身事故が約半数を占めていることから、SCBS R は、車両に対する衝突被害軽減を目標とした。その結果、対象とする障害物は、自車両に対して正対する 4 輪以上の車両やそれ以上の大きな障害物（壁など）のみとしている。

##### ② 衝突可能性判断

###### a. 静止物判定

ソナー・センサ/PSM が認識した距離情報と、自車両の車速情報から、障害物が静止物か否かの判定を行い、静止物と判定された場合は制御対象とした。

###### b. 進行路推定

舵角情報から自車両の進行路を推定し、進行路にある物標情報を制御対象とした。

###### c. SCBS R における衝突予測時間の演算

衝突被害軽減ブレーキの作動は『ドライバのシステムに対する過信を防ぐ』との考えから衝突が回避できなくなる限界タイミングとしている。

##### ③ ブレーキプレフィル

後方障害物との距離及び相対速度から得られた衝突予測時間の約 1 秒前にブレーキの液圧を高め、ブレーキ操作に対する応答性を向上させる。

##### ④ 衝突被害軽減ブレーキ

ブレーキプレフィル後、ドライバによる回避操作がない場合、最大  $9.8\text{m/s}^2$  の減速度を DSC に対して要求する。

#### (2) AT誤発進抑制制御 [後退時]

障害物との距離、アクセルペダルの踏込量及び自車速から目標加速度を演算し、これに応じてエンジンのトルクを抑制する。制御目標は、例えば踏切での閉じ込めや雪道での緊急脱出を考慮し、最低限のトルクを残す仕様とした。この制御により、駐車場等に設置されている一般的な輪止めに後輪の

タイヤが接している場合は乗り越えないレベルまでエンジントルクが抑制され、車両の急発進や急加速を防止する。輪留めが存在しない場合においても車両の加速度及び車速が制限され、衝突時の車速を約 50%以下（衝突エネルギーは約 25%以下）に抑えることが可能である。

## 6. おわりに

今回、新型アテンザおよび新型 CX-5 に搭載した先進安全技術を紹介した。今後も、マツダの安全思想に基づき、i-ACTIVSENSE の技術を継続的に進化させることにより、事故のない安全クルマ社会の実現に向け貢献していく考えである。

## 参考文献

- (1) ITARDA (交通事故総合分析センター)
- (2) Roberto Horowitz : Emergency Braking Control with an Observer based Dynamic Tire/Road Friction Model and wheel Angular Velocity Measurement.
- (3) 安部正人：車両運動力学の理論形成と応用
- (4) 東京大学 井上友子：電気自動車における車両すべり角の推定と制御
- (5) 東京大学 堀洋一ほか：遅い共振比制御における外乱オブザーバの最適推定速度について

## ■ 著 者 ■



中村 正



内海 将司



朝日 雅博



古山 貫一



三戸手 亮太