

特集：安全

31

SBS/MRCC の機能 / 性能向上について

Improvement of SBS / MRCC Function and Performance (Smart Brake Support / Mazda Radar Cruise Control)

尾崎 昂^{*1}

Takashi Osaki

清水 大輔^{*4}

Daisuke Shimizu

西條 友馬^{*2}

Yuma Nishijo

福井 聡一郎^{*3}

Soichiro Fukui

要約

ミリ波レーダを用いた前方障害物衝突軽減制動装置 (SBS : Smart Brake Support) と追従型定速走行装置 (MRCC : Mazda Radar Cruise Control) を新型アテンザに搭載した。グローバルに展開するため、機能 / 性能を向上するとともに、車速に応じた車間距離を表示する機能や旋回中の車速制限機能を新たに採用した。これらのより使いやすい機能、より安全な運転を促す機能について報告する。

Summary

Pre-crash Safety System (SBS: Smart Brake Support) and Adaptive Cruise Control System (MRCC: Mazda Radar Cruise Control), both using millimeter-wave radars, are globally deployed, and functions that display inter-vehicle distances corresponding to the vehicle speeds and limit vehicle speeds in turning are newly applied to improve the functionality and performance. Functions that are easier to use and improve driving safety are explained in this paper.

1. はじめに

近年、アクティブセーフティ技術の認知度や必要性が高まり、安全装備 / 商品がグローバル市場でより一層求められている。これまでに、マツダでは衝突時の被害を軽減する前方障害物衝突軽減制動装置 (SBS) と、ドライバの運転負担軽減を目的とした追従型定速走行装置 (MRCC) の商品化を行い⁽¹⁾⁽²⁾、MPVやアテンザ、CX-7 に搭載し、国内向けに展開してきた。今回新たにグローバルに展開するとともに、より使いやすく、より安全な運転を促す機能を追加し、性能向上を行った技術について報告する。

2. システムの機能

2.1 スマート・ブレーキ・サポート (SBS)

SBS は、運転者に追突事故が発生する可能性を事前に警告するフォワード・オブストラクション・ワーニング (FOW : Forward Obstruction Warning) と自動的に衝突速度を低減する制動機能を持つブレーキシステムで構成している。今回、従来システムに比べ、自動ブレーキによ

る減速量、および警報機能 (前方の車両との衝突の可能性をより遠くから警報する) を向上させた。また、新たに先行車までの車速に応じた車間距離を表示し、適切な車間距離維持をサポートするディスタンス・レコグニション・サポート・システム (DRSS) を採用した。

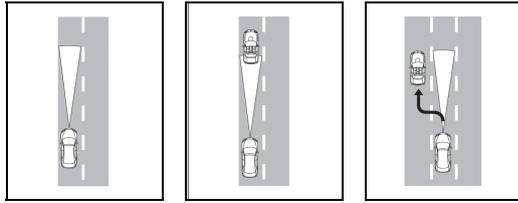
2.2 マツダ・レーダ・クルーズ・コントロール (MRCC)

MRCC の基本動作を Fig.1 に示す。

先行車がない、もしくは先行車との車間距離が遠い場合は、ドライバが設定した車速で定速走行を行う。また、自車より遅い先行車を検出すると、先行車の速度に応じて、エンジンおよびブレーキによる減速制御を行う。先行車がいなくなった場合は、設定車速を上限に加速する。

今回は新たに、カーブで適切な車速に制御する機能や、スムーズな追い越しをサポートする加速機能を付与し、より多くのシーンでドライバの運転負担を軽減することを目指した。

*1~4 車両システム開発部
Vehicle System Development Dept.



(1) Constant Speed (2) Deceleration (3) Lost Acceleration

Fig.1 Typical State of MRCC

3. システム構成

SBS/MRCC システム構成を Fig.2 に示す。各 ECU 間は CAN (Control Area Network : 車載 LAN) によりつながれており、システム全体として ECU 間でやり取りする制御信号を相互に監視するフェイルセーフ機能を有している。

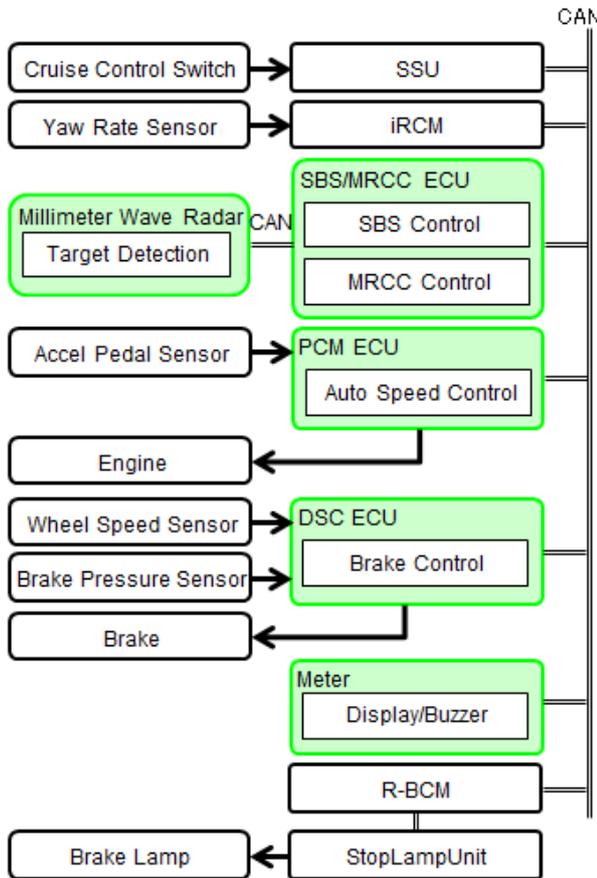


Fig.2 System Configuration

3.1 ミリ波レーダ

マツダエンブレム後方に設置し、前方の車両や障害物の状態を検出する (Fig.3)。ミリ波 (76-77GHz 帯) を車両前方に照射し前方車両や障害物に反射した電波を受信し、ドップラー効果を利用して障害物との相対速度 / 距離および横位置を測定する。ミリ波レーダでは、カメラやレーザーレーダに比べて、悪天候 (雨・霧・雪など) 時の障害物の検出性能が低下しにくい特徴があり、信頼性が高い。

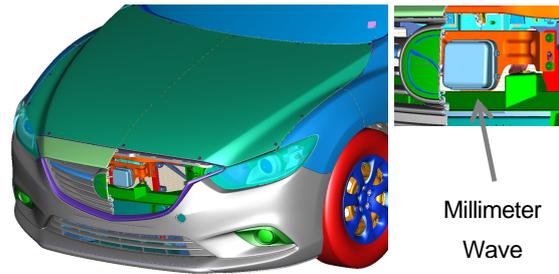


Fig.3 Millimeter Wave Radar

3.2 SBS/MRCC ECU

ミリ波レーダから送られてきた複数の物体情報 (距離, 相対速度, 横位置), 及びヨーレートセンサを用いた自車進行路の推定結果から, 追従すべき先行車や衝突対象を抽出する。

SBS 制御では, 先行車や自車の情報を基に衝突の可能性を予測し, 警報や制動の指示を行う。

MRCC 制御では, ドライバが設定した車間段階, 先行車との車間距離と相対速度から, 目標となる加減速度を算出し, アクチュエータとなるエンジンやブレーキをコントロールすることで, 走行シーンに適した車両制御を行う。

3.3 PCM (エンジン) ECU

PCM ECU に対しては, 車両として実現したい要求加減速度を SBS/MRCC ECU から出力し, PCM ECU 自身で駆動力と制動力の最適な配分を行うことで, 回生制御やトランスミッションなどの駆動デバイスの変化にも対応できる構成とした。

3.4 DSC (ブレーキ) ECU

通常の DSC 制御 (Dynamic Stability Control) に加え, SBS/MRCC ECU や PCM ECU からの制動指示に従い, 要求減速度となるようにフィードバック制御を行う機能を追加した。

3.5 メータ

メータ内でのシステムの作動状態や警報のための表示装置として, 視認性に優れ, 様々な情報を適宜表示可能なマルチディスプレイ (Fig.4) を装備した。このディスプレイとメータのチャイムによって, 運転者に対してシステムの作動限界や衝突の可能性を警報する。



Fig.4 Multi Display

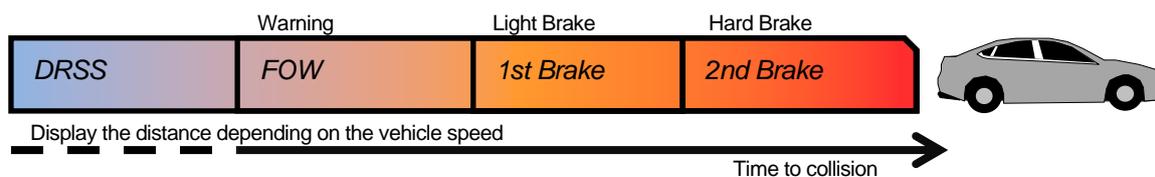


Fig.5 SBS Function

4. SBSの機能/性能向上について

SBSの機能は、通常走行状態から衝突に至るまでの間で段階的に安全上の価値を提供するものであり、そのサポートのイメージをFig.5に示す。

4.1 減速量の向上

自動車事故の速度域ごとの死傷事故数の割合をFig.6に示す。自動車事故のデータ^③の分析結果によると、速度域が0～30km/hまでの走行では軽傷事故が多いが、40～60km/hでは死亡事故の比率が大きくなっている。

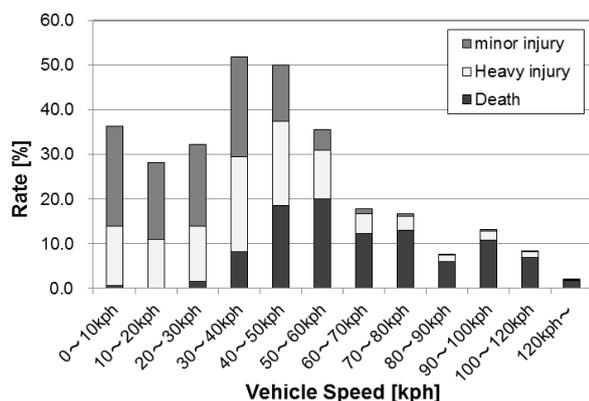


Fig.6 The Rate of Fatal and Injury Accident

この分析結果より、衝突速度を20～30km/h下げることができれば、少なくとも60km/h以下の死亡者数を大幅に減少させ、20km/h以下の事故数を減少させることができると考えられる。そこで、現行のシステムは、減速量が平均10km/h程度であったが、平均25km/hまで向上させることを目標とした。そのため、減速量の向上と、自動ブレーキ作動タイミングの早期化に取り組んだ。

始めに、自動ブレーキによる減速量を向上させるために、最大減速度をこれまでの 5.1m/s^2 から 6.5m/s^2 まで引き上げた。次に、タイミングの早期化のため、ミリ波レーダの物体認識および作動判断ロジックの改良に取り組み、物標の信頼性を加味した。主な取り組みは次の2つである。ミリ波レーダは、対象物の幅や上下の位置を認識することが難しいため、遠方の上下方向の衝突しない構造物を制御対象と認識してしまう。その対策として、レーダの受信状態による属性判断（道路標識やマンホールなど）を基に制御対象から除外した上で、一定時間正しく検出された制御

対象を信頼性の高い対象と判断し制御を開始することとした。進行路外の構造物を制御対象としないよう、レーダによる静止物体列の情報を基にヨーレート情報の補正を行い推定進行路の精度を向上させた。

これらにより、誤検知による警報などの不要作動を抑え、移動車両に対しては、平均25km/h減速させ、静止車両に対しては、自車速30km/h以下であれば衝突直前で停止させることを可能としている。

4.2 警報機能の高機能化

米国運輸省道路交通安全局（NHTSA）は衝突安全テストのNCAP（New Car Assessment Program）の評価に、前方衝突警報システムの要件を設定している。また、米国道路安全保険協会（IIHS：Insurance Institute for Highway Safety）は、「トップセーフティピック」（TSP）の要件において、前方衝突警報システムの事故低減効果に関心を持っている。こうした状況を踏まえ、マツダではNCAPに適合した前方衝突警報（FOW）を開発した。

SBSの警報感度設定は、前方衝突警報システムの要件に適合した設定（Far）と、市街地のような複雑な交通環境で過警報を抑えることを考慮した設定（Near）の2段階設定とした。更に、両方のセッティングにおいても、市場での過警報を抑えるために、相対速度差によって、タイミングの調整を行う制御を追加した。

また、減速度を加味して警報の早期化を行うことによって、前方衝突警報システムのテストモード（追従状態から先行車両の急減速に対する試技）に対応させた。

4.3 ディスタンス・レコグニション・サポート・システム（DRSS）の開発

予防安全の究極はドライバーにリスクを正しく認知させ、ドライバー自身でリスクマージンを確保できる車と考えている。リスク認識のフロントローディングとしてSBSが作動する領域に近づかずに、ドライバー自身が車間距離を意識して運転できるように、前走車との車間情報を提供する機能を開発した。

DRSSの主な機能は、先行車両の有無、先行車両までの距離、車間距離が狭い状態であることをドライバーに認識させるよう、メータ内のディスプレイにそれらを表示することである。

先行車両の有無と、先行車両との距離を車速に応じて表示する (Fig.7)。先行車両との車間距離が近いときに、先行車両表示を点滅させて、車間距離が近い状態であることをドライバに伝え、ドライバ自身で車間距離を保って走行できるようにサポートする。

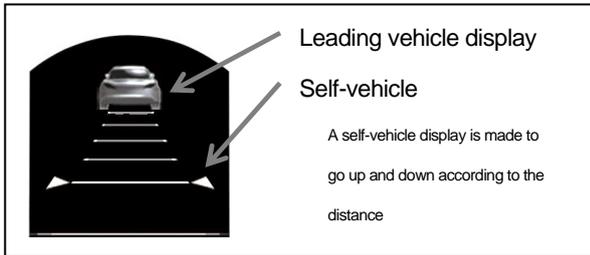


Fig.7 DRSS Display

150m 以内の先行車両をミリ波レーダで検出し、先行車両の有無を表示することで、視界不良時などで先行車両の存在を認識することができる。また、現在の車間距離を表示することで、時々刻々と変化する前方車両との車速に応じた車間距離が適切か否か感覚的にわかるようになる。これらにより、ドライバ自身で安全な車間を保って走行できるようにサポートする。

5. MRCC の機能 / 性能向上について

5.1 高速域への対応

今回 MRCC をグローバルに展開するにあたって、欧州のアウトバーンでは速度無制限区間が存在することから、より高速域での MRCC 制御が必要となる。高速域では割り込まれや追い付き時の余裕時間が少なく、より遠くから先行車を検知し早期に減速することが有効であるが、先行車検知や自車進行路推定における精度は距離が遠いほど低下するため、従来よりも精度の高い先行車捕捉性能が求められる。

そこで、レーダセンサの遠距離検知性能の向上、ヨーレートセンサの補正ロジックの改良を行い、遠方での先行車捕捉性能を高めた。

レーダセンサ自身の出力の向上により、200m 先の物標を測距可能であり、実際の MRCC 制御に入るよりも遠くから先行車を認識できる。

ヨーレート補正ロジックについて、従来の車輪速の内外輪差を用いた推定では精度 $\pm 1.0\text{deg/sec}$ 程度が限界であったが、新たにレーダセンサを用いたヨーレート推定を行うことで、 $\pm 0.2\text{deg/sec}$ 程度まで精度を高めた。

また、追い付き車速差が大きく、高い加減速度が求められる欧州市場に対し、減速量の向上および滑らかな減速立ち上がり制御を実現した。最大減速度を従来の 2.2m/s^2 から 3.0m/s^2 に向上させるとともに、万が一低速車線を走行中の遠方車両を誤検出しても直ちに急減速しないよう、初

期の減速度の立ち上がりを緩くし、かつ減速が必要な際には早期に減速度を立ち上げるため、要求加減速度の出力値に 2 次のフィルタを導入した。

5.2 走行シーンに応じた車速制御の追加

高速道路 / 自動車専用道に乗ってからランプウェイを降りるまで、ずっと継続して使える MRCC を実現するために、走行シーンに応じて適切な自車速制御を行うことが求められる。そこで、以下のシーンで制御の切り替えと目標加減速度の細やかなチューニングを行い、ストレスのない走行を目指した。

(1) カーブでの車速制限

カーブでは車両の旋回状態に応じて、適切な車速を維持する機能を追加した。安定した旋回状態を得るために、補正済みのヨーレート値から現在の旋回半径を算出したうえで、カーブでの目標となる車速を決定する。自車速がその目標車速を上回っている場合、旋回時の目標車速を維持するようにブレーキも使って減速する。

(2) 降坂制御

下り坂を一定の車速で走行するためには、駆動力と制動力をシームレスにつなぐ必要がある。そこで先行車との車間距離および自車速と相対速度から、SBS/MRCC ECU が車両の加減速度の目標値を算出し、その目標値を PCM ECU および DSC ECU に出力する。PCM ECU で目標値に対する車速フィードバック制御を行い、下り坂でエンジンブレーキだけでは実現できない減速度が要求された場合、DSC ECU への要求を行い、設定車速を維持するようにブレーキを制御する (Fig.8)。

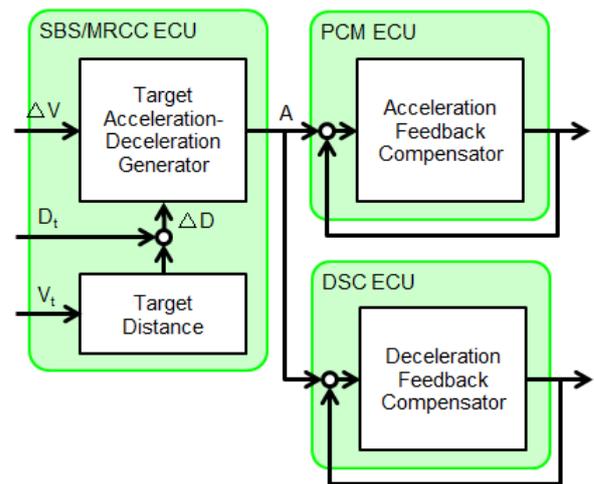


Fig.8 Block of MRCC Logic

(3) 追い越し加速支援

高速車線へのレーンチェンジを速やかに行うことを目的とし、先行車との追従走行中にドライバが高速車線に移行する方向にウインカを作動させた場合、一定時間加速する制御を行う。このとき追い越し前に先行車との車間距離が

近づきすぎた、または先行車自身が減速した場合、加速を終了するよう配慮している。

5.3 MRCC 追い付き追従性能

高速域での MRCC 性能として、自車よりも低い車速で定速走行している先行車に接近した際に、安定して先行車速まで減速可能な車速差 (70km/h 以上) のときの、先行車検知距離とブレーキ開始距離について、競合車と比較した結果を Fig.9 に示す。いずれも車間設定が最大および最小のときを抽出した。追い付き許容車速差およびブレーキ (減速) 開始距離は競合車と同レベルもしくはそれ以上であり、かつ競合車よりも遠くから先行車を検知し MRCC 制御に入ることができることで、高速域でもより安心感のある MRCC が実現できた。欧州や北米での現地走行評価においても、安心感があるとのコメントをいただいている。

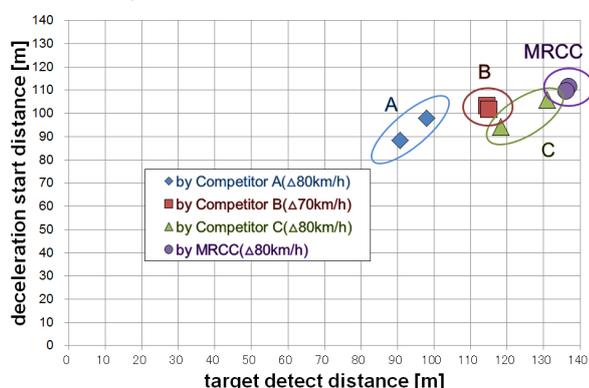


Fig.9 Result of Deceleration Test

6. おわりに

ミリ波レーダを用いた SBS や MRCC システムを開発し、グローバルでより使いやすく、より安全な運転を促す機能を付与したことで、ドライバの運転負荷を一層軽減し、安全運転を支援することができた。

今後は、さらなる適応シーンの拡大はもとより、より安価で、より使いやすいシステムとして進化させていく。そうすることで、より多くの人のもとへ、安全技術を普及させていき、交通事故削減に貢献したい。

参考文献

- (1) 山本ほか：マツダ・レーダ・クルーズ・コントロール・システムの開発，マツダ技報，No.24，pp.154-158 (2006)
- (2) 西鍛冶ほか：マツダ・プリクラッシュ・セーフティ・システムの開発，マツダ技報，No.24，pp.150-153 (2006)
- (3) (財)交通事故総合分析センター：交通事故例調査・分析報告書，平成 21 年度，p.85 (2010)

著者



尾崎 昂



西條 友馬



福井 聡一郎



清水 大輔