

論文・解説

29 マツダ・レーダ・クルーズ・コントロール・システムの開発 Development of Mazda Radar Cruise Control System

山本康典*1 寺野隆志*2 中上 隆*3
Yasunori Yamamoto Takashi Terano Takashi Nakagami

要約

交通事故件数と負傷者数は年々増加傾向にあり、年間交通事故死者数は依然7千人強で推移している。

このような状況下において、マツダでは、交通事故を未然に防ぐとともに、万一の事故による被害を軽減する技術の開発が急務の課題と捉え、国土交通省が推進する先進安全自動車（ASV：Advanced Safety Vehicle）推進検討会に積極的に参画して研究開発⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾を進めている。このASV技術の中でドライバの負担軽減を目的とした車間距離制御機能付定速走行装置（ACC：Adaptive Cruise Control）や事故被害軽減を目的とした衝突防止支援システム等が提案・研究され、一部は既に実用化⁽⁴⁾⁽⁵⁾されている。今回、我々は日本市場での適合性を考慮してミリ波レーダを用いたマツダ・レーダ・クルーズ・コントロール・システム（MRCC：Mazda Radar Cruise Control System）を開発し、新型MPVで量産したので、ここに報告する。

Summary

The number of traffic accidents and injuries is increasing yearly, and annual traffic fatalities remain at over 7,000.

Under this situation, we consider our urgent task is to develop technology which mitigates damage from car accidents as well as to prevent accidents. We have been proactively taking part in the study group of Advanced Safety Vehicle (ASV) promoted by the Japanese Ministry of Transport, and conducting ASV research and development. In the study group, various safety technologies are proposed and studied and some of them, such as Adaptive Cruise Control and Pre-crash Safety System, have been already put to practical use. This report introduces Mazda Rader Cruise Control system (MRCC) for which we used the millimeter radar by considering the Japanese driving environment, incorporated into the new MPV.

1. はじめに

近年、交通事故件数と負傷者数は年々増加傾向にあり、運転支援・予防安全技術への期待が高まっている。その中で従来からあるオート・スピード・コントロールに対し、ドライバの運転負担軽減を目的とした車間距離制御機能付定速走行装置（ACC）が提案されている。本論文では新型MPVに搭載したマツダ初のレーダ・クルーズ・コントロール・システム（MRCC）について、量産化したシステム及びその技術を紹介する。

2. システム概要

MRCCの基本動作をFig.1に示す。

- (1) 先行車がない、もしくは先行車との車間距離が大きい場合には、ドライバが設定した車速で定速走行制御を行う。
- (2) 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、スロットルによる減速を行い、減速度が足りない場合にはブレーキによる減速制御を行う。
- (3) 先行車に追従時は、ドライバが設定した車間時間（自車速に比例した車間距離）になるようスロットル、ブ

*1 技術研究所
Technical Research Center

*2, 3 車両システム開発部
Vehicle Engineering Development Dept.

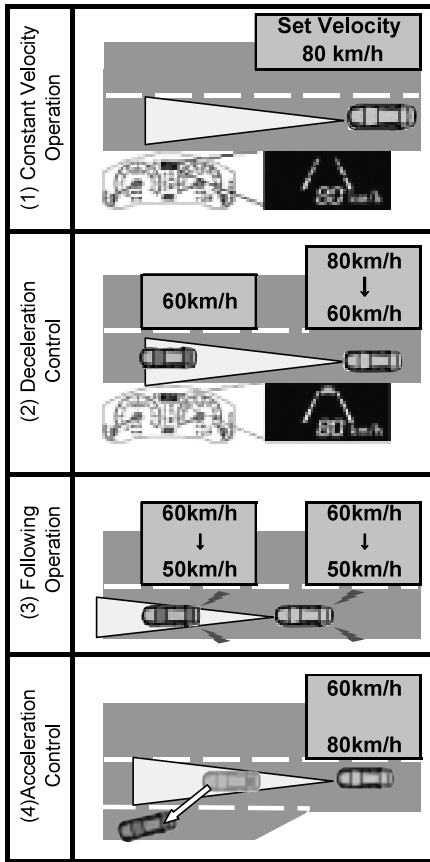


Fig.1 Typical State of MRCC

ブレーキ制御を行う。

- (4) 先行車が車線変更等によりいなくなった場合は、ドライバが設定した車速まで加速し、定速走行に戻る。なお、十分な減速ができていない状態で先行車に接近した場合には警報ブザーと表示により、ドライバに回避操作（ブレーキ等）を促すようにした。

3. システム構成

Fig.2に示すように、本システムのハードウェア構成は、既存のオート・スピード・コントロール（ASC）、ダイナミック・スタビリティ・コントロール（DSC）に、車両前方の物体を検出するミリ波レーダ、エンジンやブレーキの制御要求値を演算するMRCC ECU（Electrical Control Unit）、ドライバが追従車間時間を設定するための車間距離設定スイッチ、制御状態をドライバに報知するためにメータ内に設置されたディスプレイ、インジケータからなる（部品配置：Fig.3）。ブレーキ制御は既存のDSCのブレーキアクチュエータの機能を拡大し、MRCCの要求減速度を実現するようにフィードバック制御を行う。エンジン制御についても、既存のASCの車速制御部に対してMRCCから目標車速を与え、追従時の車速を制御している。

各ECU間はCAN（Control Area Network：車載LAN）により繋がれており、車輪速センサ、ヨーレイト/横Gセン

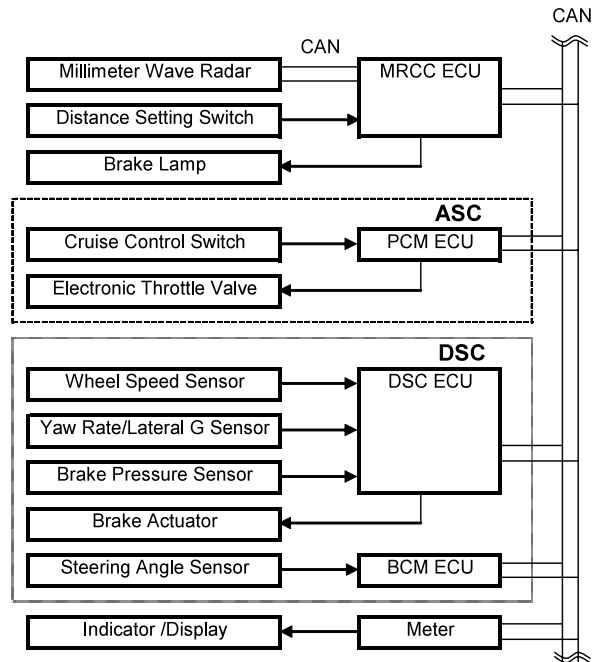


Fig.2 System Configuration

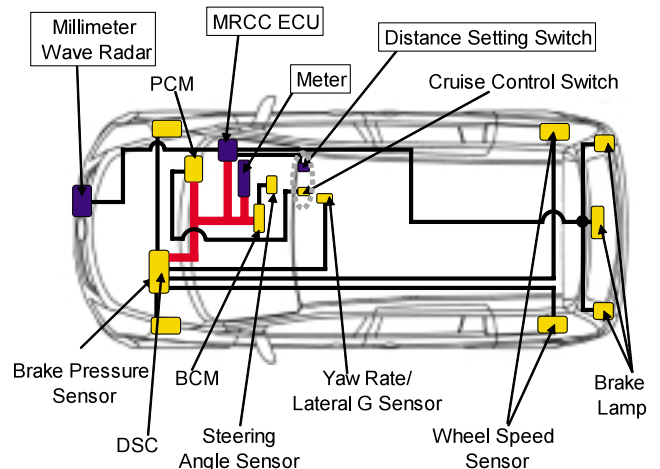


Fig.3 Unit Layout in MRCC

サはDSC ECUが、一方、車速を設定するセットスイッチ等の操作系のスイッチの出力はPCM ECUがそれぞれ読み込み、CANを経由してMRCC ECUに送信される。ミリ波レーダとMRCC間の物体情報の通信もローカルのCANを用いて行っている。

また、ブレーキ制御を行っている時には、ブレーキペダルスイッチとブレーキランプの間に設置されたりレーをMRCCが切り替えることで、ブレーキランプの点灯も行う。

上記のように、エンジン/ブレーキのアクチュエータ制御を新たに開発するのではなく、既存のシステムに機能を拡張することでシステム開発を効率的に行うことを可能にした。

4. ミリ波レーダ

本システムに用いるミリ波レーダ（プリクラッシュ・セーフティ・システムと共通）の概観をFig.4に示す。

本システムで採用したレーダは76-77GHzミリ波レーダで、FMCW方式を採用しており、物体との距離、相対速度を同時に高精度で計測可能である。水平方向の角度検出方式としては、アンテナとミリ波送受信器をモータで左右揺動させるメカニカルスキャン方式を採用し、比較的高い角度分解能を実現した。また、メカニカルスキャン方式でありながら厚さ70mmに抑えることでバンパ内に搭載することが可能となった。本ミリ波レーダのセンサ仕様をTable 1に示す。

5. MRCC ECU

MRCC ECUは、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）から追従すべき先行車を抽出する。次にドライバが設定した車間時間、先行車との車間距離と、相対速度から、目標車速と目標加減速度を算出し、PCM ECUやDSC ECUに制御要求値を送信することで車両加減速度を制御している。

5.1 先行車選定

ミリ波レーダから送られてくる物体の相対速度と自車速情報から移動物または静止物かの判定を行い、次に現在の車両状態量、すなわち車速・舵角・ヨーレートデータに基

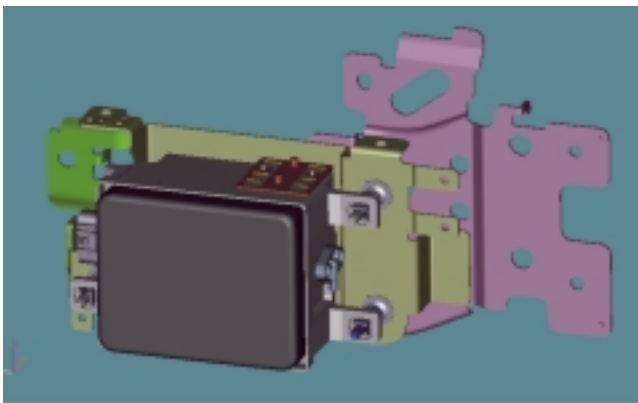


Fig.4 Millimeter Wave Radar

Table 1 Performances of Millimeter Wave Radar

Detection Range	Max	150m
	Min	2m
	Resolution	0.1m
Range Rate	Max	200km/h
	Min	-200km/h
	Resolution	0.36km/h
Azimuth Angle	Area	±7.5deg
	Resolution	0.1deg
Data Rate		100msec

づき推定される自車の進行路との物体の相対位置関係を基に、自車線上の先行車を決定する。

進行路は単一の旋回半径を仮定しているため、カーブの入り口や出口で先行車の見失いが発生してしまう。そこで進行路との位置関係だけでなく、先行車との時系列的な連続性や距離情報を考慮し、安定して先行車を補足できるようにした（Fig.5）。図中の緑線が推定した進行路で路側のリフレクタや隣接車両等が混在している中で確実に先行車を捕捉していることがわかる。

5.2 車間制御

ドライバが設定した車間時間と先行車との車間距離及び自車速から目標加減速度/車速を生成し、その目標値と現在車速偏差により車速制御を行うことで、緩やかに目標車間距離に収束する制御を実現した。目標加減速はドライバの期待と乖離しないようにするため、ドライバが通常加減速するタイミングでドライバが減速、加速を感じる加減速度を設定している。本システムの制御ブロックをFig.6に、60km/hで定速走行している先行車両に85km/hで接近した時の制御結果をFig.7に示す。ドライバ操作とほぼ同等

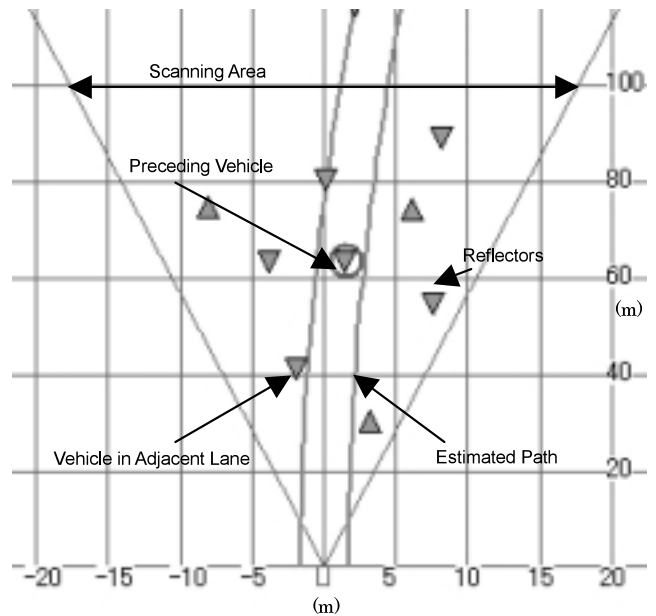


Fig.5 Example of Obstacle Detection and Path Estimation

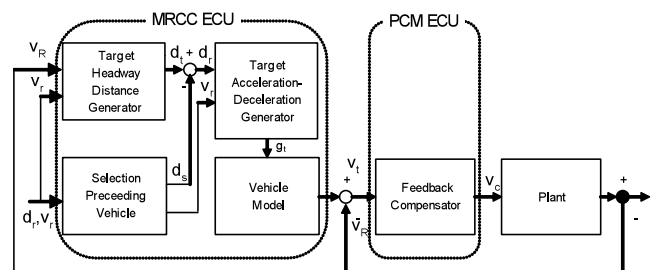


Fig.6 Block of MRCC Logic

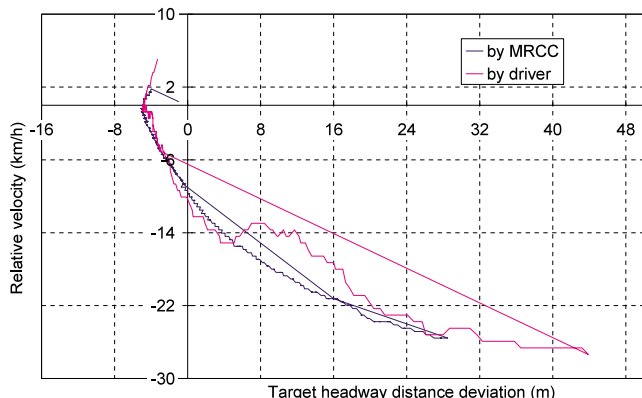


Fig.7 Result of Driving Test

の結果が得られていることがわかる。

5.3 車間時間設定

適切な車間距離はドライバーの個人差や体調，走行環境等によって異なる。そこで高速道路や自動車専用道⁶⁾における車間時間の調査結果とドライバーの反応時間からMRCCの車間時間を1.3, 1.8, 2.3secの3段階設定できるようにした。また，ドライバーの意図しない短い車間時間で走行することを防止するため，エンジン始動直後は最長の2.3secにすることにした。

5.4 加減速度設定

(1) 加減速設定

安全性と実用性を両立させるため，カーブ等，比較的先行車ロストが発生しやすい状況では，車速や横加加速度等に応じて前後加速度を抑えることでドライバーの望まない加速を抑制した。

(2) 減速度設定

主に使用すると想定される高速道路での減速度の大きさと，ドライバーのシステム依存に対する危険性を考慮し，最大約 $2m/s^2$ までの緩ブレーキを採用した。これにより，低速車や下り坂等，エンジンブレーキでの発生減速度が小さい場合や先行車のブレーキ操作に対して安定的な減速が得られる。

5.5 警報タイミング

警報は，先行車への急接近や衝突の恐れがある場合と目標車間距離を維持するのに必要な減速度が，システムが発生しうる最大減速度（約 $2m/s^2$ ）を超えた場合に行う。先行車への急接近時における警報タイミングは，人間が知覚しやすい衝突余裕時間をもとに設定することで，ドライバーに早めの回避操作を促す設定とした。

6. 警報 / 操作系 (ヒューマンインターフェース)

6.1 メータ表示 / 警報ブザー

設定車間距離や設定速度などの状態を表示するディス

レイをドライバーの視線移動量の極力少ないメータ内中央上部に配置し，速度表示を大きく取るなどの工夫で視認性の向上を図った (Fig.8)。また，限られたスペースの中で先行車表示を設定車間：長・中・短に合わせて前後で大きさを変化させ，ドライバーの車間イメージに合ったものとした。なお，先行車が急制動を行った時など十分な減速ができない状態で接近した場合は，表示部をホワイトからアンバー色に変化させ，かつBRAKE警告をフラッシングさせることでドライバーにすみやかにブレーキを踏むように促すこととした。

警報ブザーは，警告性・重要度から先行車接近警報を警告度の最も高い警報と位置付け，周波数・吹鳴周期・繰り返し回数・吹鳴率などからドライバーが認知しやすい設定とした。更に先行車を検知 / 不検知時のブザーは鳴らさないなど極力不要なブザー吹鳴をなくし，煩わしさを低減した。

6.2 スイッチ操作系

ステアリングスイッチをFig.9に示す。MRCCメインスイッチ，CANCEL，SET/RES，DISTANCE各スイッチをステアリング右側に集中配置し，走行中もステアリングから手を離すことなく安全にブラインド操作できる工夫をした。また，SET/RESスイッチは上下可倒スイッチタイプとし，車速設定時には上方向に操作すると車速アップ，下方向でダウンとドライバーの感覚に合ったものとした。

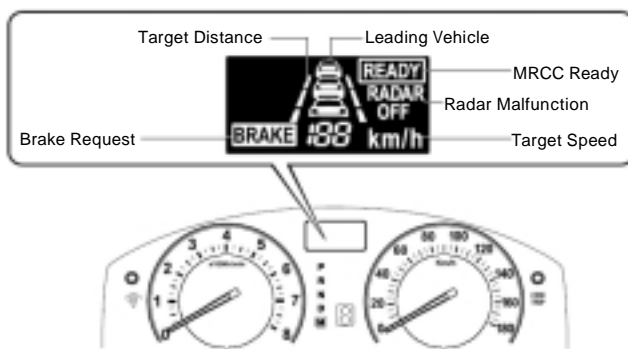


Fig.8 Display

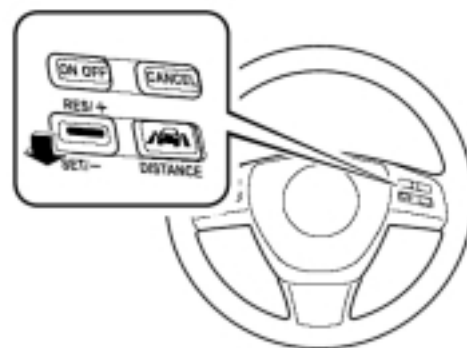


Fig.9 Steering Switch

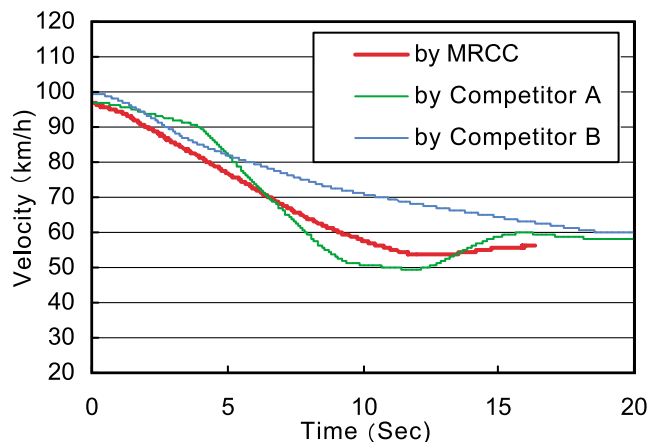


Fig.10 Result of Deceleration Profile Test

7. システム評価

先行車の捕捉性能は、ミリ波レーダ単品性能の育成と物体識別ロジック・進行路推定ロジックなどの先行車の判定ロジックを駆使することによって、急カーブが連続する山間部の高速道路や多車線で交通量の多い都市高速道路でも安定した追従走行が行える等、業界他社同等以上の捕捉性能を確保できた。

先行車の追従性能のフィーリングを左右する加速・減速性能に関して、追従中のレーンチェンジや先行車が速度を上げた場合の加速性能は、MZR2.3リッターDISIターボエンジン本来の優れたエンジンレスポンスを活かし、応答遅れの少ない滑らかな加速感を実現した。一方で、先行車に追いついた場合などの減速性能に関しては、DSC側のブレーキフィーリングの改善と目標加減速度の細かなチューニングによりリアでスムーズな安心感のある減速感を実現している。MRCCの先行車追いつき時の減速特性を国産競合車のそれと比較した結果をFig.10に示す。MRCCの加速度変化が最も少なくかつ滑らかな特性となっていることがわかる。

この加速/減速特性、車間維持安定性等全体バランスを考慮した最適チューニングによりドライバの感性にフィットする追従性能を実現した。

以上のようにMRCCの基本性能である先行車の捕捉性能、追従性能、加速/減速性能を高次元で実現させ安心感のあるシステムを提供することにより、ステアリング操作に集中でき、アクセル、ブレーキ操作のための肉体的な負荷が大幅に軽減できている。

8. おわりに

ミリ波レーダを用いたマツダ・レーダ・クルーズ・コントロール・システムを開発し、ドライバのスイッチやブレーキ操作回数を低減することにより、ドライバの負担が軽

減され、快適性を向上させることができた。

今後は先行車選定や車間制御仕様等の更なる熟成を図っていくとともに、制御範囲の拡大や他の予防安全システム、エンジン制御などと協調させることで、より利便性/快適性/環境性を向上させたシステムへの拡張を検討していきたい。

参考文献

- (1) 山本ほか：マツダASV2の開発，マツダ技報，No.19，p.64-72（2001）
- (2) 山本ほか：多段式ラインCCDセンサを用いた後側方車両の検知技術，自動車技術会，Vol.56（2002）
- (3) Fujise et al：Study on Driver's Operational Characteristics for Distance Control in Low Speed Car Following, ITS Japan 11th（2004）
- (4) 藤田ほか：プリクラッシュセーフティの開発，トヨタ・テクニカル・レビュー，Vol.53，p.70-75（2004）
- (5) 戸畑ほか：緊急ブレーキ感応型プリクラッシュシートベルトシステム，日産技報，No.54，p.30-33（2004）
- (6) 車間距離（車頭時間）分布計測H8年度中間報告，日本自動車研究所（1996）

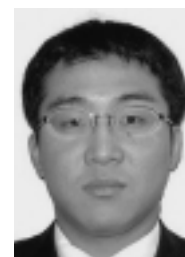
著者



山本康典



寺野隆志



中上 隆