

運転支援システムの開発事例

－車間距離制御システムの開発－

山田喜一*

車間距離制御システムは運転支援システムの第一ステップとして実用化された。このシステムは先行車に近づきすぎないようにエンジン出力を調整し、また先行車との距離が近づきすぎるとおそれのある場合には警報を発するシステムで、ドライバーの運転操作負担低減、安全性向上などに効果がある。今後の運転支援システムは道路インフラ側の情報も活用するとともに、ドライバーと運転支援システムが併存した場合の運転責任の所在やシステム全体の信頼性などを十分考慮し、機能向上を図る必要がある。

Development Status of Driving Support Systems

－Development of Adaptive Cruise Control－

Kiichi YAMADA*

Adaptive cruise control system has been developed as the first production system in driving support systems. The system controls engine power not to approach too close to the preceding vehicle, and issues a warning when the clearance between the subject vehicle and the preceding vehicle is tending to be too short. It consequently has a potential to reduce the driver's driving load and to enhance vehicle safety. Future driving support systems which utilizes also the information from infrastructure systems have to be developed with high intention to overcome the serious problem such as driver's responsibility and system safety when a driver and a system are co-operating.

1. はじめに

現在、運転支援システムやその究極の姿である自動運転システムが世界で活発に研究、開発されている。日本でも1996年秋に「技術研究組合 走行支援道路システム開発機構」が発足し、将来の自動運転システムなどの実用化を目指した組織的な研究開発の動きが始まっている。運転支援システムは走行環境の情報提供から自動走行までさまざまなシステムが研究されているが、実用化がいちばん近いシステム

として車間距離制御システムが世界中で精力的に開発されてきた。当社では、1995年にクルーズコントロールシステムの実用化システムとして、先行車に近づきすぎないようにエンジン出力を調整（必要に応じシフトダウン）し、また先行車との距離が近づきすぎるとおそれのある場合には警報を発する車間距離制御システム（以下ACC:Adaptive Cruise Control）を開発し、量産車に搭載した¹⁾。これは世界で初めて実用化された本格的な運転支援システムと言える。

本稿では、ACCを含む各種運転支援システムの特徴、動向を述べるとともに、ACCのシステム構成、先行車認識技術、制御機能、効果などを紹介する。また、最後に運転支援システム開発の課題をまとめる。

* 三菱自動車工業株式会社開発本部研究部シニアエンジニア
Senior Engineer, Research Department,
Car Research and Development Center,
Mitsubishi Motors Corporation
原稿受理 1998年5月26日

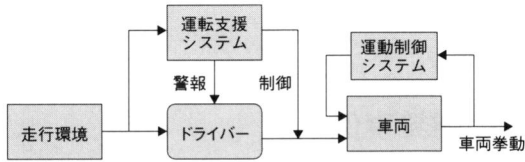


Fig.1 運動支援システム

2. 運転支援システムとは

ドライバーは、道路状況、周辺車両状況、交通状況、天候および速度、加減速度など車両の状態などさまざまな情報を目や耳など五感で認識し車を運転操作している。ここではまず運転支援システムとは何か考えてみる。

Fig.1は運転支援システムとドライバーとの関係を模式的に表したものである。Anti-lock Brake System, Traction Control System, Dynamic Stability Control System, Yaw Control Systemなど車両の運動を制御するシステムはドライバーの運転操作を助ける装置として開発・実用化されてきているが、必ずしもそれら装置を運転支援システムとは呼ばなかった。運転支援システムと呼ばれるようになったのは、車間距離警報などドライバーの運転判断情報を提供するシステムあるいは走行環境を認識してアクセル、ブレーキ、ハンドル操作をドライバーに成り代わって運転するシステム(ACCなど)が研究開発されるようになってからである。しかし、本来安全な運転は、正しい豊富な情報に基づいた判断、操作およびどのような走行環境でもドライバーの操作に従う車両の運動性能が初めて実現されるものであり、両システムが有効に機能するシステムが真の運転支援システムであると筆者は考えている。

3. 運転支援システムの分類

ドライバーの運転操作は、大きく分けると状況の認知・判断・操作の順に行われる。これらの機能のうちどこまでを支援するのか、どの程度支援するのかによってシステムは分類できる。Table 1はドラ

Table 1 運転支援システムの分類

行動段階	認知	判断	操作		
支援レベル	モニターシステム	警報システム	回避制御システム	一部自動システム	全自動システム
システム例	路面状態モニター 周辺状況モニター 合流ガイド 運転注意力モニター	車間距離警報 車線逸脱警報 ブラインドカーブ障害物警報	障害物回避自動ブレーキ カーブ進入速度制御	車間距離制御システム 渋滞追尾 レーンキーピング	専用道自動走行 コンボイ走行 自動駐車

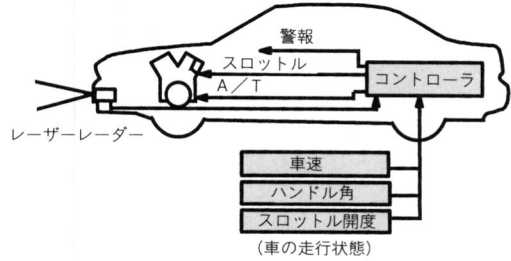


Fig.2 システム構成

イバーの行動段階と運転支援システムの支援レベルでシステムを整理したものである。ドライバーの認知を支援するシステムには路面の滑りやすさなどをモニターするモニターシステム、判断を支援するシステムには車間距離の異常などを警報する警報システムが対応する。操作を支援するシステムはその制御の性格の違いにより三つに分類した。回避制御システムには障害物を自動ブレーキなどにより回避するシステム、一部自動化システムには車間距離を自動的に維持するシステム(ACC)、全自動システムには専用の高速道路を自動走行するシステムが対応する。

現在、運転注意力モニター、車間距離警報、ACCが実用化されているが本格的実用化はこれからである。

4. 車間距離制御システム(ACC)²⁾

4-1 システム構成

システムの構成をFig.2に示す。レーザーレーダーは車両前方の状況を認識する。車速センサー、ハンドル角センサー、スロットル開度センサーは自車の走行状態を検出する。トランクルーム内に設置されたコントローラは、各センサーからの信号を処理し、アクチュエータに制御信号を送る。アクチュエータは、スロットルアクチュエータとA/T(オートマチックトランスミッション)により構成されている。また、コントローラは相対速度の大きい先行車に近づいた場合には警報を発生する。

4-2 先行車認識技術

ACCにおいて制御の対象となる先行車は、自転車

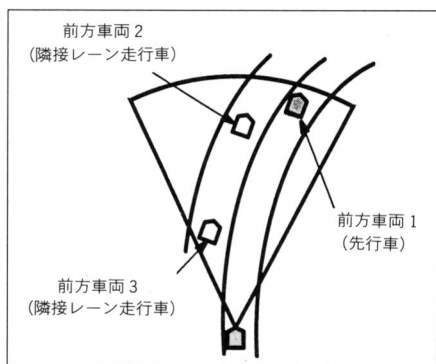


Fig.3 先行車の認識

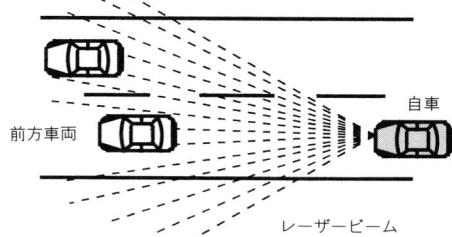


Fig.4 レーザーレーダーによる先行車認識

走行レーン上を走行する前方車両である。前方車両が複数あり、その位置関係がFig.3のような位置関係にある場合、前方車両1を先行車として認識する必要がある。つまり、先行車の認識には、前方車両の位置(距離と方向)を認識する技術と走行レーンを認識する技術が必要となる。本システムでは、スキャン式レーザーレーダーが、主に前方車両の位置(距離と方向)を認識し、ハンドル角センサーが、主に走行レーンを認識する。

1) 前方車両認識

スキャン式レーザーレーダーは、細いレーザービームを左右に振りながら前方を照射し、前方車両からの反射ビームが戻ってくる時間と戻ってきた角度から、前方車両との距離と方向を計測する(Fig.4)。

レーザーレーダーのカットモデルをFig.5に、仕様をTable 2に示す。左右方向の検出範囲±6degは曲率半径300mのカーブ路でも先行車の認識ができる設定値である。また、計測周期は車間距離の時系列データから相対速度などを計算できるように100msとしている。

2) 走行レーン認識

走行レーンは、ハンドル角およびレーザーレーダーで検出した路側デリニエータ列から推定した道路の曲率半径で推定している。

(1)ステアリング角による曲率半径推定

Table 2 レーザーレーダー仕様

項目	仕様
最大検出距離	100m以上
左右検出範囲	±6deg
計測スキャン周期	100ms

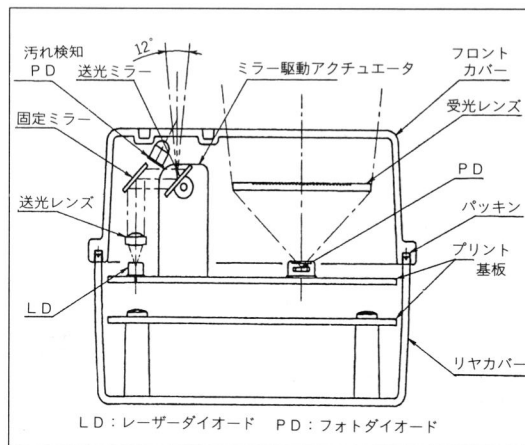


Fig.5 レーザーレーダー構成

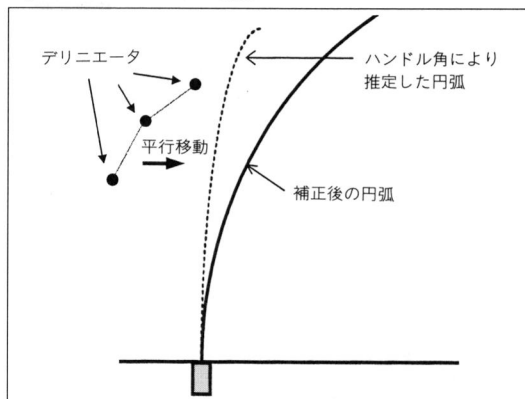


Fig.6 デリニエータ列による補正

ステアリング角、自車速より下式で曲率半径R1を求める。

(2)デリニエータ列による曲率半径補正

道路路側帯に存在するデリニエータ列の配置で曲率半径推定を行いハンドル角による推定を補正する(Fig.6)。

4-3 制御機能

各走行場面における本システムの作動をTable 3に示す。先行車との設定車間距離は、ドライバーのブレーキ操作に対する反応時間とドライバーの日常車間距離の調査結果から安全を考慮して、車間時間にして1.8秒と設定した(車間時間=車間距離/車速)。

Fig.7に制御遷移を示す。遷移は、ドライバーの操作、先行車両の有無、相対速度などにより発生する。

Table 3 作動例

走行場面	制御内容
①先行車がないとき	ドライバーが設定した車速で定速走行 (従来のクルーズコントロールと同じ) 自車(定速走行)
②相対速度が小さい先行車に接近したとき	スロットル制御と必要に応じシフトダウンを行い車速に応じた車間距離を保つ
③相対速度が大きい先行車に接近したとき	上記の作動とともに、警報を発してドライバーのブレーキ操作を喚起 ブレーキ操作 スロットル制御・シフトダウン
④車線変更などで先行車がいなくなったとき	ドライバーがあらかじめ設定していた車速までゆっくりと加速し、定速走行 先行車離脱
⑤先行車が加速したとき	ドライバーがあらかじめ設定していた車速まで先行車に近づきすぎないように加速、以降は先行車の状況に応じて①~④へ移行 先行車加速

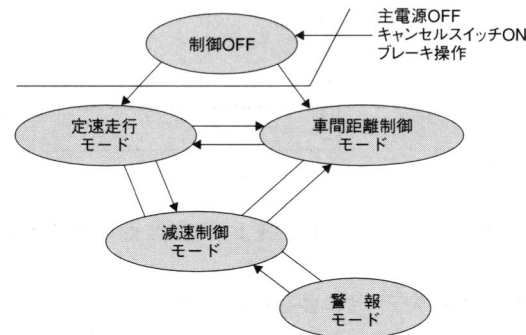


Fig.7 制御モード遷移

Fig.8に車間距離の制御ブロック図を示す。自車速に相対速度を加算した速度すなわち先行車車速を設定車間距離と計測された車間距離の誤差および相対速度で補正し目標速度としている。

4-4 ヒューマンインタフェース

表示操作系をFig.9に示す。操作スイッチ類は従来の車間距離警報システムおよびクルーズコントロールシステムと同じスイッチ構成とし、基本的に従来のクルーズコントロールシステムと全く同じ感覚

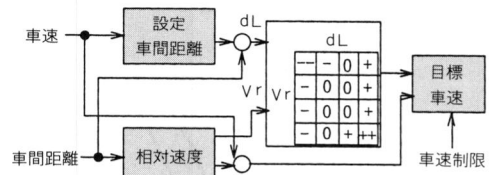


Fig.8 車間距離制御ブロック図

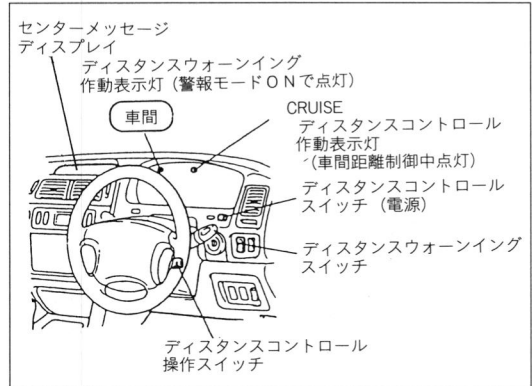


Fig.9 表示操作系

先行車がないとき	
先行車に接近したとき	
先行車に接近したとき (相対速度: 大)	
制御を一時解除したとき (ブレーキ操作など)	

Fig.10 表示例

で操作できるようにした。

ドライバーへの情報提供については、システムの作動状況が一目で分かるように極力シンボル化し、センターメッセージディスプレイに表示している。

Fig.10に表示例を示す。

4-5 効果

ACCの効果を以下に示す。

1) 運転操作量

Fig.11に東名高速道路上(普通の混み具合)の約260kmの区間を社内モニターに80~100km/hで普通に走行してもらったときのドライバー運転操作量を、従来のクルーズコントロールシステムとACCとで比較した結果を示す。

従来のクルーズコントロールシステムでは、車間距離を調整するための運転操作が多いのに対し、ACCを作動させた場合のドライバーの運転操作は、先行車を意識的に追い抜くためのアクセル操作(3例)、

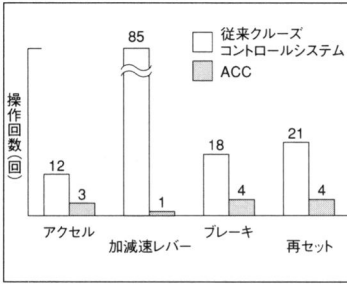


Fig.11 ドライバーの操作量

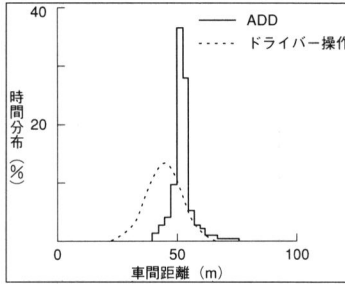


Fig.12 車間距離分布

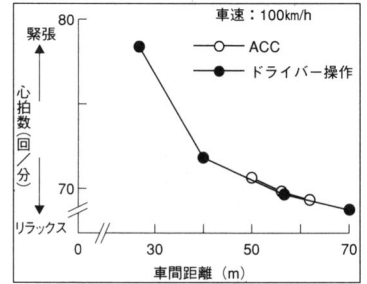


Fig.13 ドライバーの緊張度

合流車・割り込み車に対するブレーキ操作（4例）と限られた場面だけである。

2) 車間距離分布

Fig.12に東名高速道路上の約100kmの区間を社内モニターに車速80~100km/hで普通に走行してもらったときの車間距離の時間分布を示す。

ドライバーがアクセルおよびブレーキによる通常の運転をした場合、車間距離のばらつきが大きく、車間距離が約25mと不安全な状態になっていることがある。これに対しACCを作動させた場合は、約55mの車間距離が常に保たれている。

3) ドライバーの緊張度

Fig.13に東名高速道路上を社内モニターに約100km/hで車間距離を変えながら走行してもらったときのドライバーの緊張度を心拍数で評価した結果を示す。

ドライバーが運転した場合、車間距離の変化に応じて心拍数も大きく変化している。これに対し、本システムを作動させた場合は車間距離が約55mに保持されるため、緊張を強いられることが少ない。

4-6 ユーザー評価結果³⁾

Fig.14は、ACCのヒューマンインターフェースを含むシステムのユーザー評価をアンケート調査した結果である（調査対象ユーザー約50名）。それによれば、大半のユーザーは高速道路でシステムを活用している（高速道路だけ+両方）。また、一般道でも多くのユーザーはシステムを活用していることが分かる（一般道だけ+両方）。また、設定された車間距離に大半のユーザーが満足している。

5. 運転支援システム開発の課題⁴⁾

ここでは特に重要と思われるいくつかの課題を指摘する。

5-1 運転責任

システム開発において、その責任がシステムにあ

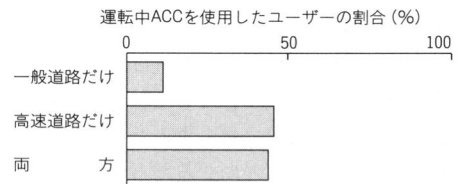
るのか、ドライバーにあるのかは重要である。システム操作がドライバー操作に優先する構成であればシステム責任であろうが、逆にドライバー操作がシステム操作に優先するシステムであればドライバー責任であろう（ただしドライバーがシステム全体の信頼性を確保できる構成である必要がある）。既存のシステム、例えば滑りやすい路面で車輪のロックを自動的に防止するABSにおいてはシステム操作がドライバー操作に優先している。先に紹介したACCシステムにおいては、ブレーキを踏めばシステムの動作が解除されるなどドライバー操作がシステム操作に優先している。

5-2 システム全体の信頼性

ここでは、ドライバー操作優先のシステムを考える。次の三つの仮定は妥当であろう。

- ・ドライバーの信頼性が高いときは、システム全体の信頼性は充分である。
- ・ドライバーが不注意などで正しい操作を行わないとき（不操作）、システムが正しければシステム全体の信頼性は充分である。
- ・システムが故障したときドライバーの信頼性は低下しやすい。つまり、システムが誤動作している場合には、ドライバーも誤操作しやすくなる。

[システムの使用状況]



[車間距離の状況]

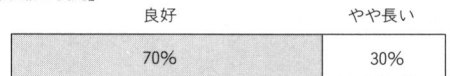


Fig.14 ユーザーアンケート評価結果

		ドライバー		
		不信頼度	信頼度	
運転支援システム	不信頼度	不操作	誤操作	
		誤作動	不作動	
	信頼度	不操作	誤操作	
		誤作動	不作動	

・信頼度+不信頼度=1
・ハッチング部二重系の不信頼度

Fig.15 システム全体の信頼性

以上をまとめたものをFig.15に示す。

- ・ドライバー、運転支援システムの故障確率（信頼度、不信頼度）をそれぞれ横、縦にとる（信頼度+不信頼度=1）。
- ・不信頼度は不操作（うっかりミス、不認識）と誤操作に分ける。
- ・信頼度の定義によりハッチング部分がドライバー／運転支援システム系の不信頼度。

以上の仮定のシステムではシステムが正常動作して安全を確保する分信頼性が向上するが、ドライバーが過信しシステム異常時のドライバーの対応が悪いとシステム全体の信頼性は上がらない。従って、システムの異常時にドライバーが正しく修正操作が可能なヒューマンインターフェースおよびシステムそのものの信頼性向上(特に環境認識)が不可欠である。

5-3 ヒューマンマシンインターフェース

新システムが世の中に出るときには表示、警報あるいは操作系のヒューマンマシンインターフェースが分かりやすい必要がある。警報システムについてはドライバーに危険状態を警報するだけでなく、ドライバーの注意力を高めるための表示などの工夫が重要である。自動操作があるシステムでは、制御の切換え時やシステム故障時のドライバーとシステムのスムーズな制御遷移の問題を避けて通れない。将来、運転支援システムが普及した社会の自動車学校では、こういった状況に対応するための訓練に、多くの時間が割かれることになるだろう。

5-4 環境認識—インフラ整備

インフラに望まれるものは、第一に信頼性の高い

走行環境情報、特に車両の横ずれ量や障害物情報の提供あるいは支援であり、第二に自車両から見えない領域における障害物情報、例えば、カーブの先や遠距離・霧環境下の障害物情報である。走行支援道路システム開発機構では、このような信頼性のあるインフラセンサーの研究が精力的に行われており、今後の研究結果が注目される。

6. むすび

運転支援システムはドライバーと同様走行環境を認識し、ドライバーの認知、判断、操作の各段階を支援するシステムとして研究が進められている。ACCは運転のイーゼードライブ化、安全性を向上するシステムとして研究されてきた。本稿ではACCの実用化例を紹介した。ACCはレーザーレーダーにより先行車を認識し(車間距離、方向)、設定した車間距離を保つようスロットル開度およびA/Tを制御する。ACCは車間距離を自動的に制御することによりドライバーの操作負担を軽減するとともに安全性にも寄与する。今後、運転支援システムは車のイーゼードライブ化、安全性を向上するシステムとしてさらなる実用化が進むであろうが、近未来に実用化されるシステムはドライバー操作が優先するシステムであると考えられるため、実用化に際し運転責任およびシステム全体の信頼性が重要な課題としてあげられる。解決のためのキーテクノロジーとして自律環境認識や制御技術だけでなく、ヒューマンインターフェースやインフラ情報利用の研究が重要である。

参考文献

- 1) 三菱自動車工業(株)「プレビューディスタンスコントロール技術発表資料」1995年
- 2) T.Watanabe et al. :Development of an Intelligent Cruise Control System, ITS World Congress Yokohama, Nov.,1995
- 3) Y.Hayashi et al. :System Safety Study on Intelligent Cruise Control, ITS Word Congress Berlin, Oct., 1997
- 4) 太田、早船、山田、御室「運転支援システムの研究」『自動車技術会誌』Vol.51, No.7, 1997年