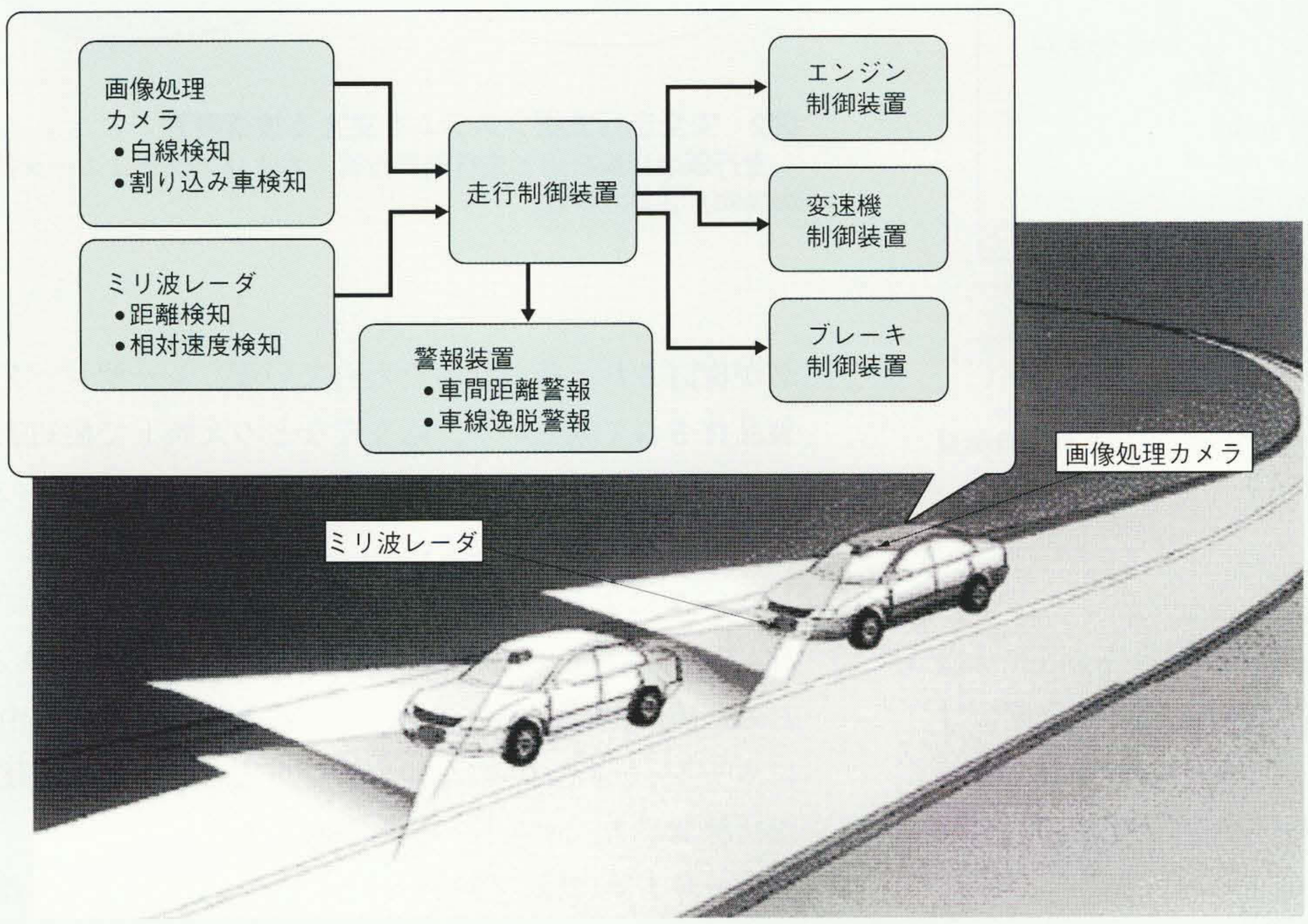
自動車の安全走行支援システム

Assist System for Safe Drive

竹崎次郎　*Jirô Takezaki*　箕輪利通　*Toshimichi Minowa*
植木信幸　*Nobuyuki Ueki*　近藤博司　*Hiroshi Kondô*



安全走行支援システム

自動車を運転する際の負担を軽減するための，さまざまな「走行支援システム」が開発されている。代表的なものとして，前方の走行環境を認識し，先行車との車間距離を適切に制御するシステムがある。今後，走行環境認識技術の向上により，さらに安全かつ便利なシステムの出現が期待されている。

先行車との車間距離を自動的に制御することによって運転者の疲労軽減を図る，「ACC(Adaptive Cruise Control)システム」が自動車メーカーから発売されるようになってきた。このシステムは，先行車との車間距離をレーダによって測定し，安全な車間距離を保つように，エンジンと変速機およびブレーキを総合的に制御するものである。現在は主に高速道路での使用を前提としたシステムであるが，将来は機能と性能がさらに高められ，インフラストラクチャーの整備と相まって，一般道路を含む広範囲な場面でいっそう安全な運転ができるようになることが期待されている。

日立製作所は，ACCシステムを安全走行支援のキーシステムの一つと位置づけ，高機能で高性能なシステムの実現に向けて，走行環境認識技術と走行制御技術の開発を進めている。

1　はじめに

自動車事故での死亡者数は自動車メーカーの努力による車両の安全性の向上などによって漸減傾向にあるが，逆に事故件数そのものは増加傾向にある。

交通事故のさまざまな分析結果によると、人的要因の占める割合が大きいとされている。

自動車の運転は、走行環境の認知，判断，および操作から成る。これらの要素を支援し，安全な運転を支援するのが「安全走行支援システム」である。日立製作所は，自動車側からの取組みとして，この安全走行支援システムの研究開発を進めている。

ここでは，安全走行支援システムの研究開発の動向，人間の目に相当する「走行環境認識技術」と「車両走行制御技術」，および将来への展望について述べる。

2　安全走行支援システムの研究開発動向

2.1　システムの進化過程

自動車と道路を一つのシステムとしてとらえ，自動車の安全な走行と，交通渋滞の緩和や環境保全の問題を解

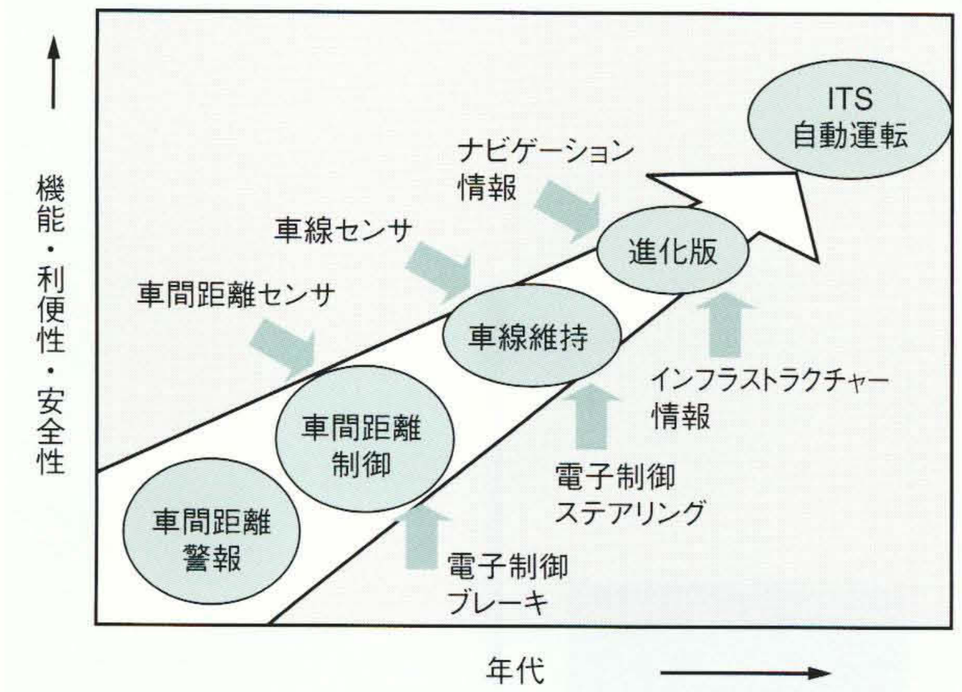


図1 安全走行支援システムの進化
各種の技術の進化に伴って機能・性能の向上が図られ，自動運転に進化していくものと予想されている。

決しようとするITS(Intelligent Transport Systems)の考え方が広まってきている。ITSでの自動車の位置づけは安全・快適で効率的な走行を実現する移動体“ASV(Advanced Safety Vehicle)”であり，21世紀初頭の普及を目指し，各社で研究開発が推進されている。

ASVの究極の形態は「自動運転」と考えられる。しかし，それに至るまでには，さまざまな課題を乗り越える必要がある。

自動運転に向かう進化の過程を予想したものを**図1**に示す。現時点は，車間距離センサとしてレーザレーダやミリ波レーダにより，電子的に制動をかけることができるACC(Adaptive Cruise Control：車間距離制御)システムが普及しはじめた段階と言える。

これからは，走行車線の認識結果を用いてステアリング(かじ取り)を制御する「車線維持制御システム」の普及が予想されている。さらに将来は，ナビゲーションシステムやインフラストラクチャーからの情報を適用した高度な走行支援システムが出現し，自動運転の実現に向かうものと予想する。

2.2 技術要素

安全走行支援システムを構成する技術要素は，(1) 走行環境認識技術，(2) 走行制御技術，および(3) アクチュエータ技術から成る(**図2**参照)。

道路上の自動車を含む各種障害物や車線形状，路面状態を認識するのが走行環境認識技術である。

走行路面上の各種障害物を認識するセンサとしてレーダが検討され，製品化も行われている。レーザレーダが製品化されて久しいが，雨や霧などの天候下で検知能力が低下することから，電波式のレーダの開発も世界の各社で積極的に進められている。

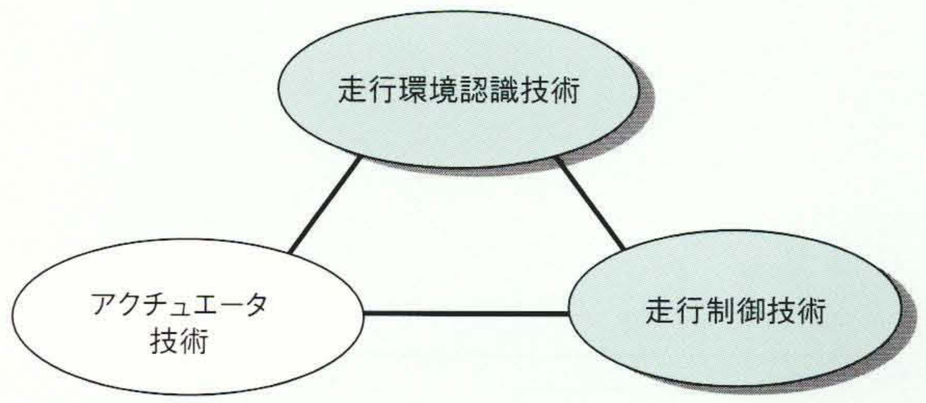


図2 安全走行支援システムを支える技術要素
走行環境認識技術と走行制御技術，およびアクチュエータ技術の調和が必要である。

レーダによる各種障害物の検知方法が期待されている。しかし，車線形状などを検知するのは困難である。このため，走行車線を認識する方法として，車線の中央にネール(くぎ状の物)を埋め込む方式と，カメラを使った白線認識方式が各社で検討されている。

ネール方式には，「磁石式」と「電波式」がある。後者には，情報を伝える機能を持たせることができるという特徴がある。

一方，カメラを使った方式は，既存の白線というインフラストラクチャーを利用できるため，比較的早期に実用化ができるという特徴がある。

路面状態のセンシングに関しては，前方の状況を早い時点で知る必要があることから，自動車単独では実現が困難と言われており，インフラストラクチャーからの情報提供が期待されている。

走行制御技術は，走行環境認識に基づいて，運転者にとって違和感がなく，かつ安全な，走る・曲がる・止まるという制御を行うものである。特に最近は地球環境との調和が問題視されており，安全な走行支援とともに，燃料消費率を考慮した制御システムも検討されている。

アクチュエータ技術は，走る・曲がる・止まる機能に関するものである。走る機能に関しては，すでに電子化が進んでいる。曲がる・止まる機能については，従来の油圧方式から電子制御方式へ進展しつつある段階である。

2.3 日立製作所の取組み

前節で述べたように，安全走行支援システムには，各種の技術要素が必要である。

日立製作所は，社内のさまざまな分野の技術を総合的に活用するとともに，社外メーカーとの共同開発により，安全走行支援システムの開発に取り組んでいる。

例えば，自動車のエンジン・トランスミッション制御技術に新幹線などの安全制御技術を取り入れることにより，さらに安全な走行制御システムの開発を目指している。

また，独自の超高周波半導体技術と米国Eaton VORAD Technologies社のレーダ信号処理技術を結び付けた，新しいミリ波レーダを開発中である。

さらに，産業用途，交通流計測などで長年にわたって培ってきた画像処理・認識処理技術に最新の半導体技術を組み合わせた，車載用の小型の画像処理カメラなども開発している。

3 車両走行制御システム

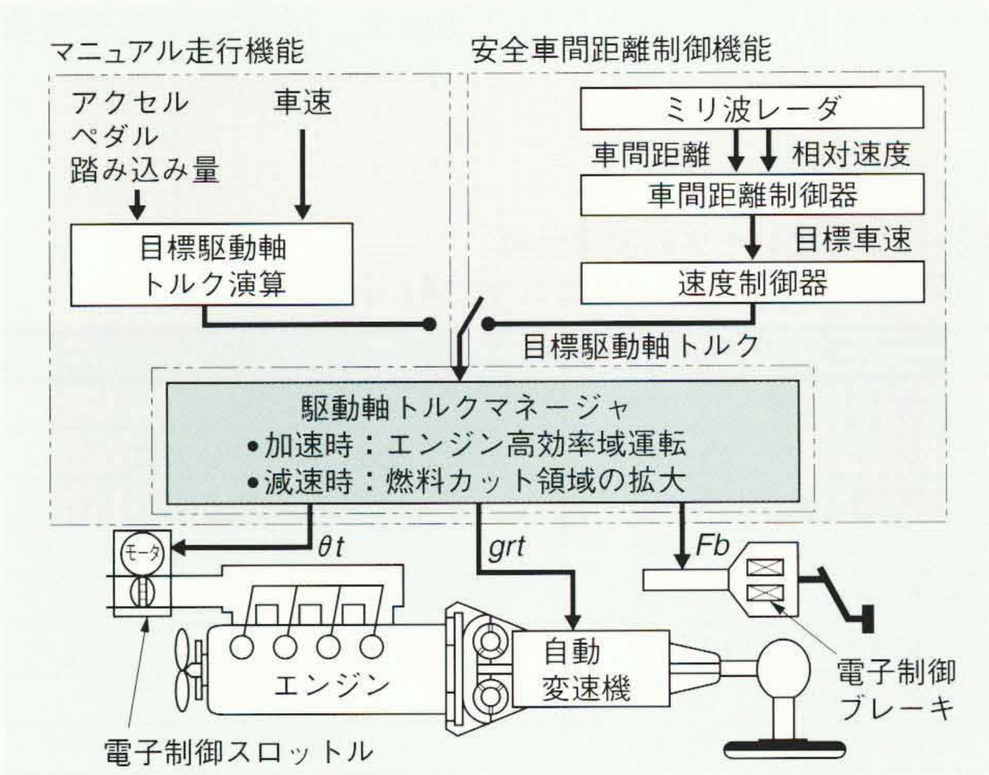
3.1 走行制御技術

車両走行制御の課題の一つは，前方の走行環境に応じて安全を確保するように，エンジンと変速機およびブレーキを制御することである。もう一つは，安全走行時の燃費低減による環境保全である。日立製作所は，これら二つの課題を解決する，エンジン・変速機統合車間距離制御(ACC)システムを開発した。

開発したエンジン・変速機統合車間距離制御システムの概要を**図3**に示す。

マニュアル走行機能では，アクセルペダルの踏み込み量と車速から目標の駆動軸トルクを演算し，駆動軸トルクマネージャで目標駆動軸トルクから加速時と減速時の目標スロットル開度(θt)および目標変速比(grt)を求める。加速時には，できるだけエンジン効率のよい領域で運転し，減速時にはエンジンブレーキ制御によって燃料カット領域を拡大し，燃費低減を図る。このシステムでは，車速一定機能を付加する場合，速度制御器で車速一定走行するための目標駆動軸トルクを演算すればよく，駆動軸トルクマネージャ部を変更することなく機能追加が可能になる。さらに，車間距離制御機能を追加する場合は，上記速度制御器の目標車速入力部に，車間距離制御器で演算した目標車速を入力すればよい。また，電子制御ブレーキを付加する場合は，駆動軸トルクマネージャのエンジン・変速機統合制御アルゴリズムに，負の目標駆動軸トルクに応じたブレーキ制御アルゴリズムを追加すればよい。

以上のように，このシステムではビルディングブロック構成が可能になり，マニュアル走行機能から車速一定制御機能，車間距離制御機能への展開が容易である[1]。目標の駆動軸トルクを達成しつつエンジン出力トルクと変速タイミングが自由に選択できるため，車間距離制御精度の確保と燃費低減の両立も図れる。



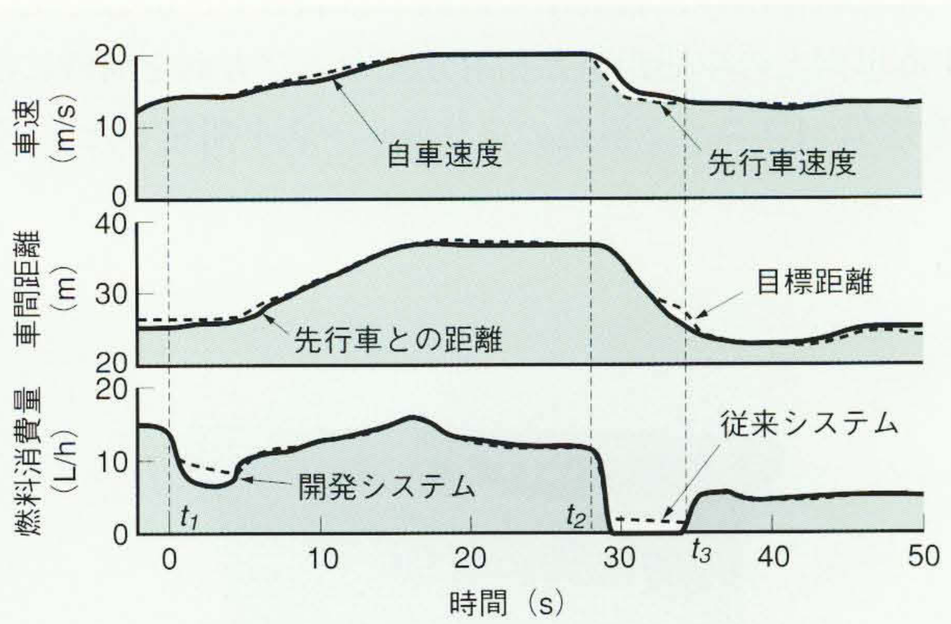
注：略語説明
θt(スロットル開度)，grt(変速比)，Fb(ブレーキ力)

図3 エンジン・変速機統合車間距離制御システムの概要
マニュアル走行と車間距離制御の切換を容易にする制御ブロック構成とした。

3.2 走行試験結果と考察

エンジン・変速機統合車間距離制御システムの性能と有効性を検討するために，走行試験を行った。このとき得られた追従性能[2]と燃費性能を**図4**に示す。

この試験では，目標の車間距離偏差を±1.5 mに設定した。この結果，加速追従，減速追従および一定車速追従時のすべての走行条件で目標車間距離と実際の車間距



注：略語説明　t_1(車間距離制御開始時期)
t_2(先行車両減速開始時期)
t_3(先行車両一定車速走行開始時期)

図4 システムの追従性能と燃費性能
日立製作所従来システム比で約3.2%の燃費改善効果を確認できた。

離の偏差がほぼ±1.5 mに収まっており，追従性のよい，安全な車間距離制御システムであることが実証できた。

次に，この開発システムと従来システムの燃料消費量の比較を行った。このシステムでは，車速パターン初期(t_1後)に，燃費変速タイミング制御によって早めにアップシフトが実行され，従来システムよりも燃料消費量が減少した。さらに，時間t_2後の減速時でのこのシステムでは，4速から3速へのダウンシフトによるエンジンブレーキ制御が実行され，燃料カットによる燃料消費量ゼロが実現できた。これに対して従来システムでは，減速時のダウンシフトが実行されず，2 L/h程度の燃料が消費されている。その結果，**図4**に示す特定車速パターンでのこの開発システムの燃費が，日立製作所従来システム比で約3.2%低減した。

4 走行環境認識センサ技術

自動車の車両走行制御を実現するための重要な要素の一つが，自動車の周辺の車両や障害物などを検知，認識する走行環境認識センサである。

走行環境認識センサには，光・電波・音波など，利用する媒体によってさまざまな種類がある。日立製作所は，全天候下で高精度な計測が可能なミリ波レーダと，人間の眼と同様にさまざまな物体を検出できる画像処理カメラの開発に取り組んでいる。

4.1 ミリ波レーダ

ミリ波レーダは，電波を発信して物体からの反射波を受信することにより，物体までの距離・速度・方向を検出するセンサである。現在，自動車用として，76～77 GHzの周波数帯が日米欧で共通に割り当てられている。

日立製作所は，自動車の前面に搭載して，前方を走行する車両との車間距離と相対速度および方向を同時に計測する，1ユニット構造のミリ波レーダを開発した[3]。その外観を**図5**に，構成を**図6**にそれぞれ示す。

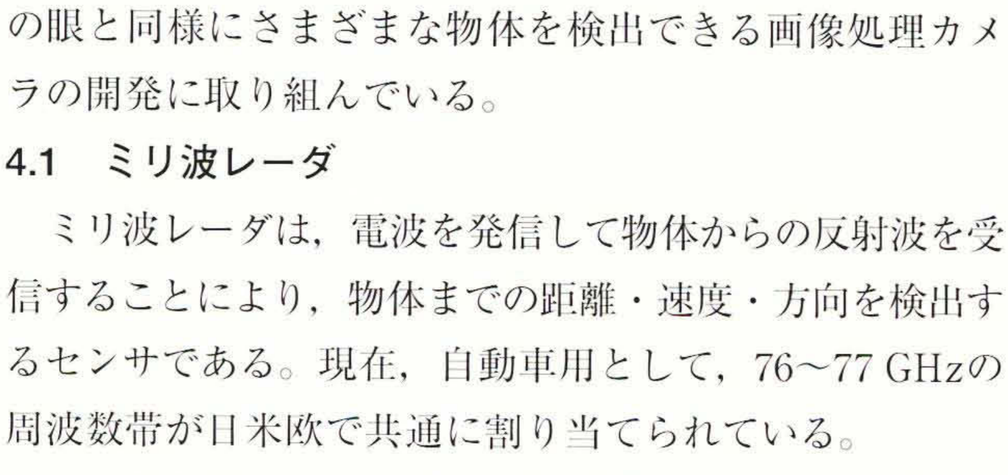
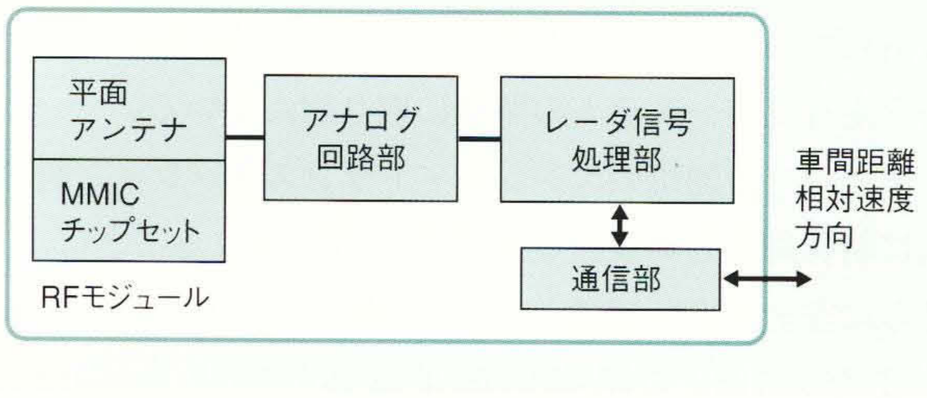


図5 開発したミリ波レーダの外観
従来品に比べて小型化を図り，自動車への搭載を容易とした。



注：略語説明
MMIC(Microwave Monolithic IC)
RF(Radio Frequency)

図6 ミリ波レーダの回路ブロック構成
MMICと平面アンテナの採用によって小型化が可能になり，一体型ミリ波レーダが実現できた。

このミリ波レーダでは，76 GHz帯の電波を送受信する高周波部に，新たに開発したミリ波帯の半導体集積回路(MMIC：Microwave Monolithic IC)を使用した。MMICは，電圧制御発振器，電力増幅器，およびレシーバ(2個)の3種4チップを1セットとし，平面アンテナと組み合わせて一体型のRF(Radio Frequency)モジュールを構成している。MMICを用い，RFモジュールと信号処理部を一体化することにより，レーダユニットの小型・軽量化を実現した(MMICの詳細については，この特集の「ITSに対応する半導体技術」を参照)。

開発したミリ波レーダの仕様を**表1**に示す。

このレーダでは，2周波CW(Continuous Wave)方式を採用している。周波数変調された信号を送信し，反射波のドップラー周波数から相対速度を，反射波の位相情報

表1 ミリ波レーダの概要仕様
安全走行支援システムに適した仕様としている。

項目	仕様
周波数	76.5 GHz
レーダ方式	2周波CW(FSK)方式
角度検出方式	モノパルス方式
左右検知角度	16°
相対速度検知範囲	±160 km/h
相対速度分解能	0.1 km/h
最長検知距離	120 m
最短検知距離	1 m以下
消費電力	6 W以下
サイズ	75×103×59(mm)
質量	0.5 kg

注：略語説明
CW(Continuous Wave)
FSK(Frequency Shift Keying)

から距離をそれぞれ計測している。また，角度検知方式としてモノパルス方式を用いている。これは，二つの受信アンテナで反射波を受信し，それら信号の振幅比を検出することによって先行車の方向を計測する，一種のステレオ視を応用する方式である。これらの方式を用いることにより，機械可動部のない簡単な構造で，近距離から遠距離まで，先行車両を連続的にとらえることができ，安全走行支援システム用に優れた特質を持つレーダであると考える。

このミリ波レーダの特徴は以下のとおりである。

(1) 小型・軽量で，車への実装が容易

(2) 至近距離から遠距離までの距離計測が可能

(3) 機械可動部がなく，振動に強い角度検知方式

(4) 相対速度の分解能が0.1 km/hと高く，速度変動に対する高精度の車両制御が可能

4.2 画像処理カメラ

4.2.1 ハードウェア構成

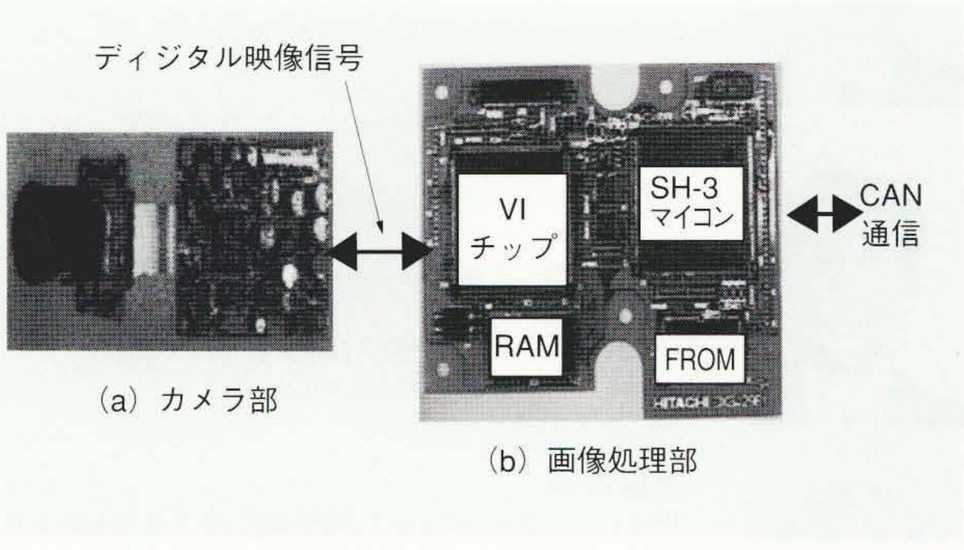
自動車に搭載が可能な画像処理カメラを試作した[4]。その外観と画像処理部を**図7**に示す。

このカメラでは，(1) 開発した認識プログラムを格納しておくFROM(Flash Read-Only Memory)，(2) そのプログラムを処理する32ビットSuperH RISC(Reduced Instruction Set Computer)マイコン(SH-3)，(3) 高速RAM(Random Access Memory)，および(4) 新規に開発した専用画像処理LSI(ビデオチップ)が，SuperHマイコンのバスに接続されている。この装置の特徴は以下のとおりである。

(1) 画像処理の1ボード化による小型化

(2) 専用画像処理LSIによる高速画像処理(1画素当たり60 MHz)

(3) 高性能マイコンによる高速認識[(120 MIPS(Million Instructions per Second))]



注：略語説明　CAN(Control Area Network)

図7　画像処理カメラの外観

新たに開発した専用画像処理LSI(ビデオチップ)により，幅90×高さ70(mm)と小型化を図っている。

4.2.2 走行環境認識への適用

走行レーンの認識と先行車両の認識について以下に述べる。これらは，ACCシステムに用いることを想定している。

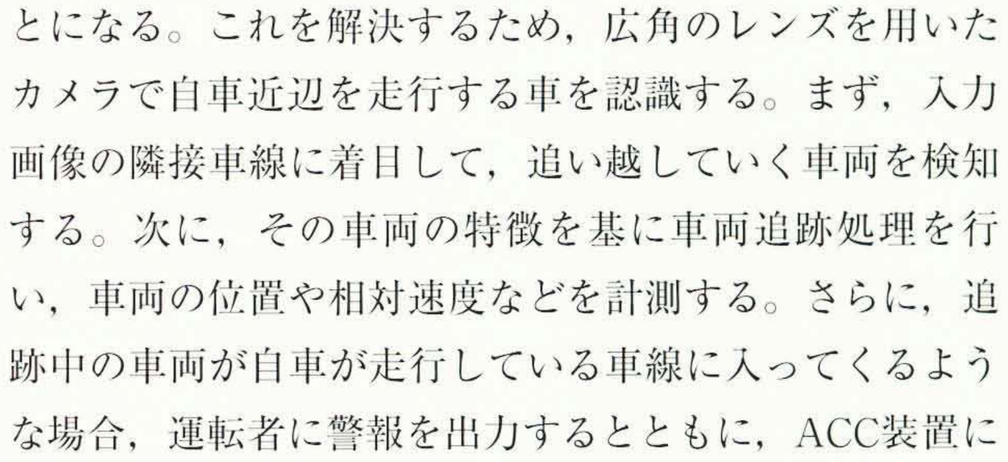
(1) 走行レーン認識[4]

走行時に，運転者が漫然と運転したり居眠り運転などをして車線逸脱を起こしていないかを検知する。まず，入力画像に対して，2本の白線モデルを作成する。次に，このモデルに基づいてレーン種別と車線変更を認識する。さらに，モデルの形状を画像中の実際の白線形状に合わせて適合させていき，このときのモデル形状の変化により，カーブ形状とカーブ曲率を計算する〔**図8**(a)参照〕。

(2) 先行車両認識[5]

ミリ波レーダやレーザレーダでは，限られたパワーで遠方まで計測する必要があることから，視野角をあまり広く取ることが困難である。そのため，レーダの死角に存在する車が急に割り込んできた場合，減速動作の遅れや急減速が発生し，運転者に不安感や不快感を与えることになる。これを解決するため，広角のレンズを用いたカメラで自車近辺を走行する車を認識する。まず，入力画像の隣接車線に着目して，追い越していく車両を検知する。次に，その車両の特徴を基に車両追跡処理を行い，車両の位置や相対速度などを計測する。さらに，追跡中の車両が自車が走行している車線に入ってくるような場合，運転者に警報を出力するとともに，ACC装置に減速動作の要求を発生する〔**図8**(b)参照〕。

この画像処理カメラは高性能RISCマイコンで構成しているため，マイコンの進歩に応じて認識の高機能化，高性能化を図ることが可能である。今後は，ミリ波レーダ



(a) 走行レーン認識　　(b) 先行車両認識

図8　画像処理カメラによる走行環境認識例

画像処理LSIによって高速で認識処理が行える。

とのセンサフュージョンなどを実現していく考えである。

5 安全走行支援システムの課題と将来展望

現在の安全走行支援(ACC)システムは，高速道路での使用を前提としている。その理由は，現存する走行環境認識技術の認識範囲に限界があるからである。

今後，ユーザーの拡大を図るためには，一般道路でも安全，かつ運転負担軽減が可能なシステムを実現していくことが必要である。

そのためには，まず，走行環境認識技術の向上が考えられる。今後さまざまなデバイスや技術が登場し，しだいにそのレベルが向上しても，人間の認知・判断能力を完全に代替するまでには時間がかかるものと思われる。

これらの課題を解決するためには，ITSなどのようなインフラストラクチャーの整備に期待するところが大きい。

車と道路のインテリジェント化によって高度な走行支援システムの実現や自動運転を可能にできる期待がある中で，道路側の対応の困難さが一つの課題になる。全国すべての道路にこのようなインフラストラクチャーを設置することは，考えただけでも困難であることは明らかである。インフラストラクチャーへの投資を現実のものにしつつ，自動車とインフラストラクチャーとの融合をいかに図るかが，これからITSでの自動走行を考えるうえでのポイントと思われる。

すなわち，インフラストラクチャーに頼るシステムは，公共投資の費用対効果が問題になり，また，車の自律走行に重点を置くシステムでは，走行環境情報を得るのに限界がある。これらの両方をうまくバランスさせたシステム作りが重要であると考える。

また，ここでは述べなかったが，システムへの運転者の調和のある介在，いわゆる「ヒューマン マシン インタフェース技術」の構築が，安全走行支援システムとして必要不可欠であると考える。すなわち，これまでは運転者が行っていた作業を機械がとって代わるようになるため，運転者にとって違和感がなく，自然な形で車と人が協調できる仕掛けが望まれる。これには，ナビゲーションシステムを含む車載情報システムが重要な役割を果たすものと期待される。

6 おわりに

ここでは，自動車の安全走行支援システムの開発動向と，それに対する日立製作所の開発状況，および安全走行支援システムの課題と将来展望について述べた。

安全走行支援システムは，交通事故の低減に寄与することが期待されており，これからの高齢社会を考えると，ますます必須のアイテムになるものと考える。

その実現のかぎは，走行環境認識技術である。日立製作所は，将来のインフラストラクチャー整備やヒューマン マシン インタフェース技術も視野に入れながら，安全につながるシステムの実現に貢献できるように努めていく考えである。

参考文献

1) T. Minowa, et al.：Powertrain Control System Based on Wheel Torque for Future Safer Vehicle：ISATA Paper, 98AE023(1998.6)
2) S. Kuragaki, et al.：An Adaptive Cruise Control Using Wheel Torque Management Technique：SAE Transactions, 98060(1998.2)
3) H. Kuroda, et al.：An Adaptive Cruise Control System Using a Millimeter Wave Radar, IEEE International Conference on Intelligent Vehicles(1998.10)
4) 武長，外：小型画像処理装置の開発と走行環境認識への適用，自動車技術会1999年秋季学術講演会，No.78-99，pp.13～16(1999)
5) H. Morizane, et al.：Cut-in Vehicle Recognition System, IEEE/IEEJ/JSAI International Conference on ITS, pp.976-980(1999)

執筆者紹介

竹崎次郎
1987年日立製作所入社，自動車機器グループ 自動車新技術開発センタ 所属
現在，走行制御システム用センサの開発に従事
自動車技術会会員
E-mail：takezaki@cm.jiji.hitachi.co.jp

植木信幸
1999年日立製作所へ出向，自動車機器グループ 自動車新技術開発センタ 所属
現在，車両走行制御システム開発に従事
自動車技術会会員
E-mail：n-ueki@cm.jiji.hitachi.co.jp

箕輪利通
1986年日立製作所入社，日立研究所 情報制御第三研究部 車両制御グループ 所属
現在，自動車運転支援システム，変速機制御システムの開発に従事
日本機械学会会員，自動車技術会会員，SAE会員
E-mail：tminowa@hrl.hitachi.co.jp

近藤博司
1994年日立製作所入社，中央研究所 オプトエレクトロニクス研究部 ミリ波開発プロジェクト 所属
現在，ミリ波車載レーダ，ITS無線通信用MMICおよび送受信モジュールの開発に従事
IEEE会員，電子情報通信学会会員
Ph.D.
E-mail：h-kondoh@crl.hitachi.co.jp