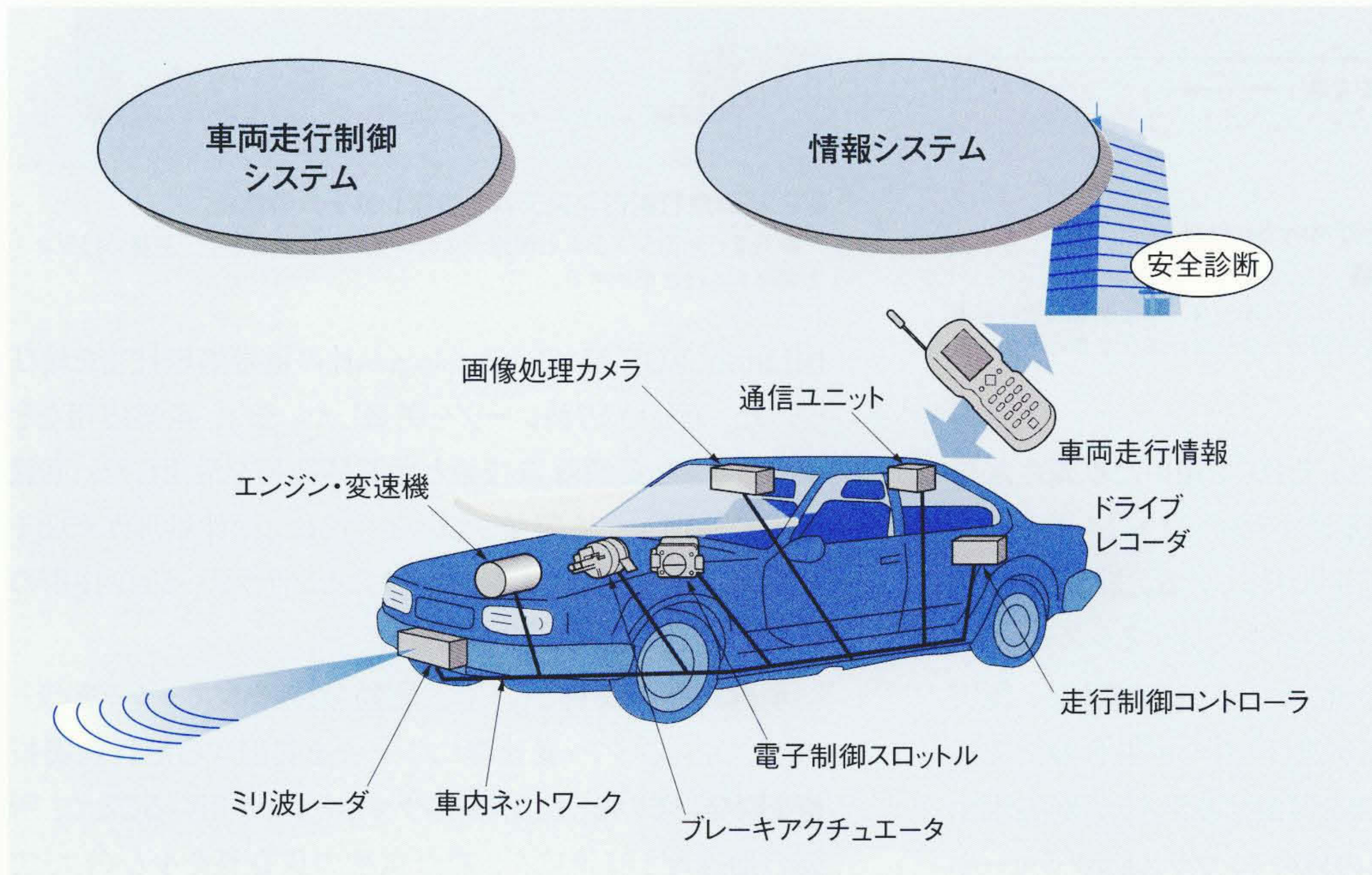


自動車の走行制御と情報システム

Vehicle Control and Information System for Safety Driving

黒田 浩司 Hiroshi Kuroda 植木 信幸 Nobuyuki Ueki
高野 和朗 Kazuaki Takano 近藤 博司 Hiroshi Kondô



自動車の走行制御と情報システム

情報通信と制御技術を用い、自動車の走行の安全性と利便性を向上させるシステムが実用化されてきた。これらの情報を基に、IT (Information Technology) を活用して、運転特性や道路環境特性を解析するサービスが実現されようとしている。

先行車までの車間距離をレーダで計測し、適当な車間距離を自動的に保つACC (Adaptive Cruise Control: 車間距離制御) システムや、画像処理カメラで車線を認識し、車線維持走行を支援するシステムが実用化されてきている。現在のシステムは高速道路での走行を前提としているが、今後は、いっそうの安全性と利便性を追求し、一般道でも活用できるようになるもの考える。その実現のためには、(1) 車の周囲環境を正確に認識する技術、(2) エンジン・変速機・ブレーキを制御して車両の速度を制御する技術、(3) 車体の挙動を制御する技術などの高度化が必要

となる。

車両の走行制御では、走行情報が車内のネットワークを介して行き交うことになる。これらの走行情報を、IT技術によって解析し、活用するサービスが実現しつつある。

日立製作所は、車両の周囲の状況を認識するセンサとして、ミリ波レーダ、画像処理カメラ、センサフュージョンを開発している。また、車両の走行を制御する技術の開発にも取り組み、車両の走行制御情報を解析し、運転の状態や運転者の特性を診断するドライブレコーダ技術と、その応用サービスの開発も進めている。

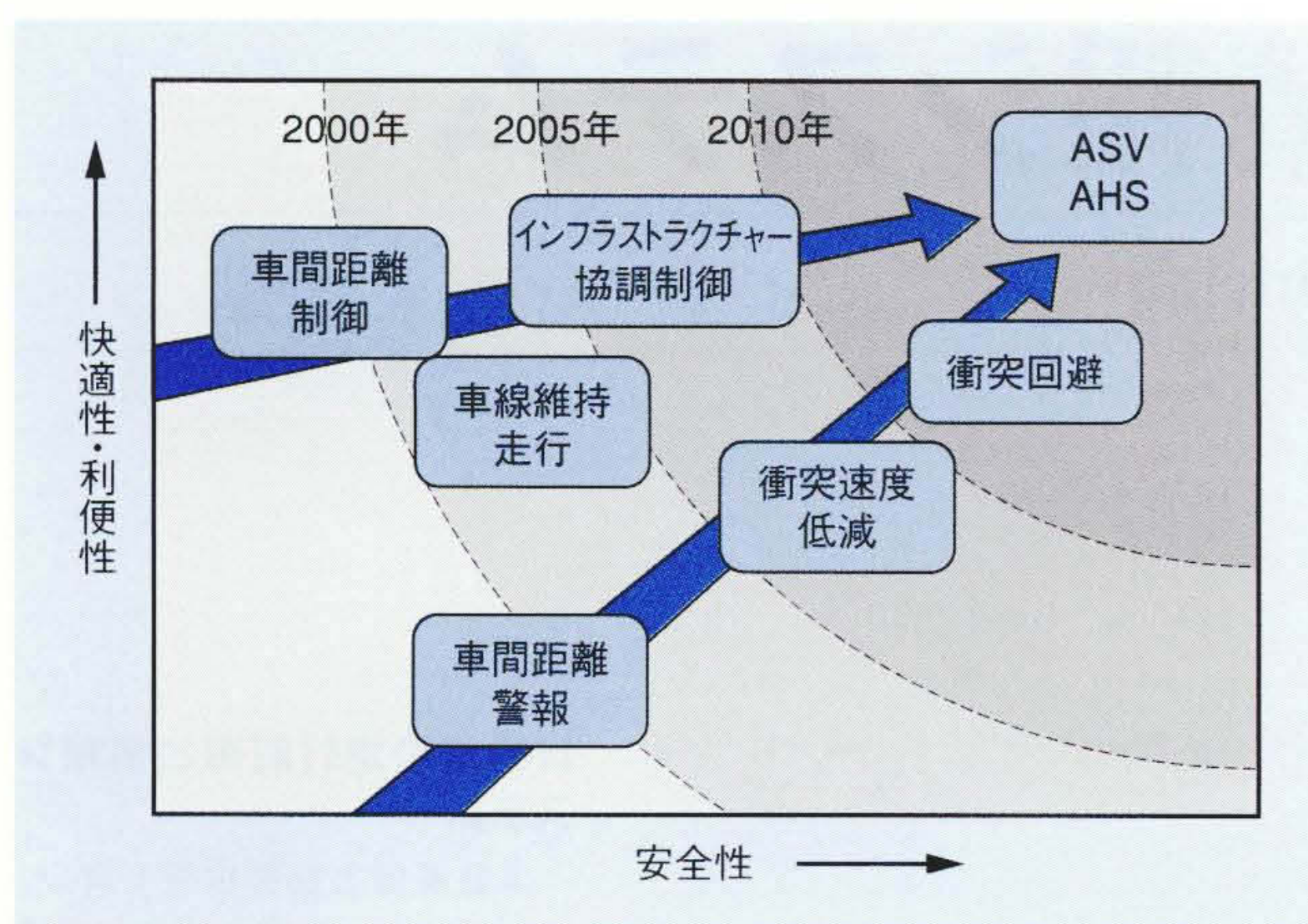
1 はじめに

自動車分野では、ASV (Advanced Safety Vehicle) と呼ばれる先進安全自動車や、道路と車を連携させるAHS (Advanced Cruise-Assist Highway Systems: 走行支援道路システム) の研究・開発が、大学や自動車メーカーを中心に進められている^{1), 2)}。これらのシステムでは、情報通信と制

御技術を用いることにより、自動車の走行の安全性と利便性の向上を目指している。

究極の走行制御システムは自動運転であるが、人間の高度な知的作業を伴う運転動作を、すべてコンピュータ制御に置き換えるにはまだ課題が多く、時間を要するものと思われる。

車の走行の安全性を横軸に、快適性・利便性を縦軸にとり、車両走行制御システムが発展する姿を予想したものを図1に示す。現在までに、車間距離を計測するセンサとしてレーザ



注：略語説明

ASV (Advanced Safety Vehicle)

AHS (Advanced Cruise-Assist Highway System)

図1 車両走行制御システムの発展

車両の周囲環境を認識するセンサ、アクチュエータ、車両制御技術の発展と情報システムの連携により、車両走行制御システムが進化すると予想されている。

レーダやミリ波レーダが開発され、それらを用いた車間距離警報システムや、車間距離制御システム (ACC: Adaptive Cruise Control) がすでに実用化されている。また、カメラを使って車線を認識し、車線維持走行を支援するシステムも実用化されてきた。今後は、安全性をいっそう高めるため、衝突の危機を事前に検知し、衝突が避けられない場合の衝突速度を低減するシステムや、衝突を回避するシステムが実現することが予測される。また、車の外のインフラストラクチャーやナビゲーションなどの情報系と融合させて、運転の利便性を高めた、高度な走行支援システムも実用化されると思われる。これらのシステムの発展により、SFの世界にあるような自動運転システムの実現も夢ではない時代が近々に到来するものと考えられる。

ここでは、ITSの一分野として、自動車の走行制御と情報システムについて、また、車に搭載され、周辺環境を認識するセンサ技術や、運転を支援するための車両制御技術、車両の走行情報を活用するサービスビジネスについても述べる。

2 車両走行制御システム

2.1 車両走行制御を支える要素技術

車両走行制御を実現するには、(1) 外界の走行環境を認識する技術、(2) 走行制御技術、(3) アクチュエータ技術が必要である。さらに、運転者おのの感性に合致するような、車両制御システムの構築も必要となる。

日立製作所と日立グループは、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、これらの技術開発に取り組んでいる。

車両走行制御を実現するための構成要素を図2に示す。

環境認識センサとしては、独自の高周波半導体技術と米

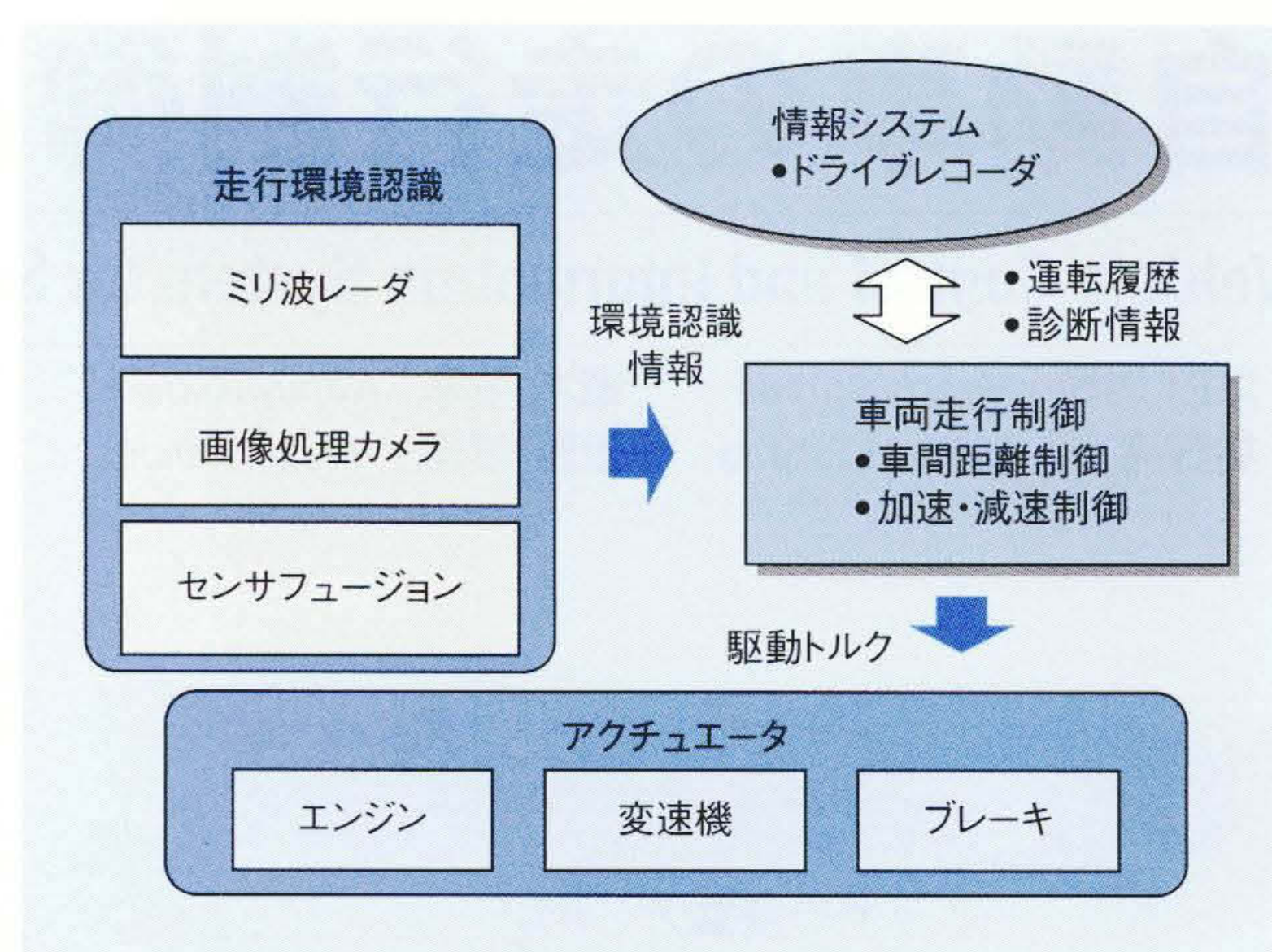


図2 車両走行制御システムと情報システムの構成

車両走行制御システムと情報システムをつなげることで、各種のビジネスを展開することができる。

国Eaton VORAD Technologies社の信号処理技術を結びつけた、新しいミリ波レーダを開発した。また、産業応用などで培ってきた画像認識技術と半導体技術を活用した、車載用画像処理カメラも開発している。さらに、画像処理カメラとミリ波レーダを複合してセンシングするセンサフュージョン技術の開発にも取り組んでいる。

車両走行の制御としては、駆動軸トルクマネージャをベースとして、エンジン・変速機・ブレーキを制御する走行制御技術を開発している。駆動軸トルクマネージャを用いることで、所要の加速度と減速度を、適合車種の依存性を少なくして実現することができた。この車両走行制御技術を用いた車間距離制御システムは、すでに製品化されている。

また、アクチュエータについても、アクティブブースタを使用する電子制御ブレーキを開発済みであり、さらに将来の技術として、環境・安全を高度に満たす電動ブレーキを開発中である。

2.2 車両走行制御と情報システム

このように、車両の挙動を一元的に管理する車両走行制御部には、各種の運転情報が集められることになる。これらの運転情報をIT技術の活用によって解析し、運転状態を推定したり、運転者の好みに合わせて車両制御を行う技術を開発することにより、新たなサービスを展開することができる。

3 車載環境認識センサ

車両走行制御システムを実現するためには、追従しようとする先行車、走行する車線、自車のまわりの障害物などを正しく認識するための環境認識センサが不可欠となる。ここでは、日立製作所が開発・製品化に力を注いでいるミリ波レーダ、画像処理カメラ、またこれらを複合させるセンサフュージョンについて述べる。

3.1 ミリ波レーダ

3.1.1 特徴

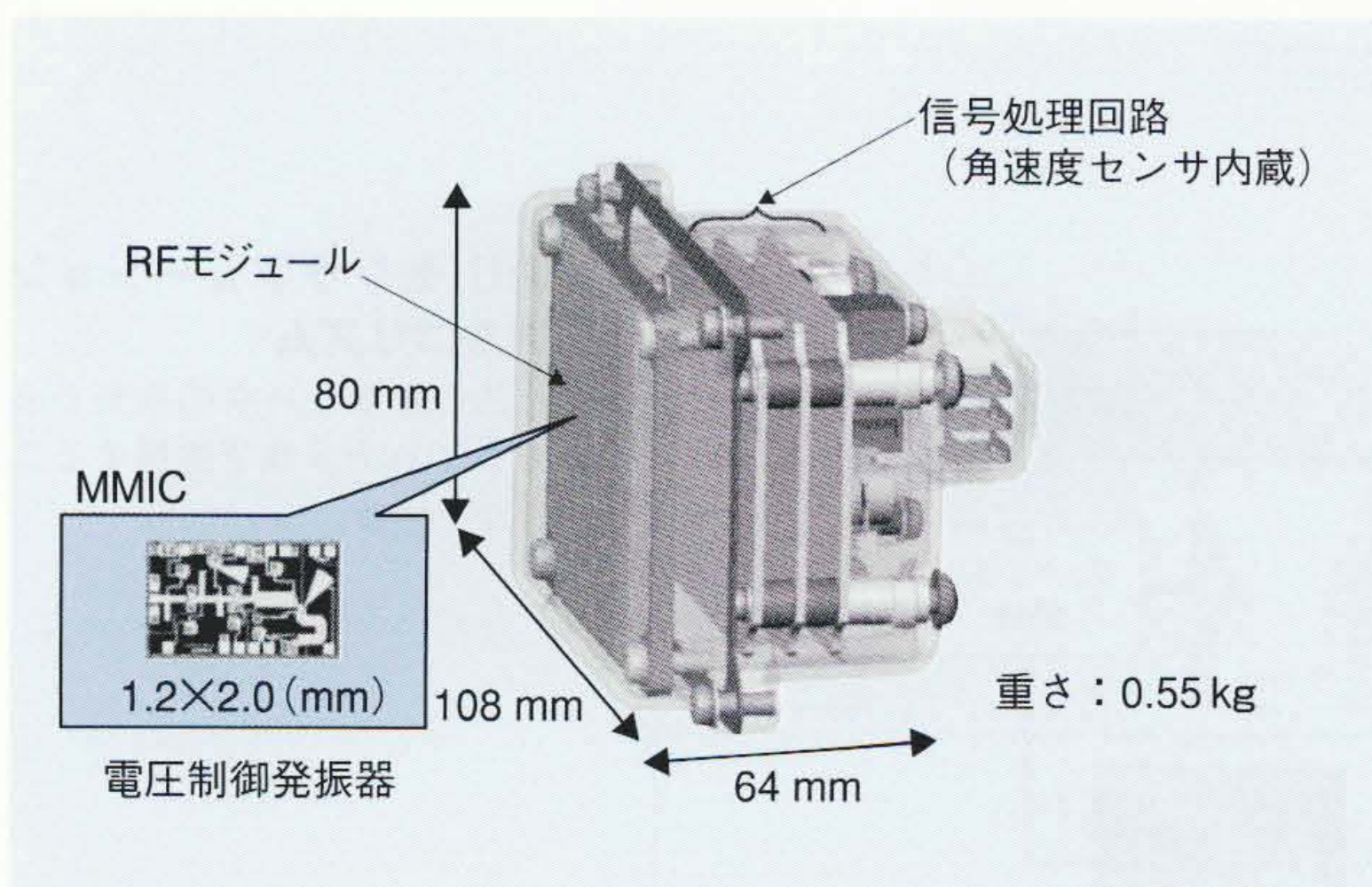
ミリ波レーダは、日本・米国・欧州で自動車レーダ用途に割り当てられた76 GHz帯の電波(ミリ波)をターゲットに放射し、受信した反射波を信号処理することにより、ターゲットとの相対的な距離・速度・方向を測定するものである。

日立製作所は、1ユニットの中でミリ波の送受信と、距離や方向の演算を行う小型レーダを開発した³⁾。このレーダの内部構造とミリ波帯半導体(MMIC: Microwave Monolithic IC)を図3に示す。

レーダは、ミリ波の送受信を行うRF(Radio Frequency)モジュールとIF(Intermediate Frequency)帯のビート信号を取り扱う信号処理回路で構成する。信号処理回路では、DSP(Digital Signal Processor)を用いたFFT(Fast Fourier Transform)処理により、ターゲット候補のピーク信号を検出し、その後、各種のフィルタ処理によってターゲットを特定する。また、ユニットに内蔵した角速度センサの信号と車速信号を組み合わせ、ターゲットの車線判断を行う。

変調方式は、76.5 GHzを中心に、約300 kHzの狭帯域内で二つの周波数を時分割で切り替える二周波CW(Continuous Wave)方式を採用した。これにより、1 mからの近距離検知が可能になり、ACCだけでなく渋滞追従にも適用できるようになった。また、他のミリ波レーダとの干渉に対するロバスト性も高めた。角度検知には、車載時の信頼性向上を目的として、アンテナのスキャン機構が不要なモノパルス方式を採用した。この方式は、二つの受信アンテナによるステレオ効果を利用してターゲットの方向を測定するものである。モノパルス方式は、検知角度を広くするほどアンテナサイズが小さくなり、広い角度範囲の複数ターゲットを同時に検出できるという特徴を持つ。

RFモジュールは、3種4チップのMMICと平面回路で構成し、従来の導波管回路方式に比べて大幅な小型・軽量化を図った。さらに、モジュール内部の送受信間の干渉を防止す



注：略語説明 RF(Radio Frequency)

図3 ミリ波レーダの内部構造とMMIC

新開発のMMIC採用によって小型・軽量化を図った。

るための周期構造フィルタ、発信器の位相雑音を低減するための共振器、MMICの気密封止構造などの新技術を採用し、性能と信頼性を向上させることができた⁴⁾。

これらの技術開発により、水平方向の検知範囲16度、最大検知距離120 m以上のレーダ性能を達成している。

3.1.2 今後の展開

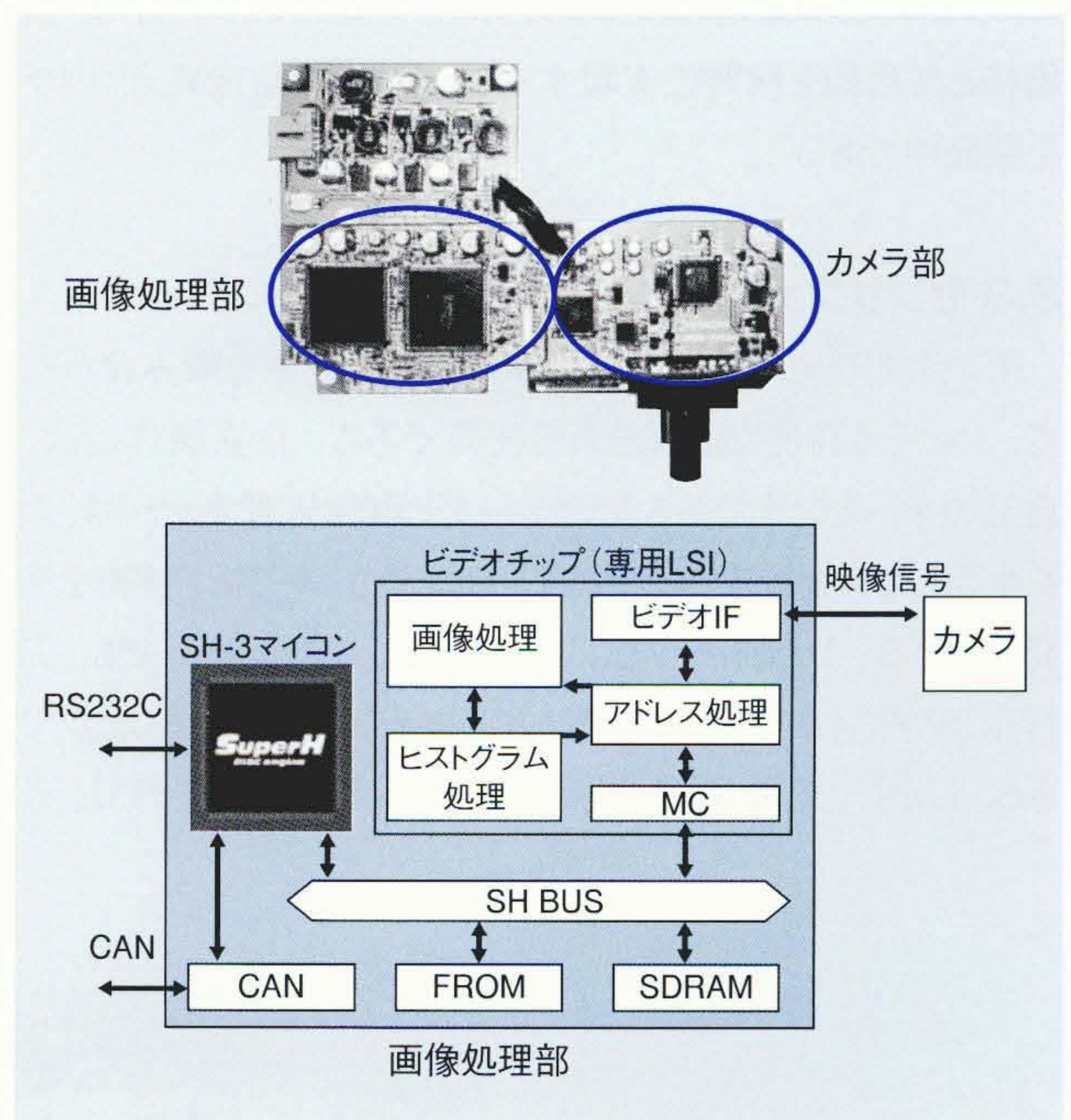
今回開発したミリ波レーダは最初に、プロの運転者が運転する国内トラック用の車間距離警報用センサとして製品化し、さらには海外のトラックや、国内の乗用車にも搭載される予定である。また、広角化による後側方検知用途への展開も計画中である⁵⁾。

3.2 画像処理カメラ

3.2.1 特徴

画像処理カメラは、CCD(Charge Coupled Device)素子などで撮像した前方路面の映像を信号処理することにより、走行車線、先行車などを認識するものである。日立製作所は、上記認識を行うための小型画像処理カメラを開発し、これは、2001年1月に発売された日産自動車株式会社「シーマ」のレーンキープシステム用車線認識センサとして採用された。この製品の外観写真とブロック図を図4に示す。

ハードウェアはカメラ部と画像処理部で構成し、撮影された映像はカメラ部でデジタル化されて、画像処理部に送られる。



注：略語説明

IF(Intermediate Frequency)

MC(Memory Controller)

CAN(Controller Area Network)

FROM(Flash Read-Only Memory)

SDRAM(Synchronous Dynamic Random Access Memory)

図4 画像処理カメラの外観写真とブロック図

ビデオチップとSH-3マイコンの機能分担により、高速処理と汎(はん)用性を両立させた。

画像処理部には、高速画像処理(60 MHz/画素)を行う専用LSI(ビデオチップ)と、車線認識などのアプリケーションを実行する32ビットSHマイコンを搭載し、それぞれのプロセッサの機能分担によって高速処理と汎(はん)用性を両立させた⁶⁾。

3.2.2 米国への展開

製品化した車線認識カメラは、比較的車線が明瞭な国内の高速道路での認識を前提としていたが、これを車線逸脱警報システムへのニーズが高い米国に適用するためには、白線以外のレーンを認識するためのロジックが必要となる。特に、カリフォルニア州では、“ボツドツツ”と呼ばれる道路鋳(びょう)が敷設されている路線が多い(図5参照)。路面とボツドツツとのかすかな濃度差を検出するためには、エッジ点として抽出するしきい値を、従来の白線処理に比べて十分に下げる必要がある。しかし、その結果、ノイズ成分が多く含まれることになった。このノイズを除去するために、エッジ点の角度を算出しておき、この情報を利用するレーンマーク認識アルゴリズムを新たに開発した。このアルゴリズムによるボツドツツの認識例を同図の(a)～(d)に示す⁷⁾。

3.2.3 今後の展開

画像処理カメラについては、上述した性能の向上と同時に、いっそうの小型・低価格化も期待されている。そのために、CCDおよび周辺の映像系回路をCMOS(Complementary Metal Oxide Semiconductor)化、エンジンコントロールにも使用されているメモリ搭載型高信頼シングルチップマイコンの採用、および新たな画像処理LSIの開発などを進めており、小型・低価格と高信頼を同時に実現することができる画像処理カメラを開発中である⁸⁾。

3.3 センサフュージョン

センサフュージョンは複数の環境認識センサを組み合わせ、いっそう高度な認識を行う技術である。日立製作所は、自社のキーセンサであるミリ波レーダと画像処理カメラの特徴を生かして、先行車の認識を行うセンサフュージョン技術を開発している。ミリ波レーダは、雨や霧などの悪天候下でも、先行車との相対的な距離・速度・方向を正しく計測することができる。しかし、その反面、視野角が20度以下と狭いので、直



図5 米国ボツドツツレーンの認識

新アルゴリズムによってボツドツツレーンを認識することができた。

前に割り込む車の検知が遅れがちになったり、曲率の小さなカーブ路では、自車線内であっても先行車がレーダの視野から外れる場合がある。

一方、画像処理カメラは、広い視野で先行車などを検知するだけでなく、車線、道路形状などの平面ターゲットの検知をすることもできる。しかし、高い精度でのターゲットとの距離や相対速度の計測は困難である。

今回開発したセンサ フュージョン アルゴリズムでは、各センサの視野の違いを利用して、先行車がミリ波レーダの視野内に存在する場合には、レーダで距離や方向を計測し、同時にレーダで計測した先行車の位置にあるパターンを、画像処理カメラに先行車として認識させる。その後、先行車がレーダの視野外に移動した場合には、カメラに認識させた先行車を追尾させる。レーダとカメラの両方で検出可能な領域では、どちらか一方のセンサが先行車を見失っても、他方のセンサがカバーするので、認識の信頼性の向上を図ることができる(図6参照)⁹⁾。

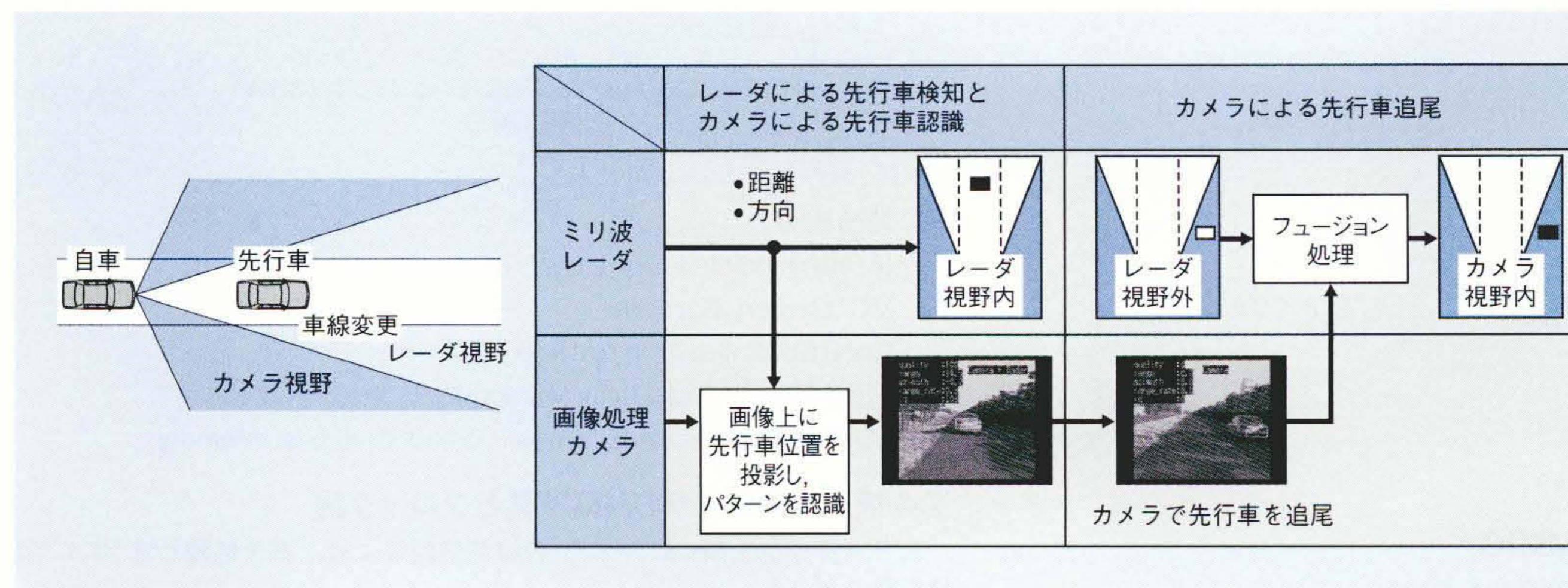


図6 センサフュージョンアルゴリズム

先行車がレーダの視野から外れてもカメラで追尾することができる。

車両走行制御システムは、利便を目的とする現在のACCシステムから、安全を指向する衝突速度低減システム、さらには衝突回避システムへ発展するものと予想される。これに伴って環境認識センサにも、さらに高度な性能や信頼性が要求されてくるものと思われる。今後は、これらのシステム要求も勘案したセンサを開発することが必要である。

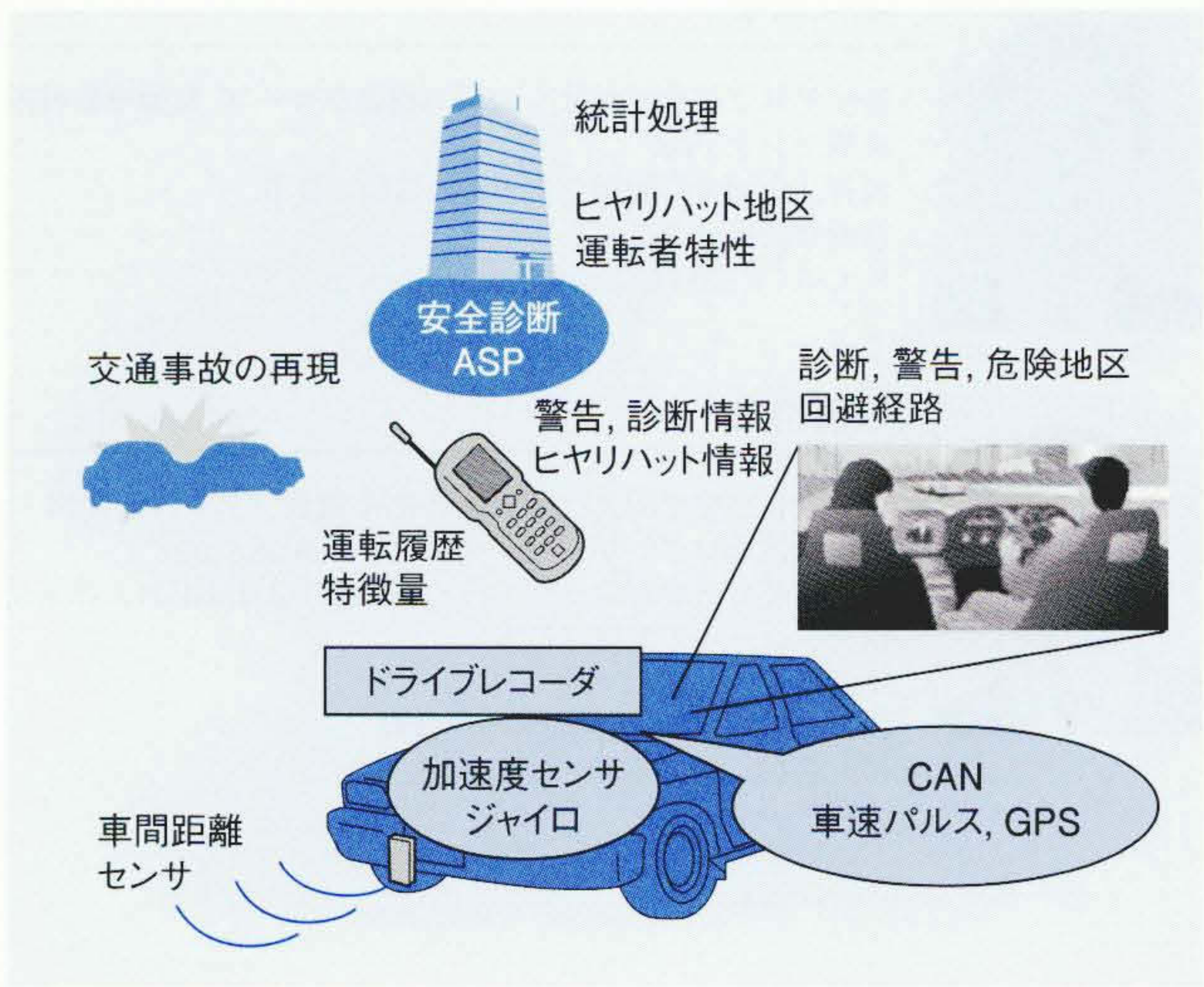
4 車両走行制御と情報システムの連携

自動車の走行制御システムと情報システムの連携により、車の運転情報が収集可能となり、これらの情報を活用することで、各種のビジネスを展開することができる。ここではその一例として、日立製作所が取り組んでいるドライブレコーダサービスについて述べる。このドライブレコーダサービスでは、車両走行情報を記録して解析することで、運転者の運転特性や走行地区の安全性を診断することができるようになる。

4.1 ドライブレコーダ

自動車の走行制御やナビゲーションシステムとの連携により、ドライブレコーダには以下のような車両情報を取り込むことができる(図7参照)。

- (1) 車間距離センサによる前方車両との車間距離
- (2) GPSによる車両走行地区、車両絶対速度
- (3) 車速パルスによるタイヤ速度
- (4) 加速度センサによる加速度
- (5) ジャイロによるロール、ヨー、ピッチ角速度



注：略語説明ほか
CAN(Controllor Area Network)
GPS(Global Positioning System)
ヒヤリハット(運転者が危険な場合に出会い、ひやりとしてはっとする状況)

図7 ドライブレコーダ
車両走行情報を解析することで、運転者の運転特性や走行地区の安全性を診断することができる。

表1 車両情報を用いた運転特性の解析項目
各種サービスの目的に合わせた解析をすることができる。

解析項目(特徴量)	センサ情報	概 要
加速度歪(わい)度	縦加速度	ブレーキ、アクセル操作の強弱や偏りの性格
追従特性タイプ	車間距離、速度	車間距離一定か車間時間一定かの性格
フラクタル次元	速度	速度一定を意識して走行しているか、外乱が多い場所を走行しているか。
ヒヤリハット地区抽出	位置、加速度 ジャイロ	急加速・減速、急ハンドル頻発箇所

4.2 ドライブレコーダの解析技術

前述した車両情報を基に、IT技術を活用することで、解析項目のサービスが実現できる(表1参照)。各解析項目について、以下に述べる。

加速度歪(わい)度^{※)}とは、縦加速度の3次モーメント和として定義され、ブレーキを強く掛ける傾向の人(車間距離が短くなるまでブレーキをかけない運転者)は歪度が負に、アクセルを強く踏む傾向の人(発進時に加速を急に行う運転者)は歪度が正となることがわかった。この加速度歪度を用いると、運転性格の判定をすることができるようになる。この値が0に近いほど、良好な運転者と言える。

追従特性タイプでは、車間距離を一定に保って走行するタイプか、車間時間(車間距離を速度で割った値)を一定に保って走行するタイプかを判定する。これは、追従走行時の車間距離と速度によって判定することができる。前者のタイプは高齢者に多く、事故を起こしやすいことが知られている¹⁰⁾。

フラクタル次元とは、曲線(時系列)の複雑さを示す指標である。速度の時系列は、運転者が自由走行時に周囲を意識せずに走行すると、ブラウン運動になる傾向がある。運転者が意識して速度を一定に保とうとすると、速度時系列のフラクタル次元がブラウン運動より低くなり、外乱が多い場合(渋滞、信号機による発進停止や、ヒヤリハット状態の多発)は、速度時系列のフラクタル次元がブラウン運動よりも高くなる傾向があることがわかってきた。したがって、速度時系列のフラクタル次元により、運転者が速度を一定に保つことを意識して運転しているか、外乱が多い状態で運転しているかの判定ができることになる。

最後に、ヒヤリハット地区抽出について述べる。加速度センサとGPSによって急加速・減速地点が、ジャイロによって急ハンドル地点がそれぞれ判定できるので、さまざまな車の急加速・減速、急ハンドル地点の情報を安全診断ASP(Application Service Provider)に集めることができる。この急加速・減速、急ハンドル地点が頻発する地点を統計的に集計し、ヒヤリハット地点と見なして地図に自動登録することができる。

※) 歪(わい)度：分布の平均値周辺での両側の非対称度を表す値

4.3 ドライブレコーダの応用サービス

これらの解析技術を用いることで、運転者に危険状態を警告したり、運転診断、ヒヤリハット地区を回避する経路選択などのサービスを実現することができる。

危険状態の警告は、運転中もしくは運転終了後に、運転者へメッセージを送ることによって行う。この場合の危険状態とは、追従走行時に車間距離が短すぎる場合と、ヒヤリハット地区を走行している場合である。

運転診断は、加速度歪度、追従特性タイプによって運転特性を分けることができる。また、ヒヤリハットの状況の多さということで、フラクタル次元による走行状態の診断を行うことができ、いっそう安全な経路を誘導するサービスを実現することができる。

5 おわりに

ここでは、自動車の走行制御と情報システムの開発動向、それに対応する日立製作所の取り組みと将来の展望について述べた。

新しく実用化された車間距離制御システムや、車線維持走行支援システムをはじめとする自動車の走行制御システムは、車内外の通信技術の発達と合わせ、インフラストラクチャーを含む情報システムと融合しながら発達していくものと考えられる。

これらのシステムを実現するためには、各コンポーネントの

開発、とくに環境認識センサの高性能化が重要である。また、これらセンサで収集した情報をいかに活用していくかが、システムの普及・拡大のかぎになるものと思われる。

日立製作所は、今後も、車載のコンポーネントとインフラストラクチャーを融合させ、自動車の乗り心地と安全性を向上させるシステムや、サービスの開発に取り組んでいく考えである。

参考文献など

- 1) <http://www.mlit.go.jp/jidosha/anzen/chuu/00asv/index.html>
- 2) 白井, 外: ITS小特集, 電子情報通信学会学会誌 (2000.7)
- 3) H. Kuroda, et al.: Fully-MMIC 76GHz Radar for ACC, IEEE, Intelligent Transportation Systems Conference Proceedings (2000.10)
- 4) H. Kondoh, et al.: 77GHz Fully-MMIC Automotive Forward-Looking Radar, 1999 IEEE, GaAs IC Symposium Proceedings (1999.10)
- 5) H. Shinoda, et al.: MMIC Transceiver Integrated with a Planar Antenna for Automotive Radar Applications, 2001 Microwave Workshops and Exhibition Proceedings (2001.12)
- 6) 自動車走行支援システム: 日立評論, 84, 1, 121 (2002.1)
- 7) Y. Otsuka, et al.: Multiple Lane Markers Recognition Using Local Edge Direction, IEEE, Intelligent Vehicle Symposium (IV) Proceedings (2002.6)
- 8) S. Muramatsu, et al.: Image Processing Device for Automotive Vision Systems, IEEE Intelligent Vehicle Symposium (IV) Proceedings (2002.6)
- 9) 泉, 外: ミリ波レーダとカメラのセンサフュージョンによる走行環境認識, 自動車技術会 (2000.10)
- 10) 西田: 運転シミュレータを利用した運転特性データ収集の可能性, 月間交通 (1998.10)

執筆者紹介



黒田浩司

1984年日立製作所入社, 日立研究所 情報制御第二研究部 所属
現在, 車両走行制御, ミリ波レーダの開発に従事
電子情報通信学会会員, 電気学会会員
E-mail: kurodah @ gm. hrl. hitachi. co. jp



植木信幸

1999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, 車両走行制御システムの開発に従事
自動車技術会会員
E-mail: n-ueki @ cm. jiji. hitachi. co. jp



高野和朗

1982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, 車載環境認識センサの開発に従事
日本機械学会会員, 自動車技術会会員
E-mail: k-takano @ cm. jiji. hitachi. co. jp



近藤博司

1994年日立製作所入社, 中央研究所 通信システム研究部 モバイルアナログソリューションセンタ 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
工学博士
IEEE会員, 電子情報通信学会会員
E-mail: h-kondoh @ srl. hitachi. co. jp