

特集 自動車用センサの技術動向*

The Technical Trend of Sensors for Automobiles

深谷 友次

Tomoji FUKAYA

In order to maintain various automobile systems within satisfactory parameters, many separate electronic control systems, in addition to the engine control system, are installed in automobiles and the systems are established as the sum of these elements. A key part of each electrical control system is the “SENSOR”. Dozens of different sensors on each automobile play important roles that “measure critical internal and external vehicle parameters and transmit those measurements to the vehicle’s computer modules”

This paper reviews the technical requirements of these sensors by considering the regulatory trends and the corresponding status of the control systems, etc. At the same time, the current state and future technical trends of the main sensors used in automobile control systems (broadly classified into powertrain control, vehicle control, body control and information communication) are explained.

Key words : Sensor, Electronic control, Technical trend, Regulation, Environment

1. はじめに

自動車の分野において、車両基本性能に加えて、エミッション低減や安全性、快適性、利便性などを向上させるためにさまざまな技術的改良がなされてきた。こうした自動車の進化を地味ながら支えてきたのがセンサである。画期的な電子制御システムには、いつもキラリと光るセンサが存在する。環境・エネルギー問題への対応などで、センサへの期待はますます大きくなってきており、今や自動車1台当たり数十種類のセンサがキーパーツとして使用されている。本稿では、主な自動車用センサの現状と今後の技術動向について概説する。

2. 自動車用センサの技術的ニーズ

2.1 取り巻く環境の変化と制御システム対応

今日の環境問題は、都市における大気汚染、水質汚濁、騒音といった局地的な問題にとどまらず、オゾン層破壊や酸性雨、地球温暖化現象など国境を超え、地球規模の広範囲な問題となってきている。自動車の排出ガスが地球環境に悪影響を及ぼしていることは、酸性雨や光化学スモッグとの関連からも明らかであり、地球環境保全に向けて自動車の排出ガスをクリーンにすることは、急務である。自動車からの排出ガスは、Fig. 1に示すように、給油時のベーパーとエバポエミッション（燃料蒸発ガス）及びテールパイプエミッション（排気管から放出されるガス）の総和で表わされる。世界で最も厳しい自動車の排出ガス規制を実施している米国カリフォルニア州における規制動向を

Fig. 2に示すが、HC（ハイドロカーボンー炭化水素化合物）、CO（一酸化炭素）、NOx（窒素酸化物）の排出量規制レベルは、最近の10年間で大幅に厳しくなっている。低公害車の更なる普及が予想され、ZEV（ゼロエミッション車）に向けて、HEV（ハイブリッド電気自動車）の実用化が進められるとともに、燃料電池を用いたEV（電気自動車）の研究に拍車がかかっている。

エネルギー問題では、資源の枯渇問題から、省エネルギーすなわち自動車の燃費向上が今後ますます重要になってくることが予想される。また、前述の地球温暖化防止のために、1997年の地球温暖化防止京都国際会議では、先進国全体で最低5%のCO₂削減目標が議定書として採択された。温室効果ガスであるCO₂（二酸化炭素）を低減させる必要性からも、日米欧各国にてTable 1のような自動車の燃費規制目標基準値が定められ、燃費向上への取り組みが進められている。

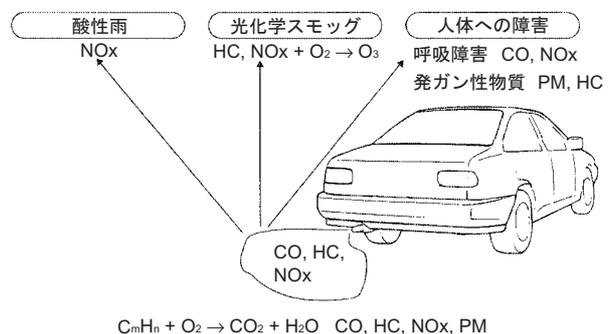
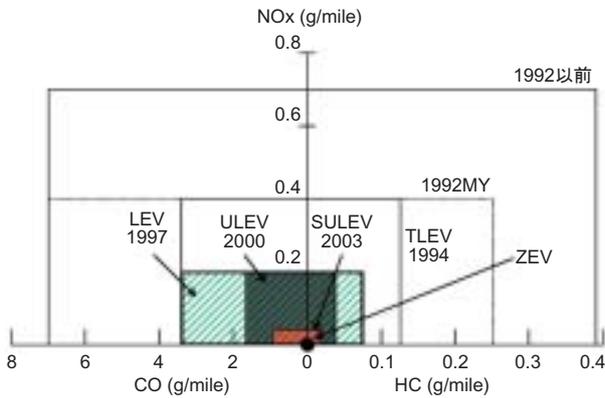


Fig. 1 Influence of automotive emission gas

* (社)自動車技術会の了解を得て、「自動車技術」Vol. 56, No. 4, 2002より一部加筆して転載



認証（新車時）基準

- TLEV (Transitional Low Emission Vehicle : 低排出ガス移行車)
 - LEV (Low Emission Vehicle : 低排出ガス車)
 - ULEV (Ultra Low Emission Vehicle : 超低排出ガス車)
 - SULEV (Super Ultra Low Emission Vehicle) → 12万マイル時の規制値
 - PZEV (Partial Zero Emission Vehicle) → SULEV規制値を15万マイル時まで満足
 - ZEV (Zero Emission Vehicle : ゼロエミッション車)
- } 5万マイル時の規制値

Fig. 2 Trend of automotive emission regulations in California State (USA)

Table 1 Trend of fuel economy regulations in various countries

単位：km/L			
車種	ガソリン車	ディーゼル車	備考
日本	12.3 (1995 実績) 15.1 (2010 予測)	10.1 (1995 実績) 11.6 (2005 予測)	乗用車+ 2.5t以下貨物車
米国	11.6 (2001)	11.6 (2001)	CAFE 27.5mile/gallon
欧州	14.1-14.5 (2003) (CO ₂ 165-170g/km) 17.1 (2008) (CO ₂ 140g/km)	15.7-16.1 (2003) 19.0 (2008)	各国の試験走行 モードは異なる

2.2 センサの技術的ニーズ

Fig. 3に示したさまざまな自動車の技術課題のなかで、特に地球環境問題、エネルギー問題は、自動車関連技術者が克服すべき最大の課題といえる。地球環境保全及び省エネルギー・燃費向上は、排出ガス浄化システムやガソリン直噴希薄燃焼システムのような制御システムで対応してきており、パワトレイン制御システムの体系に位置づけられる。一方、安全性、快適性、利便性向上のニーズは、車両制御、ボデー制御、情報通信システムと関連づけられる。車載センサは、これらの制御システムに必要な検出感度・検出精度・応答速度などの機能を自動車の過酷な使用環境において維持することが要求され、耐熱性や耐振動性などの信頼性確保も不可欠である。また大量生産される自動車の部品という観点から製造のしやすさや経済性も重要な要件として挙げられる。

2.2.1 検出対象の拡大・複合化

より精密かつ高応答の制御システムを成立させるためには、センサの技術レベル向上が必要不可欠であり、センサ性能に左右されるといっても過言ではない。センサ検出対象はより拡大しており、一つのセンサが複数の情報を処理する複合センサのニーズも高まっている。例えば、排出ガス浄化システムで用いられる排ガスセンサは、排出ガス中酸素濃度を検出するものであるが、排出ガス浄化システムの更なるレベル向上のために、燃料リッチ領域での未燃ガス（HC）濃度やNO_x濃度も同時に検出する複合センサの開発が進められている。

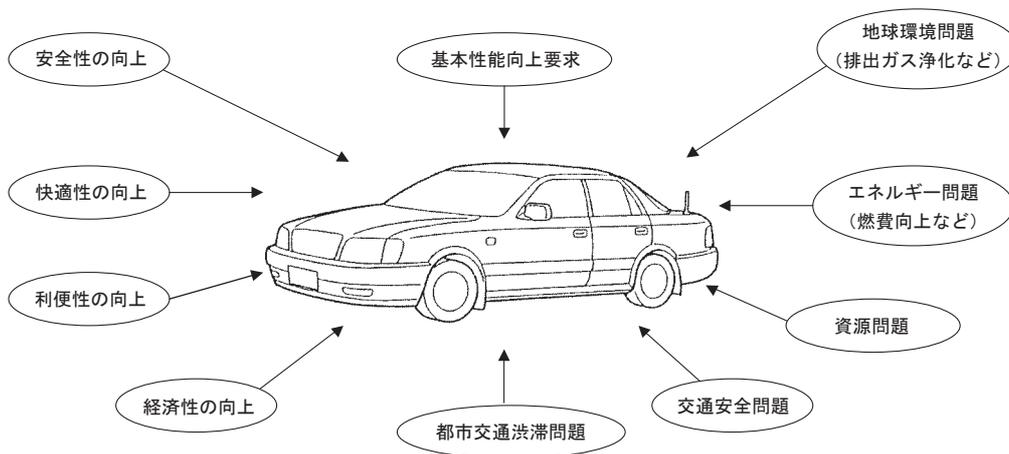


Fig. 3 Main technical subject of automobiles

2.2.2 センサ材料の変遷

センサに使われる材料は、金属やセラミックスの他に半導体の使用が多くなってきている。例えば、車体の速度変化を検出する加速度 (G) センサにおいても、ひずみゲージ材料として、従来の金属抵抗体からシリコン半導体へと変えることでゲージ率を50倍程度上げることが可能となり、センサ検出精度の大幅な向上につながった。

2.2.3 作動原理・変換機能の多様化

センサを変換機能で分類すると、Fig. 4のようになる。これは、検出したい外界の情報の種類で分けたもので、いずれも物理現象や化学現象を利用して電気信号へ変換させるものである。力学的センサは、力学的諸量を電気信号に変換するものである。力学的諸量は、機械量と流体量に分類される。機械量のうちで、幾何学量の時間的変化を運動量とよび、質量、力、トルクなどは、力学量とよぶ。自動車用として、速度センサ、加速度センサや圧力センサ、空気量センサなどが数多く用いられているが、用途に応じてさまざまな作動原理・変換機能に基づく各種センサが展開されている。例えば、空気量センサは、吸入空気量を正確に測定するものだが、従来のベーン (機械) 式センサに対して、熱式エアフローメータ、半導体式吸気圧センサなどが開発・実用化されてきた。

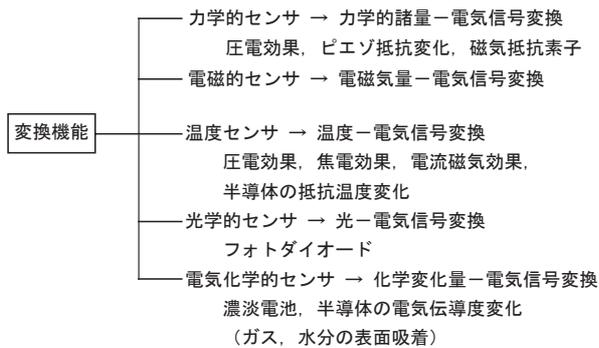


Fig. 4 Classification of signal transforming function for sensors

電磁的センサは、電磁気量を電気信号に変換するもので、電磁ピックアップの他に、磁気抵抗効果、ホール効果などを利用した半導体磁気センサなどが自動車の車速センサや回転角センサに用いられている。

温度センサは、温度を電気信号に変換するものである。使用方法から接触式と非接触式に分類されるが、自動車用の大半は、直接物体に接触して検出する接触

式を用いており、サーミスタ (温度により抵抗変化する半導体) 素子やバイメタルを適用するケースが多い。非接触式では、乗員センサとして焦電効果を利用する赤外線センサが適用例として挙げられる。

光学的センサは、光を電気信号に変換するもので、光と半導体との相互作用による電子-正孔対の発生を検出する半導体光センサが用いられる。自動車用としてはエアコン制御用にフォトダイオードを適用した日射センサが使われている。

以上の力学的センサ、電磁的センサ、温度センサ、光学的センサは、物理変化量を電気信号に変換するため総称して物理センサと呼ぶのに対して、電気化学的センサは、化学変化量を電気信号に変換するものである。自動車用としては、排出ガス中の酸素濃度を検出するためのジルコニアセラミックス製固体電解質素子を用いたO₂センサ (ガスセンサの一種) が代表例として挙げられる。

2.2.4 信号処理のインテリジェント化

センサデバイスで発生する電気信号は、微弱であったり、対象となる物理量や化学量以外のパラメータの情報を含んでいたり、非直線的であることが多いため、センサの信号処理が必要であることが多い。センサの信号処理の目的は、センサから発生する電気信号を伝送またはコンピュータが処理できる電気レベルに増幅したり、不必要な情報を除去したり、非直線性の補正を行うことにより、情報の質を高めることにある。

センサの本来の機能である物理量・化学量の変化を電気信号へ変換する処理以外に、その信号を増幅、補償する信号補正処理、信号を扱いやすい関数に変換する演算処理、制御のための情報処理、制御対象に信号を送るための制御処理が処理機能として挙げられる。

センサから伝送された信号をコンピュータが信号処理するだけでなく、最近ではセンサ側にマイコンを搭載してインテリジェント化させたスマートセンサも多数見られる。これにより、センサ自身がより高度な信号処理を受け持つことができ、センサの自己診断や自動校正、データ記憶、複合情報の提供などが可能となった。

今後、自動車用センサにおいても、このようなセンサの集積化・多機能化によるインテリジェント化の傾向が更に進むことが予想される。集積化は、多素子化、増幅器との一体化、信号処理機能の一体化、別機能素子との一体化などによって進め、小形化、軽量化、新機能化、高性能化、高信頼性化を図るものである。

Fig. 5に示した静電容量式加速度センサは、マイクロマシン技術を用いて、検出素子と信号処理ICをスタック構造として集積化したスマートセンサの一例である。この他にも半導体式吸気圧センサ（空気量センサ）や、IC磁気センサが例として挙げられる。

2.2.5 自動車用センサの分類

Table 2では、自動車用センサをパワートレイン制御、車両制御、ボデー制御、情報通信の四つの制御システムに用いられる主なセンサについて、変換機能別に分類整理してある。これらの制御システムに用いられる主なセンサについて以下に解説していく。

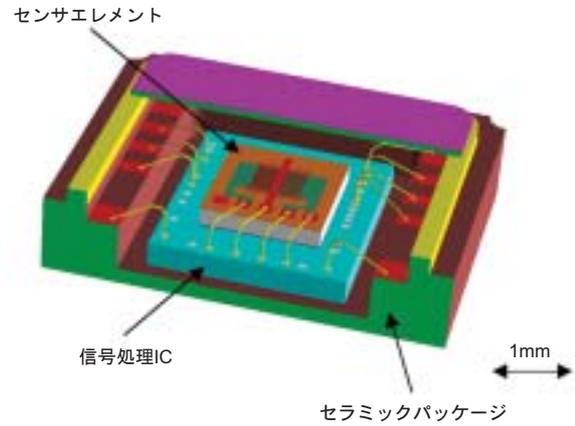


Fig. 5 Structure of capacitive acceleration sensor

Table 2 Classification of typical automotive sensors

対応制御システム		パワートレイン制御	車両制御	ボデー制御	情報通信	
自動車の技術開発課題		地球環境保全, 省エネルギー	基本性能向上			
ニーズ		排出ガス浄化, 燃費向上	安全性向上, 快適性向上		利便性向上	
システム例		<ul style="list-style-type: none"> ・ガソリン燃料噴射制御 ・空燃比フィードバック制御 ・希薄燃焼制御 ・ガソリン直噴制御 ・ガソリン点火時期制御 ・ディーゼル燃料噴射制御 ・アイドル回転数制御 ・オートマチックトランスミッション 	<ul style="list-style-type: none"> ・サスペンション制御 ・定速走行制御 (オートドライブ) ・アンチロックブレーキ (ABS) ・トラクションコントロール ・走行姿勢制御 (4WS, VSC) 	<ul style="list-style-type: none"> ・オートエアコン ・空気清浄 ・エアバッグ ・デジタルメータ ・ライト ・前方後方監視 	<ul style="list-style-type: none"> ・パーソナル無線 ・ナビゲーション ・自動車電話 ・自動車TV ・VICS対応ナビゲーション 	
物理センサ	力学的センサ	距離		・レーザーレーダ	・超音波 ・レーザーレーダ ・CCD	
		位置・角度	・スロットル開度 ・アクセル開度	・ステアリング ・車高 ・スロットル開度	・エアミクスダンパ ・ポテンショ	
		加速度・振動	・ノック	・加速度	・加速度 ・セイフティング ・衝突検知	
		角速度		・角速度 (ヨーレート)		・ジャイロ
		圧力	<ul style="list-style-type: none"> ・エンジン吸気圧 ・大気圧 ・タンク内圧 ・燃料圧 ・燃焼圧 	・ブレーキ圧	<ul style="list-style-type: none"> ・エアコン冷媒圧 ・タイヤ空気圧 	
	流量	<ul style="list-style-type: none"> ・空気量 (エアフローメータ) ・目詰り 				
	電磁的センサ	位置・回転速度	<ul style="list-style-type: none"> ・車速 ・クランク角 (位置) ・カム角 (位置) ・回転数 	<ul style="list-style-type: none"> ・車輪速 ・車速 	<ul style="list-style-type: none"> ・オートマチック回転 ・車速 ・プロペラシャフト 	<ul style="list-style-type: none"> ・地磁気 ・車速
		電波			・キーレス用アンテナ	<ul style="list-style-type: none"> ・ラジオ用アンテナ ・GPS用アンテナ ・VICS用アンテナ ・自動車電話用アンテナ
	光学的センサ	光	・エンジン着火時期		<ul style="list-style-type: none"> ・日射 ・光 (コンライト) 	
	温度センサ	温度	<ul style="list-style-type: none"> ・エンジン水温 ・燃料温 ・吸気温 ・排ガス温 		<ul style="list-style-type: none"> ・内気温, 外気温 ・エバポレータ出口温 ・水温 ・オートマチック油温 ・乗員 	
化学センサ	電気化学的センサ	ガス濃度	<ul style="list-style-type: none"> ・O₂ (酸素) ・A/F (空燃比) ・HC, NOx 		<ul style="list-style-type: none"> ・スモーク (車内煙) ・ガス (CO) ・湿度 	

3. 自動車用センサの現状と今後の技術動向

3.1 パワトレイン制御システム

パワトレイン制御とは、燃料噴射制御、点火時期制御、アイドル回転数制御などの、各種エンジン制御ならびにトランスミッションなどの動力伝達系の制御を合わせたものであり、エンジンを最適状態で作動させるものである。

特に環境問題、エネルギー問題への対応は、例えば、Fig. 6に示したようなガソリンエンジン制御システム技術により、排出ガス浄化や燃費向上がなされてきた。

燃料噴射制御では、吸入空気量を基準として空燃比を制御することから、スロットル開度とエンジン回転数から空気量を推定するが、空気量センサは、この吸入空気量を正確に測定するものである。熱式エアフローメータの他に、ベーン（機械）式センサ、半導体式吸気圧センサなどが用いられる。インジェクタの燃料噴射量は、空気量から決められるが、両者の計量誤差は、理論空燃比からのずれを生じさせる。このずれを検出して三元触媒のウィンドウの中心に入るように噴射量を補正するのが空燃比フィードバックシステムであり、この補正信号をコンピュータへ送るのが、排出ガス中の酸素濃度を検出するO₂センサである。また、O₂センサはOBD（On Board Diagnosis）で触媒などのエミッション関連部品の劣化を検出して自己診断するための情報提供の役割も担っている。

より厳しくなる自動車排出ガス規制に対応するために、従来のコップ形状の検出素子のO₂センサから早期活性（速熱性）の点で構造上高いポテンシャルを有する積層形状のO₂センサが開発・実用化された。更に理論値からの空燃比のずれ量を検出するA/FセンサとO₂センサを組み合わせる精密空燃比制御システムにおいても早期活性のために積層A/Fセンサ化が進められている。

ガソリンエンジンの点火時期制御でも、排出ガス浄化と燃費向上に寄与している。エンジン回転数、ピストン位置検出を行う回転角センサであるクランク角センサ・カム角センサは、従来の電磁ピックアップから制約の少ないホール効果や強磁性体磁気抵抗素子（MRE）を利用する磁気センサへと展開が進んでいる。また、この他にも、圧電効果を利用するノックセンサなどが用いられている。

ディーゼルエンジンの電子制御は、スロットル開度センサ、回転数センサ、クランク角センサなどを用いて、燃料噴射量、燃料噴射開始タイミング、吸気絞りなどを制御している。コモンレールタイプ（蓄圧式）では、180MPaまでの高圧を検出するコモンレール圧センサが用いられ、ほぼ全運転領域で一定の噴射圧力が得られるため制御性が向上して、スモーク排出、騒音、振動などを改善している。

電気自動車では、メインバッテリーの充放電電流を検

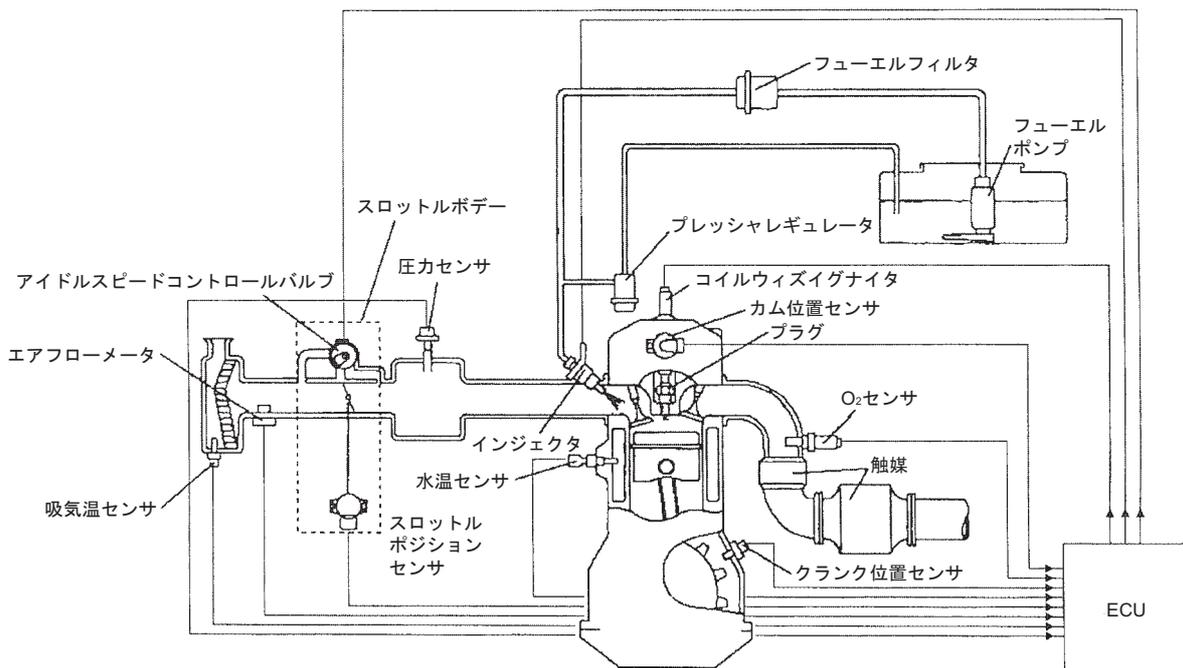


Fig. 6 Composition of gasoline engine control system

出する電流センサが特徴的である。また、エンジンの電子スロットル制御と同様に、ドライバの直接のアクセル操作によらない駆動方式をとっており、アクセルセンサを介してモータへ情報を送り制御している。

3.2 車両制御システム

車両制御とは、自動車の基本性能である「走る」、「曲がる」、「止まる」という動作を電子制御して、応答性、操縦安定性、快適性などを改善するシステムである。車両制御には、サスペンション制御、ステアリング制御、ABS制御、定速走行制御、トラクション制御、四輪操舵(4WS)制御、車両姿勢制御(VSC)システム、更には、それらを組み合わせて新しい機能を生み出すものなどがあり、車高(ハイト)センサ、ステアリングセンサ、車速センサ、車輪速センサ、加速度センサ、角速度(ヨーレート)センサなどが用いられる。このうち、車輪速センサの情報は、車両制御システムの中で、ABS、トラクション制御、4WSのシステムにおいて共用で使われている。このように、一つのセンサの情報が複数のシステムで使われることも珍しくない。

ABS(Antilock Braking System)制御は、主として車両の制御時に起こる車輪のロックを防止し、車両の操舵安定性を確保するものである。車輪ロック状態は、車体速度と車輪速度を比較して間接的に検出する。ただし、車体速度を車輪速度から推定する方法では、タイヤの滑りがあるために正確さが損なわれてしまう。ABSの検出精度を上げるためには、タイヤの滑りの影響を排除できる車輪速度以外の信号による正確な対地車体速度センサの開発が期待される。

定速走行制御は、クルーズコントロールとも呼ばれており、設定された車速を保つように、スロットルバルブ開度を制御するものである。車速センサの一例としては、MREを用いたミッションの回転数を検出するものがある。

3.3 ボデー制御システム

ボデー制御とは、自動車の安全性、快適性の向上のための、エアバッグ、オートエアコン、デジタルメータ、ライト制御、後方障害物検出装置、ワイパ制御、パワーウィンドウ、ドアロックなどの電子制御をいう。

エアバッグは、自動車の衝突を加速度センサで検出して、ステアリングホイール内やダッシュボード内などに装着されたバッグに窒素ガスなどを急速充填する

ことにより膨らませ、乗員を保護するシステムである。

オートエアコンは、温度設定スイッチにより希望の温度が設定されると、車室内をその設定温度に近づけるように各種温度センサや日射センサなどで制御するシステムであり、吹出し口の温度制御、風量制御、吹出し口・吸込み口の制御、コンプレッサの制御などを行い、快適性を向上させている。また、湿度、においなども、エアコンの制御対象となるが、狭い居住空間を乗員数に応じていかに均一な環境に保つかが問題となる。

聴覚的な快適性では、車自体が出す音及び外部から入ってくる不要な音を打ち消すように、雑音に対して逆位相の音を重畳するノイズキャンセラにて対応する方法がある。

自動車に乗っている乗員の居住空間の快適性向上は、人の感性をいかに測定するかがポイントである。感性に影響を及ぼす何の因子を、どんなセンサを用いて測り、得られた信号でどのような制御を行うかは、個人の嗜好差もあるため一般解があるわけではなく、かなり難しい面がある。しかし、例えば、温度に対する感性は、外気に曝された皮膚の温度を赤外線センサで検出して温度制御を行うなどの試みもなされている。快適性の更なる向上は、人の感性をも測定可能なセンサの開発がキーテクノロジーの一つであるといえる。

3.4 情報通信システム

情報通信システムとは、車外との通信により得られたデータなどにより乗員にさまざまな情報を提供するもので、ナビゲーションや自動車電話が代表的なものである。

ナビゲーションは、自動車の現在位置や目的地への経路を表示装置の地図上に表示するもので、人工衛星からの信号による位置測定が可能なGPS方式が一般的である。電波を受信するGPSアンテナの他に、車両の方位を求める地磁気センサ、回転角速度を検出するジャイロ、車速センサなどが用いられる。位置情報に加えて、道路の渋滞情報、交通規制情報、駐車場情報なども得られるようになり、システムの活用範囲が拡大されてきた。

ナビゲーションシステムや定速走行制御システムは、交通輸送システムへの情報通信技術の利用によって支えられている。この情報通信技術の高度利用の研究は、1980年代から日本、米国、欧州で活発化し、国

内では1980年代後半からカーナビゲーションシステムの商品化が始まって、新たな道路交通情報提供サービスの可能性を示した。

情報通信システムは、現在国家プロジェクトとして推進中のITS (Intelligent Transport Systems=高度道路交通システム) 体系の中で更に進化していくことが予想される。ITSでは、道路と車 (路車間) または車と車 (車車間) を通信により有機的に結びつけ、エレクトロニクス、情報処理、通信、制御技術を交通輸送分野に総合的に適用し、安全・快適・効率的で、環境にやさしい道路交通システムの実現を目指している。ITSの推進には、道路交通に関する公共的交通機関、自動車産業、電機関連産業、情報通信産業、交通輸送産業が、さまざまな立場でかかわってくる。このような広がりをもつITSを円滑、着実に発展させるには、公的機関と民間企業の密接な協力が不可欠である。

自動車技術の目覚ましい進歩に比べて、遅れていた道路技術であったが、ITSはこの両者の差を埋めるべく次世代道路網実現のために提案されたシステムである。ITS技術分野を大きく分けると、情報網の整備と運転操作の自動化の二つに大別される。路側機 (ビーコン) と車載機とで構成される路車間通信などの情報体系や社会インフラの整備と、自動車技術のレベル向上で対応するものである。

ドライバサポートシステムとして、ABS、トラクションコントロールなどの駆動・制動系制御や、レーザレーダセンサによる定速走行制御 (レーダクルーズコ

ントロール) 及び車間距離制御システム、トランスミッション制御などは、ドライバのアクセル、ハンドル、ブレーキ操作による「走る」、「曲がる」、「止まる」の性能を、走行環境に適応して向上させ、安全かつ快適な運転の実現を間接的に支援している。自動車の安全性の飛躍的高度化をうながすために、旧運輸省により提案された先進安全自動車 (ASV=Advanced Safety Vehicle) プロジェクトのイメージを、Fig. 7に示す。

将来的にはドライバの知覚・判断のプロセスも支援して安全かつ快適に総合制御する自動運転システムへと進化させていくことが期待される。Fig. 8に自動運転システムのイメージを示すが、運転操作のプロセスは、外界からの情報を収集する「知覚」、それに基づき高度な情報処理を行う「判断」、そしてその結果に伴い行う「操作」の一連の流れがある。これまでに解説してきたさまざまなドライバサポートシステムは、この知覚、判断、操作のプロセスを支援し、ドライバの負担を軽減し、ミスカバーして、ヒューマンエラーによる交通事故などを未然に防止することを狙いとしている。ドライバの目耳に相当するセンサ、頭脳に相当するコンピュータ、手足に相当するアクチュエータの調和が大切で、カーエレクトロニクスの更なる発展がこのシステムを成立させる必要条件となる。ITS社会実現に向けて、自動車と道路側の双方で、情報収集・伝達のために、センサが“エレクトロニクスの感覚器官”としてとりわけ重要な役割を担うことが予想される。

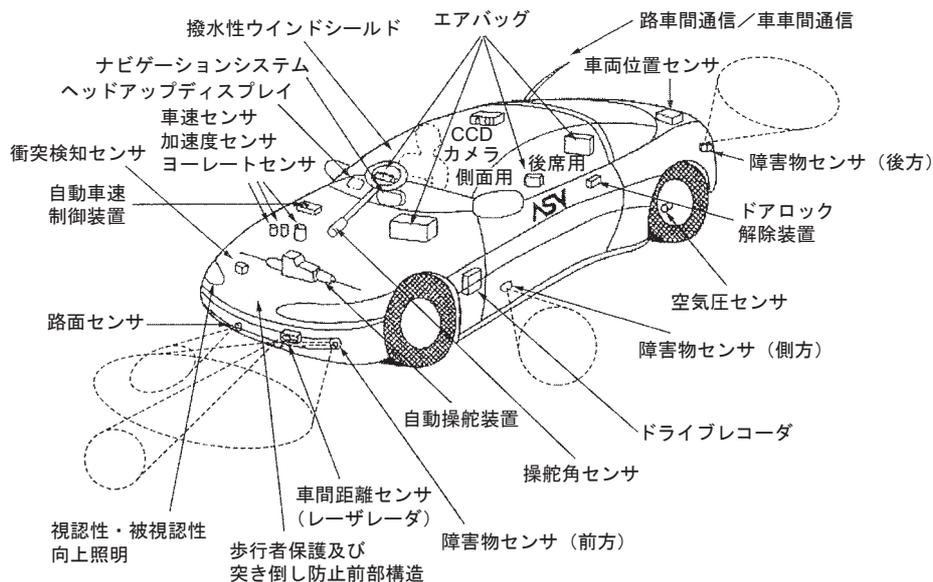


Fig. 7 Image of Advanced Safety Vehicle (ASV)

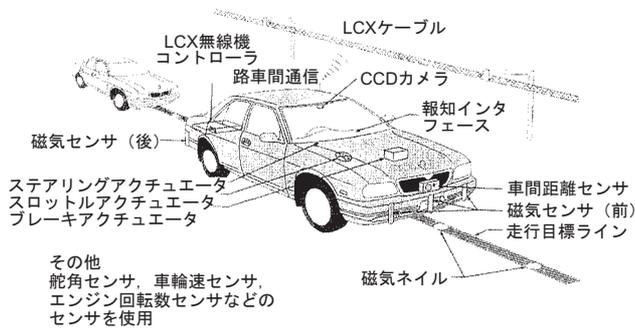


Fig. 8 Image of automatic driving system

4. おわりに

カーエレクトロニクスとともに発展してきた自動車用センサへの普遍的な要求は、新制御システムの必要な情報検出を可能にすることと、極めて過酷な車載環境下で長時間使用される中での高信頼性確保と低コスト化である。それを実現し続けるために、センサ屋は、材料・製法・機構・制御回路技術に磨きをかけるとともに、車両・システム動向も将来を見据えた画期的な新技術開発への長期的な取り組みを強化することが重要である。

一方、制御システムの高度化・複雑化が進む中で、システム全体をとおして考える全体最適化の視点がますます重要になってくると思われる。センサ屋・アクチュエータ屋・システム屋それぞれの知恵出しと賢い連係が望まれる。

<参考文献>

- 1) 太田実ほか：自動車用センサ，山海堂（2000）
- 2) 太田実，深谷友次：自動車技術，Vol.56，No.4（2002）p.4.
- 3) 水谷集治：カーエレクトロニクス総論，マテリアルインテグレーション／エレクトロニク・セラミクス，Vol.12 No.9（1999）
- 4) 衣川真澄：ガソリンエンジン制御システム（1）燃料系部品 インジェクタ，フューエルポンプ，エンジンテクノロジー，Vol.1，No.1（1999）
- 5) 水谷集治ほか：新カーエレクトロニクス，山海堂（1992）
- 6) 藤沢英也，小林久徳ほか：新電子制御ガソリン噴射，山海堂（1993）
- 7) 津川定之ほか：ITSのすべて，日本経済新聞社（1995）
- 8) デンソーサービス技報（1995-2000）

<著 者>



深谷 友次
 (ふかや ともじ)
 セラミック技術部
 品質リーダーとして品質向上活動に
 従事