

基調論文 | パワートレインシステムの競争力強化に貢献する センサ技術の動向*

Technology Trends of Sensors Contributing to Strengthening the Competitiveness of Power Train Systems

豊田 稲男
Inao TOYODA

With the strengthening of environmental regulations, such as fuel consumption and exhaust gas, various new technologies have been successively applied to practical use in power train systems. In many cases, the application of such technologies has required sensors to simultaneously monitor various events at a lot of locations throughout vehicle systems. Consequently, the number and types of sensors used in systems have increased. This paper describes (1) the application and installation method of power train sensors and (2) their technological evolution and future prospects.

Key words : Power-train, Engine, Sensor, gasoline, diesel, exhaust, fuel, CO₂, MEMS, Semiconductor, Ceramic

1. はじめに

19世紀末のダイムラの自動車用のガソリンエンジン開発以降、自動車は陸上交通の中心として、人・物の移動距離を飛躍的に広げ、人々の利便と産業の発展に貢献してきた。しかしながら自動車の動力源である内燃機関は、化石燃料を燃やし大気汚染の原因となるガスを排出し、モータリゼーションの拡大とともに、公害問題として顕在化してきた。こうした問題を解決する手段の一つとして、1970年以降、それまで機械式のエンジン制御から、電子制御によるエンジン制御技術が用いられるようになった。電子制御によるシステムでは、エンジンの各所の状態を検知し、電気信号に変換する手段として各種のセンサが使われるようになった。その後、NO_x等の大気汚染物質に対する規制の強化とともに、地球温暖化問題の点から、二酸化炭素排出量の抑制（＝燃費向上）がエンジン開発の重要なテーマとなり、一つのエンジンに使用されるセンサの種類も増加し、より高性能なものが求められるようになってきている。

2. 環境規制の動向

自動車でのセンサ用途が増えてきた背景として、世界的な環境規制の強化がある。環境規制は、大きく2つの種類に分けられる。ひとつは、NO_x, PM, HC, COなど生物に有害とされる大気汚染物質の排出を規制する排出ガス規制である。排

出ガス規制は1970年に米国で大気浄化法改正法いわゆるマスキー法が発端となり、車両各社での技術開発が進められた。その後米国のマスキー法自体は廃案となったが、日本では53年規制等、排出ガス規制が実施された。その後進化を遂げ、現在日本では、平成17年規制（新長期規制）、平成20年規制（ポスト新長期規制）といった規制が実施されてきている。欧州ではEuro Vの適用がはじまっており、今後Euro VI, VIIとより厳しい法規制が実施されていく。米国では、連邦としてTier2規制が施行されている。また、これとは別にカリフォルニア州では、独自の規制としてより厳しい規制が定められている。

環境規制のもうひとつは、地球温暖化の要因とされているCO₂排出量に対する規制である。現在自動車のCO₂排出量は、国内CO₂総排出量の約2割を占めている。自動車にとっては、CO₂排出量を減らすこと＝燃費の向上である。これに対し、日本では「エネルギーの使用の合理化に関する法律（省エネ法）」で燃費基準が定められ、国内で販売される車の燃費を公表することで自動車の燃費性能の改善を進めてきている。現在は2015年目標値が定められ、これに対する達成度が、自動車のカタログや車両本体に貼られたステッカーで示されている。欧州では、欧州議会にて、CO₂排出量を2012年から段階的に削減し、2015年までに平均130g/km以下にすることを決めた（CO₂排出量130g/kmは、ガソリン燃費で17.7km/Lに相当）。基準

*2012年9月5日 原稿受理

が未達の場合は、その量に応じペナルティが課せられるため、車両メーカーはあらゆる手段を使って燃費向上に取り組んでいる。こうした環境を背景に、パワートレインシステムに新しいシステムが次々と実用化され、使われるセンサも増えている。

3. パワートレインシステムで用いられるセンサ

Table 1は、パワートレインシステム周辺で用いられるセンサである。代表的なセンサをいくつか説明する。

Table 1 Sensors used in power train systems

センサ種類	用途	方式例
吸気圧センサ	吸入空気量を測定	半導体ピエゾ抵抗、容量変化
エアフローセンサ		ヒータ温度センサ
吸気温センサ	吸気温を測定	サーミスタ
クランク角センサ	クランク位置を測定	MRE、ホール、GMR
カム角センサ	カムの位置を測定	MRE、ホール、GMR
大気圧センサ	高地での補正	半導体ピエゾ抵抗、容量変化
A/Fセンサ	排気ガス酸素濃度測定	固体電解質
ノックセンサ	異常燃焼振動測定	ソレノイド
燃料圧センサ	燃料噴射圧測定	半導体ピエゾ抵抗

(1) 吸気圧センサ

吸気圧センサは、MAPS (Manifold Absolute Pressure Sensor) と呼ばれ、エンジンに空気を取り入れる吸気管の圧力を測定し、ECU (Engine Control Unit) では、この情報をもとに、エンジンシリンダに取り込まれる空気量を推定し、燃料の噴射量にフィードバックする (Fig. 1)。代表的な圧力検出原理は、半導体歪ゲージを用いるものであるが、エンジンシリンダに近く、燃焼ガスの回りこみもあるため、腐食性のガスに対する高い信頼性が求められる。測定する圧力としては、自然吸気エンジンでは、ほぼ大気圧 (~1Bar) 以下であるが、過給 (ターボ) エンジンでは3Bar以上の圧力で使われるものもある。また、サーミスタを内蔵し、温度検出機能を備えたT-MAPSといったバリエーションもある。

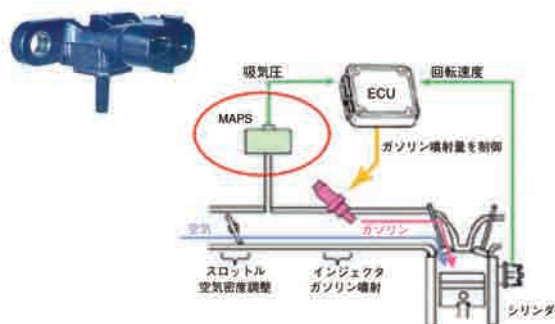


Fig. 1 Intake Manifold Absolute Pressure Sensor (MAPS)

(2) エアフローセンサ

エンジンシリンダに入ってくる空気量を検知する手段としては、前述の吸気圧センサによる方式と、エアフローセンサにより、直接空気の質量流量を測る方法がある。測定原理としては、流路中にポピンや半導体チップによる微小なヒーターと測温素子を配置し、空気流量に応じた放熱特性を使った熱式が主に使われている (Fig. 2)。エアフローセンサの場合は、スロットルの上流に配置される。吸気圧センサが圧力から空気流量を換算するのに対し、エアフローセンサでは、外から入ってくる空気量を質量重量で直接測定することができる。一方最近のエンジンでは、過給や、EGRシステムのようにエンジン内部で排気系のガスを吸気系に戻すなどガス系が複雑化しており、用途により吸気圧センサとエアフローセンサのいずれかが使われるが、両方が組み合わせられて使われる場合もある。また、エンジンのガス系の複雑化に伴い、空気の流れも複雑化し、それにより、流量の変動も大きくなってきており、より高応答、高精度な流量検出が求められるようになってきている。

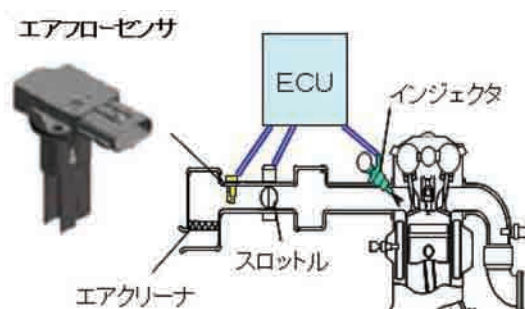


Fig. 2 Air-flow Sensor

(3) クランク角センサ

クランク角センサは、クランク軸に取り付けられたローターのギアの歯数をカウントしている (Fig. 3)。これにより、クランク軸に連結されている、各ピストンが現在どの位置にあるかを知ることができる。この情報を元に、ECUは燃料噴射や点火のタイミングを決めており、クランクセンサはエンジン制御の時計の役割を果たしている。測定原理としては、磁気抵抗薄膜 (MRE: Magneto-Resistance Effect) やホール素子が使われている (Fig. 4)。磁界のベクトルや強度を検出して歯車の凹凸を検知している。また、最近では、複数のMRE素子を組み合わせ、信号処理することで回転の方向 (正・逆) を検出できる機能も備え、機能向上が図られている。

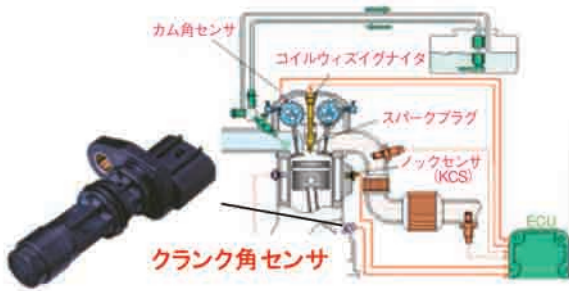


Fig. 3 Crank Angle Sensor

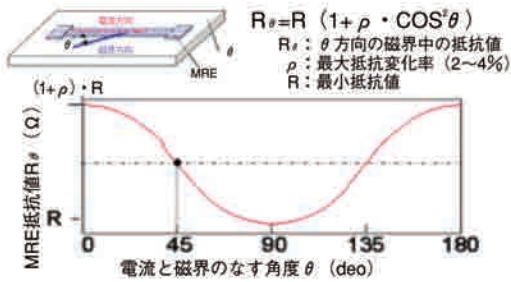


Fig. 4 Magneto-Resistance Element (MRE)

(4) その他のパワートレインシステムセンサ

これまで説明した以外にも、より緻密にエンジンを制御したり、排気ガスの流出を監視するためのセンサが使われている。圧力センサとしては、大気の高い高地での空気量補正に使われる大気圧センサ (BAPS: Barometric Absolute Pressure Sensor)、高压で燃料を噴射する直噴システムの圧力を監視する燃料圧センサ、バルブ等エンジンのサブシステムを駆動するためのエンジンオイルの圧力を監視するエンジンオイル圧センサ、排気系のDPF (Diesel Particulate Filter) のつまりを監視する排気圧センサ、燃料タンクの漏れによるHCの大気への流出防止を監視するタンク内圧センサ、排気系の触媒の早期活性化のためのエアインジェクション圧を監視等がある。また、回転系のセンサとしては、前述のクランク角センサの他にカム角センサがあり可変バルブシステム等で活用されている。ガス系では、A/FセンサやO2センサが用いられている。これらは高温排気ガス環境に直接接することから、セラミックス材料を用い、酸素濃度の差による起電力からガス濃度を検知する。このほかに油温、水温、排気温等の各種温度センサがある。

4. パワートレインセンサを支える技術

パワートレイン系で、これだけ多くのセンサが使われるようになってきた背景として、個々のセンサの小型化、低コスト化、高性能化、耐環境性能向上といった技術の進化によるところが大きい。代表的なセンサである圧力センサで、どのように技術を進化させパワートレイン分野での適用分野を拡大してきたかを述べる。デンソーでは1981年に半導体式の吸気圧センサを量産化している。半導体式では、シリコンウェハ上に数百から数千の素子を同時に形成することから、大量生産に向き、小型、低コストを実現できる。しかしながら、自動車環境はエンジンルーム等の高温環境であったり、測定各種媒体と直接接することから、そのような環境下でも、長期の信頼性が求められる。このため、半導体の素子を保護する手段が重要になる。

(1) 半導体式圧力センサ素子

半導体式の圧力センサでは、シリコンウェハ表面に一般的なIC等を作る方法で拡散抵抗を作りゲージや配線を形成する。その後、シリコンウェハの裏側をMEMS (Micro Electro Mechanical System) 加工の技術を駆使して、3次元加工を行いダイヤフラムを形成する。その後裏面にガラスを接合し、基準圧となる真空室を形成する (Fig. 5)。表面に圧力が印加されると、ダイヤフラムが歪み、歪に応じてピエゾ抵抗効果で拡散抵抗の値が変化、圧力を電圧変化に変換する (Fig. 6)。また、ウェハの表面は、ICの加工技術を使っていることから、トランジスタやメモリ構造等をチップ上に形成した1チップ集積構造も可能となっている。

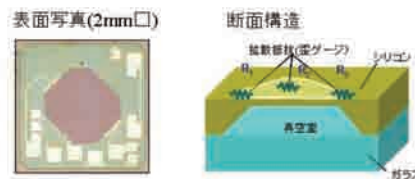


Fig. 5 Semiconductor Pressure Sensor Element

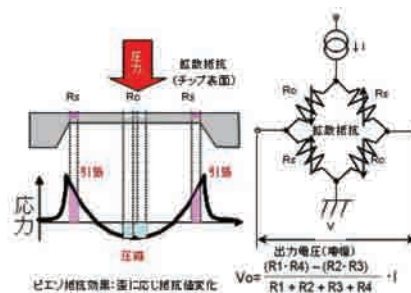


Fig. 6 Principle of Semiconductor Pressure Sensor

(2) 半導体圧力センサの適用領域の拡大

どの圧力センサも基本的な圧力検出原理は同じであるが、使用される圧力、媒体の種類（気体、液体、腐食性）等によって、センサ素子の受圧構造を最適化することで、圧力にして数十kPa以下から、200MPa以上の超高压までの4桁近い圧力レンジかつ、各種媒体の圧力検出を同一原理で実現し、半導体式圧力センサの適用範囲を広げてきた (Fig. 7).

Pressure Range	Application	Media	Structure
Low (~0.5MPa)	BAPS	Clean Gas	Front Surface Gel
	MAPS EGPS	Corrosive Gas	Rear Surface Gel
High (1~20MPa)	Engine Oil A/C CVT	Liquid	Metal Diaphragm (thin) with Oil JPL
	Brake GDI		Metal Diaphragm (thick)
Super High (20MPa~250MPa)	Common rail		

Fig. 7 Sensor Structures around Semiconductor Pressure Sensor Elements

(3) 保護構造簡素化の取り組み

これまで述べたように半導体式のセンサをパワトレインシステムで使用するためには、素子確実に保護する構造が重要であるが、一方センサの普及のためにはコストダウン、小型化が求められる。Fig. 8に、第3世代のMAPSと第5世代のMAPSの構造を示す。第3世代では、カンパッケージを用い、センサの裏面で受圧する構造であったが、新しい耐環境性ゲルを新規開発し、抵抗や配線の素子の形成してある素子を受圧面に使い、シリコンチップ内に基準真空室を形成することで大幅な部品点数の削減と小型化を実現している。

また、こうした素子保護技術はさらに進化させ、より厳しい環境である、排気圧センサ (EGPS) にまで適用範囲を広げている。EGPSでは、硬さの異なるゲルを使いゲル表面への異物や腐食物の攻撃に耐性と、内部はやわらかいゲルを使い応力を低減することで、対環境性能と高精度を両立している (Fig. 9).

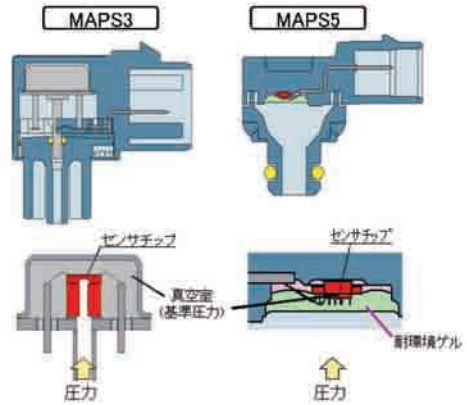


Fig. 8 Downsizing of the MAPS



Fig. 9 EGPS Structure to withstand Environment

5. システム小型化への貢献—機器組み込みセンサー

これまで述べてきたように、それぞれのセンサはセンシング部の小型化を図ってきた結果、センサ全体の中で、外部との物理的なインターフェースである圧力導入部、機械的締結部、コネクタ（電気信号）といった部分が、おおきな割合を占めようになってきた。このため、更なるシステムの小型化のため、機器組み込み型のセンサが求められるようになってきた。MAPSの受圧部のコアのみを取り出したBIPS (Built In Pressure Sensor) と呼ばれるモジュールは、燃料タンクのリークチェックモジュールやバルブアクチュエータに組み込まれて使われる。また、デンソーでは、超高压のコモンレール圧センサをインジェクタ内に組み込んだi-ARTシステムを車両用として世界に先駆け実用化している (Fig. 10).



Fig. 10 Built in Pressure Sensor

6. パワトレイン用センサの新たなニーズ

パワトレインシステムは、さらなる燃費向上、排気低減が求められてくる。また、今後の車両の伸びが期待される新興国市場においては、燃料の多様性や、使われる環境の違いへの対応も必要になってくると考えられる。大幅な燃費向上の手段としてEV、FCVといった電気モーターへ置き換わりも今後進むと思われこうした動力源では、回転や電流、トルクといった物理量の監視が重要視されてくるであろう。

しかしながら、コスト面や、インフラの普及といった点から、EV、ECVの転換には時間がかかると考えられ、内燃機関のさらなる燃費向上、排気低減の技術開発が必要と考えられる。現在、燃費向上の手段として、HV、ダウンサイジング、過給、直噴、リーン燃焼、HCCI燃焼、CNG燃料、水素燃料、といった各種の開発が世の中では行われており、こうしたエンジンにおいては、燃料を監視する燃料性状センサや、燃焼状態を監視する筒内圧センサにより、より多様な燃料への対応や、より多様な燃焼状態の監視が必要になってくることが考えられる。

7. おわりに

センサは機械の物理量を電気信号に変え、頭脳であるコンピュータとつなぐことで、複雑かつ高度な制御を実現してきた。人間では5感だが、センサは人間には感知できない物理量も感知でき、さらにパワトレインシステムを進化させる可能性があると考ええる。センサが人間の苦手な部分をサポートし、より安全で環境にやさしく、そしてなによりも運転することが楽しくなる自動車が繁栄することを願う。

<著 者>



豊田 稲男
 (とよだ いなお)
 IC技術2部 第1開発室
 圧力センサ製品の開発に従事