

自動車エンジン制御用センサ

谷本考司*
大庭彰洋*
高畑香満**

Sensors for Engine Control System

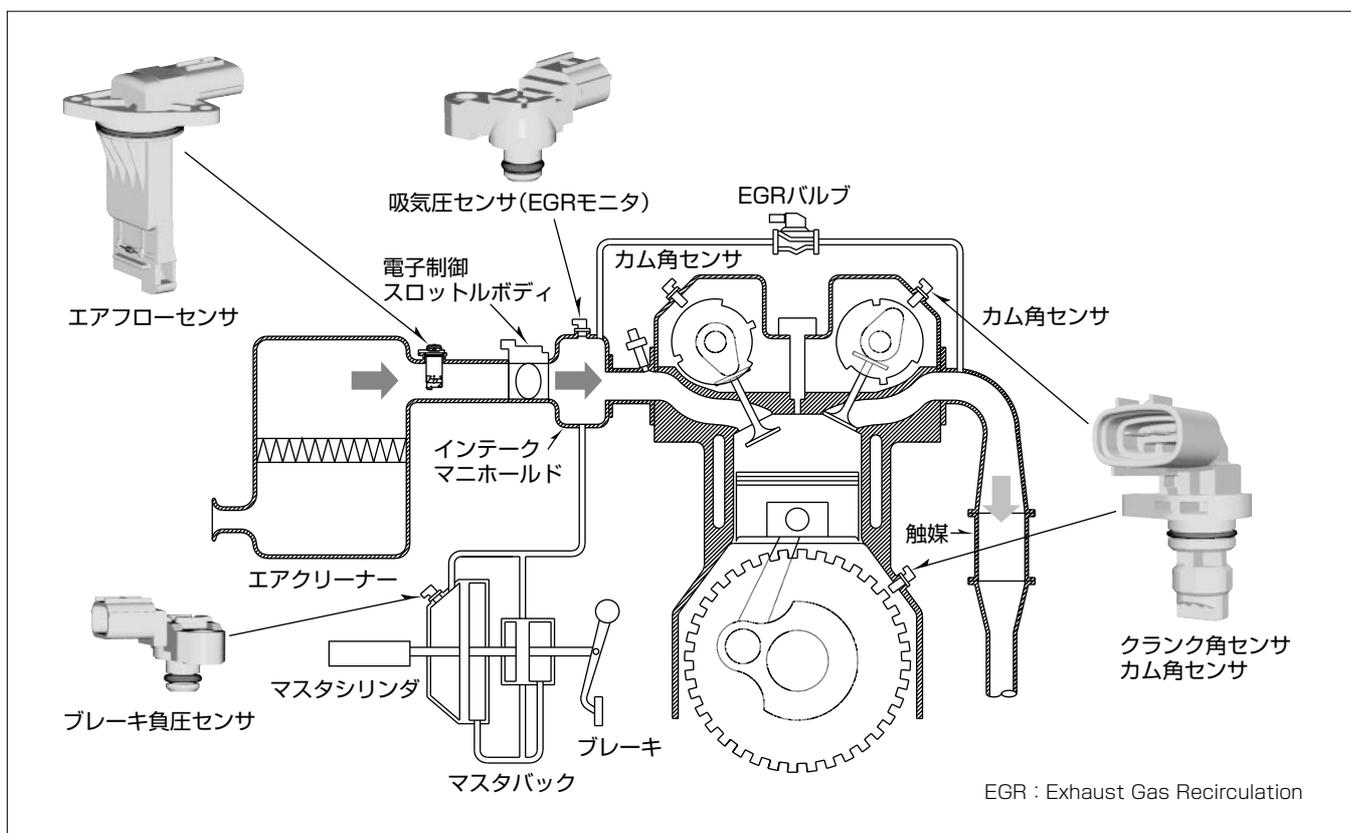
Koji Tanimoto, Akihiro Oba, Yoshimitsu Takahata

要旨

CO₂、排気ガスなどの環境規制が強化される中、自動車の高効率・低燃費パワートレインの開発が加速している。CO₂削減のための燃費向上エンジン制御システムには、エンジンや車両の状態をより正確に検出するセンサと燃費向上に有効となるエンジン制御システムが重要な課題である。

燃費向上アイテムとして普及拡大しているアイドルストップシステムでは、エンジン停止時の逆回転も検出するクランク角センサの要求が強い。三菱電機は従来の検出素子よりも高感度なGMR(Giant Magneto Resistance：巨大磁気抵抗)素子を応用した逆回転検出タイプを製品化した。GMR素子の高い感度の優位性を活用して高精度・高信頼性を実現した。

燃費向上のためのエンジンのダウンサイジング化、ポンピング損失低減に伴いスロットルが全開する運動領域が拡大し、高脈動の吸入空気量検出が重要になる。排気規制対応ではエンジン始動後早期に空燃比を制御する必要がある⁽¹⁾。これらの吸入空気量検出への要求に対応するため三菱電機は、MEMS(Micro Electro Mechanical System)技術を応用したマイクロエアフローセンサ、及び小型圧力センサを開発し、製品化した。マイクロエアフローセンサは始動時の高速応答、低消費電力という特長に加えて、脈動流及び吸気温度変化に対する検出誤差を従来比1/2に低減した。小型圧力センサは検出素子の小型化と回路の集積化によって、三菱電機従来比質量40%減を実現した。



ガソリンエンジン制御システムのセンサ

ガソリンエンジン制御システムではエアフローセンサや圧力センサでエンジンへの吸入空気量を検出し、クランク角センサやカム角センサからのエンジン状態情報を基に最適な燃料噴射量、燃料噴射タイミング、点火タイミングを決定する。どちらのセンサも小型、高信頼性、高精度化が求められる。

1. ま え が き

自動車エンジンの空燃比制御，点火時期制御をよりきめ細かく行うため，エンジン回転やピストン位置，カム角度等の回転角度，吸入空気量の高精度な検出が求められる。

三菱電機は高感度なGMR素子を応用した回転センサを世界に先駆けて^(注1)製品化以降，ゼロ回転検出，逆回転検出タイプを順次製品化している⁽²⁾。また，MEMS加工技術を応用したマイクロエアフローセンサ，及び圧力センサも小型軽量化，高精度化，低コスト化が求められている⁽³⁾。これらの課題を克服するために開発を行った。

本稿では，PWM(Pulse Width Modulation：パルス幅変調)出力方式逆回転検出GMR回転センサ，第2世代マイクロエアフローセンサ，小型圧力センサそれぞれの構造，検出方式，及び特長について述べる。

(注1) 1999年10月現在，当社調べ

2. GMR回転センサ

車載用回転センサは，エンジンやトランスミッションの動作を歯車の回転として検出する。当社は，GMR素子の適用によって，車載用回転センサの高精度・高信頼性を実現した。

また，アイドルストップシステムに好適なPWM出力方式逆回転検出GMR回転センサを開発し，2012年に製品化した。

2.1 構造と検出方式

図1はGMR回転センサの内部構成である。センサの先端部にGMR素子と磁石があり磁気回路を構成する。IC(Integrated Circuit)は過電圧・サージ保護用及びEMC(Electro Magnetic Compatibility)用チップ部品とともにパッケージ化しており，これらを樹脂で一体成形している。

図2はGMR素子の特性曲線(MR(Magneto Resistance)カーブ)である。センサ内蔵の磁石によってGMR素子にはバイアス磁界が与えられている。歯車の回転によって歯が近づくと素子に印加される磁界が大きくなり，素子の電気抵抗が小さくなる。

GMR素子はGMR膜をパターンングしたものである。GMR膜は数nmの厚さの磁性層と非磁性層を積層した多層膜で，磁性層/非磁性層界面での電子の散乱確率が磁性層

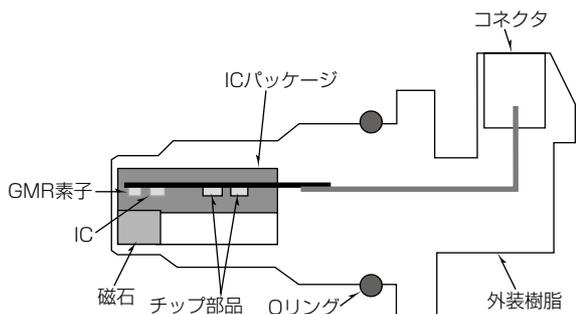


図1. GMR回転センサの内部構成

の磁化状態によって変化するため，印加磁界によって電気抵抗が変化する。多層化によって界面を形成することで，大きな電気抵抗変化を得ることができる。

図3に回転方向検出の原理を示す。歯車の回転方向を検出するためには位相差のある2つの信号が必要である。GMR素子のブリッジ回路を2つ設け，そのうちの1つをクロック信号(センサ出力にも用いる)とし，もう1つをデータ信号(回転方向に応じて電位が変化する参照用信号)として使用する。すなわち，クロック信号のタイミングでデータ信号を検出して参照し，論理回路で回転方向を判定する。

出力信号は回転方向に応じて，パルス幅を変えることで回転方向を出力する。これによってシステムは，エンジンが停止しようとする際に発生する正回転・逆回転をカウントすることができ停止位置を正確に検出することが可能となる。したがって，始動時の早期点火を実現することができる。特にアイドルストップシステム搭載車は，従来車に

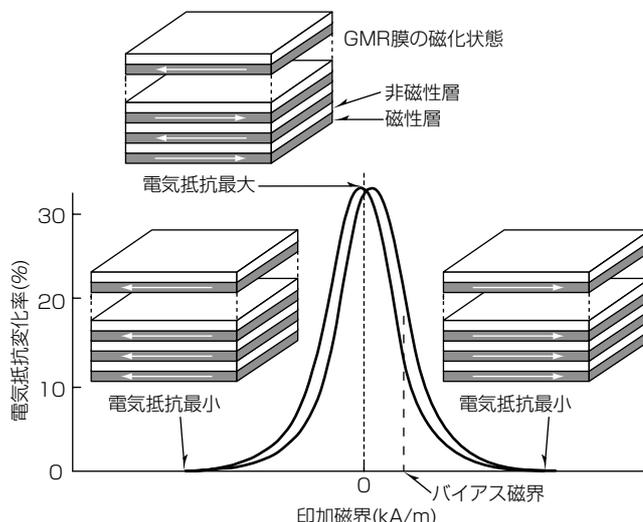


図2. GMR素子の特性曲線

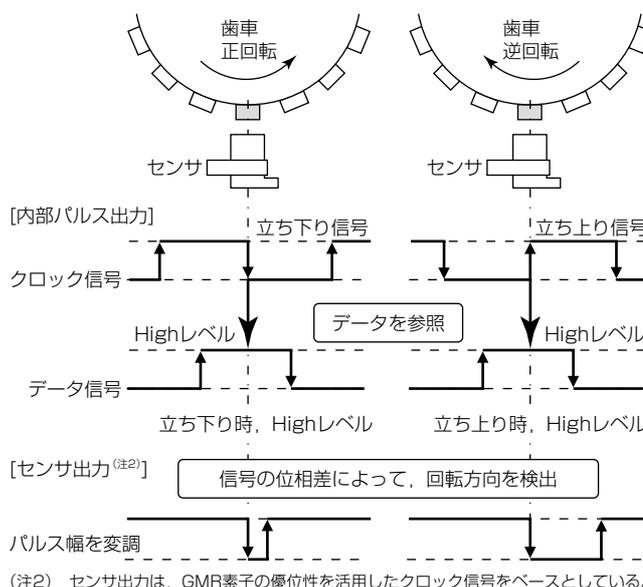


図3. 逆回転検出の原理

比べ始動頻度は飛躍的に高まるため、このセンサが用いられることが多い。

2.2 特長

高精度なセンサの実現には、信号対雑音比(S/N比)の高い信号を得ることが重要である。GMR素子は半導体ホール素子に対して感度が、強磁性体MR素子に対して電気抵抗変化率がそれぞれ一桁以上大きく、実用上の磁界範囲で大きな信号振幅が得られる。三菱電機逆回転検出GMR回転センサの出力信号も、GMR素子の優位性(大きな信号振幅による高精度)を活用した仕様となっており、高精度と機能(逆回転検出)の双方を持つ回転センサである。

3. マイクロエアフローセンサ

エンジンへの吸入空気量を検出するマイクロエアフローセンサ(AFS)は検出素子にMEMS技術を応用した感熱式AFSである。三菱電機は、高精度化・高速応答・小型軽量化の要求に対応するために、吸気脈動流及び吸気温度変化に対する検出誤差を低減し、小型軽量化を図った第2世代マイクロAFSを開発し、2010年に製品化した。

3.1 構造と検出方式

マイクロAFSの外観を図4に示す。検出回路とバイパス流路、検出素子を一体にパッケージングし、吸気温度検出用のサーミスタをバイパス流路の近傍に配設している。バイパス流路は、吸気脈動流を低減するため迂回(うかい)した流路構造とし、出口上流側に突起を設けてバイパス流路内の流れの安定化を図っている。

検出素子は、図5に示すようなシリコン基板の裏面にエッチングして厚さ数 μm のダイヤフラム構造を形成し、ダイヤフラム上に温度検出抵抗と発熱抵抗を配置したものである。検出部を薄膜状のダイヤフラム構造とすることで、発熱体とシリコン基板間を熱絶縁でき、また発熱体の熱容量を小さくできるため、低消費電力と高速応答を実現している。一方で、吸気に含まれるダストから検出部の薄膜を保護するために、検出素子をバイパス流路の壁面に実装して検出素子の上流側に屈曲部を設けることでダストの運動エネルギーを低減し、ダスト衝突時のダメージを低減する構造を実現した。



図4. マイクロAFS

図6に示す検出回路では、発熱温度検出抵抗(R_{su} , R_{sd})の温度が吸気温度検出抵抗(R_a)よりも高くなるように発熱抵抗への加熱電流を制御し、ブリッジ電圧(V_m)を流量信号として使用している。発熱抵抗(R_h)の上下流側に配置した発熱温度検出抵抗の midpoint を差動増幅回路の入力として帰還回路を構成することで、図7に示すように空気の流れ方向と流量に応じて発熱温度を変化させている。これによって逆流の感度を下げて吸気脈動流検出誤差を低減すると同時に、流量に応じた高精度な温度補償を実現している。

3.2 特長

マイクロエアフローセンサの特長は次のとおりである。

- (1) 屈曲部を持つバイパス流路の壁面に検出素子を実装することによって、検出素子へのダストの影響を低減した。
- (2) 逆流補償検出回路とバイパス流路の最適化によって吸気脈動流や温度変化による検出誤差を低減した(三菱電機従来比1/2以下)。
- (3) センサ出力形態として、アナログ電圧又はデジタル出力を選択可能とした。

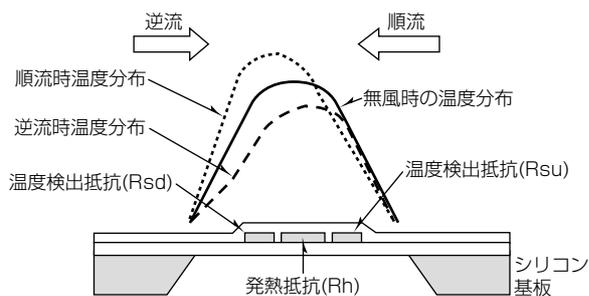


図5. 検出素子断面図と温度分布

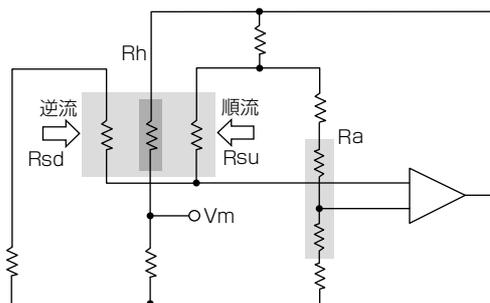


図6. 検出回路

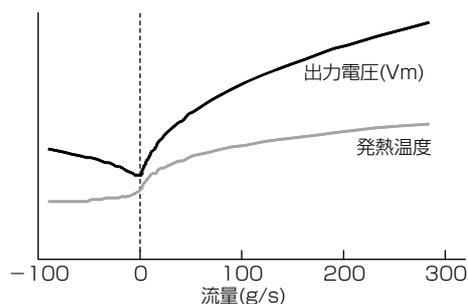


図7. 発熱温度及び出力電圧の流量特性

4. 圧力センサ

自動車用途としてエンジンの吸入空気量検出のほかに、大気圧検出やEGRシステムモニタ、さらにアイドルストップシステムにおけるブレーキマスタバッグ圧モニタとして、圧力センサの使用が増加している。また、システム化が進む中、多くのコンポーネントが搭載されることから、レイアウト性に優れた小型センサが求められる。ここでは、現在生産している最新仕様の小型化圧力センサについてその構造と特長を述べる。

4.1 構造と検出方式

圧力センサの外観を図8に示す。圧力導入ポート、車体取付け部位及びコネクタを形成した外装の内部には、リードフレームをモールドしたパッケージ上に、圧力検出素子と検出素子出力の増幅や温度補正をするASIC (Application Specific Integrated Circuit)をマウントしたセンサモジュールを備える。

圧力検出方式は、図9に示すとおり半導体ピエゾ抵抗式である。ダイヤモンド上に形成した4つのゲージ抵抗によって、圧力に応じたダイヤモンドのひずみをゲージ抵抗の抵抗変化に変換し、ブリッジ回路によって、抵抗変化に比例した出力電圧を得る。

検出素子の表面には、ゲージ抵抗をイオン注入法などによって形成し、裏面をエッチングすることでダイヤモンド及びキャビティを形成する。キャビティ部は、真空状態でガラス台座と陽極接合することで真空基準圧力室として形成される。

検出素子を小型化するためにはダイヤモンドサイズの縮小が不可欠になる。ダイヤモンド厚の低減に対しては活性層厚が均一なSOI(Silicon On Insulator)基板を用い、またエッチング斜面部縮小のため垂直エッチング可能なドライエッチング(Inductive Coupled Plasma-Reactive Ion Etching : ICP-RIE)技術を採用した。従来のSi基板からSOI基板の採用によって、SiとSiO₂とのエッチングレート差を利用しSiO₂層でエッチストップを図ることで、ダイヤモンド厚は、活性層厚で決定されるため高精度な薄膜ダイヤモンド形成が可能となり、従来比の1/3の薄膜化を実現した。また、従来の異方性ウェットエッチングからドライエッチングを採用することによってSi結晶(111面)に由来するテーパ角 $q=54.7^\circ$ から、 90° の深堀エッチングが可能となるため、高精度なダイヤモンド辺形成とともにチップ辺の短縮が可能となり、ダイヤモンド辺は従来比の1/3、検出素子サイズは従来面積比1/9の小型化を実現した(図10)。

4.2 特長

検出素子とともにASICを高耐圧CMOS(Complementary Metal Oxided Semiconductor)で小型化を図り、センサモジュールサイズの縮小及び製品全体の小型化を達成した。三菱電機従来品に対し質量比40%減を実現した。

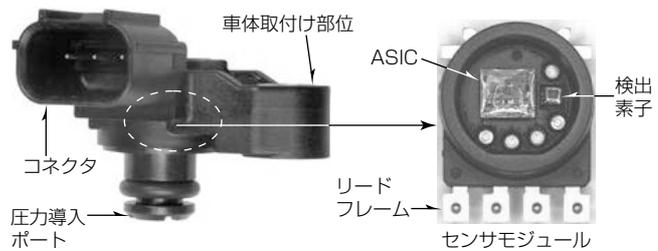


図8. 圧力センサ

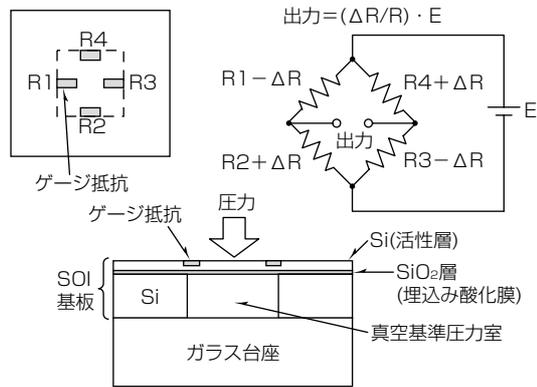


図9. 検出素子構造と等価回路

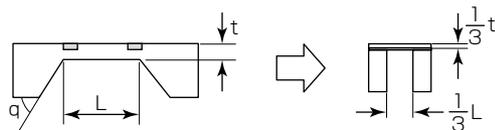


図10. 検出素子サイズ(従来品との比較)

5. むすび

回転センサは、GMR回転センサで精度面のアドバンテージを保持したまま、市場から求められる機能面で充実を図った。一方、コスト低減の要請は一層強くなることが想定される。今後も市場ニーズを的確にとらえた開発を推進していく。

マイクロエアフローセンサは逆流補償によって検出誤差を低減したが、さらに大きな吸気脈動に対する検出精度や低流量検出が求められており、これらの要求に対応するため逆流検出回路やデジタル信号処理による高精度化の開発を進めている。

圧力センサは小型化・軽量化によって、レイアウトスペースの制限が多い二輪車用途にもセンサの搭載を可能とし、燃費向上のシステムに貢献している。

参考文献

- (1) 大須賀 稔, ほか: パワートレイン制御と検出技術, 自動車技術, **66**, No.2, 4~9 (2012)
- (2) 川野裕司, ほか: GMR回転センサの応用展開, 三菱電機技報, **81**, No.9, 594~597 (2007)
- (3) 中村洋志, ほか: エンジン制御用センサの小型化, 三菱電機技報, **78**, No.9, 585~588 (2004)