

# 排気系圧力検出用センサ

## Pressure Sensor for Exhaust System

植松 克之 Katsuyuki Uematsu

田中 寛子 Hiroko Tanaka

加藤 博文 Hirofumi Kato

自動車の排出ガス規制は年々強化され、内燃機関の効率化と低排ガス化が進む中で、ディーゼルエンジン車を中心に排気系の圧力検出の要求が高まっている。今回、富士電機では、吸気圧測定用として実績があるCMOSプロセスによるワンチップタイプの半導体式圧力センサを応用し、腐食性物質を含む排ガス環境に耐えうる排気系圧力検出用センサを開発した。開発したセンサは、DIN規格のSO<sub>2</sub>ガス試験において対従来比2.5倍以上の耐腐食性を持っており、絶対圧検出用または相対圧検出用に対応している。

Exhaust gas regulations for motor vehicles are becoming stricter year-after-year, and as internal combustion engines are being made more efficient and their exhaust gas reduced, there is increased demand for pressure sensing in the exhaust systems of diesel engine vehicles. Applying a single-chip semiconductor pressure sensor fabricated by a CMOS process, which has been successfully used for manifold pressure measurement, Fuji Electric has developed an exhaust system pressure sensor capable of withstanding an exhaust gas environment containing corrosive substances. The newly developed sensor, in a DIN standard SO<sub>2</sub> gas test, exhibited the ability to withstand corrosion that is more than 2.5 times greater than that of conventional sensors, and is suitable for use in absolute pressure sensing and relative pressure sensing applications.

### 1 まえがき

BRIC's 諸国を含む産業の発展と物流の発達を背景にグローバル規模の経済活動が進む中、二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)などの温室効果ガスの排出による地球温暖化や、窒素酸化物(NO<sub>x</sub>)および亜硫酸ガス(SO<sub>x</sub>)による酸性雨、大気汚染が問題となっている。

アメリカのグリーンニューディール政策や、日本では2020年までにCO<sub>2</sub>の排出量を25%削減することが表明されるなど、環境問題は国家規模、世界規模の課題として取り上げられている。厳しい排出規制目標が設定されるとともに、環境ビジネスとして新たな環境対策技術の開発の促進と、それに伴う経済の活性化が期待されている。

特に、産業・物流の面で経済活動の重要な役割を担う自動車産業の環境対策は注目されている。年々強化される排出ガス規制値をクリアするために、自動車メーカーは内燃機関の効率化と排ガスのクリーン化やハイブリッド車、電気自動車の開発に注力している。

### 2 富士電機の圧力センサ

自動車の排ガスのクリーン化と燃費の改善にはエンジン制御の高精度化が重要である。現在の自動車では、エンジンの各所に取り付けたセンサ群を利用して、エンジンの負荷状態、吸気量、温度などの情報から最適な空燃比となるよう燃焼を電子制御している。

主に吸気圧測定用としてエンジンの吸気配管に取り付けられた自動車用の圧力センサは、エンジン制御の高精度化に貢献してきた。また、吸気圧測定用のほかにも、ターボチャージャーやスーパーチャージャーの過給圧測定用、エアフィルタの目詰まり検知用、空気が薄くなる高地での吸気

圧補正を行うための高地補正用<sup>(1)</sup>など、それぞれの測定圧力に対応した圧力センサが複数用いられている。

富士電機は、1984年に自動車エンジンの吸気圧測定用圧力センサの量産を開始した。初期のセンサは、圧力検出素子の特性を調整する回路、EMC (Electromagnetic Compatibility) 対策用のSMD (Surface Mounted Device) 部品(チップコンデンサやチップ抵抗など)を搭載するための回路基板など部品点数が多く、部品間の電気的接続部が多かった<sup>(2)</sup>。

部品点数の削減によるさらなる信頼性の向上を図るため、標準的な半導体CMOS (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor) プロセスで、センシング部分と信号増幅回路、温特補償回路、EMC保護素子をワンチップに集約した圧力センサを開発した。このワンチップタイプの圧力センサは、主にエンジンの吸気圧測定用として2002年から市場に展開している。

図1に圧力センサの検出体ユニットの概要を、図2に圧力検出体ユニットの断面構造を示す。

図1 圧力センサの検出体ユニット

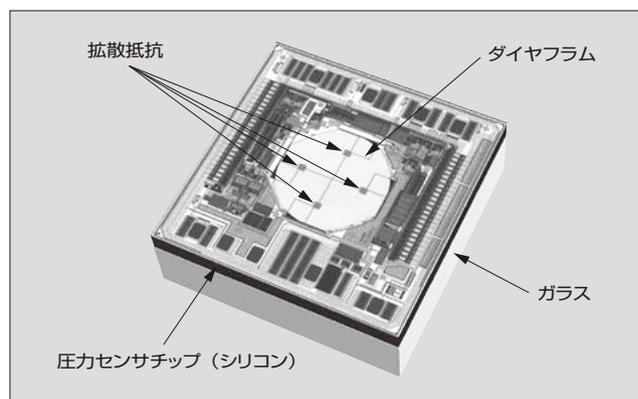




図5 エンジンの吸気・排気システムと圧力センサ

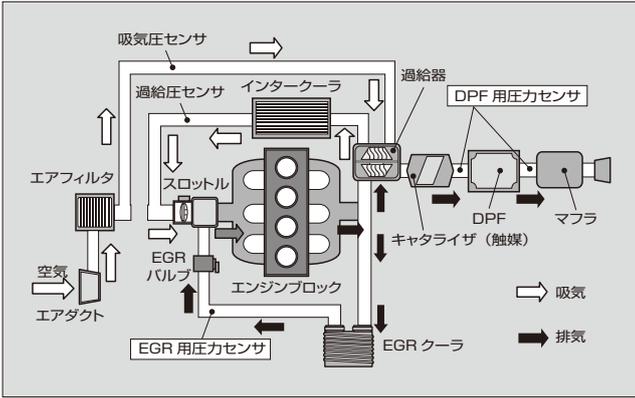
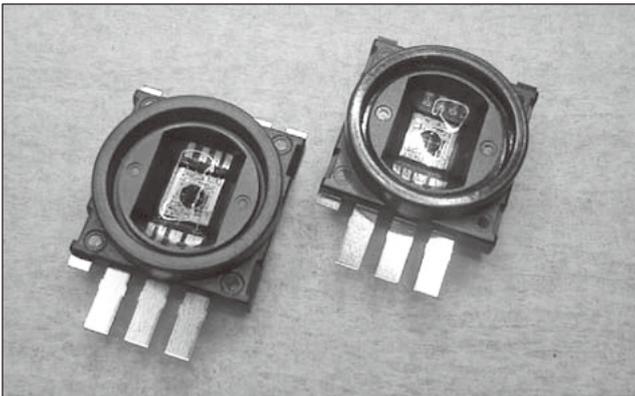


図6 排気系圧力検出用センサ



センサを応用し、排気系圧力検出用センサに要求される“耐腐食設計”を施した(図6)。

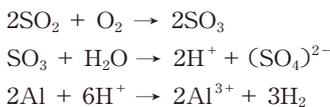
4 排ガス中の腐食性物質に対する耐腐食設計

排気系圧力検出用センサに要求される耐腐食性は、

- (1) チップ上の電極パッドの金めっき化
  - (2) チップーリード端子間の金ワイヤによる接続
  - (3) 樹脂ケースのリード端子の金めっき化
- によって実現した。次にその詳細と評価結果を述べる。

4.1 センサチップの耐腐食設計

富士電機の標準的なCMOSプロセスで製造される半導体チップの電極パッドの材料は、アルミニウム系合金である。排ガス中のSO<sub>x</sub>ガスと蒸気がチップ上のゲルに浸透した場合、次のメカニズムで硫酸が生成され、アルミニウムが腐食される。



そこで、耐腐食構造としてチップの電極パッド上に金めっきを施した。図7にチップ上の電極パッドと金めっきの断面構造を示す。アルミニウム系合金層と金めっき層の間には、アルミニウムと金の拡散を防止するため、チタン

図7 センサチップ電極パッドの耐腐食構造

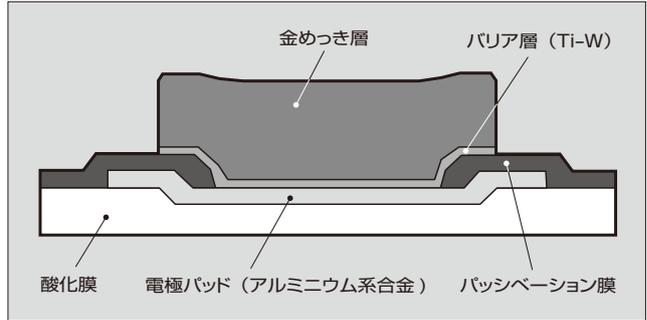


図8 排気系圧力検出用センサの構造

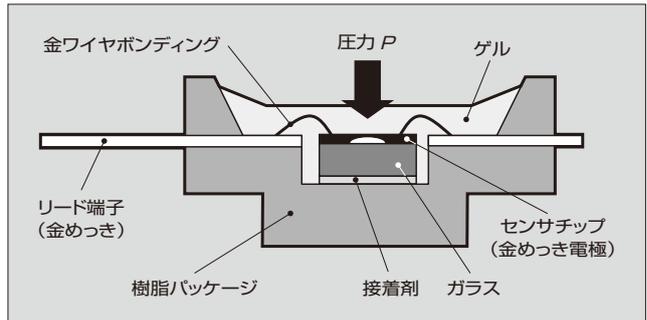


表1 SO<sub>2</sub>ガス試験条件 (DIN 50018-SFW1.0S)

サイクル開始に対する理論的SO <sub>2</sub> 濃度 (体積%)		0.33*	
凝縮水気候		DIN50018-SFW 1.0S	
サイクル	第1試験工程 (h)	8 (加熱を含む)	
	第2試験工程 (h)	16 (冷却を含む) (試験箱は開放または通気される)	
	全体 (h)	24	
試験室内状況	第1試験工程	温度 (°C)	40±3
		相対湿度 (%)	およそ 100 (試験材を結露させる)
	第2試験工程	温度 (°C)	18 ~ 28
		相対湿度 (%)	最大 75

\*：理論的SO<sub>2</sub>濃度は、300Lの容積の試験箱を持つ試験装置の場合、各サイクルあたり1.0LのSO<sub>2</sub>添加量に対応する。

ータングステン (Ti-W) 合金のバリア層を設けた(説明のため図中の縦横比は実際と異なる)。

また、従来はチップーリード端子間の接続にアルミニウムワイヤを用いていたが、同様の化学反応によりワイヤが腐食して断線に至るため、金ワイヤを採用した。

4.2 パッケージの耐食設計

既存の圧力センサセルパッケージのリード端子には、ニッケルめっきを施していたが、めっきの表面状態によっては排ガスに起因する酸の侵食を受けてリードが腐食し、外部との電氣的接続が断たれてしまう。そこで、ニッケルめっきの上にさらに金めっきを施し、腐食を防止する構造

図9 SO<sub>2</sub> ガス試験結果

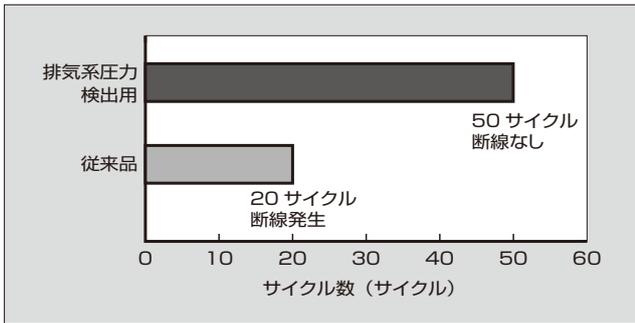


表2 排気系圧力検出用センサの基本仕様

項目	単位	仕様	備考
絶対最大印加電圧	V	16.5V	1 min
絶対最大印加圧力	kPa abs.	600	
保存温度	℃	-40 ~ 150	
使用温度	℃	-40 ~ 135	
電源電圧	V	5.00±0.25	
使用圧力 (絶対圧仕様)	kPa abs.	50 ~ 400	*1
使用圧力 (相対圧仕様)	kPa gauge	50 ~ 400	*1
出力範囲	V	0.5 ~ 4.5	
インタフェース	kΩ	300	ブルアップ
		100	ブルダウン
ダイアグ領域	V	< 0.2, >4.8	*2
圧力誤差	%F.S.	< 1.2	10 ~ 85℃
	%F.S.	< 2.0	-40/135℃
EMC 検証済み規格		JASO D00-87, CISPR 25, ISO11452-2, ISO7637	

\*1 : フルスケール圧力は任意に変更可能  
 \*2 : VCC 配線の断線, VOUT 配線の断線を検知

とした。

腐食性ガスによって生じた酸がリード端子と樹脂の界面にも到達するため、樹脂に埋没するリード端子の側面、すなわちカット面の腐食防止が必要であるので、リード端子のプレスカット後に金めっき処理を行い、カット端面にも金めっきを施した (図8)。

### 4.3 耐腐食試験結果

耐腐食性の評価として、DIN 規格 DIN50018-SFW1.0S に基づく SO<sub>2</sub> ガス試験を行った。試験条件を表1に示す。この試験は、製品表面を結露させた状態で SO<sub>2</sub> ガスにさらすもので、実車の排ガス環境よりも厳しく、製品の腐食による断線といった故障モードに至るまでの寿命を確認するための加速試験として採用した。

図9は、SO<sub>2</sub> ガス試験に伴うチップ電極パッド、およびケースリード端子の腐食に起因する断線モードについての従来品との比較である。今回開発した排気系圧力検出用センサは、従来品の2.5倍以上の耐腐食性があることを確認した (サイクル数の定義: 製品の結露から SO<sub>2</sub> ガス暴露

を1サイクルとする)。

## 5 基本仕様

今回開発した排気系圧力検出用センサの基本仕様は、表2のとおりである。センサチップの回路は、吸気圧センサとして実績がある構成をそのまま流用しており、配線の断線を検知するダイアグ機能、過電圧保護機能、EMC 耐性を持っている。測定する圧力については、絶対圧または相対圧のどちらか一方に選択可能である。

## 6 あとがき

今回紹介した排気系圧力検出用センサは、主に自動車用を前提に開発を行ってきたが、現在、自動車に対する排ガスの低減は、製品である自動車からの排出のみではなく、自動車の生産から廃棄までを含めた全プロセスを対象にした取組みになりつつある。例えば、車体の原料である鉄鉱石の採掘や、還元触媒、バッテリーに使われるレアメタルの採掘には、大排気量のディーゼルエンジンを搭載した重機が用いられるため、それらの排ガスについても規制値を設け排出量を低減する動きがある。

重機など自動車以外のエンジンに適用する場合、排ガスに含まれる腐食性物質の量や、排気の圧力、周囲温度は、エンジンの種類、センサの搭載箇所、使用する燃料などの条件によってさまざまであり、上位アプリケーションを熟知した上での製品開発が重要である。

富士電機は、常に世界トップレベルの技術開発に取り組み、お客さまに喜ばれる製品開発を目指し、環境対策に貢献していく所存である。

SO<sub>2</sub> ガス試験は、日立オートモティブシステムズ株式会社にご協力いただいた。この場を借りて謝意を表する。

### 参考文献

- (1) 齊藤和典. 自動車用センサの最新動向. CMC出版, 2009, p.38-51.
- (2) 高浜禎造ほか. 半導体圧力センサ. 富士時報. 1986, vol.59, no.11, p.707-710.
- (3) 植松克之. 自動車用圧力センサについて. MATERIAL STAGE. 技術情報協会. 2009, vol.9, no.1, p.26-30.



植松 克之

圧力センサの研究開発に従事。現在、富士電機システムズ株式会社半導体事業本部半導体統括部 ディスクリート・IC 開発部チームリーダー。電気学会会員。



**田中 寛子**

圧力センサの研究開発に従事。現在、富士電機システムズ株式会社半導体事業本部半導体統括部  
ディスクリート・IC 開発部。



**加藤 博文**

圧力センサの研究開発に従事。現在、富士電機システムズ株式会社半導体事業本部半導体統括部  
ディスクリート・IC 開発部。





\*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する  
商標または登録商標である場合があります。