

第7世代車載用高圧センサ

7th-Generation Automotive High-Pressure Sensors

芦野 仁泰 ASHINO, Kimihiro

西川 睦雄 NISHIKAWA, Mutsuo

上野 文也 UENO, Fumiya

現在、自動車には、燃費の向上や環境規制、安全規制への対応が強く求められている。富士電機は今後さらに厳しくなるこれらの規制に対応するため、第7世代車載用高圧センサを開発した。高温、高圧の環境で使用されるため、ステンレスダイヤフラム方式の新パッケージ構造により耐圧性能を向上させ、新たに開発したデュアルゲート MOS トランジスタの採用により高温特性を改善したセンサチップと組み合わせた。これにより対応できる圧力範囲を広げ、150℃での動作保証と高精度化を実現した。

Automobiles are being strictly required to improve fuel efficiency and comply with environmental and safety regulations. Fuji Electric has developed 7th-generation automotive high-pressure sensors to help meet these stricter regulations. Since the sensors are used in high-temperature and high-pressure environments, they have new package structure using stainless-steel diaphragm system to improve pressure resistance and combined with a sensor chip that has better temperature characteristics through utilization of a newly developed dual gate MOS transistor. This expands the applicable pressure range, ensuring operation at 150°C and increasing accuracy.

1 まえがき

現在、自動車には、低燃費化や安全性、快適性に加えて、大気汚染物質排出ガス規制、CO₂ 排出規制などの、環境負荷低減が強く求められている。さらに厳しくなるこれらの規制に対応するため、車両に使用されるさまざまなシステムの高精度化が進んでいる。システムの高精度化にはセンシングデバイスが必要不可欠であり、本稿で紹介する圧力センサや加速度センサ、回転センサなどのさまざまなセンサの需要が増加し、市場規模が拡大している。

富士電機は、1984年に車載用吸気圧センサの量産を開始して以来、アプリケーションが豊富な車載用途の低圧分野を中心に事業展開を行い、高精度および高信頼性要求に対応するため製品化を進めてきた。2005年には CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) プロセスによる第5世代デジタルトリミング型圧力センサで検出精度を高め、2010年からは小型化と耐ノイズ性を向上させた第6世代圧力センサを量産している。さらに、2018年には高温での出力特性を改善した第6.5世代圧力センサの量産を開始しており、乗用車のみならず、建築用重機、トラック、自動二輪などの内燃機関に採用され、環境負荷の低減に貢献してきた。

また、低燃費化や低排出の実現に当たっては内燃機関に限らずトランスミッションなどの駆動伝達系の効率化も必要である。

本稿では、新たにトランスミッション油圧制御システム用途に開発した第7世代車載用高圧センサについて述べる。

2 車載用高圧センサの役割

自動車にはさまざまな圧力を測定するセンサが取り付け

られている。真空圧から 300 kPa 程度を測定する低圧センサと、低圧より高い 1 MPa 以上の圧力を測定する高圧センサとに大きく分けられる。低圧センサでは、低燃費・低排出に重要なエンジン制御システムの一つである電子燃料噴射システムに用いられる吸気圧センサと、排ガス規制に対応するためのシステムである EGR (Exhaust Gas Recirculation) や、DPF (Diesel Particulate Filter) システムなどの排ガス圧検出用の圧力センサなどがある (図 1)。

高圧センサは、低圧センサ同様に低燃費化、環境性能の向上、安全性の向上に貢献する。エアコンの冷媒圧制御用の圧力センサ (1 ~ 5 MPa)、エンジンの燃焼効率を上げ、低燃費に貢献する燃料直接噴射システム (GDI) の燃料圧を測定する圧力センサ (13 ~ 26 MPa)、快適性を向上するため電子制御にサスペンションの油圧制御用圧力センサ (1 ~ 10 MPa)、ブレーキの動作を電子制御する ABS や横滑り防止機能などのブレーキ油圧を計測する圧力センサ (1 ~ 10 MPa) に使用される⁽¹⁾。さらに、エンジン出力を駆動輪に伝えるオートマチックトランスミッションや、エンジンの最も効率の良い回転数を維持しながら最適なギヤ比を得ることができる CVT (無段変速機: Continuously Variable Transmission) の制御用油圧の測定に用いられている。

CVT の変速機構は、V 字型の溝を持つ二つのプーリとプーリに挟まれた金属ベルトで構成している。アクセル開度や車速などの条件に応じてオイルポンプにより作られた油圧を増減させ、プーリの溝幅を変化させることで金属ベルトをプーリの回転軸に近づけたり離したりすることで、変速を行っている。また、エンジンの動力はプーリと金属ベルトに生じる摩擦によって伝達されており、過大なエンジンパワーに対して滑りを起こすと伝達ロスを生じてしま

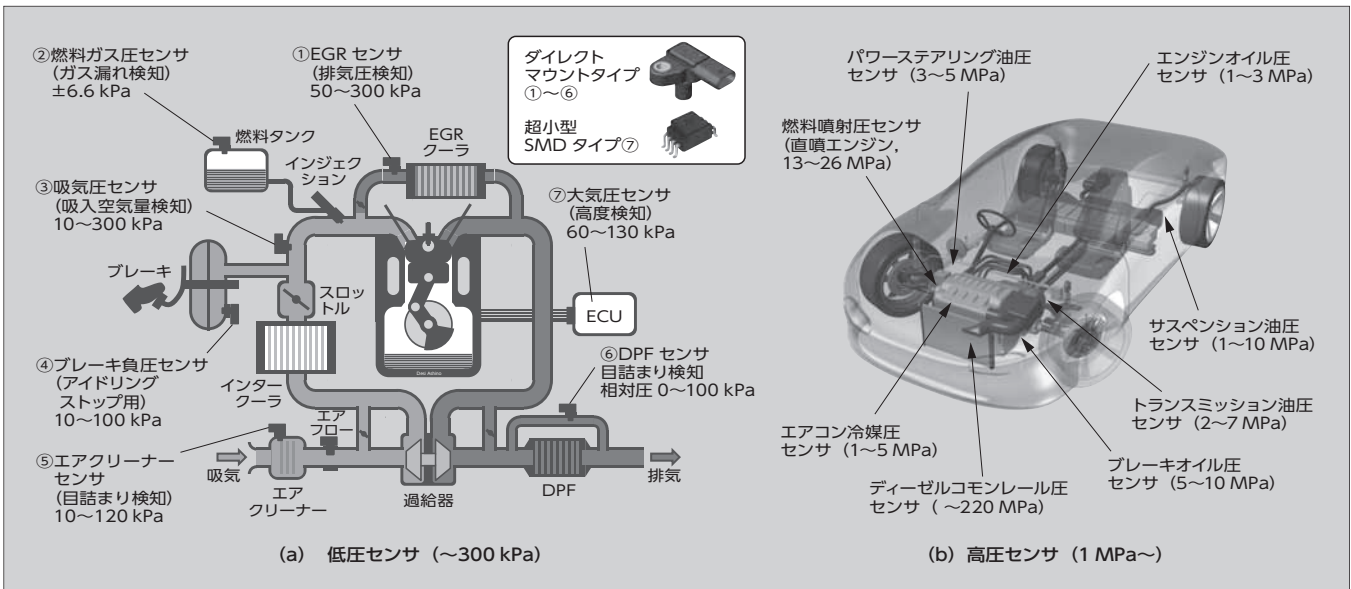


図1 センサの適用システム例

う。滑りを防止するため、プリーの押付け荷重を上げるために作動油圧を上げて摩擦力を上げる。一方で、摩擦を上げることは動力のロスにつながり、燃費性能を悪化させる。これらの課題に対して必要以上に金属ベルトを押し付けず、また滑りが発生しない押付けになるように油圧を制御し、伝達ロスを最低限に抑えて低燃費化に対応している。この油圧を制御するために用いられる圧力センサには、高精度に加えトランスミッションの軽量化にも寄与する小型なパッケージが求められる。

また、自動車電装制御システムは、大規模化、高精度化と同時に小型化が進んでいるため、搭載部品の高密度実装化が進んでいる。そのため、この圧力センサはトランスミッションの搭載環境で、正常に動作する必要があり、高温下での動作、耐振性、耐圧性、耐油性、耐食性が求められる。さらに、さまざまな電子機器から発生する電磁ノイズに対する耐性（電磁両立性：Electromagnetic Compatibility）も求められている。

こうした需要に対応するため、センシングエレメントと信号処理回路を組合せる1チップ化技術と小型パッケージ技術を生かした車載用高圧センサを開発した。

3 第7世代車載用高圧センサの製品概要

本製品は、高温、高圧の環境で使用されるため、新パッケージ構造および新たな設計のセンサチップを採用した。

具体的には、圧力媒体の受圧部にステンレスダイヤフラムを使用したステンレスダイヤフラム方式のパッケージ構造と高温特性を改善したセンサチップの組み合わせを採用した。

3.1 ステンレスダイヤフラム方式のパッケージ構造

図2に本第7世代圧力センサの外観を、図3に圧力センサの断面構造比較図を示す。これまで、富士電機の高圧セ

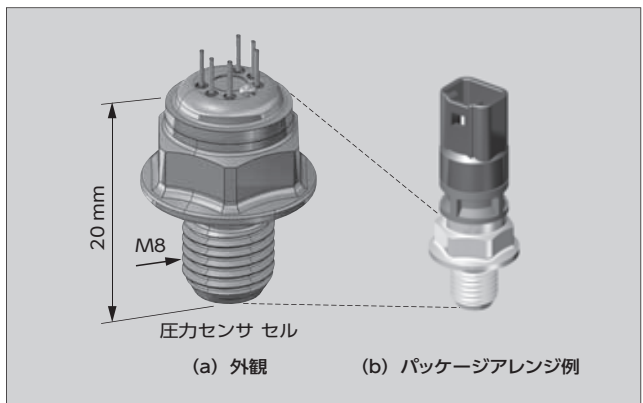


図2 第7世代圧力センサ

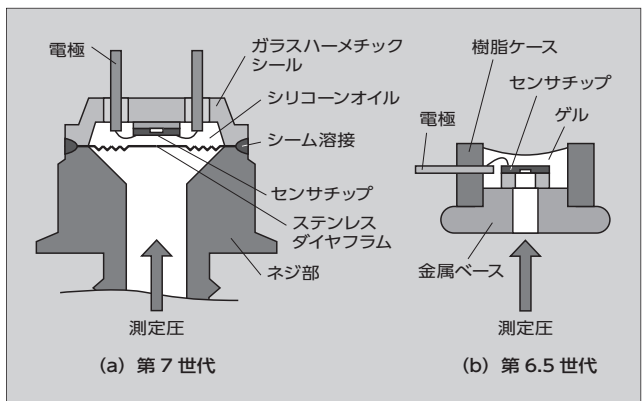


図3 圧力センサの断面構造比較図

ンサは、メタルベースにセンサチップを接着剤にて接着し、メタルの孔を介しチップ裏面に圧力を伝えた。そのため圧力をかけたときにセンサチップを引きはがす方向の力が加わるため、チップを固定している接着強度によって測定圧力の範囲が限定され、高い圧力の測定には不向きであった。今回採用した二重ダイヤフラム構造は、チップをガラスハーメチックパッケージ（ハーメチック）内に接着搭載し

た。さらに受圧部として機能するステンレス薄膜をねじ部品とハーメチック部品とで挟み、それぞれ三つの部材を同時にシーム溶接している。ハーメチックとステンレス薄膜との間に形成された空間に、シリコンオイルを密封することで、ステンレスダイヤフラムで受けた圧力をシリコンオイルが伝達し、センサチップ上に形成されたMEMS (Micro Electro Mechanical System) 構造のシリコンダイヤフラムをゆがませることで、圧力検出が可能となる。この構造では、耐圧性能がチップ接着剤の接着強度に依存することが無く、構成部材全体で圧力を受ける構造となることから、従来の構造より耐圧性能が向上した。その結果、システムに対応できる圧力範囲が広がり、アプリケーションへの範囲も広がった。

本製品は、トランスミッションなどの油圧測定に用いられるセンサで、測定する最大圧力6MPa、破壊耐圧20MPaの仕様である。この圧力に耐えるパッケージを設計するに当たり、ハーメチック部品の耐圧設計はもちろん、シーム溶接部の耐圧強度を上げる必要があった。強度向上の基本概念として圧力×受圧面積＝荷重の関係があり、受圧面積が大きくなれば製品にかかる荷重が大きくなる。その発生した荷重に負けない強度の構造部材を使うことで、耐圧が確保される。このパッケージを成立させるためには、ハーメチック部材の板厚を増し、高強度材料を用い、シーム溶接部強度を向上する必要があるが、コスト面との両立が困難であった。これらの課題を解決するため、本製品においては、受圧部の面積を縮小（小径化）することでパッケージに発生する荷重（応力）を小さくし全体の耐圧性能を確保することができる。この小型化を実現するためにガラスハーメチック部品を開発し、実装技術や設備設計などの組立技術にも特別な仕様を盛り込む。さらには、薄肉精密プレス加工技術を必要とするステンレスダイヤフラム波型形状の最適化設計を行った。

3.2 ステンレスダイヤフラムの最適設計

ステンレスダイヤフラムを小型化しても内圧上昇を回避できるダイヤフラム最適設計の内容について述べる。

ステンレスダイヤフラムの主機能として次の機能がある。

(a) 測定媒体から内部素子を保護する機能（耐腐食性）

(b) 温度による内圧上昇を緩和する機能

(a)については計測機器にも使用されている腐食性に優れたステンレス材を選定した。

(b)については図4に示すように、オイル温度や周囲温度が変化することでセンサ自体の温度変化 ΔT が生じ、センサ内部に密封されたシリコンオイルがシリコンオイルの熱膨張率 α によって体積変化 ΔV が発生する。その体積変化をステンレスダイヤフラムが持っているばね性 k により吸収する機能を持っている。しかし、これと同時にこのばね性によってシリコンオイルの圧力変化が発生するメカニズムとなる。ステンレスダイヤフラムに加工する波型形状とダイヤフラムの板厚を最適化することで、これらの課題を解決した。図5に最適解析事例を示す。高精度化

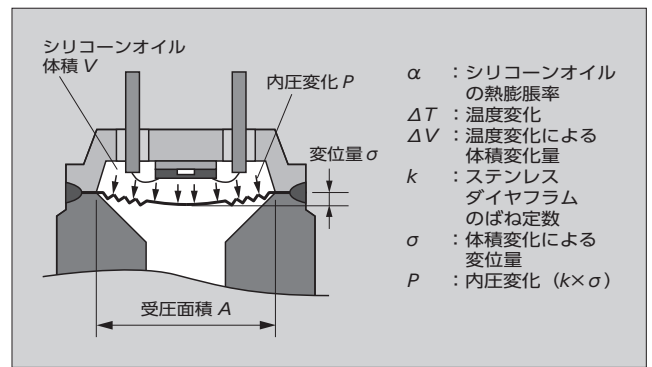


図4 内圧上昇メカニズム

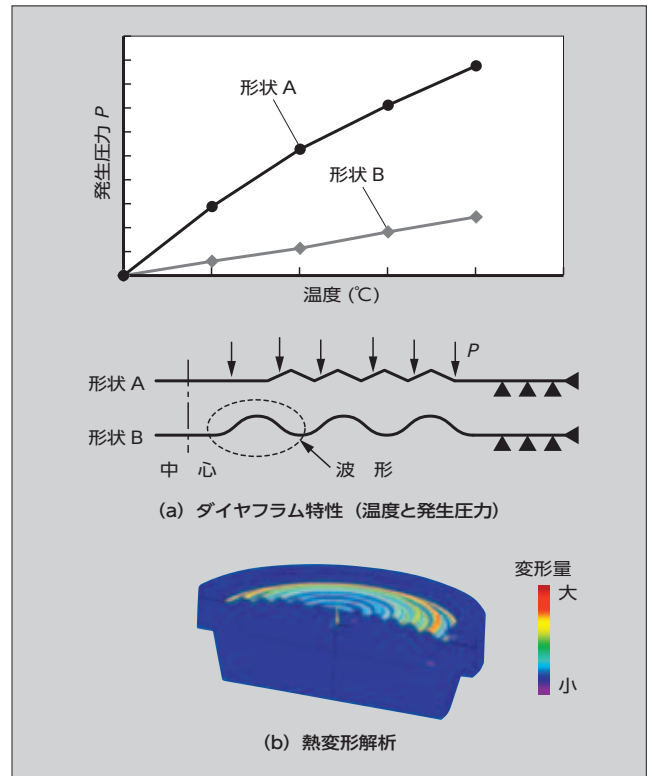


図5 最適解析事例（ダイヤフラム形状と内圧推移）

を狙うためには、温度による体積変化と同時に発生するシリコンオイル圧力をコントロールする必要がある。センサチップの出力特性を十分考慮し、さまざまなパターンのダイヤフラム形状を3Dモデル化し、ダイヤフラムの熱変形解析(b)を実施。得られたデータをもとに、ステンレスダイヤフラムに必要な内圧上昇の直線性や内圧変化量特性を調整することで、第7世代圧力センサチップの性能を最大限引き出すことができるパッケージを開発した。

3.3 高温動作対応センサチップ

富士電機の圧力センサチップは、圧力検知、特性補償、信号処理、保護回路、故障診断といった機能全てを集約させた“*All in one chip*”を基本コンセプトとし、これら機能・性能・EMC保護性能を維持しながら、コストダウン技術や高精度化技術を盛り込んだ次世代製品の開発を行ってきた。

圧力センサチップの基本動作は、富士電機独自のエッチング技術によりシリコンの一部を薄膜に加工して形成されたダイヤフラムが、印加圧力に応じて変形を起こす。このときダイヤフラム上に配置した拡散配線からなる四つのピエゾ抵抗の抵抗値がそれぞれ変化し、ピエゾ抵抗により構成されるホイートストンブリッジ回路のバランスが崩れ、出力に電位差が生じる。この電位差を増幅して出力することで、印加圧力を電気信号に変換している。図6に圧力センサチップの概要を示す。

今回、第7世代車載用高压センサでは、動作保証温度を150℃まで拡大しつつ、従来の量産品よりも高精度化を図るためにデュアルゲートのMOSトランジスタを新たに開発し、採用した。デュアルゲートとは図7に示すように、MOSトランジスタのNMOS (Negative-Channel Metal Oxide Semiconductor) とPMOS (Positive Channel Metal Oxide Semiconductor) でそれぞれ異なるゲート用ポリシリコンを用いることにより、ゲート直下のチャンネル部で生じるリーク電流を低減させることが可能な手法である。第7世代車載用高压センサでは、このデュアルゲートMOSを採用しながらも、MOSトランジスタ以外のデバイスに関しては、従来の量産品と同等性能となるような製造プロセスを開発した。これにより、従

来の量産品と同じ回路構成、同じ回路規模にて高温領域のリーク電流を改善することができた。具体的には、図8に

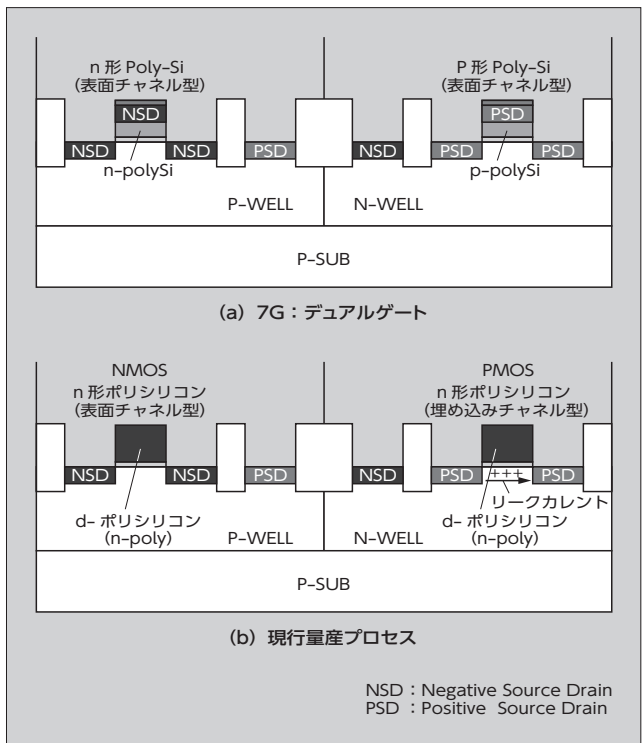


図7 デュアルゲートの構造

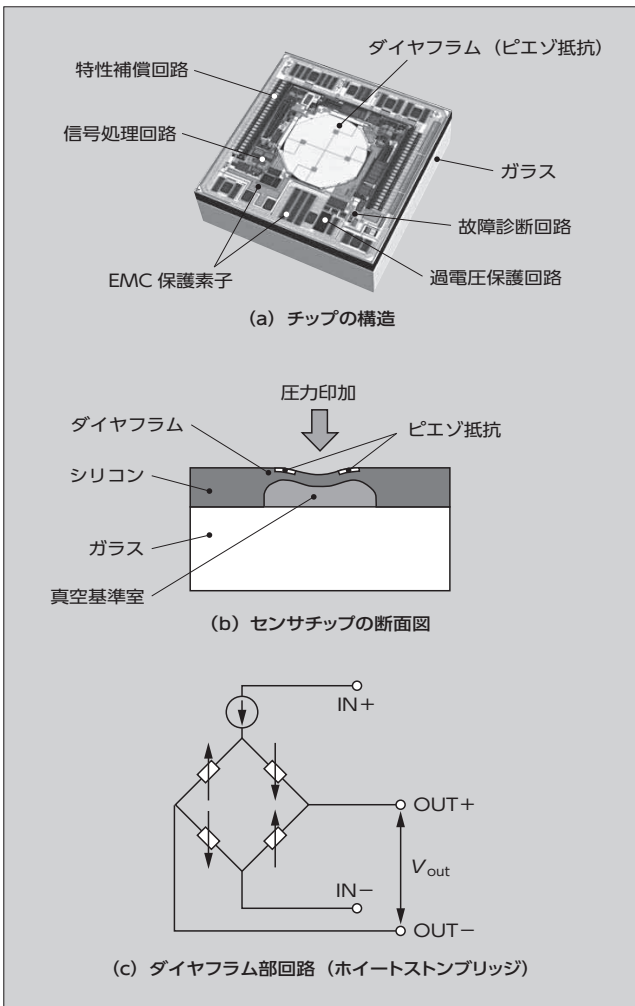


図6 圧力センサチップの概要

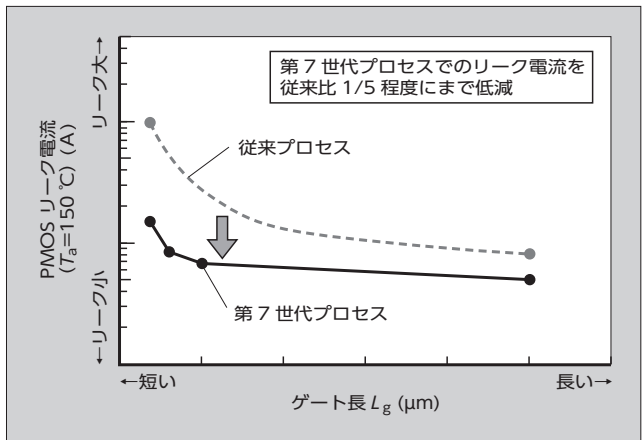


図8 デュアルゲートMOSのリーク電流低減効果

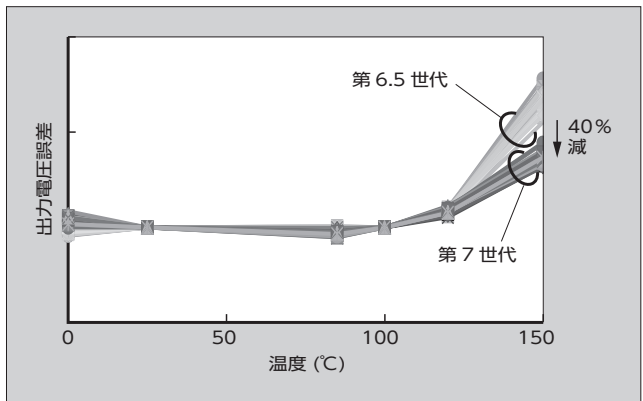


図9 出力誤差特性

表1 第7世代車載用高圧センサの主要性能

項目	主要性能・仕様	
製品サイズ (全体図)	φ15×H20 (mm)	
圧力インタフェース	M8×1.0	
使用温度範囲	-40 ~ +150 °C	
使用圧力範囲	0.1 ~ 6.1 MPa (絶対圧)	
破壊圧力	20.1 MPa	
定格圧力	9.1 MPa	
電源電圧	5 ± 0.25 V	
出力電圧 (電源電圧5V時)	0.5 ~ 4.5 V	
シンク・ソース能力	シンク1 mA, ソース0.1 mA	
クランプ機能	クランプ電圧0.35 V/4.62 V (typ.)	
方式	表面加圧 (絶対圧)	
ESD (外部インタフェース端子)	MM (0Ω, 200 pF)	±1 kV以上
	HBM (1.5 kΩ, 100 pF)	±8 kV以上
過渡電圧サージ	ISO 7637 (2011) 規格 Pulse1, 2, 3a, 3b LEVEL-IIIクリア	

示すように、PMOS トランジスタの 150 °C 時のリーク電流を従来プロセス比で約 1/5 にまで低減できたことが、高温領域での動作保証と高精度化に大きく寄与している。

図9 に出力誤差の温度依存性を示す。高温時の特性誤差を従来の第 6.5 世代に対し、約 40% 低減することができた。

表1 に、今回開発した第7世代車載用高圧センサの主要性能を示す。

4 あとがき

第7世代車載用高圧センサについて述べた。高圧センサの需要が高まる中、燃費の向上や環境規制、安全規制への対応といった面から製品性能の向上に対する厳しい要求がますます加速すると予想される。これらのさまざまな市場の要求に応える製品開発を行っていく所存である。

参考文献

- (1) 佐藤栄亮ほか. 第6.5世代車載用高圧センサ. 富士電機技報. 2018, vol.91, no.4, p.241-245.



芦野 仁泰

半導体圧力センサの設計・開発に従事。現在、富士電機株式会社電子デバイス事業本部電装事業部電装ディスクリート部。



西川 睦雄

半導体圧力センサの設計・開発に従事。現在、富士電機株式会社電子デバイス事業本部電装事業部電装ディスクリート部。



上野 文也

半導体圧力センサの設計・開発に従事。現在、富士電機株式会社電子デバイス事業本部電装事業部電装ディスクリート部。





*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。