

第5世代デジタルトリミング型自動車用小型圧力センサ

斉藤 和典 (さいとう かずのり)

西川 睦雄 (にしかわ むつお)

芦野 仁泰 (あしの きみひろ)

特集

1 まえがき

自動車産業の環境への取組みは、欧州、米国、日本、アジアなど全世界における規制強化とともに高まりを見せており、規制をクリアするために自動車に用いられるシステムは、日々効率化・高精度化が図られている。またそれらのシステムにおいて、圧力を計測し、制御を行うエンジンマネジメントの重要性が高まってきている。

富士電機では1984年に自動車用圧力センサの量産を開始している。厳しいコスト、精度のニーズの変化に対して、独自の高信頼性回路技術および高度なMEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 技術を開発することによって国内外の自動車および二輪車に採用されており、2002年からは通算で第4世代目となるCMOS (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor) プロセスによるデジタルトリミング型自動車用圧力センサを量産中である。

本稿では、第4世代デジタルトリミング (415ページの「解説」参照) 型圧力センサと同等の機能・性能 (出力精度)・EMC (Electromagnetic Compatibility) 保護性能を維持しながら小型化を図った第5世代デジタルトリミング型自動車用小型圧力センサ (以下、第5世代圧力センサという) を開発したのでこれを紹介する。

2 自動車における圧力センサのアプリケーション

図1は自動車における圧力センサのアプリケーションを示したものである。エンジンの電子燃料噴射システムには、吸気圧を測定するMAP (Manifold Absolute Pressure sensor) および TMAP (Temperature Manifold Absolute Pressure sensor) があり、これらの電子燃料噴射システムは今後二輪車まで普及していくため、センサに対する低コスト・小型化の要求が加速しつつある。また、吸気系のAFB (Air Filter Box) および排気系のDPF (Diesel Particulate Filter) のフィルタ目づまり検出、排ガスを再利用するターボ圧、EGR (Exhaust Gas Recirculation) システムに圧力センサが用いられており、その他、自動車

図1 自動車用圧力センサのアプリケーション

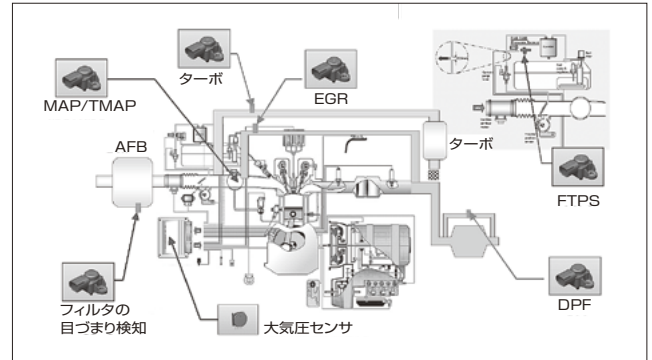


図2 富士電機の自動車用圧力センサ開発ロードマップ

センサ技術	1985	1990	1995	2000	2005	2010
ICプロセス	第1世代	第2世代	第3世代	第4世代	第5世代	第6世代
トリミング	厚膜トリミング	オンチップ薄膜トリミング	CMOSデジタルトリミング			
チップ機能	ダイアフラムエッチング (ウェットドライ)					
	ピエゾ抵抗 (拡散抵抗)					
	Si+Si 台座の AuSn はんだ接合	チップ静電接合	チップ接合 真空室	真空室 ウェアハ静電接合		
MEMS 技術		パイボラ アンプ	CMOS アンプ	高精度 CMOS アンプ		
機械的機能		薄膜	デジタルトリミング+DAC			
電氣的機能			EMC 保護素子	高密度 EMC 保護素子	温度センサ	排ガス耐性

が高地を走行する際の高度補正用の大気圧センサや、欧米・韓国では燃料タンクの漏れを検出することが法規制化されており、燃料タンク圧センサ (FTPS: Fuel Tank Pressure Sensor) が使われている。

3 富士電機における圧力センサの開発経過

富士電機の自動車用圧力センサの開発ロードマップを図



斉藤 和典

半導体圧力センサの設計・開発に従事。現在、富士電機デバイステクノロジー株式会社半導体事業本部自動車電装事業部電装技術部マネージャー。電気学会会員。



西川 睦雄

半導体圧力センサの設計・開発に従事。現在、富士電機デバイステクノロジー株式会社半導体事業本部自動車電装事業部電装技術部。



芦野 仁泰

半導体圧力センサの設計・開発に従事。現在、富士電機デバイステクノロジー株式会社半導体事業本部自動車電装事業部電装技術部。

2に示す。1984年に自動車用のエンジン制御を主体とした第1世代の圧力センサの製品化を、バイポーラによる増幅回路技術およびサージ耐性を生かして開始した。その後ワンチップ化、薄膜トリミング化を採用した第2、第3世代を経て、第4世代で世界初のCMOSプロセスによるワンチップデジタルトリミング型の自動車用圧力センサを量産化した。

今回、市場要求である低コストと高信頼性を両立させるため、第4世代の基本コンセプトである“All in one chip”を継承し、機能・性能・EMC保護性能を維持しながらも小型化を図った第5世代圧力センサを開発した。

4 特徴

図3に今回開発した第5世代圧力センサと、第4世代圧力センサとの比較写真を示す。

第5世代圧力センサは、第4世代圧力センサと同等の機能・性能を実現しながら、チップ各部の最適化・限界設計を行うことにより、対第4世代比で70%のチップサイズ縮小が図られていることが最大の特徴となっている。

以下に第5世代圧力センサに採用された最適化設計を紹介する。

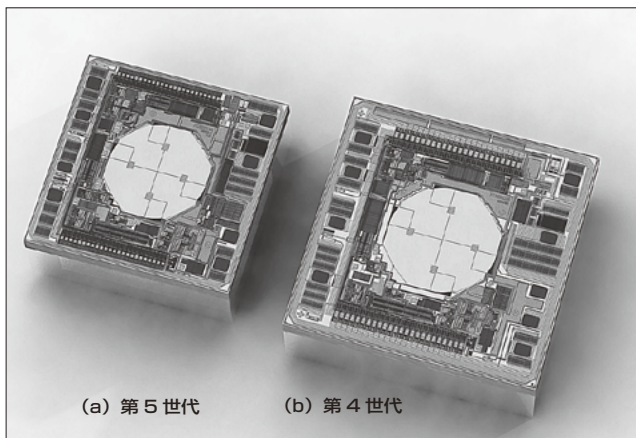
4.1 ダイアフラム設計

センサ部となるダイアフラムの最適化にあたっては、FEM (Finite-Element Method: 有限要素法) 解析を用いて設計を行った。

図4にその一例を示す。ダイアフラムの断面形状のモデル化を行い、圧力を印加した場合のダイアフラムの変位量、およびチップ上に発生する応力を求め、さらにセンサ出力の感度、および非直線性の値を算出し、これらの最適点を求めた。これにより、ダイアフラム面積を縮小しながらも、センサ感度・非直線性を落とすことなく第4世代と同等のセンサ性能を実現している。

また同時に、ダイアフラムで発生する応力が回路部(ダイアフラム以外の領域)に及ぼす影響を把握し、これによりダイアフラム上センシング部-回路領域間の距離(マ-

図3 第5世代圧力センサと第4世代圧力センサ



ジンを)を最小限にとどめ、面積の削減につなげている。

4.2 回路・レイアウト設計

第5世代圧力センサの回路ブロック構成を図5に示す。この構成は第4世代圧力センサとまったく同じであり、機能やブロックの削減は行っていない。

チップサイズの縮小にあたっては、第4世代で培った実績をベースに、より微細で高集積度を図るべく富士電機独自の車載センサ用デザインルールを見直し、表1に示すようなチップ各部の縮小を実現している。

なお、出力精度に直結するアナログ部、特に信号増幅回路や感度調整回路、零点調整回路、温度検出部の縮小は行っていない。

これにより、第4世代と同等の機能・性能・トリミング範囲を確保している。

4.3 耐ノイズ・耐サージ設計

自動車が電磁波の強い場所を走行するなど、電気的・磁氣的に過酷な環境下においても誤動作しないようにするた

図4 FEM解析によるダイアフラム最適化の一例

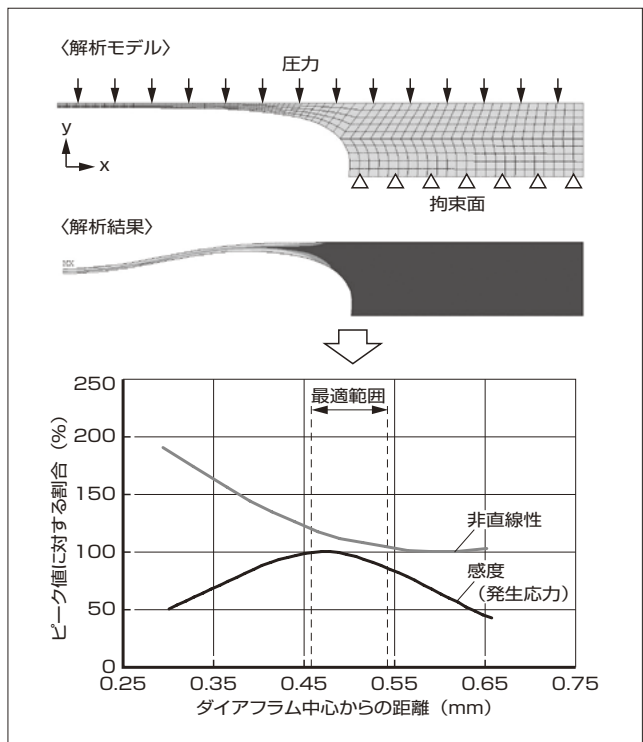


図5 第5世代圧力センサ回路ブロック図

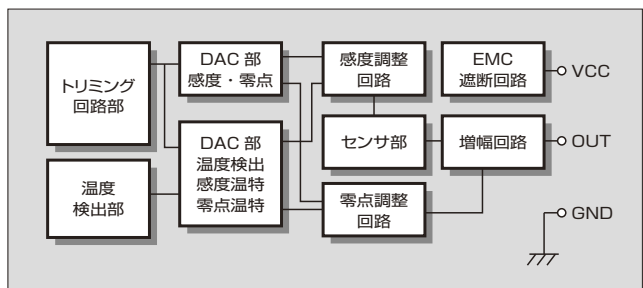


表1 各回路ブロックの面積比 (対第4世代)

回路ブロック		面積比
センサ部	(ICパターン面)	80%
デジタル部	トリミング回路部	70%
アナログ部	D-Aコンバータ部	55~80%
	温度検出部	100%
	感度調整回路	100%
	零点調整回路	100%
EMC・その他	増幅回路	100%
	EMC遮断回路	60%
	サージ保護素子	70~125%

表2 耐ノイズ・耐サージ性能

項目		性能
ESD	MM (0Ω, 200pF)	アナログ: ±1kV以上 デジタル: ±600V以上
	HBM (1.5kΩ, 100pF)	±8kV以上
ISO7637	Pulse 1, 2, 3a, 3b	LEVEL-IVクリア
インパルス		±1kV以上
ラッチアップ	電流注入法	±500mA以上
EMS (G-TEM)	100V/m	変動: 1%FS以下
過電圧	VCC-GND間	16.5V
逆接	VCC-GND間	5V/0.3A

め、耐ノイズ・耐サージ性能への要求は年々強まっている。

この要求に応えるべく第5世代圧力センサにおいては、チップサイズの縮小を行いながら、保護素子については面積を拡大した部位があり、耐ノイズ・耐サージ性に重点を置いたチップ設計を実施している。

これにより表2に示すようにESD (Electrostatic Discharge: 静電気放電) のマシンモデル (0Ω/200pF) で、±600V以上の耐量をはじめとした自動車用として最高水準レベルの各種耐ノイズ・耐サージ性能を、チップ単体で実現している。

5 あとがき

第5世代デジタルトリミング型自動車用小型圧力センサの概要について紹介した。国内外に広く製品展開を行っていく中で、圧力センサに要求される精度、品質、およびコストはますます厳しくなっていくことが予想される。今後も、高精度、高品質の製品の技術開発を推進すると同時に、市場に必要とされ続ける製品開発に邁進 (まいしん) していく所存である。

参考文献

- (1) 上柳勝道ほか, 自動車用圧力センサ, 富士時報, vol.76, no.10, 2003, p.616-618.
- (2) 上柳勝道ほか, 自動車用圧力センサの要素技術, 富士時報, vol.76, no.10, 2003, p.619-621.

解説 デジタルトリミング

例えば、感度やオフセット出力などの製品特性を調整 (トリミング) する手法の一つである。

デジタル信号 (2進数の数値) により調整量を設定することができ、このデジタル信号を「デジタル/アナログ変換器」もしくは「演算器」と組み合わせることで製品特性の調整が行われる手法である。

なお、本方式は半導体製造技術の進歩 (主に微細化) により近年採用が進んでいる。従来は回路の一部に調

整用抵抗を設置し、これをレーザなどで切り込みを入れることにより抵抗値を変化させ、特性を調整する手法を用いていた。

従来の手法と比較してデジタルトリミングの最も優位な点は、製品組立完了後に調整が可能であるということであり、調整後の特性変動要因がないため、特性の高精度化が可能である。