

デジタル出力超小型大気圧センサ

光電子技術研究所 富田道和¹・高山直樹¹・和田英之¹・平船さやか²・末益龍夫³

Digital Output Ultra-Small Atmospheric Pressure Sensor

M. Tomita, N. Takayama, H. Wada, S. Hirafune, and T. Suemasu

近年、バッテリー駆動方式の携帯電子機器が、移動体通信やヘルスケアなど多岐に渡る分野で次々と開発され、それらの携帯電子機器に対して各種センサを搭載することで付加価値を生み出そうとする動きが活発化している。その中で、大気圧計測を目的とした圧力センサも、注目されるデバイスの一つとなっている。携帯電子機器の分野においては、センサの小型化・低消費電流化が必須であるため、この度、それらを実現したデジタル出力超小型大気圧センサを開発した。本稿では、開発したセンサの特長について報告する。

Recently, portable electronic equipment driven by batteries have been developed for various fields such as mobile communication, healthcare, and so on. In addition, demands for value-added products integrated with various sensors are growing in those fields. A pressure sensor for measuring atmospheric pressure is one of the important examples. Also, the miniaturization and the low current consumption drive of the sensor are indispensable to the portable electronics. To meet the demand, we have developed a new digital output ultra-small atmospheric pressure sensor which works with low current consumption. In this report, the features of the sensor we developed are described.

1. ま え が き

携帯電子機器の発展は目覚ましく、スマートフォンやタブレットPCに代表されるように、小型・軽量の機器が数多く開発され、一般消費者に広く利用されるようになった。このような携帯電子機器の多くは、バッテリー駆動方式を採用しているため、そこに搭載されるデバイスについては、小型・軽量であるだけでなく、低消費電流にて動作できることが求められている。一方、MEMS技術を用いたセンサについても、小型・低消費電流の製品が次々と開発され、加速度センサや角速度センサなど、様々なセンサが各種携帯電子機器に搭載されるようになった。更に近年の開発動向として、大気圧センサをこれらセンサに加えることが検討されている。それらの検討で主流となっている大気圧センサは、シリコンプレーナプロセス及びMEMS技術により作製されるピエゾ抵抗方式を採用しており、本稿で報告する大気圧センサもこの方式である。ピエゾ抵抗方式の圧力センサ素子は、シリコンへ不純物を拡散させることで作製した4つのピエゾ抵抗を用いてホイートストンブリッジ回路を形成し、圧力に比例した直流電圧を出力する構成となっている。ただし、センサ素子単体では、出力電圧が小さく、温度に

よる半導体物性の変動に起因した温度特性を有することから、増幅回路や温度補償回路などの信号処理回路と組み合わせて使われるのが一般的である。例えば、センサ素子と信号処理回路を一体化した集積化圧力センサ¹⁾や、センサ素子チップと信号処理ICチップを同一パッケージ内に組立てた2チップSi圧力センサ²⁾などが開発され、汎用的に使用されている。

しかしながら、このような汎用の圧力センサでは、パッケージサイズや消費電流が大きく、携帯電子機器への適用は困難であった。そこで、センサ素子、信号処理IC、パッケージ基板など、あらゆる構成要素を見直し、小型・低消費電流を特長としたデジタル出力大気圧センサを新たに開発した。本稿では、開発コンセプトや特長を中心に報告する。

2. 開発コンセプト

2.1 小型化

大気圧センサの小型化を実現するに当たっては、センサ素子、信号処理ICのサイズを縮小することももちろん、従来採用していたリードフレームタイプのパッケージを表面実装タイプに変えることで、パッケージの小型化を狙った。

1 シリコン技術研究部

2 新規事業推進センターグループ長

3 シリコン技術研究部長

略語・専門用語リスト 略語・専門用語	正式表記	説明
MEMS	Micro electro mechanical systems	微小電気機械システム

2.2 低消費電流化

センサ素子に流れる電流値は、ブリッジ回路に印加する電圧値とブリッジ回路の合成抵抗値により決まるが、間欠駆動が実現できれば消費電流をより小さく抑えることが可能である。そのため、信号処理ICは、測定命令を受け取った際に、測定処理に必要な最低限の時間のみに通電を行う仕様とした。また、ブリッジ抵抗値を適切に調整することで、瞬間電流値を極力小さくできるよう設

計を行った。あわせて、低電圧化の市場要求に応えるため、今回の信号処理ICは 1.8 V の低電圧駆動にも対応させることとした。

2.3 デジタル出力化

携帯機器等に搭載されるセンサは、出力信号の通信の利便性からデジタル出力方式が主流になっている。そのため、信号処理IC内部にA/Dコンバータを内蔵し、ブリッジ回路からのアナログ電圧信号をデジタル信号に変換して出力させる方式を採用した（図 1 参照）。また、出力増幅回路、温度センサ、補正演算回路についても信号処理ICに内蔵させることとした。

2.4 高精度化

センサ素子や信号処理ICは動作温度による出力依存性を持っており、それらは適切な補正計算を行うことで温度補償されている。しかし、パッケージ基板とセンサ素子の間の熱膨張係数差に起因した熱応力によって生じる出力変動については、補正計算で対応するには限界がある。そこで、専用のセラミックパッケージ基板を開発し、この熱膨張係数の差に起因した応力の影響を極力抑える設計とした。

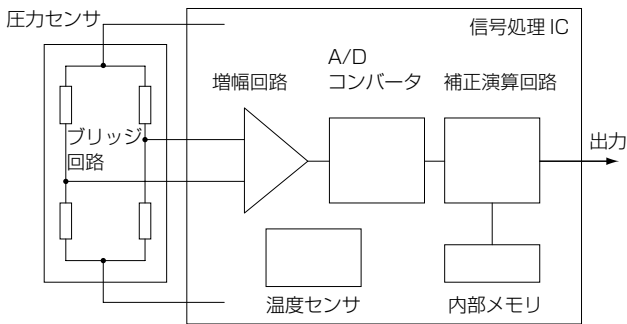


図1 デジタル出力超小型大気圧センサのブロック図
Fig. 1. Block diagram of digital output ultra-small atmospheric pressure sensor.

3. デジタル出力超小型大気圧センサの仕様

開発した大気圧センサの拡大写真を図 2 に示す。セラミックパッケージ基板に大気圧導入孔を形成した蓋を接着させた構造を採用している。内部には、大気圧センサ素子と信号処理ICが実装され、パッケージ基板裏面の出力端子から、デジタル化された圧力信号を取り出すことができるようになっている。

次に、主な仕様を表 1 に示す。

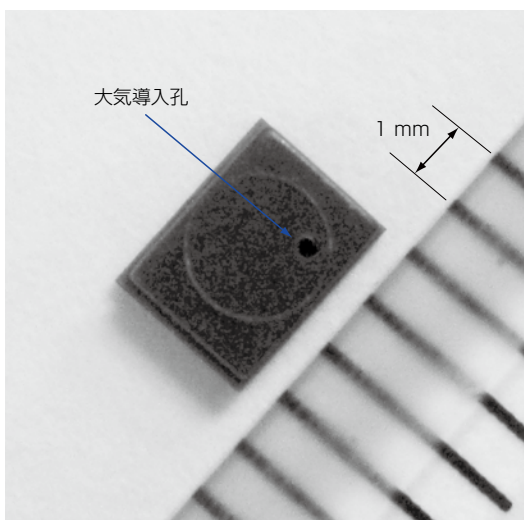
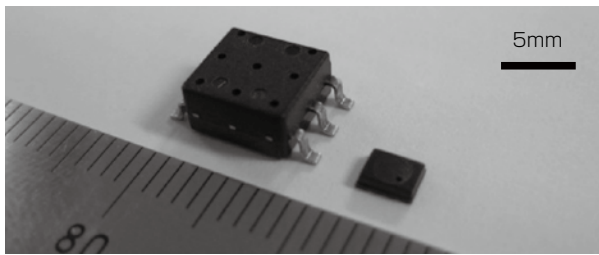


図2 デジタル出力超小型大気圧センサ
Fig. 2. Digital output ultra-small atmospheric pressure sensor.

表1 デジタル出力超小型大気圧センサの主な仕様
Table 1. Main features of the developed sensor.

外形サイズ	2.6 mm×3.4 mm×1.0 mm
電源電圧	1.8 ~ 3.6 V
消費電流 Typ.	9 μA
圧力範囲	300 ~ 1100 hPa
校正圧力範囲	900 ~ 1100 hPa
圧力分解能	0.02 hPa (16 cm)
動作温度範囲	-40 ~ 85 °C
校正温度範囲	0 ~ 50 °C
出力補正	自動補正演算機能内蔵



従来品 (左) 開発品 (右)

図3 従来の圧力センサとデジタル出力超小型大気圧センサのサイズ比較

Fig. 3. Comparison between the conventional sensor (left) and the developed sensor (right) .

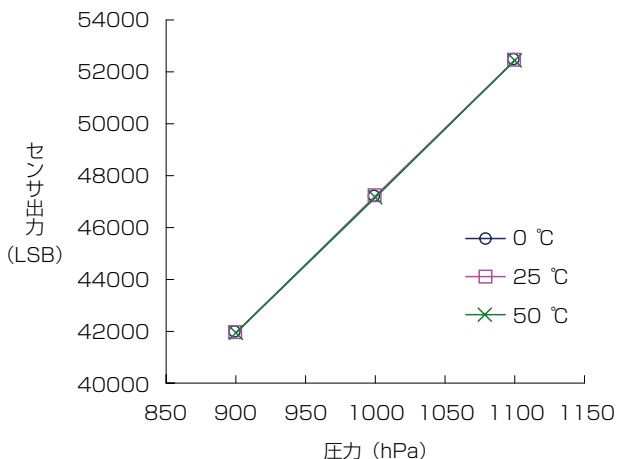


図4 デジタル出力超小型大気圧センサの出力特性
Fig. 4. Output characteristics of the developed sensor.

開発品は、2.6 mm×3.4 mm×1.0 mmの小型サイズが実現できた。図3は、開発したセンサと、従来の信号処理回路を内蔵したタイプの大気圧センサとを比較したものである。従来品のパッケージサイズは、7.0 mm×10.2 mm×3.5 mmであったのに対し、開発品は体積比で1/20以下となるサイズダウンを実現している。

電源電圧は1.8 V～3.6 Vに対応しており、消費電流については、1秒間に1回の測定間隔にてデータを取得する間欠駆動条件において平均電流9 μAで駆動することが可能である。なお、測定間隔は自由に設定することが出来るため、測定間隔を広げることで消費電流をさらに小さくすることができる。

圧力分解能については0.02 hPaであり、これは地表付近での高度変化に換算すると約16 cmに相当する。

また、自動補正演算機能を内蔵し、信号の増幅や温度特性の補正など必要な処理をすべて内部で実施し、適性に処理された圧力信号を出力できるようになっている。

4. デジタル出力超小型大気圧センサの諸特性

4.1 出力特性

開発した大気圧センサの出力特性を図4に示す。自動補正演算機能により温度補償された出力となっており、周囲温度の影響を最小限に止めるよう信号処理IC内部で適正に処理されている。出力される圧力信号は、出荷前の検査工程においてセンサ個体ごとに個別調整されるため、ユーザ側での調整作業は不要である。

4.2 出力安定性と高度測定

高度測定の精度を上げるには、センサの分解能を高くするだけでなく、加えてセンサの出力安定性が高いことが重要であり、両者が合わさって始めて高精度な高度測定が可能になる。また、気圧と高度との関係は、(1)式により表される³⁾。

$$H = 4.44308 \times 10^4 \left[1 - \left(\frac{P}{P_0} \right)^{0.190263} \right] \dots\dots\dots (1)$$

H：高度 (m)

P：気圧 (hPa)

P₀：0 m地点における気圧 (hPa)

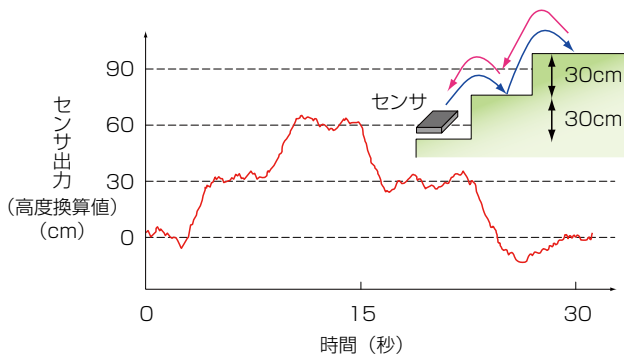


図5 高度測定の一例

Fig. 5. Example of altitude measurement using the developed sensor.

このような関係式を利用し、高度変化を検知できることから、大気圧センサはナビゲーションシステムにおける階移動検知、人物の転倒検知など、携帯電子機器と組み合わせた新しい応用が検討されている。

高度測定の実験例として、開発した大気圧センサの出力をモニタしながら30 cm刻みでセンサの位置を上下させて測定を行った結果を図5に示す。なお、この実験は、気圧の変動が無い安定した室内環境下で測定を行い、センサ出力を移動平均処理した結果である。この結果から、開発した大気圧センサは、高い分解能と出力安定性を兼ね備え、30 cmの高度変化を十分検知できることが確

認できた。

4.3 信頼性

温度サイクル，高温高湿バイアス，リフロー耐性について信頼性試験を実施した。試験条件および結果を表 2 に示す。すべての試験においてセンサの動作不良は無く，出力変動も初期値に対し $\pm 0.5\%$ 以内と微小であった。

表2 信頼性試験結果
Table 2. Results of reliability tests.

試験項目	試験条件	結果
温度サイクル試験	-45℃～85℃，1000 サイクル	合格
高温高湿バイアス試験	85℃ / 85% RH，3.6 V印加， 1000 時間	合格
リフロー試験	265℃ (MAX)，3 回	合格

5. む す び

センサ素子，信号処理IC，パッケージ基板など，あらゆる構成要素を見直し，小型，低消費電流，高精度を特長としたデジタル出力大気圧センサを開発した。開発したセンサは，30 cmの高度差を十分検知できる性能を有している。本センサは，携帯電子機器用途に限らず幅広く応用できる可能性があるため，本開発を足掛かりにさらなる用途展開をはかっていく。

参 考 文 献

- 1) 蓬田ほか：「低電圧駆動ワンチップ集積化圧力センサ」，フジクラ技報，第101号，p75-80，2001
- 2) 小山内ほか：「2チップSi圧力センサ」，フジクラ技報，第113号，p54-57，2008
- 3) 坂井ほか：「気圧高度計による高度測定誤差とその補正」，ELECTRONIC NAVIGATION RESEARCH INSTITUTE PAPERS，No.114，2005