

センサー素子の微小信号を調整する センサーコンディショナーICのアナログ技術 MB42M000シリーズ

当社ではセンサー素子の微小信号を調整するセンサーコンディショナーIC「MB42M000シリーズ」を量産しています。本稿では、このセンサーコンディショナーICのアナログ要素技術について紹介します。

はじめに

現在、車載機器、モバイル機器、ロボット、ゲーム、工業機器などさまざまな分野で、加速度や圧力などを計測するセンサー市場が拡がり、その数は年率10%以上の勢いで増加しています。特にMEMS^{*1}技術などを使ったセンサーの小型化が進んでいるため、センサー素子の微小な物理量の信号をリニアな電気信号に変換し、増幅するアナログ技術が求められています。さらに、製造ばらつきや温度変化によって生じる、オフセットや感度の特性変動を補正することも求められています。センサー素子の信号を変換・増幅するためにオペアンプを用いることはよく知られていますが、センサー素子の感度やオフセットのばらつきに対して外付け部品の調整が必要となり、非常に調整工程が増大してしまいます。また、温度による特性変動の補正を行うためには、さらに外付け部品を増やす必要があります。

当社ではこのような背景をふまえ、センサー素子の微小信号を、最少の外付け部品で容易かつ高精度に変換・増幅・補正するセンサーコンディショナーICを開発・提供しています。

センサーの基本構成

図1にセンサーの基本構成を示します。

センサー素子は圧力、速度、加速度、角速度などの変位や、臭い、光、電磁波の変化など、外界のさまざまなアナログ信号変化をキャッチします。そのセンサー素子からの微小信号をCPUなどで処理できる電気信号に変換・増幅しているのがセンサーコンディショナーICです。CPUで処理できる電気信号に変えられたあとは、その情報に基づいてフィードバック制御などさまざまなシステム制御が行われ、変化に対応した最適な処理が行われます。

センサーコンディショナーICには、図1に示したように検出回路、駆動回路、調整（補正）回路、温度センサーなどのアナログ回路が内蔵されています。また最近では、モジュール製造歩留りアップや高い要求精度に対応するために、センサー素子信号を補正するための係数を記憶させる不揮発性メモリが必要な場合も増えています。

センサーコンディショナーICに必要なアナログ信号の変換

センサー素子の種類により、外界のアナログ物理量の変化を表現する信号が異なります。

表1にセンサー素子の出力信号の一例を示します。センサー素子は、物理量の変化を例えば静電容量、抵抗（電圧変化）または電荷の変化として出力します。このため、出力を受けるセンサーコンディショナーICには、各種センサー素子に向けた変換技術が必要になります。

当社では、加速度や圧力などの物理量変化を電圧（抵抗変化）または静電容量の変化として受け取り、その信号を電圧として出力するセンサーコンディショナーICを開発・提供しています。

センサー素子は、製造ばらつきや温度変化による特性変動が生じるため、その変動を補正するための補正機能も必要です。これらを含めた要素技術の概略を次に示します。

静電容量変化の検出

加速度や圧力の変化を静電容量の変化としてセンサー素子が出力し、CPUで処理でき

図1 センサーの基本構成

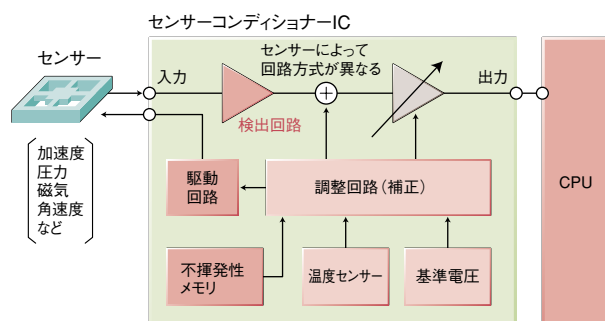


表1 センサー素子の種類と出力信号

センサータイプ	出力信号	物理量変化からセンサー素子が出力する信号(例)	センサーコンディショナーIC検出回路
静電容量型センサー	静電容量	$\Delta 30\text{fF}$ の静電容量変化を出力	C-V変換回路 $\Delta 30\text{fF}$ の変化を $\Delta 1\text{V}$ で出力
抵抗ブリッジセンサー	電圧（抵抗変化）	$\Delta 1\text{mV}$ の電圧変化を出力	電圧アンプ $\Delta 1\text{mV}$ の変化を $\Delta 1\text{V}$ で出力
圧電ショックセンサー	電荷	$\Delta 0.5\text{pC}$ の電荷変化を出力	チャージアンプ $\Delta 0.5\text{pC}$ の変化を $\Delta 1\text{V}$ で出力

る電気信号（電圧）に変換します。

図2左に静電容量型センサーのイメージを示します。このセンサータイプのセンサーコンディショナーICには、静電容量・電圧変換回路のアナログ技術が必要になります。

当社の代表品種としてMB42M001があります。図3にこのブロック図を示します。

MB42M001は、単に静電容量を電圧に変換するだけでなく、変換利得をプログラブルで変化させることができます。なおかつ、センサー素子のもつ容量値のばらつき（オフセット容量）をキャンセルすることもできます。MB42M001のC-V変換利得（=C-V変換回路の利得×電圧アンプの利得）は、次の範囲で可変できます。

[C-V変換利得]

$$\Delta V_{OUT} = \pm \Delta C \times (ACVA \times AVGA)$$

$$= \pm \Delta C \times (1.81 \sim 145.6)$$

ΔV_{OUT} : IC出力電圧範囲[V]

ΔC : センサー素子の変化容量[pF]

ACVA : C-V変換回路の変換利得。

0.086 ~ 1.3 [V/pF]

AVGA : 電圧アンプの利得。

21 ~ 112 倍

IC出力電圧範囲をVo ± 1.5V (ex.2.5V ± 1.5Vの範囲) としたら、設定上ではセンサー素子の変化容量を±0.01pF ~ ±0.83pFまで許容できることになります。センサー素子のノイズや周波数特性、ICのノイズ、素子ばらつき、外部配線容量などのさまざまな要因に依存するため、この数値は理想的な環境でのものになりますが、さまざまな特性を持つセンサー素子に対応できることがわかります。

抵抗変化の検出

図2右に抵抗型センサーのイメージを示します。抵抗型センサーの場合は、センサーに配置された抵抗値に電流または電圧を印加することによって、物理量の変化を電圧として出力します。しかしこの電圧は微小な信号であり、センサーコンディショナーICに対する要求としては、低ノイズかつ高ゲインで処理しなければなりません。当社の抵抗型センサー用のICには、これに適したアンプが内蔵されています。

図4にMB42M102のブロック図を示します。抵抗型センサー用は高ゲインでセンサー素子の信号を増幅するので、オフセット電

圧も同様に高ゲインで増幅されます。これを補正しないと出力のばらつきが大きくなり、CPUでは処理できなくなります。この

図2 静電容量型センサーと抵抗型センサー

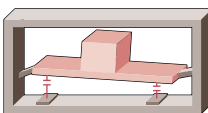
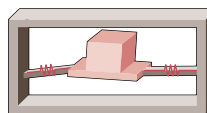
	静電容量型	抵抗型
物理量の検出	おもりの応力で容量が変化	おもりの応力で梁部の抵抗が変化
構造例	 $\Delta C \propto \text{加速度}$	 $\Delta R \propto \text{加速度}$ $(\Delta R \cdot I = \Delta V)$
長所	消費電流小・温度特性小	小型・低コスト
短所	加工精度が必要	消費電流大・温度特性大

図3 静電容量型センサーコンディショナーICの構成

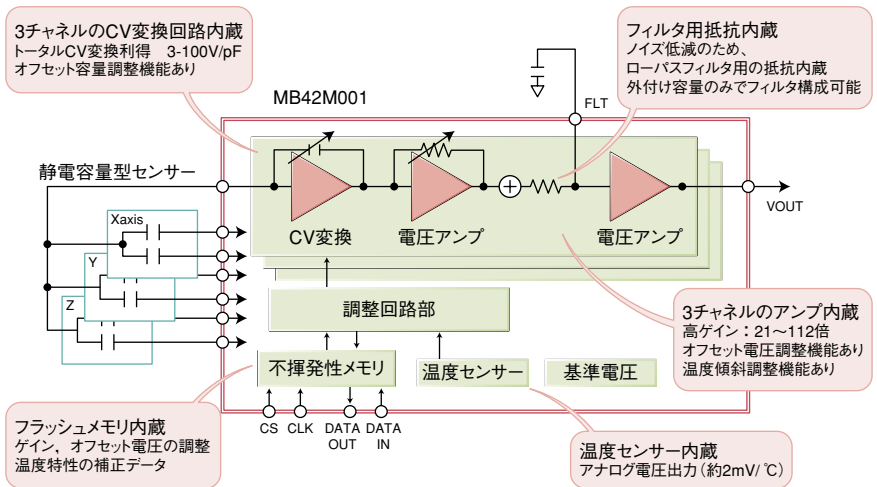
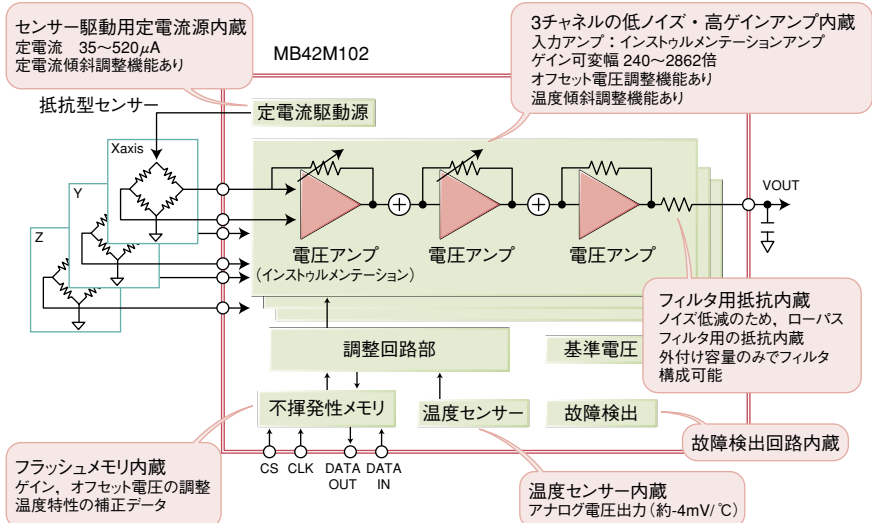


図4 抵抗型センサーコンディショナーICの構成



ため、センサーコンディショナーICのアンプにはオフセット電圧を補正する機能も必要となります。このような仕様を満足させるためにアナログ技術を活用しています。

当社のMB42M102を例にあげると次のようになります。

【電圧利得】

$$V_{OUT} = \Delta V_{in} \times AVGA$$

V_{OUT} : IC出力電圧範囲 [V]

ΔV_{in} : センサー素子の変化電圧 [V]

$$\Delta V_{in} = \pm \Delta G \times Sg$$

±ΔG : 検出範囲 [G]

Sg : センサー素子の感度 [mV/G]

AVGA : 電圧アンプの利得。

240 ~ 2682 倍

▼
センサー素子を加速度検出 (±2.0G 検出) のセンサーと仮定し、IC出力電圧範囲をVo ± 1.5V (ex.2.5V ± 1.5Vの範囲) とすると、前述の計算式より、MB42M102は0.26mV/G ~ 3.1mV/Gの感度を持つさまざまな特性のセンサー素子に対応できることになります。

感度が低いセンサー素子の場合、アンプゲインを高くしなければなりません。その場合、ノイズやオフセットも増幅されるので、望んでいる分解能が得られるようなフィルタ付加やオフセット許容範囲を十分考慮して設計する必要があります。MB42M102の入力換算ノイズは60nVrms/√Hzであるので、例えば1mV/Gの感度を持つセンサーを使用し、アンプゲインを1000倍で設定して、応答周波数200Hzの場合、約5mVppの出力ノイズが発生し5mGの分解能が得られます。

センサーコンディショナーICに必要な補正機能

センサーコンディショナーICでは、さまざまな種類のセンサー素子に応じた変換・増幅回路に加え、補正機能も重要なファクターとなります。センサー素子は、製造ばらつきや周囲の温度変化による特性変動を生じます。もともとキャッチする信号変化量が非常に小さいため、これら周囲の影響による変動要因を補正する必要があります。

当社が開発したセンサーコンディショナーICには、現時点で2種類の補正機能を採用しています。1つはルックアップテーブル補正、もう1つはアナログ傾斜補正です。両補正手法とも、センサー素子の製造ばらつきによる個体間の差を吸収したり、周囲の温度変化によって生じるセンサー素子のオフセット変動や感度変動に対する補正係数を、内蔵不揮発性メモリに記憶させて補正します。

ルックアップテーブル補正

図5にルックアップテーブル補正による温度補正の機能ブロックを、図6にその補正のイメージ図を示します。

当社のルックアップテーブル補正は、使用温度範囲を10℃ごと12ポイントに区切り、各温度でセンサーのオフセットや感度の温度変動を補正するように適切なアンプのオフセット、ゲイン値を設定します。周囲の温度に

図5 ルックアップテーブル補正機能ブロック

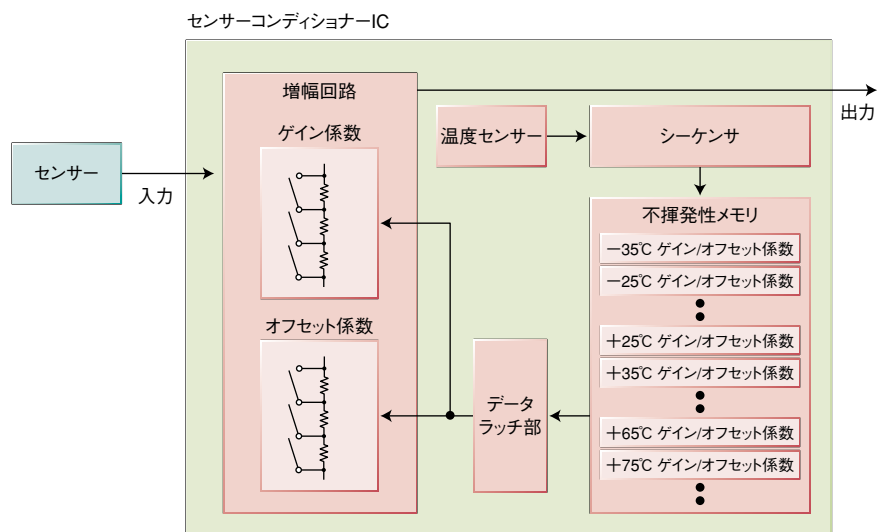
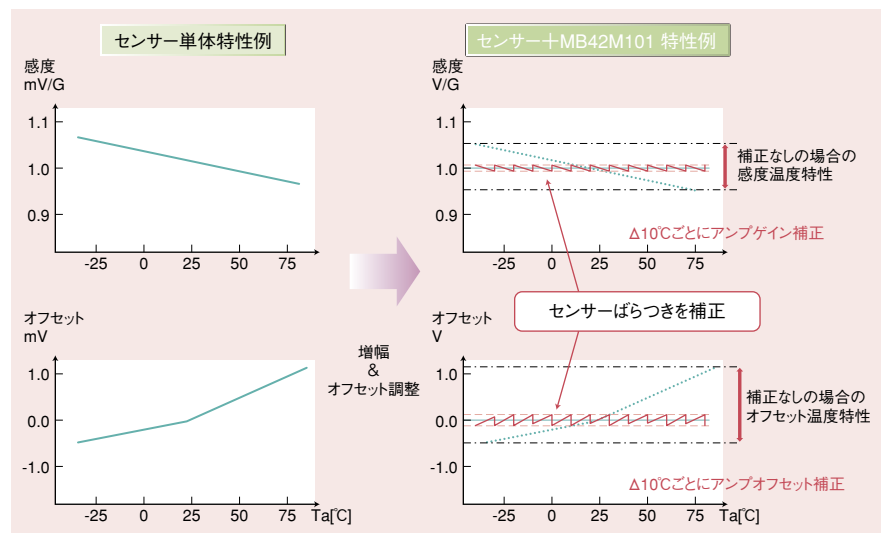


図6 ルックアップテーブル補正による温度補正イメージ



変化が生じた時に、その温度で設定したゲイン、オフセット設定値を読み出して増幅回路へ与えます。その結果、感度やオフセットの温度変動に影響されにくい電圧を出力することができます。オフセット、ゲインの可変は、ラダー抵抗をスイッチで切り替えるような手法をとっています。

て、低消費電力・小型化・高機能化を目指し、バラエティーに富んだ製品群を開発していきます。これにより、さまざまなセンサー素子に対応できる製品を充実させていきます。■

* 1 : MEMS (Micro Electro Mechanical System) 微小電子機械システム。半導体プロセス技術を利用した小型のメカニカルデバイスや構造体のこと。

*その他の社名および製品名は各社の商標もしくは登録商標です。

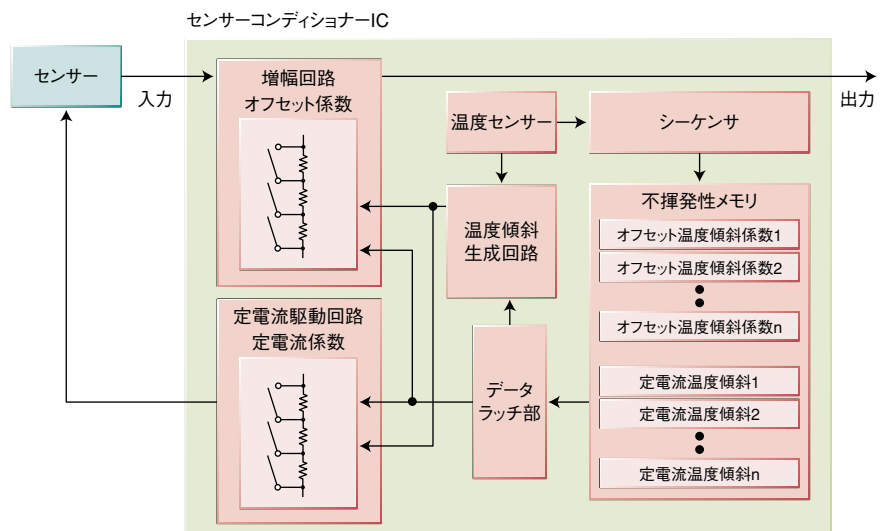
アナログ傾斜補正

図7にアナログ傾斜補正による温度補正機能ブロックを、図8にその補正イメージ図を示します。

ルックアップテーブルが、ある規定された温度範囲ごとに補正するのに対して、アナログ傾斜補正では、温度に対しセンサー素子と逆特性の依存をICにもたせて出力特性フラット化を図っています。またオフセット電圧に対しては、 $-20^{\circ}\text{C} \sim 55^{\circ}\text{C}$ の間で 5°C ごとの任意の温度ポイントで一点折れ点を設定可能とし、高温・低温の両方向に傾斜係数を与えて補正します。

感度に対しては、センサーを駆動するための定電流（または定電圧）源に直線温度係数を与えて補正できます。

図7 アナログ傾斜補正機能ブロック



今後

世の中にはさまざまなアナログ情報があふれており、これらの変化をキャッチするセンサー素子の開発が進んでいます。最近のMEMS素子によるセンサーの小型化もその一つですが、それ以外にもさまざまな手法で小型化・複合化が進み、爆発的に数量が増加するとともに、使用環境も高温・多湿など一層多岐にわたってきています。それらの状況に応じて効率よく電気信号に変え、安定して使えるようにするためには、前述したセンサーコンディショナーICなどの存在が不可欠です。

また最近のセンサコンディショナーICは、センサー素子からのキャッチだけに止まらず、信号出力形態もアナログからデジタルへ、有線から無線へと変化しており、それらの需要も高まっています。当社では今後、本稿で紹介したようなアナログ技術を基本形とし

図8 アナログ傾斜補正による温度補正イメージ

