

加速度センサーとは？

by Tomoaki Tsuzuki

加速度センサーとは？

加速度センサーとは加速度の測定を目的とした慣性センサーです。振動センサーと異なり、加速度センサーは直流（DC）の加速度が検出可能である為、加速度センサーを使って重力を検出する事も可能です。加速度を測定し適切な信号処理を行う事によって、傾きや動き、振動や衝撃等様々な情報が得られます。加速度センサーには、様々な種類があり加速度の検出方式によって大別されます。本稿では MEMS（Micro Electro Mechanical System）技術を応用した MEMS 加速度センサーの紹介をします。

MEMS 加速度センサーの歴史

近年のマイクロマシン技術または MEMS 技術の発達により、半導体微細加工技術を応用した加速度センサーが大量かつ安定的に生産出来るようになりました。アナログ・デバイセズは 1993 年に初の MEMS 加速度センサー ADXL50 の量産を開始しました。ADXL50 はパッケージに平行な 1 軸の直線加速度を検出できるアナログタイプの加速度センサーで、必要な信号処理回路の殆どをチップ内部に内蔵しています。ADXL50 は外付け回路を簡略化する事が出来、またそれまでの機械式加速度センサーに比べて小型で安価であったため、自動車のエアバッグシステムに衝撃を検出するセンサーとして採用され、使用されるようになりました。

ADXL50 は $\pm 5.0\text{ g}$ （*1）の検出範囲を持つセンサーで、車が衝突する際の大きな加速度を検出する事が出来ます。しかし ADXL50 はエアバッグの展開という比較的大きな加速度を検出する用途には最適ですが、傾きの検出や人間の動きといった比較的小さな加速度（ $1\text{ g} \sim 10\text{ g}$ 程度）を検出する用途には向いていません。この問題を解決する為にアナログ・デバイセズは ADXL202 をリリースしました。ADXL202 は測定範囲が $\pm 2\text{ g}$ と小さく、傾きの検出や人間の動きの検出に最適です。また、ADXL50 が 1 軸であったのに対してパッケージに平行な X 軸と Y 軸の 2 軸の検出機構をワンパッケージに内蔵した画期的な加速度センサーです。

ADXL202 はその小型パッケージと使い勝手の良さから、ゲーム機器やプロジェクター等多くの民生機器に搭載されました。

ADXL335 はパッケージに平行な 2 軸と垂直な 1 軸をワンパッケージに搭載した 3 軸加速度センサーです。3 軸加速度センサーの登場により、それまで困難であった人間の動きの計測が容易に安価に実現出来るようになりました。これにより、加速度センサーの用途は爆発的に増加し、今日ではゲーム機、携帯電話機、デジタルカメラなど、多くの民生機器に搭載されています。

このように加速度センサーの用途拡大は加速度センサー自体の技術的革新が牽引してきたと言えますが、最近では使用用途の要求を加速度センサーに組み込んだ製品、例えば ADXL345 や ADXL346 のように AD コンバータを内蔵し、閾値判定等のアルゴリズムを内蔵したタイプの製品が登場しています。

* 1 1 g は約 9.8 m/s^2

加速度センサーの分類

一般的に約 20G 以下の測定範囲をもつ加速度センサーを低 G 加速度センサー、それ以上の測定範囲をもつものを高 G 加速度センサーと呼びます。前述の ADXL50 は高 G センサー、ADXL202、ADXL335 等は低 G 加速度センサーです。低 G 加速度センサーは重力・傾きの検知や人の動き等の検知に適しており、高 G 加速度センサーは主に衝撃の検知に使われます。

MEMS 型加速度センサーは加速度を検出する検出素子部と、検出素子からの信号を増幅、調整して出力する信号処理回路で構成され、検出素子部の方式によって表 1 のように分類されます。チップ内部で補正をかけている製品も多く存在する為、個々の製品仕様と表 1 の説明が必ずしも一致する訳ではありませんが、加速度センサーの特性は検出素子部の特性に大きく左右されるのでセンサーを選定する場合には検出原理を理解して用途に適した加速度センサーを選択する事が重要です。

	静電容量検出方式	ピエゾ抵抗方式	熱検知方式
原理	センサー素子可動部と固定部の間の容量変化を検出	センサー素子可動部と固定部を繋ぐバネ部分に配置したピエゾ抵抗素子により、加速度によってバネ部分に発生した歪みを検出	ヒーターにより筐体内に熱気流を発生させ、加速度による対流の変化を熱抵抗等で検出
特徴	センサー素子部は Si やガラスなどの安定した物質で構成。	比較的構造が単純で、素子からの出力が大きい。	可動部を持たないので、衝撃に強い。パッケージ容積と特性がトレードオフの関係にある。
精度	安定した物質で構成されるので、特に温特に優れる。	原理・構造要因により温得の直線性、感度の直線性がやや劣る。共振周波数が低い場合は外部振動による影響がある場合もある。	常温ノイズは比較的低いが、感度の温特が低い。原理要因により、測定周波数帯域が狭い（数 10 Hz）。

表 1. MEMS 型加速度センサーの分類

TABLE OF CONTENTS

加速度センサーとは？	1	静電容量型加速度センサーの検出原理	4
MEMS 加速度センサーの歴史	1	加速度センサーのアプリケーション	6
加速度センサーの分類	1	加速度センサーの選定手順	6

静電容量型加速度センサーの検出原理

加速度センサーの構造および検出原理について、静電容量検出方式の低 G 加速度センサーを例にとって以下に解説します。

古典力学のニュートンの法則によると、物体に働く力は以下の式で表す事が出来ます。

$$F = m \times a \quad (1)$$

ここで、 F は重さ m の物質に働く力で、 a は加速度です。

バネと錘で構成されるシステムを考えた場合に、 F は以下の式で表す事が出来ます。

$$F = k \times x \quad (2)$$

ここで、 k はバネ係数で x はバネの伸縮距離です。

式 (1) と式 (2) の連立方程式を解くと加速度 a は以下の式で表す事が出来ます。

$$a = \frac{k \times x}{m} \quad (3)$$

式 (3) より、加速度は既知のバネ係数と重さを持った錘の移動距離を計測する事で計算が可能である事が解ります。図 1 は加速度の検出原理を図示したものです。

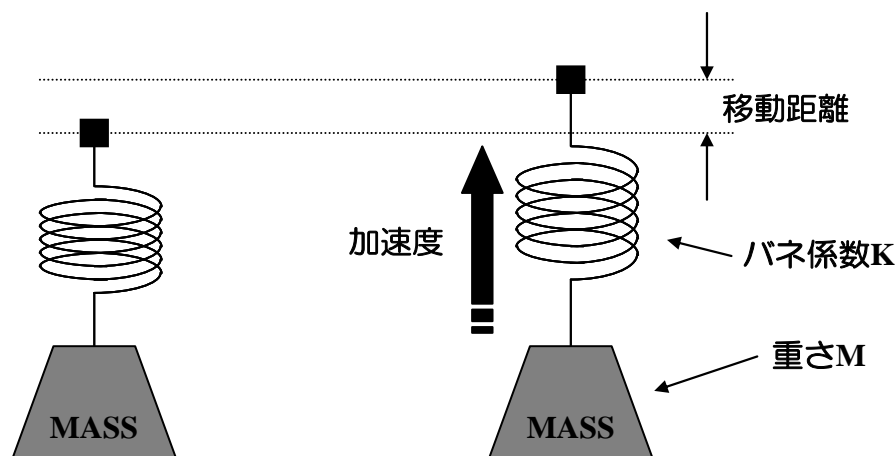
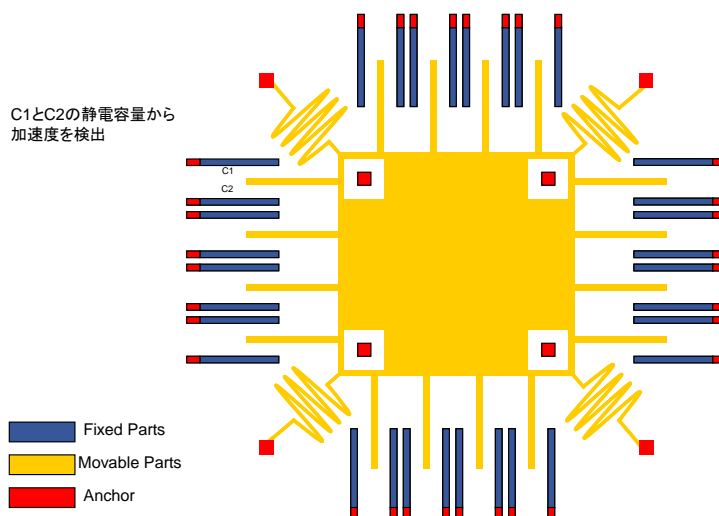


図 1. 加速度センサーの検出原理

アナログ・デバイセズの静電容量型加速度センサーは式 (3) を利用して、錘の移動距離を計測する事によってセンサーに加わっている加速度を出力するように設計さ

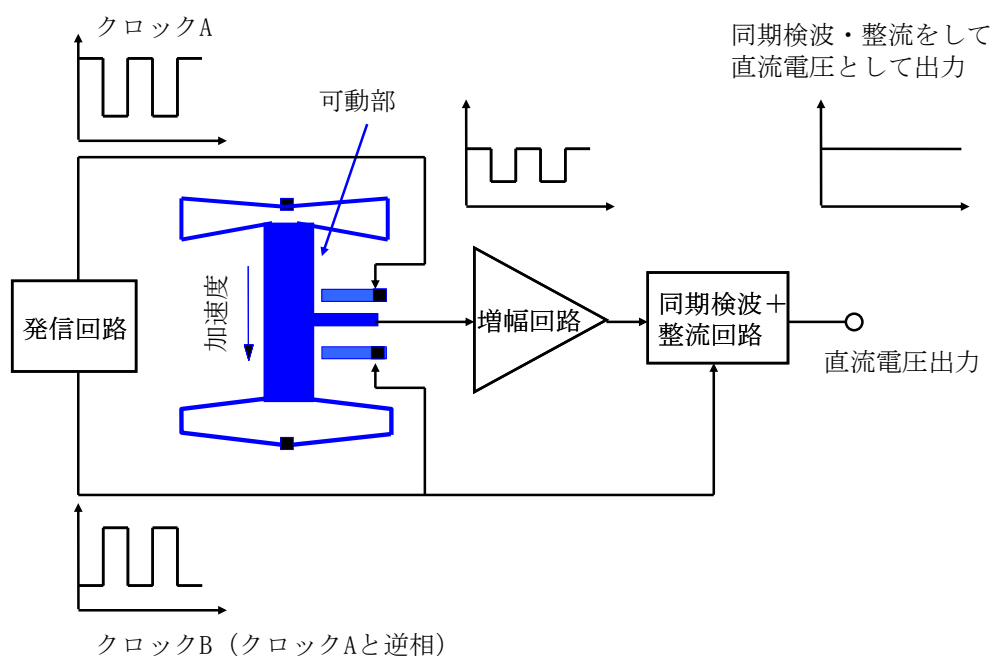
れています。図 2 は代表的な低 G 加速度センサーの検出素子部の模式図です。



検出素子部には加速度によって動く可動部（錘）とバネ、またその動き（移動距離）により静電容量変化を発生するための櫛歯状電極が形成されており、可動マスに形成された可動電極 1 本当りにつき 2 本の固定電極に挟まれる形で電極の単位セルを形成しています。

図 4 に内部信号処理の流れを示します。単位セルの 2 本の固定電極にそれぞれ逆相のクロック信号を印加するこ

とで、加速度によって可動電極がどちらかの固定電極に近付いたときに、近付いた固定電極に印加されているクロックと同相の電荷変化が可動電極に発生します。この電荷変化を増幅し、同期検波および整流を行うことで可動部の移動距離、つまり加速度に比例した電圧出力を得る事ができます。



加速度センサーのアプリケーション

加速度センサーは大きく分けて重力、振動・動き、衝撃の3つの現象を測定する事が出来ます。それぞれの現象を旨く検出する事によって、加速度センサーの出力信号は実際のアプリケーションに役立てられています。例えば、携帯機器画面

の表示向きを使用環境に合わせて変更するアプリケーション（縦横検出）では、重力を計測して、加速度センサーの傾きを計算する事で実現する事が出来ます。図5に加速度センサーの検出対象と代表的なアプリケーションを図示します。

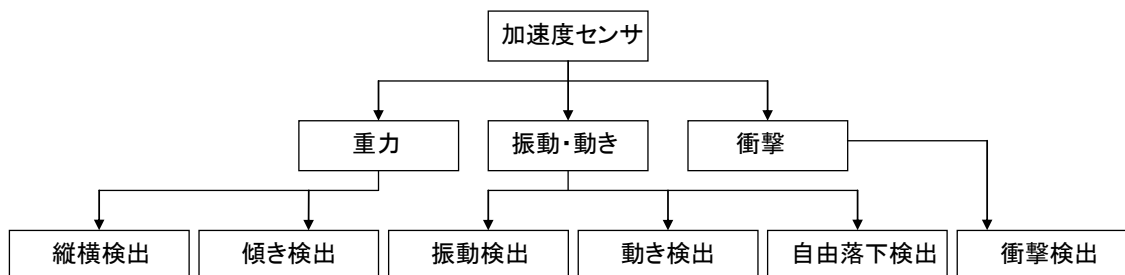


図6. 加速度センサーの検出対象とアプリケーション

加速度センサーを搭載して各アプリケーションを実現する事によって商品に新たな付加価値を付与しています。加速度センサーを搭載している代表的な民生機器には、ゲーム機、携帯電話、デジタルカメラ、プロジェクター、PC等があります。例えば携帯電話では、縦横検出により画面の表示向きの切り替えを行うといったアプリケーションや、ある特定の衝撃（例えばタップ）を検出して特定の機能を動作させるといった形で利用しています。デジタルカメラではカメラの傾きを画面に表示するといった利用方法や、前述の携帯電話と同様に衝撃を検出して様々な機能を動作させるといった使われ方をしています。プロジェクターでは加速度センサーの傾きを検出して、プロジェクターが傾いていても画面が台形にならないように補正をかけています。PCでは衝撃を検出したらHDDのヘッドを退避させてHDDドライブを保護するといった形で利用されています。

産業機器市場では、振動抑制や姿勢制御といった用途に加速度センサーが使われています。振動抑制の場合は、加速度センサーからの信号とアクチュエーターを使用して、外部で振動があった場合でも対象物が振動しないように制御するといった形で利用されています。

ここに挙げたアプリケーションは一例にすぎませんが、加速度センサーの信号は搭載される機器によって様々な形で利用されており、今後もその利用方法は益々拡大していくと思われます。

加速度センサーの選定手順

最適な加速度センサーを選定する為には、まず実現したいアプリケーションを明確にする事が大切です。この時、出来るだけ具体的にアプリケーションの仕様を定量化する事が大切です。

アプリケーションが明確になったら、各アプリケーションの使用条件でどういった加速度が入力されるかを測定します。これにはアナログ・デバイセズ社の加速度センサー評価ボードが最適です。例えば、加速度センサーを使ったユーザーインターフェースを検討している場合には、実際にデモボードに任意の動作を加えて、加速度センサーからの出力波形を測定します。また、測定する加速度の周波数や振幅がわからない場合には、高価な圧電型加速度センサーを利用して、入力加速度を測定する場合もあります。

測定対象が明確になれば、実際のアプリケーション開発を行います。例えば、ユーザーインターフェースの場合は、測定した波形の特徴から、任意の動作だけに反応するようなアルゴリズムを開発します。振動抑制のようなアプリケーションでは、シミュレーションでシステム全体の安定性を確認するといった事も行われます。

殆どの場合において、アプリケーション開発の後、もしくはアプリケーション開発と並行して試作を行う必要があります。試作に使用する加速度センサーは、入力加速度の測定に使用した加速度センサーが一般的です。ただ、入力加速度の測定に高価な圧電型加速度センサーを使用した場合や、要求される特性によっては実現したアプリケーションの精度と入力加速度の特性から最適な加速度センサーを選定します。

NOTES

NOTES