

# 加速度を検出する

検出対象別にみたセンサの活用技術

## センサ

岡田 和廣\*

最近、産業界では特に自動車産業を中心にエアバックシステム、A. B. SおよびChassis controlなどに代表されるように、車の安全性や快適性の制御のために高性能な加速度センサの要望が高まっている。

これに応じ、ピエゾ抵抗効果や静電容量の変化を利用した種々の加速度センサが新しく提案され、従来から一般に使用されている圧電形やサーボ形加速度センサと合わせ徐々に使用されつつある。

さらに最近では、1つの検出素子で3軸の加速度成分を検出する3軸センサが商品化されている。

本稿では従来からある加速度センサと、最近開発された3軸加速度センサについて、その特徴、選定のポイントなどを概説する。

### 1. 加速度センサの種類と特徴

物理量のもっとも基本の1つに挙げられる加速度を検出するセンサとして、サーボ形、圧電形、静電容量形そしてピエゾ抵抗形などがある。おのおの検出方式には長所と短所があり、用途によって使い分けられている。

以下、各検出方式の特徴について1軸と3軸検出形に大別して、それぞれの方式について述べる。

#### (1) 1軸形加速度センサ

1軸形加速度センサは1個の検出素子で1方向の加

速度（1軸加速度）を検出するものであり、現在、広く一般的に使用されている。サーボ形、圧電形、静電容量形そしてピエゾ抵抗形などがある。

#### ① サーボ形加速度センサ

サーボ形加速度センサは、他の加速度センサと比べてもっとも精度が高いという特徴がある。そのため、地震などによる微小振動を検出することが可能であり、感震器などに使われている。静的加速度も検出できることから傾斜計などにも多く使われている。さらに、加速度を2回積分すると距離が算出されることから、航空機の飛行を制御する慣性航法装置などにも使われている。

サーボ形加速度センサは構造／検出原理が複雑なために、他の加速度センサと比較すると大形で高価という欠点がある。

#### ② 圧電形加速度センサ

ある種の物質に力を加え歪みを与えると、歪みに比例して電荷が発生する。圧電形加速度センサはこの原理を利用している。圧電材料としてはセラミックス系のPZT（チタン酸ジルコン酸鉛）やプラスチック系にPVDF（ポリフッ化ビニリデン）などが用いられている。

圧電形加速度センサは構造が簡単で、頑丈、小形、軽量という特徴があり、振動解析用に広く加速度ピックアップとして使われている。また、最近では、冒頭述べたエアバックシステム用の衝突検出センサとしても使われている。

圧電形加速度センサは出力インピーダンスが高い、パイロ効果を有する、静的加速度を検出することがで

\*：(株)ワコー 代表取締役

〒338 埼玉県与野市上落合2-2-11  
TEL(048)857-7027

写真1 圧電形3軸加速度センサ  
(信号処理回路内蔵)

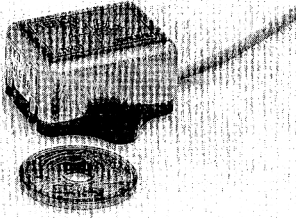


写真2 ピエゾ抵抗形3軸加速度センサ

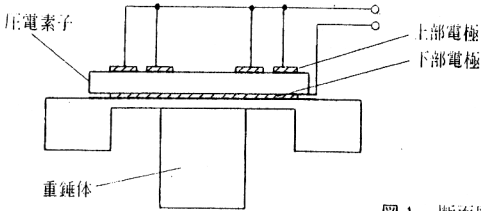
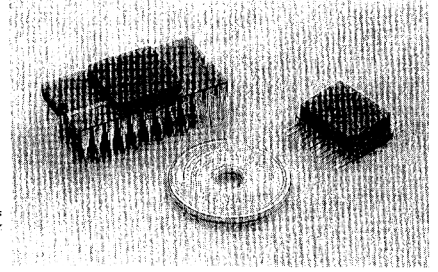


図1 断面図

きない、という欠点があり取扱いに注意する必要がある。

### ③ 静電容量形加速度センサ

静電容量形加速度センサは固定電極および可撓電極からなる2枚の電極板より構成される。可撓電極板が加速度を受けると電極間の距離が変わり、固定電極間の静電容量が変化する。静電容量形加速度センサはこの静電容量の変化を利用して加速度を検出するものである。

静電容量の値は数pFと小さく、信号処理回路を検出部の近傍に置く必要がある。検出部単体ではノイズが乗りやすく使用できない。一般に市販されている静電容量形加速度センサは、すべて信号処理回路が内蔵されている。

静電容量形加速度センサの検出部を構成する電極板は、通常の機械部品(金属板)で構成されるタイプとSiマイクロマシニング技術で作られるタイプと2種類ある。

いずれも静的加速度が検出可能であり、精度も優れている。今後、発展が期待されるセンサである。

### ④ ピエゾ抵抗形加速度センサ

piezoresistive 3-axis acceleration sensorは、半導体技術とマイクロマシニング技術によって作られる。本センサの検出原理は、加速度によってpiezoresistive素子に応力が加わると、応力に比例して抵抗率が変化する現象、すなわちpiezoresistive効果を利用している。

検出感度を高め、かつ温度変化の影響を少なくするために、piezoresistive素子は4つ形成されて、ホイストンブリッジ回路を構成している。また、各piezoresistive素子は、加速度によって抵抗値が増減するように

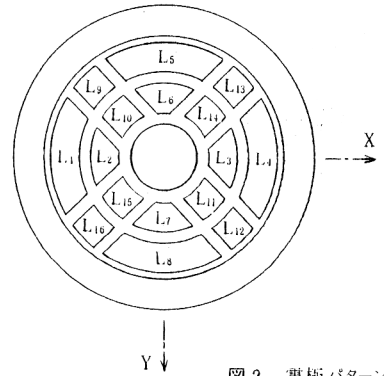


図2 電極パターン

ダイヤフラム上に配置されている。

piezoresistive 3-axis acceleration sensorは片持ち形と両持ち形(4本ビーム)があり、静電容量形とは異なり、いずれもセンサ単体(信号処理回路なし)で入手することができる。

piezoresistive 3-axis acceleration sensorは温度によって出力が変化するため、温度範囲が広い場合や仕様が厳しい場合は温度補償する必要がある。温度補償方法には多少のノウハウが必要であり、簡便に使うためには信号処理回路付きセンサが推奨される。

piezoresistive 3-axis acceleration sensorは大量生産が可能であり、低価格、小形、高信頼性という特徴がある。その特徴を生かし、衝突検出用センサとして多く使われつつある。

### (2) 3軸形加速度センサ

3軸形加速度センサは、1個の検出素子で加速度の3軸成分( $A_x$ ,  $A_y$ ,  $A_z$ )を検出することができる。最近になって開発された新しいタイプの加速度センサである。圧電形とpiezoresistive形の2種類がある。これらを写真1、写真2に示す。

#### ① 圧電形3軸加速度センサ

圧電形3軸加速度センサは、1枚の圧電セラミックスを使い加速度の3軸成分を検出することができる。圧電形3軸加速度センサの構造を図1に示す。ダイヤフラムの上面には圧電セラミックスが接合され、下面

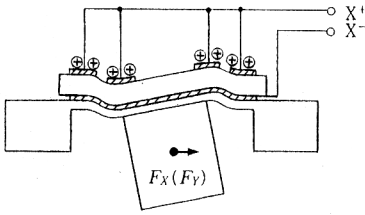


図 3 (a) X(Y)軸方向加速度

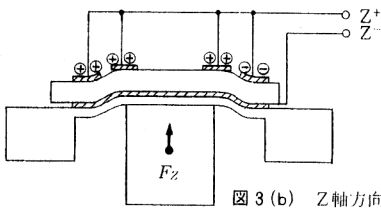


図 3 (b) Z軸方向加速度

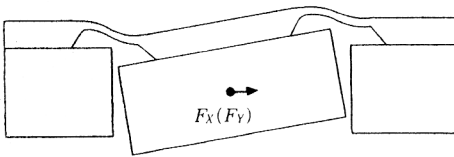


図 5 X(Y)軸加速度でのダイヤモンドの変位

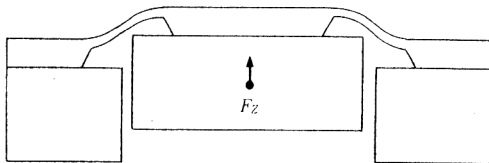


図 6 Z軸加速度でのダイヤモンドの変位

には加速度で圧電素子が歪むように重錘体が接合されている。圧電素子の表面には、図2のように電極パターンが形成されている。

X, Y, Z方向の加速度が作用したとき、圧電素子は図3のように変位し、各電極には表1に示したように電荷が発生する。表1に示す各電極同士の各軸ごとに結線することによって、他軸感度のない3軸加速度成分 ( $A_x$ ,  $A_y$ ,  $A_z$ ) が検出される。各軸の加速度は差動で検出されることから、パイロ効果の影響を受けにくく、温度変化に対して安定している。

圧電形3軸加速度センサは1軸タイプと同様、静的加速度を検出することができない、という欠点があり取扱いに注意する必要がある。

## ② ピエゾ抵抗形3軸加速度センサ

ピエゾ抵抗形3軸加速度センサは前述のピエゾ抵抗

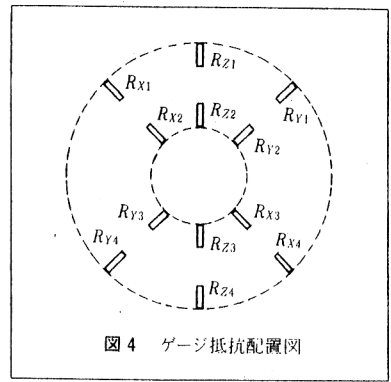


図 4 ゲージ抵抗配置図

表 1 各加速度による正負電荷の発生

	X軸検出				Y軸検出				Z軸検出							
	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	L10	L11	L12	L13	L14	L15	L16
$A_x$	+	+	+	+	0	0	0	0	+	-	+	-	-	+	-	+
$A_y$	0	0	0	0	+	+	+	+	+	-	+	-	+	-	+	-
$A_z$	+	-	-	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+

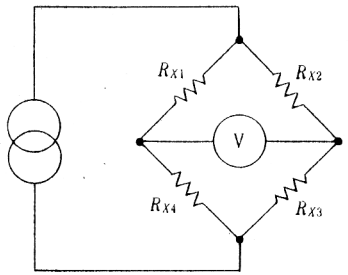
表 2 ピエゾ抵抗素子の各加速度による変化

	X軸検出				Y軸検出				Z軸検出			
	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	L10	L11	L12
$A_x$	+	-	+	-	0	0	0	0	+	-	+	-
$A_y$	0	0	0	0	+	-	+	-	+	-	+	-
$A_z$	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-

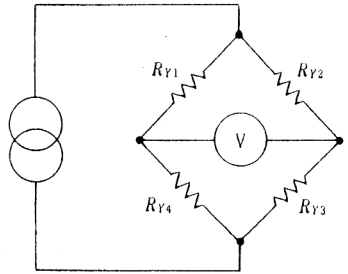
形1軸センサと同様、半導体技術とマイクロマシンング技術を利用して作られる。Si基板表面には図4に示すように、3軸の加速度成分を検出するための3組のピエゾ抵抗素子が形成されている。裏面には、環状のダイヤモンドが形成され、さらに中央部と周辺部には重錘体と台座が接合されている。

重錘体と台座はもともと1枚のガラス基板でできており、ガラス基板をSiウェハのダイヤモンド面に接合後、ガラス基板を切断することにより、重錘体と台座が分離される。この組立方法によりバッチ処理が可能となり、製造工程を自動化することができる。以下に動作原理について説明する。

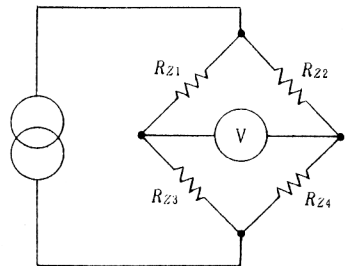
重錘体にX(またはY)軸方向の加速度が作用すると、ダイヤモンドは図5のように、Z軸方向の場合には図6のように変位する。このとき、Si基板上に形成されたピエゾ抵抗素子は表2に示したように変化する。表中“+”は抵抗値の増加を、“-”は減少を、“0”



(a) X軸検出回路



(b) Y軸検出回路



(c) Z軸検出回路

図7 各軸検出回路

は変化しないことを示す。これらピエゾ抵抗素子を図7のようにブリッジ回路に構成することで、他軸感度のない各軸加速度が検出される。

ピエゾ抵抗形3軸加速度センサは前述のピエゾ抵抗形1軸加速度センサとほぼ同様な性能を有し、大量生産が可能であり、低価格、小形、高信頼性という特徴がある。

衝突検出用センサとして用いれば、1個のセンサであらゆる方向からの衝突を検出することができる。

## 2. 選定のポイント

以上、種々の加速度センサの特徴について述べた。加速度センサを使う上でそれぞれの特徴を把握してお

表3 加速度センサの特徴

	1軸検出形				3軸検出形	
	サーボ形	圧電形	容量形	ピエゾ抵抗形	圧電形	ピエゾ抵抗形
静加速度検出	○	×	○	○	×	○
精度	◎	○	○	○	○	○
周波数範囲	○	◎	○	○	○	○
温度特性	○	×	○	×	○	×
サイズ	×	○	○	◎	○	◎
価格	×	○	○	○	○	○
取扱業者例	日本航空電子工業	丸文	アナログD	クローネ	ワコー	ワコー
TEL	03-3780-2925	03-3639-9881	03-3263-4678	03-3695-5431	048-857-7027	048-857-7027

く必要がある。表3に、加速度センサの特徴を示す。

ただし、これら特徴は必ずしも一様ではない。たとえば、圧電形1軸加速度センサの価格について考えるなら、1個数百円から数十万円の物までである。これらの点にも選定する上で注意する必要がある。

□

現在、サーボ形、圧電形、静電容量形およびピエゾ抵抗形加速度センサが広く一般的に使われている。これらはいずれも1方向の加速度を検出する、いわゆる1軸加速度センサである。

加速度は元々ベクトル量であり、加速度をベクトル的に検出するためには、1軸加速度センサを3個必要とした。この問題を解決する圧電形およびピエゾ抵抗形3軸加速度センサが最近開発された。

ピエゾ抵抗形3軸加速度センサは、半導体技術とマイクロマシニング技術を利用して製造される。今後、加速度センサの開発にこれらの技術が取り入れられ、従来あるサーボ形と同等の高性能（たとえば、分解能： $10^{-6}G$ ）を有し、かつ、小形、軽量、低価格な3軸加速度センサが開発されることが期待される。

## 1993年版“自動化技術”合本

好評発売中!!

定価14,500円（本体14,077円）（送料450円）

当社では愛読者各位の便に供するため、本誌「自動化技術」の本文のみ1ヵ年分を合本して発刊しております。部数に限りがありますので、ご入用の方はお早目に小社販売部宛お申込み下さい。一工業調査会・販売部一

TEL(03)3817-4706 FAX(03)3817-4709(直)