

力・トルクセンサモジュール回路

(株)ワコー・岡田 和廣*

機械量センサとして、圧力センサ、加速度センサ、角速度センサそして力・トルクセンサがある。圧力や加速度、そして角速度についてはセンサを測定対象物に設置さえすれば簡単に測定することができる。そのためセンサの市場も形成しやすく、種々なセンサが市販されている。これらセンサは検出部と信号処理回路は一体となっているものが多く、電源さえ用意すれば簡単に使うことができる。

それに対し、力・トルクセンサは測定しようとする対象が一定ではなく標準化しにくい。そのため一般に市販されている力センサは、ロボットのハンド部に付けられる6軸力センサ(多軸分力計)や、荷重を測定するロードセル程度である。力・トルクを測定する場合、測定しようとする対象に合わせ、力・トルクセンサを独自に作る必要がある。ここでは、力・トルク検出のための信号処理回路について説明する。

力・トルクを測定する手段として、ストレインゲージ、静電容量方式そして差動トランスなどがあるが、ここではストレインゲージと静電容量を用いる方法について述べる。

1. ストレインゲージ

ストレインゲージは金属などを利用した金属箔(ま

たは金属線)歪みゲージと、Siなどを利用した半導体歪みゲージの2種類がある。

金属箔歪みゲージは最も一般的に使われ、前述の6軸力センサやロードセルに使われていることが多い。金属箔歪みゲージは感度の目安となるゲージ率が2程度と低く、抵抗値も100~300Ωと低いなどの特徴がある。

それに対し、半導体歪みゲージは不純物の濃度によってゲージ率が変わり、100~200が一般的で、金属箔歪みゲージより2桁程度大きく高感度である。ただし、検出体が半導体のために温度特性が悪い、曲面に貼付しにくいなどの問題がある。抵抗値は不純物濃度で変わるので100~10kΩと幅広い。

(1) ブリッジ回路の構成

ストレインゲージを使って力・トルクセンサを作る場合、力によって多く歪みが発生するところにストレインゲージを貼付する。効率よく力を測定するために図1に示すようにホイーストンプリッジ回路を用い

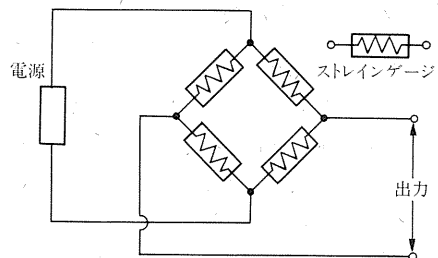


図1 ブリッジ回路

*: 同社 代表取締役
〒338 埼玉県与野市上落合2-2-11
TEL(048)857-7027

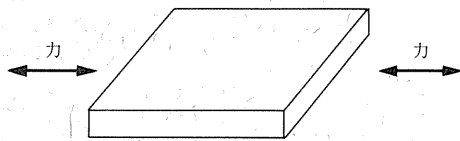


図2 1軸方向の応力

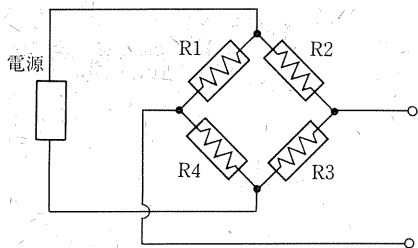


図5 片持ち梁の場合のブリッジ構成

るとよい。

図2のように1方向の引張り/圧縮応力のときは図3の回路構成とする。また、図4に示すように、片持ち梁の端部に作用する力を測定する場合は梁の表裏に符号の異なる応力が発生するので、図5の回路(フルブリッジ)にするとよい。図5の回路は図3の4倍の感度が得られる。

(2) 信号処理回路

ブリッジ回路の出力(感度)は金属箔歪みゲージを用いた場合と、半導体歪みゲージを用いた場合では異なり、半導体歪みゲージの方が2桁程度大きい。そのため、ブリッジ出力を増幅する場合、金属箔歪みゲージの場合は増幅率を500~2,000程度にし、半導体歪みゲージの場合では50~100程度でよい。

金属箔歪みゲージを用いる場合のゲインを高くする必要があり。オペアンプを一般の低ドリフト品(1 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$)を用いても、ノイズや温度特性に問題が生じる場合がある。アンプの選択に十分注意する必要がある。

そこで、ここでは、アナログデバイス社から販売されているアンプを使い信号処理回路を設計する。この回路は図6に示されるように、電圧発生器AD584と増幅器AD624で構成される。AD584でブリッジ回路を駆動しAD624で増幅する。図6の構成では、ブリッジ回路の駆動電圧は10Vに設定される。センサの感度は駆動電圧(R2)を変えることで調整され、零点電圧(オフセット電圧)はR4(微調整)とR6(粗調整)で調整される。図6ではAD624のゲインは500に設定されている。

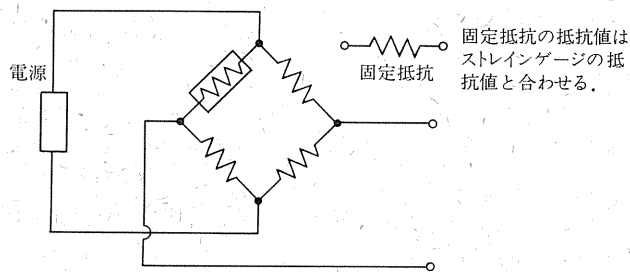


図3 1軸応用の場合のブリッジ構成

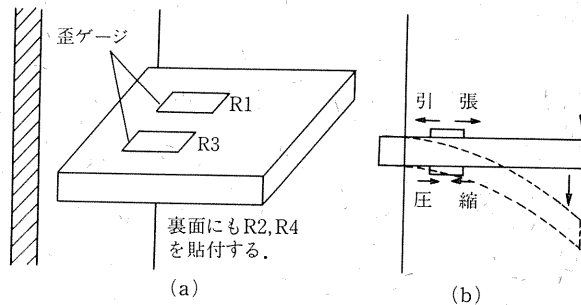


図4 片持ち梁の場合

半導体歪みゲージの場合、ゲージ率が大きい増幅率を低く設定でき、一般のオペアンプを使うことができる。しかし、半導体歪みゲージ自身に温度特性があり、そのため、ブリッジ出力(感度)も温度によって変動するという問題がある。

ブリッジ出力(感度)の温度特性はブリッジを駆動する方法(定電圧駆動または定電流駆動)で変わる。定電圧駆動の場合、ブリッジ出力(感度)の温度係数はゲージ抵抗のピエゾ抵抗係数の温度係数と一致する。

一方、定電流駆動の場合、ブリッジ出力(感度)の温度係数はピエゾ抵抗係数の温度係数とゲージ抵抗の積とゲージ抵抗の温度係数とピエゾ抵抗係数の積との差となる。そのため、ブリッジ出力(感度)の温度特性は定電流駆動の方が有利である。

図7に示す回路はブリッジ回路を定電流で駆動した場合の図である。感度の調整はR3で行い、零点出力(オフセット電圧)はR9で行う。零点出力を調整する必要がないときはR9はつけない。つけてもゲージ抵抗に比べて十分小さくする必要がある。

2. 静電容量方式

静電容量の変化を利用して圧力や加速度を検出する技術はすでに確立しており、この技術を利用した圧力センサや加速度センサはすでに商品化されている。

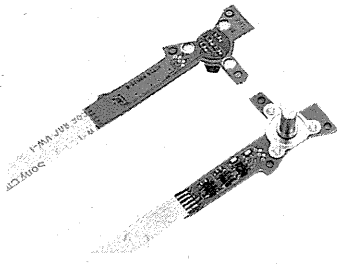


写真1 パソコン用静電容量形力センサ

力・トルクを静電容量の変化を利用して検出する場合、ノイズなどの問題があり、今まで実用化されたセンサはほとんどなかった。しかし最近になり、ノート形パソコンの普及に伴いマウスに代わる新しい入力装置、すなわち、人間の指の押力を二次元的（三次元的）に検出でき、キーボード内のキーの間に設置できるくらい小形で低価格な力センサの開発が望まれた。この要求を満たし開発された静電容量形力センサ（ニッタ(株)開発品）を写真1に示す。

ここで使われているC/V変換回路の原理は容量による充電時間の差をデジタル的に処理し、容量を電圧に変換するものである。そのため、パソコン内の高周波雑音下でもノイズの影響を受けにくく、温度特性にも優れている。

ここで示すC/V変換回路は上述の回路とは異なり、汎用のICを用い簡単に容量を電圧に変換するものである。この回路を図8に示す。この回路はタイマー回路（ μ PD5555）を用い、容量をパルス幅に変換し、さらにCR回路でパルス幅を電圧に変換するものである。R1を600k Ω とし、ノミナルの容量値を20pFとすると、感度は143mV/pFが得られる。

センサの構造を図9に示すように、X、Y軸方向のモーメントとZ軸方向の力を検出する3分力計を例にとって回路を説明する。

図9(a)はZ軸方向からセンサに力が作用した場合であり、図9(b)はX軸（Y軸）方向から力が作用した場合である。Z軸方向の場合、C1～C4はすべて増加

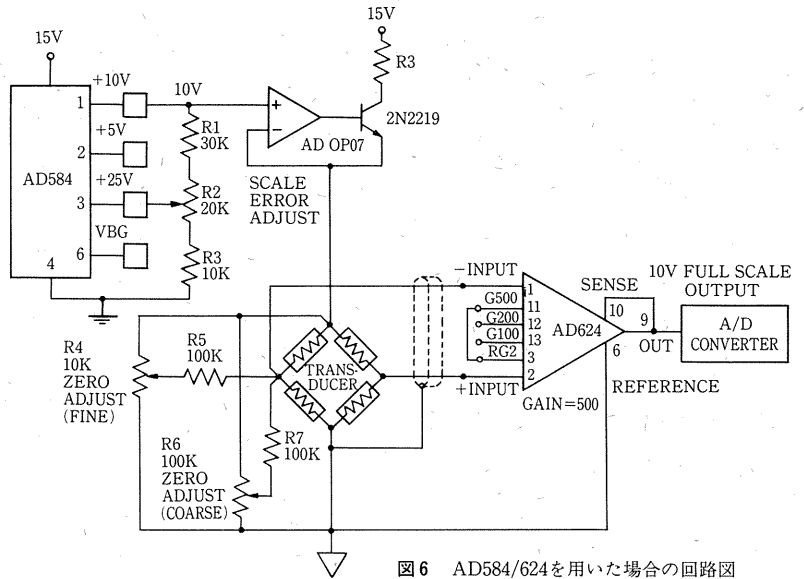


図6 AD584/624を用いた場合の回路図

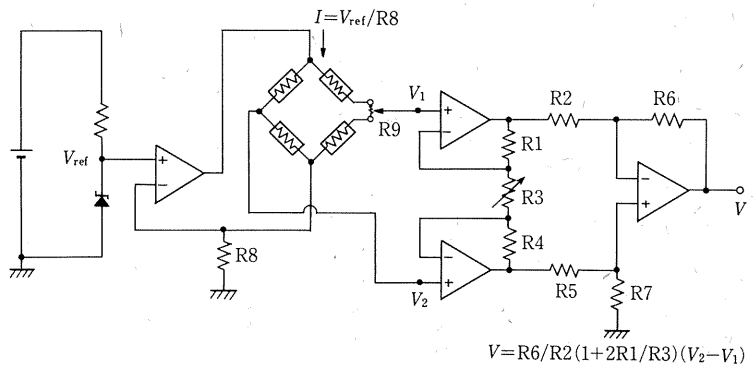


図7 半導体ストレインゲージの場合の信号処理回路

$$V = R6/R2(1 + 2R1/R3)(V2 - V1)$$

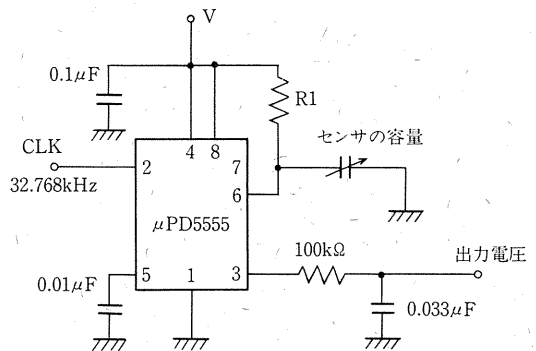
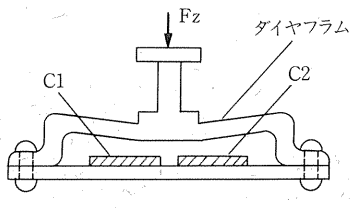
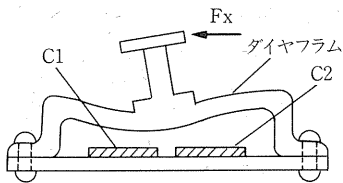


図8 タイマー回路によるC/V変換回路

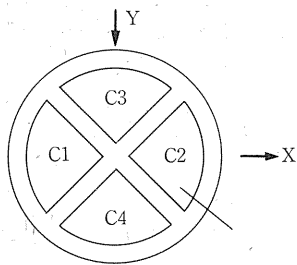
し、X軸方向の場合、C1は増加しC3は減少する。このことから、X軸方向の力はC1とC3の差で、Y軸方向の力はC2とC4の差で、Z軸方向の力はC1



(a) Z方向の力が作用した場合



(b) X方向の力が作用した場合



(c) 電極パターン

図9 3分力計

～C4の和で検出すれば他軸感度のない3軸分力計が得られる。この回路を図10に示す。

図9に示したセンサの電極間距離が一定に保たれていれば、X軸方向の感度とY軸方向の感度は同じにな

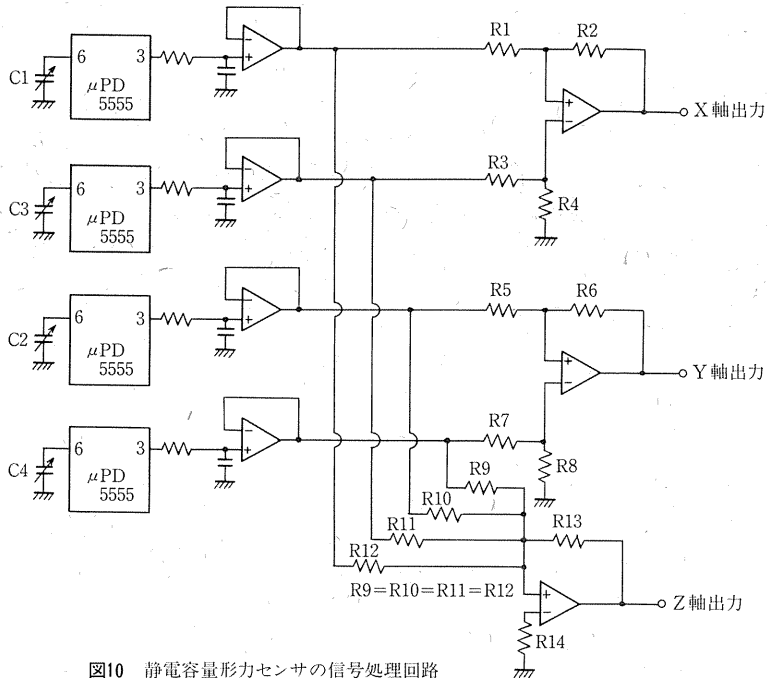


図10 静電容量形力センサの信号処理回路

る。X (Y) 軸方向の感度とZ軸方向の感度は異なる。力を受ける棒の長さによりX (Y) 軸方向感度は比例するが、Z軸方向の感度は棒の長さに依存しないためである。Z軸方向の感度をX (Y) 軸方向の感度に合わせるためには、R13を変えればよい。実際にこの回路を設計する場合は、図10の回路をできるだけ検出電極部の近傍におく必要がある。できれば下部の電極基板の電極と反対側の面に配置するのが望ましい。

トピックス

ミノルタ、持ち運びが可能な非接触3次元形状入力システムを開発

従来の3次元形状入力装置には入力作業が複雑で取込みに時間がかかる、装置が大きすぎるなどの問題があった。

ミノルタ(社長 金谷 幸氏)は、手軽に持ち運びができ、1ショットわずか0.6秒で対象物の3次元データを取込める、非接触3次元形状入力システム「VIVID700」を開発した。

本機は210×300×356mm、9kgと小形・軽量で部屋から部屋へ持ち運べる。カメラで被写体を撮影する感覚で、わずか0.6秒で4万点(縦200×横200)の3次元データを入力でき、ズーム機

能を搭載したことで、従来の装置タイプに比べて被写体の置き場所を厳密に特定しなくてもよくなり、入力作業を著しく簡単かつ迅速に行える。

液晶モニター、PCMCIAカードを採用し、画像取込み作業自体はワークステーションなどがなくても本機単独で行える。本機と同時開発の編集ソフトを活用して、データ削減・スムージングなどユーザーニーズにあったデータ加工も簡単に行える。

本機の用途は、CG製作、ラピッドプロトタイプング、CAD用3次元入力システム、ロボットビジョンなどである。 【請求番号C5026】

