

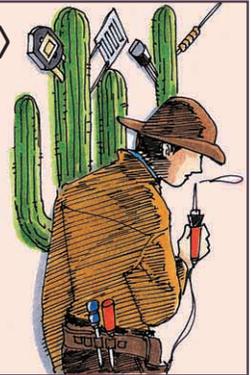
作りながら学ぶ初めてのセンサ回路〈第9回〉

荷重による材料のひずみを抵抗値の変化で測る!

ひずみゲージを使った電子はかりの製作



島田 義人
Yoshihito Shimada



一粒の小さな豆をスプーンですくってみましょう。わずか1gほどの豆の重さで、スプーンがひずんでいるとしたら驚くでしょう。ましてや目で見てわからない、このひずみを検出できるセンサがあることを知ったら、なお驚くことでしょう。

決して大袈裟な話ではなく、ひずみゲージというセンサを使えば、100万分の1のひずみによる状態の変化まで検出できるのです。長さの測定に例えるならば、100mの長さの対象物を0.1mmの正確さで測れるのです。

今回はプラスチック定規とひずみゲージを使って、1gから測定できるはかりを作ってみましょう。写真9-1に製作した電子はかりの外観を示します。

ひずみゲージとは

図9-1に示すように、長さ L の材料に引っ張り力や圧縮力が加わると、これに対する応力が内部に発生し、材料が変形します。外力による変化分を ΔL としたとき、 L と ΔL の割合をひずみ ε といい、次式で表されます。

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \dots\dots\dots (9-1)$$

このひずみを電気的に測定するセンサが、ひずみゲージです。ひずみゲージは抵抗体そのもので、抵抗体に外力が加わったときに生じるひずみによって、電気抵抗が変化する性質を利用したセンサです。

ひずみゲージの抵抗変化率 $\Delta R/R$ は、受けるひずみ ε に比例して次式で表されます。

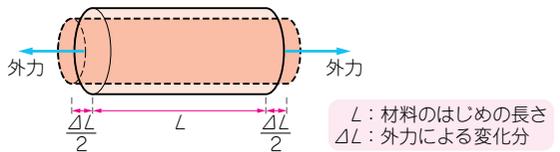
$$\varepsilon = \frac{\Delta R}{KR} \dots\dots\dots (9-2)$$

ここで K はゲージ率といい、ひずみゲージの材料によって決まる定数です。一般の金属ゲージの場合は $K \approx 2$ です。

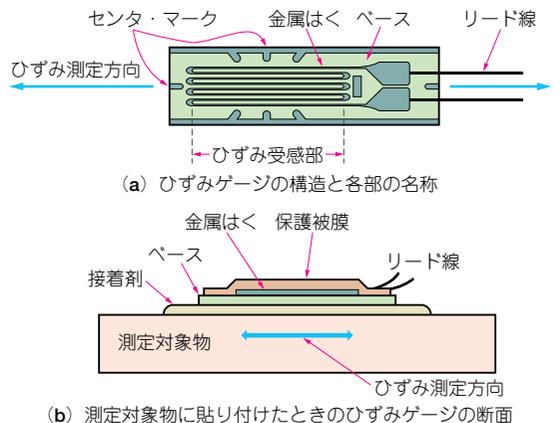
ひずみゲージの構造を図9-2に示します。薄い電気絶縁物の上に、格子状にフォト・エッチング加工した抵抗体を形成し、リード線を付けたものです。これを測定対象物の表面に接着して測定します。

測定対象物にひずみが発生すると、ひずみゲージの

〈図9-1〉ひずみゲージの原理

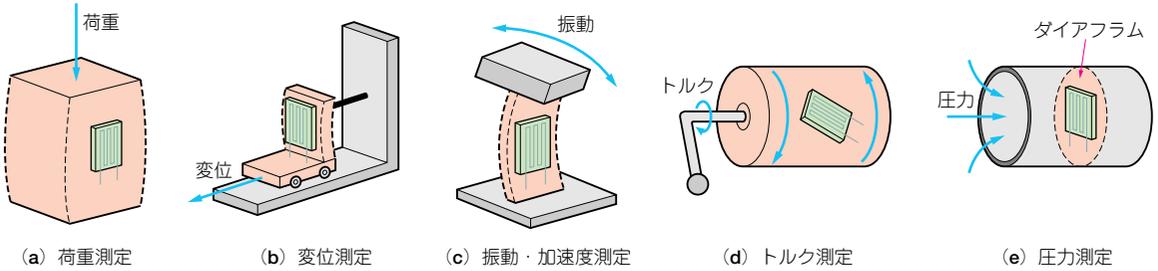


〈図9-2〉ひずみゲージの構造



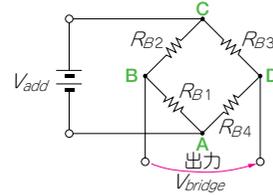
〈写真9-1〉電子はかりの外観

〈図9-3〉 ひずみゲージの主な用途



〈写真9-2〉 ひずみゲージ〔株共和電業〕の外観

〈図9-4〉 ホイートストン・ブリッジ回路



ベースを経由して抵抗体にひずみが伝わってきます。写真9-2にひずみゲージの外観を示します。

ひずみゲージの主な用途

ひずみゲージは、1938年にアメリカにおいて Simmons と Ruge によって考案されました。その後、第2次世界大戦中に米軍で軍用飛行機の翼の強度を調べるために大量に使用され、それ以来、構造物の強度測定などに使われるようになりました。

現在では、自動車の耐久試験や橋げたなどの大型構造物の強度測定を始め、さまざまな分野で広く利用されています。ひずみゲージの主な用途を図9-3に示します。

(a) 荷重測定

柱などにひずみゲージを貼り付けて、その柱に加わった力や荷重を求めます。

(b) 変位測定

パネルにひずみゲージを貼り付けて、曲げひずみを与えることで移動量や変位量を求めます。

(c) 振動や加速度測定

薄いパネルなどにひずみゲージを貼り付けて、振動や加速度が加わったときの周波数や振動の大きさを求めます。

(d) トルク測定

自動車のプロペラ・シャフトやボール盤の回転軸などにひずみゲージを貼り付けて、トルクの大きさを求めます。

(e) 圧力測定

圧力を受けるダイアフラム(隔膜)などにひずみゲージを貼り付けて、流体や気体の圧力の大きさを求めます。

ホイートストン・ブリッジ回路

ひずみの大きさはひずみゲージの抵抗値の変化量を調べればわかります。その変化量は数百mΩと微小なため、抵抗値を直接測定することは困難です。そこでホイートストン・ブリッジ回路を使って抵抗値の変化を電圧変化に置き換えます。

ホイートストン・ブリッジ回路とは、4個の抵抗 R_{B1} 、 R_{B2} 、 R_{B3} 、 R_{B4} を図9-4に示すように接続し、相対する2組の頂点の一方を入力側、他方を出力側とした4端子回路です。ホイートストン・ブリッジ回路に加える電圧を V_{add} とすると、出力電圧 V_{bridge} は次式で表されます。

$$V_{bridge} = \frac{R_{B1}R_{B3} - R_{B2}R_{B4}}{(R_{B1} + R_{B3})(R_{B2} + R_{B4})} V_{add} \quad \dots (9-3)$$

ブリッジ回路が平衡状態にあるとき、 V_{bridge} はゼロになります。平衡条件は次式で示されます。

$$R_{B1}R_{B3} = R_{B2}R_{B4} \quad \dots (9-4)$$

ブリッジの4辺にひずみゲージを組み込む場合、ゲージの数によって1, 2, 4枚の組み合わせが考えられます。つまり図9-5に示すように、1ゲージ法、2ゲージ法、対辺2ゲージ法、4ゲージ法があります。

図9-6にひずみゲージの配置例を示します。最も簡単な1ゲージ法の出力特性を求めてみましょう。ひずみゲージの抵抗値 R_{G1} が ΔR だけ変化したとすると、式(9-3)は次式のようにになります。

$$V_{bridge} = \frac{(R_{G1} + \Delta R)R_{B3} - R_{B2}R_{B4}}{(R_{G1} + \Delta R + R_{B3})(R_{B2} + R_{B4})} V_{add} \quad \dots (9-5)$$

ここで、 $R_{G1} = R_{B2} = R_{B3} = R_{B4} = R$ とし、さらに $R \gg \Delta R$ とすれば、