

[第2章]

PICマイコンで物理量計測を実現するために

センサの活用 (熱電対, 白金測温抵抗体, ひずみゲージ)

秦 明宏

第1章の中でA-Dコンバータについて説明しました。A-Dコンバータを使用すると、センサで電気信号として取り出した温度・圧力などの物理量をマイコンに取り込んで処理することが可能となります。しかし、センサの出力信号は必ずしも直接A-Dコンバータに入力することはできません。センサの特性を活かして高精度の計測を行うためには各センサの特徴を理解し、最適な計測回路を設計する必要があります。本章では物理量計測に使用されるオーソドックスなセンサとその計測回路について説明していきます。

2-1 自然界の情報を得るための計測の概要

センサには大別して、物理量変化を電気抵抗や静電容量の変化として取り出すタイプと、センサ自体が電圧を発生するタイプがあります。前者はセンサに対して定電流や定電圧の電源を供給する必要があります。

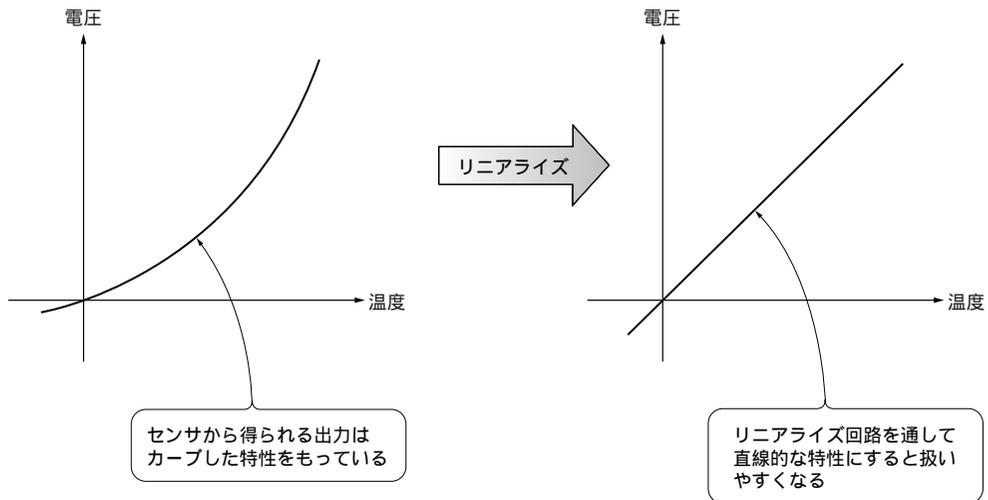


図2-1 リニアライズ

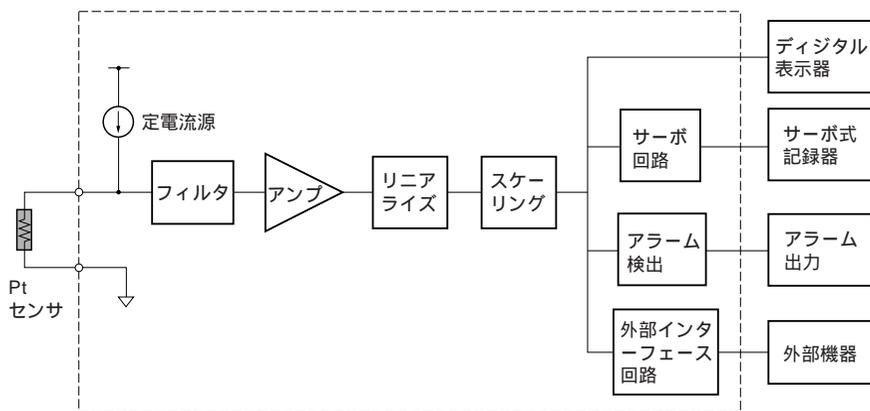
センサから得られる出力は複雑にカーブした特性をもっている。リニアライズ回路を通し直線的な特性にする。このようにカーブした特性を直線的で入力に比例した特性に変換することをリニアライズするという。

す。また、後者の場合でも出力される電圧が微小であれば、増幅回路を通したりノイズを除去するためのフィルタ回路が必要です。

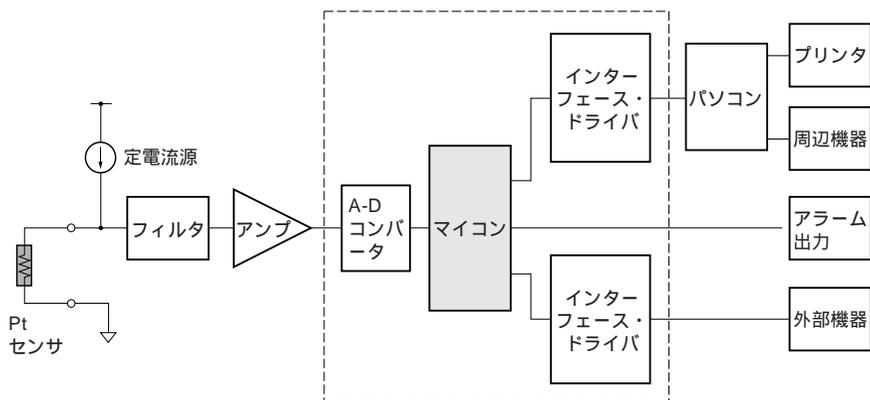
さらに、得られる出力が物理量変化に比例しているものでない場合は、これを比例する変化(直線的な変化)に変換する回路や処理を通す必要があります。このような処理をリニアライズといいます(図2-1参照)。

図2-2(a)は白金测温抵抗体による温度計測回路例のブロック図です。マイコンやパソコンが容易に利用できない時代には、この回路の大部分をアナログ回路で構成していました。PICのような簡単に扱えるマイコンの登場で図2-2(a)のリニアライズ以後の処理は図2-2(b)のようにA-Dコンバータ・PIC・パソコンなどに置き換えることが可能になりました。しかし、入力部だけは各センサに応じたアナログ回路が必要です。

したがって、センサを利用したマイコン装置を設計する上では、各センサやその計測回路について理解しておくことが重要です。



(a) 従来の計測回路



(b) マイコンを使用した計測回路

図2-2 白金测温抵抗体の計測回路例

(a) 従来の計測回路。ほとんどの部分をアナログ回路で構成していた。

(b) マイコンを使用した計測回路。マイコンの利用により、センサ入力部以外はA-Dコンバータ、マイコンおよび周辺回路での構成となり、低コスト化、小型化が可能になった。

2-2 各種センサの原理と特性

● 熱電対(温度センサ)

異種の金属線の両端同士を接続すると、図2-3(a)のようにその両端の温度差に応じた電流が流れます。この性質をゼーベック効果といいます。この状態で一端の接続を切り離すと、図2-3(b)のようにこの2点間に電位差が発生します。これを熱起電力といいます。熱電対はこの性質を利用した温度センサです。

ところで、図2-3(b)で取り出した電圧はA点の温度に対応したものではありません。なぜなら、B点に発生する電圧はB点とA点の温度差に応じたものであり、たとえば、A点の温度が一定であっても、B点の温度が変動すればそこに発生する電圧も変動します。

図2-4(a)は熱電対で温度を計測する方法の一例です。B点をアイス・ボックスなどで0の状態に保持して、その状態の電圧差を測定します。このようにすると、0を基準した2点間の温度差、つまりA点の温度に対応した熱起電力を得ることができます。

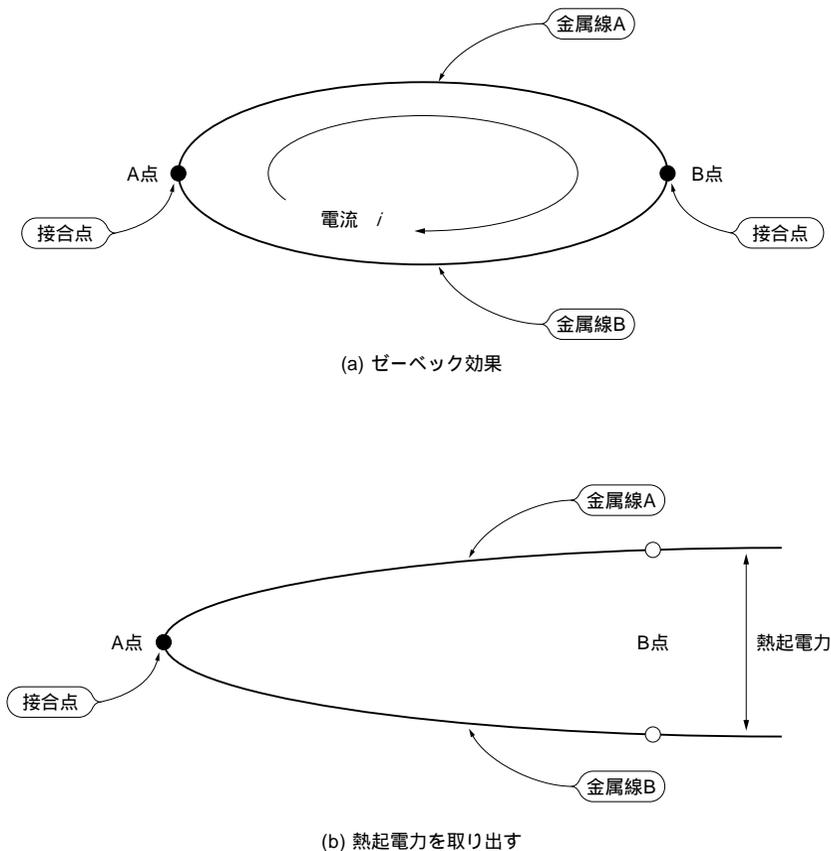


図2-3 熱電対の性質

(a) ゼーベック効果。A点とB点の温度差に応じた電流*i*が流れる。

(b) 熱起電力を取り出す。B点側の接点を切り離すと、その両端にはA点とB点の温度差に応じた電位差が生じる。この電位差を熱起電力という。

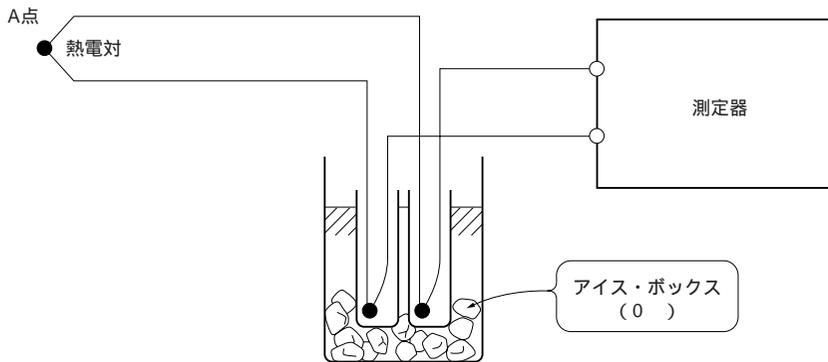
実際に、以前はこのような方法で温度を測定していましたが実用的ではありません。図2-4(b)は装置の端子部の温度を別のセンサで測定し、測定した熱起電力に対して端子温度に相当する熱起電力分を加算する方法です。この方法は基準接点補償といい、現在一般的に行われています。

熱起電力は、熱電対を構成する金属の種類や使用する合金の含有率により異なった特性をもっています。熱電対はB, R, S, N, K, E, J, Tという記号で表される種類があり、この記号やその起電力特性は日本工業規格のJIS C 1602という規格書で規格化されています。センサの特性が規格化されているとセンサと計測装置を別々に取り扱うことができるため、装置の設計や運用を行う上で好都合です。

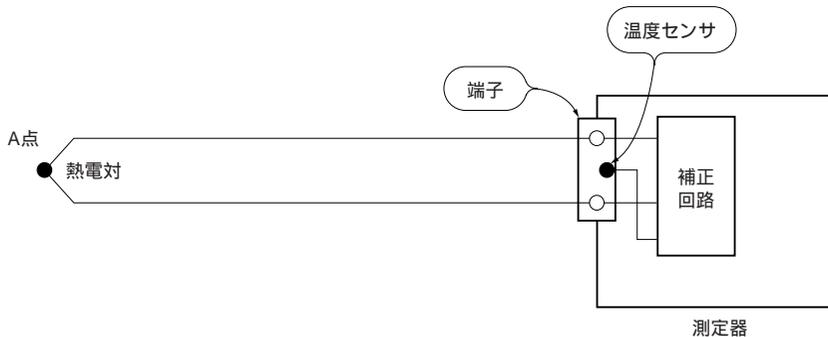
なお、前述の規格書は下記の日本規格協会のサイトから注文または有償でダウンロードすることが可能です。

日本規格協会 <http://www.jsa.or.jp/>

熱電対の特徴を表2-1にまとめました。



(a) 0 基準による測定方法



(b) 端子温度計測による測定方法

図2-4 熱電対による温度測定

(a) 0 基準による測定方法。アイス・ボックスなどで作った0 の状態を基準にする。

(b) 端子温度計測による測定方法。端子温度を別のセンサで計測し補正する。この方法を基準接点補償という。

● 白金測温抵抗体(温度センサ)

白金測温抵抗体は、温度によって電気抵抗が変化する特性を利用したセンサです。前述の熱電対に比べて直線性も良く、また熱電対の基準接点補償のような回路も不要であるため、低温域の精密測定に適しています。

このアイコンは、章末に用語解説があります

計測回路としては、定電流印加による方法とブリッジ回路による方法が一般的です。さらにリード線の取り出し方法が以下の3通りあり、計測回路との組み合わせや計測上の配慮が必要となります。

図2-5(a)は2導線式と呼ばれるものです。計測回路としては定電流印加とブリッジ回路方式の両方が考えられますが、いずれにせよ図のリード線抵抗 R_1 、 R_2 が直接計測誤差に影響するため、測定器とセンサ間の距離が至近の場合に用いられます。

表2-1 熱電対の特徴

項目	特徴
直線性	比較的直線的な特性をもっているが、精密測定を行うには、熱電対の種類や測定範囲に応じたリニアライズを行う必要がある
出力特性	代表的なK型熱電対では約 $40\mu\text{V}/$
応答性	素線径を小さくすることで測定部の熱容量を小さくすることができ、比較的速い応答の計測が可能
温度範囲	熱電対の種類により -200~1700 がカバーされている



図2-5(b)は3導線式と呼ばれ、現在工業計測で広く用いられている方式です。計測回路としてはブリッジ回路方式が用いられます。図のリード線抵抗 R_3 はブリッジの外なのでブリッジ・バランスには影響しません。リード線抵抗 R_1, R_2 はブリッジ内ですが互いにブリッジ・バランスの不均衡を打ち消しあう方向なので、 $R_1 = R_2$ ならば誤差になりません。したがって、リード線の材質や線径を均一にすることでセンサと測定器間のリード線を長く伸ばしても誤差の少ない計測が可能です。

図2-5(c)は4導線式と呼ばれるものです。計測回路としては定電流印加方式が用いられます。センサの両端から電流印加用のリード線と電圧計測用のリード線がそれぞれ分離して測定器に接続されます。電流印加用のリード線抵抗 R_1, R_4 は定電流源からの電流供給であるため、センサに流れる電流に影響しません。また、電圧測定用のリード線抵抗 R_2, R_3 は測定器側の入力抵抗を十分大きくしておけば誤差に影響しません。したがって、この方法もセンサと測定器間のリード線を長く伸ばすことが可能ですが、リード線が4本になる分コスト高となります。

白金測温抵抗体の温度に対する抵抗値特性は、日本工業規格のJIS C 1604という規格書で規格化されています。また、白金測温抵抗体はPt100という記号で規定されています。記号の100は0のときの抵抗値(100)を表しています。なお、熱電対と同様に規格書は日本規格協会のサイトから入手することが可能です。

白金測温抵抗体の特徴を表2-2にまとめました。

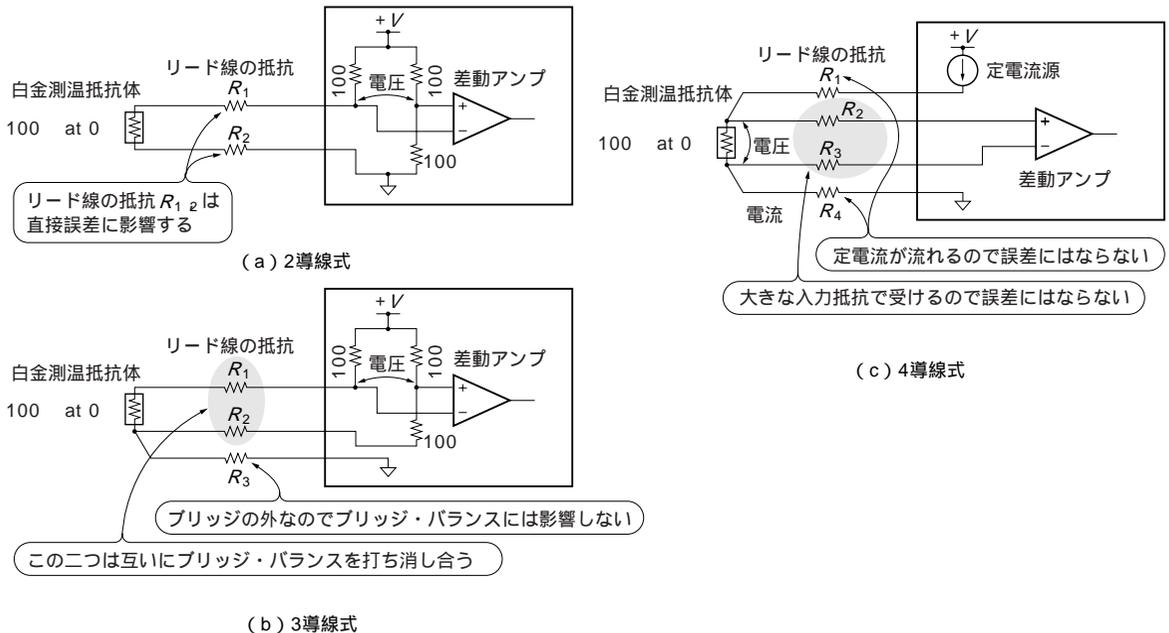


図2-5 白金測温抵抗体の結線方式

(a) 2導線式。リード線の抵抗 R_1, R_2 は直接誤差に影響する欠点をもつ。

(b) 3導線式。この二つのリード線は互いにブリッジ・バランスを打ち消し合う。ブリッジの外なのでブリッジ・バランスには影響しない。リード線の抵抗 R_1, R_2, R_3 は誤差にはならない。

(c) 4導線式。定電流が流れるので誤差にはならない。大きな入力抵抗で受けるので誤差にはならない。リード線の抵抗 R_1, R_2, R_3, R_4 は誤差にならない。

表2-2 白金測温抵抗体の特徴

項目	特徴
直線性	直線的な特性をもっている．測定範囲を限定すればリニアライズを行うことなく精密測定が可能になる
抵抗変化特性	約0.38 /
応答性	抵抗体の体積があるため熱電対並みの応答は期待できない
温度範囲	低温用，中温用，高温用，超高温用の種類があり - 200 ~ 850 がカバーされている

● ひずみゲージ(圧力・荷重・加速度・変位センサ)

金属は電流を流すまいとする性質，つまり電気抵抗をもっています．この電気抵抗は金属の長さに比例し，断面積に反比例します．たとえば，金属線の両端を引っ張って伸すと，長さが伸びて断面積は小さくなります(図2-6)．したがって，両端の抵抗値は大きくなります．

ひずみゲージは，このような金属抵抗体の性質を利用したセンサです．図2-7はひずみゲージの構造の一例です．ベースと呼ばれる絶縁体の上にワイヤまたは箔状の抵抗体を接着し両端からリード線を取り出

Column...1 IC温度センサ

IC温度センサは精密温度計測には不向きですが，とても扱いやすく安価な温度センサです．写真2-Aはよく使われるナショナルセミコンダクター社のLM35DZです．

このセンサはトランジスタの V_{BE} (ベース-エミッタ間電圧)の温度係数を利用しており，4 ~ 20Vの電源を印加するだけで10mV/°Cのニアな出力が得られます．したがって，図2-Aのようにゼロ点とゲ

イン調整用のアンプで温度に対応した電圧出力を得ることができます．

ただし，このセンサは写真のように一般のトランジスタと同じ形状をしており，外気温度の変化にすぐさま応答しません．このため，速い応答の温度計測には適しません．

このタイプのセンサは主に装置内の温度上昇の監視などに使用されています．

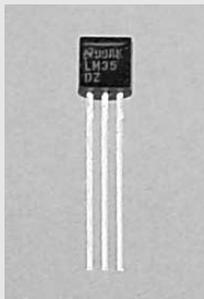


写真2-A ICを温度センサ LM35DZ(ナショナルセミコンダクター製)．外形は小信号トランジスタなどと同じ．

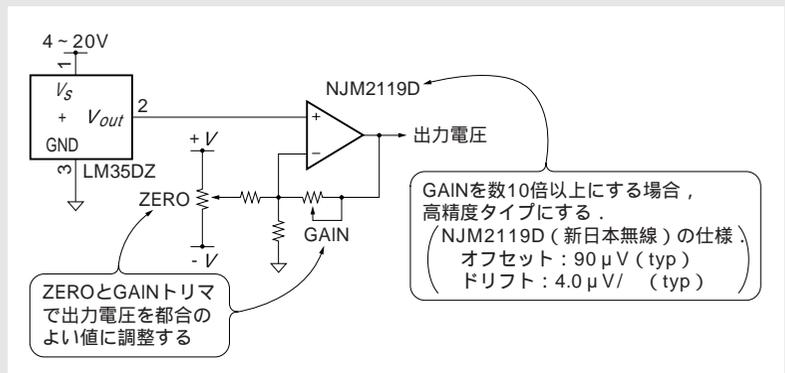


図2-A IC温度センサの計測回路例

します。ひずみの測定は、このひずみゲージを測定対象の金属板などに対して、そのひずみに応じて伸縮するように接着して行います。ひずみゲージは、このようにして測定対象のひずみを抵抗値変化として取り出します。

ひずみの単位はひずみ、または（イブシロン）といえます。ひずみ（ ϵ ）は抵抗値変化率（ $\Delta R/R$ ）に比例し、以下の式で表されます。

$$\frac{\Delta R}{R} = K \cdot \epsilon \quad \dots\dots\dots (2-1)$$

ここで、 K はひずみゲージの材質で決まる定数であり、ゲージ率と呼ばれています。一般に金属のひずみゲージの場合 $K = 2.0$ です。

実際のひずみ計測では100万分の一単位の微小な抵抗値変化を測定します。したがって、ひずみの単位としては $\times 10^{-6}$ ひずみ、または μ で表現されます。

ひずみゲージの計測回路は、ホイートストーン・ブリッジ回路で行います。ホイートストーン・ブリッジ回路は、図2-8のように4本の等しい抵抗で構成されます。この回路の4本の抵抗値が等しければ、一つの対角に電圧を印加したとき、もう一つの対角の電圧は0Vとなります。ここでいずれかの抵抗値が変化すると、ここに電位差が発生します。このように、ホイートストーン・ブリッジ回路は微小な抵抗値変化を測定する目的で使用されます。

また、測定目的に応じてひずみゲージをブリッジの1辺、2辺または4辺に使用する結線法があり、それぞれ1アクティブ・ゲージ法、2アクティブ・ゲージ法、4アクティブ・ゲージ法と呼ばれています。

ひずみゲージは、前述のように測定対象物のひずみを直接計測する用途で使用されますが、圧力・荷重・加速度・変位といった物理量を測定する場合はひずみゲージ式変換器を使用するほうが便利です。ひずみゲージ式変換器は、ひずみゲージや固定抵抗で変換器内にホイートストーン・ブリッジが構成されており、変換器に加わる物理量に応じた出力電圧を得ることができます。

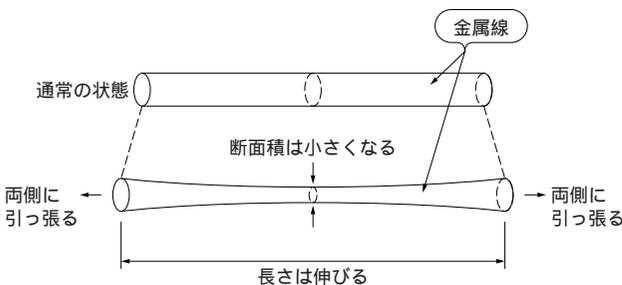


図2-6 金属線に応力をかけたときの抵抗変化
両側に引っ張ると金属線は長さが伸びて、断面積が小さくなるため抵抗値は変化する。

表2-3 荷重センサの仕様例

項目	仕様
定格容量	10N(ニュートン)
定格出力	約1mV/V ± 20%
推奨印加電圧	2V以下

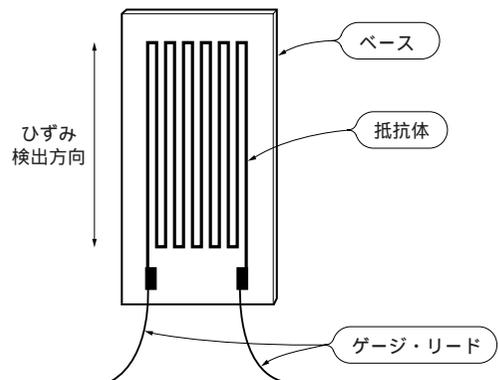


図2-7 ひずみゲージの構造
ベースに接着された抵抗体がベースのひずみに応じて伸縮する構造になっている。