

ホイートストンブリッジによる 電気抵抗の測定

[実験テーマの概要]

零位法の計測装置であるホイートストンブリッジ回路による未知抵抗測定の原理と測定法を理解し、導線の抵抗率を求める。

予習項目

- (1) 抵抗、抵抗率の定義と意味を調べよ。(また、単位や代表的な材料の値等を調べ、調べた文献名を記録しておきなさい。)
- (2) 偏位法、零位法という測定方法の分類について、その特徴や用いられている例を調べよ。
- (3) 長さ l 、直径 d 、抵抗値 R の金属線の電気抵抗率を求める式を調べ、その不確かさの式を導出せよ。

抵抗値と抵抗率

固定抵抗と呼ばれる回路部品に直流電源、電流計および電圧計を接続し、電源の起電力 V を変えていくと、抵抗に加わる電圧 V と回路を流れる電流 I は比例関係を示す。比例定数を R とすると、次のオーム (Ohm) の法則

$$V = RI$$

が成り立つ。この比例定数 R を、この固定抵抗の抵抗値と呼ぶ。

固定抵抗は電流や単位時間あたりに電流がする仕事(電力)を調整する回路部品でもあり、抵抗値が大きいほど、電流が流れにくい状態と言える。右図のように、その意図に応じた固定抵抗が流通している。



炭素被膜抵抗
絶縁材の周囲に炭素で膜をつけた



金属被膜抵抗
絶縁材の周囲に金属で膜をつけた抵抗で、**抵抗値の精度が高い**



ガラス抵抗
抵抗体にガラスを用いて、**数GΩ～数TΩ**を達成させた



セメント抵抗
抵抗体をセメントで埋めた**数ワットの電力に耐える**

抵抗値は固定抵抗の材質や形状に依存する量で、固定抵抗の長さを l 、断面積を A とすると

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

と書ける。ここで、 ρ は抵抗率と呼ばれる量で、材質固有の量である。いくつかの材料の抵抗率 ρ [$\Omega \cdot m$]は次の通りである。

アルミニウム	2.50×10^{-8}
鉄	8.9×10^{-8}
マンガン	$44.0 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$
ニクロム	$109 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$
人の皮膚	$1 \times 10^5 \sim 10^7$
ゴム	$1 \times 10^{10} \sim 10^{11}$
ガラス(石英)	1×10^{16}

ここで、抵抗率を実験的に求める式を考える。長さ l 、断面積を得るための抵抗の直径 d 、抵抗値 R を測定した場合、抵抗率は次のように求められる。

$$\rho = \frac{RA}{l} = \frac{R}{l} \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 = \pi \frac{Rd^2}{4l}$$

また、その不確かさの式は次のように求められる。

$$\begin{aligned} \frac{\delta\rho}{\bar{\rho}} &= \frac{1}{\bar{\rho}} \sqrt{\left(\left.\frac{\partial\rho}{\partial l}\right|_{\substack{R=\bar{R} \\ d=\bar{d}}}\right)^2 (\delta l_C)^2 + \left(\left.\frac{\partial\rho}{\partial d}\right|_{\substack{l=\bar{l} \\ R=\bar{R}}}\right)^2 (\delta d_C)^2 + \left(\left.\frac{\partial\rho}{\partial R}\right|_{\substack{l=\bar{l} \\ d=\bar{d}}}\right)^2 (\delta R_C)^2} \\ &= \frac{4\bar{l}}{\pi\bar{R}\bar{d}^2} \sqrt{\left(-\pi\frac{\bar{R}\bar{d}^2}{4\bar{l}^2}\right)^2 (\delta l_C)^2 + \left(2\pi\frac{\bar{R}\bar{d}}{4\bar{l}}\right)^2 (\delta d_C)^2 + \left(\pi\frac{\bar{d}^2}{4\bar{l}}\right)^2 (\delta R_C)^2} \\ &= \sqrt{\left(\frac{\delta l_C}{\bar{l}}\right)^2 + \quad +} \\ \delta\rho &= \bar{\rho} \sqrt{\left(\frac{\delta l_C}{\bar{l}}\right)^2 + \quad +} \end{aligned}$$

偏位法と零位法

いずれも物理量を測定する方法の一つである。
それぞれの特徴を考えてみよう。

偏位法の例として、図のように、ばねばかりを用いた質量の測定を考える。ばね定数 k のばねにおもりを吊ると、ばねが距離 x 伸びたとする。ばねの伸びはフックの法則から

$$F = -kx$$

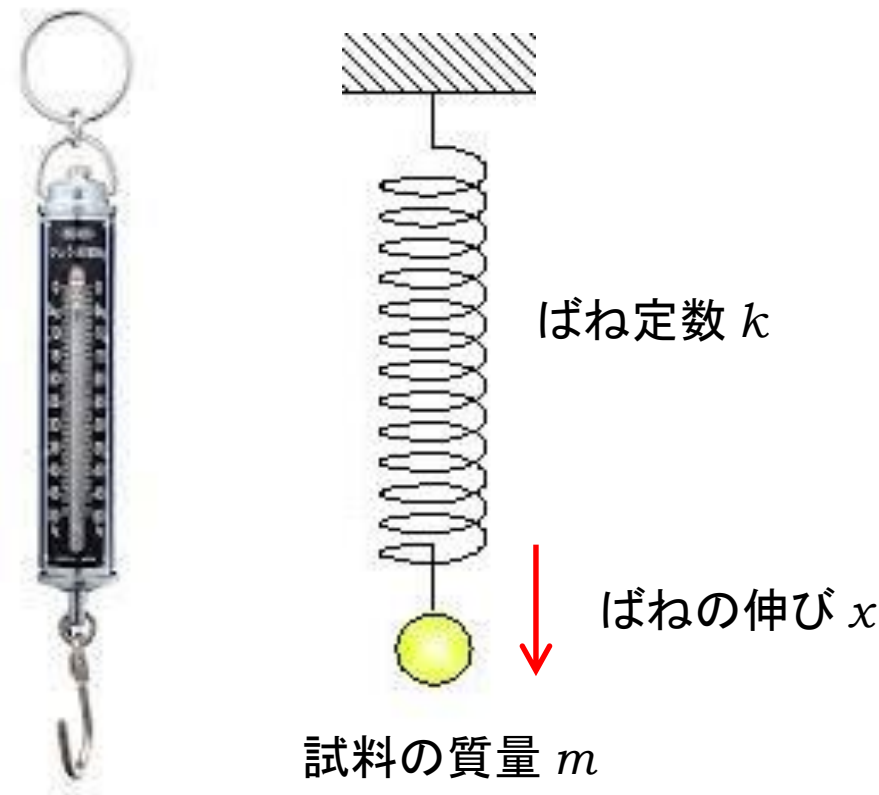
と書ける。 F はばねを伸ばす力の大きさなので、おもりに作用する重力 mg と考えると

$$mg - kx = 0$$

と書けるので、おもりの質量は、

$$m = \frac{k}{g}x$$

となり、 x を測定することで、 m が求められる。



この測定法では、 m の有効数字は、 x , k , g の有効数字で決まることを意味する。

また、

- ・ g は緯度や高度で異なる
- ・ 環境が変われば、ばねの性質も変わるかもしれない

ので、高精度での測定が保証できない。

偏位法と零位法

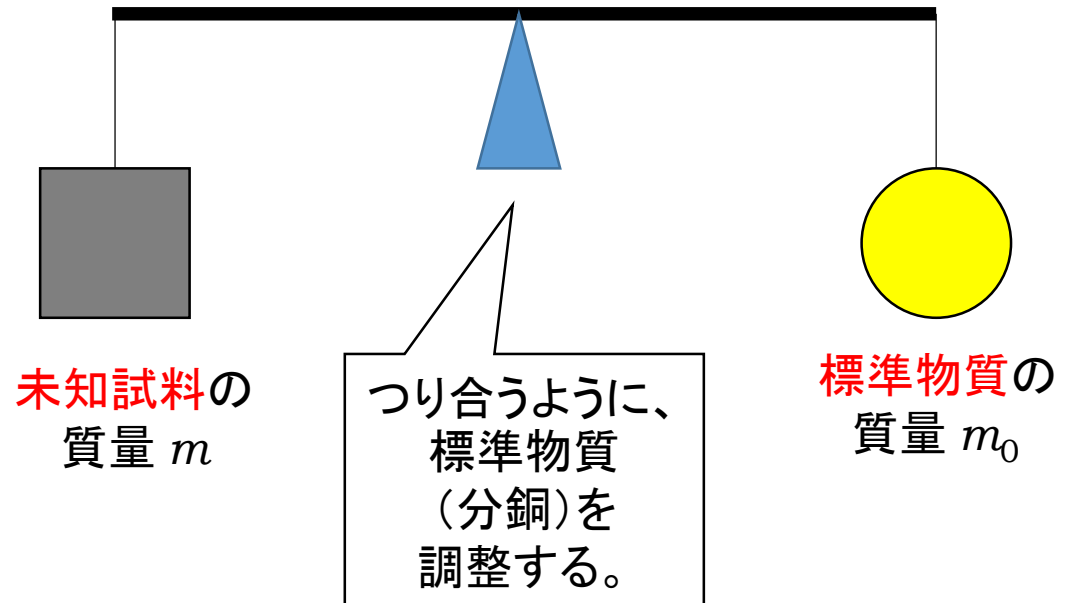
零位法の例として、図のように、天秤を用いた質量の測定を考える。質量を測定する対象を未知試料と呼ぶことにする。天秤では、未知試料とつり合うように、質量 m_0 が既知の物質(標準物質)を載せる。未知試料と標準物質がつり合った状態は、両者の重力が一致した状態なので、

$$m_0g = mg$$

$$m = m_0$$

となり、 m_0 から直接、未知試料の質量が求められる。

この場合、 m の有効数字は、 m_0 の有効数字だけで決まる。また、偏位法のように測定環境の影響を受けない。



偏位法と零位法

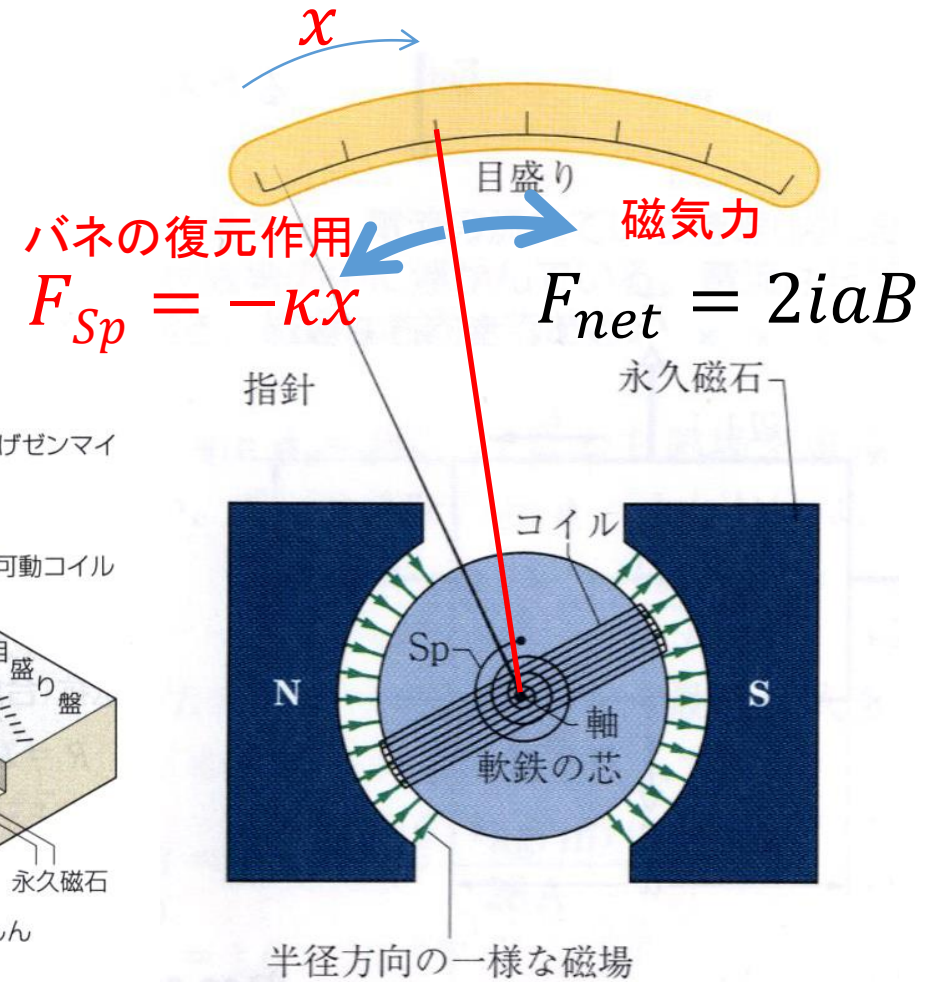
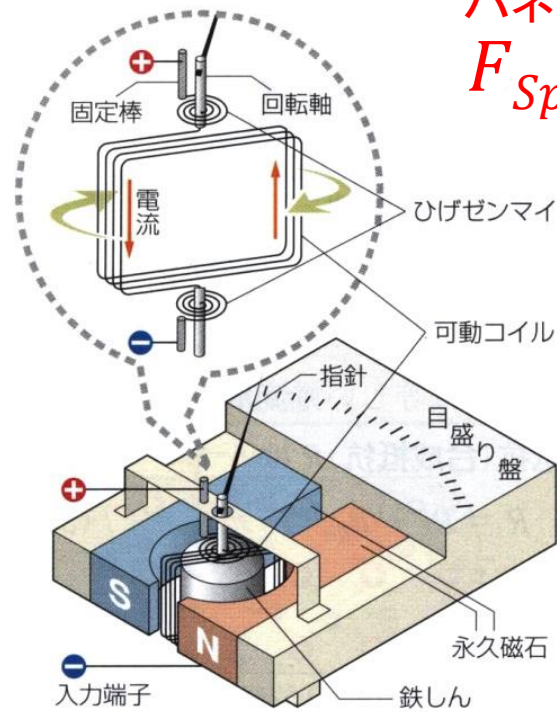
では、電気測定ではどうだろうか？

偏位法の例として、電流計の仕組みを示す。電流計は、コイル、磁石、バネ(ゼンマイ)から構成されている。

磁場 B 中に置かれた導線に電流が流れると、導線内部の電子は磁気力を受ける。しかし、電子は導線から出られないので、この力は導線に伝わる。そのため、磁場中で回転軸があるコイルに電流 i が流れると、軸を中心に回転する。

これはモーターの基本的な考え方であるが。電流計ではコイルにバネが取り付けられているため、磁気力とバネの復元力が釣り合う。こ

のとき、電流が流れる導線の長さを a とすると、コイルの磁気力は $2iaB$ と書け、バネの伸びを x とすると復元力は $-\kappa x$ と書けるので、



$$-\kappa x + 2iaB = 0$$

$$i = \frac{\kappa x}{2aB}$$

となり、電流がバネの伸びから求められる。しかし、この式はバネばかりによる質量測定と同じで、環境の影響を強く受けてしまうことが分かる。