

## ホイートストーンブリッジによる 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ー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。



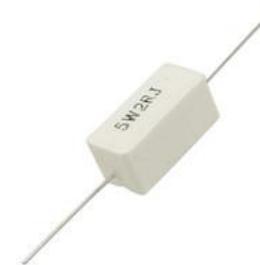
炭素被膜抵抗  
絶縁材の周囲に炭素で膜をつけた



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、 $\rho$ 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 $\rho$  [ $\Omega \cdot m$ ]は次の通りである。

アルミニウム	$2.50 \times 10^{-8}$
鉄	$8.9 \times 10^{-8}$
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)	$1 \times 10^{16}$

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

$$F = -kx$$

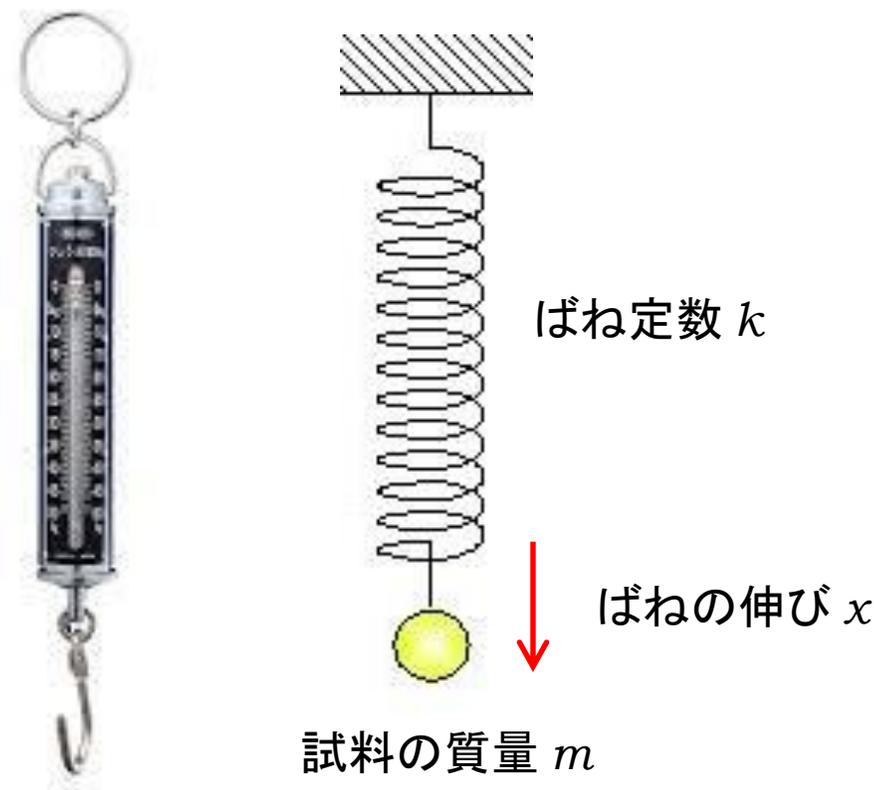
と書ける。 $F$ はばねを伸ばす力の大きさなので、おもりに作用する重力 $mg$ と考えると

$$mg - kx = 0$$

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

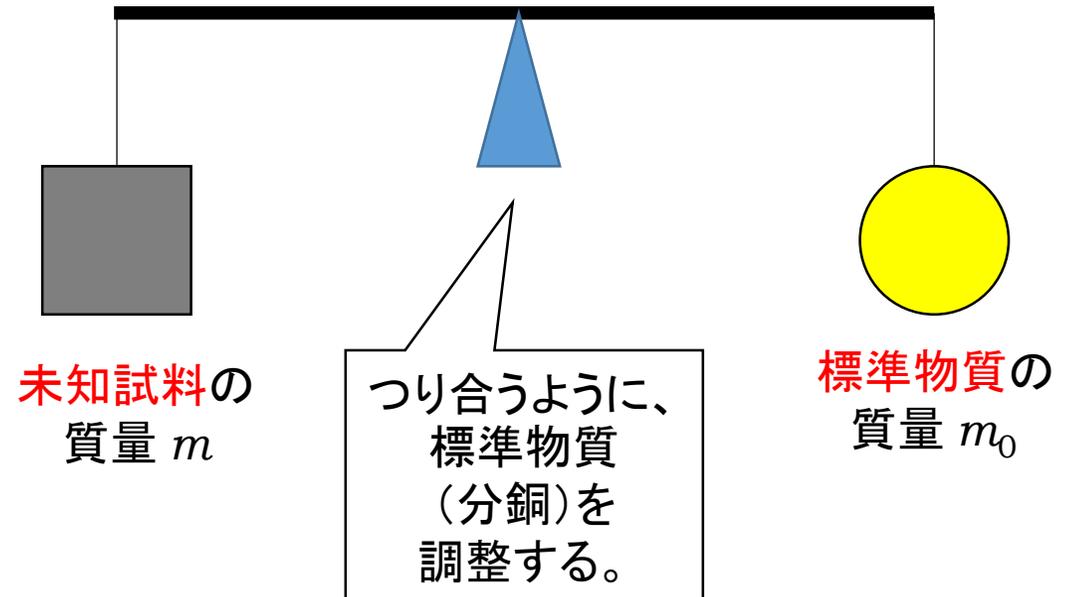
**零位法**の例として、図のように、天秤を用いた質量の測定を考える。質量を測定する対象を未知試料と呼ぶことにする。天秤では、未知試料とつり合うように、質量 $m_0$ が既知の物質(標準物質)を載せる。未知試料と標準物質がつり合った状態は、両者の重力が一致した状態なので、

$$m_0g = mg$$

$$m = m_0$$

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

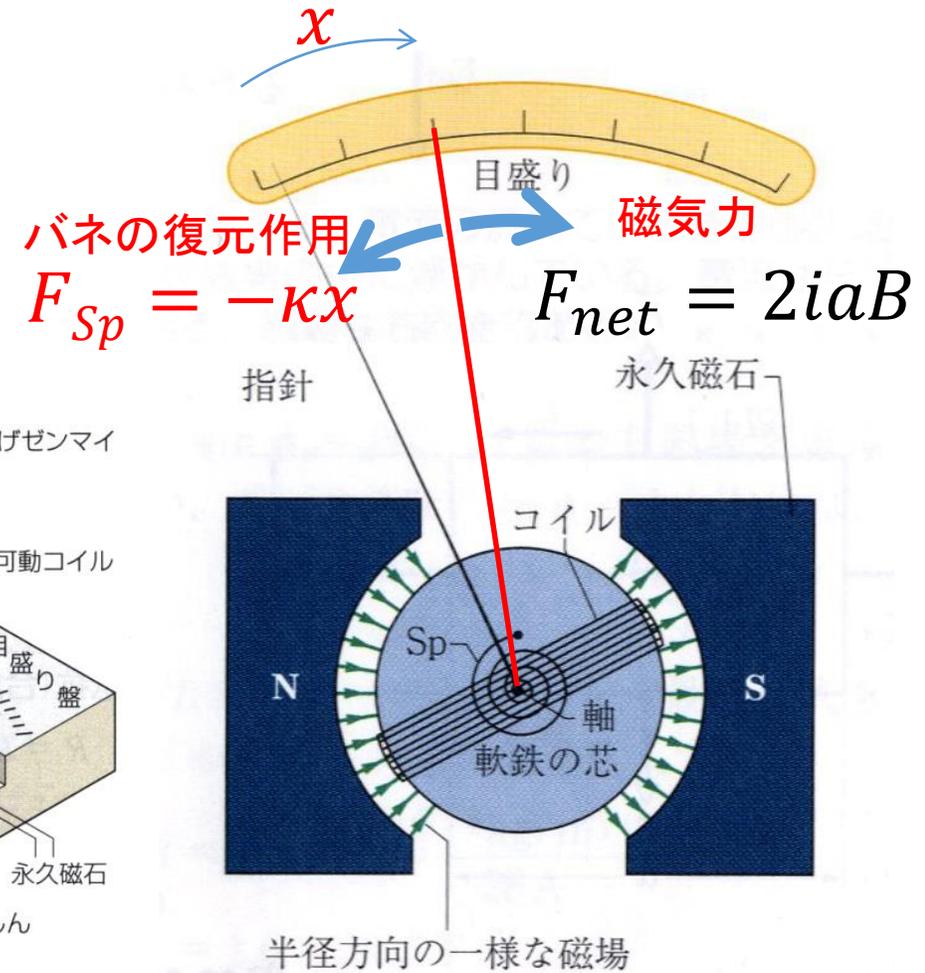
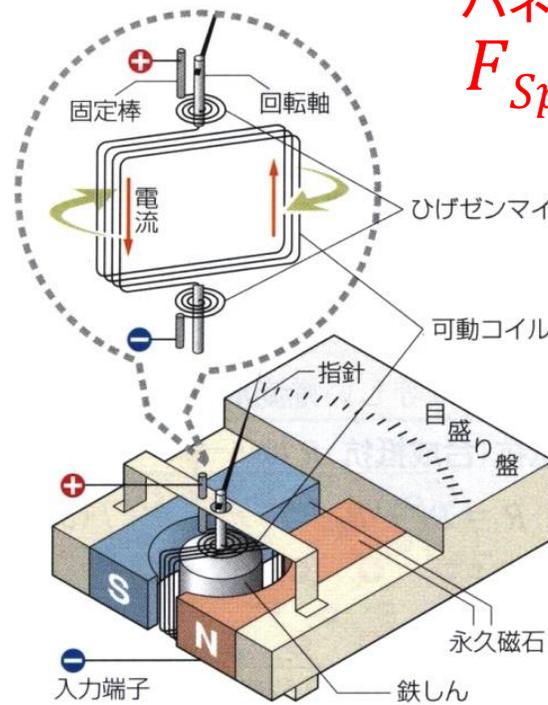
では、電気測定ではどうだろうか？

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、



バネの復元作用  
 $F_{Sp} = -\kappa x$

磁気力  
 $F_{net} = 2iaB$

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

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

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。