

入試問題研究 第112回 2004年 立命館大学 ③ 電気(オームの法則)

電流系と電圧計を用いた回路によって、未知の非常に小さな抵抗を精密に測定したい。図1のような電池と電流系、電圧計からなる回路により試料Sの抵抗 R_S を求めることを考える。図1の回路では試料Sに端子が2本接続してあるので、この回路を用いた抵抗測定法は2端子法と呼ばれる。電流計、電圧計はそれぞれは未知の内部抵抗 R_A 、 R_V を持っている。まず、銅線の抵抗は無視できるとする。いま、回路に電流が流れており、電流系の測定値が I 、電圧計の測定値が V であった。上記の抵抗を使って回路の点線で囲った部分の合成抵抗 R を表すと、 $R = \text{あ}$ となる。また、オームの法則より $R = \text{い}$ が成り立つので、電流計、電圧計の測定値より合成抵抗 R が決定できることがわかる。しかし、測定からは求めたい R_S が直接決定はできない。したがって、 R_S を精度良く決定するためには、内部抵抗 R_A が十分に う 電流系を用いればよいことが分かる。

試料の抵抗が非常に小さい場合には、これまで無視してきた銅線の抵抗も問題となる。簡単のため、図1の回路において銅線の抵抗としては太線で示した部分の抵抗 R_L のみを考え、その他の細線の導線の抵抗は無視できるとする。このとき合成抵抗は $R = \text{え}$ となる。よって、2端子法では R_A 、 R_L の影響のため R_S を直接決定できない。

次に図2の回路での測定を考える。図2の回路では試料Sに端子が4本接続してあるので、この回路を用いた抵抗測定法は4端子法と呼ばれる。導線の抵抗は太線で示した部分 R_L だけを考慮すればよいとする。

いま、回路に電流が流れており、電流計の測定値が I 、電圧計の測定値が V であったとする。このとき、電圧計で測定できるのは抵抗 R_S の試料に電流が流れていることにより生じる お であるので、 $V = \text{か} \cdot R$ となる。したがって、試料の抵抗 R_S を精度良く測定するためには電圧計の内部抵抗 R_V を、試料Sの抵抗 R_S とくらべて十分に き しなくてはならないことがわかる。このとき、4端子法では R_S を直接決定できる。

このように、非常に小さい抵抗を測定する場合、2端子法よりも4端子法の方が適していることが分かる。

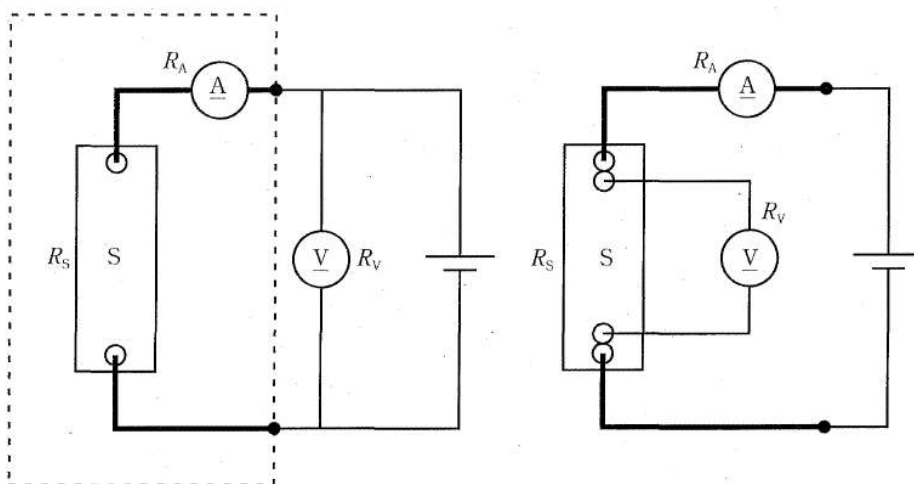


図1 2端子法

図2 4端子法

入試問題研究 第112回 2004年 立命館大学 ③ 電気(オームの法則) 解答・解説

※ オームの法則の基本的な問題であるので全問正解が目標です。

試料 S と電流計が直列につながっているので、合成抵抗値は $R = R_S + R_A \cdots$ あ である。また、オームの法則を適用すると、 $R = \frac{V}{I} \cdots$ い が成立する。試料の抵抗値は $R_S = \frac{V}{I} - R_A$ となる。しかし、電流計の内部抵抗 R_A が未知のため、試料の抵抗値 R_S は決定できない。しかし、電流計の内部抵抗が R_A が $\frac{V}{I}$ に比べて十分に小さい場合、電流計の内部抵抗 R_A が無視できるため、 $R_S \approx \frac{V}{I}$ となる。よって、試料の抵抗 R_S の値は精度良く測定できる。以上から、内部抵抗 R_A が十分に「小さな」 \cdots う 電流計を用いて測定すればよいことがわかる。

試料の抵抗が小さい場合、導線の抵抗が無視できなくなるので導線の抵抗も考えなくてはならない。このときの回路の合成抵抗値は $R = R_S + R_A + R_L \cdots$ え となる。また、オームの法則を適用して $R_S = \frac{V}{I} - R_A - R_L$ が成立する。しかし、電流計の内部抵抗 R_A が無視できるほど小さい場合でも、導線の抵抗値 R_L が残るため、試料 S の抵抗値は直接決定ができないことになる。

そこで、図 2 の「4 端子法」で測定する必要があるが生じる。電圧計が測定しているのは試料 S に電流が流れることによる「電圧降下」 \cdots お だけである。電流は試料 S と電圧計の両方に流れており、全体の電流値が I である。「並列接続の場合、電流は抵抗値に反比例で比例配分される」こと

から、試料 S に流れる電流は $\frac{I R_V}{R_S + R_V}$ 、電圧計に流れる電流は $\frac{I R_S}{R_S + R_V}$ である。よって、試

料 S の電圧降下は $V = \frac{I R_V}{R_S + R_V} \cdot R_S = \frac{R_S R_V}{R_S + R_V} \cdot I$ になる。よって、 $\frac{R_S R_V}{R_S + R_V} \cdots$ か である。

電圧計の内部抵抗値 R_V が試料 S の抵抗値 R_S と比べて十分に大きいとき $\frac{R_S}{R_V} \rightarrow 0$ になるので $\frac{R_S}{1 + (R_S/R_V)} \approx R_S$ である。よって、4 端子法を用いることで試料 S の抵抗値を直接測定できる。

[別解] 4 端子法では 試料 S と電圧計が並列に接続されている。よって、試料 S と電圧計の内部抵抗の合成抵抗値は $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_S} + \frac{1}{R_V}$ だから、 $R = \frac{R_S R_V}{R_S + R_V}$ である。オームの法則を適用して、

$V = I \cdot \frac{R_S R_V}{R_S + R_V}$ だから、 $\frac{R_S R_V}{R_S + R_V} \cdots$ か である。