

電気抵抗の温度変化：準備

Y. Kondo

Department of Physics, Kinki University, Kowakae 3-4-1, Higashi Osaka, Japan

(Dated: May 26, 2011)

電気抵抗の温度変化を測定し、そのデータの解析を行う。このメモに電気抵抗とその測定に関する基礎知識をまとめた。

I. 電気抵抗

A. オームの法則

導体内には自由に動くことのできる電荷が存在するので、もしも電場が一定に保たれるならば電荷の移動が継続する = 「電流」が得られる。特に時間的に変化しない電流を「定常電流」と言う。

電流の強さを単位時間内に通過する電荷の総量によって表す。その単位をアンペアと呼び [A] と略記する。電荷の単位クーロン [C] は 1 [A] の電流が流れている時に毎秒通過する電荷の量として定義される。

針金の両端に一定の電圧 V [V] を与えると定常電流 I [A] が得られる。この定常電流は電圧に比例する。この事実をオームの法則と呼び、この時の比例定数を抵抗と言う。記号としては R を通常用いる。すなわち、

$$V = RI \quad (1)$$

となる。抵抗の単位は $[V/A]$ であるが、これをオームと呼び $[\Omega]$ で表す。

B. 抵抗率

電気抵抗の値 R は導体の種類による他、その長さや断面積、さらに測定温度にも依存する。長さ L [m]、断面積 S [m²] の一様な物質の温度 T [K] における電気抵抗 $R(T)$ [Ω] は

$$R(T) = \rho(T) \frac{L}{S} \quad (2)$$

で表される。 $\rho(T)$ は抵抗率（または比抵抗）と呼ばれ、物質に固有な量である。また、その単位は $[\Omega \cdot m]$ である。比抵抗 $\rho(T)$ は室温付近では近似的に

$$\rho(T) = \rho(T_0) \{1 + \alpha(T - T_0)\} \quad (3)$$

で表せる。ここで α は抵抗の温度係数と呼ばれる。 T_0 は室温付近の任意の温度である。

金属がこのような温度依存性を示すことは、伝導電子のフォノンによる散乱によって理解することができる。詳細は、

<http://www.phys.kindai.ac.jp/users/kondo>

にある固体物理の講義ノートを参照のこと。

C. 測定原理

銅線の電気抵抗、長さ、そして断面積を測定して、抵抗率を求める。さらに、この抵抗率の温度変化を調べることが、この実験の目的である。

電気抵抗を測定する場合、オームの法則に基づいて抵抗に流れる電流と抵抗の両端の電圧を測定すればよい。主として以下の二つの方法が用いられる。

2端子法 図1(a)に示すように配線を行う。抵抗につなぐ線の本数は2本である。

4端子法 図1(b)に示すように配線を行う。抵抗につなぐ線の本数は4本である。

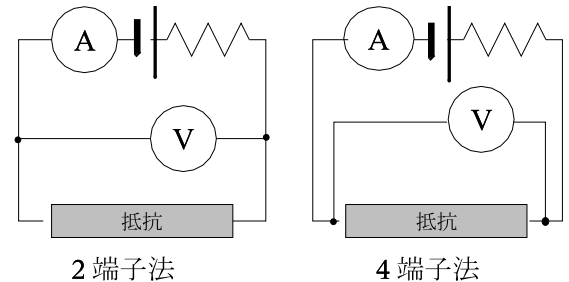


FIG. 1: 測定原理。2端子法と4端子法の比較。電池に繋がれた抵抗は大きな電流が流れないようにするための電流制限抵抗である。

問題

2端子法と4端子法の長所と短所について考察せよ。

電気抵抗の温度変化

Y. Kondo

Department of Physics, Kinki University, Kowakae 3-4-1, Higashi Osaka, Japan

(Dated: May 26, 2011)

銅線の電気抵抗の温度変化を測定し、そのデータの解析を行う。

I. 理論

電気抵抗および測定の基礎知識については、先に渡したメモを参照のこと。

A. 測定法について

この実験では、(測定対象の)試料の銅線と測定器が長い銅線を介してつながれている。そこで、途中の配線(長い銅線)の影響を減らすために4端子法を用いる。

2端子法では、電圧を測定する配線に電流が流れているので、その配線による電圧降下がある。そのために、オームの法則を用いて抵抗を計算する場合に系統的な誤差が生じる恐れがある。一方、4端子法では、電圧を測定する配線には電流は流れない(電圧計のインピーダンスは大きい)ので、2端子法のような系統的な誤差は生じない。ただし、4端子法では配線が4本必要になり測定の手間が余計に必要である。

II. 測定

この実験では、3人1組になって、装置の製作と測定を行う。

A. テスター

電流や電圧の測定には、テスターを用いる。テスターは様々な電気的な物理量(電圧、電流、抵抗、時にはコンデンサーの容量、周波数、温度も)を測定できる測定器である。様々な物理量を測定できるのでテスターは万能な測定器と呼ばれることもある。どのような物理量を測定するかは、中央にあるロータリースイッチによって選択することができる。この実験では、2台のテスターを用いて、電圧と電流を測定する。

実験に使用するテスターの誤差は以下の通りである。

1. 電圧を測定する場合

測定電圧の $\pm 1.5\%$ か $\pm 2 \text{ dgts}$ の何れか大きい方。

dgts はディジットと読む。

例えば、電圧の表示が 197.0 mV ならば、その誤差は $\pm 1.5\%$ が有効になり、 $\pm 197.0 \times 0.015 \approx \pm 3 \text{ mV}$ になる。一方、電圧の表示が 005.0 mV と小さいならば、 $\pm 2 \text{ dgts}$ の方を考慮する。ここで 1 dgts は 0.1 mV であるので、 $\pm 0.2 \text{ mV}$ が誤差になる。

2. 電流を測定する場合

測定電流の $\pm 2.0\%$ か $\pm 4 \text{ dgts}$ の何れかの大きい方。電圧の場合と同様に考える。

テスターを抵抗測定モードにして、2本のテスト棒を左右の手で持ち、体の電気抵抗を測定してノートに記録すること。

B. 測定対象

測定対象は直径約 $200 \mu\text{m}$ のフォルマル被覆銅線である。

III. 測定装置の製作

A. 準備

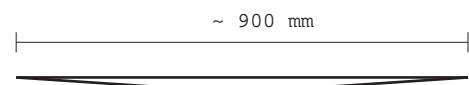
TABLE I の工具、材料を必要に応じて配る。

被覆銅線 (約 2.1 m) (試料)	1 本/グループ
被覆銅線 (約 1.5 m) (ヒーター)	1 本/グループ
単三電池	1 個/グループ
単三電池ホルダー	1 個/グループ
セロテープ	1 巻/テーブル
ラジオペンチあるいはニッパー	2 本/テーブル
テスター	2 個/グループ
テフロン・テープ	1 枚/テーブル
紙やすり	1 枚/グループ
1 m スケール	1 本/テーブル

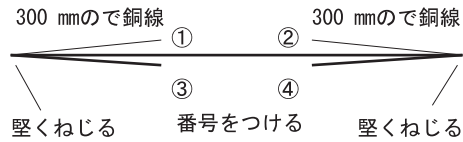
TABLE I: 材料、工具など

B. 測定装置の製作

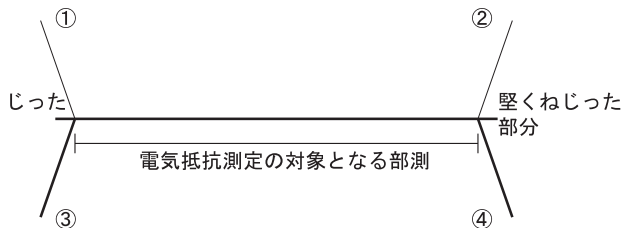
1. 試料となる約 2.1 m の銅線から長さ 300 mm の銅線 2 本を切り取る。残った長い銅線は端から 300 mm のところで折り曲げる。両端を折り曲げる。折り曲げたところを 15 mm 黒いマジックで塗りつぶした後に、その部分の被覆を紙やすりで剥がす。切り取った 300 mm の導線の両端も同様に両端の被覆を 15 mm 剥がす。



2. 1 でできた長い銅線の折り曲げたところに 300 mm の銅線を添えて、被覆を剥いだ部分を写真のように堅くねじる。長い銅線の両方の折り曲げたところを処理する。図のようになる。セロテープでそれぞれの線の先端に番号を貼り付ける。また、線の先端の被覆をすべて 15 mm 剥がす。



3. 電気抵抗測定の対象となる部分の長さを測定する。なぜ図の部分測定対象となるのか。長さ測定の見積りの大きさも記録すること。



4. ねじった部分を温度計にセロテープで固定する。ねじった部分が触れないように注意して固定すること。なぜ触れたらいけないのか。具体的な配線は各自考えること。ただし、電流制限抵抗はアルカリ電池の内部抵抗で代用する。(電流制限抵抗は使わない。)
- この時点で抵抗測定が4端子法によって正しく行えるか、確認すること。測定された電圧と電流の値から計算した電気抵抗がどの程度の値になれば、確認できたことになるのか。ただし、使用している銅線の1 mあたりの抵抗は0.5 Ω程度である。



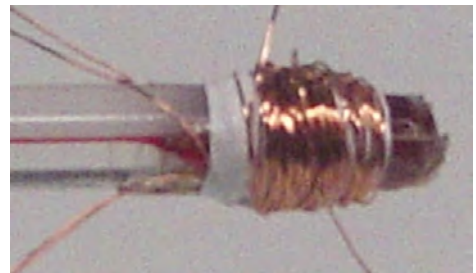
5. 電気抵抗測定の対象となる部分を温度計のアルコール溜の周囲に巻き付ける。なぜ、アルコール溜の周囲に巻き付けるのか。



6. 巻いた部分をテフロン・テープで保護する。



7. テフロン・テープの上にヒータ線として用いる銅線を巻く。電源に接続するために、両端とも約150 mm残しておく。ヒータ線の両端の被覆を15 mm剥く。



8. 更にヒータ線をテフロン・テープで保護する。



9. 実際に4端子法によって装置が動作することを確認する。確認できなければ、製作をやり直す必要がある。

IV. 電気抵抗の測定

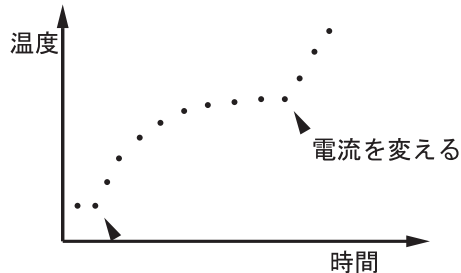
A. 準備

1. 抵抗測定

4端子法による測定ができるように配線を行う。ただし、電流制限抵抗はマンガン電池の内部抵抗で代用する。(電流制限抵抗は使わない。) ヒータ線は直流電源に接続する。電源の電流、電圧制御つまみは一番小さい値になるようにしておく。

2. 温度とヒータの関係

ヒータに流す電流と温度の関係を確認する。電流 0.3, 0.5, 0.7, 0.9 A を流した時の温度を測定する。ヒータの電流を変化させてから、2分ごとに温度計の温度を測定し、その温度変化の様子をグラフ化せよ。横軸が時間、縦軸を温度とする。ノートに描くこと。温度が一定になるまで、時間がかかるので十分な時間待つこと。



ヒータ電流を変化させた時の温度変化の概略。

測定終了後には、ノートに横軸を電流の2乗、縦軸に温度を取ったグラフを作成せよ。ヒータ電流と温度の関係は1次関数で近似できるはずである。なぜか理由を考えよ。これらのグラフより約 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80 度の時にヒータに流れる電流を推定し、それらの値をノートに記録する。

測定データを書き込むための表 II を最終ページに準備してある。この表は最小 2 乗法の計算のためにも用いる。

B. 測定

測定の手順は以下の通りである。

1. ヒーターに 30 度を得るための電流（準備で求めた値）を流す。
2. 温度、電流、電圧の時間変化を 2 分毎に記録する。
3. 測定を行いながら、温度の時間変化のグラフを作成する。
4. 温度変化のグラフから温度が一定になった時の電圧と電流の欄にチェックをつける。

このような手順で温度が約 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80 度における抵抗測定を行なう。

注意：温度が一定の時の電流と電圧を求めることが重要であり、正確に 5 度ずつ温度変化させたときの電流と電圧を求める必要はない。

測定中、autopower off が働いて液晶表示が消えた場合は SEL ボタンを一度だけ押すこと。

ただし、教員が測定の中止を指示する場合もあるので、そのときは従うこと。また、時間に余裕があれば表を完成するように計算を行っておくこと。

C. 解析

測定終了後に、データの表でチェックをつけた温度における抵抗を計算する。その抵抗を元に（横軸-温度、縦軸-抵抗）のグラフを作成する。

注意：温度が一定でない時刻での抵抗を計算する必要はない。

以下にグラフを描く場合の注意を挙げる。

1. グラフにタイトルを付ける。
2. 縦軸、横軸は定規で線を引くこと。グラフ用紙に印刷されている線はグラフを描く軸としては使わない。
3. 縦軸、横軸は何を表しているかを明確にする。単位を書くことを忘れずに。
4. 縦軸、横軸の値の範囲は適当か？データ点が 1 枚のグラフ上にできるだけ広く分布するように値の範囲を決める。
5. 縦軸、横軸の値は切りの良い数字を使うこと。あまり細かい数字を書く必要はない。
6. データ点がはっきり分かるように、少し大きめにデータ点を描くこと。
7. データ点間を直線で結ばないこと。

V. 後かたづけ

グラフを描き、教員のチェックを受け、許可されたら使用した装置を片づける。教員が必要と判断した場合は、再実験を行うので装置は許可を得てから片づけること。

VI. レポートの提出

この実験の目的は

摂氏 50 度における使用した銅線の 1 m 当たりの抵抗と温度係数を求める

こととする。レポートの書き方は別途資料を与える。

VII. 実験の発展

今回の実験の結果は与えられた銅線 1 m 当たりの抵抗とその温度係数であった。このような結果は、試料となる銅線を変えれば変わってしまう。

本来の実験においては、測定の結果得られるものは普遍性があるもの（今の場合は銅線の太さに依らないこと）でないといけない。今回の実験の場合にはそのような普遍性のある物理量として銅の電気抵抗率が考えられる。

以上のような観点から今回行った実験の発展として、摂氏 50 度における銅の電気抵抗率とその温度係数を求めることを考えよう。そのためには、

1. どのような測定を新たに行わなければならないか？
2. 必要な測定器はどのようなものか？(測定精度、測定可能範囲など)

を考察せよ。

