

第3章 電気抵抗の温度変化

電気抵抗の温度変化を測定し、そのデータの解析を行う。理論は各自予習しておくこと。物理の教科書なども利用して勉強するように。

実験計画を立て方、実験の実施方法、グラフの描き方、データの解析、レポートの書き方の訓練のための実験であって、電気抵抗の測定は単なる例にすぎないことに注意すること。この実験を通じて、実験一般に通じる実験の行い方を学ぶように心がけること。また、実験一般に通じる実験の行い方を学ぶことは、様々なタスクに取り組む一般的な手法を学ぶことでもある。

3.1 理論

3.1.1 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。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。

定常電流は電圧に比例する。 = オームの法則

この時の比例定数を抵抗と呼び、記号としては R を通常用いる。すなわち、

$$V = RI \quad (3.1)$$

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。

3.1.2 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

$$R(T) = \rho(T) \frac{L}{S} \quad (3.2)$$

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

$$\rho(T) = \rho(T_0) \{1 + \alpha(T - T_0)\} \quad (3.3)$$

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、3年生の固体物理IIで理論的に考察するはずである。また、<http://www.phys.kindai.ac.jp/users/kondo> にある固体物理の講義ノートも参照のこと。

3.1.3 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。

測定しようとしている金属が測定器から離れている。そこで、途中の配線の影響を減らすために4端子法によって、電気抵抗を求めることとする。図3.1に2端子法と4端子法の原理図を示す。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求めたい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。

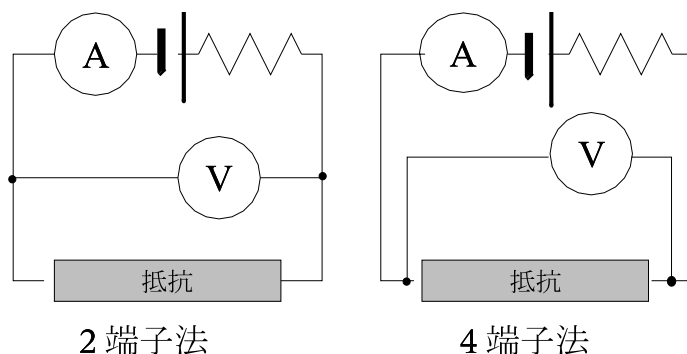


図 3.1: 測定原理。2端子法と4端子法の比較。

3.2 測定

この実験では、2人1組になって、装置の製作と測定を行う。将来は、自ら実験計画を立てることができるようになる必要がある。しかしながら、ここでは指示された実験計画に基づいて実験を行い、実験計画の手法を学ぶ。「学ぶ」の語源は「まねぶ」だから。

3.2.1 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を測定できる「万能」な測定器である。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。

メーカーによって保証されているこの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 $\pm 2 \text{ dpts}$ (最小の読みの2数字分) の大きい方。例えば、電圧の表示が 197.0 mV ならば、その誤差は $\pm 197.0 \times 0.015 \approx \pm 3 \text{ mV}$ になる。一方、電圧の表示が 005.0 mV ならば、 $\pm 2 \text{ dpts}$ の方を考慮して、 $\pm 0.2 \text{ mV}$ になる。

2. 電流を測定する場合

測定電流の $\pm 2.0\%$ か $\pm 4 \text{ dpts}$ (最小の読みの4数字分) の大きい方。電圧の場合と同様に考える。

3.2.2 測定対象

測定対象は約 200 μm の直径のフォルマル被覆銅線である。データの解析で実際に使用する値はマイクロメータで各自測定すること。

3.3 測定装置の製作

3.3.1 準備

表 3.1 の工具、材料を必要に応じて配る。

被覆銅線 (約 2 m)	1 本/グループ	ワニグチ・クリップ	3 こ/グループ
単三電池	1 こ/グループ	単三電池ホルダー+抵抗	1 こ/グループ
被覆を剥いだ銅線の小容器	1 箱/テーブル		
セロテープ	1 巻/テーブル	2 液混合型エポキシ樹脂	1 箱/テーブル
ラジオペンチ	2/テーブル本	半田ごて	1 本/テーブル
テスター	2 こ/グループ	マイクロメータ	1 こ/グループ
キムワイブ	1/テーブルこ	紙やすり	1 こ/グループ

表 3.1: 材料、工具など

3.3.2 測定装置の製作

1. 被覆のない裸の銅線の直径をマイクロメータで 10 回測定する。本来ならば銅線の被覆剥がしを実験中に行うべきであるが、難しい (+ 薬品を使い危険な) ので被覆を剥いだ銅線を与える。
2. 試料となる銅線を 3 本に切る。長さは 30 cm の銅線が 2 本と残りである。全ての端を約 5 mm の長さだけ紙やすりでこすり、被覆を剥ぐ。一番長い銅線は、両端から約 30 cm のところも同様に約 5 mm だけ被覆を剥ぐ。その後、4 端子法による測定ができるようにはんだづけを行う。(図 3.2)



図 3.2: 銅線のはんだづけ

3. 測定対象の長さ (はんだづけをした間の長さである。) を測定する。測定誤差の大きさも記録すること。(図 3.3)
4. 銅線を温度計にセロテープで固定する。2 本になっているところをセロテープで止め、はんだづけの部分にセロテープを被せないように注意すること。(図 3.4)



図 3.3: 銅線の長さの測定



図 3.4: 銅線を温度計に固定

測定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。その後、反対側も同じ様にセロテープで固定する。(図 3.5)

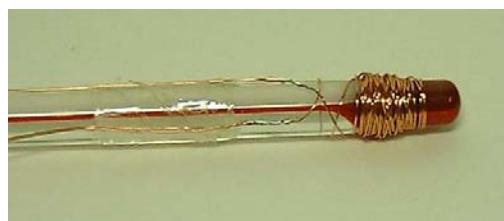


図 3.5: 銅線を温度計に固定

5. 電池ホルダーが図 3.6 あるいは図 3.7 のようになっていることを確認する。2 種類あるので、注意。黒いものと白いものである。



図 3.6: 電池ホルダーと抵抗 1



図 3.7: 電池ホルダーと抵抗 2

6. 実際に抵抗を測定し、装置が動作することを確認する。
7. 2液混合型エポキシ樹脂で銅線を固定する。はんだづけした部分を確実にエポキシで覆うこと。約10分で固化するので、その間手で持っていること。テーブルに置くとテーブルに固定されてしまう。(図3.8)

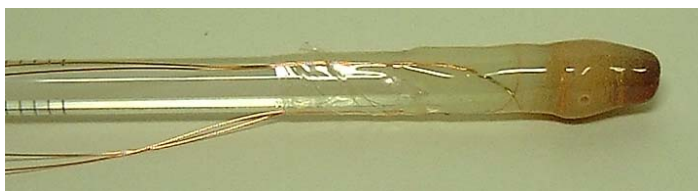


図 3.8: エポキシ接着剤で固定

3.4 測定

3.4.1 準備

測定データを書き込むための表を定規を用いて作成しておく。表3.2を参照。この表は後にデータ解析（線形最小2乗法）を行うときにも使用する。ノートの左側のページに準備すること。（右側は予備、データが多くなった場合のために確保しておくこと。）

図3.9のように装置をセットする。まず、室温で電圧、電流の値を測定し、記録する。また、ポットに水を入れて、お湯をわかしておく。

時刻	温度 T °C	電圧 V mV	電流 I mA	抵抗 R Ω	R の誤差	T^2	$T \cdot R$

表 3.2: 測定データ記録と解析のための表



図 3.9: 測定のセットアップ

3.4.2 測定

台紙に固定した紙コップに製作した銅線付きの温度計を入れて、熱湯を注ぐ。そして、発泡スチロールのビーズを水面上に浮かせる。

すぐに測定を開始する。測定は自然に温度が下がっていく過程に行く。熱湯を入れた瞬間から、1分ごとに「時刻」、その時の「温度計の読み」、そしてテスターで測られた「電圧、電流」をノートに記録する。

測定は温度計の読みが摂氏 40 度になるまで行う。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。

3.4.3 データのプロット

測定が終了したならば、読みとった電流と電圧の値から抵抗を計算する。その後、(横軸-温度、縦軸-抵抗)のグラフを作成する。

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。単位を含めることを忘れずに。
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. データ点をはっきり分かるように、プロットすること。鉛筆で小さな点を描いてデータ点としても、ゴミと見間違ってしまう場合がある。
7. データ点には誤差棒をつけること。
8. データ点間を直線で結ばないこと。

3.5 レポートの提出

レポートの内容として、以下のものを含んでいなければならない。

1. タイトル
行った実験の内容が分かるような簡潔なレポートのタイトル。ここでは、「銅の電気抵抗率とその温度係数の測定」を書けば良い。もちろん、自分で考えた他のタイトルをつけてもかまわない。
2. 導入
電気抵抗率とその温度係数についての説明、測定原理を書けば良い。
3. 方法
実際に行った測定方法を説明する。このレポートを読んで他の人が実験を再現できるように十分な情報を提供する必要がある。例えば、試料は何か、どのような装置を作ったか、測定器はどのようなものか、など。
4. データ解析
測定データを表にまとめ、それから、温度と銅線の電気抵抗の関係を表すグラフを描くこと。そのグラフから銅線の 50°C における電気抵抗を求める。さらに 50°C 付近では、電気抵抗は温度の1次関数で表されると仮定して、電気抵抗の温度係数を求める。最終的には、銅線の形状（長さや直径）を考慮して、銅の 50°C における電気抵抗率とその温度係数を求める。誤差についても考察すること。
5. 結果
温度 50°C における銅の電気抵抗率とその温度における温度係数を誤差も考慮して、記述すること。
6. 議論
実験を行う上で疑問に思った点、実験方法で改善すべき点、などを書くこと。たとえば、テスターの測定におけるランダム誤差と系統誤差について検討する。

3.5.1 実験終了後の後かたづけ

グラフを描き、教官のチェックを受け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。

1. 使用した発泡スチロールのビーズは、洗濯ネットに回収する。
2. 机の上の水分を雑巾で拭く。
3. 紙コップを台紙から外し、別々に集める。
4. 製作したものは、希望があれば持ち帰っても OK。