

物理学実験授業における新テーマ考案と新装置作製

The report of devising a new experimental theme and making a new experimental device
for lessons of physics experiments

水野貴敏*, 宮田成紀**, 黒田 潔*

Takatoshi Mizuno*, Seiki Miyata** and Kiyoshi Kuroda*

*玉川大学工学部エンジニアリングデザイン工学科, **情報通信工学科,

194-8610 東京都町田市玉川学園6-1-1

*Department of Engineering Design, and **Department of Information and Communication Technology,
Tamagawa University, 6-1-1 Tamagawagakuen Machida-shi Tokyo 194-8610

Abstract

With the aging of the experiment device for lessons of experiments, it was necessary to change an experimental theme and to make a new experimental device. The measurement of the electric resistivity of nichrome was devised and the device for the measurement was made. This device is able to measure accurately.

Keywords: physics experiments, new experimental theme, new experimental device, measurement of resistivity

1. はじめに

「授業で学んだ物理学の法則を実験により確認できたら、物理学の理解がより進み興味も増すことが期待できる」¹⁾とは、工学部物理実験室編著『物理実験－入門と基礎－』のはしがきの言葉である。座学と実験は表裏一体であり、物理学教育にとって実験科目は欠かすことができないものである。

工学部物理研究室で担当する実験系の授業には、工学部情報通信工学科の「基礎物理学実験」、工学部エンジニアリングデザイン学科の「物理・化学実験」、農学部教職課程の「物理学実験」、ユニバーシティスタンダード科目の「実践の物理学」および「科学入門」の計5科目ある。それぞれは、工学の基礎教育、中高の理科教員養成、科学リテラシー教育と位置付けられている。それぞれの位置づけにしたがい、多くの実験テーマが実施されている。

中でも物理学実験が、一番古くから開講されて

おり、その教科書である『物理実験－入門と基礎－』の中に記載されている実験テーマの中には、使用する実験装置が昭和40年代に製造されているものもある。また、物理学に限らず実験系の研究をしていれば、実験装置を自分で製作するのは日常茶飯事であると思われるが、学生実験においてもご多分に漏れず、かつて在籍されていた物理学系教員により自作されたものも少なくない。残念ながら、そのような実験装置の中には老朽化によりメンテナンスをしても正しく動作しなくなるものも出てくる。そして、場合によっては、実験装置の老朽化に伴い、実験テーマ自体が変更を余儀なくされることもある。本論文では、近年、物理実験室で新たに考案した実験テーマや作製した実験装置について報告する。

2. 実験装置の作製

科目「物理学実験」で実施していた実験テーマに電位差計を用いた電池の起電力測定がある。し

かし、実験装置自体が昭和40年代の製造であり、現在も稼働する装置は数台あるが、学生実験の1テーマとして継続するには心もとない状態である。この装置を新たに購入するとなると、少々高額²⁾であり、学生実験用にある程度まとまった数を購入することは難しい。そこで電位差計を用いた起電力測定に代わる、電磁気学もしくは電気回路分野の実験テーマを構築する必要が生じた。最も簡単なのは、理科教育教材として市販されている製品を購入して使用することである。しかし、該当の分野の実験となると、オームの法則や抵抗の直列・並列接続の測定などの中学校や高等学校でも実験しそうな基本的すぎる実験か、ブリッジ回路を使用するものや、電磁誘導等の磁気関連の実験が多く、基礎としてはやや難易度が高いものが多い。

そこで、基本的ではあるが中学校や高等学校では実施しないであろうテーマとして、電気抵抗率の測定を考えた。均一な形状で長さが L 、断面積が A の物体の電気抵抗 R は、その物体をつくる物質の電気抵抗率を ρ とすると、

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (1)$$

で与えられることはよく知られている。したがって、物質の電気抵抗率 ρ を求めるのであれば、同じ形状、同じ材質で長さもしくは断面積が異なるものを用意して、それらの電気抵抗を測定することで電気抵抗率を明らかにできることがわかる。まずは、電気抵抗率を測定する実験装置が市販されていないか理科教材メーカーのカタログを調査した。しかし、そのような実験装置は市販されておらず自作するしかないことがわかった。

自作するに辺り、はじめに材料となる物質の選定を行った。長さは、電気抵抗を測定する位置を変えることで変化させることができるので、同じ形状、同じ材質で断面積が異なるものが比較的安価で市販されていることが必要であり、さらに、それらの電気抵抗が十分な有効数字を保って測

定できる必要がある。電気抵抗率が大きい絶縁体や比較的大きい半導体であれば、電気抵抗が測定しやすいと考えられるが、同じ形状、同じ材質で断面積が異なるものを安価で手に入れるのは難しい。逆に、断面積が異なるものが比較的用意しやすい金属線は、導体であるものが多く電気抵抗率が小さいため、電気抵抗の測定が難しくなる。表1に、 0°C における主な金属の電気抵抗率を示す³⁾。例えば、銅であれば、導線として利用されているので、同じ形状で断面積が異なるものを手に入れやすい。しかし、直径が 0.2mm 、長さが 100cm の銅の電気抵抗は 0.49Ω 程度であり、さらに長さを短くした場合や、直径（すなわち、断面積）が大きい場合には、高精度で電気抵抗を測ることができるテスターがないと十分な有効数字を保って測定することが難しくなる。

そこで、金属の中でひと際大きい電気抵抗率を持つニクロムに着目した。ニクロム線は電熱線として利用されるため、同じ形状で断面積が異なるものも多く市販されている。ちなみに、直径が 0.2mm で長さが 100cm のニクロム線の電気抵抗は 34Ω 程度であり、同じ断面積で長さを 20cm とすると、電気抵抗は 6.8Ω 程度となる。また、長さが 100cm で直径が 1mm とした場合でも電気抵抗が 1.4Ω 程度となるので、十分な有効数字を保って電気抵抗を測定できる。そこで、電気抵抗率の測定にはニクロム線を使用することにした。今回、実験装置を製作するために直径が 0.32mm 、 0.40mm 、 0.60mm 、 0.80mm のニクロム線を用意した。

表1 0°C における主な金属の電気抵抗率

材質	電気抵抗率 [$\times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$]
亜鉛	5.5
アルミニウム	2.50
銅	1.55
黄銅（真鍮）	6.3
ニクロム	107.3
ニッケル	6.2

次に、直径（断面積）が違うものをどのように配置し、測定していくかについて検討した．図1のように、購入したニクロム線は円状にまとめられており、これをどのようにして直線状にするかが大きな課題であった．ニクロム線を直線状にするためには両側から引っ張る必要がある．そこで、弦楽器から着想を得て、図2のように、板の両側にギターのペグを取り付け、それらにニクロム線を巻き付けることで、ニクロム線をピンと張らせるという構造を立案し、作成した．長さが120cm、幅が30cmの木板の両サイドに5つずつ穴を開け、そこにギターのペグを取り付け、それぞれに直径が0.32mm、0.40mm、0.60mm、0.80mmのニクロム線が張られている．今回、ニクロム線は張られた状態で円柱であると仮定するので、その断面積はそれぞれ $2.56 \times 10^{-8} \pi \text{ m}^2$ 、 $4.00 \times 10^{-8} \pi \text{ m}^2$ 、 $9.00 \times 10^{-8} \pi \text{ m}^2$ 、 $1.60 \times 10^{-7} \pi \text{ m}^2$ となる．



図1 購入したニクロム線（直径0.6mm）

3. 電気抵抗率の測定

実際の実験授業では、この実験装置を用いて、次の2通りの方法で電気抵抗率を求めていく．

まず、直径が0.32mmのニクロム線について、長さが20cm、40cm、60cm、80cm、100cmの電気抵抗をそれぞれ測定する．横軸をニクロム線の長さ L [m]、縦軸を電気抵抗 R [Ω] として、その測定結果をグラフに表すと、図3ようになる．電気抵抗と長さの関係が、

$$R = \left(\frac{\rho}{A} \right) L$$

で表される直線となるので、図3の直線の傾きは電気抵抗率と断面積の比 ρ/A を与える．したがって、グラフから直線の傾きを読み取り、その値にこのニクロム線の断面積 $2.56 \times 10^{-8} \pi \text{ m}^2$ をかけることで、電気抵抗率 ρ が求まる．

次に、直径が0.32mm、0.40mm、0.60mm、0.80mmのニクロム線の長さ100cmの電気抵抗をそれぞれ測定する．横軸をニクロム線の断面積の逆数 $1/A$ [m^{-2}]、縦軸を電気抵抗 R [Ω] として、その測定結果をグラフに表すと、図4ようになる．電気抵抗と断面積の逆数の関係が、

$$R = (\rho L) \frac{1}{A}$$

で表される直線となるので、図4の直線の傾きは電気抵抗率と長さの積 ρL を与える．したがって、グラフから直線の傾きを読み取り、その値をこのニクロム線の長さ1.0mで割ることで、電気抵抗率 ρ が求まる．

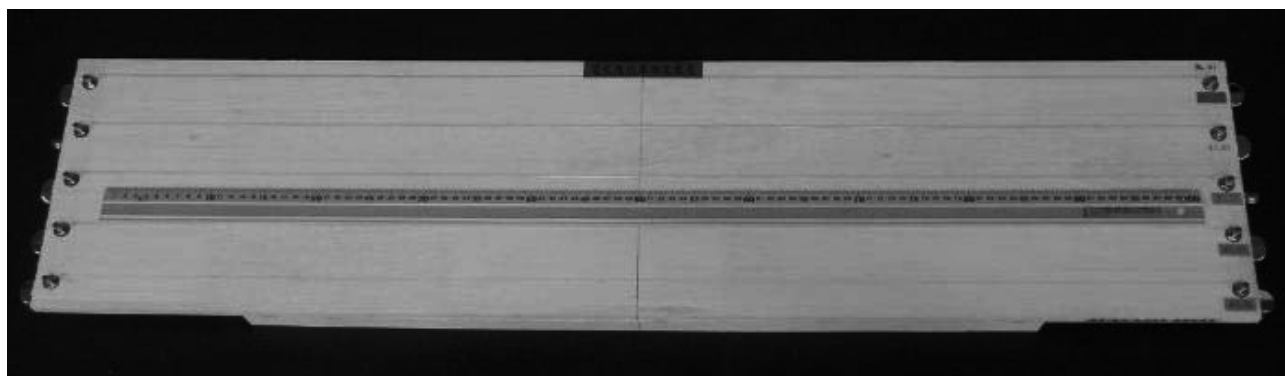


図2 作製した電気抵抗率測定装置

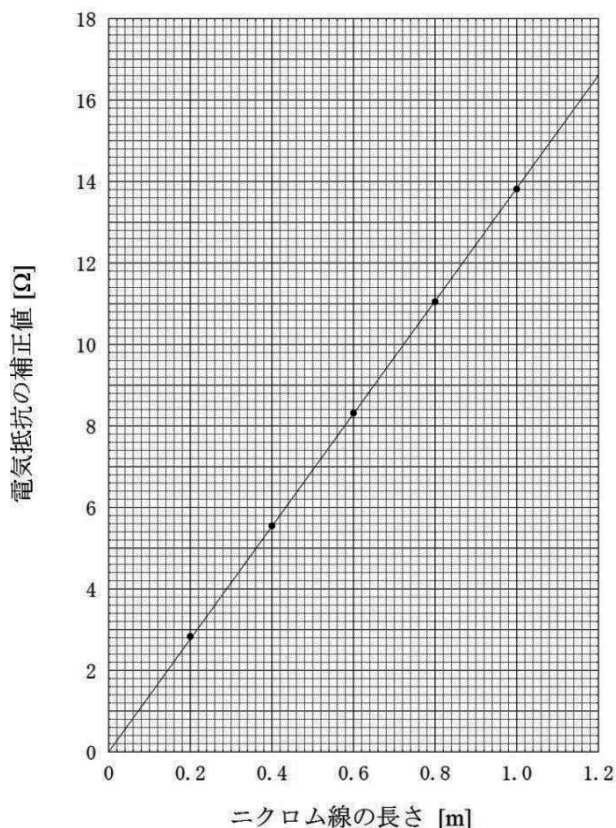


図3 電気抵抗率の長さ依存性の測定結果の例

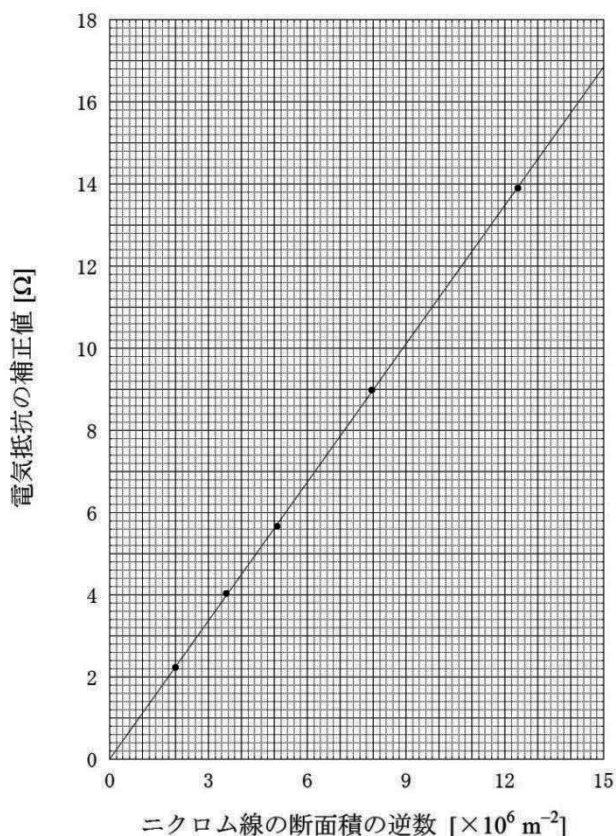


図4 電気抵抗率の断面積依存性の測定結果の例

テスターの電極に、ニクロム線に引っ掛けることができるフックか、ニクロム線を挟み込むワニ口クリップを装着して電気抵抗を測定するが、測定する電気抵抗の値が小さいせいかテスターに表示される値がふらつくことがある。ときには、ニクロム線をしっかり挟むことができるワニ口クリップを使用してもなかなか値が安定せず、さらにワニ口クリップの首あたりも持って振るなどの工夫が必要な場合もあり、電気抵抗の測定に時間を要することがある。また、断面積の計算結果を指数表記で表すため、指数表記や指数の計算が苦手な学生は、データ処理にも時間がかかることが多い。さらに、グラフを二つ描き、それぞれ直線の傾きを求めていくことになるので、1回の授業ですべてを実施すると、意外と時間がかかり、授業時間内にすべてが終了しないというケースも少なくない。

しかし、苦勞して得られた電気抵抗率は、だいたい誤差が数%以内に納まり、比較的精度のよい測定結果が得られる。

4. まとめ

ここまで述べてきたように、学生実験としては、十分な実験テーマを構築できたと思う。この実験では、事前に(1)式を与えて、電気抵抗の長さ依存性や断面積依存性を明らかにした上で、電気抵抗率を求めさせている。その上で、さらに、測定結果を用いて、電気抵抗が長さに比例することと、電気抵抗率が断面積に反比例することを、両対数グラフを用いて示せという問題が用意されている。ただ、電気抵抗率を求めさせるだけではなく、測定量を変数に対してどのような依存性を持つかを、両対数グラフを用いて明らかにすることを学修させている。

今回、ニクロム線の張り方、言い換えると、ニクロム線にかかる張力の大きさや、ニクロム線表面の酸化等の経年劣化が電気抵抗に与える影響については検討できていない。実験装置を保守点

検する上でもこれらの影響を調査する必要があると考える.

参考文献

- 1) 玉川大学物理研究室 編著 :『物理実験－入門と基礎－』,八千代出版 (2004).
- 2) 島津理化 理科機器総合カタログ :
Shimazu-rika. co. jp/guide/actibook/
500gou/index. html?pNo=556
- 3) 国立天文台 編 :理科年表 平成24年度 (2011)

2021年12月28日原稿受付, 2021年12月28日採録決定

Received, December 28th, 2021; accepted,
December 28th, 2021