



放電記録紙を用いた可変抵抗器教材の開発

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2018-10-19 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 池田, 忠寛, 松浦, 俊彦 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.32150/00006703

放電記録紙を用いた可変抵抗器教材の開発

池田 忠寛・松浦 俊彦*

北海道教育大学附属函館中学校

*北海道教育大学函館校生物工学研究室

Development of the Teaching Materials of Variable Resistor Using Electrical Discharge Recording Paper

IKEDA Tadahiro and MATSUURA Toshihiko*

Affiliated Hakodate Junior High School, Hokkaido University of Education

*Department of Biotechnology and Bioengineering, Hakodate Campus, Hokkaido University of Education

概 要

放電記録紙の適度な導電性と加工性を利用した、紙製の可変抵抗器教材を開発した。物質の形状と電気抵抗の大きさの関係について理解を深めるためには、生徒たちが簡便に扱える新規の可変抵抗器教材が求められる。生徒たちが扱いやすい教材としては、適度な電気伝導性、理解しやすい電気抵抗値、加工しやすさ、安全性、そして安価な材料であり、これら条件を放電記録紙はすべて満足させる。回路に組み込んだ放電記録紙をはさみや穴あけパンチで切り込みや穴をあけることで、その抵抗値が変わるので、紙製の可変抵抗器とみなすことができる。放電記録紙は安全な低電圧で実験可能で、中学生が理解しやすい抵抗値を示す。そして、1回の実験コストは10円と安価である。放電記録紙を用いた授業実践では、生徒たちは放電記録紙の形状と抵抗値の相関性について考察し、電気抵抗の基本的な性質を深く理解することができた。

1. はじめに

中学校の理科では2年生に「電流とその利用」に関する学習単元があり、生徒はオームの法則や電気回路の設計など電流の性質について学ぶ^{1),2)}。例えば、電源、電気抵抗器、電流計、電圧計を使って簡単な電気回路を組み立てるのが一般的な学びである。発展的な学習として、物質の形状と電気抵抗の大きさの関係について定性的に学ぶ。物質

の形が長くなるほど電気抵抗は大きくなる。対照的に、電気抵抗は物質の断面積が大きくなるほど小さくなる。しかし、この物理現象を学校の教材を使って実験的に証明することは困難である。

例えば、教材として市販されている導電紙は電圧測定に適しているが、抵抗値が極めて大きいため電流値を正確に計測するのは難しい。金属のアルミホイルははさみやカッターで加工しやすい反面、破けやすく、長さや幅などの形状を再現性よ

く揃えるためには熟年の技が必要であり、生徒の実験には適していない。そのうえ、アルミホイルは小数点以下の抵抗値となるため、中学生が理解しやすい抵抗値とは必ずしも言えない。

物質の形状と電気抵抗の大きさの関係について理解を深めるためには、生徒たちが簡便に扱える新規の可変抵抗器教材が求められる。生徒たちが扱いやすい教材としては、次の5つの条件をすべて満たすことが不可欠である。すなわち、適度な電気伝導性、理解しやすい電気抵抗値、加工しやすさ、安全性、そして安価な材料である。

放電記録紙は5つの条件をすべて満たす材料である³⁾。放電記録紙は放電記録と呼ばれる記録方式に使用される専用ロール紙である。一般に放電記録紙は三層構造をしており、基紙層、黒色導電層、白色記録層からなる⁴⁾。基紙は平滑性の良い紙が使用され、その上に黒色導電層が形成される。導電層にはカーボンブラックがバインダーとともに使用される。さらにその上に形成される白色記録層は、酸化亜鉛や酸化チタン等の白色系の不透明顔料がバインダーとともに塗布されている。電圧を白色記録層に印加することにより、局部的に放電破壊し、黒色導電層を露出させ、白色層とのコントラストで記録像を得るという原理である。放電記録紙は台車の運動の記録テープとして学校現場で使用されている。そのほかに、電位分布の測定で使用されることはある⁵⁾が、可変抵抗器として教材に応用されたことはない。

本研究では、放電記録紙を用いた可変抵抗器の開発について報告する。放電記録紙を使用することにより、はさみやカッターで形状を簡単に加工することができる新規の可変抵抗器教材となる。本稿では、放電記録紙を使った、物質の形状と電気抵抗の大きさの関係について理解を深める授業実践について紹介する。

2. 実験手順

2-1. 理論

電気抵抗器を直列につなぐと抵抗の値が大き

なり、並列につなぐと抵抗の値が小さくなる。この物理現象から、抵抗の大きさは同じ材料であれば、物質の形状によって抵抗の大きさが変化することを中学校2年生で学習する。Fig. 1に導体の模式図を示す。一様な物質でつくられた導体の電気抵抗 R は、導体の長さを L 、断面積を S 、物質の種類とその温度で決まる抵抗率を ρ とすると、以下のような関係となる⁶⁾。

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

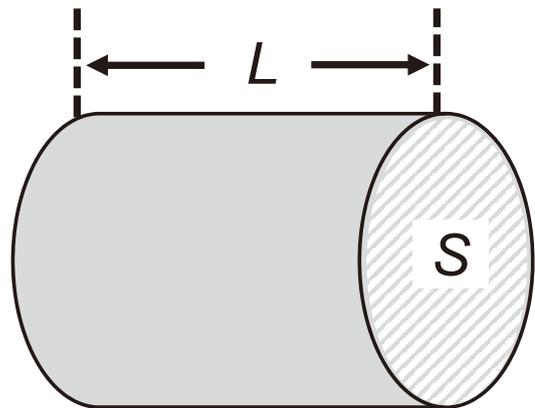


Fig. 1 長さ L 、断面積 S の導体の模式図。

すなわち、電気抵抗の値は導体の長さに比例し、導体の断面積に反比例する。

電気抵抗器の両端に直流電源を接続し、その温度が一定になるようにして電源の電圧を変化させると、抵抗器を流れる電流は電圧に比例する。この比例関係をオームが1827年に発見したので、オームの法則という。電圧を V 、電流を I 、電気抵抗を R とすると、以下のような式で表すことができる。

$$V = RI \quad (2)$$

オームの法則は金属と合金ではよく成り立つが、電解質溶液、タイオード、放電管などでは成り立たないことに注意が必要である⁶⁾。

2-2. 材料と実験器具

本研究に使用した放電記録紙（6 cm × 30 m）の写真をFig. 2に示す。放電記録紙は榛原製のメ

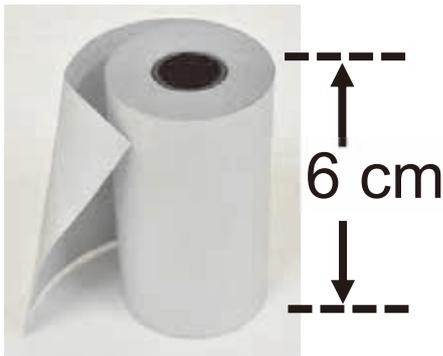


Fig. 2 幅6 cmの放電記録ロール紙。

タライズペーパーという商品名で、10本入りを1万円（送料別）で購入した。紙の導電性表面は片面（白色記録層側）のみであるため、紙を半分に折り畳んだ状態で使用した。Fig. 3の写真のように、紙製の可変抵抗器に対応する部分は長さ5～15cm程度で、放電記録紙の両端を金属製の目玉クリップで挟んだ。目玉クリップの幅は放電記録紙の幅6 cmとほぼ同じものを選んだ。直流電源、アナログ電流計、アナログ電圧計、みのむしリード線などは、中学校の理科室に常備してある器具を使用した。



Fig. 3 放電記録紙の両端を目玉クリップで挟んで実験する様子。

放電記録紙は、直流電源、電流計および電圧計を備えた電気回路に組み込んだ。電気回路図をFig. 4に示す。電源の直流電圧は2～5 Vとした。回路に組み込んだ放電記録紙を切断または穴をあけるために、はさみと穴あけパンチを準備した。はさみや穴あけパンチで放電記録紙に切り込みや

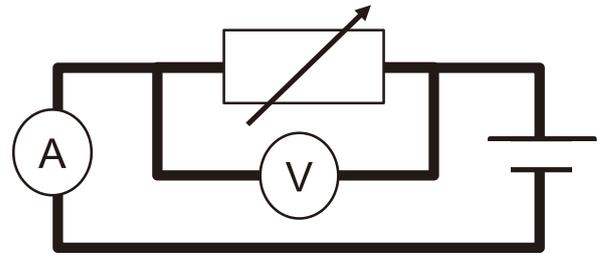


Fig. 4 実験に用いた電気回路図。放電記録紙を用いた可変抵抗器、直流電源、電流計、電圧計から構成されている。

穴をあけることで、その抵抗値が変わるので、紙製の可変抵抗器とみなすことができる。

3. 授業実践

北海道教育大学附属函館中学校の2年生向けに2017年6月9日に実施した授業について紹介する。生徒たちは放電記録紙を用いた可変抵抗器に印加された電圧をアナログ電圧計から、電流値をアナログ電流計から読み取り、(2)式のオームの法則を用いて、電気抵抗値を算出した。放電記録紙を用いた可変抵抗器は短冊形であるが、はさみや穴あけパンチを使ってその形状を変化させた。生徒たちが放電記録紙を加工して、抵抗値を測定する様子をFig. 5に示す。波型やジグザグ型 (Fig. 5(a))、切り込み型 (Fig. 5(b))、穴あけ型 (Fig. 5(c))など放電記録紙の形状は生徒たちが考案し、4名が1つの班を作って1つのテーマについて実験した。放電記録紙の形状と抵抗値測定の結果をタブレットPCで撮影し、画像データをアップロードして他の班と共有した (Fig. 5(d))。

Fig. 6に生徒たちの実験結果の代表例を示す。Fig. 6(a)～(c)は短冊形の放電記録紙の長さを変化させたときの抵抗値の変化を示している。放電記録紙の長さが5 cmのときの抵抗値が1.1 Ωであった。中学生が理解しやすい抵抗値である。この長さを15 cmにしたときに2.0 Ωとなった。つまり、幅が一定の放電記録紙の長さが長くなるにつれて、抵抗値が増加した。この変化は厳格な比例関係とはならなかったが、概ね(1)式に準じており、定量的に示すことができた。Fig. 6(d)～(f)は短冊



Fig. 5 生徒たちが加工した放電記録紙の抵抗値を測定する様子。放電記録紙の形状は(a)波型やジグザグ型, (b)切り込み型, (c)穴あけ型などが実験された。(d)実験結果をタブレットPCで撮影する様子。

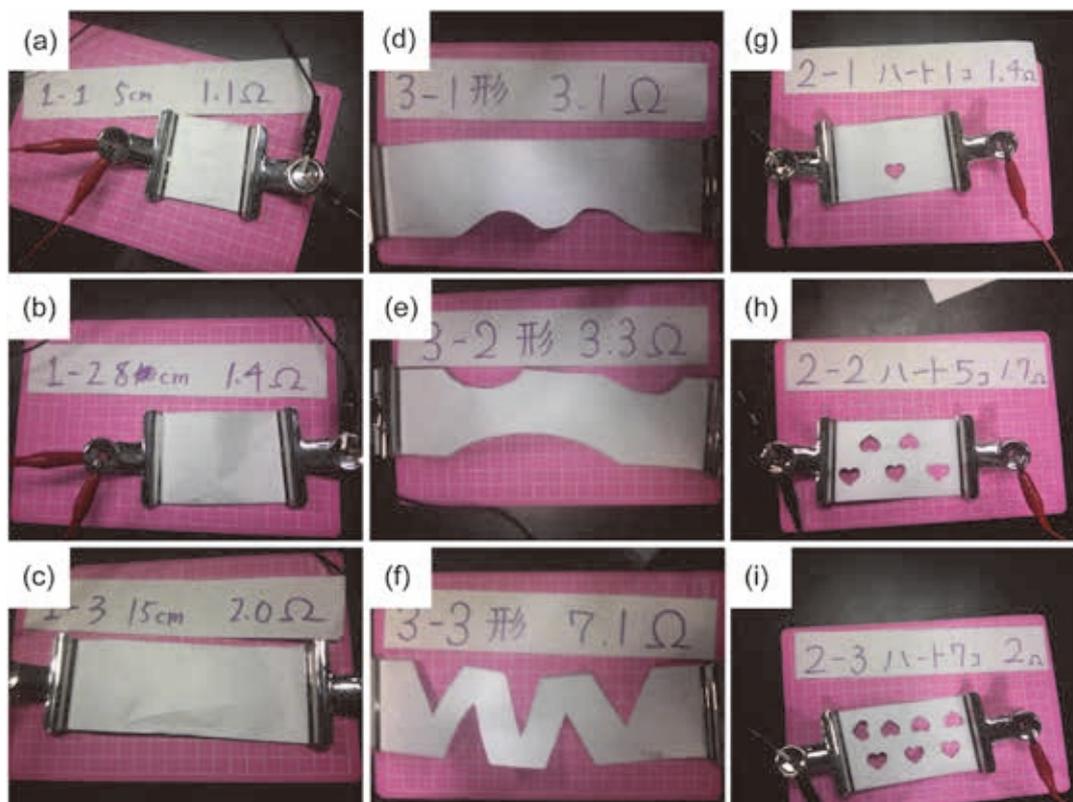


Fig. 6 放電記録紙の形状と抵抗値測定の結果の代表例。(a)~(c)放電記録紙の長さを変化させたときの抵抗値。(d)~(f)放電記録紙にはさみで切り込みを入れて形状を変化させたときの抵抗値。(g)~(i)放電記録紙にハート型の穴をあけたときの抵抗値。

形の放電記録紙にはさみで切り込みを入れて形状を変化させたときの抵抗値の変化を示している。形状変化に連続性はないものの、放電記録紙の幅が縮まると抵抗値が増加することがわかる。Fig. 6 (g)~(i)は短冊形の放電記録紙にハート型の穴をあけたときの抵抗値を示している。電気回路の実験で、可変抵抗器に穴をあけるという発想は極めて斬新である。放電記録紙にハート型の穴を1つあけたときの抵抗値は 1.1Ω であった。そこにさらに穴をあけて5つにすると 1.7Ω となり、7つにすると 2.0Ω となった。すなわち、長さと同義である。これは放電記録紙の幅を縮めることと同義である。

Fig. 6に示したような各班の実験結果は共通フォルダにアップロードした。自分たちが担当したテーマの実験が終了すると、他の班が行った実験結果（異なる形状変化）をタブレットPCで確

認できる (Fig. 7)。さらに理解を深めるために、特徴的な実験結果を教師がスクリーンに投影して、実験結果について共通理解を図った。生徒たちは自分たちの実験結果に、他の班の実験結果を加えて、放電記録紙の形状（長さと同義）と抵抗値の相関性について考察し、電気抵抗の基本的な性質を深く理解した。

発展的な学習として、紙切り芸のように、ある抵抗値となる放電記録紙の形状を作製することもできる。実践例のひとつとして、生徒たちは放電記録紙をオウムの形に切り、抵抗値が 10Ω になるかに挑戦した。小さなオウムや細長いオウムなど大きさは様々であるが、生徒たちは 10Ω のオウムをつくることができた。これは生徒たちが電気抵抗の基本的な性質を十分に理解していることを証明している。

4. 考 察

生徒たちが扱いやすい教材としては、適度な電気伝導性、理解しやすい電気抵抗値、加工しやすさ、安全性、そして安価な材料が求められる。ここでは、放電記録紙の教材適応性について考察する。

市販の導電紙は電気伝導性が低く、表面抵抗値は数 $k\Omega$ 以上と高い。一方、金属であるアルミホイルは小数点以下の抵抗値となる。これら材料は中学生が理解しやすい抵抗値とは必ずしも言えない。本研究で使用した放電記録紙は導電紙より電気伝導性が良く、アルミホイルより電気伝導性が乏しいが、教材としては適度な電気伝導性と言える。実際、放電記録紙を生徒たちが様々な形状に加工しても、その抵抗値は $1\sim 10\Omega$ と、すべて中学生が理解しやすい抵抗値で実験することができた。さらに、直流電源の電圧は $2\sim 5V$ で実験ができる。これは可変抵抗器の部分を手で触れても問題ないほどの低電圧で、安全に実験することができる。直流電源がなくても、乾電池で代替可能であり、汎用性も高い。このように放電記録紙は適度な電気伝導性、理解しやすい電気抵抗値、

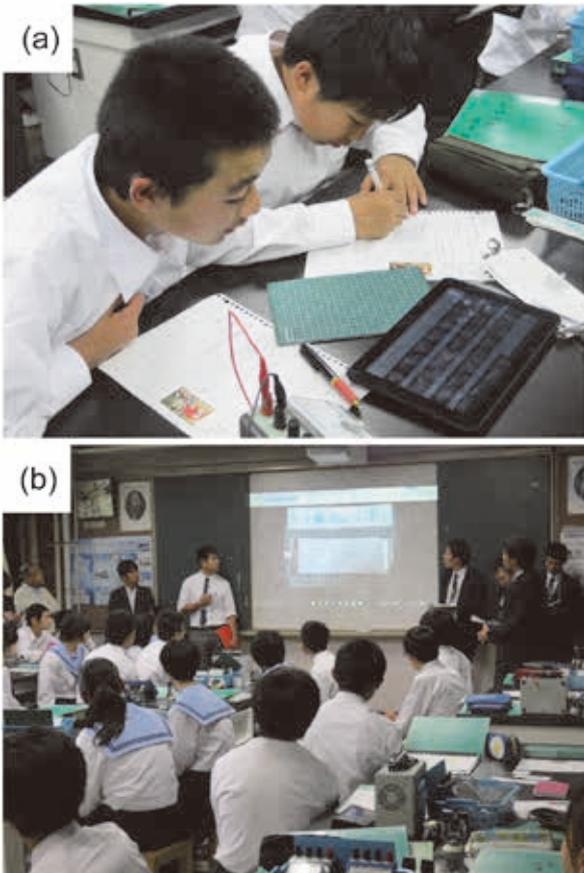


Fig. 7 他の班の実験結果を確認する様子。(a)タブレットPCや(b)スクリーンに投影して、実験結果についての共通理解を図った。

安全性を有している。

放電記録紙は加工性が高い。はさみやカッターで加工しやすいだけでなく、折ったり曲げたりしても放電記録紙は破けることはほとんどないため、アルミホイルよりも丈夫で扱いやすい。さらに、1回の実験で放電記録紙を30cm使用する（二つ折りで使用するので抵抗部は15cm）と仮定すると、30mの放電記録ロール紙1本あたり100回分の実験が可能である。放電記録ロール紙1本は1,000円なので、1回の実験コストは10円と見積もることができる。これは安価と言えるであろう。このように放電記録紙は加工しやすく、かつ安価な材料であり、学校現場で使う教材として適していると言える。

以上のように、放電記録紙は適度な電気伝導性、理解しやすい電気抵抗値、加工しやすさ、安全性、そして安価な材料であり、教材適応性が十分にあり、放電記録紙を用いた授業実践では、生徒たちは放電記録紙の形状（長さ）と抵抗値の相関性について考察し、電気抵抗の基本的な性質を深く理解することができた。この学習は抵抗器の直列および並列つなぎの原理についての理解促進に大いに役立つ。本研究で提案した実験は汎用性が高く、学校現場で広く普及することが期待される。

5. まとめ

本研究では、放電記録紙の特性を利用して、紙製の可変抵抗器教材を開発した。放電記録紙は適度な電気伝導性、理解しやすい電気抵抗値、加工しやすさ、安全性、そして安価な材料であり、生徒たちが扱いやすい教材である。放電記録紙は安全な低電圧で実験可能で、中学生が理解しやすい抵抗値を示す。回路に組み込んだ放電記録紙をはさみや穴あけパンチで切り込みや穴をあけることで、その抵抗値が変わる。そして、1回の実験コストは10円と安価である。放電記録紙の形状（長さ）と抵抗値の相関性を実験により証明できるため、生徒たちは電気抵抗の基本的な性質を深く理解することができる。この新規の実験教材が

学校現場で広く活用されることが期待される。

参考文献

- 1) 岡村定矩, 藤島昭: 新編新しい科学2 (東京書籍, 2015) pp. 212-272.
- 2) 文部科学省: 中学校学習指導要領解説理科編 (文部科学省, 2017) pp. 38-43.
- 3) Tadahiro Ikeda and Toshihiko Matsuura: Abstract of The 8th Pacific Rim Conference on Education, 8 (2017) pp. 163-164.
- 4) 袖山宏: 応用物理, 59(12) (1970), p. 1130.
- 5) 新井智一, 岡本尚道: 計測自動制御学会論文集, 11 (4) (1975), pp. 425-430.
- 6) 原康夫: 第5版物理学基礎 (学術図書出版社, 2016年) p. 233.

(池田 忠寛 附属函館中学校教諭)
(松浦 俊彦 函館校教授)