

【 論文 】

導電性粘土の電気抵抗学習教材としての有効性に関する研究

— 高等学校物理基礎「物質と電気」単元における事例研究 —

○露木 隆^{1,2} 郡司 賀透³ 岩山 勉⁴¹愛知教育大学大学院・静岡大学大学院教育学研究科共同教科開発学専攻・²静岡県立浜松北高等学校³静岡大学大学院教育学領域・⁴愛知教育大学

要約

本研究では、高等学校物理「電気と磁気」単元の電気抵抗に関する概念形成を促すことが期待できる導電性粘土の電気抵抗教材としての可能性について検証を行った。材料特性の分析より、導電性粘土は形状や食塩配合率を変化させることで、様々な抵抗値や抵抗率の電気抵抗を簡単に製作することができ、さらに直列、並列接続することで、合成抵抗の実験にも応用可能な教材であることが分かった。また、実験群と統制群による電気抵抗の抵抗率、形状と抵抗値の関係を求める実践を通して、導電性粘土は電気抵抗の形状と抵抗値に関する科学的概念の形成を促す他、形状を用いた合成抵抗の概念理解や、電気分野に関する興味・関心の深化、基礎的な計算問題の理解度の向上に有効であることを確認することができた。

キーワード

導電性粘土, 素朴概念, 電磁気学, 電気抵抗, 合成抵抗

1. 背景と目的

藤井ら(1977)や沖花ら(2009)は中学・高校・大学生を対象に行った電気回路に関する理解度調査から、多くの生徒にとって電気分野は分かりにくい分野であり、基本的な概念の理解ができていない生徒や、オームの法則等、電気抵抗の理解が公式的、表面的なものに留まっている生徒の存在について指摘している。実際に、中学生を対象とした平成30年度の全国学力・学習状況調査では、オームの法則から抵抗値を求める単純な問題の正答率が52.3%と低く、抵抗値を求める知識・理解に課題があることが指摘された。また、高等学校においても平成17年度高等学校教育課程実施状況調査の電気回路についての知識・理解を問う問題において、日常で使用経験のある延長コードと電気器具の接続に関する留意点を問われているにも関わらず、正答を導き出した子どもは調査対象の34.8%しかいなかったことが課題視された。

このような背景から、これまでも水流モデル(福山・西, 1990; 亀山, 1981; 倉信ら, 2015)やパチンコ玉モデル(杉原・福山, 2012)、カーボン・ペーパーを用いて電気抵抗の形状と抵抗値の関係を見出すといった研究(新鶴田ら, 2019)のように電気分野の概念形成を促す教材の開発が数多く行われてきた。しかし、実際に通電でき、かつ三次元的に形状を変化させることができる教材を用いて電気抵抗の概念形成を行った例は見当たらなかった。そこで、露木ら(2022)は、実際に通電させることができ、かつ三次元的に形状を変化させることができる導電性粘土(Fontichiaro& Thomas, 2014)を用いて電気抵抗の形状と抵抗値との関係についての科学的概念の形成を促す指導

プログラムを開発し、その有効性を明らかにした。しかし、開発した指導プログラムを通して生徒が電気抵抗の形状と抵抗値に関する概念形成やイメージの獲得をすることは検証されたが、獲得した科学的概念やイメージが電気抵抗全体の学習に与える効果については明らかになっていない。本研究では、導電性粘土を用いた形状と抵抗値の指導プログラムが生徒の合成抵抗に関する科学的概念の理解や、電気抵抗に関する生徒の意識、及び基本的な計算問題に対する理解度に与える効果について調査を行い、導電性粘土の電気抵抗学習教材としての可能性の検証を行うことを目的とする。

2. 導電性粘土の電気抵抗教材としての材料特性

2.1 導電性粘土の製作

本研究で自作した導電性粘土は、小麦粉75gに水90ml、食塩6~30gをボールに入れて小麦粉がすべて溶け切るまでよく混ぜ、10分程度弱火にかけることで完成する。完成した導電性粘土はよく練ることで均質にすることができる。すべて身近な食材を用いて製作することができるため安価で簡単に手作りすることができる。また、食塩の配合を変えることで電気伝導率(抵抗率の逆数)を変化させることができる。

2.2 導電性粘土の電気伝導に関する特性

導電性粘土は一般的な油粘土と同様に、自由に形状を変化させることができるため、生徒は直感的に様々な形状の抵抗を製作し実験に用いることができる。長さや断面積を自由に変更しながら実験を行うことで、生徒の電

気抵抗に関する科学的概念の深い理解へとつなげることが期待できる。

導電性粘土の抵抗値と粘土の長さや断面積、及び食塩の配合率との関係を明らかにするため、5種類の食塩配合率(4.1%, 7.9%, 11.3%, 14.5%, 18.0%)の導電性粘土を断面積1.94cm²、長さ4.0cmの直方体に整形し、それを直列、並列に繋げ、定電圧装置を用いて2.0Vをかけ、そのときの電流を計測することで、抵抗値の測定を行った。なお、直列では最大5個、並列には最大6個をつなぎ抵抗値の計測を行った。

図1に5種類の食塩配合率の導電性粘土について、抵抗値と長さの関係を示す。図より、導電性粘土の抵抗値は粘土の長さに比例して大きくなることが分かる。また、

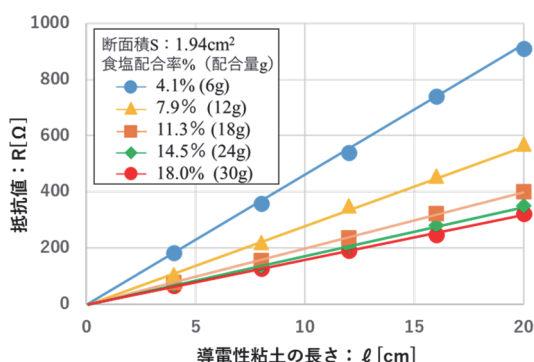


図1 導電性粘土の長さとの抵抗値の関係

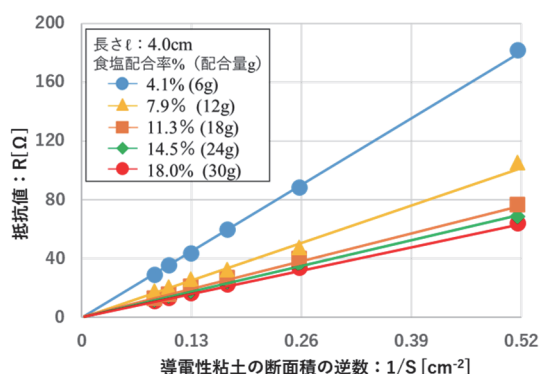


図2 導電性粘土の断面積の逆数との抵抗値の関係

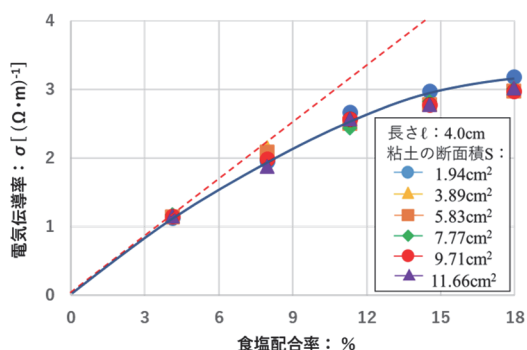


図3 食塩配合率と電気伝導率(抵抗率の逆数)の関係

同じ形状において、食塩配合率が高くなるほど抵抗値は小さくなることから、食塩の配合率を高くすることで導電性粘土の抵抗率は小さくなることが分かる。

図2に5種類の食塩配合率の導電性粘土について、断面積の逆数と抵抗値の関係を示す。図より、導電性粘土の抵抗値は粘土の断面積の逆数に比例して大きくなることが分かる。また、食塩配合率が高くなるほど抵抗値は小さくなることも分かる。

以上の結果から、導電性粘土は一般的に使用されるセメント抵抗と同様の傾向を示し、抵抗値をR、抵抗率をρ、抵抗の長さをl、抵抗の断面積をSとしたとき、抵抗値の公式である、

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

を実験によって導出することが可能な教材であることが分かった。また、導電性粘土で制作した同形の直方体を直列接続すると、その個数に比例して抵抗値も大きくなることや、同形の直方体を並列接続すると、その個数に反比例して抵抗値が小さくなることから、導電性粘土を実験に用いることで、形状を用いた合成抵抗の概念理解が期待できる教材であることも分かった。

次に、導電性粘土の電気伝導率(電気抵抗率の逆数)が食塩配合率にどのように依存するのかを明らかにするため、電気伝導率と食塩配合率との関係のグラフを作成した。図3に電気伝導率の食塩配合率依存性を示す。グラフより、食塩配合率が8.0%付近までは導電性粘土の電気伝導率は食塩配合率の増加に比例して大きくなる傾向を示すが、8.0%付近から変化の割合が徐々に小さくなることが分かる。これは、食塩配合率が大きくなるほど電気のキャリアとなるイオン濃度が上昇するが、食塩配合率が8.0%程度になると導電性粘土内の食塩濃度が飽和に近づくため、粘土内のイオン濃度がほとんど変化しないからであると考えられる。

3. 授業実践

3.1 調査対象

対象は高等学校1年生4クラス計163人を実験群2クラス計81人、統制群2クラス計82人に分け、令和4年2月に物理基礎の授業において実験群及び統制群の各クラスの授業展開が同一期間内で実施することができるよう計画し、実施した。なお、調査の中で1度でも欠席をした生徒のデータは除外して分析を行ったため、実際には実験群74人、統制群74人の合計148人を対象として研究を行った。

3.2 調査方法

本研究は、露木ら(2022)が開発した電気抵抗に関する概念形成を促す指導プログラムを参考に指導計画を立て実践を行った。本研究で行った実験群の指導プログラムを表1に示す。

表 1 実験群の指導プログラム

実験群	
1時間目	電気分野に関する講義 (35分) ・ 静電気,物体が帯電する仕組み,電流,オームの法則についての講義を行う。 事前調査 (15分) ・ 電気抵抗の形状と抵抗値及び, 合成抵抗に関する概念調査を行う。 ・ 電気分野に関する意識調査及び, 小テストを行う。
2時間目	導電性粘土を用いた電気抵抗の実験 (50分) ・ 実験の目的を確認した後, 実験装置および2種類の粘土の抵抗率に関する説明を行う。 ・ 4~5人グループで実験によって電気抵抗の科学的概念を確認させ, 結果を実験プリントに記録させる。 ・ 実験結果と事前の概念調査の回答を比較して考察させるとともに, 抵抗値の公式を導出させる。 ・ 科学的概念を提示する。 ・ プリントの自由記述欄に感想を記述させ, 選択式のアンケートに回答させる。
3時間目	グループ討議 (50分) ・ 事前調査の回答を確認させる。 ・ 科学的概念の確認を行う。 ・ 「なぜそういった概念の獲得に至ったのかについて,その根拠を具体的な例を挙げて説明せよ」について実験グループで討議させる。 ・ 「抵抗値が電気抵抗の長さに比例し,断面積に反比例する理由をどう説明するか, 具体的な例を挙げて説明せよ」について実験グループで討議させる。 ・ 各グループで討議した内容を発表させ, 討議の内容を共有させる。 ・ 各個人でワークシートに討議した内容を記述させる。
グループ討議の2日後	事後調査 (15分) ・ 電気抵抗の形状と抵抗値及び, 合成抵抗に関する概念調査を行う。 ・ 電気分野に関する意識調査及び, 小テストを行う。
グループ討議の1ヶ月後	遅延調査 (15分) ・ 電気抵抗の形状と抵抗値及び, 合成抵抗に関する概念調査を行う。 ・ 電気分野に関する意識調査及び, 小テストを行う。

- (1) 電気抵抗の形状と抵抗値の関係について学習する前に電気抵抗の形状と抵抗値の概念及び形状を用いた合成抵抗に関する事前調査を行い, 生徒の持つ素朴概念を抽出する。また, 電気分野に対する意識や計算問題の理解度についても事前調査(小テスト)を行い, 実践前の生徒の興味・関心や, 計算力を把握する。
- (2) 導電性粘土を用いた実験により, 電気抵抗の形状と抵抗値に関する科学的概念の確認を行い, 事前調査における素朴概念との矛盾点を明確化するとともに, 電気抵抗の抵抗値の公式を導出する。

表 2 統制群の指導プログラム

統制群	
1時間目	電気分野に関する講義 (35分) ・ 静電気,物体が帯電する仕組み,電流,オームの法則についての講義を行う。 事前調査 (15分) ・ 電気抵抗の形状と抵抗値及び, 合成抵抗に関する概念調査を行う。 ・ 電気分野に関する意識調査及び, 小テストを行う。
2時間目	電気抵抗の形状と抵抗値に関する意見交換 (25分) ・ 事前調査で回答した根拠について生徒それぞれに発表させ,考えを共有させる。 電気抵抗の形状と抵抗値に関する講義(25分) ・ 科学的概念に関する講義を行う。
グループ討議の2日後	事後調査 (15分) ・ 電気抵抗の形状と抵抗値及び, 合成抵抗に関する概念調査を行う。 ・ 電気分野に関する意識調査及び, 小テストを行う。
グループ討議の1ヶ月後	遅延調査 (15分) ・ 電気抵抗の形状と抵抗値及び, 合成抵抗に関する概念調査を行う。 ・ 電気分野に関する意識調査及び, 小テストを行う。

- (3) 実験グループでの討議を通して, 素朴概念獲得の要因を明確化する。また, 既有的知識や経験を用いた科学的概念の説明についても討議し, 素朴概念の修正と科学的概念の形成を行う。
- (4) 素朴概念の修正が適切に行われたこと, 及び獲得した科学的概念が維持されていることを確認するため, グループ討議の2日後に事後調査を行い, 1ヶ月後に遅延調査を行う。電気分野についての意識調査及び, 計算力を測る小テストについても同様の日程で事後調査と遅延調査を行う。

表 2 に統制群の指導プログラムを示す。統制群は講義中心で行い, 実験群と(1), (4)については同様の指導を行うが, 実験群が実験とグループ討議をする(2)及び(3)の時間に関しては, 事前調査の回答とその根拠について生徒それぞれが発表によって考えを共有した後, 講義を受け, 素朴概念の修正と科学的概念の形成を行う。

4. 事前調査結果

4.1 抵抗の形状と抵抗値に関する概念調査結果

電気抵抗の形状と抵抗値の関係について学習する前段階において, 図 4 の質問紙を用いて電気抵抗の形状と抵抗値の関係についての概念調査を行った。生徒は長さ, 高さ, 奥行が異なる 4 種類の抵抗①~抵抗④を抵抗値が大きいと思われる順番に並べ, 不等号を記入し, そのように判断した根拠について自由記述欄に記述した。なお, 電気抵抗(電流の流れにくさ)に対する生徒のイメージを探るため, 本調査においては電圧や電流の値を提示しないこととした。

調査結果を表 3 に示す。表の集計方法としては, $3<1=4<2$ と回答しているものを正解とし, その他の回答

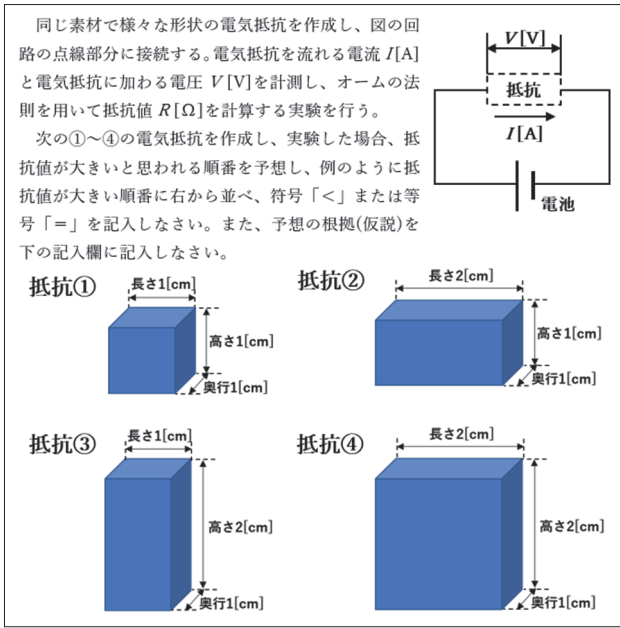


図4 抵抗の形状と抵抗値に関する概念調査

を不正解とした。また、回答の根拠として、「電気抵抗の抵抗値は断面積が小さいほど、長さが長くなるほど大きくなる」といった内容の記述がされているものは科学的概念として分類し、その他の根拠は素朴概念として記述内容に応じて分類を行った。表より、実験群、統制群ともに90%以上の生徒が不正解であり、回答の根拠についても同様の傾向が見られた。両群とも不正解者の回答の中で最も多かったものは $1<2=3<4$ であり、その根拠は「抵抗の体積が大きいほど抵抗値も大きくなる」といった「体積」だけに注目してしまうことに起因する素朴概念（以下、「体積を根拠とした素朴概念」とする）で、全体のおよそ半数を占めた。また、全体の5%程度ではあるが、「抵抗の体積が大きいほど抵抗値は小さくなる」といった体積を根拠とする素朴概念も確認することができた。これらの素朴概念は、抵抗の形状を「断面積」と「長さ」といった要素に分割できず、体積のみに注目したことが素朴概念を示す原因になったと考えられる。また、両群とも不正解者の回答として次に多かったものは $1=3<2=4$ であり、その根拠は「抵抗の長さが長いほど抵抗値は大きくなり、断面積には依存しない」といった「長さ」だけに注目してし

表3 抵抗の形状と抵抗値に関する概念調査結果

	回答	分類	主な回答の根拠	事前	
				実験群	統制群
正解	$3<1=4<2$	科学的概念	断面積が小さいほど、長さが長いほど抵抗値は大きくなる	4.1	8.1
不正解	$1<2=3<4$	素朴概念	体積が大きくなると抵抗値も大きくなる	55.4	58.1
	$4<3=2<1$		体積が大きくなると抵抗値は小さくなる	8.1	5.4
	$1=3<2=4$		長さが長くなると抵抗値は大きくなり、断面積には依存しない	24.3	21.6
	$1=2<3=4$		断面積が大きいほど抵抗値は大きくなる	2.7	1.4
	$1=2=3=4$		材質が同じならば抵抗値は変わらない	1.4	2.7
	$2<1=4<3$ 等		その他の根拠・未記入	4.1	2.7
				数値は割合(%)	

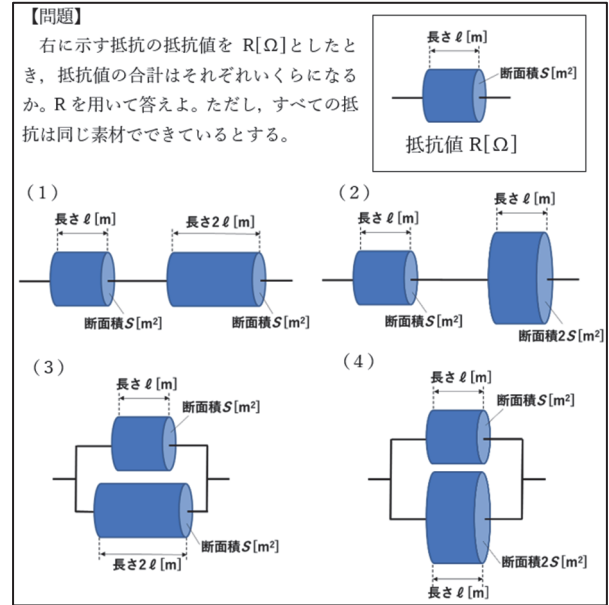


図5 合成抵抗に関する概念調査

まうことに起因する素朴概念（以下、「長さを根拠とした素朴概念」とする）で、全体のおよそ20%を占めた。電気抵抗の形状が長くなるほど、抵抗値は大きくなるといった記述は科学的に正しい概念であるが、抵抗値と断面積の関係に気付くことができなかったことが素朴概念を示す原因になったと考えられる。

以上の結果から、実験群及び統制群の多くの生徒が「体積を根拠とした素朴概念」や「長さを根拠とした素朴概念」といった素朴概念を示し、その出現傾向についても類似の傾向を示すことが分かった。また、いずれの素朴概念も電気抵抗の「断面積」と「長さ」といった要素と抵抗値の関係について気づくことができなかったことが原因であったと考えられることから、生徒に電気抵抗の断面積と長さとの関係に気づかせ、素朴概念の修正と科学的概念の獲得を促す実践の必要性も明らかになった。なお、実験群と統制群の正解者と不正解者の人数についてカイ2乗検定を用いて有意差水準を5%に設定し分析すると、 $\chi^2=1.065(<3.841)$ であり、実験群と統制群の間に統計的有意差は見られなかった。

4.2 合成抵抗に関する概念調査結果

電気抵抗の形状と抵抗値の関係について学習する前段階において、図5の質問紙を用いて直列・並列接続の合成抵抗についての概念調査を行った。生徒は断面積及び長さが異なる4種類の合成抵抗

表 4 合成抵抗に関する概念調査結果

	回答	概念	主な回答の根拠	事前		
				実験群	統制群	
(1)	正解	科学的概念	断面積が変わらないとき、長さが長くなると抵抗値は大きくなる	20.3	23.0	
			体積が大きくなると抵抗値も大きくなる	39.2	35.1	
			断面積には依存せず、長さが長くなると抵抗値は大きくなる	21.6	24.3	
			未記入等	5.4	2.7	
	不正解	2R	素朴概念	長さには依存せず、断面積が変わらないので抵抗値も変わらない	4.1	6.8
				体積が大きくなると抵抗値は小さくなる	4.1	1.4
				未記入等	5.4	6.8
(2)	正解	科学的概念	断面積が大きくなると抵抗値は小さくなるので、断面積がSで長さが1.5ℓの1つの抵抗として考えた	16.2	17.6	
			体積が大きくなると抵抗値は小さくなる	4.1	1.4	
			未記入等	2.7	5.4	
			体積が大きくなると抵抗値も大きくなる	39.2	35.1	
	不正解	2R	素朴概念	断面積には依存せず、長さが変わらなければ抵抗値も変わらない	21.6	24.3
				未記入等	16.2	16.2
				未記入等	16.2	16.2
(3)	正解	科学的概念	長さが長くなると抵抗値は大きくなるので、長さがℓで断面積が1.5Sの1つの抵抗として考えた	14.9	17.6	
			体積が大きくなると抵抗値も大きくなる	31.1	25.7	
			断面積には依存せず、長さが長くなると抵抗値は大きくなる	21.6	24.3	
			未記入等	5.4	8.1	
	不正解	R	素朴概念	体積を足して考えた	8	9.5
				長さには依存せず、断面積は変わらないので抵抗値も変わらない	2.7	6.8
				体積が大きくなると抵抗値は小さくなる	4.1	1.4
その他	未記入等	12.2	6.8			
(4)	正解	科学的概念	長さが変わらないとき、断面積が大きくなると抵抗値は小さくなる	17.6	20.3	
			未記入等	4.1	4.1	
			体積を足して考えた	4.1	4.1	
	不正解	R	素朴概念	長さが変わらないので抵抗値は変わらず、電流はどちらかの抵抗1つを通ればいから	6.8	4.1
				体積が大きくなると抵抗値も大きくなる	35.1	31.1
				断面積には依存せず、長さが変わらなければ抵抗値も変わらない	14.9	20.3
				未記入等	17.6	16.2
				数値は割合(%)		

の抵抗値を求め、判断した根拠についても自由記述欄に記述した。なお、ここで述べている合成抵抗の概念とは、公式を用いて合成抵抗を求める計算過程の理解ではなく、図 5(1)のように、直列接続であれば長さが長くなることで抵抗値が大きくなったり、(4)のように並列接続では断面積が大きくなったりすることで抵抗値が小さくなるといったように、導電性粘土を用いた実践によって形成された科学的概念やイメージにより、抵抗値が横、又は縦に接続されることで、抵抗値がどのように変化するかについての形状のイメージを伴った合成抵抗の概念理解である。また、断面積が異なる抵抗を直列接続したり、長さが異なる抵抗を並列接続したりした場合にも、獲得した科学的概念やイメージが有効にはたらくことについても調査するため、(2)、(3)を用意した。

調査結果を表 4 に示す。表の集計方法としては、(1)3R、(2)3R/2、(3)2R/3、(4)R/3 を正解とし、その他の回答を不正解とした。また、回答の根拠については、「抵抗の断面積が小さいほど、長さが長いほど抵抗値は大きくなる」といった趣旨の内容が書かれていれば科学的概念として分類し、その他の根拠を素朴概念として記述内容に応じて分類した。表より、実験群、統制群ともに同様の傾向を示し、「体積が大きいと抵抗値も大きい」「体積が小さいと抵抗値も小さくなる」「長さが変わらなければ抵抗値は変わらない」など、抵抗の形状と抵抗値の概念調査でも明らかになった、体積を根拠とする素朴概念や長さを根拠とする素朴概念を根拠に抵抗値を判断し、合成抵抗の計算に用いた生徒が多数いることが分かる。なお、実験群と統制群の科学的概念を根拠に正解した生徒数とそれ以外の生徒の人数に統計的有意差があるのか確認するため、各設問についてカイ 2 乗検定を用いて有意差水準を 5% に設定し分析すると、(1) $\chi^2=0.1595(<3.841)$ 、(2) $\chi^2=0.0481(<3.841)$ 、(3) $\chi^2=0.1989(<3.841)$ 、(4) $\chi^2=0.1762(<3.841)$ であり、すべての設問において実験群と統制群の間に統計的有意差は見られなかった。

表 5 電気分野に関する意識調査結果

1.電気分野は好き(得意)な分野である。					
	あてはまる	ややあてはまる	どちらでもない	ややあてはまらない	あてはまらない
実験群	5.4	24.3	32.4	25.7	12.2
統制群	6.8	23.0	32.4	23.0	14.9
数値は割合(%)					
2.電気分野に興味・関心がある。					
	あてはまる	ややあてはまる	どちらでもない	ややあてはまらない	あてはまらない
実験群	10.8	24.3	33.8	20.3	10.8
統制群	9.5	28.4	28.4	23.0	10.8
数値は割合(%)					
3.電気分野の学習や問題を解くことに自信がある。					
	あてはまる	ややあてはまる	どちらでもない	ややあてはまらない	あてはまらない
実験群	2.7	14.9	32.4	32.4	17.6
統制群	4.1	12.2	37.8	25.7	20.3
数値は割合(%)					

4.3 電気分野に関する意識調査結果

生徒が中学校までの学習を通して獲得した電気分野についての意識を調査するため、質問 1「電気分野は好き(得意)な分野である。」、質問 2「電気分野に興味・関心がある。」、質問 3「電気分野の学習や問題を解くことに自信がある。」の 3 項目について、5 件法による意識調査を行った。調査結果を表 5 に示す。

表より、実験群、統制群ともに同様の傾向を示し、質問

1, 質問 2 については, 「どちらでもない」がもっとも多く, 全体的に正規分布に近い分布の仕方をしていることが分かる。しかし, 質問 3 については, 「どちらでもない」がもっとも多いことは質問 1, 質問 2 と同様であるが, 「あてはまる」「ややあてはまる」が両群とも全体の 16% 程度なのに対し, 「ややあてはまらない」「あてはまらない」が全体のおよそ 46~50%を占め, 電気分野の学習や計算に自信を持ってない生徒が多いことが分かった。

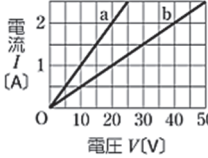
4.4 電気分野に関する小テスト結果




生徒が中学校までの学習を通して獲得した電気分野の基礎的な計算問題に関する理解度を調査するため, 図 6 のような小テストを行った。問題は全部で 10 問とし, 問題 1 と 2 はオームの法則に関連する問題を計 4 問, 問題 3 は合成抵抗に関連する問題を 3 問, 問題 4 は電気抵抗の消費電力に関連する問題を 3 問出題し, 1 問 1 点, 合計 10 点として採点を行った。

小テストの結果を表 6 に示す。表より, 実験群, 統制群は設問毎の平均点及び, 合計点ともにほぼ同等の値を示していることが分かる。実験群と統制群の合計点について統計的有意差があるか確認するために, 独立な 2 群の平均値差に関する t 検定を用いて有意水準を 5% に設定し分析すると $t=0.988 (< 1.96)$ であり, 両群の得点に統計的有意差は見られなかった。

■問題 1
 (1) 3.0Ωの抵抗に電圧を加えると, 0.50Aの電流が流れた。加えた電圧は何Vか。
 (2) ある抵抗に 80Vの電圧を加えると, 1.6Aの電流が流れた。この抵抗は何Ωか。

■問題 2
 図は抵抗線 a と b について, 加える電圧 V [V] と流れる電流 I [A] の関係を表したグラフである。a と b の抵抗値 R_a, R_b はそれぞれ何Ωか。



■問題 3
 以下の(1)~(3)の回路の合成抵抗は何Ωか。
 (1)  (2) 
 (3) 

■問題 4
 (1) 3.0Ωの抵抗に電圧を加えると, 0.50Aの電流が流れた。このときの電力は何Wか。
 (2) 12Ωの抵抗に 9.0Vの電圧を加えた。このときの電力は何Wか。
 (3) ある抵抗に 80Vの電圧を加えると, 1.6Aの電流が流れた。このときの電力は何Wか。

図 6 電気分野に関する小テスト

表 6 電気分野に関する小テスト結果

出題内容	事前	
	実験群	統制群
オームの法則	3.64	3.55
合成抵抗	2.16	2.26
消費電力	2.30	2.27
合計	8.09	8.08
数値は平均点(点)		

5. 科学的概念の形成と電気抵抗のイメージの獲得過程

5.1 導電性粘土を用いた実験

実験群は, 2 種類の抵抗率の導電性粘土を用いて, 様々な長さや断面積の直方体や円柱の形をした電気抵抗を製作した。次に, 図 7 のように製作した電気抵抗に電池と電流計, 電圧計を接続して抵抗値を求め, 抵抗率や断面積, 長さとの関係を考察し, 抵抗値の公式の導出を行った。

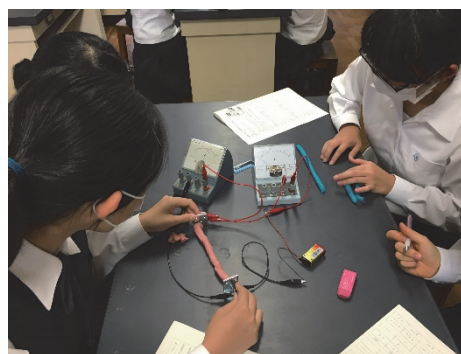


図 7 導電性粘土を用いた実験の様子

5.2 実験後のグループ討議

実験群は, 事前調査で示した素朴概念について「なぜそういった概念の獲得に至ったのかについて, その根拠を具体的な例を挙げて説明せよ」といった内容と, 「抵抗値が電気抵抗の長さに比例し, 断面積に反比例する理由をどう説明するか, 具体的な例を挙げて説明せよ」といった内容の 2 点についてグループで討議し, その内容をワークシートに記述した。

6. 事後調査, 遅延調査結果

6.1 抵抗の形状と抵抗値に関する概念調査結果

実践後の電気抵抗の形状と抵抗値に関する生徒の概念の変化を確認するため, 図 4 と同様の質問紙を用いて, 事後調査を実践の 2 日後, 遅延調査を実践の 1 ヶ月後に行った。

表 7 に事前, 事後, 遅延調査における回答とその分類を示す。科学的概念を回答の根拠として正解した生徒の割合は, 実験群では事前, 事後, 遅延調査の順に 4.1%, 89.2%, 87.8%であり, 事前調査から事後調査にかけて増加し, 遅延調査において維持された。一方, 統制群については 8.1%, 75.7%, 67.6%と, 実験群と同様に事前調査から事後調査にかけて増加したが, 事後調査から遅延調査にかけて 10%以上減少する結果となった。

表7 抵抗の形状と抵抗値に関する概念調査結果

	回答	分類	主な回答の根拠	事前		事後		遅延	
				実験群	統制群	実験群	統制群	実験群	統制群
正解	3<1=4<2	科学的概念	断面積が小さいほど、長さが長いほど抵抗値は大きくなる	4.1	8.1	89.2	75.7	87.8	67.6
不正解	1<2=3<4	素朴概念	体積が大きくなると抵抗値も大きくなる	55.4	58.1	1.4	9.5	2.7	13.5
	4<3=2<1		体積が大きくなると抵抗値は小さくなる	8.1	5.4	2.7	2.7	2.7	5.4
	1=3<2=4		長さが長くなると抵抗値は大きくなり、断面積には依存しない	24.3	21.6	0	4.1	1.4	6.8
	1=2<3=4		断面積が大きいほど抵抗値は大きくなる	2.7	1.4	1.4	0	0	0
	1=2=3=4		材質が同じならば抵抗値は変わらない	1.4	2.7	0	0	0	0
	2<1=4<3 等		その他の根拠・未記入	4.1	2.7	5.4	8.1	5.4	6.8

数値は割合(%)

また、不正解であった生徒の中で体積を根拠とした素朴概念を示した生徒の割合について、実験群は事前、事後、遅延調査の順に、63.5%、4.1%、5.4%であり、事前調査から事後調査にかけて割合が大きく減少し、遅延調査についても大きな変化は見られなかった。一方、統制群については、63.5%、12.2%、18.9%であり、実験群と同様に事前調査から事後調査にかけて割合が大きく減少したが、事後調査から遅延調査にかけて再び増加する傾向が見られ、長さを根拠とした素朴概念に関しても体積を根拠とした素朴概念とほぼ同様の傾向が見られた。

次に実験群と統制群の結果に統計的有意差が見られるか検証するため、科学的概念を根拠として正解した生徒数とそれ以外の生徒数について実験群と統制群の結果をもとに、事前調査、事後調査、遅延調査について統計分析を行った。各調査についてカイ 2 乗検定を用いて有意差水準を 5%に設定し分析すると、事前調査では $\chi^2=1.065(<3.841)$ で実験群と統制群の間に統計的有意差は見られなかったが、事後調査では $\chi^2=4.666(>3.841)$ 、遅延調査では $\chi^2=8.775(>3.841)$ といずれも統計的有意差が見られた。実験群の実験の感想から「なんとなく体積が大きい方が抵抗値は大きいと思っていたが、体積ではなく、長さで断面積に分けて考えないといけないことが分かった」、「粘土を使って抵抗を作り実験したことで、抵抗値と抵抗の長さで断面積のイメージがもてた」、「予想と違う結果に驚いたが、授業でノートに書くだけではイメージができないので、実際にやれてよかった」等、実験を通して科学的概念を確認し、電気抵抗の抵抗値と抵抗率や形状の関係についてのイメージを獲得することができた様子を窺うことのできる記述が多数見られた。また、グループ討議のワークシートの記述から「電流を水の流れのように考えると、体積が大きい方が水をたくさん溜めることができそうだから」といったように、素朴概念獲得の要因を明らかにする様子が見られるとともに、科学的概念の説明例についても「抵抗をトンネルだと考えたとき、道幅(断面積)が大きくて長さが短いほど、たくさんの車が通り抜けやすい」といったように、それぞれの生徒が納得しやすい説明例を考え、電気抵抗の抵抗値と形状に関するイメージを獲得した様子を窺うことができた。

また、実践後に行った 5 件法によるアンケート調査では、「電気抵抗の形状と抵抗値に関する具体的なイメージを持ってましたか」といった質問に対し、肯定的な回答(持

てた、やや持てた)は全体の 97.3%であり、「導電性粘土を用いた実験は電気抵抗の抵抗値の理解に有効だと思いますか」といった質問に対しても、肯定的な回答(思う、やや思う)は全体の 94.6%と、導電性粘土を用いた実験の有効性を感じる生徒が多いことが分かった。

以上の結果より、実験群は導電性粘土を用いた指導プログラムにより電気抵抗に関するイメージが獲得や科学的概念の形成が促された結果、事後調査だけでなく遅延調査においても高い正解率を維持したと考えられる。一方、統制群は講義を通して表面的に公式を暗記した生徒が一定数おり、事後調査では正解したが、1ヶ月後の遅延調査では忘れてしまったことが正解率の減少につながったのではないかと考えられる。

6.2 合成抵抗に関する概念調査結果

実践後の形状を用いた合成抵抗概念の理解度の変容を確認するため、図 5 と同様の質問紙を用いて、事後調査を実践の 2 日後、遅延調査を実践の 1ヶ月後に行った。

表 8 に事前、事後、遅延調査における回答とその分類を示す。表より、実験群、統制群ともすべての問題において事前調査から事後調査にかけて体積及び、長さを根拠とする素朴概念が修正され、電気抵抗の抵抗値と形状の概念を根拠に正解する生徒の割合が増えていることが分かる。しかし、遅延調査では、実験群は体積及び、長さを根拠とする素朴概念を示す生徒の割合は事後調査とほぼ変わらないのに対し、統制群は表の下線部で示すように再び増加する傾向が見られた。

次に実験群と統制群の結果に統計的有意差が見られるか検証するため、事後調査と遅延調査の設問ごとに科学的概念を根拠として正解した生徒数とそれ以外の生徒数について統計分析を行った。カイ 2 乗検定を用いて有意差水準を 5%に設定し分析すると、事後調査では (1) $\chi^2=3.256(<3.841)$ で統計的有意差は見られなかったが、(2) $\chi^2=4.973(>3.841)$ 、(3) $\chi^2=3.899(>3.841)$ 、(4) $\chi^2=4.405(>3.841)$ となり、いずれの設問も実験群と統制群の科学的概念を根拠に正解した生徒の割合に統計的有意差が見られた。また、遅延調査においては、(1) $\chi^2=8.325(>3.841)$ 、(2) $\chi^2=6.229(>3.841)$ 、(3) $\chi^2=5.189(>3.841)$ 、(4) $\chi^2=5.498(>3.841)$ であり、いずれも実験群と統制群の間に統計的有意差が見られた。

表 8 合成抵抗に関する概念調査結果

	回答	概念	主な回答の根拠	事前		事後		遅延		
				実験群	統制群	実験群	統制群	実験群	統制群	
(1)	正解	3R	科学的概念	断面積が変わらないとき、長さが長くなると抵抗値は大きくなる	20.3	23.0	93.2	83.8	94.6	78.4
			素朴概念	体積が大きくなると抵抗値も大きくなる	<u>39.2</u>	<u>35.1</u>	<u>2.7</u>	<u>9.5</u>	<u>1.4</u>	<u>12.2</u>
				断面積には依存せず、長さが長くなると抵抗値は大きくなる	<u>21.6</u>	<u>24.3</u>	<u>1.4</u>	<u>4.1</u>	<u>1.4</u>	<u>6.8</u>
	不正解	2R	素朴概念	長さには依存せず、断面積が変わらないので抵抗値も変わらない	4.1	6.8	0	0	0	0
			3R/2	体積が大きくなると抵抗値は小さくなる	4.1	1.4	0	1.4	0	1.4
			その他	未記入等	5.4	6.8	2.7	1.4	2.7	1.4
(2)	正解	3R/2	科学的概念	断面積が大きくなると抵抗値は小さくなるので、断面積がSで長さが1.5ℓの1つの抵抗として考えた	16.2	17.6	90.5	77.0	91.9	77.0
			素朴概念	体積が大きくなると抵抗値は小さくなる	4.1	1.4	0	1.4	0	1.4
				未記入等	2.7	5.4	1.4	1.4	1.4	1.4
	不正解	2R	素朴概念	体積が大きくなると抵抗値も大きくなる	<u>39.2</u>	<u>35.1</u>	<u>2.7</u>	<u>9.5</u>	<u>1.4</u>	<u>12.2</u>
			断面積には依存せず、長さが変わらなければ抵抗値も変わらない	<u>21.6</u>	<u>24.3</u>	<u>1.4</u>	<u>4.1</u>	<u>1.4</u>	<u>6.8</u>	
			未記入等	16.2	16.2	4.1	6.8	4.1	1.4	
(3)	正解	2R/3	科学的概念	長さが長くなると抵抗値は大きくなるので、長さがℓで断面積が1.5Sの1つの抵抗として考えた	14.9	17.6	89.2	77.0	87.8	73.0
			素朴概念	体積が大きくなると抵抗値も大きくなる	<u>31.1</u>	<u>25.7</u>	<u>2.7</u>	<u>6.8</u>	<u>1.4</u>	<u>9.5</u>
				断面積には依存せず、長さが長くなると抵抗値は大きくなる	<u>21.6</u>	<u>24.3</u>	<u>1.4</u>	<u>4.1</u>	<u>1.4</u>	<u>6.8</u>
	不正解	R	素朴概念	体積を足して考えた	<u>8</u>	<u>9.5</u>	<u>0</u>	<u>2.7</u>	<u>0</u>	<u>2.7</u>
			長さには依存せず、断面積は変わらないので抵抗値も変わらない	2.7	6.8	1.4	0	1.4	0	
			3R/2	体積が大きくなると抵抗値は小さくなる	4.1	1.4	0	1.4	0	1.4
その他	未記入等	12.2	6.8	4.1	8.1	5.4	6.8			
(4)	正解	R/3	科学的概念	長さが変わらないとき、断面積が大きくなると抵抗値は小さくなる	17.6	20.3	87.8	74.3	85.1	68.9
			素朴概念	未記入等	4.1	4.1	1.4	2.7	4.1	2.7
				体積を足して考えた	4.1	4.1	0	2.7	0	2.7
	不正解	2R/3	素朴概念	長さが変わらないので抵抗値は変わらず、電流はどちらかの抵抗1つを通ればいから	<u>6.8</u>	<u>4.1</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>
			体積が大きくなると抵抗値も大きくなる	<u>35.1</u>	<u>31.1</u>	<u>2.7</u>	<u>6.8</u>	<u>1.4</u>	<u>9.5</u>	
			断面積には依存せず、長さが変わらなければ抵抗値も変わらない	<u>14.9</u>	<u>20.3</u>	<u>1.4</u>	<u>4.1</u>	<u>1.4</u>	<u>6.8</u>	
その他	未記入等	17.6	16.2	6.8	9.5	8.1	9.5			

数値は割合(%)

以上の結果は電気抵抗の形状と抵抗値に関する概念調査の結果と同じ傾向であることを考えると、実験群は導電性粘土を用いた実践により電気抵抗に関する科学的概念やイメージを獲得した事で、2つの抵抗の長さや断面積に注目して合成抵抗の抵抗値を考察でき、(2)(3)のように、断面積が異なる抵抗を直列接続したり、長さが異なる抵抗を並列接続したりする場合にも、抵抗値と形状の概念が有効にはたらいしたことで、事後調査において正解者の割合が増加し、また遅延調査においても正解者の割合が維持されたのではないかと考えられる。一方、統制群は電気抵抗の抵抗値と形状に関する科学的概念の形成が不十分な生徒が一定数いたことが、遅延調査において正解率の減少につながったのではないかと考えられる。よって、導電性粘土を用いた実践は、抵抗の形状を用いた合成抵抗の概念理解にも有効であることが分かった。

6.3 電気分野に関する意識調査結果

実践後の電気分野に関する生徒の意識の変化を確認するため、事前に行ったものと同様の意識調査を用いて、事後調査と遅延調査を実践の2日後と1ヶ月後に行った。

調査結果を表9に示す。表より、実験群、統制群ともに同様の傾向を示し、すべての質問に対し、事後調査において肯定的な回答が増え、遅延調査においてはほぼ同じ割合か、多少減少するといった結果になっていることが分かる。

実験群と統制群の結果に統計的有意差が見られるか検証するため、「あてはまる」から「あてはまらない」までの5項目について1から5の点数を振り、事前、事後、遅延調査について統計分析を行った。各調査の合計点について独立な2群の平均値差に関するt検定を用いて有意水準を5%に設定し分析すると、質問1については、事

表9 電気分野に関する意識調査結果

1.電気分野は好き(得意)な分野である。

		あてはまる	ややあてはまる	どちらでもない	ややあてはまらない	あてはまらない
事前	実験群	8.1	18.9	29.7	24.3	18.9
	統制群	5.4	27.0	35.1	21.6	10.8
事後	実験群	16.2	43.2	24.3	13.5	2.7
	統制群	8.1	24.3	40.5	21.6	5.4
遅延	実験群	13.5	45.9	27.0	8.1	5.4
	統制群	5.4	29.7	32.4	24.3	8.1

数値は割合(%)

2.電気分野に興味・関心がある。

		あてはまる	ややあてはまる	どちらでもない	ややあてはまらない	あてはまらない
事前	実験群	16.2	27.0	21.6	21.6	13.5
	統制群	2.7	29.7	35.1	24.3	8.1
事後	実験群	24.3	40.5	27.0	8.1	0.0
	統制群	8.1	35.1	35.1	13.5	8.1
遅延	実験群	18.9	48.6	21.6	8.1	2.7
	統制群	5.4	35.1	24.3	27.0	8.1

数値は割合(%)

3.電気分野の学習や問題を解くことに自信がある。

		あてはまる	ややあてはまる	どちらでもない	ややあてはまらない	あてはまらない
事前	実験群	5.4	8.1	35.1	32.4	18.9
	統制群	2.7	16.2	40.5	18.9	21.6
事後	実験群	8.1	24.3	37.8	24.3	5.4
	統制群	2.7	13.5	35.1	37.8	10.8
遅延	実験群	5.4	27.0	45.9	13.5	8.1
	統制群	2.7	24.3	29.7	32.4	10.8

数値は割合(%)

前調査 $\chi^2=0.073(< 1.96)$, 事後調査 $\chi^2=1.721(< 1.96)$, 遅延調査 $\chi^2=1.852(< 1.96)$ でいずれの調査においても統計的有意差は確認できなかった。質問 2 については, 事前調査 $\chi^2=0.071(< 1.96)$ で実験群と統制群の間に統計的有意差は確認できなかったが, 事後調査では $\chi^2=2.170(> 1.96)$, 遅延調査では $\chi^2=2.013(> 1.96)$ といずれも統計的有意差が見られた。質問 2 については, 事前調査 $\chi^2=0.078(< 1.96)$, 事後調査 $\chi^2=1.721(< 1.96)$, 遅延調査 $\chi^2=0.811(< 1.96)$ でいずれの調査も統計的有意差は確認できなかった。

以上の結果から, 導電性粘土を用いた実践は電気分野に関する好感や自信に与える影響は見られなかったが, 電気分野への興味・関心を深める効果が期待できることが分かった。石井ら(2021)は, 電気抵抗の理解度と関連が想定される 6 因子について, 構造方程式モデリングに基づく分析の結果, 学習内容に対する興味としての価値認識である「興味価値」が電気抵抗の理解度に正の影響を及ぼすことを明らかにしているが, 導電性粘土を用いた指導プログラムによって生徒の電気分野への興味・関心が深まったことを考えると, 導電性粘土は, 電気抵抗の概念形成に正の影響及ぼすことが期待できる教材であることが分かった。

■問題 1

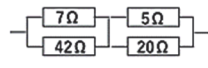
(1) 断面積 2.2m^2 , 抵抗率 $1.1\Omega\cdot\text{m}$ の金属線を用いて, 抵抗値 5.0Ω の抵抗線を作りたい。導線の長さ l を何 m にすればよいか。

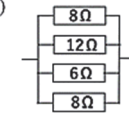
(2) 抵抗率 $1.5 \times 10^{-3}\Omega\cdot\text{m}$ の材料を用いて, 断面積 $5.0 \times 10^{-5}\text{m}^2$, 長さ $4.0 \times 10^{-2}\text{m}$ の抵抗を作った。この抵抗の抵抗値はいくらか。

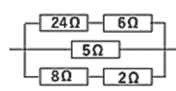
(3) 断面積 3.0m^2 , 長さ 1.5m の抵抗を作り 10V の電圧をかけたところ, 電流が 200mA 流れた。このときの抵抗の抵抗値 $R[\Omega]$ と, 抵抗率 $\rho[\Omega\cdot\text{m}]$ はいくらか。

■問題 2

以下の(1)~(3)の回路の合成抵抗を求めよ。

(1) 

(2) 

(3) 

■問題 3

(1) 電熱線に 15V の電圧を加えたところ 1.2A の電流が流れた。このとき, 50 秒間に発生するジュール熱は何 J か。

(2) 抵抗値が 50Ω の電熱線に 20V の電圧を加えるとき, 1 分間に発生するジュール熱は何 J か。

(3) 100V 用 250W の電熱器は, 100V 用 500W の電熱器に比べて抵抗は何倍か。ただし, ともに 100V で使用するときを考える。

図 8 電気分野に関する小テスト

表 10 電気分野に関する小テスト結果

出題内容	事前		事後		遅延	
	実験群	統制群	実験群	統制群	実験群	統制群
オームの法則 形状と抵抗値	3.64	3.55	<u>3.18</u>	<u>2.65</u>	<u>3.14</u>	<u>2.62</u>
合成抵抗	2.16	2.26	2.38	2.30	2.36	2.30
消費電力	2.30	2.27	2.65	2.58	2.61	2.53
合計	8.09	8.08	<u>8.20</u>	<u>7.53</u>	<u>8.11</u>	<u>7.45</u>

数値は平均点(点)

6.4 電気分野に関する小テスト結果

実践後の電気分野に関する生徒の計算力を調査するため, 図 8 のような小テストを用いて, 事後, 遅延調査を行った。事後, 遅延調査で用いた小テストは, 実践前に行った図 3 の小テストよりも難易度を高くし, 電気抵抗の抵抗率, 形状と抵抗値に関する内容も含めた。問題は全部で 10 問とし, 問題 1 はオームの法則と電気抵抗の抵抗率, 形状と抵抗値に関連する問題を 4 問, 問題 2 は合成抵抗に関連する問題を 3 問, 問題 3 は電気抵抗の消費電力に関連する問題を 3 問出題し, 1 問 1 点, 合計 10 点として採点を行った。小テストの結果を表 10 に示す。表より, 事後調査, 遅延調査ともに実験群の合計の平均点は統制群よりもおよそ 0.7 点高いことが分かる。出題内容別に見ると, 合成抵抗と消費電力については両群の間にほとんど差は見られないが, オームの法則と電気抵抗の抵抗率, 形状と抵抗値に関する問題については, 事後, 遅延調査ともに実験群の平均点は統制群よりもおよそ 0.5 点高いことが分かる。また, 独立な 2 群の平均値差に関する t 検定を用いて有意水準を 5% に設定して分析すると事後

調査は $t=2.470(>1.96)$, 遅延調査は $t=2.437(>1.96)$ となり, 両群の得点に統計的有意差があることも分かった。

統制群は実験群に比べ指導プログラムの時間が1時間短い, 福山(2000)が電気回路の学習で十分な理解ができない生徒たちは, 電流, 電圧, 電気抵抗の概念について適切なイメージを描くことができずにいることに注目し, それぞれの物理量についてイメージを伴った概念として理解できるような学習と, それを 確証させる新しい実験の開発の必要性を指摘していることから分かるように, 仮に統制群が概念調査や小テストの議論を追加で1時間設けたとしても, 導電性粘土を用いた実践によって科学的概念やイメージを獲得した場合と比べ, 議論が深まらず, 印象にも残りにくいことから, 結局は表7の概念調査や表10の小テストの結果と同様に, 事後調査においては一時的に正解者が増えるかもしれないが, 1ヶ月後には記憶が曖昧となり, 再び不正解となる生徒が増えるのではないかと考えられる。

以上の結果から, 導電性粘土を用いた実践は, 電気抵抗の抵抗値と抵抗率及び形状の関係についての科学的概念の形成やイメージの獲得を促し, 電気分野に関する基礎的な計算問題の理解度の向上に有効にはたらくことが分かった。

7. 導電性粘土の電気抵抗学習教材としての可能性の検証

本研究において以下の5点が明らかになった。

- ① 電気抵抗材としての材料特性を有する
導電性粘土は実験に用いることで, 電気抵抗の抵抗率 ρ , 断面積 S , 長さ l , 抵抗値 R の関係式を導くことができ, さらに, 合成抵抗の科学的概念の理解を促すことも期待できる教材であることが分かった。
- ② 電気抵抗の形状と抵抗値の科学的概念の形成が促される
概念調査の結果から, 実験群は電気抵抗の形状と抵抗値に関する科学的概念の形成が促され, 形成された概念は1ヶ月後も保持されることが分かった。
- ③ 形状を用いた合成抵抗の概念理解が促される
概念調査の結果から, 実験群は形状を用いた合成抵抗の概念理解が促され, 1ヶ月後も概念が保持されることが分かった。
- ④ 電気分野の興味・関心を深める
意識調査の結果から, 実験群は電気抵抗に関する好感や自信に関する変化は見られなかったが, 電気分野に関する興味・関心が深まることが分かった。
- ⑤ 電気分野の基礎的な計算問題の理解度が高まる
小テストの結果から, 実験群は電気抵抗に関する基礎的な計算問題の正答率が向上することが分かった。

以上の結果から, 導電性粘土は電気抵抗の指導において, 科学的概念の形成や保持, 意識の向上及び, 基礎的な計算問題の理解に有効な教材であることが明らかになった。

引用文献

- Fontichiaro, K., & Thomas, A. P. (2014) 『Squishy Circuits -21st Century Skills Innovation Library: Makers As Innovators-』 Cherry Lake Pub, 8-23.
- 藤井清・吉本市 (1977) 「電流回路学習過程における問題点 : 形成的評価のための CMI の活用例として」 『物理教育』 25 (4), 182-190.
- 福山豊 (2000) 「オームの法則の指導について」 『物理教育』 48(6), 538-540.
- 福山豊・西和幸 (1990) 「水流モデルによるオームの法則のイメージ化」 『長崎大学教育学部教科教育学研究報告』 (14), 9-13.
- 石井俊行・柳井孝夫・寺山桂史・中村大輝 (2021) 「中学生の合成抵抗の学習にゲーム的要素を取り入れることの効果」 『科学教育研究』 45 (1), 13-22.
- 亀山寛 (1981) 「電気回路と水流モデルとの類推に関する考察-1-電位差(電圧)について」 『静岡大学教育学部研究報告 教科教育学篇』 (12), 197-209.
- 国立教育政策研究所 (2007) 「平成 17 年度高等学校教育課程実施状況調査教科・科目別分析と改善点(理科・物理 I)」 .
- 國友正和 (2016) 『改訂版 物理基礎』 数研出版.
- 倉信充一・塚田真也・栢野彰秀 (2015) 「自作「水流モデル」による中学校理科「電流」単元の授業実践」 『島根大学教育臨床総合研究』 14, 141-155.
- 文部科学省 (2019) 『高等学校学習指導要領解説理科編理数編』 実教出版.
- 文部科学省・国立教育政策研究所 (2018) : H30 年度全国学力・学習状況調査報告書中学校理科.
- 沖花彰・谷口信一 (2009) 「中学校電気分野における電位概念の導入と学習教材の開発」 『物理教育』 57 (2), 97-102.
- 新鶴田道也・岩山勉 (2019) 「カーボン・ペーパーを用いた電気抵抗の概念形成に有効な新教材の開発」 『第9回教科開発学研究会発表論文集』 21-24.
- 杉原慶一・福山隆雄 (2012) 「電気抵抗をイメージさせるためのパチンコ玉モデル」 『日本理科教育学会四国支部会報』 31, 9-10.
- 露木隆・郡司賀透・岩山勉 (2022) 「電気抵抗に関する概念形成を促す授業の開発」 『理科教育学研究』 63 (1), 127-138.
- 【連絡先 露木 隆 E-mail : yutamako0602@gmail.com】

A Study on the Effectiveness of Conductive Clay as a Teaching Material for Learning Electrical Resistance: Case Study in High School Basic Physics "Materials and Electricity" Unit

Takashi TSUYUKI^{1,2}, Yoshiyuki GUNJI³, Tsutomu IWAYAMA⁴

¹ Cooperative Doctoral Course in Subject Development in the Graduate School of Education, Aichi University of Education & Shizuoka University ² Hamamatsu Kita High School

³ Academic Institute College of Education, Shizuoka University ⁴ Faculty of Education, Aichi University of Education

ABSTRACT

In this study, we examined the potential of conductive clay as a teaching material for electrical resistance, which can be expected to promote the concept formation of electrical resistance in the high school physics "Electricity and Magnetism" unit. From the analysis of the material properties, it was found that by changing the shape and salt content of the conductive clay, it was possible to easily create electrical resistances with various resistance values and resistivities. Furthermore, by connecting in series and parallel, it was found to be a teaching material that can also be applied to experiments on combined resistance. In addition, through the practice of obtaining the resistivity, shape, and resistance values of electrical resistance by the experimental group and the control group, we were able to confirm that conductive clay is effective in promoting the formation of scientific concepts concerning the shape and resistance of electrical resistance, forming the concept of synthetic resistance using shapes, deepening interest and improving the level of understanding of basic calculation problems in the electrical field.

Key words

conductive clay, naive conceptions, electromagnetism, electrical resistance, combined resistance