SURE 静岡大学学術リポジトリ
Shizuoka University REpository

Development and Practice of an Experimental Teaching Method That Promotes Visual Understanding of Combined Resistance by Visual Presentation of Electrical Resistance : Utilization of CNP Resistors in the Lower Secondary School Science

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2022-04-27 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 新鶴田, 道也, 大久保, 博和, 岩山, 勉 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10297/00028945

【 論文 】

電気抵抗の視覚的提示で合成抵抗の理解を促す授業の構想と実践
－中学校理科「電流とその利用」単元における CNP 抵抗器の活用－

○新鶴田　道也[1]・大久保　博和[1]・岩山　勉[2]
[1]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]愛知教育大学教育学部

要約
学習者の理解が困難であると指摘されている中学校理科「電流とその利用」単元において，電気抵抗の視覚的な理解を促すことが期待されているカーボン・ナノチューブ・ペーパー（CNP）抵抗器を活用した合成抵抗の授業を構想し，その実効性を実践結果に基づいて検証した。CNP 抵抗器及び簡易的な電流チェッカーを活用することで，点灯する LED の明るさから電気抵抗値の長さ及び幅についての依存性を視覚的に理解するための実験が，授業時間内において実施可能であることを確認した。また，合成抵抗の授業では，一般的に用いられている実験教材であるセメント抵抗器の代わりに CNP 抵抗器を用いて実験を実施し，仮説を立てて検証する学習活動を展開することができた。質問紙調査の結果，①抵抗とは何かに対する回答，②直列合成抵抗の公式に対する納得度，③並列合成抵抗の公式の記述の３点について，実施した授業において構想通りの効果を確認することができた。本方法による指導は学習者や授業者から好意的な評価を得ており，今後は改めて更なる追実践や効果の詳細な分析を計画している。

キーワード
合成抵抗，視覚化実験，指導方法，CNP 抵抗器，納得度

Ⅰ．問題及び目的

電気は現代の社会や日常生活に欠かせないものであり，次代を担う人材を育成するという観点や，児童・生徒が科学的リテラシーを身に付けるという観点から，理科教育における重要な学習内容の一つとされている。平成 29 年告示の学習指導要領改訂における基本的な考え方では，理科を学ぶ意義や有用性の実感及び理科への関心を高める観点から，日常生活や社会との関連を重視（文部科学省，2018a）しており，電気分野の教育に対する注目が集まっている。

学習指導要領（文部科学省，2018a, b, 2019）に記述されている電気に関する内容を表１にまとめているが，電気は小学校から高等学校に至るまで系統的に扱われていることがわかる。特に中学校理科「電流とその利用」単元は，小学校で形成された「電流」概念を前提として，「電圧」概念や「電気抵抗（または単に抵抗）」概念などが導入される重要な単元であると同時に，高等学校物理基礎へと発展される。

「電流とその利用」単元は，その重要性が認識されている一方で，学習者の理解度や好嫌度に問題があることが指摘されている（藤井ら，1977；川村，1996, 1997）。原田ら（2018）の調査では，本単元の統制感（特定の手段を想定せずにどの程度望む結果を得られるかと期待しているかを指す期待概念）及び興味価値（当該科目や単元に対するおもしろさや楽しさを指す価値概念）は他の単元と比較して低いことが指摘されている。

平成 30 年度の全国学力・学習状況調査の結果では，オームの法則から抵抗値を求める単純な問題の正答率は 52.3 %であった。結果を分析した文部科学省・国立教育政策研究所（2018）では，抵抗の値を求める知識を身に付けることに課題があり，指導の充実が求められると結論付けられている。さらに，単純な抵抗の理解にも課題があることから，複数の抵抗器によって構成される合成抵抗の理解が困難であることは容易に推測できる。

合成抵抗の学習では，特に，並列接続における問題点が指摘されている。松原（1989）は，学習者の並列回路に関する知識の構造化が不十分である点を明らかにしている。沖花ら（2009）も，中学校理科における並列回路の理解の不十分さを強調し，その改善策として「電位」概念の導入を提案している。石井ら（2021）は，ゲーム形式の指導方法を導入し，統制感や興味価値を高めることが，合成抵抗の指導に有効であると主張している。

以上のように，中学校理科「電流とその利用」単元における合成抵抗の理解度や好嫌度の調査及び指導方法の改善についての先行研究は多数見られるが，未だ実効性のある最適な指導方法の確立には至っていない。

福山（2000）は，「電流」，「電圧」，「抵抗」の概念に対して適切なイメージを伴っ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必要性を指摘している。近年では，イメージを伴った視覚的理解を促すための，教材や教授法の開発が盛んに行われている。鉛筆を用いた手描き抵抗（石川ら，2017）や，AgIC（現エレファンテ

表１　小学校理科，中学校理科，高等学校物理基礎，物理における電気に関する学習内容のまとめ

校種・学年・教科科目		単元名	内　容
小学校理科	第３学年	電気の通り道	電気を通すつなぎ方，電気を通す物
	第４学年	電流の働き	乾電池の数とつなぎ方
	第５学年	電流がつくる磁力	鉄心の磁化，極の変化，電磁石の強さ
	第６学年	電気の利用	発電，蓄電，電気の変換，電気の利用
中学校理科	第２学年	電流とその利用	回路と電流・電圧，電流・電圧と抵抗，電気とそのエネルギー，静電気と電流
		(ｱ) 電流	
		(ｲ) 電流と磁界	電流がつくる磁界，磁界中の電流が受ける力，電磁誘導と発電
高等学校	物理基礎	様々な物理現象とエネルギーの利用　(ｳ) 電気	物質と電気抵抗，電気の利用（発電，送電，交流，直流，蓄電池，電磁波）
	物　　理	電気と磁気	
		(ｱ) 電気と電流	電荷と電界，電界と電位，電気容量，電気回路，
		(ｲ) 電流と磁界	電流による磁界，電流が磁界から受ける力，電磁誘導，電磁波

表２　構想した授業における指導計画（２時間分）

授業１「電気抵抗の長さや幅による変化」	授業２「直列や並列の合成抵抗のきまり」
①抵抗とは何か（復習）	①合成抵抗とは何か
②電流チェッカーで測定	②直列回路の仮説設定
③抵抗の決定要因の予想	③並列回路の仮説設定
④実験による検証	④実験による検証
⑤結果の記録と考察	⑤結果の記録と考察
⑥振り返り	⑥振り返り

ック）社が開発した回路マーカーを用いた実践（一条ら，2016；酒井ら，2018）では，矩形抵抗の抵抗値の形状依存性を視覚的に理解することが可能であることが示されてきた。これらの教材の利点に加えて，再現性や定量性を高めるために，カーボン・ナノチューブ・ペーパー（以下CNP）を用いた抵抗器（Shintsuruta, et al., 2021）が開発された。新鶴田ら（2019）の報告では，中学校理科の授業においてCNP抵抗器を活用した結果，合成抵抗の習得に効果がある可能性が示唆されたが，更なる量的及び質的な分析が必要であるとしている。

本研究の目的は，視覚的理解を促すCNP抵抗器の実験を取り入れた，合成抵抗の指導方法の提案である。合成抵抗の概念が初めて導入される中学校理科において新しい授業を構想し，その実践結果を量的及び質的に分析することで学習者が身に付けた学力を明らかにする。

Ⅱ．研究手法

１．授業の構想

CNPは材料の一部にカーボン・ナノチューブを含む特殊紙（図１）で，シート抵抗（面抵抗率）は100 Ω/sq. 程度であり，抵抗値が比較的小さいため，回路内に組み込んでLED等を点灯させることが可能である。CNP抵抗器を活用することで，抵抗値の長さ及び幅による依存性を視覚的に理解するための実験指導が授業時間内において実施可能となり，高等学校においても電気抵抗を探究的に学ぶことで学習効果が高まることが示唆されている（新鶴田ら，2021）。

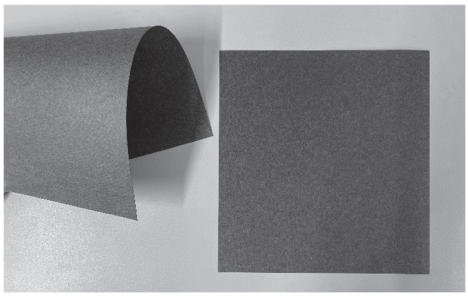


図１　CNP（カーボン・ナノチューブ・ペーパー）

CNPを流れる電流の大きさを直感的に，大雑把に把握することを目的として，簡易的な電流チェッカーを活用した。電流チェッカーを活用することで，LEDの点灯する明るさからCNPの長さや幅（太さ）と抵抗値との相関を定性的に把握できることから，実験を通して抵抗値の決定要因を直感的に見出すことが期待できる（新鶴田ら，2020）。

CNP抵抗器と電流チェッカーを活用して，合成抵抗の視覚的理解を促すことを目的とした新しい授業を構想した。表２は構想した２時間分の授業計画である。授業１「電気抵抗の長さや幅による変化」では，抵抗値が抵抗体の長さに比例し，幅（断面積）に反比例することを学習する。各出版社の教科書（例えば有馬ら，2018）では発展的内容として記載されており，実験の方法や理論的な解説はほとんど示されずに結果の記述のみである。しかしながら，抵抗値の形状依存性は「抵抗は電流の流れにくさ」であるという，抵抗の基本的な概念と強く関連しているため，発展的な扱いではなく，基本的な内容として扱うことで，学習者の抵抗に関する理解度を高めることができると考えた。さらに，CNP抵抗器を活用することで，抵抗体の形状を任意に変化させた場合の抵抗値の測定が可能となるため，抵抗値の形状依存性について実感を伴った理解が期待できる。

授業１の計画では，最初に「抵抗とは何か」と問いかけ，「抵抗とは電流の流れにくさ」であることを教科書等で確認してからCNP抵抗器を提示し，CNP抵抗器の抵抗値

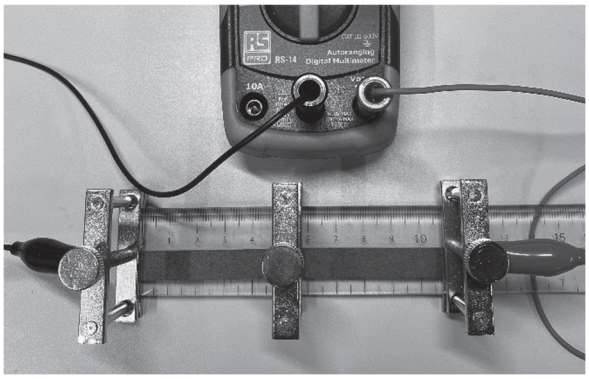


図２　CNP 抵抗器で直列合成抵抗を測定する様子

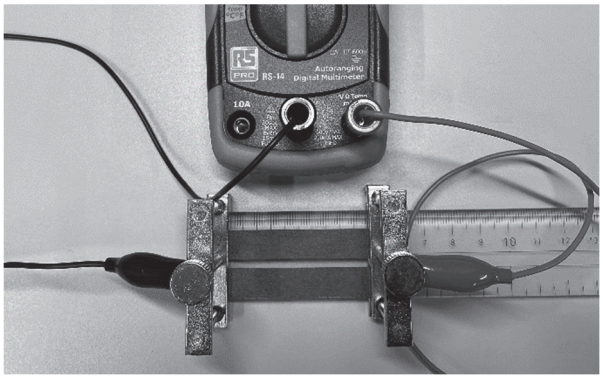


図４　CNP 抵抗器で並列合成抵抗を測定する様子

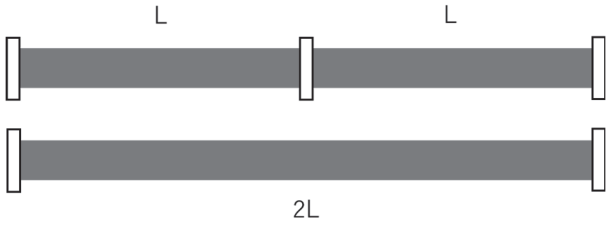


図３　直列合成抵抗と長さの和（新鶴田ら，2020）



図５　並列合成抵抗と幅の和（新鶴田ら，2020）

を決定する要因を，電流チェッカーを用いた測定を通して事前に予想した。その後，デジタルマルチメータを用いた抵抗値の直接的（量的）な測定によって量的関係を明らかにし，予想を検証することで，「抵抗は長さに比例し，幅に反比例する」ことを主体的に学ぶプロセスとした。

授業２「直列や並列の合成抵抗のきまり」では，教科書に沿った展開の中で，CNP 抵抗器を実験教材として活用した。授業１の実施後に合成抵抗を学習することで，抵抗値の形状依存性を根拠として合成抵抗の仮説を立て，実験によって検証することを可能とした。

図２は，CNP 抵抗器を用いて直列回路の合成抵抗値を測定する様子である。抵抗値の測定では，デジタルマルチメータ（RS PRO, 123-1938）を用いた。図３に示すように，直列回路の合成抵抗は長さの和と等価であるならば，抵抗値の和になることの視覚的理解が促されると考えられる。ただし，図３は説明のために上下の抵抗の長さを等しく表現しているが，実際は２つの抵抗器を接続している電極部分の長さを含まないため，電極の幅だけ合計した長さは大きくなる。

図４は，CNP 抵抗器を用いて並列回路の合成抵抗値を測定する様子である。図５に示すように，並列回路の合成抵抗は幅の和と等価であるならば，抵抗値は逆数和になることの視覚的理解が促されると考えた。

本授業計画において，授業１の内容は指導要領の範囲外であるため，既存の指導方法の代替ではなく，追加的に組み込むことを想定した。また，授業２は既存の授業計画におけるセメント抵抗器などの教材の代替を想定したものである。

２．授業実践と分析方法

2019 年９月，愛知県内の公立中学校第２学年３学級を対象として授業実践を行った。表３は各学級の実践の流れを示す。実験群１，実験群２，統制群を設定し，実践校の実態に合わせて，大日本図書出版の教科書「理科の世界２」（有馬ら，2018）に沿って授業を展開した。

実験群１は授業１と授業２を実施して質問紙に回答した。実験群２は授業２を実施した後，授業１を実施する前に質問紙に回答することで，本授業計画の一部である授業２のみによる影響が表出するようにした。統制群で行われる統制授業では，授業２の展開の中で，CNP 抵抗器の代わりに教科書に掲載されているセメント抵抗器を使用した。つまり，授業２に対する統制授業である。ここで，授業１は指導要領の範囲外の内容を追加的に組み込むことを想定しているため，授業１に対する統制授業を設定しない。したがって，実践群１の質問紙回答までの授業時

表３　授業実践と質問紙調査の流れ

実験群１ （25 名）	実験群２ （26 名）	統制群 （24 名）
授業１	授業２	統制授業
↓	↓	↓
授業２	**質問紙回答**	**質問紙回答**
↓	↓	↓
質問紙回答	授業１	授業１

間数は授業１に相当する１時間分多くなる。これは，本研究の目的が新しい学習内容の導入による時間数の増加を含めた検証であることによる。

実験群１と統制群を比較することで，既存の指導方法に対して，構想した授業を実施することによる効果を分析した。また，実験群２と統制群を比較することで，授業計画の一部である授業２，すなわちCNP抵抗器を活用した合成抵抗の授業による効果を，実験群１と実験群２を比較することで，授業１の実施による効果を分析した。

実践の条件を揃えるために，すべての群において同一のワークシート（資料１及び２）を用いた。また，授業者の差異による影響を防ぐために，筆者らではなく普段の担当者が授業を行った。授業者は実験群１を担当する教員と，実験群２及び統制群を担当する教員の２名である。

開発した指導方法の効果を検証するために，学習者に対して質問紙調査を行った。質問項目（資料３）は，構想した授業を実施する以前の学習内容であるオームの法則に対する理解度，実践内容である合成抵抗の理解度，納得度，授業後の感想である。

質問項目（資料３）では，授業実施後の学習効果を「抵抗とは何か」という抵抗の定義の他に，「記憶した公式の再現，公式の記号を移項する能力，式に値を代入して計算する能力，納得度の自己認識値」と，「令和の日本型学校教育」（中央教育審議会，2021）が目指す，子供たちに育むべき資質・能力に対応した内容を含んでいる。令和３年に取りまとめられた中央教育審議会答申では，令和の時代の子供たちに必要な資質・能力を育むためには，新学習指導要領の着実な実施が重要とされている。中学校学習指導要領における理科の目標（文部科学省，2018a）では，科学的に探究するために必要な資質・能力を育成することを目指している。「記憶した公式の再現，公式の記号を移項する能力，式に値を代入して計算する能力」は，科学的に探究するために必要な知識及び技能や，それらを活用して科学的に探究する力に対応している。また，「納得度の自己認識値」は子供が自己調整しながら学習を進めるために必要な「学びに向かう力」に対応している。

合成抵抗の理解度を把握すると同時に，公式に対する納得度を４件法に基づいて数値化した。理科教育学の研究において，学習者の納得度を調査した手法には，５件法（川上ら，2003）や，４件法（益子ら，2009）がある。本研究では，問題の正答率と共に納得度について議論している益子ら（2009）の手法を選択し，合成抵抗の公式に対する納得度を「１：全然納得できなかった，２：あまり納得できなかった，３:やや納得した，４:とても納得した」の中から選択した。ただし，正しい公式に対する納得度を調査するため，納得度の集計においては，直列および並列のそれぞれにおける公式の記述（資料３；３(1)及び４(1)）に正答した者のみを分析の対象とした。

各群の得点に対して，マン・ホイットニーのU検定を用いて分析した。マン・ホイットニーのU検定は，ノンパラメトリックな手法で，正規分布かどうかに関わらず独立な２群の得点差を評価することができる。また，相関係数に基づいた，変数間の関係の強さを示す効果量 r を算出した。J. Cohen（1988）における効果量の大きさの目安では，0.1で小程度，0.3で中程度，0.5で大程度としている。

質問紙調査に加えて，授業観察とビデオカメラによる記録を行い，授業中の発話や行動を文章で記録し，考察した。また，授業者に対して自由記述式の質問紙調査とインタビュー調査を行い，本授業計画に関する評価を得た。

以上のように，構想した授業計画を限られた実践条件の中で実施することによる効果を，質問紙調査に基づく様々な学力の量的分析，授業の様子，自由記述式の感想という視点から検証した。

Ⅲ．実践結果

１．開発した指導方法の効果分析

授業計画を実施した実験群１と既存の指導方法を実施した統制群を比較することで，本指導方法による効果を分析した。

実践前の学習内容であるオームの法則について，各群に質問紙調査（資料３；１(1)から(3)）を行った結果，実験群１と統制群の比較において $p = 0.614$，効果量 $r = 0.072$ であった。したがって，$p > 0.05$ で有意な差は認められず，効果量は小さいため，両群の均等性を仮定した。

質問項目２「抵抗とは何か」に対する回答は記述式であり，「電流」または「電気」と「流れにくさ」に関する記述があるものを正答とした。主な回答例を表４に示す。

質問項目３(1)「直列合成抵抗・公式の記述」では「$R = R_a + R_b$」または「$R_a + R_b = R$」と記述したものを正答とした。質問項目４(1)「並列合成抵抗・公式の記述」も同様に「$1 / R = 1 / R_a + 1 / R_b$」または「$1 / R_a + 1 / R_b = 1 / R$」と記述したものを正答とした。すべての採点は筆者らが行い，その結果について２名の授業者と協議した。

表４　質問項目２の回答例と評価

評価	回答例
正答	電流の流れにくさ
	電気の流れにくさ
	電流を流れにくくするもの
	電流の流れを流れにくくするもの
誤答	電流を止めるもの
	電気の大きさ
	電気の抵抗

表５　実験群１と統制群の質問紙調査結果
（マン・ホイットニーのＵ検定を用いて分析）

質問項目	p	r
２　抵抗とは何か	**0.000	0.831
３　直列合成抵抗		
(1) 公式の記述	0.307	0.146
(2) 計算問題	0.531	0.089
(3) 納得度	**0.000	0.730
４　並列合成抵抗		
(1) 公式の記述	**0.000	0.839
(2) 計算問題	0.322	0.142
(3) 納得度	0.426	0.148

$^{*}p < 0.05$, $^{**}p < 0.01$

表６　実験群２と統制群の質問紙調査結果
（マン・ホイットニーのＵ検定を用いて分析）

質問項目	p	r
２　抵抗とは何か	**0.000	0.534
３　直列合成抵抗		
(1) 公式の記述	0.954	0.008
(2) 計算問題	0.137	0.210
(3) 納得度	**0.000	0.583
４　並列合成抵抗		
(1) 公式の記述	**0.000	0.754
(2) 計算問題	0.604	0.073
(3) 納得度	0.351	0.176

$^{*}p < 0.05$, $^{**}p < 0.01$

表５は，質問紙の回答をマン・ホイットニーのＵ検定を用いて分析した結果である。質問項目２「抵抗とは何か」（$p < 0.001, r = 0.831$）と，３(3)「直列合成抵抗・納得度」（$p < 0.001, r = 0.730$）及び４(1)「並列合成抵抗・公式の記述」（$p < 0.001, r = 0.839$）について $p < 0.01$ で有意差が認められ，実験群１は統制群より得点が高く，それぞれの効果量 r は大きいことが明らかとなった。また，他の項目では $p > 0.05$ で有意差は認められなかった。したがって，①抵抗とは何かに対する回答，②直列合成抵抗の公式に対する納得度，③並列合成抵抗の公式の記述の３点において，実践した授業による効果が示された。

有意差が認められなかった３(1)「直列合成抵抗・公式の記述」及び３(2)「直列合成抵抗・計算問題」の正答者は両群とも９割以上と高い値を示した。また，４(2)「並列合成抵抗・計算問題」の正答者は両群とも１割程度であり，４(3)「並列合成抵抗・納得度」の平均値は実験群１で 2.460，統制群で 2.250 であった。

実験群１の授業１では，教師は CNP 抵抗器と電流チェッカーの使い方を説明し，「抵抗の大きさは何によって決まるのだろうか」と発問した。教師の発問に対して，電流チェッカーで測定しながら，抵抗値を決める変数について「長さ，太さ（幅），面積，厚さ」などの予想をワークシートに記入する生徒の姿を確認することができた。

実験結果から考察する場面で「長いほうが流れにくいから抵抗は大きい」や「幅が大きいほど，抵抗は小さくなる」と発言する生徒が確認された。生徒は抵抗値が長さに比例することや，幅に反比例することを実験結果から考察することができた。また，電流の流れやすさについて，抵抗値が太さに反比例する関係から $1/R$ と，コンダクタンスの考え方を用いて説明する生徒が確認された。

授業２では，合成抵抗の実験前に予想をする場面で，直列回路において「長さが大きくなるから抵抗も大きくなる」や「長さが２倍になるから抵抗も２倍になる」と，授業１で学んだ抵抗体の形状と抵抗値の関係を根拠として仮説を立てる生徒が確認された。また，並列回路では「長さが同じだから１つ分と同じ」や「太くなるから１つ分より小さい」と仮説を立てることができた。実験による仮説の検証では「直列は２倍，並列は１/２倍，３つでは１/３倍」と，得られたデータから考察して合成抵抗の法則を導くことができた。

実験群１の生徒の感想では，授業に対して「楽しかった」や「分かりやすかった」という前向きな回答が多かった。また，「並列の抵抗の式が難しいと感じたが，CNP を使ったら少しずつ分かってきた」や「並列が何でその式になるのか分からなかったけど，CNP を使うと式が分かりやすかった」と記述した生徒がいた。

２．実験教材の効果分析

授業２を実施した実験群２と統制授業を実施した統制群を比較することで，合成抵抗の実験教材として CNP 抵抗器を使用することの効果を分析した。

実践前の学習内容（資料３；１(1)から(3)）に対する質問紙調査の結果から，実験群２と統制群の比較において $p = 0.294$，効果量 $r = 0.148$ であった。したがって，$p > 0.05$ で有意な差は認められず，効果量は小さいため，両群の均等性を仮定した。

表６は実験群２と統制群の質問紙調査の結果である。質問項目２「抵抗とは何か」（$p < 0.001, r = 0.534$）と，３(3)「直列合成抵抗・納得度」（$p < 0.001, r = 0.583$），更には４(1)「並列合成抵抗・公式の記述」（$p < 0.001, r = 0.754$）について $p < 0.01$ で有意差が認められ，実験群２は統制群より得点が高いことが示された。また，それぞれの効果量 r は，実験群１と統制群との比較ほどではないが大きな値であった。その他の項目では $p > 0.05$ で有意差は認められなかったため，①抵抗とは何かに対する回答，②直列合成抵抗の公式に対する納得度，③並列合成抵抗の公式の記述の３点において，CNP 抵抗器の有効性が示された。

有意差が認められなかった３(1)「直列合成抵抗・公式の記述」及び３(2)「直列合成抵抗・計算問題」の正答者は両群とも９割以上と高く，４(2)「並列合成抵抗・計算問題」の正答者は両群とも１割程度と低かった。また，４

(3)「並列合成抵抗・納得度」の平均値は実験群２で 2.531，統制群で 2.250 であった。

実験群２の授業２では，合成抵抗の実験前に予想をする際に，直列回路で「２つの抵抗の和が大きな１つの抵抗になる」，並列回路で「電流が分かれて，１つより小さくなる」と発言する生徒が確認された。電流の流れをイメージして考える生徒が確認された一方で，実験群１のように抵抗体の形状に着目した発言は見られなかった。

実験後の考察では「直列は２つの抵抗を足した値になる」や「並列は１つの時よりも小さくなる」と，実験結果から合成抵抗の法則を見出すことができた一方で，実験群１のように並列回路の合成抵抗が逆数和になることまで考察を進めた生徒は見られなかった。

実験群２の生徒の感想では，「合成抵抗の公式が分かった」という回答が見られた一方で，「なぜその式が成り立つのかが分かっていない」や「並列のほうはよく分からなかった」と，理解が不十分な部分に関する記述があった。

３．授業１を実施することの効果分析

実験群１と実験群２を比較することで，授業１「電気抵抗の長さや幅による変化」を実施することによる効果を分析した。

実践前の学習内容（資料３；１(1)から(3)）に対する質問紙調査の結果から，実験群１と実験群２の比較において $p = 0.084$，効果量 $r = 0.255$ であった。したがって，$p > 0.05$ で有意な差は認められず，効果量は小さいため，両群の均等性を仮定した。

表７は実験群１と実験群２の質問紙調査の結果である。質問項目２「抵抗とは何か」（$p = 0.006, r = 0.382$）と，３(3)「直列合成抵抗・納得度」（$p < 0.001, r = 0.583$）について $p < 0.01$ で有意差が認められ，実験群１は実験群２より得点が高いことが示された。他の項目では $p > 0.05$ で有意差は認められなかった。したがって，①抵抗とは何かに対する回答，②直列合成抵抗の公式に対する納得度において，授業１の有効性が示された。

表７　実験群１と実験群２の質問紙調査結果
（マン・ホイットニーのＵ検定を用いて分析）

質問項目	p	r
２　抵抗とは何か	$^{**}0.006$	0.382
３　直列合成抵抗		
(1) 公式の記述	0.327	0.137
(2) 計算問題	0.308	0.143
(3) 納得度	$^{**}0.000$	0.583
４　並列合成抵抗		
(1) 公式の記述	0.161	0.196
(2) 計算問題	0.609	0.072
(3) 納得度	0.774	0.041

$^{*}p < 0.05$，$^{**}p < 0.01$

Ⅳ．考察及び結論

中学校理科「電流とその利用」単元において，CNP 抵抗器を活用した実験を取り入れた合成抵抗の新しい授業を構想し，実践に基づいて学習効果を分析した。

CNP 抵抗器と簡易的な電流チェッカーを活用して，現在は発展的な内容として各社の教科書に記載されている抵抗値の長さ及び幅による依存性について，実験指導が可能であることを実証した。また，合成抵抗の学習では，一般的に用いられている実験教材であるセメント抵抗器の代わりに CNP 抵抗器を用いて実験を行い，仮説を検証する授業を展開することができた。したがって，中学校理科「電流とその利用」単元において，合成抵抗の視覚的理解を促す効果が期待できる，新しい指導方法を提案することができた。

実践結果の分析から，①抵抗とは何かに対する回答，②直列合成抵抗の公式に対する納得度，③並列合成抵抗の公式の記述の３点において，構想した授業の有効性が確認された。また，これらの効果は，合成抵抗の授業のみにおいて CNP 抵抗器を活用した場合も，効果量は比較的小さいものの，同様の傾向が見られることが示された。したがって，本授業計画を実践したことで，抵抗の概念形成を促し，合成抵抗の納得度や理解度を高めたことが明らかとなった。

実験群１と実験群２の比較からは，①及び②に対して一定程度の効果量が得られた一方で，③に対して有意差は認められなかった。これは，合成抵抗の教材として CNP 抵抗器を活用することで並列回路の合成抵抗の理解が促進される効果は期待できるものの，抵抗値の長さや幅による依存性を改めて扱う必要性は低い可能性を示唆している。本研究結果を踏まえて，合成抵抗の実験教材としての CNP 抵抗器の活用や，抵抗値の長さや幅による依存性の導入について更なる詳細な調査を進め，「電流とその利用」単元のカリキュラム改革について検討する必要があると考えられる。

本研究結果からは，実験群１と統制群，実験群２と統制群の比較で効果量の差は見られたが，有意差の現れる傾向は共通していた。この原因の一つに，直列の合成抵抗では授業に依らず好成績であるため違いが表出しにくく，並列の合成抵抗では公式の記述に対する学習効果は表出し易い点が考えられる。しかし，並列合成抵抗の計算問題の正答者数が少ないことから，公式を記述できても計算操作に弱点があるために解の導出ができず，納得度の低い生徒も多く存在する可能性がある。したがって，今後は並列の合成抵抗における学習効果に関する調査をより進める必要があり，使用実験教材以外にも，簡易的な思考実験や，視覚化・イメージ形成の手法等の多様な学習指導方法の中で検討することで，合成抵抗の最適な指導方法の

確立を目指した研究を進めることが重要であると考える。

英国「アドバンシング物理」（オグボーン, J. ら，2004）では，電気回路の学習にコンダクタンスの考え方を導入しており，並列回路ではコンダクタンスを加算し，直列回路では抵抗を加算する，というように使い分けるのが便利である（笠，2000）という指摘がある。この指摘から，並列回路は幅の和と等価であるというコンダクタンスの視覚的な捉え方が，並列回路の合成抵抗の理解に前向きな影響を及ぼした可能性があると考えられる。

また，福山（2000）の指摘と関連して，抵抗体の形状と電流の流れやすさの関係をイメージして抵抗を理解しようとする姿勢が，「抵抗とは何か」に対する理解度を高めた要因の一つである可能性が考えられる。

Ⅲ.実践結果で記した発話内容からも，生徒が自ら仮説を立てて検証実験をすることで合成抵抗を理解する過程を推察することができた。また，実験群１及び実験群２の生徒の感想から，授業２で CNP 抵抗器を使用したことで合成抵抗の理解を深めたことを確認することができた。

授業者の感想からは，構想した授業の有効性について「並列接続の合成抵抗で，R の逆数になるという点に気付かせる上で有効と感じた。既存の教材では逆数（反比例）の発想は出なかったと思う」，「（合成抵抗について）長さで直列を，幅で並列を説明できる点が良い」，「抵抗は幅に反比例することから，$1/R$ を電流の流れやすさと説明することができて分かりやすいと感じた」と好意的な評価を得ることができた。授業者が実践後の有効性を実感し，生徒の実態を踏まえた手法で授業を行うことが可能である点は，本指導方法の利点であり，学習効果を高める要因の一つであると考えられる。また，CNP 抵抗器の教材化についても，「扱いやすく，幅や長さを自由に変えられる点が良い」と好意的な印象を得ることができた。したがって，今後も各学校現場の実態に合わせて幅広く活用されることが期待できる。

本研究における授業の有効性の検証では，限られた期間と対象者に対する調査であるため，合成抵抗の理解に有効に作用する可能性を示唆しつつも，理解状況の詳細を把握するには至らなかった。今後は効果の一般化に向けて，多様な教育環境の対象者を考慮した追実践や効果の質に関する詳細な分析を予定している。

附記

本論文は，2019 年度第３回日本科学教育学会研究会において発表した内容に詳細な分析を加えて再構成したものである。なお，CNP 抵抗器の教材開発に関する研究発表として，2019 年第９回及び 2020 年第 10 回教科開発学研究会，2019 年度日本理科教育学会第 69 回全国大会がある。

引用文献

有馬朗人ほか 62 名（2018）：理科の世界２，大日本図書.

中央教育審議会（2021）：「令和の日本型学校教育」の構築を目指して～全ての子供たちの可能性を引き出す，個別最適な学びと，協働的な学びの実現～（答申）（中教審第 228 号），文部科学省ホームページ（最終閲覧日：2021 年 11 月７日）．
https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo3/079/sonota/1412985_00002.htm

Cohen, Jacob (1988): *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.), Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

藤井清，吉本市（1977）：電気回路学習過程における問題点－形成的評価のための CMI 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.

原田勇希，坂本一真，鈴木誠（2018）：いつ，なぜ，中学生は理科を好きでなくなるのか？－期待－価値理論に基づいた基礎的研究－，理科教育学研究，58(3)，319-330.

一条洋和，鈴木大介，遠藤健太郎，宝賀剛，佐藤淳（2016）：導電ペンを使用した電気回路演習，日本工学教育協会 H28 年度工学教育研究講演会講演論文集，126-127.

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－理解に影響を及ぼす要因を検討して－，科学教育研究，45(1)，13-22.

石川一樹，鎌田正裕（2017）：手描き抵抗と簡易テスターを用いた中学校理科授業の開発，科学教育研究，41(2)，221-229.

川上綾子，益子典文，水野敏孝（2003）：理科学習における事例外挿法によるストリーミング学習コンテンツの開発(2)－中学生を対象にしたコンテンツの利用と評価－，日本科学教育学会研究会研究報告，17(6)，41-46.

川村康文（1996）：高校生にみられる小・中学校理科学習の実態と問題点，物理教育，44(4)，393-396.

川村康文（1997）：中学校新教育課程で学んだ高校生の小・中学校理科学習の実態と問題点，物理教育，45(4)，213-217.

益子典文，川上綾子，牛山幸彦，水野敏孝（2009）：科学技術と理科学習をつなぐ事例外挿法による教材開発の方法とその効果，日本科学教育学会研究会研究報告，23(5)，27-32.

松原道男（1989）：理科における学習者の知識構造のモデル化，金沢大学教育学部教科教育研究，25，251-259.

文部科学省（2018a）：中学校学習指導要領（平成２９年告示）解説理科編，学校図書.

文部科学省（2018b）：小学校学習指導要領（平成２９年告示）解説理科編，東洋館出版社.

文部科学省（2019）：高等学校学習指導要領（平成３０年告示）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.

オグボーン, J.，ホワイトハウス，M.（笠耐，西川恭治，覧具博義監訳）(2004) : アドバンシング物理, シュプリンガー・フェアラーク東京.

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.

笠耐（2000）：英国アドバンシング物理における電気回路の導入（How to teach），物理教育，48(6)，541-546.

酒井大輔，木田彩佳，原田建治，柴田浩行（2018）：導電ペンと筆ペンで学ぶ電気の基礎，電気学会論文誌 A，138(1), 30-35.

新鶴田道也，大久保博和，岩山勉（2019）：中学校理科「電流とその利用」単元における電気抵抗の概念形成に有効な新規教材の開発，日本科学教育学会研究会研究報告，34(3)，281-284.

新鶴田道也，大久保博和，岩山勉（2020）：電気抵抗の視覚的理解が可能な新規教材開発－中学校理科・高等学校物理・理数探究における活用－，教科開発学論集，8，73-82.

Shintsuruta, M., Okubo, H., & Iwayama, T. (2021): Electrical Resistor and Capacitor Using Carbon-Based Papers for Creative Thinking to Deepen and Extend Learning, *Physics Education*, 56(3), 035006.

新鶴田道也，大久保博和，岩山勉（2021）：カーボン・ナノチューブ・ペーパーを用いた電気抵抗の探究的学習，物理教育，69(3), 145-150.

【連絡先　新鶴田　道也
E-mail：shintsuru3@gmail.com】

資料１　授業１で使用したワークシート

月　日（　）

２年生理科

抵抗の大きさは何によって決まるのだろうか

２年　組　番

○電流チェッカーを使って、抵抗の大きさを決める条件を調べてみよう。

※抵抗とは＿＿＿＿＿＿＿＿である。（復習）

＜抵抗を決める条件＞

◇電流チェッカーの使い方
①裏側のスイッチを ON にする。
②はかりたい部分の両端に直接つなぐ。
③LED の明るさやメーターをチェックする。
④使い終わったらスイッチを OFF にする。
※忘れずに！

○デジタルテスターを使って、いろいろな形の抵抗の大きさを調べてみよう。
※デジタルテスターの使い方（教科書 P.185）

＜結果＞

	Ω	Ω	Ω	Ω	Ω	Ω
	Ω	Ω	Ω	Ω	Ω	Ω
	Ω	Ω	Ω	Ω	Ω	Ω

※裏面にグラフをかいてみよう。

＜結果からわかること＞

＜まとめ＞

☆抵抗の大きさは、＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿。

☆電流の流れやすさ：＿＿＿＿＿＿　←＿＿＿＿＿＿＿＿

＜わかったこと・感想など＞

資料２　授業２で使用したワークシート

月　日（　）

２年生理科

［B］抵抗の接続

直列回路や並列回路の全体の抵抗の大きさを調べてみよう

２年　組　番

＜予想＞　同じ大きさの抵抗を２個つないだ回路では、全体の抵抗の大きさはどのようになるのだろうか。

○直列回路　　○並列回路

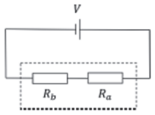
※デジタルテスターの使い方（教科書 P.185）

＜結果＞

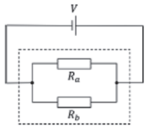
抵抗の数とつなぎ方	抵　抗
１個（Ra）	Ω
１個（Rb）	Ω
２個　直列回路	Ω
２個　並列回路	Ω

＜結果からわかること＞

○抵抗の直列つなぎ



○抵抗の並列つなぎ



☆全体の抵抗 R の公式

☆全体の抵抗 R の公式

＜練習問題・わかったこと・感想など＞

資料３　質問紙の内容

１　次の（１）から（３）までの質問を読んで最も適当なものを①から④までの中からそれぞれ１つずつ選んで○を付けなさい。 （１）電流と電圧は（①：比例する，②：反比例する，③：比例でも反比例でもないが関係がある，④：関係ない）。 （２）電流と抵抗は（①：比例する，②：反比例する，③：比例でも反比例でもないが関係がある，④：関係ない）。 （３）電圧と抵抗は（①：比例する，②：反比例する，③：比例でも反比例でもないが関係がある，④：関係ない）。
２　（電気）抵抗とは何か，説明しなさい。
３　抵抗の大きさが R_a と R_b の２個の抵抗を**直列**につないだ場合について次の（１）から（３）までの問いに答えなさい。 （１）全体の抵抗 R を表す式を R_a と R_b を用いて書きなさい。 （２）R_a は 20Ω，R_b は 30Ω であった。 　このとき，全体の抵抗を計算しなさい。 （３）（１）の式についてどれくらい納得できましたか。最もあてはまるもの１つを○でかこみなさい。 全然納得できなかった　　あまり納得できなかった　　やや納得した　　とても納得した （　　１　・　・　・　２　・　・　・　３　・　・　・　４　　）
４　抵抗の大きさが R_a と R_b の２個の抵抗を**並列**につないだ場合について次の（１）から（３）までの問いに答えなさい。 （１）全体の抵抗 R を表す式を R_a と R_b を用いて書きなさい。 （２）R_a は 20Ω，R_b は 30Ω であった。 　このとき，全体の抵抗を計算しなさい。 （３）（１）の式についてどれくらい納得できましたか。最もあてはまるもの１つを○でかこみなさい。 全然納得できなかった　　あまり納得できなかった　　やや納得した　　とても納得した （　　１　・　・　・　２　・　・　・　３　・　・　・　４　　）
５　授業についての感想を自由に書いてください。

Development and Practice of an Experimental Teaching Method That Promotes Visual Understanding of Combined Resistance by Visual Presentation of Electrical Resistance:
Utilization of CNP Resistors in the Lower Secondary School Science

Michiya Shintsuruta[1], Hirokazu Okubo[1] and Tsutomu Iwayama[2]
[1]Cooperative Doctoral Course in Subject Development in the Graduate School of Education, Aichi University of Education & Shizuoka University
[2]Faculty of Education, Aichi University of Education

ABSTRACT

We developed a teaching method of combined resistance using carbon-nanotube paper (CNP) resistors that promote a visual understanding of electrical resistance the unit of "Electric current and its application" in the lower secondary school science, which has been pointed out to be difficult for learners to understand. And verified its effect based on the results of practices. We confirmed that it is possible to carry out an experiment during class hours to visually understand the shape dependence of the length and width of the electrical resistance value from the brightness of the LED lighting, by utilizing CNP resistors and simple current checkers. In addition, in the lesson on combined resistance, we were able to develop a lesson to verify the hypothesis by conducting experiments using CNP resistors instead of cement resistors, which are commonly used experimental teaching materials. As a result of the questionnaire survey, the effectiveness of the developed teaching method was suggested in three points: (1) the answer to what the resistance is, (2) the degree of the consent with the formula of the series combined resistance, and (3) the description of the formula of the parallel combined resistance. This teaching method has been well received by learners and teachers, and further additional practice and detailed analysis of its effectiveness are expected in the future.

Keywords

Combined resistance, Visualization experiment, Teaching method, Carbon nanotube paper (CNP) resistor, Degree of consent