

平成20年改訂学習指導要領に対応した教員養成学部学生のための

小学校理科電気領域実験の授業設計

Teaching Design of the Experiments on Electricity in Elementary School Science Conformed to
“The Course of Study 2008” for the Students of Department of Education

原 稔, 水田 聖一

HARA Minoru and MIZUTA Seiichi

1. はじめに

平成20年3月に小学校および中学校の新学習指導要領が告示され、同年12月には高等学校学習指導要領改訂案が公表された。今回の改訂では、これまでの「ゆとり教育」の見直しが行われ、特に算数・数学及び理科では、各種国際学力調査における日本の児童・生徒の成績順位の低下傾向を改善すべく、授業時数の増加や上級校へ先送りされていた内容の復活が図られた。また、算数・数学及び理科に関して、今回の改訂で注目すべき点に「歯止め規定」の廃止がある。この歯止め規定は、各学年の「内容の取り扱い」部分で「～は扱わないこと」、「～程度にとどめること」、「～については触れないこと」というような表現により、授業内容が必要以上に高度にならないように制限を加えてきたものであり、従来は必ず記載されていた。この歯止め規定に関しては、制限が行き過ぎていて授業がやりにくいという意見が以前から多かったこともあり、平成15年の一部改正の際に「指導計画の作成と内容の取り扱い」部分に、「内容の範囲や程度等を示す事項は、すべての児童に対して指導するものとする内容の範囲や程度等を示したものであり、学校において特に必要がある場合には、この事項にかかわらず指導することができること」という文言が追加され、歯止め規定が緩和された経緯がある。今回の改訂においても、同様な文言が「小学校学習指導要領 第1章 総則」における「第2 内容等の取り扱いに関する共通的事項」の2に記載されている⁽¹⁾。すなわち、歯止め規定が廃止されても、子ども達の負担過重になるような過度に高度な内容を導入すべきでないことには変わりはなく、そのクラスで高度な内容に触れるべきか否かは学校や教員の判断に任せられているということであり、現場の責任がより重くなったと捉えるべきである。言い換えれば、教員はそれぞれの内容をより一層深く理解して、その判断をしなければならないということである。

この両科目は平成21年度から前倒しして実施することとしているので、教員養成学部では早

急に新学習指導要領に準拠した授業内容に変更する必要がある。そこで、本稿では小学校教員養成学部の理科実験授業の中で、特に電気分野実験の授業設計について詳しく検討した。

2. 小学校における理科実験支援と教員養成

小学校では原則としてクラス担任が全教科を担当するため、理科があまり得意ではない教員も理科を担当しなければならない。この状況は理科に限ったことではないが、理科の特徴である実験・観察の準備と後始末にはそれなりの知識とかなりの時間を要するため、実験・観察が億劫になる教員が少なくない。また、学校現場では実験指導のミスを必要以上に恐れる教員が増えているという指摘もあり、これが理科実験を敬遠する傾向を加速したり、子ども達に伝染したりすることが懸念される。これらの点を改善するために、理科が得意な学生や社会人が小学校で理科実験の準備などを手伝う理科支援員制度が2年前から始まり、全国的にその成果を挙げつつある。一方、理科が得意な教員は様々な経験の中で数えきれないほどの失敗もしているため、たとえ失敗しても何度かやり直せば成功するという自信があり、余裕を持って対処できる。さらに、実験書に記載されている器具・装置が手に入らない場合でも、ベテラン教員は他の器具や日用品で代用してしまう。使い方が決まりきっているような実験器具や日用品を、思いも寄らぬ用途に流用できるということは、その実験に必要な器具が備えているべき特性と特定の日用品の特性を結び付けられるということであり、これは実験屋として重要な資質である。このような能力は、必要な実験装置を購入する予算がないとか、授業直前に装置が故障して購入も修理も時間的に間に合わないとかの切羽詰まった状態の場数を踏むことによって培われると考えている。そのため、教員養成学部における理科実験授業では、このような場面を想定して、受講生が実験計画を立てたり、その計画に従って実際に実験したりすることは、きわめて有意義であると考えられる。また、本授業計画では、失敗しないための予備実験だけではなく、どのようにすると実験的な不具合が生じるかという失敗経験も積めるように配慮した。

3. 電気分野の実験テキストの作成

電気を使った製品は、日常生活においていたる所で活用されている。しかし、そのほとんどはブラックボックス化されていて、内部を開いてみても相当な専門知識がないかぎり理解は難しく、修理などとてもおぼつかない。そのためか、理科が得意で中学校・高等学校の理科教員を目指している大学生でさえも、電気は苦手という者の割合は5割超と思われるほどである。彼らの多くは、学校の理科の時間以外で回路部品に触れた経験はほとんどなく、この分野での体験不足は著しい。そのような学生には常々、安価な製品で十分であるから、直流・交流の電圧・電流と抵抗が測れるデジタルテスターを1台手に入れるように勧めている。高等学校までの理科で扱う電子回路部品は予想以上に安価であり、テスター1台で多様な実験を行うことができる。さらに、このような基本的な部品を使って、試行錯誤によってでも目的の回路を作製できれば、実感を伴っ

た理解ができると考えるからである。

新しい小学校学習指導要領の理科の電気分野では、第6学年A領域に発電、蓄電、発熱、身の回りの電気器具を扱う新単元「電気の利用」が導入された。この中の蓄電は中学校理科でもいまままで扱われたことがない内容であるため、多くの教員の関心事となり、最近ではその種の実験報告が多数見られるようになってきた⁽²⁾⁻⁽⁶⁾。この実験テキストでは、新しい内容についても「実感を伴った理解」ができるように、時間のかかるマンガン乾電池の放電特性をはじめとして、豆電球、発光ダイオード、モーターと手回し発電機、光電池、電磁石、電熱線、電気二重層コンデンサの充電・放電実験などを取り入れ、小学校の電気分野実験で使用するほとんど全ての実験器具の操作に習熟できるようにした。

3.1 マンガン乾電池の放電特性

乾電池の規格には単1形から単5形まであり、数字が大きくなるほど小型になり、取り出せる電気エネルギーは少なくなる。ここでは、代表的な電池であるマンガン乾電池を取り上げ、乾電池のつなぎ方を変えて放電するときの電流-時間曲線及び電圧-時間曲線を測定し、その特性について考察する。技術的には、基本的な簡易型検流計および電圧計の使用方法を再確認する。本実験では実験時間を短縮するために、容量の小さな単4形乾電池を使用する。この実験により、電池のつなぎ方による放電挙動の違い、特に通常の実験では分りにくい並列の長所を実感できる。

新指導要領で関連する部分には、第3学年の電気を通すつなぎ方と通さないつなぎ方及び電気を通す物と通さない物、第4学年の乾電池の数やつなぎ方、第6学年の発電・蓄電、電気は光、音、熱などに変えることができること及び電気を利用した道具などがある。

[実験器具]

単4形マンガン乾電池5個、単4形電池ボックス2個、1Ω(5W)セメント抵抗器1個、簡易検流計1個、電圧計1個、ストップウォッチ1個、ワニロクリップ・バナナクリップ付きメーター用導線(赤色・黒色)各2本、ワニロクリップ付き導線(赤色・黒色)各2本

[実験操作]

- (1) 単4形乾電池1本と1Ω抵抗器を用いて、図1の回路を作る。スイッチを入れた瞬間から1分間隔で電流と電圧を測定する。電圧が約0.2Vになるまで測定を続け、電圧-時間曲線及び電流-時間曲線を作成する。

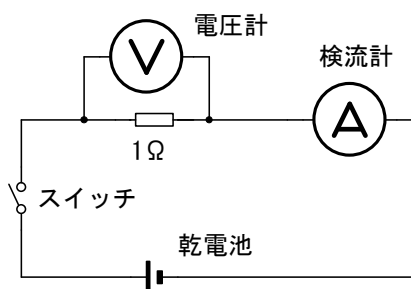


図1 乾電池の放電特性測定回路

- (2) 図1の電池の部分をも二本直列の単4形乾電池にして、操作(1)と同様の実験を行う。
- (3) 図1の電池の部分をも二本並列の単4形乾電池にして、操作(1)と同様の実験を行う。

[留意事項]

- (1) 電気回路では接触不良がトラブルの原因となりやすいので、以後の実験もワニ口・クリップまたはミノムシ・クリップ付き導線を使用する。クリップでの接続は、クリップと対象箇所がしっかり噛み合っていることを毎回確認する。乾電池ボックスどうしの接続も端子を接触させるだけではなく、必ずクリップ付き導線を使用して接続する習慣をつける。
- (2) クリップ付き導線は乾電池の正極側に赤色、負極側には黒色を使用して色分けをすると、回路の接続ミス防止に役立つ。これは回路が複雑になるほど効力を発揮する。ただし、色分けはしてもしなくても電気は同じように通るので、実験結果には影響しない。
- (3) 簡易型検流計は、スイッチまたは端子で電磁石用(または5A用)を選択する。電流値が小さくなっても端子は変更しない。一連の実験の途中でレンジ端子を切り替えると、検流計の内部抵抗が変化するため、指示値がずれてしまうことがある。
- (4) 図1のスイッチは、導線のクリップの接続・取り外しで代用できる。

3.2 豆電球

豆電球には1.5V用、2.5V用、3.8V用などの他にも多種の規格があり、目的により使い分けられている。ここでは1.5V用を使用して、乾電池のつなぎ方による豆電球の明るさの比較、それぞれの電流及び電流-電圧特性曲線の測定を行う。ここには、小学校では扱わない実験項目もあるが、本実験を通して、次のような基本的事項を確認し、将来の実験計画の作成や指導で役立てる。

- (1) 豆電球の構造、豆電球の規格の確認方法、乾電池のつなぎ方を変えた場合の豆電球の明るさを比較する方法などを確認する。
- (2) 豆電球の電流-電圧曲線は、現行の学習指導要領では高等学校「物理Ⅱ」で扱う内容であるが、重要な情報を含むため、ぜひ理解しておく。また、豆電球が点灯していれば、電流が流れていることは明白であるが、消灯していると電流は流れていないと勘違いしがちである。点灯していなくても、電流が流れている場合もあることをしっかり認識しておく。
- (3) 豆電球に過大電流が流れると、タングステン(元素記号W)製フィラメントが高熱のために焼き切れるが、規格の値を少しでも超えるとすぐに切れるわけではない。フィラメントは焼き切れると、小さな粒になってガラスの内壁に付着して、ガラスが黒っぽく見えることがある。また、切れるときの電圧は電球により若干のバラツキがある。

新指導要領で関連する部分には、第3学年の電気を通すつなぎ方と通さないつなぎ方、第4学年の乾電池の数やつなぎ方、第6学年の電気は、光、音、熱などに変えることができること及び電気を利用した道具などがある。

[実験器具]

単1形マンガン乾電池3個、単1用電池ボックス3個、1.5V用豆電球2個、2.5V用豆電球1個、3.8V用豆電球1個、豆電球ソケット2個、簡易検流計(または電流計)1個、電圧計1個、100V-300W電熱器用ニクロム線1本、虫眼鏡1個

[実験操作]

- (1) 乾電池、電池ボックス、豆電球、豆電球ソケット各1個とクリップ付き導線を使用して、豆電球を点灯させる。次に、簡易型検流計を豆電球に対して直列になるように接続し、豆電球に流れる電流を測定する。
- (2) 操作(1)の前半と同じ回路をもう1組作り、両方の豆電球の明るさを比較する。この豆電球に流れる電流を測定する。
- (3) 操作(2)で作製した回路に乾電池を1個追加し、直列つなぎにする。この回路の豆電球と操作(1)の豆電球の明るさを比較する。また、この豆電球に流れる電流を測定する。
- (4) 操作(3)の回路の乾電池を並列つなぎにした回路に変更し、この回路の豆電球と操作(1)の豆電球の明るさを比較する。また、この豆電球に流れる電流を測定する。
- (5) 直列にした2個の乾電池、ソケット付き1.5V豆電球1個、電熱線、簡易型検流計、電圧計を使用して図2の回路を組み立てる。図2において電熱線に接する矢印で示した接点の位置を変えることにより、豆電球の両端電圧を0.2Vから0.2V間隔で次第に高くして行き、それぞれの電圧での電流値を記録し、電流－電圧曲線を作成する。また、豆電球の点灯が確認できた電圧を記録しておく。時間的余裕があれば、2.5V、3.8V豆電球でも同様の実験を行う。
- (6) 1.5V豆電球を乾電池3個直列の電源に接続して観察する。豆電球が一瞬点灯した後、フィラメントが切れたら、その切れた豆電球を虫眼鏡で観察し、気付いたことを記録する。

[留意事項]

- (1) 豆電球の口金部分に表示されている電圧の規格を確認した後、実験を開始する。
- (2) 乾電池の消耗を最小限にするため、豆電球の明るさの比較やメーターの読み取りが終わったら、回路のクリップのどこか1カ所を外して回路を開いておく。
- (3) 簡易型検流計は、スイッチ切り替えまたは端子の選択により豆電球用(または500mA用)を使用する。電流計の場合は500mA端子を使用する。

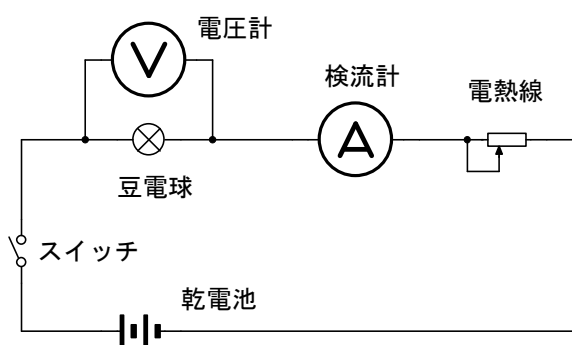


図2 豆電球の電流－電圧特性曲線測定回路

3.3 発光ダイオード

発光ダイオード(LED)は、交通信号機や家電製品の表示ランプとして日常生活でよく見かける。平成20年改定学習指導要領で初めて小学校理科で使用することになった。豆電球に比べて小さな電流で点灯させることができるが、ダイオードであるため、一方向にしか電流を流すこと

ができない。電流が流れるつなぎ方を順方向といい、その逆のつなぎ方を逆方向と呼ぶ。順方向では、ある電圧を超えると急激に大きな電流が流れるようになる。この過大電流による LED の破損を防ぐために、通常は点灯時の電流が 10~20mA になるように抵抗を直列に入れて使用する。この実験を通して、発光ダイオードには順方向・逆方向があること、豆電球よりずっと小さな電流で点灯すること、点灯してないときはほとんど電流が流れていないこと等を確認する。

新指導要領で関連する部分には、第 4 学年の乾電池の数やつなぎ方、第 6 学年の電気は、光、音、熱などに変えることができること及び電気を利用した道具などがある。

[実験器具]

単 1 形マンガン乾電池 2 個、単 1 電池ボックス 2 個、100Ω 抵抗付き発光ダイオード 1 個、抵抗なし発光ダイオード 1 個、簡易型検流計 1 個、電圧計 1 個、100V-300W、ワニロクリップ・バナナクリップ付き導線（赤色・黒色）各 2 本、電熱器用ニクロム線 1 本

[実験操作]

- (1) 100Ω 付き LED を乾電池 2 個直列の電源に接続する。ここで LED が点灯しなければ、乾電池の正極・負極を反対にして接続する。点灯した接続が LED の順方向である。
- (2) 乾電池、100Ω 付き発光ダイオード、300W 電熱線、クリップ付き導線を使用して、図 3 の回路を組み立てる。電熱線上の接点位置を調節して、LED の両端電圧を 0.0V から 0.2V 間隔で高くして行き、それぞれの電圧での電流値を記録し、電流－電圧曲線を方眼紙に作成する。なお、電流計のマイナス端子は 50mA 端子に差し込む。LED の点灯が確認できた電圧を記録しておく。次に、LED を逆方向に接続し、電圧を 0.0V から 0.5V 間隔で高くして行き、それぞれの電流値を記録し、上記方眼紙のグラフにプロットを追加する。
- (3) 操作 (2) の 100Ω 付き LED の代わりに抵抗なし LED を使用し、図 3 に類似の回路を組み立てる。操作 (2) で点灯が確認できた電圧から始めて、0.1V 間隔で電圧を高くして行く。それぞれの電流値を記録し、電流－電圧曲線を作成する。

[留意事項]

- (1) 実験における発光ダイオード点灯時の最大電流は、30mA 程度にとどめておく。

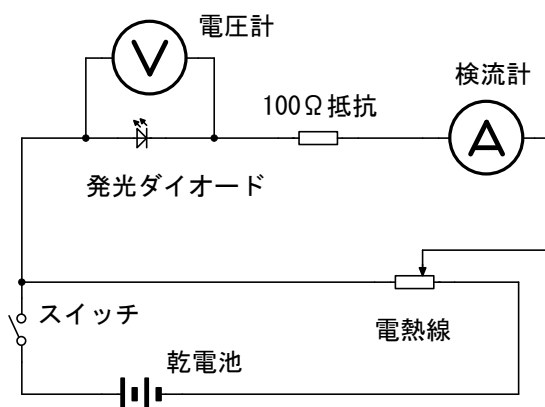


図 3 発光ダイオードの電流－電圧特性曲線測定回路

3.4 モーターと発電器

モーターや発電器は日常生活でも随所で目にすることができる。たとえば、扇風機、洗濯機、ミキサー、腕時計の針を動かすモーター、ハイテクの塊であるロボットの可動部、コンピュータの冷却ファン、電気自動車の動力部など枚挙にいとまがないが、直接目に触れるものは意外と少ない。発電器については、自転車のライト用が昔から馴染み深いものであるが、最近のものは車軸部分に収まっていて気付きにくいものもある。その他には、非常時用のライトやラジオの電源になる手回し発電器、ケイタイ充電用の手回し発電器などが代表的なものである。これらの原理に関しては、中学校及び高等学校で扱うので、小学校ではモーターを速く回すための因子や発電器には電気を起こす働きがあることなどを学ぶ。小学校理科での「ものづくり」の一環としてしばしば採用されているボタン型磁石を使ったモーターは、比較的容易に作製できるが、構造的に巧妙すぎて原理の習得にはあまり向いていない。この実験を通して、モーターと乾電池のつなぎ方の違いによる電流と回り方の関係、モーターが発電器になること、手回し発電器のハンドルの手応えと豆電球の明るさなどに密接な関係があることなどを確認する。

新指導要領で関連する部分には、第4学年の乾電池の数やつなぎ方、第6学年の発電・蓄電、電気の光、音、熱などへの変換及び電気を利用した道具などがある。

[実験器具]

模型用モーター2個、プロペラ（または画用紙片）2個、単1形乾電池3個、電池ボックス3個、簡易型検流計1個、風糸20cm、3.8V用豆電球1個、豆電球ソケット1個、100Ω抵抗付きLED1個、手回し発電器1個

[実験操作]

- (1) 乾電池1個をプロペラ付きモーターに接続し、回転の様子を観察する。次に、乾電池の向きを反対にして、ふたたび回転の様子を観察する。また、それぞれの場合のモーターに流れる電流を測定する。プロペラがなければ、代わりに画用紙片などを取り付けて確認する。
- (2) もう一つのプロペラ付きモーターに乾電池2個を直列にした電源を接続し、回転の様子を操作(1)のモーターと比較する。次に、乾電池2個を並列にして接続したモーターの回転を操作(1)のモーターと比較する。それぞれの場合のモーターに流れる電流を測定する。
- (3) モーターと豆電球の導線を互いにつないで回路を作り、モーターの回転軸に水で湿らせた風糸を幾重にも巻き付けた後、風糸を一気に引っ張ってモーターを回転させる。このとき、豆電球にはどのような変化が見られるか。豆電球の代わりに抵抗付きLEDを接続し、同様にモーターを回転させると、LEDはどうなるか。変化が見られない時には、同様な方法でモーターを逆回転させてみる。
- (4) 手回し発電器の導線と豆電球の導線を互いにつないで回路を作り、発電器のハンドルを回す速度を変えると豆電球はどのようになるか。次に、発電器と豆電球との接続を外してハンドルを回転させると、豆電球が接続されていたときと比較して、手応えに差はあるか。

[留意事項]

- (1) 手回し発電器を利用して豆電球を点灯させる場合、ハンドルはゆっくりと回しはじめ、豆電球に過大電流が流れてフィラメントが切れないように、様子を見ながらハンドルを回す。

3.5 光電池

光電池は太陽電池とも呼ばれ、光エネルギーを電気エネルギーに変換することができる。光が当たっているときは電気をつくり出すことができるが、乾電池のように電気を貯めておくことはできない。また、光電池の直列・並列の性質は乾電池の場合と大きく異なるので、子ども達の混乱を避けるために小学校では扱わない方がよい。したがって、小学校での実験では光電池は1枚だけ使うのが普通である。ただし、この実験では敢えて光電池の直列・並列も扱い、乾電池の場合といかに異なるかを確認する。この実験を通して、光電池に当てる光の強さや角度と回路の電流との関係、光の強さ一定下で2個の光電池を直列または並列にしたときに豆電球に流れる電流と両端電圧などを確認する。実験条件を設定する際に用いた光電池の規格は、太陽光入射エネルギーが $100\text{mW}/\text{cm}^2$ のときの開放電圧 1.7V 、短絡電流 450mA のものである。他の規格の光電池を使用する際には、必要に応じて実験条件を適宜変更する。

新指導要領で関連する部分には、第4学年の光電池、第6学年の発電・蓄電、電気は、光、音、熱などに変えることができること、電気を利用した道具などがある。

[実験器具]

同一規格の教材用光電池2個、簡易型検流計1個、電圧計1個、豆電球（ 1.5V 、 2.5V 、 3.8V ）各1個、豆電球ソケット1個、鉄製スタンド1台、クランプ1個、自在挟み1個、 100V 用 100W 白熱電球1個、 100W 電球用ソケット付きコードとプラグ

[実験操作]

- (1) 光電池は実験台上に水平に置き、光源の 100W 白熱電球は、光電池の真上 20cm の位置にスタンドで固定する。光電池1個と豆電球1個の回路で、豆電球の両端電圧と電流を測定する。次に、光電池を約 45° に傾けたとき及び裏返しにしたときの電流と電圧を測定する。この操作を、 1.5V 、 2.5V 、 3.8V 用の3種類の豆電球で、順次行う。
- (2) 光電池と 100W 白熱電球の距離を 10cm にして、操作(1)と同様の実験を行う。
- (3) 光電池2個を直列にして操作(1)及び操作(2)の実験を行う。
- (4) 光電池2個を並列にして操作(1)及び操作(2)の実験を行う。

[留意事項]

- (1) 実験中は、光電池及び白熱電球の位置がずれないように気をつける。

3.6 電磁石

全く別の現象と考えられていた電気と磁気が、19世紀初頭の様々な研究によって、互いに密接な関係にあることが分かってきた。この実験を通して、電磁石にもN極とS極があること、電磁石の磁力を大きくする因子などを確認する。なお、磁力の大きさがコイルの直径には影響されないことは、現行学習指導要領では高等学校の「物理Ⅱ」で学習する内容である。

新指導要領で関連する部分には、第3学年の磁石の極の性質、第5学年のコイルと磁化、電磁石の極と電流の向き及び電磁石の強さが電流の強さや導線の巻数によって変わること、第6学年の電気は、光、音、熱などに変えることができること及び電気を利用した道具などがある。

[実験器具]

単1形乾電池2個（または直流電源装置）、乾電池ボックス2個、鉄製釘、エナメル線、簡易型

検流計 1 個、方位磁針 1 個、鉄製ゼムクリップ 20～30 個

[実験操作]

- (1) 釘をポリエチレン管または管状に巻いた紙で覆い、それにエナメル線を密に巻いて、エナメル線 100 回巻きと 200 回巻きの 2 種類の電磁石を作る。両方のエナメル線の長さは同一とし、100 回巻きの方は余分なエナメル線を束ねて、邪魔にならないようにしておく。
- (2) 200 回巻き電磁石に 1 個の乾電池をつなぎ、電磁石の釘の傘の部分方位磁針に近づけると方位磁針はどうなるか。次に、釘の尖った部分を方位磁針に近づけるとどうなるか。さらに、乾電池の向きを逆にして同様な操作を行う。
- (3) 100 回巻き電磁石、200 回巻き電磁石に乾電池 1 個をつないだときに流れる電流及び電磁石コイルの両端電圧を測定し、それぞれの電磁石に付くゼムクリップの数を数える。次に、100 回巻き電磁石と束ねたエナメル線との被覆の一部をはがし、そこに乾電池を接続して電磁石とし、流れる電流を測定し、釘に着くクリップの数を数える。さらに、乾電池 2 個を直列にした電源を使用して同様な操作を行う。

[留意事項]

- (1) エナメル線の乾電池につなぐ部分は、紙ヤスリ等で被覆をはがしておく。
- (2) 電磁石には大きな電流が流れるため、電流を流し続けると熱くなるので、長時間流し続けないように気をつける。

3.7 電熱線

電熱線を使用した電気器具には、電熱器、アイロン、ヘヤードライヤー、電気ストーブ、洗濯物乾燥機、電気ポットなど身近に多くのものがある。実験では、電熱線の長さが一定の場合には、電熱線の太さにより発熱に規則性があることを確認する。この際、抵抗が小さい電熱線ほど大きな電流が流れて、乾電池の場合には電圧がより低くなる。そのため、乾電池を電源にすると、太さの異なる電熱線の両端電圧を一定に保つのは難しい。電熱線の発熱実験では電源装置の利用が推奨されるのはこの理由による。なお、発熱の程度を比較する方法として、中学校理科で行う水温上昇の比較、4年生の熱の伝わり方で利用するロウの融け具合の比較をはじめ、発泡スチロールの融け具合、サーモテープの変色などで比較する方法が考えられるが、ここではもっとも単純な紙の焦げ具合で比較する。予備実験では、300W、600W、1800W の電熱器用電熱線を使用した。

新指導要領で関連する部分には、第 6 学年の電気の光、音、熱などへの変換、電熱線の発熱はその太さによって変わること、電気を利用した道具などがある。

[実験器具]

電熱線（直径 1.0 mm、0.7 mm、0.4 mm の 3 種のニクロム線、長さ各 10 cm）、直流電源装置（最大電流 5 A）、単 1 形アルカリ乾電池 2 個、電池ボックス 2 個、簡易型検流計、電圧計、ろ紙片、ストップウォッチ 1 個

[実験操作]

- (1) 3 種の電熱線は、一端から 5.0cm、7.5cm の位置が分かるように、ペンチなどで少し曲げておく。まず、細い電熱線の両端を電源装置の出力端子に接続し、電源を入れて電圧を 1.50V に設定する。このとき、電熱線に流れる電流を測定する。また、電熱線中央部に山折りにし

- たる紙小片を載せて 30 秒間電流を流し、ろ紙の焦げ具合を観察する。次に、電熱線を 7.5cm 及び 5.0cm にして同様な実験を行う。3 種の電熱線について、順次この操作を行う。
- (2) 乾電池 2 個を並列にした電源を用いて、操作 (1) の実験を行う。この場合は、電熱線を挟んでいる 2 個のクリップ間の電圧も測定する。

[留意事項]

- (1) 電熱線は、クリップコードのワニ口にしっかり挟んで接続する。また、実験台などを焦がさないようにするため、素焼き板、地学で使う条痕板、不要な皿の上などで行うとよい。
- (2) 電熱線は赤熱状態ではなくても火傷の危険性があるので、不用意に素手で触れないように気をつける。また、ワニ口・クリップも高温になるので、火傷に注意する。

3.8 コンデンサの充電・放電

電気を蓄えること（蓄電）は、電動おもちゃ、携帯電話機、デジタルカメラなどの電源として使われている充電式電池への充電が馴染み深いことがらである。蓄電のもう一つの道具には、コンデンサあるいは蓄電器と呼ばれるものがあり、ラジオなどの通信機器では昔からよく使われている回路部品である。コンデンサは英語では capacitor と呼ばれるため、最近では日本でもキャパシタという文字を見かけるようになってきた。コンデンサは現在も家電製品などに沢山使われているが、充電式電池のように目に見える場所に使われることはほとんどなく、一般にはあまり馴染みがない。ともに充電・放電を繰り返すことができるが、充電式電池とコンデンサとで大きく異なる点は、充電式電池では充電・放電の際に電極での電子授受すなわち電極反応が起こるのに対し、コンデンサでは電極反応は関与せず、単に静電的に電荷が貯まるだけである。そのため、充電式電池では専用の充電器を使って、電極を痛めないようにする必要があるので、コンデンサでは極性と耐電圧を守っていれば、使用上の制約はあまりない。また、放電に関しては、充電式電池の電圧が放電中もある程度一定に保たれ、放電が限度を超えると電圧が急激に下がり始めるのに対し、コンデンサでは放電した電気量に比例して電圧が下がり続けるという違いがある。

小学校理科で蓄電が扱われるのは、平成 20 年改定の学習指導要領が初めてである。平成 10 年改定の現行学習指導要領では、高等学校の化学 I で鉛蓄電池、物理 II でコンデンサが登場し、小学校及び中学校の理科では蓄電は全く扱われていない。今回の改定でコンデンサが小学校理科に導入されるとはいつても、当然ながら理論的な扱いをするわけではなく、単に電気を貯める道具として使用するだけである。この背景には、充電が日常生活で普通に行われるようになったこと、電気二重層コンデンサの製造技術が進歩して、小型で大容量のコンデンサが安価に入手できるようになったことなどが挙げられる。ちなみに、この電気二重層コンデンサと充放電を制御する電子回路とを組み合わせたシステムは、近未来の電気自動車の電源として脚光を浴びており、すでにトラックやバスの試作車が完成している⁽⁷⁾。

新指導要領で関連する部分には、第 6 学年の発電・蓄電及び電気を利用した道具などがある。

[実験器具]

電気二重層コンデンサ (10F、耐電圧 2.5V) 2 個、抵抗 (5Ω、5W) 1 個、豆電球 (2.5V) 1 個、豆電球ソケット 1 個、発光ダイオード 1 個、電圧計、電流計 1 個、手回し発電機 1 個、単 1 形乾電池 2 個、乾電池ボックス 2 個、ストップウォッチ 1 個、整流用シリコンダイオード (1A) 1 個

[実験操作]

- (1) 1個の乾電池と1個のコンデンサで回路を作る。この際、電気二重層コンデンサには極性があることに注意する。すなわち、電池の負極はコンデンサのマイナス記号がついた側の端子につなぎ、正極はもう一方の端子につなぐ。次に、コンデンサを乾電池から外し、1.5V用豆電球につないで、変化を観察する。この一連の操作を2回繰り返す。
- (2) 手回し発電機と簡易型検流計とで回路を作り、手回し発電機をゆっくり右回ししたときの検流計の触れ方向から、どちらの端子が負極かを確認する。次に、手回し発電機とコンデンサで回路を作る。このとき、手回し発電機の負極をコンデンサのマイナス端子に接続する。さらに、コンデンサの両端に電圧計を接続する。この際、極性を間違えないように注意する。次に、手回し発電機を右回しで回し始め、電圧計が1.5Vになったところで発電機のハンドルから手を離す。このとき何が起こるか観察する。
- (3) 操作(2)の回路で、発電機の正極とコンデンサのプラス端子の間に整流用ダイオードを挿入し、回路の電流が発電機の正極からコンデンサのプラス端子の方向にだけ流れるようにする。このとき、操作(2)と同様の操作を行うとどうなるか。
- (4) 図4の回路を組み立て、スイッチの切り替えはクリップのつなぎ替えて代用する。実験開始までは、クリップは放電側にしておく。クリップを充電側に切り替える瞬間から、10秒ごとに3分間の電圧変化を記録する。次に、放電側に切り替えて同様に10秒ごとに3分間の電圧変化を記録し、充電及び放電における電圧-時間曲線を作成する。

[留意事項]

- (1) コンデンサの実験を行う際には、事前に両端子を短絡し、蓄電量をゼロにしておく。
- (2) 整流用ダイオードは、銀色帯マークの方向に向かって電流が流れる(順方向)。
- (3) 電気二重層コンデンサにはプラス端子とマイナス端子の区別があり、これを極性のあるコンデンサという。専門書には、「両極が同じ分極性電極ならば、できあがったキャパシタは無極性、つまりどちらの端子をプラスにして充電してもよいはずだ。しかし、実物のキャパシタでは、製造後の最初の充電のときに活性炭の細孔の内部にイオンが充填され、邪魔な微量の不純物の分解もその時の極性で行われていることもあり、実物を使う際には極性の指定を守る方が劣化が少ない。」という記述がある⁽⁷⁾。たとえ極性を間違えても、アルミ電解コンデンサやタンタル電解コンデンサほど重大なダメージはなさそうである。

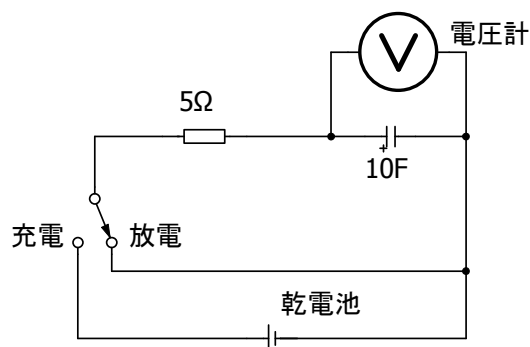


図4 コンデンサの充電・放電実験回路

4. おわりに

小学校教員免許に係わる理科実験授業科目に関し、平成20年改訂の新学習指導要領に対応する授業計画を立て、実験テキストを作成した。それぞれの実験操作については予備実験によって実験条件を設定したが、使用器具や電子回路部品のメーカー・規格の違いにより、実験条件は多少変更する必要があるかもしれない。また、実際の授業における学生実験でどのようなトラブルが起こるかについては全くの未知であるので、学部の授業、教員免許状更新講習、理科支援員講習などで本テキストを使用し、問題が発生すれば修正を加えて行きたい。この授業計画が進むにつれて、あれも必要これも大切と次第に分量が増えてしまい、この内容をすべて行うにはかなりの時間が必要になってしまった。電気分野だけにそれほど多くの時間を割けない場合には、それぞれの受講生が最も不得意とする事項から始めることができる。

本稿の実験テキストに含まれるやや高度な実験内容は、小学校の授業で扱うための高度な内容の例示ではなく、子ども達の実感を伴った理解を願う教員志望の学生が、徹底して基本的事項の理解に努め、柔軟な応用力を身に付けてくれることを願って導入したものである。

参考文献

- (1) 文部科学省、小学校学習指導要領解説—理科編一、(2008)、(大日本図書)、p.77
- (2) 榎内典明、もののしくみが見えるようになる教材—発光ダイオード・電気二重層コンデンサ・手回し発電機—、理科の教育、(No.6) (2005) 370-373
- (3) 谷岡義高、6年生新単元「電気をつくって使ってみよう」—発電・蓄電・発熱の学習指導の一案—、理科の教育、(No.5) (2008) 349-352
- (4) 塚田昭一、第6学年「電気の利用」の新教材と展開、理科の教育、(No.9) (2008) 594-596
- (5) 猪狩英究、新単元「電気の利用」の実践を通して、理科の教育、(No.9) (2008) 600-603
- (6) 佐々木昭弘、新教材「電気二重層コンデンサ」で蓄電実験、楽しい理科授業、(No.5) (2008)60-61
- (7) 岡村迪夫、電気二重層キャパシタと蓄電システム—第3版—、(2005)、(日刊工業新聞社)、p.35