

小学校理科の電熱線実験に適した電源

Electrical Sources Suitable for Elementary Science Experiments on Heat Wires

原 稔 長越友紀* 八倉巻千尋**

HARA Minoru, NAGAKOSHI Yuki and YAGURAMAKI Chihiro

平成 20 年の学習指導要領の改訂に伴い、小学校理科に復活した電熱線実験に注目し、その電源について検討した。電熱線実験には強い電流が必要であり、電池を使用した場合にはその急激な消耗が問題になる。小学校の理科教科書 6 種について電熱線の教科書実験を試したところ、新品の電池を使用しても、電池の消耗によって短時間のうちに電圧が低下し、実験に支障をきたす場合があった。ニッケル水素電池の放電曲線は、電圧がほぼ一定の状態が長く続き、電熱線実験に適しているが、非常に高価である。他の電池でも数個を並列つなぎにすると、消耗による電圧低下は抑制された。一方、最近普及してきた小学校用電源装置では、比較的強い電流でも電圧は低下しないが、まだ高価である。安価な電源としてスイッチング型 AC アダプターを検討したところ、すぐれた出力安定性を有し、小学校理科の実験用電源として有用であることが明らかになった。

キーワード：小学校理科実験、電熱線、電池、電源装置、安価な安定化電源

1. はじめに

小学校の理科実験に使用する電源といえば、数年前まではほとんど乾電池と光電池だけであった。当時でも、中学校で使用するような電源装置の写真が掲載されていた教科書はあったが、乾電池の代わりに使えるという説明があった程度である。ところが、平成 20 年の小学校学習指導要領の改訂に伴い、理科では第 6 学年に「電気の利用」という新しい電気領域が導入され、日常生活の中で子ども達が目にする新しい器具や材料も学習対象になってきた。教科書実験で使用される電源には、乾電池、光電池、充電式電池、電源装置、手回し発電機、充電済み大容量蓄電器などがあり、指導者はそれぞれの特徴をふまえて実験の計画を立てていく必要がある。これらの中で乾電池は今も昔も最も手軽に利用でき、電圧が安定しているすぐれた電源として多くの単元で使用されている。しかし、電磁石や電熱線の実験では回路に比較的強い電流が流れるため、マンガン乾電池を使用する場合には電池の消耗が激しく、電池の電圧が急激に低下するおそれがある。小学校理科では電圧概念は学習しないので、実験には電圧計を使えないため、電圧低下に気付かずに電池を使用していると、実験結果に不具合を来たす可能性がある。そこで、本研究では、現在使用されている小学校理科教科書 6 種に掲載されている電熱線実験を追試し、主として電源に関係する問題点を調べ、電熱線実験に適した電源について検討することにした。

* わかくさ福祉会、 ** 立山町立日中上野小学校

2. 実験

2.1 装置・器具

デジタルマルチメーター： 電池の放電曲線の測定には長時間を要するため、YOKOGAWA 製 TY530 型デジタルマルチメーターを使用して自動測定を行った。パソコンへのデータ転送には、同社製 92015 型 DMM 用通信パッケージを利用した。その他の電圧や電流の測定には、三和電気計器製デジタルマルチメーター PC5000a 型を使用した。

電源装置： 市販電源装置として、NaRiKa 製電源装置 PSW-009V 型を使用した。

乾電池： 東芝製単 1 形マンガン乾電池 King Power CREEK、Panasonic 製単 1 形アルカリ乾電池 LR20(XJ) を使用し、それぞれの一連の実験には、未使用の新しい乾電池を使用した。

充電式電池： 三洋電機製充電式ニッケル水素電池 eneloop の単 1 形を使用した。充電には同社製 eneloop 充電器 NC-TGU01 型を使用した。

DC-DC コンバーター： COSEL 製超小型オンボードタイプ DC-DC コンバーター SFS15241R5B 型に、秋月電子通商製スイッチング型 AC アダプター GF18-US24075T 型 (24V-0.75A) を接続して使用した。

5A 出力安定化電源キット： 秋月電子通商製 LM338T 使用大容量出力可変安定化電源キット (最大 5A) を組み立て、秋月電子通商製スイッチング型 AC アダプター GF18-US0628T 型 (6V-2.8A) を接続した。

スイッチング電源キット： スイッチング電源用 IC である SI-8008HFE を使用した秋月電子通商製 0.8V-5.6V 可変出力スイッチング電源キット (最大出力 5.5A) を組み立て、秋月電子通商製スイッチング型 AC アダプター GF18-US0628T 型 (6V-2.8A) を接続した。

3V 型 AC アダプター： 秋月電子通商製スイッチング型 AC アダプター NP12-US0320 型 (3V-2.0A) を使用した。

電熱線： 電熱線には NaRiKa 製直径 0.2mm ニクロム線 (35 Ω /m) および直径 0.4mm ニクロム線 (8.6 Ω /m) を使用した。



図 1. 実験に使用した電源

- 1: 市販電源装置
- 2: DC-DC コンバーター
- 3: 5A 出力安定化電源キット
- 4: スイッチング電源キット
- 5: 3V-2.0A 型 AC アダプター

写真のものさしの長さは 20cm、マッチ棒は 5cm である。

2.2 実験方法

本研究で使用する回路には比較的強い電流が流れるので、配線は太めのビニル被覆銅線を使用し、なるべく短くした。また、ワニグチクリップ等による接続はできるだけ避けて、ハンダ付けを利用した。ハンダ付けが効かないニクロム線は、圧着端子を利用して導線と接続した。

乾電池の放電曲線の測定のように長時間を要する場合には、デジタルマルチメーターの自動測定機能を利用し、1 分間隔で電圧を測定した。測定終了後にデータをパソコンに転送し、Excel ファイルとしてデータ処理を行った。

3. 結果および考察

3.1 現行教科書における電熱線実験

平成20年の学習指導要領の改訂に伴い、小学校理科第6学年に復活した電熱線についての内容は、次のように記載されている¹⁾。

・電熱線の発熱は、その太さによって変わることを。

また、『小学校学習指導要領解説 理科編』には、「電熱線に電流を流すと発熱するが、電熱線の長さを一定にして、電熱線の太さを変えると発熱する程度が変わることをとらえるようにする。」と記載されている。これらのことから、電熱線の発熱に関係する3つの因子、電熱線の太さ、長さ、電源電圧のうち、電熱線太さ以外の条件を一定にして実験することが求められていることが分かる。

学習指導要領データベースを使い、小学校理科における過去の電熱線に関する項目を調べたところ²⁾、平成元年版学習指導要領の第6学年では、「電熱線に電流を流すと発熱し、電流の強さによって発熱の仕方が違うこと。」とあり、その「内容の取扱い」には、「電熱線の太さや長さの違いによる発熱の違いは取り上げないものとする。」と記載されている。さらに平成元年版『小学校指導書理科編』には、「同じ長さ、太さの電熱線を使って、電流の強さを変え、電流を流すと発熱の仕方が変わる。電流の強さは、乾電池を直列つなぎにしたり、電源装置を使ったりして変えるようにする。発熱の仕方は、紙のこげ方、ロウのとけ方、水の温まり方などを工夫して調べる。」と記載されている³⁾。このように、平成元年版では、発熱の仕方に影響を与える電熱線の太さ、長さ、電源電圧のうち、太さ及び長さは一定にして、電源の電圧すなわち電流の強さを変えた時の発熱の仕方に注目させていたことが分かる。さらに遡った昭和43年版学習指導要領第5学年では、電流による発熱の仕方の理解という項目に、「ア 同じ質の電熱線では、太さ、長さが変わると電流の量も変わる。イ 同じ電熱線では、電流の量が多いほど多く発熱すること。ウ 発熱した電熱線の色や明るさは、電熱線の温度によって変わることを。」とあり、その「内容の取扱い」には、「(4) 電流の量は、電熱線の太さ・長さのほかに電池の数の条件も含めて、発展的に取り扱うものとする。」とあることから²⁾、かなり高度な内容が要求されていたことが分かる。

現在、小学校で使用されている理科教科書6種における電熱線に関する実験条件について調べ、結果を表1に示した。電源については、乾電池、充電式電池、電源装置が使用されていた。乾電池は単3形、単1形が1個または2個直列で使用されていた。電源装置に関しては、最近ポピュラーになってきた、小学生にも容易に操作できるタイプが使用されていた。電熱線は、直径が0.2mm および0.4mm のニクロム線が主に使用され、長さは電源電圧が3Vのときは10cm、1.5Vのときは5cmの場合が多かった。発熱の程度を比較する方法としては、ロウソクや発泡ポリスチレンを融かし切る速度を比べる方法が多く採用され、その他には中学校理科で採用されている水温上昇速度を調べる方法や液晶温度計を利用する方法が利用されていた。平成元年版『小学校指導書理科編』に記載されていた紙のこげ方を比較する方法は、どの教科書にも採用されていなかった。図2には、B社の発泡ポリスチレンの切断速度を調べる方法の実験装置を示す。

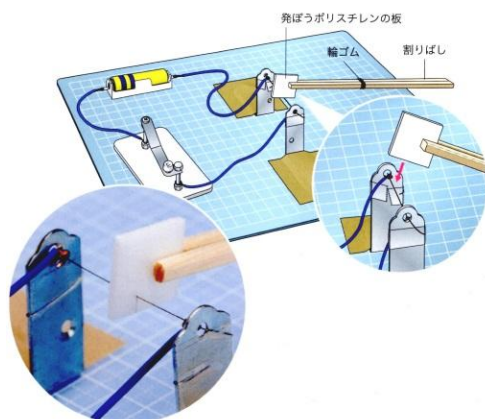


図2. 発泡ポリスチレンが電熱線の発熱によって切断されるまでの時間を調べる実験装置 (B社の教科書より引用)

表1. 電熱線に関する教科書実験の条件一覧

教科書	電源	電熱線	発熱程度の比較方法
A社	乾電池 単3, 2個 (または充電式電池)	太さ 0.2mm, 0.4mm 長さ 10cm	ミツロウ粘土の切断速度 (またはデジタル温度計)
B社	充電式電池 単3, 1個 (または乾電池)	太さ 0.2mm, 0.3mm 長さ 5cm	発泡ポリスチレンの 切断速度
C社	乾電池など 単1, 1個	太さ 0.2mm, 0.4mm 長さ 指定なし	ろうソクの切断速度
D社	電源装置 3V (乾電池2個分)	太さ 0.2mm, 0.4mm 長さ 10cm	発泡ポリスチレンの 切断速度
E社	電源装置 電圧指定なし	太さ 細い, 太い 長さ 指定なし	水温の上昇速度
F社	乾電池など 単3, 2個	太さ 0.2mm, 0.4mm 長さ 25cm	液晶温度計

3.2 発熱の程度を調べる方法の比較

電熱線の熱によりろうソクを融かして切断する方法では、ろうソクを輪切りにして、その側面に作った溝から電熱線を通して試したところ、発熱によってろうソクは簡単に切ることができた。しかし、同じ大きさのろうソク小片をたくさん作るのは困難であった。その点、発泡ポリスチレンの場合には同じ大きさの小片を作るのは容易であり、図2に示したB社の教科書に記載されている方法は、結果の再現性にも優れていた。ただし、電熱線が太くなるほど切断のために融かす発泡ポリスチレンの体積が多くなり、同程度の発熱の場合には太い電熱線の方が切断に時間がかかるという指摘がある⁴⁾。切断時間を短縮するには、割り箸に錘を付ける方法も有効である。

電熱線を一定体積の水の中に入れてたまま電流を一定時間流し、通電前後の水温の差を求める方法は、中学校理科に採用されている方法であり、発熱量の少しの差でも検出できる方法である。もちろん、中学校理科の場合とは異なり、電力や電力量の計算は不要であり、単に温度差の大小を比較するだけであるが、小学生にはやや難しい操作である。太さが0.2mmと0.4mmのニクロム線の長さを10cmとし、電源電圧を3.0Vとして体積60cm³の水を5分間加熱した場合の水温上昇は3.1℃と9.5℃であった。

液晶温度計を使用する場合には、教科書の手順に従えば約25cmずつと長めの電熱線が必要であるため、電流は比較的弱く、電池の消耗もそれほど大きくはなかった。電源装置の出力電圧を3.0Vとして、太さ0.2mmと0.4mmの電熱線を使用すると、実験前後の温度差はそれぞれ6℃と18℃であった。

以上の検討により、発泡ポリスチレンの切断速度の比較、水温の上昇速度の比較、液晶温度計の利用は、実験の再現性に優れた方法であることが明らかになった。平成元年版『小学校学習指導要領解説 理科編』にあった紙の焦げ方を比較する方法は、現在の教科書には使われていなかったが、ろ紙などの小片を使用するだけで、発熱の程度を直感的に比較できる手軽な方法である。

3.3 電池に関する検討

乾電池を使って教科書実験を行う際の電池の消耗程度を知るために、実験前後の電池の電圧を調べ、結果を表2に示した。電池の種類と個数はそれぞれ単3形アルカリ電池の2個直列、単3形アルカリ電池1個、単1形マンガン電池1個であり、括弧内の電圧は新品電池の実験開始前の電圧である。表の右端の電源出力電圧は、該当する電熱線につないで発熱の程度を比較する実験

を3回ずつ繰り返した際の実験開始直後と実験終了直前に測定した電池の電圧を示す。この結果から、このような電池の使い方では、実験開始直後から電圧が急激に低下し、実験中も電圧が低下し続けていることが分かる。電圧低下の程度は、より強い電流が流れる 0.4mm 電熱線で顕著であった。

表2. 教科書実験における電池の消耗の様子

教科書 出版社	電池の種類・個数	電熱線 太さ, 長さ	電源出力電圧	
			通電開始直後	通電終了直前
A 社	アルカリ電池 単 3×2 (3.15V)	0.2mm, 10cm	2.82 V	2.62 V
		0.4mm, 10cm	2.17 V	1.95 V
B 社	アルカリ電池 単 3×1 (1.57V)	0.2mm, 5cm	1.38 V	1.30 V
		0.4mm, 5cm	1.10 V	0.97 V
C 社	マンガン電池 単 1×1 (1.60V)	0.2mm, 5cm	1.45 V	1.35 V
		0.4mm, 5cm	1.11 V	1.00 V

電熱線の発熱に及ぼす太さの影響を調べるためには、電熱線の長さや電源の電圧を一定にしなければならないので、以下では電池の電圧低下をいかに抑制するかについて検討した。まず、それぞれ新品の電池を使用して、太さ 0.4mm、長さ 5cm の電熱線をつないだときの電池電圧の経時変化、すなわち放電曲線を測定し、電池の種類による放電特性の違いを調べた。図3には単1形マンガン電池1個の放電曲線を示す。放電開始直後から電圧が急激に低下して、電圧低下がほぼ直線的に起こっているため、この条件は電熱線実験の電源に適していないことが分かる。

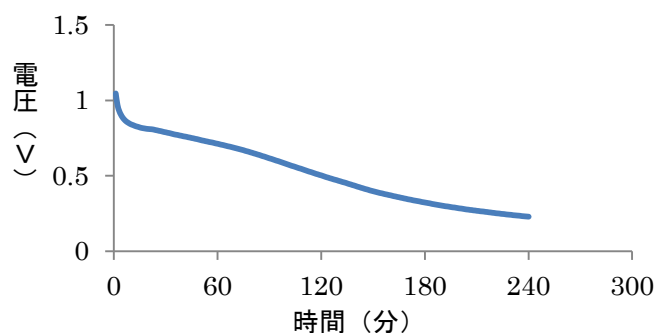


図3. 単1形マンガン電池の放電曲線

電熱線: 直径 0.4mm、長さ 5cm

次に単1形アルカリ電池1個について検討し、結果を図4に示す。マンガン電池の場合に比べて、ゆっくりと電圧が低下し、2時間ほど経過すると、電圧が急激に低下することが分かった。

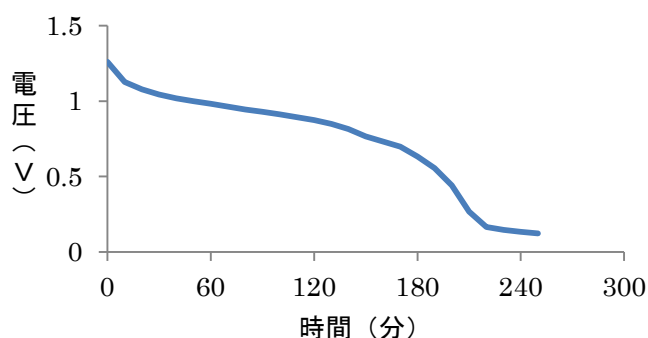


図4. 単1形アルカリ電池の放電曲線

電熱線: 直径 0.4mm、長さ 5cm

次に充電式電池の放電曲線を測定し、図5には単1形ニッケル水素電池1個の放電曲線を示す。この場合は、実験開始直後から2時間程度は電圧がほぼ一定であり、電熱線実験の電源として適していることが分かる。充電式電池は充電-放電を繰り返して何回も使えるので、環境教育の面からも推奨される電源である。充電-放電を何回繰り返せるかは試していないが、メーカーのカタログには約1500回繰り返して使うことができると記載されている。短所としては、電圧が低下したときに、かなりの時間をかけて充電する必要があること、さらに最も大きな問題点は現時点でマンガン電池の約17倍もするという価格である。

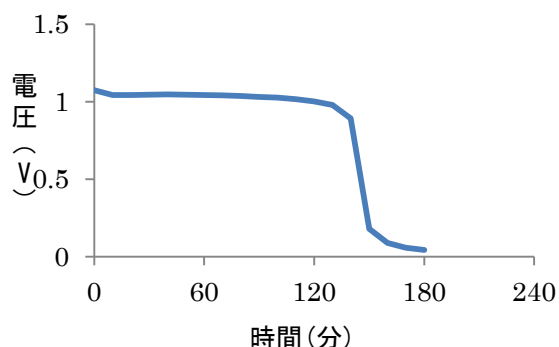


図5. 単1形ニッケル水素電池の放電曲線

電熱線：直径0.4mm、長さ5cm

ここまでは、乾電池に電熱線をつないだままで、数時間連続して放電する際の放電曲線を測定してきたが、実際に小学校で実験をするときには、電池は数十分間使用してはまた次回に実験をするような使い方をするはずである。そこで、1日に一定時間放電しては回路を開いて、翌日また一定時間放電することを繰り返したときの放電曲線を測定し、電池機能が回復する効果について検討した。その結果を図6に示す。1日に放電する時間は、小学校の授業時間45分を最長に、30分、15分、10分で検討した。図6の連続放電曲線は120分ほど経過すると電圧の低下速度が増してくるが、間欠的使用法では1日45分放電しても合計220分まではそれほど急激な電圧低下は起こらないことが分かった。ただし、徐々に電圧が低下していることに変わりはないので、異なる実験日のデータどうしを直接比較することは避け、その授業時間内でのデータの比較にとどめておくべきである。また、図6ではどの場合も翌日の放電開始時の電圧はかなり回復しているが、放電を再開した直後には電圧が急激に低下して、以後はゆっくり低下する。そのため、電圧が回復したと単純に理解しないで、使用する電熱線に10分間ほどつないでからの電圧値で電池残量を確認するべきである。

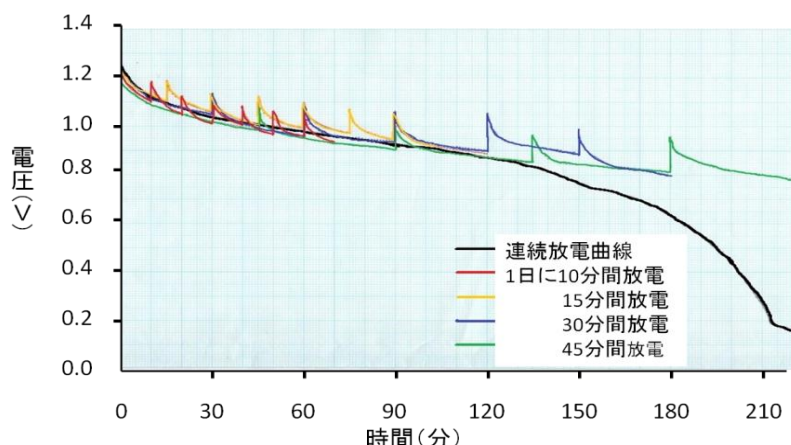


図6. 単1形アルカリ電池の間欠的使用における放電曲線

電熱線：太さ0.4mm、長さ5cm

電池1個ずつでの検討はここまでにして、次に、同種の電池を並列つなぎにした場合の放電曲線について検討した。図7、図8および図9は単1形マンガン電池、単1形アルカリ電池および単1形ニッケル水素電池を並列つなぎにした場合に、放電曲線の電圧が1Vに低下するまでの様

子を示している。並列電池の個数は図の中に示してある。図7のマンガン電池の場合でも乾電池1個の時に比べて、2個並列では格段に電圧低下が抑制され、4個並列では電熱線実験に十分に利用できる。現行の学習指導要領では、第4学年で乾電池の直列・並列について学習している。直列つなぎの場合には、豆電球がより明るく点灯し、モーターもより速く回転するのでその効果が分かりやすい。しかし、並列つなぎでは、豆電球もモーターも目に見える変化がないので、ほとんどの小学生が、並列つなぎは何の役にも立たない、と誤解しているのではないかと考えられる。しかし、並列つなぎにすると、電流を長時間にわたって安定して流し続けられるようになるという大変有用な効果があることは、図7から明らかである。同様なことは、図8のアルカリ電池、図9のニッケル水素電池でも確認することができる。ニッケル水素電池に至っては、4個並列つなぎにすると、8時間連続使用しても電圧はほとんど一定の条件で実験することができる。

以上のように、電熱線実験における電池の挙動について検討したところ、回路に強い電流が流れて電池の電圧低下が起りやすいが、間欠的使用あるいは並列つなぎによって電圧低下を抑制することができ、電熱線実験でも工夫次第で電源として電池を使用できることが明らかになった。

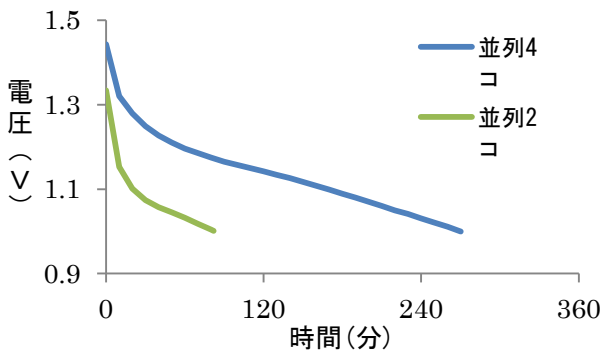


図7. 並列つなぎした単1形マンガン電池の放電曲線

電熱線：直径 0.4mm、長さ 5cm

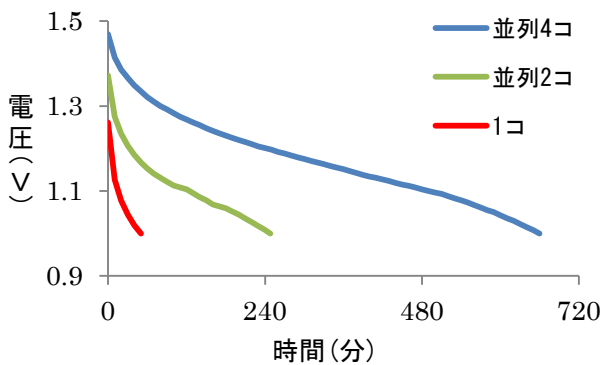


図8. 並列つなぎした単1形アルカリ電池の放電曲線

電熱線：直径 0.4mm、長さ 5cm

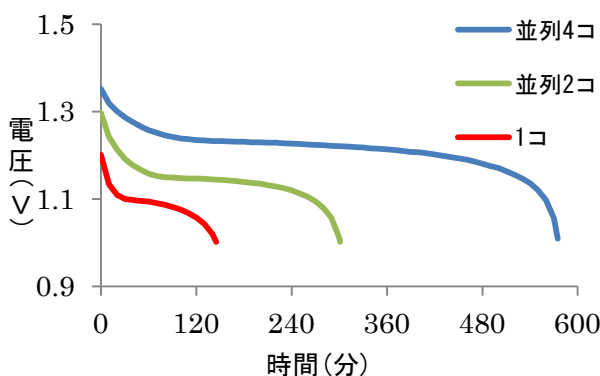


図9. 並列つなぎした単1形ニッケル水素電池の放電曲線

電熱線：直径 0.4mm、長さ 5cm

3・4 電源装置に関する検討

理科実験において、電池は利用しやすいという長所があるものの、強い電流が流れる回路ではその消耗が激しく、すぐに使えなくなることが分かった。一方、電源装置は機種ごとに最大電流値が制限されるが、同じ電熱線につないでいる限りは、時間の経過と共に回路に流れる電流が次第に弱くなっていくようなことはない。表3には、小学校理科における電熱線実験に、教材用電源装置を使用した場合の典型的なデータを示す。電源装置も回路に強い電流が流れるほど電源電圧がやや低下しているが、低下幅は電池の場合よりはるかに小さく、経時変化もない。最近では小学生にも安全で使いやすい電源装置が普及してきて、より正確な実験ができるようになってきた。電源装置は半永久的に利用できるが、かなり高価であることが短所である。そこで、市販の教材用電源装置の代わりに利用できるものはないかと考え、安価な電源4種について検討した。

表3. 電熱線の教科書実験において電源装置を使用したときのデータ例

教科書 出版社	電源の種類	電熱線 太さ, 長さ	電源の電圧		通電時電流
			通電前	通電時	
D社	市販電源装置 (0-9V, 5A)	0.2mm, 10cm	3.09 V	3.07 V	0.86 A
		0.4mm, 10cm	3.09 V	3.00 V	3.03 A

(1) 市販電源装置

使用した NaRiKa 製 PSW-009W 型は、直流電圧出力 1.5-9.0V を 1.5V 単位で切り替えられ、最大電流の 5A を超えると警報ブザーが鳴る。平成 10 年版小学校学習指導要領に記載されていた「乾電池の数は 2 個までとする」という歯止め規定は、平成 20 年版では外されたが、最大出力電圧 9V は小学校用には過剰性能と考えられる。最大出力電圧を 5V 程度に抑えた、より安価な装置の供給が望まれる。この電源装置は、他の電源の出力特性や価格を比較する際の基準とした。

(2) DC-DC コンバーター

COSEL 製超小型オンボードタイプ DC-DC コンバーター SFS15241R5B 型に、秋月電子通商製スイッチング型 AC アダプター GF18-US24075T 型 (24 V-0.75A) を接続して使用した。出力特性は 1.5V-5.2A である。これは完成品ボードのため、24V 電源を用意すればすぐに、電池と同じように直列・並列が利用できる。そこで、この DC-DC コンバーター 2 枚を使用して、出力電圧 1.5V と 3.0V をスイッチ 1 個で切り替えられるようにして、金属製ボックスに格納した (図 1 の 2)。必要部品の定価の総計は、前記市販電源装置の約 27%であった。

(3) 5A 安定化電源キット

3 端子ボルテージレギュレーター LM338T を使用した秋月電子通商製大容量出力可変安定化電源キット (最大 5A) を組み立て、秋月電子通商製スイッチング型 AC アダプター GF18-US0628T 型 (6V-2.8A) を接続し、可変抵抗で出力電圧を 1.5V に調節して使用した。この抵抗の二通りの値をスイッチで切り替えられるようにすると、出力電圧を 1.5V または 3.0V に切り替えることができる。なお、LM338T は出力電流が強くなるほど激しく発熱するので、その放熱には大型のヒートシンク 115×70×34 mm をビスで密着固定して使用した。この大型放熱器でも、3A 程度の電流を継続して流すと、手で触れないほどの高温になった。必要部品の定価の総計は、前記市販電源装置の約 11%であった。

(4) スwitchング電源キット

スイッチング型電源用 IC の SI-8008HFE を使用した秋月電子通商製 0.8V-5.6V 可変出力スイッチング電源キット (最大出力 5.5A) を組み立て、秋月電子通商製スイッチング型 AC アダプター GF18-US0628T 型 (6V-2.8A) を接続し、可変抵抗で出力電圧を 1.5V に調節した。この抵抗の二通りの値をスイッチで切り替えられるようにすると、出力電圧を 1.5V または 3.0V に切り替えることができる。キットには IC 用放熱器が付属しているが、3A 程度の電流では放熱器に手を触れても熱さは感じなかった。必要な部品の定価の総計は、前記市販電源装置の約 10%であった。

(5) AC アダプター (3V-2.0A 型)

本来であれば出力電圧が 1.5V の AC アダプターを使用すべきであるが、入手できなかったため、出力電圧が 3V の AC アダプター NP12-US0320 型 (3 V-2.0A) を使用した。最近の AC アダプターはほとんどがスイッチング型になり、トランスを含む旧式の重い製品に比べて、小型軽量になり、出力電流容量は増大し、内部に出力電圧の安定化回路を有し、出力電圧の変動が非常に小さくなってきた。定価は、前記市販電源装置の 3% 余りであった。

ここに示した 5 種類の電源のうち、上記の市販電源装置および DC-DC コンバーター以外には筐体がなく、また、市販電源装置以外は警報機能を持たない必要最小限の部品で構成したものである。そのため、実際に小学校の理科実験で安全に使用するためには、筐体に格納したり、警報装置を追加したりしなければならず、そのための費用を上乗せする必要がある。

この 5 種類の電源の機能を、出力電流の変化に伴う出力電圧の安定性の視点で検討し、その結果を表 4 に示す。まず、それぞれの装置で出力電流がゼロのときの出力電圧を測定し、以下、出力電流を 1A ずつ増やして行ったときに出力電圧がどのように変化するかを調べ、出力電流が 4A になるまで続けた。表 4 の出力電流が 3A と 4A のときの出力電圧値の下に示してあるパーセンテージは、出力電流がゼロのときの出力電圧に対するそれぞれの出力電圧の比を示しており、この比が 100% に近いほど電源の出力特性が優れていることを示し、電熱線実験の電源としてはより適していることになる。表 3 から、電熱線の太さを 0.4mm、長さを 10cm とすると、電圧が 3.0V のときの電源は少なくとも 3A の電流を流せる性能が必要であることが分かる。また、長さ 5cm、電圧 1.5V のときの電流も同様になるので、ここで試した 4 種類の電源装置代用電源のすべてがその条件を満たしており、市販電源装置と比べて遜色ない性能をもつことが明らかになった。

表 4. 各電源の出力電流変化に伴う出力電圧の変動

電源の種類	出力電圧				
	0A のとき	1A のとき	2A のとき	3A のとき	4A のとき
市販電源装置 (PSW-009W)	1.58 V	1.54 V	1.52 V	1.49 V (94%)	1.47 V (93%)
DC-DC コンバーター (SFS15241R5B 使用)	1.54 V	1.51 V	1.50 V	1.49 V (97%)	1.48 V (96%)
5A 安定化電源キット (LM338T 使用)	1.50 V	1.49 V	1.48 V	1.47 V (98%)	1.46 V (97%)
スイッチング電源キット (SI-8008HFE 使用)	1.50 V	1.49 V	1.48 V	1.47 V (98%)	1.47 V (98%)
AC アダプター (3V-2.0A)	3.10 V	3.02 V	2.95 V	2.85 V (92%)	不可

これらの電源の中で最も安価な 3V-2.0A 型 AC アダプターは、出力電流 3.0A までは電圧安定化機能が作動しているが、3.2A を超えると電流・電圧とも不安定になって使用できなくなった。そのため、表 4 の 4A の欄には不可と記載した。次に、電熱線実験の電源としてこの AC アダプターを使用して、太さが 0.2mm および 0.4mm の電熱線で長さを 10cm、12cm、15cm としたときの発熱の程度を比べる実験をしたところ、それぞれの回路電流と電源の出力電圧は表 5 のようになり、どの長さの場合も発泡ポリスチレンの切断速度は太さの違いにより明確な差が見られた。表 5 より、電熱線長さが 10cm の実験条件では、この AC アダプターの規格 3V-2.0A をかなり超えた電流が流れるので、この条件は避けた方が無難である。一方、長さが 15cm の場合には、電流値はこの AC アダプターの規格内におさまるので、こちらの実験条件が推奨される。なお、電熱線長さを 20cm にすると、太さ 0.2mm の電熱線では発熱量不足のために発泡ポリスチレンを全く融かすことができなかったため、この条件は使うことができない。

以上の結果から、電熱線実験の電源として安価な 3V・2.0A 型 AC アダプターを使用した場合でも、太さ 0.2mm および 0.4mm の電熱線の長さを 15cm にすると、電源電圧の低下は小さく、発泡ポリスチレンの切断速度の違いから発熱の程度に差が見られ、満足できる実験結果を得られることが明らかになった。このように、スイッチング型 AC アダプターは安価でありながら、理科実験に大変有用であるので、今後は、電流容量の大きな 3.0V および 1.5V のスイッチング型 AC アダプターが教材メーカーから安価に供給されることが望まれる。

表 5. 3V・2.0A 型 AC アダプターを電熱線実験の電源に使ったときの回路電流と電源出力電圧

電熱線の長さ	電熱線の太さ	回路電流	電源出力電圧
10 cm	0.2 mm	0.85 A	3.03 V
	0.4 mm	2.87 A	2.86 V
12 cm	0.2 mm	0.72 A	3.04 V
	0.4 mm	2.44 A	2.90 V
15 cm	0.2 mm	0.58 A	3.05 V
	0.4 mm	2.01 A	2.93 V

4. おわりに

小学校理科における電熱線実験では、回路に比較的強い電流が流れるために電源電圧が低下する場合があります、電源電圧を一定にするという重要な実験条件を保てない可能性がある。最近の小学校理科では、電熱線の発熱の程度や電磁石の磁力強度を比較するような半定量的実験が増えているので、実験中に電圧低下が顕著ではない電源を使う必要がある。

電源として各種電池や教材用電源装置の代用品について検討したところ、次のことが明らかになった。

- (1) 電熱線や電磁石などの強い電流が流れる場合の半定量的実験では、電源は電池よりも電源装置が適している。
- (2) 検討した電池ではニッケル水素電池が最適であり、アルカリ電池、マンガン電池と続く。アルカリ電池やマンガン電池も単 1 形電池を並列つなぎにすることによって、出力特性が大幅に改善される。
- (3) 3V・2.0A スwitching型 AC アダプターは、小学校理科実験における安価な出力安定化電源として活用することができる。

謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費（挑戦的萌芽研究）24650541 の助成を受けたことを付記し、ここに謝意を表します。

（平成 25 年度日本理科教育学会北陸支部大会〈2013 年 11 月 16 日、信州大学〉において発表）

参考文献

- 1) 文部科学省, 『小学校学習指導要領』, 東京書籍, p.61(2008)
- 2) 学習指導要領データベース <http://www.nier.go.jp/guideline>
- 3) 文部省, 『小学校指導書 理科編』, 教育出版 (1989)
- 4) 鎌田正裕, 隈元就仁, 『東京学芸大学紀要 自然科学系』, **62**, p.9-13(2010)