

<論文>

小学校理科におけるリチウムポリマー電池の 教材化に向けた基礎的研究 —第6学年の単元「電気の利用」での活用に向けて—

板橋 夏樹

【要約】現在の小学校第6学年の理科の単元「電気の利用」では蓄電に関する実験では、教材としてコンデンサーが用いられる。しかし、コンデンサーは、小・中学校の理科をとおしてこの単元だけでしか使用されない特有な電子部品である。そのため、児童生徒にあまり馴染みがない。生活に身近な充電式電池をコンデンサーの代わりに用いることができれば、児童の蓄電に関する興味関心と理解の向上が期待できる。そこで、本研究では、コンデンサーの代わりに充電式電池を使用して、同様の実験が実現できないかを検討した。その結果、電池容量30mAhのリチウムポリマー電池を、手回し発電機（発生電圧12V）を用いて1秒当たり約2回の速さで10~20回回転して蓄電し、この充電式電池の電池容量に見合う適切な発光ダイオードや豆電球等を用いることで、コンデンサーを用いた実験に代替できるという基礎的な知見を得ることができた。

Keywords：小学校、理科、エネルギー変換、エネルギーの保存、蓄電、
リチウムポリマー電池、コンデンサー

1. はじめに

コンデンサーは、平成20年告示の『小学校学習指導要領』から、第6学年の単元「電気の利用」におけるエネルギーの保存やその変換の実験に導入された電子部品である。この当時の『小学校学習指導要領解説理科編』（2008）には、コンデンサーについて以下の説明がある。

エ 身の回りには、電気をつくりだしたり蓄えたり、変換したりするなどの電気の性質や働きを利用した様々な道具があることをとらえるようにする。

ここで扱う対象としては、電気を蓄えるものとして、例えば、コンデンサなどの蓄電器が考えられる。

ここでの指導に当たっては、児童が自分で電気をつくりだしたり蓄えたり、変換したりすることにより、エネルギーが蓄えられることや変換されることについて体験的にとらえるようにする。

(注：学習指導要領や教科書で、「コンデンサー」や「コンデンサ」というような標記の揺らぎが見られる。本論文では、原著から引用する際はそこに書かれた用語をそのまま用いるが、筆者の論文中でこの用語を用いる場合には「コンデンサー」と標記する。)

現行の『小学校学習指導要領』(平成29年告示)においても、コンデンサーは前学習指導要領に引き続き同様の目的のために用いられている。『小学校学習指導要領(平成29年告示)解説理科編』(2018)では、「電気を蓄えるものとして、例えば、コンデンサーなどの蓄電器が考えられる。電気をつくりだしたり、蓄電器などに電気を蓄えたりすることができることについては、豆電球や発光ダイオードの点灯やモーターの回転などによって捉えるようにする。」とある。このように、小学校理科では、蓄電(充電)や保存された電気エネルギーを他の形態のエネルギーに変換のための教材としてコンデンサーが重要な教材として位置付けられている。

次に、義務教育段階全体における各教科での蓄電に関する取扱いについて概観する。板橋(2023 a)は、コンデンサーが小学校理科で教材として扱われているが、中学校理科ではほとんど扱われておらず、教材としての系統性の位置づけとして乏しい状態にあることを明らかにしている。一方、多くの教科の教科書には充電式電池(蓄電池、バッテリーを含む)の記述がある。例えば、中学校の家庭分野の教科書『技術・家庭[家庭分野]』(大竹ら、2023、開隆堂)ではZEH(Net Zero Energy House)の図の中で蓄電池の役割を紹介している。現行の5社の出版社の小学校理科の教科書での第6学年の単元「電気の利用」における充電式電池(蓄電池、バッテリーを含む)の記述内容について概観すると、表1に示すように、コンデンサーを用いた実験は学習指導要領に基づくものであるために5社の教科書全てに記載しているのはもちろんであるが、充電式電池に関する記述は5社中4社の教科書にある。このように、多くの小学校理科教科書で充電式電池の役割を説明していることが分かる。しかし、第6学年の蓄電の実験ではコンデンサーのみが用いられているだけであるため、蓄電の実験機器としての扱いにねじれの構図がある。板橋(2023 b)は、小学校第6学年の同単元の授業における児童の発話分析をとおして、児童がコンデンサーの動きをスマートフォンの充電式電池のようなものとして理解している実態を明らかにしている。例えば、「これがスマホの画面だとしてさ、これがスマホの電池。これが充電器」という児童の発話がある。これは、児童がスマートフォンに内蔵されているバッテリーをコンデンサーに見立てていることを示している。つまり、この児童が蓄電する装置としてはじめに連想するものはコンデンサーではなくバッテリーなのである。

表1 各出版社の第6学年理科の教科書の単元「電気の利用」における充電式電池の取り扱い

教科書名 (出版社)	充電式電池(蓄電池、 バッテリーを含む) の記述の有無	充電式電池に関する記述
『新編 新しい理科 6』(東京書籍)	有	「コンデンサーや充電式電池(充電式電池)などを使うと、つくった電気をためることができます。」(p.142) ※p.142で例としてスマートフォンやノート型パソコン等の写真が掲載されている。 「電気をためて利用する物：私たちが使っているタブレット型パソコンやノート型パソコンには、充電式電池が入っています。(中略)充電式電池はコンデンサーよりも多くの電気をためることができ、身のまわりのいろいろな物に使われています」(p.144)
『わくわく理科6』 (啓林館)	有	「タブレットは、じゅう電池という部品に、電気をたくわえています。また、コンデンサーという部品にも、電気をたくわえることができます。」(p.178) ※「タブレットのじゅう電池」や手回し発電のできる防災用ラジオに入っているコンデンサーの写真が掲載されている。
『みらいをひらく 小学理科6』(教育出版)	有	「タブレットパソコンを例にして、使う電気の量が少なくすむように、どのような工夫がされているかを考えてみましょう」(p.182) 「私たちが電気をためて利用するときには、実験で使ったコンデンサーのほか、じゅう電池式電池(バッテリー)という機器が使われることも多くあります。」(p.183) ※充電式電池、携帯電話、デジタルカメラ、電気自動車のバッテリーの写真が掲載されている。 「バッテリーに電気をためて、持ち運びができるようになっている。」(p.185) ※ノートパソコン用のバッテリーの写真が掲載されている。
『新版 たのしい 理科6』(大日本図書)	有	「電気をコンデンサーよりも多くためることができるものにじゅう電池があります。じゅう電池は、けい帯電話や電気自動車など、身の回りのいろいろなところで使われています。」(p.176) ※携帯電話の充電式電池の写真が掲載されている。 ※ZEH(Net Zero Energy House)の紹介頁にて、「発電した電気をためるちく電池」が紹介されている(p.184)。
『みんなと学ぶ小 学校理科6』(学 校図書)	無	※単元「電気の利用」でコンデンサー以外の電気をためる道具は紹介されていない。

注：「」内の文章は教科書から抜き出したもの、※印の文章は筆者の文章である。

そこで、小学校教員養成課程の大学生のコンデンサーに関する基本的な知識やその働きに関する理解を調べる目的で、M大学教育学科の小学校教員養成課程の大学1年生39名を対象に、2024年1月に質問紙調査を行った。調査対象とした大学生は、平成20年告示の『小学校学習指導要領』から導入された小学校の理科実験で使用されているコンデンサーを学んだ世代の者である。まず、小学校の第6学年の理科の学習で学んだ「コンデンサー」の名称を覚えているかを質問した結果、「はい」と回答した人数は24名(61.5%)、「いいえ」と回答した人数は

15名(38.5%)であった。次に、「はい」と回答した24名の学生を対象に、「コンデンサーの働き」を覚えているかを質問した結果、「はい」と回答した人数は5名(20.8%)、「いいえ」と回答した人数は19名(79.2%)であった。ここで「はい」と答えた5名に対し、「コンデンサーの働きについて、あなたが知っていることを全て答えてください。」として回答(自由記述)させた結果を表2に示す。

表2 「コンデンサーの働き」を知っていると回答した学生の自由記述の内容

回答A「電流の流れにくくする」、回答B「電気を蓄えておく」、回答C「電気の流れの調整(交流→直流)」、回答D「電気をためる、使う」、回答E「電気をためるはたらしき」
--

小学校理科ではコンデンサーは蓄電のための電子部品として扱われるため、表2のB、D、Eの回答は正答といえる。回答Cは、小学校理科では扱わない内容であるが、コンデンサーを用いた回路は直流電流を通さず、交流電流を通す働きをもち、それによりノイズ信号の除去を行うことができるので、正答である。回答Aは電流の直流と交流を分けて説明していないが一部正解と考えられる。よって、調査対象とした39名中のうち4名が、コンデンサーの働きを正しく覚えていたということになる。

さらに、先述の「コンデンサーの働き」を覚えていると回答した5名に「コンデンサーの取り扱いの注意点」について自由記述形式で回答させた結果、1名が「直列つなぎ、並列つなぎでつなぎ方が変わる」と回答し、4名は無回答であった。ここで期待したコンデンサーの取り扱いの注意点とは、小学校理科の実験で使用する発光ダイオード(LED)や電子メロディとコンデンサーを繋ぐ際、極性を持つコンデンサーのプラス・マイナス端子に気をつけることであった。今回の調査結果から、この回答は全く得られなかった。

今回の質問紙調査からいえることは、小学校の第6学年の理科の蓄電に関わる実験で使用するコンデンサーを約6年前に学んだ者の内、(1)蓄電のための電子部品としてコンデンサーを連想する者が少ないこと。(2)コンデンサーの役割や配線の仕方の注意点を覚えていた者がほとんどいないこと、の2点である。

以上のように、小学生の理科の実験活動中の発話や、小学校時代に蓄電に関する学習経験をもつ大学1年生の質問紙調査の結果から、学習者側にとって馴染のある蓄電のための道具は、コンデンサーよりもバッテリーだといえる。スマートフォンや携帯ゲーム機、GIGAスクール構想により児童が小学校で使用するようになった携帯型ノートパソコンやタブレット端末等で使用されているバッテリーで多く用いられているものは、リチウムイオン電池やリチウムポリマー電池である。これらの電池自体を扱った実験活動は、現行の『小学校学習指導要領』や各社の教科書に示されていない。

小学校第6学年の単元「電気の利用」の蓄電の教材に関する先行研究には、コンデンサーの教材としての活用に関するものが多数ある。吉岡ら（2011）は小学校理科で初めてコンデンサーが導入された際にその原理を説明できる教材として平行板コンデンサーを提案している。また、吉田ら（2010）は小学校理科の教材としてコンデンサーが導入されるにあたり、小学生にこの教材を取り入れた実験活動を行い、手回し発電機を用いた蓄電の仕方等の教師教育段階で修得しておくべき事項を検証している。山本（2012）は、様々な規格のあるコンデンサーと手回し発電機の組み合わせと適切な手回し発電機の1秒当たり回転数について考察し、「12V用手回し発電機は1秒間に1.5回転の5V出力を基本にし、5.5V1Fコンデンサーを使用する方が良い」という結論を導き出している。さらに、山本ら（2023）は、小学校理科でよく使用される10Fの静電容量をもつコンデンサーの蓄電・放電特性を調べており、赤色発光ダイオードを発行させるためにコンデンサーに蓄電するために手回し発電機を従来教科書等で指示されているような「一定の回数」回すのではなく「一定の時間」回すことの必要性を述べている。東ら（2011）は小学校理科教材として省エネルギー技術の回生ブレーキの開発を行っているが、蓄電に用いたのは電気二重層コンデンサーであった。同単元に関する先行研究で、コンデンサー以外を用いた教材開発例としては、松浦ら（2012）による、コンデンサーの代わりに単三ニッケル水素型充電式電池（エネループ）を用いた手回し発電式ミニ四駆の教材開発の研究がある。ただし、エネループの電気容量は小学校教材としてのコンデンサーの静電容量とはかなり異なるので、コンデンサーの代替品として扱うには難がある。以上のように先行研究では議論されているものほとんどはコンデンサーにまつわるものであり、これと同等の電気容量をもつ身の回りの電気製品に内蔵されていて児童にも馴染みのある充電式電池の教材化に関する先行研究はみられない。日常生活で用いられている充電式電池を小学校理科の蓄電の実験に用いることは、児童にとって興味関心を高めるだけでなく、蓄電に関する理解の促進に繋がると考えられる。

児童に身近なスマートフォンやノートパソコン、携帯型ゲーム機等に内蔵されている充電式電池の主流は、リチウムイオン電池やリチウムポリマー電池である。特に後者は、リチウムイオン電池の1種で「電解質が液体ではなく、ポリマー（高分子）を電解液に含ませてゲル状にしたもの」（福田京平、2013）であるので、爆発の危険がリチウムイオン電池よりも小さく、液漏れの心配がない。この点から小学校での実験に適していると考えられるので、本研究ではリチウムポリマー電池を使用したい。本研究は、小学校理科における蓄電の実験活動におけるエネルギーの変換と保存の指導法の開発のための一助になると考えられる。なお、蓄電や充電の用語の使用の区別についてであるが、『小学校学習指導要領（平成29年告示）解説理科編』（2018）では充電については「充電式電池」、蓄電については「発電や蓄電」「発電したり蓄電したり」「蓄電器などに電気を蓄えたり」等と表現している。そのため、本稿では充電式電池

に電気を溜める場合には充電、その他の場合は基本的に蓄電の用語を使用する。

2. 研究目的

本研究の目的は、日常生活で主として使われているリチウムポリマー電池を小学校の第6学年の単元「電気の利用」の実験におけるコンデンサーの代わりとして教材化するために必要な基礎的な知見を得ることである。

3. 研究方法

本研究では、蓄電や電気エネルギーの変換に関する実験で用いられるコンデンサーに代替できるリチウムポリマー電池の選定と評価、及び、これを蓄電するための手回し発電機の選定と適切な蓄電の方法について検討する。さらに、リチウムポリマー電池と共に使用するために適切な発光ダイオードや豆電球、電子オルゴール、モーター等の電子部品の選定と使用条件等について調査する。

4. リチウムポリマー電池の教材化に向けた各電子部品の検討

小学校理科の教材として用いられるコンデンサーには、主に4.7 Fと10 Fの2種類の規格が存在する。本研究では、これらのコンデンサーと代替できる充電式電池を見つける必要がある。コンデンサーの放電時間は、以下の式により算出できる¹⁾。

$$T = \{C \times (V_0 - V_1)\} \div I$$

T: 放電時間 (秒)、C: コンデンサーの容量 (F)、V₀: 充電電圧 (V)、V₁: 放電電圧 (V)

この計算式を用いて、小学校理科の教材として発売されている、(株)ケニスの「発電・蓄電実験セット」(No.120-0380)に同封されている「リード線付コンデンサ(定格:2.7V、電気容量10F)を用いて、同じく同セットに同封されている発光ダイオード(LED)ランプ(定格:1.5~3V、60mA)を点灯させるとすると、その点灯継続時間の理論値は以下の計算により200秒となるはずである。

$$\cdot \text{放電時間 } t = \{C \times (V_0 - V_1)\} \div I = \{10 \text{ F} \times (2.7 \text{ V} - 1.5 \text{ V})\} \div 0.06 \text{ A} = 200 \text{ 秒}$$

実際に手回し発電機〔ケニス手回し発電機No.123-140〕(出力最大12V)に「リード線付コンデンサー(定格:2.7V、電気容量10F)を繋ぎ、手回し発電機を1秒間に約2回の速さで50回転させて蓄電した。その後、同コンデンサーを先述の発光ダイオード(LED)ランプ(定格:1.5~3V、60mA)に繋ぎ、点灯する時間を調べた。その結果を下記の表3に示す。

なお、計算に用いた2つの電圧（蓄電時の電圧、放電後電圧）は、デジタルマルチメーターで読み取った値である。以下のように、発光ダイオードの点灯継続時間の実験値は、理論値に近い値となった。

表3 手回し発電機で蓄電した電気を用いた発光ダイオードの点灯時間の実験値と理論値

実験回数	実験前後での電圧の変化	点灯継続時間 〈実験値〉	点灯継続時間 〈理論値〉
1回目	2.2 V → 0.7 V	230 秒	$\{10 \text{ F} \times (2.2 \text{ V} - 0.7 \text{ V})\} \div 0.06 \text{ A} = 250.0 \text{ 秒}$
2回目	2.0 V → 0.7 V	220 秒	$\{10 \text{ F} \times (2.0 \text{ V} - 0.7 \text{ V})\} \div 0.06 \text{ A} = 216.7 \text{ 秒}$
3回目	1.6 V → 0.7 V	202 秒	$\{10 \text{ F} \times (1.6 \text{ V} - 0.7 \text{ V})\} \div 0.06 \text{ A} = 150.0 \text{ 秒}$
4回目	2.1 V → 0.7 V	215 秒	$\{10 \text{ F} \times (2.1 \text{ V} - 0.7 \text{ V})\} \div 0.06 \text{ A} = 233.3 \text{ 秒}$
5回目	2.1 V → 0.7 V	215 秒	$\{10 \text{ F} \times (2.1 \text{ V} - 0.7 \text{ V})\} \div 0.06 \text{ A} = 233.3 \text{ 秒}$

この結果から、コンデンサーに代替できる充電式電池を選定する際には、発光ダイオードを3分程度点灯させることのできる必要があるといえる。

(1) 教材として最適なりチウムポリマー電池の選定

① 選定した製品について

本実験では、電池容量が小さいものを選定した。市場には、スマートフォンやノートパソコンの充電式電池として多様なリチウムイオン電池やリチウムポリマー電池がある。店頭で売られているこれらのモバイルバッテリーには、数千～20000 mAh 等の電池容量のものが多い。これらの電池容量は、小学校の理科実験で使用する豆電球や発光ダイオード等の消費電力の小さな電子部品に対して大きすぎる。そこで、小学校理科で使用されているコンデンサーの静電容量に近く、できるだけ電気容量の小さいバッテリーを探した。その結果、100 mAh 以下の電気容量のバッテリーが発売されていることが分かった。そこで、今回の実験では、筆者が調べたリチウムポリマー電池の中で電気容量が最も小さい「3.7 V、30 mAh」のものを Amazon で入手した（以後、電池 A と称する。図 1 参照）。この電池 A は、腕時計用のものと書かれていた。この電池 A の仕様の詳細を表 4 に示す。

なお、充電式電池に示されている電池容量の単位表記は「mAh」である。例えば、この意味は、標記 200 mAh とは「1 時間に 200 mA を流す能力がある」こと、つまり、200 mA を 1 時間流し続けると電池が切れることを意味する。また、この電池を用いて回路に流れる電流が 2 mA である発光ダイオードを点灯させると仮定すると、以下の数式により、100 時間点灯できることを意味する。

$$200 \text{ mAh (電池容量)} \div 2 \text{ mA (回路に流れる電流)} = 100 \text{ 時間 (連続点灯時間)}$$

表4 本実験で使したリチウムポリマー電池の詳細

商品名	価格	入手先	備考 (※ Amazon の同製品の登録情報から抜粋)
OCTelect 301215-30 mAh カウンターブルートゥース ウォッチプレスレット スマートウェアA製品 3.7Vポリマーリチウム 電池	999円 (税込)	Amazon	○商品重量：8グラム ○商品の説明 モデル：301215 公称電圧：3.7V 容量：30 mAh 充電遮断電圧：4.25 V 厚さサイズ：≤3.2 mm 幅サイズ：≤12.2 mm 長さ寸法：≤17 mm 標準放電電流：6 mAh サイクル寿命：80%を超える 300サイクル 最大放電電流：30 mAh 標準充電電流：6 mAh 安全性能：過充電、過放電、過電流、短絡保護 ○赤色コード (+端子)、黒色コード (-端子)

②価格についての検討

まず、コンデンサーの価格について述べる。2024年8月現在、一例として、小学校の理科用に発売されているケニスのコンデンサー（定格2.5V、電気容量4.7F、数量5個）は5個組で3080円（税込）であるので、1個当たりの価格は616円である。また、ケニスのリード線付コンデンサー（定格：2.7V、電気容量10F、リード線15cm）は1個当たり889円である。上記の(2)の電池Aは1個あたり999円であるので、小学校での理科教材としてそれぞれの値段の違いはない。よって、小学校の教材として電池Aを導入することに対する価格的な問題はない、と考えられる。



図1：本実験で用いたリチウムポリマー電池（筆者による撮影）

③安全性についての検討

リチウムイオン電池では、適切な蓄電と使用をしなければ膨張や爆発の危険性がある。これに対し、リチウムポリマー電池の電解質は先に述べたように液体ではなくゲル状のものであるため、液漏れの心配がないため安全性は向上している。白石（2020）によれば「仮にショートしてガスが発生しても、ラミネートフィルムが膨らむだけで、破損する危険性はありませぬ。」とある。また、今回使用した製品のように、充放電制御や過熱保護等の働きをもつ保護回路モジュール（PCM）が内蔵されているので、手回し発電機で児童が蓄電する場合に、児童の手により若干の回転速度が異なるために発電量が異なってもある程度対処できると考えられる。今回の一連の実験では、電池Aに膨張や発熱という目立った変化は確認できなかった。

④小学校教材としての製品の寿命についての検討

小学校理科で主に使用されている主なコンデンサーは電気二重層コンデンサーと呼ばれる物理二次電池である。この電池の充放電の特性としては、白石（2020）によると「物質の変化がないので、充放電を繰り返しても性能劣化がほとんど起こらず、サイクル寿命は数百万回にも及びます」とある。これに対し、リチウムポリマー電池は充放電に伴い、その性能が劣化する。特に過放電に弱いという特徴がある。電池 A の説明書には「サイクル寿命：300 サイクル」とあるので、300 回という充電回数が限界であると思われる。ただ、小学校での実験活動を想定すると、小学校第 6 学年の電気の単元で 1 個のコンデンサーを使う回数は、2 回の授業で合計 10 回以内と考えられるので、1 学年 4 クラスの小学校での使用を想定すると、1 つのコンデンサーを 4 クラスが使用する合計回数は約 40 回である。よって、コンデンサーから電池 A に置き換えた場合は、 $300 \div 40 = 7.5$ 年使用できるという計算になる。コンデンサーには及ばないが、小学校での使用年数にはあまり問題ないと考えられる。

⑤教材としての入手のしやすさについての検討

コンデンサーは小学校理科の教材として位置付けられていることから、複数の教材会社で扱われており、入手は容易である。一方、今回使用した電気容量の小さい電池 A はインターネット通販サイトの 1 つである Amazon で入手した。なぜなら、筆者が居住する近辺の電気店ではこのような電気容量の小さな充電式電池を入手できなかったからである。この電池の入手のしやすさと、安定した入手経路という点には、課題がある。

(2) 教材としての各電子部品の組み合わせと動作結果

①発光ダイオードの選定

発光ダイオードには様々な消費電力のものがある。

まず、4 の冒頭で使用したケニスの「発電・蓄電実験セット」（カタログ No.120-0380）に同封されている「発光ダイオード LED ランプ（定格：1.5～3 V、60 mA）」を、満充電した電池 A に繋ぎ、点灯するかどうか調べた。その結果、発光ダイオードを電池 A に繋いだ直後は約 1 秒に 1 回点滅していたが、その時間の間隔は次第に長くなっていった。その際、電圧は高低を繰り返しながら 2.5 V から徐々に低下した。実験開始時から 30 分後に完全に消灯し、電圧がほぼ 0 V になった。この点滅の原因は、使用した発光ダイオードがバッテリーの定格電流 30 mAh を超えていたこと、電池 A に内蔵された電子回路により安定して電流を発生・供給しようとする性質によるものだと考えられる。

そこで、安定して点灯する定格が 30 mA 以下の発光ダイオードを探した。その結果、ELPA 製の赤色発光ダイオード（[HK-LED5H(R)]（定格：25 mA））を見出した。この製品の説明書には「乾電池（3～6 V）と附属の抵抗を繋ぐだけでランプが点灯します」とある。充電済み

の電池 A にこの発光ダイオードを繋いで点灯するかどうか調べた結果、発光ダイオードは点滅せず安定した点灯状態を持続できた。これにより、電池 A に定格 25 mA の ELPA 製の発光ダイオードを組み合わせて実験に使用すること問題ないと考えられるので、以後の実験で採用することとした。ただし、理論的には、満充電した電池 A と同発光ダイオードを繋いだ場合の点灯継続時間の理論値は、 $30 \text{ mAh} \div 25 \text{ mA} = 1.2 \text{ 時間}$ (= 1 時間 12 分) となるはずである。1.2 時間という時間は、小学校の 45 分間の授業時間を超えている。そのため、満充電した電池 A を使用した実験は、(4) で後述する点灯継続時間を調べる探究活動に適さないので、一度放電した状態の電池 A にある程度充電して使用する必要がある。ただ、リチウムポリマー電池は過放電すると性能が著しく低下するという特徴もあるため、検討が必要である。

②手回し発電機の選定

手回し発電機は複数の教材会社で販売されているが、発生する最大電圧を大別すると 3 V と 12 V の 2 種類ある。そこで、本実験では、理科関係の教材会社のケニスの製品である出力 3 V と 12 V の手回し発電機を用意し、電池 A の蓄電に使用できるかどうかを実験した (図 2 参照)。その結果を表 5 に示す。なお、蓄電できかどうかの確認は、電池 A に繋いだ手回し発電機をある程度を回した後、発光ダイオードに繋ぎ変え、その点灯状態を確認することで行った (図 3 参照)。この実験から、電池 A を蓄電するには、発生出力が最大 12 V の手回し発電機が適切であるといえる。よって、以後の電池 A に蓄電する際には、この手回し発電機を用

表 5 手回し発電機による電池 A への蓄電の結果

使用した手回し発電機の種類	蓄電の状況
手回し発電機 [販売元：ケニス No.123-0460] (発生出力：最大 3 V)	結果：蓄電できなかった。 備考) できるだけ早く回転させたが、手ごたえがなく、結果として蓄電できなかった。
手回し発電機 [販売元：ケニス No.123-140] (発生出力：最大 12 V)	結果：蓄電できた。 備考) 1 秒当たり約 2 回の回す速さで回転させると、蓄電できた。



図 2 電池 A と手回し発電機を繋いだ様子

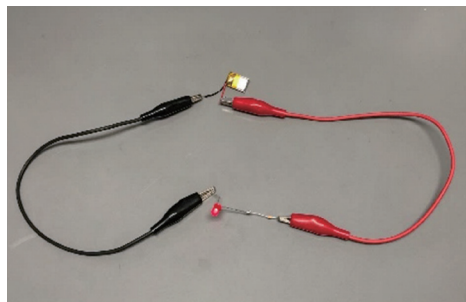


図 3 電池 A (上) に繋いだ発光ダイオード (下) の点灯の様子

いることにした。

③豆電球の選定

豆電球は小学校第3学年以降の電気の学習で頻繁に用いられる。小学校理科用に販売されている豆電球には様々な規格のものが存在し、例えば、定格1.5V-0.3A、2.5V-0.3A、2.5V-0.5A、3.8V-0.3A、3.8V-0.5A等のものがある。今回選定した電池Aの公称電圧が3.7Vとあるため、それ以下の電圧1.5V、2.5Vで点灯する豆電球を使用するとフィラメントが焼き切れる。そこで、本実験ではこれらを選択肢から除外した。また、消費電流も小さい方が良いと考えたため、最終的に本実験では定格3.8V-0.3Aの豆電球を選択した。なお、満充電した電池Aにこの豆電球を繋いだ場合の点灯継続時間の理論値は、 $30\text{ mAh} \div 300\text{ mA} = 0.1$ 時間 (= 6分) である。充電済みの電池Aを豆電球に繋いだ結果、豆電球は数秒間安定した点灯状態を持続した。しかし、その後は、点滅するようになり、最終的に消灯した。点滅の原因は、②で述べたものと同じだと考えられる。

④電子オルゴールの選定

本実験では、ケニスの「発電・蓄電実験セット」(カタログ No.120-0380)の電子オルゴール(定格: $150\sim 300\ \mu\text{A}$)を使用した。電子オルゴールは非常に低電流で作動する。理論的には、満充電した電池Aにこの電子オルゴール(消費電力を $300\ \mu\text{A}$ として計算)を繋いだ場合の継続作動時間の理論値は、 $30\text{ mAh} \div 0.3\text{ mA} = 100$ 時間である。実際に満充電した電池Aに電子オルゴールを繋いだ結果、30分以上鳴り続けた。

⑤モーターの選定

小学校理科の教材としてのモーターも多様な規格のものが存在する。小学校理科で使用する蓄電や発電の実験では、低電圧で作動する太陽電池専用モーターを活用することが多い。そこで、本実験では、ナリカ製の光電池専用モーターH-158(定格: 電圧0.4~1.5V、電流22~40mA)を用いた。満充電した電池Aにこの太陽電池専用モーターH158(定格電流22mAとして計算)を繋いだ場合の継続作動時間の理論値は、 $30\text{ mAh} \div 40\text{ mA} \approx 0.75$ 時間 (= 45分) である。実際に満充電した電池Aにこのモーターを繋いだ結果、安定して回転し続けたので、その使用に問題ないといえる。

5. 豆電球と発光ダイオードの点灯時間の比較

現行の小学校理科でのコンデンサーを用いた実験活動の1つに、蓄電したコンデンサーを豆電球と発光ダイオードにそれぞれ繋ぎ、両者の点灯する時間の違いを調べるという実験課題がある。豆電球は、フィラメントが光る際に、電気エネルギーを光エネルギーだけでなく熱エネルギーに変換する。これに対し、発光ダイオードは、電気エネルギーのほとんどを光エネル

ギーに変換できる。そのため、同量の電気エネルギーを使った場合、発光ダイオードの方が豆電球よりも長時間点灯し続ける。この学習は、後のエネルギーの変換効率の学習に繋がっている。東京書籍の教科書『新編 新しい理科 6』の146頁に掲載されているコンデンサーを用いた発光ダイオードと豆電球の点灯継続時間の実験結果の例には「1回目：発光ダイオード（2分以上）豆電球（30秒）、2回目：発光ダイオード（2分以上）豆電球（25秒）、3回目：発光ダイオード（2分以上）豆電球（28秒）」と記載されている。

そこで、従来のコンデンサーをリチウムポリマー電池に置き換えて、発光ダイオードと豆電球をそれぞれどれだけの時間点灯させることができるか実験を行った。

(1) 電池Aによる発光ダイオードの点灯継続時間について

電池Aの蓄電量をほぼゼロにした後に、手回し発電機を1秒当たり約2回の速さで10回回転させて蓄電した場合、20回回転させて蓄電した場合、30回回転させて蓄電した場合の発光ダイオードの点灯継続時間を表6に示す。なお、ここで使用した手回し発電機は先述の4節(2)②で使用した手回し発電機 [販売元：ケニス (カタログNo.123-140)] (発生出力：最大12V)、発光ダイオードは4節(2)①で使用したLPA製の赤色発光ダイオード ([HK-LED5H(R)] (定格：25mA)) である。

表6 電池AとELPA製の発光ダイオード（定格：25mA）を繋いだ場合の点灯継続時間

実験回数	発光ダイオードの点灯継続時間		
	手回し発電機を10回回転させた場合	手回し発電機を20回回転させた場合	手回し発電機を30回回転させた場合
1回目	140秒	396秒	769秒
2回目	212秒	505秒	705秒
3回目	144秒	340秒	772秒
4回目	169秒	451秒	690秒
5回目	154秒	403秒	711秒
6回目	127秒	353秒	693秒
7回目	199秒	316秒	647秒
8回目	252秒	334秒	707秒
9回目	143秒	398秒	658秒
10回目	149秒	593秒	717秒
平均	168.9秒	408.9秒	706.9秒

このように、手回し発電機を10回回転させて蓄電した場合の平均点灯継続時間は168.9秒、20回回転させて蓄電した場合の平均点灯継続時間は408.9秒、30回回転させて蓄電した場合の平均点灯継続時間は706.9秒となった。誤差の生じる要因として考えられることは、手動で手回し発電機を回転させる速さのブレや、蓄電した後の手回し発電機から発光ダイオードの端子を外すまでに手回し発電機が微妙に回転してしまうことによる電力消費等である。本実験で

は手回し発電機の回す回数を10、20、30回と3つに場合に分けて蓄電したが、30回回転させて蓄電した場合の点灯継続時間は10分を超えるため、1コマ45分の小学校の実験活動では難しい。よって、この10回～20回という回転数による蓄電が適切である。

(2) 電池Aによる豆電球の点灯継続時間について

電池Aの蓄電量がほぼゼロになった後に、手回し発電機を1秒当たり約2回の速さで10回回転させて蓄電した場合、20回回転させて蓄電した場合、30回回転させて蓄電した場合の豆電球の点灯継続時間を表7に示す。なお、ここで使用した手回し発電機は先述の4節(2)②で使用した手回し発電機〔販売元：ケニス(カタログNo.123-140)〕(発生出力：最大12V)、豆電球は4節(2)③で使用した定格3.8V-0.3Aのものである。

表7 電池Aと豆電球(定格：3.8V-300mA)を繋いだ場合の点灯継続時間

実験回数	豆電球の点灯継続時間		
	手回し発電機を10回 回転させた場合	手回し発電機を20回 回転させた場合	手回し発電機を30回 回転させた場合
1回目	4秒	10秒	16秒
2回目	4秒	11秒	16秒
3回目	4秒	9秒	17秒
4回目	4秒	10秒	17秒
5回目	4秒	10秒	17秒
6回目	6秒	11秒	18秒
7回目	4秒	11秒	16秒
8回目	6秒	9秒	17秒
9回目	6秒	11秒	17秒
10回目	6秒	10秒	16秒
平均	4.8秒	10.2秒	16.7秒

表7から分かるように、手回し発電機を10回回転させて蓄電した場合の平均点灯継続時間は4.8秒、20回回転させて蓄電した場合の平均点灯継続時間は10.2秒、30回回転させて蓄電した場合の平均点灯継続時間は16.7秒となった。このように、5節(1)で述べた表6の発光ダイオードの実験結果とは異なり、豆電球の消費電力は多いため、豆電球の点灯継続時間は、発光ダイオードに比べ著しく短いという結果となった。また、表6の発光ダイオードの実験結果のような点灯継続時間の大きなばらつきは見られなかった。

表6、7の結果から、コンデンサーを用いて発光ダイオードと豆電球の点灯継続時間の違いを調べる実験で、コンデンサーを電池Aに代替しても、同様な結果を得られることが分かった。

なお、先述の東京書籍の理科教科書ではこの実験を3回繰り返すようになっていることから、この点灯継続時間だけでも合計8分程度を要する。さらに、これら計6回のコンデンサーへの手回し発電機を用いた蓄電時間も考慮すると総計25分～30分を要することになる。小学

校の授業は1コマ45分であるので、この時間が実験に要する時間の限界であると思われる。コンデンサーの代わりに電池Aを用いて同様の実験を行う場合、表6、7の結果から、手回し発電機を1秒当たり2回の速さで10~20回回転させる程度の電池Aへの蓄電量で充分だと結論づけられる。

6. 考察

本実験では、入手できる中でできるだけ電池容量の小さいな30mAhのリチウムポリマー電池を使用した。この充電式電池に蓄電するための適切な手回し発電機は、発生出力が最大12Vのものであった。また、小学校第6学年の理科の単元「電気の利用」で4.7Fや10Fのコンデンサーと共に用いられるモーターや豆電球はかなりに電力を消費するものであるため、30mAhのリチウムポリマー電池に対応したものを新たに選定する必要があると分かった。これらの電子部品を安定して作動させるためにこの電池に手回し発電機を回す適切な速さは1秒当たり約2回の速さ、その回転数は10~20回となった。さらに、この充電式電池はコンデンサーと異なる仕組みで繋いだ電子部品に電気を供給するため、特に消費電力の大きい発光ダイオードや豆電球を繋ぐと、安定した点灯状態を持続できずに点滅するなどの違いがあることも分かった。また、リチウムポリマー電池は過放電すると性能が低下するといわれているが、本実験では、目に見えるような著しい性能の劣化は観察されなかった。

7. おわりに

本研究では、小学校第6学年の理科の単元「電気の利用」の電気エネルギーの保存と変換の実験の際に用いられるコンデンサーの代替品として充電式電池を使用できないか検討した。その結果、電池容量30mAhのリチウムポリマー電池と12V発電可能な手回し発電機をセットで用いることで実現可能なこと、また、手回し発電機で蓄電する際の条件、発光ダイオードや豆電球等の電子部品の選定の条件等に関する基礎的な知見を得ることができた。

今後の課題は、コンデンサーの代わりに今回得られた知見を活かしたりチウムポリマー電池を用いた教材開発と授業実践をとおした検証を行うことである。また、本研究では予備実験を含めて1個のリチウムポリマー電池を約100回充放電した間に熱膨張や爆発という危険な状況が発生することはなかったが、その安全性についても引き続き検証していきたい。

附記

本研究の一部は、科学研究費補助金・基盤研究（C）（課題番号 23K02795）の助成を受けて行われた。また、本研究における質問紙調査は、宮城学院女子大学研究倫理審査の承認を得ている。

註

- 1) コンデンサーの放電時間の計算方法は、コンデンサーのメーカーである株式会社 ELNA のホームページに記載されたものを参照した。
https://www.elna.co.jp/capacitor/double_layer/pdf/calculation.pdf（2024年5月2日取得）

引用文献

- 福田京平著（2013）、『しくみ図解シリーズ 電池のすべてがー番わかる』、技術評論社、p.130.
- 東徹、柳田まゆ（2011）、「小学校理科における「電気利用」に関する教材の開発 電気自動車の回生ブレーキを題材とした発電・蓄電・エネルギー変換教材」、『エネルギー環境教育研究 5（2）』、エネルギー環境教育学会、pp.23-28.
- 石浦章一他著（2024）、『わくわく理科 6』、啓林館.
- 板橋夏樹（2023a）、「小・中学校で学ぶ「電気をためる器具」に関する一考察 —理科・社会・技術家庭の教科書を事例として—」、『東北支部大会発表論文集第 62 号』日本理科教育学会、p.38.
- 板橋夏樹（2023b）、「小学校の理科実験活動におけるエネルギーに関する児童の発話の特質 —第 6 学年の単元「電気とその利用」を事例として—」、『宮城学院女子大学研究論文集 136 号』、pp.21-37.
- 小林誠他著（2024）、『新版 たのしい理科 6』、大日本図書.
- 松浦康孝、高橋奈美、古谷康則、三宅崇、仲澤和馬、吉松三博（2012）、「ソニー科学教育研究会報告：手回し発電機を利用した小学校理科実践研究（電気・蓄電・仕事の関係の理解へ）」、『岐阜大学教育学部研究報告 教育実践研究』14（2）、pp.31-36.
- 文部科学省（2008）、『小学校学習指導要領解説理科編（平成 20 年 8 月）』、大日本図書.
- 文部科学省（2018a）、『小学校学習指導要領（平成 29 年告示）』、東洋館出版社.
- 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.
- 大島まり他著（2024）、『新編 新しい理科 6』、東京書籍.
- 大竹美登利他（2023）、『技術・家庭 [家庭分野]』、開隆堂、p.222.
- 霜田光一他著（2024）、『みんなと学ぶ 小学校 理科 6』、学校図書.
- 白石拓（2020）、『しくみ図鑑シリーズ 最新 二次電池がー番わかる』、技術評論社、pp.132、pp.164-165.
- 山本逸郎、田中緒人（2023）、「小学校理科 6 学年「電気の利用」で使用されている 10 F コンデンサーの物理特性」、『弘前大学教育学部紀要 129』、pp.31-40.
- 山本逸郎（2012）、「小学校理科 6 年「電気の利用」の中の手回し発電機とコンデンサーを用いた実験について」、『弘前大学教育学部紀要（107）』、pp.51-64.
- 養老猛司他著（2024）、『みらいをひらく小学理科 6』、教育出版.
- 吉田安規良、有田泰士、嵩原安司（2010）、「コンデンサーを用いた小学校での理科授業実践」、『日本理科教育学会九州支部大会発表論文集 38』、pp.49-52.
- 吉岡真志、内田由美子、佐々木英樹、重松宏武（2011）、「小学校第 6 学年理科 単元「電気の利用」で用いる教材開発のための基礎研究：手作り平行板コンデンサの製作及び性能評価」、『教育実践総合センター研究紀要 32』、pp.27-36.

<資料：質問紙調査用紙>

コンデンサーの知識に関する調査

この調査の回答は、科目「理科」の成績には影響しません。また、今回得られた調査結果を踏まえて論文等で研究発表を行う際は、個人名が特定されないことがないように個人情報の扱いには十分に留意します。また、この調査にあたっては、参加は自由意志で、拒否しても構いません。さらに、今回得られた調査用紙と分析したデータを収めた USB メモリは板橋研究室から持ち出さず個人情報の漏洩防止を図ります。安心して、思った通りに回答してください。

学籍番号	氏名

問 1. あなたは、小学校の理科で、「コンデンサー」を扱いました。この電子部品の名称を覚えていますか。

（はい、いいえ）

問 2. 問 1 で「はい」と答えた方への質問です。「コンデンサー」の働きを覚えていますか。

（はい、いいえ）

問 3. 問 2 で「はい」と答えた方への質問です。「コンデンサー」の働きについて、あなたが知っていることを全て答えてください。

問 4. 問 2 で「はい」と答えた方への質問です。「コンデンサー」の取り扱いの注意点について、あなたが知っていることを、全て答えてください。

質問は以上です。ご協力をありがとうございました。

A Basic Study on the Use of Lithium Polymer Batteries as Teaching Materials in Elementary School Science Toward Use in the 6th Grade Elementary Science Unit “Electricity and its Uses”

ITAHASHI Natsuki

The current sixth-grade science unit, “Electricity and its Uses,” includes an experiment on electricity storage using a capacitor. However, this is the only case where a capacitor is used, including in elementary and junior high school science courses. Consequently, young students in Japan are not familiar with capacitors among electronic components. Yet, if the capacitor were to be replaced by a rechargeable battery, an item familiar in daily life, then young students might show a greater interest and improve their understanding of electricity storage. Thus, this study uses a rechargeable battery in place of a capacitor to investigate whether the same experiment can be performed. The rechargeable battery used in this study was a lithium polymer battery with a capacity of 30 mAh. By using a hand-cranked generator (12 V) at a rotation speed of 2 (times/sec), the generator was rotated 10 to 20 times to charge the battery. After that, connecting this (now charged) battery to a standard light-emitting diode and a miniature light bulb that is appropriate for the capacity of this battery, we obtained the same basic findings as in the experiment using the capacitor, thus enabling the substitution of this rechargeable battery.