

エネルギー変換教材「エネピック」の中学校理科での活用

渡辺理文*・鎌田正裕*

理科教育学分野

(2013年5月28日受理)

WATANABE, M. and KAMATA, M.: Trial use of an energy conversion tool “Ene-pick” in junior high school science. Bull. Tokyo Gakugei Univ. Div. Nat. Sci., 65: 1-7. (2013)

ISSN 1880-4330

Abstract

The tool “Ene-pick” which had been developed to demonstrate energy conversion between light and electricity was used in junior high school science. It was made clear that the tool was able to help students to understand the loss of energy conversion and to recognize how the energy of light depends on its wavelength. It was also made clear that junior high school students were able to assemble the tool easily and the responses from the students were positive.

Key words: energy conversion, light, electricity, LED, junior high school

Department of Science Education, Tokyo Gakugei University, 4-1-1 Nukuikita-machi, Koganei-shi, Tokyo 184-8501, Japan

要旨: 光と電気の間でのエネルギーの相互変換を説明するための実験教材「エネピック」を中学校の理科の授業で使用した。同教材を用いる事で、生徒にエネルギー変換時のロスの存在を理解させることができ、さらに光の波長の違いによるエネルギーの違いについても認識させられることが分かった。また中学生にとって、同教材の組み立てや扱いは容易で、同教材が好意的に受け入れられることが確認できた。

* 東京学芸大学 (184-8501 小金井市貫井北町 4-1-1)

1.はじめに

前報で、光・電気間におけるエネルギーの相互変換を1つの装置で示すことのできる実験教材「エネピック」を報告した¹⁾。その教材の外観を図1に、回路を図2に示す。同教材は、発光ダイオード(LED)には光があたると発電する性質があることを利用したものである。光源に向けると2個のLEDで作られた電気がコンデンサーに蓄えられ、スイッチを押すと、蓄えられた電気で片方のLEDが点灯する仕組みになっている。



図1 エネピックの外観

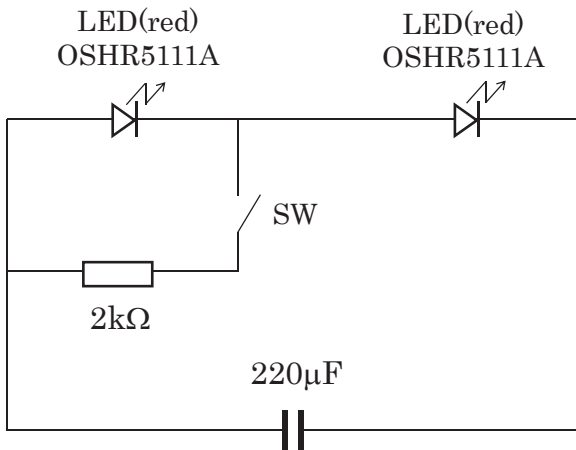


図2 エネピックの回路図

1つの装置でエネルギーの相互変換を体験することは、次の2つについて学ぶ上で効果的と考えられる。

- ・エネルギーの変換は、双方向に可能であること
- ・エネルギーの変換時にはロスを伴うこと

学習者にエネルギー変換時のロスを認識させようとする研究として、佐々木らによる手回し発電機等を用いた授業の提案がある²⁾。しかし、光と電気間のエネルギー変換については触れられておらず、本研究のよ

うに光と電気間のエネルギー変換時のロスについて学習者に認識させようとする研究は他に見当たらない。また、エネピックは発光素子そのものが発電素子として機能するため、発電素子(エネピックのLED)と異なる色(波長)の光を当てた際に、発電が可能かどうかを簡単に調べることができ、これによって生徒に光の色(波長)とエネルギーの関係を体験的にとらえさせることが出来ると考えられる。

さらに、平成20年告示の中学校学習指導要領の「指導計画の作成と内容の取扱い」では、ものづくりの推進が取り上げられている³⁾。ものづくりは原理や法則の理解を深める上で有効と考えられているが、これに加え、個別に取り組むことが多いので、ものづくりには学習者にとって各自のテンポで理解を深めることができるメリットがある。特にエネピックは単価も安く個別実験に向いており、エネルギー変換について実感を伴った理解を個々に促すことができる教材として期待できる。

既報では、エネピックの原理や性能について報告したが、実際の授業の中での扱い方やその教育的効果、生徒たちの反応についてはほとんど触れられていなかった。本報ではこれらを明らかにすることを目的に、中学2年生を対象にエネピックを活用した授業を2種類実施し、理科の授業における同教材の有効性について検討した。

2. エネピックの使用方法

2.1 エネピックの充放電

エネピックは、図3のようにスイッチを押さずに、LEDを光源に向けることで充電ができる。実験用の光源には白熱電球(100V-90W)と赤色のLED(OptoSupply, OSHR5111A)、青色のLED(OptoSupply, OSUB5111A)、プロジェクターの白色光(プラスビジョン, U3-810SF)を準備した。エネピックのLED(OSHR5111A)の点灯に要する電圧(約1.8V)を得るために要する充電時間は白熱電球では3分程度、同色のLEDでは40秒程度、プロジェクターの白色光では5秒程度である。この程度の充電時間であれば、1単位の授業内で何度も充電と放電を繰り返し行うことができる。後述の実践では、主にプロジェクターの白色光と赤色のLEDの光、白熱電球(100V-90W)の光を用いてエネピックを充電させた。

放電時には、図4のようにエネピックのスイッチを押す。点灯時間は7秒程度であるが、発光は十分な強度であり、LEDが点灯する様子を容易に確認できる。

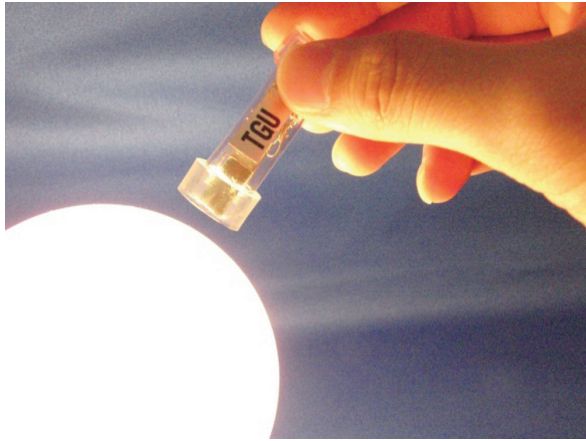


図3 充電している様子

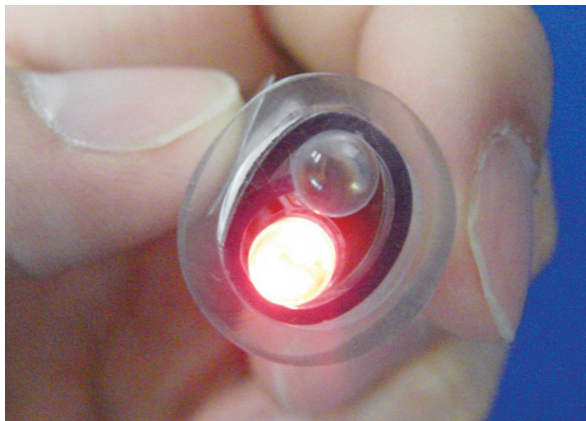


図4 放電している様子

学習者は実際に充電と点灯を繰り返す中で、点灯時間の短さや点灯する光の弱さから、与えた光に対してわずかな光しか得られないこと、すなわち、エネルギー変換の際にはロス（損失）を伴うことを体験的に認識することができる。

なお、白熱電球と赤色LEDを光源として用いたときのエネピックの充電時間と点灯時間、電圧の関係は表1と表2に示すとおりで、電圧が一定になる（コンデンサーが飽和する）までには、1分以上を要する。

表1 白熱電球が光源のときの充電時間と点灯時間

充電時間 (s)	180	200	230	250	280	300
点灯時間 (s)	7.8	8.3	8.9	9.3	9.8	9.8
電圧 (V)	1.8	2.0	2.3	2.5	2.7	2.7

表2 赤色LEDが光源のときの充電時間と点灯時間

充電時間 (s)	40	50	60	70	80	90
点灯時間 (s)	8.3	9.1	10.0	10.5	10.7	10.7
電圧 (V)	2.0	2.4	2.8	3.1	3.2	3.2

そのため、白熱電球やLEDを光源に用いた場合、コンデンサーが飽和に至るまで、充電を続ける子どもは多くないと考えられる。したがって、こまめに充放電を繰り返しながら、両者の時間の違いでもってエネルギー変換時のロスを体験しようとする活動は、定量的ではないものの教育的には役立つものと考えられる。

2. 2 光のエネルギーの大きさを認識させる実験

あるLEDにそのLEDの発光する色と同じ色の光、またはその光より短い波長の光を当てると、光を当てられたLEDは発電する。この原理を用いれば、エネピックを使って、光の色（波長）と光子が有するエネルギーの関係を調べる簡易な実験が可能になる。

そこで、明確な結果が得られるためには、LEDのどのような組み合わせが適しているかを実験によって確認した（注1）。実験の結果を表3に示す。

表3 充電の可否

		発光側のLEDの色				
		赤外線	赤	緑	青	紫外線
受光側のLEDの色	赤外線	○	○	○	○	○
	赤	×	○	○	○	○
	緑	×	×	○	○	○
	青	×	×	×	○	○
	紫外線	×	×	×	×	○

※○は充電可能、×は充電不可を示している。

同表より、光源側の光の波長が受光側のLEDの波長と同じか短ければ、エネピックで充電できることがわかる。このことから、エネピックを使用すれば、生徒に光の色（波長）とエネルギーの関係を考えさせる実験ができると考え、実践通してその可能性を検討した。なお、実践では、生徒が比較を行いやすくするために、赤色と青色の2色の光のみの組み合わせとした。

3. 中学校での実践

3. 1 対象とねらい

エネピックは、中学校の第3学年のエネルギー変換を扱う単元での使用が望ましい。しかしここでは、エネピックが中学校2年生にとって製作が可能であり、扱いやすい教材であるか、エネピックは生徒にとってエネルギー変換時のロスについての理解を深める教材として有効であるか、エネピックは生徒にとって光の波長とエネルギーの関係について認識させる教材とし

て有効であるかを確認することを目的としたため、エネルギーの厳密な定義については未習であっても、結果に大きな差は見られないと考えた。そこで、今回の実践では、電気回路の内容を学習した中学校第2学年の生徒（東京学芸大学世田谷中学校の第2学年4クラス）156名を対象に、100分の授業実践を行った。授業は筆者の1人（渡辺）が行った。

3. 2 授業・調査内容

対象の生徒たちは、学校の理科の授業においてコンデンサーやLED、エネルギー変換の内容について未習であった。そのため、エネピックを製作する前に手回し発電機を用いてエネルギーは変換できるということについて確認した。また、「LEDに光を当てると発電ができること」、「コンデンサーには電気を蓄える働きがあること」を演示実験によって確かめた。その内容はワークシートに記録し、全員で内容を共有した。その後、エネピックを生徒一人ひとりが製作し、それぞれが自分の作った装置でエネルギー変換を体験した。エネピックを製作する時は、教材提示装置を用いて授業者の手元をプロジェクターでスクリーンに映し、生徒に製作する様子を見せながら一緒に作業を進めた。また、作り方のプリントを配布し、それを参考に製作できるようにした。

十分にエネピックでエネルギーの相互変換を体験した後に、A、C組は手回し発電機を2つつなげ、片方を10回回したときに、もう片方は何回回るのかを実験し、エネルギー変換時のロスを確認した。また、火力発電所で熱エネルギーを100作ったときに、エネルギー変換で電気エネルギーになるのはそのうちの40であり、蛍光灯で光エネルギーになるのは10であることを伝えた。そして製作したエネピックも充電時にあてた光と同じ量の光を放電することはできないことを確認し、エネルギー変換時にはロスを伴うことを学習した。また発電所と部屋の蛍光灯を例に出し、エネルギー変換を利用して生活していることやエネルギー変換時のロスの存在について触れた。

B、D組はほとんどの生徒が小学校時に虹の色の順番を学習していたため、虹の色の順番を質問し、可視光の色にはどのような色があるかを確認した。その後、中学校第1学年時に学習した音の波長の内容をもとに、光が波であること、光は波長の違いで色が異なることを伝えた。同時に可視光の色を波長の短い順番に並べ、順番を確認した。確認後に、赤色LEDで製作したエネピックと青色LEDで製作したエネピックを用意した。これに赤色LEDや青色LEDの光をあて、

どの組み合わせにおいて充電が可能かどうかを示す実験を演示で行った。充電の可否の判断は、エネピックのコンデンサーにデジタルマルチメーターをつなげて電圧の変化を観察することで行った。その際、デジタルマルチメーターを教材提示装置でスクリーンに映し、全員で観察した。この実験結果から、赤色の光よりも青色の光の方が、エネルギーが高いというまとめをした。これを基に波長の短い光の方が波長の長い光よりもエネルギーが高いことを説明し、光の色の違いによるエネルギーの違いについての学習とした。

A、C組の授業の展開を表4に、B、D組の授業展開を表5に示す。また授業の様子を図5に示す。

表4 A、C組の授業展開

導入 (15分)	<ul style="list-style-type: none"> 手回し発電機を使い、エネルギー変換している様子を演示実験から確認する。 LEDに光をあてることで発電ができることを演示実験から確認する。 コンデンサーは蓄電できることを演示実験から確認する。
展開1 (45分)	<ul style="list-style-type: none"> 1人1個ずつエネピックを製作する。 エネピックを用いて、充電と放電を行い、エネルギー変換を体験する。
展開2 (20分)	<ul style="list-style-type: none"> 手回し発電機と手回し発電機をつなげ、片方を10回まわし、もう片方が何回まわるのか実験する。 エネピックにもエネルギー変換時のロスがあることを確認する。
まとめ (20分)	<ul style="list-style-type: none"> 今日の活動を振り返る。 アンケートを記入する。

表5 B、D組の授業展開

導入 (15分)	<ul style="list-style-type: none"> 手回し発電機を使い、エネルギー変換している様子を演示実験から確認する。 LEDに光をあてることで発電ができることを演示実験から確認する。 コンデンサーは蓄電できることを演示実験から確認する。
展開1 (45分)	<ul style="list-style-type: none"> 1人1個ずつエネピックを製作する。 エネピックを用いて、充電と放電を行い、エネルギー変換を体験する。
展開2 (20分)	<ul style="list-style-type: none"> 虹の色の順番を確認し、ワークシートにまとめることで可視光には何色があるのかを確認する。 異なる色のLEDで製作したエネピックの充電の可否を演示実験で観察し、結果を比較することで、光の持つエネルギーの違いを確認する。
まとめ (20分)	<ul style="list-style-type: none"> 今日の活動を振り返る。 アンケートを記入する。

表4と表5に示したように授業後にアンケートを行い、エネピックの教育的効果と生徒たちの反応について調査した。A, C組で行ったアンケートはエネピックや授業内容に対する興味・関心はどうか, エネピックの製作の難易度はどうか, エネピックでエネルギー変換時のロスの実感できたかを問う設問が3つと, その授業の感想を問う自由記述の設問を1つとした。B, D組で行ったアンケートは興味・関心はどうか, エネピックの製作の難易度はどうか, エネピックで光の色の違いによるエネルギーの違いについての理解度を測る設問が3つと, 授業の感想を問う自由記述の設問を1つとした。



図5 同色のLEDで充電している様子

3. 3 調査結果

3. 3. 1 興味・関心について

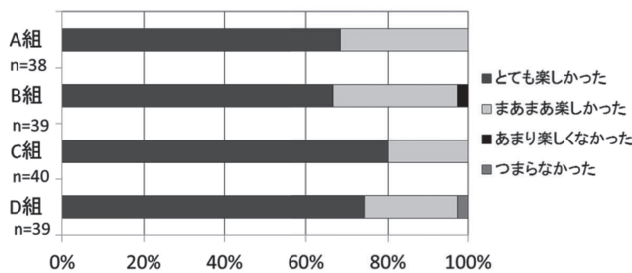
図6に示すように, 設問1「今日のLEDを使った実験は楽しかったですか。」の問いに対して95%以上の生徒が「とても楽しかった」, 「まあまあ楽しかった」と肯定的な回答をした。ほとんどの生徒がLEDで発電できることを知らなかったために, それを示す演示実験では, 「本当だ。発電している。」などの驚きの声や表情を見ることができた。活動では充電する際に, 我先にと光源へ駆け寄り様子や, 違う光源で何度も充電と放電を繰り返す様子が確認できた。また自由記述でも, 教材に対する肯定的な記述が多く, 否定的な意見はなかった。興味・関心についての記述を表6に示す。

表6 生徒の感想の自由記述例

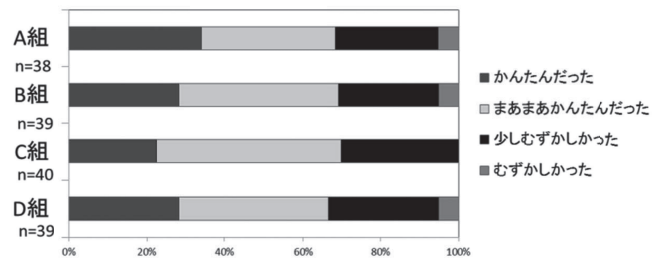
エネピックは作るのがとても楽しかったし, 本格的でおもしろかったです。「1人1個」なのも嬉しかったです。

エネピックを実際に自分で作って, エネルギー変換のことを学んだのでとても分かりやすかった。理科はあまり好きではなかったけれど作ることからやれたので少し興味を持った。

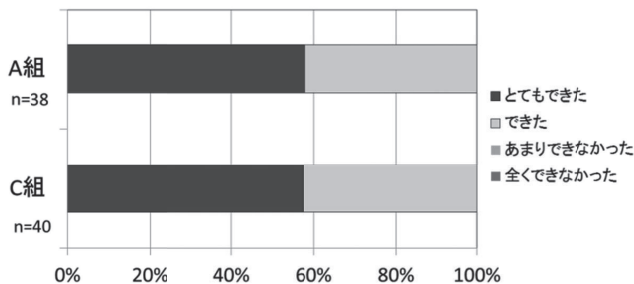
設問1「今日のLEDを使った実験は楽しかったですか。」



設問2「エネピックを作るのは簡単でしたか。」



設問3「エネピックでエネルギー変換するときのロスを実感することができましたか。」



設問4「緑色LEDでつくったエネピックは何色の光で充電ができるでしょうか。」

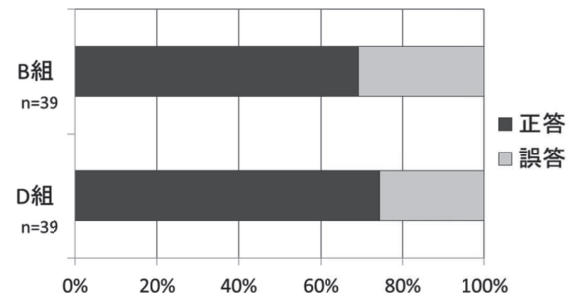


図6 アンケートの設問と結果

「1人1個なのも嬉しかったです。」のような記述から「1人1個」製作できることが生徒に好評であった。授業後に「1人1個、作れて楽しかった。」と感想を言いに来た女子生徒がおり、授業後の態度にも表れていた。普段は4人グループで実験を行うことが多い。「1人1個」製作できたことで、グループ実験よりも自分で実験していると強く感じたようである。このことから、「1人1個」製作できるというエネピックの利点についても確認することができた。また「理科はあまり好きではなかったけれど作ることからやれたので少し興味を持った。」のような他の記述からも、エネピックへの興味やエネルギー変換への興味を見ることができる。このような興味・関心を授業内容にも向けさせることで、原理の理解への動機づけを促すものになると考える。

以上のことから、エネピックが生徒たちに受け入れられていたと考えられる。

3. 3. 2 製作について

図6に示すように、設問2「エネピックを作るのは簡単でしたか。」の問いに対して、約70%の生徒が「かんたんだった」、「まあまあかんたんだった」と回答した。どこが難しかったかを記述させた結果、LEDとLEDの導線をねじる所が難しかったという意見とコンデンサーとLEDをつなぐところが難しかったという意見があった。この2点については授業者が導線をねじってつなげる手元の様子を生徒に教材提示装置で示してから、作業をさせるなどの指導が必要であると考えられる。また、スイッチをおさえるためにチューブをはめるところが難しかったという意見があった。しかし、個別指導がなくても生徒自身が何回か試すことで、全員がスイッチの取り付けを行うことができていた。

生徒が難しいと感じる箇所があるが、全員がエネピックを20分ほどで完成させ、自身の装置で充電と放電を経験できたことから、中学校2年生であれば無理なく製作が可能であることが確かめられた。

3. 3. 3 エネルギー変換時のロスの存在について

図6に示すように、A, C組の設問3「エネピックでエネルギー変換するときのロスを実感することができましたか。」の問いに対して、全ての生徒が「とてもできた」、「できた」と回答した。エネピックがエネルギー変換時のロスを実感させる教材として有効であると考えられる。

活動中に充電と放電を行っていた生徒の大部分が

「光をいっぱいあてたのに、少ししかLEDがつかない。」と発言していた。エネピックは放電時のLEDの発光時間を7秒程度になるようにコンデンサーの容量を設定してあるが、その7秒の時間の長さが、生徒がエネルギー変換時のロスについて実感する際にとっても有効に作用していると考えられる。また、ロスの存在に関する内容が書かれた自由記述を表7に示す。

表7 エネルギー変換のロスの存在についての記述例

かなり長い時間エネピックに光をあてていたのに数秒しかLEDが光らなかったので、「エネルギー変換のロス」を実感できて楽しかったです。
エネルギーが変換される時には、ロスが生じてしまって、電気エネルギーの全てが光エネルギーになる訳ではないので、その分無駄だと思った。ロスができないようにするには、どうしたらいいのだろう。
ロスをどのように有効活用していくかが課題だと思った。

表7に示す自由記述からも、生徒がエネピックの発光時間が短いゆえにエネルギー変換時のロスを実感できたと考えられる。また、そのロスの大きさを実感し、そのロスをどのように有効に活用できるかについて授業後に興味を持っていたことが分かる。

授業では、ロスについてのまとめとして、エネルギーは無くなった訳ではなく、熱エネルギーとして逃げていってしまうことを伝えた。まとめでは「エネルギー保存則」についても生徒は納得している様子であった。そこから、無駄になってしまう熱エネルギーを有効に活用したいという思いが記述の中に表現されていたと考えられる。エネピックを使用した授業は、普段は無駄になってしまう熱エネルギーを利用しているシステムの話などと繋げることで、エネルギー資源について、またはエネルギーの使用方法について、生徒が考える機会を設けることができると考える。

3. 3. 4 光の波長とエネルギーの関係について

B, D組の設問4「緑色LEDでつくったエネピックは、何色の光で充電ができるでしょうか。」の問いを行った。この設問の正答は「緑、青、紫」である。図6に示すように70%以上の生徒が正しく回答していた。誤答としては「緑」を抜いた「青、紫」というものが数多くあった。誤答した生徒でも緑の光よりも青、紫の光の方が、エネルギーが高いことに気づいていることが分かる。また、光の色の違いによるエネル

ギーの大きさの違いに関する内容が書かれた自由記述を表8に示す。

表8 光の色とエネルギーの大きさについての記述例

紫の方が、赤色より強いことを知って驚いた。だから紫外線は肌への影響を与えるんだなと思った。
光は「色」でエネルギーが違うというところに一番興味を持ちました。
光などに見えないけれどエネルギーが存在し、しかも光の色によってその大きさが違うということを実験で実感できました。

表8に示すように「光などに見えないけれどエネルギーが存在する」という記述から、光にもエネルギーがあるということを認識している様子が見られ、「光の色によってエネルギーの大きさが違うということを実験で実感できた。」という記述から、エネピックの使用によって生徒が、光の色によってエネルギーの大きさが異なることを認識している様子が分かる。また、授業内では紫外線については触れなかったが、紫外線はエネルギーが高いために肌に影響を与えることに気づき、記述した生徒もいた。

以上のことから、エネピックが光の色の違いによるエネルギーの大きさの違いについての理解を促す教材として有効であると考えられる。

4. まとめ

中学校の理科の授業においてエネピックを使用した。授業後の生徒の記述や授業中の様子から、エネピックはエネルギー変換時のロスの存在を生徒に実感させることが可能であることを確認できた。また、使用するLEDの色や光源の色を変えることで、光の色の違いによるエネルギーの大きさの違いについても生徒に考えさせることができた。

なお、光の色（波長）とエネルギーの関係は、高等学校の物理の内容である。実際に高校でこの内容を教える際には、実験を行わないで、説明だけで済ませることが少なくない。ここでも、エネピックを用いることで、生徒に光の色（波長）とエネルギーの関係を実験に基づき考えさせることができるものと考えられる。

(注1)

LED1つとコンデンサー1つをつないだ回路を製作し、そのLEDに同一あるいは種々の異なるLEDの光

をあてた。実際の実験では、発光側LEDと受光側LEDの光軸と距離を揃えるために、両者をシリコンチューブ（内径3mm）で接続した。実験装置を図7に、実験に用いたLEDを表9に示す。

実際に発電ができたかについてはデジタルマルチメーターをコンデンサーにつなぎ、光をあてたときのコンデンサーの電圧の上昇の有無で判断した。

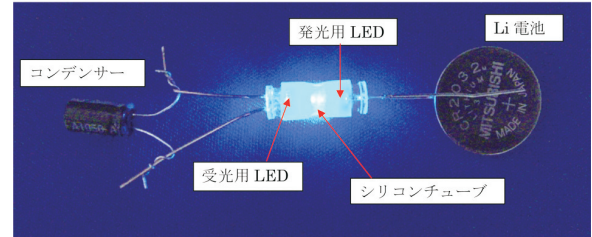


図7 実験装置

表9 LEDの種類

赤外線LED	(OptoSupply, OSIR5113A)
赤色LED	(OptoSupply, OSHR5111A)
緑色LED	(OptoSupply, OSPG5111A)
青色LED	(OptoSupply, OSUB5111A)
紫外線LED	(OptoSupply, OSSV5111A)

(注2)

プロジェクターを光源に用いる場合には、コンデンサーの放電可能時間に相当する時間である数秒での充電が可能であるため、厳密には充電時間と放電時間の比較からロスを論じることはできない。しかし、光の強度の差ははっきり認識できるので、これに着目することでロスについて意識させることが可能である。

引用文献

- 1) 渡辺理文・鎌田正裕：物理教育，Vol.59-1（2011）pp.9-13.
- 2) 佐々木英樹・重松宏武：教育実践総合センター研究紀要，Vol.31（2011）pp.59-70
- 3) 文部科学省：「中学校学習指導要領 理科編（平成20年9月）」，大日本図書（2008）p.99