



Title	太陽電池と大容量コンデンサーを用いたエネルギー教材の開発
Author(s)	富山, 哲之
Citation	長崎大学教育学部紀要:教科教育学, 52, pp.21-33; 2012
Issue Date	2012-03-01
URL	http://hdl.handle.net/10069/29258
Right	

This document is downloaded at: 2019-04-26T14:12:10Z

太陽電池と大容量コンデンサーを用いた エネルギー教材の開発

富山 哲之*
(平成23年10月31日受理)

A Developmental Research of the Energy Teaching Materials
by Using of Solar Cells and Mass Capacitors

Noriyuki TOMIYAMA*
(Received October 31, 2011)

1. はじめに

近年,身近な小型電子機器には,太陽電池(光電池)や二次電池,大容量コンデンサー等の新素材を利用した小電力供給方式の直流電源装置が取り付けられている。太陽電池は,太陽光エネルギーを電気に直接変換する代表的なエネルギー変換器であり,益々身近なものになっている。また,従来の二次電池の機能を補完する素子として,大容量コンデンサーが開発されている。これは電気二重層コンデンサー¹⁾と呼ばれており,これまでの電解コンデンサーに比べて電気容量が非常に大きく大量の電気を蓄える働きがある。このようにエネルギーを蓄積できる素材が身近な電気製品に利用されて省エネルギーに寄与していることから,学校教育においてエネルギー教育のための教材として有効な活用法を探ることが重要である。

科学技術振興機構の理科教育支援センターによって行われた平成22年度小学校理科教育実態調査集計結果²⁾によれば,全国の公立小学校約1,000校の調査の中で,手回し発電機が“児童一人に1台ある”と回答した学校の割合は16.41%,同様にコンデンサーについては9.60%である。これに対して,手回し発電機が“ない”と回答した学校の割合は6.30%,同様にコンデンサーについては13.31%である。新学習指導要領では,このような理科実験機器の整備を期待しているが,その普及拡大の状況は未だ万全ではないようである。

平成20年告示の小学校学習指導要領理科編³⁾では,4年生の「電気の働き」に関する単元で太陽電池や発光ダイオード(LED),及び6年生の「電気の利用」に関する単元で手回し発電機やコンデンサー,発光ダイオード等を用いることが推奨されている。既に,太陽電池は旧学習指導要領⁴⁾において取り扱われている。また,新中学校学習指導要領理科編⁵⁾では,第1分野の「エネルギー」の単元において,エネルギーの変換と保存やエネルギー効率等を理解させることが狙いとされている。今後,太陽電池やコンデンサー等の新

*長崎大学教育学部

素材を活用した学習活動の重要性が高まってくる。

本論稿では、太陽電池や大容量コンデンサー等を組み合わせることにより電気エネルギーの発生・変換・貯蔵・利用に関する教材を開発して、その有効な活用法について考察したことを報告する。

2. 実験方法と実験の概略

2.1 実験装置の基本構成

実験装置は、図1のように、光源、平面鏡で作られた集光器（鏡筒）、教材・模型工作用の太陽電池（動作電圧 DC1.5V、動作電流 DC500mA）の発電器、大容量コンデンサー（M社製、公称値；電気容量10F、耐電圧2.3V）の蓄電器、負荷抵抗器等で構成される。光源はフィラメント電球（40W型または150W型）を用いた。集光器は4枚の平面鏡（寸法；約22cm×22cm×29cm）を90度で四角柱に組んだ。また、太陽電池の特性測定のために三角柱の鏡筒を別に用意した。発電器は太陽電池3枚を直列に接続したパネル（太陽電池S）、及び並列に接続したパネル（太陽電池P）を用いた。蓄電器はコンデンサー2個を直列接続とし、これらの10組を並列接続にすることで、合成容量50F、耐電圧はDC4.6Vにした。

図2に実験装置の発電器に連結したコンデンサーの充放電回路図を示す。太陽電池から直流電流が充電回路に流れる。コンデンサーに蓄えられた電荷は、スイッチを放電側に切り替えたとき負荷抵抗器でエネルギーが費やされる。長時間、高い電圧で充電するとき

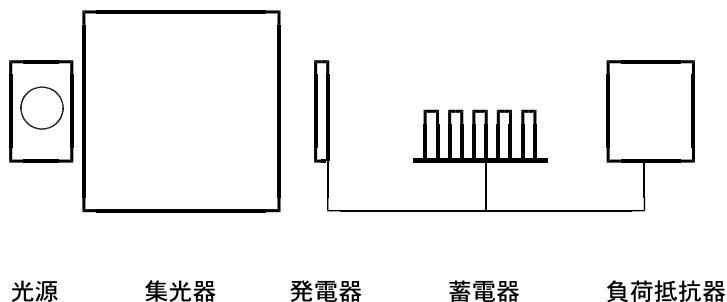


図1 実験装置の基本構成

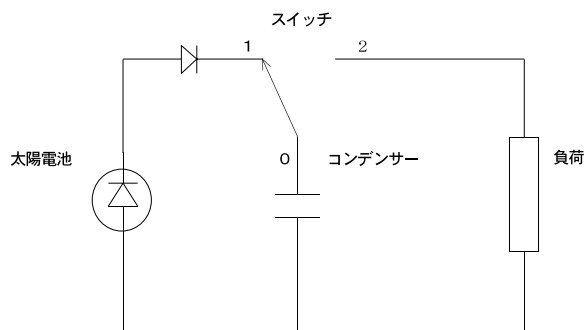


図2 充放電回路

逆流防止のためにダイオードを接続するのがよいが、ダイオードによる電圧降下を生じるので本測定では使わないでその間を短絡した。図3(a)に装置全体の外観を示す。光源と集光器左端との間隔は約10cm、集光器右端と、光源に対し垂直に光が当たる向きに固定した太陽電池の受光面との間隔は約3cm、光源から水平方向へ離れた太陽電池パネルの受光面までの距離は約42cmである。図3(b)に鏡筒内部の様子を示す。

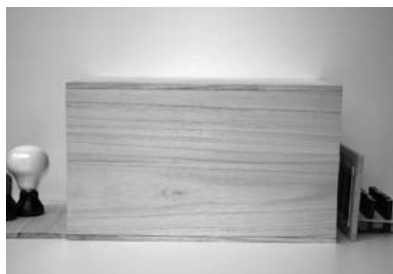


図3(a) 装置全体の外観

(左側；光源，中央；鏡筒，右側；太陽電池，光源)



図3(b) 鏡筒内部の様子

2.2 構成素材の特性

2.2.1 集光器

万華鏡は今から凡そ200年前にスコットランドのデビッド・ブリュースターによって発明されたと言われている。万華鏡は3枚の鏡を組み合わせたのが基本であるが、ここでは、3枚または4枚の平面鏡の反射面を内側に向けて角柱形に組んだ鏡筒のことを集光器と呼ぶことにする。

光源からの光線が鏡筒の一方の開端から入射するとそれぞれの反射面で反射が繰り返され、他方の開端から放射して太陽電池の受光面に到達する。屋内で太陽電池に関する実験を行う場合、このような集光器を用いることにより太陽電池の発電効率は上がるものと推測される。

集光器は、3枚の平面鏡を三角柱に組んだ鏡筒、及び4枚の平面鏡を四角柱に組んだ鏡筒を作製した。

2.2.2 教材・模型工作用太陽電池

現在，一般的に使用されている太陽電池は，シリコンを主成分とする半導体のP-N接合部に光を当てたときに起電力が生じる光起電効果を利用したものである。メーカーのカタログ⁶⁾等にはその発電原理が分かり易く記述されている。

教材・模型工作用太陽電池の出力を増加する場合，太陽電池モジュールを直列接続または並列接続すれば所定の出力が得られる。光照射条件を変えず，また同じ回路において，同じ性能の太陽電池3枚を直列接続したときに起電力は3倍になり電流は単独使用と変わらないが，並列接続したときに起電力は単独使用と変わらず電流は3倍になる。

太陽電池による発電は，太陽電池への光照射条件が出力を大きく左右する。光源の方向に垂直に太陽電池の受光面を向けてその光度での最大の出力が得られるように工夫した。屋内では，太陽光下に比べて光量が少なく太陽電池の出力は低下する。そのために電球を点灯するときや模型モーターを作動するとき色々な不具合が起こるので前項で作製した集光器を用いた。

教材・模型工作用太陽電池の小型・軽量モジュールを図4に示す。図の左側からメーカー別に，結晶シリコン型の製品A，及び製品B，製品C，非晶質シリコン型の製品Dを示す。各々の太陽電池の性能は，太陽電池に負荷抵抗30Ωを接続した回路を用いて，屋外の直射太陽光下，及び屋内において図5の集光器を備えた暗箱内で調べた。太陽電池Bについては，図6に直列接続の太陽電池S及び図7に並列接続の太陽電池Pとコンデンサーの接続の様子を示す。太陽電池の受光面の照度は照度計で測定した。コンデンサー端子電圧，及び回路の電流，抵抗値はデジタルマルチメーターで測定した。

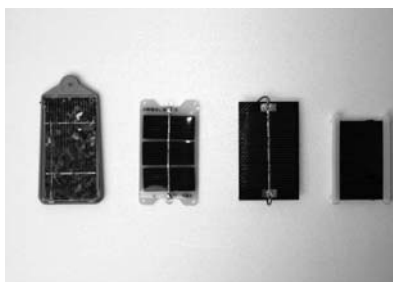


図4 教材・模型工作用太陽電池の外観



図5 特性測定用暗箱（横44cm×縦30cm×奥行22cm）
（上方；照度計，下方；左側から裸電球（40W型），
集光器（三角柱状鏡筒），測定用太陽電池）

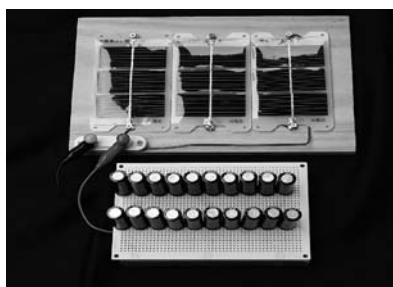


図6 太陽電池S (上方),
コンデンサー (下方)

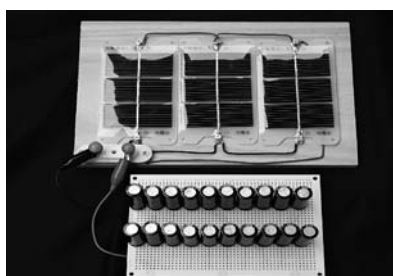


図7 太陽電池P (上方),
コンデンサー (下方)

2.2.3 大容量コンデンサー

大容量のコンデンサーは、電気二重層キャパシター (EDLC) とも呼ばれ、従来の電解コンデンサーとは、桁違いに電気容量が大きく、原理的にも異なるのが特徴である。これは活性炭と電解液の界面にプラスとマイナスの電荷が極めて短い距離を隔てて相対的に分布する。二次電池が化学反応によって電荷を蓄えるのとは対照的に、電極の表面にイオンが吸着され、電荷が蓄えられる。

用途として二次電池的な利用が主である。多くの二次電池と比較して、有害物質を含まない、安全性が高い、急速充放電ができる、サイクル寿命が長い、充放電効率が高い、氷点下でも動作する等の特長がある。¹⁾

一般に、コンデンサーに蓄えられる電気量 Q [C] は、加えた電圧 V [V] に比例する。すなわち $Q = CV$ となり、このときの定数 C をコンデンサーの電気容量という。実際に充電する場合には、回路の抵抗のため、過渡的に電流 I [A] が流れる。電気量の時間的变化は、 $I = dQ / dt$ である。なお、コンデンサーに蓄えられる電気エネルギー U [J] は、 $U = CV^2 / 2$ である。

コンデンサーの充電特性は、電気容量 C 、充電電圧 V 、充電回路の抵抗 R_0 [Ω]、 t 秒後のコンデンサーの端子電圧 V_C [V] として、 $V_C = V\{1 - \exp(-t / CR_0)\}$ で表される。

定電流、及び定抵抗負荷による放電特性から電気容量 C を求めることができる。コンデンサーを充電した後、(1) 定電流による放電の場合は、初期電圧 (充電電圧) V [V]、

電流 I [A], t 秒後のコンデンサーの端子電圧 V_1 [V] として, $t = C(V - V_1) / I$ となる。
 (2) 定抵抗負荷による放電の場合は, 放電回路の抵抗 R [], 及び t 秒間放電したときのコンデンサーの端子電圧 V_1 として, $t = -CR \ln(V_1 / V)$ で表される。⁷⁾

図6, 及び図7に太陽電池とコンデンサー20個(各図の下方)を接続した回路を示す。大容量コンデンサーの合成容量の計算値は50Fである。

2.2.4 負荷の種類

充放電回路の負荷として, 固定抵抗器(30 , 60 , 150), 発光ダイオード, 及び手作りモーター, 模型モーターカー, 小型扇風機を用いた。蓄電したコンデンサーは太陽電池の発電機から切り離して使用することができる。充電したコンデンサー(左側)と点灯中の発光ダイオード(右側)を図8に示す。抵抗器は発光ダイオードを保護する役目を果たしている。

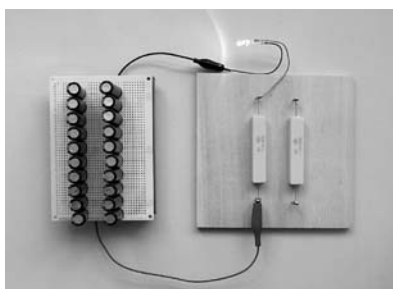


図8 負荷の種類(右側; 発光ダイオード, 固定抵抗器)

2.2.4.1 二極モーター

玩具等に使用されている直流モーターは三極モーターである。仕組みが簡単なものは二極モーターであり, 以下に述べる電機子に電磁石を使うもの以外にアンペールの力を利用したコイルモーターがある。小学校理科の製作活動ではコイルモーター作りが多く取り入れられている。モーターの回る仕組みをフレミングの左手の法則で容易に説明できる利点がある。電磁石を使ったモーターの回る仕組みは, 電機子の磁極と永久磁石の磁極が異なったとき, 永久磁石との間に引き合う力が生じて回転し始める。磁極が最接近したとき, 整流子の接点の位置も変わるので電流の向きが変わり, 電機子の磁極が逆転し, 永久磁石と電機子との間に反発する力が生じて電機子は同じ向きに回転し続ける。

電磁石を使った二極モーターは, 永久磁石の固定子, 鉄芯にエナメル線を巻いてコイルにした電機子, 整流子からできている。竹串(長さ約10cm)が回転軸に適当である。これに対し, その中央に挟んだ二本の鉄製クリップ(長さ約5cm)を直交させ, 糸で括ってコイルの鉄芯を作る。その周りに0.4mmのエナメル線を150回程巻き取ってコイルを作る。コイルの芯線の端部は塗料を削り取って後, 回転軸に貼り付けた二枚の真鍮板(5mm × 15mm)の整流子に半田付けする。固定子または電機子の支持具の二対(四本)のL金具を台木に適切な間隔にしてネジ釘で固定する。ブラシは細いクリップを伸ばしてからL字形に曲げたものを一對(二本)作り, その先端部が整流子に軽く接触する程度に対向させておき他端を台木にネジ釘で固定する。蓄電器からの電流がブラシを通りコ

イルに流れるように結線する。充電したコンデンサー（左側）と回転中の手作りモーター（右側）を図9に示す。

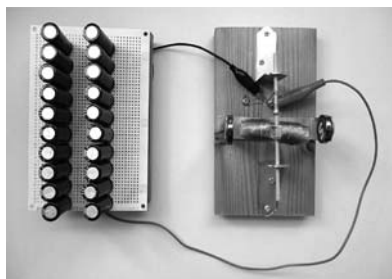


図9 自作の二極モーター（右側）

3．結果及び考察

3.1 教材・模型工作用太陽電池の特性

屋外の直射太陽光下（照度83500 lx）、及び屋内において図5の暗箱内（照度3950 lx）に太陽電池を置いたときの太陽電池の起電力 E 、電流 I を表1に示す。各欄の上段は屋外、及び下段は屋内での E または I の測定5回分の平均値であり、表の右列に出力 P の計算値を示す。

表1 教材・模型工作用太陽電池の性能

製品種別	受光面積 S [cm ²]	起電力 E [V]	電流 I [$\times 10^{-3}$ A]	出力 P [$\times 10^{-3}$ W]
A	51.0	0.562	15.7	8.64
		0.506	14.8	7.49
B	36.7	1.515	44.3	67.1
		1.039	30.3	31.5
C	60.0	1.612	45.2	72.9
		0.782	25.4	19.9
D	40.0	6.250	20.0	125
		0.260	1.50	0.39

屋内の照度は屋外に比べて約二十分の一であるが、製品Aの太陽電池の出力は比較的安定している。屋内での製品Bの出力は約53%低下し、製品Cは約73%低下している。製品Dは、A、B、Cに比べて屋外で出力が大きい屋室内での出力は小さい。結晶系太陽電池は太陽光または白熱電球下で比較的安定した出力が得られた。

3.2 太陽電池パネルの直列接続と並列接続

直射太陽光または150W型電球の光源に対する製品Bの太陽電池 S 、及び太陽電池 P の起電力の関係を表2に示す。諸量は測定5回分の平均値である。

光源と太陽電池との間に鏡筒を置いて集光したことにより太陽電池の受光面の照度は約3.7倍上昇した。その効果として、太陽電池の直列接続回路で出力は約7.5倍に増加し、並

表2 太陽電池の起電力

太陽光下	[鏡筒; 無]	照度 113200 lx (昼間, 気温32)	
		太陽電池 S (直列接続)	太陽電池 P (並列接続)
負荷抵抗(無)		5.032V	1.685V
負荷抵抗(30)		4.551V	1.591V
		0.123A	0.0394A
白熱電灯 (150W)	[鏡筒; 無]	照度 2610 lx (夜間, 気温25)	
		太陽電池 S (直列接続)	太陽電池 P (並列接続)
負荷抵抗(無)		3.184V	1.502V
負荷抵抗(30)		0.857V	1.208V
		0.0247A	0.0406A
白熱電灯 (150W)	[鏡筒; 有]	照度 9580 lx (夜間, 気温25)	
		太陽電池 S (直列接続)	太陽電池 P (並列接続)
負荷抵抗(無)		4.713V	1.609V
負荷抵抗(30)		2.203V	1.285V
		0.0722A	0.0445A

列回路で約1.2倍に増加した。

直射太陽光下では、太陽電池の直列接続の場合、出力は0.56Wで最も出力が大きい。コンデンサーに蓄えられる電気エネルギーは、充電電圧4.55Vのとき約518Jである。このときコンデンサーの充電に要する時間は約15分となる。負荷抵抗30 がなければ回路の電流が大きくなるのでコンデンサーの充電に要する時間は短縮される。

地球の大気圏外に到達する太陽エネルギーの密度は約 $1.37\text{kW}/\text{m}^2$ である。太陽エネルギーは大気の成分による散乱・吸収等により減衰し、地表での太陽エネルギー密度は約 $1.0\text{kW}/\text{m}^2$ である。⁸⁾ この値を使ってエネルギー変換効率を求めると、直射太陽光下での太陽電池Sの変換効率は約15%になる。この数値は普及品レベルの太陽光発電装置の効率と同程度である。

3.3 大容量コンデンサーの充電及び放電特性

コンデンサーの充電は、直流安定化電源の出力電圧をDC4.5Vに保持しておき、電源スイッチを入れた瞬間から1分おきに充電時間に対するコンデンサー端子電圧と回路の電流を読み取った。コンデンサーを0.57Aで充電したときの充電特性を図10に示す。このグラフの勾配からコンデンサーの端子電圧の上昇率は約 1.1×10^{-2} である。依ってコンデンサーの電気容量は約52Fが得られた。また、端子電圧が3.9V程度までは0.57Aで充電されるが、その後、回路の電流は減少する。

コンデンサーの放電は、直流安定化電源の出力電圧をDC4.5Vに保持しておき、コンデンサーの充電電圧が4.5Vに達してからスイッチを放電側に切り替えてコンデンサー端子電圧を一定時間おきに読み取った。負荷抵抗60 の放電回路の放電特性を図11に示す。負荷抵抗150 の放電回路のコンデンサー端子電圧の時間変化を図12に示す。

図11のように、コンデンサーの端子電圧の時間変化、及び回路の電流の時間変化は右下がりの減衰曲線を描いており、時定数は約3000秒となる。

放電回路に負荷抵抗150 を接続した場合、図12に示すように、コンデンサー端子電圧

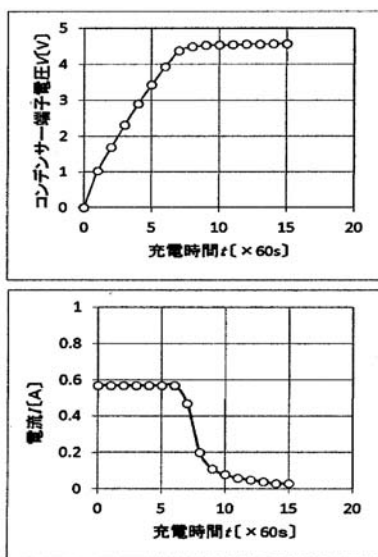


図10 コンデンサーの充電特性（負荷抵抗30 ）
（上方；電圧特性，下方；電流特性）

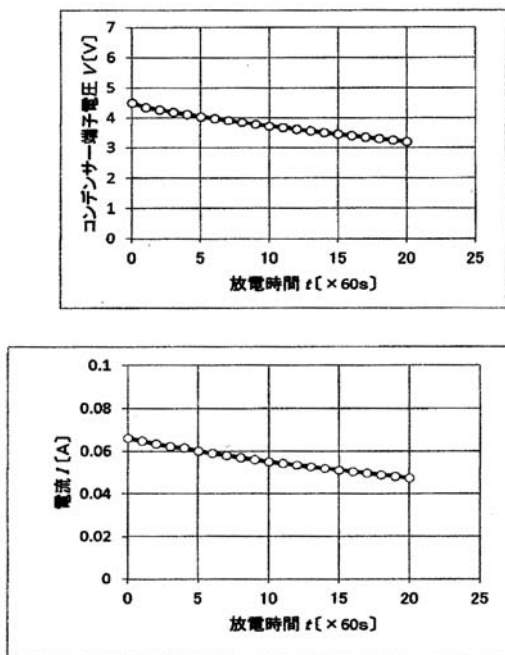


図11 コンデンサーの放電特性（負荷抵抗60 ）
（上方；電圧特性，下方；電流特性）

の変化は緩やかになり，指数関数的な減衰を表している。負荷抵抗60 のときに比べて時定数は約2.5倍大きくなる。実測値としてのコンデンサーの電気容量は約53Fであり，公

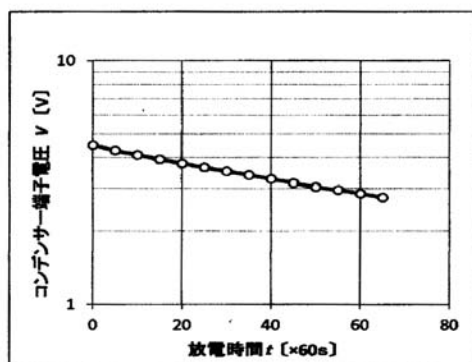


図12 コンデンサー端子電圧の時間変化（負荷抵抗150 Ω）

称値に基づく計算値よりも6%程度大きい。測定誤差が生じる原因として、大容量コンデンサーは内部抵抗や漏れ電流等の影響により測定条件で変化する性質を持っていることが指摘されている。⁷⁾

3.4 エネルギーの変換過程

光源からの光エネルギーは、太陽電池で起電力が生じた後、コンデンサーに充電、及びコンデンサーの放電により、負荷抵抗器（電球、モーター等）へエネルギーの流れを生じる。本教材において、電気エネルギーの流れの緩急は、次の8通りが考えられる。（1）電気を急いで起こし、急いで貯めて、急いで使う、（2）電気を急いで起こし、急いで貯めて、ゆっくり使う、（3）電気を急いで起こし、ゆっくり貯めて、ゆっくり使う、（4）電気を急いで起こし、ゆっくり貯めて、急いで使う、（5）電気をゆっくり起こし、急いで貯めて、急いで使う、（6）電気をゆっくり起こし、ゆっくり貯めて、急いで使う、（7）電気をゆっくり起こし、急いで貯めて、ゆっくり使う、（8）電気をゆっくり起こし、ゆっくり貯めて、ゆっくり使う。表3にエネルギーの変換過程を示す。電気エネルギーの流れの緩急について、“急いで”を印、“ゆっくり”を印で示す。

このようなエネルギーの変換過程において、エネルギーの貯蔵の位置付けが明らかとなり、エネルギーについて理解が深められる。また、実生活においてもエネルギーの変換効

表3 エネルギーの変換過程

	エネルギー発生	エネルギー貯蔵	エネルギー利用
エネルギーの種類とその変換	光 電気	電気 電気	電気 光, 熱, 音 磁気, 運動
エネルギー変換器	太陽電池	コンデンサー 二次電池	フィラメント電球 LED 電球, ヒーター, スピーカー, モーター, 電磁石
直射太陽光			
屋内灯[集光器(無)]			
屋内灯[集光器(有)]			

率を上げる努力をすることにより省エネルギーの意識の向上を図ることが重要である。

4．模型の製作と実践

4.1 直流モーターとソーラー・モーターカー

直射太陽光の下、太陽電池S（約4.5V）で発生した電気を大容量コンデンサーに充電しておき、放電側にスイッチを切り替えて図9の二極モーターを回したときの回転時間は約5分間であった。初期電流は1.8Aであり、暫くは勢いよく回転するが次第に回転は遅くなる。モーターの回転が停止したときは0.4Aであった。なお、同じ条件でコンデンサーに充電した場合の小型扇風機の回転の時間は約26分間であった。この間のコンデンサー両端の電圧は指数関数的に減少した。

模型ソーラー・モーターカーに集光器と大容量コンデンサーを取り付ける等の改良をした。台車（9.5cm×13.5cm×0.5cm）の上面に太陽電池1枚を両面テープで貼り付けた後、その受光面の上に4枚の鏡（寸法；7.0cm×8.0cm）を四角柱に組んだ鏡筒（寸法；7.0cm×8.0cm×9.5cm）を載せた。ミニランプ（100W）の光をモーターカーの上方約30cmの高さから太陽電池の受光面に当てたとき、太陽電池の出力は、集光器がないときの0.032Wから0.051Wまで約1.6倍に上昇した。

直流モーターの場合、電機子のコイルに電流が流れると磁界が発生する。整流子が回転して電流の方向が変わってコイルの磁極が逆転することで、永久磁石との吸引力、反発力が交互に働きコイルが回転する。電流の働きによって磁界が生じ、コイルを回転させるまでのエネルギー変換過程を認識できる教材である。

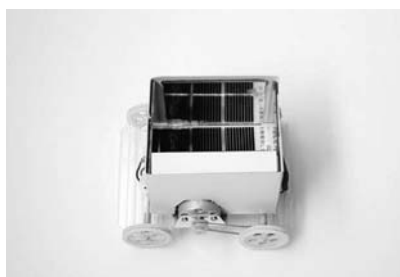


図13 蓄電器・集光器付ミニソーラーカー

4.2 科学イベントにおける実践

当地において開催された科学イベントでは、1991年から毎年ブースに出展してきたが、ペットボトルに太陽電池とコンデンサーを取り付けた模型ミニソーラーカーの初めての出展は「青少年のための科学の祭典」の第3回長崎大会（1999年10月）であった。当時、ミニソーラーカーは子ども達に随分珍しがられた。最近、公共施設に限らず民家にも太陽光発電装置が普及拡大している。また、時計や電卓等の小さな太陽電池を目にすることが多いので、子ども達は太陽電池やソーラーカーの名称をよく知っている。

科学イベント会場にやってくる来場者の多くは園児から小学生までの子ども達が大多数である。図14のブースには、太陽電池と大容量コンデンサーを取り付けたミニソーラーカー等を展示している。ブースの学生スタッフが来場者と対話しながら太陽電池の原理や操作



図14 「青少年のための科学の祭典2011」
第15回長崎大会（2011年10月）

法を説明する。ミニソーラーカーの操作では、子ども自身が照明灯を手に携えて太陽電池パネルの真上から光を当てながら、ミニソーラーカーをプラレール上を走らせることから始まる。次に、98%の粗製シリコンのインゴットを示して、太陽電池の成分は身の回りの土や岩石の中に沢山含まれていることを説明する。オルゴールの音を発光ダイオードの光の点滅に変えて送る装置と太陽電池で光を受けて音に変える装置とを対向させて光通信の模擬実験を行う。光ファイバーを通信経路に入れて光が通っていることを示す。コンデンサーに貯めた電気で小型扇風機を長い間回転できることを示す。小型扇風機が回転しているときに照明灯の光を遮り、それでも小型扇風機が回る理由を子ども達に尋ねる。子ども達は、コンデンサーに電気が蓄えられることが分かってくると、光を太陽電池に当てて電気を起こし、コンデンサーに電気を蓄えて使うという一連の操作が身に付いたことが伺える。

5. まとめ

本小論では、電気エネルギーの発生から貯蔵・利用までエネルギーの変換過程を認識できる比較的簡単な回路構成のエネルギー教材を開発した。屋内では集光器で光量を増やして太陽電池の出力を上げることができること、及び大容量のコンデンサーは乾電池のように使用できることを明らかにした。

日常生活に重要な役割を果たしている電気エネルギーの発生から貯蔵・利用の一連のエネルギー変換過程に着目したエネルギー教育は重要である。これまでの学校におけるエネルギー教育は、エネルギーの発生または利用の面に力点が置かれていると思われるからである。今年度から完全実施された新小学校学習指導要領では、エネルギーを蓄えることのできるコンデンサーを扱う学習内容が新設された。このような新素材を理科の内容区分「A物質・エネルギー」の電気に関する単元で使う意義として、光を太陽電池に当てると瞬時に電気を発生すること、その電気はコンデンサーに蓄えておいて、必用なときに電気を利用することを通して省エネルギーへの意識も高められるのではないかと考える。

参 考 文 献

- 1) 岡村迪夫：電気二重層キャパシタと蓄電システム，日刊工業新聞社（1999）25．
- 2) 科学技術振興機構（JST）理科教育支援センター：「平成22年度小学校理科教育実態調査集計結果」（平成23年8月）36．
- 3) 文部科学省編：小学校学習指導要領解説理科編，（平成20年8月）36．
- 4) 文部科学省編：小学校学習指導要領解説理科編，（平成11年5月）35．
- 5) 文部科学省編：中学校学習指導要領解説理科編，（平成20年9月）18．
- 6) 昭和ソーラーエネルギー株式会社カタログ：太陽電池モジュール（1998．10）2．
- 7) パナソニック（株）技術資料，industrial.panasonic.com/www-data
- 8) エネルギー・資源学会編：エネルギー・資源ハンドブック，オーム社（1997）179．