

＜実践報告・資料＞

エコ・エネルギー制御を体験するための 教材（ソーラー充電器）の製作

青森職業能力開発短期大学校 川守田 聡

A Solar- Cell Charger as a Teaching Material for Students to experience Eco-energy Control

Satoshi KAWAMORITA

要約 全国の職業能力開発大学校の専門課程に、エコ・エネルギーに関する「電気エネルギー制御科」が順次設置されており、地域の中学生・高校生のために、その設置科に関する「体験授業」や「オープンキャンパス」の機会が提供されている。その中で発電されたエネルギーや制御用の電子回路への関心・興味をもってもらうために、当校では体験用教材として「ソーラー充電器」の製作を行うこととした。本教材は、太陽光によって発電したエネルギーを手軽に充電できる「ソーラー充電器」であり、太陽電池から定電圧定電流で単 3 形ニッケル水素電池 2 本を充電する電子回路である。本回路は充電専用 IC を使わずにディスクリートの電子部品だけで構成し、充電するための電子回路の仕組みや電子部品個々の特徴も学べるよう配慮している。

本稿では、教材の構成や性能に関する測定データに併せて、本教材を使用する指導者のために、教材製作のプロセスと進め方も示した。

I はじめに

当校では、平成 24 年 4 月に専門課程の「電気エネルギー制御科」が新設された。新科の広報のために、平成 23 年度に積極的な高校訪問を実施したところ、地元の併設型中高一貫校から「エネルギーをテーマとした“体験授業”を中学生に対して実施できないか」という依頼があった。また、平成 23 年 3 月 11 日の東日本大震災によってエネルギーに対する関心が高まっている。そこで、平成 24 年 6 月 18 日～20 日（3 日間）で、「ソーラー充電器の製作」というテーマで中学 3 年生、生徒 49 名に対して「ものづくり体験教室」として、体験授業を実施したので報告する。この「ものづくり体験教室」は単に電子部品を基板にはんだ付けするのではなく、太陽電池の原理、はんだ付けに関する理論を学び、それを応用することによって、「ものづくり」への興味を湧かせるこ

とを目的とした。他施設で実施する際の参考としていただきたい。

II ものづくり体験教室の内容

平成 23 年の大震災において、青森県内の弘前市でも停電が 2 日間続き、電気不自由した経験から、「ものづくり体験教室」の内容として、「製作したものが実際に役立つソーラー充電器にして欲しい」という具体的な要望が中学校から出された。そこで停電時でも電気が蓄えられ、実用的な「ソーラー充電器」とした。

この充電器は、ニッケル水素電池などの単 3 型充電用電池 2 本を、太陽電池セルで充電するものである。太陽光に当てることにより、10 時間程度で充電できる。

図 1 に今回製作した「ソーラー充電器」の外観を示す。



図1 ソーラー充電器の外観

アルミケースの表面に太陽電池セル2枚を貼り、充電用電池の取り外しが容易にできるようにケース表面に電池ボックスを取り付けている。ケースの中には充電を制御するための定電圧回路と定電流回路を取り付けた基板が入っている。

3日間の「ものづくり体験教室」の日程は、表1～3のとおりである。対象が中学生であるため1コマの授業は50分、途中の休憩は10分、昼食時間は40分とした。5時間目の授業終了後は、15分の清掃時間である。3日目の5時間目終了後、質疑応答の時間を設けた。中学校がある弘前市から当校がある五所川原市まで移動に1時間弱かかるので、開始時間は9時30分からとした。

表1 第1日目の日程

月日	時間	A班(26名)	B班(23名)	教室
6月18日	9:30 ～ 10:20	・学校長挨拶 ・青森職業能力開発短期大学校の紹介		視聴覚室
	10:30 ～ 11:20	・施設見学 A班: FA実習室→電子CAD室→機械加工実習室 B班: 電子CAD室→機械加工実習室→FA実習室		視聴覚室
	11:30 ～ 12:20	・はんだ付けの仕方について 担当教員(4名)	・はんだ付けの仕方について 担当教員(4名)	各実習室
	12:20 ～ 13:00	昼食		視聴覚室
	13:00 ～ 13:50	・はんだ付けの練習 担当教員(4名)	・はんだ付けの練習 担当教員(4名)	各実習室
	14:00 ～ 14:50	・はんだ付けの練習 担当教員(4名)	・はんだ付けの練習 担当教員(4名)	各実習室
	15:00 ～ 15:15	後片づけ	後片づけ	各実習室

表2 第2日目の日程

月日	時間	A班(26名)	B班(23名)	教室
6月19日	9:30 ～ 10:20	・自然エネルギーの必要性について 担当教員(2名)		視聴覚室
	10:30 ～ 11:20	・半導体について ・太陽電池の発電原理、種類について 担当教員(2名)		視聴覚室
	11:30 ～ 12:20	・定電圧回路の製作 担当教員(4名)	・定電圧回路の製作 担当教員(4名)	各実習室
	12:20 ～ 13:00	昼食		視聴覚室
	13:00 ～ 13:50	・定電圧回路の製作 担当教員(4名)	・定電圧回路の製作 担当教員(4名)	各実習室
	14:00 ～ 14:50	・定電圧回路の製作 担当教員(4名)	・定電圧回路の製作 担当教員(4名)	各実習室
	15:00 ～ 15:15	・後片づけ	・後片づけ	各実習室

表3 第3日目の日程

月日	時間	A班(26名)	B班(23名)	教室
6月20日	9:30 ～ 10:20	・定電流回路の製作 担当教員(4名)	・定電流回路の製作 担当教員(4名)	各実習室
	10:30 ～ 11:20	・定電流回路の製作 担当教員(4名)	・定電流回路の製作 担当教員(4名)	各実習室
	11:30 ～ 12:20	・太陽電池・電池ボックスの取付 担当教員(4名)	・太陽電池・電池ボックスの取付 担当教員(4名)	各実習室
	12:20 ～ 13:00	昼食		視聴覚室
	13:00 ～ 13:50	・ソーラー充電器の動作確認 担当教員(4名)	・ソーラー充電器の動作確認 担当教員(4名)	各実習室
	14:00 ～ 14:50	・ソーラー充電器の動作確認 ・後片づけ 担当教員(4名)	・ソーラー充電器の動作確認 ・後片づけ 担当教員(4名)	各実習室
	15:00 ～ 15:15	・質疑応答 担当教員(4名)		視聴覚室

表1は、1日目の日程である。1時間目は校長の挨拶、当校の紹介を行った。2時間目は機械系、電気・電子系、電子情報系の三つの系の充実した実習設備がある実習場等の施設見学を行い、さらに専門課程の学生の実習風景を見学してものづくりの理解を深められるよう配慮した。3時間目から5時間目までは、はんだ付けの練習を行った。

表2は、2日目の日程である。1時間目は「自然エネルギーの必要性について」、2時間目は「半導体について」、「太陽電池の発電原理、種類について」を、プレゼンテーション用ツールを用いた授業を行った。3時間目から5時間目まで「ソーラー充電器」を製作指導した。

表3は、3日目の日程である。1時間目から4時間目まで前日の「ソーラー充電器」の製作を続け、5時間目は動作確認と清掃を行って終了した。

生徒は49名であるため、23名と26名の2クラスに分け、はんだ付け作業ができる実習室でソーラー充電器の製作を行った。体験授業の内容がエネルギー分野、電子回路分野であるため、指導する教員は電子情報技術科教員と電気エネルギー制御科教員合わせて9名で製作の指導を行った。生産技術科教員はアルミケース等の加工の事前準備を担当し、施設見学、資料印刷・製本は、学務課職員が担当するなど、学内の全教職員の一致団結した協力体制で実施した。また、専門課程の学生の授業も並行して行われているので、担当授業の調整などの工夫を要した。

安全指導として、毎時間、作業開始時に生徒に安全めがねを付けるよう指導し、全員のめがねの装着を確認した。はんだ付け作業で火傷をした場合の対処方法として、すぐに水で冷やし、薬を塗るという具体的な指導も行った。

図2に実習風景を示す。生徒全員が真剣に取り組んでいた。



図2 実習風景

III 副教材の作成

「ソーラー充電器の製作（はんだ付け編）」、「ソーラー充電器の製作（製作編）」の2種類の副教材を作成し、生徒に配布した。生徒はそれらを見ながら自主的に作業を行う。「ソーラー充電器の製作（はんだ付け編）」は第1日目のはんだ付け練習で使用し、「はんだ付けとは何か」、「はんだ付けの仕方」について書かれている。「ソーラー充電器の製作（製作編）」は第2日目、第3日目で使用し、「ソーラー充電器の作り方」について書かれている。

図3に「ソーラー充電器の製作（製作編）」の副教材を示す。図4にその副教材の内容である「ソーラー充電

器の作り方」の作業手順の一部を示す。

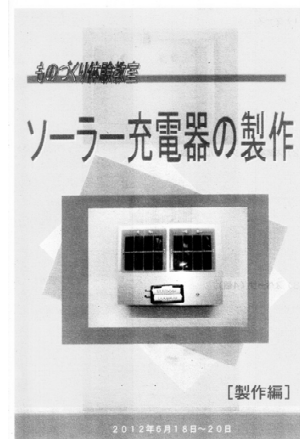
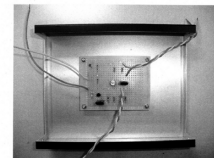


図3 「ソーラー充電器の製作(製作編)」

基板が完成したら、直流安定化電源を接続し、負荷に電流計と10Ω1/4W抵抗を接続し、直流安定化電源の出力電圧を4Vとし、電流計に約120mAの電流が流れ、LEDが点灯することを確認してください。回路の動作が正常であったならば、アルミケースの底板に基板をネジ止めします。



基板の太陽電池モジュールに基板の入力用赤色線・黄色線を接続、電池ボックスに基板の出力用赤色線・黄色線を接続します。

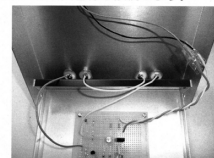


図4 作業手順書の抜粋

副教材の内容は、「ソーラー充電器の製作（はんだ付け編）」では①はんだ付けの定義、②濡れとは、③拡散、④はんだの熔融温度、⑤はんだの性質、⑥はんだ付け作業の手順、についての説明を図入りでまとめた。

「ソーラー充電器の製作（製作編）」では①基板に取り付ける部品の説明、②基板の製作の手順、③ケースに取り付ける部品の説明、④ケースへの取り付け方の説明、を写真入りでまとめた。写真と説明文を入れることにより、わかりやすくしている。副教材はカラー印刷にすることで、より理解しやすくしている。例えば、基板に取り付ける部品の説明では、該当する抵抗

器の写真と説明文にはカラーコードの色を具体的に書き、必要とする抵抗器を間違えないようにするための工夫をしている。

IV 回路構成

太陽電池には Goldmaster & Everstep Development Limited 製シリコン太陽電池モジュール (2V、250mA) を使用した。シリコン太陽電池モジュールを2枚直列接続し、最大発生電圧を4Vとした。図5に今回使用した太陽電池を2枚直列接続した場合の電流－電圧特性を示す。図6に日射量 1000W/m^2 における電流、電力－電圧特性を示す。

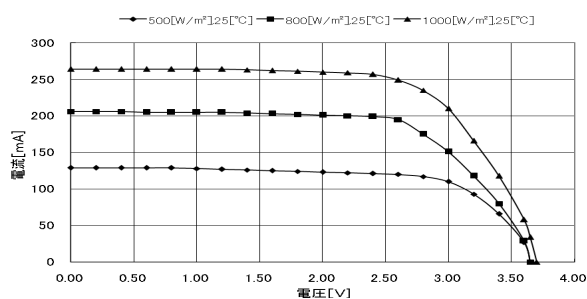


図5 使用する太陽電池のI-V 特性

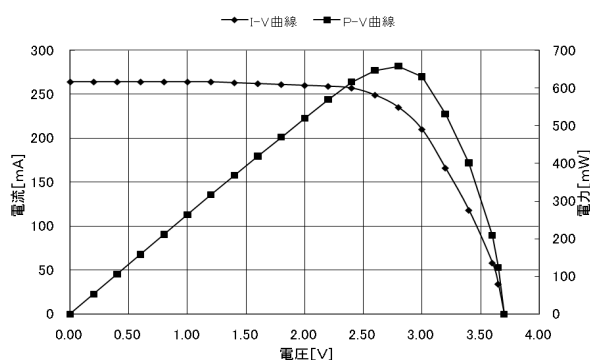


図6 使用する太陽電池のI-V-P 特性

図6より、太陽電池の電圧が2.8Vのとき、電流が230mA、最大電力650mWとなる。

図7にソーラー充電器の回路図を示す。太陽電池モジュールで発生した直流電圧を定電圧回路の入力電圧とし、安定した直流電圧にする。その後段に定電流回路を設け、電池1本当たり直流100mAの定電流が流れるようにしている。

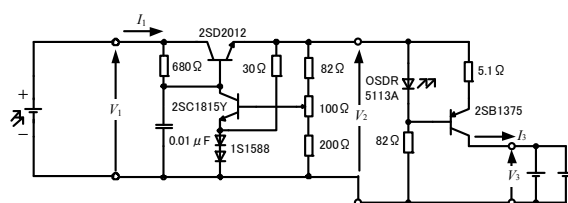


図7 ソーラー充電器の回路図

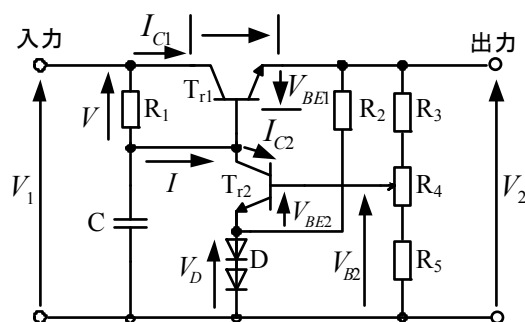


図8 定電圧回路の動作原理図

定電圧回路は帰還増幅形定電圧回路を使用している。

図8に定電圧回路の動作原理図を示す。この回路は、出力電圧を一定に保つ帰還回路をもっている。帰還回路の動作によって出力電圧が安定化し、さらに、大きな出力電流を取り出せる回路である。T_{r1}は制御用トランジスタで、パワートランジスタを用いている。T_{r2}は増幅用トランジスタである。R₃、R₄、R₅は検出部で、出力電圧 V_2 を分圧して、その変動を検出する。ダイオードDはR₂を通じて順方向に電圧が加えられ、T_{r2}のエミッタ電圧を基準電圧 V_D の値に保っている。ダイオード2個を順方向に接続することで、2個のダイオードの順方向電圧1.4Vを基準電圧 V_D としている。ここで、負荷電流が増加し、出力電圧 V_2 が低下した場合の定電圧回路の動作は次のようになる。①出力電圧 V_2 が低下すると、T_{r2}のベース電圧 V_{B2} も低下する。②基準電圧 V_D は一定であるので、 $V_{BE2} = V_{B2} - V_D$ より V_{BE2} が低下しT_{r2}のベース電流 I_{B2} が減少する。③ I_{B2} が減少すると、T_{r2}のコレクタ電流 I_{C2} が減少し、R₁に流れる電流 I も減少する。④その結果、R₁の両端の電圧降下 V が小さくなり、その分だけT_{r1}のベース電圧 V_{B1} が増加する。⑤そうすると、T_{r1}のベース電流 I_{B1} が増加し、コレクタ電流 I_{C1} も増加する。それによって V_{CE1} は低下する。⑥直流出力電圧 V_2 は $V_2 = V_1 - V_{CE1}$ であるから、 V_{CE1} が低下すればその分だけ V_2 が増加し、最初の電圧低下を打ち消すことになる。⑦ V_2 が増加した場合は①～⑥の逆の動作となり、 V_2 は一定の直流出力電圧を得る⁽⁴⁾。

定電圧回路の設計仕様は入力電圧 $V_1 = 4\text{V}$ 、出力電圧

$V_2=3V$ である。図 8 の出力電圧 V_2 をテスタ等で測定しながら、可変抵抗器 R_4 を回し、設計仕様である $3V$ になるように調整する。

図 9 に今回製作した定電圧回路の入力電圧－出力電圧特性を示す。入力電圧 V_1 には TEXIO 社製、直流安定化電源 PW18－1.8AQ を使用した。図 9 を見ると、入力電圧 V_1 が $4.2V$ を超えると出力電圧 V_2 が $3.2V$ でほぼ一定となっていることがわかる。

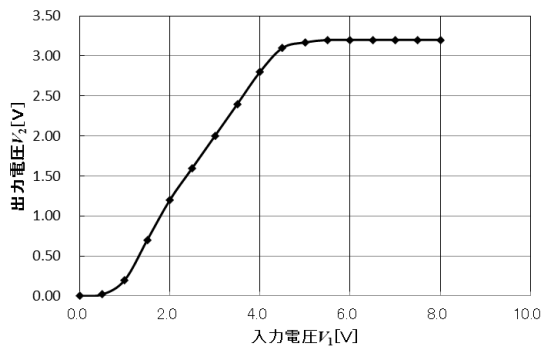


図9 定電圧回路の入力電圧－出力電圧特性

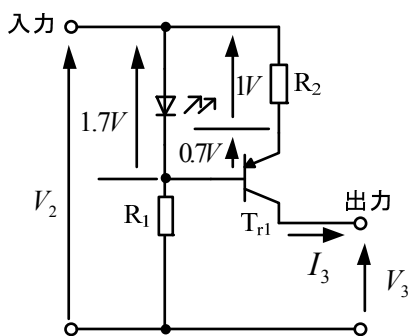


図10 定電流回路の動作原理図

図 10 に定電流回路の動作原理図を示す。この回路は入力電圧 V_2 が印加されると発光ダイオードに電流が流れ、発光ダイオードの両端に順方向電圧 $1.7V$ が発生する。この電圧のうち $0.7V$ はトランジスタ T_{r1} のベース・エミッタ間の電圧となり、抵抗 R_2 の両端の電圧は $1V$ 一定となる。これにより、 T_{r1} のコレクタ電流 I_3 は一定電流となる。入力電圧 V_2 が増加すると、発光ダイオードに流れる電流が増加し、発光ダイオードの順方向電圧が増加するとトランジスタ T_{r1} のベース・エミッタ間電圧が増加し、トランジスタ T_{r1} のコレクタ電流 I_3 が増加する。そのため、定電流回路の入力電圧 V_2 は一定電圧でなければならない。このことにより、定電流回路の前段に定電圧回路を接続してい

る。

定電流回路の設計仕様は入力電圧 $V_2=3V$ 、出力電流 $I_3=250mA$ である。

図 11 に今回製作した定電流回路の入力電圧－出力電流特性を示す。入力電圧 V_2 には TEXIO 社製、直流安定化電源 PW18－1.8AQ を使用した。図 11 を見ると、入力電圧 V_2 が $3V$ のとき出力電流 I_3 が $250mA$ となっていて、設計通りとなっていることがわかる。

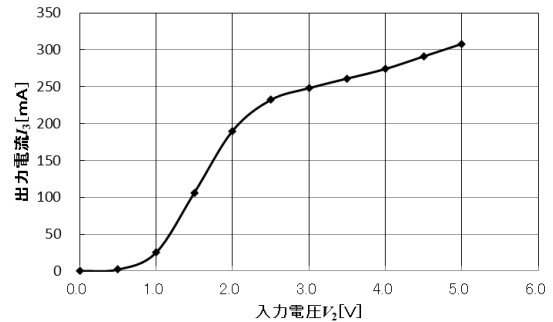


図11 定電流回路の入力電圧－出力電流特性

図 12 に前段に定電圧回路、後段に定電流回路を接続した定電圧定電流回路の入力に太陽電池セル 2 枚を取り付け、日射量に対する出力電流特性を測定した。光源には PROMATE 社製のハロゲン投光機 PHLS-500W を使用した。負荷には 0.47Ω $10W$ のセメント抵抗を接続している。

図 12 を見ると太陽光の基準である日射量 $1000W/m^2$ で $200mA$ の電流が出力されていることがわかり、設計通りとなっていることがわかる。

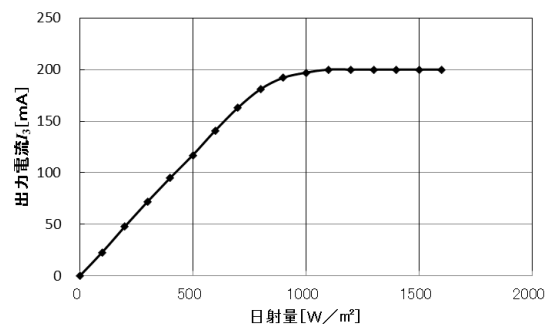


図12 日射量に対する出力電流特性

図 13 に製作したソーラー充電器の変換効率を示す。変換効率は太陽電池によって発生する電圧 V_1 と電流 I_1 の積である電力 P_1 と充電用電池の端子電圧 V_3 と電池に流入する電流 I_3 との積である電力 P_3 の比によって求め

られる。

図 13 を見ると変換効率は約 35%である。これは図 10 に示す定電流回路において、抵抗 R_2 の電圧降下とトランジスタ T_{H1} のベース-エミッタ間の電圧降下を合わせた電圧損失が 60%あり、さらに、太陽電池で発生する電流が各回路に流れることにより 10%の電流損失が発生し、電力で 65%の損失が起きているためである。

充電専用 IC を用いた一般の充電回路の変換効率は約 90%以上で非常に効率が良いが、回路が複雑になり、部品のコストも高くなる。一方、今回製作した充電回路では変換効率が 35%であるが、回路が簡単で部品コストは低くなる。

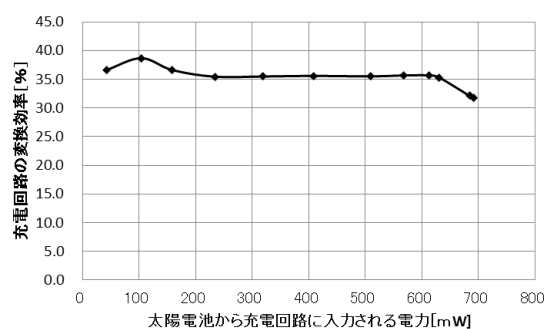


図13 ソーラー充電器の変換効率

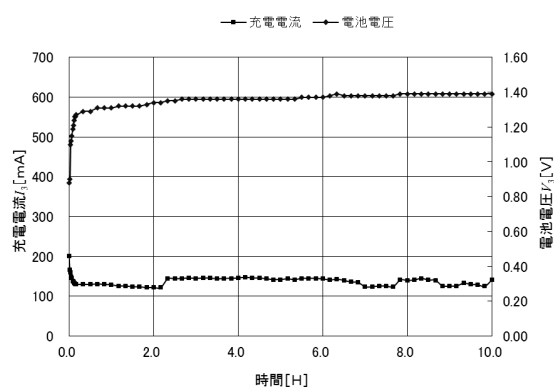


図14 ソーラー充電器の充電特性

図 14 にソーラー充電器の充電特性を示す。充電電流 I_3 は充電用電池 2 本分の電流値である。充電開始時に 200mA の電流が流れ、徐々に減少し、10 分経過後から 120mA 程度になり、その後、ほぼ一定の電流が流れていることがわかる。電池の端子電圧 V_3 も充電開始時には 0.9V であったが、徐々に電圧が増加し、2 時間経過

後からほぼ 1.4V 一定となることがわかる。

図 7 に示すソーラー充電器の回路には過充電保護回路がないので、電池を 10 時間以上充電してはいけない。もし、過充電すると異常発熱やガスの発生に伴う電池内圧の上昇などの現象が起これ、電池寿命が短くなったり電池の破損・破裂に至る場合がある。時計等で充電時間を計測しながら充電する必要がある⁽²⁾。

回路の製作ではユニバーサル基板をはんだ面から見て、図 15 に示すように配線するように生徒に指導した。

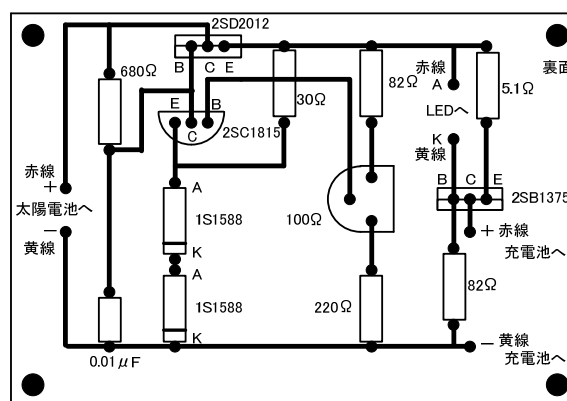


図15 基板の配線図

基板の配線は部品のリード線やすずメッキ線を使用してはんだ付けしている。

ソーラー充電器を作るための部品一覧は表 4 のようになった。

表 4 ソーラー充電器の部品一覧表

No.	品名	型式	数量	金額
1	太陽電池モジュール(2V250mA)	ETMP250-2V	2	1,560 円
2	単 3 形ニッケル水素充電電池 (1.2V1300mAh)	130AAHC	2	360 円
3	炭素被膜抵抗器	1.3 Ω 1/4W	1	3 円
4	炭素被膜抵抗器	30 Ω 1/4W	1	3 円
5	炭素被膜抵抗器	82 Ω 1/4W	2	6 円
6	炭素被膜抵抗器	200 Ω 1/4W	1	3 円
7	炭素被膜抵抗器	680 Ω 1/4W	1	3 円
8	積層セラミックコンデンサ	0.01 μ F	1	20 円
9	半固定抵抗器	10k Ω SF6	1	40 円

10	小信号トランジスタ	2SC1815Y	1	10 円
11	パワートランジスタ	2SB1375	1	80 円
12	パワートランジスタ	2SD2012	1	40 円
13	赤色 LED (5φ, 15 度)	OSDR5113A	1	20 円
14	ダイオード	1S1588	2	40 円
15	電池ボックス	BH-311-1A	2	60 円
16	ユニバーサル基板	ICB-93S	1	290 円
17	アルミケース(効)	YH-200	1	1,000 円
18	スペーサ	M3 用 10mm	4	208 円
19	ネジ	M3×6	10	50 円
20	すずメッキ線	0.6mm×2m	1	40 円
21	ビニル電線(より線) 赤	AWG18 0.5m	1	23 円
22	ビニル電線(より線) 黒	AWG18 0.5m	1	23 円
23	鉛フリーはんだ	0.8mmφ 1m	1	232 円

材料費の合計金額は 4,114 円となった。

V 生徒の感想

製作後、生徒全員に感想を聞いてみた。大半の生徒が「ものづくりの面白さを知ることができた」、「ものづくりの大変さがわかった」という評価だった。中学校の担任の先生からも「大変有意義な内容でした」という良い評価をいただいた。

VI オープンキャンパスへの応用

今回の「ものづくり体験教室」では材料費が 4,114 円かかった。この中でアルミケースの値段が高いので、ケースを 100 円ショップで販売されているタッパーに換えた。

図 16 にオープンキャンパス用に改良した製作品を示す。材料費を 900 円下げることができ、合計金額が 3,214 円となるだけでなく、筐体の加工も簡単になる。

また、オープンキャンパスでは基板を CAD で製作し、基板にパターンをすることで、配線作業（はんだ付け作業）を簡単にすることができる。さらに、製作時間を 2 時間で行うことができるようになる。



図16 オープンキャンパス用充電器

VII おわりに

当校で実施した「体験授業」の製作課題とその実践について報告した。中学校の先生が教えている「技術家庭」の内容に対し、より実践的で深い内容であったため、生徒はいきいきとして取り組んでいた。

今回実施した「体験授業」のリーフレットを作成し、小学校、中学校、高校に配ることによって次のような効果が出ると思われる。当校での「体験授業」を通して、小学生、中学生、高校生が「ものづくりの楽しさ」を体験することができる。

今回、製作した教材を小学校、中学校、高校などにおける「体験授業」の課題として応用していきたいと考えている。

今後も自然エネルギーを利用した教材の製作をし、情報提供を行っていききたいと思う。

【参考文献】

- (1) 藤井信生、電子回路入門、実教出版、1999 年、pp.323-325
- (2) トランジスタ技術 SPECIAL No.121、充電用電池の基礎と電源回路設計、CQ 出版社、2013 年、p.19