

エネルギー変換教材に関する研究 —色素増感型太陽電池の製作を取り入れた学習—

Research of A Teaching Material as Energy Conversion
— Learning by the Production of Dye-Sensitized Solar Cell —

紅林 秀治・松永 泰弘・中川 鉄夫*

Shuji KUREBAYASHI, Yasuhiro MATSUNAGA, Tetsuo NAKAGAWA

（平成18年10月2日受理）

abstract

In this paper, we propose the production of dye-sensitized solar cell as an energy conversion teaching material in the junior high school technology and the homemaking course. At first, the manufacturing method and the practice teaching that the junior high school students make the dye-sensitized solar cell are described. Next, we'll find out the possibility if the dye-sensitized solar cell can be suitable for a teaching material about the energy conversion.

1. はじめに

平成14年度から完全実施された改訂版中学校学習指導要領^[1]により、技術・家庭科の技術分野は「A技術とものづくり」と「B情報とコンピュータ」の二つの内容から構成され、実践的・体験的な学習活動が強調されている。「A技術とものづくり」は、技術と環境・エネルギー・資源との関係や、加工技術、エネルギー利用の基礎的な知識と技術を盛り込んだ学習が挙げられ、習得のみならず、工夫・創造する能力と実践的な態度を育てることが大きな柱になっている^[2]。

筆者らは、エネルギー利用の基礎的な知識と技術と知識を盛り込んだ学習として、熱エネルギーを機械的エネルギーに変換するスターリングエンジンや形状記憶合金を用いたワイヤーエンジンを教材とした実践^{[3][4]}を行ってきた。その結果、エネルギー変換を題材に設定すると、学習者はエネルギー変換の仕組みや動力を伝える機構に関する関心・意欲だけでなく環境問題への関心も持ち始めることがわかった^[5]。このことから、日常生活と切り離すことができない電気を、エネルギー変換教材として取り上げることができれば、学習者のエネルギーや環境問題に対する関心・意欲がさらに向上するのではないかと考えた。

電気を取りあげたエネルギー変換の教材として、風力発電を用いた教材開発^{[6][7]}や手回し発電機の教材開発^[8]の報告がある。風力以外に発電機を回転させる動力をどのように取り出すかを学習者に考えさせることが可能であり、動力を生み出すエネルギーとして火力や水力が使用されてる発電の現状や環境問題等に発展させることもできる。さらに、発電機はコイルや磁石等の材料で製作可能であるため

*岡部町立岡部中学校

製作題材としてとりあげ、体験的な学習展開も可能である。ところが、同じ電気を扱うエネルギー変換教材でも太陽光を電気エネルギーに変換させるソーラーパネルを利用した教材の開発^{[9][10]}も行われているが、ソーラーパネルの利用を前提にした教材であって、ソーラーパネル自身を製作する教材については報告がなされていない。

そこで、本研究では「色素増感型太陽電池」の製作を行う授業を計画し実践した。その理由として、色素増感型太陽電池は、現在も研究開発^{[11]~[13]}が進められている先端技術でありながら学校の理科室や技術室程度の設備で製作が可能であり、危険な薬品を使用しないため製作材料を簡単に入手できるからである。また、太陽電池を手作りできる場所にも教材としての魅力がある。本論文では、中学校技術・家庭科の授業で「色素増感型太陽電池」の製作に取り組んだ実践の成果と課題について述べる。

2. 色素増感型太陽電池について

2.1 色素増感型太陽電池の原理^[12]

色素増感型太陽電池は、導電性ガラス基板上的二酸化チタン (TiO_2) 多孔質薄膜に可視光を吸収する色素を吸着させた作用極と電子伝達をする導電性ガラス基板の対極からなり、両極の間は I^- 、 I_3^- を含む電解液で満たされている。この作用極（二酸化チタン薄膜がコーティングしてある導電性ガラス）に太陽光が照射されると光は導電性ガラス電極を透過し、色素が光を吸収して励起状態となり、電子を放出する。そして、半導体の二酸化チタンがその電子を受けて電極へと引き渡す。また、電子を失って酸化状態となった色素は電解液中の I^- を I_3^- に還元する。これが対極で再び電子を受け取って I^- を再生する。つまり、作用極が-極となり、対極が+極となる。これらのサイクルを繰り返すことで色素増感型太陽電池は太陽光を電力に変換する。図1は、色素増感型太陽電池の模式図である。

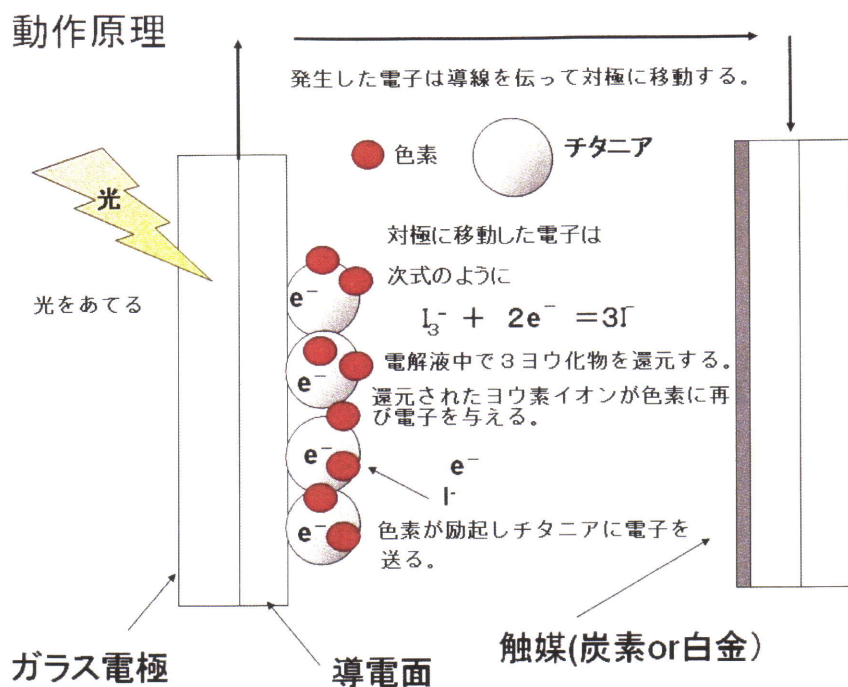


図1：色素増感型太陽電池模式図

2. 2 色素増感型太陽電池の製作

2. 2. 1 準備した道具や機器と材料

色素増感型太陽電池製作に必要な道具や機器と材料を表1, 表2に示す。

表1：準備した道具や機器

名称	個数
乳鉢	1
ガラス棒	1
スポイト	1
秤	1
スライドガラス	1
アクリル板 (100mm × 150mm)	1
メンディングテープ	1
黒鉛筆 (6 B)	1
みのむしクリップ	2 (赤 1 黒 1)
アルミホイール(市販のもの)	1
フライパン (100円shopで購入)	1
キッチンペーパー	1
ビーカー	1
カセットガスコンロ	1
フィルムケース	1
回路計	1
クリップ	2
電子オルゴール (確認用)	1
ハロゲンライト (光源として利用)	1

表2：準備した材料

名称	量
導電性ガラス (旭硝子 株) 50 mm × 50 mm)	2 枚
二酸化チタン (日本エアロジル 株) ST-01 光触媒用)	6 g
ポリエチレングリコール (分子量 20000)	1. 2 g
酢酸 (p h 3 ~ 4)	6 ml
色素 (ブルーベリーの実・アメリカンチェリーの実・りんごジュース・オレンジジュース・ハイビスカスの花のドライフラワー など)	各 1 0 g
電解質溶液 (ヨウ素液)	40g

表2の「導電性ガラス (旭硝子 (株) 50 mm × 50 mm)」は、二酸化チタンの焼き付け時の加熱による抵抗値の増加が小さい酸化錫にフッ素をドーピングしたFTOガラスを使用した。

二酸化チタン (日本エアロジル (株) ST-01 光触媒用) は、製作時に導電性ガラスに焼き付けることで表面を多孔質化し、吸着する色素の量が増えて光吸収効率を上げるために、ナノサイズで光触媒用のものを使用した。

2.2.2 製作手順

以下①から⑦の手順に従って製作方法を示す。

① 二酸化チタン（粉末）をペースト状にする。

乳鉢、すりこぎ、希薄酸性溶液（pH 3～4 酢酸使用 9 ml 以下酢酸とよぶ）、粉末チタン（6 g）、ポリエチレングリコール（分子量20000 1.2 g）、スポイト、ビーカーを準備する（図2）。

酢酸を1 ml 入れ乳鉢で練る（図3）。つづいて、練りながら酢酸を1 ml ずつ加え、3から4 ml 加えたところで粘性が落ち始めるが、そのまま練り続ける（図4）。さらに液状になるまで1 ml ずつ酢酸を加えながら練る作業を続ける。およそ酢酸 10 ml 程度加えたところで液状化する。所要時間は約30分程度である（図5）。

出来上がった二酸化チタンペーストはフィルムケースにうつし保存できるようした。

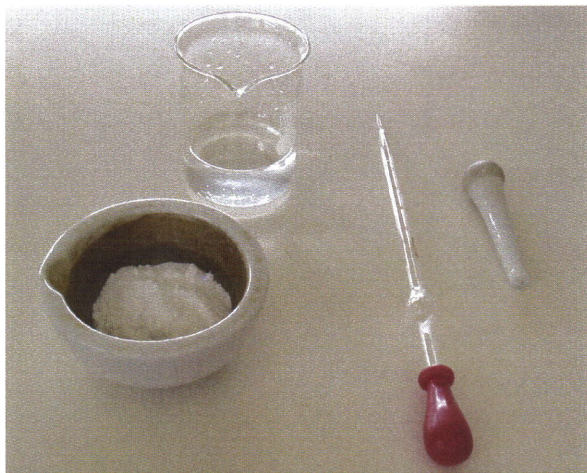


図2：準備するもの



図3：粉末チタンの練りはじめ



図4：3～4 ml 加えた状態

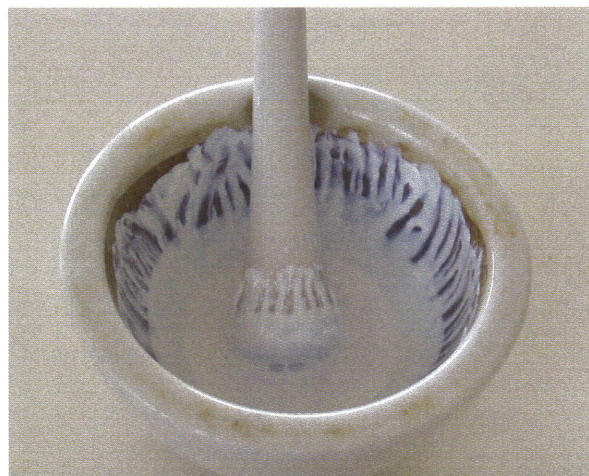


図5：液状になった状態

② ペースト状になった二酸化チタンを電気導電性ガラスに塗る。

スライドガラス1枚、アクリル板（100mm×150mm）1枚、導電ガラス1枚、メンディングテープ1個、ガラス棒1本を準備する。

アクリル版に導電ガラス2枚をメンディングテープを用いて固定する。メンディングテープは導電ガラスの端から5mm以内で固定するようにした(図6)。

ガラス棒を使って、二酸化チタンペーストを導電ガラスに塗る。薄く広げるため1g程度のせる(図7)。その後、スライドガラスを用いて、二酸化チタンを均一に広げる(図8)。二酸化チタンを塗った導電ガラスを作成し、乾燥させる(図9)。チタンペーストを安定させるために30分以上放置する。



図6：アクリル板へ固定



図7：二酸化チタンペーストを置く



図8：ペーストを広げる

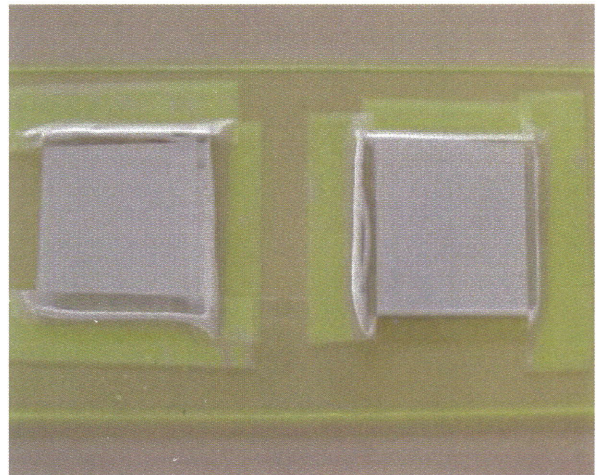


図9：二酸化チタンペーストを塗った導電ガラス
(アクリル板に2枚載せた状態)

③二酸化チタンを導電ガラスに焼結させる作業

ガスコンロ フライパン アルミホイルを準備する。

二酸化チタンペーストを塗った面を上置き、アルミホイルを載せたフライパンの上で熱する。熱しはじめると二酸化チタンペーストが黒色を帯びてくるがそのまま加熱する(図10)。

加熱を続けると二酸化チタンペーストは黒褐色に変化する(図11)が、さらに加熱を続けると白色に変化する(図12)。全体が白色になったところで、加熱をやめフライパンから取り出し自然冷却を行う。

図10~12で示した二酸化チタンペーストを塗った導電ガラスは50mm×50mm 2枚と20mm×50mm 3枚を同時に焼結させた時の写真である。

④ 炭素膜の作成

導電ガラス (50mm×50mm) 1枚と鉛筆 (6B) を1本準備する。

導電ガラスの端5mm程度残して、用意した鉛筆で導電ガラス面を塗りつぶす (図13, 14)。

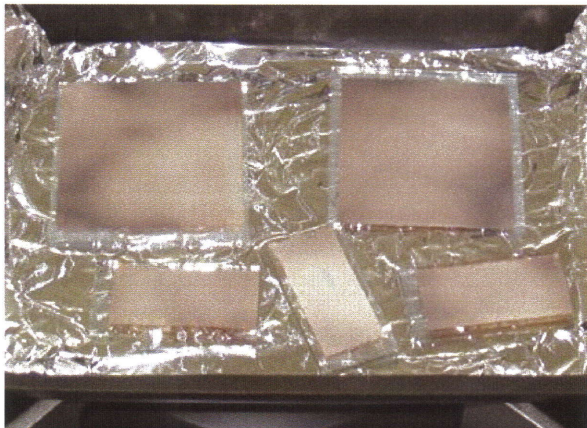


図10：熱しはじめ

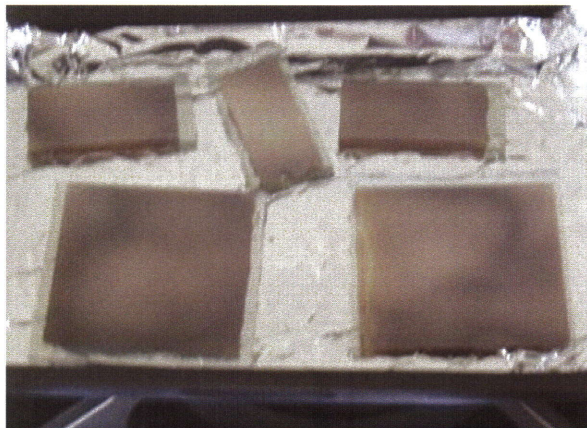


図11：黒褐色に変化

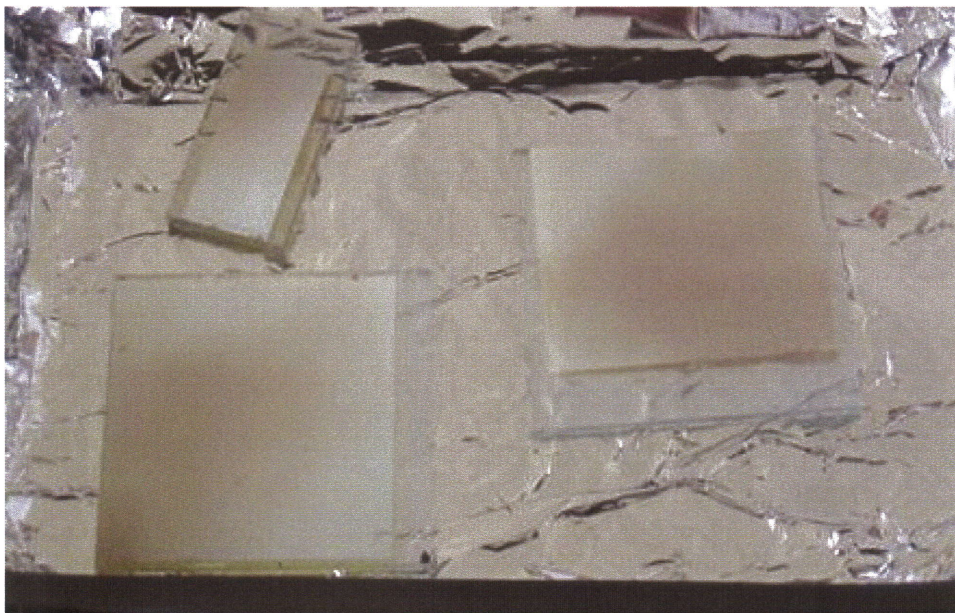


図12：白く変化した二酸化チタンペースト



図13：鉛筆 (6B) で塗る様子

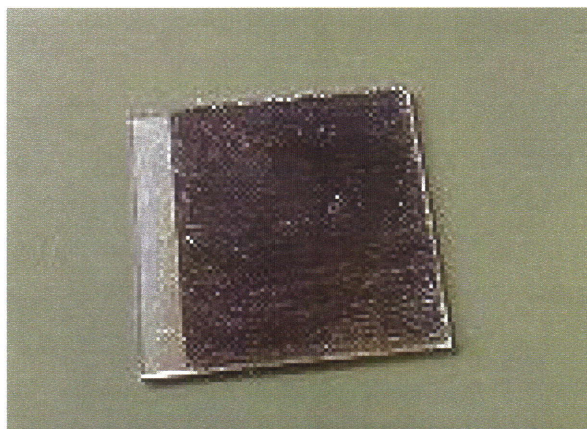


図14：端5mmを残して塗った導電ガラス

⑤染色

キッチンペーパー 1 個，ブルーベリーの果実をつぶしたもの 10g を水（約 200CC）で溶かした染色液を準備する。（ブルーベリー果実で説明するが，ジュース以外のその他の色素でも同じである。）

乾燥した二酸化チタンペーストを塗った導電ガラスを染色液に約10分間つける（図15）。その後，水洗いをしてキッチンペーパーで水分をとり，自然乾燥させる（図16）。

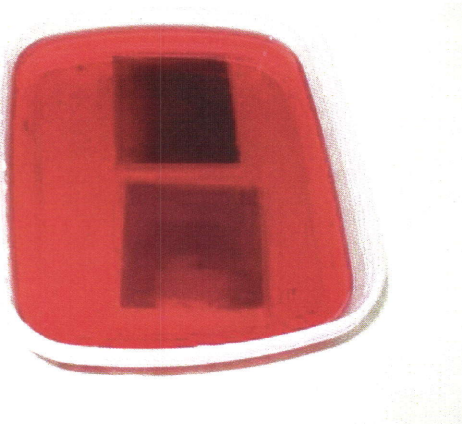


図15：染色液につけた様子

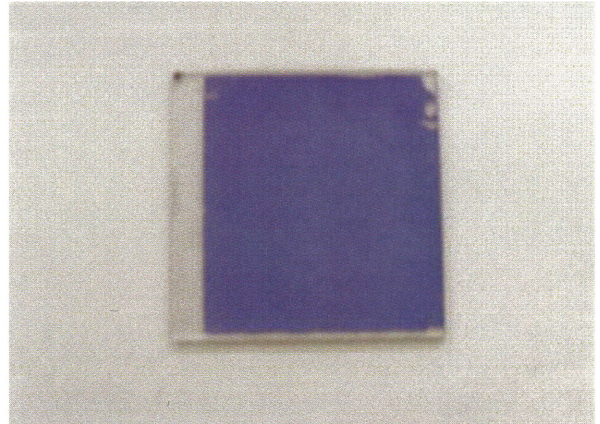


図16：染色後の二酸化チタンペーストを塗った導電ガラス

⑥電解溶液の点滴と組み立て

電解質溶液（ヨウ素液）40g とクリップを 2 個 染色後の二酸化チタンが載った導電ガラス 1 枚と炭素膜つきの導電ガラス 1 枚を準備する。

染色した二酸化チタンが載った導電ガラスに電解質溶液（ヨウ素液）2～3 滴おとし全体に浸透させる（図17）。その後，炭素膜つきの導電ガラスを炭素膜と二酸化チタンの面が合うように重ね，クリップで固定して完成である（図18）。

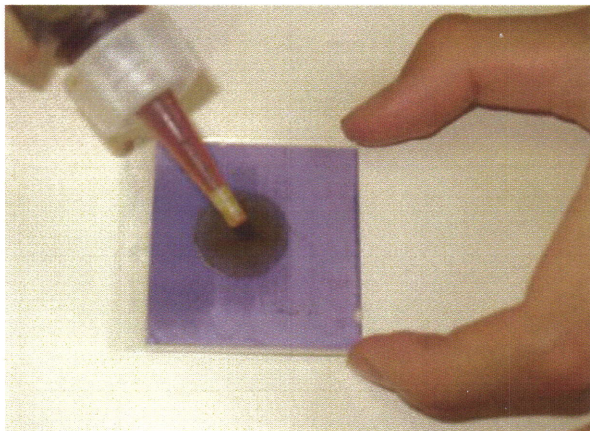


図17：ヨウ素液を落とす様子

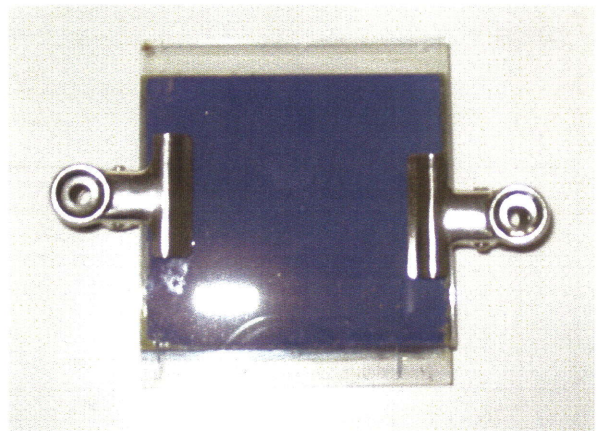


図18：完成した色素増感型太陽電池

⑦発電の確認

みの虫クリップ2本（赤1本 黒1本）回路計1台を準備する。

完成した色素増感型太陽電池の炭素膜側（+）に赤のみの虫クリップ，二酸化チタン側（-）に黒のみの虫クリップをつけ（図19）太陽光にあて回路計で電圧・電流を計測する（図20）。

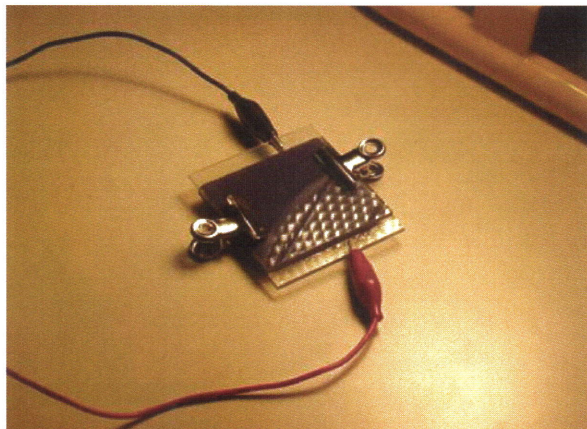


図19：みの虫クリップをとめた製作した色素増感型太陽電池

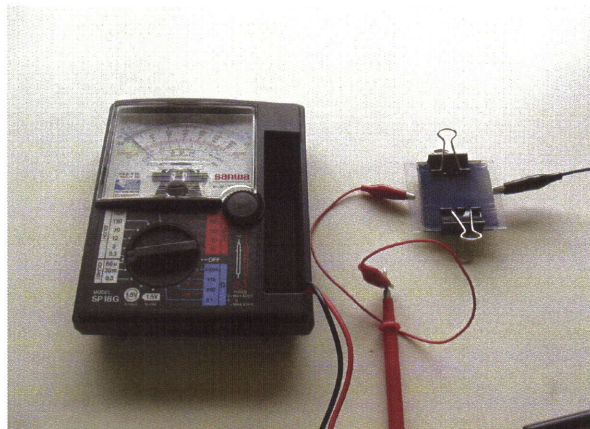


図20：回路計で計測している様子

3. 色素増感型太陽電池の製作を取り入れた授業

2005年4月より岡部町立岡部中学校3年生選択の授業（受講生徒：男子10名 授業時限数：10時限 授業担当：中川）で実施した。授業内容を表3に示す。生徒は、事前の選択授業内容の説明の後、この学習内容に関心をもち授業選択を希望した10名である。色素は、ブルーベリージャム，リンゴジュース（100%果汁），ハイビスカス（市販のドライフラワー），みかんジュース（100%果汁）を用意した。それ以外に，インスタントコーヒー，赤チン（マーキュロクロム液）を用意した。生徒は，それぞれの色素を選んで製作した。導電性ガラスは50×50mmのものを用意した。図21は生徒が製作した色素増感型太陽電池を直列に4個接続し電子オルゴールにつなげた写真である。図22は，授業中の生徒の様子である。

表3：授業内容

1時限：50分

	学習内容	時限数
1	今年度の選択・技術科の内容について（説明）	1
2	マルチメーターの使い方 ・身の回りの導通試験（例：ガラスは絶縁体である。） ・電圧，電流の測定	1
3	太陽電池（シリコン型）の発電の仕組みについて調べる	1
4	色素増感型太陽電池の発電の仕組みについて調べる	1
5	色素増感型太陽電池について ・チタンペーストの作成と焼き付け ・チタン膜の染色，炭素膜の作成，太陽電池の組み立て，実験 ・他の色素でも太陽電池ができるか（実験）	2 2 2

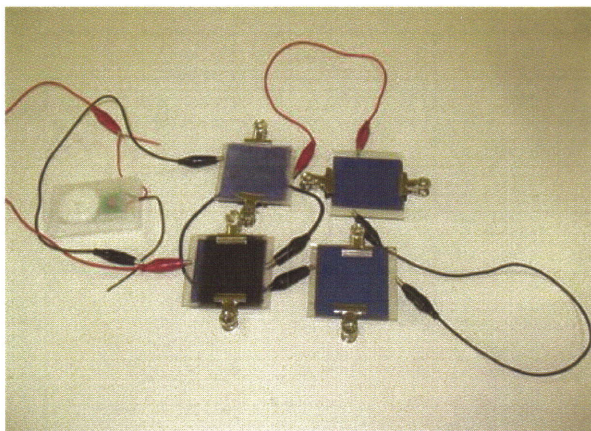


図21：4個直列に接続しものを電子オルゴールに接続

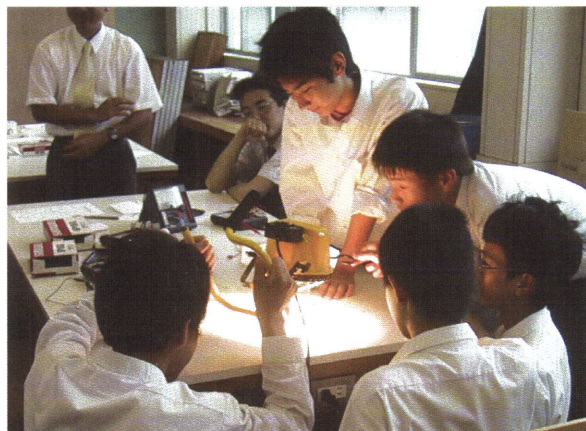


図22：授業の様子

4 授業の結果

4.1 生徒の作品

生徒は、色素増感型太陽電池を時間内に2個以上製作した。製作途中で失敗しても、授業時間内で修復できた。完成後、電子オルゴールにつなげたり、回路計で電圧や電流を測定することで出力を確認した。表4に生徒が調べた電圧の表示結果を示す。測定では、電圧を回路形(SANWADP-700)で測定した。光源として卓上のハロゲンランプを用意した。色素によっては、電圧がまったく生じないものがあった。表2の生徒の測定結果からわかるように、測定した電圧は大変小さなものであった。しかし、ブルーベリー染めた太陽電池を4個直列接続して、卓上ハロゲンランプを近づけて電子オルゴールを鳴らすことができた。(図20 図21)

表4：生徒が行った実験結果 (50×50mmの太陽電池1個での実験)

◎0.2V以上 ○0.2V未満

色素	結果	色素	結果
ブルーベリー	◎	ハイビスカス	◎
リンゴジュース	○	みかんジュース	○
コーヒー	×	赤チン	×

4.2 授業後のアンケートと感想

授業後生徒に「色素増感型太陽電池の製作に興味を持ちましたか。」「授業に入る前と授業が終わった現在と技術科(電気)に対するイメージは変わりましたか。」の質問でアンケートを行った。その結果を示したものが表5である。表5からもわかるように参加した全ての生徒が色素増感型太陽電池に興味を持ち、電気に対するイメージが変わったと答えた。

図23は、授業終了後の生徒の感想である。感想からも、アンケート結果が示したように色素増感型太陽電池に興味を持ったことや、どうすればもっと電圧が上げられるのか考えた様子がわかる。

表5：授業後のアンケート

質問内容	はい	いいえ
色素増感型太陽電池の製作に興味を持ちましたか。	10人	0人
授業に入る前と授業が終わった現在と技術科(電気)に対するイメージは変わりましたか。	10人	0人

- ・太陽電池を自分の手で作るということは無理だと思っていたのに、実際に作ることができたこと。それも身近な花などの色素によって作り出すというところに驚いた。
- ・技術科の授業は、パソコンというイメージが強かったが、電気、光、熱などのエネルギーを利用して物を動かすという新たなイメージが加わった。
- ・この電池は、チタン・炭素・電解質溶液をナノテクノロジーでできたガラスに挟むだけでできたのですごいと思った。また、ガラスは電気を通さないと思っていたのに、このガラスは片面だけで電気を通すのですごいと思った。もっと大きなガラスを使えば、もっとたくさんの電気を起こすことができるのではないかと思った。
- ・はじめに花で太陽電池を作るということを聞き、どうやったら花で作れるのかまったくわからなかった。この太陽電池を作るにはとても大変だった。ガラスにチタンペーストを塗るのがとても難しく何回も失敗した。僕たちのグループではブルーベリーの色素使ったら、電子オルゴールが鳴ったのでうれしかった。でも、この電池は実用化されるのはもっと先だと思う。もし、実用化されたら自分の家につけてみたい。
- ・リンゴジュースの色素を使って太陽電池を作って、電子オルゴールを鳴らしてみようとしたが、まず、自分の電池の作り方が下手だったせいもあるけど、グループ全員の電池をつなげても、結局オルゴールはならなかった。他のグループ(ブルーベリーの色素)は5個つなげて1.2V出たという。僕たちは6個つなげても、0.8Vしか出なかった。チタン電池(一極)の作成にそう違いがあるとは思えなかったので、色の薄いアップルジュースよりも色の濃いブルーベリーの方がいいのかと思った。

図23：生徒の感想

5 考察

以上の結果から筆者らが示した色素増感型太陽電池の製作は中学生にも可能であることがわかった。また、表5のアンケート結果や図23の生徒の感想にあるように、色素増感型太陽電池の製作に興味を持てたのは、生徒自ら製作し実験するという体験的な活動を行ったことと、身近にある食べ物や花などの色素を利用したことが原因であったと考えられる。しかし、生徒が製作した色素増感型太陽電池は、測定結果からもわかるように生じる電圧や電流が小さいため実用化していくというところにまで発展できなかった。発生電力を上げるためには、以下二つの方法が考えられる。

- ・使用したヨウ化物溶液の代わりにルテニウム^[18]を使用する。
- ・色素増感型太陽電池をたくさん製作し直列に多数つなげる。

ルテニウムを使用すれば発電力は上がるが、ルテニウムの単価が高いため中学校用の教材には不向き

である。したがって、生徒一人あたり製作できる個数を増やし、共同作業で複数個作りそれらを直列接続して電圧を高める方法ならば可能であると考えられる。また、染色する色素をいろいろ変えて実験することは生徒にも可能である。図23の生徒の感想にもあるように色が濃さによる違いや色素に含まれる成分の違いなどにより発電力が異なることなどを生徒の発想から追究していく授業展開も可能であると考えられる。

7. まとめ

太陽電池をテーマにした教材は多く知られているが、中学校技術・家庭科の授業で太陽電池そのものを作る教材は今まで報告されていない。それも、従来のシリコンを用いた太陽電池とは全く異なる発電原理を持つ色素増感型太陽電池は、エネルギー変換や環境問題の重要性からも注目に値する教材である。今回の授業実践で、色素増感型太陽電池が中学生でも製作可能であることを示すことができた。また、今後「イオンの働き」「ナノテクノロジー」「色素増感半導体」「光触媒」などの科学的な学習へも発展する可能性も含んでいる。しかし、実践した結果、光を電気に変換する効率が低いという問題も明らかになった。そこで、教材としてより良いものにするためには、実用化できるための工夫（光を電気に変換する効率を上げるための工夫）を生徒に考えさせる授業に発展させる取り組みが望まれる。

生徒が感想で述べていた「自分の手で太陽電池を製作できる」という新鮮な感動や達成感は、次世代の技術発展とそれらを支える人材育成につながると考える。今後も色素増感型太陽電池の授業を継続して実践していきたい。

8. 謝辞

研究を進めるにあたり、高知県立高知工業高校の西谷秀和先生に多くの助言をいただきました。また、授業実践では岡部町立岡部中学校の職員と生徒の皆様に多大なご協力をいただきました。紙面をかりて御礼申し上げます。

9. 参考文献

- [1] 文部科学省：中学校学習指導要領（平成10年12月），pp.82-83,1998
- [2] 文部科学省：中学校学習指導要領（平成10年12月）解説－技術・家庭科編一，pp.17-18,1999
- [3] 紅林秀治：中学校における技術科教育のもの作り教材について，技術史教育学会誌，Vol.7. No.2，pp.4-6,2006
- [4] 松永泰弘・湯本健太郎・空谷仁美・小澤慶晃・小沼暁：中学校「技術とものづくり」における形状記憶合金を用いた教材用エンジンカーの改良と実践，日本産業技術教育学会誌第48巻第2号，pp.65-71，2006
- [5] 紅林秀治：手作りスターリングエンジンの授業，技術教室，第53巻第10号，pp.16-23，2005
- [6] 加藤正義：エネルギー変換学習用風力発電機の開発，日本産業技術教育学会誌第48巻第2号，pp.101-109，2006
- [7] 増田好治，佐野祐介，宮坂美基夫，田畑孝之，清水義泰，小川裕子：風力発電機の教材化に関する研究，静岡大学教育学部研究報告（自然科学篇）第56号，pp.9-23，2005

- [8] 垣本徹, 井津本世士郎, 浅田儀博: 白色 LED を用いた手回し発電ライト, 日本産業技術教育学会誌第48巻第1号, pp.33-38, 2006
- [9] 山本利一, 牧野亮哉: 太陽光発電システムの教材化と授業実践, 日本産業技術教育学会誌第42巻第4号, pp.183-188, 2000
- [10] 大倉宏之, 須見尚文, 上田整: ソーラーエネルギー変換教材のための太陽追従装置の開発とその応用, 日本産業技術教育学会誌第35巻第2号, pp.141-147, 1993
- [11] 柳田祥三・村越 敬: 新しい光発電デバイスー色素増感型太陽電池の特徴と将来性ー, 生産と技術, 第50巻第1号, pp.31-36, 1998
- [12] 柳田祥三・北村隆之: 光エネルギー変換研究の開発動向ー色素増感型太陽電池を中心にー, ケミカル・エンジニアリング, 2000年12月号, pp.897-902, 2000
- [13] 北村隆之・和田雄二・柳田祥三: 次世代色素増感型太陽電池, 表面科学, Vol.21, No.5, pp.288-293, 2000