

ものづくり教育に向けた色素増感太陽電池製作の検討

宮 本 賢 治*, 加 部 昌 凡**, 栗 田 昌 幸**

(キーワード: ものづくり教育, 技術科教育, 色素増感太陽電池)

1. はじめに

2011年3月11日の東日本大震災以降, 原子力発電に代わって, 太陽光発電や風力発電などの再生可能エネルギーへの関心が高まっている。太陽電池は現在シリコン型が主流であるが, 1991年にスイスのローザン大学のグレッツェル教授らによって開発された色素増感太陽電池は, シリコン型太陽電池に比べて材料が安価で製法も容易であり, 理論上の発電効率が低いことから, 応用面での期待が高まっている¹⁾。

これまでに教育用の色素増感太陽電池の作製と教材としての有効性に関する評価の研究は, 数多く報告されており^{1)~6)}, 中学校技術におけるエネルギー変換に関する技術に向けたものづくり教育への適用が期待できる。色素増感太陽電池を題材とした教材は既に市販されている^{7), 8)}が, 身近な素材を使用することで, より一層, 生徒の興味・関心を得られると思われる。そこで本研究では, 色素増感太陽電池の材料について検討した。

2. 色素増感太陽光発電の原理^{6), 7)}

図1に色素増感太陽光発電の原理図を示す。この太陽電池では, 二酸化チタンをコーティングした導電性ガラスを負極とし, 一方, 正極には黒鉛か白金をコーティングした導電性ガラスを用いる。この両極の間に電解質溶液として, ヨウ素/ヨウ化物の混合溶液を満たす。

太陽光の多くは可視光線の領域(380nm~780nm)である。二酸化チタンは紫外線領域(10nm~380nm)を吸収するが, 400nm以上の光を吸収できないため, 可視光線の領域の光をあまり吸収しない。そこで太陽光を効率よく吸収できる色素で二酸化チタンの表面を覆うことで, 発電に活用できるようにする。また, 二酸化チタン

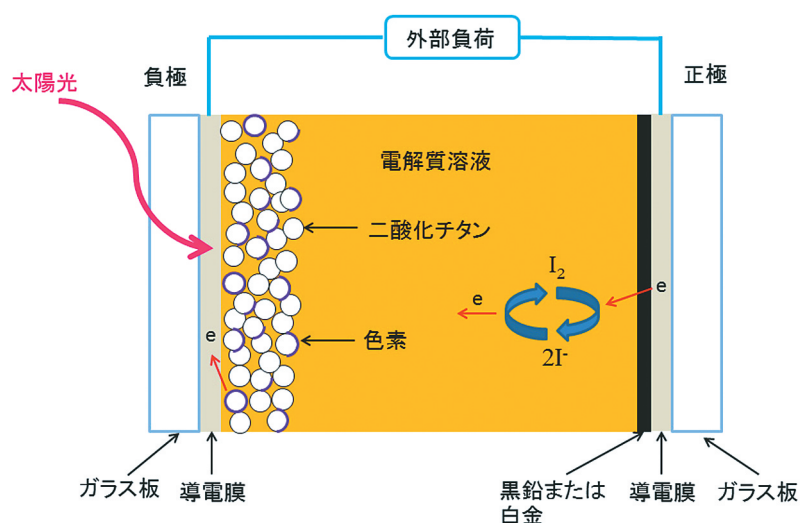


図1 色素増感太陽光発電の原理図

*鳴門教育大学 生活・健康系コース（技術・工業・情報）

**鳴門教育大学大学院・学校教育研究科生活健康系コース（技術・工業・情報）

の表面を多孔質にすることで表面積を1000倍以上に大きくし、この多孔質構造の表面に色素を吸収させて太陽光の吸収効率をさらに高める。

色素は太陽光を吸収した際に、太陽光からの光子によって色素が励起されて、電子を放出する。放出された電子は、二酸化チタンの伝導帯に注入され、導電性ガラスを通して負極から外部回路に流出する。この電子は外部回路の負荷を通して、正極に流入する。正極の表面で、電解質溶液中のヨウ素 (I_2) はこの電子を受け取って、ヨウ化物イオン (I^-) が生成される。一方、太陽光を吸収して電子を放出した色素は、電解質溶液中のヨウ化物イオンから電子を受け取り、元の状態に戻る。その際に、ヨウ化物イオンは電子を渡すので、再びヨウ素になる。以上のような電子の流れを繰り返すことによって、光エネルギーが電気エネルギーに変換され、全体として太陽電池の働きをする。

3. 実験キットについて⁸⁾

教育用の色素増感太陽電池の実験キット PEC-TOM02が、パクセル・テクノロジーズ社によって開発・販売されている。本実験キットの内容を表1に示す。本実験キットでの色素増感太陽電池の製作手順は以下の通りである。

1. セロハンテープを用いて、導電性プラスチックフィルムを台紙に固定する。
2. 二酸化チタンペーストをフィルムに乗せ、鉛筆を軽く滑らすようにして広げる (図2)。
3. 二酸化チタンが乾燥するのを待つ間に、ステンレス板にセロハンテープを貼り、セロテープを貼った面を鉛筆で黒く塗る。
4. 乾燥後の酸化チタン膜に、色素溶液をたらす。この際に、吸い取り紙で余分な色素溶液を除去する (図3)。

表1 色素増感太陽電池の実験キット PEC-TOM02の内容⁸⁾

	個数
透明導電性プラスチックフィルム (4 × 5 cm)	2
ステンレス板 (4 × 5 cm)	2
電子オルゴール	1
みの虫クリップ	3
ダブルクリップ	4
セロハンテープ	1
鉛筆	1
二酸化チタンペースト	1
色素溶液 (アントシアニン溶液)	1
電解質溶液 (ヨウ化物塩 + エタノール)	1
台紙	1

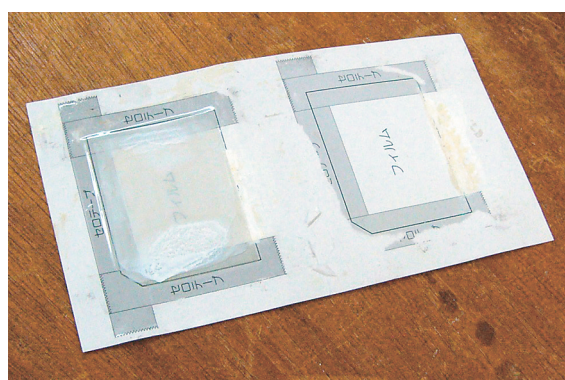


図2 二酸化チタンペーストをフィルムに乗せ、鉛筆を軽く滑らすようにして広げる。

5. ステンレス板において鉛筆を塗った個所に電解質溶液を3滴ほど滴下し、図4のように導電性プラスチックフィルムとステンレス板を重ねる。

製作した色素増感太陽電池にテスターを接続して出力電圧測定を行い、約600mVの電圧が出力されることを確認した(図5)。また電子オルゴールを接続して、太陽光を当てるとオルゴールが鳴ることを確認した。

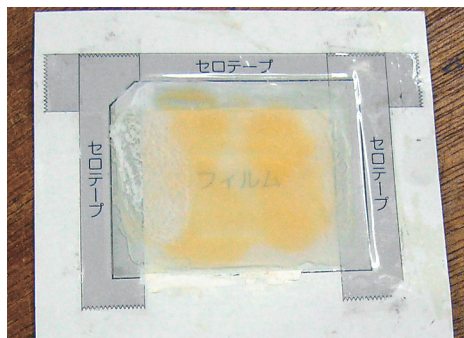


図3 乾燥後の二酸化チタン膜に、色素溶液をたらす。この際に、吸い取り紙で余分な色素溶液を除去する。

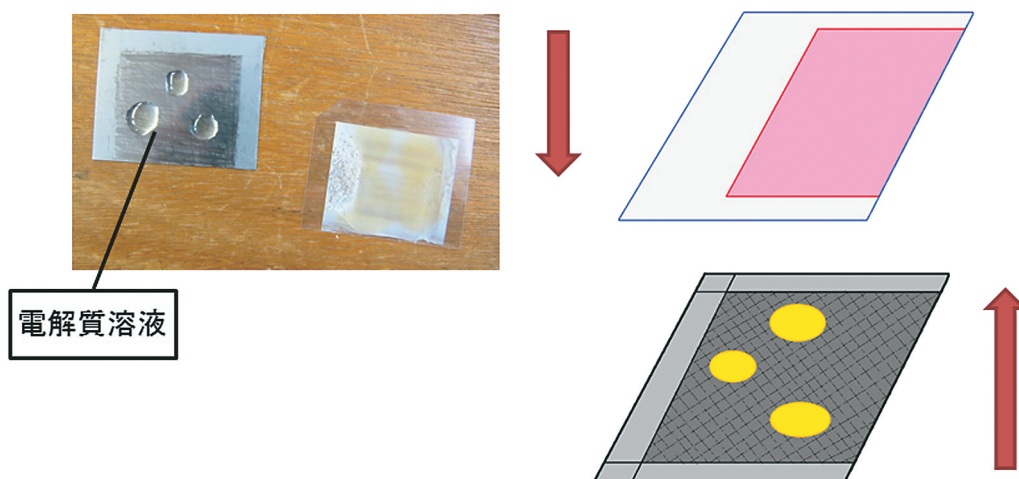


図4 ステンレス板において鉛筆を塗った個所に電解液を3滴ほど滴下し、導電性プラスチックフィルムとステンレス板を重ねる。

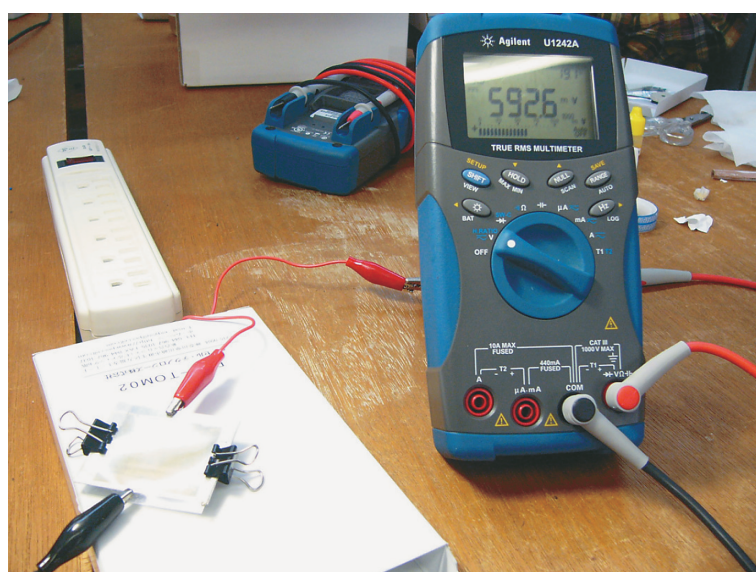


図5 実験キットPEC-TOM02にて製作した色素増感太陽電池の出力電圧測定の様子。

4. 実験結果

4.1 代替品について

今回の実験で、表1に示した実験キット PEC-TOM02の素材との置き換えを試みたのは、二酸化チタンペースト、色素溶液、電解質溶液の3つである。これらの代替品はそれぞれ、白色の水生絵具（二酸化チタンペーストの代替品）、ハイビスカス+ローズヒップティー（色素溶液の代替品）、ヨウ素溶液（電解質溶液の代替品）とした（図6）。

白色の水生絵具については、二酸化チタンを成分として含むため、これを候補とした。後述するように、耐水性の絵具に比べて、水生の方がヨウ素溶液や電解質溶液を弾かずに都合がよいことが、実験を通じて分かった。ハイビスカスティーやローズヒップティーのようなポリフェノール系の植物色素が、色素溶液の材料となることは既に幾つかの文献で報告されており^{1)-5), 7), 8)}、今回の実験ではこれについての検証を行った（図7）。またヨウ素溶液は、一般に小・中・高校の理科室に置いているものと同等である。

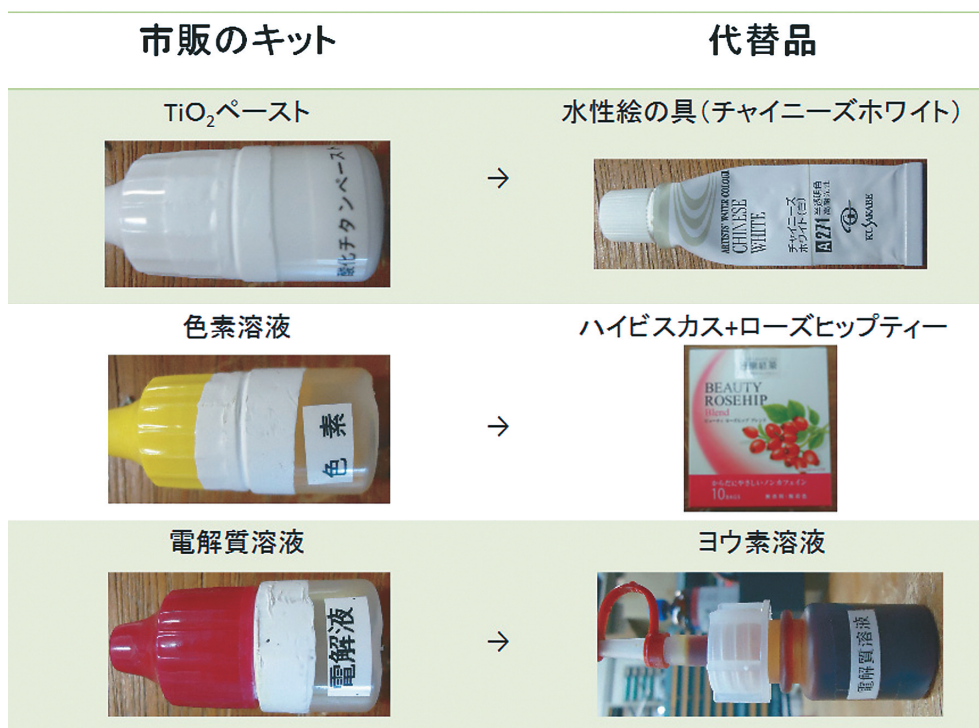


図6 実験キット PEC-TOM02における二酸化チタンペースト、色素溶液、電解質溶液と今回の実験で用いた代替品。

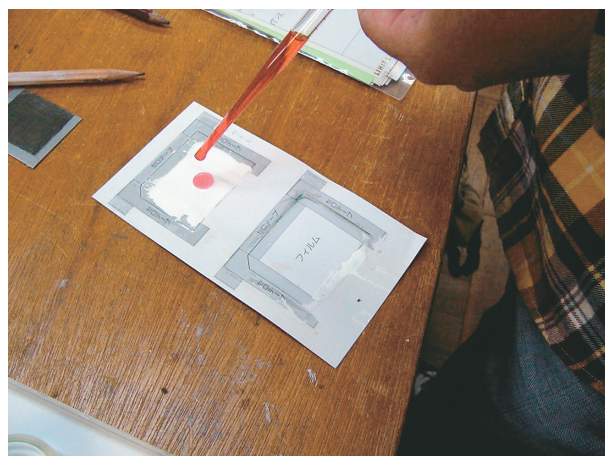


図7 ハイビスカス+ローズヒップティーを色素溶液として滴下している様子。

4.2 実験結果

前項で述べた代替品を用いた場合における、出力電圧の測定結果を表2に示す。比較のために、実験キット PEC-TOM02における出力電圧も表2に示した。ハイビスカスティーやローズヒップティーのようなポリフェノール系の植物色素も、色素溶液の材料として十分に使用できることを確認した。また、白色の水生絵具を二酸化チタンペーストの代替品として用いた場合には、出力電圧は約60%程度に低下するが、代替品として適用可能なことが明らかになった。今回の実験を通じて、本学の自然系コース（理科）の早藤先生から、ヨウ素溶液が電解質溶液として効果的に機能するためには、ヨウ素の濃度が高いことが肝要であることが指摘された。数10%のヨウ素濃度のヨウ素溶液を用いることで、表2に示すように250mVの出力電圧が得られたが、市販のヨードチンキのように3%のヨウ素濃度の場合には出力電圧はほぼ0mVであった。

表2 代替品を用いた場合の出力電圧結果。表中で、○は代替品を、－はキットの素材を使用した場合をそれぞれ表す。

	二酸化チタンペースト	色素溶液	電解質溶液	出力電圧 (mV)
実験1	－	－	－	600
実験2	○	－	－	360
実験3	－	○	－	600
実験4	○	○	○	250

4.3 実験の失敗例

今回の実験を振り返ると、以下のような失敗例が挙げられる。

- (1) 電解質溶液として市販のうがい薬を用いた場合に、太陽光発電が生じなかった。市販のうがい薬やヨードチンキに含まれるヨウ素の濃度は数%程度であり、発電に対して濃度が低すぎるためであることが今回の実験を通じて分かった。
- (2) 二酸化チタンペーストの代わりに耐水性絵具を用いた場合には、絵具が電解質溶液や色素溶液を弾いてしまい、太陽光発電が生じなかった。
- (3) 二酸化チタンペーストの代わりに歯磨き粉を用いた場合には、歯磨き粉中に含まれる二酸化チタンの成分が少ないため、太陽光発電が生じなかった。
- (4) 酢酸は二酸化チタンを分散させ、発電効率を上げる働きをすることが知られており、酢酸や食酢を加えることで発電性能が向上したという実験結果が報告されている⁵⁾。また、アルカリ性や中性に比べて酸性の方が、発電性能が良いことも報告されている⁷⁾。以上を基に今回の実験において、電解質溶液としてうがい薬を用いた場合に、食酢を加えて発電効率の向上を図った。その結果、数100mVの出力電圧が得られる場合もあったが、再現性が悪く、ほとんどの場合で出力電圧は0mVであった。

5. まとめと今後の予定

教材用の色素増感太陽電池の製作において、二酸化チタンペースト、色素溶液、電解質溶液の3つを身近な素材で代替が可能かどうかを検討した。その結果、それぞれに対して、白色の水生絵具（二酸化チタンペーストの代替品）、ハイビスカス+ローズヒップティー（色素溶液の代替品）、ヨウ素溶液（電解質溶液の代替品）が代替可能なことを実験的に示した。特にヨウ素溶液については、色素増感による発電が生じるために、溶液の濃度が数10%以上の高濃度が必要であることが分かった。

参考文献

- 1) 綾美幸, 山本勝博: 色素増感太陽電池の教材化への試み－その制作方法と増感作用を示す色素の検討－, 化学と教育, 第52巻, 2004, pp. 775－776
- 2) 飯塚正明, 本島明典: 色素増感太陽電池の作製教材の考察, 千葉大学教育学部研究紀要, 第62巻, 2014, pp. 367－370
- 3) 川村康文, 田山朋子, 兒玉明典: 市民とともに学ぶ色素増感太陽電池, 日本エネルギー学会誌, 第91巻, 2012,

pp. 503–507

- 4) 宮本憲武, 山本勝博: 色素増感太陽電池の教材化への試み(2) – 液体ポリエチレングリコールの使用とクリップモーターによる動作確認 –, 化学と教育, 第54巻, 2005, pp. 172–173
- 5) 横山育生, 中林健一: 色素増感太陽電池の教材化, 宮崎大学文化学部紀要, 第18号, 2008, pp. 1–9
- 6) 福田貴光: 文科系学生対象の実験科目における色素増感太陽電池の教材化, 東北大学高等教育開発推進センター紀要, 第2号, 2007, pp. 267–272
- 7) 川村康文: 大人の週末工作 自分で作る太陽光発電, 総合科学出版, 2012, pp. 93–134
- 8) 色素増感太陽電池 実験キット (PEC-TOM02) の作り方 (<http://www.peccell.com/products/PEC-TOM02/manual.html>) 2015年9月

Investigation of the handmade dye-sensitized solar cell for manufacturing education

MIYAMOTO Kenji*, KABE Masachika** and KURITA Masayuki**

Recently, the interest in the renewable energies is increasing after the Great East Japan Earthquake in 2011. A solar cell is one of the renewable energies, and especially a dye-sensitized solar cell is expected for a various applications because of low price, facility of fabrication, and high efficiency in electricity generation.

It is considered that the handmade dye-sensitized solar cell is one of the good teaching resources for manufacturing education. The TiO_2 pastes, the electrolyte solution, and the dye solution are inevitable for the dye-sensitized solar cell. In this study, we investigate the possibility of these materials for the dye-sensitized solar cells from the materials that are closely used in a daily life. It is found that a white watercolor can be substituted for the TiO_2 pastes. It is verified that the iodine solution used in most of schools, and the commercial rose hip and hibiscus tea can be promising candidates for the electrolyte solution and the dye solution, respectively.

*Naruto University of Education, Technology and Information Education

**Graduate School of Education, Naruto University of Education