

色素増感太陽電池を作って 発電実験をしてみよう

—SPPでの授業実践を通して—

川村 康文

はじめに

21世紀に入り、エネルギー・環境教育はますます重要となってきた。しかし、エネルギー・環境教育においては、実験を通して学ぶ科学的な学習教材が豊富であるとはいえない。例えば、風力発電について学習を行う実践は多いが、実際に自然に吹く風を利用して風力発電実験を行うことは少ない。太陽電池を用いた授業も、市販の太陽電池を用いての工作などは行われるが、太陽電池そのものを作る実践は少ない。そこで、ここでは太陽電池を実際を作ることを通して学ぶエネルギー・環境教育の授業実践について報告する。

なおこの授業実践は、サイエンス・パートナーシップ・プログラム (SPP) で行なったものである。

1. 色素増感太陽電池とは

色素増感太陽電池は、スイスのグレッツェルらが開発した太陽電池で、太陽の光からエネルギーを取り出す植物の光合成に似ているので、光合成型太陽電池とも呼ばれる。このタイプの太陽電池の主原料は、電気伝導性透明電極、二酸化チタン、有機色素、ヨウ素溶液である。二酸化チタンは、化粧品や白色顔料としても使われている。太陽の光を吸収する色素には、紫キャベツやブルーベリーなどの天然色素が利用できる。ヨウ素溶液は、うがい薬などにも利用されている。

現在普及しているアモルファスシリコンの太陽電池は、製造のために投入するエネルギー量が膨大でかつ高い技術力が必要である。しかし色素増感太陽電池は、低コストで製作でき、比較的小規模の施設

での製造が可能であるとされている。また、アモルファスシリコンの太陽電池の場合、廃棄の段階で大量の産業廃棄物化することが懸念されている。しかし、色素増感太陽電池は、環境への負荷が比較的小さいという特徴がある。

2. 色素増感太陽電池の発電原理

色素増感太陽電池の発電原理は、以下に示すとおりである。

図1に示したように、太陽の光エネルギーが色素に当たると、色素中の電子が励起される。励起された電子は直ちに半導体である二酸化チタン (TiO_2) に受け渡され、さらに電気伝導性ガラスで作られた電極へと送られる。そして外部負荷を通過して、対向電極に送られる。

色素に残ったホール： h^+ （そこに電子があると、電気的に中性であるが、実際には電子がないため、見かけ上+の電気があるように見えるもの）は、電解液のヨウ素イオンを I^- から I_3^- へと酸化する。酸化されたヨウ素イオンは対向電極で再び電子を受け

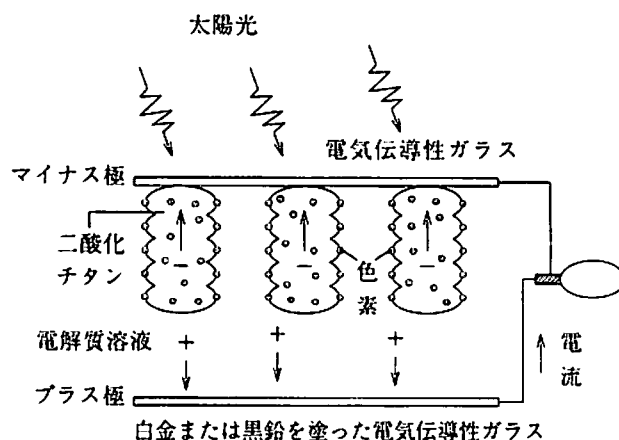


図1 色素増感太陽電池の発電原理図

て、 I_3^- から I^- にと還元される。このようにして、光エネルギーが電気エネルギーとして利用されることになる。

このことは、光合成とよく似ている。光合成では、クロロフィルなどの光合成色素に太陽の光エネルギーが照射されると光合成色素が励起される。励起されたエネルギーは、電子伝達系に伝えられ、化学エネルギーとして利用される。色素増感太陽電池は、この光合成の反応回路とよく似ているため、光合成型太陽電池とも呼ばれるわけである。

では、その具体的構造はどのようなになっているのだろうか。

マイナス極は、電気伝導性ガラスに酸化物半導体である二酸化チタンを多孔質状態にしてコーティングする。二酸化チタンだけでは太陽光エネルギーを充分には吸収しないため、さらに多くの太陽光エネルギーを吸収することが可能となるような色素を選択し、これを二酸化チタンの表面に塗布する。二酸化チタンの状態を多孔質化させることにより、二酸化チタンの表面積を大きくし、より多くの色素を導入し、発電量をあげる。

プラス極は、電気伝導性ガラスに黒鉛や白金をコーティングする。電解質溶液には、ヨウ素/ヨウ化物の混合溶液を使う。

3. 色素増感太陽電池を手作りしてみよう

1) 材 料

電気伝導性ガラス 2 枚、二酸化チタンの粉末、酢酸、中性洗剤、植物色素（紫キャベツ、ハイビスカス、ブルーベリーあるいはブルーベリー飲料など）、黒鉛（鉛筆の芯など）、クリップ 2 個、ヨウ素液、カセットコンロ、金網、小皿、電子メロディー、太陽電池式の電卓（太陽電池につないだ電極をはずし、導電を出しておく）、テスター

2) 作り方

二酸化チタンの粉末を酢酸水溶液でペースト状に練る。

テスターを使って、電気伝導性ガラスの電気を通

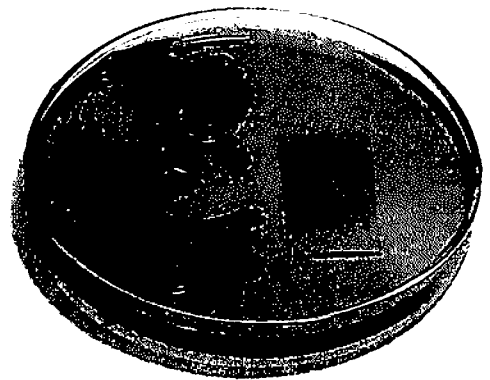


図2 赤紫色に染まったマイナス極。
黒色の部分はハイビスカスの花。

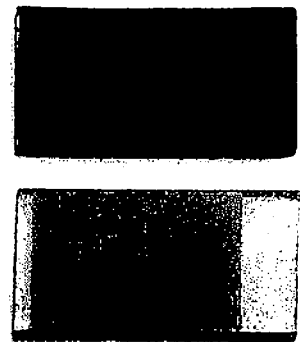


図3 炭素を塗布したプラス極。

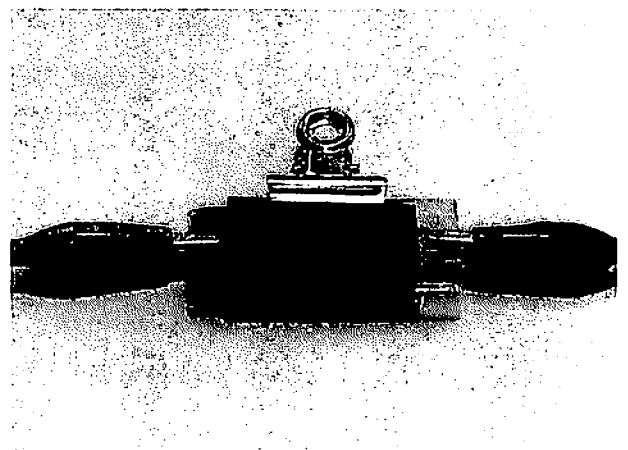


図4 完成した状態。

す面を調べ、その面にペースト状になった二酸化チタンを塗る。

二酸化チタンを塗った電気伝導性ガラスをカセットコンロなどであぶり、ガラス板の上で焼きかためて、ガラスにコーティングする。二酸化チタンを塗布するとき、電気伝導性ガラスに界面活性剤を 1 滴程度混入させると二酸化チタンがガラスにのりやす

く、焼き付けの成功の確率があがる。なお焼いたガラスは、急に冷やすと割れるので、時間をかけて冷やすようにすることと、生徒実験ではやけどに注意することが大事である。

小皿に水を入れ、その水に紫キャベツやハイビスカス、ブルーベリーなどの植物を浸して色素を抽出する。この液に二酸化チタンを焼き付けたガラス板を浸して染色する。赤紫色に染まれば染色完了である(図2)。

もう1枚の電気伝導性ガラスには、鉛筆の芯などの炭素を塗布することで、炭素をコーティングする(図3)。

赤紫色に染まった二酸化チタンの膜に、電解液としてヨウ素溶液を1~2滴たらし、炭素をコーティングした面が二酸化チタンの膜と重なるように、2枚の電気伝導性ガラスをクリップではさんで固定する(図4)。

炭素を塗った側が+極、色素で染めた側が-極となる。一極の方から光を当てる。光エネルギーが電気エネルギーに変換され、電子メロディーが鳴ったり、電卓が操作できるようになり、発電を確認することができる。

4. 色素増感太陽電池を用いての授業案

色素増感太陽電池を製作し、発電実験を行う授業は、エネルギー・環境学習を行ううえで適した教材であると考えられる。

表1では、十分に授業時間がとれる場合を想定して、3時間で行う学習活動を示した。

まず1時間目では、色素増感太陽電池を用いての発電実験を紹介し、この太陽電池に用いられる材料の日常生活における用途を紹介し、生徒が色素太陽電池の有用性を実感できるように指導する。

続いて、電極作りの工程に入る。この段階では、電気伝導性ガラスへの二酸化チタンの焼き付けと、もう1枚の電気伝導性ガラスへの炭素の塗布を行う。

2時間目では、1時間目に続いて電極作りの工程を行い、続いて発電実験を行う。1時間目で二酸化

チタンを焼き付けた電気伝導性ガラスを、植物色素で染色する。その後、2枚の電極間に電解液を1、2滴入れ、色素増感太陽電池を完成させ、発電実験を行う。

3時間目では、生徒の独創性を養う授業を行う。たとえば、いろいろな植物色素を集め、発電効率を比較したり、光に当てるときの配置によって発電効率を比較したりする。

生徒たちが、自分たちなりの小さな発明「ぶち発明」を行う時間である。授業時間数に余裕がなければ2時間の授業としてもよい。

色素増感太陽電池は、学校教育のみならず、社会教育の現場での利用が考えられる。社会教育の場では、サイエンスEネットという実験のボランティア団体が、実験教室を行う際の実験メニューとして小学生を対象に何度も行なっている¹⁾。

一方、高等学校の物理では、エネルギー学習の教材として明確に位置づけられ、高等学校理科用文部科学省検定済教科書物理I²⁾にも掲載されている。また中学校では、総合的な学習の時間が始まり、その時間の学習教材としても注目を集めている。

5. 色素増感太陽電池を教材として用いた授業を行なって

長野市立桜ヶ岡中学校および鳥取県立青谷高校で、SPPの認定を受けて授業を行なった。桜ヶ岡中学校では、8時間連続のエネルギー・環境教育に関する一連の授業のなかの2時間100分で行なった。また、鳥取県立青谷高校では50分のみで行なった。

いずれの学校でも、生徒はこれまで太陽電池はハイテクで、自分たちでは作れないものだと考えていたが、太陽電池が自分で作れることを体験して、感動し驚いていた。しかも、その材料のほとんどが身近なものであり、発電実験が成功したときには、喜びの笑顔があちこちでみられた。

以下は、授業における感想である。

女子生徒「花の力で、発電ができるってロマンチックで夢を感じました」

表1 学習計画案。

時	学 習 活 動	ポ イ ン ト
1 時 間 目	「色素増感太陽電池の製作1」 ・教師による色素増感太陽電池製作と発電演示 ・二酸化チタンやヨウ素液など、この実験で使う材料は、日常生活ではどのような場面で使われているかを調べる。 ・地球環境問題の観点からみた場合、色素増感太陽電池に使われる材料が、シリコン型太陽電池にくらべて、ある程度地球にやさしいものであることを確認する。 ・透明ガラス電極に二酸化チタンの薄膜を焼きつける。 ・もう1枚の透明電極に鉛筆で炭素をぬる。	・教師の演示により、色素増感太陽電池の作り方および発電方法のイメージをつかむ。 ・1班を4人で構成する。 ・二酸化チタンは化粧品のおしろいとして使われている。ヨウ素液はうがい薬に利用されている。 ・エネルギー問題、地球環境問題の観点から、色素増感太陽電池の材料について考える。 ・二酸化チタンを焼きつけるときに、やけどに注意。 ・透明電極の裏表に注意。
2 時 間 目	「色素増感太陽電池の製作2と発電実験」 ・二酸化チタンの薄膜がついたものを植物色素（紫キャベツやハイビスカス）の色素で染色する。 ・染まった透明電極にヨウ素液を数滴、滴下する。 ・発電実験を行う。	・植物色素（紫キャベツやハイビスカス）の色素でしっかり染色する。 ・ヨウ素液は、あまり多くならないように注意。 ・発電実験では、4人の作った色素増感太陽電池を直列に接続する。 ・電子メロディーが鳴らない場合は、色素増感太陽電池を1つずつテスターで調べる。 ・曇りの日は、色素増感太陽電池にハロゲンランプの明かりなどなるべく明るい光を当てる。
3 時 間 目	「色素増感太陽電池の応用」 ・いろいろな植物色素を持ち寄り、自分で用意した色素で染めて発電実験を行う。 ・太陽電池の配置を工夫して発電効率を比較する。	・色素は洗い流せば落とすことができるので、染め直せば再利用できる。 ・二酸化チタンの膜をはがさないように注意する。 ・二酸化チタンの薄膜をはがれたときは、もう一度焼きつけるとよい。

男子生徒「この太陽電池はとても面白く、その方面の研究をしてみたいくなりました。」

色素増感太陽電池での発電実験の成功体験を生徒と共有することで、エネルギー・環境問題に、彼ら自身が科学技術を用いて貢献できることを体感したと考えられる。

これらの授業では、3時間目の授業内容を行う時間的余裕がなかったが、予備実験の段階での発電実験の結果を表2に示す。

実験には、西野田電工社製の教育キットを用いた。この教育キットには、電気伝導性ガラス、酸化チタン、電解液などが含まれている。また、市販の標準

的な電子メロディーが添付されている。西野田電工のカタログデータによると、「午後2時直射日光下で1セルあたりの平均値は、開放電圧 350 mV、短絡電流 330 μ A」である。これを用いて、表2にあるようにハロゲンライト下と太陽光下の二つの条件で発電実験を行なった。

おわりに

次世代型の太陽電池といわれる色素増感太陽電池を用いた授業実践の事例を紹介した。

色素増感太陽電池を実験教材に用いた実験教室はSPPの認定を受けて行なったこれら二つの実践事

表2 いろいろな植物色素での発電実験結果。

500 W (50 cm) : ハロゲンライト (7000 ルクス)		
	V	mA
コスモス (青)	0.48	1.00
バラ (濃い赤紫)	0.45	0.30
ハイビスカス	0.37	0.70
パンジー (青)	0.33	0.09
パンジー (赤)	0.38	0.10
ハボタン	0.44	0.20
晴天時の太陽光 : (12000 ルクス)		
コスモス (青)	0.48	1.80
バラ (濃い赤紫)	0.42	0.80
ハイビスカス	0.38	0.70
パンジー (青)	0.33	0.35
パンジー (赤)	0.38	0.33
ハボタン	0.44	0.30
ツバキ	0.41	0.22
シクラメン	0.39	0.15
キク	0.27	0.07

例以外にも、第2土曜日にPTAなどが中心となって開催される「子供たちのための科学実験教室」などや、科学技術振興機構のサイエンス・レンジャー活動（開始時は、科学技術振興事業団）でも実施してきた。また、SSHの認定を受けた京都教育大学附属高校で独自に設定した「科学技術」の授業においても実践を行ってきた³⁾。いずれの場合におい

ても、太陽電池を自分たちで作って発電し、しかも使う材料が日常生活のなかで用いられている身近な材料でできることを実体験することで、エネルギー問題や地球環境問題に対する興味・関心を高めてくれた。

このようなエネルギー・環境分野における先端科学技術をベースにした実験教材を、適切に、児童・生徒に提供することは、エネルギー・環境教育を推進するうえで重要であり、また学習効果が高いと考えている。

文 献

- 1) 川村康文：子ども達への科学実験教室の運営方法論—環境 NGO「サイエンス E ネット」の活動事例をととして—。青少年教育フォーラム第4号，89-96 (2004)。
- 2) 三浦 登・高木英典・川村康文 他 21 名：第2編 波動。高等学校理科用文部科学省検定済教科書 物理 I，東京書籍 (2002)
- 3) 川村康文：教科「科学技術」の実践—エネルギー・環境とものづくり。物理教育，51(4)，262-266 (2003)

(かわむら やすふみ，信州大学 教育学部)

*

*

*