

研究報告

色素増感太陽電池で模型自動車を動かす実験教材の開発

川村 康文 東京理科大学理学部 162-8601 東京都新宿区神楽坂 1-3
 吉田加津哉 東京理科大学大学院理学研究科 162-8601 東京都新宿区神楽坂 1-3
 島田 英俊 信州大学大学院教育学研究科 380-8544 長野市西長野 6- 口
 藤原 清 NPO 法人サイエンスE ネット 613-0034 京都府久世郡久御山町佐山新開地 179-1

学校教育現場において、新エネルギーについて学習ができる実験教材を求める声は大きい。これまでも色素増感太陽電池を児童・生徒に作製させ電子メロディーを鳴らす発電実験を実施してきたが、模型自動車が動く実験の要望があった。今回、安定して模型自動車が走る実験教材が完成したので、これを報告する。

1. はじめに

新エネルギーについて、児童・生徒が学べる実験教材を求める声は大きい。これまでも、新エネルギーの教材については、第1著者は、いろいろなタイプのものを開発してきた。例えば、手回し発電機の作製と発電実験、色素増感太陽電池での発電実験、身近なドリンクで作る燃料電池での発電実験、サボニウス型風車風力発電機での発電実験などである¹⁾。手回し発電機やアモルファスシリコン型太陽電池では、模型自動車を走らせることができるが、色素増感太陽電池では模型自動車を走らせることができず、電子メロディーを鳴らすのみの教材であった²⁾ので、電気エネルギーを音のエネルギーに変換する授業実践は行えても、電気エネルギーを運動エネルギーに変換する授業実践に色素増感太陽電池が使えなかった。今回この問題点を克服し、色素増感太陽電池で模型自動車が動く教材を開発した。しかも、市販のモーターを用いて動かすことができるので、安価な教材となった。これにより、色素増感太陽電池も、「光エネルギーから電気エネルギーへ、そして運動エネルギーへと、エネルギー変換の学習」が行える教材として利用できるようになった。

2. 色素増感太陽電池とは

2.1 色素増感太陽電池の動作原理

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。この太陽電池の主な材料は、電気伝導性透明ガラス、二酸化チタン、色素、ヨウ素溶液である。二酸化チタンは、光触媒作用を利用して汚れにくいタイルに用いられている。太陽の光を吸収する色素には、ハイビスカス、

緑茶、紫キャベツ、ブルーベリーなどの天然色素が利用できる。

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、低コストで作製でき、比較的小規模の施設での製造が可能である。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となることが懸念されている。しかし色素増感太陽電池には、環境への負荷が比較的少ないという特徴がある。

色素増感太陽電池の発電原理は、次に示すとおりである(図1参照)。フォトン $h\nu$ 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して、対向電極に送られる。

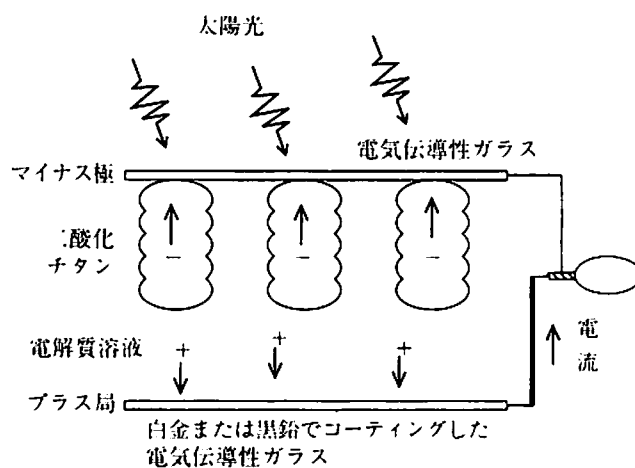


図1 色素増感太陽電池の発電原理図

色素に残ったホール (h^+) は、電解液のヨウ素イオンを I^- から I_2 へと酸化する。酸化されたヨウ素イオンは向いあわせた電極で再び電子を受けて、 I_2 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。

2.2 色素増感太陽電池の作り方

色素増感太陽電池の具体的構造は、次の通りである。マイナス極側は、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十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な色素を選択し、これを二酸化チタンの多孔質状態になった表面に吸着させる。二酸化チタンのコーティング状態が多孔質になることにより、二酸化チタンの表面積が大きくなるので、より多くの色素が吸着され、発電量をあげることができる。

プラス極側は、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。

これが、色素増感太陽電池の基本的な構造である。それを、次の材料を用いて作製する。

電気伝導性ガラス2枚 (5cm × 2.5cm)、二酸化チタンペースト (SP-210)、植物色素 (紫キャベツ、ハイビスカス、ブルーベリー、緑茶など)、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、模型自動車、テスター

これらを用いて、次の順に作製する。

1. テスターを使って、電気伝導性ガラスの導電面を調べ、その面にペースト状になった二酸化チタンを塗る。
2. カセットコンロを利用して、ペースト状の二酸化チタンを電気伝導性ガラスの上に焼き付ける。なお焼いた電気伝導性ガラスは、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。
3. 小皿に60℃程度の湯を入れ、その湯に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電気伝導性ガラスを浸して染色する。赤紫色に染まれば染色完了である。
4. もう1枚の電気伝導性ガラスには、鉛筆の芯などで炭素をコーティングする。
5. 赤紫色に染まった二酸化チタンの膜にヨウ素電解液を1, 2滴たらす。
6. 二酸化チタンと黒鉛をコーティングした面が向かい合うように重ねる。このときにガラス板どうしを少しずらして重ねて、ワニ口導線をつなぐ部分を残す。そして2枚の電気伝導性ガラスをバインダークリップではさみ固定する。

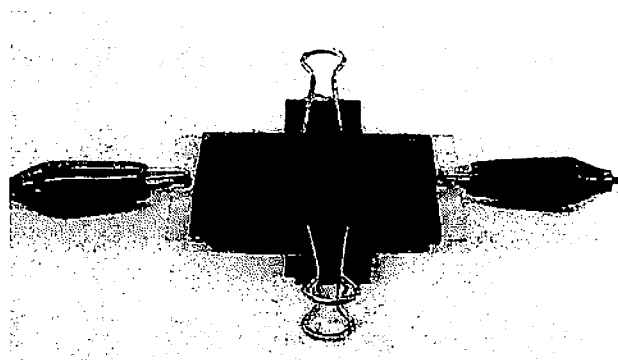


図2 完成した状態

7. 炭素を塗った側が+極、色素で染めた側が-極となる。-極側の面から光を当てると、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ることによって発電を確認することができる。

3. 実験方法と結果

3.1 色素増感太陽電池の評価実験

まず色素増感太陽電池の発電能力を高めるための事前準備実験をおこなった。そのために製作した色素増感太陽電池の性能を評価しなければならない。評価実験の際に用いたシステムはベクセル・テクノロジーズ社製ソーラシミュレータ PEC-L11 (図3) とケイスリー社製デジタルマルチメータ 2400SourceMeter およびベクセル・テクノロジーズ社製解析ソフト I-VCurveAnalyzer ver.2 であった (図4)。

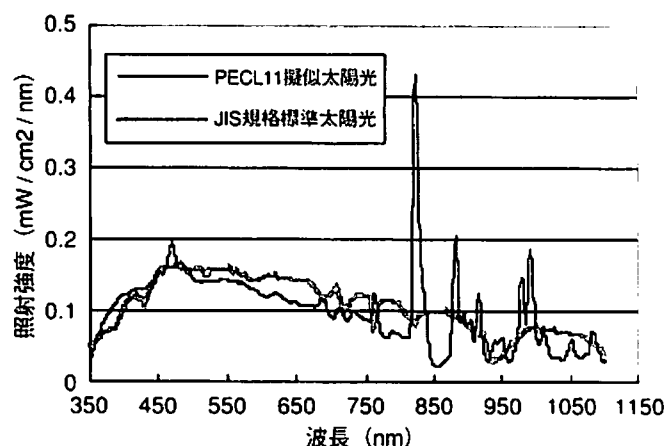


図3 PECL-11 擬似太陽光スペクトルおよび JIS 規格標準太陽光スペクトルの照射強度分布

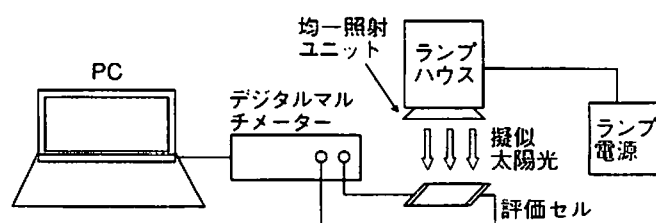


図4 太陽電池変換効率測定システム

PEC-L11 の仕様はランプハウス、均一照射ユニット、ランプ電源の3部門から構成される。

ランプハウス (NDXH-150ESS) 部門は、150W キセノンランプ (USHIO UXL-151D-0) およびアルミ蒸着楕円面鏡を用いている。

ランプ取付台は小型XYZ三軸調整式で、シャッターは回転ソレノイド羽根式である。なお外形寸法は本体W150×D150×H400mm、ベース・W200×D200×H200mm、スタンド・H200mmである。

均一照射ユニット (ITE50-AM1.5G) 部門は、以下の構成である。ミラーユニットは45°全波長反射アルミミラー型で、インテグレーターはBK7製ドラムレンズ、コリメーターはBK7製100φ、エアマスフィルターはAM1.5G、レンズ筒はφ70mmである。

ランプ電源 (NDXP-150E) 部門は、高周波PWM定電流制御式 (スイッチングレギュレーター)、出力電圧はDC20V±3V (ランプ特性に追従) で、無負荷開放電圧120V以上である。また、出力電流はDC5～8A可変、電流リップルは5% (P-P) 以下、総合変動率は4%以下である。

測定により得られた電流-電圧曲線から太陽電池の性能をあらわす因子である曲線因子、最大電力、変換効率を決定することができる。回路を短絡させたとき (電圧が0V) の電流が短絡電流、電流が流れていないときの電圧を開放電圧という。実際に太陽電池が外部に出力できる電力は、電流-電圧曲線上で電流と電圧の積が最大になるときで、これが最大電力 P_{max} となり、この点を最適動作点という。

そして短絡電流と開放電圧の積と最大電力の比は曲線の良好さを示す曲線因子 (fill factor: ff) となる。

$$ff = \frac{\text{最適動作点での電力}}{(\text{開放電圧}) \times (\text{短絡電流})}$$

また太陽電池の変換効率 η (%) は、

$$\eta = \frac{(\text{開放電圧}) \times (\text{短絡電流}) \times (\text{曲線因子})}{\text{受け取った太陽光エネルギー}}$$

であらわされる。ここで太陽光の単位面積当たりのエネルギーは地表付近での平均である $100\text{mW}/\text{cm}^2$ としている。

色素増感太陽電池の製作キット「花力発電」(西野田電機株式会社製作) では、生徒たちは電子メロディーを鳴らすことができたものの、模型自動車を動かすまでにはいたらなかった。授業を共同でおこなった教師から、「電子メロディーが鳴るだけではエネルギー学習の教材としては不十分である。せめて模型自動車ぐらいは走行するように改善して欲しい。」という声があがった。そこでさ

らに性能の良い色素増感太陽電池を製作するために新規に材料を探し、次の材料で実験を行なうことにした。

- ・昭和電工製低温焼成用酸化チタンペースト SP-210
 - ・昭和電工製ヨウ素電解液
 - ・旭ガラスファブリテック製電気伝導性ガラス
- 上記材料でおこなった実験結果を表1に示す。

表1 セルの変換効率

	変換効率 (%)
花力発電キット	0.023
SP-210 (低温乾燥方式)	0.019
SP-210 (焼結方式)	0.054

表1にみるようにSP-210を用いた低温乾燥方式では花力発電キットよりも変換効率は低く、期待した成果が得られなかった。そこでSP-210も花力発電キットと同じように電気伝導性ガラスに焼き付ける方式を試してみた。

その結果、表1にみるように変換効率に向上が見られた。そこで我々はSP-210焼結方式を用いることにした。なお、一番変換効率の高かった電流-電圧曲線は図5に示すとおりである。

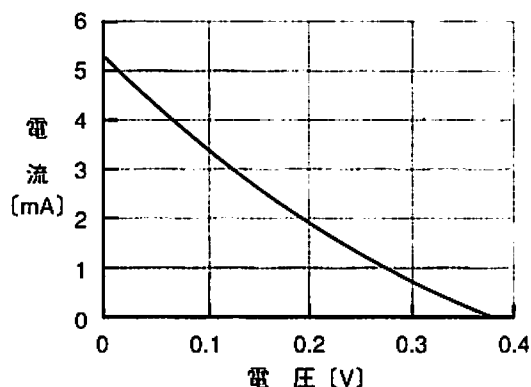


図5 変換効率グラフ

続いて、 18000lux のときの開放電圧と短絡電流の値を測定した。その結果、平均 0.38V 、 4.0mA を示した。

3.2 モーターの性能

使用したモーターはマブチモーター社製で、型番 RF-330TK07800 (以下330TKと略す) であった。性能は表2および図6に示す。

表2 RF-330TK 性能表

使用 範囲 V	定格 電圧 V	無負荷		最高効率				停 動			
		回転数 r/min	電流 A	回転数 r/min	電流 A	トルク mN·m	出力 g·cm	トルク mN·m	出力 g·cm	電流 A	電流 A
1-3	1.5	800	0.004	570	0.01	0.08	0.84	0.01	0.29	3	0.03

出典：

http://www.mabuchi-motor.co.jp/cgi-bin/catalog/catalog.cgi?CAT_ID=rf_330tk

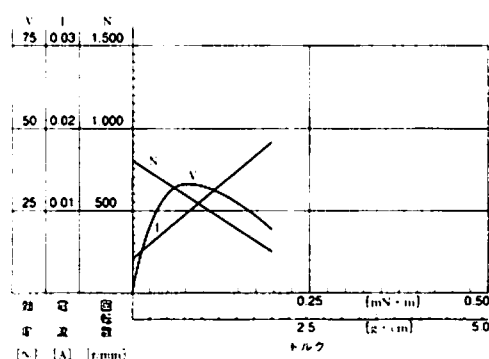


図6 RF-330TK 性能グラフ
出展：表2に同じ

なお330TKを駆動するには、実測により4mWを要することがわかった。

3.3 セルの接続方法

330TKに4mWを与えるのに、セルを直列に連結して、電圧をあげることを試したがモーターは駆動しなかった。そこでセルを並列接続して、より強い電流を得ることを試みた。図7のようにセルを、直列に5個接続し、並列に2列並べて、合計10個のセルを接続したところ、18000luxで、開放電圧は1.75V、短絡電流は6.40mAを得たので、330TKの駆動実験を試みたところ、駆動することを確認した。このとき、電圧は0.93Vで、電流が4.53mAであった。

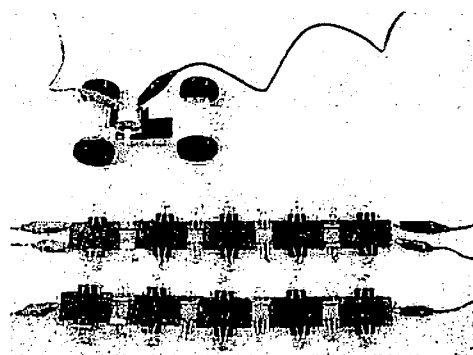


図7 セルと模型自動車

3.4 色素増感太陽電池で動く模型自動車の作製

3.3で、モーターが回転することを確認したので、模型自動車の走行実験を試みたところ、走行が確認できた。この実験で用いた模型自動車は、縦4.5cm、横12cmの車体の上にモーターのみを搭載する形である(図7参照)。モーターを搭載した模型自動車の質量は62gであった。

4. 考 察

アモルファスシリコン型太陽電池では、模型自動車を走らせる実験により、「光エネルギーから電気エネルギーへ、そして運動エネルギーへというエネルギーの変換」

について学ばせることができるが、色素増感太陽電池では、これまでは電子メロディーを鳴らすことしかできなかった。しかし本研究により、模型自動車を走らせることができるようになった。これにより、アモルファスシリコン型太陽電池と同様に、「光エネルギーから電気エネルギーへ、そして運動エネルギーへと、エネルギー変換」の学習に用いることができるようになった。

しかし、今回開発した教材では色素増感太陽電池を模型自動車に搭載することはできなかった。そのため、稼動範囲に限界があり、自由に走り回らせることができない。そこで今後の課題として、色素増感太陽電池搭載型模型自動車の開発を目指したい。

5. おわりに

学校教育現場では、科学実験を通して学習させることができるエネルギー教育教材が求められているが、本実験教材はそのようなニーズに応えることができるのではないかと考えている。

第1著者はこれまでに、SSHやSPPでの授業実践以外に、社会教育として小学生を対象とした科学実験教室でも色素増感太陽電池を用いた学習を行ってきた⁴⁾。いずれの場合においても、太陽電池を自分たちで作製して発電し、しかも実験で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。しかし同時に、もっとパワーのあるエネルギー源とはならないのかという要望を必ず受けた。そこで、色素増感太陽電池で、模型自動車が走行する実験教材を開発するに至った。

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上で重要であり、また学習効果が高いといえよう。また本実験教材を、学校教育および社会教育の両方で活用して頂ければ幸いである。

引用文献

- 1) 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, Vol. 51, No. 4, pp. 262-266, 2003.
- 2) 三浦登・川村康文ら「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, p. 242, 2003.
- 3) ベクセル・テクノロジー株式会社 会社案内パンフレット.
- 4) http://www.mabuchi-motor.co.jp/cgi-bin/catalog/catalog.cgi?CAT_ID=rf_330tk
- 5) 川村康文「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－」遺伝, Vol. 59, No. 6, pp. 15-19. (2007年12月3日受理)