

色素増感太陽電池搭載型新型模型自動車の開発と実践

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
 原 尚志 福島県立二本松工業高等学校 964-0937 福島県二本松市榎戸 1-58-2
 児玉 明典 東京理科大学理学部 162-8601 東京都新宿区神楽坂 1-3
 曾根 均 東京理科大学理学部 162-8601 東京都新宿区神楽坂 1-3
 柏倉 達也 東京理科大学大学院科学教育研究科 162-8601 東京都新宿区神楽坂 1-3
 紫藤 寛司 東京理科大学大学院科学教育研究科 162-8601 東京都新宿区神楽坂 1-3

これまで、色素増感太陽電池を用いた模型自動車の走行の実験に関して、当初は、太陽電池は車体に搭載型にはできず、太陽電池から車上のモーターへ導線で電力を送電するタイプのものではあった。その後、色素増感太陽電池搭載型へと発展させた。搭載直後は、色素増感太陽電池の面積が広く実験材料費が高額であった。また、高校生などが実際に動かすには、困難な点も多かった。その後、模型自動車の車体の軽量化などの改良を行い、学校教育現場で広く活用できる理科実験教材としての模型自動車が完成し、これを用いて授業実践を行ったので報告する。

1. はじめに

色素増感太陽電池は、これまで、エネルギー環境学習の教材として注目を浴びてきた^{1)・2)}。しかし、色素増感太陽電池を用いて、模型自動車を動かす試みについては、著者らは当初、色素増感太陽電池は車体に搭載型にすることができず、太陽電池から車上のモーターへ導線で電力を送電して動かしていた。その理由は、模型自動車は軽い車体に改良しても、電気伝導性ガラスが重いため、色素増感太陽電池を搭載した模型自動車の教材は、実現しなかったからである³⁾。

その後、発電できる電力を強力にすることにより、色素増感太陽電池搭載型模型自動車の走行に成功した⁴⁾。しかしハロゲンランプ灯火のもと、5cm×5cmの色素増感太陽電池を10セル用いなければならず、未だに色素増感太陽電池そのものの価格が高額であるため、色素増感太陽電池搭載型模型自動車を授業で各班に1台ずつ製作できるような安価なものへの改善を目指す必要があった。

これまでは、模型自動車の車体を究極まで軽くできていたわけではなく、さらに軽い車体に改善することができるとわかった。このことにより、模型自動車に搭載した色素増感太陽電池にハロゲンランプ1台のみを用いて光を照射することによって、自走するタイプの色素増感太陽電池搭載型模型自動車の製作を目指した。

学校教育現場で広く活用できる理科実験教材とするには、児童生徒が自ら作ることができることが望ましいと考え、100円ショップなどで入手できる材料で、模型自動車を作る方針を貫いた。ハロゲンランプも、1台のみ

の使用で自走するようにサイズを設計した。さらに、色素増感太陽電池そのものの見直しも行った。これまで、色素増感太陽電池搭載型模型自動車では、プラス極にステンレス板を利用してきた⁴⁾。ステンレス板では、児童生徒自身では、必要な大きさに切る作業が困難である。そのためプラス電極を従来からの電気伝導性ガラスに戻した。このことにより、中学生以上であれば、ガラスを自らガラス切りを用いてカットすることで、学校内でできる実験操作が増え、その結果として、実験材料費を安価に仕上げることも可能となった。また著者らは、色素増感太陽電池が、半透明で、すけて向こう側の景色がみえることも、この電池の重要な特徴の1つとだと考えているので、2枚のガラスを組み合わせる方法を用いた。

2. 開発した自走式色素増感太陽電池搭載型模型自動車

2.1 模型自動車の本体

模型自動車の車体サイズを決定するには、搭載するべき太陽電池の大きさを検討する必要があった。

色素増感太陽電池を並列、直列を組み合わせると、6セルで太陽電池モーターを作動させることができることがわかったので、一度は、6セル搭載型の模型自動車車体を設計することとした⁵⁾。これによりこれまで、ハロゲンランプを2台用いて光を照射していたのを、1台のハロゲンランプで走行させることが可能となった。

しかし、車体をどのように軽量化するかについては、非常に困難を極めた。また、6セルでは太陽電池の出力が弱いのではないかということが問題となり、8セル搭載型

の開発も平行して行った。8セル搭載型も、自走したが、8セルで自走させる場合、ハロゲンランプが2台必要となるので、学校での理科実験の実験材料費を考えると、より、安価なものが望まれるため、6セル搭載型で研究開発を続けた。しかし、高校生が自分自身で作製した色素増感太陽電池を用いて、色素増感太陽電池搭載型模型自動車を作製する場合には、8セル搭載型で行うことにした。

最終的に、授業で実際に使う車体は図1に示すように、発泡スチロールをくりぬいて軽量化した車体を作製した。その結果、川村ら(2008)において62.0g、川村(2009)において49.1gであった車体が、8セル搭載型ではあるが、46.5gまで軽量化できた。

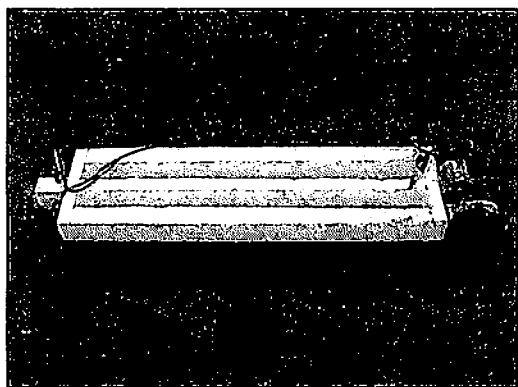


図1 自走型色素増感太陽電池搭載型模型自動車用車体(8セル搭載型, モーターは搭載済み)

2.2 車輪の軽量化

車輪については、川村(2009)でも報告を行ったが、図2に再掲する。車輪本体も、ギヤ部分もくりぬいて、強度を失わない範囲で軽量化をはかった。

その結果、内部をくりぬく前の車輪は平均値で5.2gであったが、川村(2009)で3.6gとなり、さらに今回は2.5gになった。ギヤも、くりぬく前は2.5g(なお、ギヤの変速部を切りとった後は1.9g)であったが、くりぬいたのちは川村(2009)で1.4gとなり、さらに今回は1.2gとなった。

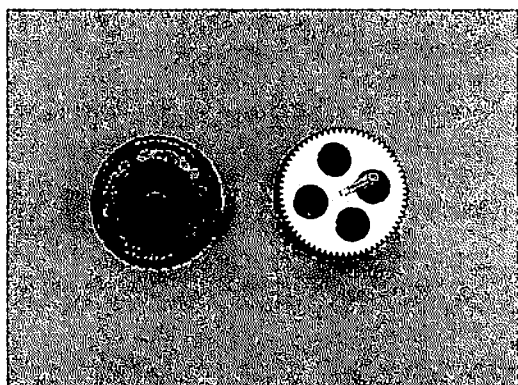


図2 内部をくりぬいた車輪とギヤ

2.3 搭載する色素増感太陽電池について

搭載する色素増感太陽電池は、高校生であればもちろん、小学校の高学年の児童や中学生が自分たちで、電気伝導性ガラスを切ることにより、自在に加工できるようにと考え、太陽電池の上下の両面とも、電気伝導性ガラスを用いた。今回の電気伝導性ガラスの大きさは、5cm×3cmとした。また、厚みは1.1mmとした。それにより、5cm×3cmのステンレス板(1mm厚)の質量が、11.1gであるのに対して、電気伝導性ガラス板の質量が4.1gなので、8枚当たりでは、合計56gの軽量化に成功したことになる。

また二酸化チタンを焼結し、ハイビスカスで染色した後にセルに組み上げた1セルあたりの開放電圧の平均値は0.41V、短絡電流の平均値は4.46 mA、変換効率の平均値は0.0359%であった。

2.4 色素増感太陽電池の接続方法

搭載する色素増感太陽電池の接続に、これまでバインダークリップを用いてきたが、このクリップの取っ手部分を取りはずし、図3のように接続することにより、搭載物の重量を軽量化した。

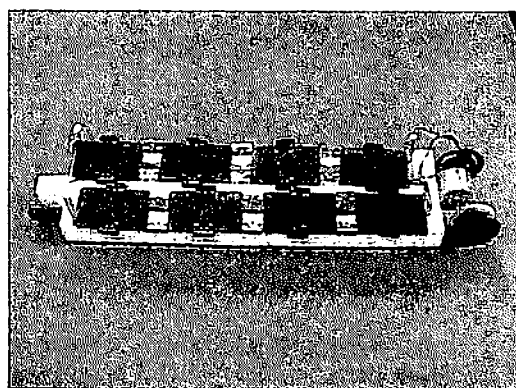


図3 自走式色素増感太陽電池搭載型模型自動車の完成写真
(バインダークリップの取っ手部分はずして接続した色素増感太陽電池ユニットを搭載)

3. 色素増感太陽電池搭載型模型自動車を用いて行った授業実践の内容

実践授業は、県立N工業高校の機械システム科2年の物理選択者15名に対して実施した。学習単元は、高校物理Ⅰの「熱とエネルギー」、学習内容は「色素増感太陽電池の製作と実験」、授業の実施は、2009年12月15日火曜日、5・6時限目の2時間であった(表1、表2参照)。

表 1 1 時間目 (50 分) の授業で行った概要

指導過程	指 導 事 項	学 習 活 動	指導上の留意点
導 入	・挨拶をする。 ・環境問題について導入的な話しをする。	・話を聞く。	・温暖化や酸性雨などについて話しをし、地球温暖化から発電の話へつなげる。
展開①	・色素増感太陽電池の発電原理や材料について説明をする。	・話を聞く。	・ここでは概要を説明し、作製時に時間がかかる染色の作業の段階で、より詳しい説明を行う。
展開②	・色素増感太陽電池のマイナス極は電導性ガラス、二酸化チタンでできていることを説明。 ・二酸化チタンの塗布の説明。 ・焼き付け方法の説明。 ・焼き付けの様子を観察しながらプラス極を作成する。 ・机間巡視をし、わからないところがある生徒の指導をする。 ・ハイビスカスの色素を抽出し、二酸化チタンを塗布したガラスを 15 分以上つけ込む。	・マイナス極の作成。電導性ガラスに綿棒で二酸化チタンを塗る。(一人二枚作製) ・二酸化チタンを塗ったガラスをフライパンの上に置き焼き付ける。 ・焼付けの様子を観察する。 ・プラス極を作成。電導性ガラスに GB 鉛筆を塗り付ける。	・二酸化チタンは光触媒作用をもっていることを説明する。例としてマンションなどの外壁のタイルを挙げる。 ・ガラスの電気伝導性面をテスターで確認させる。 ・二酸化チタン塗布の際に全面に塗らず、2 mm 程度塗らない部分を作る。 ・焼付けの際、二酸化チタンを塗ったガラスが一旦黒色に焼け焦げるが、加熱を続けると再度白色になる。 ・焼きあがった後、急冷するとガラスが割れる危険があるので十分冷めるまで放置する。 ・焼付けの際、火気の取り扱いに充分注意する。 ・プラス極もマイナス極同様 2 mm 程度塗らない部分を作る。 ・二酸化チタンやハイビスカスの色素は手や服に付いた場合、無害であるがすぐに手などを水道水で十分に洗わせる。

表 2 2 時間目 (50 分) の授業で行った概要

展開③	・色素増感太陽電池の詳しい説明を行う。 ①二酸化チタン、炭素、ヨウ素電解液の役割を説明。 ②色素を用い光の吸収領域を広げることの説明	・説明を聞く。 ・染色の様子を観察する。	・生徒によっては難しい分野なので生徒の反応を見ながらわかりにくくならないように説明を行う。
展開④	・色素増感太陽電池を模型自動車の車体の上に組み込み、模型自動車を走らせる。	・色素増感太陽電池を 4 セル直列で 2 セットづくり、それらを並列に接続する。 ・太陽電池にハロゲンランプを近づける。 ・模型自動車を走らせる。 ・8 セル搭載で走った場合、6 セル搭載で走るかどうか挑戦する。	・それぞれの極の表裏に注意しプラス極とマイナス極を非導電性クリップでとめる。またセル同士を導電性クリップで繋ぐ。 ・ハロゲンランプは高温になるので取り扱いに注意する。 ・8 セル搭載型模型自動車が動いた場合、搭載する色素増感太陽電池の枚数を 6 枚に減らして、この模型自動車を走らせる。
まとめ	・本時のまとめを行う。 ・アンケートを行う。	・まとめを聞く。 ・アンケートに回答する。	

本時までに、実施したクラスでは、物理担当教師の第2著者が、2時間をかけて、太陽放射や太陽定数、太陽電池について学習した。太陽電池の授業では、「光電池セット」を用いて、太陽電池に当てる光の量や当てる角度を変えると発電力が変化することなど簡単な特徴について、モーターの回転実験を行い体験的に学習した。

その後、現在主流のシリコン・アモルファス太陽電池に対して、低コストでかつ有害なヒ素などを含ない色素増感太陽電池が研究開発中であり、次の授業でその製作・実験を行うと予告した。

4. 実践授業における生徒の学習効果

授業実践の後、高校生に、アンケートを配布し、実践授業の内容や方法について、次に示す7項目の質問を行った。

1. 「色素増感太陽電池搭載型模型自動車」の実験は面白かったですか？
2. 「色素増感太陽電池搭載型模型自動車」の実験および授業を通して、地球環境問題への意識は高まりましたか？
3. 「色素増感太陽電池」の授業で学んだ事を、地球問題解決のために利用してみたいですか？
4. 「色素増感太陽電池搭載型模型自動車」実験を友達に勧めたいですか？
5. この「色素増感太陽電池」に関して、さらに学習を深めたいと思いましたか？
6. 「色素増感太陽電池搭載型模型自動車」の実験を、自然の太陽光のもとでしたいと感じましたか？
7. 今回のような実験を行う授業を今後も学校の授業でしてほしいですか？

以上、アンケートには、とてもそう思うを5、まあまあそう思うを4、どちらともいえないを3、あまりそう思わないを2、全くそう思わないを1として集計した。

その結果を、図4に示す。

著者らは、これまで色素増感太陽電池を用いた教材で数多くの出前授業や実験教室を行ってきた。しかし、「1. 色素増感太陽電池搭載型模型自動車の実験は面白かったですか？」の問いに、全員が「とてもそう思う」を選択したことはこれまでなかった。自分が自作した太陽電池で電子メロディーが鳴れば、感動してくれる児童・生徒は、確かに大勢いるが、模型自動車は走らないの？などという質問が返ってくることもあった。今回の出前授業では、ようやく生徒が自作した太陽電池で自走する模型自動車教材が完成したが、この教材が確実に生徒に受け入れら得ることがわかった。

そして、何よりこの教材で伝えたいことである「2. 色素増感太陽電池搭載型模型自動車」の実験および授業を通して、地球環境問題への意識は高まりましたか？」と「3. 色素増感太陽電池の授業で学んだ事を、地球問題解決のために利用してみたいですか？」についても、それぞれ、4.47、4.67と高い値が得られたので、概ね、この教材を用いて行う授業は、初期の目的を達するのをサポートしてくれたと言っても過言ではなかろう。

「4. 色素増感太陽電池搭載型模型自動車」実験を友達に勧めたいですか？」および「5. この色素増感太陽電池に関して、さらに学習を深めたいと思いましたか？」では、科学技術としての色素増感太陽電池とその可能性について、高校生がどのような認識をもったかを測定したかったが、これも、4.53、4.40と高い数値が得られ、ハイテク技術に高校生が触れることの意義が確認された。技術の面での関心で、この教材をさらに進化させたものを学びたいかの質問「6. 色素増感太陽電池搭載型模型自動車の実験を、自然の太陽光のもとでしたいと感じましたか？」に、4.87と高い数値の回答が寄せられ、より進化させたものとの遭遇を期待していることがわかる。

1. 「色素増感太陽電池搭載型模型自動車」の実験は面白かったですか？
2. 「色素増感太陽電池搭載型模型自動車」の実験および授業を通して、地球環境問題への意識は高まりましたか？
3. 「色素増感太陽電池」の授業で学んだ事を、地球問題解決のために利用してみたいですか？
4. 「色素増感太陽電池搭載型模型自動車」実験を友達に勧めたいですか？
5. この「色素増感太陽電池」に関して、さらに学習を深めたいと思いましたか？
6. 「色素増感太陽電池搭載型模型自動車」の実験を、自然の太陽光のもとでしたいと感じましたか？
7. 今回のような実験を行う授業を今後も学校の授業でしてほしいですか？

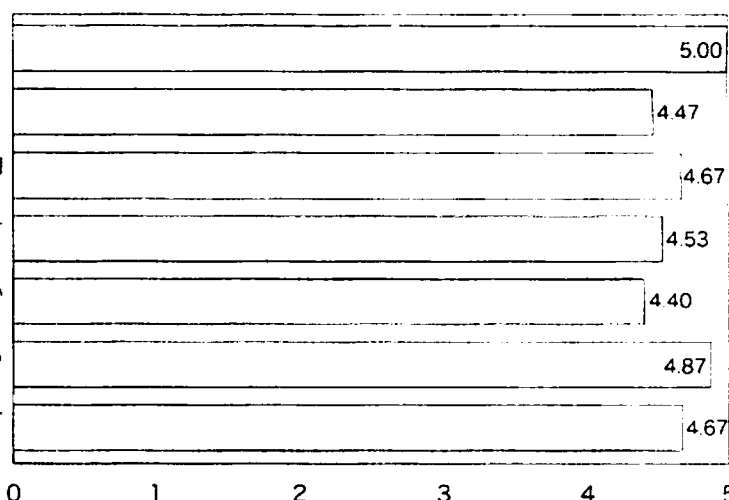


図4 アンケートの結果

最後に、質問「7. 今回のような実験を行う授業を今後も学校の授業でしてほしいですか?」より、ハイテクを実感できたり、環境問題解決につながるような教材を用いた実験を、高校生達が期待していることも4.67という高い数値の回答が寄せられたことからわかった。

なお生徒の感想には、「もっと実験をやってみたい」「この電池を利用した他の実験もみたい」というものが多かった。生徒たちは色素増感太陽電池に強い興味を持ち、どのように利用できるのか知りたい、また自らも利用を考えてみたい、と感じたことがわかった。このように生徒の強い関心を引き出せるのは、この電池が自ら製作できて構造がわかりやすいこと、最先端でありながら植物色素という身近な素材でできていて環境に優しいと実感できること、にあると考えられる。

5. 考 察

エネルギー環境教育を進める上で、楽しく学べる実験教材が少ないといわれるが、そのなかでも色素増感太陽電池を用いた実験教材は、著者らにとっては非常に刺激的な教材である。

1つは、いまだ、先端科学技術としてのハイテクではあり、まだまだ進化を続けている。いまや、フィルム型の色素増感太陽電池が開発され、その色素増感太陽電池では、アモルファス・シリコンの太陽電池ではできることであるが、それと同様に、模型自動車の上に搭載され、模型自動車が高速で走行している。今後は、ますます進化し、日常生活のいろいろな場面で活躍するようになると考えられるが、そのように日々進化し続けている先端技術を、その進化のようすを感じながら小学生高学年から高校生までの理科の授業のなかで、取り扱える点である。

もう1つは、生徒のアンケートの結果からもわかるが、地球環境問題の解決に、生徒自身が関われるかも知れな

いという実感を伴った学習ができる。

環境教育を学んでも、「では自分自身はどう関わるの?」と?マークがつく高校生が多いが、この実験教材は、ハイテクを学びつつ、もう一方で地球環境問題解決のための環境学習も行える。このように優れた教材であることが確認できた。

6. おわりに

地球環境問題の解決に関しては、待ったなしの状況にあることは、誰もがそのとおりだと意見の一致をみることであるが、生徒の地球環境問題解決への関心は、以前より高まって来ているのであろうか。実験の意義については、いろいろな議論があるが、我々、理科教師は、このような新規の実験教材に取り組み、生徒の、地球環境問題解決への意欲、関心を高めていく必要があるのではなかろうか。その際に、授業実践を通して、生徒の学習に効果的な実験教材を開発して行くという姿勢を失ってはならないと考える。

引用文献

- 1) 柳田祥三「くだもの色素で太陽電池を作ろう」川村康文編著『サイエンスE ネットの親子でできる科学実験工作』かもがわ出版, 2000, pp.118-121.
- 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, 2003, p.242.
- 3) 川村康文・吉田加津哉・島田英俊・藤原清「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」物理教育 Vol.56, No.1, 2008, pp.21-24.
- 4) 小田善治・川村康文「色素増感太陽電池を搭載した模型自動車の実験教材の開発」物理教育 Vol.57, No.3, 2009, pp.220-223.
- 5) 川村康文「自走式色素増感太陽電池搭載型模型自動車の軽量化の試み」日本物理教育学会 第26回物理教育研究大会 2009年度物理教育学会年会講演予稿集, 2009, pp.64-65.

(2009年12月25日受理)

OnePoint

ピンポン玉の直径

オリンピックなどの公式試合で使われるピンポン玉の直径は、前世紀末ごろまで38mmであった。如何にも半端なこの数値は何に由来するのであろうか。

(答は139頁)

編集委員会, A (2010年4月3日受理)