Technical Report

A Production Method of Electrically Conductive Glasses by High School Classes and a Practice of the Dye-Sensitized Solar Cells Experiment

Yasufumi KAWAMURA^{*1}, Atsushi WATANABE^{*2}, Yu MATSUMOTO^{*1}, and Shohei YOKOYAMA^{*2}

(Received March 28, 2013)

高校生が授業内でできる電気伝導性ガラス製作とそれを用いた色素増感太陽電池実験の授業実践

川村康文^{*1}, 渡部 温^{*2}, 松本 悠^{*1}, 横山昇平^{*2}

Solar cells are getting familiar to science teachers as teaching materials in a new course of study which started in 2011. Among many types of solar cells, researchers are paying attention to the dye-sensitized solar cells experiment because students can produce by themselves. After the Great East Japan Earthquake, we cannot teach the experiment classes to produce the dye-sensitized solar cells because we cannot obtain the electrically conductive glasses. Therefore, we developed a production method of the electrically conductive glasses which high school students can perform, and practiced the dye-sensitized solar cells experiment with them. We report on the results.

太陽光電池教材は、2011年より改訂された学習指導要領におけるエネルギー環境教育分野を指導するうえで、多くの教員が利用している教材であるといえる。太陽電池には多くの種類があるが、特に学習者が興味・関心をひかれるのは生徒自信が作製可能な色素増感太陽電池である。

しかし、2011年3月11日に起こった東日本大地震により電気伝導性ガラスの生産工場が被災し、電気伝導性ガラスの入手が不可能となり、教員が色素増感太陽電池の指導が不可能となった。そこで、高校生が授業時間中に作製可能な電気伝導性ガラスの作製方法を開発し、色素増感太陽電池教材の一環として実践を行い、その結果をまとめた。

Key Words

Electrically conductive glasses, Dye-sensitized solar cells, The Great East Japan Earthquake

1. はじめに

高等学校における新学習指導要領が平成25年度より全面実施され、それより先に学習指導要領の改訂があった小中学校に続いて全ての校種において新学習指導要領に沿った学習がスタートすることとなる（高等学校の数学と理科は平成24年度より先行実施されている）。理科の新学習指導要領では、中学校において新単元「科学技術と人間」、高等学校において新教科「科学と人間生活」が設置され、「科学」と「人間」の関わりを学習する機会が増加している。それらの学習単元や科目における「エネルギー変換」や「エネルギー効率」についての学習では太陽電池を用いた授業を行うことが推奨されている¹⁾。実際に、平成24年度先行実施、物理基礎の教科書に

における課題研究のページにて色素増感太陽電池が掲載されていることから、エネルギー学習において、太陽電池は教材としての学習効果が期待されているといえる²⁾。色素増感太陽電池は実際に理科室で生徒に手作りさせることができ、さらにエネルギー環境教育教材としての学習効果が高いことも既に報告されているため、SSH（スーパーサイエンスハイスクール）やSPP（サイエンスパートナーシッププロジェクト）、様々な講習や研修などにおいて活用されている³⁾⁴⁾。川村らは、これまでも、色素増感太陽電池の実験教材の開発を授業実践を通して行ってきた^{5)~7)}。ところが、東日本大震災の影響により色素増感太陽電池に必要な電気伝導性ガラスの入手が、一時期、困難となった。そのため、授業実践や研究開発を行う

*1 Tokyo University of Science
1-3 Kagurazaka, Shinjuku-ku, Tokyo 162-8601, Japan

*2 Tokyo University of Science
1-3 Kagurazaka, Shinjuku-ku, Tokyo 162-8601, Japan

*1 東京理科大学理学部第一部
〒162-8601 東京都新宿区神楽坂1-3

*2 東京理科大学科学教育研究科科学教育専攻
〒162-8601 東京都新宿区神楽坂1-3

のが難しい状況となった。またもともと、色素増感太陽電池が、高等学校で生徒実験としてもっと広く実施されるには、購入価格が高価である電気伝導性ガラスを、生徒が自作することができるようになる必要性を感じていた。このたび、震災により、電気伝導性ガラスの入手が困難となったことをきっかけに、高等学校の授業時間内に、高校生が電気伝導性ガラスを作って、そのガラスを用いて色素増感太陽電池実験ができる実験教材の開発を、研究の目標とした。授業実践において、高校生全員が実験に成功したので報告をする。

2. 色素増感太陽電池とは

現在、太陽電池の中で最もよく利用されているシリコン系太陽電池は、製造のために高度なクリーンルームの建設が必要であり、さらに、シリコンはPC・携帯電話の普及に伴い、それらのCPUなどの材料としての需要が増大しており、太陽電池向け材料供給との競合が懸念される。また、製造段階にて有害な物質も使用されているため、廃棄の段階で大量の産業廃棄物が出るのが懸念され、太陽電池が、高校生の学習教材として、一概に環境に優しいとはいえない現状がある。一方、色素増感太陽電池は、変換効率ではシリコン系に及ばないが、比較的小規模の施設での製造が可能で、低コストで製造でき、用いる材料が環境への負荷が少ないという特徴があるため、次なる太陽電池として高い注目を集め、高校生が夢をもてるものとなっている。

・色素増感太陽電池の発電原理

色素増感太陽電池は、スイスのグレッツェルによって開発されたものである。主な材料は、電気伝導性ガラス、二酸化チタン、色素、電解液である。色素増感太陽電池の発電原理は以下の通りである（図1）。

- (1) 二酸化チタンを焼き付けた電気伝導性ガラス電極側に光を照射する
- (2) 色素が可視光を吸収し、電子とホールが発生する
- (3) 電子は速やかに半導体の二酸化チタン多孔質膜へ注入され、ガラス電極に伝わる
- (4) さらに、電子は集電端より取り出され、負荷を動かし、対

極へと移動する

- (5) 対極上の電子は電解液中の三ヨウ化物イオン (I_3^-) を還元し、ヨウ化物イオン (I^-) になる

- (6) 還元されたヨウ化物イオンは色素上に残り残されたホールと結合し、酸化されて再び三ヨウ化物イオンとなる

- (7) 上記(1)～(6)を繰り返して電気が流れる

動作原理がシリコン系太陽電池のように光励起で発生した電子とホールをそのまま直接取り出して電流とするのではなく、電解質溶液の酸化・還元を伴うことから、“光合成の水素伝達回路”に例えて“光合成模倣型光電池”といった呼ばれ方をされることもある。

3. 開発した電気伝導性ガラス製作実験

電気伝導性ガラスの製造工場はもともと東北地方に多くあったため、震災後は、電気伝導性ガラスの入手が難しくなり、授業前に電気伝導性ガラスの購入を依頼しても授業には間に合わない可能性があるという状況に陥ってしまっていた。そこでその状況を解決すべく、電気伝導性ガラス製作実験の開発を行った。本研究では、授業で高校生が色素増感太陽電池実験を行うのに、授業中に電気伝導性ガラス製作から始めても、色素増感太陽電池の発電確認までが実施できるような教材の研究開発を行った。電気伝導性ガラス製作の方法については、大学研究室では一般的なスパッタ法を利用することも考えたが、高等学校の授業での実施は予算の面から考えても困難であると考えた。そこで、高校生にも製作可能な電気伝導性ガラスを作る方法について検討した結果、スプレー法を選択することとした。スプレー法については様々な方法が知られるが、我々は、澤田の方法⁸⁾を選択し、これを高校生が実際に授業のなかでできる実験方法にすることを考えた。澤田の方法において、実験の成功のためのポイントや実験上の安全性について、直接、澤田氏に教授を受け、それをもとに高校生でもできる方法へと改善した。その方法を以下に示す。

まず、電気伝導性ガラス製作実験に必要な材料を示す。

・100円ショップのフォトフレームのガラス(ガラスの厚みが1.5 mmのものを使用した)、
・塩化スズ(II) ($SnCl_2$, 和光純薬工業(株))、
・エタノール (C_2H_5O , 純度 99.5%, 関東化学(株))、
・ガスコンロ、
・ガスボンベ、
・鍋焼きうどん用容器(アルミ製)、
・100円ショップのアルコール用アトマイザー、
・スターラー、
・ガラスカッター、
・キムワイプ

次に製作手順を示す。

なお以下の手順は、すべてドラフトの中で実施した。また、高校の化学実験室にはほとんどの場合ドラフトは設置されている。

- 1) 濃度 0.158 mol/L となるよう、エタノール 100 mL に対し、塩化スズを 3.00 g 溶かし、スターラーで約 5 分間攪拌した(スターラーが無ければガラス棒で全て溶けるまで攪拌する方法でも可)。

図1 色素増感太陽電池原理図

- 2) フォトレームのガラスを $2\text{ cm} \times 2\text{ cm}$ のサイズにガラスカッターで切り出し、エタノールを染み込ませたキムワイプで表面の汚れをとった。
- 3) ドラフト内にガスコンロを置き、その上にフライパンを載せ、フライパンの中央付近に図2のように切り出したガラスを並べた。
- 4) ガラスを並べた後、鍋焼きうどん用容器を、並べたガラスが見えるように被せた(図3)。
- 5) ガスコンロの火をつけ、10分間静置した(このとき、どの程度ガスを開くかは事前に熱電対を用いてフライパン中央が 400°C になる開き具合を確認し、その開き具合に固定した)。
- 6) 攪拌した溶液をアトマイザーに移した。
- 7) ドラフト内において、ガラスにアトマイザーから塩化スズ溶液を噴霧した。このときガラス25枚に一度にスプレーをするのではなく、全体を4分割して1/4ずつ噴霧を行った(図4)。つまり、噴霧4回を1セットとなし、これを70セッ

図2 ガラスの並べ方

図3 鍋焼きうどん用容器を被せた様子

図4 噴霧の仕方

図5 電気伝導性ガラス製作実験の様子(N高等学校化学実験室における授業実践にて)

ト繰り返した。噴霧を行うとガラスの温度が下がるため、ガラスの温度が再び上がるまで、5秒待ってから次のスプレーを行った。

- 8) 噴霧終了後、放冷をして電気伝導性ガラスを回収した(図5)。

4. 結果

4.1 手作り電気伝導性ガラスの性能評価

4.1.1 膜厚・体積抵抗率測定

手作り電気伝導性ガラスの性能評価をするために、膜厚と体積抵抗率の測定を行った。その際に、比較として従来、当研究室で使用してきた市販品電気伝導性ガラス(AGCファブリテック(株)製)についても同様に測定を行った。下記にその結果を示す(表1)。

上記結果より、市販品と手作り品を比較しても、膜厚、体積抵抗率のどちらにおいても、オーダーがずれるほどの大きな違いは見られなかった。つまり、本研究において開発した電気伝導性ガラス製作実験は高校の授業で用いる材料としてみた場合、市販品と遜色ない性能の電気伝導性ガラスをつくれることがわかった。

4.1.2 色素増感太陽電池製作後のソーラーシミュレーターにおける性能評価

上述した手作り電気伝導性ガラス(図6)を用いて製作した色素増感太陽電池の性能評価をソーラーシミュレーターを用いて行った。

開放電圧、短絡電流、変換効率、曲線因子を測定した結果を以下に示す(図7、表2)。

表1 市販品と手作り品の物性比較

	膜厚 [nm]	体積抵抗率 [$\Omega \cdot \text{cm}$]
市販品電気伝導性ガラス	1.04×10^2	1.06×10^{-3}
手作り電気伝導性ガラス	2.37×10^2	4.15×10^{-3}

図6 手作り電気伝導性ガラス

図7 ソーラーシミュレーターの結果比較

表2 性能比較表

	開放電圧 [V]	短絡電流 [mA]	曲線因子	変換効率 [%]
市販品データ	0.46	0.25	0.39	0.013
手作りデータ	0.42	0.21	0.38	0.008

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，変換効率を求めた。回路を短絡させたとき（電圧が0のとき）の電流が短絡電流，電流が流れていないとき（電流が0のとき）の電圧が開放電圧である。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×電圧の値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×開放電圧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。曲線因子は

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

と表すことができる。曲線因子は最適動作点で囲まれる面積と，短絡電流と開放電圧で囲まれる面積の比でもあらわされる。また太陽電池の変換効率 η （％）は，

$$\eta = \frac{(\text{解放電圧}) \times (\text{短絡電流}) \times (\text{曲線因子})}{\text{受け取った太陽光エネルギー}} \times 100$$

となる。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 mW/cm^2 として計算した。

ソーラーシミュレーターの結果より，市販品電気伝導性ガラスを用いて製作した色素増感太陽電池の方が良い性能を示しているが，手作り電気伝導性ガラスを用いて製作した色素

表3 金額比較

	1枚(2 cm × 2 cm) あたりの金額	1クラス(40人) あたりの金額
市販品電気 伝導性ガラス	22.0 円	7,052 円
手作り電気 伝導性ガラス	7.95 円	2,544 円
差額	14.05 円	4,508 円

増感太陽電池の性能も市販品と比べ，大きな違いは見られなかった。また，当研究室では，色素増感太陽電池実験における発電確認では電子メロディーを使用しており，その電子メロディーは約0.8 V，0.1 mA程度で発電確認をすることができる。その電子メロディーを用いて発電確認するために，手作り電気伝導性ガラスを用いて製作した色素増感太陽電池では4セル直列接続が必要であった。市販品電気伝導性ガラスを用いて製作した色素増感太陽電池でも，もともと4セル直列接続が必要であるので，手作り電気伝導性ガラスを用いた色素増感太陽電池は十分な性能を有していると判断した。これにより，手作り電気伝導性ガラスを用いた色素増感太陽電池を，高等学校の授業で実験教材として用いることができると考えた。

4.2 電気伝導性ガラス製作のコスト

現在，理科実験の消耗品において年間一人あたりに使うことができる金額は341円であるといわれている⁹⁾。そこで，教材開発においては，金額面での検討，つまりコストダウンがますます重要となってきている。電気伝導性ガラス製作実験を行うことで電気伝導性ガラスに関するコストがどの程度削減できたかどうか以下に示す（表3）。

表3より，電気伝導性ガラス1枚あたり，14.05円削減することができ，1クラス（40人）あたり，4,508円削減することができたことがわかる。電気伝導性ガラスは一度購入すれば何度かは使用できるため，上記の金額は色素増感太陽電池実験を行うためにかかる初期費用ではあるが，大幅にコストダウンすることができたといえる。理科実験の重要性が説かれはするものの実験予算が厳しい状況にあり，それが一因となって理科実験がされていない現状もあるため，コストダウンを目的としてスタートした研究ではないが，4,058円のコストダウンができた点は大きく評価できると考えられる。

5. 授業実践

ここまでの研究結果により，電気伝導性ガラス製作実験を開発するという当初の目的は果たすことができ，さらに大幅なコストダウンをすることができた。これで，材料面からみた場合には，高等学校の授業において実験教材として用いることができる可能性が高くなったが，実際に，授業で活用できるかどうかは，授業実践を試行し，高校生からの率直な評価を貰う必要があるといえる。仮に本研究で開発をした電気伝導性ガラス製作実験の難易度が高く，高校生が行えないと

なると、教師が事前に生徒の人数分の電気伝導性ガラスを製作しておかなければならず、教育現場に適した教材を開発したとは言い難いと考えられる。そこで、本研究において開発をした電気伝導性ガラス製作実験が高校生にも簡単に行うことができ、さらに従来行ってきた色素増感太陽電池実験が高校生の作った電気伝導性ガラスで成功させることができるかどうか授業実践を行い検証することとした。

5.1 授業実践の概要

本研究はSPPにおける実践依頼を受け、“電気伝導性ガラス製作実験を取り入れた色素増感太陽電池実験”として、出前授業を行ったものである。

実践日時：2012年11月5日（月）

9:30～10:20（2限）、

10:30～11:20（3限）合計2時限分

実践対象：京都府立N高等学校

普通科1年生28名

実践場所：京都府立N高等学校化学実験室

5.2 授業実践の内容

本研究では授業実践として2時限分（100分間）という授業時間にて電気伝導性ガラス製作実験を取り入れた色素増感太陽電池実験を行った。実践内容は、色素増感太陽電池実験に加え、新たに電気伝導性ガラス製作実験を加えたものである¹⁰。大きな流れとしては、①負極の作製（二酸化チタンの塗布、色素の定着）、②正極用電気伝導性ガラスの作製、③正極の作製（黒鉛の塗布）、④作製した正極、負極、電解液（イソジン）を用いてセル作製、⑤電子メロディーを用いた発電確認実験、という展開にて授業実践を行った。細かい授業展開については末尾に付録として示す。

授業終了後、アンケートを取り、実験の成功率、授業に対する評価をしてもらった。さらに率直な意見・感想を聞くためにインタビューを行った。

5.3 授業実践の結果

付録における授業計画の流れに沿って授業実践を行ったところ、どの班も電子メロディーの発電に成功することができた。つまり、授業時間内で高校生が手作りした電気伝導性ガラスの性能が色素増感太陽電池を製作するのに十分なものであり、高校生でも授業時間内に作ることが可能であることがわかった。また、授業後アンケートを、全くあてはまらない:1、あまりあてはまらない:2、どちらともいえない:3、まあまああてはまる:4、とてもあてはまる:5、として行ったところ、“「色素増感太陽電池」の実験はおもしろかった”、“今回のような、実験を行う授業を今後も授業で行って欲しい”という質問項目に対してアンケート結果平均で4.72、4.50という非常に高い評価を得ることができた。このことから本研究における電気伝導性ガラス製作まで含めた色素増感太陽電池実験は、高校生が行っても成功率が非常に高く、さらに高校生にとっておもしろく、また実験をやりたいと感じさせるこ

とができる実験であったことがわかった。

5.4 授業実践後の感想

本研究における授業実践後にインタビューを行ったところ、色素増感太陽電池実験に関して、以下のような感想を聞くことができた。

“実際に自分の手でつくることで、仕組みなどがよく理解できた”

“自分たちの力でも頭を使って考えれば電気エネルギーを作れるということを学んだ”

また、電気伝導性ガラス製作についてもインタビューを行ったところ、以下のような感想を聞くことができた。

“ガラスは無機物で、電気を通さないという考えを180度変えさせられる出来事でした”

“最先端科学技術が身近に感じた”

インタビューにより、実際に電気伝導性ガラスを製作し、自らの手で色素増感太陽電池を製作することで、それぞれにおいて、学びや気づき、感動があったことが伺い知ることができた。また、その他にも

“太陽光発電のことをもっと知りたくなった”

“今、エネルギー問題が大変なのでこれを利用してエネルギーを作れたらいいと感じた”

“(将来について)大学生になったら、自分の好きなことをじっくり研究できるので楽しそうだと感じた”

などという感想もあり、エネルギー教育やキャリア教育としても有用である可能性があることが示唆された。

6. おわりに

本研究では高校生自身が授業時間内に電気伝導性ガラスを製作し、その電気伝導性ガラスを用いて色素増感太陽電池を製作するという非常にチャレンジングな授業実践に取り組み、成功を収めることができた。大学の学生実験のレベルでも、電気伝導性ガラス製作はあまり多くは実施されていないことから判断すると、高等学校の2時限分（100分間）の授業のなかで電気伝導性ガラスを製作を実践した事例は多くはないと考えられる。しかも、色素増感太陽電池を製作するための電気伝導性ガラスの製作なので、導電性が確認できるだけでなく、高校生が色素増感太陽電池を製作しても利用に耐えるものをつくる必要があったので、極めて困難な課題であった。

また、従前より、色素増感太陽電池の生徒実験では、電子メロディーを鳴らすことだけでなく、色素増感太陽電池搭載型の模型自動車の生徒実験が期待されてきた。当研究室でも、市販の電気伝導性ガラスを用いての実験教材の開発に成功しているが、これにより、生徒が自作する電気伝導性ガラスを用いた実験教材の開発も急がれることとなった。

最後に、東日本大震災が起き、色素増感太陽電池の生徒実験において、もっとも重要な実験材料の電気伝導性ガラスの入手が困難になった。もともと、色素増感太陽電池の生徒実験が、高校の教育現場で広がっていくためには、電気伝導性ガラスを高校生が自作できることが必要であると考えていた

ので, “ピンチはチャンス”という言葉があるように, 実験教材の研究開発のチャンスとなった。これからも本研究のような, 生徒にとっておもしろく, もっと実験をやりたいと感じさせることができる実験教材を多く開発していきたいと筆者らは考えている。

文 献：References

- 1) Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology: Chuugakkou gakushuu shidouyouryou kaisetsu rikahenn (Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology), (2008) : 文部科学省, 中学校学習指導要領解説理科編(文部科学省), (2008)
- 2) Miura, N. et al.: Koutougakkou rikayou butsuri kiso (Tokyoshoseki), pp. 228-229(2011) : 三浦登ら, 高等学校理科用物理基礎(東京書籍), pp. 228-229(2011)
- 3) Nakabayashi, K.; Koyae, H.; Yokoyama, I.: *Journal of Research in Science Education*, **52**(3), 121-128(2012) : 中林健一, 小八重宏樹, 横山育生, 理科教育学研究, **52**(3), 121-128(2012)
- 4) Miyamoto, N.; Yamamoto, K.: *Kagaku to kyouiku*, **54**(3), 172-173(2006) : 宮本憲武, 山本勝博, 化学と教育, **54**(3), 172-173(2006)
- 5) Kawamura, Y.: *Idenn*, **59**(6), 15-19(2005) : 川村康文, 遺伝, **59**(6), 15-19(2005)
- 6) Oda, Y. et al.: *Journal of Energy and Environmental Education*, **3**(1), 71-77(2008) : 小田善治ら, エネルギー環境教育研究, **3**(1), 71-77(2008)
- 7) Kawamura, Y. et al.: *Journal of the Physics Education Society of Japan*, **58**(2), 84-88(2010) : 川村康文ら, 物理教育, **58**(2), 84-88(2010)
- 8) Sawada, Y. et al.: Toumeidoudennmaku no shinntennkai II, (Shiemushishuppan), pp. 113-121(2007) : 澤田豊ら, 透明導電膜の新展開 II, (シーエムシー出版), pp. 113-121(2007)
- 9) Japan Science and Technology Agency, (2008) : (独)科学技術振興機構, <http://www.jst.go.jp/pr/announce/20080912/index.html>(2013年1月7日確認)(2008)
- 10) Kawamura, Y.; Tayama, T.; Kodama, A.: *J. Jpn. Inst. Energy*, **91**(6), 503-507(2012) : 川村康文, 田山朋子, 兒玉明典, 日エネ誌, **91**(6), 503-507(2012)

付録 授業計画

【1 時限目】

段階	学習内容	教師の活動	生徒の活動
挨拶・点呼 (2分)		・挨拶をする ・出席確認をする	・挨拶をする
導入 (3分)	太陽電池について (3分)	「発問」「みなさんのまわりで太陽電池はどこにありますか？」 ・本時で製作する太陽電池の種類を紹介し、どの種類の太陽電池を製作するのかを理解させる	「予想される生徒の回答」 家の屋根、携帯など ・説明を聞く
展開Ⅰ (5分)	テスターの使い方 (5分)	・電気伝導性ガラスの説明をする 「発問」「実は電気伝導性ガラスは、身の回りに溢れています。どこで使われているでしょう？」 ・テスターの説明をし、テスターを用いて電気伝導性ガラスの電気伝導面を確認させる	・説明を聞く 「予想される生徒の回答」 窓ガラス、液晶など ・説明を聞く ・テスターを用いて電気伝導面の確認をする
展開Ⅱ (20分)	負極の製作 (20分)	・負極を製作させる ①テスターで電気伝導面を再確認する、②二酸化チタン入り歯磨き粉が入ったカップに二酸化チタン粉末を入れ、二酸化チタンペーストをつくる、③電気伝導面に、薄く二酸化チタンペーストを塗る、④フライパンに載せ、焼き付けを行う ・二酸化チタン入り歯磨き粉を利用した理由を説明する 「発問」「実は二酸化チタンは色々なものに使われています。どこで使われているのでしょうか？」 ・焼き付けの様子を観察させる ・焼き付けを観察させながら ①色素増感太陽電池の作動原理、②色素増感太陽電池の名前のゆえんを説明する ・焼き付けが終了したのを見計らってガスコンロのスイッチを切り放冷させる ・放冷時間を利用して、焼き付けの際の色の変化について発問を交えつつ解説をする 「発問」「なぜ一度黒くなった二酸化チタンが再び白くなったのでしょうか？」 ・冷めたのを確認後、ハイビスカスの色素を抽出した溶液を紹介し、その溶液の中に二酸化チタンを塗布したガラスをつけ込ませる	・負極を製作する（下記写真） ・説明を聞く 「予想される生徒の回答」 絵の具、紙など ・焼き付けの様子を観察する ・説明を聞く ・ガスコンロのスイッチを切る ・説明を聞く 「予想される生徒の回答」 焦げたのがはがれたから、気体になっていなくなったからなど ・冷めたのを確認後、ハイビスカスの色素を抽出した溶液に二酸化チタンを塗布したガラスをつけ込む
展開Ⅲ (20分)	正極用電気伝導性ガラスの製作 (20分)	・正極のガラスにも電気伝導膜が必要であったのを作動原理の図から思い出させ、電気伝導膜の必要性を認識させる ・電気伝導性ガラス製作を行わせる ①フライパンに普通のガラスを並べる、②ガスコンロ、囲いをドラフト内に用意し、そこにガラスをのせたフライパンをおく、③ガスコンロのスイッチを印の位置までひねり約5分間程度温まるのを待つ、④温まるのを待つ間に噴霧する溶液を準備する、⑤温まったのを確認後アトマイザーの中に④で調整した溶液を入れ噴霧する、⑥70 セット噴霧が終了した後、火を止め放冷する	・説明を聞く ・電気伝導性ガラス製作を行う (下記写真)

【2時限目】

段階	学習内容	教師の活動	生徒の活動
展開Ⅳ (5分)	正極の製作 (5分)	・展開Ⅲで製作した電気伝導性ガラスを用いて正極を製作させる ①電気伝導面をテスターで確認をする, ②電気伝導面に鉛筆で炭素を塗布する	・正極を製作する
展開Ⅴ (10分)	セル製作 (10分)	・1人1つ, セルを製作させる ①ハイビスカス溶液から負極を取り出し, キムワイプでかく拭く, ②負極にイソジンを3～4滴垂らし, 正極とイソジンをサンドイッチする形でセルを組み黒クリップで固定する 「発問」「魚型しょうゆさしの中に入っている茶色の液体はなんでしょうか?」	・1人1つ, セル製作をする (下記写真) ・発問に答える 「予想される回答」 醤油, イソジンなど
展開Ⅵ (20分)	発電確認 (20分)	・班員と協力をして発電確認をさせる ①3～5セル程度, 直列接続する, ②+と-を間違えないよう電子メロディーを接続する, ③LEDやハロゲンライトなど光源を当て発電確認をする	・班員と協力して発電確認をする
まとめ (15分)	まとめ (15分)	・色素増感太陽電池の特徴(長所, 短所)について説明をする ・エネルギー利用について話をする ・アンケートを行わせる	・説明を聞く ・説明を聞く ・アンケートに回答する