

色素増感型太陽電池の仕組みを教えるための授業実践

Teaching Materials for the Mechanism of Dye-Sensitized Solar Cell

佐藤 博¹ 嶋津 英斗²
SATO Hiroshi SHIMAZU Hideto

要約：太陽電池の種類は、シリコン系、化合物系、有機系がある。有機系太陽電池のひとつとして色素増感型太陽電池がある。色素増感型太陽電池は、二酸化チタン微粒子の表面に色素を吸着することで、これまでより起電力が増加し、低コストな太陽電池として注目を集めるようになった。本研究では、色素増感型太陽電池において、太陽からの光を色素が吸収すると電子を放出し、その電子を酸化チタンが受け取って電気を作ることを理解させる授業実践を行なった。その結果、生徒が、(1) 色素に光があたると+（正孔）を-（電子）に分かれる。(2) -（電子）が酸化チタンの中を移動する。(3) ガラス、導線を伝わって-（電子）が対極まで移動する。(4) ヨウ素を伝わって-（電子）が元の位置にもどる。(1) → (2) → (3) → (4) の繰り返しになることを、授業を通して理解できたことがわかった。

キーワード：太陽電池 色素 増感 酸化チタン ブルーベリー 伝導ガラス

I はじめに

太陽電池は住まいの屋根の上などにも多く見られている。この太陽電池は「電池」とあるが、電気を蓄える蓄電の機能は有していない。太陽電池は太陽からの光エネルギーを光起電力効果利用して、電気エネルギーに変換する。太陽電池の種類は、シリコン系、化合物系、有機系がある。有機系太陽電池のひとつとして色素増感型太陽電池がある。色素増感型太陽電池は、二酸化チタン微粒子の表面に色素を吸着することで、これまでより起電力が増加し、低コストな太陽電池として注目を集めるようになった。光エネルギー利用の研究分野として、光触媒の研究とともに日本での研究が盛んになっている。

中学校技術および中学校理科では、「物質とエネルギー」ということにかかわって、乾電池、電磁石について触れ、太陽電池については太陽光発電としてだけ扱っている^{1)~9)}。佐藤らは、電磁誘導と太陽電池の仕組みについて工学部大学生がどのような理解をしているのか、その実態をアンケート調査し、その調査をもとに検討した結果、電磁誘導の原理を95%の者が正しく理解しているが、小学校で学習する太陽電池の基礎知識を正しく理解している者は、37%しかいないことがわかったことを報告した¹⁰⁾。丸野らは太陽電池に関して、小学校5, 6年生を対象にして理科実験の出前授業の内容について報告した¹¹⁾。紅林らは、中学校の技術程度の設備で、授業において色素増感型太陽電池を制作可能であることを示し、エネルギー変換などの科学的な学習への発展が可能であることを述べた¹²⁾。小河原は、小学校における色素増感型太陽電池を取り入れた授業を行い、色素増感型太陽電池を作成することができることを報告した¹³⁾。池田らは色素増感太陽電池の教材開発を行い、微弱な電流でも動作確認できるクリップモーターを自作し、回転させ、さらにこの教材を用いて高

¹ 非常勤講師 山梨大学名誉教授 元科学教育講座 ² 河口湖南中学校

等学校の授業や部活動での実践および教育センターで実施した結果、理科の不思議さや楽しさを実感できる教材として非常に有効であることを報告した¹⁴⁾。

色素増感型太陽電池を授業で作製した実践報告はあるが、色素増感型太陽電池の光を電気にどのような仕組みで変換しているのか教えた報告はまだない。色素増感型太陽電池は、以下のサイクルで発電する。

- (1) 光を吸着した増感色素は励起され、電子が基底状態から励起状態に移行し、励起された増感色素の電子が、酸化チタンに注入される（光があたると電子を放出し、放出した電子を選ぶ）。
- (2) 酸化チタンナノに注入された電子は、銅線を通して、対極に移動する（電子の通り道）。
- (3) 対極の表面で、電子は、電解液中のヨウ素に移動し、ヨウ化物イオンができる（電気をとのおしやすくする）。
- (4) ヨウ化物イオンは、光を吸収して酸化された色素に電子をわたし、ヨウ化物イオンは、再びヨウ素となる（電子を最初の位置まで運ぶ）。

本研究では以上のことを踏まえて、色素増感型太陽電池において、太陽からの光を色素が吸収すると電子を放出し、その電子を酸化チタンが受け取って電気を作ることを理解させる授業実践を行った。

II 実験授業

実験授業は公立A中学校第2学年生男子5名、女子4名の合計9名について、2017年10月に行った。授業は2時間を設定した。授業計画を表1に示す。「エネルギーの利用の仕方」の16時間の中で、単元の目標としての中で、「色素増感型太陽電池を作り、その仕組みを知ろう」の授業を行った。この単元までに、エネルギー変換利用のガイダンスを学習させた。実験授業の展開を表2に示す。

表1 授業計画

| | |
|-----------|--|
| 1 時間目 | 1. エネルギーの利用の仕方を考えよう |
| 2 時間目 | (1) エネルギーを変換して利用しよう |
| 3 時間目 | 2. エネルギー変換のしくみを調べよう |
| 4 時間目 | (1) 自然界のエネルギーを利用するには |
| 5 時間目 | (2) 電気エネルギーを光や熱に変えるには 使い捨てカイロを製作し、仕組みについて理解を高めることができる |
| 6 時間目 | (3) 電気エネルギーを動力に変えるには |
| 7 時間目 | 3. エネルギー変換を利用したものを製作しよう |
| 8 時間目 | (1) 交流電源を利用するには |
| 9 時間目 | (2) 全体の形や作り方をまとめよう |
| 10 時間目 | (3) 製作の準備 |
| 11 時間目 | (4) 製作 |
| 12 時間目 | (4) 製作 |
| 13 時間目 | (4) 製作 |
| 14 時間目 | 4. これからのエネルギー利用について考えよう |
| 15-17 時間目 | (1) 「色素増感型太陽電池を作り、その仕組みを知ろう」(本時) |
| 18 時間目 | (2) 環境を大切にする技術を調べよう |

表2 授業展開

実践事例 第2学年 技術・家庭科（技術分野）指導案

- (1) 日時 平成29年10月
- (2) 場所 A中学校
- (3) 本時の目標
 - ・色素増感型太陽電池を作り、その仕組みを知ろう
- (4) 本時の展開 1時間目

| | 学習活動 | 指導上の留意点 | 備考 |
|-----|---|---|---|
| 導入 | <p>□太陽電池について考える。 ※『光をあてると電気ができるよ』『電卓に使われているんじゃないかな』『屋根についているのも太陽電池じゃないかな』</p> <p>□色素増感型太陽電池について知る。</p> | <ul style="list-style-type: none"> ・エネルギー変換について学んだことをふり返られるような声かけを行い、太陽電池をイメージしやすい場を整える。 ・太陽電池は「光エネルギー」を「電気エネルギー」に変換する装置であることを伝える。 ・パネルに光があたるときしか機能しないことを伝える。 ・シリコン型太陽電池の仕組みを説明する。 ①異なる半導体（p型半導体・n型半導体）が重なっている。 ②半導体により、+（正孔）と-（電子）に分かれる。 ③-（電子）が移動し、電気が発生する。 ・太陽電池には様々な種類があること、色素増感型太陽電池は最先端の太陽電池であることを伝える。 ・実際に色素増感型太陽電池を見せ、どのようなものかイメージを膨らませるようにする。 | |
| 展開 | <p>□色素増感太陽電池を作ることを確認し、制作手順を確認する。</p> <p>□色素増感太陽電池の作成</p> <p>(1) 酸化チタンペーストを塗る。</p> <p>(2) 伝導ガラスをテープで固定し。ペーストを塗る。</p> <p>(3) ペーストをドライヤーで乾かす。</p> <p>(4) オープンでペーストを焼き付ける。 ・加熱（10分間） ・焼付け（10分間） ・冷ます（10分間）</p> <p>(5) 色素の中に漬け込む（5分間）</p> <p>(6) もう片方の伝導ガラスを鉛筆でコーティングする。</p> | <ul style="list-style-type: none"> ・自分達で太陽電池を作ることを伝える。 ・製作の流れ・材料を紹介し、その働きを簡単に伝える。 ・本時の作業時間を把握するように促し、授業に見通しがもてるよう働きかける。 ・1班を3人で構成する。 ・互いに仕事を決め、効率よく作業が進むように促す。 ・テープに空気が入らないように促す。 ・ムラができないようガラス棒で丁寧に塗るように指導する。 ・ペーストを塗る面をしっかりと確認するように指導する。 ・しっかりと乾かすよう促す。 ・あらかじめオープンは加熱しておく。 ・教師がガラスを入れる・取り出す。 ・全体が浸るようにする。 ・色素はあらかじめ用意しておく。 ・できるだけ隙間なくコーティングするように促す。 | <p>製作手順プリント</p> <ul style="list-style-type: none"> ・酸化チタン ・PEG ・酢酸 ・乳鉢 ・すり棒 ・テープ ・伝導ガラス ・ガラス棒 ・ドライヤー ・オープン ・色素 ・6Bの鉛筆 |
| まとめ | □かたづけ。 | ・次回も実験を行うことを伝える。 | |

色素増感型太陽電池の仕組みを教えるための授業実践

(4) 本時の展開 2時間目

| | 学習活動 | 指導上の留意点 | 備考 |
|-----|---|--|---|
| 導入 | □前回の活動をふり返り、本時の学習内容を把握する。 | <ul style="list-style-type: none"> ・前回はふり返り、本時は色素増感型太陽電池を完成させ、オルゴールに接続させることを認識させる。 ・色素がどのようにペーストに吸着しているのか確認するように働きかける。 | |
| 展開 | □色素増感型太陽電池の作成する。 ・2枚のガラスを重ね、ヨウ素液を垂らす。 □導線をつなぎ、オルゴールを接続する。 □色素増感型太陽電池の仕組みを学ぶ。 | <ul style="list-style-type: none"> ・ヨウ素は教師があらかじめ用意しておく。 ・ヨウ素は触ると危険であるため、教師が作業を行う。伝導ガラス通し、ぴったり重ねるのではなく、少しずつ重ね、隙間の内容を確認する。 ・酸化チタンをコーティングしたガラスの方から光をあてるように促す。 ・3個直列に接続させる。 ・光をあてる時と当てないときの電圧を測定し、電池が働いていることを数値で確認する。 ・材料とその働きについて伝える。その際、専門的に伝えず、あくまでイメージとして伝える程度とする。 ・発電の流れを伝える。 (1) 色素に光があたると+ (正孔) - (電子) に分かれる。 (2) - (電子) が酸化チタンの中を移動する。 (3) ガラス、導線を伝わって- (電子) が対極まで移動する。 (4) ヨウ素を伝わって- (電子) が元の位置にもどる。 (1) → (2) → (3) → (4) の繰り返し | <ul style="list-style-type: none"> ・ヨウ素液 ・クリップ ・オルゴール ・導線 |
| まとめ | □まとめ □感想を書く | <ul style="list-style-type: none"> ・各自でマークシートを完成させるよう促す。 ・色素増感太陽電池とシリコン型太陽電池を比較し、現在シリコン型太陽電池が主流になっている理由を教えるよう働きかける。 ・2時間を通し、感じたことを自由に書いてもらう。 | |

エネルギー変換について学んだことをふり返らせ、太陽電池は光エネルギーを電気エネルギー変換する装置であることを伝えた。シリコン型太陽電池の仕組みを説明した。次に色素増感型太陽電池を作成することを伝えた。色素増感型太陽電池の製作手順を表3に示す。製作の流れを説明し、材料の説明をした。まず、酸化チタンペーストを作成し、養生テープを貼った伝導ガラスにペーストをのせ、テープの厚さになるようにペーストを均一に塗る。ペーストをドライヤーで乾かし、テープをはがすように説明した。次に、400℃に加熱したオーブントースターの中にペーストを塗ったガラスを入れ10分ペーストを焼き付けた。オーブントースターの電源を切り、温度が下がるのを待ち、ガラスを取り出した。用意しておいたブルーベリーペーストの中に、ペーストを乾かしたガラスを5分間浸し、ドライヤーで乾かした。別のガラスの伝導面に4B鉛筆で黒鉛を塗りつぶした。図1に示すように、2枚のガラスを重ね合わせ、クリップで2か所はさんで固定した。2枚のガラスの隙間にヨウ素液を注射器で注入した。ペーストを塗ったガラスが正極、黒鉛を塗ったガラスを負極とし、3個を直列につないで、そこにオルゴールを接続した。オルゴールから音が鳴ると歓声がわいた。

表3 製作手順

色素増感型太陽電池の製作手順

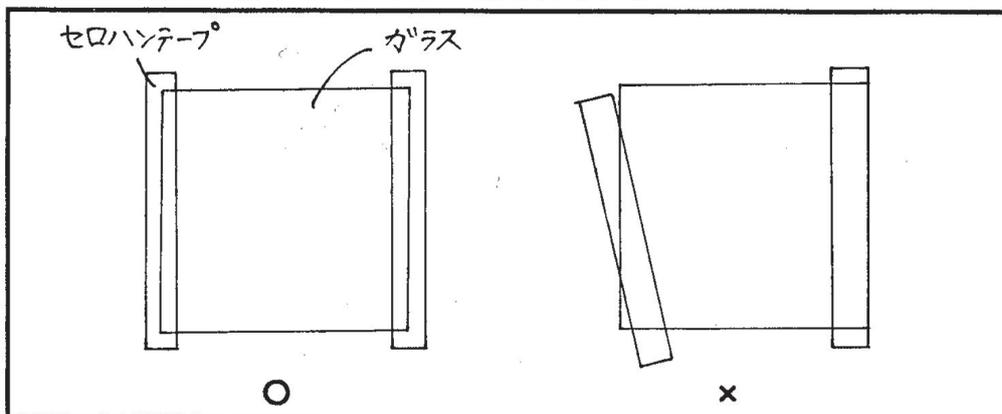
番号 _____ 氏名 _____

(1) 酸化チタンペーストをつくる

- ①酸化チタン2gとポリエチレングリコール0.4gを乳鉢に入れ、練り混ぜる。
 - ②蒸散水(きれいな水)7mlを1mlずつ徐々に加え、練り混ぜる。
- ※しっかり混ぜよう!

(2) 電導ガラスにペーストを塗る

- ①ガラスの縦の2辺にセロハンテープを貼り付ける。
- ※空気が入らないよう気を付けよう!
- ※導電面(鉛筆が書ける面)を上貼り付けよう!



- ②ガラスの上にペーストをのせ、セロハンテープの厚さに合わせ、ガラス棒でできるだけ均一に広げる。
- ※丁寧に塗ろう!(成功か失敗が決まる重要な部分)
- ③ペーストをドライヤーでしっかり乾かし、テープをはがす。

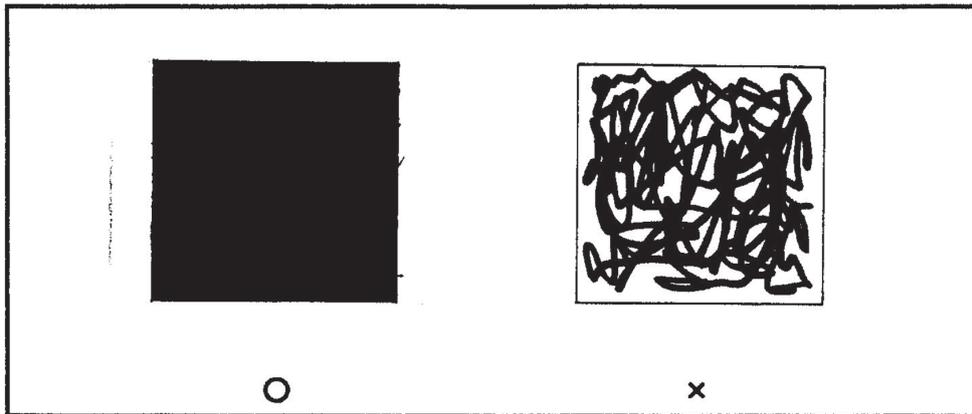
(3) ペーストを焼き付ける

- ①オーブンを10分加熱する(あたためる)。
 - ②ガラスを入れペーストを焼き付ける(10分間)。
 - ③オーブン内部の温度が下がるのを待ち、ゆっくりオーブンからガラスを取り出す。
- ※オーブンは非常に高温(400℃)で危険なので、この作業は先生が行います!

(4) 色素をつくる・ペーストに色素を吸着させる

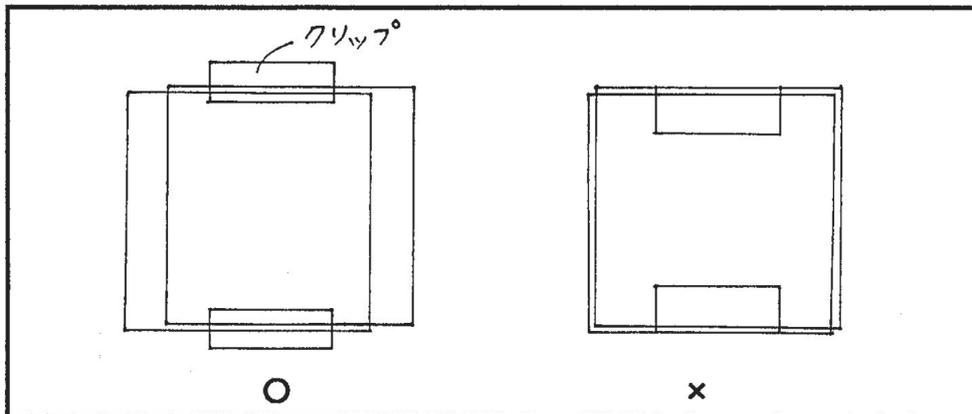
- ①ブルーベリー20個をすりつぶし、お湯50mlを入れる。
 - ②液体をろ過し、色素を取り出す。
- ※時間がかかるので、色素はあらかじめ先生が用意しました！
- ③ガラスを色素の中に入れ、5分間ひたす。
 - ④色素の吸着が終わった後、ドライヤーで乾燥させる。

(5) もう片方のガラスを黒鉛で塗りつぶす



(6) 電池を組み立てる

- ①2つの電極を重ね合わせ、クリップで2カ所をはさみ、しっかり固定する。



- ②ガラスとガラスのすき間にヨウ素液を注射器で注入する。

※ヨウ素液は危険物なので、この作業は先生が行います！

- ③ペーストを塗ったガラスに(+)、黒鉛を塗りつけたガラスに(-)の導線をつなぎ、オルゴールを接続する。
- ④光をあてる。

※ペーストを塗ったガラスに光をあてよう！

オルゴールの音は聞こえたかな？

色々工夫して、オルゴールをならしてみよう！！

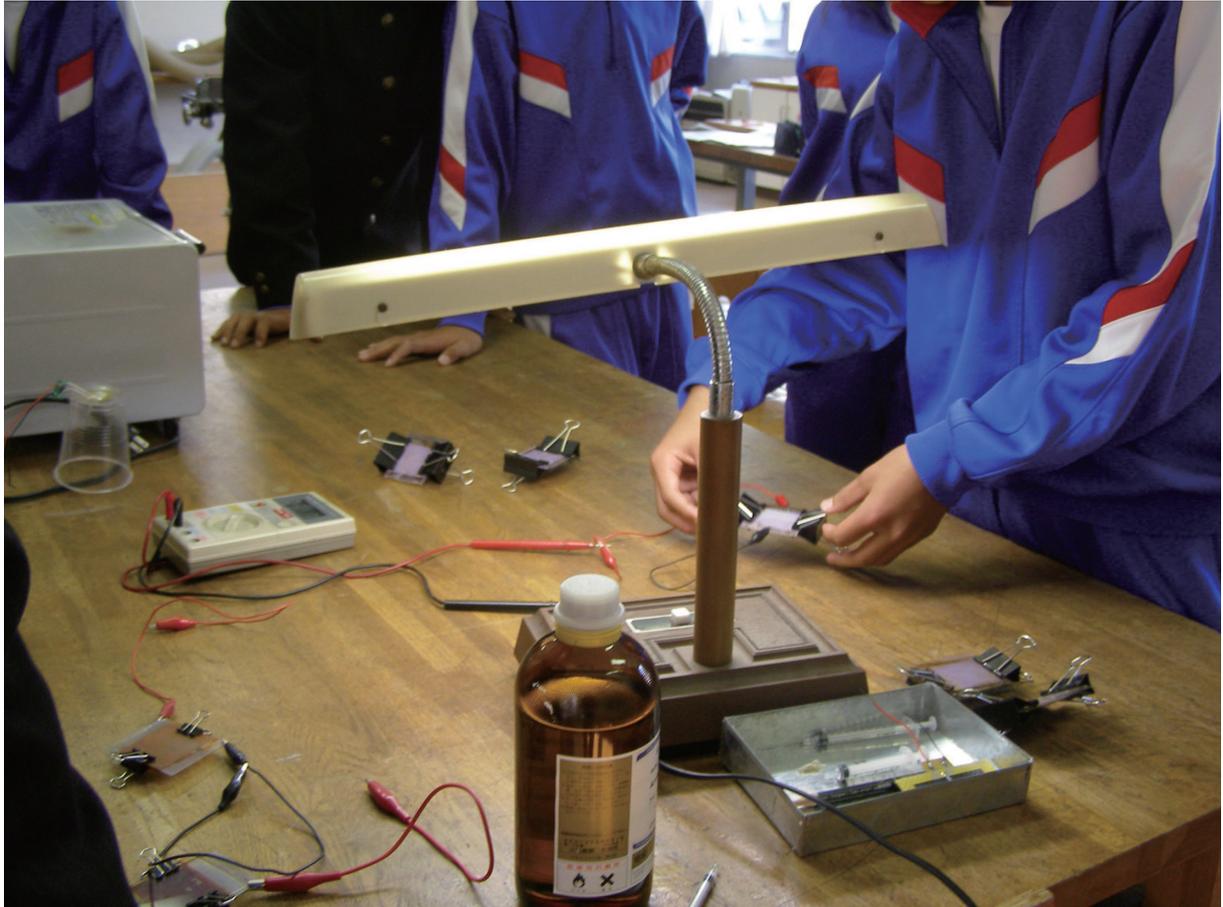


図1 色素増感型太陽電池を製作している様子

材料とその働きについて、あくまでイメージとして伝える程度とし、以下のように発電の流れを伝えた。(1)色素に光があたると+ (正孔) を- (電子) に分かれる。(2) - (電子) が酸化チタンの中を移動する。(3) ガラス, 導線を伝わって- (電子) が対極まで移動する。(4) ヨウ素を伝わって- (電子) が元の位置にもどる。(1) → (2) → (3) → (4) の繰り返しになることを伝えた。最後に、色素増感太陽電池とシリコン型太陽電池を比較し、現在シリコン型太陽電池が主流になっている理由を教えた。

Ⅲ 調査結果と考察

「色素増感型太陽電池を作り、その仕組みを知ろう」という学習目標がどれくらい理解できたかを調べるために、授業の前後で調査を行った。調査問題を表4に示す。調査問題は事前が1題、事後が問題2～4を加えた5題からなる。問題1は色素増感型太陽電池の各名称とその働きについての問題であった。問題2～4は授業のなかで、授業を通して一番興味があったことについて、授業を通して理解しにくかったところについて、エネルギーについてそれぞれ記述する問題であった。

図2に問題1の名称についての結果を示す。

問題1①の正答である「色素」を記述した生徒は、事前では0%だったが、事後では77%と大きく増加した。事後の誤答として「酸化チタン」が11%、「無回答が」が11%あった。

問題1②の正答である「酸化チタン」を記述した生徒は、事前では0%だったが、事後では77%と大きく増加した。事後の誤答として「色素」が11%あった。この生徒は、①で「酸化チタン」、②

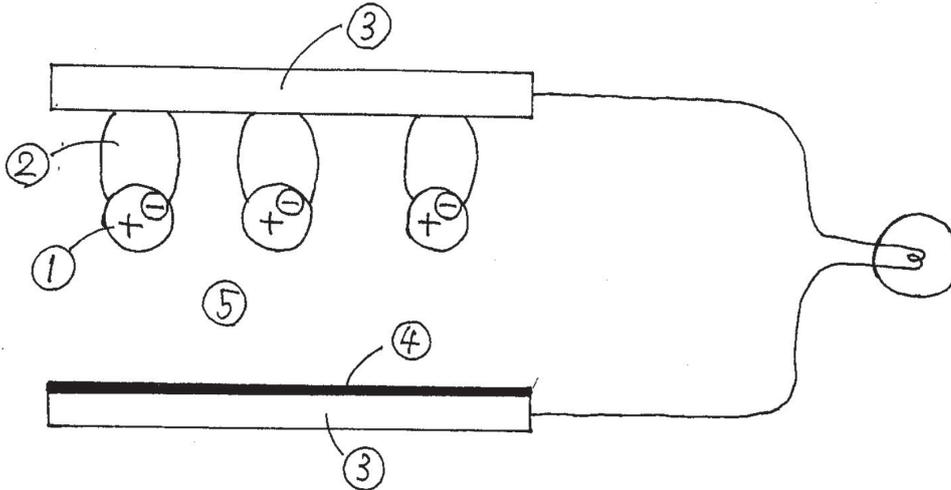
表4 事前・事後調査問題

(事後テスト)

(事前テスト)

番号 _____ 氏名 _____

1. () に色素増感型太陽電池の各部所の名称を書き、それらの適切な働きを線で結びなさい。



- ① () ・ 電子 (-) の通り道。
- ② () ・ 光があたると電子 (-) を放出する。また、受け取る。
- ③ () ・ 電極の性質をよくする (電気を通しやすくする)。
- ④ () ・ 放出された電子 (-) を運ぶ。
- ⑤ () ・ 電子 (-) を最初の位置まで運ぶ。

2. 授業を通して一番興味があったところはどこでしょうか。

3. 授業の中で理解しにくかったところはどこでしょうか。

4. エネルギーについての考えを自由に書いて下さい。

で「色素」としており、①と②の名称を間違っ逆逆に回答していた。「無回答」が11%あった。

問題1③の正答である「伝導ガラス」を記述した生徒は、事前では0%だったが、事後では77%と大きく増加した。事後の誤答として「ガラス」があり、正確さが足りなかったようであった。このガラスは伝導性があるガラスで、このことを理解していないことがわかった。事後で「無回答」が11%あった。

問題1④の正答である「黒鉛」を記述した生徒は、事前では0%だったが、事後では89%と大きく増加した。事後で「無回答」が11%あった。

問題1⑤の正答である「ヨウ素」を記述した生徒は、事前では0%だったが、事後では89%と大きく増加した。事後で「無回答」が11%あった。

問題1①～⑤の事後で「無回答」を記述した生徒は、同一の生徒であった。

以上の結果より、この授業をとおして色素増感型太陽電池の各部分の名称を多くのものが理解したことがわかった。

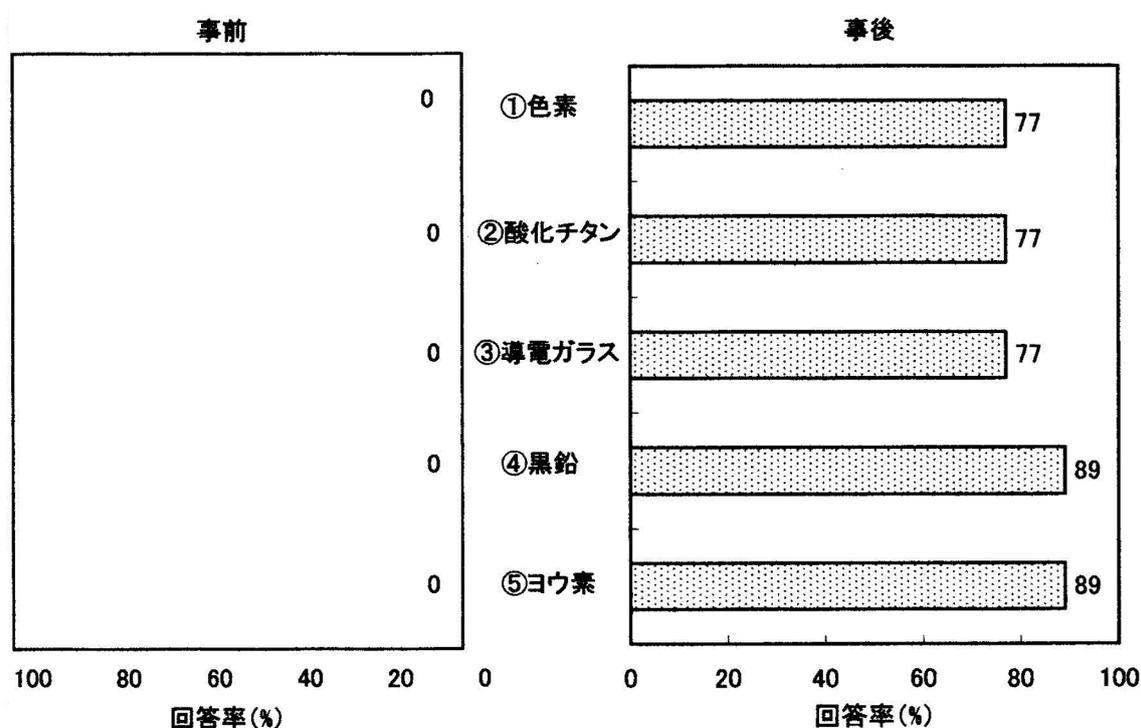


図2 事前・事後調査問題1名称の回答結果

図3に問題1の働きについての結果を示す。

問題1①の名称で正答である「色素」を記述し、働きで「光があたると電子(-)を放出する。また、受け取る。」を選択した生徒は、事前では0%だったが、事後では77%と大きく増加した。名称の事後の誤答として「酸化チタン」を記述した生徒は、正答の「光があたると電子(-)を放出する。また、受け取る。」を選択していた。事後で「無回答」が11%あった。

問題1②の名称で正答である「酸化チタン」を記述し、働きで正答の「放出された電子(-)を運ぶ」を選択した生徒は、事前では0%だったが、事後では66%と大きく増加した。名称の事後の誤答として「色素」を記述した生徒は、正答の「放出された電子(-)を運ぶ」を選択していた。名称は正答の「酸化チタン」を記述したが、働きを誤答の「電子(-)の通り道」を選択した生徒もいた。事後で「無回答」が11%あった。

問題1③の名称で正答である「伝導ガラス」を記述し、働きで正答の「電子(-)の通り道」を選択した生徒は、事前では0%だったが、事後では77%と大きく増加した。事後で「無回答」が11%あった。

問題1④の名称で正答である「黒鉛」を記述し、働きで正答の「電極の性質をよくする」を選択した生徒は、事前では0%だったが、事後では89%と大きく増加した。事後で「無回答」が11%あった。

問題1⑤の名称で正答である「ヨウ素」を記述し、働きで正答の「電子(-)を最初の位置まで運ぶ」を選択した生徒は、事前では0%だったが、事後では89%と大きく増加した。事後で「無回答」が11%あった。

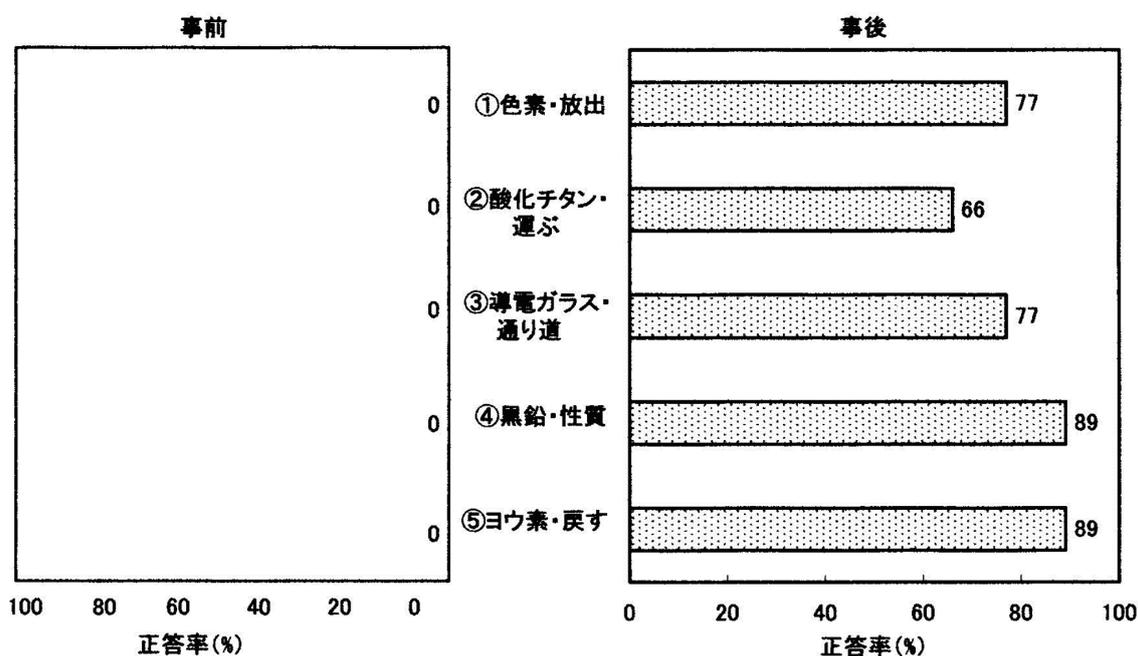


図3 事前・事後調査問題1働きの回答結果

問題2の授業を通して一番興味があったところに関する問題の回答結果を図4に示す。「電気の流れる仕組み」が45%と最も多く、次いで「色素増感型太陽電池の製作」が33%、「実験でオルゴールを鳴らすところ」が22%あった。このことより色素増感型太陽電池の仕組みに多くの生徒が興味があったことがわかった。

問題2 授業を通して一番興味があったところはどこでしょうか。

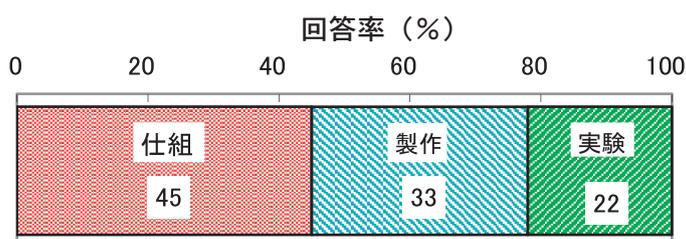


図4 事後調査問題2の回答結果

問題3の授業の中で理解しにくいところに関する回答結果を図5に示す。「特になし」が66%と最も多かった。「色素増感型太陽電池の仕組み」が33%あった。「無回答」が11%あった。もう少し仕組みの説明のしかたを検討する必要があると考えられる。

問題3 授業の中で理解しにくかったところはどこでしょうか。

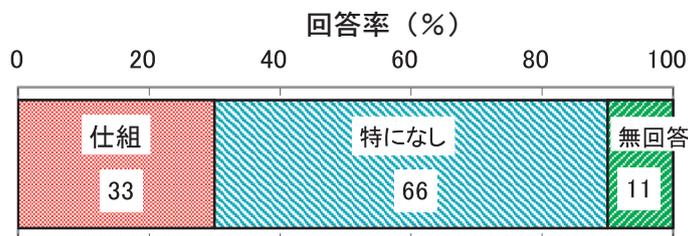


図5 事後調査問題3の回答結果

問題4のエネルギーについての考えに関する問題の回答結果を図6に示す。複数回答で集計した。「太陽電池が安くなって、誰でも使えるようになってほしい。」等のコストに関する記述が33%あった。「一人ひとりがエネルギーをうまく利用して、今よりも良い生活を目指して行きたい。」等の記述が22%あった。「資源を大切にする。」の記述が11%あった。「図だけでは信じられなかったが、実際にオルゴールが鳴ってびっくりした。」の記述が11%あった。「2種類の太陽電池の利点と欠点がわかった。」の記述が11%あった。

問題4 エネルギーについての考えを自由に書いてください。

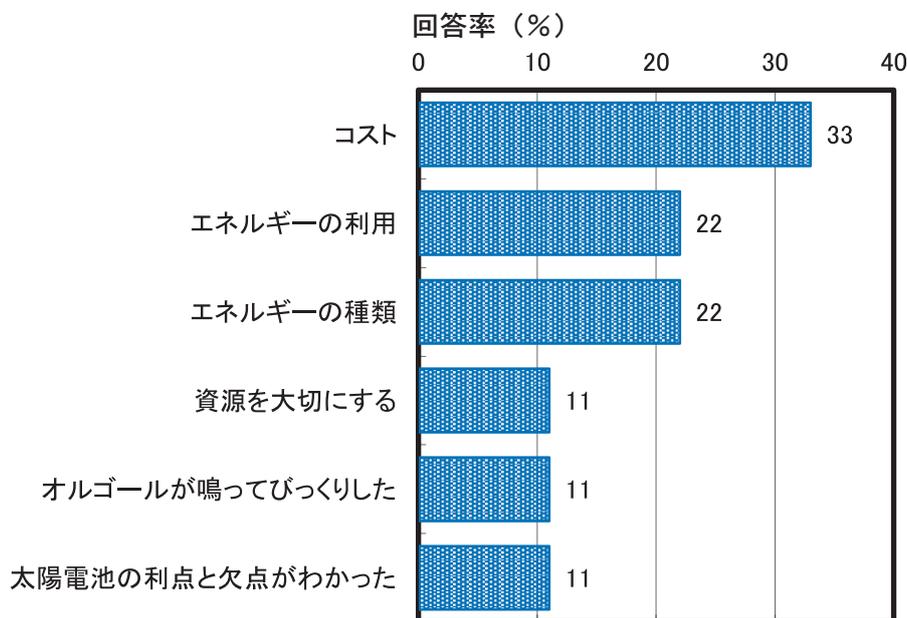


図6 事後調査問題4の回答結果（複数回答可）

問題1～4の結果から生徒が、(1)色素に光があたると+（正孔）を-（電子）に分かれる。(2)-（電子）が酸化チタンの中を移動する。(3)ガラス、導線を伝わって-（電子）が対極まで移動する。(4)ヨウ素を伝わって-（電子）が元の位置にもどる。(1)→(2)→(3)→(4)の繰り返しになることを、授業を通して理解できたことがわかった。

IV おわりに

本研究では、色素増感型太陽電池において、太陽からの光を色素が吸収すると電子を放出し、その電子を酸化チタンが受け取って電気を作ることを理解させる授業実践を行なった。その結果、生徒が、(1)色素に光があたると+（正孔）を-（電子）に分かれる。(2) -（電子）が酸化チタンの中を移動する。(3)ガラス、導線を伝わって-（電子）が対極まで移動する。(4)ヨウ素を伝わって-（電子）が元の位置にもどる。(1)→(2)→(3)→(4)の繰り返しになることを、授業を通して理解できたことがわかった。

本論文の内容を基に、いくつかの指導案が検討され、さらによいものにしてゆく必要があると思われるが、この点については今後検討して行きたいと考えている。

参考文献

- 1) 技術・家庭, 家庭分野, 開隆堂, 2021.
- 2) 新しい技術・家庭, 家庭分野, 東京書籍, 2021.
- 3) 技術・家庭, 家庭分野, 教育図書, 2021.
- 4) 中学理科, 教育図書, 2021.
- 6) 中学科学, 学校図書, 2021.
- 7) 新しい科学, 東京書籍, 2021.
- 8) 理科の世界, 大日本図書, 2021.
- 9) 未来にひろがるサイエンス, 啓林館, 2021.
- 10) 佐藤博, 浅田嵩允, 教育実践学研究: 山梨大学教育人間科学部附属教育実践総合センター研究紀要, 第13巻, pp. 113-126, 2008.
- 11) 丸野茂光, 中村博隆, 坂井英明, 工業教育, 第59巻, pp. 142-146, 2010.
- 12) 紅林秀治, 松永泰弘, 中川鉄夫, 静岡大学教育学部研究報告(教科教育学篇), 第38巻, pp. 131-142, 2007.
- 13) 小川直仁, 野由雅, 菅原康夫, 宮崎勉, 長崎大学教育学部 附属教育実践総合センター, 第12巻, pp. 221-236, 2013.
- 14) 池田昌子, 堀川理介, 伊藤美代子, 宮本憲武, 山本勝博, 茨城大学教育学部紀要(教育科学), 57号, pp. 29-43. 2008