

## 色素増感太陽電池の性能向上と化学教材の開発

鈴木 崇 広 埼玉県立坂戸高等学校  
芦 田 実 埼玉大学名誉教授  
松 岡 圭 介 埼玉大学教育学部自然科学講座

キーワード：実験・観察、高校の化学教育、色素増感太陽電池、教材開発

### 1. はじめに

平成21年に高等学校学習指導要領が改訂され<sup>1)</sup>、知識・技能を活用する学習や探究する学習を重視して、「理科課題研究」が新設され、理数編の「課題研究」が選択から必修になった<sup>2)</sup>。学習指導要領解説中の「理科課題研究」の例として「太陽電池、光触媒など光反応に関する先端技術を調査し、これらを作製し、性能の向上を研究する」ことが取り上げられた<sup>1)</sup>。「化学」に新規採用された「光」と関連しており、また先端技術でもあり、さらに安価に学校の設備で作製できるので、色素増感太陽電池教材の役割や利点は大きい。化学が苦手な生徒には、太陽電池を自分で作製できる面白さと驚きを通じて、エネルギー教育の導入や日常生活との関連を重視した活用ができる。一方、レベルの高い生徒には、さらに光触媒、酸化・還元、光とエネルギー等の考察を課したり、性能向上に取り組ませることができる。

色素増感太陽電池は、1960年代から研究されてきた湿式太陽電池が原型となっている。この電池に使われた酸化亜鉛 $\text{ZnO}$ 、酸化チタン $\text{TiO}_2$ 等の半導体は、可視光を吸収せず紫外線しか利用できなかった。この半導体表面に色素を吸着させて可視光を利用可能に改良したものが色素増感太陽電池である。1991年にGrätzelらが、光電極にナノ結晶酸化チタン粒子膜、増感色素にルテニウム錯体、および電解質溶液から構成される色素増感太陽電池を発表した<sup>3)</sup>。他の太陽電池より構造が簡単で、大型の製造設備が必要なく、シリコン太陽電池並の7.12%の変換効率を報告して注目を集めた。その後、1993年に10%<sup>4)</sup>、現在は12.2%が報告<sup>5)</sup>され、変換効率と安定性の向上に向けて現在も世界中で研究・開発が行われている。

色素増感太陽電池の教材化の研究は2001年に始まり<sup>6)</sup>、報告や改良が続いた<sup>7~10)</sup>。しかし、電池の作製に2~20時間もかかり、電池性能も悪い<sup>11)</sup>。電池の作製キットも市販されているが、非常に高価（1組のセルの価格が1000~3000円）<sup>12~15)</sup>で、高等学校理科の通常の予算では到底購入できない<sup>16)</sup>。さらに、作製体験に焦点が置かれ、変換効率等の電池性能が期待できず、発電を実感できない。そこで、本研究では高校の実験室に置かれている器具のみを用いて、短時間で作製可能で、さらに高い変換効率を持つ色素増感太陽電池教材の開発を目指した。

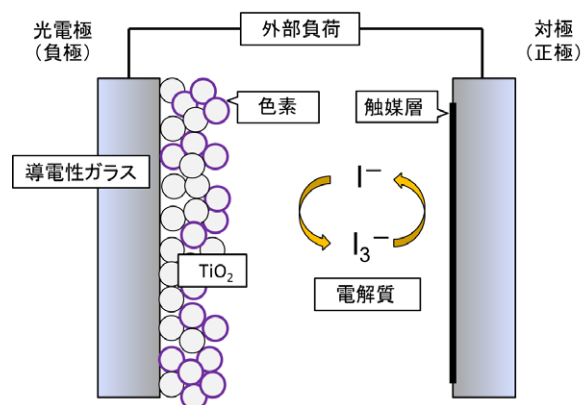


図1 色素増感太陽電池の構造

色素増感太陽電池の基本的な構造<sup>17)</sup>を図1に示す。光電極、増感色素、酸化還元対を含む電解質溶液および対極から構成される。光電極の半導体には、酸化チタン微粒子が一般的に用いられる。酸化チタンはバンドギャップが広く、太陽光の紫外線領域にのみ吸収帯を持つ。しかし、酸化物で化学的に安定であり、焼結して多孔質構造にでき（見かけ1 cm<sup>2</sup>当たりの実際の表面積は1000 cm<sup>2</sup>以上<sup>18)</sup>）、この広大な表面に多くの色素分子を吸着できる。光電極は、これらの多孔質半導体を、透明導電膜付ガラス基板（以下、TCO ガラス基板）上に焼結した

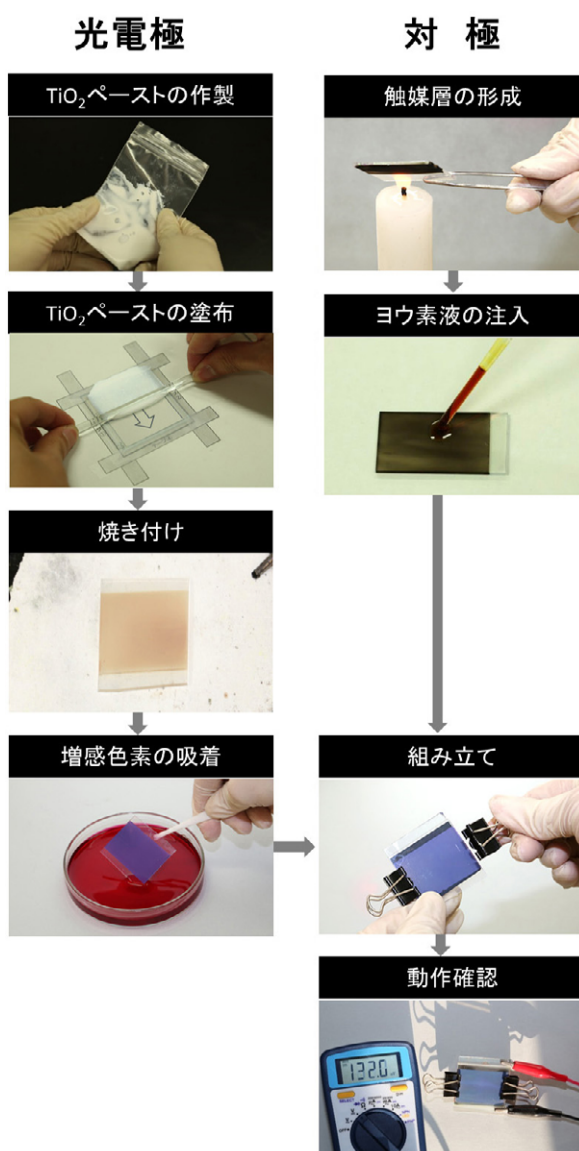
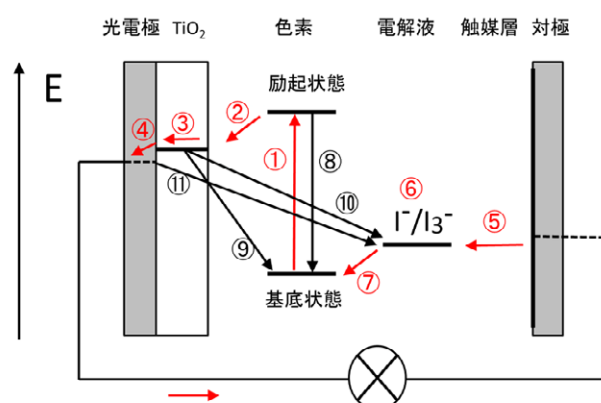


図3 色素増感太陽電池の作製手順



#### 【正反応】

- ①増感色素の光励起
- ②励起色素から酸化チタン伝導帯への電子注入
- ③酸化チタン膜内での電子輸送
- ④酸化チタン膜から TCO への電子移動
- ⑤対極での電解質の還元
- ⑥電子の電解液内の移動
- ⑦電解質の酸化

#### 【逆反応】

- ⑧色素励起状態の緩和と失活
- ⑨酸化チタンに注入された電子と色素酸化体の再結合
- ⑩酸化チタンに注入された電子と I<sub>3</sub><sup>-</sup> の再結合
- ⑪TCO で収集された電子と I<sub>3</sub><sup>-</sup> の再結合

図2 色素増感太陽電池の発電原理

ものである。増感色素は、酸化チタンの吸収波長領域の狭さを補うために、可視光領域に広い吸収帯を持つ必要がある。

酸化チタンを使用した色素増感太陽電池の発電原理を図2に示す<sup>19)</sup>。酸化チタンに化学吸着した増感色素が光を吸収して励起状態になる。酸化チタンの伝導帯は増感色素の励起準位より下なので、酸化チタンに電子が放出され、増感色素が酸化される。酸化チタン層に注入された電子は拡散移動して、TCO ガラス基板、外部回路を通过对極へ移動する。一方、酸化された増感色素は電解質溶液のヨウ化物イオン I<sup>-</sup> から電子を受け取り還元される。同時に、I<sup>-</sup> が酸化されて、三ヨウ化物イオン I<sub>3</sub><sup>-</sup> となり、濃度拡散して対極へ移動する。I<sub>3</sub><sup>-</sup> は対極で電子を受け取り、I<sup>-</sup> へ還元される。これを繰り返して、光エネルギーを外部に継続的に取り出すことができる。

## 2. 実験

本研究では、酸化チタンを焼結した導電性ガラス基板（光電極）、触媒層を形成した対極、および $\text{I}^-/\text{I}_3^-$ 電解質溶液をそれぞれ作製し、これらを組み合わせて色素増感太陽電池を作製した。電池の作製手順を図3に示す。

半導体電極材料として、酸化チタン（AEROXIDE、 $\text{TiO}_2$  P 25）、増粘剤としてポリエチレングリコール20000（和光純薬工業、以下では和光と略記、一級）、分散剤として硝酸（和光、特級）、さらにイオン交換水を表1の通り秤量し、チャック付ポリ袋（ポリスチレン製、A7）へ入れ、1分間混合した。この酸化チタンペーストの調製方法が、色素増感太陽電池の教材開発の第1の要点である。別法として、材料（表1と同量）を乳鉢に入れ、30分間混合する方法<sup>7,8)</sup>でも酸化チタンペーストを調製した。

ガラス基板には、透明導電膜（TCO：Transparent Conductive Oxide）付ガラス基板（AGC ファブリテック）を用いた。導電膜は、フッ素を添加した酸化スズ薄膜（ $\text{SnO}_2:\text{F}$ ）である。ガラス切りでこれを $25\text{mm} \times 25\text{mm}$ に切断し、導電膜を上にして台紙にのせた。台紙に書いた説明通りに、スコッチメンディングテープ（3M）をTCOガラス基板の両端3mmに貼付けてガイドとし、その上に酸化チタンペーストをのせ、ガラス棒を用いて酸化チタンペーストを塗布した（スキージ法<sup>20)</sup>、図3の左上から2つ目の写真）。メンディングテープをはがし、セラミック金網にのせ、ガスバーナーを用いて弱火で表面が白くなるまで乾燥させ、その後は中火で白色から褐色、さらに白色に戻るまで最高温度 $360^\circ\text{C}$ で5分間焼結した。

増感色素には、紫キャベツ色素（ケニス、Red Cabbage Jiffy Juice）を用いた。イオン交換水と塩酸（和光、特級）を用いて濃度 $0.5\text{w/v}\%$ （ $\text{pH}2.5$ 、Sartorius DocupH<sup>+</sup>で測定）の溶液にした（表2）。 $40^\circ\text{C}$ に湯せんした色素溶液に、酸化チタンを焼結したTCOガラス基板ごと10分間浸漬した。色素吸着後、イオン交換水で洗浄し、光電極とした。色素溶液の液温が、教材開発の第2の要点である。別法として、湯せんしない増感色素（液温 $20^\circ\text{C}$ ）でも電池を作製した。

表1 酸化チタンペーストの組成

物 質	使用 量
酸化チタン（P25）	0.80 g
ポリエチレングリコール20,000	0.24 g
硝酸	0.10mL
イオン交換水	4.0mL

表2 増感色素溶液の組成

物 質	使用 量
紫キャベツ色素	0.50 g
イオン交換水	99.9mL
塩酸	0.10mL

対極には、光電極と同様にTCOガラス基板を使用し、導電膜に大ローソク3号（カメヤマ）の炎を10秒間かざすことにより、全体にススを付着させた。また、別法として導電膜に6B鉛筆をTCOガラス基板の長辺方向と、短辺方向に全体が黒くなる様に、強く塗りつけることで触媒層を形成した。

電解質溶液は、ヨウ化カリウム（和光、特級）とヨウ素（和光、特級）をエチレングリコール（和光、特級）に加えて調製した（表3）。さらに、溶媒をイオン交換水、エタノール（和光、特級）、

表3  $\text{I}^-/\text{I}_3^-$ 電解質溶液の組成

物 質	使用 量
ヨウ化カリウム	0.830 g ( $0.50\text{mol L}^{-1}$ )
ヨウ素	0.126 g ( $0.050\text{mol L}^{-1}$ )
エチレングリコール	10.0mL

ポリエチレングリコール200（和光、特級）と400（和光、特級）、アセトニトリル（和光、特級）、炭酸プロピレン（和光、電池研究用）およびエタノールとポリエチレングリコール（各5.0mL）の混合溶液とした電解質溶液も調製し、溶媒が電池性能に与える影響も調べた。

対極上に $I^- / I_3^-$ 電解質溶液を0.10mL垂らして光電極をのせ、ダブルクリップで固定して電池を作製した。なお、本実験で作製した電池は封止せず、全てオープンセルとした。

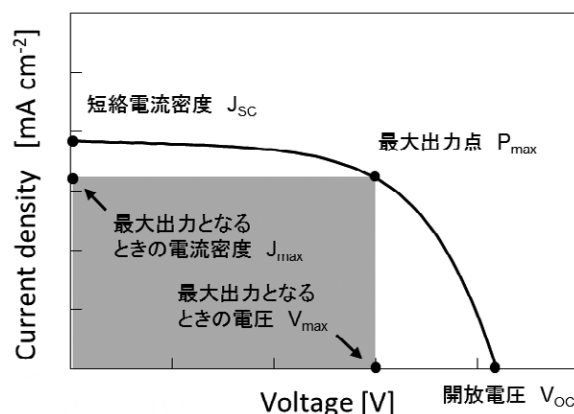


図4 電流－電圧曲線の模式図

### 3. 結果と考察

#### 3-1 電池性能の測定

色素増感太陽電池の電流－電圧特性を、簡易型ソーラシミュレータPEC-L01（ペクセルテクノロジーズ）とソースメーター2400（Keithley）を用いて測定し、I-V特性アナライザPEC-IV2 ver2.1（ペクセルテクノロジーズ）で解析した。図4に電流－電圧曲線の模式図を示す。

$J_{sc}$  [mA/cm²] は短絡電流密度であり、単位面積当たりのセルを電流計で短絡したときに流れる電流である。一方、 $V_{oc}$  [V] は開放電圧であり、太陽電池から電流を取り出さずに、電圧計で測定した電圧である。さらに、太陽電池が外部に出力できる最大電力は電流－電圧曲線上で電流と電圧の積が最大になる点 $P_{max}$  [mW] である。最大出力となるときの電流密度と電圧をそれぞれ $J_{max}$ 、 $V_{max}$ とし、 $J_{sc}$ 、 $V_{oc}$ との比で求められる曲線因子FF（ $=J_{max}V_{max} / J_{sc}V_{oc}$ ）が1に近いほど良好な特性となる。

本研究における照射光は、ソーラシミュレータのAir Mass 1.5、100mW/cm²（日本付近の緯度の地上における平均的スペクトル）を用いた<sup>21)</sup>。色素増感太陽電池の最大出力を照射光のエネルギー $E$ （ $=100\text{mW/cm}^2$ ）で割ったものが変換効率 $\eta$  [%]（ $=100J_{max}V_{max}/E = J_{max}V_{max} = J_{sc}V_{oc}FF$ ）である。太陽電池セルの受光面積は、スレンレス製の遮光マスクを用いて0.283cm²とし、光電極側から照射した。遅延時間を0.05秒とし、0Vから順方向に0.01Vずつ0.5Vまでスキャンし、さらに同様に逆方向からスキャンした。これら往復スキャンの平均を取ることで得られた電流－電圧曲線から、太陽電池の性能を決定する因子である最大電力、変換効率、曲線因子を求めた。

#### 3-2 酸化チタン膜の検討

一般に、教材用電池の酸化チタンペーストの調製には乳鉢を用いる<sup>7,8)</sup>。しかし、光電極の作製のみで1校時必要なこと、30分かき混ぜ中にペーストの水分が蒸発（約10%）し、季節によりペーストの性状が異なる問題がある。そこで、チャック付きポリ袋を用いて水分の蒸発を防ぎ、より簡単な方法で作製時間を短縮した。2つの方法で作製した電池の変換効率を図5に、測定した電池のうち変換効率が中央値となった電池の電流－電圧特性を図6に示す。乳鉢を用いた場合の変換効率は、チャック付ポリ袋の場合の7割程度となった。同じ材料を使用しており、開放電圧は誤差の範囲、短絡電流密度も近い値であることから、増感色素の吸着量に大きな差はないと考え



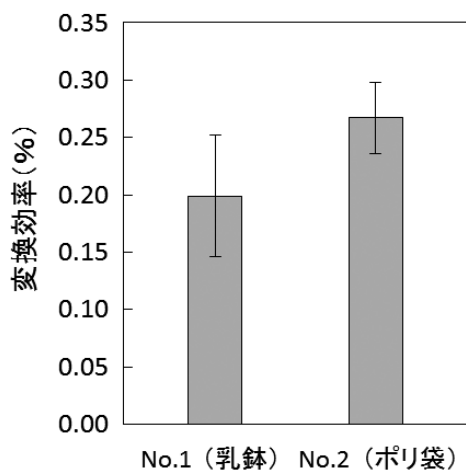


図5 変換効率の比較

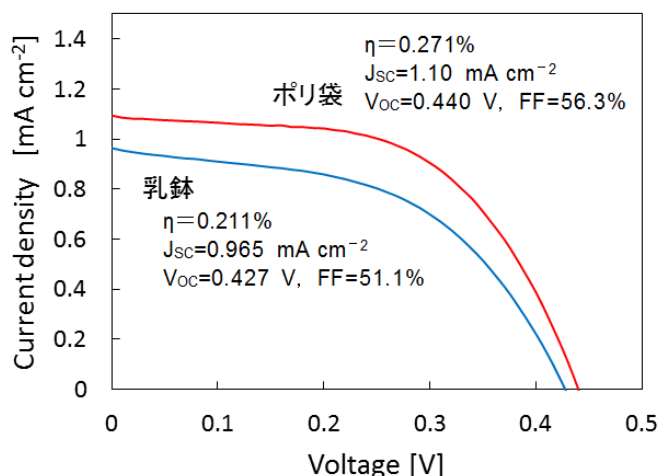


図6 電流－電圧特性の比較

られる。曲線因子FFは、ポリ袋の方が約5%大きい。両者の性能の違いは、電池の内部抵抗の差によるものと考えられる。

2つの方法で作製した酸化チタン膜を走査型電子顕微鏡で観察(図7)したら、乳鉢の方がクラック<sup>22)</sup>を生じる場合が多かった。酸化チタンペースト中の水分が蒸発し、TCOガラス基板に塗布した膜が厚くなり、加熱時に多量の水分が一度に蒸発したためであろう。さらに、焼結後の膜が厚くなり内部抵抗が大きくなったと考えられる。追試の結果、酸化チタンペーストに加える水のわずかな増減が、ペーストの塗布に大きく影響することがわかった。酸化チタンペーストの水分量を減らし、膜厚を大きくした場合、図7のようなクラックを生じる<sup>22)</sup>。研究室や企業の場合、酸化チタン膜により多くの増感色素を吸着させるために、酸化チタン膜を厚くする場合があるが、この場合は酸化チタンペーストを塗布した後、50℃で乾燥、さらに塗布し50℃で乾燥させて、最後に焼成している。これによってクラックを防ぎ、酸化チタン粒子同士を結合しやすくしている<sup>20)</sup>。

光電極を多孔質にして表面積を大きくするため、酸化チタンペーストにポリエチレングリコール(焼結時に消失)を添加する。酸化チタン表面により多くの増感色素を吸着させることができ、さらに電解質の移動性をより高めることができる。

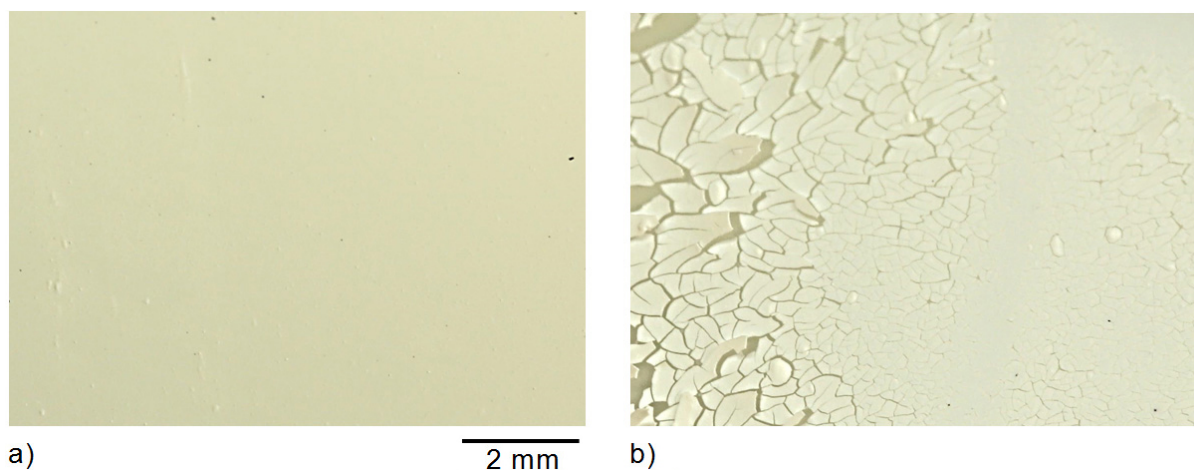


図7 酸化チタン膜の電子顕微鏡写真 a) 通常の状態、b) クラックを生じた状態

### 3-3 増感色素の検討

色素増感太陽電池の変換効率は増感色素の性能に支配される。本研究では、安価な天然色素で、水溶性かつ変換効率の高い紫キャベツ色素を用いた。高価なN-3色素(Ru(II)(4,4'-dicarboxy-2,2'-bipyridyl)<sub>2</sub>(NCS)<sub>2</sub>、0.250 gで約5万円)のエタノール溶液は高校で使用し難い。増感色素の吸着量が電池性能、特に短絡電流密度に大きく影響する。色素濃度に関する研究はあるが、吸着方法の最適条件が不明である<sup>23)</sup>。そこで、短時間で最適な電池性能が得られる吸着条件を調べた。室温付近の20℃の色素溶液と、あらかじめ40℃に湯せんした色素溶液に酸化チタンを焼結した基板を浸し、吸着時間ごとの電池の変換効率を調べた(図8、9)。なお、生徒の作製進度に合わせ、酸化チタンの焼成を始める前後に、教員が三角フラスコ等に入った増感色素を電気ポット等から出したお湯に浸しておき、そこから生徒がシャーレに増感色素を分け取る操作を想定している。よって、漬浸直後の液温が40℃であり、シャーレを放置しているため、その後は徐々に液温が低下する。酸化チタンを焼結したガラス基板を20℃では1時間、40℃では10分間増感色素溶液へ浸したときに最も高い変換効率を得られた。液温を上げておくことで、溶液中から酸化チタン表面へ色素が拡散する速度が増加したものと思われる。それ以上に浸漬すると電池の性能が下がるが、これは色素の過吸着によるものと考えられる。色素溶液から取り出したTCOガラス基板を水洗いするが、多くの色素が酸化チタン表面に残っていると考えられる。色素分子の吸着については、単分子層吸着が望ましく、多分子層吸着してしまうと、酸化チタン粒子に直接吸着していない色素が光を吸収してしまい、酸化チタンに電子を放出できないので変換効率が低下する<sup>6,23)</sup>。

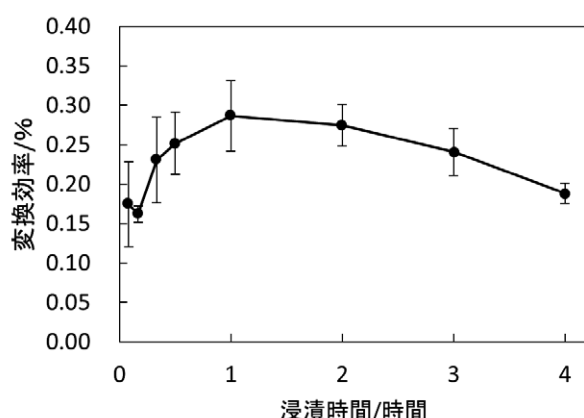


図8 変換効率の浸漬時間依存性 (20℃)

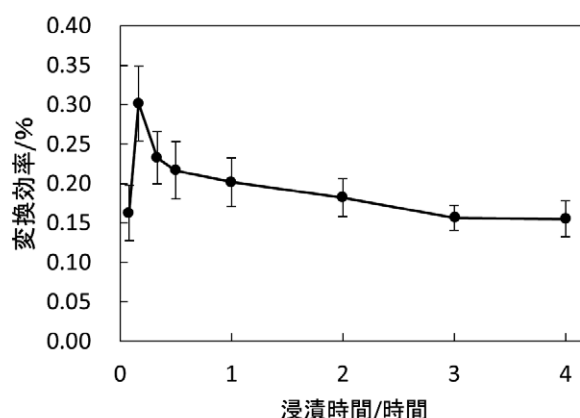


図9 変換効率の浸漬時間依存性 (40℃)

### 3-4 電解質溶液の検討

色素増感太陽電池教材の電解質溶液は主に $I^-/I_3^-$ が、その溶媒にはエチレングリコールや市販のうがい薬等の物質が用いられる<sup>7,24)</sup>。高性能な電池を目指す場合、溶媒には電解質溶液を塩基性にする物質が添加され、さらに現在、ゲル化、固化させる等の多くの研究がある<sup>17,23)</sup>。しかし、電池性能に対する溶媒効果がまだ不明である。そこで、溶媒として炭酸プロピレン、エチレングリコール、ポリエチレングリコール400とエタノールの混合溶液、アセトニトリル、エタノール、水を用いた電池性能を比較した。図10は電池の作製直後に測定した結果である。水素結合している水やエタノールは特に変換効率が低い。 $I^-/I_3^-$ 電解質の溶媒には、塩基性で粘度が低い非プロトン極性溶媒が望ましいと言われている<sup>22)</sup>。次に、炭酸プロピレン、エチレングリコール、およびポリエチレングリコール200とエタノールの混合溶液を用いた電池の変換効率の時間的変化を図

11に示す（ソーラーシミュレータは測定時のみ照射）。比較的蒸発し難い炭酸プロピレンとエチレングリコールは、ともに0.5時間後に変換効率のピークとなった。ポリエチレングリコール200とエタノールの混合溶液では2時間後がピークとなった。ピーク時間の変化は溶媒の粘性の違いであると考えられる。光電極が多孔質であるため、電解質溶液が孔中に捕捉された空気を追い出して、電極全体に浸透するまでに時間がかかるためであろう。炭酸プロピレンは電池の研究用に使われるが、目に強い刺激がある有害な物質なので教材には適さない。エチレングリコールが安全に取り扱えて、比較的高い変換効率を示すので、教材用の電解質溶媒に適している。

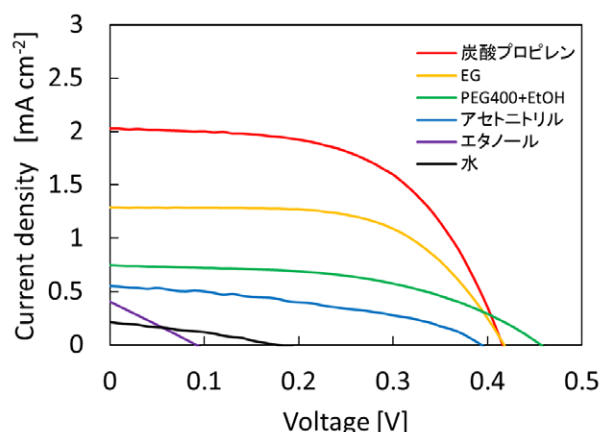


図10 溶媒による電流－電圧特性の変化

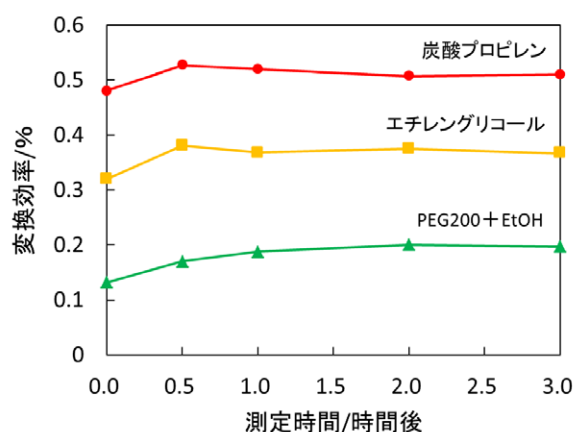


図11 変換効率の時間的变化

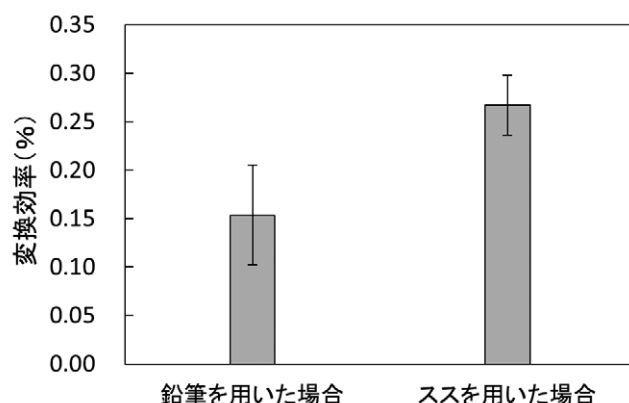


図12 触媒層による変換効率の比較

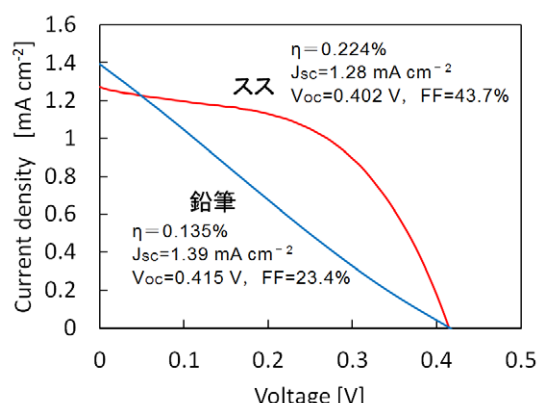


図13 触媒層による電流－電圧特性の比較

### 3-5 触媒層の検討

ヨウ素を還元する触媒として、研究用・商業用では対極の導電面に白金やカーボンブラックを担持さる<sup>3)</sup>。しかし、教材用の電池では装置やコストの面で白金を使うのは難しい。その代わり、これまではTCOガラス基板導電面上に鉛筆を塗って触媒層としていた<sup>7)</sup>。しかし、塗る際に導電面を傷つけたり、芯に含まれるニカワ等の不純物が問題になる。そこで、容易に導電面上に付着させられるロウソクのススを触媒層に用いた。これまで、ススを使用した電池の性能は明らかにされていない。ロウソクの炎にTCOガラス基板の導電膜を10秒間かざしてススを付着させた場合と、導電膜に鉛筆 uni 6B（三菱鉛筆）を全体が黒くなる様に、強く塗りつけて触媒層を形成した場合で性能を比較した。変換効率を図12に、測定した電池のうち変換効率が中央値となった電池の電流－電圧特性を図13に示す。鉛筆を使用した場合の変換効率は、ススを用いた場合の6割程度であった。短絡電流密度と開放電圧は大差ないが、鉛筆を使用すると曲線因子FFが半分程度になり、







時間がかかり教材用に適さない。よって、ロウソクのススが鉛筆より触媒性能が高く、短時間に形成でき、教材用の触媒層に適している。



図16 市販品キットと本研究の色素増感太陽電池 a：K社、b：N社、c：P社、d：本研究

表4 各社1セットの電池枚数、価格、作製時間と発電電力等（2014年3月時点）

	K社	N社	P社	本 研 究
1セットあたりの電池枚数/枚	5	12	2	4
1セットあたりの価格/円	13,650	13,125	3,675	1,040
1枚あたりの価格/円	2,730	1,094	1,838	260
作製時間/分	100	130	50	30
1枚あたりの発電電力/mW	0.142	0.170	0.044	0.840
1mWの発電にかかる材料費/円	19,225	7,721	42,048	310

### 3-6 市販の色素増感太陽電池作製キットとの比較

現在、教育現場等において手軽に色素増感太陽電池を作製体験できる商品が販売されている<sup>12~15)</sup>。しかし、価格、電池性能、取り扱い難度からこれらのキットは普及していない。これら既存の作製キット（図16）と本研究を比較・検討した。市販品キットと本研究の色素増感太陽電池の価格、作製時間や性能等を表4に、電池の変換効率を図17、変換効率が中央値となった電池の電流－電圧特性を図18に示す。公正を期すため、これまでに作製体験がない教育学部理科専修の学生が作製した。本研究は、作製手順を整理・簡素化して30分（1校時）で作製が可能であり、

変換効率が市販キットの約5倍の性能を持っている。さらに、市販の作製キットには、作製工程や取扱説明書に誤記や矛盾する操作等があり、教材として使い難い。作製後の動作確認で電子メロディーが鳴らない場合もある。

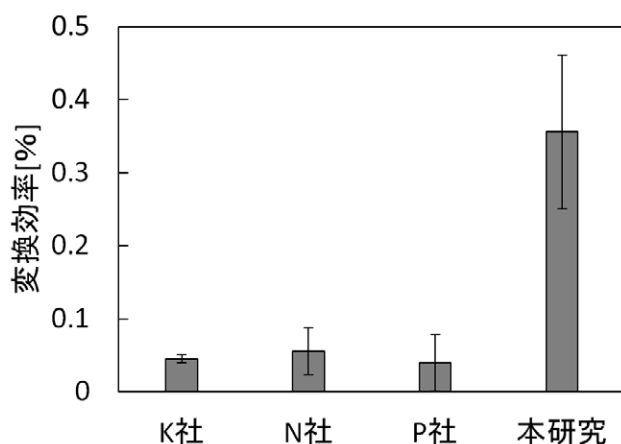


図17 市販品と本研究の電池の変換効率

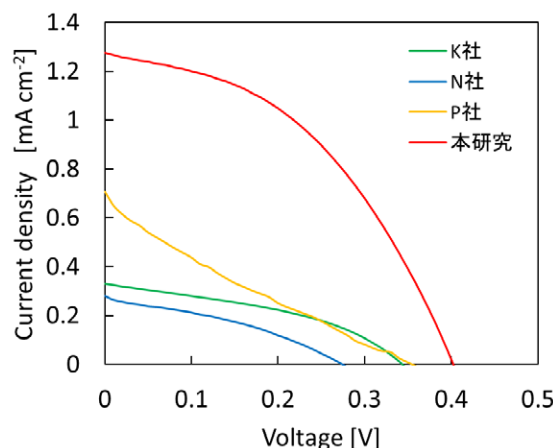


図18 市販品と本研究の電流－電圧特性

#### 4. おわりに

色素増感太陽電池は、他の太陽電池と比較して材料が安価で、学校の設備で作製でき、新エネルギー教材として優れた特徴を有している。しかし、作製に多くのテクニックを必要とし、取り扱いが難しく、指導の難易度が高い問題があった。そこで、作製工程を整理し、短時間に性能の高い色素増感太陽電池を作製する方法を研究した。

酸化チタンペーストはチャック付ポリ袋を用いて作製し、台紙を用いてスキージ法によりTCOガラス基板上に塗布することで、変換効率が約40%向上した。ガスバーナーで焼成し、予め40℃に湯せんした増感色素溶液に浸すことで、10分間で充分な量を吸着させることができた。また、電解質溶液には、エチレングリコールを溶媒とした $I^-/I_3^-$ 電解質溶液、触媒層には簡単にかつ短時間で作製できるロウソクのススを用いた。これにより、大学の理工系研究室で作製した電池と同等以上の性能をもつ電池を、教育現場において授業時間の30分以内に作製できるようになった。

市販の作製キットを用いた色素増感太陽電池は、変換効率が本研究の数分の1で、電池1枚当たりの価格は本研究の数倍である。材料の準備時間を省けることを除けば、作製時間、作製工程も含め、本研究の電池の方が優れている。

#### 謝辞

本研究はJSPS科研費25560068の助成を受けたものである。

#### 参考文献等 (URLは全て2015年9月1日時点)

- 1) 文部科学省、高等学校学習指導要領解説 理科編 理数編、実教出版、61-170 (2009)
- 2) 文部科学省、高等学校学習指導要領の改訂のポイント、[http://www.mext.go.jp/a\\_menu/shotou/new-cs/youryou/1304427.htm](http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/youryou/1304427.htm)
- 3) B. O'Regan, M. Grätzel, Nature, 353, 737-740 (1991)

- 4) M. K. Nazeeruddin, et al., J. Amer. Chem. Soc., 115, 6382-6390 (1993)
- 5) M. Hiramoto, et al., Appl. Phys. Lett., 58, 1062-1064 (1991)
- 6) 昆野昭則、化学と教育、49、718-720 (2001)
- 7) 瀧口公夫、徳富英雄、化学と教育、51、234-235 (2003)
- 8) 綾美幸、山本勝博、化学と教育、52、775-776 (2004)
- 9) 宮本憲武、山本勝博、化学と教育、54、172-173 (2006)
- 10) 横山育代、中林健一、宮崎大学教育文化学部紀要自然科学、18、1-9 (2008)
- 11) 小川直仁ら、教育実践センター紀要、長崎大学、12、221-236 (2013)
- 12) ケニス、ケニス研究用総合科学機器、782 (2013)
- 13) Greg P. Smestad、クリスタル太陽電池 光合成の再創造、日下エンジニアリング、1-54 (2002)
- 14) 西野田電工、花力発電アカデミックキット学校教材用、<http://www.nisinoda-electronics.co.jp/academic.html>
- 15) ペクセル・テクノロジーズ、色素増感太陽電池 作製キット、<http://www.peccell.com/products/PEC-TOM02/>
- 16) 科学技術振興機構、平成20年度高等学校理科教員実態調査報告書、[http://www.jst.go.jp/cpse/risushien/highschool/cpse\\_report\\_009.pdf](http://www.jst.go.jp/cpse/risushien/highschool/cpse_report_009.pdf)
- 17) 東京理科大学総合研究機構太陽光発電研究部門、よくわかる最新太陽電池の基本と仕組み、秀和システム、104-108 (2013)
- 18) 荒川裕則、色素増感太陽電池、シーエムシー出版、17-43 (2007)
- 19) 小長井誠、山口真史、近藤道雄、太陽電池の基礎と応用、培風館、231-247 (2010)
- 20) S. Ito, et al., Solar Energy Materials & Solar Cells, 76, 3-8 (2003)
- 21) 佐藤勝昭、太陽電池のキホン、ソフトバンククリエイティブ、15-20 (2011)
- 22) H. Arakawa, Tech. Rep. IEICE, 10, 1-6 (1999)
- 23) H. Iino, S. Furukawa, IEICE Tech. Rep., 9, 19-23 (2007)
- 24) Y. Kawamura, T. Tayama, J. Jpn Inst. Energy, 91, 502-503 (2012)

(2015年9月30日提出)

(2015年10月7日受理)



# **Development and improvement in performance of chemical teaching materials of the dye-sensitized solar cell**

**SUZUKI, Takahiro**

Saitama Prefectural Sakado High School

**ASHIDA, Minoru**

Saitama University, Emeritus Professor

**MATSUOKA, Keisuke**

Faculty of Education, Saitama University

## **Abstract**

The teaching materials of the dye-sensitized solar cell conforming to the new official guidelines for schoolteaching were developed. The sintering method of titanium oxide powder, the solvent and adsorption time of pigment, and the production method of carbon catalyst layer of the opposite pole, etc. were devised, and the production time of the cell was shortened within 30 minutes. Cheap red cabbage powder was used for sensitizing dye.

**Keywords:** experiment and observation, chemical education in high schools, dye-sensitized solar cell, development of teaching materials