

身近な素材を用いる太陽電池の教材化

教育文化学部理科教育（化学） 中林 健一

1. はじめに

近年、さまざまな太陽電池が開発され、火力や原子力発電に代わる新しい発電システムとして急速に普及している。宮崎県は太陽光に恵まれていることから各事業所や家庭で太陽電池の導入が期待されている。色素増感型太陽電池は、二酸化チタンと色素、電解質溶液を組み合わせたもので、1991年にスイスのGrätzelらによって開発された⁽¹⁾。シリコン系太陽電池に比べ、材料や製造コストの面で有利であることから、次世代型太陽電池として期待され、実用化に向けた研究開発が国内外で盛んに行われている。色素増感太陽電池は、エネルギーや環境について先端的科学技術を学習するための教材として、高校の化学や物理でもその活用が期待されている。特に有機色素として天然の花や果実等の成分を用いることで、電池のカラー化が可能であり、産業界においてもその用途について様々な分野への応用が期待されている⁽²⁾。色素増感太陽電池の作製に用いる主な素材は、色素、導電性ガラス、二酸化チタンなどである（図1）。



図1 色素増感電池の材料と関連する分野

導電性ガラスやナノサイズの二酸化チタンは現在入手しやすい環境にあり、教育現場での

生徒用実験に加えられる環境が整いつつある。例えば、導電性ガラスは、家電製品やゲーム機、IT 製品のタッチパネルなどに利用されており、電気を通すガラスの性質を学ぶための効果的教材といえる。また、二酸化チタンは光触媒効果を学習するのに最適な教材である。天然色素は化学指示薬として利用されている。色素増感太陽電池の作製は、単に電池の作製に留まらず、理科教材として生徒の興味・関心を引き付ける多くの魅力的内容を含んでいる。

2. 色素増感太陽電池の発電原理と作製手順

色素増感太陽電池による発電は有機色素が太陽光などの可視光を吸収して励起状態になり、色素から放出された電子を二酸化チタン(TiO_2)に渡すことから開始される⁽³⁾。その後電子は、炭素電極上でヨウ素にわたり、 I^- イオンが生成される。ヨウ素は色素に電子を戻す役割を果たすことになるが、電子が放出されたことにより生じたホール (h^+) が電解質側に移動する。結果的に全体として、光エネルギーを得ただけで、物質には変化はなく、電子が回路内を一巡する回路が成立していることになる。一方、半導体である二酸化チタンを光励起するにはバンドギャップ以上のエネルギー (例えば紫外領域の光) を持つ光を吸収しなければならない。そこで、広い吸収波長帯を持つ有機色素を吸着させることにより、半導体の光吸収領域を長波長領域に広げることが可能になる。これが色素増感と呼ばれる作用で、色素として紫キャベツなどの天然の植物成分を用いることができる。これらのエネルギーサイクルを「光合成のモデル反応」や「エコ電池」として例えられることもある。発電の原理を中高生に理解させるには授業展開に工夫を要するが、近年、色素増感太陽電池の教材化に関する研究報告もされている⁽⁴⁾。

色素増感太陽電池作製のために用いた試薬は二酸化チタン(アナターゼ型)、ポリエチレングリコール(分子量 300)、蒸留水、アセチルアセトン、紫キャベツの色素、ヨウ素溶液であった。紫キャベツの色素はキャベツを裁断後、5%硫酸水溶液に一晩浸し、ろ過した。ろ液中の色素はダイアイオン HP20 を吸着剤とするカラムクロマトグラフィーで吸着させた後、50%エタノール溶液で溶出させ、ロータリーエバポレーターで濃縮した。なお、実際の作製では、あらかじめ濃縮した色素溶液を用いた。電解質溶液であるヨウ素溶液はヨウ素(I_2) 1.3g、ヨウ化カリウム (KI) 8.3g、エチレングリコール 100ml の混合溶液を用いた。器具は、乳棒、乳鉢、導電性ガラス(ITO)、テープ、テスター、ガラス棒、ガスバーナー、セラミック金網、三脚、クリップ、ワニロリード線、OHP光源、電子メロディーを用いた。図2には簡単な作製手順と各段階に必要な作製時間と材料費並びに測定必要時間を示した。

なお、今回作製した電池の電圧変化を図3に示す。1枚の電池で0.412Vの電圧が生じ、3枚を直列につなげると電子メロディが流れた。また、紫キャベツ色素の光電変換効率⁽⁵⁾は $\eta = 0.11\%$ であった。これは Gratzel らの報告の約 100 分の 1 であるが、電子メロディーを作動させるのには十分な出力である。



図2. 色素増感電池の作製手順，材料代，並びに測定時間

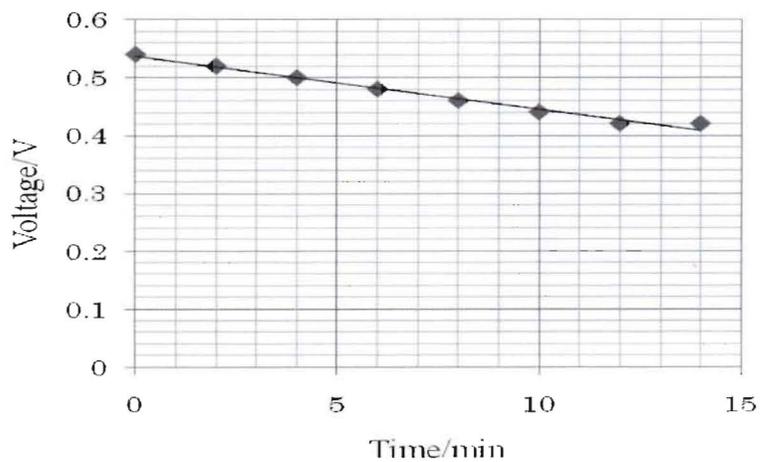


図3. 色素増感太陽電池の電圧変化

2009年7月に宮崎県立五ヶ瀬中等教育学校の4年生(高1)35名に対して、色素増感電池の作製指導を行った。なお、事前に(1)色素の光化学反応がどのようにして発電に結び付くのか基本的な概念・法則について説明した。また、(2)作動原理を解説し、その利用現状についても解説した。作製指導後、生徒にアンケートを実施したところ、①簡単に作れるのに感動した。②身の回りの食材でためしてみたい。③導電性ガラスのことをもっと知りたい。④ガラス以外ではできないのか?⑤発電量を上げる工夫はどうすればいいか?⑥発電の原理がむずかしい。⑦科学クラブで継続的に取り組んでみたい。⑧デモ機はないのか?などの意見が得られた。

学習指導要領の改訂に伴う理科授業時間数の増加並びに理科教科書の実験・観察内容の充実が迫っている。このような状況の中で教師をはじめとする理科教員の質の向上と実験・観察を中心とする継続的教員研修が期待されている。本電池は、発展的内容として、また興味関心を持たせる内容として授業で取り入れられることを期待したい。

参考文献

- 1) B. O'Regan and M. Gratzel : " A low-cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO_2 films, *Nature*, 353,737 (1991).
- 2) 吉田隆, 「実用化に向けた色素増感太陽電池, 高効率化・低コスト化・信頼性向上」, *NTS*, p3~358 (2003).
- 3) 昆野昭則, 「色素増感太陽電池—ナノ空間で機能する手作り太陽電池—」, *化学と教育*, 49, pp718-720, (2001).
- 4) 黒川伸二, 江口秀暁, 荒川博美, 渡孝則, 「光合成型太陽電池—植物色素の光吸収と増感作用」, *化学と教育*, 53, pp702-705, (2005).