

色素増感型太陽電池を用いた公開講座の可能性

波房 尚子* 宮藤 義孝*
戸出 久栄* 川越 みゆき*
伊藤 通子*

The possibility of the open class using the Dye-sensitized Soller Cells

NAMIFUSA Naoko*, MIYAFUJI Yoshitaka*, TOIDE Hisae*,
KAWAGOE Miyuki* and ITOH Michiko*

Abstract

This paper describes how to apply the Dye-sensitized Soller Cells(DSC) to the open class held in TNCT. Since the DSC has a simple structure, it may easily be made and familiar with many people in a regional community. In addition the application of DSC seems to be significant from a viewpoint of use of natural energy, reflecting the recent increasing concern about an energy problem. The DSC is known to work by an oxidation-reduction reaction between the coloring matter of plants such as a hibiscus containing TiO_2 and the iodine acting as an electrolyte solution. This reaction takes place by optical energy in a pair of electrically conductive glass. The preliminary examination on the conditions to conduct the open class revealed that the technicians can perform the open class using the DSC.

key words : Dye-sensitized Soller Cells/Natural energy/ Open class/Technicians

1. はじめに

高専は平成16年度の独立行政法人化にともない、地域に根ざした高等教育機関としてこれまで以上に積極的に地域貢献をしていくことが重要となる。一方、近年の少子化や理科離れ現象によって本校を志望する中学生の減少が懸念されるため、高専教育の意義についてPRを進めることの重要性も高まっている。

このような背景の下で、公開講座の果たす役割は今後益々大きくなるものと考えられる。これまでの公開講座は学校全体の取り組みとはいえ、実際には教官が学科単位で開催を担っており、技術職員はその支援にとどまっていた。

そこで、平成15年度より組織化された技術部

では、専門の枠組みを超えた技術職員集団としての力を発揮できる機会として、公開講座開催の可能性を模索することとした。テーマは、近年のエネルギー問題への関心の高まりから自然エネルギーを有効に活用することとした。機能マテリアル系に所属する著者らはその具体例として、花卉を用いて発電する「色素増感型太陽電池の製作」を設定した。対象は本校のPRの意味から中学生とし、参加者に夢や未来を感じさせ理科離れ対策にも寄与することをねらった。

色素増感型太陽電池については、現在様々な方面から実用化にむけての研究がなされているが、教材としての取り組みは始まったばかりである。本研究は色素増感型太陽電池の試作を通して、公開講座実施の諸条件、即ち教材としての有効性、安全性、製作時間等を検討することを目的に展開した。

* 技術部機能マテリアル系

2. 色素増感型太陽電池(DSC)の特性

色素増感型太陽電池(DSC)は、1991年スイスのグレッツェル教授らによって開発された。DSCの作動原理を図1に示す。

色素を吸着した二酸化チタン電極に光を照射すると、色素が光を吸収し活性化することにより電子 e^- を二酸化チタン側に渡す。電子 e^- は二酸化チタンの正孔を素早く伝わり、導電性透明ガラスの導電膜、導線を経て正極に伝わる。電子 e^- は黒鉛の表面から、電解質溶液中の三ヨウ化物イオン(I_3^-)を還元してヨウ化物イオン(I^-)に変える。ヨウ化物イオン(I^-)は色素上で再び酸化される。

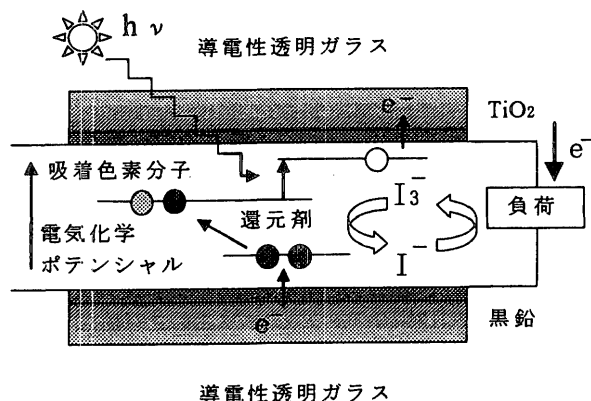


図1 DSCの作動原理

3. DSCの製作

実験操作は、対象が中学生であることを念頭におき決定した。製作に適した材料を選定するため、種々の材料を使ってそれぞれの部材を試作し比較した。

3.1 二酸化チタン(TiO_2)の製膜

二酸化チタンは、天然に産出し安価で入手しやすいこと、環境負荷が小さいことより、アナターゼ型、ルチル型、P-25を使用した。各二酸化チタン12gに0.15 mol/L(pH 3~4)酢酸水溶液20 mLを少量ずつ加え、乳鉢で擦り混ぜ、ペースト状にした。使用した3種類の二酸化チタンを表1のように定義した。

表1 二酸化チタンの結晶構造

	二酸化チタンの結晶構造
TiO_2 -1	P-25
TiO_2 -2	アナターゼ型
TiO_2 -3	ルチル型

今回用いた導電性ガラスは、ITO (Indium Tin Oxide)膜とFTO ($F-SnO_2$:フッ素ドーピング二酸化スズ)膜の2種類で、それぞれの特性がある。ITO膜は電気抵抗が小さく透明性も良いが熱や酸に弱いという欠点があり、FTO膜は抵抗が比較的大きいが熱や酸に強く表面の凹凸を制御して半導体層との接触面積を増やすことができる。各導電性ガラスをエタノールで洗浄後、導電面にメンディングテープで両端5 mmをマスキングした。使用した2種類の導電性ガラスを表2のように定義した。二酸化チタンペーストを導電面にガラス棒を用いて均一に塗布した。テープを剥がした後、アルコールランプ又は電気炉450℃で30 min焼結した。

表2 導電性ガラスの種類

	抵抗値[Ω]	導電膜	メーカー
G-1 a)	32.0	FTO	西野田電工(株)
G-2 a)	23.0	ITO	日本曹達(株)

a): 寸法は20×40[mm]を使用した。

3.2 二酸化チタン電極の製作

増感色素とその浸漬については、酸化チタン層に強固に吸着することが肝要である。また、毒性がないこと、美しい色であること、耐光性に優れていること、短い時間浸すだけで担持することなどが望ましい。このことより安価で入手しやすいハイビスカス茶用の乾燥花卉に純水を加え色素を抽出した。焼結した導電性ガラスを一昼夜抽出液に浸漬し、色素を吸着させた。

抽出液から浸漬した導電性ガラスを取り出し、純水、エタノールの順で洗浄した後、乾燥した。

3.3 黒鉛電極の製作

導電性ガラスをエタノールで洗浄後、導電面に黒鉛を塗布し、加熱した後再びエタノールで洗浄し、乾燥した。コーティングに用いた3種類の黒鉛を表3のように定義した。

表3 黒鉛の種類

	黒鉛の種類	メーカー
C-1	6B 鉛筆	(株) トンボ鉛筆
C-2	黒鉛ペースト	日本電子(株)
C-3	粉末状活性炭	和光純薬(株)

3.4 DSC の組み立て

電解液は、DSCの動作温度が上昇しても気散せず長持ちさせるために、使用温度範囲内で蒸気圧を持つ溶媒は避けることが重要である。ヨウ素はさまざまな不安要因が報告されているが、溶液系で最も実験結果が豊富なことから、本研究ではヨウ素溶液を使用した。負極となる二酸化チタン電極に電解液のヨウ素溶液(西野田電気(株))を滴下し、正極の黒鉛電極面と貼り合わせた。それを図2に示す。固定には予め広げておいたクリップを用いた。

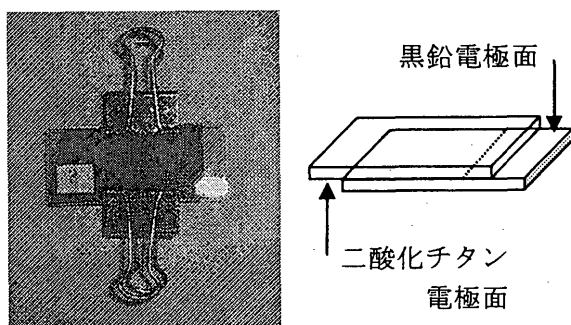


図2 色素増感型太陽電池(DSC)

二酸化チタン側(負極)から擬似太陽光として白熱電球(40W)またはメタルハライドランプ(100W)を照射し、短絡電流(J_{sc})、開放電圧(V_{oc})、JV特性等を測定し電池を評価した。

性能評価時の留意点は種々挙げられるが、温

度特性、照射光強度・スペクトル、セル製作後の経時変化、実験時の照射時間、エージング効果等については、今回は検討しなかった。

4. 結果

二酸化チタン、導電性ガラス、黒鉛電極を選定するために、白熱電球(40W)を照射し短絡電流(J_{sc})と開放電圧(V_{oc})を測定した。二酸化チタンの種類を変えた測定結果を表4に示す。この結果より、アナターゼ型が最も適していた。

表4 二酸化チタンの種類を変えた測定結果

	二酸化チタン	$J_{sc}[\text{mA}/\text{cm}^2]$	$V_{oc}[\text{mV}]$
TiO ₂ -1 ^{b)}	P-25	0.077	356
TiO ₂ -2 ^{b)}	ルチル型	2.320×10^{-4}	70.0
TiO ₂ -3 ^{b)}	アナターゼ型	0.212	361

b): 導電性ガラスはFTO膜、黒鉛は6B鉛筆を使用した。

二酸化チタンをアナターゼ型にして、導電性ガラス膜の種類を変えた測定結果を、表5に示す。この結果より、FTO膜が適していることがわかった。

表5 導電性ガラス膜の種類を変えた測定結果

	導電性ガラス	$J_{sc}[\text{mA}/\text{cm}^2]$	$V_{oc}[\text{mV}]$
G-1 ^{c)}	ITO膜	0.130	267
G-2 ^{c)}	FTO膜	0.067	340

c): 二酸化チタンはアナターゼ型、黒鉛は黒鉛ペーストを使用した。

アナターゼ型の二酸化チタンとFTO膜導電性ガラス膜を使用して、黒鉛電極の種類を変えて測定した結果を表6に示す。この結果、6B鉛筆が適していることがわかった。

表6 導電性ガラス膜の種類を変えた測定結果

	黒鉛	$J_{sc}[\text{mA}/\text{cm}^2]$	$V_{oc}[\text{mV}]$
C-1 ^{d)}	6B鉛筆	0.361	318
C-4 ^{d)}	黒鉛ペースト	0.126	267

d): 二酸化チタンはアナターゼ型、導電性ガラスはFTO膜を使用した。

各結果をまとめたグラフを図3に示す。

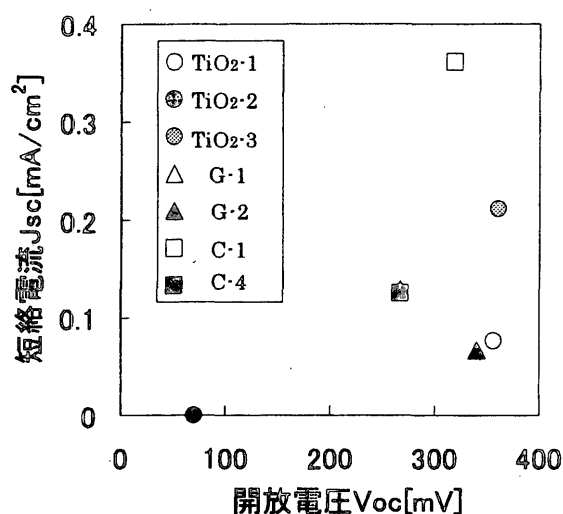


図3 各条件での短絡電流と開放電圧

二酸化チタンはアナターゼ型、導電性ガラス膜はFTO膜および黒鉛電極は6B鉛筆に特定し、この組み合わせで、これらを使ってDSCを組み立てた。擬似太陽光としてメタルハライドランプ(100W)を使用し、電解液として0.5 mol/Lヨウ化カリウム、0.05 mol/Lヨウ素をエチレングリコールに溶解したヨウ素溶液を使用し、JV特性を測定した。その結果を図4に示す。

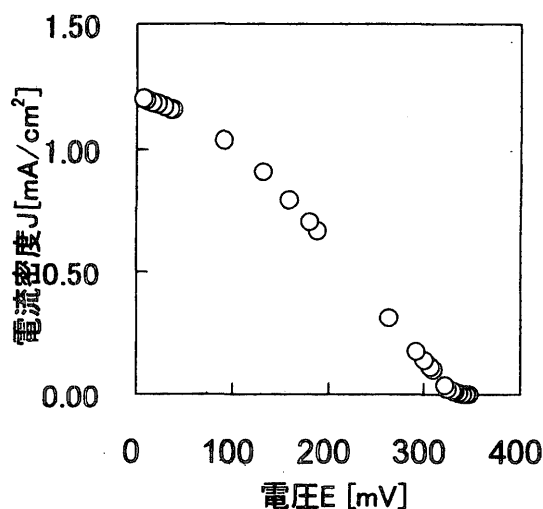


図4 JV 特性

この結果より、短絡電流 (J_{sc} ; 最大電流) 1.2 mA/cm^2 、開放電圧 (V_{oc} ; 最大電圧) 347 mVを得ることができた。

実際の公開講座においては、製作したDSCより発生させた電力をどのように視覚化して学習効果をあげるかということが問題になる。

そこで、公開講座に利用可能な7種類の負荷を用意し、それぞれの負荷の作動に必要な最小限の電流値・電圧値を測定した。その結果を表7に示す。

表7 必要最小限の電流値・電圧値

	電流値 [mA]	電圧値 [mV]
ソーラーモーター	90	78
モーター	126	320
電卓	1.50×10^{-3}	1019
点電球	12.7	997
ICメロディ1	10.9×10^{-3}	909
ICメロディ2	93.0×10^{-3}	809
ICメロディ3	12.8×10^{-3}	1068

以上の結果より、今回試作した電池を、数個用いて結線方法を工夫することによって、これらの負荷を作動させることができることがわかった。製作時間については、試作における実験手順のいくつかを公開講座の事前準備として行うことで、調整可能であることがわかった。

5. おわりに

色素増感型太陽電池の試作を通して、公開講座を実施するための諸条件について検討した。

安全性については、危険な素材や装置などを用いないため、中学生が製作することに問題はないと判断できた。製作時間は事前準備などで調整できることが確認できた。

近年、燃料電池や風力発電など、環境負荷の少ないクリーンエネルギーが注目され、実用化が急がれている。今回試作したDSCは、最先端の研究者が実用化を競っている未来の太陽電池であり、それを自分の手で簡単に組み立てることによって参加者に夢を与えることができる。このことは、科学に対する興味を喚起すると同

時に電池のしくみについて理解を促すきっかけになると推察され、教材として極めて有効であると考えられる。

さらに色素の種類や条件を変えて比較するなど探求の余地も充分にあり、教育的意義は大きい。以上のことから、DSCを題材に公開講座を実施することは可能であることがわかった。

なお、実際に公開講座を実施するにあたり、課題として以下の点が挙げられる。

- ・短絡電流 (J_{sc}) と開放電圧 (V_{oc}) および JV 特性の向上 (面積や結線方法の工夫)
- ・持ち帰り可能なように電池のシールド方法
- ・負荷の決定

今後さらに研究を重ね、課題を克服するとともに、より具体的な実施方法について詳細に検討する予定である。

謝辞

本研究は、平成15年度校長裁量経費により行われた。深甚の謝意を表する。なお、本研究を遂行するにあたりご協力いただいた教職員の皆さまに謝意を表します。

参考文献

- (1) NTS編集企画部編, 実用化に向けた色素増感太陽電池, 株式会社 NTS (2003)
- (2) 電気化学協会編, 新しい電気化学, 培風館 (1992)
- (3) 瀧口公夫, 徳富英雄, 色素増感型太陽電池を作る, 化学と教育, 日本化学会, 51, 234-235 (2003)
- (4) 菅留視子, 西山佳奈, 産学連携による次世代太陽光発電教材「火力発電」の開発, 化学と教育, 日本化学会, 51, 352-355 (2003)

(2003. 11. 21 受理)