

色素増感太陽電池の最適条件

石川県立金沢泉丘高等学校理数科

北川 修太郎 久保 恵耶 廣田 真成人 宮上 太一 吉村 直希

要旨

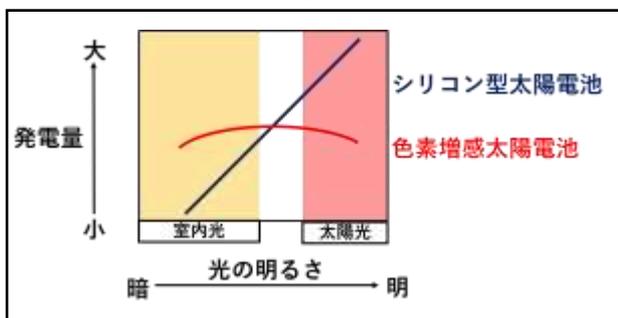
シリコン型太陽電池は一般家庭で最も使われている太陽電池であるが、主に紫外線を吸収し発電をするため天候に大きく左右される。色素増感太陽電池は紫外線に加え、可視光にも感度を持ち、室内光などの弱光下ではシリコン型太陽電池と同等、またはそれ以上の発電をする。この事実を受けて、我々は色素増感太陽電池の可能性を最大限に引き出すことによって「室内用」の太陽電池を作ることが可能だと考えた。

そこで、ペクセル・テクノロジーズ株式会社の実験キットを用いて、色素増感太陽電池の発電効率を最大限に引き出す条件を、酸化チタン膜の厚さと面積、照度の観点から探究し、室内の発電に最適な色素増感太陽電池の条件を、結果に基づき考察した。

1. 研究目的

シリコン型太陽電池はその発電効率の高さが評価されているにも関わらず、高価なことや降雨が多い地域では比較的需要が少ないことなどの理由から、世界中で普及させるのは難しい状況である。

色素増感太陽電池は、シリコン型太陽電池よりも安価で、弱い光でも発電することが可能なため、日常場面での実用性や世界的な普及が強く期待される。その一方で根本的な発電量の少なさが課題となっている。(図1)



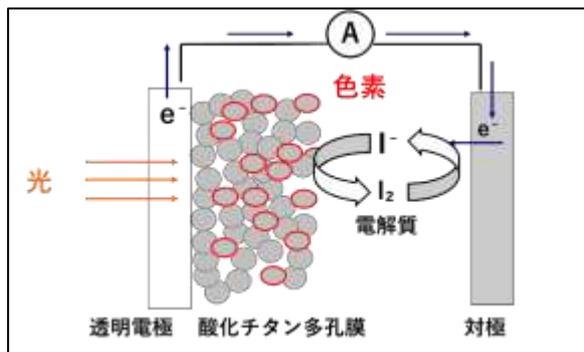
(図1) シリコン型太陽電池と色素増感太陽電池の光の明るさによる発電量の比較

酸化チタン膜の厚さ、面積、照度と電位差との関係性を発見し、色素増感太陽電池の発電の最適条件を見つけ、より実用的な利用方法を発見することで、SDGsの「7. エネルギーをみんなにそしてクリーンに」という目標に貢献でき、エネルギー問題や環境問題の解決につながる。

2. 研究方法

(1) 電池の仕組み

透明電極側から光を受けた色素の電子が励起し放出された後、酸化チタンと透明電極を通過して、対極に移動する。(色素粒子に光が当たり、吸収されると、最外殻より1つ内側の電子殻にある電子が光エネルギーを受け取り、最外殻へと移動する。これを励起という。)そして、電解液中のヨウ素が電子を受け取ってヨウ化物イオンとなり、再び色素に電子を渡すということが繰り返されることで発電する。(図2)



(図2) 色素増感太陽電池のイメージ図

$$(\text{吸収率}) = 100(L_0 - L) / L_0$$

$$L / L_0 = R_0 / R$$

L_0 : 何も塗布していない透明電極が吸収する光量

L : 酸化チタン膜を塗布した透明電極が吸収する光量

R_0 : 何も塗布していない透明電極の抵抗値

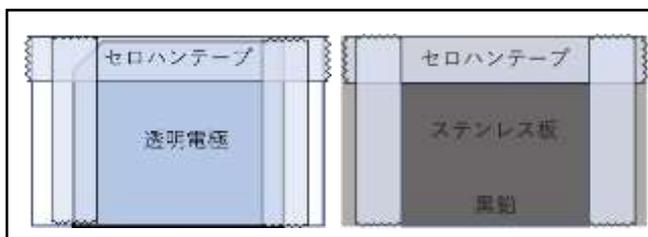
R : 酸化チタンペーストを塗布した透明電極の抵抗値

(2) 電池の作成

透明電極 (縦 4cm、横 5cm) を適当な画用紙の上に置き、セロハンテープで透明電極のはしを固定すると同時に酸化チタンペーストを塗布する面積を決定する。(図3)

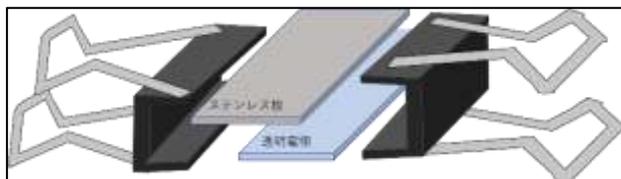
酸化チタンペーストをガラス棒を用いて、透明電極に均一に塗布し、乾燥させる。乾燥後にできた酸化チタン膜に色素をむらなく滴下し再び乾燥させる。

ステンレス板 (縦 4cm、横 5cm) に鉛筆を用いて黒鉛を塗布しその上から電解液 3、4 滴を滴下する。(図3)



(図3) 電極の作成

電解液を滴下したステンレス板の上から透明電極を酸化チタンペーストを塗った側で合わせてクリップで止める。導線の接続を可能にするためにステンレス板を黒鉛が塗られた側に少しずつずらしてクリップで止める。(図4)

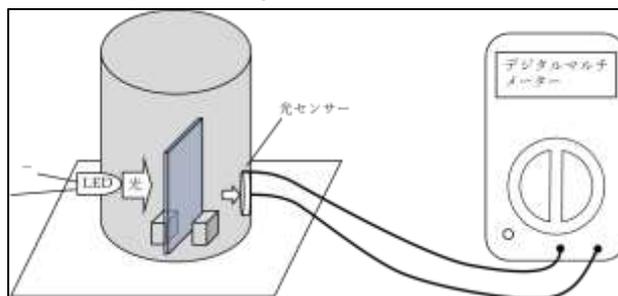


(図4) 電池の作成

(3) 光の吸収率の導入

図5の吸光度計を用いて、酸化チタン膜が付加された透明電極の光の吸収率を調べる。

この装置は、光の当たる量によって電気抵抗が変化する光センサーを用いることにより、光の透過率を測るものである。光の透過率を測定することで光の吸収率を以下の式で求めることができる。



(図5) 自作の吸光度計の仕組みについて

(4) 測定方法

① 光の吸収率と電位差の関係

重ねるセロハンテープの枚数を変えることで酸化チタン膜の厚さを変化させた。酸化チタン膜が塗布された透明電極に対する光の吸収率を吸光度計を用いて測定した後、電位差を10秒おきに1分間測定した。同時に照度計を用いて色素増感太陽電池に当たる照度を測定した。

② 酸化チタン膜の面積と電位差の関係

画用紙に貼るセロハンテープの枚数を3枚

にして酸化チタンペーストを塗布し、酸化チタン膜の面積を 1 cm^2 、 2 cm^2 、 4 cm^2 、 6 cm^2 、 9 cm^2 にして実験を行った。酸化チタン膜が塗布された透明電極に対する光の吸収率を測定し光の吸収率が誤差の範囲でしか変わっていないことを確認した後、実験①と同様の要領で電位差を測定した。

③ 照度と電力の関係

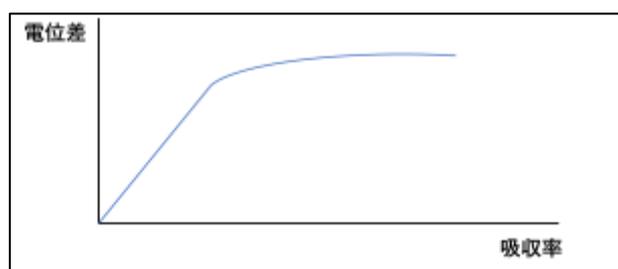
画用紙に貼るセロハンテープの枚数を3枚にして塗布した電池を一つ用意し、同じ教室でつける照明の個数を変えて照度を変えた。その後、実験①と同様の要領で電位差を測定した。

3. 仮説

① 光の吸収率と電位差の関係

ある一定の光の吸収率までは酸化チタン粒子が重複せず色素を十分に吸着するため、電位差は酸化チタン膜の厚みに対して比例的に増加すると考えた。

一方である一定の光の吸収率を超えると、酸化チタン粒子が重複し酸化チタン膜が厚くなることから色素を十分に吸着しなくなる酸化チタン粒子が生じるため、電位差は上昇しなくなると考えた。(図6)



(図6) 実験①の仮説のイメージ

② 酸化チタン膜の面積と電位差の関係

酸化チタン膜の面積に対して酸化チタン粒子の数は比例的に増加するため、色素の量も増加し、電位差も比例的に増加すると考え

た。

③ 照度と電力の関係

照度が小さいときは、照度が大きくなるにつれ、励起している電子の数も多くなるので、電力は比例して大きくなるが、ある照度を超えると、励起している電子が飽和に達して、色素が光を受け取るまでに、電子が色素に戻ってきていないため、一定値に収束すると考えた。

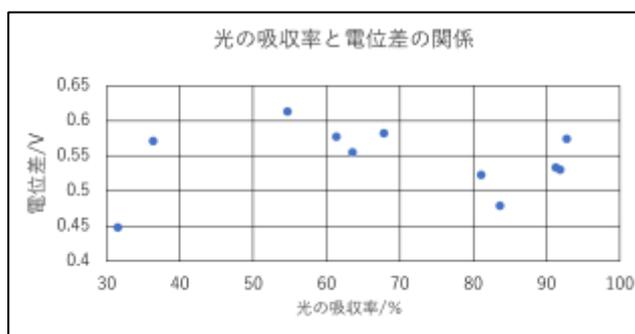
4. 結果と考察

(1) 結果

① 光の吸収率と電位差の関係

測定した光の吸収率と電位差のデータをもとにして図7のグラフが得られた。

光の吸収率が40~60%の時、電位差は最大となる。これより光の吸収率が小さい範囲では電位差は比例的に増加し、これより光の吸収率が大きい範囲では電位差が徐々に減少した。

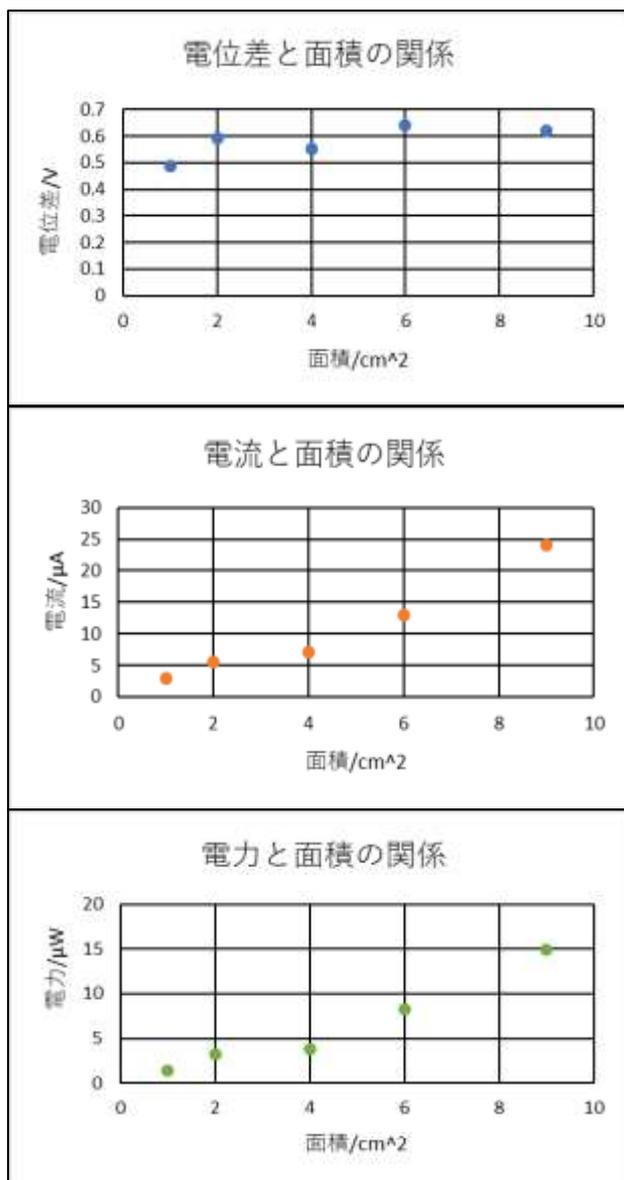


(図7) 実験②の結果

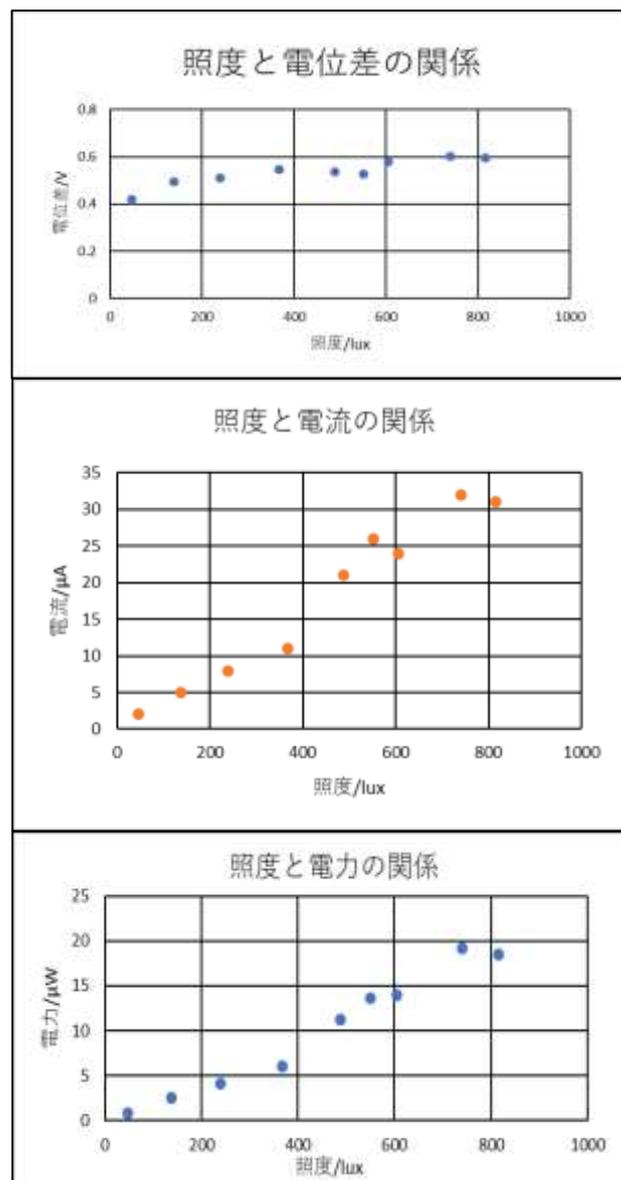
② 酸化チタン膜の面積と電力の関係

測定した光の面積と電位差のデータをもとにして図8のグラフを得た。

面積によらず電位差は一定値を取り、電流は比例的に増加するため、結果として電力は面積に比例的に増加した。



(図8) 実験②の結果



(図9) 実験③の結果

③ 照度と電力の関係

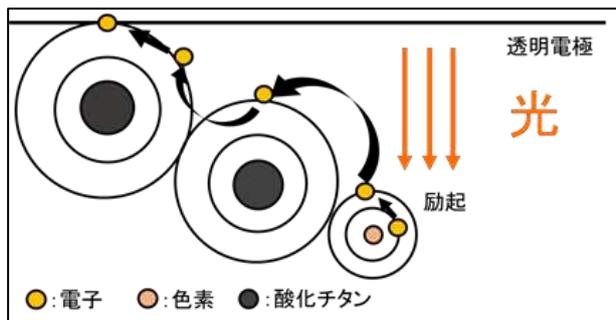
測定した照度と電力のデータを基にして図9のグラフを得た。電流と電力は照度に比例的に増加したのに対して、電圧は変化が見られなかった。

(2) 考察

① 光の吸収率と電位差の関係

この結果を受けて、我々は電子の移動を考えた。

励起された電子は高エネルギー状態にあり、色素粒子の最外殻から離脱し、色素を吸着している酸化チタン粒子を經由して透明電極に移動する。(図10)



(図 10) 電子の励起について

このとき、酸化チタン粒子の接合部分が抵抗として働き、電池の電位差は減少する。したがって、光の吸収率が高いとき（酸化チタン膜が厚いとき）は酸化チタン粒子の接合部分の数が多くなり、抵抗値が増加するため、電位差が減少したと考えた。

一方で、光の吸収率が低いとき（酸化チタン膜が薄いとき）は酸化チタン粒子の数が少なく、色素粒子の数も少なくため、根本的に励起される電子の数が少なくなる。したがって、光の吸収率の増加に伴い、電位差も上昇したと考えた。

② 酸化チタン膜の面積と電力の関係

電位差は、電池の構成物質の種類によって決定するため、酸化チタン膜の面積に依存しないと考えた。また、酸化チタン膜の面積が増加することで吸着する色素粒子の数も増加するため電流は比例的に増加する。よって、電力も比例的に増加すると考えた。

③ 照度と電力の関係

電圧は、電池の構成物質の種類によって決定するため、照度に依存しないと考えた。

また、照度の増加に伴い色素粒子が受け取る光エネルギーも増加することで励起する電子が電池全体で増加するため、電流は照度に比例すると考えた。

照度により電圧は一定、電流は比例的に増加するため電力も比例的に増加すると考えた。

5. 結論

考察①②③より吸収率が 40~60%になるよう酸化チタンペーストを透明電極に塗り、電圧が大きくなるような構成物質を使い、面積の大きい電池が最適であると考えた。

6. 参考文献

1) ペクセル・テクノロジーズ株式会社. “色素増感太陽電池の仕組み /ペクセル・テクノロジーズ” .

<http://www.peccell.com/shikiso.html>, (参照 2020-11-16)

2) 色素増感太陽電池の開発-プラスチック部材への展開と白金使用量の削減

(敬称略)

7. 謝辞

今回の研究を進めていくにあたり、お世話になったペクセル・テクノロジーズ株式会社様、そして石川県工業試験場嶋田一裕様、北陸先端科学技術大学院大学小田和司先生に、心より感謝いたします。ご協力ありがとうございました。