

身近なもので簡単に発電 ～色素増感太陽電池～

愛知県立半田高等学校

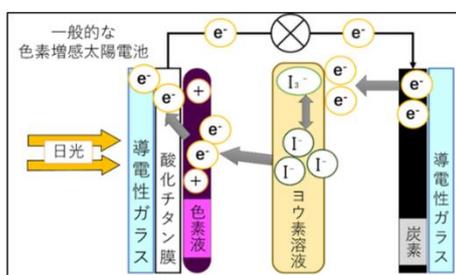
渡邊 妃麗 石濱 英雄 加藤 有起 川地 駿 伊藤 愛里 下田 琢人

はじめに

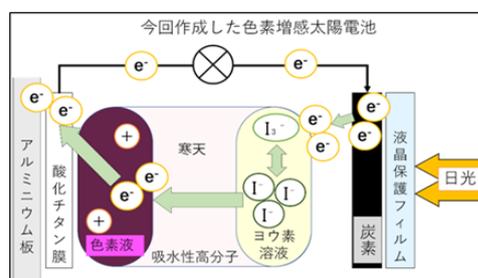
国連の持続可能な開発目標では、「エネルギーをみんなにそしてクリーンに」とある。しかし現在、世界の供給電力の約半分は化石燃料を用いた火力発電によって生み出されている。よって、この開発目標を、国連が定める期限である2030年までに達成するためには、再生可能エネルギーの活用が急務となる。色素増感太陽電池は、エネルギーを得るための有効で持続可能な手段の一つである。しかし、現在の色素増感太陽電池には、電極として高価な導電性ガラスが用いられているため、電池の値段が高くなり、普及が遅れる要因となっている。

研究目的

一般に色素増感太陽電池の電極には、導電性ガラスが用いられている。私たちの研究ではコストカットを検討して、アルミニウム板と液晶保護フィルムを用いたところ、色素増感太陽電池としての性能が確認できた。本研究の目的は、この自作した色素増感太陽電池の性能を向上させることである。ここで本研究での「性能の向上」とは、「起電力と電流の増大、および起電力と電流の最大値と最小値の差(振れ)を小さくすること」である。ヨウ素溶液と色素液の割合を調整しながら、電流と起電力の大きさを計測し、最適な作製方法を検討する。



↑ 図1 一般的な色素増感太陽電池



↑ 図2 本研究の色素増感太陽電池

作製方法

以下の手順で色素増感太陽電池を作製した。

1. ポリエチレングリコール(PEG, $n \approx 2000$)0.40g, 酸化チタン(IV) (TiO_2) 0.80g, 酢酸(17mol/L)0.50mL, 蒸留水 2.0mL を乳鉢に入れ、乳棒で 30 分間混合する。

- 1 をアルミニウム板(負極活物質)に薄く塗り, 10 分間自然乾燥させる。
- 2 にゴム製の枠(4.5×8.5 cm 高さ 0.5 cm)をのせる。
- 色素液(ローズヒップティー〈水 40mL, 茶葉 2.0g〉)とヨウ素溶液(KI 0.012mol/L, I₂ 0.0047mol/L)を, 寒天粉末(0.30g)でそれぞれ固める。
- 寒天ゲルの表面積と, 酸化チタン膜と炭素粉末に触れる面積を大きくするため, 4 の寒天ゲルをこし器でこし, はかり取る。
- 3 に色素寒天ゲル, ヨウ素寒天ゲルの順に, 均一に重ねる。

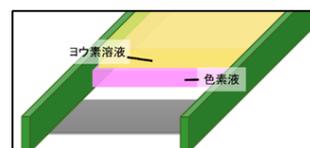


図3 作製方法(手順6)→

- 液晶保護フィルムの粘着面に炭素粉末(正極活物質)を塗り, 炭素粉末を塗った面が内側になるよう6に重ねる。
- 回路を繋ぎ, 7にLEDライト(約 1.3×10^4 lux)を照射し, 抵抗を0~60Ωの間で10Ωずつ変化させ, 電圧計と電流計を用いて生じた起電力と電流を計測する。

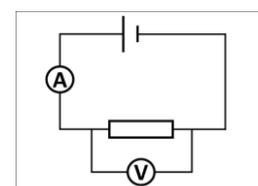


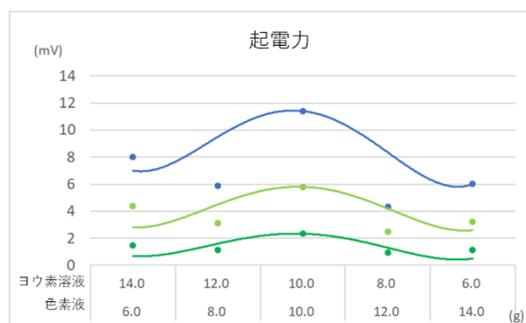
図4 作製方法(手順8)→

実験 I

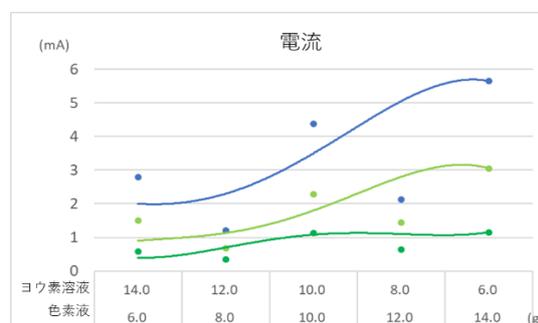
過去の研究では, 色素液とヨウ素溶液を吸水性高分子でゲル化していたが, 本研究では, 酸化チタン膜と炭素粉末に触れる面積を大きくするために, 寒天を用いて, ゲルの粘度を下げた。手順5で二つのゲルの合計質量が20.0gになるよう, 二つのゲルの質量比を変えて実験した。

【結果】

結果は下図のようになった。電池の時間劣化が激しく, 起電力と電流の値が不安定であった。



↑ 図5 結果 I (起電力)



↑ 図6 結果 I (電流)

【考察】

起電力と電流の値が不安定であった原因には, 次の二つのことが考えられる。一つ目は, ゲルの質量が小さくなりすぎると均一に広げられないことである。これによって, 電池ごとのばらつきが

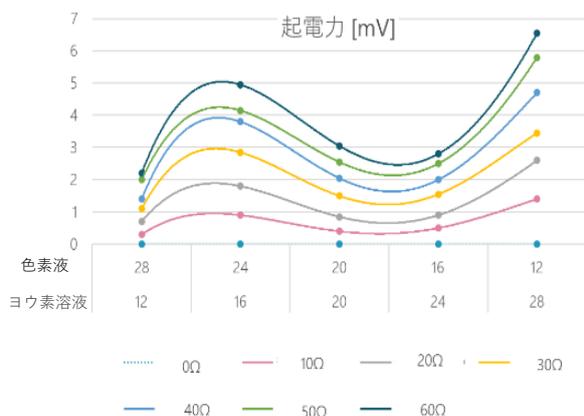
大きくなり、測定値に差異が生じていると考えられる。二つ目は、分極が起こっていることである。これによって、電池の時間劣化が激しくなっていると考えられる。

実験Ⅱ

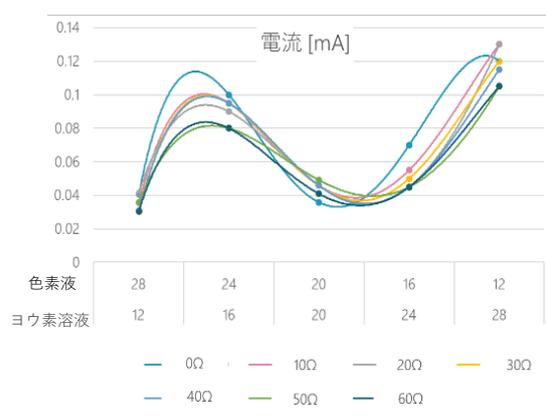
実験Ⅰの「ゲルの質量が小さくなりすぎると均一に広げることができず、起電力と電流の値が不安定になる」という課題を解決するために、全体の質量を実験Ⅰの2倍の40.0gにして、実験を行った。また実験での、「分極が起こっていること」を解決するために、二つのゲルの間に減極剤として酸化マンガン(Ⅳ)0.60gを入れた。

【結果】

結果は下図のとおりである。全体の質量を40.0gにしたことで、電池ごとの値のばらつきが小さくなった。起電力と電流のいずれのグラフも、右端の色素ゲルとヨウ素ゲルの質量比が3:7となっている電池で最も大きな値を示している。また、減極剤として酸化マンガン(Ⅳ)を用いたことで、電池の時間劣化を軽減することができた。しかし、起電力と電流はあまりにも小さいため、まだ実用的な電池とは考えられない。



↑ 図 7 結果Ⅱ(起電力)



↑ 図 8 結果Ⅱ(電流)

【考察】

起電力のグラフと電流のグラフのいずれも、右端の色素ゲルとヨウ素ゲルの質量比が3:7の電池で最大の値を示した。このことから、酸化チタンを十分に増感させる色素がある範囲では、電子を移動させる電解液の量が多いほど色素増感太陽電池の性能が良くなると考えられる。

また、実験Ⅰに比べて全体の質量を増やしたことで、電池ごとのばらつきが小さくなった一方、電池の性能は低くなった。この原因には、二つのゲル自体の抵抗値が大きく、ゲルの質量を増やしたことで、電池の内部抵抗が大きくなったと考えられる。

【展望】

実験Ⅱの結果を踏まえて、よりヨウ素ゲルの量を増やし、色素ゲルの量を減らした質量比での実験を行い、電池の性能が最も向上する質量比を探究する。また、実験ごとの差異を小さくするため、酸化チタンの膜厚を一定にする方法と、より均一にゲルを広げる方法を検討する。さらに、ゲルの粘度が大きいと電子の拡散定数が小さくなり、電流が流れにくくなることから、ゲルの形状を保ちつつ粘度を下げる方法を探究する。具体的には、色素液をゲル化するのではなく、酸化チタン膜に噴霧することを検討する。

実験Ⅲ

実験Ⅱで、起電力と電流の値は安定したもの、それらの値が小さ過ぎるという課題は残った。その原因は液晶保護フィルムの抵抗にあると考え、その値を計測する実験を行った。図のような回路をつなぎ、液晶保護フィルムの抵抗を測定した。

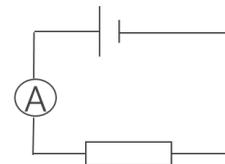


図9 実験Ⅲ 回路図→

【結果】

実験の結果から抵抗値を計算すると、表のようになった。導電性ガラス(アズワン NPV-CFT2-7)の抵抗は液晶保護フィルムと同面積で $10\text{k}\Omega$ である。よって、炭素粉末付きの液晶保護フィルムでさえ、導電性ガラスの30倍の抵抗をもつことが分かった。

	抵抗[kΩ]
液晶保護フィルム	6.0×10^2
液晶保護フィルム (炭素粉末付き)	2.9×10^2

図10 結果Ⅲ→

【考察】

やはり本研究の電池の起電力と電流が小さい原因の一つは、液晶保護フィルムの抵抗にある。液晶保護フィルムの抵抗が大きいことにより、電池の内部抵抗が大きくなったことで、本研究の太陽電池の性能が低下していると考えられる。

【展望】

実験Ⅲの結果を踏まえ、電池の内部抵抗を小さくするため、導電性ガラスの新たな代替材料を探究する。具体的には、導電性フィルムの使用や、液晶保護フィルムに金属を蒸着することを検討する。

まとめ

導電性ガラス(2枚)		液晶保護フィルム	アルミ板	合計
900	値段(円/cm ²)	0.38	8.96	
10.2×4.7+15.0×4.5	使用面積(cm ²)	10.2×4.7	15.0×4.5	10.2×4.7+15.0×4.5
103896	費用(円/1枚)	18.22	604.8	623.02
0	カット率(%)	99.96	99	99.4

↑図 11 コストカット

上の表より、本研究の太陽電池は一般的な太陽電池と比べて約99%のコストカットを実現したといえる。従来の色素増感太陽電池では、導電性ガラスに酸化チタン膜を焼き付ける工程が必要であったが、本研究では焼き付けない方法でも本研究で太陽電池としての性能を発揮することを明らかにした。さらに、導電性ガラスの代わりに液晶保護フィルムとアルミニウム板を使用することを考案して検討した結果、従来の色素増感太陽電池に比べ短時間で安価に作製することができ、電池としての機能を十分に発揮することが明らかになった。今後も実用化に向けて、さらなる性能の向上を探究していきたい。

謝辞

本研究にご助言を賜りました宇野弘重先生、辻義之先生、神谷信夫先生に、厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 岩手県立釜石高等学校「平成 25 年度 岩手県立釜石高等学校『数理科学研究 I』研究集録」P.17～22
「色素増感型太陽電池の起電力に関する研究」(2013)
- 岩手県立釜石高等学校「平成 26 年度 岩手県立釜石高等学校『数理科学研究 I』『数理科学研究 II』『海外研修』研究集録」P.28「色素増感太陽電池の起電力に関する研究」(2014)
- 岩手県立釜石高等学校「平成 28 年度 岩手県立釜石高等学校『数理科学研究 I』『数理科学研究 II』『海外研修』研究集録」P.70～75「A Study about the Dye-sensitized Solar Cells」(2016)
- 長崎県立長崎南高等学校「平成 27 年度 生徒課題研究論文集」P.90～91「色素増感太陽電池」(2015)
- 若狭信次「手作り太陽電池のすべて 色素増感太陽電池を作ろう」パワー社 (2010)
- 「色素増感太陽電池を作ろう！」
<http://www.mirai-kougaku.jp/laboratory/pages/121031.php>
- 「抵抗キットを使った電池の内部抵抗の実験」
<https://apec.aichi-c.ed.jp/kyouka/rika/butsuri/2018/denziki/teikoukito/naibuteikoh.htm>