

REHSE「高校生による環境安全とリスクに関する自主研究活動支援事業」

2024年度 研究活動報告書

研究課題名

「エッセンシャルオイルの資源利用」

研究チーム名

倉吉東高校探究科学部（3名）

2年：羽合遼介、林原花笑、小原絢夏

指導教諭：榎田健二（理科）、浪花建一（理科）

1. 研究の背景

現在の日本ではエネルギー供給源の83.2%を化石燃料に依存していて環境への負担が大きくなっている^[1]。そのため、環境への負担が小さい自然エネルギーの活用方法が研究されている。そんな折、鳥取県がカレーの年間消費量全国上位であることから^[2]、カレーが何か環境保全に結びつかないかと考えていたところ、カレー粉の色素で発電ができるということを知り、色素増感太陽電池（以下DSC）に注目した。DSCについて調べていくと、現在はDSCから発展したペロブスカイト太陽電池（以下PSC）の実用化に向けた研究が進んでいるらしいが、PSCにも寿命が短いという弱点があることが分かった^[3]。そこで、カレーのスパイスから抽出できるエッセンシャルオイルの抗酸化作用がこの弱点の解決に繋がらないかと考え、研究することにした。

2. 研究の目的

PSCを製作して研究を進めたいと思ったが、PSCを製作するには費用や材料調達の面で困難さがあるため、PSCの基本原理であるDSCを環境に配慮した安価な素材で製作し、エッセンシャルオイルの添加が電池の寿命を延ばすことに繋がらないかどうかを検証することにした。この検討により、エッセンシャルオイルの抗酸化作用が電池にも有効であるか否かが確認でき、DSCひいてはPSCの長寿命化に向けての研究のヒントになるのではないかと考えた。

3. 研究の内容

3.1 使用した器具、薬品

- ・白色LEDライト（500W）
- ・黒色マルチシート
- ・実験室用木製椅子
- ・照度計
- ・導電性PETフィルム（ $200\Omega/\text{m}^2$ ）
- ・ビニールテープ
- ・セロハンテープ
- ・ドライヤー
- ・ステンレス板（厚さ0.3mm）
- ・鉛筆（4B）
- ・マイクロピペット
- ・クリップ
- ・テスター
- ・ワイヤレス電圧センサ&アプリ SPARKvue（島津理化）
- ・ミノムシクリップ
- ・酸化チタン(IV) TiO_2 アナターゼ型
- ・0.15mol/L 酢酸
- ・エチレングリコール EG
- ・ポリエチレングリコール PEG（分子量400）
- ・食黄（小倉食品化工(株)）
- ・ターメリック（ハウス食品(株)）
- ・うがい薬（ツルハグループマーチャンダイジング）
- ・ヨウ素溶液（ヨウ素ヨウ化カリウムエチレングリコール溶液）
- ・エッセンシャルオイル4種（ペパーミント、タイム、オレンジ、カモミール）

3.2 DSCの製作（ペクセル・テクノロジーズ社の実験キット PEC-TOM02を参照^[5]）

- 負電極の作成： TiO_2 アナターゼ型3.0gに酢酸1.5mLを加えてよく混ぜ、増粘剤としてEGまたはPEG6.0mLを加えてペースト状にした。それをテープでマスキングした99mm×105mmの導電性PETフィルムの導電面に薄く均一に広げ、ドライヤーで乾燥させた。
- 可視光のエネルギー吸収率が高い紫色や黄色の色素が有効との報告^[4]をふまえ、食品添加物である食黄の12g/Lエタノール懸濁液を作成した。それを TiO_2 膜に滴下して吸着させた。
- 負電極にエッセンシャルオイルを滴下して乾燥させた。
- 正電極の作成：99mm×105mmのステンレス板の3辺にテープを折り返すように貼り、その片面を鉛筆で黒く塗りつぶした。

- (5) 正電極に電解液としてヨウ素溶液を滴下し、その上に負電極を少しずらして重ねた (図 1)。

3.3 実験装置

逆さにした実験室用木製椅子の周りを黒色マルチシートで囲って、LED ライト以外の光がなるべく入らないようにしたうえで、照度が一定になるように同じ高さの台の上に DSC を置き、上から LED ライトを当てた (図 2)。

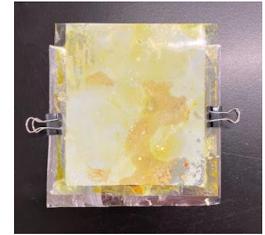


図 1

3.4 予備実験 (DSC の仕様や測定方法を確定するため)

- (1) 色素の溶解性による吸着度を確認する実験

色素溶液 0.75mL、ヨウ素溶液 0.40mL に固定して、テスターで起電力測定

① 食黄 0.3g を水 25mL に溶かした溶液を滴下して測定→起電力ほぼ 0V

② 食黄 0.3g を水：エタノール=1:1 の割合の溶液 25mL に溶かした溶液を滴下して測定→起電力ほぼ 0V

③ 食黄 0.3g にエタノール 25mL を加えた懸濁液 (図 3) を滴下して測定→最大 0.60V を計測

- (2) 適切な計測時間、色素の分量、電解質の分量を決める実験
ワイヤレス電圧センサを用いて 10 分間隔で計測

① オイルなしの DSC の起電力を 3 日間計測。

→最大値 0.47V、3 日後 0.20V と 3 日経過しておよそ半減した。

② ペパーミントオイル 1 滴を添加した DSC の起電力を①と同様に計測した。

→最大値 0.46V、2 日後 0.21V と 2 日経過して半減した。

これらの実験から、計測時間がかかりかかるといことがわかったので、数時間で起電力が半減するような加速実験を行うための色素溶液や電解液の量を調整しようと考え、以下の計測を行った。

③ オイルなし、色素液 1.0mL、ヨウ素溶液 0.20mL で起電力測定→最大 0.29mV で低すぎた。

④ オイルなし、色素液 1.0mL、ヨウ素溶液 0.75mL で起電力測定→最大 0.75V で高すぎた。

⑤ ③、④で色素液を 1.0mL で行ったが、乾くのに時間がかかったので、少し減らすことにした。

以上のことから、色素溶液 0.75mL、ヨウ素溶液 0.40mL、エッセンシャルオイル 0.040mL (約 3, 4 滴) と分量を決めた。

- (3) TiO₂ ペーストに色素を混ぜて測定

色素を一定量とっても吸着量が一定になるとは限らないと考え、TiO₂ に直接色素を混ぜることを試みた。→初期値は約 0.2V で、約 30 分後には 0.0~0.1V に低下しており、短寿命すぎた。



図 2



図 3

3.5 実験方法

I DSC に LED ライトを当て続け、その起電力をワイヤレス電圧センサで約 1 日計測した。エッセンシャルオイルなしのものと同様の 4 種類のオイルそれぞれを滴下したものの計 5 種類について計測し、最大起電力と最大値の半分の値になるまでの時間をグラフから読み取った。

II TiO₂ ペーストを塗布したときの定着性をアップさせ、均一な厚さで塗布しやすくするため、増粘剤を EG から PEG に変更し、オイル内の添加物の影響を排除するため、オイルも純度の高いものに変更して I と同様の計測を行った。

III TiO₂ ペーストの増粘剤を再度 EG に戻し、導電性 PET フィルム上のペースト膜をより均一な厚さにするために、塗布用のビニールテープ製型枠を作り、アルミ製定規を用いて丁寧に塗布した (図 4)。そのうえで、各種 DSC の起電力を 5 分間隔で 2 時間半程度計測し、それを 2 回ずつ行った。

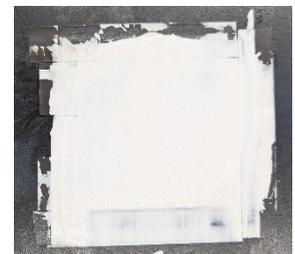


図 4

4. 研究の成果

DSC 各個体の起電力の最大値に近い値にすることは困難であることが明らかとなったため、起電力が半分に低下するまでの単位時間当たり低下率 (以下 DR) を求めることとした (表 1、2、3)。

実験 I から、オイルを添加した場合、オイルなしの場合に比べ、DR が小さくなることが明らかとなった（表 1）。また、ペパーミントオイルやカモミールオイルを添加した場合は、極端に起電力が持続するようになったことがわかった。このことから、オイルの添加は起電力の持続性を高める効果があるのではないかと考え、より精度を高めることを目的に実験 II を実施した。

実験 II では、多くの DSC で最大起電力が小さくなったことに加え、短時間で起電力が低下した（表 2）。増粘剤を EG から PEG に変えたことで導電性シートに塗りやすくなり、シートへの定着性も向上したが、逆に PEG が色素の吸着を妨げることになり、この結果を誘発したと考えられる。そこで、本研究の目的である起電力の持続性ということを優先して、増粘剤を PEG から EG に戻して実験 III を行うことにした。

PEG が色素の吸着を妨げることになった原因は、以下の 2 点が考えられる。

- ① PEG は EG に比べて乾燥させたときの残留量が多く、それが TiO₂ への色素の吸着を妨げるようになった。
- ② PEG は EG に比べてエタノールへの混和性が低く、色素のエタノール混濁液が均一に混ざらず、結果として色素の吸着率が低下した。

実験 III では、どのオイルを添加しても起電力が最大値の半分まで落ちなかったため、測定時間内の DR を求めた。結果として、エッセンシャルオイルの抗酸化作用は、酸化反応抑制を引き起こし、DSC の起電力を持続させる効果があると確認できた。また、実験 II に比べると最大起電力が大きくなった。この結果は、TiO₂ ペースト膜の厚さを今まで以上に均一にできたことで、色素の吸着が不十分な箇所が減り、酸化反応のムラが軽減されたことが影響していると考えられる（表 3、図 5）。

実験 II、III でエッセンシャルオイルの純度を高めたところ、最大起電力が小さくなる傾向がみられた（表 2、3、図 5）。これもエッセンシャルオイルの抗酸化力の向上により、酸化反応抑制が促進されたためだと考える。

以上のことから、DSC にエッセンシャルオイルを添加すると、抗酸化作用による酸化反応抑制が起こり、起電力の持続性が高まることと最大起電力が低下することが同時に起こるといふ課題が明らかになった。今後、この手法を PSC に活用していくためには、この課題を克服する研究をすすめていくべきだと考える。

表 1	最大値 [V]	半分になるまでの時間 [分]	半分になるまでの DR [mV/h]
オイルなし	0.200	96	62.5
ペパーミント	0.384	測定中ほとんど低下しなかった	
タイム	0.531	920	17.3
オレンジ	0.380	750	15.2
カモミール	0.300	測定中に半分まで低下しなかった	

表 2	最大値 [V]	半分になるまでの時間 [分]	半分になるまでの DR [mV/h]
オイルなし	0.246	15	492
ペパーミント	0.161	20	243
タイム	0.268	30 以下?	
オレンジ	0.153	30	153
カモミール	0.274	100	82.2

表 3	最大値 [V]	DR の平均 [mV/h]
オイルなし	0.330 0.354	85.5
ペパーミント	0.317 0.209	10.4
タイム	0.280 0.245	40.1
オレンジ	0.241 0.249	31.6
カモミール	0.429 0.220	12.0

※ 最大値については、DSC によってその値が大きくかけ離れている場合があったため、あえて平均値を求めなかった。また、持続性に焦点を当てているので、最大値は参考程度にさせてもらった。

オイルなし

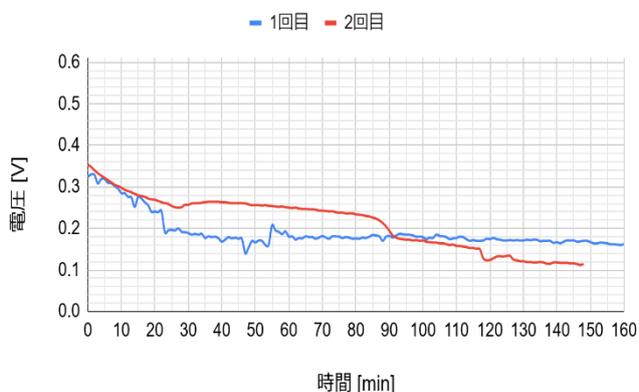
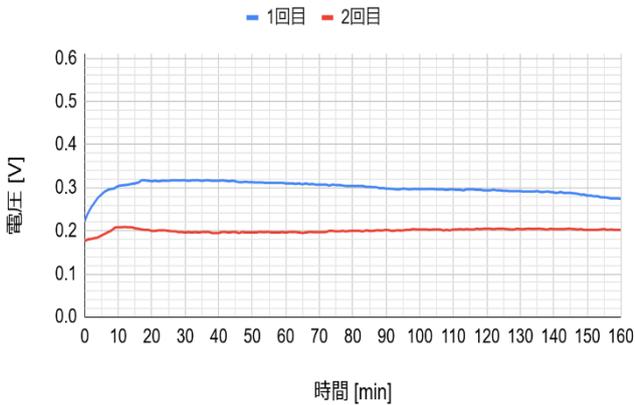
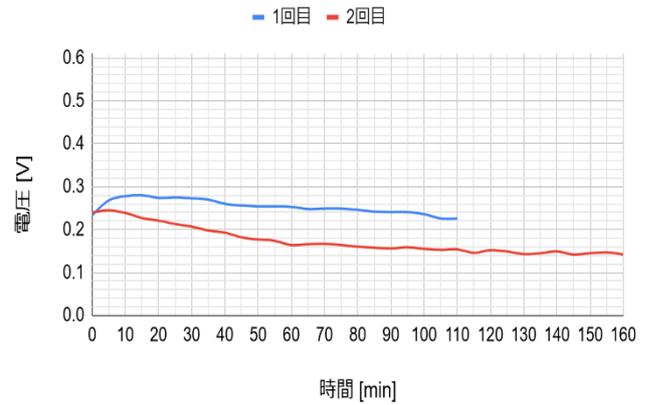


図 5 各 DSC における起電力の時間変化（増粘剤 EG）

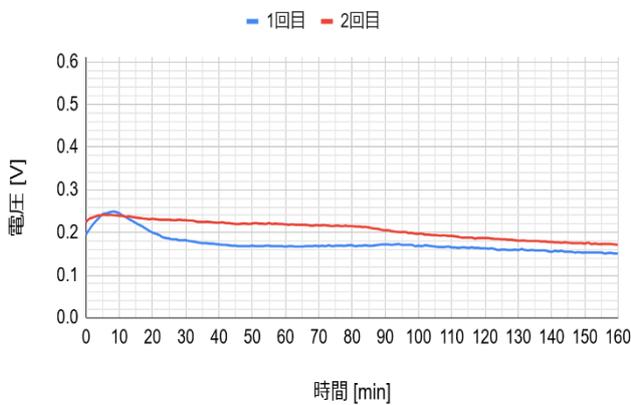
ペパーミントオイル



タイムオイル



オレンジオイル



カモミールオイル

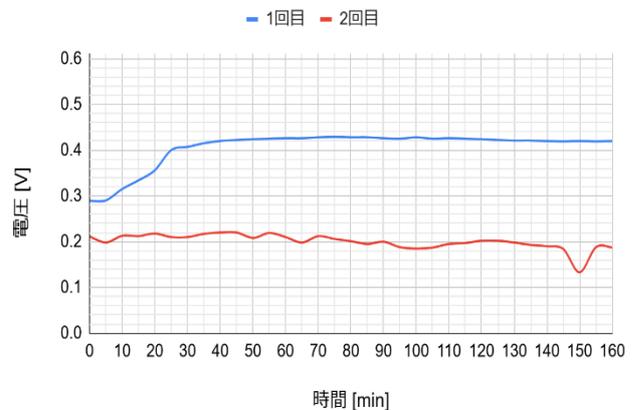


図5 各 DSC における起電力の時間変化 (増粘剤 EG)

5. 「環境安全とリスク」に関する視点

- ・スパイスから採れる天然のエッセンシャルオイルの抗酸化作用が、何か無機化学の分野に利用できれば、環境にやさしい製品ができるのではないかと発想が研究の出発点になった。
- ・電解液には I_3^- が含まれていればよいので、環境に配慮して、ヨウ素溶液を市販のうがい薬に変更して実験することにした。
- ・DSC の色素も今回は食黄やターメリックを使ったが、その他にサフランや紫色のアントシアニンなど数ある天然色素の中から探せば、DSC の能力を高める色素が見つかるのではないと思う。

6. 研究成果の発表

- ①日時：2024年11月6日(水) 13:20~14:15
発表の場：鳥取県立倉吉東高等学校 探究活動中間発表会
発表題目：「色素増感太陽電池におけるエッセンシャルオイルの効果」
発表形態：口頭発表
発表者名：羽合遼介、林原花笑、小原絢夏
- ②日時：2025年2月1日(土) 10:00~16:10
発表の場：鳥取県探究成果等発表会
発表題目、発表形態、発表者名：①と同じ
- ③日時：2025年2月19日(水) 13:20~15:25(予定)
発表の場：鳥取県立倉吉東高等学校 探究活動成果発表会
発表題目、発表形態、発表者名：①と同じ

7. まとめと今後の課題

〈まとめ〉

DSC にエッセンシャルオイルを添加すると、抗酸化作用による酸化反応抑制が起り、起電力の持続性が高まることと最大起電力が低下することが同時に起こるという課題が明らかになった。

〈今後の課題〉

- ・ DSC 内でエッセンシャルオイルがどんな反応を起こしているのかを解明し、最大起電力を下げずに DSC や PSC の寿命を伸ばすためのエッセンシャルオイル活用技術を考えていきたい。
- ・ 起電力が低下しづらかったオイルとその他のオイルとにどのような違いがあるのか検証してみたい。
- ・ 実験Ⅱにおいて、最大値が小さくなると起電力の低下が激しくなったので、オイルなしで最大起電力と起電力低下率の間に相関があるのかどうかを検証したい。

8. 引用文献・参考文献

- (1) 経済産業省資源エネルギー庁 (2024) .総合エネルギー統計.
<https://www.enecho.meti.go.jp/about/pamphlet/energy2023/01.html>
- (2) 総務省統計局 (投稿年不明) .家計調査 (二人以上の世帯) 品目別都道府県庁所在地及び政令指定都市ランキング (2021) .<https://www.stat.go.jp/data/kakei/5.html>
- (3) Loop-denki.com (2024) .日本が抱えるエネルギー問題とは?現状と課題をわかりやすく解説.
<https://loop-denki.com/home/denkinavi/energy/powergeneration/energyissue/>
- (4) 綾美幸,山本勝博 (2004) .『色素増感太陽電池の教材化への試み-その制作方法と増産作用を示す色素の検討-』 .化学と教育 52 巻 11 号
- (5) ペクセル・テクノロジーズ株式会社 (2009) .色素増感太陽電池実験キット (PEC-TOM02) .
<https://www.peccell.com/products/PEC-TOM02/>
- (6) 学校間総合ネット (投稿年不明) .色素増感太陽電池.
<https://school.gifu-net.ed.jp/ena-hs/ssh/H23ssh/sc2/2133.pdf>
- (7) 東京大学 (投稿年不明) .色素増感太陽電池&ペロブスカイト太陽電池.
<https://kuroppe.tagen.tohoku.ac.jp/~dsc/cell.html>
- (8) 鈴木崇広,芦田実,松岡圭介 (2016) .『教育学部色素増感太陽電池の性能向上と化学教材の開発』 埼玉大学紀要 65 (1) :167-178
- (9) スマートエネルギーWeek (2024) .ペロブスカイト太陽電池とは?仕組みやメリットを解説.
https://www.wsew.jp/hub/ja-jp/blog/article_42.html
- (10) 中村成夫 (2013) .『活性酸素と抗酸化物質の化学』 日医大医学会誌