

色素増感太陽電池の高効率化

市立札幌開成中等教育学校 コズモサイエンス科15班

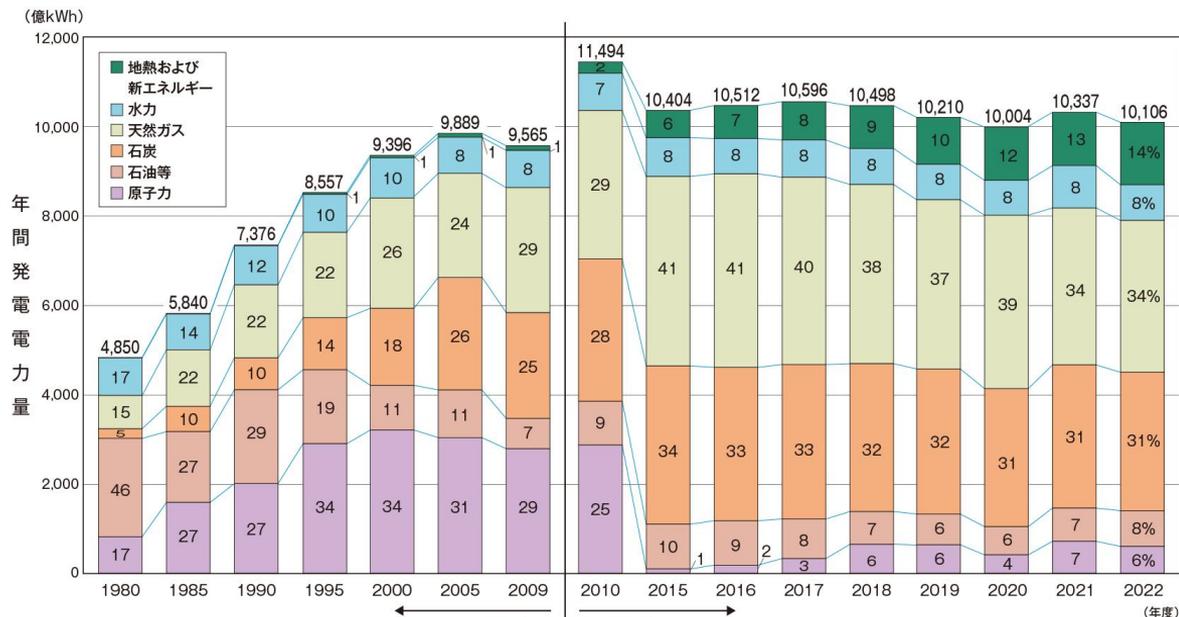
高校2年 北野栞理 渋谷つむぎ 田中快青
田中七海 西尾奏人 真嶋千晶

研究背景

日本の電力構成

図1 日本の電力構成の推移 (原子力文化財団)

電源別発受電電力量の推移



(注) 石油等にはLPG、その他ガスおよび瀝青質混合物を含む
四捨五入の関係で合計値が合わない場合がある
グラフ内の数値は構成比(%)

資源エネルギー庁「電源開発の概要」
「電力供給計画の概要」を基に作成

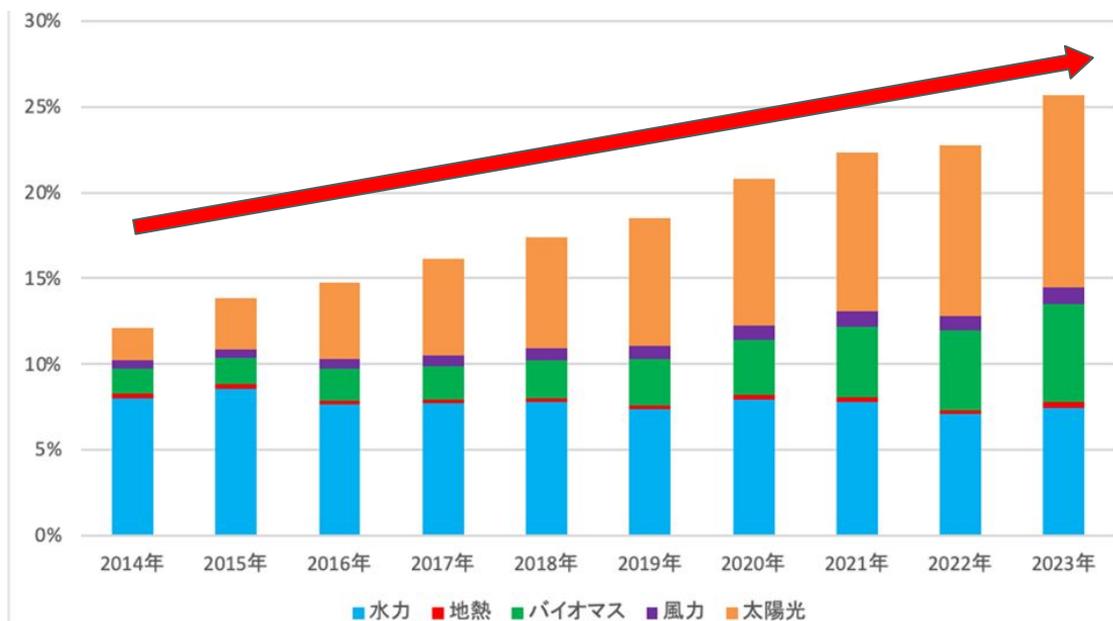
資源エネルギー庁「総合エネルギー統計」
を基に作成

☆原子力の穴埋め
→CO₂を排出しない
方法で

⇒水力・地熱などの
再生可能エネルギー

自然エネルギー電力の現状

図2 自然エネルギー電力の割合の変化
(環境エネルギー政策研究所)



太陽光発電は

自然エネルギーで
最も活用されている

かつ

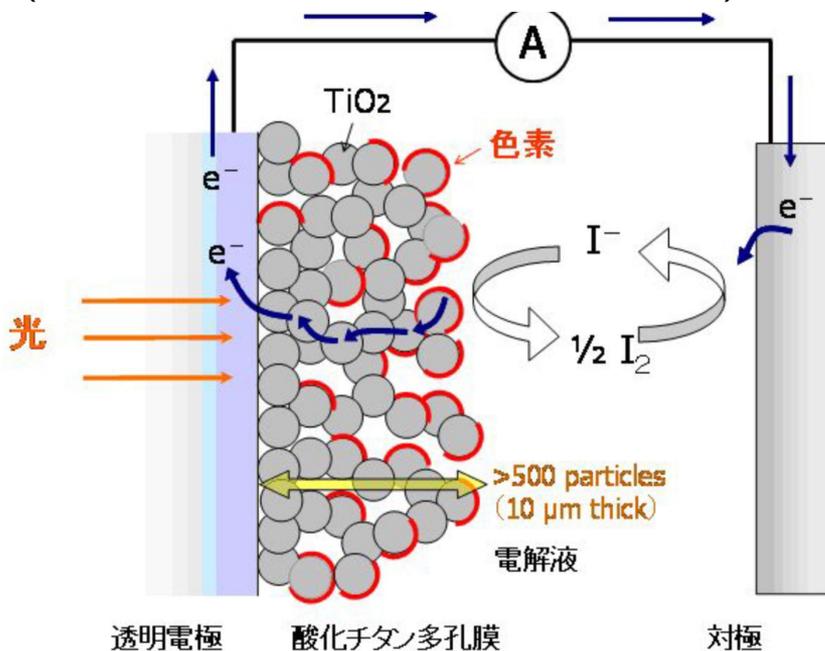
需要が
高まっている

色素増感太陽電池とは

室内光でも
発電可能！

↪ **色素** を用いた太陽電池

図3 色素増感太陽電池の仕組み
(ペクセル・テクノロジーズ株式会社)



1. 色素分子が**光**を吸収する。
2. 色素から電子が**放出**され、その電子が回路を移動する。
3. 対極に来た電子がヨウ素分子に渡され、ヨウ化物イオンになる。
4. ヨウ化物イオンが色素に電子を**渡す**。これを繰り返すことによって発電される。

従来の太陽光電池との比較

従来の太陽光電池		色素増感太陽電池
高い	コスト	安い
高い	エネルギー変換効率	低い
大きい	環境負荷	小さい

課題

製造時に環境負荷の高い
重金属が使われることが多い

比較的簡単で安価な材料

研究内容

研究意義

色素増感太陽電池：

従来の太陽電池以上に環境にやさしく、持続可能なエネルギー供給が可能

⇒色電の高効率化を目指すことで、環境を守りながら長期的な電力の供給を可能にする！

2050年の中核を担うエネルギーに

本校先輩方の研究

6期生：色素による発電効率の差について

青色が◎



7期生：視覚的な色と電圧の関係

アントシアニン色素が◎



8期生：色素の吸光度が電圧に与える影響

吸光度は電圧に無関係



・

・

・

研究概要

「色素液のpHを変化させ、発電量を測定する」

仮説：色素液のpHによって電力が変化し、酸性の方が高い

水素の解離に伴う負極の仕事関数の増加によって生じるエネルギー差が電子の移動を促進する

⇒水素イオン濃度が高い酸性の方が電子の移動が促進されるのではないか

研究概要

今回の実験では

先行研究から最も
発電量が多い色素

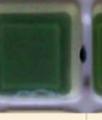
- ・ pHで色が変わる **アントシアニン**
- ・ pHによらず一定の色を示す **クロロフィル**、**ベタキサンチン**

を用いた

アントシアニンの
塩基性側の色

アントシアニンの
酸性側の色

図4 pHによるアントシアニンの色の変化
(Tall Bridge)

pH	1	2	3	4	5	6
Purple sweet potato						
						
pH	7	8	9	10	11	12

実験サイクル①

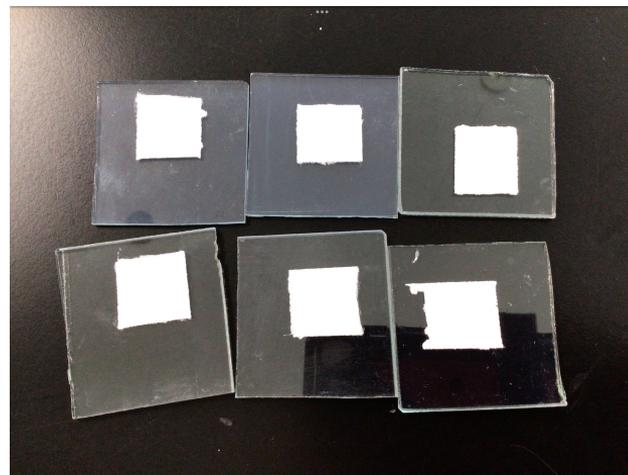
色素を吸着させるための

酸化チタン電極の作成

手順

1. 酸化チタンとポリエチレングリコールを1:1.3の割合で混ぜる
2. 作成したペーストをスキージ法によって2×2cmでガラスに塗り乾燥させる
3. マッフル炉にて450℃で90分加熱して焼成する

図5 焼成後の電極



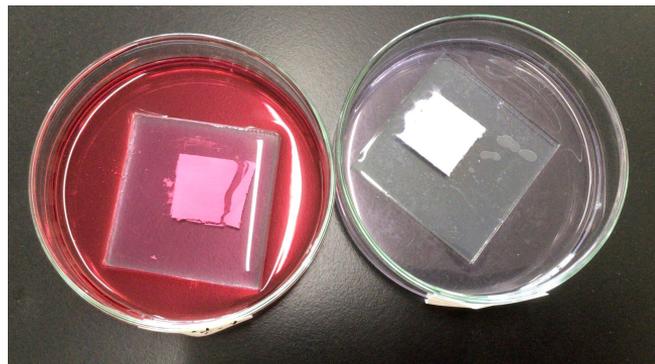
実験サイクル②

色素液の作成

手順

1. つぶした溶質に90%のアセトンを入れて色素を抽出する
2. 吸引ろ過機でろ過した後、熱水に当ててアセトンを蒸発させる
3. 抽出液のpHをHCl,NaOHで変化させる※
4. それぞれを酸化チタン電極に垂らして1日置く(図5)

図6 アントシアニン色素液の様子



左:0.1mol HCLを加えたpH1.53の色素液
右:純水を加えたpH6.4の色素液

※抽出液は純水、0.1molの溶液、0.01molの溶液をそれぞれ同量入れることで溶液の濃度を制御した。

実験サイクル③

発電量の計測

手順

1. 作成した酸化チタン電極にヨウ素液を垂らす
2. 炭素ペーストを塗布した電極と合わせて回路を作り、室内光※での10秒あたりの電圧と電流を計測し、電力を求める

図7 発電の様子



※光量を制御するため、太陽光より発電量は劣るが室内光を利用して実験した

実験結果

実験初期①

色素液を浸す時の衝撃で酸化チタン電極が割れてしまうことがよくあった

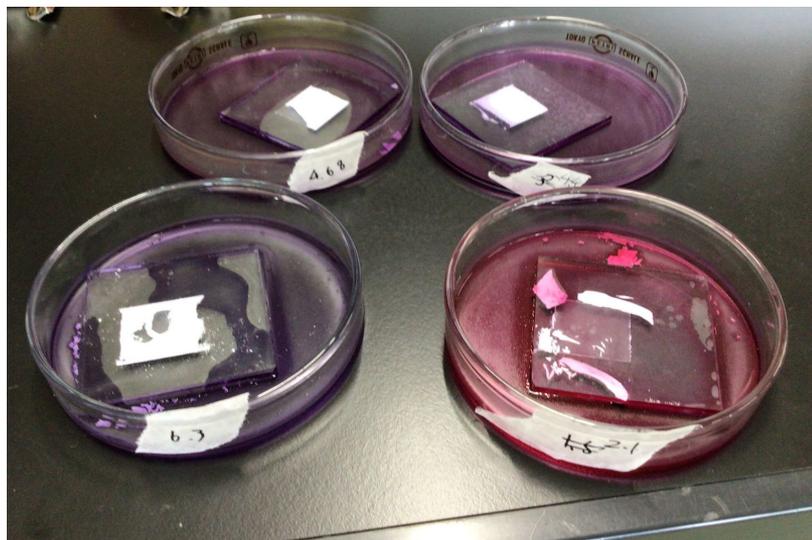
→先輩より、酸化チタンペースト内の液体の量が**少ない**と教わった

⇒酸化チタン:ポリエチレングリコール=1:1.3に

★ポリエチレングリコールの役割

ペーストの粘度を高める、酸化チタン膜の多孔性を付与する、ガラスとの付着強度を高める

図8 崩れた酸化チタン電極の様子



実験初期②

本当に紫キャベツのアントシアニン含有量が多いのか実証

→アントシアニンを含む複数の植物から色素を抽出

⇒紫キャベツが最も**最大電圧が高い**

★本校のアドバイザーからの意見

紫キャベツが一番アントシアニンの抽出がしやすく扱いやすい

6/21 14時 くもり26°C

色素液	最大電圧(mV)
紫キャベツ	426
赤バラ	371
赤しそ	11

表1 実験結果(6月21日)

実験結果

- ・発電量にばらつきがあり、pHとの相関が見られない
- ・発電量が0のデータがあり、電池がショートしている可能性

一般的なソーラーパネル：

同じ面積(2cmx2cm)で**27~40mW**

表2 実験結果(セルは色素液の色)

溶媒の濃度 [mol/L]	ベタキサンチン [μW]	クロロフィル [μW]	アントシアニン [μW]
0.1(HCl)	1.417×10^{-2} (pH2.07)	2.720×10^{-3} (pH2.88)	0.0432×10^{-3} (pH 2.49)
0.01(HCl)	0 (pH4.69)	5.986×10^{-3} (pH5.08)	0 (pH5.17)
0(純水)	6.960×10^{-3} (pH5.41)	1.293×10^{-3} (pH5.95)	4.586×10^{-3} (pH6.51)
0.1(NaOH)	0.1688 (pH11.38)	0.0045×10^{-3} (pH9.00)	32.10×10^{-3} (pH10.22)

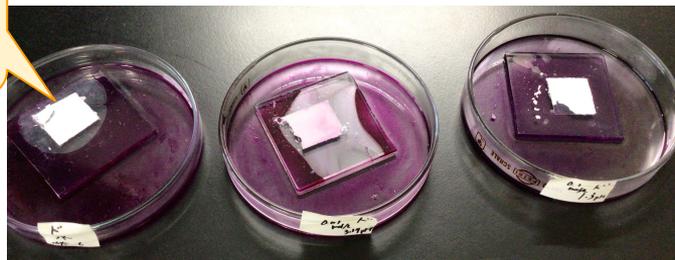
※10秒ごとに10回電圧と電流をはかった平均値
※太字は各色素液で最も発電量が大いもの

考察

考察

十分に色素が
吸着していない

図9 電極の様子



Key Word : 吸着現象

酸化チタンの電極では全ての色素が励起電子を電導帯に送るエネルギーを持つ (谷忠昭,1972)

→色素の吸着現象が発電量に影響を与える

十分に電極に色素が吸着していなければpHによる電子移動の相関を明らかにすることができないことから、実測値のばらつきが生じたのではないか。

⇒色素液のpHと発電量の相関を調べる前に、色素液が十分に吸着する電極を作る必要がある

実験手法の改善①

✓ 発電量が0のデータが多い

→電圧はあるが電流が0のデータが多かった。電池がショートしている可能性を踏まえ、**プラ板**などを用いて正極と負極が直接触れないようにする。

✓ 電極内の酸化チタンが少ない

→北海道教育大学の松浦先生からのご教授より、従来の方法では酸化チタン電極作成時のポリエチレングリコールの分子量が少なく(約400)、色素が十分に**吸着していない**ことがわかった。ポリエチレングリコールを**高分子**(20000程度)のもので少量にする、水の割合を増やして焼成時に**蒸発**するようにするなどの方法の改善が必要である。

図10 プラ板を用いた電極



実験手法の改善② (株式会社日立製作所様のご教授より)

✓色素の特性

色素によってスペクトルが異なる

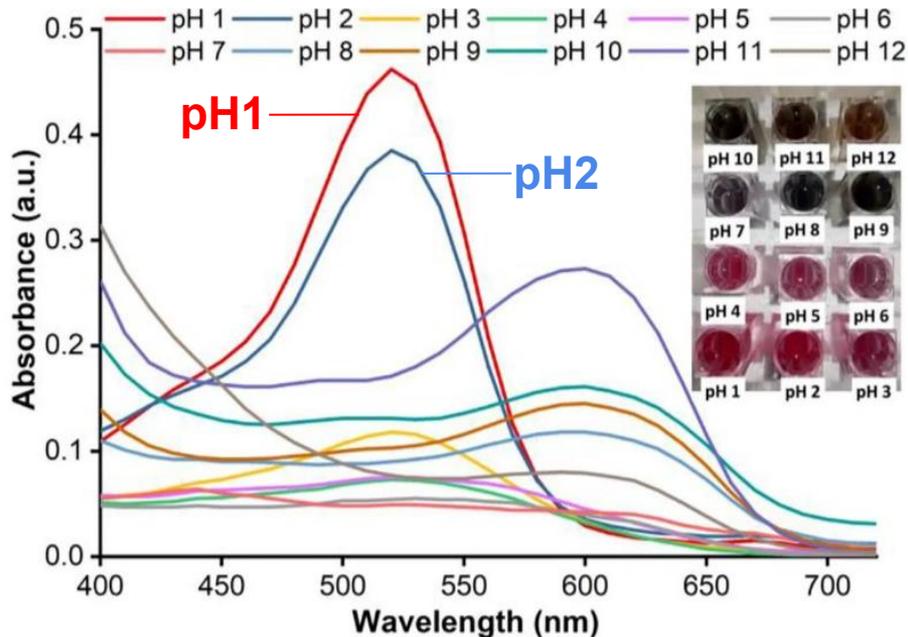
→一概に比較することは難しい

アントシアニンはpHで色が変化

色が変わる = **吸収スペクトル** が変わる

⇒ やはり pH が発電効率に影響

図11 アントシアニンの吸収スペクトル



実験手法の改善② (株式会社日立製作所様のご教授より)

図12 アントシアニンの吸収スペクトル

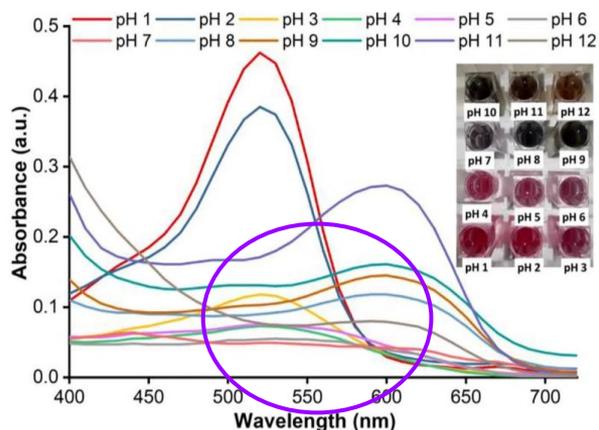


図13 クロロフィルの吸収スペクトル

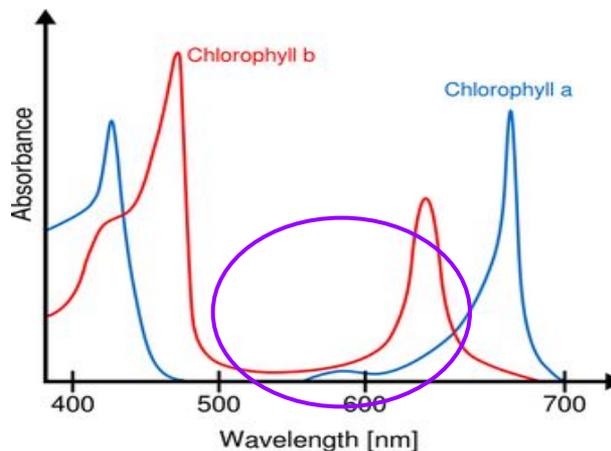
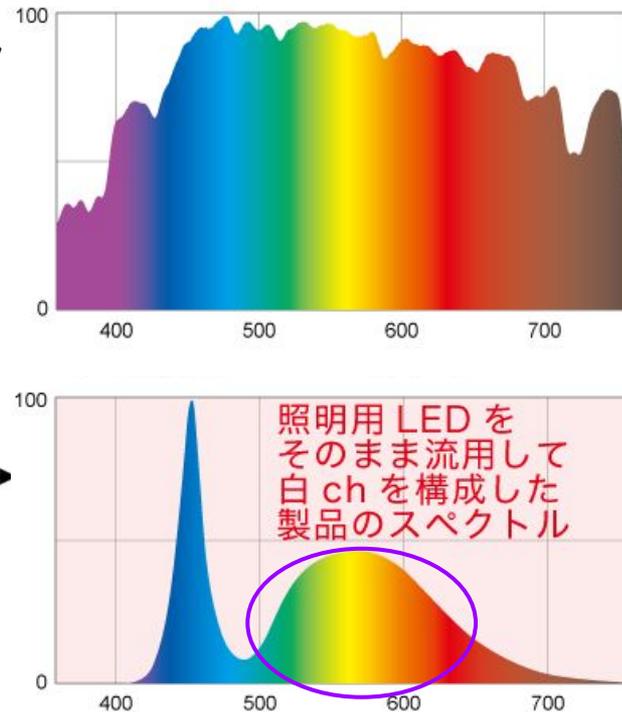


図14 太陽光(上)・一般白色LED(下)のスペクトル



全体的に見ると、アントシアニンの方が感度が高い

実用化に向けて

大阪研修の成果(11/22~11/23)



⇨PV EXPO見学(11/22)

製品化に向けた
企業の取り組み

実用化される太
陽光発電の実績



⇨イオンモールりんくう泉南



⇨大阪科学技術館

原子力に関する
基礎知識

実用化への見通し

PV EXPOにて、どのような場面で色電を使うかも考えてみてほしいとアドバイスをいただきました！

色電ならではの**アピール**が必要！

⇒ **室内で発電が可能**

便利で身近な発電

⇒ **デザインの多様性**

電池以外の物として活用

導入しやすさ

→CSRとして環境配慮へのアピールなど

図16 ソニー「Hana-Akari」試作品



活動の発信

12/1(日)第10回全国ユース環境活動発表大会北海道地方大会 **優秀賞**

12/6(金)コスモキッズセミナー(校内)

12/8(日)Ezo LEAPDAY E2LAB発表会

12/14(土)第13回 イオン エコワングランプリ

↓予定↓

2/1(土)探究チャレンジ・アジア

2/8(土)集まれ！理系女子 第16回 女子生徒による科学研究発表交流会

3/15(土)チカホプロジェクト

3/19(水)SSH・コスモプロジェクト研究成果報告会(校内)

頂いた講評(一部抜粋)

太陽光パネルの発電効率を上げるために取り組んだ技術開発をして、**高く評価**できます。研究成果の蓄積が進んでいるところであり、今後の成果の利用にも期待しています。

実験結果を学会等で発表し、**同分野の専門家からの助言**をもらおうと、研究がさらに進んでいくと感じました。

3年間の研究結果を基に、色素液のpHに着目してさまざまな実験を試行、実験結果の考察から新たな実験を考察して試すという**サイクルが素晴らしい**と思いました。

色素の吸光性とpHの関係に関する**興味深い実験**だと感じます。成果が出るまでには時間がかかりそうですが、**継続して頑張ってください**。

大きな目標に向かっていく途上にあると感じます。こういった点で環境負荷が少ないか、**資料内に明示**できるとより良いでしょう。

植物由来の天然色素で色素増感太陽電池を作成する試みは、環境負荷を考慮した新たな電池開発につながる可能性もあり**将来が楽しみ**な研究である。天然色素であるがゆえに再現性のある結果を得るのが困難で、作成した太陽電池の**性能を十分評価できなかつた**のは残念であるが、工夫を重ねることで、より信頼性の高いデータが得られると期待できる。

今後の展望

✓ 実験手法の改善

→色素がより**多く吸着する電極**を作成することで、色素液のpHと発電量の相関をもう一度確かめる。色素別に比較を行う。

✓ 色素の構造が吸着現象に与える影響

→酸化チタンからの色素脱離には**色素の構造**が関係する (岐阜大学,2023) ことから、色素の構造という観点からも酸化チタンへの吸着しやすさを明確にし、発電量との関係を確認する。

謝辞

研究にあたりご支援やご教授をしていただいた皆様に厚く御礼申し上げます。

日本原子力文化財団

株式会社日立製作所

一般社団法人Ezo Frog

電気事業連合会

北海道電力 広報部の皆様

北海道教育大学 教授 松浦俊彦先生

引用文献

- ・ 図1 日本原子力文化財団,(2024),原子力・エネルギー図面集 第1章 世界および日本のエネルギー情勢,Retrieved Dec.6th,2024 from https://www.ene100.jp/zumensyu_1
- ・ 図2 環境エネルギー政策研究所(2024),2023年の自然エネルギー電力の割合（暦年・速報）,Retrieved Dec.6th,2024 from <https://www.isep.or.jp/archives/library/14750>
- ・ 図3 ペクセル・テクノロジーズ株式会社(n.d.).色素増感太陽電池の仕組み. Retrieved Retrieved Oct,7,2024, from <http://www.peccell.com/shikiso.html>
- ・ 図4 Tall Bridge(2024),紫芋パウダーを使って酸性・アルカリ性の色変化を調べる～自宅でできる簡単な研究(FR-3.3),Retrieved Dec.6th,2024 from <https://tall-bridge.com/post-675/>
- ・ 図12 Idil Kit,Layla Nesrin Kahyaoglu,(2023),Colorimetric Sensing Films of Visible-Light Curable Furfuryl Gelatin for Visual Monitoring of Chicken Freshness,SPRINGER NATURE Link,Retrieved Dec.6th,2024 from <https://link.springer.com/article/10.1007/s11947-023-03152-8>
- ・ 図13 Angel Rubio(2015),The true color of chlorophyll,MAX PLANCK INSTITUTE,Retrieved Dec6th,2024 from <https://www.mpsd.mpg.de/17628/2015-04-chlorophyll-rubio>
- ・ 図14 CLUB blueharbor(n.d.),KR series,Retrieved Dec 6th,2024 from <https://www.blueharbor.co.jp/KR/KR90.html>
- ・ 図15 正藤 慶一(2008),ソニー、色素増感太陽電池を用いた照明器具「Hana-Akari」,Retrieved Dec 6th,2024 from <https://kaden.watch.impress.co.jp/cda/news/2008/12/11/3289.html>

参考文献

- ・電気新聞 (2021, Apr, 13) . 太陽光発電の大量導入に土地が足りない? 荒廃農地の活用や住宅設置義務化も効果は限定的. 電気新聞. Retrieved Oct, 7, 2024, from <https://www.denkishimbun.com/sp/119428>
- ・資源エネルギー庁 (2024, Jun, 13) . 再生可能エネルギーの導入状. 資源エネルギー庁. Retrieved Oct, 7, 2024, from https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/saisei_kano/pdf/063_s01_00.pdf
- ・昆野昭則(2013). 世界が待ち望む低コストで環境にやさしい太陽電池. Retrieved Oct, 7, 2024, from <https://yumenavi.info/vue/lecture.html?gnkcd=g006139>
- ・Peccell(n.d.), 色素増感太陽電池の仕組み, Retrieved Nov 11th, 2024 from <http://www.peccell.com/shikiso.html>
- ・福谷克之(n.d.), 個体表面におけるプロトンと電子の振る舞い, 東京大学生産技術研究所, Retrieved Nov 11th, 2024 from https://www.magnetics.jp/wp-content/uploads/63rd__abstract_fukutani.pdf
- ・静岡大学(2022), 電子線励起によるpH分布変化のイメージング, 静岡大学学術リポジトリ, Retrieved Nov. 11th, 2024 from <https://shizuoka.repo.nii.ac.jp/record/14110/files/K1198.pdf>
- ・谷忠昭(1972), 酸化チタンによる感光性色素の吸着と酸化チタンの光電効果の色素増加の機構の考察, 日本写真学会 誌, Retrieved Nov. 11th, 2024 from https://www.jstage.jst.go.jp/article/photogrst1964/35/3/35_3_155/_pdf
- ・高橋恭介ほか2名((1982), 酸化亜鉛の色素増感に関する研究(II), jstage, Retrieved Nov 11th, 2024 from https://www.jstage.jst.go.jp/article/photogrst1964/45/2/45_2_75/_pdf/-char/ja