

世界初!? バイカラー色素増感太陽電池研究で有機化合物の可能性を追求する



安田学園高等学校 3年生 ^{むらかみ} 村頭 龍斗 さん

推し化合物は「アセトン」、特技は有機化合物の「におい好き」。そんな有機化学をこよなく愛する安田学園高等学校 3年生の村頭龍斗さんが、2024年のサイエンスキャッスル東京・関東大会の口頭発表者に選出された。タイトルは「高温で性能の下がらない太陽電池 ～TPとRu色素のバイカラーの可能性～」。中高生らしい柔軟な発想と、中高生らしい深い知識と洞察力を組み合わせた電池研究の魅力に迫る。

愛する有機化合物は電池にもなる!?

中学2年生時にコロナ渦で家にいる時間が増えた村頭さんは、Youtubeで化学関連の動画にハマリ、高校入学後にはそのシンプルさと規則性から有機化学に魅了されたという。化学の授業後にアセトン談義に花を咲かせた相手こそが現在のサイエンスクラブ顧問の添田先生であり、これをきっかけに高校1年生の冬に入部を決意。そして先輩の研究テーマとして出会ったのが「色素増感太陽電池」だ。「自分の大好きな有機化合物は電池にもなるのか!」と、中学化学の知識で電池は無機化学のイメージがあった村頭さんは、その感動からすぐにこの研究にのめり込んだという。

電池は高温になると発電効率が落ちるのが通説で、この課題を解決しようと先輩が着目したのが熱で文字が消えるフリクションペンのインクだ。興味深いことに低温時よりも高温時のほうが電力を得ることに成功していたが、その値は非常に低かったという。しかしこの結果に可能性を見出した村頭さんはインクの色素に似た構造をもっていたフェノールフタレイン(以下、PP)とチモールフタレイン(以下、TP)に着目。実験してみると、仮説通りに低温時よりも高温時のほうが高く発電し、さらにその電力量もフリクションインクの数倍の値を得ることができた。

常識にとらわれず、試してみる

さらなる高性能化を目指して村頭さんが考えたことが、色素増感太陽電池で実際に使用されるルテニウム色素(以下、Ru色素)の高温帯の補完剤としてPPやTPが使えるのではないか、つまり色素の組み合わせで機能性の高い電池が作れないかということだった。始めは、色素同士を混合したり重ねて塗ったりしてみたが、うまくいかない。そして辿り着いたのが「バイカラー」つまりTiO₂を焼き付けた透明電極を2つの色素で塗り分けたのだ。「いろんな方法を試しても全く電力がでなかったのに、TPとRu色素のバイカラーの電池で電力計が振れた時は感動しましたね」と村頭さん。その後、きっと他の物質ではバイカラーの先行研究があるだろうと論文を調べたが出てこなかった。自分たちが世界初の研究をしているかもしれないという興奮が彼の研究熱をさらに高めている。

さらに村頭さんは熱くこう語る。「バイカラーで初めて電力が測

れたときと同じくらい興奮したのが、電解液なしでも電力が出た時なんです」。話をきくと、高温帯の実験をするために電池を置くホットプレートの温度を上げていく際、70℃以上では電池の電解液は蒸発しているはずなのに、たまに電流計の針が振れるときがあったのだという。まさかとは思いつつも、その電池を解体して電解液がないことを確認。再度組み立てて低い温度から実験をしてみると、なんと電力を観測することができたというのだ。「もしかしら、TPとRu色素を隣り合わせて塗ると、半導体のように電子の流れに向きができるのではと考えているんです!」と、興奮した様子で共同研究者の滝口喬平さんと話す目は希望に溢れている。

世界初をこの手でつくる、その日まで

目下の研究目標は、様々な割合でTPとRu色素のバイカラーの塗り分けを試すこと。また、他の物質のバイカラー電池の可能性も探っていくのだという村頭さん。しかし、彼の興味や探究心はとどまることを知らない。「TPの単体を結晶化して熱するとなぜか60℃付近でピンクになるんです。その理由も知りたいし、Ru色素の中心にある金属を有機化合物で代替できないかという妄想も持っています。また、いつかは未知の新規物質を自分で有機合成したいですね。」

有機化合物、そして化学を愛するこの次世代研究者たちが、世界を驚かす大発見をする日はそう遠くないかもしれない。

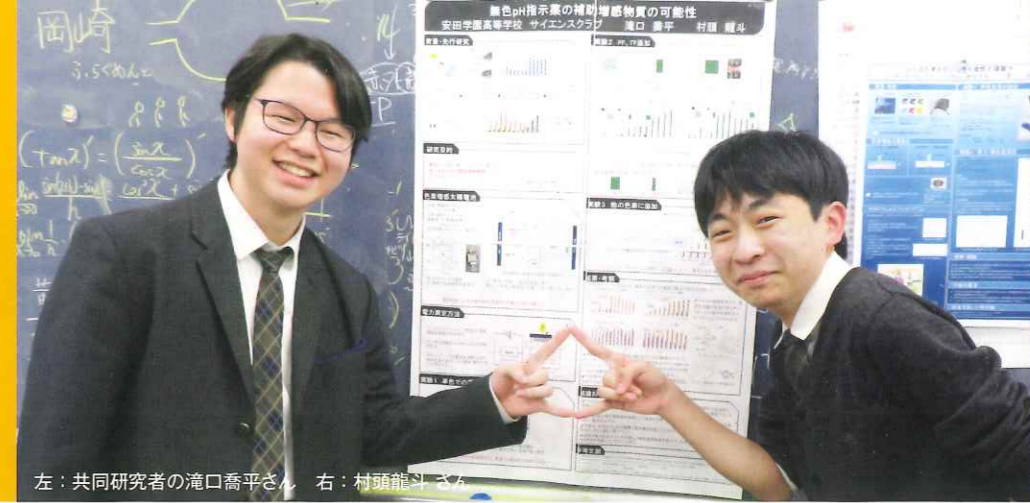
(文・河嶋 伊都子)



色素増感太陽電池に光をあてながら高温における電力を測定している様子

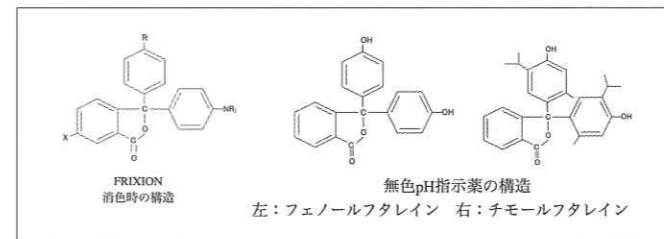
研究データ紹介

有機化合物を愛する村頭さんが着目したフリクションインクとPP・TPの構造や、バイカラーの太陽電池のデータをすこしご紹介。この研究の続きや考察については、ぜひサイエンスキャッスル2024 東京・関東大会の口頭発表をお楽しみに!

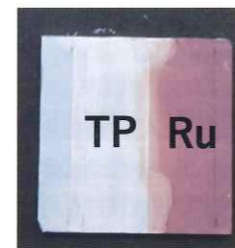


左: 共同研究者の滝口喬平さん 右: 村頭龍斗さん

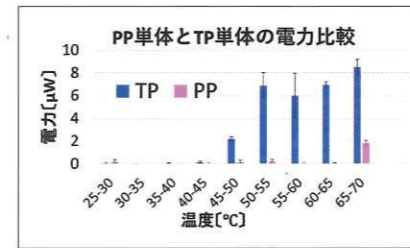
高温で性能の下がらない太陽電池 ～TPとRu色素のバイカラーの可能性～



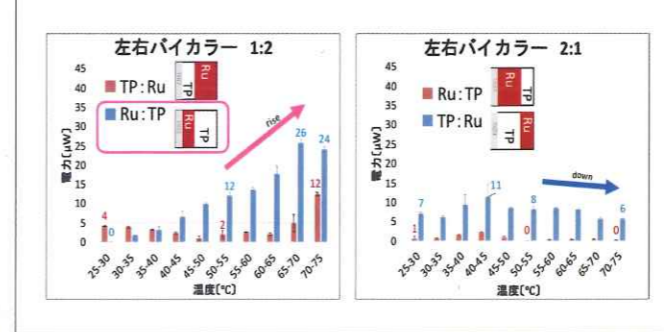
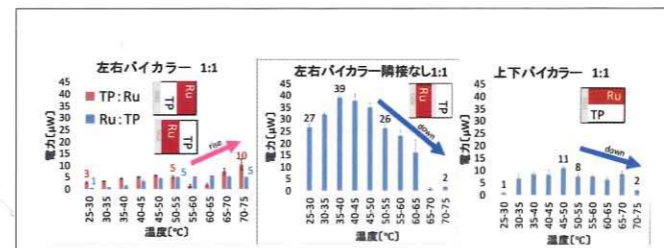
フリクションインクの色素の化学構造と、PP、TPの化学構造



作成したバイカラーの電極



実験1: PPとTPの単体を塗布した際の発電量



実験2: TPとRuをバイカラーに塗り分けした際の発電量

【目的】

pH指示薬であるチモールフタレインは、高温時の電力低下を防止する補助増感物質になるのか。通常の色素増感太陽電池に使用されているRu錯体の増感色素にTPを添加してその補助効果を調べる。

【方法】

- ① ホットプレート上に、作成した色素増感太陽電池をのせる。
- ② 一定の距離からキセノンランプを照射する。
- ③ ホットプレートで電池を加熱しながら、電池受光面の温度変化と電流・電圧の変化を測定する。

【色素増感太陽電池の材料】

- 材料負極: 導電性ガラス(5×25×25 mm)+TiO₂+色素
- 増感色素: Ru色素(N-3 RuL₂(NCS)₂(L=2,2'-bipyridyl-4,4'-dicarboxylic acid), Merck社)
 - 補助物質: チモールフタレイン
- 正極: 銅板(3×25×25mm) 電解液: ヨウ素電解液(Redox分子I⁻/I₃⁻)

【結果】

- 実験1: PPとTPの単体を塗布した際の発電量の比較
- PP、TP共に、高温域のほうが発電量が高いことがわかった。
 - PPよりもTPのほうが、高い発電量を示した。
- 実験2: TPとRuをバイカラーに塗り分けした際の発電量の比較
- RuとTPを左右のバイカラーに塗り分けることで高温でも電力が下がらないことが示された。
 - RuとTPの位置と、塗る面積の割合を変化させた時、電極に近い側から、Ru、TPの順に1:2の割合で塗り分けるときに最も高い発電量を示した。

【考察・展望】

- バイカラーにすることで高温域で電力の増加がみられたのは、TPとRuの間に半導体のような電子の流れが生まれたからではないか。
- 高温で電力を上げるための新しい補助増感物質を見つけ、将来的には色素増感太陽電池の弱点である熱さを克服していきたい。