



夢・化学-21

化学への招待 in 愛媛

2023愛媛大学オープンキャンパス体験実験

主催：日本化学会中国四国支部・愛媛大学理学部・工学部

日時・会場・スケジュール

工学部企画 令和5年8月9日(水) 会場：愛媛大学工学部
愛媛大学工学部工学科化学・生命科学コース

- 11:00～ 受付開始(「社会共創学部本館/総合研究棟 2」ロビー)
- 第1部11:20～13:30
- ①水を吸収する不思議な高分子
 - ②光により色が変わる化合物
 - ③ゲノムDNAを抽出してみよう
- 第2部13:30～15:40
- ①水を吸収する不思議な高分子
 - ④藍染めにチャレンジ
 - ⑤エレクトロクロミック表示素子を作ってみよう
 - ⑥タンパク質を分けてみよう

理学部企画 令和5年8月10日(木) 会場：愛媛大学理学部
愛媛大学理学部理学科化学コース

- 11:30～12:30 理学部オープンキャンパス、夢・化学-21受付(理学部講義棟1階)
(受付後、なんでも相談コーナー・理学部各コース・研究センター展示、サイエンスひめこ企画、休憩室を見学、利用できます。※12:30以降も、随時受付中です。)
- 12:30～13:10 理学部紹介、化学分野紹介
- 13:30～14:20 講義体験「私たちの生存をささえる光合成のしくみ」
(担当：准教授 杉浦美羽 先生)
- 13:30～14:20 体験実験1回目
実験①「発光性分子を合成してみよう」(担当：准教授 高瀬雅祥 先生)
実験②「ケミカルガーデン」(担当：特任講師 佐藤文哉 先生)
- 14:40～15:30 体験実験2回目
(実験①、②は、それぞれ2回行います。どちらかの実験に1回参加可能です。)

注1) 事前申込がない方は、参加できません。愛媛大学オープンキャンパスサイトから、工学部企画・理学部企画それぞれに申し込みが必要です。

注2) 実験では、化学薬品や測定機器を使用します。安全のため、体調が悪いときは無理をせず参加を見合わせ、気分が悪くなった場合はすぐに申し出てください。

8月9日(水) 工学部会場 実験の解説

1. 水を吸収する不思議な高分子

高分子化学研究室(担当 伊藤大道、下元浩晃)

工学部1号館 7階 703号室

紙おむつなどの原料として用いられている吸水性高分子を、化学反応を行って自分で合成してみます。そして、吸水性高分子が実際に水を吸う様子を観察します。吸水性高分子が大量の水を吸収できる原理について学びましょう。

2. 光により色が変わる化合物

分析化学研究室(担当 石橋千英)

工学部3号館 2階 210号室

光によって物質の色が変化する現象を「フォトクロミズム」といいます。この実験ではフォトクロミック分子で作ったインクを使って、光をあてると一瞬で浮かび上がった、消えたりする絵(スパイの手紙)を描いて、その反応について学びましょう。

3. ゲノムDNAを抽出してみよう

応用生物化学研究室(担当 山上龍太)

工学部3号館 4階 408号室

私たちヒトを含む全ての生き物は、「遺伝情報」を持っています。タンパク質は、この遺伝情報をもとに合成されます。遺伝情報は、細胞の中にあるゲノムDNA上に書き込まれています。この実験では、細胞からゲノムDNAを抽出して、その性質について学びましょう。

4. 藍染めにチャレンジ

反応有機化学研究室(担当 太田 英俊)

工学部1号館 6階 602号室

この実験では、ブルー jeans の染料である「インジゴ」と言う化合物を使って「藍染め」をします。白い布のあちこちを糸でくくって絞り染めにチャレンジ!! 結び方が模様の決め手。どんな模様ができるのでしょうか?

5. エレクトロクロミック表示素子を作ってみよう~えっ、固体の中をイオンが動く?~

無機材料化学研究室(担当 山浦弘之)

工学部3号館 1階 101号室

エレクトロクロミック材料は、乾電池などをつなぐことで色が変わる材料です。この材料の一種である酸化タングステン(VO₂)を溶液の状態から透明なガラス板の上に析出させて、実際に色が変わるかどうかを確かめます。

6. タンパク質を分けてみよう

化学工学研究室(担当 富川千恵)

工学部3号館 5階 509号室

動物や植物その他の生き物のからだの中では、数千から数万種類のタンパク質が、それぞれ、役割を持ってはたっています。鶏の卵白に、どんなタンパク質が含まれているのか、調べてみましょう。

1. 水を吸収する不思議な高分子

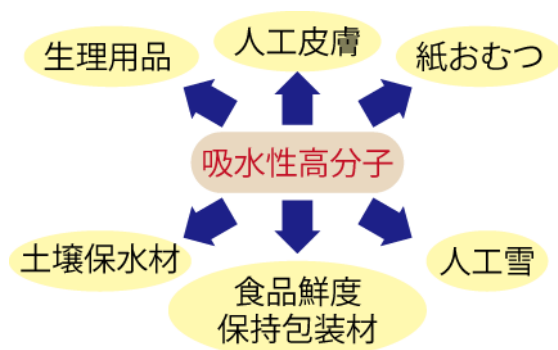
紙おむつの中に何が入っているか知っていますか？

紙おむつを開けてみると、その中から白い粒状の物質が出てきます。この物質がおしっこを吸収して逃がさないすごい物質です。それでは、この物質を合成して、水を吸わせる実験をやってみましょう。



その前に・・・。水を吸う物質の正体は？

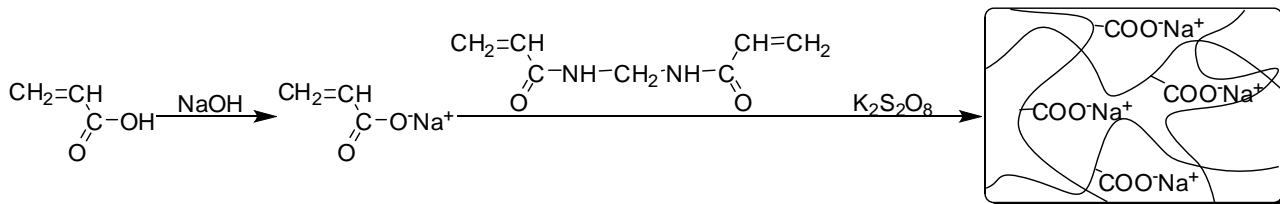
この水を吸う物質は**吸水性高分子**と呼ばれます。吸水性高分子は水に溶けることなく自重の数倍～1000倍の水を吸収し、保持する能力を持っています。綿、パルプ、スポンジなどと異なり圧力を加えても吸った水をほとんど離しません（実験3で確かめましょう）。



現在、吸水性高分子は紙おむつ以外にも食品の鮮度を保つ包装材、人工雪など多方面で使われています。また、土壤保水剤として砂漠の緑化にも一役かっています。

【実験1】吸水性高分子の合成

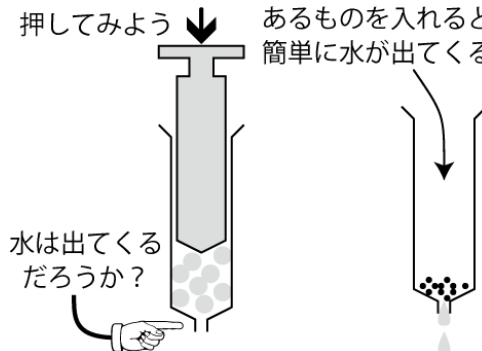
アクリル酸5gを三角フラスコにはかりとる。ここに水酸化ナトリウム水溶液（2.7g / 15mL）を温度が上昇しないように少しずつ滴下する。さらにN, N'-メチレンビスアクリルアミド（架橋剤）0.1gと過硫酸カリウム0.2gを加えてよく溶かす。60℃で30分間加熱した後、取り出して、生成した高分子をメタノールで洗浄する。



【実験2】水を吸収していく様子

3つのビーカーに吸水性高分子をそれぞれ1gずつはかりとる。ここに水、1%食塩水、10%食塩水をそれぞれ入れてかき混ぜた後、放置して、高分子の吸水量を比較する。

ここに水、1%食塩水、10%食塩水、1あるものを入れると簡単に水が出てくる



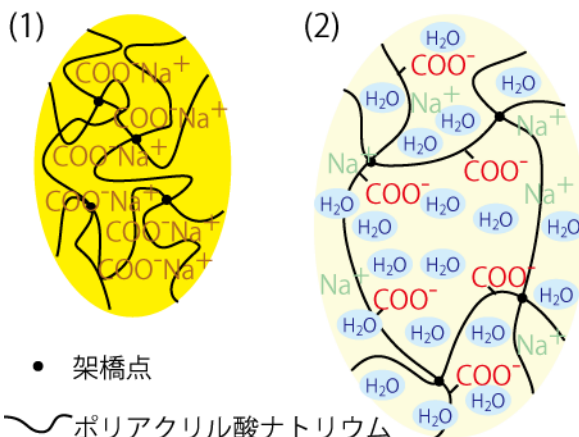
【実験3】吸水性高分子が吸った水を出してみよう

注射器の中に水を吸った吸水性高分子を入れ、ピストンを押して水が出てくるのかを確認する。また、圧力を加えなくても水を取り出す方法があるので、考えてやってみよう。

原理 吸水性高分子の分子構造は三次元の網目状になっていて、網目の中に水を取り込みます。

(1) 吸水性高分子の分子構造

この実験で合成したものはポリアクリル酸ナトリウムという長い鎖状の**高分子**がたくさん集まったもので、本来であれば水に溶ける物質です。しかし、ところどころでポリアクリル酸ナトリウムの鎖同士を結合（架橋）させて、お互いが離れていかないようにしています。



(2) 吸水のしくみ

吸水性高分子に水を接触させると、ポリアクリル酸ナトリウムは水に溶けていこうとします。しかし架橋しているので、鎖がバラバラになることはありません。水が入り込むことで、密集して縮まっていたポリアクリル酸ナトリウムの鎖が広がって網目が大きくなります。また、ポリアクリル酸ナトリウムと水分子との結びつきが強いために、吸水性高分子が水を保持する能力は高く、圧力をかけて水を出そうとしてもほとんど出てきません。

(3) 吸水量を決めるもの

吸水性高分子の膨らみを決めるのは主に①鎖の結合点間の距離、②高分子の親水性の強さ、③イオン同士の反発、④ゴム弾性、そして⑤浸透圧です。合成するときに加える架橋剤を減らすことで①を広げて、水を取り込む網目をある程度までは大きくすることができます。また、カルボン酸（ $-\text{COOH}$ ）をカルボン酸ナトリウム基（ $-\text{COO}^-\text{Na}^+$ ）にして親水性を向上させている②の作用と、これが電離してカルボキシラート（ $-\text{COO}^-$ ）になることで負電荷同士が反発して網目が広がる③の作用がはたらきます。これらはいずれも高分子鎖を引き伸ばす作用ですが、高分子鎖にはゴムひものように引き伸ばすと縮もうとする④の性質があるので、これらのバランスで網目の広がりが決まります。⑤の浸透圧とは、濃度の異なる溶液が接触したときに均一な濃度になるように溶媒（水）が移動する作用によるもので、溶液の濃度差を大きくすれば浸透圧を上げることができます。

2. 光により色が変わる化合物

【はじめに】

皆さんの身近に存在し、生活には欠かせない光、この光のエネルギーを使った様々な製品が私達の身の回りにあふれています。最近、よくテレビやラジオで耳にするキーワードとして、「光合成」、「太陽電池」、「光触媒」などがあります。どれも光のエネルギーを使って、物質に化学反応を起こさせて、別の物質に変えたり、別の形でエネルギーを取り出したりしています。その他にも、光のエネルギーによって材料の色を一瞬で変化させることができます。この現象のことを「**フォトクロミズム**」といい、フォトクロミズムを示す材料のことをフォトクロミック物質と呼ばれています。ここ数年、調光材料（サングラスや窓ガラス）、化粧品、印刷インク、玩具などにも使われ始めています。

今回の実験では、フォトクロミズムを示す有機化合物（ジアリールエテン誘導体、分子構造は図1を参照）を使って、光によって色が一瞬で着脱色する様子を観察してもらいます。またこれらの微結晶が光照射によってどのような変化をするのか、調べてもらいます。

【実験方法】

- ①ジアリールエテン誘導体の粉末10 mgをはかり取り、10 mLのサンプル瓶に入れる。そこにエタノール5 mLを加え、粉末を溶かす。
- ②調整した溶液にカメラのフラッシュランプの光を当てて色の変化を観察する（天気の良いければ、太陽光でもOK）
- ③調整した溶液を使って、ろ紙に文字や絵を描いて、スパイの手紙を書いてみる（図2）。カメラのフラッシュランプを当てて実際に手紙のやり取りを試してみる。
以下の④と⑤時間にゆとりがあれば、挑戦しましょう。
- ④調整した溶液をガラス基板上にパストゥールピペットで1滴滴下し、乾燥させ結晶を析出させる。このガラス基板の結晶にカメラのフラッシュランプを当ててフォトクロミズムを示すかどうか調べる。
- ⑤光学顕微鏡を用いて結晶を観察し、顕微鏡下で結晶に光を当ててみると、どう変化するか調べる。

【原理】

フォトクロミズムは、端的に「可逆的光誘起異性化反応」と言います。光照射によって、色の異なる2つ以上の異性体（分子量は等しいが、構造が異なる）間で結合の組み替えが起こる反応です。実験で使ったジアリールエテン誘導体は、主に2つの異性体（開環体と閉環体）を有します。どちらか一方の異性体に光を照射すると、6つの炭素間で化学結合の組み替えが起こります（図1、赤線で示した結合）。開環体は無色透明で、閉環体は可視光領域に色を持ちます。したがって、開環体に紫外光を照射すると、環が閉じる反応（閉環反応）が起こり、着色します。生成した閉環体（着色体）に可視光を照射すると、環が開く反応（開環反応）が起こり、元の開環体（無色透明）に戻ります。

ジアリールエテン誘導体は、開環体と閉環体の間で、色が異なるだけでなく、発光の有無、屈折率や電気伝導度などが異なっています。これらの光物性を光照射によって一瞬で変化させることができるので、光メモリーや光スイッチ、調光材料などへの応用が期待されています。さらに、ジアリールエテン誘導体は、固体中においても、フォトクロミズムを示し、光照射前後で結

晶の形状や形態も変化することも報告されています。これは、ジアリールエテン結晶が光エネルギーをそのまま力学的エネルギーに変化させるフォトアクチュエーターとして機能すること意味しています。

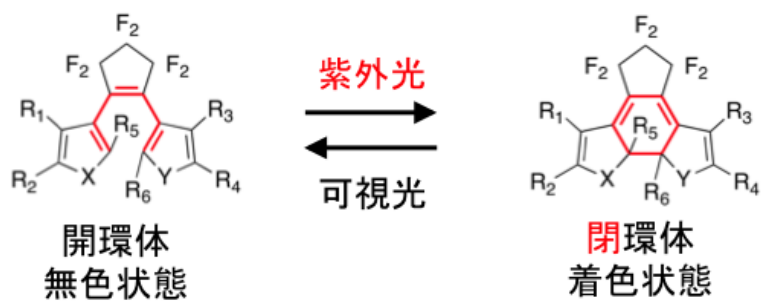


図1. ジアリールエテン誘導体の分子構造とフォトクロミック反応

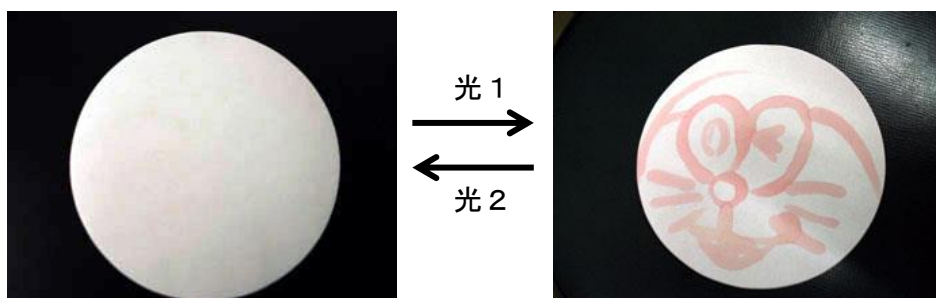


図2. ろ紙上に絵を描いて、光照射によって浮き上がらせたり、消したりした様子

3. ゲノムDNAを抽出してみよう

【実験の背景】

遺伝子は、私たちの体を構成するタンパク質の設計図（情報）です。ヒトをヒトたらしめる、あるいは、自分を自分たらしめる要因は、遺伝子のわずかな違いに由来しています。遺伝情報は、細胞の中にあるゲノム DNA という生体高分子の中に格納されています。ヒトを含む全ての生き物は、ゲノム DNA から必要な情報を RNA にコピーし、タンパク質へと変換したり、ゲノム DNA 自身を複製したり、あるいは、その制御を行なっています。この遺伝情報の流れを「セントラルドグマ」といいます（図 1）。遺伝情報は、正しいタイミング、正しい場所で正しく使われる必要があります。すなわち、セントラルドグマの制御は、全ての生き物にとって、とても重要です。事実、遺伝情報が突然変異によって狂ってしまい、その制御が失われると、がんなどの病気のきっかけとなります。



図 1 | 遺伝情報の流れ

ゲノム DNA は、細胞よりも小さいので、私たちが日常生活で目にする機会はありません。そこで、本実験では、ゲノム DNA の化学的性質を利用し、細胞からゲノム DNA を抽出してすることで、ゲノム DNA の存在を実感してみましよう。

【実験の原理】

本実験では、ブロッコリーからゲノム DNA を抽出してみます^{注1}。DNA は、塩基・糖・リン酸から構成されるヌクレオチドがつながった生体高分子です。今回は、エタノール沈殿という操作を行って、DNA を抽出してみましよう。

DNA のリン酸部分は、細胞の pH 条件下（すなわち、中性領域）では、負電荷を保持していません（次ページ：図 2 左）。したがって、細胞の中では、負電荷同士が反発し合うため、DNA の分子が無秩序に凝集することはありません。

そこで、塩化ナトリウムや酢酸ナトリウムのような塩を加えます。そうすると、ナトリウムイオンが持つ正電荷とリン酸部分の負電荷が静電的に相互作用し、DNA の負電荷を中和します（図 2 中）。この状態の DNA にエタノールを加えて、DNA の溶解度を落としてあげると、DNA の分子同士が凝集し、沈殿します。この操作を「エタノール沈殿」といいます。エタノール沈殿は、生物系の研究分野で日常的に使う実験操作です。

（注 1：今回は、ブロッコリーを用いて実験を行いますが、原理上、他の野菜でも同様に実験可能です。ただし、細胞の破碎しやすさ、夾雑物の多さ、ゲノム DNA の長さ・多さによって、ゲノム DNA の抽出効率は、野菜ごとに変わります。）

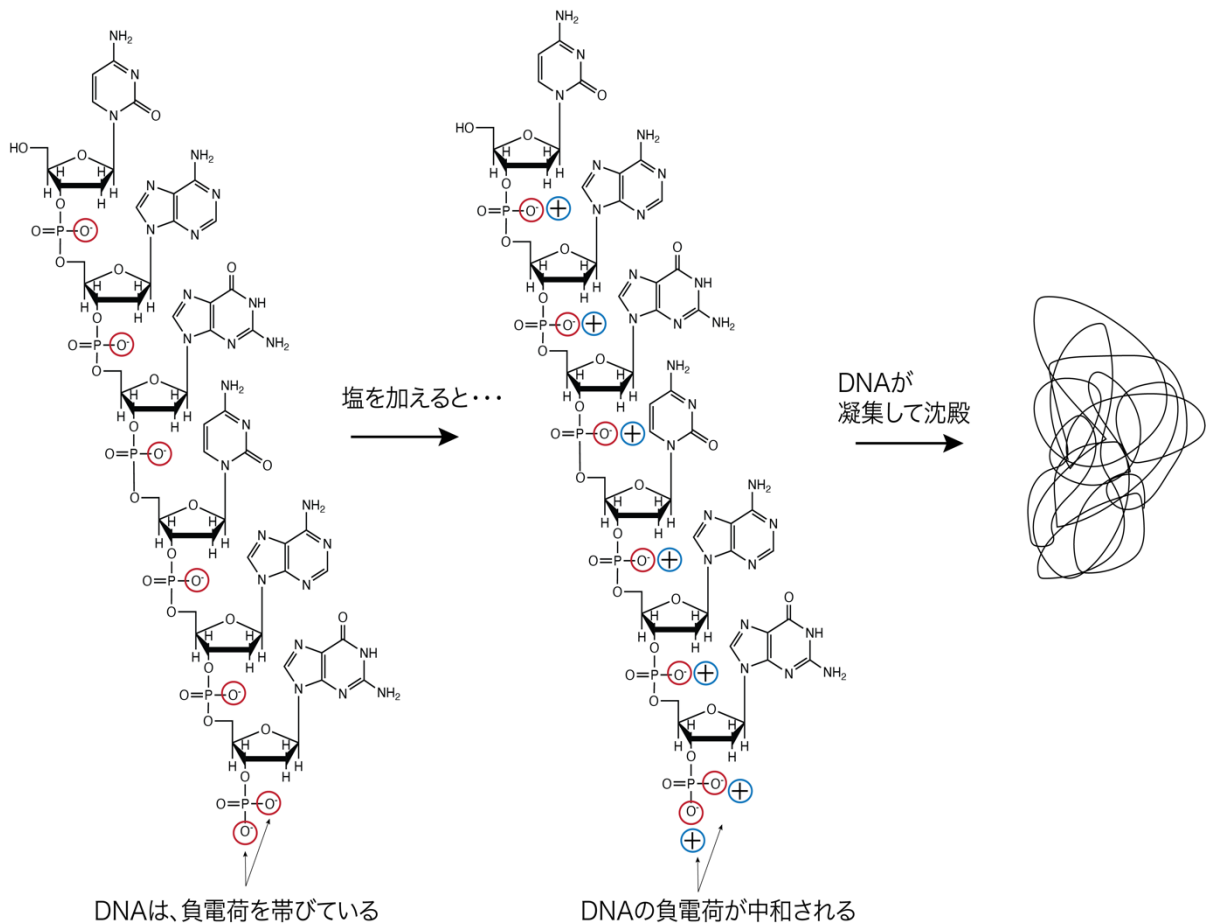


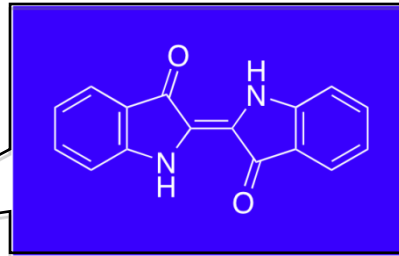
図2 | DNAの化学構造とエタノール沈殿の原理

【実験方法】

1. ブロccoliの蕾、乳鉢、エタノール、塩化ナトリウム、中性洗剤、ろ紙、核酸染色試薬を用意する。（必要な物は全て主催者側で用意します。）
2. 塩化ナトリウム 4 g に対して、50 mL の水を加える（溶液 A）。
3. 溶液 1 に数滴の中性洗剤を加える（溶液 B）。
4. ブロccoliの蕾を乳鉢に入れ、氷上で手早くすりつぶす。
5. 乳鉢に溶液 B を 10 mL 加え、静かにかき混ぜる（細胞抽出液）。
6. 細胞抽出液を濾過する。
7. 濾過した細胞抽出液をチューブに移す。
8. 濾過した細胞抽出液と等量のエタノールを静かに注ぐ。エタノール層と水層ができることを確認する。
9. エタノール層と水層の界面を割り箸でそっと混ぜる。白い繊維状のゲノム DNA を割り箸で巻き取る。
10. ろ紙にゲノム DNA をスポットし、乾燥させる。
11. ろ紙を核酸染色試薬に数分間ひたす。
12. その後、ろ紙を水に浸けて脱色する。
13. ゲノム DNA の染色を確認する。

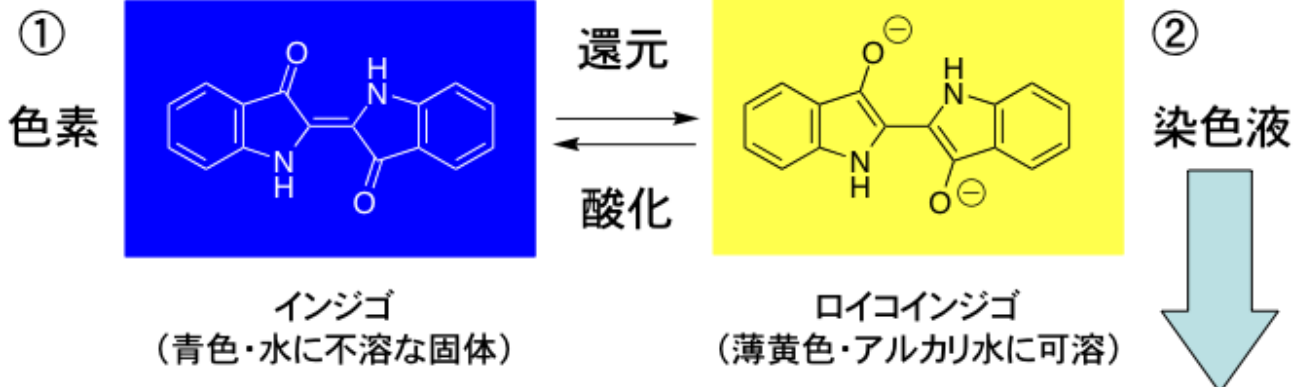
4. 藍染めにチャレンジ

皆さんが普段着ているブルージーンズの染料である**インジゴ**という化合物を使って、藍染めにチャレンジします。



これが藍色の正体
インジゴという色
素（有機化合物）
の構造式

インジゴで藍染め(絞り染め)ができる原理



③ 木綿布を染色液につけると...

溶けた色素が布に染み込む。

④ 染色液から取り出して空気にさらすと

⑤ 木綿布に染み込んだロイコインジゴが酸化されて水に溶けないインジゴに戻り藍色に染まる。吸着され水に溶けないので洗っても落ちない。

空気中の酸素

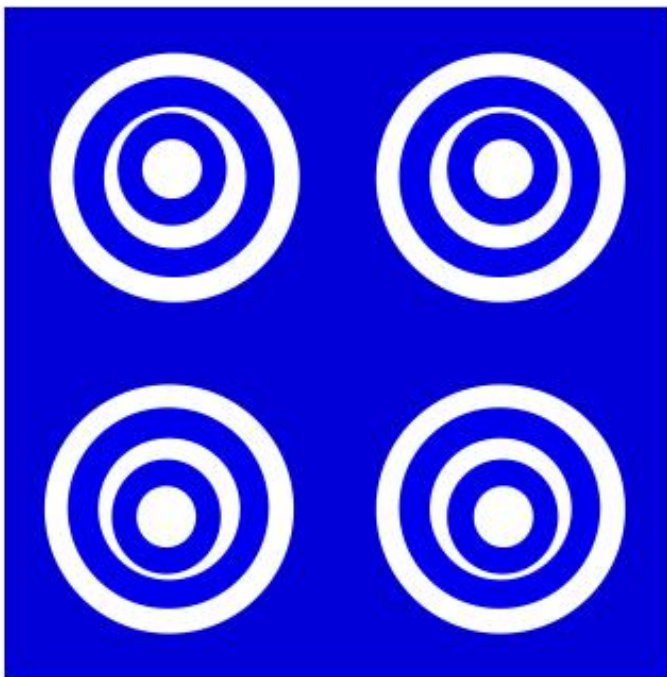
<原理の説明>

水に溶けない**インジゴ**は、アルカリ性水溶液中でヒドロサルファイトナトリウム ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$) で還元すると、水に溶ける黄色の**ロイコインジゴ**になります。

その溶液（染色液）に木綿の布を入れると、溶けた**ロイコインジゴ**が布繊維に染み込んでいき木綿繊維のセルロース中に水素結合で固定されます。布を染色液から取り出し、**空気にさらすと**空気中の酸素で酸化されて元の**インジゴ**に戻り、水に不溶になるので洗っても落ちません。

空気に触れないと酸化されずに水溶性の**ロイコインジゴ**のまま残り、後で洗い流されるので、タコ糸で縛って空気に触れない所を作っておくと白い部分が模様として残り、「絞り染め」ができます。

どうやって縛ったらどんな模様になるか、染め上がりを想像しながら縛ってみましょう。また染色後、色素が空気酸化される前に洗い流せるように、水洗しながらタコ糸をほどいて、すばやくよく洗い流してください。

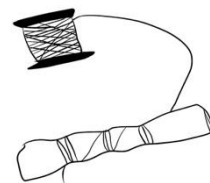


どんな模様ができるか想像しながら、布をしばってみよう

テレビなどで見たことがある諸君も多いと思いますが、このコーナーでは、皆さんがいつも着ているブルージーンズの染料のインジゴという化合物を使って、藍染めにチャレンジして頂きます。

手順その1

原理：インジゴは、還元されるとアルカリ水溶液に溶けます（黄色い溶液）。木綿をこの溶液に浸すとよく吸着されます。これを空気にさらすと、酸化されて元のインジゴ（藍色）に戻り、木綿に固着して残ります。たこ糸などで縛って染まり具合を観察して見て下さい。縛った所には染料が届かず、その部分だけ白くなり模様ができます。いろんな模様を作って楽しんでみて下さい。



実験の手順

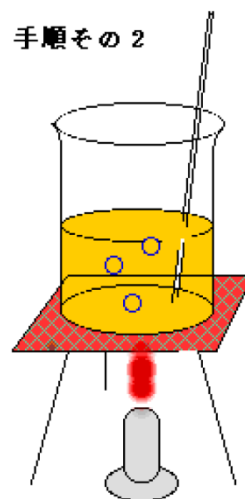
手順その1：木綿の布の準備

まず、できる模様を想像しながら、たこ糸で木綿の布をかたく縛って下さい。最後に、たこ糸の端30cm くらいを残し、端にビニールテープをつけて、名前を書いてください。

手順その2：染液作り

1) また、別の1Lのビーカー中に600mLの水を入れ、それに0.8gのインジゴを加えてください。次に2M NaOH水溶液100mLと3gの $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ を加えてガスバーナーで加熱して、沸騰させます。液が黄色になるまで様子を見ながら、さらに1gの $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ を追加して下さい。もしなかなか黄色にならなかつたら、2M NaOH水溶液を追加して下さい。

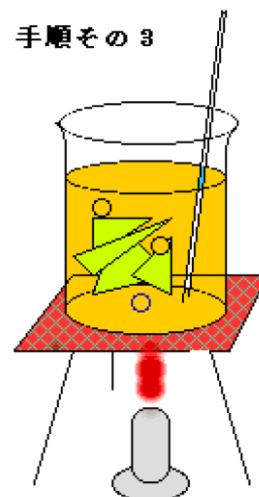
手順その2



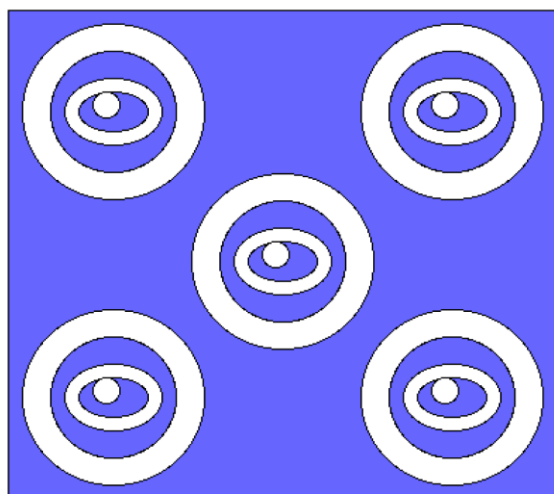
手順その3：染色過程

1) 得られた染液にたこ糸で縛った木綿の布を入れ、15分間穏やかにガスバーナーで加熱して、沸騰させます。
2) 布を引き上げて15分間たってから、水で洗い、広げて色の変化をみんなよく観察して見て下さい。

手順その3



完成図例



5. エレクトロクロミック表示素子を作ってみよう

～ えっ、固体の中をイオンが動く？ ～

表示素子にはどんなものがあるの？

私達の回りには情報を視覚的に伝達する手段として様々な仕組みがあります。広告の看板のように内容を固定しているものと、電光ニュースのように刻々情報を更新しながら伝達するものがあります。後者について考えてみる事にしましょう。それには、テレビジョンのブラウン管(CRT)に代表されるような発光型素子と、電卓の液晶表示に使われているような受光型素子があります。

発光型

発光ダイオード(LED)

エレクトロルミネッセンス(EL)

プラズマディスプレイ(PDP)

受光型

液晶ディスプレイ(LCD)

エレクトロクロミック表示素子(ECD)

電気泳動表示素子(EPID)

上記のうち、自らが発光して表示する発光型の素子には、常にエネルギーを供給して光(電磁波)を発生させる必要がありますが、受光型の素子では、周りの光を選択的に吸収あるいは反射して表示するので、エネルギーの消費(消費電力)を少なくする事ができます。その他、動作原理と様式によって、表示密度、寿命、信頼性、視認性、経済性、商品価値などにおいて長所と短所をそれぞれ持っています。

色がみえるとは？

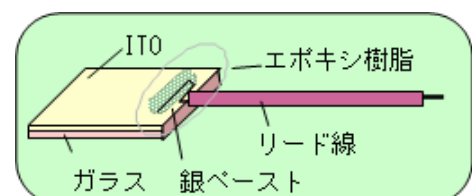
色が見えると云うのは、特定の波長の光が発生または選択吸収されることです。化学的に考えると、原子核の周りに存在する電子のエネルギー準位(レベル)は飛び飛びになって(量子化されて)います。高いエネルギー準位から低いエネルギー準位に移る時に電磁波を発生し、可視光の部分の色として見る事ができます(発光型)。電子のエネルギー準位を高くするには、電圧(電場)、高エネルギーの電子線紫外線などの波長が短い電磁波、熱などを加える事になります。また、適当な波長の光を照射すると低いエネルギーの電子が高いエネルギー準位に移る時に、光の吸収がおきます(受光型)。

ここでは、受光型素子である酸化タングステンを使ったエレクトロクロミック現象の実験を行ってみましょう。

実験手順

1. 透明電極(作用極)を準備しよう。

- (1) 透明導電ガラス(ITOガラス)を10 mm × 15 mmに切りま
す。
- (2) 超音波洗浄器を用い、アセトン及び蒸留水で洗浄して乾
かします。



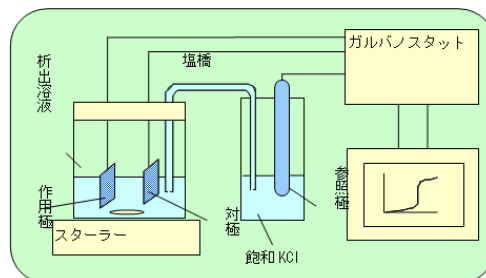
- (3) ガラスの上部に銀ペーストでリード線を固定し、乾燥させます。
- (4) リード線を固定した部分をエポキシ樹脂で覆い、乾燥させます。

2. 酸化タングステンの析出溶液を準備しよう。

- (1) 金属タングステン約1 gを過剰の過酸化水素水に溶解させ酸化タングステン溶液をつくります。
- (2) (1)の溶液に白金黒付き白金箔を浸し、過剰分の過酸化水素水を分解させます。
- (3) 蒸留水を加え100 mlにします。
- (4) 溶存酸素を取り除くために窒素ガスを溶液中に流します。

3. 表示素子をつくろう。

- (1) 右のような電析系を用い、透明電極に酸化タングステンの薄膜を析出(電流密度1.5 mA/cm²、5 min)させます。
- (2) 電析後、電極を蒸留水で洗浄し乾かします。
- (3) 硫酸(0.1 mol/l)溶液中に表示素子を浸し、定電圧装置を用い+1.5 V ~ -1.5 Vの電圧をかけて色の変化を観察しましょう。



このとき+側と-側で何がおこっているのか考えてみましょう。

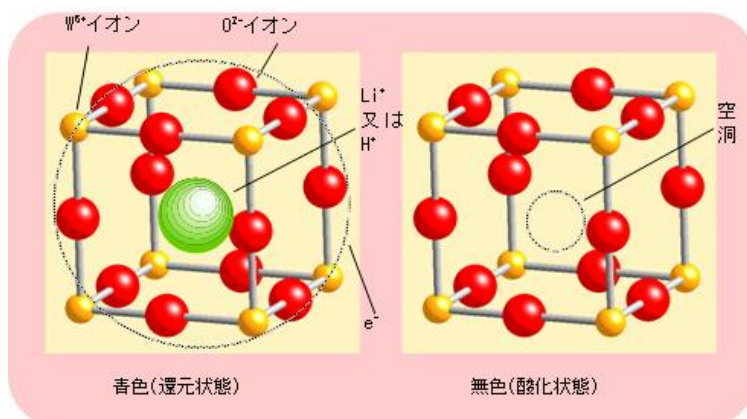
エレクトロクロミック現象って何?

エレクトロクロミック材料は電圧の印加により色変化を示す材料です。電極間に電圧を印加する事によりイオンと電子をエレクトロクロミック材料中に挿入、または材料から引き抜きが可能となります。材料を構成している遷移金属の原子価が変化することにより可視光領域の光を吸収し着色されたり、透明になったりします。

固体中をイオンが動けるの?

固体中の各元素の位置は固定されています。しかし、一部に格子欠陥(イオンが抜けている所)があると、そこを利用してイオンが移動して空気を埋める事があれば、新たな格子欠陥が生成する事になります。結果としてイオンが動くことができます。また、結晶格子中にトンネル構造を持つものや、層状の構造をもつ固体では、イオンが容易に動けます。このような結晶では、電圧を印加すると、結晶構造は変わらずに特定のイオンだけが移動します。

実験で用いた酸化タングステン中でもプロトンやリチウムイオンが動けるので、結晶の内部までイオンが出入することで、着色状態と消色状態を繰り返す事ができます。しかし、電圧をかけずに放置するとイオンは動かないので、着色や消色状態がそのままに保たれます。したがって、長時間同じ表示をする場合には都合がよいことになります。



6. タンパク質を分けてみよう

動物や植物その他の生き物のからだの中では、数千から数万種類のタンパク質が、それぞれ、役割を持ってはたらいています。鶏の卵白に、どんなタンパク質が含まれているのか、調べてみましょう。

【実験の概要】

- 1) 鶏の卵から卵白を取り出し、一部を保存します（試料 1）。
- 2) 残りの卵白のうち、半分程度の量を、100 ml の水の中に注ぎながら、よくかきまわします。白い沈殿物が生じます。
- 3) 溶液（試料 2）と沈殿物とをそれぞれ回収します。
- 4) 沈殿物を、できるだけ少量の食塩水に溶かします（試料 3）。
- 5) 試料 1, 2, 3 から、ほんの少しを使って、SDS-ポリアクリルアミドゲル電気泳動（SDS-PAGE）法で分析します。
(おそらく、他の実験よりも時間がかかります。当日、より詳細な実験手順を配布します。)

【原理と背景】

生き物の体の中には、たくさんの種類のタンパク質があります。大腸菌などのバクテリアの場合は数千種、ヒトの場合は数万種のタンパク質を持っています。

卵白には、たくさんの種類のタンパク質が含まれていますが、その中で含量が多いのは数種類です。いちばん多く含まれているタンパク質は水によく溶けます。一方で、2番目に多く含まれているタンパク質は食塩水にはよく溶けますが、塩分が少ない水にはあまり溶けません。ひとくちにタンパク質と言っても、タンパク質の種類によってそれぞれ性質が違います。

そのような、個々のタンパク質によって異なる性質を利用することで、タンパク質を分離することができます。この実験では、水に対する「溶解度」の違いによって分離していることになりませぬ。

そうやって得られた試料について、次に、SDS-PAGE法で分析することで、どんなタンパク質が含まれているか、調べます。このSDS-PAGE法というのは、高分子のゲルの中でタンパク質を分子の大きさの違いを利用して分離して、目で見えるようにする方法です。

図 1 は、実際にコムギ胚芽のタンパク質などをSDS-PAGE法で解析したときに得られたものです。コムギ胚芽（1,3）にはたくさんの種類のタンパク質が含まれています。その中から特殊な方法で分離して得られた試料（2,4）も一緒に分析しています。

こんなふうに、タンパク質を分けて単一の試料として得ると、そのタンパク質の性質を詳しく

M 1 2 3 4

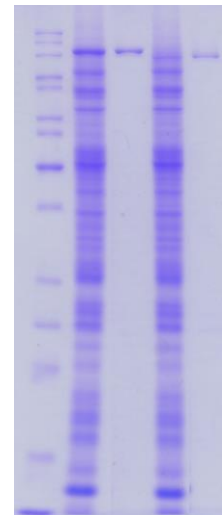


図 1. SDS-PAGEの例。M: 分子量マーカー、1: コムギ胚芽抽出液中でRNAリガーゼタンパク質を合成させた試料、2: 精製したRNAリガーゼ、3, 4: RNase Rタンパク質について1,2と同様に行った試料。

調べることができるようになります。図1の2のタンパク質は2種類のRNA分子をつなげる化学反応を触媒するはたらきを持っています。4のタンパク質は、RNA分子を壊すはたらきを持っています。生物の体の中には、他にも何千種、何万種のタンパク質があるわけですが、それらのはたらきをひとつひとつ調べることで、生物がどのようにできているか、理解が進むのです。

SDS-PAGE法では、タンパク質が電気力で引っ張られて、ポリアクリルアミド高分子のゲルの中を移動します。そのとき、同じ分子量（ここでは、タンパク質の大きさだと考えてください）を持つタンパク質なら、だいたい同じ位置まで動くのです。そのままではタンパク質は見えないのですが、青い色素の溶液に浸すと染まって見えるようになります。

ポリアクリルアミド高分子ゲルには、細かい網目構造があります。ですので、電気力で引っ張ると、大きなタンパク質ほど網に引っかかりやすいので、よりゆっくり動きます。SDSのはたらきで、どのタンパク質でも同じくらいの力でプラス極に引っ張られるようになるので、だいたい、分子の大きさに移動度が決まるのです。

つまり、SDS-PAGE法で、その試料に、どのくらいの大きさのタンパク質がどのくらいの濃度で含まれているか、がわかるのです。

SDSは、家庭用の洗剤として広く用いられている物質です。「ラウリル硫酸ナトリウム」というやつです。皆さんがふだん使っている食器用の洗剤とか、シャンプーとか、そういうものに含まれているかもしれませんから、成分表示をよく見てください。SDSは、タンパク質の大きさは変えませんが、タンパク質を壊してしまいます。ですから、たいいていのバイ菌に対して殺菌効果があります。

【実験】

[用意するもの]

鶏卵1個、純水、0.15 M NaCl水溶液、氷、ビーカー、ガラス棒、マイクロピペット（ピペットマン）、チップ、マイクロチューブ（エッペンチューブ）、遠心分離機、SDS-PAGE用電気泳動装置（すぐに開始できるように予めセットしておく）、サンプリングバッファー、染色液、タッパー、カメラ 等

[手順]

- (1) 鶏卵から卵白の部分を取り出します（試料1）。
- (2) 卵白の半分（残りは氷の上で保存しておく）を、100 mlの水の中に注ぎ、ガラス棒でよく攪拌します。このとき、白い固形物が出てきます。
- (3) 試料を遠沈管（2本）に移し、遠心分離機で、7000×g（注1）、4℃、5分間の条件で遠心分離します。固形物が沈殿します。
- (4) 上清をビーカーにあけます（試料2）。このとき、沈殿物は、遠沈管の底に貼りついて取れないはずですが、一方、底に貼りついた沈殿物から液体をできるだけよく除きます。そうしたうえで、沈殿物を、できるだけ少量（片方の遠沈管について2 ml程度）の0.15 M NaClに溶

かします（試料3）。

(5) 試料1～3を、それぞれ一部とって、電気泳動します。

(a) 次の通り、試料をマイクロチューブに取ります。

試料1：水で100倍に希釈して1 μ Lを取ります。

試料2：そのまま1 μ Lを取ります。

試料3：そのまま1～4 μ L程度取ります（量の異なる2通りの試料を作っても構いません）。

(b) 等容のサンプリングバッファーを加えます（試料が1 μ Lなら1 μ L，試料が4 μ Lなら4 μ L）。

(c) よく混ぜて、95°Cで3分間加熱します。

(d) 液体がマイクロチューブの底に集まるように、遠心機で軽く回します。

(e) 組み立ててある電気泳動装置のゲルの上端には、試料を載せるための穴ができています。この試料穴（ウェルと呼びます）を、周りの溶液を吹き付けて洗います。（注2）

(f) ウェルに試料を載せます。1つのウェルには1種の試料を全量載せましょう。

(g) 25 mAで40分間程度電気泳動します。

(h) 装置からゲルを取り出して、染色液に浸します。電子レンジを使ってタンパク質を青色に染めます。（注3）

(i) ゲルの写真を撮ります。よく観察しましょう。

（注1）重力の7000倍の遠心力がかかるように、という意味です。

（注2）溶液に指を浸したりしないでください。指のタンパク質が溶けだして、結果に影響が出てしまうことがあります。また、電気泳動中は、溶液には高電圧がかかっています。感電の危険がありますので、溶液を触らないように気をつけてください。

（注3）染色液は、タンパク質を染める試薬ですから、もし手で触れると、手が染まってしまいます。手袋を着用しましょう。

8月10日(木) 理学部会場 特別講義、実験の解説

1. 特別講義 「私たちの生存をささえる光合成のしくみ」

講演者： プロテオサイエンスセンター 生体超分子研究部門 准教授 杉浦美羽

場所： 理学部講義棟 3階 S31講義室

2. 実験①：発光性分子を合成してみよう

～鈴木-宮浦クロスカップリング反応をやってみよう～

担当： 有機化学研究室 准教授 高瀬雅祥

集合場所： 理学部本館 3階 324号室

実施場所： 総合研究棟1 7階(集合場所から引率)

3. 実験②：ケミカルガーデン ～水中で成長するカラフルな塔～

担当： 無機化学研究室 特任講師 佐藤文哉

集合・実施場所： 理学部本館 3階 321実験室

私たちの生存をささえる光合成のしくみ

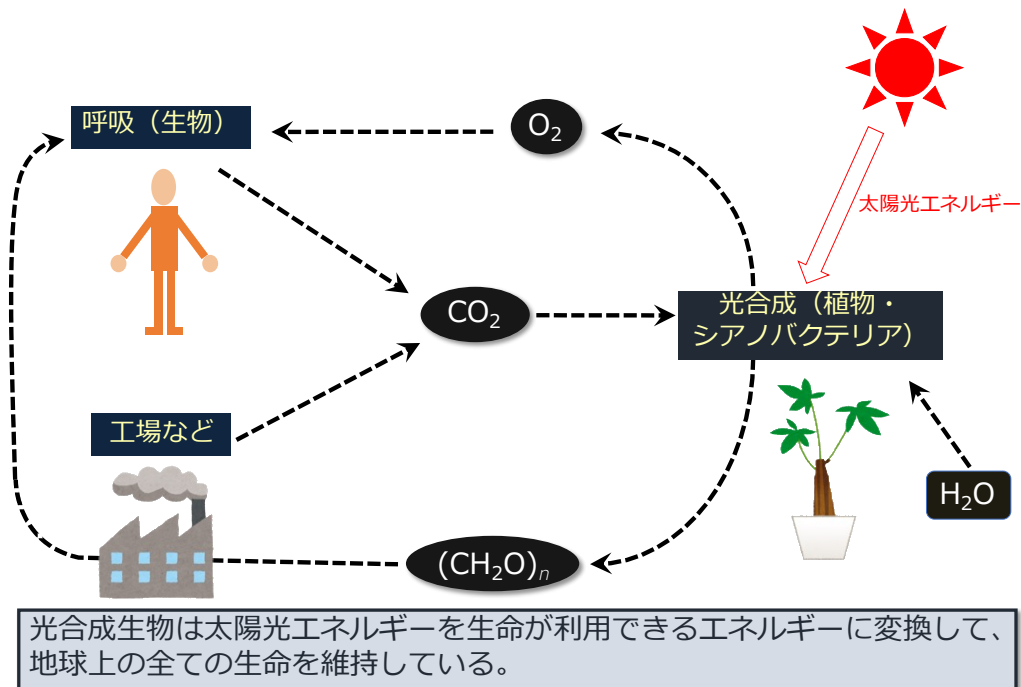
プロテオサイエンスセンター 生体超分子研究部門 杉浦 美羽

みなさんは植物などが行う「光合成」について耳にしたことがあると思いますが、一体どんな反応で、私たちにとってどういう存在かをご存知ですか？

私たちは太陽を浴びて暖かく感じたり気分が良くなることはあっても、太陽で生命は維持できません。しかし、植物などは太陽のエネルギーを私たちが使うことのできるものに変えてくれるため、私たちの生存を可能にしています。みなさんが日頃なにげなく吸っている酸素は全て植物などが光合成で作りましたもので、しかも、たった1つの酵素で作っています。しかし、「今日は酸素不足警報」なんて聞いたことがないでしょう？ 実は光合成の反応は、今のところ人工的に作った化合物では再現できないほど効率が高く、ものすごい勢いで私達に必要な酸素を作っています。

また最近では地球温暖化と再生可能エネルギーの観点から、カーボンニュートラルや脱炭素が社会的に重要な課題になっていますが、光合成は温暖化ガスの1つである二酸化炭素を取り込んで私たちの食料に変える重要な反応も行っています。

この講義では、私たちの生存をささえ、地球の環境維持にも大活躍の光合成のしくみについて化学、生物、工学の分野を横断してお話したいと思います。



実験① 発光性分子を合成してみよう

～鈴木-宮浦クロスカップリング反応をやってみよう～

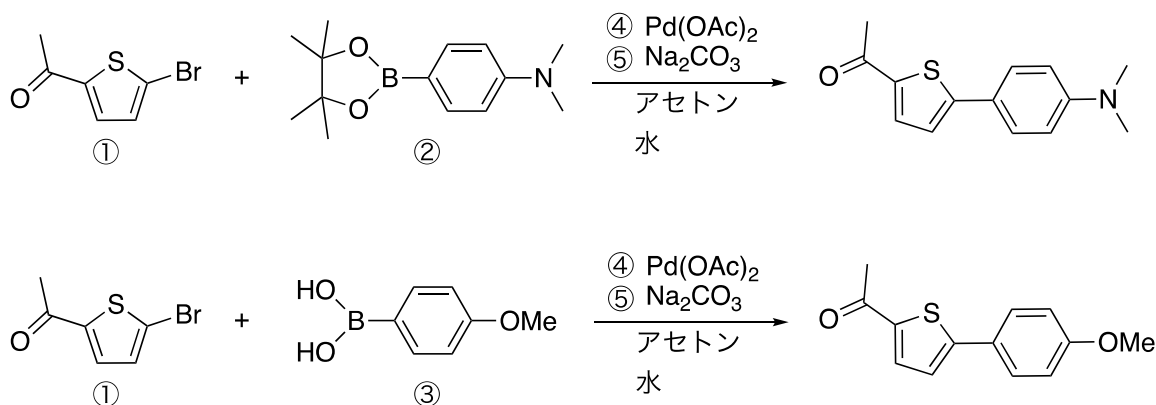
理学部（化学コース） 有機化学研究室

【はじめに】

私たちの身の回りには、多くの有機化合物であふれています。プラスチックから医薬品、洗剤や色素、香料から有機エレクトロニクス材料に至るまで、すべて有機化学産業の産物です。このように特殊な機能をつくり出すのが有機化学（化学）の醍醐味の一つです。

今回の体験実験では、発光する有機化合物（分子）の合成を行います。2010年にノーベル化学賞を受賞された北海道大学名誉教授 鈴木章先生が開発された「鈴木-宮浦クロスカップリング反応」を体験します。実際にこの反応は、液晶材料や医薬品など、身近な機能性分子の合成に広く使われています。パラジウムという触媒を使って反応を行い、無色透明の原料から蛍光を発する分子の合成を行います。さらに、反応後の溶液にヘキサンという有機溶媒を加えると蛍光色が変わる、「ソルバトクロミズム」を観測します。

【反応式】



【実験方法】

上段の反応

- 1) 準備されている①、②のアセトン溶液と⑤の水溶液をサンプル管に加え、攪拌する。
- 2) ブラックライトを照らして、蛍光がないことを確認する。
- 3) 上の溶液を攪拌しながら、④（パラジウム触媒）のアセトン溶液をゆっくり滴下する。
- 4) ブラックライトを照らして、徐々に現れる蛍光を観察する。
- 5) 上の溶液にヘキサンを加えて、蛍光色がどのように変化するかを観察する。

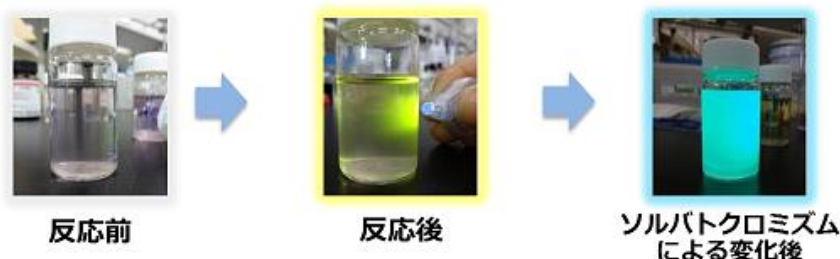
下段の反応

上と同様の手順で実験を行い、どのような違いが見られるか、観察する。

注：こちらに示した反応試薬類は、富士フィルム和光純薬（株）から「鈴木-宮浦クロスカップリング反応体験キット2」として市販されています。

【溶媒の極性変化による発光色の変化】

上段の反応式で得られる蛍光分子では、有機溶媒の極性が変わることで発光色が変わるので、確認してみよう。得られる化合物にブラックライト（354 nmの光）を照らして、蛍光を観察しま



す。

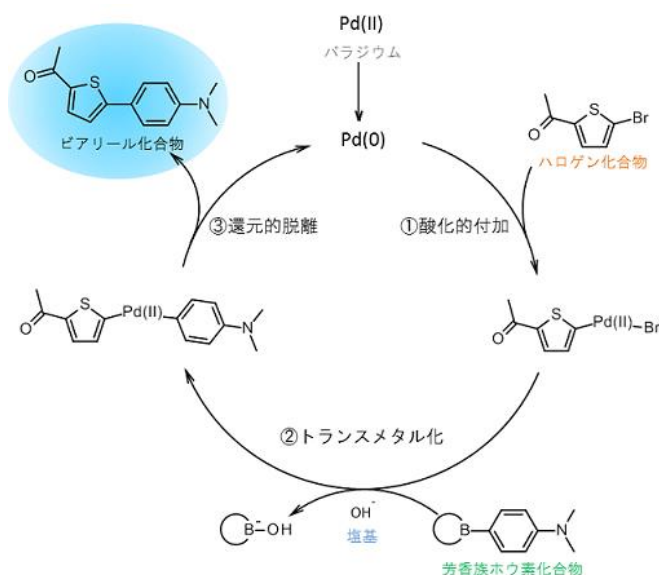
写真、富士フィルム和光純薬（株）HPより：

<https://labchem-wako.fujifilm.com/jp/product/detail/W01W0128-9058.html>

＜ソルバトクロミズム＞

ソルバトクロミズムとは、溶媒の極性の変化によって色（吸収や発光）が変わる現象です。今回、発光色が変わるのは、ブラックライトの光によって励起された分子が、極性を持つ溶媒分子と相互作用することで起こります。

【反応のメカニズム】



＜鈴木-宮浦クロスカップリング＞

鈴木-宮浦クロスカップリングは、炭素-炭素結合をパラジウム触媒を用いて効率良く結合する方法です。それまでのクロスカップリング方とは違って、反応性が低く安定なホウ素化合物を原料としている点が特徴で、医薬品や液晶、有機EL材料を合成する手法として、幅広く利用されています。

実験② ケミカルガーデン ～水中で成長するカラフルな塔～

無機化学研究室(担当 佐藤 文哉)
理学部本館 3階 321実験室

※数人のグループで実験を行います。

「目的」

無機化学研究室では触媒、吸着剤などに用いられる多孔性(ナノメートル～マイクロメートルサイズの穴がたくさん存在すること)シリカゲル SiO_2 の合成を行っています。今回はシリカゲルの原料である水ガラスの性質について調べてみましょう。まず、水ガラス中に沈殿した金属塩が、時間の経過とともにどのような成長をするのか観察します。続いて、塩酸を加えて、液状だった水ガラスが瞬時に固化する様子を観察します。

「器具・試薬」

- ◆ プラスチックカップ、薬さじ、ガラス棒、水ガラス(JIS3号) 約30g
- ◆ 塩化コバルト(Ⅱ)六水和物、塩化ニッケル(Ⅱ)六水和物、硫酸銅(Ⅱ)五水和物、塩化亜鉛(Ⅱ) 各薬さじ1～2杯程度
※ これ以外にも金属塩を用意してあります。
- ◆ 3mol/l 塩酸 約100 ml

「実験」

1. プラスチックカップに水ガラス 約30gを加え、水(洗瓶に入れてあります)で3～4倍に希釈します。ガラス棒でよくかき混ぜ、均一な溶液にします。
2. 水ガラス溶液に、塩化コバルト、塩化ニッケル、硫酸銅、塩化亜鉛を、それぞれ薬さじ1,2杯程度加えましょう。
3. 沈殿した各金属塩が、時間の経過とともにどのように変化するか観察しましょう。
4. 観察終了後、ケミカルガーデン成長後の水ガラス溶液をよく攪拌しながら、塩酸を少しずつ加えて、変化を観察しましょう。

「解説」

ケミカルガーデン成長のメカニズム

1. 水ガラスは、ケイ酸ナトリウム Na_2SiO_3 の水溶液であり、強アルカリ性を示します。一方、金属塩は、水に溶解すると酸性を示します。水ガラス溶液に加えられた金属塩は、表面から徐々に溶解し、水ガラスと中和反応します。
2. 水ガラスと金属塩が中和した部分は、中性に近い状態になっており、ゲル状のケイ酸 $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ の膜が生じます。
3. 金属塩から生じた金属イオンは、それぞれ特定の波長の光を吸収するため、特有の色を示します。

4. ケイ酸の膜には細かい孔が多数空いており、浸透圧*によって、水分子が侵入してきます。
5. 水が侵入すると、ケイ酸で囲まれた内部の圧力が高くなり、ケイ酸の膜を突き破ります。突き破ったところで、再び金属塩と水ガラスの中和反応が起こります。
6. 以上が繰り返され、ケイ酸が成長していきます。

水ガラス固化のメカニズム

水ガラスはアルカリ性条件下では溶液ですが、酸を加えることで酸性～中性になると急速にゲル化が起こり、ケイ酸を生じて固化します。ちなみにケイ酸を加熱するとシリカゲルになります。

「実験上の注意」

1. 水ガラスは強アルカリ性の溶液です。目に入ると角膜が侵されるので、貸与する安全眼鏡を装着してください。皮膚に着いた場合も、速やかに洗浄してください。
2. 金属塩は重大な水質汚染の原因となりますので、絶対に流しに流してはいけません。
3. 試薬・水ガラスをこぼした場合は、速やかにティッシュなどで拭き取ってください。

「注釈」

*浸透圧・・・濃さの異なる溶液を、水が通り抜けられるような膜（半透膜）で隔てると、薄い溶液から濃い溶液に水分子の移動が起こります(水が浸透します)。この時、濃い溶液は圧力を受けていることになり、この圧力を浸透圧と言います。本実験では、薄い溶液（水ガラス溶液）から濃い溶液（金属塩溶液）へ、半透膜（ケイ酸膜）を通して水分子が移動します。

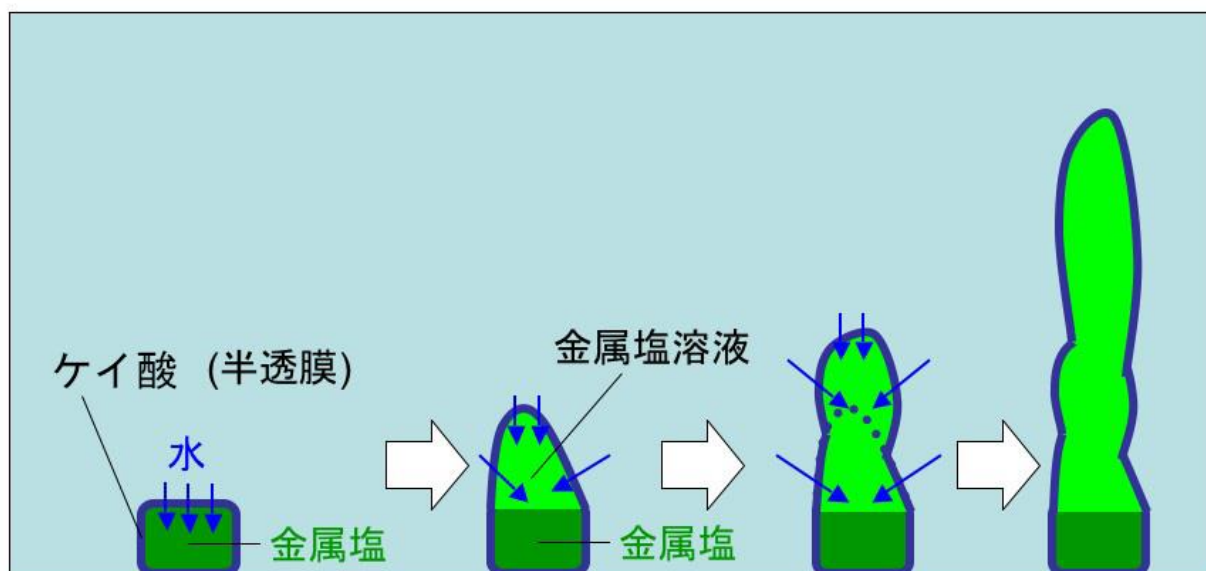


図 ケミカルガーデンの成長の模式図

キャンパスマップ



編集者

日本化学会中国四国支部愛媛地区幹事

〒790-8577 愛媛県松山市文京町3 愛媛大学大学院理工学研究科
 山浦 弘之

〒790-8577 愛媛県松山市文京町2-5 愛媛大学学術支援センター
 倉本 誠