



夢・化学-21

化学への招待 in 愛媛

2016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・愛媛大学工学部

日時・会場・スケジュール

理学部会場（第1日目）平成28年 8月 8日（月）10:00～16:00

愛媛大学理学部化学科・学術支援センター（物質化学部門）・沿岸環境化学研究センター

- | | |
|------------------------|--|
| 10:00～12:10 | 愛媛大学理学部オープンキャンパス, 夢・化学-21 参加受付
(理学部講義棟1階入口) |
| 10:15～11:10 | 在学生企画①「教えて、センパイ！」 |
| 12:10～12:30 | 理学部紹介・化学科紹介(理学部講義棟3F S32講義室) |
| 12:45～13:45 | 体験講義(理学部講義棟3F S32講義室) |
| 12:45～13:45 | 化学科体験実験 A (各実験指定の実験室) |
| 14:05～15:05 | 化学科体験実験 B (各実験指定の実験室) |
| 15:15～16:00 | 在学生企画②「センパイと語ろう！」 |
| (10:15～16:00
～16:00 | 随時 理学部講義棟1F:理学部ツアー, なんでも相談ほか)
アンケート回収, 解散 |

工学部会場(第2日目) 平成28年 8月 9日(火) 12:00～15:30

愛媛大学工学部応用化学科

- | | |
|-------------|---|
| 12:00～12:20 | 愛媛大学工学部オープンキャンパス, 夢・化学-21 参加受付
(共通教育講義棟C EL44講義室前) |
| 12:20～13:30 | 愛媛大学工学部オープンキャンパスプログラムに参加 |
| 13:30～15:30 | 体験実験または研究室見学 |
| 15:30～ | アンケート回収, 解散 |

注1) 体験実験の対象は高校生です。中学生(相当の年齢)以下の方は参加できません。保護者・高校教員は, 見学のみの参加となります。

注2) 自分の参加プログラム・時間帯は, 別紙のスケジュール表などで確認してください。

注3) 体験実験では, 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8日(月) 理学部会場 体験講義の解説

(理学部講義棟 3階 S31講義室)

有害物質による地球と生物の汚染を環境化学で解明

沿岸環境科学研究センター(CMES) 田辺信介



理学系の化学は、化学物質の合成やその構造・性質の解析といった基礎科学の習得が主流でしたが、最近では社会・行政・企業の要請に応える実学的な分野での躍進が注目されています。今回の講義では、その一端として環境化学という学問分野を紹介します。

化学物質の中でヒトや生態系にとって厄介なものは、毒性が強く、生体内に容易に侵入し、そこに長期間とどまる物質です。こうした性質をもつ化学物質の代表に、PCBs（ポリ塩化ビフェニール）やダイオキシン類などPOPs（残留性有機汚染物質）と呼ばれる生物蓄積性の有害物質があります。本講義ではPOPsに注目し、その汚染が地球規模で拡大したこと、発生源と到達点が異なり極域はたまり場として機能すること、海棲哺乳動物はPOPsの蓄積濃度が高くそのハイリスクアニマルであること、一方陸棲の哺乳動物はPOPs代謝物の高蓄積動物でありその影響が懸念されること、POPsによる海洋汚染は長期化しとくに有機臭素系難燃剤など新規POPsの動向が危惧されること、などについて解説します。



8月8日(月) 理学部会場 体験実験の解説

(集合場所 理学部講義棟 3階 S31講義室)

1. ルミノール反応 ～血痕の鑑識～：構造化学研究室(担当 垣内拓大)

理学部本館 3階 321号室

TVのサスペンスドラマで『ルミノール反応』という言葉を目にしたことはないでしょうか。事件や事故の現場で警察の鑑識が血痕の判定に使うことで有名なルミノール反応。このルミノール反応を実際に実験で起こし、発光する様子を観測しましょう。

2. 酵素の働き ～酵素ダイエットは効果ある?～：分析化学研究室(担当 島崎洋次)

総合研究棟 I 6階 669号室

私たちの体の中ではたくさんの化学反応が行われており、この化学反応は体の中にある酵素が触媒して穏やかな条件で進行しています。生体酵素による化学反応を全部分析して、生命活動の全体像を明らかにしようとする研究も盛んに行われています。この実験では、酵素ドリンク中に含まれる酵素を電気泳動で分け、その酵素によるエステルの分解反応を実際に目で見てみましょう。

3. 金属原子をひとつも使わずに金属を作ってみよう：固体物理化学研究室(担当 山本 貴)

理学部本館 3階 324号室

携帯電話やパソコンの部品に代表されるように、身の周りには金属を使った機械類が実にたくさんあります。金属特有の性質として、電気を流すという重要な役割があるからです。この性質は実は金属原子を使わなくても実現できます。それを皆さん自身で経験してみませんか。

4. 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 1階 124号室

水ガラス溶液に金属塩を入れると、底の方から徐々に成長していきます。それぞれの金属塩には特有の色があり、カラフルな塔が伸びているようにも見えます。実験の最後には、塩酸を加えることで、液状だった水ガラス溶液を、瞬時に固化させます。

1. ルミノール反応

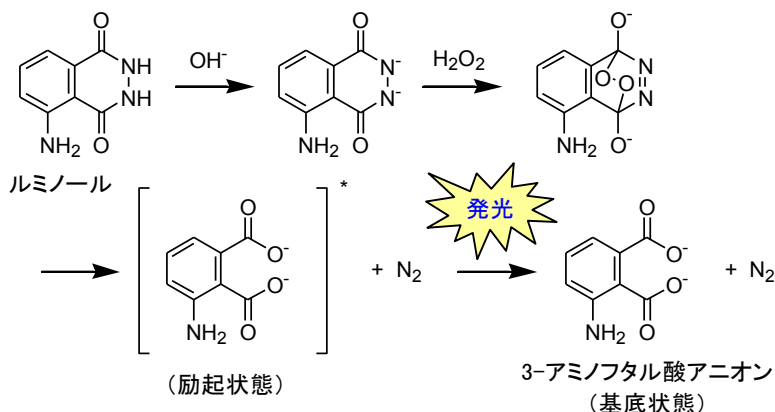
～血痕の鑑識～

(1) はじめに

TVのサスペンスドラマで『ルミノール反応』という言葉を目にしたことはないでしょうか。事件や事故の現場で警察の鑑識が血痕の判定に使うことで有名なルミノール反応。このルミノール反応を実際に実験で起こし、発光の様子を観測しましょう。

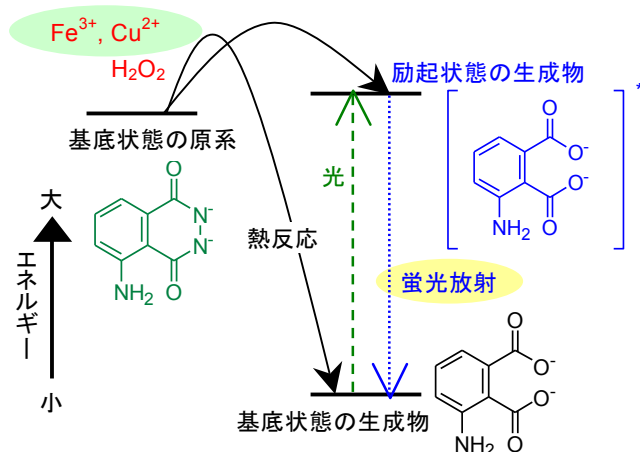
(2) ルミノール反応とその発光する原理

血痕と思われる痕跡にルミノール溶液を噴霧し暗所で観測すると、それが血痕であれば青い発光が見られます。インクや唾液・牛乳等では発光は起こりません。これがルミノール反応で、血痕とそれ以外の痕跡を区別するために利用されます。この発光現象は、右の化学反応式の通り、ルミノールが塩基性水溶液中で過酸化水素と反応し、3-アミノフタル酸アニオン（陰イオン）と窒素分子となる過程において起こります。血液中のヘモグロビン（鉄の錯体）がこの反応の触媒として働き、ごく微量の血液でも発光が観測されます。

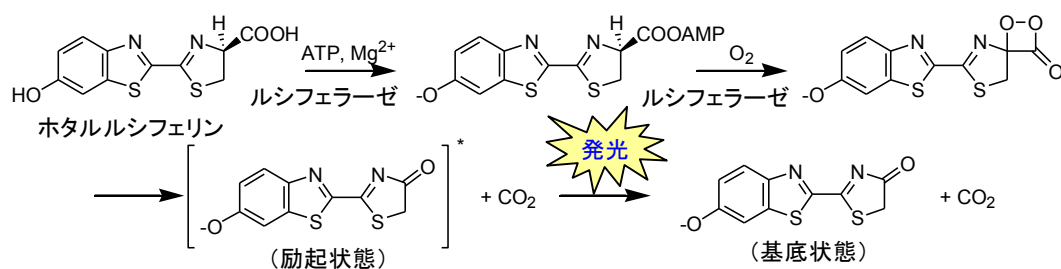


予備実験： 用意したルミノール溶液（ルミノール0.1 g、無水炭酸ナトリウム 5.0 g、30%過酸化水素水15.0 mL、イオン交換水100 mLの溶液）を血液抽出成分のヘミンを塗りつけた濾紙に加えて発光の様子を観測する。赤インクなどでも試してみる。

分子に熱や光を加えるなどの方法でエネルギーが与えられ、分子中の電子がエネルギーの高い状態になると、様々な活力（活性）を持つようになります。これを分子の「励起状態 (Excited state)」といいます。励起状態の分子は、より安定で低いエネルギーの状態：基底状態 (Ground state) に戻ります。このとき、分子は余剰なエネルギーを熱や光として外部に放出します。このような過程で放出される光が「分子の発光」として観測されるのです。発光を観測するためには、励起状態を何らかの方法で作る必要があります。例えば、光の照射（蛍光）や高温加熱（炎色反応）によって励起状態が生成され、発光が観測できます。ルミノール反応では、化学反应により励起状態の分子が生成し、発光を示します。このように、化学反应の結果として物質が自発的に発光する現象を「化学発光 (Chemiluminescence)」と呼びます。化学発光は生成した分子の励起状態からの発光なので、発光が終了した後の基底状態の分子に光を照射して再び励起状態を生成させると、化学発光と同様の「蛍光」が観測できます。

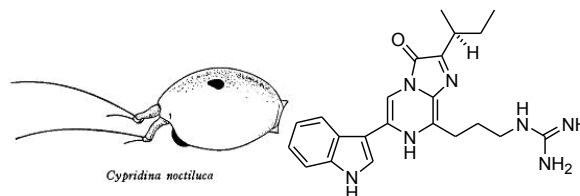


化学発光は、夜釣り用の浮き、縁日・コンサートなどで見かける発光体でも利用されています。これらの商品では長時間発光が持続するように工夫されています。（ケミカルライト、ケミホタルなど）蛍の光も化学発光の一つです。（生物発光とも呼びます。）ホタルは体内に持つホタルルシフェリンを酵素のルシフェラーゼを触媒としてATP（アデノシン三リン酸）を用いて発光させます。化学反応式は次の通りで、不安定な4員環構造の結合が切れて二酸化炭素と励起状態の分子が生成し発光します。他にもウミホタルやクラゲ・イカなどが化学発光により身体の一部を発光させることができます。



(3) 実験

実際に血液を使ったルミノール反応を行うには血液採取や標本が必要なので、安全性などの問題がありますから、ここでは血液の代わりとなる物質を用い、同じ原理で発光させる実験をしましょう。



ウミホタル(ミジンコ的一种)とウミホタルルシフェリン

① 実験中の注意事項

溶液や試薬には「かぶれ」を起こしやすいものがあるので、皮膚や衣服に付着したら速やかに水洗いして下さい。試薬を目に入れないように注意して下さい。実験手順や実験器具の使い方がよくわからないときには、遠慮せずに質問して下さい。実験後の溶液は廃液タンクに回収しますので、流しに捨てないようにして下さい。紫外線ランプの光を直接見たり、長時間皮膚に照射してはいけません。

② 用意するもの(*印の試薬は薬包紙にはかり取ってあります。)

50 mL ビーカー, 20 mL メスシリンダー, 駒込ピペット, ガラス棒, 小葉さじ, 紫外線ランプ

*炭酸ナトリウム (Na₂CO₃), *炭酸水素アンモニウム (NH₄HCO₃), *炭酸水素ナトリウム (NaHCO₃),

*硫酸銅 (CuSO₄), 30%過酸化水素水 (H₂O₂), ルミノール (C₈H₇N₃O₂), イオン交換水 (洗浄瓶)

③ 実験手順

- 溶液 A: メスシリンダーでイオン交換水 10 mL をはかり取り, 50 mL ビーカーに入れる。薬包紙に包んである炭酸ナトリウム (80 mg) をビーカーのイオン交換水に加えて溶解する。これに, ルミノールを小葉さじ 1 杯 (約 4 mg) 加えて溶解する。薬包紙に包んである炭酸水素アンモニウム (10 mg), 硫酸銅 (10 mg), 炭酸水素ナトリウム (0.5 g) を順に加え溶解する。全て溶解したらイオン交換水 10 mL を加える。
- 溶液 B: 駒込ピペットで 30%過酸化水素水 0.5 ~ 1.0 mL を 20 mL メスシリンダーに取り, イオン交換水を加えて全量を 20 mL にする。
- 溶液 A, B の準備ができれば, 指示があるまで待つ。
- 部屋を暗くしてから, 溶液 B を溶液 A に少しずつ加えると化学発光が観測される。
- 発光が終了した溶液を少量濾紙につけ, 紫外線ランプで照らし蛍光を観測する。

④ 後かたづけ

実験が終了したら, 溶液を廃液タンクに回収し, 使用した実験器具をイオン交換水でよく洗浄する。

(4) 質問と課題: 帰宅したら次の課題について考えてみましょう。

- ① ルミノール反応での過酸化水素の役割は?
- ② この実験で用いた硫酸銅の役割は?
- ③ この実験で用いた炭酸水素アンモニウム, 炭酸水素ナトリウムの役割は?
- ④ 光・熱・化学発光以外で分子を発光させる方法は?
- ⑤ インターネットなどで, 「化学発光」「生物発光」「ルミノール」などをキーワードに検索し, より詳しい情報を手に入れる。また, ルミノール反応以外の化学発光について, 化学反応式を調べてみる。
- ⑥ 商品の化学発光が長時間持続する仕組みについて考えてみる。
- ⑦ 青い鳥や赤いポストがそのような色に見える理由は? 空が青く見える理由は?

(5) 参考図書と謝辞

ここで説明した実験法は, 下記の図書等を参考としており, 新居浜西高等学校の宇都宮生教諭及び丹原高等学校の菅野由紀子教諭をはじめとする化学教科担当の先生方のチェックを頂きました。

(1993年) ここに感謝の意を表します。

「光機能分子の化学」(講談社サイエンティフィック), 「化学実験虎の巻」(丸善), 「実験による化学への招待」(丸善), 「続実験による化学への招待」(丸善), 「分子の世界」(化学同人)

2. 酵素の働き

～酵素ダイエットは効果ある？～

はじめに

私たちの体の中ではたくさんの化学反応が行われており、この化学反応は体の中にある酵素が触媒して穏やかな条件で進行しています。酵素は生体内に数千種類以上ともいわれています。健康ドリンクの1つとして知られる酵素ドリンクにも種々の酵素が含まれて、摂取することにより体の健康維持を助けると言われています。その中に含まれるエステラーゼという酵素は、脂質などのエステル結合をもつ分子を基質とし、このエステル結合の加水分解を触媒します。また、体の中に多種多様に存在している酵素を分析する方法の1つにゲル電気泳動法があります。下に示す図のように、電気泳動法で分けられたエステラーゼに酢酸ナフチルを加えると、酢酸ナフチル内のエステル結合が切れて、ナフトールを生成し、生成したナフトールと発色団であるファーストレッドが反応してジアゾニウム塩を形成し、赤色に染色されます。つまり、エステラーゼにより物質が分解されると赤色を呈します。

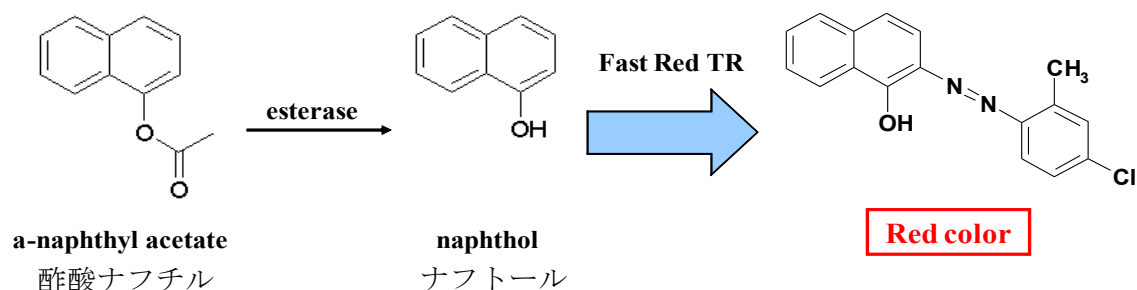


図 エステラーゼ活性染色原理

電気泳動法の原理

電気泳動というのは、正や負の電荷を持った分子が水溶液にあるとき、この水溶液のなかに陽極と陰極の電極を差し込んで直流の電圧をかけると、電荷をもった分子がその電荷の符号と反対の電極の方向に移動する現象のことです。このとき、イオンなら何でも動くのですが、多くの酵素はタンパク質であり、互いに性質がよく似ているので、水溶液の中ではほとんど同じ速度で動いてしまいます。そこで、水を含んだゲルのなかで電気泳動することがあり、これをゲル電気泳動と呼んでいます。ゲルというのは、寒天やゼリーもそうですが、分子のレベルでみると、非常に長い高分子がからみあってできたものですから、タンパク質はこの中を通るときに抵抗を受け、分子のサイズが小さいものほど早く移動し、大きいものほど遅く移動することになります。

実験のあらすじ

今日は、以下の順序で酵素ドリンク中の酵素の電気泳動をおこない、この酵素による加水分解反応を目で見てみましょう。本当に酵素ドリンクには酵素があり、働いているのでしょうか？実験中は保護眼鏡と手袋を着用して下さい。

1 ポリアクリルアミドゲル（円筒型）の作製

あらかじめ用意された溶液を混合して、ガラス管の中に入れ、10分くらいおいておくと、ガラス管の中に透明なゲルができます。これは、ポリアクリルアミドゲルと呼ばれるもので、アクリルアミドと呼ばれる分子が重合してできた高分子の網目です。ゲルには、緩衝液と呼ばれる、pHを一定に保つための液が含まれています。

2 電気泳動

電気泳動の装置に、1で作ったゲルをガラス管ごと固定し、ゲルの上に酵素液試料を静かに重層します。電圧をかけて、負の電荷をもった酵素や目印の色素であるブロモフェノールブルー（青い色、負電荷を示す解離基をもち、分子量が小さいので一番速く陽極方向へ移動する。これがゲルから出てしまう前に電気泳動を終える）が、陽極の方向に移動するのを観察します。

3 エステラーゼによる加水分解反応の検出

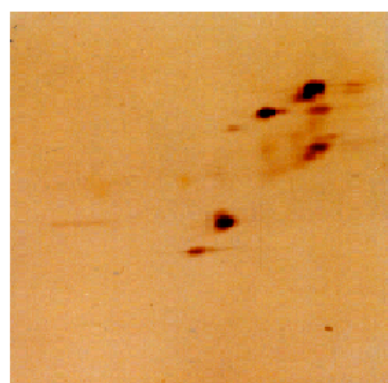
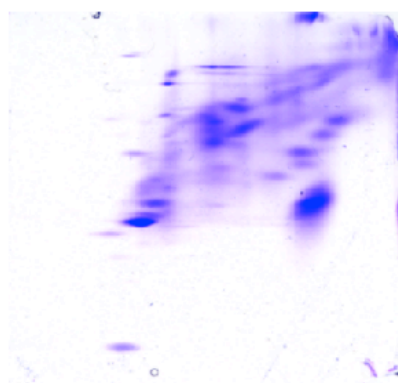
実際に電気泳動を終え、ガラス管からゲルを取り出し、このゲルを基質と発色団の含まれている溶液に浸けます。数分反応するとエステラーゼが存在するところだけが、酵素反応が起こり赤色に変わります。

（補足説明1）ポリアクリルアミドゲル

アクリルアミドという分子は、 $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CO}-\text{NH}_2$ であらわされる分子で、ビニル基（ $\text{CH}_2=\text{CH}\cdot$ の部分）をもっています。アクリルアミドの水溶液に少量の重合開始剤（この実験では重合開始剤として、過酸化物である過硫酸アンモニウム $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ を使います）を加えると、重合開始剤が遊離基を生成し（ $\text{S}_2\text{O}_8^{2-} \rightarrow 2\text{SO}_4^{\cdot-}$ ）この遊離基がビニル基の部分に結合します。するとこのアクリルアミド分子も遊離基になります。遊離基をもつアクリルアミド分子が別のアクリルアミド分子のビニル基部分に結合して新しく遊離基を作り・・・というふうに連鎖反応がおこり、どんどん長い分子ができていきます。ただし、この重合反応だけでは、直鎖状の高分子ができるだけなので、見かけ上は固まったように見えますが、容器を傾けると溶液と同じように表面が水平になるように動きます（ゾルと呼ばれる状態）。タンパク質を分離した後、どこにタンパク質があるか染色したりするときゾルの状態では不便なので、ゲルの状態にする必要があります。そこで、アクリルアミドと一緒に、メチレンビスアクリルアミド（以下ビスと省略します）をアクリルアミドの 1/20 程度加えておきます。ビスは $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CO}-\text{NH}-\text{CH}_2-\text{NH}-\text{CO}-\text{CH}=\text{CH}_2$ であらわされる分子で、よく見ると二つのアクリルアミド分子がつながって、分子の両端にビニル基をもつ形になっています。アクリルアミドが 20、ビスが 1 の割合で混じった状態で重合反応を開始するとどうなるでしょう。そう、ビスの片方のビニル基は一本のアクリルアミドポリマー鎖の中にまぎれ込んで重合が進み、もう一方のビニル基は別のアクリルアミドポリマー鎖の中にまぎれ込んで重合が進みます。つまり、ビス分子は二つのアクリルアミド鎖の間の橋かけ（架橋）をすることになります。このような架橋がたくさんあると、分子レベルで見ると 3 次元的な網目構造ができることになり、網目の間には水分子が詰まっているので、見かけ上ゲルと呼ばれる状態になります。つまり、ポリアクリルアミドゲルは、水（緩衝液）を保持した 3 次元架橋高分子で、しなやかで透明な物質です。

（補足説明2）マウス肝臓の水溶性タンパク質の 2 次元ゲル電気泳動例とエステラーゼ活性検出

マウス肝臓中の水溶性タンパク質を $4\text{ cm} \times 4\text{ cm} \times 1\text{ mm}$ という平板薄層形のポリアクリルアミドゲルを使って 2 次元電気泳動した結果を下に示します（左図、青色）。実際の操作は、まず直径 1.4 mm 長さ 3.5 cm の円筒形のゲルでタンパク質を等電点電気泳動という方法で分離し、その円筒ゲルを平板薄層ゲルの上の端に水平に置き、垂直方向に電圧をかけて下の方に移動させます。適当なところで電気泳動を止め、ゲルを青色の色素で染色、脱色してタンパク質だけを検出します。左側にあるほど酸性の等電点をもつタンパク質、下側にあるほど分子量の小さいタンパク質です。また、この実験でやったように、このゲルをエステラーゼの基質（酢酸ナフチル）と発色団（ファーストレッド）の含まれている溶液に浸けると、酵素反応が起こったところのみが赤色に染色されます（右図、赤色）。この様に、2 次元電気泳動を行うと同じエステラーゼでも等電点と分子量が異なるものがあることがわかります。



3. 金属原子をひとつも使わずに金属を作ってみよう

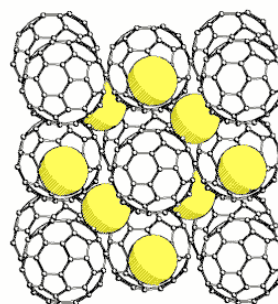
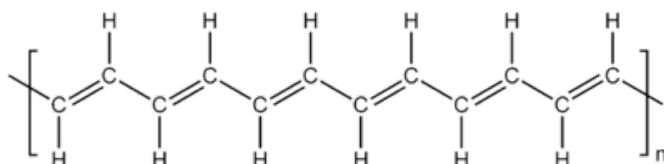
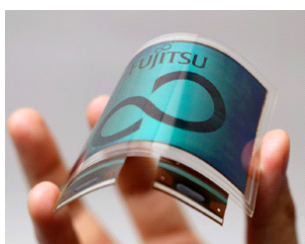
— 現代の錬金術体験 —

- はじめに

皆さんは“金属の性質”というと、何を思い浮かべるでしょうか？電気を流す、光沢を示す（光を反射する）、良く熱を伝える、・・・など、金属には独特の共通点があります。これらの特徴は、金属以外の物質（非金属）ではなかなか真似のできない性質です。ですから、こうした機能を必要とする身の周りの多くの製品に対して、金属材料が利用されています。でも本当に、金属の性質を出すには、金属原子（金属元素）を用いないと無理なのでしょうか？

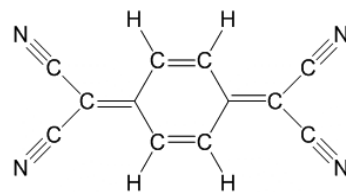
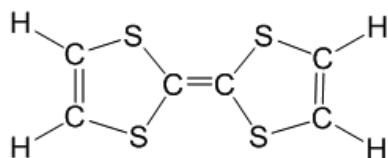
- 炭素や水素でできている金属材料

炭素（C）や水素（H）などから成る化合物を有機化合物、または省略して有機物と呼ばれています。プラスチックやビニール、紙や医薬品など、身の周りの多くのものが有機物で、我々生命体も有機物です。長い歴史にわたって、こうしたものは電気を全く通さない「絶縁体」と呼ばれる性質を示すと信じられてきました。ところが1970年代ごろからいろいろな有機物が、化学的な処理を施すことによって、金属や超伝導としての性質を発揮することが分かってきました。しかも通常の銅やアルミニウムといった単体金属にはない優れた性質を持っています。たとえば、軽くて柔軟性がある、特定の方向にしか電気を流さない、消費電力が小さい（省エネ）、溶液や蒸気にすることで様々な物体に塗布できる、などです。こうした性質をうまく利用した製品、例えば、コンデンサー、発光素子、太陽電池、ディスプレイ、センサーなどの開発が世界中で進行しています。その付加価値は金よりも高く、まさに現代の錬金術といえます。この「導電性の有機物質」という研究分野は約40年間の歴史があり、歴史の転換点となった代表的な物質がいくつか存在します。ノーベル賞で有名なポリアセチレンや、サッカーボール型C₆₀化合物も代表的物質です。



• 世界初の“合成金属”

皆さんには、初めて金属であることが確認された物質を実際に作ってもらい、どのくらいよく電気を流すか確かめて頂きましょう。炭素 (C) , 水素 (H) , 窒素 (N) , 硫黄 (S) だけを使って、核融合ではなく、化学反応によって簡単に作れます。原料であるTTFとTCNQは絶縁体です。これらの溶液を混ぜ合わせると、化学反応が進行し一瞬で色が変わり沈殿 (小さな結晶の集合体) を生じます。この沈殿は非常に良く電気を通します。



• 実験操作

***** (注 意) *****

- アセトニトリル, TTF, TCNQ はいずれも有害な物質 (劇物など) です。蒸気や粉末を吸わないように注意することはもちろん, 皮膚につけたり, 目や粘膜 (鼻, のど) に触れたりしないよう, 使い捨て手袋と保護メガネを着用してください。万一, これらの薬品が手や顔などについたときは, あわてずに大量の水で洗い流してください。
- 失敗などで不要になっても, 流しに捨てないこと。

- (1) まず比較のために, TTFおよびTCNQ自身の電気抵抗を, テスターを使って測っておく。
- (2) TTF (0.05 g) をビーカーに入れ, アセトニトリル (CH_3CN , 5 ml) を加えて, 時計皿で蓋をする。これをホットプレート上で穏やかに加熱してTTFを溶解させる。
- (3) 同様に, TCNQ (0.05 g) をビーカーに入れ, アセトニトリル (CH_3CN , 5 ml) を加えて, 時計皿で蓋をする。ホットプレート上で穏やかに加熱してTCNQを溶解させる。
- (4) (2) の溶液を, ひだ付ろ紙を通して (3) の溶液に加える。
- (5) (4) の溶液を室温まで放冷して, 析出した固体をろ過する。
- (6) (5) で得られた固体を空気中で自然に乾かし, テスターを使って電気抵抗を測定する。

• 実験のおおまかな解説

溶液中でTTF分子とTCNQ分子が近接することで、酸化還元反応 (電子の受け渡し) が起り, それぞれ, 陽イオン (的) なTTFと, 陰イオン (的) なTCNQになる。これらの分子が集合して小さな結晶 (沈殿) を形成する。この結晶は, 岩塩のような構造 (陽イオンと陰イオンが縦・横・奥行き方向に互い違いに並ぶ) にはならない。縦方向には, TTF分子だけの列と, TCNQだけの列が形成される。一方, 横・奥行き方向には, それぞれの列が互い違いに並ぶ。ところで, 電子の受け渡しをした後の分子の電荷は, 形式上, ± 1 価といった整数ではない。あくまでも形式上だが, TTF分子 (TCNQ分子) の列には, 電子が不足している分子と中性的な分子 (中性的な分子と電子の余っている分子) が混在する。電子は, この過不足を補償するように, 主に縦方向に並んだ分子の間を飛び移る。これが特定方向に電気伝導する原理である。

4. ケミカルガーデン ～水中で成長するカラフルな塔～

※数人のグループで実験を行います。

「目的」

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する。また、塩酸を加え、液状だった水ガラスが瞬時に固化する様子を観察する。

「器具・試薬」

- ◆ プラスチックコップ、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. プラスチックコップに水ガラス 約 30g を加え、水で 3～4 倍に希釈する。ガラス棒でよくかき混ぜ、均一な溶液にする。
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 杯程度加える。
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する。
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、塩酸水溶液を少しずつ加えて、変化を観察する。

「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、強アルカリ性を示す。一方、金属塩は、水に溶解すると酸性を示す。水ガラス溶液中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する。
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（シリカゲル）の膜が生じる。
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、特有の色を示す。
4. シリカゲルの膜には細かい孔が多数空いており、浸透圧*によって、水分子が侵入してくる。
5. 水が侵入すると、シリカゲルで囲まれた内部の圧力が高くなり、シリカゲルの膜を突き破る。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る。
6. 以上が繰り返され、シリカゲルが成長していく。

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あるが、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、固化する。

「実験上の注意」

1. 水ガラスは強アルカリ性の溶液である。目に入ると角膜が侵されるので、安全眼鏡を装着する。皮膚に着いた場合も、速やかに洗浄する。
2. 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る。

「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る(水が浸透する)。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いう。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(シリカゲル膜)を通して水分子が移動する。

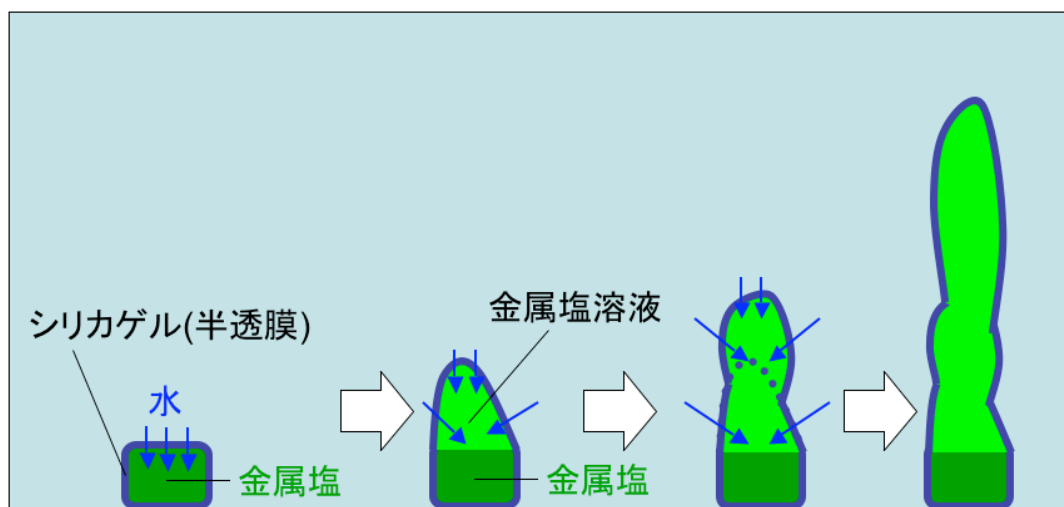


図 ケミカルガーデンの成長の模式図

8月9日(火)工学部会場 実験の解説

(集合場所 共通教育講義棟C EL44講義室前)

1. 藍染めにチャレンジ

反応有機化学研究室(担当 林 実)
工学部1号館 6階 602号室

この実験では、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」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?

2. 身の回りのミクロな世界をのぞいてみよう

応用物理化学研究室(担当 松口正信)
工学部1号館 4階 402号室

顕微鏡は、私達の身の回りにあるものを何でも拡大し、私達目で見る世界とはまるで違った新しい世界を見せてくれます。この実験では、電子顕微鏡という高倍率、高分解能の装置を使って、ミクロな世界を覗いてみます。

3. 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)
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。

4. 汚れた水を凝集剤できれいにしよう

化学工学研究室(担当 川崎健二)
工学部3号館 2階 201号室

濁った水をきれいにするには、凝集法(微細なコロイド状懸濁粒子が集合して大きなフロックとなる現象)が有効である。汚れた水(カオリン懸濁液)に凝集操作を施し、どれくらいきれいになるかを調べてみましょう。

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 3階 302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認します。

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。

7. 見て、さわって、DNA

分子生命化学研究室(担当 田村 実)
工学部1号館 4階 409号室

私たち生物の設計図である遺伝子。その本体はDNAという物質です。2002年この遺伝子を含むヒトゲノム全体の塩基配列が明らかにされました。現在様々な生物のゲノムDNAが次々と解析されています。今回は、そのDNAを実際に目で見てみましょう。

8. 光によって色が変化する化合物

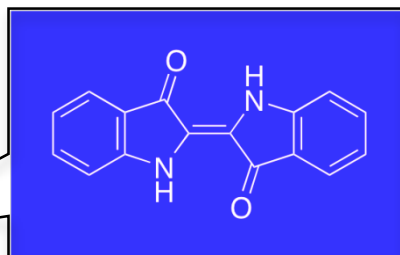
分析化学研究室(担当 石橋千英)
工学部3号館 2階 203号室

光によって物質の色が変わる現象を「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り、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。

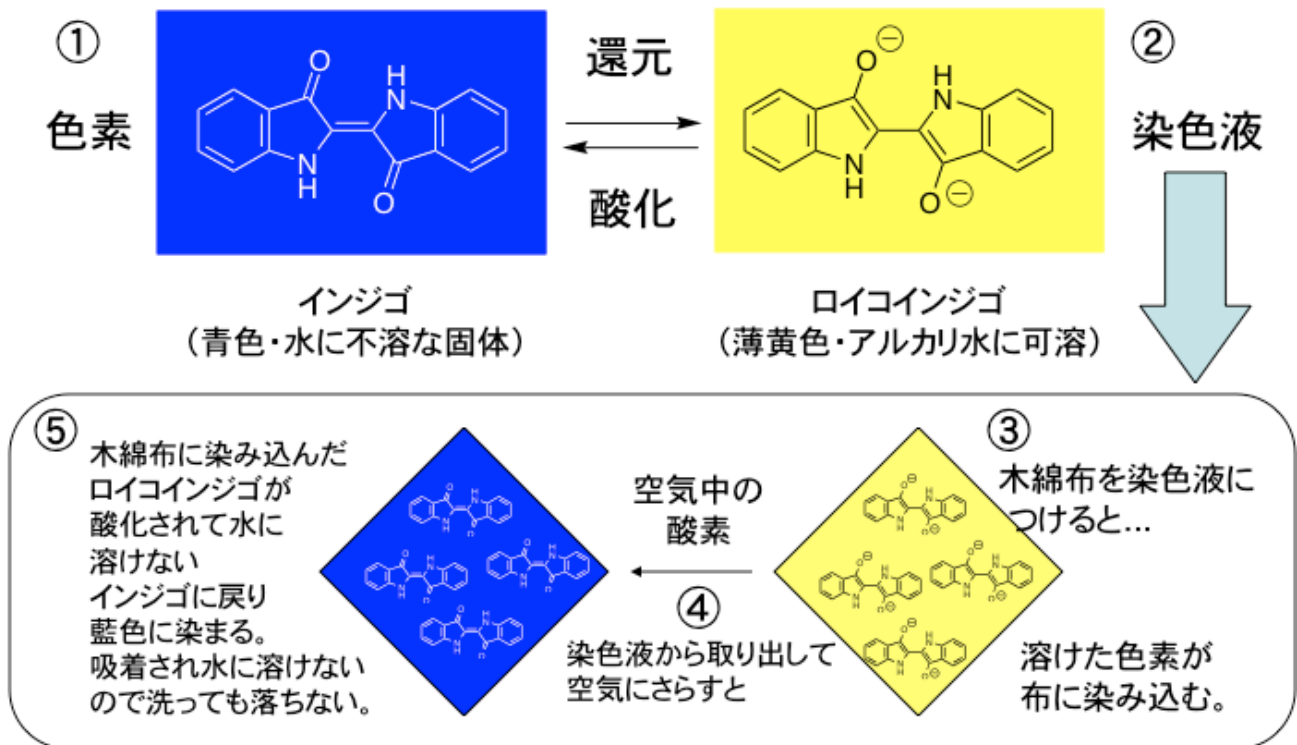
これが藍色の正体
インジゴという色
素（有機化合物）
の構造式

1. 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。



インジゴで藍染め(絞り染め)ができる原理



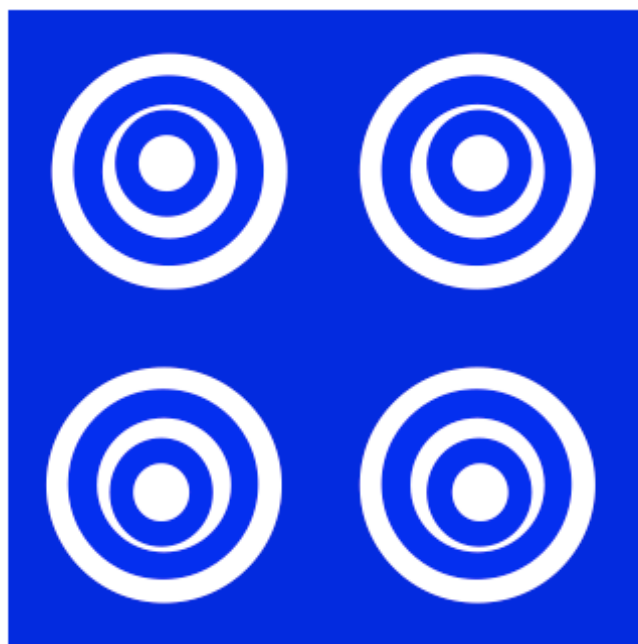
<原理の説明>

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であります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。

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出来ます。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

- 1) 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。
- 2) 次にそれを、1 Lのビーカー中、600 mLの沸騰水に浸し、15分間穏やかにガスバーナーで加熱して下さい。

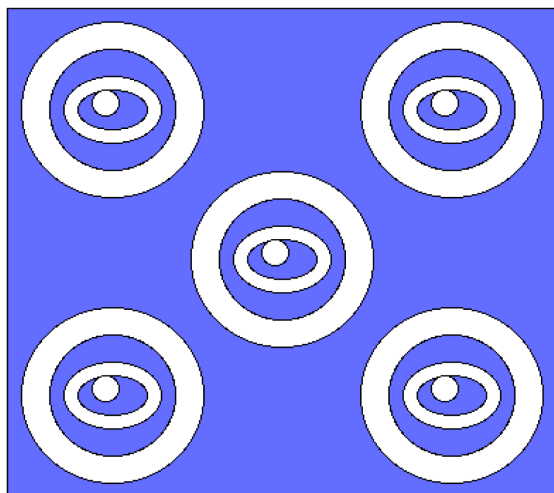
手順その2：染液作り

- 1) また、別の1 Lのビーカー中に600 mLの水を入れ、それに0.8 gのインジゴを加えてください。次に2M NaOH水溶液100 mLと3 g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1 g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ったら、2M NaOH水溶液を追加して下さい。

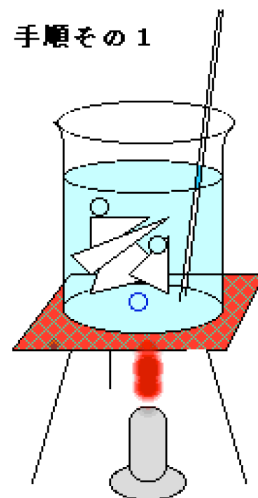
手順その3：染色過程

- 1) 得られた染液に煮沸した木綿の布を入れ、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みてください。

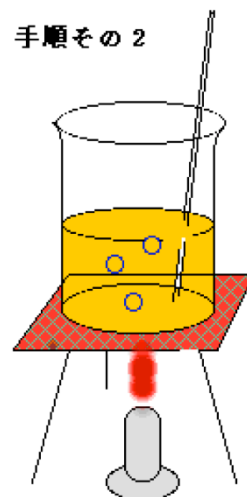
完成図例



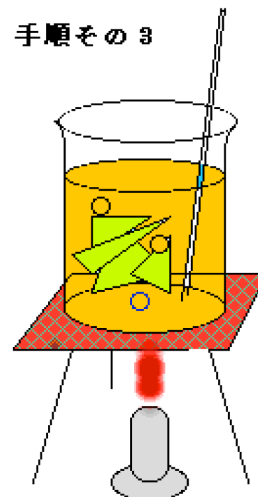
手順その1



手順その2



手順その3



2. 身の回りのミクロな世界をのぞいてみよう

【はじめに】

「電子顕微鏡」という装置を知っていますか？ひとたびこの装置をのぞけば、身近にあり見慣れたはずのものが、いままでとはまるで違って見える新らしい世界が広がります。さあ、あなたもミクロな世界を探検してみましょう。

【走査電子顕微鏡とは？】

顕微鏡は、私たちの身近にあるものをなんでも拡大し、私たちの目の分解能を超えたところで、素晴らしいミクロの世界を展開してくれます。みなさんが良く知っている顕微鏡は、光を用いる**光学顕微鏡**といわれるものです。一方、**電子顕微鏡** (Scanning Electron Microscope: SEM) を用いると、光学顕微鏡では不可能な高倍率、高分解能の像を得ることができます。また、光学顕微鏡を用いて立体像を見ようとして中心に焦点を合わせると端の方がぼやけてしましますが、電子顕微鏡を用いると、立体全体に焦点のあったシャープな写真を撮ることができます。

【走査電子顕微鏡のしくみ】

一枚の十円玉があるとします。十円玉の表面には様々な文字や彫刻があります。その上に薄い紙をのせて、その上から鉛筆の芯で左右に擦りながら上から下に動かして行くと、紙のうえには十円玉の文字や図柄が表れてきます。

走査電子顕微鏡の仕組みはこれと良く似ていて、対象の表面の凹凸を画像として表すのですが、実際の装置では、鉛筆の芯の代わりに電子ビームを使います。レンズで細くされ試料上にフォーカスされた電子ビームが、試料の表面をテレビの走査線のように左右に振りながら、上から下にずれて走って行きます。電子ビームを形成している電子が試料の原子にあたると、その原子の軌道電子を追い出したり（二次電子）、跳ね返ったり（反射電子）するので、これらのシグナル電子を検出器でとらえ、ディスプレイ上に立体像として、あるいは明暗の像として表します。



図1. 電子顕微鏡外観

【観察試料の作製】

#観察試料はこちらでも用意しますが、身の回りの物で電子顕微鏡を使って見てみたいという物があれば用意して来て下さい。ただし乾燥したもので、大きさは1cm角以内、もしくは小さく切り出すことができるものに限りします。

(1) 観察試料の切り出しと試料台への取り付け

- (a) 試料をカッターナイフの刃のような鋭利な刃物で、試料台の大きさに合わせて小さく切り出します。観察面には手でさわらないようにします。
- (b) 試料台の上に、切り出した試料をカーボンテープでしっかりと貼り付けます。

(2) 導電処理

絶縁性の試料をそのままSEMで観察すると、電子ビームによってもたらされた電子が試料にたまり帯電現象（チャージアップ）を起こします。チャージアップするときれいな像が得られないので、試料にたまった電子を逃がすために導電処理を行います。今回は、真空蒸着装置を用いて、試料上に金を蒸着します。

【試料の観察】

(3) 像の観察

- (a) 金を蒸着した試料をSEMの試料室内にセットし、試料室を真空中に引きます。
- (b) 試料室内の真空度が上がったら、電子ビームを出し画面上に像を出します。
- (c) 試料ステージのつまみを動かし、自分の見たい場所を探し、倍率もいろいろと変えて目的の像を出します。
- (d) 目的の像が得られたら、操作パネル上のいろいろなつまみを操作し焦点を合わせます。

(4) 画像の保存・印刷

画像を保存し、印刷して終了です。

【SEM写真の例】

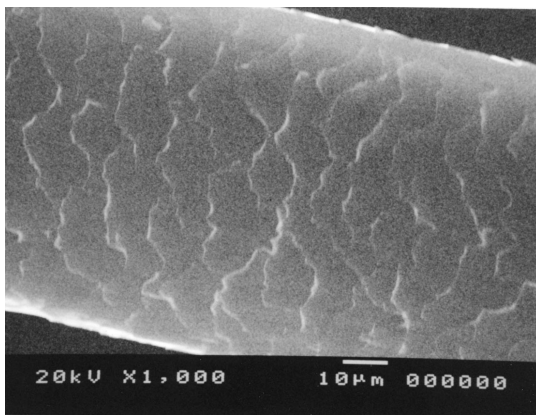


図2 ヒトの髪の毛（1000倍）

* 動物の毛特有の毛小皮（キューティクル）構造が見られる。

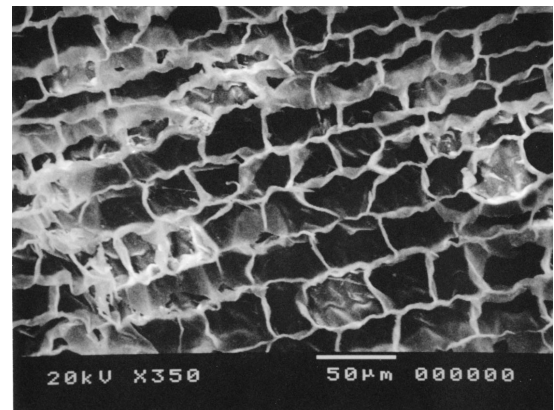


図3 コルク栓の表面（350倍）

* 一つ一つの四角い小部屋が、コルク細胞（セル）。

3. 水を吸収する不思議な高分子

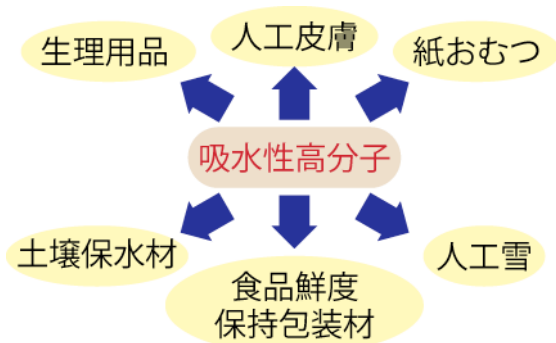
紙おむつの中に何が入っているか知ってますか？

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？

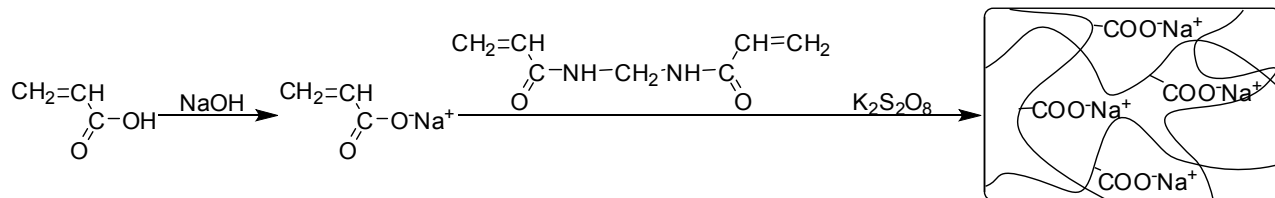
この水を吸う物質は**吸水性高分子**と呼ばれます。吸水性高分子は水に溶けることなく自重の数倍～1000倍の水を吸収し、保持する能力を持っています。綿、パルプ、スポンジなどと異なり圧力を加えても吸った水をほとんど離しません（実験3で確かめましょう）。



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。

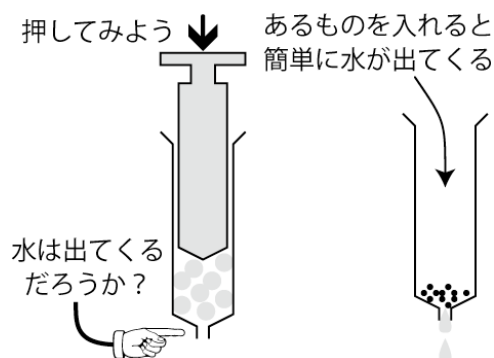


【実験2】水を吸収していく様子

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。

【実験3】吸水性高分子が吸った水を出してみよう

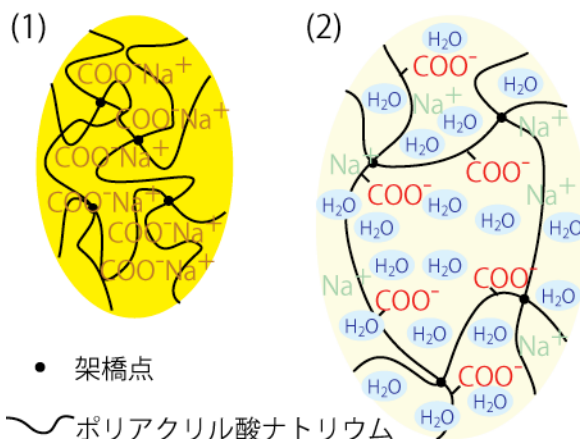
注射器の中に水を吸った吸水性高分子を入れ、ピストンを押して水が出てくるのかを確認する。また、圧力を加えなくても水を取り出す方法があるので、考えてやってみよう。



【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、密集して縮こ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、圧力をかけて水を押し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、水を取り込む網目の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（ -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（ -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。

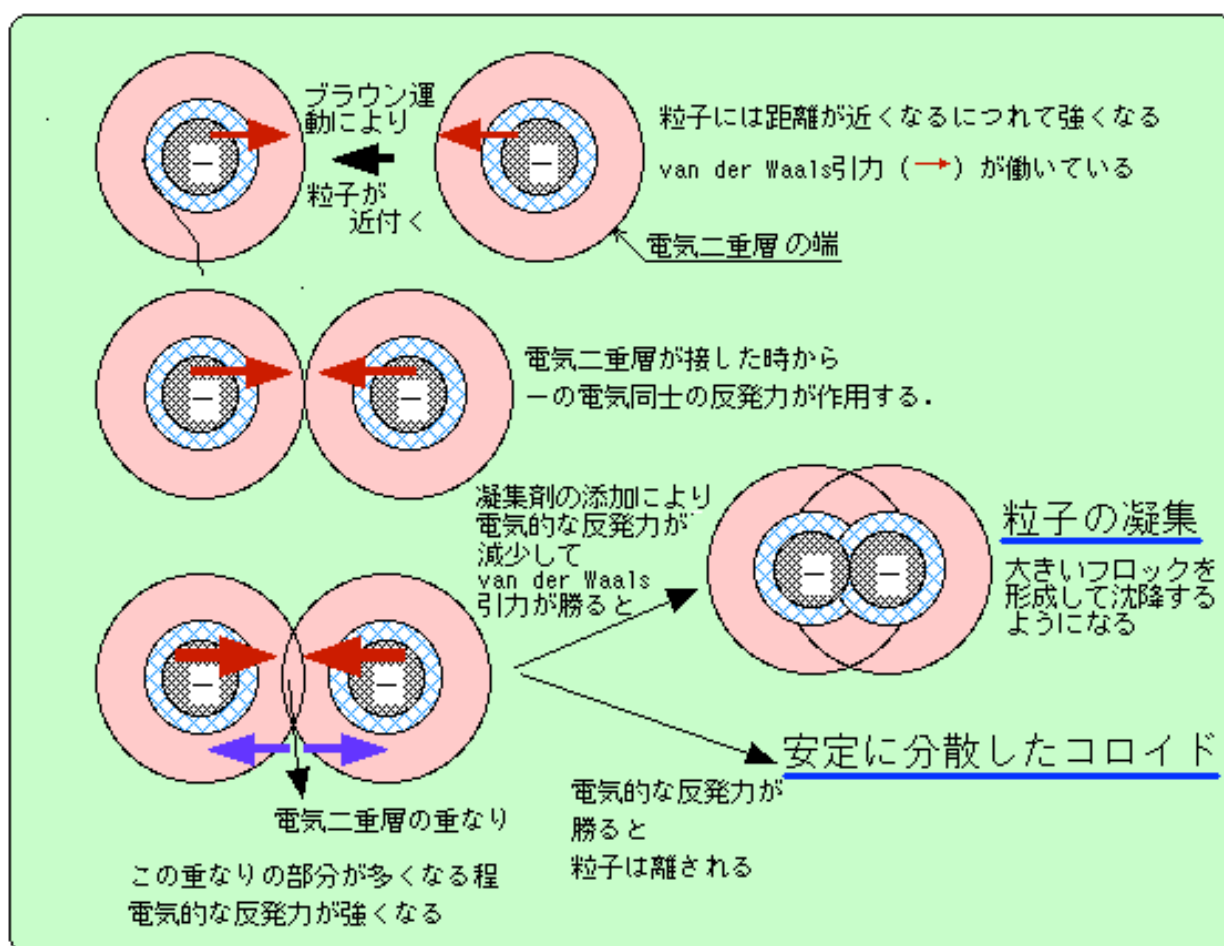
4. 汚れた水を凝集剤できれいにしよう

濁った水をきれいにするには、凝集法(微細なコロイド状懸濁粒子が集合して大きなフロックとなる現象)が有効です。汚れた水（ここでは例として、カオリン懸濁液を使用します）に凝集操作を施し、どれくらいきれいになるかを調べてみましょう。

【コロイドって何？】

水に懸濁している粒子のうち、大きさが 10^{-5} m ($10\mu\text{m}$) くらいまでは重力の力によって沈降します。しかし 10^{-6} m 以下になるとブラウン運動（水分子自身の不規則なジグザグ運動）の方が大きくなって、いつまでも沈降しません。この 10^{-6} m より小さく、水溶液とみなせる 10^{-9} m までの範囲の大きさの粒子が水中に懸濁したものをコロイド(colloid)と呼んでいます。

コロイドの例としては、水系では緑茶や牛乳、そして空気系では蚊取り線香の煙などがあります。



【凝集って何？】

直径 10^{-8} m, 密度 2 g/cm^3 の球形粒子の 1 g が有する表面積は 300 m^2 です。このように、コロイド粒子は大きな表面積を持つため、表面積に関する性質や現象が強く現れてきます。その一つに界面電位があります。

水中に存在する粘土粒子の表面は一般に負に帯電しています。粒子表面近傍には、粒子のもつ界面電荷と対イオンとで図に示す電気二重層が形成されています。ブラウン運動により粒子同士が近付いた場合、帯電した二つの粒子の電氣的な反発力が勝ると粒子は離されて接触できず、安定に分散したコロイド状態を保ちます。ここに凝集剤を添加すると、粒子表面の負の荷電が弱められて電氣的な反発力は減少して *van der Waals* 引力が勝るようになり、粒子同士は接触して凝集し、大きいフロックを形成して沈降するようになります。ただし、凝集剤の添加量が多いほど凝集が起こり易いとは限らないので、注意が必要です。

【実験方法】

(1) ジャーテスト（攪拌装置：右の写真）の各ビーカー(1 L)に、100 mg/L のカオリン懸濁液を 500 mL 入れる。

(2) 10 g/L の炭酸水素ナトリウム溶液を 5 mL 加えて水中のアルカリ度を増す。

(3) ジャーテストを用いて急速攪拌（毎分 130～150 回転）しながら、各ビーカーに 10 g/L の硫酸アルミニウム溶液を、0, 0.5, 1.0, 1.5 mL 加える。肉眼で観察できる程度までフロックを成長させるために、この急速攪拌を 3 分間続ける。

(4) 緩速攪拌（毎分 30～50 回転）に切り換えて 15 分間攪拌する。この間に、(3) で生成した小さなフロックが大きなフロックに成長して沈降しやすくなる。

(5) 攪拌を停止してから、15 分間静置し、4 つのビーカーのフロックの沈降状態を観察する。

(6) 4 つの上澄み液の濁度を濁度計と比較して測定する。最も低い濁度が得られたビーカーの条件から、凝集剤(硫酸アルミニウム)の最適注入量を知ることができる。



【考えてみよう】

- 1) 凝集剤注入量による濁度の変化はなぜ起こるのだろうか？
- 2) 「直径 10^{-8} m, 密度 2 g/cm^3 の球形粒子の 1 g が有する表面積は 300 m^2 である」事を確かめてみよう。

色表示素子とは？
表示素子にはどんなものがあるの？

発光ダイオード(LED)

蛍光表示 (FLD)

エレクトロルミネッセンス (ELD)

プラスミダ発光素子

液晶表示素子 (LCD)

エレクトロクロミック素子 (ECD)

電気泳動表示素子 (EPID)

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？ ～

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。

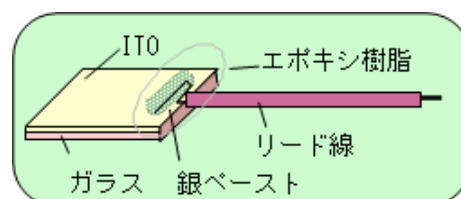
上記のうち、自らが発光して表示する発光型の素子には、常にエネルギーを供給して光(電磁波)を発生させる必要がありますが、受光型の素子では、周りの光を選択的に吸収あるいは反射して表示するので、エネルギーの消費(消費電力)を少なくする事ができます。その他、動作原理と様式によって、表示密度、寿命、信頼性、視認性、経済性、商品価値などにおいて長所と短所をそれぞれ持っています。

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、可視光の部分を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。

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。

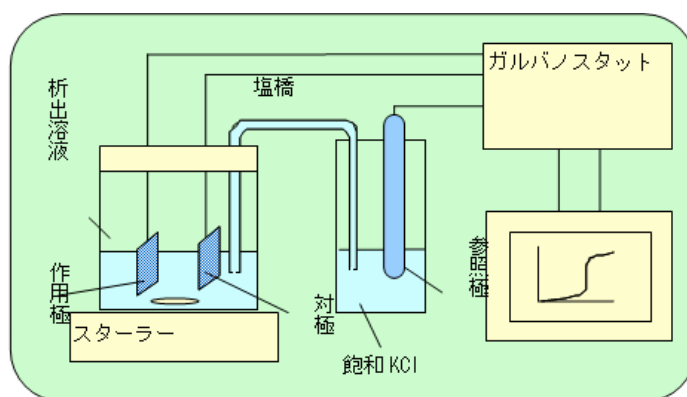
2. 酸化タングステンの析出溶液を準備しよう。

- (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) 下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/cm^2 、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(0.01 mol/l)溶液中に表示素子を浸し、定電圧装置を用い $+1.5 \text{ V} \sim -1.5 \text{ V}$ 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。下では、酸化タングステンの着色メカニズムを表しています。

固体中の各元素の位置は固定されています。常温では固定位置を中心に格子振動をしています。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き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。その時のイオンの動く速度があまり大きくないので、色の変化速度は遅くなっています。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。

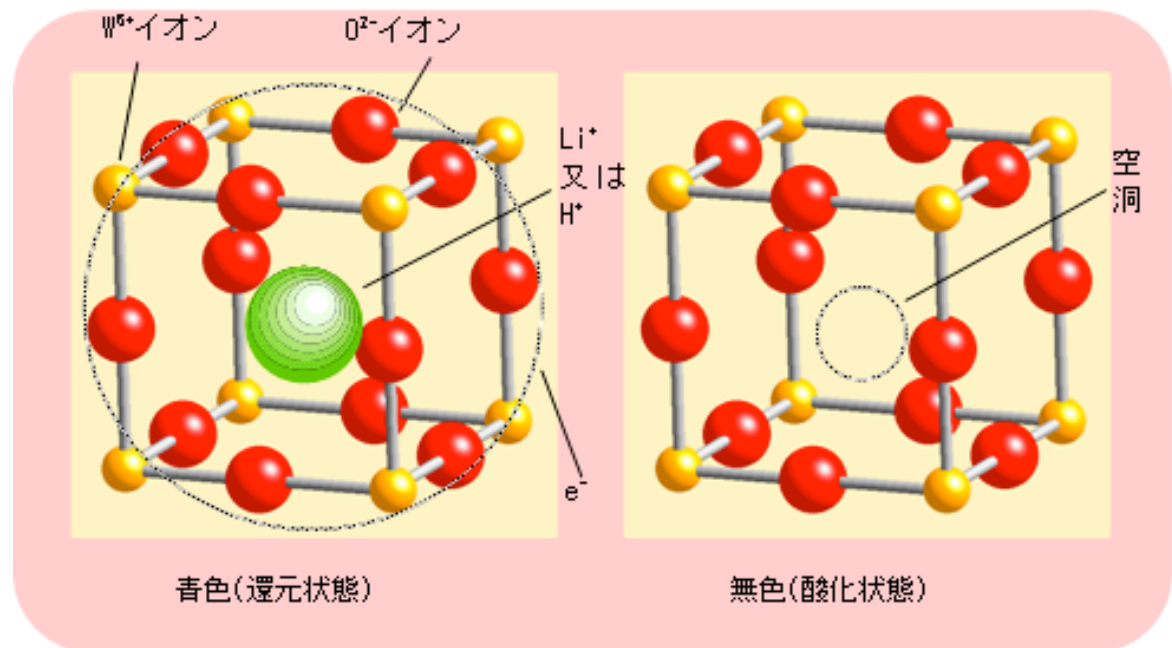
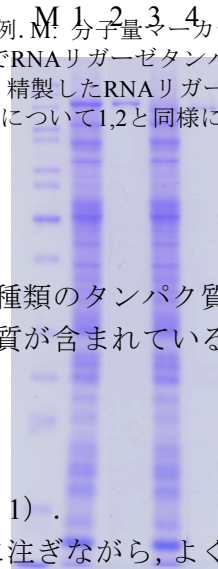


図1. SDS-PAGEの例. M: 分子量マーカー, 1: コムギ胚芽抽出液中でRNAリガーゼタンパク質を合成させた試料, 2: 精製したRNAリガーゼ, 3, 4: RNase Rタンパク質について1,2と同様に行った試料.



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しています。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すね。

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、タンパク質が電気の力で引っ張られて、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、電気の力で引っ張ると、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、分子の大きさで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℃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．

7. 見て、さわって、DNA

[はじめに]

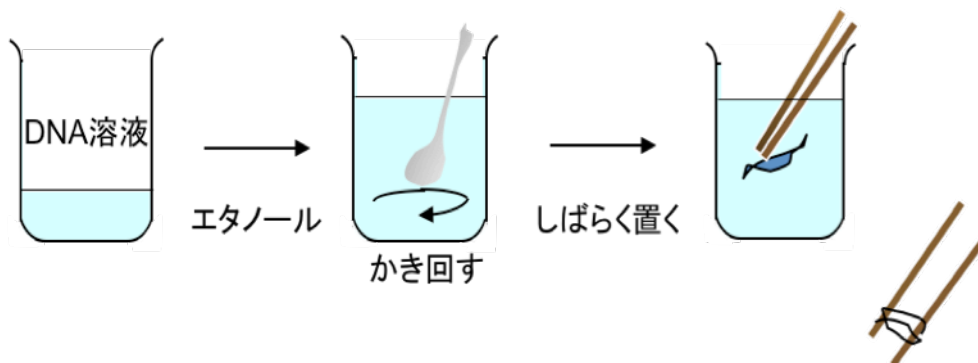
私たち生物の設計図である遺伝子。その本体はDNAという物質です。2002年この遺伝子を含むヒトゲノム全体の塩基配列が明らかにされました。(概要発表は2001年) これをはじめとして、現在様々な生物のゲノムDNAが次々と解析されています。生命のロゼッタストーンはついに解読され始めたのです。

今回の実験では、そのDNAを実際に目で見てみましょう。また近年著しい発展を遂げている遺伝子工学で大事な役目を果たしているプラスミドDNAを寒天ゲルで分離し、蛍光染色してバンドとして見てみましょう。

DNAの秘密はその3D構造にあります。ここでは、分子モデルでその構造を目の当たりにするとともに、構造の重要な要因になっている「塩基対」を、モデルを使って実際に自分で探してみよう。



Nature, 2001年表紙



[実験の内容]

① DNAを見る

ウシの細胞から抽出したDNAが溶けている0.3M 酢酸ナトリウム溶液にエタノールを2.5等量加え、スパーテルでかき回します。どんな変化が起きるかな。どんな形が見えるかな。割り箸で絡めとって引っ張ってみよう。

② DNAを分ける

遺伝子工学の大事なアイテムであるプラスミド・ベクター。これは遺伝子DNAの運び屋として使われるもので、これ自身もDNAでできています。ここでは、ある遺伝子を含むプラスミドDNAを寒天ゲルで電気泳動し、特別な色素で光らせて、サイズや純度を調べてみよう。

③ DNAのかたちを見る

分子レベルでのDNAのかたち(3次元構造)をプラスチックの分子モデルで調べよう。立体構造のもとになる「塩基対」の組み合わせを机の上で透明シールを動かしながら自分で探してみよう。

8. 光によって色が変化する化合物

【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たち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ツールピペットで1滴滴下し、乾燥させ結晶を析出させる。このガラス基板上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

光 1

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。

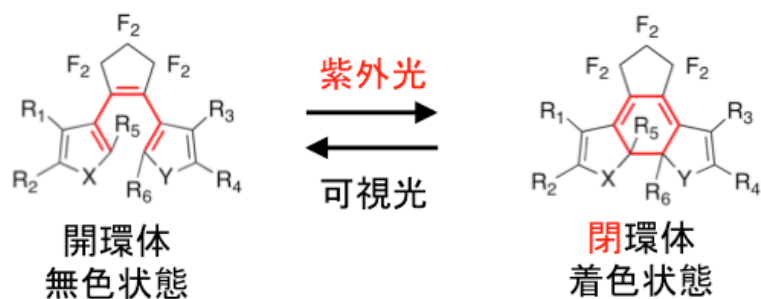


図1. ジアリールエテン誘導体の分子構造とフォトクロミック反応

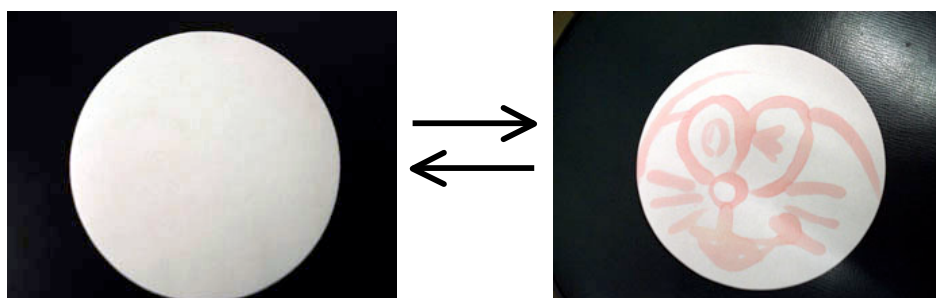


図2. ろ紙上に絵を描いて、光照射によって浮き上がらせたり、消したりした様子

