

# 第43 回化学クラブ研究発表会

## 講演予稿集

会 期 2026 年3 月 26 日 (木) 9:40～16:00

会 場 東京都立大学 南大沢キャンパス

- 口頭発表
- ポスター発表

主 催 公益社団法人日本化学会関東支部

協賛 公益社団法人新化学技術推進協会

後 援 文部科学省

# 第 43 回化学クラブ研究発表会プログラム

主催：公益社団法人日本化学会関東支部

協賛：公益社団法人新化学技術推進協会 後援：文部科学省

1. 会期 2026 年 3 月 26 日 (木) 09:40 ~ 16:00

会場 東京都立大学 南大沢キャンパス

## 2. プログラム

09:40-09:50 開会式 (11 号館/講義室 204)

10:00-11:45 口頭発表 (口頭 A ~ C 会場)

11:45-13:20 昼休憩

13:20-14:50 ポスター発表 (ポスター会場)

15:10-15:25 エキシビション (11 号館/講義室 204)

15:30-16:00 閉会式・結果発表 (11 号館/講義室 204)

## 3. 発表プログラム

### 口頭発表(21 件)

1 件につき 15 分 (発表 10 分・質疑応答 4 分・切り替え 1 分)

#### 口頭 A 会場 (11 号館/講義室 204)

- A1. (10:00-10:15) インジゴカルミンの酸化還元反応と pH による色調変化の解明と応用  
(日本大学第三高等学校) ○古池谷柚海、○大谷拓輝、○芳賀智仁、○松本大夢、  
小林亮太、最勝寺俊洵、中土拓真、堀村継、柳颯真、劉沐恩
- A2. (10:15-10:30) ダーク条件で発電可能なハイブリッド型色素増感太陽電池  
(安田学園高等学校) ○折坂唯斗、○弘中亜衣莉、○高木大輝
- A3. (10:30-10:45) スライムで太陽電池の性能向上に挑戦！  
(山梨県立甲府南高等学校) ○高雄朝陽、○井上湊太、○長田幸穂、  
○田中陽翔、○重田結衣

- A4. (10:45-11:00) マグネシウム空気電池で生じる化学反応の解明  
(渋谷教育学園幕張高等学校) ○大石堯成
- A5. (11:00-11:15) 酸化チタンの起電力について  
(城西大学付属川越高等学校) ○山岡夢来、○志村和哉、○北村厚登
- A6. (11:15-11:30) 直接アンモニア水燃料電池の研究  
(栃木県立足利高等学校) ○赤間煌煌、○石江翔
- A7. (11:30-11:45) ルミノール反応の発光の強さと触媒の酸化力の関係  
(茨城県立日立第一高等学校) ○落合七美

### 口頭 B 会場 (12 号館/講義室 201)

- B1. (10:00-10:15) 多摩川及び玉川上水の水質調査  
(都立立川高等学校) ○小井沼岳
- B2. (10:15-10:30) ニトロセルロース花火の発光時間の制御と吸湿量の許容範囲  
(東京都立国立高等学校) ○杉本佑樹
- B3. (10:30-10:45) ビスマス結晶の酸化被膜における色の変化について  
(芝学園) ○山浦航遥、長尾優輝
- B4. (10:45-11:00) 茜染めの化学変化と色の鮮明化に関する考察  
(流通経済大学付属柏高等学校) ○山本夏銘、冨澤真志、倉持颯吾
- B5. (11:00-11:15) ブルーボトル反応の誘導期短縮と白濁抑制  
(千葉県立長狭高等学校) ○齊藤総志、○鈴木健介
- B6. (11:15-11:30) ポリ乳酸の実用化に向けた耐久性の向上方法の検討  
(千葉県立千葉東高等学校) ○山崎太郎
- B7. (11:30-11:45) 水-エタノール二成分溶液へのアクリル板の溶解挙動の解明  
(東京都立科学技術高等学校) ○高橋詩桜、○山尾綾香

## 口頭 C 会場 (12 号館/講義室 102)

- C1. (10:00-10:15) こんにゃくのゲル化とイオンとの関係性について  
(武蔵高等学校中学校) ○高橋祐一朗
- C2. (10:15-10:30) 野菜くずの活用によるベジブロスの効率的な成分抽出法の開発  
(玉川学園高等部) ○伊藤瑠哉
- C3. (10:30-10:45) 食物繊維を含む食材の種類及び調理方法による合成着色料の吸着量の違い  
(東京都立両国高等学校附属中学校) ○笹生晶、○森彩乃
- C4. (10:45-11:00) どんぐりのアク抜き手法と比較判定法について  
(北杜市立甲陵高等学校) ○田中悠風、○五味いこい、○名古屋新
- C5. (11:00-11:15) ヘビイチゴのかゆみ止め作用の検証と原因の解明  
(東京学芸大学附属国際中等教育学校) ○石橋紅音
- C6. (11:15-11:30) 飲料中のタンパク質や脂質がもたらす影響 (ミルクの泡立ちについてVI)  
(跡見学園高等学校) ○三澤美来
- C7. (11:30-11:45) カフェインと集中力の関係  
(跡見学園中学校) ○埴 明香里、○芳賀 春花、○中里 夢花

## 口頭発表 エキシビション(1 件)

11 号館/講義室 204

- EX. (15:10-15:25) インジゴ誘導体の色と構造  
(愛知県立一宮高等学校) ○山口剣汰、○恒川晴渡

# ポスター発表(27件)

13:20-14:50

ポスター会場 12号館/P01~07 講義室 202 P08~P14 講義室 203

/P15~P21 講義室 105 P22~P27 講義室 106

- P01. (13:20-14:50) カリン種子由来の粘性多糖類を用いたものづくり  
(茨城県立土浦第一高等学校) ○上津原聖介
- P02. (13:20-14:50) トマトの色と味の関係  
(玉川学園中学部) ○須田沙来
- P03. (13:20-14:50) こんにゃくのゲル化メカニズムの研究  
(群馬県立太田女子高等学校) ○青木麻央、○小林さくら、○小林瑠季、  
○根岸泉美、○山本さくら
- P04. (13:20-14:50) アントシアニンを天然着色料として食品に用いる  
(神奈川県立多摩高等学校) ○アンダーソン小雪レアナ、○宇佐あゆ葉、  
○角内こゆき、○東風谷夏鈴、○福井陽菜
- P05. (13:20-14:50) コーンスターチによる生分解性プラスチック  
(東海大学付属市原望洋高等学校) ○松本玲音、阿部呼春、高野稜生、渡邊泉穂里
- P06. (13:20-14:50) MOF-199 の添加量とメチレンブルーの吸着  
(立教池袋中学校) ○林雅春
- P07. (13:20-14:50) 紅花染めの発酵過程における色素成分の化学変化の観察  
(流通経済大学附属柏高等学校) ○伊藤美歩、佐藤由菜、瀧澤史奈、平原しづく、吉澤心
- P08. (13:20-14:50) 複数のアルギン酸ゲル粒子の自己駆動運動  
(茨城県立日立第一高等学校) ○稲木嵩真、○田原昌磨
- P09. (13:20-14:50) カゼインプラスチックの可能性  
(玉川学園中学部) ○馬場結菜
- P10. (13:20-14:50) インジゴの構造変化と発色の関係  
(芝浦工業大学附属高等学校) ○山崎遥真、○西村吉平

- P11. (13:20-14:50) インジゴカルミンの色の変化  
(千葉県立千葉東高等学校) ○平賀優那
- P12. (13:20-14:50) 誘導時間の自然短縮の原因～ヨウ素時計反応への気体の影響～  
(千葉県立長狭高等学校) ○吉野朝日、○西辻唯吏愛
- P13. (13:20-14:50) Reimer-Tiemann 反応における位置選択性に関する考察  
(浅野高等学校) ○剣持志斗、宇治原陸、名取 佑、茶木智史、渋谷宙汰、李嘉逸
- P14. (13:20-14:50) 壁面における結晶の優先的析出  
(東京都立小石川中等教育学校) ○横山琥珀、○水野智樹
- P15. (13:20-14:50) デンプンの加水分解における再利用可能な触媒の開発  
(茨城県立緑岡高等学校) ○佐藤楓真、○根目沢匠、北條知斗、齋藤裕生
- P16. (13:20-14:50) 健康に良いぬか漬けを作るには  
(玉川学園高等部) ○山岸愛
- P17. (13:20-14:50) 飽和脂肪酸と不飽和脂肪酸の石鹼を用いた洗浄力実験  
(芝浦工業大学附属高等学校) ○新谷公章、坂本七海、青山瑛美
- P18. (13:20-14:50) 植物由来の炭の浄水効果  
(神奈川県立多摩高等学校) ○中村由人、○末次漣、○新里慧
- P19. (13:20-14:50) 電子レンジによる草木染めの効率化  
(早稲田大学本庄高等学院) ○上野詩織、○加々見知世、○蒲初音、○小長井咲希、  
○齊藤あやめ、○山名凧紗、○吉田凜子
- P20. (13:20-14:50) 銀杏の脱臭に適した脱臭剤を作ろう！  
(東京都立国立高等学校) ○須永結衣、○森田晴陽、○小山琥太郎、○清水駿
- P21. (13:20-14:50) 石鹼の洗浄力について  
(立教池袋中学校) ○菊地奏佑、○八木智久
- P22. (13:20-14:50) 電子レンジを用いた真鍮の生成  
(茨城県立土浦第一高等学校附属中学校) ○清野陽太、○宇佐美唯斗、○神山琉貴、  
○横山湊、○小板橋弘、○佐藤琉星、○堀田璃桜

P23. (13:20-14:50) Al-Zn 電池の逆転現象について

(山梨県立甲府南高等学校) ○太野信之、○渡邊凜子、○伊藤柑太、○角田佑悟

P24. (13:20-14:50) 電気花火Ⅲ

(跡見学園高等学校) ○佐保 初音

P25. (13:20-14:50) アントシアニンを用いた pH 試験紙の作成

(東海大学付属市原望洋高等学校) ○佐粧拓斗、鈴木美和、立川蒼大、戸井田泰貴

P26. (13:20-14:50) 金属板の酸化について

(東京都立小石川中等教育学校) ○郷田湊太郎、田口生真

P27. (13:20-14:50) 鉄さびを用いた色素増感太陽電池の性能向上について

(立教池袋高等学校) ○餅谷莉久

# インジゴカルミンの酸化還元反応と pH による色調変化の解明と応用

日本大学第三高等学校

○古池谷 柚海   ○大谷 拓輝   小林 亮太   最勝寺 俊洵   中土 拓真  
○芳賀 智仁   堀村 継   ○松本 大夢   柳 颯真   劉 沐恩

## 1. はじめに

酸化還元反応時の pH の違いに注目し、色調の変化との関係を我々は研究した。

## 2. 実験内容

インジゴカルミン(以下 IC)は青色の合成着色料である。IC は塩基性下の水溶液では緑色になるが、グルコースなどの還元剤により黄色のロイコ体へ還元され、還元剤は酸化される。この一連の反応が IC の酸化還元反応と呼ばれる。これを利用して溶液の色を変えることを信号反応とも言い、これを基本実験とする。

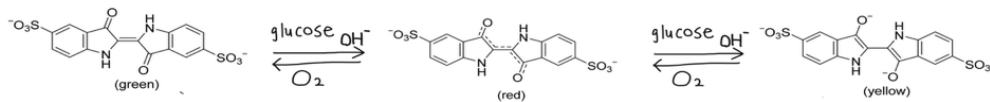


図 1. インジゴカルミンの酸化還元反応による構造

IC の酸化還元反応の代わりに同じく還元性を持つビタミン C を用いて実験を行った。この実験を行い、その上で試しに酸化しきった溶液に塩基性の溶液を添加したところ、青色から緑色に変わった。その他にも、塩基性の溶液では温めないでグルコースによる還元反応が起こらなかったことや、塩基性の溶液による IC の分解をどう抑えるか、還元反応を電気分解で制御できるのではないかと考えたことから、次のような実験を行った。

(実験 1) まず我々は、最も酸化された状態の IC の色が、酸性条件下で青色、強い塩基条件下で緑色になるのではないかと考えた。そこで、IC とグルコースを混ぜた合わせ反応しきった溶液に、追加で Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> または塩酸を加えることにより pH を変えて色の変化を観察した。

(実験 2) 次に、基本実験の溶液では温めないで反応が起こらないので、グルコースもしくは IC が低温の溶液中では還元性を示さないからではないかと考えた。そこで、グルコースの代わりに同じく還元性を持つビタミン C を用いて実験を行った。ビタミン C は酸性条件下でも還元性を示すので Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> を用いなかった。

(実験 3) 塩基性の溶液を使っているため、すぐに IC が分解されて繰り返し反応させることができないので、酸性の溶液を使えば IC が分解されず、繰り返し反応することが可能になるのではないかと考えたが、実験 2 の結果から塩基性にしてみようと思い、ビタミン C と Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> を用いて弱塩基性にした。

(実験 4) 最後に、完成した溶液に電気を流したら酸化還元反応による色の変化を制御できるのではないかと考え、観察した。

### 3. 結果

(実験 1) 以下の表 1 のようになった。

表 1. 反応時の溶液色調変化

pH	IC添加後→	中間色→	反応終了後	使用溶液
1~7	青	青	青	HCl
9	青	紫・赤	黄	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>
11	緑	紫	黄	NaOH(少)
14	黄	黄	黄	NaOH(多)

(実験 2) グルコースは温かくしなければ反応しないが、ビタミン C に変えたところ、常温下でも高温下でも還元反応は見られなかった。

(実験 3) Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> を加えたら黄色くなり、振ると緑色になった。実験から 2 週間たっても反応を起こすほど持続時間は長く、目標の IC の酸化還元反応の改良を達成できた。

(実験 4) 基本実験の溶液に H 字管電気分解装置 (白金電極) で電気を流したところ、陰極ではだんだんと青色から黄色に変化した。

一方で陽極では、しばらく電流を流し続けたところ、青色からだんだんと薄くなっていった。その後黒色になったときもあった。電気分解後、pH が 11 から 9 に変化していた。

### 4. 考察

(実験 1) 仮説通りだった。

(実験 2) ビタミン C は低温下でも反応したため、IC が低温の溶液中で還元性を示さないのではなく、グルコースが低温下では還元性を示さないということが考えられる。また、酸性なのが還元されなかった原因だと考えることもできる。よって実験 3 を行った。

(実験 3) pH は基本実験の溶液が 10.7、ビタミン C を用いた溶液では 9.1 だったので pH が中性に近いことが長持ちの原因になったと考えられる。

(実験 4)

陽極では、電気分解により IC が分解されて一旦無色透明になったと考えられる。また、黒色に変化した理由は、IC が分解されてアミンを生じ、それが糖と反応してメイラード反応を起こしたからと考えられる。pH が 11 から 9 になったことは、Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> が溶けている水溶液を電気分解したことによって生じた CO<sub>2</sub> が陽極側で発生したことが原因と考えられる。

陰極側の溶液の色が黄色になった。これは、電子を受け取っていったことによって還元したため、表 1 のように変化したからと考えられる。しかし、電気分解によって IC がどのような構造に変化したかどうかは非常に複雑な現象なので、今回の発表までに結論を出すことは出来なかった。

### 5. 今後の展望

この実験は、特に実験 4 は新たな疑問を数多く産んだ。まだ完全に解明できたわけではないので、電気による影響を解き明かしたい。

### 6. 参考文献

- 1) 横浜国立大学教育学部紀要. IV, 自然科学, 1, 1-10 (2018)
- 2) 慶應義塾大学日吉紀要. 自然科学, 59, 21-33 (2016)

# ダーク条件で発電可能なハイブリッド型色素増感太陽電池

## Power Generation in the Dark Using a Hybrid Dye-Sensitized Solar Cell

安田学園高等学校 サイエンスクラブ 折坂唯斗 弘中亜衣莉 高木大輝

### 1. 研究背景

太陽電池は光が当たっている時（ライト条件）に発電し、光が当たっていない暗闇（ダーク条件）では発電することができない。そのため、太陽光発電には蓄電装置が必ず必要となるが、コストも高く廃棄問題や緊急事態時の利便性にも課題があると言える。そこで、太陽電池がダーク条件でも発電できれば、蓄電する必要がなくなり、太陽光パネルだけでライト条件でもダーク条件でも発電できるのではないかと考えた。

### 2. 研究目的・意義

太陽電池はクリーンエネルギーや再生可能エネルギーの代表であるが、実際には鉛蓄電池などの蓄電池も併用して用いられているため、環境やコストの面からも負荷は大きい。本研究では色素増感太陽電池に用いられる電解液を高分子に吸着させることで、高分子内外で電解液濃度に差が生じ、太陽光がなくとも濃淡電池として発電できるのではないかと考え調べた。

### 3. 研究方法

#### 3-1 色素増感太陽電池<sup>2)</sup>

【電解液】ヨウ素電解液

KI 0.5 mol/L, I<sub>2</sub> 0.01 mol/L : Redox 分子 I<sup>-</sup>/I<sub>3</sub><sup>-</sup>  
電解液中でヨウ素分子 I<sub>2</sub> はヨウ化物イオン I<sup>-</sup> と結びつき、三ヨウ化物イオン I<sub>3</sub><sup>-</sup> を生じている。I<sup>-</sup> + I<sub>2</sub> → I<sub>3</sub><sup>-</sup>

【発電の仕組み】(Fig.1)

光によって Ru 色素<sup>3)</sup> (増感色素) 及び TiO<sub>2</sub> が励起し電子を放出する。正極で電解液中の三ヨウ化物イオンが電子を受取りヨウ化物イオンとなる。負極で電解液中のヨウ化物イオンが電子を負極へ渡し、三ヨウ化物イオンに戻る。

#### 3-2 ライト条件・ダーク条件の測定方法

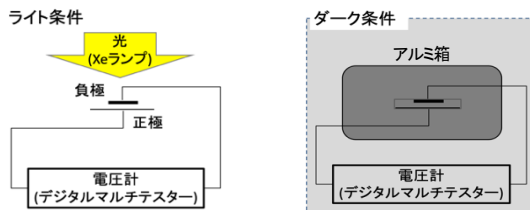


Fig.2 開放電圧測定装置の模式図

ライト条件: 電池の負極側に人工太陽であるXeランプを照射  
ダーク条件: 実験室を暗闇にし、電池にアルミ箱を被せて光を遮断

#### 3-3 実験 1 高分子を用いた電解液層の比較

色素増感太陽電池がどのような電解液層でダーク条件で発電するか調べるため、①液体（水溶液そのままの電解液）、②PVA（ポリビニルアルコール PVA を加えて粘性をつけた電解液）、③セルロース（電解液を染み込ませたる紙と薬包紙）の3通りでライト条件およびダーク条件での電圧を測定し比較した。

【結果 1】

電解液層	① 液体	② PVA	③-1 セルロースろ紙	③-2 セルロース薬包紙
ライト条件	418 ± 34 mV	560 ± 65 mV	606 ± 39 mV	367 ± 53 mV
ダーク条件	0 ± 0 mV	470 ± 63 mV	591 ± 45 mV	369 ± 46 mV

Mean ± SEM (n=5 independent cells), measured 5 min after switching to light / dark

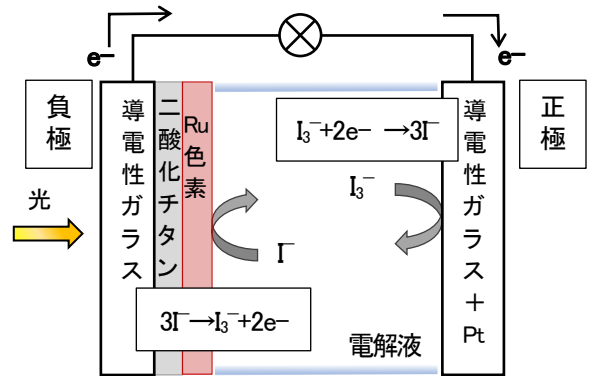


Fig.1 色素増感太陽電池の仕組み

【負極】

導電性ガラス(アズワン NPV-CFT2-7C 25×25×2.2mm)

二酸化チタンペースト anatase TiO<sub>2</sub>

増感色素(Sigma-Aldrich Merk Ru 錯体色素)

【正極】

導電性ガラス、Pt

左図のような装置で色素増感太陽電池をライト条件およびダーク条件で電圧を測定した。ダーク条件では、明るさはデジタル照度計で0~1 Lux となる時とした。(Fig.2)

高分子であるPVAとセルロースを用いると、ダーク条件で比較的高い電圧を示し、特にろ紙のセルロースを用いた場合、最も高い電圧を示した。

### 3-4 実験2 ダーク条件下の電圧

ダーク条件での電圧がキャパシタの放電によるものか、化学電池の発電によるものかを、① I-V 特性曲線、② 定電圧での電流維持時間、③ 短絡後の再起電圧について調べた。

#### ① I-V 特性曲線

液体電解液の *Light/Dark*、セルロース電解液の *Light/Dark* の I-V を、掃引速度を約 100 mV/s で測定した。(Fig.3)

速い掃引速度では、液体電解液、セルロース電解液ともに擬似的な MPP が現れたが、forward と reverse のヒステリシスが確認されたため、次は 10 mV/s で掃引した。すると、ヒステリシスは小さくなり、擬似的な MPP は消失した。(Fig.4)これは、DSSC による光起電力は速い電子系、化学電池による起電力は遅いイオン拡散系であることを考えると、イオン拡散系の化学電池の存在が示唆される。

#### ② 定抵抗下での I-V 維持時間

1 MΩ での定抵抗下で I-V の時間測定を 1 時間行った。ダーク条件にしてから電流、電圧とも緩やかに減衰し、約 1 時間程度で急激に低下した。減衰曲線はキャパシタによるものであり、急激な低下は電解液の乾燥による内部抵抗の増大 (スイッチオフ) によるものだと考える。(Fig.5)

#### ③ 短絡後の再起電圧

液体電解液では、再起電圧は非常に小さかったが、セルロース電解液では、再起電圧は短絡前の 9 割ほどの電圧になった。このことから、キャパシタ放電だけでなく化学電池による発電の可能性も高いと考えられる。さらに、電気二重層キャパシタのイオン拡散による再起電圧の影響も大きいと考えられる。

## 4. 結果・考察

セルロース電解液を用いた色素増感太陽電池は、ダーク条件下において開放電圧  $V_{oc}$  が高く、また外部回路への電力供給が 1 時間以上継続し、さらに短絡後に再起電圧が確認された。セルロースにヨウ素電解液を浸漬させると、セルロース繊維の毛細管現象により電解液が強く吸着され、さらにセルロースの-OH による選択的吸着が起これ、セルロース内外で  $I/I_0$  の濃度差が生じていると考え、濃度差電池の可能性が示唆された。そこで、Nernst の式に当てはめると、濃度差が  $10^{10}$  倍必要となるため、濃度差だけではなく電気二重層キャパシタの放電による電圧の寄与が大きいのではないかと考えた。

## 5. 結論及び今後の展望

色素増感太陽電池のヨウ素電解液をセルロースに吸着させることで濃度差による化学電位を生じ、また大容量の電気二重層キャパシタが生成され、ライト条件では太陽電池、ダーク条件ではキャパシタ放電+化学電位の発電によるハイブリッド型色素増感太陽電池 (HDSSC) になることが分かった。

今後は夜間使用を考慮し、耐久性を含めてより詳しく調べていきたい。そして将来、新たなハイブリッド型色素増感太陽電池で環境だけでなく人々の生活に貢献していきたい。

## 謝辞

Ru 錯体色素を無償提供してくださった、株式会社メルク様に心から感謝申し上げます。

## 引用文献・参考文献

- 1) 瀬川浩司, 「導電性高分子と色素増感太陽電池を組み合わせた蓄電できる太陽電池」, 特集 高分子が拓くエネルギーデバイス, 高分子 54 巻 12 月号(2005 年)887
- 2) 佐藤勝昭, 「太陽電池のキホン(イチバンやさしい理工系)」(第 4 章), Soft Bank Creative (2011 年)
- 3) [sigmaaldrich.com/JP/ja/product/Aldrich/703206](http://sigmaaldrich.com/JP/ja/product/Aldrich/703206) Merck Sigma-Aldrich

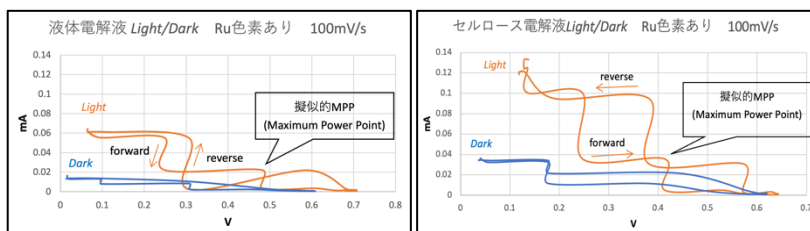


Fig.3 掃引速度 100 mV/s での I-V 特性曲線

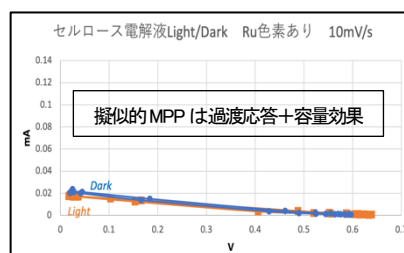


Fig.4 掃引速度 100mV/s での I-V 特性曲線

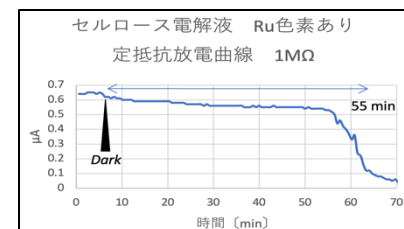


Fig.5 1MΩ 定抵抗放電曲線 I-T グラフ

# スライムで太陽電池の性能向上に挑戦！！

山梨県立甲府南高等学校 物質化学部

○高雄朝陽 ○井上湊太 ○長田幸穂 ○田中陽翔 ○重田結衣

## 1. 研究目的および研究仮説

先行研究では、色素増感太陽電池の電解液をスライムでゲル化することにより、液漏れを防ぎ、電圧値の上昇に成功した<sup>1)</sup>。その後、電解液と色素を用いなくても発電が可能であることが分かった。

昨年度の研究では、スライム太陽電池の性能向上に挑戦し、作成したスライム太陽電池を2個利用することにより、LEDを光らせることができた<sup>2)</sup>。しかし、スライムが太陽電池においてどのような役割をしているのかはまだわからない。

そこで、今年度の研究目的は、「スライム太陽電池の機構を解明する」とした。

TiO<sub>2</sub>は紫外線によって励起する性質を持っており、スライム太陽電池において色素がなくても発電が可能であったことから、TiO<sub>2</sub>が電子を放出していて、さらにスライムも励起している（色素の役割をしている）と仮説を立てた。

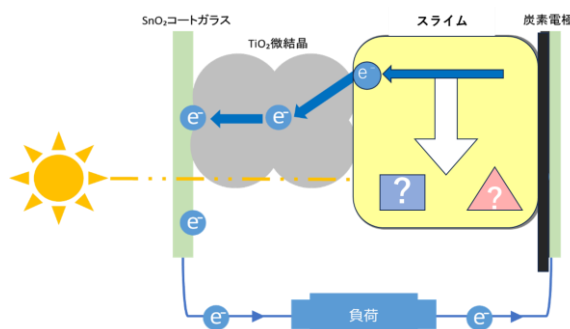


図1 スライム太陽電池の機構イメージ

## 2. 実験方法

### 「スライム太陽電池の作成方法<sup>3)</sup>」

- ① PVAと飽和四ホウ酸ナトリウム水溶液を混合しスライムを作成する。
- ② 黒鉛を塗った導電性ガラス（FTOガラス、25 mm×25 mm）にスペーサーを置き、その中にスライムを入れる。
- ③ ②の上にTiO<sub>2</sub>サスペンション（TiO<sub>2</sub>、硝酸、界面活性剤を混合したもの）を塗布し、ガスバーナーで焼結した導電性ガラスを重ね、ダブルクリップでとめる。
- ④ 電極（導電性ガラス）に銅テープを貼る

### 「TiO<sub>2</sub>の有無による電流値電圧値の測定」

暗室で、通常のスライム太陽電池・TiO<sub>2</sub>なしのスライム太陽電池・黒鉛なしのスライム太陽電池の三種類の電池を作成し、電圧値・電流値をそれぞれ5分計測した。

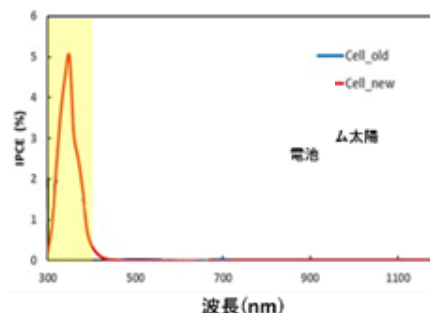
### 「TiO<sub>2</sub>とスライムの吸光度及びIPCEとIV特性の計測」

TiO<sub>2</sub>と重合度500・2000を用いた質量パーセント濃度が10%スライムの吸光度を観察した。さらに、スライム太陽電池のIPCEスペクトルを計測した。IPCEとは、照射した光子が電流に変換される効率のことである。また、光照射時・消灯時のIV特性を計測した。IV特性は、特定の電圧をかけた時の電流を計測しグラフにしたものである。

### 3. 結果

表1 五分間の平均の電流値・電圧値

	通常	TiO <sub>2</sub> なし	黒鉛なし	TiO <sub>2</sub> , 黒鉛なし
電圧値 (mV)	731	32.3	657	15.4
電流値 ( $\mu$ A)	33.0	0.01	20.8	-0.01



グラフ1 スライム太陽電池の IPCE スペクトル

電流値・電圧値の計測より TiO<sub>2</sub>がないものでは、TiO<sub>2</sub>があるもの比べて電流値はほぼ0の値をとり、電圧値は著しく低下した。IPCE スペクトルより 350nm 付近の光の約 5%しか電流に変化できていないことが分かる。また 200~400nm の近紫外光の吸光度はかなり高い値を取っているため、酸化チタンは紫外線をほとんど吸収していることがわかり、その奥にあるスライムにはほとんど光が届いておらず、吸収していない考えられる。そのうえスライム太陽電池の IPCE スペクトルで電流に変換されている波長と、酸化チタンが多く吸収している波長が一致していることが分かる。光を当てているときの、スライム太陽電池の IV 特性は、電流が色素増感太陽電池の電流よりも大幅に低くなっている。また、色素増感太陽電池の IV 特性と大きく異なっていることが分かる。

### 4. 考察

電流に多く変換されている光の波長が、TiO<sub>2</sub>の多く吸収する波長と一致しているという結果から主に TiO<sub>2</sub>が励起して電子を放出していると考えた。TiO<sub>2</sub>の光の吸収による電子の放出に加えて、TiO<sub>2</sub>が紫外線に当たることで光触媒機能を持ち、光触媒機能によってスライムが分解されることによっても電子が放出されていると考えた。また IV 特性の特異性より従来の色素増感太陽電池とは異なる電子の受け渡しが行われている可能性があると考えた。

### 5. 今後の展望

TiO<sub>2</sub>、SnO<sub>2</sub>、黒鉛、スライムそれぞれの光応答性について開放電圧を中心とした観察や PVA のけん化度の違いによる電流値の比較を行いたい。また発電後のスライムの構造変化を調べたい。さらにスライム太陽電池の電極板の表面温度を調べたい。

### 6. 参考文献

- 1) 2021 生徒の自然科学研究発表大会研究概要, スライム増感太陽電池の研究 山梨県立甲府南高校物質化学部, 2021
- 2) 2024 生徒の自然科学研究発表大会研究概要, スライム増感太陽電池におけるスライムの吸光度と発電量の関係 山梨県立甲府南高校物質化学部, 2024
- 3) ナノクリスタル太陽電池 光合成の再創造 (「ケニス環境学習キット」付録より)
- 4) 荒川裕則, 色素増感太陽電池の最新技術, シーエムシー, 2001
- 5) 触媒について | 株式会社エス・イー・イー

# マグネシウム空気電池で生じる化学反応の解明

渋谷教育学園幕張高校

○大石 堯成

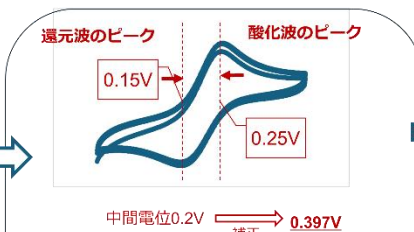
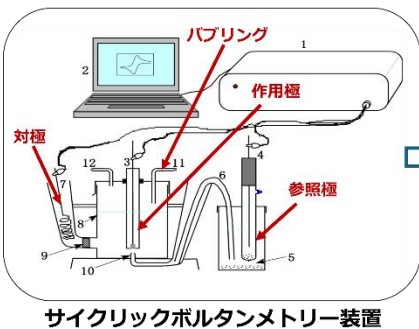
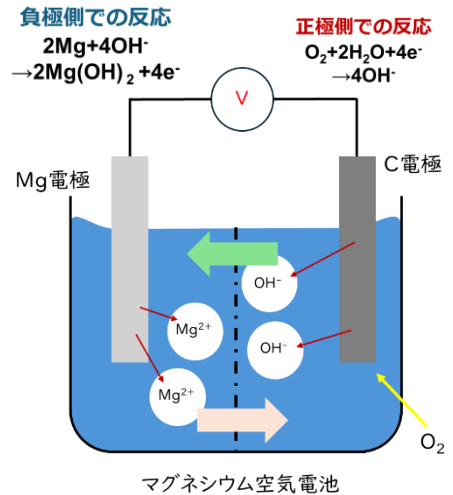
## 1. 研究の動機

現在スマートフォンやパソコンなど多くの電子機器で使われている電池は、リチウムイオン電池である。しかし、リチウムイオン電池に使われるリチウムは希少価値が高く埋蔵量も限られているため持続可能とは言えないという問題がある。このようなりチウムイオン電池に対し、マグネシウム空気電池は、負極にマグネシウム板、正極に炭素電極、電解液に食塩水を用いる電池であり、材料が比較的安価であり、また酸化マグネシウムが太陽光により分解しマグネシウムに還元されることを用いたマグネシウム循環型社会の構想もあることから持続可能な電池として

注目されている。しかし、理論起電力が 2.76V なのに対し、市販のマグネシウム空気電池の電圧は 1V 程度にとどまる。この起電力の低さは、マグネシウム空気電池で想定される反応以外の反応が起こっていることによるものだと考え、起電力を下げる原因となっている反応を解明することを研究の目的とした。

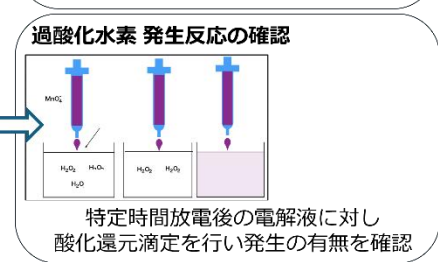
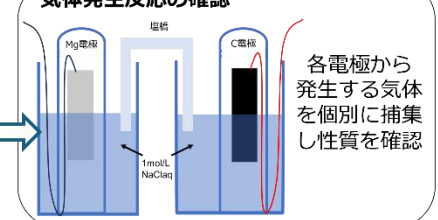
## 2. 研究の方法

まず実験 1 では、サイクリックボルタンメトリーによって反応の見当をつけた。サイクリックボルタンメトリーは、セル内で電池系を再現し、電位が一定に保たれる参照電極と電池の電極との間の電圧を変化させた時の電流値の変化を観察する手法である。この手法により、電池系で起こっている反応の電位を測定で得られたグラフのピーク電位として読み取ることができる。この実験により、電池の反応系で起こっている反応として、水と電子から水素を発生する反応、電解液である食塩水の塩化物イオンが電子を放出して塩素を発生する反応、そして水と酸素から過酸化水素を発生する反応の三種類の反応が起こっている可能性を見出した。



電極反応	E°/V
$\text{Fe}(\text{OH})_3 + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Fe}(\text{OH})_2 + \text{OH}^-$	-0.556
$\text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Fe}$	-0.44
$[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-} + \text{e}^- \rightleftharpoons [\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$	0.361
$\text{Fe}^{3+} + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Fe}^{2+}$	0.771

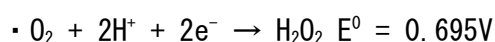
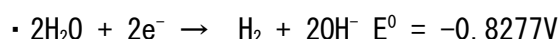
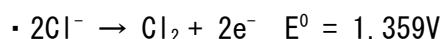
電圧-電流グラフから、ピーク電位を読み取り反応を予測



次に実験 2 では、実験 1 で見つけた反応が実際に起こっているかどうかを実験によって調べた。水素・塩素の発生については、電池の各電極を隔離した状態で各電極から発生する気体を別々に試験管に採集し、水素については火との反応性を、塩素については残留塩素のパックテストを用いてその発生を確認する実験を行った。さらに、電池を放電させた後の電解液を、過マンガン酸カリウム水溶液を用いて酸化還元滴定を行うことで、還元剤となる過酸化水素の発生量を考え、ファラデー効率の計算を行った。

### 3. 実験の結果

実験 1 のサイクリックボルタンメトリーの結果を解析した結果、以下の 3 つの反応に相当する標準電極電位に近い電位におけるピークが確認できた。



また実験 2 において、負極 (Mg 電極) 側から得られた気体は火を近づけるとポツと音を立てて燃え、また正極 (C 電極) 側から得られた電解液が DPD 試薬 (N,N-ジエチルパラフェニレンジアミン法と呼ばれる残留塩素の測定法で、今回は残留塩素のうち次亜塩素酸などの形で水溶液中に溶け込んでいる遊離残留塩素濃度を測定するパックテストを用いた) に対して反応したことから、負極での水素の発生、正極からの塩素の発生を確かなものと考えた。さらに、放電後の電解液に対して過マンガン酸カリウム水溶液を用いて酸化還元滴定を行ったところ放電時間の増加に伴う還元剤の量が増加したことから、電池における反応において過酸化水素が発生しているものと推測した。

### 4. 研究のまとめ

以上の実験を通じて、マグネシウム空気電池において正極で酸素と電子から水酸化物イオンが生成する反応、負極でマグネシウムが電離するという理想的な反応のほかに、放電時に水素が発生する反応、塩素が発生する反応、そして過酸化水素が発生する反応の 3 反応が起こっていることを見出した。しかし、これらの反応以外にも反応系で起こっている反応はあるかもしれない。また今後は、解明できた反応を抑制することでマグネシウム空気電池の起電力を向上させることを目指したい。

### 5. 謝辞

東京都立大学 環境応用化学科 田中 学 先生  
化学部にて御指導いただきました 佐原 奈保子 先生

### 6. 参考文献

- 岡島武義、第四回チュートリアル電気化学測定法電気化学測定法の基礎 (1)、2013  
電気化学便覧第 6 版、丸善出版、2013  
飯田隆、イラストで見る化学実験の基礎知識、丸善出版、2009  
稲葉稔、分極曲線・サイクリックボルタンメトリー総論、2009  
板倉啓二郎、マグネシウム空気電池の高出力・安定化に関する研究、2018

# 酸化チタン(IV)の起電力について

城西大学附属川越高等学校 山岡夢来 志村和哉 北村厚登

## 目的

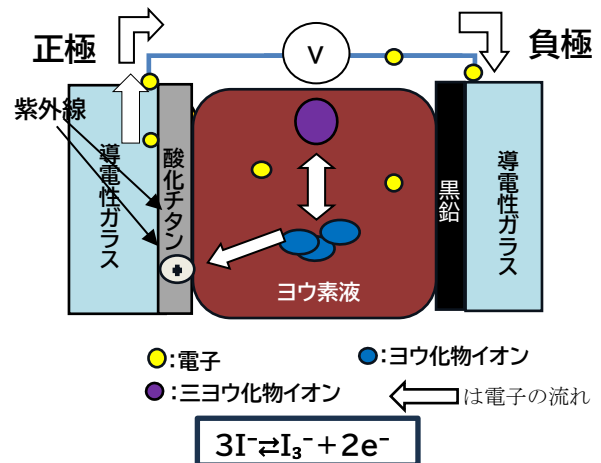
光触媒として使用されている酸化チタン(IV)について興味を持ち、研究を行った。酸化チタン(IV)の持つ特性の中でも、光を照射すると電子を放出するという部分に注目し、酸化チタン(IV)電極を使用することで光を当てるだけで放電される電池ができるのではないかと思い、どのような条件で作成した電池が最も効率がいいのかを模索した。

## 原理

紫外線を導電性ガラスを通して、酸化チタン(IV)に吸着した色素に照射すると、電子が基底状態から励起状態になり、酸化チタン(IV)粒子に放出される。放出された電子は導電性ガラスに移動する。両極板の間に電解液としてヨウ素液を使い、ヨウ化物イオンが失った電子を穴埋めする。

ヨウ素はヨウ化物イオンという形で存在し、このイオンが三つ集まって二つの電子を色素に与え、

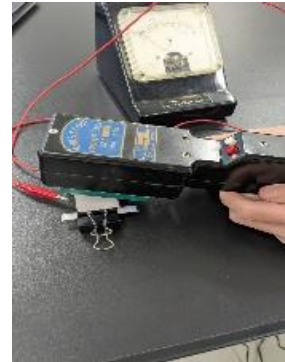
三ヨウ化物イオンに変化する<sup>(2)</sup>。陰極で生まれた電子はクリップから外部に出ていき、正極へ移動する。正極の導電性ガラスに入った電子は電解溶液中にある三ヨウ化物イオンに出会い逆反応を起こす。



## 実験方法

陰極：酸化チタン(IV)の粉末と蒸留水を7g : 10gの質量比で混ぜペースト状にした。導電性ガラスの導電面に、端を6mm余らせて厚さが均等になるようにペーストを塗った(スキージ法)。1日乾燥させた後250℃のホットプレートで1時間と2時間焼成した。赤、黄、緑の食紅(0.1g)、メチレンブルーをそれぞれ40mLの蒸留水に溶かしその水溶液に1時間焼成した物と2時間焼成させてそれぞれの色に3日間浸し、色がついた後取り出し1日乾燥させた。

陽極：エタノールで洗った導電性ガラスに10Bの鉛筆で全体を塗った。酸化チタンの面と黒鉛の面を塗った面を電極部分が5mmはみ出すように、クリップを使い貼り合わせた。両極の間にヨウ化カリウム水溶液を染み渡らせるように注入した。UVライトを照射し電流と電圧をそれぞれ計測し、2回分の平均値を測定値とした。これを5色×2(1時間、2時間分)×3回分=30回分の実験を行った。

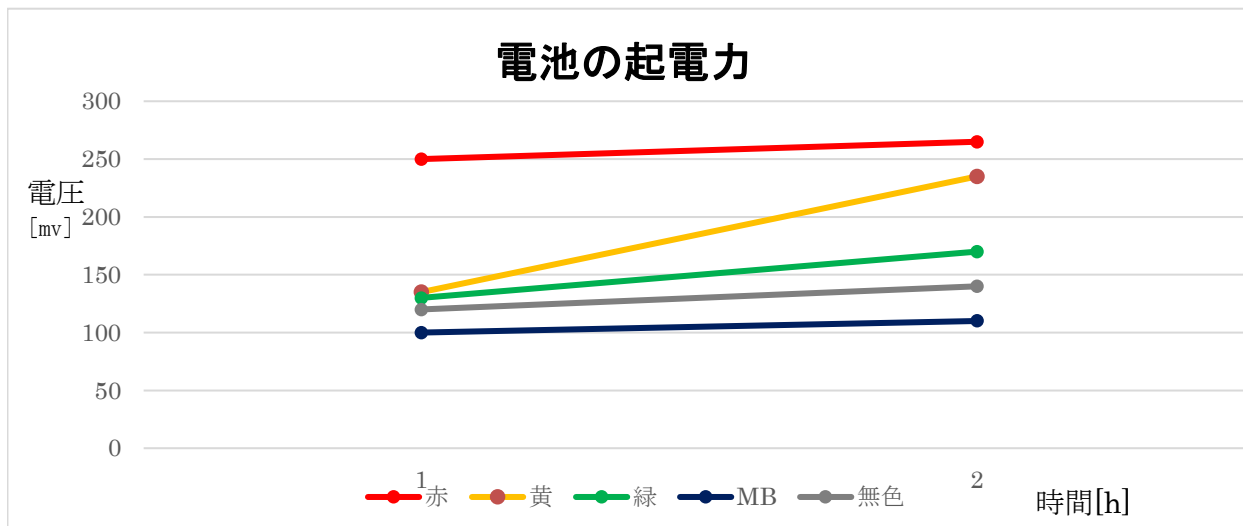


## 結果

1 時間焼成物は赤、黄、緑、無色、メチレンブルーの順に電圧が高かった。

2 時間焼成物も 1 時間と同様に赤、黄、緑、無色、メチレンブルーの順に電圧が高かった。

また電流の大きさは全て確認できなかった。



## 考察

今のところ 1 時間焼成した物より 2 時間焼成した物の方が電圧が高いことが分かった。理由として、熱によって酸化チタン(IV)ペースト内にある絶縁物が分解や蒸発また密着性の向上などにより電子の移動が容易になると考えられる。また赤、黄、緑、メチレンブルーの中では、赤の電圧が一番高いことが分かった。これは赤の食紅は酸化チタン(IV)ペーストに色が吸着していたが、黄、緑、メチレンブルーは電解液を注入したときにあまり吸着しておらず、流れてしまった部分があったと考えられる。そして、電圧大きさは色が紫外線の波長に近いかではなくどれだけ広い帯域の光を吸収できるかに依存すると考えた。

## 展望

電圧が吸収できる光の帯域に依存するという考察が正しければ、黒色が最も電圧が高くなるのか調べていきたい。また実験時ヨウ素液によって酸化チタン(IV)と色素の吸着しやすさを調べることと、吸着しやすさに左右されない実験もしていきたい。

## 参考文献

1) 仲村 亮正、文 相詰、藤嶋 昭 “光触媒の発見から現状、そして将来展望”

[https://www.jstage.jst.go.jp/article/jvsj/49/4/49\\_4\\_232/\\_pdf/-char/ja](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jvsj/49/4/49_4_232/_pdf/-char/ja)(参照 2026/1/26)

2) ishi 会 “色素増感太陽電池製作手順”

[https://ishi-kai.org/assets/presentation/event/202505/Dye-sensitized\\_solar\\_cells.pdf](https://ishi-kai.org/assets/presentation/event/202505/Dye-sensitized_solar_cells.pdf)(参照 2026/1/26)

**直接アンモニア水燃料電池の研究**  
 栃木県立足利高等学校 ○赤間 煌煌 ○石江 翔

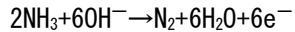
1. 目的

平成 16 年の先輩らによる「直接メタノール燃料電池の研究」<sup>(1)</sup>では、理論値に近い 1.3V の高い起電力が得られ、直接メタノール燃料電池の有効性が示されていた。本研究では、液化や輸送が容易で CO<sub>2</sub> 排出しない次世代エネルギー源として注目されるアンモニア燃料に用いることを検討した。しかし、アンモニアはメタノールに比べ反応性が低く、電極表面での分解が進みにくいため電池性能が低下しやすい。そこで、分解反応を促進する触媒の探索を行い、アンモニア水を燃料とする「直接アンモニア燃料電池」の実現を目指した。特に、触媒材料が起電力や電池性能に与える影響を調べることを目的とした。

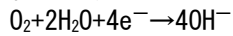
2. 実験

2.1 負極に白金黒メッキをしたニッケル金網<sup>(1)</sup>を(自作)使用

この実験の負極での反応は次の通りになる。

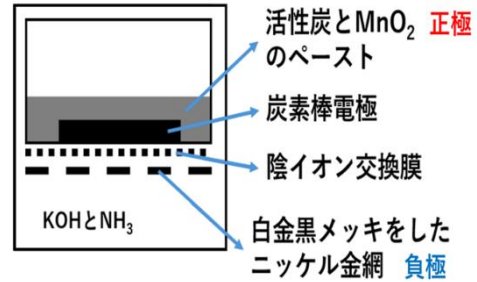


正極での反応では次の通りになる。



負極として白金黒メッキをしたニッケル金網を用い、1mol/L アンモニアと 1mol/L 水酸化カリウム水溶液を 1:1 で混ぜ合わせた溶液に浸した。正極として炭素棒を用い、そのまわりを酸化マンガ(IV)と活性炭の、体積比 1:1 の混合物を純水でペーストにして覆った。負極と正極を陰イオン交換膜で通して繋げた。

結果 起電力約 0.1V



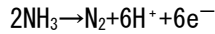
2.2 酸化マンガ(IV)と活性炭のペーストの上に活性炭の粉末を約 3mm 塗り、酸素との反応の効率を上げた。

結果 起電力約 0.35V 電流約 0.1mA

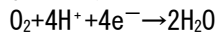
考察 結果より、前回の実験より起電力が 0.25V 上昇したので、活性炭の役割が大きいと考えられる。

2.3 陽イオン交換膜を用いた。

負極での反応は次の通りになる。



正極での反応は次の通りになる。



結果 起電力ほとんど 0V 電流ほとんど 0V

考察 負極の反応で生成した水素イオンが陽イオン交換膜を通過する前にアンモニアと反応してしまった。

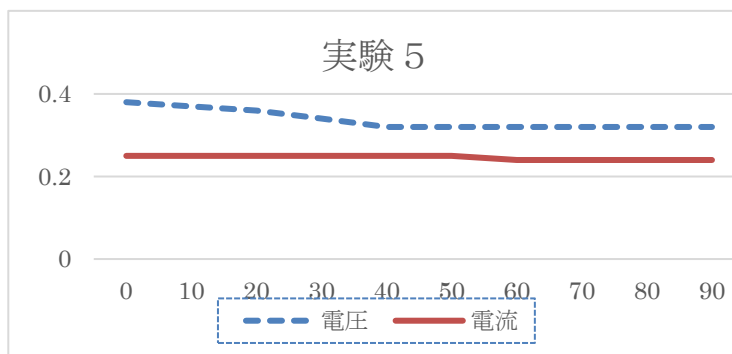
2.4 酸化バリウムメッキしたニッケル金網

正極は同じものを用いた。

結果 起電力約 0.46V 電流約 0.55mA

考察 結果より、白金黒メッキよりも酸化バリウムメッキの方が適していることがわかった。

2.5 酸化バリウムメッキされたニッケル金網を負極に用いた実験装置を長時間(1 時間半)放置し、10 分毎に電圧、電流の値を測定した。



結果 起電力は測定開始 40 分後まで下がり続け、その後 0.32V で安定。

電流は 60 分後に 0.01mA 下がり続けた後、一定の値をとり続けた。

考察 実験開始から 40 分後まで起電力が下がった原因は装置に塗した活性炭の粉末が湿り、酸素と結びつく効率が下がったからと考えた。

40 分後以降に起電力が安定した理由は活性炭の状態が安定したからと考えた。

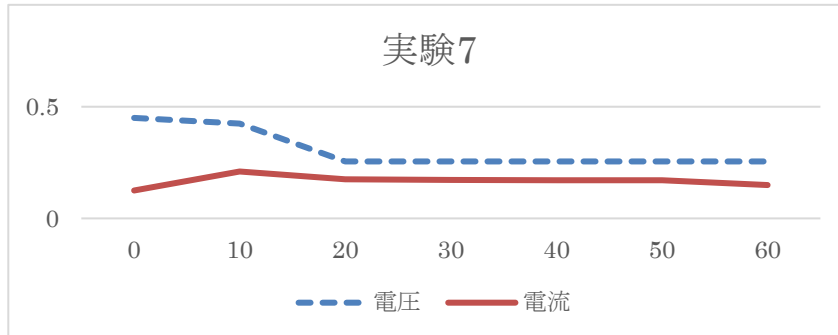
2.6 ニッケル金網を硫酸銅(Ⅱ) 1.0mol/L 水溶液に 24 時間浸し、メッキし水洗後に乾燥をした。

結果 起電力は 0.52V

考察 銅が最も良い触媒作用をはたらいた。

2.7 負極に銅メッキを施したニッケル金網を使用。正極は同じものを使用。

60 分間、10 分間隔で電流と電圧を測定した。



結果 電圧は 20 分時点で大きく下がり、その後に安定する。

電流は 10 分時点で約 1.7 倍になり徐々に下がっていった。

考察 開始から 20 分時点で電圧が大きく下がったのは、2.5 の実験と同様に、装置に塗した活性炭の粉末が湿り、酸素との接触が悪くなったためであり、20 分以降は活性炭の状態安定し、起電力もほぼ一定になった。

### 3. 結論・今後の展望

本研究では各種触媒を比較した結果、銅でメッキしたニッケル金網が最も高い起電力を示し、直接アンモニア燃料電池における有望な触媒候補であることが明らかになった。一方で、起電力が短時間で低下するなど、実用化に向けては依然として改善すべき点が残されている。成書<sup>(4)</sup>にはアンモニア水を用いた燃料電池の起電力は約 0.4V と記されているが、本研究ではこれを上回る 0.52V を記録した。これは触媒構造や電極設計が反応性に寄与した可能性を示唆している。

今後は、触媒層の厚さなどの作製条件、アンモニア水の濃度や温度といった運転条件をより詳細に検討するとともに、陰イオン交換膜の種類を変更するなどして、反応性の向上と起電力のさらなる改善を目指したい。

### 4. 参考文献

- (1) 第 21 回化学クラブ研究発表会講演予稿集 p.5
- (2) 渡辺 正 共著 電気化学(丸善) p.125
- (3) 朝日新聞(12月28日)JSEC2025 アンモニア合成触媒の研究 名古屋市立向陽高
- (4) アンモニアを用いた水素エネルギーシステム(監修 小島由継 シーエムシー出版)

あかま こうせい いしえ しょう

# ルミノール反応の発光の強さと触媒の酸化力の関係

茨城県立日立第一高等学校 落合七美

## 1. はじめに

ルミノール反応(図 1)において、ヘキサシアノ鉄(III)酸カリウムが触媒としてよく用いられており強い発光を示すが、ヘキサシアノ鉄(II)酸カリウムを触媒に用いたところ発光が見られなかった。ヘキサシアノ鉄(III)の錯体はヘキサシアノ鉄(II)の錯体より酸化数が大きく、酸化作用を持つことから、触媒の酸化力が高いほど強い発光を示すと考えた。そこで酸化力が異なる金属塩を用いてルミノール反応を行い、発光強度およびルミノール反応中の紫外可視吸収スペクトルの時間変化を調べた。

## 2. 実験方法

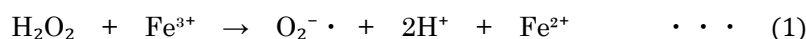
[使用する試薬・測定機器]  $2.0 \times 10^{-7}$  mol/L ルミノール水溶液, 3%  $\text{H}_2\text{O}_2$  水, 金属塩 0.01 mol/L 水溶液 ( $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ ,  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ ,  $\text{CuSO}_4$ ,  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{KMnO}_4$ ), 分光蛍光光度計 FP-6500 (JASCO), 紫外可視分光光度計 Agilent 8453 (Agilent Technologies)

[実験 1. 発光強度の測定] ルミノール水溶液,  $\text{H}_2\text{O}_2$  水もしくは純水を 1.5 mL ずつセルに入れて分光蛍光光度計にセットし、金属塩水溶液 ( $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ ,  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ ,  $\text{CuSO}_4$ ,  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{KMnO}_4$ ) を 0.25 mL 加え、発光強度を調べる。

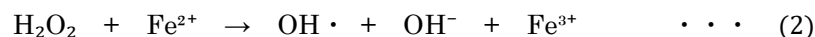
[実験 2. 紫外可視吸光スペクトルの時間変化の測定] ルミノール水溶液,  $\text{H}_2\text{O}_2$  水を 1.5 mL ずつセルに入れて紫外可視分光光度計にセットし、金属塩水溶液 ( $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ ,  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ ) を 0.25 mL 加え、その時点を 0 s とし、吸光スペクトルの時間変化を調べる。

## 3. 結果と考察

[実験 1]  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ ,  $\text{CuSO}_4$ ,  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{KMnO}_4$  を用いたときに発光し、 $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  を用いたときは発光しなかった (図 2,3)。発光が見られた金属触媒はいずれも標準電極電位の値が正で酸化力を持つため、ルミノール発光は酸化力のある触媒を用いると起こる、ということが分かった。また、 $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  で  $\text{H}_2\text{O}_2$  の濃度が高いほど発光が強くなった。これは  $\text{H}_2\text{O}_2$  と鉄(III)が反応するフェントン反応 (1) によって強い酸化力を持つ活性酸素 ( $\text{O}_2^{\cdot -}$ ) が生じ、それが酸化剤として働いて発光を増強しているからだと考えられる<sup>2)</sup>。



[実験 2] 時間を経るごとに  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  の吸光スペクトルが  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  の吸光スペクトルに近づいてきており、鉄(III)が鉄(II)に変化して行っていることがわかる(図 4,5)。また、 $\text{H}_2\text{O}_2$  を加えない場合(図 6)、時間が経過しても吸光度が変わらないので、酸化剤である  $\text{H}_2\text{O}_2$  がないとルミノール反応が進みにくいと考えられる。このことからフェントン反応(1)が起きていることが裏付けられ、そのため  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  と  $\text{H}_2\text{O}_2$  を用いたときに強い発光が見られるのだと分かった。しかし、フェントン反応(2)のような場合もありこの場合も活性酸素 ( $\text{OH}^{\cdot}$ ) を生じるため、 $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  を用いると発光しないことと矛盾している。



これについては、 $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  と  $\text{H}_2\text{O}_2$  を用いた場合は吸収スペクトルに変化が見られず、発光もしなかった(図 7)ことから、フェントン反応(2)は、ルミノール反応の塩基性条件下では起きにくいことが分かった。

## 4. 結論

金属触媒に酸化力があり、かつ過酸化水素から活性酸素が生じやすい条件の時に、ルミノール発光も強くなることが分かった。

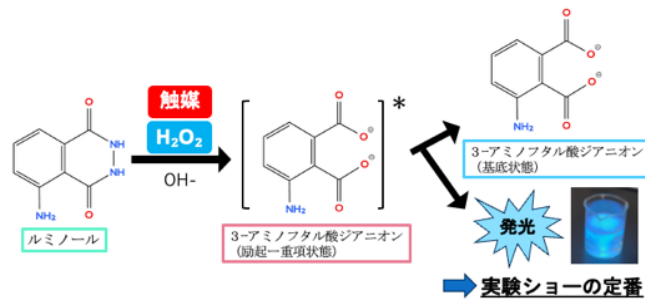


図1 ルミノール反応とは

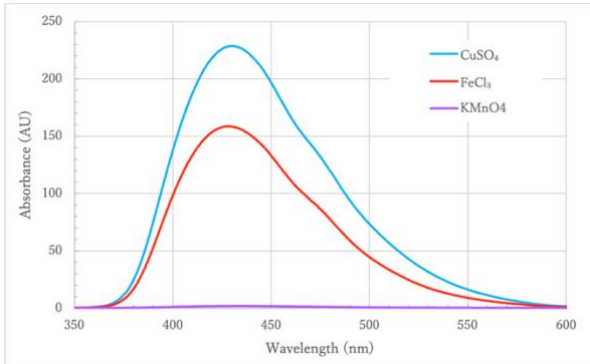


図2 CuSO<sub>4</sub>, FeCl<sub>3</sub>, KMnO<sub>4</sub>を用いたときの発光強度

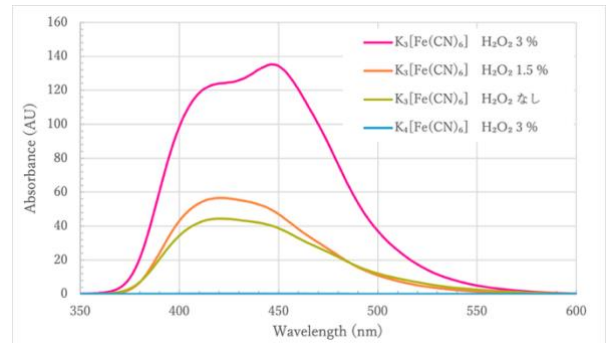


図3 K<sub>3</sub>[Fe(CN)<sub>6</sub>], K<sub>4</sub>[Fe(CN)<sub>6</sub>]を用い、H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>の条件を変えたときの発光強度

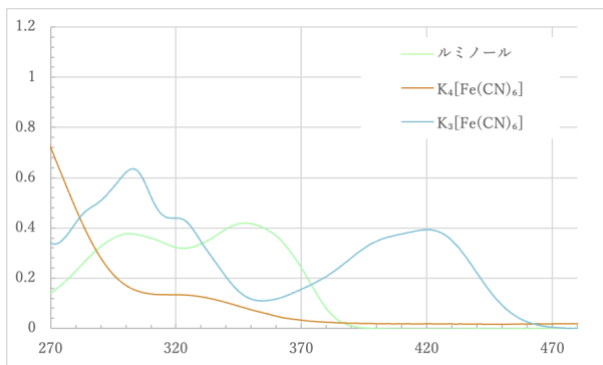


図4 ルミノール, K<sub>3</sub>[Fe(CN)<sub>6</sub>], K<sub>4</sub>[Fe(CN)<sub>6</sub>]の吸収スペクトル

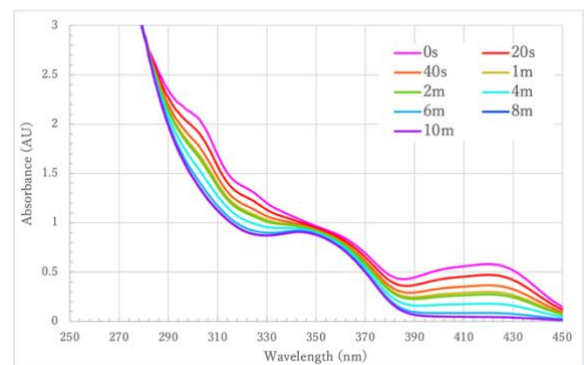


図5 K<sub>3</sub>[Fe(CN)<sub>6</sub>], 3% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 水を用いたときの吸収スペクトルの時間変化

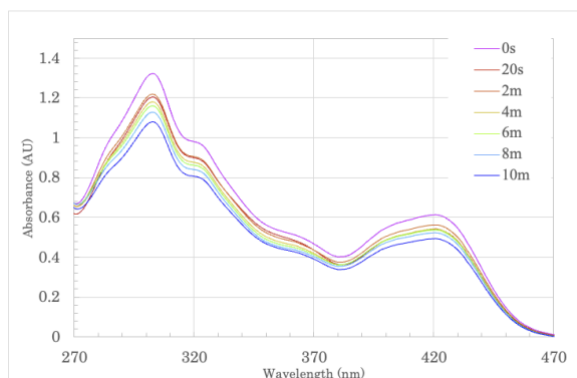


図6 K<sub>3</sub>[Fe(CN)<sub>6</sub>]を用い、H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>を用いないときの吸収スペクトルの時間変化

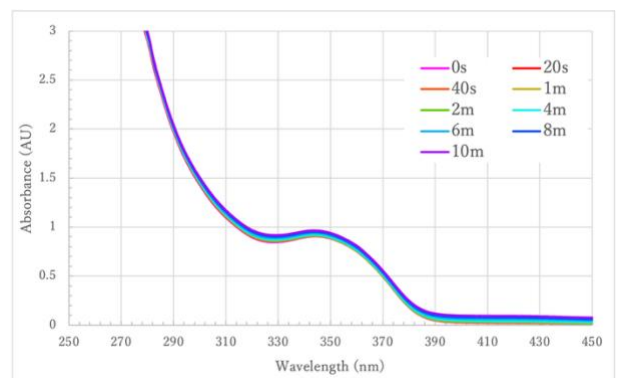


図7 K<sub>4</sub>[Fe(CN)<sub>6</sub>], 3% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 水を用いたときの吸収スペクトルの時間変化

# 多摩川及び玉川上水の水質調査

都立立川高等学校 ○小井沼岳

## 1 研究目的

本研究の目的は、過去の多摩川の水質データと現在のデータを比較して水質の変化を調べ、水質に影響を与える要因を調べることである。

文献調査より、家庭排水の下水処理によって水質の改善が得られたものの、下水処理水の増加による水質悪化が起こると仮説を立てた。

## 2 研究方法

### ① 文献調査

参考文献<sup>1),2)</sup>より過去の多摩川の水質データを抽出した。

### ② 調査項目

pH、ORP、水温、溶存酸素、COD、 $PO_4^{3-}$ 、 $NH_4^+$ 、 $NO_3^-$ 、 $NO_2^-$ (COD~ $NO_2^-$ はパックテスト：共立理化学研究所製)

### ③ 調査場所

本研究では、多摩川本流では白丸湖、鳩ノ巣、羽村、南多摩、二子玉川、小島新田を、多摩川上水では小平監視場、三鷹を調査対象とした。

多摩川本流は、中流域から下流域にかけて下水処理水の流入が増加するため、上流域～下流域の各地点を調査対象とした。

また、玉川上水は、羽村取水堰～小平監視所までが多摩川本流水、小平監視所～三鷹までが下水処理水のみであるため、明確な比較ができると考え、各地点を調査対象とした。

## 3 結果

本研究では $NO_3^-$ 濃度、COD、水温との関係に着目をした。

### **NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度**

・二子玉川、三鷹及び小平監視場では特に $NO_3^-$

濃度が高い(図 1, 図 2)。

・白丸湖、鳩ノ巣、羽村、二子玉川、小島新田において、1990年のほうが2025年より $NO_3^-$ 濃度が高い(図 3)。

### **COD**

・CODの値は、多摩川と玉川上水のいずれも上流ほど低い、羽村は上流であるが高い(図 1, 図 2)。

### **水温**

・2025年の水温と1987年から1990年の水温を比べると、2025年の水温のほうが高い(図 4)。

・多摩川本流に関して、夏季において異常な水温上昇が見られた(図 4)。

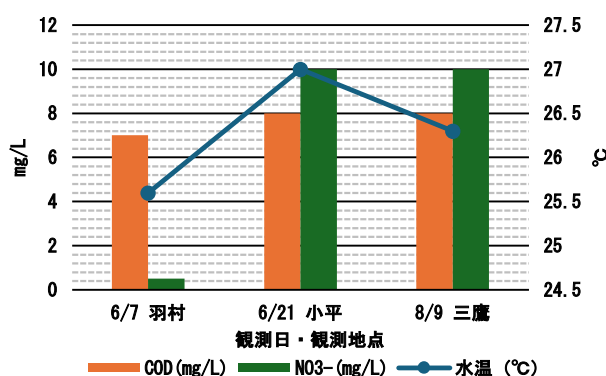


図 1. 2025 年の玉川上水の水質データ。

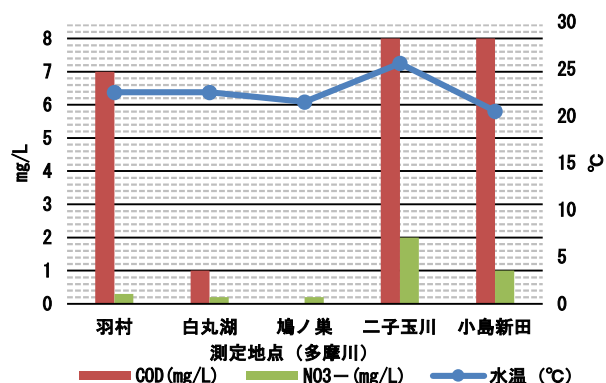


図 2. 2025 年の多摩川の水質データ。

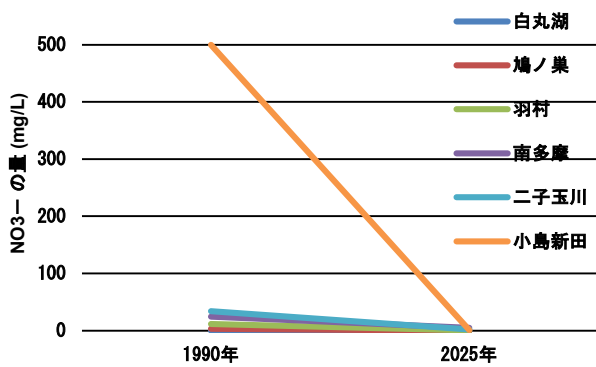


図 3. 1990 年と 2025 年の多摩川における NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度の比較。

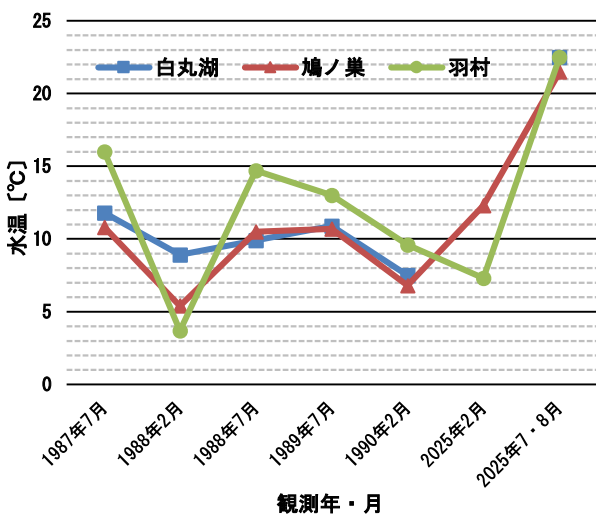


図 4. 1987 年から 2025 年の夏にかけての多摩川の水溫。

#### 4 考察

下水処理水を排出している場所の近くである小平監視場や二子玉川で NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度が高いことから、下水処理水の影響は COD の値よりも NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度が深く関係していると考えられる。また、三鷹で NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度が高いのは、小平監視場の東から三鷹にかけて玉川上水への河川合流がないためだと考えられる。

多摩川の NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度が 1990 年と比べて低下したことから、2025 年の水質は改善された。これは、下水処理水の管理の厳密化と下水処理技術の向上が原因だと考えられる。

#### 5 今後の展望

今後、気温上昇に伴い水温への影響が大きくなることが予想される。また、多摩川本流水の濁水により下水処理水の割合が増えれば玉川上水（下水処理水）のような環境に変化していくのではと考えられる。さらに、このまま気温が上昇すると、バクテリアの活発化により水中の NH<sub>4</sub><sup>+</sup>が NO<sub>3</sub><sup>-</sup>へと酸化され、また土壌中の NH<sub>4</sub><sup>+</sup>が NO<sub>3</sub><sup>-</sup>へと酸化されて水中に流れ出ることにより水中の NO<sub>3</sub><sup>-</sup>の濃度が上昇することが予想される。この仮説を確実にするために今後も水質調査を続けていきたい。

#### 6 参考文献

- 1) 小島和雄(1987), 『高校化学における多摩川の水質の教材化に関する研究』, 「東急環境浄化財団(一般)研究助成」 52 p1-368
- 2) 小島和雄(1990), 『高校化学における多摩川の水質の教材化とその指導法の研究』, 急環境浄化財団(一般)研究助成 68 p1-367
- 3) 津久井公昭(1989), 『河川の再生—下水処理水を利用した玉川上水等の清流の復活—』, 「水質汚濁研究(日本水環境学会)」, 12(7),p417-420.
- 4) BSI 生物科学研究所(2018), 「硝酸態窒素とアンモニア態窒素の違い」, <https://www.bsikagaku.jp/f-knowledge/knowledge80.pdf> 2025/10/25
- 5) 横浜市(2024) 「下水の高度処理 窒素除去」, <https://www.city.yokohama.lg.jp/kurashi/machizukuri-kankyo/kasengesuido/gesuido/shori/kodoshori/nitrogen/chissoshikumi.html> 2025/10/11

# ニトロセルロース花火の発光時間の制御と吸湿量の許容範囲

東京都立国立高等学校 杉本佑樹

## 1. 概要

- 金属塩の種類と量を調整することでニトロセルロース花火の発光時間を制御する。
  - どの程度までであればニトロセルロースが吸湿しても花火として使えるか計算する。
- [キーワード] ニトロセルロース花火 炎色反応 発光時間 蒸発エンタルピー

## 2. はじめに

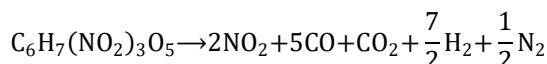
昨年度の研究で、ニトロセルロースを金属塩水溶液に漬けて表面に金属塩を付着させることで、室内でも使える色のついた花火として利用できることがわかった。しかし、金属塩の種類によって発光時間が大きく異なった。これでは、同時に複数の色の花火を点火したときに見え方が大きく異なってしまふ。そこで、複数の種類の金属塩を併用することで、発光時間をなるべくそろえる必要がある。このとき、発光時間を制御するために混合する比率を調整することが重要である。

また、塩化コバルト(II)など吸湿性の高い金属塩を利用すると点火できないという問題があった。そこで、花火として使うことのできる吸湿量の限界をエンタルピー計算により求めることとした。

発光時間に合わせた適切な混合比率と吸湿量の限界を調べることで、花火による表現の幅が広がり、ニトロセルロース花火をもっと楽しむことができると考えられる。

## 3. ニトロセルロースの反応と光の色

ニトロセルロースは熱を与えると次の式のように分解する(参考文献・II)。



金属塩の水溶液に数日間漬けておくことで炎色反応の光を発する(昨年度の研究)。

この研究ではニトロセルロースは硫酸(18mol/L)と硝酸(13mol/L)を体積比 2:1 で混合し、それに綿を 2 日間漬けたのち自然乾燥させることで作成した。ここで作成したものを「原色ニトロセルロース」と呼ぶこととする。

## 4. 実験・結果 1

「非延長着色ニトロセルロース」を作る。以下の金属塩の濃度 0.2mol/L の水溶液を作成し、それに原色ニトロセルロースを 4 日間漬ける。その後取り出して自然乾燥させる。

[使用する金属塩]

- 硝酸カリウム  $\text{KNO}_3$
  - 硝酸カルシウム四水和物  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
  - 硝酸銅(II)三水和物  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$
  - 硝酸マグネシウム六水和物  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
- 撮影した動画をもとに発光時間を調べた結果、次のようになった。(以下、結晶水略)

表 1 非延長着色ニトロセルロースの発光時間

使用した金属塩	発光時間*1 (ミリ秒) (1回目)	発光時間 (ミリ秒) (2回目*2)
硝酸カリウム	$2.3 \times 10^2$	$2.3 \times 10^2$
硝酸カルシウム	$4.9 \times 10^2$	$3.6 \times 10^2$
硝酸銅(II)	$4.2 \times 10^2$	$6.4 \times 10^2$
硝酸マグネシウム	$1.4 \times 10^3$	$5.3 \times 10^2$

\*1 光が出始めてから完全に消えるまでの時間と定義する

\*2 コバルトガラス使用

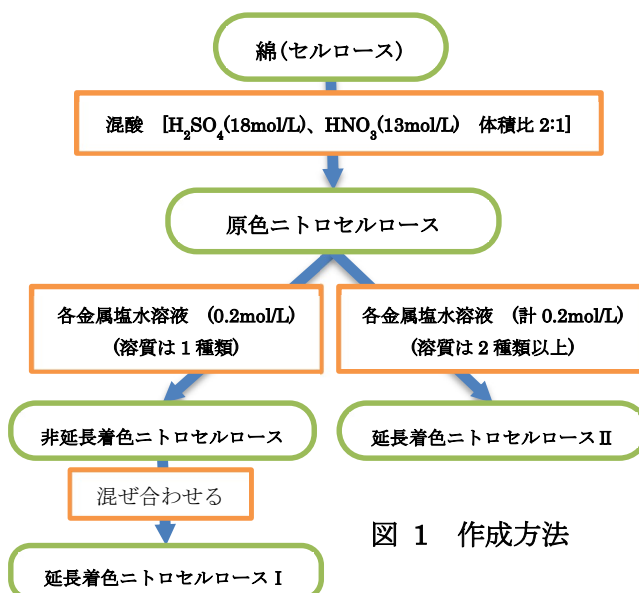


図 1 作成方法

## 5. 実験・結果 2

### ○ マグネシウムのニトロセルロースを混ぜることで発光時間を延ばす

発光時間の短いものと長いものを混ぜたニトロセルロースの発光時間はそれらの中間値をとると考えられる。そこで、発光時間の比較的短い硝酸カリウム、硝酸カルシウム、硝酸銅(II)の非延長着色ニトロセルロースそれぞれに、発光時間の長い硝酸マグネシウムの非延長着色ニトロセルロースを様々な質量比で混ぜ合わせて、「延長着色ニトロセルロース I」を作る。混合比と発光時間の関係は右のようになった。全体でみるといずれの金属塩についても硝酸マグネシウムの比率を大きくすると発光時間が延びたが、データの振れ幅が大きい。

色は硝酸マグネシウムのニトロセルロースの比率が大きいとやや橙色に近づいたが、もとの色も識別できた。

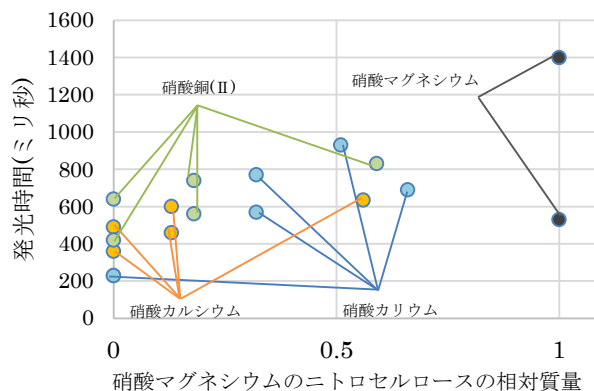


図 2 混合比率と発光時間の関係

## 6. 実験・結果 3

### ○ 溶液にマグネシウム塩を入れることで発光時間を延ばす。

色を出すための金属塩(ここでは硝酸カリウム、硝酸カルシウム)と発光時間を延ばすための金属塩(ここでは硝酸マグネシウム)を一つの水溶液にし(溶質の物質量の合計が 0.2mol/L となるようにする)、それに原色ニトロセルロースを漬け、自然乾燥させることで、「延長着色ニトロセルロース II」をつくる。

実験した結果、この方法でも発光時間を長くすることができることがわかった。

## 7. 必要なエネルギー

着色ニトロセルロース中の金属が励起状態から基底状態に戻るときに放出する光エネルギーを $\Delta E_{light}$ [kJ/mol]、光の波長を $\lambda$ [m]、着色ニトロセルロース中の金属塩の水和数を $n$ 、それらの水が蒸発する際に吸収するエネルギーを $\Delta E_{water}$ [kJ/mol]とすると、 $\Delta E_{light}$ 、 $\Delta E_{water}$ はそれぞれ次の式のように計算される。

$$\Delta E_{light} = \frac{hc}{\lambda} \times e \times N_A \times 10^{-3} = \frac{1.20 \times 10^{-4}}{\lambda} [\text{kJ/mol}]$$

$h$ :プランク定数, $c$ :光速,

$e$ :電気素量[C], $N_A$ :アボガドロ数

$$\Delta E_{water} = 44n[\text{kJ/mol}]$$

$\Delta E = \Delta E_{light} + \Delta E_{water}$ とすると、これは着色ニトロセルロースが反応するのに必要なエネルギーであり(熱として放出するぶんはここでは考えないものとする)、この値は硝酸カリウム(水和数:0)で $1.56 \times 10^2$ 、硝酸カルシウム(水和数:4)で $4.59 \times 10^2$ 、硝酸銅(II)(水和数:3)で $5.00 \times 10^2$ 、硝酸マグネシウム(水和数:6 で計算)で $6.83 \times 10^2$ であった(単位:kJ/mol)。そのため、誤差はあるが $\Delta E$ が小さいほど、反応が速く終わるため発光時間が短いと考えられる。 $\Delta E$ が $7.17 \times 10^2$ kJ/mol と大きい塩化コバルト(II)のニトロセルロースには火が付かなかったので、 $\Delta E$ が最初に与える熱エネルギーより大きくなると火がつかなくなる可能性がある。

## 8. 結論・展望

実験から、硝酸マグネシウムを利用することで色に大きな影響を与えずにニトロセルロース花火の発光時間を長くすることができることがわかった。また混合比率を調整することで発光時間をある程度制御できる可能性が示された。

データの誤差が大きかったが、この原因の一つとして発光時間の定義が不適切であったことが考えられるので、定義の見直しをしたい。また、具体的に必要なエネルギーがどの程度大きかったら花火として使えないのかを定められなかったので、今後の課題としたい。

室内で利用するにあたって、混合により火花が飛び散りやすくなったり、発光時間の増加により到達温度が上がったりと特有の危険性が発生するので、これを解決することも目標にしたい。

## 9. 参考文献

- I. 公益社団法人日本分析化学会 (2021). 『改定 6 版 分析化学データブック』. 丸善出版株式会社.
- II. David León, Isabel Amez, Miloš Radojević, Nebojša Manić, Dragoslava Stojiljković, Aleksandar Milivojević, Javier García-Torrent and Blanca Castells. (2024). Emissions and Fire Risk Assessment of Nitrocellulose as a Sustainable Alternative in Pyrotechnic Compositions. *Fire* 2024, 7(8), 265.
- III. 横山哲朗, 岡本一 (1971). 「非水溶媒中で水和による温度変化を測定して金属塩の水和数と水和熱を求める実験」. 『化学教育』, 19(6), 486-490.
- IV. 福田貴光. (2025). 「(速習) 水の蒸発 - 化学熱力学 - Chemist Eyes」. [https://chemist-eyes.com/lecture/thermochem\\_quick2](https://chemist-eyes.com/lecture/thermochem_quick2). 最終閲覧: 2026年2月5日.

# ビスマス結晶の酸化被膜における色の変化について

芝学園理化部

○山浦 航遥 長尾 優輝

## 1. はじめに

私たちはこれまでビスマスを用いた実験を主として活動してきた。ビスマス結晶を作成する過程において結晶の色が変化することに注目して、行った実験についての結果とその実験で気になった点について報告する。

## 2. 【実験①】ビスマス結晶の作成と色の変化

私たちは下表の手順でビスマス結晶を作成した。

表 ビスマス結晶の作成手順

手順 1	ビスマスを金属カップに入れ、ガスバーナーで加熱して融解させる
手順 2	加熱をやめ、融解したビスマスの表面の酸化被膜を取る
手順 3	種(ゼムクリップ)を表面に置く
手順 4	数分間放置する
手順 5	結晶を取り出す

以上の手順で実験を行うと、ビスマス結晶を取り出したときに色の変化が見られる。これは、ビスマス結晶を取り出した際にビスマス結晶の表面に酸化被膜ができ、その厚さが変わるためである。ビスマス結晶の色の変化は次のようになった。

金色→紫色→青色→水色→黄緑色

ここでの色の変化から次の実験を考えた。

## 3. 【実験②】ビスマス結晶を電極に用いた電気分解

この実験では、陽極で酸化反応が起こることに注目して、ビスマス結晶を人為的に酸化させてその反応を観察した。このとき電解質水溶液にはクエン酸水溶液、陽極にビスマス結晶、陰極には黒鉛(シャープペンシルの芯)を使用した。使用したビスマス結晶は【実験①】で作成したものである。

この実験のメリットはビスマス結晶の色を調整できる点にある。【実験①】の変化の先の色を探るために行っていた実験がもう一つあったが、その実験ではビスマス結晶の色の変化を観察することはできたが、ビスマス結晶を上手に取り出せなくなってしまうときがあった。そこで、私たちは電気分解の実験を中心に行った(写真)。しかしこの実験にもデメリットはあり、ビスマス結晶の色を調整はできるものの、電極の距離や電気分解を行う時間によっては【実験①】で作成したビスマス結晶の色と比べて色のムラが大きくなった。そこで、この点を考慮しながらこの実験を行った。

まずこの実験を行うにあたって、はじめにビスマス結晶を 2.0 mol/L 塩酸に浸し、表面の酸化

被膜を取り除いた。このときビスマス結晶の色は銀色だった。このことからビスマス単体の色は銀色だと考えられる。

次に、クエン酸水溶液の濃度を 5.0 %，10.0 %，15.0 %，電圧を 10 V，15 V の条件で，表に記した手順で用意したビスマス結晶を陽極に用いて電気分解を行った。今回の電気分解では最終的に色の変化がなくなるまでに見られた色の変化を調べた。各条件下では色の変化が終わる時間（終息点）に違いはあったものの，最終的な色の変化はいずれも次のような結果になった（写真）。

金色→紫色→青色→緑色→黄色→ピンク色→青色→緑色→黄色→ピンク色（→薄い緑色）

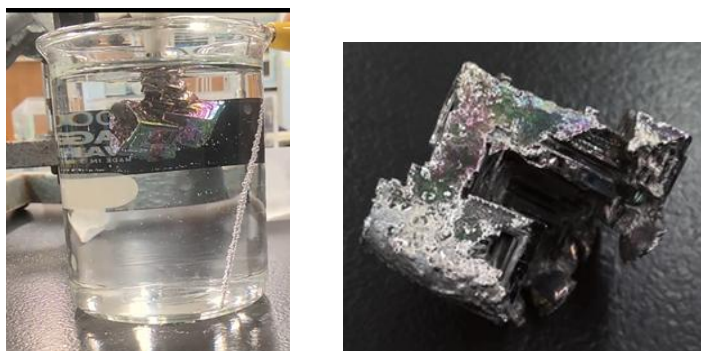


写真 ビスマス結晶の色の変化

（左）電気分解の様子 （右）薄い緑色のビスマス結晶

この実験からわかったことは，2 回目に現れるピンク色まではビスマス結晶のほとんどが同じ色に変化したが，以降は反応が見られなくなる部分と少し変化する部分とに分かれることである。また，【実験①】と色を比べると，1 回目の黄色以降がこの実験で新たに観察できる色になっている。ほとんどの実験では 2 回目のピンク色から先の反応は観察することができなかった。

さらに，青色からピンク色が繰り返し現れているのがわかる。ビスマス結晶の色が変わるのは，ビスマス結晶と酸化被膜の表面の境目で光がそれぞれ反射するためである。この現象はシャボン玉や CD の裏面が虹色に見えることと同じで，薄膜干渉と呼ばれている。この薄膜干渉によって，薄膜（今回の場合は酸化被膜）の表面と裏面で反射した光の波が互いに干渉して特定の波長を強め合ったり弱め合ったりして，見える色が変わる。これによって薄膜が特定の厚さになったときにスペクトルが周期的に繰り返すと考えられる。同じビスマス結晶でも，光の位置や見る角度によって少しだけ色に違いが見られる。

#### 4. まとめ・今後の展望

これまでは実験を行うことを中心に活動を行ってきた。しかし，今回はどちらかというと実験の結果に対する疑問について考察し，その疑問を解決するための調査の機会を以前よりも増やすようにした。その結果，この薄膜干渉を知ることができた。

今後は電気分解で起こる色のムラの調整や条件を変えたときの反応，結晶の色を変化させる新たな実験についても行っていきたいと考えている。今回の実験に限らず，興味があることについては実験を行い，気づいたことについて調べていくことを続けていきたい。

# 茜染めの化学変化と色の鮮明化に関する考察

流通経済大学附属柏高等学校

○山本夏銘 富澤真志 倉持颯吾

## 1. 動機および目的

本校の昨年度の文化祭において、日本茜の根を用いた茜染めを行った。茜染めは、茜属植物の根に含まれるアントラキノン系色素を利用した染色法であり、赤色の主成分はアリザリン(図1)である。茜には日本茜、西洋茜、インド茜などがあり、種類によって色素成分の組成が異なることが知られている。

文化祭では、日本茜と市販の西洋茜を用いて同条件で染色を行った。その結果、西洋茜の方がより鮮明な赤色を示し、さらに媒染に用いる金属イオンの種類によっても色調が大きく変化した(図2)。西洋茜にはアリザリンが多く含まれている。一方、日本茜では他のアントラキノン誘導体の割合が高いとされている。本研究においては西洋茜に含まれるアリザリンの挙動を明らかにするため、まずは西洋茜の根の乾燥粉末からアリザリンを単離し、それを用いて発色が良くなるpH条件を明らかにすることを目的とした。鮮明さは肉眼観察に加え、分光光度計による可視光吸収スペクトルを指標として評価した。

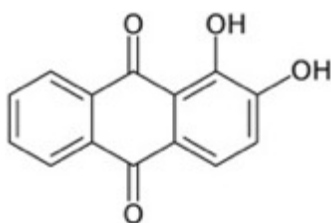


図1. アリザリンの構造式



図2. 媒染に用いる金属イオンの違いによる発色の違い

## 2. 方法と結果

### 2-1. TLCによるアリザリンの挙動確認

西洋茜乾燥根粉末を酢酸エチルで抽出し、ヘキサン:アセトン=1:1の混合溶媒でTLC展開を行った。その後、プレートを塩化アルミニウム水溶液に浸し、二次元展開を行った。(図3) Rf値約0.5の有色スポットは、原点付近に留まるスポットと移動するスポットに分離した。

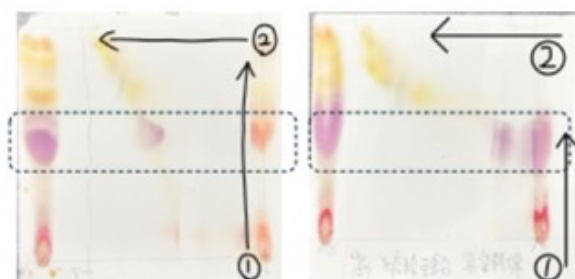


図3. 西洋茜粗抽出液の二次元TLC

これは、金属イオンと錯体を形成したアリザリンが極性および分子量の増加により移動しにくくなったためと考えられる。硫酸亜鉛水溶液でも同様の結果が得られ、アリザリンが複数の金属イオンと錯体を形成する性質をもつことが示唆された。

## 2-2. アリザリンの抽出と精製

簡易的な方法では十分な抽出が確認できなかったため、加熱還流装置（図4）を用いた連続抽出法を採用した。抽出溶媒にはトルエン：アセトン＝4：1の混合溶媒を用い、微減圧下で沸点を約40℃に下げて抽出を行った。

西洋茜乾燥根粉末100gを約8時間抽出し、得られた抽出液をカラムクロマトグラフィーで分離した。その結果、アリザリン由来と考えられるフラクションを回収し、再結晶により0.135gの結晶を得た。

※ なお、この結晶の融点を確認したところ220℃付近から融解が始まり、275℃で完全に融解した。この値はアリザリンの融点の文献値290℃よりは低かったため、ある程度不純物が混入していることも示唆された。



図4

## 2-3. 染色における最適pH条件の検討

スーパーテル小さじ二杯分の抽出アリザリンを飽和炭酸ナトリウム水溶液7 mLに溶解した液を、炭酸ナトリウムおよび酢酸を用いて調製した異なるpH条件の溶液に溶解した。さらに、塩化アルミニウム水溶液を加えて発色を観察した。図5は塩化アルミニウム水溶液を加えた直後、図6は2日経過した試料である。図5を見るとpH 11～8.4にかけては紫色から赤色へと順次変化し、pH 8.4付近で最も鮮明な赤色が得られた。これよりも低いpH条件においては発色が著しく悪くなる様子が観察できた。目視だけでなく、分光光度計による測定の結果も、pH 8.4付近において赤色に対応する波長域（520 nm）で吸光度が大きくなることが確認された。

2日経過後の試験管には赤色の沈殿生成が確認された。これは水酸化アルミニウムの沈殿中にアリザリン分子が取り込まれて生成しているものと考えられ、塩化アルミニウムを加えた直後、最も鮮明な赤色が観察された試験管で、最も濃い色の赤色沈殿が生成していることが確認できた。

アリザリンはフェノール性水酸基をもち、pHにより解離状態が変化する。高pHでは錯体形成が起こりにくく、低pHでは配位に必要な解離が不十分となる。pH 8.4付近では両者の条件が最も適し、鮮明な赤色が得られたと考えている。

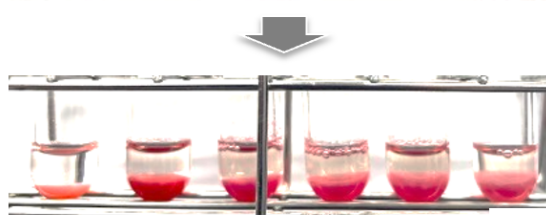
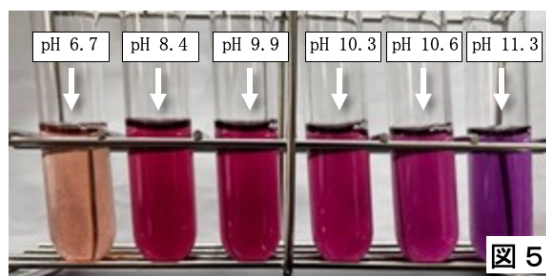


図6

## 3. 反省と課題

本研究では西洋茜からアリザリンを抽出し染色実験に使用可能な精製に成功した。今後は再結晶条件や抽出溶媒の検討により、さらなる高純度化を目指したい。また、布の豆乳での濃染処理や布の処理、媒染に用いる金属塩それぞれの条件を検証し更に鮮明な染めをしていきたい。さらに、アリザリンの錯体形成反応を利用した金属イオン分析への応用についても検討していきたい。

1) Derksen GCH. Red, redder, madder: analysis and isolation of anthraquinones from madder roots (*Rubia tinctorum*). PhD thesis. Wageningen University; 2001. doi:10.18174/197629.

2) Budavari S, editor. The Merck Index: An encyclopedia of chemicals, drugs, and biologicals. 12th ed. Whitehouse Station (NJ): Merck & Co., Inc.; 1996.

# ブルーボトル反応の誘導期短縮と白濁抑制

千葉県立長狭高等学校

○齊藤 総志 ○鈴木 健介

## 1 研究概要及び目的

ブルーボトル反応<sup>1)</sup>【Blue Bottle Reaction 以下 BBR】は、密閉容器(ペットボトル)内の水溶液を振り混ぜることで、青色と無色を往復させる反応(図1)である。本研究では、酸化状態のメチレンブルー【以下 MB】(青色 図2)から、還元状態のロイコメチレンブルー【以下 LMB】(無色)への変化に要する時間を「誘導期【Induction Period 以下 IP】」と呼ぶ。密閉容器であるため、子どもたちの体験実験として、最適であると考えたが、高濃度の水酸化ナトリウム<sup>2)3)</sup>【以下 NaOH】(図3)水溶液(pH12.30 実測値)を使用するため、安全面に課題があった。そこで私たちは、NaOHの濃度を抑え、安全性を高めながら、従来通りに呈色変化をするBBRの実現を目指した。

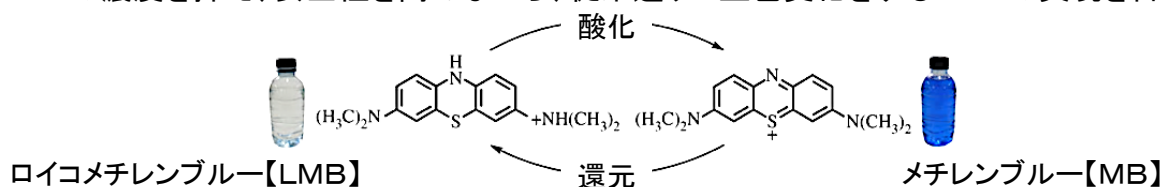


図1 ブルーボトル反応の概要

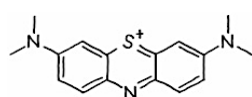


図2 メチレンブルー【MB】

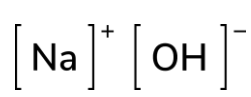


図3 水酸化ナトリウム【NaOH】

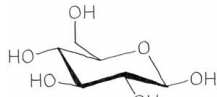


図4 グルコース【Glu】

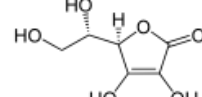


図5 アスコルビン酸【AsA】

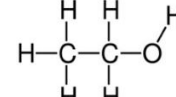


図6 エタノール【EtOH】

NaOH濃度を抑えることで、Gluの還元力が低下する。そこで、不足した還元力を補うために、アスコルビン酸(ビタミンC)【以下 AsA】(図5)を添加し、IPを短縮することができた。しかし、水溶液に白濁が生じ、さらに繰り返し回数が減少したため、エタノール【以下 EtOH】(図6)を添加することで、水溶液の白濁の解消と繰り返し回数の増加を達成した。

本研究は、『安全で』『楽しく』『美しい』短誘導期ブルーボトル反応を実現する。」ことを目的とし、その具体的な基準を、pHを塩基性温泉水程度に抑え、誘導期を約 30~40 秒に短縮し、濁りのない状態を、pH・ORP・RGB(R値)の測定(図7~9)によって定量的に評価した。

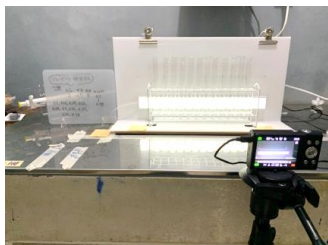


図7 比較実験と画像撮影装置

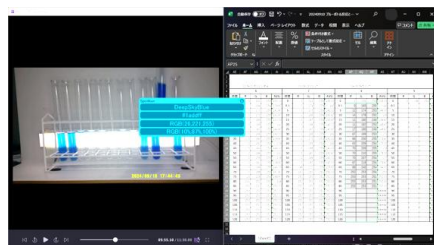


図8 RGB 解析アプリ「スポットくん」



図9 RGB 解析

## 2 実験の方法と結果

本研究に用いる各試薬の標準濃度 MB:0.00006 mol/L, Glu:0.75 mol/L, NaOH:0.75 mol/L

### 実験A AsAを加えた際に生成する白濁(沈殿)物質の有無と生じる条件の特定

試薬の混合数を1種及び2種とし、AsAを加えた際に白濁が生じるかを観察した。

方法: 沈殿の生成を確認するため、AsAと混合する試薬の組み合わせを変化させ観察した。

結果: 1種及び2種の試薬の組み合わせにAsAを混合させても、白濁は生じなかった。

また、BBRの全3種の試薬を混合させ、AsAを加えた際に白濁が生成された。

結果：白濁の質量は、MBの質量に比例した。(図10)

考察：MBとGluが凝集し白濁を生じさせていると考察した。

### 実験B AsA濃度によるIPの推移と生じる白濁の関係

方法：NaOH:0.075 mol/Lの条件下で、AsA濃度とIP及び、白濁の生成を観察した。

結果：AsA:0.01~0.07 mol/Lでは、白濁は薄かった。しかし、それ以上の濃度では、IPが30秒程度になったが、水溶液の青色が元々薄くなる「淡色化」が生じた。(図11)

考察：AsAは、IPを短縮させることはできるが、MBの青色を淡色化させることが分かった。そこで、MBと親和性の大きいEtOHを加えて保護させた。

### 実験C EtOH濃度によるIPの推移と生じる白濁の関係

方法：NaOH:0.075 mol/L AsA:0.03 mol/Lの条件下で、EtOH濃度とIP及び、白濁の生成を観察した。

結果：EtOH:0.67 mol/Lまでは、白濁を生じたが、0.67~2.33mol/Lでは、IPが30秒程度になった。それ以上の濃度では、青色が残った。(図12)

考察：EtOHは、MBの淡色化を予防する効果があった。しかし、濃度を大きくすると、青色のままとなった。さらに、IPがやや延長する傾向も確認された。

### 実験D ペットボトル使用環境下で、標準的な溶液との比較

方法：下表の濃度の水溶液をペットボトル内に調製しIP及び白濁の有無を確認した。

表1 各試薬の濃度とペットボトルを利用したBBR

	①標準濃度	②1/10NaOH	③ ②+AsA	④ ③+EtOH
MB	0.00006		0.00030	
Glu	0.75			
NaOH	0.75	0.075		
AsA				0.0120
EtOH				2.00
pH	12.35	10.76	10.70	10.24

### 3 考察

AsAの添加によって、水溶液の白濁や黄色化が生じた。これは、塩基性環境下で、AsAがMBと結合し集合状態が変化した。それが、白濁として表れていると考察した。そのため、EtOHの添加により、MBの集合化を防ぐことで、水溶液の白濁および黄色化を緩和することができた。

### 4 結論

AsAとEtOHの添加により、NaOHを1/10の濃度にしてもIPを約30~40秒に抑制したBBRを実現した。「子どもたちが、『安全で』『楽しく』『美しい』反応を体験できるBBR」を具体的な条件として提示することができた。今後は、黄色化現象と未解明な理論について明らかにしたい。

### 5. 参考文献

- 1) Dissanayake, S. W. M. M. R. D. et al., R. Soc. Open Sci., 4, 170708 (2017).
- 2) 川添慧・篠原史也, 『ブルーボトル反応における溶液劣化の研究』徳島県立城南高 SSH

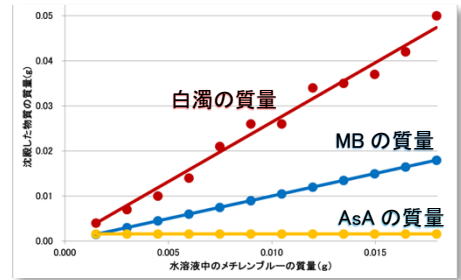


図10 MBと白濁の質量の関係

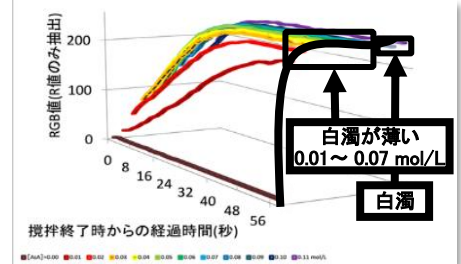


図11 AsAとIP及び白濁の関係

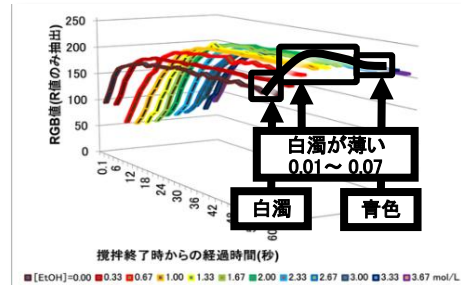


図12 EtOHとIP及び白濁の関係



図13 振り混ぜから0秒後



図14 振り混ぜから40秒後

# ポリ乳酸の実用化に向けた耐久性向上方法の検討

千葉県立千葉東高等学校 山寄太郎

## 1. 動機及び目的

私が毎日通る高校への通学路で、最寄りの駅までの道の端に多くのごみが捨てられていることがよくある。これらのごみはプラスチック製のものが多いため回収されないと環境汚染に繋がる。それを緩和するための案として自然で分解されやすい生分解性プラスチックのポリ乳酸を使うということがあげられる。しかし、このポリ乳酸は熱や、衝撃に弱いことが知られているので、環境への負荷をなるべく増やさずにそのことを克服したいと考え本研究を行った。

## 2. 実験及び概要

ポリ乳酸は乳酸が脱水縮合してたくさん繋がることでできる物質である。図1 ポリ乳酸の化学反応式  
また、一般的にプラスチックは平均分子量が大きいほど丈夫になり、分子配列が不規則なため隙間が空いている。(図2)本実験ではこのことに着目して実験を行った。

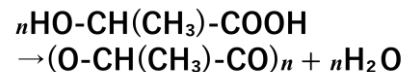


図2 プラスチックの構造

### 実験Ⅰ：乳酸だけでポリ乳酸を作成する

<実験Ⅰ-1> 乳酸だけでポリ乳酸を作成する

乳酸のみを高温にすることにより脱水縮合を進行させて、ポリ乳酸を作成した。

<実験手順>

1. アルミカップに乳酸を 15ml 加える
2. ホットプレートを用いて 180℃で 1 時間半加熱する(この作業はドラフト内で行う)
3. 45 分間冷ます

<結果>液体であった乳酸が図3のような厚さ 2.6mmのポリ乳酸になった

図3 合成したポリ乳酸



<実験Ⅰ-2> 耐久性を調べる

できたポリ乳酸の耐久性を調べて今後作成するものと、この値を比較するための実験を行った。

<実験手順>

1. できたポリ乳酸を高さ 46.5cm(実験室の椅子の高さ)から落下させる(以降耐衝撃実験と記載)

※かけらが半分に割れるまで落下させる

2. 50℃のお湯に 10 秒つけたのちに曲げて角度を測定する(以降耐熱実験と記載)

※より大きな角度に曲がったものが熱に弱いとする

<結果>乳酸だけのポリ乳酸は耐衝撃実験では 1 回目で割れた。また耐熱実験では 90° 以上に曲がった。

### 実験Ⅱ：糖類を加える

<目的>糖はヒドロキシ基が多く脱水縮合しやすいと考え、乳酸の間に脱水縮合してポリ乳酸 1 分子の平均分子量を大きくし耐久性が向上すると考えた。そこで糖類が数個繋がったオリゴ糖とより多くの糖類が繋がった多糖類を加えてポリ乳酸を作成した。

<実験手順>

1. アルミカップに乳酸 10ml とイソマルトオリゴ糖かデンプンを加える
2. 実験Ⅰ-1 と同様にポリ乳酸を作成する

<結果>オリゴ糖入りでは図4のような厚さ 3.6mmの



図4 オリゴ糖入り(左) 図5 デンプン入り(右)

ポリ乳酸ができた。デンプン入りでは図5のような厚さ1.9mmのポリ乳酸ができた。

### 実験Ⅲ：充填剤を加える

＜目的＞密度を大きくして耐久性を向上させるために分子間のすき間を埋めるための充填剤として環境に害を与えにくい物質を考えた。そこで貝殻の主成分である炭酸カルシウム (CaCO<sub>3</sub>) と石英の主成分である二酸化ケイ素 (SiO<sub>2</sub>) を加えてポリ乳酸を作成した。

＜実験手順＞

1. 乳酸 15ml と炭酸カルシウムか二酸化ケイ素をアルミカップに加える
2. 実験 I-1 と同様にポリ乳酸を作成する



図6 CaCO<sub>3</sub>入り(左) 図7 SiO<sub>2</sub>入り(右)

＜結果＞CaCO<sub>3</sub>入りでは図6のような厚さ4.0mmのポリ乳酸ができた。また、SiO<sub>2</sub>入りでは図7のような厚さ0.9mmのポリ乳酸ができた。

### 実験Ⅳ：水を取り除いてから作成する

＜目的＞今回ポリ乳酸の作成に使った乳酸は90%の水溶液だったため図1の逆反応である加水分解が起こってしまう可能性がある。そこで、加水分解を起こりにくくしてより多くの乳酸を繋げるため水をできるだけ取り除いてからポリ乳酸を作成した。

＜実験手順＞

1. 1時間100℃で乳酸を加熱するか15分間シリカゲルにつける
2. 実験 I-1 と同様にポリ乳酸を作成する

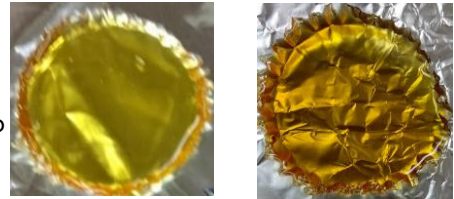


図8 加熱したもの(左) 図9 シリカゲルを用いたもの(右)

＜結果＞加熱したものでは図8のような厚さ3.0mmのポリ乳酸ができた。シリカゲルを使ったものでは図9のような厚さ2.8mmのポリ乳酸ができた。

## 3. 結果及び考察

結果は表1のようになった。

	無添加	オリゴ糖	デンプン	CaCl <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	蒸留	シリカゲル
耐久回数	0回	3回	2回	2回	1回	2回	1回
耐熱性	×	△	△	×	○	×	×

○:曲がらずに割れた △:曲がりにくかった ×:90°以上曲がった

表1から衝撃にはオリゴ糖入りが強く、熱にはSiO<sub>2</sub>入りが強かった。また、両方に

表1 耐熱実験の結果

強くなるのはデンプン入りとSiO<sub>2</sub>だということが分かった。また、水を取り除いておくことと、添加物を入れることは、両方できるので脱水してからデンプンやSiO<sub>2</sub>を加えて作成するとより耐久性に優れたポリ乳酸を作成できると考えられる。

## 4. 今後の展望

- ① 充填剤を自然に影響が及ばないことを基準に選んだため、耐久性を上げるには、あまり適していなかった可能性がある。そこで違う種類の充填剤でも試す
- ② 一回に実験に時間がかかる都合上、あまり試行回数が増やせなかったため、試行回数を増やす
- ③ 作ったものを放置していると粘土のような状態になってしまったものがあったため、その理由を解明する
- ④ 糖類を別の糖類に変えても同じような効果があるのかを調べる

## 5. 参考文献

ポリ乳酸の新展開 山根 秀樹

ニューステージ 新化学図表 浜島書店

ポリ乳酸の合成 デジタル理科室 <https://www.digirika.tym.ed.jp/wp-content/uploads/2014/02/c208-1-porinyuusann.pdf> (2025 8/24 参照)

生分解性バイオマスプラスチックポリ乳酸 (PLA) ってなんだろう 神戸精化株式会社 <https://kobeseika.co.jp/special.html> (20210/10 参照)

プラスチックと充填剤 (フィラー) とは? REXTac <https://www.rextac-asia.com/column/products/filler/> (2025 10/10 参照)

分子量と強度および成形性は、どのような関係があるか: プラスチックの強度 (7) PlaBase <https://plabase.com/news/5985> (2025 10/15 参照)

# 水-エタノール二成分溶液へのアクリル板の溶解挙動の解明

## Elucidation of Dissolution Behavior of Acrylic Sheet in Ethanol-water Binary Solutions

東京都立科学技術高等学校 ○高橋 詩桜, ○山尾 綾香

### 1 概要

一般に、アクリル板はメタクリル樹脂を板状に加工したものをいう。メタクリル樹脂は耐久性・透明性に優れた熱可塑性樹脂で、水族館の水槽や自動車部品などガラスの代替材料として利用されている。コロナ禍では、アクリル板は飛沫防止用パネルの素材として活用され、需要が上がった(図 1)。しかし、コロナが 5 類に移行した現在、90%以上のアクリル板の廃棄が懸念されている。

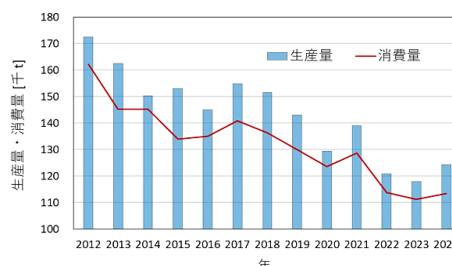


図 1 メタクリル樹脂の生産量と消費量の推移  
日本プラスチック工業連盟統計資料より作成

### 2 目的と仮説

研究のきっかけは、「アクリル板は、水-エタノール混合溶媒に溶解する<sup>(1)</sup>」という論文を見つけたからである。水もエタノールも、単独ではアクリル板の非溶媒や貧溶媒である。本研究の目的は、「水とエタノールを混合した二成分溶液にアクリル板がどのように溶解するのか、その溶解挙動を解明すること」である。そこで、エタノール水溶液やアクリル板の物性を測定し、エタノール水溶液中のアクリル板の変化を観察することでアクリル板との相互作用を予測し、アクリル板が水-エタノール二成分溶液にどのように溶解するのかを推論できると考えた。

### 3 方法

#### 3-1 使用試薬

- (1) エタノール(99.5%) 富士フィルム和光純薬(株)
- (2) アクリル板(PMMA) スミベックス 住友化学(株)  $t = 2 \text{ mm}$ 
  - ・キャストアクリル板:  $\overline{M}_w = 1.0 \times 10^6$  以上
  - ・押出アクリル板:  $\overline{M}_w = 1.0 - 1.5 \times 10^5$

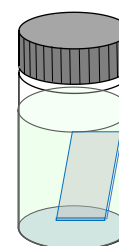


図 2 スクリュー管びんにアクリル板を入れた様子

#### 3-2 エタノール水溶液とアクリル板の物性測定

- (1) 0, 20, 40, 60, 80, 100%のエタノール水溶液を調製し、それぞれの溶液の密度、粘度、屈折率、表面張力を測定した。
- (2) 赤外分光光度計(JASCO FT/IR-4700)を用いて、エタノール水溶液の赤外吸収(IR)スペクトルを測定した。また、80%-エタノール水溶液に溶解したアクリル板の IR スペクトルを測定した。

#### 3-3 エタノール水溶液とアクリル板の物性測定

- (1) スクリュー管びんにエタノール水溶液 40 g とキャストアクリル板(30×15×2 mm)を入れ、これを 40℃のインキュベーターに入れ、1 日毎にアクリル板の体積と質量の変化を計測した(図 2)。
- (2) 温度を 60℃に変え、同様の方法でアクリル板の変化を観察した。次に、アクリル板を押出アクリル板に変え、同様の方法でアクリル板の変化を観察した。膨潤率は、以下の式で求めた。  
膨潤率 = (エタノール水溶液浸漬後のアクリル板の体積・質量) / (浸漬前のアクリル板の体積・質量)

### 4 結果と考察

#### 4-1. エタノール水溶液とアクリル板の物性

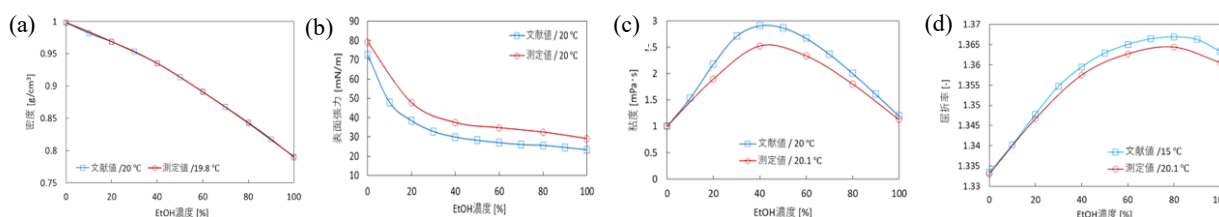


図 3 エタノール水溶液の(a) 密度, (b) 表面張力, (c) 粘度, (d) 屈折率

エタノール水溶液の密度、表面張力は、濃度の増加に伴い単調に減少したが、粘度はエタノール濃度 40%で、屈折率は 80%でそれぞれ極大値をもった(図 3)。

#### 4-2. エタノール水溶液中でのアクリル板の変化

40℃, 60℃で、アクリル板は「亀裂」、「膨潤」、「溶解」が観察された(図 4, 5)。これらの変化はキャ

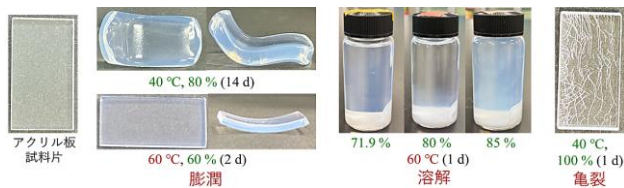


図4 エタノール水溶液中でのキャストアクリル板の変化

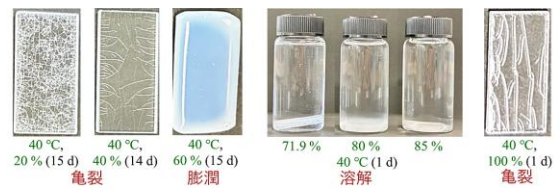


図5 エタノール水溶液中での押出アクリル板の変化

スト板よりも押出板に強く見られた。押出板は分子量が小さく、板内部の残留応力が大きいことが原因と考えられる。また、温度が高くなると、亀裂・膨潤の範囲は広がり、溶解範囲も少し広がった。

キャストアクリル板は、60℃、エタノール水溶液濃度 71.9-85%(モル分率 0.50-0.69)では溶解した(図6)。また、60℃のときの方が40℃のときより膨潤率は高くなった。膨潤率は、PMMAのエタノール水溶液への溶解挙動を的確に表していると考えられる。

#### 4-3. アクリル板の溶解挙動について

##### (1) ハンセン溶解度パラメーター(HSP) (2)

いろいろな濃度のエタノール水溶液は、2点を結ぶ線分上にあると考えられる(図7)。温度が高くなると、 $\delta_h$ は小さくなり、高いエタノール濃度では $R_0$ の中に入ると考えられる( $\delta_d$ と $\delta_p$ はあまり変化しない)。これらの結果からでは、「100%-エタノールに最も溶解する」と考えられるが、それは実際の現象と異なる。

##### (2) エタノール水溶液中でのクラスター

純粋な水では、水分子同士の水素結合によるクラスターが生成する。一方、100%-エタノールでは、4量体以上のクラスターは観察されない<sup>(5)</sup>。また、水-エタノール混合溶液中では、エタノール自己会合クラスターの生成が促進され、層状のクラスターやミセル状のクラスターが生成すると考えられる<sup>(5),(6)</sup>(図8)。

##### (3) アクリル板のエタノール水溶液中への溶解メカニズム

亀裂・エタノールとPMMA主鎖の疎水作用により表面が可塑化、板内部の残留応力により亀裂  
 膨潤・アクリル板の内部までエタノールクラスターが浸入し、高分子鎖を緩和し可塑化  
 溶解・エタノールクラスターで緩和された高分子鎖のカルボニル基に水分子が水和し溶解

##### (4) PMMA分子のカルボニル基への水和の検証

80%-エタノール水溶液に溶解したアクリル板のIRスペクトルでは、カルボニル基(C=O)の伸縮振動の吸収(1733 cm<sup>-1</sup>)が、3 cm<sup>-1</sup>低波数側にシフトした。この結果は、エタノールクラスターに取り込まれた水分子がカルボニル基へ水和したことを示唆している。

## 5 結論

水とエタノールを混合した二成分溶液にアクリル板がどのように溶解するのか、エタノール水溶液の物性やクラスター形成とPMMAとの相互作用を考えることで、その溶解挙動を解明できた。

## 6 今後の展望

エタノール水溶液のIRスペクトルの解析方法の検討と、アクリル板を溶解したエタノール水溶液を利用したPMMAの有効なリサイクル方法の検討を考えている。

## 7 参考文献

- (1) Richard Hoogenboom, C. Remzi Becer, Carlos Guerrero-Sanchez, and Ulrich S. Schubert, *Aust. J. Chem.*, 2010, 63, 1173-1178.
- (2) Hansen, C. M., *Firg och Lack*, 1967, 13, 6, 132.
- (3) J. Brandrup, E. H. Immergut, and E. A. Grulke, *Polymer Handbook* 4th, 1999.
- (4) Hansen, C. M., *Hansen Solubility Parameters A User's Handbook 2nd Edition*, 2007.
- (5) Akihiro Wakisaka, *BUNSEKI KAGAKU*, 2010, 59, 9, 743-758.
- (6) 西 信之, 最多 優, *化学と工業*, 1994, 47, 2, 168-171.

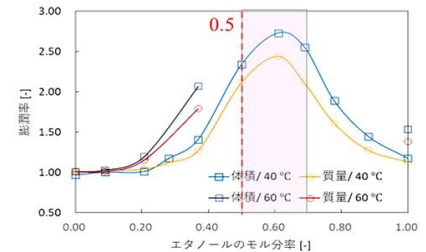


図6 キャストアクリル板の膨潤率

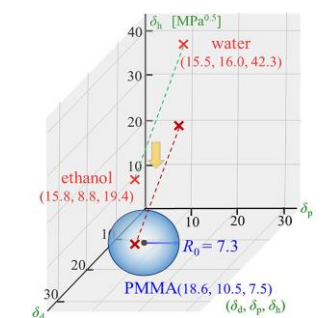


図7 水、エタノール、PMMAのHSPのグラフ<sup>(3),(4)</sup>

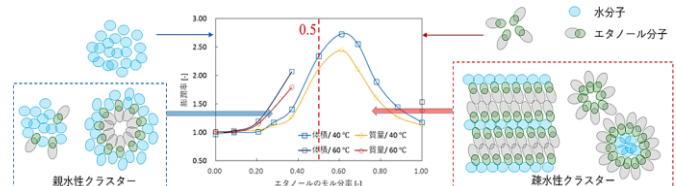


図8 エタノール水溶液中のクラスターの模式図

## こんにゃくのゲル化とイオンとの関係性について

○ 武蔵中学校 高橋祐一郎

こんにゃくが独特の弾力を持つのは、主成分であるグルコマンナンが化学変化を起こし水に溶けない網目構造を作るからと考えられている。こんにゃく芋に含まれるコンニャクグルコマンナンは、グルコースとマンノースが長く連なった高分子で、水に溶かすと水を抱え込んでドロドロした粘り気のある状態（ゾル）になる。分子鎖の所々にアセチル基があり、分子同士が密着するのを防いでいるが、こんにゃくを作る際に石灰水などのアルカリ性水溶液を加えると、アセチル基が外れ（脱アセチル化という）、グルコマンナンの長い鎖同士が近づけるようになる。接近した鎖同士が水素結合により結びつき、立体的な網目構造を作り出し、流動性を失いプルプルの固体（ゲル）へと変化する。本研究は、こんにゃくの硬さが変わる現象について、加えたアルカリ性水溶液の陰イオンとの関係性について調べた。

### 実験 1 凝固剤の量と硬さの関係

- ① 市販のこんにゃく精粉（こんにゃく芋からグルコマンナンを抽出したもの）2.5g と 100mL ビーカーにイオン交換水 80mL を用意した。
- ② 用意した精粉を水に溶かし、5 分おきに手動で攪拌した。また、イオン交換水 10mL に水酸化ナトリウム (0.025g~1g) を溶かし、凝固剤を作った。
- ③ 溶かしてから 30 分経ったら凝固剤を入れ、30 分間静置した。
- ④ これに直径高さともに 3 cm の鉄円柱をビーカーの側面にのせ、鉄円柱がこんにゃくと接するビーカーの側面の一点を起点とし、垂直に 2 cm 落ちる時間を硬さの指標として測った。
- ⑤ 今回は②で作った凝固剤の水酸化ナトリウムの量を変え、どのような結果になるか調べた。

**実験結果** 凝固剤の濃度とこんにゃくに鉄円柱が 2cm 沈むのに要する時間を表 1 と図 1 にまとめた。図 1 の散布図に近似直線を加えるとこんにゃくが凝固剤の量に応じて硬さを増したり、再び柔らかくなったりする傾向が見られた。食用こんにゃくは、通常 0.5mol/L 程度しか塩基を添加しないが、本研究では食用のものに比べかなり多くの塩基を加えた条件で実験を行った。

表 1 凝固剤の濃度とこんにゃくに鉄柱が沈む時間

凝固剤の濃度 (mol/L)	0.10	0.25	0.50	1.00	1.10	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00
鉄柱が 2 cm 沈むのにかかる時間 (s)	293	496	722	1191	732	333	492	732	675	171	246

一つ目の硬さが上昇する段階は、一般的に食用のこんにゃくを作る際に、凝固剤により硬くなる現象と同じことから、これらは凝固剤の陰イオンによる脱アセチル化の影響と考えられる。凝固剤の濃度が高いとこんにゃくが柔らかくなるのはなぜかを次の実験で検証した。

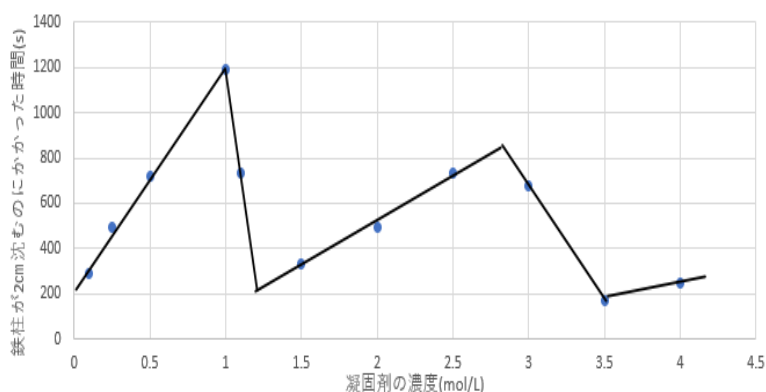


図 1 こんにゃくの硬さと凝固剤の濃度との関係

## 実験 2 コんにゃくの軟化・硬化に関わるイオン

- ① 実験 1 と同じ方法で、0.5mol/L、3.5mol/L の凝固剤で作ったこんにゃくを用意した。
- ② ①で作ったこんにゃくの pH をそれぞれ測定した。
- ③ 水のイオン積が一定になることから水酸化物イオンのモル濃度を求め、水酸化物イオンの物質量、電離度を計算しどれ位水酸化物イオン(以下 OH<sup>-</sup>とする)がこんにゃくに付加したか見積もった。

**結果と考察** 実験 2 の結果から、図 1 より、柔らかくなる段階の終わり際にある 3.5mol/L の凝固剤で作ったこんにゃくには、加えた水酸化物イオン OH<sup>-</sup> の 91.3% が付加していた。また、硬くなる段階の途中にある 0.5mol/L の凝固剤で作ったこんにゃくには、79.0% が付加していた。つまり柔らかくなる段階の方が硬くなる段階より割合的に多くの OH<sup>-</sup> が付加していた。これは、こんにゃくが柔らかくなる時に硬くなる時よりも多くの OH<sup>-</sup> が必要ということである。

こんにゃくはグルコマンナンのアセチル基が脱離し親水性の陰イオンが付加することで水素結合が形成されて硬化すると考えられているので、凝固剤の濃度が高くなると、こんにゃくが柔らかくなるのは、水素結合がなくなることと起きると考えた。このとき、グルコマンナンに OH<sup>-</sup> が結合するのではなく、グルコマンナンの親水基と OH<sup>-</sup> が結合して親水基がグルコマンナンから取れる、すなわち OH<sup>-</sup> がグルコマンナンから親水基を奪うことで水素結合がなくなり軟化すると考えた。この場合親水基はヒドロキシ基しかないが(図 2 を参照)、疎水基にも疎水性相互作用という凝集作用があるため、疎水性を示す CH の部分が OH<sup>-</sup> によって取れることも疎水相互作用を鈍らせ凝集を妨害し軟化の要因になると考えられる。

**まとめ** コんにゃくの構造の硬化・軟化には一貫して凝固剤の陰イオンがかかわっており、陰イオンがこんにゃくに付加することで水素結合や疎水性相互作用による凝集が形成され構造が複雑化されて硬化し、こんにゃくの親水基や疎水基が脱離し陰イオンに付加することで水素結合や疎水性相互作用が破壊され構造が簡易化されて軟化するといえる。

**今後の展望** コんにゃくの硬さについて今回は簡易的な方法で測定し「指標」という形で扱ったが、国際的には先端の尖ったダイヤモンド圧子や硬球を測定対象に対して押し付けるといった測り方が定められており、そのような測り方による定量化を行いたい。またそれらは金属材料やゴム、プラスチックの測り方であるため、ゲルに合った硬さの測定法を模索したい。

**参考文献** 前梶健治(1978) コンニャクマンナンのゲル化の開始と脱アセチル化率との関係

表 2 凝固剤の濃度と OH<sup>-</sup> の付加割合の関係

凝固剤の濃度(mol/L)	0.5	3.5
OH <sup>-</sup> の付加割合(%)	79.0	91.3

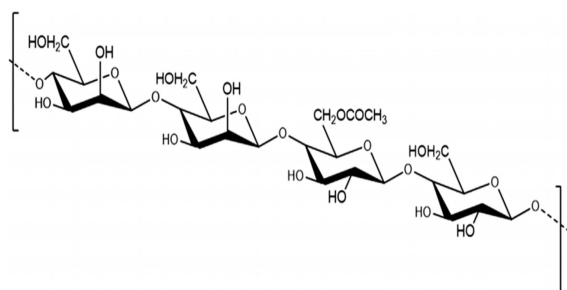


図 2 コンニャクグルコマンナンの構造

# 野菜くずの活用によるベジブrossの効率的な成分抽出法の開発

玉川学園高等部 ○伊藤 瑠哉

## 1. 研究概要

日々の料理過程で、野菜の皮や茎などの端材が、雑味や食感の観点から廃棄されることが多く、工場や家庭のこのような廃棄が、大きな食品ロスに繋がっているのではないかと気になった。また、これらの部位にはファイトケミカルが豊富に含まれている。本研究では、野菜くずを有効活用することで、食品ロス削減及び健康増進の手法を提案するために「ベジブross（野菜出汁）」に着目した。野菜くずをベジブrossとして最大限に活用するために、高い栄養価と良好な風味（官能特性）を両立させる抽出手法を検討することを目的とした。あわせて、抽出効率の変化をもたらした要因についても実験データに基づき考察した。

## 2. 実験方法

本研究では、ベジブross抽出の効率化を目指し、「野菜くずを組み合わせる手法」に着目し、単独で抽出した場合との比較を行った。試料はニンジンの皮(以下 Car)、エノキの軸(以下 Eno)、キャベツの芯(以下 Cab)、ブロッコリーの茎(以下 Bro)の4種類とした。分析項目は、旨味成分であるL-グルタミン酸、必須ミネラルであるカリウムイオン、およびファイトケミカルの作用である抗酸化力の3項目の成分を測定し、各ベジブrossの評価を行なった。また、抽出挙動を考察する指標として、各ベジブrossの浸透圧測定も併せて実施した。

### <Ⅰ. ベジブrossの取り方>

試料合計7.5g(2種類混合の場合は等量ずつ)に対し蒸留水50mLを加え、90℃で15分間加熱した。濾過後、水を足して50mLにして蒸発した水分を補い、これをベジブrossとした。

### <Ⅱ. L-グルタミン酸の定量法>

ベジブrossとL-グルタミン酸測定キットヤマサNEOを反応させ、生成された紫色色素の吸光度(555nm)を測定し、ベジブross中に抽出されたL-グルタミン酸濃度を算出した<sup>1)</sup>。

### <Ⅲ. カリウムイオンの測定法>

コンパクトカリウムイオンメーター(堀場製作所LAQUAtwin-K-11)を校正した後、ベジブrossを投入口に入れて測定した。

### <Ⅳ. 抗酸化力の測定法<sup>2)</sup>>

Dojindo社製DPPH抗酸化アッセイキット(D678)を用いて測定した。試料は適宜希釈し、DPPHラジカル消去率からIC<sub>50</sub>を算出した。抗酸化能は以下の式に基づきTEAC値(Troloxを基準での抗酸化活性:)として表した。 $TEAC = IC_{50}(\text{Trolox}=\text{標準物質}) \div IC_{50}(\text{ベジブross})$

### <Ⅴ. 浸透圧の測定法>

浸透圧実験器(UCHIDA PP-5)を使い、試料容器に浸透膜を張り、試料液を入れ、ゴム栓と毛細管を取り付けたゴム栓を付けた。蒸留水を入れた水槽にセットした後、毛細管の水柱の変化量を60分間測定した。

## 3. 実験結果・考察

2種類の野菜くずを組み合わせた結果、L-グルタミン酸と抗酸化力で単独抽出量から算出

した理論値を増加する傾向を示した。一方、カリウムイオンは理論値と同程度であった。L-グルタミン酸ではニンジンの皮を含む組み合わせが、抗酸化力ではニンジンの皮とエノキの軸を含む組み合わせが大幅に増加した。また、浸透圧はニンジンの皮やエノキの軸が高かった。以上より、混合抽出はL-グルタミン酸や抗酸化力などの単独では抽出効率が上がりにくい成分の抽出促進に有効であり、ニンジンの皮のような軟らかい組織とブロッコリーの茎などの硬い組織の組み合わせがより効果的だと分かった。この要因には浸透圧が大きく関係していると考えられる。加熱により軟らかい野菜の細胞が早期に破壊され、カリウム等の水溶性成分が先に溶け出すことで液中の浸透圧が上昇し、難溶性成分の抽出も促進されたと考えられる。

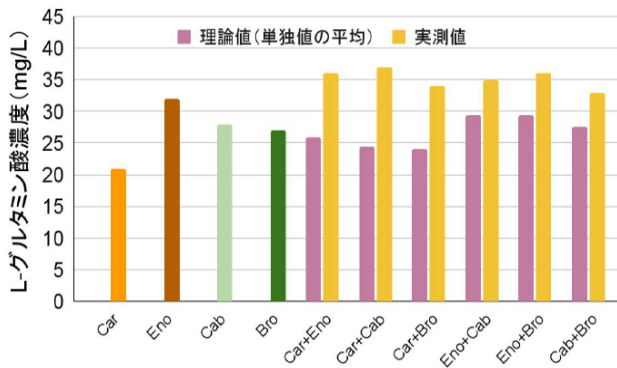


図1 L-グルタミン酸の比較

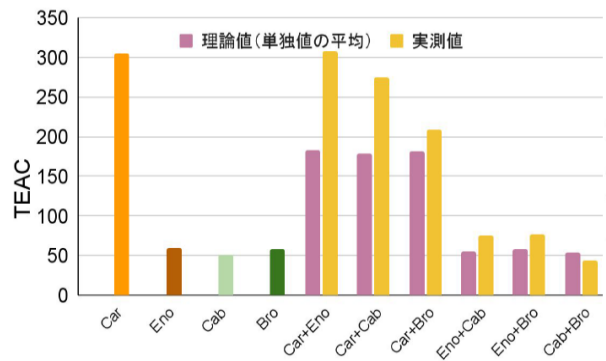


図2 抗酸化力の比較

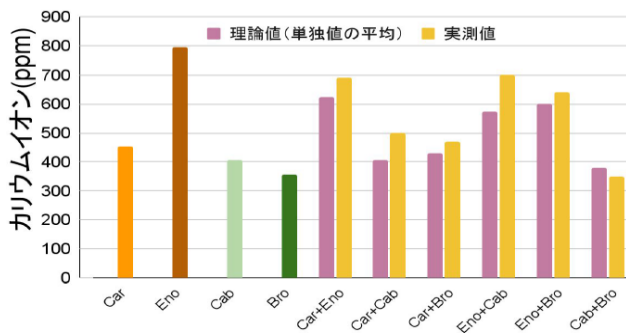


図3 カリウムイオンの比較

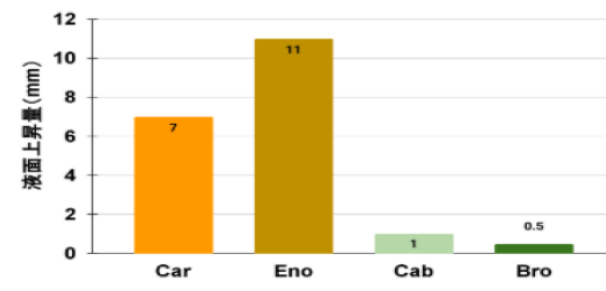


図4 浸透圧の比較

表1 2種類の野菜くずを組み合わせるとったベジプロスの成分(まとめ)

	エノキ×ブロッコリー	ニンジン×キャベツ	エノキ×キャベツ	エノキ×ニンジン	ブロッコリー×キャベツ	ブロッコリー×ニンジン
L-グルタミン酸	増加	大幅な増加	増加	大幅な増加	増加	大幅な増加
カリウムイオン	小幅な増加	小幅な増加	小幅な増加	小幅な増加	小幅な減少	小幅な増加
抗酸化力	増加	大幅な増加	増加	大幅な増加	小幅な減少	小幅な増加

#### 4.研究のまとめ

野菜くずの混合抽出、特にニンジンの皮等の軟組織を含む組み合わせは、浸透圧の差を利用した効率的な成分抽出に有効であることが示唆された。今後は、抽出後の野菜くずの有効活用法も検討したい。

#### 5. 参考文献

- 1)ヤマサ醤油株式会社 L-グルタミン酸測定キット「ヤマサ」NEO
- 2)株式会社同仁化学研究所、DOJINDO DPPH Antioxidant Assay Kit D678 取扱説明書 <https://www.dojindo.co.jp/manual/D678/> (2025年8月24日アクセス)

# 食物繊維を含む食材の種類及び調理方法による合成着色料の吸着量の違い

東京都立両国高等学校附属中学校 3年 笹生晶 森彩乃

## 1. 動機

近年、食品の添加物に対する関心が社会で高まっており、食物繊維が合成着色料を吸着する可能性が注目されてきた。そこで私たちは、食物繊維を含む食材の種類及び調理法の違いによって、合成着色料の吸着量にどのような差が生じるかを調べた。

## 2. 原理

合成着色料がどのくらい吸収できたかを確認する方法に、羊毛染色法がある。試験管に白い羊毛、合成着色料を水に溶かして作成した染色液、酢酸を入れたものをお湯の入ったビーカーに入れて煮沸し、羊毛に着色料が吸着されているかどうかを目視で確認する。羊毛に着色料の色がついた場合は食材に含まれる食物繊維が合成着色料を吸着できておらず、色がつかなかった場合は食材に含まれる食物繊維が合成着色料を吸着できていることがわかる。

## 3. 実験方法

### 【概要】

食物繊維が豊富に含まれている以下の食材を試験管に加えて、羊毛染色法を行った

- ① ニンジン (100g あたり 2.8g の食物繊維が含まれている)
- ② ごぼう (100g あたり 5.7g の食物繊維が含まれている)
- ③ 大豆 (100g あたり 8.5g の食物繊維が含まれている)

### 【手順】

- ① ニンジン、ごぼう、大豆の3つの食材を煮たもの、焼いたもの、塩酸につけたもの、何の加工も行わなかったもの、の4つの方法で処理した
- ② ①で加工したものをすりつぶした
- ③ 合成着色料を水に溶かし染色液を作成した
- ④ 試験管にすりつぶした食材と作成した染色液を入れた
- ⑤ 試験管内に羊毛の毛糸と4%の酢酸水溶液を加え、試験管を80℃程度のお湯につけた
- ⑥ 毛糸を取り出し、色の染まり具合を観察した

## 4. 結果

結果は以下の表のようになった。

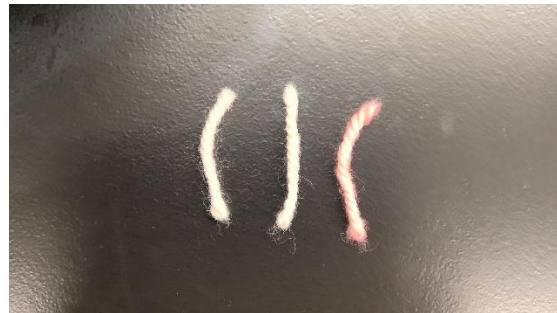
【表1 食材に合成着色料を吸着する効果があったか】

煮た大豆	効果あり	焼いたニンジン	効果なし
豆乳	効果あり	煮たニンジン	効果なし

塩酸に浸した大豆	効果あり	煮たごぼう	効果なし
炒めた大豆	効果あり	大豆の皮	効果あり
きなこ	効果あり	塩酸に浸したごぼう	効果なし
焼いたごぼう	効果なし	塩酸に浸したニンジン	効果なし



【図1 焼いたごぼうでの実験結果】



【図2 煮た大豆での実験結果】

どちらも左から加えた食材の量を 0g 0.5g 1.0g にしたときの結果である

## 5. 考察

大豆では皮と身の双方とも合成着色料の吸着が見られたことから食物繊維は合成着色料を吸着できると分かった。しかし、ニンジン及びごぼうでは合成着色料の吸着が加工方法によらず見られなかったことから、一定以上の食物繊維の含有量が必要なのではないかと考えられる。

## 6. 今後の展望

可能であれば分光光度計を用いてより正確かつ、数値を用いた合成着色料の吸着量を求めていきたいと考えている。その上、ほかの食材（アボカド、玄米、ドライトマト等）でも同様の調査を行っていく予定である。その研究を通して食物繊維含有量がどの値を超えれば合成着色料を吸着する効果が生まれるのか、また、合成着色料の吸着に最も適した調理法を模索していきたい。

## 8. 参考文献

玉利正人, 池田まどか, 高橋桂子. 食物繊維による合成着色料の吸収阻害について, 長崎大学教育学部 自然科学研究報告, 第 54 号, p45~52

清水加奈子, 食物繊維の多い食べ物とは? 適正摂取量やおすすめの食べ方を解説,  
[https://wellness.nichirei.co.jp/contents/detail/\\_39](https://wellness.nichirei.co.jp/contents/detail/_39)

# どんぐりのアク抜き手法と比較判定法について

北杜市立甲陵高等学校 ○田中悠風 ○五味いこい ○名古屋新

## 目的

どんぐりを食料や飼料として活用するには、アクの主成分であるタンニン酸類を効率的に抽出・除去することが必須となる。そこで本研究では、タンニン酸類の除去の程度を 1,10-フェナントロリン吸光光度法を応用して評価する手法を確立し、その手法を用いて実際にどんぐりを使用した抽出・除去手法の比較検討を行った。

## 2. 背景

先行研究では、 $Fe^{2+}$ が茶タンニンと反応して沈殿物を形成することで、フェナントロリン添加時の  $Fe^{2+}$ -1,10-フェナントロリン錯体の吸光度の値が茶タンニン無添加時と比べ低下することを報告している。 $Fe^{2+}$ -1,10-フェナントロリン錯体とは  $Fe^{2+}$ (無色)と 1,10-フェナントロリン(無色)が反応することで形成される橙色の錯体である。

上記の研究を、どんぐり中に含まれるタンニン酸類の測定に応用できるのではないかと考えた。

## 3. 実験方法

### (1) 1,10-フェナントロリン吸光光度法による評価

濃度の異なるタンニン酸水溶液 1mL を先行して添加した後、下記の試薬を用いて  $Fe^{2+}$ -1,10-フェナントロリン錯体の吸光度を計測した。実験の手順は以下のとおりであり、計測に用いた波長は吸収極大波長を示した510nmとしている。

1. 鉄標準液( $Fe^{2+}$ 濃度  $3.570 \times 10^{-4} \text{mol/L}$ )  
2mL にタンニン酸水溶液(30,50,70,90,110 mg/100mL)1mL を添加
2. 1 に塩酸ヒドロキシルアミン溶液 1mL を添加
3. 2 に 1,10-フェナントロリン溶液( $1.009 \times 10^{-2} \text{mol/L}$ )2mL を添加
4. 3 に酢酸ナトリウム水溶液 2mL を添加

### (2) 抽出・除去手法の評価

本実験ではクヌギの堅果を採取して試料として用いた。

アク抜きは、各群から測り取った 5g について実施した。

アク抜きの条件は以下の 3 種類とした。

- 条件 A: 水 100g に 1 時間浸漬
- 条件 B: 5%重曹水溶液 100g に 1 時間浸漬
- 条件 C: 5%クエン酸水溶液 100g に 1 時間浸漬

吸光度の計測では、前記(1)のタンニン酸水溶液を上澄み液に替えて、1mL を添加した。その他の実験の手順は図1のとおりである。

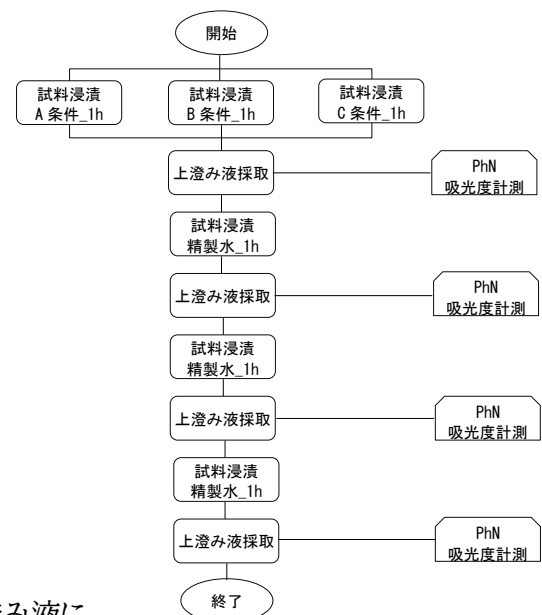


図1 実験フロー図

## 4. 結果

1,10-フェナントロリン吸光光度法による評価では、図2に示すとおり、添加したタンニン酸水溶液の濃度に応じて吸光度の値が直線状に低下している。標準主軸回帰分析の結果は以下のとおりである。

$$y = -1074.124x + 0.99417 \quad r = -0.9977864 \quad R^2 = 0.9955776$$

このため、アク抜きで抽出・除去されたタンニン酸類の濃度は、次式によりタンニン酸濃度に換算することができた。 $x = (0.99417 - y) / 1074.124 [\text{mol/L}]$  (図3)

条件別、浸漬回数別で吸光度を測定した結果は、図4のとおりである。また、前記式に吸光度(平均)を当てはめ、溶出したタンニン酸類のモル濃度を表1に示す。

算出したモル濃度からタンニン酸の質量に換算した結果(図5)、条件 B における質量の総和が最も大きくなった。タンニン酸のモル質量は 1701.19[g/mol]としている。

表 1 条件・浸漬回数別吸光度表

	条件 A			条件 B			条件 C		
	吸光度(平均)	換算モル濃度 (mol/L)	換算質量 (mg)	吸光度(平均)	換算モル濃度 (mol/L)	換算質量 (mg)	吸光度(平均)	換算モル濃度 (mol/L)	換算質量 (mg)
浸漬 1 回	0.355	$5.95 \times 10^{-4}$	101	0.067	$8.63 \times 10^{-4}$	140	0.797	$1.84 \times 10^{-4}$	30
浸漬 2 回	0.774	$2.05 \times 10^{-4}$	35	0.317	$6.30 \times 10^{-4}$	107	0.604	$3.63 \times 10^{-4}$	62
浸漬 3 回	0.946	$0.45 \times 10^{-4}$	8	0.828	$1.55 \times 10^{-4}$	26	0.885	$1.02 \times 10^{-4}$	17
浸漬 4 回	0.978	$0.15 \times 10^{-4}$	3	0.952	$0.39 \times 10^{-4}$	7	0.953	$0.38 \times 10^{-4}$	6

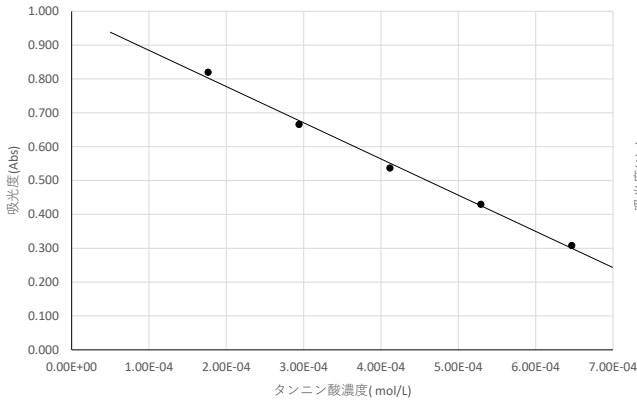


図 2 タンニン酸水溶液の濃度別吸光度

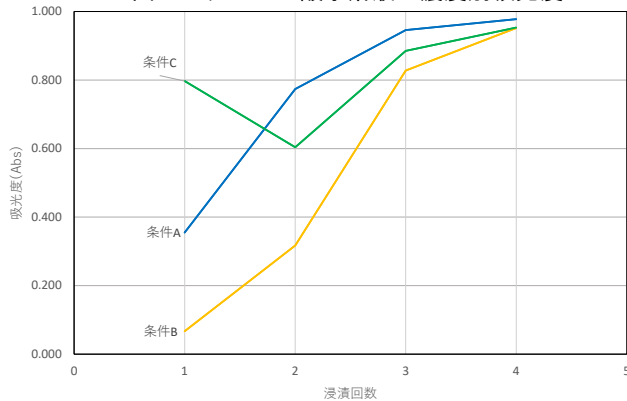


図 4 条件別吸光度(平均)の推移

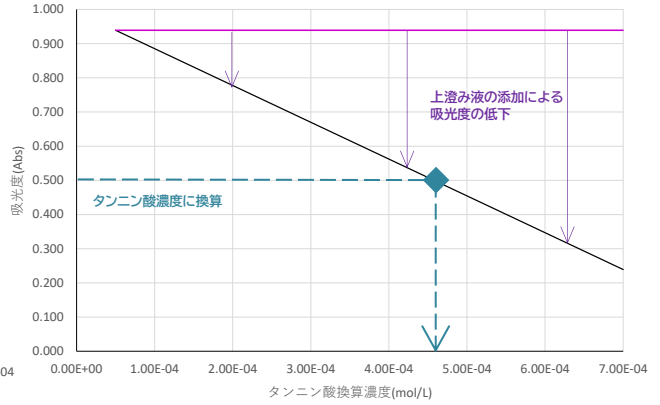


図 3 タンニン酸濃度換算イメージ図

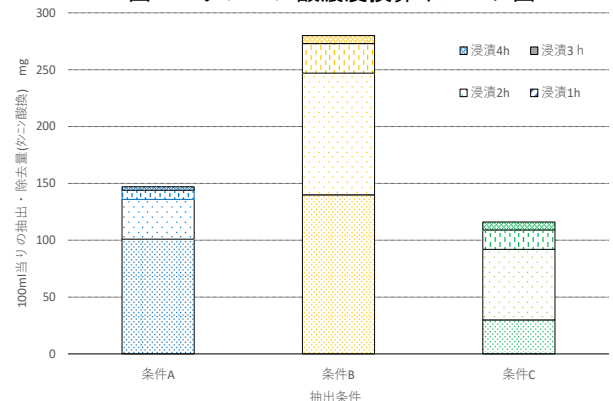


図 5 タンニン酸類の推定溶出量

## 5. 考察

1,10-フェナントロリン吸光度法を応用した評価法はタンニン酸水溶液の添加によって吸光度が明確に変化し、かつその程度に規則性があることから抽出・除去手法の評価に応用できることがわかった。加えて、 $R^2$ の値が1に近似することからも予測精度の高い評価法であるといえる。

条件 A 及び条件 B では、タンニン酸類の抽出・除去の程度を定量的に評価できた。また、重曹がタンニン酸類の抽出・除去を行う上で、有効であることが分かった。他方、条件 C の結果からは、浸漬1回目溶液の種類によっては、 $Fe^{2+}$ -1,10-フェナントロリン錯体の形成に影響を及ぼし、タンニン酸類の抽出・除去の程度を正確に評価できない可能性が判明した。

## 6. 今後の課題

3 条件の比較結果の妥当性の検討といった評価法の改良を行いたい。またこの評価法を用いた異なる樹種の堅果への応用法や、水量や濃度を変えたより効率の良い抽出・除去手法を検討したい。

## 7. 参考文献

- ・ドングリの利用技術と澱粉の特性(1996 鳥取県食品加工所)
- ・「鉄分の測定を用いた応用研究」(北杜市立甲陵高等学校 北野朋希 長野颯太)
- ・教養の化学実験 P67~69「1.温泉水中の鉄イオンの定量(徐放性鉄剤中の鉄の定量を含む)」
- ・機器分析ハンドブック有機・分光分析編(化学同人)

# ヘビイチゴのかゆみ止め作用の検証と原因の解明

東京学芸大学附属国際中等教育学校 ○石橋紅音

## 【目的】

ヘビイチゴ (*Potentilla hebiichigo*) の実は 2000 年程前から漢方薬として使われており、抗がん作用、かゆみ止め作用をはじめとする様々な効果を持っている (Fan *et al.*, 2022)。中でも、ヘビイチゴのかゆみ止めは現在でも使用されているが、効果のメカニズムについては研究がなされていない。本研究の目的は、ヘビイチゴのかゆみ止めが働く原因を突き止めることである。



図1 ヘビイチゴ

Paul *et al.* (2021) はかゆみを「掻きたい衝動を引き起こす不快な感覚」と定義しており、痛みとは異なる感覚であると述べている。ヘビイチゴのかゆみ止めとしての可能性を述べている Fan *et al.* (2022) はヘビイチゴが効くかゆみの原因を明らかにしていないため、本研究ではかゆみの原因を限定せず、複数のアプローチからかゆみ止めとしての効果を探ることとする。

## 【研究方法】

本研究では、東京都練馬区で収穫した実をエタノールに漬けて成分を抽出したものを使っている。しかし、サンプルを製造した年にヘビイチゴの状態やサンプルの保管状態が若干異なっており、それによる成分の違いが不明である。そこで、実験に使用しているサンプル間に違いが出ていないかを確認するために実験①を行う。

また、実験をもとに異常がないとみられるサンプルを用いてヘビイチゴがヒトの皮膚細胞（実験ではヒト皮膚線維芽細胞 (NHDF) を使用) に与える影響を検証する実験②を行う。更に、ヘビイチゴのサンプルに含まれる成分からヘビイチゴで生成される二次代謝物にかゆみに関連するものがないかを調べる実験③を行う。

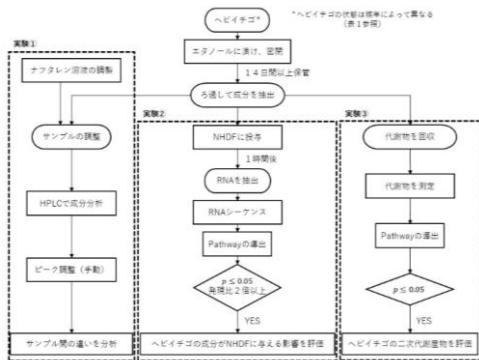


図2 実験のフローチャート

表1 試料溶液の違い

特徴	hebi22	hebi23	2024	hebi25	hebi25s
ヘビイチゴの収穫場所	東大泉		南大泉	石神井	
ヘビイチゴの乾燥	○	○	×	×	×
へびいちごのすりつぶし	×	×	×	×	○
色	薄い黄色	橙色	薄い赤色	濃い赤色	
紫外線	○	×	×	×	×

以下にはそれぞれの実験手法と得られた主な結果、それに対する考察を示す

## 【実験①】

ヘビイチゴのサンプル同士の成分を高速液体クロマトグラフィー (HPLC) で比較した。

- 結果
- ・ 2022年製造のみ1～2分間にピークなし。
  - ・ 2023～2025年製造は同じ個所にピークを検出。
- 考察
- ・ hebi22は紫外線により劣化し、元の成分から変質してしまった。
  - ・ 2023～2025年には成分の違いはない。ただし、成分の含有量の違いは見られた。

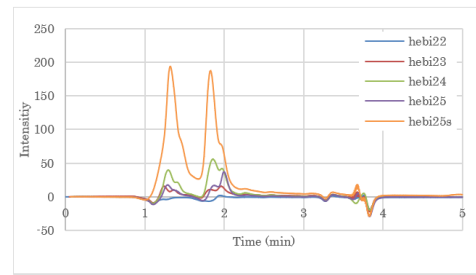


図3 HPLCの実験結果

### 【実験②】

ヘビイチゴのサンプルをヒト皮膚線維芽細胞 (NHDF) に与え、RNA が2倍以上に増加した遺伝子の Pathway 解析を行った。

結果 実験を行った2023年・2024年の両サンプルで、Cytokine-cytokine receptor interactionに含まれる遺伝子の有意差ある増加が複数確認された。

考察 サイトカインは〇〇の効能があるため、ヘビイチゴの含有成分がNHDFのかゆみ止め制御に何らかの影響を与えていることが示唆された。

### 【実験③】

ヘビイチゴの二次代謝物を抽出し、キャピラリー電気泳動質量分析を行った。その後、検出された代謝物を解析し、ヒト (*Homo sapiens*) と綿 (*Gossypium hirsutum*) のデータベースを参照して Pathway 解析を行った。

結果 *H. sapiens* で11個、*G. hirsutum* で8個 (うち8経路共通) の二次代謝物に関する有意差のある Pathway が検出された。

考察 ヒスチジン代謝経路、β-アラニン代謝経路、メチオニン代謝経路などかゆみとの関連性が先行研究より明らかになっている代謝物の経路が複数検出された。このことより、ヘビイチゴがかゆみとの関連を持つ二次代謝物を生産している可能性が示唆された。

### 【結論】

ヘビイチゴのサンプルがNHDFに有意差のある変化を及ぼし、かゆみ制御に関連するサイトカイン受容体を刺激する Pathway がヘビイチゴによって活性化されている可能性が示唆された。また、ヘビイチゴの代謝物からかゆみと直接関与する Pathway が複数確認されたことから、ヘビイチゴの代謝物にはかゆみ止めの効果を持った代謝物が含まれている可能性が示唆された。

### 【参考文献】

- Fan, M., Zhu, M., Chen, G., & Guo, M. (2022). *Duchesnea* genus: a comprehensive review of its phytochemistry, bioactivity, and pharmacology. *Phytochemistry Rev*22, 1585-1609 (2023).  
<https://doi.org/10.1007/s11101-022-09842-z>
- Paul, C., Yilmaz, A., Pieper, B., Liu, Z., Graham, & Stewart. (2021). Prospective comparative study: metabolomics profiles of exudate and serum for patients with and without venous ulcer wound itch. *Itch*. 6(2).

# 飲料中のタンパク質や脂質がもたらす影響（ミルクの泡立ちについてVI）

跡見学園高等学校 科学部 ○三澤 美来

## 1. 動機及び目的

過去にミルククラウンの実験を行っていたことをきっかけに、ミルクの泡の成分に興味を持った。3年間の研究を経て、泡に関係している物質はタンパク質と脂質であることが分かった。これらの結果を基に各飲料の熱効率・等電点・ミセル構造を調べ、それらがもたらす影響について検証する。

## 2. 実験方法

**準備物品:** はかり、タイマー、温度計、ガスバーナー、ビーカー、耐熱容器、ハンドミキサー、湯、インスタントコーヒー、飲料21種

**実験方法:** 以下の実験Ⅰ～Ⅴについて、攪拌する時間はすべての実験で、10～90秒と10秒間隔で計9回実験を行った。また、ミキサーはスタンドで固定し、器の底から8mm離れた高さで攪拌するようにして実験した。

### 実験Ⅰ 攪拌時間ごとの泡の高さの違い

- ① ビーカーに入れた6種の飲料を60℃まで温め、カプチーノミキサーで攪拌した。
- ② インスタントコーヒー2gをお湯50mLに溶かし、ここに①で泡立てた飲料50mLをゆっくりと注ぎ入れた。泡立て時間ごとに泡の高さを計った。

### 実験Ⅱ 飲料の温度を変えた泡の高さの違い

- ① ビーカーに入れた15種の飲料を冷蔵または温め、カプチーノミキサーで10～90秒攪拌した。飲料の温度は、冷蔵したもの、60℃、70℃、80℃の4種類で実験を行った。
- ② インスタントコーヒー2gをお湯50mLに溶かし、ここに①で泡立てた飲料50mLをゆっくりと注ぎ入れた。泡立て時間ごとに泡の高さを計り、その後、pHを測定した。

### 実験Ⅲ 添加物を混ぜて攪拌したときの違い

- ① ビーカーに入れた飲料50mLを60℃まで温め、各種の添加物に加えカプチーノミキサーで攪拌した。添加物は、(1)酢(飲料の1割程度の量)、(2)果糖1g、(3)界面活性剤1mL、(4)油1mLを用いた。
- ② インスタントコーヒー2gをお湯50mLに溶かし、ここに①で泡立てた飲料50mLをゆっくりと注ぎ入れた。泡立て時間ごとに泡の高さを計った。

### 実験Ⅳ 各飲料を10～100℃まで温め、各飲料の最適温度を導き出した

- ① ビーカーに入れた6種の飲料をそれぞれ10～100℃まで温め、カプチーノミキサーで攪拌した。
- ② インスタントコーヒー2gをお湯50mLに溶かし、ここに①で泡立てた飲料50mLをゆっくりと注ぎ入れた。泡立て時間ごとに泡の高さを計り、そのままの状態を放置した。泡の高さが最も高く且つ泡が持続したものを各飲料の最適温度とした。

### 実験Ⅴ 各飲料を10～100℃まで温め、各飲料の最適温度を導き出した

- ① ビーカーに入れた60℃まで加熱し、カプチーノミキサーで攪拌した。
- ② 紅茶・水道水・硬水・軟水50mLをそれぞれ用意し、ここに①で泡立てた飲料50mLをゆっくりと注ぎ入れた。泡立て時間ごとに泡の高さを計った。

## 3. 結果

実験を通し、飲料に含まれる成分によって泡の高さが変化することが分かった。特にタンパク質と脂質が関係していて、タンパク質が多く含まれる飲料は泡が長く持続し、脂質が多く含まれる飲料は泡が長く持続しなかった。また、各飲料で泡の高さ・持続時間は各温度によって変化し、高温・低温では泡の高さが低く、中間の温度では最高値となった。最も泡が高く且つ持続時間が長かった飲料は温度によって異なっていた。また、添加物を加えた際は果糖を加えた時は最も泡の高さが高くなり、酢酸を加えた際は泡の高さが最も低くなった。アルカリ電解水を加えても大きな変化は見られなかった。また、コーヒー以外を用いても泡の高さに大きな変化は見られなかった。



(図1) ミルクを泡立てる様子

#### 4.考察

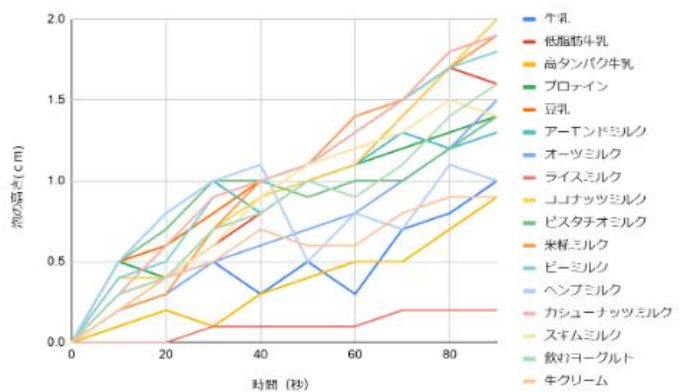
実験より、飲料に含まれるタンパク質と脂質の量が泡の高さを左右することが分かった。泡が高くなる条件は脂質が少なくタンパク質が多い場合であり、タンパク質と脂質の差が少ないときである。攪拌時間と泡の高さが必要しも比例するわけではなく、攪拌時間を増やせば増やすほど泡の高さが低くなる傾向にあった。これは攪拌によって泡がつぶれたと推測した。飲料に果糖を入れて攪拌したところすべての飲料で泡の高さが高くなった。また、タンパク質を多く含む飲料で泡が持続した理由として、タンパク質が泡の表面に集まり泡が安定したことがあげられる。牛乳、低脂肪牛乳、高タンパク牛乳、スキムミルク、飲むヨーグルト、生クリームに含まれるカゼインはミセル構造をとり、攪拌によって界面に広がることで泡の崩壊を防いだ可能性がある。これは果糖に含まれるデンプンが攪拌する際に入り込んだ酸素によってブドウ糖に変化したことによる。また、界面活性剤と油を入れて攪拌したところ、泡が変化し飲料と油が混ざり合った。これは表面張力が低下し乳化したことによると考えた。泡の下をコーヒー以外の液体(紅茶・水道水・硬水・軟水)にて実験を行っても泡の高さ・持続時間の変化が見られなかった。すなわち、泡の下の飲料が泡に直接的な影響をもたらすことはないと言える。

#### 5.今後の展望

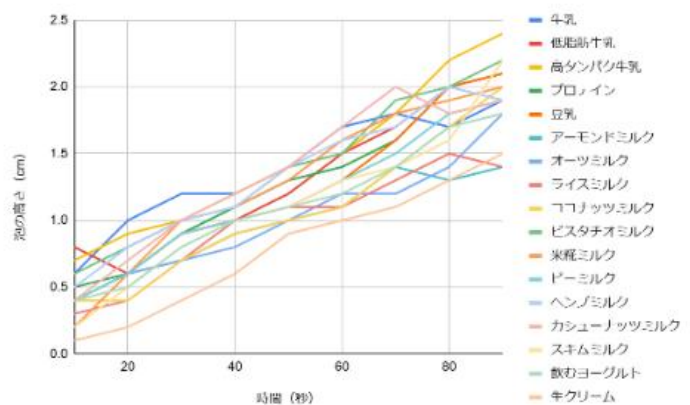
今後は等電点・ミセル構造についての実験を行っていきたい。また、各飲料に含まれる成分が泡にもたらす影響についても研究していきたい。また、本実験では泡の高さを実験者のみが定規で測定したため、測定誤差が大きくなった可能性がある。さらに、攪拌の際の回転速度や泡を注ぐ際の角度も影響を与えた可能性がある。今後はより精密な測定を行うため、動画解析・質量測定などを用いて、より客観的な評価を行う必要がある。

#### 6.参考文献

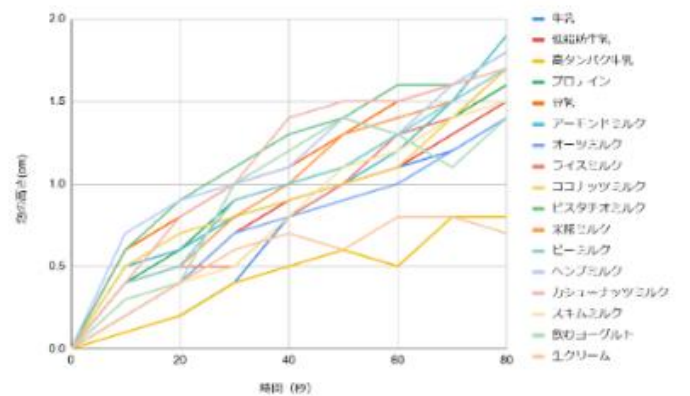
- 1)フォームミルクの謎を探る,自然科学観察研究会主催「自然科学観察コンクール」出品レポート(2023年8月18日)
- 2)ミルクの泡立ちの違いは何故起こるか,日本化学会関東支部,「第41回化学クラブ研究発表会」研究予稿集,ミルクの泡立ちの違いは何故起こるかII(2024年3月26日)
- 3)子供の文化・教育研究所主催「小中学生作品コンクール」出品レポート
- 4)飲料の成分表示(株式会社明治 <https://www.meiji.co.jp/>, 株式会社LOTTE <https://www.lotte.co.jp/>)



(図2) 果糖を用いた場合



(図3) 酢酸を用いた場合



(図4) アルカリ電解水を用いた場合

## カフェインと集中力の関係

跡見学園中学校科学部 ○塙 明香里(中3) ○芳賀 春花(中3) ○中里 夢花(中3)

### 動機・目的

コーヒーなどに含まれるカフェインには覚醒作用があることが広く知られている。本研究では、カフェインの摂取量やその日の睡眠時間の違いによって、覚醒効果にどのような差が現れるのかを明らかにしたいと考え、この研究を行った。

### 材料

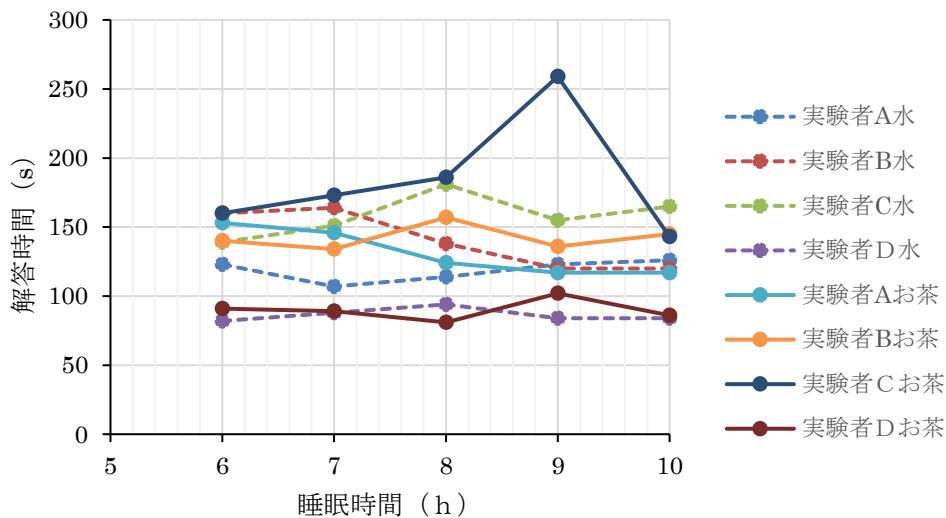
A4 レポート用紙、シャープペンシル、シャープペンシルの芯、消しゴム、サントリー天然水、伊藤園お〜いお茶緑茶、百マス計算の計算用紙<sup>1)</sup>、タイマー

### 実験方法

- ① 実験の条件をそろえ、個人による差をなくすため、22時45分に消灯し、23時30分までに就寝した。
  - ② 6～10時間の睡眠をとり、翌朝それぞれ5時、6時、7時、8時、9時に起床した。
  - ③ 起床から10分後、それぞれサントリー天然水、または、伊藤園お〜いお茶緑茶100mLを飲んだ。
  - ④ 起床から20分後、百マス計算を解き、解答に要した時間（以下、解答時間と呼ぶ）をタイマーで計測した。
  - ⑤ 百マス計算答案の採点は第三者に依頼した。
- ※なお、実験は部員4人を被験者として行った。

### 結果

測定結果は、以下の図1に示すようになった。



(図1) 睡眠時間と解答時間の関係

## 考察

実験の結果、睡眠時間が長いほど百マス計算の解答時間が長くなる傾向にあった。これは、睡眠時間が長いほど、目覚めのタイミングが深い眠りのサイクルと重なりやすくなり、強い眠気や頭のぼんやり感が長時間持続したためとする Christopher Bergland の結果<sup>2)</sup>と一致する。このようなことから、集中力を保つためにはあまりにも長すぎる睡眠は避けた方が良いと言える。また、睡眠時間が6～8時間の時は、水を飲んだ時の方がお茶の場合よりも解答時間が短くなる傾向があった。一方で、睡眠時間が9～10時間の時はお茶の方が水の場合よりも解答時間が短くなる傾向にあった。このようなことから、睡眠時間が長いほどカフェインの覚醒作用が発揮されると言える。

## 今後の展望

今回の実験では、早朝における睡眠時間と集中力の関係を求めていたが、今後は一日の中で、いつ集中力が切れやすくなるのかを研究したい。また、集中力の欠如を、カフェインを使用してどのように補えるか研究していきたい。

## 参考文献

- 1) 「100 マスの計算 無料プリント/ドリル/ミニテスト : むげんプリント」. むげんプリント, <https://mugen-print.com/100math/>, (参照 2026-01-29)
- 2) Christopher Bergland, “Does Too Much Sleep Have Negative Repercussions?”. Psychology Today. (2018-10-11), <https://www.psychologytoday.com/us/blog/the-athletes-way/201810/does-too-much-sleep-have-negative-repercussions> (参照 2026-01-26)

# インジゴ誘導体の色と構造

愛知県立一宮高等学校 物化部

○山口剣汰 ○恒川晴渡

## 1. 序論

インジゴは深青色を呈する着色料<sup>[1]</sup>で、この誘導体はそれぞれ特異な性質を示す。代表的なものに「青色 2 号」とも呼ばれる青色の合成着色料、インジゴカルミン(インジゴ-5,5'-ジスルホン酸二ナトリウム塩)があり、医薬品や食品添加物としてなど、幅広く使用されている<sup>[1]</sup>。

このインジゴカルミンは、酸化還元による共役系の拡大縮小によって吸収スペクトルが変化し、塩基性条件下にて呈色に変化することが知られている<sup>[2, 3]</sup> (Fig.1)。この性質を利用した信号反応は有名な酸化還元反応で、目で見て反応を実感しやすいため、化学実験ショーや教材に用いられている<sup>[4]</sup> (Fig.2)。

我々がインジゴカルミンや信号反応について研究を行う中で、「信号反応中の呈色は pH によって変化する」「インジゴカルミンは  $\text{pH} \leq -1.0$  の極酸性条件下でも変色すること」が確認された。これらの研究を通じて、インジゴ誘導体の官能基が呈色に作用する可能性について考えた。

本研究は、ニトロインジゴとアミノインジゴの性質から、官能基の影響について考察するものである。

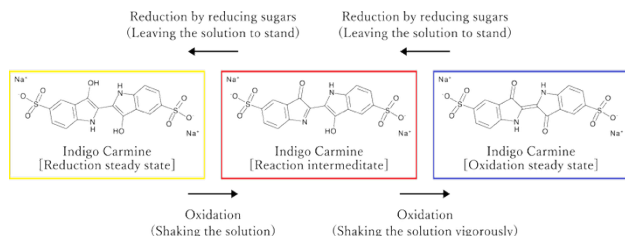


Fig.1 インジゴカルミンの構造変化 (一説)

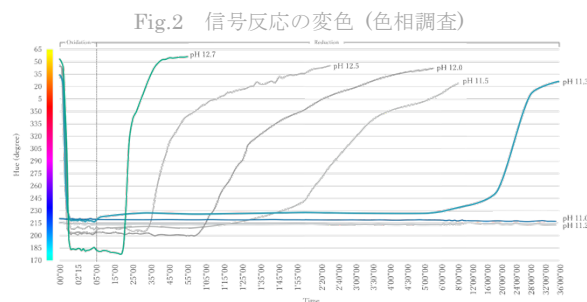


Fig.2 信号反応の変色 (色相調査)

## 2. 研究目的と仮説

以前の研究で、インジゴカルミンは極酸性条件下において青紫色を呈することが確認された。吸収スペクトルの測定結果から、これは酸化定常状態の青色体と、紫色を呈する状態のインジゴカルミンが同時存在することによると考察された<sup>(Fig.3)</sup> が、<sup>1</sup>H-NMR 解析からは構造の発現が確認できなかった。

これらの結果を踏まえ、紫色を呈する状態は構造が変化したのではなく、水溶液中のプロトンが分子中の電子に何らかの形で作用した可能性があると考えた。

そこで、インジゴに電子吸引性の強いニトロ基・電子供与性の強いアミノ基を導入し、「インジゴ誘導体は官能基によって異なる呈色がみられる」と仮説を立てて実験を行った。

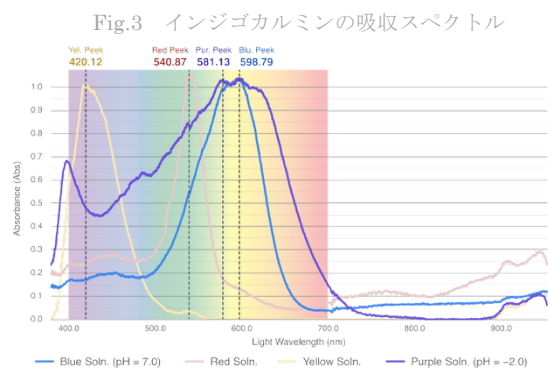


Fig.3 インジゴカルミンの吸収スペクトル

## 3. 実験方法

1.  $38 \text{ g/cm}^3$  硝酸 1.0mL と 98 w/w% 濃硫酸 2.0mL を混合し、濃硫酸 1.0mL にインジゴ 10 mg を溶解した溶液を加えてニトロ化を行う。また、このニトロインジゴ溶液と粒状スズ 1.0g を 36 w/w% 塩酸 15mL に加え、 $150^\circ\text{C}$  に加熱してアミノ化を行う。これらの呈色を色相分析により分析する。なお、色相分析は溶液濃度や環境光の影響が排除され、色の定量化が可能な手法である。

ニトロ化合物については、インジゴカルミンと同位置 (5 位) にニトロ基が付加された 5,5'-ジニトロ-trans-インジゴを目的生成物としているため、生成物の確認として NMR 解析を行う。氷冷しながらクエンチし、EtOAc 及び  $\text{Et}_2\text{O}$  で分液したものを真空乾燥させ、 $\text{DMSO-}d_6$  溶液を重溶媒として <sup>1</sup>H-NMR 解析を行う。この結果から、生成物を判断する。

また、インジゴカルミンの呈色が塩基性条件下で変化することと比較するため、水酸化ナトリウムを塩基として加え、塩基性溶液中での呈色も調査する。

#### 4. 実験結果

ニトロインジゴは、<sup>1</sup>H-NMR 解析の結果より生成物に目的生成物が含まれている可能性が示唆された。ただし単離はできず、溶液中のニトロインジゴのうち多くは5,5',7,7'-テトラニトロインジゴである可能性が高いとされた。溶液は赤色を呈し、時間経過で黄色へ変色した (Fig. 5)。

アミノインジゴはニンヒドリン反応よりその生成が確認できた。溶液は薄い黄色を呈した。また、ニトロインジゴでは塩基性条件下において呈色の変化が確認された (Fig. 4)。

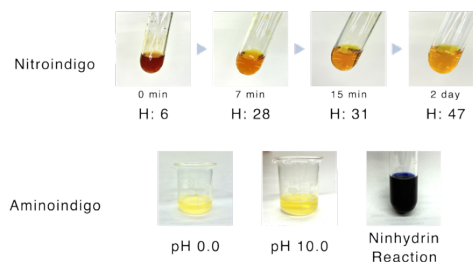
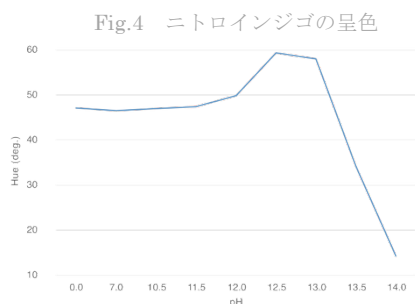


Fig. 5 ニトロインジゴの変色・アミノインジゴの呈色

#### 5. 考察

ニトロインジゴ溶液の呈色変化は、吸収波長が短波長側へシフトしたためであると考えられる。ニトロ基の導入により、インジゴ分子の中央に集中していた電子密度が小さくなり、分子全体のエネルギーが安定したと考えられる。このとき HOMO (最高被占分子軌道) が下がり、HOMO-LUMO ギャップが広がる。従って、この吸収波長シフトは  $E_g = \frac{hc}{\lambda}$  の式よりも支持される。

アミノインジゴ溶液の呈色変化は、上記の変化とは逆に、エネルギーギャップが狭まることにより吸収波長が長波長側へシフトしたと考えられる。従って、アミノインジゴは無色になり一部反応しなかったニトロインジゴによって、薄い黄色を呈したと考えられる。

時間経過による変色については、ジニトロ体が不安定なために分解された結果、黄色を呈するトリニトロ体やテトラニトロ体が占める割合が高くなったためだと考えられる。

#### 6. 展望

現在、ニトロ化・アミノ化を行ったインジゴが信号反応を示すか検証中である。今後、ニトロ基やアミノ基以外の官能基による呈色や、それらが信号反応を示すかを調べていきたい。

#### 7. 謝辞

<sup>1</sup>H-NMR 解析の実施に際して、名古屋工業大学 柴田研究室 の皆様に多大なるご協力を賜った。謹んで御礼申し上げます。

#### 8. 参考文献

- [1] 小学館. デジタル大辞泉. 2025-11-21 更新. 最終閲覧 2026-2-3.
- [2] 山口大学 工学部. 「化学反応の見える化」. 国立大学 56 工学系学部ホームページ. <https://www.mirai-kougaku.jp/laboratory/pages/180126.php> 2018-1-26 更新. 最終閲覧 2026-2-3.
- [3] Anne Helmenstine. *Chemical Traffic Light Experiment*. Science Notes. <https://sciencenotes.org/chemical-traffic-light-experiment/> 2025-9-23 更新. 最終閲覧 2026-2-3.
- [4] 小島りか・大場茂. 「インジゴカルミン水溶液中の信号反応および分解退色」. 『慶應義塾大学日吉紀要. 自然科学』. 59. pp. 21. 2016-4-14 更新. 最終閲覧 2026-2-3.

# カリン種子由来の粘性多糖類を用いたものづくり

茨城県立土浦第一高等学校 上津原聖介

## 1. 背景と目的

カリンの種子には、冷水抽出により得られる粘性の高い多糖類が豊富に含まれている。この多糖類は、高保湿性・ゲル化能・フィルム形成能といった特徴をもち、バイオマスプラスチックや粘着剤などの環境材料として応用が期待される天然高分子である。近年、石油由来プラスチックの環境負荷が問題視される中、植物由来の多糖類を利用したバイオ素材の開発は、SDGs に合致する持続可能な取り組みとして重要性が高い。また、先行研究では、ミドリムシ由来の多糖類であるパラミロンをエステル化することで、熱可塑性樹脂を得られることが報告されている<sup>[1]</sup>。そこで本研究では、パラミロンと同じ多糖類であるカリン種子由来の粘性多糖類についても、エステル化により樹脂化が可能であると考えた。

本研究では、(1) カリン種子からの多糖類抽出条件の最適化、(2) 抽出多糖類のエステル化による樹脂化、(3) バイオマスプラスチックゲル・フィルムの試作、を行い、カリン種子を原料とした「天然多糖類 → バイオプラスチック」への加工プロセスを体系的に明らかにすることを目的とした。

## 2. 方法

### (1) 多糖類の抽出操作

カリン種子をエタノールで洗浄して乾燥させた後、種子に対して質量の 5 倍量の蒸留水を加えて攪拌し、1 時間、8 時間、または 24 時間の条件で多糖類を抽出した。抽出液はガーゼを用いて減圧ろ過し、得られた抽出液に 4 倍量のアセトンを加えて沈殿を生じさせた。沈殿を減圧ろ過し、自然乾燥によってアセトン除去した後、粉末化して粗抽出多糖類を得た。

### (2) 抽出多糖類のエステル化反応

酸触媒としてトリフルオロ酢酸無水物(TFAA) 8 mL を用い、酢酸 4 mL を加えた混合溶液を 50°C で 5 分間加熱した。これにカリン種子由来の多糖類粉末 0.2 g を少量ずつ加え、50°C で 1 時間攪拌してエステル化反応を行った。反応後、溶液を室温まで冷却し、アセトンを加えて攪拌することで沈殿を得た。沈殿物をろ過し、アセトンで洗浄した後、乾燥して多糖エステルを回収した。さらにメタノールで洗浄を繰り返し行い、精製した多糖エステルを得た。

### (3) フィルムの作製と各種評価

得られた多糖エステルをクロロホルムに溶解し、不溶物を除くためにろ過した。ろ過後の溶液をシャーレに流し込み、溶液キャスト法によりフィルムを作製した。溶媒を室温で自然蒸発させた後、乾燥して溶媒を完全に除去した。作製したフィルムについて、背景の文字の視認性による透明性、折り曲げた際の柔軟性を観察した。また、

シリコンオイルを用いたオイルバス加熱(20~200°C)により軟化開始温度と変形挙動を調べた。さらに、作製したフィルムを 1 mol/L 塩酸および水酸化ナトリウム水溶液に室温で 1 週間浸して耐薬品性を評価した。

### 3. 結果と考察

#### (1) 抽出量に及ぼす抽出時間の影響

抽出時間が長いほど収量が増加した(図 1)。このことから、多糖類は水中に徐々に溶出することがわかり、長時間抽出が有効であると考えられる。

#### (2) エステル化による樹脂化の確認

TFAA を用いたエステル化反応により、多糖類はプラスチック状というよりも一部にゲル状の性質が残る固体として回収された。得られた固体がクロロホルムに溶解したことから、エステル化自体は安定して進行し、多糖類の疎水性が増加したと考えられる。

#### (3) フィルムの外観・熱可塑性・耐薬品性

溶液キャスト法によりフィルムを作製することはできたが、気泡が入り込むことが多く、背景の文字が明瞭に透けて見えるほどの透明性は得られなかった。また、フィルムには粘性が残っており、柔軟性について十分に評価することはできなかった。これらの点は成膜条件に起因する可能性があり、透明性や物性の改善が今後の課題である。また、オイルバス加熱では 180°C を超えても軟化していない部分が多く見られたことから、熱可塑性は確認されたものの、その程度は比較的乏しい可能性がある。これはエステル化の進行度や多糖構造の一部が残存していることが影響していると考えられる。

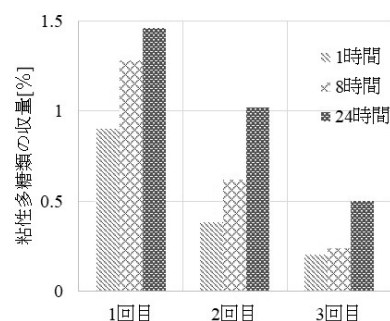


図 1

### 4. 結論

本研究では、カリン種子由来多糖類をエステル化して得られた固体からフィルムを作製できることを確認した。一方で、成膜性や熱可塑性など材料としての物性には改善の余地があることが明らかになった。また、酸性・アルカリ性条件下での膨潤や透明性の変化から、多糖エステルが環境条件に応じて状態を変化させる可能性が示唆された。

### 5. 今後の展望

今後は、エステル化に用いるカルボン酸の炭素鎖長を変化させ、フィルムの物性への影響を比較検討したい。

### 参考文献

- [1] Shibakami, M., Tsubouchi, G., Sohma, M., & Hayashi, M. (2015a). One-pot synthesis of thermoplastic mixed paramylon esters using trifluoroacetic anhydride. *Carbohydrate Polymers*, 119,1–7.

# トマトの色と味の関係

玉川学園中学部 ○須田沙来

## はじめに

トマトは成長に伴い、緑色から赤色へと色が変化し、それと同時に味も変化する。一般に、未熟なトマトは酸味が強く、成熟が進むにつれて甘味や旨味が増すと感じられる。このような味の変化は、トマトの成長過程において内部の成分が変化しているためだと考えられる。そこでトマトの味に関わる成分として酸味の pH、甘味の糖度、旨味成分である L-グルタミン酸に着目した。さらにトマトの赤色色素であるリコピンも測定し、色の変化と成分の変化との関係を明らかにすることを目的とした。

## 実験1. 成長過程と成分変化

赤みの違うトマトを 4、5 個収穫し、カメラで撮影後、内側と外側(図1)で分けてすり潰してろ過をした。次の4項目を測定した。

- ・pH(堀場卓上型 pH メータ LAQUA F-72 を使用)、
- ・糖度(アタゴポケット糖度計を使用)、
- ・グルタミン酸(ヤマサ NEO L-グルタミン酸測定キットを用いた比色定量)<sup>(2)</sup>、
- ・リコピン(最適抽出溶媒を用いた簡易迅速定量法による比色定量)<sup>(3)</sup>

結果を図 2~5 に示す。横軸は、撮影したトマトの画像を ImageJ で読み込み、各画素で RGB 値に分解し、トマトの輪郭内画素の R,G,B 値をそれぞれ平均することで、トマト全体の RGB 値とした。今回は、緑のトマトから赤いトマトへの変化を数値化するため、トマトの赤み度合いを  $R/(R+G)$  と定義して値を求め、トマトの赤み度合いを比較した。赤み度合いは、緑( $R=0, G=255$ )を 0、赤( $R=255, G=0$ )を 1 とした。pH (図 2) はトマトの赤みが増しても変化がなく、糖度(図 3)は最終的に急激に上がった。L-グルタミン酸(図 4)は内側も外側も赤さに比例して増加した。リコピン(図 5)は内側も外側も緑色のうちはあまり含まれていないが、内側はトマトが赤くなることに比例して増加した。一方、外側は後半に急激に増加した。これ

は、外側は太陽光を直接受けるため、リコピンの合成が活発になるからだと考えられる。



図1 トマトの部位<sup>(1)</sup>

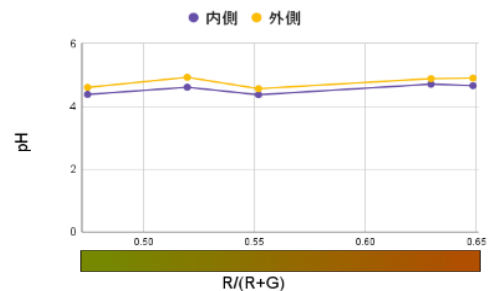


図2 pH

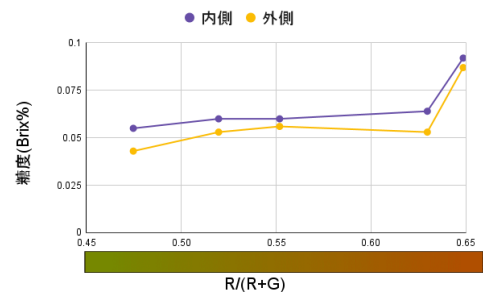


図3 糖度

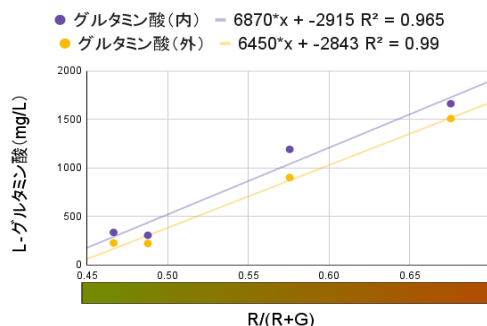


図4 L-グルタミン酸

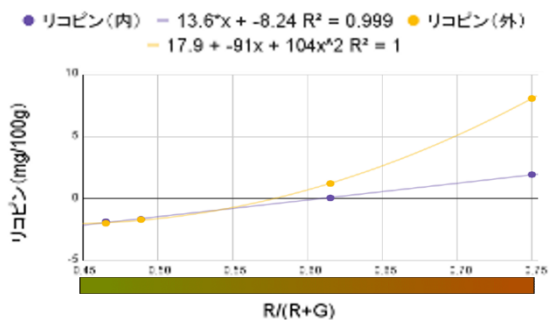


図5 リコピン

## 実験2. 木熟と追熟での成分の違い

実験1より、トマトが熟すにつれてリコピンとL-グルタミン酸が増加したことから、それらの成分はどこから現れるのか明確にするため、木熟したトマトと追熟させたトマトの成分を比較した。木熟とは、木になったまま熟すまで育てることで、追熟とは、収穫後に完熟することである。方法は、赤いトマトと、追熟させるための赤みが弱いトマトを同日に収穫し、木熟のトマトを基準にして、追熟させるトマトを25℃の恒温槽で4日間追熟させた。木熟トマトと、追熟させたトマトのL-グルタミン酸とリコピンを測定した。結果を図6～7に示す。追熟させたトマトのほうがL-グルタミン酸もリコピンも少なかった。これは木熟では果実が木になったまま成熟するため、光合成産物などの栄養が継続的に供給され、L-グルタミン酸の合成や、リコピンの蓄積がより十分に進むと考えられる。一方で、追熟のトマトは収穫後に植物から切り離された状態で成熟が進むため、外部からの栄養供給がなく、L-グルタミン酸やリコピンの合成が木熟に比べて制限されると考えられる。

## 実験3. クロロフィル

実験2より成長過程でリコピン(赤色)が増加することがわかった。この変化がクロロフィル(緑色)の分解と関係しているのか確かめるために、緑色のトマトと赤いトマトを比較した。方法は、薄層クロマトグラフィーを用いた。試料は、ほうれん草(ジエチルエーテルを加え、すり潰したもの)、赤と緑のトマト(すりつぶして濾過してからヘキサンを加えてチューブに移し、遠心分離機で二層に分離して上層を抽出液としたもの)を用いた。TLCにスポットし、展開した(展開液 ヘキサン:アセトン=7:3)。結果を図8に示す。ほうれん草の結果から緑色のトマトにはクロロフィル a とbがあり、赤色のトマトにはクロロフィルがなかった。また、緑色のトマトにはカロテンが少量しかなく、赤色のトマトには赤い色素がたくさん混ざっているため、カロテンの他にリコピンも含まれていると考えられる。成長する段階でクロロフィルが分解され、緑色が消えていき、同時にリコピンが増加するためトマトは赤くなると言える。

## まとめ

トマトは成長過程で赤さが増すにつれて pH や糖度には大きな変化は見られなかった一方、L-グルタミン酸とリコピンは増加した。これらの成分は追熟のみでは十分に増加せず、植物本体からの栄養供給が成熟に重要であると考えられた。クロロフィルの分解とリコピンの増加が同時に進行することで、トマトは緑色から赤色へと変化すると言える。

## 参考文献

- (1)Veritas, トマト, [https://veritas-solve.com/product\\_category/tomato](https://veritas-solve.com/product_category/tomato)
- (2)ヤマサ醤油, L-グルタミン酸測定キット「ヤマサ」NEO, <https://diagnostics.yamasa.com/reagent/80128/>
- (3)農研機構, トマトのリコピンの最適抽出溶媒の選定とこれを用いた簡易迅速定量法, <https://www.naro.go.jp/project/results/laboratory/vegetea/2010/vegetea10-11.html>

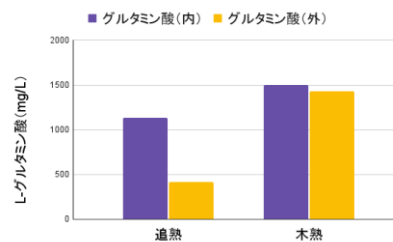


図6 L-グルタミン酸

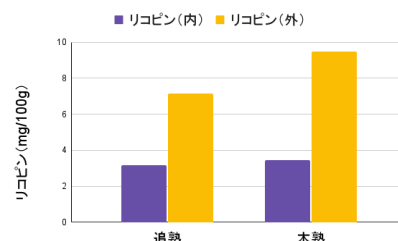


図7 リコピン



図8 TLC

(左から赤トマト、緑トマト、ほうれん草)

# こんにゃくのゲル化メカニズムの研究

群馬県立太田女子高等学校

○青木麻央 ○小林さくら ○小林瑤季 ○根岸泉美 ○山本さくら

## 1. 序論

農林水産省によると、群馬県が生産量1位であるこんにゃく芋の消費量が年々減少している。それを知り、こんにゃくの食用以外の用途を探す中で、コンニャクの主成分であるコンニャクグルコマンナン(以下KG)とセルロースの構造が似ていることがわかった。そこで、KGを使って繊維を作るのではないかと考え、作製方法を確立した。現在はKG繊維の強度向上のため、ゲル化の仕組みを解明する研究を行っている。



図1 本校のKG繊維作製（一般的なこんにゃくの製法では行わないメタノール洗浄を採用）

## 2. 実験

### 実験1 浸漬溶媒の異なるこんにゃくの比較実験

〈目的〉 溶媒ごとのゲル化の様子を比較する。

〈手順〉

1. 50℃の湯 340ml にこんにゃく精粉 10g を少しずつ加え、糊状になるまでかき混ぜる。
2. 5分毎に混ぜながら 30分程度静置し、その後全体が混ざるように練る。
3. 38ml のぬるま湯に水酸化ナトリウム 0.54g を加える。
4. 2のこんにゃくを練りながら3を入れ1分程度混ぜる。
5. 4を適当な大きさに分け、20分静置する。
6. 5を各溶媒 100ml に1時間浸漬する。

〈浸漬溶媒〉 メタノール、エタノール、グリセリン、アセトン、熱湯

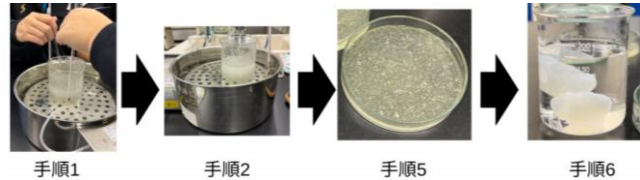


図2 こんにゃく作製の様子

〈結果〉



図3 浸漬1時間後のこんにゃく（左からメタノール、エタノール、グリセリン、アセトン、熱湯）

- メタノール 表面は白く、外側から厚く膜が張るように固まっていった。
- エタノール 表面は白く、外側の固まっている部分はメタノールよりも薄かった。
- グリセリン 表面は半透明で、他の溶媒を用いたこんにゃくに比べて固まる速さが遅かった。
- アセトン 表面は白く、外側の固まっている部分が最も厚かった。
- 熱湯 表面は半透明で、こんにゃくの内側と外側でほとんど違いが見られなかった。

実験2 実験1から形状、浸漬する溶媒を変更したこんにゃくの比較実験

〈目的〉 浸漬溶媒の違いによる水分変化を調べる。

〈手順〉

- 1～4は実験1と同様に行う。
5. 4を同じ体積になるように分けて、20分静置する。
6. 5をシャーレに入れ、各溶媒10mlに浸漬して30分、1時間ごとに取り出す。

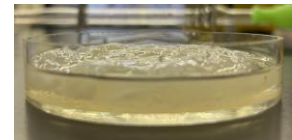


図4 手順6の様子

〈浸漬溶媒〉 メタノール、エタノール、2-プロパノール、グリセリン、アセトン

〈結果〉 表1 実験2の質量変化と変化率

溶媒	浸漬前	浸漬後	変化量	変化率
メタノール	56.27g	48.84g	-7.43g	-13.21%
エタノール	54.20g	47.33g	-6.87g	-12.68%
2-プロパノール	55.82g	45.87g	-9.95g	-17.83%
グリセリン	55.34g	47.98g	-7.36g	-13.30%
アセトン	53.63g	44.85	-8.78g	-16.38%

※変化率は浸漬前のこんにゃくの質量に対し、変化量を百分率で表した。

### 3. 考察

溶媒に触れているところのみ顕著にゲル化が進行しているところから、浸漬溶媒がKGのゲル化に関わっていることは明らかであると言える。

また、固まり具合に大きな違いが見られたメタノールとグリセリンの水分減少率にほとんど差が見られなかったことから、脱水以外に浸漬溶媒の分子の大きさなどが関係していると考えられる。

### 4. 展望

実験3よりアセトンと2-プロパノールを用いた際の脱水量が多いことがわかったため、これらの溶媒を用いた繊維の強度測定、比較を行う。

また、水和以外の要素が強度に関係していることを調べるため、真逆のヘキサンなどの有機溶媒を用いてこんにゃくの作製、比較を行う。

### 5. 参考文献

- (1)こんにゃくをめぐる事情(農林水産省, 2025)
- (2)蒟蒻の歴史と化学(Gelate, 2020)
- (3)コンニャク・グルコマンナン繊維の開発と農業用資材への応用(本田拓哉, 松本陽一, 若子倫菜, 東義昭, 竹内康治, 2011)
- (4)こんにゃくとグルコマンナンの化学(宮越俊一, 2016)

# アントシアニンを天然着色料として食品に用いる

学校名 神奈川県立多摩高等学校 ○アンダーソン小雪レアナ ○宇佐あゆ葉  
○角内こゆき ○東風谷夏鈴 ○福井陽菜

## 背景

アジサイの花にはなぜ色の違いが生まれるのかということに疑問を持ち調べたところ、アジサイに含まれるアントシアニンという天然色素には、土壌の pH によって色の変化を生み出す働きがあるとわかった。そこで私達は、このアントシアニンが持つ特性を食品の着色料に活用できないかと考えた。アントシアニンとは植物界に広く存在する天然色素であり pH によって色が変わるという特性をもっている。酸性では赤色、中性では紫色、弱塩基性では青色、強塩基性では緑色に変わる。その pH 指示薬としても使われている。先行研究より、アントシアニンは目に良い影響を与えることが分かっている。また、酸性下で現れる赤色は安定するが、塩基性下で現れる青色は不安定で長時間保つことが難しいとされている。

## 目的・仮説

アントシアニンによって現れる青色を安定させ、その状態で天然着色料として食品の加工に利用することを目的とする。アントシアニンはアルミニウム塩の添加によって青色に変化するということが先行研究から分かっている。そのため、アルミニウム塩と性質が似ており、なおかつ人間が体内に取り入れても問題のない金属塩を添加することによって、アントシアニンを青色で安定させることができるのではないかと考えた。

## 実験 1

### 目的

実験の結果を得やすいアントシアニンを含む食材を探る。この際、アントシアニンの含有量が多く、なおかつ手に入りやすいという点から紫キャベツとブルーベリーについて調べた。本研究では食用の天然着色料を目的としているため、食用の重曹を使用した。

### 方法

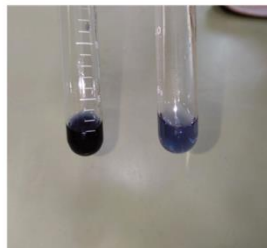
#### (1) ブルーベリー

ブルーベリーをビーカー内ですりつぶし、果汁のみを採取した。採取した果汁を何本かの試験管に分けて入れ、塩基性下にして、色の変化を観察した。

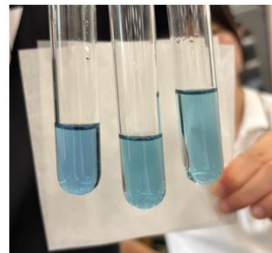
#### (2) 紫キャベツ

紫キャベツの大きめの葉を 4 枚程度とり、包丁で刻んで沸騰したお湯につけた。その液体をブルーベリーと同様に観察した。

## 結果・考察



ブルーベリー



紫キャベツ

ブルーベリーよりも紫キャベツの方が色の変化が分かりやすかった。ブルーベリーは変色前の色が濃いため色のコントロールが難しかったと考えられる。また、ブルーベリーをすりつぶした際に濾過しても取り切れない大きさの皮が混入してしまい、全体的に濁ってしまった。

## 実験2

### 目的

ゼラチンを使用して食品に塩基性下と酸性下のそれぞれの条件で着色できるのかを調べる。pHを酸性と塩基性にするために本実験では、塩基性下では重曹水、酸性下ではレモン汁を使用した。

### 方法

実験1の方法でアントシアニンを取り出した。また、1%の重曹水を作った。次に分量の通りのゼラチンを溶かし、2つのシャーレに塩基性下と酸性下のそれぞれの条件でゼラチンを固めた。そしてそれらの色の変化を観察した。

### 結果・考察



塩基性下



酸性下

塩基性下では、青色に着色できたが退色して緑色になった。酸性下では、赤色に着色でき退色は見られなかった。塩基性下で色が退色してしまった原因として容器を密閉していなかったことによって、酸化してしまい元の状態で保存することができなかったと考えた。塩基性下で現れる青色は不安定であるという結果が実験から得られた。

### 結論・展望

実験1より紫キャベツの方が色の変化が明確であることが分かったため、今後の研究では紫キャベツを使用することにする。また、実験2より実際に食品を着色できるが塩基性下では退色してしまうことが分かった。次は色の退色時間を計測し、アルミニウム塩と似た性質の物質を用いて色を長時間保てる方法を見つけることを目標とする。また、ゼラチン以外の食品でも色を保つことができるか実験する。その際、味への影響を調査し、調整する。

### 参考文献

- 福岡県立明善高等学校物質化学プロジェクトチーム(2016) アントシアニンブルーの安定化法  
壺阪美智子 前野佳奈美(1994) ぶどうアントシアニン色素 ―食品加工上の特徴について―  
甲子関短期大学紀 No.13 p. 10  
小川健二郎, 原 英彰(2016) ビルベリー由来アントシアニンが目に与える機能性 ―ヒト臨床試験と機能性表示食品― 岐阜薬科大学紀要 Vol. 65. 20-27

# 『コーンスターチによる生分解性プラスチック』

東海大学付属市原望洋高等学校

○ 松本 玲音 阿部 呼春 高野 稜生 渡邊 泉穂里

【動機】 手軽な方法で生分解性プラスチックを作製できれば、限りある資源を有効に活用し、環境負荷の低減につながると考えた。また、本実験を通して、生分解性プラスチックの性質や仕組みを理解し、身近な材料として捉えられるようになることを目的として、本研究に取り組んだ。

【原理】 生分解性プラスチックは、土壌や水中の微生物の働きにより、水や二酸化炭素などの自然界の物質に分解される性質を持つ。微生物の酵素により分解しやすい化学構造を有している。一方、従来のプラスチックは分解されにくく、長期間環境中に残存する。本研究で作製する生分解性プラスチックは、微生物に分解されやすい素材を用いることで、環境中での分解を促進する。

【薬品・器具】 ゼラチン、コーンスターチ、無調整豆乳(キッコーマン株式会社)、グリセリン(関東化学株式会社)、穀物酢(イオン株式会社、酸度 4.2)、ガラス棒、乾燥機、200 mL ビーカー、ろ紙、ホットプレート、蒸留水

【実験 I】 ① グリセリン 2.5 mL、ゼラチン 7.5 g、お湯 35 mL をビーカーに入れ、ガラス棒を用いて塊がなくなるまで十分に混合した。混合物を型に流し込み、乾燥させた。  
② 水 20 mL、グリセリン 2.5 mL、コーンスターチ 3.0 g、穀物酢をビーカーに入れ、均一になるまで混合した。混合物を型に流し込み、乾燥させた。  
③ 豆乳 100 mL をビーカーに入れ、攪拌しながら穀物酢を加えて凝固させた。得られた凝固物をろ紙でろ過し、水をかけて洗浄した。その後、固形物をよく絞り、型に流し込んで乾燥させた。

【結果 I】 実験 I で作製した生分解性プラスチックの観察結果を、表 1 にまとめた。

表 1 先行研究をもとに行った生分解性プラスチックの作製

① ゼラチン	② コーンスターチ	③ 豆乳
		
<ul style="list-style-type: none"><li>・全体が膨らんだ形状となった。</li><li>・内部には細かい気泡、外部には大きな気泡が見られた。</li><li>・硬さは硬く、生地は薄い。</li><li>・色は明るい黄褐色で、透明感があった。</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>・全体がやや凹んだ形状となった。</li><li>・内部に少し大きな気泡が見られた。</li><li>・①と比べて柔らかく、生地はゼラチンよりも厚かった。</li><li>・色は暗めの黄褐色で、透明感があった。</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>・円柱状で圧縮された形状となった。</li><li>・気泡はほとんど見られなかった。</li><li>・非常に硬く、生地は厚かった。</li><li>・色は褐色で、外側は比較的淡い色であった。</li></ul>




【考察 I】 ②の試料が柔らかくなったのは、添加したグリセリンの吸湿性によって、乾燥後も内部に水分が保持されたためだと考えられる。気泡が見られず、生地が最も厚くなったのは③の試料のみであった。これは、型に流し込む前の混合物の密度が高く、空気が内部に入りにくかったため、乾燥後も気泡が形成されなかったと考えられる。

一方、①の試料が膨らみ生地が薄くなったのは、ゼラチンの性質によって混合時に含まれていた空気が内部に閉じ込められたまま乾燥が進んだためだと考えられる。

- 【実験Ⅱ】 ① コーンスターチ 3.0 g、グリセリン 2.5 mL、水 20 mL をビーカーに入れ、ガラス棒を用いて均一になるまで混合した。その後、穀物酢の代わりにポッカレモンを適量加え、全体が均一になるまでさらに混合した。得られた混合物を型に流し込み、乾燥させた。
- ② コーンスターチ 3.0 g、グリセリン 2.5 mL、水 20 mL をビーカーに入れ、ガラス棒を用いて均一になるまで混合した。その後、穀物酢の代わりに塩酸を適量加え、全体が均一になるまで混合した。得られた混合物を型に流し込み、乾燥させた。

【結果Ⅱ】 実験Ⅱで作製したコーンスターチ材料の生分解性プラスチックの観察結果を、表 2 にまとめた。

表 2 コーンスターチを原料とし、各種酸を添加した生分解性プラスチックの作製

① 穀物酢	② ポッカレモン	③ 塩酸
		
<ul style="list-style-type: none"> <li>・全体がやや凹んだ形状となった。</li> <li>・内部には少し大きい気泡が見られた。</li> <li>・触ると柔らかく、生地はゼラチンを用いた試料よりも厚かった。</li> <li>・色は暗めの黄褐色で、透明感があつた。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・全体は十分に乾燥した状態となった。</li> <li>・内部には気泡が見られた。</li> <li>・試料は分散し、塊状となっており、生地は乾燥した米粒のような質感であつた。</li> <li>・色は白色であつた。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・全体は十分に乾燥した状態となった。</li> <li>・内部には気泡が見られた。</li> <li>・試料は分散し、塊状となっており、生地は乾燥した米粒のような質感であつた。</li> <li>・色は黄色がかつた白色で、透明感があつた。</li> </ul>

【考察Ⅱ】 実験Ⅱの結果より、添加した酸の種類、すなわち溶液の pH の違いによって、生分解性プラスチックの見た目や生地の状態、色に変化が生じると考えられる。これは、酸の強さや性質の違いが、コーンスターチの構造形成に影響を与えたためである。

また、乾燥時の温度や時間によっても、完成したプラスチックの硬さや質感が変化すると考えられる。今回の実験では乾燥条件を一定としたが、条件を変えることで異なる性質のプラスチックが得られる可能性がある。

さらに、実験Ⅰの①および②の試料に吸湿性をもつ物質を加えることで、水分を保持しやすくなり、コーンスターチを用いた試料のような柔らかい生分解性プラスチックを作製できると考えられる。

【展望】 本研究の結果、コーンスターチに穀物酢を加えた場合は試料が一体となって成形されたが、ポッカレモンや塩酸を加えた場合は試料が分散し、複数の塊状となることが分かった。これは、添加した酸の種類や性質の違いが、プラスチックの形成過程に影響を与えたためだと考えられる。

今後は、ポッカレモンや塩酸を用いた場合でも試料を一体化して成形できる条件を調べるとともに、作製した試料の中で加工や成形に最も適したものを検討したい。さらに、混合方法や乾燥条件を工夫し、気泡の少ない均一な生分解性プラスチックの作製を今後の課題とする。

#### 【参考文献】

「生分解性プラスチック入門」 <https://www.jp paweb.net/gp/>

「保湿性・吸湿性」 <https://www.sy-kogyo.co.jp/division/glycerin/posts/01/>

# MOF-199 の合成とメチレンブルーの吸着

立教池袋中学校 林 雅春

## 1. はじめに

MOF(Metal Organic Framework:有機金属構造体、以下では MOF と表記)とは、金属イオンと有機配位子が規則正しく結合してできた多孔性材料で、その孔の大きさや性質を分子レベルで設計できるため、幅広い分野での応用が期待されている。私はメチレンブルー(以下、MB とする)を吸着する MOF-199 に着目し、実験を始めた。本研究では、MOF-199 の合成と MB の吸着、添加する MOF の量を変えた時の MB 吸着量の測定を目的とした。

## 2. 方法

### 実験 1. メチレンブルーの検量線の作成

- ①  $2.0 \times 10^{-6}$  mol/L から  $2.0 \times 10^{-5}$  mol/L まで  $2.0 \times 10^{-6}$  mol/L 刻みで計 10 種類の濃度のメチレンブルー溶液を調整した
- ② それぞれの吸光度を吸光度計(SHIMADZU UV-1280)で測定し、最大吸収波長における吸光度から検量線を作成した。

### 実験 2. MOF-199 の合成

文献<sup>1)</sup>をもとに MOF-199 を合成した。

- ① DMF、エタノール、水を 1:1:1 で計 30 mL 作る。
- ② 酢酸銅一水和物(II) 860 mg (4.31 mmol) ① 12 mL を混合する。
- ③ 1,3,5-ベンゼントリカルボン酸 626 mg (2.98 mmol)と ① 12 mL を混合する。
- ④ ②と ③をゆっくり攪拌しながら混合させる。
- ⑤ トリエチルアミン 0.5 mL (3.6 mmol)を入れたのち、23 時間攪拌させる。
- ⑥ 吸引濾過ののち、乾燥させる。

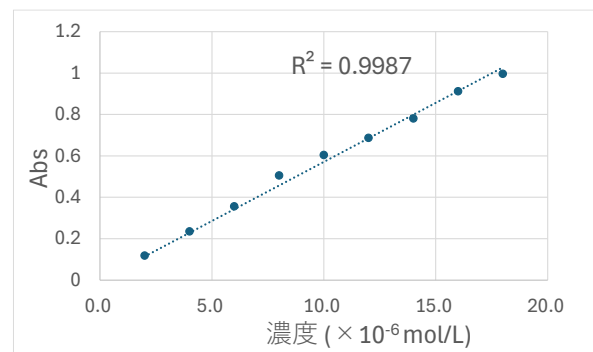
### 実験 3. MOF-199 と MB の吸着の確認

- ① 合成した MOF-199 50mg、100mg を  $1.5 \times 10^{-5}$  mol/L 50mL に入れ、1 時間攪拌する。
- ② 遠心分離を行い、上澄みを採取し、吸光度を測定した。

## 3. 結果

### 実験 1. メチレンブルーの検量線の作成

作成した MB 溶液の検量線をグラフ 1 に示す。作成した MB 溶液の濃度と最大吸収波長の吸光度には比例の関係があることが分かった。近似直線の  $R^2$  値を求めたところ  $R^2=0.9987$  となり、直線性の高い検量線が得られた。



グラフ 1 MB の検量線

## 実験 2. MOF-199 の合成

合成した MOF-199 の写真を図 1 に示す。実験方法で酢酸銅(II)溶液と 1,3,5-ベンゼントリカルボン酸溶液を混合した時では固体は析出しなかったが、トリエチルアミンを添加後に濃い青色の固体が析出した。乾燥させた後、図 1 のような鮮やかな青色の固体になった。

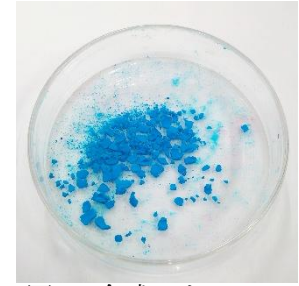
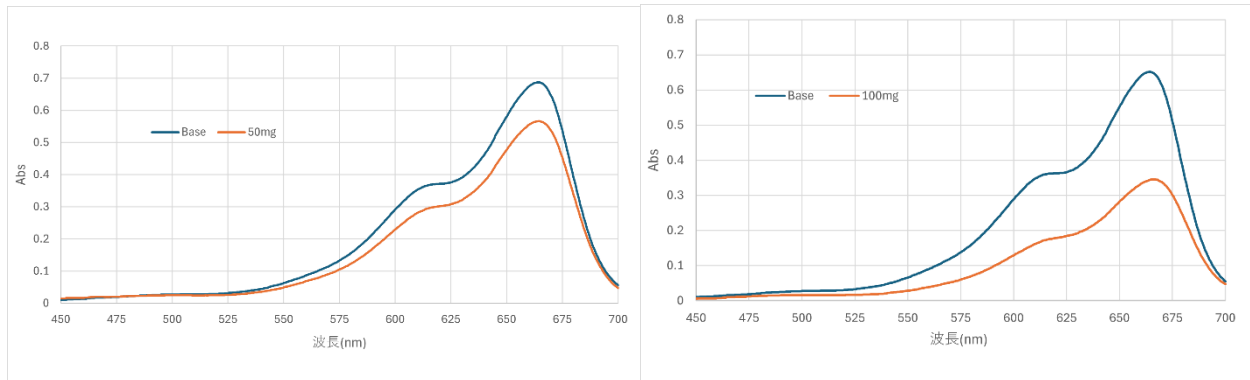


図 1 合成した MOF

## 実験 3. MOF-199 とメチレンブルーの吸着の確認

添加する MOF の量と MB 溶液の吸光度をグラフ 2 に示す。



グラフ 2 添加する MOF の量(50 mg と 100 mg)と MB 溶液の吸光度

実験 1 で作成した検量線から求めた MB の吸着量を表 1 に示す。MOF 1 g あたりの吸着量がおおよそ同じ値になった。また、MOF の添加量と MB 水溶液 50 mL 中からの吸着量はおおよそ比例しており、MOF の添加量と MB の吸着量は比例していると考えられる。

表 1 吸光度から求めた MOF 1 g あたりの吸着量

MOF の添加量(mg)	50	100
MB の吸着量(mol)	$2.54 \times 10^{-7}$	$4.48 \times 10^{-7}$
MOF 1g あたりの吸着量(mol/1g)	$5.07 \times 10^{-6}$	$4.48 \times 10^{-6}$

## 4. 考察

MOF-199 とは、二価の陽イオンである銅(II)イオンと、三価の陰イオンである 1,3,5-ベンゼントリカルボン酸が配位結合してできる有機金属構造体である。よって MOF の結晶構造中には 3:2 で銅イオンと 1,3,5-ベンゼントリカルボン酸が入っているのだと考えられる。また、実験方法で酢酸銅(II)溶液と 1,3,5-ベンゼントリカルボン酸溶液を mol 比で約 3:2 で混合しただけでは固体は析出しなかったが、トリエチルアミンの添加後に濃い青色の固体が析出した。1,3,5-ベンゼントリカルボン酸に対し、トリエチルアミンを塩基として入れたため、 $H^+$ を放出し、カルボン酸イオンになり、配位結合することができるようになったため、反応が進んだと考えられる。

MB に対し、得られた固体が一定の吸着を示し、添加する質量に比例して吸着量が増加したことから、MOF-199 が合成できたと考えられる。

## 5. 今後の展望

MOF-199 添加後の MB 水溶液を攪拌する際の時間と、吸着量の関係について調べたい。

## 6. 参考文献

- 1) D. J. Tranchemontagne et. al. Tetrahedron 64 (2008) 8553-8557

# 紅花染めの発酵過程における色素成分の化学変化の観察

流通経済大学附属柏高等学校 科学部

○伊藤美歩 佐藤由菜 瀧澤史奈 平原しづく 吉澤心

## 1. 緒言

伝統的な紅花染めでは、紅花を湿らせて発酵させる「紅餅」を作る過程が知られている。発酵過程で起こる酵素による酸化的な発酵は、カルタミンの前駆体である黄色色素のプレカルタミンを紅色色素のカルタミンへと変化させる(図1)。

これによってカルタミンの含量が相対的に増加し、より濃い紅色に染めることができる。我々は図2の装置で紅花の花弁の発酵を行い、経過日数ごとのカルタミン含量の増加の様子を TLC 分析によって確認した。

しかし図3に示すように発酵過程における明確な変化は観察できなかった。これは、実験室内の温度が不安定であり、低温にさらされる期間も長く、発酵が十分に進まなかったことが原因と考えられた。

そこで本研究では発酵に最適と考えられる温度を保つ工夫を行い(図4)、更に画像解析を用いて客観的に色素変化を観察することで、カルタミン含量を増加させる効率の良い方法を評価することを考えた。

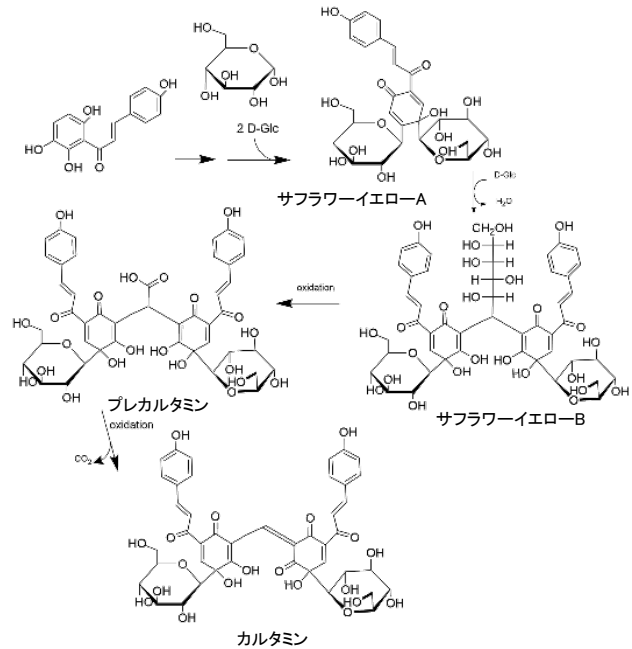


図2. 温度を一定にするための装置

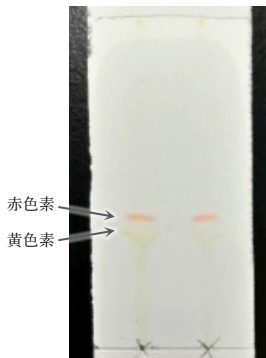


図3. 発酵0日目と3日目



図4. 図1の装置を入れた保温槽

## 2. 実験

紅花にはカルタミンの他、プレカルタミン、サフラワイエローといったカルタミンの前駆体が含まれている。本実験では発酵によるプレカルタミンからカルタミンへの変化を観察対象としたので、水溶性の高いサフラワイエロー(AとB)はTLCにおいて邪魔になると考え、水洗浄によって取り除いた。

また、発酵過程では紅花を湿らせたまま適温である30°C前後で放置しなければなら

ず、カビが生えて使えなくなってしまうことがあった。そこでカビの発生を防ぐために発酵前の紅花を飽和食塩水に浸し、図4に示す装置を用いて発酵を行った。発酵開始から0, 3, 5, 7日経過ごとに紅餅をサンプリングし、デシケーターで乾燥させた。

サンプルを0.5 g, 石英砂 1.5 g, セライト 0.3 g, を入れて乳鉢で粉碎した。抽出溶媒としてピリジンを加え, 45 °Cで20分間水浴中で加温した。このピリジン抽出溶液を等体積ずつスポットしたTLCプレートをデシケーターに入れ, 真空ポンプで引いてピリジンをとばした後, 粘稠性の高いスポットを延ばすためエタノールを打って再度デシケーターに入れエタノールをとばしたあと, 展開溶媒を用いて展開した。展開溶媒には1-ブタノール:エタノール:水を4:1:2で混合した溶媒を用いた。

上記の作業と並行して各経過日数の紅花を用いて布染めを行った。まず乾燥させた紅花を濃度0.1%の炭酸カリウム水溶液に浸け, 水温を45~50 °Cに保ちマグネチックスターラーを用いて攪拌した(溶液Aとする)。そして一辺5 cmの布をシャーレに入れ, 溶液Aを30 ml浸透させた後, 酢を5 ml加えた。布が染まった後, 水ですすいで乾燥させた。これらのサンプル(図5)をImageJ.JSを用いて画像解析した。

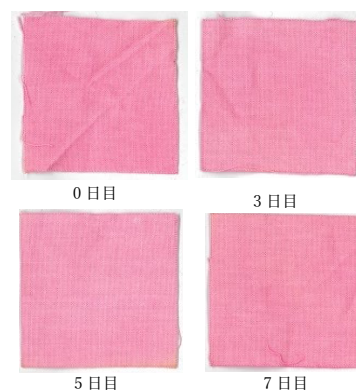


図5 紅餅を使って染色した布

### 3. 実験結果と考察

紅餅の抽出液のTLCの結果を図6に示す。4つの試料のいずれからでも $R_f$ 値0.36の赤色スポットと, さらに $R_f$ 値0.26の黄色スポットが現れた。文献値<sup>2)</sup>との比較から, 赤色色素はカルタミン, 黄色のスポットは, カルタミンよりも極性の強い物質であることから, プレカルタミンであることが予想された。

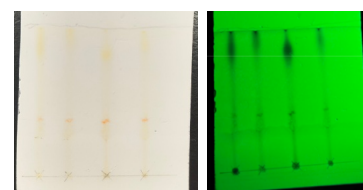


図6 左から順に0,3,5,7日目のTLCプレート

紅花染めを行った布を画像解析した結果, 表1のデータが得られた。

表1 染め物の画像解析の結果

MEAN値が0に近いほど赤色に近いことを示す。0日から5日目までは赤色の度合いが増していることが確認できた。

経過日数(日)	0	3	5	7
MEAN値	42.126	38.838	36.095	39.251

一方, 7日目になるとこの値は逆に減少していた。これは, 発酵が過剰に進むことでカルタミンが減少することを示唆している。

### 4. まとめと今後の展望

以上の実験から, 画像解析を用いることによってカルタミンが増加していく様子を観察することができた。また, 経過日数が7日になると, カルタミン含量が減少することも分かった。今後はあらかじめ水洗浄を行わず, 紅花花弁に含まれるプレカルタミンをなるべく残した状態の試料について同様の実験を行い, その結果も合わせて報告したい。

### 参考文献

1)Fumiki TSUNAJIMA and Takao HOMMA,ベニバナの花弁に含まれるカルタミン前駆体の分離とその化学構造, Department of applied chemistry, tokai university, 1117,Kitakaname,Hiratuka, Journal of Advanced Science, Vol.9 No.1&2, 1997

[https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsas1989/9/1-2/9\\_1-2\\_106/\\_pdf/-char/ja](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsas1989/9/1-2/9_1-2_106/_pdf/-char/ja)

2)長岡一郎,笠原義正 食品中のベニバナ赤色色素カルタミンの定性とその応用, 山形衛研所報, No36 2003/12

[https://yamagata.repo.nii.ac.jp/record/2922/files/benibana\\_ronbun\\_36.pdf](https://yamagata.repo.nii.ac.jp/record/2922/files/benibana_ronbun_36.pdf)

# 複数のアルギン酸ゲル粒子の自己駆動運動

日立第一高等学校 ○稲木嵩真、○田原昌磨

## 1. はじめに

アルギン酸ナトリウム水溶液にエタノールを加えてからゲル化させ、水溶液の上に浮かべると自発的に運動することが、茨城県立日立北高校科学部により見出されている。

本研究では粒子数の増加によって生じる相互作用が、自己駆動運動にどのような影響を与えるのか明らかにし、自己駆動粒子の運動に関する理解を深める。

## 2. 原理

エタノールを溶解したアルギン酸ナトリウム水溶液を2価以上の金属陽イオンを含む水溶液に滴下するとゲル化しつつ水溶液に浮かぶ。このときゲル粒子内に含まれるエタノールが徐々に水溶液に溶け出すことによって表面張力が下がり、さらにゲル周囲の表面張力が不均一となり、ゲル粒子は表面張力がより高い方へと引かれて運動する。

## 3. 実験方法

1%アルギン酸ナトリウム水溶液 2.5 mL にイオン交換水 0.5 mL、さらに0.3%メチルレッドエタノール溶液 0.5 mL をゆっくり滴下して、十分に混合する（これを EtArg 溶液とする）

### [1] 粒子が1個の場合

- ① 直径 90 mm のシャーレに、1.0 mol/L 塩化カルシウム水溶液 15.0 mL を入れる。
- ② ゲル溶液を、塩化カルシウム水溶液の液面に1滴滴下する。
- ③ 液滴は直ちにゲル化し、自発的に運動を開始する。その様子を動画に記録する。
- ④ 得られた動画をPC上で解析し、粒子の運動軌跡や速さを求める。

### [2] 粒子が複数個の場合

- ① 直径 90 mm のシャーレに1.0 mol/L 塩化カルシウム水溶液 15.0 mL を入れる。
- ② EtArg 溶液を液面に2滴滴下し、ゲル粒子を2個作成する。これを段階的に3個、4個と増加させる。
- ③ ゲル化後に生じる自己駆動運動の様子を動画として記録する。
- ④ 動画解析により運動や速さを求め、[1]の結果を基準として粒子数による変化を比較する。

### [3] 正方形シャーレの場合

[1] および [2] では直径 90 mm の円形シャーレを使用した。一辺 90 mm のポリスチレン製の正方形容器を用いた場合についても同様の実験を行う。

容器の形状の違いが、自己駆動運動に与える影響について、円形シャーレの場合と比較・検討する。

#### 4. 結果・考察

##### (1) 粒子の数の違いによる運動の変化

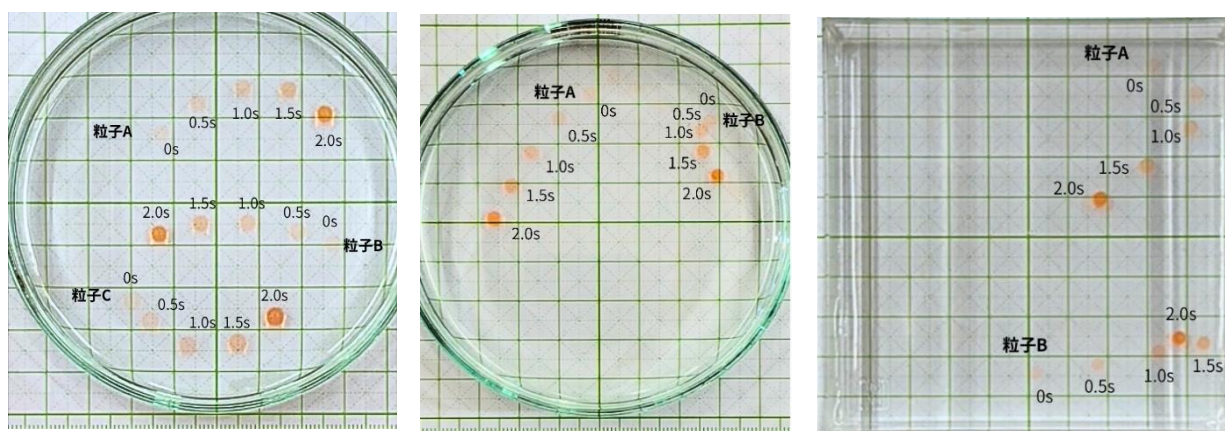
粒子を増やしていくにつれ、運動する時間は減り、それぞれの粒子の運動する速さも減っていった。

そして、この時ある程度時間が経つと粒子同士がくっつき運動する様子が見られた。これは原理から考えるとありえないことだが、粒子が水溶液上に浮くとき粒子がある地点の水面が凹んでいるため、粒子同士が近づいており、くっついた状態から離れるほどの力がない時粒子同士がくっついて運動する。この運動は粒子が2個、3個、4個の全ての実験で見られた。

##### (2) シャーレの違いによる運動の変化

円形シャーレはシャーレの中心付近で円を描くように運動したのに対し、正方形容器ではビリヤード運動のように運動した。

また、シャーレの違いによって運動する時間が変化することはなかった。



#### 5. 今後の展望

複数個のゲル粒子の周囲の水溶液の流れを調べる。また、ゲル粒子の運動を運動方程式を用いて予測し、予測した運動と実際に実験した時の運動を比較することで粒子の運動に影響を及ぼしている要素を考察する。

#### 参考文献

- 沢島博之, 化学と教育, 泳ぐ人工イクラに対するアルコールの影響, 化学と教育, **70**, 1, 22-23 (2022)  
沢島博之, 勝間田雄太, 泳ぐ人工イクラの運動IV, 化学と教育, **75**, 10, 388-389 (2025)  
北畑裕之, 表面張力差を利用した自己駆動粒子の運動, アンサンブル, 2019, **20**, 3, p161-166  
三村昌泰, 宮路智行, 自己駆動粒子のビリヤード問題数学セミナー, 2021年, 1月, 74-78

# カゼインプラスチックの可能性

玉川学園中学部 ○馬場結菜

## 序論

生分解性プラスチックは、微生物の働きで分解され、最終的に二酸化炭素と水になり、自然にかえるプラスチックのことであり、環境への負担がないことが特徴である。今回、生分解性プラスチックの中でも、牛乳と酢から作る「カゼインプラスチック」に着目した。しかしカゼインプラスチックは実用化に向けた課題が多い<sup>(1)</sup>。そこで、カゼインプラスチックの強度や腐敗防止方法の検討、分解の過程を検証することで、その課題と解決方法を探ることを目的とした。

## カゼインプラスチックの作り方

成分無調整牛乳 50mL を電子レンジ 500W で 1 分間温め、酢を 5mL 入れ、塊(カゼイン)ができるまで混ぜた。ガーゼを用いて、カゼインを濾過し、キッチンペーパーで水分を抜いた。形を整え、型に入れて冷蔵庫で冷やした<sup>(2)</sup>。(図 1)

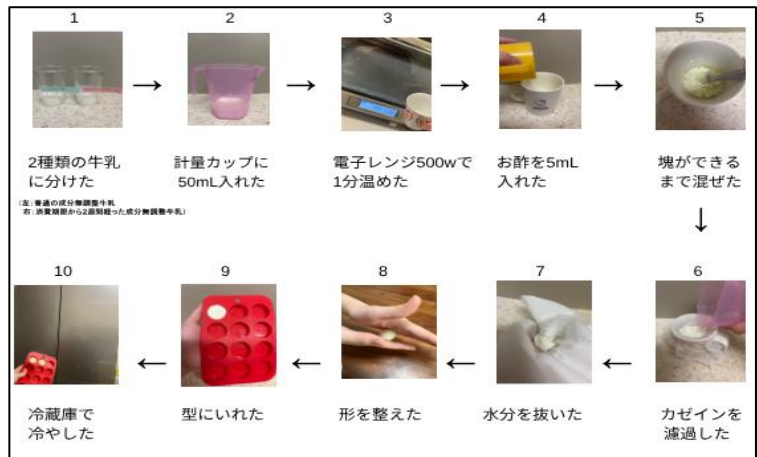


図 1 カゼインプラスチックの作製の様子

## 実験 1 強度の測定と改良実験

カゼインプラスチックは、一般的な石油系プラスチックに比べて、強度が低いことから、カゼインプラスチックにグリセリン、小麦粉、クエン酸、ゼラチンを加えて強度の改良を行った。強度比較には、添加物を加えて作製したカゼインプラスチックにおもりをつなげ、破断荷重を調べた。破断荷重をもとに、形状の影響を受けにくい最大曲げ応力  $\sigma_{max}$  [MPa] を算出して比較した<sup>(3)</sup>。

結果を表 1 に示す。ゼラチンと小麦粉はゲル状構造を形成し衝撃を吸収することで強度を高め、クエン酸は分子間結合を増やすことで硬さを向上させたと考えられる<sup>(4)</sup>。一方、グリセリンは水分を保持して固まりにくくなるため、強度が低下したと考えられる。

表 1 各カゼインプラスチックの最大荷重 (N) と最大曲げ応力の平均値

〈平均値〉	P_max [N]	$\sigma_{max}$ [MPa]
1. 牛乳と酢 (添加物なし)	1.58	2.36
2. +グリセリン	1.24	1.39
3. +小麦粉	2.72	4.85
4. +クエン酸	1.97	2.68
5. +ゼラチン	9.91	11.50

## 実験 2 腐敗防止方法の検討

カゼインプラスチックを作製していると腐敗が早いことから、添加物を加えて腐敗する時間を長くできるか検証した。実験 1 を参考にクエン酸、無水エタノール、ゼラチンを加えたカゼインプラスチックを作製し、30 日間観察した。結果を表 2 に示す。

表 2 4 種類のカゼインプラスチックの腐敗観察

	28℃(室内)		25℃(室外)	
	1日目	30日目	1日目	30日目
+クエン酸+ゼラチン				
+クエン酸+ゼラチン+クエン酸				
+クエン酸+ゼラチン+エタノール				
牛乳と酢(添加物なし)				

無添加は、室内で3日目にはカビが生え始め、1週間ほどで全体が黒くなるほど、腐敗が進んだ。クエン酸やゼラチンを入れたものは腐敗の進み方が遅く、20日近くカビがほとんど出なかった。これはクエン酸を加えることで酸性を保ったためだと考えられる。さらに、エタノールを加えたものは、30日間カビが生えなかったため、強い防腐効果があると考えられる(表2)。

### 実験3 分解速度の比較

作製したカゼインプラスチックと、他のプラスチックの土壌中における分解速度を3種類の土で比較した。7種類のストローを5cmずつ切り、それぞれの土壌中へ入れ、50日間観察した。結果を表3示す。

表3 プラスチックの分解の様子

左から、プラスチックストロー、紙ストロー、加エコンスターチストロー、サトウキビストロー、PHBHストロー、カゼインプラスチック(牛乳と酢のみ)、カゼインプラスチック(牛乳と酢+ゼラチン+クエン酸+エタノール)

土の種類	0日目	5日目	50日目
普通の土			
肥料入りの培養土			
酒粕入りの土 <sup>(6)</sup>			

カゼインプラスチックのみが分解されて小さくなった(表3)。5日目に白い綿毛のようなカビが見られたことから、微生物がカゼインを分解し、栄養にすることで繁殖したと推測できる。特に酒粕入りの土で分解が早かったのは、タンパク質を分解する酵素が多く、分解を強く促したためだと考えられる。また、カゼインプラスチックに含まれるクエン酸やエタノールの効果は土中では長期間続かず、微生物によって分解されたと考えられる。

### 参考文献

- (1) Spaceship Earth 「生分解性プラスチックとは? 普及しない理由や問題点を解説! 原料や種類は? メリット・デメリットも紹介!」 [https://spaceshipearth.jp/biodegradable\\_plastic/](https://spaceshipearth.jp/biodegradable_plastic/)
- (2) STEAM JAPAN 「牛乳をプラスチックに変えてみよう!」 <https://steam-japan.com/practice/1895/>
- (3) 辺吾一・ほか 『最新材料の力学』 培風館, 2010年
- (4) グリコ栄養食品 「たべもの事典 グルテンについて」 グリコ栄養食品 <https://www.glico.com/nutrition/tabemono/material/01/index.html>
- (5) MatWeb 「Flexural Strength Testing of Plastics」 <https://www.matweb.com/reference/flexuralstrength.aspx>
- (6) 青木英恵・岩崎真奈 「酒粕の有効活用法」 JSEC 2024.

# インジゴの構造変化と発色の関係

芝浦工業大学附属高等学校

○山崎遥真 ○西村吉平

## 1. はじめに

インジゴはジーンズを染める藍色の染料として利用されている。インジゴ(1)が藍色に発色するのは特定の分子構造に由来するが、その臭素化体である6,6'-ジブロモインジゴ(2)もイボニシなどから得られる紫色素として知られている。本研究では簡便な手法で6,6'-ジブロモインジゴを合成することを目標とした。

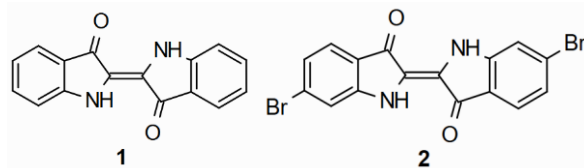
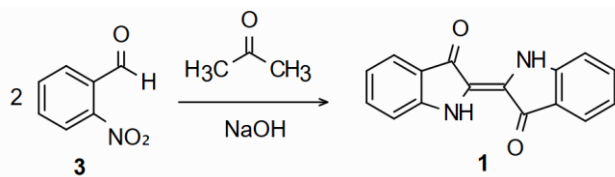


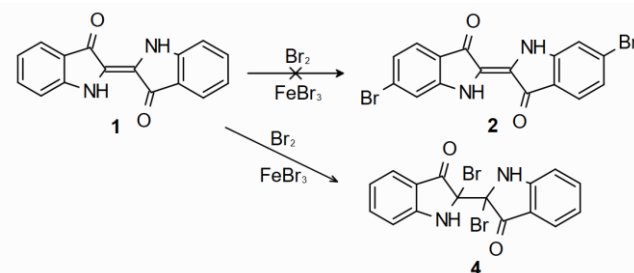
Figure 1 インジゴ(1), 6,6'-ジブロモインジゴ(2)

## 2. 手順

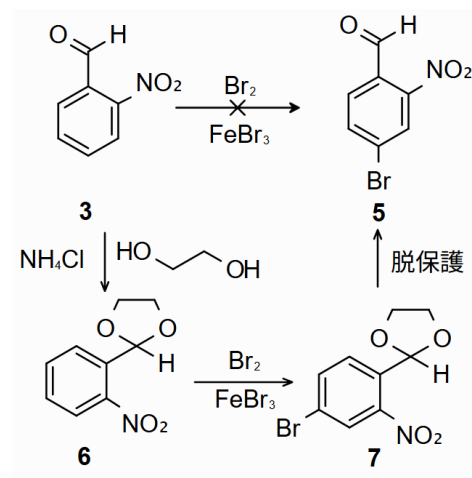
インジゴは2-ニトロベンズアルデヒド(3)0.10g、アセトン3.0ml、水酸化ナトリウム0.40gを攪拌することで合成することができた(Scheme 1)。このインジゴに臭素を直接導入するために臭素水を加えたところ、インジゴの藍色が脱色され、インジゴのC=Cに臭素が付加した化合物(4)が生じたことが予測された。この結果から、臭素を直接インジゴに導入することは困難であることが分かった(Scheme 2)。また、2-ニトロベンズアルデヒドに臭素を臭化鉄触媒を用いて直接導入する反応はアルデヒド基が臭素による酸化を受けるため(Scheme 3)、2-ニトロベンズアルデヒドをアセタール保護してから臭素化した後、アセトンを用いた二量化による6,6'-ジブロモインジゴを合成することを計画した。



Scheme 1 インジゴの合成



Scheme 2 インジゴの直接臭素化



Scheme 3 2-ニトロベンズアルデヒドの臭素化

以下に Scheme 3 の合成の詳細を示す。

- ① 2-ニトロベンズアルデヒド(3) 2.0g をメタノール 3.0ml に溶かした後、エチレングリコール 2.3ml と酸触媒の塩化アンモニウム 5.0g を加え、65°C程度で保温した(Scheme 3 左)。
- ② アセタール保護された 2-ニトロベンズアルデヒド(6) の溶けたメタノール水溶液を分液漏斗を用いて、生成物 6 と反応物と分ける。
- ③ 6 の半量に鉄粉 0.15g と臭素水 79ml を加え、鉄粉と臭素が反応した臭化鉄を触媒とし、臭素と反応させた(Scheme 3 下)。
- ④ 臭化されて生じた 7 は結晶となって析出した。

なお、④で析出する 7 の結晶は以下の写真のような樹状結晶であった。また、②の分離を行わないまま臭素化を試みた結果、アセタール保護されていない 3 が反応し、合成することができなかった。このことから、アセタール保護と分離は必要な過程であることがわかった(Figure 2)。



Figure 2 左:析出した結晶 7 右:分離せずに臭素化した際の溶液

### 3. 期待される結果・今後の展望

Scheme 3 右の反応をして脱保護し、得られる化合物 5 を Scheme 1 の反応を経て 6, 6'-ジブロモインジゴ(2)の合成を目指す。

また、今回は臭素を反応させることによって、発色の変化を試みたが、臭素以外の置換基を導入したときの色調の変化はどのようになるのか実験・考察していきたいと考えている。

### 4. 参考文献

#### ・高校化学における染料と染色

[https://www.jstage.jst.go.jp/article/kakyoshi/68/10/68\\_416/\\_pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/kakyoshi/68/10/68_416/_pdf)

#### ・官能基保護剤・脱保護剤

<https://labchem-wako.fujifilm.com/jp/category/synthesis/reactant/protection/index.html>

# インジゴカルミンの色の変化

千葉県立千葉東高等学校 平賀優那

## 1. 動機及び目的

インジゴカルミンとは、ジーンズの染料としても使われることで有名であり、酸化還元指示薬としても使用される、粉末状のインジゴを水で溶かした水溶液である。文化祭のサイエンスショーでは主に交通信号反応やゲーミング反応に用いた。

私は、色が変わるインジゴカルミンに興味を持ち、インジゴカルミンを中和滴定の指示薬などで用いることができないかと考え、酸と塩基の組み合わせを変えて実験した。インジゴカルミンの変色域は pH11.4~13.0 である。

また、実験過程で段階的に色が変わるゲーミング反応が確認されたため、その現象についての条件や原因を調べることを目的とした実験も行った。

交通信号反応とゲーミング反応の原理は以下の通りである

### 交通信号反応

交通信号反応とは、酸化還元指示薬であるインジゴカルミンを用いた可逆的な酸化還元反応であり、溶液の色が振動に応じて緑→赤→黄→緑…と周期的に変化する。

### ゲーミング反応

ゲーミング反応とは、酸化還元反応と溶液の pH 変化の連鎖による多段階の色の变化をもたらす反応であり、黄色の溶液を振動を加えて青色の状態にして放置すると青緑→青紫→赤→橙→黄、と元の色に戻っていく。どちらの反応も糖などを還元剤として、空気中の酸素を酸化剤として酸化還元反応を繰り返す。

## 2. 実験

実験① 目的：インジゴカルミンの変色域の pH の値とリン酸と水酸化ナトリウムの中和滴定における第 3 中和点（約 12.3）が重なっている。リン酸の第 3 中和点の pH ジャンプがわかりにくいので、色が変わることを期待して実験を行った。

方法：

コニカルビーカーにリン酸 0.1mol/L を 5ml、果糖（0.2g, 0.4g, 0.6g, 0.8g, 1.0g）

インジゴカルミン 0.1% を 0.5ml、水酸化ナトリウム 0.1mol/L をビュレットで 0.5ml ずつ滴下する。

また、pH メーターで pH の値を測定する

### 結果と考察(実験①)

果糖を加えた場合、pH の値が下がっているため、第 3 中和点と予想される時点よりも前に、変色が始まってしまった。実験内では青色から赤色や紫色を通して黄色を呈するような反応が見られ、ゲーミング反応に近い反応が起こった。

この色が変わる反応において、果糖を入れると pH の値が少々下がってしまい、インジゴカルミンを中和滴定で用いることは難しいと考えた。だが、実験中に発生した色が変わっていく反応についてどのようなことが原因で発生しているのか気になったため、実験を行った。

## 実験②

目的:青色から黄色へ色が変わる反応の一周期にかかる時間が pH の値と関係すると考え、色と pH の関係を調べる

方法:実験①と同様に溶液を準備し、実験①で色が変わった pH の値(約 10.50~12.5)の時、水酸化ナトリウムを滴下したあとに攪拌子を止め、溶液を撮影台に移して溶液が変化する様子を撮影した。ただし、30分経っても変化が起らなかった場合は撮影をやめるものとし、30分経って溶液が黄色にはなっていないが、赤紫色など少しでも変化が肉眼で見られる場合は撮影を続行するものとした。

### 結果と考察(実験②)

果糖の量	色の変化開始時pH	色の変化終了時pHの値
0.2g	11.54	12.23
0.4g	11.06	11.46
0.6g	10.91	11.46
0.8g	10.21	10.5
1.0g	10.47	10.65

果糖の量	反応開始までの時間	pH10.5~11.4の色が変わっている時間
0.2g	2分59秒	5分20秒
0.4g	2分22秒	4分6秒
0.6g	3分16秒	2分15秒
0.8g	4分12秒	11分33秒
1.0g	2分48秒	31分00秒

(図1) 果糖の量と観測別 pH の値の平均

(図2) 果糖の量と反応の時間 実験3回分

上の図で比較してみると、果糖の量が多いほど色の変化する反応が早い段階で見られることがわかる。また、この反応の pH の値は 10 後半から 11 前半の間で起こることがわかる。また、果糖の量によって反応が起こるまでにかかった時間はあまり変わらないが、果糖の量が多いほど反応の時間は長くなることがわかる。

## 実験③

目的:色の変化は pH の変化だけによるのかを調べるため、他の種類の物質でも実験した。

方法:コニカルビーカーに、塩酸 0.1mol/L を 5ml 入れること以外の操作は実験①と同様である。

pH メーターの値が 10.5 以上 12.5 以下の間は溶液の様子を録画する。

また、果糖(0.2g, 0.4g, 0.6g, 0.8g, 1.0g)とインジゴカルミン 0.5ml (0.1%)が入った溶液に水酸化ナトリウム 0.1mol/L のみを 0.5ml ずつコニカルビーカーに滴下した時の様子も同様に録画する。

### 結果と考察(実験③)

塩酸と水酸化ナトリウムの中和滴定でも、水酸化ナトリウムだけを滴下した時でも実験②と同じように pH10.5~11.4 で反応が見られた。

したがって、pH の値を合わせるだけで同じような反応を起こすことができることが分かった。

だが、水酸化ナトリウムのみだと塩酸やリン酸の水酸化ナトリウムとの中和滴定より色の変化が小さくなっていることが分かった。

### 3.今後の展望

ゲーミング反応が、水酸化ナトリウム以外の炭酸ナトリウムのような塩基でも同じような反応が発生するのか、また、対流によって色が変わる境目がわかりづらいという問題点を改善できるのかを今後は調べていきたい。

## 4.参考文献

横浜国立大学「インジゴカルミンを用いた交通信号反応」

<http://www.suzutosh.ynu.ac.jp/indigocarmine.html> (2025-10-11)

# 誘導時間の自然短縮の原因～ヨウ素時計反応への気体の影響～

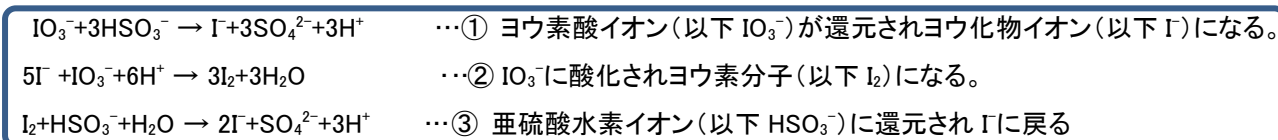
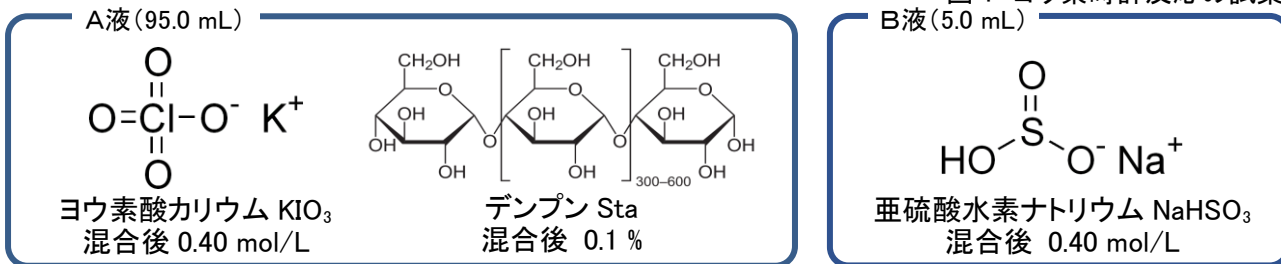
千葉県立長狭高等学校

○吉野朝日 ○西辻唯吏愛

## 1 研究概要及び目的

ヨウ素時計反応(Iodine Clock Reaction 以下 ICR)は、A液と呼ぶヨウ素酸カリウム(以下  $\text{KIO}_3$ )とデンプン(以下 Sta)の混合溶液に、B液と呼ぶ亜硫酸水素ナトリウム(以下  $\text{NaHSO}_3$ )水溶液(図1)を加えると、ランドルト反応の3つの化学反応(式1)が連続して起こり、数秒間の誘導時間(Induction Time 以下 IT)後に、突然、濃青紫色を呈する。<sup>1)</sup>

図1 ヨウ素時計反応の試薬



式1 ランドルト反応とヨウ素(ヨウ化物イオン)の変化

先行研究<sup>1)</sup>の追実験で、同一試薬を同一条件で反応させ、溶液調製後の経過時間に伴う、ITの短縮(自然短縮現象)を確認し、 $\text{HSO}_3^-$ の酸素(以下  $\text{O}_2$ )による酸化<sup>1)</sup>が原因と説明されていた。

試薬調製直後から、ITの変化を長時間測定した結果、一定時間経過後に短縮が生じることを把握した。二酸化炭素(以下  $\text{CO}_2$ )が  $\text{IO}_3^-$ または、 $\text{HSO}_3^-$ と反応してITの延長が生じると説明した先行研究<sup>2),3)</sup>もあり、 $\text{O}_2$ による酸化以外にも、ITに影響を与えている要因があることを示唆していた。

本研究は、大気(以下 Air)及び、Air中の窒素(以下  $\text{N}_2$ )、 $\text{O}_2$ 、 $\text{CO}_2$ の雰囲気下で溶液を置き、ITと試薬のpHとORPの変化を測定・考察し、ITが経時変化の原因を究明することを目的とした。

## 2 実験方法 基本的なITの測定方法(図2)

図2 ITの記録と解析



### 実験A $\text{NaHSO}_3$ aq 調製後の経過時間とITの関係

方法: A・B液を Air に接触させた状態で攪拌し、以下の容量で混合させ IT の変化を測定した。

※図2の方法で2分間隔・6時間測定し、IT を算出した。

A液: 0.38 mol/L  $\text{KIO}_3$ aq, 0.10 % Sta …… 95.0 mL

B液: 0.02 mol/L  $\text{NaHSO}_3$ aq …… 5.0 mL

結果: 約2時間は、IT が延長し、以降短縮傾向を示した。(図3)

考察: 約2時間の延長は、 $\text{HSO}_3^-$ の分解では、説明がつかず、接触している気体からの影響があると考察した。

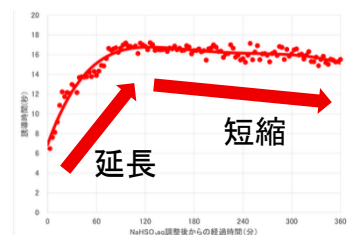


図3 ITの経時変化(Air)

## 実験B 気体雰囲気下における、NaHSO<sub>3</sub>aq 調製後の経過時間とIT の関係

方法: B 液を N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> 雰囲気下で攪拌し、IT の変化を測定した。

結果: 気体ごとに、IT の変化の傾向が異なった。(図4)

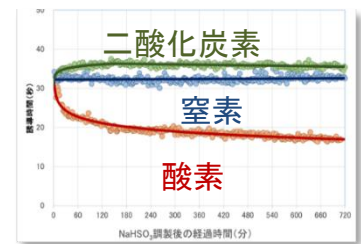
O<sub>2</sub>: 約2時間は大きく、その後は緩やかに短縮傾向を示した。

CO<sub>2</sub>: 約2時間は延長、その後はわずかに短縮傾向を示した。

考察: O<sub>2</sub> は、HSO<sub>3</sub><sup>-</sup> の分解を促進していると考えた。

CO<sub>2</sub> の IT の変化について、次の2つの可能性を考えた。図4 ITの経時変化(3気体雰囲気下)

- ① CO<sub>2</sub> が水と反応し、pH を変化させたことによって、反応速度を変化させた。
- ② CO<sub>2</sub> が IO<sub>3</sub><sup>-</sup> または HSO<sub>3</sub><sup>-</sup> と反応し、反応速度を変化させた。

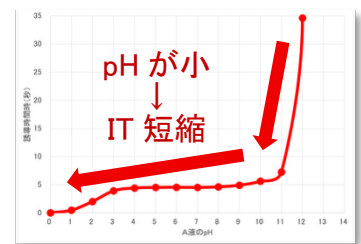


## 実験C A液のpHとITの関係

方法: A液を pH0~12 まで変化させ、IT の変化を測定した。

結果: pH が小さいほど、IT は短縮した。(図5)

考察: 水素イオン濃度が大きいと、ランドルト反応の②が促進されるため、IT が短縮されたと考えた。



## 実験D 気体を水溶液に溶解させ、液性の変化を測定した。

方法: 各溶液 N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> の各気体を吹き込み pH 及び、ORP を測定した。

結果:

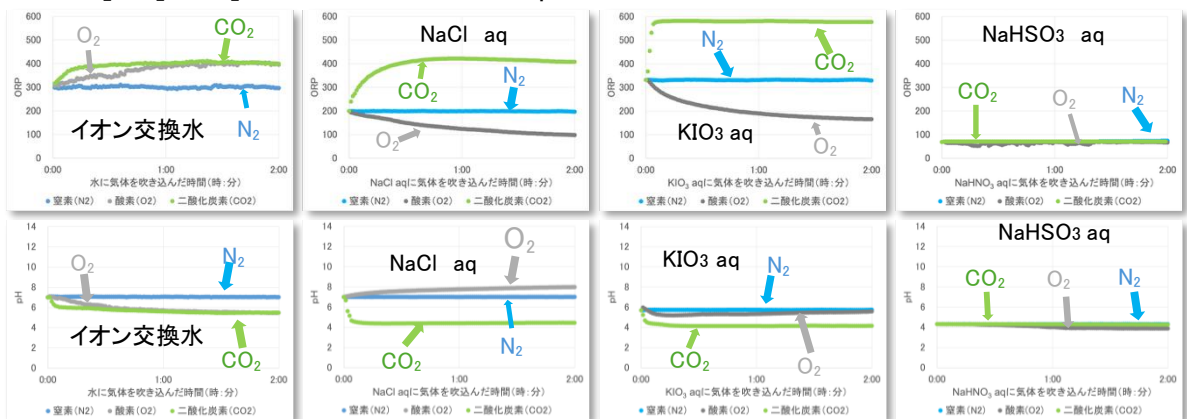


図6 気体の吹き込みによる液性の変化

考察 CO<sub>2</sub> を溶解させるとpHが下がり、ORPが上がっている。しかしB液と反応しないためCO<sub>2</sub> とB液は反応しないと考察した。

## 3 結論

CO<sub>2</sub> の溶解により生じる水素イオン濃度がランドルト反応の進行に影響し、炭酸水素イオンの影響も確認されていた。しかし、反応機構を解明するために今後も検証を進めていく。

## 4 展望

現在、A液と気体との関係を明らかにするため、A液に気体を吹き込み、ITを測定している。

## 5 参考文献

- 1) 戸河里長康「ヨウ素酸イオンと亜硫酸水素イオンによる時計反応における自触媒作用の研究」中京大学教養論叢 11 (2), 133-140-, 1970-12-20
- 2) 吉田有佐・河野織音・山田リサ「ヨウ素時計反応の誘導時間を左右するもう一つの要素～第2報～」千葉県児童生徒・教職員科学作品展 優秀作品選集 2018
- 3) 鍋木美優・山田リサ「ヨウ素時計反応の誘導時間の研究～自然短縮の原因の解明～千葉県児童生徒・教職員科学作品展 優秀作品選集 2019

# Reimer-Tiemann 反応における位置選択性に関する考察

浅野高等学校 ○ 剣持 志斗・宇治原 陸・名取 佑・茶木 智史・渋谷 宙汰・李 嘉逸

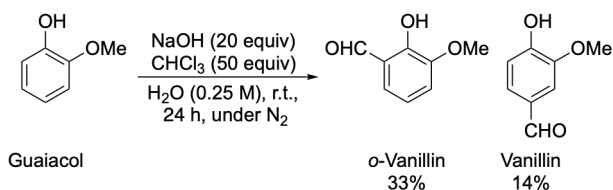
## <序論>

Reimer-Tiemann 反応はフェノール誘導体を直接ホルミル化する反応であり、一般にフェノール誘導体のオルト位がホルミル化した生成物が主生成物として得られることが知られている<sup>1,2</sup>。我々はこれまでに、グアイアコールを原料として用いる Reimer-Tiemann 反応における位置選択性について実験および考察を行ってきた。その結果、過去の報告例とは異なり<sup>1</sup>、*o*-バニリンではなくバニリンが主生成物として得られることが明らかとなり、計算化学的手法を用いる考察においても、これを支持する結果が得られた。今回、グアイアコールと同じくフェノールの *o*-置換体である *o*-クレゾールを原料として用いて新たに検討を行い、Reimer-Tiemann 反応の位置選択性についてさらに考察を行った。また、グアイアコールを原料として用いる Reimer-Tiemann 反応では、DMSO を溶媒として用いた場合に、原料のホルミル化体とは異なる副生成物が得られることが明らかとなった。本発表では、Reimer-Tiemann 反応における位置選択性の考察とともに、特定の条件で生じる副生成物とその反応機構について述べる。

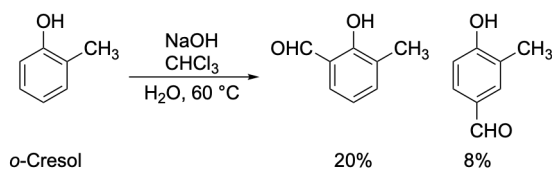
## <1. Reimer-Tiemann 反応における位置選択性の考察>

過去の報告例によると、Reimer-Tiemann 反応に用いる原料としてグアイアコールあるいは *o*-クレゾールを用いた場合、いずれもフェノール性水酸基に対してオルト位がホルミル化された化合物が主生成物として得られるとされていた(Scheme 1 a and b)<sup>1,2</sup>。

a) Shen's Report (2015)



b) Meijer's Report (1982)



Scheme 1. フェノール誘導体に対する Reimer-Tiemann 反応の報告例

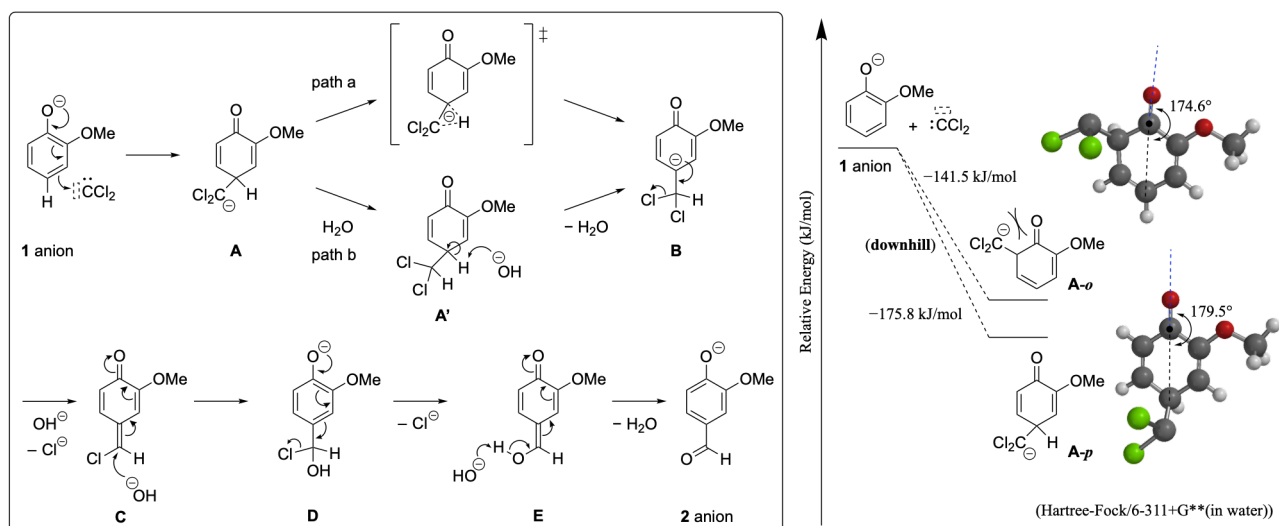
一方、我々がグアイアコールを原料に用いて、種々の反応条件を適用して実験を行ったところ、いずれの場合においてもフェノール性水酸基に対してパラ位がホルミル化された化合物であるバニリンが主生成物として得られることが明らかとなった(Table 1)。本反応における位置選択性について考察を行うため、計算化学的手法を用いて解析を行った。Reimer-Tiemann 反応では、水酸化ナトリウムとクロロホルムから生じるジクロロカルベンが、フェノール誘導体のオルト位あるいはパラ位に対して付加する過程で位置選択性を生じるが、グアイアコールを出発物質として計算を行ったところ、この反応過程にはエネルギー障壁が存在せず、オルト位よりもパラ位にジクロロカルベンが付加した化合物の方が、熱力学的に安定な中間体として生成することが示唆された(Scheme 2)。これは、グアイアコールのオルト位にジクロロカルベンが付加した場合、ジク

ロロカルベン由来の構造(-CCl<sub>2</sub>)とフェノール性水酸基の O 原子が立体的に強く反発するためであると考えられる。o-クレゾールを出発物質とする計算でも同様の結果が得られており、Reimer-Tiemann 反応は立体反発の少ないパラ位で優先的に反応が進行するものと考えられる。

**Table 1.** 種々の反応条件検討

Entry	Solvent	Base	Reagent	T / °C	Recovery <sup>a</sup> 1 / %	Yield <sup>a</sup> 2o / %	2p / %	2o:2p
1	H <sub>2</sub> O	NaOH	CHCl <sub>3</sub>	80	22	9	20	31:69
2	H <sub>2</sub> O	NaOH	CHCl <sub>3</sub>	<b>40</b>	53	2	8	20:80
3	H <sub>2</sub> O	<b>CsOH</b>	CHCl <sub>3</sub>	80	36	4	15	21:79
4	<b>EtOH</b>	NaOH	CHCl <sub>3</sub>	80	44	3	7	30:70
5	<b>DMSO</b>	NaOH	CHCl <sub>3</sub>	80	9	n.d.	n.d.	—
6	H <sub>2</sub> O	NaOH	<b>CHBr<sub>3</sub></b>	80	19	4	19	17:83

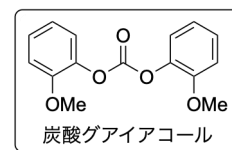
a) Isolated yields.



**Scheme 2.** Reimer-Tiemann の推定反応機構およびエネルギーダイアグラム

## <2. DMSO を溶媒に用いたときに生じる化合物について>

グアイアコールを原料として用いる Reimer-Tiemann 反応を DMSO 溶媒中で行ったところ、Reimer-Tiemann 反応は進行せず、炭酸グアイアコールが生じることが明らかとなった。この反応では、水酸化ナトリウムとクロロホルムの反応によって生じたジクロロカルベンが、DMSO と反応してホスゲンを生じ、引き続くホスゲンとグアイアコールの反応により、炭酸グアイアコールが生じたと考えられる。



## <参考文献>

- 1) S. Ren, Z. Wu, Q. Guo, B. Shen, *Catal. Lett.* **2015**, 145, 712-714.
- 2) H. Wynberg, E. W. Meijer, *Org. React.* **1982**, 28, 1-36.

# 壁面における結晶の優先的析出

## 結晶析出の時間短縮と実験精度の向上

東京都立小石川中等教育学校

○横山琥珀 ○水野智樹

### 1. 研究動機

#### 【これまでの研究】

私たちは壁面に析出する結晶（以下、壁結晶）（図1）に着目し、それが発生する原因、よく発生する条件について研究を進めていた。その中で、容器の親水性が高いほど壁結晶ができやすいことを明らかにした。けれども、実験一回当たりの時間が長いこと、同じ条件で行っているはずの実験で結果にばらつきがあることの2点が課題で、微細な条件について調べられずにいた。これらの課題を解決する装置と方法の工夫について報告する。

#### 【本研究の有意性】

水溶液の結晶は、小学校でも学ぶほどに、親しみやすい題材である。しかし、その発生に時間がかかったり、微細な条件で析出の様子が変わってしまったりすることが課題で、詳しい研究については専門の研究室でしかされておらず、私たちがテーマにしていた壁結晶に至っては、参考文献がほとんどなかった。そこで、高等学校にあるような簡易的なもので、結晶をより早く、より正確に観察できるようになれば、結晶の研究が広く普及するはずである。

### 2. 時間短縮

はじめのコンカルビーカーを用いた実験方式では、実験終了（水溶液が蒸発しきる）までに2か月以上かかっていた。実験を重ねるうちに3つのことが分かった。水溶液の蒸発の時間短縮をするためには、「口の広がった容器」、「高い温度」、「低い湿度」をそろえることが効果的である。

### 3. 精度向上

#### 【壁面の材質の検討】

実験開始当初、部内で使いまわしているビーカーを観察に用いていたが、壁面の傷や有機物の付着などの些細な条件の違いによって結果がずれてしまうため、ばらつきなく実験を行うには、完全に新品で傷などの条件がそろえるものを壁面に使う必要があると考えた。

また、親水性の高い材質を壁面として使わなければならない、プラスチックなどの可能性は除外され、新品を大量に手に入れやすいスライドガラスが適しているという結論に至った。

## 【実験容器の検討】

溶液を入れる容器の壁面には結晶をつけたくないため、表面にポリエチレン加工がしてある紙コップを容器として用いることで、スライドガラスにのみ析出を集中させることができるようになった。

## 【実験環境】

湿度を下げるために用いていた扇風機は、蒸発を早めることはできたが、風の当たり方のばらつきにより、実験精度のズレの解消に至らなかった。そこで塩化カルシウムによる脱湿で湿度を調整することで、水溶液の蒸発を促進させつつ、データのばらつきを減らすことができた。

## 4. 結論

「塩化カルシウム」がまばらに設置された「30℃に設定された恒温器」の中で「紙コップ」に「スライドガラス」を立てる（図2）と、壁結晶を早くばらつきなく析出させることができる。

## 5. 展望

今回調査して分かった、実験を早く高い精度で行う方法を用いて壁結晶率が高まる条件を界面や溶質の性質などに着目して詳しく調べていきたい。

## 6. 参考文献

- (1) 那須 悦代, 喜多 雅一. 『「結晶の壁のぼり」の現象をエネルギー的視点からとらえさせる 高校生のための教材の開発』. 教育実践学論集. 2014, Vol. 15, pp. 213-217
- (2) 忠 ころろ. 「塩に隠されている秘密とは」. 2023



図1 壁結晶



図2 改良した装置



図3 紙コップの内部構造

加水分解における再利用可能な触媒の開発  
茨城県立緑岡高等学校  
○佐藤楓真 ○根目沢匠 北條知斗 齋藤裕生

近年、再生可能エネルギーとしてバイオエタノールが注目されている。その製造に必要な多糖類から単糖類への加水分解には酵素や硫酸などの触媒を用いるのが一般的だ。今回、私たちはその触媒として、再利用可能な固体酸触媒を用いることにした。しかし、先行研究では1度使用すると触媒性能が落ちるといった問題があった。そこで私たちは、スルホン化の時間が長いほど、スルホ基が多く付加され、スルホ基が多くなると考え、触媒に付加するスルホ基の量を増やすことで触媒性能が落ちなくなることを目指し、以下の実験を行った。

### 実験方法

先行研究より、デンプン：炭酸ナトリウム＝1：4で混合し、500℃で1時間加熱して得られた活性炭に、濃硫酸を加え1時間加熱したものをRとした。加熱時間1時間毎に5時間までの5種類の触媒を作製し、作製した固体酸触媒を用いて加水分解を行った。

【1回目】水8.75[g]、デンプン0.25[g]、固体酸触媒1.00[g]を反応容器に詰め、90℃で加熱し、1時間毎に上澄み液を採取した。シリンジフィルターを用いて固体を除去後、DNS法によってグルコース濃度を定量した。

【2回目】反応容器に残った分解されなかったデンプンをろ過で取り除き、取り出した触媒を乾燥させ、1回目と同様にして測定を行った。この時、使用した触媒1[g]をすべて回収することはできなかったため、水、触媒、デンプンすべての量を半分にした。

### 結果・考察

図1は、4回分のデータの平均をとり、標準誤差を示したものである。すべての触媒が基準とするRよりも高い分解効率を示した。しかし、2時間→5時間→3時間→4時間→Rの順で分解効率が高いため、スルホン化の加熱時間が長いほど触媒性能が上がるという仮説は立証できなかった。

図2は、3回分の再利用時のデータの平均をとり、標準誤差を示したものである。再利用時の最終的なグルコース濃度を1回目の測定と比較すると、Rを除きすべての触媒で値が上がっていた。触媒は反応の前後で性質が変わらないため、この分解効率の向上は付加したスルホ基の量の変化以外の要因が働いたと考えられる。よって仮説は立証できなかった。また、分解効率が上がった要因として、1回目使用後のろ過で、作製時のろ過で取り切れなかった不純物が取り除かれ、

機能するスルホ基が増えたことや、2回目使用時は全体の量を半分にしたことでデンプンと触媒の接触面積が増えたこと、などが考えられる。

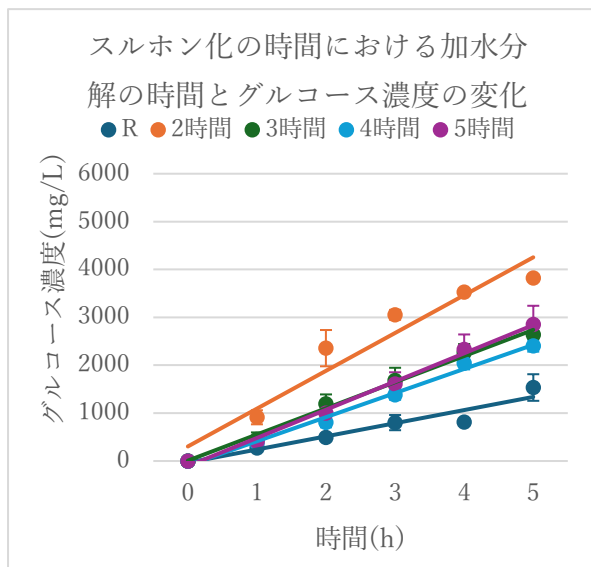


図 1

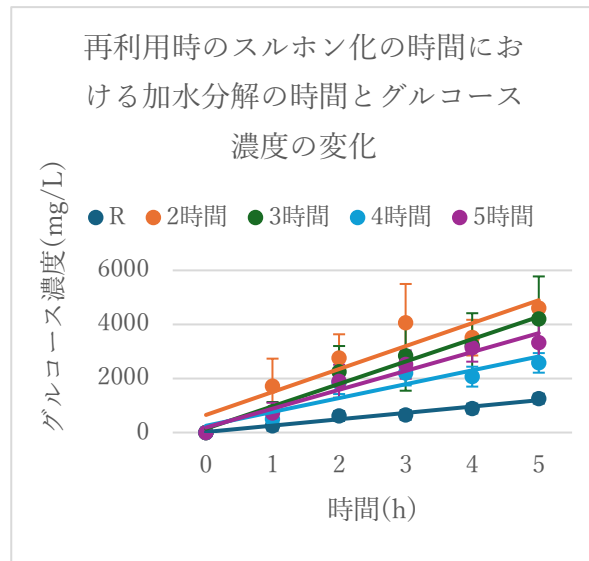


図 2

### 今後の展望

分解効率だけでは正確なスルホ基の量が分からないため、元素分析を行い組成や構造を把握したい。また、再利用時に触媒性能が上がった要因を確かめるため、考察で述べた2つに関して対照実験を行いたい。

### 参考文献

- 1 原亨和 でんぷん利用に有用な新しい固体酸触媒
- 2 福井作蔵, 還元糖の定量法
- 3 国立大学法人信州大学, DNS法 (JBA改良法)

# 健康に良いぬか漬けを作るには

玉川学園高等部 ○山岸 愛

## 1. 緒言

高血圧により好物のぬか漬けを制限せざるを得なくなった祖父をきっかけに、本研究を着想した。ぬか漬けは塩分が高く、過剰摂取は健康に悪影響を及ぼすが、我慢することは大きなストレスとなる。そこで、和食で減塩に活用される「出汁（うま味）」に着目した。ぬか床に乾燥昆布や昆布出汁を加え、L-グルタミン酸を増強することで、低塩分でも美味しく感じられる可能性があるかと予想した。本研究では、その最適な作製条件を比較実験により検討する。

## 2. 実験方法

### ①ぬか床の作り方

1. 水 350mL を沸騰させ、塩 70g を溶かした  
(昆布出汁を使用する場合は、常温の水 350mL に昆布 5cm を入れ 20 分放置したのち火にかけて沸騰直前で昆布をとり出し、沸騰後に塩 70g を入れた)
2. 塩水を冷まし、ぬか 500g と混ぜ合わせ、味噌くらいの固さになれば完成  
(乾燥昆布を入れた場合は、ここで約 5cm の乾燥昆布を加えた)
4. 容器（ホーロー）に空気を抜きながら敷き詰め、冷蔵庫で保管
5. 2 日に 1 回底から上へ天地返しでかき混ぜ、菌類のバランスを整えた
6. 1 週間後、キュウリを漬けた  
(乾燥昆布を入れた場合は、キュウリを漬ける前にぬか床から昆布をとり出した)

### ②L-グルタミン酸の測定

1. ぬか床に漬けて 1 日経過したキュウリをスライサーですりつぶし、キュウリから出た汁をガーゼでろ過し、試料液とした
2. 試料液を「ヤマサ」NEO L-グルタミン酸測定キットと反応させ、比色定量した<sup>(1)</sup>

### ③塩分の測定

1. 2.5%の食塩水を作り、基準液とした
2. ぬか床に漬けたキュウリをスライサーですりつぶし、キュウリから出た汁をガーゼでろ過したものを塩分計(ATAGO ポケット塩分計 PAL-106S)で測定した

## 3. 結果と考察

生ぬかに乾燥昆布、または昆布出汁(L-グルタミン酸抽出液)を添加したぬか床それぞれに漬けたキュウリの成分比較をした。L-グルタミン酸濃度の結果を図1に、塩分濃度を図2に示した。キュウリの個体差を考慮し、0日目の値を1.0とした相対値を示している。

「昆布だし」を加えたぬか床で漬けたキュウリのL-グルタミン酸濃度は、「乾燥昆布」を加えたものよりも顕著に増加した(図1)。一方で、塩分濃度の上昇は「昆布だし」を加えた方が、抑えられた(図2)。

また、「乾燥昆布」と「昆布だし」を入れた「ぬか床」のL-グルタミン酸濃度を比較すると、昆布だしを入れた方が「1.1倍」増加した。一方、漬けたキュウリのL-グルタミン酸濃度

は、昆布だし入りのぬか床に漬けた方が「2.4 倍」増加した（表 1）。このことから、ぬか床のグルタミン酸量の増加がキュウリのグルタミン酸量に比例するだけでなく、ぬか床の材料の違いによる浸透のしやすさも関係していることが分かった。

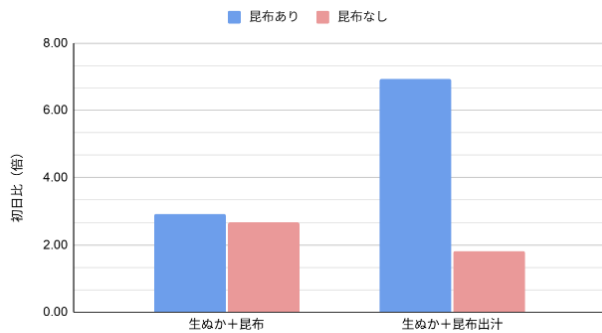


図 1 キュウリの L-グルタミン酸濃度（初日比）  
昆布と昆布出汁の比較

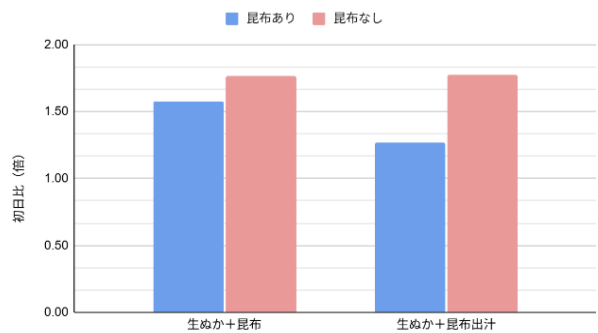


図 2 キュウリの塩分濃度（初日比）  
昆布と昆布出汁の比較

表 1 ぬか床・ぬか漬けの L-グルタミン酸量の比較

	乾燥昆布	昆布だし
ぬか床の L-グルタミン酸 (mg/L)	69.15	73.68
キュウリの L-グルタミン酸増加率 (初日比)	2.92	6.93

これらの結果は、成分の分散状態に起因すると考えられる。乾燥昆布を直接投入するよりも、予め抽出した昆布出汁として添加する方が、うま味成分である L-グルタミン酸がぬか床全体へ均一かつ迅速に供給される。その結果、キュウリ内部にも浸透しやすくなったと考えられる。また、昆布だしを作る過程で昆布の組織から溶出したアルギン酸が、水を抱え込んで粘性を生み出し、この粘性上昇により塩の拡散が抑えられた可能性がある。その結果、キュウリへの塩分浸透が抑制できたと考えられる。

#### 4. 結言

昆布をぬか床に加えることで、ぬか床自体の L-グルタミン酸濃度が増加し、ぬか漬けにしたキュウリのグルタミン酸量も増加させることができ、同時に、塩分の浸透は抑制される傾向が確認された。「乾燥昆布」を加えたぬか床と「昆布だし」を加えたぬか床に漬けたキュウリの L-グルタミン酸量、塩分濃度を比較すると、「昆布だし」を加えた条件で、L-グルタミン酸濃度の増強と減塩の効果が顕著であり、本研究の目的である「塩分を抑えつつ美味しさを保つぬか漬け」を作製する有効性が示唆された。今後は、昆布由来の成分がぬか床に与える影響や、それがキュウリへの塩分移行量に及ぼすメカニズムについてさらに検証を行いたい。

#### 参考文献

1) ヤマサ醤油株式会社、L-グルタミン酸定量用試薬セット

<https://diagnostics.yamasa.com/reagent/80128/>（2025 年 8 月 29 日アクセス）

# 飽和脂肪酸と不飽和脂肪酸の石鹼を用いた洗浄力実験

芝浦工業大学附属中学高等学校

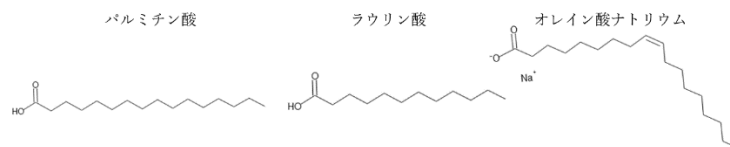
○新谷公章 坂本七海 青山瑛美

## 1. はじめに

昨年私たちは、4種類の油を使用した石鹼を作成し、常温の水に溶かして、それぞれの油の石鹼の洗浄力を比べる実験を行い、その過程で飽和脂肪酸と不飽和脂肪酸を知った。飽和脂肪酸石鹼の方が、不飽和脂肪酸に比べ汚れを落としにくい結果となってしまった。このような結果になった理由と、この実験結果が妥当なものであったのか分析をするには、飽和脂肪酸及び不飽和脂肪酸の特性をより詳細に理解する必要がある。本研究では、飽和脂肪酸及び不飽和脂肪酸から作製した石鹼を用い、温度ごとの洗浄力の観点から両者の性質の比較とその原因の考察を行った。

## 2. 実験方法

今回の実験では、不飽和脂肪酸由来の石鹼としてオレイン酸ナトリウム、飽和脂肪酸由来の石鹼としてパルミチン酸及びラウリン酸から調製した石鹼を試料として用いた。



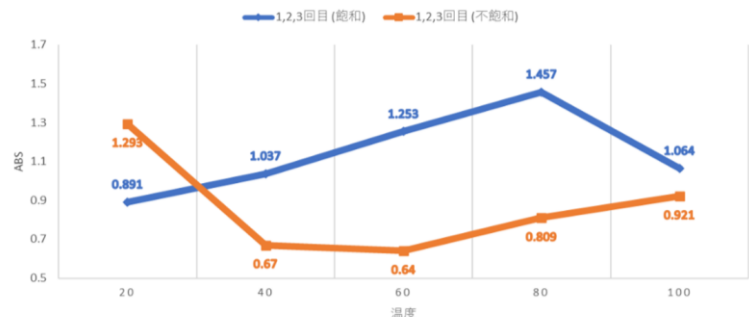
実験手順は以下の通りである(図1)各脂肪酸とその塩の構造式

1. 純水 100 mL と各脂肪酸から作製した石鹼溶液を準備する。
2. 各石鹼 1.0 g をそれぞれ 100 mL の純水に溶解させる。
3. 薄めた墨汁を 10mL を雑巾に染み込ませ、5 分間放置後、石鹼溶液に投入し 10 分間浸す。
4. 雑巾を取り出し、ガラス棒で 40 回たたき、その際に得られた洗浄液を回収する。
5. 回収した洗浄液の吸光度を測定し、汚れの除去量を数値化する。

以上の手順を、純水の温度を 20、40、60、80、100℃に変えてそれぞれ行い、得られた数値を記録した。分光光度計は、試料に光を通し、透過光の強さから吸光度を求める装置である。洗浄液中に微粒子(墨汁)が多いと、光の吸収や散乱によって透過光が弱くなり、結果として吸光度(見かけの値)が大きくなる。そのため、吸光度が大きいほど雑巾から墨汁が遊離していて、吸光度の数値が高いほどその石鹼の洗浄力が高いと判断した。

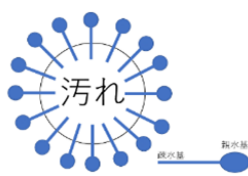
## 3. 結果

図2に各温度における吸光度の平均値と温度の関係をまとめた。飽和脂肪酸の石鹼は温度の上昇に伴って洗浄力が増加し、80℃で最大値を示した後に低下した。一方、不飽和脂肪酸の石鹼は40℃で洗浄力が大きく低下した後、飽和脂肪酸の石鹼とおおむね同様の増減を示した。

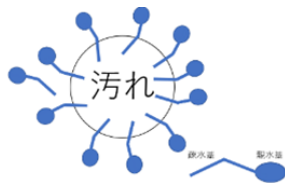


(図2) 飽和脂肪酸の温度による吸光度の変化

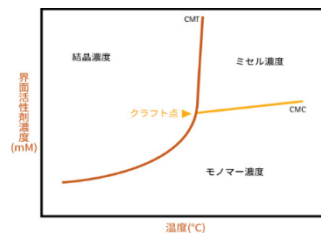
## 4. 考察



(図3) 飽和脂肪酸のミセル



(図4) 不飽和脂肪酸のミセル



(図5) クラフト点の関係について

### 4.1. 不飽和脂肪酸の40°Cにおける低下について

不飽和脂肪酸は分子内に二重結合による折れ曲がり構造を持つため、飽和脂肪酸に比べてミセル内部の疎水基の間隔が疎になりやすい。40°C付近の温度上昇によって分子の熱運動が激しくなると、ミセル構造は崩れやすくなる。また、親水基の周囲には通常、水分子が規則正しく並び、ミセルを安定させる水和層が存在するが、構造が不安定な不飽和脂肪酸では、熱運動の影響をより強く受け、水和構造が乱れやすい。その結果、一時的に汚れを包み込む能力が低下し、洗浄力が減少したと考えられる。

### 4.2. 40°C以降の再上昇

不飽和脂肪酸の40°Cで低下した洗浄力が再び上昇した理由については、水分子の激しい衝突（ブラウン運動の活性化）が、石鹼の助けを借りずとも汚れを布の繊維から叩き出す効果を生んだと推測される。

### 4.3. 100°Cにおける低下について

100°C付近で飽和脂肪酸の洗浄力が低下したのは、臨界ミセル濃度 (CMC) を超えるために必要な飽和脂肪酸量が足りず、ミセル形成が不可能になってしまったため洗浄力が低下したと考えられる(図5)。また、(図2)で100°Cの不飽和脂肪酸と飽和脂肪酸の値が近くなっているのは、飽和脂肪酸も不飽和脂肪酸と同様に水分子の激しい衝突によって汚れが布の繊維から叩き出される効果が主として働いていると考察した。

## 5. 今後の展望

不飽和脂肪酸が40°C以降に洗浄力が再上昇した理由が水にあるのか調べる必要がある。また、他の汚れにも同じ効果が期待されるのか調査するため、墨汁以外の汚れを用いて計測を行いたい。

## 6. 参考文献

- ・ J-GLOBAL 科学技術総合リンクセンター 参照日：1月5日

<https://jglobal.jst.go.jp/>

- ・ 結晶、ミセル、モノマーが平衡して存在する温度「クラフト点」 参照日：2月5日

<https://m-hub.jp/biology/2410/150>

# 植物由来の炭の浄水効果

神奈川県立多摩高等学校  
中村由人 末次漣 新里慧

## 1. 研究の背景

過去のキャンプ経験より、河川水・湧き水を簡便に飲み水にできないかと考え、炭による浄水効果に着目した。炭は多孔質構造を有しており、有機物を吸着する浄水効果を持つ。そして近年この効果に着目し食品残渣などの生物資源から作られるバイオ炭が注目されている。私たちは身近な生物資源（食品残渣・植物）を由来としたバイオ炭を作り、材料の違いによる自作バイオ炭の浄水効果への影響を調べることを目標とした。

## 2. 方法

炭の材料としてバナナの皮、枝豆の皮、落花生の殻、ハナミズキ、セイタカアワダチソウ、コーヒー豆、チャノキの葉、ミカンの皮を選択した。それらの材料をアルミホイルで包み、ガスコンロで加熱して炭化させ、その後すり鉢で細かく砕くことで炭粉末を作製した。また、比較のため活性炭の粉末も用意した。

各試料の浄水効果を調べるため、メチレンブルー吸着量測定法を利用した。そのため分光光度計を用いて最大吸光波長 660 nm における検量線を作成した。そして作製した 6 種類の炭試料（粉末）20 mg を、60 mg/L メチレンブルー溶液 10 mL にそれぞれ浸漬させ、よく攪拌した後、1 日間静置し、各溶液の上澄み液に対して波長 660 nm の吸光度を測定し検量線を用いることで浄水効果を比較した。（ただし、コーヒー豆、チャノキの葉、ミカンの皮は実験期間が異なるため、検量線は別途作成したものをを用いた。）

次に、各炭の微細な構造を調べるため、自作した炭試料の中で最も吸着量が多かったバナナの皮、最も少なかったハナミズキ、さらに比較対象として活性炭（ヤシ殻由来）の 3 試料について、走査電子顕微鏡（SEM）を用いての観察を行い、さらに画像解析ソフト「ImageJ」を用いた粒子径解析を行った。

## 3. 結果

結果は、図 1 のように活性炭、バナナは共に溶液全体のメチレンブルー量 0.60 mg をほぼ全

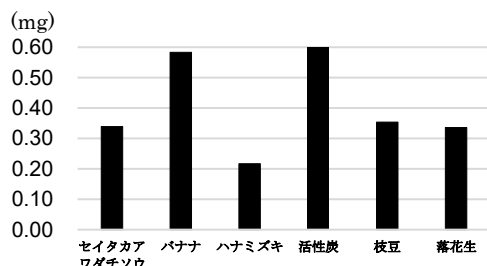


図 1：各炭のメチレンブルー吸着量

て吸着させ、セイタカアワダチソウ、枝豆、落花生由来の各炭試料は、どれもメチレンブルーの吸着量は約半分 (0.30 mg 程) を示した。一方、ハナミズキ由来の炭試料の吸着量は最も少なく (0.20 mg 程)、三分の一程度となった。

走査電子顕微鏡での観察では、図 2 のように低倍率 ( $\times 10^2$ ) における炭試料の全体観察ではバナナの皮・活

性炭由来の炭は、比較的細かな粒子が見られる傾向にあった。ハナミズキ由来の炭には、大きな塊がいくつか見られた。高倍率 ( $\times 10^4$  以上) で炭粒子の細部構造を観察すると、バナナ皮では凹凸が確認できた。一方、ハナミズキは平坦な印象を受けた。

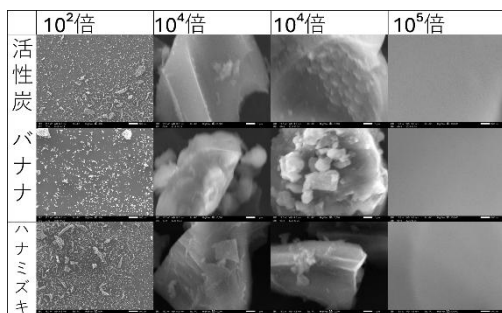


図2 走査電子顕微鏡での各炭の観察

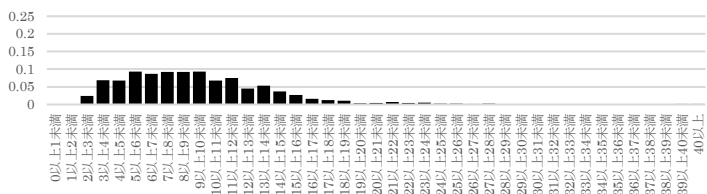


図3 バナナ炭の粒子径

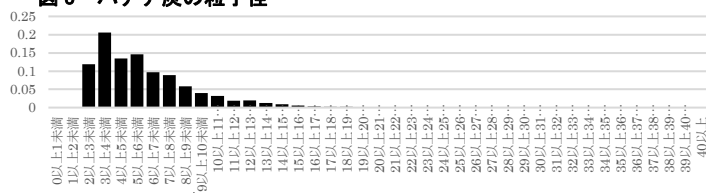


図4 ハナミズキ炭の粒子径

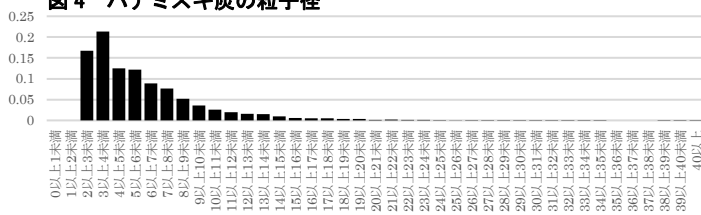


図5 活性炭の粒子径

「Image J」による粒子径解析では、図3・4・5のようにバナナ皮のみ他と比べて2~3 μmの微粒子の割合が少ないなど異なる粒子構成であった。そのため、粒子径の割合よりも粒子表面の多孔質構造の有無による影響の方が大きい可能性が高い。

バナナ皮の吸着量が高い要因としては、活性炭と同様に多孔質構造を有するためと考えられる。しかし、今回の

100 μm~100 nm範囲の観察では、吸着したメチレンブルー分子のサイズ(数十nm)の孔を確認できておらず、確証を得るまでには至らなかった。

(※現在コーヒー豆、チャノキの葉、ミカンの皮については、現在実験中のため、詳細な結果は発表当日に報告する予定である)

#### 4. 考察

本研究で、身近な生物資源から炭を作製し、浄水効果を得ることができた。また、作製した炭の中ではバナナの皮を用いたものが最も浄水効果を高く示すことが分かった。浄水効果を

示す要因としては、炭の粒径はあまり関係がなく、炭の表面積または微細な構造が関係している可能性が示された。

#### 5. 参考文献

[1] トウモロコシの芯から炭を作り、水の浄化に役立つ吸着作用を調べよう 国立大学 56 工学系学部ホームページ

<https://www.mirai-kougaku.jp/laboratory/pages/180323.php?authuser=0>

[2] 炭の吸着作用~木の種類による吸着作用の違い~, 2017年, 高松第一高校 SSH 生徒論文集

<http://www.taka-ichi-h.ed.jp/img/H29-01.pdf>

#### 6. 謝辞

本研究を進めるに当たり、熱心にご指導いただいた顧問の米山先生、山田先生、後藤先生、西田先生、走査電子顕微鏡の使用に際してご指導・ご助言いただいたキオクシア株式会社の高村様、東京科学大学の多田様。この場を借りて皆様に感謝申し上げます。

# 電子レンジによる草木染めの効率化

早稲田大学本庄高等学院 ○上野詩織 ○加々見知世 ○蒲初音 ○小長井咲希  
○齊藤あやめ ○山名凧紗 ○吉田凜子

## 1. はじめに

草木染めは、天然色素を用いた染色方法である。染色は染液の中で繊維を煮沸して行うが、草木染めは染色に特に時間がかかってしまうこと、また一般に染色廃液の量が多いことの2点が課題としてあげられる。一方、電子レンジの使用による染色時間の短縮<sup>1)</sup>や染色廃液の削減<sup>2)</sup>の報告がある。そこで本研究では、染色時間を短くし、染色廃液の量を減らすことを目的として、電子レンジを用いた草木染めの検討を行った。

## 2. 実験の方針

色素には、染料店ではなくスーパーなどでも入手できるターメリックを用いた。繊維には安価で、糊付けされていないためそのまま使用できるコットンガーゼを用いた。綿は天然色素で染色されにくいので、電子レンジの効果が表れやすいと考えた。

綿の場合、セルロースの非晶領域に色素が水素結合することで染色されるが、結合力が弱いいためすぐに色落ちしてしまう。今回の場合はセルロースのO-Hとターメリックに含まれるクルクミンのO-Hで水素結合が生じて染色されるが、クルクミンは分子量が大きい一方で、結合力の弱い水素結合2本のみで結びついているため、水洗いでも色落ちしてしまう。そのため、染色後に金属イオンで配位結合を作り、結合力を強める媒染という操作を行う。今回は、入手しやすく安全で、媒染後に色が鮮やかになるミョウバン媒染を行った。また、セルロースと配位結合している色素だけを残し、染色度合いを正確に評価するために中性洗剤で洗濯（ソーピング）を行った。

測色は測色機を用いてL\*a\*b\*法でガーゼの4ヶ所を測定し、a\*とb\*を用いて(a\*の平均値<sup>2</sup>+b\*の平均値<sup>2</sup>)<sup>0.5</sup>で彩度を求めた。その際、ガーゼと機器の間に空間ができないように注意した。

## 3. 方法

- ① 200 mL ビーカーにターメリック 1.00 g と水道水 150 mL を加え、ホットスターラーで沸騰させながら 10 分攪拌した後、室温まで放置した。室温まで温度が下がったら、キッチンペーパーでろ過し、得られたろ液 110 mL に水道水 40 mL を加え、染液を得た。
- ② 得られた染液でガーゼ (2.5 g) を染色した。染色は煮沸、電子レンジ 500 W 加熱、電子レンジ 700 W 加熱の3通りで行い、時間は1分、3分、10分（煮沸のみ）とした。煮沸で染色する場合は、染液 75 mL にガーゼを入れ、沸騰させながら染色し軽く絞った。電子レンジの場合は、染液に浸したらすぐに取り出して軽く絞り、その後ラップで包んで電子レンジで加熱した。
- ③ 100 mL ビーカーで 0.50 g 焼きミョウバンを 75 mL のお湯に溶かし、媒染液を得た。媒染液に染色したガーゼをつけて 30 分室温放置し、水洗いして軽く絞った。

- ④ 沸騰させた0.2%中性洗剤100 mLに媒染したガーゼを入れて10分煮沸させ、その後水洗いして絞り、暗所で乾燥させた（ソーピング）。
- ⑤ ガーゼが乾いたら、測色機(TES135-A)を使用して4ヶ所を測色した。

### 3. 結果と考察

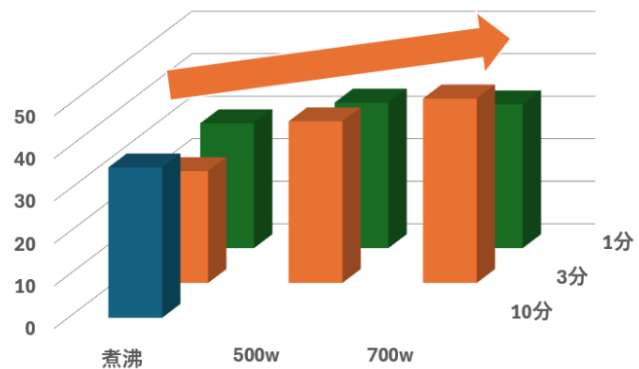
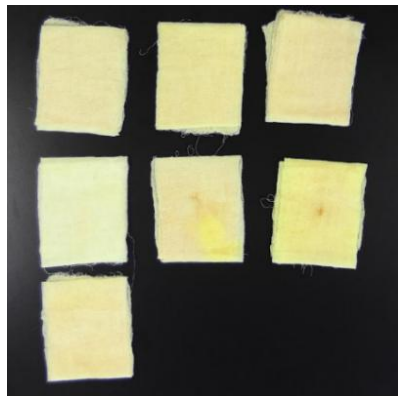


図1 染色後の様子（条件はグラフ1に対応） グラフ1 種々の染色条件の彩度の変化

種々の染色条件による染色結果を図1、各ガーゼの彩度を数値化したものをグラフ1に示す。

彩度は、染色方法や染色時間によって大きな差があり、方法で比較すると煮沸<500 W<700 W、時間で比較すると1分<3分<10分になる傾向が見られた。

煮沸で10分加熱したものと電子レンジ500 Wで3分のもの进行比较すると後者の彩度の方が高いことから、電子レンジを使用することで、より短時間でより鮮やかに染色することが可能だとわかった。さらに、電子レンジの500 Wと700 Wでそれぞれ3分加熱したものを比較すると、700 Wの彩度が高いことから、出力を上げることでより速く染色できることもわかった。これは、電子レンジのマイクロ波によって極性をもつ物質が加熱され、セルロースと色素の両方が活性化されることで、繊維への吸着が加速されるためと考えられる。

このことから、電子レンジで染色したガーゼは、同じ時間煮沸させたガーゼよりも鮮やかに染まるため、電子レンジを使用することでより短い時間で染色できることがわかった。また、電子レンジでの染色は、染液を繰り返し使用できるため、染色廃液の削減にも繋がった。

よって、予想通り電子レンジを使用することで染色の効率化が図れることがわかった。

### 4. 今後の展望

今回はターメリック染めのアルミ後媒染のみで実験したため、他の染料を用いた場合、鉄媒染や先媒染に変えた場合に同じような傾向になるのか調べてみたい。

また、電子レンジで加熱すると色むらが出てしまうので、加熱方法を工夫したい。

### 参考文献

- 1) 宮本 菜, 須田 千恵子, 日本家政学会誌, 2000, 51 巻, 10 号, p. 953-962
- 2) 佐々木 麻紀子, 東京家政学院大学紀要, 2022, 62 巻, p. 71-79

# 銀杏の脱臭に適した脱臭剤を作ろう！

都立国立高等学校

○須永結衣 ○森田晴陽 ○小山琥太郎 ○清水駿

## 1. はじめに

晩秋になると山吹色に染まるイチョウ並木は、季節の移ろいを鮮やかに感じさせる風物詩である。一方で、イチョウの落とすギンナンは強い悪臭を放ち、並木道を日常的に利用する我々学生をはじめとした利用者にとって大きなストレスとなっている。それにも関わらず、ギンナン臭の消臭についての研究例は限定的だ。そこで本研究では、「中和反応」と「吸着」に着目し、安全かつ効果的なギンナン臭の除去方法を模索する。

## 2. 背景

ギンナン臭の原因は酪酸( $C_3H_7COOH$ )、ヘキサン酸( $C_5H_{11}COOH$ )をはじめとする脂肪酸である。これら脂肪酸の脱臭について、チヨーク粉末との中和によって軽減が可能だとした先行研究から「原因となる臭い物質自体を別の物質に変化させ臭いを減らす」方法に加え、新たに「揮発した臭い成分を吸収し臭いを減らす」という二方面からのアプローチが有効ではないかと考えた。それを踏まえ、前者では炭酸カルシウム( $CaCO_3$ )、炭酸水素ナトリウム( $NaHCO_3$ )の二種の炭酸塩を用いた中和反応(弱酸の遊離)によってそれぞれ実験を実施し、後者ではファンデルワールス力による非選択的な物理吸着が可能である活性炭を吸着剤として脂肪酸の消臭に有効性があるかを調べた。

## 3. 実験にあたって

まず、本研究では臭いに関する実験を行うため、実験結果は官能評価で判断するものとする。官能評価について主観的な要素が多分に含まれるという懸念に対し、より客観的な評価を行うため、複数名の被験者に参加してもらい、臭いの強さを段階的に評価する「6段階臭気強度表示法」を用いてその都度評価を行った。この方法を用いることで、データの推移を把握しやすくなり、官能評価の課題である個人差を最小限に抑えることができる。また、炭酸塩による中和反応については、炭化水素鎖を含む脂肪酸自体の疎水性によって反応が阻害され、理論値通りの分量で反応させたとしても正確な結果を得ることは困難である。実際に、計算結果に基づいてお互いが過不足なく反応する量の酪酸と炭酸カルシウムを用いて行なった予備実験では思うような成果があげられなかった。よって、脂肪酸臭の脱臭を経てギンナン臭の除去を目指すのではなく、炭酸塩・活性炭がギンナン臭そのものに有効かを確認した上で、実験対象を脂肪酸に移し、詳細を調査していく方向に研究を展開する。

なお、以下実験で用いたギンナンは全て、昨年同日に同一個体から落下したものを採取し、冷蔵保管したものである。

## 4. 実験 1

ギンナンに重曹(炭酸水素ナトリウム)を加え、ギンナン臭の変化を調べた。

- ①ギンナンのヘタと種子を取り除き、すり潰してペースト状にした。
- ②①を5gずつ測り、A~Dの袋にそれぞれ入れた。(図1)
- ③全ての袋でギンナン臭が明らかに感じ取れるまで袋を密閉し揮発させた。
- ④重曹をAには3g(少量)、Bには5g(中量)、Cには10g(多量)加え、Dには加えなかった。
- ⑤ペーストと重曹を満遍なく反応させるため、A~Dの内容物を十分に混ぜ合わせた。

⑥時間を測り、30分毎に測定場所の気温測定と6段階臭気強度表示法(表1)に基づいたギンナン臭についての官能評価を行った。なお、被験者(7名)の臭気の基準をある程度揃えるため、Dのギンナンのペーストのみの臭気強度は4もしくは5に設定するものとした。

表1: 6段階臭気強度表示法

臭気強度	内容
0	無臭
1	やっと感知できるにおい
2	何のにおいかわかる弱いにおい
3	楽に感知できるにおい
4	強いにおい
5	強烈なにおい

[環境省環境管理局「臭気指数規制ガイドライン(平成13年)」より作成]

## 5. 結果 1

実験 1 ⑥開始から 180 分後までの結果を評価した。結果は図 2 の通りである。

実験中、極端な温度変化は起こらなかった。図 2 より、重曹(炭酸水素ナトリウム)を加えなかった D に比べ、重曹を加えた A~C ではギンナン臭が軽減されたことが分かる。また、加えた重曹の量が多いほど、早い段階でより大きく消臭効果が現れていることが分かった。そして、A はやや右下がりのグラフであることから反応が持続的に起こっていることが考えられる。180 分の時点で、A~C のグラフはどれも近い値を示していることから、180 分時点でのギンナン中の脂肪酸と重曹(炭酸水素ナトリウム)の反応は終点に近づいている可能性がある。このことから、ギンナン 5g に対して、重曹(炭酸水素ナトリウム) 3g を用いれば、ギンナンに含まれる水を溶媒として、十分消臭効果があるということが言える。



図1 実験1の様子

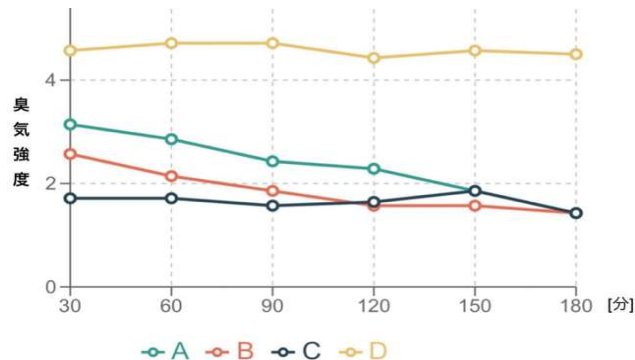


図2:実験1官能評価より、30分毎の平均臭気強度の推移

## 6. 実験 2/結果 2

実験 1 と同様の手順、評価方法でギンナンと炭酸カルシウムの反応による臭いの変化を調べた。

結果は図 3 の通りである。A' ~C' はいずれも D' と比較して、ギンナン臭への脱臭効果があると見られる。また、実験 1 と同様に、加えるチョーク(炭酸カルシウム)の量を変えることによって、早く、より確実なギンナン臭の脱臭ができることが分かった。しかし、実験 1 と比べると、全体的な傾向としては横ばいと言える。また、180 分の時点でも A' ~C' の臭気強度の値にはばらつきがあり、まだギンナンとチョーク(炭酸カルシウム)が完全には反応しき

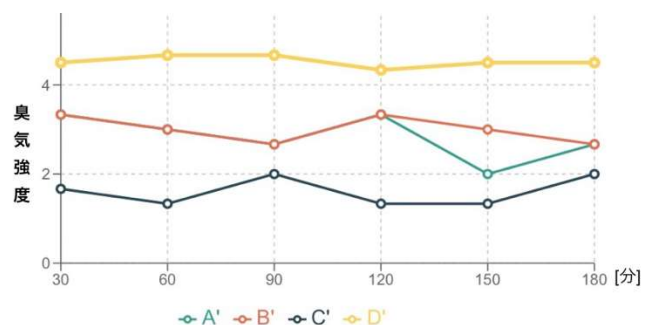


図3:実験2官能評価より、30分毎の平均臭気強度の推移

れていないものと考えられる。この要因としては脂肪酸自体の疎水性、溶媒である水の不足、炭酸カルシウムが水に溶けにくいことが挙げられるが、実験 1 では明確な消臭効果が得られたことから、炭酸カルシウムの水への溶けにくさが主な要因なのではないか。

## 7. 展望

上記の実験を通し、炭酸塩による中和反応がギンナン臭の脱臭に有効であることを確かめられた。しかし、完全な脱臭には至らなかった他、具体的にある一定量のギンナンの臭いを除去するために最低限必要な炭酸塩の目安量については指標を得るに留まった。よって今後は脂肪酸臭を実験対象とし、データの解像度を上げていきたい。また、別のアプローチである活性炭による脱臭実験も行い、可能であれば「中和」と「吸着」を組み合わせた脱臭方法についても検証したい。

## 8. 参考文献

- 1) 神奈川県立厚木高等学校 2年D組8班 (2024)「銀杏の臭いをなくす消臭剤の作成」
- 2) 環境省環境管理局 (2001)「臭気指数規制ガイドライン」
- 3) 野村 正人 (2024)「銀杏の葉中の揮発成分とその生理活性について」

# 石鹼の洗浄力について

立教池袋中学校

○菊地 奏佑 ○八木 智久

## 1. はじめに

「楽しい科学実験 科学史でたどる」<sup>1)</sup>という本のなかの石鹼を作る実験から、石鹼は身近な物質から作ることができること知り、自分でも作ってみたいと思った。そして、「洗浄力の高い石鹼を作る」という目的をもって実験をした。今回は自分たちの作成した石鹼の洗浄力を測定して、洗浄力の高い石鹼を作成するために必要な要素を調べた。なお、ここでは洗浄力の高い石鹼とは、ラー油をつけた布を石鹼水に入れて、ラー油が浮いてくるまでの時間が短いものとする。

## 2. 方法

### 実験 1. 石鹼を作成する

1. 油（ブドウ油、オリーブオイル、アマニ油、ハイオレイックヒマワリ油、コーン油）5g にエタノール 10mL と 20%水酸化ナトリウム水溶液 10mL を加え 70℃の湯せん上で溶液が透明になるまでかき混ぜた。
2. 飽和食塩水 50mL に作った混合液を加えゆっくりとかきまぜ、吸引ろ過しシャーレに乗せキッチンペーパーをかぶせて 2、3 日ほど乾かした。

### 実験 2. 石鹼の洗浄力を測定する

1. 水 100 mL に石鹼 0.2 g を加えて加熱し、石鹼水を調製した。
2. 1 辺 3 cm のポリエチレン製の布に二重リングをつけ、その中心を広げて周りを切った。
3. 作製したポリエチレン布をシャーレにおいて、ラー油を一滴垂らし、3 分しみこませた。
4. シャーレに石鹼水を 60 mL、メスシリンダーでゆっくりと注ぎ入れた。
5. ラー油が浮いてくるまでの時間を 5 滴(オリーブオイル石鹼とコーン油石鹼は 3 滴)まで計った。



図 1. 実験 2 の測定の様子

## 3. 結果

図 2 はそれぞれブドウ油、オリーブオイル石鹼、アマニ油石鹼、ヒマワリ油石鹼、コーン油石鹼を使いラー油が浮いてくるまでの時間を 12 回ずつ測定し、平均を求めグラフに表したものである。縦軸はラー油が浮いてくるまでの時間(秒)であり、横軸はラー油が上がってきた数を示している。

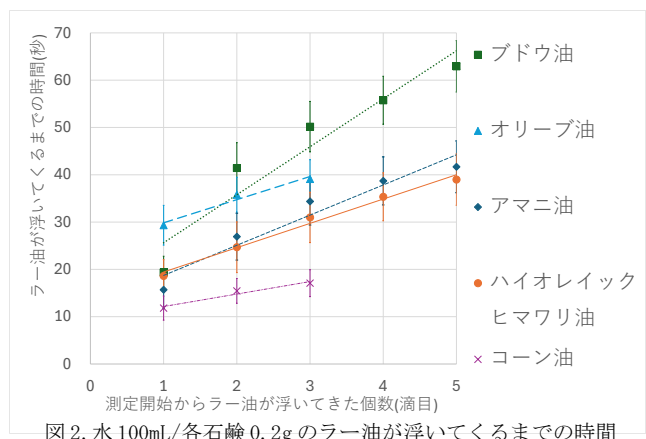


図 2. 水 100mL/各石鹼 0.2g のラー油が浮いてくるまでの時間

ラー油が浮いてくるまでの時間と測定開始からラー油が浮いてきた個数には比例の関係が成り立っている。さらに、コーン油石鹸と、ヒマワリ油石鹸、アマニ油石鹸はラー油の浮いてくるまでの時間が短くなり、それに比べてオリーブオイル石鹸とブドウ油石鹸はラー油が浮いてくるまでの時間が長くなった。

#### 4. 考察

表 1. 三種類の油に含まれる脂肪酸の種類と二重結合の数

	二重結合の数	コーン油	ハイオレ イックひま わり油	オリーブオ イル	ブドウ油	アマニ油
オレイン酸	1	76.5%	83.7%	29.7%	17.2%	17.0%
リノール酸	2	6.9%	13.7%	55.7%	72.3%	16.0%
リノレン酸	3	0.7%	0.2%	1.1%	0.4%	58.5%

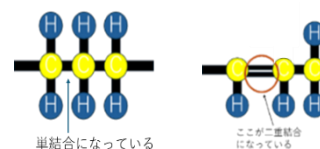


図 3. 単結合と二重結合

表 1<sup>2)3)4)</sup>は、それぞれの油に含まれる脂肪酸の種類と割合、各種脂肪酸の二重結合の数を表したものである。脂肪酸は二種類に分けることができ、単結合のみの脂肪酸を「飽和脂肪酸」、二重結合があるものを「不飽和脂肪酸」と呼び、それぞれ立体的な形が異なる(図 3)。二重結合の部分は固定されていて回転できない。また、石鹸は油を浮かす際、親油性という油になじみやすい部分が、油を取り囲み細かくして浮かせる。

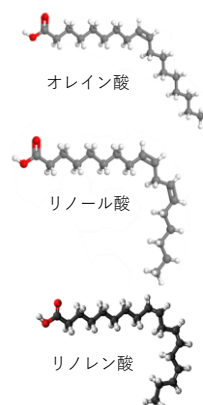


図 4. オレイン酸、リノール酸、リノレン酸の模式図

油を取り囲むとき、オレイン酸のように二重結合が一つの場合は比較的線状の形になっているため、分子同士の間隔が短くなり、多くの石鹸の分子が油を取り囲むことができ、洗浄力が上がると考えられる。一方リノレン酸のように二重結合が三つの場合、曲がった形をしているためミセルの状態が不安定になっており、ばらばらになりやすい。そのため、油を取り込みやすくなり洗浄力が高くなると考えられる。また二重結合が二つのリノール酸は、オレイン酸とリノレン酸それぞれの特性の間であるため、両方が低くなってしまったと考えられる。

#### 5. まとめ

五種類の油で石鹸を作成し洗浄力を測定した。石鹸内の脂肪酸の二重結合が一つの場合は多くの石鹸の分子が油を取り囲むことができ、二重結合が三つの場合は分子がバラバラになりやすく、洗浄力が高くなると分かった。

#### 6. 今後の課題

石鹸の洗浄力には脂肪酸の構造が関係している可能性を確認することができた。これからの実験では、脂肪酸の構造の特徴に着目して実験していきたい。

#### 7. 参考文献

- 1) 「たのしい科学実験 科学史でたどる」 坂上 正信 他 2 名 著 1984/3/20 初版 BLUE BACKS
- 2) カネダ株式会社 油脂の脂肪酸組成表 <https://www.kaneda.co.jp/wp/wp-content/themes/kaneda/img/oilsPDF2.pdf>
- 3) 太田油脂株式会社 コーン白絞油 <https://ota-oil.co.jp/business/cosmetic-materials/zea/>
- 4) 日清オイリオ オリーブオイルの健康性 <https://www.nisshin-oillio.com/olive/olive05.html>

# 電子レンジを用いた真鍮の生成

茨城県立土浦第一高等学校附属中学校

○清野陽太 ○宇佐美唯斗 ○神山琉貴 ○横山湊 ○小板橋弘 ○佐藤琉星 ○堀田璃桜

## 1. 背景と目的

本校科学部ではこれまでに、電子レンジを用いた鉄の還元（電子レンジ製鉄）や、銅とスズからなる青銅の生成、青銅製オブジェの制作など、金属生成に関する研究に取り組んできた。これらの研究を通して、活性炭や松炭などの添加物の種類や量、また水分の有無がマイクロ波加熱を促進し、反応効率に大きく影響することが分かってきた。そこで本研究では、銅と亜鉛の合金である真鍮に着目した。一般に真鍮は高温炉を用いて作られるが、本研究では電子レンジを用いて生成する点に特徴がある。従来の「銅に亜鉛めっきを施して加熱する」手法を参考にしながら、電子レンジ加熱において亜鉛が蒸発しやすいという課題に対して、加熱条件などを工夫することで、安定して真鍮を生成する条件の探索を行った。また、生成物の断面観察を通して、加熱時間と冷却時間の違いが合金の組成や品質に与える影響を比較し、電子レンジを活用した合金生成の可能性について検討した。

## 2. 方法

金属原料には、酸化銅（I）7.0 g および亜鉛（華状）3.0 g を使用し、炭素源として松炭を1回の加熱につき2.0 g 用いた。電子レンジは最大出力1000 W の家庭用単機能モデルを使用し、反応容器にはアルミナ製のつぼ、断熱容器は丸越工業製の高温雰囲気用耐火断熱れんが GM-160 をボール盤で加工して自作したものをを用いた。壁材には、耐火性に優れた道具土を使用した。

### 【反応前準備と操作】

アルミナ製のつぼの内壁に道具土を数 mm の厚さで貼り付け、電子レンジで加熱乾燥させた。炭素粉末上に酸化銅（I）をのせた後にふた（アルミナ製）をし、つぼの外側全体に道具土を数 mm の厚さで貼り付けた。断熱れんがの溝の中につぼを入れ、隙間にアルミナセラミックファイバーを詰めて同じく溝をあけたれんがを用いて蓋をした。電子レンジに入れ、900 W で3分を6回、連続運転で18分間の加熱を行い、銅塊を生成した。その後、炭素粉末上に生成した銅塊と亜鉛をのせ、900 W で加熱時間を工夫して加熱を行った。

### 【方法①】

加熱時間を2.5分×2回行った後、インターバルを挟みながら2分間の加熱を3回行った。インターバルの時間は(a)2分、(b)3分、(c)4分とし、条件を変えて電子レンジ内でマイクロ波加熱を行った。

### 【方法②】

銅塊と亜鉛の配置を、(d) 亜鉛が上、(e) 亜鉛で銅塊を挟む、(f) 亜鉛が下の3通りに変化させ、3分間の冷却を挟みながらマイクロ波加熱を行った。生成物は棒ヤスリで削り、断面画像を縦4分割、横5分割の20区画に分けて銅色部分の割合を調べた。

## 3. 結果と考察

### 【方法①】

(a) では黄色みが弱く、加熱過多により亜鉛の多くが蒸発したと考えられる。一方、(c) では黄色みが強く、亜鉛の蒸発は抑えられたものの、温度不足により亜鉛が完全に融解せず、反応しきれなかったため、表面に銅色が見られた。このことから、真鍮の生成には加熱の間に3分の冷却を挟むことで、亜鉛が融解しつつ蒸発しない適切な温度に調整できることが分かった。



左から (a), (b), (c)

### 【方法②】

(d) では断面下部を中心に銅色が11区画で見られた。(e) では断面の一部に銅色が8区画で見られた。(f) では断面のほぼ全体が銅色で16区画に見られた。この結果から、銅塊を亜鉛で挟むように配置して加熱する方法が、最も内側まで真鍮が生成されやすい条件であることが分かった。



左から (d), (e), (f)

## 4. 参考文献

矢野新 他, 第42回化学クラブ研究発表会, p. 42

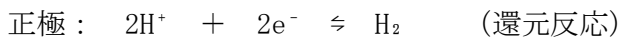
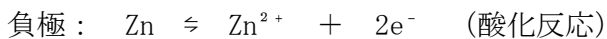
# 「Al-Zn 電池の逆転現象について」

山梨県立甲府南高等学校 物質化学部

○太野信之○渡邊凜子○伊藤柑太○角田佑悟

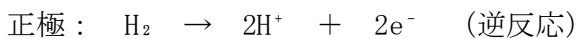
## 1. 研究目的

中学校で学んだボルタ電池の構造について、高校で扱える材料を活かして発展した研究を行いたいと考え他の金属を電極として、他の電解液で実験したらどのようなになるのか、また、ボルタ電池への理解を深めたいと思い、研究を始めた。ボルタ電池とは、ボルタが 1800 年に発明した電池の原型で、亜鉛板と銅板を希硫酸に浸し導線でつないだものであり<sup>1)</sup>、反応式は以下の通り。



シンプルな構造の装置でありながら、酸化還元反応・自己放電・イオン化傾向による電子の移動・電池の分極など様々な反応が発生する複雑かつ探求しがいのある題材だ。考えられる他の影響<sup>2,3)</sup>は以下のとおり。

正極：  $\text{H}_2$ による電子の受け渡しの妨げ。



負極：  $\text{Zn}^{2+}$  濃度増加による亜鉛のイオン化の妨げ

溶液や金属の種類を変え研究・実験を進めていく中で、塩酸を溶液に使用し亜鉛とアルミニウムを用いてボルタ電池を作成した際に電流の向きが逆転したことを確認した。私たちは、逆転は溶液の液性に関するのではないかと考え、液性と逆転現象の関係を明らかにしたいと考え、研究を進めた。

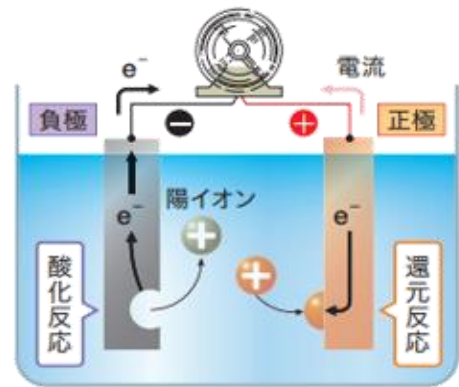


図1 ボルタ電池のしくみ<sup>1)</sup>

## 2. 研究方法

### [実験 1] 電池の電流値と電解液の液性の関係

電子がイオン化傾向と逆転することが、電解液の液性に関わるかを検証するために、水酸化ナトリウム溶液と希硫酸(水素イオン濃度と水酸化物イオン濃度で、それぞれ  $1.0 \cdot 0.5 \cdot 0.1 \text{ mol/L}$ )で電池を作成し電流値を測定した。また、水酸化ナトリウムについては、反応前後の水素イオン濃度を中和滴定で求めた。電解液濃度は「教科書のイオン化傾向から考えられる起電力の逆転現象」<sup>5)</sup>を参考にした。

なお電極に用いた金属板の大きさは  $9.5 \text{ cm} \times 1.0 \text{ cm}$ 。

### [実験 2] 亜鉛の溶解の確認

電流の逆転現象を金属板の溶解から確認したいと考え、放電後の電解液にアンモニア水、水酸化ナトリウム水溶液を加え、沈殿の有無を観察した。方法は次の通り。硫酸  $0.01 \text{ mol/L}$  で Al と Zn を使用し電池を作成し、40 分間放電した。その後、電解液に  $0.1 \text{ mol/L}$ 、 $2 \text{ mol/L}$  の水酸化ナトリウム溶液とアンモニア水を加え沈殿の有無を観察した。

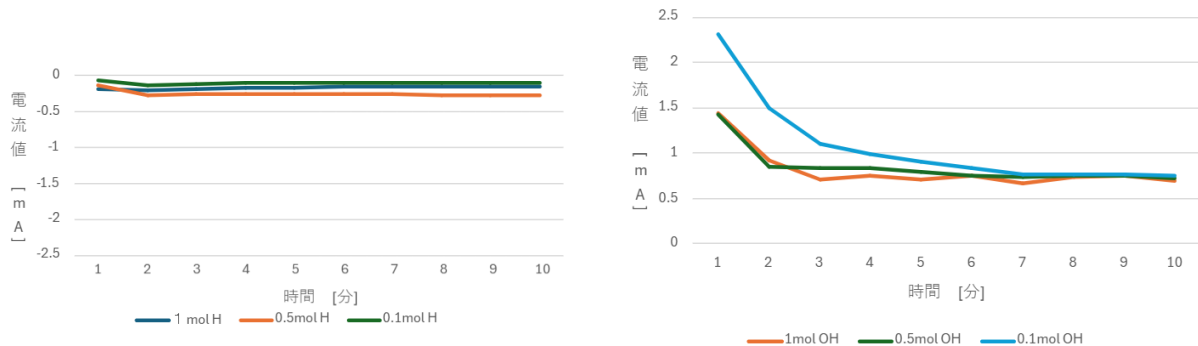
### [実験 3] 塩基性における濃度と電流の方向性の関係

実験1で塩基性では、逆転現象が起きなかったことから、塩基性について濃度ごとに電流の逆転現象の発生の有無を調べたいと考え、 $\text{pH}13, 11, 10$  の水酸化ナトリウム溶液を使用しボルタ電池を作成した。

### 3. 結果と考察

[実験 1] 電池の電流値と電解液の液性の関係性

電子の流れは希硫酸では逆転し、水酸化ナトリウムでは順流を示した。



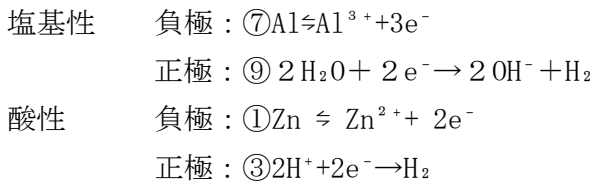
グラフ 1 酸と塩基の濃度における電流量の違い (左: 酸 右: 塩基)

また、希硫酸では水素イオン濃度の差による電流値の差は小さかったが、水酸化ナトリウム溶液の放電開始 5 分では水酸化物イオン濃度が低いほど電流量が大きくなった。

[実験 2] 亜鉛の溶解の確認

0.1mol/L アンモニア水を加えた硫酸の溶液では周期的に白濁した状態と透明の状態になった。また、2mol/L の水酸化ナトリウム水溶液・アンモニア水を加えたところ透明になった。このことより、アンモニア水ではテトラアンミン亜鉛イオンが生成し、水酸化ナトリウムではテトラヒドロキッド亜鉛酸イオンが生成したと考えられ、放電中にアルミニウム板ではなく、亜鉛板が溶解したと考えられる。

実験 1.2 より、以下の反応が両極で起きていると考えられる。



[実験 3] 塩基性の mol 濃度と電流の方向性の関係

水酸化ナトリウム水溶液を pH13 と pH11 にして電池を作った時は電流の向きが順流、pH10 にして電池を作ったときには、電流の向きが逆転したことを確認した。つまり pH10 と 11 の間で電流の向きが逆転するということが分かった。

### 4. 展望

pH10~11 で電流が逆転する理由を明らかにするために、電解液の濃度ごとの標準電極電位を測定してみたい。

### 5. 参考文献・先行研究

- 1) 化学基礎 academia, 実教出版, 2022, pp.178
- 2) 卜部吉庸, 化学の新研究, 三省堂, 2018, pp.320-322
- 3) 坪村宏, 教科書の記述を考える, 化学と教育 46 巻 10 号, 1998, pp.632-635
- 4) サイエンスビュー 化学総合資料, 実教出版, 2025, pp.96-97
- 5) 兵庫県立宝塚北高等学校, 教科書のイオン化傾向から考えられる起電力の逆転現象, Materia Japan, 60 号, pp517-518, 2021

# 電気花火Ⅲ

跡見学園高等学校 科学部 ○佐保 初音（高2）

## 1. 動機及び目的

小学生の時に家族で花火をした際、電気花火の火花に色がついていないのを見て、火花も散って色のはっきりしている電気花火があったらいいと思い研究を始めた。

今回の実験では、紙製のこよりを保管する際により扱いやすく、かつ破損しないように糊などを使って改良することと、黒色火薬の調合割合の見直すことを目的とした。

## 2. 実験方法

**準備物品** ホーロー製トレイ、スタンド、マッチ、ガスバーナー、乳鉢、乳棒、仮名用半紙、黒色火薬(硝酸カリウム:硫黄:炭素)、もち米、白玉粉、木工用ボンド

**実験Ⅰ** (固定のために使用する糊の種類による違い)

- (1) 仮名用半紙(幅2cm, 長さ6cm)を短い方の辺で半分に折り、これをよってこよりとした。以下、これを「こより」と呼ぶ。このこよりに糊を塗り、余分な糊はこよりを細い紙ずつを通すことによってこそぎ落とした。
- (2) 仮名用半紙(幅2cm, 長さ6cm) <以下、これを「紙平ら」と呼ぶ>の両面に、薬さじで糊を塗り、余分な糊は薬さじの柄でこそぎ落とした。
- (3) 「こより」と「紙平ら」の下部から点火し、燃え尽きるまでのその燃焼時間を測定した。なお、使用する糊は、米糊、白玉粉糊、木工用ボンドを使い、糊を塗らない場合も燃焼時間を同様に測定した。

**実験Ⅱ** (黒色火薬の混合割合による違い)

- (1) 仮名用半紙(幅2cm, 長さ6cm)の最下端部(5~6cm?)に調合した黒色火薬0.030gを入れ、これをよってこよりとした。なお、使用する黒色火薬は、以前の研究で使っていた硝酸カリウム:硫黄:炭=6:3:1の火薬(旧火薬)と、硝酸カリウム:硫黄:炭=15:2:3の火薬(新火薬)を用いた。
- (2) このこよりの上端をテープでスタンドに固定し、下端にマッチで火をつけ、ドラフト内で燃焼させ、燃焼時間を測った。なお、火が消えた場合はそのまま着火して再度燃焼させた。燃焼の様子は花火の正面から動画で記録し、動画データを用いて様子を観察した。

## 3. 結果

実験Ⅰの結果は、右の表1の通りとなった。米糊、白玉粉糊はどちらも形状ごとの燃焼時間の違いが大きくなかった。しかし、米糊の場合は平らな紙片と比べて、こよりでの燃焼時間が短くなり、白玉粉糊では長くなった。ボンドを塗布した場合、こよりでは点火することができず、紙片だとボンドが固まったものが急激に燃焼し半紙が遅れて燃えているような状態になった。

(表1) 糊の種類と形状別の燃焼時間の違い

糊の種類	こより	紙平ら
米糊	14 s	15 s
白玉粉糊	16 s	15 s
ボンド	火がつかない	計測不可
なし	11 s	2.0 s

実験Ⅱでは、右の表 2 に示す通り、新火薬よりも旧火薬の方が炎は激しくなった。しかし、新火薬では大きな火花は散らなかったが、旧火薬では火花剤を入れていないのに火花が散っていた。

(表 2) 火薬の種類と燃焼時間の違い

火薬の種類	時間	燃焼の様子
旧火薬	7.13 s	激しく火花が散った
新火薬	14.2 s	火球ができた

#### 4. 考察

実験Ⅰで、米糊のような生産の際に混ぜ物が少ないものの方が、燃焼時間は短くなっていた。これは、米糊と白玉粉加熱方法が影響しているのではないかと考えられる。米糊は餅米を炊いたものを潰しているが、白玉粉糊は加熱前に餅米を粉にしている。餅米の形状の違いが、米糊と白玉粉糊の性質に違いを持たせている。また、木工用ボンドの場合は火がつかなかったが、これは、主成分である酢酸ビニル系樹脂が熱可塑性樹脂であり、高温環境下では軟化して半紙を覆ってしまい、空気が遮断されしまうためだと考えられる。

実験Ⅱでは、旧火薬の方が燃焼は激しいと分かった。一方で、新火薬は火薬自体から火花が飛ばないことがわかった。

#### 5. 今後の展望

米糊、白玉粉糊の製造方法において、非加熱のものと加熱したもの、水の分量を変えたもの、練った回数等の条件を細かく調整し、再度記録を取っていきたい。また、火薬の調合割合については、硝酸カリウムと炭素の比率を再度調整し、実際に色火剤、火花剤と合わせて花火にしたものでも記録をとっていきたい。

#### 6. 参考文献

- 1) 池田莉菜, 佐保初音, 腰川まどか, 酒井円花, 「電気花火」, 2022 年 2 月 23 日, 生徒理科研究発表会研究紀要
- 2) 佐保初音, 「電気花火Ⅱ」, 2025 年 3 月 25 日, 第 42 回化学クラブ研究発表会予稿集
- 3) 化学と歴史のネタ帳, “黒色火薬の歴史(1):火薬と花火”, Hatena Blog, <https://omizu-water.hatenablog.com/entry/2022/03/06/200000>, (参照 2026-01-30)
- 4) セメダイン株式会社, “接着剤はどうやって選ぶ? 接着剤カタログの読み方を知る! ~性能編~ | 接着剤の基礎知識”, CEMEDINE Style, (公開 2023-01-25), [https://www.cemedine.co.jp/cemedine\\_reports/basic3-catalog1.html](https://www.cemedine.co.jp/cemedine_reports/basic3-catalog1.html), (参照 2026-01-30)

# 『アントシアニンを用いた pH 試験紙の作成』

東海大学附属市原望洋高等学校

○ 佐粧 拓斗 鈴木 美和 立川 蒼大 戸井田 泰貴

## 【動機】

アジサイの花の色は、土壌の pH によって変化することが知られており、その主な要因がアントシアニンの性質にあることを学んだ。そこで、アントシアニンをろ紙に染み込ませ、pH の異なる溶液に浸すことで、簡易的な pH 試験紙として利用できるのではないかと考えた。本実験では、アントシアニンが示す色の変化を観察し、検証することを目的とした。

## 【目的】

- ① ブルーベリーパウダーからアントシアニンを抽出し、それをろ紙に染み込ませることで簡易的な pH 試験紙を作成する。
- ② pH の異なる水溶液を試験紙に作用させ、アントシアニンの色の変化を観察することで、自作した pH 試験紙の有効性を検証する。

## 【原理】

アントシアニンは、分子構造が溶液の pH によって変化する性質をもつ色素であり、その構造変化に応じて吸収する光の波長が変わるため、見える色が変わる。

酸性条件では、アントシアニンに水素イオン  $H^+$  が結合して「フラビリウムカチオン」という構造が安定し、青～緑の光を吸収して赤色を呈する。一方、塩基性条件では水素イオンが外れ、「キノイド型」と呼ばれる構造が形成され、緑～赤の光を吸収するため青色を示す。

中性付近では、アントシアニンがさらに別の構造（カルコン型や中性キノイド型）へと平衡的に変化する。これらの構造は二重結合が連続した共役系をもつため、より長波長の光（緑付近）を吸収し、紫色として観察される。

このように、アントシアニンは pH に応じて分子構造と光吸収特性が変化するため、色の違いを利用して簡易 pH 判定が可能となる。

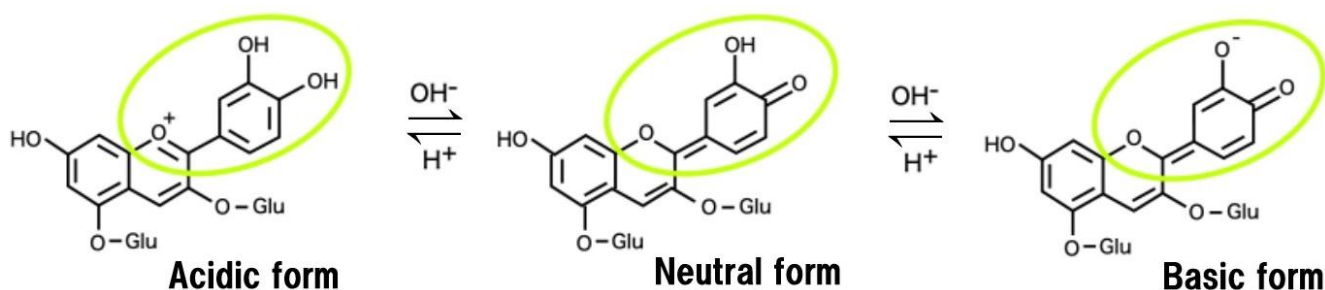


図1 アントシアニンの変化








## 【実験操作】

- ① ブルーベリーパウダー3.5g を蒸留水 400mL に溶解してアントシアニン溶液（飽和）を調製した。この溶液をろ紙に均一に染み込ませ、室温で1日乾燥させて pH 試験紙を作製した。
- ② 作成した試験紙に、水酸化ナトリウム水溶液および塩酸を作用させ、pH による色の変化を観察した。また、色変化の差をより明確に比較するため、異なる濃度となるよう水溶液の希釈を行った。








## 【結果】

実験で得られた色の変化を表1にまとめた。また、各試験紙の色について、撮影画像からRGB値(Red・Green・Blueの三原色値)を算出し、数値として比較できるようにした。RGB値を用いることで、目視だけでは判断しにくいわずかな色の違いも定量的に評価できるようになった。

表1 各試験紙のpHによる色の変化

pH	pH=1	pH=2	pH=3	pH=4	pH=5	pH=6	pH=7
試験紙							
R	153	147	155	148	139	140	145
G	86	87	113	109	104	101	98
B	83	84	133	130	124	120	126

pH	pH=7	pH=8	pH=9	pH=10	pH=11	pH=12	pH=13
試験紙							
R	145	156	149	152	63	74	103
G	98	112	108	110	88	94	107
B	126	135	128	130	92	88	88

## 【考察】

RGB値を比較した結果、pH=1および2ではGとBの値が他の条件に比べて低く、Rの値が高い傾向が見られた。このため、試験紙は赤色が強く認識されると考えられる。

pH=3~10ではRとBの値が相対的に高く、Gの値が低い傾向を示した。この組み合わせは紫色として知覚されやすく、広いpH範囲で類似した色調となった。

一方、pH=11および12ではRが低く、G・Bが高い値を示したため青色寄りの色が認識されると考えられる。pH=13ではR・Gが高くBが低いいため、より緑色に近い色が発現した。

しかし、pH=1と2の間、およびpH=3~10の間、さらにpH=11と12の間では、RGB値の差が小さく色調の差異がほとんど認められなかった。これらの結果から、本研究で作成したアントシアニン試験紙は、広いpH範囲において色の変化が十分に区別できるとは言い難く、現状ではpH試験紙として実用することは困難であると考えられる。

## 【展望】

作成した試験紙を1週間保管すると色の反応が大きく変化したため、現状の方法では長期保存が困難であることが分かった。今後は、遮光や乾燥剤の使用など、アントシアニンの劣化を抑える保存方法を検討する。

また、pH=3~10で色調が似ており判別が難しかったため、pH緩衝液を用いたより詳細な測定や、補助色素・金属イオンによる色変化の強調も今後の課題としたい。

さらに、RGB解析は有効だが光条件に影響を受けやすいことが分かった。撮影環境の統一や色補正、HSVなど別の色空間の利用を検討し、より安定した色識別方法を探っていきたい。

## 【参考文献】

- 株式会社シクロケムバイオ「植物色素アントシアニンについて (1) アントシアニンの色と健康機能性」  
[http://www.cyclochem.com/cyclochembio/watch/watch\\_101\\_01.html](http://www.cyclochem.com/cyclochembio/watch/watch_101_01.html)

# 金属板の酸化について

東京都立小石川中等教育学校

○郷田湊太郎 田口生真

## 【研究動機】

私達は学校の下駄箱を観察し、場所によって錆び具合が違うことに気づき（図1 学校の下駄箱）、鉄がどのような条件で錆びるのか気になり、「鉄の錆具合を調べる」（参考文献1に掲載）、という実験を追試するところから研究を始めた。

## 【研究1】 鉄板の食塩水中での酸化について

鉄のさびやすい条件を調べるために行った。食塩水中の鉄のさびについて限定し研究を進めたところ、鉄板の状況によって発生する鉄さびの種類や質量が違うことが分かった。鉄が空気にも食塩水にも触れている状態だと、一般的に鉄のさびは褐色（図2）と言われているのに対して、青緑色のさび（図3）ができることが分かった。また一般的に3価の鉄さびができると言われているのに対して、できた鉄さびは主に2価の鉄であった。実験装置（図4）を作り調べたところ、その原因は鉄の空気に触れている部分と触れていない部分の電子移動（図5）によって起きるものだと分かった。

## 【研究2】 銅板の食塩水中での酸化について

鉄板と同様に銅板もこのような違いが生まれるのか気になり並行して実験を進めていたところ、イオン化傾向の小さい銅であるが、鉄に比べて質量変化が大きいことを発見（図6）し、調べていったところ、塩化銅（Ⅱ）の強力な酸化作用が確認できたので、これが原因だと考えられる。



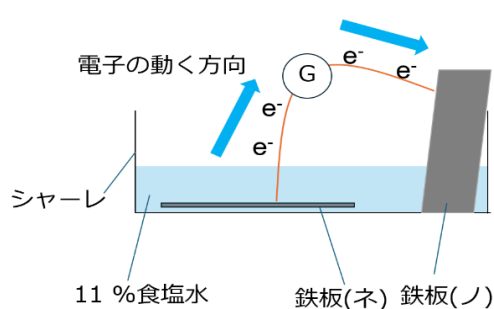
(図1 学校の下駄箱)



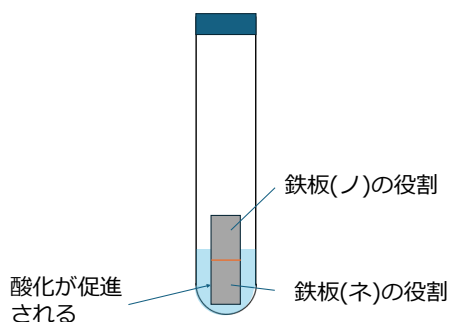
(図2)



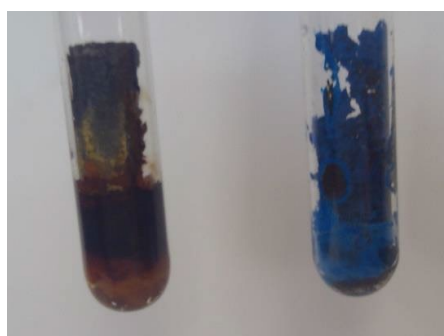
(図3)



(図4 電子移動を調べるための実験装置)



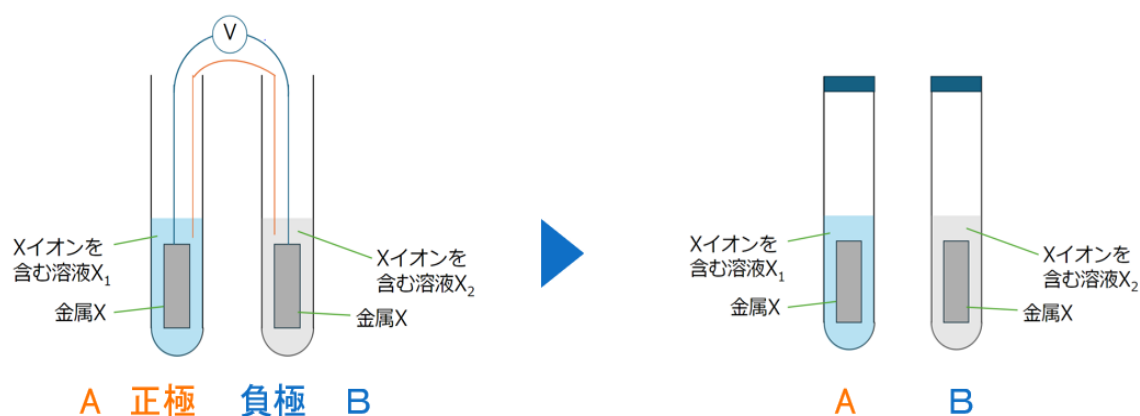
(図5 図4の状態が実際に適用される)



(図6 左が鉄のさびで右が銅のさび)

### 【研究3】 電位差とさびる質量の関係及びその展望

ダニエル電池を作り、互いの電極と溶液の状態に基づいておきる電位差によって、電極のさびる質量の関係を推測できないかと考えた。(図7 電位差とさびる質量の関係) その結果、ダニエル電池での正極側の方がよくさびた。溶液への電子の流出が多い金属板の方へと電子が流れ、金属板自体が還元されると考えられるからである(溶液への電子の流出が少ない金属板は溶液によって酸化されると同時に、溶液への電子の流出が多い金属板を還元するために電子を奪われ酸化されると考える)。さらに、2つの金属板の間での電位差と回路を外した後のさびる質量は、塩化銅(Ⅱ)など特別な溶液ができない限り、相関関係があると考え。しかし、電位差が僅かであるため、電極の表面の状態によって許容できない誤差が生まれてしまい、実験が正確とはいえない。そのため、現在電極の表面処理の方法を研究している。電極の表面処理の考えられる案として、アセトンによる表面処理、酸による表面処理、電解研磨による表面処理による表面処理などが考えられる。また、電位差がぶれる他の原因として、導線の接続場所や金属板の面積、塩橋の影響も考えられる。以上のことをそろえた上での測定をしたい。それでも正確な測定ができないのであれば、ポテンショスタットを用いた三電極法での電位差測定を考えている。(参考文献2をもとに学習を進めている) また、ORP 電極を用いた酸化還元電位の測定を用いる手段も考えたい。



(図7 電位差とさびる質量の関係)

図のような装置を作り、電位差とさびる質量の関係を調べる。

### 【展望】

- ・金属板同士の電位差とさびる質量の関係を調べる。
- ・鉄のさびの化学式は青緑色のさび(参考文献3の Green Rusts)を含め化学式が分かっていない部分が多いため、詳しい化学式及び化学反応式を明らかにしたい。
- ・金属のさびの研究の知識を活かして、金属の防錆方法の研究を進める。
- ・温度や湿度による影響を詳しく調べる。

### 【参考文献】

1. 図解 初めて化学の実験をする人のために 西山隆造著 増補改訂版 オーム社 昭和45年9月28日
2. 材料と環境 第74巻 第7号 公益社団法人 腐食防食学会著 公益社団法人 腐食防食学会 公益社団法人 腐食防食学会発行 2025年7月15日
3. 鉄さびの形成過程と構造変化 鈴木茂 東北大学 多元物質科学研究所 Zairyo-to-Kankyo, 57, 66-69 (2008)

# 鉄さびを用いた色素増感太陽電池の性能向上について

立教池袋高等学校 餅谷莉久

## はじめに

色素増感太陽電池は光触媒活性を利用して発電する太陽電池である。本来は触媒として酸化チタンを用いるが、鉄さびの一種であるオキシ水酸化鉄 ( $\text{FeOOH}$ ) にも光触媒活性があり、負極の触媒として使うことができる<sup>1)</sup>。 $\text{FeOOH}$  を触媒として用いた色素増感太陽電池の開放電圧と短絡電流値を向上させることを目的に実験を行った。実験では、 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 、 $\delta$ - $\text{FeOOH}$  を合成しそれらを触媒とした色素増感太陽電池を作成し、触媒として適しているものを検討した。そして、色素増感太陽電池の負極を作成する際、触媒をペースト状にするために用いる溶媒を検討した。

## 実験方法

### 実験 1 触媒に適した $\text{FeOOH}$ の検討

- 文献<sup>2)3)</sup>を参考に、 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 、 $\delta$ - $\text{FeOOH}$  を合成し、精度検証のため XRD 分析を行った。
- 合成した  $\text{FeOOH}$  を用いて色素増感太陽電池を作成した。

### 実験 2 分散に用いる溶媒の検討

$\alpha$ - $\text{FeOOH}$  を触媒とし、分散に用いる溶媒をジエチルエーテル、ヘキサン、*t*-ブタノール、エタノール、メタノール、エチレングリコール、水、酢酸水溶液に変更して色素増感太陽電池を作成した。

## 結果・考察

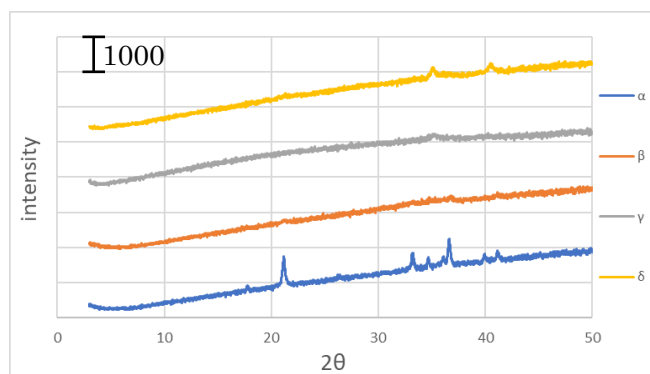
### 実験 1 触媒に最も適した $\text{FeOOH}$ の検討

XRD で得られたデータをグラフ 1 に示す。得られたピークの値と文献値を表 1 にて比較した。

$\alpha$ 、 $\delta$ - $\text{FeOOH}$  では文献値に近いピークの値が出ているため、結晶性の高いものが合成できたと考えられる。 $\beta$ 、 $\gamma$ - $\text{FeOOH}$  では文献値と同じピークの値が出ていない箇所があるため結晶性が低いものが合成されていると考えられる。

$\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 、 $\delta$ - $\text{FeOOH}$  を用いて作成した色素増感太陽電池の開放電圧、短絡電流値をグラフ 2 に示す。触媒に  $\alpha$ - $\text{FeOOH}$  を用いた場合で最も電圧、電流値が大きくなった。

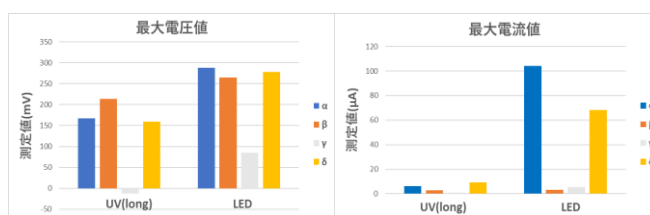
$\text{FeOOH}$  を用いた色素増感太陽電池には、触媒に  $\alpha$ - $\text{FeOOH}$  を用いることが適している。よって以降の実験では負極の触媒に  $\alpha$ - $\text{FeOOH}$  を用いる。



グラフ 1 合成した  $\text{FeOOH}$  の XRD スペクトル

表 1 合成した  $\text{FeOOH}$  のピークと文献との比較

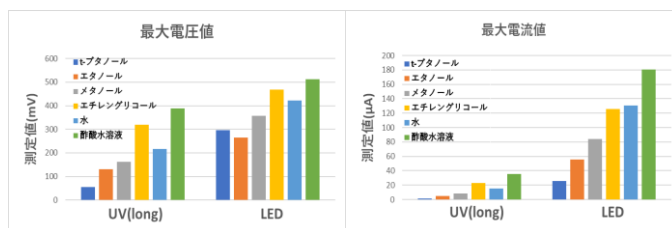
ピークの角度 (2θ)		α	β	γ	δ
		自作	22, 33~37, 40, 41	(37, 41)	37
	文献 <sup>4)5)6)7)</sup>	22, 33~37, 40, 41	12, 17, 26, 34, 35, 39, 46	14, 27, 37, 47	36, 40



グラフ 2 触媒を変更した際の電圧・電流値

## 実験 2 分散に用いる溶媒の検討

分散に用いる溶媒を変更した際の色素増感太陽電池の開放電圧、短い絡電流値をグラフ 3 に示す。溶媒の極性が大きいほど値が大きくなる傾向が見られた。酢酸水溶液を用いた場合が最も大きくなった。ヘキサン、ジエチルエーテルを用いた際は、FeOOH が分散せずペーストを作成することができず、色素増感太陽電池を作成できなかったため測定ができなかった。



グラフ 3 分散媒を変更した際の電圧・電流値

分散媒を変更し、値の変化が見られたのは、 $\alpha$ -FeOOH の構造によるものだと考えた。図 1 に  $\alpha$ -FeOOH の構造を示す。 $\alpha$ -FeOOH の表面には、矢印で示す水素と結合していない酸素がある。酢酸水溶液を用いた場合はオキソニウムイオンが、極性の大きい溶媒を用いた場合は溶媒の分子がその酸素に配位し、なじみやすくなるため FeOOH が分散しやすくなると考えた。それによって焼成した後の ITO ガラスに塗布した FeOOH 膜の表面積が増加し、電解液内のヨウ化物イオンと反応できる面積が増えるため開放電圧と短絡電流値が増加すると考えた。ヘキサンやジメチルエーテルなどの無極性溶媒を用いた場合は、水素と結合していない酸素に配位できず分散しなかったと考えた。

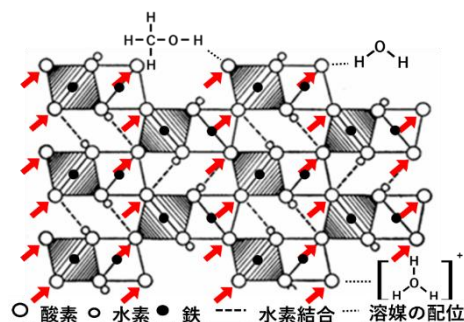


図 1  $\alpha$ -FeOOH の構造

グラフ 3 より、最も極性が大きい水よりもエチレングリコールのほうが、値が大きくなった。その要因は、エチレングリコールは水よりも粘性が大きく、ペーストの FeOOH を ITO ガラスにより均一に塗布することができるようになり、電解液に電子を渡しやすくなるためだと考えた。

FeOOH のうち、 $\alpha$ -FeOOH が色素増感太陽電池の触媒に適していることが分かった。FeOOH を分散する溶媒を工夫することで色素増感太陽電池の開放電圧と短絡電流値を向上させることが可能であり、酸や極性が大きい溶媒を用いることで FeOOH が分散しやすくなり、焼成後の ITO ガラスに塗布した FeOOH 膜がより多孔質なものになるため値が向上することが分かった。また、粘性が大きい溶媒を用いることで ITO ガラスに分散後のペースト状の FeOOH を均一に塗布できるため値が向上することが分かった。

## 参考文献

- 1) 「赤さびから発電」の発見 電力技術研究所 材料技術 G 材料 T
- 2) 日本化学会編、1976、『3.3 金属の酸化物 II d.  $\delta$ -FeO(OH)』、『新実験科学講座 8』、丸善、p294、295
- 3) 岡本祥一、1964、『 $\delta$ -FeOOH の生成及び分解』、『工業化学雑誌』67 11、p1850-1855 ff
- 4) Hyeoksun Choi, Sanghwa Oh, Water 2020, 12, 1202, pp. 3
- 5) E. A. Deliyanni, E. N. Peleka, Int. J. Environmental Technology and Management, Vol. 12, Nos. 2/3/4, 2010 pp. 372
- 6) Y. B. Sun, S. T. Yang, G. D. Sheng, Q. Wang, Z. Q. Guo, X. K. Wang, Acta 100, 779-784 (2012) / DOI 10.1524/ract.2012.1942, pp. 780
- 7) Mössbauer spectroscopy of frozen solutions as a stepwise control tool in preparation of biocompatible humic-stabilized ferroxhyte nanoparticles A. Yu. Polyakov, T. A. Sorkina, A. E. Goldt, D. A. Pankratov, I. V. Perminova, E. A. Goodilin, Springer Science+Business Media Dordrecht 2013, pp. 115
- 8) 井上勝也、1983、『日本金属学会会報』22 巻 11 号 p. 939-94