

# 高吸水性ポリマーを利用した電気分解

- 植物色素ゲルを電解質として用いて -

越坂 直広

高吸水性ポリマーという新素材に、ブルーベリーや紫キャベツから抽出したアントシアニン、カレー粉（ターメリック）から抽出したクルクミンという身の回りにある植物色素を吸収して得られるゲルを電解質として用いて電気分解することにより、生徒が「酸化還元反応の例としての電気分解」や「イオン」について興味・関心をもって学び、化学的に考察する能力と態度を身に付けることができる方法について検討した。

[キーワード] 高等学校理科 電気分解とイオン 新素材 高吸水性ポリマー 身近な指示薬

はじめに

高い吸水性とすぐれた保水性を有することから高吸水性ポリマーは紙おむつや携帯トイレのみならず鮮度保持剤、保冷剤、カイロ、廃液の固化、土壌保水剤（砂漠での緑化の土作りなどへの利用）、植物保水剤（図1）、人工雪、地盤安定剤（粘土固化）等色々な方面で幅広く活用されており、今後もその利用の幅が広がることが予想される。このポリマーには、アクリル酸ナトリウム-ビニルアルコール共重合体、あるいは今回使用したアクリル酸ナトリウム系重合体の架橋物などがあり、自重の数百倍～千倍もの水を吸収し長時間にわたってその水を保持し、膨潤したゲルは多少の圧力では離水しない。ここでは高吸水性ポリマーに身の回りにある植物色素の抽出液を吸収させ電解質として用い、新学習指導要領の高等学校化学における電気分解の実験等への利用について検討した。



図1 植物の保水剤としての利用  
(高吸水性ポリマーに肥料(尿素)を添加)

1 高吸水性ポリマーを用意する

A モノマー（アクリル酸）からの重合  
準備

アクリル酸、水酸化ナトリウム、過酸化ベンゾイル、分散剤（市販の分散剤スパン83）、四塩化炭素、ガラス棒、ろ紙、ビーカー（100ml、500ml）、ガスバーナー

方法

- (1) ビーカー（500ml）に水30mlを入れ、アクリル酸10g、水酸化ナトリウム50gを加えて溶かす。
- (2) ビーカー（100ml）に四塩化炭素30mlを入れ、過酸化ベンゾイル0.1g、分散剤1.0gを加えて溶かす。
- (3) 方法(1)と(2)の溶液を混ぜ合わせ、ガラス棒で激しく攪拌する。
- (4) 方法(3)のビーカーをおだやかに加熱し、約30分間攪拌を続けた後、ビーカーの壁に付く白色のポリマーをガラス棒でビーカー内にかき落とす。
- (5) 方法(4)のポリマーをこぼさないようにして、溶液部分をビーカーから除く。
- (6) ポリマーをろ紙に載せ乾燥させる。

参考

原料を溶液中に油的状に分散させるこの方法を粒状重合、真珠（パール）状重合という。

**B 紙おむつや携帯トイレから取り出す準備**

紙おむつや携帯トイレなど、はさみ、ビニール袋

**方法**

- (1) 高吸水ポリマーを含むもの（紙おむつや携帯トイレなど）の表面の防水シート部分をはがし取り、はさみでだまかに切る。
- (2) ビニール袋に方法(1)を入れ、良く揉む。
- (3) 袋の下にたまった白い粉末を取り出す。

**参考**

- (1) この方法はA、Cと比較し生徒に興味・関心を喚起させられるので推奨する。
- (2) 紙おむつや携帯トイレから約3～6gの高吸水性ポリマーを取り出すことができる。

**C 市販の薬品を購入する**

アクリル酸ナトリウム重合体、アクリル酸ナトリウム-ビニルアルコール共重合体などは、比較的安価で販売されている。

**参考**

高吸水性ポリマーは塩類水溶液によってゲル化が阻害されるが、その場合には耐塩水型のものを使用するとよい。

**2 高吸水性ポリマーを使った実験**

高吸水性ポリマーが吸水後に生成するゲルは陰陽両イオンを含むため導電性を有している。そのため電解質を添加しなくても吸水ゲルのみで水の電気分解ができる利便性がある。

**A 水の電気分解（電極：炭素棒）**

**準備**

定電圧装置、炭素棒（黒鉛）、色素抽出液（ブルーベリー、紫キャベツ、カレー粉のエタノール抽出液）、PP（フェノールフタレイン溶液）、BTB溶液、高吸水性ポリマー、みの虫クリップ付リード線、ビーカー（100ml）

**方法**

- (1) ビーカーに－PP溶液を20ml、水80mlをとり、0.5gの高吸水性ポリマーに吸収させる。

- (2) ビーカー中のゲルに炭素棒をビーカーの壁面付近に2本、約5cm間隔で立てる。
- (3) 定電圧装置とビーカー内の炭素電極を、みの虫クリップ付リード線で接続する。
- (4) 方法(3)のビーカー内に10Vの電圧をかけ変化を観察する。
- (5) 電気分解後のビーカーの炭素棒を抜き、両極の空隙にBTB溶液を添加する（図2）。



図2 PPとBTBを添加する

- (6) ビーカーにそれぞれブルーベリー、紫キャベツ、カレー粉のエタノール色素抽出液20ml、水80mlずつをとり、それぞれ0.5gの高吸水性ポリマーに吸収させ、方法(2)～(4)と同様の操作を行う（図3）。



図3 水の電気分解の様子  
（カレー粉（ターメリック）抽出液）

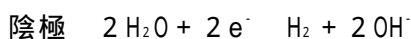
**結果と考察**

両極付近のゲル中で泡状の気体（酸素と水素）の発生が水溶液の場合より一層はっきりと確認される。陰極の周りでは水素イオンが還元され水素ガスとなって減少する。そこで相対的に水酸化物イオンが増えてアルカリ性となる。一方、陽極の周りでは水酸化物イオンが酸化され酸素ガスとなって減少する。そこで相対的に水素イオンが増えて酸性となる。従ってフェノールフタレインを指示薬に添加した電気分解で

は陰極の周りが赤色に，電解後に加えた B T B 溶液で陽極の周りは黄色，陰極は青色となる。ブルーベリーの抽出液を用いた場合，陽極は赤色，陰極は濃緑色となる。紫キャベツの抽出液の場合は陽極は赤色，陰極付近が黄色，遠ざかるにしたがい次第に緑色になっていくのがはっきりと判り水酸化物イオンの濃度の傾斜がゲル中では効果的に確認できる。カレー粉の抽出液の場合は陰極が濃い赤色となる。

#### 参 考

- (1) クルクミンはカレー粉より市販のターメリックを使った方が効率よく抽出できる。
- (2) 教室などで行う場合，定電圧装置を使わなくても 9 V の電池で十分電気分解が可能である。
- (3) 両極での電極反応を以下に示す。



#### 参考資料

ブルーベリーや紫キャベツ及びカレー粉に含まれる色素とその抽出液の作り方

身近なアントシアンなどの植物色素は生徒の興味を引くばかりではなく酸・アルカリでの色調変化が鮮やかでかつ明確であり，指示薬として有用である。ここでは，最も簡便で迅速な方法としてエタノールでの抽出を行った。

#### ・アントシアン（配糖体はアントシアニン）

花などの赤・紫・青をあらわす色素で，ハツカダイコンの根，ブルーベリー，紫キャベツ，ぶどう，ダリアの赤葉，赤シソ，紅葉した葉等に含まれる色素。酸性で赤が強く，アルカリ性になると緑さらにアルカリ性が強くなると黄色になる。高吸水性ポリマーの電気分解ではこの色の変化がグラデーションで判る。また，この色素は中性～アルカリ性で不安定であり，アンモニア水を加えると緑からすぐに黄色になるなど酸化重合し速やかに褐色化する色素である。しかし，ここで使用したゲル中では 1 週間以上の間安定な状態であった。

抽出方法～水洗いしたブルーベリー（または

ナイフ等で刻んだ紫キャベツ）をエタノールに浸け放置する。その後色素が抽出されたら，ろうとに脱脂綿を少量詰めてろ過する。

#### ・クルクミン

古来から酸性媒染による「紅花染」の下染めとして「くちなし」とともに繁用されてきた色素。カレー粉の中には香りの原料として重要なウコン（ターメリック）という植物の根をすりつぶした粉末が入っている。この中にはジケトンの一種である黄色のクルクミンが入っていて，アルカリ性で赤くなる性質をもっている。この色素はアルカリ性の判定以外にもホウ酸の検出にも使うことができる（クルクマ試験紙）。

抽出方法～カレー粉（またはターメリック）をエタノールに浸け放置する。その後色素が抽出されたら，ひだ付る紙を使つてろ過をする。時間のない場合はデカントをしてもよい。

#### 参 考

高吸水性ポリマーを用いると電極は固定する必要がなく直接ゲルに差し込むだけで良いので非常に簡便である。また電極はピーカーの壁面付近に設置すると変化の様子を観察し易い。

#### B 水の電気分解（電極：銅板）

##### 方 法

電極に銅板（1.0cm × 4.5cm）を，電解質に紫キャベツの抽出液を用い，A でおこなった水の電気分解の方法(1)～(4)と同様の操作を行う。

##### 結果と考察

ゲル中では，陰極付近が黄色，遠ざかるにしたがって緑色～青色と水酸化物イオンの濃度の傾斜が非常に鮮明に確認できる（図 4）。陽極付近では銅極自身が溶解して銅イオンの青色が確認されるものと予想したが実際には青白い沈殿物が極付近に生成するのが確認された（図 5）。この沈殿は加熱すると黒色沈殿（CuO）を生じ，アンモニア水を加えると深青色溶液（ $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ ）となったことから水酸化銅が含まれているものと考えられる。これは，ポリマーゲル中では銅イオンの溶出速度が遅く，

拡散時間を要するため陽極上で還元して、引き寄せられた水酸化物イオンと銅イオンで水酸化銅になったものと考えられる。

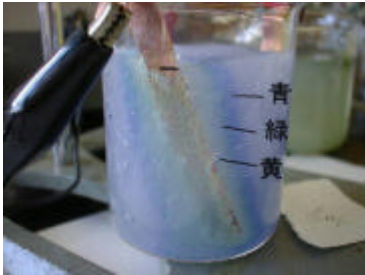


図4 陽極の様子



図5 沈殿物の生成

### C 食塩水の電気分解

#### 準備

定電圧装置，炭素棒（黒鉛），1%食塩水，色素抽出液，高吸水性ポリマー，ビーカー（100ml），D・P・D試薬，みの虫クリップ付リード線，

#### 方法

- (1) ビーカーにAと同様に色素抽出液20ml，食塩水80mlずつをとり，各々2.5gの高吸水性ポリマーに吸収させる。塩分濃度があるためゲル化には水だけの場合の約5倍量のポリマーを要する。
- (2) ビーカー中のゲルに炭素棒を2本，約5cm間隔でビーカーの壁面付近に立てる。
- (3) 定電圧装置とビーカー内の炭素電極を，みの虫クリップ付リード線で接続する。
- (4) 方法(3)のビーカー内に10Vの電圧をかけて変化を観察する。
- (5) 1%食塩水100mlにN，N-ジエチル-p-フェニレンジアミン硫酸塩・無水硫酸ナトリウム（D・P・D試薬）4gを溶かし方法(2)～(4)と同様の操作を行う。

#### 結果と考察

陽極には塩化物イオンが集まり塩素が発生し，塩素臭も明確に感じられる。また，陽極の周りでは紫キャベツやカレー粉指示薬のゲルが完全な白色となり塩素の漂白作用がはっきりと認められる。方法(5)の実験では，陽極付近がピンク色となり塩素発生の確認ができる。

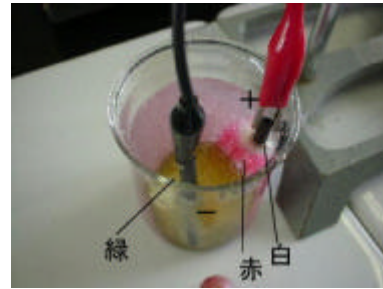


図6 塩素の漂白作用  
(ブルーベリー抽出液)

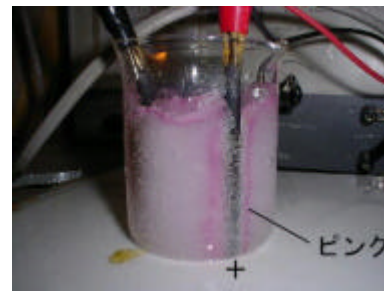


図7 D・P・D試薬で塩素の検出

#### 参考

方法(5)で用いたN，N-ジエチル-p-フェニレンジアミン硫酸塩・無水硫酸ナトリウム（D・P・D試薬）は残留塩素が多いほどピンク色の発色が濃くなる試薬で，遊離残留塩素を測るパケットテストの中身の成分でもある。現在，浄水器の交換時期を判断するものとしてホームセンターなどでも安価で販売されている。その他，塩素ガスの発生にはヨウ化カリウムデンプン紙をかざし青色に変化することでも確かめられる。

#### 留意点

発生した塩素は有毒なので吸引しないように喚気に気を付ける。吸引した場合はチオ硫酸ナトリウムを水に溶かしてうがいをするといよい。



#### D 塩化銅( )水溶液の電気分解

##### 方 法

- (1) ビーカーに0.01%塩化銅( )水溶液100mlをとり、1.0gの高吸水性ポリマーに吸収する。
- (2) あとはAの方法(1)～(4)と同様の操作を行う。

##### 結果と考察

陰極の周りには銅の析出が認められた。陽極には青白い沈殿物が極付近に生成した。この沈殿は、銅電極を用いた水の電気分解の場合と同じく、ポリマーゲル中で銅イオンの溶出速度が遅くなり、陽極上で還元して引き寄せられた水酸化銅イオンと銅イオンで生成した水酸化銅であると考えられる。

#### E 0.1Mヨウ化カリウム水溶液の電気分解

##### 準 備

定電圧装置、炭素棒(黒鉛)、0.1Mヨウ化カリウム水溶液、0.5%デンプン溶液、高吸水性ポリマー、ビーカー(100ml)、みの虫クリップ付リード線、ホットプレート、ドライヤー、マイクロシリンジ、ビタミンC(アスコルビン酸)

##### 方 法

- (1) 100mlビーカーに0.1Mヨウ化カリウム水溶液50ml、0.5%デンプン溶液50mlをとり1.5gの高吸水性ポリマーに吸収させる。
- (2) あとはAの方法(1)～(4)と同様の操作を行う。
- (3) ホットプレートとドライヤー等を用いてビーカーを加熱する。
- (4) 水に溶かしたアスコルビン酸を注射器を使って陽極付近に注入する。
- (5) 改めて方法(1)、(2)を行う。陽極が青紫に呈色してきたら定電圧装置の+ -の接続を逆にして電気分解をし、変化を観察する。



図8 陽極の様子



図9 ビタミンCの添加

##### 結果と考察

方法(3)では青紫色が茶色に変化する。これは加熱により分子運動が激しくなり、ヨウ素分子がらせん構造から出るためにヨウ素デンプン反応による青紫色からヨウ素分子の茶色に変化するものである。このとき、低温にするとまた青紫色に呈色するのが確認できる。この実験は小学校から学習しているヨウ素デンプン反応の知識をさらに一層深める目的の他にも、分子の挙動が身近に感じられる現象として良い教材になると思われる。また、方法(4)ではヨウ素がビタミンCによって還元され完全に無色となる。このとき、ビタミンCを含むお菓子(タブレット状のものが良い)を利用するとより生徒の興味・関心を引きつける。また(5)では逆の変化がおきて陽極の青紫色が消えていく。この一連の実験はビタミンCの還元性のみならず、酸化と還元全般、電子の流れ等の理解において効果的な教材と考える。

### 3 化学マジックなどへの利用

高吸水性ポリマーは、電気分解や新素材の学習の他にも浸透圧や塩の学習、授業の導入段階における化学への興味付けにも有効である。

#### 準備

ポリスチレンコップ（カップめんの容器など白色のもの）、スプレー糊、食塩、サンポール

#### 方法

- (1) 事前にコップの内側にスプレー糊を吹きつけ、その上に高吸水性ポリマーを塗布する。
- (2) コップに水を入れ、逆さにするとどうなるかを考えさせてから、コップを逆さにする。
- (3) 吸収された水を取り出す方法を考えさせる。

#### 結果と考察

- (1) 方法(3)では、食塩や酸を加えることにより吸収されていた水が放出される。この現象について生徒には段階的に考えさせ、浸透圧の観点から「なめくじに塩」「青菜に塩」の話の例示したり、カルボン酸ナトリウム基があることを示し、弱酸の塩に強酸を加えると弱酸が遊離することなど教科書の内容を基に考えさせると良い。加える酸には身近なサンポール(9.5%塩酸)を用いる事を薦めたい。

#### 参考

高吸水性ポリマーは、吸水前は、高分子の長い鎖が絡み合い、ところどころで分子鎖同士が架橋した網目構造をとっている。高い吸水能力は浸透圧と親水基によるもので、吸水と同時にゲルの中のナトリウムイオン濃度が高く濃い塩水のような状態のため浸透圧が働いてゲル内への水の進入が促進される。また、安定であったカルボン酸ナトリウム基（親水基）は、ナトリウムイオンとカルボキシルアニオンに解離する。分子鎖のアニオン同士が電氣的に反発し網目が広げられ、その隙間に多くの水が入ってくる。カルボキシルアニオン同士はナトリウムイオンを引っ張り合うので、水分子はポリマー内部に保持される。塩酸を加えると吸収していた水が放出されるのは、カルボキシル基は塩酸より弱い酸なので、塩酸を加えるとナトリウムイオン

がポリマーから追い出されカルボキシル基はイオンではなくなり、水を引きつける力が減少するからである。食塩を加えると吸収していた水が放出されるのは、ゲル内側のイオン濃度が高いために発生する浸透圧に起因していた高い吸水力が食塩が加わることにより外側のイオン濃度が高くなり水が放出されたためである。

#### おわりに

このポリマーを用いた実験は 極めて簡単に迅速に準備ができる、ゲル状なので持ち運びが容易（教室に手軽に持っていける）、毒性がなく安全、実験後の処理も容易であるなど取り扱いや加工がしやすい、クルクミンや不安定で酸化分解し易いアントシアン色素のような植物色素もこのゲル中では安定化する、気体の発生などの化学変化や呈色を時間をかけて観察できる（実験中はもちろん実験後もしばらく安定した状態）、中間生成物や色の細かな変化など水溶液では困難な細部の観察が可能である、など適切な教材と考えられる。

高等学校では、特に中学校から移行してくる事も含め「電気分解とイオン」については今まで以上に基礎的な段階から取り扱わなければならない。今回活用した高吸水性ポリマーの様な身の周りの新素材、新しい化学物質は生徒にとって興味深いものであり、しなやかに学習に入っていける教材になると思われる。また、今後高吸水性ポリマーゲルの長所を生かして電気分解以外にも電池、化学反応とエネルギー（カイロ、冷却剤）、ゲル中でゆっくり反応が起こることを利用した中間生成物の確認など細かな反応の観察、環境学習への活用なども考えられる。

#### 参考文献

- 酒井弥 生活を楽しむ面白実験工房 pp.128-133 技報堂出版 2001  
 佐々木克敬・山内計一・花屋馨 化学と教育42巻12号 pp.83-7-840 日本化学会 1994  
 林孝三 増訂植物色素・実験・研究の手引き―第3版 養賢堂 1991  
 （こしさか なおひろ 化学研究室研究員）