

平成26年度 全国理科教育大会 東京大会

実験講習会

## 直流電源装置を用いた実験

東京都立西高等学校 守本 昭彦

平成26年 8月7日 (木) 14:30~15:30

## 1. はじめに

電解質の溶液に電極を浸して、直流電圧をかけると、電極で化学変化（電気分解）が起きて電子が移動し、電流が流れます。この反応を利用して、電極で目的の物質を合成することもできます。

また、電解質をほとんど含まない溶液に電極を浸して、直流電圧をかけると、電流はほとんど流れませんが、その際に電荷を帯びた粒子が存在すると、粒子が電極へ移動する電気泳動が起こります。

電気分解も電気泳動も、どちらも物質の性質に基づく興味深い現象です。  
今回は、それらの現象のうちのいくつかを紹介します。

## 2. 本日の実験の予定

- ・エオシン Y の簡易電気泳動（観察）
- ・メチレンブルーの簡易電気泳動（観察）
- ・電気分解による酸化鉛(IV)の合成と鉛蓄電池（実験）
- ・電気分解による酸化マンガン(IV)の合成とマンガン電池（実験）
- ・ヨウ化カリウム水溶液（ステンレス電極）の電気分解（実験）（生徒実験のプリント）
- ・電気分解による銅と亜鉛の薄膜の形成と黄銅の生成（実験）

## 3. 参考（生徒実験のプリント）

- ・硫酸銅(II)水溶液の電気分解（銅板電極）の電気分解（生徒実験のプリント）
- ・牛乳（100倍希釈）の簡易電気泳動（生徒実験のプリント）

## 実験 電気泳動

[ポイント] 水溶液の電気泳動の結果から、コロイド粒子の電荷と分子構造を関連付けられる。

### 操作1 エオシン Y の電気泳動

- (1) エオシン溶液 (エオシン Y 0.01% 溶液 : 0.05 g を 500 mL の水に分散させたもの) をシャーレ (径 90 mm) にとる。
- (2) 銅板電極 (2×2 cm) をシャーレの両端にセットし、赤黒のコードのワニグチクリップで、シャーレのガラスごと銅板をはさんで固定する。
- (3) 直流電源装置の+端子に赤、-端子に黒のリード線をつなぐ。電流をごくわずかだけ通じて、電圧を 15 V にセットする。しばらく放置し、変化のようすを観察する。

### 操作2 メチレンブルーの電気泳動

- (4) メチレンブルー溶液 (メチレンブルー 0.01% 溶液 : 0.05 g を 500 mL の水に分散させたもの) をシャーレ (径 90 mm) にとる。
- (5) 銅板電極 (2×2 cm) をシャーレの両端にセットし、赤黒のコードのワニグチクリップで、シャーレのガラスごと銅板をはさんで固定する。
- (6) 直流電源装置の+端子に赤、-端子に黒のリード線を(3)と並列につなぐ。電圧 15 V で電流をごくわずかだけ通じる。しばらく放置し、変化のようすを観察する。

### 結果のまとめ

#### [エオシン Y の電気泳動]

陽極の電極板周辺の赤色が濃くなった。エオシンは負電荷を持ち、陽極に移動した。

#### [メチレンブルーの電気泳動]

陰極周辺の青色が濃くなり、陽極周辺の色が薄くなった。メチレンブルーは正電荷を持ち、陰極に移動した。

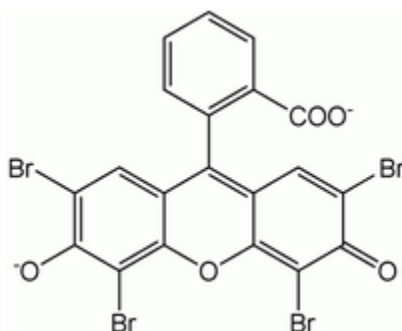


図1 エオシン Y

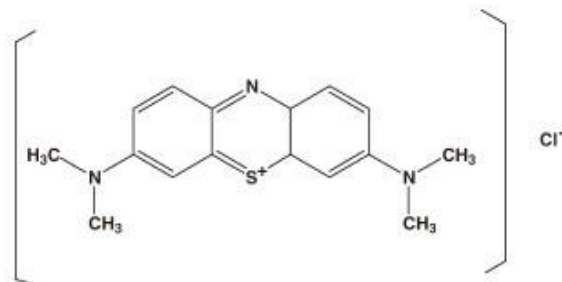


図2 メチレンブルー

### 文献

守本昭彦, 伊藤容子, 東京大会 研究発表論文 (資料) 集 第36巻 156(2014).  
「コロイドの教材としての簡易電気泳動の検討」

## 実験 酸化鉛(IV)の合成と鉛蓄電池

[ポイント] 酸化鉛(IV)  $\text{PbO}_2$  (褐色) をはっきり観察することができる。

### 操作1 鉛の化合物

- (1) 試験管に 0.1 mol/L 硝酸鉛(II)  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  水溶液を 1 mL とり、3 mol/L 硫酸を 0.5 mL 加えて、変化を観察する。
- (2) 別の試験管に 0.1 mol/L 硝酸鉛(II)  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  水溶液を 1 mL とり、2 mol/L 水酸化ナトリウム水溶液を 2 mL 加えた後、さらに 3% 過酸化水素水を 2 mL 加えて、変化を観察する。

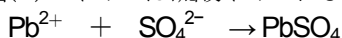
### 操作2 ステンレス板を電極(陽極)に用いた硝酸鉛(II)水溶液の電気分解

- (3) ビーカーに 0.1 mol/L 硝酸鉛(II)  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  水溶液をとり、ステンレス板(陽極)、鉛板(陰極)を電極として直流電源につなぎ、3Vの電圧で15秒間電気分解を行う。  
陽極のステンレス板の表面に付着した物質を観察する。
- (4) 陽極のステンレス板と陰極の鉛板をとりはずし、水を入れたビーカーに浸して、電極板に付着している硝酸鉛(II)をゆすぐ。
- (5) 別のビーカーに 3 mol/L 硫酸を入れ、水でゆすいだ(4)の電極板(ステンレス板と鉛板)を入れ、両極にモーターをつなぐ。  
\* モーターが止まっても、電極はしばらく 3 mol/L 硫酸中でリード線をつないだままにしておく。
- (6) 実験後の硝酸鉛(II)水溶液は、回収して処理する。

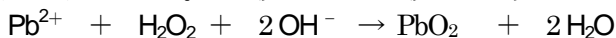
### 結果のまとめ

#### [鉛の化合物]

鉛(II)イオンは硫酸イオンによって硫酸鉛(II)の白色沈殿となった。



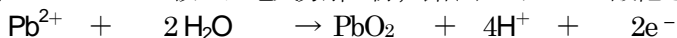
また、鉛(II)イオンは塩基性にして、過酸化水素水を加えると酸化反応によって、酸化鉛(IV)の褐色沈殿が生じた。この反応のイオン反応式は次の通りである。



なお、反応によって生じた酸化鉛(IV)は過酸化水素を分解する反応の触媒として作用するので過剰に存在している過酸化水素水が分解して酸素の気泡が発生した。

#### [ステンレス板を電極に用いた硝酸鉛(II)水溶液の電気分解と鉛蓄電池]

陽極のステンレス板では電気分解の際、鉛(II)イオンが酸化されて、酸化鉛(IV)が生じた。



陰極では鉛(II)イオンが還元されて鉛の単体が生じた。



### 文献

守本昭彦, 臼井豊和, 化学と教育, 43(12),762(1995). 「酸化鉛(IV)の合成と鉛蓄電池」

## 実験 酸化マンガン(IV)の合成とマンガン電池

[ポイント] 電気分解によって、炭素棒電極上に  $\text{MnO}_2$  を合成する。

### 操作1 酸化マンガン(IV) $\text{MnO}_2$ の合成

- (1) ビーカーに 5%硫酸マンガン(II)  $\text{MnSO}_4$  水溶液をとり、電極板ホルダーを使用して、炭素棒(陽極)、ステンレス板(または銅板)(陰極)を電極として直流電源につなぎ、3Vの電圧で3分間電気分解を行う。  
陽極の炭素棒の表面に付着した物質を観察する。

### 操作2 マンガン電池

- (2) アルミニウム・マンガン電池: アルミニウム箔の上に飽和食塩水でぬらしたキッチンペーパーをおき、その上に(1)の炭素棒 ( $\text{MnO}_2$  付き炭素棒) をおいてモーターをつなぐ。

### 操作3 酸化マンガン(IV) $\text{MnO}_2$ の触媒作用

- (3) 3% 過酸化水素水をビーカーにとり、その中に(2)の炭素棒 ( $\text{MnO}_2$  付き炭素棒) を入れて観察する。

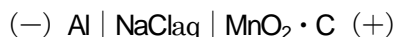
### 結果のまとめ

#### [酸化マンガン(IV) $\text{MnO}_2$ の合成]

陽極の炭素棒上では電気分解の際、マンガン(II)イオンが酸化されて、酸化マンガン(IV)が生じた。



#### [アルミニウム・マンガン電池]



#### [酸化マンガン(IV) $\text{MnO}_2$ の触媒作用]

$\text{MnO}_2$  付き炭素棒を過酸化水素水に入れると、気体 ( $\text{O}_2$ ) が発生した。 $\text{MnO}_2$  の過酸化水素分解反応の触媒作用を確認できた。

### 文献

守本昭彦, 化学と教育, 42(5),354(1994). 「酸化マンガン(IV)の合成と酸化マンガン(IV)・リチウム電池の作製」

守本昭彦, 東レ科学振興会, 第25回東レ理科教育賞受賞作品集, p.16(1994). 「酸化マンガン(IV)を中心とした実験教材の開発」

## 実験 電気分解の反応を利用した黄銅合成

[ポイント] 電気分解によって、銅と亜鉛の薄膜を形成し、黄銅を合成する。

操作1 シャープペンシルの芯を銅めっきする

(1) ビーカーに1 mol/L 硫酸銅(II)  $\text{CuSO}_4$  水溶液を入れ、直流電源(3 V)の正極と銅板を導線でつなぎ、硫酸銅(II)水溶液の入ったビーカーに浸す。

直流電源(3 V)の負極とシャープペンシルの黒鉛芯を導線でつなぎ、黒鉛芯を硫酸銅(II)水溶液にすばやく5回浸す。

(2) 銅めっきした黒鉛芯(Cu / C)はできるだけ空気に触れないように、すばやく水の入ったビーカーに入れて、付着している  $\text{CuSO}_4$  をゆすぐ。

操作2 シャープペンシルの芯を銀色にする(亜鉛めっき)

(3) ビーカーに1 mol/L 硫酸亜鉛水溶液を入れ、直流電源(3 V)の正極と炭素棒電極を導線でつなぎ、硫酸亜鉛水溶液の入ったビーカーに浸す。

直流電源(3 V)の負極と(1)で銅めっきした黒鉛芯(Cu / C)を導線でつなぎ、この黒鉛芯を硫酸亜鉛水溶液にすばやく3回浸す。

(4) 亜鉛めっき後の黒鉛芯(Zn / Cu / C)を、すばやく水の入ったビーカーに入れて、付着している  $\text{ZnSO}_4$  をゆすぐ。

操作3 シャープペンシルの芯を金色にする

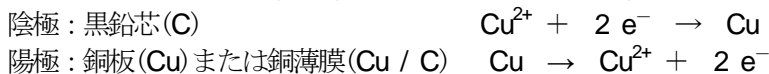
(5) 約230°Cにセットしておいたホットプレートの上に、銅と亜鉛を順にめっきした黒鉛芯(Zn / Cu / C)をおき、加熱すると、黒鉛芯の表面が金色に変化する。

結果のまとめ

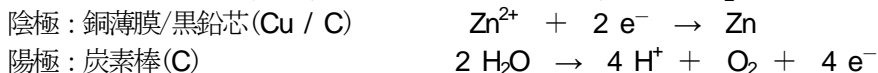
[黒鉛芯の電解めっきと黄銅合成]

この実験では、黒鉛芯の上に電析した銅と亜鉛の薄膜を加熱することによって銅と亜鉛の合金つまり黄銅(真鍮)を合成している。銅と亜鉛が薄い膜状になっていたため、黄銅を作る反応がすみやかに進行した。成功の秘けつは金属の薄膜である。

硫酸銅(II)水溶液の電気分解では、陰極で  $\text{Cu}^{2+}$  が還元され、陽極で Cu が酸化された。



硫酸亜鉛水溶液の電気分解では、陰極で  $\text{Zn}^{2+}$  が還元され、陽極で  $\text{H}_2\text{O}$  が酸化された。



文 献

守本昭彦, 化学と教育, 47(12), 828(1999). 「シャープペンシルの芯を金色に変える」

守本昭彦, 東レ科学振興会, 第31回東レ理科教育賞受賞作品集, p.9(2000).

「シャープペンシルの芯を用いた電気分解の実験と電池の実験」

## 実験 電気分解

目的 ヨウ化カリウム水溶液の電気分解の変化を確認する。さらに、銅板を用いて硫酸銅(II)水溶液を電気分解し、電流量と変化量の関係を調べる。

準備 100 mL ビーカー、銅板極板 2 枚、ステンレス棒電極 2 本、リード線 (バナナ・ミノムシ、赤・黒)、V 字管、極板ホルダー、ピンセット、ストップウォッチ、温度計、ポリスチレン製コップ、ろ紙、ミニスタンド、三脚、金網、  
0.1 mol/L ヨウ化カリウム KI 水溶液、1 mol/L 硫酸酸性硫酸銅(II)  $\text{CuSO}_4$  水溶液、フェノールフタレイン溶液、アセトン(銅板電極乾燥用 教卓で使う)

操作 1 ヨウ化カリウム KI 水溶液の電気分解 (ステンレス棒電極)

- (1) V 字管にフェノールフタレイン溶液を 1 滴入れ、0.1 mol/L ヨウ化カリウム水溶液を V 字管の高さの半分ほど入れる (溶液の使用量は約 10 mL)。
- (2) 電流つまみ(CURRENT)を半分(中央)にして、電圧つまみ(VOLTAGE)は最小(左)にしておく。V 字管の両方の口にステンレス棒電極をさし、電圧つまみを 3 V に調整すると電流が流れ始めるので、両極の変化を観察する。陰極と陽極の電極の表面および電極周辺の変化を観察されたら、すぐに電源を切る (電気分解を長時間続けないこと)。この電解後の水溶液はすべてよい。V 字管は水道水でよく洗う。ステンレス電極は洗って回収する。

操作 2 硫酸銅(II)  $\text{CuSO}_4$  水溶液の電気分解 (銅電極)

- (1) 2 枚の極板を濡らしたり、汚したりしないようにして、電子天秤で 0.01 g まで秤量する。これをすぐに記録すること。  
(No. : g) (No. : g)
- (2) 100 mL ビーカーに電解液 (1 mol/L 硫酸酸性硫酸銅(II)  $\text{CuSO}_4$ ) を 100 mL とり、加熱をする。約 80°C になったら (必ず沸騰する前に) 加熱をやめ、ポリスチレン製コップの中に置く。これは電解液が冷えないようにするためである。
- (3) 極板を極板ホルダーに取り付け、電解液に浸す。このときなるべく底まで入れて、液に浸る面積が大きくなるようにする。
- (4) リード線で極板と電源の出力端子をつなぎ、ストップウォッチを用意する。まだ、電源を入れないこと。
- (5) ここでは、電圧(VOLTAGE)を最大にして電源を入れ、できるだけ早く電流のつまみを調整して、電流計の針が正確に 1.00 A になるようにし、同時にストップウォッチを動かし、電流を流す。実験中 1.00 A を常に保つように必要に応じて電流つまみを微調整する。実験時間は正確であれば何秒でも良い。時間が長いほうが電極の変化量が大きく質量の差を測定しやすいが、最大でも 16 分 5 秒間(965 秒)までとする。他に、8 分 0 秒(480 秒)、10 分 0 秒(600 秒)など実験の残り時間を考慮して時間を決めること。この間に、予想される変化量(考察 1~4)を計算しておく。  
自分の班の 電解時間 ( 分 秒) = ( 秒)  
電流値 ( A)
- (6) 電気分解終了後、極板を外し、純水で洗い、教卓にあるアセトンの中に濡れた部分を漬けてから取り出し、空中で乾くのをまつ。アセトンは揮発性があるからすぐに乾く。
- (7) 電解液は回収して再利用する。
- (8) 銅電極が乾いたら、再び電子天秤で質量を計る。  
(No. : g) (No. : g)

操作1 ヨウ化カリウム KI 水溶液の電気分解 (ステンレス電極: ステンレスは変化しにくい)

陰極でみられた変化 \_\_\_\_\_

陽極でみられた変化 \_\_\_\_\_

操作1のイオン反応式 陰極 \_\_\_\_\_

陽極 \_\_\_\_\_

操作2 硫酸銅(II)  $\text{CuSO}_4$  水溶液の電気分解 (銅電極)

原理 電子1 mol 当り電気量は,  $9.65 \times 10^4$  C/mol で, これをファラデー定数という。

1C とは, 1A(アンペア)の電流を1s(秒)間流したときの電気量であり, 電気量  $q$  は電流  $i$  と時間  $t$  をはかれば求められる。

$$q = i \times t$$

この関係とファラデー定数を用いると, 金属の析出量は電気量に比例することがわかる。これらの関係をファラデーの法則という。

考察 電解時間 ( 分 秒 ) = ( 秒 )

(1) 流した電気量は何Cか。

式 \_\_\_\_\_

答え \_\_\_\_\_ C

(2) ファラデー定数を  $9.65 \times 10^4$  C/mol とするとこのとき流れた電子は何 mol か。

式 \_\_\_\_\_

答え \_\_\_\_\_ mol

(3) 操作2の反応式を書け。陰極

陽極

(4) 変化する銅の質量は何gか。ただし, 原子量は  $\text{Cu}=63.5$  とする。

式 \_\_\_\_\_

答え \_\_\_\_\_ g

結果

	陽 極(No. )	陰 極(No. )
初めの電極の質量	g	g
終りの電極の質量	g	g
変化量 (増加:+, 減少:-)	g	g

陰極について, 実験結果と計算で求めた値を比較する。(陽極の値の方が良い場合は陽極でも良い)

相対誤差 =  $\frac{[\text{実験結果} - \text{計算値}] \times 100}{[\text{計算値}]}$  =  $\frac{[ \quad - \quad ] \times 100}{[ \quad ]}$  = \_\_\_\_\_ %  
有効数字2桁



## 実験 タンパク質の性質

**目的** 卵白、ゼラチン、牛乳のそれぞれのタンパク質の性質を調べ、違いを確認する。

**準備** 卵白溶液(卵白を飽和食塩水で 5 倍に希釈した溶液)、1%ゼラチン溶液、牛乳溶液(電気泳動用:牛乳 1 mL を水で 100 mL に 100 倍希釈したもの)、牛乳溶液(定性実験用:牛乳 1 mL を水で 10 mL に 10 倍希釈したもの)、水酸化ナトリウム(固体)NaOH、0.1 mol/L 水酸化ナトリウム NaOH 水溶液、0.05 mol/L 硫酸銅(II)  $\text{CuSO}_4$  水溶液、6 mol/L アンモニア  $\text{NH}_3$  水、0.1 mol/L 酢酸鉛(II)  $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Pb}$  水溶液、濃硝酸  $\text{HNO}_3$ 、濃塩酸  $\text{HCl}$ 、pH 万能試験紙、リトマス試験紙(赤)、シャーレ(90 mm)、ガラス棒、バーナー

**操作 1** 牛乳の電気泳動 (実験テーブルごとに 1 台の電源装置)

牛乳溶液(電気泳動用:牛乳 1 mL を水で 100 mL に 100 倍希釈したもの)をシャーレにとる。pH 万能試験紙で、牛乳溶液(電気泳動用)がほぼ中性(pH6~8)であることを確認する。銅板電極(2×2cm)をシャーレの両端にセットし、赤と黒のコードのワニグチクリップでシャーレのガラスごと銅板をはさんで固定する。コードを直流電源につなぐ。電流つまみを最小、電圧つまみを中央にし、電源を入れる。電流つまみをごくわずかにだけ回すと電圧の針が動くので、15 V にセットする(電流つまみは絶対にこれ以上回さないこと。電気分解が起こってしまう)。

注意:この実験条件では、陽極と陰極での電気分解によって生じる電極周辺の pH 変化は、牛乳の電気泳動に大きな影響を与えないことが確認されている。

しばらく放置し変化のようすを観察する。5 分後と 10 分後の様子をプリントの裏面にスケッチせよ。電源を切り、銅板電極を溶液中に落とさないように手でもってからワニグチクリップをはずし、銅板電極を取り出す。牛乳の白い濁り(乳濁)は、陽極、陰極、どちらの極に移動したか。

**操作 2** タンパク質の構成元素

- (1) 3 種類のタンパク質水溶液(卵白溶液、ゼラチン、牛乳(定性実験用))を、3 本の試験管 A (A-1, A-2, A-3) に約 2 mL ずつとる。
- (2) 試験管 A (A-1, A-2, A-3) に水酸化ナトリウムの粒を 2 粒ほど加え、バーナーで煮沸する。激しくあわ立つのでふきこぼれに注意せよ。
- (3) 試験管を加熱しながら、試験管 A の口に湿らせたリトマス試験紙(赤)を近づけて変化を観察する。においもかいでみる。濃塩酸を 1 mL 試験管にとり、そこにガラス棒をつけて加熱している試験管の口に近づけて変化を観察する。
- (4) (3)の試験管 A それぞれに酢酸鉛(II)水溶液を 2~3 滴加えて観察する。試験管 A-1, A-2, A-3 のそれぞれの結果はどうなったか。結果に違いがあった場合は、その理由についても考察せよ。

**操作 3** ビウレット反応

3 種類のタンパク質水溶液(卵白溶液、ゼラチン、牛乳(定性実験用))を約 2 mL ずつ試験管 B (B-1, B-2, B-3) にとる。試験管 B に 0.1 mol/L 水酸化ナトリウム水溶液を 1mL 加えて、さらに 0.05 mol/L 硫酸銅(II)  $\text{CuSO}_4$  水溶液をほんのすこし (1~2 滴)加えて、よく振って変化を観察する。

また、対照実験として、タンパク質の試料のかわりに水 2 mL を試験管にとり、0.1 mol/L 水酸化ナトリウム水溶液を 1mL 加え、0.05 mol/L 硫酸銅(II)  $\text{CuSO}_4$  水溶液を 1~2 滴加えてよく振り比較する。

試験管 B-1, B-2, B-3 のそれぞれの結果はどうなったか。

#### 操作4 キサントプロテイン反応

- (1) 3種類のタンパク質水溶液(卵白溶液, ゼラチン, 牛乳(定性実験用))を約 2 mL ずつ試験管 C (C-1, C-2, C-3) にとる。試験管 C に濃硝酸 1 mL を加えて、穏やかに加熱して色の変化を見る。
- (2) 冷却後、6 mol/L アンモニア水 3 mL を加えて塩基性にして、色の変化を観察する。  
試験管 C (C-1, C-2, C-3) のそれぞれの結果はどうなったか。結果に違いがあった場合は、その理由についても考察せよ。

#### 結果と考察 (電気泳動の結果 5分後と10分後の様子 は裏面にスケッチせよ)

- 1 牛乳溶液(電気泳動用)がほぼ中性(pH6~8)であることが確認できたか。( )  
操作1の電気泳動の結果が、牛乳のタンパク質のうち約80%を占めるカゼインの電荷によるものとする、この条件のときのカゼインの電荷は、正または負のどちらであることがわかった。  
( )極へ移動したので、カゼインは( )の電荷を持つことがわかった。
- 2 1の電気泳動の結果よりカゼインの等電点の pH は「酸性側」「塩基性側」のどちらであることがわかったか。カゼインの等電点の pH は「 」であることがわかった。  
理由:
- 3 操作2で3種類のタンパク質水溶液(卵白, ゼラチン, 牛乳)についてそれぞれどのような変化が見られたか。  
3種類のタンパク質水溶液(卵白, ゼラチン, 牛乳)の構成元素について、操作2の実験結果からわかったことを、理由とともに記入せよ。
- 4 操作3で3種類のタンパク質水溶液(卵白, ゼラチン, 牛乳)についてそれぞれどのような変化が見られたか。この観察からわかったことはなにか答えよ。
- 5 操作4で3種類のタンパク質水溶液(卵白, ゼラチン, 牛乳)についてそれぞれどのような変化が見られたか。  
3種類のタンパク質水溶液(卵白, ゼラチン, 牛乳)の構成アミノ酸について、操作4の実験結果からわかったことを、理由とともに記入せよ。