

## 演示実験・生徒実験 電池の原理を確かめよう

### 1 実験のねらい・留意点

- 演示実験を通して、前時までに学習した2種類の金属間の酸化・還元反応やイオン化傾向の概念を化学電池の仕組みと結び付ける。また、化学電池の特長や歴史についても触れたい。
- 生徒実験を通して、電極上での反応をはじめ、電極間の導線中の電子の移動や電池の電解液中の電荷としてのイオンの移動のメカニズムを理解させる。
- 生徒の実情に応じて、生徒実験後に過マンガン酸カリウム水溶液と過酸化水素水の酸化還元反応を利用した電池の放電を演示して考察させ、さらに次の三点の目的の達成を図る。(ただし、演示実験プリントは、補助プリント程度にとどめる。)
  - (1) 単元「酸化剤・還元剤」と単元「電池」の学習内容を結びつける。
  - (2) 正極活物質が酸化剤、負極活物質が還元剤であることを改めて理解させる。
  - (3) 活物質になる物質が金属や金属の化合物だけでないことを認識させる。

### ■実験プリント例

#### 【演示実験】

##### [目的]

- (1) 導線と不活性な導体を用いることで、ある金属Aの板を、金属Aよりもイオン化傾向が小さい金属Bのイオンの水溶液に浸したとき、導線を電子が移動して、AとBのイオンがそれぞれ酸化・還元されることを確認する。
- (2) 導線中の電子の移動と電流の関係を理解する。
- (3) ボルタの電池を知るとともに化学電池の歴史に触れる。

#### 【生徒実験】

##### [目的]

- (1) 塩橋を用いたダニエル電池をつくり放電させることで、実用電池の構造上の特長を学習する。
- (2) イオン反応式や電池に関する用語・表現方法でダニエル電池の特徴を説明する。
- (3) 特に電池の正極での反応をしっかりと理解する。

### 2 展開例と指導上の留意点 (工夫)

	学習内容	学習活動 (☆言語活動)	指導上の留意点 (★言語活動を支援)
1 時 間 目	○演示実験	○炭素電極と導線を介して、ある金属のイオン化と別の金属イオンの結晶化が起こる現象を確認する。 ○炭素電極を銅板に交換し、ボルタの電池を学習する。	○特に正極の反応に注視させ、電極付近の溶液が還元されることを押さえさせる。

	<p>○ 演示実験結果のまとめ</p> <p>○ 電池</p> <p>○ 実用電池にするための工夫の検討</p>	<p>○ 図を用いて、金属板と炭素電極付近の反応や電子の移動を表現する。</p> <p>○ 化学電池の基本的なしくみと電池に関する化学的表現や用語を整理する。</p> <p>○ ボルタの電池や電池の歴史を知る。</p> <p>☆ 演示実験の電池の問題点とその改善方法を班ごとに協議し、文章で表現する。</p>	<p>○ 導線中の電子の移動の向きと電流の向きの関係を確認させて、電極間の電流の向きを理解させる。</p> <p>○ 負極・正極の反応と酸化・還元反応を結びつけさせる。</p> <p>(演示実験で取り上げた素材の一つを用いて、電池式等の表現を学習させる。)</p> <p>★ イオン化傾向や負極で起こる副反応の存在を示唆し、協議を深めさせる。(必要に応じて半透膜等の紹介をする。)</p>
2 時 間 目	<p>○ 生徒実験</p> <p>○ 結果の確認・考察</p> <p>○ 演示実験</p> <p>○ 一次電池のまとめ</p>	<p>○ 亜鉛板と銅板を硫酸銅(Ⅱ)水溶液に浸して電流を生じさせる。</p> <p>○ 亜鉛板を硫酸亜鉛水溶液に、銅板を硫酸銅(Ⅱ)水溶液に浸し、両液を塩橋でつないで電流を生じさせる。</p> <p>(ダニエル電池)</p> <p>○ イオン反応式を書き、酸化還元反応と電池の関係を改めて確認する。</p> <p>○ 電池及び回路中の電子の動きを図示しながら整理する。</p> <p>○ 塩橋の役割を通して、電池内の電荷の動きを正しく理解する。</p> <p>○ 過マンガン酸カリウムと過酸化水素の酸化還元反応を利用した電池を観察する。</p> <p>☆ 自身の言葉で、電池の原理を文章にまとめる。</p>	<p>○ イオン化傾向を確認させる。</p> <p>○ 極板の表面の変化を細かく観察させる。</p> <p>○ 電圧計の針の振れで、負極・正極の判断をさせる。</p> <p>○ イオンの反応や移動に着目させて電池の電解液中で起こっている現象を考えさせる。</p> <p>○ エネルギー変換について気付かせる。</p> <p>○ 塩橋と同様の目的で利用されているものも確認させる。</p> <p>○ 両極付近の物質が酸化剤、還元剤としてはたらき、それらの中で電子が移動することで電池となることを理解させる。</p> <p>★ 図でまとめたことを文章化することを促す。</p>
3 時 間 目	<p>○ 二次電池</p> <p>○ 実用電池</p> <p>○ 物理電池</p>	<p>○ 鉛蓄電池</p> <p>○ 乾電池</p> <p>○ 燃料電池</p> <p>○ 光電池</p>	<p>○ 二次電池や燃料電池の学習内容が電気分解の単元につながるように配慮する。</p>

### 3 準備（留意点）

- 演示実験で用いる水溶液の濃度が高すぎると、起電力が十分に上がらない傾向がある。
- 生徒実験で用いる塩橋は、事前に用意しておく。
- 塩橋のチューブを固定するS字フックは、100円ショップで「ステンレスピュアフック」や「フリーハンガー」として販売されている。S字の長さが約9cmのものがちょうどよい。

#### ■実験プリント例

##### 【演示実験】

###### [準備]

###### (1) 試薬類

亜鉛板、銅板（ともに15cm×5cm程度）、スチールウール、0.1mol/L硫酸銅(Ⅱ)水溶液、0.1mol/L硝酸銀水溶液、0.1mol/L塩酸

###### (2) 器具類

200mLビーカー（×3）、炭素電極（×3）、電極板ホルダー（×3）、リード線（×3組）、電圧計、電子オルゴール

##### 【生徒実験】

###### [準備]

###### (1) 試薬類

寒天、塩化カリウム

亜鉛板（×2）、銅板（×2）、0.05mol/L硫酸亜鉛水溶液、0.1mol/L硫酸銅(Ⅱ)水溶液

###### (2) 器具類

200mLビーカー（×3）、シリコンチューブ（内径8mm、長さ22cm）、電極ホルダー（×3）、S字フック、リード線（×2組）、電圧計、LED、電子オルゴール、サンドペーパー

\*以下は、塩橋を作成するために用いるので、本時は使用しない。

50mLビーカー、500mLビーカー、ガラス棒、三脚、金網、ガスバーナー

### 4 実験方法（留意点）

- 演示実験では、炭素電極に銅や銀が析出するまで多少時間がかかるので、その間に電池の仕組みや、電池に関する用語をまとめる。
- 演示実験は、CCDカメラ（またはデジタルカメラ）とプロジェクターを用いて提示するとよい。
- この実験では、塩化カリウムではなく硫酸カリウムの方が電極の反応を考える際に余計なイオン（塩化物イオン）を考える必要がないため、塩橋に用いる塩として適している。しかし実際に硫酸カリウムを用いると、塩橋中の硫酸イオンの伝搬があまりスムーズでないため十分な電流値を得られないので、塩化カリウムを用いる方がよい。

## ■実験プリント例

### 【演示実験】

#### [方法]

- (1) ビーカーAに硫酸銅(Ⅱ)水溶液150mLを、ビーカーBに硝酸銀水溶液150mLを、ビーカーCに塩酸150mLをそれぞれ入れる。
  - (2) 電極ホルダーAにスチールウール(棒状に振ったもの)と炭素棒を、電極ホルダーBに銅板と炭素棒を、電極ホルダーCに亜鉛板と炭素棒を取り付ける。
  - (3) (2)のそれぞれの炭素棒に赤色のリード線を、金属に黒色のリード線を接続する。
  - (4) ビーカーAの水溶液に電極ホルダーAの金属と炭素棒を浸し、電圧計を接続する。
  - (5) 電圧計をはずし、電子オルゴールを接続する。
  - (6) 電子オルゴールをはずし、リード線同士を接続して放置する。(ショートさせておく。)
  - (7) ビーカーBと電極ホルダーB、ビーカーCと電極ホルダーCの組み合わせについても、(4)～(6)と同様の操作を行う。
  - (8) 電極ホルダーCの炭素棒をはずして銅板に付け替え、(4)～(6)と同様の操作を行う。
- \* 電極ホルダーA～Cの金属と炭素棒を水溶液に浸したときの装置を、それぞれ「装置A」、「装置B」、「装置C」と呼び、Aの炭素棒を銅板に付け替えたものを「装置D」と呼ぶ。

### 【生徒実験】

#### [方法]

○塩橋を作成する。(今回は、事前に作成済み。)

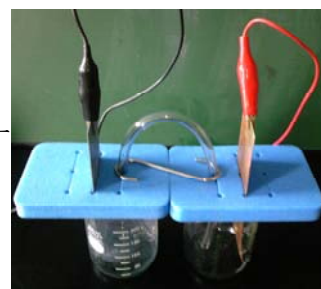
- (1) 寒天0.6gを塩化カリウム飽和水溶液20mLに加え、おだやかに加熱して完全に溶かす。
- (2) 500mLビーカーの内壁に沿ってシリコンチューブをU字型に両端の高さをそろえて固定し、(1)の溶液を溢れるまで注ぎ込む。
- (3) 放冷して、溶液が固まらせる(ゲル化させる)。

#### (A) 電池A

- (1) 亜鉛板と銅板をサンドペーパーでよく磨く。
- (2) ビーカーAに硫酸銅(Ⅱ)水溶液150mL程度を注ぎ、電極ホルダーに亜鉛板と銅板を取り付けて水溶液に浸す。亜鉛板と銅板には導線を接続する。
- (3) 導線を電圧計に接続し、起電力[V]を測定する。(負極・正極の金属板が特定できる。)
- (4) 導線をLEDに接続する。(負極・正極の接続が逆の場合、点灯しないので注意!)
- (5) 導線を電子オルゴールに接続する。(        "        )

#### (B) 電池B (ダニエル電池)

- (1) ビーカーB 1に硫酸亜鉛水溶液150mL程度を注ぎ、電極ホルダーに亜鉛板を取り付けて水溶液に浸す。亜鉛板に導線を接続する。
- (2) ビーカーB 2に硫酸銅(Ⅱ)水溶液150mL程度を注ぎ、電極ホルダーに銅板を取り付けて水溶液に浸す。銅板に導線を接続する。
- (3) ビーカーB 1の水溶液とビーカーB 2の水溶液に塩橋をかける。(塩橋のチューブを電極ホルダーを通し、S字フックで固定する。)
- (4) (A) - (3)～(5)と同様の操作を行う。
- (5) 塩橋を外し、導線を電圧計に接続し、起電力[V]を測定する。



ダニエル電池の装置

5 結果・考察等のまとめ

■実験プリント例（ゴシック体は、生徒の記入例）

【演示実験】

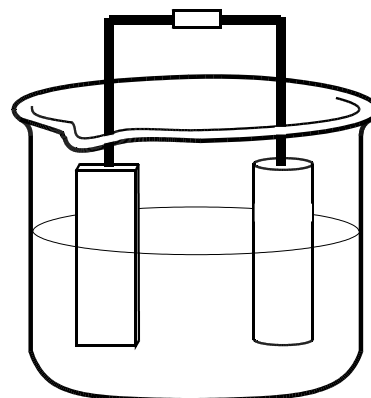
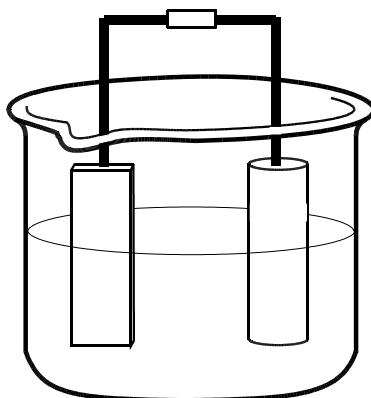
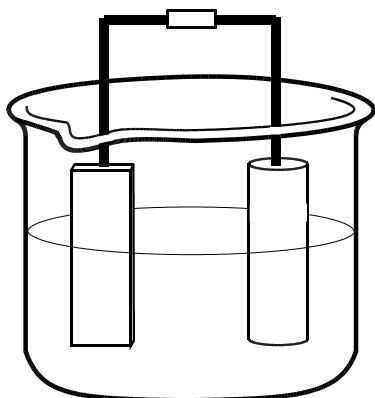
[結果]

(1) 炭素棒のまわりの変化のスケッチと、金属と炭素棒間の電圧の値を記入しよう。

装置A

装置B

装置C



( ) V

( ) V

( ) V

(2) 装置Dの亜鉛板と銅板の間の電圧の値と銅板のまわりの様子を記録しておこう。

--

(3) 導線の電流は、金属と炭素棒（Dは銅板）のどちらからどちらへ流れていたか。

A	B	C	D
→	→	→	→

[考察]

(1) A～Dについて、金属と炭素棒（Dは銅板）の表面で起こったことを、「電子の授受」と「酸化・還元」に着目して、それぞれ説明してみよう。

装置 A	Fe	鉄が電子を放出し、酸化されて鉄イオンが生成した。(銅(II)イオンが酸化されて銅が析出した。)
	C	銅(II)イオンが電子を受け取り、還元されて銅が析出した。
装置 B	Cu	銅が電子を放出し、酸化されて銅(II)イオンが生成した。
	C	銀イオンが電子を受け取り、還元されて銀が析出した。
装置 C	Zn	亜鉛が電子を放出し、酸化されて亜鉛イオンが生成した。
	C	水素イオンが電子を受け取り、還元されて水素が発生した。
装置 D	Zn	亜鉛が電子を放出し、酸化されて亜鉛イオンが生成した。
	Cu	水素イオンが電子を受け取り、還元されて水素が発生した。

(2) 導線中を電子は、金属と炭素棒（Dは銅板）のどちらからどちらへ移動していたか。

A	B	C	D
→	→	→	→

(3) 装置A～Dは、身近にある装置と同じ原理で電流を生じさせている。その装置とは何だろうか。

(4) 装置A～Dが(3)の装置として、負極（－極）と正極（＋極）が、金属と炭素（Dは銅）のどちらになっているかをまとめてみよう。（化学式を書き込む。）

装置A	装置B	装置C	装置D
負極 正極	負極 正極	負極 正極	負極 正極

(5) (4)をもとに、装置A～Dの電池を化学式で（電池式で）表してみよう。

A : (-)                                                    (+)	B : (-)                                                    (+)
C : (-)                                                    (+)	D : (-)                                                    (+)

(6) 装置Dの負極の表面と正極の表面で起こった変化を、イオン反応式で表してみよう。  
また、酸化されているか、還元されているかを判断しよう。

負極：	(                      された)
-----	
正極：	(                      された)

\* 装置Dで塩酸の代わりに希硫酸を用いたものが（                      ）電池であり、基本的に、電池で起こっている反応は同じである。

(7) Dの電池で金属板の組み合わせは変えず、水溶液や装置の構造を工夫して、さらに大きな電圧を生じさせるためにはどのような工夫をすればよいだろうか。話し合っ、文章で説明してみよう。

①水溶液について

- 極板での反応が進みやすいように、水溶液の濃度を高くする。
- 正極で銅が析出するので、銅(II)イオンが溶けた水溶液を使う。
- 亜鉛の表面で水素が発生しないように、酸でない物質の水溶液を使う。
- 塩酸に含まれる塩化物イオンが酸化される可能性があるため、塩酸の代わりに希硫酸を用いる。

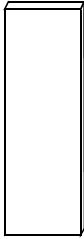
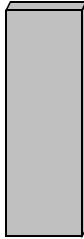
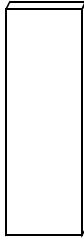
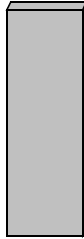
②装置の構造について

- 亜鉛板を、塩酸に直接接触させないようにする。
- 銅版を塩酸に、亜鉛板を塩酸以外の水溶液に浸すために、負極側の容器と正極側の容器をわける。

【生徒実験】

[結果]

○電池Aと電池Bについて、結果を次表にまとめよう。

	電池A		電池B (ダニエル電池)	
起電力	V		V	
電流の向き	板 → 板		板 → 板	
LED				
電子カルゴール				
放電時の 金属板の 表面の様子	亜鉛板	銅板	亜鉛板	銅板
				
電池Bの塩橋を外したときの起電力			V	

[考察]

(1) 電流の向きから、負極と正極がそれぞれどちらの金属板かを判断しよう。

負極		正極
----	--	----

(2) 負極と正極の活物質がそれぞれ何かを判断しよう。

負極		正極
----	--	----

(3) 放電時の負極と正極付近での活物質の変化をイオン反応式で表そう。また、それぞれの活物質の酸化・還元を判断しよう。

負極：	(            された)
正極：	(            された)



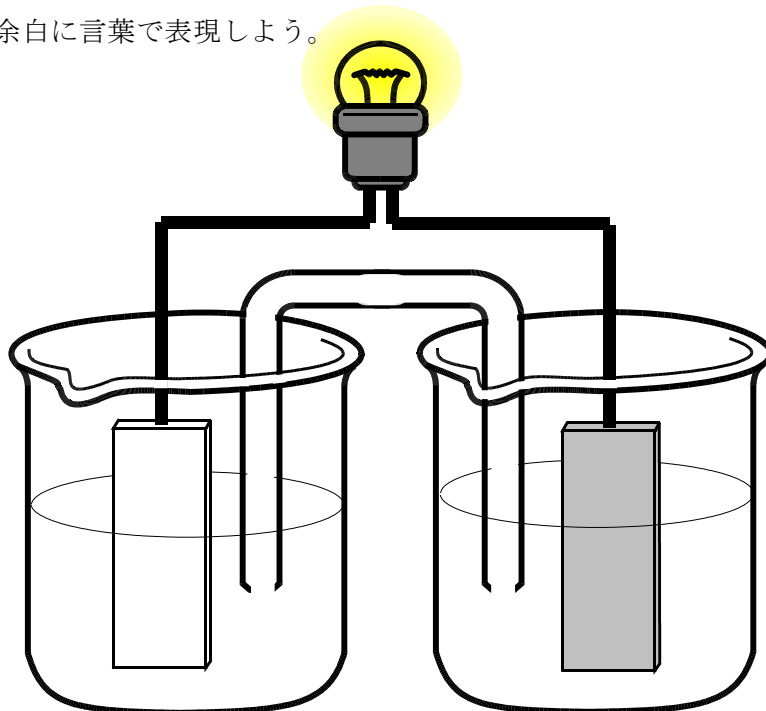
(4)電池Bを化学式で（電池式で）表してみよう。



(5)「 $Zn + Cu^{2+}$ 」がもっている化学エネルギーと「 $Zn^{2+} + Cu$ 」がもっている化学エネルギーの大小関係を判断しよう。また判断できる理由を説明しよう。

$Zn + Cu^{2+} \rightarrow Zn^{2+} + Cu$ が起こって電流が生じたのだから、「 $Zn + Cu^{2+}$ 」がもっていた化学エネルギーの方が大きかった。そして、「 $Zn^{2+} + Cu$ 」に変化することで減少した化学エネルギーが、電気エネルギーなどに変換されたと考えられる。

(6)電池Bについて、放電時の電子やイオンの移動を書き込んでみよう。また、図示しにくい内容は、余白に言葉で表現しよう。



(7)塩橋はどのような役割を果たしているか、文章を完成させてみよう。

塩橋を使用せず、 $Zn$ 板と $Cu$ 板を導線でつなげば、導線を通じて $e^-$ が（ ）板から（ ）板の方向へ移動し続けることが予想されるが、実際には電圧計の針が（ ）ので、 $e^-$ は（ ）。その理由は、わずかに起こった $e^-$ の移動と酸化・還元により、 $Zn$ 板の周りには（ ）が多くなり、 $Cu$ 板の周りには（ ）が多くなり、電気的バランスが（ ）。そして、 $Zn$ 板の周りのイオンと $e^-$ との間の（ ）力、 $Cu$ 板の周りのイオンと $e^-$ との間の（ ）力により、 $e^-$ の移動を妨げてしまうからである。

塩橋で溶液どうしをつなぐことにより、電圧計の針が（ ）ので、 $e^-$ が導線を（ ）板から（ ）板のほうへ移動したことが確認される。これは、導線を通じて $e^-$ が移動したときに、 $Zn$ 板の周りの（ ）と $Cu$ 板の周りの（ ）が、塩橋を通して互いの溶液に（ ）ことによって、電気的バランスが（ ）からである。

まとめると、塩橋は（ ）役割をするのである。

(8) 乾電池やリチウム電池等の実用電池では、塩橋の代わりにどのような部品を利用しているか、調べてみよう。

○乾電池では、セパレーターと呼ばれる隔膜で正極活物質と負極活物質を隔てている。マンガン乾電池では、正極活物質である酸化マンガン(II)と電解液がデンプンのりで練り合わされており、正極の電解液が負極に接触しにくい構造になっている。

(9) 改めて、一般的な電池（一次電池）の仕組みについて、自分の言葉でまとめてみよう。

○イオン化傾向の大きな金属が金属イオンとなって溶け出し、生じた電子が導線を通してイオン化傾向が小さい金属に向かって流れることにより電流が発生する。  
○亜鉛板の方が銅板よりイオン化傾向が大きい。亜鉛が溶けるとき亜鉛は電子を放出して亜鉛イオンになる。放出された電子は金属である導線に流れて銅板側に移動する。そして、硫酸銅(II)水溶液中の銅(II)イオンが電子を受け取り銅になる。このとき、導線を電子が移動して電流が流れたので電池になる。

## 6 授業での留意点、生徒の感想等

### (1) 実施して気付いた留意点

#### 【生徒実験】

従来、ダニエル電池は素焼き容器や半透膜を使用して実験を行っていた。しかし、以下の二点から別の方法で行った方が効果的ではないかと考えた。

①化学 I のこの単元以前には、半透膜の性質を十分に学習していないということ。

②生徒は素焼きの板は仕切る役割をしているのに小さな穴があることに矛盾を感じると予想されること。

そこで、以下の三点の理由から塩橋を使用する実験を計画・実施した。

①溶液を別々のビーカーで用意することで、硫酸亜鉛水溶液と硫酸銅(II)水溶液が混合しないように仕切られていることが理解しやすいこと。

②塩橋の形が、イオンが移動する通路になるイメージを与え、両液間を必要な量だけ陽イオンや陰イオンが移動することが考えやすいこと。(ただし、数種類のイオンが存在するので、実際の移動は複雑である。)

③実際に塩橋を外すと電流が流れないことが確認でき、電流が流れ出すと溶液内のイオンの状態や電氣的なバランスをとる必要があることが理解しやすいこと。

実験は、結果だけを見るのではなく、電子の動きを意識するように注意を加えて行った。電極板に大きな変化は見られなかったが、電子オルゴールのメロディーが鳴って本当に電流が流れたので驚いた生徒もいたようだ。加えて正極は、銅板よりも炭素棒の方が電圧が高くなったことが印象に残ったようである。

ボルタ電池の説明を詳しく行った後で実験を行ったクラスでは、イオン化傾向とビーカーB1とB2それぞれの溶液中のイオンを確認して班で協議しながら考察の図を描かせてみたところ、水素の発生を図示した班もあった。また、複雑な表現はできなくても電子が亜鉛板から銅板へ動く矢印のみを書き込むなど、何も書けない生徒はみられなかった。

また、生徒の実験プリントから、「電子が動くことがわかった」という生徒の感想が多く見られたので塩橋の効果があったと感じた。一方で、「寒天があると電流が流れてすごい」と誤解をしている生徒が数名おり、寒天中の電解質溶液の影響を実験前に伝える必要があったかもしれない。

## (2) 生徒の感想

- ・極板にあまり変化はなかったが、音が流れることによって電子が動いていることが分かり、楽しかった。
- ・1Vもあるなんてびっくりした。銅板を炭素棒に交換してメロディーを流したら音が大きくなった。
- ・電池の中で、実験のことが起こっているんだなと思いながら、断面図の電子の移動を考えると、なんだか忙しい。
- ・昔の人は電池をよく作ったものだと思った。今の電池があるのは昔の人のおかげ。LEDが発光しなかったのが残念だった。
- ・ボルタ電池の仕組みを聞いたときは全然分からなかったが、実験をして、イオン化傾向や電池の仕組みが少し分かった気がする。同じような実験を10回くらいやったら分かるようになるかも。
- ・電子の動きを見るのは難しいことだけど、銅板などの変化が見られてよかった。

## 7 参 考

### ○ 「過マンガン酸カリウム-過酸化水素電池」の作成・放電について

#### (1) 準備

##### ①試薬類

- 0.1mol/L過マンガン酸水溶液、31%過酸化水素水、
- 0.1mol/L硫酸

##### ②器具類

- 炭素棒 (10cm)、炭素棒用ターミナル (電極端子)、
- シリコン栓 (1号)、
- 透析用セルローズチューブ (直径1.4cm、平面幅3.2cm)、
- プラスチックロート (100円ショップにて「吸盤付きロート」として販売されている。写真1参照)、導線

\*以上は各2 (1組)

- 木綿糸、洗濯ばさみ、300mLビーカー、電圧計、光電池専用モーター (プロペラ付き)、
- 電子オルゴール等



写真1 使用器具の一部

## (2) 方法

- ①透析チューブの一端を糸でしっかりと縛って閉じ、他端を写真1のようにロートの先に被せ、糸でしっかりと止める。(2つ用意する。)
- ②炭素棒をシリコン栓に通し、電極端子を取り付ける。(2つ用意する。)
- ③写真2のように、2つのロートを洗濯ばさみで密着させて、ビーカーにのせる。
- ④片方のロートに過酸化水素水を約8 mL、他方のロートに過マンガン酸水溶液を約8 mL注ぎ、それぞれのロートの穴に炭素電極を差し込む。
- ⑤それぞれの炭素電極に導線を接続し、電圧計につないでおく。
- ⑥希硫酸を約200 mLビーカーに注ぐ。(放電が始まり、約1 V程度の起電力が生じる。)
- ⑦両極付近の変化の様子をよく観察する。(過マンガン酸カリウムは2段階でゆっくりと変化する。)
- ⑧光電池モーターや電子オルゴール等を接続してみる。



写真2 組み立てた装置

## (3) 補助プリント例 (記入欄は省略)

### [結果]

- 電流の向きは？
- それぞれの電極付近の変化の様子は？

### [考察]

- 負極と正極は？
- 負極活物質と正極活物質は？
- 負極付近と正極付近の変化をそれぞれイオン反応式で表すと？
- ◎負極活物質・正極活物質と酸化剤・還元剤の関係は？
- 右図に、電子やイオンの移動の様子を表現しよう！

