

## I 科目「化学Ⅰ」における単元「電気分解」の位置付け

科目「化学Ⅰ」において、小単元「電気分解」は、「酸化還元反応」の最後の単元であるとともに、「物質の変化」の最後の単元でもある。また、科目「化学Ⅰ」で学習する物理化学的領域の最後の単元でもあり、これまで学習した内容を生かして、電気分解で起こる現象を、ある程度理論的・定量的に考察する必要がある。一方で、この後で学習する「無機物質」や「有機化合物」へのつながりも意識し、電気分解に関する実験を通して物質の性質や物質同士の反応を考えさせたりする必要もある。ただし、「化学反応論」や「熱化学」のような本格的な物理化学の学習は科目「化学Ⅱ」で行われるため、限られた手法で定量的な実験を行わなければならない。

新学習指導要領の中では、科目「化学」において、小単元「電気分解」は、「電池」とともに「化学反応とエネルギー」の中で学習することになっており、現行よりも様々な知識を備えた上で探究を深めることができる。ただし、学習指導要領解説の中に、その前に履修しなければならない科目「化学基礎」における小単元「酸化と還元」の探究活動例として「硫酸銅(Ⅱ)水溶液の電気分解を行い、人間生活で利用されている酸化還元反応について探究させる」と記載されていることも付け加えておきたい。

## II 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 (1)	○事前に電気分解を行った硝酸銀の寒天水溶液（寒天水溶液に2本の炭素電極が浸され、一方の炭素棒の周りに銀樹が形成されただけのもの）を観察し、どのように形成したのかを推測する。 ○電気分解を行っていない別の硝酸銀の寒天水溶液の電極間に電流を流したときの変化を観察する。 ○陽極に発生した気体にも注目する。	○イオン化傾向の学習で行った、硝酸銀を溶かした寒天水溶液に銅線を浸したときに銀樹が形成する現象とその原理を思い出させる。  ○特に陰極の反応を注視させ、電極付近の溶液が還元されていることを確認させる。 ○演示で観察した現象が電気分解であることを思い出させる。
	○演示実験 (2)	○塩化銅(Ⅱ)水溶液の電気分解を観察する。	○直流電源・導線・電極の間の電子の移動の向きを確認させて、陽極・陰極の反応と酸化・還元反応を結びつけさせる。 ★電池での電極付近での変化を表現したことを思い出させながら、自由に記入させる。
	○学習内容の整理 (1)	○電気分解に関する基本的な原理と電気分解に関する化学的表現や用語を整理する。	○電解槽内の陰極・陽極と電池の負極・正極の違いを理解させる。
	○演示実験 (3)	○硫酸ナトリウム水溶液の電気分解を観察する。	○両極で生成する物質を予想させた上で実験を観察させる。

			○実験結果を踏まえ、演示実験(1)の陰極の反応について解説する。
2 時間 目	○演示実験(4) ○学習内容の整理(2) ○生徒実験の結果の予想と実験計画	○演示実験(2)の電気分解後の装置(電極)を用い、陰極と陽極を反対に行う電気分解を観察する。 ○電解質や電極の系統別に、電解質、水、電極のいずれが変化するかなどを整理する。 ☆硫酸銅(Ⅱ)水溶液、水酸化ナトリウム水溶液、ヨウ化カリウム水溶液、(塩酸)に白金電極を通して通電したときにどのような反応が起こるかを予想して、ワークシートに自由に(図やイオン反応式や文章等で)書き出す。  ☆班ごとに割り振られた、調べる水溶液について、班の生徒同士で話し合い、電極で生成する物質を確認する方法を検討する。	○陽極が銅電極になったことを確認し、通電したときの反応に注視させる。 ○イオン化傾向などで電極で起こる反応を考えられるようにする。  ★覚えている内容を書き出させるだけでなく、陽極、電池(電源装置)、陰極と電子が移動することで、それぞれの電極で化学反応が起こることをイメージさせる。また、あまり書けないようであれば、生徒同士で相談させる。 ★生成物の予想と確認方法の検討の際は、原理や理由も協議させる。また、確認方法が適切かどうかを資料集などで調べさせる。
3 時間 目	○生徒実験 ○生徒実験の結果の整理と考察	○割り振られた水溶液の電気分解を行い、前時の話し合いに基づいて、生成した物質を確認する実験を行う。 ○各電極の生成物が確認できたら、イオン反応式等で表す。 ☆自班の実験結果や結果からわかったことを発表する。  ○自班が調べた水溶液以外の実験については、他の班の結果の発表をもとに、まとめる。 ☆疑問が生じた場合は、生徒同士で協議して、深める。	○ホフマン型の装置を組み立てさせながら、電子の移動など、実験装置の仕組みや実験の原理を確認させる。  ★時間が無いときは、代表の班を決め、発表させる。発表内容・情報を全員で共有させ、理解させる。  ★実験プリントを整理しながら、班内で協議させる。
4 ・ 5 ・ 6 時間 目	○電気分解の法則  ○電気分解の利用	○ファラデーの電気分解の法則に関する知識を理解する。 ○演習を通して、電気分解における反応の量的関係を考える。 ○電気分解の法則の検証実験を行う。 ○電気分解の工業的な利用(電解精錬、アルミニウムの製造、水酸化ナトリウムの製造等)について学習する。	○演示実験や生徒実験で、得られた結果と理論とを結び付けさせる。 ○鉛蓄電池の充電・放電時の電極や水溶液の変化を定量的視点で復習させる。 ○銅の電解精錬やアルミニウムの製造については、単元「無機物質」や科目「化学Ⅱ」で詳しく扱う。

\* 1～3時間目の内容が、本調査研究で紹介する事例である。

### Ⅲ 演示実験「電解質水溶液の電気分解（１）」

#### 1 実験のねらい（留意点）

- 演示実験を通して、電解質水溶液に通電したときに電極上で起こる現象を、酸化・還元反応で考えられるようにする。また、電解質や電極の違いによって生じる反応の違いを的確に捉えられるようにする。
- 単元「金属のイオン化」の中で、硝酸銀寒天水溶液に銅棒を入れた時に形成される「銀樹」を既に観察し、形成の原理を学習していることが望ましい。（昨年度の報告書を参照。）
  - \* 本調査研究においては、演示実験の部分は実施していない。生徒実験を行い、生徒が実験に臨む様子や、生徒実験前後に行った小テスト等を利用して生徒の理解度の変容を分析した結果、加えた方が適切であると考えて提案するものである。

#### ■実験プリント例

[目的]

- (1) 電気分解の原理を確認し、陽極・陰極での反応が酸化・還元であることを理解する。
- (2) 電極で反応する物質が電解質とは限らないことを確認する。

#### 2 準備（留意点）

- 演示実験のプリント（ワークシート）は、銀樹（写真1）が形成される原理を推測させてから配布する。
- 銅が付着した炭素電極は、1日程度希硝酸に浸しておくことで銅がきれいにとれる。
- 演示実験で用いるペットボトル電解装置を事前に作成する。（作成方法については、「Ⅵ 参考」を参照。）
- CCDカメラなどとプロジェクターを用いて投影・提示する。（投影・提示方法については、昨年度の報告書を参照。）



写真1 銀樹

#### ■実験プリント例

[準備]

- (1) 試薬類  
寒天、硝酸銀、0.5mol/L塩化銅(Ⅱ)水溶液、1mol/L硫酸ナトリウム水溶液、BTB溶液、シャボン液
- (2) 器具類  
100mLトールビーカー（3個）、電極ホルダー、炭素電極、ペットボトル電気分解装置、シリンジ、試験管、シャーレ、ガスバーナー、三脚、金網、提示装置等

#### 3 実験方法（留意点）

- 硝酸銀の寒天水溶液はできるだけ実施直前に用意し、冷暗所に保存しておく必要がある。（そうしないと、みるみる感光して黒くなってしまう。）
- 塩化銅(Ⅱ)の電気分解で、次頁の方法によりヨウ化カリウムデンプン紙の色の変化がはっきりと出ない場合には、補助的に通電前・通電後の水溶液に直接試験紙を浸し、その違いを確認させ

てもよい。

- 演示実験の考察(4) (水酸化ナトリウム水溶液と塩酸の電気分解) は、生徒実験で行うので、中学校での学習内容を簡単に復習する程度にとどめる。

### ■実験プリント例

[方法]

#### A 硝酸銀の寒天水溶液の電気分解 (電気分解銀樹)

##### 【事前準備】

- (1) トールビーカーに、それぞれ寒天1gと硝酸銀1gを入れ、純水100mLを加えて加熱し、完全に溶かす。(二つ同じものを用意する。)
- (2) 電極ホルダーで二本の炭素棒を固定し、炭素棒を(1)の寒天水溶液に浸した後、冷却して水溶液を固める。(二つ同じものを用意する。)
- (3) (2)で用意した硝酸銀寒天水溶液のうちの一つを用い、その水溶液に浸した炭素棒を電源装置に接続し、9Vの電圧をかけて通電する。(「ビーカー i」とする。)
- (4) (2)で用意した硝酸銀寒天水溶液のうち、もう一つの水溶液は演示実験を行う直前まで冷暗所で保管する。(「ビーカー ii」とする。)

\* (1)～(4)は、演示実験を行う授業の直前に行うのが理想である。

##### 【演示】

- (5) 硝酸銀寒天水溶液に2本の炭素棒が浸され、そのうちの1本の炭素棒の周りに銀樹が形成されたビーカー i と硝酸銀寒天水溶液に2本の炭素棒が浸され、何も生じていないビーカー ii の両方を観察し、どの様な方法で銀樹を形成させたのかを予想する。
- (6) ビーカー ii を電源装置に接続し、9Vの電圧をかけて通電し、変化を観察する。

#### B 塩化銅(II)水溶液の電気分解 (1)

- (1) 電極ホルダーに2本の炭素電極と、片方の電極と一緒にヨウ化カリウムデンプン紙を固定し、ヨウ化カリウムデンプン紙を純水で湿らす。  
\* ヨウ化カリウムデンプン紙は直接水溶液に接触しない高さに調節しておく。
- (2) 塩化銅(II)水溶液をトールビーカーに注ぎ、電極を浸す。
- (3) ヨウ化カリウムデンプン紙を付けた電極を陽極に、他方の電極を陰極に接続し、6Vの電圧をかけて通電する。

#### C 硫酸ナトリウム水溶液の電気分解

- (1) ペットボトル電気分解装置のシリンジ上部のシリコン管のピンチコックを外し、硫酸ナトリウム水溶液をシリンジ上部まで注ぐ。
- (2) BTB溶液を数滴加え、全体の色が均一になったらシリコン管にピンチコックを付け、導線を電源装置に接続し、6Vの電圧をかけて通電する。

#### D 塩化銅(II)水溶液の電気分解 (2)

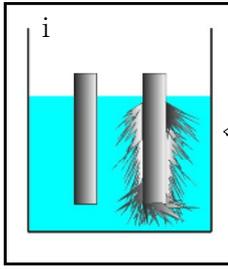
- (1) 「塩化銅(II)水溶液の電気分解 (1)」で通電した電解槽、電極を使用する。
- (2) 銅が表面に析出した炭素電極を陽極に、他方の炭素電極を陰極にし、6Vの電圧をかけて通電する。

4 結果・考察等のまとめ

■実験プリント例

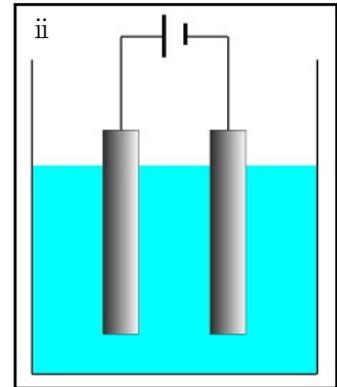
[結果]

A 硝酸銀水溶液の電気分解（両極とも炭素電極）

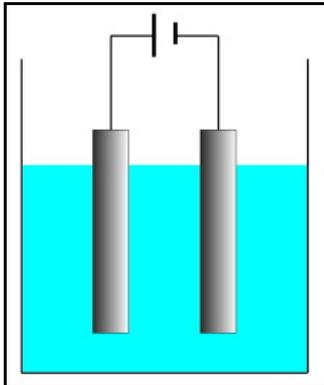


〈陰極〉 銀樹が形成した。  
（銀が析出した。）

〈陽極〉



B 塩化銅(II)水溶液の電気分解（両極とも炭素電極）



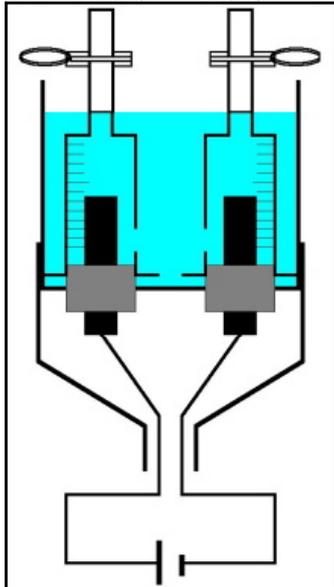
〈陰極〉

〈陽極〉

\* ヨウ化カリウムデンプン紙の色は？

無色 →

C 硫酸ナトリウム水溶液の電気分解（両極とも炭素電極）



〈陰極〉

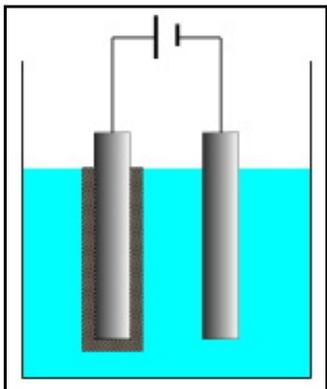
\* BTB溶液の色は？ 緑色 →

〈陽極〉

\* BTB溶液の色は？ 緑色 →

☆ 両極で生じた と

D 塩化銅(II)水溶液の電気分解 (陰極は炭素電極、陽極は \_\_\_\_\_ 電極)



(陰極)
(陽極)

[考察]

(1) A～Dについて、ビーカー (ペットボトル) 内に存在する物質やイオンを、書き出そう。

A	B	C	D
〈例〉 銀イオン $\text{Ag}^+$ 硝酸イオン $\text{NO}_3^-$ 水 $\text{H}_2\text{O}$ 炭素(黒鉛) C			

(2) A～Dについて、電源装置の正極・負極と電極の間の電子の移動方向に注意し、炭素電極 (Dの陽極は電極) 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。

A	陰極	C	銀イオンが電子を受け取り、還元されて銀が析出した。 [反応式] 〈例〉 $\text{Ag}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Ag}$
	陽極	C	〈例〉 水が電子を放出し、酸化されて酸素と水素イオンが生成した。 [反応式]
B	陰極	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。 [反応式]
	陽極	C	塩化物イオンが電子を放出し、酸化されて塩素が発生した。 [反応式]
C	陰極	C	水が電子を受け取り、還元されて水素と水酸化物イオンが生成した。 [反応式]
	陽極	C	水が電子を放出し、酸化されて酸素と水素イオンが生成した。 [反応式]
D	陰極	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。 [反応式]
	陽極	Cu	銅が電子を放出し、酸化されて銅(II)イオンが生成した。 [反応式]

(3) A～Dの結果やこれまでに学習した知識をもとに、登場してきた物質やイオンの還元されやすさ、酸化されやすさを比べよう。

①銀イオン、銅(Ⅱ)イオン、ナトリウムイオン、水、炭素の5つの還元されやすさ

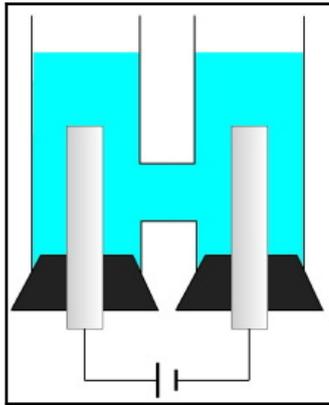
> > > ,

②硝酸イオン（または硫酸イオン）、塩化物イオン、水、炭素、銅の5つの酸化されやすさ

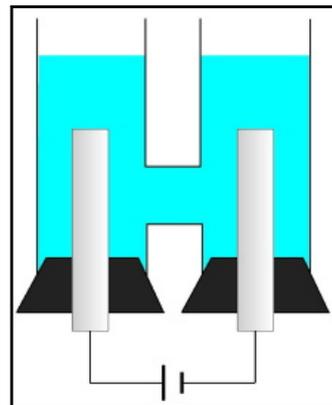
> > > ,

(4)白金電極を用いて塩酸や水酸化ナトリウム水溶液を電気分解したときに、陰極・陽極でどんな反応が起こるか、考えてみよう。(中学校では炭素電極で電気分解しているよ。)

[塩酸]



[水酸化ナトリウム水溶液]



## 5 補足

本調査研究では、上記の演示実験を行わず、電気分解についての学習内容を整理した後、生徒実験の導入として、次のプリントを用意し15分程度時間をとって記入させた。水溶液の電気分解に関する知識が定着しているか、また、この時点で生徒の表現力がどの程度身に付いているかを確認するというねらいがあった。

### ■実験導入プリント

#### 実験 「電解質水溶液の電気分解を理解しよう」

[知識確認]

次の4つの水溶液（水酸化ナトリウム水溶液、硫酸銅(Ⅱ)水溶液、ヨウ化カリウム水溶液、塩酸）のいずれかの電気分解を行うとする。

どんな電気回路を組み、どんな電極を用いて行ったらよいか。そのとき、どんな反応が起こるか、自由に書き出してみよう。(図、反応式、文章など、どんな表し方をしてもOK!)

水溶液：

※生徒の記入例は略。実際の記入欄はもっと広くとった

実践してみたところ、図を描いた生徒は1名、両極の生成物名と反応式を簡条書きに書いた生徒は5名で、他の生徒は、ほとんど何も記入することができなかった。図を描いた生徒についても、図説の内容を写しただけであった。生徒が酸化・還元等について十分な学力を備えていたり、電気分解以前の単元で同じような場面を設定していたりすれば状況が多少異なるかもしれないが、生徒にとって理解するだけでも難しい電気分解における電極の反応について、いきなり思考を巡らせ、自由に記述をさせることはハードルが高過ぎると判断した。それ故に、演示実験を通して、段階的に考え方、表し方を身に付けさせた上で、生徒実験の中で、言語力や表現力を養う方が妥当であると考えた。

#### IV 生徒実験「電解質水溶液の電気分解（2）」

##### 1 実験のねらい（留意点）

- 予想した実験結果を検証するための実験方法を考え、協議し、実験計画を生徒自身の表現方法でまとめた上で実践させることにより、科学的リテラシーを養わせる。
- 生徒実験で取り上げる四つの電解質水溶液（水酸化ナトリウム水溶液、硫酸銅(II)水溶液、ヨウ化カリウム水溶液、塩酸）の電気分解により、陰極と陽極において、電解質（金属イオン、水素イオン、ハロゲン化物イオン、水酸化物イオン）が反応する場合、水が反応する場合の全てを網羅している。
  - \* 本調査研究においては、班の数の関係で塩酸の電気分解は行っていない。他の電解質に比べて陰極・陽極の反応の予想がしやすいことと、（演示実験を行っていないこともあり、）陽極で発生する塩素の検出結果が生徒にとって多少わかりにくいと考えたからである。

##### ■実験プリント例

###### [目的]

- (1) 電気分解の際に電解槽で起こる化学反応のしくみについて、実験によって理解する。
- (2) 陰極・陽極で生成する物質を予想するとともに、それを確認する方法を検討し、実際に電気分解を行って確かめる。

##### 2 準備（留意点）

- 水酸化ナトリウム水溶液、ヨウ化カリウム水溶液及び塩酸の電気分解では両極に白金電極を用い、硫酸銅(II)水溶液では陰極に炭素電極、陽極に白金電極を用いる。炭素電極で気体を発生させると、電極に吸着したり、一部が電極と反応したりして、捕集量が減ってしまうためである。
- 水素の確認実験で用いる石けん水は、「シャボン液」（原液）（写真2）を用いた。



写真2 シャボン液

##### ■実験プリント例

###### [準備]

###### (1) 試薬類

1mol/L硫酸銅(II)水溶液、1mol/L水酸化ナトリウム水溶液、1mol/Lヨウ化カリウム水溶液、1mol/L塩酸、〈デンプン水溶液、ヨウ化カリウムデンプン紙、石けん水〉

## (2) 器具類

電気分解装置 (図)、白金電極、炭素電極、誘導管、ピンチコック (×3)、10mLシリンジ、リード線 (×2本)、電源装置、バット、〈シャーレ、試験管、試験管立て、駒込ピペット、線香、コニカルビーカー、ガスマッチ〉

\* 〈 〉 の部分は生成物の確認実験に使用するもので、生徒のプリントでは空欄にし、生徒自身に記入させる。

## 3 実験方法 (留意点)

- 使用するホフマン型電気分解装置 (写真3) では、構造上、陽極と陰極の間のイオンの伝搬がしにくく、大きな電流が得られないため、両極で生成する物質の捕集に時間がかかる。

\* 本調査研究では、電源装置の台数が足りなかったのと、時間の短縮を図るために高い電圧をかけたかったので、実験台に組み込まれている電源装置を用いた。

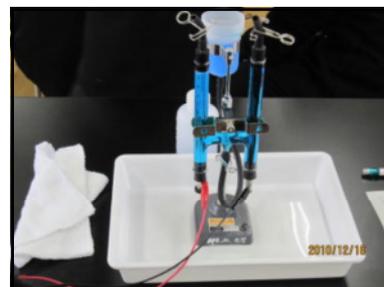


写真3 ホフマン型電気分解装置

- ヨウ化カリウム水溶液の電気分解では、陽極に生成するヨウ素が、長い時間通電していると、どんどん拡散し、陰極の方に流れ込んでしまうので、通電時間に注意させる。
- H字管の上端部分のゴム管がピンチコックでしっかりと閉じられているのを確認してから通電させる。
- これまでの指導内容を振り返って、生徒が考える可能性がある確認法のための試薬・器具は、できるだけ数多く準備しておくとともに、事前に十分に試しておく。準備していない確認方法を提案した生徒には、その方法が適切かどうかを説明した上で、準備しているもので確認実験を行わせる。
- \* 本調査研究では、以下の確認方法を生徒が考えると想定し準備した。(結果として、他の方法を考える生徒はいなかった。)

### (1) 酸素の確認

火を付けた線香を入れた試験管又は小さいコニカルビーカー内に、シリンジで捕集した気体を送り込んでみる。

### (2) 水素の確認

①シリンジから捕集した気体を上方置換で試験管に送り込み、点火してみる。

②シリンジから捕集した気体を石けん水の中へ送り込んで泡の中に閉じ込め (写真4)、泡に点火してみる。



写真4 調べる気体の泡の形成

### (3) 水素と酸素の同時確認

一つのシリンジで水素と思われる気体と酸素と思われる気体が約2:1になるように捕集し、混合気体を石けん水の中へ送り込んで、泡の中に閉じ込め、火をつける。(爆鳴気)

### (4) ヨウ素の確認

ヨウ素が生成したと思われる電極付近の溶液を試験管にとり、デンプン液を加えてみる。

### (5) 銅の確認

電極に付着した物質の色で判断する。

■実験プリント例（ゴシック体は、生徒の記入例）

[予想]

A～Dの電解質水溶液（硫酸銅(Ⅱ)水溶液、水酸化ナトリウム水溶液、ヨウ化カリウム水溶液、塩酸）の電気分解を行ったときに、各電極で生成する物質や起こる反応を予想しよう。

電解液	電極	予 想
A CuSO <sub>4</sub> aq	陰極 (C)	<ul style="list-style-type: none"> <li>銅が析出する。</li> <li><math>Cu^{2+} + 2e^{-} \rightarrow Cu</math></li> <li>銅が生成するので、目で見えて確認できる。</li> </ul>
	陽極 (Pt)	<ul style="list-style-type: none"> <li>酸素が発生する。 <math>2H_2O \rightarrow O_2 + 4H^{+} + 4e^{-}</math></li> <li>酸素が発生するので、捕集して火を近づけたときの燃え方で確認できる。</li> <li>水素イオンの数が増えるので、pHが小さくなる。</li> </ul>
B NaOHaq	陰極 (Pt)	<ul style="list-style-type: none"> <li>水素が発生する。 <math>2H_2O + 2e^{-} \rightarrow H_2 + 2OH^{-}</math></li> <li>水素が発生するので、捕集して火を近づけて爆発するかで確認できる。</li> <li>水酸化物イオンの数が増えるので、pHが大きくなる。</li> </ul>
	陽極 (Pt)	<ul style="list-style-type: none"> <li>酸素が発生する。 <math>4OH^{-} \rightarrow O_2 + 2H_2O + 4e^{-}</math></li> <li>酸素が発生するので、捕集して火を近づけたときの燃え方で確認できる。</li> <li>水酸化物イオンの数が減るので、pHが小さくなる。</li> </ul>
C KIaq	陰極 (Pt)	<ul style="list-style-type: none"> <li>ヨウ素が生成する。 <math>2I^{-} \rightarrow I_2 + 2e^{-}</math></li> <li>ヨウ素が生成するので、生成物の色で確認できる。</li> <li>ヨウ素が生成するので、デンプンを加えることで確認できる。</li> </ul>
	陽極 (Pt)	<ul style="list-style-type: none"> <li>酸素が発生する。 <math>4OH^{-} \rightarrow O_2 + 2H_2O + 4e^{-}</math></li> <li>酸素が発生するので、捕集して火を近づけてみる。</li> <li>水素イオンの数が増えるので、pHが小さくなる。</li> </ul>
D HClaq	陰極 (Pt)	*本調査研究では実践していない。
	陽極 (Pt)	*本調査研究では実践していない。

[方法]

○実験計画

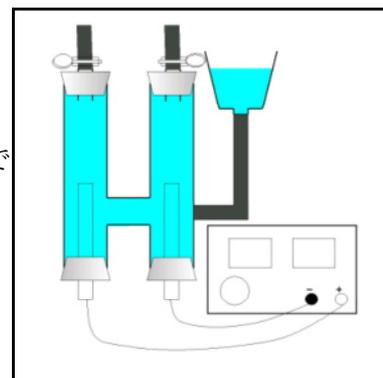
- (1) 班で話し合っ、4種類の電解質水溶液から電気分解してみたいものを選ぶ。(それぞれの電解質を△班ずつが調べるので、希望が競合した場合は調整して決定する。)
- (2) 班で調べることになった水溶液を電気分解したときの予想を、班内で出し合い、確認する。
- (3) 予想した物質を確認するための方法を班で話し合って考える。

☆実験をすることになった電解質水溶液（電解液）と確認方法

電解液	電極	確認するための実験方法	確認実験の結果

○実験

- (1) 右図のような装置を組み立てる。
- (2) 両極上部のピンチコックをゴム管からずらし、管を開いたまま水だめに電解液を注ぎ、H字管いっぱいにする。その状態でピンチコックでゴム管を閉じる。  
\*水だめの水面は、できるだけ低くする。
- (3) 電源装置のスイッチをONにし、すばやく電圧の大きさを最大にして、電解液に通電する。
- (4) 電極の周りの様子を観察する。
- (5) 発生した気体が5mL以上集まったら通電をやめ、シリンジをゴム管に装着し、ピンチコックをずらして気体をシリンジに吸引する。
- (6) 班で計画した方法で、生成した物質の確認実験を行う。  
☆確認実験をする前に、その方法が適切かどうか、先生に見てもらうこと！
- (7) 水だめをH字管の下部の位置まで下げてから、両極上部のピンチコックをゴム管からずらしてゴム管を開き、H字管内の水溶液を水だめを通して排水する。残った水溶液は、H字管の上部から排水する。(水溶液は最初に入っていた容器に戻す。)
- (8) 両電極の表面の変化の有無を確認する。



#### 4 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）

[結果]

○自分たちの班と他の班の結果を、イオン反応式や文章でまとめよう。

	電解液	電極	見られた現象や起こった反応・生成した物質
A	CuSO <sub>4</sub> aq	陰極 (C)	赤褐色の銅が析出した。起こった反応をイオン反応式で表すと、 $Cu^{2+} + 2e^{-} \rightarrow Cu$ となる。
		陽極 (Pt)	酸素が発生した。捕集した酸素は線香の火の勢いを強くした。起こった反応をイオン反応式で表すと、 $2H_2O \rightarrow O_2 + 4H^{+} + 4e^{-}$ となる。
B	NaOHaq	陰極 (Pt)	水素が発生した。捕集した水素で作った泡に火をつけると爆発した。起こった反応をイオン反応式で表すと、 $2H_2O + 2e^{-} \rightarrow H_2 + 2OH^{-}$ となる。
		陽極 (Pt)	酸素が発生した。捕集した酸素は線香の火の勢いを強くした。起こった反応をイオン反応式で表すと、 $4OH^{-} \rightarrow O_2 + 2H_2O + 4e^{-}$ となる。
C	KIaq	陰極 (Pt)	水素が発生した。捕集した水素で作った泡に火をつけると爆発した。起こった反応をイオン反応式で表すと、 $2H_2O + 2e^{-} \rightarrow H_2 + 2OH^{-}$ となる。
		陽極 (Pt)	赤褐色のヨウ素が生成した。ヨウ素を含んだ水溶液にデンプンを加えると青紫色に変化した。起こった反応をイオン反応式で表すと、 $2I^{-} \rightarrow I_2 + 2e^{-}$ となる。
D	HClaq	陰極 (Pt)	〈例〉水素が発生した。捕集した水素に火をつけると音を出して爆発した。起こった反応をイオン反応式で表すと、 $2H^{+} + 2e^{-} \rightarrow H_2$ となる。
		陽極 (Pt)	〈例〉塩素が発生した。発生した塩素がヨウ化カリウムデンプン紙を青色に変化させた。起こった反応をイオン反応式で表すと、 $2Cl^{-} \rightarrow Cl_2 + 2e^{-}$ となる。

#### 5 授業（生徒実験）での留意点、生徒の感想等

##### (1) 授業の様子



写真5 確認方法に対する助言



写真6 発生した気体の捕集



写真7 ヨウ素の確認実験

## (2) 授業者が実施して気付いた点

- ・初めての装置を使ったり、初めて自分たちで予想・検証する形式実験を行ったりしたので、実験を進めるだけで精一杯の生徒もいたが、いずれの生徒もこれまで以上に積極的に取り組んでいた。
- ・それぞれの班で行った電気分解の各電極の生成物を板書させたが、当然のことながら、うまく検証できなかった班は、結果を書けなかった。発表させる前に、何らかの支援が必要であった。
- ・生徒の実験プリントを見ると、予想の段階で、それぞれの電極でのイオン反応式を書いている生徒が多かったので、電極での反応の確認実験は適切に実施できた。
- ・どんな仕組みで反応が起こり、板書した物質が生成したのかを説明できた生徒はいなかった。
- ・生徒実験前の授業では、図を描いて電気分解の様子を示してもその原理を理解できていない生徒が多かったが、実験を行ったことにより、電子の流れや電極での反応をイメージしやすくなったと思う。
- ・生徒実験を通して身に付けた考え方をもとに、他の電解質水溶液においても、生徒自身が電極の反応を判断しやすくなったと感じている。
- ・このような形式の授業がもっと行えると、学ぶ力や考える力が養えると実感した。

## (3) 生徒の感想

- ・実際に実験してみて、生成した物質は予想通りでよかったが、陰極の水素の確認実験が失敗して残念であった。
- ・水素と酸素の混合気体に火をつけると爆発するというのが面白かった。
- ・火の勢いが増したり音が鳴ったりしてすごかった。
- ・陽極で発生したヨウ素がとてもわかりやすかった。
- ・酸素が十分に捕集できなかった。なぜ、一度たまった酸素が途中から減りだすのだろうか？
- ・電気分解をあまり理解できなかったが、今日の授業で理解することができた。
- ・電気分解は難しいと思っていたが、実験をしてよくわかり、楽しかった。
- ・実験をして、電気分解の仕組みがよく分かった。発生した気体をしっかりと確認できたのがよかった。

## (4) 生徒実験前後の理解度の変容について

生徒実験を行う直前に実施された校内実力試験の中で、電気分解の際の電極の反応に関する次の問題を出題した。さらに生徒実験の後に、同じ問題を小テストとして授業中に出題した。そして、生徒実験で生徒が行った電気分解に該当する設問を中心に、正答率等の分析を行った。

☆ 出題した問題

電解液と電極を下の表の(1)～(8)の組み合わせにして電気分解を行ったとき、陽極、陰極に生じる物質やイオンを化学式で記せ。

	電 解 液	陽極	生成物	陰極	生成物		電 解 液	陽極	生成物	陰極	生成物
(1)	AgNO <sub>3</sub> 水溶液	Pt	(a)	Pt	(b)	(5)	NaCl水溶液	C	(i)	Fe	(j)
(2)	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (希)	Pt	(c)	Pt	(d)	(6)	融解NaCl	C	(k)	Fe	(l)
(3)	CuSO <sub>4</sub> 水溶液	Pt	(e)	Pt	(f)	(7)	NaOH水溶液	Pt	(m)	Pt	(n)
(4)	CuSO <sub>4</sub> 水溶液	Cu	(g)	Cu	(h)	(8)	KI水溶液	Pt	(o)	Pt	(p)

☆ 誤答分析 (調査研究対象クラスについて)

		正答	多かった誤答 (割合%)			正答	多かった誤答 (割合%)	
			生徒実験前	生徒実験後			生徒実験前	生徒実験後
(1)	(a)	O <sub>2</sub>	NO <sub>3</sub> (26.5)	Ag, H <sub>2</sub> (各3.1)	(b)	Ag	NO <sub>3</sub> (20.6)	O <sub>2</sub> (3.1)
(2)	(c)	O <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> (35.3)	H <sub>2</sub> (15.6)	(d)	H <sub>2</sub>	SO <sub>4</sub> (20.6)	O <sub>2</sub> (26.5)
(3)	(e)	O <sub>2</sub>	Cu (35.3)	Cu (6.3)	(f)	Cu	SO <sub>4</sub> (26.5)	O <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> (6.3)
(4)	(g)	Cu <sup>2+</sup>	Cu, SO <sub>4</sub> (各23.5)	O <sub>2</sub> (25.0)	(h)	Cu	SO <sub>4</sub> (29.4)	Cu <sup>2+</sup> (6.3)
(5)	(i)	Cl <sub>2</sub>	Cl (44.1)	H <sub>2</sub> (18.8)	(j)	H <sub>2</sub>	Na (47.1)	Cl <sub>2</sub> (15.6)
(6)	(k)	Cl <sub>2</sub>	Na (32.4)	Na (15.6)	(l)	Na	Cl (32.4)	Cl <sub>2</sub> (15.6)
(7)	(m)	O <sub>2</sub>	OH (29.4)	H <sub>2</sub> , Na, OH (各6.3)	(n)	H <sub>2</sub>	Na (35.3)	O <sub>2</sub> (9.4)
(8)	(o)	I <sub>2</sub>	I (35.3)	H <sub>2</sub> (12.5)	(p)	H <sub>2</sub>	K (35.3)	I <sub>2</sub> (12.5)

\* (3)、(7)、(8)の問題は、生徒実験で扱った設定とほぼ同様のものである。

生徒実験で扱った設定に関する問題とそれ以外の設定に関する問題とで、生徒実験前後の変容に大きな違いは見られないものの、概して生徒実験で扱った問題の方が、同じ誤答をした生徒の割合は減少している。実験で確かめ、考察を深めたことにより、生徒が陥りやすい誤解が解消されたとも考えられる。また、生徒実験の効果かどうかは断定できないが、全ての問題において、電極で生成し得ない物質を解答する生徒は、大きく減少している。

一方で、生徒実験後も、陰極・陽極で生成する物質を逆に解答している生徒が多く、実験を行っても、電気分解中の各電極でどのようなことが起こっているかを理解できていない状況が確認できた。

☆ 正答率分析（調査研究対象クラスについて）

		正答率 (%)				増 加 量	正答率 (%)					
		生徒実験 前		生徒実験 後			生徒実験 前		生徒実験 後			
		対象 クラス	(学年)	対象 クラス	(学年)		対象 クラス	(学年)	対象 クラス	(学年)		
(1)	(a)	11.8	(25.2)	84.4		+72.6	(b)	38.2	(43.4)	84.4		+46.1
(2)	(c)	11.8	(26.0)	71.9		+60.1	(d)	20.6	(41.8)	75.0		+54.4
(3)	(e)	8.8	(23.3)	75.0		+66.2	(f)	32.4	(41.3)	71.9		+39.5
(4)	(g)	20.6	(11.6)	37.5		+16.9	(h)	26.5	(40.1)	71.9		+45.4
(5)	(i)	5.9	(18.0)	56.3		+50.4	(j)	5.9	(21.6)	53.1		+47.2
(6)	(k)	8.8	(15.9)	59.4		+50.6	(l)	32.4	(25.6)	62.5		+30.1
(7)	(m)	8.8	(18.9)	65.6		+56.8	(n)	5.9	(29.1)	68.8		+62.9
(8)	(o)	8.8	(17.7)	65.6		+56.8	(p)	8.8	(22.6)	59.4		+50.6
		平均正答率（得点率）		16.0	(27.9)	66.4	+50.4					
		実力試験平均得点率		21.5	(28.6)							

\* (3)、(7)、(8)の問題は、生徒実験で扱った設定とほぼ同様のものである。

もともと正答率が高かった(f)の問題を除き、生徒実験で扱った設定に関する問題((3)、(7)、(8))では、いずれも半数以上の生徒が正答に転じることができた。他の問題においても実験で扱った設定と類似しているものは連動して増加量が大きいことも確認できる。それに比べると、実験で扱っていない電極自体が酸化される(g)の問題では、大きな増加量が得られなかったことから、単に、同じ問題を出題したことだけが得点率を増加させたわけではないと判断できる。調査対象クラスでは、実力試験の他の問題の得点率や他のクラスの得点率と比較しても、この分野を特に苦手としていた生徒が多いことが推察できるが、生徒実験等を通して大きな改善が見られたことから、適切な体験的な教材を用意して指導することは効果的であると思われる。

また、実力試験(7)の結果(学年全体)を見る限り、中学校で「水の電気分解」として水酸化ナトリウム水溶液の電気分解を扱っているが、それが高校での学習内容につながっていない状況がある。

## V まとめ

本調査研究では、教師が行った演示実験等で示した電解質水溶液現象の原理をもとに、生徒実験でどのように検証すればよいかについて、班ごとに議論させることを試みた。これにより、実験の目的を十分に理解させた上で、目的を達成するための科学的アプローチの手段を議論しながら検討させ、生徒に論理的思考を促すことができた。加えて、生徒の主体的な活動を助長するとともに、適切な実験技能を身に付けさせることができた。一方、生徒実験後にそれぞれの班で得られた結果や因果関係を生徒自身の言葉で発表させようと試みたが、これについては、時間が十分確保できなかったこともあり、教師側が期待していたような発表は見られず、表現力の育成に至らなかった。生徒自身に、この段階で備えている表現方法を生かしながら発表させるために、発表前の適切な指導が必要であった。

## VI 参考

### 1 ペットボトル電気分解装置の作成とその活用（単元「電池」と単元「電気分解」をつなぐ教材）

#### ○ ペットボトル電気分解装置の作成

##### (1) 準備

###### ①材料（写真8 参照）

500mLペットボトル（角形の容器）  
10mLディスポシリンジ（2個）、  
炭素電極（ $\phi$ 5mm $\times$ 70mm）、ゴム栓（2号）（2個）、  
シリコン管（2号）、ピンチコック（2個）、  
導線（2本）、スタンド、クランプ

###### ②工具類

カッター、ドリル、コルクボウラー、  
鉄工用ヤスリ、ペットボトル用接着剤

##### (2) 作成方法

①ペットボトルの底から120mmの高さの位置を、カッターで切断する。

②ペットボトル下部の底に、電極のゴム栓を差し込む。写真8 使用器具の一部  
穴を写真9のように開ける。ドリルで小穴を開けた後、細工用ヤスリで穴を広げ、形を整える。  
\*穴の径はゴム栓の先端部が何とか通るくらいの大きさにし、液漏れがしないようにする。

③シリンジの側面（目盛の反対側）の、ゴム栓にかぶせたときにゴム栓がかからないギリギリの位置に、穴を開ける。

④ゴム栓に穴を開け、電極を差し込む。

\*穴の径は電極が何とか通るくらいの大きさにし、液漏れがしないようにする。

⑤電極をペットボトル下部の外側からゴム栓付き電極をしっかりと差し込み、上部にシリコン管を取り付けたシリンジを、側面の穴が向かい合うようにしてゴム栓に装着する。（写真9）

\*液漏れするようならば、ペットボトル用接着剤でゴム栓とペットボトルを接着する。

⑥2本の導線をペットボトルの上部に通し、ペットボトル下部の電極に接続した後、ペットボトルの上部を下部の底に被せる。（写真10及びp. 20の補助プリントの図を参照。）

⑦電解液に通電して写真11のように気体を捕集する際は、シリコン管にピンチコックを装着する。

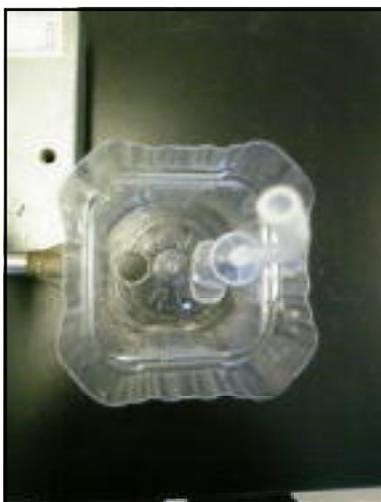


写真9 容器の内部

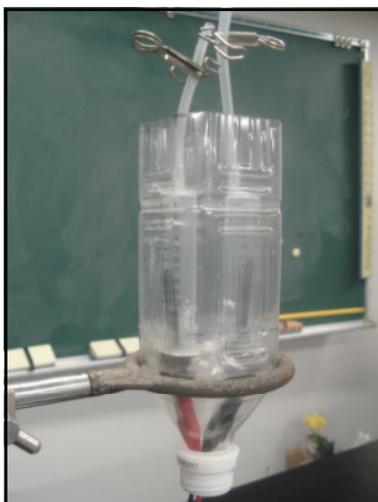


写真10 装置全体



写真11 気体発生の様子

○ 太陽電池電源の準備

(1) 準備

①材料

シリコン太陽電池モジュール  
(1.5V 400mA) (6枚)、  
ワニ口クリップと導線 (70mm) (6組)、  
アクリル板 (80mm×300mm×2mm)、  
両面テープ、はんだ、  
三脚型フォトスタンド (300mm×200mm  
の写真を立て掛けられるサイズ)、  
チェーン (5mm×450mm)、  
ナスカン (#2、2個)、  
真ちゅうヒートン (#2、2個)

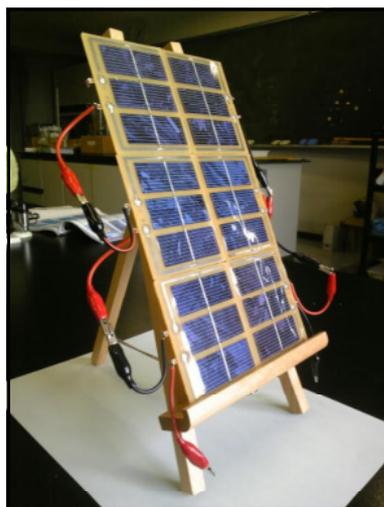


写真12 装置全体

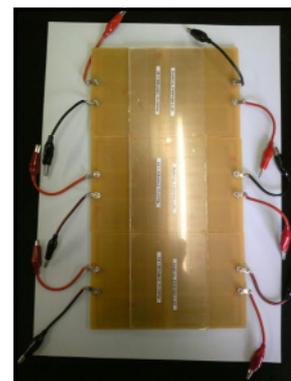


写真13 太陽電池  
モジュール板裏面



写真14 改造した三脚型  
フォトスタンド

②工具類

はんだごて、アクリル板カッター、鉄工用ヤスリ

(2) 作成方法

- ①太陽電池モジュールの電極に、ワニ口クリップを予め装着した導線を、はんだで装着する。
- ②予め上記のサイズに切ったアクリル板に、両面テープで写真13のように6枚の太陽電池モジュールを接着する。
- ③三脚型フォトスタンドの後ろ足上部を鉄工用ヤスリで削る。
- ④三脚にもともと付いていたチェーンとヒートンを外し、新たな真ちゅうヒートン取り付け、そこにナスカンを両端につなげたチェーンをかける。(写真14)
- ⑤フォトスタンドに②の太陽電池モジュール板を立てかける。  
\*③と④は、チェーンの長さを変えることによって三脚の広がり方を変え、太陽電池モジュール面の角度を変えることができるようにするための細工である。

○ 演示実験「ペットボトル電気分解装置を用いた水酸化ナトリウム水溶液の電気分解と燃料電池」

(1) 準備

①薬品

1mol/L水酸化ナトリウム水溶液

②器具

ペットボトル電気分解装置、太陽電池電源、電子メロディ (、白熱灯またはハロゲンライト)

(2) 方法

- ①ペットボトル電気分解装置の電解槽に水酸化ナトリウム水溶液を注ぎ、シリンジ上部のシリコン管をピンチコックで閉じる。
- ②太陽光の照射角度に合わせて太陽電池電源の角度を調整した上で、電気分解装置と電源を接続して水溶液に通電する。  
\*太陽光量が十分でないときは、白熱灯等を照射して電源の電圧を上昇させる。
- ③両極での変化の様子が確認できたら、電気分解装置の導線を電源から外し、電子メロディーに接続する。

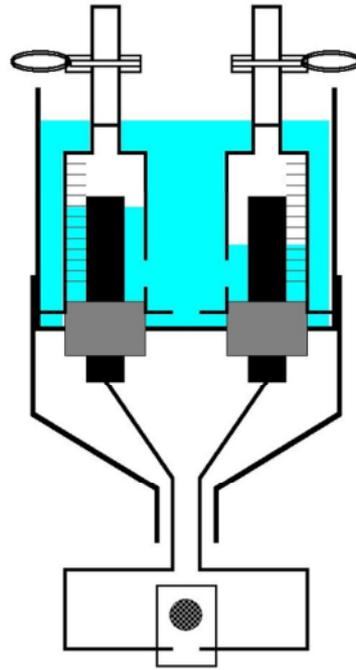
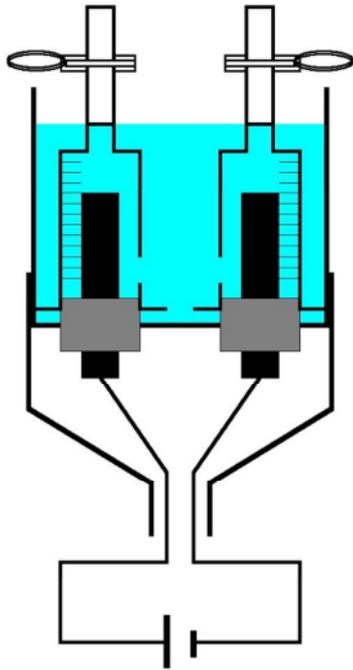
(3) 補助プリント例（記入欄は省略）

[結果と考察]

○観察した様子を図や言葉で書き込むとともに、電子の移動の様子を矢印や記号を使って模式的に記入しよう。

A ソーラーパネルに接続して通電したとき

B 電子メロディに接続したとき



○ 電子メロディに接続したときの電気分解装置Bは  
 どのような装置に変わったか。実験結果より、Bの装置は何か。 アルカリ型

○電極付近の変化をそれぞれイオン反応式で表そう。

A 〈陰極〉 \_\_\_\_\_ B 〈負極〉 \_\_\_\_\_  
 〈陽極〉 \_\_\_\_\_ 〈正極〉 \_\_\_\_\_

○主にどのようなエネルギー変換が行われているか、考えてみよう。

A 光 エネルギー → エネルギー → エネルギー

B エネルギー → エネルギー → 音のエネルギー

○この実験を通して、地球の環境やエネルギー資源についての課題を解決するヒントの一つが見いだせる。どんなことが見いだせたかを自由に書いてみよう。

#### (4) 補足

##### ①ペットボトル電気分解装置の特長と課題

この装置の特長としては、一点目に、H字管のように気体を捕集できること、二点目に、安価に用意できること、三点目に、構造が簡単であり、電気分解の原理を生徒に理解させやすいものになっていることなどが挙げられる。また、炭素電極の代わりにステンレス製のくぎ等を用いるとステンレス電極にもなる。課題としては、ペットボトルとシリンジがガラスのような透明性に欠くので、近くで観察しないと反応の様子が見えにくいことや、2本のシリンジの目盛が反対側に向いてしまうことなどが挙げられる。

##### ②燃料電池としての課題

この装置は、電気分解を行うことにより両極の周りに気体を捕集して疑似燃料電池になるものの、長時間電子メロディを鳴らしたり、光電池用モーターを回したりすることはできない。起電力の低下が早く、十分な電流を生じさせ続けることができないためである。その問題を解決する方法の一つとしては、電極の改良が考えられる。即ち、電極の周りに存在する水素と酸素分子の多くを、電極の表面で次々と電子の授受を行える状態に留められるような工夫である。

電極の表面積を大きくし、気体の吸着力を大きくする工夫として、写真15のように、炭素電極の周りをスチールワールで覆い、さらにパラジウムメッキしたステンレス網で包んだ電極を用いたところ、かなりの改善が見られた。ただし、この方法の難点は、電極が太くなり、シリンジ内部の大部分が電極で占められてしまうので、気体が発生する様子が観察しにくくなったり、発生した気体の量が分かりにくくなったりしてしまうことである。また、この電極を用いても、電気分解を行わずに、両極のシリンジ内に水素と酸素を送り込んでも、十分な起電力を生じないことも確認している。外部から送りこんだ気体分子が電極の表面に十分な数だけ吸着しないためであると考えられる。



写真15 スチールワール等でコーティングした電極

## 2 水溶液中の硫酸イオン・硝酸イオン等の陰イオンの酸化やアルカリ金属イオン・アルカリ土類金属イオン等陽イオンの還元が起こらない理由の説明例

生徒から、「白金や炭素電極を用いた電気分解において、硫酸イオン・硝酸イオン等の陰イオンの酸化やアルカリ金属イオン・アルカリ土類金属イオン等陽イオンの還元が起こらないのはなぜですか?」という質問が投げかけられる。このとき、教科書には「水と比較して酸化されにくいから、水と比較して還元されにくいから」と記載されており、教師もその一言で終わりにしてしまうことが多い。生徒が教師の説明に納得し、化学を学習する意義を再確認するために、高校での学習内容を生かして、次の(1)と(2)のように視点を変えて説明するのも一つの工夫であると思われる。

### (1) 陽極付近の硫酸イオンや硝酸イオンについて

#### ①硫酸イオンの場合

硫酸イオン  $\text{SO}_4^{2-}$  は陰イオンであり、水の酸化に伴って陽極に引き寄せられる傾向がある。このとき水の酸化と同時にわずかな硫酸イオンも陽極付近で酸化されると仮定すると、硫酸イオンを構成する硫黄原子か酸素原子のいずれかの原子が電子を放出しなければならない。このとき、硫酸イオンを構成する硫黄原子の酸化数は+VIで最大酸化数であるので、これ以上電子を放出することはできない。

それでは、酸化数が $-II$ である酸素原子が電子を放出することを考える。仮に酸素原子が安定な酸素分子 $O_2$ に変化すると考えると、次のような半反応式(A)で表される酸化反応が起こることになる。



ちなみに、この反応は、硫酸塩を融解塩電解したときに陽極付近で起こる反応として報告もされている。このとき生成する三酸化硫黄は直ちに次の反応式(B)で表されるように水と反応し、硫酸イオンに戻る。



(A)と(B)の反応が同時に起こるので、二つの反応式を一つにまとめると、(C)のようになる。



即ち、陽極付近で硫酸イオンも酸化されるとしても、結局は水が酸化されることになる。

## ②硝酸イオンの場合

硝酸イオン $NO_3^-$ についても硫酸イオンと同様に考える。硝酸イオンを構成する窒素原子の酸化数は $+V$ で最大酸化数であるので、これ以上電子を放出することはできない。上述と同様に酸化数が $-II$ である酸素原子が電子を放出して安定な酸素分子 $O_2$ に変化すると考えると、次のような半反応式(D)で表される酸化反応が起こることになる。



このとき生成する五酸化二窒素は無水硝酸とも呼ばれ、直ちに次の反応式(E)で表されるように水と反応し、硝酸イオンに戻ることが知られている。



(D)と(E)の反応が同時に起こるので、2つの反応式を一つにまとめると、(F)のようになる。



即ち、陽極付近で硝酸イオンが酸化されるとしても、結局は水が酸化されることになる。

## (2) 陰極付近のアルカリ金属イオンやアルカリ土類金属イオン等について

### ①アルカリ金属イオンやアルカリ土類金属イオンの場合

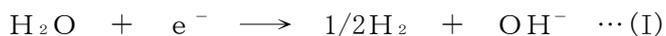
例えば、ナトリウムイオン $Na^+$ は陽イオンであり、水の還元に伴って陰極に引き寄せられる傾向がある。水の還元と同時にわずかなナトリウムイオンも陰極付近で還元されると仮定すると、次のような半反応式(G)で表される反応が起こり、ナトリウムの単体が生成することになる。



このとき生成するナトリウムは直ちに次の反応式(H)で表されるように水と反応し、ナトリウムイオンに戻り、同時に水素が発生する。



(G)と(H)の反応が同時に起こるので、2つの反応式を一つにまとめると、(I)のようになる。

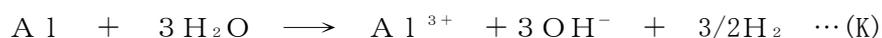


即ち、陰極付近でナトリウムイオンも還元されるとしても、結局は水が還元されることになる。ただし、実際は(G)式で表したような金属ナトリウムは生成することなく、反応中間体 $(Na^+ \cdot e^-)^*$ が水と反応すると考えられる。

### ②アルミニウムイオン等の場合

アルミニウムイオン $Al^{3+}$ については、ナトリウムのような説明で生徒の理解を求めるのは難しい。それは、仮に次のような半反応式(J)で表される還元反応が起こり、アルミニウムの

単体が生成したとしても、反応式(K)で表されるような金属アルミニウムと水との反応は容易に起こらないことを、生徒は学習しているからである。(金属アルミニウムの表面に形成される酸化被膜により、水との反応を抑制することも学習している。)



ただし、ナトリウムと同様に、アルミニウムについても(J)式で表したような金属アルミニウムは生成することなく、反応中間体 ( $\text{Al}^{3+} \cdot 3\text{e}^{-}$ ) \*が水と反応する。この場合、反応中間体がアルミニウムよりもエネルギー的に不安定であるので、金属アルミニウムよりも水と反応しやすいものと考えられる。また、アルミニウムの周りに酸化被膜が形成されずに水と接触できることも要因として加えられる。それ故に、アルミニウムイオンの水溶液の場合も水が還元される。