

高等学校における教科指導の充実

理 科 　《化学領域》

探究する力を身に付ける化学の授業を  
目指して [電気分解]

栃木県総合教育センター  
平成23年 3 月

# ま え が き

21世紀は、新しい知識・情報・技術が、政治・経済・文化をはじめ社会のあらゆる領域の基盤として飛躍的に重要性を増す、いわゆる「知識基盤社会」の時代であると言われています。そのような時代を生きるために、確かな学力、豊かな心、健やかな体の調和を重視する「生きる力」をはぐくむことがますます重要になります。また、各種の調査からは、日本の児童生徒について、思考力・判断力・表現力、知識・技能の活用、学習意欲、学習習慣・生活習慣などで課題があると分析されました。このような状況を踏まえて、平成20年1月の中央教育審議会答申で学習指導要領の改訂の方向性が示され、平成21年3月に高等学校学習指導要領が告示されました。

平成22年12月に公表されたOECD生徒の学習到達度調査（PISA2009年）の結果においては、読解力、数学的リテラシー、科学的リテラシーのそれぞれで下位層が減少し、上位層が増加したことから、読解力を中心に日本の生徒の学力は改善傾向にあると考えられていますが、課題は依然として残されています。今後とも引き続き、基礎的・基本的な知識の習得や、問題解決のための思考力・判断力・表現力の育成に努めていくことが求められます。

栃木県総合教育センターでは、基礎・基本の確実な定着を図る教科指導の在り方について研究するとともに、その成果を普及することで生徒の学力の向上に資することを目的に、平成17年度から「高等学校における教科指導の充実に関する調査研究」を行ってきました。今年度は、昨年度に引き続き、「今回の学習指導要領の改訂の趣旨を踏まえるとともに、各種調査の結果から指摘されている課題の解決を図るための教科指導の在り方を探る」ことに重点を置き、国語科、地理歴史科、数学科、理科、外国語科（英語）の各教科で調査研究に取り組みました。本冊子はその成果をまとめたものであり、教科指導を充実させる一助として、御活用いただければ幸いです。

最後に、調査研究を進めるにあたり、御協力いただきました研究協力委員の方々に深く感謝申し上げます。

平成23年3月

栃木県総合教育センター所長

瓦 井 千 尋

## 理科（化学領域）

### 探究する力を身に付ける化学の授業を目指して〔電気分解〕

#### 目 次

調査研究の背景と概要	1
演示実験・生徒実験 電解質水溶液の電気分解（化学Ⅰ）	3
Ⅰ 科目「化学Ⅰ」における単元「電気分解」の位置付け	
Ⅱ 展開例と指導上の留意点（工夫）	
Ⅲ 演示実験「電解質水溶液の電気分解（1）」	
Ⅳ 生徒実験「電解質水溶液の電気分解（2）」	
Ⅴ まとめ	
Ⅵ 参考	
生徒実験・探究活動 電気分解の法則と電気分解の利用（化学Ⅱ）	24
Ⅰ 科目「化学Ⅱ」の中で電気分解についての内容を学習する意義	
Ⅱ 展開例と指導上の留意点（工夫）	
Ⅲ 生徒実験「ファラデーの電気分解の法則の検証」	
Ⅳ 探究活動「電気分解の応用（工業的利用）」	
Ⅴ まとめ	
Ⅵ 参考	
参考文献等	44

※本資料は、栃木県総合教育センターのホームページ「とちぎ学びの杜」内、「調査研究」と「教材研究のひろば」のコーナーにも掲載しています。

「とちぎ学びの杜」 <http://www.tochigi-edu.ed.jp/center/>

## 調査研究の背景と概要

平成21年3月に告示された学習指導要領の改訂においては、「OECD生徒の学習到達度調査（PISA調査）」など各種の調査から明らかにされた、次のような課題が反映されている。

- ①思考力・判断力・表現力等を問う読解力や記述式問題、知識・技能を活用する問題において、無答率が高いという課題が見られる。
- ②読解力に関しては成績分布の分散が拡大し、成績中位層が減り、低位層が増加している。
- ③家庭での学習時間の減少など、学習意欲、学習習慣・生活習慣に課題が見られる。
- ④自分への自信の欠如や自らの将来への不安、体力の低下といった課題が見られる。

特に、教科の指導においては、基礎的・基本的な知識及び技能を確実に習得させること、知識及び技能を活用して課題を解決するために必要な思考力・判断力・表現力等を育成することが重視されている。その実現のためには、「習得・活用・探究」のバランスを取った学習活動の展開が重要であり、高等学校学習指導要領解説の総則では、次のように述べられている。

＜高等学校学習指導要領解説総則 第1章 総説 第2節 改訂の基本方針（抜粋）＞

- ②知識・技能の習得と思考力・判断力・表現力等の育成のバランスを重視すること。

確かな学力を育成するためには、基礎的・基本的な知識・技能を確実に習得させること、これらを活用して課題を解決するために必要な思考力、判断力、表現力その他の能力をはぐくむことの双方が重要であり、これらのバランスを重視する必要がある。

このため、各教科において基礎的・基本的な知識・技能の習得を重視するとともに、観察・実験やレポートの作成、論述など知識・技能の活用を図る学習活動を充実すること、さらに総合的な学習の時間を中心として行われる、教科等の枠を超えた横断的・総合的な課題について各教科等で習得した知識・技能を相互に関連付けながら解決するといった探究活動の質的な充実を図ることなどにより思考力・判断力・表現力等を育成することとしている。

また、これらの学習を通じて、その基盤となるのは言語に関する能力であり、国語科のみならず、各教科等においてその育成を重視している。さらに、学習意欲を向上させ、主体的に学習に取り組む態度を養うとともに、家庭との連携を図りながら、学習習慣を確立することを重視している。

また、理科（化学領域）においては、平成17年度教育課程実施状況調査（高等学校）の結果等から、「イオン」が関係する学習内容が十分身に付いていないという問題が指摘された。これらのことを踏まえつつ、平成19年度から22年度（本年度）までの4年間を通して、「酸化・還元反応」を中心に、イオンを中心とした粒子概念や化学反応が起こる際の電子の授受の考え方を身に付けさせることにより、指摘された問題の解決を図ることを目的として、それらの指導の在り方を探る調査研究に取り組んだ。（なお、昨年度までの調査研究の報告についても、栃木県総合教育センターのホームページ「とちぎ学びの杜」内、「調査研究」と「教材研究のひろば」のコーナーにも掲載しているので、ご参照いただきたい。）

本年度は、昨年度の「電池」に関する指導法の調査研究を継続する形で「電気分解」に関する指導法の充実を目指して研究を進めた。よって、研究の趣旨は昨年度と同様であるが、特に、新学習

指導要領において求められている「観察、実験などの結果を分析し解釈して自らの考えを導き出し、それらを表現するなどの学習活動を充実する」ことを主眼に置いた。このことにより、最初に、「電気分解」の原理を「酸化と還元」の概念を用いて自身の言葉や模式図等を描いて説明できる力や、エネルギー変換の視点で「電池」と「電気分解」での電極上の電子の授受の違いを判断できる力を身に付けさせる。次に、「電気分解」で起こる現象を定量的に捉えて論理的な思考を展開できる力を、「酸化・還元反応」、「電池」、「電気分解」の各単元間のつながりを実感させながら身に付けさせることを具体的な課題に掲げた。

本年度は、前述の課題に対応するために、以下の4点に留意して調査研究を行った。(①～③は、昨年度の調査研究の継続である。)

- ① 「(i) 演示実験→(ii) 指導内容の提示と検証事項の提起→(iii) 生徒実験→(iv) 学習内容の確認と新たな課題の提起→(i)」の4サイクルでの指導展開を検討する。
- ② 「酸化・還元」や「電池」の単元で扱った素材や物質を用いて実験・観察を実施する。
- ③ 「言語活動の充実」を図るための授業展開や教材・実験素材の開発を行う。
- ④ 授業で学習した内容と人間生活とのつながりを実感でき、関心・意欲を喚起する探究活動を設定する。

また本年度は、第2学年で履修している科目「化学Ⅰ」の中で行った調査研究と、第3学年で履修している科目「化学Ⅱ」の中で行った調査研究をそれぞれ報告する。現行の学習指導要領の下では、科目「化学Ⅰ」の中で概論的に「電気分解」を学習しているが、科目「化学Ⅱ」の中でも応用的に再び「電気分解」を学習することになる。高等学校の化学領域の知識を一通り理解した上で、人間生活に密着した電気分解の利用法を、身に付けた様々な視点から学ぶことは大変意義深く、科目「化学Ⅱ」での学習はさらに重要である。環境問題やエネルギー問題の解消にむけて、今後、電気化学の分野はますます大切な役割を担うことも視野に入れて化学教育に取り組むべきである、ということからも、科目「化学Ⅱ」は重要である。加えて、新学習指導要領の下では、科目「化学基礎」を履修した後に学習する科目「化学」の中で「電気分解」を学習することになり、履修する生徒の特性や学年などから見ても、現行の科目「化学Ⅱ」での実践例を十分に生かすことができる。

本報告書で紹介する演示実験・生徒実験・探究活動の素材のほとんどは、オーソドックスなものである。各学校の生徒や教育課程等の実情に合わせて、必要な部分を適宜活用していただけると幸いである。今回の報告事例のように、学習指導要領が改訂されることで、様々な可能性が広がるような教材が他にも数多くあるはずである。平成24年度の先行実施に向けて、これまでの指導方法やこれまで使用してきた教材を多面的な視点で見直し、新学習指導要領に対応した、より充実した教科指導を実践する必要がある。

#### 〈研究協力委員〉

栃木県立小山高等学校 教諭 岡本 英雄

#### 〈研究委員〉

栃木県総合教育センター研修部 指導主事 今井 和彦

---

※本冊子においては、平成11年3月に告示された学習指導要領を「現行の学習指導要領」、平成21年3月に告示された学習指導要領を「新学習指導要領」として記す。

## 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。
	○演示実験 (2)	○塩化銅(Ⅱ)水溶液の電気分解を観察する。	○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。
	○学習内容の整理 (1)	☆観察した現象を文章で表現するとともに、炭素電極付近の反応や電子の移動の様子を図で表現する。	○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。
	○演示実験 (3)	○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。 ○硫酸ナトリウム水溶液の電気分解を観察する。	○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。 ○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)

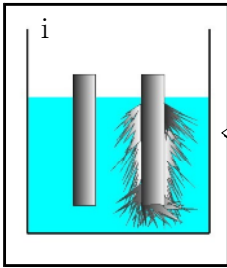
- (1) 「塩化銅(II)水溶液の電気分解 (1)」で通電した電解槽、電極を使用する。
- (2) 銅が表面に析出した炭素電極を陽極に、他方の炭素電極を陰極にし、6Vの電圧をかけて通電する。

4 結果・考察等のまとめ

■実験プリント例

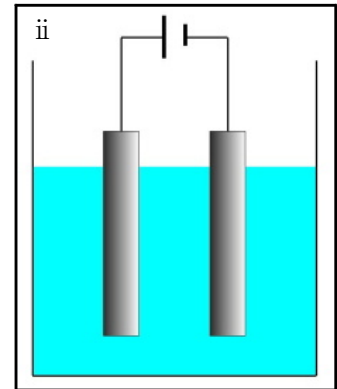
[結果]

A 硝酸銀水溶液の電気分解 (両極とも炭素電極)

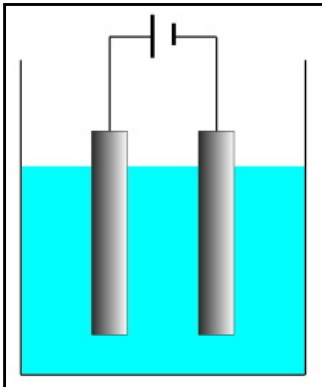


〈陰極〉 銀樹が形成した。  
(銀が析出した。)

〈陽極〉



B 塩化銅(II)水溶液の電気分解 (両極とも炭素電極)



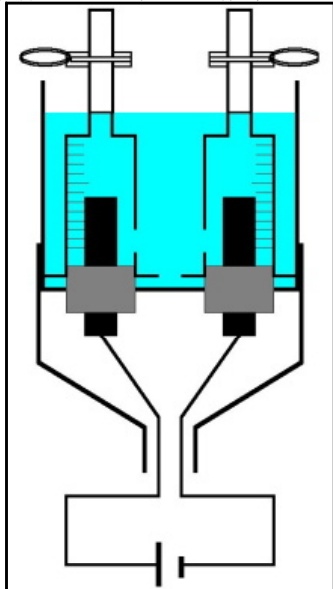
〈陰極〉

〈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〉

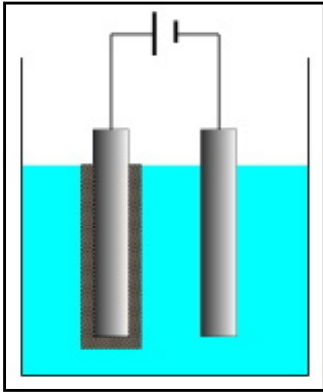
\* BTB溶液の色は? 緑色 →

〈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 $Ag^+$ 硝酸イオン $NO_3^-$ 水 $H_2O$ 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> $Ag^+ + e^- \rightarrow Ag$
	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

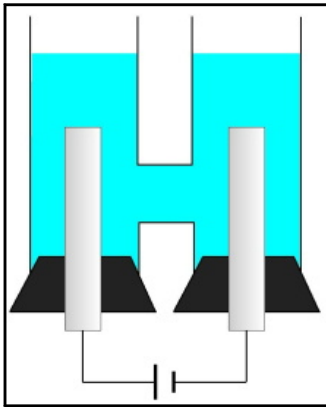
>	>	>	,
---	---	---	---

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

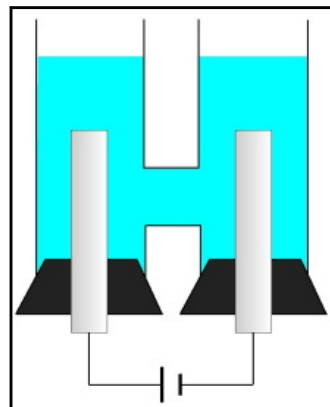
>	>	>	,
---	---	---	---

(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。

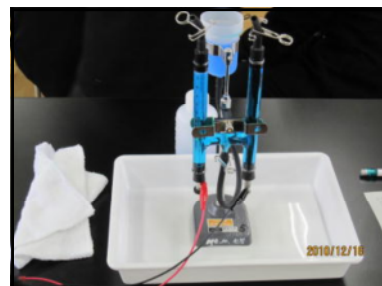


写真3 ホフマン型電気分解装置

- 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

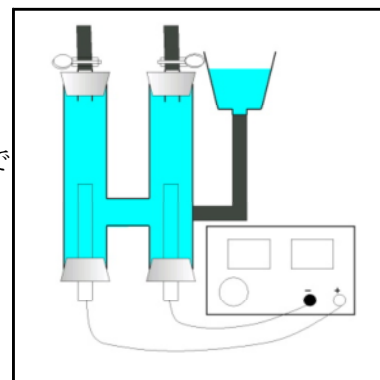
- (1) 班で話し合っ、4種類の電解質水溶液から電気分解してみたいものを選ぶ。(それぞれの電解質を△班ずつが調べるので、希望が競合した場合は調整して決定する。)
- (2) 班で調べることになった水溶液を電気分解したときの予想を、班内で出し合い、確認する。
- (3) 予想した物質を確認するための方法を班で話し合って考える。

☆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（φ5mm×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8 使用器具の一部



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)

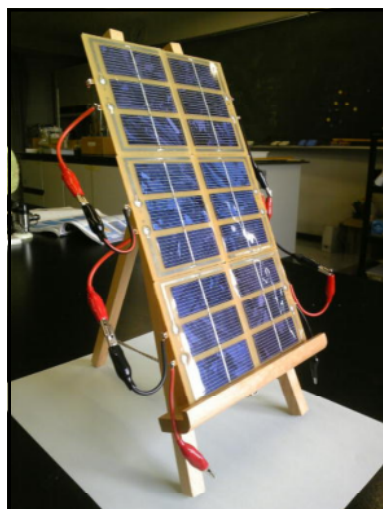


写真12 装置全体

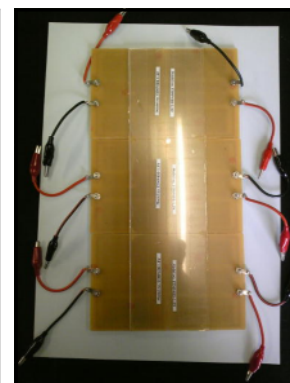


写真13 太陽電池  
モジュール板裏面



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。

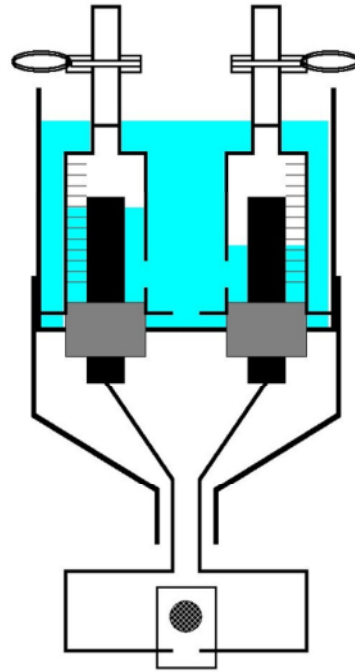
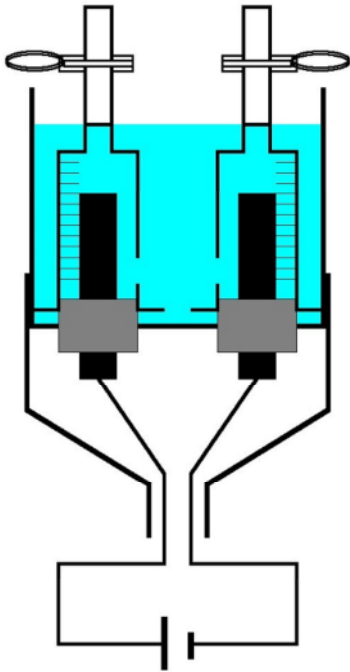
(3) 補助プリント例（記入欄は省略）

[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  
 どん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

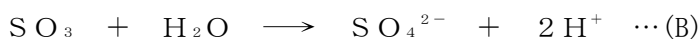
硫酸イオン  $\text{SO}_4^{2-}$  は陰イオンであり、水の酸化に伴って陽極に引き寄せられる傾向がある。このとき水の酸化と同時にわずかな硫酸イオンも陽極付近で酸化されると仮定すると、硫酸イオンを構成する硫黄原子か酸素原子のいずれかの原子が電子を放出しなければならない。このとき、硫酸イオンを構成する硫黄原子の酸化数は+VIで最大酸化数であるので、これ以上電子を放出することはできない。



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

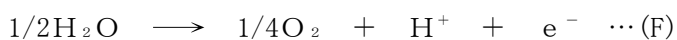
硝酸イオン $NO_3^-$ についても硫酸イオンと同様に考える。硝酸イオンを構成する窒素原子の酸化数は $+V$ で最大酸化数であるので、これ以上電子を放出することはできない。上述と同様に酸化数が $-II$ である酸素原子が電子を放出して安定な酸素分子 $O_2$ に変化すると考えると、次のような半反応式(D)で表される酸化反応が起こることになる。



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。

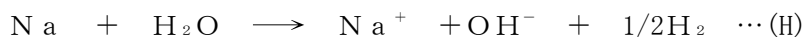
## (2) 陰極付近のアルカリ金属イオンやアルカリ土類金属イオン等について

### 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

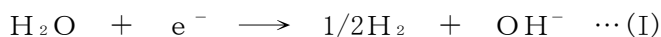
例えば、ナトリウムイオン $Na^+$ は陽イオンであり、水の還元に伴って陰極に引き寄せられる傾向がある。水の還元と同時にわずかなナトリウムイオンも陰極付近で還元されると仮定すると、次のような半反応式(G)で表される反応が起こり、ナトリウムの単体が生成することになる。



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。

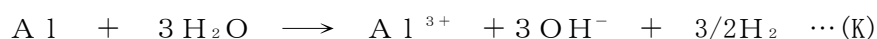
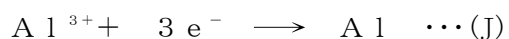


即ち、陰極付近でナトリウムイオンも還元されるとしても、結局は水が還元されることになる。ただし、実際は(G)式で表したような金属ナトリウムは生成することなく、反応中間体 $(Na^+ \cdot e^-)$ \*が水と反応すると考えられる。

### 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。

## I 科目「化学Ⅱ」の中で電気分解についての内容を学習する意義

現行の学習指導要領では、科目「化学Ⅱ」における単元「材料の化学」で銅やアルミニウムの電気分解を利用した工業的精製法を扱うので、この単元を通して科目「化学Ⅰ」で既に学習した電気分解の内容を色々な角度で復習しながら、さらに深く学習することができる。特に、科目「化学Ⅱ」では既に「気体の法則」を学習しているため、科目「化学Ⅰ」ではできなかった、電気分解の際に気体で発生する物質を定量的に扱うことも可能である。そこで本調査研究では、まず、ファラデーの電気分解の法則を気体の法則を利用して検証する実験を行い、さらに、電気分解の工業的利用について生徒の視点で調べて発表会を行うという試みをした。

ただし、新学習指導要領では、科目「化学」の中で「気体の法則」と「電気分解」の両方を学習することになるので、本事例をさらに無理のない展開で進めることができるものと考えられる。

## 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 ○復習と内容整理 ○生徒実験（準備）	○塩化ナトリウム水溶液及び塩化ナトリウム融解塩の電気分解を観察する。 ○科目「化学Ⅰ」で学習した単元「電気分解」の内容を簡単に復習する。 ○電気分解の化学工場での利用例を整理する。 ○次時に行う生徒実験の実験方法を確認するとともに、実験の原理を理解する。 ☆実験プリントの実験方法の記述をもとに、実験原理を文章や式で表現する。	○身近な物質である塩化ナトリウムを用い、水溶液と融解塩の電気分解を観察させ、電極での反応の原理を整理させる。科目「化学Ⅰ」で学習した内容を復習する動機付けとして実施する。 (実験方法は、「VI 参考」を参照) ★必要なら「ファラデーの電気分解の法則」や「気体の法則」を簡単に復習する。
2 時 間 目	○生徒実験	○ホフマン型電気分解装置を利用し、硫酸銅(Ⅱ)水溶液を電気分解し、両極で生成する物質の物質量をそれぞれ測定する。 *データの処理は自宅で行う。	○電気分解装置の原理を確認する。
3 時 間 目	○生徒実験のまとめ ○探究活動事前準備	☆処理したデータを班内で確認し、協議した上で、結果を発表する。 ☆電気分解が化学工場でどのように利用されているかを各自が書き出し、それをもとに生徒同士で意見交換する。 ○探究活動のための班分けをする。 (3班編制)	★実験誤差の原因を考えさせる。 ★「化学Ⅰ」の授業で学んだこと思い出させ、意見交換を深めさせる。 ★三つの事例(テーマ)を出させる。 ○リーダー的役割を担える生徒が各班に配置されるように留意する。

		<p>○班ごとの探究テーマを決定する。</p> <p>○探究する内容の分担や発表会時の係分担をする。</p>	<p>○全員が協力できるように係分担を決めさせるとともに、班員全員がテーマの内容を理解できるようにする。</p>
4 時間 目 + α	○探究活動	<p>○割り当てられた分担に関して、教科書、資料集、その他の文献やインターネット等で調べ、必要な情報を収集する。</p> <p>☆発表する内容を整理し、プレゼンテーションソフトを用いてまとめるとともに、原稿案を作成する。(生徒1人当たり1シート程度。)</p> <p>*時間内で終わらない部分は、昼休み等の時間を利用してまとめる。</p>	<p>○各生徒の進捗状況を確認し、必要に応じて適切な資料を紹介する。</p> <p>★プレゼンテーション資料を作成する際の留意事項(しっかりと内容を検討して、わかりやすい説明・解説をすること等)を助言する。</p>
5 時間 目	○発表準備	<p>○発表会の全体の係分担をする。</p> <p>☆各自が準備した発表資料を班で一つにまとめ、発表内容や構成について協議する。</p> <p>○発表の準備・リハーサルを行う。</p>	<p>○総合司会者を決め、生徒に発表会の進行をさせるための打合せをもつ。</p> <p>★時間内に終わる分量であることを確認させる。</p> <p>○実施要項に従って生徒全員に各班の発表内容をよく理解させ、その上で発表準備をさせる。</p> <p>★各班の発表後の質疑応答時の質問を他班の司会役の生徒に準備させておく。</p>
6 時間 目	○研究発表会	<p>☆生徒の進行の下に発表会を行う。</p> <p>①説明「発表の流れについて」</p> <p>②発表(発表10分+質疑応答3分)</p> <p>③講評・補足</p> <p>○生徒同士が発表内容の評価を行う。</p>	<p>★質疑応答の時間を通して、さらに理解を深めさせる。</p> <p>○必要があれば、内容内容に対するの助言をする。</p>

### Ⅲ 生徒実験「ファラデーの電気分解の法則の検証」

#### 1 実験のねらい（留意点）

- 演示実験を通して各電極上での反応についての簡単な確認をした上で、量的関係に主眼を置いて取り組ませる。
- 電気分解により発生した気体の体積をメスシリンダーで測定するので、高い精度のデータが得られるわけではないが、次のメリットが考えられる。
  - (1) 経過時間ごとの気体の体積を測定できる。
  - (2) (1)の結果をグラフに表すことにより授受した電子と生成した気体の物質量の比例関係、及び反応における授受した電子と生成物との量的関係が見い出せる。
  - (3) 通電途中で、実験操作が適切であるかどうかを確認できる。
- 本実験では、「気体の法則」に基づいて気体の体積から物質量を求めているが、「気体の法則」を学習していない科目「化学Ⅰ」では、標準状態に近似して物質量を求めても、ある程度定量的な考察ができる。（「Ⅵ 参考」を参照。）
- 電気分解を利用した化学工業では、大きなエネルギーを要していることを、ファラデーの法則を検証しながら、実感させる。

#### ■実験プリント例

##### [目的]

- (1) 硫酸銅(Ⅱ)水溶液の電気分解を行い、発生する酸素の体積及び析出する銅の質量を測定し、ファラデーの法則が成立することを確かめる。
- (2) さらに、硫酸銅(Ⅱ)水溶液に流した電流の大きさと流した時間をもとにファラデー定数を求め、理論値と比較する。
- (3) (1)で測定する酸素の体積については、気体の法則、分圧の法則に基づいて物質量への換算を行い、より厳密なデータ処理を行う。

##### [原理]

今回行う実験で、[目的] (1)と(2)を達成することができる原理を、[方法]を参考にして説明してみよう！

- ☆ 陰極と陽極で起こる反応を反応式で表すことから出発し、例えば、水溶液に  $I$  [A] の電流を  $t$  [秒] 流したとき、陰極に銅が  $m$  [g] 析出し、陽極から酸素が  $v$  [L] 発生した場合を考える。
- ☆ 硫酸銅(Ⅱ)水溶液に、仮に150mAの電流を32分10秒流したとする。このとき、陰極に析出する銅の質量 [g] と陽極から発生する酸素の体積 [L] (標準状態の下での) を計算してみよう！

※生徒の記入例は略。実際の記入欄はもっと広くとった。

## 2 準備（留意点）

- 陰極に炭素電極、陽極に白金電極を用いる。炭素電極で酸素を発生させると、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。
- 銅が付着した炭素電極は、1日程度希硝酸に浸しておくと、銅がきれいにとれる。

### ■実験プリント例

#### [準備]

##### (1) 試薬類

1mol/L硫酸銅(II)水溶液、希硝酸

##### (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)、水槽、温度計、気圧計、時計、25mLメスシリンダー、ドライヤー、電子天秤、電流計、リード線(×3本)、電源装置、すべり抵抗器(電圧を調節できない電源装置では必要)、200mL三角フラスコ

## 3 実験方法（留意点）

- 陰極・陽極ともに安価な炭素電極を用いたいところであるが、酸素を発生させる陽極は白金電極を用いる。これは、炭素電極で酸素を発生させると、酸素が炭素電極上に吸着したり、酸素の一部が炭素電極と反応したりして、期待される量の酸素が捕集できないためである。
- 一定時間ごとに水上置換でメスシリンダー内に捕集した酸素の体積を測定するが、この方法では、捕集した酸素の量が少ないとメスシリンダー内の水面と水槽の水面の高さを一致させられず、正確な物質量が求められない。それを理解させた上でグラフを描かせる。
- 誘導管を水槽中のメスシリンダーに挿入する際は、極力誘導管内に水が入り込まないように注意する。

### ■実験プリント例

#### [方法]

○ 事前準備及び通電前の陰極の質量測定

(1) 乾燥した炭素電極（ゴム栓等がついたまま）の質量を測定する。

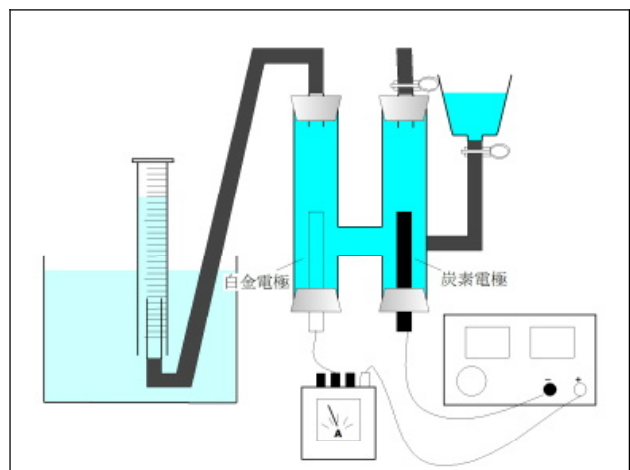
(2) 右図のような装置を組み立てる。

（陰極として炭素電極を、陽極として白金電極を用いる。）

(3) ピンチコックをゴム管からずらし、管を開いた状態で硫酸銅(II)水溶液を注ぎ、H字管いっぱいにする。その状態で二つのピンチコックで陰極側上部及び水だめのゴム管を閉じる。

(4) メスシリンダーの内部を水で満たし、逆さまにして、陽極側上部に接続した誘導管の先をメスシリンダーに差し込む。（このとき、極力誘導管内に水が入らないように！）

(5) 陰極、陽極を電源装置に接続する。このとき、いずれかの電極と電源装置の間に電流計を接続する。（100mA～200mAの電流を測定する。）



○通電及び陽極から発生する酸素の質量測定

- (1)電源装置のスイッチをONにし、すばやく電圧の大きさを調整して、電流の値を150mAにする。(必ずしも電流の大きさは150mAまで達しなくてもよいが、電流の大きさの値を記録しておくとともに、以降、電流の大きさが一定になるように、電圧を調節し続ける。)
- (2)時間を計り始め、電流を32分10秒間流し続ける。(必ずしもこの時間でなくてもよいが、電流を流した時間を記録しておく。この時間の数値の場合、データの処理がしやすい。)
- (3)電流を流し始めてから1分毎にメスシリンダー内の水面の位置の目盛を読み、発生した酸素の体積〔mL〕を測定する。(電流を流し終えたときの体積は、必ず、メスシリンダー内の水面の高さを水槽の水面の高さに一致させてから、目盛を読む。)
- (4)実験室の気圧及び水槽の中の水温を測定する。(水槽の水温から、メスシリンダー内の水蒸気圧を教科書や図説の蒸気圧曲線から調べる。)

○事後の処理及び通電後の陰極の質量測定

- (1)誘導管を水槽から出し、陰極上部のゴム管を閉じているピンチコックをずらし、ゴム管を開く。
- (2)水だめをH字管の下部の位置まで下げてから、水だめのゴム管を閉じているピンチコックを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フラスコに戻す。)
- (3)陰極の炭素電極をH字管から外し、水洗いした後、ドライヤーで十分に乾燥させる。
- (4)炭素電極（ゴム栓等がついたまま）の質量を測定する。

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]

○基礎データ

流した電流		[A]		電気量
通電時間	分	秒	→	[C]

○陰極での反応に関するデータ

通電前の質量	通電後の質量		銅の析出量
[g]	[g]	→	[g]
		物質	[mol]

○陽極での反応に関するデータ

(1)時間経過とともに発生する酸素の発生量（測定データと換算データ）

通電時間		1分	2分	3分	4分	5分	6分	7分	8分	9分	10分
酸素の 発生量	体積 [mL]										
	物質質量mol										

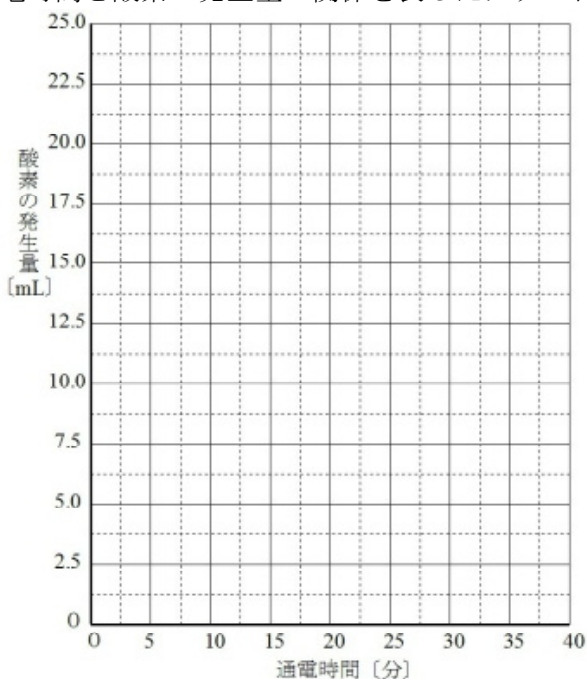
11分	12分	13分	14分	15分	16分	17分	18分	19分	20分	21分	22分	23分

24分	25分	26分	27分	28分	29分	30分	31分	32分			分	秒

通電  
時間

\*酸素の物質質量については、メスシリンダー内が酸素だけで満たされていると仮定したときの、標準状態の下での値。

(2)通電時間と酸素の発生量の関係を表したグラフおよびグラフよりわかること



グラフより、

(3)メスシリンダー内の正確な酸素の物質質量を求めるためのデータ

大気圧	[Pa]		水蒸気圧
水槽の水温	[°C]	→	[°C]



[考察]

○陽極での反応に関して

(1)析出した銅の物質質量と移動した電子の電気量からファラデー定数を求めよう！

【原理】で記述した反応式より、陰極で受け取った電子 $e^-$ と析出した銅Cuの物質質量の関係は\_\_\_\_\_：  
であるので、移動した電子の物質質量は、

よって、測定結果より得られるファラデー定数は、

(2)実験から得られたファラデー定数の理論値 ( $9.65 \times 10^4$  [C/mol]) に対する誤差 [%] を計算してみよう！（誤差が大きいときは、原因を考えよう。）

○陰極での反応に関して

(1)発生した酸素の物質質量と移動した電子の電気量からファラデー定数を求めよう！

A 標準状態に近似して物質質量に換算し、水蒸気の影響を無視した場合（化学 I）

<※通電した電気量が $2.90 \times 10^2$  C、酸素の捕集量が18.2mLであった班の生徒の記入例>

酸素の発生量は18.2mLであるから、酸素の物質質量は、

$$18.2 \times 10^{-3} \text{ [L]} \div 22.4 \text{ [L/mol]} = 8.125 \times 10^{-4} \text{ mol} \text{ である。}$$

$2H_2O \rightarrow O_2 + 4H^+ + 4e^-$  の反応により酸素が発生したので、移動した電子の物質質量は、

$$8.125 \times 10^{-4} \text{ mol} \times 4 = 3.25 \times 10^{-3} \text{ mol} \text{ である。}$$

一方、実験結果より移動した電気量は、 $2.90 \times 10^2$  Cである。

よって、測定結果から得られるファラデー定数は、

$$2.90 \times 10^2 \text{ C} \div 3.25 \times 10^{-3} \text{ mol} \doteq 8.92 \times 10^4 \text{ C/mol} \text{ である。}$$

<※Bの考察へつづく>

B 大気圧と温度を考慮して物質質量に換算し、水蒸気の影響を考えた場合（化学Ⅱ）

メスシリンダー内の全圧は大気圧と等しく  $1.014 \times 10^5$  Pa であり、水蒸気圧は  $1.414 \times 10^3$  Pa であったので、発生した酸素の分圧は、 $1.00 \times 10^5$  Pa である。よって、発生した酸素の物質質量は以下のように求められる。

理想気体の状態方程式  $PV = nRT$  にそれぞれのデータを代入すると、

$$1.00 \times 10^5 \text{ [Pa]} \cdot 18.2 \times 10^{-3} \text{ [L]} = n \cdot 8.31 \times 10^3 \text{ [Pa}\cdot\text{L}/(\text{mol}\cdot\text{K})] \times 285 \text{ [K]}$$

となるので、 $n \doteq 7.68 \times 10^{-4} \text{ mol}$  である。〈※実験室の大気圧が  $1.014 \times 10^5$  Pa、温度が  $12^\circ\text{C}$  であった。〉

求めた物質質量を用いて、上述Aと同様にしてファラデー定数を求める。

移動した電子の物質質量は、 $7.684 \times 10^{-4} \text{ mol} \times 4 \doteq 3.07 \times 10^{-3} \text{ mol}$  であり、

実験結果より移動した電気量は、 $2.90 \times 10^2 \text{ C}$  である。

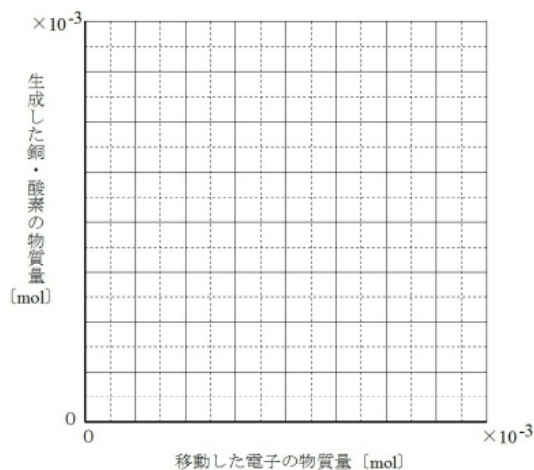
よって、測定結果から得られるファラデー定数は、

$$2.90 \times 10^2 \text{ C} / 3.07 \times 10^{-3} \text{ mol} \doteq 9.45 \times 10^4 \text{ C/mol}$$
 である。

\*酸素、水蒸気とも理想気体として考える。

- (2) AまたはBで得られたファラデー定数の理論値 ( $9.65 \times 10^4$  [C/mol]) に対する誤差 [%] を計算してみよう！（誤差が大きいときは、原因を考えよう。）

- 実験において移動した電子の物質質量と、陰極・陽極で生成した銅・酸素の物質質量の関係をグラフで表してみよう！（グラフと関連づけて、電気分解に関する法則を言葉で表そう。）



グラフより、生成した銅と酸素の物質質量とも、通電した電気量に比例している。このように、「電極で変化する（生成する）物質の物質質量は、流れた電気量に比例する。」

また、生成した銅と酸素の物質質量の比はいつも 2:1 の関係になっている。このように、「同じ電気量を流したときに、電極で生成する物質の物質質量は、各物質 1 mol 当たりが生成するために授受する電子の物質質量に反比例する。」

- 実験中、電気分解装置の電極間にかけていた電圧が平均 9V であると仮定して、電気分解に要した電力量（エネルギー） $E$  [kWh] を、次の式に代入して計算してみよう！

$$E \text{ [kWh]} = Q \text{ (電気量) [C]} \cdot V \text{ (平均電圧) [V]} / (3.6 \times 10^6)$$

\*参考 家庭で 1 日に使用する電力量は、平均 10kWh 程度である。

## 5 授業での留意点、生徒の感想等

### (1) 授業の様子

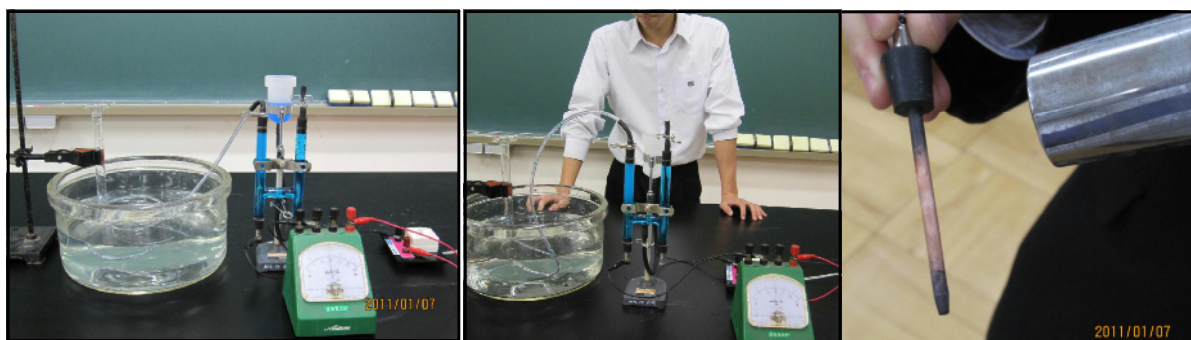


写真1 組み立てた実験装置

写真2 通電中の様子

写真3 炭素電極の乾燥

### (2) 授業者が実施して気付いた点

- ・思っていた以上に、得られた結果の実験誤差が小さく、簡単であった。
- ・実験結果に対する考察を進める際、いろいろな技能や表現を必要とし、探究が深まっていると感じた。また、様々な観点での評価ができると感じた。(ただし、これまで学習した内容をしっかりと理解していない生徒にとっては、考察を進めるのが大変そうであった。)
- ・化学反応で発生する気体の体積を定量的に実験させる機会が少ないので、気体の法則を復習するのにはよい素材であると思った。
- ・標準状態に近似してデータの処理を行うこと自体はそれほど問題がないが、理科を得意としていない生徒が「化学Ⅰ」で行う実験としては高度であると感じる。

### (3) 生徒の感想

- ・電流を一定に保つことが難しかった。もっと注意すれば、正確な値が得られたと思う。
- ・硫酸銅(Ⅱ)がゴム管に入ってしまったのが、誤差を生じた原因であると思う。
- ・長い時間電圧をかけているのに、発生する酸素や銅の量は思っていたより少なかった。
- ・気体の状態方程式が実際に得られたデータをもとにできてよかった。
- ・実験誤差が少なくてよかった。
- ・気体の法則や電気分解をもっと復習しないといけないと思った。

## IV 探究活動「電気分解の応用（工業的利用）」

### 1 探究活動のねらい（留意点）

- 化学工場で利用されている電気分解に注目させて、科目「化学Ⅰ」と科目「化学Ⅱ」で学習した内容が実際に人間生活にどのように活用されているのかを調べて、それを発表させる。そのための調査・準備・発表の過程で、電気分解を中心とする化学分野の社会的価値を理解するとともに、科学的表現力・思考力を身に付けさせる。
- 発表会において他の生徒の発表内容を意欲的にしっかりと聞き、発表内容や発表技術等を適切に評価することで、生徒自身の科学的リテラシーを養う。

#### ■探究活動準備プリント(1)の例

#### 探究活動「電気分解の応用（工業的利用）」 準備プリント(1)

##### [目的]

- 電気分解が実際にどのように化学工場で利用されているかを理解する。
- 調べ学習で自分がわかっただけでなく、それを発表することで全員で知識の共有をはかる。

##### [知識の整理]

「電気分解が実際にどのように化学工場で利用されているか」既に学習して知っていることを書き出してみよう！

※生徒の記入例は略。実際の記入欄はもっと広くとった。

### 2 実施方法（留意点）

- 事前に、電気分解が化学工場でどのように利用されているか自由記述形式で生徒一人一人に書かせ、知識の確認・整理をさせるとともに、どこまで深く理解しているか認識させる。
- 発表内容の構成・柱については、課題プリントを通して指示し、作成させるプレゼンテーションのシートの枚数の目安についても助言する。
- 調査・発表の際に引用した文献やホームページなどを明らかにさせる。
- 発表会では、各班の発表の際に他の班の生徒に司会進行（座長）を務めさせる。司会役になった生徒は、進行を行う他の班の発表内容も予習させる。（質疑応答時に質問が出ない場合は、司会役の生徒に何かしらの質問をさせるためである。）
- 他の班の発表に対して、評価用紙の評価観点ごとに評価をさせながら発表内容を理解させる。生徒が評価した結果は、後日それぞれの班にフィードバックする。

■探究活動準備プリント(2)の例

探究活動「電気分解の応用（工業的利用）」 準備プリント(2)

[確認事項]

これまで学習したことを整理してみると、次の三つを挙げるができる。

- (1) 隔膜法・イオン交換膜法 … 水酸化ナトリウムの製造
- (2) 電解精錬 … 銅の電解精錬
- (3) 融解塩電解 … アルミニウムの製造

三つの班にわかれて、それぞれについて詳しく調べて発表する。

[課題の進め方・流れ]

- (1) 班を作る（5人～6人）

班員：

- (2) 班の役割分担

班長： \_\_\_\_\_ 発表者（機械操作）： \_\_\_\_\_  
パワーポイント作成者： \_\_\_\_\_

- (3) テーマ選択・割り当て

- (4) 内容検討・調査（授業1時間+ $\alpha$ 、化学室・パソコン室）

- (5) パワーポイント・原稿作成（授業1時間+ $\alpha$ 、パソコン室）

- (6) 発表会[発表後に、わからなかったことを生徒どうしで質疑応答]（授業1時間、視聴覚室）

- (7) 発表会の役割分担

司会： \_\_\_\_\_  
座長： 1班発表時 \_\_\_\_\_、2班発表時 \_\_\_\_\_、3班発表時 \_\_\_\_\_

- (8) 班のテーマ

--

■探究活動準備プリント(3)の例

探究活動「電気分解の応用（工業的利用）」 準備プリント(3)

[調べる内容]

○各班ともに、次の内容を中心に調べて、発表すること。

(1)歴史的（社会的）背景

- ・いつぐらいの時代から
- ・どこの国で
- ・どんなことから考えられたか

《メモ》

※生徒の記入例は略。実際の記入欄はもっと広くとった。

(2)原理

①工業的装置（構造）

- ・写真（図）など

《メモ》

※生徒の記入例は略。実際の記入欄はもっと広くとった。

②原理

- ・図などを利用して解説

《メモ》

※生徒の記入例は略。実際の記入欄はもっと広くとった。

(3)メリット・デメリット

《メモ》

※生徒の記入例は略。実際の記入欄はもっと広くとった。

(4)化学工場の現状での課題と今後の取り組み

《メモ》

※生徒の記入例は略。実際の記入欄はもっと広くとった。

■発表会の進行表（実施要項）の例


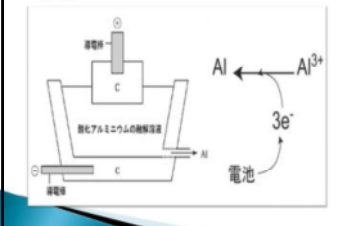
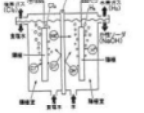
探究活動「電気分解の応用（工業的利用）」 発表会	
(1)日 時	12月15日（水） 5限目
(2)場 所	視聴覚室
(3)発表者	3年6組 化学Ⅱの選択者
(4)次 第	（司会 ○○、○○）
① 説明	「発表の流れについて」 （岡本教諭）
② 発表（発表10分＋質疑応答3分）	
1 班	『融解塩電解 ～アルミニウムの製造～』
2 班	『隔膜法・イオン交換膜法～水酸化ナトリウムの製造～』
3 班	『電解精錬～銅の精錬～』
③ 講評・補足	（岡本教諭）
(5)評 価（発表内容に対して、生徒どうしで評価する。別紙評価票に記入する。）	
①評価の観点	・内容について（3：非常によい、2：よい、3：ふつう） ・わかりやすさ（3：非常によい、2：よい、3：ふつう） ・工夫について（3：非常によい、2：よい、3：ふつう）
②自由記述	

■評価票の例

探究活動「電気分解の応用（工業的利用）」 発表会 評価用紙		
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block; width: 80%;">                     班の発表 テーマ：『                 </div>		
観 点	評 価	コ メ ン ト
内 容		
わ かり や す さ		
工 夫		
＊「評価」の欄は数字を記入（3：非常によい 2：よい 1：ふつう）		
疑 問		
質 問		

### 3 授業での留意点、生徒の感想等

#### (1) 生徒が作成したプレゼンテーション資料の一部

1 班 融解塩電解	2 班 隔膜法・イオン交換膜法	3 班 電解精錬
<p>イオン化傾向</p> <p><math>K &gt; Ca &gt; Na &gt; Mg &gt; Al</math></p> <p><math>&gt; Zn &gt; Fe &gt; Ni &gt; Sn &gt;</math></p> <p><math>Pb &gt; Cu &gt; Hg &gt; Ag &gt; Pt &gt; Au</math></p>	<p>歴史</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・食塩水を電気分解して、塩素と苛性ソーダを製造する</li> <li>・日本では戦後、水銀法</li> <li>・1976年以降は隔膜法</li> <li>・1986年以降はイオン交換膜法</li> </ul>	<p>原理</p> <p>①工業的装置</p>  <p>鉄鋼といって、鉄や鋼鉄の成分を取り除いた純度の92%の鋼鉄です。 さらに純度の高い鋼を得るために、鉄鋼を溶融にして、炭酸鉄(Ⅱ)水溶液のはいた電解槽で電解精錬と呼ばれる電気分解を行います。 従来の高い鋼を付着させる際には、ステンレスの板が使われます。 鉄鋼の溶融とステンレス板の溶融を交互に何度も重ねて電解槽の中にいれ、電気を流します。 電気分解はおよそ9日間続けられます。</p>
<p>バイヤー法</p> <p>アルミニウムを含む鉱石であるボーキサイトは、40%から60%しかアルミナを含まない。そのため、金属アルミニウムの精錬を行う前にアルミナを精製する必要がある。</p> <p>このバイヤー法では、まず、一モル当りのアルミナと他の成分を分離させるために水酸化ナトリウムの熱溶液で、250℃で洗浄する。このとき、アルミナだけが酸イオンとして以下のように溶解する。</p> $Al_2O_3 + 2 OH^- + 3 H_2O \rightarrow 2 [Al(OH)_4]^-$ <p>そして、他の成分は溶解せず、固体の不溶物としてろ過により除去できる。次に溶液を加熱すると、残っている水酸化アルミニウムは苛性の錯を生成して沈殿する。さらにこの沈殿物を、1,050℃に加熱すると酸素が放出してアルミナが生成する。</p> $2 Al(OH)_3 \rightarrow Al_2O_3 + 3 H_2O$	<p>相違点</p> <p>○隔膜法</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・純度が低い苛性ソーダになる</li> </ul> <p>○イオン交換膜法</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・高純度の苛性ソーダを製造することができる</li> <li>・省エネになる</li> </ul>	<p>メリット・デメリット</p> <p>メリット...より純度の高い鋼が得られること</p> <p>デメリット...電解精錬は9日間行われるため大量の電気を使用する。</p>
$Al_2O_3 + 3 C \rightarrow 2 Al + 3 CO$ 	<p>今後の取り組み</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ガス拡散電極法の開発。</li> <li>・従来の方法では水を電気分解するエネルギーが必要。</li> <li>・酸素ガスを流すと、エネルギーの節約となる。</li> </ul> 	<p>参考</p> <p>NHK 高校講座  <a href="http://www.nhk.or.jp/kokokoza/tv/kagaku/archiv_e/resume019.html">http://www.nhk.or.jp/kokokoza/tv/kagaku/archiv_e/resume019.html</a>          Wikipedia  <a href="http://ja.wikipedia.org/wiki/%E9%9B%BB%E8%A7%A3%E7%B2%BE%E9%8C%AC">http://ja.wikipedia.org/wiki/%E9%9B%BB%E8%A7%A3%E7%B2%BE%E9%8C%AC</a></p>

#### (2) 発表会の様子



写真4 司会進行する生徒



写真5 発表の様子



写真6 授業担当教諭による助言

#### (3) 発表の内容

☆発表内容より

1 班の発表から (「メリット・デメリットについて」)

アルミニウムの単体は銀白色の金属で、常温常圧で良い熱伝導性・電気伝導性を持ち、加工しやすく、実用金属としては軽量であるため、広く用いられています。熱力学的に酸化されやすい金属ではありますが、空気中では表面にできた酸化膜により内部が保護されるため



錆びにくいという特長があります。しかし問題点として、精錬には、融解および電気分解でアルミナ1トンにつき15000kWh<キロワット時>もの電力量が必要であることが挙げられます。そのため、アルミニウムは「電気缶詰」と呼ばれることがあります。

2班の発表から（「今後の取り組み・方向性について」）

・・・。イオン交換膜法により安全で品質の良い製品を安く作れるようになりましたが、さらにコストを低減するための技術開発が行われています。例えばガス拡散電極法の開発です。陰極では水が電気分解されて水素ガスが発生します。つまり水を電気分解するエネルギーが必要です。ところが陰極室に酸素ガスを流しますと水素ガスになるべき水素はカ性ソーダの水素となって水素ガスを発生することなくカ性ソーダを作ることができ、エネルギーの節約となります。これがガス拡散電極法の原理ですが、実用化に向けて試験が進められています。

3班の発表から（「精錬の工程」について）

・・・。不純物を含む粗銅を陽極にして電気分解をすると、銅（Ⅱ）イオンや銅よりイオン化傾向の大きい鉄などの金属もイオンになって溶けだします。銅よりイオン化傾向の小さい銀などの金属は、イオンにならず固体のまま落ちていきます。これを、陽極泥といいます。水溶液の中の物質で最も還元されやすいのが銅（Ⅱ）イオンです。電子を受け取って、陰極のステンレス板に銅が析出します。銅よりイオン化傾向の大きい金属は、そのまま水溶液中にイオンとして残っています。・・・。

#### ☆質疑応答の場面

挙手をして積極的に質問をする様子は見られなかったが、司会者役の生徒が無作為に生徒を指名すると、指名された生徒はしっかりと質問をしていた。発表会後に生徒の評価票を回収して記述の様子を確認すると、3割程度の生徒は、「質問 疑問」の欄に質問したい内容を書いていた。

1班の発表に対する質問と発表者の回答

〈質問〉 アルミニウムのリサイクルはどのように行われていますか？

〈回答〉 回収したアルミニウムを融かして、他の製品に加工しています。

2班の発表に対する質問と発表者の回答

〈質問〉 水酸化ナトリウムはどのように利用されているのですか？

〈回答〉 主な用途として、紙・パルプの原料となる他、ボーキサイトの融解に使われたり、染料、石鹼、洗剤の原料、無機薬品の処理や排水・排ガスの処理など、それなりにたくさんあるそうです。

### 3 班の発表に対する質問と発表者の回答

〈質問〉 電解精錬では9日間電気を使用し続けるということでしたが、1日にどれくらいの電力量が必要なのですか？

〈回答〉 それについては調べていないので分かりません。

### (3) 生徒が行った評価

#### ☆自由記述による評価

他の班の発表を観点別に文章で批評をすることにより、自分の班の発表を振り返り、プレゼンテーションの技術や表現力を高めることができた。

#### 1 班に対するコメントの一部

- ・ 情報量が多く、妥協の少ない内容で、聴き応えがあった。
- ・ 情報が多すぎて、ポイントがつかみにくいところがあった。
- ・ 図がわかりやすく、見ただけで理解できると思った。
- ・ 化学反応式が加えられていてよかった。
- ・ 図などは良かったが、文章が長すぎたので、もう少し短くしてもよいと思った。
- ・ 文字に色をつけてくっきりさせていて見やすかった。

#### 2 班に対するコメントの一部

- ・ 歴史や原理などしっかりと調べてあってよかった。イオン交換膜で効率が良くなる理由を書いてほしかった。
- ・ 話のテンポがよく、上手に話されていた。
- ・ 重要な部分のみが書かれていて見やすい。
- ・ 説明文の横に図があって見やすかった。
- ・ 隔膜法やイオン交換膜法の図が描いてあって分かりやすかった。

#### 3 班に対するコメントの一部

- ・ 最近使われている技術について調べてあってよかった。
- ・ エジプトの方法などまで調べてあってよかった。
- ・ 書いてあるものが多いので見にくい。重要な部分を選んで書いた方がよい。
- ・ 同じ言葉を続けて言っていた。
- ・ 字が小さくて見にくい。
- ・ 書いてあるものをそのまま読んでいるところがよくない。色つきの写真や図はわかりやすい。

☆数値による評価

生徒が評価した数値の度数の割合を下表にまとめた。

評価	発表の内容			発表のわかりやすさ			発表の工夫		
	1班	2班	3班	1班	2班	3班	1班	2班	3班
3	80.0%	44.4%	80.0%	60.0%	55.6%	30.0%	20.0%	22.2%	40.0%
2	20.0%	55.6%	20.0%	30.0%	44.4%	40.0%	60.0%	66.7%	50.0%
1	0%	0%	0%	10.0%	0%	30.0%	20.0%	11.1%	10.0%

発表の「内容」に対する評価は、客観的に行われている。1班と3班は、調べた内容に生徒独自の視点と考察を入れて発表内容を組み立てているのに対し、2班は、インターネット等の情報をそのまま発表しているように感じた。一方、発表の「わかりやすさ」に対する評価は、発表内容の専門性の高さとも関係していた。これまで学習した知識で対応できる、専門性がそれほど高くない内容に関する発表ほど高い評価を得ていると思われる。また、発表の「工夫」に対する評価では、生徒はどのような点で判断して評価してよいかかわからなかったのか、どの班に対しても「2（よい）」の評価が多かった。

(4) 授業者が実施して気付いた点

- ・短い時間であったが、授業で学んだ内容が実際にどのように使われているか、化学工場では授業で学んだことと違う点があることなど、生徒が興味をもてる内容を、生徒自身がたくさん発見できた。
- ・事前に知っている知識を生徒一人一人に自由に書かせたが、授業で学んでいる内容が、実際に工場で利用されていることをイメージできていない生徒が多かった。授業の中で、工業的な現場で実際に行われているような話も積極的に取り入れていく必要があると感じた。（資料集などの解説だけでは、印象に残らないようである。）
- ・調べ学習は、インターネットの検索を中心にまとめていたが、情報の信用性も含めて、もっと雑誌や書籍などで情報を収集させる指導をしてもよかった。
- ・まとめる時間や発表の準備をする時間が少なかった。
- ・クラス内だけでなく、他のクラスや2年生の化学を学んでいる生徒に聞かせても十分興味のもてる内容であった。
- ・これまでも調べ学習を行ったことはあるが、今回初めて発表会を行った。思っていた以上に生徒の興味・関心が喚起できたので、他の単元で同様の試みを行ってみたい。
- ・班で研究・発表を行うことで、内容の意見交換や内容の精選をし、しっかり考え、言葉を選んで伝えやすく発表しようと気を使っていたという点でも、生徒にとってよい経験になった。
- ・実施したクラスは、「化学Ⅱ」選択者であり、工学部や理学部の化学系への進学を希望していたり、将来研究者になることを目標としていたりする生徒が多いので、今回のような実践をきっかけに、研究を進めていく上で必要な、物事に対する多面的な考え方が身に付いていくことが期待できると思った。

#### (5) 生徒の感想

- ・時代背景がわかり、おもしろかった。
- ・銅の電解精錬においては、電極が粗銅と純銅だったと思っていたが。(実際は違っていた。)
- ・方法などが、どんどん改善されている。(コスト面、環境面、電気量なども。)
- ・電気分解の方法の基礎は、本当に昔からあったんだ。
- ・電気分解の問題をもう一度解いてみようと思った。

## V まとめ

本調査研究では、高等学校の化学で学習する多くの内容を用い、生徒実験と探究活動を行った。

生徒実験においては、気体の法則を用いながらファラデーの電気分解の法則の検証実験を行ったが、これまでの学習を通して、生徒が科学的表現力や思考力をどの程度身に付けているかを評価することができた。ただし、様々な知識や概念を要するため、実験の原理を理解する段階で苦勞している生徒もあり、さらなる工夫・改善が必要であると感じた。

また探究活動では、電気分解と人間生活との関わりについて、班単位で調査し、発表会を行ったが、発表内容をまとめる過程で、環境問題や資源の有効利用など様々な視点で情報の整理を行い、生徒自身で課題を見出す様子が見られた。さらに、生徒自身が考えた言葉や表現方法でプレゼンテーションし、自分達が理解できた知識を、発表を聴いている他の班の生徒に、いかにして理解させるかについて追求することができた。それに加えて、他の班の生徒の発表に対して、観点ごとに具体的な評価を行ったことで、どのような表現方法がより効果的であるかについて改めて考えることができた。発表会における生徒の活動の様子や、生徒が評価票に書いたコメントの内容からは、科学的探究心や思考力・表現力が着実に身に付きつつあることが確認できた。

## VI 参考

### 1 生徒実験「ファラデーの電気分解の法則の検証」を科目「化学Ⅰ」で取り扱うための工夫

本実験では、陽極で発生する気体の物質量を求めるために、科目「化学Ⅱ」の単元「気体の法則」での学習内容が必要となる。仮に、科目「化学Ⅰ」で本実験を取り扱うためには、標準状態の下で、水蒸気の存在を無視して酸素の物質量を考える必要がある。(化学反応の量的関係を気体の体積で考えるような教材でも同様である。)

下表は、様々な大気圧、温度の下で実験を行ったときに、水蒸気まで考慮して理想気体の状態方程式をもとに得られる酸素の物質量に対して、標準状態で近似して得られる物質量がどの程度の誤差 [%] をもつのか、また、水蒸気を無視して理想気体の状態方程式をもとに得られる物質量がどの程度の誤差 [%] をもつのかを表したものである。ただし、各温度での水蒸気圧 [Pa] は、次の Tetens(1930)の式を利用して算出した。

温度  $t$  [°C] のときの水蒸気圧  $P_w(t)$  は次式で表される。

$$P_w(t) = 6.11 \times 10^{\frac{7.5t}{t+237.3}}$$

Po/273 [Pa/K]		3.71E+02						
温度 $t$ [°C]		0	5	10	15	20	25	30
水蒸気圧 $P_w$ [Pa]		6.110E+02	8.726E+02	1.228E+03	1.706E+03	2.339E+03	3.169E+03	4.244E+03
大気圧 $P=$ 9.980E+04 [Pa]	$P/(273+t)$ [Pa/K]	3.66E+02	3.59E+02	3.53E+02	3.47E+02	3.41E+02	3.35E+02	3.29E+02
	$(P-P_w)/(273+t)$ [Pa/K]	3.63E+02	3.56E+02	3.48E+02	3.41E+02	3.33E+02	3.24E+02	3.15E+02
	誤差(標準状態で近似-水蒸気圧を考慮)	2.1%	4.1%	6.1%	8.2%	10.4%	12.6%	15.0%
	誤差(水蒸気圧を無視-水蒸気圧を考慮)	0.6%	0.9%	1.2%	1.7%	2.4%	3.3%	4.4%
大気圧 $P=$ 1.003E+05 [Pa]	$P/(273+t)$ [Pa/K]	3.67E+02	3.61E+02	3.54E+02	3.48E+02	3.42E+02	3.37E+02	3.31E+02
	$(P-P_w)/(273+t)$ [Pa/K]	3.65E+02	3.58E+02	3.50E+02	3.42E+02	3.34E+02	3.26E+02	3.17E+02
	誤差(標準状態で近似-水蒸気圧を考慮)	1.6%	3.6%	5.7%	7.7%	9.9%	12.2%	14.6%
	誤差(水蒸気圧を無視-水蒸気圧を考慮)	0.6%	0.9%	1.2%	1.7%	2.4%	3.3%	4.4%
$P=$ 1.008E+05 [Pa]	$P/(273+t)$ [Pa/K]	3.69E+02	3.63E+02	3.56E+02	3.50E+02	3.44E+02	3.38E+02	3.33E+02
	$(P-P_w)/(273+t)$ [Pa/K]	3.67E+02	3.59E+02	3.52E+02	3.44E+02	3.36E+02	3.28E+02	3.19E+02
	誤差(標準状態で近似-水蒸気圧を考慮)	1.1%	3.1%	5.2%	7.3%	9.4%	11.7%	14.1%
	誤差(水蒸気圧を無視-水蒸気圧を考慮)	0.6%	0.9%	1.2%	1.7%	2.4%	3.2%	4.4%
$P=$ 1.013E+05 [Pa]	$P/(273+t)$ [Pa/K]	3.71E+02	3.64E+02	3.58E+02	3.52E+02	3.46E+02	3.40E+02	3.34E+02
	$(P-P_w)/(273+t)$ [Pa/K]	3.69E+02	3.61E+02	3.54E+02	3.46E+02	3.38E+02	3.29E+02	3.20E+02
	誤差(標準状態で近似-水蒸気圧を考慮)	0.6%	2.6%	4.7%	6.8%	9.0%	11.3%	13.7%
	誤差(水蒸気圧を無視-水蒸気圧を考慮)	0.6%	0.9%	1.2%	1.7%	2.4%	3.2%	4.4%
$P=$ 1.018E+05 [Pa]	$P/(273+t)$ [Pa/K]	3.73E+02	3.66E+02	3.60E+02	3.53E+02	3.47E+02	3.42E+02	3.36E+02
	$(P-P_w)/(273+t)$ [Pa/K]	3.71E+02	3.63E+02	3.55E+02	3.48E+02	3.39E+02	3.31E+02	3.22E+02
	誤差(標準状態で近似-水蒸気圧を考慮)	0.1%	2.2%	4.2%	6.3%	8.5%	10.8%	13.2%
	誤差(水蒸気圧を無視-水蒸気圧を考慮)	0.6%	0.9%	1.2%	1.7%	2.4%	3.2%	4.4%
$P=$ 1.023E+05 [Pa]	$P/(273+t)$ [Pa/K]	3.75E+02	3.68E+02	3.61E+02	3.55E+02	3.49E+02	3.43E+02	3.38E+02
	$(P-P_w)/(273+t)$ [Pa/K]	3.72E+02	3.65E+02	3.57E+02	3.49E+02	3.41E+02	3.33E+02	3.24E+02
	誤差(標準状態で近似-水蒸気圧を考慮)	-0.4%	1.7%	3.8%	5.9%	8.1%	10.4%	12.8%
	誤差(水蒸気圧を無視-水蒸気圧を考慮)	0.6%	0.9%	1.2%	1.7%	2.3%	3.2%	4.3%

表 標準状態で近似したときや水蒸気圧を無視したときの誤差

表からわかるように、水蒸気圧を無視することによる誤差は、30°Cにおいても5%未満であるが、標準状態で近似することの誤差は、大気圧が低く温度が高い実験環境下では15%にも達している。本実験における気体の体積の測定方法にも、ある程度の誤差は想定されるものの、10%以内の誤差に止めたい。従って、標準状態近似で処理させるためには、実験室の大気圧については調整しにくいので、温度を可能な限り下げる工夫が必要である。例えば、水上置換で用いる水槽に氷水を入れ、できるだけ室温を低く保てる季節に実験を行ったりすれば、大きな誤差を生じることがなく、期待する定量的な探究が可能である。ただし、データの処理の際、「正確に物質量を求めるためには、温度や大気圧、水蒸気の存在等を考慮しなければいけない」ということを生徒に認識させる必要がある。

なお、新学習指導要領の下では、科目「化学」において、単元「気体の性質」で気体の法則等を

学習した後に単元「電気分解」でファラデーの法則を学習すると想定できるので、本事例を単元「電気分解」でそのまま取り扱うことができると考えている。

## 2 演示実験 塩化ナトリウムの電気分解

### (1) 準備

#### ①器具

試験管（φ30mm、2本）、特製炭素電極、リード線、電流計、電源装置、ビーカー、鉄製スタンド、自在はさみ、トーチバーナー（2台）、電子天秤、（電極作成のために、ペンチ、六角レンチ）

#### ②薬品

1mol/L塩化ナトリウム水溶液、フェノールフタレイン溶液、塩化ナトリウム、塩化カルシウム無水和物、

#### ③電極材料

製図用替芯（4H、φ2mm×130mm）、銅棒（φ2mm×140mm）、ダブルストッパー（アルミニウム製・φ2mm軸用）、粘土（耐熱性をもち、乾燥すると固まるもの）

### (2) 方法

#### i 特製炭素電極の作成

①製図用替芯と端から70mmの位置で折り曲げた銅棒をダブルストッパーで接続する。（写真8）

②替芯の先端30mmを残し、替芯とダブルストッパーを粘土で覆い、一昼夜乾燥させる。

\* 覆う粘土はできるだけ薄くのばす。（写真9）

#### ii 塩化ナトリウム水溶液の電気分解

①試験管にフェノールフタレイン水溶液を加えた塩化ナトリウム水溶液10mLを注ぎ、スタンドに固定する。

②特製炭素電極を水溶液に浸して電源装置と接続し、6Vの電圧をかけて通電する。

#### iii 塩化ナトリウム融解塩の電気分解

①試験管に塩化ナトリウム4gと塩化カルシウム6gをよく混ぜたものを入れ、スタンドに固定する。

②塩化ナトリウムと塩化カルシウムの混合物を2台のトーチバーナーで加熱し、完全に融解する。

\* バーナーは固定せず、結晶全体に熱が伝わるように、また、試験管自体が変形しないように移動させながら加熱する。

③特製炭素電極を浸して電源装置と接続し、9Vの電圧をかけて通電する。

\* 試験管内の様子が見えるように、バーナーで加熱を続け、できるだけ凝固を抑える。

\* 備え付けのガスバーナーも用いることができると、凝固が起りにくく、通電しやすい。

④融解していた塩が凝固し始めたら、すみやかに通電をやめ、電極を融解塩から取り出す。

⑤陰極となっていた電極をフェノールフタレインを加えたビーカーの水につけ、変化を観察する。

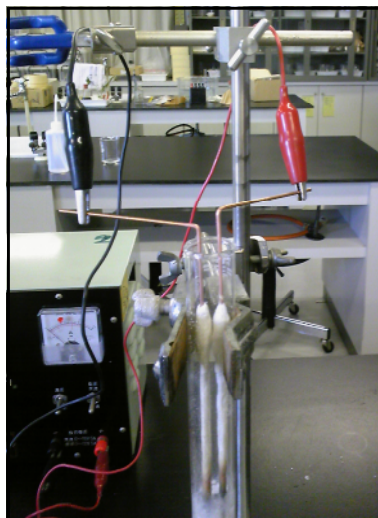


写真7 融解塩電解の様子

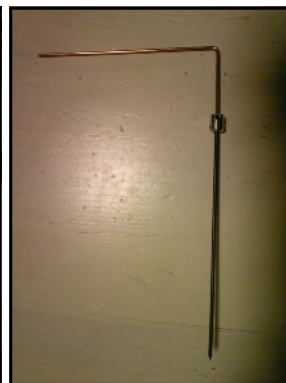


写真8 接続した替芯と銅棒

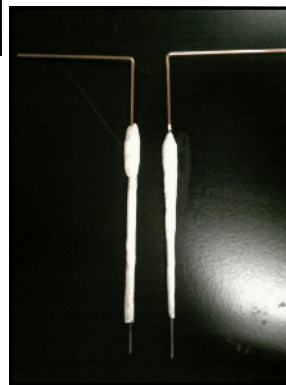


写真9 粘土でコーティングした電極

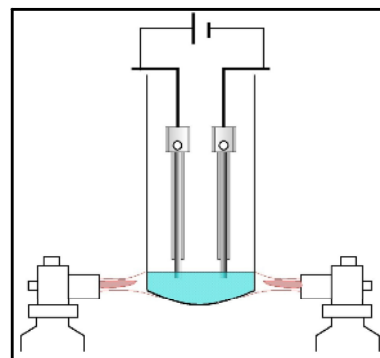


図 融解塩電解のイメージ

## 参考文献等

- ・ 鈴木智恵子 「身近な化学の実験と化学の基礎」(東洋館出版社)
- ・ 吉田俊久 稲葉秀明 「図説 学力向上につながる理科の題材 化学編」(東京法令出版)
- ・ 日本化学会編 「実験で学ぶ化学の世界2 物質の変化」(丸善)
- ・ 左巻建男編著 「やさしくわかる化学実験事典」(東京書籍)
- ・ 谷川直也 「ヨウ化銀水溶液を用いた銀メッキ」 化学と教育 45巻5号(1997年)
- ・ 村上忠幸 「新しい理科(化学)教育を支えるもの—科学リテラシー・探究学習・コミュニケーション—」 化学と教育 58巻第7号(2010年)
- ・ 卜部吉庸 「化学Ⅰ・Ⅱの新研究」(三省堂)
- ・ 文部科学省 「高等学校学習指導要領解説 理科編 理数編」(実教出版)
- ・ 鳴戸教育大学化学実験Ⅰテキスト 「水の電気分解によるファラデー定数の決定」
- ・ 藤田信 今村昇 柏村高史 金杉眞吾 吉村清 「融解アルカリ硫酸塩電解の電極反応」  
日本大学文理学部自然科学研究所紀要(1976年)
- ・ 樋園澄郎 「隔膜法(電気分解)の様々な実験方法と燃料電池について」  
平成22年度都道府県指定都市教育センター所長協議会化学分科会「研究発表・聴取事項収録」
- ・ 栃木県総合教育センター 「高等学校における教科指導の充実 理科《化学領域》  
科学的な思考力・表現力を身に付ける化学の授業を目指して [電池] (平成22年3月)
- ・ 国立天文台編 理科年表オフィシャルサイト「相対湿度の月別平年値」  
[http://www.rikanenpyo.jp/kaisetsu/kisyo/kisyo\\_003.html](http://www.rikanenpyo.jp/kaisetsu/kisyo/kisyo_003.html)
- ・ いわき市立川前中学校ホームページ(理科・総合学習資料) 「選択理科で燃料電池を製作する場合」 <http://www.kawamae-j.fks.ed.jp/e-batt.pdf>

高等学校における教科指導の充実

理 科 <化学領域>

探究する力を身に付ける化学の授業を目指して [電気分解]

発 行 平成23年3月

栃木県総合教育センター 研究調査部

〒320-0002 栃木県宇都宮市瓦谷町1070

TEL 028-665-7204 FAX 028-665-7303

URL <http://www.tochigi-edu.ed.jp/center/>