

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。

		○班ごとの探究テーマを決定する。 ○探究する内容の分担や発表会時の係分担をする。	○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。
4 時 間 目 + α	○探究活動	○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。 ☆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。) *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。	○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。 ★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。
5 時 間 目	○発表準備	○発表会の全体の係分担をする。 ☆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。 ○発表の準備・リハーサルを行う。	○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。 ★時間内に終わる分量であるかを確認させる。 ○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。 ★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。
6 時 間 目	○研究発表会	☆生徒の進行の下に発表会を行う。 ①説明「発表の流れについて」 ②発表(発表10分+質疑応答3分) ③講評・補足 ○生徒同士が発表内容の評価を行う。	★質疑応答の時間を通して、さらに理解を深めさせる。 ○必要があれば、内容内容に対する助言をする。

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認する。
- (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]

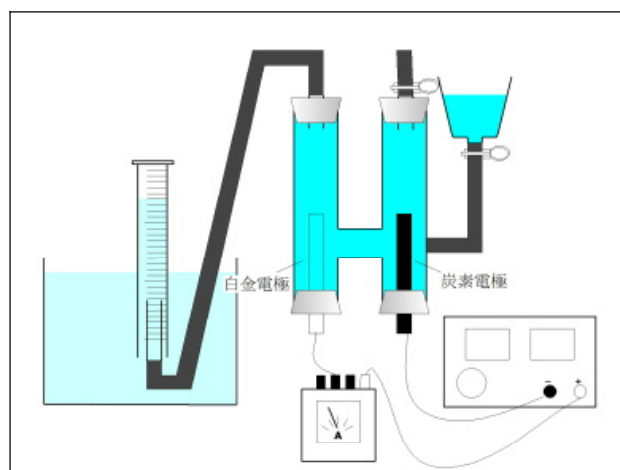
○事前準備及び通電前の陰極の質量測定

(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]
	物質質量		[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										

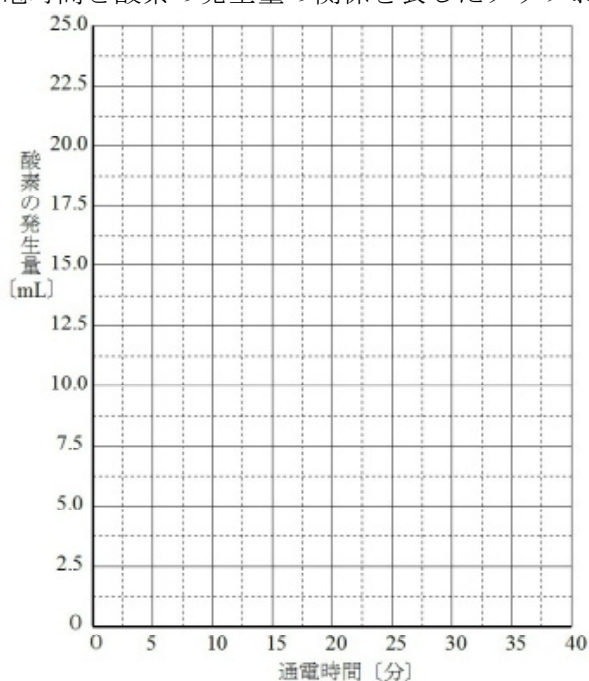
11分	12分	13分	14分	15分	16分	17分	18分	19分	20分	21分	22分	23分

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	[℃]	→	[℃]

[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 (9.65×10^4 [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 2.90×10^2 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、

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

$2H_2O \rightarrow O_2 + 4H^+ + 4e^-$ 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、 2.90×10^2 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、

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

〈※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 $1.014 \times 10^5 \text{ Pa}$ であり、水蒸気圧は $1.414 \times 10^3 \text{ Pa}$ であったので、発生した酸素の分圧は、 $1.00 \times 10^5 \text{ Pa}$ 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、 $n \div 7.68 \times 10^{-4} \text{ mol}$ である。〈※実験室の大気圧が $1.014 \times 10^5 \text{ Pa}$ 、温度が 12°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、 $7.684 \times 10^{-4} \text{ mol} \times 4 \div 3.07 \times 10^{-3} \text{ mol}$ 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。

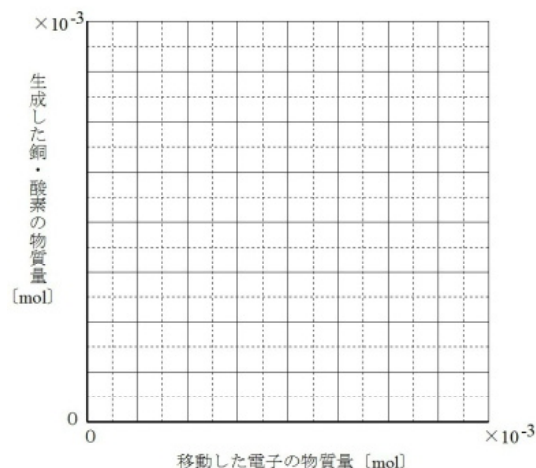
よって、測定結果から得られるファラデー定数は、

$$2.90 \times 10^2 \text{ C} / 3.07 \times 10^{-3} \text{ mol} \div 9.45 \times 10^4 \text{ C/mol}$$
 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 ($9.65 \times 10^4 [\text{C/mol}]$) 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1mol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） $E [\text{kWh}]$ を、次の式に代入して計算してみよう！

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

*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

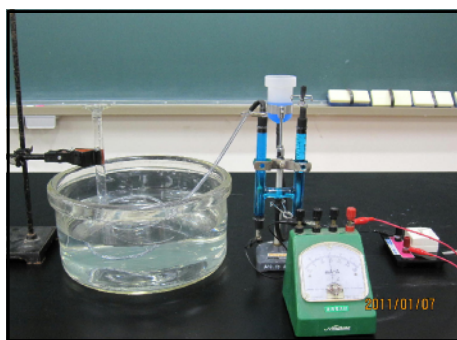


写真1 組み立てた実験装置

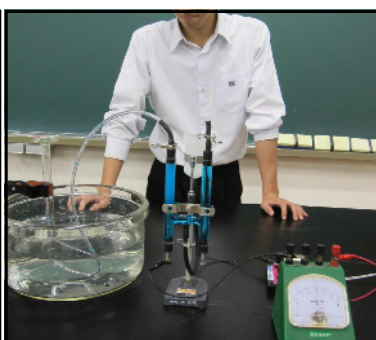


写真2 通電中の様子



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使えるよかった。
- ・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、次の三つを挙げることができる。

- (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＋ α 、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＋ α 、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

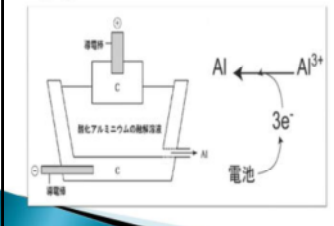
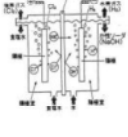
探究活動「電気分解の応用（工業的利用）」 発表会	
(1) 日 時	12月15日（水） 5限目
(2) 場 所	視聴覚室
(3) 発表者	3年6組 化学Ⅱの選択者
(4) 次 第	(司会 ○○、○○) (岡本教諭)
① 説明	「発表の流れについて」
② 発表	(発表10分＋質疑応答3分)
1 班	『融解塩電解 ～アルミニウムの製造～』
2 班	『隔膜法・イオン交換膜法～水酸化ナトリウムの製造～』
3 班	『電解精錬～銅の精錬～』
③ 講評・補足	(岡本教諭)
(5) 評 価	(発表内容に対して、生徒どうしで評価する。別紙評価票に記入する。)
① 評価の観点	・ 内容について（3：非常によい、2：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		
班の発表 テーマ：『		
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
イオン化傾向 $K > Ca > Na > Mg > Al$ $> Zn > Fe > Ni > Sn >$ $Pb > Cu > Hg > Ag > Pt > Au$	歴史 ・食塩水を電気分解して、塩素と苛性ソーダを製造する ・日本では戦後、水銀法 ・1976 年以降は隔膜法 ・1986 年以降はイオン交換膜法	原理 ①工業的装置  粗銅といって、鉄や銅の成分を取り除いた純度が92%の銅板です。 さらに純度の高い銅を得るために、粗銅を陽極にして、純銅(Ⅱ)水溶液のはいった電解槽で電解精錬と呼ばれる電気分解を行います。 純度の高い銅を付着させる陰極には、ステンレスの板が使われます。 粗銅の陽極とステンレス板の陰極を交互に何度も通して電解槽の中にいれ、電気を流します。 電気分解はおよそ24時間続けられます。
バイヤー法 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% しかアルミナを含んでいない。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。 このバイヤー法では、まず、ボーキサイト中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。 $Al_2O_3 + 2 OH^- + 3 H_2O \rightarrow 2 [Al(OH)_4]^-$ 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。次に溶液を冷却すると、溶けていた水酸基をアルミニウムは苛性の錯を生成体として沈殿する。さらにこの沈殿を 1,050℃ に加熱すると酸素が放出されてアルミナが生成する。 $2 [Al(OH)_4]^- \rightarrow Al_2O_3 + 3 H_2O$	相違点 ○隔膜法 ・純度が低い苛性ソーダになる ○イオン交換膜法 ・高純度の苛性ソーダを製造することができる ・省エネになる	メリット・デメリット メリット...より純度の高い銅が得られること デメリット...電解精錬は24時間行われるため大量の電気を使用する。
$Al_2O_3 + 3C \rightarrow 2Al + 3CO$ 	今後の取り組み ・ガス拡散電極法の開発。 ・従来の方法では水を電気分解するエネルギーが必要。 ・酸素ガスを流すと、エネルギーの節約となる。 	参考 NHK 高校講座 http://www.nhk.or.jp/kokokoza/tv/kagaku/archiv/e/resume019.html Wikipedia http://ja.wikipedia.org/wiki/%E9%9B%BB%E8%A7%A3%E7%B2%BE%E9%8C%AC

(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班の発表に対しての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班の発表に対しての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 班の発表に対しての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 班に対してのコメントの一部

- ・ 情報量が多く、妥協の少ない内容で、聴き応えがあった。
- ・ 情報量が多すぎて、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 班に対してのコメントの一部

- ・ 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 班に対してのコメントの一部

- ・ 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い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、水蒸気の影響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、水蒸気は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。 $P_w(t) = 6.11 \times 10^{\frac{7.5 t}{t + 237.3}}$							
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
	$(P-P_w)/(273+t)$ [Pa/K]	3.63E+02	3.56E+02	3.48E+02	3.41E+02	3.33E+02	3.24E+02
	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%
	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%
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
	$(P-P_w)/(273+t)$ [Pa/K]	3.65E+02	3.58E+02	3.50E+02	3.42E+02	3.34E+02	3.26E+02
	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%
	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%
$P =$ 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
	$(P-P_w)/(273+t)$ [Pa/K]	3.67E+02	3.59E+02	3.52E+02	3.44E+02	3.36E+02	3.28E+02
	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%
	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%
$P =$ 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
	$(P-P_w)/(273+t)$ [Pa/K]	3.69E+02	3.61E+02	3.54E+02	3.46E+02	3.38E+02	3.29E+02
	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%
	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%
$P =$ 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
	$(P-P_w)/(273+t)$ [Pa/K]	3.71E+02	3.63E+02	3.55E+02	3.48E+02	3.39E+02	3.31E+02
	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%
	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%
$P =$ 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
	$(P-P_w)/(273+t)$ [Pa/K]	3.72E+02	3.65E+02	3.57E+02	3.49E+02	3.41E+02	3.33E+02
	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%
	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%

表 標準状態で近似したときと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たり、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、水蒸気の影響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（ $\phi 30\text{mm}$ 、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、 $\phi 2\text{mm} \times 130\text{mm}$ ）、銅棒（ $\phi 2\text{mm} \times 140\text{mm}$ ）、ダブルストッパー（アルミニウム製・ $\phi 2\text{mm}$ 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、凝固が起こりにくく、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。

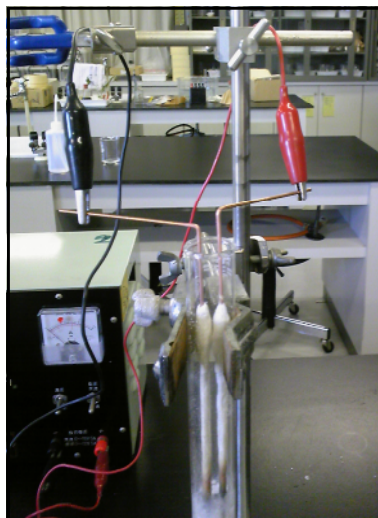


写真7 融解塩電解の様子

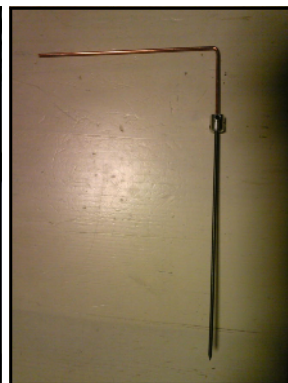


写真8 接続した替芯と銅棒

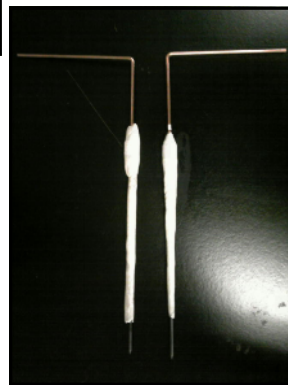


写真9 粘土でコーティングした電極

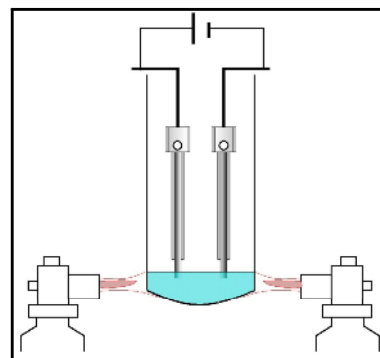


図 融解塩電解のイメージ