

1 はじめに

高等学校の化学基礎において、反応の理論の単元では、酸・塩基反応と酸化還元反応が扱われる。酸塩基反応では、反応物である酸・塩基の化学式中に、それぞれ水素イオン・水酸化物イオンが見やすいように表記されていることが多く、反応が直感的に理解しやすい。一方、酸化還元反応では、反応に関わる酸化剤や還元剤の化学式を見ても、出入りする電子が表れておらず、酸化還元反応のイオン反応式や化学反応式を見ても、反応の様子がつかみにくい。そのため、酸化還元反応を苦手とする生徒が非常に多いと感じてきた。

そこで、生徒の生活に関わりのある電池や、身近な物質の電気分解を通して、酸化還元反応の理解を深めたいと思い、実験パッケージを考案することにした。

同時に、電気化学分野では、電池と電気分解の区別がつかない生徒が多く、実験による実体験を通して、実感を持った学びを提供したいと考えた。

電気分解の探究的学習活動の中にICT活用を取り入れた。ICTの活用方法として、実験を行うのと同時にICTを用いて実験レポートを作成させることを試みた。

2 電池についての探究的な学習活動

～金属を決定する実験～

1) 生徒実験の内容

単純な構造であるボルタの電池で、希硫酸を電解液として、電極板の組み合わせを変えていくことで、起電力がどのように変わっていくのか調べる実験を行うことで金属を決定するという探究的内容にした。イオン化傾向についての理解を深めることを目的とした。

ボルタの電池を製作してみると、教科書とは異なり正極と負極から水素のガスが発生することが確認できる。ボルタの電池は、正極活物質と負極活物質が隔離されていないので、「酸化反応と還元反応を異なる場所で起こす」という化学電池の基本構造が成立していない。負極で金属が酸化されて生じた電子と水素イオンにがすぐに還元反応し、負極においても、水素が発生していることが確認できる。そ

の点に注目できるように、指示しておく。

実験. 電池を作成して、金属を推測しよう

目的 代表的な金属（銅・亜鉛・アルミニウム・鉄）について、イオン化傾向と水溶液中の電位との関係調べる。

準備 ビーカー1個(50mL) 銅板1枚 金属板4種類 (Mg, Al, Zn, Pb)
1.00mol/L希硫酸 電子オルゴール 電圧計 固定用の発泡スチロール クリップリード線

方法 I. それぞれの金属の色や光沢、硬さや柔らかさを確認する。
II. 正極にCu、負極に4種 (Mg, Al, Zn, Pb) の金属板を金属板ホルダーにセットしてクリップリード線で電子オルゴールに接続する (図1)。
III. 50mLビーカーに、Iの希硫酸を入れる。
IV. IをIIに浸して、極板に接続して電流を流し、音が出ているか確かめる (図2)。
V. 電子オルゴールを電圧計に変えて、電圧を計測する (図3)。

図1. 電池についての実験の手順等

①～④の金属はMg・Al・Zn・Pbのいずれかの金属である。①～④がどの金属なのかを電子オルゴールの音量と電圧の大きさで判定していく。

I. 金属の見目や触手により硬さや柔らかさを確認し、金属により見目や硬さが異なることを確認させる。

II. 正極にCu、負極に金属①を金属板ホルダーにセットし、クリップリード線で電子オルゴールに接続する (図1中の図1)。

III. 50mLビーカーに、Iの希硫酸を入れる。

IV. IをIIに浸して、極板に接続して電流を流し、音が出ているか確かめる (図1中の図2)。

V. 電子オルゴールを電圧計に変えて、電圧を計測する (図1中の図3)。

Cu-金属①の次はCu-金属②の組み合わせの電池。その後Cu-金属③。最後にCu-金属④の順に、電子オルゴールの音量、電圧計の電圧をそれぞれ確認していく。

2) 生徒実験の結果と考察

結果		負極:①	正極:Cu	負極:②	正極:Cu	負極:③	正極:Cu	負極:④	正極:Cu
オルゴールの音量									
電圧									

・オルゴールの音量は次の4段階で表し記入すること。
 ◎:大きな音で聞こえる。 ○:聞こえる。 △:耳に近付いたら聞こえる。 ×:聞こえない。
 ・電圧は単位(VまたはmV)を必ず表記しておくこと。

図2. 結果記入表

オルゴールの音量からは、五感のうちの聴覚を使って、音の大きさという主観的尺度での比較ができるのに対して、電圧を測定すると、数値による客観的な評価できるため、科学的評価を行うことができることに触れておく。

考察

(2) ①～④の金属はそれぞれ、Mg, Al, Zn, Pbのうちどれだと推測しますか。

金属①	金属②	金属③	金属④
-----	-----	-----	-----

(3) 理由を書いてください。

図3. 考察記入表

本発表では割愛したが、生徒実験では、98%硫酸（密度 1.96g/cm³）から 1.00mol/L H₂SO₄ aq を調整する操作が入っており、考察（1）として「98%硫酸（密度 1.96g/cm³）から 1.00mol/L H₂SO₄ aq を調整する方法を理由とともに記述せよ。」が入っている。この考察により質量パーセント濃度とモル濃度の関係性も理解できると期待できる。

グループ実験で行うと、イオン化傾向の違いにより、①～④の金属を決定することができることに気づく生徒が必ずいる。生徒同士でフォローができるので、基礎学力と学習意欲の向上につながると思う。

考察の際に図4のように、イオン化列で並べたものの下に測定した電圧を記入させると、イオン化傾向と起電力の関係が分かりやすくなる。

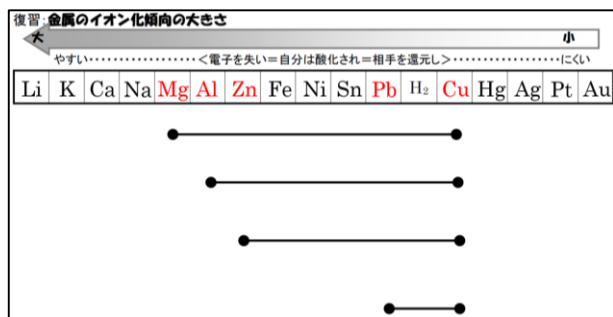


図4. イオン化傾向と起電力の関係を理解させる図

3) 生徒実験の追加実験の内容

追加実験として5種類の金属で自由に組み合わせを考えて起電力を測定させた。

実験. 電池を作成して、金属を推測しよう
<追加実験!!>

方法

- それぞれの金属の色や光沢、硬さや柔らかさを確認する。
- 正極にCu、負極に4種（Mg・Zn・Pb・Fe）の金属板を金属板ホルダーにセットしてクリップ線で電子オルゴールに接続する（図1）。
- 50mLビーカーに、1の希硫酸を入れる（図2）。
- 1をIIに浸して、極板に接続して電流を流し、音が出ているか確かめる（図3）。
- 電子オルゴールを電圧計に変えて、電圧を計測する。
- 正極-負極を自由に組み合わせて電池を作成して、起電力を測定してみよう。**

図5. 追加実験の手順等

4) 追加実験の結果と考察

追加実験についても図4にまとめることで、イオン化傾向と起電力の関係がつかみやすくなる。

3 電気分解についての探究的な学習活動

～身近な道具を用いて行う電気分解の実験～

1) 生徒実験の内容

この実験のアイディアは、私が徳島中央高等学校通信制課程に勤務していたときに、「身の回りの科学」という学校設定科目の化学分野の内容として考案したものである。

徳島中央高等学校通信制課程の生徒は、中学校時代まで実験に消極的だった生徒が多く、高校在学中に、できるだけ興味を持って実験に取り組むことができる教材開発をしようと考えた。

身近な材料として、電解液には「塩水=塩化ナトリウム水溶液」電極板には「鉛筆の芯=炭素電極」を使用した電気分解実験を行うことで、生徒たちが興味を持つことに繋がると思った。

城南高等学校に異動してからは、その電気分解実験の内容に受験化学のエッセンスとして「陽極のCu電極板の酸化反応」を実感を持って伝えられるよう、Cu-Cu電極板での電気分解を加えたパッケージに変更した。

2) 単元設定の理由

研究授業として、この単元を設定した理由を図6に示す。

単元設定の理由

電池においては酸化還元反応が自発的に起こる。

電気分解では外部から供給された電気エネルギーによって強制的に酸化還元反応を起こさせている。

上記に示す電池の電気分解の違いを理解できておらず、電池と電気分解が区別できていない生徒が多い。電気分解においては、外部から供給された電気エネルギーが化学エネルギーに変換されることや、反応に関与した物質の変化量が流した電気量に比例することを実験を行うことで実感を持って理解させたいと考えた。

・水溶液中のイオンには、酸化されやすいもの、還元されやすいものがあり、**電気分解**での酸化還元反応においては、必ずしも溶けているイオンが電子の受け渡しをするわけではないことを理解させたいと考えた。

・MetaMoji Classroomを用いて、ICTの活用を試みた。（本実験においては、実験中の色の変化を記録させたいと考えた。）

図6. 単元設定の理由

電池と電気分解の共通点として「ともに酸化還元反応である」という点があるが、相違点として、「電池は自発的酸化還元反応である」ことに対して「電気分解は強制的酸化還元反応である」ことが挙げられる。実感を伴う学びを通して電池と電気分解の違いを理解させたいと考えた。

前述した通り、極板が銅-銅や銀-銀のようなイオン化傾向の小さい金属の組み合わせであっても、陽極という強制的酸化反応の場においては、銅や銀の酸化反応が起こってしまうことを実感をもって理解させることも目的とした。

また、ICTを活用し、MetaMoji ClassRoomで生徒に実験レポートの作成をさせた。MetaMoji ClassRoomでも紙媒体でもどちらかで提出してもよいという指示を出し、生徒が作業しやすい方で実験レポートの制作をさせた。MetaMoji ClassRoomで提出する場合は、特に色の変化を伴う部分について写真記録で活用しようと考えた。

生徒間のコミュニケーションについては、あえてICTを使わずに、対面でのコミュニケーションとした。

3) 授業の展開と結果のまとめ方

上の図7と8に示すスライドを生徒に示し、ワークシートに記入させた。(デジタルまたはアナログで。) 図8については、電子の移動をアニメーションで示した。

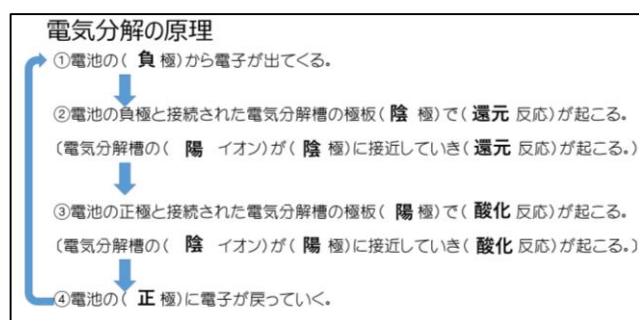


図7. 電気分解の原理を示すスライド

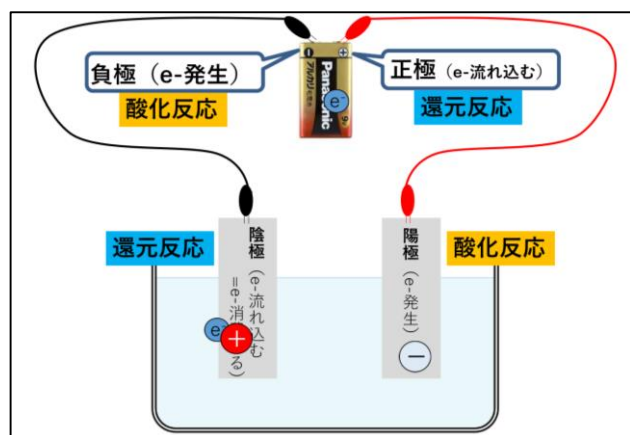


図8. 電気分解の原理を示すスライド

MetaMoji ClassRoomで提出してきた生徒のPDFデータを図9に示す。

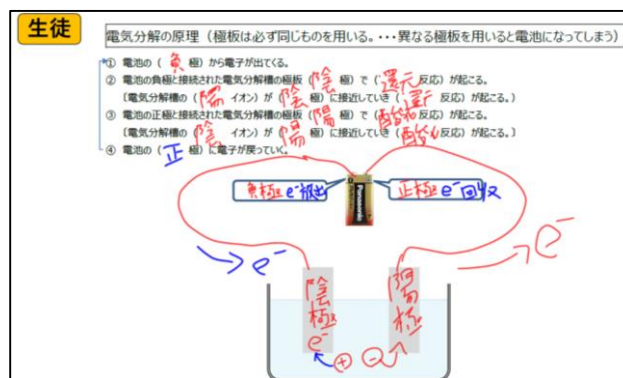


図9. MetaMoji ClassRoomの生徒PDFデータ

スライドで説明するスピードに合わせて、生徒がタブレット端末へ入力すると、いくら急いで作業をこなしても図9に示す程度のクオリティの、記録になってしまう。色ペンを使ってアナログで作業した方が早く丁寧な番所ができていた様子だった。実験の流れを図10に示す。

実験. 直流電源で電気分解をしてみよう

- 目的 食塩水に直流電圧をかけることで起こる変化を確認する。
- 準備 ビーカー2個(100mL) シャープペンの芯2本(マークシート用) 銅板2枚 水 食塩(塩化ナトリウム NaCl) B T B溶液 固定用の発泡スチロール リード線 9Vの乾電池
- 方法 <C電極によるNaClaqの電気分解>
 - ① 発泡スチロールにシャープペンの芯を2本、離して挟み固定する。
 - ② ビーカーに水と食塩とB T B溶液を加える。
 - ③ ②の上に①を乗せ、シャープペンの芯を食塩水に浸ける。
 - ④ 乾電池と③をリード線で接続し、直流電圧をかけ、電気分解する。

<Cu電極によるNaClaqの電気分解>
Cu電極mに変更して①～④を行う。

図10. 電気分解についての実験の手順等

電気分解の電極板反応を理解してから本実験を行ったので、起こる反応は理解できているはずなので、実験前に各電極での変化を予想させた。陽極と陰極の電極板反応は記述できるようであったが、実際に私たちが確認できる現象を予想させると難しそうであった。

予想 (どのような変化が起こると考えられるだろうか。)			
シャープペンの芯 (炭素) 電極		銅 電極	
陽極	陰極	陽極	陰極
結果 (水溶液の色・電極の様子に注目してください)			
シャープペンの芯 (炭素) 電極		銅 電極	
陽極	陰極	陽極	陰極

図11. 予想と結果の記入表

予想が終わった後に、実際に実験をさせる。その際には喚気を徹底させた上で匂いに注目させる(塩素が発生するため)。

図12～16に MetaMoji Classroom で提出してきた生徒の PDF データを示す。

生徒

予想 (どのような変化が起こると考えられるだろうか。)

シャープペンの芯 (炭素) 電極		銅 電極	
陽極	陰極	陽極	陰極
Cl_2	H_2	$Cu \rightarrow Cu^{2+} + 2e^-$	$2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$

結果 (水溶液の色・電極の様子に注目してください)

シャープペンの芯 (炭素) 電極		銅 電極	
陽極	陰極	陽極	陰極
陽極 緑	変わらず青		若干青い

$2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$
 $Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu$

図12. MetaMoji Classroom の生徒 PDF データ

生徒

予想 (どのような変化が起こると考えられるだろうか。)

シャープペンの芯 (炭素) 電極		銅 電極	
陽極	陰極	陽極	陰極
Cl_2	水素発生	銅発生	水素発生

結果 (水溶液の色・電極の様子に注目してください)

シャープペンの芯 (炭素) 電極		銅 電極	
陽極	陰極	陽極	陰極
無色の気体発生	気泡発生	BTB溶液→黄色	BTB溶液→青

図13. MetaMoji Classroom の生徒 PDF データ

図13では、うまくまとめられてはいるが、デジタルの良さを活かすために、写真データが添付されていれば良いと感じた。

生徒

予想 (どのような変化が起こると考えられるだろうか。)

シャープペンの芯 (炭素) 電極		銅 電極	
陽極	陰極	陽極	陰極
塩素が発生する	水素が発生する 溶液が青色になる	銅イオンが出てくる	水素が出てくる

結果 (水溶液の色・電極の様子に注目してください)



シャープペンの芯 (炭素) 電極		銅 電極	
陽極	陰極	陽極	陰極
$2Cl^- \rightarrow Cl_2 + 2e^-$	$2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$	$Cu \rightarrow Cu^{2+} + 2e^-$	$2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$
			

図14. MetaMoji Classroom の生徒 PDF データ

図14では、私の用意したワークシートのレイアウトが良くなかったため、色の変化が記録しづらい様子だった。

写真で変化を記録する場合には、この生徒が提出しているように、→ (緑色) で経時の変化が分かるようにレイアウトの方が記録を残しやすかったと感じた。

生徒

予想 (どのような変化が起こると考えられるだろうか。)

シャープペンの芯 (炭素) 電極		銅 電極	
陽極	陰極	陽極	陰極
塩素	水素 溶液が青色になる		銅が出てくる

結果 (水溶液の色・電極の様子に注目してください)





シャープペンの芯 (炭素) 電極		銅 電極	
陽極	陰極	陽極	陰極
$2Cl^- \rightarrow Cl_2 + 2e^-$	$2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$		
			

図15. MetaMoji Classroom の生徒 PDF データ

図15では、陽極と陰極を示して、反応の経時変化を記録する工夫ができていた。

生徒

予想 (どのような変化が起こると考えられるだろうか。)

シャープペンの芯 (炭素) 電極		銅 電極	
陽極	陰極	陽極	陰極
Cl_2 が生じる	H_2 が生じる 青色になる	Cu がとけ出す 青色になる	H_2 が生じる Cu がでる

結果 (水溶液の色・電極の様子に注目してください)

シャープペンの芯 (炭素) 電極		銅 電極	
陽極	陰極	陽極	陰極
Cl_2 が生じた (少し) 芯の近くだけ黄色っぽかった	H_2 が生じた (多かった) 青色になった	薄い青色になった	H_2 が生じた 気持ち満ちていた

図16. MetaMoji Classroom の生徒 PDF データ

図16は、うまくまとめられていた。化学式を表すときの付文字など、細かいところが不十分だった。

4) 実験の考察のまとめ方

図17の内容を考察させた。

考察1 電極について

①電気分解を行う場合、銅と黒鉛 (シャープペンの芯) では、水溶液中のイオンを電気分解するという観点から考えると、どちらが適しているか。理由とともに答えよ。

②銅極板を用いた場合、なぜ上記のような結果が得られたと考えられるか。

③水溶液中のイオンを電気分解するのに適する極板にはどのような金属が考えられるか。

考察2 電極板反応について

④今回のNaClの電気分解でそれぞれの極板で生じた物質 (ガスなど) は何か。化学反応式で答えよ。

考察3 BTB溶液を加えた場合の色の変化について

⑤シャープペンの芯で塩化ナトリウム水溶液を電気分解したときの色の変化から何が分かるか。

図17. 考察内容

図18に MetaMoji Classroom で提出された生徒 PDF データの考察部分を示す。

生徒

考察1 電極について

①電気分解を行う場合、銅と黒鉛（シャープペン芯）では、水溶液中のイオンを電気分解するという観点から考えると、どちらが通しているか、理由とともに答えよ。

電気分解に通ずる電極：（黒鉛）

理由：銅板は銅自体が溶け出すため

②銅板板を用いた場合、なぜ上記のような結果が得られたと考えられるか。

陰極では（還元 反応）が起こる。

イオン化傾向の大きい、金属板を使用した場合（電子が奪われる）から、

化学反応式：

③電気分解に通ずる電極にはどのような金属が考えられるか。

イオン化傾向の（大きい）金属板と炭素（黒鉛）電極。

考察2 電極板反応について

④今回のNaClの電気分解でそれぞれの電極で生じた物質（ガスなど）は何か、化学反応式で答えよ。

シャープペン芯（炭素）電極	
陰極	$2\text{Cl}^- - 2\text{e} = \text{Cl}_2$
陽極	$2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e} = \text{H}_2 + \text{O}_2$
銅 電極	
陰極	$\text{Cu}^{2+} + 2\text{e} = \text{Cu}$
陽極	$2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e} = \text{H}_2 + \text{O}_2$

図18. MetaMoji ClassRoomの生徒PDFデータ

MetaMoji ClassRoomを活用した授業は、40人のクラスで行った。そのうちデジタルデータで提出してきた生徒が6名だった。1名のみが考察まですべて完成させて提出できた。デジタルデータで提出されたものの考察の内容は、アナログ紙媒体で提出した生徒に比べると不十分と感じられる内容であった。デジタルで内容をまとめる「作業」に手間取った可能性がある。

5) まとめ

授業中には生徒から「初めに陰極付近では、水素の発生によって塩基性になるから青色になった。」「初めは陽極付近では塩素の発生のと、水と塩素の反応により酸性になったから黄色になった。」「色が消えたのはなぜだろう・・・。」「塩素のにおいがした。」など、実際に起こる変化に驚き、多くの声が上がっていた。

本実験では、においの変化から塩素の発生を実感をもって味わうことができていた。そして酸塩基指示薬を使用することで、今回の電気分解で起こる酸化還元反応について理解が深まることができていた。考察3において塩素の漂白作用に触れておくことで、無機物質の学習へと繋げることも期待できる。理系生徒、文系生徒ともに、化学と生活とのかかわりを感じられる内容での授業を展開することで、興味関心を持たせることができると感じた。

4 感想と今後の課題

1) 電気化学分野の探究的学習について

- 文系生徒・理系生徒ともに興味を持って実験に取り組んでいた。特に文系生徒は、どの生徒も楽しそうに取り組んでいた。
- 身近な道具を使うことで、実感を伴う理解に繋がっている様子だった。

○電池と電気分解の違いが理解できている様子だった。共に酸化還元反応ではあるが、電気分解は外部電源からの強制的酸化還元反応であることが理解できるため、陽極での反応も納得できていた。

○電気分解では、塩素の性質について簡単に触れることで無機物質についての簡単な導入につなげることができた。

2) ICTの活用について

- 紙：ICT = 34 : 6の提出率であった。
- Metamoji (ICT) でレポートを提出した生徒は理解の進んでいる生徒で、なおかつICT活用力のある生徒のみであった。
- 特に授業中にMetamojiでのレポート作成を試みた生徒は、写真の撮影→データの貼り付け→文字の入力という複数の作業が必要となってしまった。
- これまでの授業で使っていた紙媒体の実験ワークシートをそのまま使用したため、写真を貼るスペースが足りなかったため、Metamoji用のレイアウトに改善する必要があると感じた。
- 今回は、レポート作成のみの活用であったが、オンライン授業などで生徒間の意見交換を促すときにはMetamojiは有用だと感じた。
- 初めての試みであったため、デジタルの良さを活かすきれない授業となってしまった。今後は、授業の中で必要に応じて上手くデジタルの良さを活かしていくような使用法を模索していきたい。

5 参考文献

- ト部吉庸 (2013) : 『化学の新研究』三省堂
- 西村能一 (2016) 『大学入試 化学反応の仕組みが面白いほどわかる本』KADOKAWA
- 石川正明 (2010) 『原点からの化学 無機化学 (改訂版)』駿台文庫