

水の電気分解の実験に関する指導案づくり

Teaching Plans for the Experiments of Electrolysis of Water

木村 憲喜 中里 真衣佳
Noriyoshi KIMURA Maika NAKAZATO

中村 知 小川 陽平
Satoru NAKAMURA Yohei OGAWA

(和歌山大学教育学部化学教室)

2017年9月15日受理

Abstract

本研究では、水の電気分解の実験に関するさまざまな学習指導案を作成し、高等学校で実践した。そして、授業終了後、提案した教材を評価するために生徒アンケートを実施した。このアンケート結果から、水の電気分解の実験では、電解液に指示薬などを入れ、各電極での反応の様子を可視化すると効果的であることがわかった。

1. はじめに

高等学校では、さまざまな水溶液で水の電気分解を行う。そして、各電極における反応は、気体の発生や水溶液の色を確認することにより予想できる。しかしながら、電極での反応のメカニズムを理解することは難しい。そこで、今回、水の電気分解の基本的な実験の指導案と電極での反応メカニズムを生徒に考察させる指導案を作成したので、ワークシートとともに紹介する。

2. 水の電気分解

今回、水の電気分解の基本的な実験内容を理解させるために、5種類の水溶液を用意した。5種類の水溶液は、硫酸(H₂SO₄)水溶液、ヨウ化カリウム(KI)水溶液、硫酸銅(CuSO₄)水溶液、水酸化ナトリウム(NaOH)水溶液、塩化ナトリウム(NaCl)水溶液である(表1)。これらの水溶液に対する電気分解実験の学

表1 さまざまな水溶液における水の電気分解と各電極での反応

電解液	電極	反応式
H ₂ SO ₄	陽極	2 H ₂ O → O ₂ + 4 H ⁺ + 4 e ⁻
	陰極	2 H ⁺ + 2 e ⁻ → H ₂
KI	陽極	2 I ⁻ → I ₂ + 2 e ⁻
	陰極	2 H ₂ O + 2 e ⁻ → H ₂ + 2 OH ⁻
CuSO ₄	陽極	2 H ₂ O → O ₂ + 4 H ⁺ + 4 e ⁻
	陰極	Cu ²⁺ + 2 e ⁻ → Cu
NaOH	陽極	4 OH ⁻ → O ₂ + 2 H ₂ O + 4 e ⁻
	陰極	2 H ₂ O + 2 e ⁻ → H ₂ + 2 OH ⁻
NaCl	陽極	2 Cl ⁻ → Cl ₂ + 2 e ⁻
	陰極	2 H ₂ O + 2 e ⁻ → H ₂ + 2 OH ⁻

習指導案とワークシートを図1と2に示す。実験はワークシートに示した電気分解装置を組み立て、3 V以下の直流電流を流し続けた。このときの炭素棒電極付近の様子を観察した。さらに、KI水溶液中にでんぷん溶液、NaCl水溶液中にフェノールフタレイン溶液を加え、色の変化も詳しく調べた。

10. 本時で使用する水溶液
①H₂SO₄水溶液 ②KI水溶液+薄いでんぷん水溶液 ③NaCl水溶液+フェノールフタレイン溶液④NaOH水溶液⑤CuSO₄水溶液

時間	学習内容	学習活動	教師の指導点、留意点	評価規準
導入 5分	本時の目標の確認		○本時の目標を確認させる ○プリントを配布する	
展開 40分	実験 電気分解を行う	実験準備をし、流れを確認する	・炭素棒は折らないよう、注意するように指示する ・電源装置は炭素棒破損を防ぐため3V以上上げさせない	(A)
	観察 各電極での変化を観察・記入する	実験を開始する 上記に示す水溶液を①～⑤の順に電気分解し、電極での反応の様子、色の変化を確認する	○実験を各電極で開始させる ・実験は、水溶液1種類ずつ、各班足並みをそろえて行うようにする	(C) (D)
	説明 各電極の変化をクラス全体で確認する	代表班が実験の結果を発表する	(発問)各電極では、どんな変化が起きましたか ○各実験で班を指名し、変化を答えさせることで結果を全体で共有させる	
まとめ 20分	各電極の反応を理解する	使った水溶液を指示通り片づける	○各電極での反応式を示す (発問) ②④で、なぜ色が変化しましたか ・観察と水素が発生する時の反応式を区別させる ○電気分解の原理についてもう一度まとめる	(B)(D)

図1 理科学習指導案の例
(平成29年6月9日：教育実習(桐蔭高等学校))

電気分解

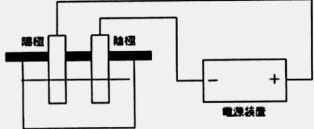
○目的：電気分解の実験の結果を原理に関連付けて説明することができる。

○準備：電気分解装置、電源装置、炭素棒2本、導線2本

○薬品：H₂SO₄水溶液、KI水溶液、CuSO₄水溶液、NaOH水溶液、NaCl水溶液、薄いでんぷん水溶液、フェノールフタレイン溶液

実験手順

1. 図のように、空のビーカーに炭素棒電極を付けたものをセットして、炭素棒の長さを調節する。

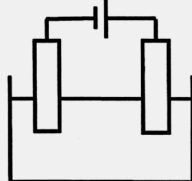


2. それぞれの水溶液を順に電気分解して、陽極・陰極それぞれの変化と、その電子を含んだ化学反応式を書こう。

組 番 名前 _____

結果・考察

①H₂SO₄水溶液



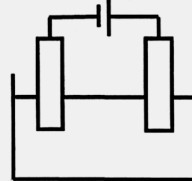
陰極：結果

反応式

陽極：結果

反応式

②KI水溶液 + 薄いでんぷん水溶液



陰極：結果

反応式

陽極：結果

反応式

図2 ワークシートの例(平成29年6月9日：教育実習(桐蔭高等学校))

本授業では、主に実験を中心に展開した。そして、実験結果をもとに、各電極での反応を予想した。最後に、得られた実験結果と予想される反応をクラス全体で共有した。授業時間は60分で、すべての実験が授業時間内に終了した。

授業終了後に行った実験内容に関するアンケート結果を図3に示す。

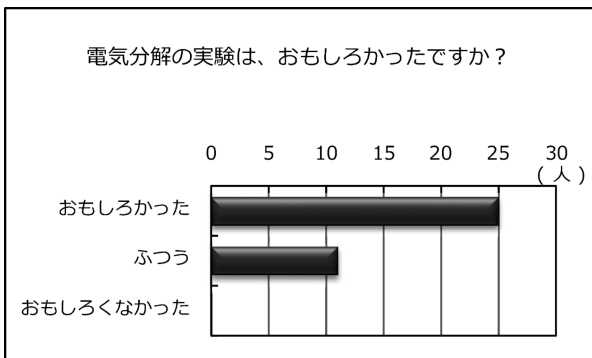


図3 実験内容に関するアンケート結果(その1)

このアンケート結果から、多くの高校生は今回の実験内容に興味をもって行うことができたと思われる。

さらに、電気分解の理解度をアンケートで調べてみた。得られたアンケート結果を図4に示す。このアンケートによると、今回の実験内容や原理についてもほぼ理解できていることがわかった。

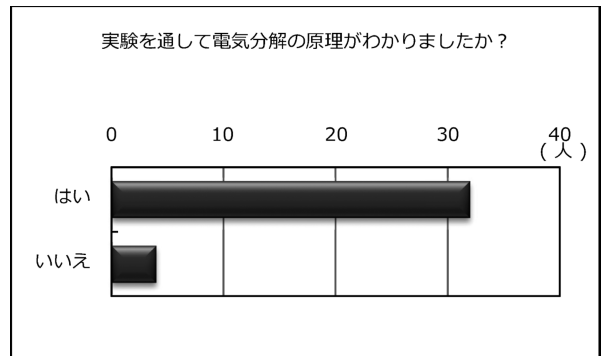
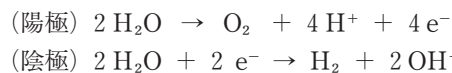


図4 実験内容に関するアンケート結果(その2)

3. 硫酸ナトリウム水溶液の電気分解とムラサキキャベツ指示薬

次に、硫酸ナトリウムを電解質、ムラサキキャベツからの抽出液を指示薬に使った水の電気分解の実践例を報告する。硫酸ナトリウム水溶液を電気分解すると陽極および陰極は次のように反応する。



これらの反応を考慮すると、陽極は酸性、陰極は塩基性を示す。このとき、指示薬にムラサキキャベツ液を用いると、陽極は紫色から赤色(ピンク色)、陰極は紫色から緑色に変化すると予想される。そこで、今回、水の電気分解の単元の発展学習として図5と6のよう

9. 本時の展開		☆評価基準	
学習活動	主な支援・留意点	準備物	
導入 20分	○電気分解の復習をする。(7分)	○両極で起こる反応を電子の動きを絡めて復習させる。 ・予め黒板に電気分解の図を描いておき、生徒に問いかけつつ電流及び電子の流れを記入する。 ・陽極付近では還元反応が起き、陰極付近では酸化反応が起きることを理解させる。	ワークシート
	○紫キャベツの煮汁の説明を聞く。(5分)	○この溶液を知らない生徒が多いと思うので、溶液がどういったものであるか説明する。 ・酸性度によって色が変わる。 ・アントシアニンという物質が含まれている。	(ビーカー、駒込ペット、紫キャベツの煮汁、水酸化ナトリウム水溶液、硫酸)
	○実験器具・薬品に関する注意事項を聞く。(8分)	○実際に水酸化ナトリウム水溶液と硫酸を用いて色の変化を観察させる。 ○実験で使うものを説明する。(事前に黒板に書きだしておく。)	(電源装置)
		○電源装置の使い方を説明する。 ・電流が流れない状態になっていることを確認してコンセントを挿す、など電源装置に応じて取り扱いを説明する。	

図5 理科学習指導案の例(その1)
(平成29年5月30日：教育実習(新宮高等学校))

Na₂SO₄の電気分解

年 組 番 名 前

○実験器具

○実験手順

- 100 mL ビーカーにろ紙を縦に置き、Na₂SO₄水溶液 80 mL を入れる。
- 炭素棒に導線をそれぞれつなぎ、各導線を電源装置の+極、-極に接続する。
- 炭素棒を溶液の中に入れて電気分解を開始する。
- 十分に時間が経過してからろ紙を取り除き、溶液を混ぜる。

○実験結果

陽極： 溶液の色 _____ ⇒ _____ 性 = _____ が発生。

陰極： 溶液の色 _____ ⇒ _____ 性 = _____ が発生。

混ぜた後： 溶液の色 _____

○考察

陽極での反応：

陰極での反応：

考えたこと・感じたこと

図7 ワークシートの例
(平成29年5月30日：教育実習(新宮高等学校))

		○薬品などの取り扱いの説明を行う。 ・薬品が手についた時はまず手を洗うことを指示する。 ・薬品が飛び跳ねないように細心の注意を払わせる。	
展開 25分	○実験の手順を説明を聞く。(5分)	○ワークシートを見ながら実験手順を説明する。	電源装置、100 mL ビーカー、炭素棒、導線、ろ紙、Na ₂ SO ₄ 水溶液、雑巾、(メスシリンダー)
	○実験を行う。(20分)	○実験器具を前に取りに来させる。 ・Na ₂ SO ₄ 水溶液はメスシリンダーで80 mL 計り取らせる。 ・約10分電気分解を行う。 ・間違ったことをしていないか机間巡視を行う。 ・電気分解中の色の変化を観察する。 ・電気分解が終わった後に溶液を混ぜ色の変化を見る。 ☆積極的に実験に参加している。	
まとめ 20分	○実験の片づけを行う。(10分)	○実験の片づけの説明をする。 ・電源装置を前に持ってくる。 ・実験に用いた溶液は前に集める。 ・器具は水で洗い、前に置く。 ・炭素棒は水洗いした後に、紙やすりでこする。 ・机を拭く。	雑巾
	○ワークシートを完成させる。(10分)	○ワークシートを完成させる。 ・ワークシートは授業後に回収する。 ☆ワークシートの完成度で評価する。 ・図を描いている ・理論通りの結果が出ている ・考察が書けている	

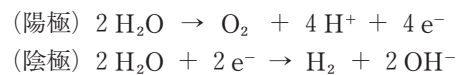
図6 理科学習指導案の例(その2)
(平成29年5月30日：教育実習(新宮高等学校))

な学習指導案と図7のワークシートを作成した。

そして、今回の実験後のアンケートから、「各電極における反応の理解が深まった」、「水溶液の色が変わるところに興味をもった」などの意見が多く得られた。このことから、本授業の目標がほぼ達成できたと考えられる。

4. 水の電気分解を利用した教材

ここでは、3の電気分解の実験の応用として、ろ紙に文字や絵を描く試みを行った。この実験では、アルミホイルを電極に使い、この間にBTB液と硫酸ナトリウム水溶液を浸したろ紙を挟んだ。ここに直流の電流(9 V)を流すと、アルミホイルの電極で以下の反応が起こり、ろ紙上でBTB液の色が変化する。



この指示薬の色変化を利用して、文字や絵を描いた。この実験の学習指導案を図8、ワークシートを図9に示す。

今回行った実験はほぼ成功し、授業時間内に終了した。その後、授業を評価する目的でアンケートを実施した。得られた実験内容に関するアンケート結果を図10に示す。

9. 本時の展開				
段階	時間	学習内容	留意点	評価
導入	10分	・実験の内容理解と実験手順の説明を受ける。	・実験の手順がわかりにくいので、前でも実際に操作を行いながらゆっくりと丁寧に説明する。	
展開	12分	ろ紙に文字を書いてみよう。 ・実験手順通り実験を行う。 ・実験が完了した班から結果の記入を行う。	・電源装置は非常に重いので落とさないように気をつけさせる。 ・正極・負極のつなぎ方を間違えないように注意させる。 ・机間指導を行いながら、進行的な班には支援を行う。	(A)
	13分	ろ紙に文字が書ける原理を考えよう。 ・班で考察に関して話し合う。	・全員が話し合いに参加できるように、机間指導を行う。	(B)
	10分	・班での考察の結果を発表する。		(C)
	5分	・実験で起こした電気分解の原理を理解する。	・陰極では、水が反応することで、水酸化物イオンが生成され、それによりBTB溶液の色が変化したことを理解させ $2H_2O + 2e^- \rightarrow H_2 + 2OH^-$	(D)
	10分	各極板での反応を確認する。 ・次の実験の説明を受ける。 ・結果を記入し、考察を行う。 ・陰極で発生した気体が水素であることを確認させるために、ケニス電気分解装置を用いて行う演示実験を観察する。	・各班が実験している間に電気分解をして気体を捕集しておく。 ・時間を見ながら、時間が残りそうならば、濾紙が黄色くならない理由を考えさせる。	(D)
まとめ	5分	・各極板での反応の原理を理解する。		

図8 理科学習指導案の例
(平成29年6月8日：教育実習(桐蔭高等学校))

ろ紙に文字を書いてみよう!

年 組 番 氏名()

○実験目的
現象を観察して、その原理を考え、発表する。

○実験準備物
ろ紙、アルミホイル、硫酸ナトリウム水溶液、BTB溶液、電源装置、導線

○実験手順

1. トレイにアルミホイルを敷く。
2. その上に、BTB溶液を加えた硫酸ナトリウム水溶液で浸したろ紙を置く。
3. 色の変化をわかりやすくするためにBTB溶液少量を直接ろ紙にかけ、まんべんなく広げる。
4. トレイにのせたアルミホイルの端に正極からつないだ導線をつなぐ。
5. 新たにアルミホイルを細く丸め、負極につないだ導線に付ける。
6. 電源装置で9Vの電圧をかけ、電流を流す。
(注：アルミホイルに電流が流れているので気を付ける)
7. 負極の導線についたアルミホイルをろ紙につけ、変化を観察する。

○結果 (観察)

考察 (なぜ色が変わるのかを論理的に説明せよ)

○結果・考察 (ピーカーを用いた実験)

図9 ワークシートの例(平成29年6月8日：教育実習(桐蔭高等学校))

このアンケート結果から、BTB液の色が変化するところがおもしろかったという意見が多く見られた。また、実験に遊びを加えた点についても好評であった。特に、今回の実験では、指示薬の色の変化がわかりやすいことが良かった要因だと考えている。

一方で、電気分解をどの程度理解しているかをアンケートで調べてみた。得られたアンケート結果を図11に示す。この結果から、一般的な水の電気分解の実験と同様に、実験の原理をほぼ理解できていることがわかった。このことから、今回の教材は一般的な水の電

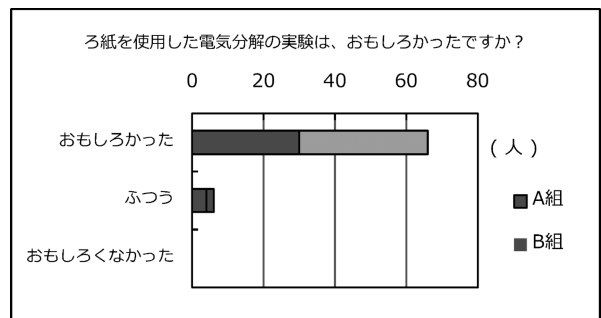


図10 実験内容に関するアンケート結果

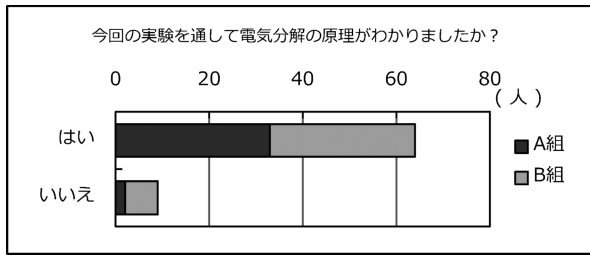


図11 実験の原理についてのアンケート結果

気分解と同様に、高等学校の化学実験として適していることがわかった。さらに、実験に遊びを加えることにより、生徒が授業に興味をもつことがわかった。

5. まとめ

今回、水の電気分解の実験に関するさまざまな学習指導案を作成し、高等学校で実践した。そして、授業終了後、提案した化学教材の良し悪しを評価するために生徒アンケートを実施した。このアンケート結果から、水の電気分解の実験では、電解液に指示薬などを入れ、各電極での反応の様子を可視化すると効果的であることがわかった。さらに、実験に遊びを加えることも有効であった。

本研究を行うにあたり、アンケート実施に協力して頂いた和歌山県立桐蔭高等学校および新宮高等学校に感謝申し上げます。

