

中学校理科における塩酸の電気分解に関する教材研究

林 優希・島田秀昭

Developing materials for teaching the electrolysis of hydrochloric acid in lower secondary school science

Yuki Hayashi and Hideaki Shimada

(Received September 30, 2022)

The electrolysis of hydrochloric acid is studied in lower secondary school science. In the textbook, however, an expensive equipment is used for the electrolysis of hydrochloric acid. Moreover, the experimental conditions for the electrolysis described in the textbook produces a large amount of experimental waste. Thus, in the present study, we attempted to produce inexpensive small-scale teaching material for the electrolysis of hydrochloric acid. The experimental conditions for the produced small-scale teaching material were also examined.

Key words: electrolysis, hydrochloric acid, small-scale, teaching material

はじめに

中学校理科第3学年では、「化学変化とイオン」では「水溶液とイオン」について学習する¹⁾。本単元の項目である「水溶液とイオン」における「原子の成り立ちとイオン」では、「電解質水溶液に電圧をかけ電流を流す実験を行い、電極に物質が生成することからイオンの存在を知るとともに、イオンの生成が原子の成り立ちに関係することを知らせている¹⁾。ここで行う実験としては、「現象を捉えやすい電解質水溶液として、うすい塩酸や塩化銅水溶液などに適切な電圧をかけ電流を流す実験を行い陽極と陰極に決まった物質が生成することに注目させ、電解質の水溶液中に電気を帯びた粒子が存在することを理解させ、イオンの概念を形成させる」と記されている¹⁾。

教科書における本単元の電気分解の実験としては、塩酸の電気分解が取り上げられている²⁻⁶⁾。これら教科書記載の実験方法は、市販の電気分解装置および電源装置を用い、試薬を含む溶液を100mL使用するよう設定されている。しかし、これらの実験方法では、高価な実験器具・機器が必要であること、また、酸を含む実験廃液が多く排出されることになる。

近年、多くの環境問題を背景に環境に配慮したマイクロスケール実験が注目されている。マイクロスケ-

ール実験とは、通常の実験の数十分の一から数百分の一の小規模で行う実験であり、通常の実験と比較して使用する試薬量や実験廃液が少ないことから安全性が高く、さらに実験時間が短い、生徒個人あるいは二人程度の小人数で実験することができるなど数多くの利点がある^{7,8)}。

これまでに報告されている電気分解のマイクロスケール実験例としては、気体を溜める容器にポリスポイドを用い、電源にUSBハブを用いることで、低予算で作製でき、実験廃液も少量化できる教材が開発されている⁹⁾。また、容器に醤油さしを用い、電源に9Vの電池を用いたものも報告されている¹⁰⁾。

本研究では、中学校理科における塩酸の電気分解に関する実験教材について、低予算で作製することができ、実験廃液も少なくすることができるよう少容量化した教材を作製し、塩酸の電気分解に最適な実験条件、特に電極の材質、電流の流れを確認する機器、通電時間および塩酸濃度に注目して検討した。

実験方法

1. 実験材料および実験装置の作製

電極として市販の製図用ホルダー芯(HB, $\phi 2.0 \times 130\text{mm}$)、ステンレス線および銅線($\phi 0.27 \times 10\text{m}$)をそれぞれ40mmの長さにカットして使用した。容

器は市販のタレビン (4mL) を使用した。タレビンを入れる容器として、市販のカラーボトル (20mL) を 40mm サイズにカットして使用した。電源としては電源装置またはアルカリ乾電池 (単 3, 3 個直列) を使用し、電流の流れを確かめる機器として電子メロディ、発光ダイオード、光電池用モーターおよび模型用モーターを使用した。

実験装置は、市販のクリアファイル (ポリプロピレン) をカットし、折り曲げて作製した蓋にタレビン 2 個を固定する穴を開けた。電極の太さに合った穴をタレビンの底に一つあけ、電極を差し込み、それを蓋に固定してシャーレの上に置いた (図 1)。

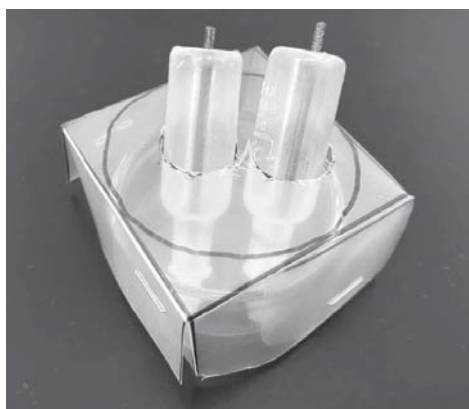


図 1 実験装置

2. 実験機器の作動状態および気体の発生に及ぼす各種電極の影響

タレビンの底にホルダー芯、ステンレス線または銅線を差し込み、5% 塩酸 (20mL) で 2 個のタレビンを満たし、残りはシャーレに入れた。タレビンの口を下にして溶液が入ったシャーレに入れ、蓋で固定した。次に、電源装置 (4.5V) に接続し、5 分間電流を流したときの電子メロディ、発光ダイオード、光電池用モーターおよび模型用モーターの作動状態ならびに気体の発生を調べた。

実験機器の作動状態の評価は、電子メロディの場合、◎：きれいに鳴った、○：ゆっくり鳴った、△：わずかに鳴った、×：鳴らなかった、とした。発光ダイオードの場合、◎：明るく光った、○：光った、△：わずかに光った、×：光らなかった、とした。光電池用モーターおよび模型用モーターの場合、◎：勢いよく回った、○：ゆっくり回った、△：途中で止まった、×：回らなかった、とした。

気体の発生の評価は、陰極では水素の燃焼反応、陽極では塩素の脱色反応を行った。水素の燃焼反応は、気体がたまったタレビンにカラーボトルを入れ、カラーボトルの上からタレビンを押潰して気体を出しながら、火をつけたマッチを近づけた。塩素の脱色反

応は、食紅で色をつけた水に浸したろ紙に、溶液を滴下した。気体の発生の評価は、○：燃焼反応が確認できた、△：気体は発生したが、燃焼反応が確認できなかった、×：気体は発生しなかった、とした。実験はすべて 3 回ずつ行った。

3. 実験機器の作動状態および気体の発生に及ぼす通電時間の影響

電極としてホルダー芯を用いた。5% 塩酸で満たしたタレビンに電源装置 (4.5V) に接続し、6, 7, 8, 9 または 10 分間電流を流したときの発光ダイオードおよび光電池用モーターの作動状態ならびに気体の発生を調べた。

4. 実験機器の作動状態および気体の発生に及ぼす塩酸濃度の影響

塩酸濃度の検討は、電極としてホルダー芯を用いた。2, 3, 4 または 5% 塩酸で満たしたタレビンに電源装置 (4.5V) に接続し、8 分間電流を流したときの光電池用モーターの作動状態ならびに気体の発生を調べた。

結果と考察

1. 実験機器の作動状態および気体の発生に及ぼす各種電極の影響

電極としてステンレス線を用いたときの各種実験機器の作動状態および気体の発生について検討した (表 1)。実験機器の作動状態は、模型用モーターは全く作動しなかったが、他の実験機器はすべて正常に作動した。気体の発生は、模型用モーターでは陽極 (塩素) および陰極 (水素) において確認実験に十分な量の気体が発生した。光電池用モーターおよび発光ダイオードでは、陽極からは確認実験に十分な量の気体が発生したが、陰極における気体の発生は不十分だった。電子メロディでは、陽極および陰極のいずれにおいても気体の発生は見られなかった。すべての実験機器においてステンレス線の劣化が認められた。

表 1 各種実験機器の作動状態および気体の発生に及ぼすステンレス電極の影響

実験機器	作動状態	気体の発生		電極の変化
		陽極	陰極	
模型用モーター	×(×××)	○(○○○)	○(○○○)	劣化
光電池用モーター	◎(◎◎◎)	○(○○○)	△(△△△)	劣化
発光ダイオード	◎(◎◎◎)	○(○○○)	△(△△△)	劣化
電子メロディ	◎(◎◎◎)	×(×××)	×(×××)	劣化

電極として銅線を用いたときの各種実験機器の作動状態および気体の発生について検討した (表 2)。用いたすべての実験機器において全く作動は見られな

かった。また、気体の発生はすべての実験機器において確認されなかった。すべての実験機器において銅線の変化は見られなかった。

表2 各種実験機器の作動状態および気体の発生に及ぼす銅電極の影響

実験機器	作動状態	気体の発生		電極の変化
		陽極	陰極	
模型用モーター	×(×××)	×(×××)	×(×××)	なし
光電池用モーター	×(×××)	×(×××)	×(×××)	なし
発光ダイオード	×(×××)	×(×××)	×(×××)	なし
電子メロディ	×(×××)	×(×××)	×(×××)	なし

電極としてホルダー芯を用いたときの各種実験機器の作動状態および気体の発生について検討した(表3)。各種実験機器の作動状態は、模型用モーターは全く作動しなかったが、他の実験機器は正常に作動した。気体の発生は、模型用モーターでは陽極および陰極ともに確認実験に十分な量の気体が発生した。光電池用モーターおよび発光ダイオードでは陽極からは十分な量の気体が発生したが、陰極からの気体の発生は不十分だった。電子メロディでは、陽極および陰極のいずれにおいても気体の発生は見られなかった。すべての実験機器においてホルダー芯の変化は見られなかった。

表3 各種実験機器の作動状態および気体の発生に及ぼす炭素電極の影響

実験機器	作動状態	気体の発生		電極の変化
		陽極	陰極	
模型用モーター	×(×××)	○(○○○)	○(○○○)	なし
光電池用モーター	◎(◎◎◎)	○(○○○)	△(△△△)	なし
発光ダイオード	◎(◎◎◎)	○(○○○)	△(△△△)	なし
電子メロディ	◎(◎◎◎)	×(×××)	×(×××)	なし

2. 実験機器の作動状態および気体の発生に及ぼす通電時間の影響

ここまでの実験で、電極としてホルダー芯、実験機器として発光ダイオードおよび光電池用モーターが適していることがわかった。しかし、発光ダイオードおよび光電池用モーターを用いた場合、陰極からの気体の発生(水素)が不十分だった。そこで、確認実験に十分な量の気体を発生させるための通電時間について、電極としてホルダー芯、実験機器として発光ダイオードおよび光電池用モーターを用いて検討した。

発光ダイオードを用いたときの機器の作動状態および気体の発生について検討した(表4)。発光ダイオードはすべての通電時間において正常に作動した。気体の発生は、陽極においてはすべての通電時間において十分な量の気体が発生したが、陰極からの気体の発生はいずれの通電時間においても不十分であった。

表4 発光ダイオードの作動状態および気体の発生に及ぼす通電時間の影響

通電時間(分)	作動状態	気体の発生	
		陽極	陰極
6	◎(◎◎◎)	○(○○○)	△(△△△)
7	◎(◎◎◎)	○(○○○)	△(△△△)
8	◎(◎◎◎)	○(○○○)	△(△△△)
9	◎(◎◎◎)	○(○○○)	△(△△△)
10	◎(◎◎◎)	○(○○○)	△(△△△)

光電池用モーター用いたときの機器の作動状態および気体の発生について検討した(表5)。光電池用モーターはすべての通電時間において正常に作動した。気体の発生は、陽極においてはすべての通電時間において十分な量の気体が発生した。また、陰極においては通電時間が6および7分の場合では不十分であったが、8分間以上では十分な量の気体が発生した。

表5 光電池用モーターの作動状態および気体の発生に及ぼす通電時間の影響

通電時間(分)	作動状態	気体の発生	
		陽極	陰極
6	◎(◎◎◎)	○(○○○)	△(△△△)
7	◎(◎◎◎)	○(○○○)	△(△△△)
8	◎(◎◎◎)	○(○○○)	○(○○○)
9	◎(◎◎◎)	○(○○○)	○(○○○)
10	◎(◎◎◎)	○(○○○)	○(○○○)

4. 実験機器の作動状態および気体の発生に及ぼす塩酸濃度の影響

次に、電気分解の実験はどの程度まで塩酸濃度を低くして行うことが可能か検討した。実験機器として光電池用モーター、電極としてホルダー芯を用いて塩酸濃度を変化させ、8分間通電したときの機器の作動状態および気体の発生について検討した(表6)。塩酸濃度が5および4%の場合では、光電池用モーターは正常に作動し、陽極および陰極ともに確認実験に十分な量の気体が発生した。3%の場合では、光電池用モーターはゆっくり作動し、陽極および陰極ともに十分量の気体が発生した。しかし、2%の場合では、陽極および陰極ともに確認実験に十分な量の気体は発生したが、光電池用モーターの作動が不安定となった。

表6 光電池用モーターの作動状態および気体の発生に及ぼす塩酸濃度の影響

塩酸濃度(%)	作動状態	気体の発生	
		陽極	陰極
5	◎(◎◎◎)	○(○○○)	○(○○○)
4	◎(◎◎◎)	○(○○○)	○(○○○)
3	○(○○○)	○(○○○)	○(○○○)
2	×(×△×)	○(○○○)	○(○○○)

以上の結果から、今回作製した実験装置を用いて塩酸の電気分解実験を行う場合、電極としてホルダー芯、実験機器として光電池用モーター、4% 塩酸、電圧 4.5V、通電時間 8 分で行うことができる。

おわりに

本研究では、塩酸の電気分解に関する教材を作製し、その教材を用いて最適な実験結果が得られる実験条件を設定した。本実験では、電源装置の代わりに単 3 乾電池（3 本直列）を用いても行うことができるため、生徒個人あるいは少人数での実験が可能である。

参考文献

- 1) 文部科学省：中学校学習指導要領解説 理科編，学校図書，pp. 58-62，2018.
- 2) 梶田隆幸 他. 新しい科学 3, 2021, 東京書籍.
- 3) 大矢禎一 他. 未来へ広がるサイエンス 3, 2021, 啓林館.
- 4) 霜田光一 他. 中学校 科学 3, 2021, 学校図書.
- 5) 有馬朗人 他. 理科の世界 3, 2021, 大日本図書.
- 6) 室伏きみ子 他. 自然の探求 中学理科 3, 2021, 出版
- 7) 板東 舞, 川本公二, 土田弘幸, 芝原寛泰. 簡単にできる水の電気分解実験－マイクロスケール実験の応用－. フォーラム理科教育, No. 7, 35-39 (2005).
- 8) 宮本一弘. 簡単にできる水の電気分解. 化学と教育, 67, 470-471 (2019).