

中学校理科における塩化銅水溶液の電気分解に関する マイクロスケール実験

西村幸太*・三宅安**・島田秀昭***

【要旨】本研究では、中学校理科における塩化銅水溶液の電気分解で用い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マイクロスケール実験教材の作製を試みた。また、作製した教材について最適な実験条件の設定を行った。さらに、本教材を用いて授業実践を行い、その有用性について検討した。

【キーワード】 マイクロスケール実験，電気分解，塩化銅水溶液，中学校理科，授業実践

はじめに

中学校理科3年の1分野「水溶液とイオン」では、「原子の成り立ちとイオン」について学習する¹⁾。学習指導要領では、本項目における目標として「電気分解の実験を行い、電極に物質が生成することからイオンの存在を知ること」と記述されている¹⁾。また、この目標を達成するための実験例として「うすい塩酸や塩化銅水溶液などの電解質の水溶液を電気分解する実験」が挙げられている¹⁾。この「原子の成り立ちとイオン」は学習指導要領の改訂により新しく追加された内容であり、すべての教科書²⁻⁶⁾において使用されている専用の炭素電極は実験教材を扱う会社から入手することができる。しかし、専用の実験教材は高価であり、予算の限られている学校においては負担が大きいものと思われる。さらに、教科書²⁻⁶⁾に記載されているようにビーカーを用いて塩化銅水溶液の電気分解実験を行った場合、劇物である塩化銅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、これには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く安全性が高い、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)}。

そこで本研究では、中学校理科において塩化銅水溶液の電気分解の授業で用い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マイクロスケール化した教材の作製を試みた。また、作製した教材について最適な実験条件の設定を行うとともに、本教材を用いた授業実践を行い、その有用性について検討した。

実験方法

1. 教材の作製および実験条件の検討

電極として市販の製図用ホルダー替芯(φ2 x 130 mm)を50 mmの長さにカットしたもの、またはステンレス釘(φ2 x 38 mm)を使用し、容器はサンプル瓶(7 mL)を使用した(図1)。電源としては電源装置(NAKAMURA, PS5100N:設定電圧3 V)またはアルカリ乾電池(単3, 2個直列)を使用し、電流の流れを確かめる道具として電子メロディ、光電池用モーターおよび模型用モーターを使用した。実験は、電源とデジタルマルチメーターを接続した電

* 熊本大学大学院教育学研究科

** 天草市立本渡東中学校

*** 熊本大学教育学部



図1 実験器具

極を1% または5% 濃度の塩化銅水溶液6 mLが入ったサンプル瓶に浸し、1分間の電子メロディおよび各種モーターの作動状態を観察した。実験終了後、陽極における塩素臭と陰極における銅析出の有無を確認した。

2. 塩化銅水溶液の再利用実験

電源としてアルカリ乾電池、電極としてホルダー芯、電流の流れを確かめる道具として光電池用モーターを使用した。電極を1% 濃度の塩化銅水溶液6 mLが入ったサンプル瓶に浸し、10分間モーターを作動させた。この操作を5回繰り返して行った後、塩化銅水溶液をポリプロピレン製の容器に入れて密栓し、冷蔵庫で保存した。10ヶ月後に同様に実験を行い、塩化銅水溶液が再利用可能かどうか検討した。

3. 授業実践

熊本県内の中学校において、第3学年の2クラス(男子27名、女子24名、計51名)を対象に「塩化銅の電気分解」の授業を行った。実験は二人一組で行い、授業終了後にアンケート調査を実施した。

結果と考察

1. 教材の作製および実験条件の検討

電源装置および電極にステンレス釘を用いて塩化銅水溶液(5%)の電気分解を行ったときの電子メロディおよび各種モーターの作動状態ならびに電極の様子について検討した(表1)。電子メロディおよび光電池用モーターでは正常な作動が認められた

表1 電子メロディおよび各種モーターの作動状態ならびに電極の様子

	作動状態 電流(mA)	電極の様子	
		陽極	陰極
電子メロディ	◎(◎ ◎ ◎) 0.42 ± 0.05	—	—
光電池用モーター	◎(◎ ◎ ◎) 8.91 ± 0.11	気泡発生 塩素臭	—
模型用モーター	×(× × ×) 51.6 ± 6.0	気泡発生 塩素臭	銅析出

5% 塩化銅: ステンレス釘: 電源装置。

電子メロディ: ◎、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。
モーター: ◎、勢いよく回った: ○、ゆっくり回った: △、途中でとまった: ×、回らなかった。

表2 電子メロディおよび各種モーターの作動状態ならびに電極の様子

	作動状態 電流(mA)	電極の様子	
		陽極	陰極
電子メロディ	◎(◎ ◎ ◎) 0.30 ± 0.02	—	—
光電池用モーター	◎(◎ ◎ ◎) 8.83 ± 0.23	気泡発生 塩素臭	銅析出
模型用モーター	×(× × ×) 112.8 ± 6.3	気泡発生 塩素臭	銅析出

5% 塩化銅: ホルダー芯: 電源装置。

電子メロディ: ◎、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。
モーター: ◎、勢いよく回った: ○、ゆっくり回った: △、途中でとまった: ×、回らなかった。

が、模型用モーターでは作動しなかった。電極の様子は、電子メロディでは陽極および陰極の両方において変化は観察されなかった。光電池用モーターでは陽極において気泡が発生し塩素臭が確認されたが、陰極における銅の析出は見られなかった。一方、模型用モーターでは、陽極における気泡発生と塩素臭ならびに陰極における銅の析出が観察された。

次に、電源装置および電極にホルダー芯を用いて塩化銅水溶液(5%)の電気分解を行ったときの電子メロディおよび各種モーターの作動状態ならびに電極の様子について検討した(表2)。電子メロディおよび光電池用モーターでは正常な作動が認められたが、模型用モーターでは作動しなかった。電極の様子は、電子メロディでは両極において変化は観察されなかったが、光電池用モーターおよび模型用モーターでは陽極において気泡発生と塩素臭が確認され、陰極において銅の析出が観察された(図2)。このとき気泡の発生は、光電池用モーターの方が模型用モーターよりも少なく、塩素臭もわずかであり、また銅の析出量も少なかった。光電池用モーターを用いたときの陽極における気泡発生は通電開始直後から始まり、10秒後には陽極の周囲に多くの気泡が

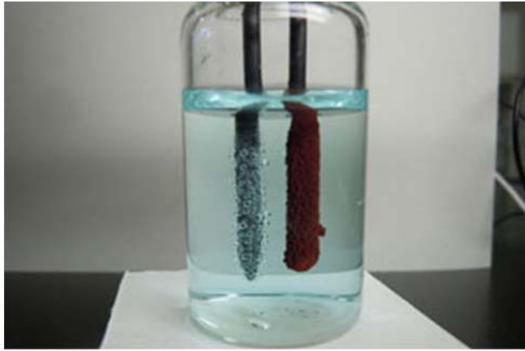


図2 電極の様子

認められた。また、陰極における銅の析出は通電開始から 30 秒後に確認された。

以上の結果から、電極としてホルダー芯、電流を確認する道具として光電池用モーターを使用すると過剰な塩素の発生が抑えられ、安全かつ適切な実験結果が得られることがわかった。

塩化銅水溶液の電気分解を個人あるいは二人一組程度の少人数で行うためには、数多くの実験装置が必要となる。そこで次に、電源装置の代わりにアルカリ乾電池を用いて実験を行うことが可能かどうか検討した。電極としてホルダー芯を用いて塩化銅水溶液（5%）の電気分解を行ったときの結果を表3に示す。電源装置の場合と同様に、電子メロディおよび光電池用モーターでは正常な作動が認められたが、模型用モーターでは作動は見られなかった。電極の様子も、電子メロディでは両極において変化は観察されなかったが、光電池用モーターおよび模型用モーターでは陽極における気泡発生と塩素臭が確認され、陰極における銅の析出が観察された。光電池用モーターを用いたときの陽極における気泡発生は電源装置の場合と同様に、通電開始直後から始まり、10秒後には陽極の周囲に多くの気泡が認められた。また、陰極における銅の析出は通電開始から30秒後に確認された。

以上の結果から、本実験は電源装置の代わりにアルカリ乾電池を用いても実施可能であることがわかった。

ここまでの実験に用いた塩化銅水溶液の濃度は5%であり、これは教師用指導書に記載されている濃度である。しかし、塩化銅は劇物であり、その使用量や廃液濃度は可能な限り低くした方が望ましい。

表3 電子メロディおよび各種モーターの作動状態ならびに電極の様子

	作動状態 電流(mA)	電極の様子	
		陽極	陰極
電子メロディ	◎(◎ ◎ ◎) 0.18 ± 0.00	—	—
光電池用モーター	◎(◎ ◎ ◎) 8.81 ± 0.1	気泡発生 塩素臭	銅析出
模型用モーター	×(× × ×) 74.7 ± 2.4	気泡発生 塩素臭	銅析出

5%塩化銅:ホルダー芯:乾電池。
電子メロディ:◎、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。
モーター:◎、勢いよく回った:○、ゆっくり回った:△、途中でとまった:×、回らなかった。

表4 電子メロディおよび各種モーターの作動状態ならびに電極の様子

	作動状態 電流(mA)	電極の様子	
		陽極	陰極
電子メロディ	◎(◎ ◎ ◎) 0.21 ± 0.01	—	—
光電池用モーター	◎(◎ ◎ ◎) 8.18 ± 0.09	気泡発生 塩素臭	銅析出
模型用モーター	×(× × ×) 30.8 ± 11.6	気泡発生 塩素臭	銅析出

1%塩化銅:ホルダー芯:乾電池。
電子メロディ:◎、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。
モーター:◎、勢いよく回った:○、ゆっくり回った:△、途中でとまった:×、回らなかった。

そこで、塩化銅水溶液濃度を教師用指導書の5分の1である1%に設定し、実験が可能かどうか検討した。電源としてアルカリ乾電池、電極としてホルダー芯を用いたときの結果を表4に示す。5%濃度の場合と同様に、電子メロディおよび光電池用モーターでは正常な作動が認められ、電極の様子も光電池用モーターおよび模型用モーターでは、陽極において気泡発生と塩素臭が、また陰極において銅の析出が観察された。光電池用モーターを用いたときの陽極における気泡発生は通電開始直後から始まったが、陽極の周囲に多くの気泡が認められるようになったのは通電開始から30秒後であった。また、陰極における銅の析出は通電開始から1分後に確認された。

以上の結果から、本実験は塩化銅水溶液の濃度を1%にしても、実験結果にほとんど影響しないことがわかった。

2. 塩化銅水溶液の再利用

一度実験に用いた塩化銅水溶液（1%）が翌年も使用可能かどうか検討したところ、前年の場合と同様な結果が得られた（data not shown）。したがって、使用済の塩化銅水溶液を約1年間保存した後、

再び実験に使用しても実験結果に何ら影響がないことがわかった。

3. 授業実践

今回作製したマイクロスケール実験教材の有用性について検討するため、本教材を用いて授業実践を行い、アンケート調査を実施した。

まず、二人一組で行った実験について生徒がどのように感じているのかを調べる目的で「少人数で行う実験とグループで行う実験とではどちらがよいですか」と質問したところ、「少人数で行う実験」と回答した生徒は51名中21名(41%)であり、半数以上の生徒は5名程度の「グループ実験」の方を選択した(図3)。これは今回のような少人数実験の場合、個々の生徒が思考し操作せざるを得ないため、実験に自信の持てない生徒においては不安が生じたものと推察された。しかし、授業の中で生徒は自発的にコミュニケーションを取りながら実験を行っている様子が見られたことから、実験中のコミュニケーション活動を推奨することで少人数実験を行うことに対する不安を克服できるものと思われた。

マイクロスケール実験について生徒がどのように感じているのかを調べる目的で「スケールの小さい実験とスケールの大きい実験とではどちらがよいですか」と質問したところ、「スケールの小さい実験」を選択した生徒は少数の13名(25%)であった(図4)。これは、生徒がマイクロスケール実験について不慣れであるため、これまでの授業で行ってきた「スケールの大きい実験」を選択したものと考えられた。この点については生徒にマイクロスケール実験を行うことの意義、例えば「環境への負荷が小さい」、「安全性が高い」、「実験時間が短い」、「少人数で実験に取り組める」などを事前に指導し理解させる必要があると考えられた。

次に、本教材の扱いやすさについて調べる目的で「実験操作は簡単でしたか」と質問したところ、47名(94%)の生徒が「とても簡単だった」および「簡単だった」と回答した(図5)。今回用いた教材は、電極のホルダー芯がコルク板に固定してあり、実験はそれを溶液に浸すという簡単な操作で行うことができるため、肯定的な意見が多かったものと考えられた。

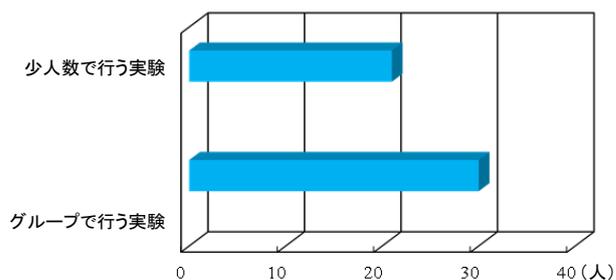


図3 少人数実験とグループ実験ではどちらが良いか

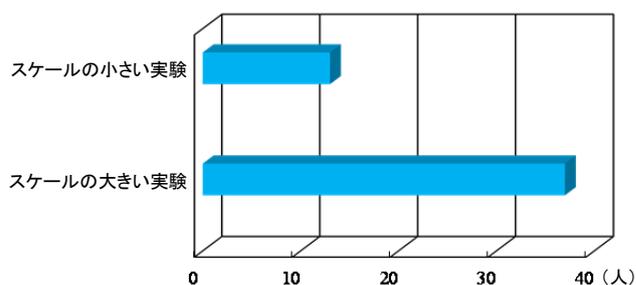


図4 スケールの小さい実験と大きい実験ではどちらが良いか

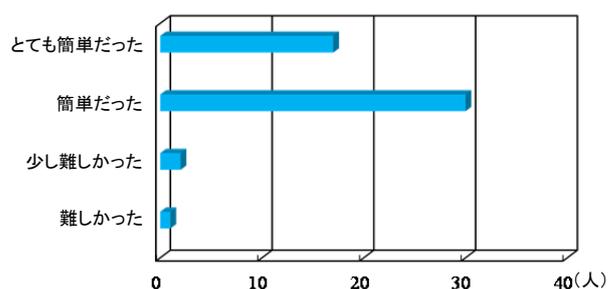


図5 実験操作は簡単だったか

また、「実験器具が小さくて困ることはありませんでしたか」という質問に対しては32名(64%)の生徒が「なかった」と回答した(図6)。「困ることがあった」と回答した生徒は、その具体的な内容として「小さくて見にくい」、「サンプル瓶が倒れて中の溶液がこぼれた」と記述をしており、今後、「拡大鏡を用いて観察する」、「台座を用いてサンプル瓶を固定する」などの改善策を検討する必要がある。

本教材を用いた授業内容の理解度について調べる目的で「陽極から塩素が発生し、陰極から銅が生成したことがわかりましたか」と質問したところ、47名(94%)の生徒が「十分にわかった」および「わかった」と回答し、大多数の生徒は実験結果について理解していることがわかった(図7)。

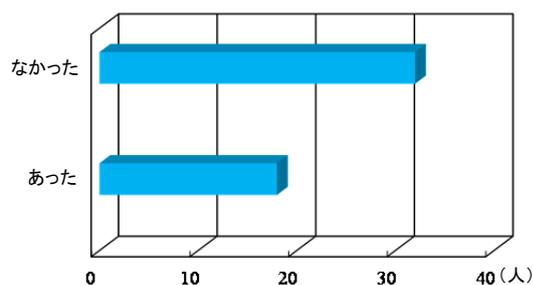


図6 実験器具が小さくて不都合があったか

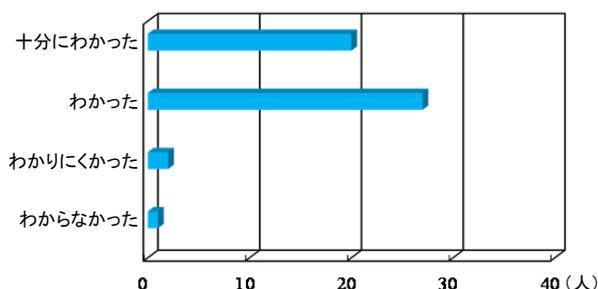


図7 実験結果の理解度

以上の結果から、今回作製した実験教材について大半の生徒は扱い易いと感じており、さらに実験結果についても理解している様子が見られたことから、本教材は「塩化銅水溶液の電気分解」の実験で用いる教材として有用であると考えられた。

おわりに

本研究では、塩化銅水溶液の電気分解実験をマイクロスケールで行うことのできる教材を作製し、最適な結果が得られる実験条件を確立した。今回作製した装置を図8に示す。この教材には、安価な材料を使用しているため、数多く作製し、生徒個人での実験も可能である。また、今回設定した実験条件は、少量の溶液で実験を行うことができるため、安全で環境に配慮した実験が実施できるものと期待される。

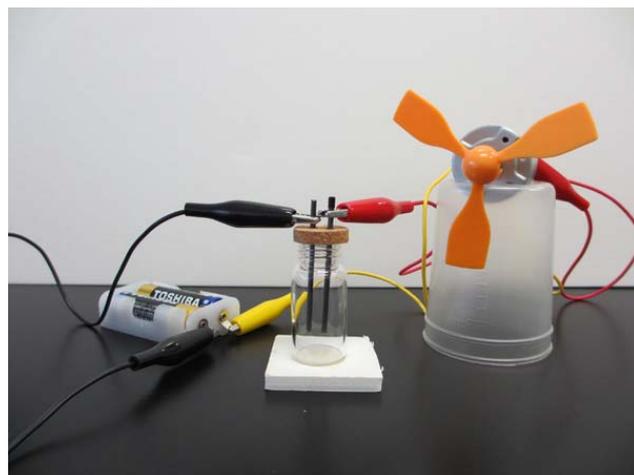


図8 マイクロスケール実験装置

参考文献

- 1) 文部科学省. 中学校学習指導要領解説 理科編, 大日本図書, pp. 49-50 (2008).
- 2) 塚田 捷 他. 未来へひろがるサイエンス3, 株式会社新興出版啓林館 (2012).
- 3) 有馬朗人 他. 理科の世界3年, 大日本図書株式会社 (2012).
- 4) 岡村定矩 他. 新しい科学3年, 東京書籍株式会社 (2012).
- 5) 細矢治夫 他. 自然の探求 中学校理科3, 教育出版株式会社 (2012).
- 6) 霜田光一 他. 中学校科学3, 学校図書株式会社 (2012).
- 7) 荻野和子. 化学と教育, 49 (2), pp. 110 (2001).
- 8) 中川徹夫. マイクロスケール実験研究論文集, 神戸女学院大学人間環境学部・バイオサイエンス学科科学教育研究室発行 (2011).

補記

本論文は、査読により修正し掲載されたものである。