

高校化学で用いる鉛蓄電池に関する教材研究

島田 秀昭・枡 良成

Studies on the Lead Battery Used in High School Chemistry

Hideaki SHIMADA and Ryosei HEGI

(Received October 1, 2015)

Microscale experiment is widely used in schools of the world because of its usefulness for teaching chemistry. The advantages of microscale experiments are low cost, safety, fast and environmentally friendly. In the present study, we attempted to produce inexpensive microscale teaching materials for lead battery used in high school chemistry. The experimental conditions for developed microscale teaching materials were also investigated.

Key words : lead battery, microscale experiment, teaching material, experimental condition, high school chemistry

はじめに

高等学校化学では「化学反応とエネルギー」について学習する¹⁾。学習指導要領において本単元の一つである「電池」では、「電池は、酸化還元反応によって電気エネルギーを取り出す仕組みであることを理解すること」と記されている¹⁾。また、その内容の取扱いとしては、「水の電気分解と逆反応を用いた電池を扱うこと。また、ダニエル電池や代表的な実用電池の反応にも触れること」と記されており、電池は酸化還元反応により化学エネルギーを電気エネルギーに変換して取り出す仕組みであることを理解させることをねらいとしている¹⁾。これらの目標を達成するための方法としては、乾電池、鉛蓄電池、燃料電池などの代表的な実用電池を取り上げ、電極で起こる主な反応に触れることや、実験としては鉛蓄電池や酸素水素電池の製作などが考えられると記されている¹⁾。これらの内容はいずれも日常生活において身近に存在するものであり、生徒の興味・関心を高めることができると考えられる。さらに、最近ではテレビや新聞等で「燃料電池」、「バイオ燃料」、「LED電球」などエネルギーに関する話題が多く取り上げられており、生徒の関心はより高まる傾向にあると思われる。

自動車のバッテリーなど日常生活において幅広く使用されている鉛蓄電池は、充電と放電の両方を体感することができる二次電池である。高等学校化学の教科書では、鉛蓄電池は日常生活で使用されている電池と

してニッケル水素電池およびリチウムイオン電池とともに紹介されており²⁻⁶⁾、一部の教科書には実験教材としても記載されている⁷⁾。

鉛蓄電池は構造が簡単で容易に作成することができるため実験教材として有用であると考えられるが、試薬に劇物指定である強酸性の硫酸を使用するため実験の安全性が懸念される。また、実験終了後に硫酸廃液を中和処理する際、大量のアルカリ水溶液が必要となることなどから、実験の安全性、操作性、使用する試薬量や実験廃液の少量化について検討する必要があると思われる。

これらの問題を解決するために、マイクロプレートを用いた鉛蓄電池の教材が開発され、その教材としての有用性が報告されている⁸⁾。しかし、マイクロプレートは分子生物学の分野において細胞培養などに用いられている器具であり、高等学校においてはあまり馴染みのないものであると考えられる。

そこで本研究では、鉛蓄電池の実験教材について、より安全で実験廃液を可能な限り少なくする条件を見出すことを目的として次の検討を行った。まず、電解液に硫酸ナトリウムを用い、電子メロディ、各種モーターおよびLED電球の作動状態に及ぼす硫酸ナトリウムの濃度等について検討した。さらに、低予算で作成することができ、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。

実験方法

1. 実験材料

金属板は、市販の鉛板を 25 x 100 mm, 12.5 x 70 mm または 15 x 100 mm のサイズにカットしたものを使用した。充電器は (株) ヤガミの手動式発電器ゼネコン (9 V) を使用した。電子メロディ, 光電池用モーター, 模型用モーターおよび LED は (株) ナリカから購入した。プラスチックカップ (22.5 mL) は 100 円ショップで購入した。

2. 電解液の種類, 濃度および充電時間の検討

ビーカー (100 mL) に 3 mol/L 硫酸または 3 mol/L 硫酸ナトリウム水溶液を 70 mL 加え, デジタルマルチメーターに接続した鉛板 (25 x 100 mm) を 2 枚浸した。充電器で 2 分間充電した後, 電子メロディ, 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端子間電圧を測定した。また, 硫酸ナトリウムの濃度を 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 または 3.0 mol/L に変化させて同様に実験を行った。さらに, 硫酸ナトリウム濃度を 1.0 mol/L に固定し, 充電時間を 1, 2, 3, 4 または 10 分に変化させたときの模型用モーターの作動状態ならびに端子間電圧を測定した。

3. マイクロスケール化の検討

1) サンプル瓶の場合

サンプル瓶 (25 mL) に硫酸ナトリウム水溶液 (0.01, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 1.0, 1.5 mol/L) を 15 mL 加え, 鉛板 (12.5 x 70 mm) を 2 枚浸した。充電器で 1 分間充電した後, 電子メロディ, 光電池用モーター, 模型用モーターおよび LED の作動状態ならびに端子間電圧を測定した。また, 硫酸ナトリウム濃度を 1.5 mol/L に固定し, 電池の数と回路を直列または並列に変化させたときの模型用モーターの作動状態ならびに端子間電圧を測定した。

2) プラスチックカップの場合

プラスチックカップに硫酸ナトリウム水溶液 (0.01, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 1.0, 1.5 mol/L) を 15 mL 加え, 鉛板 (15 x 100 mm) を 2 枚浸した。電極は, 蓋に穴を空けて差し込み, 電極同士の接触を避けるため, 電極間にプラスチック板を挿入した。充電器で 1 分間充電した後, 電子メロディ, 光電池用モーター, 模型用モーターおよび LED の作動状態ならびに端子間電圧を測定した。また, 硫酸ナトリウム水溶液の濃度を変え (0.5, 1.0, 1.5 mol/L), 電池 2 個を並列に接続したときの模型用モーターの作動状態ならびに端子間電圧についても測定した。

なお, いずれの実験においても鉛蓄電池を使用する前に充電と放電を数回繰り返し, 充電する際は 4 ~ 5 V の強さで発電機を回した。各種モーターの作動状態の評価は, 30 秒以上勢よく回った場合は◎, 30 秒以上ゆっくり回った場合は○, 30 秒以上回らずに途中で止まった場合は△, 回らなかった場合は×とした。LED の作動状態の評価は, 30 秒以上明るく点灯した場合は◎, 15 秒以上明るく点灯した場合は○, 点灯時間が 15 秒未満だった場合は△, 点灯しなかった場合は×とした。すべての実験は 3 回ずつ繰り返し行い, データは平均 ± 標準偏差で示した。

結果と考察

1. 電解液の種類, 濃度および充電時間の検討

1) 電解液の種類

電子メロディ, 光電池用および模型用モーターの作動状態ならびに端子間電圧に及ぼす硫酸または硫酸ナトリウムの影響について検討した (表 1)。電解液はそれぞれ 3 mol/L のものを 100 mL ビーカーに入れて使用した。電子メロディおよび光電池用モーターでは, いずれも正常な作動が観察され, 端子間電圧も硫酸と硫酸ナトリウム間に顕著な差は見られなかった。一方, 模型用モーターでは, 硫酸と硫酸ナトリウムの両方において回転が途中で止まる現象が確認された。

以上の結果から, 電解液として硫酸の代わりに硫酸ナトリウムを用いてもほぼ同等な結果が得られることがわかった。

表 1 電子メロディおよび各種モーターの作動状態に及ぼす電解液の影響

電解液	端子間電圧 (V)		
	電子メロディ	光電池用モーター	模型用モーター
硫酸	◎(◎ ◎ ◎) 2.01 ± 0.02	◎(◎ ◎ ◎) 1.96 ± 0.04	△(△ △ △) 1.94 ± 0.03
硫酸ナトリウム	◎(◎ ◎ ◎) 1.92 ± 0.05	◎(◎ ◎ ◎) 1.83 ± 0.04	△(△ △ △) 0.70 ± 0.03

電子メロディ: ◎, きれいに鳴った; ○, ゆっくり鳴った; △, ジージーと鳴った; ×, 鳴らなかった。
モーター: ◎, 勢よく回った; ○, ゆっくり回った; △, 途中で止まった; ×, 回らなかった。

2) 硫酸ナトリウム濃度の検討

電子メロディ, 光電池用および模型用モーターの作動状態ならびに端子間電圧に及ぼす硫酸ナトリウム濃度の影響について検討した (表 2)。電子メロディではすべての濃度において正常な作動が確認された。光電池用モーターでは硫酸ナトリウム濃度が 1.0 ~ 3.0 mol/L において正常な作動が確認されたが, 0.5 mol/L になると回転が遅くなったり, 途中で止まったりする現象が見られた。しかし, 模型用モーターではいずれ

の濃度においても正常な作動は認められなかった。

表2 電子メロディおよび各種モーターの作動状態に及ぼす硫酸ナトリウム濃度の影響

硫酸ナトリウム (mol/L)	端子間電圧 (V)		
	電子メロディ	光電池用モーター	模型用モーター
3.0	◎(◎ ◎ ◎) 1.92 ± 0.05	◎(◎ ◎ ◎) 1.83 ± 0.04	△(△ △ △) 0.70 ± 0.03
2.0	◎(◎ ◎ ◎) 1.74 ± 0.10	◎(◎ ◎ ◎) 1.86 ± 0.04	△(△ △ △) 0.57 ± 0.03
1.5	◎(◎ ◎ ◎) 1.77 ± 0.01	◎(◎ ◎ ◎) 1.84 ± 0.05	△(△ △ △) 0.43 ± 0.07
1.0	◎(◎ ◎ ◎) 1.80 ± 0.03	◎(◎ ◎ ◎) 1.75 ± 0.01	△(△ △ △) 0.45 ± 0.02
0.5	◎(◎ ◎ ◎) 1.56 ± 0.03	△(△ △ ○) 1.49 ± 0.06	△(△ △ △) 0.34 ± 0.02

電子メロディ: ◎, きれいに鳴った; ○, ゆっくり鳴った; △, ジーザーと鳴った; ×, 鳴らなかった。
モーター: ◎, 勢いよく回った; ○, ゆっくり回った; △, 途中で止まった; ×, 回らなかった。

3) 充電時間の検討

硫酸ナトリウム濃度を 1.0 mol/L に固定し, 充電時間を変化させたときの模型用モーターの作動状態ならびに端子間電圧を測定した (表 3)。充電時間が 1 ~ 4 分では作動時間はいずれも 6 ~ 7 秒程度とほとんど変わらず, 充電時間を 10 分にしても作動時間の顕著な増加は見られなかった。

表3 模型用モーターの作動状態に及ぼす充電時間の影響

充電時間(分)	端子間電圧 (V)	作動時間(秒)
1	0.43 ± 0.01	6.0
2	0.43 ± 0.01	6.7
3	0.40 ± 0.01	6.0
4	0.44 ± 0.01	6.0
10	0.43 ± 0.03	8.7

2. マイクロスケール化の検討

1) サンプル瓶の場合

サンプル瓶を容器として用いたときの電子メロディ, 光電池用モーター, 模型用モーターおよび LED の作動状態ならびに端子間電圧に及ぼす硫酸ナトリウム濃度の影響について検討した (表 4)。電子メロディでは, 硫酸ナトリウム濃度が 0.01 mol/L の場合においても正常な作動が確認された。光電池用モーターでは, 濃度が 1.5 mol/L のときは正常な作動が見られたが, 1.0 mol/L 以下では回転が遅くなったり, 途中で止まったりする現象が見られた。模型用モーターでは, いずれの濃度においても正常な作動は見られなかった。LED では, 濃度が 0.3 mol/L 以上の場合において 30 秒以上の明るい点灯が確認された。

表4 電子メロディ, 各種モーターおよびLEDの作動状態に及ぼす硫酸ナトリウム濃度の影響

硫酸ナトリウム (mol/L)	端子間電圧 (V)			
	電子メロディ	光電池用モーター	模型用モーター	LED
1.5	◎(◎ ◎ ◎) 1.79 ± 0.02	◎(◎ ◎ ◎) 1.69 ± 0.02	△(△ △ △) 0.52 ± 0.06	◎(◎ ◎ ◎) 1.80 ± 0.06
1.0	◎(◎ ◎ ◎) 1.73 ± 0.02	○(○ ○ ○) 1.60 ± 0.03	△(△ △ △) 0.28 ± 0.02	◎(◎ ◎ ◎) 1.74 ± 0.03
0.5	◎(◎ ◎ ◎) 1.68 ± 0.05	△(△ △ △) 1.60 ± 0.03	—	◎(◎ ◎ ◎) 1.74 ± 0.02
0.3	◎(◎ ◎ ◎) 1.63 ± 0.06	—	—	◎(◎ ◎ ◎) 1.72 ± 0.03
0.2	◎(◎ ◎ ◎) 1.67 ± 0.03	—	—	○(△ ○ ○) 1.65 ± 0.05
0.1	◎(◎ ◎ ◎) 1.70 ± 0.06	—	—	△(× △ △) 1.57 ± 0.07
0.05	◎(◎ ◎ ◎) 1.64 ± 0.02	—	—	—
0.01	◎(◎ ◎ ◎) 1.63 ± 0.03	—	—	—

電子メロディ: ◎, きれいに鳴った; ○, ゆっくり鳴った; △, ジーザーと鳴った; ×, 鳴らなかった。
モーター: ◎, 勢いよく回った; ○, ゆっくり回った; △, 途中で止まった; ×, 回らなかった。
LED: ◎, 明るく点灯した; ○, 点灯した; △, 途中で消えた; ×, 点灯しなかった。

次に, 模型用モーターの作動状態ならびに端子間電圧に及ぼす電気回路の影響について検討した (表 5)。直列回路の場合では, 電池の数を 2 個および 3 個に増加しても, モーターの作動時間および端子間電圧に大きな変化は見られなかった。しかし, 並列回路の場合では, 電池の数が 2 個になると作動時間は約 30 秒と大きく延長し, 3 個にすると作動時間は 1 分近くまで延長した。したがって, 鉛蓄電池で模型用モーターを作動させるためには電池を 2 個並列に接続すればよいことがわかった。

表5 模型用モーターの作動状態に及ぼす電気回路の影響

電池の数	端子間電圧 (V)	作動時間(秒)
1	0.48 ± 0.09	5.3
2 (直列)	0.55 ± 0.02	6.3
3 (直列)	0.54 ± 0.05	6.0
2 (並列)	0.67 ± 0.01	31.3
3 (並列)	0.83 ± 0.04	55.0

2) プラスチックカップの場合

前項で用いたサンプル瓶は不安定で倒れやすく, 実験中に倒れて電解液がこぼれてしまう可能性が考えられた。また, 充電中に電解液が飛散してしまう問題が確認された。そこで, 容器が安定で倒れにくく, 電解液が飛散しないよう蓋の付いたプラスチックカップを用いて実験を行った。電子メロディ, 光電池用モ-

ター、模型用モーターおよびLEDの作動状態ならびに端子間電圧に及ぼす硫酸ナトリウム濃度の影響を表6に示す。電子メロディでは、硫酸ナトリウム濃度が0.05 mol/L 以上の場合において正常な作動が確認された。光電池用モーターでは、濃度が0.3 mol/L 以上では正常な作動が見られたが、0.3 mol/L より低濃度では回転が遅くなったり、途中で止まったりするなど正常な作動は見られなかった。模型用モーターでは、いずれの濃度においても正常な作動は見られなかった。LEDでは、濃度が0.1 mol/L 以上の場合において30秒以上の明るい点灯が確認された。

表6 電子メロディ、各種モーターおよびLEDの作動状態に及ぼす硫酸ナトリウム濃度の影響

硫酸ナトリウム (mol/L)	端子間電圧(V)			
	電子メロディ	光電池用モーター	模型用モーター	LED
1.5	◎(◎◎◎) 1.93 ± 0.02	◎(◎◎◎) 1.77 ± 0.01	△(△△△) 0.39 ± 0.01	◎(◎◎◎) 1.87 ± 0.01
1.0	◎(◎◎◎) 1.89 ± 0.04	◎(◎◎◎) 1.69 ± 0.03	△(△△△) 0.37 ± 0.01	◎(◎◎◎) 1.81 ± 0.01
0.5	◎(◎◎◎) 1.88 ± 0.06	◎(◎◎◎) 1.63 ± 0.01	×(×××) 0.12 ± 0.04	◎(◎◎◎) 1.78 ± 0.02
0.3	◎(◎◎◎) 1.91 ± 0.07	◎(◎◎◎) 1.58 ± 0.04	—	◎(◎◎◎) 1.76 ± 0.03
0.2	◎(◎◎◎) 1.74 ± 0.02	△(△△△) 1.35 ± 0.03	—	◎(◎◎◎) 1.69 ± 0.03
0.1	◎(◎◎◎) 1.71 ± 0.07	△(△△△) 1.07 ± 0.04	—	◎(◎◎◎) 1.68 ± 0.02
0.05	◎(◎◎◎) 1.71 ± 0.05	—	—	△(○△△) 1.66 ± 0.01
0.01	△(△△△) 1.01 ± 0.13	—	—	×(×××) 1.14 ± 0.14

電子メロディ: ◎、きれいに鳴った; ○、ゆっくり鳴った; △、ジージーと鳴った; ×、鳴らなかった。

モーター: ◎、勢いよく回った; ○、ゆっくり回った; △、途中で止まった; ×、回らなかった。

LED: ◎、明るく点灯した; ○、点灯した; △、途中で消えた; ×、点灯しなかった。

次に、模型用モーターを正常に作動させることができる条件を見出す目的で、電池2個を並列に接続したときの模型用モーターの作動状態ならびに端子間電圧に及ぼす硫酸ナトリウム濃度の影響について検討した(表7)。硫酸ナトリウム濃度が0.5 mol/L の場合では28秒の作動が認められた。さらに、硫酸ナトリウム濃度を1.0 mol/L および1.5 mol/L に上げると30秒以上の作動が認められた。

以上の結果より、プラスチックカップを用いて模型用モーターを作動させる場合、電池を2個並列に接続し、硫酸ナトリウム濃度を1.0 mol/L にすればよいことがわかった。

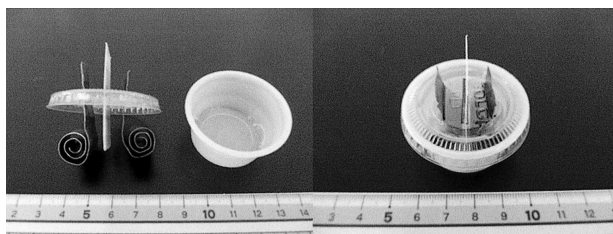


図1 マイクロスケール実験装置

おわりに

本研究では、鉛蓄電池の実験をマイクロスケールで行うことが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1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。

参考文献

- 1) 文部科学省. 高等学校学習指導要領解説理科編, http://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/_icsFiles/afieldfile/2010/01/29/1282000_6.pdf, pp. 64-65 (2009).
- 2) 齋藤 烈 他. 化学, 啓林館 (2012).
- 3) 辰巳 敬 他. 化学, 数研出版 (2013).
- 4) 山内 薫 他. 高等学校化学, 第一学習社 (2013).
- 5) 井口洋夫 他. 新版化学, 実教出版 (2013).
- 6) 竹内敬人 他. 化学, 東京書籍 (2013).
- 7) 竹内敬人 他. 新編化学基礎, 東京書籍 (2014).
- 8) 川本浩二 他. マイクロスケール実験による鉛蓄電池を中心とした発展的教材実験—マイクロスケール実験の高校化学への導入の検討—, 日本理科教育学会全国大会要項, 359 (2005).