

マイクロスケール実験による鉛蓄電池の教材化と授業実践

—実用電池の体験による実感を伴った理解を図るために—

芝原寛泰¹⁾, 佐藤美子²⁾, 川本公二³⁾

1) 京都教育大学 (名誉教授) shiba@kyokyo-u.ac.jp

2) 四天王寺大学教育学部 y-sato@shitennoji.ac.jp

3) 京都府立嵯峨野高等学校

キーワード: マイクロスケール実験, 教材開発, 鉛蓄電池, 個別実験, 授業実践

(受付: 2019年1月27日)

I. はじめに

高等学校学習指導要領では, 化学電池について「代表的な実用電池の反応にも触れること」とされ, 現行 (文科省, 2009) 及び次期 (文科省, 2018) の学習指導要領解説でも同様に記述されている。実用電池の学習が重要であることから, 現在, 自動車のバッテリー等として普及している鉛蓄電池に着目した。電池は日常生活や社会との関わりが深く, 科学技術の一端を知る上で取りあげるべき学習課題である (電池工業会, 2016)。本研究では, 高校化学の電池・電気分解分野の学習で扱う実用電池として, 実験室での充電・放電が容易に安全に行うことができる鉛蓄電池を取り上げ, 個別実験が可能なマイクロスケール実験による教材実験の開発を行った。またそれを活用した授業実践により, 教材実験としての有効性を検証することを目的とした。

高校理科では, 化学電池について「化学基礎」または「化学」において取り扱い, 実用電池の代表例として実験例も記載されている (例えば齋藤ほか, 2018a, b)。しかし, 個別の生徒実験で短時間に実施可能な教材は少なく, グループ実験や教師による演示実験がほとんどである。一般に化学電池は, 酸化剤・還元剤や金属の酸化還元反応を学習した後, 応用として化学反応で生じた化学エネルギーを電気エネルギーに変換する例として扱われる。鉛蓄電池が二次電池の代表であることから, 酸化還元反応の応用や実用電池への興味関心を喚起できると考え, 50分授業で実施可能な生徒実験用の教材の開発を行った。また, 鉛蓄電池の特徴について, 実験を通した実感を伴う理解を深めるため, マイクロスケール実験 (芝原・佐藤, 2011; Shibahara and Sato, 2016) による個別実験の実現, 実験器具の小型化, 実験廃液量の削減, 操作の簡略化を図った。教員志望の大学生や高校教員を対象に, 開発した実験教材を用いた実践により, 本教材の活用の有効性を検証した。

II. 鉛蓄電池の教材開発

実験室で鉛蓄電池を作製する場合, まず希硫酸中に2枚の鉛板を入れ電気分解する。硫酸の電気分解の際, マイナス極 (陰極) では気泡となって水素ガスが発生するが, プラス極 (陽極) では酸素が発生する。このため鉛Pbと反応して酸化鉛(IV) PbO_2 (褐色) が生成する。この操作は化成といわれ反応式 (1) で示される。すなわち, 負極活物質にPb,

正極活物質に PbO_2 、電解質溶液に希硫酸を用いた電池が構成される。放電において正極では、 PbO_2 は硫酸と反応して、反応式 (2) で示される硫酸鉛 PbSO_4 (白色) となる。



以下の平衡反応式(3)にまとめると、充電は左向き、放電は右向きの反応で示される。



約 2 V の起電力を示すが、自動車などに搭載されている鉛蓄電池では、2 種類の電極を交互に 6 槽を直列配置して、12 V の直流電圧を得ている。以上のことを考えると、教材実験に求められる要件は、①二次電池の特徴である充電と放電の繰り返しを体験できること、②化成の段階で陰極における酸素気体の発生が観察できること、③電極表面の色変化が確認できること、③実用電池として約 2 V の起電力が確認できることがあげられる。以上の要件を満たし、さらに安全性を確保すること、また実験後の廃液を削減することを念頭に開発を行った。

1) 電解槽及び電源の工夫や改良の経緯

電池の教材実験の開発において最も重要な部分は電解槽の大きさと材料の選択である。廃液量の削減、生徒による組立てが可能、明瞭な観察結果が得られることを条件に、電極板の固定方法等を考慮して決める必要がある。電池に関するマイクロスケール実験の様々な開発例については文献 (芝原・佐藤, 2011) に詳しい。本研究に関連が深い鉛蓄電池の先行研究として、川本らによるセルプレート用电解槽として用いた例がある (川本ほか, 2005)。市販品で入手容易なセルプレートを活用したこと、また同時にセルプレート内の他のセルを活用して鉛蓄電池の応用を可能にしたことが特徴である。この報告では、図 1 及び図 2 に示すように、セルプレート内で同時に塩化銅(II)水溶液等の電気分解実験を並行して行うため、同じ場所に設置された鉛蓄電池は電源としても活用されている。高校化学で学習する電池・電気分解の実験を複合的に実施できる実験システムとなっている。また、最適な実験条件を探るため、硫酸濃度、電極の大きさ、充電時間と放電時間の関係などについても検討した。そのうち硫酸濃度と放電に用いたプロペラ付きモーターの動作時間の関係を図 3 に示す。図 3 より、電解質溶液の硫酸の濃度として、放電時の性能をプロペラ付きモーターの動作時間で評価すれば、最適な濃度は 3mol/L になるが、授業時間内での操作回数、安全性を考慮して教材実験では 1.0mol/L の硫酸を採用している。

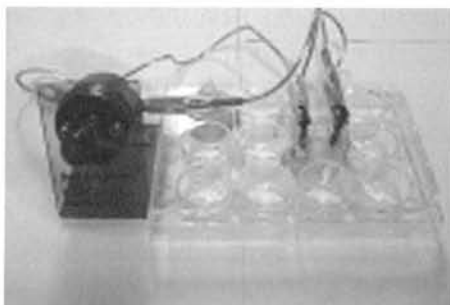


図 1 セルプレートを使った鉛蓄電池

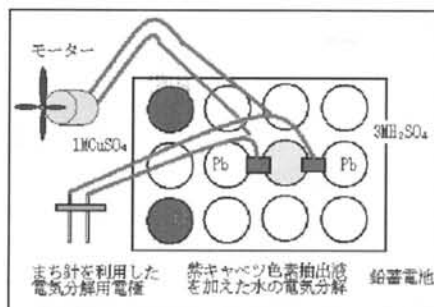


図 2 鉛蓄電池による電気分解

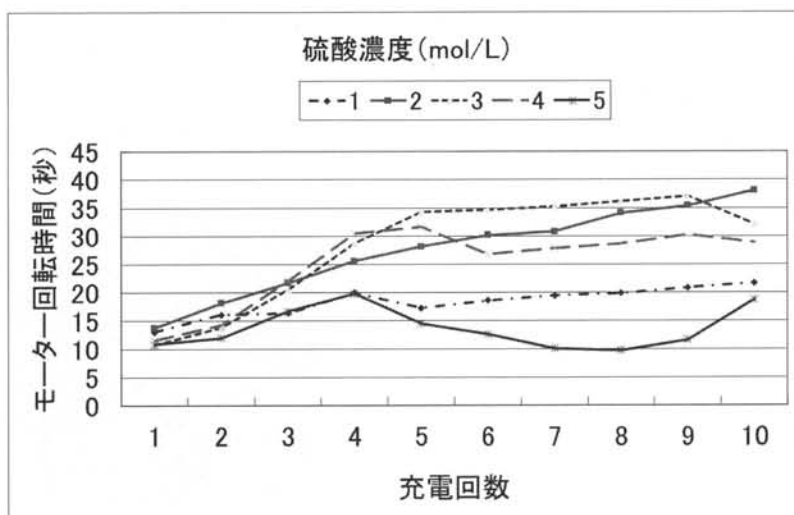


図3 充電回数とモーターの回転時間の関係

以上の先行研究の経験を踏まえ、次にパックテスト容器(1×2×2.5cm, ポリスチレン製, 容量約4mL)を電解槽とする鉛蓄電池の教材開発を行った。本実験では容器に付属のふたを活用して、電極となる鉛板を差し込んだ。図4では、パックテスト容器のふたに2枚の鉛板(0.5×2.5cm)を差し込んでいるが、斜めに差し込んでいるのは、電極板の表面における気体発生や色変化等の現象を観察しやすくするためである。また図4では、容器を安定させるため、スポンジ製の台にはめ込んでいるが発泡性スチロール板で加工しても代用できる。

なお、パックテスト容器は、安価(60円程度)で市販品として安定的に入手でき、かつ透明性にすぐれ反応の様子が容易に観察できることから、すでに多くの教材実験で採用されている。例えば電池の原理を学習するための「金属のイオン化傾向」を確かめる実験(佐藤・芝原, 2012)、実験キットとして市販されているダニエル電池の電解槽等に多く活用されている(K.Kナリカ, 2017-2018)。

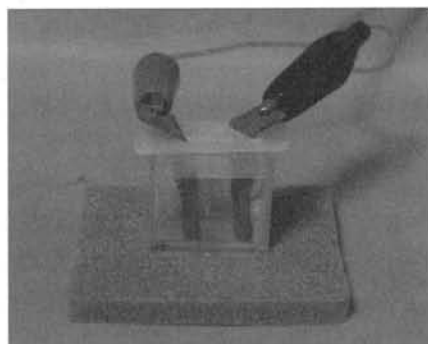


図4 パックテスト容器による鉛蓄電池

2) パックテスト容器を用いた鉛蓄電池の実験方法

前節の経緯の下、開発したパックテスト容器を用いた鉛蓄電池の教材実験について述べる。教材実験の操作手順を示す。高校における50分授業を想定しているため、電極板等の材料は事前に準備を行い、組立てを生徒が行うことを想定している。

- ① 鉛板2枚を差し込んだパックテスト容器のふた(図5)を、パックテスト容器に取り付ける。充電中に気体が発生するため、ふたには小穴をあけている。
- ② パックテスト容器に、ポリスポイトを用いて1.0mol/L 硫酸を容器の2/3程入れる。

- ③ 両鉛板に、USB 電源（芝原・佐藤，2011；Shibahara and Sato，2016）により約 5V の直流電圧で、90 秒間電流を流す。これによりプラス極の鉛板の表面を、Pb から PbO に変化させる。
- ④ 電源をはずし、プロペラ付きモーターにつなぎ替えて回転の様子を観察する。
- ⑤ プロペラが回転しなくなったら、3 と同じ操作で約 5 分間、電流を流す。この操作を充電という。
- ⑥ 再びプロペラ付きモーターをつなぐ。この操作を放電という。
- ⑦ 充電時間を長くして、放電時間の変化を確かめる。
- ⑧ 実験終了後は、鉛板の表面をサンドペーパーで磨く。

なお、放電の際、約 2 V の起電力があり、耐電圧を考慮すると動作確認は電子オルゴールよりもプロペラ付きモーターが適切である。

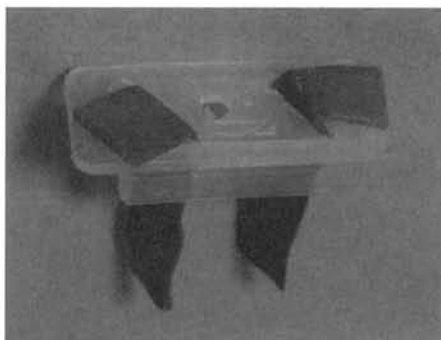


図5 鉛板の固定方法

Ⅲ. 開発した教材の実践による検証

開発した鉛蓄電池の教材実験により、教材としての有効性を確認するため、2015 年 6 月に教員志望の大学生を対象に授業実践（受講生 20 名）を行った。

図 6 は、教員志望の大学生を対象にした授業における実験の様子で、プロペラ付きモーターに接続して放電を行っている。

なお、実験時においては、鉛板にできるだけ手が触れない様に指導するが、実験後に鉛板の研磨を行う場合は、手袋、マスクの着用が望ましい。

2019 年 1 月に再度、教員志望の大学生を対象に実践を行い、開発した実験器具の使い勝手や、観察のしやすさを中心にアンケート調査を行った。ゼミ形式で実施したため対象者は 6 名で少ないが、観察中の様子など受講生の実験中の詳細な評価を得ることができた。

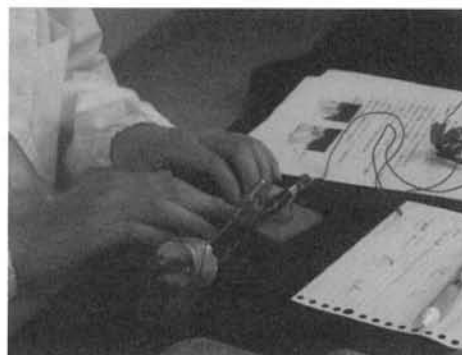


図6 プロペラ付きモーターによる放電の様子

アンケート集計の結果、全員が①「実験器具について」の設問では、「とても使いやすい」「使いやすい」、②「観察のしやすさ」については、「大変よくわかった」「よくわかった」、③「実験の片付け」については、「片付けやすい」「普通」と回答した。「充電・放電中の反応」の観察については、詳細な記述が多く、例えば、「（充電中は）気泡が盛んにでたが 90 秒後には落ち着いた」、「2 回目の充電では、気泡はゆっくりと上昇した」、「放電では、プロペラが勢いよく回ったが、徐々に遅くなった」、「充電時間を長くすると、プロペラは長くよく回った」、「電極の片方が褐色になっていた」などがあつた。実験後の感想には「充電という可視化しにくいものが伝わりやすくなっている」、「充電—放電—充電・・・のことが理解できる教材」などの記述があつた。また「鉛蓄電池がどこで使われているか」の

設問に対しても大半の受講生が「自動車のバッテリー」と回答した。以上のアンケート結果より、開発した鉛蓄電池の実験教材は、使い勝手の面では肯定的な評価が大半で、実験中の詳細な観察も可能であることがわかった。また蓄電池の充電－放電の一連の繰り返し操作により、日常的に使われている蓄電池に対する興味・関心を喚起できたこともわかった。図 7 に示す実践時の様子では、大学生による実験の際、充電時に電極表面における気体発生と泡の付着（矢印で示す）が観察されている。この実践では、充電時の電気分解の電源として、1.5 V のボタン電池 2 個を用いている。

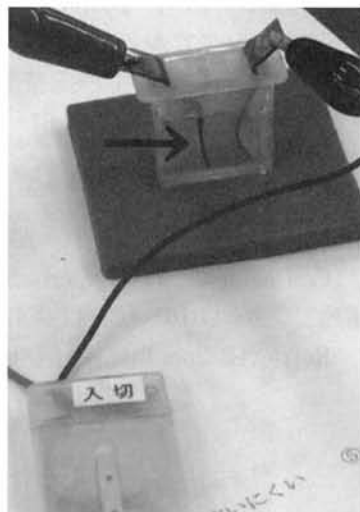


図 7 充電時における気体発生の様子（矢印）

また、2018 年 8 月に実施した岡山県内の高校教員 20 名を対象にした研修会においては、「少量の電解質溶液でも酸素の発生が十分に確認でき、やってみようと思った」、「パックテスト容器は、操作も楽でいい」、「充電を確認できるのがいい。いつも自動車のバッテリーを見せて終わっていた」、「希硫酸の量が少なく後処理が楽」のような感想、意見があり、現職教員からの支持も得られた。

IV. まとめ

マイクロスケール実験による鉛蓄電池の教材開発は、セルプレートを用いた基礎的な実験を踏まえた数多くの授業実践を行って改良を重ねてきた。それらの結果を踏まえ、新たにパックテスト容器を電解槽に用いて開発した教材実験で実践を行った結果について報告した。今回のアンケート調査は、開発した鉛蓄電池の教材実験について、操作性・安全性あるいは観察のしやすさに限定して行ったが、マイクロスケール実験の導入の効果を確認できる結果となった。また身の回りでも多く使われている二次電池の原理を学ぶ上でも、有効な実験教材であることがわかった。

マイクロスケール実験は「簡単、時短、実感」のフレーズでその特徴を端的に表現できるが、学校現場においても従来の通常スケール実験との併用を意識しながら、その特徴を最大限に生かせる教材実験の開発が、今後さらに必要である。

本研究は、JSPS 科研費（基盤研究 C、代表者 芝原寛泰 課題番号 26350233、及び同代表者 佐藤美子 課題番号 15K0099）の助成を受け実施した。

文献

K.K ナリカ 2017-2018. 総合カタログ pp.410-413

川本公二・芝原寛泰 2005. 「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論文集 p.359

文部科学省 2009. 高等学校学習指導要領解説－理科編－. 131pp.

- 文部科学省 2018. 高等学校学習指導要領解説－理科編－. 258pp.
- 齋藤 烈ほか 19 名 2018a. 化学基礎 (改訂版). 啓林館, 大阪, 80pp.
- 齋藤 烈ほか 19 名 2018b. 化学 (改訂版). 啓林館, 大阪, 81pp.
- 佐藤美子・芝原寛泰 2012. パックテスト容器を用いたマイクロスケール実験による電池・電気分解の教材開発と授業実践-考える力の育成を図る実験活動を目指して-. 理科教育学研究, 53 (1), 61-67.
- 芝原寛泰・佐藤美子 2011. マイクロスケール実験-環境にやさしい理科実験. オーム社, 131pp.
- Shibahara, H. and Sato, Y. 2016. 同英訳版「Microscale Experiment-Environment Conscious Science Experiment」オーム社, 118pp.
- 電池工業会 2016. 「電池工業会 電池の歴史」, 「電池の知識 電池の構造と反応式」
Retrieved from <http://www.baj.or.jp/knowledge/structure.html>