

3Dプリンターによるマイクロスケール実験用の小型器具の作製

ーダニエル電池・鉛蓄電池の電解槽を例にー

芝原 寛泰

京都教育大学（名誉教授） h-shiba@helen.ocn.ne.jp, shiba@kyokyo-u.ac.jp

キーワード：マイクロスケール実験，3Dプリンター，ダニエル電池，鉛蓄電池，個別実験

（受付：2025年1月10日）

I. はじめに

個別実験による主体的活動が可能なマイクロスケール実験（芝原・佐藤，2011，芝原ほか，2023）の特徴を生かして，学校現場への普及を目指してすでに多くの教材実験について報告してきた。

学習指導要領の改訂（文科省 2017ab，2018）にともない，マイクロスケール実験が多くの教科書において採用されている（例えば，小林ほか，2021）。マイクロスケール実験（芝原・佐藤，2011）の特徴の一つとして，実験器具の小型化に伴う，試薬量・廃液量の削減，安全性の向上，個別実験の可能性などがある。マイクロスケール実験の導入の趣旨からも，実験器具の小型化は教材開発を進める上での前提条件ともいえる。しかし，今までは別の目的で製造，市販されている器具を転用し，工夫を重ねながらマイクロスケール実験に利用してきた経緯がある。

一方，近年，3Dプリンターの利用普及が進み，実験目的に沿った形状を反映した小型の実験器具が，安価で短時間に作製できるようになった。ここでは，中学校理科および高等学校化学の電気化学分野で，定番の実験となっているダニエル電池と鉛蓄電池をとりあげ，3Dプリンターによる電解槽の作製を試みたので報告する（芝原，2024）。

II. 3Dプリンターを用いた教材開発

1) 3Dプリンターによる電解槽作製の概略

実験目的に沿った器具の形状を3D-CADを用いて設計する。本研究ではフリーソフトの「Blender」を用いて，実寸値を入れながら3Dモデルを作成し，一般的な形式のファイル（stlファイル）をエクスポートする。次に，使用する3Dプリンター（Adventure 3）に付属する専用アプリ（Flash Print 5）に転送して，設計したモデルを確認しながら，スライスデータ（gxファイル）をつくり，3Dプリンターに転送する。

図1は3D-CADによるモデル作成の画面，図2は3Dプリンター専用アプリ（Flash Print 5）でスライスデータを作成するためのモデルである。図3は3Dプリンターで出力している様子である。3Dプリンターによる電解槽の作製時間は，対象物の大きさや形状に依存するが，本実験で用いる電解槽の場合，約15～25分を要した。



図1 3D-CADによる設計

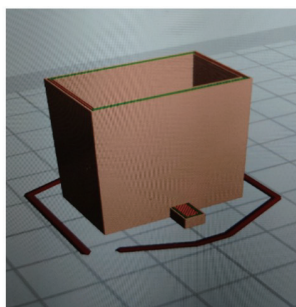


図2 Flash Print 5の画面

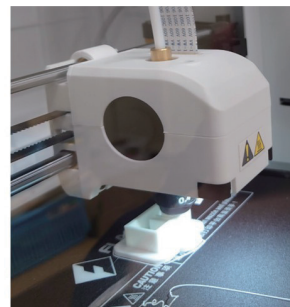


図3 3D プリンターによる作製

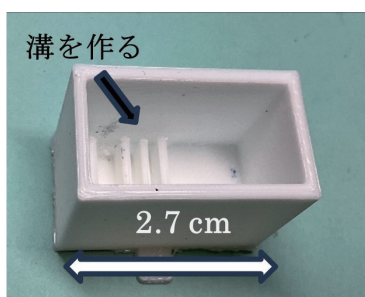


図4 完成品（ダニエル電池の電解槽）

2) ダニエル電池の電解槽の作製

ダニエル電池は電池の原理を学ぶ上で重要で、高等学校化学だけでなく、中学校理科でも扱われている。動作原理について実感を伴って理解するには、電池の構造が可視化され、条件を変えながら動作を確認できる実験教材が必要である。マイクロスケール実験の特徴を活かした電解槽の形状の検討を行い、今までにセルプレートや分光用プラスチックセル等を電解槽として用いたが、さらにパックテスト容器を用いて改良を重ねてきた（奥野・芝原，2010；佐藤・芝原，2012）。

図4に改良を重ね3Dプリンターで作製した電解槽を示す。横幅は約2.7 cmである。半透膜の固定、電極板の位置を移動できるように、底には2～3本の溝をつくり電極板等を支えるようにしている。作製には、生分解性プラスチックの一種であるポリ乳酸（PLA）樹脂を使用した。ポリスポイトに窓を開け、半透膜の性質をもつビスキングチューブで包み作製した電解槽に固定した（図5）。電極板と半透膜の位置関係を図6に示す。0.1 mol/L硫酸亜鉛水溶液に亜鉛板，1mol/L硫酸銅（II）水溶液には銅板を入れた。溶液量は約7 mLである。プロペラ付モーターの回転の様子を図7に示す。起電力約1.1 V，電流40 mAを示した。半透膜をプラスチック板（図8の矢印）で覆うと、イオンの流れが止まり発電しないこと、電極間の距離を大きくすると電流値が下がることも確認できた。



図5 ポリスポイトに半透膜を固定

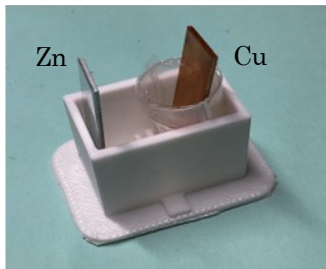


図6 電極と半透膜の設置

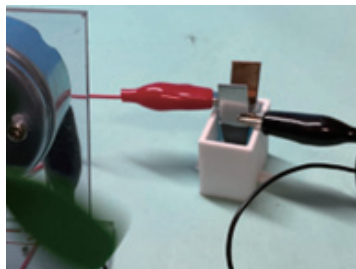


図7 ダニエル電池の動作

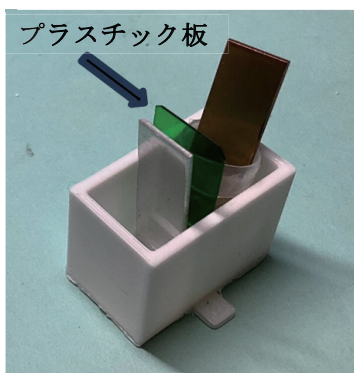


図8 プラスチック板の挿入

3) 鉛蓄電池の電解槽の作製

鉛蓄電池は、二次電池の例として原理がわかりやすく、また実用的にもすぐれ現在でも多く使われている身近な電池として、学習の意義は大きい。鉛蓄電池は、起電力を大きくするため数個を直列に接続して実用化しているので、今回は、2～3 個の鉛蓄電池を直列接続できる電解槽の作製を 3D プリンターで行った。



図9 鉛蓄電池の電解槽

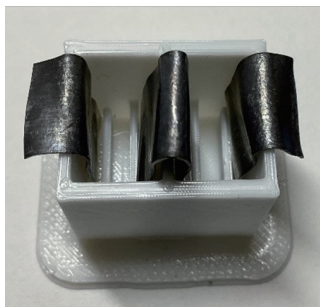


図10 電極の配置

図9 は作製した 2 個直列用の電解槽、図10 は鉛板を装着した様子である。1 mol/L 硫酸中において 5 V の電圧で化成を行い、その後、6～7 V で充電と放電を繰り返し、約 3.6 V の起電力を得た。放電中の様子を図11 に示す。標準電極電位による起電力は 1 個の場合、約 2 V で、ほぼ 2 倍近い起電力がえられた。2 個直列の場合、充電には 1 個の場合と比べ

て高い電圧が必要であるが、高すぎると副反応も大きくなる。図 12 は実験後の電極の様子で、正極は褐色（酸化鉛）を示しており、白色の硫酸鉛も生成している。



図 11 2 個の直列接続をした
鉛蓄電池の放電



図 12 放電後の電極板の様子
(左から負極, 正極, 正極)

次に3個の鉛蓄電池を直列接続した場合を示す。図13は、3個を直列接続した鉛蓄電池の充電の様子を示す。9Vの印加により充電を行ったが、さらに電圧を上げると図14に示すように、電極板の表面からの気体発生が顕著になるので、充電時の電圧を9Vに固定した。放電時の電圧は4.8V（図15）で、標準電極電位より求めた電圧（約6V）より低くなった。接続不良による電圧降下が考えられるが、今後の検討課題である。

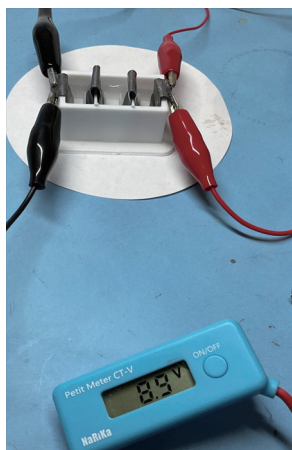


図 13 3 個の直列接続した
鉛蓄電池の充電の様子



図 14 顕著になる気体発生
の様子（矢印）



図 15 放電の様子

Ⅲ. 3Dプリンターに用いるプラスチック材料について

本実験で3Dプリンターによる電解槽の作製に用いたポリ乳酸 (PLA) 樹脂は、比較的安価 (2kg, 2,000円) で、電解槽 1 個あたりの作製費用は30円程度となる。また一般にポリ乳酸 (PLA) 樹脂は、生分解性プラスチックとしても知られているが、以下のような性質があげられている。

- ①生体適合性があり安全性が高い。
- ②土中で分解する。
- ③熱に弱く (耐熱温度: 110℃), 高温・多湿での長期間放置が困難である。
- ④アルカリ性物質に反応し、紫外線により劣化する。

「環境にやさしい実験」として活用されているマイクロスケール実験では、ポリ乳酸樹脂の使用は望ましいが、③及び④の性質を踏まえ、実験器具の材料としての耐久性は、今後の実践的な研究で確認が必要である。

Ⅳ. まとめ

マイクロスケール実験の教材開発では、試薬量の削減を図るため、器具の小型化が常に課題となる。3D プリンターを用いると、実験目的に沿った形状の器具が簡単に作製でき、また 1 個当たりの費用も安価となる。生分解性バイオマスプラスチックを素材として利用することも利点である。他のマイクロスケール実験にも活用できる汎用性のある器具の設計、作製が今後の課題である。

本器具を用いた学校現場における実践を通して、評価と改良も今後の課題である。スライスデータの公開も検討している。

文献

- 小林 誠ほか 2021. 理科の世界 3. 大日本図書, 東京, 333pp.
- 文部科学省 2017 a. 小学校学習指導要領 理科編 解説.
- 文部科学省 2017 b. 中学校学習指導要領 理科編 解説.
- 文部科学省 2018. 高等学校学習指導要領 理科編 解説.
- 奥野晃久・芝原寛泰 2010. 分光セルを用いた電池・電気分解のマイクロスケール実験. 理科教育学研究, 日本理科教育学会, 51, 23-29.
- 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, 日本理科教育学会, 53, 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, 東京, 131pp. 同 2016. 英訳版: オーム社, 東京, 116pp.
- 芝原寛泰ほか 9 名 2023. 授業で使えるマイクロスケール実験. 電気書院, 東京, 102pp.
- 芝原寛泰 2024. 3D プリンターによるマイクロスケール実験用の小型器具の作製 -ダニエル電池・鉛蓄電池の電解槽を例に-. 第 26 回近畿地区化学教育研究発表会, 23.

本研究は (令和 5~7 年 基盤研究(C) 課題番号 23K02764 代表者 芝原寛泰) により実施された。