

ダニエル電池における電極の変化を観察する方法

～金属箔を用いたダニエル電池の開発とその改良～

文京区立第十中学校 北田 健

I 研究の概要

(1) 目的

- ① 生徒実験で亜鉛電極が黒く変色する現象をもって亜鉛が溶けたと言えるのか検証する。
- ② 電極（亜鉛）の変化を観察できる条件を見つける。
- ③ 電極の変化を観察しやすい教材「金属箔ダニエル電池」の開発・改良を行う。

(2) 創意・工夫・実践の特徴

①現状と既存の事例

中学校学習指導要領（平成 29 年 3 月改訂）（文部科学省，2018）では，電池を製作した上で，電池の基本的な仕組みを理解することを求めている。内容の取扱いの中で「電池の基本的な仕組み」については，ダニエル電池を取り上げること」と初めてダニエル電池の使用が指示された。しかし，ダニエル電池ではアノードの亜鉛板の形状の変化を目視できるまで時間がかかり，短時間で観察することは極めて難しい。また，亜鉛板が黒く変色することは短時間で観察できるが，電極で負極反応（中学校の教科書にある $\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^-$ ）が起こったと言えるのか疑わしい。どの教科書でも生徒実験は行わせているものの，その結果から電極で起こっている反応を考察させることは困難で，生徒実験の結果から現象を説明することはできていない。そのため生徒が，電極の形状の変化を実験結果から見出し，亜鉛がイオンになることを理解して行くことができる新たな実験方法が必要であると考えた。

先行研究では，寒天ゲルを用いる（西牧，2020）等セパレータを省略したものや，構造の簡易化（宮内，2020）等 2 種類の水溶液の取り扱い方法に着目したものが多く，電極の構造や形態に着目した研究は限られている。その中で中学校での実践として実験手順の簡易化のために亜鉛箔テープを用いた例（山口，2019）や，先に触れた西牧の研究では高等学校での実践として電極の質量変化と電気量の測定を行い，ファラデー定数を算出する生徒実験を行い電極の変化を定量的に捉えている例がある。しかし電極を工夫することで 1 授業時間内にその変化を可視化し目視によって電極の変化を直接観察させようとするものは見当たらない。

②本研究の特徴

本研究では，アノードで黒い物質が形成されるのは，カソードの銅イオンが濃度拡散によってアノード側に浸出し電極の亜鉛と反応するために生じることを突き止め，黒い物質の発生をもって電池の負極反応が起こったとは言えないと明らかにした。また，電極に 0.01mm の金属箔を用い電解質溶液の濃度を，硫酸亜鉛水溶液（0.5 mol/L），硫酸銅水溶液（飽和）とすることで 50 分間の授業時間以内に電極の変化を観察できることを突き止めた。更にこの条件を用いて 5 分という短い時間で電極の形状変化を観察できる新しい教材「金属箔ダニエル電池」を開発した（北田，2023）。今回の応募に際して，生徒がさらに操作しやすい教材となるように一度口を開いたセルローズチューブを折り返し乾燥させセパレータとする改良を行い授業でその有用性を検証した。

参考文献（アルファベット順）

北田 健 (2023): ダニエル電池における電極の変化を観察する方法，東京都教職員研修センター大学院派遣研修報告書，<https://www.kyoiku-kensyu.metro.tokyo.lg.jp/09seika/reports/files/postgraduate/r04/R4K15.pdf> (参照 2023-9-26)。

宮内 卓也 (2020): 簡単・低コストなダニエル電池の製作，化学と教育，68，216-217。

文部科学省 (2018): 中学校学習指導要領（平成 29 年告示）解説 理科編，日本文教出版。

西牧 岳哉 (2020): 寒天ダニエル電池とファラデー定数の測定，化学と教育，68，92-95。

山口 晃弘 (2019): 市販金属テープと素焼き製品を用いたダニエル電池，化学と教育，67，24-25。

II 研究の内容

(1) アノード(亜鉛板)に発生する黒い物質の検証

亜鉛板が黒く変色することが、亜鉛電極の負極反応を表していると言えるかについての検証をした。実験では純度 99.99 % の亜鉛箔 ($t=0.03$ mm), 硫酸亜鉛水溶液 (5.0 wt% = 0.31 mol/L), 銅箔 ($t=0.01$ mm), 硫酸銅水溶液 (5.0 wt% = 0.31 mol/L), セパレータとして底を閉じたセルローズチューブ (20/30) を用いた。

① 亜鉛電極で黒色変化がみられる条件の確認

a. 実験装置と条件

黒い変色が放電によるものなのかを明らかにするために図 1 のようにダニエル電池を組み立て、光電池用モーターをつないで 10 分間放電させた。条件①放電後の亜鉛箔, 条件②同じ電池に 10 分間装填して放電はさせなかった亜鉛箔, 条件③ビーカーに入れ硫酸亜鉛水溶液に浸漬させた亜鉛箔と比較した。

b. 実験の結果

図 2 のように条件①の亜鉛箔は黒く変色したが, 条件②の亜鉛箔 (放電を行っていないもの) も黒く変色していることが分かる。さらに条件③では変色が見られないことから考えて, 亜鉛電極が黒く変色するのは, 負極反応によるものではないことが分かる。また, 条件②と条件③の比較からダニエル電池内の硫酸銅水溶液に含まれる銅イオンがセパレータから漏出し亜鉛電極と反応して黒い変色が起こったと考えられる。

② セパレータから漏出する銅イオンの挙動について

カソードからの銅イオンの浸出を抑えた場合どのような変化が起こるのか調べるため, 寒天により厚みを持たせたセパレータを作製し実験した。

a. 寒天付セパレータの作製方法

塩化カリウム水溶液 (飽和) 50 mL に粉末寒天 0.4 g を加え加熱しながら溶かす。図 3 のように容器内に水を入れたセルローズチューブを保持し, そこに塩化カリウム寒天溶液を流し込み冷却し固めた。(以後このセパレータを寒天付セパレータとする。)

b. 実験装置と条件

図 4 のように寒天付セパレータを用いてダニエル電池を作製し, 反応時間短縮のため敢えて両極間を短絡させて実験を 45 分間行った。また比較のために寒天付セパレータを用いずセルローズチューブのみのダニエル電池でも併せて実験した。

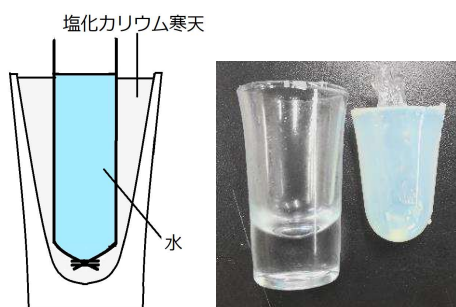


図 3 寒天付セパレータと実際の写真

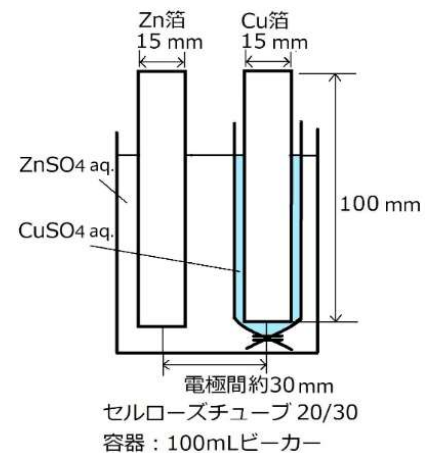


図 1 実験に用いたダニエル

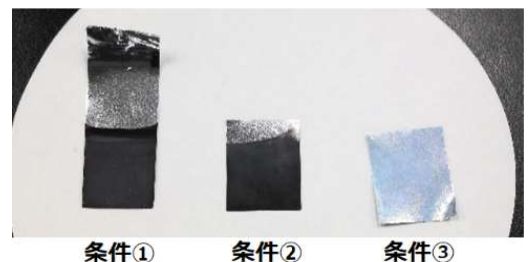


図 2 放電と黒い変色の関係について

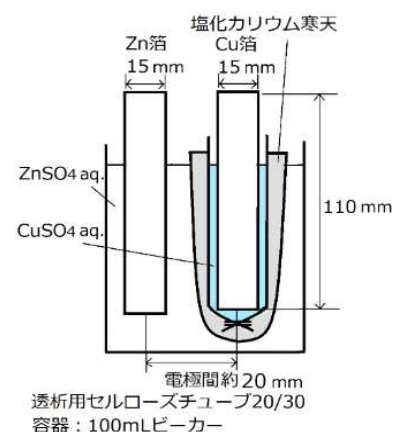


図 4 寒天付セパレータを使用した装置

c. 実験結果

それぞれの実験後のビーカー内には亜鉛電極から崩れ落ちた物質が沈殿した。水溶液ごと濾過し, ろ紙に残った物質を蒸留水で洗浄し乾燥させたものを観察した。また発生した物質についてその物質の組成を知るため蛍光 X 線分析装置 (以後 XRF) 日立ハイテクサイエンス SEA5120S を用い, 測定時間は 180 秒, 管電圧 50 kV で測定を行った。

寒天付セパレータを使用していない場合, 図 5 に示すように電解液が青みを帯びると共に亜鉛箔は黒く変色した。この黒い物質について図 6 のように XRF で銅の存在 (青色のピーク) が確認できた。

寒天付セパレータを用いた条件では図 7 のように電解液の色は変わらず、亜鉛板表面は金属光沢が失われたものの黒色にはほとんど変色しなかった。この亜鉛板を XRF で分析したところ、図 8 のように XRF で銅の存在はほぼ見られなかった。



図 5 塩化カリウム寒天を使用しない場合の実験

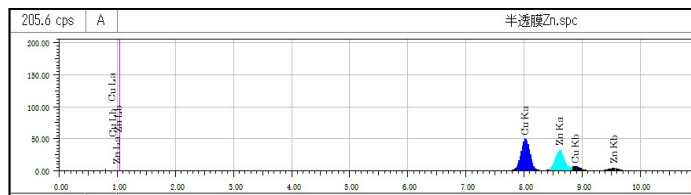


図 6 塩化カリウム寒天使用時の XRF の測定結果



図 7 塩化カリウム寒天を使用した場合の実験

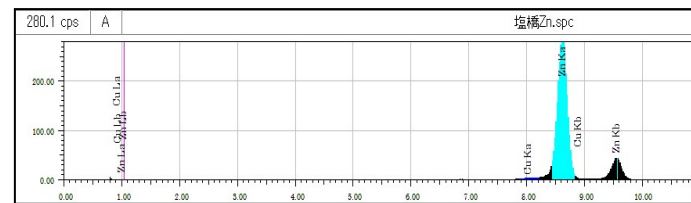


図 8 塩化カリウム寒天不使用時の XRF の測定結果

さらに色の変化の原因を調べるため、図 9 のように実験に用いた寒天付セパレータの断面について観察を行ったところ、セルローズチューブ周囲の寒天に青色の変色が認められた。これは、セルローズチューブ内に入れた硫酸銅水溶液が時間経過と共にセルローズチューブから浸出し、拡散したためと考えられる。しかし、寒天付セパレータを使用することで、カソード部の銅イオンがアノード近傍にまで拡散するのを防いだことがわかる。



図 9 寒天付セパレータの断面

d. 黒い物質についての考察

以上の結果より、ダニエル電池において観察される亜鉛電極の黒い変色は、電池内にある硫酸銅水溶液中の銅イオンが濃度拡散によってセパレータから浸出し、亜鉛電極まで到達することで直接亜鉛と反応した結果起こったものであると分かる。よって亜鉛電極の負極反応によるものではないので、「黒い変色の観察をもって電池の反応で亜鉛電極が溶けた」と生徒に考えさせることは妥当とは言えない。

(2) 変化を容易に観察できる実験条件について

亜鉛電極が黒くなることをもって負極反応が起きたと言えないことから、新たな生徒実験として 50 分の授業時間内に亜鉛電極の形状が変化する様子を目視で観察できる方法を検討した。

① 実験条件の改善

一般的に生徒実験で行われるダニエル電池の条件、亜鉛板 (20×70×1.0 mm)、硫酸亜鉛水溶液 (5.0 W%), 銅板 (20×70×1.0 mm)、硫酸銅水溶液 (5.0 W%)、セパレータとして底を閉じたセルローズチューブ (20/30) では、50 分の放電では亜鉛電極が黒く変色する事は確認できたが形状の変化を目視で観察することはできなかった。これは負極反応によって溶け出る亜鉛の量に比べて、亜鉛板に存在する亜鉛の量が多すぎるためと考えられる。そこで一般に入手可能な市販品の中で一番薄い亜鉛箔 ($t=0.01$ mm) を用いることとした。アノードとカソードの条件をそろえるため同じ厚みの銅箔 ($t=0.01$ mm) を用いて図 10 のようにダニエル電池を作製した。端子間を短絡させて放電したところ、45 分間の放電の後には図 11 の (左) ように亜鉛箔が崩れ落ちる様子が観察できた。さらに実験時間の短縮を目指し、電解質溶液について検討し、硫酸亜鉛水溶液 (0.5 mol/L) と硫酸銅水溶液 (飽和) を用いたところ 13 分程で亜鉛箔が崩れ落ちる様子が観察でき、銅箔表面には新たな銅の析出が十分見られた。

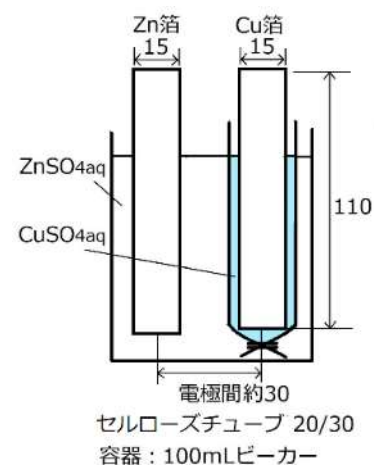


図 10 実験装置の構造

②結果

明らかになった 1 授業時間内に亜鉛電極の形状の変化が目視で明確にわかる条件は以下の通りである.

- | | |
|----------------------|--------------------------|
| a.電極の条件 | b.電解質溶液の条件 |
| ・ 亜鉛箔 ($t=0.01$ mm) | ・ 硫酸亜鉛水溶液 (0.5 mol/L) |
| ・ 銅箔 ($t=0.01$ mm) | ・ 硫酸銅水溶液 (飽和) |



図 11 実験後(左)と実験前(右)
の亜鉛箔の比較

(3) 金属箔を用いたダニエル電池の開発及び改良

研究で明らかにされた条件を用いて, 電極の変化を生徒がより観察しやすい教材「金属箔ダニエル電池」を開発し, 今回新たにセパレータについて改良した. (図 12)

①装置の概略

本教材では+側の電極に銅箔 ($t=0.01$ mm) 水溶液に硫酸銅水溶液 (飽和), ー側の電極に亜鉛箔 ($t=0.01$ mm) 水溶液に硫酸亜鉛水溶液 (0.5 mol/L) を用いた. 電池としての性能を高めるためには金属箔同士を重ね合わせ電極間距離を近づけるべきであるが, 教科書のモデル図に近づけ生徒の理解を助けるために敢えて横に並べる配置となっている. その上で, 従来のダニエル電池と同じようにモーターや電子オルゴールを動作させることができるのはもちろん, 反応時間を短縮するために敢えて端子間を短絡させることで, 電極の変化を 5 分間で観察することができる教材となった. さらに袋止めクリップで袋全体を固定することで, 電解液が漏れ出ることが無くなるため, 従来のダニエル電池とは違って電池を手を持って観察を行うことができる (図 14). 加えて透明度の高い PP 袋を用いることで, 生徒が間近に電極の変化の様子を見ることができ, 細かい部分まで観察できる. また, PP 袋を軽く押すことで電極に直接触りその状態を確認することもできる. さらに, 手に持たないときは図 13 のように 100 mL ビーカーで保持することができたり, 机の上に寝かせて電極の様子を写真撮影できたりするなど生徒にとって扱いやすい教材になっている. また今回の応募にあたり, 生徒がさらに操作しやすい教材となるように一度水でふやかしたセルローズチューブを折り返し乾燥させセパレータとする改良を行った. このことで教師による事前準備も改良前よりも簡単になり, 薄い金属箔を用いても, 生徒にとって更に組み立てやすい教材となった.

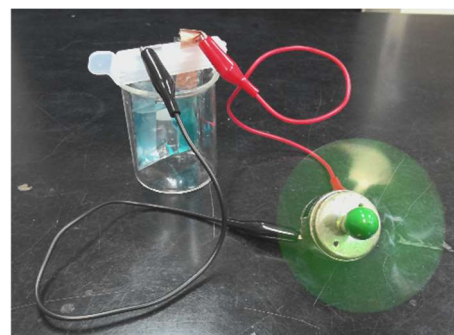
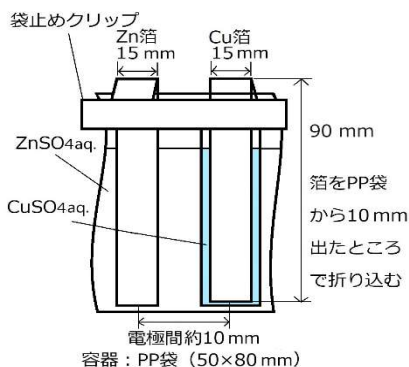
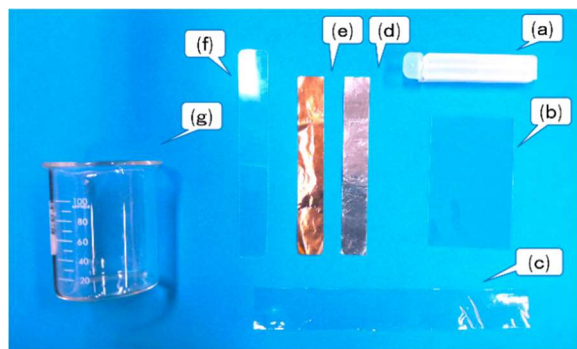


図 12 金属箔ダニエル電池 図 14 実際の金属箔ダニエル電池 図 13 電池として使用している様子

②作り方

a. 材料と道具

本教材の材料と道具を図 15 に示す.



- (a) 袋止めクリップ 82×15×15 mm
ナカヤ化学産業社製
- (b) PP袋 50×80 mm
- (c) セルローズチューブ 20/32 20×170 mm
- (d) 銅箔 15×110×0.01 mm
- (e) 亜鉛箔 15×110×0.01 mm LEISHENT 社 等
※箔は Amazon 等を利用し購入.
- (f) プラスチック板 (以降プラ板) 18×120×0.4 mm
アクリサンデー社製 プラバン 0.4 mm
- (g) 100 mL ビーカー

図 15 制作に必要な材料と道具

b. セパレータの改良とその作り方

これまでの「金属箔ダニエル電池」ではセルローズチューブの一端の口をマカロニクリップという特殊なクリップで止めていた（北田，2023）。しかし作業工程が多い上に、湿っている状態のため生徒が銅箔を挿入することが難しく、教師が時間をかけ事前に銅箔を挿入しておく必要があった。そこで図 16 のようにセルローズチューブを折り返す構造とし、プラ板を差し込んだまま乾燥させることとした。まずセルローズチューブを 170 mm の長さに切る。これを水に入れ片方の口を指でこすり口を開く。この際に親指と人差し指でセルローズチューブをねじると簡単に口を開いた状態にできる（図 17①）。次に角を丸く切ったプラ板を口から 90 mm 挿入する（図 17②）。最後に残りのセルローズチューブ部分を折り返す（図 17③）。この時にセルローズチューブに強く折り目をつけると液漏れの原因となるので軽く折り返すに留める。また生徒が硫酸銅水溶液を入れる際に誤操作しにくいよう敢えてプラ板を挿入した側と折り返した側を 10 mm ずらしている。その後プラ板を差し込んだまま完全に乾くまで乾燥させる（条件によるが扇風機を利用すると 30 分程度）。これを以降セパレータと呼ぶ。

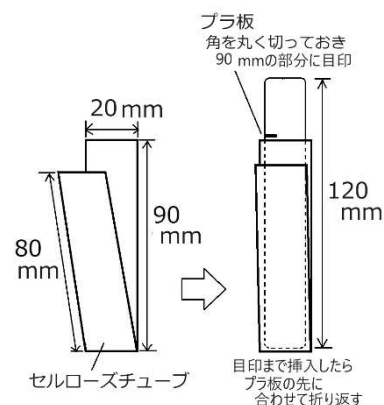


図 16 セパレータの構造

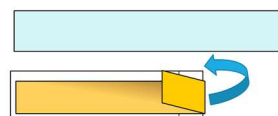


図 17 セパレータを作る様子

c. ダニエル電池の組み立て

生徒実験では説明用シート（図 18～図 22）を用意しアニメーションを交えながら電子黒板で生徒に説明し組み立てさせた。セパレータ内に挿入されたプラ板に沿わせて銅箔を差し込み、次にプラ板だけを抜く。その後、銅箔のセパレータから出た部分を折り返す（図 18）。これと亜鉛箔を PP 袋の両端に入れ、亜鉛箔も先ほどの銅箔の折り返しに合わせ PP 袋から 10 mm ほどの所で折り返す（図 19）。箔を折り返すことにより生徒が実験を行う際に電極となる箔が千切れにくくなる。セパレータ内に銅箔に沿わせるようにして 5 mL 駒込ピペットの先を挿入し硫酸銅水溶液（飽和）5 mL を入れる（図 20）。さらに PP 袋に硫酸亜鉛水溶液（0.5 mol/L）10 mL を 10 mL 駒込ピペットで加える（図 21）。なお液体を入れる際には箔を入れた PP 袋を 100 mL ビーカーに入れ自立させると作業がしやすい。最後に電極同士が接触しないように気をつけて袋止めクリップで図 22 のように密封する。

金属箔ダニエル電池 ① 電池の組み立て方 【 銅箔セットの作り方 】



- 銅箔をプラ板に沿わせて半透膜の袋（注意：二枚重ねになっている）に入れる
- プラ板を半透膜の袋から抜く
- 半透膜の端で銅箔を折り返す。

図 18 説明シート①（銅箔の挿入）



図 19 説明シート②（電極の準備）



図 20 説明シート③（硫酸銅水溶液の準備）



図 21 説明シート④（硫酸亜鉛水溶液の準備）



図 22 説明シート⑤（電池の完成）

③使い方

a. 電気エネルギーの取り出し

図 13 のように光電池用モーターや電子オルゴールに接続し、作製したダニエル電池によって電気エネルギーを取り出せることを確認する。その際に電極へのつなぎ方を変えることでモーターが逆回転したり、電子オルゴールが鳴らなくなったりする変化が観察できる。この結果より、ダニエル電池では亜鉛電極がアノード（負極）、銅電極がカソード（正極）になる事が分かる。

b. 放電中の電極の変化の観察

次に図 23 のように反応時間短縮のため敢えて電極同士を短絡させ手に持って観察を行う。5 分ほど観察を続け、手で袋を前後させると薄くなった亜鉛箔がヒラヒラと揺れ動く様子が観察されるようになり、次第に薄くなった部分の亜鉛箔が崩れ落ちていく。PP 袋の上から亜鉛箔を指で押すとよりその様子が観察しやすい。図 24 は実験後の電池内の様子である。亜鉛箔がボロボロになっている様子に加え、銅箔についても表面の色が変化している様子が見て取れる。また、今回セパレータの改良にともない硫酸銅水溶液の浸出が抑えられ、改良前よりも亜鉛電極表面の黒い変色が減少した。放電時間 10 分程までであれば一部金属光沢が残る状態で観察できる。

c. 放電後の亜鉛箔の観察

放電終了後の電極は、ビーカーに入れた水内で洗浄した後にろ紙で水分を拭き取る。亜鉛箔は図 25 で分かるように反応後はボロボロになっていることが分かる。さらに指で亜鉛箔を挟んでみると脆く崩れ落ち、その手触りで反応した部分が薄くなっていることも分かる。さらに図 26 のように反応後の亜鉛箔の裏側からライトの光を当てると所々光が透過し亜鉛箔が薄くなっていることを確かめられる。

d. 放電後の銅箔の観察

図 27 のように反応後の銅箔は表面が変色しているように見える。銅箔自体が薄いので手で触ってみるとその厚みが増していることに気がつく。また、図 28 のように粘着力の強いテープ（3M の Scotch スーパーホールドテープ）を貼り付けてから剥がすと表面に析出した銅を剥ぎ取ることができる。従来の銅板でも銅の剥離は可能であるが、銅箔は剥がす際に変形するので、より綺麗に剥ぎ取ることができる。加えて剥がした後に元の銅箔が現れるので、銅箔自体が変化していないことがわかる。そのため表面についた銅は新たに析出したものであることを容易に認識できる。またテープについた物質に電流を流すと導電性が認められ、その金属光沢と色より銅だと断定できる。

e. 実験後の処理

廃液が硫酸銅水溶液 5 mL、硫酸亜鉛水溶液 10 mL と少ないことも本教材の利点の一つである。また、袋とセパレータは、軽く洗浄した後そのまま廃棄できる。

(4) 教材についてのまとめ

今回の研究により、ダニエル電池の亜鉛電極にできる黒い物質は負極反応によるもので無いことが明らかになった。また従来のダニエル電池では、負極反応に対して亜鉛電極に存在する亜鉛原子の量が多すぎるため、1 授業時間 50 分以内に電極の変化を生徒が目視で観察することはできなかった。本研究では、厚さ 0.01 mm の金属箔を用いたダニエル電池をつくることで、この後に III-2 で報告するように今まで不可能であった授業時間内での目視による亜鉛電極の形状変化の観察を可能にし、生徒からも肯定的な評価を得ることができた。電極の変化がはっきりと観察出来ることから、ダニエル電池で起こる電極の変化を生徒実験から見出すことは勿論、どの様に電池で電流が流れているのか生徒が仮説を立ててから金属箔ダニエル電池を用いて検証するといった新たな学習方法も考えられるようになった。

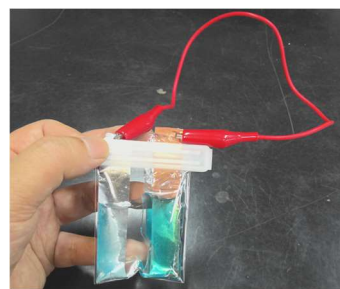


図 23 短絡させた様子



図 24 実験後の電極



図 25 実験後(左)と
実験前(右)の亜鉛箔



図 26 光を当てた様子
実験前(左)と実験後(右)



図 27 実験後(左)と
実験前(右)の銅箔



図 28 テープを
剥がす様子

Ⅲ-1 教材を用いた検証授業の概要

金属箔ダニエル電池の有用性を検証するため授業を行い以下のように調査を実施した。

(1) 調査対象：都内中学校 3 年生

実験群：セパレータ改良前 A 中学校 2 クラス 60 名（令和 4 年 9 月）

セパレータ改良後 B 中学校 3 クラス 71 名（令和 5 年 9 月）

統制群：A 中学校 1 クラス 27 名（令和 4 年 9 月）

(2) 調査方法

単元「化学変化と電池」で、イオンへのなりやすさまでの学習を終えた生徒に「金属と電解質水溶液を用いてダニエル電池をつくり電気エネルギーが取り出されるか」を実験の目的として示し、ダニエル電池の実験を行わせた。実験群では開発した教材を使用した。改良前は教師が準備した銅箔挿入済みセパレータを PP 袋に入れる工程から、改良後ではセパレータに銅箔を挿入する工程から生徒に組み立てさせ（Ⅱ-(3)-②）、その後Ⅱ-(3)-③の実験を行わせた。統制群では内田洋行のダニエル電池実験セット R4342 に準じた装置でⅡ-(3)-③-a の実験を行わせた後、各電極（20×70×1.0 mm）を観察させた。課題としてワークシートの結果にダニエル電池をつないだときの光電池用モーターと電子オルゴールの観察結果を記述させた。加えて電流を流した後の電極の変化について反応後の電極のスケッチと表面の様子を記述させた。その後考察として、それぞれの電極が＋－どちらの極になっているか、また観察結果から電極でどのような変化が起こったか考えさせた。装置の使い方と開発した観察方法の説明以外はワークシートも含めどちらの群についても全て同じ指示で授業を行った。授業後に行ったアンケート調査と共に生徒が実験結果をどう捉えたのかを分析し、教材の有効性について検証した。また今回のセパレータの改良の効果について実験群内の改良前と改良後でも比較を行った。

(3) 授業内容

時間	・学習内容	・指導上の留意点	○評価 ・備考
導入 10 分	・イオンへのなりやすさの復習 ・ダニエル電池の紹介を聞く	・デジタル教科書を用いて視覚的に確認	
目的：金属と電解質の水溶液を用いてダニエル電池をつくり 電気エネルギーを取り出せるのかを調べる			
展開 30 分	・ダニエル電池の 作り方を理解する 使用教材 [実験群] 金属箔ダニエル電池 [統制群] 内田洋行 R4342 ・ダニエル電池を組み立てる ・電気エネルギーを取り出せる のか調べる ・5 分間、電流を流しながら 電極の変化を観察する ・電極を取り出し、洗浄後に 観察する [実験群] ライト、テープ等 ・廃液入れに廃液を捨てる	・視覚的に構造が理解できるように指導資料を使い確認する。 ・薬品の取扱いに注意させる。 ・負荷については事前に動作確認を行っておく。 ・[実験群] 手に持って観察させるように促す。 ・見た目だけでなく、手触りなども確かめさせる。	・指導資料 [実験群] 説明用プレゼン資料 図 18～図 22 参照 [統制群] デジタル教科書
ま と め 10 分	・ワークシートに観察結果と考察を記入する ・アンケートを記入	・テープを使って採取した電極や試料を貼り付けさせてもよい。	○電極で起こった現象についてまとめることができる。 （ワークシート） 【知識・技能】

次時にはどちらの群においても実験結果からモデルを使って電池内での反応を考えさせた。その授業の最後には、研究後に両群の生徒の学習内容の理解度に差が残らぬよう、生徒に教科書の写真で実験前後の電極を比較させた上で教師が補足の解説を行いモデルの再確認を行った。

Ⅲ-2 検証授業の分析

(1) ワークシートの分析結果

実験群の生徒が実際に記入したワークシートを示し電極の変化をどうとらえたのか分析する。

a. 亜鉛箔の観察

図 29 では、実験を行っていく内に、時間経過と共に亜鉛電極が反応していく様子を捉えることができる。また図 30 では見た目の変化だけでなく、手触りにより亜鉛箔が薄くなったことを、実感を持って捉えている様子が分かる。

b. 銅箔の観察

図 31 では、銅箔の金属光沢がなくなったことに気付いている。さらに貼り付けたテープを剥がすことにより、銅箔には金属光沢が戻りテープには物質がついたことで、実験により銅箔表面に新たに銅が析出したことに気付いている。また図 32 では手触りにより、銅箔が厚くなった事を捉えており、さらに厚くなった部分を剥がす事ができることにも気付いている。

(2) アンケート結果

この教材が生徒にとって亜鉛電極を観察しやすいものであるかを検証するために「亜鉛の変化は観察しやすかったですか？」との問いに選択形式で回答させた。結果は図 33 に示す通りで、観察しやすかったと答えた生徒が統制群では 48.1 %なのに対して実験群では 87.0 %であった。今回開発した教材について多くの生徒が観察しやすかったと肯定的に捉えている事がわかる。さらに今回の亜鉛電極の観察で生徒がどのように現象を捉えたかを知るため「亜鉛板ではどんな変化が観察できましたか？」の質問に自由記述で回答させた(図 34)。統制群では 70.4 %の生徒が亜鉛板の色の变化のみを記述している。Ⅱ-(1)-②-d で示したように亜鉛板が黒く変色するのは、電池の反応によって起こる変化ではない。そのため従来の実験方法では生徒が電池の反応による電極の変化を目視によって正しく捉えることが難しいことが分かる。それに対して実験群では 71.8 %の生徒が「ボロボロになった」や「崩れ落ちた」、「触ったら薄くなっていた」等形状の変化についても記述しており、電池の反応により、金属の溶出につながる変化を捉えている事が分かった。また図 35 に示したように実験操作の扱いやすさについての設問では、今回のセパレータの改良により統制群の簡単だと思うとの回答 (55.6 %)には及ばないものの、改良前の 30.5%から改良後は 46.5 %に向上していることが分かる。銅箔を挿入する操作が新たに加わったにも関わらず肯定的な意見が増えていることから、今回のセパレータの改良は十分意味のあるものであったと考える。また生徒の感想に「物体がどんどん変化して行って、反応や結果が書きやすかったし楽しかった。」とあるように多くの生徒が意欲的に取り組む姿が見られた。また「つくりや変化をしっかりと観察し考察で理解を深められたので良かった。」「目で見ること、電流の流れる仕組みがよく分かった。」とあるように結果の分かりやすさが現象の理解を向上させたと言える。

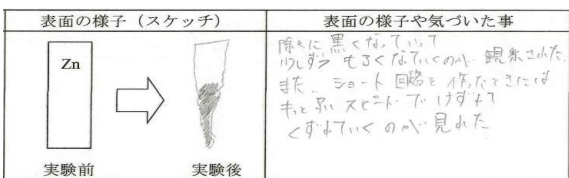


図 29 ワークシートへの記述①

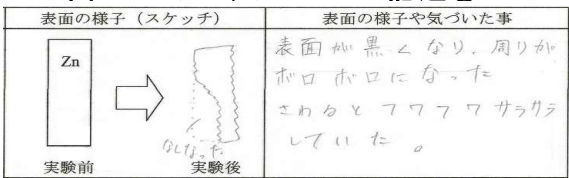


図 30 ワークシートへの記述②

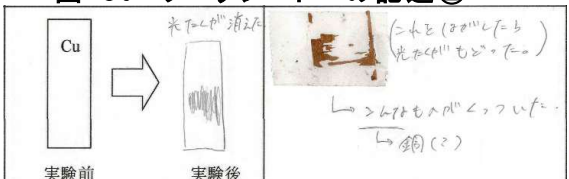


図 31 ワークシートへの記述③



図 32 ワークシートへの記述④

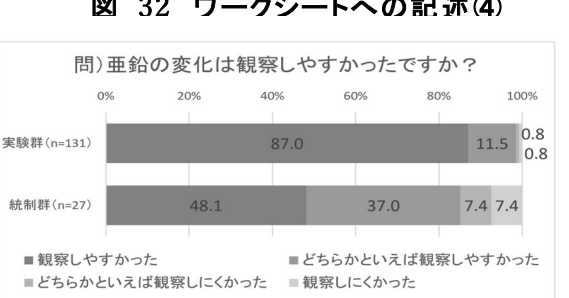


図 33 亜鉛電極の観察のしやすさについて

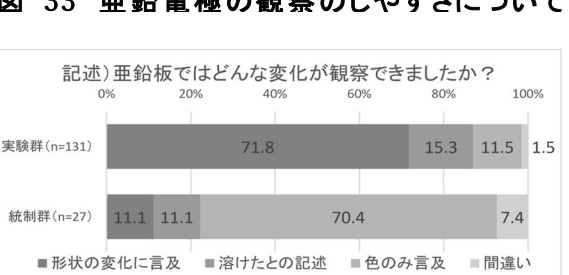


図 34 亜鉛電極の変化について自由記述

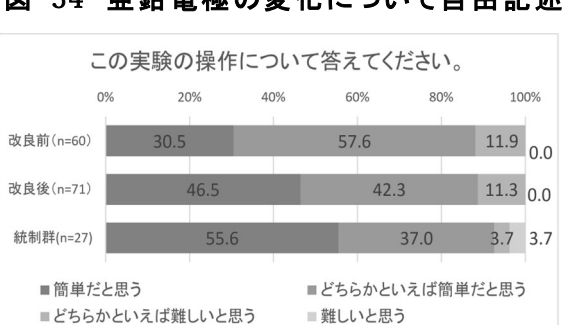


図 35 実験装置の扱いやすさについて