

探究活動につながる教材の開発

高橋 伸元

新高等学校学習指導要領においては、理科における探究の過程を踏まえた学習活動の重要性がより一層が高まっている。そのため、既に開発されている教材を探究的な学びにつなげるための改良と活用方法を報告する。

〔キーワード〕 探究 化学 マイクロスケール ダニエル電池

はじめに

来年度からの新学習指導要領においては、探究の過程を重視した観察・実験の実施等を通して、理科で育成を目指す資質・能力を育成していくことがより重要になっている。また、昨今の新型コロナウイルスに対応した観察・実験の在り方として、少人数で取り組めるマイクロスケール実験教材の活用や、自宅や学校で作成し、遠隔で交流可能なハンズオン教材の活用がこれまで以上に注目されている

当センターにおいては、自ら開発したマイクロスケール教材やハンズオン教材を活用した探究型の観察・実験を提案し、各学校での実践や当センターにおける教員研修等で活用してきた。今回は、粒子分野において、探究活動につながる教材の開発を報告する。

1 マイクロスケールダニエル電池教材の改良

マイクロスケールダニエル電池教材の開発については既に報告済みであるが^{*2)}、今回はそのダニエル電池教材を改良することを試みた。

当センターで行われてきた中学校実践力向上研修講座において、一昨年度より、先に紹介したマイクロスケール化ダニエル電池を扱っている。中学校教諭向けの講座であるため、生徒への指導のポイントは、

①実用的な電池の例としてダニエル電池の製作を行い、硫酸亜鉛水溶液、硫酸銅水溶液、亜鉛板、銅板を用いて回路を形成すると、電圧

が生じて電池になることを確かめさせる。

②金属のイオンへのなりやすさが異なることと電子の移動する向きを関連させながら、電池の電極における変化について、イオンのモデルを用いて表現させることを通して、電極で生じた電子が回路に電流として流れることを理解させる。

③日常生活や社会では、乾電池、鉛蓄電池、燃料電池など様々な電池が使われていることにも触れる。

の3点であった。

これを高等学校向けにするに当たり、指導のポイントである

④電極の質量変化から流れた電子の物質量を計算する。

⑤電流の強さと流れた時間から電子の物質量を計算する

の2点を追加し、⑤のために、実験回路には新たに電流計を接続することとした。

さらに深い学びにつなげる考察として

①亜鉛板の減少量から計算した電子の物質量

②銅板の増加量から計算した電子の物質量

③電流の強さ、電流の流れた時間から計算した電子の物質量

の3点を比較することとした。

実際に行った予備実験の結果を表1に示す。

放電した時間は3回の実験とも25分、電流の大きさは平均0.019Aであった

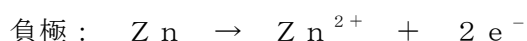
銅板の増加量から計算した電子の物質量は、

表 1 改良前の銅板、亜鉛板の質量変化 (n = 3)

	亜鉛板	銅板
実際の質量変化量 (g)	-0.0093	+0.0104
電流の強さと放電した時間から 計算した理論上の質量変化量 (g)	-0.0120	+0.0117

$3.3 \times 10^{-4} \text{ mol}$ であり、放電した時間と流れた電流の大きさから計算した電子の物質量は、 $3.0 \times 10^{-4} \text{ mol}$ と近い値になったが、亜鉛の減少量から計算した電子の物質量は、 $2.9 \times 10^{-4} \text{ mol}$ となり、他よりも小さい値となった。

ここで、亜鉛板の減少量に着目する。正極、負極で起こる半反応式は



であることから、電子が 2 mol 流れたとき、亜鉛は 1 mol 溶解、銅は 1 mol 析出する。亜鉛の原子量を 65 、銅の原子量 63.5 とすると、電子が 2 mol 流れたとき、亜鉛は 65 g 溶解、銅は 63.5 g 析出すると言い換えることができる。すなわち、溶けた亜鉛と同じくらいの質量の銅が析出することが分かる。しかし、予備実験の結果では、亜鉛が 0.0091 g 減少したのに対し、銅が 0.0107 g 増加していた。

仮に、放電した時間と流れた電流の大きさから計算した電子の物質量を用いて、亜鉛板の減少量と銅板の増加量を計算すると、それぞれ 0.0120 g 、 0.0117 g となる。これらを考えても、予備実験における亜鉛板の減少量は理論より小さいことが分かる。



図 2 銅板 (左) と亜鉛板 (右)

2 教材化への改良

今回の実験で明らかになったのは、放電時間 25 分間の銅の析出量がおおよそ 0.01 g であることである。これは、学校に設置してある化学天秤で測定できる限界の値である。当センターにある化学天秤は 0.0001 g まで測定が可能であるので、それを使い測定し計算することができたが、学校にここまで測定できる化学天秤を設置しているところは、少ないと予想される。

そこで、このマイクロスケール教材を使って学校に設置されている化学天秤でも測定できるよう、改良を試みた。

放電によって銅が析出することから、使用する硫酸銅水溶液の濃度をできるだけ濃くして実験を行った。できるだけ濃い硫酸銅水溶液の調製を試みたが、硫酸銅の溶解度は、無水物で 20°C $16.8 \text{ g/水}100 \text{ g}$ 、 40°C $22.3 \text{ g/水}100 \text{ g}^{*3)}$ であり、五水和物では 20°C $20 \text{ g/水}100 \text{ g}$ 、 40°C $23 \text{ g/水}100 \text{ g}$ (教科書、図説の溶解度曲線からの読み取り) であった。このことから最も濃くしてもおおよそ 1 mol/L までであった。

一方、硫酸亜鉛水溶液は、硫酸銅水溶液と同様に 1 mol/L の水溶液を調製し、さらに濃度を薄くした、 0.01 mol/L 、 0.1 mol/L を調製した。これは、高校化学の問題演習の 1 つに、ダニエル電池を長持ちさせるための方法を問うものがあり、その解答は「硫酸銅水溶液を濃くして、硫酸亜鉛水溶液を薄くする」である。これに基づいて、硫酸亜鉛水溶液は濃度の薄いものを調製した。

まず、予備実験として硫酸亜鉛水溶液 0.01

mol/L, 硫酸銅水溶液 1 mol/L で実験をし, 10 回データをとったところ, 予想に反して10回とも接続した光電池用モーターが回転しなかった。電圧は平均1.13 V (n=10) であり, 電流が平均0.007 A (n=10) であった。25分後の電圧, 電流の値もそれほど変化しなかった。光電池用モーターが回転するために必要な電流が0.016 ~ 0.020 Aであることから, モーターが回転しなかったのは当然である。

このことから, 普段何気なくダニエル電池を長持ちさせるための方法として解答・解説していたことは, あくまで起電力維持の方法であって, ダニエル電池としての機能の維持の方法ではないことがこの実験を通して分かり, 改めて実際にやってみることの大事さを痛感した。

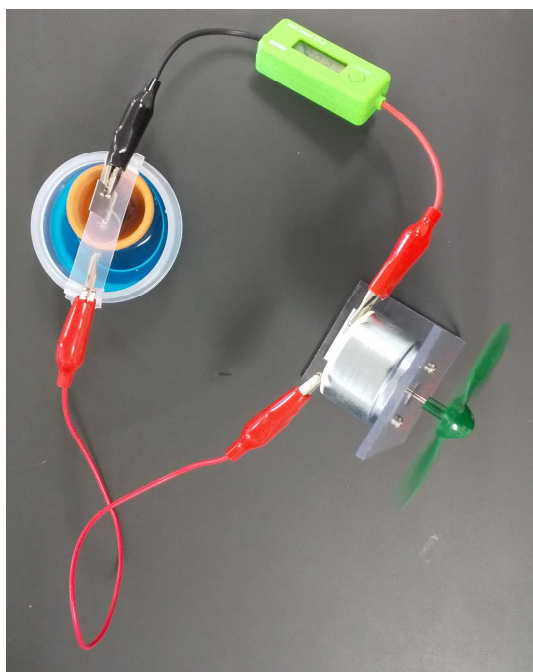


図1 実験の様子

予備実験の結果をもとにして, 硫酸亜鉛水溶液 1 mol/L, 硫酸銅水溶液 1 mol/L で実験を再開した。実験方法は改良前と変更はなく, 測定は10回行った。その結果を表2に示す。

表2 改良後の銅板, 亜鉛板の質量変化 (n=10)

	亜鉛板	銅板
実際の質量変化量 (g)	-0.0064	+0.0114
電流の強さと放電した時間から 計算した理論上の質量変化量 (g)	-0.0095	+0.0094

結果は改良前とほとんど変わらない結果となった。考えられる理由としては,

- ①既に当センターにあった改良前の硫酸銅水溶液も十分に濃い状態 (1 mol/L くらい) であったこと。
- ②単位時間あたりの亜鉛板が溶ける量あるいは銅板に銅が析出する量が, それぞれの水溶液の濃度が一定の濃度以上であれば有意な差が見られないこと。
- ③金属板の向きがお互い最も面積の広い方向を向いていない。
- ④金属板の距離が遠い。
などが考えられる。

①については, 研究紀要第31号にもあるように, 0.5 mol/L とあり, 今回よりも濃度が薄いので, 教材キットが0.5 mol/L であるとすればこれが理由とは考えにくい。

②については, 反応速度のことなので今回の実験では確認できないが条件により反応速度は十分に関係することは考えられる。

③, ④については, 反応速度にも関わることを考えられるので濃度の他に改良を試みた。金属板を支えるフォルダーを作る際, 図2のように金属板を差し込む溝を入れ, 金属板の向き合う表面積が最も広くなるようにした。結果を表3に示す。

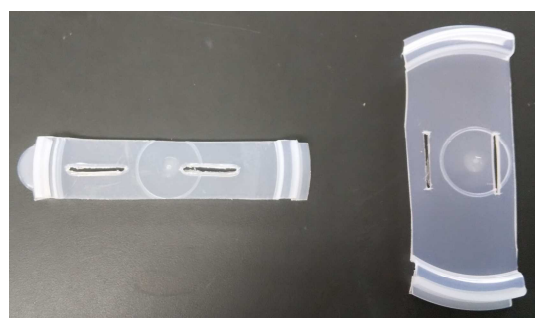


図2 フォルダーの改良 (左が従来)

表3 フォルダ改良後の銅板、亜鉛板の質量変化 (n = 10)

	亜鉛板	銅板
実際の質量変化量 (g)	-0.0083	+0.0117
電流の強さと放電した時間から 計算した理論上の質量変化量 (g)	-0.0103	+0.0102

実験結果は、電流は0.020 Aとなり、改良前より大きくなった。また、銅板に析出した銅の質量が改良前よりも多くなり、0.01 gを超える結果となったが、学校に常備されているような天秤で質量測定するには厳しい結果となった。

このことにより、当センターの教材を直接定量化にする実験に使用することは難しくなると考えられる。今後考えられる改良点は、

①電極をできるだけ面積の広いものにする。

②電極間の距離をできるだけ狭くする。

であるが、決め手になるかどうかはわからない。

3 探究的な学びへの展開

高等学校学習指導要領では、探究の過程を踏まえた学習活動を行う際、「学習内容の特質に応じて、問題を見いだすための観察、情報の収集、仮説の設定、実験の計画、実験による検証、調査、データの分析・解釈、推論などの探究の方法を習得させる」とされている。

今回、改良で定量化実験に向けた教材化には至らなかったが、今回の改良の過程において様々な気づきがあり、これらの気づきや途中の仮説、実行、結果を踏まえた思考の仕方や内容を生徒に還元することにより、生徒が探究的な学びへ展開できる可能性を感じることができた。

例えば、①亜鉛板の減少量から計算した電子の物質量、②銅板の増加量から計算した電子の物質量、③電流の強さ、電流の流れた時間から計算した電子の物質量の3点を比較することである。では、なぜ亜鉛板の減少量は小さくなったのだろうか。実験装置に戻り亜鉛板を注意深く観察すると、黒色の物質が付着していることに気が付く。この付着した黒色の物質は何かを考察させることである。この黒色の物質に関し

ては、北海道旭川東高等学校化学部^{*4)}が研究している。また、問題演習に頻出の起電力の持続だけに着目するのではなく、実際に流れる電流に着目し、電流を大きくする方法を考察させることである。今回の改良は決してうまくいかなかったかもしれないが、どうしたらうまくいくのか、なぜうまくいかなかったのかも併せて考えさせると、生徒の深い学びにつながるとともに、探究的な要素が強くなり、探究的な力を育むことにつながると考える。

おわりに

マイクロスケール実験は、生徒の関心や興味を引き出すために有効な手段であることは既に報告されており、今回、定量化改良と併せて探究活動への応用も念頭に置きながら改良を行った。改良の成果だけではなく、改良そのものの過程もまた深い学びにつながることを実験を通して改めて実感することができた。理科を「教科書の中」の世界で終わらせるのではなく、実際に実験の行うことで感じることのできる新たな気づきを大切にできよう教材開発を目指して努力を続けていきたい。

参考文献

- 1) 「高等学校学習指導要領案」(平成30年2月) 文部科学省
- 2) 林昭宏「ダニエル電池のマイクロスケール化—素焼き容器を用いた方法の開発—」北海道立教育研究所附属理科教育センター研究紀要第31号12-13頁2019
- 3) 理科年表152頁2001
- 4) 北海道旭川東高等学校化学部「亜鉛板は腐食するとなぜ黒くなるのか ～酸溶解とダニエル電池における原理の違いと電子顕微鏡による表面の観察～」JSEC研究レポート2021

(たかはし のぶゆき 化学研究班)

