

マイクロスケール実験によるダニエル電池の教材開発と 探究的授業デザインの構築

—新学習指導要領による中学校理科への導入に向けて—

芝原 寛泰・佐藤 美子

Construction of Instructional Design for Inquiry-based Learning and Development of Teaching Material
of Daniell Cell using Microscale Experiments Method
– Looking Ahead to Science Education in Junior High School based on New Curriculum Guidelines–

Hiroyasu SHIBAHARA, Yoshiko SATO

教職キャリア高度化センター教育実践研究紀要

第2号 (2020年3月)

Journal of Educational Research
Center for Educational Career Enhancement

No.2 (March 2020)

マイクロスケール実験によるダニエル電池の教材開発と 探究的授業デザインの構築

—新学習指導要領による中学校理科への導入に向けて—

芝原寛泰¹・佐藤美子²

(京都教育大学名誉教授¹・四天王寺大学教育学部²)

Construction of Instructional Design for Inquiry-based Learning and Development of Teaching Material of Daniell Cell using Microscale Experiments Method

— Looking Ahead to Science Education in Junior High School based on New Curriculum Guidelines —

Hiroyasu SHIBAHARA¹, Yoshiko SATO²

Emeritus Professor of Kyoto University of Education¹, Shitennoji University²

2019年11月18日受理

抄録：学習指導要領の改訂に伴い、身近な現象や材料を取り扱い、探究的な活動と共に理科学習の有用性を実感することが課題とされている。一方、「電池」は最も身近な製品でありながら、原理についてはブラックボックス化しているため、化学反応によるエネルギーを電気エネルギーに変換する基本的な原理を学習する教材実験として、再度、注目されている。また「ダニエル電池」は科学史の上では、ボルタ電池の欠点を克服した「実用電池」として位置づけられているが、その動作原理の学習が中学理科でも扱われる。実用電池の代表例としてダニエル電池をとりあげ、その原理を学習する探究的な授業デザインを構築した。その一部は、中学生及び教員志望の大学生を対象にした実践により、授業デザインの有効性の確認と課題の抽出を行った。授業実践を通して、ダニエル電池の原理を探究的に学ぶ実験プロセスの内、半透膜の性質と役割、電池反応における活物質の認識の2種類の実験について、特に探究的取り組みとしての評価を得ることができた。

キーワード：ダニエル電池、授業デザイン、マイクロスケール実験、中学校理科、個別実験、探究活動

I. はじめに

我々の日常生活において、一次電池あるいは二次電池を問わず「電池」は大きく関わっている。化学反応を応用した電池の動作原理を学ぶことは、科学技術と社会の関わりや、理科の学習の有用性を実感する点においても重要である。本研究では中学校理科を中心に、教材開発とそれを活用した探究的な実験プロセスからなる、電池の学習についての新しい授業デザインを提案する。

2017年度に告示され2020年度から完全実施される中学校理科学習指導要領¹⁾では、中学校3年単元「化学変化と電池」において、「電池の基本的な仕組みについては、ダニエル電池を取りあげること」とされ、さらに「(ア) 金属とイオン 金属と電解質水溶液にいれる実験を行い、金属によってイオンへのなりやすさが異なることを見いだして理解すること、(イ) 化学変化と電池 電解質溶液と2種類の金属などを用いた実験を行い、電池の基本的な仕組みを理解するとともに、化学エネルギーが電気エネルギーに変換されていることを知ること」と謳われている。一方、現行(2008年告示)²⁾の学習指導要領では、主にボルタ電池を使って電池の仕組みに触れている。しかし、ボルタ電池の仕組みを中学校理科で学習するには、動作原理が複雑であり、それを簡略化して説明することの弊害が指摘されてきた³⁾。金属の性質と化学反応を使って合理的に原理を説明できるダ

ニエル電池は、電池の構造としてはボルタ電池に比べると複雑ではあるが、中学校理科と高校化学の学習上の連続性を考慮すると一貫性のある化学的な説明が可能であり、教材実験として優れている。以上の経緯によりダニエル電池の実験は、新中学校理科学習指導要領¹⁾において、中学校理科におけるイオンの学習の応用例及び実用電池の原理を学ぶ教材例として登場する。中学校理科において電池の原理を学習するには、金属の性質、イオンの存在と役割、電池内における化学反応への関心が必要で、順にステップを踏んだ実験による「実感をともなった理解」が前提となる。

一方、マイクロスケール実験によるダニエル電池の教材については継続的に開発を重ねてきた^{4~6)}。また、新旧の中学校学習指導要領の解説^{7, 8)}には、今までと同様にマイクロスケール実験は「使用する薬品の量をできる限り少なくした実験」として推奨されている。本報告では、すでに公表した方法⁹⁾で、市販のポリスポイトと円筒形ガラス容器（直径 2cm, 高さ 3cm）を電解槽に、半透膜としてビスキングチューブを用いて、中学校理科への導入実験と、高校化学への発展と学習の連続性を視野に入れた探究的な授業デザインについて紹介する。以下、教材開発と予備実験の結果及び授業デザインの構成と実践例について報告する。

II. 教材開発

1. ダニエル電池の歴史

1836年イギリス人ダニエルにより、ボルタ電池のもつ欠点、すなわち分極による起電力の低下などを抑えて改良がされたのが「ダニエル電池」である。電信の分野で「実用電池」として、20世紀当初まで使われた歴史をもつ。電解質が溶液である「湿電池」から、携帯性に優れている固体の「乾電池」が求められる過程で、実用電池としては利用されなくなった。しかし、化学反応による「化学エネルギー」を「電気エネルギー」に変換する原理を学習することは大きな意義があり、特に実感を伴った理解を助ける電池の作製は、生徒にとっては「エネルギー変換」、「エネルギー問題」について考える上で欠かせない体験となる。

2. マイクロスケール実験によるダニエル電池の教材開発の経緯

ダニエル電池の通常スケールの実験による教材開発の報告¹⁰⁾は多数あるが、共通して複雑な電池の構成をわかりやすくすること、また動作原理を理解する上で「半透膜」の役割に気づかせることに主眼がおかれている。電池の教材実験では、次の理由によりマイクロスケール実験の利便性と学習効果が最も顕著に発揮される。

- 1) 電解槽の小型化に伴う電解質溶液の大幅な削減が可能であること
- 2) 電極付近の変化の様子を詳細かつ容易に観察ができ、化学反応に対する考察の深化が期待できること
- 3) 電極材料の交換や電解質溶液の種類や濃度などの実験条件の変更が短時間で可能であること
- 4) 小型化により作製した数個の電池を、直列や並列に容易に配線できること

図1 a,b,c,dは、今まで開発したマイクロスケール実験によるダニエル電池の教材実験の経緯^{4~6)}を示している。いずれも上記の4点について特に改良した教材実験であり、一部は商品化もされている¹¹⁾。

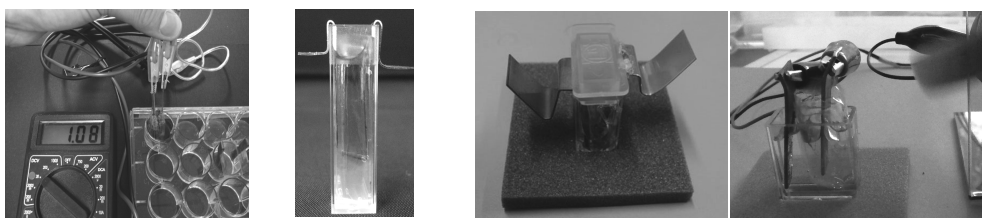


図1 a) セルプレート b) 分光セル c) パックテスト容器を用いたダニエル電池

以上の教材実験としてのメリットを組み合わせ、本研究の課題でもある「マイクロスケール実験による探究的な授業デザイン」の構築に向けて活用した。本研究では、理科学習の目的、必要な素材や器具、問題解決の過程の意識化などの「学習の構造」¹²⁾に注目しながら、授業づくりの考えなどを反映させ、さらに具体的な授業展開を含ませて「授業デザイン」とした。特に「授業デザイン」で重要な構成要素である、探究的なステップを踏まえた実験内容について、それらを実現するための具体的な教材開発と授業展開について以下に述べる。

3. 「ダニエル電池の原理を考える」授業デザインの構成

授業デザインの目的を、「最初の実用電池といわれるダニエル電池の動作原理を考えるため、ダニエル電池の疑問点をあげ、それらを課題として解決するための実験方法を検討する。」と設定した。まず、生徒がもつダニエル電池に関する疑問点を、今までの授業実践の経験を踏まえ、次の3点を想定した。

- 1) 2種類の電解質溶液がなぜ必要か
- 2) 2種類の電解質溶液を半透膜で分けるのはなぜか
- 3) 電極板は、銅Cuと亜鉛Znでないといけないのか

ダニエル電池に関する以上1)～3)の疑問を解決するために、今回検討した実験1～7のテーマを以下に示す。

- 実験1 亜鉛Zn板および銅Cu板と硫酸銅(II)水溶液の反応を調べる
- 実験2 ZnとCuのイオン化傾向の違い
- 実験3 電子の流れを確認しよう
- 実験4 ダニエル電池の作製と半透膜の役割を確かめよう
- 実験5 電極と電解質溶液を変えてみよう
- 実験6 Cu板の代わりに炭素棒を用いる
- 実験7 コールドスプレーによる冷却の効果

以上の7種類の実験テーマから、中学校理科として適切な実験項目を、授業時間の設定を考慮して取捨選択する。各実験について、実験方法及び予備実験で得られた実験結果の記入例などについて述べる。

(1) 実験1 亜鉛Zn板および銅Cu板と硫酸銅(II)水溶液の反応を調べる (図2a, b)

(目的) 硫酸銅(II)水溶液に入れた各金属板は変化するだろうか。その理由について考える。

- (方法) ①2つの円柱形ガラス容器(直径2cm, 高さ3cm)に、1.0 mol/L 硫酸銅(II)水溶液を約1/3入れる。
 ②2つのガラス容器にZn板とCu板を別々に入れる。③Zn板とCu板の表面の変化を観察する。

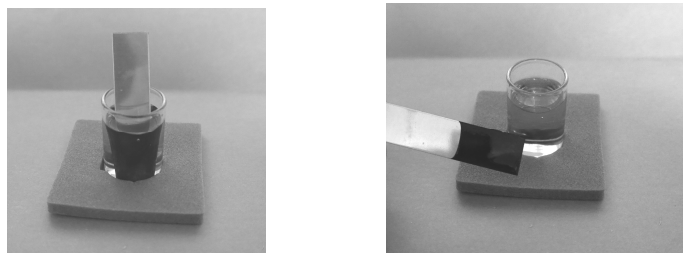


図2 a) 電極板を硫酸銅(II)水溶液に入れる b) Zn板の変化

(ワークシートの設問と記入例)

ア) Zn板の表面はどのように変化しましたか

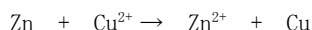
- ・すぐにZn板上にCuが析出した(短時間では黒色, 数分間では銅色)。
- ・数分後に表面の析出物を洗い流すと, Zn板がざらざらしていた。
- ・Cu板は変化しなかった。

イ) 実験結果からわかったことは何ですか。

- ・Znが溶けている。Zn → Zn²⁺ + 2e⁻ (式1)
- ・硫酸銅(II)水溶液のCuイオンが還元され, Zn板の表面に析出した。



- ・式1と式2をまとめると



- ・イオン化傾向の違いが確認できた ($\text{Zn} > \text{Cu}$)。
- ・ZnはCuと比較して酸化されやすく、Cuは還元されやすい。 Cu^{2+} とZnの間で、電子の交換がおりCuが金属となって析出する。

ウ) ダニエル電池の原理を確かめるには、次にどのような実験をすればいいですか。

- ・Zn板とCu板を硫酸銅(II)水溶液にいれ接続する。

(2) 実験2 ZnとCuのイオン化傾向の違い (図3a, b, c)

(目的) ZnとCuのイオン化傾向の違いを確かめるため、Zn板とCu板を硫酸銅(II)水溶液にいれ、接続する。

(方法) ① Zn板とCu板をミノムシクリップで接続して、硫酸銅(II)水溶液に入れる。② Zn板とCu板の表面の変化の様子(色の变化など)を観察する。

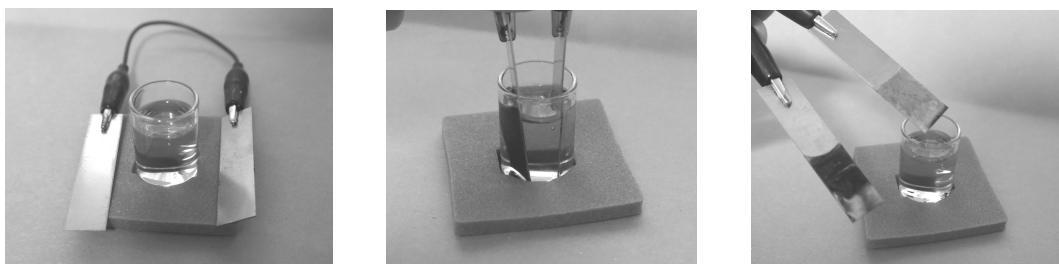


図3 a) Cu板とZn板をつなぐ b) 硫酸銅(II)水溶液に入れる c) Zn板とCu板の変化

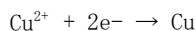
(ワークシートの設問と記入例)

ア) Zn板とCu板の表面はどのように変化しましたか。

Cu板上にCuが析出した。Zn板にもCuが析出した。

イ) 実験結果からわかったことは何ですか。

- ・Zn板の表面にCuの析出がみられたことは、実験1と同様である。
- ・Cu板の表面でも、 Cu^{2+} が電子を受け取ってCuが析出することが確認できた。



- ・Cu板の表面で、硫酸銅中の Cu^{2+} が還元されたと考えられる。

ウ) ダニエル電池の原理を確かめるには、次にどのような実験をすればいいですか。

還元に使われた電子は導線を経由して、Zn板からCu板の表面に移動したことを確かめる実験が必要である。

(3) 実験3 電子の流れを確認しよう (図4a, b, c)

(目的) 実験2において、電子が導線を経由してZn板からCu板に移動したことをさらに確認する

実験2でZn板とCu板をつないだ導線の間にプロペラモーターを入れ(あるいは、電子オルゴールを入れ)、導線中の電子の流れる方向を確認する。

(方法) ①Zn板とCu板が接触しないように、スポンジ片(あるいは木片)などの絶縁物で電極を固定する。

②Zn板とCu板をつなぐ導線の間に、プロペラモーターを入れる。この時、接続方向を確認しておく。

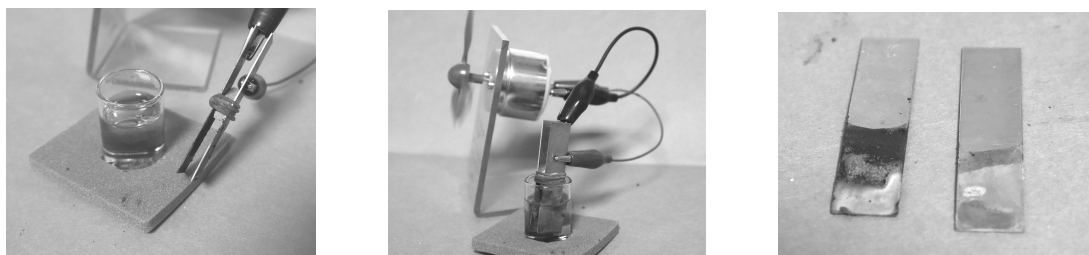


図4 a) 両電極を絶縁物で固定 b) プロペラモーターに接続 c) 放電後の電極表面の変化

(ワークシートの設問と記入例)

ア) プロペラモーターの動作確認をしなさい。

- ・プロペラモーターの回転が確認できた。
 - ・Zn 板をマイナス極, Cu 板をプラス極につなぐと, プロペラは時計方向に回転した。
- イ) 実験結果からわかったことは何ですか。
- ・Zn 板から Cu 板へ電子が流れていることがわかった。
 - ・Zn 板にも Cu が同時に析出していることから,

$$\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}$$
 の反応は, Cu 板と Zn 板の表面で起こっていることがわかった
 - ・今までの実験では, Cu 板の Cu は直接には反応に関与していない。
- ウ) ダニエル電池の原理を確かめるには, 次にどのような実験をすればいいですか。
- ・Zn 板に Cu が析出しない実験条件を考えることが必要である。
 - ・Cu 板に Cu が析出していることが, 同じ色であるため観察しにくいので, 改善が必要。

(4) 実験 4 ダニエル電池の作製と半透膜の役割を確かめよう

(目的) ダニエル電池の作製と動作確認をマイクロスケール実験でおこなう。さらにダニエル電池における半透膜 (ビスキングチューブ) の役割を考える。ビスキングチューブは半透膜の性質を持っているので, イオンは通すことができる。半透膜の性質を考えダニエル電池における役割を実験で確認する。

(方法)

実験 4-1 マイクロスケール実験によるダニエル電池の作製 (図 5a, b, c 図 6a, b)

①スポイトの液だめの部分を切り取り, はさみで縦 10×横 5 mm 程度の大きさの窓枠を開ける (図 5a)。②水で濡らした筒状のビスキングチューブ (長さ 7 cm, 幅 2.5 cm) の筒中に, 半分ほどスポイトを差し込む (図 5b)。③ビスキングチューブの残りは, スポイトの入口方向に折り, 窓枠部分を平坦にする (図 5c)。④ガラス容器内の片側に寄せて, ビスキングチューブで包んだスポイトを差し込む (図 5c)。⑤スポイトの中には 1.0 mol/L 硫酸銅(II)水溶液を, パッケージ容器には 1.0 mol/L 硫酸亜鉛水溶液を約 8 割入れる (図 6a)。入れすぎないように注意する。⑥プロペラモーターの端子にミノムシクリップ付きケーブルをつなぎ, 他方のミノムシクリップの先には, Cu 板と Zn 板を挟む。この時, モーターのプラス側には Cu 板を, マイナス側には Zn 板をつなげる (どちらが正極か負極なのかを考えながら接続すること)。⑦硫酸銅(II)溶液には Cu 板を, 硫酸亜鉛溶液には Zn 板を差し込む (図 6b) ⑧プロペラの回転の様子を確認する。

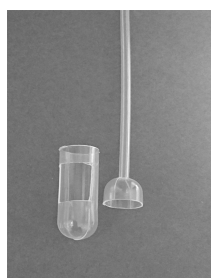
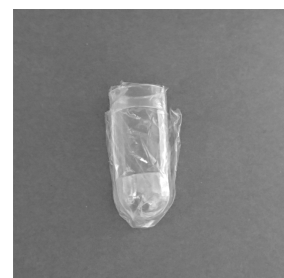


図 5 a) ポリスポイトの加工



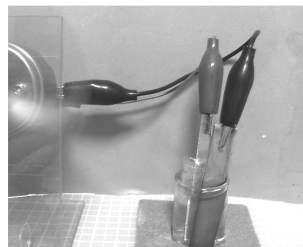
b) ビスキングチューブの装着



c) 装着後の様子



図 6 a) 電解槽の完成



b) ダニエル電池の動作確認

実験 4-2 半透膜の役目を考える (図 7a, b, c)

(目的) 半透膜の部分を半分に分けて加工したポリスポイトでおおい, 半透膜の役目を考える。

(方法) ①実験 4-1 においてプロペラモーターが回転することを確認する (図 6b) ②Cu 板が入れているスポイトの窓枠のある側に, 半分に分けて加工したスポイト (図 7a) を差し込む (図 7b)。この時, 半透膜の部分が

十分に隠れるように押し当てること。③プロペラの回転の様子を実験Aの場合と比較する(図7c)。



図7 a) ポリスポイトの加工 b) 電解槽に入れた様子 c) 放電中にポリスポイトを差し込む

(ワークシートの設問と記入例)

ア) 実験4-1と実験4-2において観察したことを書きなさい。

実験4-1

- ・Zn板とCu板を溶液につけると、すぐにプロペラが回転した(1.1V, 20mAの起電力が得られた)。
- ・Zn板上には、Cuが析出しない。Cu板には、Cuが析出した(時間が経過するとZn板の表面は黒くなった)。

実験4-2

- ・加工したポリスポイトでおおうと、プロペラの回転がすぐに止まった。

イ) 実験4-1と実験4-2の結果からわかったことは何ですか。

- ・実験4-1では、電池としての動作を確認でき、起電力もダニエル電池の理論値に近い値が得られた。
- ・実験4-1では、半透膜はイオンが通過するため、電荷が運ばれ全体として閉回路ができあがる。しかし実験4-2では、ポリスポイトで半透膜がおおわれるとイオンの移動が妨げられ、電荷の移動がなくなり、電流は流れなくなり電池として回路が形成されない。したがって半透膜はダニエル電池にとっては、溶液の混合を防ぐだけでなく、イオンの通過という役目ももっていることがわかる。
- ・硫酸亜鉛水溶液中では、 Cu^{2+} が存在しないので、Zn板にCuは析出しないはずであるが、時間が経過するとZn板の表面は黒くなったので、Cuが析出したことがわかった。

ウ) ダニエル電池の原理を確かめるには、次にどのような実験をすればいいですか。

電解質溶液の種類を変えても、電池ができるのか確かめる必要がある。

(5) 実験5 電極と電解質溶液を変えてみよう(図8a,b)

(目的) ダニエル電池において、電極板はCuとZnでないといけないのか。電極の材料を変えた場合や、溶液の種類を変えた場合の結果を予想しながら実験結果を確認する。

(方法) 1 mol/Lの MgSO_4 水溶液と NiSO_4 水溶液を調製する。

同じ大きさの電極(Ni, Mg板)を用いて、Zn/ ZnSO_4 の代わりに Mg/MgSO_4 、 Cu/CuSO_4 の代わりに Ni/NiSO_4 の構成でダニエル電池を作製する(図8a)。

(ワークシートの設問と記入例)

ア) プロペラモーターの動作確認をしなさい。電極板の表面の状態を観察しなさい。

- ・プロペラモーターの回転が確認できた(理論値に近い1.1V 20mAの起電力が得られた)。
- ・放電後においては、Mg板の表面は変色していた(図8b)。

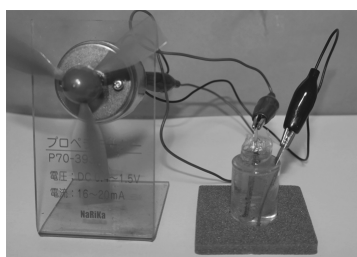


図8 a) Mg/MgSO_4 と Ni/NiSO_4 で構成したダニエル電池



b) 放電後の電極表面の変化

イ) 実験結果からわかったことは何ですか。

- ・ NiSO_4 水溶液に Ni 板, MgSO_4 水溶液に Mg 板をいれても, 通常のダニエル電池と同じように起電力が得られ, プロペラが回転した。
- ・ イオン化傾向の順で考えると $\text{Mg} > \text{Zn} > \text{Ni} > (\text{H}_2) > \text{Cu}$ となり, 電極として Mg と Ni を用いても, 起電力が生じたと考えられる。

(6) 実験 6 Cu 板の代わりに炭素棒を用いる (図 9a, b, c)

(目的) Cu 板の代わりに使える電極の材料を考え, 電池ができるかを確かめる。また, Cu 板の上に析出する Cu の観察がむつかしいので, Cu の析出を確認できる方法を考える。

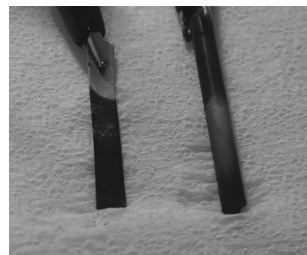
(方法) Cu 板の代わりに「炭素棒」を使って, 実験 4-1 と同じ条件で行う。



図 9 a) 放電の様子



b) 放電前の電極表面



c) 放電後の電極表面

(ワークシートの設問と記入例)

ア) 炭素棒の表面の状態を観察しなさい。またプロペラの動作を確認しなさい。

- ・ 炭素棒の表面に銅が析出した。
- ・ 金属色から Cu が析出していることが容易に確認できた。
- ・ プロペラの回転も認められ, 2 時間以上動作 (1.1 V, 25~30 mA) した。

イ) 実験結果からわかったことは何ですか。

- ・ 電極は Cu 以外でも起電力が得られた。
- ・ イオン化傾向の大小から判断して, Cu と同じように水素よりも還元されやすい (電子をもらいやすい材料であれば可能である)。Ag や Au も可能であるが, 安価で入手可能な炭素も同じ程度に酸化されにくい性質をもっているため, 電極として用いることができる。

(7) 実験 7 コールドスプレーによる冷却の効果 (図 10)

(目的) 実験 4 で作製したダニエル電池の電解槽 (ガラス容器) をコールドスプレーにより外部から冷却する。冷却による起電力の変化をプロペラモーターの回転の違いにより確認する。

(方法) ①ダニエル電池のガラス容器に向けて, 電解槽から約 2 cm を離して, コールドスプレーを噴射する (図 10)。プロペラの回転の様子を観察する。約 1 分間噴射する。②しばらく放置して, 室温近くまでになったらプロペラモーターの回転を再度, 確かめる。

(ワークシートの設問と記入例)

ア) コールドスプレーで噴射した後, プロペラの動作を確認しなさい。

- ・ コールドスプレーを電解槽に向けて噴射して, しばらくするとプロペラの回転が止まった。電解槽の表面は白くなっていた。
- ・ 回転が止まって, そのまま放置しておくと, しばらくして再びプロペラが回転をはじめた。時間がたつと, コールドスプレーを噴射する前と同じくらいの速さでプロペラがまわった。

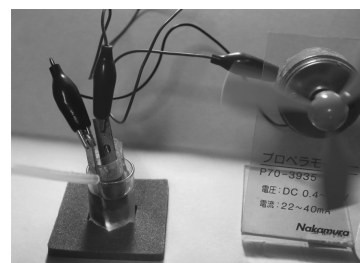


図 10 コールドスプレーによる冷却

イ) 実験結果からわかったことは何ですか。

- ・ 温度が低くなると, すぐに起電力が低下した。
- ・ ダニエル電池の Zn 板や Cu 板の表面, 電解液でおこっている化学反応が, 温度の低下により進まなくなることがわかった。

Ⅲ. 授業実践

開発したダニエル電池の教材実験と実験1～7で構成する探究的授業デザインを基に、授業実践①教員志望の大学生、及び授業実践②ひらめき☆ときめきサイエンス（JSPS 主催、科研費による研究成果の社会還元事業）に参加の中学生を対象に実践を行い、教材実験としての有効性及び授業デザインの展開の良否について確認した。

1. 授業実践①について

1) 実践の概要

教員志望大学生14名を対象に、2019年5月に2回にわたり授業実践を行った。Ⅱ. 教材開発で述べた「ダニエル電池の原理を考えるための実験」として開発した実験1～実験6について行った。マイクロスケール実験の意義と開発の経緯、教材実験の趣旨、さらに意見交換も含めた授業実践を行ったが、合計時間は100分を超えた。授業時間の制約で実験7は行っていない。実験後にアンケート調査を行い、教材実験の評価の分析、今後の検討課題の抽出を行った。この実践では① 実験を通してダニエル電池に対する疑問を解決できたか、② ダニエル電池の動作原理を考えるのにどの実験が最も有効であったか、③ 実験結果を明瞭に確認できたか、④ 実験操作を安全に行えたかの4点について検討した。尚、専門科目の授業の一環として、エネルギーと化学反応の関係を講義する中で、電池を例に演習として一人ひとつの器具を準備して個別実験の形で行った。

2) 実践の様子

図11では、実験3において導線でプロペラにつないだCu板とZn板を硫酸銅(II)水溶液に浸けようとしている。図12は実験4-2において、半透膜のビスキングチューブを加工したポリスポイトで覆うことによりプロペラの回転が停止したところを示す。図13は、電極の材料と電解質溶液を代えて行う実験5の様子を示し、電池の負極側はMg/MgSO₄ (1 mol/L)、正極側はNi/NiSO₄ (1 mol/L) で構成している。

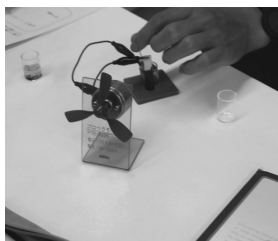


図11 半透膜をおおうとプロペラの回転が停止

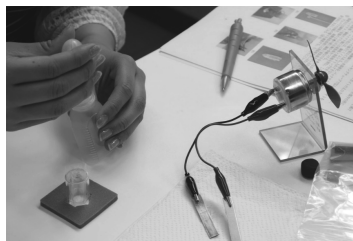


図12 亜鉛板と銅板を接続して硫酸銅(II)水溶液につける



図13 電極と電解質溶液を代えて構成

3) アンケート結果とまとめ

実験前に「ダニエル電池に対する疑問や印象」についてアンケート調査をした結果、自由記述の欄には次の点があげられた。

- ・素焼き板をイオンが通りぬけていくのがよくわからない。
- ・ボルタ電池より複雑で理解せず暗記していた。
- ・極板や電解質溶液に対する印象がうすい。

すでに実験をした経験のある者は、演習実験を含めても14人中3人であり、座学により持った印象も含まれている。また本授業で体験した実験のうち、「ダニエル電池の動作原理を考えるのにどの実験が最も有効であったか」の設問②に対する回答のまとめを表1に示す。複数選択を可として回答を求めたが、実験3, 4, 6の3種類の体験が有効であるという結果が得られた。実験4によりダニエル電池の原理を考える上で、最も重要な半透膜の役割や電子の流れに対する疑問が払拭されたと考えられる。また陽極の活物質が電極材料であるCuではないことに気づかせる実験6は、受講生に意外性を与えたと考えられる。尚、実験7（コールドスプレーによる冷却の効果）は、本実践では実施することはできずアンケート結果には含まれていない。

表1 アンケート結果（設問②に対する回答件数，N=14，複数回答）

実験番号	実験内容	件数
実験4	ダニエル電池の作製と半透膜の役割を確かめよう	4
実験6	Cu板の代わりに炭素棒を用いる	4
実験3	電子の流れを確認しよう	4
実験1	Zn板および銅Cu板と硫酸銅(II)水溶液の反応を調べる	2
実験2	ZnとCuのイオン化傾向の違い	1

アンケートにおいて、「今回の授業に対する感想」を求めたが、その記述の一部を以下に示す。

- ・自分でやってみて、電子の流れや原理がよくわかった。
- ・こんなに簡単にダニエル電池ができることが驚き。
- 電池学習の嫌な印象がなくなった。
- ・ダニエル電池は「こういうもの」としか考えていなかったのだから、幅が広がった感じがした。
- 知識のうえつけでなく、全体像をつかむ指導が大事だと思った。
- ・教育実習でも使ってみよう。

2. 授業実践②について

1) 実践の概要と様子

ひらめき☆ときめきサイエンス（JSPS 主催）に参加の中学生（20名）を対象に、2019年7月四天王寺大学において実践を行った。受講生は中学校1～3年にわたり、実験経験も多様であったが、特徴として実験に対する興味・関心が高くまた積極的な探究的態度が散見されたことである。中学生が対象であること、90分の時間内での実施を踏まえ、実験5と7は割愛した。実験は一人ひとつの実験器具による個別実験で、発表会や実験中の協力は4人1班の構成で行った。また実験中は、大学生によるTAを各班に配置して、実験に慣れていない受講生にも対応し、安全な操作を優先した。実験中の様子を図14a, b, cに示す。図14cは、タブレットを使い観察結果を動画・静止画で記録を行っているが、終了後の発表会の資料としても活用した。



図14 a) 亜鉛板を硫酸銅(II)水溶液につける



b) 半透膜をおおうとプロペラの回転が停止



c) タブレットにより動作を動画で記録

2) 観察結果及びアンケート結果

今回は個別実験により実験中の観察と考察の深まりについても注目した。実験中にワークシートに記録された観察結果より抜粋した例を以下に示す。表現は原文のままであるが、()内は筆者による補筆を示す。

(実験1と2より 亜鉛板の変化について)

- ・亜鉛板と銅板をつないで硫酸銅につけると、亜鉛板は黒く変色して光沢を失い、銅板はさらに光沢がでた。
- ・亜鉛板はザラザラしている。
- ・つけたところだけ黒くなり、熱がでた。
- ・(亜鉛板を) ふきとると赤茶色のものがとれて、黒いところはザラザラしている。亜鉛は溶けた。

(実験4より 半透膜について)

- ・(半透膜をふさぐと) 急にとまった。ビスキングチューブは何かをとおすと思う。
- ・半透膜があるのに、反応するのはなぜなのだろうか。まどを閉じると反応がしなくなった。半透膜はイオンをとおすから反応した
- ・まどをかくすと回らなくなるのは、窓から何か電気のようなものが流れているから。

(実験6より 銅板の代わりに炭素棒を用いたことについて)

- ・銅板がなくても炭素棒でも実験できる。炭素棒のほうが安価で銅である必要はない。
- ・炭素棒は銅と同じ役割をする。
- ・太い炭素棒では、プロペラははやく回った。シャーペンの芯では全く回らなかったが、両方とも

表面は銅色になったので、反応していることは分かった。

(その他)

・硫酸銅の色がうすくなり、とうめいに近くなっている。・オルゴールは線を逆につなぐと音がならない。
以上の記述より、個別実験をとおして観察が詳細になっていることがわかる。

IV. まとめと今後の課題

今回の実践では、事前にダニエル電池に対して生徒が持つ疑問点のいくつかを想定して、それらを解決するための実験テーマをもとに、理解を助けるための順序性も考慮して、授業展開を検討した。教員志望の大学生及び中学生を対象に実践を行った結果、①疑問点に沿った探究的な実験プロセスに興味・関心を持たせること、②ダニエル電池の動作原理を考えるための授業デザインの有効性については確認できた。特に電極板の種類や組み合わせ、電解質溶液の種類を代える実験は、ダニエル電池の原理を考える上で有効であることがわかった。今回の小規模な実践の結果を踏まえて、今後は、通常の授業の中での実践を目指して授業デザインの改良が必要である。また授業デザインの目指す趣旨の実現性を検証するためにも、統計的にも母数を増やした実践による検証が必要である。

謝辞・附記

本論文は、日本理科教育学会全国大会（2019年8月：静岡大学）、及び同近畿支部大会（2019年12月：和歌山大学教育学部）で発表した内容について、加筆・再構成したものである。

本研究は、JSPS 科研費（平成29～31年度基盤研究C、課題番号17K01028 代表者 芝原寛泰及び平成31～令和4年度基盤研究C、課題番号19K02692 代表者 佐藤美子）の助成を受け実施された。

引用文献

- 1) 文部科学省（2017）『中学校学習指導要領－理科編－』
- 2) 文部科学省（2008）『中学校学習指導要領－理科編－』
- 3) 日本化学会編（渡部 正，中林誠一郎著）（2002）『電子移動の化学－電気化学入門』朝倉書店，全186p
- 4) 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，全131p
同英訳版 H. Shibahara and Y. Sato (2016) 『Microscale Experiment-Environment Conscious Science Experiment』オーム社，全118p
- 5) 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，Vol. 53, No. 1, 61-67
- 6) 奥野晃久，芝原寛泰（2009）「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、Vol. 51 No. 1, 23-29,
- 7) 文部科学省（2017）『中学校学習指導要領－理科編－』解説
- 8) 文部科学省（2008）『中学校学習指導要領－理科編－』解説
- 9) 芝原寛泰，佐藤美子（2019）「ダニエル電池の原理を探究するマイクロスケール実験－中学校理科への導入をふまえて－」日本理科教育学会全国大会課題研究発表（静岡大学），発表論文集 57
- 10) 例えば，B.Z. Shakhshiri, 池本 薫訳（2000）『教師のための化学実験ケミカルデモンストレーション7 電気化学』丸善，全206p
- 11) ナリカ K.K 総合カタログ 2019-20 年度版，423，ケニス K.K 理科機器カタログ 2019-20 年版，525
- 12) 森本信也編著（2017）『理科授業をデザインする 理論とその展開』東洋館出版社，全263p