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—

佐藤 美子¹
芝原 寛泰²

【要 約】

マイクロスケール実験は環境に配慮した実験、個別化による「考える力の育成」に有効な実験として、教材開発と授業実践の報告を行ってきた。本研究では、環境分析等で一般に利用される、側面が透明なパックテスト容器を電解槽として、電極付近の化学現象の詳細な観察を可能にする教材実験の開発を行った。中学校理科の塩化銅(Ⅱ)水溶液の電気分解・金属の組合せと反応の違いの実験を扱った授業実践を行い、開発した教材実験の有効性と問題点について検証した。授業においては、実験計画、実験記録、話し合いによる考察、結果の発表等の「考える力の育成」を図る実験活動を展開した。パックテスト容器を用いたマイクロスケール実験の教材が、考える力を育成する実験活動を行う上で有効であることを、授業実践時の生徒の活動、ワークシートの分析およびアンケート結果より確認した。

【キーワード】 マイクロスケール実験、考える力の育成、電池・電気分解実験、パックテスト容器

1. はじめに

マイクロスケール実験¹⁾は、実験器具の小型化に伴う試薬の少量化と廃液量の削減により、環境に配慮した実験として中学校学習指導要領解説理科編²⁾にもその活用が推奨されている。さらに操作の簡略化により、実験時間が短縮され、実験後の考察時間を確保でき、また実験内容によっては4人、2人さらに1人へと実験形態を個別化することも可能である。マイクロスケール実験は、生徒一人一人の積極的な活動場面を増やすことで、考える力を引き出し、実験に対する責任感とコミュニケーション能力を養う1つの方法だと考える³⁻⁵⁾。

2009年の国際学力調査PISA⁶⁾の結果より、生徒が社会生活上必要とする「思考力」「判断力」「表現力」の獲得に注目が集まったが、これを反映して理科の教科では科学リテラシーの育成が必要とされている。そこで科学リテラシーの獲得に向けて、これらの科学的思考力・判断力・表現力を培うための「考える力の育成」をテーマに、実験活動の中にマイクロスケール実験を積極的に取り入れ、実践報告を

行ってきた³⁻⁵⁾。

考える力の育成を目指した効果的な実験活動を実施する条件は、①適切な実験器具と方法 ②考察時間の確保 ③考察の適切な展開 である。特に用いる実験器具の性能(使い勝手を含む)は重要で、器具の改良によりマイクロスケール実験の有効性を高めることを目指した。

そこで基本となる実験器具として、水質調査等で利用されている、無色透明のパックテスト^註のチューブを立てるためのカップ(図1, 1×2×2.5 cm, ポリスチレン製, 容量約4 mL, 単価50円, 以下、パックテスト容器と呼ぶ)を採用し、実験内容に応じて

図1 パックテスト容器

¹ 神戸大学附属中等教育学校住吉校舎

² 京都教育大学

改良した。パックテスト容器を電解槽として用いた電池・電気分解等のマイクロスケール実験として、1) 塩化銅(Ⅱ)水溶液の電気分解、2) 金属の組み合わせと反応の違いの2つのテーマを扱った。用いた実験器具⁷⁾と授業実践の様子を紹介する⁵⁾。

2. 研究目的

電池・電気分解のマイクロスケール実験では、これまで電解槽として主にプラスチック製のセルプレートや分光セルが使用されてきた⁸⁻¹¹⁾。塩化銅(Ⅱ)水溶液の電気分解実験を例に比較すると、セルプレートでは反応中の電極付近を観察する事が難しく、電極を引き上げて観察する必要があった(図2)¹¹⁾。分光セル(図3左)では、その点が改良され、電極付近の観察が反応中でも可能になり、電子やイオンの動きについても考察を促す教材となった¹¹⁾。しかし、分光セルは倒れやすく、また電極の炭素棒が接近しているため接触、あるいは折れやすい等の問題点も残されていた。

そこで、パックテスト容器(図3右)を使用したマイクロスケール実験の教材器具を開発し、問題点を改良した。さらに、中学3年生を対象に授業実践を行い、開発した教材実験が、考察を重視した実験活動を支え、考える力の育成につながるかについて検討した。

3. 実験内容

3.1 塩化銅(Ⅱ)水溶液の電気分解

電気分解実験の電解質溶液として、多くの教科書で取り扱われている塩化銅(Ⅱ)水溶液を用いる。青色の塩化銅(Ⅱ)水溶液は、電気を通すと色が薄くなり、炭素棒の陽極(プラス極)からは塩素が発生し、陰極(マイナス極)には赤褐色の銅金属が付着する。以下に反応式で示す。

ここでは教科書に従い、電子を $\ominus$ 表す。実験に先立って、塩化銅(Ⅱ)水溶液が何に分解されるかを予想させるが、実験では、次の2点を必ず指導する。
①プラス極での気体の発生、マイナス極での物質の付着を肉眼で確認する。

②発生する気体が塩素であることを確認する。

従って電解槽のパックテスト容器には、この2点について生徒自らが確認できる器具であることが求められる。

【準備物】

パックテスト容器・炭素電極(2×30 mm)・食紅で染めたる紙(7×20 mm)・ミノムシクリップ・プラスチック棒・USB電源¹²⁾・投薬ビンに入れた6%塩化銅(Ⅱ)水溶液

尚、パックテスト容器のふたに直径2 mmの穴をあけ、ホルダー芯をさしこみ炭素電極とした(図4)。また、気体が放出する小さい穴を両極間のふたの中央に開けておく。

【実験手順】

1. 6%塩化銅(Ⅱ)水溶液をパックテスト容器に約2/3ほど入れる。
2. 炭素電極を差し込んだふたを取り付け、炭素電極にミノムシクリップでUSB電源とつなぎ、電極付近の変化を観察する(図5)。
3. 炭素棒の間に開けた穴の上に食紅で染めたる紙をおき、塩素の発生によるろ紙の色変化を確認する(図5)。

尚、実験に用いた塩化銅(Ⅱ)水溶液は有毒であるので、投薬ビンに入れることにより、生徒が直接に溶液に触れる機会を少なくしている。実験中には、わずかに塩素気体の刺激臭があるので換気には注意が必要である。廃液もパックテスト容器ごと、また実験後の炭素棒もそのまま回収し、教員側で事後に

図2 セルプレートによる電解槽

図3 左：分光セル
右：パックテスト容器

図4 加工したふた

図5 電極付近の変化と脱色作用を同時に観察

処理をする。また、一連の実験においては、安全めがねの着用も義務付けている。

以上のパックテスト容器を用いた実験方法により、次の点で改善がみられた。まず、図4のように専用台（分光セル台の裏側）を用いて安定させた。また容器内で電極の炭素棒が接触することなく、同時に電気分解中の電極表面の変化が非常に見やすくなった。すなわち、図5の左側電極（+）においては塩素の発生が、右側電極（-）においては銅が樹枝状になって析出する様子が明瞭に観察できるようになった。さらに塩素に関わる脱色作用を容易に確認できるようになった。分光セルを用いた場合¹¹⁾、実験後にふたをとってろ紙をのせ観察したが、本法では電気分解と同時に、ふたをはずす必要もなく、脱色反応が観察でき実験時間の短縮につながった。

3.2 金属の組み合わせと反応の違い

電解質溶液に2種類の異なる金属を入れると化学変化が起こり、電気エネルギーをとりだすことができる。2種類の金属の組み合わせによって、反応の様子が異なることを実験により確かめる。

【実験1】金属の希塩酸中での反応

電極表面の比較観察が可能な様に、パックテスト容器のふたに、カッターナイフで金属板が通るように斜めに切り込みを入れる（図6）。図7のように、3種類の代表的な金属板（銅、亜鉛、マグネシウム）を、パックテスト容器のふたの切り込みに差し、容器中の希塩酸に浸け、気体発生の様子を観察し、金属の性質の違いを調べる。尚、亜鉛やマグネシウムではイオン化傾向が大きく、たとえば亜鉛では、以下の反応により、希塩酸中で水素の発生が確認できる。

【準備物】

パックテスト容器・銅板・亜鉛板・マグネシウム板（2.5×0.7 cm）・4%塩酸・電子メロディー

【実験手順】

1. パックテスト容器に2/3ほど4%塩酸をいれる。

図6 容器のふたに斜めにいれた切り込み

2. 金属板を差し込んだパックテスト容器のふたをする（図7）。

【実験2】金属の組み合わせと反応の違い

電解質水溶液に電極として2種類の金属を入れると、電気エネルギーを取り出すことができる。2種類の金属の反応性（酸化のされやすさ）が異なると、組み合わせによって、生じる電圧に差ができる。組み合わせをかえ、起電力の違いを電子メロディーの音量で確かめる。化学エネルギーが電気エネルギーに変換されることを知り、電池の学習に発展させる。

【準備物】実験1で用いた3種類の金属板・4%塩酸・電子メロディー・ミノムシクリップ

【実験方法】

1. パックテスト容器に2/3ほど4%塩酸を入れる。
2. 図8のように3通りの金属の組み合わせ（銅—銅、亜鉛—銅、マグネシウム—銅）により電極板を用意する。金属板を希塩酸の入ったパックテスト容器にいれ、電子メロディーにつなぎ音量の違いを調べる。

実験結果より、銅—銅の組み合わせでは反応は見られず、マグネシウム—銅の組み合わせで最も電子メロディーの音量が大きくなることを確認した。この結果について、実験1の結果も参考に、反応性の大きさが「マグネシウム>亜鉛>銅」の順であることを参考に考察を進めた。また、亜鉛と銅の両電極の組合せは、発展的にレモン電池等の学習につながることも示唆した。

図7 左から希塩酸中にいれた 銅、亜鉛、マグネシウムの金属板

図8 電子メロディーの音量の違いを調べる

4. 授業実践

神戸大学附属住吉中学校3年生の3クラス124名を対象に、2010年9月～11月に単元「化学変化とその利用」の学習において、開発した3種類の実験方法を含む一連の実験を行った。以下の1)は生徒実験による50分授業、2)は、部分的な演示実験と生徒実験の2種類、およびクラス討論とまとめを50分授業で行った。生徒実験は2人1組で個別に実施した。授業の様子やその後の考察と言語活動の実践から、3種類のマイクロスケール実験教材が、考える力の育成に効果があるかどうかを検証した。尚、授業では3～4人を1つのグループとして小集団、2つ合わせた小集団を班と呼ぶ。したがって、1クラスは5班10小集団で構成されている。

1) 塩化銅(Ⅱ)水溶液の電気分解

図5の器具を用い、USB電源の代わりに手回し発電機によりエネルギー変換を体験する実験を導入として、復習を兼ねて2人1組で行った(図9)。どの生徒も精一杯発電機を回し、自分で電気分解をしているという実感をもって、活気づく実験となった。

図10は実験後の生徒の記述である。手回し発電機の運動エネルギーが電気エネルギーに、さらに化学エネルギーへと変換され電気分解が行われたこと、

図9 手回し発電機による塩化銅(Ⅱ)水溶液の電気分解

図10 生徒の実験結果の記述

またプラス極とマイナス極での反応から、電子の授受による物質の生成をモデルで示している(⊖は教科書に従い電子を表す)。イオンの存在に気付き、自らの概念を図示することで整理し明確にしている。塩化銅(Ⅱ)水溶液の電気分解では、バックテスト容器を用いた結果、分光セルを容器に用いた場合に比べ、両電極付近の様子が詳細に同時に観察できることが、図10のような考察につながったと考えられる。

2) 金属の組み合わせと反応の違い

図7の器具を用いた演示実験により、3種類の金属の性質を確認後、2人1組の実験で図8のように、電子メロディーが最も大きく鳴る金属の組み合わせを予想しながら違いを調べた。授業展開を次に示す。

①金属板を代えて音量を調べる—2人1組での活動—

②実験結果を記録する—個別で作業—

③話し合い、考察を行う—小集団の活動—

④考察結果の揭示と発表—クラス全体の活動—

図11(左)は、個別に実験結果を記録しているところ、図11(右)は、小集団による活動の様子を示す。

また、図12は、考察結果を提示して、クラス全体で発表・討論を行っている様子である。

図13は、ある生徒が授業終了後に作成した「化学新聞」の一部である。「化学新聞」は各生徒が実験だけでなく、さらに自ら調べた発展的な内容も含めて、他者にわかりやすく伝達することを意識し、工夫し

図11 個別に実験結果を記録する様子(左)と小集団での活動(右)

＜考察＞
実験結果から、2種類の異なる金属の場合に音が鳴るが、電極にも関係があった。

また、金属の溶けやすさによって、電流の強さが変化した。

1位	Cu	Mg
2位	Cu	Zn

図12 考察結果とクラス発表での全体

てまとめクラス内で発行したものである。すでに学習した金属板による電池の仕組みから身近なレモン電池の仕組みを推察していることが分かる。

3) アンケート結果のまとめ

授業後にアンケート調査を行った。アンケートの質問項目として、①パックテスト容器の使いやすさ(分光セル容器と比較して)、②やりやすい実験形態について(4人、2人1組、1人で実施する場合の比較)、③感想(実験内容の理解度、実験に対する意識の変化、実験上の問題点など)の3つを主に提示した。尚、受講生らは2年次に分光セルによる塩化銅(Ⅱ)水溶液の実験¹¹⁾を、別の単位において体験済みである。アンケート調査の結果を図14に示す。調査項目①と②の回答について受講生119名の分布を示している。調査項目①に関しては、パックテスト容器の使いやすさは8割以上の支持で高く、従来の分光セルに比べて優れている点として、

- ・器具の準備が楽である
- ・炭素棒に銅が付着する様子が観察しやすい
- ・塩素気体の発生や脱色の様子を短時間に観察できる

図13 レモン電池についてまとめた「化学新聞」

図14 容器の使いやすさ、やりやすい実験形態に関するアンケート結果

ることなどがあげられた。しかし、改善点として、さらに安定性のある容器スタンドが必要との意見もあった。調査項目②については、2人1組の実験形態を支持する生徒は7割以上と多く、その理由として

- ・2人で協力してから集団で協力する方が深く理解できると思う
- ・4人だとあまり実験に関われないし、1人だとちょっと心細い
- ・小集団で複数のデータを比較することは重要
- ・4人は多すぎるし、1人は迷ったときに困る、2人なら失敗してもどっちかが気づく、ペアで協力するのが一番効率が良い

という記述があった。また生徒の実験後の感想にも、「図を描くだけで理解しにくかった電池の仕組みを、実験して見ることで理解できてよかった」とあり、パックテスト容器を用いた2人1組の実験では、一人一人が必然的に実験器具に触れ、操作し、取り組むため、電池の仕組みを知るという目的意識も明確となり、理解と満足感につながったことがうかがえる。

5. 結論と今後の課題

本研究では、パックテスト容器を用いた電池・電気分解用の実験器具を開発し授業実践を行った。すでに開発した分光セル容器¹¹⁾に比べて、器具が使いやすくなったこと、電極の炭素棒の接触が無くなったこと、気体の発生が同時に観察できたこと、操作を簡略化できたことなど器具の改善の効果が大幅に認められた。その一方、器具の安定性については今後さらに検討が必要である。

実験後の廃液量について概算したところ、塩化銅(Ⅱ)水溶液の電気分解実験では、2人1組でパックテスト容器を用いたマイクロスケール実験を実施すると、40人クラスの場合、1回3mLで総計60mLとなるが、通常スケールにより4人1組で行うと、1回で160mLとすると、総量1600mLとなる。すなわち廃液量は約1/25に削減されたことになる。他の実験テーマでもほぼ同じ程度の削減効果が認められた。

授業実践で取りあげた実験では、電極表面における気体発生、析出物の詳細な観察が重要となる。すなわち電気分解等の実験においては、その原理を科学的に考えるためには、電極表面や溶液の色の変化などの詳細な観察が基礎になる。一方、通常スケールの実験では、個別実験による詳細な観察は不可能である。

一方、マイクロスケール実験の導入により、実験時間の短縮が可能になり、多様な実験形態による授業展開の工夫と考察時間の確保が実現した。具体的には、4人の小集団で2つの実験データを持ち寄り、話し合った結果をまとめる（小集団の討論）ことや、わかりやすく結果を伝え、さらにはグループ発表を取り入れるなど、考える力の育成につながる言語活動を重視した授業展開が実現できた。50分授業の中に、実験活動とクラス討論、まとめが収まることは大きな意義があると考ええる。すなわち、「考える力」の育成を目指す実験授業には、マイクロスケール実験の手法は有効であり、またバックテスト容器はそれを具体的に実現するのに適した電解槽の容器であると考えられる。

また、各生徒が授業後にまとめとして作成した「化学新聞」は、他者に伝達することを意識して、わかりやすく自らの言葉で整理し表現している。新聞づくりに対する生徒の感想には「自分がしっかりと理解しないといけないので、難しかったけれど、楽しく作れたので良かった。これからも理解を深め、頑張っていきたいです。」と記されている。新聞づくりは、主体的な取り組みと考える力の育成を促すためには、非常に重要な意識付けであると言える。

以上より、生徒自身による学習のまとめ（図10, 12, 13など）やアンケート結果（図14）からも、観察が容易なバックテスト容器を主に用いたマイクロスケール実験による実験活動を取り入れることにより、「考える力の育成」を図る授業展開が可能であることがわかった。

註）「バックテスト」は共立理化学研究所の登録商標

【謝辞・附記】

実験結果の記録にはカシオ計算機K.Kの協力の下、ハイスピードカメラにより撮影した。謝意を表します。

本論文は、日本理科教育学会近畿支部大会（2010年11月：京都教育大学）において発表した内容について、加筆・再構成したものである

本研究は科研費（基盤研究C 課題番号 23501016 代表者 芝原寛泰）により実施された。

参考文献

- 1) 日本化学会編：「マイクロスケール実験の広場」, 45 pp., 2003
- 2) 文部科学省：「中学校学習指導要領解説理科編」, p. 110, 2008, 大日本図書
- 3) 佐藤美子, 芝原寛泰：「考える力の育成を目指す生徒による実験プランニング」, 京都教育大学教育実研究紀要, 第10号, pp. 71-80, 2010
- 4) 佐藤美子, 芝原寛泰：「環境にやさしい理科教育実験—中学校理科におけるマイクロスケール実験の実践例—」, 京都教育大学環境教育実践年報, 第17号, pp. 15-27, 2009
- 5) 佐藤美子, 芝原寛泰：「バックテスト容器を用いた電池・電気分解実験の教材開発—考える力を育成する実験活動—」, 日本理科教育学会近畿支部大会発表論文集, p. 8, 2011
- 6) OECD：「生徒の学習到達度調査（PISA2009）分析資料集」, 文部科学省ホームページ, 2011
- 7) 芝原寛泰, 佐藤美子著：「マイクロスケール実験—環境にやさしい理科実験」, pp. 131, 2011, オーム社
- 8) Carl B. Bishop, Muriel B. Bishop, Kenneth W. Whitten: Standard and Microscale in General Chemistry Fourth Edition, pp. 323-336, 2000, Saunders College Publishing
- 9) 荻野和子・東海林恵子：「高校化学におけるスモールスケール生徒実験—簡単にできる電気分解の実験」, 化学と教育, vol. 46, No. 11, pp. 742-743, 1998
- 10) 東海林恵子・荻野和子：「電池に関するいくつかのスモールスケール実験」 化学と教育, vol. 49, No. 11, pp. 712-713, 2001
- 11) 奥野晃久, 芝原寛泰：「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, pp. 23-29, 2009
- 12) 芝原寛泰：「中学理科におけるマイクロスケール実験の活用」, 中学理科通信 2006 秋号, pp. 8-16, 2006, 教育出版

（2011年7月4日受付, 2011年12月26日受理）

Development of Teaching Materials and Report of Class on Micro-scale Experiments using the Pack-Test Container for Cell and Electrolysis Experiments —Aiming at Experiments to Improve Critical Thinking Abilities of Students—

Yoshiko SATO¹, Hiroyasu SHIBAHARA²

¹ Secondary School Attached to Kobe University

² Kyoto University of Education

SUMMARY

In this paper, we report that a micro-scale experiment is an effective method not only for the protection of the environment, but also for the improvement of students' critical thinking abilities. We developed a junior high school science lab experiment using a new plastic container with transparent sides (called a Pack-Test container) that allows detailed observation of chemical phenomena around the electrodes during classroom lab experiments with cells and electrolysis. Using the teaching materials we developed for cell and electrolyzing experiments, several classes for junior high school students were conducted. From a questionnaire and written responses, we found that the present teaching materials have the efficacy to cultivate and improve students' scientific abilities to hypothesize, analyze, and explain through observing chemical reactions near the electrodes.

<Key words> Micro-scale Experiments, Thinking Abilities, Cell and Electrolysis, Pack-Test Container