

2015および2016年に神戸女学院大学で女子高校生を対象に
実施したマイクロスケール実験の授業実践
—12ウェルプレートを用いたボルタ、ダニエル、鉛蓄電池の作製—

中 川 徹 夫

Practical Lessons on Microscale Experiments for Senior High School Female Students
at Kobe College during 2015 and 2016:

Making Voltaic and Daniell Cells, and a Lead Storage Battery using 12-well Plates

NAKAGAWA Tetsuo

神戸女学院大学 人間科学部 環境・バイオサイエンス学科 教授

連絡先：中川徹夫 〒662-8505 西宮市岡田山4-1 神戸女学院大学人間科学部
環境・バイオサイエンス学科

nakagawa@mail.kobe-c.ac.jp

Summary

The purpose of this paper is to examine the validity of our revised teaching materials on microscale experiments of cells through practical lessons. Microscale experiments are the most useful and informative tools for high school science. In Japan, concepts related to cells and batteries are taught in high school chemistry, and therefore, we are interested in developing and improving their teaching materials using microscale experiment methods. We have already improved the teaching materials on cells proposed by Shoji and Ogino. Our revised teaching materials enable you to make voltaic and Daniell cells, as well as a lead storage battery in a 12-well plate. Using our teaching materials, we have performed three practical lessons on microscale experiments of cells for senior high school female students at Kobe College during 2015–2016. All students that took these lessons performed the experiments steadily, finished them completely, and understood them sufficiently. Our teaching materials allowed a shortened experiment time and a reduction in the amount of reagents compared to the normal-sized ones. The questionnaires on the practical lessons suggested that many students highly rated our practical lessons and microscale experiments. Consequently, we conclude that our teaching materials are useful for high school chemistry education.

Keywords: microscale experiment, practical lesson, voltaic cell, Daniell cell, lead storage battery

要 旨

本論文では、授業実践を通して、著者が改良した電池に関するマイクロスケール実験教材の有用性を検証する。マイクロスケール実験は、学校現場の理科授業において最も有用な手法の一つである。電池は、中学校理科や高等学校化学で扱われる。そこで、マイクロスケール実験の視点から電池に関する教材開発や改良を行うことは興味深い。我々はすでに、東海林と荻野が提案した電池に関するマイクロスケール実験教材を改良した。本教材を使用すれば、ボルタ電池、ダニエル電池、鉛蓄電池を、同時に一枚の12ウェルプレート内で作製できる。2015および2016年に神戸女学院大学にて、本教材を用いた授業実践を、女子高校生を対象に3回実施した。いずれの場合も、参加者は熱心に授業を聞き、実験に取り組んだ。そして、参加者全員が電池を作製できた。本教材は、実験時間を短縮でき、使用する試薬の量を減少させることもできた。また、参加者のアンケート結果からも、今回の授業実践やマイクロスケール実験を評価する回答が多く得られた。これらより、本教材は、高校化学教育にとって有用であると結論できる。

キーワード：マイクロスケール実験、授業実践、ボルタ電池、ダニエル電池、鉛蓄電池

1 はじめに

通常実験の規模を縮小させたマイクロスケール実験¹⁾には、使用する試薬量の節減、実験廃棄物の減少、実験時間の短縮、容易かつ迅速に実行可能などの長所がある。近年、マイクロスケール実験に関する研究は、世界各国の化学者や化学教育者を中心に精力的に行われており、実験書も発行されている²⁻⁴⁾。文部科学省の中学校学習指導要領解説理科編⁵⁾や高等学校学習指導要領解説理科編理数編⁶⁾にも、マイクロスケール実験に関する記述が見られる。

電池については、中学校理科第1分野の「水溶液とイオン」⁷⁾や、高校化学の「化学反応とエネルギー」⁸⁾で取り扱われる。とりわけ高校化学の教科書では、電池に関する詳細な記述が見られる^{9,10)}。このように、電池は中学校理科や高校化学で扱われる重要な単元の一つである。それゆえ、電池に関するマイクロスケール実験教材の開発・改良や授業実践は、理科教育や化学教育の視点からも興味深い。

東海林と荻野は、12ウェルプレート（組織培養用プレート、セルプレート）を用いて電池に関するマイクロスケール実験教材を開発した¹¹⁾。東海林らの方法は、試薬の節減や実験時間の短縮の視点からは非常に優れている反面、電極を手で支えなければならず、操作が難しいという問題点があった。

著者は、当初電池のマイクロスケール実験を、東海林らの方法に倣い、電極を手で支えて実施していた。しかし、常時電極を支えることで他の実験操作が難しいことを実感した。そこで、12ウェルプレートの蓋を加工して電極用の穴を開け、実験時に電極が固定できるように工夫した¹²⁾。プレートの蓋は透明であるため、内部の様子が分かり、水溶液の飛沫が実験者にかかる心配もない。当初はこの加工作業を、著者の研究室に所属する嘱託教学職員が担当した。しかし、本学で高校生を招いて実施する模擬授業や、高等学校へ出向いて実施する訪問授業などで、多くの生徒を対象にする場合、数枚のプレートでは不十分である。そこで、通常の35～40名程度のクラスで、個別実験として実施する授業でも対応できるように、業者にプレートの蓋の加工を依頼した¹³⁾。

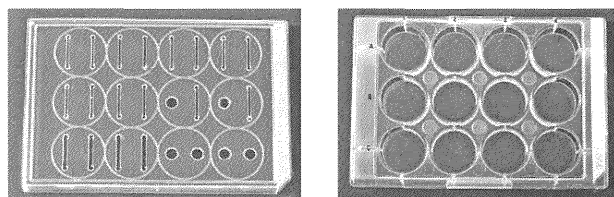


図1 12ウェルプレート¹³⁾

左図は加工した蓋、右図は本体。

12ウェルプレートの加工した蓋と本体を図1に示す。2013および2014年度に、本教材を用いて高校生を対象とした電池に関するマイクロスケール実験の授業実践を2回実施した。その結果、全員が実験に真剣に取り組み、定められた時間内にきちんと電池を制作し、結果を記録して、実験を終了させることができた¹³⁾。

本教材の有用性の確証を得るためには、授業実践を反復して実施する必要がある。実験に対する参加者の取り組みの様子、実験レポート（または実験シート）の記述内容、あるいは事後アンケートの結果などから、教材としての有用性を総合的に判断できる。

遺憾ながら、わが国における児童・生徒のマイクロスケール実験に対する知名度は極めて低い。先述の通り、文部科学省が中学校や高等学校の理科でマイクロスケール実験の活用を推奨しているにもかかわらず、著者の2013および2014年度における授業実践に参加した高校生のうち、マイクロスケール実験についてこれまでに聞いたことのある者は、皆無に近い状況であった¹³⁾。そこで、児童・生徒を対象とした授業実践によるマイクロスケール実験の普及活動に関して、今後も継続的に取り組む必要がある。

本教材の有用性を確証し、かつマイクロスケール実験を高等学校の現場へ普及させる活動の一環として、2015および2016年に、神戸女学院大学のサイエンス体験¹⁴⁾や神戸女学院大学オープンキャンパス¹⁵⁾の模擬授業で、電池に関するマイクロスケール実験の授業実践を計3回実施した。以下、具体的な内容につ

いて紹介する。

なお、著者以外に、宮澤も勤務校である兵庫県立西宮高等学校で、本教材を用いた電池の授業実践を行い、有用性を確認している¹⁶⁾。

2 授業実践

2-1 実践日時と題目等

2015および2016年の2年間に、女子高校生を対象とした電池に関するマイクロスケール実験の授業実践を3回実施した。実施日時、場所、題目、参加者などに関する詳細を、表1に示す。サイエンス体験（実践A）では、ボルタ電池、ダニエル電池および鉛蓄電池について扱った。オープンキャンパス模擬授業（実践BおよびC）では、授業時間が45分と短いので、鉛蓄電池のみを扱った。

表1 電池に関するマイクロスケール実験の授業実践（2015および2016年）

	実践 A	実践 B	実践 C
日時	2015年 8 月22日 13:30-15:30	2016年 3 月21日 12:10-12:55	2016年 7 月31日 12:15-13:00
場所	神戸女学院大学理学館	神戸女学院大学 エミリーブラウン館	神戸女学院大学理学館
題目	さまざまな電池を、マイクロスケール実験で作ってみよう	マイクロスケール実験で電池を作り、その原理を理解しよう	マイクロスケール実験で電池を作り、その原理を理解しよう
内容	ボルタ電池、ダニエル電池、鉛蓄電池	鉛蓄電池	鉛蓄電池
対象	女子高校生	女子高校生	女子高校生
参加者	11名 1年：6名、2年：1名、 3年：3名、不明：1名	8名 1年：3名、2年：5名	10名 1年：1名、2年：2名、 3年：7名
事業名 (主催者)	サイエンス体験 (神戸女学院大学環境・ バイオサイエンス学科)	オープンキャンパス 模擬授業 (神戸女学院大学)	オープンキャンパス 模擬授業 (神戸女学院大学)

2-2 授業実践の形式

今回実施した授業実践の形式は、2009年度の形式¹²⁾と基本的に同様であり、講義と実験の併用タイプである。

まず、マイクロスケール実験の定義や利点、および本時に取り扱うボルタ電池、ダニエル電池、および鉛蓄電池の原理について講義した。講義資料として、現在、日本学術振興会から交付を受けている科学研究費補助金（基盤研究 C、研究代表者：中川徹夫、課題番号：24501072）により作製した「マイクロスケール実験シート」¹⁷⁾を使用した。

つぎに、電池の作製方法について、実験を通して指導した。実験の最初に、安全眼鏡の着用を義務づけ、安全指導を徹底した。とりわけ、硫酸や硫酸銅(II)水溶液、硫酸亜鉛水溶液など、危険性の高い試薬や廃液の取扱いについても注意を促した。

実験指導に関しては、実験の最初にすべての内容の説明を一度に行うのではなく、実験の順序に従って一段階ずつ丁寧に説明した。そして、受講者全員が操作を終えた時点で、次の段階の説明を行うように心がけた。これにより、受講者が誤操作を行うのを回避させた。実験時の変化の様子や実験結果に関しては、すべてワークシートに記録するように指導した。

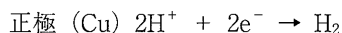
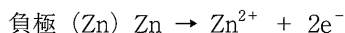
実験終了時に、後片付けの内容（実験器具、試薬の回収など）を指示した。

最後に、アンケートへの回答を依頼した。

2-3 原理

2-3-1 ボルタ電池

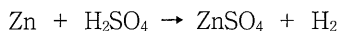
容器に入った希硫酸 H_2SO_4 に亜鉛 Zn と銅 Cu を接触しないように入れる。 Zn と Cu を導線でつなぐと、ボルタ電池ができる。各電極では、つぎの反応が生じる。



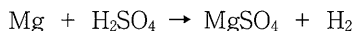
両者をまとめると、



となる。電解液は H_2SO_4 だから、両辺に SO_4^{2-} を補うと、つぎの化学反応式を得る¹⁸⁾。

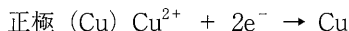
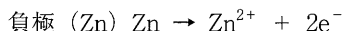


負極を Zn から Mg に変えた場合、化学反応式は次式のようにになる。

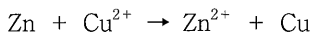


2-3-2 ダニエル電池

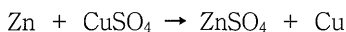
一方の容器に ZnSO_4 水溶液、他方の容器に CuSO_4 水溶液を入れる。 ZnSO_4 水溶液に Zn を、 CuSO_4 水溶液に Cu を入れ、両容器を塩橋でつなぐ。そして、Zn と Cu を導線でつなぐと、ダニエル電池ができる。各電極では、つぎの反応が生じる。



両者をまとめると、

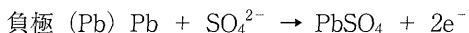


となる。電解液は、それぞれ ZnSO_4 と CuSO_4 の水溶液だから、両辺に SO_4^{2-} を補うと、つぎの化学反応式を得る。



2-3-3 鉛蓄電池

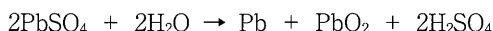
容器に入った希硫酸 H_2SO_4 に 2 枚の鉛 Pb を接触しないように入れる。2 枚の Pb を外部電源と接続すると、負極の変化は見られないが、正極表面には PbO_2 が生じる。外部電源を外し、Pb と PbO_2 を導線でつなぐと、鉛蓄電池ができる。各電極では、つぎの反応が生じる。



両者をまとめると、つぎの化学反応式を得る。



鉛蓄電池は二次電池であり、放電して使用できなくなれば、外部電源から充電すれば元の状態に戻り、再び電池として使用できる。この場合、下記の反応が起こり、負極では PbSO_4 から Pb へ、正極では PbSO_4 から PbO_2 へ変化して、元の状態に戻る。この場合の化学反応式は、次式の通りである。すなわち、先述の放電反応の逆反応が起こる。



2-4 授業実践の準備

試薬として、0.5mol/L および 3 mol/L H_2SO_4 水溶液、1 mol/L CuSO_4 水溶液、0.1mol/L ZnSO_4 水溶液を準備した。調製に用いた固体試料はいずれも和光純薬製の 1 級試薬であり、水には ADVANTEC 蒸留水製造装置アクエリアス RFD240NA で調製した蒸留水を使用した。

これらの試薬については、予め授業実践の前に教学職員に依頼して調製し、容量 5 mL の点眼瓶に小分けした。電極には、化学実験用の Cu 板、 Zn 板、 Pb 板、 Mg リボンを用い、使用前に、参加者に電極の表面をサンドペーパーで研磨し、汚れや酸化物の皮膜を除去するように指示した。

器具として、12ウェルプレート（組織培養用プレート）、IC メロディー、デジタルマルチメーター、みの虫クリップ付導線（黒、赤）、豆電球、低電圧 LED、豆電球・LED 用ソケット、プロペラ付き小型モーター、9 V 平角乾電池、サンドペーパー、ろ紙（予め短冊状に切断したもの）、キムワイプ、安全眼鏡を使用した。

2-5 実験手順

2-5-1 ボルタ電池（実践 A）

ボルタ電池の作製には、A1、A2 セルを使用した。以下、実験手順を記す。

- (1) A1 セルに 0.5mol/L H_2SO_4 水溶液を約 3 mL（セルの深さの約半分）加えた。

- (2) ウェルプレートに蓋をして、A1 セルに電極の Cu 板と Zn 板を入れ、みの虫クリップ付導線を用いて、IC メロディーに接続した。
- (3) IC メロディーの音が止まった時点で電極から外し、電極を引き上げ、キムワイプで軽く拭いた後、再び A1 セルに電極を入れ、デジタルマルチメーター（電圧計）を用いて起電力を直流20V レンジで測定した。
- (4) A2 セルに0.5mol/L H_2SO_4 水溶液を約 3 mL 加え、セルプレートに蓋をして、電極の Cu 板と Mg リボン（Zn 板の代わり）を入れ、同様の操作を行った。

2-5-2 ダニエル電池（実践 A）

ダニエル電池の作製には、B1、B2 セルを使用した。以下、実験手順を記す。

- (1) B1 セルに 1 mol/L CuSO_4 水溶液、B2 セルに0.1mol/L ZnSO_4 水溶液を、それぞれ約 3 mL（セルの深さの約半分）入れた。
- (2) ウェルプレートに蓋をして、B1 セルと B2 セルにろ紙の断片を入れて連結させ、上から0.5mol/L H_2SO_4 水溶液を1滴加えて塩橋を作成した。
- (3) B1、B2 セルにそれぞれ電極の Cu 板、Zn 板を入れ、みの虫クリップ付導線を用いて、IC メロディーに接続した。
- (4) IC メロディーの音を確認した後電極から外し、電極を引き上げ、キムワイプで軽く拭いた後、再び B1、B2 セルに電極を入れ、デジタルマルチメーターを用いて、起電力を直流20V レンジで測定した。

2-5-3 鉛蓄電池（実践 A, B, C）

鉛蓄電池の作製には、C1 セルを使用した。以下、実験手順を記す。

- (1) C1 セルに 1 mol/L H_2SO_4 水溶液を約 3 mL（セルの深さの約半分）入れた¹⁹⁾。
- (2) ウェルプレートに蓋をして、C1 セルに電極である 2 枚の Pb 板を入れ、みの虫クリップ付導線を用いて、外部電源である 9 V 平角乾電池に接続して、約 2 分間電流を流した。

- (3) 平角乾電池を外し、みの虫クリップ付導線を用いて電極をプロペラ付き小型モーターに接続した。
- (4) モーターが完全に停止した時点で電極から外し、再び電極を乾電池につないで約2分間充電した後に外し、デジタルマルチメーターを用いて起電力を測定した。
- (5) 低電圧 LED 電球および IC メロディーに関して、プロペラ付き小型モーターと同様の操作を行った。

3 結果と考察

3-1 ボルタ電池 (実践 A)

実験指導中に机間巡視をして、参加者の実験への取り組みや実験結果を観察した。どの参加者も、ほぼ同様の結果が得られた。以下、その概要を示す。

実験時に、Cu 板表面の H_2 の気泡が肉眼で認められた。そして、実験後に電極を取り出すと、実験前には金属光沢のあった Zn 板の表面が不透明に変化していた。これより、Zn が H_2SO_4 と反応したことも確認できた。

短時間ではあるが、IC メロディーがわずかに鳴動し、電流を確認できた。また、負極を Zn 板から Mg リボンに変更すると、IC メロディーはより大きく鮮明に鳴動した。起電力（電位差）は、Cu、Zn 電極を用いた場合に $0.96 \sim 0.99\text{ V}$ 、Cu、Mg 電極を用いた場合に $1.93 \sim 1.98\text{ V}$ を示した。

生じた起電力や IC メロディーの鳴動より、ボルタ電池ができたのは明らかである。また、負極の金属を Zn 板から Mg リボンに変えると、起電力の値が増大し、IC メロディーもより大きく鮮明に鳴動した。これより、Mg が Zn よりも、陽イオンのイオン化傾向が大きいことが示唆された。

このように、ボルタ電池のしくみや金属の陽イオンのイオン化傾向の相違などが把握でき、教材としての有用性が示された。

3-2 ダニエル電池 (実践 A)

ボルタ電池の場合と同様、実験指導中に机間巡視をして、参加者の実験への

取り組みや実験結果を観察した。以下、その概要を示す。

実験後に電極を取り出すと、金属光沢のあった Zn 板の表面がやや白く変化したことから、Zn が化学反応により溶解したことが確認できた。ただ、Cu 板については、Cu の析出量が微量のため、見かけ上の変化は認められなかった。

ボルタ電池の場合と同様に、IC メロディーが僅かに鳴動した。しかし、ボルタ電池の場合のように、IC メロディーの鳴動が途中で停止することはなかった。これより、ダニエル電池ができ、電流の流れを確認できた。起電力（電位差）は0.97～1.09 V を示し、理論値である1.10 V に近い値が得られた。

生じた起電力や IC メロディーの鳴動より、ダニエル電池ができたのは明らかである。このように、ダニエル電池のしくみが把握でき、教材としての有用性が示された。

3-3 鉛蓄電池（実践 A、B、C）

上記 2 種類の電池の場合と同様、実験指導中に机間巡視をして、参加者の実験への取り組みや実験結果を観察した。以下、その概要を示す。

実験（放電）後に Pb 電極を取り出すと、負極、正極ともに、表面に白色の化合物の付着が認められた。これは反応の結果生じた PbSO_4 であろう。

プロペラ付き小型モーターは、8～20秒間程勢よく回転し、IC メロディーも大きく鳴動した。低電圧 LED 電球は、8～12秒間程点灯した。これらの現象からも、鉛蓄電池ができ、電流の流れ（放電）が確認できた。起電力は1.75～1.95 V を示し、理論値である2.0 V に近い値が得られた。また、ボルタ電池やダニエル電池とは異なり、放電後も外部電源を用いて充電すると再び電池として使用できる二次電池であることも確認できた。

生じた起電力や IC メロディーの鳴動、プロペラ付き小型モーターの回転、低電圧 LED 電球の点灯より、鉛蓄電池を制作できたのは明白である。また、放電しても、外部電源を用いて充電すれば、再度電池として利用できる二次電池であることも確認できた。このように、鉛蓄電池のしくみが容易に理解でき、教材としての有用性が示された。

4 アンケート結果

4-1 アンケートの集計結果

実験終了時に実施したアンケート用紙を、図2に示す。さらに、アンケートの結果を、表2～4に示す。表中の数値はすべて百分率である。左列の数字

マイクロスケール実験アンケート

- (1) 高等学校の現在の学年はどれですか (○印)。
ア. 1年, イ. 2年, ウ. 3年
- (2) これまでに (今回の講義・実習を受ける前に), マイクロスケール実験という言葉を知っていましたか, また, 「ア, はい」と答えた人は, どのようにして知りましたか, (○印)。
ア. はい (どのようにして)
イ. いいえ
- (3) 今回のマイクロスケール実験は, どうでしたか (○印)。
ア. とても楽しかった, イ. 楽しかった, ウ. 普通, エ. あまり楽しくなかった,
オ. 全く楽しくなかった
- (4) 今回のマイクロスケール実験の内容は, 理解できましたか (○印)。
ア. よく理解できた, イ. 大体理解できた, ウ. 半分程度理解できた,
エ. あまり理解できなかった, オ. ほとんど理解できなかった
- (5) 今回のマイクロスケール実験の操作は, どうでしたか (○印)。
ア. たいへん簡単だった, イ. 簡単だった, ウ. 普通, エ. やや難しかった,
オ. たいへん難しかった。
- (6) マイクロスケール実験の長所は, どこにあると思いますか (○印, 複数回答可)。
ア. 実験時間の短縮, イ. 試薬量の減少, ウ. 廃液の減少, エ. 操作が単純で簡単,
オ. その他 ()。
- (7) 今回とは別の内容でも, 機会があればマイクロスケール実験を行いたいですか (○印)。
ア. 是非行いたい, イ. 行いたい, ウ. 何ともいえない, エ. あまり行いたくない,
オ. 絶対に行いたくない
- (8) マイクロスケール実験を, 高校化学の授業に取り入れることに対して, どのように思いますか (○印)。
ア. 是非取り入れてほしい, イ. 取り入れてほしい, ウ. 何ともいえない,
エ. あまり取り入れてほしくない, オ. 絶対に取り入れてほしくない
- (9) マイクロスケール実験に対する意見や感想を書いてください。

図2 アンケート用紙

表 2 実践 A のアンケート結果

	ア	イ	ウ	エ	オ	無答
1	54.5	9.1	27.3			9.1
2	18.2	81.8				0.0
3	63.6	36.4	0.0	0.0	0.0	0.0
4	36.4	63.6	0.0	0.0	0.0	0.0
5	18.2	63.6	18.2	0.0	0.0	0.0
6	63.6	63.6	45.5	0.0	0.0	0.0
7	27.3	63.6	9.1	0.0	0.0	0.0
8	54.5	45.5	0.0	0.0	0.0	0.0

数字は百分率。質問 6 は複数回答可。

表 3 実践 B のアンケート結果

	ア	イ	ウ	エ	オ	無答
1	37.5	62.5	0.0			0.0
2	12.5	87.5				0.0
3	50.0	50.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	62.5	37.5	0.0	0.0	0.0	0.0
5	50.0	37.5	12.5	0.0	0.0	0.0
6	75.0	50.0	50.0	0.0	0.0	0.0
7	25.0	62.5	12.5	0.0	0.0	0.0
8	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

数字、質問 6 の中身は表 2 と同じ。

表 4 実践 C のアンケート結果

	ア	イ	ウ	エ	オ	無答
1	10.0	20.0	70.0			0.0
2	0.0	100.0				0.0
3	40.0	50.0	10.0	0.0	0.0	0.0
4	60.0	30.0	0.0	10.0	0.0	0.0
5	30.0	40.0	30.0	0.0	0.0	0.0
6	30.0	70.0	60.0	40.0	0.0	0.0
7	40.0	50.0	10.0	0.0	0.0	0.0
8	40.0	30.0	30.0	0.0	0.0	0.0

数字、質問 6 の中身は表 2 と同じ。

は、アンケート用紙の質問番号に該当する。

まず、マイクロスケール実験の知名度をたずねた質問2に対して、いずれの実践も8割以上の生徒が否定的な回答をしている。これより、授業実践の参加者の大部分が、これまでにマイクロスケール実験に関する知見を持たず、今回、マイクロスケール実験を初めて体験したことが分かる。

質問3から8までは、マイクロスケール実験の持つ種々の側面に対する生徒の考え（肯定的か、否定的か）を把握するために設定した項目である。

マイクロスケール実験に対する嗜好性に関する質問3については、アまたはイの回答者が、実践AおよびBで100%、実践Cでは90%と、いずれの実践においても90%以上であった。これより、ほとんどの参加者が楽しく実験に取り組めたことが分かる。

マイクロスケール実験の内容理解に関する質問4については、アまたはイの回答者が、実践AおよびBで100%、実践Cでは90%と、いずれの実践においても90%以上であった。これより、大部分が実験内容を理解できたようだ。ただ、この設問の回答は、高等学校での電池の単元の履修状況にも関係する。既習者の割合が高ければ、当然ながら内容を理解する者の割合も高くなると考えられる。

マイクロスケール実験の操作に関する質問5については、アまたはイの回答者が、実践Aでは82%、実践Bでは88%、実践Cでは70%であった。これより、多くの参加者が易しく操作できたようである。しかし、質問3や4と比較してアまたはイの回答率が低い。これは、作業にやや難しい点が含まれることを示唆しており、今後の検討課題としたい。

マイクロスケール実験の長所に関する質問6については、実践Aではアとイ、実践Bではア、実践Cではイが最も選択率が高かった。これより、実践ではアまたはイ、つまり、実験時間の短縮と試薬量の減少を長所と捉える生徒が多いことが判明した。

マイクロスケール実験を別の内容で実施したいか否かの質問7については、アまたはイの回答者が、実践Aでは91%、実践Bでは88%、実践Cでは70%

と、いずれの実践においても高い割合を占めた。これより、大部分の参加者が、マイクロスケール実験を別の内容でも実施したいと考えているようだ。実践 C での割合が他の実践と比較して低かったのは、3 年生の参加者が 70% と高いのが原因であると思われる。今後は大学受験に向けた勉強が中心になり、在学中に実験する機会は、ほとんどないと判断した可能性も考えられる。

マイクロスケール実験を高校化学の授業で取り入れるか否かの質問 8 については、アまたはイの回答者が、実践 A および B では 100%、実践 C では 70% と、いずれの実践においても高い割合を占めた。質問 7 と同様に、実践 C での割合が他の実践と比較して低かったのは、参加者の内、3 年生の占める割合が高いことに起因すると推察される。

4-2 受講生の意見や感想

質問 9 で、マイクロスケール実験に対する意見や感想を求めた。以下、主要なものを列挙する。

[実践 A]

- ・非常に良くできた実験だと思いました。
- ・マイクロスケール実験は初めてでしたが、とても簡単にできて楽しかったです。
- ・廃液が少ないのと実験のときにふたがあるので、ビーカーより安全だったと思う。
- ・とてもメリットが多くて、高校の授業では是非使ってほしい。
- ・実験の操作が単純で行いやすかった。
- ・高校の化学では実験をしなかったので、今回実験をして電池のしくみがよく分かりました。
- ・マイクロスケール実験は簡単で面白かったので、またやりたいです。
- ・もう少しセルプレートが大きいほうがわかりやすいと思いました*。
- ・溶液が入っているボトルのふたでないと簡単にあけられないようにし

たら良いと思います（誤って、点眼びんのキャップではなく、液を注ぐ部分をあけてしまった）*。

[実践 B]

- ・操作が簡単で楽しかったです。またやりたいです。
- ・電池についてはまだ習っていませんが、これから習うので楽しみです。
- ・こんなに簡単に電池を作ることができることに、驚きました。

[実践 C]

- ・高2ですでに電池は習っていたので、改めてとてもよく分かりました。ありがとうございました。
- ・試薬の減量にもなるし、なによりも環境にやさしくできるという点がよいと思いました。高校の授業などにも取り入れてほしいと思いました。
- ・マイクロスケール実験は初めてやったのですが、とても簡単でわかりやすかったです。またやってみたいと思いました。
- ・授業で1人1人が一つずつ実験セットをもてるような形になると、すごくよいと思いました。

このように、参加者からは、マイクロスケール実験に対して肯定的な意見や感想が多く寄せられ、授業実践の成果が認められた。なお、最後に*を記した意見・感想には改善すべき内容が含まれるので、今後の検討課題としたい。

5 おわりに

電池のマイクロスケール実験教材として、12ウェルプレートの蓋を加工して電極用の穴を開け、実験時に電極が固定できるように工夫した。2015および2016年に開催された神戸女学院大学のサイエンス体験やオープンキャンパスの模擬授業で、参加した女子高校生を対象に授業実践を実施した。本教材を用いて、参加者にボルタ電池、ダニエル電池および鉛蓄電池を作製させた（オープ

ンキャンパスの模擬授業は鉛蓄電池のみ)。参加者の取り組みの様子や実験結果、および実験後のアンケート結果から、いずれも本教材の有用性が示された。今後、本教材を用いた授業実践を継続して実施したい。

ただ、ボルタ電池の原理は、実際はかなり複雑で、現行の高等学校化学の教科書の本文から姿を消した。そこで、今後は、ダニエル電池を中心として、標準電極電位やネルンストの式、濃淡電池など、発展的な内容を含めた教材開発にも従事したいと考えている。

なお、文部科学省が中学校や高等学校の学習指導要領解説⁵⁻⁶⁾で紹介しているにも関わらず、参加者のマイクロスケール実験に関する知名度は、相変わらず低い。今後も継続して、電池以外のマイクロスケール実験に関しても、教材開発・改良と並行して普及活動に取り組む所存である。

謝辞

神戸女学院大学嘱託教学職員の野出絵里氏には、実験の準備および後片付けで尽力いただいた。また、兵庫県立西宮高等学校教諭の宮澤雄大氏には、校務多忙の中、電池に関するマイクロスケール実験教材に関して貴重な意見を頂戴し、本教材を用いて授業実践をしていただいた。両氏に感謝申し上げる。

本研究は、JSPS 科研費 JP24501072の助成を受けたものである。

文献と註

- 1) 日本化学会編 (荻野和子主査), 『マイクロスケール化学実験』, 日本化学会, 2003年.
- 2) M. M. Singh, R. M. Pike, and Z. Szafran, "Microscale and Selected Macroscale Experiments for General and Advanced General Chemistry," John Wiley & Sons Inc., New York, 1995.
- 3) J. Skinner, "Microscale Chemistry," Royal Society of Chemistry, London, 1997.
- 4) 芝原寛泰, 佐藤美子, 『マイクロスケール実験』, オーム社, 2011年.
- 5) 文部科学省, 「廃棄物の処理について」, 『中学校学習指導要領解説 理科編』, 大日本図書, 2008年, 110頁.
- 6) 文部科学省, 「事故防止, 薬品などの管理及び廃棄物の処理」, 『高等学校学習指導

- 要領解説 理科編 理数編』, 実教出版, 2009年, 127-128頁.
- 7) 文部科学省, 「化学変化と電池について」, 『中学校学習指導要領解説 理科編』, 大日本図書, 2008年, 50-51頁.
 - 8) 文部科学省, 「電池について」, 『高等学校学習指導要領解説 理科編 理数編』, 実教出版, 2009年, 65頁.
 - 9) 竹内敬人 他, 「電池」, 『化学』(化学301) 東京書籍, 2013年, 108-113頁.
 - 10) 辰巳敬 他, 「電池」, 『化学』(化学306), 数研出版, 2013年, 116-123頁.
 - 11) 東海林恵子, 荻野和子, 「電池に関するいくつかのスマールスケール実験」, 化学と教育, 49巻11号, 2001年, 712-713頁.
 - 12) 中川徹夫, 「2009年度神戸女学院大学で高校生を対象に実施したマイクロスケール実験の授業実践」, 神戸女学院大学論集, 57巻1号, 2010年, 133-145頁.
 - 13) 中川徹夫, 「マイクロスケール実験による電池教材の開発・改良と授業実践」, 教材学研究, 26巻, 2015年, 69-76頁.
 - 14) 神戸女学院大学人間科学部環境・バイオサイエンス学科が主催する, 女子高校生および女子卒業生を対象とした実験講座. 本学科の専任教員が講師を担当する. 例年高等学校の夏季休業中に2回実施している. 参加費は無料であるが, 事前申込が必要である.
 - 15) 神戸女学院大学が主催する, オープンキャンパス開催時に行われる女子高校生および女子卒業生を対象とした45分の授業. 本学の専任教員が講師を担当する. 1年間に4回程度実施している. 参加費は無料で, 事前申込も不要である.
 - 16) 宮澤雄大, 中川徹夫, 「種々の電池に関するマイクロスケール実験の授業実践—ボルタ電池, ダニエル電池, 鉛蓄電池—」, 第18回近畿地区化学教育研究発表会, 2016年, 11-12頁.
 - 17) 中川徹夫, 『マイクロスケール実験シート—小学校から中学校, 高等学校, 大学まで幅広い校種で活用できる魅力的な教材—』, 神戸女学院大学, 2013年.
 - 18) 実際は, Cu 表面に生じた CuO が反応に関与する, あるいは, Cu が触媒として働くなど, 複雑な化学反応が起こっていると考えられている. それゆえ, 現行の高等学校化学の教科書の本文中から, ボルタ電池の記述が削除された(ただし, コラムや参考記事としての記述はある).
 - 19) 鉛蓄電池を作製するには, 電解液として, 通常 3 mol/L 程度の希硫酸が用いられる. しかし, 1 mol/L でも, 十分起電力が生じ, プロペラ付き小型モーターの回転や低電圧 LED 電球の点灯が確認できたので, 現在では, 1 mol/L の希硫酸を使用している.