

空気電池の教材化と高校化学実験への実践的応用 —原理を学ぶためのマイクロスケール実験による個別実験—

若山 祐規¹・芝原 寛泰²

(滋賀県立安曇川高等学校・京都教育大学名誉教授)

Development of an Air Cell as a Teaching Material and Application to Experiments
for High School
— Individual Experiments of Microscale Experiment Method for Understanding the Principle of
Operation —

Yuki WAKAYAMA¹, Hiroyasu SHIBAHARA²

Shiga Prefectural Adogawa High School¹, Emeritus Professor of Kyoto University of Education²

2018年11月30日受理

抄録：空気電池は、補聴器用電池に用いる「ボタン型空気亜鉛電池」として、一般に市販されている身近な実用電池の一つである。その動作原理は高校化学の学習内容とも深いつながりを持つ。身の回りの現象や材料を対象にして、化学の学習の必要性を自覚させる教材実験が求められているが、空気電池の教材実験は学校現場においても活用のはばは広い。空気電池の自作、様々な雰囲気下での動作確認の実験を含む一連の授業展開が可能になる教材実験の開発を行った。特に学習効果の高い個別実験を実現するため、小さい実験器具を使用するマイクロスケール実験の考えに基づき教材開発を行った。開発した教材の安全性、操作性、廃液量の削減、学習効果等を確認するため、高校生を対象とした実践の結果をもとに分析した。授業実践を通して、空気電池で起っている酸化還元反応や活物質の認識等、高校化学における電池の学習に求められる基礎事項について、実感を伴って理解できることがわかり、開発した実験教材の有効性が確認された。

キーワード：空気電池、マイクロスケール実験、高校化学、個別実験、活物質

I. はじめに

電池は日常生活や社会と関わりが深い。また理科の学習においても、化学反応によって動作する電池は、科学技術と社会の関わりを学ぶ上で重要である。本研究では、高校化学の電池分野の学習で扱う実用電池を取り上げ、教材実験の開発とそれを活用した授業実践により、電池の学習を含む新しい授業の展開を示す。

現行¹⁾及び次期²⁾の高等学校学習指導要領では、化学電池について「代表的な実用電池の反応にも触れること」と記載がある。実用電池についての学習が重要であることから、空気中の酸素を活物質とする等の特徴をもつ実用電池の一つである空気電池に着目した。

高校では化学電池について「化学基礎」または「化学」において取り扱う。酸化剤・還元剤や、金属の酸化還元反応を学習した後に、応用として酸化還元反応の化学エネルギーを電気エネルギーに変換して利用する化学電池の学習を行う。空気電池の活物質が空気中の酸素であることを通して、酸化還元反応の応用や化学電池への興味関心を喚起できると考え、活物質についての考察が可能な教材実験の開発を行った。また、空気電池の特徴について、実験を通じた実感を伴う理解を深めるため、マイクロスケール実験³⁾による実験器具の小型化、個別実験の実現、操作の簡略化を図った。高校生や教員志望の大学生及び大学院生を対象に、開発した実験教材と授業展開を用いた授業実践により、本教材の活用の有効性を検証した。

Ⅱ. 教材開発

1. 空気電池とは

空気電池は、1907 年フランスのフェリーによって考案され、炭素と亜鉛及び電解液に塩化アンモニウムを用いたウェットタイプがはじめとされている⁴⁾。空気電池は正極活物質として空気中の酸素、負極活物質としてイオン化傾向の高い金属を用いた電池の総称であるが、負極活物質となる金属によって、アルミニウムを用いた「空気アルミニウム電池」、亜鉛を用いた「空気亜鉛電池」等と呼ばれ区別されている。本研究では「空気亜鉛電池」を対象とする（本論文では教科書等の表記に従い「空気電池」と略する）。

正極の反応式は(i)であるとされている⁴⁾。また負極での反応は用いる金属によって異なり、亜鉛を用いると酸化物が生成するが、反応式を(ii)に示す。



空気電池には、負極活物質、電解質、正極活物質（空気中の酸素を吸着する空気極）の3つが必要である。一般に正極となる空気極には多孔質物質であるカーボン材料を用いる⁵⁾が、他の電池に比べ多くの負極活物質を内在できるので、空気電池は他の電池よりも電気容量が大きく、より長時間の放電が可能となる。その利点を生かして、現在は「ボタン型空気亜鉛電池」が補聴器用電池として一般に市販されている⁶⁾。また空気電池の研究は現在も進められており、リチウムを用いた「空気リチウム電池」の実用化⁷⁾や、「空気アルミニウム電池」を動力とした電気自動車の開発等が行われ、さらに二次電池としての開発も進み、空気電池は次世代の実用電池とされている⁶⁾。市販の空気電池を用いた教材開発についても報告がある。鎌田らは、空気電池を用いたファラデーの法則の確認実験の可能性について述べている^{8, 9)}。また、自作可能な空気電池の教材化についても、電極に活性炭を用いた例¹⁰⁾、あるいはシャープペンシルの黒鉛芯を使った安価な空気電池の報告¹¹⁾等がある。さらに簡易な酸素センサーとしても教材化されている¹²⁾。

1) 原理を学ぶための教材実験の開発

空気電池の特徴を理解するには活物質の役割の認識が重要と考え、空気電池の作製、および活物質の同定実験に関する実験教材を開発した。

(1) 空気電池の作製方法

- ① 炭素棒（長さ 1 cm、直径 0.5 cm）に不織布を巻きつけ、不織布の先端が下になるように亜鉛板と合わせる（図 1）。
- ② 固定器具で留め、プラスチック容器（6×8×3 cm）のふた部分からつながっている赤色の導線の先に炭素棒を、黒色の導線の先に亜鉛板をつなぐ（図 2, 3）
- ③ ピペットで不織布の部分に 3 mol/L 水酸化カリウム水溶液 0.5 mL を染み込ませるように滴下する。

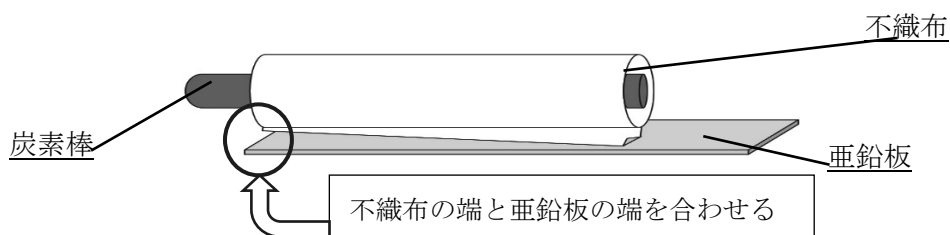


図1 不織布を巻いた炭素棒と亜鉛板

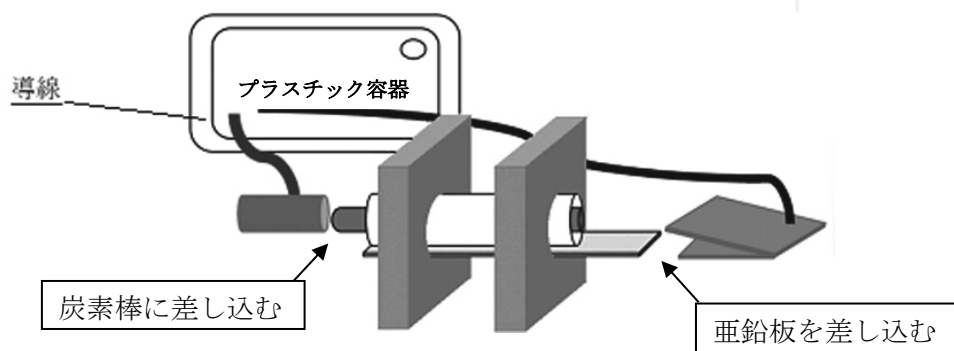


図2 両電極を炭素棒に差し込む様子

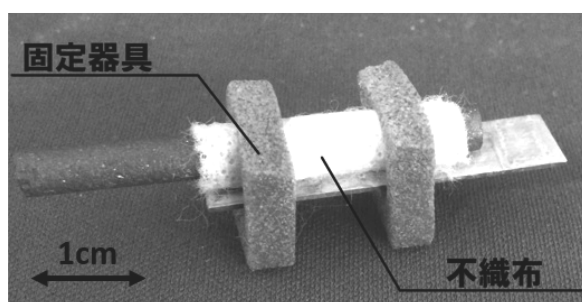


図3 作製した空気亜鉛電池



図4 プラスチック容器と点眼瓶を用いた酸素の導入方法

(酸素の導入方法)

- ④ 二酸化マンガンが入った点眼瓶の容器に 10 %過酸化水素水 4 mL を滴下し、電池を入れたプラスチック容器につながっている点眼瓶のふたとつなげる (図 4)。

2. マイクロスケール化を図る教材実験

空気電池の特徴として正極活物質である酸素の役割を認識させるため、個別実験の実現と、実用電池として実感を伴った理解を促すことが可能なマイクロスケール実験³⁾により、実験教材を開発した。

1) 空気亜鉛電池教材の開発

空気電池の教材化の先行研究として、亀丸ら¹⁰⁾による空気アルミニウム電池や、小林¹³⁾による空気マグネシウム電池の例がある。しかし、これらの電池教材は、活物質の考察は想定されていない。本研究では、負極活物質に亜鉛、正極活物質に酸素を用いる空気電池の特徴に着目し、正極 (炭素)・負極 (亜鉛) の形状やそれらの変化が視認可能な実験教材を作製した。

空気極に 1. の 1) と同じ炭素棒、負極活物質に亜鉛板 (0.8×0.8 cm) を使用した。より高い電流値で安定させるため、電解質に 4 mol/L 水酸化カリウム水溶液、セパレータに不織布を用いた。炭素棒をスポンジで支え、

各部品を結束バンドで固定し、空気電池を構成した(図5)。回路への接続には、銅線を用いた。

<作製手順>

- ① 円形のスポンジに穴を開け、長さ約1 cmの炭素棒を差し込み、空気極とする。
- ② 空気極の炭素棒に正極用の銅線を取りつける。
- ③ 結束バンドで直径1.5 cm程度の円を作る。
- ④ 下から、亜鉛板、不織布、空気極の順になるように重ねる。
- ⑤ 重ねたものを結束バンドで固定する。
- ⑥ 亜鉛板と結束バンドの間に負極用の銅線を差し込む。
- ⑦ 不織布に4 mol/L水酸化カリウム水溶液を染み込ませる。

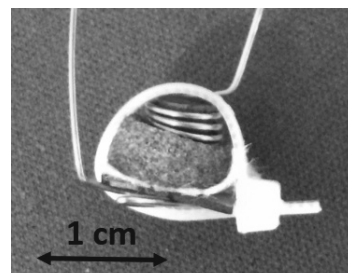


図5 マイクロスケール化した空気電池の教材

2) 活物質の同定実験

2. の1) で作製した空気電池教材を用いて、活物質の同定実験を検討した。活物質の同定のため、電池周囲の気体雰囲気制御し、雰囲気物質の濃度と電流値の関係を調べた。

(1) 気体導入実験

図5に示すマイクロスケール化を図るため開発した空気電池を用いて、周囲の気体雰囲気による影響を調べた。空気電池を入れる密閉容器(約10 mL プッシュバイアル瓶)と、化学反応によって発生させた気体を導入する気体発生器具を図6に示す¹⁴⁾。電池を入れる密閉容器(図6左側)のふたには銅線を通すため、微小な穴を針で空けた。容器への気体の導入は、気体発生容器(図6右側)のふたに取り付けた6 mL プラスチック製シリンジ中の溶液を滴下して発生させ、ゴム管を通して行った。酸素と二酸化炭素の気体の生成には、それぞれ10 % 過酸化水素水と粒状二酸化マンガン、及び3 mol/L 塩酸と石灰石をそれぞれ用いた。気体発生に必要な溶液や試薬をシリンジあるいは容器内に入れることで、直接、試薬に手を触れることなく安全に気体を発生させることができた。以上の開発した教材を用いて、酸素及び二酸化炭素の導入による電流値の変化を確認する実験を行った。電圧値は約5分間、約1.25 Vで安定していた。市販の空気電池は約1.35 Vを示すがほぼ近い値となった。また電流値も約2分後には1.2 mA 付近で安定した。

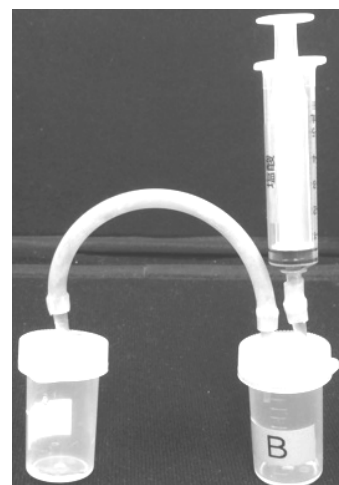


図6 気体導入実験のため開発した器具(左側:電池を入れる容器, 右側:気体発生用器具)

図7は、作製した図6の空気電池を用いて、酸素雰囲気及び二酸化炭素雰囲気の下で、時間経過による電流値の変化を測定した結果である。空気中での測定結果も比較のため示している。電流値が安定する測定開始2分後に各気体を導入した。それ以降において気体導入による電流値の変化がみられた。約5分後には、それぞれの気体の雰囲気下において、酸素では約1.9 mA、空気では約1.2 mA、二酸化炭素では約0.9 mAの電流値を示した。酸素は電流値の増加、二酸化炭素は減少させることが確認でき、活物質の同定実験に使えることがわかった。

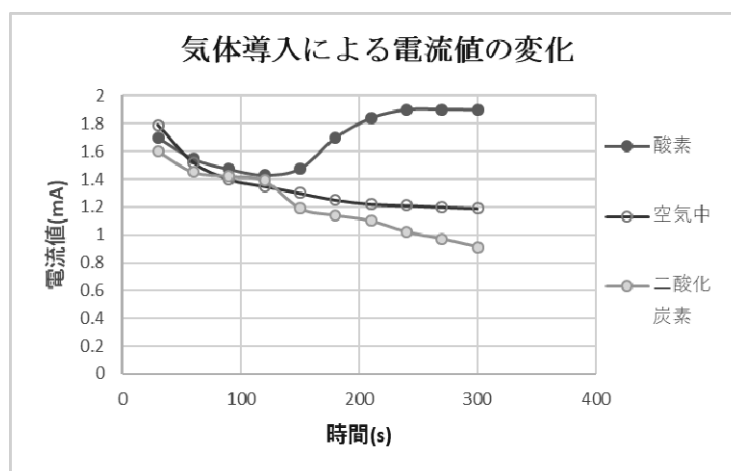


図 7 気体の導入による電流値の時間的変化

(2) 脱酸素剤の実験

(1) では酸素あるいは二酸化炭素の導入により酸素濃度を制御したが、酸素による影響をさらに確かめるために、電池を入れた容器中の酸素濃度を減少させ、同様の測定を行った。

市販の脱酸素剤を用いて容器内の酸素濃度を減少させた(図 8)。電流値を測定する直前に、予め脱酸素剤によって酸素を除去した密閉容器(プッシュバイアル瓶)のふたと、空気電池を取り付けたふたを素早く入れ替えた。気体検知管 (GASTEC 社 GV-100S) による酸素濃度の値は、測定の結果、脱酸素剤の雰囲気下では 1 % 未満になっていることも確認した。

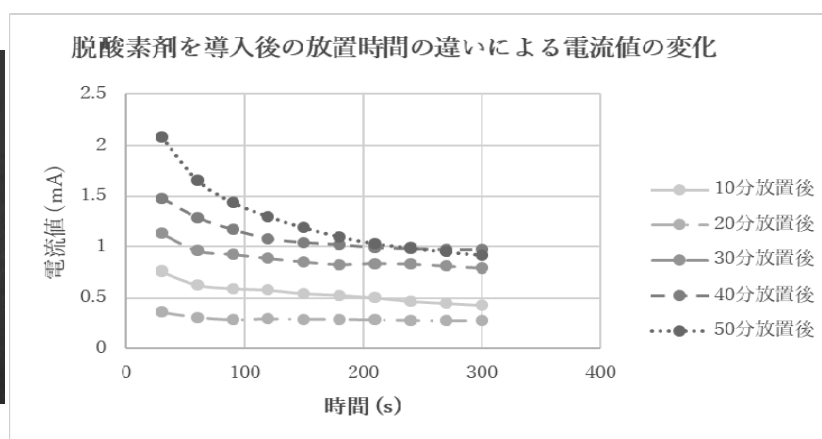

 図 8 脱酸素剤による
酸素濃度の制御


図 9 酸素濃度の減少に伴う電流値の時間的変化

脱酸素剤を用いて容器中の酸素を除去した一定時間後に、容器内で放置した時の電流値の時間的変化を図 9 に示す。放置時間は 10 分から 50 分の 5 つの条件に変化させ、その後、約 5 分間、電流変化を測定した。その結果、酸素濃度の減少による電流の初期値の低下を確認できた。また予め脱酸素する時間によって電流値の減少量が異なることも確認できた。脱酸素の時間を 20 分にした際に最も電流値が低く、その後、電流値が空気中の場合の値に近づくことがわかった。容器の密閉が十分でなく、長時間の放置は空気の流入が影響したためと判断した。以上より、低酸素濃度と電流値の減少の関係を確認した上で、活物質が酸素であることを考察できる教材実験となった。

III. 授業実践

開発した空気電池の教材実験の有効性を確認するために行った実践のうち、高校生を対象にした授業実践につ

いて報告する。原理を学ぶための実験として開発した図3の空気電池を用いた授業実践①、及びマイクロスケール化した図5の空気電池を用いた授業実践②を紹介する。授業時間はいずれも50分であり、授業実践①では、酸素の導入実験から、授業実践②では酸素の導入実験に加えて、二酸化炭素の導入実験、及び脱酸素剤による低濃度酸素下の実験から活物質の同定を行った。実験後には無記名の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。

1. 授業実践①について

1) 実践概要

2015年3月に、本学附属高校の1年生3クラス（クラスA,B,C計116名）を対象に50分間の授業実践を行った。この実践では①空気電池（図3）を高校生が作製できるか、②実験操作を安全に行えるか、③実験結果を明瞭に確認できるか、④実験結果から活物質の考察が可能かの4点の検討を目的とした。対象とした生徒は化学基礎において「電池」の単元を履修済みであった。図10は授業の様子で、酸素を導入した後、電流値の変化を測定しているところである。

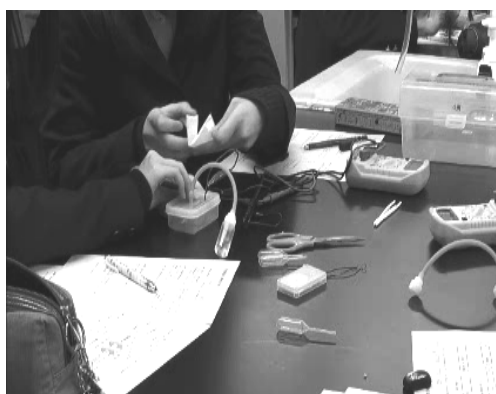


図10 酸素の導入実験の様子

表1 授業実践①の授業展開

授業内容の説明等の導入	
実験に関する説明	
空気亜鉛電池の作製	
実験：酸素導入による電圧値の時間的変化測定 (P組)	実験：酸素導入による電流値の時間的変化測定 (Q組)
考察	
考察発表	
事後アンケート	
まとめ・解説	

2) 授業展開

実験は4人1班で行い、各班で2個の空気電池を作製の後、酸素導入による電圧の時間変化の測定により安定性を確認する2人組（P組）と、電流値の時間変化を測定する2人組（Q組）に分かれ、測定後にデータを共有して考察は班で協力して行った。酸素の導入は、電流値が安定してから図6の器具を用いて行った。授業展開を表1に示す。

3) 実験結果及び考察

(1) 実験結果及び実験時の様子について

3クラスの内、クラスBの10班分の実験結果を例として表2に示す。電流値及び電圧値の上段は、酸素導入前、下段は酸素を導入してから一定時間後の安定値を示す。酸素導入前の電圧値については、多少のばらつきはあるが、1.15～1.29 Vの範囲で安定した値を示した。電流値に関しては、全ての班が酸素の導入によって電流値が上昇したことが確認できた。全3クラスの実験結果において、電圧値は85%以上の班が0.05 V内の変化で安定しており、95%以上の班が酸素の導入によって電流値の上昇を示した。開発した実験教材により再現性と精度の高い実験結果が得られることがわかった。また操作中には実験眼鏡を装着して、安全に行うことができた。尚、実験後の廃液の総量は1クラスあたり約42 mLであった。

表 2 授業実践① クラス B の電圧及び電流の変化を示す実験結果 (8 班の電流の初期値は誤測定と判断)

	1 班	2 班	3 班	4 班	5 班	6 班	7 班	8 班	9 班	10 班
電圧 変化 (V)	1.26 ↓ 1.15	1.25 ↓ 1.21	1.26 ↓ 1.26	1.25 ↓ 1.25	1.18 ↓ 1.21	1.29 ↓ 1.29	1.20 ↓ 1.19	1.21 ↓ 1.22	1.21 ↓ 1.21	1.15 ↓ 1.15
電流 変化 (mA)	3.9 ↓ 6.9	9.0 ↓ 10.0	5.2 ↓ 7.6	6.3 ↓ 11.8	6.0 ↓ 10.0	3.2 ↓ 4.3	2.7 ↓ 3.0	0.04 ↓ 14.1	6.4 ↓ 12.4	2.7 ↓ 5.33

(2) 実験後アンケートについて

実験後に実施したアンケートでは、質問項目として i) 電池作製時の操作性について、ii) 実験結果から空気電池の活物質を考察できるかの 2 点を設定した。有効回答数は 113 件であった。質問項目 i) の空気電池の作製については、約 84 % の生徒が「容易である」もしくは「どちらかと言えば容易」と回答した。残りの約 15% は「どちらかと言えば難しい」、「難しい」と回答しており、不織布を巻く作業と電解質溶液の扱いが問題点としてあげられた。前者については、以降の授業では不織布を袋状に加工することで改善した。実験から考えられる空気電池の活物質を問う質問項目 ii) では、全体の約 60 % が「酸素が関係している」「環境に良い」のように、酸素が反応していることを捉えている表現を記述した。しかし、活物質を直接問う設問で酸素をあげた生徒は約 40 % であった。そのため、酸素の導入以外にも酸素の役割について認識する実験が必要であると判断した。また活物質として電解質溶液をあげる生徒もあり、電解質の役割を説明する必要があることがわかった。

2 授業実践②について

1) 実践概要

2016 年 6 月に、京都府内の公立高校 2 年生 2 クラス (クラス D と E 計 86 名) を対象に 50 分 1 コマで授業を行った。事前のアンケート調査より、空気電池について知る生徒は極めて少なく、名称を知る程度であった。本実践ではマイクロスケール化した教材 (図 5) の有効性を検証するため、① 高校生が本教材を安全に操作できるか、② 実験結果から空気電池の活物質について考察できているか、③ ホワイトボードを用いて考察する授業展開の学習効果の 3 点に注目して検討した。なお実験は 1 クラス 10 班構成で行った。図 11 は授業の後半で、ホワイトボードを使ってクラス全体に発表している様子である。

表 3 授業実践②の授業展開

クラス D 43 名	クラス E 43 名
授業内容の説明等の導入	
実験に関する説明・実験結果の予想	
実験 I : 酸素導入実験 (2 人組)	実験 I : 二酸化炭素導入実 験 (2 人組)
結果及び考察の共有	
実験 II : 低酸素濃度実験 (4 人組)	
結果及び考察の共有及び発表	
事後アンケート	
まとめ・解説	



図 11 実験結果・考察をホワイトボードで発表している様子

2) 授業展開

授業展開を表3に示す。本実践では、あらかじめ組み立てた空気電池（図5）を各班に2セットを配布した。本教材の空気電池は概観から内部構造が分かるため、冒頭で観察により空気電池の構造を確認した。また実験時間の短縮を図るため、1班4～5人に設定した上、班内を2人組に分け、酸素と二酸化炭素の導入実験（実験Ⅰ）を並行して行い、その後、脱酸素剤を用いた低酸素濃度雰囲気での変化（実験Ⅱ）は班内で協力して行った。実験操作の進行状況、結果の観察及び考察を班内の4人が共有できるようにした。授業の流れとして、酸素と二酸化炭素の導入及び脱酸素剤を用いた酸素濃度の変化による影響を予想させ、さらに実験により検証することを目的とした。以上の予想、実験結果及び考察を班内で共有し、ワークシート及びホワイトボードにまとめた後、クラス全体で発表を行った（図11）。

3) 開発した教材の有効性について

ワークシート及びホワイトボードに生徒が記入した実験結果及び考察（表4）について分析した。本実践の3点の目的に沿った分析結果を以下に要約する。また指摘された課題についても対策を示す。

（1）高校生が本教材を安全に操作できるか

気体導入実験では2人1組で円滑に行うことができ、実験時間の短縮につながった。酸素の導入実験では、2クラスで全班が電流値の上昇を、二酸化炭素の導入実験では、全体の約80%の班が電流値の減少を確認できた。確認できなかった班では、滴下した塩酸が逆流により電池容器に侵入したことや、気体導入前の接続不良が原因と考えられる。以上より、図5の空気電池による実験

では、安全性を確保した上で、ほとんどの生徒が気体の導入による電流値の変化を捉えることができたと判断した。逆流や接続不良によるトラブルの解消には、実験前の操作説明を徹底することが必要と考えられる。

脱酸素剤を用いた低酸素濃度実験における電流値の変化について、「減少する」と回答した生徒はクラスDでは72%、クラスEでは98%であった。しかし、初期値の約1/3に相当する1mA未満まで減少した班はクラスDでは60%、Eクラスでは70%となった。このことより、電流値の減少を、脱酸素剤による低酸素濃度の影響として十分に確認出来なかった班があることがわかった。これは、ふたの付け替え時に流入する酸素の影響と考えられる。再実験の準備や、授業後半のまとめの後、電流値の急激な減少を示す映像の準備等が、再実験が不可能な場合の対策として必要であることがわかった。

（2）実験結果から空気電池の活物質について考察できているか

ワークシートには、質問項目と各実験の考察と実験全体を振り返る「総合考察」の項目を設定した。質問項目と総合考察は次の通りであった。

質問項目：気体導入実験後の考察：空気電池と酸素、二酸化炭素との関係を考えてみよう

総合考察：実験Ⅰ・Ⅱから空気電池の活物質と特徴が何か考えよう

気体導入実験後の考察では、クラスDでは54%が、クラスEでは65%の各生徒が「酸素が反応している」または「酸素が補助的な作用をしている」と回答した。それ以外のほとんどは、各気体による電流値の変化をまとめていた。生徒各自による考察後、ホワイトボードを使って班内で考察、さらにクラス全体への発表を行った。

表4 ホワイトボードの記述の例

クラス D	記述内容(生徒の記述のまま)
1 班	酸素が関係している？
2 班	空気電池の反応には酸素を使う
3 班	反応に酸素を使う
4 班	(実験結果のまとめのみ)
5 班	酸素が多くなると反応が活発になり、二酸化炭素が多くなると反応が弱くなる
6 班	(実験結果のまとめのみ)
7 班	酸素を使って電気を作る
8 班	反応には酸素を使う
9 班	酸素は反応を活発化させ、二酸化炭素は反応を妨げる
10 班	(実験結果のまとめのみ)

クラス全体での発表の段階において、酸素が活物質であるという考察を共有できたと考えられる。

クラス全体での発表及び実験Ⅱの終了後の総合考察においては、回答の95%が活物質に酸素をあげた。これは、気体導入実験後に行ったクラス全体の発表による考察の共有と、脱酸素剤による低酸素濃度実験（実験Ⅱ）の考察が、活物質についての理解につながったことを示す。しかし、活物質として酸素のみをあげた回答も多く、亜鉛について言及している生徒は10%未満であったことから、負極側の活物質である亜鉛にも注目させる必要があることがわかった。本実践では、授業時間の関係上、予め作製した空気電池を配布したが、生徒自身が空気電池を作製すれば、電池の構造についてより実感を伴って理解でき、活物質としての亜鉛に着目出来たと考えられる。

（３）ホワイトボードを用いた考察の学習効果の検討

生徒間のコミュニケーションを図り、同時に実験結果と考察を班内で共有するために、ホワイトボードを用いたまとめと発表を行った。実験Ⅰの各自による個人考察の後に、ホワイトボードを用いてグループ内で討論を行った。討論を円滑に進めるため以下の発問を与えた。

発問：実験Ⅰ・Ⅱの結果をまとめ、気体と空気電池の関係を考えよう

クラスDの各班の活物質に関する記述の例を表4に示したが、クラスEにおいても同様の記述が得られた。両クラス共に7割の班が、酸素に着目した考察を進めていた。酸素が活物質ではなく、触媒として働いている考察もみられた。グループ発表時における「酸素の増加により、空気中よりも電流値が高くなる」という発言と議論の影響と考えられる。この対策として、授業時にも、気体検知器を用いた酸素導入前後の酸素濃度を確認して、酸素の消費を確かめる実験を追加することが考えられる。また、酸素濃度を相対的に減少させることが目的で導入した二酸化炭素については、反応を妨げると考えた班がクラスDで1件、クラスEに3件あった。この対策として、脱酸素剤による低酸素濃度実験の結果と関連させた考察を促す必要があると考えられる。授業実践時における実験後の廃液の総量は1クラスで約35 mLであり、授業実践①と同様に、マイクロスケール実験導入の効果を確認できた。

Ⅳ. まとめと今後の課題

身近な電池の一つである「空気電池」を教材化することにより、高校化学で学習する電池における酸化還元反応について、実感を伴って理解すること、さらに空気電池の特徴として、空気中の酸素が正極活物質であることを実験により理解することが重要と考え教材開発を行った。また授業では高校生が空気電池を自作することも目標とした。空気電池の原理を探究的に学ぶために、酸素の導入、脱酸素、二酸化炭素の導入を可能にして、雰囲気条件を変えた電圧、電流の測定も授業中に可能となるように開発した。授業実践においては、50分授業という制約の中で、マイクロスケール実験による2人1組での個別実験、4人班によるグループ討論、ホワイトボードによる結果と考察、さらにはクラス全体での発表等、生徒が主体的に実験等にかかわることができる場面設定を行った。開発した教材実験の有効性、実験結果と化学反応式による理解等の学習効果については、実験後のアンケート調査と分析により検証した。その結果、安全に実験操作ができること、特に正極の活物質については、実験をとおしてほぼ全員の生徒が確認できていることがわかった。

今後の課題として、次期学習指導要領で謳われる生徒の「主体的・対話的で深い学び」をより効果的に実現するため、さらに具体的な授業案を提示する必要がある。開発した教材実験についても、授業時間の有効活用の観点から、より簡便な作製、準備ができる工夫が必要である。

謝辞・附記

本論文は、日本理科教育学会第65回全国大会（2015年8月：京都教育大学）、及び同第65回全国大会（2016年8月：信州大学教育学部）で発表した内容について、加筆・再構成したものである。

授業実践においては、本学附属高校 古川豊氏、種岡和哉氏（現京都府立南陽高校）、京都府立桃山高校 加藤正宏氏（現京都府立嵯峨野高校）の協力の下、実施した。謝意を表します。

本研究は、JSPS 科研費（平成26～28年度基盤研究C、課題番号265350233、及び平成29～31年度基盤研究C、課題番号17K01028 いずれも代表者 芝原寛泰）の助成を受け実施された。

引用文献

- 1) 文部科学省（2009）『高等学校学習指導要領解説－理科編－』
- 2) 文部科学省（2018）『高等学校学習指導要領解説－理科編－』
- 3) 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
あるいは、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
佐藤美子、山口幸雄、芝原寛泰(2017)「呈色板を用いたマイクロスケール実験による電気分解の教材開発と授業実践」科学教育研究 Vol.41 No.2, 213-220
- 4) 電池工業会（2016）「電池工業会 電池の歴史」,「電池の知識 電池の構造と反応式」
Retrieved from <http://www.baj.or.jp/knowledge/structure.html>
- 5) 吉田和正（2007）「一次電池技術発展の系統化調査, 国立科学博物館技術の系統化調査報告」, vol.9, 203-204
- 6) NeXCell 社「空気亜鉛電池」,
Retrieved from <http://www.nexcell.co.jp/docs/airbattery/air-bat.html>
- 7) 古河電池株式会社 HP「非常用・防災用電池「MgBOX(マグボックス)」」,
Retrieved from <http://www.furukawadenchi.co.jp/mgbox/>
- 8) 鎌田正裕、川原拓（2000）「空気亜鉛電池の教材化Ⅰ－ファラデーの法則の確認実験」『化学と教育』第48巻3号, 192-193
- 9) 鎌田正裕（2000）「空気亜鉛電池の教材化Ⅱ－ファラデーの法則の確認実験(その2)－」『化学と教育』第48巻5号, 330-331
- 10) 亀丸寛一、大山寛、山下宙征、佐藤成哉（2002）「活性炭を用いた空気電池の教材開発」『化学と教育』第50巻6号, 466-477
- 11) 是近勝彦（2002）「自作電池のマイクロスケール化－アルミホイルとシャープペンシルの黒鉛芯を使った安価な空気電池など」『化学と教育』第50巻4号, 281-282
- 12) 高橋三男（2018）「簡易デジタル酸素センサー」例えば、ナリカ K.K サイボックス 2019年度版, 35, ケニス K.K カタログ 2018年版, 44
- 13) 小林明朗（1999）「空気マグネシウム電池の製作と活用」東レ理科教育賞受賞作 第31回, 28-30
- 14) 既出 3) 56-57