

電池の生徒実験に関する研究
ーマイクロスケール実験の考え方を導入してー

千葉県立〇〇〇〇高等学校 〇〇 〇〇 (化学)

1 はじめに

平成21年3月9日に文部科学省から高等学校の新学習指導要領が告示され、同年7月に高等学校学習指導要領解説が示された。改訂された理科の新学習指導要領では、「目的意識をもって観察・実験などを行い、科学的に探求する能力と態度を育てる」ことが「理科の目標」であるとし、単に観察・実験を行うのではなく、「目的意識」の必要性が示されている。さらに解説においては「思考力や判断力、表現力を育成する学習指導」について配慮すべきとし、具体的な実験方法については「マイクロスケール実験など、実験に使用する薬品の量をできるだけ少なくする工夫」についても言及している。このことは、普段の授業において「生徒に観察や実験の目的を十分に理解させ、生徒が主体的に取り組む」ことの重要性を改めて示すものであり、その観察・実験方法についてさらなる改善を求めている。この「マイクロスケール実験」で危険な薬品の使用量を少なくできることは、高校の授業において実験を行う上で大きな利点である。

私は、授業で乾電池を扱う際に、生徒実験を導入できないかと以前から考えていた。身近なアルカリマンガン乾電池を、実際に生徒が自分たちの手で安全に製作することができれば電池一般に対する理解もかなり深まることが期待される。しかし、アルカリマンガン乾電池には、名前の由来となるアルカリ性の強い水酸化カリウム等の使用が不可欠であり、このような塩基性の強い物質の使用を考えると安全性や廃棄物の処理などの点から実験の実施について躊躇してきたところである。

今回、「マイクロスケール実験」の考え方を導入し、アルカリマンガン乾電池の生徒実験の方法について研究し、これについて考察したい。

2 マイクロスケール実験とは

アメリカの大学で、有機化学実験において1980年代から始まったとされ、実験のスケールを従来の方法よりはるかに小さくした実験方法で、一般化学や中高校の化学に広がりつつあり、次のようなメリットがあるといわれる。

- (1) 試薬と経費の節減
- (2) 実験廃棄物の少量化
- (3) 危険が少なく、事故の防止に役立つ
- (4) 実験環境の改善
- (5) 省資源、省エネルギー
- (6) 実験時間の短縮
- (7) 高価、希少な試料を使用可能

これらについては、さまざまな研究報告がなされているが、専用の実験器具を使用するなど、そのまま高校の教育現場に導入することには検討の余地がある。そこで、専用の実験器具を使用しないで「マイクロスケール実験」の考え方を導入したアルカリマンガン乾電池の生徒実験について研究を進めた。

3 研究方法

- (1) 身近な電池の種類とその名称・特徴の調査
- (2) アルカリマンガン乾電池製作実験の問題点と対策
- (3) アルカリマンガン乾電池製作実験についての考察・検証

4 研究内容

- (1) 身近な電池の種類とその名称・特徴の調査

ア 生徒に対して次のようなワークシートを実施する。

<p>みなさんの身の回りにはさまざまな種類の電池が使用されています。</p> <ol style="list-style-type: none">1 みなさんの身の回りで、どのような種類の電池が使用されていますか。2 それらの電池は何という名称ですか。3 それらの電池の特徴と、その用途に使われる理由について考えましょう。

イ ワークシートの内容を集約し、さまざまな目的に応じた電池が利用されていることを生徒とともに確認する。

ウ ワークシートの集約結果と確認内容

(ア) 「乾電池」という表現が目立った。

生徒の回答例：「乾電池」、「アルカリ乾電池」、「マンガン乾電池」

一般に「乾電池」と呼ばれるものにも種類があることを指摘し、現在市販されている乾電池は、マンガン乾電池とアルカリマンガン乾電池が主であることを説明した。一般に「アルカリ乾電池」と呼ばれている乾電池は、正しくは「アルカリマンガン乾電池」であることを説明した。

(イ) 単1, 単2, 単3を構造の種類と誤解している生徒がいた。

生徒の回答例：「単1電池」、「単一」、「単三乾電池」

単1, 単2, 単3は大きさ, 容量の違いであり, 同じ種類の電池であれば同じ内部構造であることを説明した。

(ウ) 商品名と種類を混同している生徒がいた。

生徒の回答例：「エボルタ」、「エネルーブ」、「オキシライド」

各メーカーから発売される商品名を電池の種類として回答している生徒がいた。テレビのコマーシャルなどでなじみのある商品名は種類として誤解されやすい。ただし、「オキシライド乾電池」については、「ニッケル系乾電池」に分類される別の種類の電池であることを説明した。

(エ) その他の種類の電池の扱い。

生徒の回答例：「太陽電池」、「燃料電池」

「太陽電池」や「燃料電池」のように一次電池や二次電池に分類できない電池の名前も挙げられた。これらについては、電池は化学電池と物理電池に二分され、太陽電池は物理電池に分類され、化学電池の中に一次電池, 二次電池, 燃料電池があることを説明し, それぞれの電池がどのような関係になるか図を用いて説明した。

(2) アルカリマンガン乾電池製作実験の問題点と対策

ア 乾電池製作実験の実践報告について

通常の湿式電池（ボルタ電池，ダニエル電池等）は2種類の金属を電解質溶液に浸し，酸化還元反応によって発生するエネルギーを電気エネルギーとしてとり出す装置であるが，電解液をゲル状にして密封し，携帯しやすくした実用電池が乾電池である。

乾電池には，マンガン乾電池，アルカリマンガン乾電池等があり，マンガン乾電池は構造が比較的簡単であり，材料となる物質の危険性が低いことから，生徒実験の報告例も多くあり，自作の乾電池キットなども市販されている。しかし，アルカリマンガン乾電池については，塩基性の強い物質を扱うことから，実践報告例はあまり見られない。

イ マンガン乾電池について

マンガン乾電池は外側の亜鉛容器そのものを負極とし，その内側に酸化マンガン（IV）を主成分とする正極物質を入れ，ここに炭素棒をさしこみ正極としている。

マンガン乾電池の電池式，起電力及び構造は以下のとおりである。



起電力 約1.5V

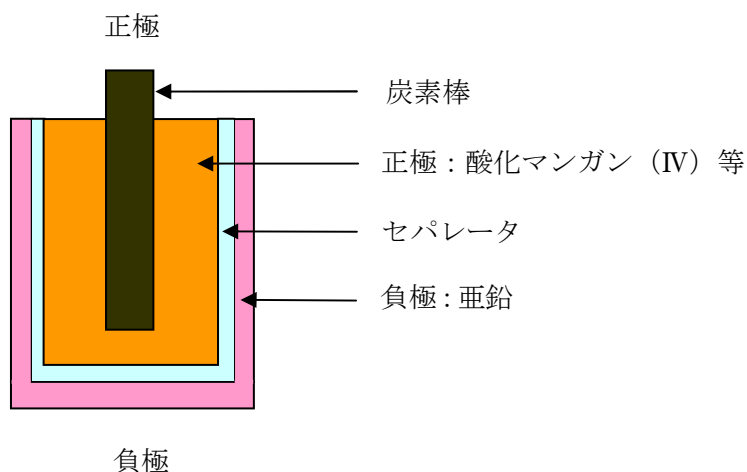
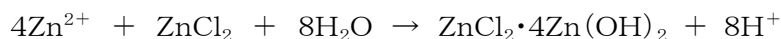
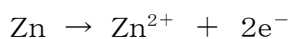


図1 マンガン乾電池の構造

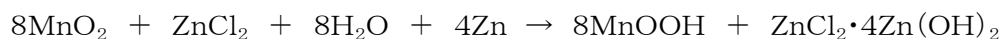
正極での反応は，



負極での反応は，



これらをあわせると，



となる。

ウ アルカリマンガン乾電池について

アルカリマンガン乾電池の構造は、外側に酸化マンガン（IV）を主成分とした正極物質があり、中心に亜鉛粉末と塩基性の強い水酸化カリウムをゲル状にした電解質を負極物質とし、金属棒によって集電し負極としている。これは、マンガン乾電池と比べ正極物質と負極物質の配置が逆になった構造である。

アルカリマンガン乾電池の電池式、起電力及び構造は以下のとおりである。



起電力 約 1.5 V

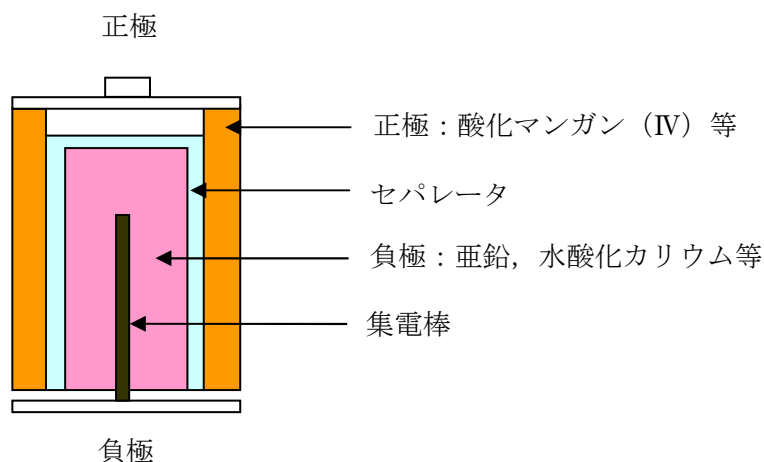
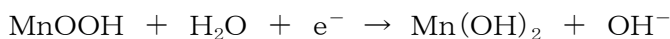
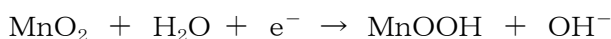
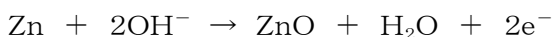


図2 アルカリマンガン乾電池の構造

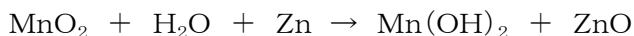
正極での反応は、



負極での反応は、



これらをあわせると、



となる。

アルカリマンガン乾電池の利点としては、放電容量がマンガン乾電池の約2倍あり、低温放電特性に優れ、高出力、大電流放電が必要な分野で活用されている。乾電池といえば、以前はマンガン乾電池が多数を占めていたが、1999年に販売数量が逆転し、アルカリマンガン乾電池は乾電池販売数量に占める割合が2008年には約83%を占め、最も身近な乾電池となった。

また、二次電池であるニッケルカドミウム電池やリチウムイオン電池の構造は正極と負極が年輪のように複数の層をなしているもので、私たちの身の回りにある「乾電池」として使用されているさまざまな種類のものについては、内部構造は異なっている。

エ アルカリマンガン乾電池の生徒実験について

外観が同じマンガン乾電池とアルカリマンガン乾電池であるが、内部構造や正極物質、負極物質が異なっており、アルカリマンガン乾電池の生徒実験を行う上で、次のような問題点がある。

(ア) 問題点

- a セパレータに適する材料を探す必要がある。
- b 生徒実験に適した構造を考える必要がある。
- c 塩基性の強い水酸化カリウム等の薬品を使用することから、その扱いについて十分な安全対策が必要である。

(イ) 対策

- a 製品としてのアルカリマンガン乾電池のセパレータには「ビニロン系の不織布」等が使用されているが、生徒実験に使用可能な容易に入手できる材料を検討する。
- b まず安全性を十分に確保した上で、簡易な構造であり、生徒実験に適したものを検討する。
- c 生徒に薬品の危険性を事前に十分周知させるとともに、実験方法を工夫し安全確保に努める。

(3) アルカリマンガン乾電池製作実験についての考察・検証

ア セパレータについて

次の4種類の試料について、強塩基の条件下で劣化等の変化が無く、セパレータとして十分な強度を保ち、生徒実験に使用できるかどうかについて検証した。



図3 防湿処理されていないセロハン



図4 透析用チューブ



図5 きめの細かいさらし



図6 不織布のキッチンペーパー

(ア) 実験方法

- a 水に水酸化カリウムを加え飽和水溶液を調整する。
- b シヤーレに次の (a) ~ (d) の試料を 3 cm×6 cm の大きさに切ったものを 7 枚入れ、飽和水酸化カリウム水溶液を試料が浸るまで加え、定めた時間ごとに試料を 1 枚取り出す。

(a) 防湿処理されていないセロハン (図 3)

(b) 透析用チューブ (図 4)

(c) きめの細かいさらし (図 5)

(d) 不織布のキッチンペーパー (図 6)

時間：1分，3分，5分，10分，30分，60分，24時間

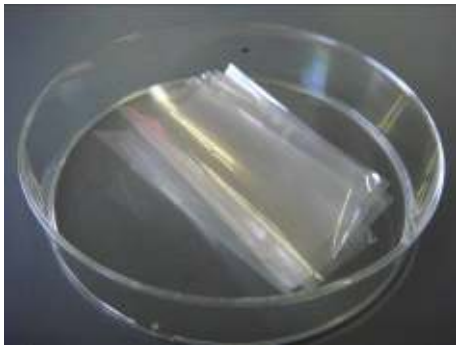


図 7 セロハン



図 8 さらし

- c 十分に流水で塩基を流し去り (図 9)，万能 pH 試験紙で中性を確認した後，キッチンペーパー上で乾燥させる (図 10)。



図 9 水で洗浄



図 10 乾燥の様子

- d 外観，強度，変色について確認する。

(イ) 実験結果

- a 1分～24時間塩基性の強い溶液の中に各試料を浸したが，外観，強度，変色等の問題となる劣化は観察されなかった。
- b 透析用チューブは太さの制約があるが，他の試料については切り取る大きさによって様々な大きさのセパレータを作ることができる。
- c 今回の実験結果から大きな差異が認められなかったことから，生徒実験では入手が容易であり，しかも市販のアルカリマンガン乾電池にも使用される不織布のキッチンペーパーを使用する。

イ ゲル化濃度について

負極のゲル化剤には「ポリアクリル酸ナトリウム」が一般的に使用される。この物質は高吸水性高分子として知られており、「紙おむつ」や「保冷材」として使用されている。カタログによると自重の1000倍の水を吸収することができるとされている。純水を用いて適切なゲル化濃度について検証した。

(ア) 実験方法

a 100 g の純水に異なる量のポリアクリル酸ナトリウムを加える。

- ① 0.05 g (2000倍)
- ② 0.10 g (1000倍)
- ③ 0.20 g (500倍)
- ④ 0.30 g (333倍)
- ⑤ 0.50 g (200倍)
- ⑥ 0.80 g (125倍)

() 内の値は自重の何倍の水に相当するかを示す。



図 11 ポリアクリル酸ナトリウム

b ゲル化の状態及び使い勝手について確認する。

(イ) 実験結果

- ① 0.05 g 流動性高く小さなゲル状の粒子が水に浮かんでいる。
- ② 0.10 g 流動性高く小さなゲル状の粒子が多く観察できる。
- ③ 0.20 g ゲル状になっているが、やわらかいゼリー飲料のようである。
- ④ 0.30 g ゲル状になり、薬さじですくうことができる。
- ⑤ 0.50 g ゲル状になり、やわらかい寒天に近い硬さである。
- ⑥ 0.80 g ゲルが硬すぎ、扱いにくい。

これらの実験結果から、100 g の水に0.30～0.50 g のポリアクリル酸ナトリウムを加えることで適切な濃度のゲル状になることがわかった。



図 12 ③のゲル



図 13 ④のゲル

ウ 飽和水酸化カリウム水溶液のゲル化濃度について

イの結果から純水に対しての適切なゲル化濃度を知ることができたので、その濃度が飽和水酸化カリウム水溶液についても適切なゲル化濃度であるか確認する。

(ア) 実験方法

- a 飽和水酸化カリウム水溶液50 g に純水に対して適切であった自重の200倍相当のポリ
アクリル酸ナトリウム0.25 g を加える。
- b ゲル化の状態を観察する。

(イ) 実験結果

ゲル化しなかった。

純水をゲル化したときと同じ濃度のポリアクリル酸ナトリウムを用いて飽和水酸化カリウム水溶液をゲル化できないことが判明した。このため、さらにポリアクリル酸ナトリウムを0.25 g ずつ加えゲル化の様子を観察した。ポリアクリル酸ナトリウム0.25 g を合計5回加えた時点では変化が見られなかった。5回加えた時点で少し硬さが増し、合計11回加えた時点で、ようやく葉さじですくうことができる濃度になった。これは、水100 g に0.30 g のポリアクリル酸ナトリウムを加えたときと同様の硬さである。色はやや黄色を帯びている。

このことから、飽和水酸化カリウム水溶液50 g にポリアクリル酸ナトリウム2.75 g を加えることにより適切なゲル濃度になることがわかった。

同じゲル化剤を使用しても、純水と強塩基性飽和水酸化カリウム水溶液ではゲル化濃度に10倍程度のたいへん大きな違いがあることがわかった。



図14 左から④のゲル，③のゲル，飽和水酸化カリウムのゲル

エ ゲルの安定性について

ゲル化の適切な濃度について確認ができたが、長時間安定してゲルの状態を保つことができるか確認する。

(ア) 実験方法

- a 純水，飽和水酸化カリウム水溶液をゲル化する。
- b 一定時間ごとに観察し，変化について確認する。

時間：30分，60分，24時間

(イ) 実験結果

いずれの結果も状態に変化は見られなかった。

このことから、ポリアクリル酸ナトリウムのゲルは純水及び強塩基の飽和水酸化カリウム水溶液に対しても一定時間安定であることがわかった。このことから、今回使用したポリアクリル酸ナトリウムを使用して生徒実験を行う。

オ アルカリマンガン乾電池の製作

これまでの実験の結果から、セパレータ及び各極剤のゲル化について適切な濃度等が判明した。この結果をもとに、正極剤及び負極剤にゲル化した材料を用い、アルカリマンガン乾電池の製作を試みた。

(ア) 実験方法

a 器具

モーター（プロペラ付）、電子メロディ、極板（亜鉛）2枚、シャーレ

正極剤：ゲル化した純水（水100 gに0.30 gのポリアクリル酸ナトリウム）と酸化マンガン（IV）を同量混合したもの。

負極剤：ゲル化した飽和水酸化カリウム水溶液（水溶液50 gに2.75 gのポリアクリル酸ナトリウム）と亜鉛末を同量混合したもの。

セパレータ：不織布のキッチンペーパー

b 構造

図15のような構造で実験装置を組み立て、正極と負極をモーターに接続する。正極剤及び負極剤は、ゲル化したものを薬さじで1杯（約5 g）載せる。セパレータは極板よりやや大きくし、正極板と負極板が接触しないようにする。

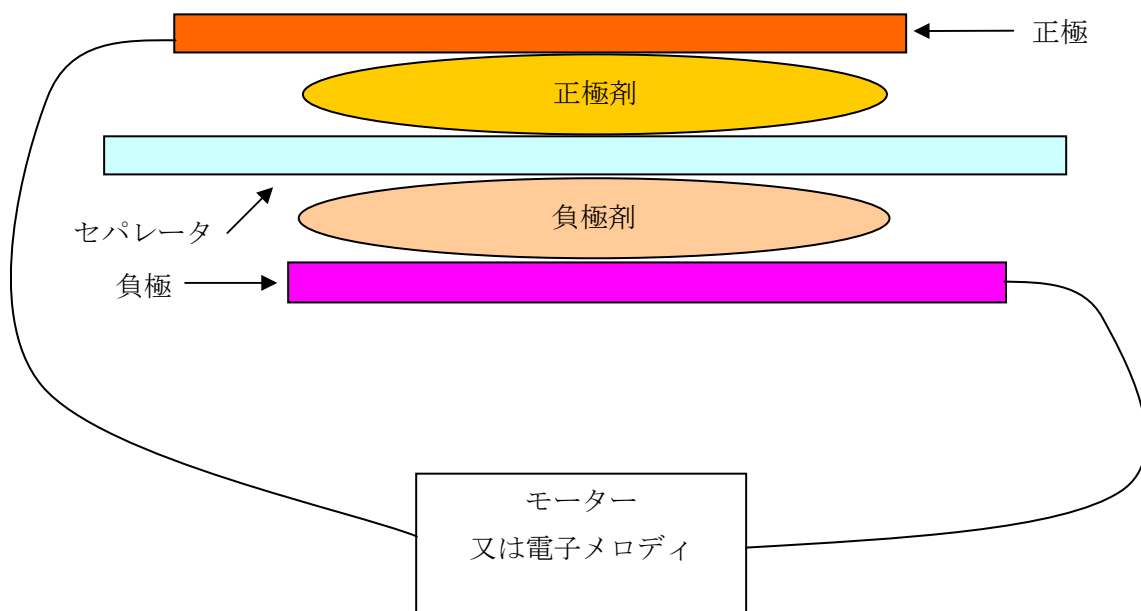


図15 アルカリマンガン乾電池の構造

(イ) 実験結果

モーターが回転し、電子メロディが鳴動した。

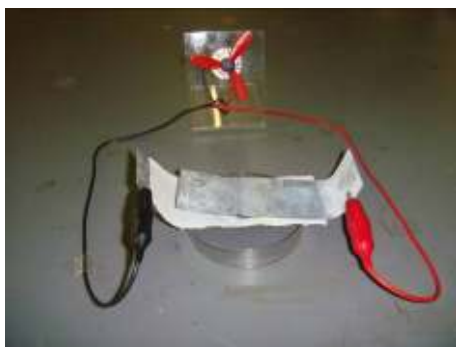


図16 モーターと接続



図17 電子メロディと接続

カ アルカリマンガン乾電池の生徒実験

これまでの基礎実験により、アルカリマンガン乾電池の製作が可能になった。この実験方法を応用して、生徒実験のためのマイクロスケール化を検討した。

いくつかの形をかえた方法を検討した。極板を使用しない方法、つまり直接電極を正極剤と負極剤に差し込む方法でマイクロスケール化を検討したが、

- ①塩基性の強い負極剤に生徒が触れる危険性がある。
- ②十分な電流を取り出すことが困難。
- ③使用する正極剤、負極剤の量を少なくすることができない。

などの理由により、ふさわしい実験方法を得ることができなかった。これは、極板を使用することによって接触する面積が増大することで集電する効果が得られるためと推測される。

そこで、極板を用いて次のような工夫をした上でマイクロスケール化を行い、生徒実験を実施した。

(ア) 生徒実験を行う際に工夫した点

a シャーレの使用

シャーレを用いることで、万一、塩基性の強い負極剤ゲルがこぼれてしまった場合でも散乱せずに安全性を確保できるようにした。

b ゲルの配置

負極を下、正極を上にするすることで、塩基性の強い負極剤ゲルをセパレータの下に置き、生徒が触れないような構造にした。

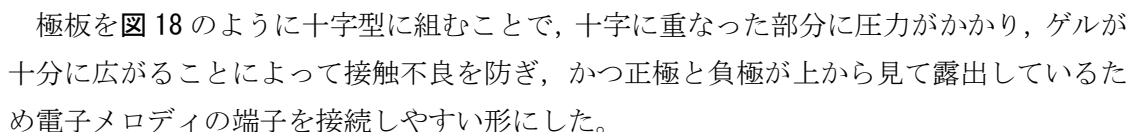
c 電極、セパレータの大きさ

生徒が安全に、わかりやすく実験を行うことができる最小限度の電極の大きさ、セパレータの大きさを検討し、電極 $7\text{ cm} \times 2\text{ cm}$ 、セパレータ $4\text{ cm} \times 4\text{ cm}$ とした。

d ゲルの量

正極剤、負極剤の量をできる限り少なくし、なおかつ実験結果が出る分量を検討し、このサイズの実験装置に対して各極剤 0.4 g がふさわしいという結果を得た。この分量で実験した場合、極板を強く圧迫してもゲルが外に出る危険性が少ない。

e 電池の構造

極板を  のように十字型に組むことで、十字に重なった部分に圧力がかかり、ゲルが十分に広がることによって接触不良を防ぎ、かつ正極と負極が上から見て露出しているため電子メロディの端子を接続しやすい形にした。

f 電池としての機能の比較

アルカリマンガン乾電池はマンガン乾電池と比べ大きな電流を安定して得られる事がメリットであるが、両者の起電力についてはほぼ同じ値であり、優劣を比較することが困難である。このため、アルカリマンガン乾電池を自作した後に市販のアルカリマンガン乾電池と比較することで、ほぼ同程度の結果が出るようにした。

(イ) 器具

セパレータ (不織布のキッチンペーパー) $4\text{ cm} \times 4\text{ cm}$

極板 (亜鉛) $7\text{ cm} \times 2\text{ cm}$ 2枚

シャーレ、電子メロディ、市販の単一アルカリマンガン乾電池

正極剤 0.40 g (ゲル化した純水と二酸化マンガンを同量混合したもの)

負極剤 0.40 g (ゲル化した飽和水酸化カリウム水溶液と亜鉛末を同量混合したもの)

(ウ) 手順

- 1 シャーレ上に極板をおき，負極剤を薬さじで小さじ1杯 (約0.40 g) 置く。
- 2 セパレータを重ね，正極剤を薬さじで小さじ1杯 (約0.40 g) 置く。
- 3 極板を重ね，電子メロディに接続する。
- 4 市販のアルカリマンガン乾電池を電子メロディに接続し比較する。
- 5 結果を記録する。
- 6 考察を記入する。

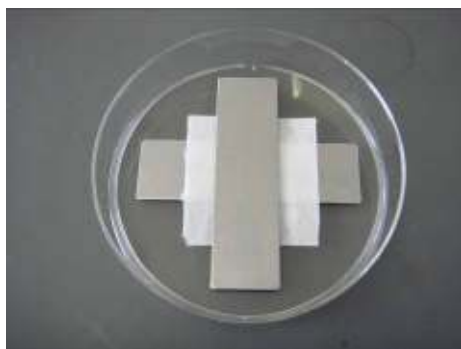


図 18 製作したアルカリマンガン乾電池



図 19 生徒実験の様子

(エ) 実験結果

この実験で正極剤，負極剤の使用量を図 15 の実験方法で行ったものと比べ，10分の1以下に減量するマイクロスケール化を行うことに成功し，安全に実験を終えることができた。生徒の感想は次のとおりである。

- 電池を作るときに「これで終わり？」と思うほど簡単でした。
- 材料が少ないのにきちんと電池として使えてエコで良いと思います。
- メロディ音が鳴ってすごいなと思いました。
- 水酸化カリウムが危ない物質なのに，安全に実験ができました。
- 普段では知ることのできない電池の仕組みが実験によってより一層理解できた。
- こんな簡単な仕掛けで電池ができるとは思わなかった。
- 準備，片付けが早くできるので，全体の時間の短縮になった。
- この実験方法を先生が考えたということが驚きだった。
- 市販の電池と比べたとき，今回作った電池は少し負けるが音はよかった。
- 危険な薬品を使っているにもかかわらず，この実験では薬品に触れることが無いので良いと思います。
- 実験は楽しくできました。教室で授業を聞くよりもずっとわかりやすく，また実験したいなと思いました。
- 正極剤，負極剤の量が少ないのに乾電池と比べて音の大きさはほとんど変わらなかった。
- 極板だけでは音が鳴らないのに，物質を少し乗せるだけで音が鳴ってすごいと思った。
- マイクロスケール実験という言葉は初めて聞いたけど，少ない薬品で電池ができてゴミも少なく良いことばかりだと思いました。

(オ) まとめ

これまで述べてきたとおり、アルカリマンガン乾電池の生徒実験について、マイクロスケールの考え方を導入し、ひとつの方法を示すことができた。今回のマイクロスケール実験のメリットは次のとおりである。

- 使用する薬品の量が少ない。
- 危険な物質を使用するが、少量であるため危険性が小さい。
- 短時間で実験ができる。
- 市販の乾電池と同様に電子メロディ音が鳴る。
- 廃棄物が少ない。

また、市販のアルカリマンガン乾電池に及ばない点もわかった。今回のマイクロスケール実験のデメリットは次のとおりである。

- 電池の持続時間が短い。
- 市販の電池より電子メロディ音が小さい場合がある。

ただし、これらのデメリットについても、生徒実験をとおして電池に対する理解を深めさせるという当初の目的を損なうものではないと考える。

5 おわりに

本研究では、マイクロスケール実験の考え方を取り入れ、報告例の少ないアルカリマンガン乾電池製作の生徒実験についての検証を行った。

先行研究が非常に少ない中で試行錯誤の繰り返しであったが、結果としていくつかの改良すべき点はあるものの、①安全に、②手軽に、③わかりやすく行うことのできる生徒実験が完成したと考えられる。今回のポイントである薬品使用量の少量化については、当初よりも10分の1以下のごく少ない量でアルカリマンガン乾電池としての機能を確認できたことは最大の成果であった。セパレータについても、身近なキッチンペーパーを用いることが可能であり、比較的手に入れやすいものでアルカリマンガン乾電池を製作することができた。アルカリマンガン乾電池を生徒が製作し、電子メロディの音が鳴ったときの喜びの声がいへん印象的であった。

生徒の感想にもあるとおり、電池については電池式や極板での反応式など難解と思われる部分が多いが、今回の実験をとおして電池に対する理解が一步深まったことが確認でき、当初の目的をほぼ達成することができた。今回の研究にあたっては、乾電池製造会社に問い合わせを行い、何より優先されるべき実験の安全性を確保するための予備実験を何度も行い、最終的に生徒実験にふさわしい構造にたどり着くことができ、良い経験をすることができた。この経験をもとに、今後とも生徒のためにわかりやすい授業の実践をすすめていきたい。

最後に、本研究を進めるにあたり御指導、御助言をいただいた教育庁教育振興部指導課の〇〇〇〇先生、〇〇〇〇先生、〇〇〇〇先生、前指導課の〇〇〇〇先生及び教科指導員の〇〇〇〇先生、〇〇〇〇先生並びに教科研究員の諸先生方に心よりお礼申し上げます。

<参考文献>

高等学校学習指導要領 平成21年3月 文部科学省
電池ハンドブック (2010) 株式会社オーム社
電池応用ハンドブック (2005) CQ出版株式会社