

マイクロスケール教材を用いた化学電池に関する授業実践

島田 秀昭*・西村 幸太**・三宅 安***

【要旨】本研究では、化学電池の授業で用いるボルタ電池教材について、低予算で作製することができ、実験廃液も少なくすることができるようマイクロスケール化した教材の作製を試みた。また、作製した教材について最適な実験条件の設定を行うとともに、本教材を用いた授業実践を行い、その有用性について検討した。

【キーワード】 マイクロスケール教材、ボルタ電池、実験条件、中学校理科、授業実践

はじめに

中学校理科第3学年の1分野「水溶液とイオン」では、「化学変化と電池」について学習する¹⁾。学習指導要領では、本項目における目標として「電解質水溶液と2種類の金属などを用いた実験を行い、電流が取り出せることを見いだすとともに、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」と記されている¹⁾。さらに、この目標を達成するための実験例として、「塩化ナトリウムや塩化銅などの電解質の水溶液に、亜鉛と銅板を電極として入れると、電圧が生じ電池になることを実験で確かめさせる」と記されている¹⁾。

本単元で扱う化学電池の実験として教科書では、ボルタ電池、果物電池、備長炭電池などが掲載されている^{2,6)}。これらの中で、ボルタ電池は構造が簡単で金属板と電解液の反応を容易に観察することができ、「化学反応によって化学エネルギーが電気エネルギーに変換されている」ことを学習する上で適した実験教材である。しかし、教科書^{2,4,6)}に記載されているようなビーカー(200 mL、300 mL)を用いてボルタ電池の実験を行った場合、塩酸などの廃液が多量に排出され、それを中和するためのアルカリ溶液も多く必要となる。

最近、多くの環境問題を背景に環境に配慮したマ

イクロスケール実験が注目されている。マイクロスケール実験とは、通常の実験の数十分の一から数百分の一の小規模で行う実験であり、これには通常の実験と比較して、使用する試薬量や実験廃液が少なく安全性が高い、実験時間が短い、生徒個人あるいは二人程度の小人数で実験することができるなど数多くの利点がある^{7,8)}。

これまで本研究室では、ボルタ電池実験の最適条件、すなわち実験廃液を可能な限り少なくした状態で電子メロディおよび各種モーターを効率良く作動させる条件について検討してきた^{9,10)}。今回は、実験溶液をさらに少なくすることを目的として、容器にマイクロチューブを用いてボルタ電池を作製し、その実験条件について電子メロディおよび各種モーターごとに設定を行った。また、新しく作製した教材の有用性について検討するため、本教材を用いて授業実践を行った。さらに、授業の中で生じた幾つかの問題点について改善を試みた。

方法

1) 材料

電子メロディ、光電池用モーター(RF-510TN)および模型用モーター(RE-140)は(株)ナリカから購入した。過酸化水素水(30%)は和光純薬工業(株)のものを使用した。

2) マイクロチューブを用いた教材の作製および実

* 熊本大学教育学部

** 熊本大学大学院教育学研究科

*** 天草市立本渡東中学校

験条件の検討

金属板は、市販の銅板および亜鉛板を7 x 20 mmのサイズにカットしたものを使用し、容器は2 mLのマイクロチューブを使用した(図1)。金属板にデジタルマルチメーターを接続し、1~5 % 塩酸溶液1.7 mLの入ったマイクロチューブに浸した。浸した直後から1分間の電子メロディおよび各種モーターの作動状態を観察し、端子間電圧を測定した。作動状態の評価は、電子メロディの場合、きれいに鳴った(◎)、ゆっくり鳴った(○)、ジージーと鳴った(△)および鳴らなかった(×)の4段階で行い、モーターの場合は、勢いよく回った(◎)、ゆっくり回った(○)、途中で止まった(△)および回らなかった(×)の4段階で行った。また、減極剤の影響を調べる場合は、塩酸溶液中に過酸化水素水を0.05 mLまたは0.1 mL添加して同様に実験を行った。実験は3回ずつ繰り返し行い、データは平均 ± 標準偏差で示した。

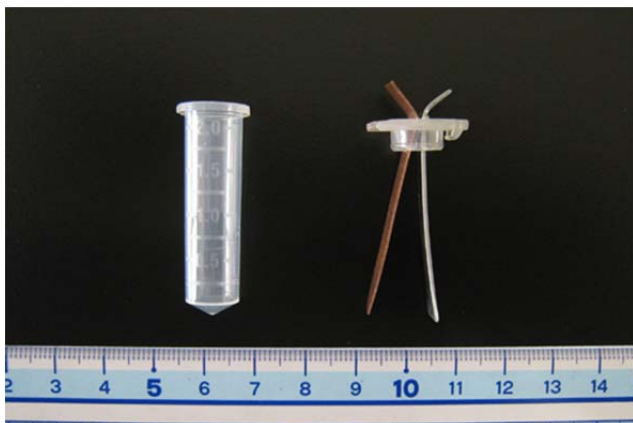


図1 マイクロチューブ教材

3) マイクロチューブ教材を用いた授業実践

熊本県内の中学校において、第3学年の1クラス(男子8名、女子9名、計17名)を対象に「化学変化とその利用」の授業を行った。実験は1グループ3人で行った。授業終了後にアンケート調査を行い、教材の有用性について検討した。

4) サンプル瓶を用いた教材の作製および実験条件の検討

金属板は、10 x 50 mm サイズにカットした銅板および亜鉛板を使用し、容器は5 mLのサンプル瓶を

使用した(図2)。デジタルマルチメーターを接続した金属板を1% 塩酸溶液4 mL および過酸化水素水0.11~0.15 mLの入ったサンプル瓶に浸した。浸した直後から1分間の光電池用モーターの作動状態を観察し、端子間電圧を測定した。実験は3回ずつ繰り返し行い、データは平均 ± 標準偏差で示した。

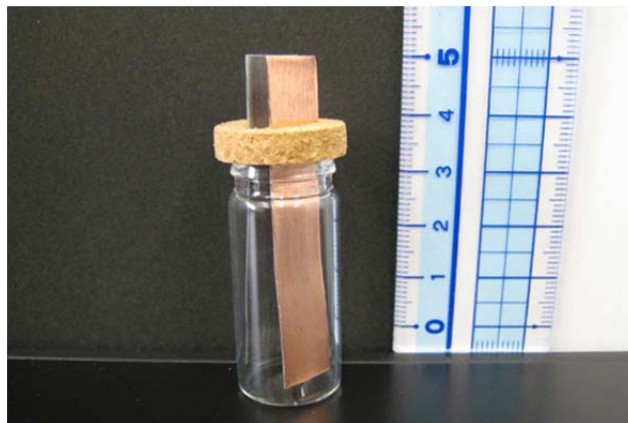


図2 サンプル瓶教材

5) サンプル瓶教材を用いた授業実践

熊本県内の中学校において、第3学年の2クラス(男子25名、女子23名、計48名)を対象に「化学変化とその利用」の授業を行った。実験は1グループ2人で行った。授業終了後にアンケート調査を行い、教材の有用性について検討した。

結果と考察

1) マイクロチューブ教材

i) 電子メロディの場合

電子メロディの作動状態ならびに端子間電圧に及ぼす塩酸濃度および減極剤の影響について検討した(表1)。その結果、減極剤を添加しない場合では、すべての塩酸濃度において正常な作動は見られなかった。しかし、減極剤を添加すると、すべての塩酸濃度において正常な作動が確認された。

ii) 光電池用モーターの場合

光電池用モーターの作動状態ならびに端子間電圧に及ぼす塩酸濃度および減極剤の影響について検討した(表2)。その結果、減極剤を添加しない場合では、すべての塩酸濃度において正常な作動は見られ

表1 電子メロディの作動状態に及ぼす塩酸濃度および減極剤の影響

塩酸濃度 (%)	作動状態 端子間電圧 (V)		
	減極剤なし	0.05 mL	0.10 mL
5	○(○○○) 0.77 ± 0.02	◎(◎◎◎) 0.92 ± 0.04	◎(◎◎◎) 0.93 ± 0.01
4	○(○○○) 0.79 ± 0.06	◎(◎◎◎) 0.94 ± 0.01	◎(◎◎◎) 0.94 ± 0.01
3	○(○○○) 0.82 ± 0.02	◎(◎◎◎) 0.96 ± 0.01	◎(◎◎◎) 0.95 ± 0.01
2	○(○○○) 0.82 ± 0.01	◎(◎◎◎) 0.88 ± 0.18	◎(◎◎◎) 0.97 ± 0.00
1	○(○○○) 0.89 ± 0.02	◎(◎◎◎) 0.81 ± 0.00	◎(◎◎◎) 0.81 ± 0.05

作動状態の評価: ◎, きれいに鳴った; ○, ゆっくり鳴った; △, ジージーと鳴った; ×, 鳴らなかった。

表3 模型用モーターの作動状態に及ぼす塩酸濃度および減極剤の影響

塩酸濃度 (%)	作動状態 端子間電圧 (V)		
	減極剤なし	0.05 mL	0.10 mL
5	×(××△) 0.10 ± 0.06	◎(◎◎◎) 0.28 ± 0.05	◎(◎◎◎) 0.45 ± 0.06
4	×(×△×) 0.06 ± 0.01	◎(◎◎◎) 0.33 ± 0.06	◎(◎◎◎) 0.46 ± 0.06
3	×(×××) 0.04 ± 0.01	◎(◎◎◎) 0.33 ± 0.00	◎(◎◎◎) 0.27 ± 0.04
2	×(×××) 0.05 ± 0.00	△(△○△) 0.18 ± 0.04	◎(◎◎◎) 0.27 ± 0.02
1	×(×××) 0.03 ± 0.01	△(△△△) 0.09 ± 0.03	△(△△△) 0.12 ± 0.04

作動状態の評価: ◎, 勢いよく回った; ○, ゆっくり回った; △, 途中で止まった; ×, 回らなかった。

表2 光電池用モーターの作動状態に及ぼす塩酸濃度および減極剤の影響

塩酸濃度 (%)	作動状態 端子間電圧 (V)		
	減極剤なし	0.05 mL	0.10 mL
5	○(○○○) 0.31 ± 0.01	◎(◎◎◎) 0.92 ± 0.03	◎(◎◎◎) 0.90 ± 0.01
4	○(○△○) 0.27 ± 0.04	◎(◎◎◎) 0.94 ± 0.01	◎(◎◎◎) 0.96 ± 0.00
3	△(△△△) 0.23 ± 0.01	◎(◎◎◎) 0.96 ± 0.01	◎(◎◎◎) 0.97 ± 0.01
2	△(△△△) 0.24 ± 0.00	◎(◎◎◎) 0.88 ± 0.01	◎(◎◎◎) 0.79 ± 0.01
1	△(△△△) 0.21 ± 0.01	◎(◎◎◎) 0.81 ± 0.00	◎(◎◎◎) 0.75 ± 0.01

作動状態の評価: ◎, 勢いよく回った; ○, ゆっくり回った; △, 途中で止まった; ×, 回らなかった。

なかった。しかし、減極剤を添加すると、すべての塩酸濃度において1分間以上の勢いのある回転が認められた。

iii) 模型用モーターの場合

模型用モーターの作動状態ならびに端子間電圧に及ぼす塩酸濃度および減極剤の影響について検討した(表3)。その結果、減極剤を添加しない場合では、すべての塩酸濃度においてモーターの正常な回転は認められなかった。しかし、減極剤を0.05 mL添加した場合は、3~5%の塩酸濃度において、また減極剤を0.1 mL添加した場合は、2~5%の塩酸濃度において勢いのある回転が認められた。

以上の結果から、7 x 20 mmの金属板および2 mLのマイクロチューブを用いてボルタ電池の実験を行う場合、電子メロディおよび光電池用モーターを使

用するときは、1%塩酸溶液1.7 mLに過酸化水素水を0.05 mL添加した条件で行うと安定した作動が得られることがわかった。また、模型用モーターを使用するときは、2%塩酸溶液1.7 mLに過酸化水素水0.1 mLを添加した条件で行うと十分であることがわかった。

2) マイクロチューブ教材を用いた授業実践

実験は、マイクロチューブに1%塩酸溶液を2 mL加え、さらに過酸化水素水をスポイトで1滴(0.05 mL)添加して行った。電気の発生を確認する道具としては光電池用モーターを使用した。

授業終了後にアンケート調査を行った。まず初めに、マイクロチューブ教材の扱い易さについて調べる目的で「実験操作は簡単でしたか」と聞いたところ、17名中14名(82%)の生徒が「とても簡単だった」、「簡単だった」と回答した(図3)。

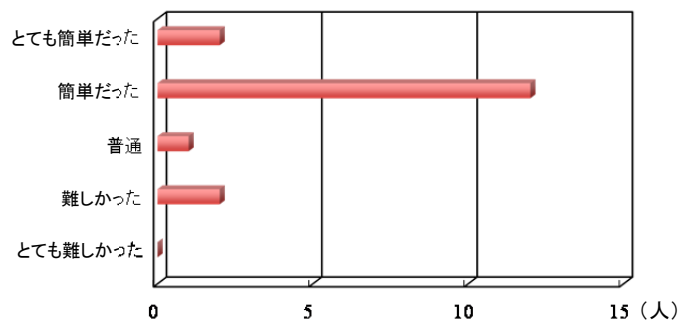


図3 操作は簡単だったか

また、「実験器具が小さくて困ることはありません

でしたか」という質問に対しても、17名中13名(76%)の生徒が「なかった」と回答した(図4)。一方、少数意見ではあるが「困ることがあった」と回答した生徒は、その具体的な内容として「使いにくい」、「スポットで過酸化水素水を入れるときに難しかった」、「塩酸を入れるときに手に付きそうで怖かった」、「変化のようすがわかりにくかった」と記述しており、主に装置が小さいことによる操作の難しさを感じたことがわかった。

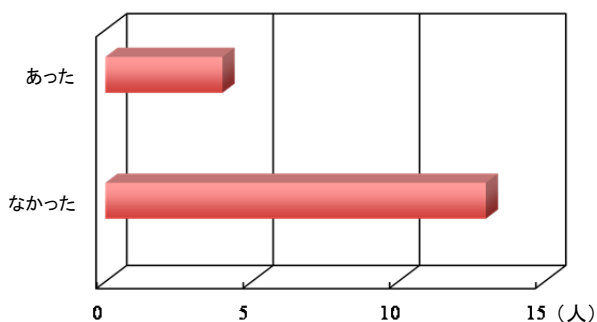


図4 実験器具が小さくて不都合があったか

「電池の学習について理解できましたか」という問いに対しては、「よく理解できた」、「理解できた」と回答した生徒は12名(71%)で、逆に「あまりわからなかった」、「わからなかった」と答えた生徒は5名であった(図5)。

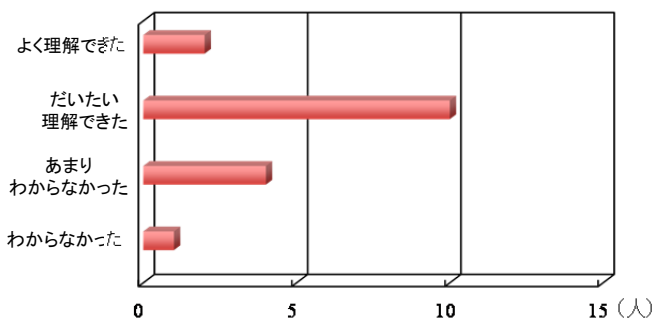


図5 学習内容の理解度

授業者(中学校教諭)の感想を表4に示す。マイクロチューブ教材の良い点としては、「塩酸等薬品の使用が少なく無駄がない」、「モーターが非常によく回転するので生徒も感動し、主体的に実験を行っていた」ことが挙げられ、小容量でかつモーターが正常に作動するという点に評価を得た。一方、問題点

としては、「電極の観察が大変そうだった」、「負極からも気泡が発生した」ことが挙げられた。

表4 授業者の感想

<ul style="list-style-type: none"> ・装置が小型なので、塩酸等薬品の使用が少なく無駄がない。 ・小型ながらモーターが非常によく回転するので、生徒も感動し主体的に実験を行っていた。 ・負極(亜鉛板)からも気泡が発生した。 ・装置が小さいので電極における反応の様子を観察するのが大変そうだった。特に、回路に接続する前と接続中との反応の違いがもう少し分かりやすいとよい。

以上の結果から、マイクロチューブを用いたボルタ電池は教材として有用ではあるが、電池の容器が小さすぎて、金属板と溶液の観察が難しいこと、また陰極の亜鉛板においても気泡が発生するという問題点が見つかった。

3) サンプル瓶教材

授業実践で見つかった問題点を改善するためにボルタ電池教材の改良を試みた。電極における反応を観察しやすいように、容器を2 mLのマイクロチューブから5 mLのサンプル瓶に換え、金属板のサイズを大きくした(図2)。さらに、この改良型ボルタ電池を用いて、銅板においてのみ気泡が発生し、亜鉛板では気泡が発生しない実験条件の設定を試みた。塩酸溶液は1%濃度に固定し、減極剤の添加量を増減することによって光電池用モーターの作動状態ならびに各電極における気泡発生の有無について検討した(表5)。その結果、試験したすべての実験条件においてモーターの正常な作動が認められた。

亜鉛板における気泡の発生は、減極剤の添加量が0.11 mLにおいて認められたが、0.12 mLから0.15 mLの範囲では認められなかった。また、銅板においては、減極剤の添加量が0.11 mL および0.12 mL では気泡はゆっくりと発生し、0.13 mL 以上になると勢いよく発生した。

以上の結果から、サンプル瓶を容器として使用する場合、電気の発生を確認する道具として光電池用モーターを使用し、1%塩酸4 mLに過酸化水素水を0.14 mL添加するとよい結果が得られることがわかった。

表5 光電池用モーターの作動状態および気泡の発生に及ぼす減極剤の影響

減極剤 (mL)	作動状態	端子間電圧 (V)	気泡発生	
			亜鉛板	銅板
0.15	◎(◎◎◎◎)	0.81 ± 0.01	×(××××)	◎(◎◎◎◎)
0.14	◎(◎◎◎◎)	0.82 ± 0.01	×(××××)	◎(◎◎◎◎)
0.13	◎(◎◎◎◎)	0.74 ± 0.17	×(××××)	◎(○◎◎◎)
0.12	◎(◎◎◎◎)	0.56 ± 0.03	×(××××)	○(○○○○)
0.11	◎(◎◎◎◎)	0.56 ± 0.04	△(△△△△)	○(×○○○)

作動状態の評価: ◎, 勢いよく回った; ○, ゆっくり回った; △, 途中で止まった; ×, 回らなかった.
 気泡発生の評価: ◎, 勢いよく発生した; ○, ゆっくり発生した; △, わずかに発生した; ×, 発生しなかった.

4) サンプル瓶教材を用いた授業実践

サンプル瓶を用いたボルタ電池教材の有用性について検討するため, 本教材を用いた授業実践を行い, アンケート調査を実施した. 先ず初めに, 本教材の扱い易さについて調べる目的で「実験操作は簡単でしたか」と聞いたところ, 48名中43名(90%)の生徒が「とても簡単だった」および「簡単だった」と回答した(図6). また, 「実験器具が小さくて困ることはありませんでしたか」という質問に対しても, 45名(94%)の生徒が「なかった」と回答した(図7).

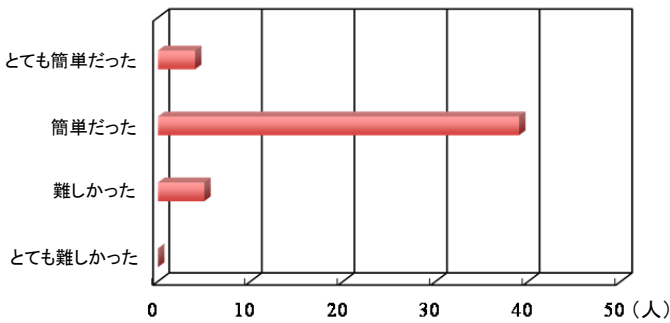


図6 実験操作は簡単だったか

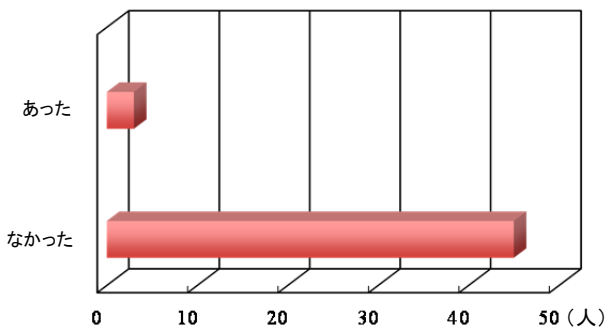


図7 実験器具が小さくて不都合があったか

これらの結果から, 容器が大きくなったことで実験操作に関して難しいと感じた生徒はマイクロチューブの場合と比較して減少したものと考えられた.

次に, 本教材を用いた実験結果の理解度について調べる目的で「実験結果はわかりやすかったですか」と質問したところ, 44名(92%)の生徒が「とてもわかりやすかった」および「わかりやすかった」と回答した(図8). 今回の授業では, モーターが正常に作動する最適条件で実験を行っているので, 「モーターが回転しない」などの失敗がなかったこと, また, 金属板と溶液とで起こる化学反応を明瞭に観察できる透明なサンプル瓶を使用したことなども生徒が「わかりやすかった」と回答した一因であると推察された.

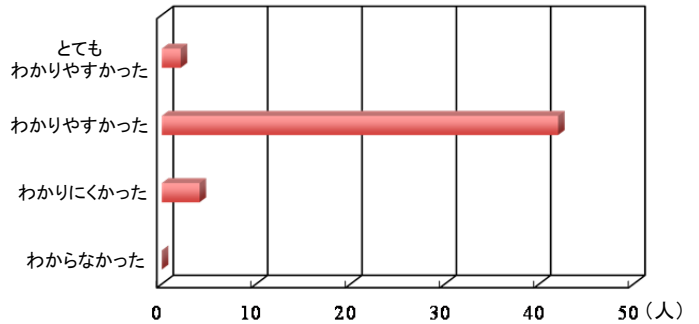


図8 実験結果の理解度

本教材を用いた学習内容の理解度について調べる目的で「電池の学習について理解できましたか」と質問したところ, 38名(79%)の生徒が「よく理解できた」および「だいたい理解できた」と回答し, 大半の生徒が本時の学習内容について理解している様子が見られた(図9). 但し, 学習内容の理解度については今後小テストなどでさらに詳細に分析する

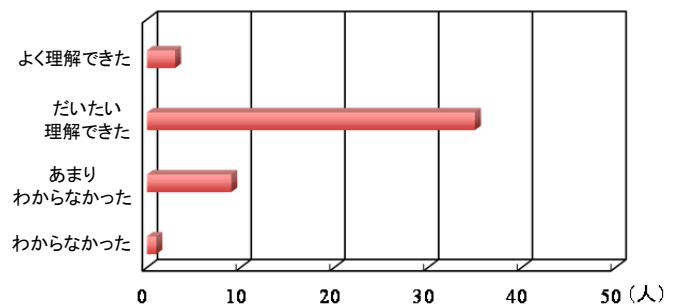


図9 学習内容の理解度

必要がある。

以上の結果から、生徒の大半は実験結果を理解し、授業内容についても理解している様子が見られたことから、本教材は、化学電池の学習で用いる実験教材として有用であると考えられた。

おわりに

本研究では、化学電池の実験をマイクロスケールで行うことができる教材を作製し、さらに作製した教材について最適な結果が得られる実験条件を設定した。今回作製した装置を図10に示す。光電池用モーターを用いた本教材1セット当たりの材料費は約800円である。これらの材料はどこでも入手できる安価なものを使用しているため、教材を幾つか作製し、少人数での実験も可能である。また、今回設定した実験条件は、少量の溶液で実験を行うことができ、安全で環境に配慮した実験が実施できるものと期待される。さらに、授業実践から本教材は化学電池の授業で用いる教材として有用であると考えられた。

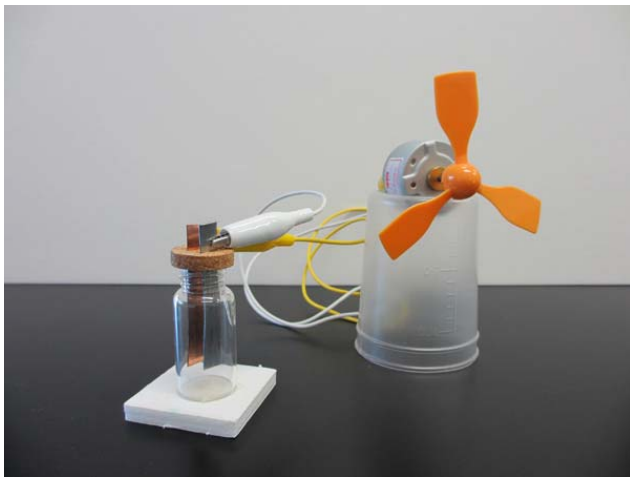


図10 マイクロスケール実験装置

参考文献

- 1) 文部科学省. 中学校学習指導要領解説 理科編, 大日本図書, pp. 48-52 (2008).
- 2) 塚田 捷 他. 未来へ広がるサイエンス3, 啓林館(2012).
- 3) 有馬朗人 他. 理科の世界3年, 大日本図書 (2012).
- 4) 岡村定矩 他. 新しい科学3年, 東京書籍 (2012).
- 5) 細矢治夫 他. 自然の探求 中学校理科3, 教育出版(2012).
- 6) 霜田光一 他. 中学校科学3, 学校図書 (2012).
- 7) 荻野和子. 化学と教育, 49 (2), pp. 110 (2001).
- 8) 中川徹夫. マイクロスケール実験研究論文集, 神戸女学院大学人間環境学部・バイオサイエンス学科科学教育研究室発行 (2011).
- 9) 島田秀昭, 松岡信清. 中学校理科における実験教材としてのボルタ電池に関する研究—適切な起電力を得るための実験条件—. 熊本大学教育学部紀要 自然科学 56, 43-46 (2007).
- 10) 島田秀昭, 小田絵理. 中学校理科で使用するボルタ電池に関する研究 (第2報) —廃液を考慮した実験条件—. 熊本大学教育学部紀要 自然科学 58, 7-11 (2009).

補記

本論文は、熊本大学教育学部紀要 自然科学 (第59号, 2010) に掲載された論文の一部に新しくデータを追加して再構成し、さらに査読を経て修正したものである。