

# 中学校理科で使用するボルタ電池に関する研究 (第3報)

- 廃液を考慮した小容量実験 -

西村幸太・島田秀昭

## Studies on the Voltaic Cell Used in Lower Secondary School Science (III): Small-Scale Experiment that Considered Experimental Waste Fluid

Kota NISHIMURA and Hideaki SHIMADA

(Received October 1, 2010)

The Voltaic cell is used as a teaching material in lower secondary school science. However, since the experiment of the Voltaic cells produces a large amount of experimental waste fluid, this experiment is often performed by only a teacher. In the present study, to obtain the suitable conditions for the Voltaic cell that considered experimental waste fluid, we examined the effects of concentrations and amounts of hydrochloric acid solution on the operation of electronic melody and two kinds of motors. A condition for small-scale experiment using microtube was also examined.

**Key words :** the Voltaic cell, teaching material, experimental condition, small-scale experiment

### はじめに

中学校理科1分野では第3学年において、「化学反応とエネルギー」を学習する。本単位に関して学習指導要領には、「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」と書かれている<sup>1)</sup>。この単元で扱う電池の実験として教科書では、ボルタ電池、果物電池、野菜電池、備長炭電池などが採用されている<sup>2-5)</sup>。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、「化学反応によって電気が取り出せることを見いださせていく」ことを学習する上で適した実験教材である。また、果物電池などとは異なり「モーターが回った」「電子メロディが鳴った」という現象に一喜一憂するにとどまらず、金属板と水溶液の反応に視点を当てて実験を観察することで科学的思考を育むことができる。しかし、実際に学校現場においてボルタ電池の実験を行った際に「モーターが回転しない」、「電子メロディが鳴らない」などの失敗をすることがある。また、ボルタ電池の実験は塩酸などの廃液が多量に出るため、学校現場においては多人数班での実験あるいは演示実験で行われている場合が多い。

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<sup>6,7)</sup>。今回は、電子メロディおよび各種モーターの作動状態に及ぼす減極剤の影響をより詳細に調べるために減極剤の添加量を具体的に設定し、その作動状態に及ぼす塩酸液量および濃度の影響について再度検討した。また、より実験廃液を少なくするためにマイクロチューブを用いたスモールスケール実験についても検討を加えた。

### 実験方法

#### 1. 市販サイズの金属板を用いた実験

金属板は、市販サイズ(20×70 mm)の銅板および亜鉛板を用いた。金属板にデジタルマルチメーターを接続し、1~10%の塩酸溶液10~50 mlの入ったビーカー(50 ml)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。なお、モーターの回転が確認しやすいようにプロペラを取り付けた。また、減極剤の影響を調べる場合には、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。すべての実験は3回ずつ繰り返し行い、データは平均±標準偏差で示した。

## 2. マイクロスケール実験

金属板は、市販の銅板および亜鉛板を7×20 mmのサイズにカットしたものをを用いた。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(2 ml)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。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。

## 結果と考察

## 1. 市販サイズの金属板を用いた実験

## i) 電子メロディの場合

市販の銅と亜鉛の金属板(20×70 mm)を用いたときの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液量および減極剤の影響について検討した。塩酸溶液は5%濃度のものを50 ml ビーカーに入れて使用した。得られた結果を表1に示す。減極剤を添加しない場合では、すべての塩酸液量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、すべての塩酸液量において正常な作動が確認された。しかし、50 mlのビーカーに塩酸溶液を10 ml入れた場合においては、液面が低すぎるために金属板と塩酸の化学反応による気体の発生を確認することが難しかった。したがって、本サイズの金属板を用いて実験を行う場合には、50 mlのビーカーに少なくとも20 mlの塩酸溶液が必要であることがわかった。

次に、塩酸液量を20 mlに固定したときの塩酸濃度の影響について検討した。1～5%濃度の塩酸溶液に、減極剤として過酸化水素水を0.05 ml添加し、電子メロディの作動状態ならびに端子間電圧を測定した(表2)。その結果、使用したすべての塩酸濃度において正常な作動が確認された。

表1 電子メロディの作動状態に及ぼす塩酸液量および減極剤の影響

塩酸液量 (ml)	作動状態 端子間電圧 (V)		
	減極剤なし	0.05 ml	0.1 ml
50	○(○ △ ○) 0.73±0.02	◎(◎ ◎ ◎) 0.58±0.00	◎(◎ ◎ ◎) 0.86±0.00
40	△(△ △ △) 0.71±0.01	◎(◎ ◎ ◎) 0.85±0.00	◎(◎ ◎ ◎) 0.87±0.00
30	△(△ △ △) 0.74±0.02	◎(◎ ◎ ◎) 0.84±0.01	◎(◎ ◎ ◎) 0.88±0.00
20	△(△ △ △) 0.71±0.01	◎(◎ ◎ ◎) 0.86±0.01	◎(◎ ◎ ◎) 0.89±0.00
10	△(△ △ △) 0.73±0.01	◎(◎ ◎ ◎) 0.89±0.01	◎(◎ ◎ ◎) 0.90±0.00

50 ml ビーカー使用；塩酸濃度5%。

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

表2 電子メロディの作動状態に及ぼす塩酸濃度の影響

塩酸濃度 (%)	作動状態 端子間電圧 (V)
5	◎(◎ ◎ ◎) 0.86±0.01
4	◎(◎ ◎ ◎) 0.88±0.00
3	◎(◎ ◎ ◎) 0.89±0.01
2	◎(◎ ◎ ◎) 0.93±0.03
1	◎(◎ ◎ ◎) 0.92±0.00

50 ml ビーカー使用；塩酸液量20 ml；過酸化水素水0.05 ml 添加。

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

## ii) 光電池用モーターの場合

市販の銅と亜鉛の金属板(20×70 mm)を用いたときの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液量および減極剤の影響について検討した。得られた結果を表3に示す。減極剤を添加しない場合では、すべての塩酸液量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端子間電圧が顕著に増加し、すべての塩酸液量において安定した回転が観察された。

次に、塩酸液量を20 mlに固定したときの塩酸濃度の影響について検討した。1～5%濃度の塩酸溶液に、減極剤として過酸化水素水を0.05 ml添加し、光電池用モーターの作動状態ならびに端子間電圧を測定した(表4)。その結果、使用したすべての塩酸濃度において正常な作動が確認された。

表3 光電池用モーターの作動状態に及ぼす塩酸液量および減極剤の影響

塩酸液量 (ml)	作動状態 端子間電圧 (V)		
	減極剤なし	0.05 ml	0.1 ml
50	○(○ ○ ○) 0.32±0.03	◎(◎ ◎ ◎) 0.66±0.14	◎(◎ ◎ ◎) 0.77±0.14
40	○(○ ○ ○) 0.31±0.04	◎(◎ ◎ ◎) 0.59±0.01	◎(◎ ◎ ◎) 0.87±0.02
30	○(△ ○ ○) 0.27±0.07	◎(◎ ◎ ◎) 0.83±0.00	◎(◎ ◎ ◎) 0.91±0.00
20	○(△ ○ ○) 0.26±0.05	◎(◎ ◎ ◎) 0.76±0.15	◎(◎ ◎ ◎) 0.81±0.17
10	△(△ ○ △) 0.20±0.08	◎(◎ ◎ ◎) 0.86±0.00	◎(◎ ◎ ◎) 0.92±0.01

50 ml ビーカー使用；塩酸濃度5%。

作動状態：◎、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4 光電池用モーターの作動状態に及ぼす塩酸濃度の影響

塩酸濃度 (%)	作動状態	
	端子間電圧 (V)	
5	◎(◎ ◎ ◎)	0.86±0.03
4	◎(◎ ◎ ◎)	0.86±0.00
3	◎(◎ ◎ ◎)	0.87±0.00
2	◎(◎ ◎ ◎)	0.78±0.16
1	◎(◎ ◎ ◎)	0.78±0.17

50 ml ビーカー使用；塩酸液量 20 ml；過酸化水素水 0.05 ml 添加。  
作動状態：◎、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6 模型用モーターの作動状態に及ぼす塩酸濃度の影響

塩酸濃度 (%)	作動状態	
	端子間電圧 (V)	
10	◎(◎ ◎ ◎)	0.25±0.01
9	○(△ ○ ○)	0.23±0.00
8	△(△ △ △)	0.20±0.01
7	△(△ ○ △)	0.20±0.03
6	△(△ × △)	0.17±0.00

50 ml ビーカー使用；塩酸液量 40 ml；過酸化水素水 0.1 ml 添加。  
作動状態：◎、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。

iii) 模型用モーターの場合

市販の銅と亜鉛の金属板 (20 × 70 mm) を用いたときの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液量および減極剤の影響について検討した。得られた結果を表5に示す。減極剤を添加しない場合では、すべての塩酸液量において正常な作動は認められなかった。また、減極剤が0.05 ml の場合においてもすべての塩酸液量において正常な作動は認められなかった。一方、減極剤を0.1 ml 添加した場合は、塩酸液量が40 ml および50 ml において正常な作動が確認された。しかし、塩酸液量が30 ml 以下になると正常な作動は観察されなかった。

次に、塩酸液量を40 ml に固定したときの塩酸濃度の影響について検討した。1～5 %濃度の塩酸溶液に、減極剤として過酸化水素水を0.1 ml 添加し、模型用モーターの作動状態ならびに端子間電圧を測定した(表6)。その結果、塩酸濃度が10 %の場合においてのみ模型用モーターの正常な作動が確認された。

表5 模型用モーターの作動状態に及ぼす塩酸液量および減極剤の影響

塩酸液量 (ml)	作動状態		
	端子間電圧 (V)		
	減極剤なし	0.05 ml	0.1 ml
50	○(△ ○ ○) 0.23±0.02	○(○ ○ △) 0.21±0.05	◎(◎ ◎ ◎) 0.26±0.02
40	△(△ △ ○) 0.21±0.02	△(△ △ △) 0.16±0.05	◎(◎ ◎ ◎) 0.25±0.01
30	×(△ × ×) 0.19±0.01	△(△ △ △) 0.13±0.04	○(○ ○ ◎) 0.19±0.04
20	×(× △ ×) 0.11±0.06	△(△ △ △) 0.07±0.07	○(○ ○ △) 0.18±0.02
10	×(× × ×) 0.08±0.03	×(△ × ×) 0.03±0.03	△(△ △ △) 0.11±0.01

50 ml ビーカー使用；塩酸濃度 10 %。  
作動状態：◎、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。

以上の結果から、市販サイズの金属板 (20 × 70 mm) 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、50 ml ビーカーに1 %濃度の塩酸溶液20 ml を加え、さらに過酸化水素水0.05 ml を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、50 ml ビーカーに10 %濃度の塩酸溶液40 ml を加え、さらに過酸化水素水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. スモールスケール実験

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。得られた結果を表7に示す。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。

表7 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	0.1 ml
5	○(○ ○ ○) 0.77±0.02	◎(◎ ◎ ◎) 0.92±0.03	◎(◎ ◎ ◎) 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

2 ml マイクロチューブ使用；塩酸液量 1.7 ml。  
作動状態：◎、きれいに鳴った；○、ゆっくり鳴った；△、ジーと鳴った；×、鳴らなかった。

## 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8)。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1分間以上の勢いのある回転が認められた。

表8 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	0.1 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

2ml マイクロチューブ使用；塩酸液量 1.7 ml.

作動状態：◎、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。

## 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9)。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。

表9 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	0.1 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

2ml マイクロチューブ使用；塩酸液量 1.7 ml.

作動状態：◎、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。

以上の結果から、7×20 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スマールスケール実験を行う場合、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。今回使用したマイクロチューブ(2 ml)は、容器が透明で金属と電解液の反応を観察することができ、1個あたりの単価が非常に安価で、再利用も可能である。

## おわりに

本研究では、電子メロディおよび各種モーターを効率よく作動させるために必要最小限の塩酸液量および濃度を設定することができた。さらに、マイクロチューブを用いたスマールスケール実験は、ごく少量の溶液で実験を行うことができるため、生徒個人での実験が可能であり、より環境に配慮した実験が実施可能であると考えられる。

## 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) 竹内敬人他. 未来へ広がるサイエンス, 第1分野下, 啓林館 (2007).
- 3) 三浦登他. 新編新しい科学1分野下, 東京書籍 (2007).
- 4) 細谷治夫他. 理科1分野下～実験から自然のしくみを見つける～, 教育出版 (2007).
- 5) 戸田盛和他. 新版中学校理科1分野下, 大日本図書 (2007).
- 6) 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). 本論文を中学校理科で使用するボルタ電池に関する研究(第1報)とする.
- 7) 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, pp. 7-11 (2009).