

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 —

島田秀昭・小田絵理

Studies on the Voltaic Cell Used in Lower Secondary School Science (II): Experimental Conditions that Considered Experimental Waste Fluid

Hideaki SHIMADA and Eri ODA

(Received October 1, 2009)

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 electromotive force using an electronic melody and two kinds of motors.

Key words: the Voltaic cell, teaching material, experimental condition, waste fluid

はじめに

中学校理科では、第3学年の第1分野において「化学変化とエネルギー」を学習する。本単元の目標と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こと」と記載されている¹⁾。また本単元の実験としては、携帯用カイロなどを用いた化学変化によって熱エネルギーを取り出す実験や、化学変化によって電気エネルギーを取り出す電池の実験が取り上げられている。これらはいずれも日常生活において利用されているものであり、生徒の興味・関心を高めるねらいがある。実際、選択授業や科学展において電池を実験教材として用いた場合、生徒の興味・関心は高い^{2, 3)}。また最近、テレビや新聞などで「燃料電池」、「バイオ燃料」といったエネルギーに関する話題が多く取り上げられており、生徒の関心はより高まる傾向にある。

中学校理科における電池の実験では、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。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、果物電池などと違い「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、金属板や水溶液に視点を当てて電池ができる条件を考えさせることで、化学的思考を育むことができる実験教材でもある。しかし、実際に実験を行ったとき、モーターが回転しなかったり、電子メロディが鳴らなかったりなどの失敗が多々ある。さらに、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個人や少人数での実験ではなく、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。

前報において我々は、ボルタ電池を用いた実験の最適条件を見出すことを目的として、各種金属板の組み合わせによる電子メロディおよび各種モーターの作動状態を比較すると共に、電解液の濃度や量の違いによる電子メロディおよび各種モーターの作動状態について検討した⁴⁾。今回は、ボルタ電池を用いた実験の最適条件、特に実験廃液を可能な限り少なくする条件を見出すことを目的として、3種類のサイズの金属板を用いて、電子メロディ、光電池用モーターおよび模型用モーターの作動状態並びに端子間電圧に及ぼす塩酸溶液の液量、濃度および減極剤の影響について検討した。

実験方法

金属板は、大サイズ (45×150mm)、中サイズ (20×45mm) および小サイズ (12×45mm) の3種類のサイズの銅板と亜鉛板を用いた。それぞれの金属板にデジタルマルチメーターを接続し、1～5%濃度の塩酸溶液10～70mlの入ったビーカー (50または100ml) に浸した。浸した直後の電子メロディ、光電池用モーターおよび模型用モーターの作動状態を確認し、1分後の端子間電圧を測定した。なお、モーターの回転を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は、塩酸溶液中に過酸化水素水を1滴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。

結果と考察

1) 金属板 (大サイズ: 45×150mm) の場合

銅と亜鉛の金属板 (45×150mm) を用いたときの電子メロディ、光電池用および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の影響について比較した。塩酸水溶液は5%濃度のものを100mlのビーカーに入れて使用した。得られた結果を表1に示す。電子メロディでは、塩酸液量が70mlの場合においてのみ正常な作動が確認され、その他の液量においては鳴り方が遅くなる現象が認められた。今回使用した電子メロディは、電圧が0.7V以上であれば正常に作動することがメーカー保証されているが、実験結果ではいずれの塩酸液量においても端子間電圧は0.7Vを超えているにもかかわらず50ml以下の液量では正常な作動は見られなかった。光電池用モーターでは、いずれの塩酸液量においても1分間以上のゆっくりとした回転が認められた。しかし、模型用モーターでは

表1 電子メロディおよび各種モーターの作動状態に及ぼす塩酸液量の影響

塩酸液量 (ml)	端子間電圧 (V)		
	電子メロディ	光電池用モーター	模型用モーター
70	0.76 ± 0.00 (◎)	0.35 ± 0.04 (○)	0.14 ± 0.02 (△)
50	0.75 ± 0.03 (○)	0.36 ± 0.02 (○)	0.13 ± 0.00 (×)
40	0.76 ± 0.01 (○)	0.33 ± 0.01 (○)	0.14 ± 0.01 (×)
30	0.77 ± 0.01 (○)	0.32 ± 0.01 (○)	0.12 ± 0.00 (×)
20	0.74 ± 0.01 (○)	0.30 ± 0.01 (○)	0.09 ± 0.02 (×)

電子メロディの場合: ◎, きれいに鳴った; ○, ゆっくり鳴った; △, 微かに鳴った; ×, 鳴らなかった。モーターの場合: ◎, 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。

いずれの塩酸液量においても端子間電圧は大きく低下し、液量が50ml以下ではモーターの回転は見られなかった。

5%塩酸溶液 (20～70ml) に過酸化水素水を1滴添加した場合の電子メロディおよび各種モーターの作動状況について検討した (表2)。電子メロディおよび光電池用モーターではすべての塩酸液量において安定した作動が認められた。また、模型用モーターの場合でも50ml以上の塩酸液量において正常な作動が確認された。

表2 電子メロディおよび各種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)	端子間電圧 (V)		
	電子メロディ	光電池用モーター	模型用モーター
70	0.89 ± 0.00 (◎)	0.87 ± 0.01 (◎)	0.45 ± 0.01 (◎)
50	0.89 ± 0.00 (◎)	0.88 ± 0.00 (◎)	0.37 ± 0.02 (◎)
40	0.89 ± 0.01 (◎)	0.89 ± 0.00 (◎)	0.19 ± 0.01 (○)
30	0.89 ± 0.00 (◎)	0.88 ± 0.00 (◎)	0.16 ± 0.02 (△)
20	0.91 ± 0.00 (◎)	0.72 ± 0.16 (◎)	0.16 ± 0.03 (△)

電子メロディの場合: ◎, きれいに鳴った; ○, ゆっくり鳴った; △, 微かに鳴った; ×, 鳴らなかった。モーターの場合: ◎, 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。

この実験で用いた金属板の大サイズ (45×150mm) は、化学実験教材として市販されているものの一つである。このサイズの金属板を用いてボルタ電池の実験を行う場合、ビーカーの容量は最低でも100mlは必要である。しかし今回、100mlのビーカーに塩酸溶液を20ml入れた場合においては、液面が低すぎるため金属板と塩酸の化学反応による気泡の発生を確認することができなかった。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、100mlのビーカーに少なくとも30mlの塩酸溶液が必要であり、また電気の発生を確認する手段としては電子メロディまたは光電池用モーターが適していることがわかった。

次に、塩酸液量を30mlに固定したときの塩酸濃度および減極剤の影響について検討した。1～5%濃度の塩酸溶液に、それぞれ減極剤として過酸化水素水を1滴添加し、電子メロディおよび各種モーターの作動状態ならびに端子間電圧を測定した (表3)。その結果、電子メロディでは、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。また、光電池用モーターでもすべての塩酸濃度において1分間以上ゆっくりとした回転が認められた。しかし、模型用モーターではいずれの塩酸濃度においても回転は見られなかった。

以上の結果から、45×150mmの金属板を用いてボルタ電池の実験を行う場合には、100mlのビーカーに1%濃度の塩酸溶液を30ml加え、さらに過酸化水素水を1

表3 電子メロディおよび各種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 (%)	端子間電圧 (V)		
	電子メロディ	光電池用モーター	模型用モーター
5	0.89 ± 0.03 (◎)	0.52 ± 0.04 (○)	0.20 ± 0.03 (×)
4	0.92 ± 0.01 (◎)	0.53 ± 0.02 (○)	0.17 ± 0.03 (×)
3	0.94 ± 0.00 (◎)	0.51 ± 0.02 (○)	0.17 ± 0.05 (×)
2	0.91 ± 0.00 (◎)	0.52 ± 0.03 (○)	0.11 ± 0.04 (×)
1	0.94 ± 0.01 (◎)	0.51 ± 0.01 (○)	0.17 ± 0.05 (×)

電子メロディの場合：◎、きれいに鳴った；○、ゆっくり鳴った；△、微かに鳴った；×、鳴らなかった。モーターの場合：◎、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。

滴添加して行くと十分であることがわかった。また、このときの電気の発生を確認する手段としては、電子メロディまたは光電池用モーターが適していると考えられた。

2) 金属板 (中サイズ：20×45mm) の場合

銅と亜鉛の金属板 (中サイズ：20×45mm) を用いたときの電子メロディおよび各種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の影響について比較した。塩酸水溶液は5%濃度のものを50mlのビーカーに入れて使用した。得られた結果を表4に示す。電子メロディでは、試験したすべての塩酸液量において正常な作動が確認された。光電池用モーターでは、塩酸液量が50mlおよび40mlの場合においては1分以上のゆっくりとした回転が認められたが、30mlではモーターの回転は途中で止まり、さらに20mlでは全く回転しなかった。また、模型用モーターでは、すべての塩酸液量において回転は見られなかった。

表4 電子メロディおよび各種モーターの作動状態に及ぼす塩酸液量の影響

塩酸液量 (ml)	端子間電圧 (V)		
	電子メロディ	光電池用モーター	模型用モーター
50	0.75 ± 0.03 (◎)	0.29 ± 0.00 (○)	0.23 ± 0.01 (×)
40	0.73 ± 0.01 (◎)	0.28 ± 0.01 (○)	0.20 ± 0.02 (×)
30	0.70 ± 0.00 (◎)	0.25 ± 0.00 (△)	0.23 ± 0.01 (×)
20	0.70 ± 0.01 (◎)	0.22 ± 0.01 (×)	0.23 ± 0.03 (×)
10	0.66 ± 0.02 (◎)	0.18 ± 0.00 (×)	0.10 ± 0.07 (×)

電子メロディの場合：◎、きれいに鳴った；○、ゆっくり鳴った；△、微かに鳴った；×、鳴らなかった。モーターの場合：◎、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。

5%塩酸溶液 (10～50ml) に過酸化水素水を1滴添加した場合の電子メロディおよび各種モーターの作動状況について検討した (表5)。その結果、光電池用モーターではすべての塩酸液量において端子間電圧が顕著に増加し、安定した回転が認められた (表5)。

一方、模型用モーターでは減極剤の効果は全く認められなかった。

表5 電子メロディおよび各種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)	端子間電圧 (V)		
	電子メロディ	光電池用モーター	模型用モーター
50	0.90 ± 0.03 (◎)	0.87 ± 0.02 (◎)	0.28 ± 0.09 (×)
40	0.89 ± 0.04 (◎)	0.81 ± 0.14 (◎)	0.40 ± 0.03 (×)
30	0.88 ± 0.02 (◎)	0.81 ± 0.15 (◎)	0.31 ± 0.07 (×)
20	0.91 ± 0.03 (◎)	0.80 ± 0.16 (◎)	0.39 ± 0.08 (×)
10	0.92 ± 0.06 (◎)	0.82 ± 0.17 (◎)	0.40 ± 0.01 (×)

電子メロディの場合：◎、きれいに鳴った；○、ゆっくり鳴った；△、微かに鳴った；×、鳴らなかった。モーターの場合：◎、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。

次に、塩酸液量を10mlに固定したときの塩酸濃度および減極剤の影響について検討した。1～5%濃度の塩酸溶液に、それぞれ減極剤として過酸化水素水を1滴添加し、電子メロディおよび各種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、電子メロディでは、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。また、光電池用モーターでも2～5%の塩酸濃度において1分以上の勢いのある回転が認められ、1%においてもゆっくりとした回転が得られた。しかし、模型用モーターではいずれの塩酸濃度においても回転は認められなかった。

表6 電子メロディおよび各種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 (%)	端子間電圧 (V)		
	電子メロディ	光電池用モーター	模型用モーター
5	0.91 ± 0.02 (◎)	0.71 ± 0.17 (◎)	0.34 ± 0.04 (×)
4	0.94 ± 0.02 (◎)	0.72 ± 0.17 (◎)	0.34 ± 0.03 (×)
3	0.95 ± 0.02 (◎)	0.93 ± 0.01 (◎)	0.35 ± 0.01 (×)
2	0.95 ± 0.03 (◎)	0.93 ± 0.01 (◎)	0.29 ± 0.02 (×)
1	0.86 ± 0.06 (◎)	0.50 ± 0.01 (○)	0.17 ± 0.02 (×)

電子メロディの場合：◎、きれいに鳴った；○、ゆっくり鳴った；△、微かに鳴った；×、鳴らなかった。モーターの場合：◎、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、20×45mmの金属板を用いて実験を行う場合には、50mlのビーカーに1%濃度の塩酸溶液を10ml加え、さらに過酸化水素水を1滴添加して行くと十分可能であることがわかった。また、このときの電気の発生を確認する手段としては、電子メロディまたは光電池用モーターが適していると考えられた。ただし、光電池用モーターを勢いよく回転させるためには2%濃度以上の塩酸溶液の使用が望ましい。

3) 金属板 (小サイズ: 12×45mm) の場合

銅と亜鉛の金属板 (小サイズ: 12×45mm) を用いたときの電子メロディおよび各種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の影響について比較した。塩酸水溶液は 5% 濃度のものを 50ml のビーカーに入れて使用した。得られた結果を表 7 に示す。電子メロディでは、塩酸液量が 30ml までは正常な作動が確認されたが、20ml になると鳴り方が遅くなる現象が見られた。光電池用モーターでは、塩酸液量が 30ml まではモーターの回転は見られるものの途中で止まり、20ml 以下では全く回転は見られなかった。模型用モーターでは、すべての塩酸液量においてモーターの回転は認められなかった。

表 7 電子メロディおよび各種モーターの作動状態に及ぼす塩酸液量の影響

塩酸液量 (ml)	端子間電圧 (V)		
	電子メロディ	光電池用モーター	模型用モーター
50	0.77 ± 0.01 (◎)	0.17 ± 0.02 (△)	0.23 ± 0.03 (×)
40	0.73 ± 0.05 (◎)	0.24 ± 0.01 (△)	0.25 ± 0.03 (×)
30	0.69 ± 0.00 (◎)	0.19 ± 0.02 (△)	0.23 ± 0.03 (×)
20	0.68 ± 0.01 (○)	0.16 ± 0.03 (×)	0.18 ± 0.01 (×)
10	0.64 ± 0.01 (○)	0.14 ± 0.03 (×)	0.16 ± 0.06 (×)

電子メロディの場合: ◎, きれいに鳴った; ○, ゆっくり鳴った; △, 微かに鳴った; ×, 鳴らなかった。モーターの場合: ◎, 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。

5% 塩酸溶液 (10~50ml) に過酸化水素水を 1 滴添加した場合の電子メロディおよび各種モーターの作動状況について検討した (表 8)。その結果、電子メロディおよび光電池用モーターの両方において、すべての塩酸液量で安定した作動が認められた。一方、模型用モーターでは減極剤の効果は全く認められなかった。

表 8 電子メロディおよび各種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)	端子間電圧 (V)		
	電子メロディ	光電池用モーター	模型用モーター
50	0.87 ± 0.01 (◎)	0.51 ± 0.02 (◎)	0.27 ± 0.14 (×)
40	0.91 ± 0.01 (◎)	0.54 ± 0.01 (◎)	0.11 ± 0.01 (×)
30	0.88 ± 0.01 (◎)	0.51 ± 0.02 (◎)	0.21 ± 0.07 (×)
20	0.90 ± 0.00 (◎)	0.55 ± 0.00 (◎)	0.21 ± 0.02 (×)
10	0.88 ± 0.02 (◎)	0.53 ± 0.01 (◎)	0.14 ± 0.05 (×)

電子メロディの場合: ◎, きれいに鳴った; ○, ゆっくり鳴った; △, 微かに鳴った; ×, 鳴らなかった。モーターの場合: ◎, 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。

次に、塩酸液量を 10ml に固定したときの塩酸濃度および減極剤の影響について検討した。1~5% 濃度の塩酸溶液に、それぞれ減極剤として過酸化水素水を 1

滴添加し、電子メロディおよび各種モーターの作動状態ならびに端子間電圧を測定した (表 9)。その結果、電子メロディでは、使用したすべての塩酸濃度において正常な作動が観察された。また、光電池用モーターでも 4% および 5% の塩酸濃度において 1 分以上の勢いのある回転が認められ、3% 以下の濃度においてもゆっくりとした回転が認められた。しかし、模型用モーターではいずれの塩酸濃度においても回転は認められなかった。

表 9 電子メロディおよび各種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 (%)	端子間電圧 (V)		
	電子メロディ	光電池用モーター	模型用モーター
5	0.91 ± 0.00 (◎)	0.89 ± 0.01 (◎)	0.35 ± 0.01 (×)
4	0.94 ± 0.01 (◎)	0.60 ± 0.01 (◎)	0.27 ± 0.03 (×)
3	0.96 ± 0.00 (◎)	0.55 ± 0.00 (○)	0.18 ± 0.04 (×)
2	0.96 ± 0.01 (◎)	0.53 ± 0.01 (○)	0.24 ± 0.03 (×)
1	0.90 ± 0.03 (◎)	0.48 ± 0.01 (○)	0.13 ± 0.03 (×)

電子メロディの場合: ◎, きれいに鳴った; ○, ゆっくり鳴った; △, 微かに鳴った; ×, 鳴らなかった。モーターの場合: ◎, 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、12×45mm の金属板を用いて実験を行う場合には、50ml のビーカーに 1% 濃度の塩酸溶液を 10ml 加え、さらに過酸化水素水を 1 滴添加して行うと十分可能であることがわかった。また、このときの電気の発生を確認する手段としては、電子メロディまたは光電池用モーターが適していると考えられた。ただし、光電池用モーターを勢いよく回転させるためには 4% または 5% 塩酸溶液の使用が望ましい。

以上、ボルタ電池の実験を行う場合には、以下の条件で行うと廃液を効果的に減らすことができることがわかった。

1. 金属板 (大サイズ: 45×150mm) の場合:

- ① 100ml のビーカーに 1% 濃度の塩酸溶液を 30ml 加え、さらに過酸化水素水を 1 滴添加して行う。
- ② 電気の発生を確認する手段としては電子メロディまたは光電池用モーターを用いる。ただし、この条件下では電子メロディは正常に作動するが、光電池用モーターはゆっくりとした回転となる。

2. 金属板 (中サイズ: 20×45mm) の場合:

- ① 50ml のビーカーに 1% 濃度の塩酸溶液を 10ml 加え、さらに過酸化水素水を 1 滴添加して行う。
- ② 電気の発生を確認する手段としては電子メロディまたは光電池用モーターを用いる。ただし、この

条件下では電子メロディは正常に作動するが、光電池用モーターを勢い良く回転させるためには2%濃度以上の塩酸溶液が必要である。

3. 金属板（小サイズ：12×45mm）の場合：

- ① 50mlのビーカーに1%濃度の塩酸溶液を10ml加え、さらに過酸化水素水を1滴添加して行う。
- ② 電気の発生を確認する手段としては電子メロディまたは光電池用モーターを用いる。ただし、この条件下では電子メロディは正常に作動するが、光電池用モーターを勢い良く回転させるためには4%濃度以上の塩酸溶液が必要である。

おわりに

本研究において得られたボルタ電池の実験条件は、教師用指導書に記載されている実験条件と比較して、実験により生じる廃液を最大で7分の1まで減らすこ

とができる。また、少量の液量で実験を行うことができるため、生徒個人あるいは少人数班での実験が可能である。

今後、さらに小規模な実験装置を開発し、より環境に配慮した化学実験を目指したい。

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) 鹿児島県総合教育センター, <http://www.edu.pref.kagoshima.jp/kari/rika/sentakurika>
- 3) 愛知教育大学附属高等学校 化学のページ, <http://www.auehs.aichi-edu.ac.jp/~binco>
- 4) 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。