

スチロール瓶を使った乾電池教材を利用した学生実験

棚瀬 繁雄 (大阪電気通信大学 工学部, qqdd8mx9k@miracle.ocn.ne.jp)

湯口 宜明 (大阪電気通信大学 工学部, yuguchi@isc.osakac.ac.jp)

A course in experiment on hand made dry batteries with cylindrical vessels made of polystyrene

Shigeo Tanase (Faculty of Engineering, Osaka Electro-Communication University, Japan)

Yoshiaki Yuguchi (Faculty of Engineering, Osaka Electro-Communication University, Japan)

要約

理工系の大学生を対象にした科学実験で使うことができるマンガン乾電池の教材(キット)を開発し、“マンガン乾電池の製作と評価”と題する課題を設定し、2012年度の前期の実験で教材を試用した。実験には100名の学生が参加し、正極合剤の調製を含む電池の製作、開路(負荷を繋がない状態における)電圧の測定、抵抗負荷による放電、電池の解体、セパレータや負極の状態の観察などを行った。製作した42個の電池の全てが1.5 V以上の開路電圧を示し、豆電球が明るく点灯した。しかし、2.5 Ωの抵抗負荷による連続放電では、放電時間が3~75分と電池毎に大きく変化した。負極の減量にファラデーの法則を適用して電氣量を求めるために、電池を解体して負極を回収した。解体後の目玉クリップ、炭素棒、スチロール瓶は、教材を補充する際、再利用した。学生は実験データの取得に掛かる一連の作業を3時間以内に終えることができ、実験の内容が量的に概ね妥当であること、また、実験を通して、学生が電池の製作、試験、評価に関する技術や、材料のリサイクルに関する素養を修得できることが分かった。

キーワード

乾電池, キット, 技術教育, 電池試験, 解体検査

1. 緒言

日本の学校教育では理科の中で乾電池や鉛蓄電池などの原理や使い方を教えている。しかし、実際に電池の内部を見る機会が殆ど無いため、現状の教育内容で電池の材料や構造を生徒が十分理解できるかどうか疑問がある。このような状況を少しでも改善し、電池に関する生徒の理解を助けるため、学校教育の現場では、“レモン電池”や“木炭電池”などを利用している。ただ、これらの電池は小中学生には向いていると思われるが、大学生を対象にした技術教育では、その適否を十分検討する必要がある。

話は変わるが、エネルギー・環境問題への関心の高まりとともに、燃料電池やリチウム電池などに関する研究開発が活発に行われるようになった。ここでは、理工系の大学や工業高等専門学校を卒業した技術者や研究者が材料の調製、電池の組み立て、電池の試験などを行っている。ただ、彼らの多くは電池に関する経験に乏しく、実務の初期の段階で困難に直面することがある。予め、電池に関する専門的な素養を身につける機会があれば、そのような事態を減らすことができるかも知れない。

上記のような状況を考えると、何らかの工夫が必要と思われる。この一つが、電池に関する効果的な単元を大学における科学実験に取り入れることである。この視点から、著者らはマンガン乾電池に着目した。この電池を取り入れた実験の実施については、当初、既製の乾電池キットの使用を考えた(電池工業会, 2009; 山下他, 2009)。しかし、非売品で入手に種々の困難を伴ったため、このキットの使用を断念した。続いて、市販品で入手の比較的容易な別のキットの利用を検討したが(美工社)、先のキットと比較すると、一部の部品が省

かれており、電池の構造に問題があることが分かった。

そのため、現在までに提案・製作された手作り乾電池に関する文献を調査し(竹中, 1951; 山本, 1973; 玉川, 1986; 増山, 1988; 小峯, 1990; 左巻, 1996; 井上他, 1999; 大阪教育大学化学教室, 2004)、得られた知見を基に、新たな乾電池教材を試作した(棚瀬, 2010; 2011)。この過程で、加工は必要であるが、教材を用意するために必要な材料の入手が比較的容易であること、また、製作した電池の性能が実用電池に近いことが分かった。そこで、このような電池に電気化学の観点から評価する作業を加えることで、単元の充実を図った。その後、教材をキット化し、“マンガン乾電池の製作と評価”と題する課題で、工学部の学生を対象にした科学実験を2012年度の前期に実施した。この内容を以下に報告する。

2. 実験の準備

実験の実施に先立って、指導書(テキスト)、乾電池キット、試薬などを準備しなければならない。まず、テキストについては、2012年度の実験に対応するため、初版を執筆した(湯口他, 2012)。ここではA4版5頁を使って、“目的”、“概要”、“実験”、“データの整理と考察”について解説した。また、実験の目標を明確にするため、表1のような様式を作成し、テキストに添付した。

キットの準備では、スチロール瓶と目玉クリップを除く多くの部品を、炭素棒、亜鉛板、濾紙、ボール紙、発泡スチロール板から作る必要があった。そのために使った機材の主なものを表2に示す。これらの中で最も重要なものが、図1のセパレータ用の定規である。電槽として使ったスチロール瓶の傾斜構造に対応するため、セパレータの形が扇形になった。この形を濾紙から切り出すため、予め定規を製作した。また、表3がキットの内容で、通常、袋に入れて保管した(図2、図3参照)。なお、今回の報告で示した図、表は、現時点で最新

表1：テキストの様式1

データの記録と解析
(必要事項を自筆で記入し、自筆又はエクセルで作成した図を添えて提出)

I. 負極の質量

①組み立て前	_____	g
②放電後	_____	g
③放電による減量	_____	g
④減量に対応する電気量	_____	Ah

II. 電池の質量 _____ g

III. 開路電圧 _____ V

IV. 電池の放電

番号	時間(分)	電圧(V)	番号	時間(分)	電圧(V)	番号	時間(分)	電圧(V)
1	0		11			21		
2			12			22		
3			13			23		
4			14			24		
5			15			25		
6			16			26		
7			17			27		
8			18			28		
9			19			29		
10			20			30		

V. 図の作成(IV.を基に方眼紙に作図する)

VI. 電池から取り出した電気量 _____ Ah

VII. 電池から取り出した電気エネルギー _____ Wh

VIII. 電池のエネルギー密度 _____ Wh kg⁻¹

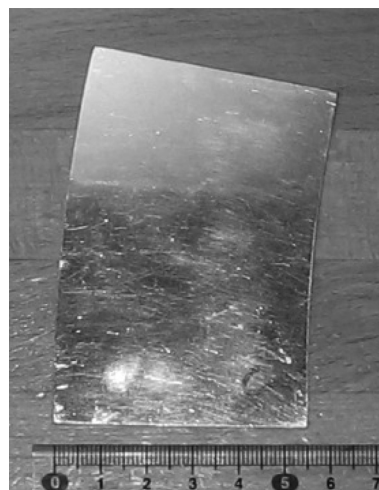


図1：セパレータ用定規

表3：キットの内容(1組)

品名	仕様	数量
スチロール瓶	容量 25 cc (蓋は不要)	1
炭素棒	直径 6.5 mm、長さ 75 mm (不浸透化処理済み)	1
亜鉛板(負極活物質)	巾 40 mm、長さ 70 mm、厚み 0.3 mm、円筒状	1
亜鉛板(負極集電体)	巾 6 mm、長さ 40 mm、厚み 0.3 mm、曲部 6 mm	1
セパレータ	定性分析用濾紙、Whatman 3、直径 125 mmを加工	1
固定環A	ボール紙、巾 5 mm、長さ 74 mm、厚み 0.5 mm	1
固定環B	強化発泡スチロール、巾 4 mm、長さ 65 mm、厚み 1 mm	1
固定環B'	強化発泡スチロール、巾 4 mm、長さ 55 mm、厚み 1 mm	1
固定環C	強化発泡スチロール、巾 4 mm、長さ 70 mm、厚み 1 mm	1
円盤A	強化発泡スチロール、外径 21 mm、穴径 6.5 mm、厚み 1 mm	1
円盤B	強化発泡スチロール、外径 25 mm、穴径 6.5 mm、厚み 1 mm	1
円盤C	強化発泡スチロール、外径 27 mm、穴径 6.5 mm、厚み 1 mm	2
目玉クリップ	小(豆)型(鉄にニッケルめっき)	1

表2：部品の製作のための機材

品名	仕様	数量
押し切り	裁断機、切断機、金属を切ることができるもの	1
ノコギリ	炭素棒の切断用、金鋸の刃	1
研磨紙	砂、耐水	各種
エタノール	亜鉛板の清浄化	少々
丸棒	スティック糊などの胴体、負極やセパレータの円筒化	各種
ハサミ	直線、曲線、ボール紙や強化発泡スチロール板の加工	各1
ラジオペンチ	負極集電体の加工	1
コルクボーラー	ホールパンチ、必要な穴径に対応できるもの	1
セロテープ	幅 15 mm、巻	1
蠟	炭素棒の不浸透化処理	少々
定規	直線、目盛り付き	1
定規	製図用、円(直径 21 mm、25 mm、27 mm 対応)	1
定規	セパレータ用、自作等が必要	各種
鉛筆	HB	1
フェルトペン	細字	各種

のものである。既報にも同様なものが示されているが、教材の改良が行われた場合、古いものに代わって、新しいものが提示されている。図、表を利用する場合、この点に注意してほしい。

このキットに加えて、正極合剤(“合剤”と略すこともある)を調製するために、黒鉛、ケッチェンブラック(EC300J)、電池の性能を上げるために使ったが、入手できないときは省いてもよい。なお、このときは、黒鉛を6g使う)、二酸化マン

ガン(今回は電池に適した電解二酸化マンガンを使った)、塩化亜鉛、水を用意した。また、電解質として使う20%の濃度の塩化亜鉛の水溶液や、アルミ箔を用意した。これらの追加の資材を表4に示す。更に、乾電池の製作と試験のために、表5に示した機材を用意した。

乾電池に対する一般的な印象とは裏腹に、“マンガン乾電池の製作と評価”に関する準備作業では、かなりの時間と労力が必要であった。この理由の一つが、かなり複雑な電池の構造にある。従来の手作り乾電池では写真フィルム収納用のプラスチック製の筒が使われたが、写真機のデジタル化に伴って写真フィルムの生産が減り、現在その筒の入手はほとんど不



図2：乾電池キット

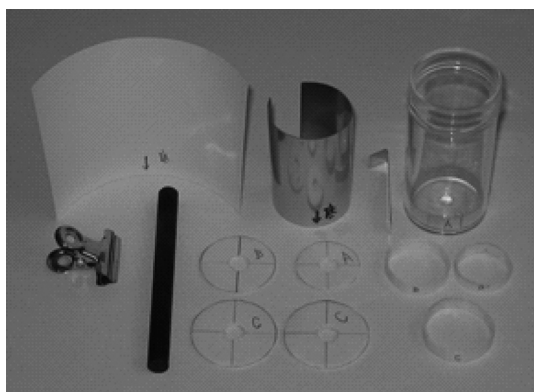


図3：乾電池キット（開封後）

表4：追加の資材（電池1個分）

品名	仕様	数量
二酸化マンガン	正極活物質、電解二酸化マンガン、試薬1級	18 g
黒鉛	導電助剤	4.8 g
ケッチェンブラック	導電助剤	1.2 g
塩化亜鉛	試薬特級	6 g
水	水道水可	6 cc
塩化亜鉛溶液	20%水溶液、電解質	2 cc
アルミ箔	20×30 mm、クッキングホイル	1

可能である。そのため、著者らの電池ではスチロール瓶を使った。ただ、この瓶は口部が広く、底部が狭い、いわゆる傾斜構造になっている。また、その底部が凸状になっている。そのため、電池の底部の構造を工夫する必要があった。更に、円盤Aを使って炭素棒の位置決めを行ったことも、複雑化を助長した。電池構造の簡素化が今後の課題である。

以上のような状況の下、著者らは単元の制作や実験の実施に掛かる作業を細分化し、時間を掛けて、これらを一一つ積み上げることで負担を減らすことに努めた。電池の試作から2012年度の実験の終了までの間、合計で60個ほどの電池

表5：乾電池の製作と試験のための機材

品名	仕様	数量
電子天秤	最小目盛0.01 g	1
薬包紙	15×15 cm	4
手袋	作業用など	1組
防塵マスク		1
さじ	プラスチック製、小型	1
ビーカー	容量100 cc	1
スポイト	プラスチック製、目盛付き、容量2 cc	1
合剤充填用治具	プラスチック製、粉末ロート	1
押し棒	割り箸	1
竹ピンセット		1
先曲げピンセット	ステンレス鋼製	1
木板	薄鉄板、6×14×1 cm	1
電圧計	デジタルテスター（導線付き）	1組
抵抗	2.5 Ω、4 W相当（導線付き）	1組
乳鉢	直径15 cm、乳棒付き	1組
敷紙	新聞紙など	1
キムワイプ	箱入り	1

を製作したが、表2から表5に示された資材の調達を含めて、比較的円滑に作業が進んだと感じている。

3. 実験の作業と時間

合剤の調製のために、二酸化マンガンを18 g、黒鉛を4.8 g、ケッチェンブラックを1.2 g、塩化亜鉛を6 g秤量し、磁製の乳鉢（直径15 cm）に順次加え、それらをまとめて5分間混合した。ここで、塩化亜鉛は潮解性が有るので、速やかに秤量した。次に、水（水道水を使ってもよい）2 ccを加え、1分間混合した。更に、同様な操作を2回繰り返した（水の添加量は合計6 cc）。

電池の組み立てでは、まず、図4のように①電槽に所要の部品を取り付けた。なお、ここでは、②以後の番号が、⑧と⑨を除いて、電槽に対する部品の取り付け順序を示している。⑨までの作業の後、スポイトを使って、セパレータが負極に接する部分に電解質（塩化亜鉛溶液）を2 cc塗布した。また、瓶の開口部を下に向け、セパレータが所要の電解質を吸収したことを確かめた。

この後、瓶の口に粉末ロートを付け、前もって調製した合剤の五分の一程をロートに注ぎ、割り箸を使って押し込んだ（セパレータの破損を避けるため、割り箸を炭素棒に沿って垂直に動かした）。この操作を繰り返して、瓶の口から1 cmの深さまで合剤を充填した。充填後、竹製のピンセットを使い、セパレータの上部を炭素棒に向かって折り曲げ、円盤B、固定環C、円盤C（1枚ずつ2回に分けて）を取り付けた。更に、濡れたキムワイプで炭素棒の上部を拭いて清浄にした後、アルミ箔を巻いて、クリップで固定した（図5～図8参照）。

組み立てた電池の性能を評価するため、まず、電池の質量を測定した。次に、開路電圧を測定し、豆電球の点灯から、完成した電池の性能を大まかに予測した。これらの作業の後、

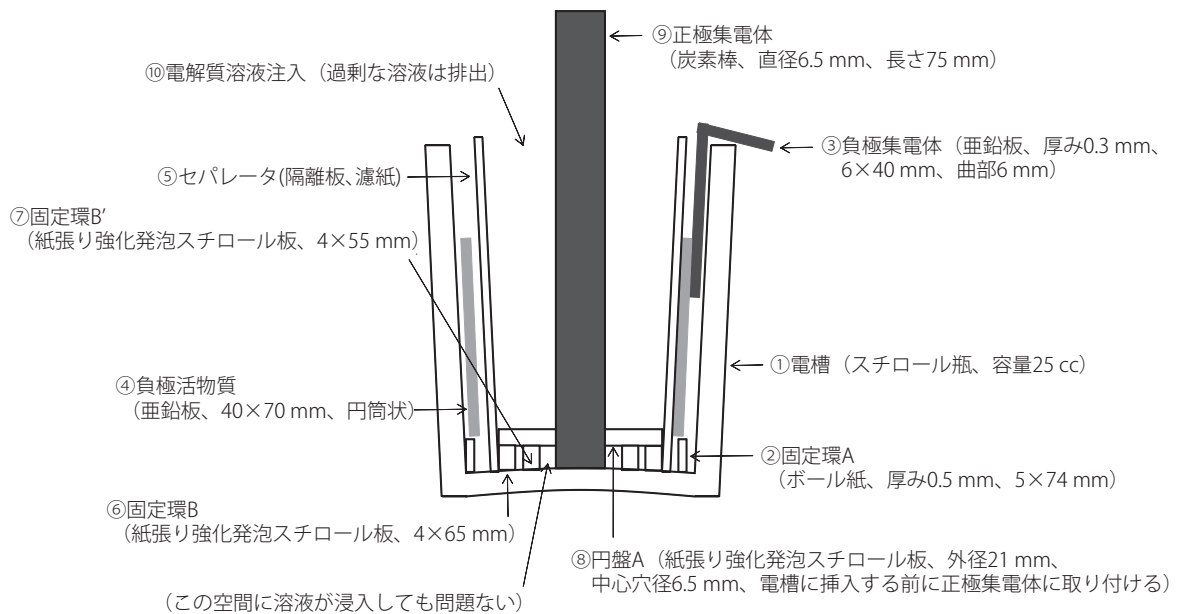


図4：正極合剤注入前の作業(断面図)

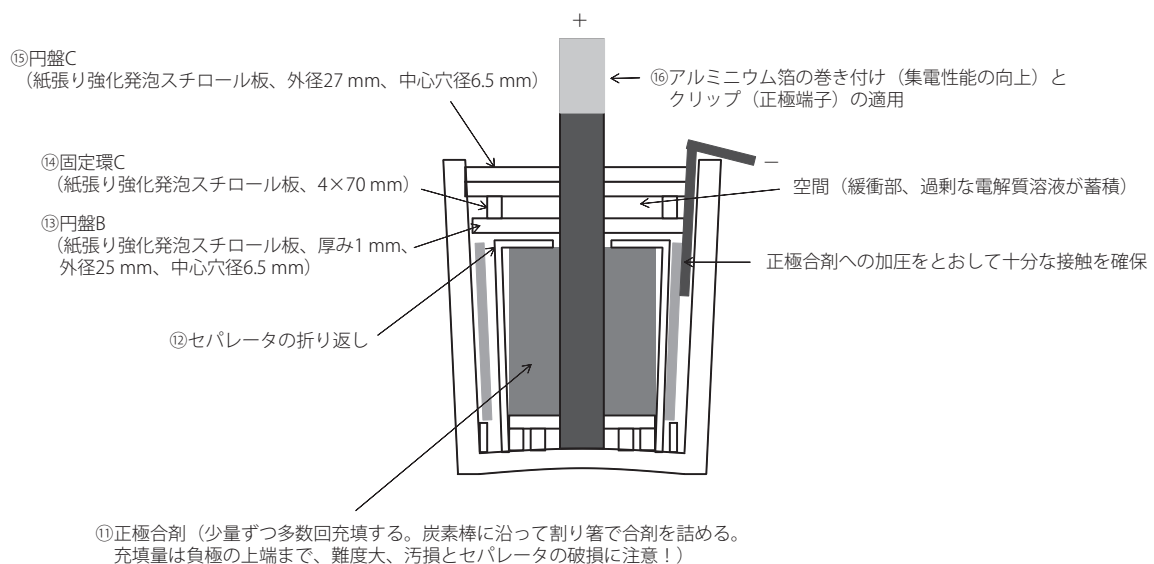


図5：電解質注入後の作業(断面図)



図6：合剤の詰め方

抵抗負荷条件で0.9Vの電圧を目処に電池の連続放電を行った。放電後、電池を解体し、負極の質量や表面の変化を調べ、最後に、部品を分別し廃棄した。

それらの作業の時間は、大体、正極合剤の調製が30分、電池の組み立て、30分、電池の放電、15～90分、電池の解体、30分になり、それらの一連の作業を一つの課題に用意された180分以内に終えることができた。

4. 結果と課題

設備上の制約から100名の学生を12班に分け、実験を12回行った。ここでは、2～4名で1個(毎回3～4個)の電池を製作し、合計42個の電池を製作することができた。また、これらの電池について、表6にあるような種々のデータを得る



図7：合剤充填後の電池



図8：完成した電池

表6：乾電池に関するデータ

番号	製作日	負極の質量		放電による減量(g)	減量に対する電気量(Ah)	電池の質量(g)	電池電圧(V)			放電時間(分)	平均電圧(V)	平均電流(A)	放電電気量(Ah)	放電電力量(Wh)	エネルギー密度(Wh kg ⁻¹)	備考(○は豆電球(1.5V、0.3A)の点灯を示す)
		放電前(g)	放電後(g)				(放電前)開路時	放電開始時	放電終了時							
1	2012年4月20日	6.26	5.86	0.4	0.33	53.7	1.722	1.4	0.893	45	1.147	0.46	0.35	0.4	7.4	○
2	2012年4月20日	6.38	5.95	0.43	0.35	52.81	1.734	1.28	0.9	57	1.09	0.44	0.42	0.46	8.7	○
途中省略																
42	2012年7月20日	6.38	6.31	0.07	0.06	45.65	1.736	1.13	0.866	9	0.998	0.4	0.06	0.06	1.3	○、正極合剤の充填が不十分

ことができた。まず、電池の開路電圧については、42個の内、40個の電池が製作の良否の基準となる1.7Vを超えた(この根拠は次節で示す)。また、残りの2つの電池ではセパレータの損傷が疑われたが、1.5Vを越えた。その後、1.5V、0.3Aの電球を1~2秒繋いだところ、42個全てで電球が明るく点灯した。しかし、2.5Ωの抵抗負荷による連続放電では、放電時間が3~75分と電池毎に大きく変化した。電球の点灯で流れる電流は凡そ0.3Aで電池の負荷としてはかなり軽いが、2.5Ωの抵抗負荷では0.6~0.4Aの電流が連続して流れるため、電池にかなり負担が掛かる。負極の亜鉛の質量が放電の前後で変化することを1時間程度の放電で確認できるようにするために大電流(重負荷)の放電を選んだが、このことで電池の性能の差が明瞭になったと思われる。また、放電時間の差は合剤の充填量に原因(密度にも関係)があるようで、充填量の多い電池ほど放電時間が長いという傾向が認められた(図9参照)。

著者らが知る限り、従来型の乾電池教材では、増山の報告を除いて、電池の解体が考えられていない(増山, 1988)。著者らの電池はスチロール瓶の傾斜構造が幸い、円筒型の電池にも拘わらず、内容物の取り出しが容易であった。試験を

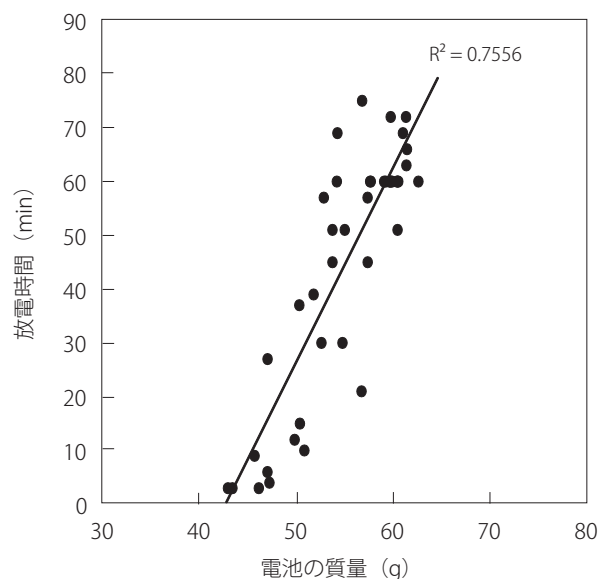
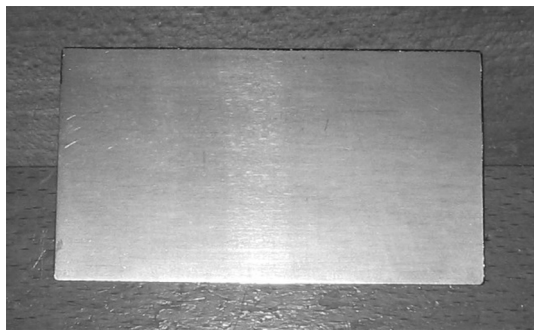


図9：電池の質量と放電時間の関係



(a) 放電前



(b) 放電後

図10：負極の表面の変化

終了した電池から、クリップ、アルミ箔、炭素棒、円盤C、固定環Cを取り外し、電池の開口部を下にして木板上に打ち付けると、その衝撃で合剤と負極が瓶から外れた。次いで、負極の割れ目を広げると、負極が合剤から外れた。この放電後の負極の状態を図10に示す。電池の放電に伴って、活物質である亜鉛が電解質に溶け、平滑で清浄な面が黒変したと思われる。この変化は電池毎に、また、電極の部位毎に異なっていた。図の負極では、中部から上部の範囲で黒変が顕著であるが、下部に行くに従って金属光沢が認められる。この金属光沢は、この部位における合剤の充填が不十分で電極反応があまり進んでいなかったことを示唆している。また、最上部に帯状にある金属光沢は、合剤の充填量の不足を示している。このように、解体後の負極の表面の状態の観察から、電池の組み立ての良否を判定することができる。また、負極を取り外すことで、セパレータの状態を観察することができた。なお、解体の結果、得られた目玉クリップ(全品)、炭素棒(ほぼ100%)、スチロールビン(3~4回)は再利用した。

負極の減量に対する電気量と実際の放電から計算した電気量に関して、42個の電池の内、35個が比較的近い値を示すことが分かった(図11参照)。しかし、例外が認められた。グループ1(3個)では、亜鉛の減量から求めた電気量より、放電電流から求めた電気量が大きくなった。ここでは、負荷の抵抗値が2.5オームであると見なして、電池の(平均)電圧から放電電流を計算したので、電池の放電時に負荷回路で接触不良などが起きると、予想された電流が流れない恐れがある。また、グループ1では、放電後の負極の洗浄や乾燥が不十分であったかも知れない。そのため、本来の減量が少なく見積もられた可能性もある。

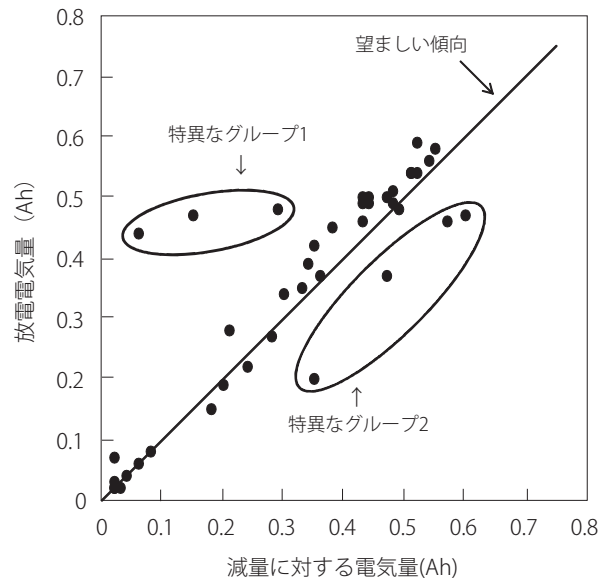


図11：電気量の関係

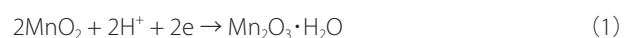
それとは反対に、グループ2(4個)では、亜鉛の減量から求めた電気量より、放電電流から求めた電気量が小さくなった。この主な原因は、電池の放電終了の誤認にあると思われる。本来なら、電池の電圧が0.9Vを下回ったところで電圧の記録を止め、負荷抵抗を電池から外さなければならないのに、一部の学生は引き続き負荷を繋いでいた。ここでは、放電電流から求めた電気量に記録終了後の電池の放電による電気量が加算されていない。

乾電池の製作と評価の過程で起きた個々の問題について、表7にまとめた。ここでは、1個の電池が複数の問題に関わることがあった。炭素棒から、その他まで、実に様々な事象があるが、セパレータと合剤に関するものが多かった。42個の電池の内、5個がセパレータの破損に関する問題を示し、また、多数の電池が合剤充填時の密度と量の確保の難しさを示した。セパレータを破損することなく合剤を充填することが学生にとって難しいことを示唆する結果になったが、この点を含めて表7の内容を検討し、次年度以降の実験に反映したい。

5. 乾電池の起電力

小学校から高等学校までの乾電池を取り扱った単位では、「乾電池の起電力(電圧)は1.5Vである。」と説明している。しかし、市販の新品の電池が1.6V程度の電圧を示すことがあり、また、今回製作した電池の殆どが1.7V以上の電圧を示した。この電池の電圧について、以下に解説する。

乾電池の正極の反応は、



であると考えられている。また、この反応の実態は、



表7：乾電池の製作と評価において起きた問題

項目と事象	件数	対応、結果、現象
炭素棒について		
①実験台から落下し破損した	1	代替品を使用した
②合剤を詰める際に円盤Aから抜けた	1	合剤を回収し別のキットを使用した
負極について		
①負極の質量の測定を忘れた	1	
②負極と集電体をまとめて秤量した	1	集電体の平均的な質量から負極の質量を推定した
③集電体の取り付けを忘れた	2	負極と電槽の隙間に挿入した
④負極の挿入の方向を間違えた	1	正しい方向に挿入した
セパレータについて		
①セパレータの挿入の方向を間違えた	2	正しい方向に挿入した
②挿入が不十分であった	2	そのまま合剤を詰めてしまったが、電極の短絡には至らなかった
③セパレータが(大きく)破損した	1	交換した
④セパレータが(小さく)破損していた	2	そのまま合剤を詰めてしまったが、電極の短絡には至らなかった
⑤セパレータの破損が疑われた	2	開路電圧が1.7V未満であった
合剤について		
①充填の密度が不十分であった	2	固定環Cと円盤C(1枚)を省いた
②充填の密度と量が不十分であった	8	電池の質量が50g未満で、エネルギー密度が5 Wh kg ⁻¹ 未満であった
③密度等の不十分な充填が疑われた	5	電池の質量は50g以上あったが、エネルギー密度が5 Wh kg ⁻¹ 未満であった
④竹製のピンセットで詰めようとした	1	割り箸に切り替えた
その他		
①アルミ箔の巻き方が不適切であった	~2	巻き部の中が広過ぎた 炭素棒の外周に沿って巻かれていなかった(炭素棒の上部を包むように設置された)
②クリップの取り付けが不適切であった	~2	クリップの凹部と炭素棒の凸部が合っていない(交差していた)
③さじの柄が折れた	1	

注：～は、概数を示す。

であると言われている。ここで、Mn^{IV}とMn^{III}は、それぞれ、4価と3価のマンガんで、正極の活物質であるMn^{IV}O₂が結晶構造を変えることなくMn^{III}とHを固溶すると考えられている。その結果、正極の電位は、

$$E^+ = E_0^+ + \{(RT) / F\} \cdot \{\ln ([Mn^{IV}] / [Mn^{III}]) + \ln [H^+]\} \quad (3)$$

(ネルンストの式)で表される(電気化学会電池技術委員会, 2010)。ここで、E₀⁺は標準電極電位、Rは気体定数(8.3145 J mol⁻¹ K⁻¹)、Tは絶対温度(K)、Fはファラデー定数(96485 C mol⁻¹)、[Mn^{IV}]と[Mn^{III}]は、それぞれ、固溶体中のマンガンの活量(濃度と考えてもよい)、[H⁺]は電解質中の水素イオンの活量である。また、負極の反応は、



であると考えられている。この結果、負極の電位は、

$$E^- = E_0^- + \{(RT) / 2F\} \cdot \ln [Zn^{2+}] \quad (5)$$

で表される。ここで、E₀⁻は標準電極電位、[Zn²⁺]は電解質中の亜鉛イオンの活量である。(3)と(5)から、電池の理論起電力は、

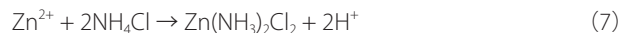
$$E = (E_0^+ - E_0^-) + \{(RT) / 2F\} \cdot \{2 \ln ([Mn^{IV}] / [Mn^{III}]) + 2 \ln [H^+] - \ln [Zn^{2+}]\} \quad (6)$$

になる。ここで、関係する物質の活量を全て1と見なすと、

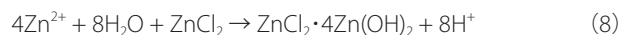
$$E = (E_0^+ - E_0^-) = 0.98 \text{ V} - (-0.763 \text{ V}) \cong 1.74 \text{ V}$$

になる(渡辺他, 2001)。この結果が、製作直後の乾電池が1.7 V程度の電圧を示す根拠である。

以上の議論では、電池の電解質の種類を問題にしていない。しかし、実用の乾電池の電解質は、塩化アンモニウム(NH₄Cl)や塩化亜鉛(ZnCl₂)の水溶液である。前者の場合、(4)に続いて、



の反応が起き、負極の周辺に反応生成物であるZn(NH₃)₂Cl₂が堆積する。他方、後者の場合、(4)に続いて、



の反応が起き、正極合剤の中に反応生成物であるZnCl₂・4Zn(OH)₂が堆積する。

以上のように、乾電池で起きる反応が複雑であるため、高

等学校までの化学の知識では、乾電池を深く理解することが難しい。また、“電気化学”を履修しない場合、理工系の大学生でも同様なことが起きるかも知れない。

乾電池の電圧については、「電気製品としての規格上の値（公称電圧）が1.5Vである。」と考えるのが妥当と思われる。実際には、電圧が1.5Vを超えることがあり、また、この結果、電池を使用した電気製品で不具合が発生することがある。このため、電気工学や電子工学の分野を目指す学生も電気化学を学び、かつ、乾電池の製作を経験することが望ましい。

6. まとめ

今回の試用で、開発した乾電池教材が電池の製作、試験、評価に関する方法や、材料のリサイクルの学習に使えることが分かった。しかし、教材や実験の内容が現状でかなり難度が高いことも分かった。今回の実験に参加した学生の多くが化学系に属しているが、実のところ、“電気化学”をまだ履修していない。実験が先で原理の学習が後になる状況が、円滑な実験の進行やレポートの作成を難しくしている面もある。今後、このような状況の改善を含め、明らかになった課題の検討を通して、単元の更なる改良を図りたい。

引用文献

- 井上友治・渡辺義一・後藤章(1999). 実験の成否が一目でわかる原色化学実験プロセス図説. 黎明書房.
- 大阪教育大学化学教室(2004). ポピュラー・サイエンス262 わくわく子どもかがく実験室. 裳華房.
- 小峯昇(1990). フィルムケースを使った乾電池作り. 化学と教育, Vol. 38, No. 2, 225.
- 左巻健男(1996). たのしくわかる化学実験事典. 東京書籍.
- 竹中徹(1951). 乾電池の製作と性能の試験. 科学研究, No. 3, 145-146.
- 棚瀬繁雄(2010). 技術教育のための乾電池教材の開発. ITE-IBA Letters, Vol. 3, No. 3, 41-48.
- 棚瀬繁雄(2011). 技術教育のための乾電池教材の開発(その2). ITE-IBA Letters, Vol. 4, No. 1, 41-46.
- 玉川登美男(1986). たのしい手づくり教室25. 民衆社.
- 電気化学会電池技術委員会(2010). 電池ハンドブック. オーム社.
- 電池工業会(2013). <http://www.baj.or.jp/campaign/bschool2013/index.html>.
- 美工社(2013). <http://bicosya.com/science/details/8569.html>.
- 増山弘(1988). 簡易乾電池と電気分解のファラデーの法則検証実験. 化学と教育, Vol. 36, No. 5, 518.
- 山下修一・鈴木康代(2009). 中学3年生「水溶液とイオン」で手作り乾電池を取り入れた授業の開発と評価. 日本科学教育学会研究会研究報告, Vol. 23, No. 3, 21-26.
- 山本大二郎(1973). 増訂化学実験事典. 講談社.
- 湯口宜明・棚瀬繁雄・中田亮生(2012). 平成24年度環境科学実験指導書. 大阪電気通信大学工学部環境科学科.
- 渡辺正・金村聖志・益田秀樹・渡辺正義(2001). 電気化学. 丸善.

(受稿：2013年7月6日 受理：2013年7月16日)