

切断した乾電池の放電特性

櫻井勇良*

The discharge characteristic of a cut dry cell

Yuryo Sakurai

Abstract:

In this study an experiment was carried out in order to demonstrate the electrical characteristic (discharge characteristic) of cut up dry cells. The electromotive force does not become half the original, even if the two electrodes of a dry cell are cut about in half. In the case of a button type battery, the electromotive force was almost equal to the original value of the uncut dry cell, even if the electrodes were cut about in half. In the case of the R6 dry cell, cutting the electrodes about in half decreased the electromotive force by $\sim 20\%$. The electromotive force changes depending on the situation, for example, when part of the two electrodes of an R6 dry cell are cut off. In the case of the dry cell in which the positive electrode remained, the electromotive force greatly decreased to about 25% or less than the strength of the electromotive force of the untreated.

KEY WORDS: Dry cell, Button type battery, Cut up, Discharge characteristic

要旨:

本研究では、切断した乾電池の電気特性（放電特性）に着目し、実証例を得るために実験を行なった。乾電池の両電極を約半分に切断しても起電力は、半分にはならない。ボタン型電池の場合、約半分に電極を切断しても未処理の起電力とほとんど同じであった。R6 乾電池の場合、約半分に電極を切断すると未処理の場合に比べて、端子電圧が $\sim 20\%$ 小さくなる。R6 乾電池の両電極の間の部分を切断すると状況によって端子電圧が変化し、正極が残っている乾電池の端子電圧は、未処理の場合の長さに比べて約 25 %以下に短くなると大きく減少した。負極が残っている乾電池の端子電圧は、切断した長さに関係なく未処理の場合とほとんど同じであった。

キーワード: 乾電池, ボタン電池, 切断, 放電特性

1. はじめに

筆者は、大学の初年次対象の基礎電磁気学という講義を担当しており、実験を用いた講義を行っている。実験は、静電気や磁気の分野で重要な事象の再現・確認することが主な目的であるが、驚きや意外性を学生に感じさせることにも心がけている。その理由は、筆者の経験則的な判断から学習の動機づけの条件の1つとして驚きが重要であると考えたから

である。驚きと学習との関係については、認知過程¹⁾および素材を教材化する²⁾視点からその有用性が指摘されている。実験の中に驚きの要素を取り入れる場合、学習が持っている常識の存在がポイントになる。その理由は、学習者が有する常識を覆す事象を演示し、それによって驚きを誘発させることを狙っているからである。したがって、常識の内容については吟味が必要になる。実は、この部分が教材を作る過程で最も重要であり、最も楽しい部分でもある。常識と演示した実験の内容のギャップが大きいほど誘

*湘南工科大学 工学部 電気電子工学科
准教授

発される驚きは大きくなり、それによって学習者の理解の修復作業への意欲も高まることが期待できる。このような認知的な要素も含めいわゆる面白い教材作りは³⁾、学習者のみならず教授する者にとっても重要であるといえる。

本研究は、小学校における理科授業特に電気に関する資料を読んだことがきっかけになっている^{4,7)}。指導要領⁸⁻¹⁰⁾によると、3年では電気の通り道（電気を通すつなぎ方、電気を通す物）、4年では電気の働き（乾電池の数とつなぎ方、光電池の働き）という単元で学んでいる。いずれの単元においても自然事象への関心・意欲・態度、科学的思考、観察・実験の技能・表現、自然事象についても知識・理解が評価規準になっている。これらは評価規準の三つの学力構成と呼ばれている「知識・理解・技能」（A 学力）、「思考・判断・表現」（B 学力）、「意欲・関心・態度」（C 学力）¹¹⁾に合致している。また、指導の工夫として「疑問や予想・仮説を持たせるための指導の工夫」、「結果を整理させるための指導の工夫」、「考察させるための指導の工夫」、「価格概念として表現させるための指導の工夫」の4つが設定されている^{4,7)}。何か面白くて有用な実験ができないものかと考えながら資料を読んでいた時、乾電池の記述に遭遇し、その内容を読んでいるうちに、ある日のテレビ番組で慶応大学のある学生が、2本の乾電池が必要だったが、1本しかなかったので、1本の乾電池を半分に切って使ったということを話していたことを思い出した。そして、この実験は、筆者が探し求めている実験教材、すなわち面白い実験教材として使えるかもしれないと思うようになった。そこで、切断した乾電池に関する資料を探した。しかし、満足する資料は得られなかった。そこで、実際に乾電池を切断し、その放電特性を測定することにした。本稿では、その概要について述べる。

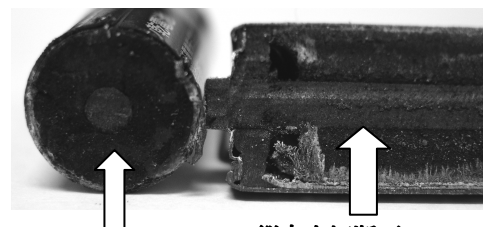
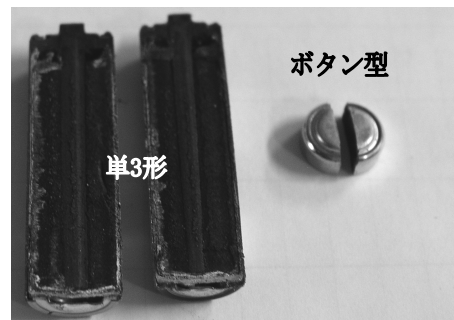
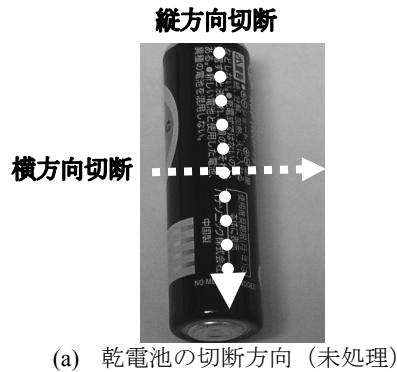
2. 放電特性の測定について

本研究では、単 3 形乾電池（マンガン）およびボタン型乾電池を用い、種々の大きさに切断したときの放電特性（短絡抵抗 $R: 10\ \Omega$ ）を調べた。

2.1 測定方法

乾電池を速く消費させるために電極間に短絡抵抗 $R\ (10\ \Omega)$ を接続し、電圧センサ（ナリカ、 $-20\sim 20\ \text{V}$ 、分解能 $10\ \text{mV}$ ）およびイージーセンサ（ナリカ）を用い端子電圧 E の経時変化（放電特性）を測定した。測定した結果は、パーソナルコンピュータで収録する。乾電池の回復特性を調べるために測定時間

中の任意の時間に置いて R を脱着させる。



(b) 切断した乾電池

図 1 乾電池試料

乾電池は、電極を垂直方向（長さ方向（縦方向））および電極に対して平行（横方向）に切断した（図 1（a）参照）。前者の場合は、切断の条件の選択の余地が少なかったので約半分に切断したものをを用いた（単 3 乾電池（マンガン、パナソニック）およびボタン型電池（SR44、パナソニック）。後者の場合は、切断する場所を変えたものを試料として用い、乾電池の重量 $W\ (\text{g})$ との関係を調べた。ただし、ボタン

切断した乾電池の放電特性（櫻井）

型電池の場合は厚さの関係で切断が不可能であったので単 3 形乾電池のみの測定を行なった。切断は、切断の状態および切断面（図 1 (b) 参照）において切りくずとなる損失は出るものの剥離や欠損などは見られなかったのでハンドソー（HOZAN, K-100）を用いることにした。

横方向に切断した場合、元の電池の正極（+）が残る試料と負極（-）が残る試料ができる。その違いを表わすために、重量 W の単位“g”の前に残った電極の符号をつけて“+g”あるいは“-g”とした。

乾電池の固定には、市販の電池ホルダおよび光学用部品で作った専用の電池ホルダを用いる（図 2 参照）。縦方向切断した場合、単 3 形乾電池を切断した試料および未処理の試料は、市販の電池ホルダで固定した。一方、ボタン型電池は、光学用部品を用いて銅板で両側から挟むようにして固定した。一方、横方向に切断した場合（単 3 形乾電池）元の電池の正極が残る試料と負極が残る試料ができる。つまり、電池の両側の状態が異なるのでそれぞれに適する状態の電極で両側から挟むようにして固定した。元の電池の正極が残る試料は、両側に銅板を用いて挟み込んだ。負極が残る試料の場合は、負極側には銅板を、切断面には中心にある集電体（炭素棒）の直径より少し細めの金属棒をはめ込んだアクリル板用い、炭素棒と接触するようにして両側から挟んで固定した。

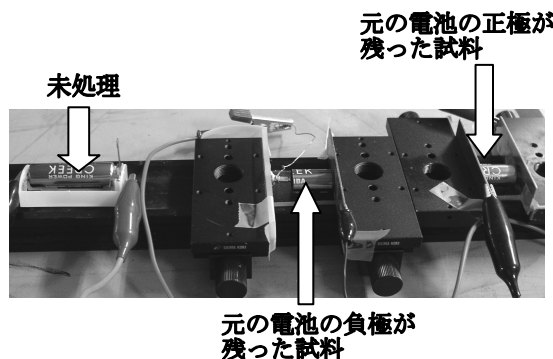


図 2 横方向に切断した乾電池の固定

2.2 結果および考察

a. 縦方向切断した場合

(1) 単 3 形乾電池

図 3 に測定例を示す。切断前に 1.377 V であった乾電池を切断したらそれぞれ 1.04 V（試料 A2）、1.2 V（試料 A1）となった。切断前後の違いおよび切断し

た 2 つにおける違いは、切断による内部の黒い物質が損失したことおよび正確に半分には切断できなかったことによるものである。これらと未処理の試料 A0（1.44 V）を用いた。図 3 を見ると未処理の試料に比べて切断後の試料の方が早く減少するのがわかる。また、短絡抵抗 R を外した場合（R-Off）、端子電圧 E が上昇して飽和するまでの時間にも差異が現れた。

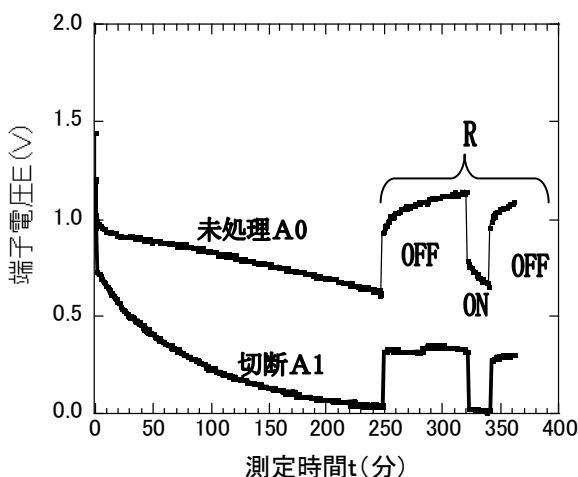


図 3 単 3 乾電池の放電特性測定例(縦方向切断)

測定前に比べて終了時における E の大きさは、A0（1.44 V→1.09 V，24.37%減）、A2（1.2 V→0.55 V，54.2%減）、A1（1.04 V→0.3 V，71.1%減）となった。ちなみに、 R を接続しないで 48 時間大気中に自然放置した場合は、A0（1.44 V→1.334 V，7.4%減）、A1（1.2 V→0.077 V，93.6%減）、A2（1.04 V→0.064 V，93.8%減）となった。

以上のように、電極を含めて縦方向にほぼ半分には切断した単 3 乾電池は、1) 未処理のものに比べて E が 2, 3 割小さくなる、2) 10Ω の抵抗を接続した放電特性では、端子電圧 E の減少割合が未処理のものに比べて約 2 倍大きくなる、3) R を接続しない状態で切断した乾電池を約 48 時間自然放置すると E が 0.1 V 以下になる等が確かめられた。

(2) ボタン型電池

図 4 に測定例を示す。図 4 を見ると単 3 形乾電池に比べて端子電圧 E の減少速度が速いことがわかる。約 0.1 V まで減少するのに、試料 B0 では約 30 分、切断した試 B1, B2 では約 10 分かかったが、単 3 形乾電池の場合、試料 A2 で約 250 分、試料 A1 および試

料 A0 では推測として 350～400 分, 1000 分以上の時間がかかる。

ボタン型電池は小型であるがゆえに電源の容量が通常の電池よりも小さいため, 消費電力が小さいすなわち同じ負荷に対して早く消耗してしまう。これが図 3 と図 4 における特性の違いの原因であるといえる。

各試料における E の減少は, B0 (1.586 V→1.517 V, 4.4 %減), B1 (1.567 V→1.223 V, 22 %減), B2 (1.566 V→1.076 V, 31.3 %減) となった。ちなみに, 抵抗 R を接続しないで 20 時間大気中に自然放置した場合は, B0 (1.586 V→1.583 V, 0.2 %減), B1 (1.567 V→0.427 V, 72.8 %減), B2 (1.566 V→0.364 V, 76.8 %減) となった。

以上ように, 電極を含めて縦方向にほぼ半分に切断したボタン型電池の E は, 未処理のものと同等の値を示すが, 早く消耗することが確かめられた。

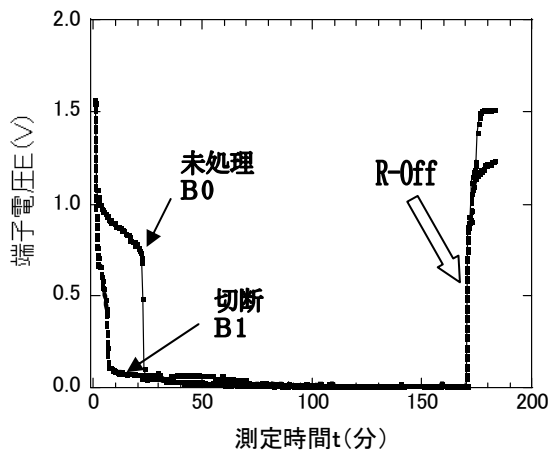


図 4 ボタン型電池の放電特性測定例(縦方向切断)

b. 横方向に切断した場合 (単 3 形乾電池)

図 5 に測定例を示す。未処理の試料 C0 (18.06 g, 1.6 V), 切断した試料 C1 (+11.17 g, 1.48 V) および試料 C2 (-6.28 g, 1.51 V) を比べると, 切断した試料の端子電圧 E の大きさは, 当然であるがいずれも未処理のものに比べて小さくなり, いずれもが測定時間 t の経過に伴い E が減少する傾向を示すことがわかる。この結果において, 測定終了後の E の大きさが W の大きさの順になっていたので相関関係を調べることにした。

そこで, 任意に切断場所を変えた試料を用いて同

じ測定を行なった。図 6 に元の電池の正極が残った試料の結果および図 7 に元の電池の負極が残った試料の結果を示す。重量 W (+g, -g) と短絡抵抗 R を取り付ける前の E の大きさ E0, 測定終了時 (R あり) の E の大きさ E120, 減衰比 (E120/E0) の関係を示す。比較のために両図には未処理の試料における結果も示す。

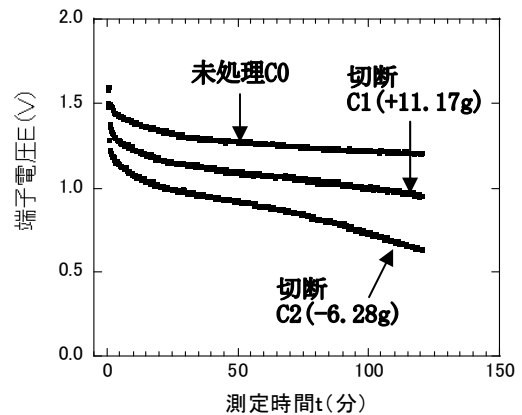


図 5 単 3 乾電池の放電特性測定例(横方向切断)

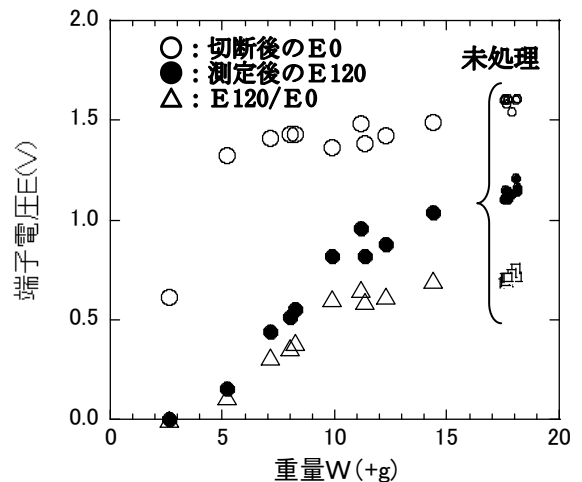


図 6 重量 W (+g) 特性

まず, 元の電池の正極が残る試料について見ると, 図 6 に示すように, W が約 5 g 以下になると E0 が大きく減少するのがわかる。それ以上では, W が増加

切断した乾電池の放電特性（櫻井）

すると緩やかにE0も増加する傾向が見られる。一方、測定終了後のE120を見ると、直線関係とは行かないまでもWと良い相関関係があるのがわかる。E0とE120との比については、E0の変化が支配したためにそれと類似する傾向が見られた。

次に、元の電池の負極が残る試料について見ると（図7参照）、Wが変化してもE0の変化が少ないのがわかる。測定終了後のE120を見ると、図6と同様に直線関係とは行かないまでもWと良い相関関係があるのがわかる。また、数値的にも図6の結果と類似している。E0とE120との比については、E120の変化が支配したためにそれと類似する傾向が見られた。

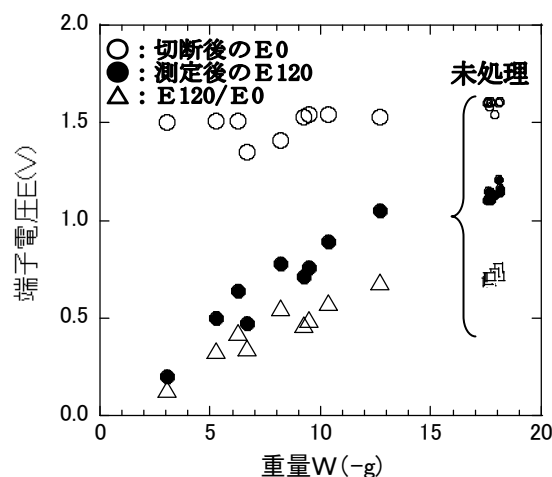
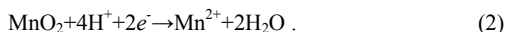
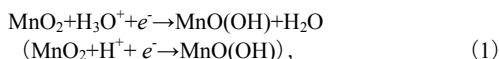


図7 重量W (-g) 特性

最後に、測定終了後に切断面を見たところ、切断面の金属カバーとの境目に透明な液体が付着していたことに気づいた。これは、次のように解釈できる。この乾電池の正極では、 MnO_2 の粒子内部に NH_4^+ や H_3O^+ から分離した H^+ が拡散してくる。また、負極から導線を通して炭素棒に電子が流れ込み、 MnO_2 は還元され MnO(OH) になる（(1)式参照）。そして、この MnO(OH) は未反応の MnO_2 中に拡散していくと考えられる。正極での反応もpHにより、また反応が進むと変化する。反応が進んだときは Mn^{2+} が生じると考えられる（(2)式参照）。これらの反応により水が生成される。それが乾電池の切断面に付着していた透明な液体の正体である。なお、この液は有害であったので、マスクや手袋を着用して実験を行った。



当初、Eの大きさは、全てWに依存すると考えた。元の電池の正極(+)が残った試料で予想通りの結果が得られたが、負極(-)が残った試料では、Wに関係なくEがほぼ一定であるという予想外の結果が得られた。これについては今後の課題としたい。

以上のように10Ωの抵抗を接続させて消耗させた後のEの値がWと良い相関関係にあったことは、乾電池内部で起きる反応から容易に理解できる。つまり、マンガン電池の場合、亜鉛は次々と2酸化マンガンの液の中に溶解し、電子を生成する。その電子は、電池につながれた導線を伝わり正極に到達し、その周りにある2酸化マンガンに取り込まれる。このようにして金属亜鉛が少しずつ溶けて電子が送り出されるので、亜鉛がある程度溶けたら乾電池は使えなくなる。これを踏まえ、本実験で測定していたWの値は、2酸化マンガンの量を間接的に示していたものといえる。

3. まとめと課題

あまり行われていなかった切断した乾電池の放電特性に着目し、実証例を得るために実験を行なった。その結果、次のような傾向が得られた。

まず、電極の方向（縦方向）に乾電池を約半分に切断した場合、乾電池の端子電圧Eは、未処理のものに比べて小さくなるものの半分にはならなかった。

次に、単3形乾電池を電極に平行な方向（横方向）に切断し、重量Wとの関係を調べた結果、1) 切断後のE0の大きさとWの関係は、負極が残った試料では、Wを変えたがWに関係なく未処理のものと同等の値となった。一方、正極が残った試料のE0の値は、いずれも未処理のものに比べて小さくなり、Wがある値を超えると急激に減少する傾向が見られた。2) 放電特性を測定した後に測定した端子電圧E120とWの関係は、残った電極の種類による差異は見られず、いずれの試料でもWの減少に伴い小さくなる傾向が見られた。この傾向は、E120/E0の割合についても見られた。

今後の課題は、負極が残った試料の切断直後の端子電圧E0の特性において重量Wには関係なくほぼ一定である原因を明らかにすることである。また、小学校3、4年の単元の内容を踏まえ、本研究の内容

を精査し、単元の内容に合致するように実施内容を吟味することである。

参考文献

- 1) 稲垣佳世子, 鈴木宏昭, 亀田竜也: 認知過程研究, 13 章, pp.157-159 (放送大学振興会, 2002).
- 2) 菅井啓之: 理科の教育, 59 (690), p.9 (2010).
- 3) 辻本昭彦: 理科の教育, 61 (724), p.19 (2012).
- 4) 森本信也, 八嶋麻里子: 子供が意欲的に考察する理科授業小学校 3 年, pp. 84-99 (東洋館出版社, 2009).
- 5) 森本信也, 八嶋麻里子: 子供が意欲的に考察する理科授業 小学校 4 年, pp. 106-121 (東洋館出版社, 2010).
- 6) 日置光久: 個に応じた理科指導の展開/小学校 3 年, pp.81-98 (東洋館出版社, 2003).
- 7) 日置光久: 個に応じた理科指導の展開/小学校 4 年, pp.85-100 (東洋館出版社, 2003).
- 8) 文部科学省: 小学校の指導要領 (平成 10 年 12 月公示、15 年 12 月一部改正) 第 4 節理科 (2012).
- 9) 松山勉: 初等理科教育, 46 (12), p.49 (2012).
- 10) 澤柿教淳: 初等理科教育, 46 (12), p.52 (2012).
- 11) 苅谷剛彦, 志水宏吉: 学校臨床社会学, pp.166-168 (放送大学振興会, 2003).