

アルカリ乾電池のエネルギー密度に関する実験と考察

秋田県立大曲工業高等学校 窪田 美羽

Abstract

本研究では、一般的に使われているアルカリ乾電池の体積や質量、内部抵抗や起電力を測定することにより負荷試験を行いエネルギー密度を明らかにし、考察した。そして、例えば具体的に私の家で消費する電力量を賄うにはアルカリ電池が何本必要か試算してみた。

1 はじめに

近年充電可能な二次電池のエネルギー密度向上¹⁾により需要が高くなっている。一方、一次電池であるアルカリ電池は私たちの生活にまだまだ欠かせないものである。しかし、手元の書籍やインターネットを検索してもアルカリ乾電池のエネルギー密度は掲載されておらず、あっても、活物質の原子量から理論的に算出²⁾されたものであった。これは、二次電池は使用する機器にほぼ関係なく電池の電力をとりだすことができるが、一次電池は負荷によって取り出せる電力が異なるからだ。よって、アルカリ乾電池はその電気的な性能を電池容量[mAh]で表している。

そこで本研究では、アルカリ乾電池単一から単五について内部抵抗を考慮した負荷試験を行い。電池のエネルギー密度を測定した。また、実験の結果をもとにして自宅の一か月の消費電力量を賄うには単一が何本必要なのか、計算してみた。

2 実験方法

アルカリ乾電池の単一から単五まで各5本ずつ用意した。この乾電池はある量販店で一番売り場面積が広いあるメーカーのものである。5本全部で寸法、質量測定を行い、1本は体積測定に用い、もう1本は内部抵抗と起電力の測定に、残りの3本は乾電池の放出したエネルギーを求めるための負荷試験に用いる。

2-1 体積、質量の測定

本研究ではエネルギーの体積密度と質量密度を求める。IEC60086規格によって乾電池の直径、高さは定められている。しかしこの規格では体積は定められていないため、メスシリンダーで体積を

測定する。メスシリンダーに精製水を入れ、乾電池を入れる前の体積と入れた後の体積の差で求める。

2-2 内部抵抗、起電力の測定

図1のように乾電池は内部抵抗 r があるため、端子電圧を測定しても起電力 E を知ることはできない。

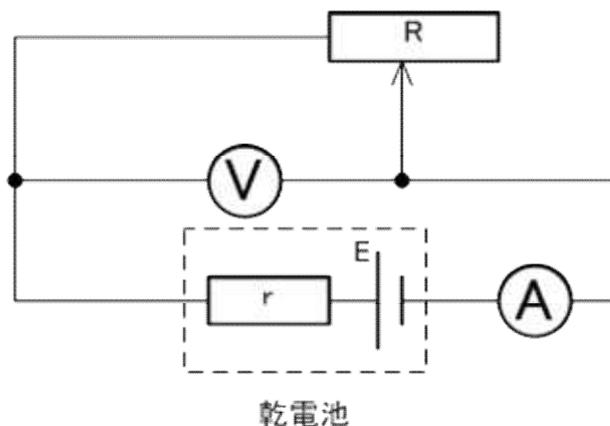


図1 測定回路図

そこで、図1のように乾電池の外部に測定回路をつなぎ、電圧降下法によって、内部抵抗 r と起電力 E を求めた。つまり、可変抵抗器で抵抗値を変化させ、そのときに回路に流れる電流 I と可変抵抗器で生じる電圧降下電圧 V を測定する。数点測定したら横軸に電流 I 、縦軸に電圧 V を表すグラフを描く(図2参照)。

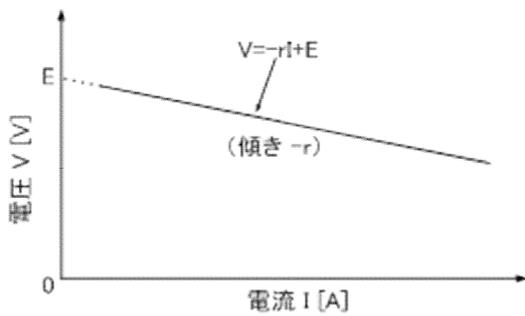


図2 乾電池の起電力と内部抵抗を求める原理

このグラフを V 軸に延長したときの切片 E が起電力、この直線の傾きの絶対値が内部抵抗 r である。

2-3 エネルギー（消費電力量）の測定

図1において乾電池の起電力を E [V]、内部抵抗を r [Ω]、内部回路に流れる電流を I [A]、可変抵抗器の回路に挿入される抵抗値を R [Ω]、この R で生じる電圧降下を V [V]とすると、オームの法則またはキルヒホッフの第二法則より

$$E = (R + r)I \quad \dots (1)$$

これより、

$$I = \frac{E}{(R+r)} \quad \dots (2)$$

また、

$$V = E \frac{R}{(R+r)} \quad \dots (3)$$

抵抗で消費される電力を P [W]とすると

$$P = IV$$

$$= \frac{E}{R+r} \cdot \frac{ER}{R+r}$$

$$= \frac{E^2 R}{(R+r)^2} \quad \dots (4)$$

P が最大になるときは、 $R=r$ のとき³⁾である。よっ

て、本研究では負荷抵抗を実測した乾電池の内部抵抗と等しく設定する。乾電池が消耗してくると内部抵抗は上昇してくるが起電力は降下するので、電池からのエネルギーを最大限取り出すため負荷抵抗は内部抵抗値のまま実験を行った。具

体的には外部抵抗を2の実験で求めた内部抵抗値にし、1分ごとに電流、電圧を測定。電流×電圧×60で電力量を積算していき消費電力量（乾電池から放出されたエネルギー量）を求めた。この実験において終了する条件は、直近の一分間の消費電力量が積算消費電力量の0.1%を下回ったときとした。

3 実験結果

3-1 体積、質量の測定

体積測定には精製水の液面上昇が確認しやすいように乾電池にあったできるだけ細いメスシリンダーを使った。

また、質量の測定は0.1g単位で量ることができる電子天秤を使用した。なお、保証されている精度は75gまでは ± 0.2 g、75~300gまでは ± 0.3 gとマニュアルに記載があった。

実験結果は次頁表2にまとめて示す。この実験で、規格上記載されていない体積を測定することができた。単一と単二では一見2倍も違うように見えないが体積、質量共に2倍の差があった。また他の乾電池についても体積と質量は比例していることがわかる。

3-2 内部抵抗、起電力の測定

測定結果を表1に示す。

表1 乾電池の内部抵抗、起電力

	単一	単二	単三	単四	単五
起電力 [V]	1.55	1.54	1.54	1.54	1.55
内部抵抗 [Ω]	0.34	0.36	0.40	0.58	1.30

実験に使用した乾電池の起電力は大きさに関係なく約1.55Vである。これは、起電力を発生させるための化学薬品や部材が同一でそれを発生させる化学的な原理は変わらないからである。一方、内部抵抗については単一から単五になるにつれて大きくなっていった。

3-3 エネルギーの測定と密度計算

図1の回路図にもとづいて測定回路を作製して行った。その結果を表2に放出エネルギーとして示す。放電に要した時間とは測定を終了するまで

の時間であり、直近の1分間の放出エネルギーが積算放出エネルギーの0.1%を下回ったとき、乾電池にほとんどエネルギーがないと見なして終了した。

表 2 体積エネルギー密度，質量エネルギー密度

	単一	単二	単三	単四	単五
放出エネルギー[J]	17982.6	8375.3	3761.8	1427.8	1095.2
放電に要した時間[min]	278	118	60	30	39
体積[m ³]	50.0	23.5	7.4	3.5	2.7
体積エネルギー密度 ×10 ⁶ [J/m ³]	360.0	356.7	508.7	402.4	399.1
質量[g]	132.8	64.0	23.3	11.0	8.9
質量エネルギー密度 ×10 ³ [J/kg]	135.4	131.0	161.4	129.9	123.6

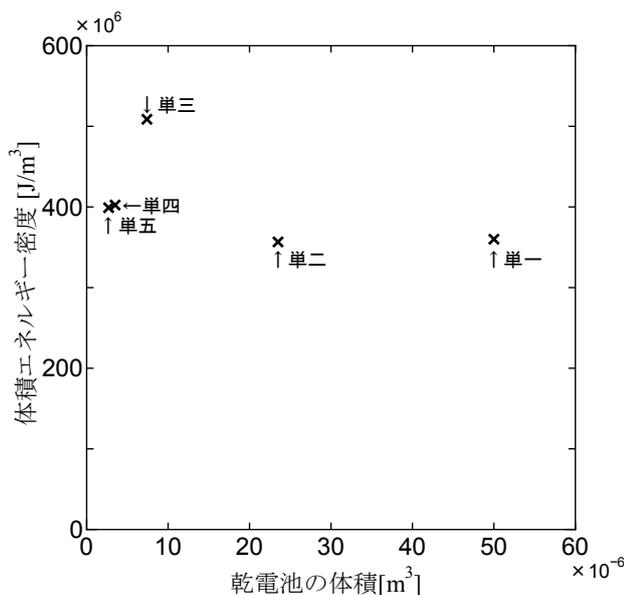


図 3 乾電池の体積エネルギー密度

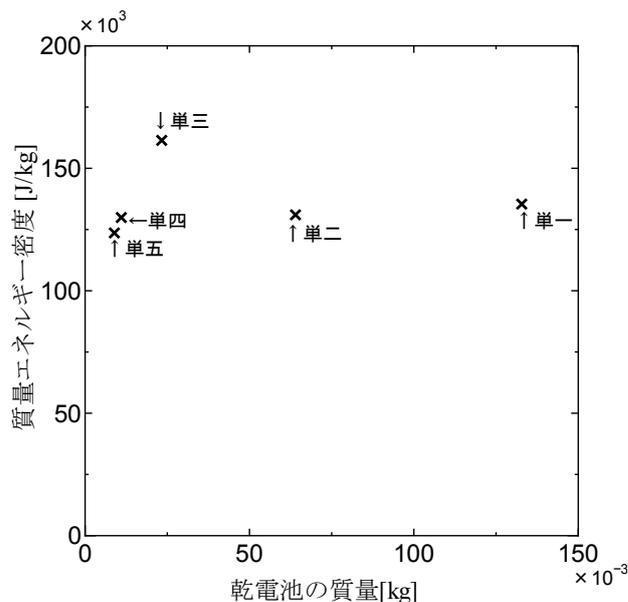


図 4 乾電池の質量エネルギー密度

図 3 に体積エネルギー密度の計算結果，図 4 に質量体積密度の計算結果を示す。それぞれ横軸は乾電池の体積と質量を表しており，図中に単一から単五までの種別を記入している。

電池の大きさが違って化学的な原理は変わらないためほぼ平坦な線上に並ぶと予想されたが，単三だけは他のものよりエネルギー密度が高かった。また，五つとも二次電池よりは低

い値であった²⁾。

4 まとめと考察

4-1 体積

IEC60086 規格には直径，高さのみ記載されている。そのためメスシリンダーを用いて実測した。おそらく，直径と高さが規格範囲内であれば体積もその範囲内であり，体積を指定するよりも各部の寸法をした方が，設計や品質確認

がしやすいからと理解した。

4-2 乾電池が小さくなると内部抵抗が大きくなる理由について

乾電池はアルカリ乾電池でも電極同士の短絡を防ぐセパレータ（大抵は「底紙」を含む）があり²⁾、大抵は缶の内側と底の面に沿って配置されている（図5参照）。



(a) 亜鉛缶 (b) 上面図
図5 マンガン乾電池（キット）の構造

そこで、このセパレータの面積が大きくなれば、それに反比例して内部抵抗が小さくなると仮定して、両者の関係を示したのが図6である。両者は反比例の関係にあるといえる。

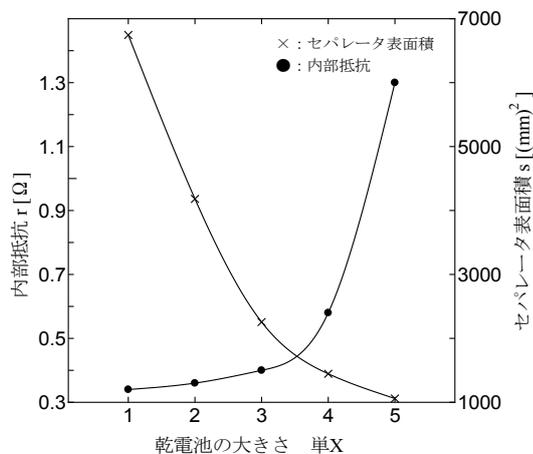


図6 乾電池の大きさと内部抵抗との関係

4-3 自宅の消費電力1ヶ月分を賄うには単一電池が何本必要か

我が家の消費電力を基準に検証した。私の家は、4人家族で、日中家には誰もいないことが多い。ある月の私の家の消費電力は321kWhであった。

$$\frac{321 \times 10^3 \times 3600}{17982.6}$$

一か月分の消費電力は単一アルカリ乾電池約64263本で賄えることがわかった。一本あたり120円とすると一か月771万1560円必要になる。実際の電気料金は7,021円であった。例えば、乾電池で家の消費電力が賄えれば、送電線を必要としないし、災害時にも独立した閉回路網を実現でき電源として有効活用されるであろう。しかし、現時点のエネルギー密度では不可能であるし、現在の送電線を用いた送電方式が技術的にも経済的にもいかに合理的か確認できた。

4-4 エネルギー密度の結果から

単三のみが高いという結果が得られた。はっきりとした理由は分からないので、今後の課題としたい。

参考文献

- 1) 小林, 他: 「図解でなっとく! 二次電池」, 日刊工業新聞社, p. 53 (2011)
- 2) 金村聖志: 「電池」, 共立出版株式会社, P. 21, p. 18 (2013)
- 3) 電気学会通信教育会: 「電気回路論 (改訂版)」, 電気学会, pp. 11-12 (1990)