

1. 動機

ふだん無意識に使っている電池が意外と高価な物であることに気がついた。そこで、電池から取り出せる電力とどれだけ長持ちするかとの2つの性能を測定し、得られたデータとコストからどの電池がどの用途にもっとも適しているかを調べた。比較する電池は、よく使われているマンガン電池、アルカリ電池、ニッケル水素充電電池の3種類とした。

2. 実験方法

2-1) 実験の前に:電力とオームの法則について

電池から取り出せるパワーは電力で表され、電圧と電流をかけたものである。オームの法則により、電圧は抵抗と電流を掛けた値に等しい。それぞれ次の式で示される。

$$P=I \times E \quad , \quad E=I \times R$$

単位はPがワット(W)、Iがアンペア(A)、Eがボルト(V)、Rがオーム(Ω)である。

2-2) 実験方法

実験1:電池から取り出せる電力の実験

電池に様々な値の抵抗をつけて流れる電流と電圧を3種類の電池で調べた。電池には新品の電池を使った。ただしニッケル水素充電電池は新品の電池を使い切った後、フル充電して使った。測定している間に電池の性能が落ちないように、抵抗をつけている時間をなるべく少なくした。測定は電流の流れ方が少ない大きな抵抗値(4.7KΩ)から始め、測定により電池の性能が落ちていないことを確認するため、抵抗を外した時の電圧も測定しておいた。測定回路は1図の通りで、1回の測定にかかった時間は約1秒だった。

実験2:電池がどれだけ長持ちするかを調べる実験

3種類の電池に1.61Ω,0.61Ωの2種類の抵抗を接続し続け、電池の電圧と時間の関係を調べた。又、実験1から電池の中に抵抗があることが分かった。そこで、この抵抗の時間変化を調べるため電圧を測定するとき一瞬抵抗を外しその電圧も記録した。測定回路は、実験1と同じである。また、実験1と同じように新しい電池を使った。

2-3) 実験に使った道具

ニッケル水素充電電池、アルカリ電池、マンガン電池、(すべて単3型)、色々な抵抗(0.1Ω~4.7KΩ)低い値の抵抗は並列にして作った。電圧計と電流計にはデジタルマルチメータを使った。

3. 実験結果

電池から取り出せる電流と電圧をグラフ1に、電池に1.61Ωと0.61Ωの抵抗を接続したときの電圧の時間変化をグラフ2に示す。一瞬抵抗を外した時の電圧は時間と共にどんどん上昇したので、0.61Ωの抵抗を外して3秒後の電圧を測定し表に記入した。このためあまり正確とはいえない。

4. 考察

考察1:電池から取り出せる電力

グラフ1より電池から電流を取り出せば取り出すほど電池の電圧が低くなることが分る。なぜ電流を取り出すと電圧が低くなるのだろうか?実際に電池を分解し、二酸化マンガンらしい黒い物質の抵抗をデジタルマルチメータで測ってみると金属のように0Ωではなかった。電流を取り出すと電圧が下がること、電池の中に入っている物質の抵抗が0Ωではなかったことの2点から、電池の中に抵抗が入っていると考え、その抵抗値をオームの法則で計算してみた。

実際の電池をいくら電流を流しても電圧が下がらない理想的な電池(以下、理想電池と呼ぶことに

する)と電池の中に入っていると考えられる抵抗(以下、内部抵抗と呼ぶことにする)とに分解して実験回路を書くと2図となる。ここで、 r は電池の内部抵抗、 R は電池につけた抵抗、 V は理想電池の電圧、 V_r は電流を流したときに発生する内部抵抗両端の電圧、 V_1 は抵抗を外したときの電池の電圧、 V_2 は抵抗をつないだときの電池の電圧、 I は電流計の値である。

抵抗を接続しないとき内部抵抗に流れる電流は 0 アンペアなので、内部抵抗の両端の電圧は、 r (Ω) $\times I$ (=0A)=0V となる。したがって、抵抗を接続しないときの電池の電圧 V_1 は理想電池の電圧 V を示す。抵抗を接続し電流 I アンペアを流したとき内部抵抗の両端に現れる電圧 V_r は、 $V_r=r$ (Ω) $\times I$ (A) となる。理想電池の電圧 V は、抵抗をつないだときの電池の電圧 V_2 と V_r とをたした値である。したがって内部抵抗 r は次の式で求められる。

$$V=V_1=V_2+V_r=V_2+r\times I$$

$$r=(V_1-V_2)\div I \quad \dots\dots\dots\text{式1}$$

次に抵抗 R を接続したときの電池から取り出している電力 P は、

$$P=I\times V_2 \quad \dots\dots\dots\text{式2}$$

で示される。ここで、 R は電池につけた抵抗、 V_2 は抵抗をつないだときの電池の電圧、 I は電流計の値、 P は電池から取り出している電力である。

式1、式2によりそれぞれの状態での内部抵抗と電力とをパソコンを使って計算した(表1、表2、表3)。取り出す電流と内部抵抗をグラフ3に、取り出す電流と電力をグラフ4に示す。グラフ3から、マンガン電池とニッケル水素充電電池では、内部抵抗は電流により変化し、流す電流を大きくすると内部抵抗が小さくなった。アルカリ電池では流す電流によらずほぼ同じ内部抵抗だった。内部抵抗はマンガン電池、アルカリ電池、ニッケル水素充電電池の順に小さいが、1アンペア以下の電流ではアルカリ電池とニッケル水素充電電池はほぼ同じ内部抵抗を示した。1アンペア以上の電流ではニッケル水素充電電池がアルカリ電池の半分以下の内部抵抗を示した。内部抵抗が小さいほど内部抵抗の両端に発生する電圧が小さくなり、取り出せる電力が大きくなる。

取り出せる電力はグラフ5よりマンガン電池では 1.4 ワットが最大だった。アルカリ電池とニッケル水素充電電池では、2アンペアの電流で少し差が見られるが、4アンペア以上の電流を流せば、ニッケル水素充電電池の方がより多くの電力を取り出すことが出来るだろう。

考察2:電池の容量

グラフ2に電圧と時間の関係を示す。1.61 Ω 、0.61 Ω 両方でマンガン電池、ニッケル水素充電電池、アルカリ電池の順で長持ちすることが分かった。マンガン電池は時間と共にどんどん電圧が下がっていくのに対し、アルカリ電池とニッケル水素充電電池はほぼ一定の電圧を保ち、その後急激に電圧が下がる。電圧の安定性はニッケル水素充電電池が際立って優れ、初めから最後までほとんど電圧が変化しない。

1.61 Ω を接続したとき電圧が 0.85Vになるまで使えたとするとアルカリ電池はニッケル水素充電電池に比べ約 1.7 倍長持ちし、マンガン電池に比べると 6.9 倍長持ちする。ニッケル水素充電電池には1.2V、1300mAhと表示されている。これは10時間130mAの電流を取り出せるという意味である。グラフ2よりニッケル水素充電電池に 1.61 Ω の抵抗を接続したときの電圧は約 1.1V、電圧が 0.85Vとなるまでの時間は約 77 分と読める。流れる電流は 0.68Aなので 680mA \times 77分 \div 60分=880mAhと計算され、表示の値よりだいぶ少ない。新品の電池なので表示の値を信用すると大きな電流を取り出すと電池は長持ちしなくなるといえる。

内部抵抗は、実験結果で書いたように抵抗を外したときの電圧が時間と共にどんどん上昇してしまうので正確とはいえないが概略マンガン電池で 0.5 Ω 、アルカリ電池で 0.2 Ω 、ニッケル水素充電電池で 0.07 Ω と計算された。内部抵抗の時間変化はあまりなく、電池が無くなるころに大きくなった。

考察3:電池の経済

電池の値段は近くのスーパーでマンガン電池が 25 円、アルカリ電池が 50 円、ニッケル水素充電電池が 350 円だった。アルカリ電池の容量を1とするとマンガン電池は 1/6.9、ニッケル水素充電電池は

池は 1/1.7 である。したがってアルカリ電池1本に相当するマンガン電池は 6.9 本で 172.5 円、ニッケル水素充電電池では 1.7本で 595 円であるがニッケル水素充電電池は 400 回繰り返し充電して使えるので $595/400=1.49$ 円。充電に要する電気代は、家の電気代電気代が1KWHで24円なので、ニッケル水素充電電池を充電するために必要な電気を取り出せる電気と同じとすれば、 $1.2V \times 1.3A \times 1時間 = 1.56WH$ 、1回の充電で $24 \div 1000 \times 1.56 = 約 0.04$ 円であり無視できる。

次にゴミの量を考える。ニッケル水素充電電池はアルカリ電池に比べ 1.7 分の1の電気しか取り出せないので、 $400 \text{ 回} \div 1.7 = \text{アルカリ電池約 } 235 \text{ 本分}$ となる。ニッケル水素充電電池はアルカリ電池に比べ 1/235 のゴミの量となる。グラフ2, 3よりニッケル水素充電電池はマンガン電池の4倍の電気を取り出せるので $400 \text{ 回} \times 4 = 1600$ で 1/1600 のゴミの量となる。

5: 結論

結論を下にまとめた。容量を除けば、取り出せる電力、経済性でニッケル水素充電電池が非常によい結果を出した。

	パワー	容量	アルカリ電池を基準とした経済性
マンガン電池	1.4 W	217 mAH	172.5 円
アルカリ電池	3 W以上	1500 mAH	50 円
ニッケル水素充電電池	4 W以上	880 mAH	1.5 円

6: おわりに

電池の内部抵抗は一定ではないことがわかったがその原因はわからない。どれだけ長持ちするかを調べているとき、抵抗を外して電圧を測定すると電池の電圧がどんどん上がっていった。これは電池が回復しているのだろうか？もし回復するのならスイッチを時々切って使うとどれくらい寿命が延びるのだろうか？2年間かけて調べた電池だが分からないことがまだまだたくさんあり、これからも実験を続けていきたい。

表3: 0.61Ωの抵抗をつけたときの電池の寿命

時間(分)	単3マンガン電池				単3アルカリ電池				単3ニッケル水素充電電池			
	抵抗無し (V)	抵抗付き (V)	電流 (A)	内部抵抗 (Ω)	抵抗無し (V)	抵抗付き (V)	電流 (A)	内部抵抗 (Ω)	抵抗無し (V)	抵抗付き (V)	電流 (A)	内部抵抗 (Ω)
0	1.60	0.93	1.516	0.45	1.597	1.182	1.905	0.23	1.315	1.164	1.908	0.08
1	1.38	0.78	1.274	0.47	1.391	1.082	1.741	0.19	1.259	1.119	1.834	0.08
2	1.31	0.73	1.182	0.49	1.224	1.024	1.679			1.118	1.833	
4	1.24	0.68	1.107	0.51	1.291	0.972	1.593	0.20	1.241	1.114	1.828	0.07
6	1.22	0.63	1.031	0.57		0.951	1.559			1.114	1.826	
8		0.59	0.972			0.938	1.538			1.114	1.826	
10	1.17	0.56	0.923	0.66	1.251	0.921	1.510	0.22	1.233	1.114	1.826	0.07
15	1.13	0.48	0.790	0.81	1.234	0.902	1.479	0.22	1.222	1.094	1.793	0.07
20	1.04	0.42	0.692	0.89	1.222	0.899	1.474	0.22	1.202	1.074	1.761	0.07
25	0.96	0.35	0.570	1.07	1.195	0.877	1.438	0.22	1.173	1.047	1.716	0.07
30	0.84	0.26	0.423	1.38	1.151	0.849	1.392	0.22	1.111	0.972	1.593	0.09
35					1.135	0.819	1.343	0.24	0.945	0.116	0.190	4.36
40					1.101	0.773	1.267	0.26				
45					1.054	0.728	1.193	0.27				
50					1.051	0.644	1.056	0.39				
55					0.607	0.128	0.210	2.28				

表2: 1.81Ωの抵抗をつけたときの電池の寿命

時間(分)	マンガン抵抗付き (V)	アルカリ抵抗付き (V)	ニッケル水素充電抵抗付き (V)
0	1.23	1.39	1.21
0.5	1.18	1.35	1.20
1	1.14	1.33	1.19
2	1.10	1.31	1.19
4	1.04	1.28	1.18
6	1.00	1.25	1.18
8	0.98	1.23	1.18
10	0.95	1.21	1.18
15	0.92	1.18	1.18
20	0.84	1.16	1.18
25	0.78	1.14	
30	0.72	1.11	1.17
35	0.68	1.09	
40	0.61	1.08	1.16
45	0.57	1.05	
50	0.51	1.04	1.14
55		1.04	
60	0.39	1.04	1.12
65	0.33	1.03	
70	0.28	1.02	1.06
75		1.01	0.98
80		1.01	0.24

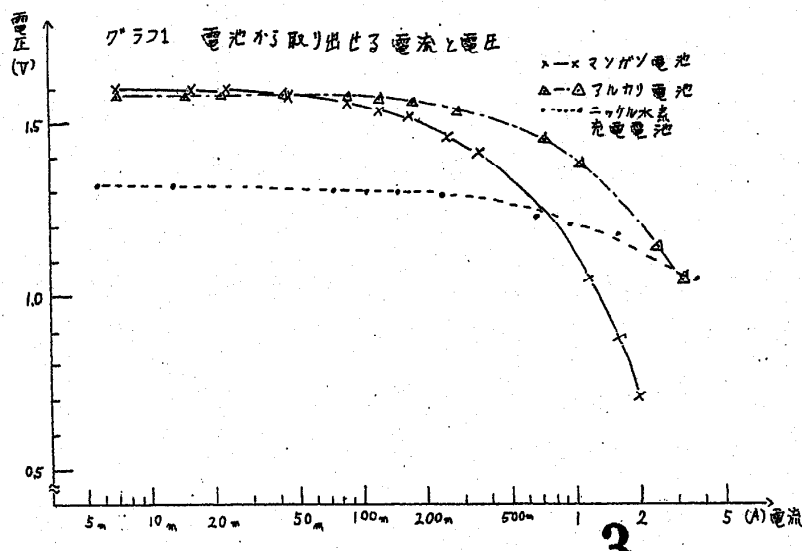


表1: 電池から取り出せる電流と電圧

抵抗(Ω)	単3マンガン電池				単3アルカリ電池				単3ニッケル水素充電電池			
	電圧(V)	電流(mA)	抵抗(Ω)	電力(W)	電圧(V)	電流(mA)	抵抗(Ω)	電力(W)	電圧(V)	電流(mA)	抵抗(Ω)	電力(W)
無し	1.623	0.0		0.00	1.59	0		0.00	1.32	0.0		0.00
220.00	1.608	7.1	2.12	0.01	1.59	7.0	0.14	0.01	1.32	5.8	0.34	0.01
100.00	1.601	15.8	1.39	0.03	1.59	15.7	0.19	0.02	1.32	12.9	0.23	0.02
68.00	1.595	22.9	1.22	0.04	1.59	22.9	0.18	0.04	1.32	18.9	0.21	0.02
33.00	1.578	44.5	1.01	0.07	1.58	44.8	0.18	0.07	1.31	37.0	0.16	0.05
15.00	1.554	87.7	0.79	0.14	1.58	89.3	0.17	0.14	1.31	73.8	0.11	0.10
10.00	1.539	124.6	0.67	0.19	1.57	127.9	0.19	0.20	1.30	105.5	0.17	0.14
6.80	1.515	174.5	0.62	0.26	1.56	181.9	0.18	0.28	1.30	151.4	0.13	0.20
3.30	1.480	271.2	0.60	0.40	1.54	289.8	0.19	0.44	1.29	241.5	0.11	0.31
1.65	1.423	376.0	0.53	0.54	1.45	387.0	0.18	1.11	1.23	381.0	0.13	0.84
1.00	1.210	891.0	0.48	1.08	1.38	1104.0	0.19	1.52	1.21	953.0	0.11	1.16
0.50	1.050	1300.0	0.44	1.37	1.27	1723.0	0.19	2.19	1.18	1637.0	0.09	1.93
0.25	0.881	1660.0	0.45	1.48	1.14	2440.0	0.18	2.78	1.12	2573.0	0.08	2.88
0.10	0.710	2000.0	0.48	1.42	1.05	3130.0	0.17	3.29	1.05	3845.0	0.07	4.04

