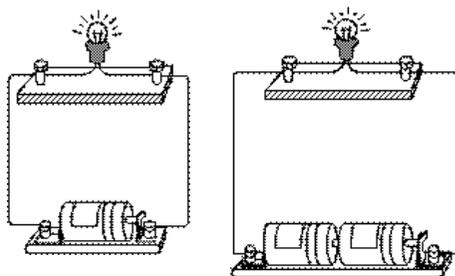


電池の寿命

小学生の質問

「同じ豆電球に、電池を1個つないだときと、2個つないだときとで、電池はどちらが長持ちするの？」

小学生にそう問われたら、あなたはどうか答えますか。2個並列なら明らかに2倍長持ちしそうだと思えますが、電池を2個直列にしたらどうでしょう。とっさの答えとして次のどれを思いつきますか？



2倍のエネルギーがあるから電池2本が長持ち
直列だと明るくなるのは電流が増しているためだからむしろ1本が長持ち
電池1本でも直列2本でも寿命は同じ

さて、真相はどうなのでしょう。実は高校までの理科では「電池の寿命」が話題になることはありません。この問いは素朴ながら、けっこう意表をついた本質的な問いだと思います。問題点を整理しながら順に考察してみましょう。

電池の寿命とは

まず、電池をモデル化します。起電力一定、内部抵抗ゼロの理想的な化学電池を考えます。化学電池は化学反応によって化学エネルギーを電気エネルギーに変える装置です。したがって電池が供給する電気エネルギーの総量は、使用前の反応物の量に比例することでしょう。この反応物を使い切ったときが電池の寿命ということになります。そこで、同じ規格の未使用の電池は、等しい電気エネルギーを供給すると考えることにしましょう。

電池は電位差に逆らって電荷をくみ上げるポンプにたとえられます。電池の起電力を V 、電池がその寿命の間に供給する電気量を Q とすると、電池が回路に供給するエネルギーは

$$W = QV$$

と表すことができます。この値は電池の規格によって決まる定数です。

電池に接続された回路が消費する電力（単位時間のエネルギー消費）が P で一定であるものとする、電池の寿命 T の間の消費電力量は

$$W = PT$$

となります。 を等しいと置いて電池の寿命は

$$T = QV / P$$

で求められることとなります。電流を I （一定）として

$$P = VI \text{ また } Q = IT$$

であることを思い出すと、式は一定の電流を取り出すことによって電池が供給する電荷が涸れるまでの時間を求めていることにもなります。一定量の反応物の酸化還元反応を完了するには一定量の電子が移動しなければなりませんから、当然の結果であるともいえます。

オームの法則が成り立つ場合

仮に、電球ではなくオームの法則に従う抵抗に、理想的な（内部抵抗 0，起電力一定）の電池をつないだとしましょう。抵抗を R とすると、抵抗 1 個に電池 1 個の時は、オームの法則から

$$I_1 = V / R \quad P_1 = VI = V^2 / R$$

が成り立ちます。同じ抵抗 1 個に電池が 2 本直列に接続される時は、

$$I_2 = 2V / R \quad P_2 = 2VI_2 = 4V^2 / R = 4P_1$$

となり、電流は 2 倍、消費電力は 4 倍となります。電池が 2 本でエネルギーが 2 倍あることを考慮すると、により 2 本直列時の電池寿命は

$$T_2 = 2QV / P_2 = QV / 2P_1 = T_1 / 2$$

となり、電池 1 本の時の半分となります。2 本直列の方が寿命が短いのです。

電気量の供給という観点から見ると、2 本直列の時は全体で Q という電気量しか供給できません。コンデンサーの直列接続のときにも同様の事情が生じます。一方で電流は 2 倍になるのですから、半分の時間で電気量を使い切ることになると考えてもよいでしょう。

電球は非オーム抵抗

しかし、現実の電球は非オーム抵抗です。電流電圧特性のグラフは、図 1 のような曲線となり、オームの法則には従いません。フィラメントが白熱すると抵抗率が増すため、電圧が 2 倍になっても電流は 2 倍にはなりません。グラフの傾きが変わるあたりから電球のフィラメントは輝き始めます。

仮に、2 個直列で電圧 2 倍に対し、1.4 倍の電流が流れたと考えましょう。この場合、上と同様の計算を行うと、消費電力は 1 本の時の 2.8 倍で、電池寿命は 1 本の時の 7 割ぐらいという計算になります。半分とまではいきませんがやはり直列の方が寿命が短いという結論になります。

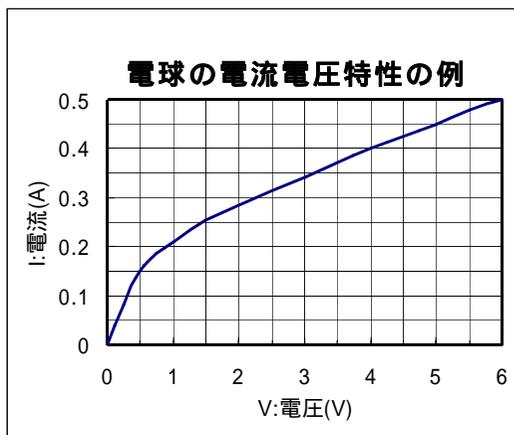


図 1

現実の電池では？

これまでは電池を理想化して、起電力一定・内部抵抗ゼロで考えてきました。しかし、現実の化学電池には宿命的な内部抵抗があり、端子間電圧が時間と共に低下していきます。そのような現実の電池を用いたらどうでしょう。

図2は松下電器のWebページから借用した、Panasonic アルカリ単三型乾電池 LR6(GW)の定電流放電特性です。

仮に、端子間電圧が1.2Vを下回ったら寿命が尽きたと考えることにすると、電流200mAなら約4時間の寿命と読めます。電池2本直列で仮に電流280mAと見るなら寿命は約2時間ですから、直列の方がだいぶ短いことになります。

電球が光っている時間は？

ところで、電球はどんな電圧・電流でも光るわけではありません。図1の電球ならおよそ1.2V以下では光っていないように見えません。例えば懐中電灯を考えると、電球が光らなくなったら電池の寿命が尽きたと考えることになるでしょう。そこで、電球が「光っている」時間を比べたらどうでしょう。

電池1個では上記のように約4時間で光らなくなりますが、直列の場合は電圧が足し算されるので、一つの電池が1.2Vを下回っても、電球はまだ実用的な光を発することができます。

図2のグラフには0.6Vという曲線がないので、正しい評価ができませんが、図3の標準放電特性のグラフを見ると、1.2V時間と0.6V時間では4倍以上の開きがあります。もし2本直列では0.6Vになるまでを寿命としてよいなら、こちらが断然有利になります。2本直列の逆転勝利なのではないでしょうか。真相は？

実験をしてみよう

このように考えてくると、現実の電池と電球では、電池の種類や使用条件により、また「寿命」をどのように評価するかにより、判定は微妙のようです。最後は、ケースバイケースで実験によって決着をつけなければならないと思います。この問題は奥の深い、良い探究課題です。学校や家庭でも簡単にできる実験なので、ぜひチャレンジしてみてください。

定電流連続放電(20°C±2°C)

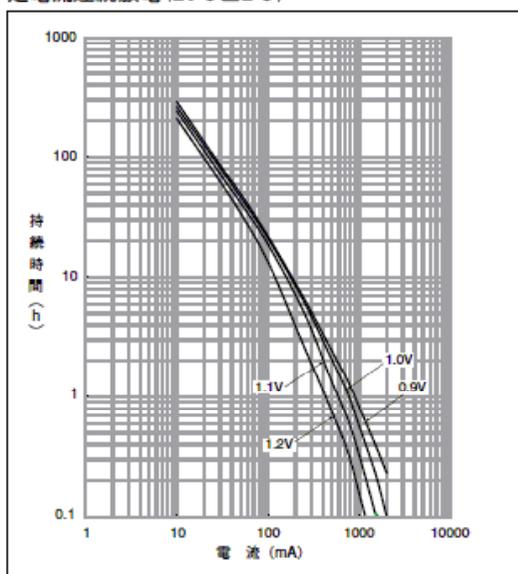


図2

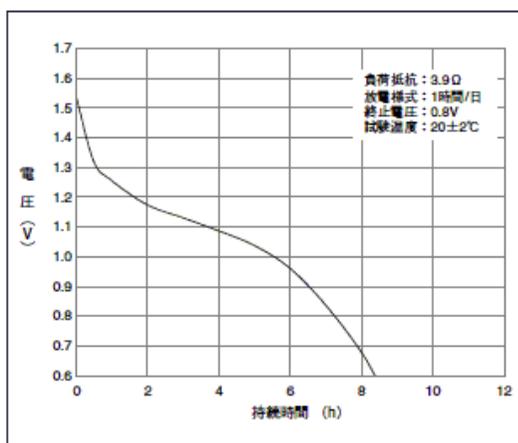


図3

【参考文献】Panasonic アルカリ単三型乾電池 LR6(GW)の特性表

<http://industrial.panasonic.com/www-data/pdf2/AAC4000/AAC4000CJ31.pdf>