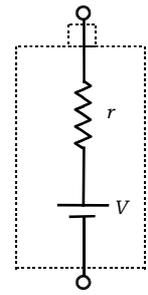


## 新作問題シリーズ 第22回 電池の内部抵抗

次の文章を読んで下の各問いに答えなさい。

電池を使用するとき、微弱な電流で長時間にわたって使うケースと、短時間に大電流を使うケースがある。それぞれの場合について、電池がどのような性能を発揮するかを表す要素として、電池の起電力  $V$  [V] と内部抵抗  $r$  [ $\Omega$ ] の2つの要素がある。現実の電池を等価回路で示すと右図に示すようになる。



では、理想的な電流計(内部抵抗がゼロ)で実験してみよう。

抵抗  $R_1$  [ $\Omega$ ] を接続したとき、電流は  $I_1$  [A] であった。このとき、オームの法則を適用して関係式を作ると  $\boxed{\text{①}}$  …(a) が成立する。また、抵抗  $R_2$  [ $\Omega$ ] に変えたとき、電流は  $I_2$  [A] であった。このとき、オームの法則を適用して関係式を作ると  $\boxed{\text{②}}$  …(b) が成立する。

(a)、(b) の関係式から、 $I_1$ 、 $I_2$ 、 $R_1$ 、 $R_2$  を使って電池の起電力、内部抵抗を表すと、電池の起電力が  $\boxed{\text{③}}$  [V]、内部抵抗が  $\boxed{\text{④}}$  [ $\Omega$ ] であるとわかる。したがって、理想的な電流計があれば、電池の内部抵抗、起電力を実験で求めることは難しいことではない。

この電池を使って、電池を実際に使用するケースについて考えてみよう。なお、これ以降は、先ほどの電池の起電力  $V$  [V] と内部抵抗  $r$  [ $\Omega$ ] を使ってよい。また、電池が流せる電気量は電池内部にある物質により決まるとしてもよいから、流すことが出来る電気量を  $Q$  [C] とする。また、その間、起電力、内部抵抗が一定とする(少し無理があるが)。

接続した機器の抵抗を  $R$  [ $\Omega$ ] とすると、機器の「消費電力」は  $\boxed{\text{⑤}}$  [W] である。

また、電池から電流が流れなくなるまでの時間は  $\boxed{\text{⑥}}$  [s] になる。よって、電池がだめになるまでに利用できた「総エネルギー(電力量)」は  $\boxed{\text{⑦}}$  [J] である。

(1) 上の文章の空欄に適切な数式を入れなさい。

①	②
③	④
⑤	⑥
⑦	

(2) 「微弱な電流」で使う場合と、「大電流」で使う場合の2つについて、電池の使い方として、どのような違いが出てくるか、外部機器の「消費電力」と、利用できた「総エネルギー」について数式を使って説明しなさい。

## 新作問題シリーズ 第22回 電池の内部抵抗 解答・解説

- (1) 抵抗  $R_1$  [ $\Omega$ ] のときの電流  $I_1$  [A] より、オームの法則から  $V = I_1(r + R_1)$  …① が成立する。また、抵抗  $R_2$  [ $\Omega$ ] のときの電流が  $I_2$  [A] より、同様に、 $V = I_2(r + R_2)$  …② が成立する。①、② より、内部抵抗は  $r = \frac{I_2 R_2 - I_1 R_1}{I_1 - I_2}$  …③、起電力は

$$V = \frac{I_1 I_2 (R_2 - R_1)}{I_1 - I_2} \dots \text{④ である。}$$

この電池に接続した機器の抵抗を  $R$  [ $\Omega$ ] とすると、電池から流れる電流は  $\frac{V}{r+R}$ 、機器にかかる電圧は  $V - \frac{rV}{r+R}$  であるから、消費電力は  $P = \left\{ V - \frac{rV}{r+R} \right\} \times \left( \frac{V}{r+R} \right)$  になる。整理して、 $P = \frac{V^2 R}{(r+R)^2}$  …⑤ である。

電流が流れなくなるまでの時間は  $T = Q \div \frac{V}{r+R} = \frac{Q(r+R)}{V}$  …⑥ であるから、「利用できる総エネルギー(電力量)」は  $PT = \frac{QRV}{r+R}$  …⑦ である。

- (2) 「消費電力」、「利用できる総エネルギー(電力量)」の数式の意味を考えてみればよい。その数式を見る視点は、「内部抵抗」と「接続する機器の抵抗」の大きさである。

⑥ より  $P = \frac{V^2}{r^2/R + 2r + R} \leq \frac{V^2}{4r}$  (電力最大は  $R=r$  のとき) となるので、内部抵抗の大きな

電池では消費電力の限界に達する。機器の抵抗  $R$  を下げても、消費電力は増えない(減少し始める)ので、その電池では使えないようになる。

⑧ より  $PT = \frac{QRV}{r+R} = \frac{QV}{1+r/R}$  だから、接続する機器の抵抗が電池の内部抵抗より小さくなるほど電池から取り出せる「総エネルギー」は減少してゆく(電池の効率が低下する)。

電池の内部抵抗が接続する機器の抵抗の2倍であれば、効率は33%に低下し、半分以上のエネルギーが電池内で消費されてしまう(電池が発熱する)。

以上より、

### 「大電流を流す」場合では

電池の内部抵抗による消費電力の限界があるため、内部抵抗が大きな電池では電力を供給できなくなる。また、電池のエネルギー効率が非常に悪くなる。

→ 「大電流を流す」場合、内部抵抗が低い電池を使わなければならない。

### 「微弱な電流を流す」場合では

同様に、⑥より、消費電力の限界も影響もないし、⑧より、電池の効率は内部抵抗によらず100%となり、電池の内部抵抗の問題は生じない。

→ 「微弱な電流を流す」場合、電池の内部抵抗にはこだわらなくて良い。

※ 一般に、高性能電池では「電池の内部抵抗をいかに下げるか」に力を入れている。起電力の大きさは、正負両電極物質によること、取り出せる総電気量も物質により決まってしまうことがその理由。

※ 高性能電池は「大電流」用途での使用では性能が十分発揮できるが、「微弱電流」用途では性能を発揮できない理由がここになるのですね。