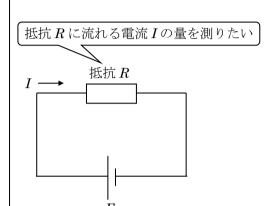
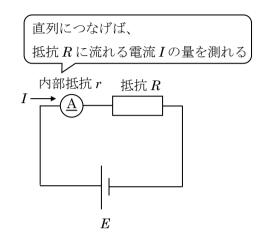
テーマ5 電流計と分流器・電圧計と倍率器

電流計の原理

電流計は、中に内部抵抗rが入っていて、内部抵抗rに流れる電流の大きさに応じて指針が動く装置である。電流の量を測りたい場所と直列につなぐ必要がある。





厳密には内部抵抗rが回路に組み込まれることで、電流計をつなぐ前のIとは違ってしまう。 このとき、内部抵抗rでの電圧降下がなるべく小さい方が、元の回路と同じ条件に近づくため、内部抵抗rが小さい方が、Iの誤差が小さくなる。

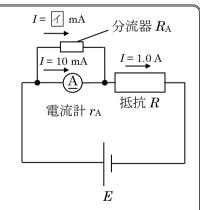
つまり、電流計の内部抵抗は、非常に小さく設定されている。

問題 9 分流器

内部抵抗 1.0Ω 、最大測定電流 10 mA の電流計がある。 この電流計で抵抗 R に流れる 1.0 A の電流を測定したい ときは、右図のように分流器を接続する。

電流計には 10 mA までしか電流を流せないので、電流計 に ア に抵抗をつないで電流を分けて流す。このよう につなぐ抵抗を分流器と呼ぶ。

ここで、分流器に イ mA 流せば、電流計に流れる電 流は 10 mA で済む。



一方で、電流計にかかる電圧はオームの法則より $\boxed{}$ V であり、これと同じ電圧が分流器にかかっているので、分流器の抵抗値 R_A は $\boxed{}$ Ω となる。

問題 9 解答 ア:並列 イ:990 mA ウ:1.0×10⁻² V (0.010 V) エ:0.010 Ω

問題9解説

ア:図の通り、分流器は電流計と並列に接続する。

イ:キルヒホッフ第1法則より、分流器には990 mAの電流が流れればよい。

ウ:電流計 r_A でオームの法則 $\Delta V = RI$ を立式すると、

$$V = 1.0_{(\Omega)} \times 0.010_{(A)}$$

= 0.010 (V) = 1.0×10⁻² (V)

エ:かかる電圧が電流計と等しいので0.010 V であることに注意して、分流器 $R_{\rm A}$ でオームの 法則 $\Delta V = RI$ を立式すると、

$$0.010_{\text{ (V)}} = R_{\text{A (\Omega)}} \times 0.990_{\text{ (A)}}$$

 $\therefore R_{\text{A}} = \frac{0.010}{0.990} = 0.010_{\text{ (\Omega)}}$

オ:ここまでの内容を文字で処理してみる。

電流の文字の置き方がポイントで、例えば、電流計に流れる電流をiとしたとき、抵抗Rにはn倍の電流が流れ、分流器にはni-iの電流が流れるといえる。

電流計でオームの法則 $\Delta V = RI$ を立てると、

$$V = r_{A}i$$
 ····①

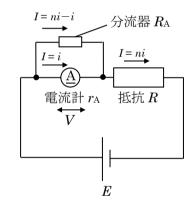
分流器でオームの法則 $\Delta V = RI$ を立てると

$$V = R_A (ni - i) \cdots (2)$$

②に①を代入して

$$r_{A}i = R_{A} (ni - i)$$

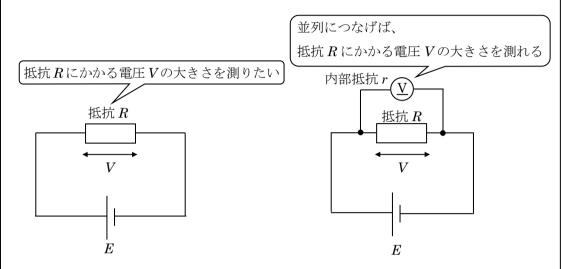
$$\therefore R_{A} = \frac{r_{A}i}{ni-i} = \frac{r_{A}}{n-1}$$



電圧計の原理

電圧計と電流計は原理的には同じ装置で、中に入っている内部抵抗 r に流れる電流の大きさ に応じて指針が動く装置である。電流 I の大小で針が振れるが、V=RI の関係式を用いて電 圧に換算した目盛をつけることで、電圧を測る装置となる。

電圧を知りたいので、測りたい場所に並列につなぐ必要がある。



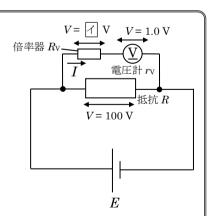
このとき、電圧計をつなぐ前とは全体を流れる電流 I が違ってしまう。内部抵抗 r に流れる電流がなるべく小さい方が、元の回路と同じ条件に近づく。

つまり、電圧計の内部抵抗は、非常に大きく設定されている。

問題 10 倍率器

内部抵抗 $1000\,\Omega$ 、最大測定電圧 $1.0\,V$ の電圧計がある。 この電圧計で抵抗 R にかかる $100\,V$ の電圧を測定したい ときは、右図のように倍率器を接続する。

電圧計には 1.0 V までしか電圧をかけられないので、電圧計に アーに抵抗をつないで電圧を分けてかける。このようにつなぐ抵抗を倍率器と呼ぶ。



一方で、電圧計を流れる電流はオームの法則より \dot{D} A であり、これと同じ電流が倍率器に流れているので、倍率器の抵抗値 R_V は Δ Ω となる。

同様に、本来の最大測定電圧のn倍の電圧を測定したいときを考えると、内部抵抗rvの

オー倍の抵抗を倍率器として接続すればよいといえる。

問題 10 解答 ア:直列 イ:99 V ウ:1.0×10⁻³ A エ:9.9×10⁴Ω

 $\pm : R_{V} = (n-1)r_{V}$

問題 10 解説

ア:図の通り、倍率器は電圧計に直列に接続する。

イ:キルヒホッフ第2法則より、倍率器には99Vの電圧がかかればよい。

ウ:電圧計 r_{V} でオームの法則 $\Delta V = RI$ を立式すると、

$$1.0_{\rm (V)} = 1000_{\rm (\Omega)} \times I_{\rm (A)}$$

$$I = 0.0010 \text{ (A)} = 1.0 \times 10^{-3} \text{ (A)}$$

エ:流れる電流が電圧計と等しいので $0.0010\,\mathrm{A}$ であることに注意して、倍率器 R_V でオームの法則 $\Delta V = RI$ を立式すると、

99 (V) =
$$R_{V (\Omega)} \times 0.0010$$
 (A)

$$\therefore R_{\rm V} = 99000 = 9.9 \times 10^4 \,_{(\Omega)}$$

オ:ここまでの内容を文字で処理してみる。

電圧の文字の置き方がポイントで、例えば、電圧計に かかる電圧をvとしたとき、抵抗Rにはn倍の電圧が かかり、倍率器にはnv-vの電圧がかかるといえる。 電圧計でオームの法則 ΔV =RIを立てると、

$$v = r_{\mathbf{V}}I \cdots (1)$$

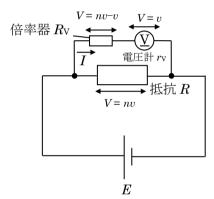
倍率器でオームの法則 $\Delta V = RI$ を立てると

$$nv - v = R_{V}I \quad \cdots (2)$$

①を変形して $I = \frac{v}{r_V}$ 、これを②に代入して

$$nv - v = R_{V} \frac{v}{r_{V}}$$

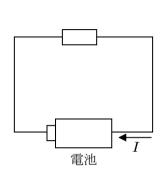
$$\therefore R_{v} = \frac{r_{V}(nv-v)}{v} = (n-1)rv$$

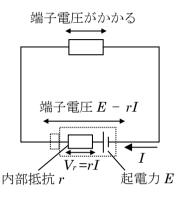


テーマ6 電池の内部抵抗

電池の内部抵抗について

電池の中には、電位を上げる部分のほかに、実はわずかに内部抵抗が含まれている。なので、 電池を含んだ回路を正確な回路時に直すと以下のようになり、本来の起電力から内部抵抗で ロスした電圧を引いたものが、つないだ抵抗にかかり、これを端子電圧と呼ぶ。

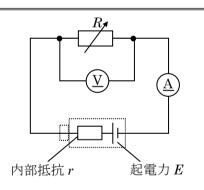


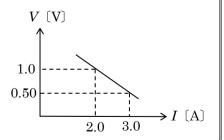


問題 11 内部抵抗の測定 ――

内部抵抗 r、起電力 E の電池と、可変抵抗 R、電流計、電圧計を図のようにつないだ。電流計と電圧計の内部抵抗は無視する。可変抵抗とは、自由に抵抗の大きさを変えられる抵抗である。

- (1) 電圧計で示される値 Vを、電流計で示される値 I の関数で示せ。
- (2) 可変抵抗で抵抗の大きさを変化させたときの電圧計と電流計の変化をグラフにすると右図のようになった。電池の起電力 E と内部抵抗 r はいくらか。

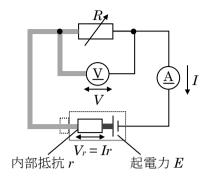




問題 11 解答 (1) V = E - rI (2) E = 2.0 V、 $r = 0.50 \Omega$

問題 11 解説

(1) 電流計、電圧計が出てきたときは、最優先でそこに 文字I、Vを設定しよう。そして、 $\mathbf{他}$ の場所の不明数 を、その I や V で示すようにすると問題が解きやす くなる。『電流計、電圧計が主役』という意識である。 ここで、内部抵抗rでの電圧降下 V_r はオームの法 則 $\Delta V = RI$ より



$$V_r = Ir$$

であり、これを用いて、電池と可変抵抗を通る経路でキルヒホッフ第2法則を立式すると、

$$E = Ir + V$$

となる。これを変形すると、

$$V = E - Ir$$

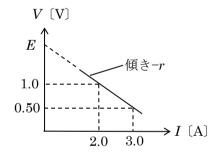
となる。これでVをIの関数で示せた。

(2) 前間(1)で求めた

$$V = E - Ir$$

のグラフが問題文で与えられているグラフである。 よって、縦軸の切片がEで、傾きが-rといえる。 グラフから縦軸の切片は 2.0、傾きは-0.50 なので、

$$E=2.0\,\mathrm{V}$$
 、 $r=0.50\,\Omega$



* 補足

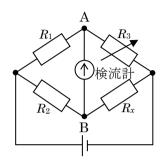
今回の実験操作で変化させているのは R なのでグラフの横軸は R にしたくなる。可変 抵抗でオームの法則を立てると、RとIの関係式を立てられるので、それを用いてVを Rの関数で書いてしまえば、横軸がRのグラフを書くことも可能である。

VをIの関数で示したが、IがRの関数となっているのだ。

テーマ7 ブリッジ回路 ~ホイートストンブリッジ~

ブリッジ回路

枝分かれする回路の途中で、橋渡しするように導線をつないだ回路をブリッジ回路という。大きさ不明の抵抗値を測定できる『ホイートストンブリッジ』が有名である。



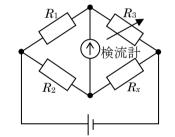
検流計は、電流が流れているかを 測定できる装置

——(G)— と書く場合もある

AとBの電位が同じとき検流計に は電流が流れないことがポイント

問題 12 ホイートストンブリッジ

抵抗の大きさが R_1 、 R_2 の抵抗、可変抵抗、抵抗の 大きさが不明な R_x 、検流計を右図のように接続し た。可変抵抗の大きさを R_3 にしたとき検流計には 電流が流れなかった。以下の問いに答えよ。



- (1) 検流計に電流が流れなかったときの回路の色分けをせよ。
- (2) 抵抗 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_x にかかる電圧を V_1 、 V_2 、 V_3 、 V_x としたとき、電圧の関係式を 2 つたてよ。
- (3) R_1 を流れる電流を I、 R_2 を流れる電流を i として、各抵抗でオームの法則を立式せよ。
- (4) 前間(2)(3)の式から、 R_x の大きさを R_1 、 R_2 、 R_3 で示せ。

検流計に流れない

- 問題 12 解答 (1) 解説参照 (2) $V_1 = V_2$ 、 $V_3 = V_x$
 - (3) $V_1 = R_1 I$, $V_2 = R_2 i$, $V_3 = R_3 I$, $V_x = R_x i$ (4) $R_x = \frac{R_2 R_3}{R_1}$

問題 12 解説

- (1) 右図のように、色分けができる。また検流計に 電流が流れていないので、 $I \geq i$ の 2 つに絞って 電流の文字をおくことができる。
- (2) 色分けから、

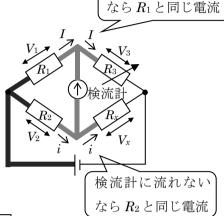
$$V_1 = V_2 \cdots (1)$$
式

$$V_3 = V_x \cdots ②$$
式

といえる。

(3) 各抵抗でオームの法則の式を立てると、

 $R_1 V_1 = R_1 I$ $R_2 V_2 = R_2 i$ $R_3 V_3 = R_3 I$ $R_x V_x = R_x i$



(4) 前間(3)の式を前間(2)の①式、②式に代入すると、

$$R_1I = R_2i$$
 …③式

$$R_3I = R_7i \cdots 4$$
式

となる。ここから I、i を消去する。③式、④式それぞれで $\frac{i}{7}$ の形を作ると、

$$\frac{i}{I} = \frac{R_1}{R_2} \cdots \textcircled{3}' \qquad \frac{i}{I} = \frac{R_3}{R_r} \cdots \textcircled{4}'$$

③'= ④'と立式し、I、i を消去すると、

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_x}$$

$$\therefore R_x = \frac{R_2 R_3}{R_1}$$

ホイートストンブリッジ —

ホイートストンブリッジの結論は、語呂合わせ的な覚え方もあるけれど、

- ・検流計に電流が流れないとき、検流計の両端で電位差は0(同じ色)。
- ・検流計に電流が流れないとき、電流の文字の種類はIとiだけで置ける。

というポイントと、基本通りの立式から求められる、というように理解しておこう。

テーマ8 非直線抵抗 ~主役は豆電球~

非直線抵抗

電流が流れることで、素子(回路に組み込まれる装置)は熱を持つ。基本的に<u>熱を持つと抵抗は大きくなる</u>が、ニクロムなどは、熱くなっても抵抗率があまり変わらず、電熱線などに使われる。このような抵抗では、どの温度でも抵抗値は同じ大きさとして扱ってもよいとされている。

一方で、豆電球に使われているタングステンは、熱により抵抗値が大きく変わってしまい、かけた電圧が大きいほど、発熱も大きくなり、抵抗が大きくなってしまうので、抵抗値が1つに定まらない。これらの素子の違いを *I-V* グラフで比べてみる。

抵抗値が一定の値 R 場合

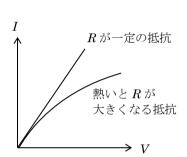
オームの法則より $I = \frac{1}{R}V \rightarrow$ 傾きが一定なので直線

抵抗値が温度によって変わる値 Rxの場合

オームの法則より $I=rac{1}{R_x}V o V$ が大きいと、 R_x が大きくなり傾きが変わる

このように、*I-V*グラフが曲線になるような抵抗を、 『非直線抵抗』という。

(非線形抵抗、非オーム抵抗ともいう。)



-非直線抵抗の解法 -

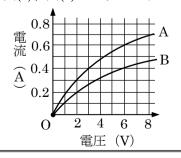
非直線抵抗はお決まりの流れがあるので、解法を覚えましょう。

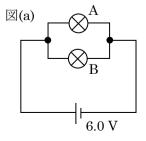
- ① とにかく最初に、豆電球の電圧と電流を文字で置く
- ② なるべくその文字を使って、関係式を立てていく

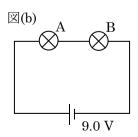
問題 13 非直線抵抗①

グラフはある豆電球 A、B に流れる電流とかかる圧の関係を示したものである。この豆電球と起電力 $6.0\,\mathrm{V}$ 、 $9.0\,\mathrm{V}$ の電源を用いて回路を作る。

図(a)、図(b)のようにつないだとき、電源を流れる電流の大きさはそれぞれいくらか。







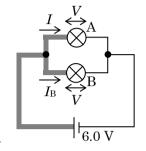
問題 13 解答 図(a): 1.0 A 図(b): 0.40 A

問題 13 解説

図(a): ひとまず、豆電球 A にかかる電圧を V、流れる電流を I とする(A を主役としている)。 すると、並列につながっているので、豆電球 B にかかる電圧は同じ V であるとわかる。電流の大きさは同じとはいえないので、B にかかる電流を I_B とする。

回路の色分けより、電池の起電力 $6.0\,\mathrm{V}$ がそのまま豆電球 A 、豆電球 B にかかり V は $6.0\,\mathrm{V}$ とわかる。

あとはグラフから、豆電球を流れる電流を求める。



グラフより $6.0\,\mathrm{V}$ の電圧がかかっているときは、豆電球 A には $0.60\,\mathrm{A}$ 、豆電球 B には $0.40\,\mathrm{A}$ の電流が流れるとわかるので

$$I = 0.60 \text{ A}$$
 $I_B = 0.40 \text{ A}$

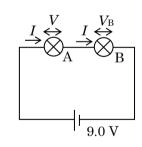
となる。電池には、 $I+I_B$ の電流が流れるので解答は 1.0 A

図(b): ひとまず、豆電球 A にかかる電圧を V、流れる電流を I とする(A を主役としている)。 すると、直列につながっているので、豆電球 B に流れる電流は同じ I であるとわかる。 電圧の大きさは同じとはいえないので、B にかかる電圧を V_B とする。

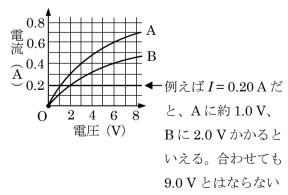
1周する経路を考えて電圧の関係式を立てると、

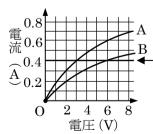
$$V + V_{\rm B} = 9.0$$

という関係が導ける。



このあとは、電流が同じであることと、 $V+V_B=9.0$ という関係式を満たす条件をグラフから探す。





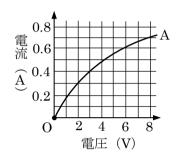
仮定する電流をだん - だん大きくしていく と、I = 0.40 A のと き、 $A \subset 3.0 \text{ V}$ 、 $B \subset 6.0 \text{ V}$ となり、合わせ て 9.0 V となる。

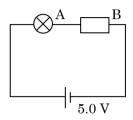
 $\Rightarrow I = 0.40 \text{ A}$

問題 14 非直線抵抗②

グラフは豆電球 A に流れる電流とかかる電圧の関係を示したものである。この豆電球と 10Ω の抵抗と起電力 5.0~V の電源を用いて図のような回路を作る。

- (1) 回路に流れる電流 I と、豆電球 A にかかる電圧 V の関係式を求めよ。
- (2) 前間(1)で求めた関係式とグラフを用いて、豆電球 A と抵抗 B の両端に加わる電圧を それぞれ求めよ。

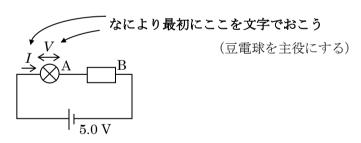




問題 14 解答 (1) $I = 0.50 - \frac{1}{10}V$ (2) A: 2.0 V B: 3.0 V

問題 14 解説

(1) 今回は問題で文字が誘導されているが、誘導がなくても自分で今回のような文字の置き 方をできるようになっておこう。



ここで、Bの電位差を主役の文字だけを用いて表すと、キルヒホッフ第2法則より

$$5.0 = V + V_{\text{B}} \quad \Rightarrow \quad V_{\text{B}} = 5.0 - V \cdots \text{1}$$

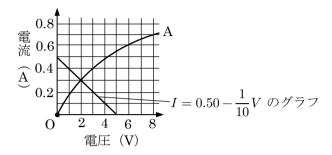
①式で求めた電圧を用いて、B に関するオームの法則 V = RI の式を立てると、

電流Iと電圧Vの関係式に変形すると、

$$\begin{split} I &= \frac{5}{10} - \frac{1}{10} V \\ \Rightarrow I &= 0.50 - \frac{1}{10} V \quad \cdots \ \boxed{\Xi} \end{split}$$

問題 14 解説 続き

(2) ひとまず解く手法を先に示すと、前間(1)で求めた関係式をグラフに書き込み、豆電球の性質を示す曲線との交点を求めることになる。



書き込んだグラフと曲線の交点は $I=0.30\,\mathrm{A}$ 、 $V=2.0\,\mathrm{V}$ となり、 これが今回の I と V になる。

よって、 豆電球 A にかかる電圧が $\underline{2.0 \text{ V}}$ 抵抗 B にかかる電圧が $5.0-2.0 = \underline{3.0 \text{ V}}$ となる。

考察

なぜ、この手法で求まるか考えよう。

- ・元々の曲線は、豆電球 A がとることのできる I と V の条件を示している。
- ・(1)で求めた式は今回の豆電球と抵抗の組み合わせで成り立たなければいけないIとVの関係を示している。

今回はこの2つを同時に満たしているはずであり、それはグラフの交点でのみ成立しているのだ。

このような考えで、グラフの交点の $I \geq V$ が、図で文字でおいた $I \geq V \geq 1$ となる。

補足

求めた $I \geq V$ が抵抗Bでのオームの法則を満たすか確かめれば、見直しが行える。

今回、抵抗 B については、電流が $0.30\,A$ 、電圧が $3.0\,V$ 、抵抗値が $10\,\Omega$ と求まったが、オームの法則 V=RI を立式すると、

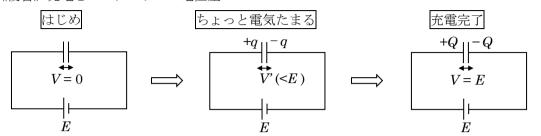
 $3.0 = 10 \times 0.30$

とオームの法則に従った値と確認できるので、正しい答えという確認ができる。

テーマ 9 RC 回路 ~電流の後半の山場~

抵抗 R とコンデンサーC が同時につながれている回路を RC 回路という。 RC 回路を考えるためには、コンデンサーの充電の過程を思い出す必要がある。

-《復習》充電とコンデンサーの電位差



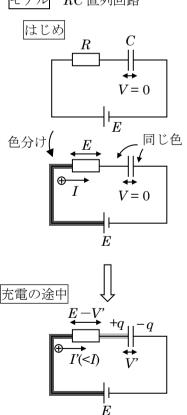
充電前は電荷が0なので、 電位差0。

電池の色分けと矛盾する。

電荷の移動に伴い、電位差が 生まれる。このとき Q=CVの 関係で、 $V'=\frac{q}{C}$ (<E)となる。 まだ電池の色分けと矛盾する。 電位差 E まで上がると、 充電完了となる。このと き Q = CVの関係で、 $V = \frac{Q}{C}$ (=E)となる。

電池との矛盾がなくなる。

モデル *RC* 直列回路



はじめ、コンデンサーに電気がたまっていないとする。

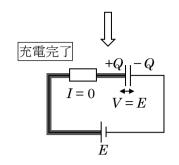
- \Rightarrow $\exists \nu \forall \nu \forall -C \forall Q \notin Q$
 - ⇒ コンデンサーでの電位差 V は 0
 - ⇒ コンデンサーの両端では導線の色変化なし

この分析で色分けをすると、左図のようになり、 抵抗に電池の電圧 E がそのままかかるとわかる。 (電池の両端と、抵抗の両端の色の差が同じ)

抵抗に電位差があるということは電流が流れるということで、電流が流れるということはコンデンサーに 電荷が運ばれているということである。

少しコンデンサーに電荷がたまると、左図のようにコンデンサーに電位差Vが生じ、色分けが変わる。 抵抗にはE-Vの電圧がかかる。

充電開始直後に比べて、電圧が小さくなるので、電流 *I*'も小さくなる。だんだん*I*は小さくなっていくのだ。



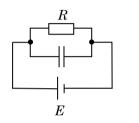
コンデンサーに十分電荷がたまると、コンデンサーの 電位差が E に達して、左図のように色分けができ、抵 抗の両端の電圧が0とわかる。(抵抗の両端が同じ色)

すると、電流が流れない、というように判断ができる のだ。

このように、RC回路では、タイミングによって流れ る電流が変化する。

ConcepTest9 RC 並列回路

電気がたまっていないコンデンサーと抵抗値 R の抵抗 R を右図のように起電力 E の電源と接続した。以下(a)から (c)のタイミングで、抵抗Rに流れている電流の大きさは それぞれいくらになるか。



- (a) 接続直後 (b) 充電の途中(コンデンサーの電位差がV) (c) 充電完了後

ConcepTest9 解答 (a) 0 (b) $\frac{V'}{R}$ (c) $\frac{E}{R}$

ConcepTest9 解説

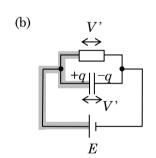
RC 回路では、最初にコンデンサーを中心に回路の色分けを行うとよい。

(a) V = 0 V = 0 V = 0 V = 0

接続直後は、コンデンサーの電位差が0なので全て同じ色となる。電池の両端では必ずEの電位差があるはずなので、コンデンサーに注目したときと電池に注目したときで色分けの矛盾が生まれる。矛盾を解消するためにコンデンサーから電荷を運んでいるイメージを持とう。

すると<u>抵抗の両端で色が同じなので電位差が 0</u> ということがわ かるので、抵抗には電流が流れていないといえる。

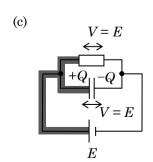
*厳密に考えると、色分けに矛盾が生じているときは、<u>電池の内部</u> 抵抗(や導線の持つわずかな抵抗)に *E* が全てかかっていて、非常に大きな電流が流れる。



少し電荷がたまって、コンデンサーの電位差が V'(<E)になっているときは左図のように色分けができる。

電池の両端では E の電位差があるはずなので、まだ電池とは矛盾が出てしまう。矛盾を解消するために、まだ電荷を運んでいる イメージである。

色分けより抵抗には V'の電位差がかかっているとわかるので、 抵抗を流れる電流はオームの法則 V=RI より、 $I=\frac{V'}{R}$ となる。 抵抗とコンデンサー両方で電流が流れているのである。



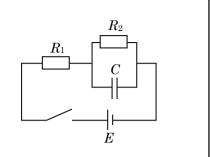
充電が完了したときは、コンデンサーで電流が発生していない。 しかし、<u>コンデンサーを通らずに回路が成立しているので</u>、抵抗 には電流が流れる。すると、抵抗では電位差が生じており、左図 のように色分けができる。

色分けより、抵抗にかかる電位差はEとわかり、抵抗を流れる電流はオームの法則V=RIより、 $I=\frac{E}{R}$ となる。

問題 15 RC 回路

電気がたまっていない電気容量 C のコンデンサーと、抵 抗値が R_1 、 R_2 の抵抗を、起電力 E の電源に、図のよう に接続した。

- (1) スイッチを入れた直後に、抵抗 R_1 、 R_2 に流れる電流 はそれぞれいくらか。
- (2) スイッチを入れて十分時間が経ったとき、コンデン サーにたまる電気量はいくらか。



⇒ セミナーP242 489 P244 発展例題 41

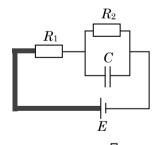
-解答の指針・コツ -

- ① 直感で判断しないで、コンデンサーの情報を最優先にして色分けを行う。
- ② 『直後→コンデンサーの電位差 0 (はじめに電荷がたまっていなかった場合)』 『十分時間後→コンデンサーに電流が流れない→コンデンサー抜きで回路が成立してい るかチェックする』というように思考をスタートさせ、回路の色分けをする。
- ③ ②の色分けが終わることで、それぞれの場所での電位差が判断できる。『直後は電位 差』、『十分時間後は電流』から思考をスタートしないと解けない。

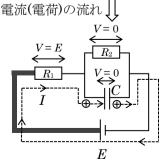
問題 15 解答 (1) R_1 : $\frac{E}{R_1}$ R_2 : 0 (2) $\frac{R_2CE}{R_1+R_2}$

問題 15 解説

(1) 『直後は電位差』から思考をスタートする。①~③の順に思考できるとよい。



- ① コンデンサーに電荷がたまっていないので、コンデンサー の電位差は0 ⇒ コンデンサーの両端で色の変化なし
- ② 電池の両端で Εの電位差 ⇒ 色は変化
- ③ 結果として、 R_1 に E [V]、 R_2 に 0 [V] の電圧とわかる。



 R_1 に関するオームの法則 V = RI を立式して、

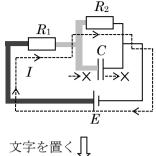
$$E = R_1 I$$

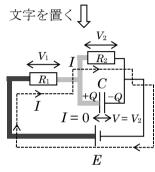
$$\therefore I = \frac{E}{R_1}$$

 R_2 には電圧がかかっていないので、電流は流れない。 (*補足 少しでも運ばれた後は電位差が生じるので流れ始める)

問題 15 解説続き

(2) 『十分時間後は電流』から思考をスタートする。①~④の順に思考できるとよい。





- ① 直感で考えると、コンデンサーにEの電圧がかかる、としがちだが、これは誤り。
 - 『コンデンサーには電流が流れていない』が十分時間後の 正しい条件である。
- ② コンデンサーに電流が流れていないとしても、 R_1 、 R_2 を通る経路で 1 周しているので、そちらで電流が流れている。
- ③ 抵抗 R_1 、 R_2 に電流が流れているなら、 R_1 、 R_2 の両端に電位差があることがわかる。 \rightarrow 色分けができる。
- ④ 結果として、コンデンサーに電圧がかかっていることがわかる。その大きさは R_2 にかかる電圧と同じである。

キルヒホッフの第2法則より、

$$E = V_1 + V_2 \cdots (i)$$
式

 R_1 、 R_2 に関するオームの法則 V = RI を立式して、

$$V_1 = R_1 I$$
 …(ii)式 $V_2 = R_2 I$ …(iii)式

(i)に(ii)(iii)を代入して

$$E = R_1 I + R_2 I$$
$$\therefore I = \frac{E}{R_1 + R_2}$$

(iii)式に、このIを代入して

$$V_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} E$$

この V_2 がコンデンサーにかかっているといえるので

 $Q = CV \downarrow \emptyset$

$$Q = C \times \frac{R_2}{R_1 + R_2} E = \frac{R_2}{R_1 + R_2} CE$$

- 解答の指針・コツ -

- ① 直感で判断しないで、コンデンサーの情報を最優先にして思考をスタートする。
- ② 『直後→コンデンサーの電位差 0 (はじめに電荷がたまっていなかった場合)』 『十分時間後→コンデンサーに電流が流れない→回路が成立するかチェック』
- ③ ②の色分けが終わることで、それぞれの場所での電位差が判断できる。『直後は電位 差』、『十分時間後は電流』から思考をスタートしないと解けない。

⇒ セミナーP242 489 P244 発展例題 41

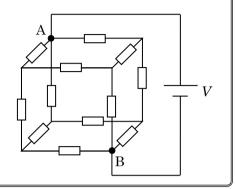
テーマ 10 対称性のある回路

抵抗の数が多すぎて、連立方程式では解くのが厳しい問題がある。そこで出てくるのが『対 称性を用いた解法』である。

問題 16 対称性のある回路 =

起電力Vの電源と、抵抗値Rの抵抗12個を右図のように立方体の骨組みに接続した。

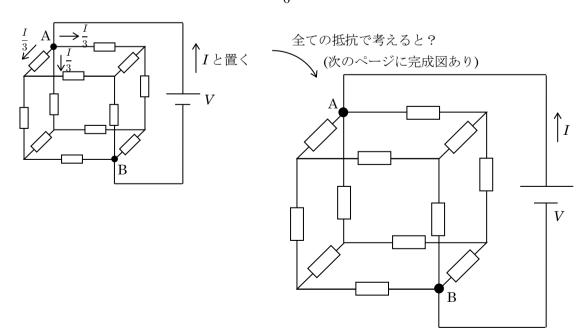
- (1) 電池を流れる電流はいくらか。
- (2) A→B 間の合成抵抗はいくらか。



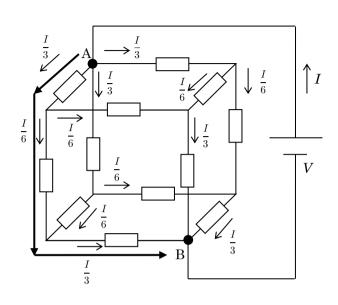
問題 16 解答 (1) $\frac{6}{5R}V$ (2) $\frac{5}{6}R$

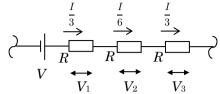
問題 16 解説

A 点で 3 方向に分かれるが、どの道でもそこから B に行くまでの枝分かれ条件が同じなので、電流は均等に分配される。よって、電池を流れる電流を I と置いたら、A で $\frac{I}{3}$ に分配され、その先の分岐では、さらにその半分の $\frac{I}{6}$ に分配されるのだ。



回路の対称性から、下図のように電流を文字Iで全て示すことができる。ここで、太矢印の経路で、キルヒホッフ第2法則の式を立ててみる。





キルヒホッフ第2法則より、

$$V = V_1 + V_2 + V_3$$

オームの法則より

$$V_1 = R \cdot \frac{I}{3}$$
, $V_2 = R \cdot \frac{I}{6}$, $V_3 = R \cdot \frac{I}{3}$

連立して、

$$V = R \cdot \frac{I}{3} + R \cdot \frac{I}{6} + R \cdot \frac{I}{3}$$
$$V = \frac{5RI}{6}$$

$$\therefore I = \frac{6}{5R}V$$

これが電池に流れる電流である。

(2) この問題で、抵抗の合成公式を頭に浮かべてしまうと分からなくなってしまう。

全体で何〔V〕の電圧をかけたら、結果として何〔A〕の電流が流れたか、という視点で考えよう。今回は、V [V] の電圧で、 $\frac{6}{5R}V$ [A] の電流が流れているので、オームの法則 V=RI より、

$$V = R _{\hat{\ominus}} \times \frac{6}{5R} V$$

$$\therefore R_{\triangleq} = \frac{5}{6}R$$

テーマ 11 半導体とダイオード

金属のような導体は、たくさんの自由電子を持ち、これが電荷の運び手になっている。絶 縁体は自由電子をもたないので電気を伝えにくい。導体と半導体の間の性質を持つのが半 導体である。

ポイント①

ケイ素 Si、ゲルマニウム Ge などが半導体である。元々は抵抗がすごく大きい。 ポイント②

不純物を少し混ぜることにより、著しく抵抗が小さくなる。自由電子が増えたり、 正孔 (ホールともいう) が増えたりして電子が移動しやすくなるのである。自由電子 やホールのことを、『電荷を運ぶもの』として『**キャリア**』と呼ぶ。

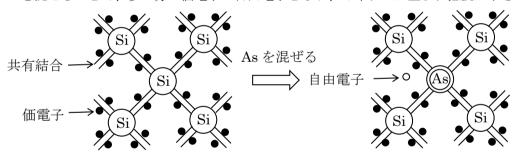
一般の金属では、キャリアは必ず自由電子である。

ポイント③

温度を上げると、抵抗が減少する。(一般の金属では増大する。)

n型半導体

元々は自由電子を持っていないケイ素 Si に、ケイ素 Si よりも価電子が 1 つ多いヒ素 As など を混ぜることで、多い分の価電子が自由電子となり、キャリアが生まれ抵抗が小さくなる。



Si だけだと価電子が共有結合 にぴったり使われる Si よりも As の方が価電子が 多いので、自由電子が生まれる

このように、不純物が混ざることで、キャリアとなる自由電子が生まれ抵抗が小さくなる。 自由電子が電荷の運び手となる半導体を n 型半導体という。 n はネガティブの n で負の電荷 が電荷の運び手であることを意味する。

温度の影響

普通の金属 温度が上がると、陽子の振動が活発になり、自由電子の移動の邪魔になり、 抵抗が増える。

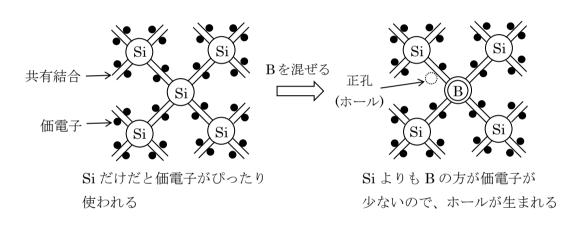
n型半導体 価電子は余っていても、普通には自由になれない。熱エネルギーをもらえる と自由になれる。温度が高いほど自由電子が増えて、抵抗は小さくなる。

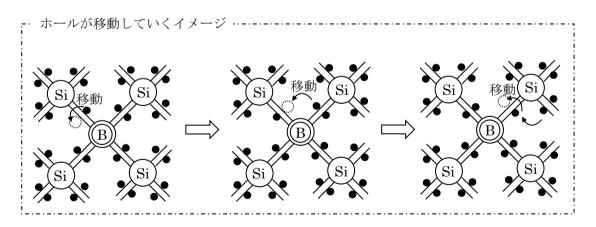
p型半導体

元々は自由電子を持っていないケイ素 Si に、ケイ素 Si よりも価電子が 1 つ少ないホウ素 B などを混ぜることで、共有結合で電子が足りてない部分ができる。この部分を**正孔**、またはホールと呼ぶ。

ホール近くの電子は、ホールを埋めるように移動してくることがあり、移動が起きると移動元が新たなホールとなる。このように電子の移動が起きるようになり、電流が流れるようになるので、抵抗は小さくなる。

また、この移動はあたかもホールが移動しているように見え、ホールは電子が足りない部分なので正の電荷といえる。このように、正の電荷が移動しているように見える半導体を p 型半導体という。p はポジティブの p で、正の電荷を意味する。



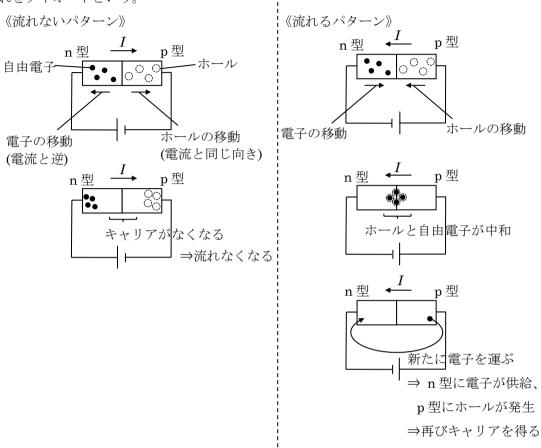


このとき、実際は玉突きで電子が左に移動しているのだが、あたかもホールが右に移動しているように見えるので、『ホールがキャリアになっている』と表現する。

温度を上げると、共有結合を作る電子がさらに外れホールが増えるので、抵抗は減少する。

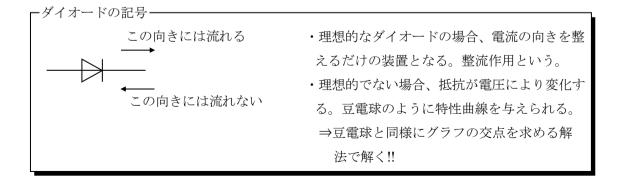
ダイオード

p型半導体と n型半導体を合体させると、電流が 1 方向にしか流れない装置ができる。これをダイオードという。



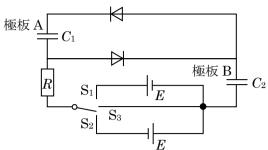
このように、p型とn型を合体させることをpn接合といい、電流の逆流を防ぐことができるダイオードという装置となる。ダイオードの電気記号は以下のようなものを用いる。

⇒流れ続ける



ConcepTest10^{発展} ダイオードを含む回路:

理想的なダイオードを用いて、図のような 回路を作った。はじめ、コンデンサーには電 荷がたまっていなかったとする。(1)、(2)、(3) のように操作をしたとき、極板 A、極板 B に たまる電荷の正負をそれぞれ答えよ。



- (1) スイッチを S₁ にいれ、十分時間がたった。 再び、コンデンサーの電荷を0に戻した。
- (2) スイッチを S2 にいれ、十分時間がたった。 再び、コンデンサーの電荷を0に戻した。
 - (3) スイッチを S₁ に入れ、十分時間がたったあと、 スイッチを S₃ に入れ、十分時間が たった。

ConcepTest10 解答

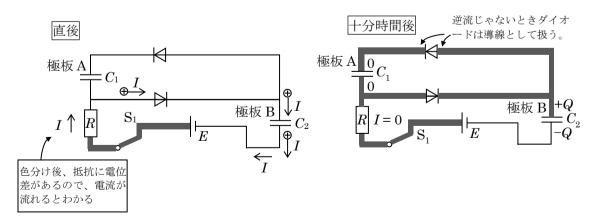
(1) A: 0 B: + (2) A: + B: -

(3) A : + B : +

ConcepTest10 解説

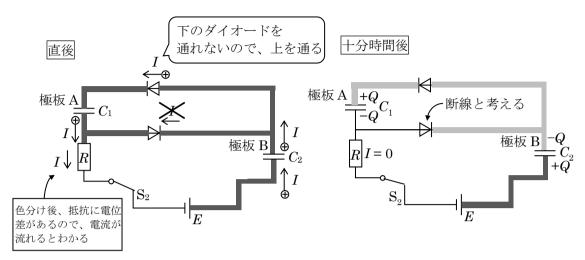
理想的なダイオードは次のように場合分けを行う。

- ① まずは普通の導線として考える。
- ② 整流方向に電圧がかかったら、普通の導線として考える。
- ③ 整流方向と逆に電圧がかかったら、断線していると考える。
- (1) S₁につなぐと、下図のように色分けと分析ができる。ダイオードはひとまず普通の導線と して扱い、逆流する場合は断線していると考える。



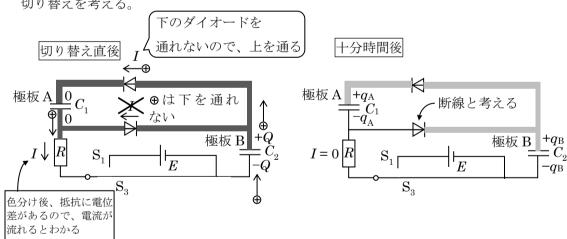
十分時間後、極板 A では電位差がないので、電荷はたまらず、極板 B には+Q の電荷が たまっているとわかる。

(2) S₁につなぐと、下図のように色分けと分析ができる。ダイオードはひとまず普通の導線 として扱い、逆流する場合は断線していると考える。



電流の流れを考えると、極板 A C+Q、極板 B C-Q の電荷がたまるとわかる。

(3) 前問(1)の状態から、スイッチ S_3 に入れているので、(1)の十分時間後からのスイッチの切り替えを考える。



このようにかけるので、極板 A に $+q_A$ 、極板 B に $+q_B$ の電荷がたまっているといえる。

下のダイオード部分が、断線していると考えられるので、極板 A と極板 B は独立した部分であり、切り替え直後と十分時間後で電気量が保存しているといえるのだ。 式にすると、 $Q = q_A + q_B$ が成り立つ。

* この問題は、RC 回路の問題に慣れてからでないと難しいので、今は解けなくてもよい。 定期試験後には解けるようになっておこう。