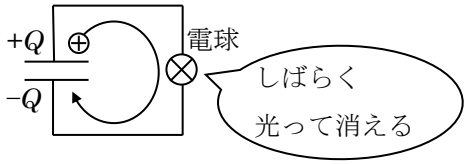
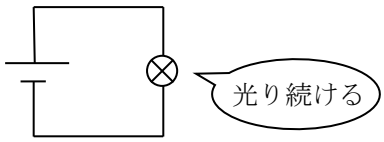
§ 電磁気−第 3 章　直流回路

テーマ 1 電流とは何か

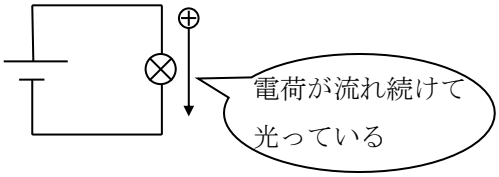
充電し電荷をたくわえたコンデンサーを豆電球につなぐと、わずかな時間電球を光らせることができる。具体的には 1F のコンデンサーに、1.5V の電池で充電した場合、1 秒程度光らせることができる。

一方で、電池を電球につなぐと、電球を長い時間光らせることができる。



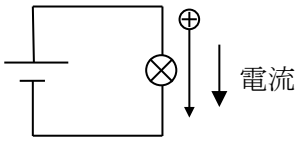


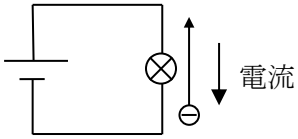
コンデンサーの放電では、電荷の移動が起きており、電球が光るという現象が起きている。これと同じことが電池をつないだ時に起きていると考えると、電池をつないだときは電荷が流れ続けているといえる。



この電荷の流れのことを『電流』という。左図では＋の電荷の流れを紹介しているけれど、－の電荷の流れで書いても OK。

このとき、少しややこしいのだけれど、
正電荷の流れを書いたときは、『正電荷の流れのことをそのまま電流と定義』し、
負電荷の流れを書いたときは、『負電荷の流れと逆向きの流れを電流と定義』した。

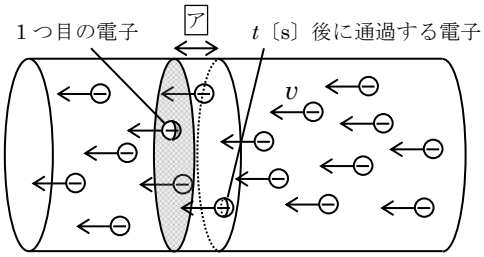




『電流という物質が流れている』ということではなく、『電荷という物質が流れていることを電流と呼ぶ』という言葉のイメージ。－の流れと電流の向きが逆であることに違和感があるかもしれないけれど、慣れていきましょう。

問題 1 電流の定義

導線のある面を 1 秒あたりどれくらいの電荷が流れるかを考えてみる。
電子(電気量$-e$〔C〕)が導線中を運動速度 v〔m/s〕で運動しており、導線の単位体積当たりに電子が n〔個/m³〕あったとする。また、この導線の断面積を S〔m²〕とする。



断面積 S の太さを持つ導線($t = 0$ での様子)

上図の色をつけた断面に注目する。$t = 0$〔s〕のとき断面上にある電子が、面を通過する 1 つ目の電子で、$t = t$〔s〕のとき断面上に到達した電子が最後に通過する電子といえ、1 つ目と最後の電子の間にある電子の数だけ t 秒間で断面を通過すると考えることができるのだ。

さて、$t = t$〔s〕で断面に到達する電子は、断面から［ ア ］〔m〕手前にある電子である。よって、t 秒間で通過する電子は、色のついた断面から［ア］〔m〕手前までの空間にある電子であるといえ、その範囲の体積は［ イ ］〔m³〕といえる。

そして、1〔m³〕当たり n 個の電子があるとしているので、t〔s〕間に断面を通過する電子の個数は［ ウ ］個であるといえる。電子は、1 つあたり e〔C〕の電荷を持っているので、その電気量の合計は、［ エ ］〔C〕であるといえる。

そして、1s あたりに通過する量を考えると、

$$\frac{(\text{断面を通過する電気量})}{(\text{経過時間})} = \frac{\boxed{\text{エ}}}{t} = \boxed{\text{オ}}$$

と計算できる。

これが流れる電荷の量であり、『電流』と定義されるものである。

問題 1 解答　ア：vt〔m〕　イ：Svt〔m³〕　ウ：$nSvt$〔個〕　エ：$enSvt$〔C〕
オ：$enSv$

電流の定義と文字

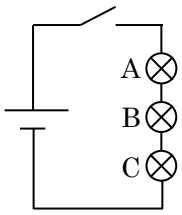
定義：1 s あたりに通過する電気量

文字：I　単位：〔C/s〕クーロン毎秒　⇒　これを〔A〕アンペア　とする

導線を通過する電子のモデルから $I = enSv$　と書くことができる（覚えとくとお得。）

ConcepTest1 電流の保存

同一の電球を図のように 3 個つないだ。電池の－極と電球 C が、＋端子と電球 A が接続される。スイッチを入れたとき、明るく光る順番に A～C を並び替えよ。ただし、電球は流れる電流が大きいほど明るく光る性質を持っている。



ConcepTest1 解答　A = B = C

ConcepTest1 解説　1 本の導線を流れる電荷の量は、途中に電球などがあっても変わることなく一定量である。これはホースを流れる水のイメージと似ている。太さが途中で変わるようなホースを用意して、1s に 10 mL の水を注ぎ込んだ時、ホースが太いところを通過する時も細いところを通過する時も 1s に 10 mL 通過するはずなのだ。そうでないと流れが悪いところに水がどんどんたまっていってしまうことになる。

（細いところでは流れる勢いが増す、などの変化はあるだろうけれど、結果的に流れる水の量はどこの場所でも同じになっているのだ。）

ConcepTest2 電流の保存

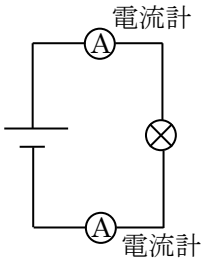
右図のように、電球と電流計をつないだ。電池の＋極につながった電流計が 10 mA の値を示したとき、電池の－極につながった電流計が示す値はいくらになるか。

ア. 10 mA

イ. 10mA より大きい値

ウ. 10mA より小さい値

エ. 解答には情報が足りない



ConcepTest2 解答　ア

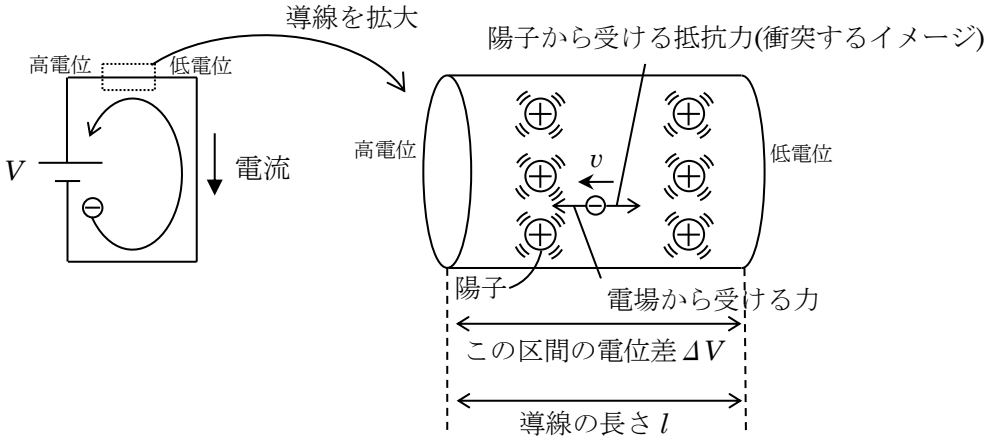
ConcepTest2 解説　1 本の導線を流れる電荷の量は、電球を通過する前も通過した後も一定量である。これもホースを流れる水でイメージしよう。

テーマ 2 電場と電気抵抗

導線内で電荷を流しているのは電場である。電荷が動くメカニズムを分析してみよう。

問題 2 抵抗の定義

電池と導線を図のようにつなぐ。すると、電池の＋極につながった点が最も電位が高く、－極につながった点が最も電位が低い。導線全体で起電力 V の電位だけ落ちているのだ。導線内に電位の傾きが生じ、電場が生じているので、導線内にある自由電子が電場から力を受けて動き出す。今、導線の一部分を拡大して、電子の動きを分析をしてみる。



＊コンデンサーの章で、『同じ導線内では絶対電位は変わらない』というルールで色分けをしていたが、それは充電後など電荷が動かない場合に成立している話なのだ。今回のように電荷が動いている最中は、導線内で電位は落ちていて、電場を生じている。

《電流 I について》

電子の持つ電気量を $-e$〔C〕、電子の速度を v、導線の断面積を S、導線の単位体積当たりの電子の個数が n だった場合、電流 I は［　ア　］と書くことができる。

《電場から受ける力について》

電子には、電場から受ける力と、陽子から受ける抵抗力、がはたらいており、それらがつり合うことで一定の速度で進んでいる。拡大した区間の電位差を ΔV、導線の長さを l とすると、この区間の電場 E は［　イ　］と書け、電子が受ける力は［　ウ　］と書ける。($\because F = qE$)

《陽子から受ける抵抗力について》

電子の速さ v が大きいほど、単位時間に陽子に衝突する回数も多くなり、抵抗力も大きくなる。空気抵抗と似ている。このとき受ける力 F を比例定数 k を用いて v の関数で示し $F = kv$ とする。

《力のつりあい》

電場から受ける力と、陽子から受ける抵抗力に関して力のつりあいの式を立てると、

$\boxed{\quad エ \quad}$

となり、速さ v について解くと

$v = \boxed{\quad オ \quad}$

となる。電子の速さ v は、電場 E $(= \frac{\Delta V}{l})$、比例定数 k の関数であるといえるのだ。

《電流 I と電気抵抗 R について》

$I = \boxed{ア}$ の v に $v = \boxed{オ}$ を代入すると、

$I = \boxed{\quad カ \quad}$

と書ける。このときの $\frac{e^2nS}{kl}$ を $\frac{1}{R}$ と定義し、R を『電気抵抗』と名付けた。R を用いて I を示すと、

$$I = \frac{\Delta V}{R}$$

となる。

ΔV が大きいと I が大きくなり、
R が大きいと I が小さくなる、
という関係なのだ

《抵抗率 ρ について》

電気抵抗 R は

$$R = \frac{k}{e^2n} \cdot \frac{l}{S}$$

と示せた。

・導線が長いと抵抗は $\boxed{\quad キ \quad}$ くなる
・断面積が大きいと抵抗は $\boxed{\quad ク \quad}$ くなる
・単位体積あたりの電子の個数が多いと抵抗は $\boxed{\quad ケ \quad}$ くなる
という関係なのだ

ここで、$\frac{k}{e^2n}$ を抵抗率 ρ と定義し、抵抗 R は $R = \rho\frac{l}{S}$ と示すこととする。

電子をたくさん持っているかなどの『**材質**』の要素 ρ と、長さ l や太さ S などの『**導線の形状**』で電気抵抗は変わり、金属は電子を大量に持っているので、R が非常に小さいのだ。

問題２解答　ア：$I = enSv$　　イ：$E = \frac{\Delta V}{l}$　　ウ：$F = \frac{e\Delta V}{l}$　　エ：$\frac{e\Delta V}{l} = kv$

オ：$v = \frac{e\Delta V}{kl}$　　カ：$I = \frac{e^2nS\Delta V}{kl}$　　キ：大き　　ク：小さ　　ケ：小さ

抵抗の定義と文字

定義：電流の流れにくさを表す

文字：R　　単位：〔Ω〕オーム

＊抵抗率 ρ（ロー）を用いると、

$R = \rho\frac{l}{S}$　（ρ は材質により変化する値）

（太い道は通りやすく、長い道は疲れる）

オームの法則

電流 I と抵抗 R と電位差 V の関係を示す

$I = \frac{\Delta V}{R}$　（$\Delta V = RI$ とも書く）

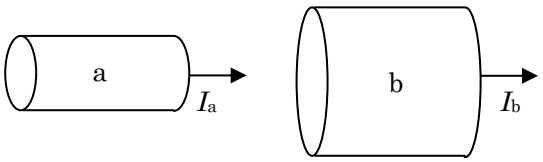
ΔV が大きいほどたくさん流れる

R が大きいほど流れる量は小さくなる

という関係が大切。

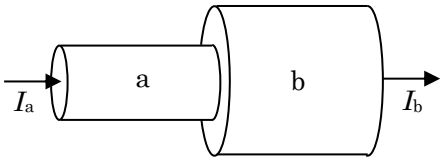
ConcepTest3 抵抗と電流

同じ材料、同じ長さの導線 a、b を用意した。a の断面積は b の半分である。a、b に同じ電圧 ΔV をかけたとき、それぞれの導線に流れる電流 I_a、I_b の大きさはどのような関係になるか。



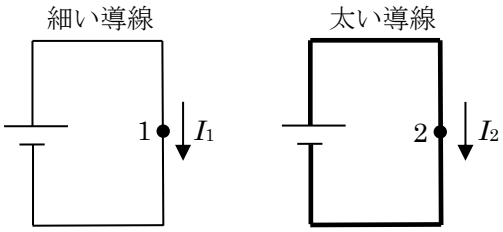
ConcepTest4 抵抗と電流

同じ材料、同じ長さの導線 a、b を用意した。a の断面積は b の半分である。a と b をつなげ 1 本の導線とし、全体に電圧 ΔV をかけたとき、それぞれの導線に流れる電流 I_a、I_b の大きさはどのような関係になるか。



ConcepTest5 抵抗と電流

同じ材料、同じ長さだが、太さの異なる導線が同じ電池につながれている。電流 I_1 と I_2 の大きさはどのような関係になるか。



ConcepTest3 解答 $I_b = 2I_a$ （I_b の方が電流が大きい）

ConcepTest3 解説

《定性的な理解の仕方》 ＊定性的…数字、数式よりも性質に着目すること

断面積が大きいので b の方が抵抗が小さく、より大きな電流が流れる。

具体的には断面積が 2 倍なので抵抗 R は半分であり、b には a の 2 倍の電流が流れる。

《定量的な理解の仕方》 ＊定量的…数字、数式に着目すること

$R = \rho \dfrac{l}{S}$ の関係より、a の抵抗を R としたら b の抵抗は $\dfrac{1}{2}R$ となる。

これとオームの法則 $I = \dfrac{\Delta V}{R}$ より

$$I_a = \frac{\Delta V}{R} \qquad I_b = \frac{\Delta V}{\frac{1}{2}R} = \frac{2\Delta V}{R}$$

$I_b = 2I_a$ という関係が導ける。

ConcepTest4 解答 $I_a = I_b$

ConcepTest4 解説 同じ導線に流れる電流なので、$I_a = I_b$ となる。

《定性的な原理の深掘り》

a と b で抵抗の大きさには差があるが、その差はかかる電圧の差で相殺されている。同じ電流を流すために a ではより多くのパワーが必要で、b では小さいパワーで済む。$\Delta V_a > \Delta V_b$ という関係なのである。

《定量的な原理の深掘り》

a の部分の抵抗値を R としたら b の部分は $\dfrac{1}{2}R$ となっている。流れる電流を I とおくと、オームの法則 $I = \dfrac{\Delta V}{R}$ より

$$I = \frac{\Delta V_a}{R} \qquad I = \frac{\Delta V_b}{\frac{1}{2}R}$$

$$\Delta V_a = RI \qquad \Delta V_b = \frac{1}{2}RI$$

よって、$\Delta V_b = \dfrac{1}{2}\Delta V_a$ という関係となっている。

ConcepTest5 解答 $I_1 < I_2$

ConcepTest5 解説 太い導線の方が抵抗値が小さいので、たくさんの電流が流れる。

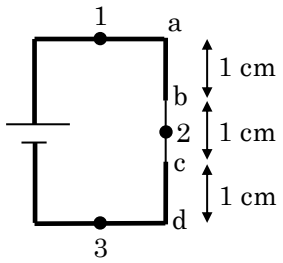
電池の電圧を V としたら、導線全体で V の電位差が生じていることになる。オームの法則 $I = \dfrac{\Delta V}{R}$ より電圧 V が同じなら、抵抗値が小さい太い導線の方が、より大きな電流が流れることがわかる。同じ電池でもつなぐものによって流れる電流の量は違うのだ。

ConcepTest6 抵抗と電流

同じ材料だが途中で異なる太さとなっている導線を電池につないだ。

(1) 1、2、3 に流れる電流 I_1、I_2、I_3 の大きさはどのような関係になるか。

(2) ab 間の電圧 V_{ab}、bc 間の電圧 V_{bc}、cd 間の電圧 V_{cd} の大きさはどのような関係になるか。



ConcepTest6 解答 (1) $I_1 = I_2 = I_3$　(2) $V_{bc} > V_{ab} = V_{cd}$

ConcepTest6 解説

同じ導線内なので、電流はどこでも同じ大きさである。よって $I_1 = I_2 = I_3$。

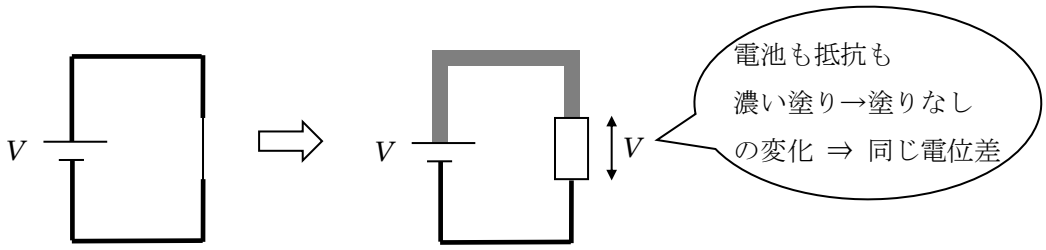
bc 間の細い部分では、狭くなった分、電荷が素早く移動し、流れる総量は変わらない、というイメージである。素早く移動するためにはより強い電場が必要なので、bc 間の電場は他の部分より強く、電圧 ΔV_{bc} は他の部分より大きいといえる。

もう少しシンプルに考えてみる。オームの法則 $I = \frac{\Delta V}{R}$ は変形して $\Delta V = RI$ とも書け、I が共通ならば、R が大きい部分ほど ΔV が大きくなるとわかる。よって導線が細い bc 間の電圧 ΔV_{bc} だけ大きいとわかるのだ。

重要な約束

ここで、導線の抵抗が 0Ω であるなら、$\Delta V = RI$ より導線での電位の低下は 0 といえる。つまり、電荷が移動していても導線は同じ色で塗ってよくなる。**これ以降の問題では、導線の抵抗値は 0 として扱い、抵抗のある場所でのみ電圧降下が起こると考えるものとする**。

例えば ConcepTest65 の細い導線部分だけが抵抗を持っていると考えた場合は、下図のような回路であると考え、抵抗（ ）での電圧降下が起電力 V と同じであると考えてよいのだ。

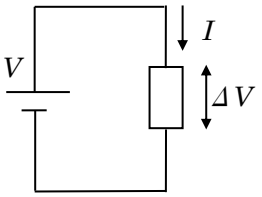


テーマ３ 電力と電力量

抵抗に電流が流れるとき、熱が発生する。これは電荷が持つエネルギーが熱エネルギーに変換されて起きている。発生する熱の量を計算しよう。

問題３ 消費電力の定義

起電力 V〔V〕の電池に抵抗をつなぐと、I〔A〕の電流が流れた。このとき抵抗の両端の電位差 ΔV は［ア］〔V〕で、1 s 間に抵抗を流れる電荷は［イ］〔C〕なので、1 s 間に電荷が失った静電エネルギーの合計は［ウ］〔J〕といえ、その分だけ抵抗で熱エネルギーが発生する。抵抗では熱が発生するが、電球などであれば光エネルギーになり、モーターなどであれば運動エネルギーになる。



この 1 s あたりの静電エネルギーの減少量を電力 P（消費電力 P）という。

この回路で t〔s〕間、電流を流したとき、抵抗で発生する熱エネルギーは［エ］〔J〕といえ、これを電力量 W という。

問題３解答

ア：V〔V〕　イ：I〔C〕　ウ：IV〔J〕　エ：IVt〔J〕

問題３解説

ア：色分けすると抵抗には起電力 V の電圧がそのままかかっていることがわかる。

イ：電流の定義が 1 s 間に流れる電荷の量なので、1 s に I〔C〕流れているといえる。

ウ：$U = qV$ より、$\Delta U = I \times \Delta V = IV$

エ：1 s あたり IV〔J〕なので、t〔s〕間で、IVt〔J〕とわかる。

電力（消費電力）

定義：1 s あたりの電気エネルギーの消費量

文字：P　単位：〔J/s〕⇒〔W〕読み：ワット

$$P = IV$$

電力量

定義：t〔s〕での電気エネルギーの消費量

文字：W　単位〔J〕

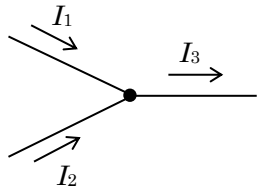
$$W = Pt = IVt$$

名前が紛らわしい上に、電力の単位と、電力量の文字で、同じ W が使われている。違いを特に意識して覚えましょう。また、熱の場合は発生する熱をジュール熱 Q と呼ぶときもある。電気量と同じ文字なので、これも紛らわしい。

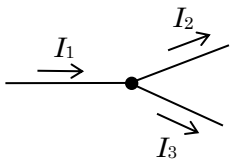
テーマ 4 回路の問題

コンデンサーの回路の解法とすごく似ている。同じ感覚で解いていこう。
電流では新しく、キルヒホッフ第１法則というものが加わる。

キルヒホッフ第１法則(電流の式)



導線の合流地点で
$I_1 + I_2 = I_3$　という関係になる。



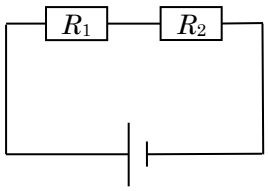
導線の分岐地点で
$I_1 = I_2 + I_3$　という関係になる。

電流の回路の解法

① 回路の**作図**をし、不明数を文字でおく。
② **電位の式**(キルヒホッフ第２法則) ⇒**電流の式**(キルヒホッフ第１法則) ⇒ $\Delta V = RI$ **の式**(オームの法則) を立てる。
③ 連立して不明数を求める。

問題 4 直列回路

抵抗値 4.0 Ω、6.0 Ωの抵抗 R_1、R_2 と起電力 5.0 V の電源を図のようにつないだ。以下の問いに答えよ。



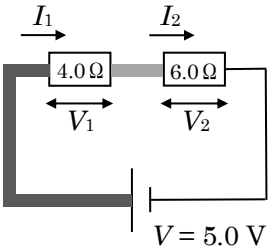
(1) 抵抗 R_1 にかかる電圧を V_1、流れる電流を I_1、抵抗 R_2 にかかる電圧を V_2、流れる電流を I_2 として、図に書き込め。
(2) 起電力 V と V_1、V_2 の関係式をたてよ。
(3) 電流 I_1 と I_2 の関係式をたてよ。
(4) それぞれの抵抗で成り立つオームの法則の式をたてよ。
(5) 前問(2)〜(4)の式を連立して V_1、V_2、I_1 を求めよ。

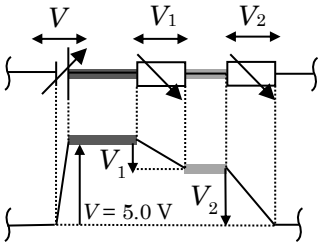
問題 4 解答 (1) 解説参照 (2) $V = V_1 + V_2$ (3) $I_1 = I_2$ (4) R_1 : $V_1 = 4I_1$ R_2 : $V_2 = 6I_2$

(5) $I_1 = I_2 = 0.50$ A $V_1 = 2.0$ V $V_2 = 3.0$ V

問題 4 解説

(1) 電流の問題では I、V、R の情報を図に書き込んで、電位の色分けも行おう。(2)で用いるキルヒホッフ第 2 法則の図も作図してみると右図のようになる。





(2) 回路を 1 周するときの(起電力の和) = (電圧降下の和)という関係から、

$5.0 = V_1 + V_2$ …①式

(3) 導線は枝分かれしていないので、電流は両方の電流で等しくなる。

$I_1 = I_2$ …②式

＊同じと即決できるときは、不明数を分けずに共通の文字で置いてよい。今回の場合だと、I_1、I_2 を I とおくなど。そうすると連立する式が 1 つ少なくなる。

(4) オームの法則 $\Delta V = RI$ より

R_1 : $V_1 = 4I_1$ …③式 R_2 : $V_2 = 6I_2$ …④式

(5) ①式に③、④式を代入して、

$5.0 = 4I_1 + 6I_2$

②式より、$I_1 = I_2$ なので、

$5.0 = 4I_1 + 6I_1$

$\therefore\ I_1 = 0.50$ A

$I_1 = I_2$ なので、$I_2 = 0.50$ A

③式、④式に代入して、

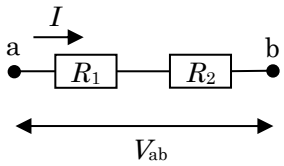
R_1 : $V_1 = 4.0 \times 0.50$ R_2 : $V_2 = 6.0 \times 0.50$ …④式

$\therefore\ V_1 = 2.0$ V $\therefore\ V_2 = 3.0$ V

＊ 求めた電圧 V_1、V_2 が①式を満たしているかどうかなどで、計算ミスのチェックなども行えるので、見直しに活用しよう。

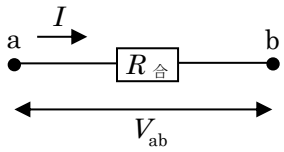
問題 5 直列の合成公式

抵抗値 R_1、R_2 の抵抗を 2 つ直列につないだ。このとき抵抗に流れる電流を I とした。



(1) ab 間にかかる電圧 V_{ab} を I、R_1、R_2 を用いて示せ。

次に R_1 と R_2 があたかも 1 つの抵抗 $R_{合}$ だったと考えてみる。



(2) ab 間にかかる電圧 V_{ab} を I、$R_{合}$ を用いて示せ。

(3) 前問(1)(2)より、$R_{合}$ を R_1、R_2 を用いてあらわせ。

問題 5 解答 (1) $V_{ab} = R_1I + R_2I$　(2) $V_{ab} = R_{合}I$　(3) $R_{合} = R_1 + R_2$

問題 5 解説

(1) それぞれの抵抗にかかる電圧を V_1、V_2 としたら、オームの法則 $\Delta V = RI$ より、

$$V_1 = R_1I \qquad V_2 = R_2I$$

ここで、$V_{ab} = V_1 + V_2$ なので

$$V_{ab} = R_1I + R_2I$$

(2) オームの法則 $\Delta V = RI$ より、

$$V_{ab} = R_{合}I$$

(3) 前問(1)(2)の式より、

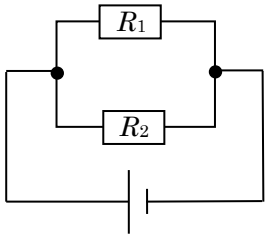
$$R_1I + R_2I = R_{合}I$$

$$\therefore\ R_{合} = R_1 + R_2$$

この関係式を『直列の合成公式』という。直列につなぐと、『抵抗が長くなっている』と捉えられるので、抵抗は単純な足し算になるイメージである。

問題 6 並列回路

抵抗値 5.0 Ω、10 Ωの抵抗 R_1、R_2 と起電力 5.0 V の電源を図のようにつないだ。以下の問いに答えよ。



(1) 抵抗 R_1 にかかる電圧を V_1、流れる電流を I_1、抵抗 R_2 にかかる電圧を V_2、流れる電流を I_2 として、図に書き込め。

(2) 起電力 V と V_1、V_2 の関係式をたてよ。

(3) それぞれの抵抗で成り立つオームの法則の式をたてよ。

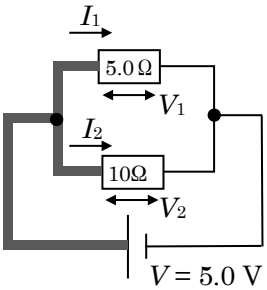
(4) 前問(2)〜(4)の式を連立して V_1、I_1、I_2 を求めよ。

問題 6 解答 (1) 解説参照 (2) $V = V_1 = V_2$ (3) $V_1 = R_1I_1$ $V_2 = R_2I_2$

(4) $V_1 = V_2 = 5.0$ V $I_1 = 1.0$ A $I_2 = 0.50$ A

問題 6 解説

(1) 下図のようにかける。色分けをすると、電池の両端も、両方の抵抗も『濃い線→塗り無し』という変化なので、$V = V_1 = V_2$ ということがわかる。



(2) 色分けより

$V = V_1 = V_2$ …①式

とわかる。

(3) それぞれの抵抗でオームの法則 $\Delta V = RI$ を立てると、

$\boxed{R_1}$: $V_1 = 5.0\,I_1$ …②式 $\boxed{R_2}$: $V_2 = 10I_2$ …③式

(4) ①式の起電力 V は 5.0 〔V〕 なのでより

$V_1 = V_2 = 5.0$ 〔V〕 … 答

これを、②式、③式に代入して、

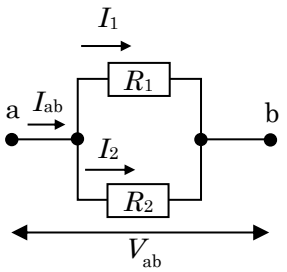
$\boxed{R_1}$: $5.0 = 5.0\,I_1$ $\boxed{R_2}$: $5.0 = 10I_2$

$\therefore\ I_1 = 1.0$ 〔A〕 $\therefore\ I_2 = 0.50$ 〔A〕

問題 7 並列の合成公式

抵抗値 R_1、R_2 の抵抗を 2 つ並列につないだ。このとき ab 間にかかる電圧を V_{ab} とした。

(1) 抵抗 R_1 に流れる電流 I_1 と抵抗 R_2 に流れる電流 I_2 を V_{ab}、R_1、R_2 を用いて示せ。

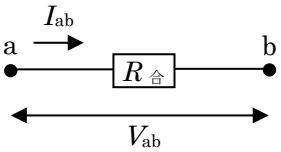


次に R_1 と R_2 があたかも 1 つの抵抗 $R_{合}$だったと考えてみる。

(2) I_{ab} と I_1、I_2 の関係を示せ。

(3) ab 間を流れる電流 I_{ab} を V_{ab}、$R_{合}$を用いて示せ。

(4) 前問(1)(2)(3)より、$R_{合}$を R_1、R_2 を用いてあらわせ。



問題 7 解答 (1) $I_1 = \dfrac{V_{ab}}{R_1}$ $I_2 = \dfrac{V_{ab}}{R_2}$ (2) $I_{ab} = I_1 + I_2$ (3) $I_{ab} = \dfrac{V_{ab}}{R_{合}}$

(4) $\dfrac{1}{R_{合}} = \dfrac{1}{R_1} + \dfrac{1}{R_2}$

問題 7 解説

(1) 各抵抗にかかる電圧は V_{ab} である。オームの法則 $I = \dfrac{\Delta V}{R}$ より、

$\boxed{R_1}$: $I_1 = \dfrac{V_{ab}}{R_1}$ $\boxed{R_2}$: $I_2 = \dfrac{V_{ab}}{R_2}$

(2) キルヒホッフ第 1 法則より、

$I_{ab} = I_1 + I_2$

(3) オームの法則 $I = \dfrac{\Delta V}{R}$ より、

$\boxed{R_{合}}$: $I_{ab} = \dfrac{V_{ab}}{R_{合}}$

(4) 前問(2)の式に、前問(1)(3)の式を代入すると

$$\frac{V_{ab}}{R_{合}} = \frac{V_{ab}}{R_1} + \frac{V_{ab}}{R_2}$$

$$\therefore \frac{1}{R_{合}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

この関係式を、並列の合成公式、という。この公式で計算した $R_{合}$は、R_1、R_2 よりも必ず小さくなる。**並列につなぐと、『抵抗が太くなっている』**と捉えられるので、抵抗は減少するイメージである。

合成公式まとめ

抵抗

直列：$R_{合} = R_1 + R_2 + \cdots$

並列：$\dfrac{1}{R_{合}} = \dfrac{1}{R_1} + \dfrac{1}{R_2} + \cdots$

抵抗の直列は長さが伸びて大きくなる

抵抗の並列は太くなって小さくなる

コンデンサー

直列：$\dfrac{1}{C_{合}} = \dfrac{1}{C_1} + \dfrac{1}{C_2} + \cdots$

並列：$C_{合} = C_1 + C_2 + \cdots$

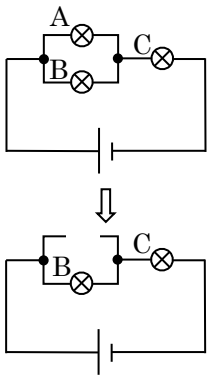
コンデンサーの直列は極板間距離が伸びて小さくなる

コンデンサーの並列は極板面積が広くなり大きくなる

＊コンデンサーの合成公式は、直列、並列の判断が難しいのでなるべく使わない方がいい。しかし、抵抗はわかりやすいし、合成した方が簡潔に解けることが多いので積極的に使っていこう。

ConcepTest7 並列接続の特徴

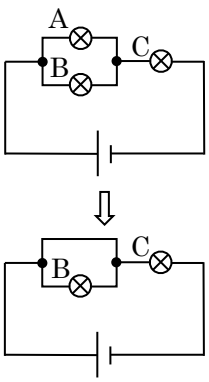
同一の豆電球 A、B、C を右図のように接続した。この後、豆電球 A を回路から取り外したとき、豆電球 C の明るさはどのように変化するか。



ア. 明るくなる
イ. 暗くなる
ウ. 消える
エ. 変わらない

ConcepTest8 ショート回路

同一の豆電球 A、B、C を右図のように接続した。この後、豆電球 A を取り外し導線でつないだとき、豆電球 C の明るさはどのように変化するか。



ア. 明るくなる
イ. 暗くなる
ウ. 消える
エ. 変わらない

ConcepTest7 解答　イ.暗くなる

ConcepTest7 解説

考え方①　並列接続だと合成抵抗が必ず元の抵抗よりも小さくなるので豆電球 A、B を切り離した後はその部分の抵抗が大きくなり、C が暗くなる。

考え方② 接続を切った場所は絶対に電流が流れることができない場所で、抵抗が∞になっているといえる。結果的に豆電球 A を切り離した後の方が並列部分の合成抵抗が大きくなっているといえるので C は暗くなる。

ConcepTest8 解答　ア.明るくなる

ConcepTest8 解説

考え方①　導線の色分けを行うと、A の電球を導線に変えた後は、豆電球 C に電池の電圧が全てかかることがわかる。よって変化後の方が C は明るくなる。ちなみに、このとき B には電圧がかからず、電流が流れず、点灯しないこともポイントである。

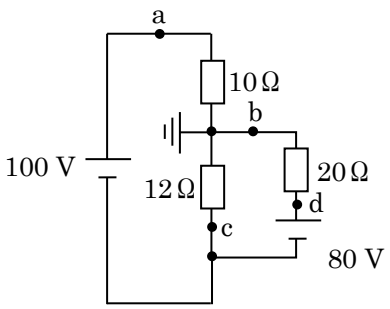
考え方② A を導線に変えた場所は抵抗が（ほぼ）0 になっているといえる。結果的に豆電球 A を切り離した後の方が並列部分の合成抵抗が小さくなっているといえるので C は明るくなる。

問題 8　少し複雑な回路

抵抗値 20Ω、12Ω、10Ωの抵抗と起電力 100 V、80 V の電池を図のようにつないだ。

(1) 各点 a、b、c に流れる電流の向きと大きさを答えよ。

(2) 各点 a、b、c、d の電位を答えよ。



この問題のポイント

・10Ωと 12Ωの抵抗は直列接続ではない ⇒ 電流が共通なつなぎ方を直列という

・12Ωと 20Ωの抵抗は並列接続ではない ⇒ 同じ電圧がかかるつなぎ方を並列という

・アースがあってもなくても電流や電圧の結果は変わらない ⇒ 電位 0〔V〕の基準なだけ

問題 8 解答　(1) a：右向きに 4.0 A　　b：左向きに 1.0 A　　c：下向きに 5.0 A

(2) a：＋40 V　　b：0 V　　c：－60 V　　d：＋20 V

問題８解説

(1) 少し複雑な回路だけれど、基本の解き方を落ち着いてこなしてみよう。

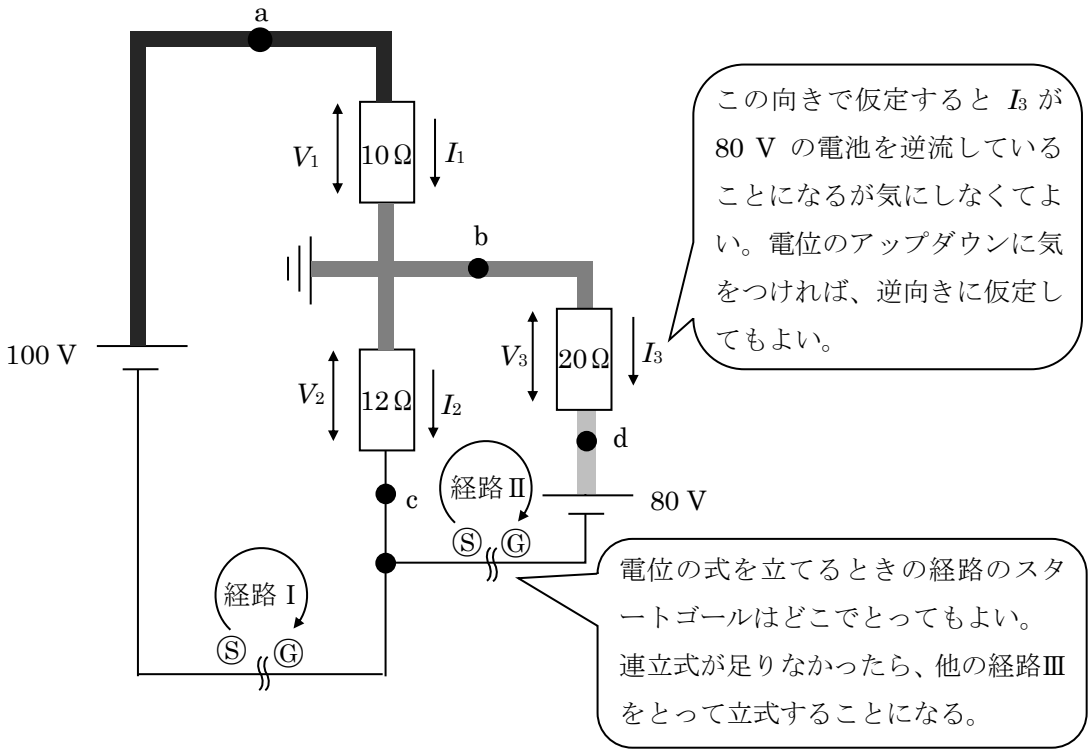
電流の回路の解法

① 回路の**作図**をし、不明数を文字でおく。

② **電位の式**（キルヒホッフ第２法則）⇒**電流の式**（キルヒホッフ第１法則）⇒ $\Delta V = RI$ **の式**（オームの法則）を立てる。

③ 連立して不明数を求める。

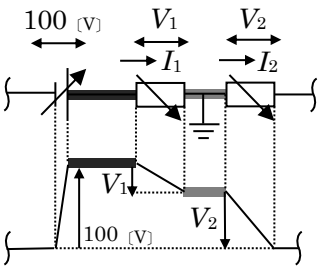
① 作図をして不明数を文字でおく。



② 電位の式、電流の式、$\Delta V = RI$ の式を立てる。

電位の式

《経路Ⅰ (a→c)》

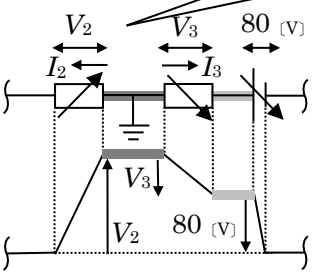


$100 = V_1 + V_2$ …①式

《経路Ⅱ (c→b→d)》

電流の上流が高電位なので上昇

＋極が高電位なので降下



$V_2 = V_3 + 80$ …②式

向きによっては、抵抗で電位上昇して、電池で電圧降下することがあるのだ。

電流の式

回路の分岐点でキルヒホッフ第１法則の立式を行うと、

$I_1 = I_2 + I_3$ …③式

$\Delta V = RI$ の式

10Ωの抵抗について　　12Ωの抵抗について　　20Ωの抵抗について

$V_1 = 10 \times I_1$ …④式　　$V_2 = 12 \times I_2$ …⑤式　　$V_3 = 20 \times I_3$ …⑥式

③ 連立して解く

③式を変形して

$I_3 = I_1 - I_2$

これを⑥式に代入して I_3 を消去

$V_3 = 20 \times (I_1 - I_2)$ …⑥'式

①式に④式、⑤式を代入して V_1、V_2 を消去

$100 = 10I_1 + 12I_2 \Rightarrow 50 = 5I_1 + 6I_2$ …①'式

②式に⑤式、⑥'式を代入して V_2、V_3 を消去

$12I_2 = 20(I_1 - I_2) + 80 \Rightarrow 32I_2 = 20I_1 + 80 \Rightarrow 8I_2 = 5I_1 + 20$ …②'式

①を変形して $5I_1$ を独立させると

$5I_1 = 50 - 6I_2$

これを②'式に代入して

$8I_2 = (50 - 6I_2) + 20$

$14I_2 = 70$

$\therefore I_2 = 5.0$ 〔A〕

この値を $5I_1 = 50 - 6I_2$ の式に代入して

$5I_1 = 50 - 30$

$\therefore I_1 = 4.0$ 〔A〕

これらの値を $I_3 = I_1 - I_2$ に代入して、

$I_3 = 4.0 - 5.0$

$\therefore I_3 = -1.0$ 〔A〕

答えが－になった場合は、仮定した向きと逆だった、ということ。

仮定した向きと、符号に注意して各点 a、b、c に流れる電流を答えると、

a：右向きに 4.0 A　　b：左向きに 1.0 A　　c：下向きに 5.0 A

となる。電流の向きの仮定は気楽に直感で書き込んでしまおう。

(2) アースがつながっている導線が電位 V の基準であることに注意して電位を考えよう。

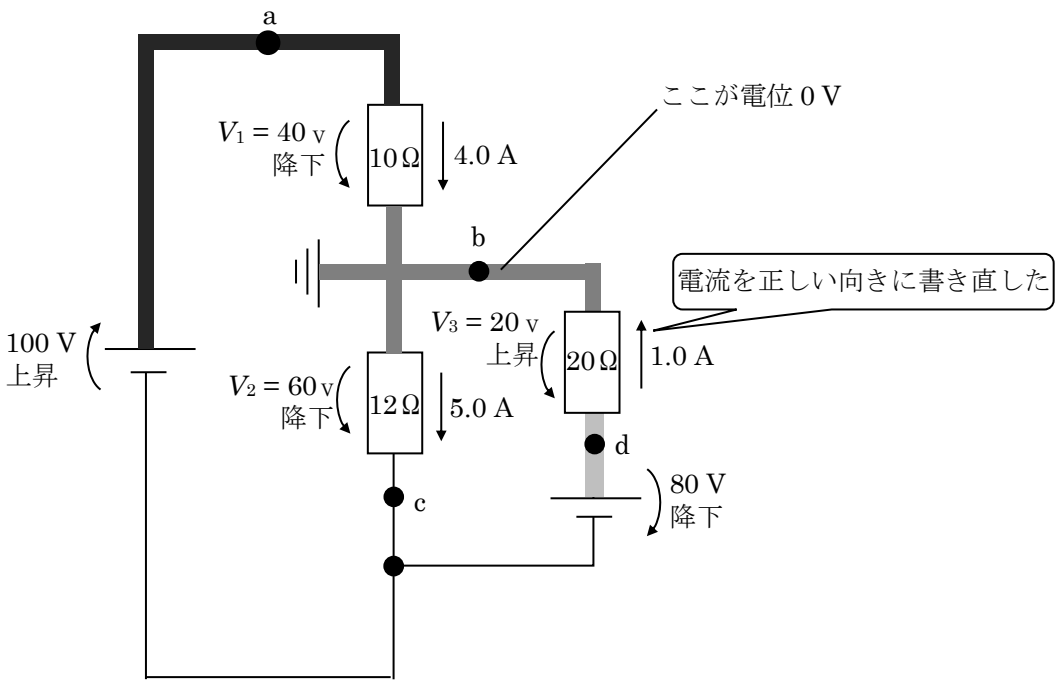
オームの法則 $\Delta V = RI$ より

$V_1 = 10$〔Ω〕$\times 4.0$〔A〕$= 40$〔V〕

$V_2 = 12$〔Ω〕$\times 5.0$〔A〕$= 60$〔V〕

$V_3 = 20$〔Ω〕$\times 1.0$〔A〕$= 20$〔V〕

となることを踏まえて図にデータを書き加えると下図のようになる。



a の電位 V_a について

a 点の電位から 10 Ω の抵抗で 40 V 降下すると、電位が 0(b 点)になるのだから $V_a = +40$〔V〕

b の電位 V_b について

アースがつながっているので、ここが基準で $V_b = 0$〔V〕である。

c の電位 V_c について

電位 0(b 点)から 12 Ω の抵抗で 60 V 降下すると、c の電位になるので $V_c = -60$〔V〕

d の電位 V_d について

電位 0(b 点)から 20 Ω の抵抗で 20 V 上昇すると、d の電位になるので $V_d = +20$〔V〕

＊ c の電位(−60 V)から電池で 80 V 上昇したところ、と考えてもよい。すると

$V_d = -60 + 80 = +20$〔V〕

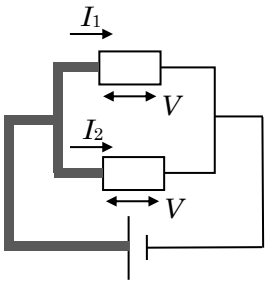
と求まる。

計算を楽にするテクニック

不明数が多ければ多いほど、連立して解くのが大変になるので、なるべく不明数が増えないように文字を設定すると計算が楽になる。

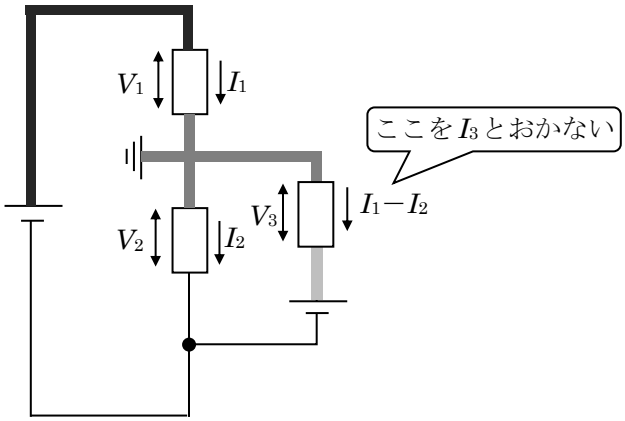
例 1

並列回路の電圧を V_1、V_2 と分けずに共通の文字 V とおく。



例 2

電流が分かれるときに、あらかじめ引き算してしまう。



回路の問題は、ある程度ドリル的な練習が必要な問題になります。問題 190 は 3、4 回解くことをお勧めします。このとき電位の式を立てる経路の取り方を変えてみたり、不明数の置き方を変えてみたり、電流の向きの仮定を変えてみたりなど、いろいろ試してみましょう。