261

必要になる公式

電場E → 定義 1C の電荷が受ける力

$\Rightarrow F = qE$

↳ 電位の傾き

$\Rightarrow E = \dfrac{V}{d}$

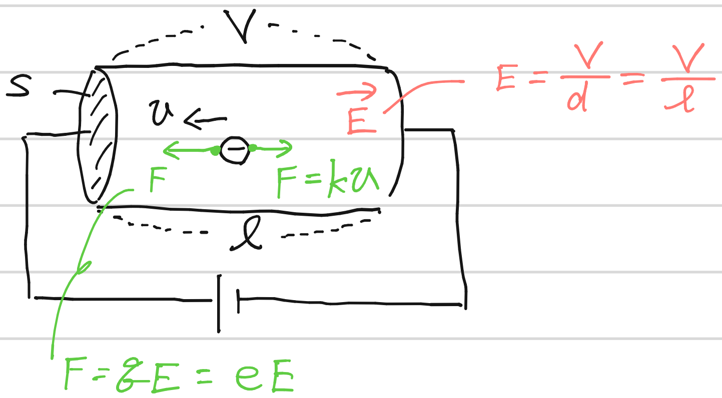
電流I → 定義 1sに通る電荷の量

$\Rightarrow I = \dfrac{\Delta Q}{\Delta t}$

オームの法則 → $V=RI$

抵抗率ρの定義 $R=\rho\dfrac{l}{S}$ 温度や材質に関係する

(ア)



上図のように力を見出だせる。つりあいの式をたてると、

$$kv = eE$$

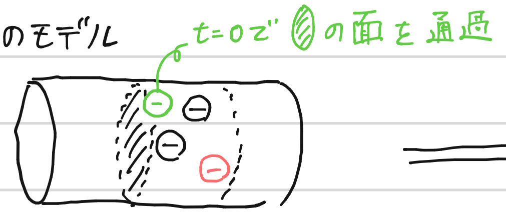
$E=\dfrac{V}{l}$ を代入して

$$kv = \frac{eV}{l}$$

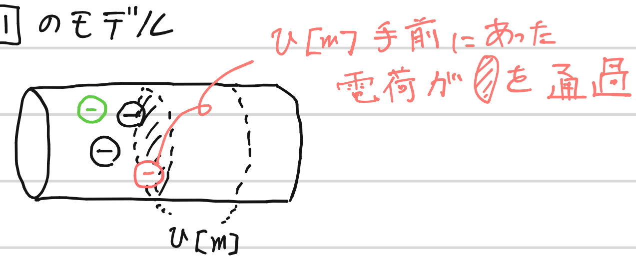
$$\therefore v = \frac{eV}{kl} \quad /\!/(\text{ア})$$

(イ) 1sに通過する電荷を数える。

$\boxed{t=0}$ のモデル



$\boxed{t=1}$ のモデル



つまり

の部分(体積Sv[m³])にあった電荷が通過するといえる。

$\boxed{261}$ (イ) 続き

$1\,m^3$ あたりに n[個] あるので 体積 Sv [m^3] にある個数 N は

$$N = n \cdot Sv$$

1個あたりが $-e$ [C] の電荷を持つので

$$I = eN = \underline{enSv}_{\,/\!/}\ (イ)$$

(ウ)

(イ)の $v = \dfrac{eV}{kl}$ を代入して

$$I = enS \cdot \frac{eV}{kl} = \underline{\frac{e^2 nSV}{kl}}_{\,/\!/}\ (ウ)$$

(エ) $I = \dfrac{e^2 nSV}{kl}$ と $I = \dfrac{V}{R}$ を比べる.

$$\downarrow$$

$$I = \underbrace{\frac{e^2 nS}{kl}}_{\frac{1}{R}} V$$

よって $R = \underline{\dfrac{kl}{e^2 nS}}_{\,/\!/}$ (エ)

(オ) $R = \dfrac{kl}{e^2 nS}$ と $R = \rho\dfrac{l}{S}$ を比べる

$$\downarrow$$

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

よって $\rho = \underline{\dfrac{k}{e^2 n}}_{\,/\!/}$ (オ)

(カ)(キ)

(オ)より

n が<u>小さい</u>$_{/\!/}$(カ) と ρ が大きい.（材質で変わる）

k が<u>大きい</u>$_{/\!/}$(キ) と ρ が大きい.（温度や材質で変わる）

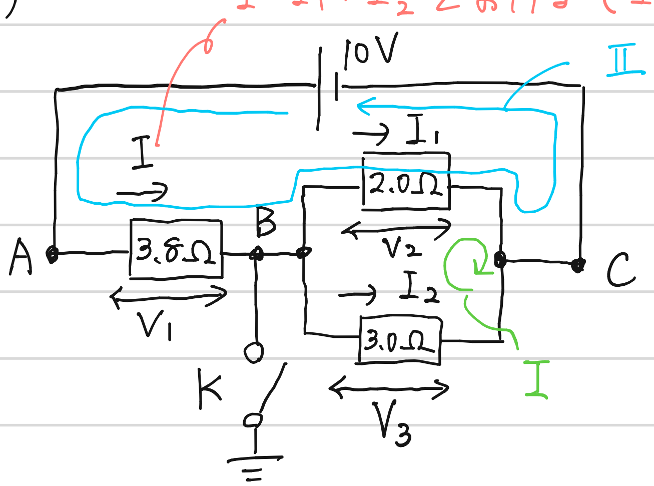
262

回路の解法

- 不明数を文字でおく。
  (キルヒホッフ則(第1)で I の種類が増えないように工夫する)
- キルヒホッフ則(第2)をたてる(電圧の関係式)
- V=RI を立式
  ⇒連立する

抵抗の合成法則は基本的に使わない。
(入試レベルになるほど使用できなくなるので)

(1) $I=I_1+I_2$ とおける(Iの不明数はなるべく増やさない)



キルヒホッフ則より

I ・ $V_2=V_3$ … ① (始めから V_3 とおかず、V_2 としてもよい)

II ・ $10=V_1+V_2$ … ②

V=RIより

$V_1=3.8(I_1+I_2)$ … ③

$V_2=2.0I_1$ … ④

$V_3=3.0I_2$ … ⑤

① に ④, ⑤ を代入して

$2.0I_1=3.0I_2$ … ①'

② に ③, ④ を代入して

$10=3.8(I_1+I_2)+2.0I_1=5.8I_1+3.8I_2$ … ②'

262 (1) 続き

①′を変形して $I_1 = \frac{3}{2} I_2$, ②′に代入して

$$10 = 5.8 \cdot \frac{3}{2} I_2 + 3.8 I_2$$

$$10 = 8.7 I_2 + 3.8 I_2$$

$\therefore \ I_2 = \underline{0.8\ [A]}$ (ウ)

①′ $I_1 = \frac{3}{2} I_2$ より　　$I = I_1 + I_2$ より

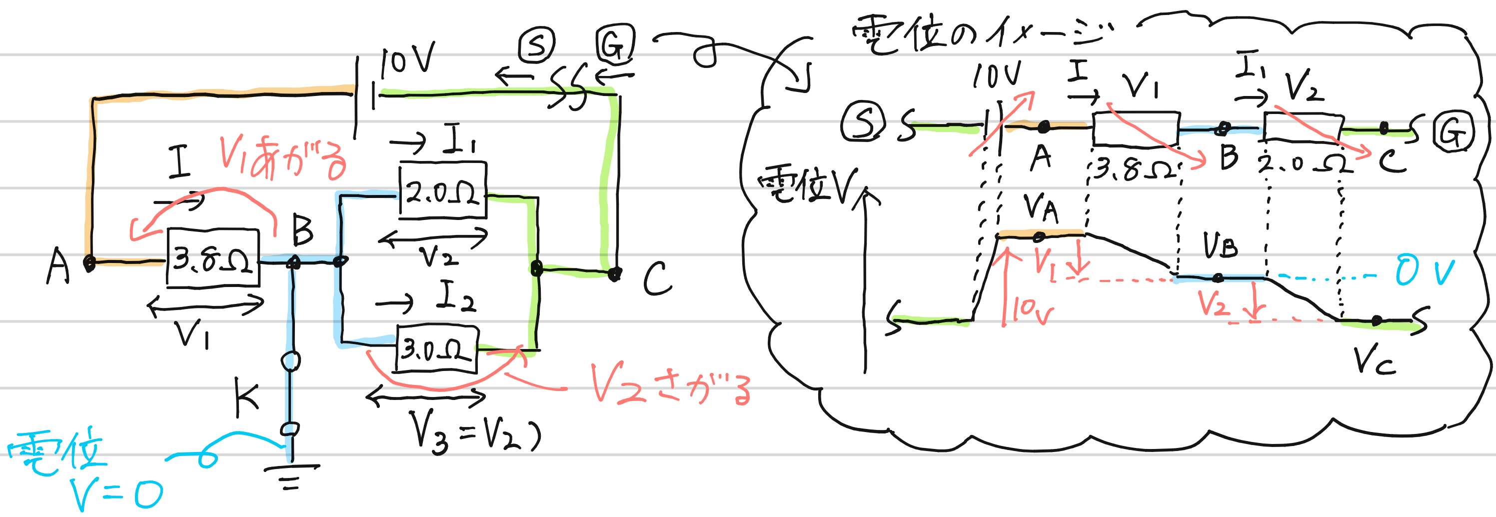
$I_1 = \underline{1.2\ [A]}$ (イ)　　$I = \underline{2.0\ [A]}$ (ア)

$V_{AB} = V_1$ であり ③より　　$V_{BC} = V_2$ であり ④より

$V_1 = \underline{7.6\ [V]}$ (エ)　　$V_2 = \underline{2.4\ [V]}$ (オ)

※求めた値が、①～⑤の式を満たしているか確かめることで計算ミスのチェックができる。

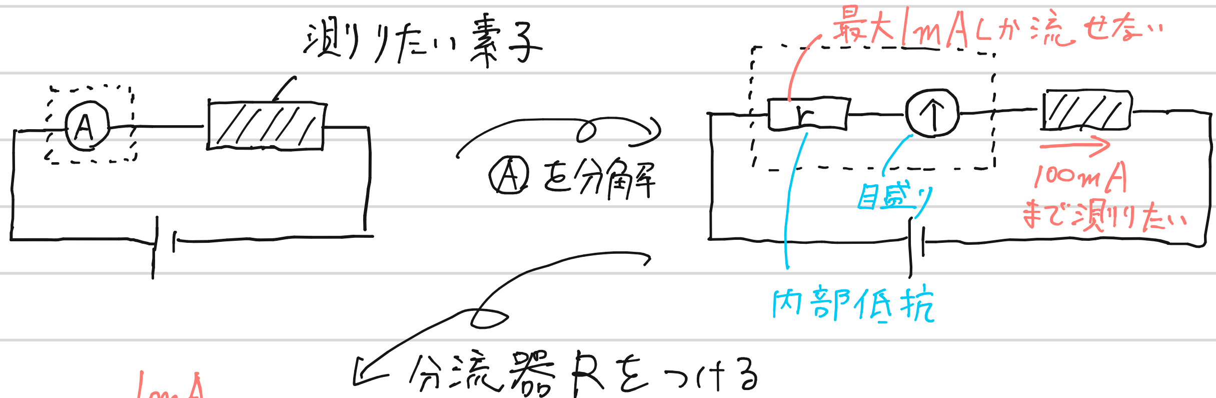
(2) アースをつないでも、電流や電圧に変化は起きない。
そこが電位 0 の基準となるだけである。

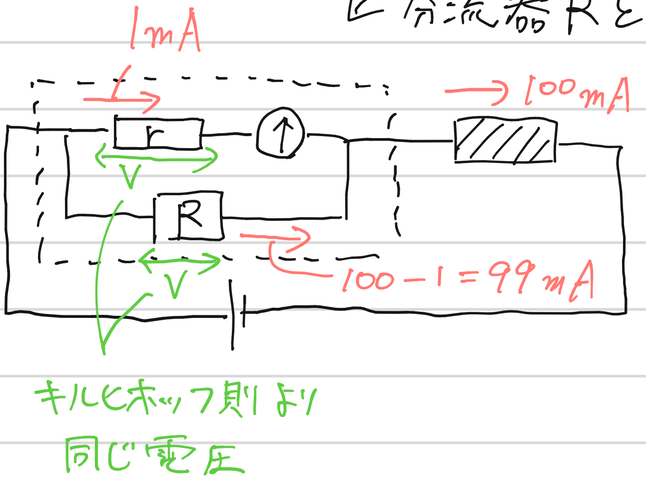


よって $V_A = +V_1 = \underline{7.6\ [V]}$ (カ)　$V_B = \underline{0\ [V]}$ (キ)

$V_C = -V_2 = \underline{-2.4\ [V]}$ (ク)

263





99mAがRに流れるようにすればよいのだ.

$V=RI$ より

$\boxed{r}$ $V=r\cdot 1.0\times10^{-3}$

$\boxed{R}$ $V=R\cdot 99\times10^{-3}$

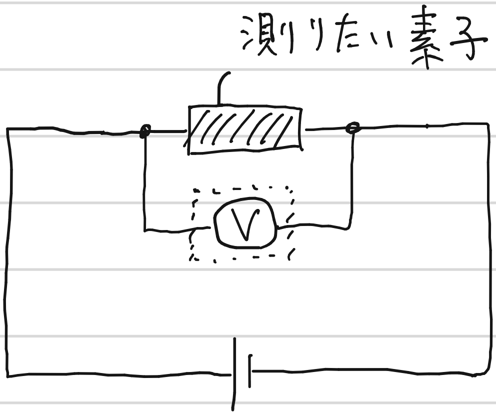
よって

$$r\cdot1.0\times10^{-3}=R\cdot99\cdot10^{-3}$$

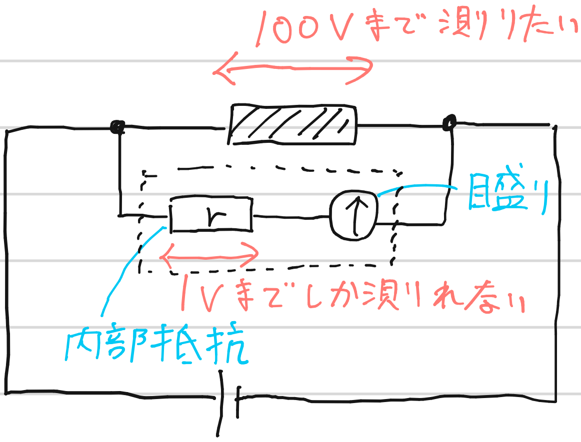
$$\therefore R=\underline{\frac{1}{99}r}_{\ /\!/}$$

これを並列につなぐ

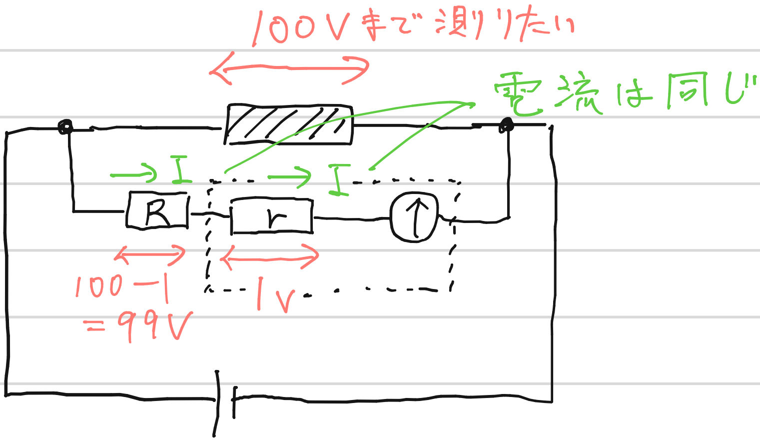
264



Ⓥを分解



倍率器Rをつける



Rで99V電位がおちるようにすればよい

V=RIより

$\boxed{r}$　$1 = rI \Rightarrow I = \dfrac{1}{r}$

$\boxed{R}$　$99 = RI \Rightarrow I = \dfrac{99}{R}$

よって

$$\frac{1}{r} = \frac{99}{R}$$

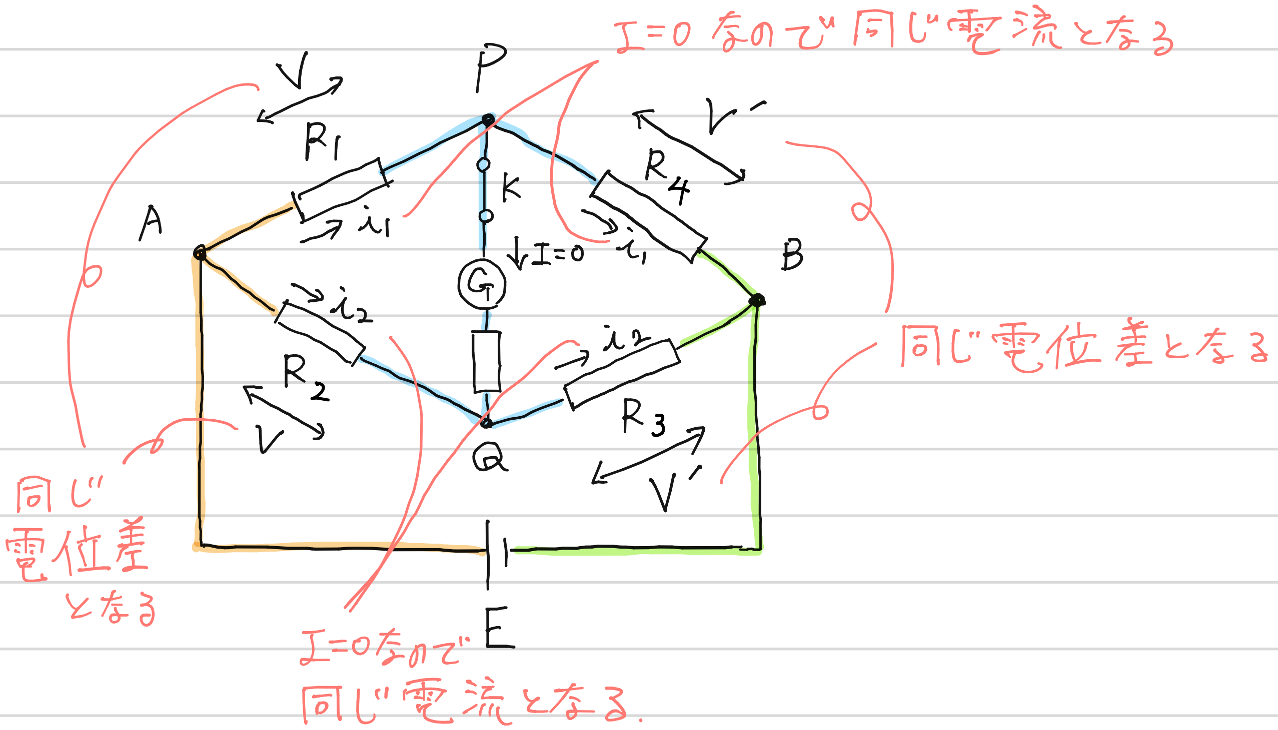
$\therefore R = 99r$ [kΩ]

直列につなぐ

※rの単位が[kΩ]なので
Rの単位も[kΩ]

$\boxed{265}$

(1) Ⓖに電流が流れない ⇒ PとQが等電位



$V=RI$ より

$\boxed{R_1}$ $V=R_1 i_1$ …①　　$\boxed{R_2}$ $V=R_2 i_2$ …②

$\boxed{R_3}$ $V'=R_3 i_2$ …③　　$\boxed{R_4}$ $V'=R_4 i_1$ …④

①, ② より

$R_1 i_1 = R_2 i_2$ … ①'

③, ④ より

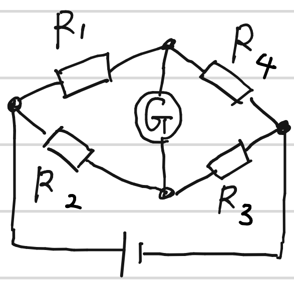
$R_4 i_1 = R_3 i_2$ … ③'

$\dfrac{①'}{③'}$ より

$$\frac{R_1}{R_4} = \frac{R_2}{R_3}$$

$$\therefore R_4 = \frac{R_1 R_3}{R_2}$$

※ 本質的な理解から遠ざかるが、公式がある。確かめに使うくらいならOK.



⇒ 形のまま分数にして $\dfrac{R_1}{R_2} = \dfrac{R_4}{R_3}$ とかける.

$\boxed{265}$ 続き

(2) 変化しない //

オームの法則より

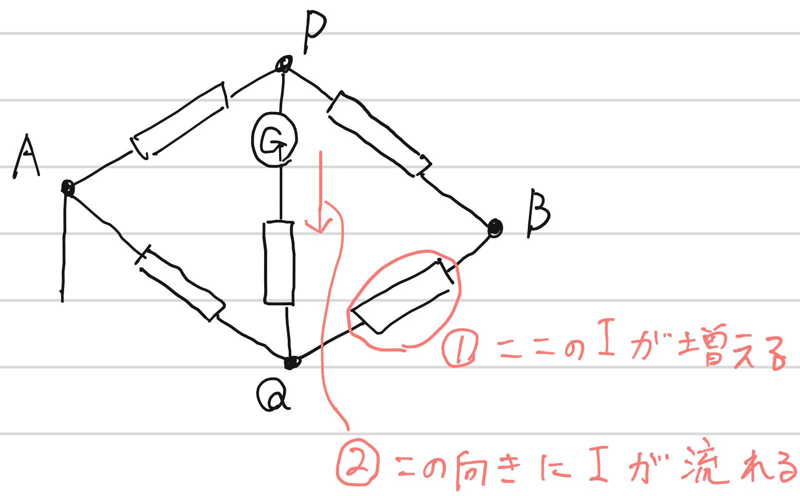
$\boxed{R_1}$ $V = R_1 i_1$ $\boxed{R_4}$ $V' = R_4 i_1$

この2式より

$$V : V' = R_1 : R_4$$

電圧の比は抵抗の比と一致し、Eが変化しても、
PとQの電位が変わる要因にならないのだ。

(3) 抵抗が小さくなった場所には、より大きな電流が
流れるようになる



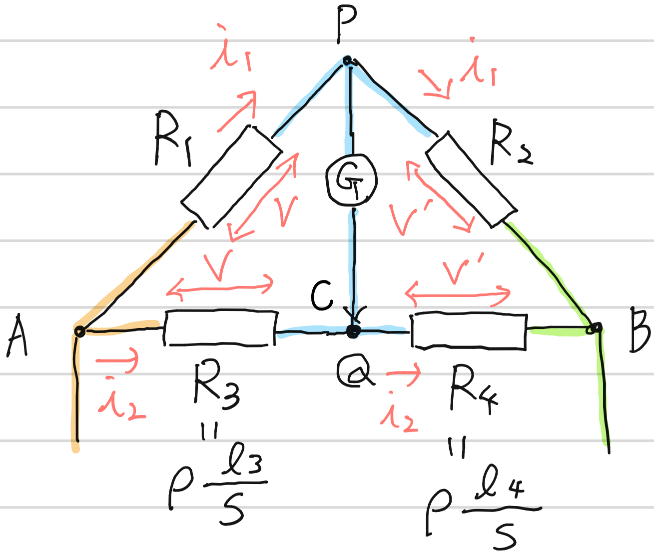
よって P → Q 向き

※ これはかなり大雑把な見積もりとなるが、
ホイートストンブリッジではここまでしか聞かれないことが
ほとんどである。
正確な量を計算するには、通常の回路の問題の
ように解けばよい。

266

$R=\rho\dfrac{l}{S}$ より、l が長い程、抵抗が大きくなるのだ。

(1) AB間の抵抗率を ρ, 断面積を S とすれば



$R_3=\rho\dfrac{l_3}{S}$, $R_4=\rho\dfrac{l_4}{S}$

となる

⇓

(AB全体の抵抗を R_0 として

$$R_3=\frac{l_3}{l_3+l_4}R_0$$

$$R_4=\frac{l_4}{l_3+l_4}R_0$$

のように、長さの割合で分けて考えることもある。)

$V=RI$ より

$\boxed{R_1}$ $V=R_1 i_1$ …①　　$\boxed{R_2}$ $V'=R_2 i_1$ …②

$\boxed{R_3}$ $V=R_3 i_2$ …③　　$\boxed{R_4}$ $V'=R_4 i_2$ …④

①, ③ より

$R_1 i_1=R_3 i_2$ …①'

②, ④ より

$R_2 i_1=R_4 i_2$ …②'

$\dfrac{①'}{②'}$ より

$$\frac{R_1}{R_2}=\frac{R_3}{R_4}$$

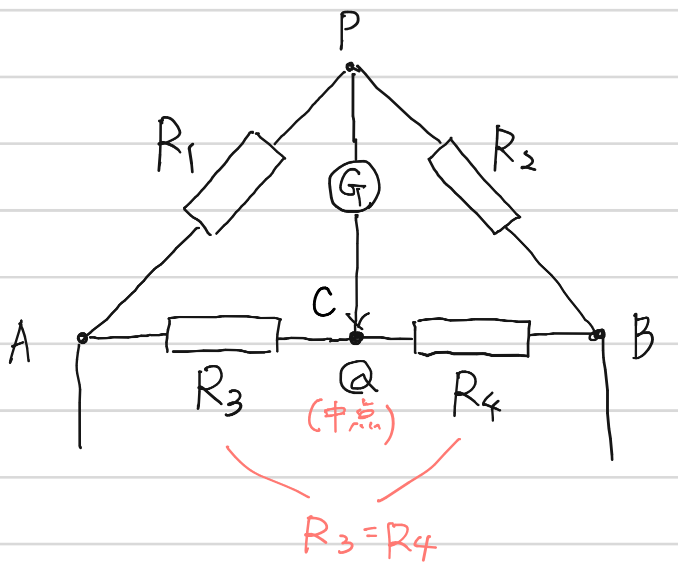
$$\therefore R_2=\frac{R_4}{R_3}R_1=\frac{\rho\frac{l_4}{S}}{\rho\frac{l_3}{S}}R_1=\underline{\underline{\frac{l_4}{l_3}R_1}}$$

$\boxed{266}$ 続き

(2) 問題文で示された条件の通りに考えると.

$$R_3 = R_4$$

となるようにすればよい. ということになる



(1)でたてた式

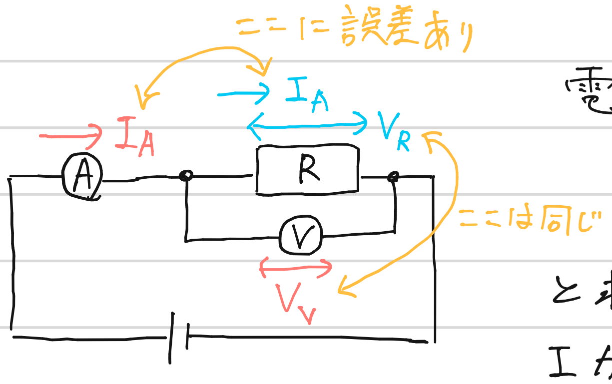
$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$$

と. $R_3 = R_4$ という条件から

$$\underline{\underset{(標準抵抗)}{R_1} = \underset{(未知抵抗)}{R_2}}\ //$$

とすればよい。

※ 電圧降下法とは



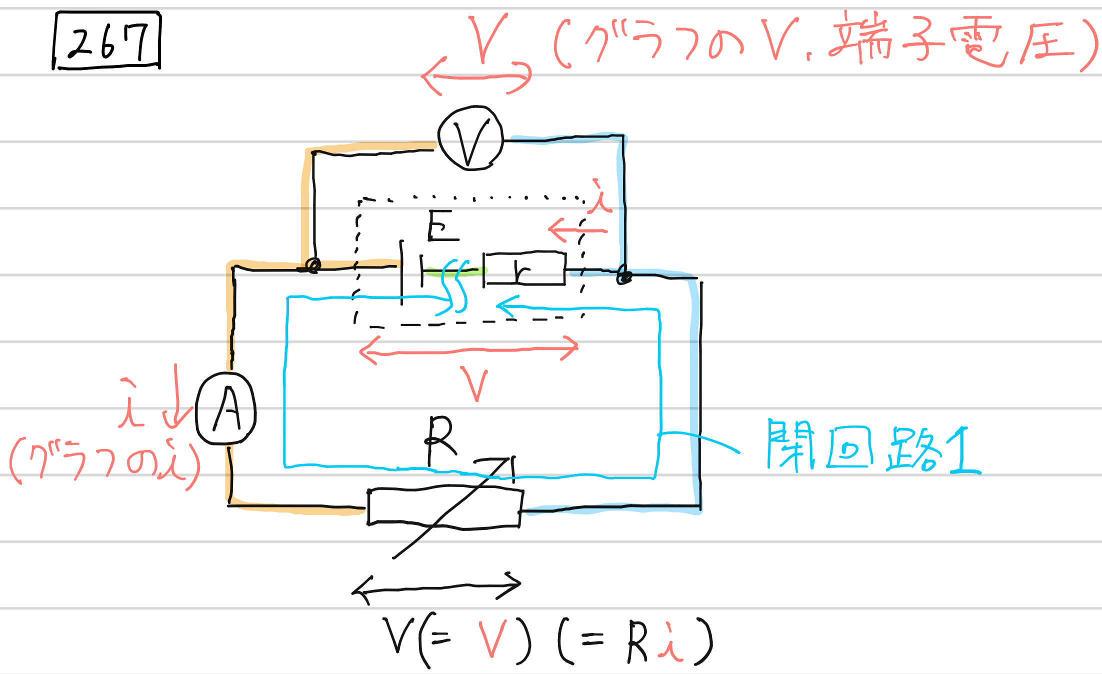
電流計. 電圧計でIとVを測定して

$$R = \frac{V_V}{I_A}$$

と求める方法. 左図の場合だと、Iが Ⓥ の方に分かれてしまっている分が誤差となり, 正確さに欠けるのだ.

$\boxed{266}$ の方法はこれよりも誤差が少なく. 電圧降下法で大まかに $R_1 = R_2$ とした上で. 精度の高い測定をすればよいのだ.

267



閉回路1でのキルヒホッフ第2法則より(ア)

$E = V + ri$ ⇒ ①式を示す。(問題文の説明していること)

(イ)(ウ)

$E = V + ri$ を変形して

$V = E - ri$

これは、グラフの切片がE、傾きがrであることを示す。
グラフを読みとると、

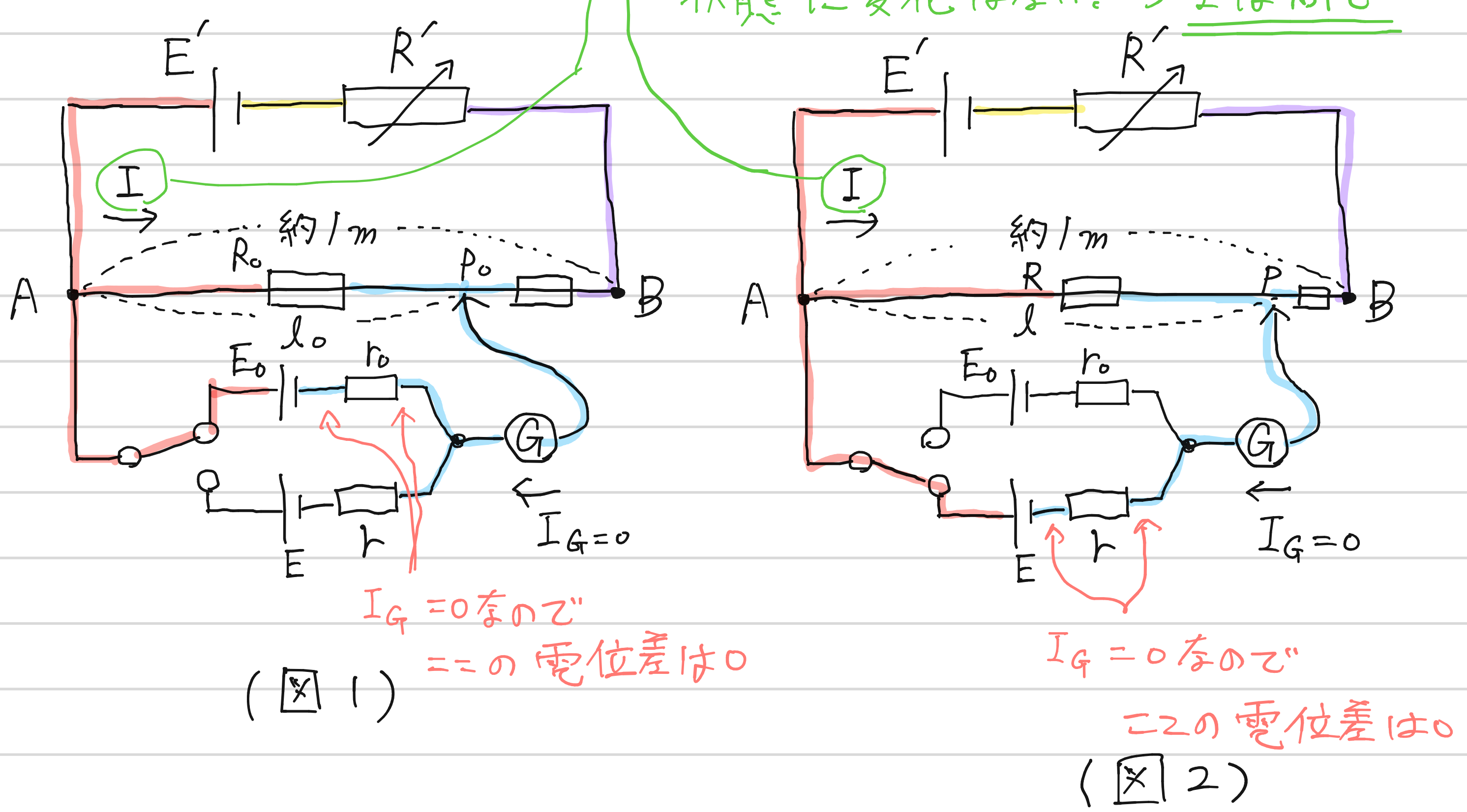
切片が 1.6 V ⇒ $E = \underline{1.6 [V]}$ // (イ)

傾きが $\dfrac{1.6 - 1.2}{0.8} = 0.5$ ⇒ $r = \underline{0.50 [\Omega]}$ // (ウ)

268

(1) 設定が複雑なので、とりあえず作図して、色分けしてみる。

E′、R′が変わらずGの方に電流は流れていないので A→B全体にかけている電圧の状態に変化はない。⇒ Iは同じ



(図1)　　(図2)

(図1)

キルヒホッフ則(色分け)より R_0にはE_0の電位差があるとわかる。
よってR_0でオームの法則をたてると、

$$E_0 = R_0 I \quad \cdots ①$$

(図2)

キルヒホッフ則(色分け)より Rには E の電位差があるとわかる。
よって R でオームの法則をたてると、

$$E = R I \quad \cdots ②$$

ここで ①と②のIは等しいので $\frac{①}{②}$ より

$$\frac{E_0}{E} = \frac{R_0}{R} \quad \cdots ③$$

268 (1) 続き

ここで長さと抵抗値が比例することから

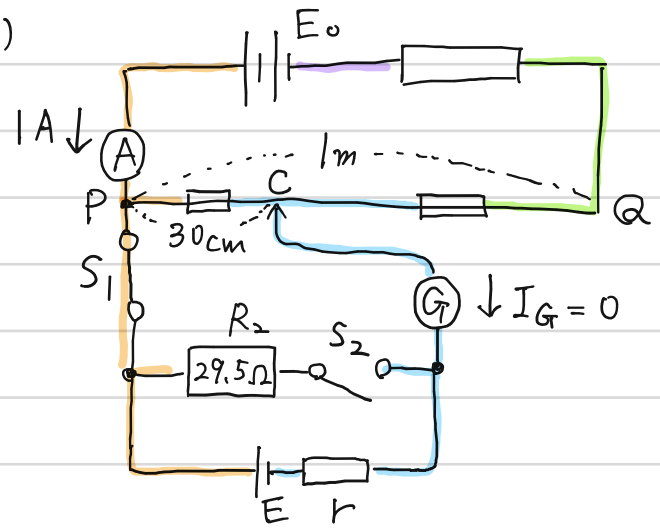
$$l_0 : l = R_0 : R$$

$$\Rightarrow \frac{R_0}{R} = \frac{l_0}{l} \cdots ④$$

④を③に代入して

$$\frac{E_0}{E} = \frac{l_0}{l} \qquad \therefore E = \frac{l}{l_0} E_0$$

(2)



P-Qの抵抗は5Ω

⇒ P-Cの抵抗は

$$5\Omega \times \frac{30}{100} = 1.5\Omega$$

C-Qの抵抗は

$$5\Omega \times \frac{70}{100} = 3.5\Omega$$

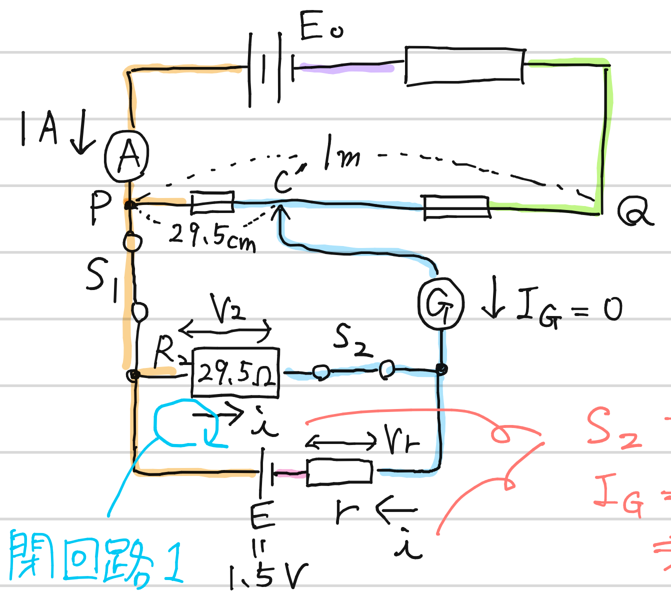
キルヒホッフ則(色分け)より P→C に E の電位差があるとわかる。
よって P-C でオームの法則をたてると.

$$E = 1.5_{\Omega} \times 1_{A}$$

$$= 1.5\,\mathrm{V}$$

268 続き

(3)



P−C′の抵抗は

$5_\Omega \times \frac{29.5}{100}$

S₂を閉じることで回路となり、
$I_G=0$でもrに電流が流れる。
⇒ rに電位差があるので色分けが変わる

・閉回路1でキルヒホッフ則をたてると、

$$E = V_2 + V_r$$

$$\Rightarrow 1.5 = 29.5i + ri \quad \Rightarrow 1.5 = (29.5 + r)i \cdots ⑤$$

・キルヒホッフ則(色分け)よりP−C′の電位差はV₂と同じ
P−C′とR₂でそれぞれオームの法則をたてると

$\boxed{P-C'}$ $V_2 = \frac{5\times29.5}{100}{}_\Omega \times 1_A \cdots ⑥$

$\boxed{R_2}$ $V_2 = 29.5_\Omega \times i_{[A]} \cdots ⑦$

⑥、⑦より

$$\frac{5\times29.5}{100} = 29.5 \cdot i \quad \therefore i = 0.050\,[A]$$

$$\begin{array}{r} 29.5 \\ \times\ \ 5 \\ \hline 147.5 \end{array}$$

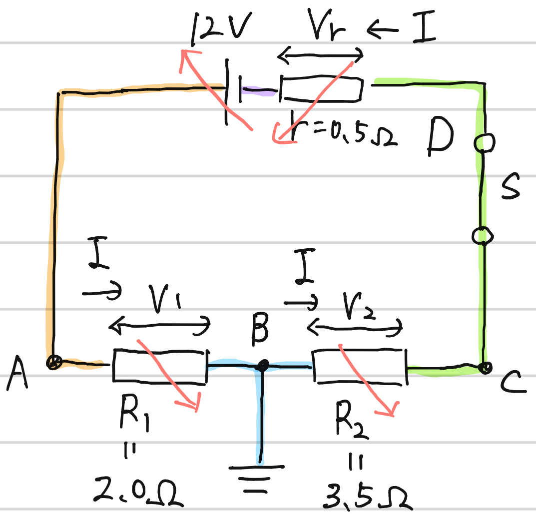
⑤に代入して

$$1.5 = (29.5 + r)\cdot 0.050$$

$$\Rightarrow 29.5 + r = 30 \quad \therefore \underline{r = 0.50\Omega}_{//}$$

$\boxed{269}$

(1) 回路の解法で求める.



キルヒホッフ則より

$12 = V_1 + V_2 + V_r$ … ①

オームの法則より

$V_1 = 2I$ … ②

$V_2 = 3.5I$ … ③

$V_r = 0.5I$ … ④

① に ②, ③ ④ を代入して

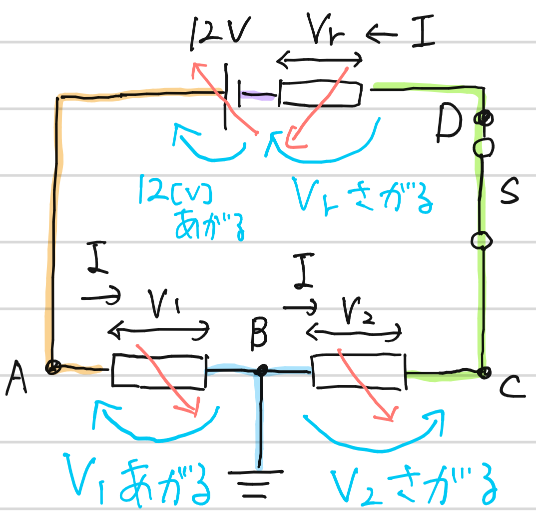
$12 = 6I$

$I = \underline{2.0 [A]}$ (1)

(2) それぞれの抵抗での電位差を求めると、

② より $V_1 = 4.0 [V]$　③ より $V_2 = 7.0 [V]$　④ より $V_r = 1.0 [V]$

アースのつながっている場所 (——) が 0[V] の基準であることから考える.



$V_A = 0 + V_1 = \underline{4.0 [V]}$

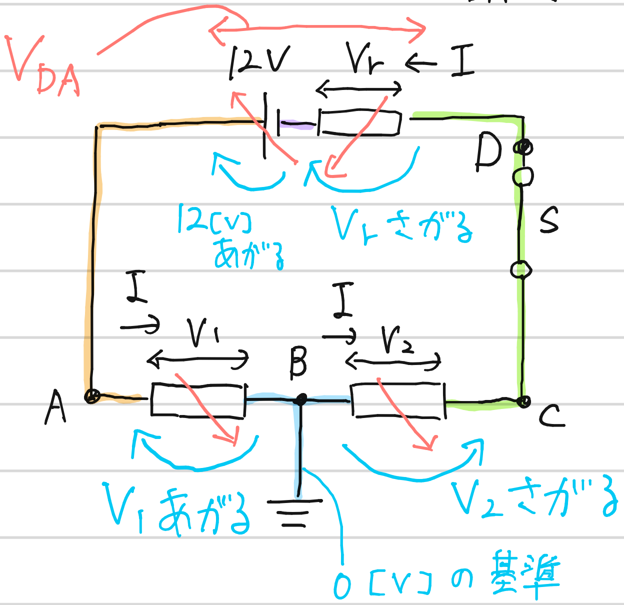
$V_B = \underline{0 [V]}$

$V_C = 0 - V_2 = \underline{-7.0 [V]}$

$V_D = V_C = \underline{-7.0 [V]}$

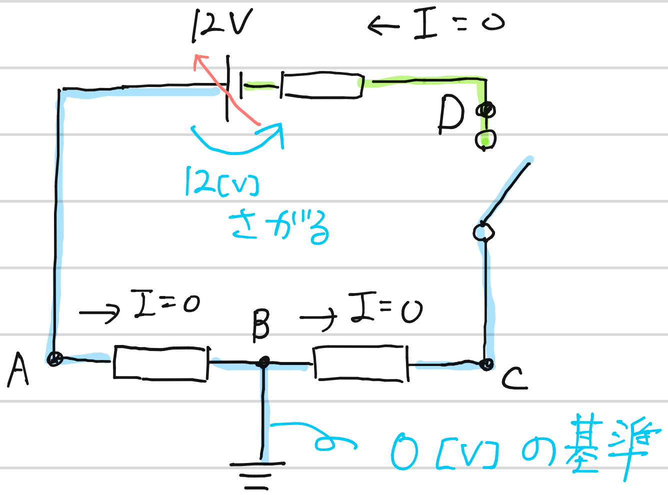
$\boxed{269}$ 続き

(3) 端子電圧は V_{DA} (── と ── の差)のことである.



$$V_{DA} = 12 - V_r$$
$$= 12 - 1 = \underline{11\,[V]}$$

(4) スイッチをひらくと電流が流れないので抵抗での電圧降下がなくなる。($\because V=RI$)



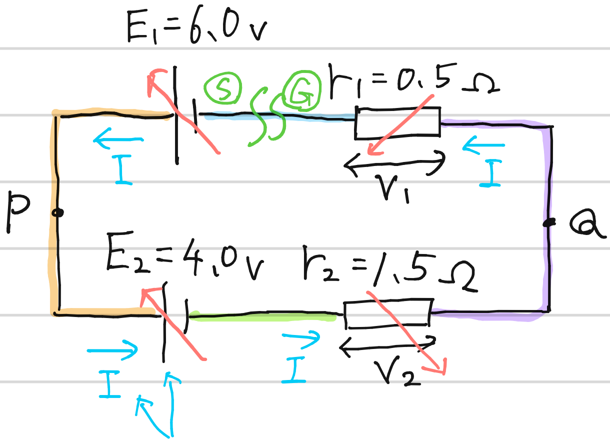
電池は電流がなくても電位をかえる.

左図より

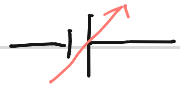
$$V_A = V_B = V_C = \underline{0\,[V]}$$

$$V_D = 0 - 12 = \underline{-12\,[V]}$$

$\boxed{270}$

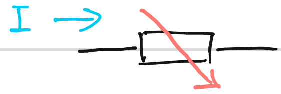


電池での電位のルール



正極が絶対高い

抵抗での電位のルール

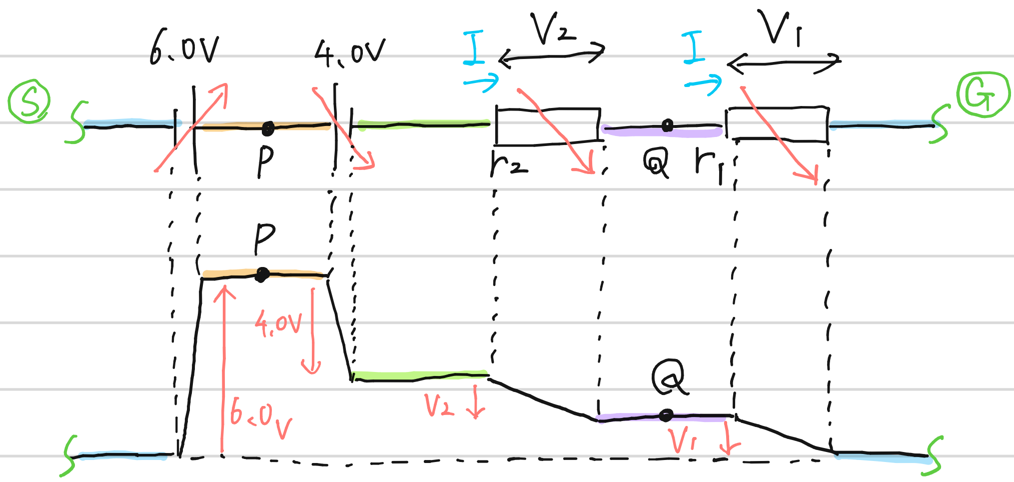


電流Iが流れこむ方(上流)が高い

どこかで仮定したIの向きに全てそろえる。

今回は、E_1 の正極→負極という向きにした。

電圧の式をたてるが、少し見づらいので開いて考えてみる。
(慣れたらいきなりたててよい)



・キルヒホッフ則の式をたてると、

$$6.0 = 4.0 + V_2 + V_1 \quad \cdots ①$$

(上昇) = (下降)

※ $0 + 6.0 - 4.0 - V_2 - V_1 = 0$

(はじめ)+(変化)=(後) としてもよい。

・オームの法則より

$V_1 = R_1 I$

$\Rightarrow V_1 = 0.5I \quad \cdots ②$

$V_2 = R_2 I$

$\Rightarrow V_2 = 1.5I \quad \cdots ③$

$\boxed{270}$ 続き

①に ②、③を代入して

$$6.0 = 4.0 + 0.5I + 1.5I$$

$$\therefore I = 1.0 \text{ [A]}$$

②より $V_1 = 0.50$ [V]

③より $V_2 = 1.5$ [V]

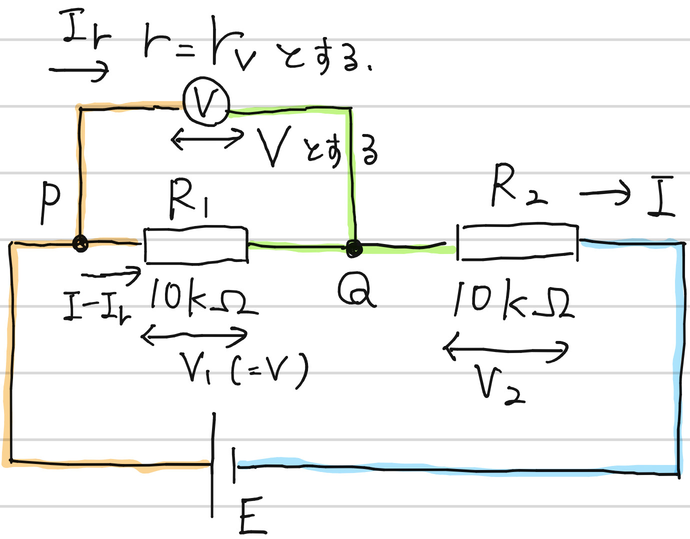
ここでPQの電位差V_{PQ}は(——)と(——)の電位差なので

$$V_{PQ} = 4.0 + V_2$$
$$= 4.0 + 1.5$$
$$= \underline{5.5 \text{ [V]}}$$

※ $V_{PQ} = 6.0 - V_1$ としてもよい。

$$V_{PQ} = 6.0 - 0.5$$
$$= \underline{5.5 \text{ [V]}}$$

271　数式で示して考えてみる



キルヒホッフ則より

$$E = V + V_2 \quad \cdots ① \qquad V = V_1 \quad \cdots ②$$

オームの法則より

$\boxed{R_1}$ $\quad V_1 = 10_{k\Omega} \cdot (I - I_r) \quad \cdots ③$

Ⓥ $\quad V = r_{V[k\Omega]} \cdot I_r \quad \cdots ④$

$\boxed{R_2}$ $\quad V_2 = 10_{k\Omega} \cdot I \quad \cdots ⑤$

① に ④, ⑤ を代入して

$$E = r_V \cdot I_r + 10\,I \quad \cdots ①'$$

② に ③, ④ を代入して

$$10\,(I - I_r) = r_V\, I_r$$

$$\Rightarrow\ 10\,I = r_V\, I_r + 10\, I_r \quad \cdots ②'$$

①' に ②' を代入して

$$E = r_V I_r + r_V I_r + 10\, I_r$$

$$I_r = \frac{E}{2r_V + 10}$$

④ に代入して

$$V = r_V \cdot \frac{E}{2r_V + 10} \ \Rightarrow\ V = \frac{r_V}{2r_V + 10} E$$

271 (1) 続き

ここで r_v が大きくなったとき

$$V=\frac{r_v}{2r_v+10}E$$

の値が、大きくなるかどうか考えればよい。実際に $10\,k\Omega$ と $100\,k\Omega$ を代入して求めてもよいし、極限をとってもよい

$$V=\frac{r_v}{2r_v+10}E=\frac{1}{2+\frac{10}{r_v}}E$$

$r_v=0$ だと $V=\frac{E}{10}$

$r_v=\infty$ だと $V=\frac{E}{2}$

$\Rightarrow$ r_v が大きくなると V は大きくなる //

(2) 元の値を V_0、後の値を V' としたとき、変動率とは

$$(\text{変動率})=\frac{(\text{変化量})}{(\text{元の値})}=\frac{V'-V_0}{V_0}$$ といえる。

つないでいないときは、V で断線しているときと同じで $r_v=\infty$ といえる。よって

$$V_0=\frac{E}{2}$$

つないだときは $r_x=r_v$ といえるので

$$V'=\frac{r_v}{2r_v+10}E\ \left(<\frac{E}{2}\right)$$

よって変動率は

$$(\text{変動率})=\frac{V'-V_0}{V_0}=\frac{\frac{r_v}{2r_v+10}E-\frac{E}{2}}{\frac{E}{2}}$$

$\boxed{271}$ (2) 続き

このままだと分子が負なので、大きさ(絶対値)にすると

$$\left|(変動率)\right| = \frac{\frac{E}{2} - \frac{r_V}{2r_V+10}E}{\frac{E}{2}}$$

$$= 1 - \frac{r_V}{r_V+5}$$

これが 0.05 未満であればよいので

$$1 - \frac{r_V}{r_V+5} \leqq 0.05$$

$$0.95 \leqq \frac{r_V}{r_V+5}$$

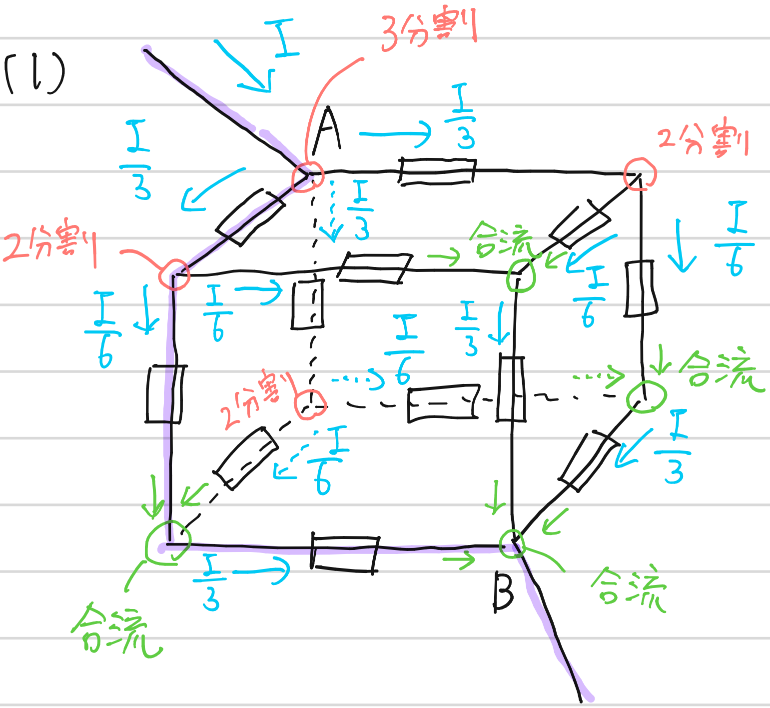
$$0.95(r_V+5) \leqq r_V$$

$$0.95 \cdot 5 \leqq 0.05 r_V$$

$$\therefore \underline{95_{k\Omega} \leqq r_V}_{\,/\!/}$$

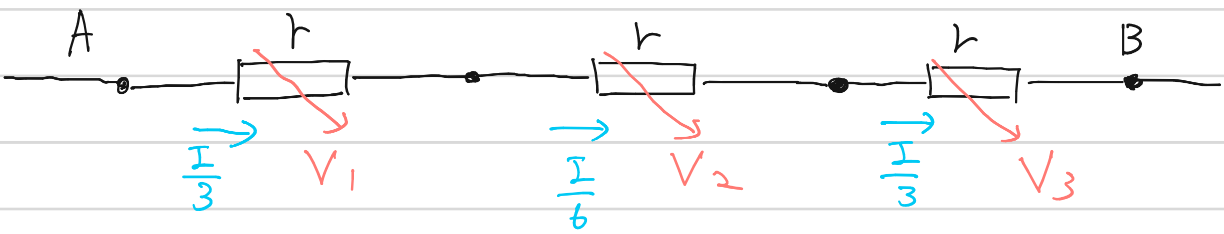
272 回路の対称性を活用する

(1)



← (1) 答え

(2) 例えば ── のコースでの電圧降下を考えると



$$(\text{電圧降下の和}) = V_1 + V_2 + V_3$$

$$= \frac{I}{3}r + \frac{I}{6}r + \frac{I}{3}r \quad (\because V = RI)$$

$$= \frac{5}{6}Ir$$

ここで A−B にかけた電圧が 50V, $r = 5.0\,\Omega$ ということから

$$50 = \frac{5}{6} \cdot I \cdot 5.0 \qquad \therefore I = \underline{12\,[A]}$$

(3) 50 [V] かけて 12 [A] 流れているので

$$R = \frac{V}{I} = \frac{50}{12} = 4.16\cdots \fallingdotseq \underline{4.2\,[\Omega]}$$

273

コンデンサーを含む回路

直後と十分時間後で見るポイントを切り換えよう.

直後 コンデンサーの電位差に注目.

電荷がなかったら 0[V]

あったら $Q=CV \Rightarrow V=\frac{Q}{C}$[V]

※（「直後のコンデンサーを導線と見なす」という テクニックは はじめに電荷がたまっていない 場合しか成立しない. 忘れましょう.）

十分時間後 コンデンサーに流れる電流に注目

必ず 0 [A]. (交流電源だとちがうが)

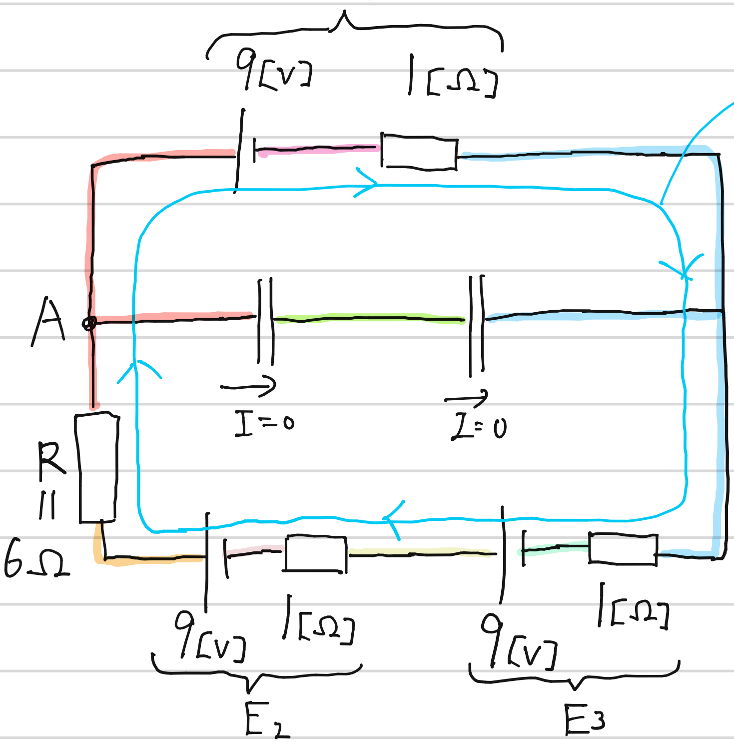
⇒ 抵抗のみで1周する経路が あれば電流が流れる.

⇒ 抵抗の情報から電位差を求めることができ, $Q=CV$でたまっている電荷を求められる.

※（「十分時間後は断線と見なす」という テクニックは成立するけれど, しょうもないので 忘れましょう. 断線ではなく, ちゃんとそこには コンデンサーがあります.）

273 続き

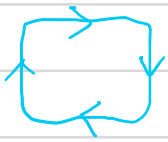
(1) 十分時間後の話なので、コンデンサーの電流が0に注目



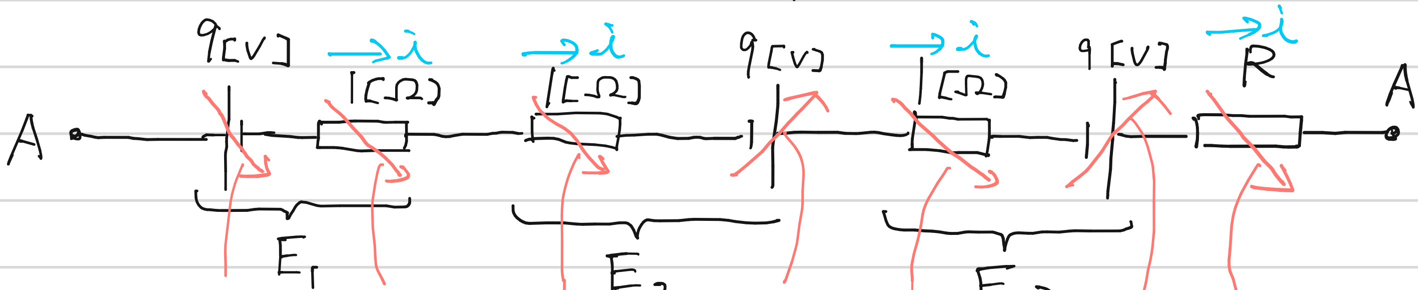
① コンデンサーなしで回路が成立。
⇒ i [A] 流れるとする

② 色分けをおこなう。

③ コンデンサーをまたいで色がちがうので、電荷がたまるとわかる。

④  この閉回路でキルヒホッフ則をたてる。

Aからスタートして1周の電圧の式をたてる。



-9 (電池は正極が高い)　$-1 \cdot i$ (V=RIより)　$-1 \cdot i$　$+9$　$-1 \cdot i$　$+9$　$-Ri = -6i$

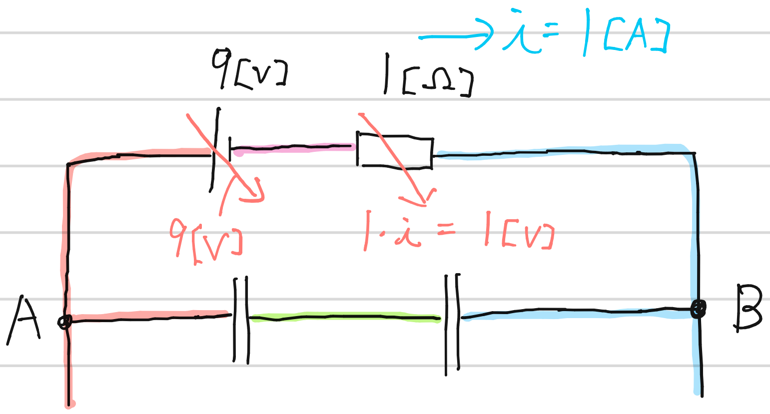
(はじめ) + (変化) = (おわり)

$0 - 9 - 1 \cdot i - 1 \cdot i + 9 - 1 \cdot i + 9 - 6i = 0$

$\Rightarrow \quad 9i = 9 \quad \Rightarrow \quad i = \underline{1.0\,[A]}$

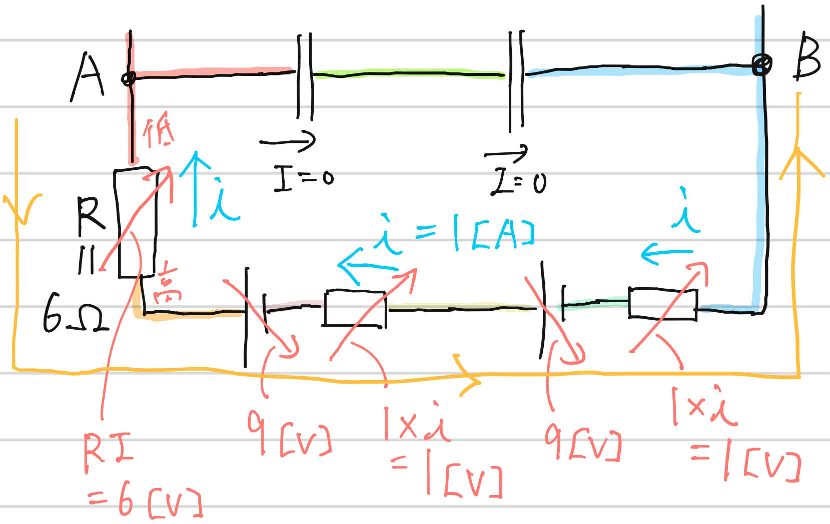
273 続き

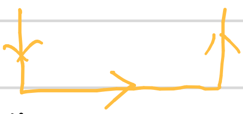
(2) A → B間の電位は、E_1を通る経路で考えると。



A → Bで
$9+1=10$ [V]
下がっているといえる

※ A → R → E_2 → E_3 → B と通る経路で考えてもよい。



A → B の  の経路で

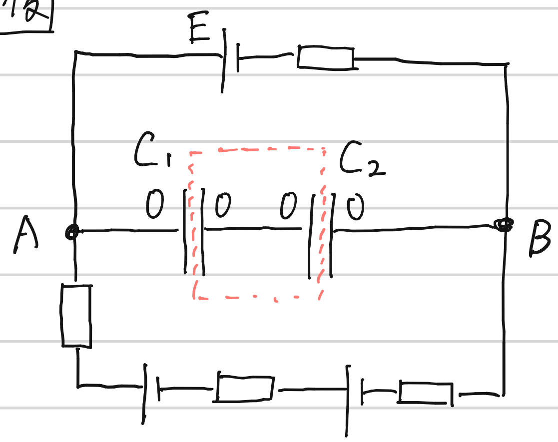
$+6-9+1-9+1$
$=-10$
⇒ 10 [V] さがっている といえる

273 続き

(3) コンデンサーの問題として解く。

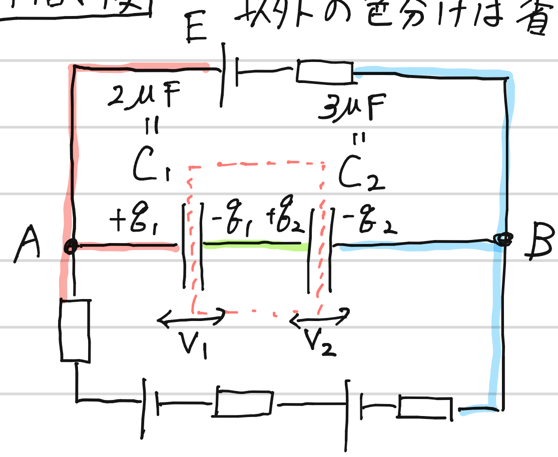
1. 直後と十分時間後を書いて、
2. キルヒホッフ則（電圧の式）
3. 電気量保存と $Q=CV$ ⇒ 連立

直後



十分時間後

コンデンサー周辺以外の色分けは省略



・キルヒホッフ則（電圧の式）をたてる。

(2)より A → B 間が 10 [V] なので

$$10 = V_1 + V_2 \quad \cdots ①$$

※「1周」という考えにこだわらなくても、電圧の式はたてられるのだ。

・の電気量保存より

$$0 = -q_1 + q_2 \quad \cdots ③$$

・$Q=CV$ より

$$q_1 = 2V_1 \quad \cdots ④ \qquad q_2 = 3V_2 \quad \cdots ⑤$$

③に④，⑤を代入して

$$0 = -2V_1 + 3V_2 \Rightarrow V_1 = \frac{3}{2}V_2 \quad \cdots ③'$$

①に③'を代入して

$$10 = \frac{3}{2}V_2 + V_2 \qquad \therefore V_2 = 4\,[\mathrm{V}]$$

⑤より

$$q_2 = 3\,[\mu\mathrm{F}] \cdot 4\,[\mathrm{V}]$$
$$= 12\,[\mu\mathrm{C}] \quad /\!/$$

（※ ①より $V_1 = 6\,[\mathrm{V}]$

④より $q_1 = 2\,[\mu\mathrm{F}] \cdot 6\,[\mathrm{V}] = 12\,[\mu\mathrm{C}]$）

274

必要になる公式

電場E → 定義 1cの電荷が受ける力

$$\Rightarrow F = qE$$

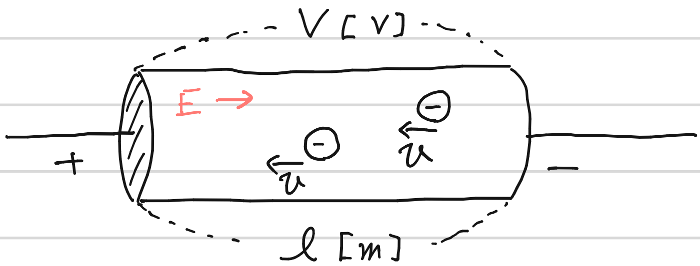
→ 電位の傾き

$$\Rightarrow E = \frac{V}{d}$$

電流I → 定義 1sに通る電荷の量

$$\Rightarrow I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

$\Rightarrow I = enSv$ (← 覚えておいてよいはず)



(ア) 電場は電位の傾きなので

$$E = \frac{V}{d} = \frac{V}{l}$$

電場の定義 $F = qE$ より

$$f = qE = \underline{e \cdot \frac{V}{l}\ [N]}_{//}\ (ア)$$

(イ)

(毎秒する仕事) = (力) × (1秒の移動距離)

$\Rightarrow$ (仕事率) $P = f \times v$

$$= \underline{e\frac{V}{l}v\ [W]}_{//}\ (イ)$$

→ ワット

(ウ) 単位体積あたり n [個] で全体積が $V = Sl\ [m^3]$ なので、全個数 N は

$$N = \underline{nSl\ [個]}_{//}\ (ウ)$$

274 続き

(エ) 1個あたりへの仕事率が (イ) $p = e\frac{V}{l}v$ なので

N[個] にする仕事率 P は

$$P = e\frac{V}{l}v \cdot N = e\frac{V}{l}v \cdot nsl$$

$$= \underbrace{ensvV}_{(エ)} \ [W]$$

⇓

これが熱エネルギーとして発生する.

(オ) $I = \underbrace{enSv}_{(オ)}$ [A] (← 覚えて使ってよい式)

(カ)

(エ)式と(オ)式より

$$P = \underbrace{IV}_{(カ)} \ [W]$$

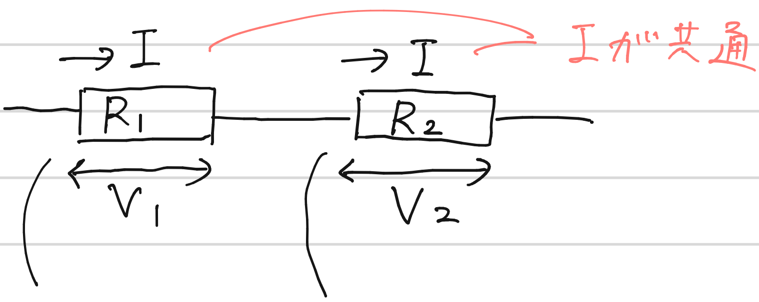
これは, ジュール熱の公式 $P = IV$ を示す.

$\boxed{275}$ 共通なものが何かに注目して、公式を使い分けよう。

$\boxed{\text{公式}}$

$$P = IV \underset{V=RI\text{より}}{=} I^2R \underset{I=\frac{V}{R}\text{より}}{=} \frac{V^2}{R}$$

(1)



$Q_1 = I^2R_1$　　$Q_2 = I^2R_2$　　よって $\dfrac{Q_1}{Q_2} = \dfrac{I^2R_1}{I^2R_2}$

$= \dfrac{R_1}{R_2}$ //

※ Vを使うと

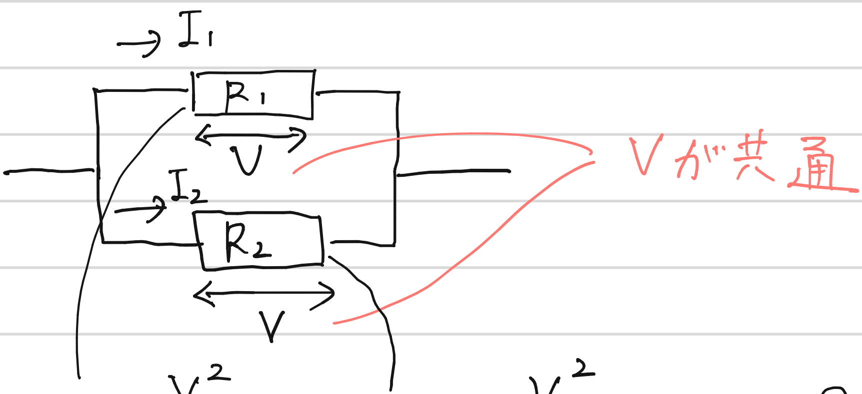
$Q_1 = IV_1$, $Q_2 = IV_2$

や

$Q_1 = \dfrac{V_1^2}{R_1}$　　$Q_2 = \dfrac{V_2^2}{R_2}$

と書けるが V_1, V_2 が不明なので解けない

(2)

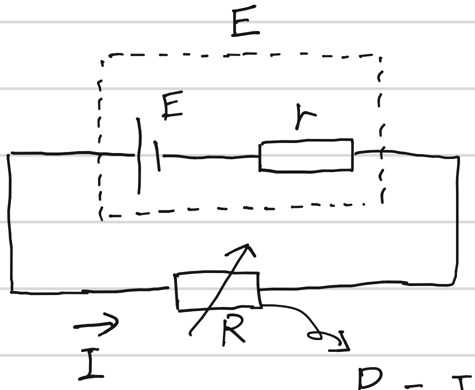


$Q_1 = \dfrac{V^2}{R_1}$　　$Q_2 = \dfrac{V^2}{R_2}$　　よって $\dfrac{Q_1}{Q_2} = \dfrac{\frac{V^2}{R_1}}{\frac{V^2}{R_2}}$

$= \dfrac{R_2}{R_1}$ //

276

物理で相加・相乗平均の関係式 $\frac{a+b}{2} \geqq \sqrt{ab}$ を使うのは
この問題と熱の超マイナーな問題の2つ。
この問題の方は割と典型問題なのでおさえておこう。



$P_R = I^2 R$

I がいくらか考える。

キルヒホッフ則より

$$E = \underbrace{IR}_{V_R} + \underbrace{Ir}_{V_r} \qquad \therefore\ I = \frac{E}{R+r}$$

(合成抵抗の公式を使ってもよい)

これより

$$P_R = I^2 R$$

$$= \left(\frac{E}{R+r}\right)^2 R = \frac{R}{(R+r)^2} E^2$$

$$= \frac{R}{R^2+2Rr+r^2} E^2 = \frac{1}{\underbrace{R}_{a\text{とする}} + 2r + \underbrace{\frac{r^2}{R}}_{b\text{とする}}} E^2$$

Rの関数部分 $a+b$ が最小となるときに P_R が最大といえる。ここで相加相乗平均の関係より

$$\frac{a+b}{2} \geqq \sqrt{ab} \quad \Rightarrow \quad a+b \geqq 2\sqrt{ab}$$

となり $a+b$ の最小値は $2\sqrt{ab}$ といえるのだ。

ここで $a+b = 2\sqrt{ab}$ となるのは $a=b$ のときということから

$$R = \frac{r^2}{R} \quad \therefore\ R = r_{\,//}$$

$\boxed{276}$ 続き.

よって

$$P_R = \frac{1}{a+2r+b}E^2 \Rightarrow P_{max} = \frac{1}{2\sqrt{ab}+2r}E^2$$

$a+b$ の最小値は $2\sqrt{ab}$

$$= \frac{1}{2\sqrt{R\cdot\frac{r^2}{R}}+2r}E^2$$

$$= \frac{1}{2r+2r}E^2 = \frac{E^2}{4r}$$

※ これは体系物理の解答の別解にあたる. でも入試本番で
この計算を落ちついて行うのはきびしい.
数学の力を使って解こう.

$$P = \frac{1}{R+2r+\frac{r^2}{R}}E^2$$

$R+\frac{r^2}{R}$ の最小値を求めたい.

$f(R) = R+\frac{r^2}{R}$ として

$$f'(R) = 1 - r^2R^{-2} = 1-\frac{r^2}{R^2}$$

$f'(R) = 0$ となるのは

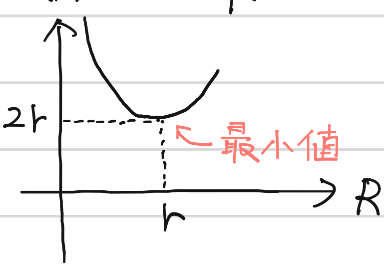
$$R = r, -r$$

のときである. 増減表を書くと

R>0なので無視

R	~~…~~	~~$-r$~~	~~…~~	0	…	r	…
$f'(R)$		~~0~~			$-$	0	$+$
$f(R)$				∞		$2r$	

$\Rightarrow$ $f(R) = R+\frac{r^2}{R}$



276 続き

$R+\dfrac{r^2}{R}$ が最小値をとるのが $R=r$ のときとわかったので

$$P_R=\frac{1}{R+2r+\frac{r^2}{R}}E^2 \Rightarrow P_{Max}=\frac{1}{r+2r+\frac{r^2}{r}}E^2$$

$$=\frac{1}{4r}E^2$$

※ 体系物理の模範解答にあるような

$$P=\frac{E^2}{R+2r+\frac{r^2}{R}}$$

$$=\frac{E^2}{\left(\sqrt{R}-\frac{r}{\sqrt{R}}\right)^2+4r}$$

という変形と，これによるグラフの作図は通常しないので
無視しましょう。

相加相乗平均か増減表を使うのが一般的です。

277

（273 に書いたものと同じ）

―コンデンサーを含む回路

直後 と 十分時間後で見るポイントを切り換えよう.

直後 コンデンサーの電位差に注目.

電荷がなかったら 0[V]

あったら $Q=CV \Rightarrow V=\frac{Q}{C}$[V]

※（「直後のコンデンサーを導線と見なす」という テクニックは はじめに電荷がたまっていない 場合しか成立しない. 忘れましょう.）

十分時間後 コンデンサーに流れる電流に注目

必ず 0[A].（交流電源だとちがうが）

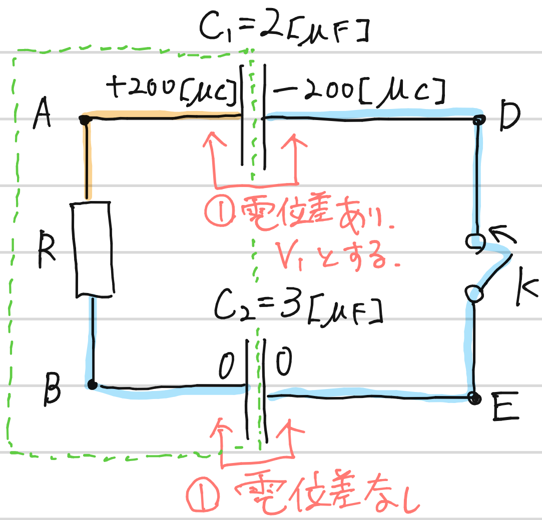
⇒ 抵抗のみで1周する経路が あれば電流が流れる.

⇒ 抵抗の情報から電位差を求めることができ, $Q=CV$ でたまっている電荷を求められる.

※（「十分時間後は断線と見なす」という テクニックは成立するけれど、しょうもないので 忘れましょう. 断線ではなく、ちゃんとそこには コンデンサーがあります.）

$\boxed{277}$ 続き

$\boxed{直後}$



① $\boxed{直後}$ はコンデンサーの電位差に最初に注目.

$Q=CV$より

$$V_1=\frac{Q}{C}=\frac{200}{2}=100[V]$$

② 色分けをしてみる.

C_2に電位差がないことに注意して色分けすると左図のようになる.

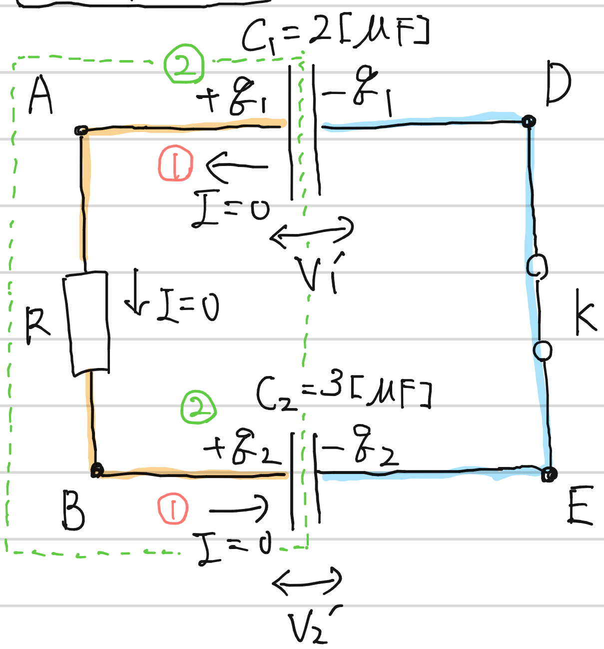
RにはV_1と同じ大きさの電圧がかかっていることが分かる.

⇒ ABの電位差はV_1と同じ

よって $\underline{100[V]}$ //

(2)(3)

$\boxed{十分時間後}$



① $\boxed{十分時間後}$ はコンデンサーに電流が流れないことに注目. ⇒ Rにも流れないことがわかる. よって $\underline{V_R=0}$ //

(2)の答え.

② 電気量の保存より. コンデンサーに電荷は残ることが分かる.

⇒ q_1, q_2, V_1', V_2'とおく.

③ 回路の色分けを行う

⇒ $V_1'=V_2'$

となることがわかる.

$\boxed{277}$ (3) 続き.

立式を行う.

・　　　　の電気量保存より

$$+200 = q_1 + q_2 \quad \cdots ①式$$

・キルヒホッフ則より

$$V_1' = V_2' \quad (\Rightarrow V とおく)$$

・$Q = CV$ より

$\boxed{C_1}$ $q_1 = 2V \quad \cdots ②式$

$\boxed{C_2}$ $q_2 = 3V \quad \cdots ③式$

①式に ③式 ④式 を代入して

$$200 = 2V + 3V$$

$$\therefore V = 40\,[V]$$

②式より

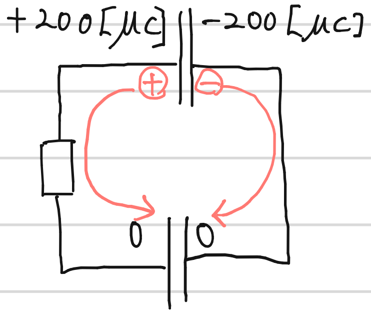
$$q_1 = 80\,[\mu C]$$

③式より

$$q_2 = 120\,[\mu C]$$

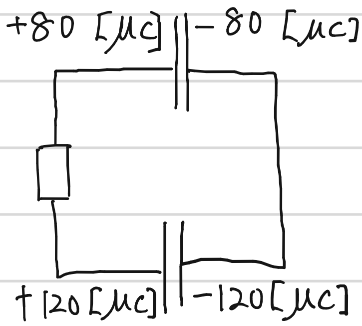
ここで電荷がどれくらい移動したか考える

直後



⇒

十分時間後



移動した電荷は

<u>120 [μC]</u> //

とわかる.

$\boxed{277}$ 続き

(4) IやVが一定でないので

$$P = IV = RI^2 = \frac{V^2}{R}$$

の公式は使えない

⇒ 装置全体のエネルギー収支より.

(2つのコンデンサーが失ったエネルギー) = (消費された熱)

という関係から求める.

$U = \frac{1}{2}QV$ より 前 と 後 のコンデンサーのエネルギーを求めると

$$U_{前} = \underbrace{\frac{1}{2}\cdot 200\times10^{-6}[C]\cdot 100[V]}_{U_1} + \underbrace{0}_{U_2} = 1.0\times10^{-2}[J]$$

$$U_{後} = \underbrace{\frac{1}{2}\cdot 80\times10^{-6}[C]\cdot 40[V]}_{U_1} + \underbrace{\frac{1}{2}\cdot 120\times10^{-6}[C]\cdot 40[V]}_{U_2}$$

$$= 1.6\times10^{-3} + 2.4\times10^{-3} = 4.0\times10^{-3}[J]$$

(※体系物理では $U = \frac{1}{2}CV^2$ で計算してました)

(※エネルギー[J]をだすときは、[μC][μF]は[C][F]に直さないといけないので注意)

ここで失われたエネルギー量は

$$U_{前} - U_{後} = 1.0\times10^{-2} - 4.0\times10^{-3}$$

$$= \underline{6.0\times10^{-3}[J]}$$

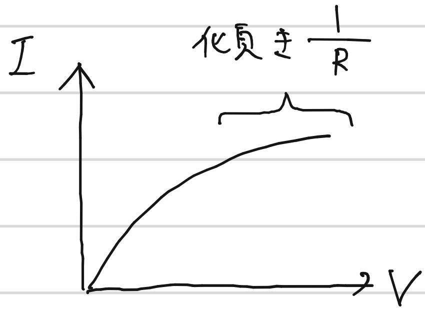
$\boxed{278}$ 豆電球は電流が流れると発熱し、抵抗値が増える。

$$R = \rho\frac{l}{S}$$

ここが大きくなって、Rが大きくなるのだ。

すると V (I) が大きいと、Rが大きくなり、$I = \frac{1}{R}V$ のグラフを書いたときの傾きがだんだん小さくなっていくとわかる。

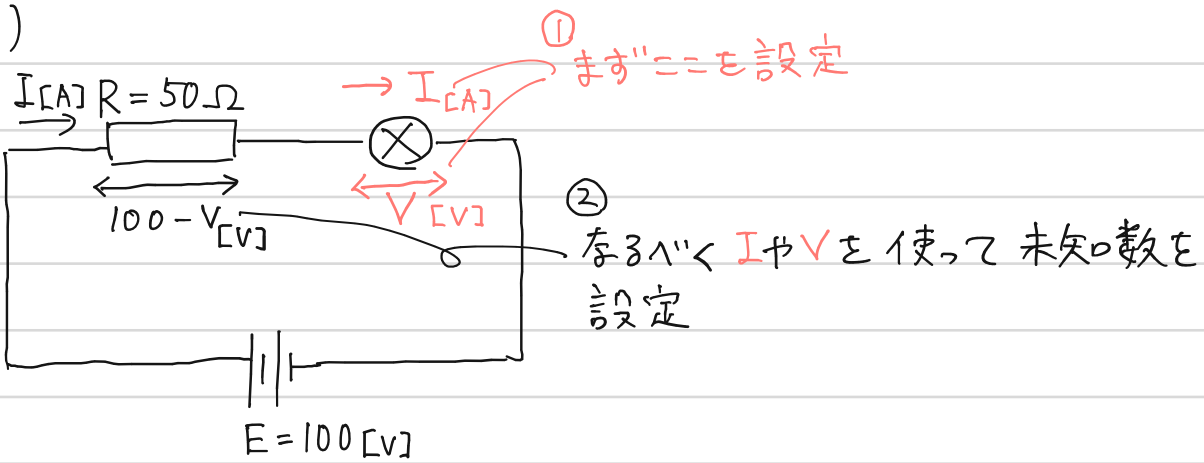
※ Rが一定値の抵抗だと、I−V グラフは直線となる。



解法

① 豆電球の IとVを最初に文字でおく (重要)
② おいた IとVをなるべく使って、未知数を設定する。
③ 回路の式を立てる。(オームの法則やキルヒホッフ則)
④ グラフを使って解く。

(1)



抵抗Rでのオームの法則より

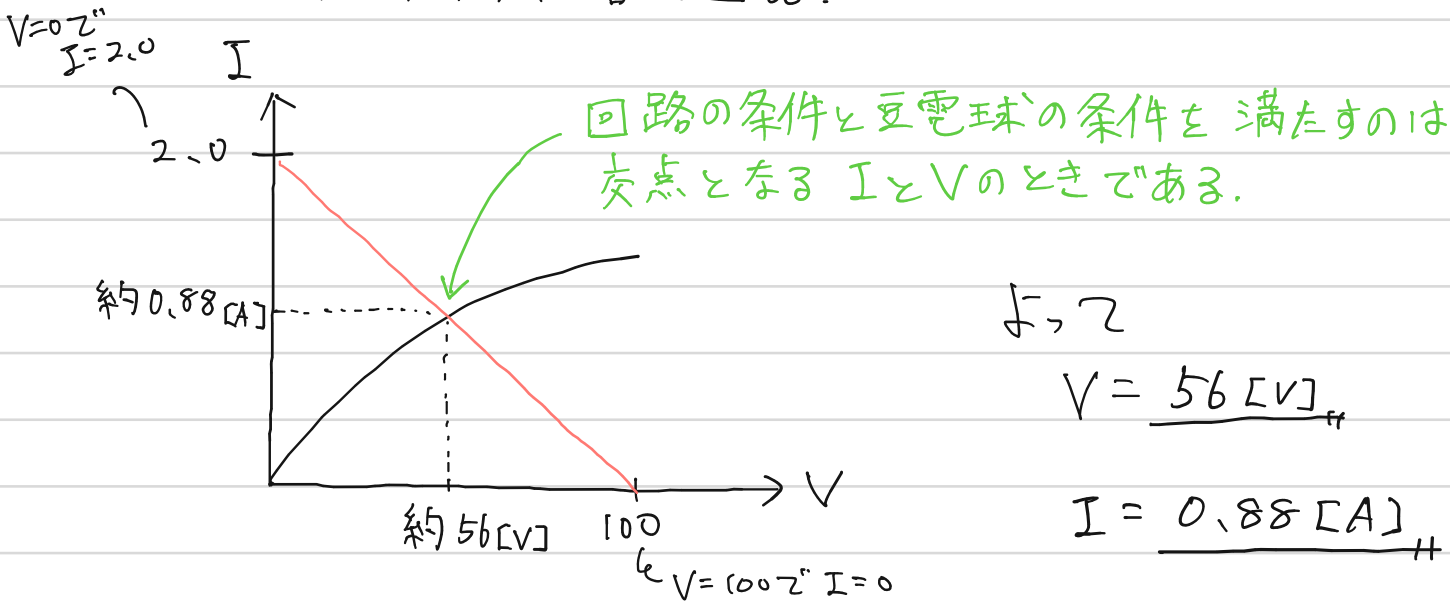
$$V = RI \Rightarrow \underline{100 - V = 50I}_{/\!/}$$

$\boxed{278}$ 続き

(2) 前問(1)の答えは、I−Vグラフの式の形にすると

$$I = -\frac{1}{50}V + 2$$

これをグラフに書き込む.



よって

$V = \underline{56\,[\mathrm{V}]}$

$I = \underline{0.88\,[\mathrm{A}]}$

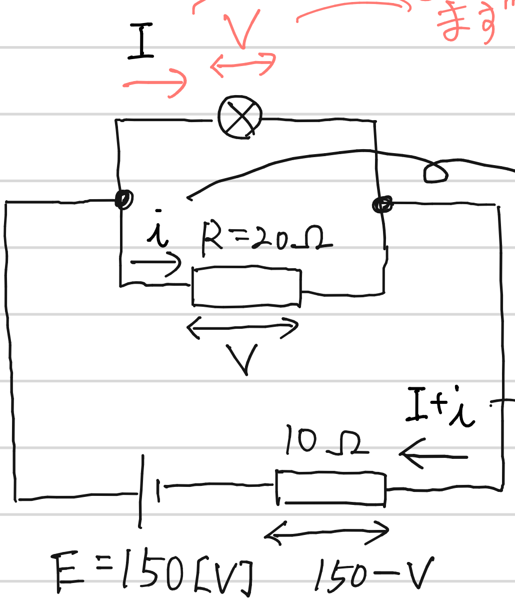
$\boxed{279}$

解法

1. 豆電球のIとVを最初に文字でおく（重要）
2. おいたIとVをなるべく使って、未知数を設定する。
3. 回路の式を立てる。（オームの法則やキルヒホッフ則）
4. グラフを使って解く。

(1)

①まずはここを設定



②なるべくIとVを使って未知数を置く。

$i = \frac{V}{20}$ $\left(\because I = \frac{V}{R}\right)$

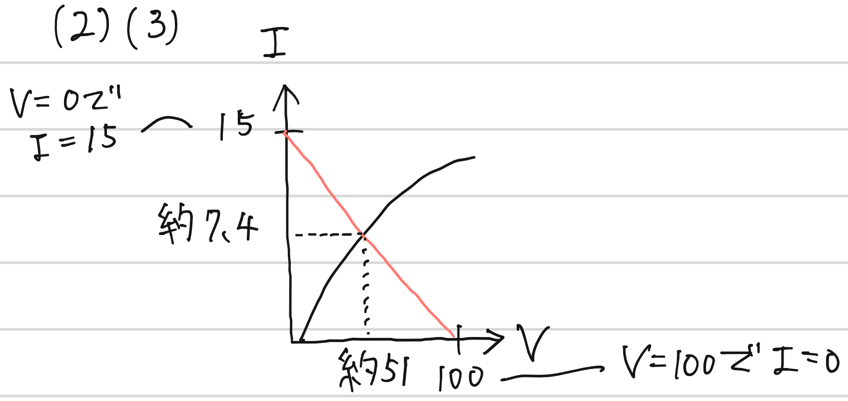
$I + i = I + \frac{V}{20}$

10Ωの抵抗でのオームの法則をたてると

$$150 - V = 10 \cdot \left(I + \frac{V}{20}\right)$$

$$\therefore I = 15 - \frac{3}{20}V \quad //$$

(2) (3)



グラフの交点を読んで

$V = 51\,[V]$ //

$I = 7.4\,[A]$ //

280

（273 に書いたものと同じ）

— コンデンサーを含む回路

直後 と 十分時間後で見るポイントを切り換えよう.

直後 コンデンサーの電位差に注目.

電荷がなかったら 0[V]

あったら $Q=CV \Rightarrow V=\frac{Q}{C}$[V]

※（「直後のコンデンサーを導線と見なす」という テクニックは はじめに電荷がたまっていない 場合しか成立しない. 忘れましょう.）

十分時間後 コンデンサーに流れる電流に注目

必ず 0[A].（交流電源だとちがうが）

⇒ 抵抗のみで1周する経路が あれば電流が流れる.

⇒ 抵抗の情報から電位差を求めることができ, $Q=CV$ でたまっている電荷を求められる.

※（「十分時間後は断線と見なす」という テクニックは成立するけれど, しょうもないので 忘れましょう. 断線ではなく, ちゃんとそこには コンデンサーがあります.）

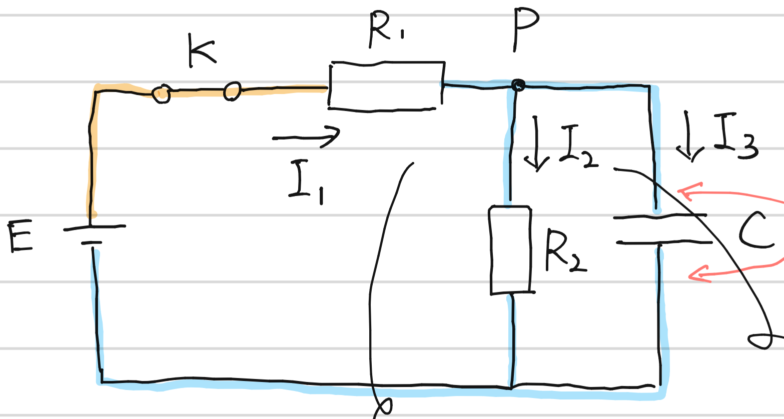
大切なので何度も書く.

280 続き

(1)

直後　最初に見るのはコンデンサーの電圧.

今回は, $q=0$ なので $V_C=0$



① $V_C=0$ なので同じ色

⇓

色分けを行う

② 色分けより, R_2 の電圧は0.

$\Rightarrow I_2=0$ //

③ 色分けより R_1 の電圧はE.

$$I_1=\frac{E}{R_1}$$ //

④ P点でキルヒホッフ第一法則(電圧の式)をたてると

$$I_1=I_2+I_3$$

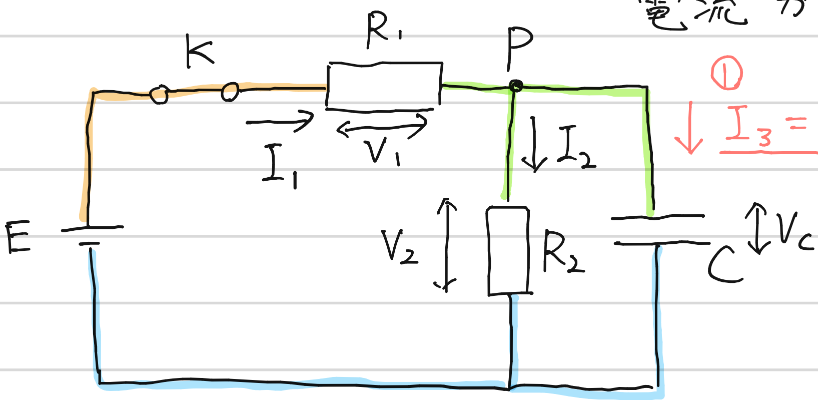
ここで $I_2=0$ なので

$$I_3=I_1$$
$$=\frac{E}{R_1}$$ //

※ 上の極板に電流が流れ込み, ＋に帯電すると見通しがたつ.

$\boxed{280}$ 続き

$\boxed{\text{十分時間後}}$ 最初に「コンデンサーに流れる電流(I_3)が0」が決まる。⇒Rのみで回路が成立していると電流が流れる



①
$\underline{I_3 = 0}$ // (答え) まずここが決まる

② 抵抗だけで回路が成立するので、I_1. I_2 があることがわかる

⇒ 色分けを行う

⇒ コンデンサーに

$$V_C = V_2$$

の電圧がかかるとわかる。

キルヒホッフ則より

$$E = V_1 + V_2 \quad \cdots ①式$$

$I_3=0$ なので

$$I_1 = I_2 \quad \cdots ②式$$

オームの法則より

$\boxed{R_1}$ $V_1 = R_1 I_1 \cdots ③式$ $\boxed{R_2}$ $V_2 = R_2 I_2$

②式より

$$V_2 = R_2 I_1 \cdots ④式$$

①式に、③式、④式を代入して

$$E = R_1 I_1 + R_2 I_2$$

$$\therefore \underline{I_1 = \frac{E}{R_1+R_2}} /\!/ \Rightarrow \text{②式より} \quad \underline{I_2 = I_1 = \frac{E}{R_1+R_2}} /\!/$$

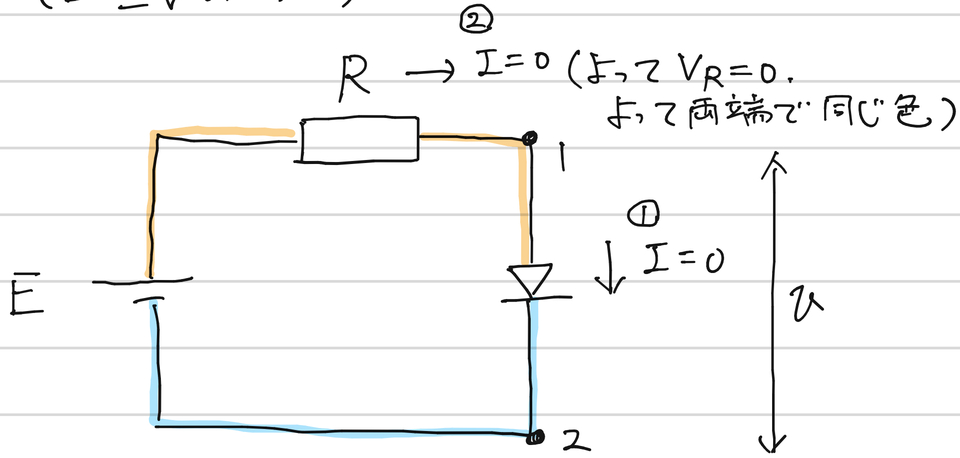
※ついでに聞かれやすいことを、おさえておこう。

④式より コンデンサーにたまる電荷Qは

$$V_2 = \frac{R_2}{R_1+R_2}E \Rightarrow Q = CV_C = CV_2 = \underline{\frac{R_2}{R_1+R_2}CE}$$

281 誘導に従って考えよう.

(1) (E ≦ V の場合)

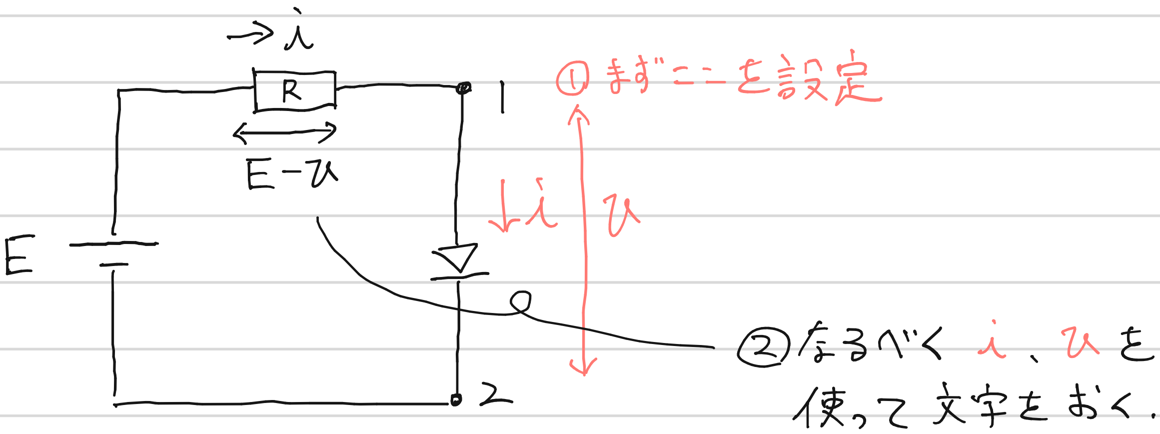


① → ② の順に考えることができ,

$\underline{v = E}$ …(ア)

とわかる.

(2) (E > V の場合) → 豆電球のような特性曲線の問題と同じ.
まずはダイオードの I と V を設定する.



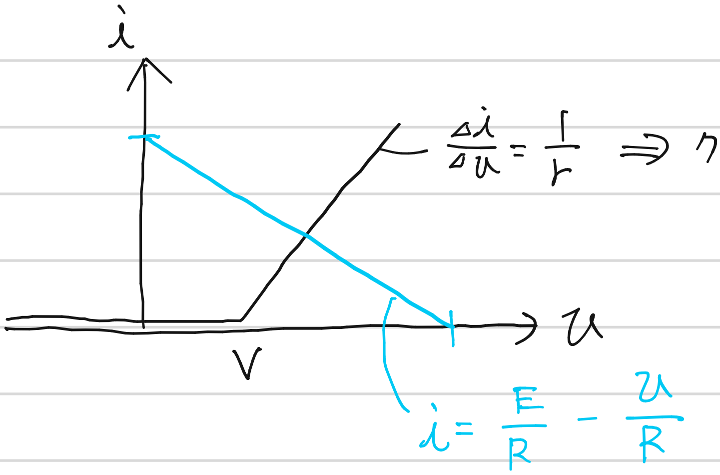
(イ) R_1 のオームの法則より

$$E - v = R i$$

$$\Rightarrow i = \frac{E}{R} - \frac{1}{R} v$$

281 (2) 続き

グラフの交点を求める。



$\frac{\Delta i}{\Delta v}=\frac{1}{r}$ ⇒ グラフの式を考えると

$i=\frac{1}{r}(v-V)$ …①式

傾き　$v=V$で$i=0$

グラフの交点を求めると

$$\frac{1}{r}(v-V)=\frac{E}{R}-\frac{v}{R}$$

$$\Rightarrow R(v-V)=Er-vr$$

$$\Rightarrow v(R+r)=Er+VR$$

$$\therefore v=\frac{Er+VR}{R+r}$$ ⫽(イ)

（体系物理の解説とやってることは同じ）

(ウ) $P=IV$より求める。（特性曲線の素子なので$P=\frac{V^2}{R}$とかはできない）

①式（グラフの式）より

$$i=\frac{1}{r}(v-V)$$
$$=\frac{1}{r}\left(\frac{Er-VR}{R+r}-V\right)=\frac{E-V}{R+r}$$

$P=IV$より

$$P=iv=\frac{E-V}{R+r}\cdot\frac{Er+VR}{R+r}$$
$$=\frac{(E-V)(Er+VR)}{(R+r)^2}$$ ⫽(ウ)