277

必要になる公式

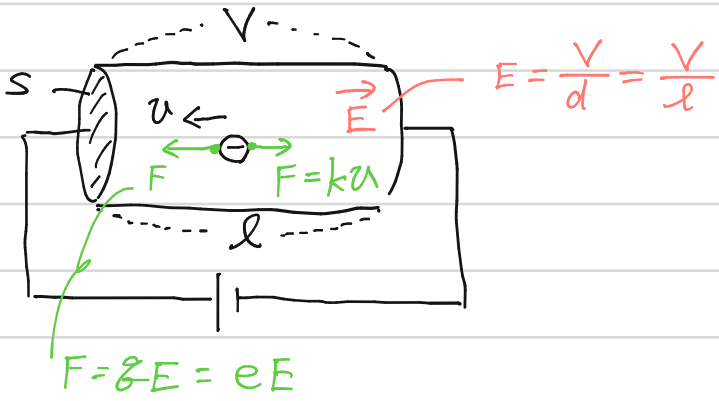
電場E → 定義 1Cの電荷が受ける力
⇒ $F = qE$
↳ 電位の化頁き
⇒ $E = \frac{V}{d}$

電流I → 定義 Sに通る電荷の量
⇒ $I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$

オームの法則 → $V = RI$

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

(イ)



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

上図のように力を見出だせる。つりあいの式をたてると、

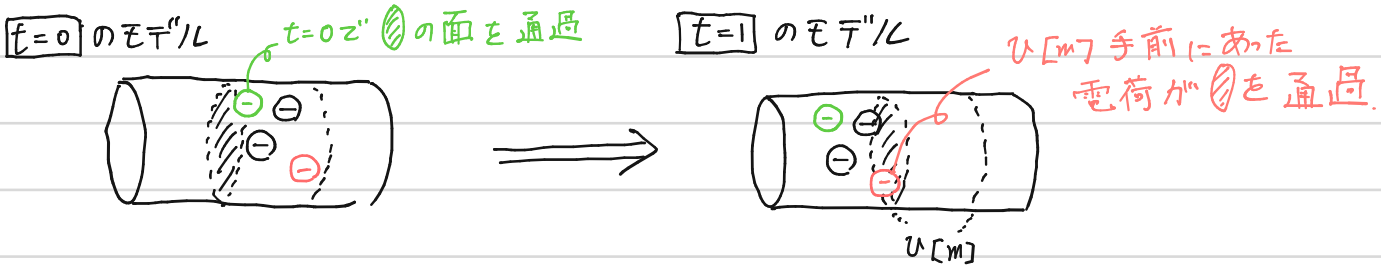
$kv = eE$

$E = \frac{V}{l}$ を代入して

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

$\therefore v = \frac{eV}{kl}$ …(1)

(ロ) Sに通過する電荷を数える。



つまり

の部分(体積 $Sv\,[m^3]$)にあった電荷が通過するといえる。

277 (ロ) 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

$$I = eN = \underline{enSv}_{\#(ロ)}$$

(ハ)

(イ)の $v = \frac{eV}{k\ell}$ を代入して

$$I = enS \cdot \frac{eV}{k\ell} = \underline{\frac{e^2nSV}{k\ell}}_{\#(ハ)}$$

(ニ) $I = \frac{e^2nSV}{k\ell}$ と $I = \frac{V}{R}$ を比べる.

↓

$$I = \frac{e^2nS}{k\ell} V$$

$\frac{e^2nS}{k\ell}$ → $\frac{1}{R}$

よって $R = \underline{\frac{k\ell}{e^2nS}}_{\#}$

(ホ) $R = \frac{k\ell}{e^2nS}$ と $R = \rho\frac{\ell}{S}$ を比べる

↓

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

$\frac{k}{e^2n}$ → ρ

よって $\rho = \underline{\frac{k}{e^2n}}_{\#}$ (ホ)

(ヘ)

(ホ)より

n が $\underline{小さい}_{\#(ヘ)}$ と ρ が大きい. (材質で変わる)

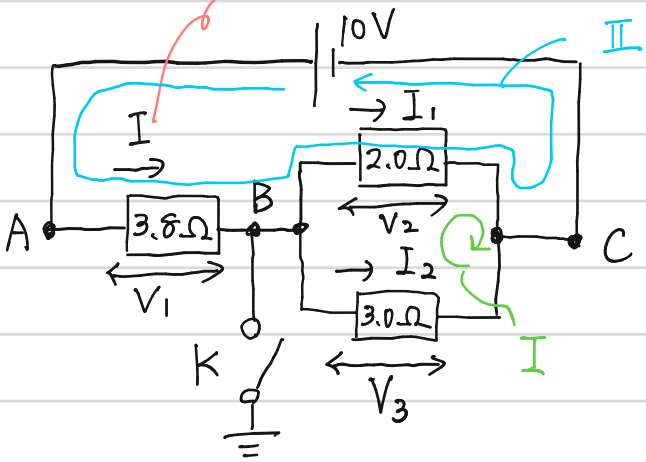
k が $\underline{大きい}_{\#(ト)}$ と ρ が大きい. (温度や材質で変わる)

278

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'

278 (1) 続き

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

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

$10 = 8.7 I_2 + 3.8 I_2$

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

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

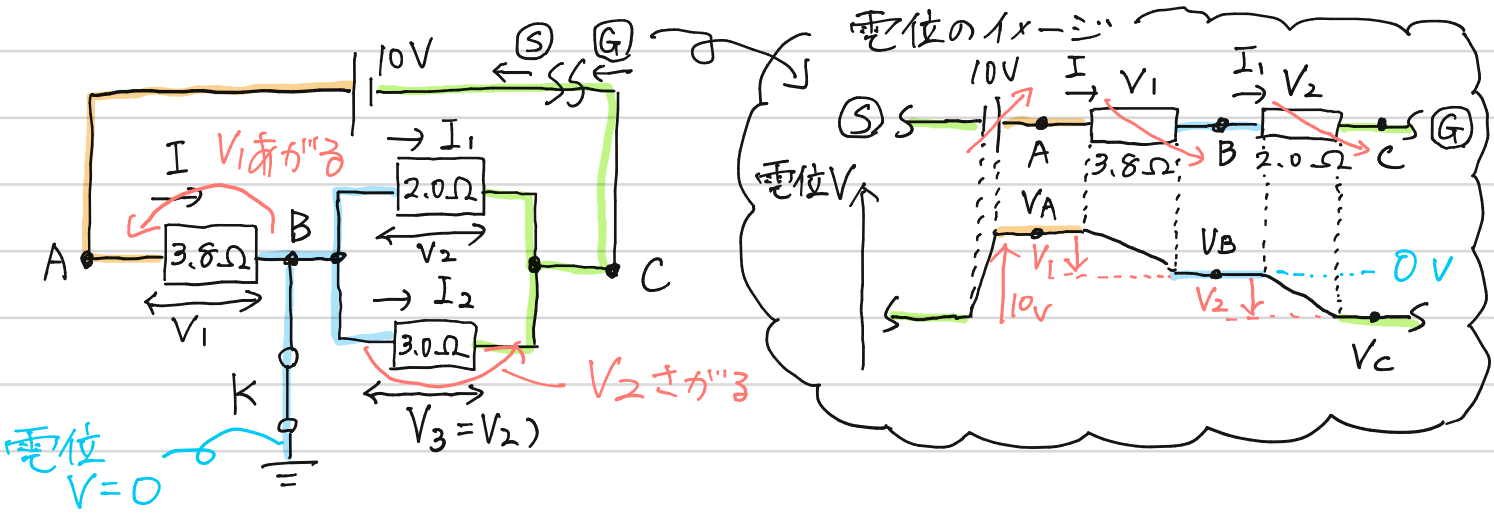
$I_1 = \underline{1.2\,[A]}$ (ロ)　　$I = \underline{2.0\,[A]}$ (イ)

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

$V_1 = \underline{7.6\,[V]}$ (ニ)　　$V_2 = \underline{2.4\,[V]}$ (ホ)

※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。

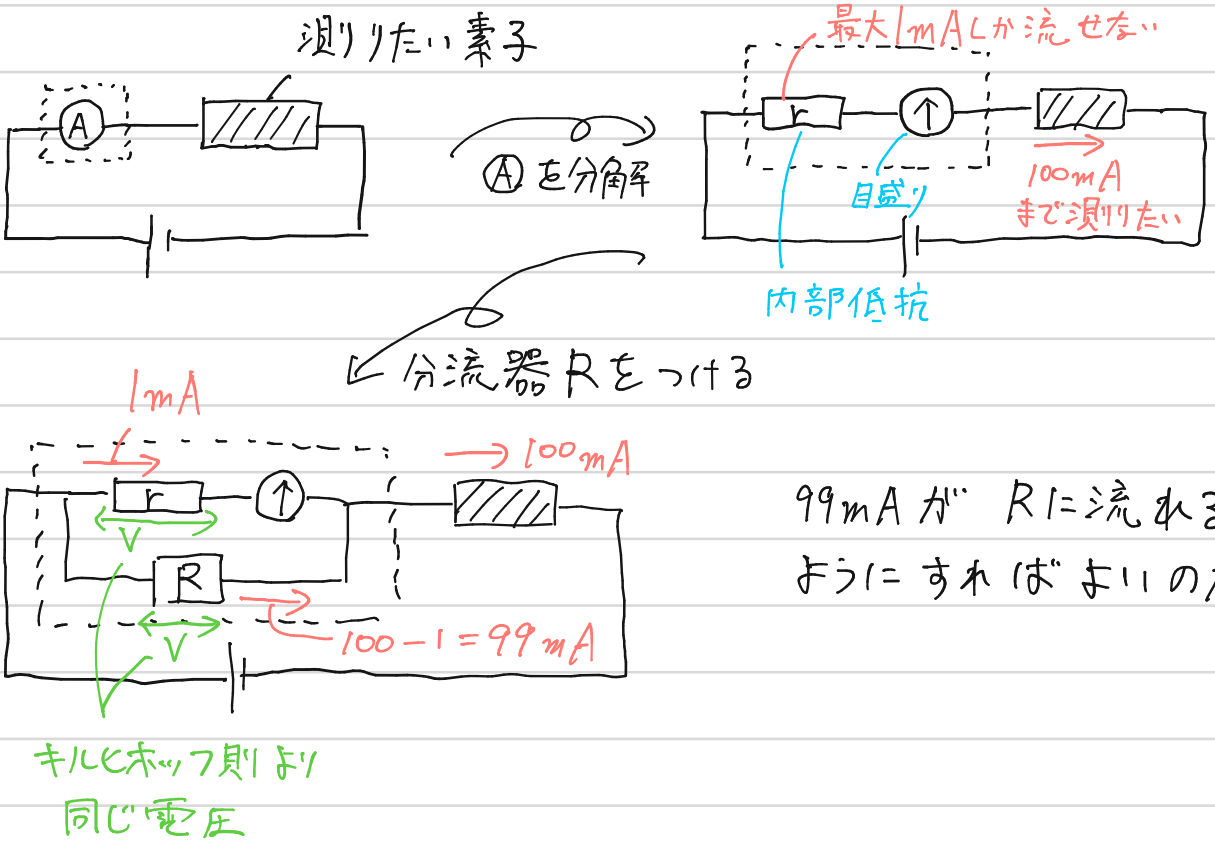
(2) アースをつないでも、電流や電圧に変化は起きない。そこが電位 0 の基準となるだけである。



よって $V_A = +V_1 = \underline{7.6\,[V]}$ (ヘ)　　$V_B = \underline{0\,[V]}$ (ト)

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

279



99mAがRに流れるようにすればよいのだ.

$V=RI$ より

Ⓡ $V = r \cdot 1.0\times10^{-3}$

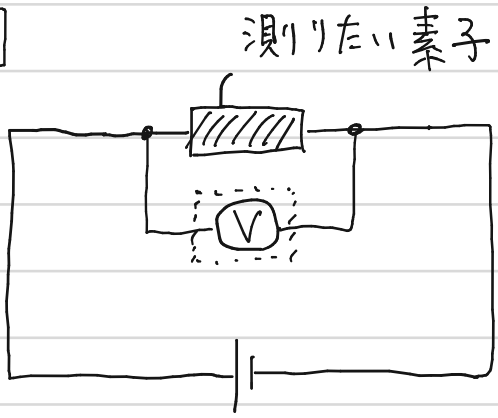
Ⓡ $V = R \cdot 99\times10^{-3}$

よって

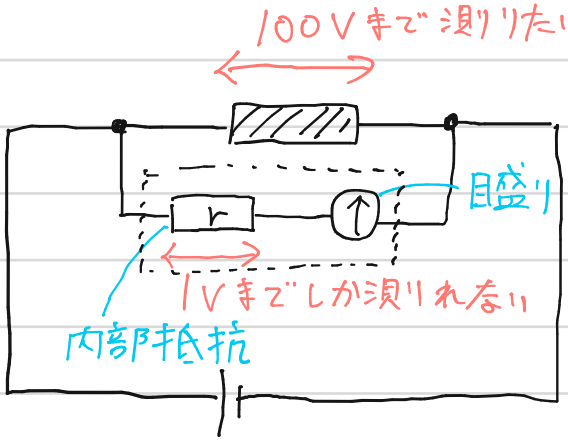
$r \cdot 1.0\times10^{-3} = R \cdot 99 \cdot 10^{-3}$

$\therefore R = \frac{1}{99}r$ これを並列につなぐ

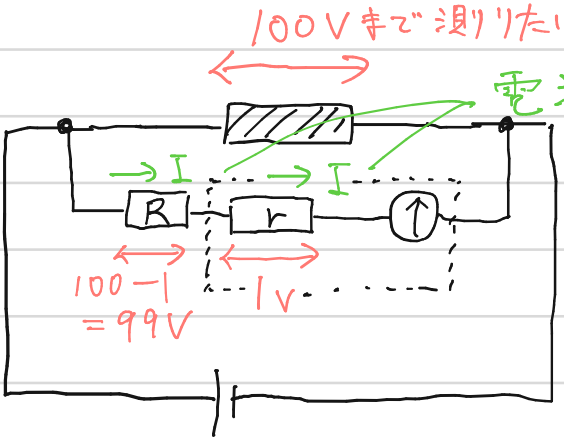
280



Ⓥ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

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

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

よって

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

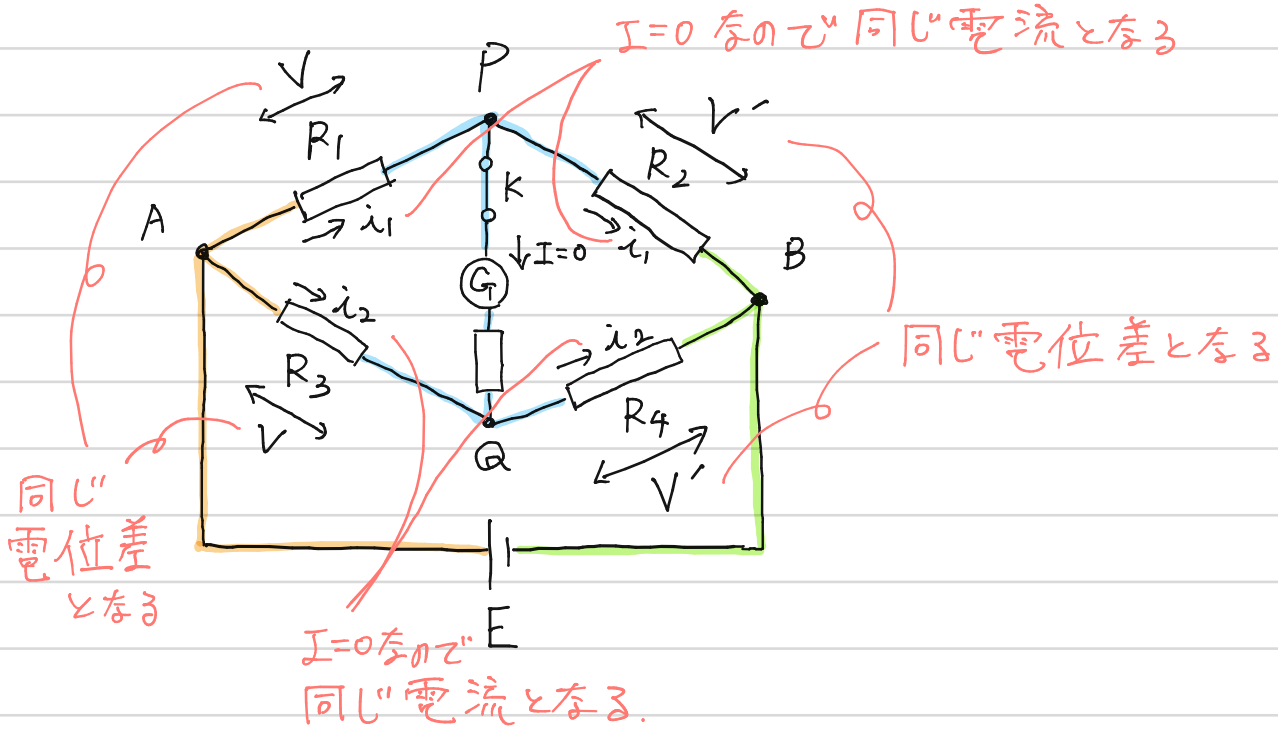
$$\therefore R=\underline{99r\ [k\Omega]}$$

直列につなぐ

※rの単位が[kΩ]なので
Rの単位も[kΩ]

288

(1) Ⓖ に電流が流れない ⇒ P と Q が等電位



$V=RI$ より

R_1 $V=R_1 i_1$ … ①　　R_2 $V'=R_2 i_1$ … ②

R_3 $V=R_3 i_2$ … ③　　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

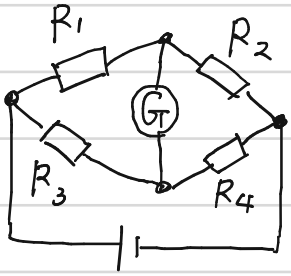
$R_2 i_1 = R_4 i_2$ … ②'

$\frac{①'}{②'}$ より

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

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

※ 本質的な理解から遠ざかるが、公式がある。石窓かめに使うくらいなら OK.



⇒ 形のまま分数にして

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

とかける.

281 続き

(2) 変化しない。

オームの法則より

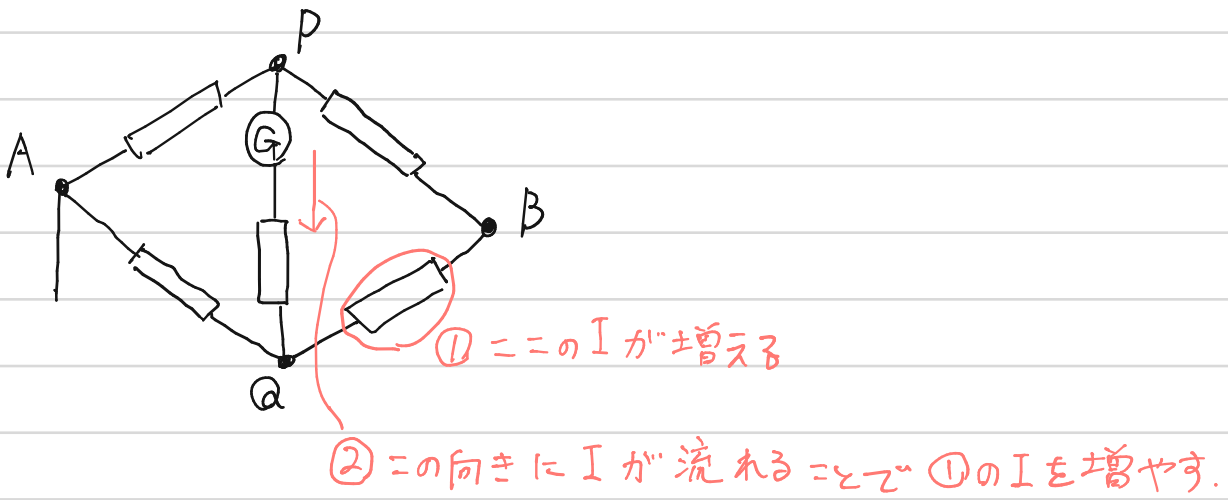
R1 $V = R_1 i_1$　　R2 $V' = R_2 i_1$

この2式より

$$V : V' = R_1 : R_2$$

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



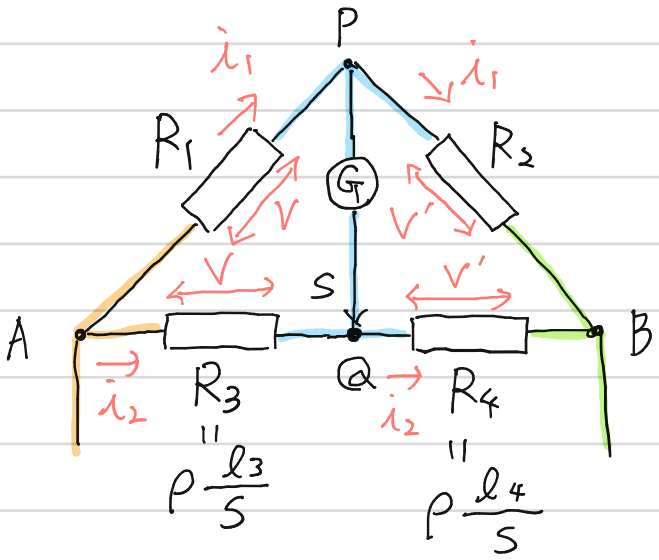
よって P → Q 向き

※ 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。

282

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



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

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

R_1 $V=R_1 i_1$ …①　　R_2 $V'=R_2 i_1$ …②

R_3 $V=R_3 i_2$ …③　　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′

$\frac{①'}{②'}$ より

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

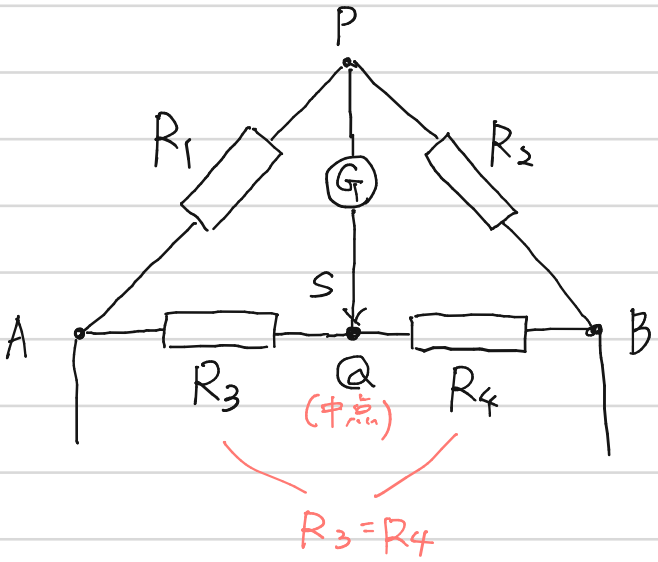
$\therefore R_2=\frac{R_4}{R_3}R_1=\frac{\rho\frac{l_4}{S}}{\rho\frac{l_3}{S}}R_1=\frac{l_4}{l_3}R_1$

282 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

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

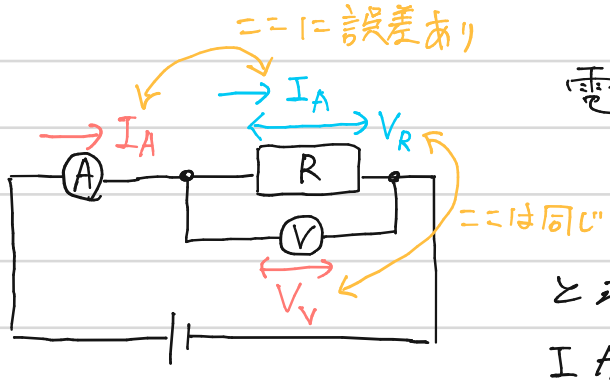
と. $R_3 = R_4$ という条件から

$$R_1 = R_2$$

(標準抵抗) (未知抵抗)

とすればよい.

※ 電圧降下法



電流計. 電圧計でIとVを測定して

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

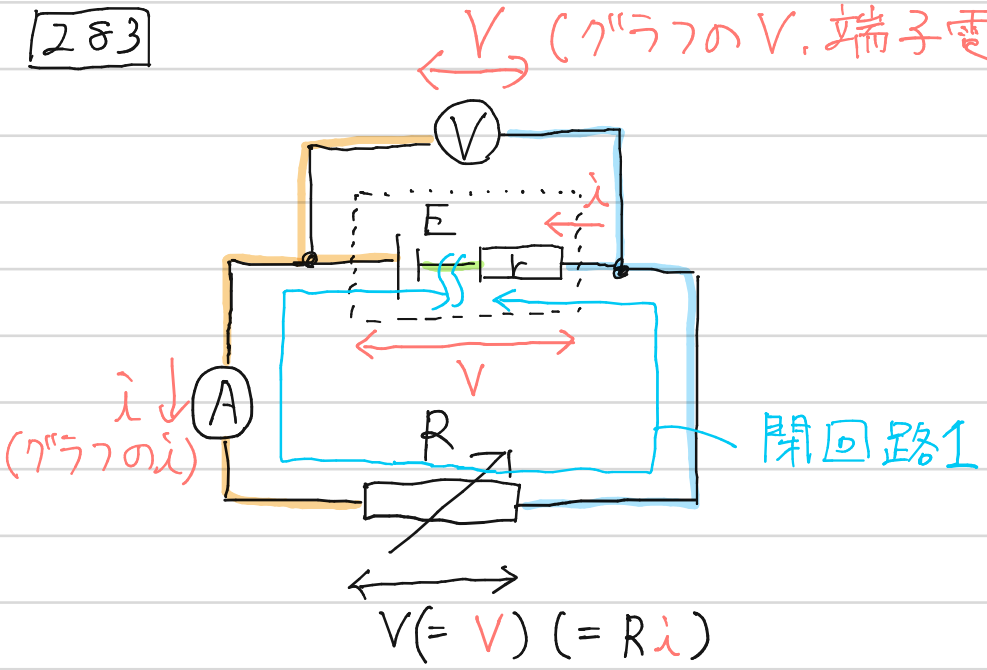
と求める方法. 左図の場合だと、

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.

282 の方法は誤差が少なく. Rの測定に使われる.

解答の 参考 は. 「知られている」という認識でOKである.

283



閉回路1でのキルヒホッフ第2法則より (イ)

$E = V + ri$ ⇒①式を示す．（問題文の説明していること）

(ロ) (ハ)

$E = V + ri$ 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，

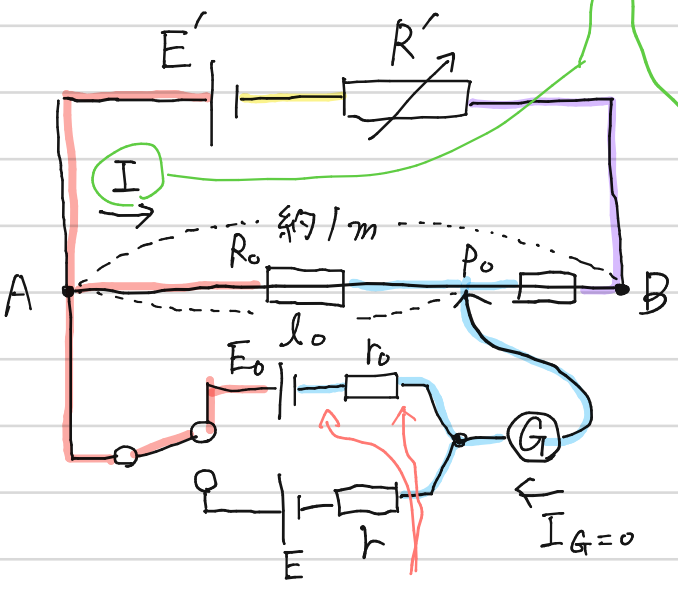
切片が 1.6 V ⇒ $E = \underline{1.6\,[V]}$ (ロ)

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

284

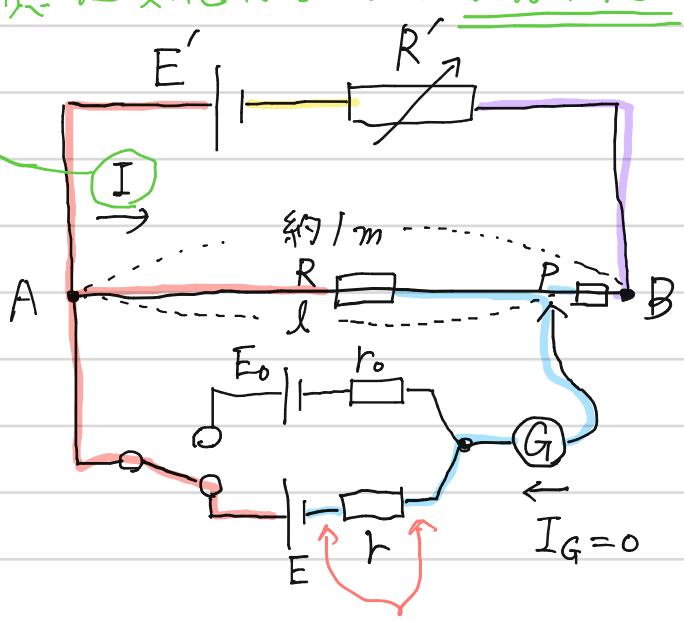
(1) 設定が複雑なので，とりあえず作図して，色分けしてみる．

E′, R′が変わらずⒼ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



$I_G=0$なので
ここの電位差は0

(図1)



$I_G=0$なので
ここの電位差は0

(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

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

284 (1) 続き

ここで 長さと抵抗値が比例することから

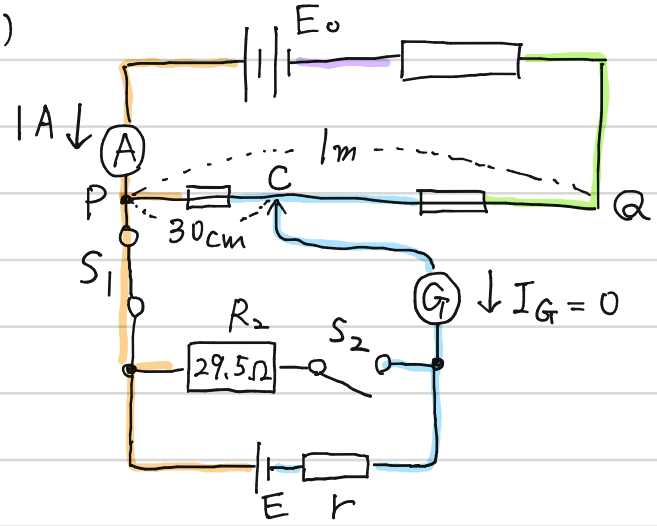
$$l_0 : l = R_0 : R$$

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

④を③に代入して

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

(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.

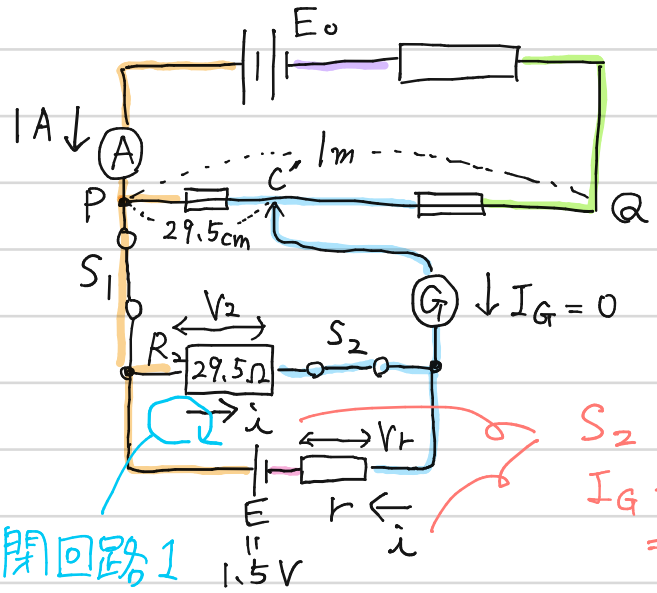
よって P-Cでオームの法則をたてると.

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

$$= 1.5\,V$$

284 続き

(3)



P-C'の抵抗は

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

S_2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 V_2 と同じ

P-C' と R_2 でそれぞれオームの法則をたてると

P-C' $V_2 = \frac{5 \times 29.5}{100}\Omega \times 1A \cdots ⑥$

R_2 $V_2 = 29.5\Omega \times i[A] \cdots ⑦$

⑥, ⑦より

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

29.5
5
147.5

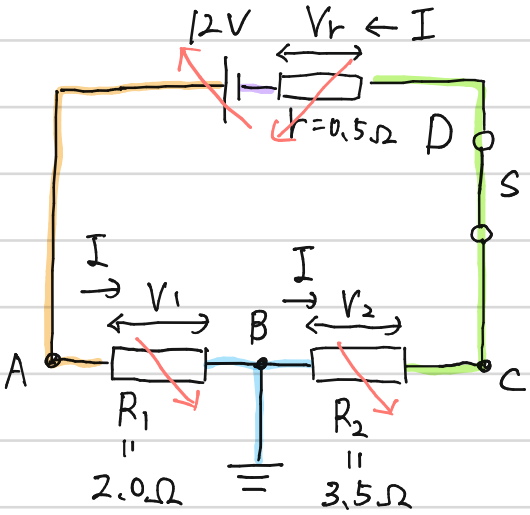
⑤に代入して

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

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

285

(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②.③④を代入して

$12 = 6I$

$I = 2.0$ [A] //(1)

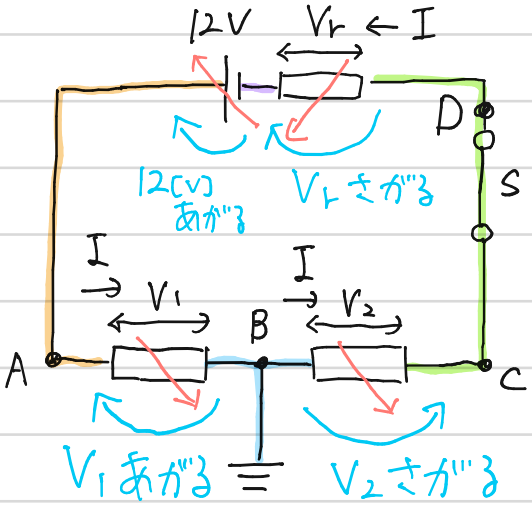
(2) それぞれの抵抗での電位差を求めると、

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.



$V_A = 0 + V_1 = 4.0$ [V] //

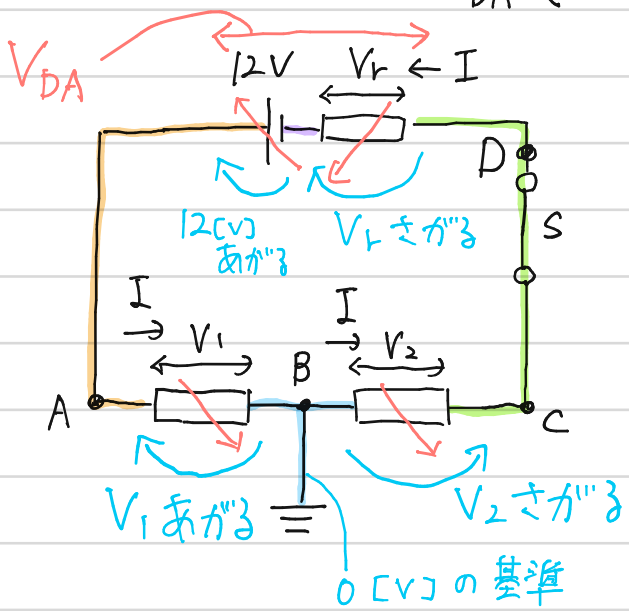
$V_B = 0$ [V] //

$V_C = 0 - V_2 = -7.0$ [V] //

$V_D = V_C = -7.0$ [V] //

285 続き

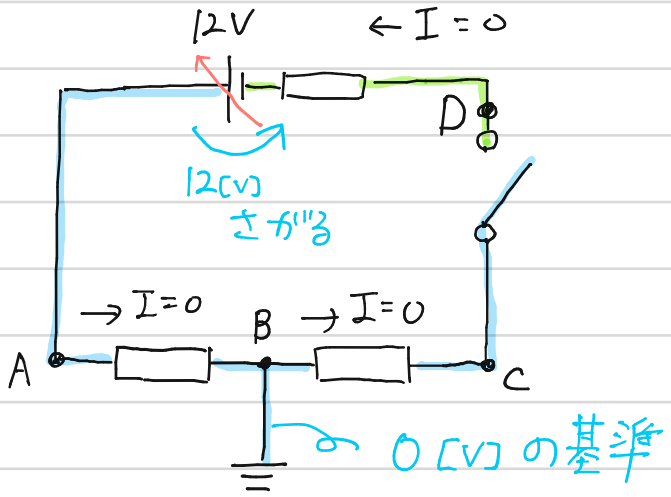
(3) 端子電圧は V_{DA}（—— と —— の差）のことである。



$V_{DA} = 12 - V_r$

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

(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。($\because V = RI$)



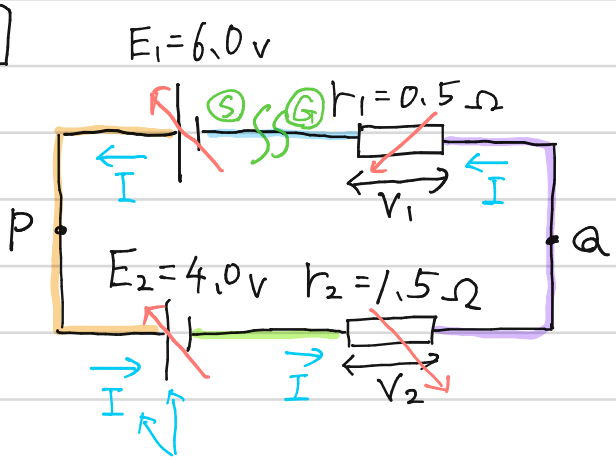
電池は電流がなくても電位をかえる。

左図より

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

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

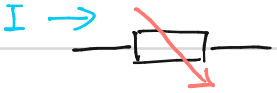
286



電池での電位のルール

正極が絶対高い

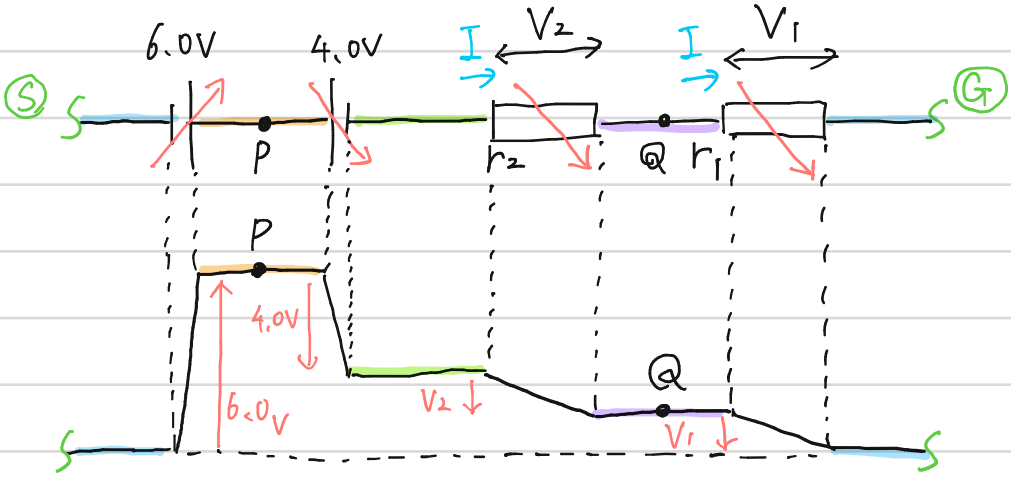
抵抗での電位のルール



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.

$6.0 = 4.0 + V_2 + V_1$ … 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

$V_1 = R_1 I$

$\Rightarrow V_1 = 0.5I$ … ②

$V_2 = R_2 I$

$\Rightarrow V_2 = 1.5I$ … ③

288 続き

①に ②, ③を代入して

$6.0 = 4.0 + 0.5I + 1.5I$

$\therefore I = 1.0\ [A]$

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

$V_{PQ} = 4.0 + V_2$

$= 4.0 + 1.5$

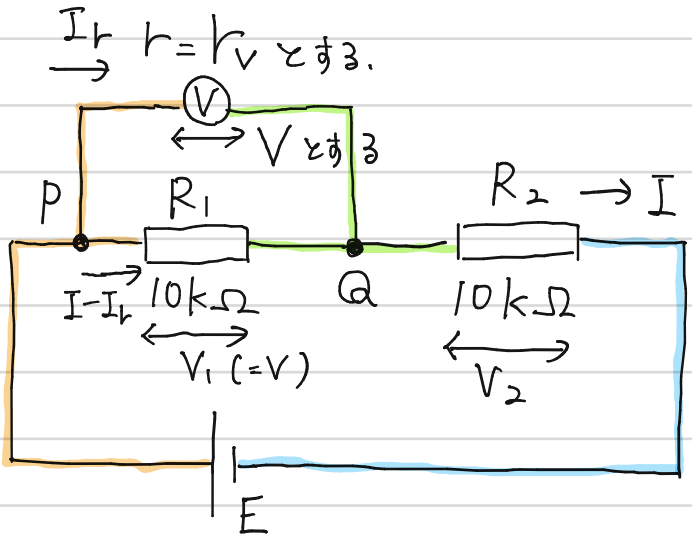
$= \underline{5.5[V]}$ //

※ $V_{PQ} = 6.0 - V_1$ としてもよい.

$V_{PQ} = 6.0 - 0.5$

$= \underline{5.5\ [V]}$ //

287 数式で表して考えてみる



キルヒホッフ則より

$E = V + V_2$ … ①　　$V = V_1$ … ②

オームの法則より

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

V　$V = r_{V[k\Omega]} \cdot I_r$ … ④

R_2　$V_2 = 10_{k\Omega} \cdot I$ … ⑤

①に④.⑤を代入して

$E = r_V \cdot I_r + 10I$ … ①′

②に③.④を代入して

$10(I - I_r) = r_V I_r$

$\Rightarrow 10I = r_V I_r + 10 I_r$ … 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

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

287 (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
10kΩと 100kΩ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 $V=\frac{E}{2}$

⇒ 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、Ⓥ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 $r_V=r_V$ 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

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

287 (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

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

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

これが 0.05 未満であればよいので

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

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

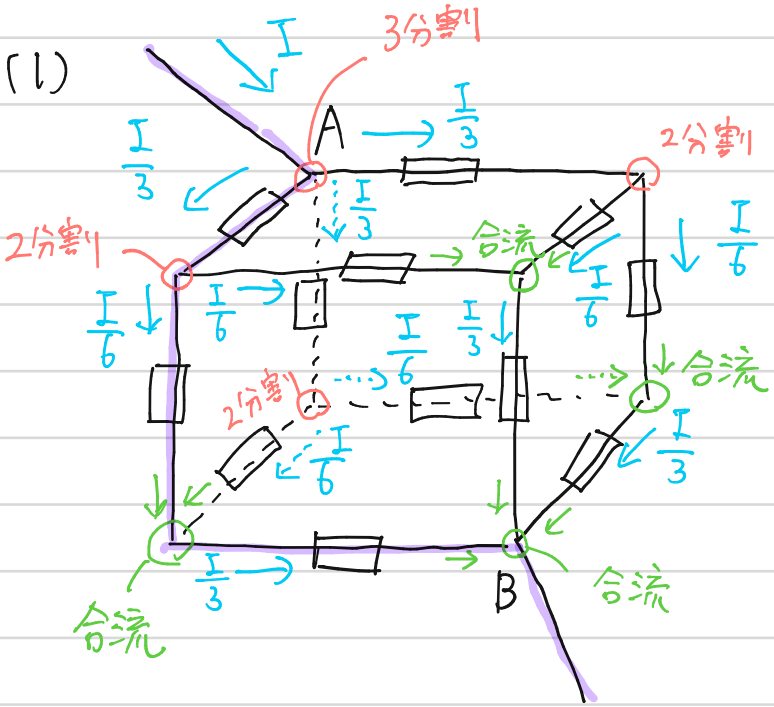
$$0.95(r_V+5) \leqq r_V$$

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

$$\therefore \underline{95\,\text{k}\Omega \leqq r_V}$$

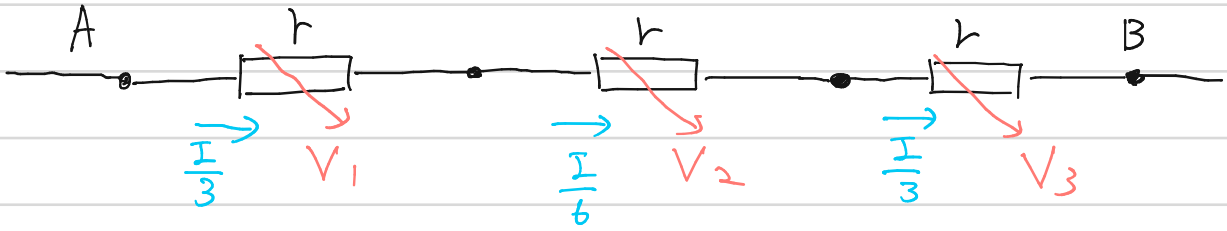
288　回路の対称性を活用する

(1)



← (1) 答え

(2) 例えば ― のコースでの電圧降下を考えると



(電圧降下の和) $= V_1 + V_2 + V_3$

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

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

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

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

(3) 50 [V] かけて 12 [A] 流れているので

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